



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 38530—2020

---

## 城镇液化天然气(LNG)气化供气装置

Town liquefied natural gas (LNG) gasification supply installations

2020-03-06 发布

2021-02-01 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 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义、缩略语 .....	5
3.1 术语和定义 .....	5
3.2 缩略语 .....	6
4 分类、代号和型号 .....	6
4.1 分类 .....	6
4.2 代号 .....	7
4.3 型号 .....	7
5 结构和材料 .....	8
5.1 一般要求 .....	8
5.2 结构 .....	8
5.3 焊接 .....	9
5.4 涂装 .....	9
5.5 材料 .....	9
5.6 电气控制 .....	21
5.7 事故切断系统 .....	22
5.8 可燃气体泄漏报警装置 .....	22
6 要求 .....	23
6.1 外观 .....	23
6.2 外形尺寸 .....	23
6.3 无损检测 .....	23
6.4 强度 .....	24
6.5 气密性 .....	24
6.6 调压性能 .....	24
6.7 切断装置性能 .....	24
6.8 放散装置性能 .....	24
6.9 关闭压力 .....	24
6.10 电气安全性能 .....	24
6.11 防爆性能 .....	25
6.12 低温氮气试验 .....	25
6.13 气化量 .....	25

6.14	涂层	25
7	试验方法	25
7.1	试验条件	25
7.2	外观检测	26
7.3	外形尺寸检测	26
7.4	无损检测	26
7.5	耐压试验	27
7.6	气密性试验	28
7.7	调压性能试验	29
7.8	切断装置性能试验	29
7.9	放散装置性能试验	29
7.10	关闭压力试验	29
7.11	电气安全性能试验	29
7.12	防爆性能	30
7.13	低温氮气试验	30
7.14	气化量试验	30
7.15	涂层试验	31
7.16	材料及零部件检验	31
8	检验规则	31
8.1	检验分类	31
8.2	检验项目	31
8.3	出厂检验	32
8.4	型式检验	32
8.5	判定规则	32
9	质量证明文件、标志、包装、运输和贮存	33
9.1	质量证明文件	33
9.2	标志	33
9.3	包装和运输	34
9.4	贮存	34
附录 A (规范性附录)	气化器的基本技术要求	35
附录 B (规范性附录)	低温氮气试验	47

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中华人民共和国住房和城乡建设部提出并归口。

本标准起草单位：中国市政工程华北设计研究总院有限公司、上海飞奥燃气设备有限公司、港华投资有限公司、合肥市久环给排水燃气设备有限公司、中石油昆仑燃气有限公司、无锡特莱姆气体设备有限公司、成都华气厚普机电设备股份有限公司、特瑞斯能源装备股份有限公司、河北瑞星燃气设备股份有限公司、河北慧星调压器有限公司、河北安信燃气设备有限公司、天津新科成套仪表有限公司、天津华迈燃气装备股份有限公司、昆山永燃燃气设备有限公司、天津市益斯达燃气设备有限公司、鲁西新能源装备集团有限公司、浙江苍南仪表集团东星能源科技有限公司、乐山川天燃气输配设备有限公司、北京鑫广进燃气设备研究所、泰恩博能燃气设备(天津)股份有限公司、简阳市中原低温设备配套有限公司、重庆市久庆仪器仪表有限公司、四川长仪油气集输设备股份有限公司、成都杰森输配设备实业有限公司、北京市公用工程设计监理有限公司、沈阳光正工业有限公司、江苏诚功阀门科技有限公司、苏州萌菲过滤技术有限公司、天津市千罡燃气设备技术有限公司、四川中油乐仪能源装备制造股份有限公司、国家燃气用具质量监督检验中心。

本标准主要起草人：王洪林、王启、曹晖、应援农、常保成、刘金岚、俞斌、张响、郑安力、王川、孟祥君、何永胜、孙建勋、唐绍刚、庞继凡、陈兴文、刘爱仙、谢尚鹏、兰建强、李松、庞维龙、王莹、杨波、陈永忠、卢燕、刘杰、赵杰、李晓先、陈双河、吴律星、辛宝岐、彭国军、魏茹。



# 城镇液化天然气(LNG)气化供气装置

## 1 范围

本标准规定了城镇液化天然气(LNG)气化供气装置(以下简称“LNG 气化供气装置”)的分类、代号和型号、结构和材料、要求、试验方法、检验规则、质量证明文件、标志、包装、运输和贮存。

本标准适用于最大工作压力不大于 1.6 MPa, 储罐总容积不大于 20 m<sup>3</sup>, 气瓶组总容积不大于 4 m<sup>3</sup>, 总供气量不大于 2 000 m<sup>3</sup>/h, 向城市和村镇燃气用户供气的 LNG 气化供气装置。

## 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 151 热交换器
- GB/T 191 包装储运图示标志
- GB/T 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法
- GB/T 713 锅炉和压力容器用钢板
- GB/T 1220 不锈钢棒
- GB/T 1527 铜及铜合金拉制管
- GB/T 2518 连续热镀锌钢板及钢带
- GB/T 3077 合金结构钢
- GB/T 3098.1 紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱
- GB/T 3098.2 紧固件机械性能 螺母
- GB/T 3098.6 紧固件机械性能 不锈钢螺栓、螺钉和螺柱
- GB/T 3098.15 紧固件机械性能 不锈钢螺母
- GB/T 3190 变形铝及铝合金化学成分
- GB/T 3280 不锈钢冷轧钢板和钢带
- GB/T 3531 低温压力容器用钢板
- GB 3836.1 爆炸性环境 第 1 部分: 设备 通用要求
- GB 3836.2 爆炸性环境 第 2 部分: 由隔爆外壳“d”保护的装置
- GB 3836.3 爆炸性环境 第 3 部分: 由增安型“e”保护的装置
- GB 3836.4 爆炸性环境 第 4 部分: 由本质安全型“i”保护的装置
- GB 3836.5 爆炸性环境 第 5 部分: 由正压外壳“p”保护的装置
- GB 3836.9 爆炸性环境 第 9 部分: 由浇封型“m”保护的装置
- GB 3836.14 爆炸性环境 第 14 部分: 场所分类 爆炸性气体环境
- GB 3836.15 爆炸性环境 第 15 部分: 电气装置的设计、选型和安装
- GB/T 3880(所有部分) 一般工业用铝及铝合金板、带材
- GB/T 4208 外壳防护等级(IP 代码)
- GB/T 4237 不锈钢热轧钢板和钢带

GB/T 38530—2020

- GB/T 4272 设备及管道绝热技术通则
- GB/T 4437.1 铝及铝合金热挤压管 第1部分:无缝圆管
- GB/T 4879 防锈包装
- GB 4943.1—2011 信息技术设备 安全 第1部分:通用要求
- GB/T 4956 磁性基体上非磁性覆盖层 覆盖层厚度测量 磁性法
- GB/T 5310 高压锅炉用无缝钢管
- GB/T 5330.1 工业用金属丝筛网和金属丝编织网 网孔尺寸与金属丝直径组合选择指南 第1部分:通则
- GB/T 6388 运输包装收发货标志
- GB/T 6479 高压化肥设备用无缝钢管
- GB/T 6892 一般工业用铝及铝合金挤压型材
- GB/T 6893 铝及铝合金拉(轧)制无缝管
- GB/T 7306.2 55°密封管螺纹 第2部分:圆锥内螺纹与圆锥外螺纹
- GB/T 7999 铝及铝合金光电直读发射光谱分析方法
- GB/T 8163 输送流体用无缝钢管
- GB 8624 建筑材料及制品燃烧性能分级
- GB/T 8890 热交换器用铜合金无缝管
- GB/T 8923(所有部分) 涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定
- GB/T 9124(所有部分) 钢制管法兰
- GB/T 9286 色漆和清漆 漆膜的划格试验
- GB/T 9711 石油天然气工业 管线输送系统用钢管
- GB/T 9948 石油裂化用无缝钢管
- GB/T 10699 硅酸钙绝热制品
- GB/T 11835 绝热用岩棉、矿渣棉及其制品
- GB/T 12221 金属阀门 结构长度
- GB/T 12224 钢制阀门 一般要求
- GB/T 12225 通用阀门 铜合金铸件技术条件
- GB/T 12228 通用阀门 碳素钢锻件技术条件
- GB/T 12229 通用阀门 碳素钢铸件技术条件
- GB/T 12230 通用阀门 不锈钢铸件技术条件
- GB/T 12235 石油、石化及相关工业用钢制截止阀和升降式止回阀
- GB/T 12237 石油、石化及相关工业用的钢制球阀
- GB/T 12241 安全阀一般要求
- GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准
- GB 12358 作业场所环境气体检测报警仪 通用技术要求
- GB/T 12459 钢制对焊管件 类型与参数
- GB/T 12716 60°密封管螺纹
- 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 13401 钢制对焊管件 技术规范
- GB/T 13955 剩余电流动作保护装置安装和运行
- GB/T 14048.1 低压开关设备和控制设备 第1部分:总则
- GB/T 14383 锻制承插焊和螺纹管件

- GB/T 14525 波纹金属软管通用技术条件
- GB/T 14976 流体输送用不锈钢无缝钢管
- GB 15322(所有部分) 可燃气体探测器
- GB/T 15675 连续电镀锌、锌镍合金镀层钢板及钢带
- GB 16808 可燃气体报警控制器
- GB/T 16912 深度冷冻法生产氧气及相关气体安全技术规程
- GB/T 17116.1 管道支吊架 第1部分:技术规范
- GB/T 17371 硅酸盐复合绝热涂料
- GB/T 17393 覆盖奥氏体不锈钢用绝热材料规范
- GB/T 17794 柔性泡沫橡塑绝热制品
- GB/T 18442(所有部分) 固定式真空绝热深冷压力容器
- GB/T 18443(所有部分) 真空绝热深冷设备性能试验方法
- GB/T 19672 管线阀门 技术条件
- GB/T 20801(所有部分) 压力管道规范 工业管道
- GB/T 20801.5—2006 压力管道规范 工业管道 第5部分:检验与试验
- GB/T 20975 铝及铝合金化学分析方法
- 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 24925 低温阀门技术条件
- GB/T 25997 绝热用聚异氰脲酸酯制品
- GB/T 26640 阀门壳体最小壁厚尺寸要求规范
- GB 27790 城镇燃气调压器
- GB/T 28776 石油和天然气工业用钢制闸阀、截止阀和止回阀( $\leq$ DN100)
- GB/T 29026 低温介质用弹簧直接载荷式安全阀
- GB/T 34336 纳米孔气凝胶复合绝热制品
- GB/T 36051 燃气过滤器
- GB 50028 城镇燃气设计规范
- GB 50057 建筑物防雷设计规范
- GB 50058 爆炸危险环境电力装置设计规范
- GB 50093 自动化仪表工程施工及质量验收规范
- GB 50126 工业设备及管道绝热工程施工规范
- GB 50160 石油化工企业设计防火规范
- GB 50217 电力工程电缆设计标准
- GB 50235 工业金属管道工程施工规范
- GB 50236 现场设备、工业管道焊接工程施工规范
- GB 50264 工业设备及管道绝热工程设计规范
- GB 50316 工业金属管道设计规范
- GB 50493 石油化工可燃气体和有毒气体检测报警设计规范
- GB 50650 石油化工装置防雷设计规范
- GB 50683 现场设备、工业管道焊接工程施工质量验收规范
- CJ/T 335 城镇燃气切断阀和放散阀
- CJ/T 448 城镇燃气加臭装置
- CJ/T 514 燃气输送用金属阀门

- HG/T 20222 铝及铝合金焊接技术规程
- HG/T 20585 钢制低温压力容器技术要求
- HG/T 20592 钢制管法兰(PN 系列)
- HG/T 20607 钢制管法兰用聚四氟乙烯包覆垫片(PN 系列)
- HG/T 20609 钢制管法兰用金属包覆垫片(PN 系列)
- HG/T 20610 钢制管法兰用缠绕式垫片(PN 系列)
- HG/T 20611 钢制管法兰用具有覆盖层的齿形组合垫(PN 系列)
- HG/T 20612 钢制管法兰用金属环形垫(PN 系列)
- HG/T 20613 钢制管法兰用紧固件(PN 系列)
- HG/T 20615 钢制管法兰(Class 系列)
- HG/T 20628 钢制管法兰用聚四氟乙烯包覆垫片(Class 系列)
- HG/T 20630 钢制管法兰用金属包覆垫片(Class 系列)
- HG/T 20631 钢制管法兰用缠绕式垫片(Class 系列)
- HG/T 20632 钢制管法兰用具有覆盖层的齿形组合垫(Class 系列)
- HG/T 20633 钢制管法兰用金属环形垫(Class 系列)
- HG/T 20634 钢制管法兰用紧固件(Class 系列)
- JB/T 2549 铝制空气分离设备制造技术规范
- 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
- JB/T 7248 阀门用低温钢铸件技术条件
- JB/T 12621 液化天然气阀门 技术条件
- JB/T 12624 液化天然气用截止阀、止回阀
- JB/T 12625 液化天然气用球阀
- JB/T 12665 真空绝热低温管
- JC/T 647 泡沫玻璃绝热制品
- NB/T 47003.1 钢制焊接常压容器
- NB/T 47008 承压设备用碳素钢和合金钢锻件
- 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 47013(所有部分) 承压设备无损检测
- NB/T 47014 承压设备焊接工艺评定
- NB/T 47018.6 承压设备用焊接材料订货技术条件 第 6 部分:铝及铝合金焊丝和填充丝
- NB/T 47020~NB/T 47023 压力容器法兰分类与技术条件
- SH/T 3010 石油化工设备和管道绝热工程设计规范
- SH/T 3019 石油化工仪表管道线路设计规范
- SH/T 3097—2017 石油化工静电接地设计规范
- SY/T 6503 石油天然气工程可燃气体检测报警系统安全规范
- SY/T 7036 石油天然气站场管道及设备外防腐层技术规范
- TSG 21 固定式压力容器安全技术监察规程
- TSG D0001—2009 压力管道安全技术监察规程 工业管道
- TSG D7002 压力管道元件型式试验规则
- TSG R0006 气瓶安全技术监察规程

### 3 术语和定义、缩略语

#### 3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

##### 3.1.1

#### 液化天然气 liquefied natural gas; LNG

一种液态状况下为无色流体,主要由甲烷组成,组分可能含有少量的乙烷、丙烷、氮气或通常存在于天然气中的其他组分。

[GB/T 19204—2003,第3章]

##### 3.1.2

#### LNG 气化供气装置 LNG gasification supply installations

将 LNG 的储存设备、增压器、气化器、复热器、调压器、计量设备、加臭设备、安全放散装置、可燃气体报警装置、监控装置等设备全部或部分装配于一个底座上的元件组合装置,实现 LNG 的存储、气化、加热、过滤、调压、计量、加臭等全部或部分功能,集自控、监测、检测等附属功能一体化的装置。

##### 3.1.3

#### 气化器 vaporizer

用于气化液态 LNG 的设备。

##### 3.1.4

#### 空温式气化器 air vaporizer

以大气中的热量作为热媒加热液态天然气,使液态天然气气化的设备。

##### 3.1.5

#### 水浴式气化器 water vaporizer

以热水的热量作为热媒加热液态天然气,使液态天然气气化的设备。

注:包括水浴式热水加热气化器、水浴式蒸汽加热气化器、水浴式电加热气化器等种类。

##### 3.1.6

#### 复热器 quarter final

将空温气化器出口的气体加温,防止低温气体破坏后端管道的设备。

##### 3.1.7

#### 常温管道 normal temperature pipeline

设计温度不低于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的管道。

##### 3.1.8

#### 低温管道 cryogenic pipeline

设计温度低于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的管道。

##### 3.1.9

#### 蒸发气 boiled-off gas; BOG

液化天然气储存或输送时,由于吸收了漏入的热量,少部分液态天然气转化的低温气态天然气。

##### 3.1.10

#### 蒸发气加热器 BOG heater

将自然蒸发的低温天然气进行加热的设备。

##### 3.1.11

#### 放散气 emission ambient gas; EAG

当系统超压、检修时,液化天然气厂站集中放散的天然气。

3.1.12

**放散气加热器 EAG heater**

与集中放散管连接,利用热源加热放散气的设备。

3.1.13

**紧急切断装置 emergency cut-off device**

发生紧急情况时能就地或遥控操作,切断 LNG 气化供气装置设备内部 LNG 流动的设施。

3.1.14

**紧急泄放装置 emergency relief device**

紧急情况下用于迅速排放 LNG 气化供气装置设备内的天然气、释放其内部压力的装置。

3.1.15

**事故切断系统 emergency shutdown device**

使阀门或设备在紧急情况下迅速切断或停止运行的装置。

3.1.16

**绝热 thermal insulation**

保温与保冷的统称。

3.1.17

**保温 heat insulation**

为减少设备、管道及其附件向周围环境散热或降低表面温度,在其外表面采取的包覆措施。

3.1.18

**保冷 cold insulation**

为减少周围环境中的热量传入低温设备及管道内部,防止低温设备及管道外壁表面凝露,在其外表面采取的包覆措施。

3.1.19

**绝热结构 thermal insulation construction**

由绝热层、防潮层、保护层等组成的结构综合体。

3.1.20

**低温氮气试验 cryogenic nitrogen test**

在设备投入使用前,使用低温氮气对 LNG 管道进行降温,以检验系统性能及适用性的冷却性试验。

3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

BOG: 蒸发气(boiled-off gas)

EAG: 放散气(emission ambient gas)

ESD: 事故切断系统(emergency shutdown device)

FS: 满量程(full scale)

LEL: 爆炸下限(lower explosive limit)

LNG: 液化天然气(liquefied natural gas)

4 分类、代号和型号

4.1 分类

4.1.1 按管道结构可分为单路、多路。

4.1.2 按工作环境温度范围可分为:

- I类, -10℃~+60℃;
- II类, -20℃~+60℃;
- III类, -20℃以下。

4.1.3 按出口工作压力可分为 0.01 MPa、0.2 MPa、0.4 MPa、0.8 MPa、1.6MPa 等。

4.1.4 按供气量可分为 100 m<sup>3</sup>/h、200 m<sup>3</sup>/h、300 m<sup>3</sup>/h、500 m<sup>3</sup>/h、1 000 m<sup>3</sup>/h、1 500 m<sup>3</sup>/h、2 000 m<sup>3</sup>/h等。

## 4.2 代号

4.2.1 最大工作压力(MPa),以其数值表示,如:0.8、1.6 等。

4.2.2 出口工作压力(MPa),以其数值表示,如:0.01、0.2、0.4、0.8、1.6 等。

4.2.3 供气量,其值为以 m<sup>3</sup>/h 单位表示的设计气化量的前两位值,多余数字舍去,不足原数字位数时,应用零补足。对于气化装置有多路出口时,采用将各路出口的气化量以“+”连接表示。

4.2.4 气化器换热方式包括空温式、水浴式和其他类。气化器换热方式代号见表 1。

表 1 气化器换热方式代号

换热方式		热源	代号
空温式		空气	AH
水浴式	热水加热	热水	WH
	蒸汽加热	蒸汽	VW
	电加热	电	EW
其他类	其他换热方式	其他热源	自定义

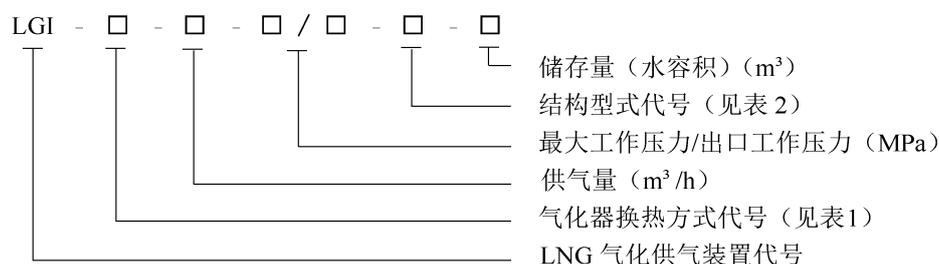
4.2.5 结构型式代号见表 2。

表 2 结构型式代号

结构型式代号	I	II	III	IV	自定义
结构型式	1+1	1+2	2+1	2+2	—
注 1: 结构型式中,“+”前一位数为气化器台数,“+”后一位数为调压路数。 注 2: 自定义,生产商根据实际情况自定义的功能,用大写字母表示,不限位数。自定义功能包括燃气泄漏报警、流量计量、自动加臭、联锁控制、信号远传、自动控制等。					

## 4.3 型号

型号编制如下:



示例: 加热方式为空温式,总储存量为 20 m<sup>3</sup>,供气量为 200 m<sup>3</sup>/h,最大工作压力为 1.6 MPa,出口工作压力为

0.4 MPa,配置单台气化器、双路调压的 LNG 气化供气装置,表示为:

LGI-AH-200-1.6/0.4-Ⅱ-20

## 5 结构和材料

### 5.1 一般要求

5.1.1 LNG 气化供气装置应能够承受温度、压力变化导致的管道的拉伸、压缩和弯曲载荷。

5.1.2 LNG 气化供气装置应具有远程监测工作压力、流量、温度、可燃气体浓度的能力,并具备报警切断功能。

5.1.3 LNG 气化供气装置设备和管道的布置应做到结构合理、布线规范、便于操作和观测、方便检修。

5.1.4 LNG 气化供气装置与外部管道的连接界面应符合下列要求:

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

5.1.5 LNG 气化供气装置工艺配置应符合下列要求:

- a) 基本配置:气化器、过滤器、调压装置、安全放散装置、紧急切断装置、可燃气体报警装置、仪表、电气控制装置、管路阀门组件、必要的支撑防护等相关配套设备;
- b) 可选配置:储存设备、复热器、加热器、计量装置、加臭装置等。

5.1.6 LNG 气化供气装置应适应工作环境的温度、湿度、风速、海拔等,并应符合下列要求:

- a) LNG 气化供气装置内工艺设备和管道的设计压力、设计温度的选择应满足最苛刻的压力和温度组合工况。压力容器应符合 GB/T 150、GB/T 18442、TSG 21 的规定。
- b) 对于环境温度超出工作温度范围时,应采取有效的措施使 LNG 气化供气装置内设备、管道和仪表能正常运行,并应调节 LNG 气化量、出口燃气温度满足要求。
- c) 调压过程中,因压力大幅下降而导致管道及附件工作温度低于 0 °C 或露点温度,影响正常运行时,应在该级调压器前应对燃气加热。加热设计应符合 GB 50028 的要求。
- d) LNG 气化供气装置的强度应能抵抗使用环境可能存在的大风、结冰、雪等偶然负荷。

5.1.7 LNG 气化供气装置的材料应依据其设计压力、工作温度、工作介质及材料性能等选用,并应符合 GB/T 18442、GB/T 150、GB 50028、GB/T 20801、JB/T 2549、HG/T 20222、TSG 21、TSG R0006、TSG D0001 的规定。

5.1.8 垫片、密封圈等配件应具有足够的机械强度和化学稳定性,与工作温度范围相适应,与燃气介质兼容且应对燃气加臭剂和燃气中允许的杂质有抗腐蚀能力。

5.1.9 LNG 气化供气装置运行噪声应符合 GB 12348 的有关规定。

### 5.2 结构

5.2.1 低温管道应进行柔性计算,柔性计算的范围和方法应符合 GB 50316 的规定。

5.2.2 低温管道补偿方式应采用自然补偿。

5.2.3 LNG 气化供气装置与其上、下游管道的连接型式应符合下列要求:

- a) 法兰端:法兰结构尺寸及密封面型式应符合 HG/T 20592、HG/T 20615、NB/T 47020~NB/T 47023、GB/T 9124 的规定;
- b) 管螺纹:仅可用于公称尺寸不大于 DN50 的管路,并应符合 GB/T 7306.2 或 GB/T 12716 的规定。

5.2.4 LNG 气化供气装置的设备、管道的连接应符合下列要求:

- a) 设计温度低于或等于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的低温管道与管道、LNG 储罐、设备等应采用对接焊接或法兰连接,阀门公称直径大于等于 DN50 的应采用对焊连接;设计温度高于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的天然气管道之间宜采用对接焊接连接或法兰连接;
- b) 公称直径小于或等于 DN50 的常温管道与储罐、容器、设备及阀门可采用法兰、螺纹连接;公称直径大于 DN50 的常温管道与储罐、容器、设备及阀门连接,应采用法兰或焊接连接;
- c) 阀门应适用于液化天然气介质,LNG 管道低温阀门应采用加长阀杆和能在线检修结构的阀门(液化天然气钢瓶自带的阀门除外),连接方式宜采用焊接;
- d) 承压件采用焊接连接时,应考虑材料焊接性能,保证低温下焊缝的可靠性。

#### 5.2.5 低温金属软管应符合下列要求:

- a) 卸液管道上应设置切断阀、止回阀和过滤器,气相管道上应设置切断阀;
- b) 低温金属软管应采用奥氏体不锈钢波纹软管或柔性金属软管,其公称压力不应小于卸液系统工作压力的 2 倍,其设计爆破压力不应小于公称压力的 5 倍,且其最小爆破压力不应小于公称压力的 4 倍;
- c) 低温金属软管应适用于装卸系统的设计温度,且不应高于 $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- d) 低温金属软管长度不宜大于 6 m;
- e) 低温金属软管的性能应符合 GB/T 14525 的要求;
- f) 低温金属软管及环松套法兰接头材料应能适应 LNG 低温介质,在最低使用温度下应有良好的韧性;环松套法兰接头应有良好的密封结构;
- g) 低温金属软管的电阻应小于  $0.5\ \Omega$ 。

### 5.3 焊接

5.3.1 材料应有质量合格证及质量证明文件,且应符合国家现行有关标准的规定。

5.3.2 材料应保证适配性和可焊性,焊接前应对材料以及焊材核实,必要时复验。焊接工艺评定应符合 NB/T 47014 的规定。

5.3.3 焊接应按 GB/T 20801、GB 50236、TSG D0001 和 TSG 21 等执行。

5.3.4 焊缝应平整,焊缝应无裂纹、气孔、夹渣及未焊透等缺陷。焊缝外观质量应符合 GB 50683 规定的 I 级。

### 5.4 涂装

5.4.1 碳钢管路的涂装应符合 SY/T 7036 的规定。喷涂前应经喷砂(抛丸)或机械除锈处理,除去铁锈、油污等杂质,表面质量应符合 GB/T 8923 中 Sa2.5 级的规定。

5.4.2 涂层质量应符合 6.14 的要求。

### 5.5 材料

#### 5.5.1 一般要求

5.5.1.1 气化装置的材料规格与性能应符合有国家现行有关标准的规定,应与使用温度、适用工况相适应,且应对城镇燃气、加臭剂和燃气中允许的杂质具有抗腐蚀能力。

5.5.1.2 气化装置承压部件使用的材料应提供有效的质量证明文件,其质量不得低于国家现行有关标准的规定,并按供货方提供材料的化学成分、热处理、无损检验和力学性能报告等证明文件验收,必要时进行复验。

5.5.1.3 气化装置用储罐、气瓶、钢管、钢板、管件、阀门等承压设备和管道元件材料应依据设计压力、工作温度、工作介质及材料性能等选用,并应符合 GB/T 20801、TSG D0001、GB/T 18442、GB/T 150、

TSG R0006 和 TSG 21 的规定。

5.5.1.4 工艺设备和管道的保温层应采用不燃烧材料,保冷层应采用不燃烧材料或难燃烧材料,且应具有有良好的防潮性和耐候性。

5.5.1.5 电气仪表应采用防爆设计,并应符合 GB 50058 的规定,防爆电器设备应有防爆合格证。

## 5.5.2 LNG 储存设备

5.5.2.1 LNG 储存设备及附件的设计、制造应符合 GB/T 18442、GB/T 150、GB 50028、TSG 21、TSG R0006 的规定。

5.5.2.2 LNG 储罐外表面可能接泄漏的 LNG 或低温蒸汽的部位,应设计成适宜低温或有不受低温影响的保护措施。

5.5.2.3 LNG 储罐应采用低温真空绝热储罐,并应符合下列要求:

- a) 储罐宜采用卧式罐。
- b) 储罐内罐的设计温度不应高于 $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,设计压力应符合国家现行有关标准的规定。
- c) 储罐容积不应大于 $20\text{ m}^3$ ,充装量不应大于储罐容积的 $90\%$ 。
- d) 内罐与外罐之间应设绝热层,绝热层应与 LNG 和天然气相适应,并应为不燃材料。外罐外部着火时,绝热层不应因熔融、塌陷等使绝热层的绝热性能明显降低。

5.5.2.4 储罐阀门的设置应符合下列要求:

- a) LNG 储罐安全阀的设置应符合 TSG 21 的有关规定。应设置 2 个奥氏体不锈钢封闭全启式安全阀,其中 1 个应为备用。
- b) 安全阀与储罐之间应设切断阀,切断阀在正常操作时应处于铅封开启状态。
- c) 储罐进、出液管应设置低温紧急切断阀,并与储罐液位连锁控制。
- d) LNG 储罐液相管道根部阀门与液相管的连接应采用焊接,材质应同为奥氏体不锈钢材料。

5.5.2.5 LNG 储罐液位、压力、温度仪表的设置应符合下列要求:

- a) 储罐应设置液位计及高、低液位报警器,高液位报警器应与进液管道紧急切断阀连锁。
- b) 储罐最高液位以上部位应设置压力表和超压报警器。
- c) 在内罐与外罐之间应设置检测环形空间绝对压力的仪器或检测接口。
- d) LNG 储罐应设置满足正常操作、高压、低压监测需要的压力表。高压、低压监测仪表应具有报警和连锁功能。
- e) 外罐内壁下部及底部环形空间宜设置监测泄漏的温度计,并能够低限温度报警温度达到低限值时应报警。
- f) 液位计、压力表应能就地指示和远传。

5.5.2.6 LNG 瓶组单个 LNG 低温气瓶容积不应大于 $0.5\text{ m}^3$ (几何容积),总储存量不应大于 $4\text{ m}^3$ ,气化量不应大于 $500\text{ m}^3/\text{h}$ 。

5.5.2.7 LNG 低温气瓶的材料、设计、制造、充装使用和检验应符合 TSG R0006 的规定,充装量不应大于公称容积的 $90\%$ 。

5.5.2.8 LNG 低温气瓶除应符合 TSG R0006 的规定外,还应符合下列规定:

- a) LNG 低温气瓶应采用真空低温绝热气瓶,并自带增压气化盘管。
- b) LNG 低温气瓶外壳与内胆材质相同。内胆和外壳之间的绝热层应为适应 LNG 和天然气的不可燃材料。
- c) LNG 气瓶的进液口、出液口、BOG 接口应能在结霜情况下清晰可见。
- d) 真空绝热气瓶的真空层应设置定期检测接口。

5.5.2.9 LNG 低温气瓶组应设 2 组,一用一备。

5.5.2.10 LNG 瓶组应设 2 个安全阀,安全阀应采用全启式安全阀,弹簧、阀体材质应采用奥氏体不锈钢。

5.5.2.11 LNG 瓶组应设置压力表,宜设液位检测装置。

### 5.5.3 管路组件

5.5.3.1 LNG 气化供气装置工艺管道的设计应符合 TSG D0001、GB/T 20801 和 GB 50316 的有关规定。

5.5.3.2 LNG 低温管道系统的设计温度不应高于 $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

5.5.3.3 LNG 气化供气装置的管道及管件的设计压力不应低于最大工作压力 1.2 倍,与设备连接的管道,其设计压力不应低于连接设备的设计压力。

5.5.3.4 管道及附件应根据选用的材料、管径、壁厚、介质特性、使用温度及施工环境温度等因素,对材料提出低温冲击试验的要求。

5.5.3.5 管路及安全附件、阀门、仪表等装置布局应合理,各安全泄放装置出口、放空口等应分不同压力级制集中放散。

5.5.3.6 低温管路部件中的液、气相管路宜采用保冷绝热材料或真空绝热管道,真空绝热管道应符合 JB/T 12665、GB/T 18443、TSG D7002 的规定。

5.5.3.7 复热器前管道应采用不锈钢管,复热器后宜采用碳钢管,且不应使用铸铁等脆性材料管道。

5.5.3.8 LNG 气化供气装置管路及组件材料应符合下列规定:

- a) 对于设计温度低于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的低温管道应采用奥氏体不锈钢无缝钢管,其技术性能应符合 GB/T 14976 的规定,管件材料应为奥氏体不锈钢,其技术性能应符合 GB/T 12459、GB/T 13401 的规定,锻钢承插焊管件应符合 GB/T 14383 的规定。
- b) 对于设计温度不低于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的常温管道,应根据材料使用温度、设计压力选用无缝钢管,其技术性能不应低于 GB/T 14976、GB/T 9948、GB/T 9711、GB/T 6479、GB/T 5310、GB/T 8163 的规定。钢制无缝管件(包括弯头、三通、四通、异径管、管帽等)应符合 GB/T 12459、GB/T 13401 的规定,管件不应采用铸铁等脆性材料制作。
- c) 无缝钢管材料应符合表 3 的规定,或选用不低于表 3 规定的其他材料,其力学成分、材料力学性能除应符合相应产品标准外,还应符合 GB/T 20801、TSG D0001 的规定。

表 3 常用管路组件材料

材料		牌号等级	标准编号	备注
无缝钢管	低温管道	S30408(06Cr19Ni10)、 S31608(06Cr17Ni12Mo2)、 S32168(06Cr18Ni11Ti)	GB/T 14976	复热器前的 管路 ( $\leq -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
	常温管道	20、Q345D	GB/T 8163	复热器后 的管路 ( $> -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
		20G	GB/T 5310	
		20、Q345D、Q345E	GB/T 6479	
		L245、L290	GB/T 9711	
	20	GB/T 9948		
无缝管件	低温对焊无缝管件	S30408(06Cr19Ni10)、 S31608(06Cr17Ni12Mo2)、 S32168(06Cr18Ni11Ti)	GB/T 12459、 GB/T 13401	低温气相管路 ( $\leq -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ )
		S30408(06Cr19Ni10)、 S31608(06Cr17Ni12Mo2)、 S32168(06Cr18Ni11Ti)	GB/T 12459、 GB/T 13401、 GB/T 14383	低温液相管路 ( $\leq -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

表 3 (续)

材料		牌号等级	标准编号	备注	
无缝管件	常温对焊 无缝管件	20、Q345、16Mn	GB/T 12459、 GB/T 13401	常温管路 ( $> -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ )	
法兰	低温	S30408(06Cr19Ni10)Ⅲ、 S31608(06Cr17Ni12Mo2)Ⅲ	HG/T 20592、HG/T 20615、NB/T 47010	低温管路 ( $\leq -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ )	
		S30408(06Cr19Ni10)Ⅲ、 S31608(06Cr17Ni12Mo2)Ⅲ	GB/T 9124、 NB/T 47010		
	常温	20Ⅱ、16MnⅡ	HG/T 20592、HG/T 20615、NB/T 47008	常温管路 ( $> -20\text{ }^{\circ}\text{C}$ )	
		20Ⅱ、16MnⅡ	GB/T 9124、 NB/T 47008		
		20Ⅱ、16MnⅡ	HG/T 20592、HG/T 20615、NB/T 47009		
		20Ⅱ、16MnⅡ	GB/T 9124、 NB/T 47009		
	垫片	低温	D2232 型 06Cr19Ni10-聚四氟乙烯缠绕垫	HG/T 20610、 HG/T 20631	
			缠绕式垫片(柔性石墨填充)	HG/T 20610、 HG/T 20631	
304F4 型、316F4 型 覆盖聚四氟乙烯齿形组合垫片			HG/T 20611、 HG/T 20632		
具有覆盖层的齿形组合垫片 (柔性石墨覆盖)			HG/T 20611、 HG/T 20632		
常温		聚四氟乙烯包覆垫片	HG/T 20607、 HG/T 20628		
		金属包覆垫片	HG/T 20609、 HG/T 20630		
		缠绕式垫片	HG/T 20610、 HG/T 20631		
		具有覆盖层的齿形组合垫	HG/T 20611、 HG/T 20632		
		金属环形垫	HG/T 20612、 HG/T 20633		
螺栓、 螺柱、 螺母		低温	A4-80 螺栓	GB/T 3098.6	专业级
			A4-70 螺母	GB/T 3098.15	专业级
	06Cr19Ni10 全螺纹螺柱		HG/T 20613、 HG/T 20634	专业级	
	06Cr19Ni10 六角螺母		HG/T 20613、 HG/T 20634	专业级	

表 3 (续)

材料	牌号等级	标准编号	备注
螺栓、 螺柱、 螺母	6,8,8,10.9	GB/T 3098.1	螺栓、螺柱
	6,8,10	GB/T 3098.2	螺母
	A2-50、A4-50、A2-70、A4-70	GB/T 3098.6	螺栓、螺柱
	A2-50、A4-50、A2-70、A4-70	GB/T 3098.15	螺母
	06Cr17Ni12Mo2(316)、06Cr19Ni10(304)	GB/T 1220	螺栓、螺柱
	35CrMo、25Cr2MoV	GB/T 3077	螺栓、螺柱
	A193.B8-2、A193.B8M-2、A453.660、 30CrMo、42CrMo、A320、L7	HG/T 20613、 HG/T 20634	螺栓、螺柱、螺母

- d) 管道材料的压力-温度等级应符合 GB/T 20801 的规定。
- e) 钢管和管件低温冲击试验应符合下列要求：  
 ——低合金钢钢管，最低工作温度低于或等于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，应进行低温冲击试验；  
 ——碳钢、低合金钢钢管，最低工作温度低于 $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 但高于或等于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，且设计压力大于或等于 $2.5\text{ MPa}$ 的应进行低温冲击试验，奥氏体不锈钢可不作冲击试验；  
 ——奥氏体不锈钢，含碳量大于 $0.1\%$ 、最低工作温度低于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，应进行低温冲击试验；  
 ——冲击试验方法及要求应符合 GB/T 229 的规定。
- f) 信号管宜采用不锈钢管，管壁厚度应符合强度要求，管道材料应符合 GB/T 14976 的规定。

#### 5.5.4 法兰、垫片和紧固件

法兰、垫片和紧固件应符合下列要求：

- a) 法兰、垫片和紧固件应根据介质性质、特性、压力配套选用；
- b) 法兰应选用公称压力不低于设计压力且不低于 $1.0\text{ MPa}$ 的产品，应与管道有良好的焊接性能；
- c) 对于设计温度低于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的管道法兰应采用奥氏体不锈钢材质，其技术性能应符合 HG/T 20592、HG/T 20615、GB/T 9124 的规定，锻件材料应符合 NB/T 47010 的要求，应选 06Cr19Ni10、06Cr17Ni12Mo2，Ⅲ级以上锻件；
- d) 低温垫片宜选柔性石墨填充金属缠绕垫片、柔性石墨覆盖波齿/齿形复合垫片等型式的垫片，适用温度 $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- e) 低温螺栓采用 HG/T 20613、HG/T 20634 精制 06Cr19Ni10 全螺纹螺柱，螺母采用 HG/T 20613、HG/T 20634 精制 06Cr19Ni10 Ⅱ型六角螺母；或螺栓采用 GB/T 3098.6 精制 A4-80 级奥氏体不锈钢螺柱，螺母采用 GB/T 3098.15 精制 A4-80 级奥氏体不锈钢螺母；
- f) 对其他常温管道法兰、垫片、紧固件，应按表 3 规定的牌号等级配套选用，法兰锻件材料应符合 NB/T 47008、NB/T 47009 的要求，应选 20 或 16Mn，Ⅱ级以上锻件；
- g) 常温螺栓、螺母应按表 3 规定的牌号等级配套选用。

#### 5.5.5 阀门

##### 5.5.5.1 LNG 气化供气装置阀门应符合下列通用要求：

- a) 阀体在受介质压力和温度交变产生的应力及管道安装引起的附加应力的载荷下，应能保持足够的强度和刚度，在工作温度下，材料性能应稳定，不应产生低温脆性破坏。
- b) 低温阀门内部零部件材料在低温工况下应经久耐用，操作中不应出现卡阻、咬合和擦伤等现

象,材料应具有耐电化学腐蚀和耐燃气性能。

- c) 制造阀门的材料应符合 GB/T 12228、GB/T 12229、JB/T 7248、GB/T 12225、GB/T 12230、GB/T 24925 有关标准的规定。不应使用灰口铸铁、可锻铸铁及球墨铸铁阀门等脆性材料。
- d) 阀门的使用温度、工作压力应符合 GB/T 20801、GB/T 12224、GB/T 24925 的规定。
- e) 阀门端面结构长度应符合 GB/T 12221 的规定。
- f) 阀门的最小壁厚应符合 GB/T 26640 的规定。
- g) 阀门应为防火、防静电结构,整个放电路径的最大电阻值不应超过 10 Ω。
- h) 阀杆应采用防吹出设计。阀杆应能够传递必需的扭矩或推力到阀门关闭件上,并能承受操作的载荷附加应力。
- i) 阀杆材料应采用不锈钢,阀座的材料宜采用不锈钢。
- j) 在工作条件下,手动操作阀门时,在手柄或手轮边缘最大作用力不应超过 360 N,低温阀门在开启或关闭瞬间的最大操作力应符合 JB/T 12621 的要求,常温阀门应符合 GB/T 19672 的要求。
- k) 低温切断阀应选用球阀或截止阀,低温切断阀宜采用一体化顶装结构,与管道焊接连接,执行机构宜采用单作用弹簧复位型气动执行机构;低温切断球阀应有超压自泄放功能。
- l) 阀门上应有开关位置指示,对有流动方向要求的阀门,应在阀体上铸造或打印永久性指示介质流向的标志。

5.5.5.2 低温阀门除应符合 5.5.5.1 外,还应符合下列要求:

- a) 低温阀门采用焊接结构时,应为对焊型式,应保证材料焊接性能及低温下焊缝的可靠性。
- b) 低温阀门的结构宜采用整体式,上装式阀门应能不需要拆卸阀体进行在线阀门内件的维护。
- c) 低温阀门阀体和阀盖应采用螺柱连接,阀杆应采用加长阀杆,阀门(止回阀除外)应能在与垂直方向成 45°内安装和操作。
- d) 低温阀门的阀盖应根据不同的使用温度要求采用便于保冷的长颈阀盖结构,以保证填料函底部的温度保持在 0 °C 以上。阀盖加长颈的长度应符合 JB/T 12621 的规定。
- e) 长颈部分与阀盖可浇铸成一体,也可采用与本体材质相同的无缝钢管堆焊到阀盖和填料箱上,对于公称直径不大于 DN50 的小口径的锻造阀门,焊后应消除应力。
- f) 阀门设置隔离滴盘时,隔离滴盘的位置应符合 JB/T 12621 的规定。隔离滴盘和加长颈之间应密封,隔离滴盘宜采用焊接或螺栓夹紧方式固定在阀盖加长颈上。
- g) 低温截止阀应具有上密封结构,上密封应位于阀盖加长颈靠近填料函的下部,阀瓣应采用锥面或球面密封结构,不应使用平面密封的阀瓣。
- h) 低温阀门的密封副应采用金属对金属或金属对软密封面。如采用软密封面应有金属阀座支承,软密封阀座不应产生冷流变形。
- i) 双向密封的球阀应有阀腔泄压结构。对有泄压方向要求的阀门,阀体上应有泄放方向的标志。
- j) 除浮动阀座外,金属阀座与阀体应采用焊接连接。
- k) 用于-101 °C 以下的低温阀门,其阀体、阀盖、阀瓣、阀座、阀杆等零件在精加工前应进行深冷处理。
- l) 低温阀门应选用公称压力不低于 2.5 MPa 的产品,应能适应液化天然气介质,且应符合 GB/T 24925、JB/T 12621、JB/T 12624、JB/T 12625 的规定。
- m) 低温紧急切断阀应符合 GB/T 24918、GB/T 24925 的规定。

5.5.5.3 常温阀门除应符合 5.5.5.1 外,还应符合下列要求:

- a) 常温阀门应选用公称压力不低于 1.6 MPa 的产品,不应使用铸铁或非金属材料制造的阀门,其使用温度、工作压力应符合 GB/T 20801、GB/T 12224 的规定;
- b) 常温阀门应符合 GB/T 12224、GB/T 19672、GB/T 12235、GB/T 12237、GB/T 28776、

CJ/T 514、TSG D7002、TSG D0001 的规定；

- c) 切断阀和放散阀应符合 CJ/T 335 的要求, 安全阀应符合 GB/T 12241 的规定。

### 5.5.6 支吊架、管托

5.5.6.1 管道支架应有足够的强度和刚度。管道支架设置位置、间距应满足强度和热胀冷缩应力位移的要求。

5.5.6.2 管道支吊架材料应符合 GB/T 17116.1 的要求。

5.5.6.3 保冷管托、隔热块宜选用高密度异氰酸酯或高密度聚氨酯材料。

5.5.6.4 保冷管托用低温黏结剂、密封胶应满足设计温度的要求。

5.5.6.5 保冷管托防潮层应采用弹性树脂、复合铝箔材料, 并应与保冷材料相容。

5.5.6.6 保冷管托防护层宜采用不锈钢材料, 厚度不低于 0.6 mm。

### 5.5.7 保冷及保温

5.5.7.1 LNG 气化供气装置在预冷完成后应对低温管线保冷, 保冷设计温度不应高于  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  (外表面温度)。水浴式气化器应设置保温层, 工作状态下设备表面温度不超过  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。气化装置管线、设备的保冷及保温应符合 GB/T 4272、GB 50264、GB 50126 的规定。

5.5.7.2 绝热结构应符合下列要求:

- 保温结构应由保温层和保护层组成;
- 保冷结构应由保冷层、防潮层和保护层组成;
- 保冷结构的保冷层、防潮层系统应密封良好, 在管道膨胀或收缩情况下应具有良好的水汽阻隔性能。

5.5.7.3 绝热材料的选择应符合下列要求:

- 设备和管道的保温层应采用不燃烧材料, 保冷层应采用不燃烧材料或外层为不燃材料, 内层为难燃材料的复合保冷材料;
- 保冷应选用闭孔型材料及其制品, 不宜选用纤维材料或其制品, 不得选用石棉材料及其制品;
- 保冷材料宜选用聚异三聚氰酸酯(PIR)制品和泡沫玻璃(FG)制品;
- 设备和管道的外表面温度大于  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  时, 绝热材料应选择燃烧性能不低于 GB 8624 中规定的 A2 级材料, 设备和管道的外表面温度小于或等于  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  时, 绝热材料应选择燃烧性能不低于 GB 8624 中规定的 B1 级材料, 其氧指数不应小于 30%;
- 与奥氏体不锈钢表面接触的绝热材料, 其氯化物、氟化物、硅酸根、钠离子的含量应符合 GB/T 17393 的有关规定, 在  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  时其浸出液的 pH 值应为 7.0~11.0;
- LNG 气化供气装置用绝热材料性能应符合表 4 的要求, 或选择不低于表 4 规定的其他材料; 绝热材料的主要物理性能和化学性能、导热系数等应符合 GB 50264 的规定。

表 4 LNG 气化供气装置常用绝热材料

材料	材料牌号	材料标准号	推荐使用温度 $^{\circ}\text{C}$	燃烧性能	
保冷结构					
保冷层	聚异三聚 氰酸酯	聚异三聚氰酸酯(PIR)	GB/T 25997、GB 50264	$-196\sim 120$	不低于 GB 8624 难燃 B1 级, 氧 指数应 $\geq 30\%$
		高密度聚异 三聚氰酸酯(HDPIR)	GB/T 25997、GB 50264	$-196\sim 100$	
	泡沫玻 璃制品	泡沫玻璃(FG)	JC/T 647、GB 50264	$-196\sim 400$	

表 4 (续)

材料		材料牌号	材料标准号	推荐使用温度 ℃	燃烧性能
保冷结构					
保冷层	硬质聚氨酯泡沫塑料	硬质聚氨酯泡沫塑料(PUR)	GB/T 11835、GB 50264	-80~100	不低于 GB 8624 难燃 B1 级, 氧指数应 $\geq 30\%$
	低温闭泡弹性保冷材料	弹性体发泡制品	GB/T 17794、SH/T 3010	-196~+125	
		丁腈橡胶发泡制品(LT)	GB/T 17794、SH/T 3010	-50~+105	
保护层	不锈钢板	0.30 mm~0.35 mm	GB/T 3280	—	不低于 GB 8624 难燃 A2 级
	铝合金薄板	0.40 mm~0.60 mm	GB/T 3880	—	
	镀锌薄钢板	0.30 mm~0.50 mm	GB/T 2518、GB/T 15675	—	
	镀铝钢板	0.50 mm~0.60 mm	—	—	
	橘皮铝板	0.50 mm~0.60 mm	GB/T 3190	—	
黏结剂		沥青类低温黏结剂	GB 50264	-196~60	—
		聚氨酯类低温黏结剂	GB 50264	-196~100	—
密封胶		—	GB 50264	-196~65	—
耐磨剂		—	GB 50264	-196~80	—
阻燃性玛蹄脂		DH31	GB 50264	-60~65	氧指数 $\geq 30\%$ , 施工时无引火性, 干燥后离开火源 1 s 自熄
聚氨酯防水卷材		0.3 mm, 0.6 mm	GB 50264	-45~110	氧指数 $\geq 30\%$
保温结构					
保温层	硅酸钙制品	板、毡、管壳	GB/T 10699	$\leq 550$	不低于 GB 8624 中规定的 A2 级
	岩棉	板、毡、管壳	GB/T 11835	$\leq 400$	
	矿渣棉制品	板、毡、管壳	GB/T 13350	$\leq 300$	
	硅酸盐保温材料	板、毡、管壳	GB/T 17371	$\leq 800$	
	纳米孔气凝胶复合绝热制品	Ⅱ型, Ⅲ型, Ⅳ型	GB/T 34336	$\leq 450$	
保护层	不锈钢板	0.30 mm~0.35 mm	GB/T 3280	—	不低于 GB 8624 难燃 A2 级
	铝合金薄板	0.40 mm~0.60 mm	GB/T 3880	—	
	镀锌薄钢板	0.30 mm~0.50 mm	GB/T 2518、GB/T 15675	—	
	镀铝钢板	0.50 mm~0.60 mm	—	—	
	橘皮铝板	0.50 mm~0.60 mm	GB/T 3190	—	

表 4 (续)

材料	材料牌号	材料标准号	推荐使用温度 ℃	燃烧性能
黏结剂、密封胶、 耐磨剂	—	GB 50264	—	—

#### 5.5.7.4 防潮层材料应符合下列要求：

- 防潮层材料应选化学性能稳定、无毒且耐腐蚀的材料，并不得对绝热材料和保护层材料产生腐蚀或溶解作用；
- 防潮层材料应具有良好抗渗透性、防水性和防潮性，且其吸水率不大于 1.0%；
- 防潮层材料应阻燃，其氧指数不应小于 30%；
- 防潮层材料应选择安全使用温度范围大、不软化、不起泡、不脆化、不开裂、不脱落的产品。

#### 5.5.7.5 保护层材料应符合下列要求：

- 保护层宜采用金属材料，材料应具有防水、防潮、抗大气腐蚀、化学性能稳定、机械强度高，且在使用环境下不软化、不脆化的材料，并不应对防潮层或绝热材料产生腐蚀或溶解作用；
- 保护层在环境变化与振动情况下，不应渗水、散落和脱落；
- 保护层材料的耐燃性能不应低于 GB 8624 中 A2 级（耐易燃介质）。

#### 5.5.7.6 黏结剂、密封剂应符合下列要求：

- 应根据保冷材料的性能及使用温度选择，应在使用温度范围保持黏结性能和密封性能；
- 黏结剂、密封剂和耐磨剂等辅材不应与金属产生腐蚀，且不应引起保冷材料溶解。

### 5.5.8 增压器

5.5.8.1 卸车、储罐及瓶组增压气化器宜选用空温式气化器，所用空温式气化器应符合附录 A 的要求。

5.5.8.2 卸车、储罐及瓶组增压气化器的压力等级应与储罐、瓶组设计压力相匹配，所选材料应与 LNG 介质相容，且应考虑使用工况材料的热胀冷缩影响。

5.5.8.3 卸车、储罐及瓶组增压气化器的气化量应能满足设计卸液速率和升压速率的要求。

### 5.5.9 气化器

5.5.9.1 气化器根据工程条件可选用空温式气化器和水浴式气化器。

5.5.9.2 气化器应符合附录 A 的要求。

5.5.9.3 气化器的最大压降不宜大于 0.05 MPa。

5.5.9.4 气化器出口天然气温度低于 5℃时，应加复热器提高天然气温度。

5.5.9.5 气化器进口管线上应设紧急切断阀，出口管线上应设安全阀。

5.5.9.6 气化器 LNG 入口管线上宜设温度、压力检测仪表，出口管线上应设温度、压力检测仪表。气化器出口应单独设置用于气化器紧急停车联锁的温度检测仪表。

### 5.5.10 加热器

5.5.10.1 BOG 加热器、EAG 加热器宜采用空温式气化器。

5.5.10.2 BOG 加热器、EAG 加热器的设计温度不应高于 -196℃，设计压力不应低于 1.6 MPa。

5.5.10.3 BOG 加热器出口温度低于 5℃时应设复热器提高天然气温度。

5.5.10.4 EAG 加热器出口温度不应低于 -107℃，且低温气体不应与后端管道造成破坏。

### 5.5.11 复热器

5.5.11.1 当气化器出口温度无法满足后续设备、仪表、管道、阀门的输配安全时，应设复热器，将天然气经过强制换热后温度升至+5℃以上。

5.5.11.2 复热器应符合下列要求：

- a) 复热器宜采用水浴式气化器，条件允许时也可采用空温式气化器；
- b) 复热器的结构、材料、设计制造及检验应符合 A.5 的规定；
- c) 复热器的进水温度、回水温度不应超出正常工作范围；
- d) 复热器加热后的天然气应保证调压器出口温度不低于 5℃；
- e) 电加热水浴式复热器宜采用盘管式或补偿管式换热方式；
- f) 水浴式复热器的筒体内部及出口处应安装温度计或温度测量传感器；
- g) 水浴式复热器宜安装液位远传测量仪表监测媒介液位上、下限值；
- h) 设备上的仪表及接线盒应具有防爆性能，防爆性能应符合 GB 3836.1、GB 3836.2、GB 3836.3、GB 3836.4、GB 3836.9、GB 3836.14、GB 3836.15 的规定，防护等级不应低于 GB/T 4208 中 IP 65。

### 5.5.12 调压器

5.5.12.1 调压器宜选用自力式调压器，调压器的流量不应低于气化装置供气量的 1.2 倍。

5.5.12.2 调压器的材料及性能应符合 GB 27790 的规定。

5.5.12.3 调压器集成切断阀应符合下列要求：

- a) 切断阀控制方式为自力式，人工复位；
- b) 切断阀的响应时间不应大于 1 s；
- c) 切断阀的开关信号应具有远传功能。

### 5.5.13 过滤器

5.5.13.1 过滤器型式及布置应根据气质条件、使用环境确定。

5.5.13.2 过滤器的过滤精度应满足流量计、调压装置及后端设备的运行要求和气质要求。

5.5.13.3 过滤器设置应满足通过介质最大流量的要求，并应符合检修的要求。

5.5.13.4 常温过滤器应符合 GB/T 36051 的规定，过滤精度不应低于 20 μm，过滤器的初始阻力不宜大于 70 kPa。

5.5.13.5 低温过滤器的壳体及滤网应采用奥氏体不锈钢材料制造，壳体材料应符合 NB/T 47010 的规定，其性能不应低于 06Cr19Ni10、06Cr17Ni12Mo2、06Cr18Ni11Ti 等Ⅲ级以上锻件的要求，不锈钢丝滤网应符合 GB/T 5330.1 的规定。

### 5.5.14 流量计

5.5.14.1 装置配流量计时，流量计的精度等级应符合下列要求：

- a) 用于商业计量应根据流量范围和实际情况选用，不宜低于 1.0 级；
- b) 用于其他计量不低于 1.5 级。

5.5.14.2 流量计应适应流量变化的工况，保证最高、最低流量工况下的计量精度。

5.5.14.3 流量计前后直管段的设计应流量测试的稳定性。

5.5.14.4 流量计应具有现场显示和数据远传功能。

5.5.14.5 流量应具有防爆性能，防爆性能应符合 GB 3836.1、GB 3836.2、GB 3836.3、GB 3836.4、GB 3836.9、GB 3836.14、GB 3836.15 的规定，防护等级不应低于 GB/T 4208 中 IP 65。

### 5.5.15 加臭装置

5.5.15.1 加臭系统应根据需要设置。向城镇燃气用户供气时,应设加臭装置,向工业企业供气时,若工艺有对燃气介质的要求,可不设加臭装置。

5.5.15.2 加臭装置的设计压力应为气化装置加臭剂输入点最高工作压力的 1.2 倍~1.5 倍。

5.5.15.3 加臭装置的加臭能力应按 GB 50028 规定的加臭量的 2 倍~3 倍选型。

5.5.15.4 加臭装置应符合 CJ/T 448 的规定,燃气加臭剂质量及添加量应符合 GB 50028 的规定。

5.5.15.5 加臭装置应与 LNG 气化供气装置的控制系統联锁,加臭剂输出管线上应设置可靠的切断装置或电磁阀(常闭型)与加臭控制器联锁。

5.5.15.6 加臭装置应符合下列要求:

- a) 加臭装置应设置在 LNG 气化供气装置的非低温区域,且通风良好;
- b) 加臭剂储罐和上料口应设置在 LNG 气化供气装置的外侧;
- c) 加臭剂注入喷嘴应垂直安装在 LNG 气化供气装置末端出口的水平钢质燃气管道上,且加臭剂注入点的位置宜高于加臭剂储罐;
- d) 液位计宜采用磁翻板式液位计或带远传功能的其他液位计,根部应加截止阀,阀体材质应为奥氏体不锈钢;
- e) 加臭装置应设置控制系统,保证在燃气流量允许范围内加臭剂浓度的均匀稳定,并具有数据存储功能。

5.5.15.7 加臭装置的控制器应与 LNG 气化供气装置的控制系統安装在一起,宜在非防爆区内。确需安装在防爆区的控制器应采取防爆措施。

5.5.15.8 加臭装置呼吸阀内应加活性炭吸附加臭剂。

### 5.5.16 安全装置

5.5.16.1 测温装置应符合下列要求:

- a) LNG 储罐上应配备温度检测装置,储罐温度仪表的设置应符合 5.5.2.5 的要求;
- b) LNG 气化器和复热器的天然气出口(调压器前)应设置测温装置并应与相关阀门连锁;
- c) 气化器出口及热媒流体管道的进、出口应配备测温装置,监测气化器出口温度及热媒流体的进、出口温度;
- d) 低温容器和设备的基础,应配备温度监测系统。

5.5.16.2 紧急切断阀应符合下列要求:

- a) LNG 气化供气装置应设置防止天然气出口压力过高的超压紧急切断阀,超压紧急切断阀应采用人工复位方式;
- b) 储罐进出液管道上应设置紧急切断阀。进液管紧急切断阀应与储罐高高液位信号连锁,出液管紧急切断阀应与储罐低低液位信号及高高压力信号连锁;
- c) LNG 气化器的进液管道上应设置紧急切断阀,并应与气化器出口天然气管道的温度信号连锁;
- d) LNG 低温紧急切断阀宜为气动阀或电动阀;
- e) 紧急切断阀应具有现场和远程操作以及阀位置信号远传功能,紧急切断阀应仅能手动现场复位。

### 5.5.17 安全放散阀

5.5.17.1 LNG 储罐安全阀的设置应符合 5.5.2.4 的要求,安全阀的性能应符合 GB/T 29026、TSG 21 的要求。

5.5.17.2 LNG 液相管道安全阀应采用弹簧微启式,气相管道安全阀应采用弹簧全启式,安全阀的性能应符合 GB/T 29026 的规定。

5.5.17.3 复热器前的管路应按 $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ 设计。

5.5.17.4 液化天然气液相管道上的两个截断阀之间应按 GB 50028 的规定设置安全阀,安全阀整定压力不宜超过 1.1 倍管路最高工作压力且不超过设计压力。

5.5.17.5 气化器或其出口管道上应设置安全阀,安全阀应选择全启式安全阀。安全阀的泄放能力应满足下列要求:

- a) 空温式气化器的安全阀泄放能力应满足在 1.1 倍的设计压力下,泄放量不小于气化器设计额定流量的 1.5 倍;
- b) 水浴式气化器的安全阀泄放能力应满足在 1.1 倍的设计压力下,泄放量不小于气化器设计额定流量的 1.1 倍。

5.5.17.6 燃气调压器后应设防止出口压力过高的放散阀。

5.5.17.7 放散管应符合下列要求:

- a) LNG 气化供气装置宜设置集中放散管,LNG 储存设备的放散管应接入集中放散管、其他设备和管道的放散管宜接入集中放散管;
- b) 集中放散管路放散口应高出 LNG 储罐顶 2 m 以上,且距地面不低于 5 m,底部应有排污措施;
- c) 放散总管可设置在气化装置上,应确保放散气体不会沉积,且放空管不应因低温而产生破坏;
- d) 放散低温气体应经 EAG 加热器加热后集中放散,温度不应低于 $-107\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

#### 5.5.18 压力表

压力表应符合下列要求:

- a) LNG 储罐应设置满足正常操作、高压、低压检测的压力表。高压、低压及仪表应具有报警和联锁功能。
- b) 气化器压力表的设置除应符合 5.5.9.6 的要求外,还应符合 GB/T 150、GB/T 18442 和 TSG 21 的要求。
- c) 压力表应能适用 LNG 低温介质。压力表的测量范围宜为 1.5 倍~3.0 倍工作压力,精度等级不应低于 1.6 级,表盘直径不应小于 100 mm。
- d) 压力表应设在便于观察的位置,且应避免受到振动、冻结等不利因素影响。

#### 5.5.19 真空表

真空设备应按 GB/T 18442 配备真空度检测设备或设置检测接口。

#### 5.5.20 液位计

液位计应符合下列要求:

- a) 储罐应配置就地和远传的液位计,并应设置高、低液位报警装置,达到警戒液位时应报警和联锁;
- b) 储罐液位计应能适应液体密度的变化,应安装在便于观察的位置,更换不应影响储罐使用操作;
- c) 水浴式气化器液位计的设置应符合 A.5.1.7 的要求;
- d) 液位计应根据介质、工作压力和温度正确选用;
- e) 液位计应采用防爆型结构,且应有防止泄漏的保护装置;
- f) 液位计应结构牢固、准确,精度等级不应低于 2.5 级。不应选用玻璃管(板)液位计或其他易碎材料制作;

g) 液位计应有液位指示刻度与容积的对应关系数据。

### 5.5.21 箱体和底座

5.5.21.1 箱体结构应有足够的强度,应稳固、结实、布局合理,应能容纳 LNG 气化供气装置的储存设备、管路系统、调压、计量、加臭、可燃气体报警装置、控制箱等设备部件。

5.5.21.2 箱体宜采用敞开式设计。非敞顶的箱体应设置爆炸泄放口,宜配备符合防爆要求的强制通风设施,通风设施应与可燃气体探测器联锁。

5.5.21.3 LNG 气化供气装置底座应有足够的强度、刚度及稳定性,底座应采用耐低温材料或采取防止低温破坏的其他措施。

5.5.21.4 LNG 气化供气装置应设地脚螺栓孔及吊耳(或吊装孔),地脚螺栓孔、吊耳(或吊装孔)应有足够的强度。

5.5.21.5 配置储罐的 LNG 气化供气装置,采用在箱体上设置耐低温不锈钢围堰时,围堰应符合下列要求:

- a) 围堰应采用耐低温奥氏体不锈钢材料,并保证拦蓄池有足够的强度和刚度;
- b) 围堰容积不应小于 LNG 储罐的总容积;
- c) 围堰应进行盛水试验,试验中不允许出现泄漏和变形;
- d) 围堰底部应设置手动排水阀。排水阀的设计温度应按  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  进行选型。

## 5.6 电气控制

### 5.6.1 一般要求

5.6.1.1 LNG 气化供气装置内的所有的电气设备、电气仪表应符合 GB 50058 的规定。

5.6.1.2 LNG 气化供气装置内的金属容器、气化设备、过滤器、调压器、计量装置、加臭装置、金属支架及金属管道等应进行静电接地,静电接地应符合 GB 50160 和 SH/T 3097 的有关规定。

5.6.1.3 LNG 气化供气装置防雷设计应符合 GB 50057、GB 50650 和 GB 50028 的有关规定。

5.6.1.4 电气仪表、控制系统的安装、检验应符合 GB 50093 的规定。

5.6.1.5 电气设备、电气仪表控制系统可能接触 LNG 及低温蒸汽应选用耐低温材料制造,或采取防低温保护措施。

### 5.6.2 电气装置

电气装置应符合下列要求:

- a) LNG 气化供气装置的供电负荷等级可为二级。自控系统应设供电时间不小于 1 h 的不间断电源。
- b) LNG 气化供气装置的供电电源应使用电压为 380/220V 的外接电源。
- c) LNG 气化供气装置的爆炸危险区域的等级范围划分应符合 GB 50058、GB 50028 的规定,爆炸危险场所的电力装置设计应符合 GB 50058 的规定,电气设备应符合 GB 3836.1、GB 3836.15 的规定。
- d) LNG 气化供气装置上设备防雷接地、防静电接地、电气设备的工作接地、保护接地及自控系统的接地等,宜共用接地装置,其接地电阻不应大于  $4\ \Omega$ 。

### 5.6.3 电气仪表

电气仪表应符合下列要求:

- a) 电气仪表应满足工艺系统的动作和控制的要求;

- b) 自控系统所采集的远传信号应设定范围,并应实现超限报警和超限保护;
- c) 自控系统设备选型、安装应符合 GB 50217 和 GB 50058 的有关规定;
- d) 自控设备和仪表选型应满足使用环境的防爆要求,爆炸危险环境场所内安装的电气仪表应具备防爆性能,电气仪表的防爆等级应符合 GB 50058 的规定;
- e) 爆炸危险区域内应设静电接地装置,接地电阻不应大于 100  $\Omega$ ;
- f) 仪表应满足安装环境要求,暴露在潮湿、含盐空气中的仪表外壳,防护等级不应低于 GB/T 4208 中 IP 65;
- g) 仪表柜、仪表箱、仪表外壳、电缆桥架等应做保护接地,其接地电阻不应大于 4  $\Omega$ 。

#### 5.6.4 仪表测量管路

仪表测量管路应符合下列要求:

- a) 仪表测量管路设计应符合 SH/T 3019 的要求;
- b) 仪表引压管线测量低温时应消除低温冷缩的影响;
- c) 测量低温压力时,引压管的长度应确保 LNG 充分气化,无法满足时,应采取伴热措施;
- d) 用于消防联动、报警控制的控制电缆应满足耐火要求。

#### 5.6.5 监测和控制

LNG 气化供气装置的监测和控制应符合下列要求:

- a) LNG 储罐应设置液位监测装置,并应设定高低位报警和警戒液位与控制阀控制进行联锁;
- b) LNG 储罐应设置压力检测装置,并应设定高低限报警;
- c) 在 LNG 储罐易泄漏危险处应设置低温检测器;
- d) 调压器前后应设压力监测仪表;
- e) 气化器出口管道应设带就地和远传功能的温度检测仪表以及压力监测仪表,出口温度低时应能停止 LNG 液体进入;
- f) 水浴式气化器应监测进出口水温、气化器内的水位,以及 LNG 进液口、出气口温度、压力。

#### 5.7 事故切断系统

事故切断系统应符合下列要求:

- a) ESD 应是独立的控制系统。
- b) LNG 气化供气装置应设置 ESD 系统,应能在紧急情况时快速正确动作,切断 LNG、天然气气源或关闭事故设备。
- c) ESD 系统应具有失效保护设计,应为故障安全型,当出现故障或事故时,失效的可能最小。
- d) 控制室和气化装置上应同时设置 ESD 系统启动按钮。
- e) ESD 系统应能手动、自动或手动自动同时起动,手动起动机应位于事故时人能到达的位置,并应标识明显。
- f) ESD 系统动作后,在操作人员采取有效措施前,系统应一直处于故障保护状态。复位方式应为现场手动复位。

#### 5.8 可燃气体泄漏报警装置

5.8.1 LNG 气化供气装置应设置可燃气体检测报警系统连续监测可燃气体浓度,应根据释放源的特性、地理条件及环境气候,设置在燃气易于积聚、便于采样检测和安装的位置。

5.8.2 可燃气体检测报警系统应独立于集散控制系统设置,应采用固定式可燃气体检测器,检测器采样方式宜选用扩散式。

5.8.3 可燃气体检测系统应采用两级报警,可燃气体的一级报警浓度设定值不应大于其爆炸下限值(体积分数)的20%,可燃气体的二级报警浓度设定值不应大于其爆炸下限值(体积分数)的40%;二级报警优先于一级报警。

5.8.4 可燃气体探测器和报警控制器的设计、选用和安装应符合 GB 50493、SY/T 6503 的有关规定。

5.8.5 可燃气体探测器达到报警浓度设定值时,应能联锁紧急切断阀和声光报警器。

5.8.6 可燃气体探测器的数量应满足泄漏检测的要求。

5.8.7 检测器的安装高度应满足燃气泄漏检测的要求。

5.8.8 可燃气体泄漏报警系统的性能指标应符合下列要求:

- a) 系统技术性能应符合 GB 12358、GB 15322 和 GB 16808 的规定;
- b) 系统防爆性能应符合 GB 3836.1、GB 3836.2、GB 3836.4、GB 3836.14 和 GB 3836.15 的规定;
- c) 可燃气体检测范围应为 0%~100%LEL;
- d) 可燃气体检测误差不应大于±5%FS,重复性不应大于±2%FS;
- e) 防护性能应符合 GB/T 4208 的规定;
- f) 检测器防爆类型应符合 GB 50058 的规定;
- g) 检测器应能提供模拟量信号或数字量输出信号。

## 6 要求

### 6.1 外观

6.1.1 LNG 气化供气装置应配置完整,表面应无损伤和缺陷;铸件不应有影响强度和使用寿命的裂纹、砂眼、渣砂、缩孔等缺陷;碳钢管道表面应除锈涂防锈漆,涂层厚度均匀、光滑,色泽一致,不应有流痕、鼓泡、裂纹及脱落现象;不锈钢管道应进行酸洗钝化或抛光处理。

6.1.2 焊缝外观质量应符合 5.3.4 的要求。

6.1.3 紧固件应连接牢固、无松动。插接件应接触良好。连接导线应压接或焊接良好。

6.1.4 控制系统应具备与外界设备通讯的物理接口。显示屏显示的信息应清晰、完整、正确。

### 6.2 外形尺寸

LNG 气化供气装置外形尺寸应符合图样及技术文件的要求。

### 6.3 无损检测

6.3.1 LNG 气化供气装置无损检测方法包括射线检测、超声检测、磁粉检测、渗透检测,检测方法应符合 NB/T 47013 的规定。

6.3.2 焊接接头射线、超声、磁粉、渗透检测,应按 NB/T 47013 执行。检测结果应符合下列要求:

- a) 射线检测应符合下列要求:
  - 1) 承压元件进行 100%焊接接头检测时,射线检测的技术等级不低于 AB 级,质量等级不低于Ⅱ级为合格;
  - 2) 承压元件进行 40%焊接接头检测时,射线检测的技术等级不低于 AB 级,质量等级不低于Ⅲ级为合格。
- b) 超声检测应符合下列要求:
  - 1) 承压元件进行 100%焊接接头检测时,质量等级不低于Ⅰ级为合格;
  - 2) 承压元件进行 40%焊接接头检测时,质量等级不低于Ⅱ级为合格。
- c) 磁粉和渗透检测,承压元件进行 100%焊接接头检测,质量等级不低于Ⅰ级为合格。

## 6.4 强度

- 6.4.1 LNG 气化供气装置应进行耐压试验。
- 6.4.2 用水作为试压介质时,试验压力应为 1.5 倍设计压力。
- 6.4.3 用空气或氮气为试验介质时,试验压力应为 1.15 倍设计压力。
- 6.4.4 试验应无泄漏,无可见变形,试验过程中应无异常响声。

## 6.5 气密性

- 6.5.1 LNG 气化供气装置应在耐压试验合格后进行整体气密性试验。
- 6.5.2 调压器前和调压器后管道的气密性试验应分别进行。调压器前的试验压力应为设计压力。调压器后的试验压力应为防止出口压力过高的安全装置的动作压力的 1.1 倍,且不应低于 20 kPa。
- 6.5.3 气密性试验应无泄漏,试验过程中温度如有波动时,压力经温度修正后不应变化。

## 6.6 调压性能

LNG 气化装置的出口压力设定值应满足用户使用要求,设定误差不应大于设定值的  $\pm 10\%$ 。两路及以上调压、带监控调压器等的调压装置,各调压器的出口压力应合理设置。

## 6.7 切断装置性能

- 6.7.1 切断装置启动压力的设定值应符合用户的使用要求或厂家声明值,设定误差不应大于设定值的  $\pm 5\%$ 。
- 6.7.2 气化器的天然气出口和调压前应设置测温装置并应与紧急切断阀连锁。

## 6.8 放散装置性能

LNG 气化供气装置的放散装置启动压力的设定值,并应符合用户的使用要求或厂家声明值,设定误差不应大于设定值的  $\pm 5\%$ 。

## 6.9 关闭压力

LNG 气化供气装置调压器的关闭压力实测值不应大于标称的关闭压力。对于有多路调压器的气化装置,各路关闭压力的实测值应分别不大于相应路标称的关闭压力。

## 6.10 电气安全性能

- 6.10.1 LNG 气化供气装置对地泄漏电流应符合 GB 4943.1—2011 中 5.1 的规定,不应超过 3.5 mA。
- 6.10.2 漏电保护应符合 GB/T 13955 的规定,当漏电电流大于 30 mA 时,保护开关应能瞬间断开。
- 6.10.3 LNG 气化供气装置应有足够的抗电强度,在一次电路与机身之间或一次电路与二次电路之间施加有效值为 1.5 kV、频率为 50 Hz 的交流试验电压,保持 60 s,试验期间绝缘不应被击穿。
- 6.10.4 LNG 气化供气装置的接地端子或接地接触件与需要接地的零部件之间的连接电阻应符合 GB 4943.1—2011 中 2.6.3.4 的规定,不应超过 0.1  $\Omega$ 。
- 6.10.5 LNG 气化供气装置静电接地应符合下列要求:
  - a) 有静电要求的管道,各段间应导电良好,每对法兰或螺纹接头间电阻值大于 0.03  $\Omega$  时,应设导线跨接。
  - b) 有静电要求的不锈钢和有色金属管道,其跨接线或接地引线不得与管道直接连接,应采用同材质连接板过渡。
  - c) 防雷接地、防静电接地、电气设备工作接地、保护接地等宜共用接地装置,其接地电阻不应大于

4  $\Omega$ 。各自单独设置接地装置时,接地电阻不应大于 10  $\Omega$ ,保护接地不应大于 4  $\Omega$ ,工艺管线接地装置的接地电阻不应大于 30  $\Omega$ ,防静电接地装置的接地电阻不应大于 100  $\Omega$ 。

6.10.6 在常温下,电气设备的电气回路之间,电气回路与金属壳体之间的绝缘电阻不应小于 20 M $\Omega$ 。

6.10.7 LNG 气化供气装置电气保护及连锁装置应能正常运行,性能可靠。

## 6.11 防爆性能

6.11.1 LNG 气化供气装置电气仪表、电气设备应采用防爆设计,并符合 GB 50058 的规定。

6.11.2 LNG 气化供气装置电气仪表、电气设备应采用防爆设计,防爆性能应符合 GB 3836.1、GB 3836.2、GB 3836.3、GB 3836.4、GB 3836.5、GB 3836.9、3836.14、GB 3836.15 和 GB 50058 中满足液化天然气使用场合的防爆等级的要求,并应取得防爆合格证。

## 6.12 低温氮气试验

6.12.1 LNG 气化装置应在气密性试验合格后进行低温氮气试验。

6.12.2 LNG 气化供气装置低温密封性试验用液氮作为试验介质,试验压力为设计压力,试验温度为 LNG 气化供气装置各部分管路设计温度,最低不应高于 $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

6.12.3 LNG 气化供气装置低温密封性试验法兰、接头应无泄漏,阀门应密封良好、启闭灵活、无冻堵、卡阻现象。仪表在低温条件下应运行正常。管道最大位移满足设计要求,试验过程中应无异常响声,则低温氮气试验合格。

## 6.13 气化量

气化装置的气化量的实测值不应小于铭牌标识值。

## 6.14 涂层

6.14.1 涂层应厚度均匀、光滑,色泽一致,不应有明显的损伤和缺陷,不应有流痕、返锈、漏涂、脱落、起泡等现象。

6.14.2 除装配部位外,表面涂层厚度和质量应符合下列要求:

- a) 涂层干膜总厚度应符合下列要求:
  - 1) 应用于 C2 级、C3 级低、中度环境腐蚀区域的管道,涂层干膜总厚度不小于 160  $\mu\text{m}$ ;
  - 2) 应用于 C4 级高度环境腐蚀区域的管道,涂层干膜总厚度不小于 240  $\mu\text{m}$ ;
  - 3) 应用于 C5 级超高度环境腐蚀区域的管道,涂层干膜总厚度不小于 320  $\mu\text{m}$ 。
- b) 涂层附着力应符合 GB/T 9286 规定的划格法 1  $\text{mm}^2$  不脱落。

## 7 试验方法

### 7.1 试验条件

#### 7.1.1 实验环境温度

实验环境的温度应为 $(20\pm 15)\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,试验过程中温度波动应小于 5  $^{\circ}\text{C}$ 。

#### 7.1.2 试验介质

7.1.2.1 承压件液压强度的试验用介质应为温度不低于 15  $^{\circ}\text{C}$  洁净水(可加入防锈剂)。奥氏体不锈钢材料部件进行试验时,所使用的水含氯化物量不超过 25 mg/L。

7.1.2.2 气压试验、气密试验用介质应为洁净的干空气或惰性气体。

### 7.1.3 试验设备及测量精度

- 7.1.3.1 试验用仪表应经过检定或校验合格,并在有效期内。
- 7.1.3.2 强度试验用压力表的精度不应低于 0.4 级,压力表的量程应根据试验压力选择。
- 7.1.3.3 气密性试验用压力表的精度不应低于 0.4 级,压力表的量程应根据试验压力选择。
- 7.1.3.4 大气压测量仪表的分辨率不应大于 10 Pa。
- 7.1.3.5 流量计的精度不应低于 1.5%。
- 7.1.3.6 温度测量仪表的分辨率不应大于 0.5 ℃。

### 7.2 外观检测

- 7.2.1 目测检查 LNG 气化供气装置外观质量。
- 7.2.2 用目测及焊缝检验尺等对焊缝表面形状尺寸及外观进行检查。

### 7.3 外形尺寸检测

用直尺、卷尺等工具对 LNG 气化供气装置外形尺寸进行检验。

### 7.4 无损检测

#### 7.4.1 无损检测方法

- 7.4.1.1 无损检测应按如下方法进行：
  - a) 射线检测方法应符合 NB/T 47013.2 的规定；
  - b) 超声检测方法应符合 NB/T 47013.3 的规定；
  - c) 磁粉检测方法应符合 NB/T 47013.4 的规定；
  - d) 渗透检测方法应符合 NB/T 47013.5 的规定。

7.4.1.2 焊接接头的检测位置应随机抽取。

#### 7.4.2 焊接接头分类

LNG 气化供气装置的焊接接头分类(见图 1)如下：

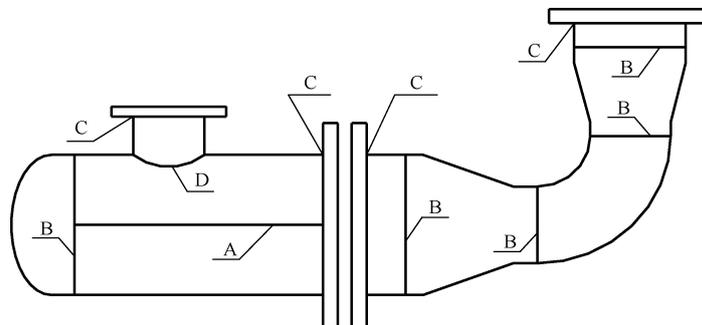


图 1 焊接接头分类

- a) 圆筒部分的纵向对接接头为 A 类焊接接头；
- b) 管与管对接的接头、管件大小头与管子对接的接头、管帽或封头与管子对接的接头、长颈法兰与接管连接的对接接头,均属 B 类焊接接头；
- c) 法兰与管子或接管的内外接头属于 C 类焊接接头；
- d) 主管与管子、管子与缘、接管与缘、补强圈与管壳、仪表接头与管壳的焊接接头,均属 D 类焊接

接头。

### 7.4.3 无损检测比例

LNG 气化供气装置无损检测比例应符合下列要求：

- a) 无损检测分为全部(100%)和局部(大于或等于 40%)两种。局部抽检不应少于焊缝总长度的 40%，且宜覆盖各焊工所焊的焊缝。
- b) 设计温度低于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的承压钢管应进行 100%无损检测。A 类、B 类焊接接头应进行 100%射线或超声波检测，C 类、D 类焊接接头应进行 100%渗透或磁粉检测。
- c) 设计温度不小于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的承压钢管无损检测，应按 7.4.4、7.4.5 的方法进行 100%或 40%的无损检测。
- d) 装置上的单体设备，应按单体设备的图样及技术文件进行。

### 7.4.4 射线和超声波检测

7.4.4.1 LNG 气化供气装置的 A、B 类焊接接头应进行射线或超声波检测。当采用超声检测时，检测设备应带超声检测记录仪。

7.4.4.2 下列 LNG 气化供气装置的 A、B 类焊接接头应进行 100%射线或超声波检测：

- a) 采用钢板卷制的筒节纵向 A 类对接接头；
- b) 设计压力大于 0.8 MPa 时；
- c) 图样注明 100%检测时。

7.4.4.3 除 7.4.4.2 规定外，设计压力小于 0.4 MPa 且公称尺寸不大于 DN 50 时，可不进行无损检测。其余情况下，设计压力不大于 0.8 MPa 时，允许对所有 B 类焊接接头进行局部的射线或超声波无损检测，检测长度不应少于焊接接头总长的 40%。但焊接接头的交叉部位以及下列部位应全部检测，其检测长度可计入局部检测长度之内：

- a) 凡被补强圈、支座、垫板等覆盖的焊接接头；
- b) 以开孔中心为圆心，1 倍开孔直径为半径的范围内的焊接接头。

### 7.4.5 磁粉和渗透检测

7.4.5.1 凡符合下列条件之一的焊接接头，按图样规定采用磁粉或渗透检测：

- a) 凡属 7.4.2 设备上的 C、D 类焊接接头；
- b) 开孔直径与主管直径之比大于 1/2 的 D 类焊接接头。

7.4.5.2 焊接接头按磁粉检测和渗透检测检测时，检测比例应为 100%。

### 7.4.6 试验结果

7.4.6.1 焊接接头采用射线检测、超声检测、磁粉检测或渗透检测。

7.4.6.2 无损检测中，如发现有不允许的缺陷时，对抽样检验或局部无损检测的，应按 GB/T 20801、GB/T 150 的规定进行累进检查，在该缺陷的两端延伸部位增加检验长度，如仍有不允许的缺陷时，应对焊缝做 100%检测。

## 7.5 耐压试验

### 7.5.1 一般要求

气化装置承压组件应在无损检验合格后进行强度试验，开孔补强圈应在强度试验前通入 0.4 MPa~0.5 MPa 的压缩空气检查焊接接头质量。

## 7.5.2 试验条件

7.5.2.1 水压试验:用水作为试压介质时,应使用无腐蚀性的洁净水(可加入防锈剂),水温应在 15 °C 以上,当环境温度低于 5 °C 时,应采取防冻措施。奥氏体不锈钢材料制造的部件进行试验时,所使用的水含氯化物量不超过 25 mg/L。

7.5.2.2 气压试验:当设计压力小于或等于 0.6 MPa 时或当条件不允许使用液体进行压力试验时,应有设计文件规定,在经公司安全管理部门审批,并采取安全防护措施的情况下,允许采用气体作为强度试验介质。压力试验用气体应为干燥、洁净的氮气、空气或其他惰性气体。试验气体的温度不低于 15 °C。不准许使试验温度接近金属的脆性转变温度。

7.5.2.3 试验用压力表量程应为试验压力的 1.5 倍~2 倍,精度不低于 0.4 级,表盘直径不小于 100 mm,试验时使用压力表不少于 2 块。

## 7.5.3 试验步骤

7.5.3.1 水压强度试验步骤应按下列要求:

- a) 试验前,应注水排尽承压组件内的气体。
- b) 水压试验时压力应缓慢上升,直至升至设计压力,保压 5 min,并对所有焊缝、连接部位检查,确认无泄漏、异常后再进行下一阶段升压,直至升至试验压力。
- c) 达到规定试验压力后,保压时间不少于 30 min。然后对承压件的所有焊接接头和连接部位进行检查,如无泄漏及异常再将试验压力降至设计压力,保压 30 min,检查是否符合 6.4.4 的要求。
- d) 试验过程中如有渗漏,应停止试验,泄压后修补好再重新试验。
- e) 试验结束后,应将水排尽,并用压缩空气或氮气干燥,管道露点温度应低于-40 °C。
- f) 试验过程应做好安全防护,不准许带压拆卸。

7.5.3.2 气压强度试验步骤应按下列要求:

- a) 试验前应进行预试验,预试验的试验压力为 0.2 MPa;
- b) 试验管道应装临时压力泄放装置,其设定压力不得高于试验压力的 1.1 倍;
- c) 气压压力试验时,应缓慢升压;
- d) 当达到试验压力的 10% 时,保压 10 min,对连接部位及焊接接头进行检查;
- e) 如无泄漏或其他异常现象可继续升压到规定试验压力的 50%;
- f) 如仍无异常现象,其后按试验压力的 10% 逐级升压,每级稳压 3 min,直至升至规定试验压力后,保压 10 min;
- g) 然后降至设计压力,保压 30 min,对焊接接头和连接部位、阀门填料函,法兰或螺纹连接处,放空阀、排气阀等密封点进行检查,检查是否符合 6.4.4 的要求;
- h) 试验过程中如有泄漏,应停止试验,泄压后修补好再重新试验;
- i) 试验过程应做好安全防护,不准许带压拆卸;
- j) 试验合格后应及时缓慢泄压。

## 7.6 气密性试验

### 7.6.1 一般要求

经强度试验合格后,气化装置整体进行气密性试验。

### 7.6.2 试验条件

7.6.2.1 LNG 气化供气装置整体用压缩空气或惰性气体进行气密性试验时,气体的温度不应低于

5℃,保压过程中温度波动不应超过±5℃。

7.6.2.2 试验压力表量程应为试验压力的1.5倍~2倍,精度不低于0.4级,表盘直径不得小于100mm。试验时使用压力表不得少于2块。

### 7.6.3 气密性试验

气密性试验步骤应按下列要求:

- a) 试验前用空气或惰性气体进行预试验,试验压力不超过0.2MPa;
- b) 试验时分别向调压器前后管道内增压(气化装置的调压器应处于关闭状态,并对调压器采取保护措施),压力应缓慢上升,应当先缓慢升压至规定试验压力的10%,保压5min,并且对所有焊缝和连接部位,阀门填料函,法兰或螺纹连接处,放空阀、排气阀等所有密封点进行泄漏检查;
- c) 如无泄漏及异常可继续升压到规定试验压力的50%,再检查;
- d) 如无异常现象,其后按照规定试验压力的10%逐级升压,每级稳压3min,直到试验压力,用检漏液对其所有焊接接头和连接部位,阀门填料函,法兰或螺纹连接处,放空阀、排气阀等所有密封点进行泄漏检查,保压不少于60min;
- e) 经检查无泄漏后将压力降低至工作压力,用发泡剂检查有无泄漏;
- f) 如有泄漏,应卸压修补后重新试压,不允许带压修正;
- g) 试验过程应做好安全防护,不允许带压拆卸;
- h) 试验完成后,应将气体缓慢排尽泄压。

## 7.7 调压性能试验

7.7.1 气化装置的气密试验合格后,可进行调压性能试验,试验介质为氮气或压缩空气,出口压力的设置应满足设计文件的要求。

7.7.2 在最低进口压力下,用10%的气化量且不大于1000m<sup>3</sup>/h的流量,检查气化装置出口压力设定值。

## 7.8 切断装置性能试验

7.8.1 切断性能试验,试验介质为氮气或压缩空气。升高切断装置取压信号腔的压力,直至切断装置启动,记录切断装置启动压力,重复3次,检查切断压力是否符合6.7.1的要求。

7.8.2 检查气化器的天然气出口和调压前是否设置测温装置,氮气模拟运行温度超限时与紧急切断阀是否连锁。

## 7.9 放散装置性能试验

7.9.1 核对安全阀校验报告的型号、整定压力等信息是否与安全阀标注的一致,核对安全阀的铅封是否完好。核对整定压力是否符合6.8的要求。

7.9.2 放散阀应进行性能试验。放散性能试验,试验介质为氮气或压缩空气。逐渐升高放散装置进口端的压力,直至放散阀启动,开始放散,记录放散压力值,重复3次。

## 7.10 关闭压力试验

在最大进口压力下缓慢关闭试验装置的下游阀门,检查气化装置的关闭压力是否符合6.9的要求。

## 7.11 电气安全性能试验

7.11.1 LNG气化供气装置对地泄漏电流的允许值应按GB4943.1—2011中5.1的规定进行试验。

7.11.2 采用漏电检测仪检测漏电电流,检查是否符合 6.10.2 的要求。

7.11.3 LNG 气化供气装置的抗电强度应按 GB 4943.1—2011 中 5.2 的规定进行试验。

7.11.4 接地端子或接地接触件与需要接地的零部件之间的连接电阻应按 GB 4943.1—2011 中 2.6.3.4 的规定进行试验。用低电阻测试仪测量 LNG 气化供气装置电气设备金属外壳与总接地连接件,总接地连接件与电气控制柜的接触电阻,气化装置的总接地连接件与各电气设备金属外壳接地连接件之间的接触电阻不应大于 0.1  $\Omega$ 。

7.11.5 静电接地电阻检测方法应按 SH/T 3097—2017 中附录 A 进行。

7.11.6 绝缘电阻测定及绝缘介电强度试验应按 GB/T 14048.1 的有关规定进行。

7.11.7 对电气保护及连锁装置应进行试验,检查是否可靠有效。

## 7.12 防爆性能

防爆性能检查应按下列要求进行:

- a) 核对气化装置使用的电气仪表、电气设备等防爆元件的名称、型号规格、防爆标志、防爆合格证编号等是否与批准的防爆证书一致;
- b) 核对防爆电气设备的配线电缆的牌号、规格是否与图纸规定一致;
- c) 检查防爆电气设备接地、等电位连接的方法和采取的防爆措施是否符合标准要求;
- d) 检查铭牌和警示牌的内容是否符合标准要求。

## 7.13 低温氮气试验

7.13.1 低温氮气试验应按附录 B 规定的试验方法进行。

7.13.2 低温氮气试验应在装置安装完毕,并应完成吹扫、强度试验、气密试验、调压性能试验、切断装置、放散装置等试验验收合格、系统氮气干燥合格,且标识齐全时进行。

7.13.3 将 LNG 气化供气装置接入图 B.1 试验系统,降温速率控制在 8  $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ~10  $^{\circ}\text{C}/\text{h}$  充入液态氮,管道温度降至 -5  $^{\circ}\text{C}$ ~-10  $^{\circ}\text{C}$  时,关闭氮气气源,对低温氮气试验管道上所有阀门进行开关测试,检查阀门密封性和启闭灵活性及是否冻堵、卡阻现象。在冷却过程中,每降低 20  $^{\circ}\text{C}$  重复一次开关操作。试验过程中如出现阀门冻堵,法兰、接头泄漏等做好标识和记录,处理完毕后,重新进行低温氮气试验。

7.13.4 试验温度达到各管路设计温度时低温氮气冷却可结束。关闭氮气供应系统阀门,关闭出口阀门,检查各管路连接处有无泄漏。

7.13.5 试验过程应检查及监测管道温度变化、阀门冻堵,法兰、接头泄漏等情况。

## 7.14 气化量试验

7.14.1 气化供气装置应用液氮进行气化量模拟测试试验。

7.14.2 记录环境温度、大气压力和相对湿度。

7.14.3 将气化供气装置接入图 B.1 的试验系统,按附录 B 规定的方法进行低温氮气试验合格后,气化供气装置进行气化量试验。

7.14.4 开启气化供气装置,打开后端阀门,调整气化供气装置稳定运行 15 min 后,开始气化量的试验。

7.14.5 试验过程中记录液氮温度、液氮压力。记录气化器出口氮气温度、氮气压力、氮气流量等参数。若气化供气装置已配置复热器,气化器出口温度过低,流量无法直接测量时,可测量气化供气装置出口常温下的流量,进行换算。

7.14.6 在最小进口压力、调压装置设定状态不变的情况下,依次打开试验装置上、下游的阀门,用出口流量调节阀逐步增大流量,直至出口压力稳定在工作压力,且温度不低于规定值,检查流量计量仪表的

示值经物性、温度、压力修正后是否符合 6.13 的要求。

7.14.7 实际所测得的流量应按式(1)换算成基准状态下的天然气的流量:

$$Q = kQ_m \times \frac{\rho'}{\rho} \times \frac{H_m}{H} \times \frac{p_m}{p_n} \times \frac{15 + 273}{t_m + 273} \dots\dots\dots(1)$$

式中:

$Q$  ——基准状态下天然气的公称流量,单位为立方米每小时( $\text{m}^3/\text{h}$ ),基准状态为  $15^\circ\text{C}$ 、 $0.101\ 325\ \text{MPa}$ ;

$k$  ——氮气、天然气物性不同,对气化器传热影响的修正系数,忽略影响时取  $k=1$ ;

$Q_m$  ——氮气的工况流量,单位为立方米每小时( $\text{m}^3/\text{h}$ );

$\rho'$  ——基准状态下氮气的密度,单位为千克每立方米( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$\rho$  ——基准状态下天然气的密度,单位为千克每立方米( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$H_m$  ——单位质量的液氮,在测试工况下,气化为气化器出口温度的氮气所吸收的热量(如:从  $-196^\circ\text{C}$  升温到  $5^\circ\text{C}$  所吸收的热量),单位为千焦每千克( $\text{kJ}/\text{kg}$ ),可通过查物性参数计算得到;

$H$  ——单位质量的 LNG,在测试工况下,气化为气化器出口温度的天然气所吸收的热量(如:从  $-162^\circ\text{C}$  升温到  $5^\circ\text{C}$  所吸收的热量),单位为千焦每千克( $\text{kJ}/\text{kg}$ ),可通过查物性参数计算得到;

$p_m$  ——测试工况下,气化器出口氮气的绝对压力,单位为兆帕( $\text{MPa}$ );

$p_n$  ——基准状态下的绝对压力,为  $0.101\ 325\ \text{MPa}$ ;

$t_m$  ——测试工况下,气化器出口氮气的温度,单位为摄氏度( $^\circ\text{C}$ )。

## 7.15 涂层试验

7.15.1 目测检验碳钢管道涂层表面质量是否符合 6.14.1 的要求。

7.15.2 喷涂质量按如下方法检测:

- a) 涂层厚度用数字式涂层测厚仪检验,按 GB/T 4956 的规定进行测量;
- b) 涂层附着力应按 GB/T 9286 规定测定,划格法,切割间距为  $1\ \text{mm}$ ,每个方向切割数为 6,附着力试验结果评级不应低于 3 级;
- c) 检查试验结果是否符合 6.14.2 的要求。

## 7.16 材料及零部件检验

查验供货方提供的质量检测报告。检查管材、管件、阀门、焊接材料等材料的质量证明文件,或按规定进行复验。

## 8 检验规则

### 8.1 检验分类

检验分为出厂检验和型式检验。

### 8.2 检验项目

检验项目见表 5。

表 5 气化装置检验项目

序号	检验项目	出厂检验	型式检验	技术要求条款	试验方法条款
1	外观	△	△	6.1	7.2
2	外形尺寸	△	△	6.2	7.3
3	无损检测	△	△	6.3	7.4
4	强度 <sup>a</sup>	△	△	6.4	7.5
5	气密性	△	△	6.5	7.6
6	调压性能	△	△	6.6	7.7
7	切断装置性能	△	△	6.7	7.8
8	放散装置性能	△	△	9.8	7.9
9	关闭压力	△	△	6.9	7.10
10	电气安全性能	△	△	6.10	7.11
11	防爆性能	—	△	6.11	7.12
12	低温氮气试验	—	△	6.12	7.13
13	气化量	—	△	6.13	7.14
14	涂层	—	△	6.14	7.15
15	材料及零部件检验	△	△	5.5	7.16

注：“△”为需要做检验的项目；“—”为不需做检验的项目。

<sup>a</sup> 承压件液压强度允许在零部件检验中进行。

### 8.3 出厂检验

每台产品在出厂之前均应进行出厂检验，出厂产品由质检部门对产品进行检验，检验合格后签发产品质量合格证明方可出厂。出厂检验项目按表 5 的规定及技术文件要求的其他检验项目。

### 8.4 型式检验

8.4.1 在下列情况之一时，应进行型式检验：

- a) 定型产品试制完成时；
- b) 正式生产时，如结构、工艺、材料、设备发生重大变化，可能影响产品性能时；
- c) 转厂迁址后恢复生产的试制定型鉴定；
- d) 停产 1 年以上重新恢复生产时；
- e) 正常生产时，每年进行一次；
- f) 出厂检验或抽样检验结果与上次型式检验有较大差异时。

8.4.2 型式检验项目按表 5 的规定执行。

### 8.5 判定规则

8.5.1 出厂检验的所有项目均应合格，方能出厂。不合格项目允许返工后进行复检，若仍不合格，该气化装置应判定为不合格，不可出厂。

8.5.2 型式检验中各项指标均符合要求时，应判该次型式检验合格。

## 9 质量证明文件、标志、包装、运输和贮存

### 9.1 质量证明文件

#### 9.1.1 产品出厂质量证明文件应包括下列内容：

- a) 产品合格证；
- b) 产品说明书；
- c) 质量证明书。

#### 9.1.2 产品合格证应至少包括下列内容：

- a) 厂名及生产日期；
- b) 厂技术质量检验部门公章；
- c) 质量检验员的代号及检验日期；
- d) 产品名称、型号、规格及材料。

#### 9.1.3 产品说明书应至少包括下列内容：

- a) 安装说明；
- b) 操作运行说明；
- c) 维修与保养；
- d) 主要设备说明书[储存设备、气化器、调压器、切断阀、放散阀、流量计、加臭装置、可燃气体探测器等(若有)]。

#### 9.1.4 质量证明书应至少包括下列内容：

- a) 产品设计的主要参数；
- b) 承压部件用原材料、管件的规格、执行标准；
- c) 外观几何尺寸检验结果；
- d) 主要元器件配置一览表；
- e) 无损检测焊接接头标识示意图(无需无损检测除外)；
- f) 无损检测报告及射线评片记录表(无需无损检测除外)；
- g) 强度试验与气密性试验结果；
- h) 储存设备、气化器、调压器、切断阀、放散阀、流量计、加臭装置、可燃气体探测器、阀门、仪表等的质量证明书(若有)；
- i) 出厂检验报告。

### 9.2 标志

#### 9.2.1 铭牌

铭牌应固定于明显的位置,应清楚地至少标明下列内容:

- a) 制造单位名称和/或商标；
- b) 产品型号和名称；
- c) 产品编号或批号；
- d) 执行标准编号(本标准编号)；
- e) 设计压力,MPa；
- f) 最大工作压力,MPa；
- g) 气化量, $\text{m}^3/\text{h}$ ；
- h) 出口压力,MPa；



- i) 接口公称尺寸 DN,mm;
- j) 工作温度范围,℃;
- k) 出厂日期;
- l) 设备重量,kg。

### 9.2.2 警示标志

警示标志应符合下列要求:

- a) 应在气化装置的显著位置设置警示标志,标志上的字体高度不应低于 15 cm,颜色应为白底红字,警示标志应至少包括下列内容:
  - 严禁烟火;
  - 低温液体,防止冻伤;
  - 可燃性气体。
- b) 警告标志、标识应字迹工整,牢固,清晰可见。
- c) 标记应采用与基材相容的材料,不应采用对管道或设备有腐蚀性的材料做标记材料。

### 9.2.3 其他标志

9.2.3.1 气化装置的进、出口标志。

9.2.3.2 LNG 气相、液相,冷、热源(若有)标志。

9.2.3.3 事故紧急切断标志。

9.2.3.4 气化装置的明显部位还应有以箭头表示的介质流向(永久)。

9.2.3.5 气化装置包装箱上应有包装储运图示标志和运输包装收发货标志,应按 GB/T 191 和 GB/T 6388 的规定编制。

### 9.3 包装和运输

9.3.1 气化装置防锈包装应按 GB/T 4879 的规定,并进行防碰防划伤处理,还应对设备、仪表、法兰、螺纹接口等采取防止运输过程中损坏的保护措施。

9.3.2 包装结构和方式应根据使用要求、结构尺寸、重量、运输距离、运输方法等确定。并应有足够的强度保证运输安全。

9.3.3 单独交付的零配件、备品备件及专用工具等宜单独包装或装箱,并应采取必要的保护措施,包装外应做相应的文字标志。

9.3.4 质量证明书、说明书等出厂资料应分类装订成册,并用塑料袋密封,应防水、防潮、防散失。出厂资料随货物一并发运时,应单独放置,并做明显标志。装箱单应放在内包装箱内。

9.3.5 气化装置在运输中应防止剧烈震动及化学品的侵蚀,不应碰撞,应避免损伤,搬运时应轻放。

### 9.4 贮存

9.4.1 气化装置应贮存于干燥、通风良好的场所,并做好防腐保质措施,不得与酸、碱等腐蚀性物品共同储存。

9.4.2 气化装置宜置于仓库内保管,避免露天堆放。

**附 录 A**  
(规范性附录)  
**气化器的基本技术要求**

## A.1 气化器分类

A.1.1 气化器分为空温式气化器和水浴式气化器。

A.1.2 水浴式气化器根据热水加热、蒸汽加热、电加热等不同加热方式分为水浴式热水加热气化器、水浴式蒸汽加热气化器、水浴式电加热气化器等。

## A.2 气化器范围界定

气化器与外部管道连接界面界定应符合下列要求：

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



## A.3 通用要求

### A.3.1 一般要求

A.3.1.1 LNG 气化器应根据供气规模、供气压力及环境条件进行选型，并应符合当地冬季气温条件下（或最严苛的）的使用要求。

A.3.1.2 LNG 经气化、加热后的温度应能保证后续设备及管道正常工作。

A.3.1.3 气化器应有足够的强度，能够在极端环境温度、环境湿度、工作压力、工作温度下安全运行，能够抵御 12 级大风冲击。

A.3.1.4 空温式气化器的设计、制造应符合 GB/T 16912、JB/T 2549、HG/T 20222 的相关要求；水浴式气化器若符合压力容器范围，其设计、制造应符合 GB/T 150、GB/T 151、HG/T 20585、TSG 21 的规定，水浴式气化器所用压力容器应符合 NB/T 47003.1 的规定。

A.3.1.5 气化器管道设计及制造应符合 GB 50316、GB 50235、GB/T 20801、TSG D0001 的规定。

A.3.1.6 气化器的设计寿命不应低于 10 年。

### A.3.2 材料

A.3.2.1 气化器承压材料使用条件应符合下列要求：

- a) 材料的压力-温度等级应符合 GB/T 20801、GB/T 150 的规定；
- b) 承压材料不应采用铸铁等脆性材料制造；
- c) 用于焊接的碳素钢和低合金钢，其化学成分应符合  $w_C \leq 0.25\%$ 、 $w_P \leq 0.035\%$ 、 $w_S \leq 0.035\%$  的规定，钢板制作的气化器其所用材料的化学成分、材料力学性能应符合 A.3.2.7 的要求。

A.3.2.2 材料低温冲击试验应符合 5.5.3.8 e) 的要求。

A.3.2.3 气化器承压材料应由表 A.1 规定的金属材料制造，允许采用材料性能不低于表 A.1 规定的其他材料。

表 A.1 气化器常用承压材料

材料		牌号	标准号
空温式气化器			
不锈钢无缝钢管		S30408(06Cr19Ni10)、 S31608 (06Cr17Ni12Mo2)、 S32168(06Cr18Ni11Ti)	GB/T 14976
		S30408(06Cr19Ni10)、 S31608 (06Cr17Ni12Mo2)、 S32168(06Cr18Ni11Ti)	GB/T 13296
铝合金翅片管 <sup>a</sup>		3A21、6061、6063-T5	GB/T 6892、GB/T 3190
铝合金连接件 <sup>a</sup>		6063-T5、6061	GB/T 6892、GB/T 3190
铝合金无缝管 <sup>a</sup>		3A21、6061、6063-T5	GB/T 6893、GB/T 3190
		3A21、6061、6063-T5	GB/T 4437.1、GB/T 3190
水浴式气化器			
盘管	无缝不锈钢管	S30408(06Cr19Ni10)、 S31608 (06Cr17Ni12Mo2)、 S32168(06Cr18Ni11Ti)	GB/T 13296
	无缝铜管 <sup>b</sup>	T11050(T2)、T38100(HPb59-1)	GB/T 1527
		T70590(BFe10-1-1)	GB/T 8890
壳体	承压筒体	S30408(06Cr19Ni10)、 S30403(022Cr19Ni10)、 S31608(0Cr17Ni12Mo2)、 S31603(022Cr17Ni12Mo2)	GB/T 24511
		Q245R、Q345R、Q370R	GB/T 713
		Q345D	GB/T 6479
	低温承压筒体	16MnDR	GB/T 3531
		S30408(06Cr19Ni10)、 S31608 (06Cr17Ni12Mo2)、 S32168(06Cr18Ni11Ti)	GB/T 14976
		S30408(06Cr19Ni10)、 S31608 (06Cr17Ni12Mo2)、 S32168(06Cr18Ni11Ti)	GB/T 13296
	不承压筒体	S30408(06Cr19Ni10)、 S31608(0Cr17Ni12Mo2)	GB/T 24511
		S30408(06Cr19Ni10)、 S31608(0Cr17Ni12Mo2)	GB/T 4237
		Q245R、Q345R、Q370R	GB/T 713
		Q345D	GB/T 6479

表 A.1 (续)

材料	牌号	标准号
法兰		
法兰	S30408Ⅲ	HG/T 20592、HG/T 20615
	20Ⅱ、16MnⅡ	HG/T 20592、HG/T 20615
<sup>a</sup> 设计温度高于 65 ℃时,不应采用含镁量大于或等于 3%的铝合金。 <sup>b</sup> 铜合金设计温度不应高于 200 ℃。		

#### A.3.2.4 空温式气化器用铝合金材料应符合下列要求:

- a) 铝合金材料应符合表 A.1 的规定,或不低于表 A.1 规定的其他标准材料的要求,铝合金材料化学成分应符合 GB/T 3190 的要求,必要时应按 GB/T 7999 或 GB/T 20975 规定的方法进行分析复验。
- b) 铝合金翅片管材料应不低于 GB/T 6892 规定的 3A21、3003、6063 级别。
- c) 铝合金无缝管材料应不低于 GB/T 6893 或 GB/T 4437.1 规定的 3A21、3003、6063 级别。
- d) 铝合金翅片管、无缝管管道最小壁厚不应低于 2.5 mm,翅片厚度还应符合下列要求:
  - 气化量不大于 3 000 m<sup>3</sup>/h 的气化器主翅片厚度不低于 2.1 mm、辅翅片厚度不低于 1.9 mm;
  - 气化量大于 3 000 m<sup>3</sup>/h 的气化器主翅片厚度不低于 2.4 mm、辅翅片厚度不低于 2.0 mm。
- e) 翅片管直径不应超过  $\phi 200$  mm,且单根翅片管上翅片数量不应超过 12 片,翅片之间夹角不应小于 30°。

A.3.2.5 空温式气化器内衬不锈钢管、水浴式气化器不锈钢换热管应符合 GB/T 13296 的奥氏体不锈钢材料要求。材料性能不应低于 06Cr19Ni10、06Cr17Ni12Mo2、06Cr18Ni11Ti 级别,其化学成分应符合  $w_C \leq 0.10\%$  的规定。

A.3.2.6 水浴式气化器用钢管应符合表 A.1 的规定,或不低于表 A.1 规定的其他钢管标准。其力学成分、材料力学性能还应符合 GB/T 20801、TSG D0001、GB/T 150 和 TSG 21 的规定。

A.3.2.7 水浴式气化器用钢板应符合表 A.1 的规定,或不低于表 A.1 规定的其他钢板标准,其化学成分、材料力学性能还应符合下列要求:

- a) 化学成分应符合下列要求:
  - 碳素钢和低合金钢钢板,其化学成分应符合  $w_C \leq 0.25\%$ 、 $w_P \leq 0.035\%$ 、 $w_S \leq 0.035\%$  的规定。
  - 压力容器专用碳素钢和低合金钢钢板,对标准抗拉强度下限值小于或等于 540 MPa 的钢板其化学成分应符合  $w_P \leq 0.030\%$ 、 $w_S \leq 0.020\%$  的规定;对标准抗拉强度下限值大于 540 MPa 的钢板其化学成分应符合  $w_P \leq 0.025\%$ 、 $w_S \leq 0.015\%$  的规定。用于设计温度低于 -20 ℃ 并且标准抗拉强度下限值小于或者等于 540 MPa 的钢材, $w_P \leq 0.025\%$ 、 $w_S \leq 0.012\%$ ;用于设计温度低于 -20 ℃ 并且标准抗拉强度下限值大于 540 MPa 的钢材, $w_P \leq 0.020\%$ 、 $w_S \leq 0.010\%$ 。
- b) 力学性能应符合下列要求:
  - 冲击功,厚度不小于 6 mm 的钢板、直径和厚度可以制备宽度为 5 mm 小尺寸冲击试样的钢管、任何尺寸的钢锻件,按照设计要求的冲击温度下的 V 型缺口试样冲击功(KV<sub>2</sub>)指标应符合表 A.2 的规定;试样取样部位和方法应当符合相应钢材标准的规定;冲击试样每组取 3 个试样(宽度为 10 mm),允许一个试样的冲击功低于表 A.2 规定值,但不得低于

表 A.2 所列数值的 70%；当钢材尺寸无法制备试样时，应当依次制备尺寸为 7.5 mm 和 5 mm 的小尺寸冲击试样，其冲击功指标分别为标准冲击功指标的 75% 和 50%；钢材标准中冲击功指标高于表 A.2 规定指标的钢材，还应符合国家现行相应钢材标准的规定；

表 A.2 碳素钢和低合金钢钢板冲击功

钢材标准抗拉强度下限值 $R_m$ /MPa	三个标准试样冲击功平均值 $KV_2$ /J
$\leq 450$	$\geq 20$
$> 450 \sim 510$	$\geq 24$
$> 510 \sim 570$	$\geq 31$
$> 570 \sim 630$	$\geq 34$
$> 630 \sim 690$	$\geq 38$

——断后伸长率，气化器受压元件用钢板、钢管和钢锻件的断后伸长率应符合钢材标准的规定。焊接结构用碳素钢、低合金高强度钢和低合金低温钢钢板，其断后伸长率应符合表 A.3 的规定。钢材标准中断后伸长率指标高于表 A.3 规定指标的钢材，还应符合国家现行相应钢材标准的规定。

表 A.3 断后伸长率指标

钢材标准抗拉强度下限值 $R_m$ /MPa	断后伸长率 $A$ /%
$\leq 420$	$\geq 23$
$> 420 \sim 550$	$\geq 20$
$> 550 \sim 680$	$\geq 17$

A.3.2.8 水浴式气化器筒体最小壁厚不应小于 4.0 mm。

A.3.2.9 气化器管道法兰、垫片及紧固件应符合 HG/T 20592、HG/T 20610、HG/T 20611、HG/T 20613、HG/T 20615、HG/T 20631、HG/T 20632、HG/T 20634 的要求，材质不低于不锈钢 06Cr19Ni10，Ⅲ级锻件。

### A.3.3 气化器设计

A.3.3.1 空温式气化器的设计温度不应高于  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

A.3.3.2 空温式气化器设计压力不大于 2.5 MPa 时，承压管宜采用铝合金管；设计压力大于 2.5 MPa 时，承压管应采用铝合金管内衬无缝不锈钢管。

A.3.3.3 水浴式气化器与 LNG 介质接触部件换热管材质应为不锈钢，壳体宜采用不锈钢材料制造。

A.3.3.4 气化器的设计额定流量、设计压力不应小于最大工作条件的 1.2 倍。

A.3.3.5 气化器的设计压力应大于等于安全阀的整定压力。安全阀的整定压力宜为气化器可能出现的最高工作压力的 1.05 倍~1.1 倍，安全阀的允许超压应符合 GB/T 150 的规定。

A.3.3.6 气化器的最大压降不应大于 0.05 MPa。

A.3.3.7 空温式气化器换热面积应满足在设计压力范围内、最低环境温度、最大湿度工况下连续运行时间不小于 6 h~8 h，气化器的气化流量、运行出口温度应满足设计使用要求。

A.3.3.8 工作压力不大于 1.6 MPa 的空温式气化器的换热面积不应低于  $0.5\text{ m}^2/\text{m}^3$ ，工作压力大于 1.6 MPa 的空温式气化器的换热面积还应在此基础上增加足够的裕量。

A.3.3.9 气化器的台数应根据所需最大供气量确定，不应少于 2 台，且至少应有 1 台备用。当采用空温

式气化器时,备用台数应等于正常工作的配置台数。

A.3.3.10 气化器选择切换运行时,切换运行的设计运行时间不应小于气化器的化霜时间。

A.3.3.11 气化器的天然气出口和调压前应设置测温装置,应符合 5.5.16.1 的要求。

A.3.3.12 在气化器上应配备温度指示器,监测 LNG、气化气及热媒流体的进、出口温度,以确保传热面的效率。空温式气化器可在其前后连接管路上安装温度指示器。

A.3.3.13 气化器或其出口管道上应按 5.5.17 的要求设置安全阀。

A.3.3.14 气化器入口管路前应设过滤器和低温紧急切断阀,紧急切断阀的设置应符合 5.5.16.2 的要求。

#### A.3.4 工况要求

A.3.4.1 空温式气化器出口的最低工作温度不应低于环境温度减 10 °C,当出口温度低于 5 °C 时,应设置复热器,并保证复热器出口温度不低于 5 °C。

A.3.4.2 水浴式气化器出口最低工作温度不应低于 5 °C。

A.3.4.3 气化器内介质流速和 LNG 流速应符合下列要求:

a) 介质流速应符合下列要求:

——热水量和流速应按计算确定,热水流速不超过 1.5 m/s;

——过热蒸汽流速不超过 50 m/s,饱和蒸汽流速不超过 40 m/s;

——管道燃气流速应符合 GB 50028 的规定。

b) LNG 流速应符合下列要求:

——管程液相 LNG 流速不超过 1 m/s;

——管程气相 LNG 流速应按照 GB/T 16912 的规定,且碳钢管道不超过 10 m/s,不锈钢和其他有色金属管道不超过 15 m/s。

A.3.4.4 气化器管道、热媒流体管道和储存设备阀应符合下列要求:

a) 并联气化器各气化器进口和出口应分别设置切断阀,进口应分别设低温紧急切断阀。

b) 各气化器出口阀及出口阀上下游的管道组件和安全阀的设计温度应为 -196 °C。

c) 应采取措施处置 LNG 两阀门之间或其他双截断排放系统(DBB)聚集的 LNG 或天然气。

d) 水浴式气化器的 LNG 管线上应设置一个紧急切断阀。热媒的进口应设置能遥控和就地控制的阀门。

e) 水浴式气化器应配置一个就地和远程控制热源的切断装置。自动切断阀离气化器至少 3 m 且能在当出现任何管道失压(流量过大)、火灾、气化器出现低温等情况时能自动切断热源。

f) 空温式气化器或水浴式气化器,进液管线上应配备自动切断阀。能在当出现任何管道失压(流量过大)、紧靠气化器监测到异常温度(火灾)、气化器出口管道上出现低温情况时能切断。

g) 应设独立的自动化控制设备,防止排出 LNG,或气化温度高于或低于管道系统的设计温度。

### A.4 空温式气化器

#### A.4.1 结构

A.4.1.1 空温式气化器由换热管组、连接管道和法兰接口等部分组成。

A.4.1.2 气化器应采取有效补偿措施,确保运行过程中所产生的热胀冷缩应力能够获得自由补偿。

A.4.1.3 相邻气化器之间的水平净距不应小于 0.8 m。

A.4.1.4 气化器的支腿和支撑框架应采用耐低温的材质制作,应有足够的强度,能够承受自重、抵御 12 级以下大风。

A.4.1.5 气化器应设置吊耳便于吊装。

A.4.1.6 气化器的支座、底座等可能接触 LNG 泄漏的部位应采用低温材料制作或采取措施防止低温。

#### A.4.2 材料

气化器受压元件的材料压力-温度、许用应力应符合 GB/T 20801、GB/T 150 的规定。材料性能应符合表 A.1 的规定,或使用不低于表 A.1 规定的其他材料。

#### A.4.3 制造

A.4.3.1 铝合金星型翅片管和不锈钢承压管尺寸应符合设计图样的要求,表面应光洁,无明显的缺陷。

A.4.3.2 翅片管内衬不锈钢承压管时,不锈钢承压管外表面与铝翅片管内表面应采用胀管工艺贴合紧密,以免影响传热效率。

A.4.3.3 弯管制作应在常温下采用机械方法。管子弯制后,应将内外表面清理干净,并不得有裂纹、皱褶,椭圆度不得大于  $0.75D$  ( $D$  为管子外径);管子弯制后的最小厚度不得小于直管的设计厚度。

A.4.3.4 II 形弯管的平面度允许偏差和两平行管段的平行度允许偏差,均不得大于 2 mm。

A.4.3.5 气化器翅片管与框架可采用满焊工艺焊接牢固,或采用不锈钢螺栓固定牢固(框架应采用铝合金材质)。

A.4.3.6 气化器的支腿和底板的焊接应采用满焊工艺,以保证强度,不允许间断焊。

A.4.3.7 管道支座和管托应采用耐低温材料制作,管托长度应满足位移量的要求。

A.4.3.8 不在防雷保护区内的空温式气化器顶部应设置防雷带。防雷带宜采用厚度不低于 4 mm 的有色金属材质制作,并通过引下线引至支腿底板。

#### A.4.4 焊接

A.4.4.1 气化器铝合金零件焊前应按 NB/T 47014 进行焊接工艺评定,焊接应按 GB 50236 的规定。

A.4.4.2 焊接应采用钨极氩弧焊或熔化极氩弧焊,不得采用气焊或电弧焊。

A.4.4.3 施焊前坡口应采用化学方法或机械方法除去氧化膜,表面清洁度应符合 JB/T 6896 的规定。

A.4.4.4 焊丝应选择纯铝焊丝或铝硅焊丝,并应符合 NB/T 47018.6 的规定。

A.4.4.5 焊缝经检验不合格应进行返修或换管重新施焊,同一焊缝的返修次数不得超过 2 次。

#### A.4.5 检验

##### A.4.5.1 外观

A.4.5.1.1 气化器装配应正确、牢固,不得有松脱现象。外观应光洁平整,无毛刺、裂纹和凹痕等缺陷。翅片管应色泽一致,无明显的变形。

A.4.5.1.2 翅片管应分布均匀、布局合理、外形美观,支撑框架应固定牢固,裸管部分应无凹痕、鼓包擦伤、磨损等缺陷。

##### A.4.5.2 压力试验

A.4.5.2.1 气化器耐压试验和气密性试验应在无损检测合格后进行。

A.4.5.2.2 气化器耐压试验可采用液压试验或气压试验。液压试验的试验介质为洁净水。奥氏体不锈钢材质进行水压试验时,水中的氯离子含量不得超过 25 mg/L,水温不应低于 15 °C。气压试验的试验介质应为干燥、无油、洁净的空气、氮气或其他惰性气体,气体温度不应低于 5 °C。

A.4.5.2.3 气化器耐压试验应符合 TSG D0001—2009 第 89 条和第 90 条的要求。

A.4.5.2.4 气化器气密性试验应符合 TSG D0001—2009 第 93 条的要求。

### A.4.5.3 无损检测

A.4.5.3.1 气化器管道焊缝外观应平整,焊缝表面应无裂纹、气孔、夹渣及未焊透等缺陷,焊缝外观质量符合 GB 50683 中焊缝检查等级为 I 级的要求。

A.4.5.3.2 焊缝无损检测应按 NB/T 47013 的规定,对接焊缝应进行 100% 射线检测,检测技术等级不低于 AB 级,质量等级不低于 II 级,角焊缝和 T 型焊缝应进行 100% 渗透检测,质量等级不低于 I 级。

A.4.5.3.3 焊缝无损检测应符合 GB/T 20801.5—2006 中 6.3 的要求。

### A.4.5.4 脱脂去油处理

所有管道均需去油处理,管腔脱脂按 JB/T 6896 的规定,油脂残留率不大于 125 mg/m<sup>2</sup>。

### A.4.5.5 涂装

碳钢管路的涂装应符合 JB/T 4711 的规定。喷涂前应经喷砂(抛丸)或机械除锈处理,除去氧化皮、铁锈、油污等一切杂质,表面质量应符合 GB/T 8923 中 Sa2.5 级的规定。

### A.4.5.6 包装和运输

A.4.5.6.1 管道脱脂清洗干燥后,开口处应做包扎。

A.4.5.6.2 制造完成的管道上应标注零部件图号,需要在现场施焊的管子应标注管材牌号。

A.4.5.6.3 应对设备、仪表、法兰、螺纹接口等采取相应的保护措施,防止运输过程中的损坏。

A.4.5.6.4 应根据结构尺寸、重量、运输等特点选用适宜的包装。包装应有足够的强度。

A.4.5.6.5 零配件、备品备件及专用工具等宜单独包装或装箱。

A.4.5.6.6 气化器在运输中应防止剧烈震动、碰撞,搬运时应轻放避免损伤。

## A.5 水浴式气化器

### A.5.1 结构

#### A.5.1.1 一般要求

A.5.1.1.1 水浴式气化器由壳程和管程组成。壳程筒体为立式或卧式容器,筒体内为螺旋形或其他型式换热管。管程为 LNG 介质、壳程为热水或蒸汽等介质。

A.5.1.1.2 壳程筒体由底座、封头、进水管、溢流管、排污管、通气帽等零部件组成。

A.5.1.1.3 管程换热器由进液总管、进液分配管、换热管、出气汇管等零部件组成。

A.5.1.1.4 气化器宜配置进液温度、出气温度、进液压力、出气压力、水位、水温及水流量监测仪表和紧急切断阀、安全放散阀、可燃气体泄漏报警和事故切断等安全监测设备。

A.5.1.1.5 气化器外壳应隔热和保温,材质应能适应气化器最高工作温度。

#### A.5.1.2 外筒

A.5.1.2.1 外筒设计压力小于 0.1 MPa 时,宜按压力容器 NB/T 47003.1 的要求设计。

A.5.1.2.2 外筒设计压力不小于 0.1 MPa 时,应按压力容器 GB/T 150 的要求设计。

A.5.1.2.3 设计时应考虑生产、制造搬运时外筒的强度,必要时应设加强圈。

#### A.5.1.3 换热管

A.5.1.3.1 换热管宜采用螺旋或 U 型管束,其每层的数量、绕角、间距等参数应由设计计算确定。

A.5.1.3.2 相邻两层换热管的螺旋角相同,方向相反,或采取其他有效传热的方式布置。

A.5.1.3.3 气化器每层换热管之间应设置垫条,垫条宜采用奥氏体不锈钢材质。

A.5.1.3.4 换热管应做有效固定。

#### A.5.1.4 进液管

A.5.1.4.1 在气化器压力降允许、结构允许的情况下,应优先采用液相 LNG 从上部进入。

A.5.1.4.2 进液管与储罐液相管道应采用法兰连接或焊接。

#### A.5.1.5 出气管

A.5.1.5.1 出气管与用户管道应采用法兰连接。

A.5.1.5.2 出气管与筒体的焊接处应计算开孔补强。

A.5.1.5.3 出气管与进口管保持一定距离,确保进口管壁的冰冻、结霜不会影响出口管。

#### A.5.1.6 泄放装置

A.5.1.6.1 当外筒设计为非承压容器时,外筒顶部宜设置翻盖式紧急泄放装置。

A.5.1.6.2 当外筒设计为承压容器时,外筒顶部应设安全阀,安全阀的泄放能力计算应符合 GB/T 150.1 的规定,排放量应根据热水循环量考虑。

#### A.5.1.7 液位计、温度计和流量计

A.5.1.7.1 应设置液位计探测水量,防止干烧。

A.5.1.7.2 应设置流量计或流量开关探测水流量。

A.5.1.7.3 应设置温度监测仪表对水温进行监控。

A.5.1.7.4 气化器运行期间水管表面温度应高于 5℃,以避免结冰。在非正常条件下,如水流不足,应减少或停止 LNG 流入,必要时应将水从气化器壳体排出。

A.5.1.7.5 水流量应与温度控制装置连锁,应安装水流量探测器或流量开关,在水流量不足的情况下停止 LNG 液体流入。

#### A.5.1.8 支座与吊耳

A.5.1.8.1 气化器应设置固定支座,支座强度应符合 GB/T 150 的要求。

A.5.1.8.2 气化器应设置吊耳,吊耳应有足够的强度。

A.5.1.8.3 气化器的支座、底座等应有足够的强度、刚度,在可能接触 LNG 泄漏的部位,应采用低温材料制作或采取措施防止低温。

### A.5.2 材料

#### A.5.2.1 承压壳体及管道

A.5.2.1.1 气化器受压元件的材料压力-温度、许用应力应符合 GB/T 150.2 的规定。材料性能应符合表 A.1 的规定,或不低于表 A.1 规定的其他材料。

A.5.2.1.2 外壳设计压力小于 0.1 MPa 时,材料应符合 NB/T 47003.1 的要求;外壳设计压力大于或等于 0.1 MPa 时,材料应符合 GB/T 150、GB/T 151、TSG 21 的要求。

A.5.2.1.3 气化器筒体材料宜采用奥氏体不锈钢,壁厚不应小于 4.0 mm。

A.5.2.1.4 气化器换热管应选用不锈钢无缝管,材料应符合 GB/T 13296 的要求,性能不应低于 06Cr19Ni10、06Cr17Ni12Mo2、06Cr18Ni11Ti 的要求。

A.5.2.1.5 气化器环管、进液管、出气管应选用不锈钢无缝管,材料应符合 GB/T 14976、GB/T 13296 的要求,性能不应低于 06Cr19Ni10、06Cr17Ni12Mo2、06Cr18Ni11Ti 的要求。

A.5.2.1.6 蒸汽水浴式气化器蒸汽管、溢流管、进水管、排水管等其他管子宜选用不锈钢无缝钢管,性能不低于 GB/T 14976 规定的 06Cr19Ni10 的要求。

#### A.5.2.2 法兰、垫片及紧固件

A.5.2.2.1 法兰、垫片和紧固件应考虑介质性质、特性、压力配套选用。

A.5.2.2.2 LNG 进液口、出气口法兰应符合 HG/T 20592、HG/T 20615 等规定的高颈对焊法兰(WN),牌号不低于 06Cr19Ni10,Ⅲ级锻件以上。垫片应选用带加强环的金属缠绕垫,螺栓应选用 HG/T 20613 或 HG/T 20634 规定的专用级高强度全螺纹螺栓。

A.5.2.2.3 热水进、出口法兰应符合 HG/T 20592、HG/T 20615 的规定,牌号不低于 16Mn、Ⅱ级锻件以上,垫片应选用金属石墨复合垫,螺栓应选用 HG/T 20613 或 HG/T 20634 规定的普通的螺栓组合。

#### A.5.3 设计

A.5.3.1 筒体的壁厚应按 GB/T 150 进行计算,并进行应力强度校核。

A.5.3.2 换热管的壁厚应按 GB/T 20801 设计计算。

A.5.3.3 气化器的开孔补强应按 GB/T 150 进行计算。

#### A.5.4 工况要求

A.5.4.1 水浴式气化器工作温度范围为 $-196\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

A.5.4.2 气化后天然气温度不应低于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

A.5.4.3 换热方式为管外热水换热,热源为循环水、电、蒸汽等。

#### A.5.5 焊接

A.5.5.1 气化器的材料选择应保证适配性和可焊性。焊材应有生产厂质量合格证及质量证明文件,且应符合 GB/T 150 的规定。

A.5.5.2 焊接前应对材料化学成分、力学性能以及焊材材质进行核实,必要时进行复验,并按 NB/T 47014 进行焊接工艺评定,判定其焊接性能。

A.5.5.3 气化器的焊接应按 GB/T 150、TSG 21 的规定执行。

A.5.5.4 所有焊缝表面应按国家现行有关标准进行外观检查,不得有表面裂纹、未焊透、未熔合、表面气孔、弧坑、未填满、夹渣和飞溅物;焊缝与母材应圆滑过渡;角焊缝的外形应凹形圆滑过渡。

A.5.5.5 焊缝无损检测应按 NB/T 47013 进行。

A.5.5.6 焊接接头返修按 GB/T 150 进行,返修后应重新进行无损检测。返修次数不超过 2 次。

#### A.5.6 无损检测

A.5.6.1 低温、承压壳体、管道 A、B 类焊接接头应进行 100% 射线检测或超声检测,C、D 类焊接接头应进行 100% 磁粉或渗透检测。

A.5.6.2 非承压壳体、管道 A、B 类焊接接头应进行至少 20% 射线检测或超声检测,C、D 类焊接接头应进行 100% 磁粉或渗透检测。

A.5.6.3 局部抽检不应少于各焊缝长度的 20%,且宜覆盖各焊工所焊的焊缝。

A.5.6.4 焊接接头分类按 GB/T 150 的规定。

A.5.6.5 无损检测的具体操作方法应符合 NB/T 47013 的规定。

A.5.6.6 按 NB/T 47013 对焊接接头进行射线、超声、磁粉、渗透检测,检测结果应符合下列要求:

- a) 射线检测应符合下列要求：
  - 1) 承压元件进行 100% 焊接接头检测时，射线检测的技术等级不低于 AB 级，质量等级不低于 II 级为合格；
  - 2) 承压元件进行 20% 焊接接头检测时，射线检测的技术等级不低于 AB 级，质量等级不低于 III 级为合格。
- b) 超声检测应符合下列要求：
  - 1) 承压元件进行 100% 焊接接头检测时，质量等级不低于 I 级为合格；
  - 2) 承压元件进行 20% 焊接接头检测时，质量等级不低于 II 级为合格。
- c) 磁粉和渗透检测，承压元件进行 100% 焊接接头检测，质量等级不低于 I 级为合格。

A.5.6.7 无损检测中，如发现有不允许的缺陷时，对规定为抽样检验或局部无损检测的，应按 GB/T 150 的规定进行累进检查，在该缺陷的两端延伸部位增加检验长度，如仍有不允许的缺陷时，应对焊缝做 100% 检测。

### A.5.7 耐压试验

#### A.5.7.1 一般要求

A.5.7.1.1 气化器的耐压试验应符合 GB/T 150.4、TSG 21 的规定。

A.5.7.1.2 气化器耐压试验和气密性试验应在无损检测合格后进行。

A.5.7.1.3 气化器耐压试验可采用液压试验或气压试验。液压试验的试验介质为洁净水。奥氏体不锈钢材质进行水压试验时，水中的氯离子含量不得超过 25 mg/L，水温不应低于 15 °C。气压试验的试验介质应为干燥、无油、洁净的空气、氮气或其他惰性气体，气体温度不得低于 5 °C。

#### A.5.7.2 耐压试验压力

耐压试验压力应符合下列要求：

##### a) 液压试验

$$p_T = 1.25p \frac{[\sigma]}{[\sigma]^t} \dots\dots\dots (A.1)$$

##### b) 气压试验

$$p_T = 1.1p \frac{[\sigma]}{[\sigma]^t} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

$p_T$  ——耐压试验压力，单位为兆帕(MPa)；

$p$  ——设计压力或铭牌上规定的最高允许工作压力，单位为兆帕(MPa)；

$[\sigma]$  ——试验温度下材料的许用应力(或者设计应力强度)，单位为兆帕(MPa)；

$[\sigma]^t$  ——设计温度下材料的许用应力(或者设计应力强度)，单位为兆帕(MPa)。

#### A.5.7.3 液压试验

##### A.5.7.3.1 液压试验程序和步骤应按下列要求：

- a) 试验气化器内的气体应当排净并充满液体，试验过程中，应保持气化器观察表面的干燥；
- b) 当试验气化器器壁金属温度与液体温度接近时，缓慢升至设计压力，确认无泄漏后继升压至规定的试验压力，保压时间不少于 30 min；然后降至设计压力，保压足够时间进行检查，检查期间压力应保持不变。

##### A.5.7.3.2 液压试验的合格标准应按下列要求：

- a) 试验过程中，应无渗漏，无可见的变形和异常声响；

- b) 液压试验完毕后,应将液体排尽并用压缩空气或氮气干燥将内部干燥,露点温度应低于 $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

#### A.5.7.4 气压试验

##### A.5.7.4.1 气压试验程序和步骤应按下列要求:

- a) 试验时应先缓慢升压至规定试验压力的 $10\%$ ,保压 $5\text{ min}$ ,并且对所有焊接接头和连接部位进行初次检查;
- b) 确认无泄漏后,再继续升压至规定试验压力的 $50\%$ ;
- c) 如无异常现象,其后按规定试验压力的 $10\%$ 逐级升压,直到试验压力,保压 $10\text{ min}$ ;
- d) 然后降至设计压力,保压足够时间进行检查,检查期间压力应保持不变。

##### A.5.7.4.2 气压试验应无异常声响,经肥皂液或其他检漏液检查焊缝,应无泄漏、无可见变形。

#### A.5.8 气密性试验

##### A.5.8.1 一般要求

###### A.5.8.1.1 气化器气密性试验应在强度试验合格后进行。

###### A.5.8.1.2 气密性试验压力为气化器的设计压力。

###### A.5.8.1.3 气化器整体用压缩空气或惰性气体试验时,气体的温度不应低于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,保压过程中温度波动不应超过 $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

##### A.5.8.2 试验步骤

试验程序和步骤应按下列要求:

- a) 试验前用空气进行预试验,试验压力不超过 $0.2\text{ MPa}$ ;
- b) 试验时,应当先缓慢升压至规定试验压力的 $10\%$ ,保压 $5\text{ min}$ ,并对所有焊缝和连接部位进行初步检查;
- c) 如无泄漏及异常可继续升压到规定试验压力的 $50\%$ ;
- d) 如无异常现象,其后按照规定试验压力的 $10\%$ 逐级升压,每级稳压 $3\text{ min}$ ,直到试验压力,用检漏液对其所有焊接接头和连接部位进行泄漏检查,保压不少于 $30\text{ min}$ ;
- e) 经检查无泄漏后将压力降低至工作压力,用发泡剂检查应无泄漏,也可采用浸入水中检查;
- f) 试验完成后,应将气体缓慢排尽;
- g) 试验过程中,无泄漏为合格;如有泄漏,应在修补后重新进行试验。

#### A.5.9 表面清洁质量及油脂检测

##### A.5.9.1 气化器壳程及管程表面清洗干净,焊缝表面钝化清洗。气化器壳程表面应无毛刺、飞溅物和焊渣等。

##### A.5.9.2 气化器管程内应除杂质和水分,管腔脱脂应按 JB/T 6896 的有关测定方法和评定规则进行,表面油脂残留量不大于 $125\text{ mg/m}^2$ 。

#### A.5.10 涂装

水浴式气化器的涂装应符合 A.4.5.5 的要求。

#### A.5.11 包装和运输

水浴式气化器的包装和运输应符合 A.4.5.6 的要求。



## A.6 水浴式蒸汽加热气化器

A.6.1 蒸汽加热水浴气化器除应符合 A.5 的要求外,还应符合下列要求:

- a) 蒸汽管应符合下列要求:
  - 1) 蒸汽管宜从气化器上部进入,伸入底部且低于下环管;
  - 2) 蒸汽管与中心筒体宜采用伸缩支撑连接,以减少振动;
  - 3) 蒸汽管开孔应集中布置在蒸汽管底部,开孔应均匀分布;
  - 4) 蒸汽管开孔直径和数量按最大蒸汽量和蒸汽压力计算确定。
- b) 溢流管应符合下列要求:
  - 1) 应根据蒸汽凝结水量确定溢流口管径;
  - 2) 溢流口水的流速不应大于 0.3 m/s;
  - 3) 溢流口外接管道应做支架固定。
- c) 气化器应设排污管。

## A.7 水浴式电加热气化器

A.7.1 水浴式电加热气化器除应符合 A.5 的要求外,还应符合下列要求:

- a) 电热器组件应防爆、防水、耐高温且能自动控制。
- b) 外壳隔爆部分应符合 GB 3836.1、GB 3836.2 规定的防爆结构要求。
- c) 外壳绝缘、接地应符合 GB 3836.1、GB 3836.2、GB 3836.14、GB 3836.15 的要求。
- d) 电源宜采用 220V/380V。
- e) 外接管路应设安全阀,气化器内压力超过规定压力时,应能自动泄压排气,并停机。
- f) 监测仪表应符合下列要求:
  - 1) 应设置水温度仪表监测气化器内水的工作温度,低于设定温度时应报警、关闭进液阀;
  - 2) 应设置水位控制器监测气化器内水位,降到临界点时,应能自动切断电源停止工作,当水位超警戒水位时应能切断水源、启动排水阀放水;
  - 3) 应设置气相温度监测仪表监测气化器内的温度,并与液相管紧急切断阀连锁;
  - 4) 应设置气相压力监测仪表监测气化器内的压力,并与气相管紧急切断阀连锁。
- g) 电气安全性能应符合下列要求:
  - 1) 应有防漏电设施,工作温度下,泄漏电流不应大于 0.75 mA;
  - 2) 应有可靠的接地装置,接地电阻值不应大于 0.1  $\Omega$ ;
  - 3) 工作温度下,带电部件与非带电金属部件之间应能承受 1 250 V 的电压,历时 1 min,无击穿;
  - 4) 漏电保护应符合 GB/T 13955 的规定,当漏电电流大于 30mA 时,保护开关应能瞬间断开;
  - 5) 常温下电气设备的电气回路之间,电气回路与金属壳体之间的绝缘电阻不应小于 20 M $\Omega$ ;
  - 6) 气化器电气保护及连锁装置应能正常运行,性能可靠。

**附 录 B**  
(规范性附录)  
**低温氮气试验**

**B.1 低温氮气试验要求****B.1.1 应具备的试验条件**

**B.1.1.1** LNG 气化供气装置应组装完毕,紧急切断、超压放散等安全装置安装完毕,并应完成吹扫、强度试验、气密试验、调压性能试验、切断装置、放散装置等试验已完成,且标识齐全。

**B.1.1.2** 被测试管道及相连系统应干燥置换完毕。干燥应采用高纯瓶装氮气,或液氮气化加热后的氮气,氮气温度的不低于 0℃。LNG 管道、BOG 管道应进行氮气干燥,干燥过程时,在出口排气侧接入露点仪,管道露点温度低于-40℃为干燥合格。

**B.1.1.3** 氮气供应系统安装完毕,并具备运行条件。

**B.1.1.4** 被测试的系统有关阀门、仪表及控制系统应具备操作条件。

**B.1.2 基本要求**

**B.1.2.1** 应制定低温氮气试验方案和应急预案,并对操作人员进行技术和安全培训。

**B.1.2.2** 低温氮气试验宜包括以下管道:

- a) 储罐进液管、出液管;
- b) 瓶组出液管;
- c) LNG 气化器;
- d) LNG 气化器进口管道;
- e) LNG 气化器出口、切断阀前管路;
- f) BOG 总管;
- g) EAG 总管。

**B.1.2.3** 应编制低温氮气试验检查记录表。

**B.1.2.4** 低温氮气试验临时设施及工具准备就绪。

**B.1.2.5** 氮气排放点位置应设置警示标志,做好安全防范。

**B.1.3 技术要求**

**B.1.3.1** 低温氮气试验温度不应低于系统各部分的设计最低温度,宜控制在 0℃~-162℃。

**B.1.3.2** 低温氮气试验压力不应高于系统工作压力。

**B.1.3.3** 管道同一位置上、下表面最大温差不宜超过 50℃,降温速率宜控制在 8℃/h~10℃/h,最大不应超过 20℃/h。

**B.1.3.4** 试验过程中应对温度、压力检查和监控,防止管道降温过快、防止系统超压,做好监控记录,并根据需要进行相关阀门开关测试。

**B.1.3.5** 管道温降应均匀,防止管道位移过大,管道位移变化量应符合设计要求。管道位移变化量按式(B.1)计算:

$$\Delta L = \alpha \times L \times (t_2 - t_1) \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

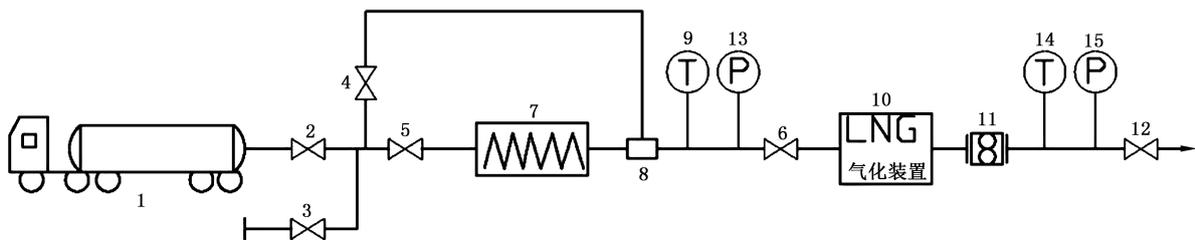
- $\Delta L$  ——管道的热伸长量,单位为米(m);
- $\alpha$  ——管材的线膨胀系数,单位为米每米摄氏度 $[m/(m \cdot ^\circ C)]$ ;
- $L$  ——管道长度,单位为米(m);
- $t_1$  ——管道初始温度,单位为摄氏度( $^\circ C$ );
- $t_2$  ——管道现在温度,单位为摄氏度( $^\circ C$ )。

## B.2 低温氮气试验区域划分

- B.2.1 宜将压力等级相同、工作温度相同、相通、靠近的管道划分为同一区域。
- B.2.2 应在流程图上标识出低温氮气试验区域及氮气注入点、排放点等。
- B.2.3 宜按照工艺流程顺序将液化天然气管道分区进行低温氮气试验。

## B.3 氮气供应系统

- B.3.1 应配备必要的低温氮气试验临时设施,包括液氮槽车(或低温绝热气瓶组)、气化器及必要的阀门、仪表等。
- B.3.2 应配备必要的检测、监测温度、压力、流量的仪器设备和仪表,其精度等级、性能应符合要求。
- B.3.3 宜设置备用气源供应接口,保证氮气供应连续。
- B.3.4 宜使用混合器调节低温氮气的出口温度,低温氮气供应系统流程图见图 B.1。



说明：

- |        |               |       |               |
|--------|---------------|-------|---------------|
| 1      | ——液氮槽车(绝热气瓶); | 9、14  | ——温度计;        |
| 2~6、12 | ——阀门;         | 10    | ——LNG 气化供气装置; |
| 7      | ——气化器;        | 11    | ——流量计;        |
| 8      | ——混合器;        | 13、15 | ——压力表。        |

图 B.1 低温氮气供应系统流程图

低温氮气供应系统原理：

- a) 液氮从槽车里输出后分为两路,一路经气化器气化为氮气,另一路保持液态,两路介质在混合器里混合,混合后的低温氮气流向 LNG 气化供应装置入口管道;
- b) 试验用低温氮气的温度及流量应通过流经混合器的气、液进行缓慢调节;
- c) 通过阀门调节供气量及低温氮气的温度。

## B.4 低温氮气试验步骤

- B.4.1 按照低温氮气试验流程图将 LNG 气化供应装置进行试验系统,设置阀门开关状态。
- B.4.2 启动氮气供应系统,向低温氮气试验系统引入氮气,缓慢开启阀门。

- B.4.3 检查管道、阀门、法兰连接部位是否有泄漏,螺栓是否因冷缩而使预紧力减小松动。
- B.4.4 检查及监测管道位移和支托变化。如果管道位移量过大,适度提高氮气温度,或暂停预冷。
- B.4.5 检查和记录主管道与支管道、钢结构及相邻管道的变化情况。
- B.4.6 检查及监测管道温度变化。
- B.4.7 液化天然气管道温度降至 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}\sim-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,关闭氮气气源,对低温氮气试验管道上所有阀门进行开关测试,检查阀门密封性和启闭灵活性及是否冻堵、卡阻现象。在冷却过程中,每降低 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 重复一次开关操作。
- B.4.8 将存在冻堵的阀门、泄漏法兰、接头等做好标识和记录,处理完毕后,重新进行低温氮气试验。
- B.4.9 低温氮气试验管道温度达到试验温度(最低 $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ )时冷却可结束,关闭排放口阀门。
- B.4.10 关闭氮气供应系统阀门,使液化天然气管道内微正压,同时观察系统压力,根据需要适当排放,防止超压。

## B.5 低温氮气试验的合格标准

以下条件同时满足时,低温氮气试验合格:

- a) 低温氮气试验管道温度达到试验温度(最低 $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ );
- b) 管道阀门无冻堵现象,法兰、接头无泄漏;
- c) 所有仪表在低温条件下操作正常;
- d) 管道最大位移满足设计要求。

## B.6 应急保障措施

- B.6.1 试验前应对被测试区域挂牌警戒,氮气排放口设置警戒线,现场设置专职安全员,做好应急预案,联系医护车辆,通知附近作业人员,做好安全防范。
  - B.6.2 所有试验人员应学习试验方案,了解低温氮气泄漏时出现冻伤及窒息事故的潜在危险。
  - B.6.3 对所有试验人员应进行应急预案演练,以应对低温试验中可能出现的事故。
  - B.6.4 为防止温度下降过快,应设专人在控制室观测管线表面温度读数变化,对于没有表面温度传感器的地方,可用红外测温仪测量管道的未保冷部分。
  - B.6.5 为防止管线位移过快过大,应设专人监测管线位移情况,应重点关注管线和钢结构、管线与管线间容易碰撞的地方,管线的位移情况,避免造成破坏。如果管线位移量过大,适度提高氮气温度或暂停预冷。
  - B.6.6 在冷却过程中,每降 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 宜对被试验管线上的阀门进行开关操作(包括手动和气动阀门)一次,以查验是否被冻住。
  - B.6.7 应设专人负责用氧含量分析仪或检漏液对设备管线所有法兰进行周期性检查,发现氧含量低报警、出现泄漏时,应派专业人员对泄漏点进行处理。
  - B.6.8 出现冻伤或窒息事故时,应立即把伤者运离现场,紧急处理后送医院治疗。
  - B.6.9 当出现管线位移超过设计允许量或者出现管道开裂、部件失效、泄漏及其他紧急情况时,应迅速中止试验。
-