

UDC

中华人民共和国国家标准



P

GB 51160 – 2016

纤维增强塑料设备和管道工程技术规范

Technical code for fibre reinforced plastics
equipment and piping engineering

2016 – 01 – 04 发布

2016 – 08 – 01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部
中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局

联合发布

中华人民共和国住房和城乡建设部公告

第 1026 号

住房和城乡建设部关于发布国家标准 《纤维增强塑料设备和管道工程技术规范》的公告

现批准《纤维增强塑料设备和管道工程技术规范》为国家标准,编号为 GB 51160—2016,自 2016 年 8 月 1 日起实施。其中,第 3.4.2、3.4.3(1)、7.1.3(3)条(款)为强制性条文,必须严格执行。

本规范由我部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2016 年 1 月 4 日

中华人民共和国国家标准

纤维增强塑料设备和管道工程技术规范

Technical code for fibre reinforced plastics
equipment and piping engineering

GB 51160 - 2016

主编部门：中国工程建设标准化协会化工分会

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2 0 1 6 年 8 月 1 日

中国计划出版社

2016 北 京

中华人民共和国国家标准
纤维增强塑料设备和管道工程技术规范

GB 51160-2016

☆

中国计划出版社出版

网址: www.jhpress.com

地址: 北京市西城区木樨地北里甲 11 号国宏大厦 C 座 3 层

邮政编码: 100038 电话: (010) 63906433 (发行部)

新华书店北京发行所发行

北京市科星印刷有限责任公司印刷

850mm×1168mm 1/32 8.75 印张 225 千字 1 插页

2016 年 7 月第 1 版 2016 年 7 月第 1 次印刷

☆

统一书号: 1580242·896

定价: 49.00 元

版权所有 侵权必究

侵权举报电话: (010) 63906404

如有印装质量问题, 请寄本社出版部调换

前 言

本规范根据住房和城乡建设部《关于印发〈2013 年工程建设国家标准规范制订、修订计划〉的通知》(建标〔2013〕6 号)的要求,由中国石油和化工勘察设计协会、上海富晨化工有限公司会同有关单位共同编制完成。

本规范在编制过程中,编制组开展了调查研究、试验和验证,总结了我国纤维增强塑料设备和管道工程技术的应用经验,参考和借鉴国际标准和国外先进标准,在广泛征求意见的基础上,最后经审查定稿。

本规范共分 11 章和 11 个附录,主要内容包括总则,术语,基本规定,材料,设备设计,管道设计,制造,质量控制与检验,标志、包装、运输、贮存,安装,工程验收等。

本规范中以黑体字标志的条文为强制性条文,必须严格执行。

本规范由住房和城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释,由中国工程建设标准化协会化工分会负责日常管理,由上海富晨化工有限公司负责具体技术内容的解释。本规范执行过程中如有意见或建议,请寄送上海富晨化工有限公司(地址:上海市徐汇区漕溪路 251 号 5-21B;邮政编码:200235)。

本规范主编单位、参编单位、参加单位、主要起草人和主要审查人:

主 编 单 位:中国石油和化工勘察设计协会
上海富晨化工有限公司

参 编 单 位:石家庄开发区技源科技有限公司
新疆鹏远新材料股份有限公司
华东理工大学

中国五环工程有限公司
中石化南京工程有限公司
中国恩菲工程技术有限公司
冀州中意复合材料股份有限公司
江西铜业集团公司贵溪冶炼厂
常州华科聚合物股份有限公司
金川集团工程建设有限公司
中国石油集团东北炼化工程有限公司吉林设计院
亚什兰(中国)投资有限公司
中国电力工程顾问集团华东电力设计院有限公司
中冶东方工程技术有限公司
河北衡兴环保设备工程有限公司
全国化工施工标准化管理中心站

参 加 单 位:泰山玻璃纤维有限公司
重庆国际复合材料有限公司
广东纤力玻璃钢有限公司
德阳市双全玻璃钢制品有限公司

主要起草人:陆士平 李国树 王 磊 侯锐钢 唐文勇
王正助 俞 群 赵爱君 兰丽琴 刘 肃
江先龙 卢跃池 王天堂 曾 邵 居远勤
蒋国贤 张维秀 苑 野 赖晓冬 黎大胜
牛春良 郭全国 芦 天 赵桂芹 高尚文
李 焯

主要审查人:陈 博 倪礼忠 朱四荣 郭文强 沙 垣
张诗光 王强华 张林文 吕会敏 王建东
吉 利

目 次

1	总 则	(1)
2	术 语	(2)
3	基本规定	(4)
3.1	一般规定	(4)
3.2	功能要求	(4)
3.3	设计条件与文件	(5)
3.4	过压保护	(6)
4	材 料	(7)
4.1	一般规定	(7)
4.2	原材料	(7)
4.3	单层板和层合板性能	(9)
5	设备设计	(24)
5.1	一般规定	(24)
5.2	载荷和作用	(25)
5.3	结构计算	(28)
5.4	结构设计	(57)
6	管道设计	(74)
6.1	一般规定	(74)
6.2	构造设计	(76)
6.3	结构计算	(91)
6.4	管道应力计算和柔性分析	(105)
7	制 造	(118)
7.1	一般规定	(118)
7.2	设备和管道制造	(119)

7.3	制造过程质量控制	(121)
7.4	缺陷及修补	(121)
7.5	二次粘接	(123)
8	质量控制与检验	(125)
8.1	一般规定	(125)
8.2	质量检验文件	(125)
8.3	原材料测试与检验	(126)
8.4	产品测试、检验、判定	(130)
9	标志、包装、运输、贮存	(142)
9.1	设备	(142)
9.2	管道	(143)
10	安 装	(145)
10.1	一般规定	(145)
10.2	设备安装	(145)
10.3	管道安装	(146)
10.4	使用与维修	(151)
11	工程验收	(153)
附录 A	纤维增强塑料设备耐腐蚀内衬层分项设计系数 K_2 的确定	(155)
附录 B	腐蚀介质的分类	(161)
附录 C	卧式容器设计	(163)
附录 D	法兰设计	(173)
附录 E	地锚设计	(184)
附录 F	敞口贮罐顶部加强法兰规格	(196)
附录 G	管线结构设计的计算流程	(插页)
附录 H	管道压力损失的计算	(197)
附录 J	二次粘接工艺评定	(200)
附录 K	层合板层间剪切强度测试	(202)
附录 L	层合板搭接剪切强度测试	(204)

本规范用词说明	(206)
引用标准名录	(207)
附：条文说明	(209)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms	(2)
3	Basic requirements	(4)
3.1	General requirements	(4)
3.2	Functional requirements	(4)
3.3	Design conditions and documents	(5)
3.4	Overpressure protection	(6)
4	Materials	(7)
4.1	General requirements	(7)
4.2	Raw materials	(7)
4.3	Material properties of lamina and laminate	(9)
5	Equipment design	(24)
5.1	General requirements	(24)
5.2	Load and action	(25)
5.3	Structure calculation	(28)
5.4	Structure design	(57)
6	Piping design	(74)
6.1	General requirements	(74)
6.2	Configuration design	(76)
6.3	Structure calculation	(91)
6.4	Piping stress calculation and flexibility analysis	(105)
7	Manufacture	(118)
7.1	General requirements	(118)
7.2	Manufacture for equipment and piping	(119)

7.3	Quality control of manufacture process	(121)
7.4	Fault and repair	(121)
7.5	Secondary bonding	(123)
8	Quality control and inspection	(125)
8.1	General requirements	(125)
8.2	Quality inspection documents	(125)
8.3	Raw material testing and inspection	(126)
8.4	Product measurement, inspection and determination	(130)
9	Marking, packing, transporting, storing	(142)
9.1	Equipment	(142)
9.2	Piping	(143)
10	Installation	(145)
10.1	General requirements	(145)
10.2	Equipment installation	(145)
10.3	Piping installation	(146)
10.4	Usage and maintenance	(151)
11	Project acceptance	(153)
Appendix A	Sub-item design coefficient K_2 's determination for corrosion-resistant inner liner layer of fibre reinforced plastics equipment	(155)
Appendix B	Corrosion medium classification	(161)
Appendix C	Horizontal vessel design	(163)
Appendix D	Flange design	(173)
Appendix E	Ground anchor design	(184)
Appendix F	Reinforced flange's specification for opening hole tank top	(196)
Appendix G	Calculating process for pipeline structure design	(插页)

Appendix H	Calculating of piping pressure loss	.....	(197)
Appendix J	Secondary bonding fabrication evaluation	.....	(200)
Appendix K	Measurement and test for inter laminar shear strength of laminates	.....	(202)
Appendix L	Measurement and test for lap shear strength of bond between laminates	.....	(204)
	Explanation of wording in this code	.....	(206)
	List of quoted standards	.....	(207)
	Addition; Explanation of provisions	.....	(209)

1 总 则

1.0.1 为提高纤维增强塑料设备和管道工程应用技术水平,做到技术先进、安全适用、经济合理、确保质量,制定本规范。

1.0.2 本规范适用于采用缠绕、喷射和手糊工艺成型的整体纤维增强塑料设备和管道的设计、制造、安装和工程质量验收。

1.0.3 本规范不适用于下列纤维增强塑料设备和管道的设计:

- 1 运输槽罐、地埋容器、贮罐和双壁罐;
- 2 不规则形状(非回转体)的容器、贮罐和塔器;
- 3 盛装剧毒或放射性化学物质的设备和管道;
- 4 埋地给排水管道;
- 5 烟囱和烟道;
- 6 油气田集输管道。

1.0.4 纤维增强塑料设备和管道在工程应用中,除应符合本规范外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 单元 unit

单层板的每单位纤维增强材料面积质量(kg/m^2)和单位宽度(mm)乘积的倒数,单位为 $1/(\text{mm} \cdot \text{kg}/\text{m}^2)$;或层合板的单位宽度(mm)的倒数,单位为 $1/\text{mm}$ 。

2.0.2 单元拉伸强度 unit tensile strength

单层板的单位宽度、单位纤维增强材料面积质量下的极限拉伸载荷,单位为 $\text{N}/(\text{mm} \cdot \text{kg}/\text{m}^2)$ 。

2.0.3 单元拉伸模量 unit tensile modulus

单层板的单位宽度、单位纤维增强材料面积质量下的拉伸载荷与对应应变的比值,单位为 $\text{N}/(\text{mm} \cdot \text{kg}/\text{m}^2)$ 。

2.0.4 层合板单元拉伸强力 tensile load carrying capacity of a laminate

单位宽度层合板的极限拉伸载荷,单位为 N/mm 。

2.0.5 层合板单元拉伸刚度 laminate unit tensile stiffness

单位宽度层合板的拉伸载荷与对应应变的比值,单位为 N/mm 。

2.0.6 结构层设计厚度 design thickness of structural layer

铺层中主要承受载荷的结构计算厚度,它不包括内衬层和外表层的厚度。

2.0.7 设计厚度 design thickness

包括结构层设计厚度、内衬层和外表层厚度在内的整个铺层厚度。

2.0.8 简化失效包络线 simplified failure envelope

各向异性材料双向应力失效曲线的简化折线。

2.0.9 气泡 air bubble

铺层中因空气滞留而形成的空洞。

2.0.10 缺口 chip

铺层边缘或表面的小块破损。

2.0.11 龟裂 crazing

铺层表面的不规则细微裂纹。

2.0.12 干斑 dry spot

纤维没有被树脂充分浸透的区域。

2.0.13 纤维外露 exposed fibre

铺层表面或边缘纤维裸露。

2.0.14 凹坑 pit

铺层表面弹坑似的区域。

2.0.15 划痕 scratch

铺层表面的划伤或浅痕。

2.0.16 褶皱 wrinkle

因模具形状不规则或结构层重叠引起的铺层表面波浪状。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 纤维增强塑料设备的设计压力范围应符合下列规定：

1 当直径小于或等于 4m 时,设计内压不应大于 1.0MPa,且设计内压与直径的乘积不应大于 2.4MPa·m,设计外压不应大于 0.1MPa;

2 当直径大于 4m 时,设计内压不应大于 2.0kPa,设计外压不应大于 0.5kPa。

3.1.2 纤维增强塑料管道的设计压力范围应符合下列规定：

1 当直径小于或等于 600mm 时,设计内压不应大于 1.0MPa;

2 当直径大于 600mm、小于或等于 1200mm 时,设计内压不应大于 0.6MPa;

3 外压不应大于 0.1MPa。

3.1.3 当纤维增强塑料设备、管道的设计压力和直径不符合本规范第 3.1.1 条和第 3.1.2 条规定的范围时,材料性能应经试验确定。

3.1.4 纤维增强塑料设备的设计温度范围宜为 $-40^{\circ}\text{C} \sim +120^{\circ}\text{C}$,管道的设计温度范围宜为 $-30^{\circ}\text{C} \sim +110^{\circ}\text{C}$ 。当不符合此设计温度范围时,材料的性能应经试验确定。

3.2 功能要求

3.2.1 当纤维增强塑料设备和管道有阻燃性能要求时,应采用阻燃树脂或添加阻燃剂。

3.2.2 当纤维增强塑料设备和管道有防静电性能要求时,应采用

导电碳纤维或添加导电填料等措施,且连续表面电阻率不应大于 $1.0 \times 10^6 \Omega$ 或体积电阻不应大于 $1.0 \times 10^6 \Omega \cdot m$ 。静电接地应符合现行行业标准《石油化工静电接地设计规范》SH 3097的有关规定。

3.2.3 当纤维增强塑料设备和管道有耐磨性能要求时,应在树脂中添加耐磨填料或采取其他技术措施。

3.2.4 当纤维增强塑料设备和管道有食品卫生要求时,应符合现行国家标准《玻璃纤维增强不饱和聚酯树脂食品容器》GB/T 14354和《食品容器及包装材料用不饱和聚酯树脂及其玻璃钢制品卫生标准分析方法》GB/T 5009.98的有关规定。

3.3 设计条件与文件

3.3.1 纤维增强塑料设备和管道工程设计委托方提供的设计条件应包括下列内容:

- 1 介质的组分和特性;
- 2 工作压力、工作温度、液位高度、流速和接管载荷等工艺操作参数;
- 3 工艺过程说明;
- 4 几何参数、管口方位和支撑形式;
- 5 环境温度、抗震设防烈度、风和雪载荷等使用地的自然条件;
- 6 其他条件。

3.3.2 纤维增强塑料设备和管道制造前,制造方应具备设计任务书、计算书、设计图、设计说明书等设计文件。

3.3.3 设计图、设计说明书应包括下列内容:

- 1 工程名称、类别,设计、制造所依据的主要法规、规范和产品标准;
- 2 工作压力、工作温度、介质的组分、特性、流速、毒性和爆炸危害程度;

- 3 设计温度,设计压力和风、雪、地震载荷;
- 4 主要原材料的类型、牌号和规格;
- 5 设备直径、高度、容积和管道直径、长度等主要特性参数及偏差控制范围;
- 6 纤维增强塑料设备和管道的铺层顺序、层数、厚度及偏差控制范围;
- 7 吊耳、支撑和爬梯等附件;
- 8 纤维增强塑料设备和管道铭牌的位置;
- 9 包装、运输和安装要求;
- 10 检测要求。

3.4 过压保护

- 3.4.1 本规范中所有设备应采取过压保护措施。
- 3.4.2 与大气相通设备的过压保护必须符合下列规定:
 - 1 应在顶部开口,并应直接与大气连通;
 - 2 通气口截面积不得小于设备进口和出口尺寸(净流通面积)之间的较大值;
 - 3 通气口严禁密闭;
 - 4 应安装溢流口,溢流口的截面积不得小于进口尺寸。
- 3.4.3 不与大气相通设备的过压保护应符合下列规定:
 - 1 对操作过程出现超压的设备,应安装超压泄放装置;
 - 2 超压泄放装置设置应符合现行国家标准《压力容器 第1部分:通用要求》GB 150.1的有关规定。

4 材 料

4.1 一 般 规 定

4.1.1 纤维增强塑料设备和管道的选材应按材料的力学性能、耐化学性能、物理性能和工艺性能等方面进行计算、评估、试验和验证。

4.1.2 纤维增强塑料设备和管道所用原材料应有《材料安全数据说明书》。

4.2 原 材 料

4.2.1 纤维增强塑料设备和管道所用树脂宜选用不饱和聚酯树脂、乙烯基酯树脂和环氧树脂。当选用其他类型树脂时,其性能应经试验确定。

4.2.2 纤维增强塑料设备和管道所用树脂应符合下列规定:

- 1 树脂应满足使用工况条件和成型工艺要求;
- 2 树脂应与增强材料匹配;
- 3 内衬层和结构层宜选用同种树脂;
- 4 不饱和聚酯树脂、乙烯基酯树脂应与选用的引发剂、促进剂匹配;
- 5 环氧树脂应与选用的固化剂匹配。

4.2.3 树脂的质量应符合下列规定:

- 1 不饱和聚酯树脂的质量应符合现行国家标准《纤维增强塑料用液体不饱和聚酯树脂》GB/T 8237 的有关规定;
- 2 乙烯基酯树脂的质量应符合现行国家标准《乙烯基酯树脂防腐蚀工程技术规范》GB/T 50590 的有关规定;
- 3 环氧树脂的质量应符合现行国家标准《双酚 A 型环氧树

脂》GB/T 13657 的有关规定；

4 树脂浇铸体性能宜符合表 4.2.3 的规定：

表 4.2.3 树脂浇铸体性能

力学性能	内衬层树脂	结构层树脂
拉伸强度(MPa)	≥ 60.0	≥ 60.0
拉伸模量($\times 10^3$ MPa)	≥ 2.5	≥ 3.0
断裂延伸率(%)	≥ 3.5	≥ 2.5
热变形温度(HDT, $^{\circ}\text{C}$, 1.80MPa)	$\geq T_d + 20$	

注： T_d 代表设计温度。

5 树脂的耐腐蚀性能可按树脂的耐腐蚀数据、已有的应用经验、现场挂片或实验室试验和验证等方法确定，其评估方法应符合本规范附录 A 的规定。

4.2.4 纤维增强塑料设备与管道所用的增强材料宜选用玻璃纤维及其制品、碳纤维及其制品、合成纤维及其制品。当选用其他类型增强材料时，其性能应经试验确定。

4.2.5 纤维增强塑料设备和管道的增强材料应符合下列规定：

- 1 增强材料应满足使用工况条件和成型工艺要求；
- 2 纤维表面处理采用的偶联剂应与树脂匹配；
- 3 设备筒体、管道之间连接所用纤维增强材料的类型应与设备筒体、管道的增强材料一致。

4.2.6 玻璃纤维及其制品宜选用短切原丝毡、纤维布、缠绕纱、喷射纱、缝编织物和表面毡，其质量应符合下列规定：

1 短切原丝毡的质量应符合现行国家标准《玻璃纤维短切原丝毡和连续原丝毡》GB/T 17470 的规定；

2 纤维布的质量应符合现行国家标准《玻璃纤维无捻粗纱布》GB/T 18370 的规定；

3 缠绕纱和喷射纱的质量应符合现行国家标准《玻璃纤维无捻粗纱》GB/T 18369 的规定；

4 缝编织物的质量应符合现行国家标准《玻璃纤维缝编织

物》GB/T 25040 的规定；

5 表面毡的含水率不应大于 0.2%，单位面积质量宜为(30~50)g/m²。

4.2.7 碳纤维及其制品的质量应符合现行国家标准《聚丙烯腈基碳纤维》GB/T 26752 和《经编碳纤维增强材料》GB/T 30021 的有关规定。

4.2.8 在不同腐蚀介质条件下,纤维增强塑料设备与管道内衬层和外表层的增强材料宜按表 4.2.8 选用。

表 4.2.8 内衬层和外表层的增强材料选型

序号	腐蚀介质	表面毡类型	短切原丝毡类型
1	碱性无机物及碱性无机物的可水解盐	S	E 或 E-CR
2	氧化性碱性无机物的可水解盐	S	E 或 E-CR
3	酸性无机物及酸性无机物的可水解盐	C 或 E-CR	E-CR
4	无机氧化性酸	C 或 E-CR	E-CR
5	碱性有机物	C 或 E	E 或 E-CR
6	酸性有机物	C 或 E-CR	E-CR
7	表面活性剂	C 或 E 或 S	E 或 E-CR
8	有机溶剂	C 或 E	E 或 E-CR
9	强氧化剂	C 或 E 或 S	E 或 E-CR
10	其他	C 或 E 或 S	E 或 E-CR

注:1 S 代表合成纤维或碳纤维,C 代表耐化学玻璃纤维,E 代表无碱玻璃纤维,E-CR 代表耐酸玻璃纤维;

2 腐蚀介质的分类应符合本规范附录 B 的规定。

4.3 单层板和层合板性能

4.3.1 纤维增强塑料设备和管道的纤维增强塑料单层板力学性能宜通过铺层实测法确定。当采用铺层计算法时,玻璃纤维增强塑料单层板性能应符合下列规定:

1 单层板材料的力学性能应按表 4.3.1-1 取值。

表 4.3.1-1 玻璃纤维增强塑料单层板材料的力学性能

增强材料类型	方向	适用条件	单元拉伸强度 U_i [N/(mm·kg/m ²)]	单元拉伸模量 X_i [N/(mm·kg/m ²)]	层间或搭接剪切强度 τ_{lap} (MPa)
短切原丝毡	各方向		200	14000	7.0
纤维布	经向	$\xi \geq 1/6$	$500 \times \xi$	$4000 + 24000 \times \xi$	6.0
		$\xi < 1/6$	60	4000	
	纬向	$\xi \leq 5/6$	$500 \times (1 - \xi)$	$4000 + 24000 \times (1 - \xi)$	
		$\xi > 5/6$	60	4000	
纤维缠绕纱	纤维方向	$85^\circ < \theta < 90^\circ$	500	28000	

注:1 表中 ξ 为玻璃纤维布的经向占总纤维质量的比例;

2 表中 θ 为缠绕角,代表纤维缠绕方向与筒体或管道轴向 x 的夹角。

2 缠绕角度与纤维缠绕层环向和轴向单元拉伸模量宜按表 4.3.1-2 取值。

表 4.3.1-2 缠绕角度与纤维缠绕层环向和轴向单元拉伸模量

纤维缠绕方向与筒体或管道轴向 x 的夹角 θ (°)	环向单元拉伸模量 [N/(mm·kg/m ²)]	轴向单元拉伸模量 [N/(mm·kg/m ²)]
0	—	28000
5	—	27400
10	—	26000
15	—	23800
20	4600	19800
25	4550	16000
30	4550	12800
35	4600	9800
40	5000	7500

续表 4.3.1-2

纤维缠绕方向与筒体或管道轴向 x 的夹角 $\theta(^{\circ})$	环向单元拉伸模量 [N/(mm · kg/m ²)]	轴向单元拉伸模量 [N/(mm · kg/m ²)]
45	5800	5800
50	7500	5000
55	9800	4600
60	12800	4550
65	16000	4550
70	19800	4600
75	23800	—
80	26000	—
85	27400	—
90	28000	—

3 缠绕角度与纤维缠绕层泊松比宜按表 4.3.1-3 取值。

表 4.3.1-3 缠绕角度与纤维缠绕层泊松比

纤维缠绕方向与筒体或管道轴向 x 的夹角 $\theta(^{\circ})$	泊松比 ν_{yx}	泊松比 ν_{xy}
0	0.075	0.26
5	0.075	0.27
10	0.10	0.32
15	0.14	0.38
20	0.18	0.47
25	0.24	0.56
30	0.31	0.59
35	0.37	0.61
40	0.45	0.59
45	0.54	0.54
50	0.59	0.45

续表 4.3.1-3

纤维缠绕方向与筒体或管道轴向 x 的夹角 $\theta(^{\circ})$	泊松比 ν_{yx}	泊松比 ν_{xy}
55	0.61	0.37
60	0.59	0.31
65	0.56	0.24
70	0.47	0.18
75	0.38	0.14
80	0.32	0.10
85	0.27	0.075
90	0.26	0.075

注:1 x 为筒体或管道轴向, y 为筒体或管道环向;

2 泊松比 ν_{yx} 是计算由 y 方向应力引起的 x 方向应变, 泊松比 ν_{xy} 是计算由 x 方向应力引起的 y 方向应变。

4 单层板的玻璃纤维质量含量应符合下列规定:

- 1) 短切原丝毡宜为 25%~35%;
- 2) 纤维布宜为 45%~55%;
- 3) 纤维缠绕纱宜为 60%~75%。

4.3.2 纤维增强塑料层合板的力学性能参数可按层合板理论的铺层算法或铺层实测法进行计算, 并应符合下列规定:

1 当缺少实测参数或历史数据时, 应采用下列铺层算法计算:

- 1) 层合板的单元拉伸刚度和单元拉伸强力应分别按下列公式计算:

$$X_{\text{lam}} = n_1 W_1 X_1 + n_2 W_2 X_2 + \cdots + n_i W_i X_i \quad (4.3.2-1)$$

$$U_{\text{lam}} = n_1 W_1 U_1 + n_2 W_2 U_2 + \cdots + n_i W_i U_i \quad (4.3.2-2)$$

式中: X_{lam} ——层合板的单元拉伸刚度(N/mm);

U_{lam} ——层合板的单元拉伸强力(N/mm);

n_i ——第 i 单层板的层数;

W_i ——第 i 单层板的纤维单位面积质量(kg/m²);

X_i ——第 i 单层板的单元拉伸模量[N/(mm·kg/m²)];

采用纤维缠绕层,当缠绕角小于 15° 、计算环向拉伸模量时,应取值为 0;当缠绕角大于 75° 、计算轴向拉伸模量时,应取值为 0;

U_i ——第 i 单层板的单元拉伸强度 $[\text{N}/(\text{mm} \cdot \text{kg}/\text{m}^2)]$ 。

2) 层合板的拉伸模量应按下列公式计算:

$$E_{\text{lam}} = X_{\text{lam}}/t_d \quad (4.3.2-3)$$

$$t_d = \sum_{i=1}^n t_i \quad (4.3.2-4)$$

$$t_i = \left(\frac{1}{\rho_g} + \frac{(100 - m_g)}{m_g \times \rho_r} \right) \times W_i \times 10^3 \quad (4.3.2-5)$$

式中: E_{lam} ——层合板的拉伸模量(MPa);

t_d ——层合板的结构层计算厚度(mm);

t_i ——第 i 层单层板的结构计算厚度(mm);

m_g ——第 i 层单层板的纤维质量百分含量值;

W_i ——第 i 单层板的纤维单位面积质量(kg/m^2);

ρ_r ——树脂固化后的密度(kg/m^3);

ρ_g ——纤维的密度(kg/m^3)。

3) 层合板的弯曲模量应按下列公式计算:

$$E_b = \frac{1}{t_d^3} \sum_{i=1}^n W_i X_i [12 (h_i - h_0)^2 + t_i^2] \quad (4.3.2-6)$$

$$h_0 = \frac{\sum_{i=1}^n W_i X_i h_i}{\sum_{i=1}^n W_i X_i} \quad (4.3.2-7)$$

式中: E_b ——层合板的弯曲模量(MPa);

W_i ——第 i 单层板的纤维单位面积质量(kg/m^2);

X_i ——第 i 单层板的单元拉伸模量 $[\text{N}/(\text{mm} \cdot \text{kg}/\text{m}^2)]$;

h_i ——第 i 层单层板的中心与层合板中心(图 4.3.2)的距离(mm);

h_0 ——层合板的中性面与层合板中心的距离(mm)。

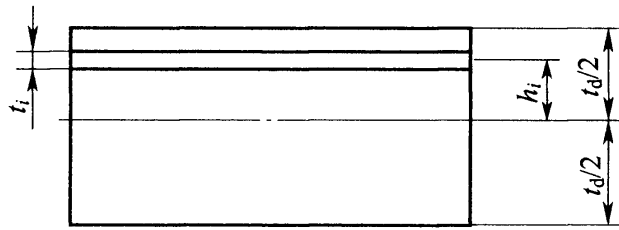


图 4.3.2 第 i 层单层板的中心与层合板中心的距离 h_i 示意图

2 当采用铺层实测法时,单层板和层合板性能检测应符合下列规定:

- 1) 试验样板应按设计铺层制作,每个检测项目的加工试样不应少于 15 个;
- 2) 单层板和层合板性能检测项目应符合表 4.3.2-1 的规定;

表 4.3.2-1 单层板和层合板性能检测项目

检测项目		单层板	层合板
拉伸性能	单元拉伸强度	√	—
	单元拉伸模量	√	—
	单元拉伸强力	—	√
	单元拉伸刚度	—	√
弹性模量	拉伸模量	—	√
	弯曲模量	—	√
剪切强度	层间剪切强度	O	O
	搭接剪切强度	√	√
	剪切强度	—	√

注:“√”表示应检项目,“O”表示宜检项目,“—”表示无需检测项目。

3) 试样数据的置信度应按下列公式计算:

$$J_{\text{lam}} = \bar{J} - t \times s \quad (4.3.2-8)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (J - \bar{J})^2}{N-1}} \quad (4.3.2-9)$$

式中: J_{lam} ——预设铺层性能的典型值;

\bar{J} ——预设铺层实测性能的平均值；
 t —— t 分布临界值，可按表 4.3.2-2 取值；
 s ——标准偏差；
 J ——实测数值；
 N ——试样数量。

表 4.3.2-2 t 分布临界值

N	t	N	t
15	2.160	24	2.074
16	2.145	25	2.069
17	2.131	26	2.064
18	2.120	27	2.060
19	2.110	28	2.056
20	2.101	29	2.052
21	2.093	30	2.048
22	2.086	31	2.045
23	2.080	32	2.042

I 设备设计安全系数与许用应变

4.3.3 设备力学性能的设计安全系数确定应符合下列规定：

1 设计安全系数应按下列公式计算：

$$K = 2 \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \quad (4.3.3-1)$$

$$F = 2 \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times \sqrt{K_4} \quad (4.3.3-2)$$

式中： K ——设计安全系数，不得小于 6.0；

F ——屈曲安全系数，不得小于 4.0；

K_1 ——材料性能的试验和验证分项设计系数；

K_2 ——化学环境的分项设计系数；

K_3 ——设计温度和树脂热变形温度(HDT)影响的分项设计系数；

K_4 ——层合板长期性能的分项设计系数。

2 当无法确定分项设计系数时,设计安全系数不得低于 10.0,屈曲安全系数不得低于 5.0。

4.3.4 材料性能的试验和验证分项设计系数 K_1 的取值应符合下列规定:

1 当设计所用层合板力学性能值采用铺层计算法确定、单层板性能采用本规范表 4.3.1-1 中的性能值时, K_1 的取值应符合下列规定:

- 1) 当有 18 个月内制造同类层合板设计的产品业绩,并有可接受的该产品性能的历史数据时, K_1 应取 2.0;
- 2) 当有 12 个月内制造同类层合板设计的产品业绩,并有可接受的该产品性能的历史数据时, K_1 应取 1.5;
- 3) 当有 12 个月内制造同类层合板设计的产品业绩,并对单层板性能采用 5 个数据一组的试验验证,获得 5 个试样的平均值和去掉 5 个试样中最大值、最小值后的 3 个试样的平均值,两个平均值的小者应大于本规范表 4.3.1-1 中的性能值时, K_1 应取 1.3;
- 4) 当有 12 个月内制造同类层合板设计的产品业绩,并对设计所用层合板力学性能采用 5 个数据一组的试验验证,获得 5 个试样的平均值和去掉 5 个试样中最大值和最小值后的 3 个试样的平均值,两个平均值的小者应大于设计所用层合板力学性能值时, K_1 应取 1.2。

2 当设计所用层合板力学性能值采用铺层计算法确定、单层板性能采用铺层实测法确定或单层板性能采用原有的铺层实测法数据,但对该单层板性能采用 5 个数据一组的试验验证,获得 5 个试样的平均值和去掉 5 个试样中最大值和最小值后的 3 个试样的平均值,两个平均值的小者应大于该单层板性能数据时, K_1 应取 1.1。

3 当设计所用层合板力学性能值采用铺层实测法,并从试验室模拟试样上取样,每项性能检测数据不应少于 15 个进行试验

证时, K_1 应取 1.1。

4 当设计所用层合板力学性能值采用铺层实测法, 并从设备样品上取样, 每项性能检测数据不应少于 15 个进行试验验证时, K_1 应取 1.0。

4.3.5 化学环境的分项设计系数 K_2 的取值应符合本规范附录 A 的规定。

4.3.6 设计温度和树脂热变形温度 HDT 影响的分项设计系数 K_3 应按下式计算, 且 K_3 取值范围应为 1.0~1.4:

$$K_3 = 1.0 + 0.4 \frac{T_d - 20}{HDT - 40} \quad (4.3.6)$$

式中: T_d ——设计温度;

HDT ——树脂的热变形温度。

4.3.7 层合板长期性能的分项设计系数 K_4 应按表 4.3.7 取值, 并应符合下列规定:

- 1 当同时采用短切原丝毡、纤维布、纤维缠绕纱制造层合板时, K_4 值应按主要纤维成分取值;
- 2 当计算屈曲安全系数 F 时, K_4 值应采用弯曲值;
- 3 当计算设计安全系数 K , 载荷中同时有拉伸和弯曲时, K_4 值应取拉伸值。

表 4.3.7 层合板长期性能的分项设计系数 K_4

增强材料类型	拉 伸		弯 曲
	短期载荷	长期载荷	长期载荷
纤维布	1.00	1.30	1.90
短切原丝毡	1.00	2.40	2.40
纤维缠绕(环向)	1.00	1.30	1.40
纤维缠绕(轴向)	1.00	1.60	1.70

4.3.8 设备层合板许用应变和许用单元载荷的确定应符合下列规定:

- 1 树脂的许用应变值 ϵ_{ar} 应按下式计算, 且不得大于

表 4.3.8-1 中的规定值：

$$\epsilon_{ar} = 0.1 \times \epsilon_r \quad (4.3.8-1)$$

式中： ϵ_{ar} ——树脂的许用应变值(%)；

ϵ_r ——树脂浇铸体的断裂延伸率(%)。

表 4.3.8-1 树脂的许用应变值

树脂种类	许用应变值(%)
乙烯基酯树脂	0.27
不饱和聚酯树脂	0.23

2 层合板的许用应变值应按下式计算：

$$\epsilon_{lam} = \frac{U_{lam}}{K \times X_{lam}} \quad (4.3.8-2)$$

式中： ϵ_{lam} ——层合板的许用应变值；

X_{lam} ——层合板的单元拉伸刚度(N/mm)，应按本规范式(4.3.2-1)确定；

K ——设计安全系数，应按本规范式(4.3.3-1)确定；

U_{lam} ——层合板的单元拉伸强力(N/mm)，应按本规范式(4.3.2-2)确定。

3 设备层合板的许用应变 ϵ_d 应取式(4.3.8-1)和式(4.3.8-2)计算值中的小值。当无法确定式(4.3.8-1)和式(4.3.8-2)计算值时，许用应变应按 0.001 取值。

4 当设备试压时，树脂的测试应变值 ϵ_{test} 不得大于表 4.3.8-2 的规定值：

表 4.3.8-2 树脂的测试应变值

树脂种类	测试应变值(%)
乙烯基酯树脂	0.35
不饱和聚酯树脂	0.30

5 设备层合板的许用单元载荷应按下式计算：

$$[q] = \epsilon_d \times X_{lam} \quad (4.3.8-3)$$

式中： $[q]$ ——设备层合板的许用单元载荷(N/mm)。

6 设备层合板的许用剪切应力应按下式计算：

$$[\tau] = \frac{\tau}{K} \quad (4.3.8-4)$$

式中： $[\tau]$ ——设备层合板的许用剪切应力(MPa)；

τ ——设备层合板的剪切强度(MPa)，可按现行国家标准《纤维增强塑料冲压式剪切强度试验方法》GB/T 1450.2 的规定检测获取；当无检测值时，可取 50；

K ——设计安全系数，应按本规范第 4.3.3 条的规定取值。

II 管道许用应力与许用应变

4.3.9 管道的层合板许用应力应为层合板的弹性模量乘以许用应变，层合板的弹性模量应按本规范第 4.3.2 条的规定取值，层合板的许用应变应按指定值法或长期性能测试法确定。许用应力值的确定应符合下列规定：

1 当采用指定值法确定许用应变时，在不包括水压试验载荷的偶然短时载荷和包括热膨胀载荷的持续载荷工况下，应取本条计算的许用应力值；

2 当采用长期性能测试法确定许用应变时，在不包括热膨胀载荷的持续载荷工况下，应取本条计算的许用应力值；

3 当采用长期性能测试法确定许用应变时，在包括热膨胀载荷的持续载荷工况下，应按本条计算许用应力值的 125% 确定；

4 当采用长期性能测试法确定许用应变时，在偶然短时载荷和不包括热膨胀载荷的持续载荷工况下，应按本条计算许用应力值的 133% 确定。

4.3.10 当采用指定值法时，在腐蚀环境和温度条件下管道层合板许用应变的确定应符合下列规定：

1 腐蚀环境的划分应按设定化学环境下浸泡非受力试样的弯曲强度损失率确定，并应符合下列规定：

1) 试样厚度应为 4mm~6mm，应按模拟制品的流程进行固化，并应在设计温度下整体浸泡 6 个月；

- 2) 腐蚀环境 I 时, 相对于初始弯曲强度, 其强度损失应小于或等于 20%;
- 3) 腐蚀环境 II 时, 相对于初始弯曲强度, 其强度损失应大于 20%, 并应小于或等于 50%;
- 4) 当试样弯曲强度损失大于 50% 时, 应更换树脂或纤维。

2 温度条件的划分应由树脂的热变形温度 HDT 与设计温度之间的差值确定, 并应符合下列规定:

- 1) 温度条件 I 时, 设计温度应小于或等于 $(HDT - 40)^\circ\text{C}$;
- 2) 温度条件 II 时, 设计温度应小于或等于 $(HDT - 20)^\circ\text{C}$, 并应大于 $(HDT - 40)^\circ\text{C}$ 。

3 当腐蚀环境和温度条件确定后, 腐蚀环境和温度条件与应变等级应按表 4.3.10-1 的规定选用:

表 4.3.10-1 腐蚀环境和温度条件与应变等级

腐 蚀 环 境	温 度 条 件	
	I	II
I	1 级	2 级
II	3 级	4 级

4 当应变等级确定后, 应变等级与许用应变值应按表 4.3.10-2 的规定选用:

表 4.3.10-2 应变等级与许用应变值

应变等级	许用应变值
1 级	0.0018
2 级	0.0015
3 级	0.0012
4 级	0.0009

5 当采用多层纤维缠绕结构、缠绕角度在 $\pm 15^\circ$ 和 $\pm 75^\circ$ 之间时, 应进行各向异性弹性计算, 层合板的应变值不得大于许用应变值。当不进行各向异性弹性计算时, 许用应变值不应大于

0.0009。

4.3.11 当采用长期性能测试法时,试验应符合现行国家标准《玻璃纤维增强塑料夹砂管》GB/T 21238 的有关规定,试样端部应为自由端密封,其环向许用应变值应按下式计算:

$$\epsilon_d = \frac{p_{97.5} D_i}{2K \cdot X_{lam}} \quad (4.3.11)$$

式中: ϵ_d ——设计寿命下的许用应变值;

D_i ——进行长期性能测试的管道试样内径(mm);

$p_{97.5}$ ——设计寿命下 97.5%置信下限的失效内压(MPa);

X_{lam} ——试样的层合板单元拉伸刚度(N/mm)。当无此值时,可按现行国家标准《玻璃纤维增强塑料树脂含量试验方法》GB/T 2577 对试样进行烧蚀试验,得到每一个试样的纤维单位面积质量和铺层结构,其平均值再按本规范式(4.3.2-1)计算;

K ——设计安全系数,不应小于 1.5。

4.3.12 当疲劳载荷的循环次数大于 1000 次或应力波动范围大于 20%的许用应力时,按本规范表 4.3.10-2 选用的许用应变值或按本规范式(4.3.11)计算的许用应变值还应再除以疲劳修正系数 K_n , K_n 应按下式计算:

$$K_n = 1 + 0.25(A_\sigma/\sigma_n)[\text{Log}_{10}(n) - 3] \quad (4.3.12)$$

式中: K_n ——疲劳修正系数;

n ——设计寿命期内的应力循环次数;

A_σ ——在一个疲劳循环内的应力波动范围;

σ_n ——在一个疲劳循环内的最大应力。

4.3.13 管道层合板的许用应变值应小于树脂断裂延伸率的 10%。

4.3.14 当采用长期性能测试法确定层合板的许用应变值并计算得到许用应力值时,应进行管道和管件的简化失效包络线计算和判定,并应符合下列规定:

1 长期性能测试法得到短期环向失效应力 σ_{sh} 及长期保留率 R , 且按现行国家标准《纤维增强热固性塑料管轴向拉伸性能试验方法》GB/T 5349 得到的轴向拉伸强度值 σ_{sa} 、双轴应力比 r 应分别按下列公式计算:

$$\sigma_{sh} = \frac{p_{6,97.5\%LCL} D_i}{2t} \quad (4.3.14-1)$$

$$R = p_{L,97.5\%LCL} / p_{6,97.5\%LCL} \quad (4.3.14-2)$$

$$r = 2\sigma_{sa} / \sigma_{sh} \quad (4.3.14-3)$$

式中: σ_{sh} ——长期性能测试法得到短期环向失效应力(MPa);
 σ_{sa} ——短期轴向拉伸强度值(MPa), 可按现行国家标准《纤维增强热固性塑料管轴向拉伸性能试验方法》GB/T 5349 检测取值;
 t ——进行长期性能测试的管道试样结构层壁厚(mm);
 R ——长期保留率(%);
 $p_{L,97.5\%LCL}$ ——设计寿命 L 时 97.5%置信下限的失效内压(MPa);
 $p_{6,97.5\%LCL}$ ——外推曲线回退到 6min 时 97.5%置信下限的失效内压(MPa);
 r ——双轴应力比, 可按式(4.3.14-3)计算, 当无数据时, 部件的缺省双轴应力比值可按表 4.3.14 选择。

表 4.3.14 缺省双轴应力比值

部 件	缺省双轴应力比值 r
55°缠绕管道	0.50
缠绕管件, 主要为环向缠绕	0.45
用双向织物积层的管件	1.90
粘接管接头	1.00
用双向织物积层的管接头	2.00

2 简化失效包络线的数据计算应包括纯内水压作用状态(2:1)的许用环向应力 $\sigma_{ah(2:1)}$ 、许用轴向应力 $\sigma_{al(2:1)}$ 、纯轴向拉伸状态(0:1)的许用轴向应力 $\sigma_{al(0:1)}$, 并应分别按下列公式计算:

$$\sigma_{ah(2:1)} = R \times \sigma_{sh} / K \quad (4.3.14-4)$$

$$\sigma_{al(2:1)} = \sigma_{ah(2:1)} / 2 \quad (4.3.14-5)$$

$$\sigma_{al(0:1)} = r \times \sigma_{ah(2:1)} / 2 \quad (4.3.14-6)$$

式中： $\sigma_{ah(2:1)}$ ——纯内水压作用状态(2:1)的许用环向应力(MPa)；

$\sigma_{al(2:1)}$ ——纯内水压作用状态(2:1)的许用轴向应力(MPa)；

$\sigma_{al(0:1)}$ ——纯轴向拉伸状态(0:1)的许用轴向应力(MPa)；

K ——设计安全系数,不应小于1.5。

3 由式(4.3.14-4)~式(4.3.14-6)计算的三个应力值连接成的折线应为简化失效包络线(图4.3.14),管道的安全性应根据轴向和环向应力计算值在简化失效包络线内来确定。

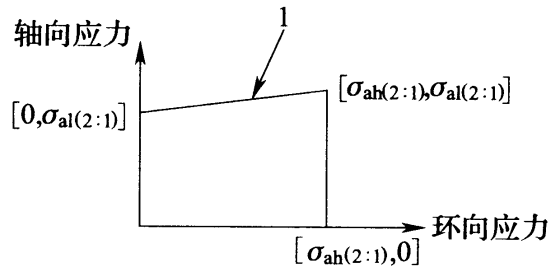


图 4.3.14 简化失效包络线示意图

1—简化失效包络线

5 设备设计

5.1 一般规定

5.1.1 设备设计压力的确定应符合下列规定：

1 内压设备的设计压力应按设定的设备顶部最高压力与相应的设计温度一起作为设备的基本设计载荷条件,其值不得低于工作压力；

2 外压设备的设计压力应取不小于在正常工作过程中任何时间内产生的最大内外压力差,且不应大于 0.1MPa；

3 真空设备的设计压力应为 0.1MPa。

5.1.2 设备计算压力应为在相应设计温度下用以确定设备元件厚度的压力,且应包括液柱压力等附加载荷。

5.1.3 设备设计温度应为在正常工作情况下设定的设备最高或最低使用温度。

5.1.4 设备设计应包括筒体、封头强度计算,二次粘接、开孔及补强计算,接管及其他部件的连接结构、螺栓连接、鞍座及支撑结构形式。

5.1.5 设备设计可采用规则设计法、分析设计法、试验验证设计法。当采用规则设计法和分析设计法时,设计安全系数不得小于 6.0,屈曲安全系数不得小于 4.0。当采用试验验证设计方法时,失效压力不得小于 6 倍设计压力。

5.1.6 设备的铺层设计应包括纤维及制品类型,树脂体系及配合比,铺层的次序、方向和层数,成型和固化工艺,树脂或纤维含量及允许偏差。

5.1.7 设备的筒壁由内衬层、结构层和外表层组成,并应符合下列规定：

1 内衬层应由内表面层与次内层组成,厚度不应小于 2.5mm,且应符合下列规定:

- 1)内表面层应采用表面毡,树脂含量应大于 85%,厚度不应小于 0.3mm;
- 2)次内层宜采用短切原丝毡、缝编织物、喷射纱,树脂含量不应低于 65%。

2 结构层可选用缠绕纱、短切原丝毡、缝编织物、喷射纱、纤维布等单一或几种增强材料的组合,可选用缠绕、喷射和手糊工艺成型,且应符合下列规定:

- 1)结构层厚度应由计算确定;
- 2)结构层采用玻璃纤维时,其含量应符合本规范第 4.3.1 条第 4 款的规定。

3 外表层的设计应符合下列规定:

- 1)当设备暴露在腐蚀环境时,应采用表面毡增强,树脂含量不应低于 85%;
- 2)当有防紫外线照射要求时,所用树脂应添加紫外线吸收剂;
- 3)外表面层的最外层应采用无空气阻聚树脂或胶衣树脂;
- 4)外表面层厚度不宜小于 0.3mm。

5.1.8 计算强度时,不应计入内衬层和外表层厚度;计算外压失稳、自重载荷时应按设备总厚度计入。

5.1.9 当钢制环形支座与壳体粘接成整体刚性支承时,设备使用温度不宜大于 60℃。

5.2 载荷和作用

5.2.1 设备的设计载荷应包括下列内容:

- 1 内压、外压或最大压差;
- 2 工作和试验条件下的液柱静压力;
- 3 内件和填料的设备自重,正常工作条件下或耐压试验状态

下内装介质的重力载荷；

4 附属设备和隔热材料、衬里、管道、扶梯、平台重力载荷；

5 风载荷、地震载荷和雪载荷；

6 偏心载荷；

7 局部载荷；

8 冲击载荷；

9 温度梯度或热膨胀量引起的作用力；

10 人员安装和操作时产生的载荷,可按均布载荷 1.5kN/m^2 计算；

11 其他短期载荷。

5.2.2 风载荷、地震载荷和雪载荷应符合下列规定：

1 各地区基本风压值可按《全国基本风压分布图》或当地气象部门资料确定,并不应低于现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的有关规定,且不应小于 300N/m^2 ；

2 抗震设防烈度应包括设计地震分组、地震加速度,并应根据当地气象资料确定,且不应低于现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定；

3 雪载荷应符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的有关规定。

5.2.3 局部载荷应包括支座、支耳及其他附件对设备壳体局部区域的反作用力,管道、阀门及其他容器构件产生的连接载荷。

5.2.4 冲击载荷应包括压力急剧波动引起的冲击载荷、流体冲击引起的反力、运输和吊装时产生的附加载荷。

5.2.5 短期载荷应包括风载荷、雪载荷、地震载荷、人员载荷和安装载荷。

5.2.6 设备所承受的各项载荷应计入安装、水压试验、正常工作状态下及非正常工作条件下最不利的组合。载荷的组合可按表 5.2.6 确定。

表 5.2.6 载荷的组合

设备状态	设计载荷 ^①
安装	设备空重 吊装载荷 附件的重力载荷 操作人员安装和操作时产生的载荷
压力试验	设备空重 试验压力 试验时液柱静压力 风载荷 局部载荷 偏心载荷 附件的重力载荷
正常工作	内压、外压或最大压差 介质的重力载荷 设备空重 雪载荷 偏心载荷 作用在支座、支耳及其他附件的局部载荷 冲击载荷 温度梯度或热膨胀量不同引起的载荷 操作人员安装和操作时产生的载荷 附件的重力载荷
	风载荷 ^② 地震载荷+25%风载荷 ^②
非正常工作	取正常工作时的载荷,加开、停工或工作中断时可能产生的某一种类型载荷的超载

注:1 设计时可按设备具体状态,对表中组合进行增删;

2 取“风载荷”和“地震载荷+25%风载荷”两者中的较大值。

5.3 结构计算

5.3.1 纤维增强塑料设备应对圆筒、圆锥壳、锥形封头、凸形封头、平板、法兰和地锚元件进行结构计算。

5.3.2 受内压圆筒设备的载荷计算应符合下列规定：

1 最大环向单元载荷应按下列公式计算：

$$q_{\phi} = p_D \times \frac{D}{2} \quad (5.3.2-1)$$

$$p_D = PS + PH \quad (5.3.2-2)$$

式中： q_{ϕ} ——最大环向单元载荷(N/mm)；

p_D ——计算压力(MPa)；

D ——设备内径(mm)；

PS ——最大允许压力(MPa)；

PH ——液柱静压力(MPa)。

构成圆筒壁厚的层合板环向承载能力应满足下式要求：

$$q_{\phi} \leq [q_{\phi}] \quad (5.3.2-3)$$

式中： $[q_{\phi}]$ ——构成受内压圆筒壁厚的层合板环向许用单元载荷(N/mm)。

2 组合轴向载荷计算应符合下列规定：

1) 由内压引起的轴向单元载荷应按下列公式计算：

$$q_{x,p} = p_D \times \frac{D}{4} \quad (5.3.2-4)$$

$$p_D = PS + \frac{P_e}{\sqrt{K_4}} \quad (5.3.2-5)$$

$$p_D = PS + \frac{P_e}{K_4} \quad (5.3.2-6)$$

式中： $q_{x,p}$ ——由内压引起的轴向单元载荷(N/mm)；

p_D ——计算压力(MPa)，当筒体受压时应按式(5.3.2-5)计算，当筒体受拉时应按式(5.3.2-6)计算；

P_e ——短期的压力载荷(MPa)；

K_4 ——层合板长期性能的分项设计系数,应按本规范表 4.3.7 取值。

2)由风、雪载荷或地震载荷引起的弯矩而产生的轴向单元载荷应按下列公式计算:

$$q_{x,m} = \frac{4M_D}{\pi \times D^2} \quad (5.3.2-7)$$

$$M_D = M + \frac{M_e}{\sqrt{K_4}} \quad (5.3.2-8)$$

$$M_D = M + \frac{M_e}{K_4} \quad (5.3.2-9)$$

式中: $q_{x,m}$ ——由风、雪载荷或地震载荷引起的弯矩而产生的轴向单元载荷(N/mm);

M_D ——计算弯矩(N·mm),当筒体受压时应按式(5.3.2-8)计算,当筒体受拉时应按式(5.3.2-9)计算;

M ——弯矩(N·mm);

M_e ——短期的弯矩载荷(N·mm)。

3)由设备自重、介质、检修附加载荷引起的轴向单元载荷应按下列公式计算:

$$q_{x,w} = \frac{W_D}{\pi \times D} \quad (5.3.2-10)$$

$$W_D = W + \frac{W_e}{\sqrt{K_4}} \quad (5.3.2-11)$$

$$W_D = W + \frac{W_e}{K_4} \quad (5.3.2-12)$$

式中: $q_{x,w}$ ——由设备自重、介质重量和检修附加载荷引起的轴向单元载荷(N/mm);

M_D ——计算重量(N),当筒体受压时应按式(5.3.2-11)计算,当筒体受拉时应按式(5.3.2-12)计算;

W ——重量(N);

W_e ——短期的负重载荷(N)。

组合轴向单元载荷 q_x 应为式 (5.3.2-4)、式 (5.3.2-7)、式 (5.3.2-10) 的值之和, 同时应计入载荷方向。

4) 筒体受压轴向载荷应按下式计算:

$$q_{x,c} = q_{x,M} + q_{x,w} - q_{x,p} \quad (5.3.2-13)$$

式中: $q_{x,c}$ ——筒体受压轴向单元载荷(N/mm);

$q_{x,M}$ ——由于弯矩引起的轴向单元载荷(N/mm);

$q_{x,p}$ ——由压力引起的轴向单元载荷(N/mm);

$q_{x,w}$ ——计算点上方由设备自重、介质、检修附加载荷引起的轴向单元载荷(N/mm)。

5) 筒体受拉轴向载荷应按下式计算:

$$q_x = q_{x,p} + q_{x,M} + q_{x,w} \quad (5.3.2-14)$$

式中: q_x ——筒体受拉轴向单元载荷(N/mm);

$q_{x,w}$ ——计算点下方由容器自重、介质、检修附加载荷引起的轴向单元载荷(N/mm)。

6) 构成圆筒壁厚的层合板轴向受压载荷 $q_{x,c}$ 应符合本规范第 5.3.3 条的规定, 层合板轴向受拉承载能力应满足下式要求:

$$q_x \leq [q_x] \quad (5.3.2-15)$$

式中: $[q_x]$ ——构成受内压圆筒壁厚的层合板轴向受拉许用单元载荷(N/mm)。

5.3.3 受外压圆筒设备的载荷计算应符合下列规定:

1 圆筒体的轴向压缩临界屈曲载荷应按下式计算:

$$u_c = k \times \sqrt{E_{\phi b} \times E_x} \times \frac{t^2}{D} \quad (5.3.3-1)$$

$$k = \frac{0.84}{\sqrt{1 + \frac{D}{200 \times t}}} \quad (5.3.3-2)$$

$$\frac{d_{co}}{\sqrt{\frac{D \times t}{2}}} \leq 3.5 \quad (5.3.3-3)$$

$$k = \frac{0.78}{\sqrt{1 + \frac{D}{200 \times t}}} \quad (5.3.3-4)$$

$$\frac{d_{co}}{\sqrt{\frac{D \times t}{2}}} > 3.5 \quad (5.3.3-5)$$

$$k = \frac{0.54}{\sqrt{1 + \frac{D}{200 \times t}}} \quad (5.3.3-6)$$

式中: u_c ——圆筒体的轴向临界单元屈曲载荷(N/mm);

$E_{\phi b}$ ——环向弯曲模量(MPa);

E_x ——轴向弯曲模量(MPa);

t ——层合板厚度(mm);

D ——设备的内径(mm);

k ——计算系数,筒体上无开孔时按式(5.3.3-2)计算;对于带开孔的筒体或裙座壳,当满足式(5.3.3-3)时, k 值应按式(5.3.3-4)计算;当满足式(5.3.3-5)时, k 值应按式(5.3.3-6)计算;

d_{co} ——开孔的直径(mm)。

圆筒壁厚的层合板的轴向受压承载能力应满足下式要求:

$$\frac{u_c}{q_{x,c}} \geq F \quad (5.3.3-7)$$

式中: F ——屈曲安全系数;

$q_{x,c}$ ——筒体轴向受压单元载荷(N/mm)。

2 受外压圆筒的临界环向屈曲压力应按下列公式计算:

1)当采用 $L_s \leq 6D$ 的短圆筒时,应按下式计算:

$$P_c = 2.4 \times (E_{\phi b}^3 \times E_x)^{0.25} \times \frac{D}{L_s} \times \left(\frac{t}{D}\right)^{2.5} \quad (5.3.3-8)$$

2)当采用 $L_s > 6D$ 的长圆筒时,应按下式计算:

$$p_c = 2.1 \times E_{\phi b} \times (t/D)^3 \quad (5.3.3-9)$$

式中： p_c ——受外压圆筒的临界环向屈曲压力(MPa)；

L_s ——计算长度(mm)，应为圆筒上两相邻支撑线之间的距离。当筒体上无加强圈时，应取筒体总长度加上每个凸形封头曲面深的 $1/3$ (图 5.3.3-1)；当筒体上有加强圈时，应取相邻两个加强圈中心线之间的最大距离(图 5.3.3-2)；筒体上有加强圈时，取圆筒第一个加强圈中心线与凸形封头切线间的距离加凸形封头曲面深的 $1/3$ (图 5.3.3-2)；当圆筒与锥壳相连接，连接处可作为支撑线时，取连接处与相邻支撑线间的最大距离为锥壳段的计算长度(图 5.3.3-3)。

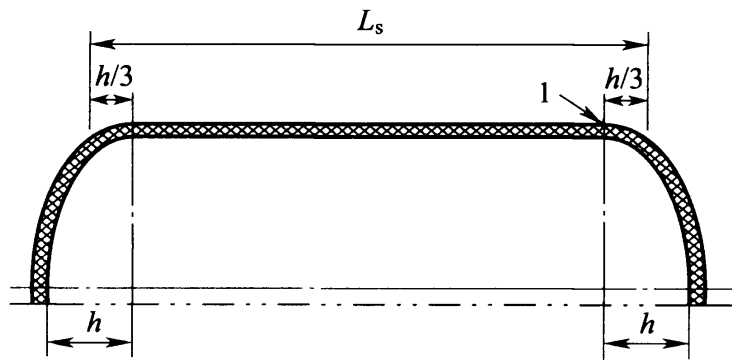


图 5.3.3-1 无加强圈筒体的计算长度

1—切线点

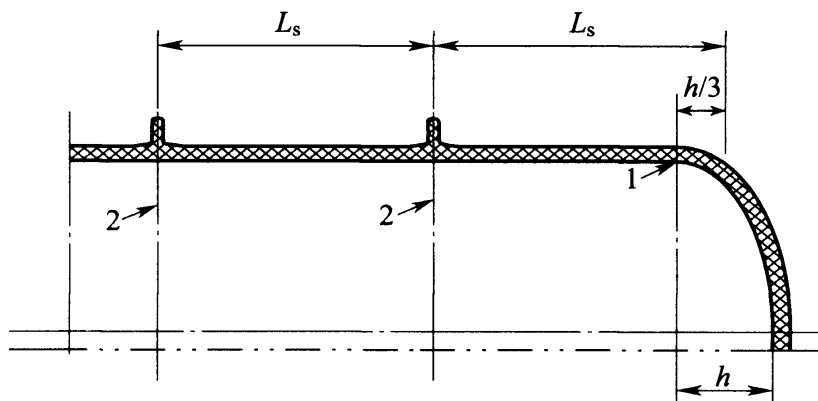


图 5.3.3-2 带加强圈筒体的计算长度

1—切线点；2—加强圈的中心线

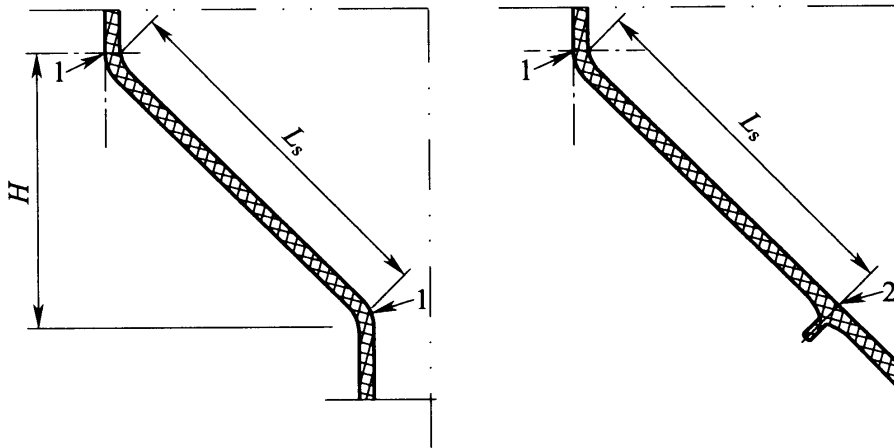


图 5.3.3-3 圆筒与锥壳相连接时锥壳段的计算长度

1—切线点；2—加强圈的中心线

圆筒壁厚的层合板环向受压承载能力应满足下式：

$$\frac{p_c}{p_D} \geq F \quad (5.3.3-10)$$

3 组合的轴向和径向载荷应满足下式要求：

$$\left(\frac{q_{x,c} \times F}{u_c} \right)^{1.25} + \left(\frac{p_D \times F}{p_c} \right)^{1.25} \leq 1 \quad (5.3.3-11)$$

式中： $q_{x,c}$ ——筒体受压轴向单元载荷(N/mm)，应按式(5.3.2-13)计算取值；

u_c ——圆筒体的轴向压缩单元屈曲载荷(N/mm)，应按式(5.3.3-1)计算取值；

p_c ——受外压圆筒的临界环向屈曲压力(MPa)。

4 当采用带内部或外部加强圈的方法缩短筒体计算长度比本条第2款计算得到更薄的筒体厚度时，临界屈曲压力计算应符合下列规定：

1) 总的临界屈曲压力应按下列公式计算：

$$p_c = (E_{\phi b}^3 \times E_x)^{0.25} \times \frac{2 \times t_c}{D} \times \frac{\lambda^4}{\left(m^2 - 1 + \frac{\lambda^2}{2}\right) \times (m^2 + \lambda^2)^2} + \frac{8 \times (m^2 - 1) \times E_s \times I_s}{L_s \times D_s^3} \quad (5.3.3-12)$$

$$\lambda = \frac{\pi \times D}{2 \times \left(L_s + \frac{2}{3}h \right)} \quad (5.3.3-13)$$

式中: p_c ——总的临界屈曲压力(MPa),应采用 $m=2,3$ 等试算后找到最小值;

$E_{\phi b}$ ——圆柱壳环向弯曲模量(MPa);

E_x ——圆柱壳轴向弯曲模量(MPa);

m ——环向屈曲波数;

E_s ——加强圈的环向弯曲模量(MPa);

I_s ——加强圈的截面惯性矩(mm^4);

L_s ——2个加强圈之间的距离(mm),当加强圈之间的距离不是等距时,应取加强圈间距的平均值;

t_c ——圆筒体带加强圈区域的厚度 t_{c1} (图 5.3.3-4) 或 t_{c2} (图 5.3.3-5) 的较小值;

λ ——壳参数。

带内部或外部加强圈的圆柱壳的环向受压承载能力应满足下式要求:

$$\frac{p_c}{p_D} \geq F \quad (5.3.3-14)$$

2) 当 $L_s > 20D$ 或不计入筒体影响时,加强圈刚度计算应满足下式要求:

$$E_s \times I_s \geq \frac{p_D \times L_s \times D_s^3 \times F}{24} \quad (5.3.3-15)$$

式中: D_s ——加强圈的中性轴直径(mm)。

3) 实心加强圈尺寸可按图 5.3.3-4 确定。计算中所用的圆筒体的有效宽度 L 应满足下列公式:

$$L = b_s + 1.15 \times \sqrt{D \times t_c} \quad (5.3.3-16)$$

$$5t_c \leq b_s \leq 20t_s \quad (5.3.3-17)$$

$$1.5t_c \leq t_s \leq 4b_s \quad (5.3.3-18)$$

$$b_s \leq 300\text{mm} \quad (5.3.3-19)$$

式中: b_s ——加强圈外沿宽度(mm),取值应满足式(5.3.3-17)、式(5.3.3-18)、式(5.3.3-19)的要求。

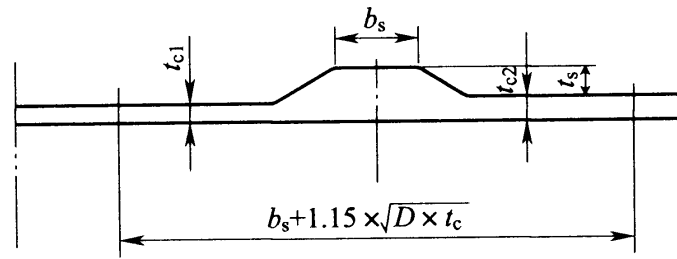


图 5.3.3-4 实心加强圈结构

4) 空心或包覆加强圈结构,按式(5.3.3-12)计算时,其基本尺寸应按图 5.3.3-5 确定:

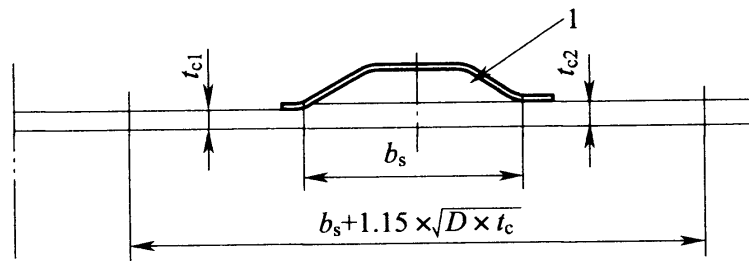


图 5.3.3-5 空心或包覆加强圈结构

1—填充物(泡沫)或开口的; t_c —平均厚度

5 加强圈应整圈围绕在圆筒体的圆周上,并应粘接紧密。

5.3.4 圆锥壳和锥形封头(图 5.3.4-1、图 5.3.4-2)的设计应符合下列规定:

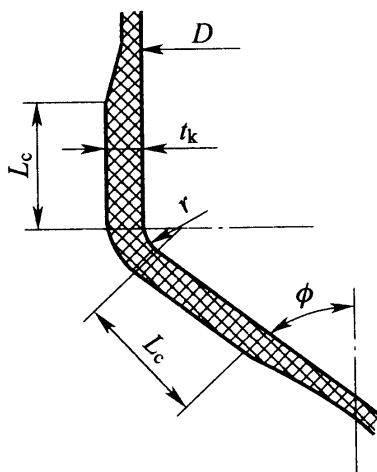


图 5.3.4-1 带转角锥形壳体

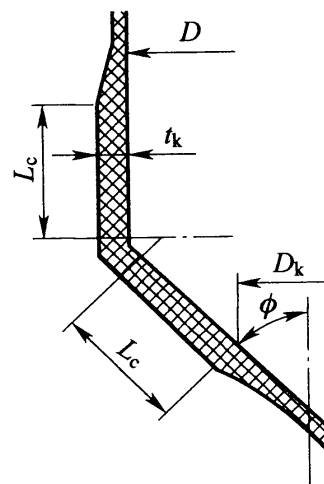


图 5.3.4-2 无转角锥形壳体

- 1 转角半径不得小于连接处的圆筒体直径的 6%；
- 2 当压力为 -600Pa~+6500Pa 时,可采用无折边结构；
- 3 当压力大于 +6500Pa 或小于或等于 -600Pa 时,应采用带折边结构,其锥顶角不应大于 150°；
- 4 锥顶角大于 150°的锥形封头应按平盖设计,其计算应符合本规范第 5.3.20 条、第 5.3.22 条~第 5.3.24 条的规定；
- 5 在转角区域柱壳和圆锥壳上的应力集中衰减的长度应按下式计算：

$$L_c = \sqrt{\frac{D \times t_k}{\cos \phi}} \quad (5.3.4)$$

式中： L_c ——应力集中衰减的长度(mm)；
 t_k ——圆锥壳上的厚度(mm)；
 ϕ ——半锥顶角。

5.3.5 受内压的圆锥壳载荷设计应符合下列规定：

- 1 受内压圆锥壳壁厚的层合板环向单元载荷应按下列式计算：

$$q^\phi = \frac{p_D \times D_k}{2 \cos \phi} \quad (5.3.5-1)$$

式中： q^ϕ ——最大环向单元载荷(N/mm)；
 ϕ ——半锥顶角；
 D_k ——计算点所在圆直径(mm)。

受内压圆锥壳壁厚的层合板环向承载能力应满足下列式要求：

$$q^\phi \leq [q^\phi] \quad (5.3.5-2)$$

式中： $[q^\phi]$ ——构成圆锥壳壁厚的层合板环向许用单元载荷(N/mm)。

- 2 受内压的圆锥壳转角区域的轴向单元载荷应按下列公式计算：

- 1) 受内压带折边的圆锥壳壁厚的层合板(本规范图 5.3.4-1)轴向单元载荷应按下列式计算：

$$q_{x_1} = \frac{p_D \times D_k \times K_{cl}}{2} \quad (5.3.5-3)$$

式中： q_{x1} ——带折边的圆锥壳的轴向单元载荷(N/mm)；

K_{c1} ——带折边圆锥壳的应力集中系数应按表 5.3.5-1 的规定取值。

表 5.3.5-1 带折边圆锥壳的应力集中系数 K_{c1}

$\frac{r}{D}$	ϕ					
	10°	20°	30°	45°	60°	75°
0.06	1.57	2.18	2.55	3.22	4.1	6.28
0.08	1.52	2.02	2.34	2.74	3.51	5.53
0.10	1.46	1.86	2.13	2.26	2.93	4.79
0.15	1.33	1.46	1.46	1.53	1.93	3.59
0.20	1.06	1.20	1.20	1.26	1.53	2.79
0.30	1.00	1.06	1.13	1.20	1.33	1.86

带折边的圆锥壳的壁厚的层合板轴向单元载荷应满足下式要求：

$$q_{x1} \leq [q_x] \quad (5.3.5-4)$$

式中： $[q_x]$ ——构成带折边的圆锥壳壁厚的层合板轴向许用单元载荷(N/mm)。

2)受内压无折边的圆锥壳壁厚的层合板(本规范图 5.3.4-2)轴向单元载荷应按下式计算：

$$q_{x2} = \frac{p_D \times D_k \times K_{c2}}{2} \quad (5.3.5-5)$$

式中： q_{x2} ——无折边的圆锥壳的轴向单元载荷(N/mm)；

K_{c2} ——无折边圆锥壳的应力集中系数,应按表 5.3.5-2 的规定取值。

表 5.3.5-2 无折边锥壳的应力集中系数 K_{c2}

$\frac{t_k}{D}$	ϕ			
	15°	30°	45°	60°
0.002	2.94	5.62	8.90	13.6
0.005	2.05	3.70	5.80	8.70

续表 5.3.5-2

$\frac{t_k}{D}$	ϕ			
	15°	30°	45°	60°
0.010	1.60	2.75	4.12	6.30
0.020	1.24	2.00	3.00	4.40
0.040	1.00	1.55	2.20	3.20
0.050	1.00	1.45	2.00	2.75

无折边的圆锥壳的壁厚的层合板的轴向单元载荷应满足下式要求：

$$q_{x2} \leq [q_x] \quad (5.3.5-6)$$

式中： $[q_x]$ ——无折边的圆锥壳壁厚的层合板轴向许用单元载荷 (N/mm)。

5.3.6 受外压的圆锥壳载荷设计应符合下列规定：

1 受外压圆锥壳壁厚的层合板强度应满足本规范式(5.3.5-2)要求的环向单元承载能力。

2 受外压的圆锥壳径向稳定性应按下列公式计算：

1) 当 $L \leq 6D_m$ 时, 临界径向屈曲压力应按下列公式计算：

$$p_c = 2.40 \times \sqrt[4]{E_{\phi b}^3 \times E_x} \times \frac{D_m}{L_s \times \cos \phi} \times \left(\frac{t \times \cos \phi}{D_m} \right)^{2.5} \quad (5.3.6-1)$$

$$L_s = \frac{H}{\cos \phi} \quad (5.3.6-2)$$

$$D_m = \frac{D_1 + D_2}{2} \quad (5.3.6-3)$$

2) 当 $L > 6D_m$ 时, 临界径向屈曲压力应按下列公式计算：

$$p_c = 2.1 E_{\phi b} \times \left(\frac{t \times \cos \phi}{D_m} \right)^3 \quad (5.3.6-4)$$

式中： p_c ——临界径向屈曲压力(MPa)；

L_s ——锥形壳的有效长度或加强筋之间的距离(mm)

(本规范图 5.3.3-3);

D_m ——锥形部平均直径(mm)。

受外压的圆锥壳径向稳定性应满足下式要求:

$$\frac{p_c}{p_D} \geq F \quad (5.3.6-5)$$

3 受外压的圆锥壳的轴向临界压缩载荷(图 5.3.6)应按下列公式计算:

$$u_c = k \times \sqrt{E_{\phi b} \times E_x} \times \frac{t^2 \times \cos \phi}{D_m} \quad (5.3.6-6)$$

$$k = \frac{0.84}{\sqrt{1 + \frac{D_m}{200 \times t \times \cos \phi}}} \quad (5.3.6-7)$$

$$q_1 = \frac{N_{x1}}{\pi \times D_1} \quad q_2 = \frac{N_{x2}}{\pi \times D_2} \quad (5.3.6-8)$$

式中: u_c ——临界轴向单元压缩载荷(N/mm);

k ——系数;

q_1 、 q_2 ——外压作用下的圆锥壳几何形状变化(图 5.3.6)处在轴向力 N_{x1} 和 N_{x2} 的作用下的单元轴向压力(N/mm)。

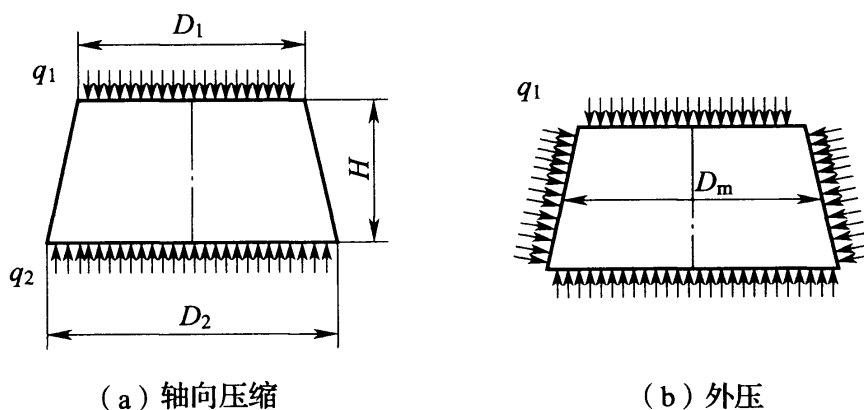


图 5.3.6 外压作用下的圆锥壳

受外压的圆锥壳的轴向压缩载荷应满足下式要求:

$$\frac{u_c}{q_x} \geq F \quad (5.3.6-9)$$

式中： q_x ——构成受外压的圆锥壳轴向单元压缩载荷(N/mm)。

4 组合的轴向和径向单元压缩载荷应满足下式要求：

$$\left(\frac{q_x \times F}{u_c}\right)^{1.25} + \left(\frac{p_D \times F}{p_c}\right)^{1.25} \leq 1 \quad (5.3.6-10)$$

式中： p_c ——临界径向单元屈曲压力(N/mm)；

u_c ——轴向单元压缩载荷(N/mm)。

5.3.7 受内压锥形封头(图 5.3.7)轴向单元载荷计算应符合下列规定：

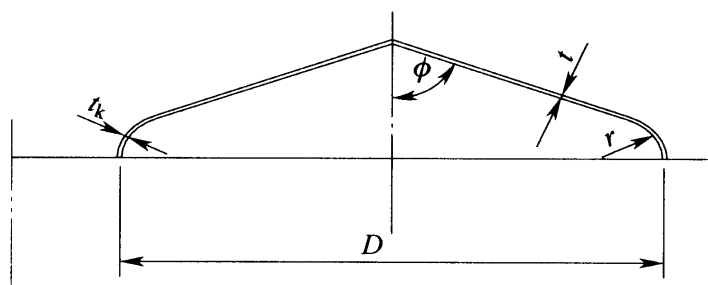


图 5.3.7 锥形封头

1 当半锥顶角为 $60^\circ \sim 75^\circ$ ，且 $0 \leq \frac{r}{D} \leq 0.1$ 时，在转角处层合板的轴向单元载荷应按下列公式计算：

$$q_x = \alpha_b \times p_D \times \frac{1}{\sin \phi \times \cos \phi} \times \left(\frac{D}{t_k}\right)^{1+\beta_b} \times t_k \quad (5.3.7-1)$$

$$\alpha_b = -64 \times \left(\frac{r}{D}\right)^2 + 7.6 \times \left(\frac{r}{D}\right) + 0.13 \quad (5.3.7-2)$$

$$\beta_b = 51.6 \times \left(\frac{r}{D}\right)^2 - 8.81 \times \left(\frac{r}{D}\right) + 0.52 \quad (5.3.7-3)$$

式中： q_x ——转角处层合板的轴向单元载荷(N/mm)；

α_b ——结构特征系数；

β_b ——结构特征系数。

受内压锥形封头在转角处的层合板轴向单元载荷应满足下式要求：

$$q_x \leq [q_x] \quad (5.3.7-4)$$

式中： $[q_x]$ ——构成受内压锥形封头在转角处的层合板轴向许用单元载荷(N/mm)。

2 当半锥顶角不在 $60^\circ \sim 75^\circ$ ，且 $0 \leq \frac{r}{D} \leq 0.1$ 范围内时，应按平盖设计。

5.3.8 受外压锥形封头临界径向屈曲压力应按下式计算：

$$p_c = 13.58 \times E_b \times \sin\phi \times (\cos\phi)^{1.5} \times \left(\frac{t}{D}\right)^{2.5} \quad (5.3.8-1)$$

式中： p_c ——临界径向屈曲压力(MPa)；

E_b ——锥形封头结构的弯曲模量(MPa)。

受外压锥形封头的稳定性校核应满足下式要求：

$$\frac{p_c}{p_D} \geq F \quad (5.3.8-2)$$

5.3.9 凸形封头应包括半球形封头(图 5.3.9-1)和椭圆形或碟形封头(图 5.3.9-2)。当选用椭圆形或碟形封头时，封头球面部分的内半径应为 $0.8D \leq R < D$ ，且封头转角内半径应为 $0.1D \leq r < 0.25D$ 。

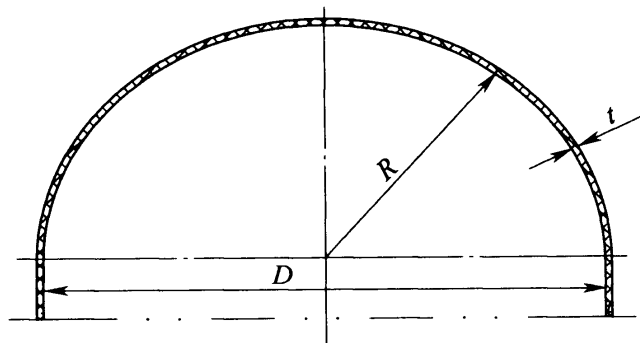


图 5.3.9-1 半球形封头

5.3.10 受内压的凸形封头的单元载荷计算应符合下列规定：

1 椭圆形封头和碟形封头转角区域的单元载荷应按下式计算：

$$q_{k,p} = \frac{p_D \times D \times K_d}{2} \quad (5.3.10-1)$$

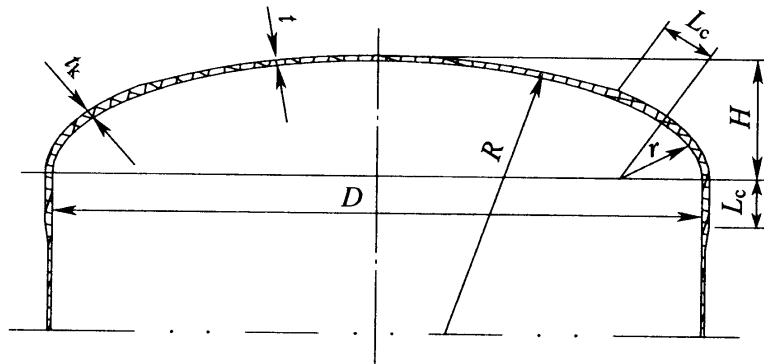


图 5.3.9-2 椭圆形、碟形封头

式中： $q_{k,p}$ ——椭圆形封头和碟形封头转角区域的单元载荷 (N/mm)；

K_d ——椭圆形封头和碟形封头转角处的集中系数，应按表 5.3.10 查取。

表 5.3.10 椭圆形封头和碟形封头转角区域的集中系数 K_d

$\frac{h_i}{D}$	$\frac{t}{D}$	K_d	
		$R=D$	$R<D$
		$0.1 \leq \frac{r}{D} \leq 0.15$	$0.15 \leq \frac{r}{D} \leq 0.25$
0.20	0.005	2.95	不允许
	0.010	2.85	
	0.020	2.65	
	0.040	2.35	
	0.050	2.25	
0.25	0.005	2.35	1.90
	0.010	2.25	1.80
	0.020	2.10	1.75
	0.040	1.85	1.70
	0.050	1.75	1.70
0.30	0.005	1.95	1.45
	0.010	1.85	1.45

续表 5.3.10

$\frac{h_i}{D}$	$\frac{t}{D}$	K_d	
		$R=D$	$R<D$
		$0.1 \leq \frac{r}{D} \leq 0.15$	$0.15 \leq \frac{r}{D} \leq 0.25$
0.30	0.020	1.60	1.40
	0.040	1.40	1.35
	0.050	1.30	1.30

2 碟形封头和半球形封头的球面区域单元载荷应按下式计算：

$$q_p = 0.6 \times p_D \times R \quad (5.3.10-2)$$

式中： q_p ——碟形封头和半球形封头的球面区域单元载荷(N/mm)；
 R ——球面区域半径(mm)。

3 当碟形封头转角区域的层合板厚度大于球面区域的层合板厚度时，封头上转角区域和壳体上的加强段长度应按下式计算：

$$L_c = \sqrt{D \times t_k} \quad (5.3.10-3)$$

式中： L_c ——封头上转角区域和壳体上的加强段长度(mm)；
 t_k ——转角段的厚度(mm)。

4 受内压凸形封头壁厚的层合板承载能力应满足下式要求：

$$q_{k,p} \leq [q_p] \quad (5.3.10-4)$$

式中： $[q_p]$ ——构成椭圆形封头和碟形封头壁厚的层合板许用单元载荷(N/mm)。

5.3.11 受外压的凸形封头稳定性应校核，临界屈曲压力应按下式计算：

$$p_c = 0.242 \times E_b \times \left(\frac{t}{R}\right)^2 \quad (5.3.11-1)$$

受外压的凸形封头稳定性校核应满足下式要求：

$$\frac{p_c}{p_D} \geq F \quad (5.3.11-2)$$

5.3.12 平底设备设计时,基础应平整,底板上附件的允许支撑间隙应满足设置支撑板的要求。

5.3.13 当平底设备转角区域(图 5.3.13)的转角半径 $r > 30\text{mm}$ 或 $r/D > 0.05$ 时,转角区域的最大轴向单元载荷计算应符合下列规定:

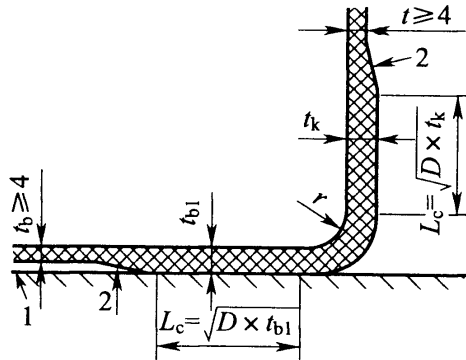


图 5.3.13 平底设备转角区域

1—填充区域;2—坡度

1 由液柱静压力加上超压载荷组成的内压产生的单元载荷应按下列公式计算:

$$q_{xk,1} = 3 \times k_p \times p_D \times D \quad (5.3.13-1)$$

$$k_p = 0.22 + \left(0.6 + 0.0566 \times \frac{D}{t_k} \right) \times$$

$$\left[\frac{2 \times r}{D} - 4.44 \times \left(\frac{t_k}{D} \right)^{1.15} - 0.04 \right] \quad (5.3.13-2)$$

式中: $q_{xk,1}$ ——由液柱静压力加上超压载荷组成内压产生的转角区域最大轴向单元载荷(N/mm);

k_p ——结构特征系数,不得小于 0.22。

2 圆柱形壁在轴向上的单元载荷应按下列公式计算:

$$q_{xk,2} = 6 \times k_n \times \sum q_{x,i} \quad (5.3.13-3)$$

$$k_n = \left| 1.38 + 0.41 \times \frac{r}{D} \times \left(\frac{D}{t_k} \right)^{1.15} - 0.077 \times \left(\frac{r}{t_k} \right)^2 \right| \quad (5.3.13-4)$$

式中: $q_{xk,2}$ ——圆柱形壁在轴向上的单元载荷(N/mm);

$\sum q_{x,i}$ ——静载荷、风载荷、重力载荷等导致的轴向单元载荷组合(N/mm)；

k_n ——结构特征系数，取绝对值。

3 载荷之间的组合 q_{xk} 应按下列公式计算，并应取较大值：

$$q_{xk} = q_{xk,1} + 0.3 \times q_{xk,2} \quad (5.3.13-5)$$

$$q_{xk} = q_{xk,2} + 0.3 \times q_{xk,1} \quad (5.3.13-6)$$

4 完全支撑平底设备的罐底转角区域层合板应按下列公式计算后，还应符合本规范式(5.3.2-3)的要求：

$$q_{xkmax} = -\frac{W_D}{\pi \times D} \pm \frac{4 \times M_D}{\pi \times D^2} \pm q_{xk} \quad (5.3.13-7)$$

$$q_{xkmax} \leq [q_{xk}] \quad (5.3.13-8)$$

式中： q_{xkmax} ——转角区域的最大轴向单元载荷(N/mm)；

$[q_{xk}]$ ——转角区域的轴向许用单元载荷(N/mm)。

5.3.14 当平底设备转角区域(本规范图 5.3.13)的转角半径 $r \leq 30\text{mm}$ 或 $r/D \leq 0.05$ 时，转角区域的最大轴向单元载荷计算应符合下列规定：

1 由液柱静压力加上超压载荷组成的内压产生的最大轴向单元载荷应按下列公式计算：

$$q_{xk,1} = 0.72 \times p_D \times D \quad (5.3.14-1)$$

$$q_{xk,1} = 0.90 \times p_D \times D \quad (5.3.14-2)$$

$$q_{xkmax} = -\frac{W_D}{\pi \times D} \pm \frac{4 \times M_D}{\pi \times D^2} \pm q_{xk,1} \quad (5.3.14-3)$$

式中： $q_{xk,1}$ ——由液柱静压力加上超压载荷组成的内压产生的轴向单元载荷(N/mm)，当 $t_{b1} \leq t_k$ 时，应按式(5.3.14-1)计算；当 $t_{b1} > t_k$ 时，应按式(5.3.14-2)计算；

q_{xkmax} ——转角区域的最大轴向单元载荷(N/mm)。

2 转角区域层合板的承载能力除应满足下式外，还应满足本规范式(5.3.2-3)的要求：

$$q_{xkmax} \leq [q_{xk}] \quad (5.3.14-4)$$

式中： $[q_{xk}]$ ——转角区域的轴向许用单元载荷(N/mm)。

3 壳体底部补强区域(图 5.3.13)的长度 L_c 应按下式计算：

$$L_c = \sqrt{D \times t_k} \quad (5.3.14-5)$$

平底补强厚度区域的长度应按下式计算：

$$L_c = \sqrt{D \times t_{bl}} \quad (5.3.14-6)$$

5.3.15 设备的开孔处应补强,在开孔周围应设置圆盘形的补强板。接管结构和开孔补强计算应符合下列规定：

1 设备开孔处补强的接管结构应包括齐平式接管(图 5.3.15-1)和贯穿式接管(图 5.3.15-2)。

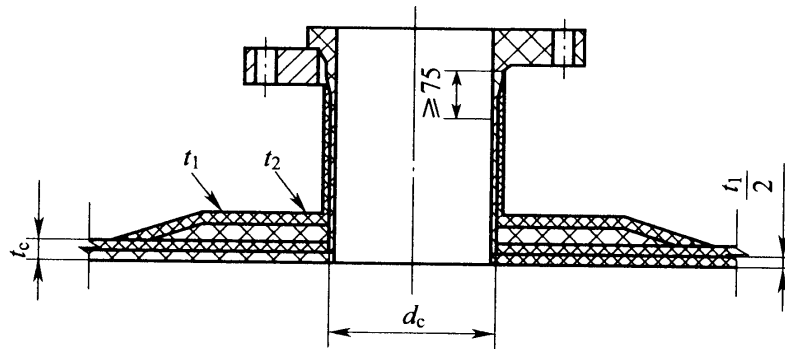


图 5.3.15-1 齐平式接管

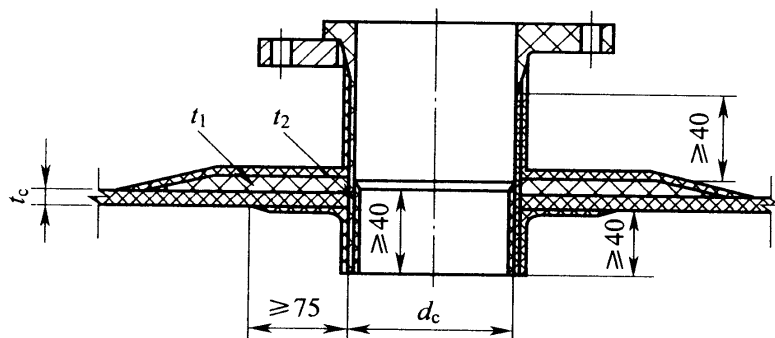


图 5.3.15-2 贯穿式接管

2 开孔处的最大单元载荷应按下列公式计算：

$$q_{max} = q \times \nu_A \quad (5.3.15-1)$$

$$\nu_A = 1.5 \times \left(1 + \frac{d_c}{2 \times \sqrt{D \times t_c}} \right) \quad (5.3.15-2)$$

式中： q_{\max} ——开孔处的最大单元载荷(N/mm)；

q ——未开孔壳体的最大单元载荷(N/mm)；

ν_A ——载荷集中系数；

d_c ——壳/封头上的开孔直径(mm)；

t_c ——接管处的壳体的厚度(mm)。

3 开孔处的最大单元载荷应满足下式要求：

$$q_{\max} \leq [q]_{\text{lam}} + [q]_c \quad (5.3.15-3)$$

式中： $[q]_{\text{lam}}$ ——壳体层合板的许用单元载荷(N/mm)；

$[q]_c$ ——补强层层合板材料的许用单元载荷(N/mm)。

4 补强层合板的宽度可按下式计算，且应大于 100mm：

$$l_a = \sqrt{D \times t_a} \quad (5.3.15-4)$$

式中： l_a ——补强层合板的宽度(mm)；

t_a ——接管处所需的总补强厚度。

5 补强最小内侧铺层应符合下列规定：

1) 当开孔直径小于或等于 50mm 时，内侧铺层应包括内衬层和不少于一层的 300g/m² 短切原丝毡；

2) 当开孔直径大于 50mm 且小于或等于 150mm 时，内侧铺层应包括内衬层和两层 450g/m² 短切原丝毡；

3) 当开孔直径大于 150mm 时，内侧铺层应包括内衬层和不少于 3 层的 450g/m² 短切原丝毡。

6 接管增强包覆层(图 5.3.15-3)的最小厚度应为 3 层 450g/m² 短切毡，长度不应小于 75mm。

5.3.16 补强层的拉伸、剪切载荷应按下列公式校核：

$$q_b = \frac{p_D \times d_c}{4} \quad (5.3.16-1)$$

$$\tau'_{\text{lap}} = \frac{q_b}{20 \times t_{\text{over}}} \leq \frac{\tau_{\text{lap}}}{K} \quad (5.3.16-2)$$

式中： q_b ——补强层的拉伸单元载荷(N/mm)；

τ'_{lap} ——补强层的剪切应力(MPa)；

τ_{lap} ——层合板补强层的搭接剪切强度(MPa),当采用玻璃纤维增强材料时,可按本规范表 4.3.1-1 的规定取值或按本规范附录 L 的规定检测获取;

K ——设计安全系数,可按本规范第 4.3.3 条的规定取值;

t_{over} ——补强厚度(mm)。

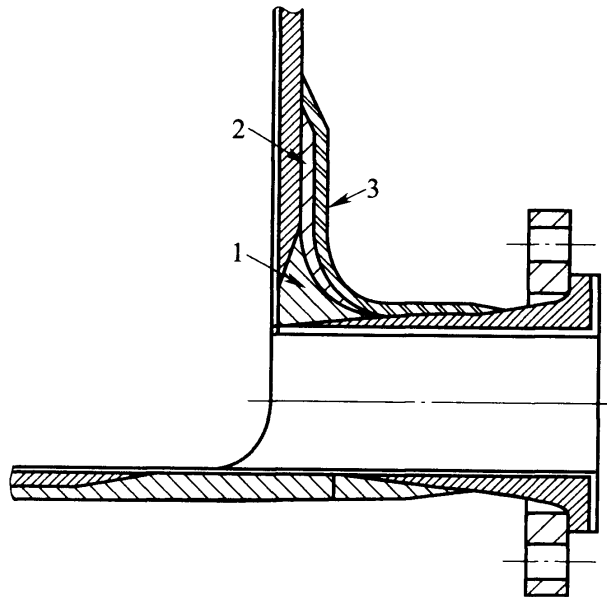


图 5.3.15-3 接管增强包覆层

1—填充区域;2—补强层;3—增强包覆层

5.3.17 设备封头与筒体以及筒体之间的接缝(图 5.3.17)应符合下列规定:

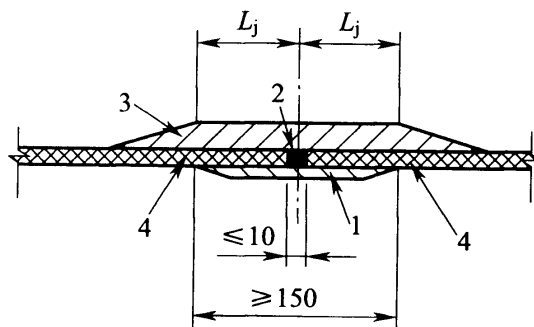


图 5.3.17 接缝结构示意图

1—内包覆层;2—树脂胶泥;3—外包覆层;4—主层合板

1 接缝包覆层的承载能力不应小于所连接筒体在环向和轴向两个方向上的载荷;

- 2 接缝包覆层过渡区的坡度不应大于 1 : 6 ;
- 3 接缝包覆层长度 L_j 应按下式计算 :

$$L_j = \frac{K \times q}{\tau_{lap}} \quad (5.3.17)$$

式中 : L_j —— 接缝包覆层长度 (mm) ;

K —— 设计安全系数, 按本规范第 4.3.3 条的规定取值 ;

q —— 外壳中的环向或轴向的最大单元载荷 (N/mm) ;

τ_{lap} —— 二次粘接层合板包覆层的搭接剪切强度 (MPa), 当采用玻璃纤维增强材料时, 可按本规范表 4.3.1-1 的规定取值。

- 4 包覆层长度应符合下列规定 :

- 1) 当包覆层厚度小于或等于 6mm 时, 最小长度应为 100mm ;
- 2) 当包覆层厚度大于 6mm 时, 最小长度应为 150mm ;
- 3) 包覆层长度不宜小于包覆层厚度的 20 倍。

5.3.18 设备组成部分的平板应包括矩形、圆形、扇形和三角形, 矩形平板的边界分类应符合下列规定 :

- 1 四边简支应为 A 类 ;
- 2 四边固支应为 B 类 ;
- 3 一条长边简支, 另三边固支应为 C 类 ;
- 4 一条短边简支, 另三边固支应为 D 类。

5.3.19 矩形平板的弯矩计算应符合下列规定 :

- 1 受均布载荷作用下矩形平板的弯矩应按下式计算 :

$$M_p = \beta_1 \times p \times b^2 \quad (5.3.19-1)$$

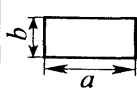
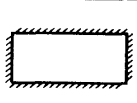
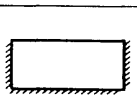
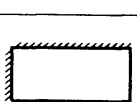
式中 : M_p —— 受均布载荷作用的矩形平板弯矩 (N · mm/mm) ;

β_1 —— 受均布载荷作用的矩形平板计算常数, 按表 5.3.19-1 查取 ;

p —— 矩形平板上的均布载荷 (MPa) ;

b —— 矩形平板上的短边的长度 (mm)。

表 5.3.19-1 受均布载荷作用的矩形平板计算常数

边界形式	边界分类	常数	长宽比(a/b)									
			1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.50	3.00	4.00	5.00	>5.00
	A	β_1	0.048	0.067	0.081	0.093	0.102	0.113	0.119	0.125	0.125	0.125
		α_1	0.044	0.060	0.084	0.099	0.111	0.126	0.134	0.140	0.142	0.142
	B	β_1	0.051	0.067	0.075	0.080	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083
		α_1	0.014	0.020	0.024	0.026	0.028	0.0281	0.0282	0.0284	0.0284	0.0284
	C	β_1	0.060	0.077	0.094	0.107	0.114	0.121	0.124	0.124	0.124	0.124
		α_1	0.017	0.028	0.037	0.044	0.049	0.055	0.057	0.058	0.058	0.058
	D	β_1	0.060	0.073	0.079	0.082	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083
		α_1	0.017	0.022	0.025	0.027	0.028	0.0284	0.0284	0.0284	0.0284	0.0284

注：——表示边界为简支；————表示边界为固支。

2 受 0 到 p_1 线性变化静液压载荷作用的矩形平板弯矩应按下列式计算：

$$M_p = \beta_1 \times p_1 \times b^2 \quad (5.3.19-2)$$

式中： M_p ——受静液压作用的矩形平板的弯矩(N·mm/mm)；

β_1 ——受静液压作用的矩形平板计算常数，可按表 5.3.19-2 查取；

p_1 ——矩形平板上的线性变化载荷的最大值(MPa)；

b ——矩形平板上的短边的长度(mm)。

表 5.3.19-2 受 0 到 p_1 线性变化静液压载荷作用的矩形平板计算常数

边界分类	常数	长宽比(a/b)								
		1/2	1/1.75	1/1.5	1/1.25	1.00	1.25	1.50	1.75	≥ 2.00
A、C、	β_1	0.0115	0.0145	0.0187	0.0245	0.0334	0.0393	0.0462	0.0481	0.0500
D	α_1	0.0009	0.0015	0.0024	0.0041	0.0069	0.0094	0.0120	0.0131	0.0142
B	β_1	0.0348	0.0339	0.0324	0.0298	0.0264	0.0355	0.0429	0.0486	0.0529
	α_1	0.0553	0.0495	0.0422	0.0329	0.0222	0.0329	0.0422	0.0495	0.0553

3 A类的中心受集中载荷作用的矩形平板弯矩应按下式计算：

$$M_p = \frac{W}{4 \times \pi} \times \left(1.3 \times \ln \frac{2b}{\pi \times r_1} + \beta_2 \right) \quad (5.3.19-3)$$

式中： M_p ——A类的中心受集中载荷作用的矩形平板的弯矩(N·mm/mm)；

β_2 ——受均布载荷作用的矩形平板计算常数，按表 5.3.19-3 查取；

r_1 ——矩形平板上集中载荷作用的范围半径(mm)；

b ——矩形平板上的短边的长度(mm)；

W ——矩形平板上集中载荷(N)。

4 B类的中心受集中载荷作用的矩形平板弯矩应按下式计算：

$$M_p = \beta_3 \times W \quad (5.3.19-4)$$

式中： M_p ——B类的中心受集中载荷作用的矩形平板的弯矩(N·mm/mm)；

β_3 ——受均布载荷作用的矩形平板计算常数，按表 5.3.19-3 查取；

W ——矩形平板上集中载荷(N)。

表 5.3.19-3 中心受集中载荷作用的矩形平板计算常数

边界分类	常数	长宽比(a/b)									
		1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.50	3.00	4.00	5.00	>5.00
A	α_2	0.1267	0.1518	0.1671	0.1763	0.1805	0.1821	0.1831	0.1842	0.1849	0.1851
	β_2	0.435	0.691	0.838	0.917	0.958	0.976	0.986	0.997	1.000	1.000
B	α_2	0.0611	0.0720	0.0768	0.0785	0.0788	0.0790	0.0791	0.0791	0.0791	0.0791
	β_2	-0.238	-0.052	0.036	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067	0.067
	β_3	0.1257	0.1530	0.1632	0.1665	0.1674	0.1677	0.1679	0.1680	0.1680	0.1680

5.3.20 圆形平板的弯矩计算应符合下列规定：

1 受均布载荷作用周边简支的圆形平板弯矩应按下式计算：

$$M_p = 0.0516 \times p_D \times d_p^2 \quad (5.3.20-1)$$

式中： M_p ——受均布载荷作用的圆形平板的弯矩(N·mm/mm)；

p_D ——圆形平板上的均布载荷(MPa)；

d_p ——圆形平板的计算直径(mm)。

2 受均布载荷作用周边固支的圆形平板弯矩应按下式计算：

$$M_p = 0.03125 \times p_D \times d_p^2 \quad (5.3.20-2)$$

式中： M_p ——受均布载荷作用的圆形平板的弯矩(N·mm/mm)；

p_D ——圆形平板上的均布载荷(MPa)；

d_p ——圆形平板的计算直径(mm)。

3 中心受集中载荷作用周边简支的圆形平板弯矩应按下式计算：

$$M_p = \frac{W}{4 \times \pi} \left[1.3 \times \ln \frac{d_p}{2 \times r_1} + 1 \right] \quad (5.3.20-3)$$

式中： M_p ——中心受集中载荷作用的周边简支圆形平板的弯矩(N·mm/mm)；

W ——圆形平板上的集中载荷(MPa)；

r_1 ——圆形平板上集中载荷作用的范围半径(mm)；

d_p ——圆形平板的计算直径(mm)。

4 中心受集中载荷作用周边固支的圆形平板弯矩应按下列公式计算，并应取其大值：

$$M_p = 0.325 \times \frac{W}{\pi} \times \ln \frac{d_p}{2 \times r_1} + 1 \quad (5.3.20-4)$$

$$M_p = \frac{W}{4 \times \pi} \quad (5.3.20-5)$$

式中： M_p ——中心受集中载荷作用的周边固支圆形平板的弯矩(N·mm/mm)；

W ——圆形平板上的集中载荷(MPa)；

r_1 ——圆形平板上集中载荷作用的范围半径(mm)；

d_p ——圆形平板的计算直径(mm)。

5.3.21 受均布载荷作用的扇形或三角形平板的弯矩应按下式计算：

$$M_p = \beta \times p_D \times r_p^2 \quad (5.3.21)$$

式中： M_p ——受均布载荷作用的扇形或三角形平板的弯矩(N·mm/mm)；

β ——受均布载荷作用的扇形或三角形平板计算常数，按表 5.3.21 查取；

p_D ——扇形或三角形平板上的均布载荷(MPa)；

r_p ——扇形平板的半径或三角形平板的边长(mm)。

表 5.3.21 受均布载荷作用的扇形或三角形平板计算常数

角度	π	$\pi/2$	$\pi/3$	$\pi/4$
周边简支				
α	0.0368	0.0144	0.0062	0.0031
β	0.0756	0.0488	0.0340	0.0250
周边固支				
α	0.0886	0.0246	0.0100	0.0054
β	0.0868	0.0381	0.0255	0.0183

5.3.22 当平板上承受包括内压、真空、液柱静压力、风载荷、雪载荷、局部集中载荷的弯矩载荷及各种载荷最苛刻组合的作用时，平板的设计弯矩应按下式计算：

$$M_D = M_p + M_l + \frac{M_s + M_w}{K_4} \quad (5.3.22)$$

式中： M_D ——平板的设计弯矩(N·mm/mm)；

M_p ——按本规范式(5.3.19-1)~式(5.3.19-4)、式(5.3.20-1)~式(5.3.20-5)和式(5.3.21)计算的平板内由均布或集中载荷引起的弯矩(N·mm/mm)；

M_l ——作用在平板上的局部弯矩(N·mm/mm)；

M_s ——作用在平板上的雪载荷(N·mm/mm)；

M_w ——作用在平板上的风载荷(N·mm/mm)；

K_4 ——层合板长期性能的分项设计系数，按本规范表 4.3.7 取值。

5.3.23 载荷作用下平板的单位面积增强材料的计算应符合下列规定：

1 当采用短切原丝毡作为平板的增强材料时，单位面积的短切原丝毡质量应按下式计算：

$$m_{\text{CSM}} = \left(\frac{6M_D}{u_{\text{CSM}} \times t_g} \right)^{0.5} \quad (5.3.23-1)$$

式中： m_{CSM} ——以短切原丝毡作为平板的增强材料时，单位面积的短切原丝毡质量(kg/m²)；

M_D ——平板的设计弯矩(N·mm/mm)；

u_{CSM} ——短切原丝毡单层板的单元设计载荷[N/mm·(kg/m²)]；

t_g ——单位面积质量的短切原丝毡单层板厚度[mm/(kg/m²)]。

2 采用螺栓连接的法兰盖(图 5.3.23-1)时，单位面积增强材料应按下式计算：

$$m_{\text{CSM}} = \left(\frac{p_D \times d_m^2}{3.23 \times u_{\text{CSM}} \times t_g} \right)^{0.5} \quad (5.3.23-2)$$

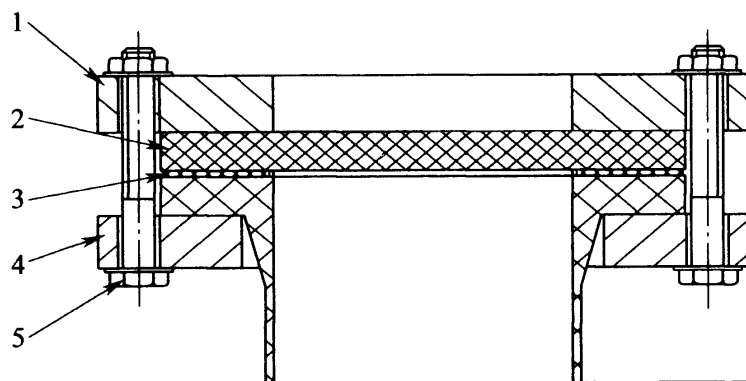


图 5.3.23-1 螺栓连接的法兰盖

1—钢法兰；2—层合板法兰盖；3—垫片；4—钢法兰；5—螺栓

式中： m_{CSM} ——以短切原丝毡作为平板的增强材料时，单位面积的短切原丝毡质量(kg/m^2)；

p_{D} ——法兰盖的设计均布载荷(MPa)；

u_{CSM} ——短切原丝毡单层板的单元设计载荷 [$\text{N}/\text{mm} \cdot (\text{kg}/\text{m}^2)$]；

d_{m} ——法兰盖的螺栓孔中心圆直径(mm)；

t_{g} ——单位面积质量的短切原丝毡单层板厚度 [$\text{mm}/(\text{kg}/\text{m}^2)$]。

3 采用螺栓连接的法兰盖(图 5.3.23-2)时，单位面积增强材料应按下式计算：

$$m_{\text{CSM}} = \left(\frac{p_{\text{D}} \times d_{\text{b}}^2}{5.33 \times u_{\text{CSM}} \times t_{\text{g}}} \right)^{0.5} \quad (5.3.23-3)$$

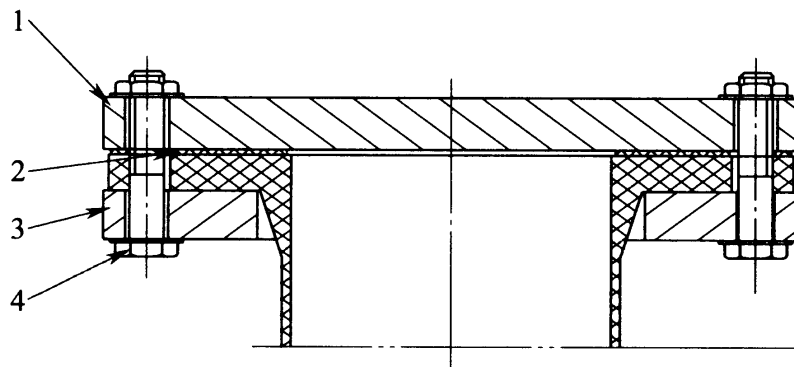


图 5.3.23-2 螺栓连接的法兰盖

1—层合板法兰盖；2—垫片；3—钢法兰；4—螺栓

式中： m_{CSM} ——以短切原丝毡作为平板的增强材料时，单位面积的短切原丝毡质量(kg/m^2)；

p_{D} ——法兰盖的设计均布载荷(MPa)；

u_{CSM} ——短切原丝毡单层板的单元设计载荷 [$\text{N}/\text{mm} \cdot (\text{kg}/\text{m}^2)$]；

d_{b} ——法兰盖的螺栓孔中心圆直径(mm)；

t_{g} ——单位面积质量的短切原丝毡单层板厚度 [$\text{mm}/(\text{kg}/\text{m}^2)$]。

5.3.24 平板的厚度计算应符合下列规定：

1 载荷作用下矩形平板的最小厚度应按下式计算：

$$t_{\min} = \left(\frac{\alpha_1 \times p \times b^4}{1.5 \times E_b} + \frac{\alpha_1 \times p_1 \times b^4}{1.5 \times E_b} + \frac{\alpha_2 \times W \times b^2}{1.5 \times E_b} \right)^{0.25} \quad (5.3.24-1)$$

式中： t_{\min} ——矩形平板的最小厚度(mm)；

α_1 ——常数，按本规范表 5.3.19-1 或表 5.3.19-2 查取；

α_2 ——常数，按本规范表 5.3.19-3 查取；

p_1 ——矩形平板上的线性变化载荷的最大值(MPa)；

p ——矩形平板上的均布载荷(MPa)；

E_b ——矩形平板的弯曲模量(MPa)；

W ——矩形平板上的集中载荷(MPa)；

b ——矩形平板上的短边长度(mm)。

2 载荷作用下周边简支圆形平板的最小厚度应按下式计算：

$$t_{\min} = \left(\frac{0.04347 \times p_D \times d_p^4}{1.5 \times E_b} + \frac{0.013787 \times W \times d_p^2}{1.5 \times E_b} \right)^{0.25} \quad (5.3.24-2)$$

式中： t_{\min} ——圆形平板的最小厚度(mm)；

E_b ——圆形平板的弯曲模量(MPa)；

W ——圆形平板上的集中载荷(MPa)；

p_D ——圆形平板上的设计压力(MPa)；

d_p ——圆形平板上的直径(mm)。

3 载荷作用下周边固支圆形平板的最小厚度应按下式计算：

$$t_{\min} = \left(\frac{0.01066 \times p_D \times d_p^4}{1.5 \times E_b} + \frac{0.05431 \times W \times d_p^2}{1.5 \times E_b} \right)^{0.25} \quad (5.3.24-3)$$

式中： t_{\min} ——圆形平板的最小厚度(mm)；

E_b ——圆形平板的弯曲模量(MPa)；

W ——圆形平板上的集中载荷(MPa);

d_p ——圆形平板上的直径(mm);

p_D ——圆形平板上的设计压力(MPa)。

4 受均布载荷作用的扇形或三角形平板的最小厚度应按下式计算:

$$t_{\min} = r_p \times \left(\frac{\alpha \times p_D}{1.5 \times E_b} \right)^{0.25} \quad (5.3.24-4)$$

式中: t_{\min} ——受均布载荷作用的扇形或三角形平板的最小厚度(mm);

E_b ——扇形或三角形平板的弯曲模量(MPa);

p_D ——扇形或三角形平板上的设计压力(MPa);

α ——常数,由本规范表 5.3.21 查取。

5.3.25 卧式容器设计应符合本规范附录 C 的有关规定。

5.3.26 法兰设计应符合本规范附录 D 的有关规定。

5.3.27 地锚设计应符合本规范附录 E 的有关规定。

5.4 结构设计

5.4.1 平底设备设计应符合下列规定:

1 可按整体罐底(图 5.4.1-1)和承插式罐底(图 5.4.1-2)分类;

2 设备底部除开孔外,设备基础应完整;

3 安装在室外及遭受风、地震等载荷的平底设备应锚固(图 5.4.1-3),可按锚固形式设计;

4 直径小于或等于 1200mm 的设备,其底部转角半径不得小于 25mm,直径大于 1200mm 的设备,其底部转角半径不得小于 38mm;

5 整体罐底(图 5.4.1-1)的坡度不应大于 1:6。

5.4.2 支腿式支座可分为固定式(图 5.4.2-1)和分体式(图 5.4.2-2),结构设计应符合下列规定:

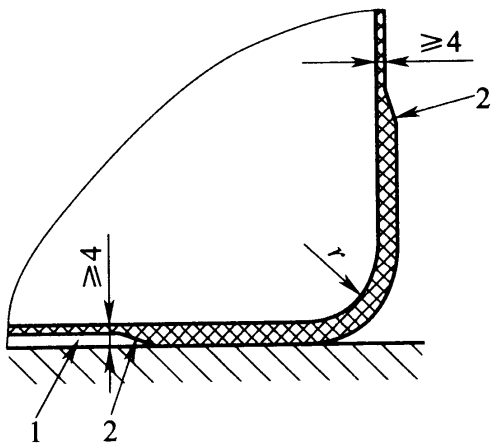


图 5.4.1-1 整体罐底

1—填充物；2—坡度

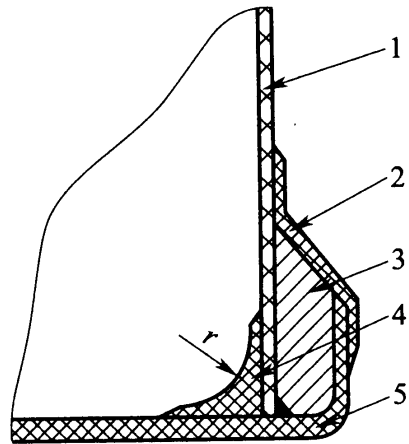


图 5.4.1-2 承插式罐底

1—罐体；2—外包装覆；3—树脂砂浆；
4—内包覆；5—平底封头

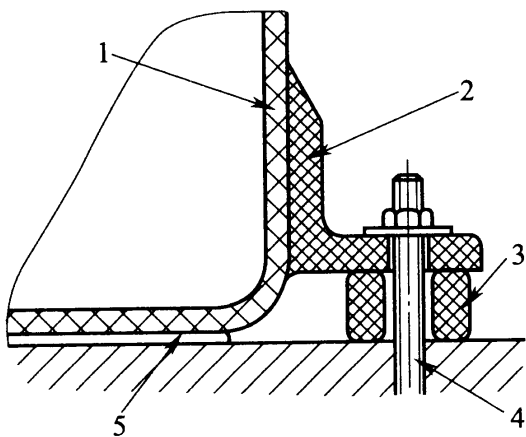


图 5.4.1-3 平底设备的

锚固结构示意图

1—罐壁；2—固定支座；3—垫圈；
4—地脚螺栓；5—基础垫层

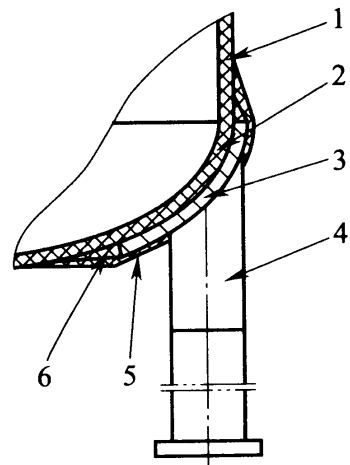


图 5.4.2-1 固定式

支腿式支座

1—圆筒体；2—封头；3—钢垫板；
4—支腿；5—包覆层；6—树脂胶泥

1 当设备直径小于或等于 1500mm、筒体高度小于或等于 2000mm，介质比重小于或等于 1.2 时，可采用支腿式支座；

2 支腿式支座不应直接与设备凸形封底相连接；

3 分体式支腿式支座与设备的结合面应铺设耐腐蚀橡胶垫（图 5.4.2-2）。

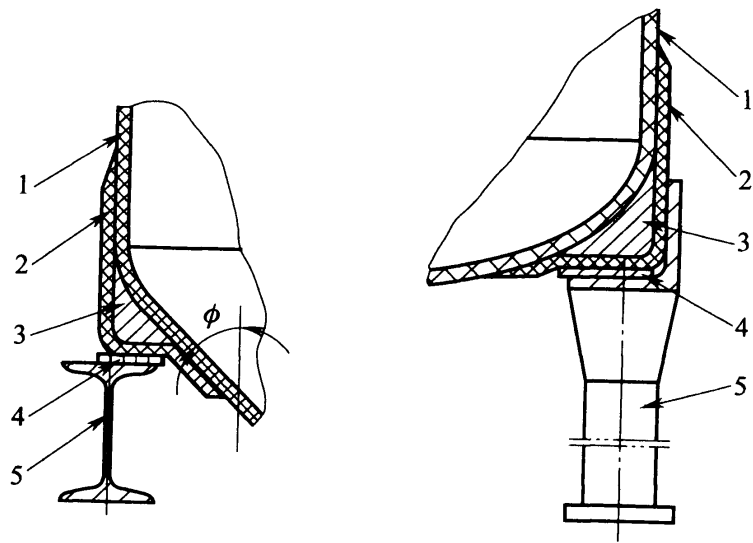


图 5.4.2-2 分体式支腿式支座

1—筒体；2—外覆盖层；3—树脂胶泥；4—耐腐蚀橡胶垫；5—支腿

5.4.3 环式支座结构(图 5.4.3-1、图 5.4.3-2)应符合下列规定：

- 1 与环式支座结合部位的筒壁应加强；
- 2 环式支座应与设备结合紧密。

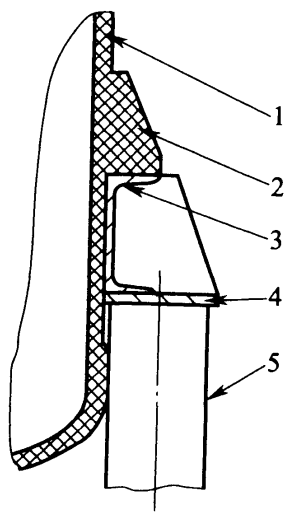


图 5.4.3-1 环式支座 1

1—筒体；2—凸缘；3—型钢圈；
4—钢板；5—立柱

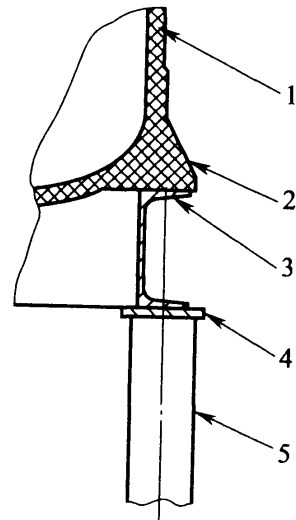


图 5.4.3-2 环式支座 2

1—筒体；2—支承加强段；
3—型钢圈；4—钢板；5—立柱

5.4.4 悬挂式支座结构应符合下列规定：

- 1 当容器、贮罐等设备通过建筑物的楼板或通过具有环状托架或牛腿结构支承时，宜采用悬挂式支座(图 5.4.4-1、图 5.4.4-2)；

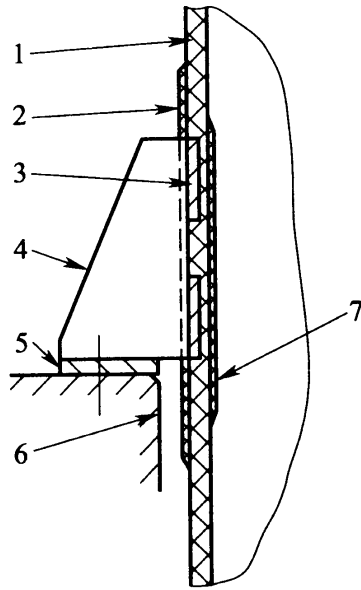


图 5.4.4-1 悬挂式支座 1

- 1—筒体；2—包覆层，坡度不大于 1：6；
 3—环向钢板；4—耳座立板；5—耳座底板；
 6—楼板或支承环；7—内部覆盖层

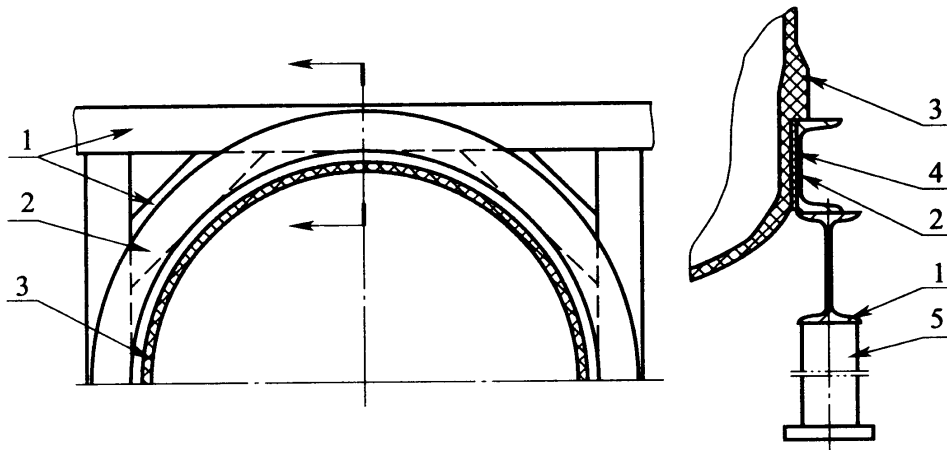


图 5.4.4-2 悬挂式支座 2

- 1—结构件；2—环形梁；3—容器或槽壁；4—橡胶垫；5—立柱

2 支承部位应采取加强措施。

5.4.5 裙式支座设计应符合下列规定：

1 裙座支承与壳体应粘接成整体刚性支承；

2 结构形式可分为纤维增强塑料制裙式支座(图 5.4.5-1)

和钢制裙座(图 5.4.5-2)。

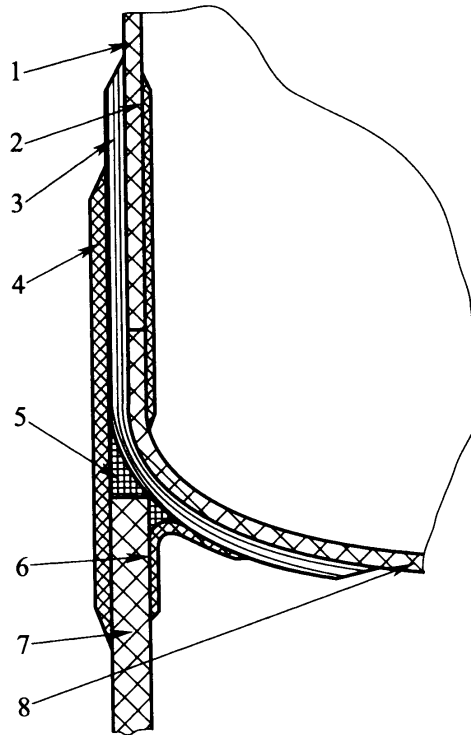


图 5.4.5-1 纤维增强塑料制裙式支座结构图

1—筒体；2—内包覆层；3—转角加强层；4—外包覆层 1；5—树脂胶泥；
6—外包覆层 2；7—裙座；8—凸形封头

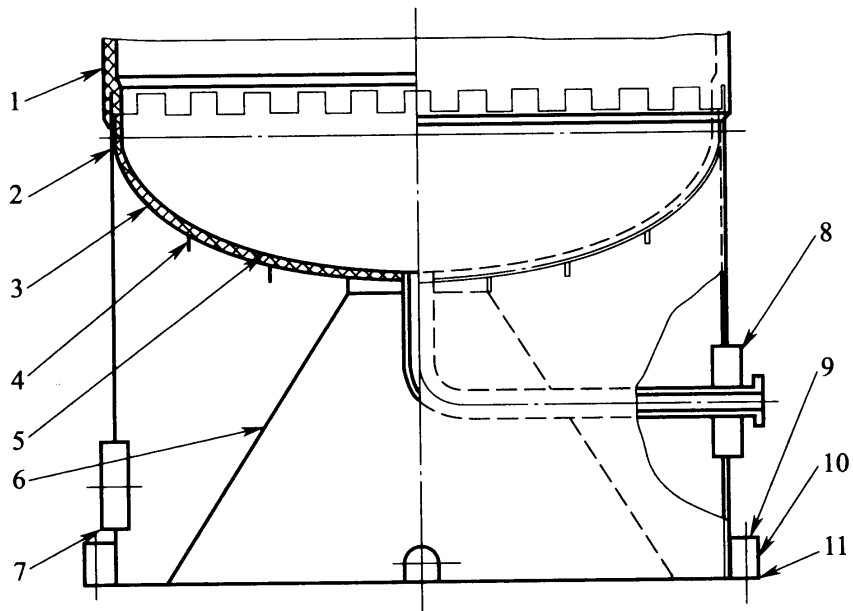


图 5.4.5-2 钢制裙座结构图

1—筒体；2—锯齿形钢制圆筒；3—径向钢板条；4—环向钢板条；5—凸形封头；
6—加强钢板；7—钢管；8—钢管；9—钢板；10—立筋；11—底板

5.4.6 鞍式支座设计应符合本规范附录 C 的有关规定。

5.4.7 设备的封头与筒体及筒体间的连接应符合下列规定：

- 1 接缝形式可采用固定式连接或可拆式连接；
- 2 固定式连接应采用对接连接(图 5.4.7-1)或承插连接(图 5.4.7-2)；

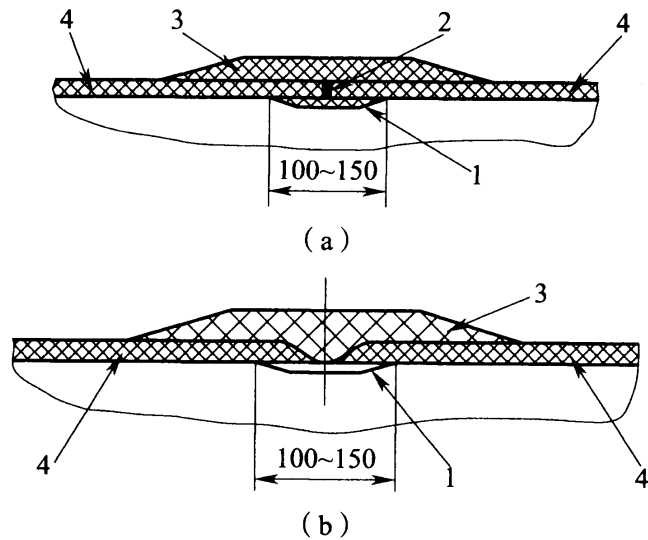


图 5.4.7-1 对接连接

1—内包覆层；2—树脂胶泥；3—外包覆层；4—层合板

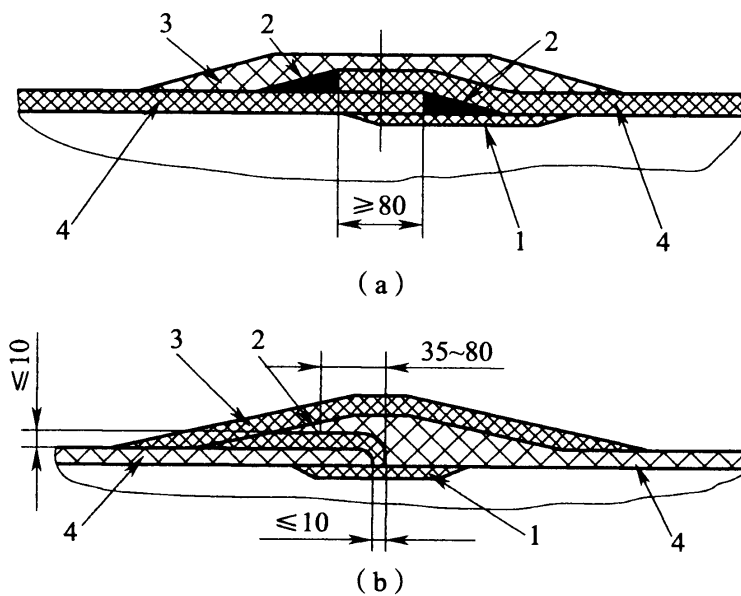


图 5.4.7-2 承插连接

1—内包覆层；2—树脂胶泥；3—外包覆层；4—层合板

3 可拆式连接宜采用法兰连接(图 5.4.7-3),法兰连接应采用耐介质腐蚀的垫片和紧固件;

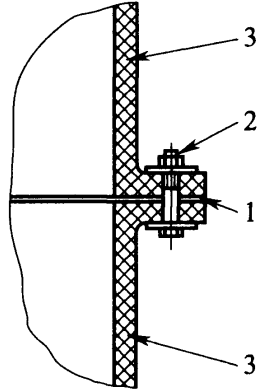
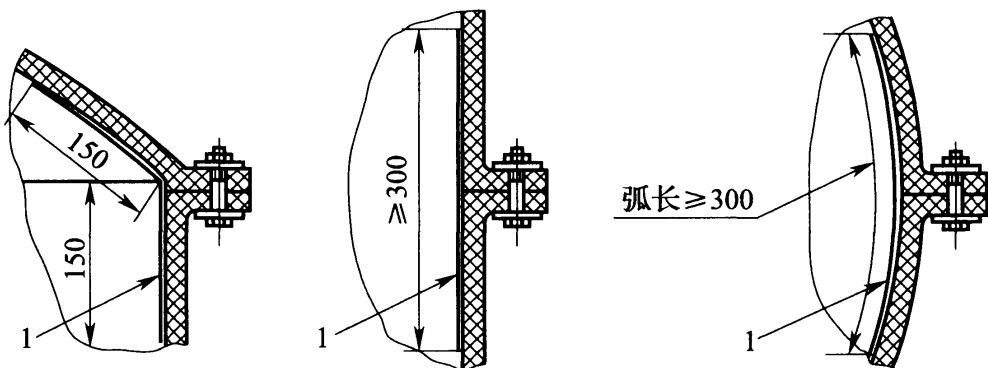


图 5.4.7-3 法兰连接

1—垫片;2—紧固件;3—筒体

4 法兰连接可采用内包覆层(图 5.4.7-4);



(a) 封头与筒体间连接 (b) 筒体之间的环缝连接 (c) 分片制作的圆弧片纵向连接

图 5.4.7-4 有内包覆层的法兰连接

1—内包覆层

5 封头与壳体或壳体与壳体可采用对接连接(图 5.4.7-5);

6 锥形封头与筒体间可采用对接连接(图 5.4.7-6);

7 碟形、半圆形、椭圆形等凸形封头与筒体间可采用对接连接(图 5.4.7-7)。

5.4.8 设备开孔补强设计应符合下列规定:

1 受外压设备开孔和接管应按承受内压的要求设计,压力值应采用内压或外压的较大值;

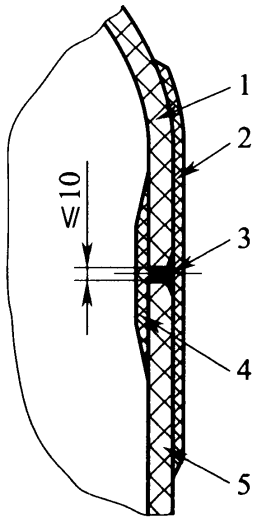


图 5.4.7-5 封头与壳体
或壳体与壳体对接连接

1—封头;2—外包覆层;3—树脂
胶泥;4—内包覆层;5—壳体

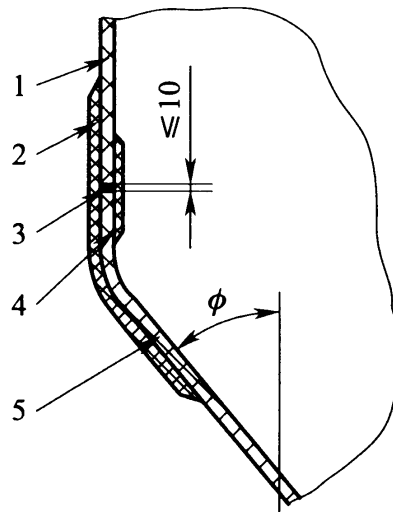


图 5.4.7-6 锥形封头
与壳体对接连接

1—壳体;2—转角加强层;3—树脂
胶泥;4—内部封口层;5—锥形封头

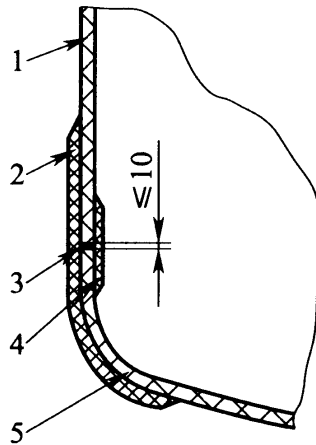


图 5.4.7-7 凸形封头与壳体对接连接

1—壳体;2—转角加强层;3—树脂胶泥填充;4—内部粘接层;5—凸形封头

- 2 圆柱壳上的最大开孔尺寸不宜大于壳体直径的 30%;
- 3 凸形封头的开孔位置应在壳体直径 40% 为半径的范围内,最大开孔尺寸不宜大于壳体直径的 50%;
- 4 接管不宜设置在凸形封头的转角区域。

5.4.9 接管及开孔补强结构应符合下列规定:

1 当接管内径 d_b 大于 100mm 时,可采用下列接管形式,其中,接管加强筋板的所有圆角半径不应小于 6mm:

1)平齐接管(图 5.4.9-1);

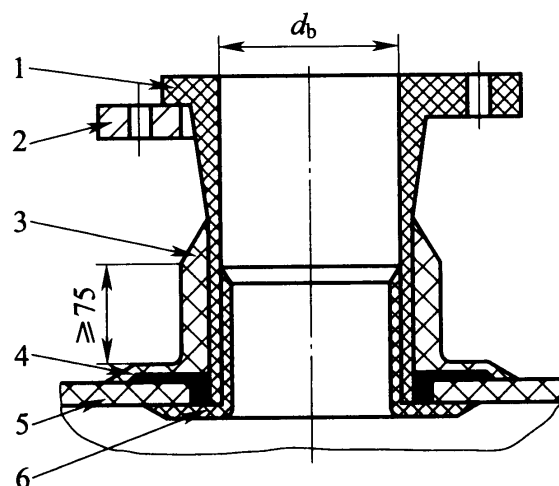


图 5.4.9-1 平齐接管

1—法兰或凸缘;2—钢制活套法兰盘;3—外覆盖层;
4—纤维/树脂填充;5—壳体;6—内覆盖层

2)内伸接管(图 5.4.9-2);

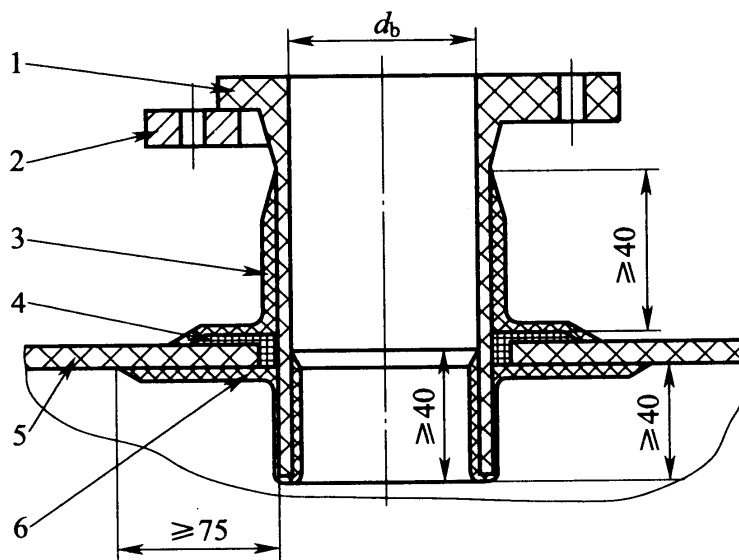


图 5.4.9-2 内伸接管

1—法兰或凸缘;2—钢制活套法兰盘;3—外覆盖层;
4—纤维/树脂填充;5—壳体;6—内覆盖层

3)底部接管(图 5.4.9-3);

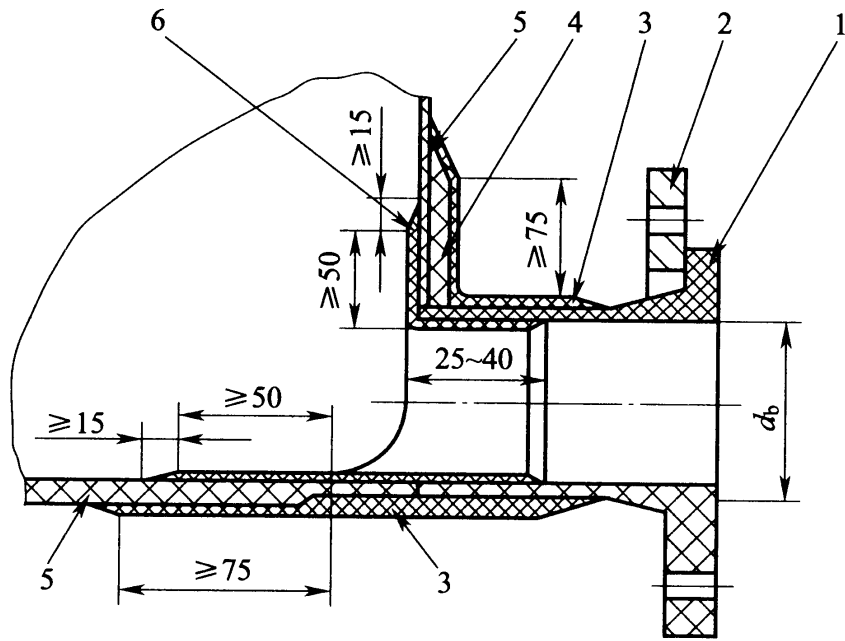


图 5.4.9-3 底部接管

1—法兰或凸缘;2—钢制活套法兰盘;3—外包覆层;
4—纤维/树脂填充;5—壳体;6—内包覆层

4)放空接管(图 5.4.9-4);

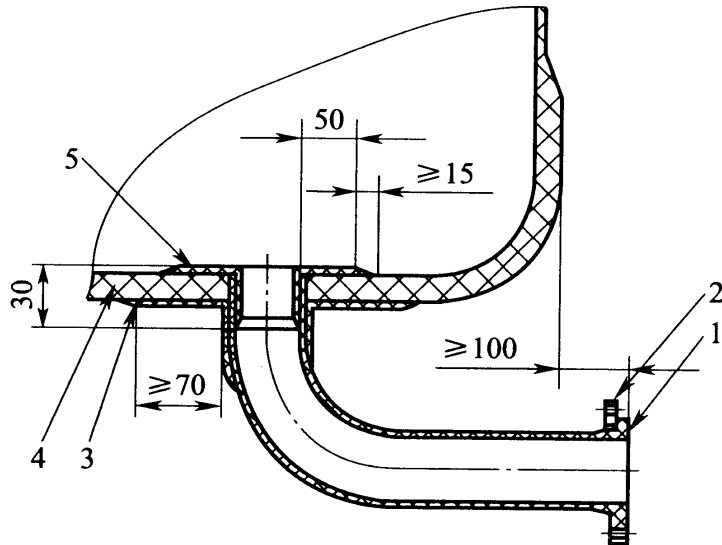


图 5.4.9-4 放空接管

1—法兰或凸缘;2—钢制活套法兰盘;
3—外包覆层;4—壳体;5—内包覆层

5) 接管加强筋板(图 5.4.9-5)。

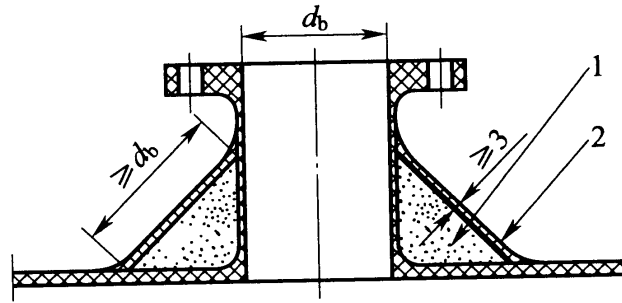


图 5.4.9-5 接管加强筋板

1—填充物;2—包覆层

2 当接管内径 d_b 小于或等于 100mm 时,可在管口处设置加强支撑板,并可采用下列接管形式:

1) 接管板式支撑板(图 5.4.9-6);

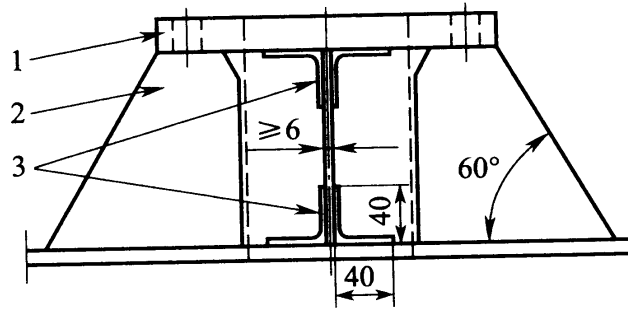


图 5.4.9-6 接管板式支撑板

1—法兰与接管;2—四块均布的纤维增强板;3—包覆层

2) 接管圆锥形支撑板(图 5.4.9-7)。

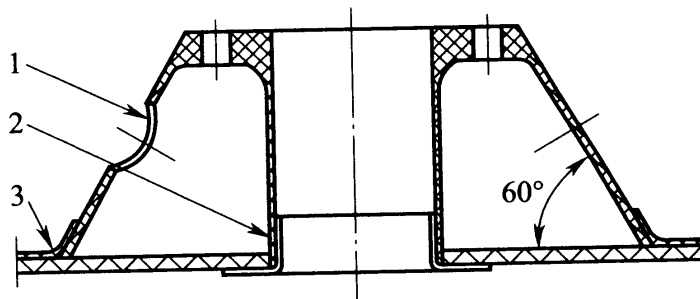


图 5.4.9-7 接管圆锥形支撑板

1—检查孔;2—内包覆层;3—外包覆层

5.4.10 加强圈结构应符合下列规定：

- 1 加强圈应为完整圆环,应与筒壁完全连接,并应紧密粘接为一体;
- 2 加强圈应符合设计所需刚度;
- 3 加强圈的截面可采用矩形、圆形、半圆形或三角形;
- 4 加强圈可设置在壳体的内侧或外侧。

5.4.11 进液管和出液管的接管结构应符合下列规定：

- 1 易腐蚀、磨损及易堵塞料液的进液管,可按插入罐内的进液管(图 5.4.11-1)和易于更换的进液管(图 5.4.11-2)分类;

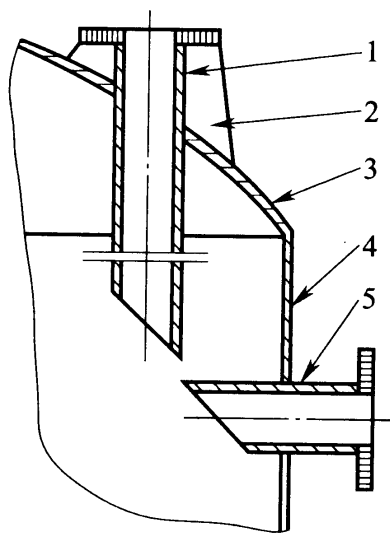


图 5.4.11-1 插入罐内的进液管

- 1—顶部进液管;2—加强筋板;
3—封头;4—筒壁;5—水平进液管

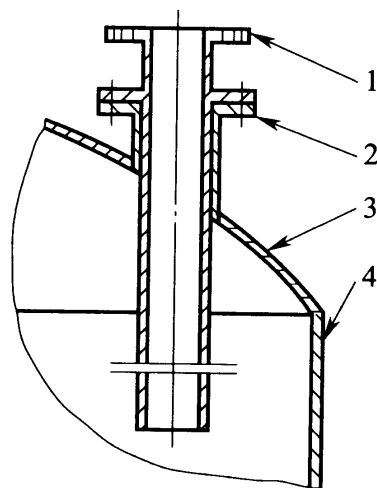


图 5.4.11-2 易于更换的进液管

- 1—进液插入管;2—支承管;
3—封头;4—筒壁

- 2 易燃又不导电料液的进液管应插入液体中,深度宜为筒体高度的 $2/3$,管端口的角度 θ 宜为 $45^\circ \sim 60^\circ$,在筒体内进液管的上部应开设直径不小于 5mm 的防虹吸小孔(图 5.4.11-3)或上部应设计成敞开结构(图 5.4.11-4);

- 3 易燃料液的进液管应沿罐壁设置并插入液体中(图 5.4.11-5);

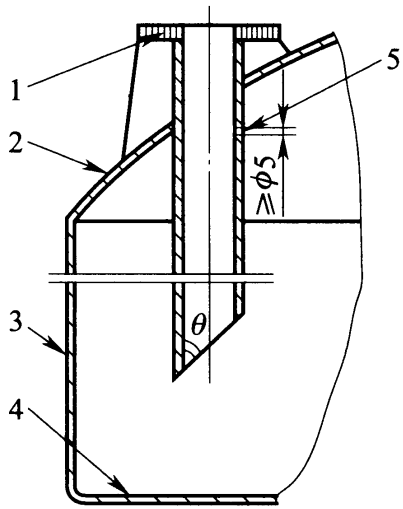


图 5.4.11-3 防虹吸
的进液管

1—顶部进液管；2—封头；
3—筒壁；4—罐底；5—小孔

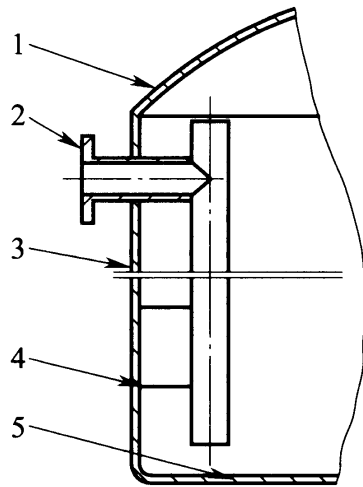


图 5.4.11-4 上部敞开
的进液管

1—封头；2—进液管；3—筒壁；
4—支撑板；5—罐底

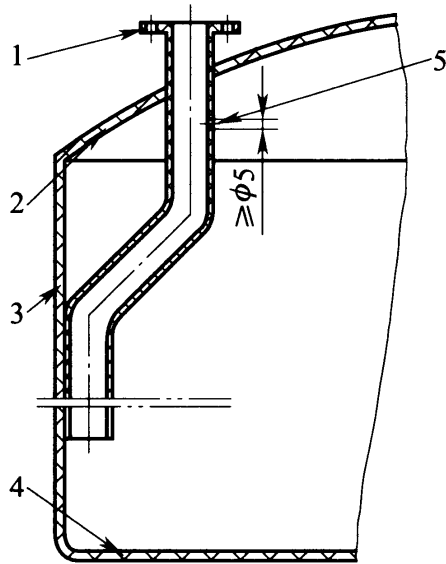


图 5.4.11-5 沿罐壁敷设的进液管

1—进液管；2—封头；3—筒壁；4—罐底；5—小孔

4 进液管、出液管(图 5.4.11-6、图 5.4.11-7)管道的切割边应采用耐腐蚀树脂封边。

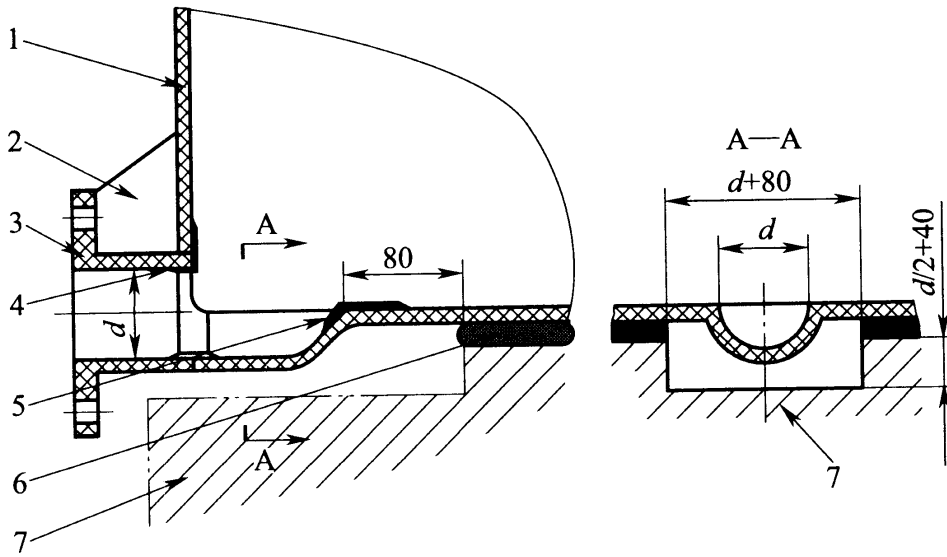


图 5.4.11-6 出液管 1

1—筒壁;2—加强板;3—出液管;4—接管内包覆层;
5—转角内包覆层;6—基础垫层;7—基础

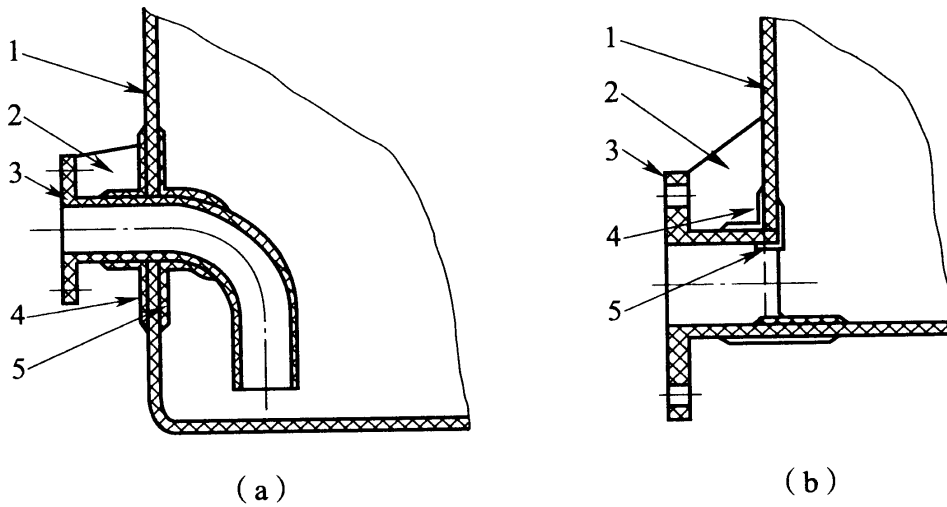


图 5.4.11-7 出液管 2

1—筒壁;2—支撑板;3—接管;
4—外包覆层;5—内覆层

5.4.12 设备人孔的设置应符合下列规定:

- 1 直径大于 900mm 的设备宜设置人孔;
- 2 高度超过 1800mm 的设备宜在侧壁和顶部分别设置人孔

(图 5.4.12);

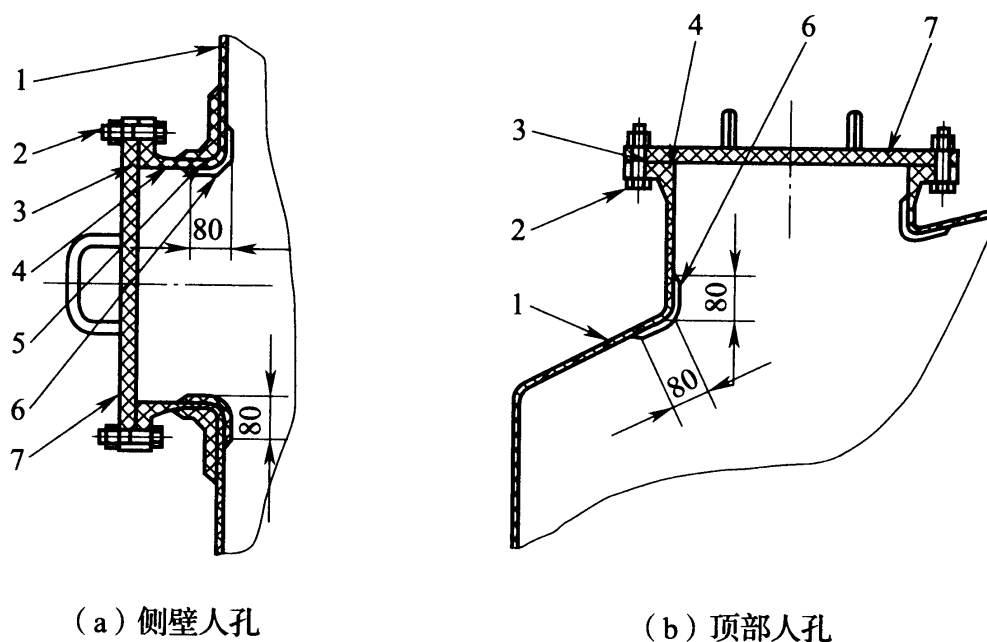


图 5.4.12 人孔结构形式

1—筒壁；2—紧固件；3—垫片；4—接管；
5—外包装层；6—内包覆层；7—人孔盖

3 当人孔受压超过 0.07MPa 时，人孔盖宜为拱形；

4 设备筒壁与人孔连接处的内侧应采用不少于 4 层短切原丝毡和 1 层表面毡的铺层。

5.4.13 螺栓连接法兰盖可采用整体法兰形式(图 5.4.13-1)或活套法兰形式(图 5.4.13-2)。

5.4.14 设备配件设计应符合下列规定：

1 所有设备配件设计的局部应变不得大于许用应变；
2 内部配件的材料特性应满足使用条件，与介质接触部分应采用内衬层树脂；

3 设备应设置吊耳或其他安全加载和现场安装的附件；

4 当有搅拌装置或其他外部驱动设备时，应设置独立支承。

5.4.15 立式敞口贮罐等设备顶部的加强法兰规格应符合本规范附录 F 的有关规定。

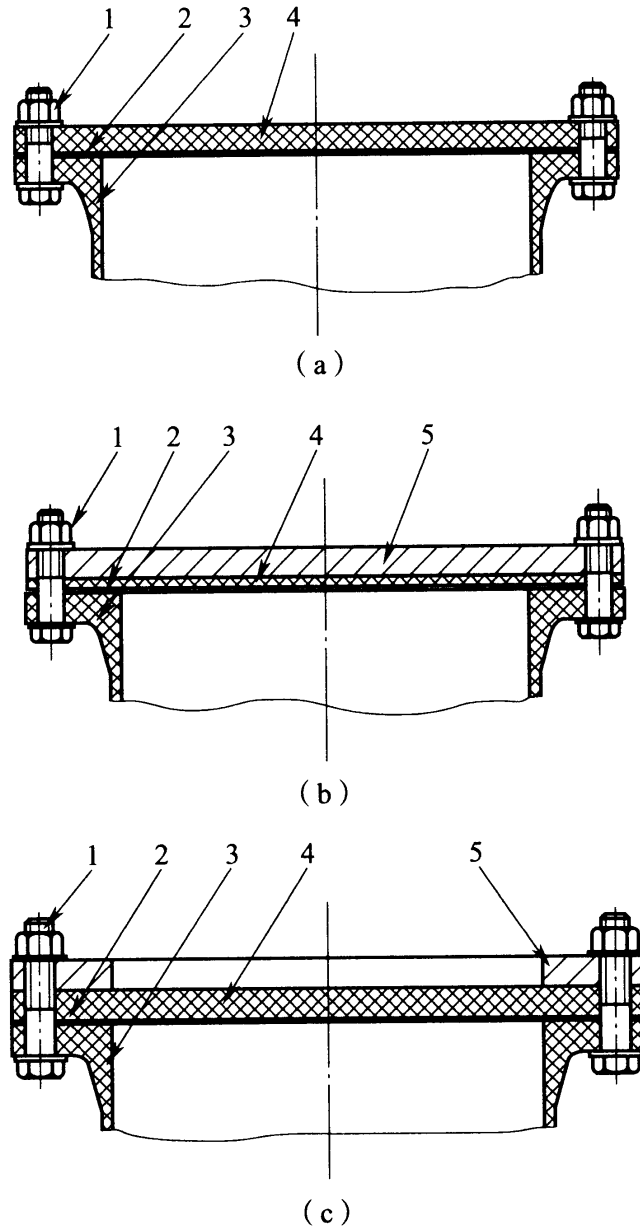


图 5.4.13-1 整体法兰的法兰盖形式

1—紧固件；2—密封垫片；3—法兰；
4—纤维增强塑料板；5—钢压板(环)

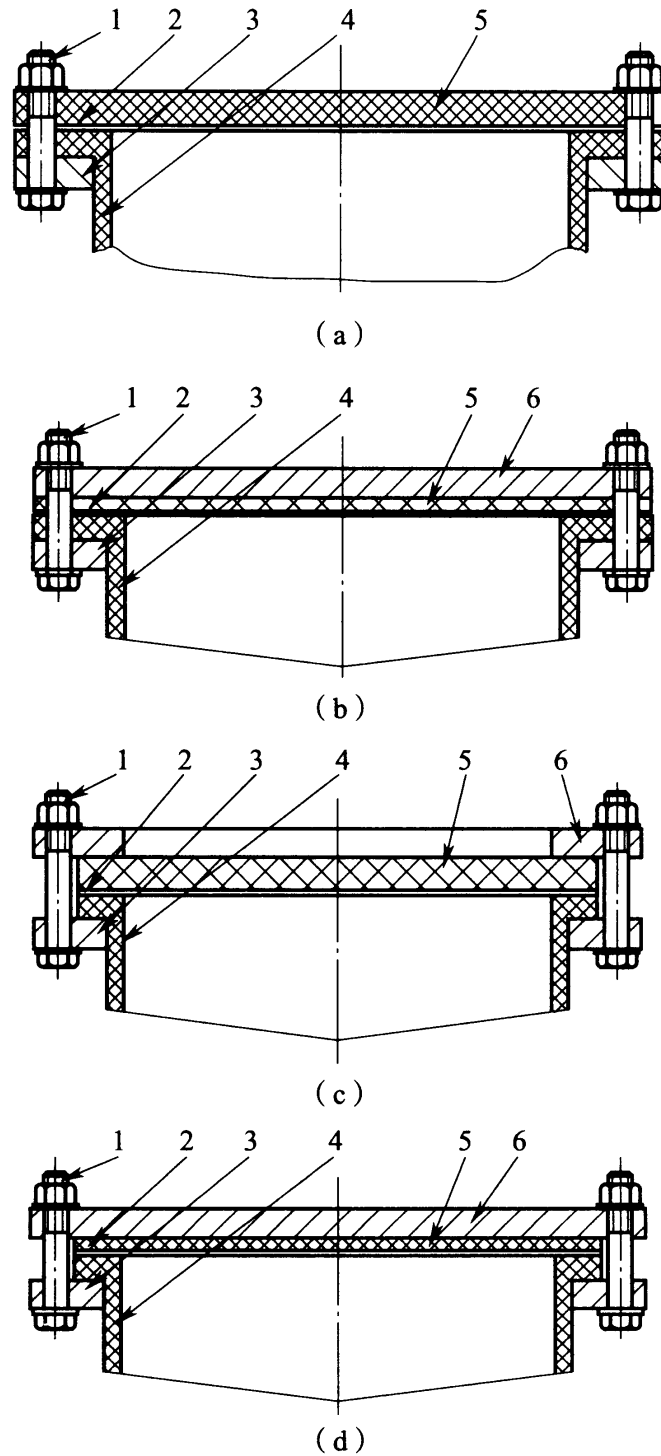


图 5.4.13-2 活套法兰的法兰盖形式

1—紧固件；2—密封垫片；3—活套法兰盘；4—接管与凸缘；

5—纤维增强塑料板；6—钢压板(环)

6 管道设计

6.1 一般规定

6.1.1 管道设计压力的确定应符合下列规定：

1 一条管道及每个组成件的设计压力不应小于运行中的内压或外压与温度相耦合时最苛刻条件下的压力。

2 最苛刻条件应为强度计算中管道组成件需要最大厚度及最高公称压力时的参数。

3 下列特殊条件的管道设计压力应与本条第 1 款比较，并应取两者的较大值：

1) 输送制冷剂、液化烃类等气化温度低的流体管道设计压力不应小于阀被关闭或流体不流动时在最高环境温度下汽化所能达到的最高压力；

2) 离心泵出口管道的设计压力不应小于吸入压力与扬程相应压力之和；

3) 没有压力泄放装置或与压力泄放装置隔离的管道设计压力不应低于流体可达到的最大压力。

4 真空管道应按受外压设计。当装有安全控制装置时，设计压力应取 1.25 倍最大内外压力差或 0.1MPa 两者中的低值；无安全控制装置时，设计压力应取 0.1MPa。

5 装有泄压装置的管道设计压力不应小于泄压装置开启的压力。

6.1.2 管道设计温度的确定应符合下列规定：

1 管道设计温度应为管道在运行时压力和温度相耦合的最苛刻条件下的温度；

2 设计温度确定时，应计入流体温度、环境温度、阳光辐射、加热或冷却的流体温度等参数；

3 设计最低温度应为管道组成件的最低工作温度,并不得低于材料使用温度的下限;

4 管道采用伴热管或夹套加热时,应采用外加热和管内流体温度中较高的温度为设计温度;

5 当无太阳辐射或其他热源造成更高温度时,无隔热层的管道设计温度应为流体温度;

6 外保温管道的设计温度应按本条第 1 款~第 4 款确定;当另有计算、试验或测定结果时可取其他温度;

7 内保温管道的设计温度应按传热计算或试验确定。

6.1.3 对环境影响采取的设计措施应符合现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316 的有关规定。

6.1.4 管道承受的持续载荷应包括设计压力、输送流体重力、寒冷地区的冰雪重力、管道及绝热材料重力、热膨胀载荷及由管道支撑的其他永久载荷。

6.1.5 管道承受的偶然短时载荷应包括水压试验载荷、风载荷、地震载荷、流体减压或排放时所产生的反作用力,并应符合下列规定:

1 管道设计时,偶然作用载荷可不同时计入;

2 地震烈度在 9 度及以上时,应进行地震验算。

6.1.6 管道设计应计算被约束管道的热膨胀或收缩产生的作用力和力矩。

6.1.7 管道设计应采取措施防止管道受压力循环载荷、温度循环载荷以及其他循环交变载荷所引起的疲劳破坏。

6.1.8 管道设计应将管道支架和连接设备的位移作为计算条件,并应包括设备或支架的热膨胀、地基下沉、潮水流动、风载荷产生的位移。

6.1.9 管道设计采用的纤维增强塑料性能、许用应力和应变应按本规范第 4.3 节的有关规定取值。

6.1.10 当采用本规范第 4.3.14 条规定的长期性能测试法数据时,除应计算最大组合应力外,还应对缠绕管道和管件进行简化失效包络线计算和判定。

6.1.11 管道的层合板类型可按下列分类：

- 1 I型应为内衬层、全毡结构及外保护层；
- 2 II型应为内衬层、毡和布交替结构及外保护层；
- 3 III型应为内衬层、毡和多层纤维缠绕结构及外保护层。

6.1.12 管道设计的安全要求应符合现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316 的有关规定。

6.1.13 管线结构设计的计算流程可按本规范附录 G 的规定进行。

6.2 构造设计

6.2.1 管道支、吊架应包括固定支架、滑动支架和导向支架，除应符合现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316 的有关规定外，尚应符合下列规定：

1 管道支、吊架与管道之间应采用纤维增强塑料、热塑性塑料或橡胶材料的垫板，在确定支、吊架内径时应计入垫板的厚度。

2 管道固定支架应符合下列规定：

- 1) 固定支架应设在管道改变方向处、靠近重要支管附近的主管处、管道与金属管道连接处、管内水锤导致管道移动处、敏感在线设备处或长距离直线管道的稳定处；
- 2) 固定支架应与下部结构连接坚固，并应能承担载荷；
- 3) 在直管上的固定支架(图 6.2.1-1)可由管夹和管套组成，也可采用管道法兰连接固定(图 6.2.1-2 和图 6.2.1-3)；

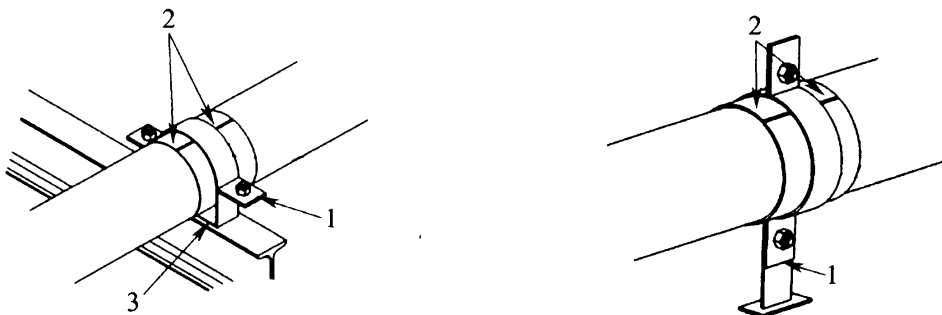


图 6.2.1-1 固定支架的管夹和管套

1—管夹；2—管套；3—焊接或螺栓固定

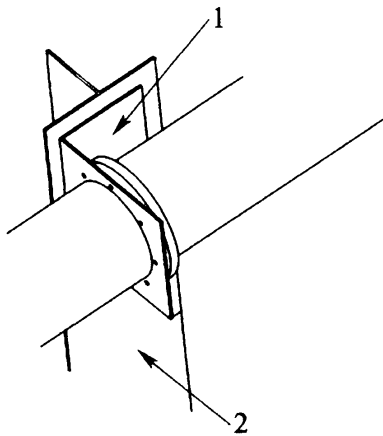


图 6.2.1-2 固定支架
的法兰连接固定 1
1—钢制支架,与管道
法兰连接;2—立柱

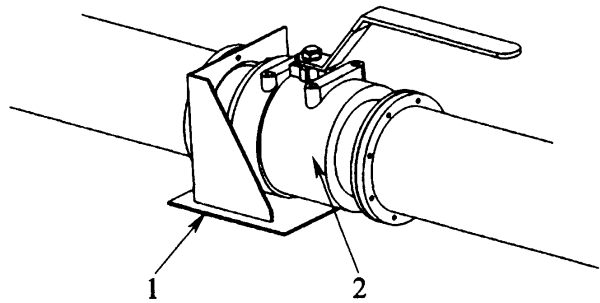


图 6.2.1-3 固定支架
的法兰连接固定 2
1—钢制支架,与管道
法兰连接;2—阀门

4)管道公称直径、支架和管夹的最小宽度应符合表 6.2.1-1 的规定。

表 6.2.1-1 管道公称直径、支架和管夹的最小宽度(mm)

管道公称直径 DN	最小宽度
25	25
40	25
50	25
80	40
100	40
150	40
200	50
250	70
300	80
350	100

注: DN 大于 350 的管道的支架和管夹的最小宽度不应小于 $\sqrt{30DN}$ 。

3 管道滑动支架(图 6.2.1-4)应符合下列规定:

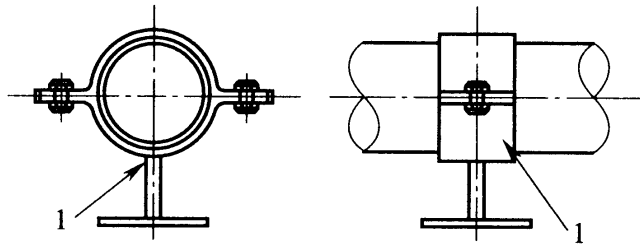


图 6.2.1-4 滑动支架

1—滑动支架

1) 支架宜采用两片钢制材料,将管道 360°包围支撑,每片管夹与管道的接触角度宜为 180°;当接触角小于 180°或采用大口径管道时,应在接触位置加装支撑垫板,支撑垫板宜与管道粘接。

2) 支架的最小宽度不应低于表 6.2.1-1 的规定。

3) 支撑垫板的最小宽度不应低于表 6.2.1-2 的规定。

4) 滑动支架与下部结构的接触材料应采用硬质材料。

表 6.2.1-2 支撑垫板的最小宽度(mm)

管道公称直径 DN	最小宽度
25	50
40	50
50	100
80	100
100	100
150	150
200	200
250	250
300	300
350	350

注: DN 大于 350 管道的支撑垫板最小宽度可同比例外推。

4 管道导向支架(图 6.2.1-5)应符合下列规定:

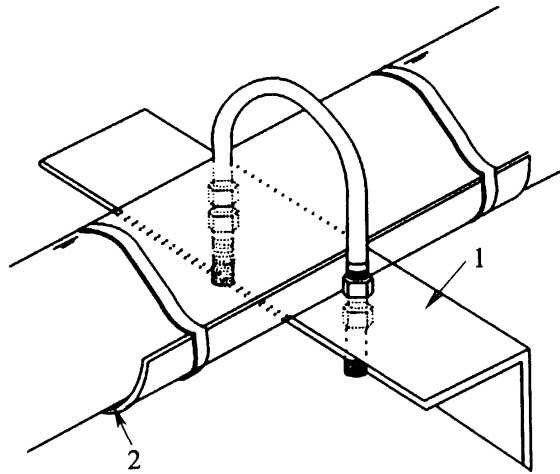


图 6.2.1-5 导向支架

1—支撑件;2—支撑垫板

- 1) 在两个固定支架之间、靠近膨胀节或环形管的进口处,宜设置导向支架;
- 2) 导向支架的设计和安装应避免管线的侧向滑动,并应满足管线的自由轴向位移;
- 3) 导向支架应在管道下部粘接 180°的支撑垫板;
- 4) 导向支架的固定应采用直径小于 20mm 的 U 形螺栓或 U 形钢带,固定件与管道外径之间应留有间隙。导向支架不得采用软性材料。

6.2.2 管道连接的构造和结构计算应符合下列规定:

1 管道的连接接头可分为柔性接头和刚性接头。

2 柔性接头可分为承插型接头(图 6.2.2-1)和锁键承插型接头(图 6.2.2-2)。承插型接头不可承受轴向载荷,锁键承插型接头可承受轴向载荷。

3 刚性接头可分为法兰型接头和粘接固定接头。刚性接头可承受轴向载荷;

4 接头的力学性能应符合下列规定:

- 1) 环向承载力不应小于相同压力和刚度等级的纤维增强塑料直管;

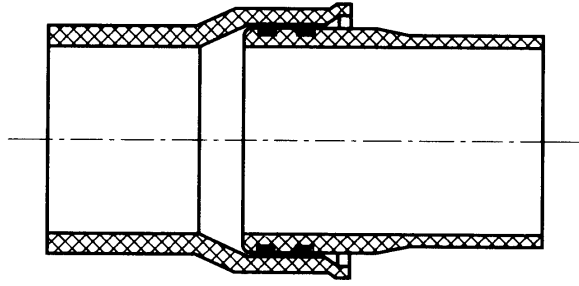


图 6.2.2-1 承插型接头

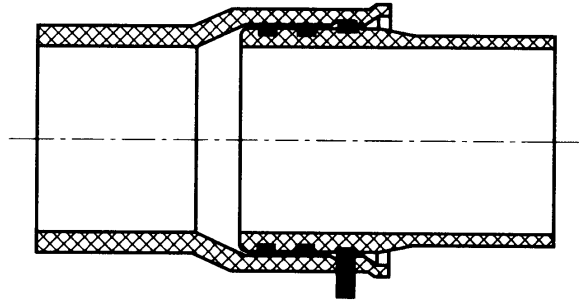


图 6.2.2-2 锁键承插型接头

- 2) 端部承受载荷的接头,其环向、轴向、弯曲和扭转承载力均不应小于与其粘接的纤维增强塑料直管;
- 3) 刚性接头双面的搭接剪切强度不应低于 7.0MPa;
- 4) 手糊对接接头(图 6.2.2-3)其包覆长度不应低于下式计算值和1/2 接头内径,且不应小于 150mm;

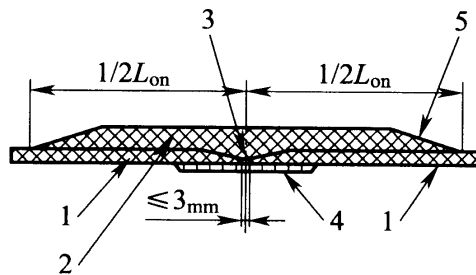


图 6.2.2-3 手糊对接接头

1—主管;2—包覆层;3—树脂腻子;4—内缝密封;5—渐变段,坡度不大于 1:6

$$L_{OVL} = \frac{2F_S \epsilon_d X_{lam}}{\tau_{lap}} \quad (6.2.2-1)$$

式中: L_{OVL} ——计算包覆长度(mm);

ϵ_d ——许用应变,可按本规范第 4.3.10 条~第 4.3.13 条的规定取值;

τ_{lap} ——搭接剪切强度(MPa),当采用玻璃纤维增强材料时,可按本规范表 4.3.1-1 的规定取值或按本规范附录 L 的规定检测获取;

F_s ——安全系数,管道的应变等级与安全系数可按表 6.2.2 的规定取值。

表 6.2.2 管道的应变等级与安全系数

应变等级	安全系数 F_s
1 级	8
2 级	10
3 级	12
4 级	16

- 5)手糊对接接头宜在工厂制作,增强材料的设计用量应满足单元设计拉伸模量等于管体单元设计拉伸模量;在现场制作的增强材料的设计用量应按单元设计拉伸模量不得低于管体单元设计拉伸模量的 1.25 倍确定;
- 6)当连接两个不同厚度或承载力的管道时,接头应按薄壁厚或低承载力管道的要求设计;
- 7)当采用手糊对接接头时,管道制造商应提供管道现场接头的工艺文件,其内容应包括铺层的数量、顺序和增强材料类型及辅助夹具、二次粘接工艺评定报告;
- 8)手糊对接接头宜进行内缝包覆,包覆铺层应采用不低于 $1.2\text{kg}/\text{m}^2$ 的短切原丝毡和表面毡,内缝包覆层的纤维不应计入接头的单元拉伸模量的计算;
- 9)承插粘接接头(图 6.2.2-4)应包括直筒或锥度粘接接头,其插入长度不应低于按下列公式的计算值,且不应小于 25mm;

$$L_s = \frac{F_s \epsilon_d X_{lam}}{\tau_{lap}} \quad (6.2.2-2)$$

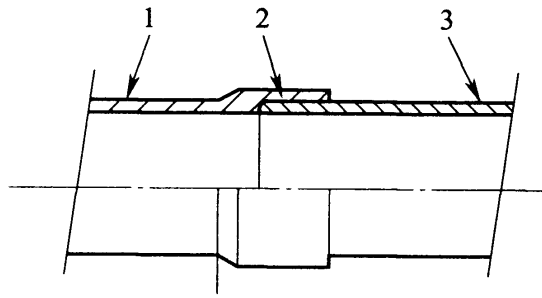


图 6.2.2-4 承插粘接接头

1—带整体承口的管道；2—粘接剂；3—带插口的管道

式中： L_s ——计算插入长度(mm)。

10) 当采用承插粘接接头时，管道制造商应提供粘接剂对管道应用环境的适用证明，并应规定粘接剂固化的温度和湿度要求、粘接工艺、装配方法等；

11) 承插粘接接头宜进行内缝粘接，粘接铺层应采用不低于 0.9kg/m^2 的短切原丝毡，并应采用表面毡和树脂封面；

12) 法兰接头的计算应符合本规范附录 D 的规定。

6.2.3 三通构造和管件尺寸应符合下列规定：

1 三通管件应包括整体三通管件(图 6.2.3-1)和拼接三通管件(图 6.2.3-2)。

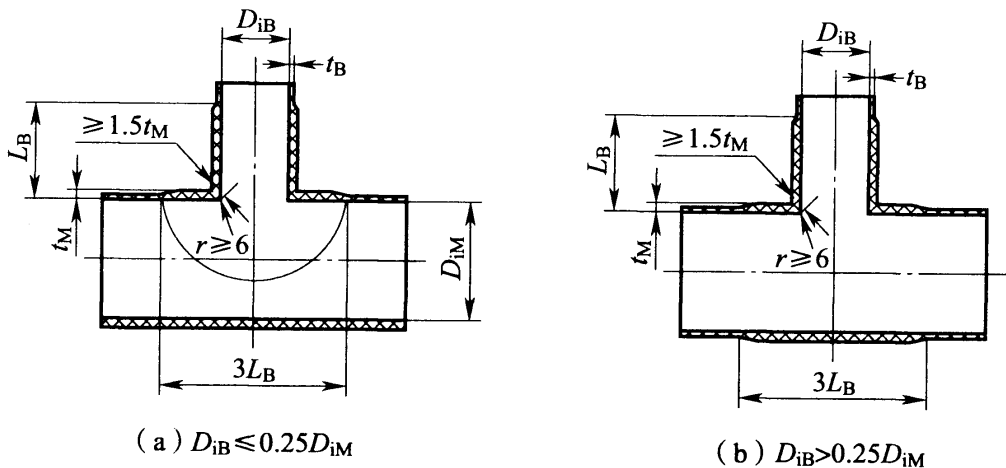
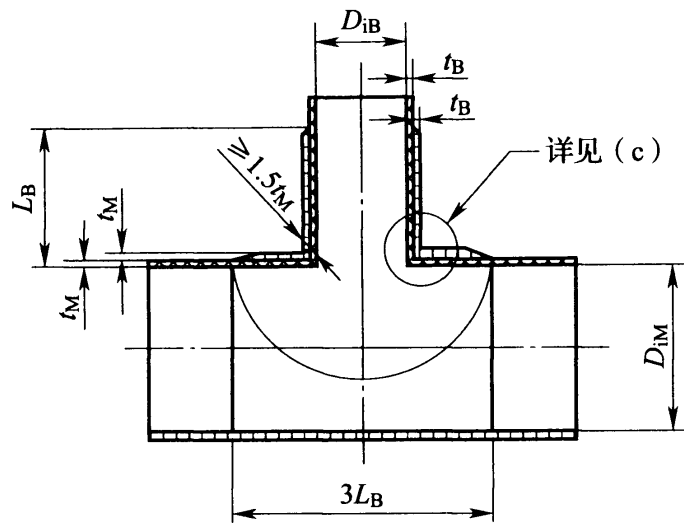
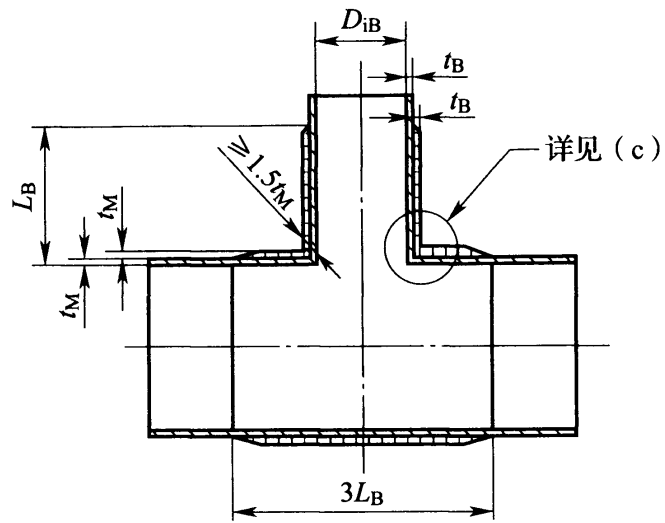


图 6.2.3-1 整体三通管件

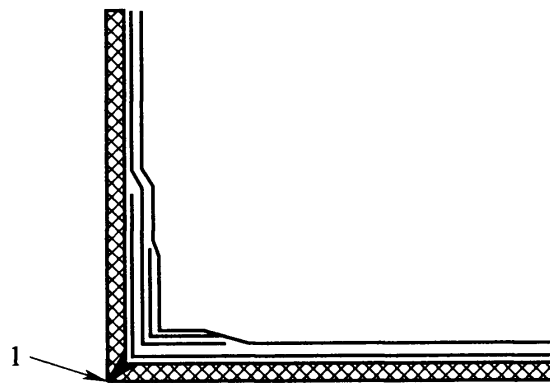
t_M —三通主管的厚度； D_{iM} —三通主管的内径； D_{iB} —支管内径； t_B —支管靠近连接处的厚度； L_B —支管粘接长度，大于或等于 D_{iB}



(a) $D_{iB} \leq 0.25D_{iM}$



(b) $D_{iB} > 0.25D_{iM}$



(c)

图 6.2.3-2 拼接三通管件

1—树脂胶泥填充； L_B —支管粘接长度，大于或等于 D_{iB}

2 管线系统的平端接口管件(图 6.2.3-3)尺寸应符合表 6.2.3-1 的规定,法兰接口管件(图 6.2.3-4)尺寸应符合表 6.2.3-2 的规定。

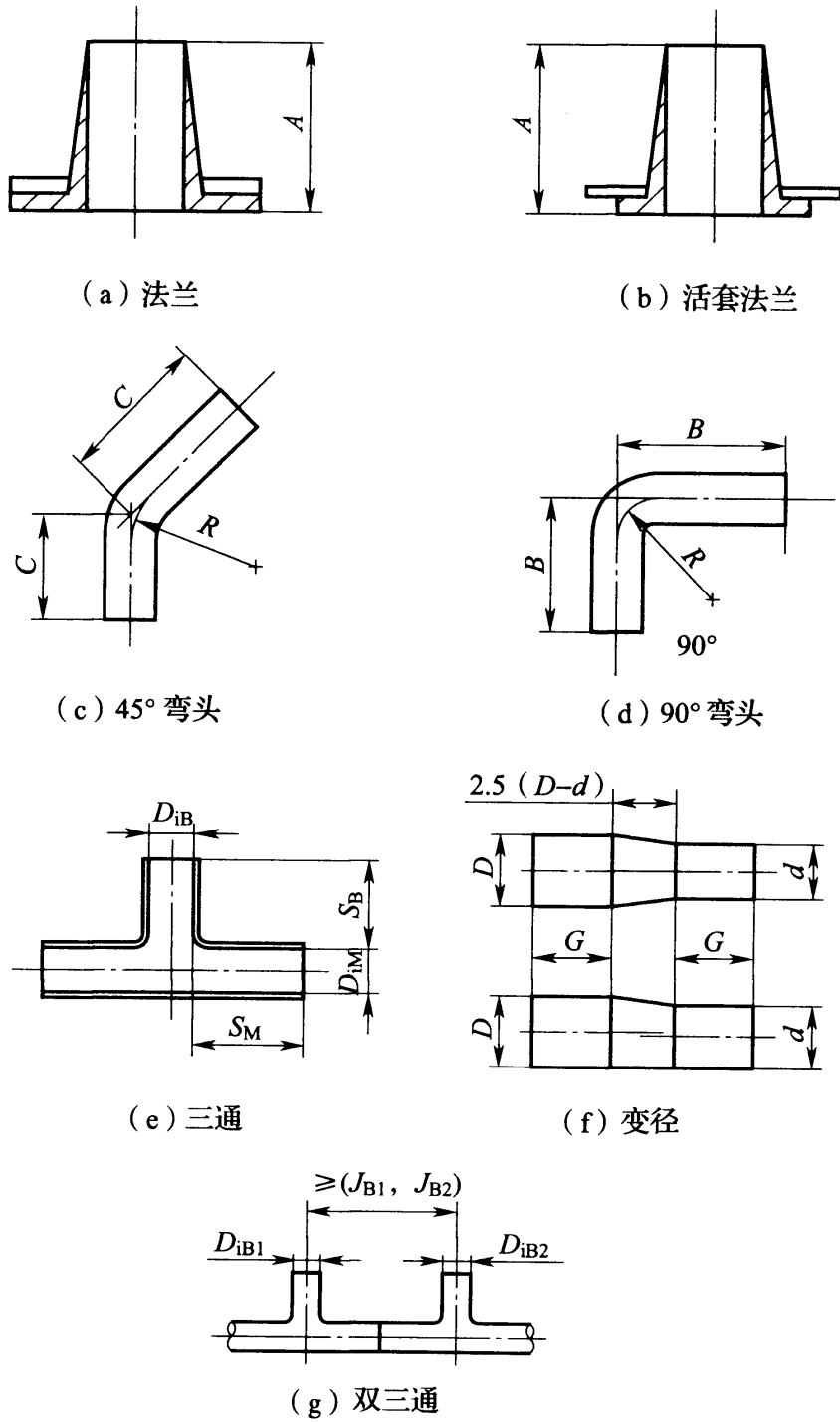


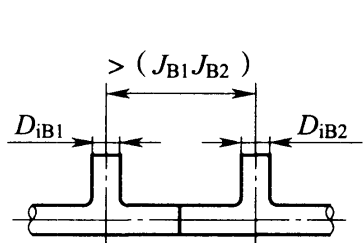
图 6.2.3-3 平端接口管件

表 6.2.3-1 平端接口管件尺寸(mm)

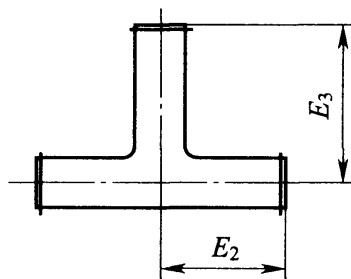
公称 直径	尺 寸							
	D_{iM} , D_{iB} , D 或 d	A	R	B	C	S_B 或 S_M	J_{B1} 或 J_{B2}	G
40	40	150	115	165	100	75	100	50
50	50	150	150	200	125	75	125	50
80	80	175	225	275	150	75	125	50
100	100	200	300	350	175	100	150	50
150	150	225	225	300	175	150	200	75
200	200	275	300	375	200	200	225	75
250	250	300	250	325	175	225	250	75
300	300	350	300	375	200	275	275	75
350	350	400	350	450	250	325	325	100
400	400	450	400	500	275	325	350	100
450	450	475	450	550	275	425	375	100
500	500	500	500	600	300	425	400	100
550	550	550	550	650	325	525	425	100
600	600	600	600	700	325	525	450	100
650	650	475	650	750	350	500	475	100
700	700	500	700	800	375	525	500	100
750	750	525	750	850	400	575	525	100
800	800	550	800	900	425	600	575	100
850	850	575	850	950	425	650	600	100
900	900	600	900	1000	450	675	625	100
950	950	625	950	1050	475	725	650	100
1000	1000	650	1000	1100	500	750	675	100

续表 6.2.3-1

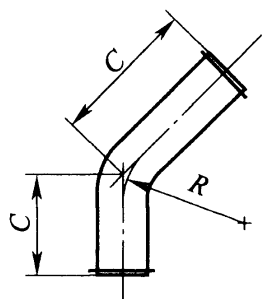
公称直径	尺寸							
	D_{iM} , D_{iB} , D 或 d	A	R	B	C	S_B 或 S_M	J_{B1} 或 J_{B2}	G
1050	1050	675	1050	1150	525	800	700	100
1100	1100	700	1100	1200	525	825	750	100
1150	1150	725	1150	1250	550	875	775	100
1200	1200	750	1200	1300	575	900	800	100



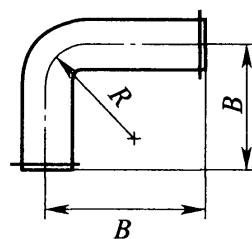
(a) 双三通



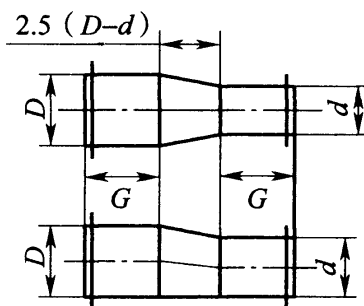
(b) 三通



(c) 45°弯头



(d) 90°弯头



(e) 变径

图 6.2.3-4 法兰接口管件

表 6.2.3-2 法兰接口管件尺寸(mm)

公称 直径	尺 寸							
	G	E_3	E_2	R	B	C	D_{iB1} 或 D_{iB2}	J_{B1} 或 J_{B2}
40	100	150	175	115	225	150	40	100
50	125	175	200	150	275	200	50	125
80	150	200	250	225	375	250	80	125
100	150	200	250	300	450	275	100	150
150	175	225	300	225	400	275	150	200
200	175	250	350	300	475	300	200	225
250	200	275	400	250	450	300	250	250
300	200	275	425	300	500	325	300	275
350	200	275	450	350	550	350	350	325
400	250	325	525	400	650	425	400	350
450	250	325	550	450	700	425	450	375
500	300	400	650	500	800	500	500	400
550	300	400	650	550	850	525	550	425
600	300	400	700	600	900	550	600	450
650	300	400	750	650	950	575	650	475
700	300	400	750	700	1000	575	700	500
750	300	400	800	750	1050	600	750	525
800	300	400	800	800	1100	625	800	575
850	400	500	900	850	1250	750	850	600
900	400	500	950	900	1300	750	900	625
950	400	500	950	950	1350	800	950	650
1000	400	500	1000	1000	1400	800	1000	675
1050	400	500	1050	1050	1450	850	1050	700
1100	500	600	1100	1100	1600	950	1100	750
1150	500	600	1100	1150	1650	975	1150	775
1200	500	600	1150	1200	1700	1000	1200	800

6.2.4 当管道受热膨胀,采用半约束管线系统时,膨胀节的构造可采用L形膨胀节、II形膨胀节和接头式膨胀节。

6.2.5 L形膨胀节(图 6.2.5)的单臂长度和面内弯矩应按下列公式计算:

$$L_{\text{leg}} = \sqrt{\frac{m\Delta l E_{\text{lamx}} D_e}{\sigma_i}} \quad (6.2.5-1)$$

$$D_e = D_i + 2t_t \quad (6.2.5-2)$$

$$\sigma_i = \sigma_{\text{dx}} - \sigma_{\text{xp}} \quad (6.2.5-3)$$

$$M_i = \frac{6E_{\text{lamx}} \cdot I \cdot \Delta l}{L_{\text{leg}}^2} \quad (6.2.5-4)$$

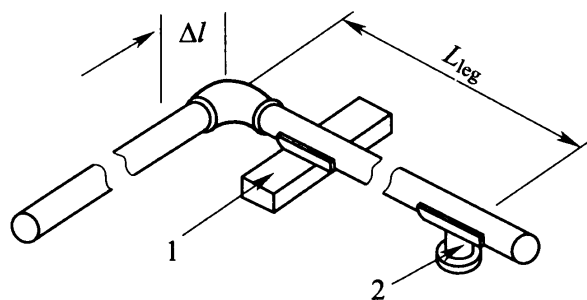


图 6.2.5 L形膨胀节

1—导向支架或固定支架;2—滑动支架

式中: L_{leg} ——L形膨胀节单臂长度(mm);

m ——系数,可取3;

Δl ——L形膨胀节吸收的热膨胀(mm);

E_{lamx} ——轴向拉伸模量(MPa);

D_e ——管道外径(mm);

D_i ——管道内径(mm);

t_t ——管道总厚度(mm);

σ_i ——许用轴向弯曲应力(MPa);

σ_{dx} ——许用轴向应力(MPa),可按本规范第4.3.9条的规定计算;

σ_{xp} ——设计压力引起的轴向应力(MPa),可按本规范式(6.4.6-2)和式(6.4.6-3)计算;

M_i ——L形膨胀节的面内弯矩(N·mm)；

I ——管道轴向惯性矩(mm⁴)。

6.2.6 II形膨胀节(图 6.2.6)的长度和面内弯矩应按下列公式计算：

$$H = \sqrt{\frac{m\Delta l E_{\text{lamx}} D_e}{\sigma_i}} \quad (6.2.6-1)$$

$$B = H/2 \quad (6.2.6-2)$$

$$M_i = \frac{3E_{\text{lamx}} \cdot I \cdot \Delta l}{H^2} \quad (6.2.6-3)$$

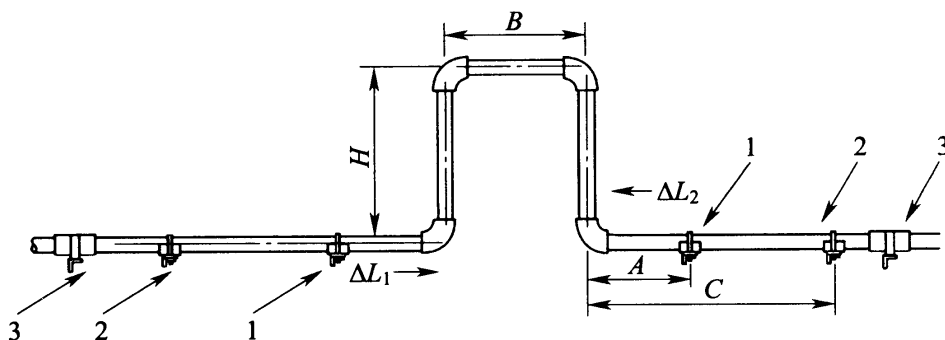


图 6.2.6 II形膨胀节

1—相邻第一个导向支架；2—相邻第二个导向支架；3—固定支架；

A—4倍管径；C—14倍管径

式中： H ——II形膨胀节悬臂长度(mm)；

m ——系数，可按 1.5 取值；

Δl ——II形膨胀节两侧管线热膨胀变化量(Δl_1 、 Δl_2)之和；

B ——II形膨胀节平行长度(mm)；

M_i ——L形膨胀节的面内弯矩(N·mm)；

I ——管道轴向惯性矩(mm⁴)。

6.2.7 接头式膨胀节(图 6.2.7)计算应符合下列规定：

1 接头式膨胀节的最大伸缩量不应低于其所在两个固定支架间管道的计算热膨胀量的 1.5 倍，该膨胀节的启动力应小于采用本规范式(6.2.8-1)计算的固定支架承受的轴向载荷 F_r 的 25%，并应小于下式计算的临界压缩载荷：

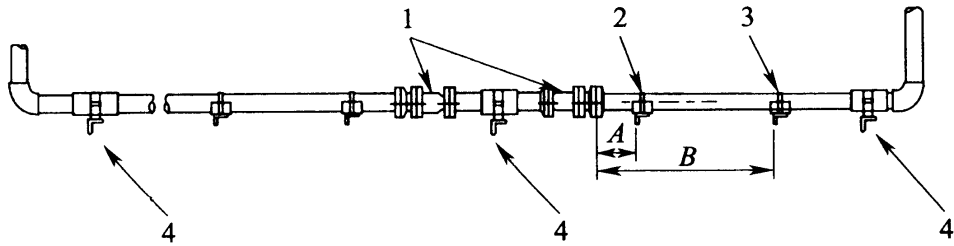


图 6.2.7 接头式膨胀节

1—接头式膨胀节；2—相邻第一个导向支架；3—相邻第二个导向支架；
4—固定支架；A—4 倍管径；B—14 倍管径

$$P \leq \frac{\pi^2 E_{\text{lamx}} I}{4L_{\text{max}}^2} \quad (6.2.7-1)$$

式中： P ——临界压缩载荷(N)；

I ——管道轴向惯性矩(mm^4)；

L_{max} ——导向支架与相邻导向支架或与固定支架间的最大距离(mm)。

2 接头式膨胀节在安装时的初始伸缩位置应按最大热膨胀和收缩设定，并按下列公式计算：

$$S = \xi \times L_J \quad (6.2.7-2)$$

$$\xi = \frac{T_i - T_{\text{min}}}{T_{\text{max}} - T_{\text{min}}} \quad (6.2.7-3)$$

式中： S ——距接头式膨胀节全压缩位置的距离(m)；

L_J ——膨胀节最大伸缩量(m)；

ξ ——系数，应按式(6.2.7-3)计算；

T_i ——接头式膨胀节所在两个固定支架间管道安装闭合温度($^{\circ}\text{C}$)；

T_{max} ——管线最高设计温度($^{\circ}\text{C}$)；

T_{min} ——管线最低设计温度($^{\circ}\text{C}$)。

6.2.8 当管道受热膨胀，采用全约束管线系统时，管道计算应包括下列内容：

1 固定支架承受的轴向载荷 F_r 和受压缩直管段的最大长度 L 应按下列公式计算：

$$F_r = \alpha_1 \Delta T E_{\text{lamx}} \pi (D_i + t_t) t_t \quad (6.2.8-1)$$

$$L \leq \pi \sqrt{\frac{E_{\text{lamx}} I}{F_r}} \quad (6.2.8-2)$$

$$I = \frac{(D_i + 2t_d)^4 - D_i^4}{64} \quad (6.2.8-3)$$

式中： F_r ——管端约束或压缩载荷(N)；

α_1 ——管道轴向热膨胀系数(mm/mm/°C)；

I ——管道轴向惯性矩(mm⁴)。

2 管道轴向压缩应力引起的环向应变和内压引起的环向应变之和不得大于下列许用应变：

1) 采用 I 型和 II 型层合板时应符合下式规定：

$$\frac{\sigma_\phi - \nu \cdot \sigma_x}{E_{\text{lam}\phi}} \leq \epsilon_d \quad (6.2.8-4)$$

2) 采用 III 型层合板时应符合下式规定：

$$\frac{\sigma_\phi - \nu_{yx} \cdot \sigma_x}{E_{\text{lam}\phi}} \leq \epsilon_d \quad (6.2.8-5)$$

3 最大轴向压缩应变应符合下式规定：

$$\alpha \Delta T + \frac{\sigma_{ab}}{E_{\text{lamx}}} \leq 1.25 \epsilon_d \quad (6.2.8-6)$$

6.3 结构计算

6.3.1 根据设计压力确定直管参数应符合下列规定：

1 直管的层合板单元拉伸刚度应按下式计算：

$$X_{\text{lam}} = \frac{D_i \times p_d}{2\epsilon_d} \quad (6.3.1-1)$$

式中： X_{lam} ——直管的层合板单元拉伸刚度(N/mm)；

p_d ——设计压力(MPa)。

2 按本规范第 4.3 节的有关规定进行铺层设计获得的 X_{lam} 不应小于按式(6.3.1-1)计算的 X_{lam} ；

3 标准铺层可按表 6.3.1-1 选择，许用应变值为 0.0018、

0.0015、0.0012、0.0009 的标准铺层可按表 6.3.1-2~表 6.3.1-5 选择；

4 根据管道制造商提供的数据,按下式计算的层合板单元拉伸刚度 X_{lam} 不应小于按式(6.3.1-1)计算的 X_{lam} 。

$$X_{lam} = E \cdot t \quad (6.3.1-2)$$

式中: E ——管道制造商提供的环向拉伸模量(MPa);

t ——管道制造商提供的管道计算壁厚(mm)。

表 6.3.1-1 标准铺层

标准铺层代号	层合板单元拉伸刚度 X_{lam} (N/mm)	设计厚度 t_d (mm)			标准铺层代号	层合板单元拉伸刚度 X_{lam} (N/mm)	设计厚度 t_d (mm)		
		I 型	II 型	III 型			I 型	II 型	III 型
L25	25000	4.4	4.0	1.9	L160	160000	28.3	17.9	12.3
L30	33000	6.0	5.0	2.8	L180	180000	31.6	21.1	14.2
L40	42000	7.6	5.7	3.8	L200	200000	34.9	23.2	15.1
L50	50000	8.7	6.4	3.8	L225	225000	39.2	25.2	17.0
L60	58800	10.4	7.4	4.7	L250	250000	43.6	27.3	18.9
L80	80000	14.2	9.5	6.6	L275	275000	48.0	30.5	20.8
L100	100000	17.4	11.6	7.5	L300	300000	52.3	33.7	22.6
L120	120000	21.8	13.7	9.4	L350	350000	61.1	38.9	26.4
L140	140000	25.1	15.8	11.3	L400	400000	69.8	45.2	30.2

注:1 I 型的铺层构成为:一层内表面毡后全部是短切原丝毡;

2 II 型的铺层构成为:一层内表面毡后,在第一层纤维布之前,不应少于 $1.2\text{kg}/\text{m}^2$ 的短切原丝毡,纤维布和短切原丝毡交替;

3 III 型的铺层构成为:一层表面毡后至少 $1.2\text{kg}/\text{m}^2$ 的短切原丝毡,再是 $\pm 55^\circ$ 缠绕层。

表 6.3.1-2 许用应变为 0.0018 的标准铺层选型表

DN (mm)	PN(MPa)						
	0.10	0.25	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
40	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L25
50	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L25
80	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L25
100	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L30
150	L25	L25	L25	L25	L30	L40	L40
200	L25	L25	L25	L30	L40	L50	L60
250	L30	L30	L30	L40	L40	L60	L80
300	L30	L30	L40	L40	L60	L80	L100
350	L30	L30	L40	L50	L60	L80	L100
400	L30	L30	L50	L60	L80	L100	L120
450	L30	L30	L60	L80	L80	L120	L140
500	L30	L40	L60	L80	L100	L120	L140
550	L30	L40	L80	L80	L100	L140	L160
600	L30	L40	L80	L100	L120	L140	L180
650	L30	L50	L80	L100	L120	—	—
700	L30	L50	L80	L100	L120	—	—
750	L30	L60	L100	L120	L140	—	—
800	L30	L60	L100	L120	L140	—	—
850	L30	L80	L100	L120	L160	—	—
900	L30	L80	L120	L140	L160	—	—
950	L30	L80	L120	L140	L160	—	—
1000	L30	L80	L120	L140	L180	—	—
1050	L30	L80	L120	L160	L180	—	—
1100	L30	L80	L140	L160	L200	—	—
1150	L30	L80	L140	L160	L200	—	—
1200	L40	L100	L140	L180	L225	—	—

表 6.3.1-3 许用应变为 0.0015 的标准铺层选型表

DN (mm)	PN(MPa)						
	0.10	0.25	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
40	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L25
50	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L25
80	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L30
100	L25	L25	L25	L25	L25	L30	L40
150	L25	L25	L25	L30	L30	L40	L60
200	L25	L25	L30	L40	L40	L60	L80
250	L30	L30	L40	L40	L60	L80	L100
300	L30	L30	L40	L60	L80	L100	L120
350	L30	L30	L50	L60	L80	L100	L120
400	L30	L40	L60	L80	L100	L120	L140
450	L30	L40	L80	L80	L100	L140	L160
500	L30	L40	L80	L100	L120	L140	L180
550	L30	L50	L80	L100	L120	L160	L200
600	L30	L60	L100	L120	L140	L180	L225
650	L30	L60	L100	L120	L140	—	—
700	L30	L60	L100	L120	L160	—	—
750	L30	L80	L120	L140	L160	—	—
800	L30	L80	L120	L140	L180	—	—
850	L30	L80	L120	L160	L180	—	—
900	L30	L80	L140	L160	L200	—	—
950	L30	L80	L140	L160	L200	—	—
1000	L40	L100	L140	L180	L225	—	—
1050	L40	L100	L160	L180	L225	—	—
1100	L40	L100	L160	L200	L225	—	—
1150	L40	L100	L160	L200	L250	—	—
1200	L40	L120	L180	L225	L250	—	—

表 6.3.1-4 许用应变为 0.0012 的标准铺层选型表

DN (mm)	PN(MPa)						
	0.10	0.25	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
40	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L25
50	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L25
80	L25	L25	L25	L25	L25	L30	L40
100	L25	L25	L25	L25	L30	L40	L40
150	L25	L25	L30	L30	L40	L60	L80
200	L25	L25	L40	L40	L60	L80	L100
250	L30	L30	L40	L60	L80	L100	L120
300	L30	L30	L60	L80	L80	L120	L140
350	L30	L40	L60	L80	L100	L120	L160
400	L30	L40	L80	L100	L120	L140	L180
450	L30	L50	L80	L100	L120	L160	L200
500	L30	L60	L100	L120	L140	L180	L225
550	L30	L60	L100	L120	L140	L200	L250
600	L30	L80	L120	L140	L160	L225	L275
650	L30	L80	L120	L140	L180	—	—
700	L30	L80	L120	L160	L180	—	—
750	L30	L80	L140	L160	L200	—	—
800	L40	L100	L140	L180	L225	—	—
850	L40	L100	L160	L180	L225	—	—
900	L40	L100	L160	L200	L250	—	—
950	L40	L100	L160	L200	L250	—	—
1000	L40	L120	L180	L225	L275	—	—
1050	L50	L120	L180	L225	L275	—	—
1100	L50	L120	L200	L250	L300	—	—
1150	L50	L120	L200	L250	L300	—	—
1200	L60	L140	L225	L275	L350	—	—

表 6.3.1-5 许用应变为 0.0009 的标准铺层选型表

DN (mm)	PN(MPa)						
	0.10	0.25	0.40	0.50	0.60	0.80	1.00
40	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L25
50	L25	L25	L25	L25	L25	L25	L30
80	L25	L25	L25	L25	L30	L40	L50
100	L25	L25	L25	L30	L40	L50	L60
150	L25	L25	L40	L40	L60	L80	L100
200	L25	L30	L50	L60	L80	L100	L120
250	L30	L40	L60	L80	L100	L120	L140
300	L30	L40	L80	L100	L120	L140	L180
350	L30	L50	L80	L100	L120	L160	L200
400	L30	L60	L100	L120	L140	L180	L225
450	L30	L80	L120	L140	L160	L225	L275
500	L30	L80	L120	L140	L180	L225	L300
550	L30	L80	L140	L160	L200	L250	L350
600	L40	L100	L140	L180	L225	L275	L350
650	L40	L100	L160	L200	L225	—	—
700	L40	L100	L160	L200	L250	—	—
750	L40	L120	L180	L225	L275	—	—
800	L50	L120	L180	L225	L275	—	—
850	L50	L120	L200	L250	L300	—	—
900	L60	L140	L225	L275	L350	—	—
950	L60	L140	L225	L275	L350	—	—
1000	L60	L140	L225	L300	L350	—	—
1050	L60	L160	L250	L300	L350	—	—
1100	L80	L160	L250	L350	L400	—	—
1150	L80	L160	L275	L350	L400	—	—
1200	L80	L180	L275	L350	L400	—	—

6.3.2 直管的许用外压计算应符合下列规定：

1 直管的许用外压应按下式计算：

$$P_e = \frac{2.0 X_{\text{lam}\Phi}}{t_d \times F_S} \cdot \left(\frac{t_d}{D_i + t_d} \right)^3 \quad (6.3.2-1)$$

式中： P_e ——许用外压(MPa)；

$X_{\text{lam}\Phi}$ ——环向单元拉伸刚度(N/mm)；

F_S ——外压安全系数，取值不应小于4。

2 当按式(6.3.2-1)计算的许用外压小于设计外压时，应采用下列方法修正设计：

1) 选择更大 $X_{\text{lam}\Phi}$ 规格的管道，并按式(6.3.2-1)重新计算许用外压；

2) 采用加筋环，且加筋环的间距、最小截面惯性矩应按下列公式计算：

$$J = \frac{2.5 X_{\text{lam}\Phi}}{p_e \times F_S} \cdot \left(\frac{t_d}{D_i + 2t_d} \right)^{1.5} \quad (6.3.2-2)$$

$$I_J = \frac{0.018(D_i + 2t_d)^J D_{na}^2 p_e t_d}{X_{\text{lam}\Phi}} \quad (6.3.2-3)$$

式中： J ——加筋环最大间距(mm)；

I_J ——加筋环对自身中性轴的惯性矩(mm⁴)；

D_{na} ——加筋环中性轴处的直径(mm)。

3) 当采用加筋环并计算加筋环惯性矩时，应按下式计算 J_S ，且 J_S 不得大于 J ：

$$J_S = 0.75[(D_i + 2t_d)t_d]^{0.5} \quad (6.3.2-4)$$

式中： J_S ——计算加筋环惯性矩时应计入的管身长度(mm)。

6.3.3 管道压力损失的计算应符合本规范附录 H 的规定。

6.3.4 水平管道弯曲强度、挠度和支撑跨距 L 应符合下列规定：

1 管道自重弯曲应力不应大于许用轴向应力。

2 管道自重产生的弯曲挠度应符合下列规定：

- 1) 管道的设计挠度不应大于 12.5mm, 且应与 $L/300$ 值比较, 并应取小者;
- 2) 装置外管道的挠度不应大于 38mm;
- 3) 敷设无坡度的蒸汽管道, 其挠度不宜大于 10mm;
- 4) 当有特殊要求时, 管道挠度值时应符合设计要求。

3 受轴向压缩载荷的管线, 跨距或支撑间距 L 应符合本规范式(6.2.8-2)的规定。

6.3.5 管道支撑跨距的轴向弯曲计算应符合下列规定:

1 I型和II型层合板应按下列规定取值:

- 1) 支撑跨距弯曲应力宜取许用轴向应力的 25%;
- 2) 内压轴向应力宜取许用轴向应力的 50%;
- 3) 热膨胀计算的应力宜取许用轴向应力的 25%。

2 III型层合板应按下列规定取值:

- 1) 当采用接头式膨胀节或柔性接头时, 支撑跨距的弯曲应力宜取许用轴向应力的 50%;
- 2) 当管壁承受设计内压产生的轴向力时, 支撑跨距的弯曲应力宜取许用轴向应力的 25%。

6.3.6 当带有坡度的管道在两支吊点间不得有积液时, 管道支、吊架的间距除应符合本规范第 6.3.4 条的规定外, 与挠度变形及坡度之间还应满足下式规定:

$$L \leq \frac{2\Delta i}{\sqrt{1+i^2}-1} \quad (6.3.6)$$

式中: L ——支、吊架间距(mm);

Δi ——管道自重弯曲挠度变形(mm);

i ——管道坡度。

6.3.7 有压力脉动的管道确定支架间距时, 应计算管道固有频率。

6.3.8 管道支撑跨距可按表 6.3.8-1~表 6.3.8-8 选用。

表 6.3.8-1 管道支撑跨距选型表

PN (MPa)	许用 应变	管道支撑跨距(mm)					
		空气介质			水介质		
DN (mm)	标准铺 层代号	I 型	II 型	III 型	I 型	II 型	III 型
40	L25	4000	4200	4100	2800	2900	2800
50	L25	4500	4600	4500	2900	3000	3000
80	L25	5600	5800	5700	3200	3200	3300
100	L25	6300	6400	6400	3200	3300	3400
150	L30	7500	7900	7600	3800	3800	3900
200	L40	8700	9400	8600	4300	4400	4400
250	L40	9800	10400	9600	4400	4500	4400
300	L60	10800	11800	10900	5100	5300	5200
400	L80	12000	12000	12000	5900	6100	6100
500	L100	12000	12000	12000	6700	6900	6800
600	L120	12000	12000	12000	7300	7500	7500
700	L120	12000	12000	12000	7400	7400	7400
800	L140	12000	12000	12000	7400	7400	7400
900	L160	12000	12000	12000	7400	7400	7400
1000	L180	12000	12000	12000	7400	7400	7400
1200	L225	12000	12000	12000	7400	7400	7400

表 6.3.8-2 管道支撑跨距选型表

PN (MPa)	许用 应变	管道支撑跨距(mm)					
		空气介质			水介质		
DN (mm)	标准铺 层代号	I 型	II 型	III 型	I 型	II 型	III 型
40	L25	3600	3800	4100	2600	2600	2800
50	L25	4100	4300	4500	2700	2700	2900
80	L25	5100	5400	5700	2900	2900	3000

续表 6.3.8-2

PN (MPa)	许用 应变	管道支撑跨距(mm)					
		空气介质			水介质		
DN (mm)	标准铺 层代号	I型	II型	III型	I型	II型	III型
100	L25	5700	6000	6400	3000	3000	3100
150	L30	6900	7500	7600	3400	3500	3500
200	L40	8000	9000	9000	3900	4000	4000
250	L60	9000	10700	9000	4600	4700	4700
300	L80	9900	12000	10800	5300	5500	5500
400	L100	11500	12000	12000	5900	6200	6200
500	L120	12000	12000	12000	6500	6800	6800
600	L140	12000	12000	12000	7100	7400	7300
700	L160	12000	12000	12000	7400	7400	7400
800	L180	12000	12000	12000	7400	7400	7400
900	L200	12000	12000	12000	7400	7400	7400
1000	L225	12000	12000	12000	7400	7400	7400
1200	L250	12000	12000	12000	7400	7400	7400

表 6.3.8-3 管道支撑跨距选型表

PN (MPa)	许用 应变	管道支撑跨距(mm)					
		空气介质			水介质		
DN (mm)	标准铺 层代号	I型	II型	III型	I型	II型	III型
40	L25	3300	3400	4100	2300	2300	2500
50	L25	3600	3800	4500	2400	2400	2600
80	L25	4600	4800	5700	2600	2600	2700
100	L30	5000	5500	6200	2900	3000	3100
150	L40	6200	7000	7500	3400	3500	3500
200	L60	7200	8500	8900	4000	4100	4200

续表 6.3.8-3

PN (MPa)	许用 应变	管道支撑跨距(mm)					
		空气介质			水介质		
DN (mm)	标准铺 层代号	I型	II型	III型	I型	II型	III型
250	L80	8100	9800	9900	4600	4800	4800
300	L80	8800	10800	10800	4700	4900	4900
400	L120	10100	12000	12000	5700	6000	6000
500	L140	11300	12000	12000	6200	6500	6500
600	L160	12000	12000	12000	6700	7000	6900
700	L180	12000	12000	12000	7100	7400	7400
800	L225	12000	12000	12000	7400	7400	7400
900	L250	12000	12000	12000	7400	7400	7400
1000	L275	12000	12000	12000	7400	7400	7400
1200	L350	12000	12000	12000	7400	7400	7400

表 6.3.8-4 管道支撑跨距选型表

PN (MPa)	许用 应变	管道支撑跨距(mm)					
		空气介质			水介质		
DN (mm)	标准铺 层代号	I型	II型	III型	I型	II型	III型
40	L25	2800	3000	4100	2000	2000	2200
50	L25	3100	3300	4500	2100	2100	2300
80	L30	3900	4200	5500	2400	2500	2600
100	L40	4400	5000	6000	2800	2900	2900
150	L60	5400	6400	7700	3300	3500	3500
200	L80	6300	7600	8900	3800	4100	4100
250	L100	7100	8600	10100	4300	4600	4600
300	L120	7600	9500	11000	4700	5000	5000
400	L140	8800	11000	12000	5200	5500	5500

续表 6.3.8-4

PN (MPa)	许用 应变	管道支撑跨距(mm)					
		空气介质			水介质		
DN (mm)	标准铺 层代号	I 型	II 型	III 型	I 型	II 型	III 型
0.6	0.0009						
500	L180	9900	12000	12000	5900	6200	6200
600	L225	10900	12000	12000	6500	6900	7000
700	L250	11800	12000	12000	6900	7400	7400
800	L275	12000	12000	12000	7300	7400	7400
900	L350	12000	12000	12000	7400	7400	7400
1000	L350	12000	12000	12000	7400	7400	7400
1200	L400	12000	12000	12000	7400	7400	7400

表 6.3.8-5 管道支撑跨距选型表

PN (MPa)	许用 应变	管道支撑跨距(mm)					
		空气介质			水介质		
DN (mm)	标准铺 层代号	I 型	II 型	III 型	I 型	II 型	III 型
1.0	0.0018						
40	L25	4000	4200	4100	2800	2900	2800
50	L25	4500	4600	4500	2900	3000	3000
80	L25	5600	5800	5700	3200	3200	3300
100	L30	6200	6500	6200	3600	3700	3800
150	L40	7600	8200	7500	4100	4300	4300
200	L60	8800	9700	8900	4900	5100	5100
250	L80	9900	11000	9900	5600	5900	5900
300	L100	10900	12100	11100	6300	6600	6600
400	L120	12000	12000	12000	6900	7300	7300
500	L140	12000	12000	12000	7600	7900	7900
600	L180	12000	12000	12000	8500	8900	8900

表 6.3.8-6 管道支撑跨距选型表

PN (MPa)	许用 应变	管道支撑跨距(mm)					
		空气介质			水介质		
DN (mm)	标准铺 层代号	I型	II型	III型	I型	II型	III型
40	L25	3600	3800	4100	2600	2600	2800
50	L25	4100	4300	4500	2700	2700	2900
80	L30	5000	5500	5600	3200	3200	3400
100	L40	5700	6400	6100	3600	3700	3800
150	L60	7000	8300	7700	4300	4500	4600
200	L80	8100	9800	8900	5000	5300	5300
250	L100	9100	11100	10100	5600	5900	6000
300	L120	9800	12000	11000	6100	6500	6500
400	L140	11400	12000	12000	6700	7100	7100
500	L180	12000	12000	12000	7600	8000	8000
600	L225	12000	12000	12000	8400	8900	9000

表 6.3.8-7 管道支撑跨距选型表

PN (MPa)	许用 应变	管道支撑跨距(mm)					
		空气介质			水介质		
DN (mm)	标准铺 层代号	I型	II型	III型	I型	II型	III型
40	L25	3300	3400	4100	2300	2300	2500
50	L25	3600	3900	4500	2400	2400	2600
80	L40	4500	5100	5500	3100	3200	3300
100	L40	5100	5700	6100	3200	3300	3400
150	L80	6300	7600	7700	4200	4500	4600
200	L100	7300	8900	9100	4800	5100	5200
250	L120	8000	10000	10100	5300	5600	5700
300	L140	8800	11000	11000	5700	6100	6200

续表 6.3.8-7

PN (MPa)	许用 应变	管道支撑跨距(mm)					
1.0	0.0012	空气介质			水介质		
DN (mm)	标准铺 层代号	I型	II型	III型	I型	II型	III型
400	L180	10300	12000	12000	6500	7000	7100
500	L225	11500	12000	12000	7300	7800	7900
600	L275	12000	12000	12000	8100	8600	8700

表 6.3.8-8 管道支撑跨距选型表

PN (MPa)	许用 应变	管道支撑跨距(mm)					
1.0	0.0009	空气介质			水介质		
DN (mm)	标准铺 层代号	I型	II型	III型	I型	II型	III型
40	L25	2800	3000	4100	2000	2000	2200
50	L30	3100	3400	4400	2200	2300	2500
80	L50	4000	4700	5800	2800	3000	3100
100	L60	4400	5300	6400	3100	3300	3400
150	L100	5500	6700	7900	3900	4200	4400
200	L120	6200	7800	9100	4400	4700	4800
250	L140	7000	8700	10000	4800	5200	5200
300	L180	7700	9400	11100	5400	5800	5900
400	L225	9000	11100	12000	6100	6600	6700
500	L300	10000	12000	12000	6900	7500	7700
600	L350	11000	12000	12000	7500	8200	8300

注:1 表 6.3.8-1~表 6.3.8-8 是按本规范式(6.4.6-5)和式(6.4.6-6)得到连续梁中间跨的计算值,边跨可取表中数据乘以 0.816;

2 表中均布载荷对于液体采用的密度为 $1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$;

3 表中数据为建议值,对具体项目应进行相应的变形和应力计算;当有热膨胀时还应进行稳定性计算。

6.4 管道应力计算和柔性分析

6.4.1 管道应力计算可分为简易应力计算和详细应力计算,并应符合下列规定:

- 1 当更换已成功应用的管线时,可采用简易应力计算;
- 2 当与已分析实施过管线是同类管线时,可采用简易应力计算;
- 3 按本规范第 6.2.5 条~第 6.2.7 条规定设置膨胀节的管线,可采用简易应力计算;
- 4 其他管线,宜进行详细应力计算。

6.4.2 简易应力计算应包括下列计算内容:

- 1 设计压力引起的环向应力;
- 2 设计压力引起的轴向应力;
- 3 自重引起的轴向弯曲应力;
- 4 均布和集中载荷作用下的挠曲变形;
- 5 L 形膨胀节和 II 形膨胀节的面内弯矩和离面弯矩引起的应力;
- 6 其他持续载荷、偶然载荷引起的应力;
- 7 轴向压缩稳定和外压稳定;
- 8 支架处,直径大于 600mm 管道的应力;
- 9 其他需要计算的应力。

6.4.3 详细应力计算宜采用计算机辅助应力分析,并应包括下列计算内容:

- 1 设计压力引起的环向应力;
- 2 设计压力引起的轴向应力;
- 3 热膨胀引起的轴向应力;
- 4 自重引起的轴向弯曲应力;
- 5 热膨胀和内压引起的弯曲应力;
- 6 其他持续载荷、偶然载荷或热载荷引起的应力;
- 7 均布和集中载荷作用下的挠曲变形;

8 支架处,直径大于 600mm 管道的应力;

9 其他需要计算的应力。

6.4.4 计算热膨胀和热载荷所采用的设计温差 ΔT 应按下列公式计算:

1 当管线被加热时,应取式(6.4.4-1)和式(6.4.4-2)计算值的较大者:

$$\Delta T_d = c(T_p - T_a) \quad (6.4.4-1)$$

$$\Delta T_d = (T_a - T_{as}) \quad (6.4.4-2)$$

2 当管线被冷却时,应取式(6.4.4-3)和式(6.4.4-4)计算值的较大者:

$$\Delta T_d = c(T_d - T_p) \quad (6.4.4-3)$$

$$\Delta T_d = (T_{as} - T_a) \quad (6.4.4-4)$$

式中: ΔT_d ——设计温差($^{\circ}\text{C}$);

T_p ——工艺温度($^{\circ}\text{C}$);

T_a ——环境温度($^{\circ}\text{C}$),按式(6.4.4-1)和式(6.4.4-4)计算,可取最低温度;按式(6.4.4-2)和式(6.4.4-3)计算,可取最高温度;

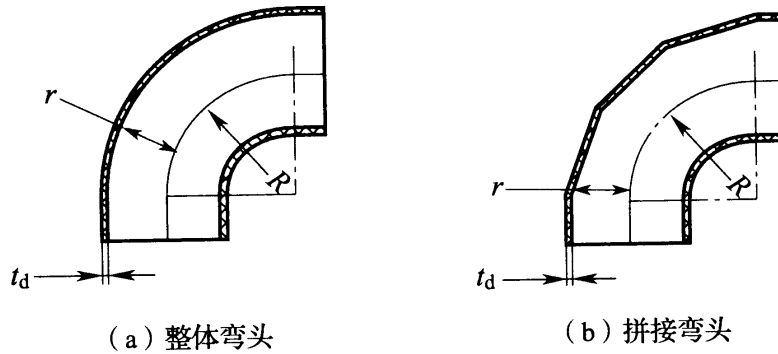
c ——系数,输送液体介质时取 0.85,输送气体介质时取 0.8;

T_{as} ——预计安装温度($^{\circ}\text{C}$)。

6.4.5 弯头、三通的柔性系数 f 、应力增大系数 SIF 和内压应力乘子的确定应符合下列规定:

1 弯头(图 6.4.5-1)可分为整体弯头[图 6.4.5-1(a)]和拼接弯头[图 6.4.5-1(b)],弯头的柔性系数及应力增大系数计算应符合表 6.4.5-1 的规定:

2 三通(图 6.4.5-2)可分为等径整体三通[图 6.4.5-2(a)]、异径整体三通[图 6.4.5-2(b)]、等径拼接三通[图 6.4.5-2(c)]、异径拼接三通[图 6.4.5-2(d)],三通的柔性系数及应力增大系数计算应符合表 6.4.5-2 的规定:



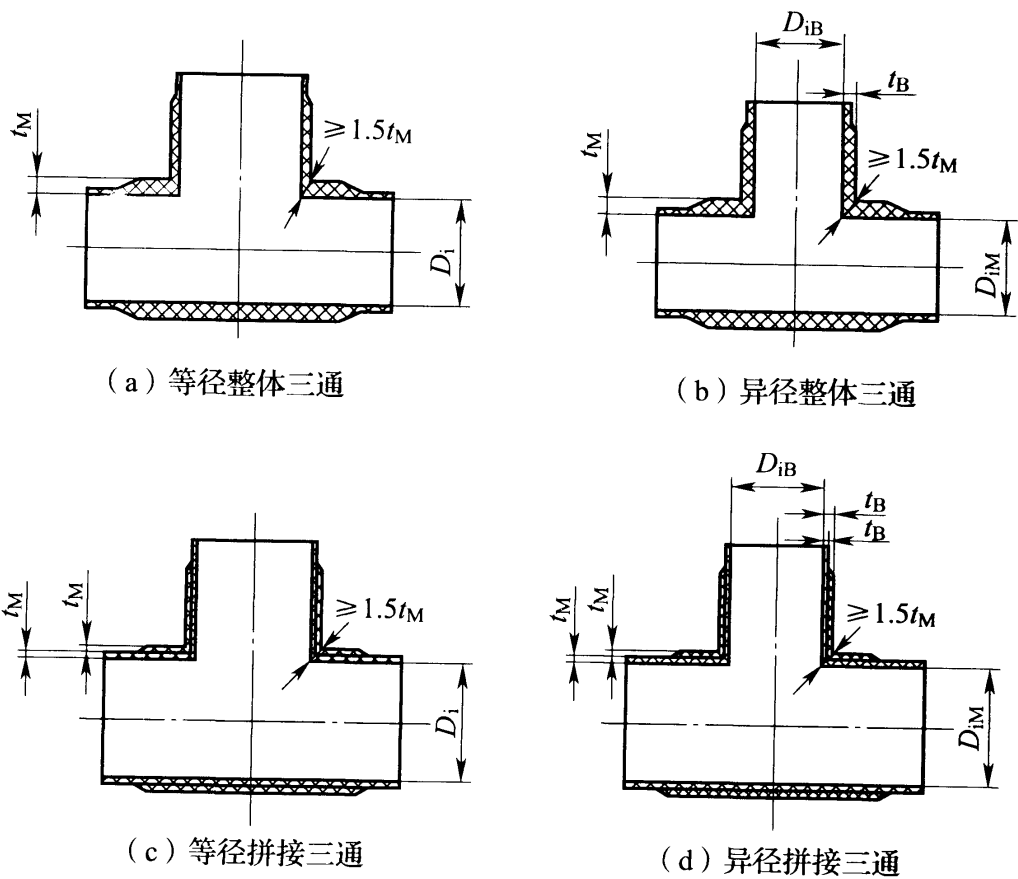
6.4.5-1 弯头

R —弯头的曲率半径； r —弯头半径； t_d —弯头设计厚度

表 6.4.5-1 弯头的柔性系数及应力增大系数

弯头类型		整体弯头			拼接弯头			
管道系数		$\lambda_b = \frac{t_d R}{r^2}$						
柔性系数		$f = \gamma \alpha_1 \lambda_b^{-1}$			$f = \gamma \alpha_1 \lambda_b^{-0.83}$			
层合板		I型	II型	III型	I型	II型	III型	
α_1	面内	1.0	1.0	0.7	0.9	0.9	0.64	
	离面	1.0	1.0	0.7	0.9	0.9	0.64	
修正系数		$\gamma = (1 + 2.53 \epsilon_d R^{1/3} r t_d^{-4/3})^{-1}$						
应力增大系数		$SIF = \delta_x \alpha_2 \lambda_b^{-2/3}, SIF = \delta_\phi \alpha_2 \lambda_b^{-2/3}$						
层合板		I型	II型	III型	I型	II型	III型	
α_2	面内	轴向	0.96	0.96	0.76	0.65	0.69	0.5
		环向	1.84	1.6	1.6	1.47	1.37	1.2
	离面	轴向	1.1	1.03	0.56	0.86	0.86	0.51
		环向	1.8	1.42	1.58	1.72	1.4	1.53
修正系数	轴向	$\delta_x = (1 + 2.53 \epsilon_d R^{1/3} r t_d^{-4/3})^{-1}$						
	环向	$\delta_\phi = (1 + 1.1 \epsilon_d R^{2/3} r^{5/6} t_d^{-3/2})^{-1}$						
内压应力乘子 m		取 1.0 与 $0.83(1 - r/2R) / (1 - r/R)$ 的较大值			1.3			

注：表中 f 为柔性系数， SIF 为应力增大系数， m 为内压应力乘子。



6.4.5-2 三通

D_i —管道内径； t_M —主管壁厚； t_B —支管壁厚；

D_{iM} —主管内径； D_{iB} —支管内径

表 6.4.5-2 三通的柔性系数及应力增大系数

三通类型	等径的整体三通或拼接三通	异径的整体三通或拼接三通
柔性系数	1.0	
应力增大系数	$SIF_T = 0.66\lambda_T^{0.5}$	
管道系数	$\lambda_T = \frac{2t_M}{D_i}$	
内压应力乘子	$m = 1.4\lambda_z^{0.25}$	
管道系数	$\lambda_z = \frac{D_i}{2t_M}$	$\lambda_z = \left(\frac{D_{iB}}{2t_B}\right)^2 \times \left(\frac{2t_M}{D_{iM}}\right)$

注： t_M 为三通主管的厚度， D_i 为三通主管的内径， D_{iB} 为支管内径， t_B 为支管靠近连接处的厚度。

6.4.6 直管的应力计算应符合下列规定：

1 设计压力引起的环向应力应按下式计算：

$$\sigma_{\Phi p} = \frac{p_d(D_i + t_d)}{2t_d} \quad (6.4.6-1)$$

2 设计压力引起的轴向应力应按下式计算：

1) 当管端自由时，应按下式计算：

$$\sigma_{xp} = \frac{p_d(D_i + t_d)}{4t_d} \quad (6.4.6-2)$$

2) 当管端约束时，应按下式计算：

$$\sigma_{xp} = \nu_{yx} \frac{p_d(D_i + t_d)}{2t_d} \quad (6.4.6-3)$$

3 带约束端且热膨胀引起的轴向应力应按下式计算：

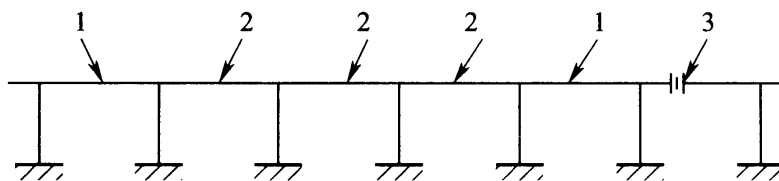
$$\sigma_{ac} = \alpha_l \Delta T E_l \quad (6.4.6-4)$$

4 直管自重引起的弯曲应力应按下式计算：

$$\sigma_{ab} = \frac{M(D_i + 2t_d)}{2I} \quad (6.4.6-5)$$

1) 两端为滑动支架或导向支架，均布载荷引起的管道中间跨(图 6.4.6-1)弯矩应按下式计算：

$$M = \frac{WL^2}{12} \quad (6.4.6-6)$$



6.4.6-1 管道中间跨、边跨示意图

1—边跨；2—中间跨；3—设备

2) 两端为滑动支架或导向支架，均布载荷引起的管道边跨(图 6.4.6-1)弯矩应按下式计算：

$$M = \frac{WL^2}{8} \quad (6.4.6-7)$$

3) 两端为滑动支架或导向支架, 集中载荷引起的弯矩应按下式计算:

$$M = \frac{PL}{4} \quad (6.4.6-8)$$

4) 两端为固定支架, 均布载荷引起的弯矩应按下式计算:

$$M = \frac{WL^2}{24} \quad (6.4.6-9)$$

5) 两端为固定支架, 集中载荷引起的弯矩应按下式计算:

$$M = \frac{PL}{8} \quad (6.4.6-10)$$

式中: W ——均布载荷(N/mm);

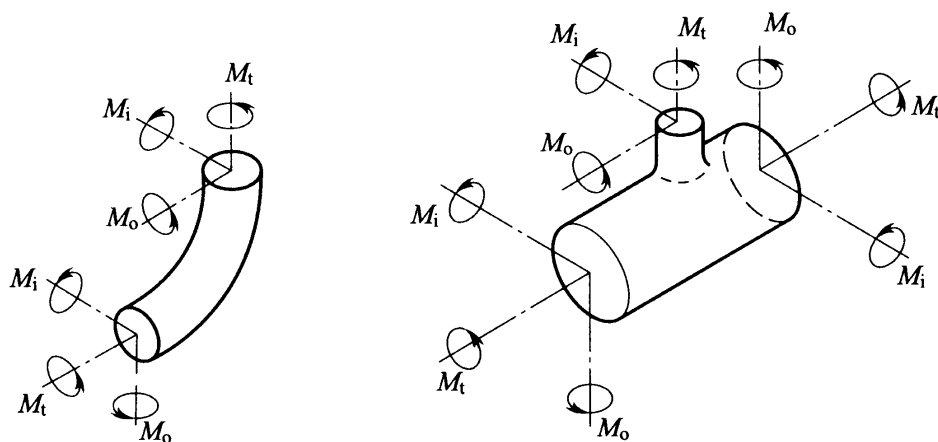
P ——集中载荷(N)。

5 热膨胀引起的直管轴向弯曲应力应按下式计算:

$$\sigma_{xb} = [(D_i + 2t_d)/2I][M_i^2 + M_o^2]^{0.5} \quad (6.4.6-11)$$

式中: M_i ——面内(图 6.4.6-2)弯矩(N·mm);

M_o ——离面(图 6.4.6-2)弯矩(N·mm)。



6.4.6-2 面内弯矩 M_i 、离面弯矩 M_o 示意图

M_t —扭矩

6 热膨胀引起的环向弯曲应力应按下式计算:

$$\sigma_{\phi b} = 0 \quad (6.4.6-12)$$

7 直管和弯头的扭转剪切应力应按下式计算：

$$\sigma_s = M_s(D_i + 2t_d)/4I \quad (6.4.6-13)$$

式中： M_s ——最大扭矩(N·mm)。

6.4.7 输送介质为液体且内径大于600mm的管道，支架处的管道轴向应力、环向应力和剪切应力计算应符合下列规定：

1 支架处管道的轴向弯曲应力应按下列公式计算：

1) 横截面最高点应按下式计算：

$$\sigma_{ab} = \frac{0.125}{t_d} \left[\rho_L \times 9.81 \times D_i^2 + \frac{\rho_L \times 9.81}{\gamma_1} (L^2 - 0.5D_i^2) \right] \times 10^{-6} \quad (6.4.7-1)$$

2) 横截面最低点应按下式计算：

$$\sigma_{ab} = \frac{0.125}{t_d} \left[\rho_L \times 9.81 \times D_i^2 - \frac{\rho_L \times 9.81}{\gamma_2} (L^2 - 0.5D_i^2) \right] \times 10^{-6} \quad (6.4.7-2)$$

式中： ρ_L ——管道输送液体密度(kg/m³)；

L ——跨距(m)；

D_i ——管道内径(m)；

t_d ——管道设计厚度(m)；

γ_1 、 γ_2 ——与支架包角 θ 有关的系数，应按表6.4.7-1选用；

θ ——支架包角(图6.4.7)。

表 6.4.7-1 γ_1 、 γ_2 系数

支架包角 θ	γ_1	γ_2
120	0.107	0.192
135	0.132	0.234
150	0.161	0.279
165	0.193	0.328
180	0.229	0.380

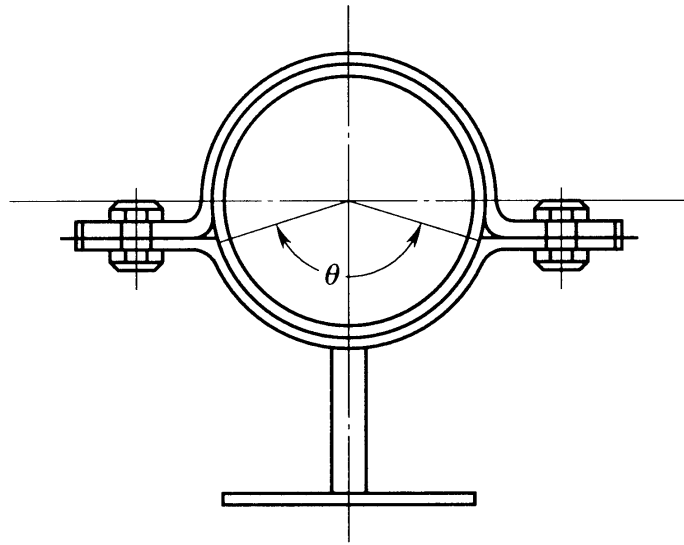


图 6.4.7 支架包角

2 支架处管道的最大剪切应力应按式(6.4.7-3)计算,且应符合式(6.4.7-4)的规定:

$$\tau_{\max} = \gamma_3 \times \left(\rho_L + \frac{4t_1}{D_i} \right) \times 9.81 \times \left[\frac{\pi D_i}{4t_d} \right] \times L / 10^6 \quad (6.4.7-3)$$

$$\tau_{\max} \leq [\tau] \quad (6.4.7-4)$$

式中: γ_3 ——与支架包角 θ 有关的系数,应按表 6.4.7-2 选用;

ρ_L ——管道输送液体密度(kg/m^3);

t_1 ——纤维增强塑料管道总厚度(m);

$[\tau]$ ——层合板的许用剪切应力(MPa),按本规范式(4.3.8-4)计算取值。

表 6.4.7-2 γ_3 系数

支架包角 θ	120	135	150	165	180
γ_3	1.171	0.958	0.799	0.675	0.577

3 支架处管道的环向弯曲应力应按下列公式计算:

1) 横截面最低点应按下列公式计算:

$$\sigma_h = -\gamma_4 \times \frac{L \times W}{t_d \times (b_1 + 10t_d)} / 10^6 \quad (6.4.7-5)$$

式中： b_1 ——支架的宽度(m)；

W ——均布载荷(N/m)；

γ_4 ——与支架包角 θ 有关的系数，当管道未与支架固定在一起时，应按表 6.4.7-3 选用；当管道和支架固定在一起时，应取表 6.4.7-3 中给定值的 1/10。

表 6.4.7-3 γ_4 系数

支架包角 θ	120	135	150	165	180
γ_4	0.750	0.711	0.673	0.645	0.624

2) 横截面支架包角点处应按下式计算：

$$\sigma_{\Phi b} = \left[\frac{L \times W}{4t_d(b_1 + 10t_d)} + \frac{3}{2} \gamma_5 \left(\frac{L \times W}{t_d^2} \right) \right] / 10^6 \quad (6.4.7-6)$$

式中： γ_5 ——与支架包角 θ 有关的系数，应按表 6.4.7-4 选用。

表 6.4.7-4 γ_5 系数

支架包角 θ	120	135	150	165	180
γ_5	0.0528	0.0413	0.0316	0.0238	0.0174

6.4.8 直管的变形计算应符合下列规定：

1 热膨胀变形应按下式计算：

$$l_{TE} = \alpha_1 \Delta T l \quad (6.4.8-1)$$

2 内压引起的轴向变形计算应符合下列规定：

1) 管壁承受内压时，应按下式计算：

$$l_{PE} = \frac{p(D_i + t_d)}{2} \left(\frac{1}{2X_{lamx}} - \frac{\nu_{yx}}{X_{lam\Phi}} \right) \quad (6.4.8-2)$$

2) 管壁不承受内压时，应按下式计算：

$$l_{PE} = - \frac{p(D_i + t_d)}{2} \times \frac{\nu_{yx}}{X_{lam\Phi}} \quad (6.4.8-3)$$

3) 当管壁采用 I 型和 II 型层合板时，式 (6.4.8-2) 和式 (6.4.8-3) 中的轴向单元拉伸刚度 X_{lamx} 应等于环向单元拉伸刚度 $X_{lam\Phi}$ ，泊松比 ν_{yx} 和泊松比 ν_{xy} 应取 0.3。

3 两端为滑动支架或导向支架时的挠曲变形应按下列公式

计算:

1) 均布载荷, 中间跨时, 应按下式计算:

$$\Delta S = \frac{1.2WL^4}{384EI} \quad (6.4.8-4)$$

2) 均布载荷, 边跨时, 应按下式计算:

$$\Delta S = \frac{5WL^4}{384EI} \quad (6.4.8-5)$$

3) 集中力(跨中)时, 应按下式计算:

$$\Delta S = \frac{PL^3}{48EI} \quad (6.4.8-6)$$

4 两端为固定支架的挠曲变形应按下列公式计算:

1) 均布载荷时, 应按下式计算:

$$\Delta S = \frac{WL^4}{384EI} \quad (6.4.8-7)$$

2) 集中力(跨中)时, 应按下式计算:

$$\Delta S = \frac{PL^3}{192EI} \quad (6.4.8-8)$$

6.4.9 弯头的应力计算应符合下列规定:

1 设计压力引起的环向弯曲应力应按下式计算:

$$\sigma_{\Phi p} = \frac{mp_d(D_i + t_d)}{2t_d} \quad (6.4.9-1)$$

2 热膨胀引起的环向弯曲应力应按下式计算:

$$\sigma_{\Phi b} = [(D_i + 2t_d)/2I][(M_i SIF_{\Phi i})^2 + (M_o SIF_{\Phi o})^2]^{0.5} \quad (6.4.9-2)$$

式中: M_i ——面内弯矩(N·mm);

$SIF_{\Phi i}$ ——在面内弯矩 M_i 作用下的环向系数;

M_o ——离面弯矩(N·mm);

$SIF_{\Phi o}$ ——在离面弯矩 M_o 作用下的环向系数。

3 设计压力引起的轴向应力应按下式计算:

$$\sigma_{xp} = \frac{mp_d(D_i + t_d)}{2t_d} \quad (6.4.9-3)$$

4 热膨胀引起的轴向弯曲应力应按下式计算：

$$\sigma_{xb} = \frac{D_i + 2t_d}{2I} \times [(M_i SIF_{xi})^2 + (M_o SIF_{xo})^2]^{0.5} \quad (6.4.9-4)$$

式中： SIF_{xi} ——在面内弯矩 M_i 作用下的轴向系数；

SIF_{xo} ——在离面弯矩 M_o 作用下的轴向系数。

6.4.10 三通的应力计算应符合下列规定：

1 设计压力引起的三通直管环向应力应按下式计算：

$$\sigma_{\Phi pB} = \frac{mp_d(D_i + t_M)}{2t_M} \quad (6.4.10-1)$$

式中： D_i ——主管的内径(mm)；

t_M ——主管最小厚度(mm)。

2 热膨胀及其他载荷引起的无方向弯曲应力应取三个连接处的最大值，无方向弯曲应力应按下列公式计算：

1) 在主管连接处应按下式计算：

$$\sigma_{bB} = [(D_i + 2t_d)/2I] \times SIF_T \times [(M_i)^2 + (M_o)^2]^{0.5} \quad (6.4.10-2)$$

2) 在支管连接处应按下列公式计算：

$$\sigma_{bB} = [(D_{iB} + 2t_s)/2I_B] \times SIF_T [(M_i)^2 + (M_o)^2]^{0.5} \quad (6.4.10-3)$$

$$I_B = \frac{(D_{iB} + 2t_s)^4 - D_{iB}^4}{64} \quad (6.4.10-4)$$

式中： D_{iB} ——支管直径(mm)；

SIF_T ——三通的应力增大系数；

t_s ——取 t_M 和 $SIF_T \times t_B$ 的小者(mm)；

t_B ——支管壁厚(mm)；

I_B ——支管连接处的惯性矩(mm⁴)。

3 支管扭转应力应按下式计算：

$$\sigma_s = M_s(D_{iB} + 2t_d)/4I \quad (6.4.10-5)$$

6.4.11 直管段的挠曲变形应符合本规范第 6.3.4 条的规定，挠

曲变形计算时应计入下列载荷组合：

- 1 均布载荷组合应包括管线，管内介质和管外绝热等载荷；
- 2 集中载荷组合应包括永久性的点载荷。

6.4.12 管线任意一处的最大组合应力应包括最大操作内压产生的应力、设计温度范围内热胀冷缩引起的弯曲应力、管道和管中介质及附带绝热材料自重引起的弯曲应力、外载荷引起的弯曲应力和支架位移引起的弯曲应力等。

6.4.13 管线任意一处的轴向和环向应力应符合简化失效包络线计算或最大组合应力不得大于许用应力。最大组合应力计算应符合下列规定：

- 1 直管和弯头的最大组合应力应按下列公式计算：

$$\sigma_c = (\sigma_\phi^2 + 4\sigma_s^2)^{0.5} \quad (6.4.13-1)$$

$$\sigma_c = (\sigma_x^2 + 4\sigma_s^2)^{0.5} \quad (6.4.13-2)$$

$$\sigma_\phi = \sigma_{\phi p} + \sigma_{\phi b}^{0.5} \quad (6.4.13-3)$$

$$\sigma_x = \sigma_{xp} + \sigma_{xb} + \sigma_{ac} + \sigma_{ab} \quad (6.4.13-4)$$

式中： σ_c ——最大环向或轴向组合应力，最大环向组合应力应按式(6.4.13-1)计算，最大轴向组合应力应按式(6.4.13-2)计算；

σ_ϕ ——最大环向应力；

σ_x ——最大轴向应力；

σ_s ——扭转剪切应力；

$\sigma_{\phi p}$ ——设计压力引起的环向应力；

$\sigma_{\phi b}$ ——热膨胀引起的环向弯曲应力；

σ_{xp} ——设计压力引起的轴向应力；

σ_{xb} ——热膨胀引起的轴向弯曲应力；

σ_{ab} ——自重引起的轴向弯曲应力；

σ_{ac} ——带约束端管线热膨胀引起的轴向应力。

- 2 三通支管的最大组合应力应按下列公式计算：

$$\sigma_{cB} = [(\sigma_{\phi pB} + \sigma_{bB})^2 + 4\sigma_{sB}^2]^{0.5} \quad (6.4.13-5)$$

3 直管的轴向压应力计算应符合下列规定:

1) 整体管壁横截面受压时,应按下式计算:

$$\sigma_x \leq \frac{\pi^2 (D_i + 2t_t - t_d)^2 E_{\text{lamx}}}{8 \times F_s \times L^2} \quad (6.4.13-6)$$

式中: F_s ——压缩稳定安全系数,取值不应小于 4;

L ——全约束管线系统的受压缩直管段长度、带有端部压缩载荷的垂直管段长度、管壁横截面整体受压缩应力的无支撑管道长度(m)。

2) 局部管壁横截面受压时,应按下式计算:

$$\sigma_x \leq \frac{0.58 \times \sqrt{E_{\text{lamx}\phi} \times E_{\text{lamx}}} \times t_d}{F_s \times (D_i + 2t_t - t_d)} \quad (6.4.13-7)$$

3) 当管壁采用 I 型和 II 型层合板时,式(6.4.13-6)和式(6.4.13-7)中的轴向拉伸模量 E_{lamx} 应等于环向拉伸模量 $E_{\text{lam}\phi}$ 。

6.4.14 采用失效包络线分析时,应分别计算在包括热膨胀载荷的持续作用工况、不包括热膨胀载荷的持续作用工况和偶然短时作用工况下管线各危险点的轴向和环向应力值,该危险点的应力状态应在简化失效包络线内。

7 制 造

7.1 一 般 规 定

7.1.1 设备和管道的制造环境应符合下列规定：

1 制作场所应在工厂车间内或在有临时围护结构的现场，并宜按贮存区、生产区或装配区设置和划分；

2 制作场所应采取通风措施；

3 环境温度宜为 $15^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不应大于 80%；当环境温度低于 10°C 时，应采取加热保温措施，不得用明火或蒸汽直接加热；当环境温度高于 35°C 时，应采取降温措施；

4 原材料使用时的温度不宜低于环境温度。

7.1.2 设备和管道的制造设备、模具应符合下列规定：

1 缠绕机导纱系统使用时应符合均匀、连续、可重复的输送要求，缠绕中不应产生间隙、空隙或结构损伤；

2 制造内衬所用模具沿长度方向的直径偏差应符合产品设计要求；模具的刚度、强度和尺寸稳定性应经计算确定；

3 模具表面应干燥洁净、光滑、无缺陷，使用前应采用聚酯薄膜包覆或涂抹脱模剂；

4 树脂混合设备应计量准确，在树脂中应先按比例加入促进剂，并应混合均匀；在输送到纤维浸胶槽前，应再按比例加入引发剂，并应搅拌均匀。

7.1.3 原材料的存储和使用应符合下列规定：

1 应保存所用树脂、纤维、助剂等的原材料文件，内容应包括检测报告、合格证、牌号、批号、生产日期和储存期；

2 树脂、助剂应存放在阴凉通风处；

3 不饱和聚酯树脂和乙烯基酯树脂的促进剂严禁与引发剂直

接接触,严禁同时加入到树脂中;引发剂必须单独存放,严禁泄漏;

4 使用前应进行树脂胶凝时间试验,并应确定促进剂和引发剂的配合比;

5 已凝胶的树脂不得使用;

6 纤维增强材料使用前应保持干燥,其含水率应符合本规范第 4.2.6 条、第 4.2.7 条的规定,并不得损坏和污染。

7.2 设备和管道制造

7.2.1 设备和管道的内衬层应包括内表面层和次内层,制造应符合下列规定:

1 内表面层宜先将配制好的树脂胶液均匀涂覆到模具上,再将表面毡缠绕到模具上,并应完全浸润,不得有褶皱和间隙;

2 次内层宜采用短切原丝毡、缝编织物、喷射纱,应采用手糊、缠绕、喷射成型工艺,其厚度应符合设计规定:

1) 厚薄应均匀、表面应平整;

2) 采用手糊成型时,同一铺层纤维应连续,层间接缝应错开,错开宽度不应小于 60mm,搭接宽度不应小于 30mm;

3) 采用喷射成型时,喷射面应无纤维直立。

3 内衬层制作完成,表面不得有气泡。

7.2.2 设备和管道的结构层与内衬层制造间隔时间应符合下列规定:

1 内衬层固化完成后,表面宜做丙酮敏感性试验,当表面发黏时,可进行结构层制作;

2 当做丙酮敏感性试验的内衬层表面不发黏或表面有污染时,应按下列步骤处理:

1) 内衬层表面应打磨,并应清理干净;

2) 铺层应涂刷树脂胶液,再进行结构层制作。

7.2.3 设备和管道的结构层制造应符合下列规定:

1 设备的筒体和管道宜采用缠绕成型,排纱和张力应均匀、

连续,外表应平整、纤维应完全浸润;当轴向承载力需加强时,可采用短切原丝毡、喷射纱、纤维布或缝编织物等增强材料;

2 设备的封头和底部宜采用短切原丝毡与纤维布交替进行手糊成型,也可采用喷射纱进行喷射成型,制作要求应符合本规范第 7.2.1 条的规定;

3 当结构层制造不能一次达到设计规定厚度时,分次制造的间隔时间和表面处理应符合本规范第 7.2.2 条的规定。

7.2.4 设备和管道的外表层制造应符合下列规定:

1 当设备和管道暴露在腐蚀环境时,外表层应采用表面毡缠绕成型或手糊成型;

2 当受紫外线照射时,外表层树脂应添加紫外线吸收剂;

3 外表层的最外层应采用无空气阻聚树脂、胶衣树脂封面或聚酯薄膜包覆;

4 外表层与结构层的制造间隔时间和表面处理应符合本规范第 7.2.2 条的规定。

7.2.5 管道的端部和截面应封边。

7.2.6 设备的现场制造应符合下列规定:

1 现场制造的环境条件、所用设备、模具和原材料等应符合本规范第 7.1 节的有关规定;

2 制造方法应符合本规范第 7.2.1 条~第 7.2.4 条的规定;

3 设备底部宜在设备安装现场整体制造完成,不得采用分瓣预制;

4 筒体与设备底部宜采用承插连接(图 5.4.1-2),内、外连接处的增强和组装应采用手糊成型:

1)内部糊制的转角半径、增强宽度应符合本规范第 5.3.13 条的规定,且转角半径不宜小于 50mm,增强宽度不宜小于 200mm;

2)转角应圆滑过渡并应与设备底部和侧壁相切。

7.2.7 设备和管道应按树脂工艺要求进行固化。当采用加热固

化时,表面受热应均匀。

7.3 制造过程质量控制

7.3.1 设备和管道的制造过程应符合下列规定:

- 1 铺层材料及规格、层数、次序、成型和固化工艺、树脂或纤维含量等应符合设计要求;
- 2 当采用缠绕成型时,缠绕角度应符合设计要求;
- 3 树脂、引发剂、促进剂应计量准确,使用前应混合均匀。

7.3.2 设备和管道制作过程的质量检验应符合下列规定:

- 1 内衬层制作完成后应检测尺寸、厚度和外观质量;
- 2 结构层制作完成后应检测厚度、铺层结构和外观质量。

7.3.3 设备和管道制作完成后,应检验外观、尺寸、树脂固化程度、树脂含量、力学性能和抗渗透等项目,并应符合下列规定:

- 1 内表面、外表面应平整光滑,色泽应均匀;
- 2 尺寸、力学性能、抗渗透性能应符合设计规定;
- 3 树脂含量及允许偏差应符合本规范第 5.1.6 条和第 5.1.7 条的规定,当设计无规定时,树脂含量允许偏差应为设计值的 $\pm 3\%$;
- 4 常温固化后,巴氏硬度不应低于所使用树脂浇铸体巴氏硬度的 80%;加热固化后,巴氏硬度不应低于所用树脂浇铸体巴氏硬度的 85%。

7.4 缺陷及修补

7.4.1 设备和管道的允许缺陷应符合表 7.4.1 的规定。

7.4.2 当允许缺陷超过本规范第 7.4.1 条的规定时,应对设备和管道进行修补,修补应符合下列规定:

- 1 应对缺陷区域的铺层表面进行打磨,打磨后表面应平整、粗糙,并应清理干净;

表 7.4.1 设备和管道的允许缺陷

缺陷		内 衬 层	结 构 层	外 表 层
气泡	设备	直径不应大于 4mm;任取 300mm×300mm 面积内最大直径为 4mm 的气泡不得超过 5 个;气泡面积不超过总面积的 10%	直径不应大于 10mm,或宽度不大于 6mm	—
	管道	直径不应大于 1.5mm;任取 10mm×10mm 范围内,不得超过 2 个(如果超出规定,当不影响内衬层耐化学性能和机械性能时,也可接受)	直径不应大于 3mm,气泡总面积不超过相应检查面积的 3%	直径不应大于 3mm,气泡总面积不超过相应检查面积的 3%
缺口		不允许	—	不宜大于 6mm,且不得穿透结构层
龟裂		不允许	—	不宜大于 6.5mm
干斑		不允许	直径不宜大于 10mm;且 1m ² 范围内,干斑数不得超过 10 个	直径不应大于 10mm;且 1m ² 范围内,干斑数不得超过 10 个
杂质		不允许	—	不允许
纤维外露		不允许	—	不允许
凹坑		直径不应大于 3mm,且深度不应大于 0.5mm,100mm×100mm 范围内,凹坑数量不得超过 1 个	—	直径不应大于 3mm,且深度不应大于 1.5mm
划痕		深度不应大于 0.2mm	—	深度不应大于 0.5mm

续表 7.4.1

缺陷	内衬层	结构层	外表层
褶皱	最大偏差应为壁厚的20%，且不应大于3mm	最小壁厚应在设计允许偏差范围内	最小壁厚应在设计允许偏差范围内，且1m ² 范围内，褶皱不得超过10处
分层	不允许	不允许	不允许

注：“—”表示不适用。

2 缺陷区域的铺层表面应涂刷与被修补层相同的树脂胶液，并应铺衬短切原丝毡至设计厚度；

3 内衬层的修补最外层应铺衬表面毡，并应采用与内衬层相同的树脂封面；

4 结构层修复完成后，表面处理应符合本规范第7.2.2条的规定；

5 外表层修复完成后，当表面有毛刺时应进行打磨，并应涂刷无空气阻聚的树脂。

7.5 二次粘接

7.5.1 二次粘接的材料和设施应符合下列规定：

- 1 树脂应采用与被粘接设备、管道相同的树脂；
- 2 增强材料应采用表面毡、短切原丝毡和纤维布；
- 3 填充材料可使用纤维增强材料、树脂胶泥；
- 4 定位设施应采用夹具或其他等效工具。

7.5.2 二次粘接工艺的准备工作中，温度、湿度等环境要求应符合本规范第7.1.1条的有关规定，并应包括下列内容：

- 1 工具和夹具的准备；
- 2 粘接端头的制备；
- 3 确定粘接材料；

4 确定铺层次序和层数；

5 确定凝胶时间、固化时间。

7.5.3 二次粘接应符合下列规定：

1 二次粘接工艺应通过试验验证，评定合格后，方可进行粘接。

2 二次粘接工艺评定方法应符合本规范附录 J 的有关规定。

3 被粘接件表面末端应打磨或斜切成坡口，并应在超出粘接区域外至少 25mm 的范围内进行表面粗糙化处理至露出纤维；打磨区应洁净干燥。

4 打磨区域表面涂刷与内衬层相同的树脂，接缝处应采用填充材料形成平整表面。

5 当二次粘接不能一次完成时，分次进行的间隔时间应符合本规范第 7.2.2 条的规定，每个分次操作的第一层应采用短切原丝毡。

6 被粘接件的内部粘接应符合下列规定：

1) 次内层应由两层以上的短切原丝毡组成；

2) 与介质接触面应采用表面毡；

3) 第一层宽度不宜小于 50mm，后续宽度应逐层均匀增加，每层每边超过前层不宜小于 12mm。

7 被粘接件的外部粘接应符合下列规定：

1) 与介质接触面应采用表面毡，次内层应由两层以上的短切原丝毡组成；

2) 结构层应全部采用短切原丝毡或短切原丝毡与纤维布交替进行，第一层和最后一层应为短切原丝毡；

3) 第一层宽度不宜小于 50mm，后续宽度应逐层均匀增加，每层每边超过前层不宜小于 12mm。

8 外部粘接制作完全固化后，外表层的制作应符合本规范第 7.2.4 条的规定。

8 质量控制与检验

8.1 一般规定

8.1.1 纤维增强塑料设备与管道的质量控制文件应包括下列内容：

- 1 材料、制造、检验、测试、交付的程序文件；
- 2 程序文件实施的原始记录。

8.1.2 从业人员应经过培训，并应经考核合格。

8.1.3 检测仪器、测试设备应经法定计量单位检定或校准。

8.1.4 量、器具应符合下列规定：

- 1 分度值不得大于相应被测部位的尺寸最小偏差；
- 2 被测项的数据应在有效量程范围内；
- 3 测量环境宜为标准温度和标准相对湿度。

8.1.5 测试样本的选取应按本规范执行，当没有具体规定时，可按现行国家标准《抽样检验标准》GB/T 2828 的规定执行。

8.1.6 测试和检测记录应存档。

8.1.7 公式符号 b 为试样标距长度的初始平均宽度 (mm)；管环的环向缠绕铺层试样可按现行国家标准《玻璃纤维增强塑料夹砂管》GB/T 21238—2007 第 8.6.2.1 条 B 法和附录 A 的规定，取试样中间部位开半椭圆形槽缺口处的实际开口宽度。

8.2 质量检验文件

8.2.1 质量检验文件应包括下列内容：

- 1 原材料质量检验文件；
- 2 制造过程质量检验文件；
- 3 制成品质量检验文件；

- 4 文件清单。
- 8.2.2 原材料质量检验文件应包括下列内容：
 - 1 材料安全技术说明书、质量技术指标及测试方法、质检报告和合格证；
 - 2 材料配合比和配制工艺；
 - 3 抽检或复检报告。
- 8.2.3 制造过程质量检验文件应包括下列内容：
 - 1 培训和考核记录；
 - 2 操作过程记录；
 - 3 制造过程中的检测记录。
- 8.2.4 制成品质量检验文件应包括下列内容：
 - 1 出厂检验记录；
 - 2 型式检验记录。

8.3 原材料测试与检验

- 8.3.1 树脂原材料取样应从原始包装桶取出混合均匀的液体样，分成检验样和备查样。
- 8.3.2 液体不饱和聚酯树脂及其浇铸体的性能检测应符合现行国家标准《纤维增强塑料用液体不饱和聚酯树脂》GB/T 8237 的有关规定。
- 8.3.3 乙烯基酯树脂及其浇铸体的性能检测应符合现行国家标准《乙烯基酯树脂防腐蚀工程技术规范》GB/T 50590 的有关规定。
- 8.3.4 环氧树脂的性能检测应符合现行国家标准《双酚 A 型环氧树脂》GB/T 13657 的有关规定。
- 8.3.5 设计内压大于 0.1MPa 或负压的设备与管道制造时，应复验树脂的热变形温度，热变形温度的检测应符合现行国家标准《塑料弯曲负载热变形温度试验方法》GB/T 1634.2 的有关规定。
- 8.3.6 纤维原材料取样应从原始包装取样，分成检验样和备查样。

8.3.7 玻璃纤维短切原丝毡的性能检测应符合现行国家标准《玻璃纤维短切原丝毡和连续原丝毡》GB/T 17470 的有关规定。

8.3.8 玻璃纤维布的性能检测应符合现行国家标准《玻璃纤维无捻粗纱布》GB/T 18370 的有关规定。

8.3.9 玻璃纤维缠绕纱、喷射纱的性能检测应符合现行国家标准《玻璃纤维无捻粗纱》GB/T 18369 的有关规定。

8.3.10 玻璃纤维缝编织物的性能检测应符合现行国家标准《玻璃纤维缝编织物》GB/T 25040 的有关规定。

8.3.11 玻璃纤维表面毡的单位面积质量、含水率的检测应符合现行国家标准《增强制品试验方法》GB/T 9914 的有关规定。

8.3.12 碳纤维及其制品的性能检测应符合现行国家标准《聚丙烯腈基碳纤维》GB/T 26752 和《经编碳纤维增强材料》GB/T 30021 的有关规定。

8.3.13 纤维增强塑料单层板单元拉伸强度、单元拉伸模量检测和层合板单元拉伸强力、单元拉伸刚度检测应符合下列规定：

1 平面铺层试样的形状、尺寸、测试程序应符合现行国家标准《纤维增强塑料拉伸性能试验方法》GB/T 1447 的有关规定；管环等缠绕铺层试样的形状、尺寸、测试程序应符合现行国家标准《玻璃纤维增强塑料夹砂管》GB/T 21238—2007 第 8.6.2 条、第 8.6.3 条的有关规定。

2 检测试样数量应符合下列规定：

1) 当采用铺层实测法时，每组试样不得少于 15 个，检测数据的置信度应按本规范式(4.3.2-8)和式(4.3.2-9)计算；

2) 当采用铺层计算法对单层板或层合板性能进行验证时，每组试样不得少于 5 个。

3 纤维增强塑料单层板的单元拉伸强度 U_i 应按下列公式计算，当已知 T_s 值时，可按式(8.3.13-2)计算：

$$U_i = \frac{P}{b \times W} \quad (8.3.13-1)$$

$$U_i = \frac{T_s \times H}{W} \quad (8.3.13-2)$$

式中： U_i ——单层板单元拉伸强度 $[N/(mm \cdot kg/m^2)]$ ，计算结果取整数；

P ——最大拉伸载荷(N)；

b ——试样标距长度的初始平均宽度(mm)；

H ——试样标距长度的初始平均厚度(mm)；

W ——单层板的纤维单位面积质量 (kg/m^2) ；

T_s ——单层板拉伸强度(MPa)。

4 纤维增强塑料单层板的单元拉伸模量 X_i 应按下列公式计算，当已知 T_M 值时，可按式(8.3.13-4)计算：

$$X_i = \frac{P_2 - P_1}{Z_2 - Z_1} \times \frac{L_0}{b \times W} \quad (8.3.13-3)$$

$$X_i = \frac{T_M \times H}{W} \quad (8.3.13-4)$$

式中： X_i ——单层板单元拉伸模量 $[N/(mm \cdot kg/m^2)]$ ，计算结果取整数；

$(P_2 - P_1)$ ——对应于拉伸伸长量变化值(图 8.3.13)的拉伸载荷变化值(N)；

$(Z_2 - Z_1)$ ——拉伸伸长量的变化值(mm)；

L_0 ——试样标距长度(mm)，平面铺层试样取 50；

b ——试样标距长度的初始平均宽度(mm)；

H ——试样标距长度的初始平均厚度(mm)；

W ——单层板的纤维单位面积质量 (kg/m^2) ；

T_M ——单层板拉伸模量(MPa)。

5 纤维增强塑料层合板的单元拉伸强力 U_{lam} 应按下列公式计算：

$$U_{lam} = \frac{P}{b} \quad (8.3.13-5)$$

式中： U_{lam} ——层合板的单元拉伸强力(N/mm)，计算结果取整数；

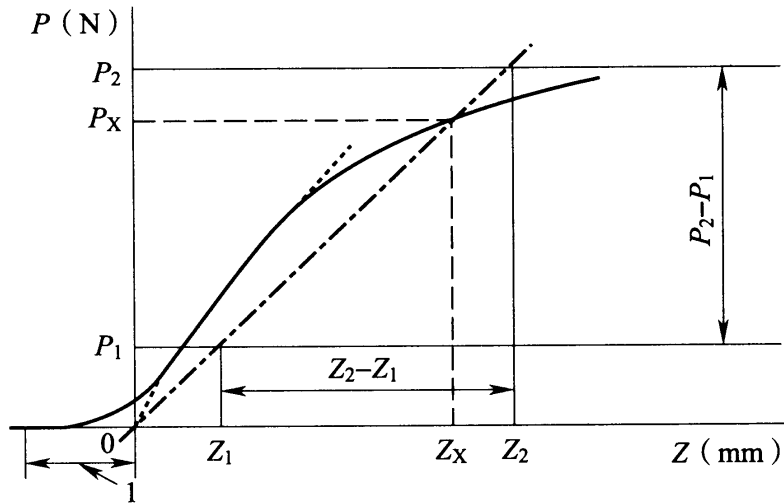


图 8.3.13 拉伸载荷 P 与拉伸伸长量 Z 的关系
1—起始位置的最终调整

P ——最大拉伸载荷(N)；

b ——试样标距长度的初始平均宽度(mm)。

6 纤维增强塑料层合板的单元拉伸刚度 X_{lam} 应按下式计算：

$$X_{\text{lam}} = \frac{P_2 - P_1}{Z_2 - Z_1} \times \frac{L_0}{b} = \frac{P_2 - P_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} \quad (8.3.13-6)$$

式中： X_{lam} ——层合板的单元拉伸刚度(N/mm)，计算结果取整数；

$(P_2 - P_1)$ ——对应于拉伸伸长量变化值(图 8.3.13)的拉伸载荷变化值(N)；

$(Z_2 - Z_1)$ ——拉伸伸长量的变化值(mm)；

L_0 ——试样标距长度(mm)，平面铺层试样取 50；

b ——试样标距长度的初始平均宽度(mm)；

ϵ_2 ——对应拉伸载荷 P_2 的应变值；

ϵ_1 ——对应拉伸载荷 P_1 的应变值。

8.3.14 纤维增强塑料层合板的拉伸模量应按本规范式(8.3.13-6)的计算值再除以层合板厚度获得。

8.3.15 纤维增强塑料层合板的弯曲模量检测应符合下列规定：

1 平面铺层试样的形状、尺寸、测试程序和弯曲模量计算应符合现行国家标准《纤维增强塑料弯曲性能试验方法》GB/T 1449的有关规定；

2 管环的环向缠绕铺层试样的形状、尺寸、测试程序应符合现行国家标准《玻璃纤维增强塑料夹砂管》GB/T 21238—2007 第 8.6.7 条的有关规定；

3 管环的环向缠绕铺层的弯曲模量计算应符合现行国家标准《玻璃纤维增强塑料夹砂管》GB/T 21238—2007 第 6.6.7 条的有关规定。

8.3.16 纤维增强塑料层合板的剪切强度应符合现行国家标准《纤维增强塑料冲压式剪切强度试验方法》GB/T 1450.2 的有关规定。

8.3.17 纤维增强塑料单层板和层合板的层间剪切强度检测应符合本规范附录 K 的规定。

8.3.18 纤维增强塑料单层板和层合板的搭接剪切强度检测应符合本规范附录 L 的规定。

8.4 产品测试、检验、判定

I 纤维增强塑料设备

8.4.1 设备质量应符合下列规定：

1 设备内、外表面应平整光滑、色泽均匀，并应无破损、分层、杂质、纤维外露，允许缺陷应符合本规范表 7.4.1 的规定。

2 尺寸应符合设计要求，当设计无要求时，应符合下列规定：

1) 内径允许偏差应为公称直径的 $\pm 1\%$ ，最大不应超过 50mm；

2) 内壁锥度不宜大于 1° ；

3) 总长(高)度允许偏差应为设计值的 $\pm 0.5\%$ ，且最大不应超过 13mm；

4) 厚度的误差范围不应大于设计厚度的 10% ，平均厚度不

- 应小于设计厚度；
- 5) 内衬层厚度测量值不宜小于 2.5mm；
 - 6) 内表面的不圆度允许偏差应为筒体内径的±1%；椭圆形制品的长短轴公差应为±1%；
 - 7) 直线度、垂直度、法兰和表面的平整度应在设计尺寸的公差范围内；
 - 8) 法兰接管的轴线对设备径向或轴向基准线位置的允许偏差宜为±6mm；
 - 9) 法兰接管安装角度偏差不应大于表 8.4.1-1 的规定；

表 8.4.1-1 法兰接管安装角度偏差

法兰接管公称直径 DN(mm)	角度偏差(°)
<250	1
≥250	0.5

- 10) 法兰接管端面与接管轴线的垂直度偏差不应大于表 8.4.1-2 的规定。

表 8.4.1-2 法兰接管端面与接管轴线的垂直度偏差

法兰接管公称直径 DN(mm)	DN≤100	100<DN≤250	250<DN≤500	500<DN≤1000
垂直度偏差(mm)	1.5	2.5	3.5	4.5
法兰接管公称直径 DN(mm)	1000<DN≤1800	1800<DN≤2500	2500<DN≤3500	3500<DN≤4000
垂直度偏差(mm)	6.0	8.0	10.0	13.0

- 3 表面巴氏硬度应符合本规范第 7.3.3 条第 4 款的规定。
- 4 树脂不可溶分含量应符合下列规定：
 - 1) 当采用不饱和聚酯树脂时，不应低于 85%；
 - 2) 当采用乙烯基酯树脂或环氧树脂时，不应低于 90%。
- 5 树脂含量应符合设计规定。当设计无规定时，内衬层、外

表层的树脂含量应符合本规范第 5.1.7 条的规定。各层树脂含量偏差值应符合第 7.3.3 条第 3 款的有关规定。

6 设备的压力和抗渗漏试验应符合下列规定：

- 1) 设备应无渗漏；
- 2) 当采用静态电阻应变仪测量时，设备最大环向应变值不得大于设计许用应变值。

7 力学性能应符合下列规定：

- 1) 当采用铺层计算法设计时，测试应变值应符合本规范第 4.3.8 条的有关规定；
- 2) 当采用铺层实测法设计时，试样的单元拉伸刚度和单元拉伸强力应符合本规范第 4.3.2 条的有关规定；
- 3) 封头测试时不得有变形和破裂；
- 4) 当法兰直径小于或等于 50mm 时，应能承受 1360N·m 的力矩载荷，法兰及连接处应无损伤破坏；当法兰直径大于 50mm 时，应承受 2700N·m 的力矩载荷，法兰及连接处应无损伤破坏。在扭转力矩载荷作用下，直管的法兰及连接处应无损伤破坏。

8 用于食品卫生的设备应符合现行国家标准《玻璃纤维增强不饱和聚酯树脂食品容器》GB/T 14354 的有关规定。

9 设备的耐腐蚀性能检测评定应符合本规范附录 A 的有关规定。

8.4.2 设备质量检测的试验方法应符合下列规定：

- 1 外观质量检测可采用目测、触摸、敲击等方法。
- 2 尺寸的测量方法应符合下列规定：
 - 1) 设备内径可采用分度值为 1mm 的卷尺，测量设备内均布 4 点的最大内径，取平均值；
 - 2) 内壁锥度可采用分度值为 1mm 的钢卷尺，测量设备两端内径差与其对应的长(高)度，锥度应按下式计算：

$$C = \arctan \frac{D-d}{2H} \quad (8.4.2)$$

式中： C ——设备内壁锥度($^{\circ}$)，按 $(D-d)/2H$ 值的反正切函数计算；

H ——设备内壁两端测量处的长(高)度差(mm)；

D ——两端测量处设备内壁直径(mm)，取大者；

d ——两端测量处设备内壁直径(mm)，取小者。

3) 总长(高)度可采用分度值为 1mm 的卷尺，测量设备上、下封头顶点间的距离；

4) 封头和筒体壁厚可采用分度值 0.02mm 的游标卡尺，测量法兰开孔处或任意处厚度 3 次，取算术平均值；

5) 内衬层厚度可采用分度值 0.02mm 的游标卡尺测量，测点应均布，并不得少于 4 次，取算术平均值；

6) 内表面的不圆度可采用分度值为 1mm 的卷尺，测量设备不同位置的内径之差与内径的比值；

7) 直线度可采用直尺法或重力法检测；

8) 垂直度可采用垂直度测量仪检测；

9) 平整度可采用百分表进行检测；

10) 角度偏差可采用量角器或角尺组合测量。

3 表面巴氏硬度检测应符合现行国家标准《纤维增强塑料巴氏(巴柯尔)硬度试验方法》GB/T 3854 的有关规定，且应在不同部位至少选取 10 处，每处不得少于 3 个测点。

4 树脂不可溶分含量检测应符合现行国家标准《纤维增强塑料树脂不可溶分含量试验方法》GB/T 2576 的有关规定。

5 树脂含量检测应符合现行国家标准《玻璃纤维增强塑料树脂含量试验方法》GB/T 2577 的有关规定。

6 压力和抗渗漏试验方法应符合下列规定：

1) 敞口式设备盛水试验前，敞口处应密封，充水应达到最高液位要求；

2) 封闭式设备静压试验应先在制造方工厂进行，在正常工作状态且充满水的情况下应静压保持 48h；安装交付后，

应充满实际盛放物,并应静压保持 48h;

- 3) 封闭式设备液压试验应在正常工作状态进行,试验压力不得低于 1.1 倍的设计内压,外压不得低于 1 倍设计压力,同时应进行声发射检测;
 - 4) 当无法采用声发射检测时,压力和抗渗漏试验内压不得低于 1.5 倍设计压力,外压不得低于 1.1 倍设计外压但不得超过 0.1MPa;
 - 5) 封闭式设备进行压力抗渗漏检测时,应保压 3min 后降到设计压力,总保压时间不应小于 20min。
 - 6) 当封闭式设备不宜采用水压试验时,可采用气密性试验,并应测量环向应变值。
- 7 力学性能检测方法应符合下列规定:
- 1) 采用铺层计算法设计时,宜在设计载荷下进行应变值验证测试,试验方法应符合本规范第 8.4.2 条第 6 款的有关规定。
 - 2) 采用铺层实测法设计时,试样应从设备本体获取,当无法获取时,也可从与设备同步工艺制造的层合板上切取,层合板试样的单元拉伸刚度和单元拉伸强力检测应符合本规范第 8.3.13 条的有关规定;
 - 3) 封头检测应在设备封头外表面任取 100mm×100mm 面积上施加 1110N 的载荷,并应观察封头的变形和破裂情况。
 - 4) 法兰力矩载荷检测时应通过连接在法兰上一根 1m 长的管子,将力矩载荷分级加到法兰上,加载增量应为规定载荷的 20%,直至加载到要求的力矩载荷。
 - 5) 法兰扭转力矩载荷检测时应通过连接在法兰上一根 1m 长的管子,将扭转力矩载荷分级加到法兰上,加载增量应为规定载荷的 20%,直至加载到表 8.4.2 规定的扭转力矩载荷。

表 8.4.2 法兰扭转力矩载荷

接管直径(mm)	扭转力矩载荷(N·m)	接管直径(mm)	扭转力矩载荷(N·m)
20	230	65	400
25	270	100	430
40	370	150	470
50	390	200	520

8 用于食品卫生的设备检验应符合现行国家标准《食品容器及包装材料用不饱和聚酯树脂及其玻璃钢制品卫生标准分析方法》GB/T 5009.98 的有关规定。

9 耐腐蚀试验应符合现行国家标准《玻璃纤维增强热固性塑料耐化学介质性能试验方法》GB/T 3857 的有关规定,并应按本规范附录 A 规定的方法执行。

8.4.3 设备检验和判定应包括出厂检验和判定、型式检验和判定。

8.4.4 设备出厂检验和判定应符合下列规定:

1 每台设备出厂检验项目应包括外观质量、厚度、直径、高度、巴氏硬度和渗漏,检测方法应符合本规范第 8.4.2 条的有关规定,判定应符合本规范第 8.4.1 条的有关规定;

2 检验项目全部合格,应判定该产品合格;

3 原材料、制造工艺、厚度、高度和直径项目中有 1 项不符合要求,应判定为不合格;

4 设备筒体、封头等主体结构有渗漏,应判定为不合格;设备接管、法兰等搭接部位有渗漏时,可修复 3 次,经复验合格,应判定为合格;

5 仅外观、巴氏硬度不符合要求时,可处理 2 次,经复验合格,应判定为合格。

8.4.5 设备有下列情况之一时应进行型式检验:

1 新产品或老产品的转产、试制、定型鉴定;

- 2 正式投产后,当结构、材料和工艺改变时;
- 3 正常生产后,每 12 个月检验一次时;
- 4 设备停产 6 个月以上,管道停产 3 个月以上,恢复生产时;
- 5 出厂检验结果与上次型式检验有差异时;
- 6 质量监督机构提出要求时。

8.4.6 设备的型式检验和判定应符合下列规定:

1 设备型式检验样本应从出厂检验合格产品中按 5% 随机抽检,并不得少于 1 台;

2 设备型式检验项目应符合本规范第 8.4.1 条的规定;

3 设备型式检验的判定应符合下列规定:

- 1)型式检验各项指标均合格时,应判定该型式检验产品合格;
- 2)原材料、制造工艺、尺寸中任一项不符合要求,应判定该产品不合格;
- 3)设备筒体、封头等主体结构有渗漏,应判定不合格;设备接管、法兰等搭接部位有渗漏时,可修复 3 次,经复验合格,可判定为合格;
- 4)仅外观、巴氏硬度不符合要求时,可处理 2 次,经复验合格,可判定为合格;
- 5)力学性能检测中有不合格项时,可第二次抽样检验,仍不合格,应判定为不合格。

4 设备型式检验判定不合格时,应停止生产进行检查,并重新进行型式检验合格后方可恢复生产。

II 纤维增强塑料管道

8.4.7 管道质量应符合下列规定:

1 管端面应平齐,边棱应无毛刺,表面应平整、光滑,允许缺陷应符合本规范表 7.4.1 的规定。

2 尺寸应符合设计要求,当设计无要求时,应符合下列规定:

- 1)管道公称直径和允许偏差应符合表 8.4.7-1 的规定;

表 8.4.7-1 管道公称直径和允许偏差 (mm)

公称直径 DN	允许偏差
$DN \leq 150$	± 1.5
$150 < DN \leq 600$	± 3.0
$DN > 600$	$\pm 0.5\% \times DN$

2) 管道有效长度和允许偏差应符合表 8.4.7-2 的规定;

表 8.4.7-2 管道有效长度和允许偏差 (mm)

有效长度 L	允许偏差
≤ 4000	± 20
> 4000	$\pm 0.5\% \times L$

3) 管壁平均厚度不得小于设计值, 最小管壁厚度不应小于设计厚度的 90%; 内衬层厚度不应小于 1.2mm;

4) 管道端面垂直度控制值应符合表 8.4.7-3 的规定。

表 8.4.7-3 管道端面垂直度控制值 (mm)

公称直径 DN	端面垂直度控制值
$DN < 600$	4.0
$600 \leq DN < 1000$	6.0
$DN \geq 1000$	$0.6\% \times DN$

3 表面巴氏硬度应符合本规范第 7.3.3 条第 4 款的规定。

4 管壁中树脂不可溶分含量不应低于 90%。

5 直管段管壁树脂含量应符合设计规定, 树脂含量允许偏差值应符合本规范第 7.3.3 条第 3 款的规定。

6 管道进行水压渗漏试验时, 应无渗漏, 且管道及配件的外部应无损坏、开裂或裂缝。

7 力学性能应符合下列规定:

1) 当许用应变取值采用指定值法时, 管道检测的应变值应

符合本规范第 4.3.10 条的有关规定；

2) 当许用应变取值采用长期性能测试法时, 试样检测的极限强度值不应低于本规范式(4.3.14-1)的计算值。

8 用于食品卫生管道应符合本规范第 8.4.1 条第 8 款的规定。

9 用于腐蚀环境的管道应符合设计规定, 耐腐蚀性能的评定应符合本规范第 4.3.10 条的有关规定。

8.4.8 管道质量检测的试验方法应符合下列规定：

1 外观质量可采用目测、触摸或敲击等方法。

2 尺寸的测量方法应符合下列规定：

1) $DN \geq 600\text{mm}$ 的管道, 外直径可采用分度值 1mm 的 π 尺或钢卷尺测量, 不应少于 5 处, 测点均布, 取算术平均值；

2) $DN < 600\text{mm}$ 的管道, 外直径可采用分度值 0.02mm 的游标卡尺直接测出管道截面的两个垂直方向的数值, 应取平均值；测试不应少于 5 处, 测点均布, 取算术平均值；

3) 内直径可采用分度值 0.1mm 内径测量尺, 测试同一截面垂直和水平方向的内直径数值, 应测 2 次, 取算术平均值；

4) 长度可采用分度值为 1mm 的钢卷尺沿管道的母线进行测量, 取 4 条母线长度的算术平均值；

5) 管壁厚度应采用分度值为 0.02mm 的游标卡尺在管道截面处沿圆周测量, 每根管道测量点不得少于 7 个, 测点应均匀布置, 并应记录最大、最小和平均壁厚；

6) 内衬层厚度应采用分度值为 0.02mm 的游标卡尺测量, 测量点不得少于 4 个, 测点应均布, 测量结果应取算术平均值；

7) 管道端面垂直度可采用直角尺和分度值为 1mm 的钢板尺测定。

3 表面巴氏硬度检测应符合现行国家标准《纤维增强塑料巴氏(巴柯尔)硬度试验方法》GB/T3854 的有关规定, 且每根管道不

应少于 10 个检测点。

4 树脂不可溶分含量检测应符合现行国家标准《纤维增强塑料树脂不可溶分含量试验方法》GB/T 2576 的有关规定。

5 直管段管壁树脂含量检测应符合现行国家标准《玻璃纤维增强塑料树脂含量试验方法》GB/T 2577 的有关规定。

6 管道水压渗漏试验方法应符合现行国家标准《纤维增强热固性塑料管短时水压失效压力试验方法》GB/T 5351 的有关规定,并应符合下列规定:

1)管道在使用中不承受由内压产生的轴向力时,其密封形式应采用约束端密封;当承受由内压产生的轴向力时,密封形式应采用自由端密封;

2)当试验压力达到设计压力的 1.5 倍时,应保压 2min;检测应在规定水温下进行,并应采取安全防范措施。

7 力学性能测试方法应符合下列规定:

1)当许用应变采用指定值法时,宜在设计载荷下进行应变值验证测试,试验方法应符合本规范第 8.4.7 条第 6 款的规定;

2)当许用应变采用长期性能测试法时,试样的单元拉伸刚度和单元拉伸强力的验证应符合本规范第 8.3.13 条的规定。

8 食品卫生检测应符合现行国家标准《食品容器及包装材料用不饱和聚酯树脂及其玻璃钢制品卫生标准分析方法》GB/T 5009.98 的有关规定。

9 耐腐蚀性能检测应符合现行国家标准《玻璃纤维增强热固性塑料耐化学介质性能试验方法》GB/T 3857 的有关规定。

8.4.9 管道检验和判定应包括出厂检验和判定、型式检验和判定。

8.4.10 管道出厂检验和判定应符合下列规定:

1 出厂检查项目和数量应符合下列规定:

- 1) 每一根管均应进行外观质量、尺寸和巴氏硬度的检查;
- 2) 应以相同材料、工艺、规格的 100 根管道为 1 批,当不足 100 根时,也应为 1 批;随机抽取 1 根,应进行厚度、树脂不可溶分含量和力学性能的检查;
- 3) 水压渗漏的检查数量可由供需双方商定,但不应小于样本数的 1%;
- 4) 检测项目、质量要求和检测方法应符合本规范第 8.4.7 条和第 8.4.8 条的有关规定。

2 出厂检验判定应符合下列规定:

- 1) 外观质量、尺寸、巴氏硬度、树脂不可溶分含量、水压渗漏和力学性能均达到要求,应判定该批次产品为合格;
- 2) 当水压渗漏检测不合格时,应对批管道逐根进行水压渗漏检测,检测合格的应判定该根管合格;
- 3) 当厚度、树脂不可溶分含量和力学性能检测中不合格项超过 2 项时,应判定该批产品不合格;当不合格项不多于 2 项时,可对不合格项加倍复检,复检项目全部达到合格应判定该批产品为合格。

8.4.11 管道进行型式检验的条件应符合本规范第 8.4.5 条的规定。

8.4.12 管道的型式检验和判定应符合下列规定:

1 应以相同材料、工艺、规格的 100 根管道为 1 批,当不足 100 根时,也应为 1 批。

2 每批应随机抽取 6 根,进行外观质量、尺寸和巴氏硬度的检测;并任取 1 根,进行水压渗漏、力学性能和树脂不可溶分含量的检测。

3 型式检验的项目和质量应符合本规范第 8.4.7 条的规定。

4 型式检验的判定应符合下列规定:

- 1) 外观质量、尺寸、巴氏硬度、水压渗漏、力学性能和树脂不可溶分含量均符合要求时,应判定型式检验为合格;

- 2) 当外观质量、尺寸和巴氏硬度检测的不合格项不超过 2 项时,可对不合格项进行第二次抽样检测,第二次抽样检测仍不合格,应判定型式检验为不合格。
- 3) 当水压渗漏、力学性能和树脂不可溶分含量有不合格项时,应加倍抽检,抽检不合格应判定型式检验为不合格。

9 标志、包装、运输、贮存

9.1 设 备

9.1.1 设备标志应清晰牢固,标志应包括设备名称、规格型号、设计温度、设计压力、工作介质、生产厂名、制造日期等内容。

9.1.2 设备包装应符合下列规定:

1 当采用支架加软垫固定时,在易碰撞或摩擦处应包扎软质垫;

2 应有产品合格证、使用说明书及备用附件清单等随箱资料,使用说明书应包括下列内容:

- 1)设备主要性能及参数;
- 2)运输、贮存和使用注意事项;
- 3)安装及维修要求。

9.1.3 设备运输应符合下列规定:

1 设备应与运输工具可靠固定,运输过程中不得有任何方向的移动;

2 运输工具应保持平稳行驶,不得剧烈振动。

9.1.4 设备搬运应符合下列规定:

1 起吊应从设备的吊装环上受力。

2 未设置吊装环的设备起吊应符合下列规定:

- 1)采用捆绑式起吊,起吊前应计算重心;
- 2)采用合成纤维织物吊索,使用前应确认吊索承载能力满足要求;
- 3)起吊前,设备上应系导引绳;设备吊起挪动时,不得撞击其他物体;
- 4)使用吊装环起吊时,起重机挂钩与设备之间的距离不应

小于吊装环之间的距离。

3 在地面上,设备不得滚动或滑动,不得直接撬动设备本体,不得碰撞零部件。

4 使用叉车调整设备位置时,货叉应带软垫。

9.1.5 设备贮存场地应平整,放置方向应与设计取向相同,当放置方向需调整时,应设置支撑并固定。设备不得放置在有坚硬突出物的地面上。

9.1.6 设备运输、贮存中,应远离热源、火源。

9.1.7 设备运输、贮存过程中不应堆压设计要求以外的物体。

9.2 管 道

9.2.1 每根管道的标志应清晰。标志应包括公称尺寸、设计压力、设计温度、工作介质、生产厂名、生产批号和制造日期等内容。

9.2.2 管道包装应符合下列规定:

1 两端的管端面及外侧连接面应采用柔性材料包装;

2 公称直径不超过 150mm 的管道可多根一起捆扎,公称直径超过 150mm 的管道宜单根包装;

3 不同直径单根包装的管可套装,套装后的管道不得滑动;

4 应有产品合格证、使用说明书等随箱资料。

9.2.3 管道装卸或搬运应符合下列规定:

1 应采用柔韧的吊带或绳索进行吊装,不应使用钢丝绳或铁链直接捆绑吊装;

2 管道应采用与管长中点对称的两点起吊,吊点应设在管道受弯矩的最小位置,吊装时应设置导向绳控制方向和落点;

3 不得将起吊绳从管内穿过后起吊。

9.2.4 运输过程中管道应采用支垫并应固定。

9.2.5 管道贮存应符合下列规定:

1 堆放场地应平整,管道底部宜设置支垫;

- 2 宜利用原包装存放,堆放高度不应超过 2m;
 - 3 不宜长期露天存放;
 - 4 堆放处应远离热源、火源、污染及化学侵蚀环境。
- 9.2.6 小型管件宜分类储存,运输可采取箱式包装,并不得碰撞。

10 安 装

10.1 一 般 规 定

10.1.1 安装人员应经技术和安全培训合格。

10.1.2 进入安装现场设备和管道具备的资料应符合本规范第 9.1.2 条第 2 款和第 9.2.2 条第 4 款的规定。

10.1.3 与设备和管道安装相关的承载结构或基础应验收合格。

10.1.4 设备和管道在吊装、卸车、二次搬运过程中除应符合本规范第 9.1.4 条和第 9.2.3 条的规定外,尚应符合下列规定:

- 1 不得采取捆绑人孔、接管等附件的方法吊装;
- 2 不得加载吊装。

10.1.5 安装前应对设备和管道的内表面、外表面进行检查,当有划伤等缺陷时,应按本规范第 7.4.2 条的规定进行修补。

10.1.6 设备与管道安装和检验文件应完整。

10.2 设 备 安 装

10.2.1 设备基础应办理交接验收手续,每米平整度的允许偏差应为 $\pm 2\text{mm}$,整个平面基础的平整度允许偏差应为 $\pm 5\text{mm}$ 。

10.2.2 立式平底设备应安装在连续平整的基础上,并应符合下列规定:

1 安装带有底部排液口的设备时,基础上应留有凹槽,排液口接管法兰不得与基础接触;

2 设备安装的垂直度偏差不应大于 0.5° ;

3 安装非现场制作的平底设备时,设备基础应铺垫耐腐蚀软质材料,铺垫厚度应满足与设备底部完全接触的要求。

10.2.3 卧式圆形设备安装应符合下列规定:

1 支撑应采用鞍式支座,鞍式支座应符合设计规定,支座与设备外壁应吻合,支座与设备底部接触面的间隙应小于 5mm;

2 安装在基础上的支座,应校直、调平和固定牢固;

3 支撑与筒体之间的垫板应采用耐腐蚀软质材料。

10.2.4 悬挂式立式设备的安装应符合下列规定:

1 支座应符合设计要求;

2 设备安装的垂直度偏差不应大于 0.5° ;

3 支座垫片应使用承重耐腐蚀材料。

10.2.5 带支撑腿及带裙座立式设备安装应符合下列规定:

1 支撑腿及裙座应符合设计要求;

2 设备应安装垂直,垂直度偏差不应大于 0.5° ;

3 支撑腿及裙座的垫片应采用承重耐腐蚀材料。

10.2.6 附件或外部设备的连接和安装应符合下列规定:

1 连接设备的管道应设置支撑,不得采用设备本体作为支撑,接管的局部载荷不得超过设计值;

2 水平安装在设备上的阀门及其他较重的附件应单独设置支撑;

3 搅拌口、混合器、冷却(加热)蛇管等附件应单独设计安装方式;

4 与振动设备连接时,应采用柔性连接。

10.2.7 设备安装完成,压力和抗渗漏试验应按设计要求进行,并应符合本规范第 8.4.2 条第 6 款的规定。

10.3 管道安装

10.3.1 管道装配和连接应符合下列规定:

1 与管道连接的设备应安装到位,并经质量检查合格;

2 管道接头应设置在便于检修、观察的地方;

3 架空管道安装时,管道接头部位应设置操作平台;

4 管道与设备不得强力对接。

10.3.2 管道的坡向、坡度应符合设计规定。

10.3.3 管道安装时应对管、管件、阀门和伸缩节等的外观、规格和型号进行检验,内、外表面应干净,不得有刮伤、裂纹等缺陷。

10.3.4 管道的支架或吊架的设置和安装应符合本规范第 6.2.1 条的规定。

10.3.5 管道宜采用刚性接头进行连接,刚性接头包括承插粘接接头(图 10.3.5-1)、手糊对接接头(图 10.3.5-2)和法兰接头(图 10.3.5-3)。

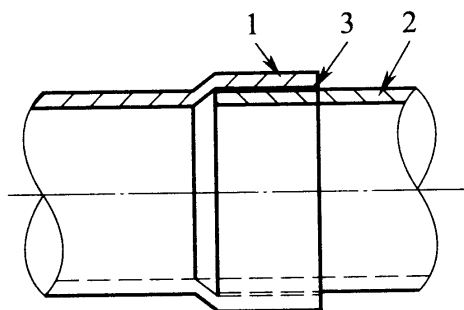


图 10.3.5-1 承插粘接接头

1—管道承口;2—管道插口;3—树脂胶泥

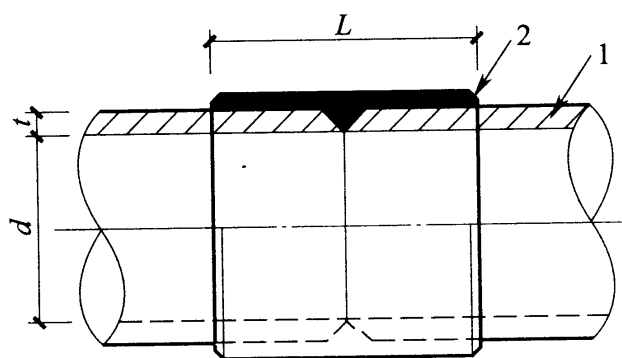


图 10.3.5-2 手糊对接接头

1—管道;2—包覆纤维增强塑料

10.3.6 当采用承插粘接接头连接管道时,应符合下列规定:

1 承口和插口的表面应进行打磨,并应清理干净;承口的内表面和插口的外表面应有均匀的粗糙度;

2 应清理打磨面上的粉尘;

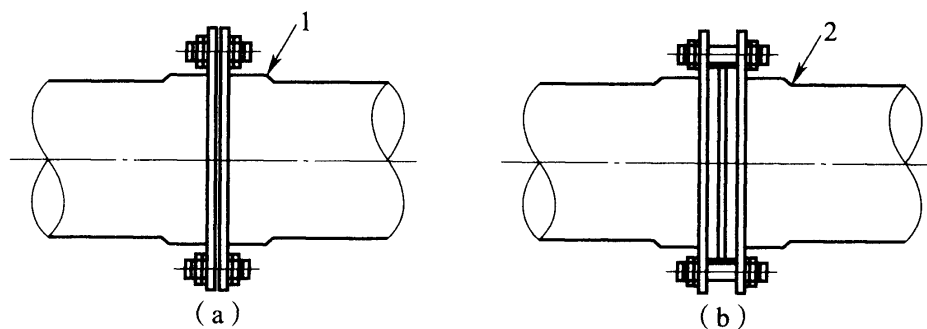


图 10.3.5-3 法兰接头

1—平端法兰；2—活套法兰

3 插入长度及粘接工艺应符合本规范第 6.2.2 条的规定。

10.3.7 当采用手糊对接接头连接管道时,粘接工艺应符合本规范第 7.5 节的有关规定,包覆宽度及铺层工艺应符合本规范第 6.2.2 条的规定。

10.3.8 当采用法兰接头连接管道时,应符合下列规定:

1 法兰密封面及密封垫片的表面不得有影响密封性能的缺陷;

2 法兰连接时应平行,偏差不应大于法兰外径的 1%,且不应大于 1mm,不得用强紧螺栓的方法消除法兰的歪斜;

3 法兰连接时应同轴,连接螺栓应自由穿入;螺栓及螺母与法兰贴紧处应采用平光垫圈;

4 螺栓拧紧时施力应对称均匀,并应逐渐加力拧紧,按上下、左右中心线顺时针排序,依次、对称拧紧螺栓(图 10.3.8)。

10.3.9 管道与产生振动的设备连接时,应安装柔性连接件。

10.3.10 连接在管道线上的阀门及其他设备,在水平和垂直方向宜采用单独支撑(图 10.3.10),管线垂直方向不应过载。

10.3.11 穿墙及穿楼板的管道应加套管,管道接头不得设置在套管内。穿墙及穿楼板套管长度应超过墙面及楼面 50mm。管道与套管的空隙应采用石棉或其他不燃材料填塞。

10.3.12 当管道安装工作间断时,应封闭管口。

10.3.13 管道安装允许偏差应符合表 10.3.13 的要求。

表 10.3.13 管道安装允许偏差(mm)

项 目		允 许 偏 差	
坐标及标高	室外	架空	±15
		地沟	±15
	室内	架空	±10
		地沟	±15
水平管平直度	≤DN100	1/1000	最大 40
	>DN100	1.5/1000	
立管垂直度		2/1000	最大 15
成排管道	在同一平面上间距		7.5
	不在同一平面上间距		±7.5
交叉	管外壁或保温层间距		±10

10.3.14 安装和连接完成的管道的压力试验和抗渗漏试验应符合下列规定：

1 压力试验介质宜采用清水，冬季进行压力试验时应采取防冻措施。

2 试压过程中，管道两端堵头处和管道上不得站人，不得对管道、接口进行敲打或修补缺陷，遇有缺陷时应作出标记，卸压后方可修补。

3 长度大于 1000m 的刚性连接管道应分段试压，试压长度宜为 500m~800m，分段试压合格后应进行全段试压。

4 柔性承插连接管道的整条管线可进行压力试验。

5 试验压力应为设计压力的 1.5 倍，并应符合下列规定：

1) 试压时，试验压力应缓慢升压，一次升压不得超过 0.5MPa，稳定无异常后依次升压，直至试验压力；

2) 每次升压后应稳压 10min，当达到试验压力后应再稳压 30min 以上，检查管道及各接头和附件，应无裂纹和无渗漏，压力表的压降不宜超过试验压力的 1%，当压降超过 1%时应停止压力试验；

3)排水后应对缺陷处进行修补处理,再重新进行压力试验。

6 当管道进行真空压力试验时,试验压力应选取 1.3 倍设计压力和 0.1MPa 的小者,达到试验压力后稳压应少于 30min,检查管道及各连接头和附件应无破坏。

10.4 使用与维修

10.4.1 设备使用应符合下列规定:

- 1 设备制造商应提供设备使用、维护和修理的技术资料;
- 2 使用过程中的过压保护应符合本规范第 3.4.2 条和第 3.4.3 条的规定;
- 3 存放介质的种类、浓度和温度等应符合设计要求;
- 4 应远离火源及高温热源。

10.4.2 管道使用应符合下列规定:

- 1 管道使用压力不得超过设计压力;
- 2 管道输送介质的种类、浓度和温度等应符合设计要求,当有变动时,应经设计确定;
- 3 管道增压、减压应缓慢均匀;
- 4 管道使用时,应避免硬、尖锐物撞击和外部挤压,不得附加设计以外的载荷,应远离火源及高温热源。

10.4.3 设备在使用过程中,当发现内衬损坏、局部碰伤或渗漏等现象时,应进行修复,并应符合下列规定:

- 1 设备修复前,应放空设备贮存介质,设备内表面应清洗并干燥;
- 2 进入设备内清洗和检修时,除应符合进入受限空间作业的相关规定外,操作人员还应穿软底鞋;所用工具、脚手架及其他硬物不得撞击设备壁,与设备的接触点均应包上软垫;

3 修补用原材料及工艺应符合本规范第 7.4.2 条的规定;

4 设备修复部位在未达到要求的强度之前,不得投入使用。

10.4.4 管道在使用过程中,当发现内衬损坏、局部碰伤、渗漏等

现象时,应修复或更换,并应符合下列规定:

- 1 管道修复前,应放空管道内的介质,并应清洗和干燥;
- 2 修补用原材料及工艺应符合本规范第 7.4.2 条的规定;
- 3 管道修复部位在未达到要求的强度之前,不得投入使用;
- 4 经检查确认管道无法修复时,应更换。

11 工程验收

11.0.1 纤维增强塑料设备与管道工程质量验收的划分应符合下列规定：

1 工程质量验收的划分可按检验批、分项工程、分部工程进行；

2 检验批的划分，设备宜以单台划分为一个检验批；管道宜按系统或相同介质、相同压力等级、同一批次检验的，划分为一个检验批；

3 分项工程的划分，可由一个或若干个检验批组成；

4 分部工程的划分，可由同一制造材料组成一个分部工程或若干个子分部工程。

11.0.2 纤维增强塑料设备的工程质量检验应符合下列规定：

1 压力和抗渗漏性检验应为主控项目，质量要求和检测方法应符合本规范第 8.4.1 条和第 8.4.2 条的有关规定；

2 外观质量、设备安装垂直度、法兰接管安装角度偏差、端面与轴线的垂直度偏差检验宜为一般项目，质量要求和检测方法应符合本规范第 8.4.1 条和第 8.4.2 条的有关规定。

11.0.3 纤维增强塑料管道的工程质量检验应符合下列规定：

1 水压渗漏性检验应为主控项目，质量要求和检测方法应符合本规范第 8.4.7 条和第 8.4.8 条的有关规定；

2 外观质量、安装尺寸允许偏差检验宜为一般项目，外观质量应符合本规范第 8.4.7 条第 1 款和第 8.4.8 条第 1 款的有关规定，安装尺寸允许偏差应符合本规范表 10.3.13 的规定。

11.0.4 纤维增强塑料设备与管道工程质量验收应包括中间交接和交工验收。未经交工验收的工程，不得投入生产使用。

11.0.5 纤维增强塑料设备与管道工程质量验收合格应符合下列规定：

- 1 主控项目检验应合格；
- 2 一般项目检测点的合格率不应小于 80%，且不合格点不得影响使用；
- 3 设备和管道的产品质量检验文件、交接及安装文件、压力和抗渗漏检验等文件资料应齐全。

11.0.6 当纤维增强塑料设备与管道工程质量验收有不合格项时，应按下列要求处理：

- 1 经返工或修复的，应重新进行检验；
- 2 经检测鉴定达到设计要求的，应予以验收；
- 3 经检测鉴定仍达不到设计要求的，不得验收。

11.0.7 经过返修或修复仍不能满足安全使用要求的纤维增强塑料设备与管道工程，不得验收。

11.0.8 纤维增强塑料设备与管道工程质量验收时，应提交下列文件：

- 1 计算书、设计图、设计说明书；
- 2 制成品质量检验文件；
- 3 安装与检验文件；
- 4 使用说明书；
- 5 中间交接或隐蔽工程记录；
- 6 修补或返工记录；
- 7 竣工图；
- 8 完工或竣工报告。

附录 A 纤维增强塑料设备耐腐蚀内衬层分项 设计系数 K_2 的确定

A.1 一般规定

A.1.1 纤维增强塑料设备耐腐蚀内衬层的分项设计系数 K_2 应按下列方法确定：

- 1 制造商提供的树脂耐腐蚀数据；
- 2 应用经验；
- 3 实验室试验或现场挂片验证。

A.1.2 当采用不同方法得到分项设计系数 K_2 值时，设计中应选用最低值。

A.2 树脂耐腐蚀数据与分项设计系数 K_2 的确定

A.2.1 树脂耐化学腐蚀数据内容应符合下列规定：

- 1 腐蚀介质的相态应包括液态、气态、固态以及混合相态；
- 2 腐蚀介质的作用量应包括质量百分比浓度或 pH 值；
- 3 在腐蚀介质条件下推荐的材料数据应包括树脂的最高使用温度 T_{\max} 和热变形温度 HDT 、与树脂配套的增强纤维及固化体系；
- 4 推荐使用树脂的固化条件，应包括固化时间和温度、后固化时间和温度。

A.2.2 分项设计系数 K_2 应按表 A.2.2 的规定选用，并应符合下列规定：

- 1 推荐使用的树脂热变形温度 HDT 应高于设计温度 T_d 20℃；
- 2 树脂的后固化应在树脂热变形温度或树脂制造商推荐的

温度下至少保持 4h;

3 采用最高使用温度 T_{\max} 的条件,应符合本规范 A. 2. 1 条的规定。

表 A. 2. 2 分项设计系数 K_2

设计温度 T_d (°C)	K_2
$T_d = T_{\max}$	1. 4
$T_d = T_{\max} - 10$	1. 4
$T_d = T_{\max} - 20$	1. 3
$T_d = T_{\max} - 30$	1. 3
$T_d = T_{\max} - 40$	1. 2
$T_d = T_{\max} - 50$	1. 2
$T_d = T_{\max} - 60$	1. 1
$T_d = T_{\max} - 70$	1. 1

注: T_{\max} 为最高使用温度, T_d 为设计温度。

A. 3 应用经验与分项设计系数 K_2 的确定

A. 3. 1 在应用经验下的分项设计系数 K_2 确定应符合下列规定:

1 在相同或相似的应用工况下,具有 3 年以上使用记录,可采用原设计的分项设计系数 K_2 。

2 在相同或相似的应用工况下,具有 3 年以上使用记录,且设备内衬表面已通过按本规范第 A. 4 节中方法的检测评估,分项设计系数 K_2 的取值应符合下列规定:

- 1) 可降低原设计的 K_2 取值,但降低幅度不得大于 0. 1;
- 2) K_2 的取值不得小于 1. 1。

3 在相同或相似的应用工况下,有大于 6 个月但少于 3 年的使用记录,且设备内衬表面已通过按本规范第 A. 4 节中方法的检测评估,可采用原设计的 K_2 值。

A. 3. 2 当分项设计系数 K_2 确定后,应采用与原设计相同树脂、纤维组成的内衬层结构、固化体系、固化及后固化条件。

A.4 实验室试验或现场挂片验证与分项设计系数 K_2 的确定

A.4.1 试验和验证的样板应采用耐腐蚀内衬层结构,耐腐蚀内衬层的组成、树脂含量应符合本规范第 5.1.7 条的规定。

A.4.2 试验和验证的样板制作和试验方法应符合现行国家标准《纤维增强塑料 试验板制备方法 第 2 部分:接触和喷射模塑》GB/T 27797.2和《玻璃纤维增强热固性塑料耐化学介质性能试验方法》GB/T 3857 的有关规定。

A.4.3 实验室试验应符合下列规定:

- 1 试验温度应为设计温度,温度波动不得大于 2°C ;
- 2 试验期龄可协商确定,且浸泡时间不应少于 16 周;
- 3 试验的液体介质应定期更换;
- 4 试验样板应采用下列浸泡方法:
 - 1) 一个试验样板的单面应浸泡在液体介质中,另一个试验样板的单面应暴露在液体介质的气相中;
 - 2) 试验样板应全部浸泡在液体介质中。

A.4.4 现场挂片验证应符合下列规定:

1 在运行工况条件下,现场挂片可单面或双面浸泡在设备或管道中;也可采用短管件以毗邻管道的形式浸泡或暴露在运行环境中,但管件尺寸应满足制样和检测的要求;

2 试验期龄不得少于 3 个月。

A.4.5 试验和验证样板的耐腐蚀性能评估项目和指标应按表 A.4.5 的规定选用,并应符合下列规定:

表 A.4.5 耐腐蚀性能评估项目和指标

项目	指标	加权因子(单面浸泡)	加权因子(双面浸泡)	性能评级
外观	颜色	2	2	0~5
	光泽保持	3	3	0~5
	不透明度	3	3	0~5
	发粘	4	4	0~5

续表 A. 4. 5

项目	指标	加权因子(单面浸泡)	加权因子(双面浸泡)	性能评级
外观	纤维裸露	4	4	0~5
	面层树脂缺失	5	5	0~5
	气泡形成	5	5	0~5
	龟裂	5	5	0~5
	裂缝	5	5	0~5
	分层	5	5	0~5
尺寸 稳定性	溶胀	8	4	0~5
	重量变化	10	5	0~5
	巴氏硬度 变化	5	5	0~5
机械 强度	弯曲强度 保留率	20	10	0~10
	弯曲模量 保留率	20	10	0~10

1 外观指标的性能评级应符合下列规定：

- 1) 颜色应从没有变化的半透明初始颜色(0级)开始,到
在介质中浸泡后颜色逐步变化,直到完全变色和变暗(5
级)进行性能评级;
- 2) 光泽保持应从浸没后保持原始的光泽无损失(0级)开
始,到亚光表面(5级)进行性能评级;
- 3) 不透明度应从浸没后无变化(0级)开始,到完全不透明
且纤维发白(5级)进行性能评级;
- 4) 发粘应从浸没后察觉不到发粘(0级)开始,到表面发粘
且接触时带有可去除的可粘物(5级)进行性能评级;当
达到5级,应单独按此评级否定该材料的使用;
- 5) 纤维裸露应从不裸露(0级)开始性能评级,纤维裸露的
等级以纤维溶胀露出、到和纤维重叠部位有小气泡时,应

划分为 1 到 5 级；

- 6) 面层树脂缺失应从没有缺失(0 级)开始,到面层树脂缺失(5 级)进行性能评级;当树脂和纤维都有缺失,应单独按此评估否定该材料的使用;
 - 7) 气泡形成,应对表面的气泡大小和分布进行评估,应按与原始相同(0 级)开始,到一些直径为 1mm~2mm 的气泡(1 级)逐步到直径大于 5mm 的中量气泡(5 级)进行性能评级;当发生大量直径大于 5mm 气泡或偶有直径大于 20mm 的气泡时,应单独按此评估否定该材料的使用;
 - 8) 龟裂应从无龟裂(0 级)开始,到不超过 50%的表面已龟裂(5 级)进行性能评级;当超过 50%的材料表面有龟裂,应单独按此评估否定该材料的使用;
 - 9) 裂缝生成应从无裂缝(0 级)开始,到多裂缝(5 级)进行性能评级。当多裂缝导致深的裂缝和材料“完全开裂”时,应单独按此评估否定该材料的使用;
 - 10) 分层应从无分层(0 级)开始,到分层至长度为 25mm(5 级)进行性能评级。
- 2 尺寸稳定性指标的性能评级应符合下列规定:
- 1) 溶胀应从厚度没有变化(0 级)开始,到 20%的厚度增加(5 级)进行性能评级;
 - 2) 重量变化应从无重量的变化(0 级)开始,到 5%重量变化(5 级)进行性能评级;
 - 3) 巴氏硬度变化应从没有变化(0 级)开始,到巴氏硬度降低 50%(5 级)进行性能评级。
- 3 机械性能的评估应采用弯曲强度和弯曲模量的半对数图,并应符合下列规定:
- 1) 弯曲强度和弯曲模量的保留率应与时间的对数相对应,并应采用渐进逼近小于 50%保留率或采用线性外推法

- 到 50%保留率点的方法确定；
- 2) 试验应从保留率没有变化(0 级)开始,到 10 年后保留率到 50%(10 级)进行性能评级；
 - 3) 当弯曲强度或弯曲模量在 50%保留率点的相对应时间少于 10 年时,应单独按此评估否定该材料的使用。
- 4 耐腐蚀性能评估应符合下列规定：
- 1) 应采用相同的浸泡试验方法和耐腐蚀性能评估量表；
 - 2) 不得缺少机械性能的评估指标；
 - 3) 在评估指标范围内,把各项指标的性能评级分数乘以所对应指标的加权因子后再相加,应得到最后的耐腐蚀性能评定总分；
 - 4) 在选定的评估指标范围内,应把各项指标性能评级的最大(最坏)分数乘以所对应指标的加权因子后再相加,应得到最大总分；
 - 5) 当最后的评定总分小于最大总分的 50%时,材料应被采用。

A. 4. 6 分项设计系数 K_2 应按表 A. 4. 6 的规定取值。

表 A. 4. 6 分项设计系数 K_2

评定总分占最大总分比(%)	K_2
≤ 20	1. 1
30	1. 2
40	1. 3
50	1. 4
> 50	不得选用

附录 B 腐蚀介质的分类

表 B 腐蚀介质的分类

介 质	介 质
1 碱性无机物及碱性无机物的可水解盐	铬酸
氢氧化铵溶液	硝酸
氢氧化钙溶液	高氯酸
水合肼溶液	5 碱性有机物
氢氧化钾溶液	N,N-二甲基苯胺
铝酸钠溶液	N,N-二乙基苯胺
氢氧化钠溶液	6 酸性有机物
2 氧化性碱性无机物的可水解盐	乙酸
次氯酸钙溶液(17%活性氯)	甲酸
氯化钙溶液	草酸
次氯酸钠溶液(16%活性氯)	甲苯磺酸
3 酸性无机物及酸性无机物的可水解盐	7 表面活性剂
盐酸	烷基氨基聚乙二醇醚
硫酸铝	烷基芳基磺酸盐
氯化亚铁溶液	芳基烷基铵盐(Na,K)
三氯化铁溶液	烷基酚聚氧乙烯醚
硫酸亚铁溶液	烷基醇聚氧乙烯醚硫酸盐
硫酸铁溶液	羟基醚磷酸酯
硫酸	烷基/芳基磷酸酯
4 无机氧化性酸	脂肪酸酰胺

续表 B

介 质	介 质
乙烯二胺聚氧乙烯醚	乙醇溶液
由乙二胺四乙酸制得的钠, 钾 - 盐 (EDTA 盐)	9 强氧化剂
由氨三乙酸制得的钠, 钾 - 盐 (NTA 盐)	过氧化氢
8 有机溶剂	高锰酸钾
环己醇	10 其他
环己酮	己内酰胺溶液

注: 当使用 1、2、7 类介质以及草酸时, 耐腐蚀层应采用合成纤维或碳纤维。

附录 C 卧式容器设计

C.1 一般规定

C.1.1 卧式容器设计应包括筒体的计算、鞍座数量、结构形式、鞍座布置、鞍座包角的选取。

C.1.2 卧式容器鞍座(图 C.1.2)的设计应符合下列规定:

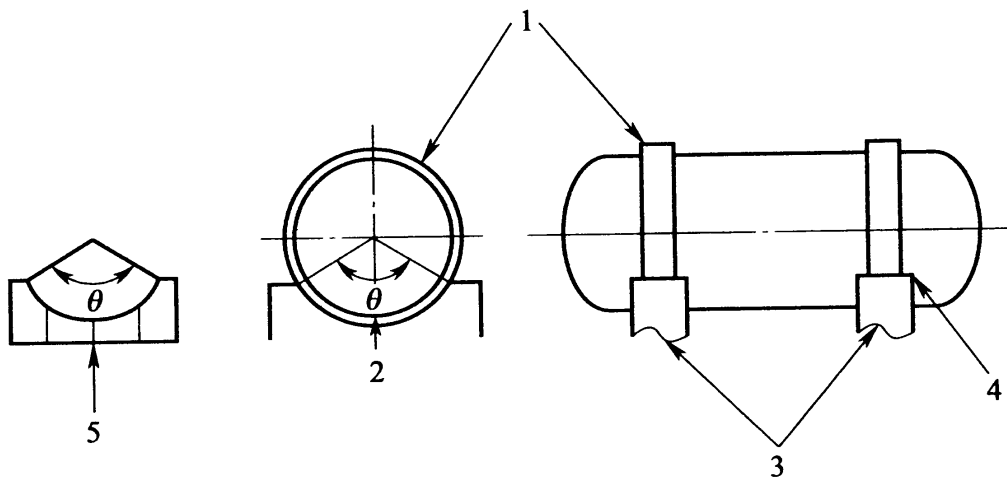


图 C.1.2 卧式容器鞍座

1—加强环;2—鞍座包角;3—混凝土刚性鞍座;

4—鞍座边角;5—钢制刚性鞍座

- 1 鞍座包角宜为 180° , 不得小于 120° ;
- 2 鞍座中心线与封头切线的距离不宜大于筒体半径的 50% 与封头切线间距的 20% 中的较小者, 任意两个鞍座之间的距离不应大于筒体直径的 1.5 倍;
- 3 鞍座的形状应与卧式容器外形相吻合;
- 4 容器在水平方向上应能自由移动;
- 5 鞍座与筒体之间的缓冲层应选用最小厚度为 6mm 的橡胶板或其他低弹性模量材料。

C. 2 卧式容器的计算

C. 2. 1 筒体纵向弯矩的计算应符合下列规定：

1 支撑在鞍座上的容器可简化为直梁，当容器受到自重、物料重量、附加载荷和液柱压力作用时，应计算在容器封头上产生的弯矩。

2 双鞍座支撑的卧式容器(图 C. 2. 1-1)鞍座处圆筒截面上的轴向弯矩 M_1 和圆筒中间处的轴向弯矩 M_2 (图 C. 2. 1-2)，应分别按下列公式计算：

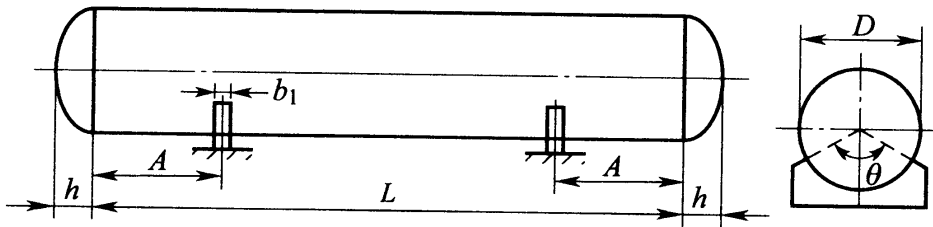


图 C. 2. 1-1 双鞍座支撑的卧式容器

$$M_1 = \frac{w}{4} \times \left(\frac{D^2}{4} - h^2 - 2A^2 - \frac{8h \cdot A}{3} \right) \quad (\text{C. 2. 1-1})$$

$$M_2 = \frac{w}{8} \times \left(L^2 + \frac{D^2}{2} - 2h^2 - 4L \cdot A - \frac{16h \cdot A}{3} \right) \quad (\text{C. 2. 1-2})$$

$$w = \frac{2W_1}{L + \frac{4h}{3}} \quad (\text{C. 2. 1-3})$$

式中： M_1 ——鞍座处圆筒的轴向弯矩(N·mm)；取值应符合表 C. 2. 1 的规定；

M_2 ——圆筒中间处的轴向弯矩(N·mm)；

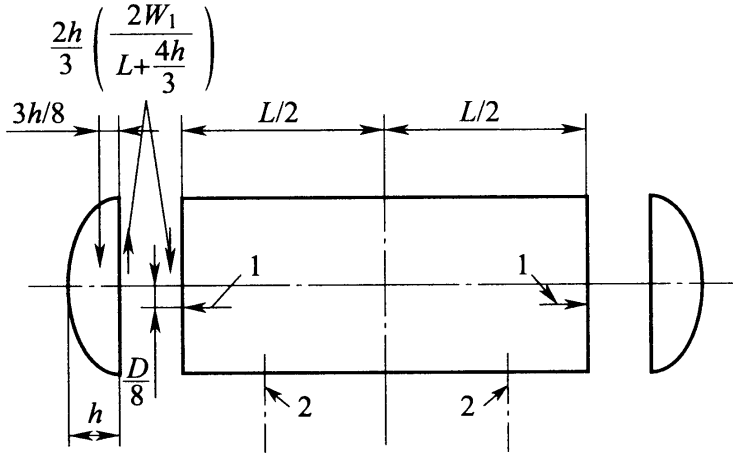
w ——单位长度均布载荷(N/mm)；

D ——容器的平均直径(mm)；

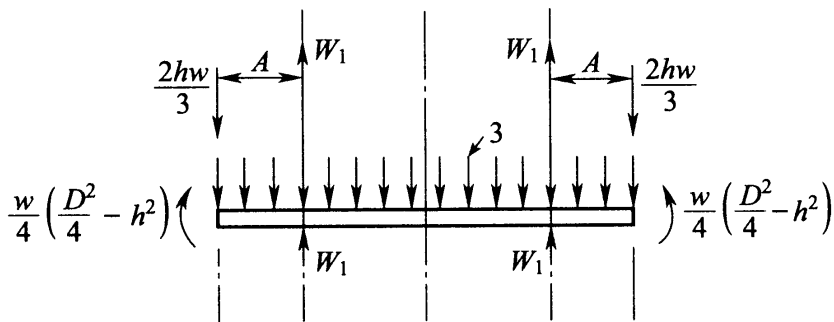
h ——封头曲面深度(mm)；

A ——鞍座底板中心线至封头切线的距离(mm)；

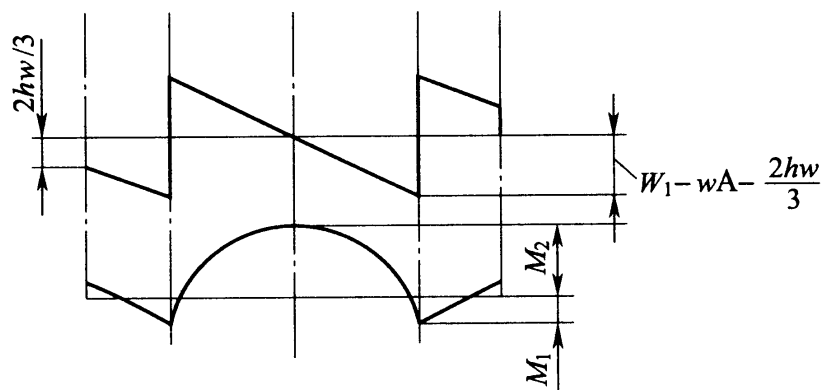
L ——两个封头切线间距离(mm)；
 W_1 ——每个鞍座的反力(N)。



(a) 卧式容器载荷及鞍座反力



(b) 剪力图



(c) 弯矩图

图 C. 2. 1-2 双鞍座圆筒容器受力分布简图

1—作用在容器封头的流体静压载荷($w \cdot D/2$)；

2—鞍座中心线； 3—单位长度均布载荷 w

表 C. 2. 1 鞍座处圆筒的轴向弯矩 M_1 取值

封头类型	M_1 取值
平封头, $2A/D < 0.707$ 时	> 0
过渡区转角内半径为 10% 封头直径的蝶形封头, $2A/D < 0.44$ 时	> 0
标准椭圆封头(长短半轴比 2 : 1), $2A/D < 0.363$	> 0
半球形封头	< 0

注:从切面到凸形封头重心位置的距离可近似为 $3h/8$,封头自身及封头中的物料重量可按作用在封头重心上计算。

C. 2. 2 圆筒轴向单元载荷计算应符合下列规定:

1 圆筒中间截面上的轴向单元载荷应按下列公式计算:

1) 最高点处应按下式计算:

$$q_{x1} = \frac{p_D \times D}{4} - \frac{4M_2}{\pi \times D^2} \quad (\text{C. 2. 2-1})$$

2) 最低点处应按下式计算:

$$q_{x2} = \frac{p_D \times D}{4} + \frac{4M_2}{\pi \times D^2} \quad (\text{C. 2. 2-2})$$

式中: q_{x1} ——圆筒中间截面最高点的轴向单元载荷(N/mm);

q_{x2} ——圆筒中间截面最低点的轴向单元载荷(N/mm);

p_D ——内压加上其他附加压力的计算压力(MPa)。

3) 当圆筒中间截面受压缩载荷时,最大轴向单元压缩载荷 q_{xc} 应按本规范第 5. 3. 3 条有关规定进行临界轴向屈曲计算。

2 鞍座平面处轴向单元载荷应按下列公式计算:

1) 在截面最高点处的轴向单元载荷应按下式计算:

$$q_{x3} = \frac{p_D \times D}{4} - \frac{4M_1}{K_1 \times \pi \times D^2} \quad (\text{C. 2. 2-3})$$

2) 在截面最低点处的轴向单元载荷应按下式计算:

$$q_{x4} = \frac{p_D \times D}{4} + \frac{4M_1}{K_2 \times \pi \times D^2} \quad (\text{C. 2. 2-4})$$

式中： q_{x3} ——鞍座处最高点的轴向单元载荷(N/mm)；

q_{x4} ——鞍座处最低点的轴向单元载荷(N/mm)；

K_1, K_2 ——系数，应按表 C. 2. 2 的规定取值。

表 C. 2. 2 K_1, K_2 系数

条 件	鞍座包角 $\theta(^{\circ})$	K_1	K_2
1 被封头或加强圈加强的圆筒，即 $A \leq D/4$ ，或在鞍座平面上有加强圈的圆筒	$120 \leq \theta \leq 180$	1	1
2 未被封头或加强圈加强的圆筒，即 $A > D/4$ ，且在鞍座平面上无加强圈的圆筒	120	0.107	0.192
	135	0.132	0.234
	150	0.161	0.279
	165	0.193	0.328
	180	0.229	0.380

3 圆筒轴向单元载荷校核应符合下列规定：

1) 在圆筒中间截面处，应按式(C. 2. 2-1)、式(C. 2. 2-2)计算，并应满足下式要求：

$$\max\{q_{x1}, q_{x2}\} \leq [q_x] \quad (\text{C. 2. 2-5a})$$

2) 鞍座平面处，应按式(C. 2. 2-3)、式(C. 2. 2-4)计算，并应满足下式要求：

$$\max\{q_{x3}, q_{x4}\} \leq [q_x] \quad (\text{C. 2. 2-5b})$$

3) 圆筒中间截面轴向失稳校核应满足下式要求：

$$\frac{u_c}{q_{xc}} \geq F \quad (\text{C. 2. 2-5c})$$

式中： $[q_x]$ ——层合板的许用轴向单元载荷(N/mm)；

q_{xc} ——圆筒的最大轴向单元压缩载荷(N/mm)；

F ——屈曲安全系数，按本规范第 4. 3. 3 条的规定取值；

u_c ——圆筒的轴向单元压缩屈曲载荷(N/mm)。

C. 2. 3 圆筒稳定性的计算和校核应符合下列规定：

1 圆筒的稳定性应按本规范第 5. 3. 3 条的有关规定进行校

核,并应符合下列规定:

- 1)当压力载荷为0或负压时,圆筒中间截面的最大压缩单元载荷应按本规范式(C.2.2-1)计算。
- 2)当压力载荷为0或负压时,鞍座平面上的最大压缩单元载荷应按本规范式(C.2.2-3)计算。
- 3)容器最大轴向单元压缩载荷 u_c 应按本规范第5.3.3条的有关规定计算。
- 4)判别准则应满足下式要求:

$$\frac{u_c}{q_x} \geq F \quad (\text{C.2.3-1})$$

式中: q_x ——圆筒轴向单元载荷(N/mm),取式(C.2.2-1)和式(C.2.2-3)的计算结果中的较大值。

- 5)当受负压载荷时,在轴向载荷和径向载荷组合作用下应满足下式要求:

$$\left(\frac{q_x \times F}{u_c}\right)^{1.25} + \left(\frac{p_u \times F}{p_c}\right)^{1.25} \leq 1 \quad (\text{C.2.3-2})$$

式中: p_c ——圆筒临界屈曲压力(MPa),应按本规范第5.3.3条确定;

p_u ——负压力(MPa)。

2 当容器壁厚无法满足式(C.2.3-1)和式(C.2.3-2)要求时,在靠近鞍座处应设置加强圈,并按本规范表C.2.2的规定选用较大的 K_1 和 K_2 值,再进行计算和校核。

3 当采用平行于容器全长的两个纵向加强筋时,加强筋应设置在容器顶部,间距宜为筒体直径的40%,加强筋应与容器形成一整体,在外载荷作用下不得失效。

C.2.4 双鞍座支撑的圆筒切向剪力分布可按本规范图C.2.1-2确定,多鞍座圆筒可按连续梁分析方法计算其剪力。圆筒切向剪力的计算应符合下列规定:

- 1** 双鞍座结构在鞍座截面的最大剪力(本规范图C.2.1-2)

应按下式计算：

$$Q = \frac{W_1(L - 2A)}{L + \frac{4h}{3}} \quad (\text{C. 2. 4-1})$$

式中：Q——圆筒计算处的剪力(N)。

2 鞍座区域的剪应力载荷应按下式计算：

$$\tau_{\max} = \frac{2K_3W_1}{t \times D} \times \frac{L - 2A}{L + \frac{4h}{3}} \quad (\text{C. 2. 4-2})$$

式中： τ_{\max} ——圆筒最大切向剪应力(MPa)；

t ——圆筒壁厚(mm)；

K_3 ——系数，应按表 C. 2. 4 的规定取值。

表 C. 2. 4 K_3 系数

条件	鞍座包角 $\theta(^{\circ})$	K_3	
		$A > D/4$	$A \leq D/4$
无加强环或加强环靠近鞍座的圆筒	120	1.171	0.880
	135	0.958	0.654
	150	0.799	0.485
	165	0.675	0.357
	180	0.577	0.260
在鞍座平面上有加强环的圆筒	$120 \leq \theta \leq 180$	0.319	0.319

C. 2. 5 圆筒层合板的切向最大剪切应力 τ_{\max} 的校核应满足下式要求：

$$\tau_{\max} \leq [\tau] \quad (\text{C. 2. 5})$$

式中： $[\tau]$ ——圆筒层合板的许用剪切应力(MPa)，可按本规范式(4.3.8-4)计算。

C. 2. 6 圆筒剪切失稳校核应满足下列公式要求：

$$\frac{\tau_c}{\tau} \geq F \quad (\text{C. 2. 6-1})$$

$$\tau_c = 1.31 \times (E_x^3 \times E_{\Phi,b}^5)^{0.125} \times \left(\frac{t}{D}\right)^{1.25} \times \left(\frac{D}{L_s}\right) \quad (\text{C. 2. 6-2})$$

$$\tau = k_q \times \frac{2Q}{\pi \times D \times t} \quad (\text{C. 2. 6-3})$$

式中： τ_c ——鞍座处圆筒的临界失稳剪切应力(MPa)；

τ ——圆筒鞍座截面处最大剪切应力(MPa)；

$E_{\Phi,b}$ ——层合板环向弯曲模量(MPa)；

E_x ——层合板轴向拉伸模量(MPa)；

L_s ——鞍座或加强圈之间的距离(mm)；

k_q ——圆筒载荷的函数；当载荷为拉伸载荷时， k_q 取 1.5；当载荷为压缩载荷时， k_q 取 1.0。

C. 2. 7 当 $A > D/4$ 且在鞍座平面上无加强环时，其环向单元载荷计算和校核应符合下列规定：

1 圆筒环向单元载荷的最大值可发生在鞍座边角处和鞍座截面处的圆筒最低点，在鞍座截面处的圆筒最低点的最大单元载荷应按下式计算：

$$q_{\Phi 5} = \frac{K_5 \times W_1}{b_1 + 10t} \quad (\text{C. 2. 7-1})$$

式中： $q_{\Phi 5}$ ——鞍座截面处圆筒最低点的最大环向单元载荷(N/mm)；

b_1 ——鞍座的轴向宽度(mm)；

K_5 ——系数，应按表 C. 2. 7 的规定取值。当鞍座与容器的为刚性固定时， K_5 可按 $\frac{1}{10}K_5$ 取值；当鞍座与容器间可水平滑动时， K_5 可按 $3K_5$ 取值或采用试验数据。

表 C. 2. 7 K_5 系数

鞍座包角 $\theta(^{\circ})$	120	135	150	165	180
K_5	0.76	0.711	0.673	0.645	0.624

2 由式(C. 2. 7-1)计算无加强圈圆筒的环向单元载荷最大值 $q_{\Phi 5}$ 应符合按本规范第 5. 3. 3 条计算的压缩稳定性规定, 并应满足下式要求:

$$\max\{q_{\Phi 5}\} \leq [q_{\Phi}] \quad (\text{C. 2. 7-2})$$

式中: $[q_{\Phi}]$ ——层合板的许用环向单元载荷(N/mm)。

C. 2. 8 无加强圈圆筒或被封头加强圆筒的鞍座边角处载荷计算应符合下列规定:

1 在鞍座边角的最大弯矩 M_H 应按下式计算:

$$M_H = K_6 \times W_1 \times \frac{D}{2} \quad (\text{C. 2. 8-1})$$

式中: M_H ——无加强圈圆筒或被封头加强圆筒的鞍座边角处的最大弯矩(N·mm);

K_6 ——系数, 应按表 C. 2. 8 的规定取值。

表 C. 2. 8 K_6 系数

$\frac{2A}{D}$	鞍座包角 $\theta(^{\circ})$				
	120	135	150	165	180
≤ 0.5	0.0132	0.0103	0.0079	0.0059	0.0041
≥ 1.0	0.0528	0.0413	0.0316	0.0238	0.0165

注: 当 $0.5 < \frac{2A}{D} < 1.0$, K_6 值可按表内数值线性内插值求取。

2 环向单元载荷弯曲分量应按下列公式计算:

1) 当 $L \geq 4D$, 有效宽度(图 C. 2. 8) $L_r = 2D$ 时, 应按下式计算:

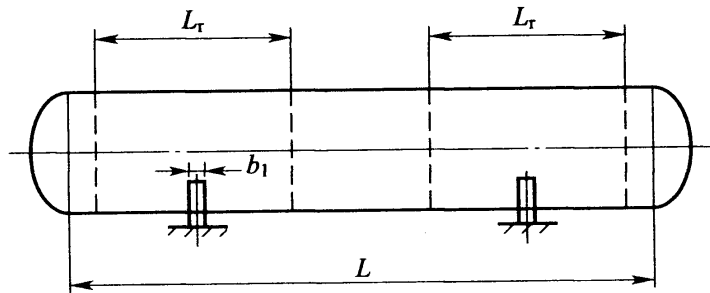


图 C. 2. 8 容器承受弯矩 M_H 的有效宽度 L_r

$$q_{\Phi b} = \frac{3K_6 W_1}{2t} \quad (\text{C. 2. 8-2})$$

2) 当 $L < 4D$, 有效宽度 $L_r = L/2$ 时, 应按下式计算:

$$q_{\Phi b} = \frac{6K_6 W_1 D}{L \times t} \quad (\text{C. 2. 8-3})$$

3 鞍座边角处的单元压缩载荷应按下式计算:

$$q_{\Phi m} = \frac{W_1}{4 \times (b_1 + 10t)} \quad (\text{C. 2. 8-4})$$

4 鞍座边角处的最大环向压缩单元载荷应按下列公式计算:

1) 当 $\frac{L}{D} \geq 4$ 时, 应按下式计算:

$$q_6 = -\frac{W_1}{4 \times (b_1 + 10t)} - \frac{3}{2} \times K_6 \times \frac{W_1}{t} \quad (\text{C. 2. 8-5})$$

2) 当 $\frac{L}{D} < 4$ 时, 应按下式计算:

$$q_6 = -\frac{W_1}{4 \times (b_1 + 10t)} - \frac{6K_6 W_1 D}{L \times t} \quad (\text{C. 2. 8-6})$$

式中: q_6 ——无加强圈圆筒或被封头加强圆筒的鞍座边角处的最大环向单元压缩载荷(N/mm)。

3) 由式(C. 2. 8-5)和式(C. 2. 8-6)计算出的鞍座边角处 q_6 应满足下式要求:

$$\max\{q_6\} \leq [q_{\Phi}] \quad (\text{C. 2. 8-7})$$

附录 D 法兰设计

D.1 一般规定

D.1.1 纤维增强塑料法兰安全系数 K 值应取 8。

D.1.2 纤维增强塑料法兰所用的钢制螺栓材料应符合现行国家标准《压力容器 第 2 部分:材料》GB 150.2 的有关规定。

D.1.3 活套法兰中的钢制材料应符合现行国家标准《压力容器 第 2 部分:材料》GB 150.2 的有关规定。

D.2 法兰形式及要求

D.2.1 纤维增强塑料法兰可分为整体法兰和活套法兰(图 D.2.1),其设计应符合下列规定:

- 1 法兰补强高度(图 D.2.1)(位置 a)不应小于 4 倍的法兰厚度 δ_f ;
- 2 法兰到接管部分宜采用渐缩结构(图 D.2.1)(位置 b);
- 3 法兰的外部(图 D.2.1)(位置 c)宜采用单位面积质量为 $1.2\text{kg}/\text{m}^2$ 的纤维短切原丝毡;
- 4 法兰沿筒体或接管长度方向 $(\delta_f + 6t)\text{mm}$ 范围,其厚度应大于 $(\delta_f/2)\text{mm}$;
- 5 整体法兰的背面宜设计最小厚度为 6mm 的钢制垫环,或采用钢垫圈;
- 6 法兰所有转角处的转角半径不得小于 3mm;
- 7 活套法兰外径与钢法兰内径之间的间隙(图 D.2.1)(位置 d)不应大于 3mm。

D.2.2 整体法兰的载荷作用位置分布可按图 D.2.2-1 确定,活套法兰的载荷作用位置分布可按图 D.2.2-2 确定。

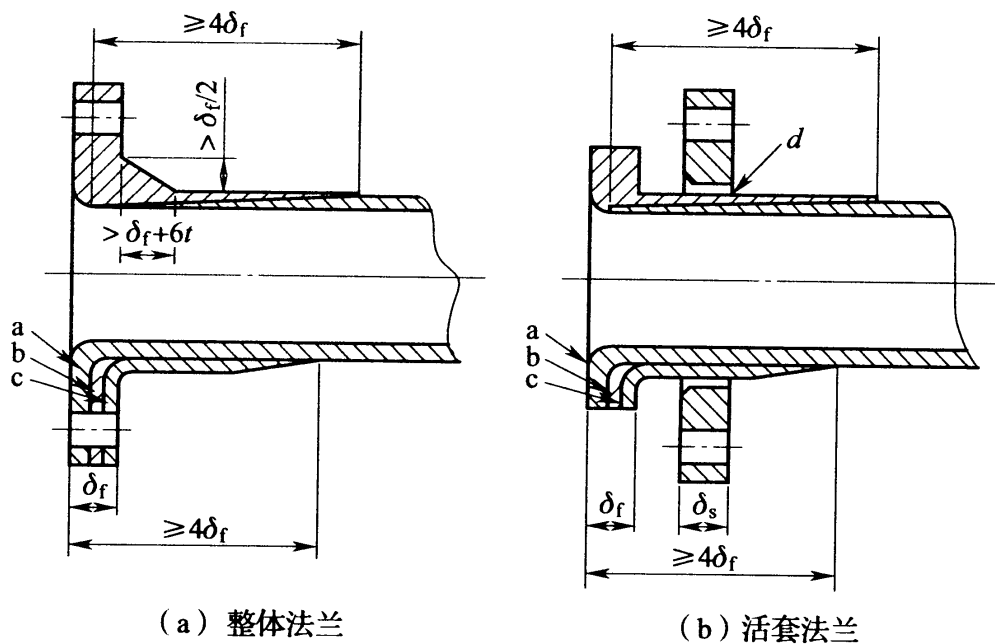


图 D. 2. 1 纤维增强塑料法兰

t —筒体或接管厚度 (mm)

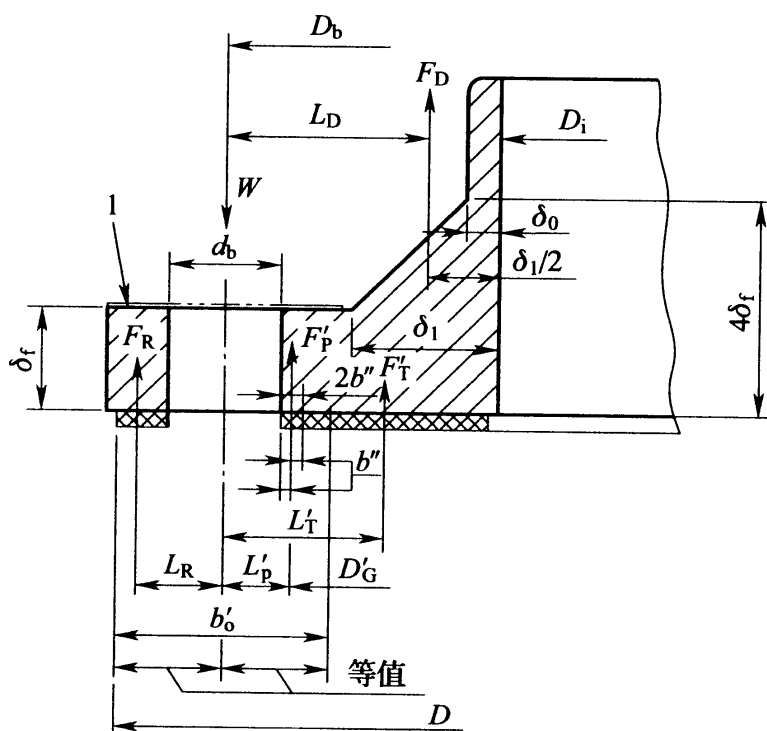


图 D. 2. 2-1 整体法兰的载荷作用位置分布

1—钢制垫环或钢垫圈

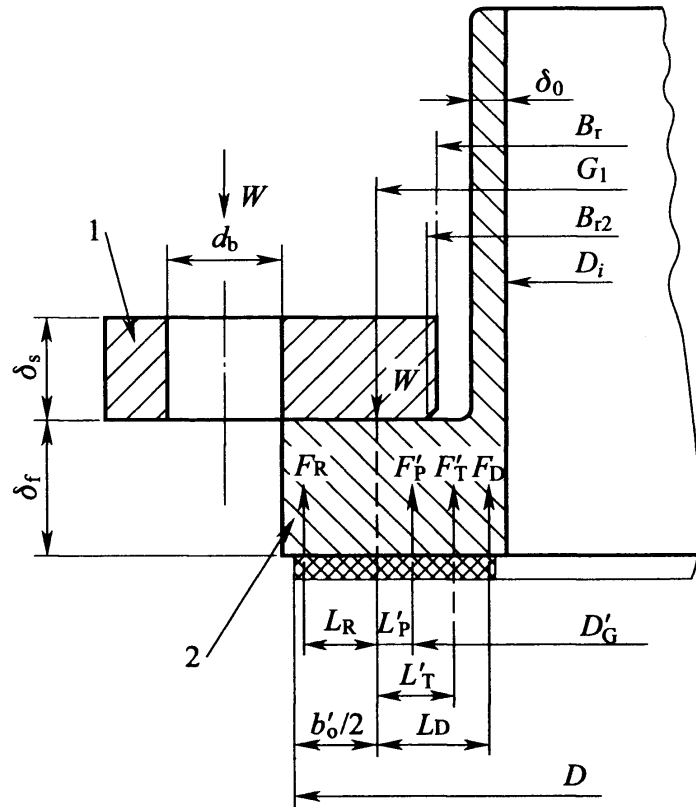


图 D. 2. 2-2 活套法兰的载荷作用位置分布
1—钢法兰;2—法兰

D. 3 整体法兰设计

D. 3. 1 整体法兰在载荷作用(图 D. 2. 2-1)下的设计和计算可按现行国家标准《压力容器 第 3 部分:设计》GB 150. 3 的有关规定执行。

D. 3. 2 法兰厚度应按下列公式计算:

$$\delta_f = \sqrt{\frac{6 \times F_R \times L_R \times K}{\sigma_{CSM} \times (\pi \times D - n \times d_b)}} \quad (D. 3. 2-1)$$

$$\sigma_{CSM} = \frac{U}{t_g} \quad (D. 3. 2-2)$$

式中: \$\delta_f\$——法兰有效厚度(mm);

\$F_R\$——作用在法兰上螺栓载荷的中心圆外侧,平衡 \$F_D\$、

F'_P 、产生的力矩所需的轴向力(N);

L_R ——作用于法兰上螺栓载荷的中心圆直径至 F_R 作用位置处的径向距离(mm);

K ——设计安全系数,应取 8;

σ_{CSM} ——纤维短切原丝毡单层板的极限拉伸强度(MPa);

U ——纤维短切原丝毡单层板的单元拉伸强度[N/(mm · kg/m²)];

t_g ——单位面积质量的纤维短切原丝毡单层板厚度[mm/(kg/m²)];

D ——垫片外径或法兰外径,取两者的小值(mm);

n ——螺栓数量;

d_b ——螺栓孔直径(mm)。

D.3.3 整体法兰的基本参数可按表 D.3.3 的规定选用,并应符合下列规定:

1 纤维短切原丝毡单层板的许用应变不应小于 0.25%;

2 垫片应采用无织物橡胶垫或邵氏硬度为 50~65 的高含量纤维橡胶合成垫;

3 垫片特性系数 m 应为 1.0, y 应为 1.4。

表 D.3.3 整体法兰的基本参数

接通管径 DN (mm)	法兰度 (mm)	连接尺寸(Class150)					连接尺寸(PN10)				
		法外径 (mm)	螺圆 栓直 径中 心 (mm)	螺直 径孔 (mm)	螺数 量孔	螺规 格	法外 径 (mm)	螺圆 栓直 径中 心 (mm)	螺直 径孔 (mm)	螺数 量孔	螺规 格
1.0MPa											
25	23	115	79.4	16	4	M14	115	85	14	4	M14
32	24	125	88.9	16	4	M14	140	100	18	4	M14
40	25	134	98.4	16	4	M14	150	110	18	4	M14

续表 D. 3. 3

接管径 DN (mm)	法厚 兰度 (mm)	连接尺寸(Class150)					连接尺寸(PN10)				
		法外 兰径 (mm)	螺圆 栓直 径中 心 (mm)	螺直 径 孔 (mm)	螺数 量 孔	螺规 格	法外 兰径 (mm)	螺圆 栓直 径中 心 (mm)	螺直 径 孔 (mm)	螺数 量 孔	螺规 格
1. 0MPa											
50	28	152	120.7	18	4	M16	165	125	18	4	M16
65	30	178	139.7	18	4	M16	185	145	18	8	M16
80	32	190	152.4	18	4	M16	200	160	18	8	M16
100	32	230	190.5	18	8	M16	220	180	18	8	M16
125	32	255	215.9	22	8	M20	250	210	18	8	M20
150	32	280	241.3	22	8	M20	285	240	22	8	M20
200	38	345	298.5	22	8	M20	340	295	22	8	M20
250	45	406	362	26	12	M24	395	350	22	12	M24
300	50	485	431.8	26	12	M24	445	400	22	12	M24
350	55	535	476.2	30	12	M24	505	460	22	16	M24
0. 60MPa											
400	55	595	539.8	30	16	M27	565	515	26	16	M27
450	60	635	577.8	33	16	M30	615	565	26	20	M30
500	60	700	635	33	20	M30	670	620	26	20	M30
600	65	815	749.3	36	20	M33	780	725	30	20	M33
0. 25MPa											
700	55	925	863.6	36	28	M33	895	840	30	24	M33
800	60	1060	977.9	42	28	M39	1015	950	33	24	M39
900	65	1170	1085.8	42	32	M39	1115	1050	33	32	M39
1000	70	1290	1200.2	42	36	M39	1230	1160	36	36	M39

D. 3. 4 当不符合本规范 D. 3. 3 条规定或超出本规范表 D. 3. 3 规定的法兰基本参数范围时,整体法兰的设计和计算应按本规范 D. 3. 1 条和 D. 3. 2 条的规定执行。

D. 4 活套法兰设计

D. 4. 1 垫片的设计和计算应符合下列规定:

1 常用软垫片的特性参数(m, y)取值应符合现行国家标准《压力容器 第 3 部分:设计》GB 150. 3 的有关规定。

2 垫片有效密封宽度应按下列公式计算:

1)当预紧状态时,应按下列公式计算:

$$G_1 = \frac{D + B_{r2}}{2} \quad (\text{D. 4. 1-1})$$

$$b'_0 = D - G_1 \quad (\text{D. 4. 1-2})$$

$$b' = 4 \sqrt{b'_0} \quad (\text{D. 4. 1-3})$$

2)当操作状态时,应按下列公式计算:

$$2b'' = 5 \quad (\text{D. 4. 1-4})$$

式中: G_1 ——作用在法兰上载荷的中心圆直径(mm);

B_{r2} ——与法兰相接触点处的活套法兰内直径(mm);

b'_0 ——预紧状态垫片基本密封宽度(mm);

b' ——预紧状态垫片有效密封宽度(mm);

$2b''$ ——操作状态垫片有效密封宽度(mm),取 5;

3 垫片压紧力作用中心圆直径应按下列式计算:

$$D'_G = G_1 - 2b'' \quad (\text{D. 4. 1-5})$$

式中: D'_G ——垫片压紧力 F'_P 作用中心圆直径(mm)。

4 垫片需要的最小垫片压紧力应按下列公式计算:

1)当预紧状态时,应按下列式计算:

$$F'_a = 3.14 \times G_1 \times b' \times y \quad (\text{D. 4. 1-6})$$

2)当操作状态时,应按下列式计算:

$$F'_P = 6.28 \times D'_G \times m \times p \times b'' \quad (\text{D. 4. 1-7})$$

式中： F'_a ——预紧状态需要的最小垫片压紧力(N)；

y ——垫片比压力(MPa)，应按现行国家标准《压力容器 第3部分：设计》GB 150.3的有关规定取值；

F'_p ——操作状态需要的最小垫片压紧力(N)；

m ——垫片系数，应按现行国家标准《压力容器 第3部分：设计》GB 150.3的有关规定取值；

p ——法兰设计压力(MPa)。

D.4.2 螺栓的设计和计算应符合下列规定：

1 螺栓的布置应符合现行国家标准《压力容器 第3部分：设计》GB 150.3的有关规定。

2 螺栓载荷应按下列公式计算：

1) 当预紧状态时，应按下式计算：

$$W_a = F'_a \quad (\text{D.4.2-1})$$

2) 当操作状态时，应按下列公式计算：

$$F' = 0.785 \times G_1^2 \times p \quad (\text{D.4.2-2})$$

$$F_D = 0.785 \times D_i^2 \times p \quad (\text{D.4.2-3})$$

$$F'_T = F' - F_D \quad (\text{D.4.2-4})$$

$$F_R = \frac{F_D \times L_D + F'_P \times L'_P + F'_T \times L'_T}{L_R} \quad (\text{D.4.2-5})$$

$$L_D = \frac{G_1 - D_i - \delta_o}{2} \quad (\text{D.4.2-6})$$

$$L'_P = b'' \quad (\text{D.4.2-7})$$

$$L'_T = \frac{G_1 + 2b'' - D_i}{4} \quad (\text{D.4.2-8})$$

$$L_R = \frac{D - G_1}{4} \quad (\text{D.4.2-9})$$

$$W_P = F'_P + F' + F_R \quad (\text{D.4.2-10})$$

式中： F' ——内压引起的总轴向力(N)；

F'_T ——内压引起的总轴向力 F' 与作用在法兰内径截面上内压引起的轴向力 F_D 之差(N)；

- F_D ——内压引起的作用于法兰内径截面上的轴向力(N);
- D_i ——法兰内直径(mm);
- δ_o ——法兰颈部有效厚度(mm);
- L_D ——作用于法兰上螺栓载荷的中心圆直径至 F_D 作用位置处(图 D. 2. 2-2)的径向距离(mm);
- L'_P ——作用于法兰上螺栓载荷的中心圆直径至 F'_P 作用位置处(图 D. 2. 2-2)的径向距离(mm);
- L'_T ——作用于法兰上螺栓载荷的中心圆直径至 F'_T 作用位置处(图 D. 2. 2-2)的径向距离(mm)。

3 螺栓面积计算应符合下列规定:

1) 预紧状态下应按下式计算:

$$A_a = \frac{W_a}{[\sigma]_b} \quad (\text{D. 4. 2-11})$$

2) 操作状态下应按下式计算:

$$A_p = \frac{W_p}{[\sigma]_b} \quad (\text{D. 4. 2-12})$$

式中: A_a ——预紧状态下需要的最小螺栓总截面积(mm^2);

A_p ——操作状态下,需要的最小螺栓总截面积(mm^2);

A_b ——实际使用的螺栓总截面积(mm^2);

A_m ——需要的螺栓总截面积(mm^2);

W_a ——预紧状态下,需要的最小螺栓载荷(N);

W_p ——操作状态下,需要的最小螺栓载荷(N);

$[\sigma]_b$ ——室温下螺栓材料的许用应力(MPa),应按现行国家标准《压力容器 第2部分:材料》GB 150.2 的规定取值;

$[\sigma]_b$ ——设计温度下螺栓材料的许用应力(MPa),应按现行国家标准《压力容器 第2部分:材料》GB 150.2 的规定取值。

3) 需要的螺栓面积 A_m 应取 A_a 与 A_p 中的大值;

- 4) 实际螺栓面积 A_b 不应小于需要的螺栓面积 A_m ;
- 5) 最小螺栓截面应以螺纹小径及无螺纹部分的最小直径分别计算, 并应取小值。

D. 4. 3 法兰的设计和计算应符合下列规定:

- 1 法兰设计力矩应按下式计算:

$$M_o = F_R \times L_R \quad (\text{D. 4. 3-1})$$

式中: M_o ——法兰设计力矩(N·mm)。

- 2 法兰厚度应按下式计算:

$$\delta_f = \sqrt{\frac{6 \times F_R \times L_R \times K}{\sigma_{CSM} \times \pi \times G_1}} \quad (\text{D. 4. 3-2})$$

- 3 法兰翻边部分的剪切应力计算应符合下列规定:

- 1) 预紧状态下的剪切载荷应按下式计算:

$$W = \frac{A_m + A_b}{2} [\sigma]_b \quad (\text{D. 4. 3-3})$$

式中: W ——钢活套法兰剪切载荷(N)。

- 2) 操作状态下的剪切载荷应按下式计算:

$$W = W_p \quad (\text{D. 4. 3-4})$$

- 3) 剪切面积应按下式计算:

$$A_\tau = 3.14 \times B_{r2} \times \delta_f \quad (\text{D. 4. 3-5})$$

式中: A_τ ——法兰圆板的剪切面积(mm^2)。

- 4) 预紧状态和操作状态下的剪切应力应按下式计算:

$$\tau = \frac{W}{A_\tau} \quad (\text{D. 4. 3-6})$$

式中: τ ——层合板的剪切应力(MPa)。

- 5) 在设计温度下, 预紧状态和操作状态下的剪切应力应满足下式要求:

$$\tau \leq [\tau] \quad (\text{D. 4. 3-7})$$

式中: $[\tau]$ ——层合板的许用剪切应力(MPa), 可按本规范式(4. 3. 8-4)计算取值。

D.4.4 钢活套法兰设计和计算应符合下列规定：

1 当钢活套法兰为整体圆环时，其厚度 δ_R 选用应符合现行国家标准《压力容器 第3部分：设计》GB 150.3 的有关规定。

2 当钢活套法兰为剖分时，其厚度应按下式计算：

$$\delta_S = 1.41 \times \delta_R \quad (\text{D.4.4-1})$$

式中： δ_R ——整片钢活套法兰厚度(mm)；

δ_S ——剖分钢活套法兰厚度(mm)。

D.4.5 活套法兰的基本参数可按表 D.4.5 的规定选用，并应符合下列规定：

1 纤维短切原丝毡单层板的许用应变不应小于 0.25%；

2 垫片应采用无织物橡胶垫或邵氏硬度为 50~65 的纤维合成橡胶垫；

3 垫片特性系数 m 应为 1.0, y 应为 1.4。

表 D.4.5 活套法兰的基本参数(mm)

接管通径	活套法兰		
	外径 Class150	外径 PN10	厚度
1.0MPa			
25	—	—	—
32	—	—	—
40	—	—	—
50	102	107	10
65	121	127	11
80	133	142	12
100	172	165	14
125	193	192	15
150	219	218	17
200	276	273	20
250	335	328	23

续表 D. 4. 5

接管通径	活套法兰		
	外径 Class150	外径 PN10	厚度
1. 0MPa			
300	405	378	26
350	446	438	27
400	509	489	29
450	544	539	30
500	601	594	31
600	713	695	35
0. 6MPa			
700	829	810	36
800	937	917	39
900	1045	1017	43
1000	1159	1124	46

D. 4. 6 当不符合本规范 D. 4. 5 条规定或超出本规范表 D. 4. 5 规定的法兰基本参数范围时,活套法兰的设计和计算应符合本规范第 D. 4. 1 条~第 D. 4. 5 条的规定。

附录 E 地锚设计

E.1 一般规定

E.1.1 纤维增强塑料设备筒体与地锚之间应采用环向缠绕或二次粘接成型。

E.1.2 设备与基础应锚固(本规范图 5.4.1-3)。

E.1.3 纤维增强塑料地锚的安全系数 K 值不应小于 10。

E.2 环向缠绕成型地锚设计

E.2.1 环向缠绕成型地锚(图 E.2.1-1)反作用力计算应符合下列规定：

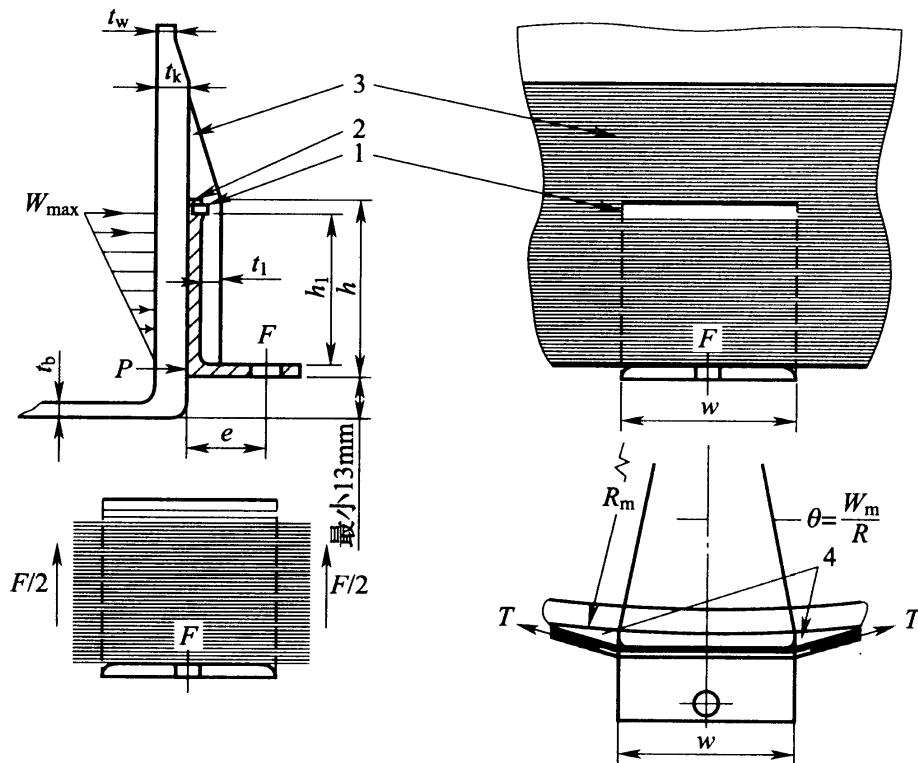


图 E.2.1-1 环向缠绕成型地锚

1—加固棒；2—剪切凸缘；3—缠绕层；4—树脂胶泥

1 设备顶部风载荷提升力 U 应按下列公式计算:

$$U = A_t \times (P_G \times G) \quad (\text{E. 2. 1-1})$$

$$A_t = \frac{\pi \times D_o^2}{4} \quad (\text{E. 2. 1-2})$$

式中: U ——设备顶部风载荷提升力(N);

P_G ——风载荷提升系数,无量纲,可按表 E. 2. 1 取值;

G ——风压(MPa);

A_t ——顶部平面面积(mm^2);

D_o ——设备外径(mm);

表 E. 2. 1 风载荷提升系数 P_G

封头类型		D/H							
		0.8	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
P_G	凸形	0.88	0.81	0.75	0.71	0.68	0.65	0.62	0.60
	锥形或平形	0.53	0.50	0.45	0.43	0.40	0.38	0.36	0.35

注:1 D 为设备公称直径(mm), H 为设备直边段高度(mm);

2 当 $0.4 < D/H < 4.0$ 时,其他 P_G 值可按表内数值线性内插获取。

2 取风载荷作用在设备的重心位置,其倾覆力矩可按下式计算:

$$M_Q = 0.5GS_fDH^2 + 0.25GDH_D \left(H + \frac{H_D}{3} \right) \quad (\text{E. 2. 1-3})$$

式中: M_Q ——由风载荷引起的弯矩($\text{N} \cdot \text{mm}$);

S_f ——风形状影响系数,无量纲,对圆柱形设备取 0.7;

D ——设备中面直径(mm);

H ——设备直边段高度(mm);

H_D ——顶部封头曲面深度(mm)。

3 计入重量等因素,设备的提升力应按下式计算:

$$U_{\text{net}} = U - W + \frac{4M_Q}{D_C} \quad (\text{E. 2. 1-4})$$

式中: U_{net} ——设备提升力(N);

W ——设备总载荷(N);

D_C ——螺栓孔中心圆直径(mm)。

4 作用于单个地锚的作用力应按下列公式计算：

$$F = \frac{U_{\text{net}}}{N} \quad (\text{E. 2. 1-5})$$

式中： F ——地锚反作用力(N)；

N ——地锚个数，应为 4 的整数倍，且其沿弧长间距不得超过 1500mm。

5 锚固地脚螺栓的计算应符合下列规定：

1) 单个地锚螺栓的最大拉应力应按下列公式计算：

$$\sigma_a = \frac{F}{f} \quad (\text{E. 2. 1-6})$$

$$f = \frac{\pi \times d_1^2}{4} \quad (\text{E. 2. 1-7})$$

式中： σ_a ——螺栓的计算应力(MPa)；

f ——每个螺栓的截面积(mm²)；

d_1 ——螺栓的根径(mm)。

2) 地锚螺栓的最大拉应力应满足下列要求：

$$\sigma_a \leq [\sigma_a] \quad (\text{E. 2. 1-8})$$

式中： $[\sigma_a]$ ——螺栓材料的许用应力(MPa)，应按现行国家标准《压力容器 第 2 部分：材料》GB 150.2 规定取值。

6 地锚承受的弯矩应按下列公式计算：

$$M = F \times e \quad (\text{E. 2. 1-9})$$

式中： M ——地锚承受弯矩(N·mm)；

F ——地锚反作用力(N)；

e ——地锚反作用力 F 到壳体的力臂(mm)。

7 地锚的弯曲模量可按下列公式计算：

$$Z = \frac{w \cdot t_a^2}{6} \quad (\text{E. 2. 1-10})$$

式中： Z ——地锚的弯曲模量(mm³)；

t_a ——地锚厚度(mm)；

w ——地锚宽度(mm)。

8 已知地锚的许用弯曲应力 S 时,地锚需要的最小弯曲模量应按下式计算:

$$Z_{\min} = \frac{M}{S} \quad (\text{E. 2. 1-11})$$

式中: S ——地锚的许用弯曲应力(MPa);

Z_{\min} ——地锚所需的最小弯曲模量(mm^3)。

9 地锚需要的最小厚度 t'_a 应按下式计算:

$$t'_a = \sqrt{\frac{6Z_{\min}}{w}} \quad (\text{E. 2. 1-12})$$

式中: t'_a ——地锚所需的最小厚度(mm)。

E. 2. 2 缠绕层径向载荷计算应符合下列规定:

1 在地锚区域径向单位载荷沿地锚高度应按线性规律分布,底部载荷应为 0,地锚顶部径向单位载荷应为 W_{\max} (本规范图 E. 2. 1-1)。

2 在地锚部位的设备缠绕层径向单位载荷应按下式计算:

$$W_{\max} = \frac{3 \times F \times e}{h^2} \quad (\text{E. 2. 2-1})$$

式中: W_{\max} ——缠绕层的径向单位载荷(N/mm);

h ——地锚高度(mm)。

3 弯矩引起的总径向载荷应按下式计算:

$$P = \frac{W_{\max} \times h}{2} \quad (\text{E. 2. 2-2})$$

式中: P ——弯矩引起的总径向载荷(N)。

4 地锚区域总径向载荷引起的缠绕层环向张力应按下列公式计算:

$$T = \frac{PR_m}{w} \quad (\text{E. 2. 2-3})$$

$$R_m = \frac{D_i + 2t_k}{2} \quad (\text{E. 2. 2-4})$$

式中： T ——缠绕层环向张力(N)；

R_m ——缠绕层外半径(mm)；

D_i ——设备内径(mm)；

t_k ——设备地锚处厚度(mm)。

E. 2.3 地锚区域径向载荷引起的缠绕层环向拉伸单元荷载的计算和校核应符合下列规定：

1 缠绕层环向拉伸单元荷载应按下式计算：

$$q_1 = \frac{T}{h_1} \quad (\text{E. 2. 3-1})$$

式中： q_1 ——环向拉伸单元荷载(N/mm)；

h_1 ——缠绕层高度(mm)。

2 缠绕层环向拉伸单元荷载应满足下式要求：

$$q_1 \leq [q_\Phi] \quad (\text{E. 2. 3-2})$$

式中： $[q_\Phi]$ ——缠绕层许用环向拉伸单元荷载(N/mm)。

E. 2.4 设备壁横向剪切应力的计算和校核应符合下列规定：

1 设备壁横向剪切应力应按下式计算：

$$\tau_w = \frac{P}{t_k \times w} \quad (\text{E. 2. 4-1})$$

式中： τ_w ——设备壁剪切应力(MPa)。

2 设备壁横向剪切应力应满足下式要求：

$$\tau_w \leq [\tau] \quad (\text{E. 2. 4-2})$$

式中： $[\tau]$ ——设备壁的层合板许用剪切应力(MPa)，可按本规范式(4.3.8-4)计算。

E. 2.5 设备壁弯曲系数应按下列公式计算：

$$\beta = \left[\frac{3(1-\nu^2)}{R_m^2 \times t_k^2} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (\text{E. 2. 5-1})$$

当泊松比 ν 取0.3时，应按下式计算：

$$\beta = \frac{1.28}{\sqrt{R_m \times t_k}} \quad (\text{E. 2. 5-2})$$

式中： β ——弯曲系数(mm^{-1})；

ν ——泊松比,无量纲。

E. 2. 6 地锚处缠绕层的单位径向载荷应按下式计算:

$$P^* = \frac{P}{w} \quad (\text{E. 2. 6})$$

式中: P^* ——单位径向载荷(N/mm)。

E. 2. 7 地锚引起的弯矩应按下列公式计算:

轴向弯矩时,应按下式计算:

$$M_x = \frac{P^*}{4\beta} \quad (\text{E. 2. 7-1})$$

环向弯矩时,应按下式计算:

$$M_\phi \approx \nu M_x \quad (\text{E. 2. 7-2})$$

式中: M_x ——轴向弯矩(N·mm/mm);

M_ϕ ——环向弯矩(N·mm/mm)。

E. 2. 8 压力 p 引起地锚处设备层合板的轴向和环向单元载荷应按下列公式计算:

$$N_x = \frac{pR_m}{2} \quad (\text{E. 2. 8-1})$$

$$N_\phi = p \times R_m \quad (\text{E. 2. 8-2})$$

式中: N_x ——轴向单元载荷(N/mm);

N_ϕ ——环向单元载荷(N/mm);

p ——设备计算压力(MPa)。

E. 2. 9 地锚处设备层合板的轴向单元荷载和环向单元荷载应按下列公式计算:

$$q_x = N_x \pm \frac{6M_x}{t_k} \quad (\text{E. 2. 9-1})$$

$$q_\phi = N_\phi \pm \frac{6M_\phi}{t_k} \quad (\text{E. 2. 9-2})$$

式中: q_x ——轴向单元荷载(N/mm);

q_ϕ ——环向单元荷载(N/mm)。

E. 2. 10 地锚处设备层合板的轴向及环向承载能力应满足下列

公式要求:

$$q_x \leq [q_x] \quad (\text{E. 2. 10-1})$$

$$q_\phi \leq [q_\phi] \quad (\text{E. 2. 10-2})$$

式中: $[q_x]$ ——地锚处设备层合板的许用轴向拉伸单元荷载 (N/mm);

$[q_\phi]$ ——地锚处设备层合板的许用环向拉伸单元荷载 (N/mm)。

E. 3 二次粘接成型地锚设计

E. 3. 1 二次粘接成型地锚的设计选型应符合下列规定:

1 二次粘接成型地锚不得承受直接拉伸载荷,不得垂直起吊;

2 当采用 A 型地锚(图 E. 3. 1-1)时,偏心弯矩载荷引起的单位周边长度上的径向拉伸载荷不应大于 8.8N/mm;当大于 8.8N/mm 时,应采用 B 型地锚(图 E. 3. 1-2);

3 地锚的压紧压块(图 E. 3. 1-3)应大于或等于地锚的宽度,轴线应对中;压块厚度不应小于 1.5 倍设备地锚板厚度。

E. 3. 2 地锚最小高度应按下列公式计算:

$$h_{\min} = \sqrt{\frac{6 \times D_o \times W \times e \times M_L}{N \times [q_x] \times t_k}} \quad (\text{E. 3. 2-1})$$

$$M_L = \frac{1}{2} \times \left[\frac{N}{2} \left(\frac{\cos\theta + \theta \sin\theta}{\pi} \right) - \left(\frac{\sin\theta}{2} \right) - \left(\frac{1}{2} \cot \frac{\pi}{N} \right) \right] \quad (\text{E. 3. 2-2})$$

$$\theta = \frac{w}{D_o} \quad (\text{E. 3. 2-3})$$

A 型地锚的过渡区厚度应按下列公式计算:

$$t_k = t_b + t_w \quad (\text{E. 3. 2-4})$$

式中: h_{\min} ——地锚最小高度(mm);

D_o ——设备外径(mm);

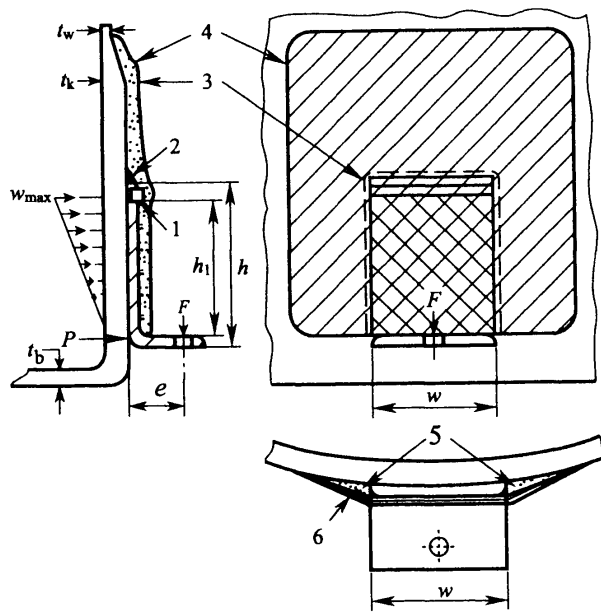


图 E. 3. 1-1 A 型地锚

1—加固棒；2—树脂胶泥；3—受拉力边界；4—包覆层；5—树脂胶泥；6—包覆层
注：受拉力边界应为 $(2h_1 + w)$ 。

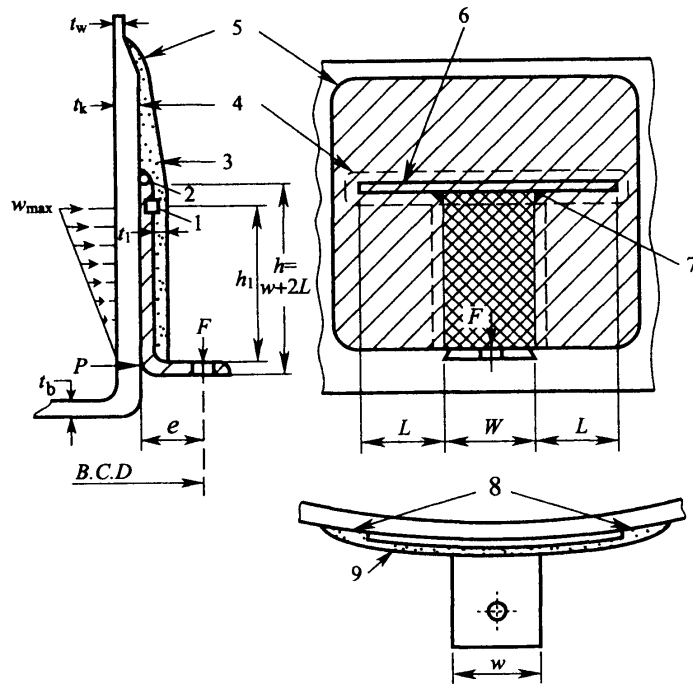


图 E. 3. 1-2 B 型地锚

1—加固棒；2—焊接；3—树脂胶泥；4—受拉力边界；5—包覆层；
6—沿设备半径弯曲；7—焊接；8—树脂胶泥；9—包覆层；
 L —棒的外伸长度(mm)；B. C. D.—螺栓中心圆(mm)

注：受拉力边界应为 $(2h_1 + w + 4L)$ 。

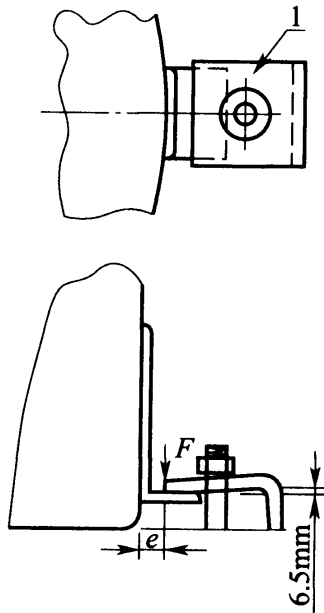


图 E. 3. 1-3 地锚的压紧压块

1—压块

M_L ——力矩系数,无量纲;

θ ——在环向方向地锚宽度为 w 时对应的角度(rad);

t_k ——过渡区厚度(mm);

t_b ——设备底部厚度(mm);

t_w ——器壁厚度(mm);

$[q_x]$ ——包覆层许用轴向拉伸单元荷载(N/mm)。

E. 3. 3 地锚需要的最小厚度 t'_a 应按本附录 E 中式(E. 2. 1-1)~式(E. 2. 1-12)计算。

E. 3. 4 包覆层径向单位拉力计算应符合下列规定:

1 在地锚区域径向单位载荷沿地锚高度应按线性规律分布,底部载荷应为 0,地锚顶部径向单位载荷应为 W_{\max} (图 E. 3. 1-1 和图 E. 3. 1-2)。

2 在地锚部位的设备包覆层径向单位长度载荷应按下式计算:

$$W_{\max} = \frac{3F \times e}{h^2} \quad (\text{E. 3. 4-1})$$

3 成型后,弯矩引起的总径向载荷应按下式计算:

$$P = \frac{W_{\max} \times h}{2} \quad (\text{E. 3. 4-2})$$

E. 3. 5 地锚的边缘单位拉伸载荷应按下式计算:

$$w_b = \frac{P}{2h_1 + w} \quad (\text{E. 3. 5-1})$$

式中: w_b ——地锚的边缘单位拉伸载荷(N/mm)。

当 $w_b > 8.8\text{N/mm}$ 时,可选用 B 型地锚,并应按下式计算:

$$w_{b1} = \frac{P}{2h_1 + w + 4L} \quad (\text{E. 3. 5-2})$$

式中: w_{b1} ——B 型地锚的边缘单位拉伸载荷(N/mm),不应大于 8.8N/mm。

E. 3. 6 设备壁上二次粘接包覆层需要的最小面积应按下式计算:

$$A_r = \frac{U_{\text{net}}}{[\tau] \times N} \quad (\text{E. 3. 6})$$

式中: A_r ——每个地锚粘接在设备外壁上的二次粘接包覆层所需最小面积(mm^2);

$[\tau]$ ——许用剪应力(MPa),不得大于 13.8。

E. 3. 7 地锚区域总径向载荷引起的包覆层环向载荷应按下列公式计算:

$$T = \frac{PR_m}{w} \quad (\text{E. 3. 7-1})$$

$$R_m = \frac{D_i + 2t_k}{2} \quad (\text{E. 3. 7-2})$$

E. 3. 8 地锚区域总径向载荷引起的包覆层环向拉伸单元荷载的计算和校核应符合下列规定:

1 包覆层环向拉伸单元荷载应按下式计算:

$$q_1 = \frac{T}{h_1} \quad (\text{E. 3. 8-1})$$

2 包覆层环向拉伸单元载荷应满足下式:

$$q_1 \leq [q_\phi] \quad (\text{E. 3. 8-2})$$

E. 3. 9 设备壁横向剪应力的计算和校核应符合下列规定:

1 设备壁横向剪应力应按下式计算:

$$\tau_w = \frac{P}{t_k \times w} \quad (\text{E. 3. 9-1})$$

2 设备壁横向剪应力应满足下式要求:

$$\tau_w \leq [\tau] \quad (\text{E. 3. 9-2})$$

E. 3. 10 设备壁弯曲系数应按下列公式计算:

$$\beta = \left[\frac{3(1-\nu^2)}{R_m^2 \times t_k^2} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (\text{E. 3. 10-1})$$

当泊松比 $\nu=0.3$ 时,应按下式计算:

$$\beta = \frac{1.28}{\sqrt{R_m \times t_k}} \quad (\text{E. 3. 10-2})$$

E. 3. 11 地锚处包覆层单位长度径向载荷应按下式计算:

$$P^* = \frac{P}{w} \quad (\text{E. 3. 11})$$

E. 3. 12 地锚处包覆层弯矩载荷应按下列公式计算:

轴向弯矩时,应按下式计算:

$$M_x = \frac{P^*}{4\beta} \quad (\text{E. 3. 12-1})$$

环向弯矩时,应按下式计算:

$$M_\phi \approx \nu M_x \quad (\text{E. 3. 12-2})$$

E. 3. 13 压力 p 引起的地锚处包覆层的轴向和环向单元载荷应按下列公式计算:

$$N_x = \frac{pR_m}{2} \quad (\text{E. 3. 13-1})$$

$$N_\phi = p \times R_m \quad (\text{E. 3. 13-2})$$

E. 3. 14 地锚处包覆层轴向单元荷载和环向单元荷载应按下列

公式计算：

$$q_x = \frac{6M_x}{t_k} \quad (\text{E. 3. 14-1})$$

$$q_\phi = \frac{6M_\phi}{t_k} \quad (\text{E. 3. 14-2})$$

E. 3. 15 地锚处包覆层轴向及环向承载能力应满足下列公式要求：

$$q_x \leq [q_x] \quad (\text{E. 3. 15-1})$$

$$q_\phi \leq [q_\phi] \quad (\text{E. 3. 15-2})$$

式中： $[q_x]$ ——包覆层许用轴向拉伸单元荷载(N/mm)；

$[q_\phi]$ ——包覆层许用环向拉伸单元荷载(N/mm)。

当 $q_x > [q_x]$ 或 $q_\phi > [q_\phi]$ 时，应增大包覆层厚度，并应重新计算。

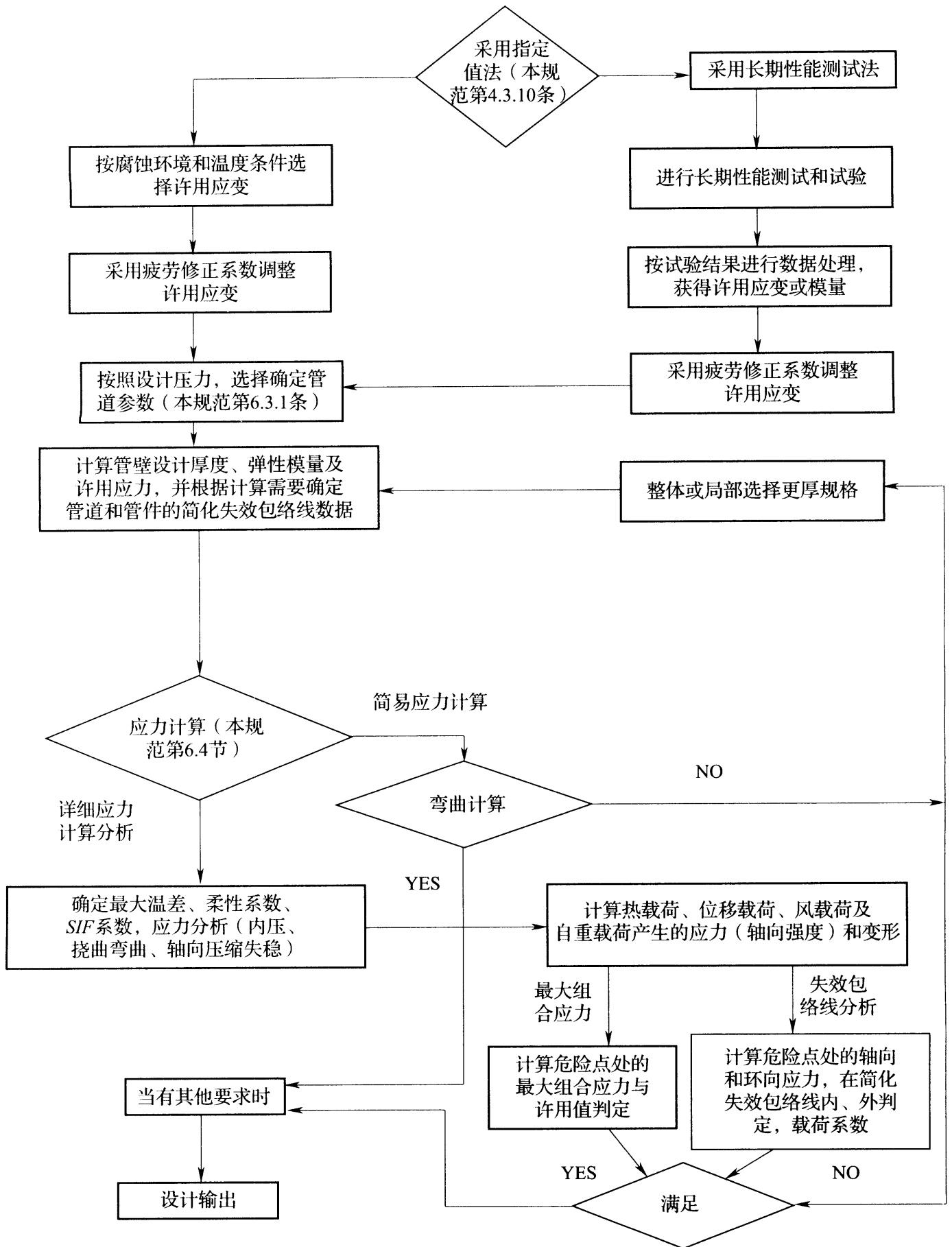
附录 F 敞口贮罐顶部加强法兰规格

表 F 敞口贮罐顶部加强法兰规格

L (m)	贮罐直径 D_i (m)										法兰类型	法兰尺寸 (mm)	
	0.6	1.2	1.6	2.4	2.8	3.0	3.4	3.6	3.8	4.0		宽度	厚度
0.6	A	A	A	C	D	E	F	G	H	J	A	51	5
1.2	A	A	A	C	D	E	F	G	H	J	B	51	10
1.8	A	A	A	C	D	E	F	G	H	J	C	51	13
2.4	A	A	A	C	D	E	F	G	H	J	D	64	10
3.0	A	A	B	C	D	E	F	G	H	J	E	64	13
3.6	A	A	B	D	D	E	F	G	H	J	F	76	10
4.2	A	A	B	D	E	F	F	G	H	J	G	76	13
4.8	A	A	C	E	E	G	G	H	H	J	H	76	16
5.4	A	A	C	E	F	G	G	H	J	K	J	76	19
6.0	A	A	D	E	F	G	H	J	K	K	K	76	25
7.0	A	B	D	F	G	H	J	K	K				
9.0	A	B	E	G	H	H	K	K					
11	A	B	E	H	J	K	K						
12	A	B	E	H	J	K							

- 注: 1 本表未计算风载、地震载荷的影响;
- 2 敞口除采用法兰结构外,也可采用能提供相同或更高刚度的结构形式;
- 3 L 应为从加强法兰到底封头或到罐体最上部加强圈的距离;
- 4 加强法兰厚度不应小于邻近的罐体壁厚;
- 5 A、B、…、K 为法兰类型代号,对应罐顶法兰尺寸。

附录G 管线结构设计的计算流程



图G 管线结构设计的计算流程

附录 H 管道压力损失的计算

H. 0. 1 管道沿程水头损失应按下列公式计算：

$$h_f = \lambda \frac{L}{d} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (\text{H. 0. 1-1})$$

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (\text{H. 0. 1-2})$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log \left(\frac{e}{3.7d} + \frac{2.51}{Re \sqrt{\lambda}} \right) \quad (\text{H. 0. 1-3})$$

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu} \quad (\text{H. 0. 1-4})$$

式中： h_f ——沿程水头损失(m)；

L ——管道长度(m)；

d ——管道内径(m)；

V ——流速(m/s)；

g ——重力加速度(9.81m/s²)；

λ ——沿程阻力系数(无量纲)，与水流形态、管道直径及管道内表面的光滑状态有关。当雷诺数 $Re < 2000$ 时，应按式(H. 0. 1-2)计算，当雷诺数 $Re > 4000$ 时，应按式(H. 0. 1-3)计算；

e ——管道的绝对粗糙度，可按 0.00518mm 取值；

Re ——雷诺数(Reynolds Number)，可按式(H. 0. 1-4)计算；

ν ——液体运动粘滞系数(m²/s)，也称动力黏度。

H. 0. 2 当介质为水时，流量和沿程水头损失可按下列公式计算：

1 重力流或非满流管道可采用下列公式计算：

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \quad (\text{H. 0. 2-1})$$

$$R_h = \frac{A}{\chi} \quad (\text{H. 0. 2-2})$$

$$S = \frac{h_f}{L} \quad (\text{H. 0. 2-3})$$

式中: Q ——流量(m^3/s);

A ——水流断面截面积(m^2);

n ——曼宁(Manning)系数,可按 0.009 取值;

R_h ——水力半径(m),可按式(H. 0. 2-2)计算,对于圆管可取 $d/4$;

χ ——湿周周长(mm),水流断面上的水与管道接触长度;满管流断面时,取管道周长;

S ——水力坡降,可按式(H. 0. 2-3)计算。

2 压力流管道可采用下式计算:

$$h_f = 10.5 \cdot \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.85} \cdot \frac{L}{d^{4.87}} \quad (\text{H. 0. 2-4})$$

式中: C ——哈森威廉系数,可按 150 取值。

H. 0. 3 管件的局部水头损失应为流速水头与系数 ξ 的乘积,并按下式计算:

$$h_i = \xi \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (\text{H. 0. 3})$$

式中: h_i ——局部水头损失(m);

ξ ——局部水头损失系数(无量纲),应按表 H. 0. 3 选用。

表 H. 0. 3 局部水头损失系数 ξ

管件类型	损失系数 ξ
90°弯头 标准	0.5
90°弯头 1个斜接口	1.4
90°弯头 2个斜接口	0.8
90°弯头 3个斜接口	0.6

续表 H.0.3

管件类型	损失系数 ξ
三通 主管流过	0.4
三通 流向支管	1.4
三通 从支管流出	1.7
变径	0.7

附录 J 二次粘接工艺评定

J.1 一般规定

- J.1.1** 二次粘接工艺评定应包括下列内容：
- 1 编制粘接工艺指导书；
 - 2 制作试件；
 - 3 检测试件性能；
 - 4 评估试件性能；
 - 5 对拟定的粘接工艺指导书进行评定。
- J.1.2** 编制粘接工艺指导书应包括下列内容：
- 1 温度、湿度等环境条件；
 - 2 材料类型、规格；
 - 3 铺层顺序、铺层层数；
 - 4 固化时间；
 - 5 设备和工具；
 - 6 操作工艺应按本规范第 7.5 节的有关规定执行。
- J.1.3** 当主要原材料、成型工艺发生改变时，二次粘接工艺应重新评定。

J.2 试件制作

- J.2.1** 试件制作过程应记录存档。
- J.2.2** 试件制作尺寸应符合下列规定：
- 1 试件一时，同步手糊平板 2 件，每件尺寸应为 500mm×500mm，可采用 4 层短切原丝毡与 3 层纤维布，铺层顺序可为毡—布—毡—布—毡—布—毡；
 - 2 试件二时，手糊平板接缝的粘接包覆 1 件，尺寸应为 500mm×500mm，可按下列方法制作：

- 1) 可将 1 件试样一的手糊平板切成两块,并在其形成的接缝之上按二次粘接工艺进行手糊平板包覆层制作;
- 2) 包覆层可采用 4 层短切原丝毡与 3 层纤维布,铺层顺序可为毡—布—毡—布—毡—布—毡。

J. 2. 3 二次粘接接缝的所用材料应与母板用材料相同。

J. 3 试验要求和结果评价

J. 3. 1 试件检验的环境条件应符合粘接工艺指导书的要求。

J. 3. 2 试件检验项目和试验方法应符合下列规定:

- 1 外观检验可采用目测、触摸和敲击;
- 2 单元拉伸强力的检测应符合本规范第 8. 3. 13 条的规定;
- 3 层间剪切强度检测应符合本规范附录 K 的有关规定;
- 4 搭接剪切强度检测应符合本规范附录 L 的有关规定;
- 5 表面巴氏硬度检测应符合现行国家标准《纤维增强塑料巴氏(巴柯尔)硬度试验方法》GB/T 3854 的有关规定,且测点不应少于 10 个;
- 6 树脂不可溶分含量检测应符合现行国家标准《纤维增强塑料树脂不可溶分含量试验方法》GB/T 2576 的有关规定;
- 7 树脂含量检测应符合现行国家标准《玻璃纤维增强塑料树脂含量试验方法》GB/T 2577 的有关规定;
- 8 试件一应检测 1、2、3、5、6、7 项,试件二应检测 1、4、5、6、7 项。

J. 3. 3 试件的检验结果符合下列规定时,应为工艺评定合格:

- 1 外观检测应符合本规范第 8. 4. 1 条的规定;
- 2 单元拉伸强力不应小于本规范式(4. 3. 2-2)的计算值;
- 3 采用玻璃纤维增强的试件,其层间剪切强度、搭接剪切强度不应小于本规范表 4. 3. 1-1 的规定值;
- 4 表面巴氏硬度、树脂不可溶分含量和树脂含量应符合本规范第 8. 4. 1 条的规定;
- 5 试件烧蚀后的纤维铺层顺序、规格和种类应符合粘接工艺指导书的规定。

附录 K 层合板层间剪切强度测试

K. 0.1 纤维增强塑料层合板层间剪切强度检测试样和尺寸(图 K. 0.1)应符合下列规定:

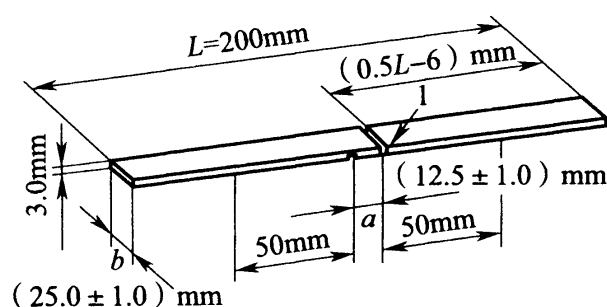


图 K. 0.1 层间剪切强度检测试样和尺寸

1—薄锯形切割口

- 1 试样的边缘应光滑;
- 2 试样宽度 b 应为 (25.0 ± 1.0) mm, 厚度不应小于 3.0 mm; 长度 L 宜为 200 mm;
- 3 采用平行切割, 并应符合下列规定:
 - 1) 切割处两边间距 a 应为 (12.0 ± 0.5) mm;
 - 2) 切割口的宽度应小于 0.8 mm;
 - 3) 单面切割口的深度应为层合板厚度的一半加 $(0 \sim 0.1)$ mm。

K. 0.2 每组检测试样数量不应少于 15 个。

K. 0.3 试样的状态和处理应符合现行国家标准《塑料试样状态调节和试验的标准环境》GB/T 2918 的有关规定。

K. 0.4 将试样置于拉伸试验机的夹具上, 加载相对速度应为 5.0 mm/min。

K. 0.5 层间剪切强度 τ_{lap} 应按下式计算。

$$\tau_{\text{lap}} = \frac{P}{a \times b} \quad (\text{K. 0. 5})$$

式中： τ_{lap} ——层间剪切强度(MPa)，计算结果应保留小数点后 1 位有效数字；

P ——最大拉伸载荷(N)；

a ——平行的两个切割锯口间的距离(mm)；

b ——试样宽度(mm)。

附录 L 层合板搭接剪切强度测试

L.0.1 从被搭接的两块纤维增强塑料层合板上切割取样,试样的边缘应光滑,试样和尺寸(图 L.0.1)应符合下列规定:

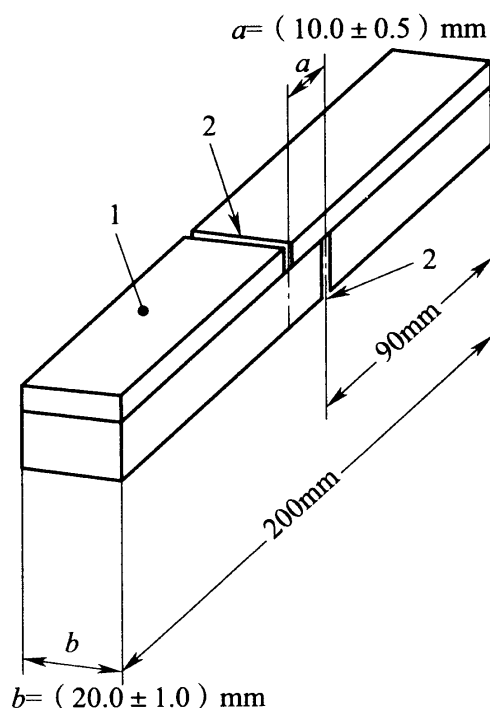


图 L.0.1 搭接剪切强度检测试样和尺寸

1—层合板材料;2—薄锯形切割口

1 试样宽度 b 应为 $(20.0 \pm 1.0) \text{ mm}$;长度 L 宜为 200 mm ,也可根据测试仪器的要求进行变化;

2 切割口应垂直于长度方向,两切割口间距 a 应为 $(10.0 \pm 0.5) \text{ mm}$,切割口的宽度应小于 0.8 mm ;

3 单面切割口的深度应为被搭接各自层合板的厚度加一层纤维增强塑料的厚度,或各层合板厚度加 $(0 \sim 0.1) \text{ mm}$ 。

L.0.2 每组检测试样数量不应少于 15 个。

L. 0.3 试样的状态和处理应符合现行国家标准《塑料试样状态调节和试验的标准环境》GB/T 2918 的有关规定。

L. 0.4 在拉力试验机上夹持试样,沿试样轴向拉伸,锯形断面与拉伸方向垂直。加载相对速度应为 5.0mm/min。

L. 0.5 搭接剪切强度 τ_{lap} 应按下式计算。

$$\tau_{\text{lap}} = \frac{P}{a \times b} \quad (\text{L. 0.5})$$

式中: τ_{lap} ——搭接剪切强度(MPa),计算结果应保留小数点后 1 位有效数字;

P ——最大拉伸载荷(N);

a ——平行的两个切割锯口间的距离(mm);

b ——试样宽度(mm)。

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2)表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《建筑结构荷载规范》GB 50009
《建筑抗震设计规范》GB 50011
《工业金属管道设计规范》GB 50316
《乙烯基酯树脂防腐蚀工程技术规范》GB/T 50590
《压力容器 第1部分:通用要求》GB 150.1
《压力容器 第2部分:材料》GB 150.2
《压力容器 第3部分:设计》GB 150.3
《纤维增强塑料拉伸性能试验方法》GB/T 1447
《纤维增强塑料弯曲性能试验方法》GB/T 1449
《纤维增强塑料冲压式剪切强度试验方法》GB/T 1450.2
《塑料弯曲负载热变形温度试验方法》GB/T 1634.2
《纤维增强塑料树脂不可溶分含量试验方法》GB/T 2576
《玻璃纤维增强塑料树脂含量试验方法》GB/T 2577
《抽样检验标准》GB/T 2828
《塑料试样状态调节和试验的标准环境》GB/T 2918
《纤维增强塑料巴氏(巴柯尔)硬度试验方法》GB/T 3854
《玻璃纤维增强热固性塑料耐化学介质性能试验方法》GB/T 3857
《食品容器及包装材料用不饱和聚酯树脂及其玻璃钢制品卫生标准分析方法》GB/T 5009.98
《纤维增强热固性塑料管轴向拉伸性能试验方法》GB/T 5349
《纤维增强热固性塑料管短时水压失效压力试验方法》GB/T 5351
《纤维增强塑料用液体不饱和聚酯树脂》GB/T 8237
《增强制品试验方法》GB/T 9914
《双酚 A 型环氧树脂》GB/T 13657

《玻璃纤维增强不饱和聚酯树脂食品容器》GB/T 14354
《玻璃纤维短切原丝毡和连续原丝毡》GB/T 17470
《玻璃纤维无捻粗纱》GB/T 18369
《玻璃纤维无捻粗纱布》GB/T 18370
《玻璃纤维增强塑料夹砂管》GB/T 21238
《玻璃纤维缝编织物》GB/T 25040
《聚丙烯腈基碳纤维》GB/T 26752
《纤维增强塑料 试验板制备方法 第2部分:接触和喷射模塑》GB/T 27797.2
《经编碳纤维增强材料》GB/T 30021
《石油化工静电接地设计规范》SH 3097

中华人民共和国国家标准

纤维增强塑料设备和管道工程技术规范

GB 51160 - 2016

条文说明

制 订 说 明

《纤维增强塑料设备和管道工程技术规范》GB 51160—2016，经住房和城乡建设部 2016 年 8 月 1 日以第 1026 号公告批准发布。

本规范制定过程中，编制组进行了广泛的调查研究，总结了我国工程建设的实践经验，同时参考了国外先进技术法规、技术标准。

为了广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规范时能理解和执行条文规定，本规范编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明，还着重对强制性条文的强制性理由作了解释。但是，本条文说明不具备与规范正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。

目 次

1	总 则	(215)
2	术 语	(217)
3	基本规定	(222)
3.1	一般规定	(222)
3.2	功能要求	(222)
3.3	设计条件与文件	(223)
3.4	过压保护	(224)
4	材 料	(225)
4.1	一般规定	(225)
4.2	原材料	(225)
4.3	单层板和层合板性能	(228)
5	设备设计	(234)
5.1	一般规定	(234)
5.2	载荷和作用	(237)
5.3	结构计算	(237)
5.4	结构设计	(238)
6	管道设计	(240)
6.1	一般规定	(240)
6.2	构造设计	(241)
6.3	结构计算	(243)
6.4	管道应力计算和柔性分析	(245)
7	制 造	(247)
7.1	一般规定	(247)
7.2	设备和管道制造	(248)

7.3	制造过程质量控制	(250)
7.4	缺陷及修补	(251)
7.5	二次粘接	(251)
8	质量控制与检验	(252)
8.1	一般规定	(252)
8.2	质量检验文件	(252)
8.3	原材料测试与检验	(252)
8.4	产品测试、检验、判定	(253)
9	标志、包装、运输、贮存	(259)
9.1	设备	(259)
9.2	管道	(259)
10	安 装	(261)
10.1	一般规定	(261)
10.2	设备安装	(261)
10.3	管道安装	(262)
10.4	使用与维修	(263)
11	工程验收	(264)
附录 C	卧式容器设计	(265)
附录 D	法兰设计	(266)
附录 E	地锚设计	(267)
附录 F	敞口贮罐顶部加强法兰规格	(268)

1 总 则

1.0.1 纤维增强塑料设备和管道以其优良的耐腐蚀性能、可设计性好、轻质高强、安装简便、耐老化等性能特点,在我国化工、石化、石油、有色、电力、冶金、化纤、食品加工、环保等行业中得到了广泛的应用,在实践中已初步形成了从原材料、设计、制造到安装和检验的工程技术产业链。在国家环保和节能减排政策的指导下,为了满足各行业对设备和管道防腐蚀等方面的技术要求,出现了大型和超大型的纤维增强塑料脱硫脱酸吸收塔、上千立方米容积的纤维增强塑料贮罐、海水淡化用设备和管道等新型的工程应用形式,均对设计、制造、安装和检验提出了新的工程技术要求。

本规范制定的目的是从设计、制造、安装、质量检验、工程验收等方面进行工程质量的过程控制,确保纤维增强塑料设备和管道工程技术的发展更为规范化、系统化,并可与国外先进标准相对接,以获得更好的经济效益和社会效益。

1.0.2 就整体纤维增强塑料设备和管道成型工艺而言,目前我国主要以机械缠绕成型工艺为主,同时结合了喷射和手糊成型工艺。如设备筒体和管道的结构层制造绝大多数是采用缠绕成型,而其耐腐蚀内衬层、封头等采用喷射或手糊成型,设备和接管之间连接、管道和管道之间连接基本上采用手糊成型为主。

1.0.3 本规范主要针对地上用纤维缠绕成型的圆筒体设备进行规定,因为埋地设备的受力分析差异很大,因此不包括在本规范中。同样运输罐、双壁罐和不规则形状(非回转体)设备因其受力分析不同,本规范也未作相应设计规定。

盛装剧毒或放射性化学物质的设备因为其安全等级很高,应进行特殊的设计和相应防护,因此也不包括在本规范中。

本规范不包括埋地给排水管道,因为在现行国家标准《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268 和现行行业标准《给水排水工程埋地玻璃纤维增强塑料夹砂管管道结构设计规程》CECS 190 中已规范了该类管道的材料参数确定、结构计算以及施工和验收。

纤维增强塑料烟囱、烟道在现行国家标准《烟囱设计规范》GB 50051 中已有规定,本规范也不包括在内。

油气田集输管道的使用压力等级超过了本规范所规定的范围,且已有等效采用国外标准的相关行业标准,故本规范不再涵盖。

1.0.4 本规范在编制过程中与相关的现行规范和标准进行了协调。对有些标准和规范中不适合于纤维增强塑料设备和管道的设计、制造、安装和工程质量验收的内容,本规范作了一些特殊规定。

2 术 语

2.0.1 本条术语是本规范的基础,层合板的模量和强度等性能数据的表征均建立在此之上。

该单位的实质是相当于用增强材料的单位面积质量参数替换了常规的壁厚参数。我们通常接触到材料力学中的应力和弹性模量等概念,都是基于材料的单位截面积(图 1),如应力、强度、弹性模量的单位均为 MPa(N/mm²)。但纤维增强塑料由于是层合板复合材料,承载结构为纤维,其大部分的力学性能特别是拉伸性能是与纤维量成正比的,从某种程度上说设计纤维增强塑料的承力结构就是设计纤维的用量多少和形态及铺设顺序。因此采用单位纤维面积质量作为力学性能的变量便于设计计算。

从图 1 可以看出,应力 σ_x 、单位宽度载荷 N_x 和壁厚 t 的关系为 $N_x = t \times \sigma_x$ 。

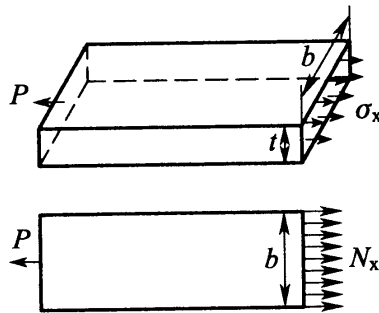


图 1 应力 σ_x 、单位宽度载荷 N_x 、壁厚 t 的关系

采用单位宽度作为力学性能的特征也是基于力学性能主要取决于纤维量的基础,这是因为树脂含量基于环境温度、树脂黏度、操作手法以及其他工艺参数等的变化而变化,造成相同纤维含量下的制品厚度不同,这样在表象上造成制品的强度不同,而实际上其折算成单位宽度承载力是一样的。可通过下列例子说明:

例 1:采用 5 层 $450\text{g}/\text{m}^2$ 的短切毡、宽度为 50mm ;采用邻苯型不饱和聚酯树脂,铺层中纤维质量含量为 $25\%\sim 35\%$ (对应的树脂含量为 $65\%\sim 75\%$),根据不同的操作手法(如滚压办法和次数)、环境温度等的变化,计算壁厚: 25% (纤维质量含量,下同)时, 6.75mm ; 30% 时, 5.44mm ; 35% 时, 4.51mm 。壁厚计算方法见本规范式(4.3.2-5); ρ_g 取 2540 , m_g 分别按 25 、 30 、 35 取值, ρ_r 通常取 1150 , W_i 按每层 $450\text{g}/\text{m}^2$ 短切毡,5 层计算。

由于层合板强度主要为玻璃纤维承担,树脂含量的差异对层合板整体承载的影响较小,假设最后破坏载荷均为 30kN 左右,折算成截面强度则为: 25% 时, 89MPa ; 30% 时, 110MPa ; 35% 时, 133MPa 。看似强度离散很大,但若采用单位宽度的力学性能计算则数据稳定。

例 2:采用每层 $810\text{g}/\text{m}^2$ 的玻璃布共 5 层、宽度为 50mm ,用邻苯型不饱和聚酯树脂,纤维质量含量为 $45\%\sim 55\%$ (对应的树脂含量为 $45\%\sim 55\%$),根据不同的操作手法(滚压办法和次数)、环境温度等,壁厚计算方法同上,计算壁厚为: 45% (纤维质量含量,下同)时, 5.88mm ; 50% 时, 5.1mm ; 55% 时, 4.46mm 。

层合板的强度主要由玻璃纤维布所贡献,树脂含量的差异对层合板整体承载的影响较小,设最后破坏载荷均为 60kN 左右,折算成截面强度则为: 45% 时, 204MPa ; 50% 时, 235MPa ; 55% 时, 269MPa 。看似强度离散性很大,但若采用单位宽度的力学性能计算则数据稳定。

2.0.8 简化失效包络线,是在以环向应力为横坐标,轴向应力为纵坐标的坐标系中,将若干应力失效点(环向应力,轴向应力)连接所组成的一条曲线,该曲线外的应力状态点均为失效力学状态,其曲线内的应力状态点为安全应力状态。各向同性材料其包络线为一正方形(图 2)。而各向异性材料为一不规则图形(图 3),其强度特性与应力状态密切相关,单向受力状态和双向受力状态以及双向应力比不同,其承载力完全不同,因此不能采用各向同性材料的

失效模式进行安全性判断。缠绕管道即属于典型的各向异性结构。图 3 为典型的 55° 缠绕角的缠绕管道的简化失效包络线,可以看出其失效应力与其环向及轴向的双向应力比相关。如在涉及轴向强度时,在单向轴向拉伸状态(环向:轴向=0:1)和静水压(两端封堵环向:轴向=2:1)时是完全不一样的。若单独说管材的哪一个强度时是不全面的,还应说明另一个方向的应力状态(这样更科学),或者说明获得该强度的试验方法。以 55° 缠绕的环氧管道为例,轴向强度,当 0:1 时,即管道轴向单向拉伸,在《“玻璃纤维”(玻璃纤维增强热固树脂)管纵向抗张性能的测试方法》ASTM D2105—2001(2007)中为 75MPa;而当 2:1 时即内水压状态,在《塑料管、管道及管配件的短时间耐液压强度的试验方法》ASTM D1599—1999(2005)和《玻璃增强热固树脂(玻璃纤维)管及配件用液压或压力设计基础的获得规程》ASTM D2992—2006 中轴向强度为 125MPa。如果以 75MPa 为轴向强度,而管道应用是纯的内水压环境,则设计的管道过于保守,而以 125MPa 为轴向强度设计管道,如果该管线热应力或轴向弯曲应力引起的轴向应力较大,如井下管或者滤水管,则其设计又失安全,因此应进行失效包络线分析。

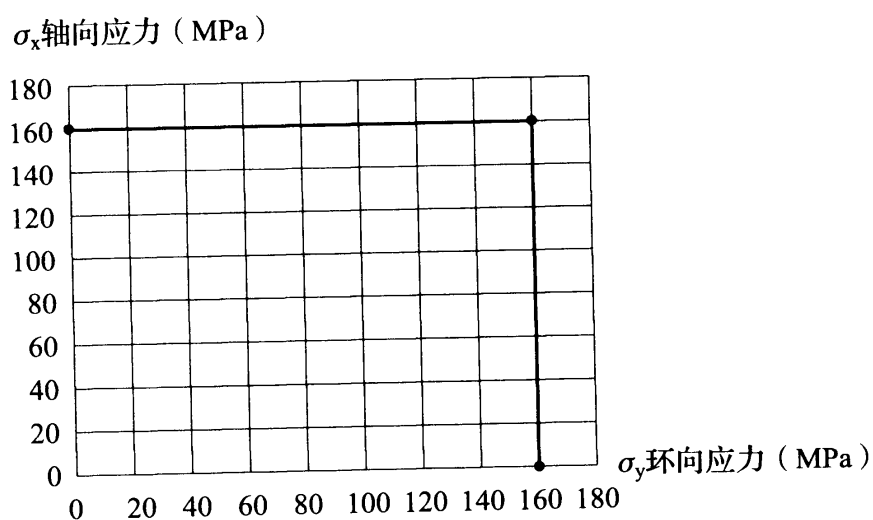


图 2 各向同性材料简化失效包络线

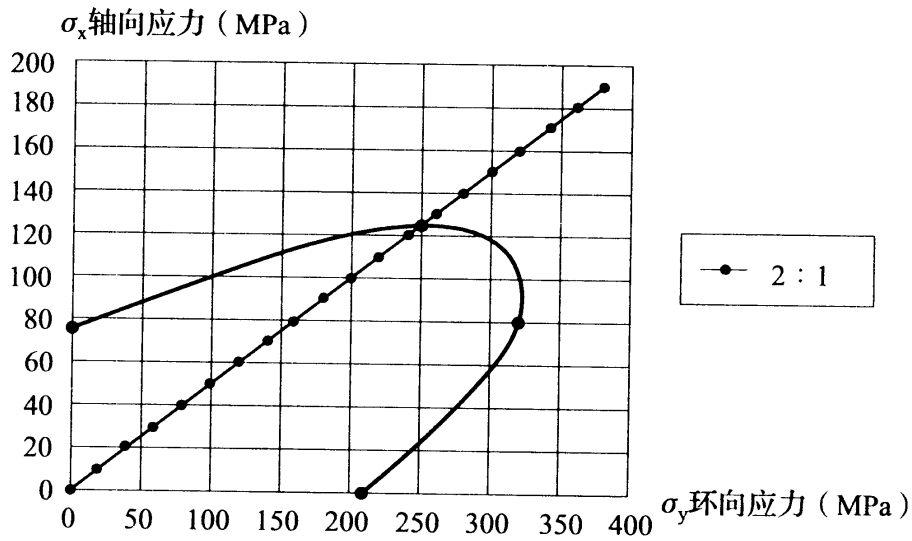


图3 各向异性材料简化失效包络线

由于管道的应力状态很多,要完全绘制这样的包络线会需要大量的试验数据,为了计算简化并保证安全性,采用3个应力状态点的连线作为简化失效包络线(图4)。即以横坐标代表环向应力,纵坐标代表轴向应力,三个许用应力点 $[0, \text{纯轴向拉伸状态}(0:1)\text{的许用轴向应力 } \sigma_{al(0:1)}]$; $[\text{纯内水压作用状态}(2:1)\text{的许用环向应力 } \sigma_{ah(2:1)}, \text{纯内水压作用状态}(2:1)\text{许用轴向应力 } \sigma_{al(2:1)}]$; $[\text{纯内水压作用状态}(2:1)\text{的许用环向应力 } \sigma_{ah(2:1)}, 0]$ 连接成的折线。不同环向轴向应力比及对应的试验方法见图5。

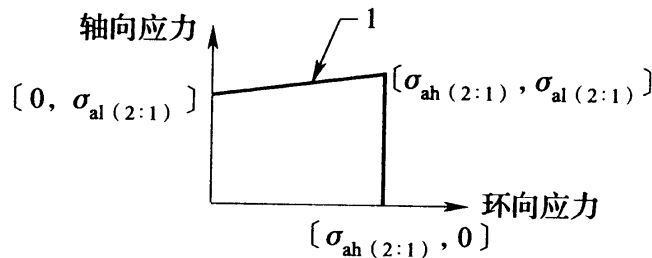


图4 简化失效包络线

1—简化失效包络线

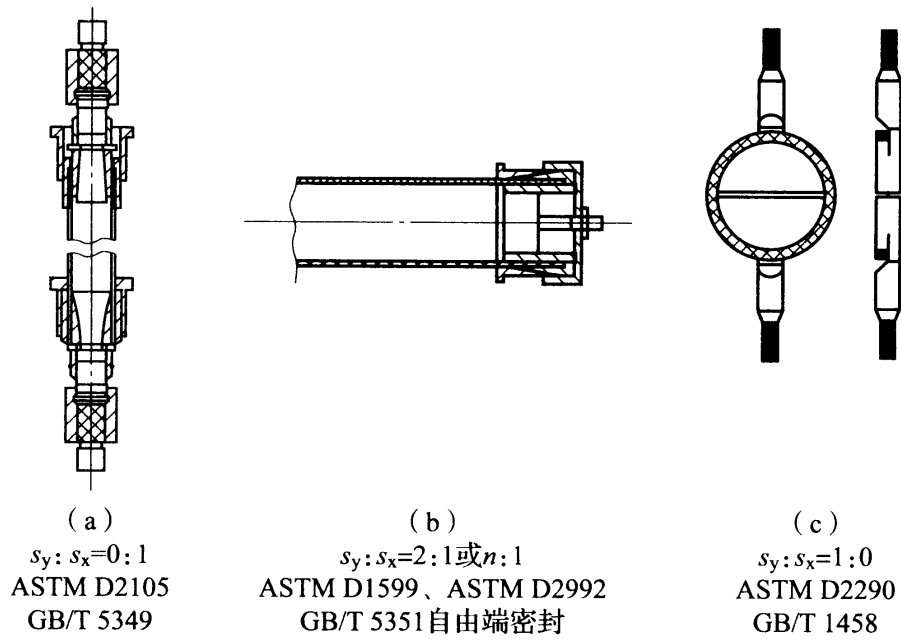


图 5 不同环向轴向应力比及对应的试验方法

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 根据国内目前纤维增强塑料设备实际使用情况作了下列分类:厂内制造设备的直径一般不大于 4m、设计压力多在 1.0MPa 以内,且设计内压与直径乘积不大于 2.4MPa·m,外压在 0.1MPa 以内;设备直径大于 4m 时,受道路运输的限制,通常为现场制作,绝大多数为常压使用,其设计内压不大于 2.0kPa,设计外压不大于 0.5kPa。

3.1.2 纤维增强塑料管道设计压力范围与管道直径的关系,是根据国内目前实际使用情况确定的。

3.1.3 由于目前缺少超出本规范第 3.1.1 条和第 3.1.2 条规定设计压力范围的类似项目业绩,所以此处的试验确定主要是指材料性能和受力分析的模拟试验验证。通常可以对试加工的产品进行材料性能测试,并在相关受力分析的基础上(如有限元分析等),再对样品进行模拟试验,如管道做内水压或梁弯曲,容器做内压或应变测试等,经评估采用和确定设计方案。

3.1.4 纤维增强塑料设备设计温度范围主要是根据国内实际使用情况确定的,而在现行行业标准《玻璃钢化工设备设计规定》HG/T 20696 中,按照树脂种类对设计温度作了分类规定,其中乙烯基酯树脂的设计温度范围与本规范相同。

纤维增强塑料管道的设计温度范围主要是依据管道承压特点和国内使用情况确定的。

3.2 功能要求

3.2.1 当有阻燃性能要求时,应根据国家消防法规和标准的有关

规定,设计具有相应阻燃等级的纤维增强塑料设备和管道。需要注意的是,采用内、外表面阻燃的夹心结构是无法经受大火和长时间燃烧的,而选用添加型阻燃剂通常会影晌层合板的力学性能。

3.2.2 层合板的表面电阻率在 $1.0 \times 10^6 \Omega$ 以下或体积电阻在 $1.0 \times 10^6 \Omega \cdot m$ 以下时,可确保静电泄漏。

3.2.3 耐磨填料通常采用棕刚玉(高温烧结氧化铝)、碳化硅、瓷粉等。选用时应注意填料的耐腐蚀性能。

3.2.4 当纤维增强塑料设备和管道有食品卫生要求时,包括树脂等原材料和引发剂选用、采用的成型工艺和加热后固化处理条件、容器或管道使用前的清洗等均应符合现行国家标准《玻璃纤维增强不饱和聚酯树脂食品容器》GB/T 14354 和《食品容器及包装材料用不饱和聚酯树脂及其玻璃钢制品卫生标准分析方法》GB/T 5009.98 的规定。

3.3 设计条件与文件

3.3.1 本条是对纤维增强塑料设备和管道工程的设计委托方提出的要求,完整的设计条件是确保设计正确、施工和安装准确、操作运行中安全的前置条件。

本条第 3 款的工艺过程说明,主要指:介质在设备和管道中是否发生了化学反应以及组分的变化、放热和吸热的变化状态、相态变化,当含有固体颗粒时的液体介质对设备和管道是否有磨耗或磨损程度等,是否存在局部载荷、搅拌形式以及流体输送方式等这些工艺过程条件,对于准确选材和设计具有重要的指导作用。

3.3.2 设计任务书通常是根据设计委托方提供的设计条件制订,包括材料设计、结构设计等内容。

3.3.3 本条是对纤维增强塑料设备和管道的设计方提出的要求,具备完整的设计资料包括设计图、设计说明书、计算书等,才能进行产品的制造和安装。

3.4 过压保护

3.4.1 设备过压的后果是发生化学介质渗漏、设备开裂和破坏,特别严重时可发生设备爆裂,导致人身安全和环境污染事故。

3.4.2 与大气相通设备通常是常压设备,过压保护主要针对连通形式加以规定:当发生过压时,通过顶部开口并与大气连通来进行泄压;要求通气口截面积大于设备进口和出口净流通面积之间较大值的目的是当过压发生时,可使压力不易积聚,确保快速泄压;设置溢流口且其截面积要大于进口的尺寸,同样是确保化学介质在过压下超过液位时,能快速溢流,减少过压危险,以确保设备和操作人员的安全。本条是强制性条文,必须严格执行。

3.4.3 不与大气相通的设备通常是压力设备,压力设备出现超压导致危害人身安全和环境污染程度比常压设备过压出现的后果更严重,因此要设置泄放装置,当在操作过程中可能出现超压时,能确保设备和操作人员的安全。安全阀等泄放装置的设置要求应按照现行国家标准《压力容器 第1部分:通用要求》GB 150.1—2011附录B的规定执行。本条第1款是强制性条款,必须严格执行。

4 材 料

4.1 一 般 规 定

4.1.1 纤维增强塑料设备与管道所选用材料各种性能的计算、评估、试验和验证包括了原材料性能、单层板和层合板性能的确定及要求。

4.1.2 纤维增强塑料设备和管道所用原材料,包括树脂、引发剂、促进剂、清洗溶剂等均属于化学品,“材料安全数据说明书”,也称 MSDS(Material Safety Data Sheet),它简要说明了一种化学品对人类健康和环境的危害性并提供如何安全搬运、贮存和使用该化学品的信息。作为提供给用户的一项服务,生产企业应随化学商品向用户提供安全说明书,使得用户明了化学品的有关危害,使用时能主动进行防护,起到减少职业危害和预防化学事故的作用。

4.2 原 材 料

4.2.1 目前国内纤维增强塑料设备与管道所用树脂主要以不饱和和聚酯树脂、乙烯基酯树脂和环氧树脂为主,积累的经验 and 数据也主要是这几类树脂。

4.2.2 选用树脂应满足使用工况条件,如介质以及作用量,温度、压力以及变化、连续或间隙使用等。室温条件下,不饱和聚酯树脂、乙烯基酯树脂的固化速度较快;而环氧树脂则较慢,因此选择树脂类型时,应该考虑工艺成型条件。

由于树脂与增强材料之间存在着界面,如果二者不匹配,将影响界面之间的粘结,导致层合板性能下降。

内衬层通常树脂含量高,抗渗性好,而结构层则纤维含量高,

力学性能好。内衬层和结构层采用相同树脂可以避免二者界面产生相容性问题,防止分层。

如果选用的引发剂、促进剂不能同不饱和聚酯树脂、乙烯基酯树脂相匹配,固化剂不能同环氧树脂相匹配,将会影响树脂固化,从而导致层合板的性能不能满足设计要求。

4.2.3 不饱和聚酯树脂品种繁多,按其结构可分为邻苯型、间苯型、对苯型、双酚 A 型、二甲苯型、双环戊二烯改性型等,其力学性能、耐腐蚀性能和耐温性能之间也有所差别。

乙烯基酯树脂是由环氧树脂(双酚 A 型环氧、酚醛型环氧、溴化环氧等)与一元羧酸(甲基丙烯酸、丙烯酸等)在催化剂作用下反应而成,并溶于苯乙烯类反应性单体中。由于树脂结构不同,在力学性能、耐腐蚀性能、耐温性能等方面有较大差异。

双酚 A 型环氧树脂在室温下处于固体和半固体状,如果在室温使用,则要添加活性稀释剂才能达到缠绕、喷射和手糊工艺要求。

纤维的断裂延伸率通常在 2% 左右,选用树脂浇铸体的断裂延伸率要比纤维大,其所受的应力才能有效传递到纤维增强材料上,因此本规范规定断裂延伸率值不小于 2.5%。

树脂的热变形温度 *HDT* 就是当树脂浇铸体试件在等速升温的规定液体传热介质中,按简支梁模型,在规定的静载荷作用下,产生规定变形量时的温度。

热变形温度表达式说明:选择树脂热变形温度应超过设计温度 20℃ 以上,这是国内外在温度条件下使用纤维增强塑料的通常规则,主要是确保作为结构材料的层合板不能在超出其临界温度的环境下长期运行。所谓临界温度就是高温下层合板性能下降速度开始急剧增加时的温度,它是判断结构层材料能否在长期高温下工作的重要依据。试验表明,同一种材料在不同受力状态(拉伸、压缩或弯曲)下的强度和弹性模量下降速度开始急剧增加时的温度区域基本上是相同的,但是与室温下的强度数值的比值是不

同的。比如拉伸时强度值下降比率较小,是由于拉伸时纤维发挥了主要承力作用;而 45° 拉伸时,玻璃纤维增强塑料处于受平面剪切应力作用,则强度值下降幅度就比较大。临界温度的范围取决于层合板的基体树脂和固化体系,而与增强纤维类型和层合板所受应力状态的类型关系不大。一个结构材料的受力状态往往是很复杂的,因此结构材料不能在超出其临界温度的环境下长期工作。

有关树脂耐腐蚀性能的评估方法,本规范根据设计人员多年的使用经验和工程案例积累,在进行试验和验证的基础上,结合国内情况,同时参考了国外相关标准内容,编制了本规范附录 A,其中包含了评估单层板和层合板耐腐蚀性能的指标体系,该评估指标体系在去除了只适用于单层板和层合板的指标(如纤维裸露、分层等)后,同样也适用于树脂耐腐蚀性能的评判。

4.2.5 作为增强材料的纤维织物有非常高的表面积/质量比。比如玻璃纤维织物在形成表面时,玻璃表面层的成分会有所改变,以尽可能降低那些残存的原子间力,玻璃表面剩余的任何作用力将主要通过吸附水分来加以平衡。也就是说玻璃表面覆盖着一吸附水层,为了使玻璃纤维能有效地作为一种增强材料,偶联剂担负着将应力在疏水的基体树脂和亲水的玻璃表面之间有效地传递作用。正因为玻璃纤维表面光滑,不易同树脂粘结,因此在新鲜玻璃纤维成型后需立即采用浸润剂覆盖,使得表面状态得到改变,改善与树脂黏合的特性。浸润剂一般由偶联剂、成膜剂、润滑剂、防静电剂等组成。由于树脂分子结构的不同,所以应与采用的偶联剂相匹配,使得玻璃纤维与树脂界面之间产生化学键合,牢固地结合起来。反之会影响纤维增强塑料的强度和抗渗透性能。

采用不同偶联剂处理和未处理的纤维增强塑料层合板,进行弯曲强度和水煮后湿强度保留率的检测结果也验证了这个结论。表 1 是几种偶联剂处理的玻璃纤维无捻粗纱布所制备的玻璃纤维增强塑料层合板的性能比较。

表 1 偶联剂对玻璃纤维增强塑料层合板弯曲强度的影响

偶联剂类型	弯曲强度(MPa)		湿强度保留率(%)
	干态	煮沸 2h 后	
无	423	247	58
沃兰 A	508	437	86
A172	508	480	94
KH-550, KH-560	600	564	94

从表 1 可看出不使用偶联剂的玻璃纤维无捻粗纱布,其树脂层合板经水煮 2h 后,只保留有 58%湿强度,大大低于使用偶联剂的制品。

这也证明了采用偶联剂的增强型浸润剂不但能加强玻璃纤维与树脂界面的粘结,而且能保护玻璃纤维表面,是提高纤维增强塑料性能和防止纤维增强塑料老化的有效途径之一。

4.2.8 由于纤维的结构和成分不同,其在各类化学介质中的耐腐蚀性能也不相同,尤其对于接触介质的内衬层而言,选择合适的纤维,就如同选择合适的树脂一样重要。表 4.2.8 给了设计人员选择纤维的一个方向和原则。

4.3 单层板和层合板性能

4.3.1 由于增强材料的类型、品种比较多,除了常规的玻璃纤维之外,还有高强玻璃纤维、碳纤维等,本规范无法全部给出相应单层板的力学性能值,同时影响纤维增强材料性能的因素也非常多,如温度、湿度、铺层工艺、操作方法等,因此本规范给出了采用铺层实测法来确定单层板的性能,这样才能真实反映当时设计、制造等条件下的材料性能。

采用铺层计算法,同时又选用玻璃纤维增强材料时,根据国外经验则可引用本规范表 4.3.1-1~表 4.3.1-3 中的数据进行设计。为了验证本规范表 4.3.1-1 数据,上海富晨化工有限公司委托有关单位进行了试验,结果表明:本规范表 4.3.1-1 中的数据较保

守,只要采用合格的铺层材料和按照通用要求的工艺进行制造是可以满足该最低性能要求的,同时在本规范第 8 章中对上述数据的测试方法作了规定。

玻璃纤维增强塑料单层板给定性能值是在其纤维(或树脂)含量较为固定时的值。

4.3.2 设计人员获得层合板的力学性能有两个方法:第一个方法是在缺少实测参数或历史数据时,可根据层合板理论采用铺层计算法,即采用表 4.3.1-1 单层板数据进行铺层计算获取层合板的计算参数,但该方法的设计数据偏保守,特别是对于交叉缠绕制品;第二个方法是采用铺层实测法获得,即进行相应的实验验证,并保证每个检测项目的试样在 15 件以上,同时试验数据应采用置信度处理。表 4.3.2-1 中的检测项目是采用本规范进行设计所需要的基本参数,其测试方法在本规范第 8 章中均有规定。

通常理论计算法的设计数据接近于实际铺层的力学性能。当采用铺层实测法进行单层板和层合板性能的检测取值或验证时,本规范按照通用试验数据处理方法,采用 t 分布单侧 97.5% 置信度临界值,这比 EN 13121-3-2008+A1-2010 标准第 7.8.3 条中系数 k 的取值,数据相对保守和安全。表 2 是 t 分布临界值与 k 值的比较:

表 2 t 分布临界值与 k 值

N	t	k	N	t	k
15	2.160	1.87	24	2.074	1.77
16	2.145	1.85	25	2.069	1.76
17	2.131	1.84	26	2.064	1.75
18	2.120	1.82	27	2.060	1.75
19	2.110	1.81	28	2.056	1.74
20	2.101	1.80	29	2.052	1.74
21	2.093	1.79	30	2.048	1.73
22	2.086	1.78	31	2.045	1.73
23	2.080	1.77	32	2.042	1.73

I 设备设计安全系数与许用应变

4.3.3 设备力学性能的设计安全系数是依据目前国内实际设计和工程应用情况,同时参考了国外相关标准而确定的,公式中略去了与运行周期内压力、温度波动相关的分项设计系数,因为在允许的许用应变水平内,该值取 1.0。同时对层合板长期性能的分项设计系数 K_4 的取值,在本规范表 4.3.7 中进行了简化。

4.3.4 本条详细罗列了当采用铺层计算法和铺层实测法确定材料性能的试验和验证分项设计系数 K_1 取值时,对于层合板、单层板的试样条件、数据处理方法等要求。在分项设计系数 K_1 的取值中,尚需注意:

(1)本条第 1 款的第 1、2 项中产品性能的历史数据主要指认可的产品检验报告、产品性能测试报告等;

(2)本条第 1 款的第 3、4 项和第 2 款规定了在满足相应条件下,可以采用 5 个试样数据为一组的简单试验来检测验证层合板或单层板的相关性能和取值方法;

(3)验证数据所用的单层板为试验室模拟制样,而层合板则分为试验室模拟制样和制造厂按实际设计铺层加工成设备、再从设备上取样的两种方法。

4.3.8 本条第 6 款列出了设备层合板的许用剪切应力计算公式,而设备层合板剪切强度表征属面内剪切形式,即检测垂直于层合板、沿厚度方向的剪切强度,其检测方法在现行国家标准《纤维增强塑料冲压式剪切强度试验方法》GB/T 1450.2 中已有规定。当无检测值时,根据国内外使用经验,设备层合板的剪切强度取 50。

II 管道的许用应力与许用应变

4.3.9 本条第 1 款,管道设计指定值法要求所有载荷组合的最大应力要小于许用应力,其载荷组合中包括内压、外压、自重、支架位移等持续载荷,热膨胀载荷、风、地震、临时检修等偶然短时载荷,但不包括水压试验载荷,水压试验的压力为设计压力的 1.3 倍,且

不进行应力校核。

本条第 2 款~第 4 款,管道设计长期性能测试法的安全系数选取与其他一些国际标准相比较,取值较为保守,且考虑了失效包络线等问题。

按照本条采用的指定值法和长期性能测试法在应用国际通用的管道应力分析软件(如 CAESAR II, BENTLY AUTOPIPE 等)时,可以进行如下处理:即若采用指定值法,则在管道应力分析软件中可选择 BS 7159—1989 标准,若采用长期性能测试法,则在管道应力分析软件中可选择 ISO 14692—2002 标准。

4.3.10 本条的指定值法规定与 BS 7159—1989 的方法 A 相当。在国际上其他标准中如 ISO 14692—2002 和 ASME B31.3—2010,对于缠绕结构均只规定了长期性能测试法,后者对在本规范第 6.1.11 条中管道层合板的 I 型和 II 型铺层结构分类,规定了 10 倍安全系数办法的要求,大致相当于本规范管道许用应变的指定值法,按照 ASME B31.3—2010 规定的相关强度和模量参数计算,其许用应变约为 0.00106~0.00133 的水平,而且与应用环境无关。BS 7159—1989 中的指定值法由于综合考虑了温度和化学腐蚀环境的影响,而且应变值在 0.0009~0.0018 之间,比 ASME 的办法科学,而且两个规范数据相比,BS 7159—1989 的数据并不很高,同时该标准从 1989 年版以来一直确认有效,在国际上的纤维增强塑料管道工程中广泛应用,说明该取值法是可靠的。

本条第 5 款的规定是对于多层缠绕结构的应变限制,主要是因为该结构具有各向异性和拉剪耦合效应等特点。如果设计者能对该缠绕结构进行详细的各向异性弹性分析,证明在载荷的联合作用下,该层合板结构的主应变和剪切应变均小于许用应变,可以采用指定值法确定的许用应变,否则应采用保守的 0.0009 许用应变数据。各向异性弹性分析可以参考复合材料力学相关章节,通常采取的流程为:

(1)计算单层板正轴刚度矩阵 $[Q]$;如无实测数据可查本规范

表 4.3.1-2, 获取主向弹性模量 $E_1 = 28000 \text{N}/(\text{mm} \cdot \text{kg}/\text{m}^2)$, 查本规范表 4.3.1-3 得 $\nu_{12} = 0.27, \nu_{21} = 0.075$, 反推计算横向弹性模量: $E_2 = \frac{\nu_{21} \times E_1}{\nu_{12}} = 7777 \text{N}/(\text{mm} \cdot \text{kg}/\text{m}^2)$ 。

- (2) 计算对于缠绕角的单层板偏轴刚度矩阵 $[\bar{Q}]$;
- (3) 计算层合板的刚度矩阵 $[A]$ 和柔度矩阵 $[a]$;
- (4) 代入载荷, 计算出偏轴应变, 并转换为主轴应变并做计算判定。

通常管道缠绕为 $\pm\theta$ 角的交叉缠绕结构, 属于反对称角铺设层合板, 将会产生剪切弯曲耦合及拉压扭曲耦合, 但这些耦合的程度随层数的增加按 $1/N$ 的比例减小, 当 $\pm\theta$ 角的交叉缠绕结构的层数 ≥ 4 时, 可以近似认为这些耦合效应消失, 可以简化, 将耦合矩阵 $[B]$ 设为 0。

4.3.11 本条对于确定管道许用应变的长期性能测试法作了规定, 其试验方法在现行国家标准《玻璃纤维增强塑料夹砂管》GB/T 21238—2007 附录 B 中有规定。本条将持续和偶然作用载荷以及热膨胀载荷分别作了对应许用值的处理, 符合地上管线受力分析的特点。在长期性能测试法中对于式(4.3.11)中设计安全系数的规定, 在国外标准 BS 7159—1989 中为 1.3, ISO 14692—2002 中为 1.5, ASME B31.3—2010 中为 2.0, 该系数的不同取值与各标准的应力计算和安全判定有关:

(1) BS 7159—1989 中的应力计算均为持续载荷, 未考虑短时作用载荷, 对应设计压力载荷下的系数为 1.3。

(2) ISO 14692—2002 中要考虑偶然短时作用载荷, 其中包括水压试验载荷 1.5 倍设计压力, 若按此载荷计算, 反推对应设计压力载荷下的系数应为 $1.5 \times 1.5 / 1.33 = 1.69$ 。

(3) ASME B31.3—2010 规定了考虑偶然短时作用载荷, 在计算中予以计及, 但 1.5 倍设计压力的水压试验载荷不需要再进行应力计算校核。如果将 1.5 倍的水压试验载荷做应力计算, 相

当于设计压力载荷下的系数为 $2.0/1.5=1.33$ 。

因此本规范确定采用的长期性能测试法和设计安全系数与 ISO 14692—2002 相当,不仅相对安全,而且概念清晰,同时该标准也在国际纤维增强塑料管道的设计计算中大量采用,利于国际交流。

在式(4.3.11)、式(4.3.12)和式(4.3.14-2)中均涉及“设计寿命”概念。设计寿命与许用应变、设计安全系数、选用材料、成型工艺、使用工况、维护保养等很多因素相关,依据目前的综合技术水平,很难给出一个统一的设计使用年限:当有成熟使用业绩及案例,采用相同材料和制作工艺,制造相同产品时,其设计使用寿命可参考原有业绩或案例的寿命;在设计工况、材料和制作工艺相同的情况下,通过加大设计安全系数,降低许用应变,可一定程度上延长设备或管道的使用寿命;通过长期性能试验,模拟使用工况进行加速老化试验,根据试验结果采用长期性能测试法来推导设备或管道的预期使用寿命;本规范采用设计安全系数法设计的设备和采用指定值法设计的管道,与相关国外先进标准一样,均无法给出有依据的设计寿命,只是当采用该方法进行设计和选材时,可得到一个虽不明确但相关方均可接受的潜在预期使用周期。

4.3.14 本条描述了确定简化失效包络线的过程。管道的轴向和环向应力计算值应落在简化失效包络线内,表明设计是安全的。

5 设备设计

5.1 一般规定

5.1.1、5.1.2 设备设计压力和计算压力确定来源于下列三个标准:

(1) 现行国家标准《压力容器》GB 150—2011 的定义为:

设计压力(第 3.1.3 条): 设定的容器顶部的最高压力, 与相应的设计温度作为容器的基本设计载荷条件, 其值不低于工作压力。

计算压力(第 3.1.4 条): 在相应设计温度下, 用以确定元件厚度的压力, 包括液柱压力等附加载荷。

(2) 现行行业标准《玻璃钢化工设备设计规定》HG/T 20696—1999 的定义为:

最大工作压力(第 1.7.2 条): 在正常操作情况下, 容器顶部可能出现的最高压力。

设计压力(第 1.7.3 条): 在相应设计温度下用以确定受压元件厚度的压力, 其值不得小于最大工作压力。对于盛装液体的容器, 其各个部位的设计压力为最大工作压力和该部位液柱压力之和。外压容器应取不小于在正常工作过程中任何时间内可能产生的最大内外压力差, 且不大于 0.1MPa。真空设备按外压容器设计, 其设计压力为 0.1MPa。

(3) 在 EN 13121—3—2008+A1—2010 中定义为:

设计压力(design pressure): 用于元件计算的设计压力(the design pressure used in the calculation for a component)。

5.1.3 设备设计温度确定来源于下列三个标准:

(1) 现行国家标准《压力容器》GB 150—2011 的定义为:

设计温度(第 3.1.7 条): 容器在正常工作情况下, 设定的元件

的金属温度(沿元件金属截面的温度平均值)。设计温度与设计压力一起作为设计载荷条件。

(2) 现行行业标准《玻璃钢化工设备设计规定》HG/T 20696—1999 的定义为:

玻璃钢温度(第 1.7.4 条):指容器受压元件沿截面的平均温度。在任何情况下,玻璃钢元件的表面温度不得超过玻璃钢材料的允许使用温度。

设计温度(第 1.7.5 条):指玻璃钢设备在正常操作情况和相应设计压力下设定的受压元件的玻璃钢温度,其值不得低于玻璃钢元件可能达到的最高温度。容器的设计温度是指玻璃钢壳壁的设计温度。

(3) 在 EN 13121—3—2008+A1—2010 中定义为:

设计温度 T_s :设备设计的最高或最低温度,由用户决定(the maximum or minimum temperature for which the equipment is designed, decided by the manufacturer)。

5.1.4 纤维增强塑料设备的设计内容和范围与现行国家标准《压力容器》GB 150—2011、《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG R0004—2009 的规定基本一致。

5.1.5 纤维增强塑料设备所列几种设计方法在现行国家标准《压力容器》GB 150—2011、《固定式压力容器安全技术监察规程》TSG R0004—2009 中均有涉及,本章主要针对规则设计法进行规定。

纤维增强塑料设备的设计安全系数的选择与成型工艺、载荷条件、材料性能分散性等很多因素有关,国内外标准中的规定大相径庭。为便于设计,在参考各标准基础上,本规范给出了最小安全系数和失效压力。

5.1.6 铺层设计的内容主要包括:纤维及制品(织物)类型,树脂、引发剂及配合比,铺层的次序、方向和层数,成型和固化工艺,树脂或纤维含量以及允许偏差等。

纤维增强塑料层合板属各向异性的复合材料,其特点是强度具有方向性,同时弹性模量低。铺层设计时需要注意:纤维铺设方向应与主承力方向一致,这样可以最大限度利用纤维的高强度特性;为了避免拉剪、拉弯耦合引起的翘曲变形,结构层应按均衡对称形式设计;相同铺层应沿厚度均布,这样可以提高层间强度而避免分层。

5.1.7 内衬层、内表面层和外表面层的厚度规定,主要根据国内实际使用情况以及国外相关标准内容而确定。

各层树脂含量的规定,在国内外标准中也不相同:

(1)内表面层采用表面毡,在现行行业标准《玻璃钢化工设备设计规定》HG/T 20696—1999 规定树脂含量不小于 90%,而在 ASTM D3299—2010 中规定为 80%。根据调查和验证,本规范确定为不低于 85%。

(2)次内层采用短切原丝毡、缝编织物、喷射纱,在现行行业标准《玻璃钢化工设备设计规定》HG/T 20696—1999 规定树脂含量为 70%~80%、《耐化学腐蚀现场缠绕玻璃钢大型容器》HG/T 3983—2007 规定大于 70%,而 ASTM D3299—2010 规定内表面层和次内层总树脂含量大于 70%。根据调查和验证,本规范确定为不低于 65%。

(3)结构层可采用缠绕纱、短切原丝毡、缝编织物、喷射纱、纤维布等单一或几种增强材料的组合。在现行行业标准《耐化学腐蚀现场缠绕玻璃钢大型容器》HG/T 3983—2007 规定结构层树脂含量 25%~40%,现行行业标准《玻璃钢化工设备设计规定》HG/T 20696—1999 规定为 30%~40%,而 ASTM D3299—2010 规定缠绕成型的结构层纤维含量 50%~80%(相当于 20%~50%树脂含量)。

国内目前纤维增强塑料设备主要以缠绕成型为主,因此本规范中设备筒壁的结构层以缠绕成型为主,在铺层设计中可根据结构性能的需要,增加纤维织物,如为提高轴向强度采用单向纤维

布；又如由于缠绕层合板的树脂含量低，层间结合力也偏低，因此在铺层设计中，采用增加短切纤维（短切原丝毡、喷射纱等）的方法来提高缠绕层的层间结合力。由于结构层的铺层选用情况比较复杂，本规范无法给出统一数据。对于采用玻璃纤维材料，可根据本规范第 4.3.1 条中单层板玻璃纤维含量的规定来计算出树脂含量。

(4)外表层采用表面毡，在现行行业标准《玻璃钢化工设备设计规定》HG/T 20696—1999 规定外表层树脂含量 $\geq 90\%$ 。本规范规定同内表面层一样，不低于 85%。

5.1.8 本条根据国内实际设计和工程应用情况，结合国外相关标准内容，规定了结构计算中不考虑内衬层、外表层的厚度，但在计算载荷时应计入。

5.2 载荷和作用

5.2.1~5.2.6 有关载荷内容是在现行国家标准《压力容器》GB 150—2011 规定的载荷基础上，对纤维增强塑料设备设计时应考虑的各种载荷以及在设备不同状态下载荷的组合作了规定。

5.3 结构计算

5.3.1~5.3.3 纤维增强塑料设备筒体计算内容主要涉及了圆筒体在内、外压力载荷，设备自重，介质液柱静压力，检修附加载荷，风载荷，雪载荷以及各种载荷的组合作用下的计算；在外压作用下的圆筒体的轴向屈曲、环向屈曲以及轴向和环向组合压缩载荷作用下的计算；带内部或外部加强圈的圆柱壳的计算和圆锥形壳体的计算。

部分计算公式中引用了本规范第 4.3.7 条的“层合板长期性能的分项设计系数 K_4 值”概念。

5.3.4~5.3.11 对纤维增强塑料设备圆锥壳和锥形封头、碟形封头、椭圆形封头等规定了计算内容和方法。

本规范中对于封头的外压系数取与筒体相同,在计算公式中已考虑了安全系数,如本规范式(5.3.11-1)和式(5.3.11-2)中。其中 F 为屈曲安全系数,按本规范第 4.3.3 条第 2 款的规定可取 5。

而在现行行业标准《玻璃钢化工设备设计规定》HG/T 20696—1999 公式(4-14)中为:

$$[P] = \frac{2E\delta_e^2}{R_0^2 m \sqrt{3(1-\mu^2)}} \quad (1)$$

式中: $[P]$ ——碟形封头许用外压(MPa);

m ——屈曲安全系数为 15。

两个公式对比后发现本规范中更偏于安全。

锥顶角大于 150° 的锥形封头以及平盖形封头应根据其所承受的具体载荷内容按本规范的第 5.3.20 条、第 5.3.22 条~第 5.3.24 条中的相关规定进行计算。

5.3.18~5.3.24 平板的主要增强材料规定为采用短切原丝毡(CSM),是考虑以短切原丝毡为主要增强材料的平板具有各项同性的力学性能。

给出的平板厚度计算公式是基于材料的泊松比 $\nu=0.3$ 时,既考虑了平板材料的最大允许膜载荷(拉伸的或压缩的),同时受力平板的挠度不大于平板厚度的 1.5 倍。当平板的挠度大于平板厚度的 1.5 倍后,由弹性分析导出的本条的各计算公式将不再适用。

另外,平板计算中确定的边界条件也至关重要,使用者应将实际计算的平板的边界约束条件准确简化成本规范中规定的四种形式之一。

5.4 结构设计

5.4.1 平底设备的结构示意图和本节中涉及的支座、加强圈、接缝、开孔补强、接管示意图只表示典型结构,设计、制造单位可根据设备的具体形式采用其他结构,但其强度、刚度及耐腐蚀性等要满

足技术要求。

5.4.2~5.4.5 设备支座及底部转角部分的结构参考了现行行业标准《耐化学腐蚀现场缠绕玻璃钢大型容器》HG/T 3983—2007、《玻璃钢化工设备设计规定》HG/T 20696—1999 等标准中的有关内容。

5.4.7 设备筒体连接及筒体与封头的连接部分的结构参考了现行行业标准《玻璃钢化工设备设计规定》HG/T 20696—1999 等标准中的有关内容。

5.4.8、5.4.9 设备接管及开孔处的补强部分的结构参考了现行行业标准《玻璃钢化工设备设计规定》HG/T 20696—1999 等标准中的有关内容。

5.4.10 加强圈的规定参考了现行行业标准《玻璃钢化工设备设计规定》HG/T 20696—1999 等标准中的有关内容。

6 管道设计

6.1 一般规定

6.1.1、6.1.2 管道设计压力、设计温度的确定参考了现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316—2000 第 3.1.2 节、第 3.1.3 节的有关内容。

6.1.3 设计中对环境影响采取的措施在现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316—2000 第 3.1.4 节有明确规定。

6.1.5 本条规定了管道承受各种偶然短时载荷的内容,其中第 2 款的地震载荷内容参考了现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316—2000 第 3.2.8.3 条和第 3.2.8.4 条的有关内容。

6.1.7 本条内容参考了现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316—2000 第 3.1.8 节的有关规定。

6.1.8 本条内容参考了现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316—2000 第 3.1.9 节的有关内容。

6.1.10 对于缠绕管道和管件,因其具有显著的各向异性,且失效应力与应力状态密切相关,因此当采用长期性能测试法数据时,因其许用应力值较高,只进行最大组合应力计算有安全风险,因此要考虑对管道及管件的应力状态进行失效包络线分析来再次确定安全性。

6.1.11 本条中的分类划分是为指导相关人员了解管道的铺层类型,利于选择,后续的计算表格均以此分类为依据。随着增强材料的发展,可能会出现其他的铺层组合,将不局限于本条中的三种类型。Ⅱ型层合板中的布是经向和纬向性能相同或近似相同的纤维方格布。

6.1.12 现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316—2000

第 14 章是安全方面的规定,虽然是金属管道的相关规定,但同样也适用纤维增强塑料等非金属管道的设计。

6.1.13 该流程图可以指导相关人员整体了解本章的管道设计计算路线。

6.2 构造设计

6.2.1 现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316—2000 第 10 章中对金属管道支吊架的设计提出了要求,同样也适用于纤维增强塑料管道。

纤维增强塑料管道和管件与支架之间放入垫板是为防止位移磨损并减少支撑接触压力。

固定支架是将管道热膨胀等轴向位移断开的装置,固定支架一侧的变位不会传递到另一侧。

6.2.2 本条规定了手糊对接接头和承插粘接接头的构造及计算。图 6.2.2—3 中的“内缝密封”,一般是在可以进到管道内部施工时才可实施,采用内缝密封的接头通常抗水压渗漏的可靠性高。

6.2.3 三通构造图表达了对于大开孔率的三通应对主管进行全包补强的要求。管件尺寸图是考虑管道布置时管件与管道的连接须有接口空间,指导设计人员合理布置管件的间隔。

6.2.4 管道受热后会产生热膨胀,膨胀大小取决于设计温差 ΔT 、管材的热膨胀系数和可以自由膨胀的管道长度,而限制管道的自由膨胀会在管线系统中产生热应力。因此采用半约束管线系统的三种膨胀节形式,即通过控制固定支架间直管段的长度和 L 形、II 形膨胀节构造或设置接头式膨胀节(采用波纹管或伸缩器等管件)来吸收热膨胀;采用该系统要考虑设置足够的滑动支架承受包括管线自重在内的外载荷,以及保证管线有足够的柔性吸收热膨胀,这种管线系统设计在管线中会有较小的轴向应力。

6.2.5、6.2.6 给出了 L 形膨胀节、II 形膨胀节的构造长度的计

算和导向支架与固定支架的布置。

L形膨胀节、II形膨胀节公式是统一的,只是L形为一侧的变形,而II形用的是合计变形。II形推荐的导向支架设置,第一个位于4倍管道直径处,第二个位于14倍管道直径处。但是这两种布置均要求管件的承载力能满足膨胀节因变形而产生的弯矩作用。

可根据管件的最大许用弯矩 M 来计算膨胀节的构造长度,见下式:

$$L_{\text{leg}} = \sqrt{\frac{m\Delta l E_{\text{lamx}} I}{M}} \quad (2)$$

式中: L_{leg} ——管件计算的构造长度(mm);

m ——系数,采用II形膨胀节时,取1.5。

为了方便后面的弯头等管件受力计算,可将上式转换为面内弯矩 M_i 的计算。

在一些情况下所有的管件均要进行锚固,如拼接管件或大直径管件其许用弯曲应力往往低于管道,这时就要将管件锚固用膨胀节等来吸收热膨胀。

6.2.7 本条对接头式膨胀节规定了最大伸缩量和最小启动力的设计要求,是接头式膨胀节设计选型计算的必要参数,能够保证该膨胀节在管系热膨胀中有效动作。接头式膨胀节安装的初始伸缩位置的设定计算是作为在现场闭合管线时应进行的计算指导。

6.2.8 本条规定了采用全约束管线系统的设计,即采用固定支架来约束管线的膨胀,因为纤维增强塑料的低模量会产生较小的推力。固定支架的约束造成管线的轴向压缩,一般通过导向支架来避免管道的轴向失稳。采用全约束管线系统可以使管道和管件避免由于方向改变造成的弯曲应力。式(6.2.8-1)~式(6.2.8-3)是避免直管压缩失稳的计算公式。

采用全约束管线系统设计引发的管道轴向压缩应力还会由于泊松比的作用引起环向应变,要对该应变和内压引起的环向应变进行许用应变的校核。

6.3 结构计算

6.3.1 根据设计压力进行管道的选型,为后续的设计计算选定一种管道的规格和性能数据:可以进行铺层设计或者按本规范表 6.3.1-1~表 6.3.1-5 选择表中数据,也可根据厂家数据进行选型。

本规范表 6.3.1-1 中管道计算参数是基于下列条件确定的:

(1)单层短切原丝毡(CSM)或缝编毡等短切纤维织物单位面积质量按 $450\text{g}/\text{m}^2$ 、树脂含量按 70%计算;

(2)单层(玻璃)纤维布等连续纤维织物,单位面积质量按 $300\text{g}/\text{m}^2$ 和 $810\text{g}/\text{m}^2$ 、树脂含量 50%计算;

(3)纤维缠绕层,缠绕角度为 55° 、树脂含量按 28%计算。

需要注意的是:由于作业环境条件的变化以及相关操作参数的影响,层合板的树脂含量可能会跟上述计算值有一定的偏差,会造成同样纤维铺层条件下的壁厚差异,因此具体的层合板参数还需制造商给予确认。

6.3.4 本条参考了现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316—2000 第10.2.7条,其中刚度条件的管道“设计挠度不应大于 12.5mm,且应与 $L/300$ 比较,并应取小者”的规定是考虑采用两者的小者上限为 12.5mm,可以满足管道挠曲的视觉感受和减少有挠曲管道的轴向压缩稳定问题的风险。而对于装置外管道的挠度允许适当放宽,但不应超过 38mm。

特殊要求的管道,如需要用到更小挠度值的管道,主要是一些专业项目的特别规定或业主对某些装置的特殊设计要求,应当按特殊要求进行设计。

受轴向压缩载荷的管线,比如两端固定支架的管线在受热膨胀状态或竖向管线管端受轴向压缩载荷等时,管线可能会产生轴向压缩失稳,应采用本规范式(6.2.8-2)对跨距或支撑间距 L 进行 EULER 失稳校核。

6.3.5 对于Ⅰ型和Ⅱ型层合板管道支撑跨距的轴向弯曲计算规定,是针对这两类铺层具有准各向同性的特点所给予的取值建议。

对于Ⅲ型,由于管道的可设计性强,轴向和环向的性能差异较大,本条规定是为便于指导设计计算支撑跨距,最终以设计计算值为准。对于通常采用的 55° 交叉缠绕铺层,支撑跨距弯曲应力的许用值与管道是否承担内水压推力有密切关系,当需要承受该推力时,往往需要提高管道层合板拉伸刚度等级,以获得轴向强度的裕度,支撑跨距弯曲应力可以为许用轴向应力的25%左右,如果采用接头式膨胀节或柔性接头等吸收管道变形,设计内压对管壁产生很小或不产生轴向应力时,支撑跨距弯曲应力可以取许用轴向应力的50%。

6.3.6 本条参照了现行国家标准《工业金属管道设计规范》GB 50316—2000第10.2.8条的内容。

6.3.7 本条规定主要是为了防止管道产生共振。

6.3.8 管道支撑跨距选型表是给设计者一个初步的跨距选择建议,设计者初选跨距后,应对在此跨距下的强度条件、刚度条件以及其他要求(如轴向压缩失稳等)进行计算,以确保满足本节中的相关计算规定。

表6.3.8-1~表6.3.8-8是基于许用应变采用指定值法得出,管道规格(标准参考铺层代号)是按照本规范表6.3.1-1~表6.3.1-5中的数据进行计算而得,表中的跨距值是按照强度条件和刚度条件控制计算的最小跨距值,并遵循了下列原则:

(1)刚度条件按本规范6.3.4条第2款第1项“管道的设计挠度不应大于12.5mm,且应与 $L/300$ 值比较,并应取小者”确定;挠度计算公式采用本规范式(6.4.8-5)进行连续梁中间跨的计算。

(2)强度条件按照本规范第6.3.5条确定,即Ⅰ型和Ⅱ型层合板的支撑跨距弯曲应力的许用应力取轴向许用拉伸应力的25%;Ⅲ型层合板的支撑跨距弯曲应力的许用应力取轴向许用拉伸应力的50%。

(3) 弯矩计算按本规范式(6.4.6-6)进行,弯曲应力计算按式(6.4.6-5)进行。

(4) 由于上述计算中大多数均为强度控制条件起控制作用,因此对于边跨,由于其弯矩公式(6.4.6-7)是中间跨弯矩公式(6.4.6-6)的 $3/2$ 倍,因此折算成跨距,可以取表中数据乘以0.816为边跨跨距建议值。

(5) 通常支撑间距取管道长度的若干等分长度,因此表中对于液体介质最大跨距取6m,考虑到边跨的取值,表中的最大跨距取7.4m;对于气体介质由于应力水平低,可能设计需要更大跨距,因此表中的最大跨距取12m。

6.4 管道应力计算和柔性分析

6.4.1、6.4.2 管道的应力计算在考虑和计算了热膨胀后较为复杂,往往需采用计算机辅助设计进行详细应力计算才能解决。为了简化计算,在有成功经验或管系通过膨胀节的设定具有足够的柔性,能够吸收管线由于受热载荷等产生的位移时,可以不进行详细应力计算,只对内压引起的环向应力、轴向应力以及涉及跨距的轴向弯曲应力和挠曲变形以及可以方便计算的弯矩和稳定性等方面进行计算校核即可。

6.4.3 采用计算机辅助应力分析来进行详细应力计算,能够事半功倍。本条所列各种应力计算,均可采用国际通用的管道应力分析软件(如 CAESAR II, BENTLY AUTOPIPE 等)进行计算。

6.4.4 当环境温度改变比工艺温度改变对管道设计的影响大时,可取预计安装温度和应用环境温度之间的温度变化作为设计温差。

6.4.5 本规范表 6.4.5-1 中应力增大系数 SIF 一般为四个,分别是 SIF_{xi} (在面内弯矩 M_i 作用下的轴向系数), SIF_{ϕ_i} (在面内弯矩 M_i 作用下的环向系数), SIF_{xo} (在离面弯矩 M_o 作用下的轴向系数), SIF_{ϕ_o} (在离面弯矩 M_o 作用下的环向系数)。面内弯矩 M_i 、离面弯矩 M_o 见图 6。

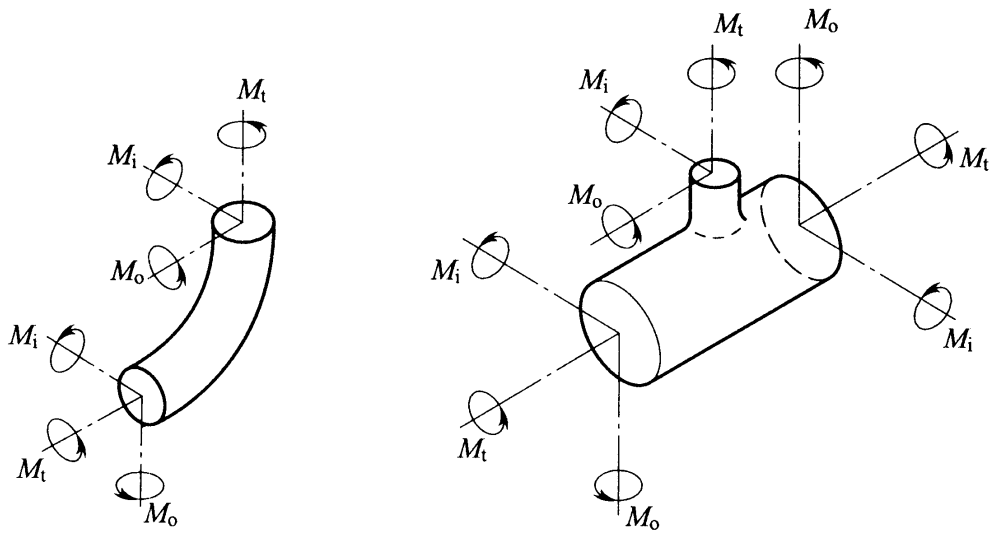


图6 面内弯矩 M_i 、离面弯矩 M_o 、扭矩 M_t 示意图

6.4.6、6.4.8 列举了常用的管道应力计算公式,其中自重引起的弯曲应力和变形公式中的中间跨和边跨,是按照5跨连续梁的静力计算参数经保守圆整后得到的,其中边跨是按照简支单跨保守计算的。

敷设在滑动支架或导向支架上的连续管道可以视为等跨连续梁,对于5跨以上的连续梁可以把管道的弯矩和挠曲变形计算分为中间跨[式(6.4.6-6)和式(6.4.8-4)]和边跨[式(6.4.6-7)和式(6.4.8-5)]两种条件,其中除了管道末端为边跨外,凡是由于管道安装了设备而破坏管道连续性的地方均应视为边跨。

式(6.4.8-3)为管壁不承受设计内压产生的轴向应力时的管道变形量计算,在设置接头式膨胀节或柔性接头时须考虑。

6.4.7 对于直径大于600mm的管道,规定了应对支架处的受力状况进行受力分析和应力校核,与卧式容器鞍座处的计算相似。

6.4.12 最大组合应力中的外载荷主要指风载荷等。

6.4.13 本条第3款为验算管壁轴向的压缩稳定,其中式(6.4.13-6)为管壁整体轴向压缩稳定,即通常说的EULER失稳校核;式(6.4.13-7)为管壁局部压缩稳定校核,即通常说的壳体稳定,比如管道的支撑跨距弯曲应力,是横截面一侧受拉一侧受压。

7 制 造

7.1 一 般 规 定

7.1.1 直径小的设备和管道,可在制造商的工厂内制作。直径大、运输有困难的设备或管道,应在项目现场或现场附近有临时围护结构的场所内制作,这样可满足制造时的环境温度和湿度要求。

可根据用途对制作场所进行区域设置和划分。

采用不饱和聚酯树脂、乙烯基酯树脂时,由于树脂中的苯乙烯是具有臭味的易燃、易挥发化学品,除加强劳动保护外,还应加强工作场所的通风。

温度过低,树脂固化速度变慢,影响工作效率和固化后产品的强度;温度过高,树脂固化速度太快,来不及制作的材料会浪费。湿度大,空气中的水分对树脂固化速度和固化后产品性能会有影响。环境温度 $15^{\circ}\text{C}\sim 30^{\circ}\text{C}$,相对湿度不大于80%是一个比较适合的工作环境。若在低于 10°C 下进行铺层操作,应采取加热保温措施以保证树脂能够良好固化,同时需要注意,引发剂用量不能超过树脂厂商的推荐加入量,因为加入过量引发剂会导致树脂固化后性能变脆。

低温存放,利于不饱和聚酯树脂、乙烯基酯树脂延长存储期。但是在使用时,材料温度宜同环境温度相一致,否则引发剂的用量不能确定,树脂的黏度也会变大,影响与纤维的浸润。

7.1.2 模具表面使用聚酯薄膜或脱模剂(如聚乙烯醇)会提供光滑的内表面,以保证脱模时不损坏模具表面。

7.1.3 本条第3款是强制性条款,原因是:不饱和聚酯树脂和乙烯基酯树脂常温固化时所采用的引发剂均系过氧化物(如过氧化甲乙酮,过氧化环己酮等),它同配套的促进剂(如环烷酸钴等)直

接混合将会发生剧烈的化学反应引起燃烧,严重时甚至会发生爆炸事故,危及生命和财产安全,因此严禁引发剂和促进剂同时加入;同时,由于引发剂是强氧化剂,其蒸气比空气重,如果泄漏到地面会蔓延,极易发生燃烧、爆炸,因此应与其他化学品分开储存,储存容器垂直放置,防止泄漏。

树脂的凝胶时间过短,会使树脂黏度迅速增大,不利于浸透纤维,甚至会发生局部固化;凝胶时间过长,不仅增长生产周期,且导致树脂流失,造成局部贫胶或不能完全固化,因此使用前应进行树脂胶凝时间的试验。

纤维增强材料如有污物和水分将会影响与树脂的浸润,造成界面的无效结合,影响固化,降低材料性能。在现行国家标准《玻璃纤维短切原丝毡和连续原丝毡》GB/T 17470—2007、《玻璃纤维无捻粗纱布》GB/T 18370—2014、《玻璃纤维无捻粗纱》GB/T 18369—2008 中分别对玻璃纤维增强材料的含水率作了规定,在现行国家标准《经编碳纤维增强材料》GB/T 30021—2013 中对经编碳纤维增强材料的含水率作了规定。

7.2 设备和管道制造

7.2.1 内衬层中的次内层采用短切原丝毡或缝编织物进行手糊成型时,应根据设计规定的纤维织物方向进行剪裁,以保证各方向纤维织物的层数及铺放顺序。

喷射成型时,纤维长度一般为 25mm~50mm,喷枪夹角宜为 20°,喷枪口与成型表面距离一般为 350mm~400mm。如果改变操作距离,应调整喷枪夹角以保证树脂在靠近成型面处交集混合。喷枪移动速度应均匀,不允许漏喷,不能走弧线。

7.2.2 结构层与内衬层之间的制造间隔时间的控制目的是确保层间附着力,防止设备和管道在运输、安装、运行过程中因发生碰撞、温度剧烈变动等情况导致结构层与内衬层的脱层。如果间隔时间长了,结构层与内衬层的界面融合就会存在隐患。

通常在结构层缠绕开始前,先在内衬层表面涂刷树脂,目的是为了提高层间结合力。

7.2.3 缠绕成型应控制缠绕张力和缠绕角。缠绕张力大小、各束纤维间张力的均匀性,以及各缠绕层之间纤维张力的均匀性对制品质量影响极大。控制缠绕张力应做好两方面:一是纤维初应力值的确定,二是张力应逐层递减。通过调整缠绕角度,可满足不同强度要求。

缠绕成型后层合板的树脂含量比较低,同时由于受到缠绕角度限制,轴向强度也比较低,可以通过添加短切原丝毡、纤维布或缝编织物等方法,一是可提高缠绕层树脂含量和层间结合力,二是可提高层合板的轴向强度。通常添加的玻璃纤维布有单向布、方格布等,以单向布居多,其提高轴向强度最明显。

当手糊成型设备封头和底部,采用短切原丝毡或短切原丝毡与纤维布交替时,应按设计规定的纤维方向进行布的剪裁,以保证各方向布的层数及铺放顺序。同一铺层纤维应连续,可采用对接和搭接两种拼接形式,各层接缝应错开。

由于树脂固化是放热反应,尤其采用高交联密度树脂时,放热量更大,如果不采取措施而一次成型厚度太大,容易导致层合板因放热集中而产生起壳、分层、开裂等缺陷,影响产品质量,故需要分次制造,同时应掌握好分次成型的间隔时间。

7.2.4 外表层树脂中添加紫外线吸收剂可以延缓树脂在室外的老化;外表层的最外层采用无空气阻聚树脂、胶衣树脂封面或聚酯薄膜包覆主要是获得固化完全的表面,避免外层树脂中的苯乙烯因固化不完全导致受潮发白等现象发生。

7.2.5 管道制造因长度限制而需按设计要求进行分段切割,切割后的端部和截面会有纤维外露,如果不加保护,则容易吸潮影响产品质量,所以需要采用树脂进行封边处理。

7.2.6 设备直径大于4m时,由于汽车运输及道路隧桥高度的限制,在工厂制造不适合,通常在现场制作。

设备底部在设备安装现场整体制造完成,主要是设备整体成型的底部平整性、整体性好,易于和基础结合紧密,可以避免使用过程中基础局部发生沉降而对转角部位造成破坏,同时基础和设备底部分层的概率也较小;而分瓣预制的设备底部,使用时易产生分层、起壳、开裂等质量隐患。

设备筒体与设备底部采用承插连接,内部糊制的转角半径和增强宽度数据均参照了现行行业标准《耐化学腐蚀现场缠绕玻璃钢大型容器》HG/T 3983—2007 的有关规定。

7.2.7 设备和管道的固化有常温固化和加热固化两种情况,主要取决于树脂系统。控制固化度是保证制品质量的重要条件之一,一般通过调控树脂胶液中引发剂含量和固化温度来实现。对于常温固化的制品,应有一段适当的固化和养护周期。加热固化时,升温速度应平稳,在最高加热固化温度下应保证足够的恒温时间,降温冷却时应缓慢,不应骤冷;当设备和管道有温度载荷条件下的耐腐蚀性能要求时,经过常温固化的制品通常还需要进行加热后固化处理,其加热后固化处理的温度一般应高于制品的使用温度。

7.3 制造过程质量控制

7.3.1 设备和管道设计要落实在制造过程中,其中铺层材料及规格、层数、次序、树脂或纤维含量、树脂胶料的配合比、成型和固化工艺,缠绕角大小等准确与否,这些因素决定了最终产品的耐腐蚀性能和力学性能等是否满足设计所要求的质量。

7.3.2 本条规定了在设备和管道制作过程中的检验项目,强调产品质量的过程控制。

7.3.3 本条规定了在设备和管道制作完成后定量和定性的检验项目,其中“树脂含量允许偏差值”是体现制造技术水平和产品质量稳定性的重要定量控制指标,而巴氏硬度是表明产品成型固化程度的定量控制指标。

7.4 缺陷及修补

7.4.1 本条规定了设备和管道内衬层、结构层和外表层的允许缺陷,主要参考了现行行业标准《玻璃纤维缠绕增强热固性树脂耐腐蚀立式贮罐》JC/T 587—2012 等国内外标准的有关内容。

7.4.2 缺陷修补完毕后,所有修复区域需进行检验,以确保与原始铺层具有相同的物理力学性能和耐腐蚀性能。

7.5 二次粘接

7.5.2 在现场进行二次粘接,当相对湿度大于 80%或环境温度在露点温度 3℃以下时会有结露风险,应停止糊制作业。如果必须在恶劣天气条件下施工,粘接接头施工区域应采取现场遮盖等防护措施。

7.5.3 当二次粘接不能一次完成,分次进行的的间隔时间应按本规范第 7.2.2 条执行,每个分次操作的第一层应采用短切原丝毡,主要是提高树脂含胶量,确保层间附着力。

8 质量控制与检验

8.1 一般规定

8.1.2 从业人员包括纤维增强塑料设备与管道制造、质检、安装、验收等各个环节的人员。对从业人员建立并维持一个好的培训机制,并取得资质证书方可上岗,同时应记录并保存培训文档。这是确保检验工作顺利进行的基本条件。

8.1.4 测量时环境温度和相对湿度的变化会引起测量误差。在什么样的标准温度和相对湿度下进行检测,与被测项目和检测仪器的精度要求有关,本规范对其无法明确给出范围。

8.2 质量检验文件

8.2.2 依照工程惯例,一般遇如下情况应对原材料进行抽检和复验:设计规定要求复验的,用户要求复验的,材料质量证明书中有缺项的,制造单位不能确定材料真实性或对材料的性能和成分有怀疑的。

8.2.3 操作过程记录是根据设备、管道的具体制造过程进行的,比如铺层、配合比、固化、开孔、切割、打磨、返工、修复等过程记录。制造过程涉及的检测记录一般有外观、尺寸、固化度检测,还有需要的力学性能检测记录。

8.3 原材料测试与检验

8.3.2、8.3.3 不饱和聚酯树脂和乙烯基酯树脂的液体性能主要包括酸值、黏度、固体含量、凝胶时间,其浇铸体的性能主要包括力学性能和热变形温度等。

8.3.4 环氧树脂的性能主要包括黏度、环氧当量等。

8.3.5 设计内压大于 0.1MPa 或负压设备与管道制造时,要求复验树脂的热变形温度是参照了《非金属压力容器安全技术监察规程》TSG R0001—2004 的有关规定,以确保树脂性能满足设计要求。现行国家标准《塑料弯曲负载热变形温度试验方法》GB/T 1634.2—2004 中的 A 法规定了热变形温度的检测方法。

8.3.9 玻璃纤维无捻直接粗纱俗称缠绕纱,合股纱俗称喷射纱。

8.4 产品测试、检验、判定

I 纤维增强塑料设备

8.4.1 在执行本条时,需要注意如下事项:

本条第 2 款的第 1 项内容参照了现行行业标准《玻璃钢化工设备设计规定》HG/T 20696—1999。

本条第 2 款的第 2 项内容中,1°的内壁锥度要求参照了《耐化学腐蚀现场缠绕玻璃钢大型容器》HG/T 3983—2007。

本条第 2 款的第 3 项内容中,±0.5%的数据参照了现行行业标准《耐化学腐蚀现场缠绕玻璃钢大型容器》HG/T 3983—2007 和《玻璃钢化工设备设计规定》HG/T 20696—1999,而在 ASTM D3299—2010 中规定为 0.5%,同时规定最大不超过 12.7mm,根据国内实际工艺水平和情况,本规范取 13mm。

本条第 2 款的第 6 项内容中,不圆度允许偏差和长短轴公差数据参照了现行行业标准《玻璃钢化工设备设计规定》HG/T 20696—1999。

本条第 2 款的第 10 项中,法兰接管端面与接管轴线的垂直度偏差参照了现行行业标准《玻璃钢化工设备设计规定》HG/T 20696—1999 的规定。

本条第 4 款中,当采用不饱和聚酯树脂时,85%的树脂不可溶分含量数据参照了现行行业标准《玻璃钢化工设备设计规定》HG/T 20696—1999。

乙烯基酯树脂主要用于耐腐蚀领域,而耐腐蚀性能与乙烯基

酯树脂的固化程度有很大关系,故要求乙烯基酯树脂的固化程度更高些,本规范取 90%;环氧树脂的固化速度较慢,如果达不到足够的固化度,会大大影响其制品的强度和耐腐蚀性能,因此固化程度也要求更高些,本规范也取 90%。

本条第 7 款的第 4 项内容主要参考了现行行业标准《耐化学腐蚀现场缠绕玻璃钢大型容器》HG/T 3983—2007 的有关内容。

8.4.2 在执行本条时,需要注意如下事项:

1 外观检测包括目视检查和声音检测。内表面在 100W 的白炽灯照明下目测,外表面的外观质量应在充足的日照下目测;外观检测时可辅助采用声音检测,如采用小榔头敲打,可以判断是否形成层间空鼓。

2 尺寸检测包括了设备整体和局部的尺寸和厚度的测量,应特别注意不连续面的厚度部位。

引起厚度变化的原因可能有树脂黏度、密度、渗透性、制造技术等。实际纤维增强塑料设备制造时会出现制品表面的不规则和不平衡,因此单一点厚度的测量不足以描述层合板的厚度。此外,小面积厚度的测量也不足以描述层合板的厚度。

3 设备层合板的树脂固化程度高低将决定层合板的力学性能、耐腐蚀性能等一系列复合材料性能的显现程度,从而可以作为判断层合板是否满足设计和制造质量要求的依据之一。简单而快速的判定方法是采用巴氏硬度检测法,在制造、安装现场可当场检测。树脂固化越完全,表现在硬度上也越高;加热后处理后的树脂固化度会进一步提高,因此巴氏硬度也会提高。由于巴氏硬度检测点数据具有一定的离散性,而测点过少,会影响准确度,因此本条对选用不同部位以及每个部位的测点数作出规定。

4 在现行国家标准《纤维增强塑料树脂不可溶分含量试验方法》GB/T 2576—2005 中,提供了采用丙酮萃取法来检测层合板固化度的实验室检验方法,该方法更为准确。通常在质量仲裁时采用该方法。

5 现行国家标准《玻璃纤维增强塑料树脂含量试验方法》GB/T 2577—2005 提供了采用试样在马弗炉中灼烧方法来检测层合板的树脂含量的检测方法,该方法不仅能提供树脂和增强材料含量的结果,通过观察分析灼烧残留物,还可一定程度上判断玻璃纤维增强材料类型、铺层次序、方向、层数,甚至成型工艺,因此该方法是验证设备是否符合按设计铺层要求进行制造、满足设计性能要求的重要质量检查环节。

6 本款第 4 项中的“试验内压不得低于 1.5 倍设计压力”和第 5 项中的“保压 3min 后降到设计压力,总保压时间不应小于 20min”参照了现行行业标准《玻璃钢化工设备设计规定》HG/T 20696—1999 的有关规定。

平底设备应放置在一个平坦光滑、可承受设备载荷的基面上进行试验;立式设备应考虑合适的支撑方法、不同部位的静压载荷等因素。试验期间,应有合适的保护措施,压力应缓慢增加直至所需值,并应有防过载的安全措施(如安装紧急泄压阀)。压力试验过程中,应检查设备泄漏、外壳异常变形等情况,记录缺陷位置;压力试验结束后,应检查设备内表面的有无龟裂和树脂裂纹等情况。检查过程中发现的问题,在获得使用方或购买方认可后可按规定进行修补,修补之后再行复验检测,直至无泄漏出现。

敞口式设备盛水试验时,可辅助添加染料便于识别泄漏位置。

封闭式设备盛放物密度小于或等于 1.0 时,应在正常工作状态分两次充水并充满的情况下进行静压试验。充水时应缓慢、均匀,筒身高度大于 6m 时可分三次充满,两次充水间隔不小于 2h。当充水及放水时,设备上应设置通气孔。

7 当从设备本体获取样品时,应注意:

(1)从设备的分接接头或其他合适的地方切割取得的典型试件;

(2)接头切割下来的切样多数不平整,直接测试机械性能有一定困难,因此需要选择较为平整的切割试样;

- (3)对圆柱体设备,应该尽量取轴向方向曲率较小部位取样;
- (4)由无捻粗纱组成的部位,应取与其平行的轴向无捻粗纱、布部分;
- (5)当采用切割取样时,应等待树脂完全固化后进行测试。

当无法在设备本体切割切样时,也可从平行制样上切取,切取时应注意:

(1)制作人员应在设备铺层的同时,平行地进行相同条件下的层合板试样的制作;

(2)层合板试样采用与设备制作相同类型和重量比的树脂、纤维、引发剂等原材料,采用同种工具和方式进行相同纤维铺层设计的结构,采用与设备相同的固化方式和程序进行固化。

实际生产活动中,设备制作完成后的力学性能、渗漏性能一般是根据设计时采取的方法来反向验证是否符合设计要求。当设备许用应变值采取指定值法时,直接测试设计载荷下的实际应变值,要求其小于或等于指定许用应变规定值,此时无需再增加载荷继续试验下去;而当设备设计采用铺层实测法时,应从层合板上取样,进行单元拉伸刚度和单元拉伸强力检测,要求实测数据在经过置信度处理后不应小于设计值。

调查结果表明,目前大部分设备出现渗漏是在层合板的搭接部位,主要是搭接剪切强度不够,层合板局部拼接强度不足所造成。

8 在现行国家标准《食品容器及包装材料用不饱和聚酯树脂及其玻璃钢制品卫生标准分析方法》GB/T 5009.98—2003 中,明确规定了对食品卫生的设备检验,不仅树脂等原材料要满足食品卫生指标要求,同时制成品设备也要满足食品卫生指标要求。

9 本款引用了现行国家标准《玻璃纤维增强热固性塑料耐化学介质性能试验方法》GB/T 3857—2005 的耐腐蚀试验方法,但其未给出判定耐腐蚀性能好坏的量化指标,设备最终的耐腐蚀性能判断应按本规范附录 A 的规定执行。

II 纤维增强塑料管道

8.4.7 本条第2款第1项中,管道公称直径和允许偏差数据参照了现行行业标准《纤维缠绕增强热固性树脂压力管》JC/T 552—2011;第2项中,管道的长度和允许偏差数据参照了现行国家标准《玻璃纤维增强塑料夹砂管》GB/T 21238—2007;第4项中,管道端面垂直度控制值数据参照了现行国家标准《玻璃纤维增强塑料夹砂管》GB/T 21238—2007。

本条第4款,管壁中树脂不可溶分含量的数据参照了现行国家标准《玻璃纤维增强塑料夹砂管》GB/T 21238—2007的有关规定。

8.4.8 在执行本条时,需要注意如下事项:

本条第2款,公称直径达到600mm,可容纳一个人匍匐进入。实际工程中,管道直径的测量仪器和方法的原则是方便、准确,因此可根据实际情况选择钢卷尺或游标卡尺。

内衬层厚度需垂直切割管道的端部,用砂细度为0.074mm(或更细)的砂纸把切断口打磨平滑,除去粉尘,将打磨处完全洗净后,再用游标卡尺测量内衬层的厚度。

本条第3款,管道巴氏硬度检测选取点和管道直径大小有关。对于大口径管道而言,内、外表面巴氏硬度都可每隔一段距离测试一个点,测点均布;对于小口径管道而言,外表面同样可每隔一段距离检测一个点,但内表面只能检测管道两端非常有限的一段距离的巴氏硬度值。

本条第5款,管道采用缠绕成型,结构层的增强材料类型变化很多,因此在实际制造中,往往只对内衬层的树脂含量有严格规定要求,结构层的树脂含量并未有严格限定。现行国家标准《玻璃纤维增强塑料树脂含量试验方法》GB/T 2577—2005的试验结果除了能提供树脂含量外,也还可以一定程度上判断管道增强材料类型、纤维铺层层数等信息。

本条第6、7款,实际生产活动中,管道制作完成后的力学性

能、渗漏性能一般是根据设计时采取的方法来反向验证是否符合设计要求的。当管道许用应变值采取指定值法时,直接测试设计载荷下的管道的实际应变值,要求其小于或等于指定许用应变规定值;而当管道设计取用的是长期性能测试法的单层板力学性能值,则需要从管道上切割取样或平行制样层合板,对其进行极限强度的测试,要求实测层合板试样的极限强度(转化成单元拉伸强度)大于设计时长期性能测试法得到的短期环向失效力。

本条第 9 款,管道最终的耐腐蚀性能判断应结合现行国家标准《玻璃纤维增强热固性塑料耐化学介质性能试验方法》GB/T 3857—2005 和本规范第 4.3.10 条的规定进行。

9 标志、包装、运输、贮存

9.1 设 备

9.1.1 设备标志中的“设备名称、规格型号、设计温度、设计压力、工作介质、生产厂名、制造日期”等内容为设备的基本信息,明确后有利于用户根据这些信息和实际使用条件进行比较、判断。

9.1.2~9.1.4 条文参考了《玻璃纤维缠绕增强热固性树脂耐腐蚀立式贮罐》JC/T 587—2012 等标准的有关规定。

9.1.5 设计取向指的是:设计为垂直放置的立式设备应垂直放置,设计为卧式放置的卧式设备应放置在鞍式支座上或与鞍式支座包角相当的支撑上。

9.1.6 当采用非阻燃树脂时,固化后的纤维增强塑料产品属易燃品,因此在设备运输、贮存中,应离开热源及火源,确保安全使用。

9.1.7 设备在运输、贮存过程中不得堆压设计要求以外的重物,主要是防止因外力作用造成设备变形或损伤。

9.2 管 道

9.2.1 管道标志中的“公称尺寸、设计压力、设计温度、工作介质、生产厂名、生产批号、制造日期”等内容为管道的基本信息,明确后有利于用户根据这些信息和实际使用条件进行比较、判断。

9.2.2 管道包装采用的柔性材料通常选择稻草绳、可降解的发泡塑料膜等。

9.2.3 使用钢丝绳或铁链直接捆绑吊装易损伤管道表面,管道的吊装可参考图 7,吊绳从管内穿过后起吊易损伤吊绳及管道。

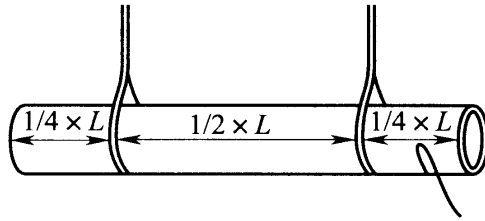


图 7 管道吊装示意图

9.2.4~9.2.6 参考了现行国家标准《玻璃纤维增强塑料夹砂管》GB/T 21238—2007 及现行行业标准《纤维缠绕增强热固性树脂压力管》JC/T 552—2011 的相关规定及要求进行制订。

10 安 装

10.1 一 般 规 定

10.1.1~10.1.3 这几条参考了现行国家标准《工业金属管道工程施工规范》GB 50235—2010 的有关内容。

10.1.4 不得加载吊装主要指在设备本体起吊时不得加载附属设备及其他重物。

10.2 设 备 安 装

10.2.1 本条参考了现行行业标准《耐化学腐蚀现场缠绕玻璃钢大型容器》HG/T 3983—2007 及《玻璃纤维缠绕增强热固性树脂耐腐蚀立式贮罐》JC/T 587—2012 的有关规定。立式设备安装的垂直度均是以设备基础作为基准面来进行检测的,产品在出厂检验时对设备的垂直度进行了检验,因此如果设备基础的平整度达不到要求,设备安装后的垂直度是难以达到要求的。

10.2.2 设备安装的垂直度应以设备基础作为基准面、厚度一致的筒体外壁作为检测面来进行检测,设备基础铺垫的耐腐蚀软质材料可采用耐腐蚀的合成橡胶。

10.2.3 支座与设备底部接触面分离间隙在国外一些标准中要求小于 1mm,据调查,目前现场实际情况难以达到,故本规范调整为“应小于 5mm”。

支撑与筒体之间采用耐腐蚀软质材料,如耐腐蚀的合成橡胶等。

10.2.4、10.2.5 国内外悬挂式立式设备、带支撑腿及带裙座立式设备的安装结果表明垂直度偏差值可以满足要求。

10.2.7 设备通常在工厂制造完毕后进行过压力和抗渗漏试验。

设备安装完成后是否需要再次进行压力和抗渗漏试验,应按设计要求来确定。

10.3 管道安装

10.3.1~10.3.3 这几条参考了现行国家标准《工业金属管道工程施工规范》GB 50235—2010 的有关内容。

10.3.8 本条参考了现行国家标准《工业金属管道工程施工规范》GB 50235—2010 的有关内容。考虑到纤维增强塑料的特性,法兰平行度的偏差比金属连接法兰平行度的偏差略有降低。拧紧螺栓时应注意宜使用测力扳手,法兰紧固用不同尺寸螺栓的拧紧扭矩可参考表 3。

表 3 螺栓拧紧扭矩

螺栓规格	M12	M16	M20	M22	M24	M30	M36	M42	M48
干态时扭矩 (kg·m)	6	7	12	12.7	12.7	23	40	42	48
有润滑剂时的 扭矩(kg·m)	5	5.2	9	9.6	9.6	18	23	31	36

10.3.9 使用柔性连接件是为了避免因设备振动而产生振动载荷直接作用于纤维增强塑料管道的接头上(法兰根部),防止造成疲劳破坏或过度变形损坏。

10.3.10 安装连接在管道线上的阀门及其他较重设备,其单独支撑应提前安装完成;安装时水平管道上不得附加其他载荷;垂直管段过长时,通常在直管段内分布设置固定支架,以分解管道自身局部过载。

10.3.11 为了在接头发生渗漏后方便维修,因此管道接头不得设置在套管内。

10.3.12 当管道安装工作间断时,封闭管口是为了保持管口清洁,不受污染和杂物进入管内。

10.3.13 表 10.3.13 参考了现行国家标准《工业金属管道工程施

工规范》GB 50235—2010 的有关内容,由于纤维增强塑料的特性,允许偏差均比金属管道低。

10.3.14 本条参考了现行行业标准《玻璃纤维增强热固性树脂压力管道施工及验收规范》SY/T 0323—2000 的有关内容,关于试验压力和保压时间的取值,在 BS 7159—1989 中要求试验压力为设计压力的 1.3 倍,保持 30min;在 ISO 14692—2002 中试验压力为设计压力的 1.5 倍,保压 30min 或以上;在 ASME B31.3—2010 要求为试验压力为设计压力的 1.5 倍。在国内纤维增强塑料管道工程应用和检测中,通常按试验压力为设计压力的 1.5 倍,保压 30min 来确定。

真空压力试验的试验压力是目前国内外常用的规定指标。

10.4 使用与维修

10.4.1、10.4.2 各类纤维增强塑料所用的树脂和纤维由于分子结构和化学组分存在着差异,不同的树脂和纤维制成的层合板其力学性能、机械性能、耐腐蚀性能等是不同的,它只适合在一定介质、温度、压力等条件下使用。当设备和管道内使用的介质品种发生变化、介质的浓度发生变化、温度或压力发生变化时,是否适用,应该由设计重新进行评估和确定。

11 工程验收

11.0.1 工程质量检验划分参考了现行国家标准《工业设备及管道防腐蚀工程施工质量验收规范》GB 50727—2011 的有关规定。

11.0.2 单台纤维增强塑料设备在产品出厂时,已经过产品质量检验,工程验收时只需提供检验文件和清单。设备在现场安装完成后,作为工程质量验收的主控项目还要进行耐压和抗渗漏性检验。

11.0.3 单根、批量纤维增强塑料管道在产品出厂时,已经过产品质量检验,工程验收时只需提供检验文件和清单。在管道现场安装完成后,作为工程质量验收的主控项目进行耐压和抗渗漏性检验,以确保正常使用。

11.0.5 一般项目合格率参考了现行国家标准《工业设备及管道防腐蚀工程施工质量验收规范》GB 50727—2011 的有关规定。

11.0.8 验收文件中的计算书、设计图、设计说明书内容在本规范第 3.3.3 条中有明确规定。

附录 C 卧式容器设计

C.1 一般规定

C.1.1 以鞍座支撑的卧式容器设计在本附录中将对双鞍座卧式容器可简化为长度为 L , 受均布载荷 w 作用的外伸简支梁。

C.1.2 鞍座包角大小不仅直接影响鞍座处圆筒截面上的应力分布, 而且影响卧式容器的稳定性与容器-支座系统的重心高低。鞍座包角小, 则鞍座重量轻, 但是容器-支座系统的重心较高, 且鞍座处圆筒上的应力较大。由于纤维增强塑料的弹性模量较低, 建议采用 180° 鞍座包角。同时鞍座与容器间的缓冲层应采用低弹性模量的缓冲材料进行衬垫。

C.2 卧式容器的计算

C.2.2 表 C.2.2 中系数数值与现行行业标准《卧式容器》NB/T 47042—2014 数据相比较, 增加了 165° 及 180° 包角时的 K_1 、 K_2 值, 其他数值相同。

C.2.4 表 C.2.4 中系数数值与现行行业标准《卧式容器》NB/T 47042—2014 数据相比较, 增加了 165° 及 180° 包角时的 K_3 值, 其他数值相同。

C.2.7 表 C.2.7 中系数数值与现行行业标准《卧式容器》NB/T 47042—2014 数据相比较, 增加了 165° 及 180° 包角时的 K_5 值, 其他数值相同。

附录 D 法兰设计

D.1 一般规定

D.1.1 法兰安全系数的选择与载荷条件、成型条件、设计条件等因素有关。目前国内部分标准中安全系数取 8~16;在 ASME RTP-1-2013 标准中,对类型 I 与类型 II 法兰(两者结构、厚度不同)许用应力分别取 1800Psi 与 3000Psi;在《BS EN 13923—2005》中,安全系数取不小于 4;德国 AD 压力容器规范,安全系数取大于 4;日本 FRP 协会《手糊法玻璃钢耐腐蚀设备产品标准》FRP SC001 中规定法兰安全系数取不小于 8;国内《玻璃钢化工设备设计规定》HG/T 20696—1999 中机械缠绕安全系数取 8,综合国内外标准,考虑到国内制造现状,法兰安全系数取 8。

D.3 整体法兰设计

D.3.3 表 D.3.3 中的整体法兰设计基本参数均基于许用应力 $\sigma_{CSM}/K=15\text{MPa}$ 时计算得出。

D.4 活套法兰设计

D.4.1 常用软垫片的特性参数(m, y)可参照现行国家标准《压力容器 第 3 部分:设计》GB 150.3—2011 表 7-2 中的内容。

D.4.5 表 D.4.5 中的活套法兰设计基本参数,均基于许用应力 $\sigma_{CSM}/K=15\text{MPa}$ 时计算得出。

附录 E 地 锚 设 计

E.1 一 般 规 定

E.1.1 对于规则容器、贮罐,其地锚的设计方法有两种,一种是环向缠绕地锚的设计,另一种是二次粘接地锚设计。假设地锚远离容器顶部、底部封头或刚性支撑圈,该假定考虑了局部载荷的最大值,故偏于保守。一般讲径向和环向的总应力很大部分是由于弯曲造成的,而且在实际结构中紧固地锚通常位于靠近筒体与底部连接部分的加强区域。

E.1.2 对于纤维增强塑料设备的地锚与基础直接接触的结构,其受力比悬挂式要小,但也会出现由于基础不平整等因素,导致地锚受力不均,出现剪切作用,故应考虑苛刻条件下的作用载荷。

E.1.3 纤维增强塑料地锚为局部强度薄弱环节,考虑到其安全性能,结合国内实际,规定安全系数不应小于 10。

E.3 二 次 粘 接 成 型 地 锚 设 计

E.3.1 二次粘接成型地锚应避免垂直起吊,直接的拉伸载荷将使包覆加强层产生剥离。

E.3.2 二次粘接地锚在容器壁局部包覆,而非沿设备圆周全部缠绕,由内压或液柱压力引起的作用力由设备自身承受,故地锚处包覆层仅计算弯矩载荷。

附录 F 敞口贮罐顶部加强法兰规格

表 F 内容只考虑了可控因素。其他大的载荷,如风载或地震载荷等,需要另行计算。

