

中华人民共和国能源行业标准

NB/T ×××××—××××

冷冻液化气体铁路罐车

Railway Tankers for refrigerated liquefied gas

(征求意见稿 2020 年 7 月)

201×-××-××发布

201×-××-××实施

国家能源局 发布

## 目 次

前 言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	3
4 资质与职责 .....	4
5 材料 .....	6
6 设计 .....	9
7 安全附件、仪表和装卸附件 .....	20
8 制造 .....	25
9 试验方法 .....	36
10 检验规则 .....	38
11 标志、标识 .....	40
12 出厂文件 .....	40
13 储存和运输 .....	41
附录 A（规范性）标准的符合性声明及修订 .....	43
附录 B（规范性）风险评估报告 .....	44
附录 C（规范性）罐体安全泄放量及超压泄放装置排放能力的计算 .....	45

## 前 言

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

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由全国锅炉压力容器标准化技术委员会（SAC/TC262）提出并归口。

本文件由全国锅炉压力容器标准化技术委员会移动式压力容器分技术委员会（SAC/TC262/SC4）组织起草。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件为首次发布。



# 冷冻液化气体铁路罐车

## 1 范围

1.1 本文件确立了冷冻液化气体铁路罐车（以下简称罐车）的术语和定义、资质与职责、材料、设计、安全附件、仪表和装卸附件、制造、试验方法、检验规则、标志、标识、出厂文件、储存和运输等要求。

1.2 本文件适用于罐体内容器的设计压力不小于 0.3MPa，几何容积在 30m<sup>3</sup>~150m<sup>3</sup> 之间，罐体采用真空粉末绝热或高真空多层绝热结构，且与走行装置进行永久性连接的罐车。

1.3 本文件不适用于下列范围的罐车：

- a) 罐体材料为有色金属或非金属的；
- b) 充装标准沸点低于-196℃的冷冻液化气体介质的；
- c) 充装介质按 GB 12268 规定为毒性气体的；
- d) 国防军事装备等有特殊要求的。

1.4 界定范围

1.4.1 本文件适用的罐车范围包括罐体、管路、安全附件、仪表、装卸附件、自增压器、操作箱、走行装置等。

1.4.2 罐体界定范围如下：

- a) 罐体与管路焊接连接的第一道环向接头的坡口端面；
- b) 罐体与管路、安全附件以及仪表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，专用连接件或者管件连接的第一个密封面；
- c) 罐体开孔部分的承压盖及其紧固件；
- d) 罐体与非受压元件的连接焊缝。

1.4.3 管路包括所有与罐体直接连接的管子与管件。

1.4.4 主要受压元件包括内容器的筒体、封头以及与充装介质接触的管座、凸缘、工艺人孔筒体、工艺人孔封头、法兰、法兰盖板和公称直径不小于 15mm 的管子等。

## 2 规范性引用文件

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

GB 146.1 标准轨距铁路机车车辆限界

GB/T 150.1-2011 压力容器 第 1 部分：通用要求

GB/T 150.2-2011 压力容器 第 2 部分：材料

GB/T 150.3-2011 压力容器 第 3 部分：设计

GB/T 150.4-2011 压力容器 第 4 部分：制造、检验和验收

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：分类与安装尺寸
- GB/T 713 锅炉和压力容器用钢板
- 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 3531 低温压力容器用钢板
- GB/T 5599 机车车辆动力学性能评定和试验鉴定规范
- GB/T 5600-2018 铁道货车通用技术条件
- GB/T 5601 铁路货车检查与试验规则
- GB/T 9969 工业产品使用说明书 总则
- GB/T 10478 液化气体铁路罐车
- GB/T 12241 安全阀 一般要求
- GB/T 12243 弹簧直接载荷式安全阀
- GB 12268 危险货物品名表
- GB/T 3550 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 18443.1 真空绝热深冷设备性能试验方法第1部分：总则
- 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 24511 承压设备用不锈钢和耐热钢钢板和钢带
- GB/T 24918 低温介质用紧急切断阀
- GB/T 25198 压力容器封头
- GB/T 26929 压力容器术语
- GB/T 28791 铁道车辆标志
- 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
- JB/T 4711 压力容器涂敷与运输包装
- JB/T 4732 钢制压力容器—分析设计标准（2005年确认）
- JB/T 6804 抗震压力表
- JB/T 6896 空气分离设备表面清洁度
- JC/T 1020 低温装置绝热用膨胀珍珠岩
- NB/T 47009 低温承压设备用低合金钢锻件
- NB/T 47010 承压设备用不锈钢和耐热钢锻件

- NB/T 47013.1 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 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：气体保护电弧焊钢焊丝和填充丝
- 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
- NB/T 47058 冷冻液化气体汽车罐车
- TB/T 3443.3 机车车辆车种、车型和车号编码规则 第 3 部分：货车
- TB/T 3550.2-2019 机车车辆强度设计及试验鉴定规范 车体 第 2 部分：货车车体
- TB/T 2997 铁道车辆金属部件的接地保护
- YS/T 599 超细氧化钡粉
- TSG R07 特种设备生产和充装单位许可规则
- TSG R0005 移动式压力容器安全技术监察规程
- TSG Z6002 特种设备焊接操作人员考核细则
- TG/HY 105-2017 铁路危险货物运输管理规则

### 3 术语和定义

GB/T 150.1、GB/T 150.4、GB/T 10478、GB/T 18443、GB/T 26929和NB/T 47058界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**冷冻液化气体** refrigerated liquefied gas

在储运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 $-50^{\circ}\text{C}$ 。

#### 3.2

**冷冻液化气体铁路罐车** railway tankers for refrigerated liquefied gas

罐体内充装冷冻液化气体，且与走行装置采用永久性连接，装有制动、车钩缓冲装置以及转向架等的铁路罐车。

#### 3.3

**高真空多层绝热** high vacuum multilayer insulation

罐体的真空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。

## 3.4

**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。

## 3.5

**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。

## 3.6

**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。

## 3.7

**有效容积 effective volume**

在使用状态下，内容器允许充装冷冻液化气体的液体最大体积。

## 3.8

**等效压力 equivalent pressure**

罐体所承受的在正常运输工况中由于介质惯性力载荷的作用而引起的压力。

## 3.9

**充满率 filling rate**

罐车充装冷冻液化气体的液体体积与内容器的几何容积之比。

## 3.10

**额定充满率 specified filling rate**

罐车充装时，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。

## 3.11

**封结真空度 sealing-off vacuum degree**

罐体抽真空封口结束后，在常温下真空夹层压力相对稳定时的真空度。

## 3.12

**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 资质与职责

## 4.1 资质

设计、制造单位应按 TSG 07 和 TSG R0005 的规定，取得国家有关主管机构颁发的相应资质证书。

## 4.2 职责

## 4.2.1 设计委托方的职责

罐车的设计委托方应以书面形式向设计单位提出罐车的设计条件，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) 工作条件，包括使用环境温度、工作温度范围、工作压力范围、装卸条件及方式、装卸压力和附加载荷等；
- c) 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；
- d) 内容器几何容积或有效容积；
- e) 预期的罐车使用年限和夹层真空使用年限；
- f) 所需维持时间；
- g) 对应波动压力的压力循环次数；
- h) 转向架型号和必要的技术参数；
- i) 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、表面处理和特殊要求等）。

#### 4.2.2 设计单位的职责

- 4.2.2.1 设计单位应基于风险评估报告的内容完成罐车设计，且对设计文件的正确性和完整性负责。
- 4.2.2.2 设计文件的审批、设计专用印章的管理和使用应满足 TSG R0005 的要求。
- 4.2.2.3 设计单位应在罐车设计使用年限内保存全部设计文件。

#### 4.2.3 制造单位的职责

- 4.2.3.1 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 R0005 的规定。
- 4.2.3.2 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罐车，当原设计文件需修改时，应取得原设计单位同意修改的书面证明文件，并对改动部位作详细记录。
- 4.2.3.3 罐车应为整车制造，制造单位对罐车的制造质量负责。
- 4.2.3.4 制造单位在制造前应制订质量计划，其内容至少应包括罐车的制造工艺控制点、检验项目和合格要求。
- 4.2.3.5 制造单位的检验部门在制造过程中和完工后，应按本标准、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，并对报告的正确性和完整性负责。
- 4.2.3.6 制造单位应按照 TSG R0005 的要求向使用单位提供产品出厂资料或竣工资料。
- 4.2.2.7 制造单位应在罐车的明显部位装设产品铭牌，其要求应满足 TSG R0005 的规定。
- 4.2.3.8 制造单位应约请特种设备监督检验机构对罐车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”。
- 4.2.3.7 罐车应按型号通过主管部门核准的或批准的试验机构的型式试验和相关试验，且取得相应合格证明文件。
- 4.2.3.8 制造单位对其制造的每台罐车，应在其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) 罐体的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。

## 5 材料

### 5.1 一般要求

- 5.1.1 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。
- 5.1.2 罐体选用材料应符合 TSG R0005、GB/T 150.2 以及相应国家标准或行业标准的规定。
- 5.1.3 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。
- 5.1.4 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，且与相焊的受压元件相匹配。
- 5.1.5 受压元件材料制造单位应在材料的明显部位做出清晰、牢固的出厂钢印或采用其他可追溯的标志。
- 5.1.6 受压元件材料制造单位应向罐车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。
- 5.1.7 罐车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。
- 5.1.8 罐车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。
- 5.1.9 境外牌号材料和新材料的使用应符合 TSG R0005 的有关规定。

### 5.2 罐体材料

#### 5.2.1 一般要求

- 5.2.1.1 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。
- 5.2.1.2 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。
- 5.2.1.3 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，钢板的断后伸长率应不小于  $10\,000/R_m$ （%），且奥氏体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。

#### 5.2.2 钢板

##### 5.2.2.1 内容器用钢板

- 5.2.2.1.1 内容器用钢板一般采用奥氏体不锈钢钢板，应符合 GB/T 24511 的规定，且以固溶状态交货。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。
- 5.2.2.1.2 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 460MPa，标准抗拉强度上限值应不大于 725MPa，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。
- 5.2.2.1.3 内容器常用钢板材料的力学性能指标按表 1 的规定。
- 5.2.2.1.4 当采用表 1 以外的钢号钢板时，应符合本标准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	3~25	$\geq 220$	$\geq 250$	$\geq 520$	$\geq 40$
S30403				$\geq 210$	$\geq 230$	$\geq 490$	
S31608				$\geq 220$	$\geq 260$	$\geq 520$	
S31603				$\geq 210$	$\geq 260$	$\geq 490$	
S30458				$\geq 240$	$\geq 310$	$\geq 550$	

### 5.2.2.2 外壳用钢板

5.2.2.2.1 钢板应有良好的可焊性、足够的强度和冲击韧性，同时应考虑到外界环境的腐蚀作用。当选用低合金钢板时，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。

5.2.2.2.2 外壳用低合金钢，常温下的屈服强度标准值应不大于 460MPa，标准抗拉强度上限值应不大于 725MPa，且能适应罐车在运输、使用中所遇到的环境条件，并符合设计图样的要求。

5.2.2.2.3 外壳用低合金钢钢材，材料质量证明书中常温下的屈服强度与抗拉强度之比应不大于 0.85。

5.2.2.2.4 外壳常用钢板材料的力学性能指标按表2的规定。

5.2.2.2.5 当采用表2以外的钢板时，应符合本标准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	$\geq 245$	400~520	$\geq 25$
Q345R				$\geq 345$	510~640	$\geq 21$
16MnDR	GB/T 3531	正火，正火加回火	6~16	$\geq 315$	490~620	$\geq 21$
S30408	GB/T 24511	固溶处理	3~25	$\geq 220$	$\geq 520$	$\geq 40$
S30403				$\geq 210$	$\geq 490$	

### 5.2.3 钢锻件

5.2.3.1 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。

5.2.3.2 外壳常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。与罐内介质接触的锻件级别应不低于Ⅲ级，其余锻件级别应不低于Ⅱ级。

#### 5.2.4 管子和管件

5.2.4.1 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 14976 的规定。

5.2.4.2 管件应符合相应标准的规定。当管件采用钢锻件时，应符合 5.2.3 的规定。

5.2.4.3 奥氏体不锈钢管采用冷成形加工成型时，其成形后的铁素体测量值应不大于 15%。

#### 5.2.5 绝热材料

5.2.5.1 膨胀珍珠岩（珠光砂）应符合 JC/T 1020 下列规定，且含水率不大于 0.3%（质量分数）：

5.2.5.2 阻光剂应具有良好的化学稳定性。

5.2.5.3 高真空多层绝热材料应符合 GB/T 31480 的规定，且应采用导热系数小、放气率低的脱脂纤维布或者脱脂纤维纸等材料。

5.2.5.4 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 $\leq$ 16kg/m<sup>3</sup>；

c) 热导率：在标准大气压力和常温下，热导率 $\leq$ 0.033 W/(m·K)；在真空度为 0.133Pa (0.001mm Hg) 和温度-196℃ (77K) ~232℃ (505K) 下，热导率 $\leq$ 0.0036 W/(m·K)。

#### 5.2.6 吸附剂材料

5.2.6.1 5A 分子筛应符合 GB/T 3550 的规定，13X 分子筛应符合 HG/T 2690 的规定。

5.2.6.2 氧化钡应符合 YS/T 599 的规定。

5.2.6.3 采用其它吸附剂材料时，应能满足深冷容器使用要求，且符合相应产品标准的规定。

#### 5.2.7 焊接材料

5.2.7.1 罐体用焊接材料应符合 NB/T 47018.1~NB/T 47018.4 的规定，且有清晰、牢固的标志，并附有质量证明书。

5.2.7.2 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 R0005 的规定。

5.2.7.3 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。

#### 5.2.8 夹层支撑材料

5.2.8.1 当采用金属支撑材料作为支撑元件时，应选用导热系数小、具有良好的低温冲击韧性的材料，使用温度应在材料允许使用温度范围内，且应符合相应材料的标准要求。

5.2.8.2 当采用非金属支撑材料作为支撑元件时，应满足以下要求：

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、抗拉强度、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罐车的绝热性能、结构强度、制造工艺和使用的要求。材料在室温和-196℃条件下的物理与力学性能指标不应低于表 3 的要求。

表 3 低温绝热用环氧玻璃钢管材料物理与力学性能指标

加载方向	温度/ ℃	密度/ (g/cm <sup>3</sup> )	热导率 (W/m·K)	平均线膨 胀系数 10 <sup>-6</sup> /℃	拉伸强度 MPa	压缩强度 MPa	剪切强度 MPa	弯曲强度 MPa	冲击韧性 (J/cm <sup>2</sup> )
平行于布 层方向	室温	1.70~ 1.90	0.50	≤16	≥210	≥250	≥50	—	—
	-196		0.42		≥280	≥360	≥85	—	—
垂直于布 层方向	室温		0.48	≤40	—	≥310	≥80	≥340	≥22
	-196		0.35		—	≥420	≥100	≥420	≥35

### 5.2.9 外购件

- 5.2.9.1 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。
- 5.2.9.2 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。
- 5.2.9.3 紧固件应符合相应国家标准或行业标准的规定。
- 5.2.9.4 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。
- 5.2.9.5 罐体支座材料应有足够的强度和冲击韧性。
- 5.2.9.6 罐车用其他材料应符合设计图样相应标准和铁路行业的规定。

## 6 设计

### 6.1 一般要求

- 6.1.1 罐车的设计除应符合本标准的要求外，还应符合相关法规、安全技术规范、国家标准和行业标准的规定。
- 6.1.2 罐体、管路、安全附件、仪表及装卸附件等的布置应合理可靠，且满足使用和安全的要求。
- 6.1.3 罐车强度设计及试验鉴定应符合 TB/T 3550.2 及本标准相应的规定。
- 6.1.4 罐车动力学性能应符合 GB/T 5599 的规定。
- 6.1.5 罐车结构安全性应符合 GB/T 5600-2018 附录 A 的规定。
- 6.1.6 罐车外形轮廓应符合 GB 146.1 的规定。
- 6.1.7 罐车最高运行速度应不大于120 km/h。
- 6.1.8 罐车通过最小弯曲半径145m。
- 6.1.9 罐车的管路接头、装卸阀门、超压泄放装置、紧急切断装置、仪表和其它附件等装置应布局合理，相对集中，便于操作、检查和维护，并尽可能设置在操作箱内加以保护。管路、阀门等应有清晰标识，标明用途。
- 6.1.10 罐车充装介质为易燃、易爆的，其罐体与走行装置连接处应采用导静电措施，保证其接地性能良好。
- 6.1.11 罐车操作箱应有足够的操作空间，且连接应牢固，其设置应满足车辆使用要求。
- 6.1.12 当罐车设置增压器时，应安装在安全可靠的部位。

6.1.13 罐体设计使用年限应不少于 15 年。

## 6.2 设计文件

6.2.1 罐车的设计文件至少包括下列文件：

- 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，其基本内容应符合附录 B 的要求；
- b) 设计说明书，包括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、走行装置等的选用作出说明；
- c) 设计计算书，包括罐体强度、刚度、外压稳定性、容积、传热、安全泄放量、超压泄放装置泄放能力、内外支撑结构强度等计算、心盘承载能力计算以及罐车静强度、动力学性能、曲线通过性能、制动性能等铁路车辆整车性能计算。需要时还应进行结构强度应力分析计算、罐体传热计算等；
- d) 设计图样，包括总图、罐体及部件图、管路系统及流程图等；
- 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、仪表及装卸附件等的规格和连接方式、操作说明、维护说明、使用应注意的事项、必要的警示性告知等。

6.2.2 设计总图、罐体图、风险评估报告、设计计算书应由设计、校核、审核 3 级签署并经设计单位技术负责人或其授权人的批准。

6.2.3 设计总图上应至少注明下列内容：

- a) 产品名称、型号及设计制造依据的主要安全技术规范、标准；
- b) 工作条件，包括使用环境温度、工作温度、工作压力、介质特性（爆炸危害程度等）、介质密度等；
- 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、腐蚀裕量等，介质有应力腐蚀倾向的需注明腐蚀介质的限定含量；
- d) 主要特性参数，包括罐车的轨距、最高运行速度、最大设计总质量、整备质量、自重系数、轴重、每延米重、车辆定距、换长、车辆限界、通过最小曲线半径、内容器和真空夹层的几何容积、额定充满率、最大允许充装量等；
- e) 设计使用年限；
- f) 特殊制造要求（氮气或者惰性气体置换要求等）；
- g) 耐压试验要求；
- h) 泄漏试验要求；
- i) 罐体真空绝热型式、真空性能指标、真空绝热性能指标、真空设计使用年限等；
- j) 防腐蚀要求（必要时）；
- k) 安全附件、仪表及装卸附件的规格、性能参数及连接方式；

- l) 装卸管口方位、规格、连接法兰标准等；
- m) 铭牌位置。

#### 6.2.4 罐体设计图应至少注明下列内容：

- a) 主要受压元件材料牌号、规格、标准及要求；
- b) 主要设计参数，包括设计温度、设计压力、最低设计金属温度、腐蚀裕量、介质密度、额定充满率、最大允许充装量、充装介质及介质的危害性、内容器和真空夹层的几何容积、焊接接头系数等，介质有应力腐蚀倾向的还需注明腐蚀介质的限定含量；
- c) 内容器与外壳的圆筒、封头的计算厚度、名义厚度和最小成形厚度；
- d) 无损检测要求；
- e) 热处理要求（必要时）；
- f) 耐压试验要求；
- g) 罐体真空绝热型式、真空性能指标、真空绝热性能指标、真空设计使用年限等；
- h) 防腐蚀要求（必要时）；
- i) 罐体设计使用年限（疲劳罐体应标明循环次数）。

### 6.3 罐体设计

#### 6.3.1 一般要求

6.3.1.1 罐体应基于可能产生的失效模式进行设计。

6.3.1.2 罐体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。

6.3.1.3 当罐体强度按 GB/T 150.3 计算时，局部应力分析可按 JB 4732 的规定进行。

#### 6.3.2 载荷

6.3.2.1 罐体应能承受在正常装卸和运输过程中可能出现的各种工况条件下的内压、外压、内外压力差、纵向力、垂向力等静载荷以及相应的动载荷和热应力载荷等，并考虑这些载荷可能发生的最大组合。同时，还应考虑在设计使用年限内由于反复施加这些载荷而造成的疲劳失效。

6.3.2.2 罐体设计时应考虑下列载荷：

- a) 内压、外压或最大压差；
- b) 装载量达到最大充装质量时的液柱静压力；
- c) 运输时的惯性力；
- d) 支座、其他型式支撑件与罐体连接部位或支撑部位的作用力；
- e) 连接管路和其他部件的作用力；
- f) 罐体自重及正常工作条件下或试验条件下充装介质的重力载荷；
- g) 附属设备及管路等的重力载荷；
- h) 温度梯度或热膨胀量不同引起的作用力；
- i) 压力急剧波动引起的冲击载荷；
- j) 冲击力，如由流体冲击罐体引起的作用力等；
- k) 因压力或温度变化、安装在罐车或罐体上的设备以及机械载荷等产生的周期性动载荷。

6.3.2.3 纵向力载荷：纵向力载荷是指罐车在各种运行状态时，车钩间所产生的拉伸力和压缩力。纵向力载荷按 TB/T 3550.2 及铁路运输主管部门的相关规定。

6.3.2.4 垂向静载荷：垂向静载荷不小于罐车自重、载重和整备质量的和。

6.3.2.5 垂向动载荷：垂向动载荷按垂向静载荷乘以垂向动载荷系数确定，垂向动载荷系数按 TB/T 3550.2 的规定。

6.3.2.6 顶车载荷：顶车载荷是指用千斤顶或其它工具在一端枕梁两侧或其它顶车位将重车顶起的载荷。

6.3.2.7 外压载荷

a) 内容器的外压载荷应由设计者根据对于在制造、运输、装卸、检验试验或者其它工况中，可能出现的最大内外压力差确定；

b) 真空绝热罐体外壳的外压载荷不小于0.1MPa。

6.3.2.8 罐车基本作用载荷的组合应符合 TB/T 1335 的规定。

6.3.2.9 罐体设计时，应考虑下列温差载荷：

a) 内容器从环境温度冷却到工作温度过程中，内容器在支承点处承受的温差载荷；

b) 内容器、管道及外壳之间不同的热膨胀引起的管道反作用力，并至少考虑下列工况：

——进液冷却过程：内容器热状态，管路系统冷状态，外壳热状态；

——充装及卸料过程：内容器、管路系统均是冷状态，外壳热状态；

——运输过程：内容器冷状态，管路系统热状态，外壳热状态。

c) 罐体制造过程中夹层加热抽真空时，应考虑内容器在支撑点处、容器与外壳之间的管路及其与内容器连接处的温差载荷。

6.3.2.10 疲劳分析的免除准则

a) 满足下面 b)、c) 或 d) 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。

b) 对于循环次数 $\leq 10^6$ 的内容器，如所涉及的罐体与已有成功使用经验的罐体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：

1) 内容器采用非整体结构，如开孔采用补强圈补强或角焊缝连接件；

2) 内容器相邻部件之间有显著的厚度变化；

3) 位于成型封头过度区的连接件和接管。

c) 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10000次：

1) 包括充装与卸液在内的全范围压力循环的预计（设计）循环次数；

2) 内容器压力波动范围超过50%设计压力的工作压力环循的预计（设计）循环次数；

3) 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；

4) 由热膨胀系数不同的材料组成的部件（包括焊缝），当 $(\alpha_1 - \alpha_2) \Delta T > 0.00034$ 时的温度波动循环次数， $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 是两种材料各自的平均热膨胀系数， $\Delta T$ 为工作温度波动范围。

d) 满足JB 4732规定的相应的疲劳分析免除条件。

### 6.3.3 设计温度

6.3.3.1 内容器的设计温度不应低于元件金属在正常工况下可能达到的最高工作温度。

6.3.3.2 外壳的设计温度应考虑环境温度的影响，且不低于 50℃。

6.3.3.3 各元件进行稳定性校核时，其设计温度应考虑正常工作情况及加热抽空时的最高温度。

6.3.3.4 内容器的最低设计金属温度应考虑正常运输、使用、检验及试验中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（包括试验介质）的沸点。

6.3.3.5 外壳的最低设计金属温度，应考虑环境温度的影响，且不高于-40℃。

### 6.3.4 压力

#### 6.3.4.1 设计压力

6.3.4.1.1 内容器设计压力按下列规定确定：

a) 内压应不小于下列情况中工作压力的最大值：

1) 充装、卸料工况的工作压力；

2) 设计温度下介质的饱和蒸汽压（表压）。

b) 外压不应小于在制造、运输、装卸、检验与试验或者其它工况中可能出现的最大内外压力差。

6.3.4.1.2 外壳设计压力按下列规定确定：

a) 内压不应小于外壳防爆装置的设定的排放压力。当罐体绝热型式为真空粉末绝热时，还应考虑粉末填充过程中可能出现的最大内压；

b) 外压为0.1MPa。

#### 6.3.4.2 计算压力

6.3.4.2.1 内容器受压元件计算压力应不小于设计压力、液柱静压力、等效压力与 0.1MPa 之和。

6.3.4.2.2 液柱静压小于设计压力的 5%时，可忽略不计。

#### 6.3.4.3 等效压力

等效压力应符合下列规定：

a) 确定等效压力时的介质惯性力载荷应符合TB/T 3550.2及铁路行业的规定；

b) 等效压力按相应方向的惯性力载荷（静态力）除以与该力的作用方向垂直的罐体截面的投影面积所得的商确定；

c) 等效压力应不小于各方向上按b)计算所得值中的最大值，且不小于0.035MPa。

### 6.3.5 焊接接头系数

6.3.5.1 内容器的焊接接头系数取 1。

6.3.5.2 外壳的焊接接头系数取 0.85。

### 6.3.6 许用应力

6.3.6.1 当罐体承受压力载荷时，采用规则设计的罐体，其材料许用应力按 GB/T 150.2 选取。

6.3.6.2 采用规则设计的罐体，局部采用分析设计时，材料的许用应力按 GB/T 150.2 的规定选取。

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

6.3.6.4 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。

### 6.3.7 腐蚀裕量

6.3.7.1 罐体的腐蚀裕量应由用户提供或设计确定。

6.3.7.2 有均匀腐蚀或磨损的元件，应按预期的罐体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。

6.3.7.3 罐体各组件受到的腐蚀程度不同时，可采用不同的腐蚀裕量。

6.3.7.4 当外壳外表面有可靠的防腐措施时，可不考虑腐蚀裕量；否则应考虑与所使用的环境相适应的腐蚀裕量。

### 6.3.8 罐体厚度要求

6.3.8.1 罐体的设计厚度应不小于 GB/T 150 或 JB 4732 确定的罐体计算厚度与腐蚀裕量之和；

6.3.8.2 罐体受压元件成形后，应保证设计要求的最小厚度。

### 6.3.9 充满率

6.3.9.1 最大充满率应符合下列规定：

- a) 充装非易燃、易爆介质的罐体，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、易爆介质的罐体，任何情况下可能达到的最大充满率应不大于95%。

6.3.9.2 额定充满率应符合下列规定：

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

6.3.9.3 在确定初始充满率时，应考虑罐车运输预期所需的维持时间（包括可能遇到的任何延误）、最大充满率、最大允许充装量等因素，且应不超过额定充满率。

6.3.9.4 罐体应设置如溢流口等防超装的装置。溢流口应根据设计使用工况设置一个或多个，且符合 6.3.9.3 的规定。

### 6.3.10 最大允许充装量

6.3.10.1 罐车的最大允许充装量应满足罐车允许的承载能力，并满足 6.3.9 的要求。

6.3.10.2 当罐车运输过程中不能满足 6.3.9.1~6.3.9.3 的要求时，应降低初始充装量。

### 6.3.11 真空绝热性能

6.3.11.1 罐体静态蒸发率应符合表 4 的规定。

6.3.11.2 维持时间应满足罐车预期最大运输周期的要求，同时具有一定的安全裕量储备。

表 4 静态蒸发率

内容器 有效容积 V/m <sup>3</sup>	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
30	0.28	0.42	0.17	0.26	0.20	0.29	0.175	0.279
35	0.26	0.40	0.16	0.25	0.19	0.27	0.165	0.267
40	0.24	0.38	0.15	0.24	0.18	0.26	0.155	0.256
50	0.21	0.36	0.13	0.22	0.16	0.24	0.137	0.240
65	0.20	0.33	0.11	0.18	0.14	0.21	0.130	0.218
85	0.19	0.29	0.10	0.16	0.11	0.19	0.123	0.190
100	0.17	0.26	0.09	0.14	0.10	0.17	0.115	0.167

130	0.15	0.23	0.08	0.13	0.09	0.16	0.100	0.148
150	0.12	0.20	0.07	0.12	0.08	0.15	0.085	0.130

注：中间值采用内插法确定。

### 6.3.12 夹层的真空性能

6.3.12.1 真空夹层漏气速率应符合表 5 的规定。

表 5 真空夹层漏气速率

内容器几何容积 V m <sup>3</sup>	漏气速率 Pa m <sup>3</sup> /s	
	高真空多层绝热	真空粉末绝热
30≤V≤50	≤5.0×10 <sup>-9</sup>	≤1.0×10 <sup>-8</sup>
50<V≤100	≤1.0×10 <sup>-8</sup>	≤5.0×10 <sup>-8</sup>
100<V≤150	≤5.0×10 <sup>-8</sup>	≤1.0×10 <sup>-7</sup>

6.3.12.2 真空夹层漏放气速率应符合表 6 的规定。

表 6 真空夹层漏放气速率

内容器几何容积 V m <sup>3</sup>	漏放气速率 Pa m <sup>3</sup> /s	
	高真空多层绝热	真空粉末绝热
30≤V≤50	≤1×10 <sup>-6</sup>	≤1×10 <sup>-5</sup>
50<V≤100	≤5×10 <sup>-6</sup>	≤5×10 <sup>-5</sup>
100<V≤150	≤1×10 <sup>-5</sup>	≤1×10 <sup>-4</sup>

6.3.12.3 常温下真空夹层封结真空度应符合表 7 的规定。

6.3.12.4 夹层真空性能应满足 5 年真空使用年限的要求。

表 7 封结真空度

内容器几何容积 V m <sup>3</sup>	真空度 Pa	
	高真空多层绝热	真空粉末绝热
30≤V≤50	≤0.03	≤3
50<V≤100	≤0.05	≤5
100<V≤150	≤0.08	≤8

### 6.3.13 耐压试验

6.3.13.1 内容器耐压试验一般采用气压试验，真空夹层内的管路应尽可能与内容器一起进行耐压试验。

6.3.13.2 内容器与外壳组装前，内容器耐压试验压力最低值按式（1）或式（2）确定：

a) 液压试验

$$p_T = 1.3(p + 0.1) \dots\dots\dots (1)$$

b) 气压试验

$$p_T = 1.15(p + 0.1) \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$p_T$ ——试验压力, MPa;

$p$ ——内容器设计压力, MPa。

6.3.13.3 内容器与外壳组装完毕且建立夹层真空后,内容器耐压试验压力最低值按式(3)或式(4)确定。

a) 液压试验

$$P_T = 1.3(p + 0.1) - 0.1 \dots\dots\dots (3)$$

b) 气压试验

$$p_T = 1.15(p + 0.1) - 0.1 \dots\dots\dots (4)$$

6.3.13.4 当采用大于上述规定的耐压试验压力时,应在内容器耐压试验前校核各受压元件在试验条件下的应力水平。内容器元件应按式(5)校核最大总体薄膜应力 $\sigma_T$ 。

$$\sigma_T = \frac{p_T(D_i + \delta_e)}{2\delta_e} \dots\dots\dots (5)$$

式中:

$\sigma_T$ ——试验压力下圆筒的最大总体薄膜应力,单位为兆帕(MPa);

$p_T$ ——试验压力,单位为兆帕(MPa);

$D_i$ ——圆筒的内直径,单位为毫米(mm);

$\delta_e$ ——圆筒的有效厚度,单位为毫米(mm)。

6.3.13.5 内容器最大总体薄膜应力 $\sigma_T$ 应满足下列条件:

a) 液压试验

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

b) 气压试验

$$\sigma_T \leq 0.8 R_{eL} (R_{p0.2}) \dots\dots\dots (7)$$

式中:

$R_{eL} (R_{p0.2})$ ——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),MPa。

#### 6.3.14 泄漏试验

每辆罐车组装完毕后应进行泄漏试验,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,试验介质应为干燥清洁的空气、氮气或其他惰性气体。

#### 6.3.15 结构设计

##### 6.3.15.1 一般要求

6.3.15.1.1 充装液氧的罐车,可能与氧和滞留氧接触的管路、阀门等部件不应选用铝和铝合金材料。

6.3.15.1.2 设计时,应考虑内容器、外壳在制造和工作过程中因温度变化而引起的温差应力集中处,必要时应设置补偿装置。

##### 6.3.15.2 焊接结构

- 6.3.15.2.1 对接焊接接头应采用全截面焊透的对接接头形式。
- 6.3.15.2.2 管子、凸缘等与内容器的焊接应采用全焊透结构。
- 6.3.15.2.3 尽量减少焊接件的变形和应力，如不同厚度的材料焊接时，应采用等厚度的接头型式。
- 6.3.15.2.4 焊接接头的连接应尽可能采用有较高静载荷及疲劳强度的接头型式。
- 6.3.15.2.5 焊缝应避免过于集中，尽量减少应力集中和接头变形。
- 6.3.15.2.6 两种不同材料焊接时，其焊接接头型式应考虑材料的热胀冷缩特性、熔化温度、导热系数等因素。
- 6.3.15.3 罐体一般不设置人孔或检查孔。
- 6.3.15.4 装卸口的设置
- 6.3.15.4.1 充装易燃、易爆介质的罐体，装卸用及连接外部增压器的液相口和气相口应分别由三个相互独立并且串联在一起的关闭装置组成，第一个是尽可能靠近外壳的紧急切断阀或等效装置（如顶部进液口采用单向阀），第二个是截止阀，第三个是盲法兰或等效装置。
- 6.3.15.4.2 充装非易燃、易爆介质的罐体，装卸用及连接外部增压器的液相口和气相口应分别至少设置两个独立的串连在一起的关闭装置，第一个是靠近外壳的低温截止阀，第二个是盲法兰或等效装置。
- 6.3.15.4.3 装卸口均应标明其用途。
- 6.3.15.5 夹层支撑
- 6.3.15.5.1 支撑结构及受其反力作用的壳体局部应有足够的强度与刚度。
- 6.3.15.5.2 支撑结构在压、弯组合载荷下，应有足够的稳定性。
- 6.3.15.5.3 支撑结构至少能够承受运输工况中的惯性力载荷，该惯性力载荷为 6.3.2.7 所规定的液体惯性力载荷与内容器重量所产生的惯性力之和（采用高真空多层绝热的还应考虑绝热材料的重量）。
- 6.3.15.6 绝热设计
- 6.3.15.6.1 充装标准大气压下沸点不高于 $-182^{\circ}\text{C}$ 介质的罐体，不应采用可能与氧气或富氧气氛发生危险性反应的绝热材料。
- 6.3.15.6.2 当夹层支撑的漏热量计算不能按经验公式计算时，宜采用有限元热分析计算。当夹层支撑材料的导热系数未知时，应采用试验方法确定。
- 6.3.15.6.3 真空多层绝热罐体的绝热层材料的漏热量可按绝热结构表观比热流  $q$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) 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的影响。
- 6.3.15.6.4 内容器引出的液相管路应设置气封液结构。
- 6.3.15.6.5 真空夹层中吸附剂的设置应符合下列规定：
- 真空夹层中冷侧应放置在低温、真空状态下对极性分子的气体具有较强吸附性能的吸附剂，如选用5A分子筛、13A分子筛或活性炭等；
  - 高真空绝热夹层热侧应放置具备吸氢能力的吸附剂，充装介质为液氧的罐体不应选用氧化钡；
  - 充装标准大气压下沸点不高于 $-182^{\circ}\text{C}$ 介质的罐体，不应使用在富氧环境下会产生爆炸的吸附剂；
  - 真空夹层内放置吸附剂的吸附用量，应能满足5年真空使用年限的要求。

6.3.15.6.6 采用真空粉末绝热结构时，可向粉末中添加阻光剂，其与粉末材料的质量比不大于 0.2%。充装液氧介质的真空绝热罐体不应选用铝粉、活性炭等易燃阻光剂。

#### 6.4 结构件的连接

6.4.1 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) 结构件材料厚度应不大于与其相连接的罐体材料厚度的 0.7 倍。

6.4.2 当主要受力结构件通过垫板与罐体连接时，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 4mm；
- 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。

6.4.3 夹层支撑、外壳支座等结构件的最大一次局部薄膜应力与一次弯曲应力之和应不超过 0.75 倍的材料常温屈服强度。

#### 6.5 罐体与底架连接结构设计

6.5.1 罐体与底架连接应牢固、安全、可靠，有足够的刚度和强度，满足运输要求。

6.5.2 无中梁罐车应将罐体与牵枕装置组焊成一体，牵枕装置的枕梁与筒体的连接包角不小于 120°。有中梁罐车的罐体与底架的连接结构可采用上、下鞍螺栓紧固，也可采用其他可靠的连接方式。

#### 6.6 管路

6.6.1 管路系统的设计结构应避免热胀冷缩、机械颤动、振动或各附件之间存在相对运动等所引起的损坏，必要时应考虑补偿结构和紧固装置。

6.6.2 管路的设计压力应不低于内容器的设计压力。管路的公称压力应不小于内容器工作压力的 2 倍，且应在承受 4 倍管路系统工作压力时不致破裂。

6.6.3 两端均可关闭且有可能存留液体的管路，应设置安全阀，其整定压力应不超过 1.5 倍的管路系统工作压力。

6.6.4 管路的设计应能防止阀门被意外开启，在运输及装卸过程中不致脱卸或损坏。管路的设计应尽可能将需要操作的阀门、需要校验的仪表设置在易于操作、维修、更换的位置。

6.6.5 管子、管件之间的连接应采用焊接连接，焊接接头应优先采用全焊透对接接头形式。

6.6.6 仪表管路与主管路之间的连接应采用焊接连接，仪表与管路的连接可采用卡套或活套接头等连接方式。

6.6.7 真空夹层内的管路连接应为焊接结构，且宜采用等壁厚、全焊透的对接接头，也可采用承插焊结构。

6.6.8 管路部件中的法兰组件等的压力等级应与管路的压力等级相匹配。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。

6.6.9 超压泄放管路应满足下列要求：

- a) 泄放管路应与内容器气相空间直接相通，管路通径应满足内容器安全泄放的要求；
- b) 泄放管进口应设置在内容器顶部气相空间不大于 2% 的位置，且尽可能靠近纵向和横向的中心；
- c) 超压泄放装置进口连接管路应尽可能短而直，其内截面积应不小于超压泄放装置所需的内截面积；
- d) 超压泄放装置连接管路出口应尽量集中布置，且引出操作箱，避免朝向操作箱、车体附件等部件。

6.6.10 顶部喷淋管（或装置）应能在充液时使内容器尽量被均匀冷却，喷淋孔截面积总和不少于喷淋管截面积。

6.6.11 自增压器管路应满足下列要求：

- a) 自增压器进液管路和气体回流管路应与自增压器增压能力和压力相匹配，且尽量减少其流通阻力；
- b) 自增压器气体回流管路应避免形成气阻。

6.6.12 压力测量管路取压口的设置，应避免其他管口对其造成的冲击、扰动。

6.6.13 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。气相取压口可与压力测量管路的取压口共用。液相取压口的设置应避免底部进液、卸液时对其造成冲击、扰动。液相取压管路的设计，应能将管路中的液体充分气化，防止损坏液位测量装置。

6.6.14 溢流管路的设置应符合下列规定：

- a) 入口高度应符合 6.3.15 的规定；
- b) 出口端应设置截止阀；
- c) 出口朝向应避免造成对操作人员和罐车的伤害。

6.6.15 管路的耐压试验原则如下：

a) 夹层内部管路以及与罐体无法截断的外部管路可与罐体一同进行耐压试验，管路耐压试验压力与罐体相同。

b) 无法与内容器一起进行耐压试验的管路，应单独进行耐压试验，其耐压试验压力不低于下列要求：

1) 液压试验

$$P_T=1.5p \dots\dots\dots (8)$$

2) 气压试验

$$P_T=1.15p \dots\dots\dots (9)$$

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）；

## 6.7 抽真空与真空度检测装置

- 6.7.1 真空阀门和真空接头的漏气速率应与罐体真空夹层的漏气速率相匹配。
- 6.7.2 真空阀门和真空接头应设置保护装置。
- 6.7.3 可根据罐体大小、抽真空速率要求等设置多个抽真空装置或者采用较大口径抽真空装置。
- 6.7.4 充装易燃、易爆介质的罐体，应采用不会产生火花的真空规管，并设置保护装置。
- 6.7.5 真空规管的测量范围应与设计图样要求相匹配，且有质量证明书和合格证。

## 6.8 自增压汽化器

- 6.8.1 自增压汽化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，且考虑使用工况中的震动和材料的热胀冷缩等影响。
- 6.8.2 自增压汽化器的汽化量应能满足设计排液速率的要求。
- 6.8.3 自增压汽化器的结构设计应避免液体或气体的偏流。

## 7 安全附件、仪表和装卸附件

### 7.1 一般要求

- 7.1.1 罐车的安全附件、仪表和装卸附件的设置，除应符合 TSG R0005 和本标准的规定外，还应满足设计文件的要求。
- 7.1.2 安全附件包括：超压泄放装置（安全阀、爆破片装置、安全阀与爆破片组合装置）、外壳防爆装置、紧急切断装置及导静电装置等。
- 7.1.3 仪表包括：压力测量装置、液位测量装置等。
- 7.1.4 直接与罐内介质连通的仪表不应采用易碎、易损材料制造。
- 7.1.5 仪表应灵敏、可靠，并有足够的精度和牢固的结构。
- 7.1.6 仪表露出罐体外的部分应有相应的保护措施。
- 7.1.7 装卸附件包括：装卸阀门、快速装卸接头（以下简称快装接头）等。
- 7.1.8 选用的安全附件、仪表和装卸附件应与充装介质相适应。
- 7.1.9 安全附件、仪表和装卸附件出厂时应随产品提供质量证明文件或合格证，且在产品的明显部位有永久性标识或装设金属铭牌。
- 7.1.10 充装易燃、易爆介质的罐车，采用带有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。
- 7.1.11 安全阀、压力表与罐体组装前，应进行校验和检定，合格后应重新铅封。
- 7.1.12 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。
- 7.1.13 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。
- 7.1.14 当附件之间存在有相对运动时，应设置必要的支撑或紧固装置。

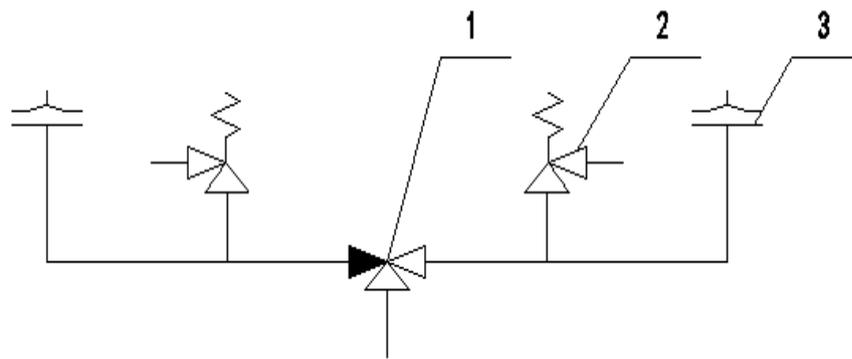
### 7.2 内容器超压泄放装置

#### 7.2.1 内容器超压泄放装置的设置

7.2.1.1 内容器应至少设置两组相互独立的超压泄放装置。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、易爆介质或液氧的罐车，辅助泄放装置应选用安全阀。

7.2.1.2 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：

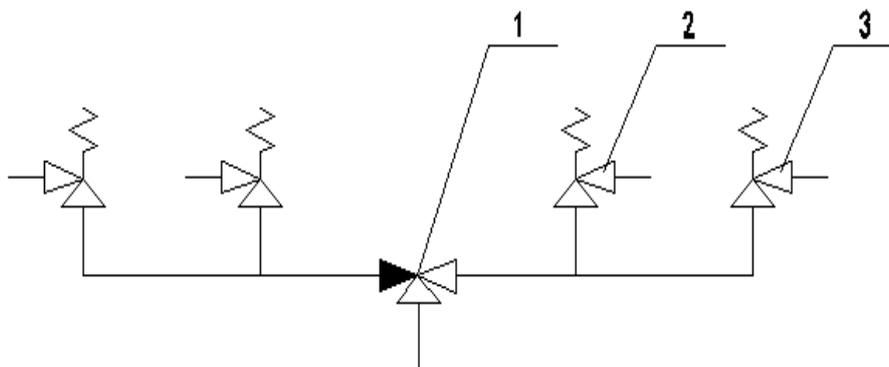
- a) 主安全阀的整定压力应为内容器设计压力的 1.05~1.1 倍,回座压力应不低于整定压力的 0.90 倍;
- b) 辅助泄放装置的动作压力应不小于主安全阀的整定压力,且应不大于内容器设计压力的 1.16 倍;
- c) 主安全阀的排放能力应保证内容器在非火灾条件下的压力不超过其设计压力的 1.16 倍,每组超压泄放装置的总排放能力应保证内容器在火灾条件下的压力不超过其设计压力的 1.2 倍;
- d) 任何情况下应保证至少有一组超压泄放装置与内容器保持连通,并且每一个安全阀或爆破片装置的排放能力均满足按非火灾条件考虑时内容器的安全泄放要求,每一组超压泄放装置的排放能力均满足按火灾条件考虑时内容器的安全泄放要求。



说明:

1——切换阀; 2——主安全阀; 3——爆破片装置。

图 1 安全阀与爆破片组合超压泄放装置设置示意



说明:

1——切换阀; 2——主安全阀; 3——辅助安全阀。

图 2 安全阀与安全阀组合超压泄放装置设置示意

7.2.1.3 安全阀应符合 GB/T 12241 和 GB/T 12243 的规定。

7.2.1.4 爆破片装置应符合 GB/T 567.1~ GB/T 567.3 的要求。

7.2.1.5 超压泄放装置的设置应符合下列要求:

- a) 入口管应设置在内容器液面以上顶部空间小于 2% 的地方,垂直于内容器的顶部,且尽可能

靠近纵向和横向的中心；

- b) 超压泄放装置应安装在介质冷冻效应不影响阀门有效动作的地方，且罐车意外翻倒、撞击时不易受到损坏；
- c) 超压泄放装置的气体出口处应能防止雨水、杂物的积聚和异物的进入，气体排放应畅通无阻，排出的气体不应直接冲击容器和主要受力结构件；
- d) 选用的爆破片在爆破时不应产生碎片、脱落或火花，宜采用 S31603 材料制的反拱刻槽型爆破片；
- e) 超压泄放装置与罐体之间不宜装设过渡连接阀门。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，方可在安全阀与罐体之间装设过渡连接阀门。在罐车正常使用、装卸和运行期间，过渡连接阀门必须保证全开（加铅封或者锁定），过渡连接阀门的结构和通径应不妨碍超压泄放装置的安全泄放；
- f) 超压泄放装置应有防止随意打开的措施，并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。

7.2.1.6 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；
- c) 制造许可证编号及标志；
- d) 制造单位名称或标识商标。

7.2.2 内容器安全泄放量

7.2.2.1 内容器超压泄放装置的排放能力应不小于内容器安全泄放量，内容器安全泄放量及超压泄放装置的排放能力计算方法应符合附录 C 的规定。

7.2.2.2 内容器安全泄放量计算时，至少应考虑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，外部温度为环境温度，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夹层处于正常的真空状态下，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) 绝热系统结构完好且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它阀的排放能力；
- e) 以可能的最大流量对正常工作温度下的内容器加注带液闪蒸气体；
- f) 罐体的绝热系统结构完好或部分完好、夹层已丧失真空状态下，罐体处于火灾或 650℃ 及以上高温工况；
- g) 罐体的绝热系统结构完全损坏，罐体处于火灾或 650℃ 及以上的高温工况。

7.2.2.3 设计人员应根据实际条件判明可能发生的各种工况，包括 7.2.2.2 列出的 a) ~e) 以外的工况及可能的组合工况。

7.2.2.4 当罐体可能处于火灾或 650℃ 及以上的高温工况时，应按 7.2.2.2 中的工况 f) 计算安全泄放量，且应充分研究发生极端工况 g) 的可能。

### 7.3 外壳防爆装置

#### 7.3.1 外壳防爆装置设置应满足下列要求：

- a) 泄放压力应不大于 0.05MPa，其排放能力足以使夹层的压力限制在不超过 0.1MPa；
- b) 能耐大气腐蚀，其材料应与环境温度相适应；
- c) 能防止绝热材料的堵塞；
- d) 自紧式防爆装置的盖板应有相应的保护措施。

#### 7.3.2 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 $340mm^2/m$ 的乘积。

### 7.4 紧急切断装置

7.4.1 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，且不应兼作它用。

7.4.2 紧急切断装置应经耐压试验和气密性试验检验合格。

7.4.3 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。在非装卸时，紧急切断阀应处于闭合状态，并能防止因冲击或意外动作所致的打开。在罐车遇火时，紧急切断阀应能自动关闭，并能进行远程控制操作。

#### 7.4.4 远程控制系统应满足下列要求：

- a) 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：
  - 压缩空气应无油且洁净、干燥；
  - 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；
  - 气动控制系统的管路应采用 PVC 或不锈钢材料。
- b) 关闭操作装置应设置在人员易于到达的位置，并有明显指示标志。

7.4.5 当紧急控制系统管路采用不锈钢材料时，紧急切断装置应设置易熔合金塞。易熔合金塞的熔融温度不高于  $70^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$ 。

### 7.5 导静电装置

7.5.1 充装易燃、易爆介质的罐车应设置可靠的行车状态和驻车状态导静电装置。

7.5.2 罐车应在车体与转向架、转向架构架（侧架）与轮对间设置行车导静电装置，应符合 TB/T 2997 的规定。

#### 7.5.3 驻车导静电装置应符合下列规定：

- a) 罐体、管路、阀门和底架等连接处的导电性应良好；
- b) 罐车罐体金属与接地导线末端之间的导静电接地装置电阻值应不超过  $5\Omega$ 。

### 7.6 压力测量装置

7.6.1 罐体应装设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。

#### 7.6.2 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) 应符合相应的国家标准或行业标准的规定；
- c) 压力表应符合 JB/T 6804 的规定，且表盘直径不小于 100mm、精度等级不小于 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型阀或其它切断阀门。针型阀或切断阀门上应有开启标记和锁紧装置，并且不得连接其它用途的配件或接管。

#### 7.6.3 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。

### 7.7 液位测量装置

7.7.1 罐车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。

#### 7.7.2 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) 液位计精度等级不低于 2.5 级；
- d) 对易燃、易爆介质，应采用防爆型液位测量装置；
- 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) 液位计应有液位指示刻度与容积的对应关系，且附有在工作温度上限和下限的介质密度、压力与体积对照表。

### 7.8 温度测量装置

7.8.1 罐车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。

7.8.2 温度测量装置的测量范围应予充装介质的工作温度相适应。

7.8.3 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。

### 7.9 带传感器或电气控制元件的测量装置

7.9.1 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。

7.9.2 温度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。

7.9.3 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。

7.9.4 选用带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。

### 7.10 装卸附件

#### 7.10.1 装卸阀门

7.10.1.1 装卸阀门的公称压力应不低于罐体的设计压力，阀门阀体的耐压试验压力为阀门公称压力的 1.5 倍，阀门的气密性试验压力为阀门公称压力。

7.10.1.2 阀门应在全开和全闭工作状态下经气密性试验合格。

- 7.10.1.3 装卸阀门的阀体材料不应选用铸铁或者非金属材料。
- 7.10.1.4 手动阀门应在阀门承受气密性试验压力下启闭操作自如，且不应有异常阻力、空转等。
- 7.10.2 快装接头
  - 7.10.2.1 快装接头应符合相应产品标准和设计图样的规定。
  - 7.10.2.2 快装接头与充装介质接触部分应有良好的耐腐蚀性能，且应无油污、杂物等。
  - 7.10.2.3 快速装卸接头要有良好的密封结构，且快装接头在最低使用温度下应具备足够的韧性。

## 8 制造

### 8.1 一般要求

- 8.1.1 罐车应按经规定程序批准的设计文件及本标准的要求进行制造与检验。
- 8.1.2 罐车转向架、车钩、缓冲器、制动装置等零部件的制造单位，应按铁路行业的相关规定取得认可后，方能进行制造、检验及验收。
- 8.1.3 罐车走行装置、罐体受压元件（封头、锻件等）以及罐体的安全附件、仪表、装卸附件等为外购、外协件时，罐车制造单位应保证外购、外协件的质量满足设计文件及本标准的要求，且经检验合格后方可使用。
- 8.1.4 罐体施焊人员应按 TSG Z6002 的规定考核合格，且取得相应项目的《特种设备作业人员证》后，方可在有效期内担任合格项目范围内的焊接工作。
- 8.1.5 罐体的无损检测应由持有相应项目的《特种设备检验检测人员证（无损检测人员）》，且在有效期内的人员担任。
- 8.1.6 制造过程中不允许强力组装。
- 8.1.7 制造单位应建立并严格执行焊接材料验收、复验、保管、烘干、发放和回收制度。
- 8.1.8 罐车的外廓尺寸应符合设计图样规定。
- 8.1.9 罐车的设计总质量和轴载质量应符合设计图样规定。
- 8.1.10 罐车上的零部件，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，各连接管路、附件与罐体连接面、阀门和液位计等其工作状态应安全、灵活和可靠。

### 8.2 底架

底架的组装除符合 GB/T 5600-2018 的规定外，还应符合设计图样要求。

### 8.3 罐体

#### 8.3.1 焊接接头分类

8.3.1.1 内容器及外壳受压元件之间的焊接接头分类分为 A、B、C、D 四类（如图 3、图 4 所示），分类规定如下：

- a) 圆筒部分（包括管子）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焊接头，均属 A 类焊接接头；
- b) 壳体部分的环向接头、长颈法兰或厚壁管接头与管子的对接环向接头，均属 B 类焊接接头，但已规定为 A 类的焊接接头除外；
- c) 法兰或厚壁管接头与管子连接的非对接接头均属 C 类焊接接头，但已规定为 A、B 类的焊接接

头除外；

- d) 管子、人孔、凸缘、补强圈、管帽等与壳体连接的接头、管帽与管子连接的非对接接头均属于D类焊接接头，但已规定为A、B、C类的焊接接头除外。

8.3.1.2 非受压元件与受压元件的连接接头为E类焊接接头，如图3、图4所示。

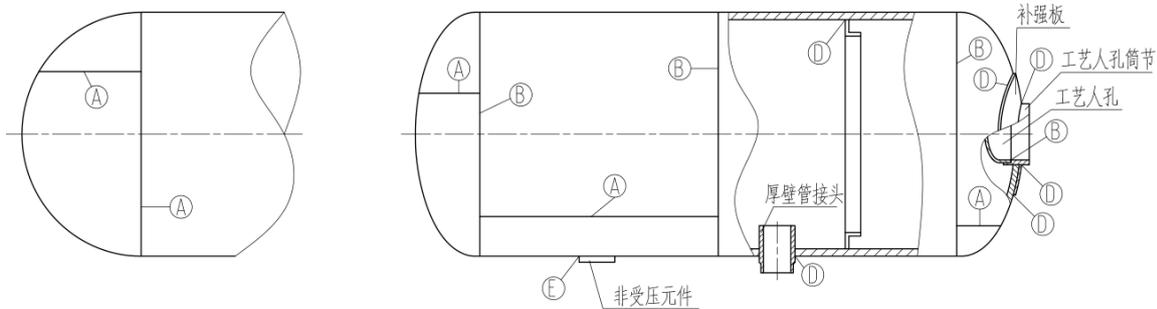


图3 内容器焊接接头分类

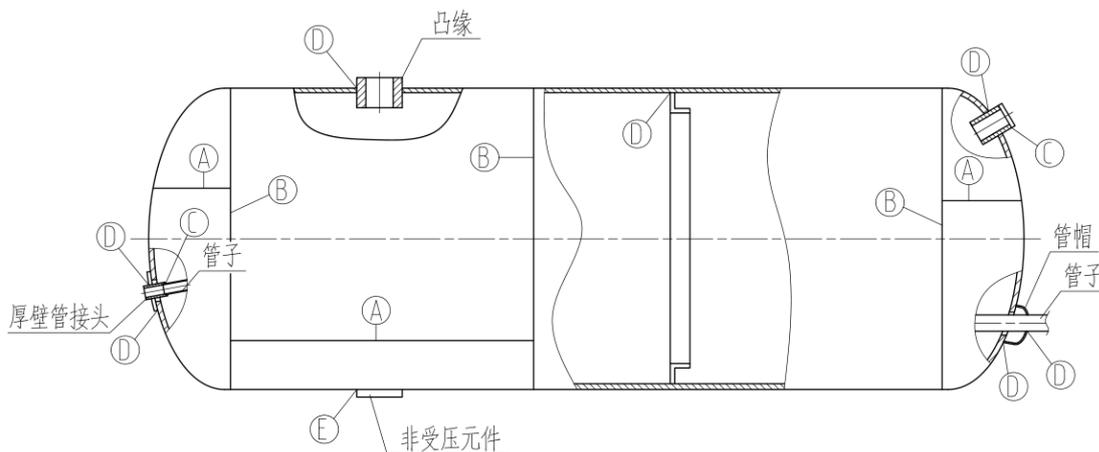


图4 外壳焊接接头分类

### 8.3.2 材料复验、分割与标志移植

8.3.2.1 符合下列条件之一的材料应按炉号复验化学成分，按批号复验力学性能，且复验结果应符合相应材料标准或设计文件的要求：

- 罐体用IV级锻件；
- 不能确定材料质量证明书的真实性或者对材料的性能和化学成分有怀疑的内容器主要受压元件材料及外壳封头、筒体用材料；
- 主要受压元件采用境外材料；
- 设计文件要求进行复验的材料。

8.3.2.2 内容器主要受压元件或外壳的封头、筒体采用奥氏体型不锈钢开平板时，应按批号复验力学性能，并符合下列规定：

- 整卷使用的，应在开平操作后，分别在板卷的头部、中部和尾部所对应的开平板上各截取一组复验试样；

- b) 非整卷使用的，应在开平板的端部截取一组复验试样。
- 8.3.2.3 制造受压元件的材料应有可追溯的标记。在制造过程中，如原有标记被裁掉或材料分时，应在材料切割前完成标记移植。
- 8.3.2.4 材料分割可采用冷切割或热切割方法。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。
- 8.3.2.5 内容器主要受压元件不应采用硬印作为材料移植标记、焊工标记及其它标记。
- 8.3.3 冷热加工成形
- 8.3.3.1 筒体和封头可采取冷、热成形方法加工成所需形状。
- 8.3.3.2 制造单位应根据制造工艺确定加工余量，受压元件成形后的厚度应不小于设计图样标注的最小成形厚度。
- 8.3.3.3 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，修磨范围的斜度最大为 1:3。修磨的深度应不大于该部位钢材厚度的 5%，且不大于 2mm，否则应予补焊。
- 8.3.3.4 坡口表面质量应符合下列规定：
- 坡口表面不应有裂纹、分层、夹杂等缺陷；
  - 施焊前，应清除坡口及其两侧母材表面至少 20mm 范围内（以离坡口边缘的距离计）的氧化物、油污、熔渣及其他有害杂质。
- 8.3.3.5 封头应符合 GB/T 25198 和设计图样的规定。
- 8.3.3.6 封头成形应尽量采用整体成形，并符合下列规定：
- 先拼板后成形的封头，拼接焊缝一般不应超过两条，并按图 5 布置，其焊缝距封头中心线应小于封头内径  $D_i$  的  $1/4$ ，中间板的宽度应不小于 300mm，拼板的总块数应不多于 3 块。拼接焊缝的内表面以及影响成形质量的拼接焊缝的外表面，应在成形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公差时（见图 6），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形工艺，确保封头的质量，避免封头转角处和直边段出现裂纹。当采用温成形时，应避免奥氏体型不锈钢的敏化温度区；
  - 封头成形后其过渡段和直边段的铁素体测量值应不大于 15%；
  - 碟形封头过渡区转角半径应不小于图样的规定值；
  - 封头直边部分不应存在纵向皱折。

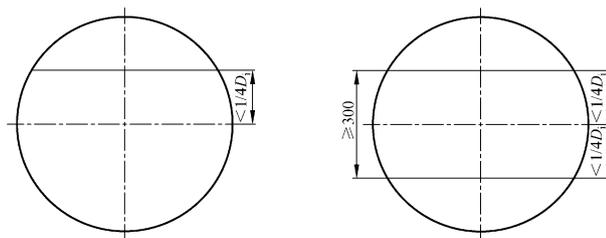


图 5 整体成形封头拼接焊缝布置图

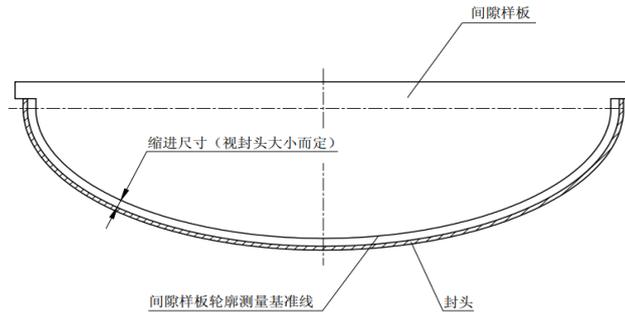


图 6 凸形封头内表面的形状偏差检查

8.3.4 圆筒与罐体

8.3.4.1 A、B 类焊接接头对口错边量  $b$  (见图 7) 应符合表 8 的规定。

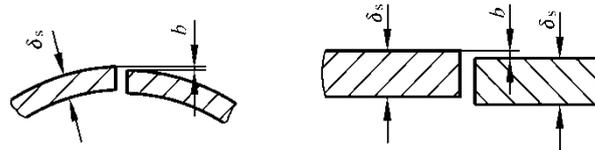


图 7 A、B 类焊接接头对口错边量  $b$

表 8 A、B 类焊接接头对口错边量

对口处钢材厚度 $\delta_s$ mm	按焊接接头类别划分对口错边量 $b$ mm	
	A	B
$\leq 12$	$\leq 1/4\delta_s$	$\leq 1/4\delta_s$
$> 12 \sim 20$	$\leq 3$	$\leq 1/4\delta_s$

注：嵌入式管子与圆筒或封头对接连接 A 类接头，按 B 类焊接接头的对口错边量要求。

8.3.4.2 在焊接接头环向、轴向形成的棱角  $E$ ，宜分别用弦长等于  $D_i/6$  且不小于 300mm 的内样板(或外样板)和直尺检查(见图 8、图 9)，其  $E$  值应不大于  $(\delta_s/10+2)$  mm，且不大于 5mm。

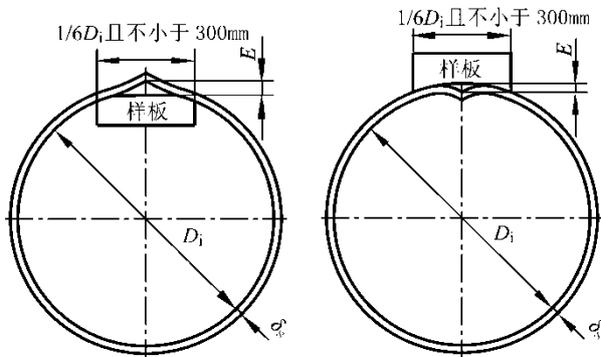


图 8 内样板或外样板检查棱角

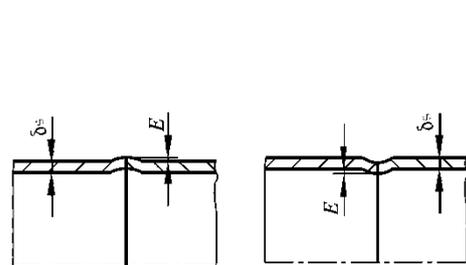
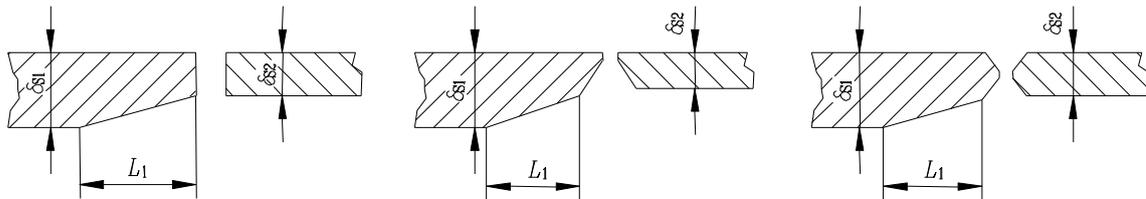


图 9 直尺检查棱角

8.3.4.3 B类焊接接头以及圆筒与球形封头相连的A类焊接接头，当两侧钢材厚度不等时，若薄板厚度不大于10mm，两板厚度差超过3mm；若薄板厚度大于10mm，两板厚度差大于薄板厚度的30%，或超过5mm时，均应按图10的要求单面或双面削薄厚板边缘（但被削薄后的板厚，在L<sub>1</sub>区域内任意处都不应小于设计厚度），或按同样要求采用堆焊方法将薄板边缘焊成斜面。当两板厚度差小于上列数值时，则对口错边量b按8.3.4.1的要求，且对口错边量b以薄板厚度为基准确定。在测量对口错边量b时，不应计入两板厚度差值。



$$L_1, L_2 \geq 3(\delta_{s1} - \delta_{s2})$$

图10 单面或双面削薄厚板边缘

8.3.4.4 除图样另有规定外，圆筒直线度允差应不大于壳体长度的1‰。

8.3.4.5 筒节组装时，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300mm，环向拼板长度应不小于500mm；
- 相邻筒节A类接头，封头A类拼接接头，与封头相邻筒节的A类接头焊缝中心之间的的外圆弧长应大于板材厚度的3倍，并且不小于200mm；
- 筒体纵焊缝不应布置在筒体横截面中心与最低点连接半径的左右两侧各40°范围内；
- 不应采用十字焊缝，开孔位置宜避开焊接接头；
- 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；
- 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100mm；当与纵焊缝交叉时，应开槽避让。

8.3.4.6 内容器及需要承受内压的外壳组焊完成后，按下列要求检查圆筒的直径，有开孔补强时应距补强圈边缘100mm以外的位置测量：

- 圆筒同一断面上最大内径与最小内径之差，应不大于该断面内径的1%，且不大于25mm（见图11）；
- 当被检断面位于开孔中心一倍开孔直径范围内时，则该断面最大内径与最小内径之差，应不大于该断面内径的1%与开孔内径的2%之和，且不大于25mm。

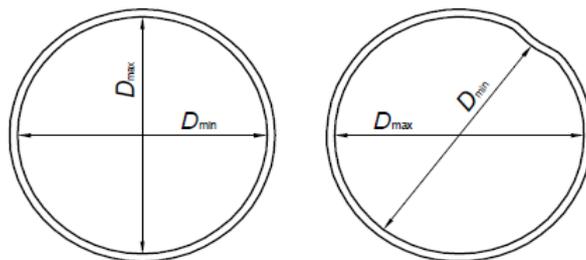


图11 圆筒同一断面上最大内径和最小内径之差

8.3.4.7 内容器、外壳组焊完成后，按下列要求检查圆筒的圆度：

- a) 采用内弓形或外弓形样板（依测量部位而定）测量。样板圆弧半径等于圆筒内半径或外半径，其弦长等于GB/T 150.3—2011中图4-14中查得弧长的2倍，测量点应避开焊接接头或其他凸起部位；
- b) 用样板沿筒体径向测量的最大正负偏差 $e$ 不应大于GB/T 150.4图10中查得的最大允许偏差值。当 $D_o/\delta_e$ 与 $L/D_o$ 所查的交点位于图中任意两条曲线之间时，其最大正负偏差值 $e$ 由内插法确定；当 $D_o/\delta_e$ 与 $L/D_o$ 所查的交点位于图中 $e=1.0\delta_e$ 曲线的上方或 $e=0.2\delta_e$ 曲线的下方时，其最大正负偏差值 $e$ 分别不大于 $\delta_e$ 及 $0.2\delta_e$ 值；
- c) 圆筒、球壳的 $L$ 与 $D_o$ 按GB/T 150.3的规定选取。

8.3.4.8 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 级的规定。

8.3.4.9 罐体的主要几何尺寸、管口方位应符合设计图样的要求。

### 8.3.5 焊接

8.3.5.1 焊条、焊剂及其他焊接材料的贮存库应保持干燥，相对湿度应不大于 60%。

8.3.5.2 坡口表面质量检查，应符合 8.3.3.3 的规定。

8.3.5.3 当施焊环境出现以下任一情况，且无有效防护措施时，应禁止施焊：

- a) 焊条电弧焊时风速大于 10m/s；
- b) 气体保护焊时风速大于 2m/s；
- c) 相对湿度大于 90%；
- d) 雨、雪环境；
- e) 焊件温度低于-20℃。

8.3.5.4 当焊件温度低于 0℃但不低于-20℃时，应在施焊处 100mm 范围内预热到 15℃以上。

8.3.5.5 内容器施焊前，受压元件焊缝、与受压元件相焊的焊缝、熔入永久焊缝内的定位焊缝、受压元件母材表面堆焊与补焊，以及上述焊缝的返修焊缝都应按 NB/T 47014 进行焊接工艺评定或具有经过评定合格的焊接工艺规程支持。

8.3.5.6 当焊接结构受压元件用境外材料（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。

8.3.5.7 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 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值应符合 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的较低要求。

8.3.5.8 焊接工艺评定报告和预焊接工艺规程应经制造单位焊接责任人审核，技术负责人批准，由监检人员签字确认后存入技术档案。焊接工艺评定技术文件应保存至该工艺失效为止，焊接工艺评定试样至少应保存 5 年。

8.3.5.9 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，则应按受压元件的焊缝要求施焊。

8.3.5.10 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，选用较小的焊接线能量，以多道施焊为宜。

8.3.5.11 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。

8.3.5.12 焊缝表面的形状尺寸应符合下列规定：

- A、B类接头焊缝的余高 $e_1$ 、 $e_2$ 按表9及图12的规定；
- 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8mm时，其焊脚尺寸等于补强圈厚度的70%，且不小于8mm；
- C、D、E类焊缝与母材呈圆滑过渡。

表9 A、B类接头焊缝的余高

单位为毫米

单面坡口		双面坡口	
$e_1$	$e_2$	$e_1$	$e_2$
0%~15% $\delta_s$ 且 $\leq 4$	0~1.5	0%~15% $\delta_1$ 且 $\leq 4$	0%~15% $\delta_2$ 且 $\leq 4$

注：表中百分数计算值小于1.5mm时，按1.5mm计。

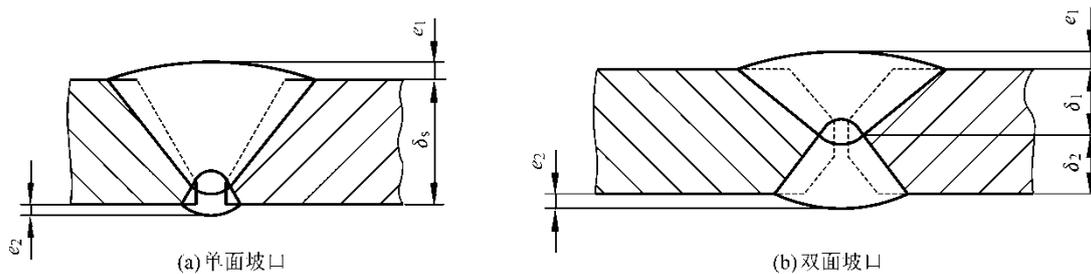


图12 A、B类接头焊缝的余高 $e_1$ 、 $e_2$

8.3.5.13 焊接接头表面质量应符合下列规定：

- 不应有表面裂纹、未焊透、未熔合、咬边、表面气孔、弧坑、未填满、焊瘤、夹渣和飞溅物等缺陷；
- 对接焊缝应与母材圆滑过渡，角焊缝外形应呈凹形圆滑过渡；
- 按照疲劳分析设计的罐体，应去除纵、环焊缝的余高，使焊缝表面与母材表面平齐；
- 其他表面质量，应符合设计图样的规定。

8.3.5.14 临时附件的焊接应符合下列规定：

- 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方面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；
- 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，确保表面无裂纹等缺陷。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厚度。

8.3.5.15 内容器主要受压元件焊缝应采用简图记录焊工代号。

8.3.5.16 焊接接头返修及母材缺陷补焊应符合下列规定：

- a) 焊接接头的返修和补焊都应进行焊接工艺评定或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；
- b) 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，并且应将返修的次数、部位和返修情况记入产品质量证明文件；
- c) 返修部位应按原要求经无损检测合格；
- d) 耐压试验后进行的返修，如返修深度大于1/2壁厚的，应重新进行耐压试验；
- e) 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。

### 8.3.6 产品焊接试件

8.3.6.1 内容器一般不要求制备产品焊接试板，若图样有要求应按设计图样要求制备产品焊接试件。

8.3.6.2 制备产品焊接试件与试样，应符合下列规定：

- a) 产品焊接试件应在罐体筒节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，试件一般应随内容器一起热处理，否则应采取措施保证试件按照与内容器相同的工艺进行热处理；
- d) 试件的尺寸和试样的截取，应符合NB/T 47016的规定。

8.3.6.3 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，则该试件所代表的的产品应判为不合格。

### 8.3.7 无损检测

#### 8.3.7.1 无损检测方法

8.3.7.1.1 罐体的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。

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

#### 8.3.7.2 无损检测方法的选择

8.3.7.2.1 内容器及外壳的A、B类焊接接头（内容器工艺人孔筒节与人孔封头的合拢B类焊接接头和外壳的合拢B类焊接接头除外）、与内容器连接的管路对接接头，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。

- 8.3.7.2.2 当采用不可记录的脉冲反射法超声检测时,应采用射线检测或者衍射时差法超声检测作为附加局部检测。
- 8.3.7.2.3 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当采用磁粉检测或者渗透检测。
- 8.3.7.2.4 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。
- 8.3.7.3 内容器无损检测比例及技术要求
- 8.3.7.3.1 A、B类对接接头应进行100%射线检测或超声检测。
- 8.3.7.3.2 工艺人孔筒节与人孔封头的合拢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。
- 8.3.7.3.3 先拼板后成形的凸形封头上所有拼接接头还应进行100%表面检测。
- 8.3.7.3.4 内容器上C、D、E类焊接接头应进行100%表面检测。
- 8.3.7.3.5 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。
- 8.3.7.3.6 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,其合格级别不应低于II级;
  - b) 脉冲反射法超声检测技术等级应不低于B级,合格级别为I级;
  - c) 衍射时差法超声检测合格级别应不低于II级;
  - d) 渗透检测合格级别应不低于I级。
- 8.3.7.4 外壳无损检测比例及技术要求
- 8.3.7.4.1 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%,且不小于250mm,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。
- 8.3.7.4.2 外壳的合拢B类焊接接头以及以下项目的接头应经无损检测,检测方法和要求应符合设计图样的规定:
- 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) 以开孔中心为圆心,1.5倍开孔直径为半径的圆中所包容的焊接接头。
- 8.3.7.4.3 先拼板后成形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不应低于AB级,合格级别不低于III级,表面检测的合格级别应不低于I级。
- 8.3.7.4.4 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。
- 8.3.7.4.5 外壳与底架连接部位的焊接接头应进行100%表面检测,表面检测的合格级别应不低于I级。
- 8.3.7.5 管路无损检测比例及技术要求
- 8.3.7.5.1 真空夹层内及外部的管路,其对接接头应按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;
- 8.3.7.5.2 真空夹层内及外部的管路,其角接接头应按NB/T 47013.5进行100%渗透检测,合格级别应不低于I级。

### 8.3.7.6 重复检测

8.3.7.6.1 经无损检测的焊接接头，发现不允许的缺陷时，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。

8.3.7.6.2 进行局部无损检测的焊接接头，发现不允许的缺陷时，应在该缺陷两端的延伸部位增加检查长度，增加的长度为该焊接接头长度的10%，且不小于250mm。若仍不合格，则对该条焊接接头进行100%无损检测。

8.3.7.6.3 渗透与磁粉检测发现不允许的缺陷时，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。

### 8.3.7.7 无损检测的实施时机

8.3.7.7.1 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。

8.3.7.7.2 拼接封头应在成形后进行无损检测，若成形前进行无损检测，则成形后应当对圆弧过渡区至直边段再进行无损检测。

### 8.3.7.8 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，其保存期限不少于罐车的设计使用年限。

### 8.3.8 热处理

8.3.8.1 罐体热处理要求应符合 GB/T 150.4 和设计文件的规定。

8.3.8.2 除图样另有规定外，外壳冷成形后不需热处理。

### 8.3.9 清洁要求

8.3.9.1 与氧接触的所有零部件表面，应进行脱脂与清洁处理，其油脂残留量应不大于 125mg/m<sup>2</sup>。

8.3.9.2 与氧以外其他介质接触的零部件表面，除图样另有规定，其油脂残留量应不大于 500mg/m<sup>2</sup>。

8.3.9.3 真空夹层表面及其内部的零部件表面，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。

8.3.9.4 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。

8.3.9.5 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。

### 8.3.10 组装要求

8.3.10.1 内容器在耐压试验合格后方可与外壳进行组装。

8.3.10.2 高真空多层绝热的绝热层应符合下列要求：

- a) 多层绝热材料应进行干燥处理；
- 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。

8.3.10.3 真空粉末绝热的绝热层应符合下列要求：

- a) 粉末绝热材料应进行干燥处理；

- b) 装填时，应控制粉末绝热材料的装填密度；
- c) 应尽可能采取防止粉末绝热材料沉降的措施。

#### 8.3.11 吸附剂的安装

- 8.3.11.1 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。
- 8.3.11.2 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。

#### 8.4 管路制造

- 8.4.1 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。
- 8.4.2 真空夹层内的管路应与内容器一起进行耐压试验。
- 8.4.3 外部管路的法兰密封面及密封垫片，不应有影响密封性能的划痕、斑点等缺陷。
- 8.4.4 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，其偏差均不应超过法兰外径的 1%（法兰外径小于 100mm 时按 100mm 计算）且不大于 3.0mm。法兰的螺栓孔应与管路主轴或垂线跨中布置（见图 13）。有特殊要求时，应在图样上注明。

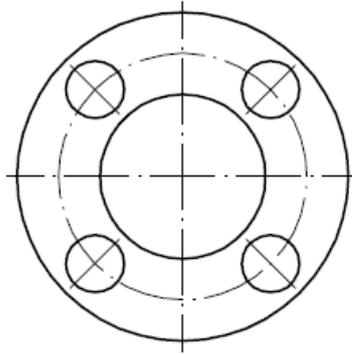


图13 法兰的螺栓孔与管路主轴或铅垂线跨中布置

- 8.4.5 当管路装配间断施工时，应及时封闭敞开的管口。
  - 8.4.6 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。
  - 8.4.7 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。
  - 8.4.8 安全阀、压力表应效验合格后才能安装使用。
  - 8.4.9 管路宜用管夹固定，管夹的固定不应限制管路热胀冷缩。
  - 8.4.10 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。
  - 8.4.11 外部管路应进行耐压试验和气密性试验。
- #### 8.5 氦质谱检漏
- 8.5.1 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 6.3.12.1 和设计图样的规定。
  - 8.5.2 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，再重新进行氦质谱检漏。
- #### 8.6 底架与罐体的组装

底架与罐体的组装除符合 GB/T 5600-2018 的规定外，还应符合设计图样要求。

## 8.7 涂敷

罐体的涂敷应符合 JB/T 4711 和设计文件的规定。

## 9 试验方法

### 9.1 试验顺序

- 9.1.1 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。
- 9.1.2 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。
- 9.1.3 罐体所有焊接工作完成后，方可进行抽真空夹层的氦质谱检漏试验。
- 9.1.4 罐车车体静强度试验应在内容器、外壳及底架组装完毕后进行。
- 9.1.5 外部管路泄漏试验应在罐体耐压试验合格，落车和外部管路制造完工，将所有安全附件、仪表、装卸附件安装齐全，且无损检测合格后进行。
- 9.1.6 冲击试验应在整车组装完毕，且夹层抽真空、外部管路耐压及泄漏试验完成后进行。
- 9.1.7 罐车在冲击试验完成后，方可进行车辆动力学试验。
- 9.1.8 罐车车辆动力学试验合格后，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。

### 9.2 耐压试验

#### 9.2.1 试验准备

- 9.2.1.1 内容器制成后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。
- 9.2.1.2 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 1.5~3 倍的试验压力，且以试验压力的 2 倍为宜。压力表的精度不应低于 1.6 级，表盘直径不应小于 100mm。压力表应安装在从被试验罐体顶部引出的管线上便于观察的位置。
- 9.2.1.3 耐压试验前，内容器各连接部位的紧固螺栓（如有），应当配置齐全，紧固妥当。耐压试验时，内容器上焊接的临时受压元件，应当采用适当的措施，保证其强度和安全性。
- 9.2.1.4 耐压试验场地应有可靠的安全防护措施，并且经过单位技术负责人和安全管理部門检查认可。

#### 9.2.2 耐压试验基本要求

- 9.2.2.1 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者向受压元件施加外力。
- 9.2.2.2 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。
- 9.2.2.3 内容器开孔补强圈应在耐压试验前通入 0.4MPa~0.5MPa 的压缩空气检查焊接接头质量。

#### 9.2.3 液压试验

- 9.2.3.1 液压试验的试验介质一般采用水，必要时，也可采用不会导致发生危险的其它液体。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。
- 9.2.3.2 液压试验温度应符合 GB/T 150.4 和设计图样的规定。
- 9.2.3.3 液压试验应符合下列规定：

- a) 内容器顶部应设排气口，充液时应将罐内的空气排净。试验过程中，内容器外表面应保持干燥；
- b) 当内容器壁温与液体温度接近时，才能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30min，然后将压力降至设计压力，保压足够长的时间以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，对奥氏体型不锈钢制罐体，应控制水中的氯离子不超过25mg/L。

9.2.3.4 液压试验合格要求：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。

#### 9.2.4 气压试验

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

9.2.4.2 试验所用的气体应为干燥洁净的空气、氮气或其他不溶性惰性气体。

9.2.4.3 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。

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

9.2.4.5 试验时压力应缓慢上升，至规定试验压力的 10%，保压 5min，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 10min；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。气压试验过程中不应带压紧螺栓或向受压元件施加外力。

9.2.4.6 气压试验合格要求：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。

#### 9.3 泄漏试验

9.3.1 罐体耐压试验合格，将所有管路、安全附件、仪表、装卸附件安装齐全后进行泄漏试验。

9.3.2 采用气密性试验时，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) 试验温度应符合 GB/T 150.4 和设计图样的规定。；
- c) 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；
- d) 如有泄漏，应在修补后重新进行试验。

9.3.3 其他泄漏试验方法和要求应符合设计文件的规定。

#### 9.4 冷冲击试验

9.4.1 冷冲击试验后的检验内容和要求应符合设计文件的规定。

9.4.2 试验时，除进液口和排气口以外的其余管路管口封闭，内容器和管路应被液氮充分浸渍。

9.4.3 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。其它检验内容和要求应符合图样的规定。

#### 9.5 清洁度测量

9.5.1 与介质接触的零件表面的清洁度的测量方法按JB/T 6896的规定进行。

9.5.2 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。

## 9.6 容积测量

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

9.6.2 由于结构或介质的原因不允许残留试验液体的内容器，可用几何测量尺寸后计算容积代替实测容积。

## 9.7 单车制动试验

车辆落成后，单车制动试验应按TB/T 1492的规定进行。

## 9.8 静强度试验

9.8.1 静强度试验主要考核外壳及底架结构的强度。

9.8.2 静强度试验要求和方法应按 TB/T 3550.2-2019 的规定进行。

9.8.3 试验内容包括垂向载荷试验、纵向力试验、扭转试验、顶车试验和罐体内压试验等。

## 9.9 冲击试验

9.9.1 冲击试验主要考核外壳及底架结构的冲击强度。

9.9.2 冲击试验应按 TB/T 3550.2-2019 的规定进行。

## 9.10 动力学性能试验

车辆线路动力学性能试验应按 GB/T 5599 的规定进行。

## 9.11 真空度测量

封结真空度的测量方法按 GB/T 18443.2 的规定进行。

## 9.12 真空夹层漏气速率测量

真空夹层漏气速率的测量方法按 GB/T 18443.3 的规定进行。

## 9.13 真空夹层漏放气速率测量

真空夹层漏放气速率的测量方法按 GB/T 18443.4 的规定进行。

## 9.14 静态蒸发率测量

静态蒸发率的测量方法按 GB/T 18443.5 的规定进行。

## 9.15 维持时间测量

维持时间的测量方法按 GB/T 18443.7 的规定进行。

## 9.16 安全附件试验

安全附件性能试验应按符合相应产品标准和设计图样的规定进行。

## 9.17 其它检查

9.17.1 罐车的外观检查、结构检查、装置的性能检查以及运用考核试验，按 GB/T 5601 的规定进行。

9.17.2 具有电气装置的罐车，其电路接线正确、导电良好，接地可靠，车体与接地末端之间的电阻值采用万用表测量。

9.17.3 各种电气设备、灯具、插头、插座及开关等的技术要求等符合有关规定。

## 10 检验规则

### 10.1 检验分类

罐车的检验分为逐台检验、批量检验、型式试验。

## 10.2 逐台检验

10.2.1 罐车应逐辆检验，合格后方可出厂。

10.2.2 逐台检验项目按表 10 的规定。

## 10.3 批量检验

10.3.1 同一定型设计的罐车，按生产顺序，以不多于 50 台为一批。每批中随机抽取一台为批量检验样车。

10.3.2 若批量检验样车检验不合格，则在该批中再抽取 2 台进行检验，仍不合格时应逐台进行检验。

10.3.3 批量检验的项目和要求按表 10 的规定。

## 10.4 型式试验

10.4.1 型式试验分为车辆型式试验和低温性能型式试验。

10.4.2 车辆型式试验是对车辆的基本参数、结构、性能等是否符合设计要求所做的全面考核。试验项目一般在 1 辆罐车上进行，且符合 GB/T 5601 的规定。

10.4.3 低温性能型式试验由国家特种设备安全监督管理部门核准的型式试验机构进行，并出具低温型式试验报告和证书，低温性能型式试验项目按表10的规定。

10.4.4 凡具有以下情况之一者应做型式试验：

- 新型罐车定型时；
- 正常生产后，如改变设计参数、主体材料、结构型式、关键制造工艺和使用条件等，可能影响产品性能时；
- 转厂生产时；
- 产品停产两年后，恢复生产时；
- 上级主管部门或国家特种设备安全监督管理部门提出进行型式检验时。

## 10.5 检验项目

车辆除应按照GB/T 5601的规定进行检验外，还应按表10规定的罐体项目进行出厂检验和批量检验。

表10 逐台检验、批量检验和低温性能型式试验

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	罐体容积检定	★	★	-
9	真空夹层封结真空度	★	★	★
10	真空夹层漏气速率	★	★	★

11	真空	真空夹层漏放气速率	★	★	★
12	性能	真空夹层冷态真空度	—	▲	☆
13	绝热	静态蒸发率	—	▲	☆
14	性能	维持时间	—	—	▲
15	附件检验		★	★	—
	出厂资料		★	★	—
注：1、有“★”标记的项目，为需进行检验和试验的项目。 2、有“▲”标记的项目，由供需双方协商确定。 3、有“☆”标记的项目，低温性能型式试验可在制造单位或用户处进行。 4、有“—”标记的项目，为无需进行检验和试验的项目。					

## 11 标志、标识

### 11.1 标志

罐车的标志应符合 GB/T 28791、TB/T 3443.3 的规定。

### 11.2 标识

罐车的标识应符合铁路相关规定、设计图样和技术文件的规定。

## 12 出厂文件

### 12.1 罐车的制造厂应向使用单位提供以下技术文件和资料：

- a) 竣工图样（总图和罐体图），竣工图样上应有设计单位许可印章（复印章无效），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）；当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，标注处有修改人的签字及修改日期；
- b) 产品合格证（含产品数据表）；
- c) 产品质量证明文件；
- d) 产品铭牌的拓印件或者复印件；
- e) 特种设备制造监督检验证书；
- f) 强度计算书；
- g) 应力分析报告（需要时）；
- h) 罐体安全泄放量、超压泄放装置排量和爆破片泄放面积的计算书；
- i) 产品使用说明书；
- j) 风险评估报告；
- k) 随车工具及附件清单；
- l) 备件、附件清单和相应的质量合格证明。

### 12.2 罐车产品质量证明文件至少包含下列内容：

- a) 主要受压元件材料质量证明书和材料清单；
- b) 质量计划；
- c) 受压元件（封头、锻件等）为外购或外协件时的产品质量证明文件；

- d) 罐体外观及几何尺寸检验报告；
- e) 罐体容积检定报告；
- f) 罐体焊接记录；
- g) 罐体无损检测报告；
- h) 罐体焊后热处理报告及自动记录曲线（有热处理工序时）；
- i) 罐体耐压试验报告；
- j) 气密性试验或其他泄漏试验报告；
- k) 真空性能检测报告（含封结真空度检测、真空夹层漏放气速率检验）；
- l) 整车车体检验报告；
- m) 罐体气体置换检验报告；
- n) 产品制造变更报告；
- o) 钢板、锻件超声检测报告（需要时）；
- 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。

12.3 罐车使用说明书除应符合 GB/T 9969 的规定外，还应至少包含下列内容：

- a) 罐车主要技术性能参数；
- b) 适用介质的编号（UN 编号或者 CAS 编号）、名称和品种、类别和项别、危害性等；
- c) 罐体结构与管路图，至少应包括安全附件、阀件和仪表的型号和连接方式；
- 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，至少应包括装卸过程和充装过程中的注意事项；
- f) 维护和保养要求；
- g) 常见故障的排除方法；
- h) 备品和备件清单。
- i) 其他铁路主管部门要求的必须内容。

## 13 储存和运输

### 13.1 储存

13.1.1 充装易燃、易爆介质的罐车出厂前，其内容器和管路应用氮气密封，密封压力应不小于 0.05MPa，露点应低于-25℃，含氧量应小于 2%。

13.1.2 充装非易燃介质的罐车，其内容器和管路的含氧量应小于 3%。

13.1.3 充装液氧介质的罐车，与氧接触的零部件均应不存在与氧发生反应的物质。

13.1.4 罐车长期存放时，应停放在防潮、通风和具有消防设施的专用场地。停放前应对整车进行仔细检查，包括各阀门仪表是否正常、装卸阀门是否闭止、导静电装置是否有效等。

13.1.5 罐车存放期间，应按照其产品使用说明书进行维护与保养。

### 13.2 运输

13.2.1 罐车应在空载情况下交付用户。

13.2.2 罐车通过铁路运输方式交付用户时，确保罐体各部位得到有效保护。

附 录 A  
(规范性附录)

标准的符合性声明及修订

A.1 本标准的制定遵循了国家颁布的压力容器安全法规所规定的基本安全技术要求，其设计准则、材料要求、制造检验技术要求和验收标准等符合《移动式压力容器安全技术监察规程》的相应规定。本标准为协调标准，即按本标准建造的冷冻液化气体罐式集装箱可以满足《移动式压力容器安全技术监察规程》的基本安全要求。

A.2 标准的修订采用提案审查制度。任何单位和个人有权对本标准的修订提出建议，修订建议采用“表 A.1 标准提案/问询表”的方式提交全国锅炉压力容器标准化技术委员会（以下简称“委员会”）。委员会对收到的标准修订提案进行审查，根据审查结果，将采纳的技术内容纳入下一版标准。

表 A.1 标准提案/问询表

总第 号

<input type="checkbox"/> 标准提案	<input type="checkbox"/> 标准问询	标准名称	
单 位		姓 名	
联系地址		邮政编码	
电话/传真		电子信箱	
标准条款			
提案/问询内容（可另附页）			
技术依据与相关资料（可另附页）			
附加说明：			
单位盖章或提案（问询）人签字：		提交日期：  年 月 日	

全国锅炉压力容器标准化技术委员会

地址：北京市朝阳区和平街西苑2号D座三层 邮政编码：100013

电子邮箱：NB-T××××××@cscbpv.org

**附录 B**  
**(规范性附录)**  
**风险评估报告**

### B.1 总则

B.1.1 本附录规定了风险评估报告的基本要求。

B.1.2 设计单位应根据相关法规或设计委托方要求,针对罐车建造阶段和使用阶段预期的风险编制风险评估报告。风险评估报告是编制其他设计文件的重要依据。

B.1.3 设计单位应充分考虑罐车的型号、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、制造检验和运输使用要求等方面提出安全防护措施,防止可能发生的失效。

### B.2 制定原则和程序

B.2.1 设计阶段风险评估主要针对设计者需考虑的对设计阶段、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。

B.2.2 设计阶段风险评估按以下程序进行:

- a) 根据用户设计条件和其他设计输入信息(如设计任务书等),确定罐车的运输方式及各种使用工况;
- b) 根据罐车的充装介质、环境因素、运输方式及条件、装卸方式及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。

### B.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) 罐车的基本设计参数:运输方式、工作条件(如工作压力、工作温度、腐蚀环境等)、装卸条件(如装卸方式、装卸压力等)、充装介质(如编号、名称、危害特性等)、基本结构(如单层罐、堆积绝热罐)、材料等;
- b) 所有可能工况条件的描述,至少应考虑:内容器冷冲击试验(委托方要求时)、夹层充填绝热材料、夹层加热抽真空、空车运输、吊装、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,应考虑运行工况条件下可能发生的失效模式如泄漏、破损、变形等;
- 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) 规定针对介质少量泄漏、大量涌出等状况以及交通事故情况下如何处置的措施;
- g) 根据可能发生事故情况,规定合适的随车人员、操作人员及其他相关人员的防护装备和措施;
- h) 风险评估报告应具有与罐车设计图样总图一致的签署。

## 附录 C

## (规范性附录)

## 罐体安全泄放量及超压泄放装置排放能力的计算

## C.1 总则

C.1.1 本附录规定了罐体充装冷冻液化气体介质在通风条件良好、敞开空间中的非火灾工况和火灾工况（与外部油池火灾类似）罐体安全泄放量的计算方法。当超出本附录工况（如罐体遭受喷射火、部分密闭或全部密闭空间内火灾等严重火灾工况）的罐体安全泄放量计算由设计者另行考虑。

C.1.2 本附录公式仅适用于临界温度远高于额定排放压力下饱和气体温度的冷冻液化气体。临界温度接近或低于额定排放压力下饱和气体温度的冷冻液化气体，罐体安全泄放量的计算还应考虑气体的热力学特性。

## C.2 从热壁（外壳）传入冷壁（内容器）的总热流量的计算

## C.2.1 非火灾情况

C.2.1.1 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（C.1）计算：

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

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，W；

$U_{i,v}$ ——在正常真空状态下，夹层绝热材料总的传热系数，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，W/（m K）；

$t_i$  —— 绝热材料的名义厚度，m；

$A_{i,m}$ ——绝热层内外表面积的算术平均值，m<sup>2</sup>；

$T_a$  ——非火灾情况下绝热容器外部最高环境温度，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，K；

对于亚临界流体， $T_d$  是介质在泄放压力下的饱和温度，K。

对于临界或超临界流体，见注说明。

注：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（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它支撑构件传入的热流量按式（C.2）计算：

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

式中:

$H_{s,t}$ ——通过内容器的吊带或其它支撑构件传入的热流量, W;

$N_{s,t}$ ——内容器吊带或其它支撑构件的数量;

$\lambda_{s,t}$ ——内容器吊带或其它支撑构件材料在温度  $T_a$  与  $T_d$  之间平均热导率, W/(m K);

$A_{s,t}$ ——内容器金属吊带或其它支撑构件的截面积, m<sup>2</sup>;

$L_{s,t}$ ——内容器吊带或其它支撑构件材料的长度, m。

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

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

式中:

$H_{b,l}$ —— 通过为约束内容器发生轴向位移而设置的限位构件传入的热流量, W;

$N_{b,l}$ —— 内容器轴向限位构件数量;

$R_{t,l}$ ——轴向限位构件的总热阻, K/W;

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

式中:

$L_{b,l}$  —— 内容器轴向非金属限位构件的长度, m;

$L_{t,l}$  —— 内容器轴向金属限位构件的长度, m;

$\lambda_b$  —— 用于制作内容器轴向非金属限位构件的热导率, W/(m K);

$\lambda_{tu}$  —— 用于制作内容器轴向金属限位构件的热导率, W/(m K);

$A_{b,l}$  —— 内容器轴向非金属限位构件的截面积, m<sup>2</sup>;

$A_{t,l}$  —— 内容器轴向金属限位构件的截面积, m<sup>2</sup>。

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 (C.4) 计算:

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

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, 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, K/W;

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

式中:

$L_{b,t}$ —— 内容器径向非金属限位构件的长度, m;

- $L_{t,t}$  —— 内容器径向金属限位构件的长度, m;  
 $A_{b,t}$  —— 内容器径向非金属限位构件的截面积,  $m^2$ ;  
 $A_{t,t}$  —— 内容器径向金属限位构件的截面积,  $m^2$ 。

e) 通过真空夹层的管道传入的热流量按式 (C.5) 计算:

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

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, 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, W/(m K);  
 $\lambda_a$  —— 真空夹层的管道材料在热端的热导率, 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,  $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $m^2$ ;  
 $L_i$  —— 第  $i$  管在真空夹层内的长度, m;  
 $\lambda_{\text{gas}}$  —— 所储存介质的气体热导率, W/(m K)。

C.2.1.2 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 (C.6) 计算:

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

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, W。

C.2.1.3 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 (C.7) 计算:

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

式中:

- $H_2$  —— 热壁经由绝热系统, 构件和自增压器输入内容器的总热流量, W;  
 $H_{\text{P.B.C}}$  —— 自增压器产生的热流量, W;

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

式中:

- $U_{\text{P.B.C}}$  —— 自增压器总的对流传热系数, W/( $m^2 \cdot K$ );  
 $A_{\text{P.B.C}}$  —— 自增压器总的外部传热面积,  $m^2$ ;

$T_a$  —— 非火灾情况下绝热容器外部最高环境温度, 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, K;

对于亚临界流体,  $T_d$  是介质在泄放压力下的饱和温度, K;

对于临界或超临界流体,  $T_d$  的确定见注说明。

C.2.1.4 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 (C.8) 计算:

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

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, 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, W;

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

$U_{i,l}$  —— 在大气压力下和环境温度下, 绝热材料总的传热系数, W/(m<sup>2</sup>K);

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

$\lambda_{i,l}$  —— 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, W/(m K);

$t_i$  —— 绝热材料的名义厚度, m。

## C.2.2 火灾情况

C.2.2.1 真空绝热罐体的绝热系统完好或部分完好, 但夹层真空已丧失, 且罐体处于火灾或 650℃ (922K) 及以上高温工况下, 由热壁传入内容器的总热流量按式 (C.9) 计算:

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

式中:

$H_4$  —— 真空绝热罐体的绝热系统完整, 但夹层真空已丧失, 且罐体处于火灾或 650℃ (922K) 及以上高温工况下, 由热壁传入内容器的总热流量, W;

$U_{i,f}$  —— 在火灾条件下 (外部温度为 650℃ (922K) 和大气压下) 绝热材料总的传热系数, W/(m<sup>2</sup>K);

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

$\lambda_{i,f}$  —— 真空绝热罐体处于火灾或 650℃ (922K) 及以上高温工况, 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 650℃ (922K) 之间的平均热导率, 取两者 (气体或空气) 之中的较大值, W/(m K);

- $t_i$  —— 绝热材料的名义厚度, m;
- $A_r$  —— 内容器与外壳面积的平均值, m<sup>2</sup>;  
     半球形封头的内容器,  $A_r = \pi D_0 L$ ;  
     椭圆形封头的内容器,  $A_r = \pi D_0 (L + 0.3 D_0)$ ;
- $L$  —— 外壳总长减去罐体中轴线处两端夹层厚度的平均值, m;
- $D_0$  —— 内容器与外壳直径的平均值, m;
- $h_1$  —— 设计最大液位高度, m。

C.2.2.2 真空绝热罐体处于火灾或 650℃ (922K) 及以上高温, 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 (C.10) 计算:

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

式中:

- $H_5$  —— 真空绝热罐体处于火灾或 650℃ (922K) 及以上高温, 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, W;
- $A_r$  —— 内容器外表面积, m<sup>2</sup>;  
     半球形封头的内容器,  $A_r = \pi D_0 L$ ;  
     椭圆形封头的内容器,  $A_r = \pi D_0 (L + 0.3 D_0)$ ;
- $L$  —— 内容器总长, m;
- $D_0$  —— 内容器外直径, m;
- $h_1$  —— 设计最大液位高度, m。

### C.3 内容器的安全泄放量 (质量流量) 的计算

C.3.1 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, 上述各种状态下的真空绝热压力容器的安全泄放量 (质量流量) 按式 (C.11) 计算:

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

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, 真空绝热罐体的安全泄放量, 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 (C.6)、(C.7)、(C.8)、(C.9)、(C.10) 计算, W;
- $q$  —— 在泄放压力下液体介质的汽化潜热, kJ/kg;

C.3.2 当安全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 (C.10) 中的罐体安全泄放质量流量计算式进行修正, 即应按式 (C.12) 计算:

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

式中:

$W_{s,i}'$ ——当安全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, 罐体的安全泄放量, kg/h;

$v_g$ ——泄放压力下, 饱和气体介质的比容积,  $m^3/kg$ ;

$v_e$ ——泄放压力下, 饱和液体介质的比容积,  $m^3/kg$ ;

$H_i$ ——由热壁(夹层)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(C.6)、(C.7)、(C.8)、(C.9)、(C.10)计算, W;

$q$ ——在泄放压力下液体介质的汽化潜热, kJ/kg。

C.3.3 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(C.13)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(C.13)计算:

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

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, 罐体的安全泄放量, kg/h;

$H_i$ ——由热壁(夹层)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(C.6)、(C.7)、(C.8)、(C.9)、(C.10)计算, 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  $v \left[ \frac{\partial h}{\partial v} \right]_p$ , 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,  $m^3/kg$ ;

$h$ ——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, kJ/K;

C.4 将泄放气体的质量流量  $W_{s,i}$  换算成标态空气流量按式(C.14)计算。

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

式中:

$Q_i$ ——按泄放气体的质量流量  $W_{s,i}$  换算成的标态空气流量,  $N \cdot m^3/h$ ;

$W_{s,i}$ ——当内容器的安全泄装置的泄放压力  $p_d$  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, kg/h;

$C$ ——气体特性系数, 查表 C.1 或按下式计算:

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

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;

$Z$ ——在泄放压力  $p_d$  下饱和气体的压缩系数;

$T$ ——泄放装置进口侧的气体温度, K;

$M$ ——气体的摩尔质量, kg/kmol;

### C.5 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 600mm 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-1.2。

### C.6 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 (C.15) 计算:

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

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 (C.16) 计算:

$$W_s = 55.85 \times AK P_d \sqrt{\frac{M}{ZT}} \sqrt{\frac{k}{k-1} \left[ \left(\frac{P_o}{P_d}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_o}{P_d}\right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} \dots\dots\dots (C.16)$$

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;

$p_o$ ——安全阀出口压力, MPa;

$W_s$ ——安全阀的排放能力, kg/h;

$C$ ——气体特性系数, 查表 C.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, 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,  $p_d = 1.2 p + 0.1$ , MPa;

$p$ ——内容器的设计压力, MPa;

$A$ ——安全阀最小排气截面积,  $\text{mm}^2$ ;

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，mm；

$d_t$ ——安全阀的最小流道直径（阀座喉部直径），mm。

### C.7 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（C.17）计算

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

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（C.18）计算：

$$W_s = 55.85 \times AK' P_d \sqrt{\frac{M}{ZT}} \sqrt{\frac{k}{k-1} \left[ \left(\frac{P_o}{P_d}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_o}{P_d}\right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} \dots\dots\dots (C.18)$$

式中：

$k$ ——气体绝热指数， $k = C_p / C_v$ ；

$p_o$ ——爆破片装置出口侧压力，MPa；

$W_s$ ——爆破片装置的排放能力，kg/h；

$C$ ——气体特性系数，查表 C.1 或按下式计算：

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

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，mm<sup>2</sup>；

$p_b$ ——爆破片装置的排放压力， $p_b = 1.2 p + 0.1$ ，MPa；

$p$ ——内容器的设计压力，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 C.1。

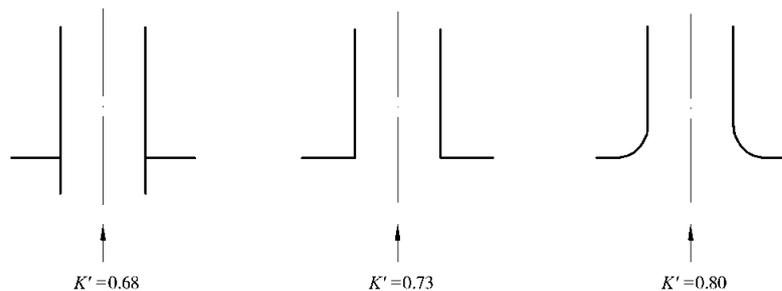


图 C.1 爆破片装置入口管道形状和额定泄放系数的关系

表 C.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	—	—

---