

西安地区 LNG 液化工厂项目给排水及消防设计总结

孙 颖

中国石油工程建设有限公司华北分公司, 河北 沧州 062550

[摘要]液化工厂项目的给排水及消防设计是一项综合性系统工程, 需要充分考虑工艺特殊性、安全规范及环保要求。整个系统设计需符合 GB50016、GB52621 等国家标准, 同时兼顾节水减排要求, 通过循环水高效利用等措施降低水耗, 最终实现安全运行与环境保护的双重目标。文中主要为西安地区某 LNG 液化工厂的给排水及消防系统设计方案, 以及项目设计过程中遇到的一些问题及解决方案, 可为后来设计人提供部分思路参考。

[关键词] LNG 液化工厂; 给排水设计; 消防设计

DOI: 10.33142/sca.v8i5.16424

中图分类号: TU92

文献标识码: A

Summary of Water Supply, Drainage and Fire Protection Design for LNG Liquefaction Plant Project in Xi'an Area

SUN Ying

North China Branch of China Petroleum Engineering & Construction Corp, Cangzhou, Hebei, 062550, China

Abstract: The water supply, drainage, and fire protection design of liquefaction plant projects is a comprehensive system engineering that requires full consideration of process specificity, safety regulations, and environmental requirements. The entire system design must comply with national standards such as GB50016 and GB52621, while also taking into account water conservation and emission reduction requirements. Through measures such as efficient utilization of circulating water, water consumption can be reduced, ultimately achieving the dual goals of safe operation and environmental protection. The article mainly presents the design scheme for the water supply, drainage, and fire protection system of a LNG liquefaction plant in Xi'an area, as well as some problems and solutions encountered during the project design process, which can provide some ideas and references for later designers.

Keywords: LNG liquefaction plant; water supply and drainage design; fire protection design

随着“双碳”目标推进, 2023 年我国 LNG 进口量达 7132 万吨 (同比增长 11.4%), 带动液化工厂新建/扩建项目激增, 对配套水系统设计提出规模化、标准化要求。在给水系统方面, 需建立分级供水网络, 区分生产、消防及生活用水, 其中生产用水重点保障循环冷却系统的稳定运行, 消防供水则需满足高压环状管网要求, 确保突发情况下供水压力不低于 0.8MPa。排水系统设计需特别关注清污分流, 对含烃污水实施隔油、气浮等预处理工艺, 设置事故水池防范污染扩散。消防系统设计需构建立体防护体系, 储罐区水采用喷雾冷却及消火栓、消防炮结合保护, 同时集液池采用全淹没式泡沫灭火系统配合。

1 工程概况

某 LNG 液化工厂项目建于西安市高陵区。本工程新建 1 座 LNG 应急储备调峰站。项目规划分期建设, 一次规划, 分阶段实施。

1.1 一期工程

设置 1 套处理能力为 $300 \times 10^4 \text{Nm}^3/\text{d}$ 的天然气液化装置、2 座 5 万方 LNG 储罐、18 台 LNG 装卸车橇、1 套外输规模为 $600 \times 10^4 \text{Nm}^3/\text{d}$ 的 LNG 气化装置及配套公辅设施。

1.2 远期工程

新增 1 座 16 万方 LNG 储罐、新增 18 台 LNG 装卸车橇、

气化外输规模新增 $1500 \times 10^4 \text{Nm}^3/\text{d}$ 。

1.3 主要内容

本次设计针对一期、远期分期开展, 一期优先施工建设, 同时为远期预留接口和设计规模。

功能定位:

(1) 项目具有 LNG 液化、应急供气及调峰功能, 天然气通过液化装置输送至 LNG 储罐储存, 气化后天然气输送至下游外输管道;

(2) 项目具有 LNG 装卸车功能, 可为周边地区提供 LNG; LNG 也可以通过槽车卸车输送至站内储存。

2 方案设计

2.1 给水系统

该站场的用水主要为生活用水、生产用水、绿化浇洒用水、消防补水及储罐注水等。项目水源依托站址南侧高永路已建市政给水管线; 自市政给水管线上接给水管计量后供至站场。市政供水管线供水压力 0.3MPa, 连续供水, 水质符合《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2022)。站内供水采用直接供水的方式, 由市政供水管网接管, 经计量后供至站内各用水点。

2.1.1 生活用水

生活用水主要为卫生器具冲洗、淋浴及生活饮用水等。

2.1.2 生产用水

主要为工艺设备的除盐水补水、循环冷却水系统补水（内、外循环补水为软化水）、检修用水、锅炉补水、含油污水处理装置与生活污水处理装置的反冲洗用水、设备及场地冲洗用水等。

（1）软化水系统：市政供水管网来水经计量后供至软化水装置，经软化水处理装置处理达到《工业锅炉水质》（GB/T1576-2018）热水锅炉水质标准后的软化水供循环水系统内/外循环补水、锅炉补水，同时接1路供至除盐水装置进口。

（2）除盐水补水系统：市政给水及软化水装置处理达标水均可供至除盐水装置，经除盐水处理装置处理后达到《工业用水软化除盐设计规范》（GB 50109—2014）中两级反渗透电除盐标准后再除氧的除盐水，供至工艺设备进行除盐水补水；同时可为循环冷却水系统内循环补水。

（3）其他用水：自场区生活—生产给水管网上接管，直接供给。

2.1.3 绿化浇洒用水

自场区生活—生产给水管网上接给水管供至景观绿化；同时在厂区雨水管线供至景观承绿化作为中水回用水源。

2.1.4 消防补充水

一次火灾最大消防用水量流量为433L/s，一次火灾最大消防用水量为9199m³。

2.1.5 储罐注水

储罐注水系统主要是制冷剂储罐发生泄漏事故时，在其罐底注水避免泄漏可燃液体。

储罐注水从消防水罐吸水，经注水泵增压后向储罐注水，为保证消防用水不被动用，消防水罐设有保护液位，一旦储罐发生泄漏事故，从水罐抽水进行注水，水罐液位降至保护液位时，联锁开启进水管电动阀，给消防水罐补水。

2.2 循环水系统

该工程循环冷却水总量为9162m³/h，循环冷却水系统设计规模为9200m³/h；考虑一定安全系数，冷却塔处理水流量规模为10000m³/h。本项目循环冷却水系统采用闭式循环系统，该系统由闭式逆流冷却塔、循环水泵、循环水管道、软化水装置、增压泵、补水泵等组成。循环冷却水系统补水分为内循环补水和冷却塔外喷淋补水。内/外循环补水均为软化水。闭式冷却塔成套配置有外部喷淋系统，包括喷淋泵、布水器及水盘等。

循环冷却水系统内循环首次充装采用软化水，后续采用除盐水逐步替代内循环系统中的软化水。循环水泵吸水管设置定压措施，当泵前压力降至某个特定值，启动除盐水增压泵补充除盐水；当泵前压力降至另一较低值，启动软化水补水泵同时除盐水增压泵停止补水。

2.3 排水系统

排水设计内容包括站内生活污水、生产污水、洁净废

水及雨水、消防事故水、储罐泄漏时排放的注水等。

2.3.1 生活污水

根据环评报告要求，站内生活污水排至化粪池，经化粪池预处理后，排至生活污水调节池，然后进入生活污水处理装置进行处理，处理达标后排至站址南侧市政污水管网。

2.3.2 含油污水

制冷剂罐区、工艺装置区的初期雨水及平时的检修污水可能存在少量油类，上述区域围堰低点设置切换阀门进行雨污分流，初期雨水排至含油污水池，经含油污水处理装置处理达标后，排至站址南侧已建市政污水管网。

工艺设备排放的含油污水经含油污水管线收集至站内的含油污水池，处理方式及处理标准同上。

2.3.3 洁净废水及雨水

场区地势南高北低、中间高两侧低，因此厂区雨水部分直接排至市政雨水管网，其他根据厂区地势重力流排至雨水提升池，经雨水提升泵增压后排至市政雨水管网。

集液池积水经自吸泵提升后接至就近雨水管网，统一排放。

软化水处理装置产生的废水、除盐水处理装置产生的浓水及循环冷却水系统的排污为清洁废水，排放至附近的雨水系统，与雨水稀释后一同外排。消防水罐、水箱等溢流排污排至附近的雨水系统。

2.3.4 消防事故水

（1）LNG罐区：另外LNG储罐外罐为混凝土罐，消防水主要为罐顶平台的冷却喷淋水，考虑事故时内层储罐破裂流液可由混凝土外罐收集，事故消防废水里通常只含有少量灭火用的干粉等物质，总体上属于清净废水，经排水沟排至附近雨水系统。

（2）制冷剂罐区：制冷剂罐区火灾或爆炸时产生的消防事故水，可能含有烃类、油类等污染物，消防事故水经排水管进入事故水收集池，后续经含油污水处理装置处理达标后委托第三方进行处理。

（3）工艺装置区：工艺装置区火灾或爆炸等事故时产生的事故废水，经工艺装置区排水沟排至事故水收集池，用于收集工艺装置区的事故污水，其处理方式同含油污水。

2.3.5 储罐泄漏注水

储罐发生泄漏事故时排放的注水经排水管排至事故水收集池，处理方式同含油事故水。

2.4 消防系统

本工程储运介质为天然气，天然气为易燃、易爆危险物，属甲类火灾危险品。该液化工厂为三级站场，站内主要消防对象为LNG罐区（2座5×10⁴m³LNG储罐，预留1座16×10⁴m³LNG储罐）、工艺装置区、制冷剂罐区、槽车区，其他建构筑物等。

2.4.1 消防方式

根据《天然气液化工厂设计标准》（GB51261-2019），

液化工厂应设消防给水系统。

(1) 厂区内设置独立的临时高压消防给水系统, 全厂沿道路布置消火栓, 在工艺装置区、LNG 储罐区、冷剂罐区设有消防水炮;

(2) 集液池设置固定式高倍数泡沫灭火系统;

(3) 冷剂罐区储罐设置固定式水喷淋和移动水枪;

(4) 占地面积大于 300 m² 的甲乙丙类厂房与仓库、建筑体积大于 10000m³ 或建筑高度大于 15m 的民用建筑设置室内、外消火栓;

(5) 站内其他区域设置半固定式消防冷却水系统;

(6) 场区设置移动式干粉灭火装置;

(7) 场区设置移动式泡沫灭火装置;

(8) 全厂功能区以及各建筑物等均根据各自火灾危险性情况, 配置了相应的推车式和手提式灭火器, 以便迅速扑灭初期火灾和零星火灾。

2.4.2 消防水源

消防水罐补水由市政来水直接供给, 水罐进水管电动阀与水罐液位连锁, 低液位开阀补水, 高液位关阀停止补水; 市政水源可满足消防水罐补水需求。要求市政补水量 191.7m³/h, 消防补水时间 < 48h。

2.4.3 消防设施的设置

(1) 消防水罐: 新建 2 座 5000m³ 消防水罐 (单座有效容积 4626m³)。

(2) 消防泵房: 新建 1 座消防泵房, 泵房内设消防水泵 4 台 (2 电 2 柴), 消防稳压装置 1 套, 单梁吊车 1 套。

(3) LNG 储罐区: 为 LNG 储罐设置雨淋阀组与罐顶固定式水喷雾装置。集液池设置泡沫产生器, 集液池附近设置泡沫比例混合装置。

(4) 冷剂罐区: 冷剂储罐设置固定式水喷淋装置、罐区固定消防水炮及消火栓、移动式干粉灭火装置。

(5) 工艺装置区: 设置固定消防水炮及消火栓移动式高倍数泡沫灭火装置。

(6) 建筑单体: 占地面积大于 300m² 的甲乙丙类厂房与仓库、建筑体积大于 10000m³ 或建筑高度大于 15m 的民用建筑设置室内、外消火栓; 其中电气功能建筑单体室内消火栓为干式系统, 两路消防进水管线设置电磁阀, 室内消火栓报警按钮动作与电磁阀连锁开启, 事故时室内消防水管路迅速充水, 及时为室内消火栓提供消防用水。

(7) 场区: 设置消防管网, 管网上设截断阀, 每两个截断阀间的消火栓 (含消防炮) 数量不超过 5 个。所有建筑 (构) 筑物、工艺装置区及罐区等配置建筑灭火器材。

2.4.4 消防系统监测与控制

(1) 消防冷却水系统: 消防冷却水系统具备自动连锁启动、中控室远程启动和就地启动三种控制方式。

管网压力自动控制: 平时管网压力维持一定的压力 (1.00~1.30MPa), 当管网压力下降至设定的低压

(1.00MPa) 时, 稳压泵启动给管网增压, 当管网压力升至设定的高压 (1.30MPa) 时, 稳压泵停止。一旦有火灾发生, 消防用水量增加, 管网压力迅速下降, 当管网压力降至设定的低低压力 (0.85MPa) 时, 自动连锁启动消防水泵, 同时停运消防稳压设备。由消防水泵提供足额消防水量和水压。

中控室发现有火灾险情或接到火灾报警信号后, 可直接远程启动消防水泵。

(2) 高倍数泡沫灭火系统: 当探测到集液池内发生 LNG 泄漏时, 高倍数泡沫灭火系统自动启动。

(3) 仪表连锁系统: 火灾手动报警按钮按下后, 控制室发出声光报警, 经人工确认后启动消防联动。消防控制系统设置独立的 PLC, 过程控制由设定好的程序自动完成。

3 设计及施工过程中遇到的问题及解决方案

3.1 循环水系统

3.1.1 循环水系统高、低压用水点的系统设置

循环水系统的用水点压力平衡难度大。本工程循环水用水点较多 (约 20 处), 循环水系统设置 4 个高架用水点 (最高设备高架 43m), 上述用水点循环水需求量较大 (约 6000m³/h (用水进口压力 0.42MPa)), 因此高架用水点附近地面循环水压力需达到 0.85MPa 左右; 同时压缩机厂房及 10kV 变电站设置 4 个低压用水点 (循环水量约 500m³/h), 低压用水点用水进口压力要求不超过 0.6MPa。

若采用高架点局部增压或整体高压运行方案, 均需对高架点回水进行减压措施 (如孔板、减压阀、调节阀等), 减压限流会增加闭式循环水系统水平衡调节的难度, 操作运行相对繁琐; 中间我方建议工艺包厂家提高低压设备管壳设计压力, 但该建议措施未被采纳。

为保证循环冷却水系统用水点均能正常有效投运, 设计循环冷却水系统分为大循环与小循环两个系统分开运行, 循环水泵泵后压力 0.85MPa 供至各用水点 (低压用水点除外), 泵前吸水管定压补水保持在 0.50~0.55MPa; 低压用水点通过冷却塔出水直接供给 (0.55MPa), 回水通过增压泵增压后输至回水总管。

3.1.2 检测仪表的设置

循环水管路检测仪表安装空间受限。初始设计在供回水总管及其他三处用水点较多区域的供回水支干管分别设置温度、流量、压力检测仪表, 但由于管线埋地敷设安装仪表安装空间受限并结合其他项目循环水系统设计经验, 仅保留供回水干管流量、温度、压力检测, 以便对全系统运行状况及封闭完整性进行校核; 同时区域设置压力检测回水温度检测以检验工艺设备的冷却效果; 多出设置供回水压力检测, 校验系统运行压力与流量, 从而进一步检测系统运行状况。

3.1.3 低压用水点超压保护

系统突发工况导致低压用水点超压。由于循环水系统

为闭式循环,当发生停电工况时,高架点(高度 43m 用水压力 0.42MPa)水量回落存在地面压力大于 0.6MPa 的瞬态工况,因此低压用水点供水支干管设置安全阀进行泄压保护。

同时泵后止回阀存在失效风险,为避免瞬态超压,停泵状态联锁关停泵后电动阀门。

3.1.4 内、外循环补水设计

提高循环补水水质。设计内、外循环补水均为软化水,但内循环实际损失水量很小,为进一步提升内循环水质保证管路冷却效果,内循环补水设置除盐水装置与软化水装置切换补充,循环水泵泵前压力降至某个设定值优先补充除盐水,若压力继续降低至另一设定值时补充软化水。

外循环氯离子浓度为 76.8mg/L,浓缩倍数为 6,为避免氯离子浓度对换热盘管产生腐蚀,集水盘设置电导率检测仪联锁排污阀,外喷淋水定期排至雨水系统。

3.1.5 持压泄压设计

闭式系统工况波动会产生低压用水点水压波动。为保证低压用水点不发生超压工况,循环水泵泵后设置两路回流。当内循环水因热胀冷缩产生体积变化时,通过泵前定压补水与泵后定压泄水至软化水箱维持系统压力平衡;当压力继续上升时,通过另一路回流泄压至雨水系统维持系统不超压。

3.2 消防系统

3.2.1 雨淋阀后消防管线管材选择

热镀锌钢管不适宜埋地敷设。一般 LNG 项目,液化烃储罐喷淋装置控制阀前设置带旁通的过滤器,同时过滤器后管材采用热镀锌。但本项目雨淋阀室与罐区中间设置道路且不易设置管廊,控制阀后消防管线需穿路埋地敷设。若采用热镀锌钢管(法兰连接)则需要在埋地法兰处加设检查井,该做法设计合理性及经济性均不理想。因此参照 GB50219 相关要求,阀后管线采用不锈钢管。

3.2.2 材质选取受温度折减因素影响

法兰选型设计需考虑不同材质的压力温度折减系数(HG/T 20592)。该项目消防系统工作压力 1.3MPa(最大压力 1.40MPa),泡沫管线选用不锈钢管,设计压力 1.6MPa。前期材料专业进行法兰材质选择时,忽略了温度折减对法兰承压的影响,20℃时 304 法兰承压 1.23MPa 不能满足使用需求,后续将法兰材质更换为 16Mn 降低温度折减的影响。

后续项目,建议设计人员仔细核对管道等级表中具体

数据。

3.2.3 室内消火栓系统设置

带电类房间设置室内消火栓难度大。根据《建筑防火通用规范》(GB 55037—2022)相关要求,占地面积大于 300m² 的甲乙丙类厂房、仓库应设置室内消火栓。变电所为丙类厂房同时均为带电类设备,房间布局没有走廊等公共区域,因此室内栓设置存在困难。

初始设计将室内栓设置于室外并且保温伴热,后续考虑安装美观与使用便利性,将室内消火栓系统改为干式系统,事故时设备断电后,消火栓报警按钮联锁开启电磁阀,管路充水后进行灭火。

3.2.4 储罐注水压力调整

不同储罐注水压力偏差大,低压储罐设计压力限制注水压力。制冷剂储罐根部阀破裂时需要储罐进行注水,避免存储介质泄露至外界。但该项目丙烷储罐注水压力 1.8MPa,异戊烷储罐注水压力 0.5MPa(储罐设计压力 0.7MPa),两种罐型注水压力偏差非常大,因此需对异戊烷储罐注水进行减压措施设置。

注水泵回流管线设置持压泄压,稳定减压阀阀前压力;同时为减压阀失效导致注水压力过高,阀后设置安全阀泄压回流。

由于两路回流压力偏差较大,设计安全起见,将两路回流管线分开设置。

4 结语

一般液化工厂规模较大,配套的给排水及消防系统设计也较为复杂,该项目在设计及施工过程中出现了较多困难与问题,针对以上出现的各类问题,设计人员进行该类项目的设计总结,希望为后续相关设计开展提供部分思路与参考。

[参考文献]

- [1]孙开蓓,白宏乔,高山,等. LNG 接收站给排水系统及节能减排措施[J]. 石油和化工设备, 2023, 26(9): 141-143.
 - [2]卢瑶. LNG 加气站的火灾爆炸危险性及防火防爆设计[J]. 化工管理, 2023(21): 104-106.
 - [3]王文斌. 浅谈三维设计软件在工厂给排水管道设计中的应用[J]. 工程建设与设计, 2023(11): 150-152.
- 作者简介: 孙颖(1992.8—),女,燕山大学,化学工程与工艺,就职于中国石油工程建设有限公司华北分公司,职务设计人员,职称工程师。