

ICS 75.180

E 20/29

备案号：43239—2014

SY

中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 6933.1—2013

天然气液化工厂设计建造和运行规范 第1部分：设计建造

Technical standard for natural gas liquefaction factory
design construction and operation—
Part 1: Design construction

2013—11—28 发布

2014—04—01 实施

国家能源局 发布

目 次

前言 Ⅲ

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 基本规定 3

 4.1 基本管理要求 3

 4.2 危险评价 3

 4.3 安全措施 4

5 选址和平面布置 4

 5.1 选址原则 4

 5.2 总图布置 4

6 计量及流量检测系统 5

 6.1 设计规定 5

 6.2 安装要求 6

 6.3 试运行准备 7

7 天然气净化系统 7

 7.1 基本规定 7

 7.2 净化指标 7

 7.3 设计要求 7

 7.4 建造要求 8

8 冷箱系统 9

 8.1 设计要求 9

 8.2 冷箱安装要求 9

 8.3 试运行和验收的前提条件 9

9 制冷系统 10

 9.1 制冷系统的设计要求 10

 9.2 制冷系统的安装要求 11

 9.3 制冷剂储存系统要求 12

10 LNG 储存、装卸和 BOG 回收处理系统 13

 10.1 基本规定 13

 10.2 LNG 储罐 13

 10.3 LNG 装卸系统 13

 10.4 BOG 回收处理系统 13

11 管道系统 14

 11.1 管道系统设计要求 14

11.2	管道系统的建造要求	15
11.3	安全阀	15
11.4	绝热与防腐	15
12	仪表和控制系统	15
12.1	基本规定	15
12.2	过程控制系统	16
12.3	安全控制系统	17
12.4	出入口控制系统	18
12.5	防入侵系统	18
12.6	闭路电视系统 (CCTV)	18
12.7	通信网络	18
12.8	环境监控系统	18
13	电气系统	19
13.1	基本规定	19
13.2	供电要求	19
13.3	布置	20
13.4	接地和屏蔽	20
13.5	防雷保护	20
13.6	照明	20
14	危害管理	20
14.1	本质安全	20
14.2	被动防火保护	21
14.3	主动防火保护	22
14.4	安保	23
参考文献	24

前 言

SY/T 6933《天然气液化工厂设计建造和运行规范》分为两部分：

——第 1 部分：设计建造；

——第 2 部分：运行规范。

本部分为 SY/T 6933 的第 1 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本部分由全国石油天然气标准技术委员会液化天然气分技术委员会提出并归口。

本部分负责起草单位：中海石油气电集团有限责任公司、中海石油广东液化天然气有限公司、中海油营口天然气有限责任公司、中海油山东新能源有限公司、新疆吉木乃广汇液化天然气发展有限责任公司、成都深冷液化设备股份有限公司和张家港富瑞特装股份有限公司。

本部分主要起草人：尹全森、单彤文、陈杰、王洁、邵晓亮、曾伟平、彭延建、刘国军、叶莹、贾程、姜伟强、井志勇、李怀兵、常心洁、文向南、殷劲松。

天然气液化工厂设计建造和运行规范

第 1 部分：设计建造

1 范围

SY/T 6993 的本部分规范了天然气液化工厂的工艺及其他主要系统的设计建造方面的技术要求。本部分适用于陆地上新建、改建和扩建天然气液化工厂的设计和建造工作。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 150 压力容器
GB 3836 爆炸性环境
GB 5310 高压锅炉用无缝钢管
GB 6479 高压化肥设备用无缝钢管
GB/T 8163—2008 输送流体用无缝钢管
GB/T 9711 石油天然气工业 管线输送系统用钢管
GB 9948 石油裂化用无缝钢管
GB/T 14976 流体输送用不锈钢无缝钢管
GB/T 15599 石油与石油设施雷电安全规范
GB/T 18603 天然气计量系统技术要求
GB/T 18604 用气体超声流量计测量天然气流量
GB/T 19204—2003 液化天然气的一般特性
GB/T 20368—2012 液化天然气（LNG）生产、储存和装运
GB/T 21446 用标准孔板流量计测量天然气流量
GB/T 22724—2008 液化天然气设备与安装 陆上装置设计
GB 50034 建造照明设计标准
GB 50052 供配电系统设计规范
GB 50053 10kV 及以下变电所设计规范
GB 50057 建筑物防雷设计规范
GB 50058 爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范
GB 50059 35kV~110kV 变电站设计规范
GB/T 50065—2011 交流电气装置的接地设计规范
GB 50116 火灾自动报警系统设计规范
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 50183—2004 石油天然气工程设计防火规范
GB 50184 工业金属管道工程施工质量验收规范
GB 50251 输气管道工程设计规范

SY/T 6933.1—2013

GB 50274 制冷设备、空气分离设备安装工程施工及验收规范

GB 50316 工业金属管道设计规范

GB 50319—2000 建设工程监理规范

GB 50461 石油化工静设备安装工程施工质量验收规范

AQ 2012—2007 石油天然气安全规程

HG/T 20508 控制室设计规定

HG/T 20546—2009 化工装置设备布置设计规定

JC/T 1020 低温装置绝热用膨胀珍珠岩

JB/T 6443 石油、化学和气体工业用轴流、离心压缩机及膨胀机—压缩机

JB/T 6894 增压透平膨胀机技术条件

SH 3012 石油化工金属管道布置设计规范

SH/T 3143 石油化工往复压缩机工程技术规范

SH/T 3539 石油化工离心式压缩机组施工及验收规范

SH/T 3544 石油化工对置式往复压缩机组施工及验收规范

SY/T 0011—2007 天然气净化厂设计规范

SY/T 0048—2009 石油天然气工程总图设计规范

SY/T 0076 天然气脱水设计规范

SY/T 0460 天然气净化装置设备与管道安装工程施工技术规范

SY/T 0599—2006 天然气地面设施抗硫化物应力开裂和抗应力腐蚀开裂的金属材料要求

SY 6137 含硫化氢油气生产和天然气处理 装置作业安全技术规程

SY/T 6537 天然气净化厂气体及溶液分析方法

SY/T 6711—2008 液化天然气接收站安全技术规程

TSG R004—2009 固定式压力容器安全技术规程

EN 61508-1 电气/电子/可编程电子安全相关系统的功能安全性 第1部分：一般要求
(Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems—Part 1: General requirements)

EN 1473: 2007 液化天然气的安装和设备 岸上装置的设计 (Installation and equipment for liquefied natural gas—Design of onshore installations)

ASME B31.3 工艺管道 (Process piping)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

液化天然气 liquefied natural gas (LNG)

主要由甲烷组成，可能含有少量的乙烷、丙烷、丁烷、氮或通常存在于天然气中的其他组分的一种无色液态流体。

3.2

天然气液化厂 natural gas liquefaction plant

将气态天然气变成液化天然气的场所，一般包括天然气（原料气）预处理、天然气分馏、天然气液化、LNG 储存和 LNG 装船（车）等生产单元。

3.3

工艺装置 process plant

在天然气液化厂内，用于对天然气进行净化、液化、储存及转运的系统。

3.4

冷箱 cold box

一组由板翅式换热器或绕管换热器及气液分离器等设备组成，经过绝热保冷的低温换热设备。

3.5

蒸发气 boil-off gas (BOG)

由于外界的热量引入以及在容器进料过程中的闪蒸等原因，引起 LNG 气化产生的气体。

3.6

集液池 impounding basin

在拦蓄区或泄漏收集区域内，或与拦蓄区或泄漏收集区域连接的，用来收集并安全控制泄漏液化天然气的一种收集容器。

3.7

防护堤 dike

用于拦蓄 LNG 储罐事故时溢出的 LNG 的构筑物。

3.8

液化天然气槽车 LNG truck

用于在公路上运输 LNG 的车辆。

3.9

紧急关断 emergency shut down

是一种在不可恢复的事件发生前安全有效地停止整个装置或个别单元的系统。

3.10

工艺关断 process shut down

是一种由于工艺原因安全有效地停止个别单元的系统。

4 基本规定

4.1 基本管理要求

4.1.1 安全设施与主体工程应同时设计、同时施工、同时投产和使用。

4.1.2 建设单位应对设计、建造和运行全过程进行安全监督管理。

4.1.3 承担工程设计、施工和监理单位应具有相应资质。

4.1.4 安全评价、认证、检测和检验应符合国家的相关规定。

4.1.5 工程施工阶段的监理及设备监造应符合 GB 50319—2000 中第 5 章和第 6 章的规定。

4.1.6 防火防爆及消防设施应符合 GB/T 20368 的相关要求。

4.1.7 环境评价应符合 GB/T 22724—2008 中 4.2.5 的要求。

4.1.8 职业健康与劳动保护应符合 AQ 2012—2007 中 4.2 的要求。

4.2 危险评价

4.2.1 应对 LNG 和可燃介质泄漏、设备超压以及火灾下的热辐射，以及其他周边潜在危险源进行评价。

4.2.2 设计和建造阶段应进行危险评价，危险评价可为概率估计和后果估计，可参考 GB/T 22724—2008 的附录 E、附录 F 和附录 G。

4.2.3 工艺流程图确定阶段应进行危险审查。

4.2.4 工艺管道及仪表流程图在批准前，应进行危险和可操作性分析。

4.2.5 进行改造和扩建后，应对新设施重新进行危险评价。

4.3 安全措施

4.3.1 选择的材料应能满足不同工况的要求。

4.3.2 应设计控制 LNG 和可燃介质泄漏和溢出的措施。

4.3.3 应设置安全装置，防止设备和管道内部超压，包括火灾等各种因素引起的内部超压。

4.3.4 应设置与工艺控制系统独立的紧急关断系统。

4.3.5 设备布置区域应采用可燃气体探测器和温度探测器进行泄漏检测，当检测到泄漏、溢出时，应启动紧急关断系统。

4.3.6 应对包括紧急关断阀和装有大量液态烃类的容器进行防热辐射保护。

4.3.7 应对装置区内的高温流体管道设施及低温管道设施进行防烫伤和防冻伤保护。

5 选址和平面布置

5.1 选址原则

5.1.1 厂址选择应符合当地工业布局和总体规划的要求。

5.1.2 厂址宜位于附近的工业企业、人口居住区常年最小风频的上风侧。

5.1.3 厂址宜位于交通主干路或引接专用线短捷、经济的地区，应充分考虑当地公路管理部门对 LNG 运输槽车行驶条件和车流密度的要求。

5.1.4 厂址应位于不受洪水、潮水或内涝威胁的地带，当不可避免时，应具有可靠的防洪、排涝措施。

5.1.5 厂址面积根据规划的需要，宜留有扩建的空间。

5.2 总图布置

5.2.1 液化厂应合理分区，保证工艺流程顺畅，工艺管线短捷，方便生产管理。

5.2.2 应按功能划分生产区和辅助生产区。生产区包括：净化装置、液化装置、LNG 罐区、LNG 槽车装卸区等；辅助生产区包括：消防系统、空压制氮、变配电所、分析化验、换热站和火炬系统等。

5.2.3 竖向布置应满足生产工艺流程对高程的要求；因地制宜，尽量与自然地形相适应，以节省土方工程量；适应建、构筑物的基础和管线埋置深度的要求。

5.2.4 设备应按常规的工艺流程分区/组布置，以便于装置的独立操作和开停车。

5.2.5 工厂主要出入口应不少于两个，人货分流，并宜位于不同方位。

5.2.6 压缩机及配套设备宜集中布置，如建厂房，宜半封闭布置。

5.2.7 LNG 储罐区、LNG 槽车装卸区和制冷剂储存区应设置导流沟和集液池，防止溢出的 LNG、易燃制冷剂和易燃液体流出厂区。

5.2.8 装卸区的布置应符合 HG/T 20546—2009 中 15.1.1 的要求，LNG 槽车的转弯半径应大于 18m。

5.2.9 液化厂与相邻居住点、厂矿企业、交通道路等设施的安全间距的确定应符合 GB/T 20368 的有关规定。

5.2.10 火炬塔、地面火炬和燃烧坑应布置在生产区最小频率风向的上风侧，并设置专门的隔离区，隔离区应有围墙或栅栏分割。

5.2.11 架高火炬与工厂内其他装置的间距，应根据火炬高度、泄放量、允许的热辐射强度确定，符合 GB 50160 的相关规定。

- 5.2.12 围堰区至建构筑物的距离，可根据 GB/T 20368 或国际公认的液化天然气燃烧的热辐射计算模型确定，热辐射距离计算方法至少应考虑拦蓄区形状、风速风向、湿度和气温。
- 5.2.13 室外活动场所、建构筑物允许接受的热辐射量，在风速 0 级，温度 21℃ 及相对湿度 50% 的条件下，应符合 GB/T 20368—2012 中 5.2.3.2 的规定。
- 5.2.14 LNG 储罐、易燃制冷剂储罐、易燃液体储罐与建筑红线的最小净距应满足 GB/T 20368—2012 中 5.2.4.1 的规定。
- 5.2.15 防护堤的高度，以及到 LNG 储罐的距离，应符合 GB/T 20368—2012 中 5.2.2.8 规定。
- 5.2.16 液化厂储罐区宜设环形消防车道，消防车道转弯半径不应小于 12m。储罐中心与最近的消防车道之间的距离不应大于 80m。
- 5.2.17 易燃液体和易燃制冷剂储罐，不应设置在 LNG 储罐围堰内。

6 计量及流量检测系统

6.1 设计规定

6.1.1 基本要求

- 6.1.1.1 计量系统的设计和安装应符合相应的法规和标准要求。
- 6.1.1.2 不论采用哪种物理原理确定天然气的体积和质量流量，都应保证所用方法具有溯源性和可靠性，并且满足气体流量测量的基本要求，如准确性、安全性和经济性准则。
- 6.1.1.3 天然气体积计量的标准参比条件为 293.15K 和 101.325kPa（绝对压力），也可采用设计要求的其他参比条件。
- 6.1.1.4 计量系统应在所规定的压力、温度范围内工作，同时也应考虑气流中的杂质和冷凝物对计量的影响。
- 6.1.1.5 天然气计量系统应设置紧急切断阀，在紧急情况时可以将液化工厂与上游管线安全隔离。

6.1.2 制冷剂流量监测

- 6.1.2.1 制冷剂循环应安装相应的流量监测仪表。
- 6.1.2.2 制冷剂流量监测仪表应能实时监测流经系统的制冷剂流量，从而掌握制冷剂循环系统的运行状况。
- 6.1.2.3 应在冷箱的进出口以及制冷剂压缩机每段的进口或者出口安装符合设计要求的流量监测仪表。

6.1.3 LNG 的流量监测

- 6.1.3.1 LNG 的装车系统中应进行流量监控，一般安装在装车泵的出口管路或接 LNG 槽车的进液管路上。
- 6.1.3.2 应能实时监控每个装车臂的 LNG 流量，控制装车的速度。

6.1.4 设计基本准则

- 6.1.4.1 不同等级计量系统及配套仪表应符合 GB/T 18603 的相关规定。
- 6.1.4.2 计量系统应设置旁通，以使计量系统故障时不影响液化工厂的正常运行。若计量系统为贸易计量，应设置备用计量设备。
- 6.1.4.3 计量系统的安装应避免脉流动和振动。
- 6.1.4.4 流量计应按照设备要求（流量计前后直管段要求）进行安装，在现场达不到要求时，应设

计稳流管。

6.1.4.5 计量管路应安装上下游截断阀。

6.1.4.6 计量管路中安装快速开关阀的地方或仪表入口阀压差超过 0.1MPa 的地方应安装一个小口径旁通，且旁通管路应由一个小阀慢速开启来控制。如果流量计安装有旁通，应能检查密封。

6.1.5 计量系统的设备

6.1.5.1 计量系统的设计能力应同时满足以下各参数的最大值和最小值：

- a) 体积流量或质量流量。
- b) 设计压力和工作压力。
- c) 工作温度和环境温度。
- d) 介质组成。

6.1.5.2 计量系统的主要配置如下：

- a) 控制流量、压力的设备。
- b) 体积流量或者质量流量的计量设备。
- c) 监视系统，如记录仪器和仪表等。
- d) 截断阀、管道、管件、衬垫和热绝缘等。
- e) 分离器、过滤器。
- f) 防雷及其他设备。

6.1.5.3 流量计的要求如下：

- a) 天然气常用流量计选型可参照 GB/T 18603 的相关规定。
- b) 孔板流量计应符合 GB/T 21446 的相关规定，超声波流量计应符合 GB/T 18604 的相关规定，也可以使用符合设计要求的其他流量计。
- c) 流量计的设计压力应满足可预见故障状态下的最大压力的要求。
- d) 流量计应在所有规定的压力、温度和流量范围内正常计量。

6.2 安装要求

6.2.1 基本规定

6.2.1.1 流量计及相关仪表的装卸、运输、存放和安装应满足设备制造商的要求。

6.2.1.2 所有仪表的安装都应确保其标示醒目。

6.2.1.3 计量开孔不宜用作其他用途。

6.2.2 流量计的安装

6.2.2.1 安装前的进出口端应设置保护。

6.2.2.2 流量计在管道上的安装应由管道设计确定是否设置支架（座）。

6.2.2.3 流量计的安装位置应易于拆卸更换。

6.2.2.4 过滤器应安装于流量计要求上游直管段外的管道上。

6.2.3 流量计系统中仪表的安装

6.2.3.1 温度计的安装应符合 GB/T 18603 的相关规定。

6.2.3.2 压力和压差变送器的安装应符合 GB/T 18603 的有关规定。

6.2.4 校准要求

可靠性与校准应符合 GB/T 18603 的相关规定。

6.3 试运行准备

- 6.3.1 天然气计量装置在试运行前应进行完整性检查，满足 GB 50251 的相关要求。
- 6.3.2 在试运行前应经过吹洗和试压，确保系统的残渣已清除。

7 天然气净化系统

7.1 基本规定

- 7.1.1 天然气净化系统设计应满足正常开工、停工及紧急事故处理的要求。
- 7.1.2 天然气净化系统各工艺装置应考虑调压计量和液化系统来进行整体设计。
- 7.1.3 工艺设备应满足装置设计的操作上限。
- 7.1.4 天然气净化系统的安全管理应符合 SY 6137 的有关规定。

7.2 净化指标

- 7.2.1 原料气的净化指标应符合表 1 的要求。

表 1 净化气最大允许杂质含量

杂质	含量极限
H ₂ O	≤1×10 ⁻⁶
CO ₂	≤50×10 ⁻⁶
H ₂ S	≤3.5 mg/m ³ （标况）
总含硫量	≤5 mg/m ³ （标况）
Hg	≤0.01 μg/m ³ （标况）
芳香烃类	≤10×10 ⁻⁶
C ₃ 以上重烃	< 50×10 ⁻⁶

- 7.2.2 净化后天然气的分析方法应符合 SY/T 6537 的有关规定。

7.3 设计要求

7.3.1 脱酸单元设计要求

- 7.3.1.1 脱酸单元设计的天然气中酸性气体的净化指标通常应满足 7.2.1 中的要求。
- 7.3.1.2 脱酸工艺方法及参数的选取原则应符合 SY/T 0011 的有关规定。
- 7.3.1.3 应根据工艺条件、材料的加工性能、焊接性能、制造工艺以及经济合理性等因素确定设备、管道的材料。如采用甲基—二乙醇胺（MDEA）溶液的脱酸工艺，材质的抗腐蚀能力应不低于表 2 中的选材。
- 7.3.1.4 压力容器受压元件材料的选取应符合 GB 150 的相关规定。
- 7.3.1.5 管道强度设计应满足 GB 50316 的有关规定。
- 7.3.1.6 设备、管道材料选用及防腐应符合 SY/T 0011—2007 中 6.3 的相关规定。
- 7.3.1.7 胺液溶剂在碳钢管线内的流速应符合 SY/T 0011—2007 中的 6.2.20 的要求。
- 7.3.1.8 应采用活性炭吸附和机械过滤器进行溶液过滤。

表 2 MDEA 溶液脱酸工艺中各设备和管道的材料选择

序号	位置或部件	材质	材料处理
1	吸收塔：塔体	碳钢	热处理
	内件	304 不锈钢	
2	再生塔：塔体	碳钢（复合板）	热处理
	内件	不锈钢	
3	塔顶冷凝器	不锈钢	
4	贫富液换热器	不锈钢	
5	再沸器	不锈钢	
6	闪蒸罐、回流罐	碳钢	热处理
7	贫富液管线	加厚碳钢管	
8	重沸器出口管线	不锈钢或碳钢	热处理

7.3.2 脱水、脱汞和脱重烃单元

- 7.3.2.1 水、汞和重烃的净化指标通常应满足 7.2.1 中的要求。
- 7.3.2.2 脱水设计应符合 SY/T 0076 的有关规定。
- 7.3.2.3 脱水干燥吸附器和脱汞吸附器应满足 GB 150 的设计要求，并对脱水干燥吸附剂进行应力和疲劳分析。
- 7.3.2.4 吸附器的气流分配及支撑结构应作校核设计。
- 7.3.2.5 脱水干燥吸附器和脱汞吸附器下游应设置过滤器，用于防止吸附剂粉尘逃逸进入冷箱系统。
- 7.3.2.6 天然气中的芳香烃含量高于 7.2.1 的要求时，应通过固体吸附或洗涤塔来脱除重烃。

7.4 建造要求

7.4.1 施工建造和检测评定要求

天然气净化系统的工艺设备和工艺管道安装施工及验收应符合 SY/T 0460 的有关规定。

7.4.2 验收前提条件

- 7.4.2.1 脱酸单元所有的机械工作应完成，所有涉及的系统都经安装/区域工程师书面确认通过。
- 7.4.2.2 电源已正常，设备位号、管道介质及流向标注完毕。
- 7.4.2.3 所有的动设备单机试车已完成。
- 7.4.2.4 塔器、容器和管道应进行压力试验和气密试验，已符合 GB 150 的相关要求。
- 7.4.2.5 塔器、容器和管道吹扫、清洁和试漏已符合 GB 150 的相关要求。
- 7.4.2.6 系统除油的化学清洗应按照试车方案进行，对吸收塔、再生塔及附属设备进行化学清洗。
- 7.4.2.7 系统吹扫完成后应安装过滤元件（包括活性碳的装填），过滤器封口并确认。
- 7.4.2.8 脱汞剂、脱水分子筛填充，检查分子筛填充密度应符合设计要求。
- 7.4.2.9 对所有开关阀进行功能试验，确认灵活可靠。
- 7.4.2.10 吸附干燥应进行逻辑控制试验。

8 冷箱系统

8.1 设计要求

- 8.1.1 冷箱的设计应符合 GB 150 和 GB/T 22724—2008 中 5.3 的相关规定。
- 8.1.2 冷箱内部换热器的结构设计，应能够实现两相流体在换热器内部通道间的均匀分布。
- 8.1.3 冷箱内部换热器设计参数应考虑试车、开车、停车、变负荷以及安装和维护等工况，确保冷箱的设计压力、设计温度、连接强度以及腐蚀裕度等满足要求。
- 8.1.4 冷箱夹层应设置超压泄放功能的呼吸阀及可燃气体探测装置。
- 8.1.5 冷箱换热器上应设置温度检测元件，以监测开停车过程中换热器的温度变化速度。
- 8.1.6 冷箱在进行运输和储存期间，冷箱内换热器和管道应填充干燥的氮气，避免水分和灰尘进入。
- 8.1.7 冷箱内部不应设置控制阀门和用于控制阀门的空气管线。
- 8.1.8 连接非受压元件和受压元件的焊缝应依据受压元件的许用应力设计。
- 8.1.9 换热器每层流道应能单独承受压力。

8.2 冷箱安装要求

- 8.2.1 冷箱的安装应符合 GB 50274 和 GB 50461 中的相关规定。
- 8.2.2 冷箱完成吊装后，应把内部管道及设备临时的支撑固定移除。
- 8.2.3 对于板翅式换热冷箱，其夹层应填充膨胀珍珠岩，膨胀珍珠岩性能和试验应符合 JC/T 1020 的要求。膨胀珍珠岩填充后，应保持其处于干燥状态，并保证夹层处于微正压状态。
- 8.2.4 冷箱允许装配公差应符合制造商的设计要求。
- 8.2.5 冷箱安装后的清洁方法及要求应符合制造商的设计要求。
- 8.2.6 换热器的管道入口处应设置过滤器，且应过滤直径大于 0.18mm 的颗粒杂质，防止换热器管束内进入杂质。
- 8.2.7 检查冷箱安全阀的动作是否灵活确保阀杆阀盖不被约束住。
- 8.2.8 冷箱在所有在用户现场应做的工作完成后，装填干燥的绝热材料膨胀珍珠岩。在绝热材料膨胀珍珠岩装填好后，冷箱内应充氮气至制造商的要求压力。
- 8.2.9 冷箱内换热器的各种流道应设置压力泄放装置。考虑换热器及其连接管道，泄放压力不应超过在冷箱换热器的各种流道的最大允许工作压力。
- 8.2.10 冷箱的排净口和放空口在与用户的汇集管路相连之间应设置有截止阀，如有需要还应设置止回阀，以防止出现冷箱的相关管路串通。
- 8.2.11 冷箱的外部管道与内部管路连接前应事先彻底清除颗粒杂质，如氧化皮或砂粒焊渣等。
- 8.2.12 在现场做冷箱内系统整体气密性试验时，应符合制造商提供的技术要求。气密性试验介质应为干燥无油的清洁空气或氮气，露点温度应在 -40°C 以下。

8.3 试运行和验收的前提条件

- 8.3.1 所有公用工程，如氮气，仪表风，电源应具备使用条件。
- 8.3.2 所有的仪表和阀门均应完成检验（回路检查，功能测试），且位于工作状态。
- 8.3.3 所有放空，排放阀均应关闭。
- 8.3.4 火炬系统应处于工作状态。
- 8.3.5 装置应完成氮气置换和干燥，氧气含量 $<1\%V$ ，水含量 $\leq 10\text{ppm}$ 。
- 8.3.6 净化系统处于正常运行状态，天然气的净化指标应符合 7.2 的要求。
- 8.3.7 LNG 储罐应具备接收 LNG 的条件。

8.3.8 制冷剂压缩机系统应完成调试。

8.3.9 消防系统应投入使用，且工作正常。

9 制冷系统

9.1 制冷系统的设计要求

9.1.1 制冷工艺选择

9.1.1.1 制冷工艺的确定应根据处理规模、投资费用和运行费用综合确定，对于生产型的天然气液化装置宜优先选择混合制冷剂液化工艺。

9.1.1.2 天然气的设计压力应根据原料气压力和运行费用与初投资来确定，提高压力降低制冷系统的负荷。原料气压力较低时，宜压缩到 4.5MPa 以上。

9.1.1.3 制冷压缩机通常有离心压缩机、往复压缩机和螺杆压缩机，应根据装置的处理规模、液化工艺以及检修频率来确定。液化装置处理规模较小宜选择往复压缩机，处理规模较大时宜选择离心压缩机，在处理规模较小，可以选择螺杆压缩机。

9.1.2 离心压缩机的选型要求

9.1.2.1 离心压缩机的设备设计和设备布置应符合 JB/T 6443 的相关规定。

9.1.2.2 离心压缩机组（包括辅助设备）应能在所有规定的工况和条件下工作。

9.1.2.3 离心压缩机组（包括辅助设备）的设计使用寿命和预期不间断连续操作时间应符合 JB/T 6443 的要求，通常按照设计使用寿命为 20 年、预期不间断连续操作为 5 年进行设计和制造。

9.1.2.4 对于离心压缩机，在喘振或排气压力受限的情况下，最大压力有可能超过排气管路、下游设备、压缩机密封或者压缩机壳体的最大设计压力时，应设置安全阀。

9.1.2.5 离心式压缩机配管设计应符合 GB 50160 和 SH 3012 中压缩机的管道布置相关要求。压缩机吸气和排气管道的布置应通过应力分析确定，使压缩机吸气和排气管嘴所受作用力和力矩，小于其允许值，并使其叠加的合力和合力矩亦小于其允许值。

9.1.2.6 包括所有辅机在内的所有设备，应适合于在买方规定的环境条件下工作。这些条件包括室内（有采暖或无采暖）或室外（有顶棚或没有顶棚）、最高和最低温度、异常湿度、含有粉尘及腐蚀情况等。

9.1.2.7 离心压缩机喘振系统设计应满足下列要求：

- a) 压缩机的吸入不应存在大的压力损失。
- b) 喘振安全操作线方程中所涉及的压缩机入口和出口压力均为绝对压力，如果压力测量采用的不是绝压变送器，则要考虑相对压力与绝对压力之间的转换。
- c) 应将原动机的停车装置与防喘振阀的打开设置为联锁，以使压缩机能在防喘振阀打开的情况下，靠惯性作用缓慢降低转速直至完全停车，防喘振阀的打开时间应满足能保证压缩机的安全。

9.1.3 往复式压缩机的选型

9.1.3.1 往复式压缩机组的设备设计和设备布置应符合 SH/T 3143 的相关规定。

9.1.3.2 往复式压缩机组的配管设计应符合 GB 50160 和 SH 3012 中有关压缩机的管道布置要求。压缩机吸入、排出管道的配置，应使管道的机械振动固有频率、压缩机的振动频率、气体管道的音响频率不相互重合，避免或减缓管系振动。

9.1.3.3 往复压缩机组（包括辅助设备）的设计使用寿命和预期不间断连续操作时间应符合 SH/T

3143 的要求，通常按照设计使用寿命为 20 年、预期不间断连续操作为 3 年进行设计和制造。

9.1.3.4 包括启动和停车在内所有规定的运行条件范围内，轴封应能阻止或防止工艺气体向大气泄漏或密封液体向工艺气体泄漏。

9.1.3.5 除另有规定外，压缩机、驱动机及其辅助设备应在规定的环境条件下适用于户外启动和连续操作。

9.1.3.6 应优先采用对称平衡或对置式压缩机，由恒速低转速电动机直联驱动。当采用变转速驱动机时，所有设备均应设计成能安全地运行到跳闸转速。卖方应向买方提供不安全转速和不希望的转速清单。

9.1.4 膨胀机系统选型

9.1.4.1 膨胀机组的设计和布置应符合 JB/T 6894 的相关规定。

9.1.4.2 膨胀机组（包括辅助设备）的设计使用寿命和预期不间断连续操作时间应符合 SH/T 3143 的要求，通常按照设计使用寿命为 20 年、预期不间断连续操作为 5 年进行设计和制造。

9.1.4.3 膨胀机组机械保证和性能保证应符合 JB/T 6443 的相关规定。

9.1.5 制冷压缩机配置

制冷压缩机的进、出口管线上应设置气液分离器、液位监测和凝液排放，在压缩机启动前应进行管线凝液的排放操作，确保压缩机安全运行。

9.1.6 制冷剂回收系统的设计要求

9.1.6.1 采用混合制冷剂工艺的液化装置应设置制冷剂回收储罐，对停车后的系统液态制冷剂进行回收，或接收正常生产过程中调节混合制冷剂组成时系统排出的液体制冷剂。采用氮气膨胀或天然气膨胀工艺的液化装置可不设置制冷剂回收储罐。

9.1.6.2 液化装置开车添加制冷剂过程中，应优先将制冷剂回收储罐内的制冷剂添加至系统中。

9.1.6.3 制冷剂回收储罐应设置增压系统，以满足将其重新添加至系统的要求。

9.2 制冷系统的安装要求

9.2.1 离心压缩机系统安装应满足 SH/T 3539 的要求。

9.2.2 往复式压缩机系统安装应满足 SH/T 3544 的要求。

9.2.3 制冷系统的膨胀机组的建造应满足 GB 50274 的相关要求。

9.2.4 联动调试应具备以下条件：

- a) 机组安装工作全部结束，符合技术文件和有关规范的规定，安装记录齐全。
- b) 管道安装完毕，各种管架安装应符合设计要求，管线试压吹扫完毕，气密试验合格，安全阀整定合格并打上铅封。
- c) 防腐、保温等工程应已基本完成。
- d) 公用工程应具备使用条件。
- e) 电气仪表安装和校验应完成，并已经调试合格。
- f) 现场道路畅通，环境整洁，安全、消防设施齐全、可靠。
- g) 联动调试方案已经批准。
- h) 工器具及安全防护用品备齐。
- i) 各种记录表格准备齐全。
- j) 检查阀门的开启状态，应符合联动调试方案的要求。

9.2.5 制冷系统联动调试主要有以下内容：

- a) 压缩机的密封气和润滑油系统的试运行。
- b) 冷却系统的试运行。
- c) 电动机单机试车。
- d) 空负荷试运转。
- e) 辅机设备和气体管道系统的吹扫。
- f) 以空气或氮气为介质的负荷试运转。
- g) 压缩机性能试验。

9.3 制冷剂储存系统要求

9.3.1 外购制冷剂要求

9.3.1.1 对于采用混合制冷剂液化工艺，应选择适合的制冷剂种类，制冷剂通常选择氮气、甲烷、乙烯、丙烷和异戊烷等，外购制冷剂应采购液态冷剂。对于采用氮气循环的液化工艺，宜采用工厂内自制氮气。

9.3.1.2 对于外购的工业制冷剂，其品质应满足表 3 的要求。当超过指标时应进行净化处理。

表 3 制冷剂中品质要求

检测项目	品质要求
C ₆ 以上重组分（摩尔分数），%	<1
二氧化碳含量（体积分数），10 ⁻⁶	<50
硫含量（体积分数），10 ⁻⁶	<10
水分（体积分数），10 ⁻⁶	<1
汞含量，μg/m ³	<1

9.3.2 储存要求

9.3.2.1 制冷剂储存应符合 GB/T 22724 的相关规定，烃类制冷剂一般常温压力储存，乙烯宜低温下储存。

9.3.2.2 对于丙烷储罐，在环境温度较低的地区应考虑储罐增压措施，防止储罐内压力过低无法补充。

9.3.2.3 对于乙烯等低温液态气体的存储，应采用隔热性能良好真空绝热储罐，以减少由于热传导造成的蒸发损失，并需考虑增压措施。

9.3.2.4 异戊烷储罐需设置储罐增压措施。

9.3.2.5 制冷剂储罐储存能力以大于 1.5 倍的首次制冷剂填充量为宜。

9.3.3 制冷剂补充和计量

9.3.3.1 对于混合制冷剂工艺而言，液态制冷剂应经过气化处理后添加至混合制冷剂压缩机入口缓冲罐中。通常采用汽化器或热气吹扫等方式。

9.3.3.2 补充过程中应对每种添加制冷剂进行计量。

9.3.3.3 补充过程中应注意压缩机入口压力、在线（或离线）混合制冷剂组分分析结果和冷箱的温度变化情况。

10 LNG 储存、装卸和 BOG 回收处理系统

10.1 基本规定

10.1.1 LNG 储罐容积应满足储存 5d 以上的生产量。

10.1.2 常压 LNG 储罐应配备 BOG 压缩机，回收储罐内的 BOG。

10.2 LNG 储罐

10.2.1 LNG 储罐应具有超压和负压保护功能。

10.2.2 储罐应具有良好的绝热性能，填充在内外罐部之间的保冷材料应考虑热胀冷缩。

10.2.3 储罐基础应满足以下要求：

- a) 储罐基础的抗震设计应符合工程地震安全性评价报告中的相关规定。
- b) 储罐基础应保证不均匀沉降低于储罐承台的允许值。

10.2.4 储罐应在合适的位置设置压力检测元件，压力检测应设置：

- a) 连续的压力测量。
- b) 独立的高高压力检测。
- c) 独立的低低压力（负压）检测。
- d) 在保冷层和内罐之间应设置压差检测或者在保冷层安装单独的压力检测。

10.2.5 储罐的操作压力和安全阀释放压力之间应考虑足够的余量，避免不必要的放空。

10.2.6 储罐应设置的真空保护系统应符合 SY/T 6711—2008 中 8.4.4 的要求。

10.2.7 储罐需配备的仪表应保证投运，操作及重新投运的安全。

10.2.8 储罐仪表系统至少包括液位、压力、温度，且应符合以下配置要求：

- a) 与安全相关的用于维持储罐重新试运行要求的仪表要有足够的冗余。
- b) 与安全功能（压力、液化天然气液位等）有关的检测仪表应与控制仪表独立配置。
- c) 应把测量数据传送到控制室。
- d) 报警信号应直接传送到中央控制室。

10.2.9 储罐的试验方法应符合 SY/T 6711—2008 中 8.9 的要求。

10.3 LNG 装卸系统

10.3.1 设计建造应符合 SY/T 6711—2008 中第 11 章的要求。

10.3.2 管道系统应设置放空短管和扫线头，用来置换工艺管道中的空气或其他气体。放空管线应接至工厂冷火炬系统，导淋管线应接至 LNG 回收集液罐。

10.3.3 装车泵宜采用内置潜液泵或外置式潜液泵。

10.3.4 装卸臂应符合 SY/T 6711—2008 中的 11.4 的要求。

10.3.5 装卸连接配置应符合 TSG R004—2009 中 6.13 的要求。

10.3.6 卸车泵应在装卸区及泵的位置设置停车控制。

10.3.7 装卸区应设置槽车静电接地设施和防静电球。

10.3.8 装卸区应设置可燃气体泄漏、火焰检测探头及自动干粉灭火器，不宜设置自动喷淋。

10.3.9 槽车外运的 LNG 宜采用地秤称重计量，且应定期校验。

10.4 BOG 回收处理系统

10.4.1 应设置 BOG 回收装置收集蒸发气。

10.4.2 BOG 回收压缩机应根据 BOG 气体的压力和沿程阻力选择常温压缩机和低温压缩机。

- 10.4.3 BOG 回收处理系统的材质应适用其所有工作范围下的温度和压力。
- 10.4.4 BOG 回收处理系统的低温管线的保温层厚度应与同样管径的低压液化天然气管线保温层厚度一致，蒸发气到火炬和放空系统的管线除外。
- 10.4.5 BOG 回收处理系统的设计应保证正常操作过程中的低温 BOG 不能直接释放大气中，也应防止空气进入 BOG 回收系统。
- 10.4.6 BOG 回收处理系统应具备收集储罐和装卸区中闪蒸出的 BOG 的能力，可考虑收集安全泄放系统排放的 BOG。
- 10.4.7 BOG 回收处理系统中可能出现负压的管道、工艺容器，设计中应考虑所承受的最大负压，或设计防止负压对设施造成损坏的措施。
- 10.4.8 BOG 压缩机应设置手动和自动停车，并能够实现工艺隔离，以便压缩机维修。
- 10.4.9 BOG 压缩机出口管线应设置止回阀，防止气体逆流。

11 管道系统

11.1 管道系统设计要求

- 11.1.1 管道系统的布置应符合 SY/T 0048—2009 中第 8 章的相关规定。
- 11.1.2 管道材料选用及强度设计应根据所输送介质的压力、温度及输送介质的特性等工艺条件，并结合环境和各种荷载条件进行选用和核算。
- 11.1.3 金属管道设计应满足 GB 50316 的要求，输送低压天然气的无缝金属管道应符合 GB/T 8163 的规定，焊接金属管道应符合 GB/T 9711 的相关规定。
- 11.1.4 对操作温度低于 -29℃ 的易燃液体或可燃气体管道系统和组件，应满足 GB/T 19204—2003 中附录 B 中的要求，同时应遵循 ASME B31.3 中的相关规定。工艺管道的材料也可根据设计温度和设计压力进行选择，可参考表 4 的材质选择。

表 4 低温条件下的推荐管道材质

压力	温度	管道材质	参考标准
设计压力 $p \geq 4.0$ MPa 的 GC1 类管道	设计温度 $> -20^{\circ}\text{C}$	20	GB 9948
	设计温度 $> -20^{\circ}\text{C}$	20G	GB 5310
	设计温度 $> -40^{\circ}\text{C}$	16MnDG	GB 6479
	设计温度 $> -196^{\circ}\text{C}$	304, 304L	GB/T 14976
设计压力 $p < 4.0$ MPa 的管道	设计温度 $> -20^{\circ}\text{C}$	20	GB/T 8163
	设计温度 $> -20^{\circ}\text{C}$	20	GB 9948
	设计温度 $> -20^{\circ}\text{C}$	20G	GB 5310
	设计温度 $> -40^{\circ}\text{C}$	16MnDG	GB 6479
	设计温度 $> -196^{\circ}\text{C}$	304, 304L	GB/T 14976

- 11.1.5 两种材料管道采用焊接连接时，应选用材质相同或相近的管材。
- 11.1.6 工艺管道用管道附件的材质严禁使用铸铁件，应采用锻钢、钢板、无缝钢管或焊接钢管制作。
- 11.1.7 对于酸性环境中设备和工艺管道用钢管、管道附件的选材应符合 SY/T 0599 的规定。
- 11.1.8 管道系统和组件的设计还应符合 GB/T 20368—2012 中第 8 章的规定。

11.1.9 管道系统和组件设计应考虑所承受的热循环引起的疲劳影响，管道之间的连接也应考虑温度变化引起的收缩和膨胀。

11.2 管道系统的建造要求

11.2.1 施工及验收要求

工艺管道的施工及验收应符合 GB 50184 的规定，低温管道的施工及验收应符合 GB/T 22724 的相关要求。

11.2.2 管道的置换要求

11.2.2.1 应使用惰性气体置换出管道内的空气或其他气体，氧气含量低于 1%，水露点低于 -40°C 。

11.2.2.2 应设计放空短管和扫线接头，以利于置换所有工艺和可燃气体。

11.2.2.3 置换过程中含有可燃气体的混合气体应排至火炬，不含可燃气体的混合气体应排至放空短管，残液应进液体回收系统。

11.3 安全阀

11.3.1 安全阀的设置与选型应符合使用环境的压力、温度、介质要求，尤其要适应事故工况的要求。

11.3.2 安全阀的设置应符合 GB/T 20368—2012 中 9.8 和 GB/T 22724—2008 中 6.6 的相关规定。

11.4 绝热与防腐

11.4.1 绝热

11.4.1.1 管道系统的绝热包括保温和保冷，设计应符合 GB/T 22724—2008 中 9.5 的规定。

11.4.1.2 在可能发生火灾区域使用的管道绝热材料应具有阻燃性，并且在紧急状况下，如暴露在火焰、热、冷和水中，其绝热和阻燃性稳定。

11.4.1.3 应避免使用可能吸附甲烷气体的多孔绝热材料。

11.4.1.4 液化厂设备及管道绝热工程施工还应符合 GB 50126 的规定。

11.4.2 防腐

11.4.2.1 管道系统设计应考虑电化学腐蚀和应力腐蚀，并应根据操作条件及输送介质特点，确定合适的腐蚀余量。

11.4.2.2 对存在腐蚀危险的管道系统采取具体措施，如阴极保护及防腐涂层。

11.4.2.3 不应使用对管道或管道组件有腐蚀性的扎带和包装材料，如果绝热材料会引起铝或不锈钢腐蚀，应使用缓蚀剂或防水层。

11.4.2.4 对管道系统中可能存在严重的腐蚀的部位宜进行腐蚀监测。

11.4.2.5 管道系统的防腐设计应符合 GB/T 20368—2012 中第 9 章的规定。

12 仪表和控制系统

12.1 基本规定

12.1.1 控制系统，应具有以下功能：

- 监控天然气处理流程和其他辅助系统。
- 及时获知危险事故的发生。

监控工厂安全。

——监视人员进出。

——在正常和异常工况下实现工厂内及工厂外的信息交换。

12.1.2 这些功能将通过如下系统来实现：

——过程控制系统。

安全控制系统。

——出入口控制系统和防入侵系统。

——内部和外部通信网络。

12.1.3 安全控制系统应与其他系统独立设置。

12.1.4 应设置中央控制室：

a) 中央控制室应包括过程控制系统和安全控制系统的操作站、工程师站、辅助操作台、机柜等，并在中央控制室内能够监视、控制、管理整个工厂生产过程中的全部实时信息与数据，并可以将有关数据进行显示、报警、控制、联锁、报表、存储、记录和打印。

b) 中央控制室的设计应符合 HG/T 20508 的有关规定。

12.2 过程控制系统

12.2.1 基本要求

12.2.1.1 过程控制系统应能向操作员提供整个工厂的实时运行信息，并允许操作员进行生产操作，保证工艺流程安全稳定地运行。

12.2.1.2 过程控制系统宜为某些成套设备设置一套独立的工艺关断（PSD）系统（如 BOG 压缩机系统等）。

12.2.1.3 工艺参数异常可引发一组设备的 PSD，此关断应在过程控制系统或安全控制系统中触发。

12.2.2 过程控制系统设计要求

12.2.2.1 过程控制系统应具有高可靠性，且应采用故障安全设计。

12.2.2.2 过程控制系统的部件故障不应导致危险发生。

12.2.2.3 为了减小系统部件故障引起的系统不良影响，应做以下工作：

——将具有相同功能的过程设备分配到不同处理模块上。

——对现场或全厂的共模故障导致的后果进行分析。

——采用具有高可靠性的数据传输路径。

——信息处理量和 I/O 模块应具有一定的备用空间，满足工厂全负荷运行时的需要。同时应考虑在现场留有备件。

12.2.2.4 验收程序应包括对故障和失效模式下过程控制系统的安全运行进行确认。

12.2.2.5 在紧急或故障状态下，远程控制设备应能够就地停车。

12.2.2.6 过程控制系统应显示、存储和/或打印与过程设备安全、高效生产相关的所有信息。为分析事故原因，系统应区分并储存事故期间的所有信息及事故前后的所有操作。

12.2.2.7 过程控制系统应提供工厂运行所需关键电气设备返回的运行信息。

12.2.2.8 过程控制系统应为操作员高效安全地操作提供最优的数据量，事故发生或状态突变时，应尽量避免报警信号的过载。

12.3 安全控制系统

12.3.1 基本要求

12.3.1.1 安全控制系统应能检测危险，并减轻危险后果，应至少具有以下功能：

- 可燃气体探测（LNG、制冷剂气体、天然气）。
- 泄漏探测。
- 火灾探测。
- 通过安全控制系统的集中控制系统或现场控制盘触发紧急关断。
- 监视、启动和控制安全设施。
- 监视和控制必要的参数确保系统的安全模式下插装。

12.3.1.2 安全控制系统的所有修改应符合安全管理体系。

12.3.2 紧急关断（ESD）与安全功能

12.3.2.1 ESD 动作应触发设备停车，触发 ESD 阀门动作并处于故障安全位置，以减小产品的损失。

12.3.2.2 所有的 ESD 动作都应通过安全控制系统来触发。当火灾和/或气体探测系统探测到火气危险时，系统自动触发 ESD 动作，也可通过现场的 ESD 控制盘或中控室控制盘触发。ESD 动作不应导致新的危险发生和机械设备的损坏。

12.3.2.3 已执行的 ESD 动作信号应被传送到过程控制系统，且 ESD 动作应优先于过程控制作用。过程控制系统应自动保持此安全状态，防止 ESD 复位时可能产生的不必要的设备或阀门操作。

12.3.2.4 风险评估报告的结论应用于安全控制系统设计；应对探头或传感器的类型、数量、位置和冗余度设置进行研究，以快速准确地检测到危险事故；应根据危险评估报告要求编写系统规格书；应根据风险评估报告和危险与操作性分析要求来设计因果图。

12.3.2.5 ESD 设计原则为减小烃类流体的释放，减小任何危险事故的扩散。

12.3.2.6 通常对工厂进行火区和子火区的划分，通过 ESD 动作来限制火势的蔓延和发展。

12.3.2.7 ESD 阀可以控制子火区的火情。ESD 阀应能隔离子火区，阻止烃类流体从子火区中释放，阻止烃类流体流入火区而加剧火势。

12.3.2.8 ESD 阀隔离后应对子火区进行泄压，以减小由于火势强度和持续时间可能造成的容器故障或结构损伤的隐性危险。

12.3.2.9 在子火区中使用 ESD 阀，可以减小下游设备或管道故障导致的危险物质从容器中泄漏的危险。

12.3.2.10 ESD 系统通常为危险事故提供层次性的响应。

12.3.2.11 在天然气液化工厂中，典型的 ESD 级别如下：

- ESD1：全厂关断。导致全厂关断的原因应是诸如地震、重大火灾、重大 LNG 泄漏、极端气象环境等外部原因，需全厂人员撤离，并在中控室内设置紧急关断按钮，必要时触发。
- ESD2：火灾或可燃气体泄漏关断。该级关断由装置区、罐区等火灾或可燃气体严重泄漏引起。可由操作员观察到火情后手动启动，也可由火气控制逻辑自动启动。ESD2 级关断将引起 ESD3 级、ESD4 级关断。
- ESD3：生产/公用系统关断。该级关断由主电源、仪表风、热介质等公用系统故障或生产系统的重要环节故障引起，可手动和自动启动，ESD3 级关断将引起 ESD4 级关断。
- ESD4：单元关断。由单个设备故障引起的关断。此关断仅关断故障设备本身，而不影响其他设备的正常操作。ESD4 级关断可手动/自动启动。

12.3.3 系统能力

12.3.3.1 安全控制系统应能：

- 自动触发 ESD 动作。若设置 ESD 系统的手动启动功能，应经过风险评估的论证并通过专业机构的认可。
- 在合适的位置自动启动必要的保护设施。
- 通知过程控制系统 ESD 动作。
- 控制应急预案中定义的可视化和应急语音通信设备（如报警器）。
- 打开应急通道供员工撤离（如在应急预案中设置）。

12.3.3.2 安全完整性等级（SIL）要求如下：

- 安全完整性等级（SIL）是用来规定分配给安全相关系统安全功能的安全完整性要求。
- 安全控制系统的设计和操作应与 EN 61508-1 中的要求一致，应对 SIL 进行分析和评估，SIL 设计应与工厂的安全等级要求保持一致。
- ESD 处理器应采用 SIL3 或更高等级。

12.3.4 火灾与可燃气体探测系统（FGS）

12.3.4.1 为了能够快速探测火灾和气体泄漏事故，液化工厂应配备完整的火气探测和报警系统。

12.3.4.2 火气探测和报警系统的配置应根据工厂火灾区域划分及火灾和气体泄漏类型的不同进行布置。系统的安装应便于日常维修和检测，信息能够直接传入中央控制室，从而能保证快速启动消防及应急响应措施。

12.3.4.3 火气探测和报警系统的安装和布置应符合 GB 50116 和 GB 50183 的规定。

12.3.4.4 在火灾危险区域内的建筑物的进出口、工艺区的主要通道处和码头的逃生通道处应安装手动火灾报警器，两个手动报警器的距离不应超过 30m。手动报警器应该采取敲碎玻璃和按下按钮双启动方式。

12.4 出入口控制系统

12.4.1 车辆和人员进入工厂界区的出入口应通过不同权限的关卡进行控制。至少应设两个出入口，以便消防及应急车辆的出入。

12.4.2 应根据工厂的规模的大小，能够对储存、管输、加工气体的工艺区进行出入控制。这种控制可以仅限于工艺区，也可扩展到更宽的区域。出入控制可通过门卫或物理设施（锁、电磁报警器等）实现。

12.5 防入侵系统

LNG 工厂周围应设置围墙，并应设有防入侵探测系统。

12.6 闭路电视系统（CCTV）

工厂应设置一套 CCTV，对工艺装置区和可能存在危险的出入口进行监视。

12.7 通信网络

工厂内部通信网络应区分操作信息（过程控制系统中的）和安全信息（安全控制系统中的）。应保证内部网络安全，不受外部网络的攻击。

12.8 环境监控系统

应对工厂的排放情况进行实时监测。

13 电气系统

13.1 基本规定

13.1.1 供配电系统的设计应符合 GB 50052 的相关规定。

13.1.2 35kV 及以上的变配电所应符合 GB 50059 的相关规定，10kV 及以下的变配电所应符合 GB 50053 的相关规定。

13.1.3 对于新建、扩建和改建工程的电力设计应符合 GB 50058 的相关规定。

13.1.4 根据 GB 50058 所定义的爆炸性气体环境危险区域，在该区域的电气设备、仪表设备及装置应符合 GB 3836 的相关规定。

13.1.5 电气设备还应符合 GB/T 20368 中的相关规定。

13.2 供电要求

13.2.1 基本要求：供电系统应满足其负荷等级的要求，具体负荷等级分类可参见 GB 50052 中的规定。

13.2.2 供电电源应符合下列要求：

- a) 一级负荷的供电应有两个独立电源供电，当一个电源发生故障时，另一个电源不应同时受到破坏，电源供电线路的负荷能力应与总变配电所变压器容量相适应；总变配电所高压侧宜设置备用电源自动投入装置。
- b) 二级负荷的供电措施宜有两回线路供电，当取得两回线路有困难时，允许由一回 10kV 及以上专用架空线路供电；由两回线路供电且母线分段运行的二级负荷总变配电所，在技术经济合理时，可设电源自动切换装置。

13.2.3 供电电压等级应根据天然气液化厂的用电容量，结合当地供电条件综合考虑确定，并应符合下列要求：

- a) 供电电压宜为 35kV。当天然气液化厂距地区变电所或发电厂较近、用电负荷较小或有明显经济效益时，可选用 10kV 电压供电。配电电压宜为 10kV，380V/220V。
- b) 当电源电压为 35kV 时，若天然气液化工厂全部为 380V 低压负荷，可选用 35kV/0.4kV 变压器供液化厂用电。

13.2.4 变配电站负荷设计应满足下列要求：

- a) 当总变电所电源进线为两回路时，宜采用两台变压器。每台变压器容量应能承担全部计算负荷的 70%~80%，且应保证全部一级负荷及二级负荷用电。
- b) 当变配电所电源进线为两回路时，宜采用两台变压器。每台变压器容量应能承担全部计算负荷的 70%~80%，且应保证全部一级负荷及二级负荷用电。

13.2.5 对特别重要的负荷，如自动控制系统、通信系统、应急照明及需要连续供电的工艺设备等负荷，应设应急电源装置确保供电，并严禁将其他负荷接入应急供电系统。

13.2.6 应急电源装置的容量应能满足连接于本系统的全部设备在应急情况下运行的额定值。可根据允许中断电源的时间分别选择下列应急电源：

- a) 蓄电池静止型不间断供电装置（UPS）。
- b) 带有自动投入装置的外引独立电源。
- c) 独立于正常电源的快速自启动发电机组。

13.2.7 电动机启动应符合下列要求：

- a) 电动机宜采用直接启动，当电动机容量较大，影响变压器容量或母线电压时，可采用降压启动；对有调速要求的交流电动机，可采用变频驱动。

- b) 电动机可不设自启动装置，对于处理能力较大的天然气液化厂，电动机可设置自启动。

13.3 布置

13.3.1 变配电所应布置在有利于高压架空线、电缆线进入的厂区边部，宜靠近负荷中心。

13.3.2 变配电所不宜布置在有强烈震动及有爆炸性危险场所附近，应远离散发水雾、蒸汽、粉尘、腐蚀性气体的场所；并布置在易泄漏、散发液化烃及较重的可燃气体、腐蚀性气体和粉尘的生产、储存设施的全年最小频率风向的下风侧。

13.3.3 变配电所区域布置还应符合 GB 50183 中关于石油天然气站场总平面布置的规定。

13.3.4 配电线路应采用电缆，厂外配电线路宜采用架空线路。电缆敷设宜采用电缆桥架的敷设方式，桥架的安装应尽量利用工艺管架；无工艺管架或无其他支架可利用时，也可采用其他敷设方式。

13.4 接地和屏蔽

13.4.1 所有电气设备的不带电金属外壳及工艺要求接地的设备均应可靠接地。

13.4.2 在生产储运过程中会产生静电积累的管道、容器、储罐和设备设施均应作静电接地。

13.4.3 槽车装卸区应配备防静电接地保护装置。

13.4.4 接地系统设计应符合 GB/T 50065—2011 的规定。

13.5 防雷保护

13.5.1 厂区内各建筑物和构筑物应符合 GB 50057 及当地的规定设置防雷保护系统。

13.5.2 生产、储运 LNG 的设备设施防雷装置设计应负荷 GB 15599 的规定。

13.6 照明

13.6.1 天然气液化厂内建（构）筑物的照明应满足 GB 50034 的要求。

13.6.2 一级负荷天然气液化厂的主要生产装置和重要建筑物的正常照明配电，应分别引自两段母线。

13.6.3 天然气液化厂在正常照明发生故障时，对可能引起操作紊乱而发生危险的地点应设应急照明，应急照明还应确保发生紧急情况时人员的安全撤离。照明灯具应为自充电型，照明的持续时间不应小于 30min。主要工作面上的照度应能维持原有正常照明照度的 10%。

13.6.4 储罐及其他高架结构应根据航空及航海安全规则配备航空警告信号灯。

14 危害管理

14.1 本质安全

14.1.1 最小安全间距规定应符合以下要求：

- a) 安全间距计算应考虑可能的火焰辐射水平和气体扩散区域，允许辐射水平应符合 EN 1473：2007 中附录 A 的规定。
- b) LNG 槽车、工艺装置、控制室等安全距离应符合 GB/T 20368 的相关规定。

14.1.2 平面布置图除符合 5.2 的规定外，还应满足以下要求：

- a) 所有可能对人员造成伤害的区域，应提供疏散通道。
- b) 疏散通道应使人员根据直觉反应从高风险区域进入低风险区域，且设计时应考虑在一些紧急情况下可能出现的恐慌。
- c) 应考虑 LNG 溢出形成“烟雾”是由大气湿度冷凝形成的。

14.1.3 封闭或部分封闭区域应尽可能避免：

- a) 气体和 LNG 管路布置不应位于封闭的管涵内，且尽量避免公路桥跨越管路。
- b) 升高槽车的基础板空间（如有），应足够高，可使空气循环。
- c) 如使用电缆管道，应使用压实的砂子填入，且使用平的板层覆盖，具有通风孔，以降低可燃气体通过砂子的空隙进入管道的可能性。随着砂子沉降，板层将下沉，可通过加入砂子将其恢复到原标高。

14.1.4 工厂内阀门和设备应具有方便操作性。

14.1.5 工厂内应设置所需的安全出入口、通道、楼梯/梯子和平台。

14.1.6 道路系统应可为消防车以及其他的应急响应车辆提供直接通道。

14.1.7 依据划分区域，选择合适的电气部件，应满足以下要求：

- a) 安装在危险区域的电气设备质量应符合 GB 3836 的相关规定。
- b) 应仔细检查每个部件所需证书。

14.1.8 溢出收集系统，其泄漏程度和范围限制应通过如下实现：

- a) 限制意外泄漏量。
- b) 将这些泄漏限制在设置的蓄水装置和泄漏收集区内，防止其扩散到工厂的其他区域，或者是工厂边界外，且减少蒸汽云扩散距离。
- c) LNG 溢出物在收集系统内时，设置装置去除雨水，不能使其进入排水或其他水路中。
- d) 控制泄漏和溢出。
- e) 如扩散数据计算表明，泄漏可导致更严重的事件，设置泄漏检测系统，采取报告或执行动作停止泄漏源，需要隔离工厂部分区域且关闭点火源。
- f) 收集池的设计应满足可燃液体不应进入地表水排水系统。应提供检测装置和方法，控制蒸发率。
- g) 不可使用依赖于水和 LNG 的密度差异的分离系统。
- h) 对于工艺区，溢出收集系统或蓄水池容量应至少为最大设备容积和通过本项目排泄的相关管道和其他设备的总液体流量的 110%。

14.2 被动防火保护

14.2.1 防火

14.2.1.1 应使用防火装置保护设备，设备通常包括：ESD 阀门、安全控制的关键设备、装有大量液态烃的装置和结构支撑，这些设备失效将使意外事件升级和/或危害应急响应人员的活动。

14.2.1.2 防火设置应在危害事件的期间内提供保护，但是至少应提供 90min 保护。

14.2.1.3 对于压力装置应提供绝热或喷水形式的防护，防止这些设备的阀门故障且释放过热液体。

14.2.1.4 对于持续时间较长的意外事件，绝热可能不能起到防护作用，这时应设置喷水系统。

14.2.1.5 用于构筑物防火的喷水系统和绝热设置计算应按照出现最高辐射当量液体进行计算。

14.2.1.6 防火可通过：

- 预制或喷射混凝土。
- 由矿物纤维、陶瓷、硅酸钙或泡沫玻璃制成的绝缘材料。
- 发泡涂层。

14.2.1.7 防火设施的设计和施工应按照相应标准。

14.2.2 脆化保护

14.2.2.1 应评估低温液体溢出对相邻工厂、设备和结构钢的影响，应通过选用合适的施工材料或脆化保护等措施，防止事件升级和应急响应人员受到危害。

14.2.2.2 脆化保护应通过选用适当的材料（混凝土、不锈钢等）实现，或通过材料绝缘，即防护设备和结构支架受到冷冲击。绝缘设计和安装应依据适当的标准且做好外部表面磨损的防护工作。

14.2.2.3 设备和结构支撑件的保护应实现在工厂运行过程中，其功能和形式不会受到影响。

14.3 主动防火保护

14.3.1 主动保护

主动保护应包括：

- 消防水管道，带消防栓和监控器。
- 喷淋系统。
- 水幕。
- 泡沫发生器。
- 固定式干粉系统。
- 便携式/可移动灭火器。
- 消防车辆。

14.3.2 消防系统

14.3.2.1 在火灾情况下，应使用水对储罐、设备和火焰冲击或火灾中受到热辐射的结构进行冷却，降低火灾升级和设备裂化的风险。

14.3.2.2 应设置地表水和消防水排放系统以及 LNG 溢出收集系统，降低消防水导致溢出的 LNG 蒸发率增加的可能性。

14.3.2.3 应至少配备两台消防泵，分别以柴油和电力为动力。

14.3.2.4 消防水管网应围绕工厂所有区域布置，供水管道应多点接入管网，防止管网某一段维护或损坏时，其他部分的供水中断。

14.3.2.5 应通过管道补压泵或高位水槽来保证所有消防水管网包括消火栓的水压。

14.3.2.6 应采取特殊措施（如伴热）来避免管网冻结。

14.3.2.7 LNG 工厂（特别是集液池）应配备排水系统。

14.3.3 喷淋系统

14.3.3.1 设备冷却的重要程度以及需要的水量应取决于危害分析。

14.3.3.2 喷淋水量计算应以各种事故情况下设备受到的热辐射量计算，防止设备表面温度超过设计值。

14.3.4 泡沫发生器

14.3.4.1 LNG 发生泄漏及燃烧后，可使用消防泡沫减少火灾所产生的热辐射及降低 LNG 气化率。

14.3.4.2 泡沫发生器应针对火灾情况进行设计，系统设计应防止水直接进入拦蓄区。

14.3.4.3 使用的泡沫应为干粉兼容型，且经过验证。

14.3.4.4 集液池和拦蓄区应配备固定式泡沫发生器，且能够快速反应和远程激活。

14.3.4.5 考虑到泡沫发生器可能故障以及火灾时泡沫的破坏率，LNG 集液池或拦蓄区的泡沫量应考虑风力作用而产生泡沫损失的风险，宜在集液池或周边安装泡沫发生装置。

14.3.4.6 泡沫剂应存储在阴凉干燥处，并在可能发生火灾的区域外。泡沫剂存储量（ Q ）应至少等于以下数量之和 [见公式（1）和公式（2）]：

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \dots\dots\dots (1)$$

其中：

$$Q_1 = T \cdot R \cdot S \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- T——泡沫发生器持续工作时间（上限为 48h），单位为小时（h）；
- R——泡沫剂破坏率（参考 R=0.11m/h），单位为小时每米（m/h）；
- S——覆盖的最大面积，单位为平方米（m²）；
- Q₁——火灾过程中泡沫消耗量，单位为立方米每小时（m³/h）；
- Q₂——泡沫系统定期检测需要的量，单位为立方米（m³），如无其他依据，可按照泡沫溶剂最大流量运行 15min 来确定该数量；
- Q₃——第一层堆积需要的数量单位为立方米（m³）。

14.3.4.7 便携式泡沫发生设备应配备软管，以接到需防护的最远位置。

14.3.5 干粉灭火系统

- 14.3.5.1 干粉灭火系统 GB 50183-2004 中 10.4.7 的规定。
- 14.3.5.2 宜选用干粉作为灭火剂。
- 14.3.5.3 为 LNG 集液池灭火时，干粉应喷洒在液体表面上，不应让干粉撞击液体表面或与其混合。
- 14.3.5.4 为达到熄灭 LNG 火焰的最佳效果，应立即遮盖火焰整体区域。
- 14.3.5.5 宜备足量的干粉，以将重新燃起的火灾快速扑灭。
- 14.3.5.6 干粉系统应安装在 LNG 工厂可能发生 LNG 和可燃介质泄漏位置附近，通常安置如下位置：
 - 装载/卸载区域。
 - LNG 泵。
 - 储罐顶部的安全阀。

14.4 安保

- 14.4.1 液化工厂应设有门卫室，并 24h 值班。
- 14.4.2 液化工厂内、装置区域间，应留有足够的火灾逃生通道。
- 14.4.3 厂内人员应急与防护应符合 GB 50183 中的要求。
- 14.4.4 液化工厂应按国家和行业要求，编制应急预案，并报当地相关部门备案。

参 考 文 献

- [1] HG/T 21608—2012 液体装卸臂工程技术要求
 - [2] EN 61508-1 电气/电子/可编程电子安全相关系统的功能安全 第1部分：一般要求
-

中华人民共和国
石油天然气行业标准
天然气液化工厂设计建造和运行规范
第 1 部分：设计建造
SY/T 6933.1—2013

石油工业出版社出版
(北京安定门外安华里二区一号楼)
北京中石油彩色印刷有限责任公司排版印刷
新华书店北京发行所发行

880×1230 毫米 16 开本 2 印张 55 千字 印 1—600
2014 年 2 月北京第 1 版 2014 年 2 月北京第 1 次印刷
书号：155021·7116 定价：24.00 元
版权专有 不得翻印