

文章编号:1008-1534(2017)04-0254-05

甲醇罐区消防及喷淋冷却水系统的设计优化

孙冠华¹, 展学成²

(1. 航天长征化学工程股份有限公司兰州分公司, 甘肃兰州 730010; 2. 中国石油兰州化工研究中心, 甘肃兰州 730060)

摘要:为加强消防系统的安全性和实用性, 实现甲醇罐区喷淋冷却水的节水回用, 依据相关规范, 从形式选择、设计计算、系统布置和操作控制等方面阐述了消防及冷却系统设计的优化方法。根据点火源模型的计算结果, 提出甲醇罐区泡沫消防管道设计宜采取分散布置, 替代原来集中布置的敷设形式, 优化后夏季喷淋冷却系统的水回用率达到了98.25%。通过优化, 降低了储罐事故状态下热辐射对相邻泡沫管道的影响程度, 减少了消防车队的拥堵状况, 提高了消防精度。此外, 循环夏季喷淋冷却系统还有效减少了企业污水的排放量, 人工操作量小, 实现了较为智能的冷却水回用功能。

关键词:消防工程; 甲醇储罐; 泡沫消防; 夏季喷淋冷却; 回用

中图分类号: TU998.1 文献标志码: A doi: 10.7535/hbgykj.2017yx04004

Optimization design of fire fighting and spray cooling water system in the area of methanol storage tank

SUN Guanhua¹, ZHAN Xuecheng²

(1. Lanzhou Branch of Changzheng Engineering Company Limited, Lanzhou, Gansu 730010, China; 2. Lanzhou Research Center of Chemical Engineering of Petro China, Lanzhou, Gansu 730060, China)

Abstract: In order to enhance the safety and practicability of fire protection system, and realize water saving and reuse of spray cooling water in methanol tank farm, according to the relevant standards, the form of system selection, the calculation method, the system arrangement and the operation process of fire fighting and cooling system are expounded. According to the calculation result of the ignition source model, the optimization design of foam fire pipeline in methanol storage tank is put forward, and the layout of the pipeline is replaced by "scatter arrangement" instead of "concentrated arrangement". The overall water reuse rate of the cooling water system for summer spraying could be up to 98.25%. Through this optimization, the impact of thermal radiation on the adjacent storage tank foam pipe is reduced under the condition of accidents, so does the congestion of fire trucks, and the accuracy of fire fighting is improved. In addition, the system effectively reduces the discharge of sewage in enterprises, and the manual operation is simple, so that the intelligent cooling water reuse function is realized.

Keywords: fire engineering; methanol storage tank; foaming fire protection; spray cooling in summer; recycling process

收稿日期: 2017-04-11; 修回日期: 2017-05-17; 责任编辑: 张士莹

第一作者简介: 孙冠华(1987—), 男, 山东菏泽人, 工程师, 硕士, 主要从事给排水及水处理技术方面的工作。

E-mail: ax_dt2@163.com

孙冠华, 展学成. 甲醇罐区消防及喷淋冷却水系统的设计优化[J]. 河北工业科技, 2017, 34(4): 254-258.

SUN Guanhua, ZHAN Xuecheng. Optimization design of fire fighting and spray cooling water system in the area of methanol storage tank [J]. Hebei Journal of Industrial Science and Technology, 2017, 34(4): 254-258.

储罐是化工企业储存物料的设施,生产中的液体原料、成品和中间品都需临时或长期存储在罐区内。为了保障人民的生命财产安全,做好石油化工储罐的消防设计非常重要。此外,随着企业规模的不断扩大,用水量也随之攀升,用水形势日趋紧张^[1],现有法规、条例等对工业企业用水量及水利用率的要求也愈发严格。然而,目前储罐泡沫液管道设计规范中对管道走向并没有明确的要求,为了设计施工方便,人们对围堰内的管道通常采用集中式布置。根据以往甲醇储罐发生的事故可以看出,这种布置方式在火灾中存在着一定的安全隐患,容易造成更大的损失。此外,夏季冷却水量相比消防用水量小,也一直未得到充分重视,但随着储罐的大型化及目前厂矿企业控制用水规定的日益严格,加之冷却水较为清洁且不需要进行特殊处理,因此可以对夏季冷却用水进行循环利用。目前国内外设计者在此方面鲜有研究。

本研究对甲醇储罐区的消防及夏季喷淋冷却水系统设计进行了简要阐述,结合以往的设计经验,对设计方案进行了优化:以管道分散布置取代集中布置,提高泡沫灭火系统的安全性能;增加夏季冷却用水回用系统,减少企业污水的排放量,提高水的利用率。此外,对循环夏季喷淋冷却水的系统控制及运行方式进行了总体说明。

1 项目概况

某公司新建1套年产100万t甲醇的煤化工装置。新建项目中配套设置一处甲醇罐区,罐区内设有4座甲醇储罐,单罐贮量5000 m³,根据SH/T 3007—2014《石油化工储运系统罐区设计规范》^[2]的规定,储罐形式选用立式内浮顶罐,材质为易熔材料。甲醇在常态下为液体,易挥发,沸点为64.5℃,20℃时的饱和蒸气压为12.8 kPa。以地面固定甲醇储罐为例,夏季昼夜温差按10℃考虑,则1台装料系数为85%的5000 m³的储罐挥发损失达77.2 kg/d。针对甲醇易燃、易爆和高挥发性的特点,采用内浮顶罐可减少油品的蒸发损耗,降低火灾发生的危险性^[3]。

2 总体平面布置

通过对某化工公司甲醇储罐爆炸燃烧事故及某氮肥厂甲醇计量槽爆炸事故的分析可知,甲醇燃烧和爆炸事故的起因大多来自爆炸混合物,因此控制爆炸混合物的形成和避免甲醇接触火源或高温物体这两个因素尤为重要^[4]。结合生产需要、安全距离

的要求及项目地形地势,布置罐区周围的总体平面示意图,见图1,间距满足GB 50160—2008《石油化工企业设计防火规范》(以下简称“石化防火规范”)^[5]的要求,泡沫站距保护对象的距离满足GB 50151—2010《泡沫灭火系统设计规范》(以下简称“泡沫灭火规范”)^[6]输送时间不大于5 min的要求。此外,根据国家安监总局《关于进一步加强化学品罐区安全管理的通知》^[7],甲醇罐区布置为单罐单堤形式。

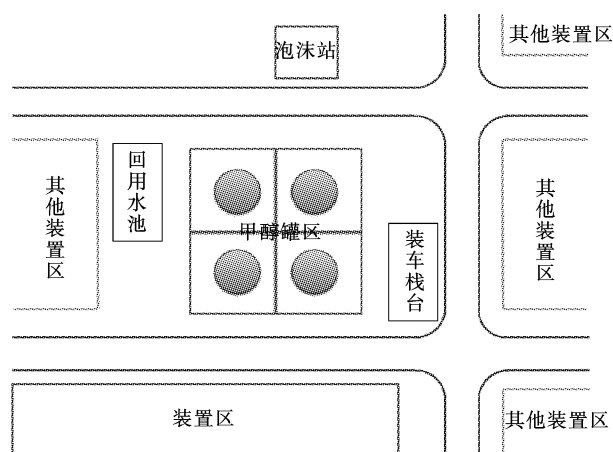


图1 总体平面布置示意图

Fig.1 General layout plan

3 消防及冷却系统设计

根据“石化防火规范”和“泡沫灭火规范”,在罐区采用具备半固定式系统功能的固定式泡沫消防灭火系统。根据“泡沫灭火规范”第4.1.2条规定,采用液上喷射泡沫灭火系统。

3.1 固定式泡沫灭火系统设计

3.1.1 参数的选择

本工程占地面积小于1000000 m²,根据“石化防火规范”第8.4.2条规定,仅考虑同一时间内火灾次数为1次。根据“泡沫灭火规范”第4.1.4条及第4.2.2条规定,扑救流散液体火灾泡沫混合液供给时间为20 min,扑救储罐火灾泡沫混合液供给时间为25 min,泡沫混合液供给强度为12 L/(min·m²)。

3.1.2 泡沫混合液的计算

单个储罐的燃烧面积 F 为346.2 m²,单个罐体需配备3个PCL24立式泡沫产生器、2支PQ8泡沫枪。经计算,扑救储罐火灾所需泡沫混合液量为108 m³,扑救流散液体火灾的泡沫混合液量为19.2 m³,充满管道所需的泡沫混合液量为5.9 m³,合计一次火灾所用泡沫混合液总量为133.1 m³。

在甲醇罐区或罐组中,以往罐区内的泡沫管道布置采用集中布置方式,这种布置因支墩集中于易于设计施工而得到普遍采用^[8-9]。但是通过分析以往的甲醇储罐事故现场可以判定,集中布置的泡沫管道在某一储罐起火燃烧或爆炸时将会影响到通往其他储罐的泡沫管道,导致泡沫管道点状泄漏甚至移位断裂,严重时可使泡沫消防系统失效。基于池火热辐射的危害性,引入点火源模型计算法,根据热辐射通量计算式及目标热辐射强度计算式可知,火灾围堰越大、距离储罐越近,火焰高度越大,受到的热辐射强度越大^[10-12]。热辐射通量计算式见式(1)。

$$Q = \frac{(\pi r^2 + 2\pi r h)(dm/dt)\eta H_c}{72(dm/dt)^{0.6} + 1} \quad (1)$$

式中: Q 为总辐射通量, W ; η 为效率因子,在 0.13~0.35 范围内取值,取平均值 0.25; dm/dt 为燃烧速度,通过《化工安全技术手册》查得甲醇为 57.6 kg/(ms); H_c 为燃烧热,通过《化学化工物性数据手册》查得甲醇为 22 690 kJ/kg; r 为液池半径,取 20 m; h 为火焰高度,按式(2)计算。

$$h = 84r \{ (dm/dt) / [\rho_0 (2gr)^{0.5}] \}^{0.6} \quad (2)$$

式中: ρ_0 为环境空气密度,标况下为 1.293 kg/m³; g 为重力加速度,9.8 m/s²; 其余符号表示内容同前,计算得 $h = 31.6$ m。

目标热辐射强度计算式为

$$I = Qt_c / 4\pi x^2 \quad (3)$$

式中: I 为热辐射强度, W/m²; t_c 为热传导系数,一般取值为 1; x 为目标点到液池中心的距离, m。

通过计算可知,总辐射通量为 3.58×10^7 W,在火灾中距离储罐中心 33.8 m 时,热辐射强度达到 25 kW/m²,即可在无火焰情况下使木材燃烧,并使金属管道变形,集中式布置将使相邻罐泡沫液管道暴露在火灾强热辐射范围内。

为此,本工作采用分散布置取代集中布置,增加了相邻罐泡沫液管道距液池中心的距离,且由于围堰内独立隔堤有效阻隔散流液体火灾而对各自泡沫液管道形成保护,从而减少了储罐事故状态下对彼此泡沫管道的破坏,2种管线布置示意图如图2所示。

除此之外,泡沫混合液管道分散控制还具有以下优点:可以防止紧急情况下的阀门误操作,避免泡沫混合液进入目的物以外的储罐而造成不必要的损失;泡沫消防车可进行分散扑救,作业空间充足;不影响隔堤间的通行;管道材料用量较少。详见表1。

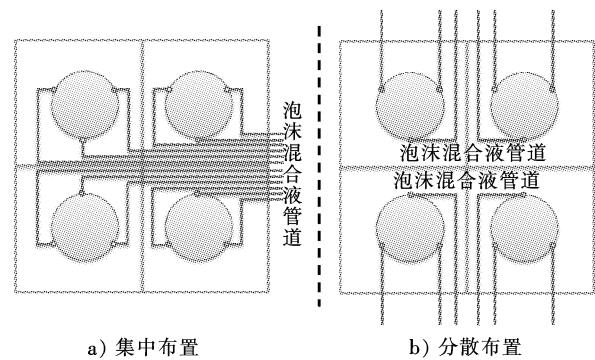


图2 两种不同类型的泡沫管道布置示意图

Fig. 2 Diagram of two different types of foam pipe layout

表1 泡沫管道2种布置优缺点对照表

Tab. 1 Comparison of advantages and disadvantages of two foam pipelines

项目	泡沫管道集中布置	泡沫管道分散布置
优点	有利于泡沫管道集中设计和施工,共用管道支架	1) 泡沫管道不易受事故储罐的影响; 2) 泡沫消防车可进行分散扑救,作业空间充足; 3) 围堰外管牙接口、阀门分散,不易误操作; 4) 不影响隔堤间通行; 5) 管道材料用量较少。
缺点	1) 泡沫管道易受其他事故储罐影响; 2) 泡沫消防车需集中接管,作业空间受限; 3) 围堰外管牙接口、阀门集中,易误操作; 4) 影响隔堤间通行; 5) 管道材料用量较多。	支架分散,增加施工量

3.2 循环夏季喷淋冷却系统设计

现行规范中,由于内浮顶罐自身的结构特点,没有强制要求设置夏季冷却设施,但考虑到储罐高度较高、容积较大,接近设置消防冷却水系统的临界点,因此本工程设置了夏季喷淋冷却系统,用于储罐夏季降温及辅助保护措施。

3.2.1 水量计算

根据 SH 3015—2003《石油化工企业给水排水系统设计规范》^[13] 第 5.1.2 条,拱顶罐每小时的用水指标为 0.4~0.6 m³/m,本工程取 0.5 m³/m,单个储罐的周长 C 为 65.94 m,可得用水流量为 32.97 m³/h。

本工程地处中原地区,夏季阳光直射时间较长,温度较高,综合考虑,取日冷却时常 T 为 3 h,罐区单日喷淋冷却总用水量 S 为 395.64 m³。

系统蒸发量和蒸发损失率分别按式(4)和式(5)计算:

$$E = a(R - B) \quad (4)$$

式中: E 为蒸发量, m^3/h ; a 为蒸发损失率, %; R 为系统循环水量, m^3/h ; B 为系统排污量, m^3/h 。

$$a = e(t_{\text{进}} - t_{\text{出}}) \quad (5)$$

式中: $t_{\text{进}}$, $t_{\text{出}}$ 为循环冷却水进、出水的温度; e 为环境温度系数, 夏季 $25 \sim 30 \text{ }^\circ\text{C}$ 时取 $0.15 \sim 0.16$ 。

参考规范及相关实际经验, 排污量 B 取总水量的 1%, 为 $1.32 \text{ m}^3/\text{h}$, 环冷却进出水温度差为 $5 \text{ }^\circ\text{C}$, 计算得到蒸发量 E 为 $0.98 \text{ m}^3/\text{h}$ 。根据式(6)计算得到系统回用率 P 为 98.25% 。

$$P = (1 - \frac{E+B}{S/T}) \times 100\% \quad (6)$$

3.2.2 喷淋系统布置

本储罐罐壁因设有加强筋, 冷却水不能顺利沿罐壁流至罐底, 故宜在罐壁顶及加强筋下方各设置一个环喷头^[14]; 同时, 罐顶受太阳直晒, 挥发的甲醇在罐顶聚集, 为避免温度升高蒸气压不断增大发生危险, 宜在罐顶设置一个环喷头。选用流量系数 K 为 18.9 的水雾喷头^[15], 工作压力为 0.4 MPa , 喷头流量为 $37.8 \text{ L}/\text{min}$ 。经计算, 共需水雾喷头 15 个, 考虑均布及喷射圆重合原则, 顶层设置喷头 3 个, 中层设置喷头 6 个, 下层设置喷头 6 个。喷头布置示意图如图 3 所示。

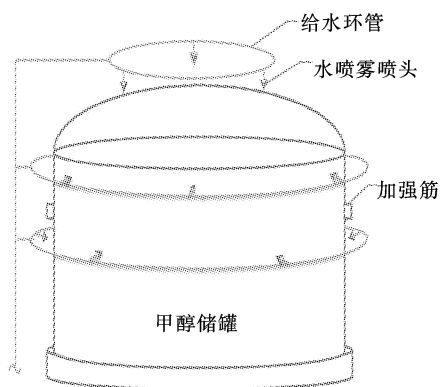


图3 储罐喷头布置示意图

Fig. 3 Schematic diagram of sprinkler arrangement

3.2.3 循环系统布置

夏季冷却水在使用后水质受污染的程度较小, 可以考虑回用以节约用水。根据《中国石油天然气集团公司石油化工企业水污染应急防控技术指南》^[16], 在围堤外设置切换阀门井, 实施雨污分流, 清洁雨水及事故消防水进入雨水系统, 冲洗水、初期雨水及其他无害废水进入污水系统。回用系统依托现有排水系统, 通过集水坑收集的喷淋冷却水进入雨水排水管道, 经过闸板阀井进入回用水池, 其余进入雨水管道的排水经过闸板阀井的另一出口进入地下雨水管网。整个循环夏季喷淋冷却系统的具体布置如图 4 所示。

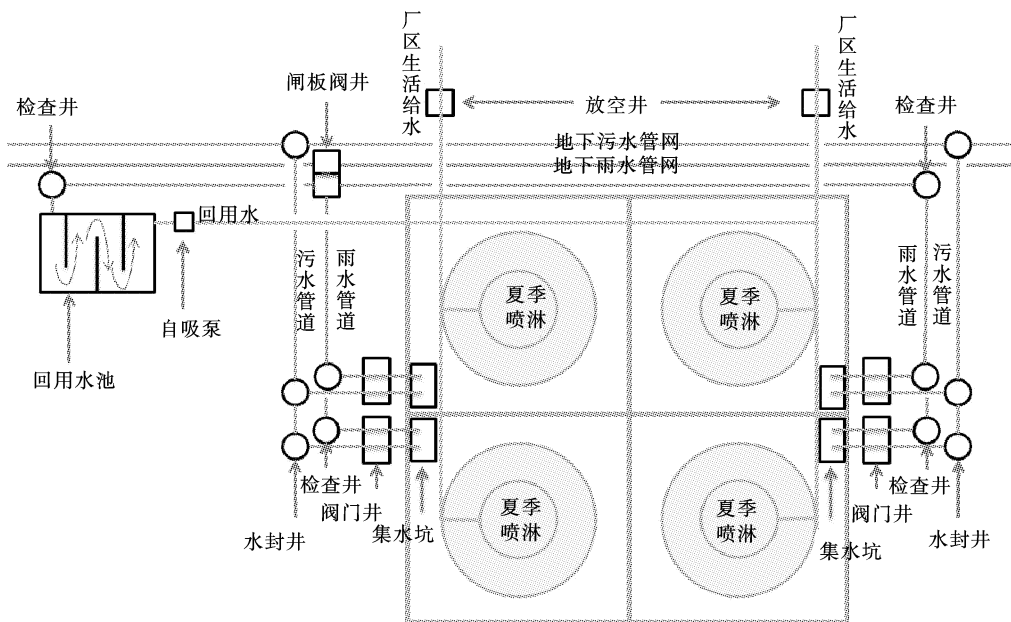


图4 循环夏季喷淋冷却系统示意图

Fig. 4 Schematic diagram of circulating spray cooling system in summer

3.2.4 系统控制及运行

整个循环夏季喷淋冷却系统控制及运行方式如下: 开启夏季喷淋冷却系统前, 手动打开阀门井中的

雨水管道阀门, 操作控制箱, 打开闸板阀井中通往回用水池的闸板, 随后开启厂区生活给水阀门使系统开始运行; 当回用水池液位到达起泵液位时, 自吸泵

工作,并联动自动关闭厂区生活给水阀门;随着冷却水蒸发、逸散等损失,回用水池液位低至停泵液位,自吸泵停止工作,此时需重新手动开启厂区生活给水阀门,补充冷却水直至自吸泵重新工作,待整个冷却过程完成后,将冷却水收集至回用水池等待下次复用,超出水量通过溢流口排入地下污水管网。自吸泵依托带自动控制器的液位浮球阀进行启闭操作。

夏季结束或需要清扫回用水池时,在关闭厂区生活给水阀门状态下开启潜污泵,回用水池余水经夏季喷淋冷却系统被罐区内集水坑收集,此时打开雨水管道阀门井中的阀门及闸板阀井中通往地下雨水管网的闸板,使余水排入地下雨水管网中。回用水池排空后,即可进行清扫、维护等工作。整个冷却系统工作流程见图5。

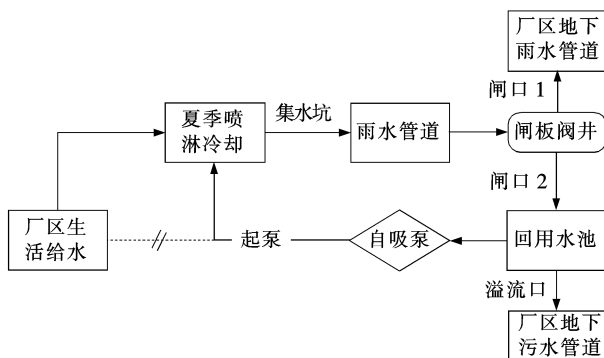


图5 循环夏季喷淋冷却系统工作流程图

Fig.5 Flow chart of circulating spray cooling system in summer

4 结论

1)本设计将储罐泡沫消防管道以分散布置代替集中布置,模拟点火源模型计算结果显示,该布置可显著减少储罐事故状态下热辐射对相邻储罐泡沫管道的影响,可有效提高消防精度,减少消防车辆拥堵。

2)循环夏季喷淋冷却系统可实现较为智能的冷却水回用功能,仅需开启或重新开启系统时进行操作,人工操作量小;同时,计算显示,整个系统回用率高,可达98.25%,单日节水量为388.71 m³。

3)循环夏季喷淋冷却系统在围堰外设置回用水池,占地较大,如将回用水池置于围堰内则占地较小,但需在罐壁设置导流槽等独立的冷却水收集设施。两者的优劣还有待于进一步考证。

4)工程投入运行后,还需要对本系统运行状况及存在问题进行实际调研,以便进一步完善相关内容。

参考文献/References:

- [1] 刘钊池,贝雅梅,刘江波,等.浅析大型储罐固定式消防系统新技术进展[J].石油化工自动化,2016,52(4):1-4.
LIU Yichi, BEI Yamei, LIU Jiangbo, et al. Review on new technology of fixed fire-fighting system for large scale tanks [J]. Automation in Petro-Chemical Industry, 2016, 52(4): 1-4.
- [2] SH/T 3007—2014,石油化工储运系统罐区设计规范[S].
- [3] 郎需庆,刘全桢,宫宏.大型浮顶储罐灭火系统的研究[J].消防科学与技术,2009,28(5):342-345.
LANG Xuqing, LIU Quanzhen, GONG Hong. Research on the fire-fighting system of the large floating roof tanks [J]. Fire Science and Technology, 2009, 28(5): 342-345.
- [4] 鲜爱国,郎需庆,张卫华,等.大型甲醇储罐火灾风险与消防技术探讨[J].安全、健康和环境,2013,13(9):47-50.
XIAN Aiguo, LANG Xuqing, ZHANG Weihua, et al. Discussions into risk and fire technology of large methanol storage tank [J]. Safety Health & Environment, 2013, 13(9): 47-50.
- [5] GB 50160—2008,石油化工企业设计防火规范[S].
- [6] GB 50151—2010,泡沫灭火系统设计规范[S].
- [7] 国家安全生产监督管理总局.关于进一步加强化学品罐区安全管理的通知[Z].北京:[s.n.],2014.
- [8] 张慧.可燃液体罐区设备及管道布置设计要点[J].化肥设计,2015,53(4):21-23.
ZHANG Hui. Design points for the equipment and piping arrangement of flammable liquid tank farm [J]. Chemical Fertilizer Design, 2015, 53(4): 21-23.
- [9] 张网,李晋,任常兴,等.石油储罐泡沫系统有效性研究[J].消防科学与技术,2013,32(1):43-46.
ZHANG Wang, LI Jin, REN Changxing, et al. Research of effectiveness of the oil tank foam system [J]. Fire Science and Technology, 2013, 32(1): 43-46.
- [10] 周方媛,张巨伟.石油储罐消防安全设计[J].当代化工,2014,43(11):2302-2303.
ZHOU Fangyuan, ZHANG Juwei. Fire safety design of oil storage tanks [J]. Contemporary Chemical Industry, 2014, 43(11): 2302-2303.
- [11] 郝蕾.基于层次分析法的高层建筑施工现场火灾风险模糊评价[J].河北工业科技,2015,32(3):224-229.
HAO Lei. Fuzzy evaluation on fire risk assessment of high-rise building construction site based on AHP [J]. Hebei Journal of Industrial Science and Technology, 2015, 32(3): 224-229.
- [12] 赵建强,刘迅,刘翀,等.基于池火热辐射模型确定储罐合理安全距离新方法[J].油气田地面工程,2016,35(4):98-101.
ZHAO Jianqiang, LIU Xun, LIU Chong, et al. The new method of determining tank reasonable safe distance based on pool fire thermal radiation model [J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 2016, 35(4): 98-101.
- [13] SH 3015—2003,石油化工企业给水排水系统设计规范[S].
- [14] 刘玮.某大型油气罐区的消防系统设计[J].化工设计,2013,23(3):14-16.
- [15] 钱婵娟.地上立式储罐消防冷却水系统喷头的选型布置[J].安徽化工,2016,42(3):82-84.
- [16] 中国石油天然气集团公司.石油化工企业水污染应急防控技术指南[Z].北京:[s.n.],2005.