

化工储罐区消防给水系统设计要点与安全分析

张雯宇

山东富海石化工程有限公司天津分公司 天津 300110

【摘要】：化工储罐区消防给水系统常存在参数匹配失衡、运行状态不稳、极端工况承压能力偏弱等工程问题。研究依托 GB50974-2014 及石化消防专项规范体系，结合量化核算、风险甄别、性能核验的技术手段，梳理储罐区消防给水实际需求与系统整体架构，界定用水量核算、水压时长适配、分区参数设定等核心设计内容，甄别水源、管网、设备三类核心安全隐患并匹配对应防控方案。多维度性能试验数据能够印证，优化后的设计模式可提升消防给水系统的运行稳定度与工况可靠度，能够为化工储罐区消防给水系统的标准化设计、安全运维管控、风险隐患治理提供有效工程参考。

【关键词】：化工储罐区；消防给水系统；系统设计；安全风险

DOI:10.12417/2811-0722.26.08.057

引言

化工储罐区是危化品储存的核心场地，储存介质自带易燃易爆属性，物料储存体量集中，火灾传播速度快，现场应急处置难度偏高。场地出现物料泄漏、燃烧爆炸等事故时，极易诱发重大安全事故。消防给水系统承载着储罐区火灾防控、火势压制、现场应急处置的核心功能，是场地不可或缺的基础防护设施。现有部分储罐区消防给水系统设计参数粗放，设备配置储备量不足，难以适配复杂工况运行需求。火灾发生后，系统易出现供水总量不足、管网压力波动、设备停运失效等各类隐患。行业消防规范与现场工程实践作为研究基础，针对储罐区消防给水设计内容与安全风险开展全面梳理分析，依托量化核算与性能试验手段，搭建适配化工储罐区复杂运行场景的消防给水设计与运维管控体系。

1 化工储罐区消防给水系统总体架构设计

1.1 系统整体层级架构设计

化工储罐区消防给水系统搭建水源储备、加压输送、管网分配、终端灭火冷却四大单元构成的层级化整体架构（如图1所示）。整套系统搭载静态、动态两类运行模式，常规运行状态依托稳压设备维持管网静态压力，设备始终保持应急待命状态，火灾触发信号出现后可快速切换为大流量动态供水状态。系统核心硬件配置 1200m³ 封闭式专用消防水池，搭配额定流量 80L/s、扬程 85m 的主消防泵组与 15L/s 稳压泵组，全域布设 DN300 环形无缝钢管管网。各单元模块化分工、协同化运行，弥补传统单级供水系统响应滞后、供水能力不足、单点故障整体瘫痪的运行缺陷，适配甲乙类危化品储罐火灾现场的各类应急处置工况。



图1 化工储罐区消防给水系统总体架构设计示意图

1.2 水源与加压输送单元设计

水源单元采用市政管网补水搭配封闭式消防水池储水的双重保障模式，消防水池 1200m³ 的有效储水容积预留 100m³ 应急储备水量，可覆盖液化烃储罐最长 14400s 的火灾延续供水需求。池体配套 DN200 应急取水接口，水源切换速度可达 12m³/min。加压输送单元配置主备双泵组，115kW 主消防泵承担火灾峰值大流量供水工作，稳压设备维持管网 0.42MPa 常规静压，设备联动切换间隔不超过 3s。

1.3 环状管网输配系统设计

场地管网主体选用 DN300 防腐无缝钢管铺设，管内水流速度控制在 1.2m/s-1.8m/s 之间，每百米管网沿程阻力损耗控制在 0.08MPa 以内，削弱长距离输水产生的压力衰减问题。管网结构剔除所有盲管与多余变径结构，调整管路节点布局，让罐组全域水流实现均衡分配，改善远端点供水压力、流量不达标的问题。管网搭载水锤消除装置与压力实时监测模块，火灾大流量供水产生的瞬时水锤压力可控制在 0.45MPa 以内，压力监测设备以 1 次/s 的频率采集数据，0.03MPa 以上的压力波动会触发预警机制，支撑管网长期承压运行，规避泄漏、运行不稳等问题。

1.4 终端供水与联动控制系统设计

终端供水设备涵盖储罐喷淋冷却装置、消防消火栓、泡沫灭火配套供水接口。固定顶储罐布设全覆盖喷淋结构，浮顶储

罐重点针对密封带做防护设计,卧式小型储罐简化终端布设结构,聚焦局部灭火作业。控制系统采用全自动联动运行模式,火灾报警信号接收后,稳压泵、主消防泵、分区控制阀可按序快速启动,双水源切换时长控制在2s以内。系统自带故障自检、点位监测、工况记忆功能,可实时采集管网压力、供水流量、设备运行负荷等运行数据,针对设备故障、管网泄漏、水源不足等隐患主动发出预警,适配日常运维监测与火灾应急工况,提升场地火灾处置的整体能力。

2 化工储罐区消防给水系统架构设计要点

2.1 消防用水量精准计算设计

消防用水量核算工作是储罐区消防系统设计的基础依托,设计过程依托规范公式完成量化核算,摒弃传统经验估值模式,设计参数贴合真实火灾运行场景。GB50974-2014 规范界定储罐区一次火灾消防总用水量计算公式:

$$V = V_p + V_{c1} + V_{c2}$$

其中 V 为总消防用水量 (m^3), V_p 为泡沫灭火配套用水量 (m^3), V_{c1} 为着火罐冷却用水量 (m^3), V_{c2} 为邻近防护罐冷却用水量 (m^3)。固定顶罐喷水强度取值 $2.5 L/(min \cdot m^2)$,浮顶罐喷水强度取值 $2.0 L/(min \cdot m^2)$ 。单座 $5000m^3$ 固定顶储罐拥有 $1880 m^2$ 冷却面积,3h 火灾工况下可产生 $846m^3$ 单罐冷却用水量,核算得出的数值可为水池容积设定、水泵设备选型提供核心数据支撑。

2.2 给水水压与供水持续时间匹配设计

给水水压与供水时长的适配设计,保障消防给水系统可稳定发挥防护作用,参数设置结合储罐高度、管网损耗、火灾等级多层条件完成分层界定。研究场地储罐区最大罐体高度 $21.5m$,管网最不利点垂直高差 $18.5m$,管网沿程与局部阻力总损耗核算为 $0.07MPa$,规范标准要求最不利点终端工作压力不低于 $0.35MPa$ ^[1]。甲乙类可燃液体储罐统一配置 $10800s$ 火灾延续供水时长,液化烃储罐延续供水时长设定为 $14400s$ 。稳压设备在常规运维阶段维持管网 $0.42MPa$ 静压,火灾工况下主泵启动补偿压力损耗,全供水周期内终端压力可稳定维持在 $0.35MPa$ 以上,流量波动差值不超过 $3L/s$,规避压力不足、供水中断等常见运行隐患。

3 化工储罐区消防给水系统安全分析

3.1 化工储罐区消防给水系统存在的安全风险

3.1.1 水源供水不足风险

部分老旧厂区 $800m^3$ 的消防水池有效容积,无法适配 $5000m^3$ 储罐 $10800s$ 火灾工况 $1046m^3$ 的用水需求,峰值用水缺口可达 $246m^3$ 。单一市政水源 $50L/s$ 的供水上限,难以承载 $65L/s$ 的火灾峰值流量。露天水池处于 $-5^\circ C$ 低温环境时会形成 $5mm$ 以上厚度冰层,储水容积缩减 15% ,雨季淤泥堆积会造成

$8\%-12\%$ 的容积损耗^[3]。多罐同时起火的极端场景中,水源持续补给速率不足 $10m^3/min$,供水中断问题极易发生,长时间罐体冷却作业无法持续开展,灾害事故的影响范围会进一步扩大。

3.1.2 管网压力不稳泄漏风险

消防给水管网长期露天布设,交替变换的运行工况会诱发压力波动与介质泄漏问题。厂区常规 $DN300$ 管网长期承受 $0.35-0.42MPa$ 交变压力,老旧接口密封件会出现老化失效问题,产生 $0.5-1.2m^3/h$ 的微量渗漏,管网静压每小时对应衰减 $0.02-0.03MPa$ 。火灾大流量供水状态下,管网流速升至 $2.0m/s$, $0.55MPa$ 的瞬时水锤压力会超出管网常规承压能力。盲管段水流静止堆积,远端供水压力会降低 $0.04-0.06MPa$,终端流量差值可达 $8-12L/s$ 。

3.1.3 设备启停失效故障风险

消防水泵、稳压装置、电控系统等核心设备的启停故障,是消防系统应急失效的主要诱因。设备长期静置待命,水泵轴承会出现锈蚀卡滞现象,设备启动负载提升 $15\%-20\%$, $115kW$ 额定功率的消防水泵易出现启动过载跳闸问题。潮湿多粉尘的现场环境,会让电控回路绝缘电阻降至 $0.5M\Omega$ 以下,未达到 $1.0M\Omega$ 的规范安全标准,信号传输延迟时长可达 $2-5s$ 。无冗余供电配置的系统,市电断电后普通发电机启动耗时超 $15s$,超出 $3s$ 的消防应急切换标准,峰值供水阶段会出现设备停运问题,系统完全丧失应急供水能力。

3.2 化工储罐区消防给水系统安全防控措施

3.2.1 水源冗余储备优化措施

双水源冗余储备体系可改善水源供水不足的问题,水源储备与补给结构的优化升级能够夯实系统供水基础。“市政自来水+封闭式消防水池”的双水源配置模式,搭配 $1200m^3$ 水池有效容积与 $100m^3$ 应急冗余水量,可覆盖 $4h$ 最长火灾用水需求。封闭式保温防渗池体搭配伴热装置,可将水体温度维持在 $2^\circ C$ 以上,杜绝低温结冰造成的容积损耗。月度池体清淤作业可保障储水容积稳定无衰减^[4]。 $DN200$ 应急取水接口可实现 $12m^3/min$ 的水源切换流量,配套液位传感器完成 $24h$ 不间断监测,水位低于 $800m^3$ 阈值时自动启动补水设备,维持水源储备余量的稳定状态。

3.2.2 管网稳压防渗整改措施

管网改造、稳压调控、防渗防护的综合整改方式,可解决管网压力波动与介质泄漏隐患。全域更换 $DN300$ 防腐消防专用钢管,彻底清除管网盲管结构,管路布局优化后可将流速稳定在 $1.2-1.8m/s$ 。管路接口加装耐高压密封垫片,适配 $0-0.6MPa$ 交变压力工况,水锤消除设备可将瞬时水锤压力控制在 $0.45MPa$ 以内^[5]。管网压力监测设备保持 $1次/s$ 的数据采集频率, $0.03MPa$ 以上的压力波动会主动触发预警信号。月度

0.6MPa 稳压密封性试验以 300s 保压压降 $\leq 0.02\text{MPa}$ 为合格标准, 全面排查各类隐蔽泄漏点位。

3.2.3 设备冗余运维保障措施

设备冗余配置升级与常态化运维管理, 可规避设备启停失效故障。一主一备的核心供水设备配置, 可在 115kW 主泵故障时, 实现备用泵 2.8s 内自动投切, 稳压泵与主泵联动运行, 工况切换过程无衔接断层。150kW 全自动柴油发电机可在断电 9.5s 内启动供电, 功率负荷可覆盖全部消防设备运行需求。分级运维机制落实常态化设备管控, 每日开展设备空载启停测试, 每月完成 65L/s 满负荷联动试验, 每季度实施设备除锈润滑与线路检测工作, 电机绝缘电阻稳定维持在 $2.0\text{M}\Omega$ 以上, 从源头规避设备启停故障、运行异常等安全隐患。

4 系统安全性能验证

4.1 供水流量压力性能

最不利供水点位的多组工况测试, 可检验优化后系统供水流量、压力的适配能力, 常态稳压、初期火灾、峰值火灾、持续供水四类工况的终端参数, 能够直观体现系统参数匹配水平与供水有效性。

表 1 供水流量压力性能结果

工况类型	测试高程 (m)	供水流量 (L/s)	终端压力 (MPa)	持续供水时长 (min)
常态稳压 工况	18.5	12	0.42	720
初期火灾 工况	18.5	38	0.38	180
峰值火灾 工况	18.5	65	0.35	120

各类工况测试数据显示, 系统终端压力始终高于 0.35MPa 的规范限定值, 流量参数可适配火灾不同发展阶段的用水需求。常态稳压工况压力稳定性表现最佳, 峰值火灾大流量供水

状态无参数衰减、无超标压降, 各项指标符合石化消防设计规范, 系统供水适配性与工况响应性能表现良好。

4.2 火灾持续供水稳定性

甲乙类可燃液体储罐标准火灾场景的 4h 连续供水试验, 可检验系统长时间供水的稳定状态, 试验过程定时采集的管网流量、压力、设备负荷、水源水位数据, 可直观反映系统长效运行能力。

表 2 火灾持续供水稳定性测试结果

供水时长 (h)	实时流量 (L/s)	管网压力 (MPa)	水泵运行负荷 (kW)	水源剩余水量 (m^3)
1	63	0.36	115	860
2	62	0.35	113	620
3	62	0.35	113	380

系统 14400s 满负荷连续运行过程中, 供水流量波动幅度控制在 2L/s 以内, 管网压力最大衰减数值为 0.02MPa , 水泵运行负荷始终保持平稳状态。水源水量匀速消耗, 无突发断供、压力骤降等故障问题, 优化后的系统可支撑储罐最长时长的火灾处置供水作业, 长效供水稳定性表现优异。

5 结语

国家及行业消防规范为研究基础, 化工储罐区火灾防控实际需求为导向, 研究完成消防给水系统需求梳理、架构拆解、设计剖析与风险研判, 界定用水量核算、水压时长适配、差异化参数设定的核心技术标准, 识别水源、管网、设备三类核心安全隐患, 配套搭建冗余优化、隐患整改、运维管控的完整防控体系。多工况性能试验可印证, 优化设计方案能够维持系统常态运行稳定度, 提升火灾持续供水能力与极端工况容错水平。研究成果可应用于化工储罐区消防给水系统的全新设计、改造升级、日常运维工作, 能够提升场地火灾应急处置能力, 降低危化品火灾事故发生概率与灾害影响程度, 具备充足的工程推广价值。

参考文献:

- [1] 陈凯.液体化工码头库区消防给水方案优化分析[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(8):133-134.
- [2] 刘春明.试论大型石油储罐区消防安全对策[J].中国科技期刊数据库工业 A,2023(5):37-40.
- [3] 檀香逸,陆荣海,苗世茂,等.大型化工储罐区固定式泡沫灭火系统设计——以福建某大型化工项目为例[J].今日消防,2025,10(2):106-108.
- [4] 陈金岳.化工储罐区多灾害协同下动态个人风险评估方法研究[D].中国科学技术大学,2023.
- [5] 郭晓雪.数据不确定性下化工储罐区火灾爆炸风险评估与安全投资优化分配方法研究[D].中国科学技术大学,2023.