

# 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

## 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 0.03m<sup>3</sup> 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 $-15^{\circ}\text{C}$ 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 $38^{\circ}\text{C}$ 时制冷剂饱和蒸气压力确定，见表 1；
  - 2) 当环境温度超过 $38^{\circ}\text{C}$ 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 $0^{\circ}\text{C}$ 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 $0^{\circ}\text{C}$ 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 $0^{\circ}\text{C}$ 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 $0^{\circ}\text{C}$ 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 $50\text{MPa}$ 。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 $0^{\circ}\text{C}$ 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 $50\text{MPa}$ ，则设计温度取使用温度与 $50^{\circ}\text{C}$ （对于不进行焊后热处理的容器为 $40^{\circ}\text{C}$ ）的代数和。当按上述办法得到的设计温度不低于 $-20^{\circ}\text{C}$ 时，其设计温度均按不低于 $38^{\circ}\text{C}$ 选取；当按上述办法得到的设计温度低于 $-20^{\circ}\text{C}$ 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 $1\text{mm}$ ；
- 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 $0.6\text{mm}$ ；
- 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 $0.4\text{mm}$ ；
- 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 $1\text{mm}$ ；
- 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 <sup>a</sup>	饱和压力/MPa (绝对)													安全 分组	
			蒸发/冷凝温度/°C <sup>b</sup>														
			-50	-40	-30	-20	-10	0	38	43	45	50	55	60	65		
一氟二氯甲烷	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	B1	
二氟一氯甲烷	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	A1	
三氟甲烷	R23	HFC	4.8E-1	7.1E-1	1.1	1.4	1.9	2.5	—	—	—	—	—	—	—	A1	
二氟甲烷	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	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	B1	
2-氟-1, 1, 1-四氟乙烷	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	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	A1	
1, 1, 1, 2-四氟乙烷	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	A1	
1, 1, 1-三氟乙烷	R143a	HFC	8.9E-2	1.5E-1	2.2E-1	3.2E-1	0.45E-1	6.2E-1	1.8	2.0	2.1	2.4	2.7	2.9	3.3	A2L	
1, 1-二氟乙烷	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	A2	
乙烷	R170	HC	5.6E-1	7.8E-1	1.1	1.5	1.9	2.4	—	—	—	—	—	—	—	A3	
1, 1, 1, 3, 3-五氟丙烷	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	B1	
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	A3	
R22/R152a/R124	(61/11/28)	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	A1/ A1
	(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	
R125/R143a/R134a (44/52/4)		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	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	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 缀名	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	A1/ A1
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	A1/ A1
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	—	—	—	—	—	—	—	A1
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	A1
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-氟-3, 3, 3-三氟丙烯	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	A1
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	A1
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	B1
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	A1
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。																
<sup>a</sup> 列出制冷剂组成前缀名, 定性表示其对臭氧层的消耗																
<sup>b</sup> 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。																

NB/T 47012—2020

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 <sup>a</sup> ≥4×10 <sup>-4</sup> (V) 时 没有毒性	制冷剂的 TLV-TWA <4×10 <sup>-4</sup> (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 <sup>b</sup> ≤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 <sup>c</sup>	弱可燃 2L 组	A2L
	空气中无火焰产生	无火焰传播 1 组	A1	B1

<sup>a</sup> 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。

<sup>b</sup> 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。

<sup>c</sup> 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 φ=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 $R_{eL}^t$ ( $R_{p0.2}^t$ )
	$n_b$	$n_s$
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 $R_{eL}^t$ ( $R_{p0.2}^t$ ) 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
HAl77-2		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

接触制冷剂和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 1.4 c) 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。

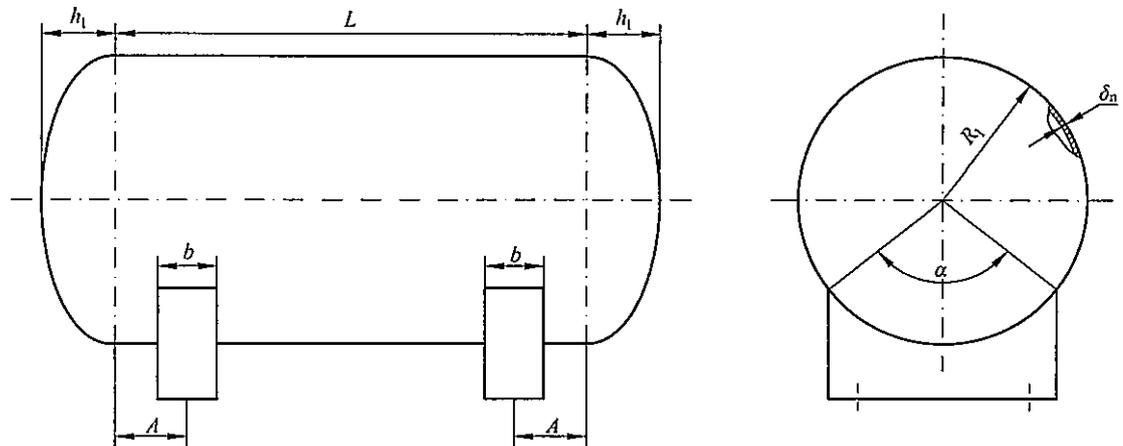


图 1 卧式容器鞍式支座

#### 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。

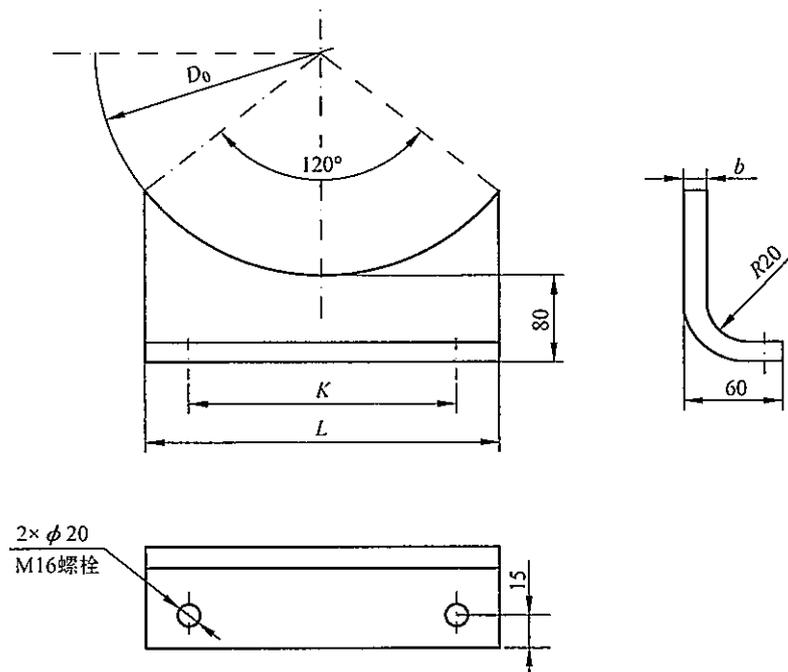


图 2 简易鞍式支座 (1)

表 9 简易鞍式支座 (1)

单位为 mm

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

<sup>a</sup> 容器外径。

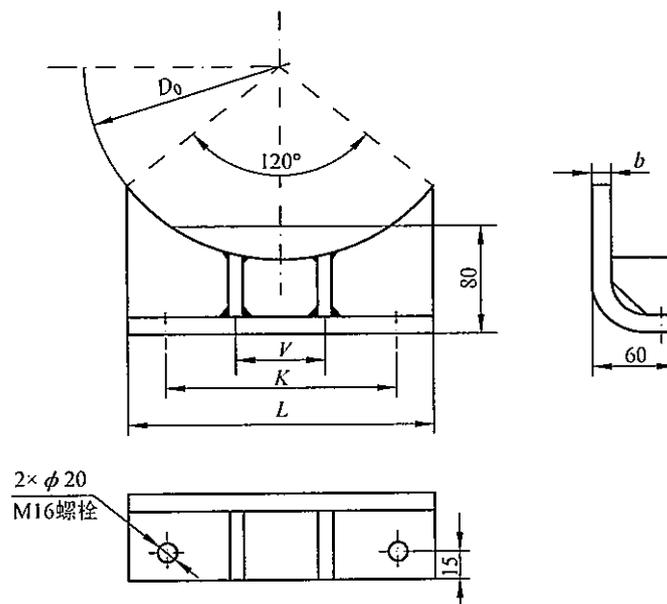


图 3 简易鞍式支座 (2)

表 10 简易鞍式支座 (2)

单位为 mm

容器公称直径 DN	尺寸			
	$L$	$Y$	$K$	$b$
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：

- $\delta$ ——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。

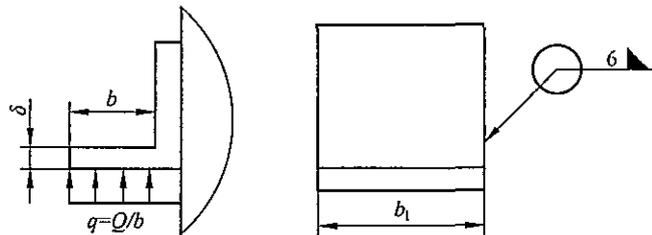


图 4 简易无筋板耳式支座

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 $D$	$\leq 1200$	$> 1200 \sim 1600$	$> 1600$
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:

$\delta$ ——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, 且管板厚度不得不小于法兰厚度的 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；

$\delta_n$ ——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：

$\sigma_t$ ——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；

$\delta_n$ ——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  $abcdefghijkla$  所包容的面积（管程压力作用时，应包含换热管截面积）。

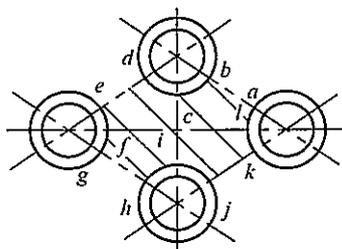


图5 一根换热管的支持截面积

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：

$$\sigma_t = W / (3.14d_o k) \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中：

- $\sigma_t$ ——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；  
 $d_o$ ——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）：

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

式中：

- $\sigma$ ——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，mm<sup>2</sup>。

### 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：

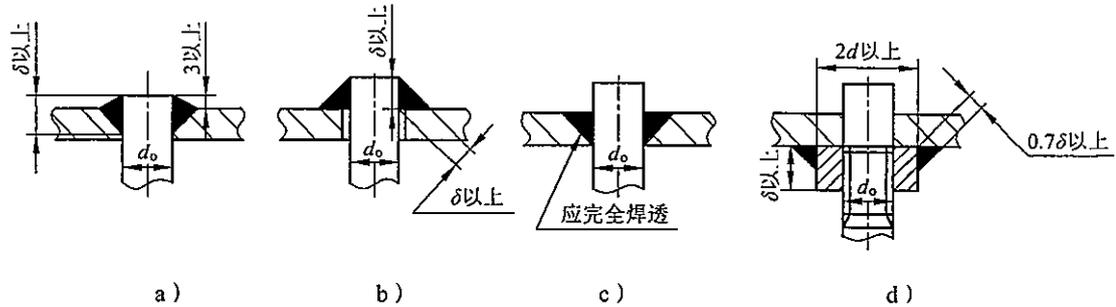
$$A_t = 1.1W_1 / (\varphi[\sigma]) \quad \dots\dots\dots (13)$$

式中：

- $A_t$ ——支撑件最小截面面积，mm<sup>2</sup>；  
 $W_1$ ——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  $\varphi$  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。

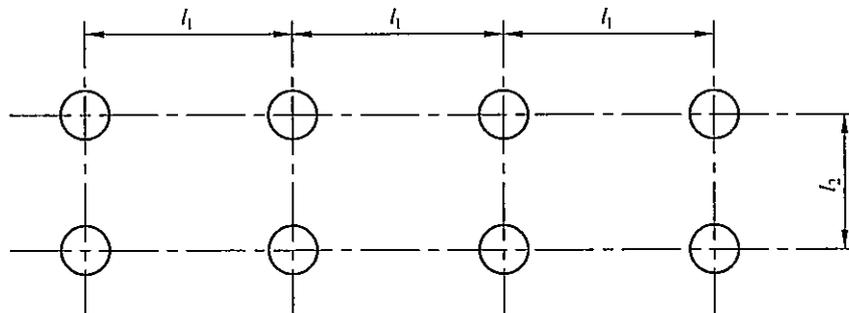


图 7 支撑杆的配置

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：

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/588066013115006022>