

LNG 接收站外输管道首站设计理念研究

徐亭亭（山东莱克工程设计有限公司，山东 东营 257000）

摘要：结合某 LNG 外输管道工程实例分析，合理的确定 LNG 接收站及外输管道工程的设计理念，统一设计方法，对于后期 LNG 接收站外输管道首站的建设、顺利通过政府压力容器监管以及后期安全运行具有重要的意义。

关键词：设计理念；GA/GC 标准；安全分析；推荐方案

中图分类号：TE832

文献标识码：A

文章编号：1674-5167（2025）012-0118-03

Research on Design Concepts for the Initial Station of LNG Terminal Export Pipelines

XU Tingting (Shandong Lake Engineering Design Co., Ltd., Dongying Shandong 257000, China)

Abstract: Through the analysis of a specific LNG export pipeline project case, this study rationally defines the design concepts and establishes a unified design methodology for LNG terminals and export pipelines. These efforts hold significant implications for the subsequent construction of the initial station of LNG terminal export pipelines, compliance with governmental pressure vessel regulations, and long-term operational safety.

Keywords: Design concepts; GA/GC standards; safety analysis; recommended solutions

1 研究背景

LNG 接收站外输管道首站（简称“首站”）是连接 LNG 接收站和外输管道的枢纽站，通常具有清管发球、站场放空等功能。在我国的 LNG 接收站工程中，首站的工艺设施、仪表及电气设备通常设置在 LNG 接收站内。根据接收站与外输管道界面的不同，首站既可与接收站设计理念保持一致，按照 GC 标准，实行等压设计，与管道界面在首站出站 ESD 阀外，也可与 LNG 接收站外输管道设计理念一致，按照 GA 标准，实行不等压设计，与管道界面在首站进站 ESD 阀外。不同的设计理念，造成首站工艺流程、设备、管材等选型也存有差异，对政府压力监检部门的验收也有一定的影响。

1.1 遵循的标准规范

接收站设计主要遵循 GC 类管道设计标准，主要规范有 GB 51156《液化天然气接收站工程设计规范》、GB/T 51257《液化天然气低温管道设计规范》、GB/T 20801《压力管道规范 工业管道》、GB/T 150《压力容器》等；外输管道设计主要遵循 GA 类管道，主要有 GB 50251《输气管道工程设计规范》、GB/T 9711《石油天然气工业管线输送用钢管》。

1.2 工艺流程

接收站外输总管内的 LNG 经高压泵再次增压后，经过气化器换热变为气态天然气（NG），天然气经过调压计量后通过首站外输至下游长输管道。经梳理，工艺流程差异主要体现在放空设置及发球筒流程设计上。

1.3 设备材料选型

由于执行标准和设计理念的不同，工艺流程中，

压力分界点设置位置不同，造成设备管材选型不同。

首站管材选择与设计温度有关。当首站按照 GC 类标准设计时，汽化器后的最低设计温度为 -45℃，故选用低温碳钢；当首站按照 GA 类标准设计时，考虑天然气交接温度大于 0℃，最低设计温度通常大于 -20℃，故选用普通管线钢。

2 不同设计理念优缺点对比分析

2.1 安全分析

根据对不同项目调研，LNG 外输管道设计压力通常根据管输系统确定，约在 8-10MPa，LNG 接收站设计压力通常根据高压泵出口最大关闭压力确定，常见范围在 12-16MPa 之间。两个系统之间设计压力相差 4-6MPa。下面针对首站出站 ESD 阀门关闭进行安全分析。

2.1.1 首站等压设计安全分析

接收站与首站实行等压设计，压力分界点设置在首站出站 ESD 阀门处。当首站出站阀门误关断时，造成 LNG 高压泵通过量为 0，高压泵瞬间达到关死点扬程，即达到接收站的设计压力，在高压泵与首站出站 ESD 阀门之间设置的一系列阀门（接收站汽化器前调节阀、出站 ESD 阀，首站进站 ESD 阀）还未动作时（ESD 阀门关闭需要约 30-40s），高压气体会在 2-3s 时间充满到首站，但由于首站与接收站设计压力一致，故不会出现超压工况。此工况下，站场是安全的。

2.1.2 首站不等压设计安全分析

接收站与首站实行不等压设计，压力分界点设置在首站进站 ESD 阀门处。当首站出站阀门误关断时，一旦首站出站 ESD 阀门动作，则连锁关闭首站进站

ESD 阀门，同时，出站 ESD 阀门关闭时间较进站 ESD 阀门关闭时间延长约 30s。进而避免接收站高压泵达到关死点扬程时，高压气体进入首站内。

按照 GC 标准，根据 GB/T 20801.6《压力管道规范 工业管道 安全防护》，4.1.4 节，a) 设计压力小于外部压力源，出口可能被关断或堵塞的设备和管道系统应设置安全泄放系统。首站不等压设计时，需在低压侧设置安全泄放装置。

按照 GA 标准，根据 GB50251《输气管道工程设计规范》8.4.3 节，当上游最大操作压力大于下游最大操作压力 1.6MPa 以上，1) 每一回路串联安装 2 台安全截断设备。LNG 接收站出站、首站进站分别设置 ESD 阀门，首站可不设置安全泄放装置。

综上，按照 GC 设计，安全标准要求较高，或等压设计或设置安全泄放装置，按照 GA 类设计，要求相对简单。

2.2 经济分析

首站采用等压设计，需要增加发球筒、阀门、管材等压力等级，增加初始投资。采用不等压设计，首站与外输管道设计压力一致，投资相对减少。同时，当压力等级达到 Class1500 时，对于阀门、管径、发球筒等设施的采购有一定的难度，国内相应供货商业绩基本没有。

2.3 政府对压力管道监管分析

政府压力监管部门对于接收站按照 GC 类进行监管，对于长输管道按照 GA 类监管，但由于首站属于“站中站”，可能会由于监管部门理解不同，会要求按照 GC 类设计首站，此时，会造成现场按照 GA 类采购的设备不能安装，需要重新进行采办和施工，影响工期进度。对于监管部门如何要求，需要建设初期，与其达成一致意见。

2.4 工程运行分析

首站采取等压设计，首站与接收站各类操作相对简单，若采取不等压设计，运行过程中，要注意首站进出站 ESD 阀门之间的连锁关系。

3 工程实例分析

本文以某 LNG 外输管道设计方案进行工程分析。

3.1 工程分界

首站与 LNG 接收站来气管线的分界点为首站铁艺围墙外 2m，分别为一期 DN750 来气管线和二期 DN1000 来气管线 2 处。首站接管规格及材质与接收站保持一致，设计压力为 16.0MPa，首站进站第一道 ESD 阀门后设计压力为 10.0MPa。

首站放空系统利用 LNG 接收站目前设置的 2 台地面火炬，首站与 LNG 接收站放空管线分界点为首站铁艺围墙外 2m，设计压力为 10.0MPa。

3.2 设计方案

首站在 LNG 接收站内建设，下面对本站是按 GA 设计还是 GC 设计分三部分进行论述。

方案一：首站执行 GC 标准，与接收站等压设计

首站设计压力 16MPa，压力分界点在首站出站 ESD 阀门外侧，需要重点关注阀门、清管三通、发球筒采购问题；

方案二：首站执行 GC 标准，与接收站不等压设计

首站设计压力与外输管道保持一致，10MPa，压力分界点在首站进站 ESD 阀门处，需要重点关注超压泄放问题；

方案三：首站执行 GA 标准，与接收站不等压设计

首站按照 GA 设计，执行 GB50251，压力分界点在首站进站 ESD 阀门处，重点关注能否满足监管要求。

3.2.1 方案一 GC 等压设计

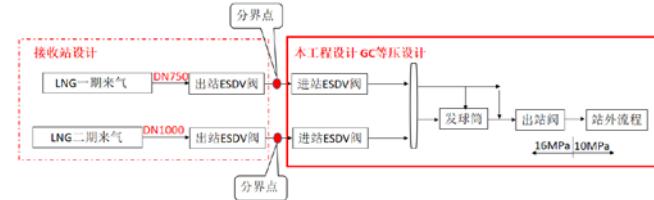


图 1 GC 等压设计分界

表 1 高压设备及阀门、阀件统计

序号	名称	尺寸	压力	厂家	反馈	反馈及业绩	备注
1	阀门	48" / 40" / 30" / 24	Class1500	成都成高阀门有限公司	能做	国家管网天津 LNG 项目二期 40"、30" 全焊接球阀	无 48" 全焊接球阀业绩
2	清管三通	48" X 48"	Class1500	中油管道机械制造有限责任公司	能做	16MPa 无业绩	
3	绝缘接头	48"	Class1500	中油管道机械制造有限责任公司	能做	16MPa 无业绩	
				西安泵阀总厂有限公司	能做	国家管网江苏项目部滨海 15MPa, DN1200	
4	发球筒	DN1300/1200	16MPa	中油管道机械制造有限责任公司	能做	16MPa 无业绩	
				沈阳鑫联石化设备有限公司	能做	16MPa 无业绩	

若按 GC 等压设计时, 本方案着重研究高压设备采购问题。站内发球筒、进出站 ESDV 阀、管线及管件均和 LNG 接收 16MPa 设计压力保持一致, 调研情况如表 1。

3.2.2 GC 不等压设计



图 2 GC 不等压设计分界

若按 GC 不等压设计时, 按照 GB 50316《工业金属管道设计规范》要求, 首站需增设安全阀泄压, 当压力超 10MPa 时进行泄放。

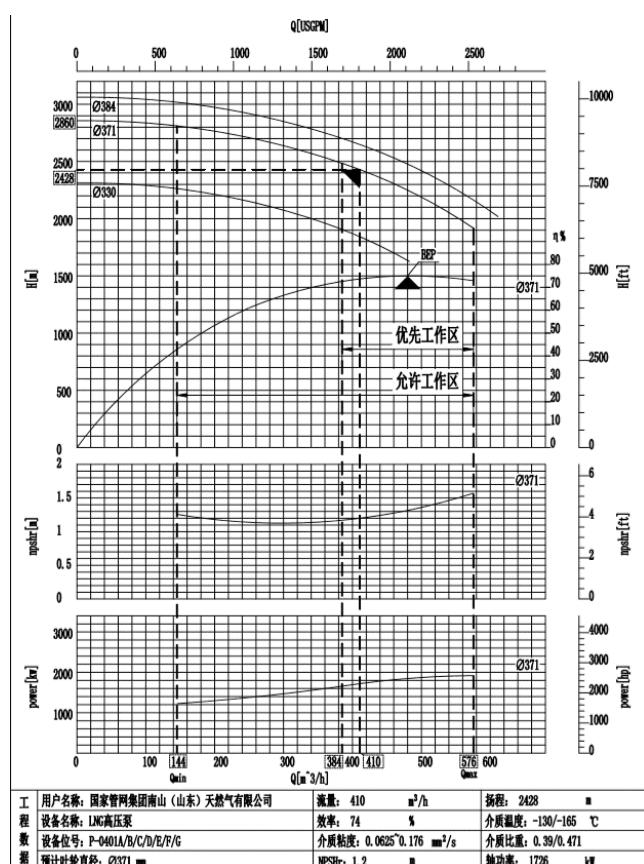


图 3 泵的性能曲线表

根据公式 $P = \rho gh$, 可得泵的扬程 $h=2170\text{m}$ 。

P: 压力, 选取 10MPa;

ρ : 液相密度, 富组分 470.3kg/m^3 ;

g: 重力加速度, 9.8N/kg ;

h: 扬程, m。

LNG 接收站设置 7 台并联的 LNG 高压外输泵, 根据 LNG 高压性能曲线图可得, 在压力为 10MPa (扬程 2170m) 时单台泵的处理量为 $510\text{m}^3/\text{h}$, LNG 接收站泵的运行方式为 6 用 1 备, 总处理量为 $3060\text{m}^3/\text{h}$,

换算成气相处理量为 $1.44 \times 10^6\text{kg/h}$ 。接收站目前设置两台 95t/h 地面火炬, 因此现有火炬无法接收高压泵 10MPa 时 $1.44 \times 10^6\text{kg/h}$ 的泄放量。

3.2.3 GA 设计

根据与设备监检相关部门对接, 首站可按 GA 进行设计, 考虑以上两种方案均存在制约因素, 因此本工程推荐 GA 设计。同时 GA 设计方案设置了一系列的超压保护措施, 具体如下: ①首站进站 ESD 阀前设计压力为 16.0MPa , ESD 阀后设计压力为 10.0MPa , 首站进站管线上分别设置 3 块压力变送器 (2oo3), 当进站压力高高报警 (2oo3), 联锁关断进站 ESD 阀, 避免站内超压。②首站出站 ESD 阀前设置 3 块压力变送器 (2oo3), 与出站 ESD 阀联锁, 当出站压力高高报警 (2oo3), 联锁关断出站 ESD 阀, 以避免超压天然气进入外输管道。③首站出站 ESD 阀设置 FC 延时关断功能, 延迟时间为 30S; 确保进站 ESD 阀比出站 ESD 阀先行关断, 保证站内不会出现超压情况。

综上分析, 推荐 LNG 外输管道首站采用 GA 设计方案。

4 结论

根据上述章节分析, 两种设计理念均能满足工程需求, 且在工程中均有应用, 现阶段未反馈不良问题。安全性上 GC 类要求相对较高; 经济性上, 按照 GA 设计投资相对较少, 若按照 GC 设计, 则大阀门、管径等采购有一定的难度; 压力管道监管方面, 若按照 GC 设计, 则容易通过。考虑到国家还将在天津、烟台、海南、深圳、防城港等地建设多座 LNG 接收站及配套外输管道, 从工程实施经济性及采办难易性出发, 若与政府监管部门达成一致意见的前提下, 建议按照 GA 标准设计。

参考文献:

- [1] 远双杰, 孟凡鹏, 安云朋, 等. LNG 接收站工程中外输首站的设计及优化 [J]. 油气储运, 2020(010):039.
- [2] 周华, 朱乾壮, 宫明, 等. 液化天然气 (LNG) 接收站运营输量控制研究 [J]. 管道技术与设备, 2012(3):4.
- [3] 陈丛山. 深圳 LNG 应急调峰站外输管道安全条件论证研究 [D]. 成都: 西南石油大学, 2025, (02):03-04.
- [4] 陈峰, 贾士栋. LNG 接收站与输气干线首站设计压力一致性问题 [J]. 油气储运, 2010(1):3.
- [5] 闫术明, 李国辉, 刘其民, 等. 江苏 LNG 外输跨海管道的安装设计 [J]. 油气储运, 2013, 32(3):5.
- [6] 黄宇, 陈海平, 刘梦溪, 等. LNG 接收站 LNG 管道系统水力特性分析研究 [J]. 化工设备与管道, 2023, 60(6):65-71.