



中华人民共和国国家标准

GB/T 20801.5—2025

压力管道规范 第5部分：氢用管道

Pressure piping code—Part 5: Hydrogen piping and pipelines

2025-10-31 发布

2026-05-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	2
3 术语和定义	6
4 基本要求	8
5 材料	9
6 制作与安装	10
7 检验与试验	16
8 安全防护	17
9 氢气工业管道	18
10 氢气长输管道	41
11 氢气公用管道	56
附录 A (资料性) 设计压力大于 41 MPa 的氢气工业管道的建造方法	60
附录 B (资料性) 设计压力大于 12 MPa 的氢气长输管道的建造方法	66
附录 C (资料性) 低温氢气和液态氢管道的建造方法	68
附录 D (资料性) 恒位移与恒载荷试验方法	75
附录 E (规范性) 可免除氢相容性试验的常用氢气管道材料标准及牌号	79
附录 F (资料性) 用于氢气站、供氢站及其储氢装置的氢气工业管道的建造方法	82
附录 G (规范性) 氢气的冲蚀速度	84
参考文献	85



前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 GB/T 20801《压力管道规范》的第 5 部分。GB/T 20801 已经发布了以下部分：

——第 1 部分：工业管道；

——第 5 部分：氢用管道。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国锅炉压力容器标准化技术委员会(SAC/TC 262)提出并归口。

本文件起草单位：中石化上海工程有限公司、国家石油天然气管网集团有限公司、中国市政工程华北设计研究总院有限公司、中国特种设备检测研究院、国家市场监督管理总局、中国石化股份有限公司、国家管网集团工程技术创新有限公司、合肥通用机械研究院有限公司、中石化广州工程有限公司、中石化第四建设有限公司、上海迅羽化工工程高技术中心、华东理工大学、国家管网集团北京管道有限公司、中国石油天然气管道工程有限公司、中国寰球工程有限公司北京分公司、广东省特种设备检测研究院、上海市特种设备监督检验技术研究院有限公司、空气化工产品(中国)投资有限公司、正星氢电科技郑州有限公司、中国石化集团新星石油有限责任公司、中石化安全工程研究院有限公司、大连元晨工程建设有限公司、国家管网集团(徐州)管道检验检测有限公司、中国市政工程东北设计研究总院有限公司。

本文件主要起草人：方立、沙裕、吕世军、李军、杜顺学、秦先勇、黄正林、胡颖、李颜强、何仁洋、聂爱杰、孙立刚、马俊峰、贾微、尤子涵、章小浒、李雪梅、李军民、张汉蒸、王洪林、杨绪运、孙行之、惠虎、张琰、肖芬、姚登樽、张国信、姜万军、汪凤、翟建明、王胜辉、黄佐、李明昕、舒小芹、张小强、张文伟、周勤、王浪云、王东营、刘权、钟桂香、杨树斌、高胜寒、西敬军、李浩宇、钱国梁、杜建梅、赵伟、李澜、卜明哲、司荣、王海涛、马红莲、师振贵、张永波、张波、杨哲、吴倩、胡昆、王春景、朱琦、张翼、钱雪萍、李永河、张晓军、张志荣。

引 言

氢用管道是涉及公共安全的特种设备之一,是氢能储运、绿色能源、过程反应等领域用于氢介质输送的重要设备。其设计建造与运行维护遵循抗氢脆、防泄漏等安全要求,以保障能源传输的高效性和公共环境的安全性。

本文件是氢用管道建造方法综合性标准,用以规范在中国境内建造或使用的氢用管道的材料、设计、制作、安装、检验、试验、安全防护以及运行维护等的相关技术基础要求。本文件是 GB/T 20801 的第 5 部分,其他压力管道建造方法标准将陆续开展制修订。GB/T 20801 拟由八个部分构成。

- 第 1 部分:工业管道。目的在于给出工业领域通用的压力管道建造的基本技术要求。
- 第 2 部分:长输管道。目的在于给出陆上长输领域专用的压力管道建造和运维的基本技术要求。
- 第 3 部分:公用管道。目的在于给出市政公用领域专用的压力管道建造和运维的基本技术要求。
- 第 4 部分:动力管道。目的在于给出火力发电厂用于输送蒸汽、汽水两相介质的压力管道建造的基本技术要求。
- 第 5 部分:氢用管道。目的在于给出用于输送氢介质专用的压力管道建造和运维的基本技术要求。
- 第 6 部分:高压管道。目的在于给出工业领域专用的最高工作压力大于或等于 42 MPa 的压力管道建造的基本技术要求。
- 第 7 部分:非金属管道。目的在于给出非金属材料专用的压力管道建造的基本技术要求。
- 第 8 部分:制冷管道。目的在于给出制冷领域专用的压力管道建造的基本技术要求。

本文件第 4 章~第 8 章规定了氢气工业管道、氢气长输管道和氢气公用管道都适用的通用技术要求,第 9 章、第 10 章和第 11 章分别规定了氢气工业管道、氢气长输管道和氢气公用管道的专用技术要求。

本文件没有必要,也不可能囊括适用范围内压力管道建造中的所有技术细节。

本文件不限制实际工程设计和建造中采用先进的技术方法,但当工程技术人员采用先进的技术方法时能够做出可靠的判断,确保其满足本文件规定,特别是关于强度或稳定性设计公式等设计规定。即本文件不要求也不限制设计人员使用计算机程序实现氢用管道的分析或设计。

对于未经全国锅炉压力容器标准化技术委员会书面授权或认可的其他机构,对标准的宣贯或解释所产生的理解歧义以及由此产生的任何后果,全国锅炉压力容器标准化技术委员会不承担任何责任。

压力管道规范

第 5 部分：氢用管道

1 范围

1.1 本文件规定了氢用管道的基本要求、材料、设计与计算、制作与安装、检验与试验及安全防护。氢气长输管道还规定了投产试运、管道使用与维护及管道抢维修的技术要求，氢气公用管道还规定了安全运行与维护的技术要求。

注 1：氢用管道是指输送氢介质的各类管道，包括氢气工业管道、氢气长输管道和氢气公用管道，也包括液氢管道。

注 2：延伸进入制氢工厂、氢气站、供氢站、城市燃气门站、储气库、燃气电厂等工厂界区范围的部分，以及工厂之间连接的氢气管道，依据氢气长输管道或氢气工业管道执行。

1.2 本文件适用于最高工作压力大于或等于 0.1 MPa(表压)且公称直径大于或等于 DN50 的氢气管道，其他氢气管道参照执行。

1.3 本文件中氢气工业管道、氢气长输管道和氢气公用管道的适用条件如下。

- a) 氢气工业管道：输送工业氢气介质，且设计压力小于或等于 41 MPa。
- b) 氢气长输管道：陆上管输氢气体积含量大于或等于 3%，且设计压力小于或等于 12 MPa、设计温度小于或等于 150 ℃。
- c) 氢气公用管道：
 - 1) 氢气体积含量大于 60%，最高工作压力小于或等于 1.6 MPa；
 - 2) 氢气体积含量大于 3%且小于或等于 60%，最高工作压力大于 0.4 MPa 且小于或等于 4.0 MPa。

注：设计压力大于 41 MPa 且小于 100 MPa 的氢气工业管道的建造方法见附录 A，设计压力大于 12 MPa 且小于 21 MPa 的氢气长输管道的建造方法见附录 B，低温氢气及液态氢管道的建造方法见附录 C。

1.4 本文件不适用如下范围内的管道：

- a) 军事装备和核设施的管道；
- b) 海洋、海上设施和矿井的管道；
- c) 石油、天然气、地热等勘探和采掘装置的管道，以及油气田集输管道；
- d) 移动设备如铁道机车、汽车、船舶、航空航天器等上的管道；
- e) 锅炉、压力容器以及加热炉的内部管道以及设备的外接管口；
- f) 设备本体所属管道，包括：泵和压缩机(现场多级之间连接的管道除外)、汽轮机、燃气轮机、内燃机、制冷用机组撬块、速冻装置和其他输送或者加工流体设备的内部管道以及设备的外接管口。

1.5 本文件中氢气长输管道、氢气公用管道的不适用范围如下。

- a) 氢气长输管道的不适用范围如下：
 - 1) 根据 GB/T 34275—2024 或 GB 50251 设计的输送含氢气混合物管道，且该管道已通过工程分析或试验验证证明不会对管道的系统完整性产生不利影响；
 - 2) 本文件实施前已完成初步设计的氢气长输管道，以及对在建和在役管道技术合规性的追溯和评价。

注：完成初步设计时间指获得建设单位书面批复的日期。

- b) 氢气公用管道的不适用范围如下：

- 1) 氢气厂站内的管道;
- 2) 工业用户内部氢气管道(以厂界划分);
- 3) 商业和居民用户内部氢气管道(以引入管阀门为界)。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB/T 231.1 金属材料 布氏硬度试验 第1部分:试验方法
- GB/T 713.2 承压设备用钢板和钢带 第2部分:规定温度性能的非合金钢和合金钢
- GB/T 897 双头螺柱 $bm=1d$
- GB/T 898 双头螺柱 $bm=1.25d$
- GB/T 1031 产品几何技术规范(GPS)表面结构 轮廓法 表面粗糙度参数及其数值
- GB/T 1047 管道元件 公称尺寸的定义和选用
- GB/T 1048 管道元件 公称压力的定义和选用
- GB/T 3087 低中压锅炉用无缝钢管
- GB/T 3091 低压流体输送用焊接钢管
- GB/T 4237 不锈钢热轧钢板和钢带
- GB/T 4622.1 管法兰用缠绕式垫片 第1部分:PN系列
- GB/T 4622.2 管法兰用缠绕式垫片 第2部分:Class系列
- GB/T 5310 高压锅炉用无缝钢管
- GB/T 5782 六角头螺栓
- GB/T 6170 1型六角螺母
- GB/T 6175 2型六角螺母
- GB/T 6394 金属平均晶粒度测定方法
- GB/T 8163 输送流体用无缝钢管
- GB/T 9065.1 液压软管接头 第1部分:O形圈端面密封软管接头
- GB/T 9065.2 液压传动连接 软管接头 第2部分:24°锥形
- GB/T 9065.5 液压软管接头 第5部分:37°扩口端软管接头
- GB/T 9124.1 钢制管法兰 第1部分:PN系列
- GB/T 9124.2 钢制管法兰 第2部分:Class系列
- GB/T 9125.1 钢制管法兰连接用紧固件 第1部分:PN系列
- GB/T 9125.2 钢制管法兰连接用紧固件 第2部分:Class系列
- GB/T 9126.1 管法兰用非金属平垫片 第1部分:PN系列
- GB/T 9126.2 管法兰用非金属平垫片 第2部分:Class系列
- GB/T 9128.1 钢制管法兰用金属环垫 第1部分:PN系列
- GB/T 9128.2 钢制管法兰用金属环垫 第2部分:Class系列
- GB/T 9711 石油天然气工业 管线输送系统用钢管
- GB/T 9948 石化和化工装置用无缝钢管
- GB/T 10561 钢中非金属夹杂物含量的测定 标准评级图显微检验法
- GB/T 12220 工业阀门 标志
- GB/T 12221 金属阀门 结构长度

- GB/T 12224 钢制阀门 一般要求
- GB/T 12232 通用阀门 法兰连接铁制闸阀
- GB/T 12234 石油、天然气工业用螺柱连接阀盖的钢制闸阀
- GB/T 12235 石油、石化及相关工业用钢制截止阀和升降式止回阀
- GB/T 12236 石油、化工及相关工业用的钢制旋启式止回阀
- GB/T 12237 石油、石化及相关工业用的钢制球阀
- GB/T 12238 法兰和对夹连接弹性密封蝶阀
- GB/T 12239 工业阀门 金属隔膜阀
- GB/T 12241 安全阀 一般要求
- GB/T 12243 弹簧直接载荷式安全阀
- GB/T 12246 先导式减压阀
- GB/T 12459—2017 钢制对焊管件 类型与参数
- GB/T 12771 流体输送用不锈钢焊接钢管
- GB/T 12777 金属波纹管膨胀节通用技术条件
- GB/T 13401 钢制对焊管件 技术规范
- GB/T 13402 大直径钢制管法兰
- GB/T 13403 大直径钢制管法兰用垫片
- GB/T 13404 管法兰用非金属聚四氟乙烯包覆垫片
- GB/T 13927 工业阀门 压力试验
- GB/T 14383 锻制承插焊和螺纹管件
- GB/T 14976 输送流体用不锈钢无缝钢管
- GB/T 15558.1 燃气用埋地聚乙烯(PE)管道系统 第1部分:总则
- GB/T 15558.2 燃气用埋地聚乙烯(PE)管道系统 第2部分:管材
- GB/T 15558.3 燃气用埋地聚乙烯(PE)管道系统 第3部分:管件
- GB/T 15558.4 燃气用埋地聚乙烯(PE)管道系统 第4部分:阀门
- GB/T 15558.5 燃气用埋地聚乙烯(PE)管道系统 第5部分:系统适用性
- GB/T 17116.1 管道支吊架 第1部分:技术规范
- GB/T 17116.2 管道支吊架 第2部分:管道连接部件
- GB/T 17116.3 管道支吊架 第3部分:中间连接件和建筑结构连接件
- GB/T 17185 钢制法兰管件
- GB/T 17186.1 管法兰连接计算方法 第1部分:基于强度和刚度的计算方法
- GB/T 17394(所有部分) 金属材料 里氏硬度试验
- GB/T 17395 钢管尺寸、外形、重量及允许偏差
- GB 17820 天然气
- GB/T 18984 低温管道用无缝钢管
- GB/T 19326 锻制支管座
- GB/T 19675.1 管法兰用柔性石墨复合增强垫片 第1部分:PN系列
- GB/T 19675.2 管法兰用柔性石墨复合增强垫片 第2部分:Class系列
- GB/T 20674.1 塑料管材和管件 聚乙烯系统熔接设备 第1部分:热熔对接
- GB/T 20674.2 塑料管材和管件 聚乙烯系统熔接设备 第2部分:电熔连接
- GB/T 20801.1—2025 压力管道规范 第1部分:工业管道
- GB/T 26255 燃气用聚乙烯(PE)管道系统的钢塑转换管件
- GB/T 26480 阀门的检验和试验

GB/T 20801.5—2025

- GB/T 26481 工业阀门的逸散性试验
- GB/T 28708 管道工程用无缝及焊接钢管尺寸选用规定
- GB/T 29168.1 石油天然气工业 管道输送系统用感应加热弯管、管件和法兰 第1部分:感应加热弯管
- GB/T 29168.2 石油天然气工业 管道输送系统用弯管、管件和法兰 第2部分:管件
- GB/T 29168.3 石油天然气工业 管道输送系统用感应加热弯管、管件和法兰 第3部分:法兰
- GB/T 29729—2022 氢系统安全的基本要求
- GB/T 31480 深冷容器用高真空多层绝热材料
- GB 32167 油气输送管道完整性管理规范
- GB/T 32294 锻制承插焊和螺纹活接头
- GB/T 34275—2024 压力管道规范 长输管道
- GB/T 34474.1 钢中带状组织的评定 第1部分:标准评级图法
- GB/T 34542.2 氢气储存输送系统 第2部分:金属材料与氢环境相容性试验方法
- GB/T 35990 压力管道用金属波纹管膨胀节
- GB/T 36701 埋地钢质管道管体缺陷修复指南
- GB/T 38343 法兰接头安装技术规定
- GB/T 38942—2020 压力管道规范 公用管道
- GB/T 39245.1 管法兰用金属齿形组合垫片 第1部分:PN系列
- GB/T 39245.2 管法兰用金属齿形组合垫片 第2部分:Class系列
- GB/T 40079 阀门逸散性试验分类和鉴定程序
- GB/T 43922 在役聚乙烯燃气管道检验与评价
- GB 50028 城镇燃气设计规范
- GB 50032 室外给水排水和燃气热力工程抗震设计规范
- GB 50156—2021 汽车加油加气加氢站技术标准
- GB 50160—2008 石油化工企业设计防火标准
- GB 50177 氢气站设计规范
- GB/T 50470 油气输送管道线路工程抗震技术规范
- GB/T 50493 石油化工可燃气体和有毒气体检测报警设计标准
- GB 50516—2010 加氢站技术规范
- GB 50683 现场设备、工业管道焊接工程施工质量验收规范
- GB/T 50698 埋地钢质管道交流干扰防护技术标准
- GB 50991 埋地钢质管道直流干扰防护技术标准
- GB/T 51098 城镇燃气规划规范
- GB 51283—2020 精细化工企业工程设计防火标准
- GB/T 51474 城镇燃气设施运行、维护和抢修安全技术标准
- GB 55002 建筑与市政工程抗震通用规范
- GB 55009 燃气工程项目规范
- CJJ/T 49 地铁杂散电流腐蚀防护技术标准
- CJJ 63 聚乙烯燃气管道工程技术标准
- CJJ 95 城镇燃气埋地钢质管道腐蚀控制技术规程
- CJJ/T 153 城镇燃气标志标准
- CJJ/T 215 城镇燃气管网泄漏检测技术规程
- CJJ/T 250 城镇燃气管道穿跨越工程技术规程



- HG/T 20537.3 化工装置用奥氏体不锈钢焊接钢管技术要求
- HG/T 20537.4 化工装置用奥氏体不锈钢大口径焊接钢管技术要求
- HG/T 20553 化工配管用无缝及焊接钢管尺寸选用系列
- HG/T 20592 钢制管法兰(PN 系列)
- HG/T 20606 钢制管法兰用非金属平垫片(PN 系列)
- HG/T 20607 钢制管法兰用聚四氟乙烯包覆垫片(PN 系列)
- HG/T 20609 钢制管法兰用金属包覆垫片(PN 系列)
- HG/T 20610 钢制管法兰用缠绕式垫片(PN 系列)
- HG/T 20611 钢制管法兰用具有覆盖层的齿形组合垫(PN 系列)
- HG/T 20612 钢制管法兰用金属环形垫(PN 系列)
- HG/T 20613 钢制管法兰用紧固件(PN 系列)
- HG/T 20614 钢制管法兰、垫片、紧固件选配规定(PN 系列)
- HG/T 20615 钢制管法兰(Class 系列)
- HG/T 20623 大直径钢制管法兰(Class 系列)
- HG/T 20627 钢制管法兰用非金属平垫片(Class 系列)
- HG/T 20628 钢制管法兰用聚四氟乙烯包覆垫片(Class 系列)
- HG/T 20630 钢制管法兰用金属包覆垫片(Class 系列)
- HG/T 20631 钢制管法兰用缠绕式垫片(Class 系列)
- HG/T 20632 钢制管法兰用具有覆盖层的齿形组合垫(Class 系列)
- HG/T 20633 钢制管法兰用金属环形垫(Class 系列)
- HG/T 20634 钢制管法兰用紧固件(Class 系列)
- HG/T 20635 钢制管法兰、垫片、紧固件选配规定(Class 系列)
- HG/T 21547 管道用钢制插板、垫环、8 字盲板系列
- JB/T 74 钢制管路法兰 技术条件
- JB/T 75 钢制管路法兰 类型与参数
- JB/T 79 整体钢制管法兰
- JB/T 81 板式平焊钢制管法兰
- JB/T 82 对焊钢制管法兰
- JB/T 83 平焊环板式松套钢制管法兰
- JB/T 84 对焊环板式松套钢制管法兰
- JB/T 85 翻边板式松套钢制管法兰
- JB/T 6439 阀门受压件磁粉探伤检验
- JB/T 6440 阀门受压铸钢件射线照相检验
- JB/T 6899 阀门的耐火试验
- JB/T 6902—2008 阀门液体渗透检查方法
- JB/T 6903—2008 阀门锻钢件超声波检查方法
- JB/T 7746 紧凑型锻钢阀门
- JB/T 7747 针形截止阀
- JB/T 7927—2014 阀门铸钢件外观质量要求
- JB/T 8937 对夹式止回阀
- NB/T 47008 承压设备用碳素钢和合金钢锻件
- NB/T 47009 低温承压设备用合金钢锻件
- NB/T 47010 承压设备用不锈钢和耐热钢锻件

- NB/T 47013.2 承压设备无损检测 第 2 部分:射线检测
- NB/T 47013.15 承压设备无损检测 第 15 部分:相控阵超声检测
- NB/T 47014 承压设备焊接工艺评定
- SH/T 3401 石油化工钢制管法兰用非金属平垫片
- SH/T 3402 石油化工钢制管法兰用聚四氟乙烯包覆垫片
- SH/T 3403 石油化工钢制管法兰用金属环垫
- SH/T 3404 石油化工钢制管法兰用紧固件
- SH/T 3405 石油化工钢管尺寸系列
- SH/T 3406 石油化工钢制管法兰技术规范
- SH/T 3407 石油化工钢制管法兰用缠绕式垫片
- SH/T 3408 石油化工钢制对焊管件技术规范
- SH/T 3410 石油化工锻钢制承插焊和螺纹管件
- SH/T 3419 石油化工钢制异径短节
- SH/T 3424 锻钢制承插焊和螺纹活接头工程技术标准
- SH/T 3425 石油化工钢制管道用盲板
- SH/T 3518 石油化工阀门检验、试验与安装规范
- SY/T 7033 钢质油气管道失效抢修技术规范
- TSG D7003 压力管道定期检验规则—长输管道
- TSG D7005 压力管道定期检验规则—工业管道

3 术语和定义

GB/T 20801.1—2025、GB/T 34275—2024 和 GB/T 38942—2020 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

管道 piping

由管道组成件装配而成,用于输送、分配、混合、分离、排放、计量或截止流体流动的系统。

注:除管道组成件外,还包括管道支承件,但不包括支承构筑物,如建筑框架、管架、管廊和底座(管墩或基础)等。

3.2

氢气管道 gaseous hydrogen piping and pipelines

输送气态氢气及氢气混合物的管道。

注:文件中的氢气管道包括:氢气工业管道、氢气长输管道及氢气公用管道。

3.3

氢气工业管道 gaseous hydrogen industrial piping

各类工艺装置、氢气站、供氢站及其他设施中输送工业氢气介质的管道。

注:工业氢气是指满足 GB/T 3634.1—2006 中表 1 要求的氢气介质。

3.4

氢气长输管道 gaseous hydrogen transmission pipelines

在产地、储库和用户间的用于输送氢气或掺氢气体的输气管道。

3.5

氢气公用管道 gaseous hydrogen utility pipelines

城市或乡镇范围内由氢气厂站至城镇用户之间或者氢气厂站间输送氢气或掺氢介质并用于公用事业或民用的燃气管道及其线路阀室、调压设施等附属设施管道。

3.6

氢相容性 hydrogen compatibility

材料在氢气环境中长期稳定工作而不发生性能退化或失效的能力。

3.7

氢相容性试验 hydrogen compatibility test

在一定压力的氢环境下进行材料性能测试,评价其性能是否满足设计要求的试验。

注:氢相容性试验有多种方式,包括氢环境下的慢应变速率拉伸试验、断裂韧性测试试验等。

3.8

氢脆 hydrogen embrittlement

金属材料因氢原子渗入导致金属塑形和韧性显著下降,引发脆性断裂的现象。

3.9

材料性能系数 material performance factor

用于描述金属材料在氢气工况下引起的材料性能损失(氢脆)的参数。

注:材料性能系数在工业管道部分用字母 M_i 表示,在长输管道和公用管道部分用字母 H_i 表示。

3.10

氢分压 hydrogen partial pressure

在一定温度下,氢气在管道系统中的分压。

3.11

氢脆敏感系数 hydrogen embrittlement sensitivity coefficient

通过慢应变速率拉伸试验评价氢气环境下相对于对比环境下光滑圆棒试样断面收缩率降低程度的系数。

3.12

氢致应力强度因子门槛值 threshold stress intensity factor for susceptibility to hydrogen-assisted cracking **K_{IH}**

在氢气环境条件下,材料塑性变形受到严重约束以增加力的情况下使 I 型裂纹发生初始开裂并扩展的应力强度因子(K_I)临界值。

注 1:表征含裂纹缺陷材料在应力、氢气环境综合作用下是否会发生氢致开裂的门槛值。

注 2:当测试得到的 K_{IH} 满足平面应变有效性判定条件时,该值需满足所有厚度设计要求;当不满足平面应变有效性判定条件时,该值只适用于其当前试验条件。平面应变有效性判定参考 GB/T 21143。

3.13

抗内爆性能 resistant to rapid gas decompression; RGD

非金属弹性材料能抵抗气体(氢气)快速减压而不出现物理损伤(如起泡、开裂等)的性能。

3.14

剧烈循环工况 severe cyclic conditions

发生以下情况之一的工况:

- a) 管道系统中的管子、管道元件或接头中的位移应力范围(S_E)[按公式(14)计算]超过许用应力范围(S_A)[按公式(15)或公式(16)计算]的 0.8 倍,同时当量循环次数(N)[按公式(18)计算]超过 7 000;
- b) 设计人员根据经验判定的其他具有相同效应[位移应力范围(S_E)接近许用应力范围(S_A),且许用应力范围折减系数(f)[按公式(17)计算或通过图 4 查得]接近 1.0 的工况。

3.15

可燃性气体排放系统 combustable gas discharge system

装置和单元边界以外,用于可燃气体排放的管道、分液罐、水封罐及火炬或放散塔等设施的总称。

3.16

蓄热燃烧装置 regenerative thermal oxidizer; RTO

将工业有机废气进行燃烧净化处理,并利用蓄热体对待处理废气进行换热升温、对净化后排气进行换热降温的装置。

注:蓄热燃烧装置通常由换向设备、蓄热室和控制系统组成。

3.17

液氢 liquid hydrogen

以液态形式存在的氢气。

注:液氢是一种无色、透明的低温液态,正常沸点为 20.38 K,沸点时的密度为 70.77 kg/m³。

3.18

低温氢气 cryogenic hydrogen

液态氢蒸发形成的冷态氢气,压力不低于标准大气压,温度为-196℃~-253℃。

3.19

真空绝热管道 vacuum jacket insulated pipe

通过采用真空绝热层减少热量损失的管道。

注:通常由内管和外管组成,两者之间形成一个真空层,通过采用内管缠绕多层绝热材料和夹层抽真空来达到绝热效果的管道。

3.20

稳态奥氏体不锈钢 stability austenitic steel

在冷加工后不易产生马氏体具有稳定奥氏体状态的不锈钢。

注:按照奥氏体的稳定性,奥氏体不锈钢分为稳态和亚稳态奥氏体不锈钢。奥氏体不锈钢中的 Ni、N、C、Mn 等奥氏体化元素越多,奥氏体就越稳定。

4 基本要求

4.1 一般规定

4.1.1 氢气工业管道的材料、设计和计算、制作与安装、检验与试验等应符合本文件及 GB/T 20801.1—2025 的相关规定,当 GB/T 20801.1—2025 和本文件不一致时,应执行本文件的规定。

4.1.2 氢气长输管道的材料、设计和计算、施工和安装、检验和试验、安全防护、试运投产、使用与维护以及维抢修应符合本文件及 GB/T 34275—2024 中有关输气管道的规定,当 GB/T 34275—2024 与本文件不一致时,应执行本文件的规定。

4.1.3 氢气公用管道的材料、设计和计算、施工和安装、检验与试验、安全防护、试运投产、使用与维护以及维抢修应符合本文件及 GB/T 38942—2020 中有关燃气管道的规定,当 GB/T 38942—2020 与本文件不一致时,应执行本文件的规定。

4.1.4 除另有说明外,本文件所述压力均指内压(表压)。

4.2 氢气压力管道分级

符合《特种设备目录》范围内的氢气管道应按如下要求分级:

- a) 氢气工业管道分为 GC1 级和 GC2 级 2 个级别,其中设计压力大于或等于 4.0 MPa 的氢气管道级别为 GC1 级,其余为 GC2 级;

- b) 氢气长输管道分为 GA1 级和 GA2 级 2 个级别,其中设计压力大于 4.0 MPa 的氢气管道级别为 GA1 级,其余为 GA2 级;
- c) 氢气公用管道为 GB1 级。

5 材料

5.1 一般规定

5.1.1 氢气工业管道、氢气长输管道和氢气公用管道的材料应满足强度要求,并具有良好的塑性、韧性、可加工性及经济性,其材料选用应分别满足 GB/T 20801.1—2025、GB/T 34275—2024 和 GB/T 38942—2020 的相关要求。

5.1.2 氢气管道的选材应符合材料的氢相容性要求。

5.1.3 氢气管道应采用经验证或成熟的具有良好氢相容性的金属材料,采用未经过验证或新材料时应进行氢相容性试验。

5.1.4 氢相容性试验结果满足如下要求时,管道材料可用于氢气管道。

- a) 慢应变速率拉伸试验应符合 GB/T 34542.2 中相关规定,母材氢脆敏感系数不宜大于 40%。
注:氢脆敏感系数=(惰性气体环境下试样断面收缩率-氢气环境下试样断面收缩率)/惰性气体环境下试样断面收缩率。
- b) 断裂韧性测试试验满足下列规定:
 - 1) 采用准静态加载时应符合 GB/T 34542.2 的相关规定;
 - 2) 采用恒位移加载或恒载荷加载时,有关内容见附录 D;
 - 3) 母材的 K_{1H} 值应满足公式(1)的要求,焊缝及热影响区的 K_{1H} 值应满足公式(2)的要求。

$$K_{1H} \geq 70 \text{ MPa} \cdot \sqrt{\text{m}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$K_{1H} \geq 55 \text{ MPa} \cdot \sqrt{\text{m}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

当断裂韧性试样尺寸不满足平面应变条件时,可根据 GB/T 34542.2 测试 $J_{0.2BL}$,按公式(3)计算应力强度因子值 $K_{J_{0.2BL}}$,母材 $K_{J_{0.2BL}}$ 值不应小于 $70 \text{ MPa} \cdot \sqrt{\text{m}}$,焊缝 $K_{J_{0.2BL}}$ 值不应小于 $55 \text{ MPa} \cdot \sqrt{\text{m}}$ 。

$$K_{J_{0.2BL}} = \sqrt{\frac{EJ_{0.2BL}}{1-\nu^2}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

- $K_{J_{0.2BL}}$ ——通过 J 积分换算得到的应力强度因子值,单位为兆帕平方根米($\text{MPa} \cdot \sqrt{\text{m}}$);
- $J_{0.2BL}$ ——稳定扩展量为 0.2 mm 钝化偏置线时对应的非尺寸敏感断裂抗力 J 值,单位为千焦每平方米(kJ/m^2);
- E ——弹性模量,单位为兆帕(MPa);
- ν ——泊松比。

5.1.5 可免除氢相容性试验的氢气管道常用金属材料应符合附录 E 的规定。

5.1.6 除本章规定外,氢气工业管道、氢气长输管道和氢气公用管道的材料选用还应分别符合第 9 章、第 10 章和第 11 章中的规定。

5.2 材料的使用限制

5.2.1 碳钢及中低合金钢材料的使用符合下列规定:

- a) 宜采用低强度的碳钢及中低合金钢材料;
- b) 管道及组成件的设计压力不应大于 21 MPa;
- c) 设计温度大于或等于 177 °C 的材料,见 GB/T 20801.1—2025 中 D.5.5。

5.2.2 管道设计压力大于 21 MPa 时,宜采用奥氏体不锈钢 022Cr17Ni12Mo2(S31603)或经验证具有良好氢相容性的其他材料。

5.2.3 管道设计压力大于 41 MPa 时,材料的使用见附录 A。

5.2.4 铝及铝合金管道可用于干燥的氢气工况,其使用限制应符合 GB/T 20801.1—2025 的规定。

5.2.5 不宜采用镍及镍基合金材料,当确需采用时,应进行氢相容性试验。

5.2.6 下列金属材料不应用于氢气管道:

- a) 铸铁材料;
- b) 马氏体不锈钢材料;
- c) 铅、锡及其合金材料。

6 制作与安装

6.1 一般规定

本章规定了氢气管道制作和安装的通用要求,主要包括焊接、预热和热处理等内容,其余和材料验收、制作、装配及安装、管道清理等相关的内容应符合下列规定:

- a) 氢气工业管道按第 9 章的规定;
- b) 氢气长输管道按第 10 章的规定;
- c) 氢气公用管道按第 11 章的规定。

6.2 焊接

6.2.1 一般要求

6.2.1.1 管道承压件与承压件的焊接、承压件与非承压件的焊接,均应采用经评定合格的焊接工艺;焊接工艺评定应符合第 9 章~第 11 章的相关要求。

6.2.1.2 焊接材料(包括焊条、焊丝、焊剂及焊接用气体)应符合设计文件及相关焊接材料标准的规定,且通过焊接工艺评定验证。当设计无规定时,焊接材料的选用应按照母材的化学成分、力学性能、焊接性能、焊前预热、焊后热处理、使用条件及现场施工条件等因素综合确定,且满足下列要求。

- a) 焊缝金属的抗拉强度不应小于母材规定抗拉强度的下限值。对于 2 种不同强度的母材相互焊接,焊缝金属的抗拉强度不应低于规定抗拉强度较低母材的下限值。
- b) 焊缝金属的化学成分应与母材相近。对于 2 种不同化学成分的母材相互焊接,除奥氏体钢与铁素体钢相互焊接外,焊缝金属的化学成分应与其中任何一个母材一致或介于两者之间。
- c) 当奥氏体钢与铁素体钢相互焊接时,焊缝金属应有显著的奥氏体晶体结构,可选用 25Cr-13Ni 型或含镍量更高的焊接材料。
- d) 焊接材料的焊接工艺性能应良好。
- e) 选用未经实践或新的焊接材料时,应进行氢相容性试验。
- f) 氢气工业管道、氢气长输管道及氢气公用管道的焊接材料还应分别满足第 9 章~第 11 章的要求。

6.2.1.3 焊接环境应符合 GB/T 20801.1—2025 的相关规定。

6.2.1.4 氢气工业管道、氢气长输管道及氢气公用管道的焊接要求还应分别符合 GB/T 20801.1—2025、GB/T 34275—2024 及 GB/T 38942—2020 的规定。

6.2.2 焊缝设置

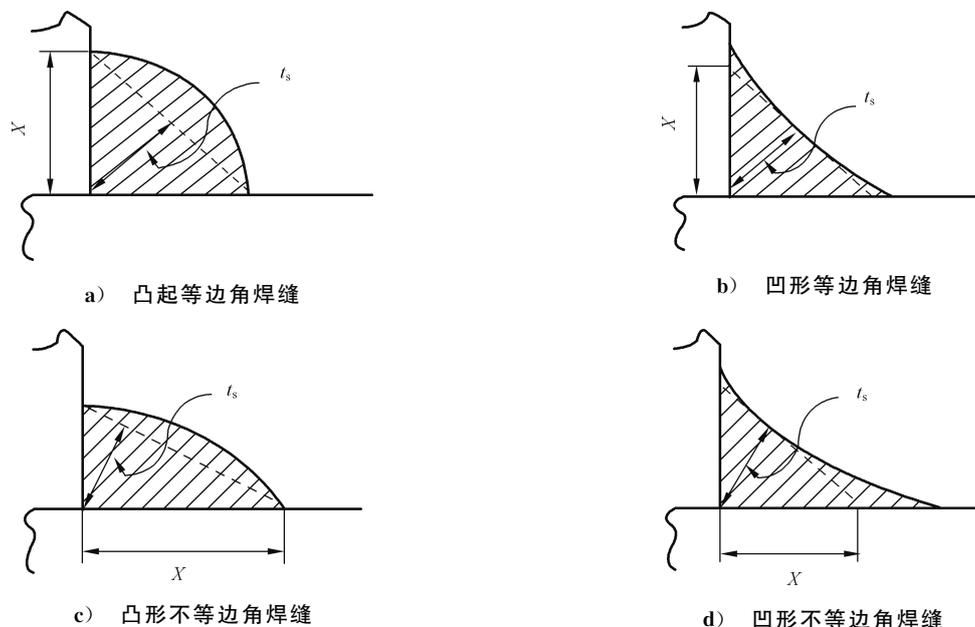
管道(夹套管除外)的环焊缝设置应避免应力集中区,便于焊接、热处理及检验,并符合下列规定。

- a) 除定型管件外,直管段上两对焊缝间的距离,不应小于3倍管子的厚度,当需焊后热处理时,不应小于6倍焊件的厚度,且应满足以下要求:
- 1) 管道公称直径小于DN150时,不小于外径,且不小于50 mm;
 - 2) 管道公称直径大于或等于DN150时,不小于150 mm。
- b) 管道环焊缝的中心距离弯管(不包括弯头)起弯点的距离不应小于管子外径,且不应小于100 mm。
- c) 管道环焊缝与支、吊架的净距离不应小于50 mm。需要热处理的焊缝与支、吊架的距离不应小于焊缝宽度的5倍,且不应小于100 mm;管托的设置应避开焊缝。
- d) 不宜在焊缝及其边缘上开孔。当无法避免在焊缝上开孔或开孔补强时,应对以开孔中心为中心、在1.5倍开孔直径或补强板直径范围内的焊缝进行无损检测,无损检测应为射线检测或超声检测;检测合格后方可进行开孔。补强板覆盖的焊缝应磨平。管孔边缘不应存在焊接缺陷。
- e) 管道环焊缝距离支管或管接头的开孔边缘不应小于50 mm,且不应小于孔径。
- f) 焊接管及焊接管件组对时,宜避免十字焊缝;当无法避免十字焊缝或纵缝的错开距离小于或等于100 mm时,该部位焊缝应经射线检测或超声检测合格。

6.2.3 角焊缝

角焊缝的形式和尺寸如图1所示,角焊缝(包括承插焊缝)可采用凹形和凸形,其焊缝尺寸符合下列规定:

- a) 等边角焊缝的焊脚尺寸应为焊缝最大内切等腰直角三角形的股长,焊缝厚度为0.7倍焊脚尺寸;
- b) 不等边角焊缝的焊脚尺寸应为内切于焊缝截面的最大直角三角形的股长;
- c) 角焊缝应与母材表面圆滑过渡。



标引符号说明:

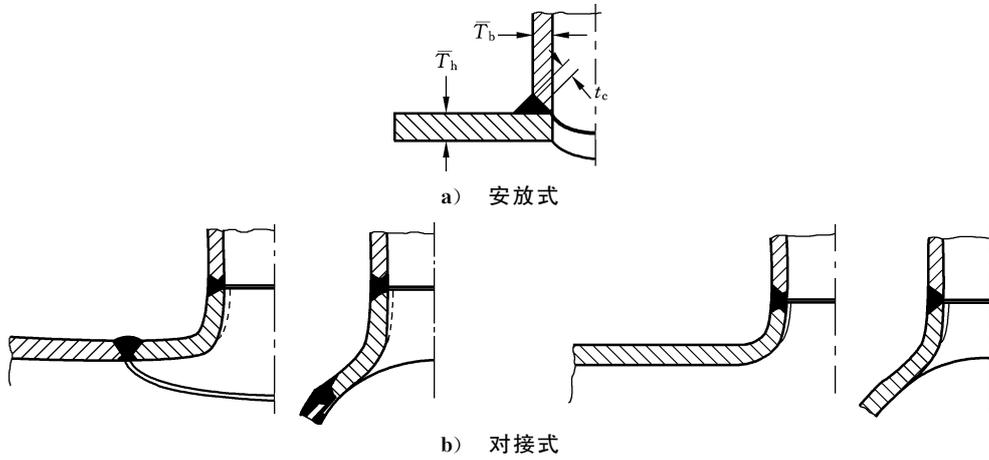
X ——角焊缝焊脚尺寸;

t_s ——角焊缝计算厚度。

图1 角焊缝的形式和尺寸

6.2.4 支管的焊接连接

6.2.4.1 支管与主管的焊接连接应符合图 2 中 a)、b)所示的支管连接焊缝形式和焊缝尺寸的规定,支管座与主管的焊接连接应符合图 3 所示的连接形式。



标引符号说明:

t_e —— 填角焊缝有效厚度,取 $0.7\bar{T}_b$ 或 6.4 mm 中的较小者;

\bar{T}_b —— 支管名义厚度;

\bar{T}_h —— 主管名义厚度。

图 2 支管连接的焊接接头形式

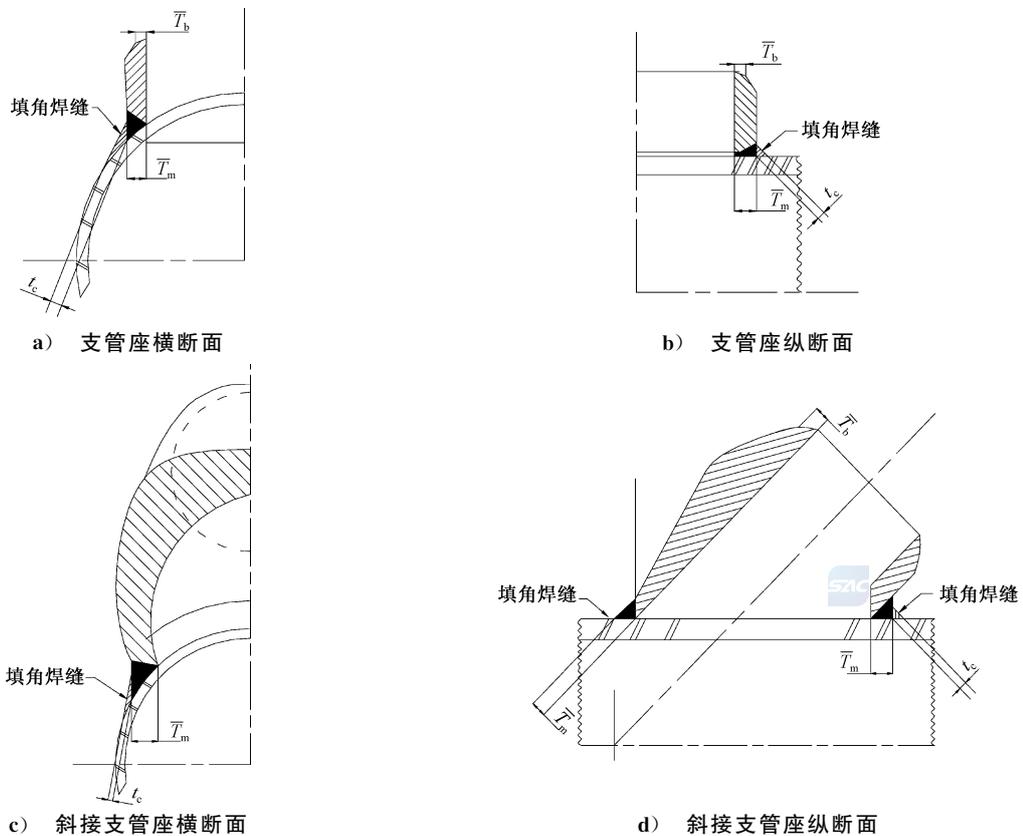
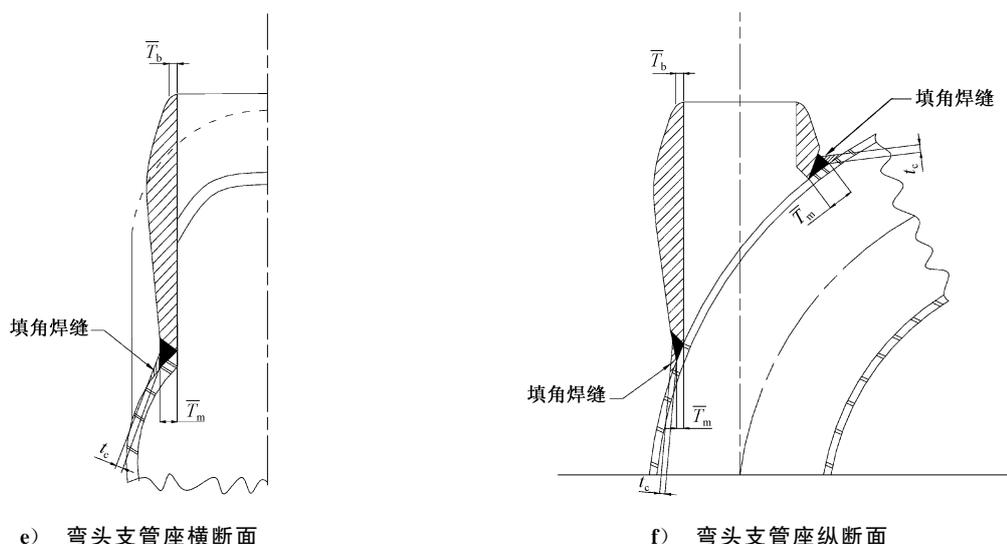


图 3 支管座与主管的连接焊接接头形式



标引符号说明：

t_c ——支管(支管座)与主管坡口焊时覆盖的角焊缝厚度,取 $0.7\bar{T}_b$ 或 6.4 mm 中的较小者；

\bar{T}_b ——支管名义厚度；

\bar{T}_m ——支管座焊缝名义厚度,当设计文件或支管连接件制造厂的说明书无要求时,其厚度按照组对后的组合焊缝坡口的最厚度。

图 3 支管座与主管的连接焊接接头形式(续)

6.2.4.2 安放式焊接支管的接头,包括整体补强的支管座,应全焊透,盖面的角焊缝厚度不应小于填角焊缝有效厚度见图 2 a)。

6.2.4.3 支管座与主管的连接盖面填角焊缝,在纵断面处为等边角焊缝,但在其他断面处,随着支管/主管口径比,尤其在横断面处,可能将转变为不等边角焊缝,但应保持与坡口焊缝及主管表面的平滑过渡。

6.3 预热

6.3.1 一般规定

6.3.1.1 预热要求适用于管道所有类型的焊接,包括定位焊、补焊。

6.3.1.2 当用热加工法切割、开坡口、清根、开槽或施焊临时焊缝时,应满足预热要求。

6.3.2 预热温度和道间温度

6.3.2.1 预热温度等要求应在焊接工艺规程或设计文件中规定,并经焊接工艺评定验证。当设计文件无规定时,各种材料的最低预热温度应符合表 1 的规定。

表 1 预热温度

母材类别	较厚件的名义壁厚 mm	母材最小规定抗拉强度 MPa	要求的最低预热温度 ℃
碳钢、碳锰钢	≤ 25	≤ 490	10
	> 25	全部	95
	全部	> 490	95

表 1 预热温度 (续)

母材类别	较厚件的名义壁厚 mm	母材最小规定抗拉强度 MPa	要求的最低预热温度 ℃
合金钢 Cr 含量≤0.5%	≤13	≤450	10
	>13	全部	95
	全部	>450	95
非铁基材料	全部	全部	10

6.3.2.2 对于预热温度要求不同的材料焊接时,应选用表 1 中较高的预热温度。

6.3.2.3 对于需要预热的多道焊焊件,其道间温度不应低于预热温度,但需满足下列要求:

- a) 碳钢和低合金钢的道间温度不宜高于 315 ℃;
- b) 奥氏体不锈钢的道间温度不宜高于 150 ℃。

6.3.2.4 定位焊缝的母材温度不应低于表 1 规定的最低预热温度,预热范围应为距离定位焊缝两端不小于 25 mm。

6.3.2.5 对于返修补焊,其预热温度应比原焊缝适当提高。

6.4 热处理

6.4.1 一般规定

6.4 规定了管道弯曲和成型后的热处理及焊后热处理的基本要求,设计者可根据具体的工况条件,在设计文件中提出更高的或附加热处理要求。

6.4.2 弯曲和成型后的热处理

6.4.2.1 管道材料在弯曲和成型后,应按表 2 的规定进行热处理。

6.4.2.2 对于有应力腐蚀倾向或对消除应力有较高要求的管道,在弯曲或成型加工后,应按设计文件的规定进行热处理。

6.4.3 焊后热处理

6.4.3.1 管道焊后热处理应符合设计文件的规定;当设计文件无规定时,氢气工业管道、氢气公用管道的焊后热处理应符合表 2 的规定,氢气长输管道的焊后热处理应符合第 10 章的规定。

表 2 弯曲、成型后的热处理及焊后热处理的基本要求

母材类别	较厚件的名义厚度 mm	母材最小规定抗拉强度 MPa	金属热处理温度 ℃	热处理厚度的最少保温时间		布氏硬度
				≤50 mm	>50 mm	
碳钢、碳锰钢	≤25	全部	不要求热处理	1 h/25 mm, 最少 60 min	2 h+(15 min/ 增加 25mm)	≤200 ^b
	>25		595~650			
合金钢 Cr 含量≤0.5%	≤20	≤490	不要求热处理			
	>20	全部	595~650			
	全部	>490				

表 2 弯曲、成型后的热处理及焊后热处理的基本要求（续）

母材类别	较厚件的名义厚度 mm	母材最小 规定抗拉强度 MPa	金属热 处理温度 ℃	热处理厚度的最少保温时间		布氏硬度
				≤50 mm	>50 mm	
奥氏体不锈钢 ^a	全部	全部	不要求热处理	—	2 h+(15 min/ 增加 25 mm)	≤187 ^b
^a 奥氏体不锈钢是否应进行焊后热处理不做具体规定。为防止应力松弛裂纹,壁厚大于 13 mm 且使用温度高于 540 ℃ 的含 Nb、Ti、Al 奥氏体不锈钢,应符合 GB/T 20801.1—2025 的相关规定。 ^b 硬度要求应符合 GB/T 20801.1—2025 中 7.6 的规定。碳钢、碳锰钢、奥氏体不锈钢硬度检查仅适用于特定工况,设计有规定时,可按本表取值。						

6.4.3.2 建设单位(使用单位)或设计单位可根据具体工况,规定指定的焊后热处理温度,但不能超出表 2、表 3 及 6.4.3 中其他条款规定的限值。

表 3 碳钢、碳锰钢的焊后热处理降温延时要求

降低焊后热处理温度	热处理厚度的最少保温时间	
	≤25 mm	>25 mm
30 ℃	2h	增加 15 min/增加 25 mm
55 ℃	4 h	
注: 6.4.3.4 规定的除外。		

6.4.3.3 除 6.4.3.4 的规定外,碳钢、碳锰钢可按表 3 所示降低焊后热处理温度,但应相应延长保温时间。

6.4.3.4 为改善焊接接头强度和低温韧性,并经建设单位(使用单位)或设计单位同意以及相应焊接工艺评定证实,最小抗拉强度大于或等于 535 MPa 的碳锰钢、低温碳钢的焊后热处理的温度下限可不低于 550 ℃,且无需延长保温时间。

6.4.3.5 正火加回火或调质钢的焊后热处理温度应比材料的回火温度降低至少 10 ℃。

6.4.3.6 表 2 所列铬钼合金钢可采用比材料回火温度或表列温度更高的焊后热处理温度,但应计及由此而引起的高温强度下降。

6.4.3.7 焊后热处理工艺应在焊接工艺规程中规定,并经焊接工艺评定验证,任何焊后热处理的温度控制都应满足焊接工艺评定的要求。

6.4.3.8 当管道焊缝焊后不立即进行热处理时,应控制焊接冷却速度,或采用其他措施防止对管道的有害影响。

6.4.3.9 按表 2 进行焊后热处理时,热处理厚度应为焊缝厚度与焊接接头处焊件厚度(当受压元件与非受压元件焊接时则为受压元件的厚度)中的较小者。焊缝厚度应为下列厚度:

- a) 对接环缝、纵缝——坡口组对后两个对接端的较厚者;
- b) 角焊缝——角焊缝计算厚度(图 1);
- c) 部分焊透焊缝——焊缝坡口深度;
- d) 焊补焊缝——补焊处开槽深度;
- e) 支管连接时,热处理厚度为主管或支管的焊缝厚度,而不计及支管连接件(包括整体补强或非整体补强件)的厚度。支管连接的焊缝厚度计算符合表 4 的规定。

表 4 支管连接结构的焊缝厚度

支管连接结构形式	焊缝厚度
焊接支管(安放式),见图 2 a)	$\bar{T}_b + t_c$
支管座,见图 3	$\bar{T}_m + t_c$

6.4.4 热处理的其他相关规定

热处理的其他相关规定,包括加热和冷却、温度的测量、硬度检查、替代热处理、热处理基本要求的变更、分段热处理、局部热处理及重新热处理等均可参照 GB/T 20801.1—2025 的相关规定执行。

7 检验与试验

7.1 一般规定

7.1.1 管道安装过程及安装后的检验和试验应符合本文件和设计文件的规定,检验和试验应包括目视检查、无损检测和压力试验。

7.1.2 由工厂加工的管道组成件(或其组件)的检查试验应符合相关产品标准和设计文件的要求。

7.1.3 检验与试验用仪器、设备应按有关规定进行定期检定(校准)。

7.1.4 当采用未列入本文件且有国家或行业标准规定的无损检测方法时,经建设单位审核和批准后,方可使用。

7.1.5 当接受检查的管道组成件(或其组件)有超过本文件验收准则的缺陷时,应予返修或更换。新件应按原件的要求用相同的方法,在相同的范围用相同的验收准则检查。

7.1.6 宜依据建设单位的相关要求将检测资料进行数字化,保存期不应少于管道服役期。

7.2 目视检查

7.2.1 目视检查应由独立于焊接、安装作业的专职人员实施。

7.2.2 目视检查用器材包括焊接尺、钢尺、放大镜和照明光源等,目视检查用的器材应满足安全性和使用性要求。

7.3 无损检测

7.3.1 管道无损检测应按照 7.3 及第 9 章~第 11 章相关要求执行。

7.3.2 钢质管道焊接接头的无损检测方法有射线检测、超声检测、磁粉检测、渗透检测、衍射时差法超声检测、全自动超声检测、相控阵超声检测、X 射线数字成像检测。

7.3.3 钢质管道焊接接头的硬度测定区域应包括焊缝和热影响区,热影响区的测定区域应紧邻熔合线。

7.3.4 进行焊后热处理的焊接接头,无损检测应在热处理完成后进行。

7.3.5 热弯、热成型组件以及碳钢、合金钢钢制管道焊接接头应进行硬度检查,硬度检查的数量和要求应符合本文件及其他相关标准或设计要求。

7.4 试验

7.4.1 试验应分别符合第 9 章~第 11 章的相关规定以及其他相关标准的规定。

7.4.2 施工和检测合格后,运行开始前,应对每个管道系统进行试验。

8 安全防护

8.1 一般规定

8.1.1 氢气管道系统安全防护宜考虑如下因素：

- a) 预期操作范围内温度、压力、组成等最严苛组合下氢气的危险特性；
- b) 由管道材料、连接形式及其安全运行经验确定的管道安全性；
- c) 采取接地、跨接或其他措施防止泄放氢气因静电积聚而意外点燃；
- d) 管道发生损坏或泄漏后，氢气泄漏量及其对周围环境、设备造成的危害程度；
- e) 管道事故对操作人员、维修人员和一切可能接触人员的危害程度。

8.1.2 安全防护设施和措施的选用，宜综合评估系统本质安全、选址和设施布局、系统自动控制及报警、安全联锁和隔离、氢气泄漏及监测、火灾报警和消防、工厂安全运行管理等各类保护层风险削减控制的有效性后确定，控制并消减氢用管道及其附件失效引发的风险。

8.2 压力泄放装置

8.2.1 管道应采取安全措施或设置压力泄放装置确保其能承受可能的最高工作压力。

8.2.2 压力泄放装置的设计宜考虑以下超压原因中的一种或多种：

- a) 环境的影响；
- b) 压力振荡和波动；
- c) 人员误操作或操作不当；
- d) 氢气与其他物质反应；
- e) 外部火灾；
- f) 控制装置故障；
- g) 过程危险性分析所辨识的其他超压原因。

8.2.3 应通过合理设定压力泄放装置的类型、动作压力以及泄放面积，确保满足独立压力系统中的最大泄放压力限制，且压力泄放装置的有效泄放面积应满足独立压力系统安全泄放量的要求。

8.2.4 当在管道和被保护装置之间或者被保护装置与泄放点之间安装切断阀时，需满足下列规定：

- a) 在泄压装置的入口或排放侧可安装流通面积不小于泄放面积的切断阀；
- b) 当在泄压装置的入口或排放侧安装流通面积小于泄放面积的切断阀时，所产生的压降造成的泄放量减少，但不低于所需安全泄放量，也不影响泄压装置的正确操作；
- c) 安装在泄压管道中的切断阀的构造或控制应确保其在一次最大数量切断阀的关闭，不会影响其他泄压装置的泄放量；
- d) 切断阀的构造及安装应确保它们能在泄压装置入口或出口牢固并且密封良好。

8.2.5 管道系统需有足够强度以承受超压泄放装置泄放引起的反作用力。

8.2.6 氢用管道压力泄放装置的排放气宜排至收集处理装置，当条件不具备时，可直接放空。安全泄放点位置与高度应确保周边设施和人员活动的安全。

8.2.7 氢气工业管道的安全防护还应符合 9.6 的相关规定，氢气长输管道还应符合 10.7 的相关规定，氢气公用管道应符合 11.6 的相关规定。

9 氢气工业管道

9.1 基本规定

9.1.1 除应符合第4章~第8章的通用技术要求外,氢气工业管道还应满足本章中的各项专用技术要求。

9.1.2 本章中所有的技术要求仅限于设计温度小于或等于 177 °C,设计压力小于或等于 41 MPa 的氢气工业管道。设计温度大于 177 °C 的氢气工业管道应按照 GB/T 20801.1—2025 相关规定执行。设计压力大于 41 MPa 且小于 100 MPa 的氢气工业管道的建造方法见附录 A。

9.1.3 低温氢气和液氢管道的建造方法见附录 C。

9.1.4 用于氢气站、供氢站及其储氢装置中公称直径小于 DN50 的氢气工业管道的建造方法见附录 F。

9.2 材料

9.2.1 除满足第5章要求外,氢气工业管道材料还应满足 GB/T 20801.1—2025 的相关要求。

9.2.2 表 E.1 给出了氢气工业管道可免除氢相容性试验的常用材料及标准。

9.2.3 经建设单位(使用单位)或设计单位批准,氢气工业管道也可采用与表 E.1 中材料等同或相近的材料,或经验证具有良好氢相容性的其他材料。

9.3 设计和计算

9.3.1 设计条件

9.3.1.1 管道系统的设计压力不应小于在操作中可能遇到的最苛刻的压力(含内压和外压)和温度组合工况下的压力,并符合下列规定:

- a) 装有安全泄放装置的管道,其设计压力不应小于安全泄放装置的设定压力;
- b) 未设置压力泄放装置或可能发生与压力泄放装置隔离、堵塞的管道,其设计压力不应小于可能因此而产生的最大压力;
- c) 当管道与设备直接连接作为一个压力系统时,管道的设计压力不应小于设备的设计压力。

9.3.1.2 真空管道应按外压条件进行设计。装有安全控制装置管道,设计压力取最大压差的 1.25 倍或 0.1 MPa 中的较小值;无安全控制装置的真空管道,设计压力取 0.1 MPa。

9.3.1.3 管道系统中每个管道组件的设计温度应按操作中可能遇到的最苛刻的压力和温度组合工况的温度确定。

9.3.1.4 管道系统的设计条件宜考虑环境影响、压力波动、操作不当、氢气与其他元素或化合物之间的反应、外部火灾、流体的静压及控制装置的失效等因素。

9.3.1.5 管道系统的其他设计条件应符合 GB/T 20801.1—2025 的相关规定。

9.3.2 设计准则

9.3.2.1 压力-温度设计准则

9.3.2.1.1 一般规定

管道组件的压力-温度设计应采用 9.3.2.1.2~9.3.2.1.5 规定的方法之一。

9.3.2.1.2 压力-温度额定值方法

管道组件的压力-温度额定值的确定应符合下列规定:

- a) 除另有规定外,表 13 中已规定压力-温度额定值的管道组件,其设计温度下的最大允许工作

压力按相关标准规定的压力-温度额定值；

- b) 如设计温度高于表 13 中相关标准给出的温度额定值,但不高于第 5 章规定的材料使用温度上限者,设计者可根据相关温度下的材料许用应力折算；
- c) 对于表 13 中仅标明公称压力的管道组成件,设计温度下的最大允许工作压力可根据设计温度和常温下的材料许用应力折算；
- d) 表 13 中未列入的管道组成件,其适用的压力-温度值可参照 GB/T 20801.1—2025 中 6.5.3 的规定执行；
- e) 氢气工业管道在确定管道组成件的压力-温度额定值时,在采用 a)~d)的基础上,还需计及材料性能系数 M_f 的影响, M_f 的取值见 9.3.2.5 及表 9、表 10 规定。

9.3.2.1.3 压力设计方法

管道组成件的压力设计符合下列规定：

- a) 直管、弯管、盲板、非标法兰和非标对焊管件等管道组成件的压力设计应按 9.3.6 的规定设计；
- b) 对于表 13 中按壁厚系列规定的对焊管件、承插焊管件,其设计温度下的最大允许工作压力不应大于具有相同壁厚系列和相同许用应力的无缝直管按有效厚度确定的最大允许工作压力；
- c) 支管与主管直接连接的管道设计应符合 9.3.6.7 的规定。

9.3.2.1.4 验证性压力试验方法

管道组成件的验证性压力试验可参照 GB/T 20801.1—2025 的规定。

9.3.2.1.5 其他方法

除 9.3.2.1.2、9.3.2.1.3 和 9.3.2.1.4 规定的方法外,管道组成件的最大允许工作压力也可采用应力分析或实验应力分析的方法确定。

9.3.2.2 许用应力

9.3.2.2.1 金属材料许用应力、螺栓材料许用应力、金属材料的物理性能可按 GB/T 20801.1—2025 的附录 B 和附录 C 选取。

9.3.2.2.2 除 9.3.2.2.1 规定的金属材料和螺栓材料外,其他金属材料和螺栓材料的许用应力应按表 5 及表 6 的准则确定。

9.3.2.2.3 压缩许用应力应符合结构稳定性的要求,且不大于拉伸许用应力,拉伸许用应力按 9.3.2.2.1 和 9.3.2.2.2 规定取值。

9.3.2.2.4 剪切许用应力取拉伸许用应力的 80%,接触许用应力取拉伸许用应力的 160%。

表 5 金属材料许用应力准则

材料	许用应力不应大于下列各值中的最小值/MPa					
	抗拉强度 下限值 R_m	设计温度下抗 拉强度下限值 R'_m	屈服强度 下限值 $R_{eL}(R_{p0.2})$	设计温度下 屈服强度 $R'_{eL}(R'_{p0.2})$	持久强度平均值或 持久强度最低值 R'_D 或 R'_{Dmin}	蠕变极限 平均值 R'_n
碳钢、合金钢、铁素体 不锈钢、延伸率小于 35%的奥氏体不锈钢、 铝和铝合金	$\frac{R_m}{3}$	$\frac{R'_m}{3}$	$\frac{R_{eL}(R_{p0.2})}{1.5}$	$\frac{R'_{eL}(R'_{p0.2})}{1.5}$	$\frac{R'_D}{1.5}, \frac{R'_{Dmin}}{1.25}$	$\frac{R'_n}{1.0}$

表 5 金属材料许用应力准则 (续)

材料	许用应力不应大于下列各值中的最小值/MPa					
	抗拉强度 下限值 R_m	设计温度下抗 拉强度下限值 R_m^t	屈服强度 下限值 $R_{el}(R_{p0.2})$	设计温度下 屈服强度 $R_{el}^t(R_{p0.2}^t)$	持久强度平均值或 持久强度最低值 R_D 或 R_{Dmin}^t	蠕变极限 平均值 R_n^t
延伸率大于或等于 35%的奥氏体不锈钢	$\frac{R_m}{3}$	$\frac{R_m^t}{3}$	$\frac{R_{el}(R_{p0.2})}{1.5}$	$0.90R_{el}^t(R_{p0.2}^t)^a$	$\frac{R_D}{1.5}, \frac{R_{Dmin}^t}{1.25}$	$\frac{R_n^t}{1.0}$
^a 对于法兰或其他有微量永久变形就引起泄漏或故障的场合不应采用。						

表 6 螺栓材料许用应力准则

材料	许用应力不应大于下列各值中的最小值/MPa					
	抗拉强度 下限值 R_m	设计温度下抗 拉强度下限值 R_m^t	屈服强度 下限值 $R_{el}(R_{p0.2})$	设计温度下 屈服强度 $R_{el}^t(R_{p0.2}^t)$	持久强度平均值或 持久强度最低值 R_D 或 R_{Dmin}^t	蠕变极限 平均值 R_n^t
非热处理或应变 强化的螺栓材料	$\frac{R_m}{4}$	$\frac{R_m^t}{4}$	$\frac{R_{el}(R_{p0.2})}{1.5}$	$\frac{R_{el}^t(R_{p0.2}^t)}{1.5}$	$\frac{R_D}{1.5}, \frac{R_{Dmin}^t}{1.25}$	$\frac{R_n^t}{1.0}$
热处理或应变 强化的螺栓材料	$\frac{R_m}{5}$	$\frac{R_m^t}{4}$	$\frac{R_{el}(R_{p0.2})}{4}$	$\frac{R_{el}^t(R_{p0.2}^t)}{1.5}$	$\frac{R_D}{1.5}, \frac{R_{Dmin}^t}{1.25}$	$\frac{R_n^t}{1.0}$
<p>注 1: 对于热处理或应变强化处理的螺栓材料, 许用应力取表中最小值。若该许用应力小于材料退火状态下的许用应力, 取非热处理或应变强化(即退火状态)螺栓材料的许用应力。</p> <p>注 2: 表列螺栓许用应力准则仅用于非标准法兰设计的螺栓强度要求。</p>						

9.3.2.3 纵向焊接接头质量系数 Φ_w

氢气工业管道的管子和对焊管件的纵向焊缝焊接接头系数 Φ_w 应按表 7 选取。

表 7 纵向焊接接头质量系数 Φ_w

序号	焊接型式	焊缝类型	检查	Φ_w	
1	电熔焊 (EFW)	单面对接焊 (带或不带填充金属)	直缝(1条或2条)	局部(10%)RT	0.90
				100%RT	1.00
		双面对接焊 (带或不带填充金属)	直缝(1条或2条)	局部(10%)RT	0.90
				100%RT	1.00
2	GB/T 9711 电熔焊(EFW), 双面对接焊	直缝(1条或2条)	按 GB/T 9711 的规定	0.95	
			附加 100%RT	1.00	

9.3.2.4 铸件质量系数 Φ_c

氢气工业管道的铸件质量系数 Φ_c 应按表 8 选取。

表 8 铸件质量系数 Φ_c 及附加无损检测要求

序号	附加无损检测要求	铸件质量系数 Φ_c
1	铸件表面加工至 $Ra6.3$, 提高目视检查的清晰度, 并符合 JB/T 7927—2014 中 B 级的规定	0.85
2	铸件表面按 JB/T 6902—2008(PT) 中 4 级或 JB/T 6439(MT) 进行着色渗透检测或磁粉检测	0.85
3	铸件按 JB/T 6440(RT) 或 JB/T 6903—2008(UT) 中 2 级进行射线照相或超声检测	0.95
4	同时满足序号 1 和序号 2 的要求	0.90
5	同时满足序号 1 和序号 3 的要求	1.00
6	同时满足序号 2 和序号 3 的要求	1.00

9.3.2.5 材料性能系数 M_f

9.3.2.5.1 氢气工业管道材料采用碳钢或低合金钢, 且设计温度在 $177\text{ }^\circ\text{C}$ 以下时, 应计及材料性能系数 M_f , M_f 的取值按表 9 和表 10 的规定。

9.3.2.5.2 当碳钢或低合金钢的设计温度在 $177\text{ }^\circ\text{C}$ 以上时, 氢气工业管道材料应符合 9.1.2 的规定, 此时可不计及材料性能系数。

9.3.2.5.3 奥氏体不锈钢, 铝及铝合金材料可不计及材料性能系数。

表 9 碳钢管道材料性能系数 M_f

材料性能系数							
规定最低强度		设计压力					
抗拉强度下限值 R_m/MPa	屈服强度下限值 $R_{eL}(R_{P0.2})/\text{MPa}$	$\leq 6\text{ MPa}$	13 MPa	20 MPa	27 MPa	34 MPa	41 MPa
$R_m \leq 480$	$R_{eL}(R_{P0.2}) \leq 355$	1.0	0.948	0.912	0.884	0.860	0.839
$480 < R_m \leq 515$	$R_{eL}(R_{P0.2}) \leq 385$	0.930	0.881	0.848	0.824	0.800	0.778
$515 < R_m \leq 550$	$R_{eL}(R_{P0.2}) \leq 445$	0.839	0.796	0.766	0.745	0.724	0.706
$550 < R_m \leq 620$	$R_{eL}(R_{P0.2}) \leq 550$	0.715	0.678	0.645	0.633	0.618	0.600
范围内其他设计系数可通过内插法计算得出							

表 10 中低合金钢管道材料性能系数 M_f

材料性能系数								
规定最低强度		设计压力						
抗拉强度下限值 R_m/MPa	屈服强度下限值 $R_{eL}(R_{P0.2})/\text{MPa}$	0 MPa	6 MPa	13 MPa	20 MPa	27 MPa	34 MPa	41 MPa
$R_m \leq 410$	$R_{eL}(R_{P0.2}) \leq 240$	1.0	0.918	0.881	0.875	0.836	0.815	0.800
$410 < R_m \leq 515$	$R_{eL}(R_{P0.2}) \leq 310$	0.791	0.724	0.696	0.675	0.660	0.642	0.630
$515 < R_m \leq 585$	$R_{eL}(R_{P0.2}) \leq 410$	0.655	0.601	0.577	0.561	0.547	0.533	0.524
$585 < R_m \leq 620$	$R_{eL}(R_{P0.2}) \leq 445$	0.580	0.532	0.511	0.497	0.485	0.472	0.464
范围内其他设计系数可通过内插法计算得出								

9.3.3 管道组成件

9.3.3.1 一般规定

应根据流体的性质、各种可能出现的操作工况以及外部环境的要求和经济合理性选用管道组成件。

9.3.3.2 管子和对焊管件

9.3.3.2.1 应采用无缝钢管。当无缝钢管不能制作时,可采用焊接钢管,但应符合 9.3.3.2.2 的规定。

9.3.3.2.2 采用焊接钢管时,符合下列要求:

- a) 焊接钢管采用直缝焊,不应采用螺旋焊管;
- b) 直缝焊的焊缝不应大于 2 条,公称直径小于或等于 DN900 的管子,焊缝不应大于 1 条;
- c) 应采用纵向焊接接头系数大于或等于 0.90 的电熔焊(EFW)焊管和板焊管,不应选用电阻焊(ERW)焊管以及未经射线照相检测的电熔焊焊管,焊接钢管的焊接接头系数应按表 7 选取。

9.3.3.2.3 管件应符合下列要求:

- a) 采用无缝管件、纵向焊接接头系数不小于 0.90 的板制对焊管件和铸件质量系数不小于 0.90 的铸件;
- b) 对焊管件符合 GB/T 12459—2017 中附录 B 的最小壁厚要求;
- c) 采用带折边异径管,且半锥角不大于 30°。

9.3.3.2.4 管子和对焊管件,其壁厚计算应符合 9.3.6 的相关规定。

9.3.3.2.5 管子及对焊管件的使用限制应符合表 11 的规定。

表 11 管子及对焊管件的使用限制

标准	材料(牌号)	制管工艺	使用限制
GB/T 8163 GB/T 3087	碳钢	无缝管	设计压力小于 4.0 MPa
GB/T 13401	CF415,CF485	无缝及焊接对焊管件	
GB/T 12771 ^a HG/T 20537.3 GB/T 13401	奥氏体不锈钢	电熔焊焊管(不添加填充金属)及对焊管件	a) 设计压力小于 4.0 MPa; b) 不应用于剧烈循环工况
HG/T 20537.4	奥氏体不锈钢	纵缝未作射线检测的电熔焊焊管(添加填充金属)及对焊管件	a) 设计压力小于 4.0 MPa; b) 不应用于剧烈循环工况
^a 本文件应采用 GB/T 12771 中的 I、II、III 和 IV 类,且按照 NB/T 47013.2 的要求进行射线检测。			

9.3.3.3 弯管

9.3.3.3.1 弯管的制作应符合 9.4.3.2 的规定。

9.3.3.3.2 弯管最小壁厚应符合 9.3.6.3 的规定。

9.3.3.3.3 不应采用带褶皱和波浪的弯管。

9.3.3.4 短半径弯头

9.3.3.4.1 短半径弯头和短半径回弯头($R=1.0D$)应符合 GB/T 12459—2017 的规定。

9.3.3.4.2 弯头中心线所在平面的内弧侧壁厚不小于管件设计厚度 1.25 倍者,其最大允许工作压力与 9.3.2.1.2 a) 确定的最大允许工作压力相同。

9.3.3.4.3 内弧侧壁厚小于设计厚度的 1.25 倍者,其最大允许工作压力不应大于按 9.3.2.1.2 a)确定的最大允许工作压力的 80%。

9.3.3.5 翻边短节

9.3.3.5.1 翻边短节的选用应符合表 13 所列相应标准的规定。

9.3.3.5.2 翻边短节应在工厂内预制完成,不应采用现场制作的翻边短节。

9.3.3.5.3 设计压力大于或等于 4.0 MPa 及剧烈循环工况的管道,不应使用翻边短节。

9.3.3.6 支管连接及其管件

9.3.3.6.1 支管连接包括支管直接与主管焊接连接、支管通过连接管件与主管连接 2 种形式。支管连接管件包括支管座和三通。

9.3.3.6.2 支管直接与主管的焊接连接符合下列规定。

- a) 应按 9.3.6.7 的规定进行压力设计,焊接应符合 9.3.4.2 的规定。
- b) 支管连接的焊接型式应符合 6.2.3 的规定。
- c) 支管直接与主管的焊接连接不宜在以下场合使用:
 - 1) 支管尺寸与主管相近;
 - 2) 连接部位存在振动、压力脉动、温度循环等荷载引起的循环应力。
- d) 支管与主管尺寸相差悬殊时,支管应具有足够的柔性,以补偿主管的热膨胀及其他位移。

9.3.3.6.3 支管连接管件符合下列规定:

- a) 支管连接管件宜采用整体补强的支管连接管件或三通;
- b) 承插支管座和半管接头的公称直径不应大于 DN40;
- c) 支管座与主管的焊接连接应符合图 3 所示的连接形式。

9.3.3.6.4 存在振动、压力脉动、温度循环等荷载引起的循环应力时,支管与主管的连接应采用三通型式。

9.3.3.7 法兰

9.3.3.7.1 法兰应按表 13 选取,按相应标准规定的压力-温度额定值使用,并计及材料性能系数 M_f 。

9.3.3.7.2 法兰型式的选用符合下列规定。

- a) 宜选用整体法兰或带颈对焊法兰。设计压力大于或等于 4.0 MPa 或剧烈循环工况下的管道应选用整体法兰或带颈对焊法兰。
- b) 不应使用螺纹法兰和板式平焊法兰。
- c) 承插焊法兰的适用范围不应大于 DN40。

9.3.3.7.3 选用表 12 以外的法兰时,应符合 9.3.2.1.2~9.3.2.1.5 的规定。

9.3.3.7.4 承插焊法兰的焊接应符合 9.3.4.2.2 的规定。

9.3.3.7.5 法兰密封面的型式见表 12。

表 12 法兰密封面及垫片一览表

公称压力(P)	法兰密封面型式	垫片型式
$P < PN25$	突面式	聚四氟乙烯包覆垫片、缠绕式垫片、金属环垫、柔性石墨复合垫
$PN25 \leq P \leq PN100$	凹凸式、榫槽式、突面式、环连接式	缠绕式垫片、金属环垫、柔性石墨复合垫、齿形组合垫、金属包覆垫片
$P > PN100$	凹凸式、榫槽式、环连接式	缠绕式垫片、金属环垫、齿形组合垫

9.3.3.8 垫片

9.3.3.8.1 垫片的选用应满足流体性质、设计温度、设计压力以及法兰密封面等条件下的使用要求。垫片的密封荷载应与法兰的压力等级、密封面型式、表面粗糙度和紧固件相匹配。

9.3.3.8.2 垫片的型式见表 12。

9.3.3.9 紧固件

紧固件的选用原则应符合 GB/T 20801.1—2025 的相关规定。

9.3.3.10 阀门

9.3.3.10.1 氢气工业管道的切断阀宜采用球阀、截止阀或闸阀。

9.3.3.10.2 阀门应按表 13 选取,按相应标准规定的压力-温度额定值使用,并计及材料性能系数 M_f 。当阀门内件采用非金属材料时,应根据非金属材料所能承受的压力-温度额定值确定阀门的压力-温度额定值。

9.3.3.10.3 不应采用阀盖与阀体的连接螺栓个数少于 4 或采用 U 形螺栓连接的阀门。

9.3.3.10.4 设计压力大于或等于 4.0 MPa 及剧烈循环工况,宜选用重载阀门(GB/T 12234 或 GB/T 12235)。

9.3.3.10.5 阀帽或阀盖的密封结构应采用下列型式之一:

- a) 采用法兰连接型式时,螺栓数量符合 9.3.3.10.3 规定,法兰接头及其螺栓紧固符合 GB/T 20801.1—2025 中 6.4.3.5 的规定;
- b) 压力密封阀盖;
- c) 全焊透焊接结构。

9.3.3.10.6 用于剧烈循环工况的阀门铸件质量系数 Φ_c 应大于或等于 0.90。

9.3.3.10.7 采用非金属密封材料内件的阀门,应符合耐火试验要求。

9.3.3.10.8 设计压力大于或等于 4.0 MPa 的阀门应采用低逸散结构,控制阀杆填料处的泄漏,且符合 GB/T 40079 和 GB/T 26481 的相应要求,见 GB/T 20801.1—2025 中表 I.2 的规定。

9.3.3.10.9 阀门的选用还应符合 GB/T 20801.1—2025 中的其他相关要求。

9.3.3.10.10 9.3.3.10 的规定同样适用于管道过滤器及分离器等与阀门类似的管道组成件。

9.3.4 管道组成件的连接形式

9.3.4.1 一般规定

9.3.4.1.1 管道组成件的连接形式应与管道材料和流体工况相适应,且满足在预期的使用和试验工况下,压力、温度和外荷载对连接接头密封性能和机械强度的要求。

9.3.4.1.2 管道组成件的连接形式宜采用焊接形式,与设备、阀门管道组成件连接可采用法兰连接。

9.3.4.2 焊接接头

9.3.4.2.1 管道组成件在制作与安装过程中的焊接、预热和热处理应符合第 6 章及 9.4.5 的规定,其检查及检验应符合第 7 章及 9.5 的规定。

9.3.4.2.2 承插焊的焊接接头及角焊缝应符合下列规定:

- a) 承插焊接头仅用于 DN40 及以下的管道;
- b) 承插焊的焊接接头及角焊缝符合 GB/T 20801.1—2025 的相关规定。

9.3.4.3 法兰连接

9.3.4.3.1 法兰连接应根据设计条件、荷载、流体特性、泄漏率等因素来选用,同时还应满足法兰、垫片和紧固件的选用和配合的要求。

9.3.4.3.2 当配对的2个法兰如具有不同的压力额定值时,该连接接头的最高无冲击工作压力应按较低额定值确定,且应控制安装时的螺栓扭矩,防止低额定值法兰过载。

9.3.4.3.3 设计压力大于或等于4.0 MPa管道以及剧烈循环以及振动、疲劳等工况条件下的法兰连接,应符合GB/T 20801.1—2025中6.4.3.5的规定。

9.3.5 管道组成件的型式和尺寸标准

9.3.5.1 表13给出了符合本文件要求的管道组成件的型式和尺寸常用(典型)标准,表14给出了管道组成件的常用(典型)基础标准及检验、试验标准。

9.3.5.2 表13所列标准规定的压力-温度额定值、公称压力、壁厚等级均符合9.3.2设计准则的规定,可作为管道组成件的压力-温度设计准则。

9.3.5.3 表13中未列入的管道组成件标准的选用应符合GB/T 20801.1—2025中6.5.3的规定。

表13 典型管道组成件型式尺寸标准

分类	标准号	分类名称	
钢管	HG/T 20553	化工配管用无缝及焊接钢管尺寸选用系列	
	GB/T 17395	钢管尺寸、外形、重量及允许偏差	
	GB/T 28708	管道工程用无缝及焊接钢管尺寸选用规定	
	SH/T 3405	石油化工钢管尺寸系列	
管件	对焊	GB/T 12459—2017	钢制对焊管件 类型与参数
		GB/T 13401	钢制对焊管件 技术规范
		SH/T 3408	石油化工钢制对焊管件技术规范
	承插和 螺纹	GB/T 14383	锻制承插焊和螺接管件
		GB/T 32294	锻制承插焊和螺纹活接头
		SH/T 3419	石油化工钢制异径短节
		GB/T 19326	锻制支管座
		SH/T 3410	石油化工锻钢制承插焊和螺接管件
	法兰	GB/T 17185	钢制法兰管件
	其他	HG/T 21547	管道用钢制插板、垫环、8字盲板系列
		SH/T 3425	石油化工钢制管道用盲板
		GB/T 9065.1~GB/T 9065.2、 GB/T 9065.5	液压软管接头
		SH/T 3424	石油化工锻钢制承插焊和螺纹活接头
钢制法兰	GB/T 9124.1~GB/T 9124.2	钢制管法兰	
	GB/T 13402	大直径钢制管法兰	
	HG/T 20592	钢制管法兰(PN系列)	

表 13 典型管道组成件型式尺寸标准 (续)

分类	标准号	分类名称
钢制法兰	HG/T 20615	钢制管法兰(Class 系列)
	HG/T 20623	大直径钢制管法兰(Class 系列)
	HG/T 20614	钢制管法兰、垫片、紧固件选配规定(PN 系列)
	HG/T 20635	钢制管法兰、垫片、紧固件选配规定(Class 系列)
	SH/T 3406	石油化工钢制管法兰技术规范
	JB/T 74	钢制管路法兰 技术条件
	JB/T 75	钢制管路法兰 类型与参数
	JB/T 79	整体钢制管法兰
	JB/T 82	对焊钢制管法兰
JB/T 85	翻边板式松套钢制管法兰	
螺栓/螺母	GB/T 5782	六角头螺栓
	GB/T 6170	1 型六角螺母
	GB/T 6175	2 型六角螺母
	GB/T 897	双头螺柱 $b_m = 1d$
	GB/T 898	双头螺柱 $b_m = 1.25d$
	GB/T 9125.1、GB/T 9125.2	钢制管法兰连接用紧固件
	HG/T 20613	钢制管法兰用紧固件(PN 系列)
	HG/T 20634	钢制管法兰用紧固件(Class 系列)
	SH/T 3404	石油化工钢制管法兰用紧固件
垫片	GB/T 9126.1、GB/T 9126.2	管法兰用非金属平垫片
	GB/T 4622.1、GB/T 4622.2	管法兰用缠绕式垫片
	GB/T 9128.1、GB/T 9128.2	钢制管法兰用金属环垫
	GB/T 39245.1、GB/T 39245.2	管法兰用金属齿形组合垫片
	GB/T 19675.1、GB/T 19675.2	管法兰用柔性石墨复合增强垫片
	GB/T 13403	大直径钢制管法兰用垫片
	GB/T 13404	管法兰用非金属聚四氟乙烯包覆垫片
	HG/T 20606、HG/T 20607 HG/T 20609~HG/T 20612	钢制管法兰用垫片(PN 系列)
	HG/T 20627、HG/T 20628 HG/T 20630~HG/T 20633	钢制管法兰用垫片(Class 系列)
	SH/T 3401~SH/T 3403、SH/T 3407	石油化工钢制管法兰用垫片

表 13 典型管道组成件型式尺寸标准 (续)

分类		标准号	分类名称
波纹管膨胀节		GB/T 12777	金属波纹管膨胀节通用技术条件
		GB/T 35990	压力管道用金属波纹管膨胀节
支吊架		GB/T 17116.1~GB/T 17116.3	管道支吊架
阀门	通用标准	GB/T 12224	钢制阀门 一般要求
		JB/T 7746	紧凑型锻钢阀门
	闸阀	GB/T 12234	石油、天然气工业用螺栓连接阀盖的钢制闸阀
		GB/T 12232	通用阀门法兰连接铁制闸阀
	安全阀	GB/T 12241	安全阀 一般要求
		GB/T 12243	弹簧直接载荷式安全阀
		GB/T 12246	先导式减压阀
	止回阀	GB/T 12235	石油、石化及相关工业用钢制截止阀和升降式止回阀
		GB/T 12236	石油、化工及相关工业用的钢制旋启式止回阀
		JB/T 8937	对夹式止回阀
	球阀	GB/T 12237	石油、石化及相关工业用的钢制球阀
	蝶阀	GB/T 12238	法兰和对夹连接弹性密封蝶阀
	隔膜阀	GB/T 12239	工业阀门金属隔膜阀
	截止阀	GB/T 12235	石油、石化及相关工业用钢制截止阀和升降式止回阀
JB/T 7747		针形截止阀	

表 14 典型基础标准及检验、试验标准

标准号	标准名称
GB/T 1047	管道元件 公称尺寸的定义和选用
GB/T 1048	管道元件 公称压力的定义和选用
GB/T 12220	工业阀门标志
GB/T 12221	金属阀门结构长度
GB/T 13927	工业阀门压力试验
GB/T 1031	产品几何技术规范(GPS) 表面结构 轮廓法 表面粗糙度参数及其数值
GB/T 26480	阀门的检验与试验
GB/T 26481	阀门的逸散性试验
GB/T 40079	阀门逸散性试验分类和鉴定程序
SH/T 3518	石油化工阀门检验、试验与安装规范
JB/T 6899	阀门的耐火试验

9.3.6 管道组成件的压力设计

9.3.6.1 符号

除材料性能系数 M_f 以外,9.3.6 中提到的其他符号规定均按照 GB/T 20801.1—2025 的第 6 章定义。

9.3.6.2 直管

9.3.6.2.1 直管的内压设计

直管的内压设计符合下列规定：

- a) 当 $t < D/6$ 时,直管的计算厚度 t 按公式(4)计算：

$$t = \frac{PD}{2(S\Phi M_t + PY)} \dots\dots\dots(4)$$

- b) 当 $t \geq D/6$ 或 $P/S\Phi > 0.385$ 时,计算时还应计及失效机理、疲劳影响和温差应力等因素。

9.3.6.2.2 直管的外压(或真空)设计

直管的外压(或真空)设计应按 GB/T 20801.1—2025 中第 6 章的相关规定。

9.3.6.3 弯管或弯头

9.3.6.3.1 弯管或弯头的内压设计

弯管或弯头的计算厚度(位于 $\alpha/2$ 处)应按公式(5)确定：

$$t_w = \frac{PD}{2(S\Phi M_t/I + PY)} \dots\dots\dots(5)$$

- a) 当计算弯管或弯头的内侧厚度时, I 应按公式(6)确定：

$$I = \frac{4 \times \left(\frac{R}{D}\right) - 1}{4 \times \left(\frac{R}{D}\right) - 2} \dots\dots\dots(6)$$

- b) 当计算弯管或弯头的外侧厚度时, I 应按公式(7)确定：

$$I = \frac{4 \times \left(\frac{R}{D}\right) + 1}{4 \times \left(\frac{R}{D}\right) + 2} \dots\dots\dots(7)$$

- c) 当计算弯管中心线侧壁处厚度时, I 应按公式(8)确定：

$$I = 1.0 \dots\dots\dots(8)$$

- d) 弯管在弯制成型后的端部最小厚度不应小于直管设计厚度 t_d ,弯管从内弧到外弧的壁厚变化以及沿长度方向的壁厚变化应均匀。

9.3.6.3.2 弯管或弯头的外压(或真空)设计

弯管或弯头的外压(或真空)设计应按 GB/T 20801.1—2025 中第 6 章的相关规定。

9.3.6.4 管法兰和法兰盖

9.3.6.4.1 表 13 所列的标准管法兰和法兰盖按标准规定的压力-温度额定值选用,并应计及材料性能系数 M_t 。

9.3.6.4.2 非标法兰的压力设计可按 GB/T 20801.1—2025 中 6.6.4.4 的规定进行。

9.3.6.4.3 经设计者同意,也可用 9.3.6.4.2 非标法兰的压力设计方法确定标准管法兰的许用压力-温度值。

9.3.6.4.4 当管法兰承受外加轴向力或外加弯矩时,可按下列方法之一进行外载荷评估。

- a) 法兰压力-温度额定值-当量压力方法：



- 1) 按公式(9)计算其外加轴向力或外加弯矩的当量压力 P_e , 设计压力与当量压力之和不应大于法兰的压力-温度额定值与材料性能系数 M_f 的乘积, 见公式(10)。
- 2) 经设计者同意, 设计压力也可采用相应工况下的最大工作压力。

$$P_e = \frac{16M}{\pi D_G^3} + \frac{4F}{\pi D_G^2} \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$P_d + P_e \leq M_f \times [P] \quad \dots\dots\dots(10)$$

式中:

P_d ——法兰的设计压力, 单位为兆帕(MPa);

$[P]$ ——法兰的最大允许工作压力, 单位为兆帕(MPa)。

b) 泰勒方法-当量压力方法:

按公式(9)计算其外加轴向力或外加弯矩的当量压力 P_e , 设计压力与当量压力之和不应大于按 9.3.6.4.4 方法所得的最大允许工作压力与材料性能系数 M_f 的乘积, 见公式(10)。

c) 泰勒方法-当量力方法及修正当量力方法:

采用当量力方法及修正当量力方法进行法兰的外载荷评估可按 GB/T 20801.1—2025 中 6.6.4.5 d) 的规定执行; 选取法兰许用应力值时, 应计及材料性能系数 M_f 的乘积。

9.3.6.4.5 必要时, 还可按 GB/T 17186.1 的规定校核法兰刚度。

9.3.6.5 盲板

盲板计算厚度应按公式(11)计算:

$$t_m = d_g \sqrt{\frac{3P}{16S\Phi M_f}} + C \quad \dots\dots\dots(11)$$

9.3.6.6 其他管道组成件

其他管道组成件如异径管、凸形封头和平封头等的压力设计, 应按相关标准进行, 在选取许用应力时, 应计及材料性能系数 M_f 。

9.3.6.7 支管连接的强度计算

支管连接的强度计算包括: 等面积补强法、压力面积法等。支管连接的强度计算应按 GB/T 20801.1—2025 的规定执行。

9.3.7 管道应力分析

9.3.7.1 一般规定

9.3.7.1.1 管道应力分析的一般规定、范围及方法、荷载及工况组合、偶然性荷载及要求均按 GB/T 20801.1—2025 相应要求执行。

9.3.7.1.2 除材料性能系数 M_f 以外, 9.3.7 中提到的其他符号规定均按照 GB/T 20801.1—2025 的第 6 章的定义。

9.3.7.2 静态应力分析和强度条件

9.3.7.2.1 持续荷载的应力强度条件

管道和管道元件在持续荷载组合工况的应力 S_L 不应大于 S_h 与 M_f 的乘积, 即满足公式(12)的强度条件:

$$S_L \leq S_h M_f \quad \dots\dots\dots(12)$$

9.3.7.2.2 持续荷载与偶然性荷载组合工况的应力强度条件

管道和管道元件在持续荷载与偶然性荷载组合工况下的应力应满足公式(13)限制条件：

$$S_{L2} \leq 1.33S_h M_f \quad \dots\dots\dots(13)$$

9.3.7.2.3 柔性分析

管道系统柔性分析计算得到的组合应力范围 S_E 应小于或等于公式(15)、公式(16)规定的许用应力范围,见公式(14)：

$$S_E \leq S_A \quad \dots\dots\dots(14)$$

a) 许用位移应力范围 S_A 应按公式(15)计算：

$$S_A = f(1.25S_c + 0.25S_h) \quad \dots\dots\dots(15)$$

b) 按公式(12)计算的持续应力 S_L 小于材料在最高工作温度下的许用应力 S_h , 则许用位移应力范围 S_A 可按公式(16)计算：

$$S_A = f[1.25(S_c + S_h) - S_L] \quad \dots\dots\dots(16)$$

式中：

f ——位移应力范围系数,按公式(17)计算或通过图4查得：

$$f = 20(N)^{-0.333} \leq f_m \quad \dots\dots\dots(17)$$

式中：

N ——预期工作寿命内,以最大应力范围为基准的当量循环次数,按公式(18)计算：

$$N = N_E + \sum(r_i^3 N_i), i = 1, 2, \dots, n \quad \dots\dots\dots(18)$$

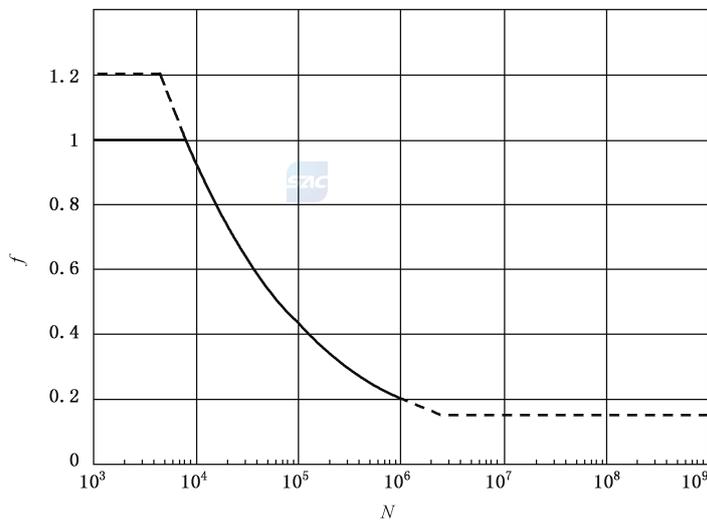


图4 应力范围系数 f 与位移循环当量数 N 之间的关系

注1：公式(16)或图4不适用于膨胀节,膨胀节自身疲劳计算和应力校核根据GB/T 12777计算。

注2：碳钢和低合金钢的当量循环次数 N 需在公式(18)的基础上再乘以10。

注3：当量循环次数 N 大于 10^5 时,公式(17)或图4不适用于确定位移应力范围系数 f ,需根据其他相应规范对管道进行疲劳分析。

9.3.7.2.4 当管道柔性不能满足要求时,宜采用自然补偿的方法来增加管道的柔性。

9.3.7.2.5 确需采用膨胀节增加管道的柔性时,应采用金属波纹膨胀节,并设置防泄漏的措施;不应采

用套筒式或填料函式膨胀节。

9.3.7.3 管道的动力分析

有冲击、压力脉动等引起振动的管道宜用动力分析方法进行管道应力分析。

9.3.8 管道支吊架

9.3.8.1 除以下规定以外,管道支吊架的一般规定、材料、设计及选用还应符合 GB/T 20801.1—2025 的相关规定。

9.3.8.2 除固定支架和限位支架以外,一般承重支架的管部结构宜优先采用卡箍式结构。

9.3.8.3 尽量避免在弯头、三通等应力集中处设置支架,尤其是焊接式结构的支架,如需设置,则应进行详细的计算确保支架处的局部应力在控制范围之内。

9.4 制作与安装

9.4.1 一般规定

9.4.1.1 管道的制作、装配和安装应按 9.4 及设计文件的规定进行。

9.4.1.2 除以下规定以外,管道的制作、装配和安装还应符合 GB/T 20801.1—2025 的相关规定。

9.4.2 管道组成件、支承件及材料的检查与验收

9.4.2.1 输送设计压力大于或等于 10 MPa 的管子、管件,应逐件进行表面无损检测,且不应有线性缺陷。

9.4.2.2 下列管道组成件应进行硬度检查,检查结果应符合设计文件和相关产品标准的规定。

- a) 设计压力大于或等于 10 MPa 的管道用螺栓、螺母,按每个检验批抽查 2 套。
- b) 国家现行有关产品标准或设计文件规定有硬度要求的碳钢、低合金钢管道组成件,按每个检验批抽查 1%,且不少于 1 个。

9.4.2.3 当设计文件对管道组成件、支承件和材料提出其他检查与验收要求时,应按设计文件规定的要求执行。

9.4.3 管道制作

9.4.3.1 切割与坡口加工

9.4.3.1.1 开孔应在管道预制阶段完成,开孔后应将开孔对应位置管子内部的铁屑及氧化铁清理干净。

9.4.3.1.2 DN50 以下开孔应采用机械开孔, DN50 以上碳钢管线可采用热切割开孔,开孔后应将开孔周围氧化铁打磨干净。

9.4.3.2 弯管

9.4.3.2.1 弯管应采用热弯方法。弯管的热处理要求应符合 6.4.2 及表 2 的规定。

9.4.3.2.2 公称直径大于 DN25 的管道弯管最小弯曲半径应符合设计文件要求,当设计文件未规定时,应符合表 15 的规定。

9.4.3.2.3 设计压力大于或等于 4.0 MPa 及剧烈循环工况的管道不应采用现场制作的弯管。

表 15 热弯弯管最小弯曲半径

管道设计压力 MPa	最小弯曲半径
<10	3.5D _o
≥10	5.0D _o
注：D _o 为管子外径。	

9.4.3.2.4 弯管的不圆度、褶皱和减薄符合以下规定：

- a) 不圆度应按 GB/T 20801.1—2025 中 7.3.3.4 的规定；
- b) 弯管应无褶皱；
- c) 弯管制作前的管子壁厚应符合 GB/T 20801.1—2025 的表 30 的规定。弯管制作后的最小厚度不应小于直管的设计厚度。

9.4.3.2.5 设计压力大于或等于 4.0 MPa 管道的弯管弯制后，应逐件对弯曲部位进行磁粉检测或渗透检测，且应符合 9.5 的规定。发现的线性缺陷应予以修磨，修磨后的壁厚不应小于直管的设计厚度。

9.4.3.2.6 钢管热弯后的热处理符合下列规定：

- a) 钢管的热弯温度及热处理应符合设计文件的规定；
- b) 当设计文件没有规定时，热弯后的热处理应按表 2 的规定进行。

9.4.4 支吊架

管道支吊架的制作、装配和安装应按照 GB/T 20801.1—2025 的相关规定。

9.4.5 焊接

9.4.5.1 一般规定

9.4.5.1.1 除以下规定外，氢气工业管道的焊接及热处理应满足第 6 章的相应要求。

9.4.5.1.2 焊接工艺评定应符合 NB/T 47014 的规定，冲击试验要求应符合 GB/T 20801.1—2025 中 5.5.2 的规定。

9.4.5.1.3 管道施焊前，应根据焊接工艺评定报告编制焊接工艺规程，用于指导焊工施焊和焊后热处理工作。

9.4.5.1.4 氢气工业管道的焊接要求还应满足 GB/T 20801.1—2025 中 7.4 的相关规定。

9.4.5.2 焊接材料

9.4.5.2.1 焊接材料的选用应符合 6.2.1.2 的规定。

9.4.5.2.2 焊接材料(包括焊条、焊丝、焊剂及焊接用气体)使用前应按设计文件和相关标准的规定进行检查和验收，且应具有质量证明文件和包装标记。

9.4.5.2.3 焊接材料的储存、使用及标记等要求应满足 GB/T 20801.1—2025 中 7.4.2 的相关规定。

9.4.5.3 焊前准备

9.4.5.3.1 坡口制备及清理

焊接坡口的制备及清理应满足 GB/T 20801.1—2025 中 7.4.4 的相关规定。

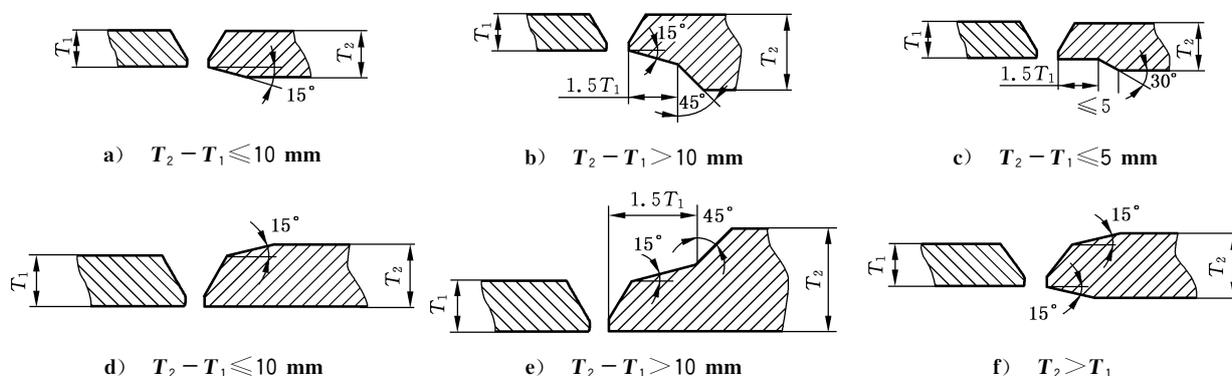
9.4.5.3.2 组对

9.4.5.3.2.1 对接接头的组对符合以下规定。

- a) 对接接头的组对应内壁齐平,内壁错边量应符合设计文件和表 16 的规定。
- b) 不等壁厚的工件组对时,薄件端面的内侧和外侧应位于厚件端面范围之内。当内壁错边量不符合表 16 的规定或外壁错边量大于 3 mm 时,焊件端部应按图 5 的规定进行削薄修整。端部削薄修整后的壁厚不应小于设计厚度 t_d 。

表 16 管道组对内壁错边量

材料		内壁错边量
碳素钢、低温钢、合金钢、不锈钢		不大于壁厚的 10%,且质量等级为 I 级的管道小于或等于 1 mm,其他级别的管道小于或等于 2 mm
铝及铝合金	壁厚小于或等于 5 mm	≤ 0.5 mm
	壁厚大于 5 mm	不大于壁厚的 10%,且小于或等于 2 mm



标引符号说明:

T_1 ——薄端管壁厚;

T_2 ——厚端管壁厚。

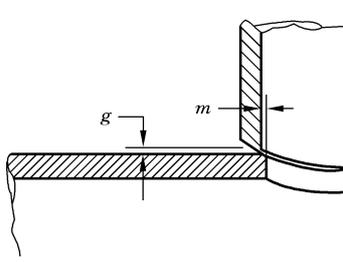
用于管件时,如受长度限制,a)、d)、f)中的 15°可改为 30°。

注: a)、b)和 c)为外侧齐平,d)和 e)为内侧齐平,f)为内外侧均不整齐。

图 5 不等壁厚对接焊件的端部加工

9.4.5.3.2.2 支管焊接连接接头的制备和组对符合以下规定:

- a) 安放式支管的端部制备及组对应符合图 6 的规定,支管内径应大于主管开孔直径;
- b) 主管开孔与支管组对时的错边量不应大于 m 值(图 6),必要时可进行堆焊修整。



标引符号说明:

g ——根部间隙;

m ——错边量,其值不大于 3.2 mm 或 0.5 倍支管名义厚度(取较小者)。

图 6 支管连接接头的组对

9.4.5.3.2.3 组对间隙应控制在焊接工艺规程允许的范围之内。

9.4.5.3.2.4 除设计文件规定的管道预拉伸或预压缩焊口外,不应强行组对。需预拉伸或预压缩的焊接接头,组对时所使用的工卡具应在整个焊接及热处理完毕并经检验合格后拆除。

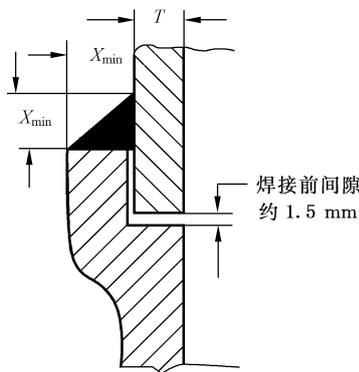
9.4.5.3.2.5 组对时应垫置牢固,并应采取措施防止在焊接和热处理过程中产生附加应力和变形。

9.4.5.4 焊接要求

9.4.5.4.1 除以下规定以外,氢气工业管道的焊接要求包括:基本要求、焊缝设置、角焊缝、支管的焊接连接等,应符合 6.2 的规定。

9.4.5.4.2 管道单面焊缝根部应采用钨极惰性气体保护焊。

9.4.5.4.3 承插焊接头焊接时(图 7),角焊缝的最小焊脚尺寸应为直管名义厚度的 1.09 倍与承插件端部厚度两者中的较小者。焊前承口与插口的轴向间隙宜为 1 mm~3 mm。



标引符号说明:

T ——直管名义厚度;

X_{\min} ——角焊缝最小焊脚尺寸。

图 7 承插焊接头的最小焊缝尺寸

9.4.5.4.4 结构附件的焊接、密封焊及焊缝的返修应按 9.4.5.1.4 的相关规定。

9.4.6 预热及热处理

管道的焊接预热及热处理应符合 6.3 和 6.4 的相关规定。

9.4.7 装配和安装

9.4.7.1 除以下要求以外,氢气工业管道的装配和安装应满足 GB/T 20801.1—2025 中 7.7 的相关规定。

9.4.7.2 管道、阀门、管件等在安装过程中及安装后应采取措施防止焊渣、铁锈等杂物进入或遗留在管内。

9.4.7.3 不宜采用管道螺纹连接接头。

9.4.7.4 不应采用填料函接头、钎焊接头、粘接接头、胀接接头等。

9.4.7.5 管道支、吊架的安装应符合设计文件和产品技术文件的规定,支、吊架宜优先采用卡箍式结构,尽量避免与主管的焊接。当确需采用焊接式的支吊架时,支吊架的位置应避开焊缝,并符合 6.2 的焊缝设置要求。

9.4.7.6 管道系统的接地电阻值、接地位置及连接方式应符合设计文件的规定,或符合 GB 50177 的相关要求。

9.4.8 管道清理、吹扫和清洗

9.4.8.1 除以下要求以外,氢气工业管道的清理、吹扫和清洗应满足 GB/T 20801.1—2025 中 7.9 的相关规定。

9.4.8.2 吹洗方法应根据管道的使用要求、工作介质及管道内表面的脏污程度确定,并符合下列规定:

- a) 公称直径大于或等于 DN600 的管道宜采用人工清理;
- b) 公称直径小于 DN600 的管道宜采用空气吹扫;
- c) 不应采用蒸汽吹扫;
- d) 有特殊要求的管道应按设计文件规定采用相应的吹洗方法。

9.4.8.3 管道水冲洗时应使用洁净水。冲洗奥氏体不锈钢管道时,水中氯离子含量不应超过 50 mg/L。水冲洗后应及时将管子内的积水排尽,无法排尽时应用压缩空气将管内吹扫干净。

9.5 检验与试验

9.5.1 一般要求

除满足 9.5 要求外,氢气工业管道的检验与试验还应符合 GB/T 20801.1—2025 中第 8 章的相关规定。

9.5.2 检查等级

9.5.2.1 氢气工业管道按管道级别、材料类别和公称压力等划分为 I、II、III 三个检查等级,当压力管道按 9.5.2.2~9.5.2.4 划分为不同的检查等级时,应按较高的检查等级确定其检查等级。当设计文件有特殊要求时,还应按设计文件的要求执行。

9.5.2.2 符合下列条件之一的氢气工业管道的检查等级为 I 级:

- a) 设计文件注明为剧烈循环工况的管道;
- b) GC1 级管道;
- c) 设计温度低于 $-46\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的铁素体钢管道;
- d) 按 GB/T 20801.1—2025 中 8.6.1.7 规定的可免除压力试验的管道;
- e) 设计要求进行焊接接头 100%无损检测的管道。

9.5.2.3 符合下列条件之一的氢气工业管道的检查等级为 II 级:

- a) GC2 级管道;
- b) 公称压力大于 PN50 的碳钢管道(本文件要求冲击试验的);
- c) 公称压力大于 PN110 的奥氏体不锈钢管道;
- d) 设计要求进行焊接接头 20%无损检测的管道。

9.5.2.4 9.5.2.2 及 9.5.2.3 规定之外的氢气工业管道检查等级为 III 级。

9.5.3 目视检查

9.5.3.1 制造和安装的焊接接头、螺栓及其他连接接头应进行 100%检查,但按 GB/T 20801.1—2025 中表 B.1 和表 13 中管道组成件所含的纵向焊接接头除外。

9.5.3.2 剧烈循环工况的管道,还应校核所有安装管道的尺寸和偏差。支架、导向件和冷紧点都应检查以保证管道的位移能适应开车、操作和停车等所有的工况,不应存在卡住和意外约束。焊接接头目视检查的比例应符合表 17 和表 18 的要求,且对每一焊工或焊接操作工的焊接接头进行目视检查。

表 17 焊接接头检查方法和比例^a

检查等级	检查方法	焊接接头类型及检查比例 %		
		环向对接接头	角焊缝 ^b	支管连接 ^c
I	目视检查	100	100	100
	磁粉/渗透检测	100 ^d	100	100
	射线检测/超声检测	100	—	100 ^e
	硬度检查	20	20	20
II	目视检查	100	100	100
	磁粉/渗透检测	20 ^d	20	20
	射线检测/超声检测	20	—	20 ^e
	硬度检查	20 ^f	20 ^f	20 ^f
III	目视检查	100	100	100
	磁粉/渗透检测	10 ^d	—	10
	射线检测/超声检测	10	—	—

注：“—”表示不要求。

^a 根据建设单位(使用单位)或工程设计要求,可采用比表 17 更严格检查的等级代替较低的检查等级。

^b 表中角焊缝包括平焊法兰和承插焊法兰(GB/T 20801.1—2025 的图 21)及其他承插焊接头(GB/T 20801.1—2025 的图 22)的角焊缝、补强圈或鞍形补强件外缘的角焊缝[GB/T 20801.1—2025 的图 23 c)~e)],密封焊缝以及非承压件(如管道支承件、结构附件等)与管道的连接焊缝。

^c 表中支管连接焊接接头应符合 GB/T 20801.1—2025 中 7.4.8 的规定,也包括补强圈与支管连接的承压焊接接头。

^d 对碳钢、不锈钢及铝合金无此要求。

^e 适用于支管公称直径大于或等于 DN100 的焊接接头。

^f $2\text{ MPa} \leq P(\text{设计压力}) < 4\text{ MPa}$ 。

^g $P(\text{设计压力}) < 2\text{ MPa}$ 。

表 18 制作过程中纵向焊接接头检查方法和检查比例

纵向焊接接头系数(Φ_w)	目视检查比例/%	(射线检测/超声检测比例)/%	硬度检查/%
0.90	100	10	5
1.00	100	100	5

注:表 13 中所含的纵向焊接接头除外。

9.5.3.3 目视检查验收准则应符合下列规定:

- a) 焊接接头目视检查内容和合格指标不低于表 19 的规定;
- b) 其他要求符合相关产品标准和工程设计规定。

表 19 焊接接头目视检测质量验收标准^a

检查等级	I			II			III		
缺陷类型	环向、斜接坡口 和支管连接 ^b	纵向 坡口 ^c	角焊 缝 ^d	环向、斜接坡口 和支管连接	纵向 坡口	角焊 缝	环向、斜接坡口 和支管连接	纵向 坡口	角焊 缝
表面裂纹、未熔合	A	A	A	A	A	A	A	A	A
表面未焊透	A	A	A	A	A	A	B	A	N/A
表面气孔或 暴露的夹渣 ^e	A	A	A	A	A	A	A	A	A
咬边	A	A	A	A	A	A	D	A	D
根部表面凹陷	F	F	N/A	F	F	N/A	F	F	N/A
余高或根部凸出	G	G	G	G	G	G	G	G	G

表中符号说明：

A——缺陷范围：无明显缺陷；

B——未焊透累计长度^f：每 150 mm 长度范围内小于或等于 15 mm 和 10% 焊缝总长度；

D——咬边深度：小于或等于 1 mm 和小于或等于 $T/4$ ^g；

F——根部表面凹陷深度：接头总厚，包括焊缝补强： $\geq T$ ；

G——焊缝余高或内凸起的高度：

T (mm)	H (mm)
$T \leq 6$	≤ 1.5
$6 < T \leq 13$	≤ 3.0
$13 < T \leq 25$	≤ 4.0
$T > 25$	≤ 5.0

N/A——该类型的缺陷，本文件未规定验收准则或不要求评价。

^a 本表是基本要求的检查，工程设计也可规定更严格的要求。

^b 表中“支管连接”应符合 GB/T 20801.1—2025 中 7.4.8 的规定，也包括补强圈与支管连接的承压焊接接头。

^c 纵向接头包括直缝接头，但按 GB/T 20801.1—2025 中表 B.1 或表 13 所列管道组成件材料和型式尺寸标准制造的产品中所含纵向接头除外。

^d “角焊缝”包括平焊法兰和承插焊法兰(图 21)及其他承插焊接头(图 22)的角焊缝、补强圈或鞍形补强件外缘的角焊缝[图 23c)~e)]、密封焊缝以及非承压件(如管道支承件、结构附件等)与管道的连接焊缝。

^e 仅评价公称壁厚小于或等于 5 mm 焊接接头的缺陷。

^f 两组数值用“和”分开时，其中较小者为合格值，两组数值用“或”分开时，则较大者为合格值。

^g T 是对焊接头中 2 个连接件厚度较薄者的名义厚度。

9.5.4 无损检测

9.5.4.1 无损检测方法

无损检测方法应符合 GB/T 20801.1—2025 中 8.3.3.1 的规定。

9.5.4.2 特殊情况下的无损检测

铁磁性材料制压力管道焊接接头的表面检测应优先采用磁粉检测。未进行压力试验的全焊透环焊缝和纵焊缝除进行目视检查外，还应进行无损检测。其他未进行压力试验的焊缝应进行表面渗透检测

或磁粉检测。

9.5.4.3 焊接接头的埋藏缺陷检测

除设计文件另有规定外,现场焊接的管道及管道组成件的对接接头、支管连接接头应进行射线检测或超声检测,检查数量符合以下规定。

- a) I级管道检测比例为100%,II级管道检测比例为20%。
- b) 管道的公称直径小于DN500时,可根据环向对接接头数,按表17的检查比例进行抽样检测,且不应少于1个环向对接接头。凡进行检测的环向对接接头,应包括其整个圆周长度。固定焊的环向对接接头抽样检测比例不应少于检测数量的40%。
- c) 检查时,应重点查验以下部位:
 - 1) 压缩机、泵的进、出口部位;
 - 2) 补偿器、三通、弯头(弯管)、异径管、支管连接、阀门连接以及介质流动的死角等部位;
 - 3) 处于生产流程要害部位以及与重要装置或者设备相连接的管段;
 - 4) 工作条件苛刻以及承受交变载荷的管段。
- d) 管道的公称直径大于或等于DN500时,对每条环向对接接头应按表17的检查比例进行局部检测,检查长度不小于150 mm。
- e) 纵向对接接头应按表18的检查比例进行检测,局部检测检查长度不小于150 mm;局部检查的要求应符合GB/T 20801.1—2025中第8章的规定。
- f) 选择被检焊接接头时应包括每个参加产品焊接的焊工或焊接操作工所焊的焊接接头,同时在最大范围内包括与纵向焊接接头的交叉点。当环向焊接接头与纵向焊接接头相交时,应包括检查长度不小于38 mm的相邻纵向焊接接头。

9.5.4.4 焊接接头的表面无损检测

现场焊接的管道及管道组成件的对接接头、支管连接接头和角焊缝的表面无损检测应符合GB/T 20801.1—2025中8.3.3.3的规定。

9.5.4.5 硬度检查

9.5.4.5.1 应使用便携式硬度计,并符合GB/T 17394(所有部分)或GB/T 231.1的规定;采用其他硬度测试方法的应符合设计文件的要求。

9.5.4.5.2 除设计文件另有规定外,硬度检查的比例应满足表17、表18的要求,验收准则应满足表20的要求。

表 20 焊接接头硬度最大允许值

硬度	碳钢	Cr≤0.5%的合金钢
布氏硬度最大允许值(HB)	200	225
维氏硬度最大允许值(HV)	200	225
洛氏硬度最大允许值(HRC)	67	69

9.5.4.5.3 环焊缝的硬度测试点应满足以下要求:

- a) 公称直径小于或等于DN150,硬度测试点位不少于1处;
- b) 公称直径大于DN150且小于或等于DN300,硬度测试点位不少于2处;
- c) 公称直径大于DN300,硬度测试点位不少于3处;

d) 硬度测试点位沿焊缝周长均布,每个测试点位至少包括焊缝及两侧热影响区。

9.5.4.5.4 纵向焊缝的硬度测试点间距应不超过 6 m,检测点应等距分布,每个点位应至少包括焊缝及两侧热影响区。

9.5.4.5.5 非热处理状态(焊态)的硬度测试满足以下要求:

- a) Fe-1(NB/T 47014)类别材料、采用 SAW 或 FCAW 工艺制造的碳钢焊件,硬度测试方法、测量面积和验收准则应由符合设计文件的要求;
- b) 采用埋弧焊或者药芯焊丝焊接的碳钢焊缝以及碳钢焊缝填充金属最低含 Mn 量为 1.6%时,其非焊态焊缝的硬度检查的测试方法、测试点位以及验收准则应符合设计文件的要求。

9.5.4.5.6 当管道组成件和焊接接头重新进行热处理时,应采用原规定的检查方法重新进行硬度检查。

9.5.4.5.7 不满足验收要求的焊缝应切除,采用热处理修复的焊缝,应有热处理工艺文件。

9.5.4.6 检测不合格的处理

当焊接接头抽样检测或局部检测发现有不合格时,应进行累进检查,不合格的焊接接头经返修后,应采用原规定的检测方法重新检查。累进检查的要求应符合 GB/T 20801.1—2025 中第 8 章的规定。

9.5.5 试验

9.5.5.1 压力试验

9.5.5.1.1 管道系统初次运行前应进行压力试验以保证其承压强度和密封性,除 9.5.5.1.2 及 9.5.5.1.3 以外,管道系统应进行液压试验,液压试验应符合 GB/T 20801.1—2025 中 8.6.1.3 规定。

9.5.5.1.2 当建设单位(使用单位)或设计者认为液压试验不切实际时,可用气压试验或液压-气压试验代替液压试验,气压试验或液压-气压试验应符合 GB/T 20801.1—2025 中 8.6.1.4 或 8.6.1.5 的相关规定。

9.5.5.1.3 当建设单位(使用单位)或设计者认为液压和气压试验均不切实际时,如果下列两种情况都存在,则可采用免除(或替代)压力试验的办法:

- a) 液压试验会损害衬里或内部隔热层,或会污染生产过程(该过程会由于有湿气而变为危险的、腐蚀的或无法工作),或由于试验载荷而导致管道支撑结构过载,或在试验中由于低温而出现脆性断裂的危险;
- b) 气压试验具有比液压试验更大的风险,或在试验中由于低温而出现脆性断裂的危险。

9.5.5.1.4 压力试验的免除应符合 GB/T 20801.1—2025 中 8.6.1.7 的规定。

9.5.5.1.5 管道系统的压力试验(其他要求)还应符合 GB/T 20801.1—2025 中 8.6 的相关规定。

9.5.5.2 泄漏试验

9.5.5.2.1 泄漏试验包括敏感性泄漏试验和气密性试验,其要求和方法应符合 GB/T 20801.1—2025 中 8.6.2.2 和 8.6.2.3 以及设计文件的规定。

9.5.5.2.2 经气压试验合格,且在试验后未经拆卸过的管道系统可不进行泄漏试验。

9.5.5.2.3 泄漏试验时,应重点检查阀门填料函、法兰或螺纹连接处、放空阀、排气阀和排水阀等部位。

9.5.5.2.4 未进行压力试验的法兰接头、仪表接头(螺纹和/或其他管接头),在泄漏试验中应作为检漏的重点位置。



9.6 安全防护

9.6.1 一般要求

9.6.1.1 管道系统遵循以下安全设计基本原则:

- a) 管道及关联设备布局应紧凑,最大程度减少管道内氢存量;
- b) 采用预防和控制事故优先原则,预防或控制潜在的泄漏源和火源;
- c) 控制处于氢用管道爆炸危险区域内的人员数量及停留时间;
- d) 尽量避免采用负压操作条件;
- e) 根据工艺需求,设计远程连续检测和控制工艺运行参数,包括温度、压力、流量等;
- f) 根据风险分析结果,设计并安装独立安全系统,包括安全控制、安全报警、安全联锁、事故紧急泄放系统等。

9.6.1.2 管道安全附件可包括:

- a) 安全泄放装置;
- b) 温度压力等检测仪表、传感器及超限报警装置;
- c) 氢气检测报警仪及超限报警装置;
- d) 火焰检测报警仪及超限报警装置;
- e) 阻火器、氮气或其他惰性气体止逆措施。

9.6.2 管道放空及紧急泄放系统

9.6.2.1 应根据风险分析结果,对于可能出现超压工况的管道设置紧急泄放系统。紧急泄放系统宜排放至可燃性气体排放系统或废气焚烧处置装置,当不具备条件时,可考虑安全位置放空。

9.6.2.2 放空管不宜接入蓄热燃烧装置。如确需接入蓄热燃烧装置的,应控制进入蓄热燃烧装置的氢气浓度。应对废气进行实时监测,并采取稀释、缓冲措施,确保进入蓄热燃烧装置的废气中氢气浓度低于爆炸极限下限的 25%。

9.6.2.3 接入可燃性气体排放系统或废气焚烧处置装置的氢气放空管内氧浓度不应超过 2%(体积分数)。

9.6.2.4 当通过排气筒、放空管直接向大气排放时,宜设置氢火焰检测报警,排气筒、放空管的布置应符合以下规定:

- a) 石油化工项目应符合 GB 50160—2008 中 5.5.7 和 5.5.11 规定;
- b) 精细化工项目应符合 GB 51283—2020 中 5.7.5 的规定;
- c) 汽车加油加气加氢站中的储氢、加氢工艺或设施的氢气放空管应符合 GB 50156—2021 中 10.6.5 和 GB 50516—2010 中 6.5.3 及 6.5.4 的规定。

9.6.2.5 管道泄压安全阀如排放至安全位置放空,则安全阀后放空管宜设置惰性化处理的防止回火措施和/或蒸汽(氮气或其他惰性气体)灭火设施。排气筒、放空管的布置应符合 GB 50160—2008 的相关规定,宜设置氢火焰检测报警。

9.6.2.6 管道泄压安全阀如排放至安全位置放空,则安全阀后放空管宜设置惰性化处理的防止回火措施和/或蒸汽(氮气或其他惰性气体)灭火设施。

9.6.2.7 安全联锁或人员应急启动的氢气放空管如排放至安全位置放空,宜优先采用惰性化处理的防止回火措施。

9.6.2.8 放空管应设有防止空气倒流、雨雪侵入和外来异物堵塞的措施。放空管底部应设弹簧复位手动排水球阀。所有接入放空总管的支管,均采用防止雨水侵入支管的接入方式。

9.6.2.9 放空管应设静电接地装置,并应布置在防雷有效保护范围内。

9.6.3 报警系统

9.6.3.1 易发生氢气泄露和氢气积聚的位置应设置氢气检测器。氢气检测器一级报警设定值应小于或等于氢气爆炸下限的 25%(不超过 1%体积含量),氢气检测器二级报警设定值应小于或等于氢气爆炸下限的 50%(不超过 2%体积含量)。其设置、选用和安装,应符合 GB/T 50493 的有关规定。

9.6.3.2 管道的氢气报警检测器安装位置应位于潜在泄漏点上部 2.0 m 处。氢气工业管道设计在厂房内的,宜在潜在泄漏点上方房顶区域(平顶)或厂房最高点(尖顶)处设置氢气报警检测。

9.6.4 紧急切断系统

9.6.4.1 涉及重大危险源的储氢系统、氢用长输管道进出装置界区、加氢站应设置紧急切断系统,该系统应能在事故状态下实现紧急停车和关闭紧急切断阀的保护功能。

9.6.4.2 紧急切断系统应在控制室、值班室等有人值守的位置设置紧急切断开关。

9.6.4.3 氢用管道出现泄漏时,应通过人员远程响应或安全联锁切断管道来气源,并宜切断关联的下游设备。出现氢气泄漏着火且无法及时切断关联气源和设备时,不应熄灭正在燃烧的气体。确保系统维持保护性燃烧直至氢气消耗完毕。为避免对周围系统的热辐射影响,宜对周围设备设计水雾或喷淋或降温措施。

9.6.5 其他安全防护措施

9.6.5.1 氢气输送管道内的实际流速不应超过工作条件下冲蚀速度的 50%,冲蚀速度的计算按附录 G 的规定。

9.6.5.2 管道不应穿过不使用氢气的房间,当确需穿过时应设套管或双层管保护,套管内的管道不应有焊缝,套管与管道之间应采用密封措施。

9.6.5.3 接至用氢设备的支管应设切断阀,有明火的用氢设备还应设阻火器。

9.6.5.4 管道应敷设在非燃烧体的支架上。

9.6.5.5 管道系统爆炸危险区域内不准许明火采暖,确需采暖的,宜考虑热水或者蒸汽采暖方式。

9.6.5.6 管道投入运行前应进行氮气或其他惰性气体置换,置换后应进行取样检测,其氧含量不应超过 0.5%。管道系统检修、动火作业前或长期停用前后应进行氮气或其他惰性气体置换,置换后应进行取样检测,其氢含量不应超过 0.4%。

9.6.5.7 管道安全设计还应满足 GB/T 29729—2022 中 7.2.4 的要求。

10 氢气长输管道

10.1 基本规定

10.1.1 除应符合第 4 章~第 8 章的通用技术要求外,陆上氢气长输管道还应满足本章中的各项专用技术要求。

10.1.2 本章中所有的技术要求一般用于设计压力小于或等于 12 MPa,设计温度小于或等于 150 °C 的氢气长输管道。设计压力大于 12 MPa 且不大于 21 MPa 的氢气长输管道的建造方法见附录 B。

10.2 一般要求

10.2.1 进入长输管道介质的组分和性质应由供需双方商定,并应符合如下要求:

- a) 介质进入长输管道前进行水分、机械杂质和腐蚀性成分的脱除处理;
- b) 气体的总硫、硫化氢、二氧化碳含量符合 GB 17820 规定的一类气的要求;
- c) 在操作压力下,进入长输管道的气体不存在游离水;在标准大气压条件下,进入长输管道的气体水露点不高于 -55 °C。

10.2.2 除本文件和设计文件另有说明外,阀室内的主管道应按线路管道建造,阀室内的其他压力管道应按站场管道建造。

10.3 材料

10.3.1 一般规定

10.3.1.1 除满足第 5 章的材料要求外,氢气长输管道材料还应满足 GB/T 34275—2024 中有关输气管道的材料要求。

10.3.1.2 当氢气长输管道采用表 E.2 所列出的材料时,可不做氢相容性试验。当氢气长输管道采用表 E.2 以外的材料时,应满足 10.3.1.4 或 10.3.1.5 的要求,若存在周期性或循环荷载工况,除应满足 10.3.1.4 或 10.3.1.5 的要求外,还应按照 GB/T 34542.2 的要求进行疲劳性能测试试验,并根据疲劳工况进行疲劳寿命校核。

10.3.1.3 当氢气长输管道采用与表 E.2 中材料等同或相近的国外材料,经建设单位批准,可不做氢相容性试验。

10.3.1.4 当临氢材料采用 GB/T 9711 中规定的材料时,应按表 21 与表 22 确定是否进行氢相容性试验,试验宜在与设计工况相同的氢气组分和压力下进行,不宜采用氢分压的方式进行材料氢相容性试验。试验结果应满足 5.1.4 a)或 5.1.4 b)的要求。相同气体组分下,较高试验压力条件下的材料氢相容性试验结果可覆盖较低压力条件。

表 21 设计压力 4 MPa 及以下材料选用要求

掺氢比(F)		3%<F≤5%	5%<F≤10%	10%<F≤20%	20%<F≤30%	F>30%
9711 PSL2	L290	○	○	○	○	○
9711 PSL2	L360	○	○	○	△	△
9711 PSL2	L415	△	△	△	△	□
9711 PSL2	L450	△	△	△	□	□
9711 PSL2	L485	△	□	□	□	□

○——对应工况,可不做氢相容性试验。
 △——对应工况,当强度设计系数采用表 25 中的数值,应做氢相容性试验,试验内容应包含气态氢环境断裂韧性测试;当强度设计系数采用表 26 中的数值,可不做氢相容性试验。
 □——对应工况,强度设计系数采用表 25 中的数值时,应做氢相容性试验,试验内容应包含气态氢环境断裂韧性测试;强度设计系数采用表 26 中的数值时,应做氢相容性试验,试验内容应包含气态氢环境慢应变速率拉伸试验。
 注:掺氢比 F 为摩尔比。

表 22 设计压力 4 MPa~12 MPa 材料选用要求

掺氢比(F)		3%<F≤5%	5%<F≤10%	10%<F≤20%	20%<F≤30%	F>30%
9711 PSL2	L290	○	○	○	○	△
9711 PSL2	L360	○	○	△	△	△
9711 PSL2	L415	△	△	△	□	□
9711 PSL2	L450	△	△	□	□	□

表 22 设计压力 4 MPa~12 MPa 材料选用要求 (续)

掺氢比(F)		$3\% < F \leq 5\%$	$5\% < F \leq 10\%$	$10\% < F \leq 20\%$	$20\% < F \leq 30\%$	$F > 30\%$
9711 PSL2	L485	△	□	□	□	□
<p>○——对应工况,可不做氢相容性试验。</p> <p>△——对应工况,当强度设计系数采用表 25 中的数值时,应做氢相容性试验,试验内容应包含气态氢环境断裂韧性测试;当强度设计系数采用表 26 中的数值时,可不做氢相容性试验。</p> <p>□——对应工况,当强度设计系数采用表 25 中的数值时,应做氢相容性试验,试验内容应包含气态氢环境断裂韧性测试;当强度设计系数采用表 26 中的数值时,应做氢相容性试验,试验内容应包含气态氢环境慢应变速率拉伸试验。</p> <p>注:掺氢比 F 为摩尔比。</p>						

10.3.1.5 当金属临氢材料采用表 E.2 和 GB/T 9711 以外的材料时,应进行氢相容性试验,试验宜在与设计工况相同的氢气组分和压力下进行,试验符合以下要求:

- 当强度设计系数采用表 25 中的数值时,应按 5.1.4 b) 的要求进行气态氢环境断裂韧性测试试验;
- 当强度设计系数采用表 26 中的数值时,应按 5.1.4 a) 的要求进行气态氢环境慢应变速率拉伸试验;
- 当存在周期性或循环荷载工况,还应按照 GB/T 34542.2 的要求进行疲劳性能测试试验,并根据疲劳工况进行疲劳寿命校核;
- 锻件与铸件可采用与最终产品同材质、同冷/热形变、同热处理状态的材料进行氢相容性试验。

10.3.2 管道组成件材料

10.3.2.1 线路管道用钢管

10.3.2.1.1 线路管道应选用 GB/T 9711 的 PSL2 钢管,钢级不应高于 L485。

10.3.2.1.2 当介质中的氢气摩尔含量超过 5%,L450 及以上钢级最大允许操作压力不应大于 10 MPa。

10.3.2.1.3 钢管管型宜选用直缝埋弧焊钢管、无缝钢管、高频电阻焊钢管。

10.3.2.1.4 钢管的化学成分应符合以下要求:

- 钢管硫含量不应大于 0.010%,磷含量不应大于 0.015%;
- 焊管的碳含量不应大于 0.07%,无缝钢管的碳含量不应大于 0.12%;
- L360 及以下焊管碳当量 CE_{pcm} 不应大于 0.15%;L390/L415 钢级焊管的碳当量 CE_{pcm} 不应大于 0.16%;L450/L485 钢级焊管的碳当量 CE_{pcm} 不应大于 0.17%;无缝管碳当量 CE_{pcm} 值可在同钢级焊管基础上增加 0.05%;
- 设计壁厚 ≥ 25 mm 的钢管碳含量与碳当量 CE_{pcm} 宜协商确定。

10.3.2.1.5 钢管的晶粒度宜为 8 级或更细,并按 GB/T 6394 评定。

10.3.2.1.6 钢管的 A、B、C、D 类非金属夹杂物级别不应大于 1.5 级,DS 类非金属夹杂物级别不应大于 2.0 级,并按 GB/T 10561 中的方法 A 进行评定。带状组织不应大于 3 级,按 GB/T 34474.1 评定。

10.3.2.1.7 线路管道用钢管拉伸性能应符合表 23 的规定。

表 23 线路管道用钢管拉伸性能

钢级	管体					焊接接头		
	屈服强度($R_{10.5}$) MPa		抗拉强度(R_m) MPa		最大屈强比 ($R_{10.5}/R_m$)	标距长度为 50 mm 的 最小伸长率($A_{f,min}$) %	最小抗拉强度 (R_m) MPa	最大抗拉强度 (R_m) MPa
	最小	最大	最小	最大				
L245	245	415	415	585	0.91	a	415	585
L290	290	460	415	585	0.91	a	415	585
L320	320	490	435	605	0.91	a	435	605
L360	360	525	460	625	0.91	a	460	625
L390	390	545	490	645	0.91	a	490	645
L415	415	565	520	670	0.91	a	520	670
L450	450	595	535	680	0.91	a	535	680
L485	485	625	570	690	0.92	a	570	690

a 规定最小伸长率 $A_{f,min}$ 应满足 GB/T 9711 的要求。

10.3.2.1.8 L360 钢级及以下钢管管体、焊缝和热影响区的硬度不宜大于 220 HV10,当钢管设计壁厚大于 9 mm 时,在距钢管外表面 1.5 mm 的压痕排上测点的硬度不应大于 250 HV10;L360 钢级以上钢管管体、焊缝和热影响区的硬度不应大于 260 HV10。

10.3.2.2 站场管道用钢管

10.3.2.2.1 钢管管型宜选用直缝埋弧焊钢管或无缝钢管。

10.3.2.2.2 站场管道用 GB/T 9711 钢管的化学成分、晶粒度、拉伸性能、硬度应符合 10.3.2.1 的规定。

10.3.2.3 冷弯管

冷弯管宜采用同钢级、同规格的线路管道用无缝钢管、直缝埋弧焊、高频电阻焊钢管制作。

10.3.2.4 感应加热弯管

10.3.2.4.1 感应加热弯管的化学成分规定如下。

- a) 硫含量不应大于 0.010%,磷含量不应大于 0.015%。
- b) L360 及以下钢级感应加热弯管的碳含量不应大于 0.10%,碳当量 CE_{pcm} 不应大于 0.19%。无缝管碳含量不应大于 0.15%,碳当量 CE_{pcm} 不应大于 0.22%,碳当量 CE_{IIW} 不应大于 0.4%; L360 以上钢级弯管碳含量与碳当量可与供货商协商确定。
- c) 碳含量小于或等于 0.12%时,碳当量按 CE_{pcm} 计算并控制;当碳含量大于 0.12%时,碳当量按 CE_{IIW} 计算并控制;碳当量计算公式见 GB/T 34275—2024。

10.3.2.4.2 感应加热弯管的拉伸性能应符合 10.3.2.1.7 的规定。

10.3.2.4.3 L360 及以下钢级感应加热弯管的母材、热影响区和焊缝金属的硬度不应大于 250 HV10; L360 以上钢级感应加热弯管的母材、热影响区和焊缝金属的硬度不应大于 270 HV10。

10.3.2.5 管件

10.3.2.5.1 10.3.2.5 中的规定不适用感应加热弯管。

10.3.2.5.2 管件的化学成分满足下列要求：

- a) 管件用钢的化学成分宜与相连接的管材相近；
- b) 硫含量不大于 0.010%，磷含量不大于 0.015%；
- c) L360 及以下钢级管件的碳含量不应大于 0.15%，碳当量 CE_{pcm} 不应大于 0.22%， CE_{Iw} 不大于 0.43%；L360 以上钢级管件碳含量与碳当量可与供货商协商确定；
- d) 碳含量小于或等于 0.12% 时，碳当量按 CE_{pcm} 计算并控制；当碳含量大于 0.12% 时，碳当量按 CE_{Iw} 计算并控制。

10.3.2.5.3 管件的拉伸性能应符合 10.3.2.1.7 的规定。

10.3.2.5.4 L360 及以下钢级管件的母材、热影响区和焊缝金属的硬度不应大于 250 HV10。L360 以上钢级管件的母材、热影响区和焊缝金属的硬度不应大于 270 HV10。

10.3.2.6 阀门

10.3.2.6.1 阀门壳体不宜使用马氏体不锈钢和沉淀硬化不锈钢。

10.3.2.6.2 阀门壳体采用锻钢时，锻件级别不应低于 NB/T 47008、NB/T 47009 和 NB/T 47010 中规定的Ⅲ级。

10.3.2.6.3 阀门非金属密封件材料应具有氢相容性和抗内爆性能。

10.3.2.7 法兰

10.3.2.7.1 氢气长输管道的法兰材料应采用碳钢、低合金钢或不锈钢锻件，不应采用铸铁或球墨铸铁。

10.3.2.7.2 法兰的锻件级别不应低于 NB/T 47008、NB/T 47009 和 NB/T 47010 中规定的Ⅲ级。

10.3.2.7.3 法兰垫片材料应在高温火灾条件下保持完整性，并具有氢相容性和抗氢渗透性。法兰连接处宜采用金属对金属的密封或采用石墨等难燃材料或不燃材料制成的垫片，不应使用熔点低于 538℃ 的软弹性体和塑料。垫片金属材料宜选用稳态奥氏体不锈钢材料。

10.3.3 焊接材料

10.3.3.1 填充金属

10.3.3.1.1 填充金属产品不应使用纤维素焊条和药芯焊丝。

10.3.3.1.2 当使用焊条焊接时，应使用低氢焊条。

10.3.3.2 熔敷金属扩散氢含量

碳钢和低合金钢用填充金属扩散氢含量不应大于 5 mL/100 g。

10.4 设计和计算

10.4.1 设计准则

10.4.1.1 许用应力

钢管和管件的许用应力应按公式(19)计算：

$$[\sigma] = KH_f \phi t \sigma_s \dots\dots\dots (19)$$

式中：

$[\sigma]$ ——许用应力，单位为兆帕(MPa)；

K ——强度设计系数，应符合 10.4.1.2 的规定；

H_f ——材料性能系数，应符合 10.4.1.3 的规定；

σ_s ——钢管和管件材料标准规定的最低屈服强度,单位为兆帕(MPa);

ϕ ——焊缝系数,满足本文件要求的钢管和管件的焊缝系数取 1.0;

t ——温度折减系数,应符合表 24 的规定。

表 24 温度折减系数

设计温度 ℃	温度折减系数(t)
≤ 121	1.000
149	0.967

注:当设计温度介于上述数值之间时,采用插值法计算温度折减系数。

10.4.1.2 强度设计系数

强度设计系数应按表 25 或表 26 确定,并应符合表 21 和表 22 的规定。

表 25 基于性能的强度设计系数

位置	地区等级			
	一	二	三	四
	强度设计系数(K)			
一般线路管道、水域小型穿越管道	0.72	0.60	0.50	0.40
有套管或有涵洞穿越三、四级公路的管道	0.72	0.60	0.50	0.40
无套管、无涵洞穿越三、四级公路的管道	0.60	0.50	0.50	0.40
有套管或有涵洞穿越一、二级公路、高速公路、铁路的管道,以及一、二级公路、高速公路、铁路的桥下穿越段管道	0.60	0.60	0.50	0.40
山岭隧道穿越管道	0.60	0.50	0.50	0.40
水域大、中型穿越管道	0.60	0.50	0.40	0.40
大型跨越管道	0.40(0.50)	0.40(0.50)	0.40(0.50)	0.40
中、小型跨越管道	0.50(0.60)	0.50(0.60)	0.50	0.40
长输管道的站场管道、阀室内管道	0.50	0.50	0.50	0.40

注 1:地区等级划分、水域穿越工程等级划分、跨越工程等级划分见 GB/T 34275—2024。
 注 2:在一、二级地区内的学校、医院以及其他公共场所等人群聚集的地区,强度设计系数依据三级地区选取。
 注 3:甲类跨越工程为通航河流、电气化铁路和高速公路跨越,乙类跨越工程为非通航河流及其他障碍跨越。乙类跨越工程的管道强度设计系数取括号内数值。

表 26 基于规范的强度设计系数

位置	地区等级			
	一	二	三	四
	强度设计系数(K)			
一般线路管道、水域小型穿越管道	0.50	0.50	0.50	0.40
有套管或有涵洞穿越三、四级公路的管道	0.50	0.50	0.50	0.40
无套管、无涵洞穿越三、四级公路的管道	0.50	0.50	0.50	0.40
有套管或有涵洞穿越一、二级公路、高速公路、铁路的管道,以及一、二级公路、高速公路、铁路的桥下穿越段管道	0.50	0.50	0.50	0.40
山岭隧道穿越管道	0.50	0.50	0.50	0.40
水域大、中型穿越管道	0.50	0.50	0.40	0.40
大型跨越管道	0.40(0.50)	0.40(0.50)	0.40(0.50)	0.40
中、小型跨越管道	0.50	0.50	0.50	0.40
长输管道的站场管道、阀室内管道	0.50	0.50	0.50	0.40

注 1: 地区等级划分、水域穿越工程等级划分、跨越工程等级划分见 GB/T 34275—2024。
 注 2: 在一、二、三级地区内的学校、医院以及其他公共场所等人群聚集的地区,强度设计系数依据四级地区选取。
 注 3: 甲类跨越工程为通航河流、电气化铁路和高速公路跨越,乙类跨越工程为非通航河流及其他障碍跨越。乙类跨越工程的管道强度设计系数取括号内数值。

10.4.1.3 材料性能系数

10.4.1.3.1 当按表 25 选取强度设计系数时,材料性能系数 H_f 应取 1.0。

10.4.1.3.2 当按表 26 选取强度设计系数时,材料性能系数 H_f 应取表 27 中的数值。

表 27 材料性能系数

材料类型	标准规定的最低屈服强度 MPa			
	碳钢和低合金钢	≤360	≤415 >360	≤485 >415
1.0		0.874	0.776	0.694
不锈钢	1.0			

10.4.2 管道组成件

10.4.2.1 钢管和冷弯管

10.4.2.1.1 钢管管壁厚度应按公式(20)计算:

$$\delta = \frac{PD}{2[\sigma]} \dots\dots\dots (20)$$

式中：

δ ——钢管计算壁厚,单位为毫米(mm)；

P ——设计压力,单位为兆帕(MPa)；

D ——钢管外直径,单位为毫米(mm)；

$[\sigma]$ ——钢管许用应力,单位为兆帕(MPa),应按 10.4.1.1 的规定取值。

10.4.2.1.2 钢管的外直径与设计壁厚之比不应大于 100,定向钻穿越管道的外直径与设计壁厚之比不应大于 80。

10.4.2.1.3 公称直径大于 DN100 的钢管设计壁厚不应小于 6.35 mm,公称直径不大于 DN100 的钢管设计壁厚不应小于表 28 规定的壁厚。

表 28 钢管最小设计壁厚

公称直径 DN	最小设计壁厚 mm
25	4.50
50	4.50
65	5.16
80	5.49
90	5.74
100	6.02

10.4.2.2 法兰、垫片和紧固件

10.4.2.2.1 法兰密封面应选用突面、凹凸式、榫槽式或环形连接等防漏型式,法兰密封面、垫片的型式,应符合表 12 的规定。

10.4.2.2.2 突面法兰选用缠绕式垫片时,垫片均应带有内环和定位环,内环宜采用奥氏体不锈钢。

10.4.2.3 螺纹接头

10.4.2.3.1 螺纹接头不应用于剧烈循环工况,也不应用于设计压力高于 4.0 MPa 以上的管道。

10.4.2.3.2 内、外螺纹均应为锥管螺纹。

10.4.2.3.3 外螺纹部件的壁厚等级不应小于 SCH160。对于公称直径小于 DN15 的外螺纹部件,螺纹部分的最小壁厚应使其应力小于材料屈服应力 50%。

10.4.2.4 阀门

10.4.2.4.1 球阀与闸阀宜选用全通径结构,否则应对缩径处的冲蚀情况进行核算。

10.4.2.4.2 法兰连接的阀门,端部法兰应与阀体整体铸造或整体锻造,不应采用后焊法兰。

10.4.2.4.3 阀门出厂前压力试验中,除壳体压力试验外,其他密封性试验介质宜选用气体。

10.4.2.4.4 阀门应采用低逸散结构,且应符合 GB/T 40079 和 GB/T 26481 的相关要求,其密封等级不应低于表 29 的要求。

表 29 低泄漏阀门阀杆或连接处密封通用要求

阀门类型	阀杆或阀体 连接处密封类别	低泄漏阀杆型式试验通用要求 GB/T 40079	低泄漏阀门产品检验 GB/T 26481
截断阀	填料,升杆	CO1-CM,或 CH	C 级
	填料,1/4 旋转	CO1-BM,或 BH	B 级
	波纹管	CO1-AM,或 AH	A 级
调节阀	填料,升杆	CO1-CM,或 CH	C 级
	填料,1/4 旋转	CO1-BM,或 BH	B 级
	波纹管	CO1-AM,或 AH	A 级
止回阀	阀盖	CO1-BM,或 BH	B 级
试验气体宜采用氦气。表中所列为低泄漏阀杆型式试验通用要求,用户可根据实际用途选择低泄漏阀杆型式试验的试验条件,包括机械循环/温度循环次数,温度循环等级			

10.4.3 管道支承件

10.4.3.1 若管道环向应力小于标准规定最小屈服强度的 20%,管道支承件可直接与管道焊接。

10.4.3.2 若管道环向应力不小于标准规定最小屈服强度的 20%,管道支承件不应直接与管道焊接,必要时可在管道上先焊接加强板,加强板与管道之间的角焊缝应为连续满焊。

10.4.4 线路管道设计

10.4.4.1 线路管道宏观走向应根据资源市场分布、储运设施布局、沿线地形、工程地质、环境敏感区域、国土空间规划、交通运输等条件综合对比,经多方案技术经济比较后确定。

10.4.4.2 设计压力大于 4.0 MPa 的管道,应对高后果区进行识别和风险评价,宜尽量减少沿线高后果区长度和数量,通过高后果区的管道应采取风险防控措施。线路管道高后果区识别要求如下:

- a) 线路管道经过区域满足表 30 识别项中的任意一项时,应确定为高后果区,并按表 30 进行分级;
- b) 高后果区的边界为管道中心线至建筑物外边缘距离,不应小于 200 m;

表 30 氢气长输管道高后果区管段识别分级表

识别项	分级
四级地区	Ⅲ级
三级地区	Ⅱ级
设计压力 4.0 MPa 以上管道的一、二级地区,潜在影响区域内有特定场所	Ⅱ级
设计压力 4.0 MPa 及以下管道的一、二级地区,潜在影响区域内有特定场所	I 级
一、二级地区,潜在影响区域有加油站、油库等易燃易爆场所	Ⅱ级

- c) 识别出的高后果区区段相互重叠或间隔不超过 50 m 时,应作为一个高后果区管理;
- d) 氢气长输管道的潜在影响区域是依据潜在影响半径计算的可能影响区域,氢气长输管道潜在影响半径应按照公式(21)计算:

$$r = (-0.031F + 0.099)d\sqrt{p} \dots\dots\dots(21)$$

式中：

- r —— 潜在影响区域的半径,单位为米(m)；
- F —— 氢气在管输气体中的体积比例,取 0.0~1.0；
- d —— 管道外径,单位为毫米(mm)；
- p —— 管道最大允许操作压力,单位为兆帕(MPa)。

10.4.5 站场管道设计

10.4.5.1 站场内的氢气管道宜采用地上或埋地敷设。当采用管沟敷设时,应采取防止气体泄漏积聚的措施。法兰、螺纹等非焊接接头不应埋地。

10.4.5.2 氢气管道采用埋地敷设时,埋设深度应根据地面荷载、土壤冻结深度等条件确定,并满足如下要求：

- a) 当氢气管道穿过给排水、供热等其他介质管道管沟时,应设置套管,套管内的管道不宜有环焊缝；
- b) 当氢气管道穿越车行道路和围墙基础时,应采取保护措施。

10.4.5.3 站场管道管架敷设规定如下：

- a) 管架应采用不燃烧材料；
- b) 氢气管道与其他管道分层布置时,氢气管道宜布置在上层。

10.4.5.4 若振动、压力脉动及温度变化等可能产生交变载荷的部分,不宜采用螺纹连接。

10.4.5.5 除因安装、检修需要采用法兰、螺纹等非焊接连接方式外,氢气管道的连接应采用焊接连接。

10.4.6 管道防腐设计

管道防腐、补口、阴极保护及杂散电流防护设计应符合 GB/T 34275—2024 的规定。

10.4.7 管道应力分析

10.4.7.1 管道约束条件、荷载及组合工况、完全约束管道轴向应力和综合应力计算校核、非完全约束管道轴向应力计算校核、径向稳定性校核及轴向稳定性校核应符合 GB/T 34275—2024 中输气管道的规定。

10.4.7.2 承受周期性或循环荷载的管道应力分析计算方法应执行第 9 章的规定。

10.4.7.3 温度折减系数应符合表 24 的规定。

10.5 施工和安装

10.5.1 材料检查和验收

10.5.1.1 应检查设计文件、产品标准规定的材料氢相容性试验证明文件。

10.5.1.2 钢管和管件表面不准许补焊。

10.5.1.3 钢管和管件表面如有下列缺陷,应切除：

- a) 深度超过公称直径 2% 的凹痕；
- b) 含有腐蚀的凹痕；
- c) 含有裂纹的凹痕。

10.5.1.4 钢管修磨后的壁厚不应小于钢管最小设计壁厚的 95%。

10.5.2 线路管道施工

10.5.2.1 线路管道施工的交接桩及测量放线、施工作业带清理、钢管装卸、运输及保管、管沟开挖、管道

下沟、管道回填应符合 GB/T 34275—2024 的规定。

10.5.2.2 施工现场坡口加工要求如下：

- a) 碳钢、低合金钢可采用机械加工方法或火焰切割方法切割和制备坡口；
- b) 采用热切割方法制备坡口时，切割后应采用机械加工或打磨方法清除表面熔渣；
- c) 复合型坡口宜采用坡口机在施工现场进行加工。

10.5.2.3 管道焊接要求如下。

- a) 应根据设计文件的规定及焊接方法、焊接材料、接头形式、工艺评定要求以及焊接检验要求进行焊接工艺评定。
- b) 线路管道焊接不应使用纤维素焊条。
- c) 预热与焊层(道)间温度要求：
 - 1) 各种材料的最低预热温度应符合表 1 的规定；
 - 2) 当焊接两种具有不同预热要求的材料时，应以预热温度要求较高的材料为准；
 - 3) 坡口两侧的预热宽度不应小于 50 mm。

10.5.3 站场管道施工与安装

10.5.3.1 焊接

站场管道焊接不应使用纤维素焊条，根焊宜选用钨极氩弧焊。焊接方式可采用手工焊、半自动焊、机动焊、自动焊或其组合。

10.5.3.2 预热

预热与焊层(道)间温度要求如下：

- a) 定位焊缝的预热范围距离焊缝两端不应小于 25 mm；
- b) 环境温度大于 5 ℃时，坡口两侧的预热宽度不应小于 50 mm；环境温度不高于 5 ℃时，坡口两侧的预热宽度不应小于 75 mm；
- c) 管口应均匀加热，防止局部过热，焊件内外壁的温度应均匀。

10.5.3.3 焊后热处理

10.5.3.3.1 焊后热处理温度和保温时间宜符合表 31 的规定。

表 31 焊后热处理温度和保温时间

母材类别	名义厚度 mm	金属热处理温度 ℃	保温时间	
			设计壁厚 min/mm	最短时间 h
碳钢、低合金钢	≤20	不要求热处理	—	—
	>20	595~650	2.4	1
奥氏体不锈钢	全部	不要求热处理	—	—

10.5.3.3.2 对于 L360 及以下强度级别的钢管焊接接头，热处理后的硬度值不宜大于 220HV10，其他强度级别不宜大于 250HV10。

10.5.3.4 管道安装

10.5.3.4.1 对于相连管道设计压力大于 4.0 MPa 且公称直径不小于 DN200 的法兰，或振动工况条件

下的法兰,应根据设计文件中的螺栓安装要求编制安装程序文件,并应符合 GB/T 38343 的规定。

10.5.3.4.2 垫片应放在法兰密封面中心,不应倾斜或突入管内,凹凸式、榫槽式或环形连接密封面的法兰,其垫片应放入凹槽内部。

10.5.3.4.3 管道安装其他要求应符合 GB/T 34275—2024 中输气管道的规定。

10.6 检验和试验

10.6.1 外观检查

10.6.1.1 现场焊接的管道组成件和管道支撑件焊接接头应进行 100% 外观检查。

10.6.1.2 线路管道焊接接头外观检查的内容和要求应符合 GB/T 34275—2024 中 7.3.8.6 的规定,站场管道焊接接头外观检查的内容和要求应符合 GB/T 34275—2024 中 7.5.3.8 的规定;外观检查合格后,方可进行无损检测。

10.6.1.3 其他连接接头的外观检查应符合相关产品标准和设计文件规定。

10.6.2 无损检测

10.6.2.1 检测方法包括射线检测、X 射线数字成像检测、相控阵超声检测(PAUT)、全自动超声波检测(AUT)、磁粉检测和渗透检测。

10.6.2.2 返修对接接头、连头对接接头、感应加热弯管与直管对接接头,应进行 100% 射线检测或 X 射线数字成像检测,还应进行 100% 相控阵超声检测;其中对于 L450 及以上钢级的线路管道返修口和固定连口头应在焊接完成 24 h 后实施无损检测。

10.6.2.3 站场管道组成件检测不准许未熔合缺欠、根部未焊透、根部咬边。

10.6.3 硬度检查

10.6.3.1 线路管道每个焊工或流水作业焊工组当天完成的环焊缝应进行硬度抽样检查,抽样检查比例如下:

- a) MAOP < 40% SMYS 的管道,抽检比例不应低于 5%;
- b) MAOP ≥ 40% SMYS 的管道,抽检比例不应低于 20%;
- c) 存在周期性或循环荷载的管道,抽检比例应为 100%。

注: MAOP 指最大允许操作压力,SMYS 指规定的最小屈服强度。

10.6.3.2 除设计文件另有规定外,线路管道环焊缝硬度验收值应符合表 32 的要求。

表 32 线路管道环焊缝接头硬度值(HV10)最大允许值



钢级	焊缝	热影响区
L360 及以下钢级	220	220
L360 以上钢级	250	250

10.6.3.3 线路管道环焊缝硬度测试点位要求:

- a) 公称直径小于或等于 DN150,硬度测试点位不应少于 1 处;
- b) 公称直径大于 DN150,但小于或等于 DN300 时,硬度测试点位不应少于 2 处;
- c) 公称直径大于 DN300,硬度测试点位不应少于 3 处;
- d) 多个测试点位时,硬度测试应等间隔,间隔角度应为 0°、90°和 180°。

10.6.3.4 站场管道每个焊工或流水作业焊工组当天完成的焊缝应进行硬度抽样检查,抽样检查的比例、测试位置应满足第 9 章的要求,验收值应满足表 33 的要求。

表 33 站内管道焊接接头硬度值(HV10)最大允许值

钢级	焊缝	热影响区
L360 钢级及以下	220	220
L360 以上钢级	250	250

10.6.4 试验

10.6.4.1 当采用表 25 的强度设计系数,管道强度试验压力应符合 GB/T 34275—2024 的规定;当采用表 26 的强度设计系数,管道强度试验压力不应低于 1.5 倍设计压力。

10.6.4.2 若站场管道的新建部分全部为焊接连接,严密性试验可采用水作试验介质,否则应采用气体作为试验介质。

10.7 安全防护

10.7.1 氢气长输管道放空装置

10.7.1.1 氢气长输管道放空可采用放空立管直接排放至大气,也可采用点火燃烧放空。

10.7.1.2 氢气长输管道的放空立管应高于 10 m 范围内的平台、设备或建筑屋顶 2 m 以上。

10.7.1.3 当放空气体中氢气体积含量高于 20%,放空立管的设置宜考虑意外点火的影响,其高度及与周边设施的间距应通过气体扩散及热辐射影响区域计算确定。热辐射影响区域可参考表 34。

表 34 热辐射影响区域

热辐射强度	对设备的损坏	对人的伤害
37.5 kW/m ²	操作设备损坏	1%死亡(10 s) 100%死亡(1 min)
25.0 kW/m ²	在无火焰,长时间辐射下木材燃烧的最小能量	重大烧伤(10 s) 100%死亡(1 min)
12.5 kW/m ²	有火焰时,木材燃烧及塑料熔化的最低能量	1度烧伤(10 s) 1%死亡(1 min)
6.3 kW/m ²	—	在 8 s 内裸露皮肤有痛感;无热辐射屏蔽设施时,操作人员穿上防护服可停留 1 min
4.73 kW/m ²	—	暴露 16 s,裸露皮肤有痛感;无热辐射屏蔽设施时,操作人员穿上防护服可停留几分钟
1.58 kW/m ²	—	长时间暴露无不适感
注:当热辐射强度 ≥ 37.5 kW/m ² ,代表财产损失(设备)遭受严重破坏区域;当热辐射强度 25 kW/m ² ~37.5 kW/m ² ,代表人员死亡区域;当热辐射强度为 12.5 kW/m ² ~25 kW/m ² ,代表人员严重烧伤和设备遭受一般破坏区域;当热辐射强度为 4 kW/m ² ~12.5 kW/m ² ,代表人员轻度烧伤区域。		

10.7.1.4 当放空气体中氢气体积含量不高于 20%,其高度及与周边设施的间距应通过气体扩散影响区域计算确定。

10.7.2 其他安全防护措施

10.7.2.1 输氢站场进、出站管道应设置紧急截断阀。

10.7.2.2 氢气长输管道不应采用爆破片泄压。

10.7.2.3 对于氢气体积含量高于 20% 的站场,进出站管道以及过滤器、压缩机、收发球筒等需要定期维护设备的进出口管道的应采用 2 台截断阀串联截断。

10.7.2.4 设置氢气管道的厂房内应设置可燃气体检测报警仪,并应与相应的事故排风机联锁。

10.8 投产试运

10.8.1 通用规定

10.8.1.1 管道投产试运工作应在清管、试压、干燥、测径检测等工作完成后实施。

10.8.1.2 管道投产试运宜依据换、升压、稳压的顺序实施。

10.8.1.3 管道投产时,应使用氮气置换空气,即氮气置换空气,氢气置换氮气,气体界面之间不宜设置隔离球。置换过程中,氮气段下游应保证可燃气体充分放空。

10.8.1.4 线路管道的干线、支线和站场管道的气体置换宜分别进行。

10.8.1.5 投产试运前应对氢气气质进行分析。

10.8.1.6 置换过程中氮气与空气的混合气体、氮气与管道气体的混合气体应通过放空系统放空,必要时设置放空隔离区。

10.8.2 气体置换

10.8.2.1 氮气置换空气

10.8.2.1.1 线路管道氢气置换前应完成线路投产前的注入氮气,站场管道应用氮气置换,不应有死角。

10.8.2.1.2 注入氮气的量应保证全线置换过程都不发生空气与氢气的混合。

10.8.2.1.3 氮气置换空气时,管道末端放空检测口检测到含氧量不高于 2% 时应视置换工作合格。

10.8.2.1.4 向管道内注入氮气时,氮气纯度应达到 99% 以上,线路管道氮气注入速度应为 1 m/s~5 m/s。氮气温度的不应低于 5℃。

10.8.2.1.5 注入氮气期间应保持现场通风,人员应位于上风口。

10.8.2.2 氢气置换氮气

10.8.2.2.1 置换期间应对站场管道和阀室内管道进行氢气检漏。

10.8.2.2.2 应对投产管道全部进行置换,不应有死角。

10.8.2.2.3 线路置换过程中管道内气体流速的确定应保证置换充分和安全,并不宜大于 5 m/s。

10.8.2.2.4 置换过程中,当氮气含量低于管道气体含量的 5% 且 3 min 内连续监测 3 次氮气含量持续减少,则视为管道气体置换合格。

10.8.3 升压和检漏

10.8.3.1 管道气体置换合格后应进行全线或分段升压并检漏,进气点升压速率不宜超过 1.0 MPa/h,升压宜分台阶进行,相邻两个压力台阶压差不应超过 2.0 MPa。

10.8.3.2 管线阶段升压完成后应进行分管段稳压检漏,1.0 MPa 及以下的阶段稳压不宜少于 4 h,1.0 MPa 以上稳压时间为 12 h~24 h。

10.8.3.3 置换升压期间,应对管道、设备和仪表进行巡查和检漏。

10.8.3.4 检漏设备应根据氢气的特性、设备的类别和检漏位置等条件选择。线路检漏宜采用便携式氢气检测仪进行检测。站场设备、管道和阀门应进行氢气泄漏检查,日常检查应包括夜间闭灯检查,检查宜采用氢气泄漏检测设备或检漏液、检漏胶带和保鲜膜等方式。

10.8.3.5 线路管道阶段性升压过程中,阀室旁通管道和站场管道应同步进行升压。

10.8.4 试运行

10.8.4.1 线路管道升压完成后,应进行 72 h 试运行。

10.8.4.2 试运行过程中,应进行巡查和检漏。

10.8.4.3 管道连续安全运行 72 h,稳压检漏合格、线路和站场各工艺和自动化系统、仪器仪表运行正常、分输正常,则视为试运行合格。

10.9 管道使用与维护

10.9.1 线路管道高后果区管理

10.9.1.1 运营阶段,对于设计压力不高于 4.0 MPa 的管道,最小保护范围和控制范围应符合 GB 55009 的要求;对于设计压力大于 4.0 MPa 的管道,应定期识别和管理高后果区,高后果区的管理应符合 GB 32167 的要求。

10.9.1.2 运营阶段应将高后果区管道作为重点管理段,针对每一处高后果区制定“一区一案”。一区一案的内容主要包括高后果区基本情况、风险管控措施和初期应急处置措施。

10.9.2 站场管道维护

10.9.2.1 站场管道维护应符合 GB/T 34275—2024 的规定。

10.9.2.2 应定期对管道站场、阀室管道的严密性和设备设施完好性等进行检查。

10.9.3 在役管道检验

在役管道检验应符合 GB/T 34275—2024、GB 32167、TSG D7003 和 TSG D7005 的规定。

10.9.4 管道腐蚀控制

10.9.4.1 管道外腐蚀控制应符合 GB/T 34275—2024 的规定。

10.9.4.2 管道的内腐蚀控制包括工艺参数控制、定期清管等措施,宜采取一种或多种控制措施。

10.9.4.3 氢气长输管道阴极保护系统近端、远端以及杂散电流干扰区域、细菌腐蚀区域等应控制断电电位,降低氢脆风险。

10.10 管道维抢修

10.10.1 管道修复

不应使用补板方式修复缺陷,其他要求应符合 GB/T 34275—2024 的规定。

10.10.2 管道抢修

10.10.2.1 通用要求

10.10.2.1.1 抢修作业应符合 SY/T 7033 的规定。

10.10.2.1.2 当发生管体泄漏、存在腐蚀深度超过 0.8 倍管道计算壁厚或裂纹经评价存在失效风险

时,应立即对存在缺陷的管道开展抢修作业。

10.10.2.1.3 应根据管道失效类型制订、审批抢修作业方案。

10.10.2.2 换管修复

10.10.2.2.1 换管作业前应将动火管段内的输送介质放空,并用氮气进行全部置换,置换后氮气应保持微正压。如有必要,可对动火管段两侧的相邻管段放空至微正压状态。

10.10.2.2.2 应使用冷切割方式切割第一道口,并进行强制冷却,不应明火切割。

10.10.2.2.3 断管后,可在动火端两侧放置隔离囊或泡沫球,阻止可燃气体、氮气和流动气流,保护作业安全和焊接质量。

10.10.2.2.4 换管的其他要求应符合 GB/T 36701 的规定。

10.10.3 防腐及地面恢复

10.10.3.1 维抢修作业完成后,应对施工垃圾和污染土壤进行处理,满足环保要求。

10.10.3.2 维抢修完成后应进行管道防腐,确保满足管道运行条件。

10.10.3.3 应仔细做好回填工作,避免损坏管道防腐层,回填后宜设置维抢修标识标志桩。

10.10.3.4 管道修复后,应对修复管段进行现场监控以防泄漏,直至管道恢复正常运行。维抢修作业完成后,应恢复现场地貌。

11 氢气公用管道

11.1 基本规定

除应符合第 4 章~第 8 章的通用技术要求外,氢气公用管道还应满足本章中的各项专用技术要求。

11.2 材料

11.2.1 氢气公用管道设计压力大于 0.4 MPa 时应选用钢管,设计压力不大于 0.4 MPa 时可选用钢管或聚乙烯管道。

11.2.2 管道及管道组成件材料选用应符合第 5 章的规定。

11.2.3 氢气公用管道的常用材料及标准按表 E.3。

11.2.4 经建设单位或设计单位批准,氢气公用管道可采用与表 E.3 中材料等同或相近的材料,或经验证具有良好氢相容性的其他材料。

11.2.5 管法兰密封面、垫片的型式应符合表 12 的规定。

11.2.6 聚乙烯管材和管件仅用于氢气公用管道,且符合下列规定。

52c a) 管材选用聚乙烯材料时,符合下列规定:

- 1) 工作温度为 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 40\text{ }^{\circ}\text{C}$,工作压力不应大于 0.4 MPa;
- 2) 聚乙烯管道不准许露天敷设。

b) 聚乙烯管道系统管材、管件及阀门的性能质量应符合 GB/T 15558.1~GB/T 15558.5 的规定。

c) 钢塑转换管件应符合 GB/T 26255 的规定。

11.2.7 氢气公用管道也可选用本文件规定的同等工艺条件下氢气工业管道、氢气长输管道允许采用的其他材料及标准。

11.3 设计和计算

11.3.1 除以下规定外,氢气公用管道的设计和计算应符合 GB/T 38942—2020 中第 5 章的规定。

11.3.2 管道设计压力不应小于运行中可能出现的最高工作压力。

11.3.3 管道设计流量、管径、路由、位置应符合 GB 55009、GB 50028、GB/T 51098 和 CJJ 63 的规定,管道与建构筑物间距不满足 GB 50028 和 CJJ 63 要求时,可在采取安全防护措施并经安全评估后适当减小。

11.3.4 公用管道一般情况下采用埋地敷设方式,当跨越障碍物或地下敷设条件不具备时,可局部采用地上架空敷设方式,但需满足下列规定:

- a) 管道应采用钢管;
- b) 三级、四级地区架空敷设的管道其最高工作压力不宜大于 1.6 MPa;
- c) 架空管道与其他管道并行时宜布置在外侧,交叉或分层布置时宜布置在其他管道上方;
- d) 架空管道应采取防止车辆冲撞等外力损害的措施。

11.3.5 直埋敷设的管道埋深(以管顶覆土深度计)不应小于 GB 55009、GB 50028 和 CJJ 63 规定的最小值,管道埋深不足时应采取有效的安全防护措施,防护措施可包括以下方式:

- a) 管道设置在钢套管或混凝土套管内;
- b) 管顶上方覆土 250 mm~500 mm 后再加设混凝土盖板。

11.3.6 管道抗震设计应符合 GB 55002、GB 50032 和 GB/T 50470 的规定。

11.3.7 最高工作压力大于 1.6 MPa 的管道应按照 GB 50028 的规定,根据沿线建筑物的密集程度结合城市规划进行地区等级划分,依据地区等级选取钢管强度设计系数、分段设置线路截断阀门,穿跨越段强度设计系数还应符合 CJJ/T 250 的规定。

11.3.8 钢管强度设计系数大于 0.5 的 L415 及以上钢级钢管,许用应力应按表 27 中的材料性能系数 H_i 进行折减。

11.3.9 钢管最小公称壁厚不应低于 GB 55009 的规定。

11.3.10 聚乙烯管的最大允许工作压力可按 CJJ 63 的要求计算,设计系数不应小于 2.5。

11.3.11 燃气管道分段阀门的设置应符合 GB 50028 的规定,并满足下列规定:

- a) 分段阀门应能够在检修或事故工况时实现对适度区域范围内的用户进行隔离;
- b) 分段阀门两侧应设置放散管或放散管接口;
- c) 最高工作压力不大于 1.6 MPa 的管道分段阀门可设置在阀井或具备防护强度的腔体内;
- d) 最高工作压力大于 1.6 MPa 的管道分段阀门及放散阀组周围应设置有效的围护结构,宜设置在阀室内;
- e) 分段阀门宜根据需要配置远程控制或自动连锁切断功能,四级地区最高工作压力大于 1.6 MPa 的管道分段阀门应具备自动连锁和远程控制切断功能;
- f) 设置在公共区域的阀门应采取防止误操作的措施。

11.3.12 调压设施应设置防止气体出口压力过高的安全保护装置,并符合下列规定:

- a) 安全保护装置可根据工艺需要选择设置超压切断阀、安全放散阀、监控调压器,或其中 2 种及以上装置的组合;
- b) 超压切断装置应采用现场人工复位型;
- c) 安全保护装置启动压力设置应符合 GB 50028 的规定,同时设有 2 种及以上安全保护装置时,启动压力应按串联监控调压器、超压放散阀、超压切断阀的顺序逐级提高设定。

11.3.13 钢管杂散电流防护应符合 CJJ 95、GB 50991、GB/T 50698、CJJ/T 49 的规定,与城市轨道交通设施、高压输电线路等可能存在的杂散电流干扰源接近时,应进行干扰调查测试,杂散电流干扰强度超出规定的应采取排流等防护措施。埋地钢管与交流电气化铁路交叉,或并行的水平间距小于 100 m 且并行长度大于 1 km 时,应采取排流等防护措施,并行长度小于 1 km 的宜采取排流等防护措施。

11.3.14 管道沿线应设置必要的标识,标识应符合 CJJ/T 153 的规定,并满足下列要求:

- a) 采用开挖方式直埋敷设管道时,应在管顶正上方 0.3 m~0.5 m 处设置警示带或其他警示设施;
- b) 聚乙烯管道应设置示踪或管线定位设施;
- c) 最高工作压力大于 1.6 MPa 的管道沿线应设置里程桩、转角桩、交叉桩、警示牌等永久性标志;
- d) 最高工作压力不大于 1.6 MPa 的管道应设置管位指示和警示用标志。

11.4 制作与安装

11.4.1 除本文件规定外,氢气公用管道的其他制作与安装要求应符合 GB/T 38942—2020 中第 6 章的规定。

11.4.2 钢管连接应采用焊接方式,钢管与阀门、设备等连接应采用焊接或法兰连接方式,输配管道焊接安装应符合 10.5.2 的规定,调压设施和阀室管道焊接安装应符合 10.5.4 的规定。

11.4.3 聚乙烯管连接应采用热熔或电熔焊接,焊接设备应选用全自动焊机。热熔焊机性能质量应符合 GB/T 20674.1 的规定,电熔焊机性能质量应符合 GB/T 20674.2 的规定,焊机应定期进行校准,校准周期不应大于 1 年。

11.4.4 定向钻敷设的管道宜采取措施防止管道回拖过程中钢管外防腐层或聚乙烯管外壁产生损伤。

11.5 检验与试验

11.5.1 除以下规定外,氢气公用管道的检验与试验要求还应符合 GB/T 38942—2020 中第 7 章的规定。

11.5.2 钢管焊接接头应在外观检查合格后进行无损检测。外观检查应符合 GB 50683 的规定,合格标准不应低于 II 级;无损检测方法应符合 9.5.4.1 的规定,射线检测合格标准不应低于 II 级,超声检测合格标准不应低于 I 级,磁粉检测或渗透检测合格标准不应低于 I 级。无损检测比例符合下列规定。

- a) 所有环焊缝均应 100% 进行射线检测。
- b) 最高工作压力大于 0.4 MPa 的钢管环焊缝应 100% 进行超声检测。
- c) 最高工作压力不大于 0.4 MPa 的钢管环焊缝,下列情况应 100% 进行超声检测:
 - 1) 穿越或跨越铁路、公路、河流、桥梁、城市地铁等地段;
 - 2) 敷设在综合管廊内;
 - 3) 固定口环焊缝。
- d) 所有角焊缝表面均应 100% 进行磁粉检测或渗透检测。

11.5.3 聚乙烯管现场焊接的管道及管路附件焊接接头应进行相控阵超声检测抽检,固定焊口应 100% 进行检测,活动焊口抽检比例不应低于 30% 且不应少于 1 道焊口,合格标准不应低于 II 级。电熔焊接接头相控阵超声检测可按照 NB/T 47013.15 的相关内容执行,热熔焊接接头相控阵超声检测可按照 GB/T 43922 的相关内容执行。

11.5.4 聚乙烯管道热熔焊接接头应全部进行卷边对称性和接头对正性检验。聚乙烯管道穿越公路、铁路等障碍物的管段,设置套管保护的管段及采用水平定向钻法施工的管段,热熔焊接接头应全部进行卷边切除检验;其他管段热熔焊接接头应进行卷边切除抽检,抽检比例不应低于 30% 且不应少于 1 道焊口。卷边和卷边切除检验方法及合格标准应符合 CJJ 63 的规定。

11.5.5 管道强度试验压力与试验介质应符合表 35 的规定。强度试验压力应逐步缓升,升压至试验压力的 50% 时进行初检,确认无泄漏、无异常后继续升压至试验压力,达到试验压力后应稳压 1 h,每 30 min 记录一次压力表读数,无压降为合格。

表 35 强度试验压力及试验介质

管道类型	设计压力(P) MPa	试验介质	试验压力 MPa
钢管	$0.8 < P \leq 4.0$	清洁水	$1.5P$
	$P \leq 0.8$	清洁水	$1.5P$, 且 ≥ 0.4
		空气或氮气	
聚乙烯管	$P \leq 0.4$	空气或氮气	$1.5P$, 且 ≥ 0.20

0.8 MPa $< P \leq$ 4.0 MPa 的调压设施和阀室管道, 0.8 MPa $< P \leq$ 1.6 MPa 的输配管道, 以及敷设在一、二级地区 1.6 MPa $< P \leq$ 4.0 MPa 的输配管道, 管材为新钢管且焊缝系数为 1 时, 所有焊缝无损检测合格后, 如现场不具备水压试验条件, 经建设单位与设计单位书面同意, 可采用气压试验代替水压试验, 输配管道试验压力为 $1.25P$, 调压设施和阀室管道试验压力为 $1.15P$, 气压试验过程应采取安全防护措施

11.5.6 分段强度试验合格管段之间的连头焊缝, 经无损检测合格后可不再进行强度试验。

11.5.7 管道严密性试验宜采用压缩空气或惰性气体, 当强度试验以水为介质时, 应将管内的水排除干净后再进行严密性试验; 当强度试验以空气为介质时, 应及时将管内压力降至严密性试验压力。严密性试验压力应为设计压力, 且不应小于 0.1 MPa。严密性试验达到试验压力后应持续稳压 24 h, 每小时记录 1 次压力表读数, 应记录试验起始状态的大气压力和管内介质温度并在试验结束时计算修正压力降数值, 修正压力降小于 133 Pa 为合格。调压设施和阀室管道、地上架空管道严密性试验也可在升压至试验压力后, 直接采用起泡剂对所有接口进行检查, 无泄漏为合格。

11.6 安全运行与维护

11.6.1 11.6 未做规定的其他安全运行与维护要求, 应符合 GB/T 38942—2020 中第 8 章和 GB/T 51474 的规定。

11.6.2 管道及调压设施保护范围、控制范围及相应安全保护要求应符合 GB 55009 的规定。

11.6.3 管道、设备等投入运行前、检修动火作业前或长期停用前后, 均应采用氮气进行吹扫置换。投运前的管道内部氧气体积浓度不应大于 0.5%, 停用时的管道内部氢气体积浓度不应大于 0.2%。

11.6.4 管道应每年进行 1 次泄漏检测, 泄漏检测技术要求应符合 CJJ/T 215 的规定。

11.6.5 在役聚乙烯管道检验与评价技术要求可按 GB/T 43922 的规定执行。

附录 A
(资料性)

设计压力大于 41 MPa 的氢气工业管道的建造方法

A.1 概述

本附录给出了设计压力大于 41 MPa 且小于 100 MPa 的氢气工业管道(以下简称“高压管道”)的材料与管道组成件、设计、安装、安全防护的基本内容。

A.2 管道材料及组成件

A.2.1 管道材料采用 022Cr17Ni12Mo2(S31603)奥氏体不锈钢,且钢中镍含量不小于 12%,镍当量不小于 28.5%,镍当量按公式(A.1)进行计算。

$$Ni_{eq} = Ni + 2.6C + 1.05Mn + 0.65Cr + 0.98Mo + 0.35Si \dots\dots\dots(A.1)$$

式中:

- Ni_{eq}——镍当量,%;
- Ni ——材料中镍含量,%;
- C ——材料中碳含量,%;
- Mn——材料中锰含量,%;
- Cr ——材料中铬含量,%;
- Mo——材料中钼含量,%;
- Si ——材料中硅含量,%。

- A.2.2 采用其他材料时,按 5.1.3、5.1.4 进行氢相容性试验。
- A.2.3 管道组成件除密封件外不采用非金属材料。
- A.2.4 采用无缝钢管及管件。
- A.2.5 不使用铸造管件、承插焊管件、斜接弯头。
- A.2.6 锻制管件的锻件级别不低于Ⅲ级。
- A.2.7 透镜垫的加工原件,采用热加工工艺锻造成型,锻造比不小于 4。

A.3 设计

A.3.1 设计条件和准则



A.3.1.1 设计压力和设计温度

- A.3.1.1.1 设计压力及设计温度的确定原则符合 GB/T 20801.1—2025 中第 6 章的规定。
- A.3.1.1.2 设计温度需低于材料的蠕变温度,并且考虑最苛刻的压力和温度组合工况。对于高压管道系统,不出现任何偶然的超过设计范围的温度和压力变动。

A.3.1.2 许用应力

金属材料(螺栓材料除外)许用应力按照表 A.1 确定,螺栓材料许用应力按照表 A.2 确定。

表 A.1 金属材料(螺栓材料除外)许用应力的取值

材料	许用应力应不大于下列各值中的最小值/MPa	
	屈服强度下限值 $R_{eL}(R_{p0.2})$	设计温度下屈服强度 $R_{eL}^t(R_{p0.2}^t)$
碳钢、合金钢、延伸率小于 35% 的奥氏体不锈钢	$\frac{R_{eL}(R_{p0.2})}{1.5}$	$\frac{R_{eL}^t(R_{p0.2}^t)}{1.5}$
延伸率大于或等于 35% 的奥氏体不锈钢	$\frac{R_{eL}(R_{p0.2})}{1.5}$	$0.90R_{eL}^t(R_{p0.2}^t)^a$
^a 对于法兰或者其他有微量永久变形就可能引起泄漏或者故障的场合不能采用。		

表 A.2 螺栓材料许用应力的取值

材料	许用应力应不大于下列各值中的最小值/MPa	
	屈服强度下限值 $R_{eL}(R_{p0.2})$	设计温度下屈服强度 $R_{eL}^t(R_{p0.2}^t)$
热处理或应变强化的螺栓材料	$\frac{R_{eL}(R_{p0.2})}{3}$	$\frac{R_{eL}^t(R_{p0.2}^t)}{3}$

A.3.2 管道组成件的设计

A.3.2.1 一般规定

高压管道组成件设计和选用采用压力-温度额定值、压力设计、应力分析、验证性压力试验方法。

注：除非另外规定，各管道等级的管道组成件的壁厚仅基于设计条件(压力和温度)以及腐蚀和磨蚀余量、制造负偏差和螺纹、开槽的余量。

A.3.2.2 直管压力设计

A.3.2.2.1 直管在设计内压下的计算厚度，按公式(A.2)计算。

$$t = \frac{D - 2C_0}{2} (1 - e^{\frac{-P}{[\sigma]^t}}) \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

对于延伸率大于或等于 35% 的奥氏体不锈钢，且许用应力取决于设计温度下屈服强度 $0.90R_{eL}^t(R_{p0.2}^t)$ 时，计算厚度按公式(A.3)计算。

$$t = \frac{D - 2C_0}{2} (1 - e^{\frac{-1.155P}{[\sigma]^t}}) \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

式中：

t —— 计算厚度，单位为毫米(mm)；

D —— 直管外径，单位为毫米(mm)；

C_0 —— 直管外壁厚度附加量，单位为毫米(mm)；

P —— 设计内压，单位为兆帕(MPa)；

$[\sigma]^t$ —— 设计温度下材料的许用应力，单位为兆帕(MPa)。

A.3.2.2.2 直管在外压下的厚度按以下规定确定：

- a) 当 $D/t < 3.33$ 时,如果管道至少有一端承受外压并产生压缩轴向应力,则按内压确定压力设计厚度;
- b) 当 $D/t \geq 3.33$ 时,或当 $D/t < 3.33$ 但管道一端或两端未承受外压时,压力设计壁厚按 9.3.6.2.2 确定,但应力值需符合 A.3.1 的规定。

A.3.2.3 弯管或弯头压力设计

弯管或弯头压力设计符合下列规定。

- a) 弯管在内压下最小壁厚按照 A.3.2.2.1 直管的规定确定,管道中心线的弯曲半径大于或等于公称外径的 10 倍,并且满足相应制造公差的规定,否则采用应力分析或验证性压力试验方法进行设计。
- b) 弯管在外压下壁厚可按照 A.3.2.2.2 直管的规定确定,其计算长度 L 取包括直管段(若有)以及沿弯管或弯头外弧线在内的两相邻支撑线之间的距离。

A.3.2.4 验证性压力试验方法

验证性压力试验方法的压力按公式(A.4)计算。

$$P = 2 \times P_d \times \frac{[\sigma]}{[\sigma]^t} \times \frac{R_{el}^a}{R_{el}} \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

- P —— 验证性压力试验方法的压力,单位为兆帕(MPa);
- P_d —— 设计压力,单位为兆帕(MPa);
- $[\sigma]$ —— 试验温度下材料的许用应力,单位为兆帕(MPa);
- $[\sigma]^t$ —— 设计温度下材料的许用应力,单位为兆帕(MPa);
- R_{el} —— 材料标准屈服强度下限值,单位为兆帕(MPa);
- R_{el}^a —— 材料实际屈服强度,单位为兆帕(MPa)。

按公式(A.4)的压力进行验证性压力试验,压力管道元件不发生失效或者明显的塑性变形。

A.3.3 载荷

高压管道设计时考虑压力载荷、重力载荷、位移载荷、风载荷、地震载荷等,必要时还考虑瞬变流冲击载荷(如高压紧急泄放阀、安全阀启跳或快速关闭时,爆破片爆破时的压力冲击)、往复式压缩机往复运动所产生的压力脉动载荷、机器振动载荷。

A.3.4 应力分析

A.3.4.1 静力分析

静力分析符合下列规定:

- a) 所有高压管道系统进行详细应力分析;
- b) 持续载荷工况下管道应力小于或等于设计温度下的许用应力;
- c) 持续载荷与偶然载荷组合工况下的管道应力小于或等于设计温度下 1.2 倍的许用应力;
- d) 管道系统中任何一处由位移引起的应力范围小于或等于许用位移应力范围(S_A), S_A 的计算见公式(A.5);
- e) 对每条管道、每个组成件和接头均需进行疲劳分析,循环载荷包括压力循环、温度循环以及其他循环引起疲劳的载荷。

$$S_A = 1.25S_c + 0.25S_b \dots\dots\dots (A.5)$$

式中：

S_A ——许用位移应力范围，单位为兆帕(MPa)；

S_c ——最低金属温度下的许用应力，单位为兆帕(MPa)；

S_h ——最高金属温度下的许用应力，单位为兆帕(MPa)。

A.3.4.2 动力分析

动力分析按 9.3.7.2.5 的规定。

A.4 制作及安装

A.4.1 焊接

A.4.1.1 焊接工艺评定

高压管道的焊接工艺评定符合 NB/T 47014—2023 以及下列规定：

- 焊接工艺评定采用管状焊件，并且进行冲击试验，冲击试验的合格指标符合 A.5 的规定；
- 评定用焊接试件使用与管道焊接相同牌号、级别、型号和标准的母材，相同类别号的填充金属、相同的焊接工艺以及热处理工艺；
- 评定用焊接试件厚度的覆盖上限范围为试件厚度加上 6 mm，最小值为试件厚度的 1/2，当焊件厚度超过 50 mm 时，评定用焊接试件的最小厚度需大于或等于焊件母材厚度的 75%；
- 评定用焊接试件除进行拉伸和弯曲试验外，还需采用与母材相同的方法测定屈服强度，每个试样的屈服强度均不低于标准规定的母材屈服强度最低值，两种不同标准屈服强度的材料焊接时，每个试样的屈服强度不低于两个母材标准屈服强度中的较小者。

A.4.1.2 焊接连接

焊接连接符合下列规定：

- 高压管道组成件之间的焊接接头采用全焊透的对接接头，不要使用角接接头和焊接衬环；
- 支管连接要使用整体锻造支管、无缝三通或者能够进行 100% 射线检测的对接焊缝的支管接头。

A.4.1.3 焊接接头返修

焊接接头返修符合下列规定。

- 焊接接头返修采用按 A.4.1.1 评定合格的焊接工艺和技能评定合格焊工施焊，返修部位的预热和热处理与原规定相同；如果原产品的焊接工艺可用于焊缝返修，需在焊接工艺规程中注明，否则需重新进行工艺评定，并且经过安装单位以及建设单位同意。
- 焊缝同一部位（指焊补的填充金属重叠的部位）的返修次数超过 1 次时，重新制定返修措施，经过安装单位技术负责人批准后方可进行返修。

A.4.2 现场制作与安装

现场制作与安装符合下列规定。

- 焊件切割和坡口制备采用机械加工，不采用火焰切割；不在现场制作弯管等任何管道组成件。
- 焊件组对内壁齐平，采用机加工或者修磨的方式修整消除内错边，修整后的壁厚不小于设计厚度，错边量小于 1.5 mm。

A.5 检验与试验

A.5.1 质量检验

A.5.1.1 外观检查

高压管道外观检查除满足 GC1 级管道规定外,还要符合下列规定:

- a) 支承件、导向件和冷紧点都需检查以保证管道的位移能适应开车、操作和停车等所有的工作,而不发生卡住和意外约束的现象;
- b) 焊接接头在焊接完成后立即除去熔渣、飞溅,表面需要打磨平滑过渡后,进行外观检查。

A.5.1.2 无损检测

A.5.1.2.1 无损检测作业人员具有 II 级资格,无损检测审核人员具有该项目最高级别资格。

A.5.1.2.2 管道支吊架或者支承结构件角焊缝的表面,进行磁粉检测或者渗透检测,表面缺陷检测采用 NB/T 47013.4 和 NB/T 47013.5 中的检测方法,检测合格等级不低于 I 级。

A.5.1.3 焊缝光谱分析(PMI)

所有合金钢管道的对接焊缝、支管连接焊缝均进行光谱分析(PMI),主要化学元素 Cr、Mo 含量与母材相符。

A.5.2 耐压试验和泄漏试验

A.5.2.1 耐压试验

A.5.2.1.1 一般规定

耐压试验采用液压试验。

A.5.2.1.2 试验压力

耐压试验的试验压力符合下列规定:

- a) 试验压力不小于设计压力的 1.25 倍,当管道的设计温度高于试验温度时,试验压力不小于公式(A.6)的计算值:

$$P_t = 1.25 \times P_d \times [\sigma] / [\sigma]^t \dots\dots\dots (A.6)$$

式中:

- P_d ——设计压力,单位为兆帕(MPa);
- $[\sigma]$ ——试验温度下材料的许用应力,单位为兆帕(MPa);
- $[\sigma]^t$ ——设计温度下材料的许用应力,单位为兆帕(MPa)。

- b) 如果计算的试验压力会导致管道组成件产生塑性变形,试验压力可降低至不导致塑性变形的最大压力。

A.5.2.1.3 试验规定

耐压试验符合下列规定:

- a) 除在最终装配期间使用的螺栓连接件和垫圈,以及予以拆除或者隔离的安全阀、爆破片装置等外,每个管道组成件和焊缝需进行耐压试验;
- b) 按照 A.5.2.1.2 规定的压力进行分段耐压试验,安装后的管道系统还需进行 1 次不低于设计压力 1.1 倍的耐压试验。

A.5.2.2 泄漏试验

高压管道的泄漏试验按 GB/T 20801.1—2025 的相应规定和设计文件执行。

A.6 安全保护装置

A.6.1 安全保护装置用于防止管道系统发生超压事故,其控制仪器或者仪表和事故连锁装置不能代替安全保护装置作为系统的保护设施。在不准许安装安全泄放装置的情况下,并且控制仪表和事故连锁装置的可靠性不低于安全泄放装置时,则控制仪器仪表和事故连锁装置可代替安全泄放装置作为系统的保护设施。

A.6.2 与压缩机和泵出口连接的高压管道,需设置超压泄放装置,防止出口阀门的误操作引起超压。

A.6.3 超压泄放装置相关压力的确定参照 GB/T 20801.1—2025 中第 9 章的规定执行。

A.6.4 安全阀的泄漏(密封)试验压力大于管道系统的最大工作压力,爆破片的最小标定爆破压力大于 1.05 倍的管道系统最大工作压力。所选用安全阀或者爆破片的额定泄放面积大于安全阀泄放量计算得到的最小泄放面积。



附录 B

(资料性)

设计压力大于 12 MPa 的氢气长输管道的建造方法

B.1 概述

B.1.1 本附录适用于设计压力大于 12 MPa,且不大于 21 MPa 的氢气长输管道的建造。

B.1.2 除本附录外的其他材料选用、设计和计算、施工和安装、检验和试验等建造过程执行第 10 章的规定。

B.1.3 当采用 L360 以下钢级的材料时,需符合 5.1.3、5.1.4、表 22 和 10.3.2 的规定。当采用 L360 及 L415 钢级的材料时,除符合 5.1.3、10.3.2 的规定外,需在与设计条件相当的氢气组分和压力下进行氢相容性试验,氢相容性试验需包含 K_{IH} 测试,试验结果需符合 5.1.4 的规定。不使用 L450 及以上钢级的材料。

B.2 设计和计算

B.2.1 许用应力

钢管和管件的许用应力按公式(B.1)计算:

$$[\sigma] = KH_f \phi t \sigma_s \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

$[\sigma]$ ——许用应力,单位为兆帕(MPa);

K ——强度设计系数,见 B.2.2;

H_f ——材料性能系数,见 B.2.3;

σ_s ——钢管和管件材料标准规定的最低屈服强度,单位为兆帕(MPa);

ϕ ——焊缝系数,满足本文件要求的钢管和管件的焊缝系数取 1.0;

t ——温度折减系数,见表 24。

B.2.2 强度设计系数

强度设计系数取表 B.1 中的值。

表 B.1 强度设计系数

位置	地区等级			
	一	二	三	四
	强度设计系数(K)			
一般线路管道、水域小型穿越管道	0.50	0.50	0.50	0.40
有套管或有涵洞穿越三、四级公路的管道	0.50	0.50	0.50	0.40
无套管、无涵洞穿越三、四级公路的管道	0.50	0.50	0.50	0.40
有套管或有涵洞穿越一、二级公路、高速公路、铁路的管道,以及一、二级公路、高速公路、铁路的桥下穿越段管道	0.50	0.50	0.50	0.40

表 B.1 强度设计系数 (续)

位置	地区等级			
	一	二	三	四
	强度设计系数(K)			
山岭隧道穿越管道	0.50	0.50	0.50	0.40
水域大、中型穿越管道	0.50	0.50	0.40	0.40
大型跨越管道	0.40(0.50)	0.40(0.50)	0.40(0.50)	0.40
中、小型跨越管道	0.50	0.50	0.50	0.40
输气管道的站场管道、阀室内管道	0.50	0.50	0.50	0.40
<p>注 1: 地区等级划分、水域穿越工程等级划分、跨越工程等级划分见 GB/T 34275—2024。</p> <p>注 2: 在一、二、三级地区内的学校、医院以及其他公共场所等人群聚集的地区,强度设计系数按照四级地区选取。</p> <p>注 3: 甲类跨越工程为通航河流、电气化铁路和高速公路跨越,乙类跨越工程为非通航河流及其他障碍跨越。乙类跨越工程的管道强度设计系数取括号内数值。</p>				

B.2.3 材料性能系数

不锈钢材料的最大性能系数取 1.0,GB/T 9711 管道材料的最大性能系数(H_f)取值见表 B.2。

表 B.2 GB/T 9711 管道材料的最大性能系数

标准规定的 最低屈服强度 MPa	设计压力 MPa					
	12	15	16	18	19	21
	材料性能系数(H_f)					
≤360	1.0	0.954	0.910	0.880	0.840	0.780
415	0.874	0.834	0.796	0.770	0.734	0.682
450	0.776	0.742	0.706	0.684	0.652	0.606
注: 当设计压力介于上述数值之间时,采用插值法计算材料性能系数。						

附 录 C

(资料性)

低温氢气和液态氢管道的建造方法

C.1 概述

C.1.1 本附录给出了低温氢气和液态氢管道(属于工业管道)的建造方法,包括了材料、设计、制造与安装、检验与试验和安全防护的内容。

C.1.2 本附录所指管道包括了工业界区内的氢气液化装置、供氢站、加氢站及其他装置中输送低温氢气和液氢的管道。

C.2 材料

C.2.1 金属材料

C.2.1.1 金属材料的选择需考虑材料的力学性能、物理性能和工艺性能,以及与低温氢气和液态氢的相容性,并符合国家或国际相应的材料标准。

C.2.1.2 在低温氢气和液态氢温度下,压力管道及组成件材料包括锻件、管材、棒材、铸件等考虑选择抗低温氢脆断(抗氢脆)的稳态奥氏体不锈钢材料,热处理状态为固溶处理,并符合下列规定:

- a) 奥氏体不锈钢材料的镍含量不低于 10%或依据订货合同规定;
- b) 根据材料质量证明书上的化学成分的实测值进行奥氏体稳定性(Δ)、低温下马氏体自发转变温度(M_s)的计算,计算结果满足 $\Delta \geq 0$ 、低温下马氏体自发转变温度(M_s)不高于压力管道的最低设计温度。其中, Δ 和 M_s 按公式(C.1)和公式(C.2)计算。

$$\Delta = Ni + 0.5Mn + 35C - 0.083 3(Cr + 1.5Mo - 20)2 - 12 \quad \dots\dots(C.1)$$

$$M_s(^\circ C) = \{75(14.6 - Cr) + 110(8.9 - Ni) + 60(1.33 - Mn) + 50(0.47 - Si) + 3\ 000[0.068 - (C + N)] - 32\} / 1.8 \quad \dots\dots\dots(C.2)$$

注:公式中的化学成分均为质量分数,%。

C.2.1.3 稳态奥氏体不锈钢钢材根据 GB/T 13305 进行铁素体含量测定,对于锻件、管材、棒材的铁素体测量值不大于 3%,对于铸件的铁素体测量值不大于 8%。

C.2.1.4 管道及管道组成件用钢材根据 GB/T 229 规定的方法进行规定温度下的夏比 V 型缺口低温冲击试验。用于液态氢或低温氢气环境下的钢材低温冲击性能指标不低于表 C.1。

表 C.1 管道组成件用钢材冲击性能

数量	试验温度 ℃	3 个标准试样冲击吸收 能量平均值(KV2) J	侧膨胀值(LE) mm	标准试样尺寸
1 组(3 个)	-196	≥ 70	≥ 0.76	10 mm×10 mm×55 mm
依据设计文件的规定可进行 -269 ℃或最低设计金属温度下的冲击试验,试验指标依据冲击吸收能量平均值 KV2 不低于 49 J、侧膨胀值 LE 不小于 0.53 mm 进行 注 1: 3 个试样的冲击吸收能量平均值需满足规定值,至多允许有 1 个试样的冲击吸收能量低于规定值,但不低于规定值的 70%。 注 2: 冲击试验标准试样尺寸为 10 mm×10 mm×55 mm。当钢材尺寸无法制备标准试样时,则依次制备宽度为 7.5 mm、5 mm 或 2.5 mm 的小尺寸冲击试样,其冲击吸收能量指标,分别为标准试样冲击吸收能量指标的 75%、50%或 25%,侧膨胀值与标准试样侧膨胀值的指标相同。 注 3: 当无法制备 2.5 mm×10 mm×55 mm 小尺寸冲击试样时,免做冲击试验。				

C.2.2 焊接材料

C.2.2.1 在低温氢气和液态氢的温度条件下,焊接材料的选用宜考虑焊接接头的力学性能以及与管道母材相匹配的影响。

C.2.2.2 焊接材料依据本文件及 NB/T 47014—2023 的要求进行焊接工艺评定,评定合格后方可使用。进行管道、管件等承压部件焊接工艺评定时,还需对不同焊接方法所用焊接材料的熔敷金属进行拉伸、冲击试验和铁素体测量值检测,熔敷金属试验见表 C.2。

表 C.2 熔敷金属试验

序号	试验项目	试样数量	试验温度 ℃	合格指标	试验方法
1	铁素体测量值	1	室温	≤8%	GB/T 1954
2	全焊缝金属拉伸	1	室温	断后伸长率:≥30%	GB/T 228.1
3	冲击试验	1组(3个)	-196	标准试样冲击吸收能量 KV2:≥47 J 侧膨胀值:≥0.53 mm	GB/T 229
		1组(3个)	-269	标准试样冲击吸收能量 KV2:≥38 J 侧膨胀值:≥0.38 mm	
注:冲击试验标准试样尺寸为 10 mm×10 mm×55 mm,当钢材尺寸无法制备标准试样时,则依次制备宽度为 7.5 mm、5 mm 或 2.5 mm 的小尺寸冲击试样,其冲击吸收能量指标,分别为标准试样冲击吸收能量指标的 75%或 50%或 25%。冲击试验每个试样的冲击吸收能量和侧膨胀值均不低于规定值。					

C.2.3 密封材料

液态氢环境和低温氢气下的非金属材料需满足液态氢温度下的应用,不能因脆性破坏或低温冷流变形而引起泄漏,强化四氟乙烯(RPTFE)、聚三氟氯乙烯(PCTFE)能用于液态氢或低温氢气系统的阀门、法兰等密封应用。允许使用优于上述材质的非金属材料,但在满足液氢温度下的应用,并满足现行标准中与氢相容性的材料要求。

C.2.4 紧固件

螺栓材料选用奥氏体不锈钢材料(A2-70、A193 B8 CL.2 和 B8M CL.2、A320 B8 CL.2)。垫圈采用奥氏体不锈钢弹簧锁紧垫圈。

C.2.5 真空绝热管夹层支撑材料

C.2.5.1 真空绝热管夹层支撑材料选用非金属材料以减少冷量损失,并符合 GB/T 18442.2—2019 中 7.1 的相关规定。

C.2.5.2 当使用环氧玻璃钢支撑材料时,需符合下列规定。

- 其出厂文件中的材料力学性能指标和物理性能指标至少满足表 C.3。
- 材料制造单位需委托具有 CNAS 资质且具备相应材料试验项目资质的第三方试验机构进行材料性能测试,并取得试验机构出具的材料性能试验报告,试验数值不低于表 C.3。检验项目、试样制备及试验方法符合表 C.4 的规定。

表 C.3 低温绝热用环氧玻璃钢力学性能与物理指标

加载方向	温度 ℃	密度 g/cm ³	导热系数 W/(m·K)	平均线膨胀系数 10 ⁻⁶ /℃	拉伸强度 MPa	压缩强度 MPa	剪切强度 MPa	弯曲强度 MPa	冲击韧性 J/cm ²
平行于布层方向	室温	1.70~ 1.90	≤0.50	≤16	≥210	≥250	≥30	—	—
平行于布层方向	-196		≤0.42		≥280	≥360	≥35	—	—
垂直于布层方向	室温	1.90	≤0.43	≤40	—	≥310	≥80	≥340	≥22
垂直于布层方向	-196		≤0.35		—	≥420	≥100	≥420	≥35

注：“—”表示无适用数据。

表 C.4 环氧玻璃钢检验项目、取样数量、试样制备和试验方法

序号	检验项目	取样数量	试样制备	试验方法
1	拉伸试验	每组不少于 5 个	GB/T 1447	GB/T 1447
2	压缩性能试验	每组不少于 5 个	GB/T 1448	GB/T 1448
3	弯曲性能试验	每组不少于 5 个	GB/T 1446	GB/T 1449
4	层间剪切强度试验	每组不少于 5 个	GB/T 1446	GB/T 1450.1
5	垂向剪切强度试验	每组不少于 5 个	GB/T 1446	GB/T 1450.2
6	冲击韧性试验	每组不少于 5 个	GB/T 1446	GB/T 1451
7	密度试验	每组不少于 5 个	GB/T 1446	GB/T 1463
8	导热系数试验	每组不少于 3 块	GB/T 1446	GB/T 3139
9	平均线膨胀系数试验	每组不少于 3 个	GB/T 1446	GB/T 2572

C.2.5.3 高真空多层绝热材料符合 GB/T 31480 的规定,且满足液氢条件下的使用要求。采用超细玻璃纤维制品材料符合 GB/T 18442.2—2019 中 5.5.4 的规定。

C.2.5.4 吸附剂材料考虑满足液氢条件下的使用要求,且满足氧相容要求。5A 分子筛符合 GB/T 13550 的规定,13X 分子筛符合 HG/T 2690 的规定。不能采用活性炭作为吸附剂材料。

C.3 设计和计算

C.3.1 液氢管道系统的设计准则和设计计算方法依据 GB/T 20801.1—2025 中第 6 章的规定,同时充分考虑液氢管道在各种操用工况下可能出现的极端情况。

C.3.2 液氢管道系统设计压力的确定原则依据 GB/T 20801.1—2025 中第 6 章的规定,且不小于连接容器的设计压力。

C.3.3 液氢管道系统的结构设计应避免因热胀冷缩、机械振动等引起的破坏,必要时考虑设置温度补偿装置和紧固装置。管道支架要能承受正常操作工况下的载荷。紧固装置采用管夹或奥氏体不锈钢 U 型螺栓,任何管夹部分不能采用碳钢。

C.3.4 当管道采用管夹固定时,管夹的固定采取减小摩擦力的措施以不限制管路的热胀冷缩。

C.3.5 液氢管道系统的管子之间、管子与管件之间采用焊接连接形式,焊接结构采用等壁厚、全焊透的对接接头,不允许采用带永久垫板的对接接头焊接结构。管道与阀门、仪表等元件的连接优先采用焊接连接,仪表管可采用其他可靠无泄漏的连接结构方式。

C.3.6 液氢管道不采用螺纹连接形式。

C.3.7 液氢管道需设置吹扫置换接口,其位置要能满足各段管道内气体的充分吹扫、置换。

C.3.8 阀门符合下列规定。

- a) 低温氢气和液态氢用阀门采用真空夹套结构的截止阀或球阀以减少冷量损失;阀门的材料符合第5章和第9章的相关规定;其他技术方面、检验和试验项目及要求满足GB/T 45027的规定。
- b) 阀门安装时阀杆宜竖直向上布置(仪表阀门除外)。当阀门阀杆需要倾斜时,阀杆要向上倾斜,且最大倾斜角度不大于 45° 。

C.3.9 导静电装置符合下列规定:

- a) 每对法兰或螺纹连接间都需设置导线跨接,且电阻不超过 $0.03\ \Omega$;
- b) 集中排放管要单独设置导静电连接端子;
- c) 接地端子与接地体之间的电阻值不大于 $4\ \Omega$ 。

C.3.10 所有低温氢气和液态氢的非绝热管道布置时,需考虑防止操作人员的皮肤接触而造成冻伤。远离其他可燃物表面,避免外部富氧空气引发火灾的风险。

C.3.11 真空绝热管道的设计符合下列规定。

- a) 低温氢气和液态氢管道采用高真空多层绝热结构或其他绝热方式,夹层空间内设置多层绝热材料间隔的防辐射屏(反射屏)材料和放置吸附剂,管道安装完成后抽真空,以减少热传导和冷损,同时防止大气空气在低温下的冷凝。管道系统中的真空绝热管道要与液氢储罐和冷箱的真空系统分开。
- b) 真空绝热管的内管设计符合本文件及GB/T 20801.1—2025中第6章的规定,外管的设计外压不小于 $0.1\ \text{MPa}$ 。真空绝热管外管的稳定性校核符合GB/T 150.3—2024的外压计算规定。
- c) 真空绝热管的内管进行柔性设计,其结构要能够避免因热胀冷缩、机械振动等引起的机械破损和疲劳开裂。必要时考虑设置补偿装置,内管不能使用膨胀节结构。当使用波纹膨胀节时,将其设置在外管。安装时不采用拉伸或压缩波纹管来弥补长度不足或对齐问题。
- d) 真空绝热管道的连接方式采用焊接结构,在接头连接处考虑冷桥结构设计以减少冷损。
- e) 内管通常通过设置在外管夹层环形空间中的支撑件进行支撑。支撑件的设计和位置考虑冷却过程中的热负载以及传递到外管的载荷,还要考虑承受任意工况下支撑内管的自重。管道系统具有足够的柔性,以防止因热膨胀或收缩而导致的管道破裂或泄漏。长距离管道需要在一定间距设置支撑,以允许轴向移动,同时限制横向和垂直方向的移动。
- f) 每段可能发生液体锁闭的低温管道都要配备安全泄放装置,以控制因热损失或火灾引起的超压。
- g) 液体排放管道中的低点要避免液封,以防止污染物积聚和液体滞留。如无法避免,需设置低点排放口。
- h) 真空绝热管道的夹层空间形成独立封闭腔时要设置抽真空和真空度测量接口和外管防爆装置。
- i) 低温氢气和液态氢真空绝热管道考虑在工厂完成预制,尽可能减少接头。其设计要避免产生过大的应力集中和明显变形。
- j) 液态氢充装软管与真空绝热管的连接使用插拔式卡口接头。
- k) 低温氢气和液态氢真空绝热管道在常温下的真空夹层的真空度不大于 $0.05\ \text{Pa}$,冷态真空度不大于 $0.005\ \text{Pa}$ 。真空夹层的漏率和漏放气速率见表C.5。

表 C.5 真空绝热管路夹层的真空性能

项目	性能指标
漏气速率	$\leq 1 \times 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$
漏放气速率	$\leq 1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$
封结真空度	$\leq 0.05 \text{ Pa}$

C.3.12 安全排放管路系统符合下列规定。

- a) 低温氢气和液态氢管路排放系统要考虑设计竖直集中排放管,并对进行充分考虑排放时产生的背压,进行压降计算,防止排放系统超压或影响泄放能力。
- b) 低温氢气和液态氢排放管不设置阻火器或可能阻碍氢气流动的部件和任何可能引起冰堵、阻塞管路的装置。
- c) 液氢或低温氢气的出口和排放方向,在可能的连续结冰管道区域设置集冰盒,在其周边有可能产生液化空气滴落的地方设置盛液盘、保护装置或警示标志。
- d) 低温氢气和液态氢排放管通常无需惰性气体吹扫,如有需要仅允许选用氦气。
- e) 当多个管路连接到集中排放管上时,不同压力等级的放空管道要分别引至放空或排放总管,并采取措施避免维修或更换阀门时发生氢气回流、泄漏等情况。
- f) 集中排放管排气出口的设计要能防止雨水或冷凝水从集中排放管自流回排放管路。集中排放管底部设置积水罐及排水管,并定期排水,防止雨、雪等堵塞排水管出口。
- g) 集中排放系统管路的连接接头设计要考虑密封性、机械强度和防火安全性。集中排放管的材料要经受 $-253 \text{ }^\circ\text{C}$ 的低温,并可短时间耐受氢气燃烧,保持不破裂。

C.4 制作与安装

C.4.1 液氢管道安装前,对管子、管件、阀门等管道组成件内外表面进行清洗,清洗后保持洁净干燥、无杂物或油污。与氢介质接触的所有零部件表面进行脱脂清洗,清洗完成后进行100%目视检查。清洁度的检测方法依据JB/T 6896的规定执行,表面油脂检测的油脂残留量不大于 $125 \text{ mg}/\text{m}^2$,且符合设计文件的要求。

C.4.2 当管道安装过程中有间断施工时,要采取有效措施及时进行临时管口封闭,以保持清洁度。

C.4.3 管道焊接需符合下列规定:

- a) 对接环焊缝的对口错边量小于或等于 $1/4$ 的管子名义厚度,且小于或等于 1 mm ;
- b) 对接焊缝余高小于或等于 1.5 mm ;
- c) 与氢接触的焊缝内表面平滑,不存在尖角、凸起和内凹;
- d) 焊缝与母材圆滑过渡,且角焊缝的外形应凹形圆滑过渡。

C.4.4 低温氢气和液态氢管道焊接工艺评定需满足表 C.6。

表 C.6 管道组成件焊接工艺评定试验

序号	试验项目	试样数量	试验温度	合格指标	试验方法	其他规定
1	横向拉伸	焊接接头:2个	室温	强度:NB/T 47014—2023 中 6.4.1.5.4	GB/T 228.1	—

表 C.6 管道组成件焊接工艺评定试验 (续)

序号	试验项目	试样数量	试验温度	合格指标	试验方法	其他规定
2	横向弯曲	面弯 + 背弯: 2 个 + 2 个 或侧弯: 4 个	室温	NB/T 47014—2023 中 6.4.1.6.4	GB/T 2653	当板厚小于 10 mm, 采用面弯和背弯试验; 当板厚大于或等于 10 mm, 可采用侧弯代替面弯和背弯
3	冲击试验	焊缝区: 1 组 (3 个) 热影响区: 1 组 (3 个)	-196 °C	标准试样冲击吸收能量 KV ₂ : ≥47 J 侧膨胀值 LE: ≥0.53 mm	GB/T 229	—
4	冲击试验	焊缝区: 1 组 (3 个) 热影响区: 1 组 (3 个)	-269 °C	标准试样冲击吸收能量 KV ₂ : ≥38 J 侧膨胀值 LE: ≥0.38 mm	GB/T 229	—
<p>注 1: 冲击试验标准试样尺寸为 10 mm×10 mm×55 mm。当无法制备标准试样时, 则依次制备宽度为 7.5 mm、5 mm 或 2.5 mm 的小尺寸冲击试样, 其冲击吸收能量指标分别为标准试样冲击吸收能量指标的 75%、50% 或 25%。冲击试验每个试样的冲击吸收能量均不低于规定值。当无法制备 2.5 mm×10 mm×55 mm 小尺寸冲击试样时, 免做冲击试验。</p> <p>注 2: 取样方法依据 NB/T 47014—2023 执行。</p> <p>注 3: 允许采用最低设计金属温度下的冲击试验代替 -269 °C 的冲击试验, 指标不变。</p> <p>注 4: “—”表示无适用内容。</p>						

C.4.5 管路的焊接要严格控制线能量, 在焊接工艺评定确认的范围内选用较小的焊接线能量, 进行多道施焊。在焊接完成后使用铁素体测量仪测得的铁素体测量值不大于 8%。

C.4.6 当与液氢介质接触的管道采用冷弯成形时, 使用铁素体测量仪测得的铁素体含量不宜大于 5%; 当铁素体含量超过 5% 时则进行固溶处理。

C.4.7 真空绝热管道的制造要求如下:

- 对真空绝热管外管内侧和内管外侧进行脱脂清洗, 除去污物油脂, 脱脂清洗后的表面油脂残留量 ≤125 mg/m²;
- 在专用洁净干燥的场地进行多层绝热材料的缠绕施工, 且全过程 (包括过程前后) 保持绝热材料的干燥和洁净;
- 装配焊接时采取必要措施防止真空绝热层的破损;
- 在真空绝热管内管焊接完成后进行氦检漏试验, 试验合格后进行外管安装;
- 真空绝热管道组装完成后进行抽真空, 然后对管道真空夹层进行氦检漏试验, 其真空性能满足表 C.5。

C.5 检验与试验

C.5.1 无损检测

液氢管道的无损检测符合下列规定:

- 真空绝热管内管, 其对接接头根据 NB/T 47013.2 的规定进行 100% 射线检测, 射线检测技术等级不低于 AB 级, 其质量等级不低于 II 级;
- 真空绝热管内管, 其角接接头根据 NB/T 47013.5 的规定进行 100% 渗透检测, 质量等级不低

于 I 级；

- c) 真空绝热管道的外管对接接头,根据 NB/T 47013.5 的规定进行 100% 渗透检测,质量等级不低于 I 级；
- d) 非真空绝热管道的对接接头根据 NB/T 47013.2 的规定进行 100% 射线检测,射线检测技术等级不低于 AB 级,其质量等级不低于 II 级。

C.5.2 压力试验

C.5.2.1 管道无损检测合格后,按设计文件的规定进行耐压试验,压力试验和试验程序参照 GB/T 20801.1—2025 中第 8 章的规定。

C.5.2.2 当采用气压试验进行管道压力试验时,试压气体为无油、干燥的空气、氮气或其他惰性气体。

C.5.3 真空绝热管的检测

C.5.3.1 真空绝热管夹层的真空度检测方法依据 GB/T 18443.2。

C.5.3.2 真空绝热管夹层的漏气速率检测方法依据 GB/T 18443.3。

C.5.3.3 真空绝热管夹层的漏放气速率检测方法依据 GB/T 18443.4。

C.5.3.4 真空绝热管夹层性能检测指标见表 C.6。

C.5.4 冷充试验

当真空绝热管进行冷充型式试验时,通常采用液氮为冷充介质,且使管道与液氢接触部位能够充分冷却。在介质充装及静置期间观察管道各处有无漏冷、结霜、明显变形、断裂等异常情况。

C.6 安全防护

C.6.1 液氢管道系统的安全防护依据 GB/T 20801.1—2025 中第 9 章的规定。

C.6.2 低温氢气和液态氢真空绝热管道的内管,每段可能发生液体锁闭的低温管道都要配备安全泄放装置或热泄放阀 TSV,其整定压力依据 GB/T 20801.1—2025 中第 6 章的规定,且不大于管道系统设计压力的 1.5 倍。

C.6.3 真空绝热管外管设有防爆装置,其泄放压力需不大于 0.05 MPa,排放能力足以使真空夹层的压力限制在不超过 0.1 MPa。

C.6.4 安全阀或热泄放阀 TSV 排放出口均要连接管路引至集中排放管。

C.6.5 液氢管道依据 GB/T 20801.1—2025 中第 6 章的规定设置紧急切断阀。切断阀考虑采用气动控制,并采取适当措施,防止控制系统内气体被液化。紧急切断阀的设计、漏率等要求满足 GB/T 45027 的规定。

C.6.6 泄漏检测满足下列规定。

- a) 氢气传感器:沿管道布置设置高灵敏度氢气探测器,实时监测泄漏浓度(通常报警阈值设为 1%LEL,即 0.04%体积分数)。
- b) 温度/压力监控:安装超低温温度传感器和压力变送器,异常波动时可触发紧急切断。
- c) 红外或超声波检测:利用红外成像或超声波技术定位微小泄漏点。
- d) 带传感器或者电气控制元件的测量装置的防护等级不低于 GB/T 4208 中 IP65 级,防爆要求满足 GB 3836.1 中 IIC,温度组别不低于 GB 3836.1 中 T1,并选用隔爆型。

C.6.7 防火防爆措施满足下列规定。

- a) 惰性气体保护吹扫:管道维护时,采用氮气或其他惰性气体进行吹扫置换残留氢气。
- b) 防静电与接地:管道全线接地,法兰间跨接导线,避免静电积累。
- c) 防火间距:管道与明火、电气设备保持安全距离,周边不堆放易燃物。

附录 D
(资料性)
恒位移与恒载荷试验方法

D.1 概述

D.1.1 利用计算得到的 K_{IAPP} 对预裂纹试样进行恒位移加载或恒载荷加载, 试样在加载状态下放置入氢气环境中保持一定试验周期, 试验结束后检查是否在裂纹处发生了亚临界裂纹扩展。

D.1.2 当试样亚临界裂纹扩展不超过 0.25 mm, 材料可用于氢气环境下的建造。

D.1.3 当测试得到的 K_{IH} 满足平面应变有效性判定条件时, 该值满足所有厚度设计要求; 当不满足平面应变有效性判定条件时, 该值只用于其当前试验条件。平面应变有效性判定可参考 GB/T 21143。

D.2 试样与数量

D.2.1 试样采用紧凑拉伸试样(简称“CT 试样”)或改进型楔形张开口加载试样(简称“WOL 试样”)进行。CT、WOL 试样尺寸可参考 GB/T 15970.6。

D.2.2 试样厚度(B)是需要确定的关键参数, 所选择的试样厚度不低于 85% 的材料厚度, 当取样不能满足 85% 材料取样厚度时, 采用最大取样厚度, 常用于试验的厚度尺寸有 25 mm、20 mm、15 mm、12.5 mm、10 mm、7.5 mm、5 mm 等。

D.2.3 试样的取样可参考图 D.1 所示方式进行。母材按照横向试样, 中心距直焊缝约 90°; 焊缝试样预制裂纹位于焊缝中心位置; 热影响区试样预制裂纹位于热影响区位置。

D.2.4 每组试验宜包含 3 个平行试样。

D.2.5 试样的疲劳裂纹预制参考 GB/T 21143。

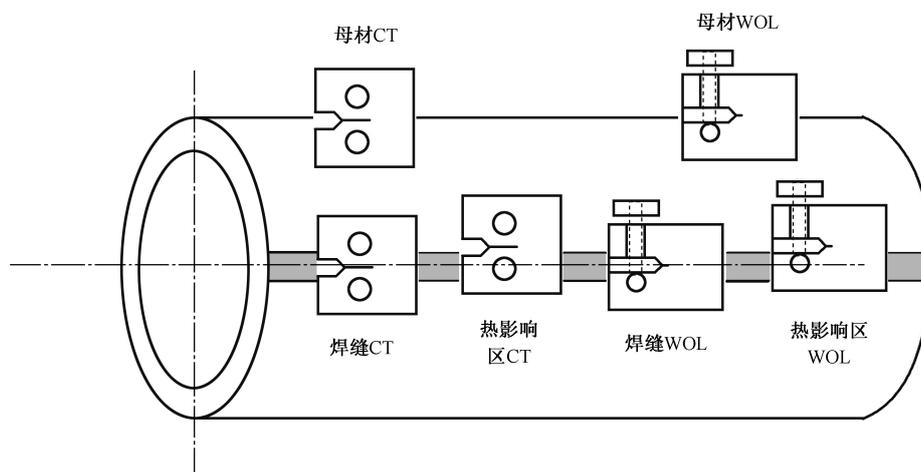


图 D.1 管道材料试样取样示意图

D.3 试验流程

D.3.1 试验流程包含试样制备与尺寸测量、疲劳裂纹预制、试样加载、充氢前试样表面裂纹测量、高压充氢、充氢后表面裂纹测量、试样卸载、试样断面裂纹测量及 K_{IH} 计算, 见图 D.2。

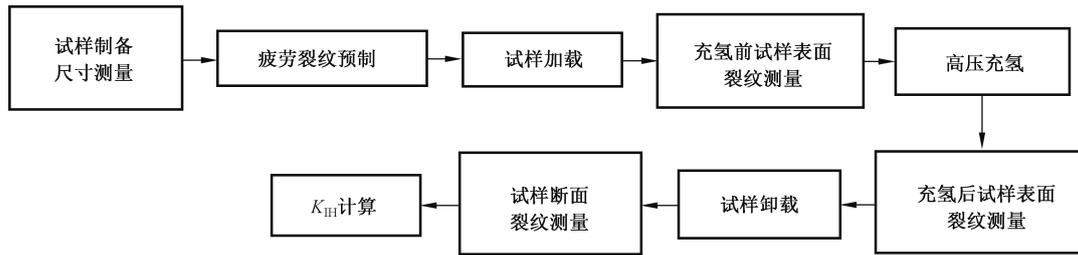


图 D.2 恒位移或恒载荷加载试验程序

D.3.2 开展试验的高压氢环境试验釜可满足试验应力需求,试验前清理干净,确保无灰尘、油等杂质。试验釜密封后利用高纯氮气(99.999%)进行清扫置换,高纯氢气(99.999%)进行置换,每次置换重复3次。

D.3.3 对清扫置换后的高压氢环境试验釜进行抽真空,随后进行试验介质增压,纯氢气试验的氢气纯度不低于99.999%,氧含量 $<1 \times 10^{-6}$;掺氢试验可采用配制气或在线掺混方式进行,具体组分双方协商确认。

D.3.4 待压力稳定后开始试验计时,铁素体钢的高压充氢的试验时间至少为1 000 h;不锈钢的高压充氢的时间宜为5 000 h。

D.3.5 试样表面裂纹观察与测量可利用数码显微镜或工具显微镜进行,对加载状态下的CT、WOL试样进行充氢前、充氢后的表面裂纹测量。除记录测量数据外,对表面裂纹的形貌进行拍照记录。

D.3.6 对试验完毕后的试验进行着色或二次疲劳处理,以区别氢致裂纹与人工打开裂纹。着色通过高温炉对试样加热至300℃保温1 h实现,二次疲劳是指在疲劳试验机上对试样进行疲劳裂纹预制3 min~5 min,试验载荷需明显大于或小于初始裂纹预制时的载荷。随后利用低温将试样拉断,对其断面裂纹进行测量。

D.3.7 断面裂纹的测量利用工具显微镜或数码显微镜,采用九点法进行。测量计算得到试样的初始裂纹长度 a_0 、终止裂纹长度 a_e 。并采用扫描电镜对断口裂纹进行记录。

D.4 试样加载与卸载

D.4.1 CT试样加载与卸载

CT试样加载与卸载步骤如下。

- a) CT试样的加载要计算所需加载的最小应力强度因子值 K_{IAPP} 为公式(D.1)计算结果与 $70 \text{ MPa} \cdot \sqrt{\text{m}}$ 中的大者:

$$K_{IAPP} = 1.5 \times \frac{R_m}{R} \times K \quad \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

- R_m ——材料抗拉强度,单位为兆帕(MPa);
- R ——基准强度,取950 MPa;
- K ——基准强度因子,取 $60 \text{ MPa} \cdot \sqrt{\text{m}}$ 。

- b) 对恒位移加载方式,首先对未加载的CT试样进行张开口尺寸测量,随后将CT试样装在试验机上,利用楔形块对CT试样进行加载,控制CT试样的张开口位移大于公式(D.2)计算得到的试样张开口位移,完成加载。试验结束后观察裂纹是否发生扩展,随后卸载。

$$V = 10^{\frac{3}{2}} \frac{K_{IAPP} \sqrt{W}}{E \sqrt{B/B_N} [f_2 \left(\frac{a_0}{W} \right)]} \dots\dots\dots (D.2)$$

式中:

- V ——试样所需达到的张开口位移,单位为毫米(mm);
 W ——试样的宽度,单位为毫米(mm);
 B ——试样的厚度,单位为毫米(mm);
 B_N ——开侧槽试样的厚度,对未开侧槽试样 $B_N = B$,单位为毫米(mm);
 a_0 ——预制裂纹的长度,单位为毫米(mm);
 E ——弹性模量,单位为兆帕(MPa);
 f_2 ——形状因子,见公式(D.3)。

$$f_2 \left(\frac{a_0}{W} \right) = \sqrt{1 - \frac{a_0}{W}} \left[0.748 - 2.176 \left(\frac{a_0}{W} \right) + 3.56 \left(\frac{a_0}{W} \right)^2 - 2.55 \left(\frac{a_0}{W} \right)^3 + 0.62 \left(\frac{a_0}{W} \right)^4 \right] \dots\dots (D.3)$$

- c) 对恒载荷加载方式,在试验机上按照 D.4.1 b) 加载直至张开口位移大于公式(D.2),保持当前加载载荷,打开试验机载荷控制模式开展高压氢环境试验。试验结束后检查是否发生裂纹扩展,随后卸载。
d) 张开口尺寸的测量可利用试验机上的 COD 引伸计进行。

D.4.2 WOL 试样加载和卸载

WOL 试样加载和卸载步骤如下。

- a) WOL 试样利用螺栓进行加载,WOL 试样的应力强度因子值 K_I 计算见公式(D.4)和公式(D.5):

$$K_I = 10^{\frac{3}{2}} \frac{f_3 \left(\frac{a}{W} \right) F_V}{B \sqrt{a}} \dots\dots\dots (D.4)$$

$$f_3 \left(\frac{a}{W} \right) = 30.96 \left(\frac{a}{W} \right) - 195.8 \left(\frac{a}{W} \right)^2 + 730.6 \left(\frac{a}{W} \right)^3 - 1186.3 \left(\frac{a}{W} \right)^4 + 754.6 \left(\frac{a}{W} \right)^5 \dots\dots (D.5)$$

式中:

- W ——试样的宽度,单位为毫米(mm);
 B ——试样的厚度,单位为毫米(mm);
 a ——裂纹长度,单位为毫米(mm);
 F_V ——加载载荷,单位为千牛(kN)。
b) WOL 试样 K_{IAPP} 推荐值为 $140 \text{ MPa} \cdot \sqrt{\text{m}}$,或根据材料预估的 K_{IH} 值的 2 倍进行加载。将 K_{IAPP} 代入公式(D.4)中的 K_I 值,计算得到需要加载的载荷 F_{V0} 。
c) 对恒位移加载方式,首先利用万能试验机对 WOL 试样进行 $F-V$ 曲线标定,根据 $F-V$ 曲线得到所需加载的缺口张开位移 V ;然后利用螺栓对 WOL 试样进行加载,直到达到加载的张开口位移并记录为 V_0 ,并对应 $F-V$ 曲线得到加载的实际载荷 F_{V0} 并记录。加载完毕后放入高压氢环境试验釜进行试验。
d) 对恒载荷加载方式,对 WOL 试样加载至 D.4.2 b) 中计算得到的 F_{V0} ,保持当前加载载荷,打开试验机载荷控制模式开展高压氢环境试验。
e) 试验结束后若试样亚临界裂纹未发生扩展,或扩展长度小于 0.25 mm,恒载荷加载条件下:

$K_{IH} = K_{IAPP}$; 恒位移加载条件下: $K_{IH} = 0.5K_{IAPP}$ 。

- f) 试验结束后若试样亚临界裂纹扩展超过 0.25 mm, 恒载荷加载条件下应降低初始加载的 K_{IAPP} , 重新开始试验; 恒位移加载条件下, 对 WOL 试样进行卸载, 记录其缺口张开位移的变化, 并记录为 V_e , 卸载后再次对 WOL 试样的 $F-V$ 曲线进行标定, 并利用 V_e 计算得到 WOL 试样卸载时所承受的载荷 F_{Ve} , 将其代入公式(D.4)计算得到 K_{IH} 。

D.5 试验结果

D.5.1 试验结果要注明试验的具体参数条件、 K_{IH} 是否满足平面应变条件的有效性判定等。

D.5.2 试验结果要附上包含断口裂纹检查的扫描电镜照片。



附录 E

(规范性)

可免除氢相容性试验的常用氢气管道材料标准及牌号

E.1 基本规定

E.1.1 本附录适用于设计压力不大于 21 MPa,设计温度不大于 177 °C 的氢气工业管道及设计压力不大于 12 MPa,设计温度不大于 177 °C 的氢气长输管道及氢气公用管道。

E.1.2 设计压力大于 21 MPa 的氢气工业管道材料应符合第 5 章和第 9 章相关规定,或经建设单位(设计单位)批准选用具有良好工程应用经验的材料。

E.2 可免除氢相容性试验的氢气管道材料

E.2.1 可免除氢相容性试验的氢气工业管道常用材料按表 E.1。

E.2.2 可免除氢相容性试验的氢气长输管道常用材料按表 E.2。

E.2.3 可免除氢相容性试验的氢气公用管道常用材料按表 E.3。

E.2.4 表 E.1~表 E.3 中所列的不锈钢材料不应产生应变诱导马氏体组织。

E.2.5 标准紧固件等非临氢材料,在任何压力条件下均不开展材料氢相容性试验。

表 E.1 氢气工业管道常用材料标准及牌号

材料类别	标准	材料牌号	材料类别	标准	材料牌号
碳钢(包括碳锰钢)、 管线钢无缝管	GB/T 8163	20	低温碳钢及低温 镍钢板焊管 (EFW/SAW)	ASTM A671	CC60
	GB/T 9948	20			CC70
	GB/T 3087	20	碳钢(包括碳锰钢)、 管线钢管件	GB/T 713.2	Q245R
	GB/T 9711	L245/B(PSL2)			Q345R
	GB/T 5310	20G			
碳钢(包括碳锰钢)、 管线钢管件	GB/T 13401	CF415	低温碳钢管件	GB/T 13401	LF415K1
		CF415K			LF415K2
碳钢(包括碳锰钢)、 管线钢焊管 (EFW/SAW)	GB/T 9711	L245/B(PSL2)	低温碳钢锻件	JB/T 7248	LCB
					LCC
碳钢(包括碳锰钢)、 管线钢锻件	GB/T 12228	25	合金钢无缝管	GB/T 9948	15CrMo
		A105	合金钢管件	GB/T 13401	AF12
	NB/T 47008	20	合金钢锻件	NB/T 47008	15CrMo
		16Mn	合金钢铸件	NB/T 11268	WC6
			合金钢管件	GB/T 713.2	15Cr1MoR
碳钢(包括碳锰钢) 铸件	GB/T 12229	WCA	不锈钢无缝管	GB/T 14976	022Cr19Ni10
		WCB			06Cr19Ni10
		WCC			
低温碳钢及低温 镍钢无缝管	GB/T 18984	10MnDG	不锈钢无缝管	GB/T 14976 GB/T 9948	022Cr17Ni12Mo2
		16MnDG			

表 E.1 氢气工业管道常用材料标准及牌号 (续)

材料类别	标准	材料牌号	材料类别	标准	材料牌号
不锈钢无缝管	GB/T 14976	06Cr17Ni12Mo2	不锈钢管件	GB/T 4237	06Cr19Ni10
不锈钢焊管(EFW, 无填充金属)	GB/T 12771 HG/T 20537.3	022Cr19Ni10			022Cr19Ni10
		06Cr19Ni10			06Cr17Ni12Mo2
		022Cr17Ni12Mo2			022Cr17Ni12Mo2
		06Cr17Ni12Mo2			
不锈钢板焊管(EFW)	HG/T 20537.4 GB/T 32964	022Cr19Ni10	不锈钢锻件	NB/T 47010	06Cr19Ni10
		06Cr19Ni10			022Cr19Ni10
		022Cr17Ni12Mo2			06Cr17Ni12Mo2
		06Cr17Ni12Mo2			022Cr17Ni12Mo2
不锈钢管件	GB/T 13401	SF304L	不锈钢铸件	GB/T 12230	CF3
		SF304			CF8
		SF316L			CF3M
		SF316			CF8M

表 E.2 氢气长输管道常用材料标准及牌号

材料/产品类别	标准	材料牌号	材料/产品类别	标准	材料牌号
无缝钢管	GB/T 9711	L245/B(PSL2)	碳钢及低合金钢管件	GB/T 29168.2	YY290-PSL2
	GB/T 9948	20		SY/T 0510	20
		Q345D			Q345D
		Q345E			Q345E
	GB/T 18984	10MnDG		16MnDG	L245/B
16MnDG					
焊接钢管(碳钢和低合金钢)	GB/T 9711	L245/B(PSL2)	不锈钢管件	GB/T 13401	SF304
不锈钢无缝钢管	GB/T 14976	06Cr19Ni10			SF316
		022Cr17Ni12Mo2			SF316L
不锈钢焊接钢管(无填充金属)	GB/T 12771	06Cr19Ni10	碳钢和低合金钢锻件	GB/T 12228	25
		022Cr17Ni12Mo2			A105
		06Cr17Ni12Mo2		GB/T 29168.3	F290
感应加热弯管	GB/T 29168.1	IB245-PSL2		NB/T 47008	20
				16Mn	
碳钢及低合金钢管件	GB/T 13401	LF415K1	NB/T 47009	16MnD	
		LF415K2		09MnNiD	
		LF485K2	NB/T 47010	06Cr19Ni10	
				022Cr17Ni12Mo2	

表 E.2 氢气长输管道常用材料标准及牌号 (续)

材料/产品类别	标准	材料牌号	材料/产品类别	标准	材料牌号
不锈钢锻件	NB/T 47010	06Cr17Ni12Mo2	不锈钢铸件	GB/T 12230	CF8
碳钢和低合金 钢铸件	GB/T 12229	WCB			CF3M
		WCC			CF8M
	JB/T 7248	LCB			
		LCC			

表 E.3 氢气公用管道常用材料标准及牌号

材料类别	标准	材料牌号	材料类别	标准	材料牌号/聚乙烯混配料等级	
无缝钢管(碳钢及低合金钢)	GB/T 8163	20	聚乙烯管	GB/T 15558.2	PE80、PE100 及 PE100-RC	
		Q345D	聚乙烯管件	GB/T 15558.3		
		Q345E	无缝钢管(不锈钢)	GB/T 14976	022Cr19Ni10	
	10	06Cr19Ni10				
	20	022Cr17Ni12Mo2				
	Q345B	06Cr17Ni12Mo2				
	Q345C	焊接钢管(不锈钢)			GB/T 12771	022Cr19Ni10
	Q345D					06Cr19Ni10
	Q345E					022Cr17Ni12Mo2
			06Cr17Ni12Mo2			
	GB/T 5310	20G	钢制弯管(感应加热)	GB/T 29168.1	IB245-PSL2	
		20MnG			IB290-PSL2	
	GB/T 9711	L245/B			IB360-PSL2	
		L290/X42			GB/T 13401	CF370
		L360/X52	YY290-PSL2			
	GB/T 3091	Q235B	钢制管件(碳钢及低合金钢)	GB/T 29168.2	YY360-PSL2	
Q345B		钢制管件(不锈钢)			GB/T 13401	SF304
GB/T 9711	L245/B		SF304L			
	L290/X42		SF316L			
	L360/X52					

注：GB/T 3091 钢管、聚乙烯管及管件适用压力不大于 0.4 MPa。

附录 F

(资料性)

用于氢气站、供氢站及其储氢装置的氢气工业管道的建造方法

F.1 概述

本附录用于氢气站、供氢站及其储氢装置中公称直径小于 DN50 的氢气工业管道。

F.2 管道材料

F.2.1 采用 316 系列不锈钢或者其他经试验证实具有良好氢相容性的材料。

F.2.2 当设计压力大于或等于 21 MPa 时,采用 316/316L 双牌号不锈钢或者其他经试验证实具有良好氢相容性的材料。316/316L 双牌号不锈钢的常温机械性能满足两个牌号中机械性能的较高值,化学成分满足 316L 级不锈钢的要求,且镍(Ni)含量不小于 12%,许用应力按 316 级不锈钢选取。

F.2.3 采用无缝钢管。除符合本附录的规定外,还需符合 GB/T 20801.1—2025 和 GB/T 14976 的相关规定。

F.3 管道及其组成件设计

F.3.1 氢气管道的设计压力不小于最高工作压力的 1.10 倍。

F.3.2 外径小于或等于 25.4 mm,且设计压力大于或等于 21 MPa 的氢气管道采用卡套管和卡套管接头连接,卡套管和卡套管接头符合下列规定。

- a) 卡套管满足 GB 50156—2021 中 D.2.1 的相关要求。
- b) 卡套管接头采用机械抓紧双卡套接头或高压锥面螺纹接头。卡套管接头满足 GB 50156—2021 中 D.2.2 及 D.2.3 的相关要求。

F.3.3 氢气管道需设置适用于高压氢气介质的安全阀,安全阀的整定压力不大于氢气管道的设计压力。

F.4 制作及安装

F.4.1 管道连接

F.4.1.1 当采用卡套管时,卡套管的弯管制作需采用专用的弯管器冷弯。当设计文件无规定时,卡套管的最小弯曲半径符合 GB 50156—2021 中表 15.6.3 的规定。

F.4.1.2 机械抓紧双卡套接头的安装符合 GB 50156—2021 中 15.6.7 的规定。

F.4.1.3 高压锥面螺纹接头的安装符合 GB 50156—2021 中 15.6.8 的规定。

F.4.1.4 卡套接头安装完成后需根据卡套接头生产厂家提供的技术规定对其进行检验。

F.4.2 试验

F.4.2.1 在初次运行前,对氢气管道进行压力试验、气密性试验和泄漏量试验。

F.4.2.2 压力试验和气密性试验参照 GB/T 20801.1—2025 中第 8 章的规定。

F.4.2.3 当泄漏量试验采用氮气时,试验时间为 24 h;当泄漏量试验采用氢气时,试验时间为 1.0 h。泄漏率均以平均每小时小于 0.5% 为合格。

F.4.3 氢气放空管设置

氢气放空管的设置符合下列规定:

- a) 不同压力级别系统的放空管不能直接连通,需分别引至放空总管,并采用以向上 45°接入放空总管,放空总管公称直径不小于 DN80;
- b) 放空总管垂直向上,管口高出设备平台及以管口为中心半径 12 m 范围内的建筑物顶或平台 2 m 及以上,且高出所在地面 5 m 及以上;
- c) 自放空设备至放空总管出口,放空管道的压力降不大于 0.1 MPa;
- d) 放空排气装置的设置要保证氢气安全排放,放空管道的设计压力不小于 1.6 MPa;
- e) 放空总管采取防止雨水积聚和杂物堵塞的措施,并在放空总管底部设置排水管及阀门;
- f) 放空单管内直径大于对应安全阀的泄放口直径,放空总管的截面积大于各安全阀泄放口截面积之和;
- g) 放空排气装置设静电接地装置,并布置在防雷有效保护范围内。

F.4.4 现场安装

F.4.4.1 室外氢气管道采用明沟敷设或直接埋地敷设。当直接埋地敷设时,符合 GB 50177 的相关规定。当氢气管道埋地敷设时,管顶距地面不小于 0.7 m,冰冻地区敷设在冰冻线以下。

F.4.4.2 氢气管道地上布置在管墩或管架上。

F.4.4.3 氢气管道的布置满足柔性要求,管道采用自然补偿。

F.4.4.4 氢气管道在流量计、调节阀等易产生振动的设备附近设置固定点。

F.4.4.5 当站区内氢气管道明沟敷设时,符合下列规定:

- a) 除氮气管道外,不与其他管线共沟敷设;
- b) 当明沟设有盖板时,采取措施保持沟内通风良好,且无积聚氢气的空间;
- c) 管道支架、盖板采用不燃材料制作。



附 录 G
(规范性)
氢气的冲蚀速度

冲蚀速度(V_e)按公式(G.1)计算:

$$V_e = \frac{100}{\sqrt{\frac{19.49\gamma p}{ZRT}}} \dots\dots\dots (G.1)$$

式中:

V_e ——最大流速,单位为米每秒(m/s);

γ ——介质的比重;

p ——操作压力(绝对压力),单位为千帕(kPa);

Z ——介质压缩因子;

R ——通用气体常数,取 8.314,单位为千帕立方米每千克摩尔开尔文(kPa·m³)/(kg·mol·K);

T ——介质温度,单位为开尔文(K)。

参 考 文 献

- [1] GB/T 150.3—2024 压力容器 第3部分:设计
- [2] GB/T 228.1 金属材料拉伸试验 第1部分:室温试验方法
- [3] GB/T 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法
- [4] GB/T 1446 纤维增强塑料性能试验方法总则
- [5] GB/T 1447 纤维增强塑料拉伸性能试验方法
- [6] GB/T 1448 纤维增强塑料压缩性能试验方法
- [7] GB/T 1449 纤维增强塑料弯曲性能试验方法
- [8] GB/T 1450.1 纤维增强塑料层间剪切强度试验方法
- [9] GB/T 1450.2 纤维增强塑料冲压式剪切强度试验方法
- [10] GB/T 1451 纤维增强塑料筒支梁式冲击韧性试验方法
- [11] GB/T 1463 纤维增强塑料密度和相对密度试验方法
- [12] GB/T 1954 铬镍奥氏体不锈钢焊缝铁素体含量测量方法
- [13] GB/T 2572 纤维增强塑料平均线膨胀系数试验方法
- [14] GB/T 2653 焊接接头弯曲试验方法
- [15] GB/T 3098.1 紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱
- [16] GB/T 3098.6 紧固件机械性能 不锈钢螺栓、螺钉和螺柱
- [17] GB/T 3139 纤维增强塑料导热系数试验方法
- [18] GB/T 3634.1—2006 氢气 第1部分:工业氢
- [19] GB 3836.1 爆炸性环境 第1部分:设备 通用要求
- [20] GB/T 4208 外壳防护等级(IP代码)
- [21] GB/T 4437.1 铝及铝合金热挤压管 第1部分:无缝圆管
- [22] GB/T 5310 高压锅炉用无缝钢管
- [23] GB/T 6893 铝及铝合金拉(轧)制管材
- [24] GB/T 9948 石化和化工装置用无缝钢管
- [25] GB/T 12228 通用阀门 碳素钢锻件技术条件
- [26] GB/T 12229 通用阀门 碳素钢铸件技术条件
- [27] GB/T 12230 通用阀门 不锈钢铸件技术条件
- [28] GB/T 12234 石油、天然气工业用螺柱连接阀盖的钢制闸阀
- [29] GB/T 12235 石油、石化及相关工业用钢制截止阀和升降式止回阀
- [30] GB/T 13305 不锈钢中 α -相含量测定法
- [31] GB/T 13550 5A分子筛及其测定方法
- [32] GB/T 14976 流体输送用不锈钢无缝钢管
- [33] GB/T 15970.6 金属和合金的腐蚀 应力腐蚀试验 第6部分:恒载荷或恒位移下的预裂纹试样的制备和应用
- [34] GB/T 18442.2—2019 固定式真空绝热深冷压力容器 第2部分:材料
- [35] GB/T 18443.1—2010 真空绝热深冷设备性能试验方法 第1部分:基本要求
- [36] GB/T 18443.2—2010 真空绝热深冷设备性能试验方法 第2部分:真空度测量
- [37] GB/T 18443.3—2010 真空绝热深冷设备性能试验方法 第3部分:漏率测量
- [38] GB/T 18443.4—2010 真空绝热深冷设备性能试验方法 第4部分:漏放气速率测量
- [39] GB/T 21143 金属材料 准静态断裂韧度的统一试验方法

- [40] GB/T 24499—2009 氢气、氢能与氢能系统术语
 - [41] GB/T 26027 高损伤容限铝合金型材
 - [42] GB/T 32964 液化天然气用不锈钢焊接钢管
 - [43] GB/T 40061 液氢生产系统技术规范
 - [44] GB/T 45027 液氢阀门 通用规范
 - [45] GB 50251 输气管道工程设计规范
 - [46] HG/T 2690 13X 分子筛
 - [47] JB/T 6896 空分分离设备表面清洁度
 - [48] JB/T 7248 阀门用低温钢铸件技术规范
 - [49] NB/T 11268 锅炉承压铸钢件技术条件
 - [50] NB/T 47013.4 承压设备无损检测 第4部分:磁粉检测
 - [51] NB/T 47013.5 承压设备无损检测 第5部分:渗透检测
 - [52] NB/T 47014—2023 承压设备焊接工艺评定
 - [53] NB/T 47029 压力容器用铝及铝合金锻件
 - [54] SY/T 0510 钢制对焊管件规范
 - [55] 特种设备目录[S].北京:原国家质量监督检验检疫总局,2014.
 - [56] 危险化学品目录(2022 调整版)[S].北京:中华人民共和国工业和信息化部,2022.
 - [57] 市场监管总局关于特种设备行政许可有关事项的公告(2021 年第 41 号)[S].北京:国家市场监督管理总局公告,2021.
-

