



中华人民共和国国家标准

GB/T 18442.1—2019
代替 GB/T 18442.1—2011

固定式真空绝热深冷压力容器 第 1 部分：总则

Static vacuum insulated cryogenic pressure vessels—
Part 1: General requirements

2019-12-10 发布

2019-12-10 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

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 一般要求 3

参考文献..... 6



前 言

GB/T 18442《固定式真空绝热深冷压力容器》分为以下 7 个部分：

- 第 1 部分：总则；
- 第 2 部分：材料；
- 第 3 部分：设计；
- 第 4 部分：制造；
- 第 5 部分：检验与试验；
- 第 6 部分：安全防护；
- 第 7 部分：内容器应变强化技术规定。

本部分为 GB/T 18442 的第 1 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/T 18442.1—2011《固定式真空绝热深冷压力容器 第 1 部分：总则》，与 GB/T 18442.1—2011 相比，主要技术变化如下：

- 修改了适用范围和不适用范围；
- 删除了真空纤维绝热、真空绝热等 8 个术语和定义，增加了夹层、罐体、内容器等 6 个术语和定义，修订了真空绝热深冷压力容器、高真空多层绝热等 4 个术语和定义；
- 增加了设计委托方的职责，修改了设计单位和制造单位的资质与职责；
- 删除了设计文件及设计总图的要求，将其调整至 GB/T 18442.3 设计部分；
- 将 GB/T 18442.4—2011 中的罐体受压元件的焊接接头分类内容移至本部分，并增加了外壳和管路焊接接头分类图。

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这些专利的责任。

本部分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。

本部分起草单位：上海市气体工业协会、张家港中集圣达因低温装备有限公司、中国特种设备检测研究院、江苏省特种设备安全监督检验研究院张家港分院、华东理工大学、机械工业上海蓝亚石化设备检测所有限公司、液化空气(中国)投资有限公司、上海华谊集团装备工程有限公司。

本部分主要起草人：周伟明、罗晓钟、陈朝晖、王飞、滕俊华、高洁、惠虎、张玉福、陈勤俭、魏勇彪。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 18442.1—2011；
- GB 18442—2001。

固定式真空绝热深冷压力容器

第 1 部分：总则

1 范围

GB/T 18442 的本部分规定了固定式真空绝热深冷压力容器(以下简称“深冷容器”)的基本要求。GB/T 18442 规定的深冷容器包括罐体、管路、安全附件、仪表、装卸附件、支座、自增压器以及汽化器等。

注 1：罐体的界定范围如下：

- a) 罐体与外部管路焊接连接的第一道环向接头的坡口端面，螺纹连接的第一个螺纹接头端面，法兰连接的第一个法兰密封面；
- b) 罐体开孔部分的端盖及其紧固件；
- c) 罐体与非受压元件的连接焊缝。

注 2：管路包括所有深冷容器自带的可能与介质接触的管子与管件。

注 3：主要受压元件包括内容器筒体、内容器封头以及与介质接触的管座、凸缘、工艺人孔筒体、工艺人孔封头等。

本部分适用于同时满足以下条件的深冷容器：

- a) 内容器工作压力不小于 0.1 MPa；
- b) 几何容积不小于 1 m³；
- c) 绝热方式为真空粉末绝热、真空复合绝热或高真空多层绝热；
- d) 储存介质为标准沸点不低于-196 ℃的冷冻液化气体。

本部分不适用于下列范围的深冷容器：

- a) 内容器和外壳材料为有色金属或非金属的；
- b) 球形结构的；
- c) 堆积绝热方式的；
- d) 移动式的；
- e) 储存标准沸点低于-196 ℃冷冻液化气体介质的；
- f) 储存介质按 GB 12268 规定为毒性气体的；
- g) 国防军事装备等有特殊要求的。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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(所有部分) 压力容器

GB/T 18442.2 固定式真空绝热深冷压力容器 第 2 部分：材料

GB/T 18442.3 固定式真空绝热深冷压力容器 第 3 部分：设计

GB/T 18442.4 固定式真空绝热深冷压力容器 第 4 部分：制造

GB/T 18442.5 固定式真空绝热深冷压力容器 第 5 部分：检验与试验

GB/T 18442.6 固定式真空绝热深冷压力容器 第 6 部分：安全防护

GB/T 18442.7 固定式真空绝热深冷压力容器 第 7 部分：内容器应变强化技术规定

GB/T 26929 压力容器术语

TSG 21 固定式压力容器安全技术监察规程

TSG 07 特种设备生产和充装单位许可规则

3 术语和定义

GB/T 150 和 GB/T 26929 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

夹层 annular space

内容器与外壳之间形成的密闭空间。

3.2

罐体 tank

由内容器、外壳和绝热层等组成的压力容器。

3.3

内容器 inner vessel

储存冷冻液化气体,并能承受工作压力的内胆。

3.4

外壳 outer jacket

形成和保护真空绝热空间的密封容器。

3.5

冷冻液化气体 refrigerated liquefied gas

在储存过程中由于温度低而部分呈液态的气体,临界温度一般不高于 $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

3.6

真空绝热深冷压力容器 vacuum insulated cryogenic pressure vessel

由储液内容器和维持真空绝热空间的外壳组成,且有一套完整的安全附件、仪表装置及满足操作要求的系统,用于储存冷冻液化气体的压力容器。

3.7

高真空多层绝热 high vacuum multilayer insulation

罐体的夹层空间内设置多层交替组合的间隔材料和反射屏,并抽至高真空所形成的绝热方式。

3.8

真空粉末绝热 vacuum powder insulation

罐体的夹层空间内充填多孔微粒绝热材料并抽真空所形成的绝热方式。

3.9

真空复合绝热 vacuum composite insulation

夹层空间内除设置高真空多层绝热材料外,还局部充填超细玻璃纤维绝热材料,并抽至高真空所形成的绝热方式。

3.10

几何容积 geometric volume

按设计的几何尺寸确定的内容器内部体积,扣除内件所占的体积。

3.11

自增压器 pressure build coil

将内容器中引出的冷冻液化气体汽化后返回内容器中,以提高内容器自身压力的装置。

4 一般要求

4.1 通则

深冷容器的材料、设计、制造、检验与试验、安全防护、内容器应变强化除应符合本部分及 GB/T 18442.2~GB/T 18442.7 的规定外,还需遵守国家颁布的有关法律、规章和安全技术规范的要求。

4.2 资质与职责

4.2.1 资质

设计、制造单位应按 TSG 07 和 TSG 21 的规定,取得国家有关主管机构颁发的相应资质证书。

4.2.2 职责

4.2.2.1 设计委托方的职责

深冷容器的设计委托方应以书面形式向设计单位提出深冷容器的设计条件。设计条件至少包含以下内容:

- a) 设计和制造应遵循的安全技术规范和产品标准;
- b) 操作参数(包括工作压力、工作温度范围、充装量、接管载荷等);
- c) 使用地及其自然条件(包括环境温度、抗震设防烈度、基本风压或风速、基本雪压等);
- d) 充装介质,包括介质的编号、名称、类别、组分、物理与化学性质、危险特性、有害杂质含量及介质对罐体材料的腐蚀速率等;
- e) 预期的深冷容器使用年限和夹层真空使用年限;
- f) 几何参数和管口方位;
- g) 设计需要的其他必要条件(如罐体材料选择、结构型式、绝热方式、防腐、表面处理、运输及特殊要求等)。

4.2.2.2 设计单位的职责

4.2.2.2.1 设计单位应基于风险评估报告的内容来完成产品设计,且对设计文件的正确性和完整性负责。

4.2.2.2.2 设计文件的审批、设计专用印章的管理和使用应满足 TSG 21 的要求。

4.2.2.2.3 设计单位应在深冷容器设计使用年限内保存全部设计文件。

4.2.2.3 制造单位的职责

4.2.2.3.1 制造单位应建立健全的压力容器质量保证体系,并有效运行,其要求应满足 TSG 21 的规定。

4.2.2.3.2 制造单位应严格执行有关法规、安全技术规范及技术标准,按设计文件的技术要求制造深冷容器。

4.2.2.3.3 制造单位在深冷容器制造前应制定完善的质量计划(检验计划),其要求应满足 TSG 21 和 GB/T 150.1 的规定。

4.2.2.3.4 制造单位的检验部门在制造过程中和完工后,应按本部分、设计图样和设计文件、质量计划的规定进行各项检验和试验,出具相应报告,且对报告的正确性和完整性负责。

4.2.2.3.5 制造单位应按照 TSG 21 的要求向使用单位提供产品出厂资料或竣工资料。

4.2.2.3.6 制造单位应在深冷容器的明显部位装设产品铭牌,其要求应满足 TSG 21 的规定。

4.2.2.3.7 制造单位应约请特种设备监督检验机构对深冷容器制造过程进行监督检验,并取得“特种设备制造监督检验证书”。

4.2.2.3.8 制造单位应按 GB/T 18442.5 的要求进行型式试验。低温性能型式试验应由国家有关主管机构认可的型式试验机构进行,型式试验机构负责出具低温性能型式试验报告和证书。

4.2.2.3.9 制造单位对其制造的每台深冷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:

- a) 设计文件;
- b) 制造工艺图或制造工艺卡;
- c) 焊接工艺和热处理工艺文件;
- d) 标准规定的检验、试验项目记录;
- e) 制造过程中及完工后的检查、检验、试验记录;
- f) 出厂资料。

4.2.2.3.10 产品出厂资料应满足 TSG 21 的要求,并符合 GB/T 18442.4 的规定。

4.3 焊接接头分类

4.3.1 罐体及管路受压元件之间的焊接接头分为 A、B、C、D 四类,如图 1~图 3 所示。分类规定如下:

- a) 圆筒部分的纵向接头、球形封头与圆筒连接的环向接头、各类凸形封头中所有拼接接头,均属 A 类焊接接头;
- b) 壳体部分的环向接头,工艺人孔筒体与其封头的对接环向接头,管子、管件、管座等受压元件之间的对接环向接头,均属 B 类焊接接头,但已规定为 A 类的焊接接头除外;
- c) 平盖与圆筒非对接连接的接头、法兰与管子非对接连接的接头,均属 C 类焊接接头,但已规定为 A、B 类的焊接接头除外;
- d) 管子、工艺人孔筒体、管座、凸缘、补强圈、管帽、加强圈等与壳体连接的接头,管子之间及管子与管座非对接连接的接头,管帽、管件、凸缘与管子非对接连接的接头,均属 D 类焊接接头,但已规定为 A、B、C 类的焊接接头除外。

4.3.2 非受压元件与受压元件的连接接头为 E 类焊接接头,如图 1、图 2 所示。

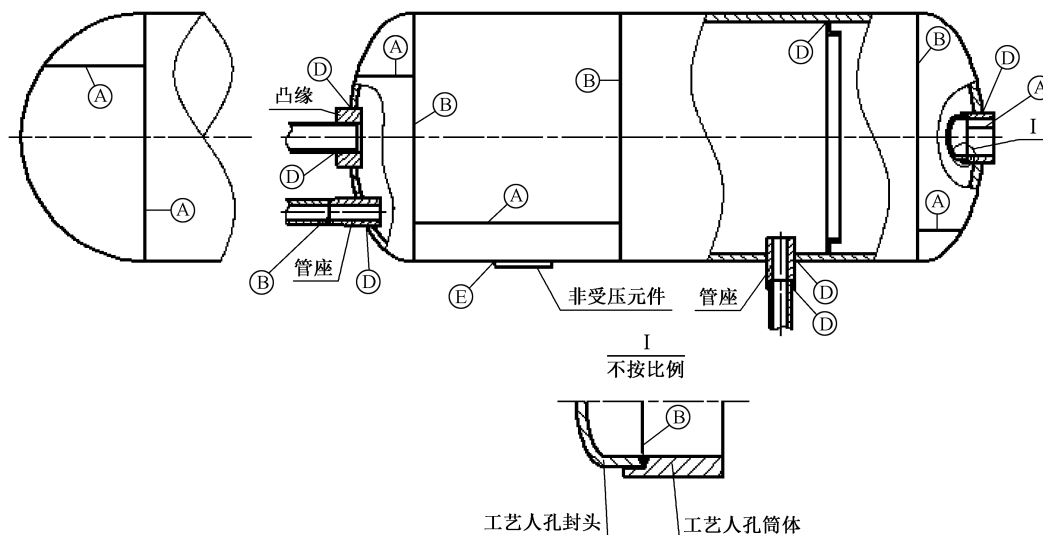


图 1 内容器焊接接头分类

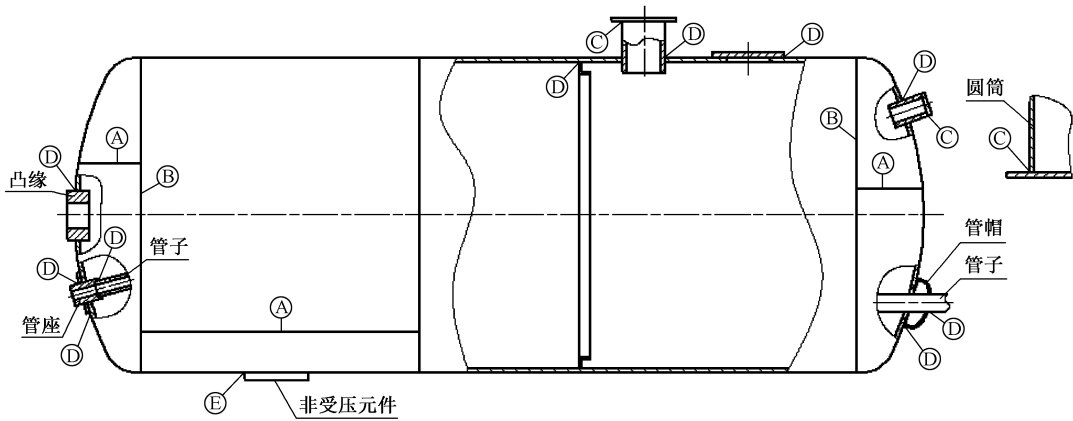


图 2 外壳焊接接头分类

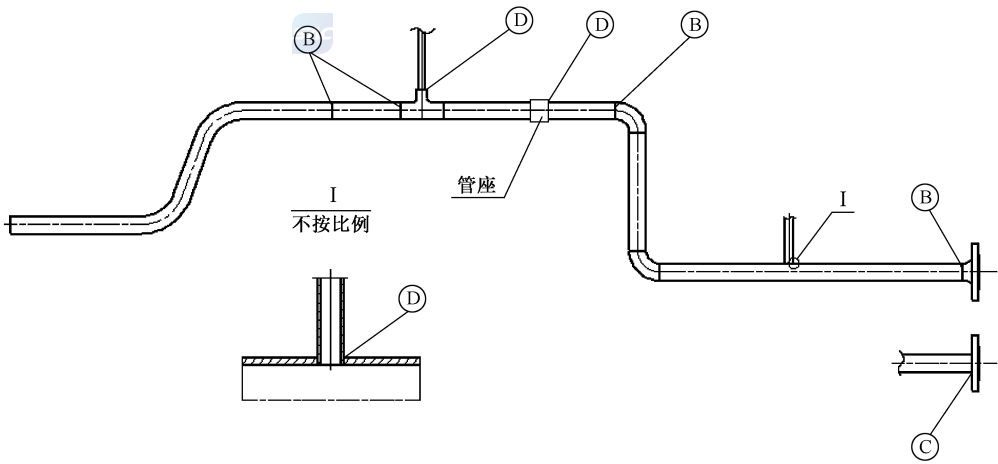


图 3 管路焊接接头分类

参 考 文 献

[1] GB 12268 危险货物品名表





中华人民共和国国家标准

GB/T 18442.2—2019
代替 GB/T 18442.2—2011

固定式真空绝热深冷压力容器 第2部分：材料

Static vacuum insulated cryogenic pressure vessels—
Part 2: Materials

2019-12-10 发布

2019-12-10 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

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 一般要求 2

5 罐体材料 2

6 焊接材料 4

7 夹层支撑材料 4

8 外购件 4

9 其他材料 5



前 言

GB/T 18442《固定式真空绝热深冷压力容器》分为以下 7 个部分：

- 第 1 部分：总则；
- 第 2 部分：材料；
- 第 3 部分：设计；
- 第 4 部分：制造；
- 第 5 部分：检验与试验；
- 第 6 部分：安全防护；
- 第 7 部分：内容器应变强化技术规定。

本部分为 GB/T 18442 的第 2 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/T 18442.2—2011《固定式真空绝热深冷压力容器 第 2 部分：材料》，与 GB/T 18442.2—2011 相比，主要技术变化如下：

- 删除了夹层、罐体等 5 个术语和定义；
- 修改了材料的一般要求；
- 修改了罐体用钢板、钢锻件、管子和管件、绝热材料、吸附剂材料、焊接材料、夹层支撑材料、外购件和其他材料的要求；
- 修改了罐体材料的性能指标和质量控制要求。

本部分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。

本部分起草单位：张家港中集圣达因低温装备有限公司、上海市气体工业协会、中车长江车辆有限公司、中国特种设备检测研究院、石家庄安瑞科气体机械有限公司、苏州圣汇装备有限公司、杭州富士达特种材料股份有限公司、上海华谊集团装备工程有限公司。

本部分主要起草人：罗晓钟、周伟明、钱红华、滕俊华、胡海滨、陈朝晖、王红霞、张连伟、应建明、魏勇彪。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 18442.2—2011；
- GB 18442—2001。

固定式真空绝热深冷压力容器

第2部分：材料

1 范围

GB/T 18442 的本部分规定了固定式真空绝热深冷压力容器(以下简称“深冷容器”)使用的钢板、锻件、管子和管件、绝热材料、吸附剂材料、焊接材料、夹层支撑材料及外购件材料的基本要求。

本部分适用于同时满足以下条件的深冷容器：

- a) 内容器工作压力不小于 0.1 MPa；
- b) 几何容积不小于 1 m³；
- c) 绝热方式为真空粉末绝热、真空复合绝热或高真空多层绝热；
- d) 储存介质为标准沸点不低于—196 ℃的冷冻液化气体。

本部分不适用于下列范围的深冷容器：

- a) 内容器和外壳材料为有色金属或非金属的；
- b) 球形结构的；
- c) 堆积绝热方式的；
- d) 移动式的；
- e) 储存标准沸点低于—196 ℃冷冻液化气体介质的；
- f) 储存介质按 GB 12268 规定为毒性气体的；
- g) 国防军事装备等有特殊要求的。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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(所有部分) 压力容器

GB/T 713 锅炉和压力容器用钢板

GB/T 3531 低温压力容器用钢板

GB/T 13296 锅炉、热交换器用不锈钢无缝钢管

GB/T 13350 绝热用玻璃棉及其制品

GB/T 13550 5A 分子筛及其测定方法

GB/T 14976 流体输送用不锈钢无缝钢管

GB/T 17600(所有部分) 钢的伸长率换算

GB/T 18442.1 固定式真空绝热深冷压力容器 第1部分：总则

GB/T 24511 承压设备用不锈钢和耐热钢钢板和钢带

GB/T 31480 深冷容器用高真空多层绝热材料

GB/T 31481 深冷容器用材料与气体的相容性判定导则

HG/T 2690 13X 分子筛

JC/T 1020 低温装置绝热用膨胀珍珠岩

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 47014 承压设备焊接工艺评定
NB/T 47018.1 承压设备用焊接材料订货技术条件 第1部分:采购通则
NB/T 47018.2 承压设备用焊接材料订货技术条件 第2部分:钢焊条
NB/T 47018.3 承压设备用焊接材料订货技术条件 第3部分:气体保护电弧焊丝和填充丝
NB/T 47018.4 承压设备用焊接材料订货技术条件 第4部分:埋弧焊钢焊丝和焊剂
YS/T 599 超细氧化钼粉
TSG 21 固定式压力容器安全技术监察规程

3 术语和定义

GB/T 150 和 GB/T 18442.1 界定的术语和定义适用于本文件。

4 一般要求

- 4.1 材料的选择应考虑材料的力学性能、物理性能、工艺性能和与介质的相容性。
- 4.2 罐体选用材料应符合 TSG 21、GB/T 150.2 以及相应国家标准或行业标准的规定。
- 4.3 可能与氧气或富氧环境接触的材料,其与氧的相容性应符合 GB/T 31481 的规定。
- 4.4 与受压元件相焊的非受压元件用材料应具有良好的韧性及焊接性。
- 4.5 受压元件材料制造单位应在材料的明显部位做出清晰、牢固的出厂钢印标志或采用其他可追溯的标志。
- 4.6 受压元件材料制造单位应向深冷容器制造单位提供材料质量证明书,材料质量证明书的内容应齐全、清晰并且印制可以追溯的信息化标识,加盖材料制造单位质量检验章。
- 4.7 深冷容器制造单位从非材料制造单位取得罐体和管路用材料时,应取得材料制造单位提供的材料质量证明书原件或加盖了材料经营单位公章和经办负责人签字(章)的复印件。
- 4.8 深冷容器制造单位应对取得的材料、外购件的质量证明书的真实性和一致性负责。
- 4.9 境外牌号材料和新材料的使用应符合 TSG 21 的有关规定。

5 罐体材料

5.1 一般要求

- 5.1.1 罐体受压元件的材料应符合相应材料标准和设计图样的规定。
- 5.1.2 罐体受压元件用钢应为氧气转炉或电炉冶炼的镇静钢,并应采用炉外精炼工艺。
- 5.1.3 罐体受压元件用钢板的断后伸长率应符合相应钢板标准的规定,且奥氏体型不锈钢的断后伸长率应不小于 40%,碳素钢和低合金钢的断后伸长率应不小于 20%。采用不同尺寸试样的断后伸长率指标,应按照 GB/T 17600 进行换算,换算后的指标应符合本条规定。

5.2 钢板

5.2.1 内容器用钢板

- 5.2.1.1 内容器用钢板一般采用奥氏体型不锈钢钢板,并符合 GB/T 24511 的规定。热轧钢板表面加工类型不低于 1D 级,冷轧钢板表面加工类型不低于 2B 级。
- 5.2.1.2 内容器受压元件用钢板应具有良好的塑性,其标准室温屈服强度(或 0.2%规定塑性延伸强度)

应不大于 460 MPa,标准抗拉强度上限值应不大于 725 MPa,材料质量证明书中室温屈服强度(或 0.2%规定塑性延伸强度)与室温抗拉强度之比应不大于 0.85。

5.2.1.3 内容器常用钢板材料的力学性能指标按表 1 的规定。

5.2.1.4 当采用表 1 以外的钢板时,应符合本部分和相应材料标准的规定。

表 1 内容器常用钢板力学性能指标

钢 号	钢板标准	交货状态	厚度/mm	室温强度指标/MPa			断后伸长率 A/%
				$R_{p0.2}$	$R_{p1.0}$	R_m	
S30408	GB/T 24511	固溶处理	3~40	≥ 220	≥ 250	≥ 520	≥ 40
S30403				≥ 210	≥ 230	≥ 490	
S31608				≥ 220	≥ 260	≥ 520	
S31603				≥ 210	≥ 260	≥ 490	

5.2.2 外壳用钢板

5.2.2.1 钢板应有良好的可焊性、足够的强度和冲击韧性,同时应考虑外界环境的腐蚀作用。当选用低合金钢钢板时,应符合 GB/T 713 或 GB/T 3531 的规定;当选用奥氏体型不锈钢钢板时,应符合 GB/T 24511 的规定。

5.2.2.2 外壳常用钢板材料的力学性能指标按表 2 的规定。

5.2.2.3 当采用表 2 以外的钢板时,应符合本部分和相应材料标准的规定。

表 2 外壳常用钢板力学性能指标

钢 号	钢板标准	交货状态	厚度/mm	室温强度指标/MPa		断后伸长率 A/%
				$R_{eL}(R_{p0.2})$	R_m	
Q245R	GB/T 713	热轧,控轧或正火	3~16	≥ 245	400~520	≥ 25
Q345R				≥ 345	510~640	≥ 21
16MnDR	GB/T 3531	正火,正火加回火	6~16	≥ 315	490~620	≥ 21
S30408	GB/T 24511	固溶处理	3~25	≥ 220	≥ 520	≥ 40
S30403				≥ 210	≥ 490	

5.3 钢锻件

5.3.1 内容器用不锈钢锻件应符合 NB/T 47010 的规定,锻件级别应不低于Ⅲ级。

5.3.2 外壳用低合金钢锻件和不锈钢锻件应分别符合 NB/T 47009、NB/T 47010 的规定,锻件级别应不低于Ⅱ级。

5.4 管子和管件

5.4.1 管子用材料应符合 GB/T 150.2 和设计图样的规定,且应符合 GB/T 13296 或 GB/T 14976 的规定。

5.4.2 管件应符合相应标准的规定。当管件采用钢锻件时,应符合 5.3 的规定。

5.4.3 奥氏体不锈钢管件采用冷成型加工成型时,其成型后的铁素体测量值应不大于 15%。

5.5 绝热材料

5.5.1 膨胀珍珠岩(珠光砂)应符合 JC/T 1020 的规定,且含水率不大于 0.3%(质量分数)。

5.5.2 阻光剂应具有良好的化学稳定性。

5.5.3 高真空多层绝热材料应符合 GB/T 31480 的规定。

5.5.4 复合绝热使用的超细玻璃纤维制品应符合 GB/T 13350 的规定,且符合下列要求:

- a) 含水率 $\leq 0.3\%$ (质量分数);
- b) 密度 $\leq 16 \text{ kg/m}^3$;
- c) 热导率:在标准大气压力和常温下,热导率 $\leq 0.033 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$;在真空度为 0.133 Pa (0.001 mmHg)和温度 $-196 \text{ }^\circ\text{C}$ (77 K) $\sim 232 \text{ }^\circ\text{C}$ (505 K)下,热导率 $\leq 0.003 6 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ 。

5.6 吸附剂材料

5.6.1 5A 分子筛应符合 GB/T 13550 的规定,13X 分子筛应符合 HG/T 2690 的规定。

5.6.2 氧化钡应符合 YS/T 599 的规定。

5.6.3 采用其他吸附剂材料时,应能满足深冷容器的使用要求,且符合相应产品标准的规定。

6 焊接材料

6.1 焊接材料应符合 NB/T 47018.1 $\sim$ NB/T 47018.4 的规定,且有清晰、牢固的标志,并附有质量证明书。

6.2 焊接材料的选用应考虑焊接接头力学性能与罐体母材的匹配,且应符合 TSG 21 的规定。

6.3 焊接材料应按 NB/T 47014 的要求进行焊接工艺评定,评定合格后方可使用。

7 夹层支撑材料

7.1 当采用非金属材料作支撑元件时,应满足下列要求:

- a) 非金属支撑材料应尽可能采用热导率小、使用温度在材料允许使用温度范围内、真空下表面放气率低和具有良好的低温冲击韧性的材料;
- b) 材料性能应符合相应的产品标准的规定;
- c) 材料制造单位应委托具有相应资质的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;
- d) 采用玻璃钢作为支撑材料时,材料出厂文件应包含压缩强度、弯曲强度、拉伸强度、剪切强度、冲击韧性和弹性模量等力学性能指标和热导率、线膨胀系数、允许使用温度范围等物理性能指标,以确保使用的玻璃钢满足深冷容器的绝热性能、结构强度、制造工艺和使用的要求。

7.2 当采用金属材料作为支撑元件时,应满足产品的低温性能要求,同时使用温度应在材料允许使用温度范围内,且材料应具有良好的低温冲击韧性。

8 外购件

8.1 外购件应符合相应的国家标准或行业标准的规定,且有质量证明文件或产品合格证。

8.2 进口阀门等压力管道元件还应符合国家主管部门的相关规定。

8.3 紧固件应符合相应国家标准或行业标准的规定。

8.4 密封垫片应根据充装介质、工作压力和温度正确选用,且符合相应标准的规定。当采用四氟乙烯

垫片时,应选用膨胀或填充改性型聚四氟乙烯垫片。

9 其他材料

9.1 支座材料应有足够的强度和冲击韧性,且符合相应支座标准的规定。

9.2 深冷容器用其他材料应符合设计图样的要求。





中华人民共和国国家标准

GB/T 18442.3—2019
代替 GB/T 18442.3—2011

固定式真空绝热深冷压力容器 第 3 部分：设计

Static vacuum insulated cryogenic pressure vessels—
Part 3: Design

2019-12-10 发布

2019-12-10 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 I

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 一般要求 3

5 设计文件 3

6 载荷 4

7 温度 6

8 压力 6

9 焊接接头系数 6

10 许用应力..... 6

11 腐蚀裕量..... 7

12 罐体厚度..... 7

13 充满率..... 7

14 真空绝热性能指标..... 8

15 夹层的真空性能..... 9

16 耐压试验..... 9

17 泄漏试验 10

18 结构设计 11

附录 A（规范性附录） 风险评估报告 15

附录 B（资料性附录） 常见冷冻液化气体热力学数据 16

前 言

GB/T 18442《固定式真空绝热深冷压力容器》分为以下 7 个部分：

- 第 1 部分：总则；
- 第 2 部分：材料；
- 第 3 部分：设计；
- 第 4 部分：制造；
- 第 5 部分：检验与试验；
- 第 6 部分：安全防护；
- 第 7 部分：内容器应变强化技术规定。

本部分为 GB/T 18442 的第 3 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/T 18442.3—2011《固定式真空绝热深冷压力容器 第 3 部分：设计》，与 GB/T 18442.3—2011 相比，主要技术变化如下：

- 修改了规范性引用文件；
- 删除了计算压力、封口真空度等 2 个术语和定义，增加了有效容积、充满率、额定充满率、维持时间、静态蒸发率、封结真空度等 6 个术语和定义；
- 按照 TSG 21 的规定，修改了设计的一般要求；
- 增加了对设计文件的规定，对设计文件的内容、设计总图和管路系统图应注明的内容等提出明确的要求；
- 修改了对设计载荷的规定，并按载荷的性质进行分类；
- 修改了疲劳分析免除准则的规定；
- 修改了材料许用应力的规定，按整体规则设计、整体分析设计和局部结构采用应力分析方法，分别规定相对应的材料许用应力或设计应力强度；对于非金属材料，规定了确定材料许用应力的安全系数；
- 修改了内容器和外壳设计温度的规定；
- 增加了最低设计金属温度的规定；
- 修改了内容器承受外压的设计压力的规定；
- 修改了外壳承受内压的规定；
- 修改了腐蚀裕量的规定；
- 增加了罐体厚度的规定，取消了 2011 年版标准中对钢材负偏差的规定；
- 修改了充满率的规定，提出确定最大充满率、额定充满率和初始充满率的原则；
- 修改了高真空多层绝热深冷容器的静态蒸发率、真空夹层漏气速率、真空夹层漏放气速率和封结真空度指标，增加了液化天然气(甲烷)的静态蒸发率指标，取消了 2011 年版表 5 中封口真空度作为推荐值的规定；
- 增加了罐体泄漏试验的要求；
- 修改了真空夹层中吸附剂的设置要求；
- 修改了罐体设计的要求；
- 增加了焊接结构设计的要求；
- 修改了夹层支撑及罐体支座设计的要求；

- 增加了结构件与罐体连接的设计要求；
- 修改了绝热设计的要求；
- 修改了自增压器的设计要求；
- 增加了汽化器的设计要求；
- 修改了管路系统设计的要求，增加外部管路设计压力、耐压试验压力等的规定；
- 增加了附录 A“风险评估报告”。

本部分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。

本部分起草单位：查特深冷工程系统(常州)有限公司、上海市气体工业协会、张家港中集圣达因低温装备有限公司、中国特种设备检测研究院、南通中集能源装备有限公司、液化空气(中国)投资有限公司、杭州杭氧低温容器有限公司、荆门宏图特种飞行器制造有限公司、中车长江车辆有限公司、华东理工大学、江苏国富氢能技术装备有限公司、上海华谊集团装备工程有限公司。

本部分主要起草人：陈文锋、周伟明、罗晓钟、杨坤、陈朝晖、罗永欣、滕俊华、陈勤俭、毛荣大、肖学文、何远新、惠虎、魏蔚、魏勇彪。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 18442.3—2011；
- GB 18442—2001。



固定式真空绝热深冷压力容器

第3部分:设计

1 范围

GB/T 18442的本部分规定了固定式真空绝热深冷压力容器(以下简称“深冷容器”)设计的设计文件、设计参数、性能参数及结构设计等基本要求。

本部分适用于同时满足以下条件的深冷容器:

- a) 内容器工作压力不小于 0.1 MPa;
- b) 几何容积不小于 1 m³;
- c) 绝热方式为真空粉末绝热、真空复合绝热或高真空多层绝热;
- d) 储存介质为标准沸点不低于-196 °C 的冷冻液化气体。

本部分不适用于下列范围的深冷容器:

- a) 内容器和外壳材料为有色金属或非金属的;
- b) 球形结构的;
- c) 堆积绝热方式的;
- d) 移动式的;
- e) 储存标准沸点低于-196 °C 冷冻液化气体介质的;
- f) 储存介质按 GB 12268 规定为毒性气体的;
- g) 国防军事装备等有特殊要求的。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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—2011(所有部分) 压力容器

GB/T 1448 纤维增强塑料压缩性能试验方法

GB/T 1450.1 纤维增强塑料层间剪切强度试验方法

GB/T 9341 塑料 弯曲性能的测定

GB/T 18442.1 固定式真空绝热深冷压力容器 第1部分:总则

GB/T 20801.3—2006 压力管道规范 工业管道 第3部分:设计和计算

GB/T 20801.5 压力管道规范 工业管道 第5部分:检验与试验

GB/T 24511 承压设备用不锈钢和耐热钢钢板和钢带

GB/T 26929 压力容器术语

GB/T 31481 深冷容器用材料与气体的相容性判定导则

HG/T 21574 化工设备吊耳设计选用规范

JB 4732 钢制压力容器 分析设计标准

NB/T 47041 塔式容器

NB/T 47065.1 容器支座 第1部分:鞍式支座

NB/T 47065.2 容器支座 第2部分:腿式支座

3 术语和定义

GB/T 150、GB/T 18442.1 和 GB/T 26929 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

有效容积 effective volume

在使用状态下,深冷容器允许充装冷冻液化气体的液体最大液体体积。

3.2

充满率 filling rate

深冷容器充装冷冻液化气体的液体体积与内容器的几何容积之比。

3.3

额定充满率 specified filling rate

深冷容器充装时,充装液体量达到设计规定最高液面时的液体体积与内容器几何容积之比。

3.4

维持时间 holding time

按额定充满率充装冷冻液化气体,内部静置的冷冻液化气体在大气压力下与外部环境温度达到热平衡后,补液至额定充满率,且关闭气相阀门后,内容器从环境大气压力开始上升到安全泄放装置整定压力所经历的时间,且换算为标准大气压($1.013\ 25 \times 10^5$ Pa)和设定环境温度($20\ ^\circ\text{C}$)下的时间。

注:单位为小时(h)。

3.5

静态蒸发率 static evaporation rate

深冷容器在额定充满率下,静置达到热平衡后,24 h 内自然蒸发损失的冷冻液化气体质量与内容器有效容积下冷冻液化气体质量的百分比,换算为标准大气压($1.013\ 25 \times 10^5$ Pa)和设定环境温度($20\ ^\circ\text{C}$)状态下的蒸发率值。

3.6

夹层真空度 annular space vacuum degree

深冷容器中夹层空间的气体绝对压力。

3.7

封结真空度 sealing-off vacuum degree

罐体夹层抽真空结束并且封闭抽真空接口后,在常温下真空夹层压力相对稳定时的真空度。

3.8

真空夹层漏气速率 leakage rate of vacuum annular space

单位时间内漏入真空夹层的气体量。

3.9

真空夹层放气速率 outgassing rate of vacuum annular space

真空夹层内材料、器壁表面等在单位时间内放出的气体量。

3.10

真空夹层漏放气速率 outgassing and leakage rate of vacuum annular space

真空夹层漏气速率与真空夹层放气速率之和。

4 一般要求

- 4.1 深冷容器的设计除应符合本部分的要求外,还应符合 TSG 21 和 GB/T 150.3 的规定。
- 4.2 设计单位应严格依据设计委托方所提供的深冷容器设计条件,综合考虑所有相关因素、失效模式和足够的安全裕量,以保证深冷容器具有足够的强度、刚度、稳定性和耐腐蚀性。同时应考虑深冷容器的夹层支撑、支座、吊耳等主要受力构件与罐体的焊接接头的强度要求,确保深冷容器在设计使用年限内的安全。
- 4.3 罐体、管路、安全附件、仪表及装卸附件的布置应满足使用和安全的要求。
- 4.4 风险评估报告的基本内容应符合附录 A 的规定。常见冷冻液化气体热力学数据参见附录 B。



5 设计文件

5.1 深冷容器的设计文件应至少包括下列各项:

- a) 风险评估报告,包括设计、制造及使用等阶段的主要失效模式和风险控制等;
- b) 设计说明书,包括对充装介质的主要物理、化学性质(编号、名称、类别及与工作温度相对应的饱和蒸气压力与密度等),危险特性,混合介质的限制组分以及有害杂质的限制含量要求,与罐体材料相容性等作出说明,还应对设计规范与标准的选择、主要设计结构的确定原则、主要设计参数的确定原则、材料的选择、安全附件的选择、仪表及装卸附件的选择、自增压器等的选用作出说明;
- c) 设计计算书,包括罐体强度、刚度、外压稳定性、结构强度应力分析报告(需要时)、容积、传热、安全泄放量、超压泄放装置的排放能力的计算、夹层支撑及罐体支座的强度计算等;
- d) 设计图样,至少包括总图、内容器图、管路系统图及流程图等,必要时还应提供深冷容器基础条件图等;
- e) 制造技术条件,包括主要制造工艺要求、检验与试验方法等;
- f) 安装与使用维护说明书,包括主要技术性能参数、充装的介质特性、安全附件、仪表及装卸附件的规格和连接方式、操作说明、维护说明、使用应注意的事项、必要的警示性告知以及应急措施等。

5.2 设计总图上应至少注明下列内容:

- a) 产品名称、型号、容器类别,设计、制造所依据的安全技术规范和产品标准;
- b) 工作条件,包括工作压力、工作温度、介质特性(毒性、爆炸危害程度、氧化性等);
- c) 设计条件,包括设计温度、最低设计金属温度、设计载荷(包含压力载荷和其他应考虑载荷)、介质(组分)、焊接接头系数、腐蚀裕量、自然条件(环境温度、地震设防烈度、基本风压或风速、基本雪压等),对有应力腐蚀倾向的还应注明腐蚀介质的限定含量;
- d) 内容器主要受压元件、外壳壳体和管路的材料牌号与材料标准;
- e) 主要特性参数,包括深冷容器内容器的几何容积、额定充满率、夹层的几何容积、深冷容器自重和盛装介质重量等;
- f) 内容器封头与筒体的计算厚度、名义厚度和最小成型厚度,外壳封头与筒体的名义厚度和最小成型厚度;
- g) 外形尺寸;
- h) 深冷容器设计使用年限;
- i) 耐压试验和泄漏试验要求;
- j) 制造要求,包括无损检测要求、热处理要求(必要时)、对表面清洁处理的要求、氮气或惰性气体

置换要求、外壳表面处理与涂敷的要求等；

- k) 罐体绝热方式、真空绝热性能指标和夹层真空性能指标等；
- l) 罐体安全附件、仪表和装卸附件的规格、性能参数和连接方式；
- m) 管口的方位、规格、连接法兰标准等；
- n) 产品铭牌位置；
- o) 包装、运输和安装要求。

5.3 管路系统图应至少注明以下内容：

- a) 管路系统设计、制造所依据的标准；
- b) 设计参数，包括设计温度、设计压力、焊接接头系数等；
- c) 管路受压元件材料牌号以及材料标准号、规格等；
- d) 安全附件（包括管路超压泄放装置）、仪表及装卸附件的型号、规格、性能参数、连接方式、管口方位等；
- e) 无损检测要求；
- f) 耐压试验要求；
- g) 泄漏试验要求。

6 载荷

6.1 总体要求

深冷容器应能承受在正常操作和空罐运输等可能出现的各种工况条件下的机械载荷（含压力载荷、重力载荷、惯性力载荷和动力载荷）及热应力载荷，并考虑这些载荷可能发生的最苛刻的组合。同时，应考虑在设计使用年限内由于内容器压力波动等造成的结构疲劳失效。

6.2 内容器设计载荷

6.2.1 压力载荷应考虑下列载荷：

- a) 内压、外压或最大压差；
- b) 储液量达到额定充满率时，介质产生的液柱静压力。液柱静压力按介质在标准大气压下沸点的密度进行计算。

6.2.2 重力载荷应考虑下列载荷：

- a) 内容器的自重以及附在内容器上的绝热材料、夹层管路等附件的重力载荷；
- b) 正常工作条件下或耐压试验状态下，内容器盛装介质的重力载荷。

6.2.3 动力载荷应考虑下列各项引起的载荷：

- a) 内容器充液时，液体流动对内容器的冲击力；
- b) 介质压力急剧波动引起的冲击载荷；
- c) 地震载荷。

6.2.4 热应力载荷至少应考虑下列工况下，由温度递变引起的不均匀应变载荷以及内容器与夹层管路的热膨胀或冷收缩所引起的管路反作用力：

- a) 内容器从环境温度冷却到工作温度过程中，内容器在支撑点处承受的载荷。
- b) 由于内容器、夹层管路的热膨胀或冷收缩引起的管路施加于内容器的反作用力，并至少考虑下列3种工况：
 - 1) 预冷工况：内容器热状态，夹层管路冷状态，外壳热状态；
 - 2) 充装及出液工况：内容器、夹层管路均是冷状态，外壳热状态；
 - 3) 储存液体工况：内容器冷状态，夹层管路热状态，外壳热状态。

c) 罐体制造过程中夹层加热抽真空时,由于内容器与外壳处于不同的温度,应考虑下列连接处的载荷:

- 1) 内容器在支撑点处的热应力载荷;
- 2) 夹层管路施加于内容器连接处的热应力载荷。

6.2.5 空罐运输过程中,夹层支撑结构承受的惯性力载荷按下列要求转换成等效的静态力,最大质量取内容器及其附件质量之和:

- a) 运动方向:最大质量乘以 2 倍重力加速度;
- b) 与运动方向垂直的水平方向:最大质量乘以重力加速度;
- c) 垂直向上:最大质量乘以重力加速度;
- d) 垂直向下:最大质量乘以 2 倍重力加速度。

6.3 外壳设计载荷

6.3.1 压力载荷应考虑由于内压或外压引起的载荷。

6.3.2 重力载荷应考虑在正常工作条件下罐体支座承受的重力载荷(罐体和外部管路、扶梯、平台等附件的自重)以及在正常工作条件下或试验状态下内容器盛装的介质的重力载荷。在支座连接处外壳承受的支反力等于支座承受的重力载荷。

6.3.3 热应力载荷应考虑 6.2.4 b)、c)工况下,夹层管路施加于外壳的载荷。

6.3.4 惯性力载荷至少应考虑下列 a)和 b)工况下运输支座或吊耳施加于外壳的载荷:

- a) 空罐运输过程中,深冷容器运输支座承受的惯性力载荷等于其空罐时的质量乘以 6.2.5 规定的不同方向的惯性力载荷系数;
- b) 计算空罐吊装时,罐体吊耳承受的惯性力载荷,载荷系数按照 HG/T 21574 的规定;
- c) 罐体与运输支座或吊耳连接处所承受的惯性力等于运输支座或吊耳的支反力。

6.3.5 动力载荷应考虑风载荷、地震载荷和雪载荷等载荷的作用。

6.3.6 对于立式深冷容器应考虑在制造、运输、吊装工况中,罐体处于卧置状态时,夹层支撑件承受的载荷以及外壳在支撑处的支反力。

6.4 疲劳分析的免除准则

6.4.1 满足 6.4.2、6.4.3 或 6.4.4 任一条的所有要求时,可免除疲劳分析。否则,内容器应按照 JB 4732 进行疲劳分析设计。

6.4.2 对于循环次数 $\leq 10^6$ 的内容器,如所设计的深冷容器与已有成功使用经验的深冷容器具有可类比的形状与载荷条件,且经过了足够长时间的操作,并有使用经验证明的,可免除疲劳分析。但对下列情况所产生的不利影响应予特别注意:

- a) 内容器采用了非整体结构,如开孔采用补强圈补强或角焊缝连接件;
- b) 内容器相邻部件之间有显著的厚度变化;
- c) 位于成型封头过渡区的连接件和接管。

6.4.3 内容器采用奥氏体型不锈钢材料时,下列各项循环次数的总和不超过 4 000 次:

- a) 包括充装与出液在内的全范围压力循环的预计(设计)循环次数;
- b) 内容器的压力波动范围超过 50%设计压力的工作压力循环的预计(设计)循环次数;
- c) 包括管路在内的任意相邻两点之间金属温差波动的有效次数,该有效次数的计算方法按 JB 4732 的相关规定;
- d) 由热膨胀系数不同的材料组成的部件(包括焊缝),当 $(\alpha_1 - \alpha_2)\Delta T > 0.000\ 34$ 时的温度波动循环次数,其中 α_1 、 α_2 是两种材料各自的平均热膨胀系数, ΔT 为工作时温度波动范围。

6.4.4 满足 JB 4732 规定的相应的疲劳分析免除条件。

7 温度

7.1 设计温度

7.1.1 内容器的设计温度应不低于元件金属在正常工况下可能达到的最高工作温度。

7.1.2 外壳的设计温度应考虑环境温度和使用条件的影响,且不低于 50℃。

7.1.3 对各元件进行稳定性校核时,其设计温度考虑正常工作条件下及罐体加热抽真空时可能出现的最高温度。

7.2 最低设计金属温度

7.2.1 内容器的最低设计金属温度应考虑正常工作条件下及检验、试验条件下介质最低工作温度对内容器金属温度的影响,且应不高于介质的沸点。

7.2.2 外壳的最低设计金属温度,应考虑使用地点大气环境低温以及使用条件(如外壳悬挂汽化器)对罐体外壳金属温度的影响,且不高于-20℃。

8 压力

8.1 设计压力

8.1.1 内容器的设计压力应按下列要求确定:

- a) 内压不小于充装、出液工况的工作压力,且不小于设计温度下介质的饱和蒸气压力(表压);
- b) 外压应不小于深冷容器在制造、运输、充装、出液、检验与试验或其他工况中可能出现的最大内外压力差。

8.1.2 外壳的设计压力按下列要求确定:

- a) 内压应不低于外壳防爆装置设定的排放压力,当采用真空粉末绝热时,还应考虑粉末充填时夹层可能出现的最大内压;
- b) 外压不小于 0.1 MPa。

8.2 计算压力

8.2.1 内容器受压元件的计算压力应不小于设计压力、液柱静压力与 0.1 MPa 之和。

8.2.2 当液柱静压力小于设计压力的 5% 时,可忽略不计。

9 焊接接头系数

9.1 内容器的焊接接头系数取 1.0。

9.2 外壳的焊接接头系数取 0.85。

10 许用应力

10.1 当罐体承受压力载荷时,采用规则设计的罐体材料的许用应力按 GB/T 150.2 的规定选取,采用分析设计的罐体材料的设计应力强度按 JB 4732 的规定选取。

10.2 采用规则设计的罐体,局部结构采用应力分析设计时,材料的设计应力强度按 GB/T 150.2 中对应材料的许用应力确定。

10.3 当罐体采用的材料在 GB/T 24511 中规定了 $R_{p1.0}$ 值,且在设计文件中提出了钢板附加检验 $R_{p1.0}$ 值时,可使用 $R_{p1.0}$ 来确定材料的许用应力值。

10.4 罐体夹层内支撑件、罐体支座(或裙座)、吊耳等受力构件,其许用应力不大于以下要求确定的值,且满足相应受力构件标准的要求,其最大应力强度或最大当量应力不超过 0.75 倍的材料常温屈服强度:

- a) 具有明确屈服点的材料,其许用应力不大于材料标准常温下的屈服强度除以 1.5;
- b) 不具有明确屈服点的材料,其许用应力不大于材料标准常温下的 0.2% 规定塑性延伸强度除以 1.5;
- c) 低温用环氧玻璃钢等非金属材料(管、棒或板),其弯曲、压缩和剪切的许用应力值应为相应产品标准规定的常温下对应方向弯曲、压缩和剪切强度值除以安全系数,安全系数不小于 4。试样弯曲、压缩和剪切的试验方法应分别符合 GB/T 9341、GB/T 1448 和 GB/T 1450.1 的规定。

10.5 当地震载荷或风载荷与 6.2 中其他载荷相组合时,允许罐体承压元件和承力构件的设计应力不超过许用应力的 1.2 倍,其组合要求按相应标准的规定。

10.6 螺栓材料在不同温度下的许用应力按 GB/T 150.2 和相应标准的规定选取。

11 腐蚀裕量

11.1 深冷容器的腐蚀裕量应由设计者根据设计委托方提供的条件确定。

11.2 对于有均匀腐蚀或磨损的元件,应根据深冷容器预期的设计使用年限和介质对材料的腐蚀速率(及磨损速率)确定腐蚀裕量。内容器为奥氏体型不锈钢材料时,一般不考虑均匀腐蚀。

11.3 罐体各元件受到的腐蚀程度不同时,可采用不同的腐蚀裕量。

11.4 碳素钢或低合金钢制外壳内表面一般不考虑腐蚀。当外壳外表面有可靠的防腐蚀措施时,可不考虑腐蚀裕量;当外壳外表面无可靠的防腐蚀措施时,其腐蚀裕量应不小于 1 mm。

12 罐体厚度

12.1 罐体最小厚度的确定应考虑制造、运输、安装等因素的影响,内容器和外壳的壳体加工成型后不包括腐蚀裕量的最小厚度应符合下列要求:

- a) 碳素钢、低合金钢制外壳,应不小于 3 mm;
- b) 奥氏体不锈钢制内容器和外壳,应不小于 2 mm。

12.2 罐体的设计厚度应不小于下列值的较大值:

- a) 计算厚度与腐蚀裕量之和;
- b) 按 12.1 确定的罐体最小厚度与腐蚀裕量之和。

13 充满率

13.1 最大充满率应符合下列规定:

- a) 充装非易燃、易爆介质的深冷容器,在任何情况下可能达到的最大充满率应不大于 98%;
- b) 充装易燃、易爆介质的深冷容器,在任何情况下可能达到的最大充满率应不大于 95%。

13.2 额定充满率应符合下列规定:

- a) 充装非易燃、易爆介质的深冷容器,额定充满率应不大于 95%;
- b) 充装易燃、易爆介质的深冷容器,额定充满率应不大于 90%。

13.3 在确定初始充满率时,应考虑深冷容器储存冷冻液化气体预期所需要的维持时间(包括可能遇到

的长时间没有使用液体的情况)、最大充满率等因素,初始充满率应不超过额定充满率。

13.4 深冷容器应设置溢流口。溢流口应根据设计使用工况设置一个或多个,并符合 13.3 的规定。

14 真空绝热性能指标

14.1 常见冷冻液化气体介质的深冷容器的静态蒸发率应符合表 1 的规定。当设计委托方对维持时间有规定时,还应满足维持时间的要求。

14.2 采用真空复合绝热方式的深冷容器,其静态蒸发率应满足表 1 中高真空多层绝热方式的指标要求。

表 1 静态蒸发率

几何容积 V/m^3	静态蒸发率(上限值)/(%/d)							
	液氮		液氧		液氩		液化天然气(甲烷)	
	高真空 多层绝热	真空粉末 绝热	高真空 多层绝热	真空粉末 绝热	高真空 多层绝热	真空粉末 绝热	高真空 多层绝热	真空粉末 绝热
1	1.000	1.200	0.625	0.800	0.680	0.800	0.620	0.780
2	0.700	1.000	0.450	0.670	0.490	0.700	0.440	0.65
3	0.660	0.900	0.400	0.600	0.440	0.630	0.400	0.58
5	0.450	0.650	0.300	0.435	0.315	0.460	0.300	0.430
10	0.350	0.550	0.220	0.360	0.245	0.380	0.220	0.360
15	0.280	0.530	0.175	0.350	0.190	0.370	0.175	0.340
20	0.230	0.500	0.153	0.330	0.160	0.350	0.150	0.320
25	0.215	0.450	0.140	0.300	0.147	0.320	0.140	0.300
30	0.200	0.440	0.133	0.290	0.140	0.310	0.130	0.290
35	0.185	0.405	0.120	0.270	0.130	0.285	0.120	0.270
40	0.170	0.370	0.115	0.250	0.120	0.260	0.115	0.250
50	0.150	0.350	0.100	0.230	0.110	0.240	0.100	0.230
65	0.135	0.300	0.090	0.200	0.095	0.210	0.090	0.200
85	0.120	0.280	0.085	0.180	0.088	0.190	0.085	0.180
100	0.105	0.250	0.070	0.160	0.078	0.170	0.070	0.160
150	0.085	0.225	0.055	0.145	0.060	0.155	0.055	0.145
200	0.075	0.200	0.050	0.130	0.053	0.140	0.050	0.130
250	0.070	0.180	0.048	0.120	0.050	0.130	0.048	0.120
300	0.065	0.160	0.045	0.110	0.046	0.120	0.045	0.110
500	0.060	0.150	0.038	0.100	0.040	0.110	0.038	0.100
注:中间值采用内插法确定。								

15 夹层的真空性能

- 15.1 真空夹层的漏气速率应符合表 2 的规定。
- 15.2 真空夹层的漏放气速率应符合表 3 的规定。
- 15.3 常温下真空夹层的封结真空度应符合表 4 的规定。装有冷冻液化气体介质时,真空夹层的冷态真空度应不大于封结真空度的 0.1 倍。
- 15.4 夹层真空性能一般满足 5 年真空使用年限的要求。
- 15.5 采用真空复合绝热方式的深冷容器,夹层的真空性能要求应满足高真空多层绝热深冷容器的要求。

表 2 真空夹层漏气速率

几何容积 V/m^3	漏气速率/ $(\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s})$	
	高真空多层绝热	真空粉末绝热
$1 \leq V \leq 10$	$\leq 1 \times 10^{-8}$	$\leq 5 \times 10^{-8}$
$10 < V \leq 100$	$\leq 5 \times 10^{-8}$	$\leq 1 \times 10^{-7}$
$100 < V \leq 500$	$\leq 1 \times 10^{-7}$	$\leq 5 \times 10^{-7}$

表 3 真空夹层的漏放气速率

几何容积 V/m^3	漏放气速率/ $(\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s})$	
	高真空多层绝热	真空粉末绝热
$1 \leq V \leq 10$	$\leq 1 \times 10^{-6}$	$\leq 1 \times 10^{-5}$
$10 < V \leq 100$	$\leq 5 \times 10^{-6}$	$\leq 5 \times 10^{-5}$
$100 < V \leq 500$	$\leq 1 \times 10^{-5}$	$\leq 1 \times 10^{-4}$

表 4 封结真空度

几何容积 V/m^3	真空度/ Pa	
	高真空多层绝热	真空粉末绝热
$1 \leq V \leq 10$	≤ 0.01	≤ 2
$10 < V \leq 50$	≤ 0.02	≤ 3
$50 < V \leq 100$	≤ 0.03	≤ 5
$100 < V \leq 500$	≤ 0.05	≤ 8

16 耐压试验

- 16.1 耐压试验一般采用气压试验。
- 16.2 内容器与外壳组装前,内容器的耐压试验压力最低值的确定:
- a) 液压试验按式(1)计算:

$$p_T = 1.25(p + 0.1) \quad \dots\dots\dots (1)$$

b) 气压试验按式(2)计算:

$$p_T = 1.10(p + 0.1) \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

p_T ——试验压力,单位为兆帕(MPa);当立式容器卧置液压试验时,试验压力应计入立式时的液柱静压力;

p ——设计压力,单位为兆帕(MPa)。

16.3 内容器与外壳组装完毕,且夹层形成真空后,内容器的耐压试验压力最低值的确定:

a) 液压试验按式(3)计算:

$$p_T = 1.25(p + 0.1) - 0.1 \quad \dots\dots\dots (3)$$

b) 气压试验按式(4)计算:

$$p_T = 1.10(p + 0.1) - 0.1 \quad \dots\dots\dots (4)$$

16.4 当采用大于 16.2 或 16.3 规定的耐压试验压力时,在内容器耐压试验前,应校核各受压元件在试验条件下的应力水平。内容器壳体元件应校核最大总体薄膜应力,并满足下列条件:

a) 液压试验

$$\sigma_T \leq 0.9R_{eL}(R_{p0.2}) \quad \dots\dots\dots (5)$$

b) 气压试验

$$\sigma_T \leq 0.9R_{eL}(R_{p0.2}) \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

σ_T ——试验压力下圆筒的最大总体薄膜应力,单位为兆帕(MPa);

$R_{eL}(R_{p0.2})$ ——内容器材料在试验温度下的屈服强度(或 0.2%规定塑性延伸强度。当壳体采用的材料在 GB/T 24511 中规定了 $R_{p1.0}$ 值,且在设计文件中提出了钢板附加检验 $R_{p1.0}$ 值时,则可以选用该值作为屈服强度),单位为兆帕(MPa)。

16.5 管路的耐压试验应符合 GB/T 20801.5 的规定。夹层内部管路以及无法与罐体隔离(无根部阀)的外部管路可与内容器一同进行耐压试验,试验压力与内容器相同。设置了根部隔离阀的外部管路应将根部阀关闭后,单独进行耐压试验,试验压力不低于下列要求:

a) 液压试验

$$p_T = 1.5p \quad \dots\dots\dots (7)$$

b) 气压试验

$$p_T = 1.15p \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

p_T ——试验压力,单位为兆帕(MPa);

p ——管路设计压力,单位为兆帕(MPa)。

17 泄漏试验

17.1 泄漏试验方法包括气密性试验和氦质谱检漏试验等。

17.2 内容器的泄漏试验宜采用气密性试验,试验压力取内容器的设计压力,试验介质应为干燥洁净的空气、氮气或其他惰性气体。

17.3 真空夹层的泄漏试验宜采用氦质谱检漏试验,其漏气速率指标应符合表 2 的规定。

17.4 管路的泄漏试验宜采用气密性试验。夹层管路以及无法与罐体隔离(无根部阀)的外部管路的气密性试验压力取内容器的设计压力,外部管路的气密性试验压力取管路的设计压力。

18 结构设计

18.1 罐体设计

18.1.1 深冷容器应采用双层金属壳的结构,内容器和外壳的截面应为圆形。

18.1.2 设计时,应考虑深冷容器在制造、试验和正常工作过程中,因内容器、夹层管路、外壳之间的温度梯度而引起的载荷。夹层管路满足 GB/T 20801.3—2006 中 7.1.2 的条件之一时,可免除管路的应力分析,否则应按照 GB/T 20801.3—2006 中第 7 章的规定对管路进行应力分析。

18.1.3 罐体进行强度计算和外压稳定性校核时,采用规则设计的应符合 GB/T 150.3 的规定,采用分析设计的应符合 JB 4732 的规定。

18.1.4 罐体总体按 GB/T 150.3 设计时,局部应力分析可按 JB 4732 的规定进行。

18.1.5 内容器的结构应尽量简单、避免结构形状的突然变化,以减少约束和局部应力集中。

18.1.6 深冷容器的罐体一般不设人孔或检查孔。当设置工艺人孔时,开孔位置宜布置在封头中心区域,开孔边缘应在封头中心 $0.8D_i$ 范围内,开孔中心线沿封头法线方向。工艺人孔封盖宜采用成型封头,封头与工艺人孔筒体的连接应采用焊接结构。

18.1.7 内容器的开孔补强宜采用整体补强结构。

18.1.8 夹层管路宜布置在内容器的固定端。

18.1.9 当内容器采用液压试验方法时,应设置排水口以便试验后排尽积水。

18.1.10 储存液氧的罐体结构设计应考虑避免碳氢化合物的积聚。

18.1.11 罐体外壳悬挂自增压器或汽化器时,应考虑自增压器或汽化器外部低温气流环境对外壳材料的影响。

18.2 焊接结构

18.2.1 焊接接头的结构应尽可能采用具有承受较高的静载荷能力和疲劳强度的接头型式。

18.2.2 内容器除最后一道封闭环焊缝外,A、B类焊接接头应采用全截面焊透的对接接头,封闭环焊缝允许采用带永久性垫板的对接接头。对于立式深冷容器,带永久性垫板的封闭环焊缝宜布置在上封头与筒体连接处。

18.2.3 外壳除最终组装形成封闭外壳的封闭环焊缝外,A、B类焊接接头也应采用全焊透的对接接头。封闭环焊缝允许采用带永久性垫板的单面焊对接接头。

18.2.4 夹层内的管子应通过管座与内容器壳体连接,管子对接接头、管子与管座的对接接头宜采用等壁厚对接焊接接头。

18.2.5 管座与内容器壳体连接的 D 类接头,应采用 GB/T 150.3—2011 中图 D.4 所示的全截面焊透焊接接头。

18.2.6 壳体上 B 类焊接接头两侧钢板厚度不等时,按 GB/T 150.4 的要求进行削边处理。应避免壳体上焊缝的布置过于集中,以减少焊接接头处壳体的变形和应力集中。

18.2.7 两种不同材料焊接时,其焊接接头型式应考虑材料的热膨胀特性、熔化温度、导热系数和低温条件下的收缩等因素。

18.2.8 焊接结构的设计应尽可能减少焊后修磨和加工的工作量。

18.3 夹层支撑

18.3.1 夹层支撑结构应能承受正常操作工况和空罐运输工况下的载荷。

18.3.2 夹层支撑结构除满足强度与刚度的要求外,还应尽量减少漏热量。

18.3.3 支撑结构在压、弯组合载荷作用下,应有足够的稳定性。

18.4 罐体支座

18.4.1 罐体支座应至少能够承受 6.3 规定的重力载荷、动力载荷和惯性力载荷。

18.4.2 罐体支座应按深冷容器的型式、直径、高度和所承受的载荷选择合适的支座型式。支座的设计按照 NB/T 47065.1、NB/T 47065.2、NB/T 47065.4 或 NB/T 47041 的规定。

18.5 吊耳

为了满足深冷容器运输及安装的要求,罐体应设置用于起吊的吊耳,并满足如下要求:

- a) 适合于空罐状态下起吊;
- b) 吊耳应具有足够的强度及刚度,设置位置合理,方便起吊;
- c) 吊耳的型式、承载能力和技术要求应符合 HG/T 21574 的规定。

18.6 结构件与罐体的连接

18.6.1 重量较轻的结构件与罐体直接相连接应满足下列要求:

- a) 结构件材料强度应不大于与其相连接的罐体材料的强度;
- b) 结构件材料厚度一般不大于与其相连接的罐体材料厚度的 0.7 倍。

18.6.2 主要受力构件宜通过垫板与罐体连接,垫板材料应与罐体材料牌号相同或垫板材料屈服强度标准值应为罐体材料屈服强度标准值的 0.8 倍~1.2 倍,且应符合下列规定:

- a) 垫板厚度不大于圆筒或封头厚度的 1.5 倍,且不小于 4 mm;
- b) 垫板与罐体的焊接接头高度应不大于所在位置的罐体材料的厚度;
- c) 结构件在垫板上的焊脚距离垫板边缘的尺寸应不小于 4 倍的垫板厚度;
- d) 垫板的边缘应为圆角形状,圆角半径应不小于 4 倍的垫板厚度;
- e) 垫板上应设置一个透气孔;
- f) 垫板与罐体应连续焊接;
- g) 垫板宜避开 A、B 类焊缝。

18.7 绝热设计

18.7.1 绝热方式和绝热结构应根据深冷容器所充装的介质特性以及对真空绝热性能的要求进行选择 and 设计。

18.7.2 充装标准大气压下沸点不高于 $-182\text{ }^{\circ}\text{C}$ 介质的罐体,不应采用可能与氧或富氧气氛发生危险性反应的绝热材料。

18.7.3 采用真空粉末绝热时,可向粉末中添加阻光剂。充装沸点不高于 $-182\text{ }^{\circ}\text{C}$ 介质的罐体不得选用铝粉等易燃阻光剂。

18.7.4 当夹层支撑的漏热量不能按经验公式计算时,宜采用有限元热分析计算。当夹层支撑材料的表观导热系数未知时,应采用试验方法确定。

18.7.5 采用高真空多层绝热的深冷容器,绝热材料的漏热量可按介质工作温度和高真空条件下的绝热材料表观比热流 $q(\text{W}/\text{m}^2)$ 乘以绝热层的表面积进行计算,且应考虑绝热层包扎松紧度、夹层间隙和夹层真空度等对绝热材料表观比热流的影响。

18.8 真空夹层中吸附剂的设置

18.8.1 真空夹层中冷侧应放置在深冷、真空状态下对极性分子气体具有较强吸附性能的低温吸附剂,如 5A 分子筛、13X 分子筛等。低温吸附剂应经活化处理后,尽可能紧贴内容器壳体底部放置。

18.8.2 采用高真空多层绝热的深冷容器,真空夹层的热侧应放置具备吸氢能力的常温吸附剂。

18.8.3 深冷容器中使用的吸附剂,应按 GB/T 31481 判断其相容性。氧化钡不宜用于储存液氧的深冷容器。

18.8.4 真空夹层内放置的吸附剂应避免集中布置,其用量一般按 5 年真空设计使用年限的要求确定。

18.9 专用结构设计

18.9.1 防超装设计

内容器应设置溢流口。几何容积不大于 10 m^3 的小型深冷容器,还应配备防过充装置。

18.9.2 排尽设计

排尽口应能使容器内的液体及可能存在于深冷液体中的固体颗粒杂物完全排尽。

18.9.3 真空封结装置

真空夹层应设置真空隔离阀或自吸式堵头等真空封结装置。真空隔离阀的漏气速率应比夹层漏气速率指标至少小一个数量级。

18.9.4 自增压器的设计

18.9.4.1 自增压器的压力等级应不低于内容器的设计压力,所选用的材料应与充装介质相容,且考虑使用工况中材料的热胀冷缩的影响。

18.9.4.2 自增压器的汽化能力应能满足用户在正常工作状态和应急调峰状态对深冷容器供液(供气)流量和内容器升压速率的要求,且考虑冷冻液化气体过冷度和环境条件对自增压器性能的影响。

18.9.4.3 自增压器的结构设计应避免液体或气体的偏流。

18.9.5 汽化器的设计

18.9.5.1 与深冷容器出液管路相连的汽化器,其压力等级应不低于内容器的设计压力,所选用的材料应与充装介质相容,且考虑使用工况中材料热胀冷缩的影响。

18.9.5.2 汽化器的设计应能满足用户在正常工作状态和应急调峰状态对供气压力、流量和气体温度的要求,且考虑冷冻液化气体过冷度和环境条件对汽化能力的影响。

18.10 管路系统的设计

18.10.1 管路系统

深冷容器一般应设置超压泄放管路、放空管路、顶部喷淋充液管路、底部充液与出液管路、增压管路、溢流管路、液位与压力测量等管路和附件,以满足泄压、放空、充液、出液、增压、溢流、压力测量、液位测量等使用要求。

18.10.2 设计方法

管路系统设计条件的确定原则、设计准则和设计计算方法按照 GB/T 20801.3 的规定。

18.10.3 夹层管路

18.10.3.1 夹层管路的设计压力应不小于内容器的设计压力。

18.10.3.2 夹层管路应具有足够的柔性以承受内容器和外壳之间的温差及管端位移引起的管路载荷,避免出现下列情况:

- a) 由于管路应力超过许用应力,导致夹层管路损坏;
- b) 管路与管座连接部位发生泄漏;
- c) 因存在过大的管路推力或弯矩导致管路元件、管座以及与管座相连接的内容器的应力超过许用应力。

18.10.3.3 夹层内管路的管子与管子、管子与管件之间的连接尽可能采用等壁厚、全截面焊透的对接接

头。管子与内容器管座的连接优先采用等壁厚、全截面焊透的对接接头,必要时也可采用承插焊结构。

18.10.3.4 顶部充液管路在内容器的出口端应设置喷淋装置,充液时尽可能使内容器被均匀冷却。如采用喷淋孔的装置,喷淋孔的截面积总和应不小于喷淋管的内截面积。

18.10.3.5 底部充液、出液管路的管径应满足充液、出液流量的要求。底部充液管口宜设置挡液板,向离心泵供液的出液管入口应设置防旋涡装置。

18.10.3.6 在夹层内的液相管应设置液封结构,液封的高度一般不小于3倍管子内径,液封管尽可能靠近内容器。

18.10.3.7 超压泄放管路应与内容器顶部气相空间直接相通,其入口应设置在内容器顶部气相空间不大于2%的位置。管路的流通面积应不小于超压泄放装置入口的流通面积,且满足内容器超压泄放的流量要求。

18.10.3.8 立式深冷容器的压力测量管路的取压口应设置在内容器上封头的顶部。卧式深冷容器的压力测量管路的取压口应设置在内容器的顶部,尽可能靠近筒体横向的中心,且应避免其他管口流体对其造成的冲击和扰动。

18.10.3.9 压差式液位测量管路应分别设置气相取压管和液相取压管。气相取压口的设置应按压力测量管路的取压口要求,也可与压力测量管路的取压口共用。液相取压口应尽可能设置在内容器最低处,且应避免底部充液、出液时流体对其造成的冲击和扰动。液相取压管路的设计应能将管路内的液体充分气化,确保测量的压差值的准确性,且不损坏液位测量装置。

18.10.4 外部管路

18.10.4.1 外部管路的阀门和充液、出液的管路接口、安全泄放装置、紧急切断装置(如有)、仪表等装置应布局合理、相对集中,便于操作、检查和维护。

18.10.4.2 外部管路系统设计压力的确定原则按照 GB/T 20801.3 的规定,并应满足下列要求:

- a) 管路(或管段)的设计压力应不小于内容器的设计压力;
- b) 两端均可关闭且有可能存留冷冻液化气体的管路,应设置管路超压泄放装置,其整定压力不超过管路设计压力的1.5倍;
- c) 未设置管路超压泄放装置或可能发生与超压泄放装置隔离、堵塞的管路,其设计压力应不小于管路两端阀门切断时或介质不流动时介质可能达到的最大饱和蒸气压;
- d) 与离心泵出口相连的管路的设计压力应不小于泵出口被关闭时的压力;
- e) 与工艺管道相连的管路的设计压力应不低于工艺管道的设计压力。

18.10.4.3 管子与管件的公称压力等级应不小于管路设计压力,且所有的管路应在承受4倍管路系统工作压力时不会破裂。

18.10.4.4 管路焊接接头应优先采用全焊透的对接接头型式,管路 with 仪表之间的连接可采用卡套接头或活套接头等连接方式。

18.10.4.5 管路的结构应避免因热胀冷缩、机械颤动或振动等所引起的损坏,必要时应考虑设置补偿结构和管路支撑与紧固装置。

18.10.4.6 管路中法兰组件的压力等级应与管路的压力等级相匹配。

18.10.4.7 管路的阀门应标志介质的流向,截止阀应标明开启和关闭方向。每只阀门和仪表应带一个标牌,在标牌上标明其在流程图中的代号和用途。

18.10.4.8 储存易燃、易爆介质的深冷容器,排放气体的管路出口应汇总集中排放,气体排放口应装设导管。

18.10.4.9 充装管路的充装口还应配置合适的阀门和装卸接头,装卸接头应带有防尘盖。装卸接头可按用户的要求配置防错装的快速连接接头。

18.10.4.10 自增压的进液管路和气体回流管路应与自增压器的汽化能力及其压力相匹配,尽量减少其流体阻力,且避免自增压的气体回路形成气阻。

附 录 A
(规范性附录)
风险评估报告

A.1 总则

A.1.1 本附录规定了风险评估报告的基本要求。

A.1.2 设计单位应根据 TSG 21、GB/T 150.1—2011 附录 F 的规定或设计委托方的要求,针对深冷容器建造阶段和使用阶段预期的工况编制风险评估报告。风险评估报告是设计的重要依据。

A.1.3 设计单位应充分考虑深冷容器的结构特点、绝热方式、制造工艺和各种工况条件下可能产生的失效模式,在材料选择、结构设计、制造检验和使用要求等方面提出安全防护措施,防止可能发生的失效。

A.2 制定原则和程序

A.2.1 设计阶段的风险评估是设计者针对产品设计阶段、制造阶段和使用阶段预期的失效模式进行的危害识别和风险控制,说明应采取的技术措施和依据。

A.2.2 设计阶段风险评估按以下程序进行:

- a) 根据设计委托方的设计条件和其他设计输入信息(如设计任务书等),确定深冷容器的各种使用工况;
- b) 根据深冷容器的充装介质、环境因素、操作条件等进行危害识别,确定可能发生的危害及其后果;
- c) 针对可能发生的危害和相应的失效模式,说明应采取的安全防护措施和依据;
- d) 形成完整的风险评估报告。

A.3 风险评估报告内容

风险评估报告至少应包括如下内容:

- a) 深冷容器的基本设计参数:工作条件(如工作压力、工作温度、腐蚀环境等)、充装介质(如编号、名称、危害特性等)、结构特征和制造工艺(如内容器是否采用应变强化、绝热方式、夹层支撑和罐体支座型式)、材料等;
- b) 所有可能工况条件的描述,至少应考虑:内容器应变强化处理(如采用)、内容器冷冲击试验(如设计委托方要求时)、夹层充填绝热材料、夹层加热抽真空、空罐运输、吊装、热罐首次充液、正常充液与储存冷冻液化气体、增压、对外供液或供气、低温性能型式试验等工况;
- c) 设计阶段时,应考虑所有工况条件下可能发生的失效模式,如内容器或外壳的韧性断裂或脆性断裂、局部过度变形、循环载荷引起的疲劳、超量变形引起的管接头泄漏、介质对壳体的腐蚀、夹层真空失效、吸附剂失效等;
- d) 对标准、安全技术规范或规范性文件已经有规定的失效模式,说明采用的条款;
- e) 对标准、安全技术规范或规范性文件没有规定的失效模式,说明设计中载荷、安全系数和相应设计计算方法的选取依据;
- f) 提出针对介质少量泄漏、大量涌出和爆炸状况下如何处置的措施;
- g) 根据可能发生的事故情况,规定合适的操作人员的防护装备和防护措施;
- h) 风险评估报告应具有与深冷容器设计总图一致的签署。

附 录 B
(资料性附录)
常见冷冻液化气体热力学数据

B.1 R728(氮)在饱和状态下热力学数据见表 B.1。

表 B.1 R728(氮)在饱和状态下热力学数据

温度 K	压力 MPa	蒸气比体积 m ³ /kg	液体密度 kg/m ³	液体比焓 kJ/kg	蒸气比焓 kJ/kg	液体比熵 kJ/(kg·K)	蒸气比熵 kJ/(kg·K)
63.15 ^a	0.012 53	1.481 7	867.78	—150.45	64.739	2.427 1	5.838 1
64	0.014 612	1.286 2	864.59	—148.78	65.552	2.453 4	5.805 7
65	0.017 418	1.094 2	860.78	—146.79	66.498	2.484 1	5.768 8
66	0.020 641	0.936 08	856.9	—144.79	67.433	2.514 6	5.733 4
67	0.024 323	0.804 98	852.96	—142.77	68.357	2.544 9	5.699 2
68	0.028 509	0.695 69	848.96	—140.75	69.27	2.574 8	5.666 4
69	0.033 246	0.604 06	844.9	—138.71	70.17	2.604 5	5.634 8
70	0.038 584	0.526 85	840.77	—136.67	71.058	2.633 8	5.604 2
71	0.044 572	0.461 46	836.58	—134.62	71.931	2.662 7	5.574 8
72	0.051 265	0.405 81	832.33	—132.57	72.791	2.691 3	5.546 3
73	0.058 715	0.358 24	828.02	—130.51	73.635	2.719 6	5.518 8
74	0.066 979	0.317 39	823.65	—128.45	74.463	2.747 5	5.492 2
75	0.076 116	0.282 17	819.22	—126.39	75.275	2.775	5.466 4
76	0.086 183	0.251 68	814.74	—124.32	76.07	2.802 2	5.441 4
77	0.097 241	0.225 19	810.2	—122.25	76.847	2.829 1	5.417 2
77.35 ^b	0.101 325	0.216 8	808.61	—121.53	77.113	2.838 4	5.409
78	0.109 35	0.202 08	805.6	—120.18	77.606	2.855 7	5.393 7
79	0.122 58	0.181 85	800.95	—118.1	78.345	2.881 9	5.370 8
80	0.136 99	0.164 09	796.24	—116.02	79.065	2.907 8	5.348 6
81	0.152 64	0.148 44	791.48	—113.94	79.763	2.933 4	5.326 9
82	0.169 6	0.134 61	786.66	—111.85	80.44	2.958 8	5.305 8
83	0.187 94	0.122 35	781.79	—109.76	81.095	2.983 9	5.285 2
84	0.207 73	0.111 46	776.86	—107.66	81.726	3.008 7	5.265 1
85	0.229 03	0.101 74	771.87	—105.56	82.334	3.033 3	5.245 5
86	0.251 92	0.093 06	766.82	—103.45	82.917	3.057 6	5.226 3
87	0.276 46	0.085 27	761.71	—101.33	83.474	3.081 8	5.207 4
88	0.302 72	0.078 28	756.54	—99.2	84.005	3.105 7	5.189
89	0.330 78	0.071 99	751.3	—97.062	84.508	3.129 4	5.170 9

表 B.1 (续)

温度 K	压力 MPa	蒸气比体积 m ³ /kg	液体密度 kg/m ³	液体比焓 kJ/kg	蒸气比焓 kJ/kg	液体比熵 kJ/(kg·K)	蒸气比熵 kJ/(kg·K)
90	0.360 71	0.066 31	745.99	—94.914	84.982	3.153	5.153 1
91	0.392 58	0.061 17	740.62	—92.756	85.428	3.176 3	5.135 6
92	0.426 46	0.056 51	735.18	—90.585	85.842	3.199 6	5.118 3
93	0.462 42	0.052 28	729.66	—88.401	86.225	3.222 6	5.101 4
94	0.500 55	0.048 43	724.06	—86.203	86.575	3.245 6	5.084 6
95	0.540 9	0.044 91	718.38	—83.991	86.89	3.268 4	5.068
96	0.583 57	0.041 7	712.62	—81.765	87.17	3.291 1	5.051 6
97	0.628 62	0.038 76	706.77	—79.517	87.413	3.313 7	5.035 4
98	0.676 14	0.036 07	700.83	—77.253	87.616	3.336 3	5.019 2
99	0.726 19	0.033 59	694.79	—74.97	87.78	3.358 7	5.003 2
100	0.778 86	0.031 32	688.79	—72.666	87.901	3.381 1	4.987 3
101	0.834 22	0.029 21	682.4	—70.34	87.977	3.403 4	4.971 4
102	0.892 35	0.027 28	676.04	—67.99	88.007	3.425 7	4.955 5
103	0.953 34	0.025 48	669.55	—65.616	87.988	3.448	4.939 6
104	1.017 3	0.023 82	662.94	—63.215	87.917	3.470 3	4.923 7
105	1.084 2	0.022 28	656.2	—60.785	87.791	3.492 6	4.907 8
106	1.154 2	0.020 85	649.31	—58.324	87.607	3.514 9	4.891 7
107	1.227 5	0.019 51	642.26	—55.83	87.361	3.537 2	4.875 5
108	1.304	0.018 27	635.04	—53.30	87.048	3.559 7	4.859 2
109	1.383 8	0.017 11	627.64	—50.731	86.664	3.582 2	4.842 6
110	1.467 1	0.016 02	620.04	—48.119	86.203	3.608 4	4.825 8
111	1.554	0.015	612.21	—45.461	85.659	3.627 6	4.808 7
112	1.644 5	0.014 05	604.14	—42.751	85.023	3.650 6	4.791 2
113	1.738 8	0.013 15	595.8	—39.984	84.288	3.673 8	4.773 3
114	1.836 9	0.012 3	587.15	—37.152	83.441	3.697 2	4.754 9
115	1.939	0.011 5	578.14	—34.247	82.471	3.721 1	4.735 8
116	2.045 2	0.010 74	568.72	—31.258	81.36	3.745 4	4.715 9
117	2.155 5	0.010 02	558.82	—28.17	80.088	3.770 2	4.695 2
118	2.270 3	0.009 331	548.35	—24.967	78.629	3.795 7	4.673 3
119	2.389 5	0.008 671	537.17	—21.624	76.948	3.822	4.650 1
120	2.513 3	0.008 035	525.12	—18.105	74.996	3.849 5	4.625 1
121	2.642	0.007 417	511.92	—14.362	72.702	3.878 5	4.597 8
122	2.775 7	0.006 808	497.15	—10.316	69.957	3.909 7	4.567 4

表 B.1 (续)

温度 K	压力 MPa	蒸气比体积 m ³ /kg	液体密度 kg/m ³	液体比焓 kJ/kg	蒸气比焓 kJ/kg	液体比熵 kJ/(kg·K)	蒸气比熵 kJ/(kg·K)
123	2.914 7	0.006 198	480.11	—5.829	66.576	3.944	4.532 4
124	3.059 2	0.005 566	459.33	—0.627	62.194	3.983 6	4.490 1
125	3.209 9	0.004 863	431.03	6.015	55.882	4.034 2	4.433 1
126.20 ^c	3.4	0.003 184	314	30.7	30.7	4.227	4.227
注：以上数据摘自 American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc. <1997 ASHRAE Handbook, Fundamentals> Atlanta, GA, U.S.A. ASHRAE 1997。							
^a 三相点。							
^b 沸点。							
^c 临界点。							

B.2 R732(氧)在饱和状态下热力学数据见表 B.2。

表 B.2 R732(氧)在饱和状态下热力学数据

温度 K	压力 MPa	蒸气比体积 m ³ /kg	液体密度 kg/m ³	液体比焓 kJ/kg	蒸气比焓 kJ/kg	液体比熵 kJ/(kg·K)	蒸气比熵 kJ/(kg·K)
54.36 ^a	0.000 15	96.543	1 306.1	—193.61	49.11	2.088 7	6.553 7
55	0.000 18	79.987	1 303.5	—192.55	49.68	2.108 3	6.512 4
60	0.000 73	21.462	1 282	—184.19	54.19	2.253 7	6.226 6
65	0.002 33	7.219	1 259.7	—175.81	58.66	2.387 8	5.995
70	0.006 26	2.892 5	1 237	—167.42	63.09	2.512 1	5.805 1
75	0.014 55	1.329 3	1 213.9	—159.02	67.45	2.627 9	5.647 6
80	0.030 12	0.680 9	1 190.5	—150.61	71.69	2.736 3	5.515 1
85	0.056 83	0.380 47	1 166.6	—142.18	75.75	2.838 3	5.402 1
90	0.099 35	0.227 94	1 142.1	—133.69	79.55	2.934 9	5.304 2
90.19 ^b	0.101 32	0.223 86	1 141.2	—133.37	79.69	2.938 4	5.300 8
91	0.110 22	0.207 22	1 137.1	—131.98	80.276	2.957 1	5.289 6
92	0.121 97	0.188 79	1 132.1	—130.27	80.987	2.975 6	5.271 9
93	0.134 67	0.172 35	1 127.1	—128.56	81.685	2.994 0	5.254 7
94	0.148 36	0.157 66	1 122.0	—126.84	82.369	3.012 3	5.237 9
95	0.163 08	0.144 50	1 116.9	—125.12	83.039	3.030 3	5.221 5
96	0.178 89	0.132 68	1 111.8	—123.40	83.694	3.048 2	5.205 4
97	0.195 84	0.122 05	1 106.6	—121.84	84.333	3.066 0	5.189 7
98	0.213 97	0.112 45	1 101.4	—120.13	84.957	3.083 6	5.174 3
99	0.233 34	0.103 78	1 096.2	—118.41	85.564	3.101 1	5.159 3
100	0.254 00	0.095 925	1 090.9	—116.68	86.155	3.118 4	5.144 5

表 B.2 (续)

温度 K	压力 MPa	蒸气比体积 m ³ /kg	液体密度 kg/m ³	液体比焓 kJ/kg	蒸气比焓 kJ/kg	液体比熵 kJ/(kg·K)	蒸气比熵 kJ/(kg·K)
101	0.276 01	0.088 798	1 085.6	—114.95	86.729	3.135 7	5.130 0
102	0.299 41	0.082 320	1 080.2	—113.22	87.286	3.152 7	5.115 8
103	0.324 26	0.076 420	1 074.8	—111.48	87.824	3.169 7	5.101 8
104	0.350 62	0.071 036	1 069.3	—109.74	88.344	3.186 6	5.088 1
105	0.378 53	0.066 116	1 063.8	—107.99	88.846	3.203 3	5.074 6
106	0.408 06	0.061 613	1 058.2	—106.24	89.328	3.220 0	5.061 3
107	0.439 25	0.057 483	1 052.6	—104.48	89.790	3.236 5	5.048 2
108	0.472 17	0.053 691	1 047.0	—102.71	90.233	3.252 9	5.035 3
109	0.506 87	0.050 203	1 041.3	—100.94	90.654	3.269 3	5.022 6
110	0.543 40	0.046 990	1 035.5	—99.165	91.054	3.285 5	5.010 0
111	0.581 83	0.044 026	1 029.6	—97.381	91.433	3.301 7	4.997 7
112	0.622 20	0.041 288	1 023.7	—95.589	91.789	3.317 8	4.985 4
113	0.664 58	0.038 756	1 017.8	—93.790	92.122	3.333 8	4.973 3
114	0.709 02	0.036 411	1 011.7	—91.983	92.432	3.349 8	4.961 3
115	0.755 59	0.034 236	1 005.6	—90.168	92.717	3.365 7	4.949 5
116	0.804 33	0.032 216	999.42	—88.345	92.978	3.381 5	4.937 7
117	0.855 32	0.030 338	993.16	—86.512	93.212	3.397 3	4.926 0
118	0.908 59	0.028 589	986.81	—84.669	93.421	3.413 0	4.914 5
119	0.964 23	0.026 960	980.38	—82.817	93.601	3.428 7	4.902 9
120	1.022 3	0.025 440	973.85	—80.954	93.754	3.444 4	4.891 5
121	1.082 8	0.024 020	967.24	—79.080	93.877	3.460 0	4.880 1
122	1.145 9	0.022 692	960.52	—77.195	93.970	3.475 6	4.868 8
123	1.211 5	0.021 449	953.70	—75.297	94.032	3.491 1	4.857 4
124	1.279 8	0.020 284	946.77	—73.386	94.061	3.506 7	4.846 1
125	1.350 9	0.019 190	939.72	—71.461	94.056	3.522 2	4.834 8
126	1.424 7	0.018 164	932.55	—69.522	94.015	3.537 8	4.823 5
127	1.501 4	0.017 198	925.25	—67.567	93.938	3.553 3	4.812 2
128	1.580 9	0.016 290	917.81	—65.596	93.822	3.568 9	4.800 9
129	1.663 5	0.015 434	910.22	—63.608	93.665	3.584 5	4.789 5
130	1.749 1	0.014 626	902.48	—61.600	93.466	3.600 1	4.778 0
132	1.929 6	0.013 144	886.48	—55.348	92.931	3.631 5	4.754 8
134	2.123 2	0.011 816	869.70	—50.916	92.195	3.663 1	4.731 1
136	2.330 3	0.010 623	852.02	—46.347	91.232	3.695 2	4.706 8

表 B.2 (续)

温度 K	压力 MPa	蒸气比体积 m ³ /kg	液体密度 kg/m ³	液体比焓 kJ/kg	蒸气比焓 kJ/kg	液体比熵 kJ/(kg·K)	蒸气比熵 kJ/(kg·K)
138	2.551 6	0.009 544 5	833.28	—41.617	90.006	3.727 8	4.681 6
140	2.787 8	0.008 56	813.2	—36.70	88.47	3.757 7	4.651 8
145	3.447 8	0.006 46	755.1	—23.22	82.83	3.846 4	4.577 7
150	4.218 6	0.004 65	675.5	—6.67	72.56	3.951 2	4.479 4
154.58 ^c	5.043	0.002 29	436.1	32.42	32.42	4.197 4	4.197 4
注：以上数据摘自 American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc. <1997 ASHRAE Handbook, Fundamentals> Atlanta, GA, U.S.A. ASHRAE 1997。							
^a 三相点。							
^b 沸点。							
^c 临界点。							

B.3 R740(氟)在饱和状态下热力学数据见表 B.3。

表 B.3 R740(氟)在饱和状态下热力学数据

温度 K	压力 MPa	蒸气比体积 m ³ /kg	液体密度 kg/m ³	液体比焓 kJ/kg	蒸气比焓 kJ/kg	液体比熵 kJ/(kg·K)	蒸气比熵 kJ/(kg·K)
83.80 ^a	0.069	0.246 5	1 417.2	—121.1	42.59	1.331 4	3.284 1
84	0.070 5	0.241 5	1 416	—120.8	42.65	1.333 9	3.280 3
86	0.088 2	0.196 7	1 404.1	—118.7	43.29	1.359 1	3.242 6
87.29 ^b	0.101 3	0.173 1	1 396.3	—117.3	43.69	1.375 1	3.219 3
88	0.109 1	0.161 7	1 392	—116.5	43.91	1.383 8	3.206 9
90	0.133 6	0.134 2	1 379.7	—114.4	44.5	1.408 1	3.173
92	0.162 1	0.112 3	1 367.2	—112.2	45.06	1.432	3.140 8
94	0.195	0.094 7	1 354.5	—109.9	45.59	1.455 5	3.11
96	0.232 7	0.080 5	1 341.6	—107.7	46.08	1.478 8	3.080 7
98	0.275 5	0.068 8	1 328.4	—105.4	46.55	1.501 8	3.052 6
100	0.324	0.059 1	1 315	—103.2	46.97	1.524 5	3.025 7
102	0.378 5	0.051 1	1 301.3	—100.9	47.35	1.546 9	2.999 8
104	0.439 5	0.044 5	1 287.4	—98.51	47.68	1.569 1	2.974 8
106	0.507 4	0.038 8	1 273.1	—96.15	47.96	1.591 2	2.950 7
108	0.582 7	0.034	1 258.6	—93.75	48.19	1.613	2.927 2
110	0.665 7	0.03	1 243.7	—91.32	48.35	1.634 7	2.904 4
112	0.757	0.026 5	1 228.5	—88.85	48.44	1.656 2	2.882 1
114	0.857 1	0.023 5	1 212.9	—86.35	48.46	1.677 7	2.860 2

表 B.3 (续)

温度 K	压力 MPa	蒸气比体积 m ³ /kg	液体密度 kg/m ³	液体比焓 kJ/kg	蒸气比焓 kJ/kg	液体比熵 kJ/(kg·K)	蒸气比熵 kJ/(kg·K)
116	0.966 2	0.020 9	1 196.9	—83.80	48.4	1.699	2.838 7
118	1.085	0.018 6	1 180.4	—81.21	48.25	1.720 4	2.817 4
120	1.213 9	0.016 6	1 163.4	—78.56	48.01	1.741 7	2.796 4
125	1.583 5	0.012 6	1 118.4	—71.69	46.92	1.795 1	2.744
130	2.027	0.009 6	1 068.5	—64.33	45.01	1.849 6	2.690 7
135	2.553	0.007 4	1 011.5	—56.29	41.97	1.906 5	2.634 4
140	3.171	0.005 6	942.4	—47.15	37.26	1.968 4	2.571 3
145	3.892 9	0.004 1	849.1	—35.87	29.57	2.041 8	2.493 1
150.66 ^c	4.86	0.001 9	530.9	—3.56	—3.56	2.25	2.25
注：以上数据摘自 American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc. <1997 ASHRAE Handbook, Fundamentals> Atlanta, GA, U.S.A. ASHRAE 1997。							
^a 三相点。 ^b 沸点。 ^c 临界点。							

B.4 R50(甲烷)在饱和状态下热力学数据见表 B.4。

表 B.4 R50(甲烷)在饱和状态下热力学数据

温度 K	压力 MPa	蒸气比体积 m ³ /kg	液体密度 kg/m ³	液体比焓 kJ/kg	蒸气比焓 kJ/kg	液体比熵 kJ/(kg·K)	蒸气比熵 kJ/(kg·K)
90.68 ^a	0.011 719	3.978 1	451.23	—357.68	185.75	4.289 4	10.282 3
92	0.013 853	3.411 2	449.52	—353.36	188.31	4.336 7	10.224 4
94	0.017 679	2.726 8	446.90	—346.76	192.16	4.407 5	10.140 8
96	0.022 314	2.202 2	444.26	—340.10	195.97	4.477 5	10.061 6
98	0.027 877	1.795 4	441.59	—333.39	199.73	4.546 6	9.986 6
100	0.034 495	1.476 9	438.89	—326.63	203.44	4.614 7	9.915 4
102	0.042 302	1.225 0	436.15	—319.84	207.10	4.681 8	9.847 8
104	0.051 441	1.024 0	433.39	—313.00	210.70	4.748 0	9.783 5
106	0.062 063	0.862 2	430.59	—306.13	214.23	4.813 2	9.722 3
108	0.074 324	0.730 8	427.76	—299.22	217.70	4.877 5	9.663 8
110	0.088 389	0.623 5	424.89	—292.28	221.11	4.940 8	9.608 0
111.63 ^b	0.101 325	0.550 0	422.53	—286.59	223.83	4.991 9	9.564 3
112	0.104 43	0.535 0	422.00	—285.31	224.44	5.003 3	9.554 6
113	0.113 24	0.496 7	420.53	—281.81	226.08	5.034 2	9.528 8
114	0.122 61	0.326 5	419.06	—278.30	227.69	5.064 9	9.503 5

表 B.4 (续)

温度 K	压力 MPa	蒸气比体积 m ³ /kg	液体密度 kg/m ³	液体比焓 kJ/kg	蒸气比焓 kJ/kg	液体比熵 kJ/(kg·K)	蒸气比熵 kJ/(kg·K)
115	0.132 57	0.429 7	417.58	−274.79	229.29	5.095 4	9.478 7
116	0.143 13	0.400 5	416.10	−271.26	230.87	5.125 7	9.454 5
117	0.154 32	0.373 7	414.60	−267.73	232.43	5.155 8	9.430 7
118	0.166 16	0.349 1	413.09	−264.33	233.96	5.185 8	9.407 3
119	0.178 67	0.326 5	411.57	−242.73	235.47	5.215 5	9.384 4
120	0.191 89	0.305 7	410.05	−257.07	236.97	5.245 0	9.362 0
121	0.205 83	0.286 5	408.51	−253.50	238.43	5.274 4	9.339 9
122	0.220 52	0.268 8	406.97	−249.92	239.88	5.303 5	9.318 3
123	0.235 99	0.252 4	405.41	−246.33	241.30	5.332 5	9.297 0
124	0.252 25	0.237 3	403.85	−242.73	242.69	5.361 4	9.276 0
125	0.269 33	0.223 3	402.27	−239.12	244.06	5.390 0	9.255 5
126	0.287 27	0.210 3	400.69	−235.49	245.41	5.418 5	9.235 2
127	0.306 07	0.198 2	399.09	−231.86	246.73	5.446 9	9.215 3
128	0.325 78	0.187 0	397.48	−228.21	248.02	5.475 1	9.195 7
129	0.346 41	0.176 6	395.86	−224.56	249.28	5.503 2	9.176 3
130	0.368 00	0.166 9	394.23	−220.89	250.51	5.531 1	9.157 2
131	0.390 56	0.157 8	392.58	−217.20	251.72	5.558 9	9.138 4
132	0.414 13	0.149 4	390.93	−213.51	252.90	5.586 5	9.119 9
133	0.438 72	0.141 5	389.26	−209.80	254.04	5.614 0	9.101 6
134	0.464 37	0.134 1	387.57	−206.08	255.16	5.641 4	9.083 5
135	0.491 11	0.127 3	385.87	−202.34	256.24	5.668 7	9.065 6
136	0.518 95	0.120 8	384.16	−198.58	257.29	5.695 9	9.047 6
137	0.547 93	0.114 7	382.43	−194.81	258.31	5.722 9	9.030 4
138	0.578 07	0.109 0	380.69	−191.03	259.29	5.749 9	9.013 1
139	0.609 41	0.103 6	378.93	−187.22	260.24	5.776 8	8.995 9
140	0.641 96	0.098 51	377.15	−183.40	261.15	5.803 6	8.978 9
142	0.710 82	0.089 25	373.54	−175.70	262.85	5.856 9	8.945 3
144	0.784 88	0.081 02	369.85	−167.92	264.41	5.909 9	8.912 1
146	0.864 36	0.073 69	366.08	−160.05	265.79	5.962 7	8.879 4
148	0.949 48	0.067 13	362.22	−152.09	267.00	6.015 2	8.846 9
150	1.040 50	0.061 25	358.26	−144.02	268.02	6.067 7	8.814 6
152	1.137 60	0.055 96	354.19	−135.84	268.84	6.120 0	8.782 4
154	1.241 00	0.051 19	350.01	−127.54	269.45	6.172 4	8.750 2



中华人民共和国国家标准

GB/T 18442.4—2019
代替 GB/T 18442.4—2011

固定式真空绝热深冷压力容器 第 4 部分：制造

Static vacuum insulated cryogenic pressure vessels—
Part 4: Fabrication

2019-12-10 发布

2019-12-10 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 I

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 一般要求 2

5 材料复验、分割与标志移植 2

6 冷、热加工成型与组装 2

7 焊接 4

8 无损检测 5

9 热处理 7

10 清洁要求 7

11 组装要求 7

12 吸附剂的安装 8

13 管路制造 8

14 氦质谱检漏 9

15 罐体涂敷 9

16 标志标识 9

17 出厂资料 9

18 封存、装运 10



前 言

GB/T 18442《固定式真空绝热深冷压力容器》分为以下 7 个部分：

- 第 1 部分：总则；
- 第 2 部分：材料；
- 第 3 部分：设计；
- 第 4 部分：制造；
- 第 5 部分：检验与试验；
- 第 6 部分：安全防护；
- 第 7 部分：内容器应变强化技术规定。

本部分为 GB/T 18442 的第 4 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/T 18442.4—2011《固定式真空绝热深冷压力容器 第 4 部分：制造》，与 GB/T 18442.4—2011 相比，除编辑性修改外主要技术变化如下：

- 修改了一般要求；
- 删除了焊接接头分类内容，将其移至 GB/T 18442 的第 1 部分；
- 增加了材料复验的内容；
- 删除了冷成型的钢板加工变形率计算公式，改为直接引用 GB/T 150.4；
- 增加了冷弯成型的奥氏体不锈钢管子的铁素体测量值指标；
- 修改了缺陷修磨、补焊以及封头等制造技术要求；
- 增加了内容器奥氏体不锈钢封头成型后的铁素体测量值的规定；
- 简化了 A、B 类焊接接头对口错边量、棱角以及壳体圆度的要求，改为直接引用 GB/T 150.4；
- 增加了罐体和支座的组装要求；
- 修改了圆筒与罐体的焊接接头制造要求；
- 修改了焊接要求，对 A、B 类焊接接头的焊缝余高要求直接引用 GB/T 150.4；
- 修改了产品焊接试件的制备要求；
- 增加了无损检测方法的选择和 CR、DR、TOFD 等检测方法，完善了内容器和外壳的无损检测技术要求，且增加了无损检测记录、资料和报告要求；
- 增加了热处理要求；
- 细化了清洁要求和组装要求；
- 增加了吸附剂的安装要求；
- 删除了管路制造中的管路焊接结构等设计要求，将其移至 GB/T 18442 的第 3 部分；
- 增加了外部管路的无损检测规定、耐压试验要求；
- 删除了安全附件安装要求，将其移至 GB/T 18442 的第 6 部分；
- 修改了标志与标识、出厂文件、封存和装运的要求。

本部分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。

本部分起草单位：张家港中集圣达因低温装备有限公司、上海市气体工业协会、南通中集能源装备有限公司、查特深冷工程系统(常州)有限公司、中国特种设备检测研究院、江苏省特种设备安全监督检验研究院张家港分院、苏州圣汇装备有限公司、荆门宏图特种飞行器制造有限公司、上海华谊集团装备工程有限公司。

GB/T 18442.4—2019

本部分主要起草人：罗晓钟、周伟明、钱红华、滕俊华、陈来生、杨坤、陈朝晖、徐萌、张连伟、肖学文、魏勇彪。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

——GB/T 18442.4—2011；

——GB 18442—2001。



固定式真空绝热深冷压力容器

第4部分：制造

1 范围

GB/T 18442的本部分规定了固定式真空绝热深冷压力容器(以下简称深冷容器)制造中的材料复验、加工成型、焊接、无损检测、清洁、组装、标志标识、出厂资料等基本要求。

本部分适用于同时满足以下条件的深冷容器：

- a) 内容器工作压力不小于 0.1 MPa；
- b) 几何容积不小于 1 m³；
- c) 绝热方式为真空粉末绝热、真空复合绝热或高真空多层绝热；
- d) 储存介质为标准沸点不低於-196℃的冷冻液化气体。

本部分不适用于下列范围的深冷容器：

- a) 内容器和外壳材料为有色金属或非金属的；
- b) 球形结构的；
- c) 堆积绝热方式的；
- d) 移动式的；
- e) 储存标准沸点低於-196℃冷冻液化气体介质的；
- f) 储存介质按 GB 12268 规定为毒性气体的；
- g) 国防军事装备等有特殊要求的。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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—2011(所有部分) 压力容器

GB/T 1804—2000 一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差

GB/T 9969 工业产品使用说明书 总则

GB/T 18442.1 固定式真空绝热深冷压力容器 第1部分：总则

GB/T 18442.3 固定式真空绝热深冷压力容器 第3部分：设计

GB/T 25198 压力容器封头

JB/T 4711 压力容器涂敷与运输包装

JB/T 6896 空气分离设备表面清洁度

NB/T 47013.1 承压设备无损检测 第1部分：通用要求

NB/T 47013.2 承压设备无损检测 第2部分：射线检测

NB/T 47013.3 承压设备无损检测 第3部分：超声检测

NB/T 47013.4 承压设备无损检测 第4部分：磁粉检测

NB/T 47013.5 承压设备无损检测 第5部分：渗透检测

NB/T 47013.10 承压设备无损检测 第10部分：衍射时差法超声检测

NB/T 47013.11 承压设备无损检测 第11部分：X射线数字成像检测

NB/T 47013.14 承压设备无损检测 第 14 部分:X 射线计算机辅助成像检测
NB/T 47014 承压设备焊接工艺评定
NB/T 47016 承压设备产品焊接试件的力学性能检验
NB/T 47041 塔式容器
NB/T 47065.1 容器支座 第 1 部分:鞍式支座
NB/T 47065.2 容器支座 第 2 部分:腿式支座
NB/T 47065.4 容器支座 第 4 部分:支承式支座
TSG 21 固定式压力容器安全技术监察规程

3 术语和定义

GB/T 150、GB/T 18442.1、GB/T 18442.3 界定的术语和定义适用于本文件。

4 一般要求

- 4.1 深冷容器的制造应符合 TSG 21、GB/T 150.4、本部分以及经规定程序批准的设计文件的要求。
- 4.2 受压元件(封头、锻件等)以及安全附件、仪表、装卸附件等为外购、外协件时,深冷容器制造单位应保证外购、外协件的质量满足设计文件及本部分的要求,且经检验合格后方可使用。
- 4.3 机械加工表面和非机械加工表面的线性尺寸的极限偏差,分别按 GB/T 1804—2000 中的 m 级和 c 级的要求。
- 4.4 深冷容器上的各连接管路、零部件和附件安装应牢固可靠,外表面应平整美观,无压伤、裂纹、焊渣或漆层脱落等缺陷。阀门和仪表等应安装在便于操作或观察的位置。

5 材料复验、分割与标志移植

- 5.1 材料的复验应符合 TSG 21、GB/T 150.4 和设计文件的规定。
- 5.2 制造受压元件的材料应有可追溯的标志。在制造过程中,如原有标志被裁掉或材料分割时,制造单位应在材料分割前完成标志移植。
- 5.3 材料分割可采用冷切割、热切割或其他适当的方法。当采用热切割方法分割材料时,应清除表面熔渣和影响制造质量的表面层。
- 5.4 内容器受压元件不应采用硬印作为材料移植标记、焊工标记及其他标记。

6 冷、热加工成型与组装

6.1 成型

- 6.1.1 筒体和封头可采用冷、热成型方法加工成所需形状。
- 6.1.2 奥氏体不锈钢筒体和封头,采用冷加工成型后变形率超过 GB/T 150.4 规定的控制指标时,应按照相应的材料标准进行固溶处理。
- 6.1.3 与深冷介质接触的冷弯成型的奥氏体不锈钢管子,其成型后的铁素体测量值应不大于 15%。
- 6.1.4 制造单位应根据制造工艺确定加工余量,受压元件成型后的厚度应不小于设计图样标注的最小成型厚度。

6.2 表面修磨

制造过程中应避免钢板表面的机械损伤。对于尖锐伤痕以及不锈钢表面的局部伤痕、刻槽等缺陷应予以修磨,修磨的斜度最大为 1:3。修磨的深度应不大于该部位钢材厚度的 5%,且不大于 2 mm,否则应予补焊。

6.3 坡口

坡口表面质量应符合 GB/T 150.4 的规定。

6.4 封头

6.4.1 封头应符合 GB/T 25198 和设计图样的规定。

6.4.2 封头成型宜采用整体成型,并符合下列规定:

- 先拼板后成型封头的拼接焊缝一般不超过 3 条,拼板的宽度应不小于 300 mm。拼接焊缝的内表面以及影响成型质量的拼接焊缝的外表面,应在成型前打磨至与母材齐平。
- 用带间隙的全尺寸的内样板检查封头内表面的形状偏差时(见图 1),缩进尺寸为 $3\% D_i \sim 5\% D_i$,其最大形状偏差外凸应不大于 $1.25\% D_i$,内凹应不大于 $0.625\% D_i$ 。检查时应使样板垂直于待测表面。
- 内容器封头应采用适当的成型工艺,避免封头过渡段和直边段出现裂纹。当采用温成型工艺时,应避开奥氏体型不锈钢的敏化温度区。
- 内容器奥氏体不锈钢封头成型后其过渡段和直边段的铁素体测量值应不大于 15%。
- 封头直边部分应不存在纵向皱折。

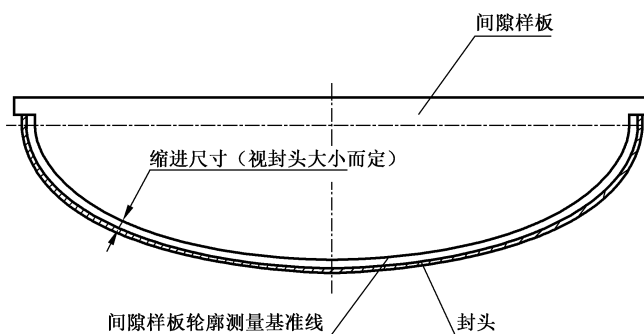


图 1 凸形封头的形状偏差检查

6.5 圆筒与罐体

6.5.1 A、B 类焊接接头对口错边量以及在焊接接头环向、轴向形成的棱角应符合 GB/T 150.4 的规定。

6.5.2 不等厚钢材的 B 类焊接接头以及圆筒与球形封头相连的 A 类焊接接头的对接要求应符合 GB/T 150.4 的规定。

6.5.3 圆筒直线度允差应符合 GB/T 150.4 的规定。

6.5.4 组装时,罐体上焊接接头的布置应满足下列要求:

- 组装圆筒中,任何单个筒节的长度应不小于 300 mm,环向拼板长度应不小于 500 mm;
- 相邻筒节 A 类接头间外圆弧长应大于钢材厚度的 3 倍,且不小于 200 mm;
- 封头 A 类拼接接头、与封头相邻筒节的 A 类接头相互间的外圆弧长均应大于钢材厚度的 3 倍,且不小于 200 mm;

- d) 不应采用十字焊缝,焊接接头宜避开开孔位置;
- e) 罐体上凡被补强圈、垫板等覆盖的焊缝,均应在覆盖前打磨至与母材齐平;
- f) 内容器附件和内容器间的焊接应尽量避免开内容器上的 A、B 类焊接接头,且距离环焊缝边缘不小于 100 mm;当与纵焊缝交叉时,应开槽避让。

6.5.5 内容器、外壳组焊完成后,应分别按 GB/T 150.4—2011 中 6.5.10 和 6.5.11 的要求检查壳体的直径和圆度。

6.6 其他组装要求

- 6.6.1 罐体的主要几何尺寸、管口方位应符合设计图样的要求。
- 6.6.2 腿式支座的制造和装配要求按照 NB/T 47065.2 的规定。
- 6.6.3 支承式支座的制造和装配要求按照 NB/T 47065.4 的规定。
- 6.6.4 鞍式支座的制造和装配要求按照 NB/T 47065.1 的规定。
- 6.6.5 裙座的制造和装配要求按照 NB/T 47041 的规定。

7 焊接

7.1 焊前准备和施焊环境

焊前准备和施焊环境应符合 GB/T 150.4—2011 中 7.1 的规定。

7.2 焊接工艺

- 7.2.1 深冷容器应按 NB/T 47014 进行焊接工艺评定,且符合 TSG 21 和 GB/T 150.4 的规定。
- 7.2.2 当焊接结构受压元件用境外牌号材料(含填充材料)时,制造单位在首次使用前应按 NB/T 47014 进行焊接工艺评定。
- 7.2.3 焊接工艺评定应包括焊缝和热影响区的低温夏比(V 形缺口)冲击试验。冲击试验的取样方法,按 NB/T 47014 的要求确定。冲击试验温度应不高于设计图样要求的试验温度。当焊缝两侧母材具有不同冲击试验要求时,低温冲击吸收能量按两侧母材抗拉强度的较低者符合 GB/T 150.2 或设计图样的要求。接头的拉伸和弯曲性能按两侧母材中要求的较低者。
- 7.2.4 受压元件之间或受压元件与非受压元件组装时的定位焊,若保留成焊缝金属的一部分,应按受压元件的焊缝要求施焊。
- 7.2.5 罐体的焊接应严格控制线能量。在焊接工艺评定所确认的范围内,宜选用较小的焊接线能量,以多道施焊为宜。
- 7.2.6 内容器主要受压元件焊缝应在含焊缝布置图的焊接记录中记录焊工代号。
- 7.2.7 焊接工艺评定技术档案应保存至该工艺评定失效为止,焊接工艺评定试样保存期不少于 5 年。

7.3 罐体焊缝表面的形状尺寸及外观要求

7.3.1 焊缝表面的形状尺寸应符合下列规定:

- a) A、B 类焊接接头的焊缝余高应符合 GB/T 150.4 的规定。
- b) C、D、E 类接头的焊脚尺寸,在图样无规定时,取焊件中较薄者的厚度。当补强圈的厚度不小于 8 mm 时,其焊脚尺寸等于补强圈厚度的 70%,且不小于 8 mm。

7.3.2 焊接接头表面质量应符合下列规定:

- a) 不应有表面裂纹、未焊透、未熔合、咬边、表面气孔、弧坑、未填满、夹渣和飞溅物等缺陷;
- b) 焊缝与母材应圆滑过渡,角焊缝的外形应凹形圆滑过渡;
- c) 按照疲劳分析设计的罐体,应去除 A、B 类焊缝的余高,使焊缝表面与母材表面平齐;

d) 其他表面质量应符合设计图样的规定。

7.3.3 临时附件的焊接应符合下列规定：

- a) 罐体上焊接的临时吊耳和拉筋的垫板等,应采用力学性能和焊接性能与罐体相同或相近的材料,并用相适应的焊材及焊接工艺进行焊接。
- b) 临时吊耳和拉筋的垫板割除后,留下的焊疤应打磨光滑,并按图样规定进行渗透检测或磁粉检测,表面应无裂纹等缺陷。打磨后的厚度应不小于该部位的设计厚度或图样规定的最小成型厚度。

7.4 焊接接头返修及母材缺陷补焊

7.4.1 应分析缺陷产生的原因,提出相应的返修或补焊方案。

7.4.2 焊接接头的返修和补焊都应进行焊接工艺评定或具有经评定合格的焊接工艺支持,施焊时应有详尽的返修或补焊记录。

7.4.3 焊缝同一部位的返修次数不宜超过2次。如超过2次,返修前应经制造单位技术负责人批准,且应将返修的次数、部位和返修情况记入产品质量证明文件。

7.4.4 返修部位应按原要求经检测合格。

7.4.5 耐压试验后进行的返修,如返修深度大于1/2壁厚,应重新进行耐压试验。

7.4.6 氦质谱检漏后需返修的,返修部位应采用合适的检验方法检测合格,且重新进行氦质谱检漏。

7.5 产品焊接试件与试样

7.5.1 凡符合以下条件之一的、有A类纵向焊接接头的内容器,应逐台制备产品焊接试件：

- a) 需经过热处理改善或恢复材料力学性能的内容器；
- b) 设计图样要求制备产品焊接试件的内容器。

7.5.2 制备产品焊接试件与试样应符合下列规定：

- a) 产品焊接试件应在内容器筒节A类纵向焊缝的延长部位与筒节同时施焊。
- b) 试件应取合格的原材料,且与内容器用材料具有相同标准、相同牌号、相同厚度和相同热处理状态。
- c) 试件应由施焊内容器的焊工,采用与施焊内容器相同的条件、过程与焊接工艺施焊。有热处理要求的内容器或部件,试件一般应随内容器或部件一起热处理。
- d) 试件的尺寸和试样的截取应符合NB/T 47016的规定。

7.5.3 试件的力学性能检验与评定应符合下列规定：

- a) 力学性能检验的试验方法、合格指标及复验要求,应符合NB/T 47016的规定；
- b) 夏比(V形缺口)冲击试验应包括焊缝金属和热影响区,试验温度为受压元件的设计温度或设计图样规定的温度；
- c) 当产品焊接试样评定结果被判为不合格时,应分析原因,采取相应措施,允许按NB/T 47016的要求重新取样进行复验。当复验结果仍达不到要求时,则该试件所代表的产品应判为不合格。

8 无损检测

8.1 无损检测方法

8.1.1 无损检测方法包括射线检测、超声检测、磁粉检测和渗透检测。射线检测应符合NB/T 47013.2、NB/T 47013.11或NB/T 47013.14的规定；超声检测应符合NB/T 47013.3或NB/T 47013.10的规定；磁粉检测应符合NB/T 47013.4的规定；渗透检测应按NB/T 47013.5的规定。

8.1.2 制造单位或无损检测机构应按设计图样要求和 NB/T 47013.1 的规定制定无损检测工艺。

8.1.3 无损检测方法的选择应满足相应的无损检测标准的规定。

8.2 无损检测方法的选择

8.2.1 内容器及外壳的 A、B 类焊接接头(内容器工艺人孔筒体与凸面受压的工艺人孔封头的合拢 B 类焊接接头和外壳的合拢 B 类焊接接头除外)、管路对接接头,应进行射线检测或超声检测。超声检测包括衍射时差法超声检测(TOFD)、可记录的脉冲反射法超声检测和不可记录的脉冲反射法超声检测。

8.2.2 当采用不可记录的脉冲反射法超声检测时,应采用射线检测或衍射时差法超声检测作为附加局部检测。

8.2.3 罐体的不锈钢焊接接头表面无损检测应采用渗透检测,碳钢或低合金钢焊接接头的表面无损检测应采用磁粉检测或渗透检测。

8.2.4 铁磁性材料制罐体焊接接头的表面无损检测应优先采用磁粉检测。

8.3 内容器无损检测比例及技术要求

8.3.1 A、B 类焊接接头应进行 100% 射线检测或超声检测。

8.3.2 工艺人孔筒体与凸面受压的工艺人孔封头的合拢 B 类焊接接头无损检测的检测方法和要求应符合设计图样的规定。

8.3.3 先拼板后成型的凸形封头上所有拼接接头还应进行 100% 表面检测。

8.3.4 内容器上 D、E 类焊接接头应进行 100% 表面检测。

8.3.5 内容器上临时吊耳和拉筋垫板割除并修磨后留下的焊疤,应进行表面检测。

8.3.6 内容器无损检测的技术要求应符合下列规定:

- a) 射线检测技术等级应不低于相应检测方法的 AB 级,其合格级别应不低于 II 级;
- b) 脉冲反射法超声检测技术等级应不低于 B 级,合格级别应不低于 I 级;
- c) 渗透检测合格级别应不低于 I 级。

8.4 外壳无损检测比例及技术要求

8.4.1 A、B 类焊接接头(外壳的合拢 B 类焊接接头除外)应进行局部射线检测,检测长度不小于各条焊接接头长度的 20%,且均不得小于 250 mm,其射线检测技术等级应不低于相应检测方法的 AB 级,合格级别不低于 III 级。

8.4.2 外壳的合拢 B 类焊接接头以及下列项目的焊缝应经无损检测,检测方法和要求应符合设计图样的规定,其检测长度可计入外壳的局部检测长度:

- a) 先拼板后成型凸形封头上的所有拼接接头;
- b) 凡被补强圈、垫板、支座、内件等覆盖的焊接接头;
- c) 对于满足 GB/T 150.3—2011 中 6.1.3 不另行补强的管座,自开孔中心、沿外壳表面的长度等于 1.5 倍开孔直径的范围内的焊接接头。

8.4.3 先拼板后成型的凸形封头上所有拼接接头应进行 100% 射线检测及 100% 表面检测,其射线检测技术等级应不低于 AB 级,合格级别应不低于 III 级,表面检测的合格级别应不低于 I 级。

8.4.4 外壳上临时吊耳和拉筋垫板割除并修磨后留下的焊疤,应进行表面检测,表面检测的合格级别应不低于 I 级。

8.5 管路无损检测比例及技术要求

8.5.1 真空夹层内及外部的管路,其 B 类焊接接头应按 NB/T 47013.2 进行 100% 射线检测,射线检测技术等级应不低于 AB 级,其合格级别应不低于 II 级。

8.5.2 真空夹层内及外部的管路,其 C、D 类焊接接头应按 NB/T 47013.5 进行 100% 渗透检测,合格级别应为 I 级。

8.6 重复检测

8.6.1 经无损检测的焊接接头,发现不准许的缺陷时,应在缺陷清除干净后进行补焊,并对该部位采用原无损检测方法和合格级别进行重新检测和评定。

8.6.2 进行局部无损检测的焊接接头,发现不准许的缺陷时,应在该缺陷两端的延伸部位增加检测长度,增加的长度为该焊接接头长度的 10%,且两侧均不小于 250 mm。若仍有不准许的缺陷,则对该条焊接接头进行 100% 无损检测。

8.6.3 渗透与磁粉检测发现不准许的缺陷时,应进行修磨及必要的补焊,并对该部位采用原无损检测方法重新检测。

8.7 无损检测的实施时机

8.7.1 焊接接头的无损检测,应在形状尺寸和外观质量检查合格后进行。

8.7.2 拼接封头应在成型后进行无损检测。若成型前已进行无损检测,则成型后还应对圆弧过渡区至直边段进行无损检测。

8.8 无损检测记录、资料和报告

制造单位应如实填写无损检测记录,正确签发无损检测报告,妥善保管射线底片和超声检测数据等检测资料(含缺陷返修前记录),并建立无损检测档案,其保存期限应不少于深冷容器的设计使用年限。

9 热处理

9.1 罐体热处理要求应符合 GB/T 150.4 和设计文件的规定。

9.2 除图样另有规定外,外壳冷成型后无需热处理。

10 清洁要求

10.1 与介质接触的所有零部件表面,应进行脱脂与清洁处理,合格指标应符合 JB/T 6896 或设计图样的规定。

10.2 真空夹层内表面以及夹层内的零部件,应进行脱脂、除锈、干燥等处理,合格指标应符合设计图样的规定。

10.3 对不设置工艺人孔的内容器,在最后一道环焊缝对焊前,应清除容器内杂物,其清洁度满足设计图样的要求。

10.4 清洁合格后,所有的零部件、管路和内容器的开口处都应立即用洁净的密封件密封好,防止污染物、灰尘、水进入。

11 组装要求

11.1 内容器在耐压试验合格后方可与外壳进行组装,且应符合下列要求:

- a) 高真空多层绝热的内容器应在绝热材料包扎完成后尽可能及时与外壳进行套装,以防止绝热材料受潮及污染;
- b) 套合时,应保证夹层的清洁,并防止损伤多层绝热材料、夹层管线和内容器的外表面;

c) 套合时,应尽可能减小内容器与外壳的同轴度偏差。

11.2 高真空多层绝热的绝热层应在内容器与外壳组装前完成安装,且应符合下列要求:

- a) 多层绝热材料应经干燥处理;
- b) 层数、层密度应符合设计图样的规定;
- c) 反射屏与间隔材料之间应相互封闭;
- d) 尽量避免出现反射屏之间直接接触(短路)及局部无反射屏的现象;
- e) 最外层应有防止绝热层松散和脱落的相应措施。

11.3 真空粉末绝热材料的填充应在内容器与外壳组装完工后进行,且应符合下列要求:

- a) 粉末绝热材料应经干燥处理;
- b) 装填时,应控制粉末绝热材料的装填密度;
- c) 尽可能采取措施,防止粉末绝热材料沉降;
- d) 加压充填粉末绝热材料时,应有防止内容器失稳的相应措施;
- e) 如需添加阻光剂,应保证其在粉末材料中分布均匀。

12 吸附剂的安装

12.1 低温吸附剂应安装在内容器外壁,其包装和填充应符合设计图样的规定。

12.2 常温吸附剂应安装在外壳内壁,其包装和安置应符合设计图样的规定。

13 管路制造

13.1 管路安装前,管子、管件、阀门等管路组成件内外表面应清理干净,无杂物、油污且干燥。

13.2 真空夹层内的管路应进行耐压试验。

13.3 管路的法兰密封面及密封垫片,应无影响密封性能的划痕、斑点等缺陷。

13.4 法兰面应垂直于管路的主轴中心线,且保证法兰面的水平或垂直,其偏差均应不超过法兰外径的1%(法兰外径小于100 mm时按100 mm计算)且不大于3.0 mm。法兰的螺栓孔应与管路主轴线或铅垂线跨中布置(见图2)。有特殊要求时,应在图样上注明。

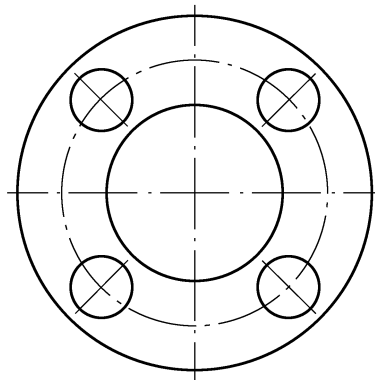


图2 法兰的螺栓孔与管路主轴线或铅垂线跨中布置

13.5 当管路装配间断施工时,应及时封闭敞开的管口。

13.6 阀门应按设计流程图确定其安装方向。螺杆式截止阀应在顺时针方向转动时被关闭。

13.7 管路上应清楚标明各个接口和附件的用途。管路阀门应标明介质流向,截止阀应标明开启和关闭方向。

- 13.8 安全阀、压力表应校验合格后才能安装使用。
- 13.9 管路宜采用管夹固定,管夹的固定不应限制管路的热胀冷缩。
- 13.10 有防静电接地要求的设备,各段管子间应导电。当每对法兰或螺纹接头间电阻值超过 $0.03\ \Omega$ 时,应设导线跨接。
- 13.11 外部管路应进行耐压试验和气密性试验。

14 氦质谱检漏

- 14.1 内容器与外壳组装后,应对真空夹层进行氦质谱检漏。漏率指标应符合 GB/T 18442.3 和设计图样的规定。
- 14.2 泄漏处应按焊接返修工艺进行修补,按原无损检测要求检测合格后,重新进行氦质谱检漏。

15 罐体涂敷

罐体的涂敷应符合 JB/T 4711 和设计文件的规定。

16 标志标识

- 16.1 制造单位应在深冷容器的明显部位装设产品铭牌。铭牌应采用中文(必要时可以中英文对照)和国际单位,铭牌的格式与内容应符合 TSG 21 的规定。
- 16.2 铭牌内容可采用压印、雕刻、浮雕等永久方法进行标记,铭牌上的各种标志应清晰、易读。
- 16.3 铭牌可采用合适金属结构的防撬紧固件或焊接方法通过与垫板、支座或类似结构与容器永久固定。
- 16.4 铭牌、支架及紧固件应采用与使用环境相适应的金属材料。
- 16.5 外壳上应设置管路流程示意图、液位对照表等标识,标识应字迹工整、清晰可见、牢固耐用。标识不应出现折痕、皱纹、自卷撕裂等现象。
- 16.6 管路上应有标明阀门及管口用途的标识。

17 出厂资料

- 17.1 深冷容器的制造单位应向使用单位至少提供以下技术文件和资料:

- 竣工图样,图样上应有设计单位设计专用章(复印章无效),并且加盖竣工图章(竣工图章上标注制造单位名称、制造许可证编号、审核人的签字和“竣工图”字样),如果制造中发生了材料代用、无损检测方法改变、加工尺寸变更等,制造单位应按照设计单位书面批准文件的要求在竣工图样上作出清晰标注,标注处应有修改人的签字及修改日期;
- 产品合格证(含产品数据表)和产品质量证明文件,包括电子文档的光盘或其他电子存储介质;
- 特种设备制造监督检验证书;
- 风险评估报告;
- 强度计算书;
- 应力分析报告(需要时);
- 罐体安全泄放量、安全阀排量、爆破片泄放面积、外壳防爆装置泄放面积的计算书;
- 安装及使用维护保养说明;
- 备件、附件清单和相应的质量合格证明;

j) 电气、仪表防爆合格证书(需要时)。

17.2 产品质量证明文件至少应有下列内容:

- a) 材料清单;
- b) 主要受压元件材料质量证明书;
- c) 质量计划;
- d) 受压元件(封头、锻件等)为外购或外协件的产品质量证明文件;
- e) 罐体外观及几何尺寸检验报告;
- f) 焊接记录;
- g) 无损检测报告;
- h) 热处理报告及自动记录曲线(需要时);
- i) 耐压试验报告;
- j) 气密性试验或其他泄漏试验报告;
- k) 产品铭牌的拓印件或复印件;
- l) 真空性能检测报告(含封结真空度检测、真空夹层漏气速率检测、真空夹层漏放气速率检测);
- m) 静态蒸发率检测报告(需要时);
- n) 气体置换检验报告;
- o) 产品制造变更报告;
- p) 安全附件、仪表及装卸附件的质量证明文件;
- q) 其他必要的产品质量证明文件。

17.3 安装及使用维护保养说明除符合 GB/T 9969 的规定外,还应有下列内容:

- a) 产品型号以及主要技术性能参数;
- b) 安全告知和产品使用说明;
- c) 管路及阀门用途(应包括安全附件、仪表和装卸附件的型号和连接方式)、流程示意图;
- d) 操作使用说明,至少应有操作规程、最大允许充装量的控制要求;
- e) 使用注意事项,至少应包括预冷过程和装卸过程中的注意事项;
- f) 维护和保养要求;
- g) 常见故障的排除方法;
- h) 起吊、装运和安装说明。

18 封存、装运

18.1 封存

18.1.1 深冷容器完工后,内容器及管路应使用干燥的氮气加压密封,密封压力一般为 0.03 MPa~0.05 MPa,露点应不高于-25℃。

18.1.2 充装易燃、易爆介质的深冷容器,内容器和管路的含氧量应不高于 2%。

18.1.3 充装非易燃介质的深冷容器,内容器和管路的含氧量应不高于 3%。

18.1.4 充装液氧介质的深冷容器,与氧接触的零部件应不存在与氧发生反应的物质。

18.1.5 所有管路、阀门和仪表的开口端,应进行防尘保护。

18.1.6 深冷容器在投入使用前如需长期封存,应放在防潮、通风的专用场地。

18.1.7 深冷容器封存期间,应按产品安装与使用维护说明书进行正常的维护与保养。

18.2 装运

18.2.1 深冷容器应在空罐情况下交付用户。

18.2.2 深冷容器可采用公路运输、铁路运输和水路运输等装运方式,吊装时应使用专用吊具。

18.2.3 装运过程中罐体应捆扎牢固可靠,外部管路及阀门、仪表等应包扎牢固,确保深冷容器各部位得到有效保护。



中华人民共和国国家标准

GB/T 18442.5—2019
代替 GB/T 18442.5—2011

固定式真空绝热深冷压力容器 第 5 部分：检验与试验

Static vacuum insulated cryogenic pressure vessels—
Part 5: Inspection and testing

2019-12-31 发布

2019-12-31 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言 I

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 试验方法 2

5 检验规则 4



前 言

GB/T 18442《固定式真空绝热深冷压力容器》分为以下 7 个部分：

- 第 1 部分：总则；
- 第 2 部分：材料；
- 第 3 部分：设计；
- 第 4 部分：制造；
- 第 5 部分：检验与试验；
- 第 6 部分：安全防护；
- 第 7 部分：内容器应变强化技术规定。

本部分为 GB/T 18442 的第 5 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/T 18442.5—2011《固定式真空绝热深冷压力容器 第 5 部分：检验与试验》，与 GB/T 18442.5—2011 相比，除编辑性修改外主要技术变化如下：

- 修改了试验顺序的内容，增加了冷冲击试验、耐压试验、泄漏试验、真空性能检测等实施时机；
- 修改了耐压试验要求，增加了液压试验的安全措施及基本要求；
- 修改了冷冲击试验的要求；
- 增加了清洁度检测要求；
- 增加了低温性能型式试验的试验罐选取规则；
- 修改了其他检验项目的内容及要求。

本部分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。

本部分起草单位：张家港中集圣达因低温装备有限公司、上海市气体工业协会、中国特种设备检测研究院、石家庄安瑞科气体机械有限公司、江苏省特种设备安全监督检验研究院张家港分院、杭州富士达特种材料股份有限公司、张家港富瑞深冷科技有限公司、苏州华福低温容器有限公司、沈阳特种设备检测研究院、浙江大学、机械工业上海蓝亚石化设备检测所有限公司、上海华谊集团装备工程有限公司。

本部分主要起草人：罗晓钟、周伟明、钱红华、滕俊华、陈朝晖、王红霞、王飞、彭平、赵杰峰、暴志强、徐勇、甘智华、张玉福、魏勇彪。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 18442.5—2011；
- GB 18442—2001。

固定式真空绝热深冷压力容器

第 5 部分:检验与试验

1 范围

GB/T 18442 的本部分规定了固定式真空绝热深冷压力容器(以下简称“深冷容器”)制造过程中和完工后的试验方法和检验规则。

本部分适用于同时满足以下条件的深冷容器:

- a) 内容器工作压力不小于 0.1 MPa;
- b) 几何容积不小于 1 m³;
- c) 绝热方式为真空粉末绝热、真空复合绝热或高真空多层绝热;
- d) 储存介质为标准沸点不低於-196 ℃的冷冻液化气体。

本部分不适用于下列范围的深冷容器:

- a) 内容器和外壳材料为有色金属或非金属的;
- b) 球形结构的;
- c) 堆积绝热方式的;
- d) 移动式的;
- e) 储存标准沸点低於-196 ℃冷冻液化气体介质的;
- f) 储存介质按 GB 12268 规定为毒性气体的;
- g) 国防军事装备等有特殊要求的。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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(所有部分) 压力容器

GB/T 18442.1 固定式真空绝热深冷压力容器 第 1 部分:总则

GB/T 18442.2—2019 固定式真空绝热深冷压力容器 第 2 部分:材料

GB/T 18442.3—2019 固定式真空绝热深冷压力容器 第 3 部分:设计

GB/T 18442.4—2019 固定式真空绝热深冷压力容器 第 4 部分:制造

GB/T 18442.6—2019 固定式真空绝热深冷压力容器 第 6 部分:安全防护

GB/T 18443.2 真空绝热深冷设备性能试验方法 第 2 部分:真空度测量

GB/T 18443.3 真空绝热深冷设备性能试验方法 第 3 部分:漏率测量

GB/T 18443.4 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

GB/T 18443.5 真空绝热深冷设备性能试验方法 第 5 部分:静态蒸发率测量

GB/T 18443.7 真空绝热深冷设备性能试验方法 第 7 部分:维持时间测量

GB/T 18443.8 真空绝热深冷设备性能试验方法 第 8 部分:容积测量

GB/T 20801.5 压力管道规范 工业管道 第 5 部分:检验与试验

JB/T 6896 空气分离设备表面清洁度

TSG 21 固定式压力容器安全技术监察规程

3 术语和定义

GB/T 150、GB/T 18442.1、GB/T 18442.3 和 GB/T 18442.4 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

冷冲击试验 cold shock test

以设定的速度向内容器充注冷冻液化气体,使内容器在规定的时间内冷却到预定温度,以考察整个内容器耐受温差应力变化速度和幅度的能力。

4 试验方法

4.1 试验顺序

4.1.1 当需要进行冷冲击试验时,应在内容器制造完工且无损检测合格后进行。

4.1.2 内容器的耐压试验应在内容器制造完工且无损检测合格后进行。

4.1.3 罐体夹层的氦质谱检漏试验应在内容器与外壳组装完毕后进行。

4.1.4 外部管路的耐压试验应在罐体和外部管路制造完工且无损检测合格后进行。

4.1.5 泄漏试验应在罐体和管路系统组装完毕,且将所有安全附件、仪表、装卸附件安装齐全后进行。

4.1.6 深冷容器在耐压试验和泄漏试验合格,且在夹层抽真空完成后,方可进行低温性能检测。静态蒸发率检测应在真空性能检测合格后进行,维持时间检测(需要时)应在静态蒸发率检测结束后进行。

4.2 耐压试验

4.2.1 内容器耐压试验

4.2.1.1 耐压试验基本要求

4.2.1.1.1 制造完工的内容器应按图样的规定进行耐压试验,耐压试验包括液压试验和气压试验。

4.2.1.1.2 耐压试验应用两个量程相同的并经过检定合格的压力表。压力表的量程应为 1.5 倍~3.0 倍的试验压力,且以试验压力的 2 倍为宜。压力表的精度应不低于 1.6 级,表盘直径应不小于 100 mm。压力表应安装在试验内容器顶部引出的管线上便于观察的位置。

4.2.1.1.3 耐压试验前,内容器各连接部位的紧固螺栓(如有)应配置齐全,紧固妥当,并尽可能将内容器与夹层管路一同进行耐压试验。耐压试验时,内容器上焊接的临时受压元件应采用适当的措施,保证其强度和安全性。

4.2.1.1.4 耐压试验场地应有可靠的安全防护设施,并且经过制造单位技术负责人和安全管理部門检查认可。

4.2.1.1.5 保压期间不应采用连续加压来维持试验压力不变,耐压试验过程中不应带压紧固螺栓或向受压元件施加外力。

4.2.1.1.6 耐压试验过程中,不应进行与试验无关的工作,无关人员不应在试验现场停留。

4.2.1.2 液压试验

4.2.1.2.1 液压试验的介质一般采用水,必要时也可采用不会导致发生危险的其他试验液体。试验时,液体的温度应低于其闪点或沸点,且有可靠的安全措施。

4.2.1.2.2 液压试验温度应符合 GB/T 150.4 和设计图样的规定。

4.2.1.2.3 液压试验应符合下列规定:

- a) 内容器顶部应设排气口,充液时应将内容器内的空气排净。试验过程中,内容器外表面应保持干燥。
- b) 当内容器器壁金属温度与液体温度接近时,方可缓慢升压至设计压力,确认无泄漏后继续升压到规定的试验压力。保压时间一般不少于 30 min,然后将压力降至设计压力,保压足够长的时间对所有焊接接头和连接部位进行检查。
- c) 液压试验完毕后,应将液体排尽并用压缩空气将内容器内部吹干,并清除杂物。当无法完全排净吹干时,应控制试验用水中的氯离子含量不超过 25 mg/L。

4.2.1.2.4 液压试验过程中,内容器无渗漏、无可见的变形和异常的响声为合格。

4.2.1.3 气压试验

4.2.1.3.1 由于结构或支撑、介质等原因,不允许残留试验液体的内容器,一般采用气压试验。

4.2.1.3.2 试验所用的气体应为干燥洁净的空气、氮气或其他惰性气体。

4.2.1.3.3 气压试验应有安全防护措施。试验时,试验单位的安全管理部门应派人进行现场监督。

4.2.1.3.4 气压试验温度应符合 GB/T 150.4 和设计图样的规定。

4.2.1.3.5 气压试验时压力应缓慢上升,至规定试验压力的 10%,保压 5 min,并对所有焊接接头和连接部位进行泄漏检查;确认无泄漏后,再继续升压到规定试验压力的 50%,如无异常现象,其后按每级为规定试验压力的 10%,逐级升压至规定试验压力,并保压 10 min;然后将压力降至设计压力,保压足够时间进行检查。检查期间压力应保持不变,不应采用连续加压的方式维持试验压力不变。气压试验过程中不应带压紧固螺栓或向受压元件施加外力。

4.2.1.3.6 气压试验过程中,内容器无异常响声,经肥皂液或其他可靠的检漏方法检查无漏气、无可见的变形为合格。

4.2.2 管路耐压试验

4.2.2.1 夹层内部管路与内容器一起作耐压试验。外部管路应经无损检测合格后,按图样的规定进行耐压试验。

4.2.2.2 管路耐压试验要求和试验程序按 GB/T 20801.5 的规定,并符合图样的要求。

4.3 气密性试验

4.3.1 耐压试验合格后,将所有安全附件、仪表、装卸附件安装齐全后进行气密性试验。

4.3.2 进行气密性试验时,应符合下列规定:

- a) 试验用气体应为干燥、洁净的空气、氮气或其他惰性气体;
- b) 试验时,压力应缓慢上升,达到规定的试验压力后保压足够长时间,同时检查罐体所有的焊接接头和各阀件、仪表及其连接面,无泄漏为合格;
- c) 如有泄漏,应在修补后重新进行试验。

4.4 氦检漏试验

氦检漏试验应符合 GB/T 18443.3 或设计文件的规定。

4.5 冷冲击试验

4.5.1 是否做冷冲击试验应根据图样的要求。

4.5.2 冷冲击试验应采用液氮作为试验介质。

4.5.3 试验时,应将除进液口和排气口以外的其余管路管口封闭。

4.5.4 试验时,内容器和管座应被液氮充分浸渍。

4.5.5 冷冲击试验后,应对内容器和夹层管路进行耐压试验和氦质谱检漏试验。其他检验内容和要求应符合图样的规定。

4.6 清洁度检测

4.6.1 与介质接触的零部件表面的清洁度检测方法按照 JB/T 6896 的规定。

4.6.2 真空夹层表面以及其内部的零部件表面的脱脂、除锈、干燥等检测方法按照设计文件的规定。

4.7 容积测量

4.7.1 内容器应进行几何容积、有效容积和真空夹层容积的测定,测定方法按 GB/T 18443.8 的规定。

4.7.2 由于结构或介质的原因不允许残留试验液体的内容器,可用测量几何尺寸计算的容积代替实测容积。

4.8 真空度检测

夹层真空度的检测方法按 GB/T 18443.2 的规定。

4.9 真空夹层漏气速率检测

真空夹层漏气速率的检测方法按 GB/T 18443.3 的规定。

4.10 真空夹层漏放气速率检测

真空夹层漏放气速率的检测方法按 GB/T 18443.4 的规定。

4.11 静态蒸发率检测

静态蒸发率的检测方法按 GB/T 18443.5 的规定。

4.12 维持时间检测

维持时间的检测方法按 GB/T 18443.7 的规定。

4.13 安全附件试验

安全附件性能试验应符合相应产品标准和设计文件的规定。

4.14 其他检验

4.14.1 深冷容器总装完成后的检验项目至少包括下列内容,其合格要求应满足本部分和设计文件的规定:

- a) 罐体的外形尺寸;
- b) 管口位置尺寸;
- c) 腿式支座、支承式支座、鞍式支座或裙座的几何尺寸和装配尺寸;
- d) 管路系统的完整性及可靠性;
- e) 表面涂装、标志标识、铭牌以及必要的警示性标志等。

4.14.2 深冷容器应对导静电装置进行电阻测量,可采用万用表测量。

4.14.3 深冷容器的外观质量检查采用目视方法。

5 检验规则

5.1 检验分类

检验分为逐台检验、批量检验、型式试验。

5.2 逐台检验

深冷容器完成后应经逐台检验合格后方可出厂。逐台检验项目和要求按表 1、表 2 的规定。

5.3 批量检验

5.3.1 同一定型设计的几何容积不大于 5 m³ 的深冷容器,应按生产顺序,以不多于 50 台为 1 批,每批中随机抽取 1 台进行批量检验。

5.3.2 批量检验的项目和要求按表 1 和表 2 的规定。

5.3.3 若抽取的批量检验容器检验不合格,则在该批中再抽取 2 台进行检验,仍有不合格时应进行逐台检验。

5.4 型式试验

5.4.1 深冷容器应进行低温性能型式试验。低温性能型式试验应由有关国家主管机构核准的型式试验机构进行,并出具低温性能型式试验报告和证书。

5.4.2 属下列情况之一的,应进行低温性能型式试验:

- a) 产品设计定型时(生产样品型号);
- b) 工厂停产 6 个月以上再次生产时;
- c) 当罐体设计结构和制造工艺发生变化,影响罐体绝热性能时;
- d) 国家特种设备安全监督管理部门提出低温性能型式试验要求时。

5.4.3 低温性能型式试验的试验项目、要求以及试验容器选取规则分别按表 1、表 2 和表 3 的规定。

表 1 逐台检验、批量检验和低温性能型式试验的项目

序号	检验项目		逐台检验	批量检验	低温性能型式试验
1	相关技术文件		★	★	—
2	外观质量		★	★	—
3	几何尺寸		★	★	—
4	焊接质量		★	★	—
5	耐压试验		★	★	—
6	气密性试验		★	★	—
7	冷冲击试验		▲	▲	—
8	内容器几何容积		★	★	—
9	真空性能	真空夹层封结真空度	★	★	★
10		真空夹层漏气速率	★	★	★
11		真空夹层漏放气速率	★	★	★
12		真空夹层冷态真空度	—	▲	☆
13	绝热性能	静态蒸发率	—	▲	☆
14		维持时间	—	—	▲
15	附件检验		★	★	—
16	出厂资料		★	★	—
注 1: 有“★”标记的项目,为需进行检验和试验的项目。					
注 2: 有“▲”标记的项目,由供需双方协商确定。					
注 3: 有“☆”标记的项目,当内容器几何容积大于 50 m ³ ,低温性能型式试验可在制造单位或用户处进行。					
注 4: 有“—”标记的项目,为无需进行检验和试验的项目。					

表 2 检验项目内容及技术要求

序号	检验项目	检验内容	技术要求
1	相关技术文件 检查	产品名称、型号、容器分类、标准	GB/T 18442.3—2019 中 5.2
		设计压力、设计温度、介质	GB/T 18442.3—2019 中 5.2、7.1、8.1
		内容器的几何容积、真空夹层的几何容积、 额定充满率、深冷容器重量	GB/T 18442.3—2019 中 5.2、13.2
		罐体材料	GB/T 18442.2—2019 中第 5 章； GB/T 18442.3—2019 中 5.2
		管子材料	GB/T 18442.2—2019 中 5.4； GB/T 18442.3—2019 中 5.3
		罐体真空绝热方式	GB/T 18442.3—2019 中 5.2
		设计使用年限	GB/T 18442.3—2019 中 5.2
2	外观检查	铭牌	GB/T 18442.3—2019 中 5.2； GB/T 18442.4—2019 中第 16 章
		标志、标识	GB/T 18442.4—2019 中第 16 章
		涂敷	GB/T 18442.4—2019 中第 15 章
		焊接接头及母材外表面缺陷	GB/T 18442.3—2019 中第 9 章； GB/T 18442.4—2019 中 6.5.1、7.3.1、7.3.2
		结构件的连接	GB/T 18442.3—2019 中 18.6
		罐体焊缝布置	GB/T 18442.4—2019 中 6.5.4
		壳体的圆度	GB/T 18442.4—2019 中 6.5.5
		装卸系统的设置及要求	GB/T 18442.3—2019 中 18.10.4.7、18.10.4.9； GB/T 18442.4—2019 中 13.7、18.1.5
		外部管路及阀门、仪表等包装	GB/T 18442.4—2019 中 18.2.3
3	几何尺寸检验	罐体外形尺寸	GB/T 18442.3—2019 中 5.2； GB/T 18442.4—2019 中 6.6.1
		罐体直线度	GB/T 18442.4—2019 中 6.5.3
		单个筒节的最小长度	GB/T 18442.4—2019 中 6.5.4
		法兰	GB/T 18442.4—2019 中 13.4、13.5
		腿式支座的几何尺寸和装配尺寸	GB/T 18442.4—2019 中 6.6.2；4.14.1
		支承式支座的几何尺寸和装配尺寸	GB/T 18442.4—2019 中 6.6.3；4.14.1
		鞍式支座的几何尺寸和装配尺寸	GB/T 18442.4—2019 中 6.6.4；4.14.1
		裙座的几何尺寸和装配尺寸	GB/T 18442.4—2019 中 6.6.5；4.14.1
4	耐压试验及气密 性试验	内容器耐压试验	GB/T 18442.3—2019 中第 16 章；4.2.1
		罐体气密性试验	GB/T 18442.3—2019 中第 17 章；4.3
		罐体氦检漏试验	GB/T 18442.3—2019 中第 17 章；4.4

表 2（续）

序号	检验项目	检验内容	技术要求
4	耐压试验及气密性试验	管路耐压试验	GB/T 18442.3—2019 中第 16 章;4.2.2
		管路气密性试验	GB/T 18442.3—2019 中第 17 章;4.3
5	冷冲击试验（适用时）	冷冲击试验	4.5
6	清洁度	清洁度检测	GB/T 18442.4—2019 中第 10 章;4.6
7	真空性能	真空夹层封结真空度	GB/T 18442.3—2019 中 15.3;4.8
		真空夹层冷态真空度	GB/T 18442.3—2019 中 15.3;4.8
		真空夹层漏气速率	GB/T 18442.3—2019 中 15.1;4.9
		真空夹层漏放气速率	GB/T 18442.3—2019 中 15.2;4.10
8	绝热性能	静态蒸发率	GB/T 18442.3—2019 中第 14 章;4.11
		维持时间	GB/T 18442.3—2019 中第 14 章;4.12
9	附件检验	内容器超压泄放装置	GB/T 18442.6—2019 中 4.2
		外壳防爆装置	GB/T 18442.6—2019 中 4.3
		紧急切断装置	GB/T 18442.6—2019 中 4.4
		导静电接地装置	GB/T 18442.6—2019 中 4.5
		仪表	GB/T 18442.6—2019 中 4.6、4.7、4.8、4.9、4.10
		装卸附件	GB/T 18442.6—2019 中 4.11
10	出厂资料	出厂资料应齐全	GB/T 18442.4—2019 中第 17 章

表 3 试验容器抽取规则

几何容积 V/m^3	抽取数量
$1 \leq V \leq 10$	不同容积各 1 台
$10 < V \leq 50$	1 台
$50 < V \leq 100$	1 台
$100 < V \leq 500$	1 台
注 1：当绝热方式（真空粉末绝热、高真空多层绝热等）、支撑方式（八点、吊拉带、裙座等）以及结构型式（立式、卧式等）等型式发生变化时，需分别进行低温性能型式试验。 注 2：当高真空多层绝热系统用绝热材料层数、层密度等发生变化，影响罐体绝热性能时，需考虑重新进行低温性能型式试验。	



中华人民共和国国家标准

GB/T 18442.6—2019
代替 GB/T 18442.6—2011

固定式真空绝热深冷压力容器 第 6 部分：安全防护

Static vacuum insulated cryogenic pressure vessels—
Part 6: Safety protection

2019-12-31 发布

2019-12-31 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言 I

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 安全附件、仪表和装卸附件..... 2

附录 A（规范性附录） 罐体安全泄放量和超压泄放装置排放能力计算 8



前 言

GB/T 18442《固定式真空绝热深冷压力容器》分为以下 7 个部分：

- 第 1 部分：总则；
- 第 2 部分：材料；
- 第 3 部分：设计；
- 第 4 部分：制造；
- 第 5 部分：检验与试验；
- 第 6 部分：安全防护；
- 第 7 部分：内容器应变强化技术规定。

本部分为 GB/T 18442 的第 6 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/T 18442.6—2011《固定式真空绝热深冷压力容器 第 6 部分：安全防护》，与 GB/T 18442.6—2011 相比，除编辑性修改外主要技术变化如下：

- 修改了一般要求，增加了带电气控制元件的防爆要求、安全阀、仪表和装卸附件与管路的连接要求；
- 修改了内容器超压泄放装置的设置要求，修改了超压泄放装置典型设置示意图；
- 修改了超压泄放装置的设计要求；
- 增加了内容器超压泄放装置的安装要求、外壳防爆装置的型式及其设置位置要求；
- 修改了紧急切断阀的设置要求、导静电接地装置的接地电阻值、液位测量装置和压力测量装置要求、装卸附件要求；
- 增加了温度测量装置、真空度测量装置和带传感器或电气控制元件的测量装置的相关要求；
- 删除了装卸软管及其相关要求；
- 附录 A 中增加了对于储存非易燃、易爆介质的罐体安全泄放量计算方法的规定，修改了式(A.5)。

本部分中罐体安全泄放量和超压泄放装置排放能力的计算参考了 ISO 21013-3:2016《深冷容器 深冷工况用超压泄放装置 第 3 部分：尺寸与排放能力的确定》。

本部分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。

本部分起草单位：上海华理安全装备有限公司、上海市气体工业协会、张家港中集圣达因低温装备有限公司、液化空气(中国)投资有限公司、查特深冷工程系统(常州)有限公司、中国特种设备检测研究院、华东理工大学、沈阳特种设备检测研究院、上海华谊集团装备工程有限公司。

本部分主要起草人：史斐菲、周伟明、吴全龙、高洁、陈勤俭、滕俊华、陈文锋、陈朝晖、惠虎、刘铎、魏勇彪。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 18442.6—2011；
- GB 18442—2001。

固定式真空绝热深冷压力容器

第6部分：安全防护

1 范围

GB/T 18442 的本部分规定了固定式真空绝热深冷压力容器(以下简称“深冷容器”)使用的安全附件、仪表、装卸附件的选用原则、设置要求以及罐体安全泄放量和超压泄放装置排放能力的计算。

本部分适用于同时满足以下条件的深冷容器：

- a) 内容器工作压力不小于 0.1 MPa；
- b) 几何容积不小于 1 m³；
- c) 绝热方式为真空粉末绝热、真空复合绝热或高真空多层绝热；
- d) 储存介质为标准沸点不低於-196 ℃的冷冻液化气体。

本部分不适用于下列范围的深冷容器：

- a) 内容器和外壳材料为有色金属或非金属的；
- b) 球形结构的；
- c) 堆积绝热方式的；
- d) 移动式的；
- e) 储存标准沸点低於-196 ℃冷冻液化气体介质的；
- f) 储存介质按 GB 12268 规定为毒性气体的；
- g) 国防军事装备等有特殊要求的。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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(所有部分) 压力容器

GB/T 567.1 爆破片安全装置 第1部分：基本要求

GB/T 567.2 爆破片安全装置 第2部分：应用、选择与安装

GB/T 567.3 爆破片安全装置 第3部分：分类及安装尺寸

GB/T 567.4 爆破片安全装置 第4部分：型式试验

GB/T 18442.1 固定式真空绝热深冷压力容器 第1部分：总则

GB/T 18442.3 固定式真空绝热深冷压力容器 第3部分：设计

GB/T 18442.5 固定式真空绝热深冷压力容器 第5部分：检验与试验

GB/T 24918 低温介质用紧急切断阀

GB/T 29026 低温介质用弹簧直接载荷式安全阀

JB/T 6804 抗震压力表

TSG 21 固定式压力容器安全技术监察规程

3 术语和定义

GB/T 150、GB/T 18442.1、GB/T 18442.3、GB/T 18442.5 界定的术语和定义适用于本文件。

4 安全附件、仪表和装卸附件

4.1 一般要求

- 4.1.1 安全附件、仪表和装卸附件的设置,除应符合 TSG 21 和本部分的规定外,还应满足设计文件的要求。
- 4.1.2 安全附件包括超压泄放装置(安全阀、爆破片装置)、外壳防爆装置、紧急切断装置以及导静电装置等。
- 4.1.3 仪表包括压力测量装置、液位测量装置、真空度测量装置等。
- 4.1.4 装卸附件包括装卸阀门、装卸接头等。
- 4.1.5 选用的安全附件、仪表和装卸附件应与储存介质相适应。
- 4.1.6 安全附件和装卸附件的制造许可和型式试验应符合相应安全技术规范的要求。
- 4.1.7 安全附件、仪表和装卸附件应符合相应安全技术规范和产品标准的规定,且有产品质量证明书或产品质量合格证。
- 4.1.8 储存易燃、易爆介质的深冷容器,采用带电气控制元件的安全附件、仪表和装卸附件时,应符合电气元件防爆设计的相关标准的要求。
- 4.1.9 安全阀、压力表安装前,应进行校验和检定,合格后应重新铅封。
- 4.1.10 安全附件、仪表与管路之间的连接可采用焊接连接、法兰连接或螺纹连接等方式。
- 4.1.11 装卸附件与管路之间的连接应尽量采用焊接连接或法兰连接。

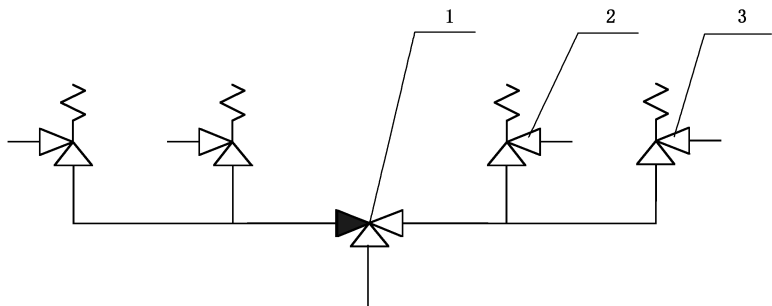
4.2 内容器超压泄放装置

4.2.1 内容器超压泄放装置的设置要求

4.2.1.1 内容器应至少设置两组相互独立的超压泄放装置,任何情况下应保证至少有一组超压泄放装置与内容器保持连通。为满足安全泄放的要求,每一组超压泄放装置应设置一个全启式弹簧安全阀作为主泄放装置,且并联一个全启式弹簧安全阀或爆破片作为辅助泄放装置。充装易燃、易爆介质的内容器,辅助泄放装置应选用安全阀。

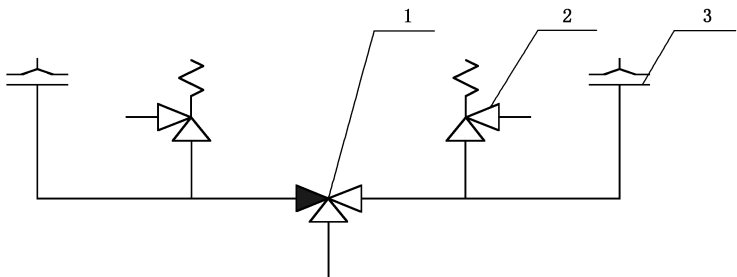
4.2.1.2 内容器按图 1 或图 2 设置超压泄放装置时,应满足下列要求:

- a) 主安全阀的整定压力应不大于内容器设计压力,回座压力应不低于整定压力的 0.90 倍;
- b) 辅助泄放装置的动作压力应不小于主安全阀的整定压力,且不大于内容器设计压力的 1.1 倍;
- c) 主安全阀的排放能力应保证内容器在非火灾条件下的压力不超过其设计压力的 1.1 倍,每组超压泄放装置的总排放能力应保证内容器在火灾条件下的压力不超过其设计压力的 1.21 倍;
- d) 每一个安全阀或爆破片装置的排放能力均应满足按非火灾条件考虑时内容器的安全泄放要求,每一组超压泄放装置的排放能力均应满足按火灾条件考虑时内容器的安全泄放要求。



说明：
1——切换阀；
2——安全阀；
3——安全阀。

图 1 安全阀与安全阀组合设置示意



说明：
1——切换阀；
2——安全阀；
3——爆破片装置。

图 2 安全阀与爆破片组合设置示意

- 4.2.1.3 内容器超压泄放装置的设计应符合下列要求：
- a) 安全阀应符合 GB/T 29026 的规定；
 - b) 爆破片装置应符合 GB/T 567.1、GB/T 567.2、GB/T 567.3、GB/T 567.4 的规定；
 - c) 超压泄放装置的入口管设计应符合 GB/T 18442.3 的规定；
 - d) 储存易燃、易爆介质时，超压泄放装置的出口应装设泄放管，将排放介质引至安全地点；
 - e) 选用的爆破片在爆破时不应产生碎片、脱落和火花，宜采用反拱刻槽型爆破片；
 - f) 气体的排放应畅通无阻，泄压排出的气体不应直接冲击容器和主要受力结构件；
 - g) 能承受容器内部的压力、可能出现的超压及包括液体冲击力在内的动载荷；
 - h) 出口处应防止雨水和杂物的积聚，并防止任何异物的进入；
 - i) 应考虑超压泄放装置的入口压降和出口背压的影响。
- 4.2.1.4 内容器超压泄放装置的安装应符合下列要求：
- a) 安全阀安装时应铅直安装；
 - b) 超压泄放装置与罐体之间不宜安装截止阀门。为便于超压泄放装置的校验、维修与更换，经使用单位主管压力容器安全技术负责人批准，且采取可靠的防范措施，方可在超压泄放装置与罐体之间安装截止阀门。在深冷容器正常使用和运行期间，截止阀门应保证处于全开状态（加铅封或锁定），且其结构和通径应不影响超压泄放装置的安全泄放。
- 4.2.1.5 内容器超压泄放装置应有清晰、永久的标记，标记内容应至少包括：

- a) 超压泄放装置动作压力；
- b) 额定的排气能力或最小泄放面积；
- c) 制造许可证编号及标志；
- d) 制造单位名称或标识商标。

4.2.2 内容器安全泄放量

4.2.2.1 内容器超压泄放装置的排放能力应不小于内容器需要的安全泄放量。内容器需要的安全泄放量及超压泄放装置的排放能力计算方法按附录 A 的规定。

4.2.2.2 进行内容器需要的安全泄放量计算时,至少应考虑到下列工况及可能的组合:

- a) 绝热系统结构完好且处于正常的真空状态下,外部为环境温度,内容器的温度为泄放压力下所储存介质的饱和温度；
- b) 绝热系统结构完好且处于正常的真空状态下,外部为环境温度,内容器的温度为泄放压力下所储存介质的饱和温度,且增压系统处于全开工作状态；
- c) 绝热系统结构完好,但夹层已丧失真空的状态下,外部温度为环境温度,内容器的温度为泄放压力下所储存介质的饱和温度；
- d) 深冷容器的绝热系统结构完好或部分完好,但夹层真空已丧失,且外部遭遇火灾或遭遇 922 K 及以上高温；
- e) 深冷容器的绝热系统结构完全损坏,且夹套外部遭遇火灾或遭遇 922 K 及以上高温；
- f) 连接高压源与内容器的管路中的其他阀的流通能力；
- g) 泵的可能组合的循环使用的影响；
- h) 以可能的最大流量对工作温度下的储罐加注带液闪蒸气体。

4.2.2.3 设计人员应根据实际条件判明可能发生的各种工况,包括 4.2.2.2 列出的 a)~h) 的工况及可能的组合工况。

4.2.2.4 附录 A 未规定针对 4.2.2.2 中的工况 f)、g) 和 h) 的计算方法,设计人员应根据实际条件判明是否存在这些工况。存在这些工况时应按热力学基本理论的方法,充分估计这些工况可能产生的最大影响。

4.2.2.5 内容器超压泄放装置的排放能力应满足 4.2.2.2 中的 a)~d)、f)、g)、h) 中可能有几种工况同时发生时的安全泄放要求,但也应充分研究发生 4.2.2.2 中极端工况 e) 的可能。

4.3 外壳防爆装置

4.3.1 外壳防爆装置的设置要求

4.3.1.1 外壳应设置防爆装置,其泄放压力应不大于 0.05 MPa,其排放能力足以使夹层的压力限制在不超过 0.1 MPa。

4.3.1.2 防爆装置应能耐大气腐蚀,材料应与环境温度相适应。

4.3.1.3 防爆装置应能防止绝热材料的堵塞。防爆装置应尽可能设置在外壳顶部位置。

4.3.1.4 外壳防爆装置可采用自紧式防爆装置或焊接式爆破片装置。自紧式防爆装置的盖板应有相应的保护措施。采用焊接式爆破片装置时,与外壳本体连接也应采用焊接型式,并应有防雨、防尘等保护措施。

4.3.2 外壳防爆装置的排放面积

外壳防爆装置的排放面积一般不小于内容器几何容积(m^3)与 $340 \text{ mm}^2/\text{m}^3$ 的乘积,但不必超过 $5\,000 \text{ mm}^2$ 。

4.4 紧急切断装置

4.4.1 紧急切断装置的设置要求

4.4.1.1 储存易燃、易爆介质的深冷容器,应按如下要求设置紧急切断装置,但确认在工程系统中已设置紧急切断装置或类似的能防大量泄漏的其他紧急闭止装置时除外:

- a) 应在液相进出管线上尽量靠近罐体的位置设置紧急切断装置。
- b) 紧急切断装置一般由紧急切断阀、远程控制系统以及易熔合金塞组成。紧急切断装置应动作灵活、性能可靠、便于检修,且不应兼作他用。
- c) 紧急切断阀应符合 GB/T 24918 的规定,且阀体不应采用铸铁或非金属材料制造,紧急切断阀的上阀杆不应安装手轮。

4.4.1.2 在遭遇火灾或充装、排液过程中发生意外泄漏时,紧急切断装置应能自动关闭,且该装置应能进行远程控制。

4.4.1.3 当远程控制系统采用气动控制系统时,所用气体宜采用外置式压缩空气源,且满足下列要求:

- a) 压缩空气应无油且洁净、干燥;
- b) 压缩空气的压力应与紧急切断阀的操作压力相匹配,且保持稳定;
- c) 气动控制系统的管路一般采用不锈钢材料。

4.4.1.4 设有远程控制接口,便于远程控制系统关闭操作的装置,应设置在工程系统中人员易于到达的位置。

4.4.1.5 紧急切断阀与罐体液相口、气相口、增压器口的连接可以采用法兰或焊接的连接方式。

4.4.2 紧急切断装置的性能要求

4.4.2.1 易熔塞应选用易熔合金材料,并应能在 $70^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 时熔融。

4.4.2.2 紧急切断装置应经耐压试验和气密性试验检验合格。

4.5 导静电接地装置

4.5.1 储存易爆介质的深冷容器,其罐体、管道、阀门和支座等连接处的导电性应良好,并设置可靠的导静电连接端子。

4.5.2 罐体金属与接地导线末端之间的电阻值应不大于 $5\ \Omega$ 。

4.6 液位测量装置

4.6.1 深冷容器应设置一个或多个液位测量装置,如机械指针式液位计(以下简称“液位计”)、数字式液位显示仪器等,用于罐体液位测量和充装量的辅助测量。

4.6.2 液位测量装置的选用和设置应符合以下要求:

- a) 应根据充装介质、设计压力和设计温度等设计参数正确选用;
- b) 指示应灵敏准确,安装结构牢固;
- c) 精度等级不低于 2.5 级;
- d) 对易燃、易爆介质,应采用防爆型液位测量装置,且有防止泄漏的保护装置;
- e) 应设置在便于观察和操作的位置,其允许的最高安全液位应做出明显的标志;
- f) 液位计应附有罐内介质密度的上限和下限、液位指示刻度与容积的对照表。

4.7 压力测量装置

4.7.1 深冷容器应设置一个或多个压力测量装置,如机械指针式压力表(以下简称“压力表”)或数字式

压力显示仪器,用以显示罐体内的工作压力。

4.7.2 压力测量装置的选用和设置应符合以下要求:

- a) 应与罐体内的介质相适应,且满足使用工况要求;
- b) 应符合相应国家标准或行业标准规定的规定;
- c) 压力表应符合 JB/T 6804 的规定,且表盘直径不小于 100 mm、精度等级不低于 1.6 级、表盘刻度极限值应为工作压力的 1.5 倍~3.0 倍;
- d) 安装位置应便于操作人员观察和清洗,且应避免受到辐射热、冻结或震动等不利因素的影响;
- e) 安装结构应牢固可靠,防止其脱落;
- f) 压力测量装置与罐体之间应装设针形阀或其他切断阀门。针形阀或切断阀门上应有开启标记和锁紧装置,并且不得连接其他用途的配件或接管。

4.7.3 压力测量装置检定应符合以下要求:

- a) 压力测量装置应按照国家计量部门的有关规定进行定期检定;
- b) 压力测量装置安装前应进行检定,检定合格后应加铅封锁定;
- c) 压力表应在刻度盘上画出指示工作压力的红线,并注明下次检定日期。

4.8 温度测量装置

4.8.1 深冷容器应按照设计文件的要求设置温度测量装置,如机械指针式温度计或数字式温度显示仪器等。

4.8.2 温度测量装置的测量范围应与充装介质的工作温度相适应。

4.8.3 温度测量装置应按照国家计量部门的有关规定进行定期检定。

4.9 真空度测量装置

4.9.1 真空度测量装置一般由真空隔离阀和真空规管组成,并与配套的真空计组合使用。罐体真空夹层应至少设置一套真空度测量装置。

4.9.2 真空度测量装置的选用和设置应满足以下要求:

- a) 真空度测量装置的整体漏气速率和漏放气速率,应优于真空夹层的漏气速率和漏放气速率;
- b) 真空规管以及配套的真空计的测量范围应满足产品制造、使用和定期检验的测量要求;
- c) 用于充装液氧或易燃、易爆介质的深冷容器,真空规管应满足防爆要求;
- d) 真空度测量装置的安装结构应牢固可靠、便于测量,并且设置安全保护装置。

4.10 带传感器或电气控制元件的测量装置

4.10.1 带传感器或电气控制元件的测量装置,是为满足罐体内温度、压力、液位等参数的实时测量,用相应的传感器采集信号并转化为数据显示,必要时能实现远程传输功能的测量装置。

4.10.2 测量装置的测量范围以及精度等级应满足设计文件的要求。

4.10.3 测量装置的安装结构应牢固、可靠,其连接导线、导管等不应与相邻零部件干涉。

4.10.4 选用带有电气控制元件的机械指针或数字式仪表,应选用符合电气元件防护设计标准规定的产品,其中充装易燃、易爆介质的深冷容器,还应选用符合电气元件防爆设计标准规定的产品。

4.11 装卸附件

4.11.1 阀门材料应与介质相容,阀体不得选用铸铁或非金属材料制造。

4.11.2 装卸阀门的公称压力应不低于管路的设计压力,其耐压试验和气密性试验压力应满足以下要求:

- a) 耐压试验压力为阀门公称压力的 1.5 倍;

b) 气密性试验压力为阀门公称压力,阀门应在全开和全闭工作状态下进行气密性试验合格。

4.11.3 手动阀门应在阀门承受气密性试验压力下能够全开、全闭操作自如,且不应有异常阻力、空转等。

4.11.4 装卸接头应符合下列要求:

- a) 应符合相应的产品标准或设计图样的规定,且应有产品质量证明文件;
- b) 表面应无油污、杂物等;
- c) 应能够防止介质错装;
- d) 应在产品的明显部位进行标识。

附 录 A (规范性附录)

罐体安全泄放量和超压泄放装置排放能力计算

A.1 从热壁(外壳)传入冷壁(内容器)的总热流量的计算

A.1.1 非火灾情况

A.1.1.1 绝热系统(夹层和绝热材料)完好且处于正常的真空状态下,外部为环境温度,内容器的温度为所储存的介质在泄放压力下的饱和温度,需考虑的从热壁传入冷壁的热流量的计算方法如下:

a) 在正常的真空状态下,通过绝热材料传入的热流量按式(A.1)计算:

$$H_{i,v} = U_{i,v} \times A_{i,m} \times (T_a - T_d) \dots\dots\dots (A.1)$$

$$U_{i,v} = \frac{\lambda_{i,v}}{t_i}$$

式中:

$H_{i,v}$ ——在正常真空状态下,通过绝热材料传入的热流量,单位为瓦(W);

$U_{i,v}$ ——在正常真空状态下,夹层绝热材料总的传热系数,单位为瓦每平方米开尔文
[W/(m²·K)];

$\lambda_{i,v}$ ——在正常真空状态下,绝热材料在温度范围 T_a 与 T_d 之间的平均热导率,单位为瓦每
米开尔文[W/(m·K)];

t_i ——绝热材料的名义厚度,单位为米(m);

$A_{i,m}$ ——绝热层内外表面积的算术平均值,单位为平方米(m²);

T_a ——非火灾情况下绝热容器外部最高环境温度,单位为开尔文(K);

T_d ——对应于储存深冷介质的内容器或传热构件冷端表面温度,单位为开尔文(K);

对于亚临界流体, T_d 是介质在泄放压力下的饱和温度,单位为开尔文(K)。

注:对于临界或超临界流体,临界或超临界状态下介质的温度、比容积、焓及 q' 值的确定和计算可参考
ISO 21013-3,临界或超临界流体物性参数可参考参考文献[3]。

b) 通过内容器的吊带或其他金属支撑构件传入的热流量按式(A.2)计算:

$$H_{s,t} = N_{s,t} \frac{\lambda_{s,t} \times A_{s,t} (T_a - T_d)}{L_{s,t}} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

$H_{s,t}$ ——通过内容器的吊带或其他金属支撑构件传入的热流量,单位为瓦(W);

$N_{s,t}$ ——内容器吊带或其他金属支撑构件的数量;

$\lambda_{s,t}$ ——内容器吊带或其他金属支撑构件材料在温度 T_a 与 T_d 之间平均热导率,单位为瓦每
米开尔文[W/(m·K)];

$A_{s,t}$ ——内容器金属吊带或其他金属支撑构件的截面积,单位为平方米(m²);

$L_{s,t}$ ——内容器吊带或其他金属支撑构件材料的长度,单位为米(m)。

c) 通过为约束内容器发生纵(轴)向位移而设置的限位构件传入的热流量按式(A.3)计算:

$$H_{b,l} = N_{b,l} \frac{T_a - T_d}{R_{t,l}} \dots\dots\dots (A.3)$$

$$R_{t,l} = \frac{L_{b,l}}{\lambda_b \cdot A_{b,l}} + \frac{L_{t,l}}{\lambda_{tu} \cdot A_{t,l}}$$

式中:

$H_{b,l}$ ——通过为约束内容器发生纵向位移而设置的限位构件传入的热流量,单位为瓦(W);

$N_{b,l}$ ——内容器纵向限位构件数量;

$R_{t,l}$ ——纵向限位构件的总热阻,单位为开尔文每瓦(K/W);

$L_{b,l}$ ——内容器纵向非金属限位构件的长度,单位为米(m);

$L_{t,l}$ ——内容器纵向金属限位构件的长度,单位为米(m);

λ_b ——用于制作内容器纵向非金属限位构件的热导率,单位为瓦每米开尔文[W/(m·K)];

λ_{tu} ——用于制作内容器纵向金属限位构件的热导率,单位为瓦每米开尔文[W/(m·K)];

$A_{b,l}$ ——内容器纵向非金属限位构件的截面积,单位为平方米(m²);

$A_{t,l}$ ——内容器纵向金属限位构件的截面积,单位为平方米(m²)。

d) 通过为约束内容器发生径向位移而设置的径向限位构件传入的热流量按式(A.4)计算:

$$H_{b,t} = N_{b,t} \frac{T_a - T_d}{R_{t,t}} \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

$$R_{t,t} = \frac{L_{b,t}}{\lambda_b \cdot A_{b,t}} + \frac{L_{t,t}}{\lambda_{tu} \cdot A_{t,t}}$$

式中:

$H_{b,t}$ ——通过为约束内容器发生径向位移而设置的径向限位构件传入的热流量,单位为瓦(W);

$N_{b,t}$ ——内容器径向限位构件数量;

$R_{t,t}$ ——径向限位构件的总热阻,单位为开尔文每瓦(K/W);

$L_{b,t}$ ——内容器径向非金属限位构件的长度,单位为米(m);

$L_{t,t}$ ——内容器径向金属限位构件的长度,单位为米(m);

$A_{b,t}$ ——内容器径向非金属限位构件的截面积,单位为平方米(m²);

$A_{t,t}$ ——内容器径向金属限位构件的截面积,单位为平方米(m²)。

e) 通过真空夹层的管道传入的热流量按式(A.5)计算:

$$H_{\text{tube}} = \sum_{i=1}^n \left[\frac{\lambda_t \cdot A_{\text{tube},i} (T_a - T_d)}{L_i} + \frac{\lambda_{\text{gas}} \cdot A_{\text{gas},i} (T_a - T_d)}{L_i} \right] \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

$$\lambda_t = \frac{\lambda_a - \lambda_c}{T_a - T_d}$$

式中:

H_{tube} ——通过真空夹层的管道传入的热流量,单位为瓦(W);

λ_t ——通过真空夹层的管道的材料在温度 T_a 与 T_d 之间平均热导率,单位为瓦每米开尔文[W/(m·K)];

λ_c ——真空夹层的管道材料在冷端(深冷介质在泄放压力下的饱和温度)的热导率,单位为瓦每米开尔文[W/(m·K)];

λ_a ——真空夹层的管道材料在热端的热导率,单位为瓦每米开尔文[W/(m·K)];

$A_{\text{tube},i}$ ——穿过真空夹层的内容器第 i 管的横截面积, $i=1, 2, \dots, n$, 单位为平方米(m²);

$A_{\text{gas},i}$ ——穿过真空夹层的内容器第 i 管的流通截面积, $i=1, 2, \dots, n$, 单位为平方米(m²);

L_i ——第 i 管在真空夹层内的长度,单位为米(m);

λ_{gas} ——所储存介质的气体热导率,单位为瓦每米开尔文[W/(m·K)]。

A.1.1.2 绝热系统完好且处于正常的真空状态下,外部为环境温度,内容器的温度为泄放压力下所储存的介质的饱和温度,由热壁传入冷壁的总热流量按式(A.6)计算:

$$H_1 = H_{i,v} + H_{s,t} + H_{\text{tube}} + H_{b,l} + H_{b,t} \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

式中:

H_1 ——在非火灾和绝热层完好且处于正常的真空状态下,由热壁传入冷壁的总热流量,单位为瓦(W)。

A.1.1.3 绝热系统完好且处于正常的真空状态下,外部为环境温度,内容器的温度为泄放压力下所储存的介质的饱和温度,且增压系统处于全开工作状态下,热壁通过绝热系统、构件和增压器输入内容器的总热流量按式(A.7)计算:

$$H_2 = H_1 + H_{P,B,C} \quad \dots\dots\dots (A.7)$$

$$H_{P,B,C} = U_{P,B,C} \times A_{P,B,C} \times (T_a - T_d)$$

式中:

H_2 ——热壁通过绝热系统、构件和增压器输入内容器的总热流量,单位为瓦(W);

$H_{P,B,C}$ ——增压器产生的热流量,单位为瓦(W);

$U_{P,B,C}$ ——增压器总的对流传热系数,单位为瓦每平方米开尔文[W/(m²·K)];

$A_{P,B,C}$ ——增压器总的外部传热面积,单位为平方米(m²)。

A.1.1.4 绝热系统完好,但夹层已丧失真空的状态下,外部温度为环境温度,内容器的温度为泄放压力下所储存介质的饱和温度,从热壁传入内容器的总热流量按式(A.8)计算:

$$H_3 = H_{i,l} + H_{s,t} + H_{tube} + H_{b,l} + H_{b,t} \quad \dots\dots\dots (A.8)$$

$$H_{i,l} = U_{i,l} \times A_{i,m} \times (T_a - T_d)$$

$$U_{i,l} = \frac{\lambda_{i,l}}{t_i}$$

式中:

H_3 ——绝热系统完好,但夹层已丧失真空,外部温度为环境温度,内容器的温度为泄放压力下所储存介质的饱和温度,从热壁传入内容器的总热流量,单位为瓦(W);

$H_{i,l}$ ——夹层丧失真空的状态下,通过绝热材料输入的漏热量,单位为瓦(W);

$U_{i,l}$ ——在大气压力下和环境温度下,绝热材料总的传热系数,单位为瓦每平方米开尔文[W/(m²·K)];

$\lambda_{i,l}$ ——夹层已丧失真空,在大气压力下绝热材料充满或吸附空气或介质气体,在温度 T_a 与 T_d 之间的平均热导率,单位为瓦每米开尔文[W/(m·K)];

t_i ——绝热材料的名义厚度,单位为米(m);

$A_{i,m}$ ——绝热层内外表面积的算术平均值,单位为平方米(m²)。

A.1.2 火灾情况

A.1.2.1 本条规定了深冷容器在通风条件良好、敞开空间着火的火灾工况(与外部油池火灾类似)安全泄放量的计算方法。对于储存非易燃、易爆介质的深冷容器遭受非池火工况时,设计者可根据火源距离、火焰强度、罐体辐射表面积、大气和外壳的热量吸收系数等因素确定安全泄放量计算方法。对于深冷容器遭受喷射火、部分密闭或全部密闭空间内火灾等严重火灾工况时安全泄放量的计算,设计者应另行考虑。

A.1.2.2 真空绝热容器的绝热系统完好或部分完好,但夹层真空已丧失,且外部遭遇火灾或遭遇 922 K 高温的情况下,由热壁传入内容器的总热流量按式(A.9)计算:

$$H_4 = 2.6 \times (922 - T_d) U_{i,f} \times A_r^{0.82} \quad \dots\dots\dots (A.9)$$

$$U_{i,f} = \frac{\lambda_{i,f}}{t_i}$$

式中:

H_4 ——真空绝热容器的绝热系统完整,但夹层真空已丧失,且外部遭遇火灾或遭遇 922 K 高温的情况下,由热壁传入内容器的总热流量,单位为瓦(W);

$U_{i,f}$ ——在火灾条件下(外部温度为 922 K 和大气压下)绝热层总的传热系数,单位为瓦每平方米开尔文[W/(m²·K)];

$\lambda_{i,f}$ ——真空绝热深冷容器外部遭遇火灾或遭遇 922 K 的高温,夹层真空已丧失,在大气压力下,绝热材料充满介质气体或空气,但仍能有效地阻止热传导、热对流和热辐射;绝热材料在 T_d 与 922 K 之间的平均热导率,取两者(气体或空气)之中的较大值,单位为瓦每米开尔文[W/(m·K)];

t_i ——绝热材料的名义厚度,单位为米(m);

A_r ——内容器与外壳面积的平均值,单位为平方米(m²);

半球形封头的卧式容器: $A_r = \pi D_o L$;

椭圆形封头的卧式容器: $A_r = \pi D_o (L + 0.3 D_o)$;

立式容器: $A_r = \pi D_o h_1$;

L ——外壳总长减去罐体中轴线处两端夹层厚度的平均值,单位为米(m);

D_o ——内容器与外壳直径的平均值,单位为米(m);

h_1 ——设计最大液位高度,单位为米(m)。

A.1.2.3 真空绝热深冷容器夹套外部遭遇火灾或遭遇 922 K 高温,且绝热系统已完全损坏的情况下,由热壁传入内容器的总热流量按式(A.10)计算:

$$H_5 = 7.1 \times 10^4 \times A_r^{0.82} \quad \dots\dots\dots (A.10)$$

式中:

H_5 ——真空绝热深冷容器夹套外部遭遇火灾或遭遇 922 K 高温,且绝热系统已完全损坏的情况下,由热壁传入内容器的总热流量,单位为瓦(W);

A_r ——内容器外表面积,单位为平方米(m²)。

A.2 内容器的安全泄放量(质量流量)的计算



A.2.1 当内容器的超压泄放装置的泄放压力 p_d 小于介质临界压力的 40% 时,上述各种状态下的内容器的安全泄放量按式(A.11)计算:

$$W_{s,i} = \frac{3.6 H_i}{q} \quad \dots\dots\dots (A.11)$$

式中:

$W_{s,i}$ ——当内容器的超压泄放装置的泄放压力 p_d 小于介质临界压力的 40% 时,内容器的安全泄放量,单位为千克每小时(kg/h);

H_i ——由热壁传入冷壁的总热流量,对应于 $i=1,2,3,4,5$,分别由式(A.6)、式(A.7)、式(A.8)、式(A.9)、式(A.10)计算,单位为瓦(W);

q ——在泄放压力下液体介质的汽化潜热,单位为千焦每千克(kJ/kg)。

A.2.2 当超压泄放装置的气体泄放压力 p_d 小于介质的临界压力,但大于或等于临界压力的 40%,即 $0.4 p_{crit} \leq p_d < p_{crit}$ 时,需对式(A.11)中的内容器安全泄放量计算式进行修正,即应按式(A.12)计算:

$$W'_{s,i} = 3.6 \times \left(\frac{v_g - v_c}{v_g} \right) \times \frac{H_i}{q} \quad \dots\dots\dots (A.12)$$

式中:

$W'_{s,i}$ ——当超压泄放装置的气体泄放压力 p_d 小于介质的临界压力,但大于或等于临界压力的

40%，即 $0.4p_{\text{crit}} \leq p_d < p_{\text{crit}}$ 时，内容器的安全泄放量，单位为千克每小时(kg/h)；

v_g ——泄放压力下，饱和气体介质的比容积，单位为立方米每千克(m^3/kg)；

v_e ——泄放压力下，饱和液体介质的比容积，单位为立方米每千克(m^3/kg)；

H_i ——由热壁(夹套)传入冷壁(内容器)的总热流量，对应于 $i=1, 2, 3, 4, 5$ ，分别由式(A.6)、式(A.7)、式(A.8)、式(A.9)、式(A.10)计算，单位为瓦(W)；

q ——在泄放压力下液体介质的汽化潜热，单位为千焦每千克(kJ/kg)。

A.2.3 当超压泄放装置的气体泄放压力高于介质的临界压力时，亦需对式(A.11)中的内容器安全泄放量计算公式进行修正，即应按式(A.13)计算：

$$W''_{s,i} = \frac{3.6 H_i}{q'} \quad \dots\dots\dots (\text{A.13})$$

式中：

$W''_{s,i}$ ——当超压泄放装置的气体泄放压力高于介质的临界压力时，内容器的安全泄放量，单位为千克每小时(kg/h)；

H_i ——由热壁(夹套)传入冷壁(内容器)的总热流量，对应于 $i=1, 2, 3, 4, 5$ ，分别由式(A.6)、式(A.7)、式(A.8)、式(A.9)、式(A.10)计算，单位为瓦(W)；

q' ——泄放压力 p_d 和温度 T_d (K)下，当 $\frac{\sqrt{v}}{v \left[\frac{\partial h}{\partial v} \right]_p}$ 取得最大值时的值 $v \left[\frac{\partial h}{\partial v} \right]_p$ ，单位为千焦每千克(kJ/kg)；

v ——临界或超临界介质在泄放压力 p_d 和操作温度范围内任一温度下的比容积，单位为立方米每千克(m^3/kg)；

h ——临界或超临界液体在泄放压力 p_d 下和操作温度范围内任一温度下的焓值，单位为千焦每开尔文(kJ/K)。

A.3 质量流量与标准状态体积流量的换算

将泄放气体的质量流量 $W_{s,i}$ 换算成标准状态空气体积流量，按式(A.14)计算：

$$Q_i = \frac{92.34 W_{s,i}}{C} \sqrt{\frac{ZT}{M}} \quad \dots\dots\dots (\text{A.14})$$

式中：

Q_i ——按泄放气体的质量流量 $W_{s,i}$ 换算成的标准状态空气体积流量，单位为立方米每小时(m^3/h)；

$W_{s,i}$ ——当内容器的超压泄放装置的泄放压力 p_d 小于 40% 的介质临界压力时，上述各种状态下的真空绝热压力容器的安全泄放量，单位为千克每小时(kg/h)；

C ——气体特性系数，查表 A.1 或按下式计算：

$$C = 520 \sqrt{k \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

k ——气体绝热指数， $k = c_p / c_v$ ；

c_p ——标准状态下气体比定压热容，单位为千焦每千克摄氏度[kJ/(kg·℃)]；

c_v ——标准状态下气体比定容热容，单位为千焦每千克摄氏度[kJ/(kg·℃)]；

Z ——泄放压力下饱和气体的压缩系数；

T ——泄放装置进口侧的气体温度，单位为开尔文(K)；

M ——气体的摩尔质量，单位为千克每千摩尔(kg/kmol)。

A.4 气体排放管长度对超压泄放装置入口的气体压力和温度的影响

当从内容器到泄放装置入口的气体排放管的长度超过 600 mm 时,应考虑气体流过这段管子的压力降和热量损失,采取措施补偿由此减少的泄放系统的有效泄放能力,或对泄放装置入口的气体压力和温度进行修正,相关修正方法可参照 CGA S-1.3。

A.5 安全阀排放能力计算

当 $\frac{p_o}{p_d} \leq \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}$ 时,属于临界流动状态,安全阀排放能力按式(A.15)计算:

$$W_s = 7.6 \times 10^{-2} CK p_d A \sqrt{\frac{M}{ZT}} \quad \dots\dots\dots (A.15)$$

当 $\frac{p_o}{p_d} > \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}$ 时,属于亚临界流动状态,安全阀排放能力按式(A.16)计算:

$$W_s = 55.84 \times AK p_d \sqrt{\frac{M}{ZT}} \sqrt{\frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{p_o}{p_d}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_o}{p_d}\right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} \quad \dots\dots\dots (A.16)$$

式中:

k ——气体绝热指数, $k = c_p / c_v$;

c_p ——标准状态下气体比定压热容,单位为千焦每千克摄氏度[kJ/(kg·℃)];

c_v ——标准状态下气体比定容热容,单位为千焦每千克摄氏度[kJ/(kg·℃)];

p_o ——安全阀出口压力(绝压),单位为兆帕(MPa);

W_s ——安全阀的排放能力,单位为千克每小时(kg/h);

C ——气体特性系数,查表 A.1 或按下式计算:

$$C = 520 \sqrt{k \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

K ——安全阀的额定泄放系数,与安全阀结构有关,根据试验数据确定。无参考数据时,可按下列规定选取:

全启式安全阀: $K = 0.60 \sim 0.70$

p_d ——安全阀的泄放压力(绝压), $p_d = 1.1p + 0.1$,单位为兆帕(MPa);

p ——安全阀的整定压力,单位为兆帕(MPa);

A ——安全阀最小排气截面积,单位为平方毫米(mm²);

全启式安全阀,即 $h \geq \frac{1}{4}d_t$ 时: $A = \pi \frac{d_t^2}{4}$;

h ——阀瓣的开启高度,单位为毫米(mm);

d_t ——安全阀的最小流道直径(阀座喉部直径),单位为毫米(mm)。

A.6 爆破片装置排放能力计算

当 $\frac{p_o}{p_b} \leq \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}$ 时,属于临界流动状态,爆破片装置排放能力按式(A.17)计算:

$$W_s = 7.6 \times 10^{-2} CK' p_b A \sqrt{\frac{M}{ZT}} \quad \dots\dots\dots (A.17)$$

当 $\frac{p_o}{p_b} > \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}$ 时,属于亚临界流动状态,爆破片装置排放能力按式(A.18)计算:

$$W_s = 55.84 \times AK' p_b \sqrt{\frac{M}{ZT}} \sqrt{\frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{p_o}{p_b}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p_o}{p_b}\right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} \quad \dots\dots\dots (A.18)$$

式中:

k ——气体绝热指数, $k = c_p / c_v$;

c_p ——标准状态下气体比定压热容,单位为千焦每千克摄氏度[kJ/(kg·°C)];

c_v ——标准状态下气体比定容热容,单位为千焦每千克摄氏度[kJ/(kg·°C)];

p_o ——爆破片装置出口压力(绝压),单位为兆帕(MPa);

W_s ——爆破片装置的排放能力,单位为千克每小时(kg/h);

C ——气体特性系数,查表 A.1 或按下式计算:

$$C = 520 \sqrt{k \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

A ——爆破片装置的最小净泄放面积,单位为平方毫米(mm²);

p_b ——爆破片装置的设计爆破压力(绝压),单位为兆帕(MPa);

K' ——爆破片装置的额定泄放系数,与爆破片装置入口管道形状有关,见图 A.1。

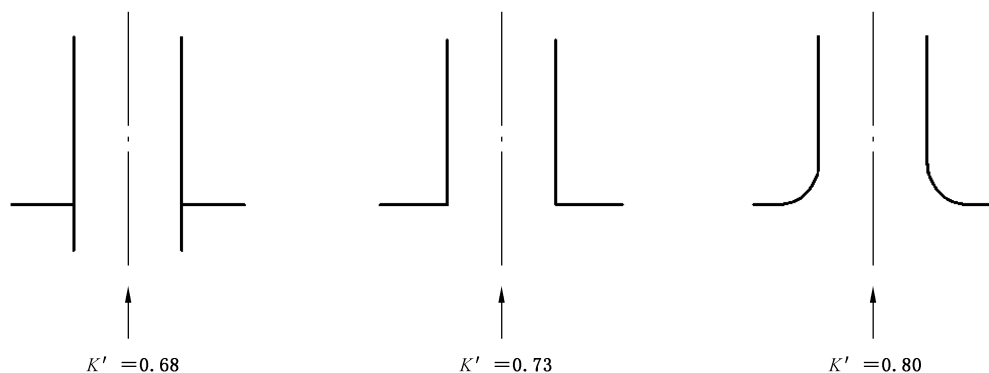


图 A.1 爆破片装置入口管道形状和额定泄放系数的关系

表 A.1 气体特性系数

k	C	k	C	k	C	k	C
1.00	315	1.20	337	1.40	356	1.60	372
1.02	318	1.22	339	1.42	358	1.62	374
1.04	320	1.24	341	1.44	359	1.64	376
1.06	322	1.26	343	1.46	361	1.66	377
1.08	324	1.28	345	1.48	363	1.68	379
1.10	327	1.30	347	1.50	365	1.70	380
1.12	329	1.32	349	1.52	366	2.00	400
1.14	331	1.34	351	1.54	368	2.20	412
1.16	333	1.36	352	1.56	369	—	—
1.18	335	1.38	354	1.58	371	—	—

参 考 文 献

- [1] ISO 21013-3 Cryogenic vessels—Pressure-relief accessories for cryogenic service—Part 3: Sizing and capacity determination
- [2] CGA S-1.3 Pressure relief device standards—Part 3: Stationery storage containers for compressed gases
- [3] Lemmon EW, Huber ML, McLinden MO. Reference fluid thermodynamic and transport properties. NIST standard reference database 23 Version 9.0. Physical and Chemical Properties Division 2010.
-