

浅析大型液化烃球罐紧急切断阀的设置及选型

杜娟 刘艳 韩青飞 李玉凤

中国石油工程建设有限公司西南分公司, 四川 成都 610041

摘要:为对大型全压力式液化烃球罐紧急切断阀的设置及选型提供指导,针对国内某大型项目 6 座 3 000 m³ 全压力式液化烃球罐进出口管道上的紧急切断阀设计方案进行研究,着重对紧急切断阀的设置依据、设置方式、阀体及执行机构的选型进行对比、分析。研究表明:1) 推荐在大型全压力式液化烃球罐进出口液相管道上设置双阀,分别为紧急切断阀和远程操作阀;2) 紧急切断阀靠近球罐布置,安装位置宜尽量靠近球罐的第一道法兰密封面,参与 SIS 安全系统控制,与球罐的高高、低低液位等联锁;3) 远程操作阀布置在防护墙外,应便于操作和维修且应易于迅速接近,参与 DCS 过程控制系统;4) 紧急切断阀和远程操作阀具备仪表风气源可利用时,优先选择气动执行机构。研究结果可为大型全压力式液化烃球罐进出口紧急切断阀的选型和设置提供借鉴。

关键词:全压力式液化烃球罐;紧急切断阀;液化烃;布置方案

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2020.06.007

Discussion on the Configuration and Selection of Emergency Shut-Off Valve for Large Liquefied Hydrocarbon Spherical Tank

Du Juan, Liu Yan, Han Qingfei, Li Yufeng

China Petroleum Engineering & Construction Corp. Southwest Company, Chengdu, Sichuan, 610041, China

Abstract: In order to provide guidance on the installation and selection of emergency shut-off valves for fully pressurized liquefied hydrocarbon spherical tanks, the design for the emergency shut-off valve on the inlet and outlet pipelines of six 3 000 m³ fully pressurized liquefied hydrocarbon spherical tanks for a large domestic project is studied. Comparison and analysis have been performed focusing on the basis and method for process system configuration, selection of valve body and actuator of the emergency shut-off valve. From the study, it is concluded that: 1) it is recommended to install double valves on the liquid inlet and outlet pipelines of the large liquefied hydrocarbon spherical tank, namely emergency shut-off valves and remote operation valves; 2) The emergency shut-off valve is arranged close to the spherical tank. The valve installation position shall be as close as possible to the first flange sealing surface of the spherical tank to connect the SIS safety system, interlocking with the high-high, low-low liquid level control of the spherical tank; 3) The remote operation valve is installed outside the dike and shall be easy to operate and

收稿日期:2020-01-25

基金项目:中国石油集团工程股份有限公司科研项目“低含氢天然气氮气回收技术研究”(2017 ZYGC-02-02)

作者简介:杜娟(1989-),女,陕西商洛人,工程师,学士,主要从事储罐区设计工作。E-mail:dujuan_sw@cnpc.com.cn

maintain and be easily accessible. The remote operation valve shall connect with the DCS process control system; 4) Pneumatic actuators are preferred for emergency shut-off valves and remote operation valves when instrument air is available. The research results can provide reference for the selection and configuration of the emergency shut-off valve for the inlet and outlet pipes of the fully pressurized liquefied hydrocarbon spherical tanks.

Keywords: Fully pressurized liquefied hydrocarbon spherical tank; Emergency shut-off valve; Liquefied hydrocarbon; Layout scheme

0 前言

由于对化工原料和石油战略储备的需求不断增加^[1],以及能源结构上低碳节能理念的倡导^[2],中国已经成为全球液化石油气进口大国^[3]。液化烃储罐区是天然气、石油及化工厂的重要组成部分^[4]。液化烃易燃易爆,易汽化,压力随气温变化大,爆炸下限低,燃烧热值高^[5],因此液化烃储罐区一旦发生泄漏,会迅速吸收环境热量,引发蒸汽云,形成爆炸性气体^[6],遇到明火后会引引起火灾爆炸事故,波及范围广,后果影响大^[7]。为保证储罐区的安全运行,近年来中国对危险化学品罐区安全仪表系统(SIS)的要求越来越高^[8],因此紧急切断阀设置方案在危险化学品罐区中显得尤为重要^[9],尤其在大型储备库储罐数量多、容积大的情况下,储罐进出口紧急切断阀的合理设置非常关键。为了储罐区的安全运行,必须严格把控紧急切断阀的设计和选型。

液化烃通常储存在设计压力大于或者等于 0.1 MPa (罐顶表压) 的压力球罐^[10]或压力卧罐中,储存方法分为地上和地下^[11]。地上储存有常温压力储存和低温常压储存两种方式,地下储存大多指在洞库等储存^[12]。本文主要以常温压力储存中的大型全压力式液化烃球罐为例进行研究。

1 设计方案研究

某项目有 6 座 3 000 m³ 全压力式液化烃球罐,直径 18 m,安全间距根据 GB 50183 - 2004《石油天然气工程设计防火规范》布置^[13],6 座球罐布置在同一座防护墙内,防护墙尺寸 114 m × 83 m × 0.6 m,根据安监总管三〔2014〕68 号《进一步加强化学品罐区安全管理通知》第六条的要求,在防护墙内部采取单罐单隔堤的布置方式,平面布置见图 1。该项目中,每台球罐设置雷达液位计和伺服液位计,罐顶设置就地压力表和远传压力表,罐底设置就地温度计和远传温度计^[14],同时在整个罐区设置完善的 FGS 系统及时提醒操作人员采取安全措施^[15]。如何对此大型全压力式液化烃球罐设置紧急切断阀成为该项目面临的技术难题,本文根据现

行国家法律法规、行政命令、标准规范及行业规定的要求,开展大型全压力式液化烃球罐紧急切断阀设置依据分析。

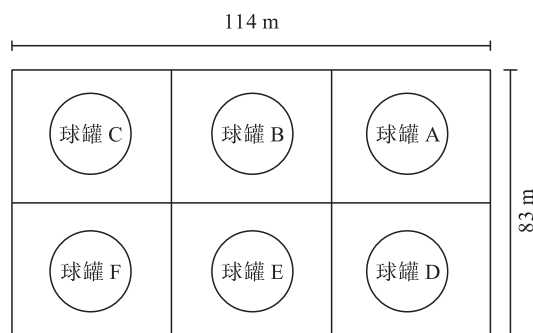


图 1 6 座 3 000 m³ 全压力式液化烃球罐平面布置图

Fig. 1 Layout of 6 fully pressurized liquefied hydrocarbon spherical tanks(3 000 m³)

1.1 设置依据

紧急切断阀的设置在中国人民共和国应急管理部、中华人民共和国住房和城乡建设部、GB 12337 - 2014《钢制球形储罐》、GB 50183 - 2004《石油天然气工程设计防火规范》、GB 50160 - 2008《石油化工企业设计防火规范》(2018 版)、SH 3136 - 2003《液化烃球形储罐安全设计规范》及 API STD 2510 *Design and Construction of LPG Installations* 等多项法律法规、行政命令、标准规范及行业规定中有明确规定^[9]。

1.2 布置分析

对各项法律法规、行政命令、标准规范及行业规定中的相关内容进行分析,将紧急切断阀的布置要求分为三类,见表 1。

综上,全压力式液化烃球罐进出口管线必须设置紧急切断阀,且根据表 1 的布置分析,从安全角度出发,提出以下优化建议:建议大型全压力式液化烃球罐进出口管线采用双阀布置,靠近球罐侧采用紧急切断阀^[8],设置独立的 SIS 系统^[16],同时增设远程操作阀,可以实现手动关闭功能。

1.3 双阀布置方案

储罐进出口管线采用双阀后面临的问题是布置和

选型,因法律法规和国内标准规范未明确要求储罐的紧急切断阀布置在防护墙内部还是外部,且连接形式有焊

接和法兰两种选择,故提出四种布置方案,见图 2。

对上述四种布置方案的优缺点进行比较,见表 2。

表 1 全压力式液化烃球罐进出口紧急切断阀布置要求分析表

Tab.1 Layout requirments analysis of the emergency shut-off valve at the inlet and outlet of the fully pressurized liquefied hydrocarbon spherical tank

类别	布置要求	涉及规范
第一类	液态烃球罐的进出口应安装紧急切断装置,其安装位置宜尽量靠近球罐第一道密封面	安监总管三〔2015〕113 号《国家安全监管总局关于印发〈化工(危险化学品)企业安全检查重点指导目录〉的通知》 GB 12337 - 2014 《钢制球形储罐》 GB 50160 - 2008 《石油化工企业设计防火规范》(2018 年版) SH 3136 - 2003 《液化烃球形储罐安全设计规范》 API 2510 - 2001 <i>Design and Construction of LPG Installations</i> 中国石化建〔2011〕518 号《关于印发〈液化烃球罐区注水系统设计规定〉和〈液化烃球罐紧急切断阀选型设计规定〉的通知》
第二类	紧急切断措施可远程操纵和自动关闭	安监总管三〔2013〕76 号《国家安全监管总局 住房城乡建设部关于进一步加强危险化学品建设项目安全设计管理的通知》 GB 50350 - 2015 《油气集输设计规范》 GB 50183 - 2004 《石油天然气工程设计防火规范》 SH/T 3007 - 2014 《石油化工储运系统罐区设计规范》
第三类	紧急切断阀参与联锁	安监总管三〔2014〕68 号《国家安全监管总局关于进一步加强化学品罐区安全管理的通知》 中国石化建〔2011〕518 号《关于印发〈液化烃球罐区注水系统设计规定〉和〈液化烃球罐紧急切断阀选型设计规定〉的通知》 GB 50160 - 2008 《石油化工企业设计防火规范》(2018 版) GB 50183 - 2004 《石油天然气工程设计防火规范》

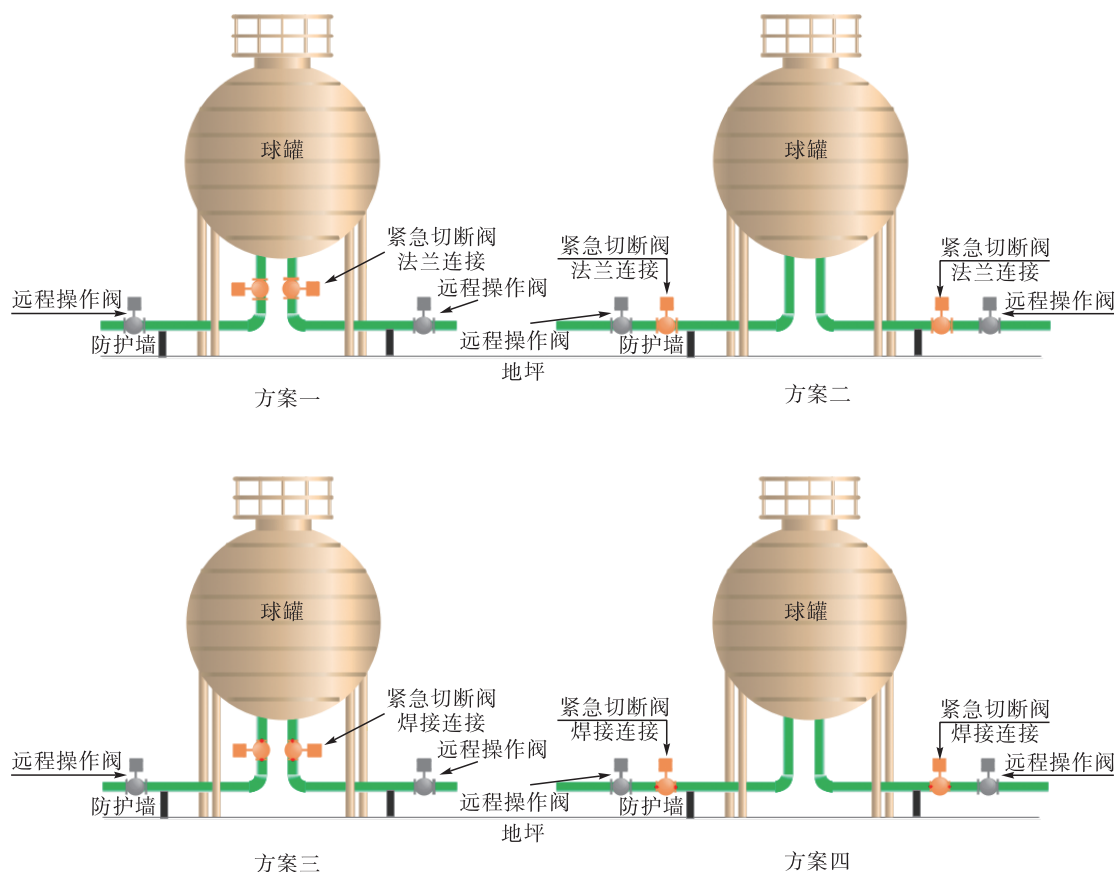


图 2 紧急切断阀布置方案示意图

Fig.2 Schematic diagram of emergency shut-off valve layout

表 2 紧急切断阀布置方案对比表

Tab. 2 Comparison of arrangement schemes of emergency shut-off valve

项目	布置位置	根部阀连接形式	优点	缺点
方案一	防护墙内	法兰	检修拆卸方便;相对焊接阀门投资费用低	阀门和电缆选型必须有足够的耐火能力;防护墙内部发生火灾等有可能失效;法兰密封处可能泄漏
方案二	防护墙外	法兰	检修拆卸方便;阀门可靠性高;相对焊接阀门投资费用低	法兰密封处可能泄漏;直管段长,积液多,焊点多,易腐蚀,增大泄漏可能性
方案三	防护墙内	焊接	直接与管嘴相接,减少泄漏点,降低事故风险	阀门和电缆选型必须有足够的耐火能力;检修无法拆卸;防护墙内部发生火灾等有可能失效;投资费用高
方案四	防护墙外	焊接	直接与管嘴相接,减少泄漏点,降低事故风险	检修无法拆卸;直管段长,积液多,焊点多,易腐蚀,增大泄漏可能性;投资费用高

结合图 2 和表 2,推荐采用方案一:对大型全压力式液化烃球罐进行双阀布置;紧急切断阀作为球罐的根部阀,布置在防护墙内,设置独立 SIS 联锁系统;远程操作阀布置在防护墙外,可以实现远程关闭功能。

2 紧急切断阀的选型

2.1 紧急切断阀阀体选型原则

紧急切断阀作为在泄漏和火灾时隔离可燃介质的一种方式,阀门的类型选择取决于距离泄漏源的远近,在火灾区域的任何阀门均应为防火安全阀、闸阀或金属密封球阀,高性能蝶阀均可作为防火安全阀^[17]。

2.2 紧急切断阀的执行机构

2.2.1 电动执行机构

电动执行机构包括电机、齿轮减速器、联轴器、限位开关、扭矩限制开关、手轮、手轮自动断开装置、就地阀位显示以及安全平稳运行所需的其它部件。由于目前仅有较少厂家能对配套 DN 80 以上阀门的电动执行机构做到故障安全型,因此大多数情况下,电动执行机构不作为紧急切断阀使用,仅作为过程操作,无关安全^[18]。电动执行机构包括就地控制和远程控制功能,无论就地还是远程控制均可执行开、关、停的控制能力,同时具备现场手轮操作阀门的能力。

2.2.2 电液执行机构

电液执行机构包括动力模块和控制模块,动力模块包含电机、齿轮油泵、油箱、电磁阀等;控制模块由电源、智能可控电机驱动器等组成。智能软件是控制器的核心,可对执行机构的运行状态进行自动监测。

电液执行机构可分为单作用液压缸和双作用液压缸。单作用液压缸电液执行机构根据安全和工艺操作需要确定阀门的全开、全关等故障安全位置,失电情况下,弹簧复位执行机构可将阀门保持在安全位置。这种执行机构多用于紧急切断,与安全相关。双作用液压缸电动执行机构在失电情况下,阀门处于位置保持状态。

这种执行机构通常用于过程操作,无关安全^[19]。

2.2.3 气动执行机构

气动执行机构应包括气动驱动装置、电磁阀、阀位回信器、气动三联件(过滤器、减压器、油雾器)、压力表等^[20],分为单作用弹簧复位式气动执行机构和双作用弹簧复位式气动执行机构。单作用气动执行机构根据安全和工艺操作需要确定阀门的全开、全关等故障安全位置。故障情况下,弹簧复位执行机构可将阀门保持在安全位置。这种执行机构多用于紧急切断,与安全相关。双作用气动执行机构在无外配仪表风罐的情况下,故障时处于位置保持状态。这种执行机构通常多用于过程操作,无关安全^[19]。

因此当罐区具备仪表风气源可利用时优先选择气动执行机构^[21],当罐区无仪表风气源可利用时可选择电液执行机构。对于储罐区,根据 SH/T 3184-2017《石油化工罐区自动化系统设计规范》,需注意以下要求。

1)除非工艺有特殊要求,气动执行机构的电磁阀不带现场手动复位装置,通常采用控制室逻辑复位。

2)当采用双作用执行机构或采用单作用执行机构且阀门联锁位置与气源故障位置不一致时,需配备仪表风罐。仪表风罐的容积需要满足执行机构动作 2 个全行程的风量。

3)合理规定气动开关阀的额定全行程时间,既要考虑储运工艺的需要,又不因行程时间太短、阀门动作太快引起管道“水击”或震动,造成开关阀、管道损坏或缩短寿命,额定全行程时间不宜短于 $10 \text{ s} \times \text{阀门通径} (\text{mm}/100 \text{ mm})$ 。

3 紧急切断阀的工程应用

经过分析和比选紧急切断阀的布置和选型方案,将此优化建议应用到某项目的 6 座 $3\,000 \text{ m}^3$ 全压力式液化烃球罐上。球罐进出口紧急切断阀布置见图 3,三维模型见图 4,联锁控制设备连线示意图见图 5。

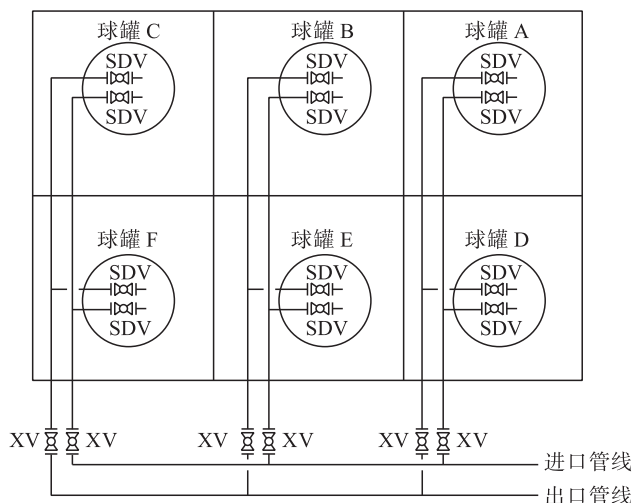


图 3 球罐进出口紧急切断阀布置图

Fig. 3 Layout of emergency shut-off valve at inlet and outlet of spherical tank

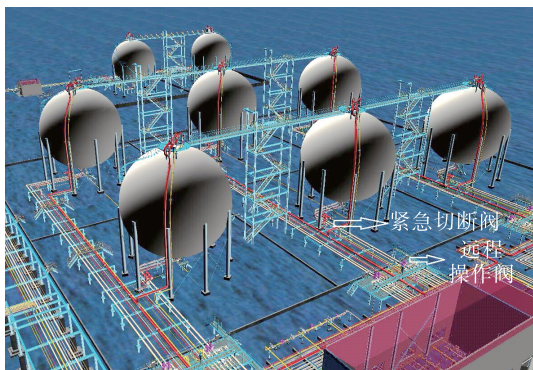


图 4 球罐进出口紧急切断阀布置三维模型图

Fig. 4 3D model of emergency shut-off valve layout for inlet and outlet of spherical tank

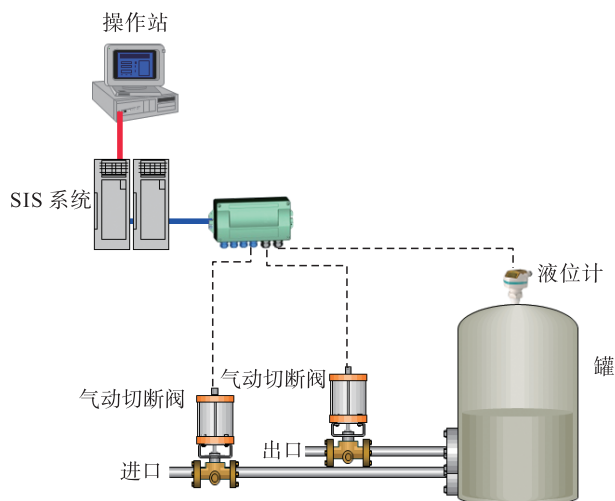


图 5 联锁控制设备连线示意图

Fig. 5 Schematic diagram of interlocking control equipment connection

图 4 中防护墙内球罐进出口的第一道根部阀为气动紧急切断阀(SDV),对该阀设置了独立的 SIS 系统,状态

为事故关 FC,该阀安装位置紧挨球罐。防护墙外球罐进出口管线上的阀门为远程操作阀(XV),状态为事故保位 FL。该阀进入 DCS 控制系统,用于切换球罐进行收油或者倒罐等生产性工作,不参与 SIS 联锁。

当球罐液位达到高高时,联锁切断球罐进口的 SDV 阀^[4];当球罐液位达到低低时,联锁切断球罐出口的 SDV 阀并连锁停泵。在中控室内对 SDV 阀设置紧急按钮,当罐区内发生泄漏、管道破裂、火灾等事故时,利用辅助操作台的火灾触发按钮第一时间切断全部 SDV 阀。

该紧急切断阀和远程操作阀的双阀设置方案经过了第三方 HAZOP 分析和 SIL 分析结果表明该布置方案满足现行法律法规和标准规范要求,并且安全可靠,操作灵活性好,对大型全压力式液化烃球罐设计具有借鉴意义。

4 结论

1) 本文基于法律法规、行政规定及标准规范中关于大型液化烃球罐进出口紧急切断阀的设置内容,经过详细对比分析研究,从生产作业的安全角度出发,推荐大型全压力式液化烃球罐进出口液相管道上设置双阀,分别为紧急切断阀和远程操作阀。

2) 经过比选紧急切断阀的布置方案,推荐紧急切断阀靠近球罐布置,安装位置宜尽量靠近球罐的第一道法兰密封面,紧急切断阀参与 SIS 安全系统控制,与球罐的高高液位、低低液位、可燃气体探头、火焰检测器等联锁。

3) 在球罐液相进出口管线上设置具有自动和手动关闭功能的远程操作阀,推荐远程操作阀布置在防护墙外,应便于操作和维修且应易于迅速接近,远程操作阀参与 DCS 过程控制系统,不参与 SIS 联锁。紧急切断阀和远程操作阀具备仪表风气源可利用时,优先选择气动执行机构。

4) 本着安全生产的原则,推荐将本研究结果应用在大型原油罐区和成品油罐区紧急切断阀的设置上。

参考文献:

- [1] 王中元,罗东坤,刘璘璘.我国城市燃气发展阶段及其主要特征[J].油气储运,2016,35(2):115-123.
Wang Zhongyuan, Luo Dongkun, Liu Linlin. Urban Gas Development Phases in China and Its Main Characteristics [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2016, 35 (2): 115-123.
- [2] 丛延刚,曹旭原,杨飞,等.轻烃回收工程可行性及市场前景分析[J].天然气与石油,2018,36(5):36-39.
Cong Yangang, Cao Xuyuan, Yang Fei, et al. Feasibility and Market Prospect Analysis of Light Hydrocarbon Recovery

- Project [J]. Natural Gas and Oil, 2018, 36 (5): 36-39.
- [3] 田春荣. 2015 年中国石油进出口状况分析[J]. 国际石油经济, 2016, 24(3): 44-53.
- Tian Chunrong. China's 2015 Oil Imports and Exports [J]. International Petroleum Economics, 2016, 24 (3): 44-53.
- [4] 范正淑. 浅谈罐区的布置与设计[J]. 化工厂设计, 1990 (2): 33-34.
- Fan Zhengshu. Discussing About the Arrangement and Design of Tank Area [J]. Chemical Plant Design, 1990 (2): 33-34.
- [5] 孙兆强, 赵连河, 郑贤斌. 油罐火灾爆炸故障树分析. 天然气与石油[J], 2004, 22(1): 27-30.
- Sun Zhaoqiang, Zhao Lianhe, Zheng Xianbin. Fault Tree Analysis of Fire and Explosion in Oil Tank [J]. Natural Gas and Oil, 2004, 22 (1): 27-30.
- [6] 徐晓琴, 张吉春, 秦璇. 油库防爆墙设置探讨[J]. 天然气与石油, 2011, 29(5): 81-84.
- Xu Xiaoqin, Zhang Jichun, Qin Xuan. Construction of Explosion-proof Wall Around Oil Depot [J]. Natural Gas and Oil, 2011, 29 (5): 81-84.
- [7] 许敏, 李明波, 于永东, 等. 全压力式液化烃储罐注水措施设计[J]. 炼油技术与工程, 2012, 42(7): 57-60.
- Xu Min, Li Mingbo, Yu Yongdong, et al. Water Flooding Design for Pressurized Liquefied Hydrocarbon Storage Tank [J]. Petroleum Refinery Engineering, 2012, 42 (7): 57-60.
- [8] 陈丽君, 李康康, 贾玉明. 紧急切断阀在油品罐区中的应用[J]. 石油化工自动化, 2018, 54(6): 17-21.
- Chen Lijun, Li Kangkang, Jia Yuming. Application of Emergency Shut-off Valve in Oil Tank Area [J]. Automation in Petro-Chemical Industry, 2018, 54 (6): 17-21.
- [9] 王晓东, 晏妮. 储罐紧急切断阀设计规范进展简析[J]. 石化技术, 2019, 26(5): 264.
- Wang Xiaodong, Yan Ni. A Brief Analysis on the Design Specification of Tank Emergency Shut-off Valve [J]. Petrochemical Industry Technology, 2019, 26 (5): 264.
- [10] 蒋明亮. 球罐热处理工艺的现状与探讨[J]. 天然气与石油, 2008, 26(6): 55-58.
- Jiang Mingliang. Heat Treatment Process for Spherical Tank [J]. Natural Gas and Oil, 2008, 26 (6): 55-58.
- [11] 张宏伟. 液化烃球形储罐储运设计[J]. 当代化工研究, 2018(2): 114-115.
- Zhang Hongwei. Storage and Transportation Design of Liquefied Hydrocarbon Spherical Tank [J]. Modern Chemical Research, 2018 (2): 114-115.
- [12] 崔慧山, 付吉强, 田鹤, 等. 液化石油气常温压力储存罐区设计要点[J]. 化学工程与装备, 2018(9): 190-191.
- Cui Huishan, Fu Jiqiang, Tian He, et al. Design Points of Liquefied Petroleum Gas Normal Temperature Pressure Storage Tank Area [J]. Chemical Engineering & Equipment, 2018 (9): 190-191.
- [13] 于倩秀. 石油储备库区域安全间距模型的确立及应用[J]. 天然气与石油, 2014, 32(3): 8-10.
- Yu Qianxiu. Establishment and Application of Regional Safety Clearance Calculation Spacing Model in Oil Repertory Depots [J]. Natural Gas and Oil, 2014, 32 (3): 8-10.
- [14] 丁小广. 丙烯球罐组储存设计论述[J]. 山东化工, 2016, 45(23): 114-116.
- Ding Xiaoguang. Discussion on Storage Design of Propylene Spherical Tank Group [J]. Shandong Chemical Industry, 2016, 45 (23): 114-116.
- [15] 刘昕亮, 谢飞, 董影超, 等. 液化石油气站储罐区火灾爆炸危险性分析与安全措施[J]. 中国安全生产科学技术, 2011, 7(9): 178-182.
- Liu Xinliang, Xie Fei, Dong Yingchao, et al. Hazard Analysis and Safety Measure of Fire and Explosion in the Area of Liquefied Petroleum Gas Storage Tank [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2011, 7 (9): 178-182.
- [16] 李超. 储油罐区自动监控系统设计[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2011.
- Li Chao. The Design and Application of Garden Solar Lighting System [D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology, 2011.
- [17] 徐炳华, 杨学熊, 夏上惠. 流体输送设备的自动调节[M]. 北京: 化学工业出版社, 1982: 256-257.
- Xu Binghua, Yang Xuexiong, Xia Shanghui. Automatic Adjustment of the Fluid Conveying Equipment [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1982: 256-257.
- [18] 陆德民. 石油化工自动控制设计手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000: 231-239.
- Lu Demin. Design Manual of Petrochemical Automatic Control [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2000: 231-239.
- [19] 冯宇. 化工品罐区仪表选型和控制系统设计探讨[J]. 工业仪表与自动化装置, 2018(3): 87-90.
- Feng Yu. Design and Discussion of Instrument Selection and Control System in Chemical Tank [J]. Industrial Instrumentation & Automation, 2018 (3): 87-90.
- [20] 周春晖. 过程控制工程手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1993: 808-809.
- Zhou Chunhui. Process Control Engineering Manual [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1993: 808-809.
- [21] 晏妮, 王晓东. 浅析储罐紧急切断阀的设置方式[J]. 石化技术, 2019, 26(5): 12-13.
- Yan Ni, Wang Xiaodong. A Brief Analysis on the Setting Mode of Emergency Cut-off Valve of Storage Tank [J]. Petrochemical Industry Technology, 2019, 26 (5): 12-13.