

油气管道消防安全研究初探

丛一宁, 杨岭飞, 张瑞毅

国家管网集团北京管道有限公司, 北京 100020

DOI:10.61369/ERA.2026030031

摘要 : 保证管线平稳运行是能源运输行业稳步前进的前提条件之一, 其中防火防护属于安全控制的重点部分, 对火患因素进行分析是执行油气管网防灾安全保障评估的基础。通过分析管道防火潜在风险和燃烧特性、管网消防关键难点、管路消防安全监管现状、关联学术管理课题等角度, 对国内外油气管线防火安全方面科研成果进行梳理, 找出已有的不足之处, 并大致确定了以后消防科研的主要方向, 为油气管道行业安全防护机制的改进提供实证依据。

关键词 : 油气管道; 石油; 天然气; 消防安全

Preliminary Study on Fire Safety in Oil and Gas Pipelines

Cong Yining, Yang Lingfei, Zhang Ruiyi

Petrochina Beijing Gas Pipeline Co.,Ltd. Beijing 100020

Abstract : Ensuring pipeline safety is a key goal for the oil and gas industry's normal operation. Fire safety is a critical indicator of plant safety management, and research on fire safety forms the basis for studying oil and gas pipeline safety. This paper reviews the research progress on oil and gas pipeline fire safety globally, focusing on hidden hazards, fire characteristics, management practices, and studies. It identifies existing research gaps and proposes future research directions to support the fire safety advancement of the oil and gas pipeline industry.

Keywords : oil and gas pipelines; petroleum; natural gas; fire safety

引言

伴随着中国基础设施建设的不断推进, 输油、输气管道系统已经同铁路、公路、民航、水路一起形成了五大主要运输方式。由于油气管内介质有高压、易燃易爆的特性, 一旦出现突发性灾情, 就会对邻近居民的生命财产安全造成严重的威胁, 并且会带来巨大的资金消耗。能源供给中断还会对下游企业、大众生活造成影响, 甚至引发社会动荡, 从而给国家和社会造成长期而消极的影响。

2010年大连新港输油管线曾经发生过爆燃事故, 因为员工操作失误造成脱硫化剂在管内剧烈燃烧, 进而引起的火势烧毁了罐体阀门效能, 使泵房、电力系统瘫痪, 大量的原油倾泻到火场上, 造成大面积的流淌性火灾^[1]。随着火势的增大, 管线、罐体破裂的程度加大, 使原油外泄的量越来越大, 最后导致储罐发生爆炸, 引发突发性的生产安全事故。这次灾害使大火持续燃烧了大约15个小时, 现场设备损失惨重, 对周边的生态环境造成了严重的污染, 并且产生了非常不好的社会影响。

管线是极为坚固的能源传输方式, 它的正常运转一直被重视。即使这样, 管道火灾的消防灾难依然时常发生^[2]。除去初始设计上存在的缺陷、运作过程中管控的疏漏和不合理管线维护等原因外, 造成油气管网安全的主要隐患就是管线泄漏所引起的风险。所以, 怎样科学分析此类危机并能准确地进行量化评估对于管道消防安全治理的改进有重要的指导意义。

一、管道消防安全隐患及火灾特点

(一) 管道消防安全隐患的潜在影响

对比于一般的油区以及石油化工机构, 管线公司火险防范管理具有明显的异质性。原油管道网络容易受到外部因素的干扰, 即非法盗采钻孔、交叉作业、违法侵占、水土冲刷等不确定性因素的影响, 一旦管网遭到外界毁损而引起油料或者气态烃物泄

露, 很容易因为处置不当而引发火灾爆炸, 造成人员伤亡以及环境破坏等重大事故, 因此管线防火隐患对于管廊运营管控有着重大的制约作用。

(二) 管道火灾特点

过去的石化化工企业引起的火灾具有蔓延速度快、燃烧面积大、热辐射强、破坏后果严重等特点, 长距离输送油气管线的火灾也具有同样的特点, 即它的灾害影响面更广。由于长距离输油

气管线跨越许多阀室和分输站，线路长度很长，分布范围很广，在油气介质外泄时容易引发自燃，造成沿线几千米甚至几十公里内同时燃烧多个火点，对人员的生命安全和生态环境构成极大的威胁。青岛中石化“11.22”爆炸案和2015年8月1日高雄发生的天然气管道爆燃事故都造成了严重的连锁反应，大火迅速蔓延几十公里之外，两起事件都造成了极其惨重的公众伤亡和财产损失。

二、管道消防安全主要问题

跨地域的油气管网穿越草原草地无人区、大江大河、高速干线和国道、铁路以及人口密集的高危地带。管线经过的环境在周围十分复杂，给防火安全管理带来极大的困难，管道运行阶段的主要消防安全隐患有以下几种类型^[9]。

（一）外部救援存在滞后性

站场和阀室以外的地方长输管线事故大多发生在外围地带，一般依靠常规巡检或者监控平台预警来得知。火情同油气企业应急部门或者临近的消防力量之间存在着明显的空间阻隔，常常可以跨越几公里甚至上百公里，使灭火装备和救援物资不能迅速到达现场，处置主力主要依靠地方民众或者巡线人员提供的初级扑救方式。

（二）专业应急物资调配困难

油气管道企业中的灭火抢险物资（尤其是大型专用设备）一般都存放在公司的总部或者基层机构的仓库里，而输油站、分输站、阀室只有灭火器、木桩、麻袋、集油桶、砂土等一般的消防器材，一旦发生严重的火情，需要特殊专业的消防装备——空气呼吸器等，一般要经过公司管理部门或者基层单位才能调配到现场，到达现场时已经耽误了时间，即使地方消防队伍具有快速救援的能力，也常常因为缺少专门的消防器材而无法进行灭火工作，大大降低了火灾应急处置的整体效率。

（三）消防事故类型复杂多变

长距离运送油气管线的泄露情况非常复杂，一般输油管道的故障可以分为管壁破裂、整体断裂和裂缝渗漏三种情况，非法盗取或者由于腐蚀而造成损坏。输送天然气的高压管道常见失效形式有阀门密封失效、法兰连接处渗漏。对油气输送管道来说，不同的泄露类型所对应的应急修复方式和封堵方案也不一样。面对各种各样的泄露情况，管网运维机构必须要具有应付各种油品泄露事故的应急处理能力，迅速找到漏点并进行封堵，把可能造成的火灾爆炸等损失控制在最小范围内。

三、管道消防安全管理现状

（一）国外安全管理现状

在安全治理理论还没有成熟的时候，很多机构就把优秀的风险管控范式当作评价公司安保水平的标准来进行考量，比如杜邦企业的STOP管控框架。但是随着研发水平的提高以及规模的扩大，在跨行业的使用上由于之前的模式大多是根据某一具体的

生产活动来归纳得出的，所以在跨行业领域中的适用性就显得不够充分。另外这种方式存在着系统化的管理缺陷，大部分对策集中在某一个具体的方面，在宏观层面的体系指引上缺少实际的经验。

伴随着安全意识的不断提高，关于安全管理领域学术研究也获得了越来越多的关注，其现实应用效果也得到了广泛的认同。全球范围内的安全部门已经制定了并且推行了职业健康安全管理体系（OHSMS）。该体系的主要理念就是重视风险防控，在组织运作和商业实践中，创建出保证人员不受到伤害的管理体系才是十分关键的。不同的机构最根本的目的就是在激烈的市场竞争中求得生存，应该主动地去实践适者生存的自然规律，把各种隐患消灭在萌芽阶段。关于即将开展的消防评估工作要确定具体的开始时间，提前指导评估主体做好全面的准备工作。另外有关文档的整理要齐全详细，包含作业审批、两票两卡等内容。另外为了保证每天的工作效率，并且保证评价程序的高效实施，在必要时可以协调评估主体提供内部组织架构图和运行机制。

（二）国内安全管理现状

华夏国土内，伴随着石油化工以及管线行业不断发展，虽然给财税收入带来可观的贡献，但也造成了重大火灾隐患。国家安全部门对此十分重视，要求单位在经营生产全过程中加强对于火灾风险的监控和控制，防止发生任何事故，保证人民群众的人身财产安全。我国自上世纪90年代就确定了《易燃、易爆化学品消防安全管理监督管理办法》，从而给安全生产的各个领域提供系统化的准则指引。

伴随着我国对于安全课题越来越深入的关注，对于安保管理体系的选择也呈现出多样化趋势，但是大部分单位仍然偏向于QHSE治理框架，同世界顶级的石油化工公司相比还存在着明显的差距。因此各个下属部门应该不断吸收安保思想的精髓，利用先进的风险控制手段来提高自身的水平，推动组织的发展，从而改善管理阶层的整体素质。在这段时间里，必须加强管理层的风险意识和法律意识的培养。企业从高层到基层都要提高全体人员的生产安全素养以及隐患排查能力，充分发挥团队的整体智慧，克服个人主义倾向，从而保证企业在稳健经营的基础上，努力达到风险预警最优指标，缩小中国石化行业同世界先进水平的距离。

四、管道消防安全管理研究

（一）消防安全管理应对措施

石油天然气管道公司创建消防安全监督机制的时候要严格遵守我国现行的各种法律法规。此类企业中，执行防火安全管控的人对于实现管理目标的效果起着决定性的作用。所以消防安全管理干部必须取得相应的职业资格证书，具有全面的系统专业技术能力。石油管线企业要建立一个由高职业道德标准组成的管理层，进而加强消防安全生产的管控工作，经过长时间的实践锻炼来不断完善消防安全生产治理方式，保证管控措施在执行过程中能起到最好的效果。对于消防安全监管中出现的各种风险，必须

及时发现并加以解决。另外单位要经常对管理人员进行消防应急常识的培训,加强防火防灾的意识,使员工认识到石化行业的防火管理的重要性。

石油天然气管线企业的生产运行过程中各种防火防护措施要相互配合。对于加工运输过程中出现的可能影响到系统的安全风险加大系统灵敏度,在发现之后立即上报,并据此隐患展开纠偏和完善。只有从根本上消除油气管线机构运转过程中消防潜在的危险,才能保证企业的经济效益。管理任务要依靠企业各个部门来高效地联动起来,各个层级的人员都应当树立起防火安全意识,并且达成信息共享和合作,保证每个人的岗位职责。另外还要创造良好的办公环境,使油品管道单位可以顺利地产出并运行,避免因安全事故给企业财产、职工人身安全带来损失。

油气输送单位的生产流程里,消防安全管控工作起着十分重要的作用。因此,企业要全面排查并发现火灾防范管理链条中所存在的风险,并同当地的消防管理部门保持密切合作,创建起严密而高效的消防安全治理体系。此类机构要定期更换和维修消防硬件装置,一旦公司的意外灾难发生,在瞬间就可以将火患扑灭。所以组织必须不断地改进和完善企业内部的火灾抵御体系。对于详细规划阶段,各个部门要互相配合,通过风险评价会等形式,设计方需要把费用预算报告及时送给财务处。在围绕管道高后果区防火保障机制进行规划的时候,不能把劣质的施工材料投入到建设阶段中去,从而给管线的整体性能带来严重的影响。同时防灾方案要使油品输送企业操作准则融入其中,图纸经过上级审批之后才能使用,只有这样,油气输送机构才能在平稳的环境里达到生产、经营的目的。

(二) 消防安全风险评估探究

美国陶氏化学企业最早开发出火灾指数分析系统。该结构是以历史事故发生记录、原料固有的能量、现有的安全保障措施等为依据,把单元关键危化品在常态下所能达到的燃烧、爆炸或者释放出危险能量的程度作为基础,再结合工业制造过程中可能存在的其他危害因素来计算单元火灾爆炸指数(F&EI),从而得出风险等级,又加入对某种物质、通用工艺、专项工艺危险修正系数,得到火灾爆炸指数,对生产工序和作业设备及其所含物料的真实隐性火灾、爆炸及反应性风险做逐步演算并做出客观评价,然后根据数值大小划分成不同的级别,按照分级标准和火灾爆炸风险的种类来制定相应的安全防范措施。陶氏材料科学公司火灾危险指数评价法的主要特点如图1-1所示^[4]

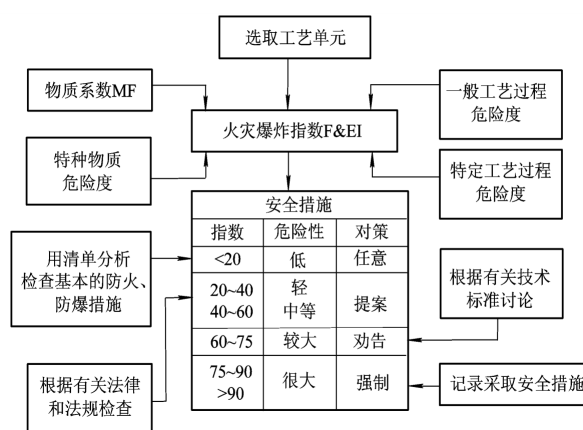


图 1-1 美国陶氏材料科学公司评价法

陶氏化学公司火险爆炸风险等级评价框架已经在石化工业里得到广泛的应用,被当作重要地风险量化工具。该方法被广泛地用来分析储存、精炼和油气勘探等高敏感化学品的作业流程,也可以对油气管网中的某些运输设施潜在危害损失进行计算。该模型也可以用在储油罐、储气库以及管道内存量较小的生产环节上进行危险性测定。

W.Kent.Muhlbauer 所著的《管道风险管理指南》对管网风险评价架构和多维度计算方法做了全面的阐述,该书是美国开展油气管道风险评定技术研究的学术总结,现在已经得到了国际社会的广泛接受,并且被当作建立风险预报体系的重要标准。按照 Kent 评估法,诱发灾害的因素可以分为四个领域,即外部破坏、磨损损耗、方案规划和运维管理,对这四个方面进行评分就可以得到待评价管线的潜在风险值。

结论,本文主要对油气管网消防安全情况进行分析,但是由于时间、人力等各方面原因,本文内部仍然存在一定的不足。另外,后续研究方向还有待进一步挖掘:我国石化管道大多采用QHSE管理模式,而选择异质架构的较少,与QHSE框架相比,管理转型要付出大量的精力,而且油气输送机构所面临的风险非常多元化,本文只对其中做了简单的概括。本文所讨论的火灾风险评价方法多样,只对其中两种做了具体的阐述。

多层次的评价体系以及前沿的火灾防范控制方式及模式的更新、管线消防技术框架的优化,给深入研究油气管网行业赋予了广阔的空间。以后对于油品管道防火安全问题的研究应该不断深入,也会产生更持久的应用价值,保证石油天然气管网系统稳定运行和快速健康发展。

参考文献

- [1] 国务院安委会办公室关于中国石油天然气集团有限公司在大连所属企业“7·16”输油管道爆炸火灾等4起事故调查处理结果的通报[D]. 2011.
- [2] Hopkins P. Learning from pipeline failures[J]. Journal of Pipeline Engineering, 2008, 7: 69.
- [3] 杨春辉. 长距离输油管道消防安全管理策略探析[J]. 山东工业技术, 2017(06):79-80.
- [4] American Petroleum Institute. Security guidelines for the petroleum industry[M]. API Publishing Services. Washington, D.C. 2005.