

石化罐区消防给排水协同设计研究

张宇月

中国化学赛鼎宁波工程有限公司 浙江 宁波 315000

摘要:石化罐区火灾风险高,消防给排水系统是保障安全的关键设施。然而,消防给水与排水系统在设计层面缺乏有效协同,导致消防水累积及次生污染等问题。本文结合工程实践,系统分析协同设计的理论基础,梳理标准体系中的协同不足,从水量平衡、系统布局、过程控制、事故转输四维度构建协同设计策略,并介绍水力学模拟、事故池优化及智能监控等关键技术。研究表明,协同设计是实现罐区消防与环境安全的有效路径,可为同类工程提供参考。

关键词:石化罐区;消防给水;排水系统;协同设计

引言:石化罐区是石油化工企业储存原料及产品的核心设施,介质具有易燃、易爆、有毒等危险特性,火灾爆炸事故频发。消防给排水系统承担火灾扑救、冷却保护和事故水收集等功能。现有标准虽对两系统分别作出规定,但缺乏一体化设计的明确指引。本文结合工程设计实践,聚焦石化罐区消防给排水协同设计,从协同基础、标准分析、设计策略及技术方法四个层面展开研究,构建系统化协同设计方法,为提升罐区消防安全及环境友好性提供技术支撑。

1 石化罐区消防给排水系统的协同基础

1.1 石化罐区的火灾风险特征

石化罐区储存原油、成品油及化工品,具有易燃易爆特性,火灾风险突出。罐区火灾类型包括池火灾、沸腾溢流火灾和喷射火灾,以池火灾最为常见。火灾热辐射强度大、易引发连锁效应,单个储罐着火可能引燃邻近储罐形成多米诺效应。轻质油品储罐可能出现沸腾溢流,大幅增加扑救难度。罐区火灾扑救高度依赖消防给水系统提供冷却水和泡沫混合液,同时需排水系统及时排除消防废水,防止火势随水流扩散,两系统可靠性与协同性是火灾有效控制的关键。

1.2 消防给水系统的功能与设计要点

消防给水系统承担储罐冷却保护、泡沫灭火供给及邻近设施防护降温三大功能,由消防水源、消防泵房、消防管网、消防水炮及固定喷淋装置等组成。消防用水量确定是设计核心,需同时满足储罐冷却和泡沫灭火需求,具体计算依据《石油化工企业设计防火标准》(GB 50160-2008,2018年版)执行。消防管网宜环状布置,保证任意管段检修时仍能供水。消防水源应满足双水源

要求,常采用消防水池与市政给水管网联合供水。消防泵房设备配置应考虑备用冗余,主泵故障时备用泵自动投入运行。石化罐区消防供水持续时间依据储存介质、储罐类型按规范选取,通常为4至6小时,消防总用水量可达数千立方米,对消防给水系统可靠性与持续供水能力提出较高要求。

1.3 排水系统的功能与设计要点

罐区排水系统承担清净雨水、含油污水及事故消防水的排放功能。清净雨水可直接排放;含油污水需经隔油处理达标后外排;事故消防水携带大量污染物,须全部收集至事故池暂存。事故池有效容积按《事故状态下水体污染的预防与控制规范》(Q/SY 08190—2019)执行。排水管网关键节点设置切换阀门和水封井,正常工况下初期雨水切换至含油污水系统,后期清净雨水切换至雨水排放系统;火灾工况下所有排水切换至事故池。排水管径按最大事故排水流量校核,保证排水能力不低于消防供水能力,阀门宜采用远程电动操作^[1]。

1.4 协同设计的必要性与理论基础

消防给水与排水系统协同设计源于二者内在关联。排水能力不足将导致消防水在罐区累积,造成灭火受阻、浮顶储罐沉没、污染扩散等次生灾害。两系统须在设计阶段统一考虑水量平衡、时序配合与空间协调,具备专业统筹优势。协同核心为“同步启动、同量匹配、同时空布局”,即消防泵启动与排水阀门按设定时序联动,排水能力不低于供水能力,给水管网与排水管网空间协调,本质是将两系统整合为统一的优化问题。

2 现行设计与规范体系分析

2.1 主要设计规范梳理

现行石化罐区消防给排水设计涉及多部标准规范。《石油化工企业设计防火标准》(GB 50160-2008, 2018 年版)是罐区消防设计的核心依据,规定了消防水量计算、供水强度、持续时间及管网布置等核心参数。《消防给水及消火栓系统技术规范》(GB 50974-2014)补充了消防泵房、消防水池及管道的技术要求。《事故状态下水体污染的预防与控制规范》(Q/SY 08190-2019)对事故池容积计算作出明确规定,要求综合考虑消防水量、降雨量和物料泄漏量。《室外排水设计标准》(GB 50014-2021)和《石油化工罐区工程设计规范》(SH/T 3007-2014)也对罐区排水系统提出具体要求。上述标准分别服务于消防、排水和环境三个目标,但彼此之间缺乏有效衔接和整合,尚未形成给排水协同设计的完整标准体系。

2.2 标准体系中协同设计条款分析

横向比对协同设计条款,存在以下问题:给水与排水标准对“消防水量”口径不一,给水标准按最不利火灾场景计算最大用水量,排水标准采用固定估算值计算事故池容积,导致容积偏小或偏大;两套标准未规定给水与排水的时间匹配关系;现行标准对联动控制几乎未作要求,缺少给水启动与排水切换的明确联动逻辑;协同条款分散于不同规范中,交叉条款常被遗漏或表述模糊^[2]。

2.3 设计流程中协同缺失分析

当前给排水与消防系统虽由同一专业设计人员负责,但协同不足仍贯穿各阶段。方案设计阶段分别核算消防水量与排水能力,缺少水量平衡联合评审,边界条件到施工图阶段才暴露。施工图阶段给水管线与排水管线空间冲突频繁,因缺乏协调机制反复修改。设计文件缺少消防泵启动与排水切换阀的时序说明,给运行留下隐患。消防审查与环保审查分开进行,缺少对系统整体协同性的综合评估。

3 消防给排水协同设计策略

3.1 水量平衡协同策略

水量平衡的核心目标是实现消防供水与排水能力的定量匹配。基于火灾危险源辨识确定消防总用水量,消防水量计算书须作为事故排水系统设计的输入文件,纳入协同设计校审要点。以此确定排水设计流量和事故池容积,排水设计流量不应小于消防供水流量,事故池容积应留有 10%至 20%余量。当池容受用地限制时采用“储存+转输”分级控制,达到设定液位后启动转输泵将事故水输送至场外。该策略将消防给水视为水源端、

排水系统为收集端,确保源-收动态平衡,可直接用于图纸校审。

3.2 系统布局协同策略

系统布局协同旨在实现消防管网与排水管网的空间协调。平面布局方面,消防给水管网环状布置沿防火堤外侧敷设,排水管网沿防火堤内侧或外侧设置,主干管走向宜平行布置减少交叉,交叉时采用四通井或倒虹吸处理。竖向布局方面,优先保证排水管道重力流坡度再调整给水管道埋深。事故池与消防水池宜相邻布置,消防水炮和排水收集口位置应互为呼应,排水收集口布置在防火堤内最低洼处。各专业在方案阶段通过联合踏勘和综合评审共同确定布置方案,避免后期管线冲突。

3.3 过程控制协同策略

过程控制协同的核心是建立消防启动与排水切换的联动控制逻辑。火灾报警确认后,联动系统应按设定时序执行指令:启动消防水泵、开启固定冷却喷淋、将排水切换阀切换至事故池位置。需注意,排水切换阀门动作与消防水泵启动为按设定时序先后执行,并非瞬时同步动作,设计文件中应明确时序差要求。扑救中持续监测消防泵运行状态和事故池液位,达到高限时自动启动转输泵,达到超高限时触发报警。控制系统应具备手动优先功能,宜采用独立 PLC 控制柜,确保主控系统受损时协同控制逻辑仍能正常执行^[3]。

3.4 事故水转输与最终处置协同策略

事故水转输与最终处置是防止次生环境污染的最后屏障。防火堤内地面应坡向排水收集口,坡度不宜小于 0.5%;排水管径按设计流量满流计算并留有 20%富裕能力。事故池无法实现重力流时设置转输泵站,采用备用泵配置,供电按一级负荷设计。暂存容量达高限而事故未扑灭时,启动应急预案将事故水调配至备用收集设施或槽车外运。事故解除后,含油污水送污水处理装置达标排放,全流程设置水质在线监测点。事故水转输处置协同目标为“收得进、存得住、送得出、处理得了”。

4 协同设计的关键技术方法

4.1 基于水力学模拟的计算方法

水力学模拟通过建立给排水系统整体模型,模拟火灾工况动态响应。消防给水管网采用稳态或延瞬态水力分析,计算最不利工况下各节点流量分配及压力分布。排水系统采用非恒定流方法,模拟事故水汇集、输送及贮存全过程。联合模拟将消防供水作为边界条件,获得事故池液位变化曲线,识别薄弱环节,可用于不同给水流量与排水能力组合的方案比选。结合本院日常设计工

作场景,设计人员可采用简化水力计算与工程经验相结合的方法进行协同校核,将消防水量计算书、排水能力校核表等文件纳入设计校审要点,常规中小型罐区项目可依托该方式完成基础协同设计工作,复杂大型罐区仍需配套专业模拟软件开展动态仿真复核,保障设计系统性与可靠性。

4.2 事故池容积优化设计方法

事故池容积直接影响工程投资和用地需求。现行规范推荐容积为消防水量、降雨量和泄漏物料量三者直接相加,偏于保守,用地紧张时难以实施。基于协同设计的优化方法强调“储存与转输相结合”,在容积确定中引入时间变量。事故池有效容积等于消防泵运行期间进入事故池的总水量与同期转输泵排出水量之差,转输能力足够大时池容可显著减小。优化步骤为:确定消防供水流量和持续时间,根据可用用地确定最大建设容积,当规范计算容积大于可用容积时配置相应转输泵,通过水力模拟验证最高液位不超过安全超高。该方法尤其适用于用地受限的改扩建罐区项目。

4.3 智能化监控与联动控制技术

智能化监控与联动控制技术通过物联网和自动化保障协同方案可靠执行。监控系统在消防给水侧设置压力传感器、流量计、液位计及泵组状态监测装置,在排水系统侧设置液位计、油膜检测器及 COD 在线分析仪,连续监测关键参数并传输至中央控制室。协同控制平台集成消防报警信号、给水设备状态和排水阀门状态,收到火灾确认信号后按设定时序向消防泵和排水切换阀发出指令。控制逻辑设置分级权限管理,包括自动控制、手动优先和应急处置三种模式。智能化方向是基于数据驱动的故障预测,通过算法分析设备劣化趋势,提前安排检修,将被动抢修转变为主动维护^[4]。

4.4 工程应用案例

为验证协同设计策略的工程适用性,以某沿海石化企业罐区改造项目为例。该罐区储存原油及轻质油品,总库容 $12 \times 10^4 \text{m}^3$,消防给水系统设计流量 320L/s ,原事故池有效容积 2800m^3 。设计校审阶段发现,按《石油化工企业设计防火标准》(GB 50160-2008, 2018 年版)算消防总用水

量为 5400m^3 ,按《事故状态下水体污染的预防与控制规范》(Q/SY 08190—2019)核算事故池需求容积为 4860m^3 ,缺口约 2060m^3 ,且用地已无扩建条件。采用本文“储存+转输”协同策略,不扩建事故池,新增两台转输泵($Q=200 \text{m}^3/\text{h}$,一用一备)及 DN200 转输管道,将事故水同步转输至厂区污水处理站调节罐。控制逻辑为:事故池液位达有效容积 60%时启动第一台泵,达 75%时启动第二台并报警。经水力模拟验证,消防水泵持续运行 4.5h 工况下,事故池最高液位为有效容积的 87%,满足收集需求。经协同优化,事故池容积由 4860m^3 缩减至 2800m^3 ,节约用地约 600m^2 ,降低投资约 220 万元。该项目已通过消防与环保联合评审,充分验证了协同设计方法在改造项目中的经济性、安全性与实用性。

结束语

石化罐区消防给排水协同设计是从系统论视角解决安全与环境风险的必要途径。本文基于化工设计院工程设计视角,从协同基础、标准分析、协同策略和关键技术方法四层面构建研究框架,明确水量平衡、系统布局、过程控制和事故转输四个协同维度,提出水力模拟、容积优化和智能监控的技术体系。协同设计可实现给水、排水系统在水量匹配、空间协调、时序联动、水质可控维度的高度统一,有效解决罐区设计错漏碰缺、系统不匹配、投资浪费、安全冗余不足等工程痛点。后续可进一步开展标准化研究,区分新建、改扩建及不同危险介质罐区,建立差异化协同设计导则;构建覆盖设计、施工、调试、运维的全生命周期协同管理体系,持续提升石化罐区安全、绿色、智慧化建设水平。

参考文献

- [1] 王智. 浅谈石油化工的消防给排水设计 [J]. 电脑爱好者 (普及版) (电子刊), 2021(8):2289-2290.
- [2] 朱运鸿. 某润滑油企业园区室外消防给水及罐区事故废水设计实例 [J]. 中国建筑金属结构, 2024, 23(z2):170-173.
- [3] 郑洪海. 浅谈环氧丙烷罐区消防与给排水设计 [J]. 数字化用户, 2025(47): 103-105.
- [4] 谭博寅. 浅谈石油化工的消防给排水设计 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022, 42(17):181-183.