

GB 555

# 中华人民共和国国家标准

GB/T 18442.6—2011  
部分代替 GB 18442—2001

## 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 vessel—  
Part 6: Safety device requirements

2011-11-21 发布

2012-05-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布  
中国国家标准化管理委员会



## 前 言

GB/T 18442《固定式真空绝热深冷压力容器》由 6 个部分组成：

- 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。

本部分为 GB/T 18442 的第 6 部分。

本部分参考了 ISO 21009-1:2008《低温容器 固定式真空绝热容器 第 1 部分：设计，制造，检验和试验》(英文版)和 ISO 21013:2006《低温容器 压力泄放装置 第 3 部分：尺寸和容积的确定》(英文版)。

本标准代替 GB 18442—2001《低温绝热压力容器》中 6.7 条“安全装置和附件”和部分定义的内容。与 GB 18442—2001《低温绝热压力容器》相比，本部分新增或变化的内容有：

- 增加了附录 A：安全泄放量的计算；
- 增加了 4.4 条“紧急切断装置”、4.8 条“装卸阀门”、4.9 条“装卸软管及快速装卸接头”等内容。

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：中国国际海运集装箱(集团)股份有限公司、上海市气体工业协会、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、上海华谊集团装备工程有限公司、张家港中集圣达因低温装备有限公司、石家庄安瑞科气体机械有限公司、上海交通大学。

本部分主要起草人：陈文峰、周伟明、寿比南、徐惠新、潘俊兴、孙洪利、唐家雄、顾安忠、林文胜、陈朝晖、滕俊华、施锋萍。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

- 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

- 1.1 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)安全防护的基本要求。
- 1.2 本部分适用范围同本标准第1部分。

### 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 150 钢制压力容器
- GB 567 爆破片装置
- GB/T 12241 安全阀 一般要求
- GB/T 14525 波纹金属软管通用技术条件
- 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 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

### 3 术语和定义

GB 150、GB/T 18442.1、GB/T 18442.2、GB/T 18442.3、GB/T 18442.4 和 GB/T 18442.5 确立的术语和定义适用于本文件。

### 4 安全附件和装卸附件

#### 4.1 一般要求

- 4.1.1 安全附件包括:安全泄放装置(安全阀、爆破片装置、安全阀与爆破片组合安全泄放装置)、外壳防爆装置、紧急切断装置、液位计、温度计、压力表、阻火器以及导静电装置等。
- 4.1.2 装卸附件包括:装卸阀门、快速装卸接头、装卸软管等。
- 4.1.3 安全泄放装置、紧急切断装置、装卸软管及快速装卸接头的制造单位应持有国家特种设备安全监督管理部门颁发的制造许可证。
- 4.1.4 安全附件和装卸附件应符合相应标准的规定,且有产品质量证明书或产品质量合格证。

#### 4.2 内容器安全泄放装置

##### 4.2.1 内容器安全泄放装置设置要求

- 4.2.1.1 内容器安全泄放装置设置应按非火灾条件[本部分 4.2.2.2 中的工况 a)至 f)]和火灾条件

[4.2.2.2 中的工况 g)和 h),包括难以预测的可能遭遇 922 K 高温的其他外来热源]两种最基本外部条件要求进行考虑。

#### 4.2.1.2 按非火灾条件考虑时的最基本要求

内容器至少应按图 1 所示设置两个安全阀,安全阀的整定压力应不大于内容器的设计压力,其泄压能力应能有效限制内容器的压力不超过其设计压力的 1.1 倍。并且,应保证任何时间至少有一个安全阀与内容器保持连通,其中任何一个安全阀的排放能力都能满足内容器安全泄放要求。

#### 4.2.1.3 按火灾条件考虑时的最基本要求

内容器至少应按图 2 所示设置两个安全阀和两个辅助泄放装置,辅助泄放装置一般使用爆破片装置。其中一个安全阀的开启压力应不大于内容器的设计压力,其泄压能力应能有效限制内容器的压力不超过其设计压力的 1.1 倍;辅助泄放装置的动作压力不大于内容器设计压力的 1.16 倍,安全阀和辅助泄放装置的总泄压能力应能有效限制内容器的压力不超过其设计压力的 1.21 倍。同时,应保证任何时间安全阀和辅助泄放装置至少各有一个与内容器保持连通,并且单独一个安全阀就足以满足按非火灾条件考虑时内容器安全泄放要求,单独一个爆破片装置就足以满足按火灾条件考虑时内容器安全泄放要求。

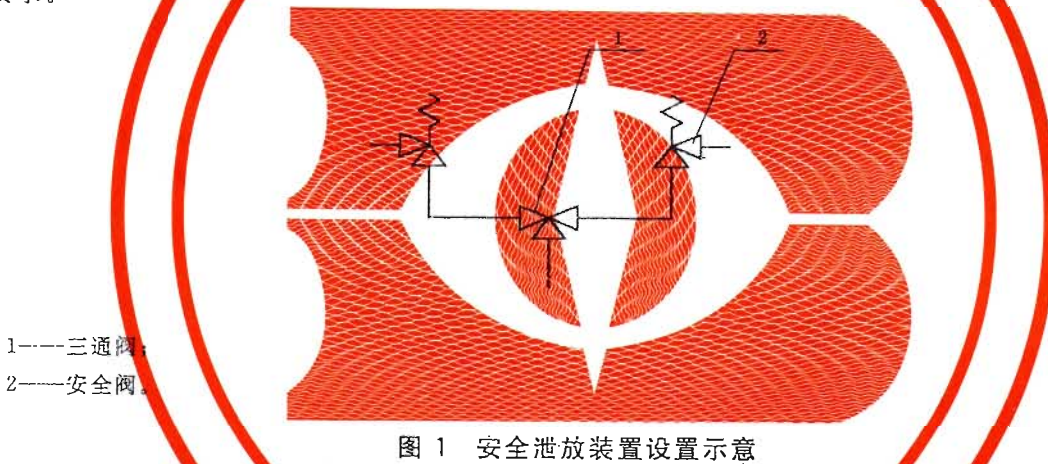
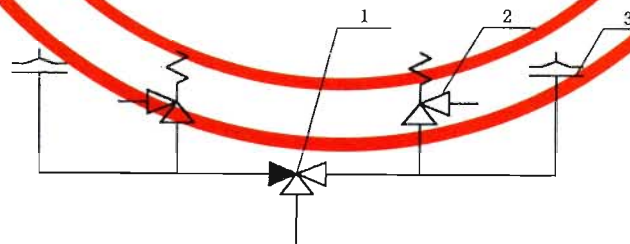


图 1 安全泄放装置设置示意

1——三通阀;  
2——安全阀。



1——切换阀;  
2——安全阀;  
3——爆破片装置。

图 2 安全泄放装置设置示意

4.2.1.4 安全阀应符合 GB/T 12241 的规定。

4.2.1.5 爆破片装置应符合 GB 567 的要求。

4.2.1.6 安全泄放装置应采用弹簧安全阀或安全阀与爆破片的组合装置。

#### 4.2.1.7 安全泄放装置的设置应符合下列要求：

- a) 安全泄放装置的入口管应设置在罐体液面以上顶部空间容积小于 2% 的地方,垂直于容器的顶部,且尽可能靠近纵向和横向的中心;
- b) 贮存非易爆介质的深冷容器,可选用安全阀与爆破片组合装置;
- c) 贮存易爆介质的深冷容器,应使用双安全阀组合装置;
- d) 气体的排放应畅通无阻,泄压排出的气体不可以直接冲击容器和主要受力结构件;
- e) 贮存易爆介质的深冷容器设置的阻火器,应不影响安全泄放装置的安全泄放量;
- f) 出口处应防止雨水和杂物的积聚,并防止任何异物的进入;
- 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。

#### 4.2.1.8 安全泄放装置应有清晰、永久的标记,标记内容应至少包括：

- a) 安全泄放装置动作压力;
- b) 额定的排气能力;
- 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 内容器安全泄放装置的排放能力不得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安全泄放装置的排放能力计算方法按附录 A。

4.2.2.2 进行内容器需要的安全泄放量计算时,至少应考虑到如下安全泄放负荷工况：

- 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的介质的饱和温度;
- 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,所储存的介质的饱和温度;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) 连接高压源与内容器的管路中的其他阀;
- e) 泵的可能组合的循环使用的影响;
- f) 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;
- g) 真空绝热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 高温;
- h) 真空绝热深冷容器夹套外部遭遇火灾或遭遇 922 K 高温,且绝热系统结构完全损坏。

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,包括本标准 4.2.2.2 条列出的 a) 至 f) 以外的工况及可能有几种工况同时发生的情况。

4.2.2.4 附录 A 未规定针对 4.2.2.2 条中的工况 d)、e) 和 f) 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 在判明容器不可能处于火灾环境的情况下,内容器安全泄放装置应满足 4.2.2.2 条中的 a) 至 f) 中可能有几种工况同时发生的安全泄放要求。

4.2.2.6 在判明容器可能处于火灾环境的情况下,一般按 4.2.2.2 条中的工况 g) 考虑安全泄放量,但也应充分研究发生极端工况 h) 的可能。

4.2.2.7 安装于地面以下的容器一般不必考虑火灾工况。

### 4.3 外壳防爆装置

#### 4.3.1 外壳防爆装置设置要求

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。

#### 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  $340\text{ mm}^2/m^3$  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 储存易爆或毒性程度为极度或者高度危害介质的容器,应按如下要求增设能快速关闭的阀门或紧急切断装置,但确认在工程系统中设置紧急切断装置(或类似的、防大量泄漏的其他紧急闭止装置)时除外。

- a) 几何容积不超过  $5\text{ m}^3$  的容器,应在液相进出管线上尽量靠近容器且便于安全操作的位置,增设能快速关闭的阀门(如球阀)或紧急切断装置。
- b) 几何容积超过  $5\text{ m}^3$  的容器,应在液相进出管线上尽量靠近容器的位置增设紧急切断装置。
- c) 紧急切断装置一般由紧急切断阀、过流控制、远程控制系统以及易熔塞自动切断装置组成。紧急切断装置应动作灵活、性能可靠、便于检修,且不应兼作它用。

4.4.1.2 在遭遇火灾或装卸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操作。

4.4.1.3 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。

#### 4.4.2 紧急切断装置的性能要求

紧急切断装置的性能应满足如下要求:

- a) 易熔塞的易熔合金熔融温度为  $75\text{ }^\circ\text{C}\pm 5\text{ }^\circ\text{C}$ ;
- b) 紧急切断阀应保证在工作压力下全开,并持续放置 48 h 不致引起自然闭止;
- c) 自始闭起,通径小于 DN50 mm 的应在 5 s 内完全闭止,通径不小于 DN50 mm 的应在 10 s 内完全闭止;
- d) 制成后应经耐压试验和气密性试验,并检验合格;
- e) 与介质直接接触的部件,其耐压试验压力应不低于内容器的耐压试验压力,保压时间应不少于 10 min。

### 4.5 液位计

4.5.1 液位计应根据介质、工作压力和温度正确选用。

4.5.2 液位计应灵活准确、结构牢固,精度等级不应低于 2.5 级。

4.5.3 不应使用玻璃板(管)液位计或其他易碎材料制液位计。

4.5.4 对易爆介质,应采用防爆型液位计,且有防止泄漏的保护装置。

- 4.5.5 液位计应安装在便于观察的位置。
- 4.5.6 设计单位应提供液位指示刻度与容积的对应关系数据。

#### 4.6 压力表

- 4.6.1 压力表应与装运介质相容。
- 4.6.2 压力表的测量范围为 1.5 倍~3.0 倍的工作压力,精度等级不低于 2.5 级,表盘直径不小于 100 mm。
- 4.6.3 压力表应设置在便于操作人员观察和清洗的位置,且应避免受到振动、冻结等不利因素的影响。

#### 4.7 导静电接地装置

- 4.7.1 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。
- 4.7.2 罐体与接地导线末端之间的电阻值应不大于 10  $\Omega$ 。

#### 4.8 装卸阀门

装卸阀门应符合下列要求:

- a) 阀体的耐压试验压力为阀体公称压力的 1.5 倍,阀门的气密性试验压力为阀体公称压力;
- b) 除安全阀以外的阀门,应在全开和全闭的工况下进行气密性试验;
- c) 手动阀门在承受气密性试验压力和工作温度的工况下应能开闭自如,且无异常阻力、空转等现象。

#### 4.9 装卸软管及快速装卸接头

- 4.9.1 装卸软管一般应采用金属波纹软管。金属波纹软管应符合 GB/T 14525 的规定。
- 4.9.2 装卸软管和快速装卸接头在承受 4 倍工作压力时不应破裂,且快速装卸接头要有良好的密封结构。
- 4.9.3 装卸软管和快速装卸接头在最低使用温度下应有良好的韧性。
- 4.9.4 装卸软管在公称压力下至少能反复使用 10 000 次,且反复弯曲性能应不少于 50 000 次。
- 4.9.5 装卸软管和快速装卸接头内表面应无油污、杂物等。
- 4.9.6 易爆和液氧介质用装卸软管的电阻应小于 0.5  $\Omega$ 。



附录 A  
(规范性附录)  
安全泄放量的计算

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(夹套和绝热材料)完好且处于正常的真空状态下,外部为环境温度,内容器的温度为泄放压力下所储存的介质的饱和温度,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:

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

式中:

$H_{i,v}$ ——在正常的真空状态下,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/m<sup>2</sup>·K);

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

式中:

$\lambda_{i,v}$ ——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(m<sup>2</sup>);

$T_a$ ——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);

$T_d$ ——对应于某一深冷介质的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);

对于临界或超临界流体,见注1说明。

注1:关于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标准 ISO 21013-3《Cryogenic vessels—Pressure-relief accessories for cryogenic service—Part 3: Sizing and capacity determination》,临界或超临界流体物性参数可参考 National Institute of Science and Technology Tables of Fluid Properties[12](美国科学与技术学会出版的流体特性表。)

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(m<sup>2</sup>);

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

$T_a$ ——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);

$T_d$ ——对应于某一深冷介质的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);

对于临界或超临界流体,  $T_d$  的确定见注1说明。

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:

$$H_{b,1} = N_{b,1} \frac{T_a - T_d}{R_{t,1}} \dots\dots\dots (A. 3)$$

式中:

$H_{b,1}$ ——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);

$N_{b,1}$ ——内容器纵向限位构件数量;

$R_{t,1}$ ——纵向限位构件的总热阻,单位为开尔文每瓦(K/W);

$$R_{t,1} = \frac{L_{b,1}}{\lambda_b \cdot A_{b,1}} + \frac{L_{t,1}}{\lambda_{tu} \cdot A_{t,1}}$$

式中:

$L_{b,1}$ ——内容器纵向非金属限位构件的长度,单位为米(m);

$L_{t,1}$ ——内容器纵向金属限位构件的长度,单位为米(m);

$\lambda_b$ ——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);

$\lambda_{tu}$ ——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);

$A_{b,1}$ ——内容器纵向非金属限位构件的截面积,单位为平方米(m<sup>2</sup>);

$A_{t,1}$ ——内容器纵向金属限位构件的截面积,单位为平方米(m<sup>2</sup>);

$T_a$ ——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);

$T_d$ ——对应于某一深冷介质的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);

对于临界或超临界流体, $T_d$ 的确定见注1说明。

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:

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

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);

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

$L_{b,t}$ ——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(m<sup>2</sup>);

$A_{t,t}$ ——内容器径向金属限位构件的截面积,单位为平方米(m<sup>2</sup>);

$T_a$ ——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);

$T_d$ ——对应于某一深冷介质的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);

对于临界或超临界流体, $T_d$ 的确定见注1说明。

e) 通过真空夹层的管道传入的热流量按式(A. 5)计算:

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

式中:

$H_{\text{tube}}$ ——通过真空夹层的管道传入的热流量,单位为瓦(W);

$\lambda_t$ ——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);

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

式中:

$\lambda_c$  ——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);

$\lambda_a$  ——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);

$A_{\text{tube} \times i}$  ——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(m<sup>2</sup>);

$L_i$  ——第*i*管在真空夹层内的长度,单位为米(m);

$\lambda_{\text{gas}}$  ——所储存介质的气体热导率,单位为瓦每米开尔文(W/m·K);

$T_a$  ——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);

$T_d$  ——对应于某一深冷介质的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);  
对于临界或超临界流体, $T_d$ 的确定见注1说明。

A. 1. 1. 2 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按式(A. 6)计算:

$$H_1 = H_{i,v} + H_{s,t} + H_{\text{tube}} + H_{b,1} + H_{b,t} \dots\dots\dots (A. 6)$$

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,热壁经由绝热系统,构件和增压汽化器输入内容器的总热流量按式(A. 7)计算:

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

式中:

$H_2$  ——热壁经由绝热系统,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);

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

式中:

$U_{P.B.C}$  ——增压器总的对流传热系数,单位为瓦每平方米开尔文(W/m<sup>2</sup>·K);

$A_{P.B.C}$  ——增压器总的外部传热面积,单位为平方米(m<sup>2</sup>);

$T_a$  ——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);

$T_d$  ——对应于某一深冷介质的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);  
对于临界或超临界流体, $T_d$ 的确定见注1说明。

A. 1. 1. 4 绝热系统完好,但夹层已丧失真空状态下,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:

$$H_3 = H_{i,1} + H_{s,t} + H_{\text{tube}} + H_{b,1} + H_{b,t} \dots\dots\dots (A. 8)$$

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);

$H_{i,1}$  ——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);

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

$U_{i,1}$  ——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( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ );

$$U_{i,1} = \frac{\lambda_{i,1}}{t_i}$$

$\lambda_{i,1}$  ——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( $\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$ );

$t_i$  ——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( $\text{m}^2$ );

$T_a$  ——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);

$T_d$  ——对应于某一深冷介质的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);

对于临界或超临界流体,  $T_d$  的确定见注 1 说明。

### A. 1.2 火灾情况

A. 1.2.1 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:

$$H_4 = 2.6 \times (922 - T_d) U_{i,1} \times A_r^{0.82} \dots\dots\dots (\text{A. 9})$$

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);

$T_d$  ——对应于某一深冷介质的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);

对于临界或超临界流体,  $T_d$  的确定见注 1 说明。

$U_{i,1}$  ——在火灾条件下(外部温度为 922 K 和大气压下)绝热材料总的传热系数,单位为瓦每平方米开尔文( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ );

$\lambda_{i,1}$  ——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,但仍能有效的阻止热传导、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( $\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$ );

$t_i$  ——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( $\text{m}^2$ );

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. 1.2.2 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:

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

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( $m^2$ );

半球形封头的卧式容器,  $A_r = \pi D_0 L$ ;

椭圆形封头的卧式容器,  $A_r = \pi D_0 (L + 0.3 D_0)$ ;

立式容器,  $A_r = \pi D_0 h_1$ ;

$L$  ——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);

$D_0$  ——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.2 内容器的安全泄放量(质量流量)的计算**

**A.2.1** 当内容器的安全泄放装置的泄放压力  $p_d$  小于介质临界压力的 40% 时,上述各种状态下的真空绝热压力容器的安全泄放量(质量流量)按式(A.11)计算:

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

式中:

$W_{s,i}$  ——当内容器的安全泄放装置的泄放压力  $p_d$  小于介质临界压力的 40% 时,真空绝热压力容器的安全泄放量,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)、(A.7)、(A.8)、(A.9)、(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** 当安全泄压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(A.11)中的容器安全泄放质量流量计算式进行修正,即应按式(A.12)计算:

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

式中:

$W_{s,i}'$  ——当安全泄压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,真空绝热压力容器的安全泄放量,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( $m^3/kg$ );

$v_c$  ——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)、(A.7)、(A.8)、(A.9)、(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** 当安全泄放装置的气体泄放压力高于介质的临界压力时,亦需对(A.11)中的内容器安全泄放质量流量计算公式进行修正,即应按式(A.13)计算:

$$W_{s,i}'' = \frac{3.6 H_i}{q'} \dots\dots\dots (A.13)$$

式中:

$W_{s,i}''$  ——当安全泄放装置的气体泄放压力高于介质的临界压力时,真空绝热压力容器的安全泄放量,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)、(A.7)、(A.8)、(A.9)、(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<sup>3</sup>/kg);

*h* ——临界或超临界液体在泄放压力 *p<sub>d</sub>* 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 将泄放气体的质量流量 *W<sub>s,i</sub>* 换算成标态空气流量按式(A.14)计算。

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

式中:

*Q<sub>i</sub>* ——按泄放气体的质量流量 *W<sub>s,i</sub>* 换算成的标态空气流量,单位为立方米每小时(N·m<sup>3</sup>/h);

*W<sub>s,i</sub>* ——当内容器的安全泄装置的泄放压力 *p<sub>d</sub>* 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:

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

式中:

*k* ——气体绝热指数, *k* = *C<sub>p</sub>* / *C<sub>v</sub>*;

*C<sub>p</sub>* ——标准状态下气体定压比热;

*C<sub>v</sub>* ——标准状态下气体定容比热;

*Z* ——在泄放压力 *p<sub>d</sub>* 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 气体排放管长度对安全泄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,必须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:

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

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:

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

式中

*k* ——气体绝热指数, *k* = *C<sub>p</sub>* / *C<sub>v</sub>*;

式中:

*k* ——气体绝热指数, *k* = *C<sub>p</sub>* / *C<sub>v</sub>*;

*C<sub>p</sub>* ——标准状态下气体定压比热;

*C<sub>v</sub>* ——标准状态下气体定容比热;

*p<sub>o</sub>* ——安全阀出口压力,单位为兆帕(MPa);

*W<sub>s</sub>* ——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:

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

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

全启式安全阀  $K=0.60\sim 0.70$ ;

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

$p$  ——容器的设计压力,单位为兆帕 MPa;

$A$  ——安全阀最小排气截面积,单位为平方毫米( $\text{mm}^2$ );

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

$h$  ——阀瓣的开启高度,单位为毫米(mm);

$d_i$  ——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

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

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:

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

式中:

$k$  ——气体绝热指数,  $k = C_p / C_v$ ;

$p_o$  ——爆破片装置出口压力,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:

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

式中:

$k$  ——气体绝热指数,  $k = C_p / C_v$ ;

$C_p$  ——标准状态下气体定压比热;

$C_v$  ——标准状态下气体定容比热;

$A$  ——爆破片装置的排放面积,单位为平方毫米( $\text{mm}^2$ );

$p_b$  ——爆破片装置的设计爆破压力,  $p_b = 1.16p + 0.1$  单位为兆帕(MPa);

$p$  ——容器的设计压力,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;

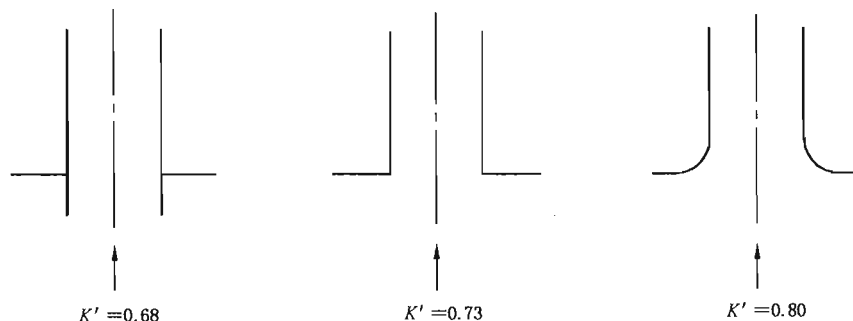


图 A.1 爆破片装置入口管道形状和额定泄放系数的关系

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	364	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	—	—