

几内亚马瑞巴亚港至西芒杜矿区铁路油库消防设计探讨

文 / 杨梦琳 中铁第一勘察设计院集团有限公司

摘要: 为探讨铁路油库消防设计要点,以几内亚马瑞巴亚港至西芒杜矿区铁路油库为例,详细探讨了采用中国技术标准体系设计的国外铁路油库消防工程设计重难点。对工程的接驳情况、油库消防泡沫灭火系统、油库消防冷却水系统、消防泵站系统、管网布置、其他灭火设施等消防措施进行详细介绍,总结了油库消防设计要点,为类似工程设计提供借鉴。

关键词: 西芒杜矿区; 铁路油库; 泡沫系统; 消防冷却系统; 设计要点

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.03.053

引言

随着全球经济的持续发展和能源需求的日益增长,铁路运输作为现代物流体系中的重要组成部分,其安全与效率直接关系到国家经济的稳定运行与民众生活的安宁。在铁路运输体系中,油库作为存储和转运燃油、柴油等易燃易爆危险品的关键设施,其消防安全设计显得尤为重要。一旦发生火灾或爆炸事故,不仅会造成巨大的经济损失,还可能对周边环境、居民生命财产安全构成严重威胁,甚至引发连锁反应,影响铁路大动脉的畅通无阻。

因此,加强铁路油库的消防设计研究,构建科学、合理、高效的消防安全保障体系,是确保铁路运输安全、维护社会稳定、促进经济可持续发展的必然要求^[1-2]。张友先、晁军校^[3-4]对油库设计的重难点、设计中存在的问题、油罐消防技术等方面提出了针对性解决方案;李明、赵海东等^[5-7]对油库中最重要的防火措施、灭火措施进行分析,对泡沫灭火系统、消防给水系统设计进行分析,给出设计解决方案。本文以西芒杜矿区铁路油库消防设计为例,针对铁路油库消防设计中油库消防泡沫系统、消防冷却系统等进行详细分析,对于提高储罐自身的防火、控火及扑灭初期火灾的能力,提高石油库常年运行的安全性和可靠性具有重要的现实意义。

一、工程概况

几内亚马瑞巴亚港至西芒杜矿区铁路联通几内亚东西部地区,铁路全长620.48km,覆盖该国12个省级行政区,是开发西芒杜铁矿的关键驱动力。西芒杜矿区铁路采用双轨复线标准,可行驶一万吨级列车,铁路全线共设15个车站,是几内亚迄今为止修建的最长现代化铁路,铁路全线均采用中国标准设计。该铁路作为“新丝绸之路经济带”、“21世纪海上丝绸之路”的重要节点^[8],项目建成后将有效改善当地交通现状,提高当地居民生产生活水平,为几内亚经济社会发展注入强劲动能。

西芒杜矿区铁路马瑞巴亚港处于滨海平原区,地形

较起伏较小,地表植被茂盛,多以灌木、乔木为主。工程范围内主要地层为第四系全新统(Q₄)淤泥质黏土、黏土、细砂、中砂、粗砂为主。矿区铁路在马瑞巴亚港设机务段及凯鲁阿内机务折返段,以供机车检修、整备;机务段内设3座2000m³固定于地面上的立式油罐,为四级油库,储存油品为柴油,油品类型为乙B类^[9],储油罐最大直径为15.8m,最大高度为12.84m。

铁路油库消防水池、消防泵房给水管道接入机务段内给水管网,采用接管管径DN200给水管道引入港口水源。油库消防给水采用移动式消防冷却水系统及固定式泡沫灭火系统,均采用临时高压系统;石油库内设消防泵房1座,采用自灌吸水消防泵组,消防用水由消防水池提供,消防设计按同一时间内发生1起火灾确定,消防最不利点为中间油罐着火^[10]。

二、油库消防泡沫系统

(一) 泡沫系统计算

根据(GB 50074-2014)^[9]规定,本项目油库为甲类地面固定式油库,故采用低倍数泡沫灭火系统,喷射方式采用上喷射系统,采用蛋白泡沫液,泡沫液按照6.5%混合,根据最大油罐灭火所需泡沫量计算泡沫罐储量^[11]。

泡沫灭火系统按直径最大1座油罐着火,扑救流散火灾配置的泡沫枪同时使用设计。泡沫混合液供给强度12L/(m²·min),泡沫连续供给时间45min,泡沫枪需要1个PQ4型泡沫枪,泡沫枪连续使用时间20min,泡沫混合液设计流量27.16L/s,一次性火灾泡沫系统配水量79.21m³。采用3%水成膜泡沫液,设计5m³泡沫罐1处,系统采用PH32型压力式泡沫比例混合器。

(二) 泡沫比例混合器

采用PHP型平衡式泡沫比例混合器,每个油罐处设置2个,一备一用;泡沫液进口压力应大于水进口压力,压力差不大于0.2MPa,以保证混合比准确;泡沫液进口管道上应设单向阀,防止泡沫液倒流。泡沫液管道上应设冲洗及放空设施,便于系统维护和清洗;混合器采用垂直安装,并与消防水泵和泡沫液泵配套使用。

(三) 泡沫产生器

采用竖式低倍数泡沫产生器，安装在油罐壁的顶部，泡沫产生器的进口工作压力额定值 $0.5 \pm 0.1 \text{MPa}$ ；泡沫产生器的泵、比例混合装置及其管道上的控制阀、干管控制阀具备远程控制功能，便于消防人员远程灭火，减少人员伤害。泡沫产生器沿油罐四周均匀对称分布，每个油罐顶部设4套，每两套设备共用1根泡沫混合液输送管。

三、油库消防冷却系统

(一) 消防冷却系统设计

消防冷却系统可分为移动式消防冷却水系统及固定式消防冷却水系统，移动式消防冷却水系统及固定式消防冷却水系统的优缺点见下表：

表 1 移动式消防冷却水系统及固定式消防冷却水系统的优缺点对比表

	移动式消防冷却水系统	固定式消防冷却水系统
优点	运行灵活、机动，人为控制性强，投资少	系统响应及时，冷却均匀，不需要消防人员赶来冷却
缺点	启动应急预案和等待消防车到来需要时间，冷却不均匀，对灭火人员安全性需要考虑	投资大，需要经常维护和保养

根据GB50074-2014《石油库设计规范》12.1.2“容量小于 3000m^3 且管壁高度小于15m的地上立式储罐及其他储罐，可设置移动式消防冷却水系统”，结合项目自身情况，本次设计采用移动式消防冷却水系统。

本次设计考虑最不利消防状态为1座 2000m^3 油罐着火全周冷却，相邻的2座 2000m^3 油罐半周冷却。着火罐冷却水供给强度为 $0.8 \text{L/s} \cdot \text{m}$ ，消防冷却水计算流量为 40L/s ；相邻罐冷却水供给强度为 $0.5 \text{L/s} \cdot \text{m}$ ，消防冷却水计算流量为 25L/s ；油库室外消火栓设计流量为 15L/s ，油库冷却水总流量为 85L/s 。着火罐火灾延续时间6h，室外消火栓火灾延续时间4h，油库冷却水系统一次消防用水量为 1404m^3 ，室外消火栓一次消防用水量为 216m^3 。

(二) 消防冷却系统方式

采用固定式消防冷却水系统，确保在火灾发生时，能够迅速、有效地对油罐进行冷却，防止火势蔓延。根据油罐的直径、高度以及冷却水供给强度，冷却水流量不小于 8L/s 、供水强度不小于 $2.5 \text{L/min} \cdot \text{m}^2$ 。合理设计供水系统的水源、水泵、管道、阀门等组件，保证供水系统能够在火灾发生时迅速提供足够的冷却水。采用环管喷淋系统及水幕喷头，喷淋装置均匀于油罐周边，确保冷却效果。

(三) 消防冷却加压系统

油库消防冷却加压系统包括消防水池、消防泵、稳

压泵、供水管网、消防冷却水管线、消火栓及冷却水喷淋装置等部分，这些组成部分共同协作，可确保在火灾发生时能够迅速提供稳定、高压的冷却水。无火灾时，系统处于正常待机状态，此时，消防水池保持一定的水位，消防泵和稳压泵处于停止状态，但系统保持高压状态，以确保在火灾发生时能够迅速启动；稳压泵根据管线压力自动启停，保持供水管网中的水压稳定在 $0.4 \sim 0.8 \text{MPa}$ ，当压力超过上限值时，稳压泵停止工作并关闭出口阀，当压力低于下限值时，稳压泵启动并打开出口阀，以维持管网压力。发生火灾时，值班人员通过电视监控系统、电话等方式确认火情后，按下“确认”按钮或系统自动检测到火灾信号（如烟雾、温度等），启动消防联动系统；消防泵启动后将消防水池中的水加压后通过供水管网输送到各个消防冷却水管线和消火栓，该阶段稳压泵停止工作，由消防泵提供水压和流量。

四、消防泵站系统

铁路油库消防泵站的选址、选型需要考虑多个因素影响，以满足消防系统的有效性和可靠性为准。首先，根据铁路油库的储存容量、储罐数量及布局，确定消防系统的覆盖范围和所需流量、压力，也应考虑油库所在地的气候条件、水源情况、地形地貌等因素对消防泵站的选址、设备选型及布局产生影响；其次，消防泵站选址与布局应靠近油库区域，便于快速响应火灾，也应考虑运输通道畅通，便于消防车辆进出，各设备之间的间距、通道宽度等符合消防规范，便于人员操作和设备维护。

本次设计设半地下式消防泵房1处，内分别设冷却消防泵组（ $Q=90 \text{L/h}$ ， $H=68 \text{m}$ ， $N=110 \text{kW}$ ）1套及泡沫消防泵组（ $Q=30 \text{L/s}$ ， $H=105 \text{m}$ ， $N=55 \text{kW}$ ）1套，冷却消防泵组设稳压泵（ $Q=3 \text{L/s}$ ， $H=60 \text{m}$ ， $N=5.5 \text{kW}$ ）1套。本次设计选用 1000m^3 消防水池2座，设于消防泵房旁，采用带阀门的连通管连通，消防水池的补水时间不大于48小时。

五、管网布置

本次设计泡沫系统及冷却系统均采用环状管网供给，泡沫栓与消火栓间距不小于60m。根据计算，消防冷却水系统采用DN250供水管道，消防泡沫系统采用DN200输送管道，防火堤内泡沫管道设3%的放空坡度，放空至地势低洼处；防火堤外泡沫管道设2%的放空坡度，放空至地势低洼处，统一回收处理。埋地管道采用钢管，明敷管道采用热浸镀锌钢管，钢管需进行加强防腐处理。考虑本次设计场地范围内存在地基承载力不足的问题，本次设计采用在不满足承载力部分管道下设300mm砂垫层及400mm砂夹石基础的做法解决此问题。

六、其他灭火装置

油库取除采用泡沫灭火系统、消防冷却系统外，还需设置辅助灭火装置，根据规范相关规定，在消防泵房内设6具惰性气体灭火器及2m³灭火砂；油罐区无固定作业人员，进出人员较少，在主要通道处配备6块灭火毯及2m³灭火砂。

七、油库消防设计要点

国外铁路油库消防设计涉及多个方面，为确保油库的安全运行和有效应对火灾等紧急情况，消防设计中严格执行我国相关标准、规范，确保设计符合安全要求。消防设计以预防为主，防消结合，采取有效防火、防范、安全等措施，以防止和减少火灾造成的危害及损失；同时，消防设施应尽可能采用新技术、新工艺，提高自动化水平，减少人工操作，降低安全风险。

（一）消防冷却水系统设计

根据油罐的最大容量、浮盘类型等确定冷却水供给强度和连续供给时间，设置固定式水冷却系统，确保着火罐和相邻罐的冷却水出水强度相同，并满足连续供给时间要求；消防冷却水管道采用地上环状敷设，并在环绕罐区的管道上设置消火栓，以便辅助灭火。

（二）泡沫灭火系统

根据油罐的最大容量、油品性质等确定泡沫混合液供给强度和连续供给时间，设置固定式低倍数泡沫灭火系统，确保在火灾发生时能够迅速有效地扑灭火源；泡沫产生器沿罐壁均匀布置泡沫产生器，并用独立的泡沫混合液管道引至防火堤外；在油库的不同区域（如铁路收发区、装卸油品码头、储油罐区等）配置适量的灭火器材，如MF/ABC8型手提式干粉灭火器等，确保灭火器材的规格、型号和数量符合规范要求，并定期进行检查和维护。

（三）其他消防设计

地上油罐与半地下油罐的油罐组均应设防火堤，防火堤应为不燃材料建造，并符合高度和宽度的要求，防火堤内平地应有排水坡度，并设带闸门的下水道和水封井；当油罐组内的总容量较大且油罐多于两个时，应设隔堤以提高防火安全性。

油库内道路应尽可能布置成环形道，以便消防车辆能够迅速到达任何区域进行灭火作业，消防道路的路面宽度和路肩宽度应符合规范要求，以确保消防车辆能够顺畅通行，路边距防火堤基脚应保持一定的距离，以便消防车辆进行作业。

在日常管理过程中，需要对应急发电机的启动电池电压、油压参数以及油箱油位高度等数据加强监管力度，确保发电机在紧急情况下能够正常启动并供电。

采用光线传感等先进技术的火灾探测传感器对油罐外壁的油气温度和温度上升速率进行监控，并根据系统设置的参数信息分析火灾发生概率。

结语

油库消防依据的规范较庞杂，设计时需实际工程综合选择，结合实际情况及相关规范选择科学、合适的消防冷却水系统及泡沫灭火系统，更好的对油库进行保护，以提高石油库应对火灾的对抗能力。本文以几内亚首条双线重载现代化铁路马瑞巴亚港车务段油库为背景，对油库消防方案选型进行详细剖析，为类似工程消防设计提供借鉴。

西芒杜矿区铁路是几内亚首条采用中国技术标准修建的现代化铁路，机务段油库作为铁路动力来源，油库消防对于油库的安全运营起到保障性的作用。铁路油库消防、给排水设计在满足规范各项要求下力争做到安全、可靠，针对海外工程的实际特点，综合考虑各方面因素，提高设计的质量和水平，降低油库火灾事故的概率，为几内亚马瑞巴亚港至西芒杜矿区铁路油库的安全运营奠定坚实的基础。

参考文献

- [1] 杨扬. 大型油库固定消防系统的优化管理对策分析[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022, 42(3): 96-97.
 - [2] 马玉清. 油库消防管理的实施策略分析及研究[J]. 化工管理, 2019, (10): 138.
 - [3] 张友先. 中小型石油储罐消防设计研究[J]. 建材与装饰, 2020, (10): 67-68.
 - [4] 晁军校. 油库建设中消防设计问题研究[J]. 工程建设与设计, 2020, (14): 36-37.
 - [5] 李明. 油库建设中消防设计问题研究[J]. 中国石油石化, 2017, (03): 84-85.
 - [6] 赵海东. 山海关铁路机务折返段油库消防设计实例[J]. 辽宁化工, 2018, 47(3): 229-231.
 - [7] 陈常. 大型石油储罐消防水系统设计与检测研究[D]. 浙江大学, 2016.
 - [8] 杨琳. 几内亚马西铁路关键技术标准方案研究[J]. 铁道货运, 2023, 41(8): 56-64.
 - [9] 石油库设计规范, GB 50074-2014[S].
 - [10] 陈燕华. 浅谈石油库的消防设计[J]. 城市建筑, 2013, (10): 262-263.
 - [11] 泡沫灭火系统技术标准, GB 50151-2021[S].
- 作者简介: 杨梦琳(1992-), 女, 汉族, 陕西渭南人, 硕士研究生学历, 工程师, 从事工作: 铁路给排水。