

中华人民共和国能源行业标准

NB/T 47012—2020
代替 NB/T 47012—2010

制冷装置用压力容器

Pressure vessels for refrigerant device



2020-10-23 发布

2021-02-01 实施

国家能源局 发布

国家能源局

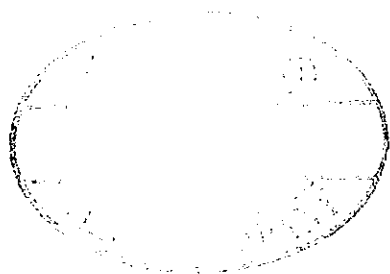
公告

2020 年 第 5 号

国家能源局批准《水电工程生态流量实时监测系统技术规范》等 502 项能源行业标准（附件 1）、《Series Parameters for Horizontal Hydraulic Hoist (Cylinder)》等 35 项能源行业标准英文版（附件 2），现予以发布。

附件：行业标准目录

二〇二〇年十月二十三日





附件：

行业标准目录

序号	标准编号	标准名称	代替标准	采标号	出版机构	批准日期	实施日期
1~123			(略)				
124	NB/T 47012—2020	制冷装置用压力容器	NB/T 47012—2010		新华出版社	2020-10-23	2021-02-01
125~502			(略)				

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 总则	3
5 材料	10
6 设计	13
7 制造、检验与验收	26
附录 A (规范性) 铜及铜合金、钛合金制整体翅片换热管的外压设计	32
附录 B (规范性) 安全附件及仪表	34
附录 C (规范性) 钢制氨制冷装置用压力容器对液氨的要求及其充装程序	38
编制说明	41

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。

本文件代替 NB/T 47012—2010《制冷装置用压力容器》。与 NB/T 47012—2010 相比，主要技术内容有以下变化：

a) 第1章

- 修改了文件所适用的压力范围和容积范围；
- 增加了采用验证性试验分析方法进行设计的规定。

b) 增加了第3章“术语和定义”

c) 第4章

- 增加了对用户或设计委托方职责的规定；
- 在制造单位的职责中增加了对质量计划的要求；
- 根据行业现状和发展需求，对制冷剂进行了调整；
- 增加了E类焊接接头，并对应作出了相关规定；
- 增加了热交换器载冷剂侧焊接接头系数的规定；
- 按 TSG 21—2016《固定式压力容器安全技术监察规程》的规定修改了安全系数。

d) 第5章

- 修改了 Q235 系列等材料的使用规定；
- 修改了换热管材料的使用规定及其许用应力；
- 增加了钛换热管的使用规定和许用应力；
- 增加了铸钢、铸铁的使用规定。

e) 第6章

- 修改了内压圆筒、外压圆筒的设计计算方法，均要求按 GB/T 150.3 的规定进行计算；
- 增加了对外径为 $\phi 6\text{mm}$ 换热管的管孔中心距要求；
- 修改了对换热管外径允许偏差和管板管孔直径允许偏差的要求，增加了对小直径换热管外径允许偏差和管板管孔直径允许偏差的规定；
- 修改了对折流板、支承板管孔直径允许偏差的要求，增加了对小直径换热管用折流板、支承板管孔直径允许偏差的规定；
- 增加了采用验证性外压试验方法进行铜及铜合金、钛合金制整体翅片换热管外压设计的规定。

f) 第7章

- 修改了本章的编写方式，对于与 GB/T 150.1、GB/T 150.4、GB/T 151、JB/T 4734、JB/T 4745 和 JB/T 4755 要求相同的规定直接引用，不再重复表述；
- 修改了管板孔桥宽度的相关尺寸；
- 增加了对热交换器换热管堵管的规定。

g) 附录

——增加了规范性附录 A “铜及铜合金、钛合金制整体翅片换热管的外压设计”；

——修改了安全阀计算方法，使其与 GB/T 9237—2017《制冷系统及热泵 安全与环境要求》一致。

本标准由全国锅炉压力容器标准化技术委员会（SAC/TC 262）固定式压力容器分技术委员会提出并归口。

本标准起草单位：合肥通用机械研究院有限公司、合肥通用环境控制技术有限责任公司、中国制冷空调工业协会、江森自控楼宇设备科技（无锡）有限公司、珠海格力电器股份有限公司、冰山冷热科技股份有限公司、冰轮环境技术股份有限公司、上海一冷开利空调设备有限公司、麦克维尔空调制冷（武汉）有限公司。

本标准主要起草人：宋有强、陈敬良、肖青松、胡东兵、石显平、杜英芬、曹益民、罗雄、赵国强、周海峰、唐义胜、张朝晖、岳海兵。

本文件历次版本发布情况为：

——JB/T 6917—1993、JB 6917—1998、JB/T 4750—2003、NB/T 47012—2010。

制冷装置用压力容器

1 范围

1.1 本文件规定了以液化气体为制冷剂、设计压力不高于 5.0MPa、设计温度不高于 200℃的制冷装置用压力容器（包括制冷装置用管壳式热交换器，以下简称“容器”）的设计、制造、检验与验收要求。

1.2 制冷装置工作循环应采用蒸气压缩式制冷循环及热泵等类似循环。

1.3 本文件不适用于下列压力容器：

- a) 内直径（对非圆形截面容器指截面内边界最大几何尺寸）小于 150mm 或容积小于 0.03m³ 的容器；
- b) 无壳体的套管式热交换器、冷却排管、板式热交换器等；
- c) 直燃型吸收式制冷装置的发生器。

1.4 不能采用本文件确定结构尺寸的容器或受压元件，允许用以下方法进行设计：

- a) 采用包括有限元法在内的应力分析计算和评定，具体要求应符合 GB/T 150.1—2011 附录 E 的规定；
- b) 采用可比的已投入使用的结构进行对比经验设计，具体要求应符合 GB/T 150.1—2011 附录 D 的规定；
- c) 采用验证性试验分析方法进行设计。其中，当采用验证性爆破试验方法进行设计时，具体要求应符合 GB/T 150.1—2011 附录 C 的规定；当采用验证性外压试验方法进行铜及铜合金、钛合金制整体翅片换热管的外压设计时，应符合附录 A 的规定。

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 150.1—2011 压力容器 第 1 部分：通用要求
- GB/T 150.2 压力容器 第 2 部分：材料
- GB/T 150.3—2011 压力容器 第 3 部分：设计
- GB/T 150.4 压力容器 第 4 部分：制造、检验和验收
- GB/T 151 热交换器
- GB/T 536 液体无水氨
- GB/T 1226—2017 一般压力表
- GB/T 1348—2019 球墨铸铁件
- GB/T 1527 铜及铜合金拉制管
- GB/T 3091 低压流体输送用焊接钢管
- GB/T 3625 换热器及冷凝器用钛及钛合金管

NB/T 47012—2020

GB/T 6893 铝及铝合金拉（轧）制无缝管
GB/T 7778 制冷剂编号方法与安全性分类
GB/T 8163—2018 输送流体用无缝钢管
GB/T 8890 热交换器用铜合金无缝管
GB/T 9439—2010 灰铸铁件
GB/T 9948 石油裂化用无缝钢管
GB/T 17791 空调与制冷设备用铜及铜合金无缝管
GB/T 20928 无缝内螺纹铜管
GB/T 25198 压力容器封头
HG/T 20592 钢制管法兰（PN 系列）
HG/T 20613 钢制管法兰用紧固件（PN 系列）
HG/T 20615 钢制管法兰（Class 系列）
HG/T 20634 钢制管法兰用紧固件（Class 系列）
JB/T 4734 铝制焊接容器
JB/T 4745 钛制焊接容器
JB/T 4755 铜制压力容器
JB/T 6918—2017 制冷用金属与玻璃烧结液面计和视镜
JB/T 10503 空调与制冷用高效换热管
NB/T 47013.8 承压设备无损检测 第 8 部分：泄漏检测
NB/T 47014 承压设备焊接工艺评定
NB/T 47018（所有部分） 承压设备用焊接材料订货技术条件
NB/T 47020 压力容器法兰分类与技术条件
NB/T 47021 甲型平焊法兰
NB/T 47022 乙型平焊法兰
NB/T 47023 长颈对焊法兰
NB/T 47024 非金属软垫片
NB/T 47025 缠绕垫片
NB/T 47026 金属包垫片
NB/T 47027 压力容器法兰用紧固件
NB/T 47065.1—2018 容器支座 第 1 部分：鞍式支座
NB/T 47065.2—2018 容器支座 第 2 部分：腿式支座
NB/T 47065.3—2018 容器支座 第 3 部分：耳式支座
NB/T 47065.4—2018 容器支座 第 4 部分：支承式支座

3 术语和定义

GB/T 150.1 和 GB/T 151 界定的术语和定义适用于本文件。

3.1

制冷剂 refrigerant

在制冷系统中用于传递热量的流体，在低温低压环境吸收热量，在高温高压环境放出热量，通常伴有相变过程。

3.2

载冷剂 secondary refrigerant

在被冷却介质和制冷机组蒸发器之间起传递热量作用的流体。本文件涉及的载冷剂均为在工作过程中不发生相变的液体（如水、乙二醇等）。

4 总则

4.1 基本规定

4.1.1 容器的设计、制造、检验和验收应符合本文件的规定外，还应遵守国家颁布的有关法律、法规和安全技术规范的有关规定。

4.1.2 容器的设计、制造单位应具有健全的质量保证体系并有效运行。

4.1.3 TSG 21 规定范围内的容器，其设计、制造应接受特种设备安全监察机构的监察。

4.2 资格和职责

4.2.1 资格

TSG 21 规定范围内的压力容器，其设计单位应取得对应的压力容器设计许可；制造单位应取得相应的特种设备制造许可。

4.2.2 职责

4.2.2.1 用户或设计委托方职责

容器的用户或设计委托方应以正式书面形式向设计单位提出设计条件，并应至少包括下列内容：

- a) 容器设计所依据的主要标准和规范；
- b) 操作参数（包括工作压力、工作温度范围、液位高度、接管载荷等）；
- c) 使用地及自然条件（包括环境温度、抗震设防烈度等）；
- d) 制冷剂编号及安全分组；
- e) 设计使用年限；
- f) 几何参数和管口方位；
- g) 设计所需的其他必要条件。

4.2.2.2 设计单位职责

- a) 对设计文件的准确性和完整性负责；
- b) 容器的设计文件至少应包括强度计算书、设计图样、制造技术条件、风险评估报告（相关法规或设计委托方要求时），必要时还应当包括安装与使用维修说明；
- c) TSG 21 规定范围内压力容器的设计总图应盖有特种设备设计单位设计专用印章；
- d) 出具的风险评估报告应符合 GB/T 150.1—2011 中附录 F 的要求；
- e) 应在容器设计使用年限内保存全部容器设计文件。

4.2.2.3 制造单位职责

- a) 应按照设计文件的要求进行制造，如需对原设计进行更改，应取得原设计单位同意更改的书面文件，并对改动部位作出详细记载。

- b) 容器制造前应制定完善的质量计划，其内容至少包括容器或受压元件的制造工艺控制点、检验项目和合格指标。
- c) 制造单位的检验部门在容器制造过程中和完工后，应按本文件、设计文件及质量计划的规定对容器进行各项检验和试验，出具相应报告，并对报告的准确性和完整性负责。
- d) 对其制造的每台容器产品应在容器设计使用年限内至少保存下列技术文件备查（对于符合 TSG 21 规定、按批量制造的容器，可按批保存文件，并标明该批所有容器的编号）：
 - 质量计划；
 - 制造工艺图或制造工艺卡；
 - 产品质量证明文件；
 - 容器的焊接工艺和热处理工艺文件；
 - 标准中允许制造厂选择的检验、试验项目记录；
 - 制造过程及完工后的检查、检验、试验记录；
 - 容器原设计图和竣工图。
- e) 在取得监检机构确认容器质量符合本文件和设计文件要求后，应填写产品质量证明书，并交付用户。

4.3 容器范围

4.3.1 本文件规定的制冷容器，是指壳体及与其连为整体的受压元件和非受压元件，具体划定范围按 4.3.2~4.3.5 的要求。

4.3.2 容器与外管道连接：

- a) 焊接连接的第一道环向焊接接头坡口端面；
- b) 螺纹连接的第一个螺纹接头端面；
- c) 法兰连接的第一个法兰密封面；
- d) 专用连接件或管件连接的第一个密封面。

4.3.3 接管、检查孔等承压盖及其紧固件、密封件。

4.3.4 非受压元件及与受压元件的连接焊缝。

4.3.5 直接安装在容器上的安全附件与仪表（见附录 B）。

4.4 设计参数

4.4.1 压力（除注明外均指表压）

4.4.1.1 工作压力

制冷装置在正常运转或停止运转时，容器顶部可能出现的最高压力。高压侧应为制冷装置在正常运转时，容器顶部可能出现的最高压力；低压侧应为制冷装置在停止运转时，容器顶部可能出现的最高压力。

4.4.1.2 设计压力

指设定的容器顶部的最高压力，与相应的设计温度一起作为设计载荷的条件，其值应不低于工作压力，确定时应考虑：

- a) 容器由两个以上压力室构成且作用于各室的压力不同时，应按各室压力分别确定设计压力。
- b) 为使其工作压力不超过容器的设计压力，制冷剂的充装量限制如下：
 - 1) 储液器类容器：制冷剂液体充装量应不超过容器容积的 80%；
 - 2) 复叠式制冷装置：通过计算确定低温侧的制冷剂充装量。

- c) 高压侧设计压力：制冷循环系统中，由于压缩机的作用而承受冷凝压力的部分属于高压侧。高压侧设计压力应高于在正常运转条件下，制冷剂可能达到的最高冷凝温度相对应的饱和蒸气压力，冷凝温度与饱和压力的关系可按表 1 确定（该表为常用制冷剂性质，其他制冷剂的性质可参考有关制冷剂使用手册）。
- d) 低压侧设计压力：制冷循环系统中高压侧以外的部分，双级压缩制冷装置的中间冷却器的中压部分和复叠式制冷装置中冷凝温度不高于 -15°C 的冷凝蒸发器亦属于低压侧。低压侧的设计压力应按下述规定：
- 1) 设计压力一般按 38°C 时制冷剂饱和蒸气压力确定，见表 1；
 - 2) 当环境温度超过 38°C 时，则按制冷剂达到的最高压力确定。

4.4.2 温度

4.4.2.1 设计温度

指在正常操作条件下，设定的元件金属温度（沿元件金属截面的温度平均值）。设计温度与设计压力一起作为设计载荷的条件。容器各工作室的温度不同时，应分别确定设计温度。当元件金属温度不低于 0°C 时，设计温度不得低于元件在正常操作状态下可能达到的最高金属温度；当元件金属温度低于 0°C 时，设计温度不得高于元件可能达到的最低金属温度。

4.4.2.2 高压侧设计温度

按高压侧在正常操作条件下各元件金属可能达到的最高温度选取。对不进行换热的容器，一般取制冷剂的最高工作温度为设计温度。当受压元件与两种不同温度的介质接触时，一般应按两者中较高温度选取。当环境温度低于 0°C 时，高压侧设计温度仍遵循上述原则，但应评估确定停机时温度低于 0°C 时容器一次总体薄膜应力和弯曲应力小于或等于材料常温屈服强度的 $1/6$ ，且不大于 50MPa 。若不满足，则应按 GB/T 150.3—2011 附录 E 的要求进行设计。

4.4.2.3 低压侧设计温度

当使用温度低于 0°C 时，若使用温度下一次总体薄膜应力和弯曲应力小于或等于材料常温屈服点的 $1/6$ ，且不大于 50MPa ，则设计温度取使用温度与 50°C （对于不进行焊后热处理的容器为 40°C ）的代数和。当按上述办法得到的设计温度不低于 -20°C 时，其设计温度均按不低于 38°C 选取；当按上述办法得到的设计温度低于 -20°C 时，容器按 GB/T 150.3—2011 附录 E 的规定设计。

4.4.3 厚度

4.4.3.1 容器的厚度附加量为材料厚度负偏差与腐蚀裕量之和。其中，材料厚度负偏差按相应的材料标准确定；腐蚀裕量按 4.4.3.2 的规定。

4.4.3.2 容器各元件受到腐蚀程度不同时，可采用不同的腐蚀裕量。容器各元件可采用下列腐蚀裕量：

- a) 碳素钢或低合金钢制容器外表面（内侧为制冷剂侧）直接经受风吹雨淋或接触空气、水蒸气和水等时，腐蚀裕量不小于 1mm ；
- b) 腐蚀环境与条件 a) 相同，但材料的外表面具有有效的耐腐蚀保护膜，并且容易进行维护时，腐蚀裕量不小于 0.6mm ；
- c) 在室内或有防风雨措施，材料外表面具有有效的耐腐蚀保护膜，并且使用于轻微腐蚀环境时，腐蚀裕量不小于 0.4mm ；
- d) 接触制冷剂一侧的容器和管壁，一般不计腐蚀裕量；
- e) 介质为水蒸气或水的碳素钢或低合金钢制容器，腐蚀裕量不小于 1mm ；
- f) 换热管一般不计腐蚀裕量，其厚度应能保证设计使用年限的要求。

表 1 常用制冷剂在相应温度下的饱和蒸汽压力和安全分组

制冷剂名称 (质量组分, 百分比)	制冷剂 编号	制冷剂 组成前 缀名 ^a	饱和压力/MPa (绝对)																	安全 分组
			蒸发/冷凝温度/℃ ^b																	
			-50	-40	-30	-20	-10	0	38	43	45	50	55	60	65					
二氟二氯甲烷	R21	HCFC	5.2E-3	9.8E-3	1.8E-2	2.9E-2	4.7E-2	7.1E-2	2.8E-1	3.3E-1	3.5E-1	4.1E-1	4.7E-1	5.3E-1	6.1E-1	6.1E-1	6.1E-1	BI		
	R22	HCFC	6.5E-2	1.1E-1	1.7E-1	2.5E-1	3.6E-1	5.0E-1	1.5	1.7	1.8	2	2.2	2.5	2.7	2.7	2.7	A1		
三氟甲烷	R23	HFC	4.8E-1	7.1E-1	1.1	1.4	1.9	2.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	A1		
	R32	HFC	1.1E-1	1.8E-1	2.8E-1	4.1E-1	5.9E-1	8.2E-1	2.4	2.7	2.8	3.2	3.6	4.0	4.4	4.4	4.4	A2L		
三氟二氯乙烷	R123	HCFC	1.8E-3	3.6E-3	6.8E-3	1.2E-2	2.1E-2	3.3E-2	1.5E-1	1.7E-1	1.8E-1	2.2E-1	2.5E-1	2.9E-1	3.3E-1	3.3E-1	3.3E-1	BI		
	R124	HCFC	1.5E-2	2.7E-2	4.5E-2	7.2E-2	1.1E-1	1.7E-1	5.7E-1	6.4E-1	6.8E-1	7.8E-1	8.8E-1	1.0	1.1	1.1	1.1	A1		
五氟乙烷	R125	HFC	9.3E-2	1.5E-1	2.3E-1	3.4E-1	4.9E-1	6.7E-1	2.0	2.2	2.3	2.6	2.9	3.2	3.6	3.6	3.6	A1		
	R134a	HFC	9.3E-2	1.5E-1	2.3E-1	3.4E-1	4.9E-1	6.7E-1	9.3E-2	1.1	1.2	1.4	1.5	1.7	1.9	1.9	1.9	A1		
1, 1, 1, 2-四氟乙烷	R143a	HFC	8.9E-2	1.5E-1	2.2E-1	3.2E-1	4.5E-1	6.2E-1	1.8	2.0	2.1	2.4	2.7	2.9	3.3	3.3	3.3	A2L		
	R152a	HFC	2.8E-2	4.8E-2	7.8E-2	1.2E-1	1.9E-1	2.7E-1	8.7E-1	9.8E-1	1.1	1.2	1.4	1.5	1.7	1.7	1.7	A2		
乙烷	R170	HC	5.6E-1	7.8E-1	1.1	1.5	1.9	2.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	A3		
	R245fa	HFC	2.9E-3	5.9E-3	1.1E-2	2.0E-2	3.4E-2	5.4E-2	2.4E-1	2.7E-1	3.0E-1	3.5E-1	4.1E-1	4.7E-1	5.4E-1	5.4E-1	5.4E-1	BI		
丙烷	R290	HC	7.1E-2	1.1E-1	1.7E-1	2.5E-1	3.5E-1	4.8E-1	1.3	1.5	1.6	1.8	1.9	2.2	2.4	2.4	2.4	A3		
	R401B	HCFC	4.8E-2	8.0E-2	1.2E-1	1.9E-1	2.7E-1	3.9E-1	1.2	1.3	1.3	1.4	1.6	1.8	2.0	2.0	2.0	A1/ A1		
R22/R152a/R124 (61/11/28) (53/13/34)	R401A	HFC	4.4E-2	7.3E-2	1.2E-1	1.8E-1	2.6E-1	3.6E-1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.5	1.7	1.9	1.9	1.9	A1/ A1		
	R404A	HFC	8.6E-2	1.4E-1	2.1E-1	3.1E-1	4.5E-1	6.2E-1	1.8	2.0	2.1	2.3	2.6	2.9	3.2	3.2	3.2	A1/ A1		
R32/R125/R134a (23/25/52)	R407C	HFC	7.5E-2	1.3E-1	1.9E-1	2.9E-1	4.1E-1	5.7E-1	1.7	1.9	1.9	2.0	2.2	2.5	2.8	2.8	2.8	A1/ A1		

表 1 (续)

制冷剂名称 (质量组分, 百分比)	制冷剂 编号	制冷剂 组成前 级名	饱和压力/MPa (绝对)																安全 分组
			蒸发冷凝温度/°C																
			-50	-40	-30	-20	-10	0	38	43	45	50	55	60	65				
R32/R125 (50/50)	R410A	HFC	1.2E-1	1.8E-1	2.7E-1	4.0E-1	5.8E-1	8.0E-1	2.3	2.6	2.7	3.1	3.5	3.9	4.3	AI/ AI			
R125/R143 (50/50)	R507A	HFC	6.3E-1	6.3E-1	6.3E-1	6.3E-1	6.3E-1	6.3E-1	1.8	2.1	2.2	2.4	2.7	3.0	3.3	AI/ AI			
丁烷	R600	HC	9.5E-3	1.7E-2	2.9E-2	4.6E-2	7.0E-2	1.1E-1	3.6E-1	4.2E-1	4.4E-1	5.0E-1	5.7E-1	6.4E-1	7.3E-1	A3			
2-甲基丙烷 (异丁烷)	R600a	HC	1.7E-2	2.9E-2	4.7E-2	7.2E-2	1.1E-1	1.6E-1	5.1E-1	5.8E-1	6.1E-1	6.9E-1	7.8E-1	8.7E-1	9.8E-1	A3			
氨	R717	—	4.1E-2	7.2E-2	1.2E-1	1.9E-1	2.9E-1	4.3E-1	1.5	1.7	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0	B2L			
二氧化碳	R744	—	6.9E-1	1.0	1.5	2.0	2.7	3.5	—	—	—	—	—	—	—	AI			
丙烯	R1270	HC	9.1E-2	1.5E-1	2.2E-1	3.1E-1	4.3E-1	5.9E-1	1.6	1.8	1.9	2.1	2.3	2.6	2.8	A3			
八氟环丁烷	RC318	FC	1.1E-2	2.0E-2	3.4E-2	5.6E-2	8.7E-2	1.3E-1	4.7E-1	5.4E-1	5.7E-1	6.7E-1	7.6E-1	8.7E-1	9.8E-1	AI			
2, 3, 3, 3-四氟-1-丙烯	R1234yf	HFO	3.7E-2	6.2E-2	9.9E-2	1.5E-1	2.2E-1	3.2E-1	9.7E-1	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	A2L			
1, 3, 3, 3-四氟-1-丙烯	R1234ze (E)	HFO	2.1E-2	3.7E-2	6.1E-2	9.7E-2	1.5E-1	2.2E-1	7.3E-1	8.3E-1	8.8E-1	1.0	1.1	1.3	1.4	A2L			
反式-1, 3, 3, 3-三氟丙烷	R1233zd (E)	HFO	2.8E-3	5.6E-3	1.0E-2	1.8E-2	3.0E-2	4.8E-2	2.0E-1	2.4E-1	2.5E-1	2.9E-1	3.4E-1	3.9E-1	4.5E-1	AI			
HFO-1234yf/R134a (56.0/44.0)	R513A	HFO	3.4E-2	5.7E-2	9.3E-2	1.4E-1	2.1E-1	3.1E-1	9.7E-1	1.1	1.2	1.3	1.5	1.7	1.9	AI			
HFO-R1336mzz (Z) / R1130 (E) (75.0/25.0)	R514A	HFO	1.7E-3	3.4E-3	6.4E-3	1.1E-2	1.9E-2	3.1E-2	1.4E-1	1.6E-1	1.8E-1	2.1E-1	2.4E-1	2.8E-1	3.2E-1	BI			
顺式-1, 1, 1, 4, 4, 4- 六氟-2-丁烯	R1336mzz (Z)	HFO	1.2E-3	2.5E-3	4.8E-3	8.8E-3	1.5E-2	2.0E-2	1.2E-1	1.4E-1	1.5E-1	1.8E-1	2.1E-1	2.4E-1	2.8E-1	AI			
其他制冷剂	—	—	参考有关制冷剂使用手册													—			

注：表中 R507A、R410A、R407C、R404A、R401A、R401B 为混合物制冷剂。

^a 列出制冷剂组成前级名，定性表示其对臭氧层的消耗。

^b 对混合物制冷剂，冷凝温度（表中 45°C 以上）为露点温度，蒸发温度（表中 43°C 以下）为泡点温度。

- 4.4.3.3 壳体加工成形后不包括腐蚀裕量的最小厚度,对碳素钢、低合金钢制容器,为不小于 3mm;对高合金钢制容器,一般应不小于 2mm。
- 4.4.3.4 容器主要受压元件的名义厚度和最小成形厚度应标注在设计图样上。
- 4.4.4 制冷剂安全分组
 - 4.4.4.1 制冷剂按照 GB/T 7778 的规定进行安全分组,具体规定见表 2。
 - 4.4.4.2 常用制冷剂的安全分组见表 1。
 - 4.4.4.3 混合物制冷剂的安全分组按照 GB/T 7778 的规定:在浓度滑移时其组分的浓度发生变化,燃烧性和毒性也可能变化,此时可能有两个安全分组。第一个是混合物在规定组分浓度下的分组,第二个是混合物在最大浓度滑移的组分浓度下的分组。
 - 4.4.4.4 钢制氨制冷装置用压力容器对液氨的要求及其充装程序应符合附录 C 的规定。

表 2 制冷剂安全分组

可燃性分组			毒性分组	
			制冷剂的 TLV-TWA ^a ≥4×10 ⁻⁴ (V) 时 没有毒性	制冷剂的 TLV-TWA <4×10 ⁻⁴ (V) 时 有毒性
			无毒 A 组	有毒 B 组
制冷剂在 60℃ 和 101.3kPa 条件下试验时	显示火焰快速蔓延,且 LFL ^b ≤3.5% (V)、燃烧热量 ≥19 000kJ/kg	可燃易爆 3 组	A3	B3
	有火焰产生,且 LFL>3.5% (V)、 燃烧热量 <19 000kJ/kg	—	可燃 2 组	B2
		最大燃烧速 度 ≤10cm/s ^c	弱可燃 2L 组	A2L
	空气中无火焰产生	无火焰传播 1 组	A1	B1

^a TLV-TWA: 表示一个标准工作日 8h,一周 40h 的时间加权平均浓度,在此制冷剂浓度下,所有工作人员日复一日地工作,无不良影响。

^b LFL: 表示燃烧低限的容积最小浓度,即在规定的试验条件下,能够在制冷剂和空气组成的均匀混合物中,火焰快速蔓延的制冷剂单位容积最小浓度。

^c 在 23℃和 101.3kPa 的试验条件下。

- 4.4.5 焊接接头分类与焊接接头系数
 - 4.4.5.1 容器受压元件之间焊接接头分为 A、B、C、D 四类,非受压元件与受压元件之间的焊接接头为 E 类焊接接头。容器上的各类焊接接头按 GB/T 150.1、GB/T 151 的规定进行分类。
 - 4.4.5.2 焊接接头系数 ϕ 应根据对接接头的焊缝形式及无损检测的长度比例确定,见表 3。
 - 4.4.5.3 对于无法进行射线或超声检测的固定管板式热交换器壳程圆筒的最后一道环向焊接接头,应采用氩弧焊打底或沿焊缝根部全长有紧贴基本金属的垫板,其焊接接头系数 $\phi=0.6$ 。

表 3 焊接接头系数 ϕ

焊接接头形式	全部无损检测	局部无损检测
双面焊和相当于双面焊的全焊透对接接头	1.0	0.85
单面焊对接接头(沿焊缝根部全长有紧贴基本金属的垫板)	0.90	0.80

4.4.5.4 对于 TSG 21 规定范围外的容器（或腔室），若工作压力小于或等于 2.1MPa，介质为水、盐水及乙二醇等载冷剂，当壳体不进行射线或超声检测时，焊接接头系数取值如下：

- a) 双面焊对接接头和相当于双面焊的全焊透对接接头： $\varphi=0.70$ ；
- b) 单面焊对接接头（沿焊缝根部全长有紧贴基本金属的垫板）： $\varphi=0.65$ 。

4.5 安全系数

4.5.1 表 4、表 5 为确定容器材料许用应力的最小安全系数。

4.5.2 钢材、螺柱和螺栓、铜材、铝管和钛管等材料在不同温度下的许用应力按第 5 章的规定选取。

表 4 安全系数

材料 (板、锻件、管)	室温下的抗拉强度 R_m	设计温度下的屈服强度 R_{cL}^t ($R_{p0.2}^t$)
	n_b	n_s
碳素钢、低合金钢	2.7	1.5
高合金钢	2.7	1.5
铜及铜合金	3.0	1.5
铝及铝合金	3.0	1.5
钛及钛合金	2.7	1.5

表 5 螺柱（螺栓）的安全系数

材料	热处理状态	螺柱（螺栓）直径/mm	设计温度下屈服强度 R_{cL}^t ($R_{p0.2}^t$) 的 n_s
碳素钢	热轧、正火	$\leq M22$	2.7
		M24~M48	2.5
低合金钢	调质	$\leq M22$	3.5
		M24~M48	3.0
奥氏体 高合金钢	固溶	$\leq M22$	1.6
		M24~M48	1.5

4.6 耐压试验

4.6.1 容器制成后应经耐压试验。耐压试验的种类、要求和试验压力应在设计图样上注明。耐压试验一般采用液压试验。对于不适合液压试验的容器（不允许有微量残留液体或由于结构原因不能充满液体的容器）可采用气压试验。

4.6.2 试验压力 p_T 的最低值按式（1）、式（2）计算，试验压力的上限值应满足 GB/T 150.1 的规定。

液压试验：

$$p_T = 1.25p \frac{[\sigma]}{[\sigma]'} \quad \dots\dots\dots (1)$$

气压试验：

$$p_T = 1.10p \frac{[\sigma]}{[\sigma]'} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

p_T ——试验压力，MPa；

p ——设计压力（真空容器为 0.1MPa），MPa；

$[\sigma]$ ——容器元件材料在耐压试验温度下的许用应力，MPa；

$[\sigma]'$ ——容器元件材料在设计温度下的许用应力，MPa。

注 1：容器铭牌上规定有最高允许工作压力时，公式中应以最高允许工作压力代替设计压力 p 。

注 2：容器主要受压元件，如圆筒、封头、接管、管板、设备法兰（或人、手孔法兰）及其紧固件等所用材料不同时，应取各元件材料的 $[\sigma]/[\sigma]'$ 比值中最小者。

注 3：外压容器和真空容器压力试验时，取 $[\sigma]/[\sigma]'=1$ 。

4.7 泄漏试验

泄漏试验应在耐压试验合格后进行，并应符合设计文件要求。

4.8 真空试验

当容器需做真空试验时，真空试验应在泄漏试验合格后进行，并在设计图样上注明试验压力（一般为绝对压力 8kPa）。

5 材料

5.1 一般规定

5.1.1 容器受压元件用材料应符合本章的规定。与受压元件焊接的非受压元件材料，应是焊接性能良好的材料。

5.1.2 容器用材料的技术要求应符合相关规范、标准的规定。

5.1.3 容器用材料应有材料生产单位的材质证明书（原件）或加盖材料经营单位公章和经办负责人签字（章）的复印件；容器制造单位应按材质证明书对材料进行验收，必要时应进行复验。

5.1.4 采用本章规定以外的其他牌号材料应符合相关法规和标准的规定。

5.2 钢板

5.2.1 本文件中容器受压元件使用的碳素钢和低合金钢钢板、高合金钢钢板及复合钢板（不锈钢-钢复合板、铜-钢复合板、钛-钢复合板）的级别、使用状态、限定范围、许用应力及力学性能试验等应符合 GB/T 150.2 和 GB/T 151 的相关规定。

5.2.2 Q235 系列钢板的使用应符合 GB/T 150.2 的规定。其中，Q235B 钢板不得用于 B3 组制冷剂容器。

5.3 钢管

5.3.1 碳素钢、低合金钢及高合金钢钢管的使用状态、限定范围、许用应力及力学性能等应符合 GB/T 150.2、GB/T 151 的相关规定。

5.3.2 选用 GB/T 8163—2018 中 10、20 钢管作换热管，除应满足 GB/T 150.2 的规定外，还应符合下列要求：

a) 应选用冷拔或冷轧钢管；

b) 尺寸精度不低于 GB/T 9948 高级精度钢管的要求。

5.3.3 对于 TSG 21 规定范围外的，工作压力小于或等于 2.1MPa，介质为水、盐水及乙二醇等载冷剂的容器（或腔室）的壳体可用 GB/T 3091 焊接钢管，使用温度下限应不低于 -20℃。

5.4 钢锻件

5.4.1 容器的法兰、管板、平盖等采用碳素钢、低合金钢及高合金钢锻件的使用状态、限定范围、许用应力及力学性能等应符合 GB/T 150.2 和 GB/T 151 的规定。

5.4.2 锻件的级别按使用要求由设计单位确定，并在设计图样上注明。

5.5 螺柱（含螺栓）和螺母

5.5.1 碳素钢、低合金钢、高合金钢螺柱（S30408、S31608）及配套使用的螺母用材料的使用状态、限定范围、许用应力及力学性能应符合 GB/T 150.2 和 GB/T 151 的规定。

5.5.2 压力容器法兰用紧固件按 NB/T 47027 选用；接管法兰用紧固件按 HG/T 20613、HG/T 20634 选用。

5.6 有色金属材料

5.6.1 铜及铜合金

5.6.1.1 纯铜的设计温度应不高于 150℃，铜合金应不高于 200℃。

5.6.1.2 铜及铜合金管材的标准、材料牌号、使用状态及许用应力见表 6。

5.6.1.3 按 GB/T 1527 订货的管材应进行扩口试验或压扁试验。

表 6 铜及铜合金管材许用应力

牌号	标准	状态	管外径/mm	室温力学性能下限保证值/MPa		下列温度时的许用应力/MPa			
				R_m	$R_{p0.2}$	20℃	100℃	150℃	200℃
T2, T3	GB/T 1527	O60	3~360	200	(45)	30	25	23	22
TP2		O60	3~360	200	(45)	30	25	23	22
		H02	< 50	250	(120)	71	71	69	65
T2	GB/T 17791	O60	3~54	205	(45)	30	25	23	22
		H55		245	120	71	71	69	65
TP2		O60		205	(45)	30	25	23	22
		H55		245	120	71	71	69	65
HAs70-0.05	GB/T 8890	O60	10~35	295	(90)	60	60	60	28
		O82		320	(105)	70	70	70	33
Hsn70-1		O60		295	(105)	70	70	70	31
		O82		320	(115)	77	77	77	34
HAI77-2		O60		345	(120)	80	79	77	25
		O82		370	(140)	93	92	90	29
BFe10-1-1		O60		290	(100)	67	63	61	58
		O82		345	(250)	115	113	105	99
BFe30-1-1		O60		370	(150)	100	93	90	86
		O82		490	(340)	163	163	163	159

注 1：带括号的室温规定非比例延伸强度（ $R_{p0.2}$ ）下限保证值，系 JB/T 4755 的推荐值，铜管订货时应作为附加要求提出并得到保证。

注 2：达到表中室温力学性能下限保证值时，方可采用表中的许用应力值。

注 3：中间温度的许用应力用插值法计算。

注 4：冷成形非退火态（H02、H55、O82）的焊接构件应采用退火状态（O60）的许用应力值。

5.6.2 铝及铝合金

5.6.2.1 当设计温度高于 65℃时，不得选用镁含量大于或者等于 3%的铝合金。

5.6.2.2 铝及铝合金拉（轧）制无缝管应符合 GB/T 6893 的要求，使用状态及许用应力见表 7。

表 7 铝及铝合金无缝管的许用应力

牌号	状态	壁厚/mm	室温力学性能下限 保证值/MPa		下列温度时的许用应力/MPa								
			R_m	$R_{p0.2}$	-269℃~ 20℃	40℃	65℃	75℃	100℃	125℃	150℃	175℃	200℃
1060	O	0.5~5.0	60	(15)	10	10	10	10	9	8	7	6	5
1050A			60	(20)	13	13	13	13	12	11	10	8	6
1200			70	(25)	16	16	15	14	14	12	10	8	6
3003			95	35	23	23	23	23	23	20	16	13	10
5052			170	65	42	42	42	42	42	42	38	29	19
5A03			175	80	43	43	43	—	—	—	—	—	—
5A05			215	90	53	53	53	—	—	—	—	—	—
5083			270	110	67	67	67	—	—	—	—	—	—

注 1：带括号的室温规定非比例延伸强度 ($R_{p0.2}$) 下限保证值，系 JB/T 4734 的推荐值，铝管订货时应作为附加要求提出并得到保证。
 注 2：达到表中室温力学性能下限保证值时，方可采用表中的许用应力值
 注 3：中间温度的许用应力用插值法计算。

5.6.3 钛及钛合金

钛及钛合金换热管应符合 GB/T 3625 的要求，使用状态及许用应力见表 8。

表 8 钛及钛合金管材许用应力

牌号	标准	状态	厚度/mm	室温力学性能/MPa		下列温度时的许用应力/MPa							
				R_m	$R_{p0.2}$	-269℃~ -20℃	40℃	75℃	100℃	125℃	150℃	175℃	200℃
TA1	GB/T 3625 无缝管	M	0.5~4.5	240	140	89	89	82	76	70	64	60	56
TA2				400	275	147	147	132	121	111	100	92	83
TA1	GB/T 3625 焊接管		0.5~2.5	240	140	76	76	70	65	60	54	51	48
TA2				400	275	125	125	112	103	94	85	78	71

注 1：焊接管的许用应力值已乘焊缝系数 0.85。
 注 2：中间温度的许用应力用插值法计算。

5.6.4 有色金属材料使用的附加规定

接触制冷剂 and 载冷剂等介质的材料，按照介质种类限制如下：

- a) R717 容器中不得使用铜及铜合金材料；
- b) 表 1 中除使用 R717、R290、R600a、R600、RC318、R1270、R744 制冷剂的容器外，不得使用镁含量超过 2%的铝合金；

c) 长期接触水的零部件,不得使用纯度小于99.7%的铝,但经耐腐蚀处理的可以使用。

5.6.5 使用表6铜材制作容器筒体时,应按1.4c)的规定进行设计。

5.7 铸钢和铸铁

5.7.1 铸钢和铸铁的使用应符合TSG 21的规定。

5.7.2 GB/T 9439—2010中规定的HT200、HT250、HT300和HT350材料仅可用于设计压力不大于0.8MPa,设计温度为10℃~200℃,本文件表1中A1和B1、A2和B2组制冷剂的腔室,其受压元件的许用应力为设计温度下抗拉强度除以安全系数10.0。

5.7.3 GB/T 1348—2019中规定的QT400-18R、QT400-18L材料仅可用于设计压力不大于1.6MPa,本文件表1中A1组制冷剂的低压部分设备,QT400-18R的设计温度为0℃~200℃,QT400-18L的设计温度为-10℃~200℃,其受压元件的许用应力为设计温度下抗拉强度除以安全系数8.0。

6 设计

6.1 设计要求

圆筒、封头、平盖及锥壳按GB/T 150.3的规定进行设计。

6.2 开孔与开孔补强

6.2.1 容器上的开孔与开孔补强按GB/T 150.3的规定进行设计。

6.2.2 对无法开设检查孔的容器,应增加制造过程中的无损检测比例,并在设计图样上对设备使用过程中定期检验的重点检验项目、检验方法等作出规定。

6.3 法兰

6.3.1 采用标准压力容器设备法兰时,应符合NB/T 47020~NB/T 47027的规定。

6.3.2 采用标准钢制管法兰时,应符合HG/T 20592(PN系列)、HG/T 20615(Class系列)的规定。

6.3.3 螺栓法兰连接结构的设计符合GB/T 150.3的规定。

6.3.4 带有圆孔的非圆形管法兰(方形、腰形、椭圆形、梅花形)可按圆形法兰计算,但应符合以下规定:

- a) 法兰外径 D 应取与圆孔同心且内截于法兰外缘的圆直径;
- b) 以通过最外面螺栓孔中心圆的直径作为螺栓中心圆直径。

6.4 支座

6.4.1 卧式容器支座

6.4.1.1 一般要求

使用鞍式支座支承的容器,在确定鞍式支座位置时,宜使支座中心至封头切线的距离(A)尽量小于或等于 $R_m/2$ (R_m 为筒体平均半径),且不大于 $0.2L$ (L 为筒体切线长度),见图1。

6.4.1.2 标准鞍式支座

选用标准鞍式支座时,应符合NB/T 47065.1的规定。

- a) 当容器公称直径 $DN \geq 168\text{mm} \sim 406\text{mm}$ 时,鞍式支座的型式和尺寸可按NB/T 47065.1—2018表5中不带垫板的鞍座选定;
- b) 当容器公称直径 $DN \geq 300\text{mm} \sim 450\text{mm}$ 时,鞍式支座的型式和尺寸可按NB/T 47065.1—2018表6中不带垫板的鞍座选定;
- c) 当容器公称直径 $DN \geq 500\text{mm} \sim 950\text{mm}$ 时,鞍式支座的型式和尺寸应按NB/T 47065.1—2018中表7选定;

- d) 当容器公称直径 $DN \geq 1\,000\text{mm} \sim 2\,000\text{mm}$ 时, 鞍式支座的型式和尺寸应按 NB/T 47065.1—2018 中表 2 选定。

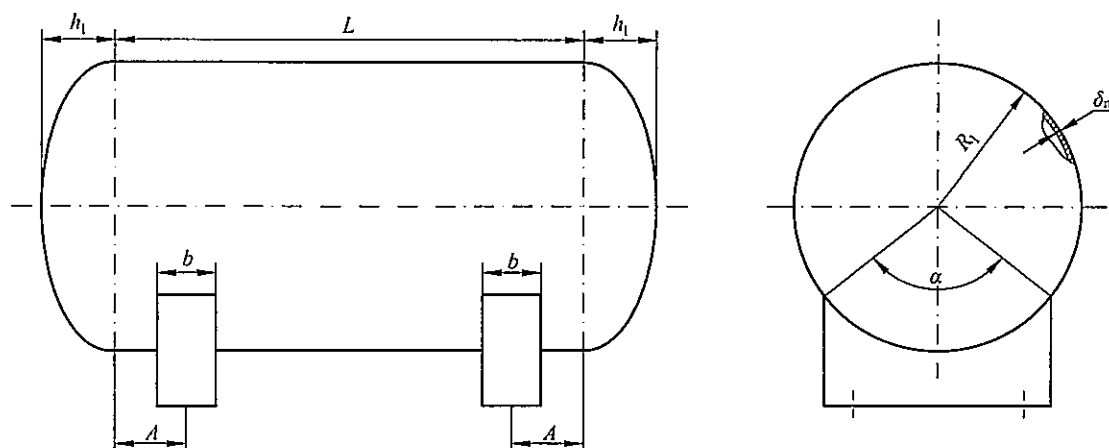


图 1 卧式容器鞍式支座

6.4.1.3 简易鞍式支座

当容器公称直径 $DN \leq 600\text{mm}$ 时, 可以采用简易鞍式支座。

- a) 容器公称直径 $DN \geq 150\text{mm} \sim 350\text{mm}$ 的简易鞍式支座型式和尺寸应符合图 2 及表 9 的规定;
 b) 容器公称直径 $DN \geq 400\text{mm} \sim 600\text{mm}$ 的简易鞍式支座型式和尺寸应符合图 3 及表 10 的规定。

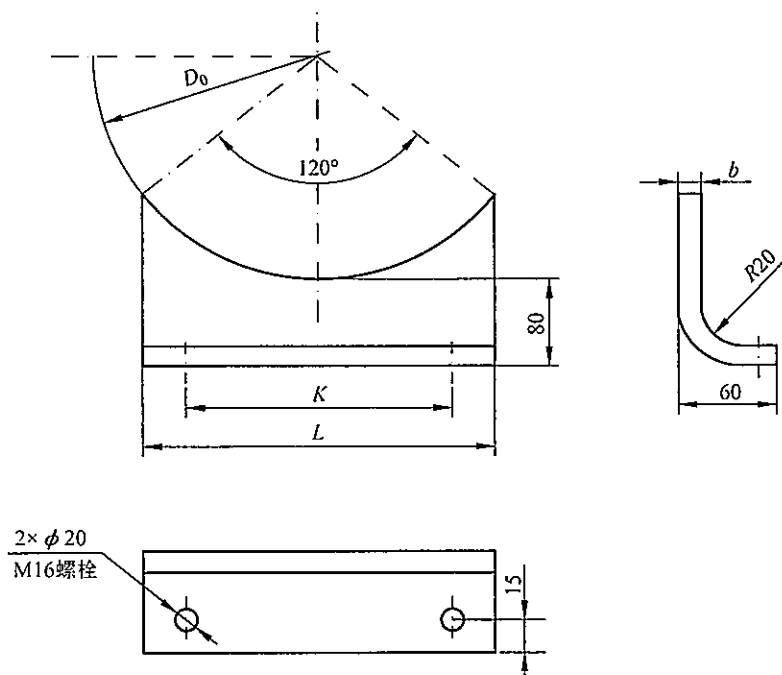


图 2 简易鞍式支座 (1)

表 9 简易鞍式支座 (1)

单位为 mm

容器公称直径 DN	尺寸		
	<i>L</i>	<i>K</i>	<i>b</i>
150	140	90	6
200	190	120	
245 ^a	210	140	
250	240	160	
300	280	200	
350	330	250	

^a 容器外径。

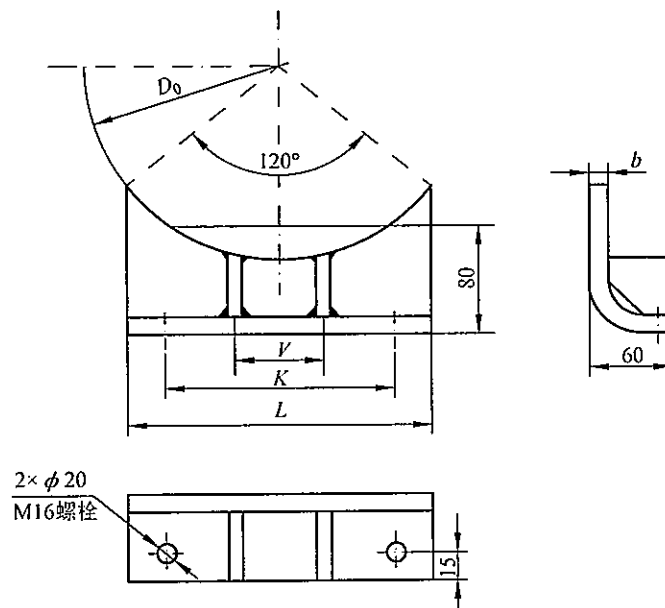


图 3 简易鞍式支座 (2)

表 10 简易鞍式支座 (2)

单位为 mm

容器公称直径 DN	尺寸			
	<i>L</i>	<i>Y</i>	<i>K</i>	<i>b</i>
400	370	160	270	8
450	390	180	290	
500	430	220	330	
600	540	320	420	

6.4.1.4 管板延长部分兼作支座

管板延长部分兼作支座时，其管板厚度及固定螺孔、紧固件尺寸等应参照 NB/T 47065.1 的相应规定；必要时应采取减少活动支座底板与基础之间的摩擦力。

6.4.2 立式容器支座

6.4.2.1 一般要求

选用标准立式容器支座时，应分别符合 NB/T 47065.2、NB/T 47065.3 和 NB/T 47065.4 的规定。

- a) 当容器公称直径 $DN \geq 300\text{mm} \sim 600\text{mm}$ 时，腿式支座的型式和尺寸可按 NB/T 47065.2—2018 表 2 中角钢支柱、不带垫板的 AN 型选定；当容器公称直径 $DN > 600\text{mm} \sim 1\,300\text{mm}$ 时，腿式支座的型式和尺寸应按 NB/T 47065.2—2018 中表 2 选定；
- b) 当容器公称直径 $DN \geq 300\text{mm} \sim 600\text{mm}$ 时，耳式支座的型式和尺寸可按 NB/T 47065.3—2018 表 2 中 A 型和表 3 中 B 型选定，若满足标准规定的条件，可不设置垫板；当容器公称直径 $DN > 600\text{mm}$ 时，耳式支座的型式和尺寸应按 NB/T 47065.3—2018 中表 2 和表 3 选定；
- c) 当容器公称直径 $DN \geq 800\text{mm}$ 时，支承式支座的型式和尺寸应按 NB/T 47065.4—2018 中表 2 选定。

6.4.2.2 简易耳式支座

容器公称直径 $DN \leq 600\text{mm}$ 的立式容器，可以采用简易耳式支座。

简易耳式支座见图 4，其底板厚度按式（3）计算：

$$\delta = \sqrt{\frac{3Qb}{[\sigma]b_1}} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- δ ——底板厚度，mm；
- Q ——单个支耳所支承的载荷，N；
- b ——底板伸出长度，mm；
- $[\sigma]$ ——底板材料的许用应力，MPa；
- b_1 ——底板宽度，mm。

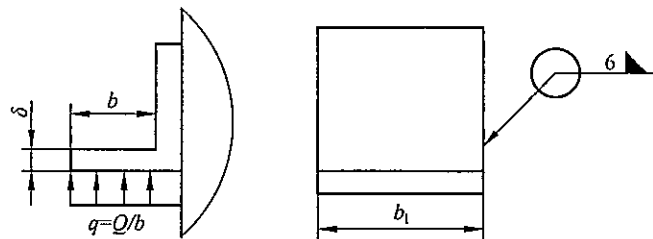


图 4 简易无筋板耳式支座

6.5 管板

6.5.1 一般规定

6.5.1.1 确定管板厚度时应考虑管板的强度、刚度和结构以及制造要求等因素。

6.5.1.2 管板的名义厚度应不小于下列三者之和：

- a) 管板的计算厚度或 6.5.1.3 规定的最小厚度，取大者；

b) 壳程腐蚀裕量或结构开槽深度, 取大者;

c) 管程腐蚀裕量或分程隔板槽深度, 取大者。

6.5.1.3 应根据换热管与管板的连接型式, 分别按表 11 或表 12 选定管板最小厚度 (不包括腐蚀裕量)。

6.5.1.4 管板选用材料应符合本文件第 5 章和 GB/T 151 的规定。

6.5.1.5 管板与筒体的连接结构及适用的压力范围按 GB/T 151 的规定。

表 11 换热管采用胀接时管板最小厚度

单位为 mm

换热管外径 d_o		10	12	14	16	19	25	32	38	45	50	57
管板最小厚度	A1 组制冷剂	10		12	14	16	20	23	27	32	34	37
	A2、A3、B1、B2、B3 组制冷剂	20					25	32	38	45	50	57

表 12 换热管采用焊接时管板最小厚度

单位为 mm

管板外径 D	≤ 1200	$> 1200 \sim 1600$	> 1600
管板最小厚度	12	18	24

6.5.2 固定管板式热交换器管板计算

6.5.2.1 除 6.5.4 规定的情况外, 当换热管采用胀接或焊接方法与管板连接时 (管子外径 $d_o \leq 57\text{mm}$), 管板的计算厚度确定如下:

a) 圆筒直径 $D \leq 600\text{mm}$:

1) 钢制管板的计算厚度按式 (4) 确定:

$$\delta = 8 + \frac{d}{12} \quad \dots\dots\dots (4)$$

2) 铜或铜合金制管板计算厚度按式 (5) 确定:

$$\delta = 15 + \frac{d}{6} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

δ ——管板计算厚度, mm;

d ——管孔直径, mm。

此时, 换热管孔中心距满足 6.5.2.2 的规定; 换热管连接处的强度应满足 6.5.2.3 的规定; 换热管轴向应力应满足 6.5.2.4 的规定。对于延长部分兼作法兰的管板, 管板刚度应与法兰刚度相匹配, 且管板厚度不得小于法兰厚度的 60%; 对于非均匀布管的管板边缘部分, 应按 6.5.3.2 计算管板厚度。

b) 圆筒直径 $D > 600\text{mm}$:

1) GB/T 151 中作出规定的管板, 应采用 GB/T 151 中相应的管板结构型式的计算方法进行计算;

2) GB/T 151 未作出规定的管板, 可按 6.5.3 计算支撑结构和管板厚度, 且换热管连接处的强度应满足 6.5.2.3 的规定, 换热管轴向应力满足 6.5.2.4 的规定; 或按 1.4 的规定进行设计。

6.5.2.2 换热管与管板采用胀接连接时, 最小管孔中心距按材料的种类确定如下:

a) 钢制管板的最小管孔中心距按式 (6) 计算:

$$S = \left(1 + \frac{4}{\delta_n}\right) d \quad \dots\dots\dots (6)$$

但当管板材料的 $[\sigma] > 100\text{MPa}$ ，且换热管为光亮退火铜管或具有同等性质的其他软质材料时，最小管孔中心距按式(7)计算：

$$S = \left(1 + \frac{2.8}{\delta_n}\right) d \quad \dots\dots\dots (7)$$

b) 铜及铜合金制管板的最小管孔中心距按式(8)计算：

$$S = \left(1 + \frac{8}{\delta_n}\right) d \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中：

- S ——最小管孔中心距，mm；
- δ_n ——管板名义厚度，mm；
- d ——管孔直径，mm。

6.5.2.3 换热管与管板采用胀接或焊接方法连接时的拉脱应力计算如下：

a) 换热管与管板采用胀接方法连接时，按式(9)求得的换热管和管板接触面的拉脱应力，应不大于规定的接触面许用拉脱应力值：

$$\sigma_t = W / (3.14d_o\delta_n) \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中：

- σ_t ——接触面的拉脱应力，MPa；
- W ——一根换热管所支持的载荷，按图5和式(10)计算，取规则布管区和不规则布管区及周边缺区大值，N；
- d_o ——换热管外径，mm；
- δ_n ——管板名义厚度（应取胀接长度），mm。

$$W = p \times \text{面积} \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中：

- p ——设计压力，MPa。
- 面积为图5中 $abcdefghijkl$ 所包容的面积（管程压力作用时，应包含换热管截面积）。

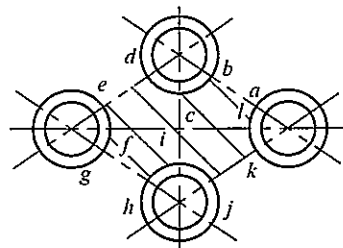


图5 一根换热管的支持截面积

接触面的许用拉脱应力：对钢制管板与钢制换热管时为 2.5MPa；对钢、铜或铜合金制管板与铜或铜合金制换热管时为 1.2MPa。

b) 换热管与管板采用焊接连接时，按式 (11) 求得的作用于焊缝截面上的剪切应力，应不大于规定的许用剪切应力值：

$$\sigma_1 = W / (3.14d_0k) \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中：

- σ_1 ——换热管焊缝截面上的剪切应力，MPa；
- W ——一根换热管所支持的载荷，按 6.5.2.3a) 计算，N；
- d_0 ——换热管外径，mm；
- k ——换热管与管板焊缝有效高度，mm。

作用于换热管焊缝截面上的许用剪切应力：对钢制管板与钢制换热管为换热管许用应力的 40%；对钢、铜或铜合金制管板与铜或铜合金制换热管为换热管许用应力的 30%。

6.5.2.4 换热管轴向应力按式 (12) 计算，应不大于换热管的许用应力值（管程压力作用时，应按 GB/T 151 规定校核换热管的稳定性）：

$$\sigma = 1.1W/A \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中：

- σ ——换热管轴向应力，MPa；
- W ——一根换热管所支持的载荷，按 6.5.2.3a) 计算，N；
- A ——换热管截面积，mm²。

6.5.3 管板受支撑部分和管板无管束部分的计算

6.5.3.1 管板受支撑部分的计算

6.5.3.1.1 支撑杆和支撑管的支承载荷按如下规定计算：

- a) 规则设置支撑杆的支承载荷：壳程压力作用下，由支撑杆中心连线围成的面积中减去支撑杆所占的面积，再乘以许用压力的值；管程压力作用下，支撑杆中心连线围成的面积，再乘以许用压力的值；
- b) 不规则设置支撑杆的支承载荷：方法同 a)；
- c) 支撑管的支承载荷：从一根支撑管所支承的面积中减去该面积中一根支撑管面积（壳程压力作用按外半径计算，管程压力作用按内半径计算）后的面积差，再乘以许用压力。

注：许用压力按式 (15) 计算。

6.5.3.1.2 支撑件的最小截面面积按如下规定计算：

支撑件最小截面面积按式 (13) 计算：

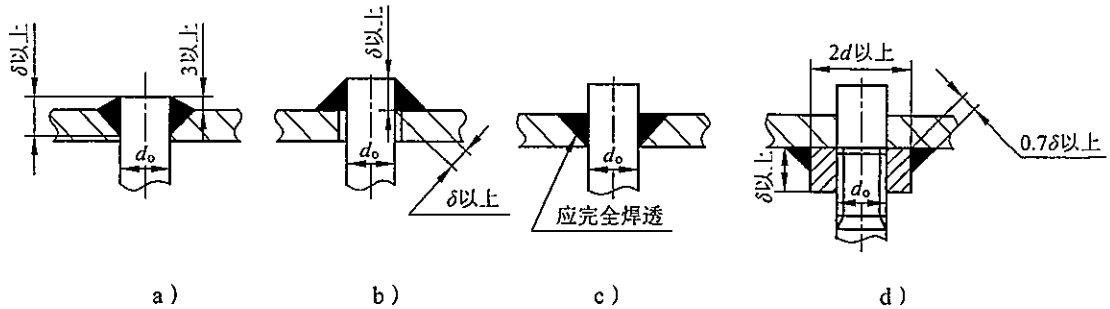
$$A_1 = 1.1W_1 / (\varphi[\sigma]) \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中：

- A_1 ——支撑件最小截面面积，mm²；
- W_1 ——支撑的支承载荷，对斜支撑应换算成轴向载荷，N；
- $[\sigma]$ ——材料的许用应力，MPa。

注：采用焊接支撑件连接时，焊接接头系数 φ 取 0.60。

6.5.3.1.3 支撑杆采用焊接连接时，其结构按照图 6 的规定（焊缝强度应满足 6.5.2.3b）的要求，支撑管也可采用胀接连接，胀接强度应满足 6.5.2.3a）的要求）。焊接连接处不做射线检验，也不做焊后热处理。



注： δ 为被支撑的板中较薄板的厚度。

图 6 支撑杆的固定结构

6.5.3.1.4 受支撑的板的实际厚度应大于 8mm，但支撑杆用焊接方法连接，并满足下述规定时，可不受此限制。

- a) 支撑杆采用图 7 的设置形式，且 $l = (l_1 + l_2) / 2$ ；
- b) 支撑杆的间距应小于 500mm。

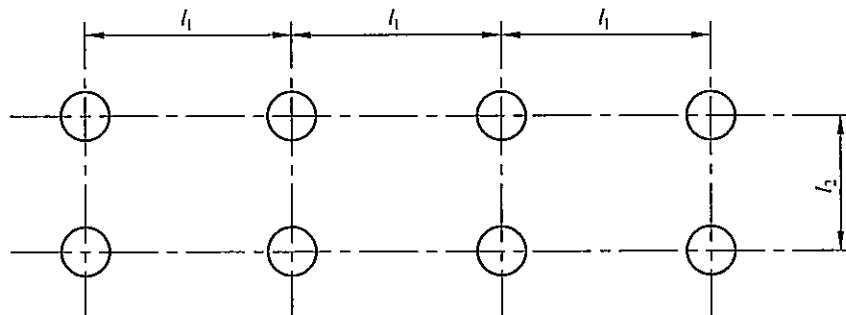


图 7 支撑杆的配置

6.5.3.1.5 有规则设置支撑的平板强度：

- a) 平板的计算厚度按式（14）计算：

$$\delta = l \times \sqrt{\frac{p}{C[\sigma]^t}} \quad \dots\dots\dots (14)$$

式中：

δ ——平板计算厚度，mm；

l ——支撑的间距，取支撑中心水平间距和垂直间距的平均值（见图 7），mm；

p ——设计压力，MPa；

C ——系数，由支撑的连接方法确定，按表 13 选取；

$[\sigma]^t$ ——平板材料在设计温度下的许用应力，MPa。

- b) 平板的许用压力校核按式（15）计算：

$$[p] = \frac{C[\sigma]'(\delta_n - C_2)^2}{l^2} \dots\dots\dots (15)$$

式中：

[p]——许用压力，MPa；

C——系数，由支撑的连接方法确定，按表 13 选取；

[\sigma]'——平板材料在设计温度下的许用应力，MPa；

\delta_n——平板名义厚度，mm；

C_2——腐蚀裕量，mm；

l——支撑的间距，取支撑中心水平间距和垂直间距的平均值（见图 7），mm。

表 13 有规则设置支撑的 C 值

C 值	支撑连接方法
2.1	板厚小于或等于 11mm，支撑插穿板中，其端部用角焊连接
2.2	板厚大于 11mm，支撑插穿板中，其端部用角焊连接
2.5	在板上开坡口，并在支撑端部施以 V 形或 K 形焊接连接
1.9	管子用胀接连接或者支撑端部由螺纹与管座接头等连接
3.2	角板支撑并用 V 形或 K 形焊接连接

6.5.3.1.6 不规则设置支撑平板的计算厚度用式（14）计算、许用压力用式（15）计算，但式中 l 和系数 C 按下述规定：

- a) 取通过 3 个支撑点的内部没有支撑的最大圆直径为 d，则支撑的间距 $l=d/\sqrt{2}$ （图 8）；
- b) 按最大圆通过的相应支撑点类型，系数 C 取表 14 的平均值。

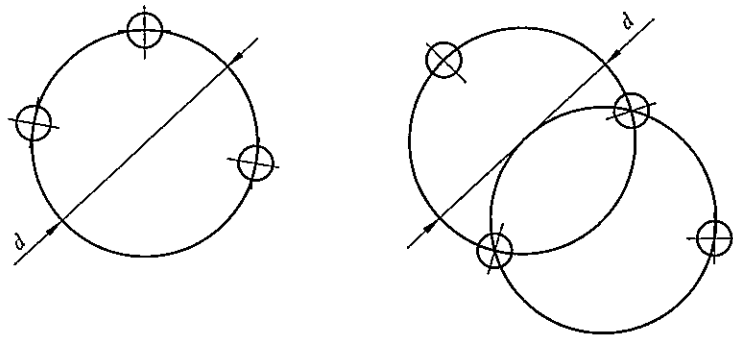


图 8 不规则支撑设置

表 14 无规则设置支撑的 C 值

C 值	支撑点种类
3.2	支撑点在封头圆弧过渡的起点
表 13 的其他值	其他支撑点类型

6.5.3.2 管板无管束部分的计算

6.5.3.2.1 管板的计算厚度和许用压力按式(14)和式(15)计算。

6.5.3.2.2 式(14)和式(15)中的 l 和 C 值规定如下:

- a) 与筒体内径圆相切,且通过两根管子或支撑管子中心的最大圆,或者与筒体内径圆和外侧管列轴线同时相切的最大圆(其内部不包含管子或支撑管)直径为 d 时,取 $l=d/\sqrt{2}$;
- b) 根据最大圆通过的支撑点类型,按表 15 分别选取 C 值的平均值。

表 15 不同支撑点种类的 C 值

C	支撑点种类
1.9	管列轴线
2.6	管子或支撑管
3.2	筒体内径圆

6.5.3.3 管板厚度的计算

管板厚度取按 6.5.3.1 和 6.5.3.2 计算的大值。

6.5.4 无支撑管支撑的 U 形管式热交换器的管板计算

6.5.4.1 无支撑管支撑的热交换器及其他类似的平管板的计算厚度,可用以下两种方式计算:

- a) U 形管式热交换器管板按 GB/T 151 计算;
- b) 按式(16)计算后取大值:

$$\left\{ \begin{aligned} \delta &= \frac{1.25}{2} D \times \sqrt{\frac{p}{[\sigma]_w}} \\ [p] &= 4[\sigma]_w \left(\frac{\delta_n - C_2}{1.25D} \right)^2 \end{aligned} \right. \dots\dots\dots (16)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \delta &= \frac{pA_D}{[\sigma]_t L_D} \\ [p] &= \frac{[\sigma]_t L_D}{A_D} (\delta_n - C_2) \end{aligned} \right.$$

式中:

- δ ——管板计算厚度, mm;
- D ——管板外圆周载荷作用处的直径(当管板与筒体为一体时,取筒体计算内径), mm;
- p ——管板各侧的设计压力, MPa;
- $[\sigma]_w$ ——管板材料的许用弯曲应力,对碳钢和低合金钢板取设计温度下 $0.5 R_{dL}^I$ (或 $0.5 R_{p0.2}^I$), 许用应力中的大值, MPa;
- $[p]$ ——许用压力, MPa;
- δ_n ——管板名义厚度, mm;
- C_2 ——腐蚀裕量, mm;
- A_D ——将管板最外圆管孔中心依次连接所得的多变形面积(见图 9), mm^2 ;
- $[\sigma]_t$ ——管板材料的许用剪切应力,取 $0.8[\sigma]$, MPa;
- L_D ——将管板最外圆管孔中心依次连接所得的多边形周边长与最外周所有管孔直径总和之差, mm。

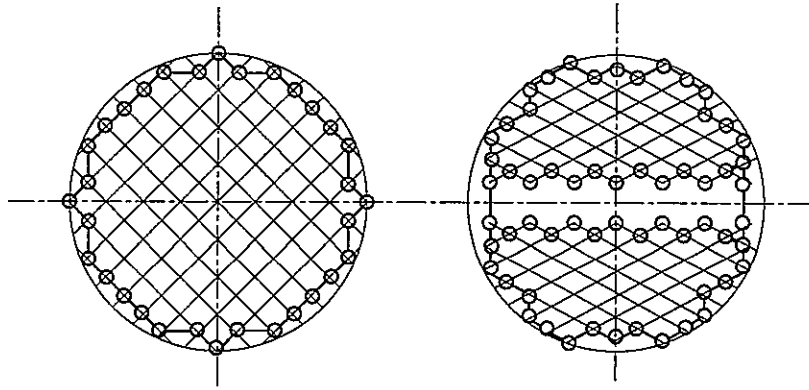


图9 计算管板的多边形

6.5.4.2 兼作法兰的管板计算

管板兼作法兰 [图 10a) 和图 10b)] 时, 管板计算厚度按 6.5.4.1 b) 的规定计算。但法兰部分的厚度 δ_f , 按 GB/T 150.3 规定的圆形平盖厚度计算公式确定。

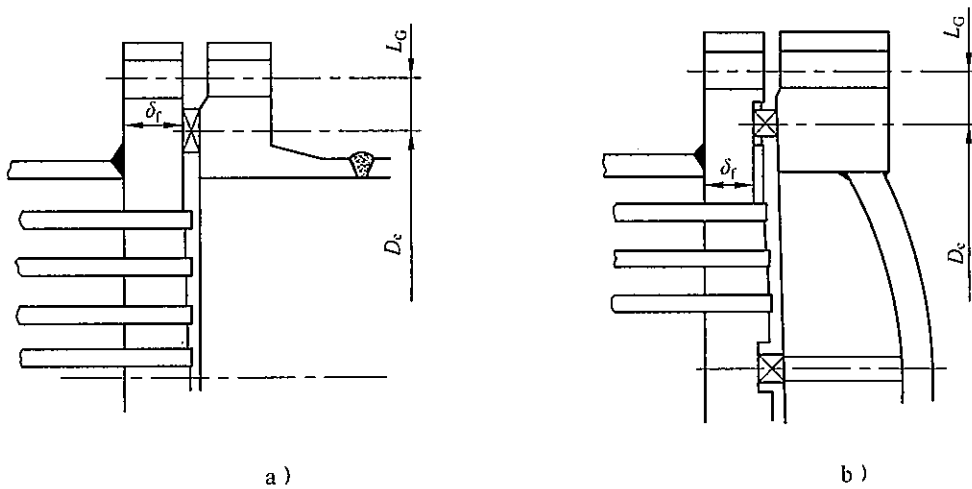


图10 管板兼作法兰

6.5.5 管板管孔中心距

6.5.5.1 管子管端与管板为胀接或焊接时, 管孔中心距一般不小于管子外径的 1.25 倍, 常用的中心距见表 16。

表 16 管孔中心距

单位为 mm

换热管外径	6	10	12	14	16	19	25	32	38	45	50	57
换热管中心距	8.5~9.0	13.0~14.0	16.0	19.0	22.0	25.0	32.0	40.0	48.0	57.0	64.0	72.0

6.5.5.2 采用比表 16 小的管孔中心距时, 应符合如下规定:

- 应按式 (6) 或式 (7) 或式 (8) 进行验算, 管孔中心距应大于验算值;
- 应进行工艺评定, 并证明能可靠、长期运转。

6.5.6 换热管与管板管孔尺寸偏差

6.5.6.1 GB/T 151 中作出规定的换热管外形尺寸的允许偏差和管板管孔直径的允许偏差, 应符合

GB/T 151 的要求。

6.5.6.2 外径小于 14mm 的钢换热管，其外径的允许偏差和管板管孔直径的允许偏差应符合表 17 的规定。

表 17 钢换热管的外径和管板管孔直径的允许偏差 单位为 mm

换热管外径	管板管孔直径		换热管外径 允许偏差	管板管孔直径 允许偏差
10	I 级管束	10.20	±0.10	+0.10 -0.05
	II 级管束	10.25	±0.15	+0.10 -0.05
12	I 级管束	12.20	±0.10	+0.10 -0.05
	II 级管束	12.25	±0.15	+0.10 -0.05

6.5.6.3 外径小于 14mm 的铝及铝合金换热管，其外径的允许偏差和管板管孔直径的允许偏差应符合表 18 的规定。

表 18 铝及铝合金换热管的外径和管板管孔直径的允许偏差 单位为 mm

换热管外径	换热管外径允许偏差	管板管孔直径	管板管孔直径允许偏差
10	±0.05	10.20	+0.10 0
12	±0.05	12.20	+0.10 0

6.5.6.4 外径小于 14mm 的铜及铜合金换热管，其外径的允许偏差和管板管孔直径的允许偏差应符合表 19 的规定。

表 19 铜及铜合金换热管的外径和管板管孔直径的允许偏差 单位为 mm

换热管外径	换热管材料	换热管外径允许偏差	管板管孔直径	管板管孔直径允许偏差
6	铜	±0.05	6.18	+0.10 -0.02
	铜合金	-0.10	6.18	+0.10 0

6.6 折流板、支承板和挡板

6.6.1 折流板与支承板

6.6.1.1 折流板应符合 GB/T 151 的要求。

6.6.1.2 当热交换器不需要设置折流板，但换热管无支撑跨距超过 GB/T 151 的规定时，热交换器应设置支承板。支承板最小厚度应不小于 4mm，支承板管孔和外径尺寸及允许偏差应满足 GB/T 151 的要求。

6.6.1.3 外径小于 14mm 的钢换热管，其折流板与支承板管孔直径及允许偏差应符合表 20 的规定。

表 20 钢换热管用折流板与支承板管孔直径及允许偏差 单位为 mm

换热管公称外径	管孔直径		管孔直径允许偏差	
	I 级管束	II 级管束	I 级管束	II 级管束
10	d (换热管外径) +0.30	d (换热管外径) +0.40	+0.30 0	+0.40 0
12	d (换热管外径) +0.30	d (换热管外径) +0.40	+0.30 0	+0.40 0

6.6.1.4 外径小于 14mm 的铝及铝合金换热管,其折流板与支承板管孔直径及允许偏差应符合表 21 的规定。

表 21 铝及铝合金换热管用折流板与支承板管孔直径及允许偏差 单位为 mm

换热管公称外径	材料	管孔直径	管孔直径允许偏差
10	铝	10.35	+0.10 0
	铝合金		+0.20 0
12	铝	12.35	+0.10 0
	铝合金		+0.20 0

6.6.1.5 外径小于 10mm 的铜及铜合金换热管,其折流板与支承板管孔直径及允许偏差应符合表 22 的规定。

表 22 铜及铜合金换热管用折流板与支承板管孔直径及允许偏差 单位为 mm

换热管公称外径	材料	管孔直径	管孔直径允许偏差
6	铜	6.18	+0.10 0
	铜合金		+0.10 0

6.6.1.6 折流板与支承板为有机材料时,管孔直径及允许偏差可按 GB/T 151 和表 21、表 22 选用。

6.6.1.7 折流板与支承板为有机材料时,折流板与支承板的外径可与圆筒公称直径 DN 相等或过盈。

6.6.1.8 公称外径为 6mm 的铜及铜合金换热管,其直管最大无支撑跨距不得大于 550mm。

6.6.2 挡板

在热交换器进口单相流体的 ρv^2 值 (ρ ——流体密度, kg/m^3 ; v ——流体流速, m/s) 大于 $2.230 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s}^2)$ 时,应设置挡板。

挡板表面到筒体内壁的距离一般为接管外径的 $1/4 \sim 1/3$,挡板直径(圆形)或长、宽(方形)应大于接管外径 50mm,挡板的最小厚度应不小于 4mm。挡板固定方式宜采用焊接或螺栓连接。

6.7 换热管和管束

6.7.1 换热管

6.7.1.1 换热管的厚度按 GB/T 151 的规定进行计算。

6.7.1.2 当换热管同时受内压和外压作用时,其管子壁厚应按内压、外压分别计算,取其中较大者。其中,铜及铜合金、钛合金制整体翅片换热管也可按附录 A 的规定进行外压设计。

6.7.1.3 U形换热管弯管段的弯曲半径 R 一般不小于 2 倍的换热管外径，常用换热管的最小弯曲半径 R_{\min} 可按表 23 选定。弯曲后 U 形换热管的壁厚应满足强度和使用要求。

表 23 常用 U 形换热管的最小弯曲半径

单位为 mm

换热管外径 d_o	6	10	12	14	16	19	25	32	38	45	50	57
最小弯曲半径 R_{\min}	12	20	24	30	32	40	50	65	76	90	100	115

6.7.1.4 高效换热管应参考 JB/T 10503 和 GB/T 20928 的参数与技术要求的规定，其管端光管外径及允许偏差应符合相应材料换热管的要求。

6.7.2 管束

6.7.2.1 管束外层换热管外表面与壳体内表面间的距离，应不小于换热管外径的 1/4 且不宜小于 8mm。

6.7.2.2 换热管外表面与邻近挡板表面之间的距离，最小为 6mm。

6.7.2.3 换热管与管板焊接时，管端伸出长度为 1mm~3mm，且同一平面上允许偏差应不超过 2mm。管孔端部开 45°焊接坡口，以保证焊脚高度不小于 1.0 倍管壁厚度。

6.7.2.4 换热管与管板胀接连接时，管端伸出长度一般为 1mm~5mm（影响分程隔板密封的管端，允许削至与管板面齐平），管板管孔可开胀接槽。胀接长度不小于管板名义厚度减去 3mm 与 2 倍换热管外径两者中的较小值。

6.7.2.5 管子与管板连接方法可采用胀接、焊接及胀焊并用。

- a) 设计压力小于或等于 4.0MPa，管子外径 $d_o \leq 57\text{mm}$ 的管子与管板一般采用胀接连接；
- b) 设计压力大于 4.0MPa 且需要采用强度胀接时，应进行胀接工艺试验，换热管与管板连接的拉脱力应满足 GB/T 151 的要求；
- c) 用于 B2、A3 和 B3 组的制冷剂用热交换器，管子与管板宜采用焊接连接。

6.8 拉杆、定距管和防短路构件

6.8.1 应设置拉杆和定距管或采用其他合适的方法固定折流板，拉杆和定距管等的材料应与折流板类似。

6.8.2 拉杆的数量和直径应符合 GB/T 151 的要求。

6.8.3 当需要防止流体沿管束周围或通过管束发生过度短路现象时，除装设折流板外，还应安装适当的构件，如旁路挡板、挡管、中间挡板等。防短路构件应符合 GB/T 151 的要求。

7 制造、检验与验收

7.1 总则

7.1.1 容器的制造、检验与验收除应符合 GB/T 150.1、GB/T 150.4、GB/T 151 和设计文件的要求外，还应满足本章的要求。

7.1.2 容器的制造环境应与对容器的品质要求相适应。有色金属容器及零部件的制造环境应洁净，并分别符合 JB/T 4734、JB/T 4745 和 JB/T 4755 的相关规定。

7.1.3 容器制造过程中的风险预防和控制

7.1.3.1 对于设计单位出具了风险评估报告的压力容器，制造单位应当根据风险评估报告提出的主要失效模式、容器制造检验要求和建议，完成下述工作：

- a) 合理地确定制造和检验工艺；

b) 风险评估报告中给出的预防失效措施应在制造过程中落实，并应在产品质量证明文件中予以体现。

7.1.3.2 对于设计单位没有出具风险评估报告的压力容器，制造单位应当根据压力容器的技术要求，制造、检验工艺评估制造风险，并进行有效控制。技术措施至少包括：

- a) 评估压力容器制造工艺过程对材料的影响，合理确定材料订货技术条件中对材料相关性能的要求；
- b) 评估压力容器后续制造、检验工艺过程对外购成品零部件的要求，合理制订外购成品零部件订货技术条件；
- c) 评估压力容器技术要求、质量要求，制订合理的制造方法、制造工艺、检验方法。

7.2 材料分割与标志移植

7.2.1 推荐采用冷切割方法切割材料。当采用机械切割方法分割复合钢板时，应使复合钢板的覆层面对切割具；当采用火焰切割方法分割复合钢板时，应使复合钢板的基层面对切割具。

7.2.2 经热切割后的材料熔化产生的所有熔渣及有害变色部位应在下一道制造工序开始前或使用前采用机械方法予以清除，并消除锐边。

7.2.3 进行材料标志移植时，对截面厚度不大于 6mm 的受压元件、预制或预成形的受压元件表面不得采用硬印标记。

7.3 冷、热加工成形与组装

7.3.1 成形

7.3.1.1 受压元件应优先采用冷成形或温成形。

7.3.1.2 受压元件的成形工艺应能保证容器制造完成后，成形件的性能仍满足设计文件的要求。其中，有色金属复合钢板、衬里件的成形应符合对应材料产品标准的规定。与成形工序衔接的相关制造单位（或部门）宜协商制订成形件投料材料的技术要求和成形件的技术要求，并加以控制。

7.3.1.3 成形件的加热、恢复性能热处理所使用的加热炉参照 GB/T 150.4 的规定。当成形件进行恢复性能热处理时，制造单位（或部门）应提供热处理工艺规范和热处理时间—温度记录曲线。

7.3.2 表面修磨

7.3.2.1 修磨不同金属的工具应各自专用，并不得与修磨钢的工具混用。

7.3.2.2 当复合钢板的覆层、堆焊层计入强度时，修磨后覆层或堆焊层的剩余厚度不得小于其计入强度所需要的厚度，否则应予焊补。

7.3.3 封头

封头应符合 GB/T 150.4 和 GB/T 25198 的规定。

7.3.4 圆筒与壳体

圆筒与壳体的错变量、棱角度、不等厚对接、圆度、直线度等的制造、检验，对于热交换器应符合 GB/T 151 的要求；对于非热交换器应根据材质对应符合 GB/T 150.4、JB/T 4734、JB/T 4745 或 JB/T 4755 的要求。

7.3.5 管板

7.3.5.1 管板（包括复合钢板的覆层）不允许拼接。

7.3.5.2 管板孔桥：

- a) 使用钢制换热管的管板孔桥宽度按表 24 选定；

表 24 管板孔桥宽度（适用于钢管）

单位为 mm

换热管外径	换热管中心距	管孔直径	名义孔桥宽度	允许孔桥宽度			最小孔桥宽度
				管板厚度			
				20	40	60	
10	14	10.20	3.80	3.13	2.96	2.80	2.28
		10.25	3.75	3.08	2.91	2.75	2.25
12	16	12.20	3.80	3.15	3.02	2.88	2.28
		12.25	3.75	3.10	2.97	2.83	2.25
14	19	14.30	4.70	4.07	3.96	3.84	2.82
16	22	16.30	5.70	4.84	4.74	4.63	3.42
19	25	19.30	5.70	4.85	4.77	4.68	3.42
25	32	25.30	6.70	5.87	5.81	5.74	4.02
30	38	30.40	7.60	6.79	6.73	6.68	4.56
32	40	32.45	7.55	6.74	6.69	6.64	4.53
35	44	35.45	8.55	7.74	7.70	7.65	5.13
38	48	38.50	9.50	8.70	8.65	8.61	5.70
45	57	45.55	11.45	10.65	10.62	10.58	6.87
50	64	50.60	13.40	12.61	12.57	12.54	8.04
55	70	55.70	14.30	13.51	13.48	13.45	8.58
57	72	57.70	14.30	13.51	13.48	13.45	8.58

注：当管板厚度在 20、40 与 60 之间时，孔桥宽度用插值法计算。

b) 换热管为铜及铜合金时，其管板孔桥宽度按表 25 选定。当孔桥宽度低于表 25 的选定值时，应保证密封性并进行胀接工艺评定。

表 25 管板孔桥宽度（适用于铜及铜合金管）

单位为 mm

换热管外径	换热管中心距	管孔直径	名义孔桥宽度	允许孔桥宽度应不小于下列值			
				管板厚度			
				20	30	40	60
6	8.5	6.18	2.32	2.05	1.95	—	—
	9.0		2.82	2.45	2.35	2.15	2.05
10	13	10.20	2.80	2.43	2.33	2.13	2.03
	14		3.80	3.43	3.23	3.03	2.83
12	15.5	12.20	3.30	3.05	2.85	2.65	2.45
	16		3.80	3.45	3.25	3.05	2.85

表 25 (续)

换热管外径	换热管中心距	管孔直径	名义孔桥宽度	允许孔桥宽度应不小于下列值			
				管板厚度			
				20	30	40	60
14	18	14.20	3.80	3.25	3.05	2.85	2.65
	19		4.80	4.15	3.85	3.55	3.25
16	20	16.25	3.75	3.20	3.00	2.80	2.60
	21		4.75	4.10	3.80	3.50	3.20
19	24	19.25	4.75	4.15	3.85	3.55	3.25
	25		5.75	5.15	4.85	4.55	4.25
	26		6.75	6.05	5.65	5.25	4.85
25	32	25.25	6.75	6.05	5.65	5.25	4.85
	33		7.75	7.05	6.65	6.25	5.85
32	40	32.35	7.65	6.80	6.30	5.80	5.40

注：1. 当管板厚度在 20、30、40 与 60 之间时，孔桥宽度用插值法计算。
2. “—” 线表示不允许使用。

7.3.5.3 换热管为铝及铝合金时，其管板孔桥宽度可参考表 25 确定。

7.3.5.4 采用 6.5.5.2 中规定的小的管孔中心距时，孔桥宽度应符合式 (17) 的规定：

$$B_{\min} \geq B_g - (0.05 \sim 0.10) \quad \dots\dots\dots (17)$$

式中：

B_{\min} ——最小孔桥宽度，mm；

B_g ——采用小的管孔中心距时的名义孔桥宽度，mm。

7.3.6 组装

7.3.6.1 热交换器应符合 GB/T 151 的组装要求；非热交换器应根据材质对应符合 GB/T 150.4、JB/T 4734、JB/T 4745 或 JB/T 4755 的组装要求。

7.3.6.2 管壳式热交换器组装前，还应满足下列要求：

- a) 壳体内表面凡妨碍管束顺利装入或抽出的焊缝均应打磨至与母材齐平；
- b) 在壳体上设置接管或其他附件导致壳体变形影响管束顺利安装时，应采取防止变形或预变形措施。

7.4 焊接

7.4.1 依据容器的材质，在对应 GB/T 150.4、GB/T 151、JB/T 4734、JB/T 4745 或 JB/T 4755 中规定需要焊接工艺评定支持的项目，应按 NB/T 47014 的规定进行焊接工艺评定。

7.4.2 受压元件用焊接材料应符合 NB/T 47018 (所有部分) 的规定，并应有质量证明书。

7.4.3 容器的施焊应在室内进行。

7.4.4 定位焊的终焊端和起焊端应用打磨或其他适宜的方法进行适当处理，以使它们能顺利熔入最终焊缝。

7.5 热处理

7.5.1 恢复性能热处理

7.5.1.1 分步冷成形时，若不进行恢复性能热处理，则成形件的变形率为各分步成形的变形率之和；若进行恢复性能热处理，则成形件的变形率为进行恢复性能热处理后的各分步成形的变形率之和。若投料钢板经过开平操作，进行变形率计算时应计入开平操作产生的变形率。

7.5.1.2 热成形件应进行恢复性能热处理。

7.5.1.3 采用复合钢板制造的成形件，应按基层材料确定成形后是否进行恢复性能热处理及其热处理参数。其中，计算变形率、确定热处理保温时间时，应取复合钢板总厚度；确定恢复性能热处理参数时，应同时保证覆层经热处理后的性能满足使用要求或设计文件的规定。

7.5.1.4 恢复性能热处理工艺宜按材料出厂热处理工艺的规范确定。

7.5.2 焊后热处理

7.5.2.1 介质为氨的 Q345R 及强度高于 Q345R 的低合金钢制容器、介质为 A3 和 B3 组制冷剂的钢制容器应进行焊后热处理。

7.5.2.2 焊后热处理应采用炉内加热的方式进行。

7.6 试件与试样

盛装 B3 组制冷剂的容器、A3 组制冷剂的第 II 类和第 III 类容器及设计文件要求的容器应制备产品焊接试件。

7.7 无损检测

第 III 类容器、第 II 类容器中储存 A3 和 B3 组制冷剂的容器及受压元件上的 A 类和 B 类焊接接头应进行 100%射线或超声检测。

7.8 耐压试验、泄漏试验和真空试验

7.8.1 制造完工的容器应先进行耐压试验（液压试验、气压试验），耐压试验合格后方可进行泄漏试验。若容器需进行真空试验，真空试验应在泄漏试验合格后进行。

7.8.2 泄漏试验包括气密性试验、卤素检漏试验和氨检漏试验。

7.8.2.1 卤素检漏试验的介质为含有卤化制冷剂（分压不小于 10%）的气体，检漏时的环境温度应在 25℃±10℃ 范围内，卤素检漏仪的灵敏度不低于 1×10⁻⁵MPa·cm³/s。试验时压力应缓慢上升，达到规定的试验压力后保压 10min，对所有焊接接头和连接部位进行检查，以无异常现象和泄漏量符合设计文件规定为合格。

7.8.2.2 氨检漏试验参照 NB/T 47013.8 的规定，以无异常现象和泄漏量符合设计文件规定为合格。

7.8.2.3 制冷系统安装调试前进行泄漏试验时，应按设计文件要求检查安全附件及其与容器连接部位的密封性。

7.8.3 真空试验的压力按 4.8 确定。

试验方法如下：

a) 试验应使用有足够容量的真空泵及其配套件，当达到规定的试验压力后，使容器各部分处于密封状态，并保压放置 4h 以上；

b) 试验时容器各部分应无异常变形，且压力上升值在 0.68kPa 以下为合格。

若保压放置过程中温度发生变化，应按式（18）修正放置后的测定值：

$$p_0 = \frac{273}{273+t} \times p_1 \quad \dots\dots\dots (18)$$

式中：

p_0 ——修正后的压力（绝对压力），kPa；

t ——测定时容器内的温度，℃；

p_1 ——测定时容器内的压力（绝对压力），kPa。

7.8.4 若耐压试验、泄漏试验或真空试验不合格，应进行返修，并按原检测要求重新检验，直至合格。对于无法修理、更换换热管的热交换器，允许堵管，堵管根数不应超过 2 根，并应遵守如下规定：

- a) 换热管堵管及其堵管方法应得到采购方的书面认可；
- b) 应保证堵管后设备的安全性、换热性能满足使用要求；
- c) 出厂资料中应标记堵管位置，并提供给采购方。

7.9 安全附件

安全附件应按附录 B 的有关规定选用。

附录 A

(规范性)

铜及铜合金、钛合金制整体翅片换热管的外压设计

A.1 适用范围

A.1.1 本附录适用于确定铜及铜合金、钛合金制整体翅片管的最大许用工作外压。

A.1.2 本附录的规则包括确定铜及铜合金、钛合金制造的与管壁为一体的螺旋翅片冷凝管和换热管的最大许用工作外压的验证试验程序和准则，且螺旋翅片冷凝管和换热管的腐蚀裕量应为零。

A.2 材料

A.2.1 铜和铜合金制整体翅片管应符合 JB/T 10503《空调与制冷用高效换热管》的要求，成翅前的坯管应符合 GB/T 1527《铜及铜合金拉制管》、GB/T 8890《热交换器用铜合金无缝管》或 GB/T 17791《空调与制冷设备用铜及铜合金无缝管》的规定。

A.2.2 成翅前的钛合金管应符合 GB/T 3625 的要求。

A.3 试验程序

A.3.1 用三个整体翅片管全尺寸试样进行外压液压试验直至失效（可见的垮塌）。

A.3.2 最大许用压力 p 应按下式确定：

$$p = F \left(\frac{B}{3} \right) \times \left(\frac{R_{p0.2}}{R_{p0.2a}} \right)$$

式中：

B ——最小失稳压力，MPa；

F ——由于设计温度而引起强度变化的调整系数， $F = [\sigma]^t / [\sigma]$ ；

式中：

$[\sigma]^t$ ——设计温度下管子材料的许用应力，按表 6、表 8 选取，但不得超过 $[\sigma]$ ，MPa；

$[\sigma]$ ——试验温度下管子材料的许用应力，按表 6、表 8 选取，MPa。

$R_{p0.2a}$ ——由三个无翅片管段试样在室温下试验实测的屈服强度的平均值，MPa；

$R_{p0.2}$ ——室温下规定的管子最低屈服强度，MPa。

A.4 准则

A.4.1 本附录铜及铜合金制整体翅片管的设计应符合下列要求：

- a) 设计温度应当根据表 6 中与时间无关的许用应力对应的最大温度，或者是外压材料线算图上所表示的最高温度，取这两个温度的较小值；
- b) 管子应具有外翅和（或）内整体螺旋翅片，并且内外翅片之和至少为每 25mm 长度上有 10 个翅片；
- c) 尺寸和允许偏差应符合 JB/T 10503 的要求。

A.4.2 本附录钛合金制翅片管的设计应符合下列要求：

- a) 管子只能是外整体螺旋翅片管，翅片数至少为每 25mm 长度上有 10 个翅片；
- b) 尺寸和允许偏差应符合 JB/T 10503 的要求。

A.4.3 按本附录设计的铜及铜合金、钛合金制整体翅片管的附加要求如下：

- a) 试样与产品用管的翅片几何形状和节距应相同；
- b) 整体翅片管全尺寸试样的长度应大于等于 50 倍的管子外径；
- c) 对取自端部或中间部分的一定长度无翅片管段的评定，可代表该取样长度以及短于取样长度的无翅片管段；
- d) 对取自带翅片管段翅片下公称壁厚的试样的评定和取自无翅片管段公称壁厚的试样的评定，可代表管子上所有壁厚高于已评定的公称壁厚的部分，但最大许用压力不得增加；
- e) 有翅片部分翅片下管子截面的外径不得大于无翅片部分管子截面的外径；
- f) 试验应按照 A.3 的程序进行。

A.5 试验过程应有详细记录，并形成报告作为产品档案一并保存。

附录 B
(规范性)
安全附件及仪表

B.1 总则

B.1.1 本文件范围内的容器，应按本附录的要求选用安全附件及仪表。若制冷系统中已有压力保护装置，保护装置与容器之间采用口径足够的管道连接，且未设置阀门，可确保容器不超压或满足容器安全泄放量要求，则可不选用安全附件。

B.1.2 安全附件指安装于容器上的超压泄放装置、紧急切断阀等；仪表指直接连接在容器上的液位计、压力表等。

B.1.3 超压泄放装置(以下简称泄放装置)包括安全阀、爆破片、易熔塞、安全阀与爆破片组合装置。

B.2 定义

B.2.1 最高允许工作压力

在指定的相应温度下，容器顶部所允许承受的最大压力。该压力是根据容器各受压元件的有效厚度，考虑了该元件承受的所有载荷而计算得到的，且取最小值。

B.2.2 动作压力

系指安全阀的整定压力或爆破片的设计爆破压力。

B.2.3 标定爆破压力

标注在爆破片铭牌上的，在规定的设计(或许可试验)爆破温度下，同一批次爆破片抽样爆破试验时，实测爆破压力的算术平均值。

B.3 泄放装置的选用

B.3.1 制冷装置用压力容器所配备的泄放装置规定如下：

- a) 用于表 1 中 A2、B2、A3 和 B3 组制冷剂容器的泄放装置不应采用爆破片或易熔塞；
- b) 管壳式冷凝器应配置安全阀，但容积在 500L 以下的可用易熔塞代替；
- c) 当低压侧容器带有截止阀而有可能被封闭住时，应安装安全阀或爆破片；
- d) 离心式制冷机组中的管壳式蒸发器(或与管壳式蒸发器的气相直接连通的管路上)应安装安全阀或爆破片，但容积小于 500L 的可用易熔塞代替；
- e) 离心式制冷机组的冷凝器内不存留液体制冷剂，且蒸发器(或与蒸发器的气相直接连通的管路)上装有安全阀或爆破片时，该冷凝器可以不装设泄放装置。

B.3.2 满足下列条件的容器可视为一个容器系统，只在最危险位置安装安全阀或爆破片。

- a) 容器间有连接管而无截止阀；
- b) 容器间连接管的内径大于按 B.4 规定计算的安全阀或爆破片的口径。

B.4 泄放装置的计算

B.4.1 每个压力容器的泄放装置或易熔塞的额定泄放量不得小于式(B.1)和式(B.2)计算的数值：

对于圆筒形容器：

$$C = f \times D \times L \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

对于非圆筒形容器：

$$C = f \times \frac{S}{3} \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

式中：

C ——泄放装置最小要求泄放量（指空气质量流量），kg/s；

D ——容器外径，m；

L ——容器长度，m；

f ——由制冷剂类型决定的系数，kg/(s·m²)；

S ——非圆筒形压力容器（如板式热交换器）的外表面积，m²。

注1：当在压力容器周围 6.1m 范围内使用易燃材料时， f 值要乘以 2.5。

注2：上述公式是基于火灾情况泄压阀的设置。其他情况下更通用的计算，如存在内热源或不同泄压阀的设定，详见 EN 13136。

表 B.1 给出了当用于有限充注的复叠式系统低温级时，制冷剂类型决定的 f 值。表 B.2 给出了其他情况下的 f 值。

当一个泄放装置来保护多个压力容器时，所要求的泄放量应为每个压力容器要求泄放量的总和。

表 B.1 制冷剂类型决定的 f 值（用于有限充注的复叠式系统低温级）

制冷剂	f 值 / [kg / (s · m ²)]
R-23、R-170、R-744、R-1150、R-508A、R-508B	0.082
R-13、R-13B1、R-503	0.163
R-14	0.203

表 B.2 制冷剂类型决定的 f 值（对于其他应用情形）

制冷剂	f 值 / [kg / (s · m ²)]
R-717	0.041
R-32、R-123、R-152a、R-290、R-600、R-600a	0.082
R-1233zd (E)	0.094
R-22、R-124、R-134a、R-401A、R-401B、R-401C、R-405A、R-406A、R-407C、R-407D、R-407E、R-409A、R-409B、R-411A、R-411B、R-411C、R-412A、R-414A、R-414B、R-500、R-513A、R-1234ze (E)、R-1270	0.131
R-1336mzz (Z)	0.135
R-143a、R-402B、R-403A、R-407A、R-408A、R-413A	0.163
R-1234yf	0.165
R-402A、R-403B、R-404A、R-407B、R-410A、R-410B、R-502、R-507A、R-509A	0.203

B.4.2 在临界流动条件下，爆破片或排向大气的易熔塞的口径由式（B.3）计算：

$$d = 958.7(C / p_1)^{0.5} \dots\dots\dots (B.3)$$

式中：

C ——额定泄放量（指空气质量流量），kg/s。

d ——入口管、夹持法兰、易熔塞和爆破片的最小内径，mm。

对于爆破片， p_1 是额定表压 $\times 1.1 + 101.33$ （kPa）；

对于易熔塞， p_1 是易熔塞的标注熔点温度对应的绝对饱和压力，或制冷剂的临界压力两者中较小者，kPa。

B.5 安全阀或高压切断装置的动作压力

B.5.1 安全阀的型式通常采用直接载荷弹簧式安全阀。若采用非直接载荷式安全阀，则应做到即使副阀失灵，主阀仍能在规定的开启压力下自行开启并排出其额定泄放量。

B.5.2 安全阀的整定压力应不大于容器的设计压力，但应略高于容器的工作压力（1.05倍~1.1倍）。当容器的设计压力等于工作压力时，安全阀的动作压力不得高于容器的设计压力。

B.5.3 高压切断装置的动作压力应不大于安装在容器高压部分的安全阀的动作压力。

B.6 泄放装置的安装与选用

B.6.1 安全阀

B.6.1.1 容器与安全阀之间连接管的管件通孔，其截面面积应不小于安全阀的进口面积。

B.6.1.2 安全阀的整定压力调定后应加铅封。

B.6.1.3 安全阀的设计、制造和检验应符合有关标准的规定，使用单位应选用有制造许可证的单位生产的产品。

B.6.2 易熔塞

B.6.2.1 易熔塞的熔融温度一般为 $75^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ （用于低压侧的除外）。

B.6.2.2 低压侧用的易熔塞熔融温度应低于与安装易熔塞容器的液压试验压力相对应的饱和温度。

B.6.2.3 易熔塞的安装位置应能正确地感受到容器内制冷剂的温度，且过热制冷剂不会影响其正确功能的部位。易熔塞不应被保温材料覆盖。

B.6.2.4 易熔塞的设置应保证当制冷剂排放时不会对人员、环境等造成危害。

B.6.2.5 若系统的制冷剂充注量大于 2.5kg，则易熔塞不得作为制冷剂容器和大气之间唯一的泄放装置。

B.6.3 爆破片

B.6.3.1 每一爆破片应有在指定温度下的标定爆破压力。当容器只装设爆破片时，其标定爆破压力加制造允许偏差不应超过容器的设计压力。

B.6.3.2 在容器上同时安装有爆破片和安全阀时，爆破片的标定爆破压力应略高于安全阀的整定压力，但不得超过容器设计压力的 1.04 倍。

B.6.3.3 爆破片标定爆破压力的允许偏差范围按表 B.3 的规定，或按设计要求。

表 B.3 标定爆破压力的允许偏差

爆破片型式	标定爆破压力/MPa	允许偏差
正拱型	<0.2	±0.01MPa
	≥0.2	±5%
反拱型	<0.3	±0.015MPa
	≥0.3	±5%

B.6.3.4 爆破片的结构型式可分为平板型、普通正拱型、开缝正拱型和反拱型，可根据需要合理选用。

B.6.3.5 爆破片材料应根据制冷剂种类、容器结构及性能的不同选择使用。

B.6.3.6 爆破片与容器的连接应为直管，管子通道截面面积应不小于膜片的排放面积。

B.6.3.7 爆破片夹持器用材料应符合第4章的规定。

B.6.3.8 爆破片的制造和检验应符合有关标准的规定，容器制造单位应选用有制造许可证的单位生产的产品。每片产品应有产品合格证，每批产品有监检部门的检验认可标志。

B.7 液位计

B.7.1 液位计的安装

- 储液器（含冷凝储液器）应安装液位计，但液体在满液的状态下，即使有截止阀也不能封闭的结构除外；
- 油分离器和其他液体分离器上需要监视时，应安装液位计；
- 其他容器在满液的状态下，有可能封闭住或者需要监视液位时，应安装液位计。

注：满液状态是指液体制冷剂在容器内超过80%容积时的状态。

B.7.2 液位计的结构

- 液位计可分为观察视镜、平行反射式玻璃液位计、平行透视式玻璃液位计、浮标式液位计及磁浮子液位计等。根据制冷剂种类、容器结构及性能的不同选择使用；
- 容器与液位计连接的接管上应设置自动或手动截止阀，也可使用具备自动和手动关闭两种机能的截止阀；
- 液位计应能方便、正确地观察液面；
- 通过玻璃观察的液位计和视镜应选用JB/T 6918—2017中规定的金属与玻璃烧结型式。

B.8 压力表的选用与安装

B.8.1 选用的压力表应符合GB/T 1226—2017的规定并与容器内的介质相适应。

B.8.2 容器使用的压力表精度，当 $p < 1.6\text{MPa}$ 时应不低于2.5级，当 $p \geq 1.6\text{MPa}$ 时应不低于1.6级。

B.8.3 压力表盘刻度极限值应为最高工作压力的1.5倍~3.0倍（最好选用2.0倍），表盘直径应不小于100mm。

B.8.4 压力表的装设位置应便于操作者观察和清洁，且应避免受到热辐射、冻结或振动等不利影响。

B.8.5 压力表与容器之间应装设三通旋塞阀或针型阀。三通旋塞阀或针型阀上应有开启标记和锁紧装置，压力表与容器之间不应连接其他用途的配件或接管。

附录 C

(规范性)

钢制氨制冷装置用压力容器对液氨的要求及其充装程序

C.1 一般规定

本文件所适用的钢制氨压缩制冷装置用压力容器（以下简称氨制冷容器），应使用符合本附录要求的液体氨。

C.2 钢制氨制冷容器用液氨的一般要求

C.2.1 本附录所要求的液体氨除应符合 GB/T 536 的规定外，为防止氨制冷容器的应力腐蚀开裂，还应满足下列要求之一：

- a) 含氨量应大于 99.995%或含氨量应不小于 99.0%，且其中含水量应大于 0.2%。
- b) 当液体氨中含水量不大于 0.2%时，氨制冷容器还应符合下列要求：
 - 1) 材料要求及限制：
 - i. 材料标注规定的下屈服强度 $R_{eL} \leq 355\text{MPa}$ 。
 - ii. 材料实测的抗拉强度 $R_m \leq 360\text{MPa}$ 。
 - iii. 材料使用状态应为正火或正火+回火、退火、调质状态。
 - iv. 碳当量限制（当碳当量限制超标时，应加大硬度限制的监测频度）：
低碳钢和碳锰钢： $C_E \leq 0.43$ 时， $C_E = C + Mn/6$ ；
低合金钢（包括低温镍钢）： $C_E \leq 0.45$ 时， $C_E = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$ 。
 - v. 对于非焊接件或焊后经正火或回火处理的材料，硬度限制如下：
低碳钢 HV(10) ≤ 220 （单个值）；
低合金钢 HV(10) ≤ 245 （单个值）。
 - 2) 焊接：
 - i. 所有焊缝均应经过焊接工艺评定，包括对焊、补焊、管子与管板焊接、堆焊、角焊等。
 - ii. 在满足强度要求的前提下，尽可能采用低强度焊接材料。
 - iii. 焊接接头（包括焊缝、热影响区及母材）的硬度限制同 C.2.1b) 条第 1) 款中第 v 项的要求。
 - iv. 焊接工艺评定、焊试试板及每一种焊接工艺焊的产品焊缝均应按本款第 iii 项的要求进行硬度测定。产品上的硬度一个在接触介质一侧的表面。工艺评定及试板上的硬度测定应在横截面上测定（距表面 1.5mm 处）。
 - v. 焊缝处的起弧、打弧点（包括临时焊缝处）均应在焊后热处理前打磨 0.3mm 以上，并做磁粉或着色检查。
 - 3) 焊后热处理或采用硬度不大于 185HB 的焊接工艺施焊。

C.2.2 钢制氨制冷容器内液氨要定期检查其含氨量、含水量。检查周期至少每半年一次。

C.3 充装钢制氨制冷容器用液氨的程序

C.3.1 运送钢制氨制冷容器用液氨的设备（如槽车、钢瓶等）需至少半年清洗一次。

C.3.2 充装液氨的设备、管道等金属材料应符合 5.6.4 的规定，且充装液氨的管道接口在氨制冷容器正常运行过程中应密封。

C.3.3 充装液氨前，应排除充装管道中空气与杂污物，充装时应防止空气、氯气等有害气体的进入。

C.3.4 充装液氨时，应按如下程序进行：

- a) 将钢制氨制冷容器系统中低压区的充装液氨的管道接口上的密封件打开（如阀门），迅速安装在储液氨设备的出氨口上，暂不拧紧，出氨口阀门也暂不打开；
 - b) 稍许打开氨制冷容器系统中低压力区和充装液氨管道间的阀门，在钢制氨制冷容器系统压力下，使钢制氨制冷容器系统中的液氨外流，以排出管道中的空气、污染物和杂质等；
 - c) 待管道和储氨设备的接口排出全部气体并流出少许氨气后，立即拧紧接口，并开启运送设备的出氨口阀门。在一定压力下（如用泵）将待充装的液氨输送到钢制氨制冷容器中去；
 - d) 一次充装完毕，先关闭钢制氨制冷容器系统低压区和充装管道间的阀门，再关闭运送设备出氨口的阀门，最后拆开运送设备出氨口和充装管道的连接并密封管道接口。
-

NB/T 47012—2020《制冷装置用压力容器》 编制说明

1 修订的目的、意义及背景

1991年，原机械工业部依据“机械工业科学技术发展规划标准制修订计划”下达了编制《制冷用钢制压力容器》（以下简称制冷容器）的任务，委托原合肥通用机械研究所负责，原大连冷冻机厂、烟台冷冻机厂、上海第一冷冻机厂和武汉冷冻机厂参与，组成标准编制小组起草该标准。1993年，标准先后获得原机械工业部、劳动部批复，于1994年1月正式实施，标准名称为JB/T 6917—93《制冷装置用压力容器》。其后，JB/T 6917—93《制冷装置用压力容器》先后经历了多次修订，分别为JB 6917—1998《制冷装置用压力容器》、JB/T 4750—2003《制冷装置用压力容器》、NB/T 47012—2010《制冷装置用压力容器》。本次修订为第四次修订。

按标准修订计划的要求，本次修订的重点是要解决本文件与法规TSG 21—2016《固定式压力容器安全技术监察规程》的协调问题，促进我国制冷容器行业在确保安全的前提下，有序发展，不断开拓新的技术领域和新的市场。

2 标准的修订原则

在NB/T 47012—2010《制冷装置用压力容器》的基础上，结合制冷容器行业的实际情况，落实TSG 21—2016《固定式压力容器安全技术监察规程》提出的基本安全要求；引入基于风险控制的压力容器制造、检验与验收的理念与方法，综合原标准、GB/T 150—2011（所有部分）《压力容器》、GB/T 151—2014《热交换器》等相关标准的实施情况，总结原标准颁布实施以来积累的成熟工程经验和先进技术，吸纳美国、欧洲新版相关标准中先进、合理的规定，完成修订工作。

3 修订的主要依据及参考资料

3.1 修订依据

- (1) TSG 21—2016《固定式压力容器安全技术监察规程》；
- (2) 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》；
- (3) NB/T 47012—2010《制冷装置用压力容器》；
- (4) GB/T 150—2011（所有部分）《压力容器》；
- (5) GB/T 151—2014《热交换器》；
- (6) GB/T 7778—2017《制冷剂编号方法和安全性分类》；
- (7) GB/T 9237—2017《制冷系统及热泵 安全与环境要求》。

3.2 参考资料

- (1) 美国ASME规范；
- (2) ISO 817—2014《Refrigerants—Designation and safety classification》；
- (3) ISO 5149-1—2014《Refrigerating systems and heat pumps—Safety and environmental requirements—Part 1: Definitions, classification and selection criteria》；

- (4) ANSI/ASHRAE Addendum a to ANSI/ASHRAE Standard 15—2019;
- (5) 公开发表的论文及相关技术资料;
- (6) 行业专家提供的技术资料和修订意见;
- (7) NB/T 47012—2010《制冷装置用压力容器》实施过程中收集的提案、意见和建议。

4 修订过程

根据国家能源局、全国锅炉压力容器标准化技术委员会及其固定式压力容器标准化分技术委员会的标准修订计划,2016年4月,由合肥通用机械研究院有限公司召集江森自控楼宇设备科技(无锡)有限公司、冰山冷热科技股份有限公司、冰轮环境技术股份有限公司、珠海格力电器股份有限公司、麦克维尔空调制冷(武汉)有限公司、上海一冷开利空调设备有限公司、江苏省特种设备安全监督检验研究院、武汉新世界制冷工业有限公司、重庆美的通用制冷设备有限公司、德州亚太集团有限公司、上海环球制冷设备有限公司等11家单位,在合肥召开本文件修订启动会,成立编制组:

- 2016年3月,完成初稿;
- 2016年11月,完成征求意见稿;
- 2017年3月,完成送审稿;
- 2018年11月,完成报批稿。

其间,为完善修订工作、统一认识,编制组和中国空调制冷工业协会另行邀请行业专家先后于2018年12月、2019年11月在北京召开了两次修订研讨会。

5 修订的主要内容及说明

5.1 适用范围

鉴于技术的发展,新制冷剂的应用,NB/T 47012—2010将设计压力限定为不高于4.0MPa已不满足行业需求,如65℃时,二氟甲烷的饱和蒸气压达4.4MPa,R32/R125的饱和蒸气压达4.3MPa。为此,本次修订将标准适用范围中的压力由4.0MPa提高到5.0MPa,修订后制冷容器仍在TSG 21—2016《固定式压力容器安全技术监察规程》规定的中压力容器范围内,基本安全要求没有变化。

5.2 设计方法

因制冷容器中存在无法按照现行标准进行结构设计、计算的受压元件(如异形法兰、高效换热管等),按TSG 21—2016《固定式压力容器安全技术监察规程》的规定,结合GB/T 150的要求,本次修订删除了NB/T 47012—2010中第7章“特殊形状部件的设计”,将该章的实质性内容“采用验证性试验分析的设计方法”加以梳理,归结于两个方面的规定:

- (1) 增加制冷容器可采用验证性试验分析方法进行设计的规定;
- (2) 对制冷容器较为常用的验证性试验分析设计方法进行规范:
 - 采用验证性爆破试验方法进行设计,具体要求应符合GB 150.1—2011中附录C的规定;
 - 参考ASME VIII-1 MONDATORY APPENDIX 23《External Pressure Design of Copper, Copper Alloy, and Titanium Alloy Condenser and Heat Exchanger Tubes with Integral Fins》及其在国内的使用情况,制订了本文件附录A《铜及铜合金、钛合金制整体翅片换热管的外压设计》。

5.3 制冷剂的安全分组

本次修订对制冷剂的安全分组(表1)重新进行了梳理。主要体现在:

- 删除业已淘汰的 R11、R12 等 5 种淘汰的制冷剂；
- 增加了当前在用的 R170（乙烷）、R513A、R514A、R1233zd（E）、R1234yf、R1234ze（E）、R1270（丙烯）、R1336mzz（Z）等 8 种制冷剂；
- 因制冷剂的物性是自身固有特性，其饱和蒸气压仅与温度相关，故未将制冷剂区分为高压侧和低压侧；
- 根据现行的 GB/T 7778《制冷剂编号方法和安全性分类》、GB/T 9237—2017《制冷系统及热泵 安全与环境要求》，将制冷剂燃烧性程度由原来的三组分类改为四组分类，即增加了弱可燃 2L 组，为此对表 2 做了相应的更改，表 1 中制冷剂的安全分组也相应做了变更。

5.4 建造制冷容器的材料

5.4.1 板材

国家质检总局颁布的 TSG R0004—2009《固定式压力容器安全技术监察规程》，降低了压力容器的安全系数；随后准备出台的技术标准 GB/T 150.2—2011《压力容器第 2 部分：材料》对 Q235 系列板材的使用范围作了更多的限制。在 NB/T 47012—2010《制冷装置用压力容器》发布前，虽已知悉该情况，但因制冷容器行业制造单位库存了一定数量的 Q235 系列板材，全部弃用经济损失大，遂与相关部门协商。经协调，国家质检总局同意在 NB/T 47012—2010《制冷装置用压力容器》中，延续此前对 Q235 系列板材使用的规定，但这些材料应同时延续使用原安全系数（不得使用 TSG R0004—2009 降低后的安全系数）。显然，这是标准与法规不相协调的地方，本次修订全部予以修改。

5.4.2 换热管

本次修订对制冷容器行业使用换热管的实际情况进行了充分调研，对业已安全使用多年的部分换热管，在征得行业专家和行政主管部门认同的情况下，允许有条件地继续在制冷装置的热交换器中使用。如 GB/T 8163 中的 10、20 钢管的使用，附加“a）应选用冷拔或冷轧钢管；b）尺寸精度不低于 GB/T 9948—2013 高级精度钢管的要求。”；GB/T 17791—2017 中的 T2、TP2 铜管，限定 T2 铜管的设计温度应不高于 150℃，同时要求对于标准中未规定室温规定非比例延伸强度（ $R_{p0.2}$ ）下限保证值者，制造单位在进行铜管订货时，应将 $R_{p0.2}$ 下限保证值作为附加要求提出并得到保证。

5.5 制冷容器的设计

5.5.1 安全系数

鉴于本次修订过程中对制冷容器用材料进行了全面梳理，并按法规及相关标准的规定对应作出了修改，故本文件依据 TSG 21—2016《固定式压力容器安全技术监察规程》给出了安全系数，使之与法规相协调。

5.5.2 设计计算

制冷容器具有设计压力和设计温度不高、介质（制冷剂和载冷剂）固定且范围确定、部分容器实行批量生产的特点，总体而言建造风险可控。制冷容器行业在我国经历了几十年的发展，建造单位通过开发、工程应用检验，业已形成了部分兼具安全性且适合制冷容器特点的特定结构及其设计计算方法。如管板延长部分兼做支座结构及其计算、小直径（ $\leq 600\text{mm}$ ）管板计算、有规则和不规则设置支撑的平板计算等，这些结构及其相应的设计计算方法在此前数版标准中既已使用，本次修订继续保留，但附加了部分规定，使之更加安全、完善。而对于制冷容器的通用结构及其设计计算，则引用 GB/T 150.3—2011、GB/T 151—2014 的规定。

5.6 制冷容器的制造、检验与验收

5.6.1 容器制造过程中的风险预防和控制

根据 TSG 21—2016《固定式压力容器安全技术监察规程》的要求，本次修订增加了容器制造过程中的风险预防和控制的要求。

——对于设计单位出具了风险评估报告的压力容器，制造单位应当根据风险评估报告提出的主要失效模式、容器制造检验要求和建议，完成下述工作：

- a) 合理地确定制造和检验工艺；
- b) 风险评估报告中给出的预防失效措施应在产品质量证明文件中予以体现。

——对于设计单位没有出具风险评估报告的压力容器，制造单位应当根据压力容器的技术要求，制造、检验工艺评估制造风险，并进行有效控制。技术措施应包括：

- a) 评估压力容器制造工艺过程对材料的影响，合理确定材料订货技术条件中对材料相关性能的要求；
- b) 评估压力容器后续制造、检验工艺过程对外购成品零部件的要求，合理制订外购成品零部件订货技术条件；
- c) 评估压力容器技术要求、质量要求，制订合理的制造方法、制造工艺、检验方法。

5.6.2 编写方式

修改了第 7 章的编写方式，对于制冷容器的制造、检验与验收和 GB/T 150.1—2011、GB/T 150.4、GB/T 151、JB/T 4734、JB/T 4745 和 JB/T 4755 要求相同的规定直接引用，不再重复表述；而对于不同的部分，则在第 7 章中列出。

5.7 附录

5.7.1 铜及铜合金、钛合金制整体翅片换热管的外压设计方法

激烈的市场竞争促使制冷容器行业积极主动地使用高效换热管。其中，铜及铜合金、钛合金制整体翅片换热管的使用量较大。

整体翅片换热管翅片型式、尺寸等外形的变化带来的外压设计计算问题较为突出，若采用包括有限元法在内的应力分析计算和评定方法进行设计，往往受制于建模的精度和边界条件简化的合理性的影响，效果并不令人满意。经多年实践，制冷容器行业内选择了法规同样认可的、通过验证性试验分析进行设计的方法。具体做法是：选择一定数量（3 根）需要进行外压设计的整体翅片换热管，对其施加外压直至失效，获得其许用压力。因 GB/T 150.1—2011 只给出了确定内压设计方法时所采用的规范性附录 C“以验证性爆破试验确定容器设计压力”，本次修订增加了规范性附录 A“铜及铜合金、钛合金制整体翅片换热管的外压设计”。该附录基于对国内制冷容器行业多年的工程实践经验总结，借鉴美国 ASME 规范 VIII-1 MANDATORY APPENDIX 23《External Pressure Design of Copper, Copper Alloy, and Titanium Alloy Condenser and Heat Exchanger Tubes with Integral Fins》的相关要求而编制。

5.7.2 安全附件

本次修订对超压泄放装置的计算作出了修改，该修改是基于制冷行业通用标准 GB/T 9237—2017《制冷系统及热泵 安全与环境要求》进行的。

GB/T 9237—2017《制冷系统及热泵 安全与环境要求》系修改采用 ISO 5149: 2014《Refrigerating Systems and Heat Pumps—Safety and Environmental Requirements》而得到的。ISO 5149: 2014 作为世界范围内公认的国际标准，在制冷行业具有权威性；以修改采用方式形成的 GB/T 9237—2017《制冷系统及热泵 安全与环境要求》，结合中国国情，考虑了安全性要求、产品国际竞争力需要、国内行

业现状等因素，认为 ISO 5149:2014 在超压泄放装置计算方面的规定符合安全与环境要求，接纳了其相关内容。可见，GB/T 9237—2017 关于超压泄放装置计算方面的规定虽与压力容器沿用的计算方法存在不同，但是根据本行业需要、经世界范围（包括我国）的业内专家共同商讨确定的，同样具有工程应用背景的支撑。为使制冷行业在超压泄放装置计算方面实现制冷装置单元设备内部的统一，及其我国产品与国际同类产品的统一，本次修订也采用了 ISO 5149:2014 规定（同时是 GB/T 9237—2017 规定）的超压泄放装置计算方法。

ISO 5149:2014 关于超压泄放装置计算引自 ASHRAE 15—2010。作为 ASHRAE 15—2010 的新修订版本 ASHRAE 15—2019，对泄放装置的计算进行了修订，增加了制冷剂的数量并给出了制冷剂在不同压力下的 f 值 [由制冷剂类型决定的系数，单位为 $\text{kg}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$]。本次修订，考虑到行业实际情况，参考了 ANSI/ASHRAE Addendum a to ANSI/ASHRAE Standard 15—2019，增加了 R1233zd (E)、R513A、R1234ze (E)、R1336mzz (Z)、R1234yf 这 5 种制冷剂的 f 值。

中华人民共和国能源行业标准
制冷装置用压力容器
NB/T 47012—2020

*

新华出版社出版发行
(北京石景山区京原路8号 邮编: 100043)

新华书店经销
北京市庆全新光印刷有限公司印刷
版权专有 不得翻印



15516693

开本 880×1230 1/16 印张 3.25 字数 49 千字
2021 年 1 月第 1 版 2021 年 1 月第 1 次印刷

*

书号: 155166·93 定价: 45.00 元