

油气储运管道爆炸荷载及安全防控路径探讨

樊宏帅（山东莱克工程设计有限公司，山东 东营 257000）

摘要：伴随油气储运管道的发展，由于管道运输介质都是易燃易爆品，实际进行运输时，如果存在不规范行为，将基于导致事故的发生。文章围绕导致管道失效致险的因素展开了讨论，对管道爆炸荷载计算进行了分析，探讨了相关的安全防控措施，希望可以为有关研究提供借鉴，推动油气储运管道持续发展。

关键词：油气储运管道；安全防护；爆炸荷载

0 引言

油气储运管道为基础民生工程，是油气上下游发展的重要部分，同时也是能源体系的关键构成部分。油气管网安全运行，可以确保能源安全，为其奠定夯实基础。通过管网输送，可以在一定程度上增加清洁能源的使用效率，促进有关产业的发展，增加经济整体运行效益。然而因为管道输送介质基本都是天然气及油品，有着一定的易燃易爆特点，若是产生安全事故，将不利于人们的安全，会造成严重的经济损失。由此，应强化对管道的安全监控工作，这有着重要意义。

1 导致油气储运管道失效致险的因素

油气储运管道运输方式可以对环境质量进行改善，健全运输结构，促进新旧动能转换，降低油品运输车辆数量，降低一氧化碳及固体颗粒物等的排放量。比如，某市管输 6000 万以及 1500 万 t 原油及成品油，借助管道运输能够对传统运输车辆进行取替，降低一氧化碳排以及氮氧化合物等的排放量，减少大概 4500t 及 6000t，能够切实保护大气环境，降低道路安全隐患。对于油气储运管道来看，主要通过埋地敷设方式开展输送，有着较强的隐蔽性以及安全性^[1]。然而管道由于第三方破坏、二氧化碳腐蚀以及材料缺陷等原因，极易造成管道泄漏问题，在遇到点火源时，可能会引起火灾爆炸事故，对附近环境及人员产生严重的影响。

结合有关公司的调研数据得知，导致油气储运管道失效，甚至爆炸的主要因素通常是社会危害因素，因为人类经济活动，在开展修路等地面和地下施工过程中，极易和管道出现交叉作业，导致管道被破坏；还有管道违章占压问题，这是比较难以处理的因素，一些在管道周围以及上方构建的公路及建筑等行为，不但会对管道基础造成破坏，导致基础下沉，还会提高管道的负担，导致管道弯曲变形，最终导致管道被

损坏；基于油气储运管道建设周边，一些地区的经济不够发达，没有对管道进行全面监管，造成不法分子想要追求利益而实施违法行为，但是伴随这方面法律法规的持续健全，我国强化了对保护油气管道的宣传工作，推动了国民经济的发展，也对该致险因素进行了全面控制。

2 油气储运管道爆炸荷载

爆炸是在可燃物与空气进行混合后，超过一定浓度时接触明火造成的现象。基于短期内快速产生很多高压高温气体，形成的超压冲击波会对附近人员及建筑物产生严重的破坏。与此同时，随着爆炸过程的深入，会明显提高爆炸的压力，一直到最大爆炸压力的出现。

2.1 TNO 爆炸模型的构建

爆炸形成的冲击波会造成管道和有关工艺装置之外的建筑物损坏，甚至还会造成人员伤亡，想要对爆炸冲击波的影响程度进行分析，根据现阶段的 TNO 模型，可以计算出出现蒸气云爆炸事故的后果。对于 TNO 模型来看，它属于典型的多能法，利用构建比例的方式对爆炸预测模型进行缩放，把蒸气云看作半球形状，基于中心位置点火，开展实验验证，建立多种数值模拟数据，获得爆炸强度曲线，以此为前提，对障碍及无障碍空间形成的蒸气云爆炸特点开展全面分析^[2]。

2.1.1 明确爆炸强度

借助 TNO 多能法，应先明确爆炸强度的等级，选用十以内的整数。在这之后，根据正比例距离，通过爆炸波特特性曲线图，确定和无量纲峰值超压强以及正压力的持续时间，对爆炸波超高压强进行预估。其中爆破波动波形和强度等级存在正比例关系。比如，甲烷，其爆炸强度数值是 890.8kJ/mol。在爆炸强度等级处于 7 至 10 级的情况下，油气储运管道点火能量会加大，对附近造成严重影响，在保障强度处于 1 至 3

级的情况下, 点火能量会降低, 对附近的影响也会变小。

2.1.2 计算爆炸云团

对于可燃成分云团, 其中的有害物质含量一般是按照其暴露方式以及传播渠道进行确定, 因此, 在对爆炸云团数量进行测算过程中, 应先假设泄漏的均为气体, 可以有效形成可燃性团。对于管道输送媒介而言, 其中气体爆炸极限一般在 5% 至 15% 之间, 当气体在比较强烈的爆炸状态中, 气体爆炸性含量均值大概是 9.5%。在对爆炸源半径进行计算后, 可以对和爆炸源大小一样的半球形面积进行测量, 以此求出精准数值, 其中半径计算公式如下:

$$V=Q/0.095=\frac{1}{2}*\frac{4}{3}\pi r^3$$

2.2 爆炸压力传播

2.2.1 爆炸超压与气体浓度之间的关系

在管道运输介质出现泄漏之后, 会和空气混合在一起, 当可燃气体浓度超过规定数值之后, 会形成爆炸的必然条件, 该浓度数值范围可以看做爆炸的极限。对于甲烷而言, 其在空气条件下发生爆炸的数值范围一般为 5% 至 15%, 想要了解爆炸超压和气体浓度存在的关系, 应开展有关的试验, 比如甲烷, 假设环境为无风环境, 在管道发生泄漏的情况下, 泄漏点中心会按照半球形逐渐往外扩散, 由此得知, 可燃气体云浓度比较均匀。假设半球形气云中心为爆炸中心, 基于爆炸附近区域的地面, 往往会和建筑物形成一定的绝热条件, 同时还非常光滑。假设温度是 20℃, 基于以上条件开展模拟计算, 对甲烷与空气形成的混合气体的体积分数进行数值模拟, 一般情况下, 球心部位为起爆点, 利用对各个可燃气体云与爆心距离的观察, 对爆炸最大压力值与甲烷浓度存在的关系进行分析。在甲烷体积分数持续提升时, 峰值超压会基于特定范围逐渐上涨, 甲烷浓度也会不断提高, 那么峰值超压会停止增长, 且逐渐呈现下降趋势。因此, 对于甲烷空气混合气体而言, 其最危险体积分数为 9.5%, 如果在这一过程中发生爆炸, 那么爆炸强度将非常大, 会对附近人员及建筑产生严重影响。

2.2.2 爆炸波超压与气云半径之间的关系

对敞开空间范围中各个半径值下半球型混合气体进行分析, 以此判断爆炸波超压与气云半径存在的关系。在可燃气体云半径越来越大的情况下, 其爆炸波超

压也会越来越高, 若是在可燃气体云半径达到 100m, 那么最大超压大概是 40kPa。围绕爆炸冲击波超压造成的影响, 在可燃气体云爆炸半径为 10m 时, 极易造成建筑物玻璃破碎, 在半径达到 20m 时, 会造成建筑墙体产生裂纹, 在半径大于 60m 以上时, 会造成钢混屋面开裂, 甚至会对人体产生中等损伤。

2.2.3 爆炸波超压衰减

在可燃气体云半径一眼时, 相对距离的差异会造成最大超压的影响也出现差异。假设甲烷体积分数是 9.5, 会导致管道爆炸强度最大, 利用模拟实验得知, 爆炸波最大超压通常表现为逐渐衰减的趋势。在可燃气体云出现爆炸反应之后, 最大超压的影响会越来越大, 在达到最大峰值之后, 会逐渐下降, 持续至平稳位置^[3]。在气云范围内, 爆炸中心部位形成的冲击波最大超压, 往往会跟随传播距离变大而变大, 在气云与空气混合至初始界面值以后, 会导致状态停止。在爆炸冲击波出现完全反应之后, 会逐渐暂停燃烧能量补充。在这一过程中, 冲击波超压会越来越小, 在气云半径是 2m 时, 它的下降数值是 40%。

3 油气储运管道安全防控建议

管道泄漏爆炸极易导致严重性区域事故, 由此, 怎样强化管道的安全防控工作, 这一点非常关键。对于管道爆炸现象, 通常是因为可燃气体和空气进行混合, 而后产生的预混气云, 在完全混合之后, 满足爆炸条件之后出现的激烈场景。文章围绕避免管道泄漏、加强管道智能化水平、避免爆炸系统的产生、防止点火源等隐患的出现、对爆炸蔓延实施限制方面对安全防控措施进行了分析, 以期能为相关人士提供借鉴。

3.1 避免管道泄漏

对施工质量开展控制, 确保施工程序和管材质量等达到规定标准, 借助聚乙烯材料及溶解环氧防腐层, 利用安装探针及测量壁厚等方式, 对重要部位的内腐蚀状况进行全面监测; 定期对管地电位开展检测, 如果电位无法达到阴极的保护标准, 应第一时间找出原因, 同时运用科学的措施进行处理; 强化巡检工作, 避免对外部造成破坏。基于管道交叉位置以及中心线两边 5m 范围内的施工活动, 均需根据规定标准办理有关手续, 对极易导致安全影响的施工多加重视, 正式进行施工活动之前, 应先明确管道实际位置, 构建相应的警示标识, 并落实相关的现场维护管理工作, 第一时间排查故障避免打孔倒油等问题的出现, 若是存在这些问题, 应及时运用应急处理办法; 对外腐蚀

进行检测,并对防腐层漏点实施有效修复处理,对杂散电流进行全面检测,强化对外腐蚀点的监控,另外,还应漂流器排流成效开展检测。针对内腐蚀来看,需要做好日常的清管工作,同时也要加强有关的监控,全面落实修复管理工作;结合管体安全监测以及无人机巡护等内容进行自动化建设;优化技防措施,在敏感管段构建摄像头,对管道上方动态进行全面监控。

3.2 加强管道智能化水平

有效防止管道泄漏问题的出现,确保管道本体安全。想要确保储运管道安全,应围绕源头进行,全面避免泄漏事故的发生。第一,在进行管道施工之前,应先落实有关的安全防范工作,构建工程 HSE 方案,交给有关部门进行审批,再进行开工。强化新型智能等装备的运用,进一步增加管道输送效率,保证管道输送安全。强化过程管理工作,全面按照国家法律法规进行,切实确保工程施工质量,结合有关施工流程开展施工,保证使用的管材和管道附件等质量满足国家实施的标准,对于不合格的材料及构件,应禁止运用。在管道运行过程中,应全面按照管道巡检机制进行,强化巡检工作,定期对易产生泄漏问题的部位开展安全检查,构建科学的应急预案,建议每半年实施一次演练活动,同时对其开展演练评估,持续健全安全检查工作。针对管道开展安全防控,有效借助现代化技术手段,借助无人机巡护及光纤预警等手段,全面确保管道安全运行。

3.3 避免爆炸系统的产生

对于油气储运管道,应避免爆炸系统的产生,这是确保管道安全的关键举措。防止爆炸气体聚集的最佳方式是强化通风,构建气体泄漏检测系统。可基于站阀工艺装置区等极易出现气体泄漏的部位,构建检测及报警系统,对天然气泄漏状况进行检测,以便第一时间开展报警,同时应坚持安全可靠、数据精准等原则,以达到遥测、遥控及遥信。对输气管道运行过程开展动态监测,对重要参数开展自动控制。借助高可靠性以及可维护性自动化软硬件,确保输气管道安全运行,进而保证人身和生产过程安全,为其提供良好的保障^[4]。

3.4 防止点火源等隐患的出现

在管道具有点火源等问题时,极易导致爆炸现象,这是最重要的因素。应避免和工程无关的车辆及设备进入防爆区域等,在进入时,应佩戴相应的防火帽,基于工艺区范围,还要借助防爆器具,避免其他人携

带火种进入。除此之外,还应对运输介质的流速开展全面控制,确保油品在运输流程中可以匀速可控的运行,在流速比较快的情况下,摩擦力会提升,且静电荷也会聚集,导致爆炸事故发生率变大。对于油气储运管道关键区域,应配备防爆电气装备,避免由于电气火花造成爆炸事故。

3.5 对爆炸蔓延实施限制

在油气储运管道由于泄漏造成爆炸现象时,应全面落实好安全防控工作,对爆炸蔓延进行全面限制,可基于站内构建进站紧急切断 ESDV 阀,最大程度地控制影响范围,将危险源切断,防止可燃气体浓度增加到最大值,在油气储运管道核心部位,可建设泄爆区,按照分区隔离准则,安装一定数量的灭火装置。

4 结论

综上所述,应确保管道本体安全,增强管道数字化水平,防止因为管道监控盲区以及操作不正确造成安全隐患问题,对管道运行过程开展实时监控,保证施工规范化,强化过程管理,事先构建安全预案,不断进行优化,完善管道源头管理,保证设计及监理等按照有关法规和标准进行,增强管理自动化水平,构建先进的,具有报警等功能的紧急系统,使用优质的管材及设备,促进管道安全运行。在管道沿线构建标识牌等,避免管道被外力破坏,完善施工管理工作,全面保证施工质量。对于有关建设单位,应切实加强管道管理水平,构建完善的设施保护及运营管理制度,强化检测及巡查工作,实现安全治理常态化,建立安全检测预警系统以及上下联动保护制度,构建应急预案,强化应急演练,完善突发事件响应制度,最大程度减少事故影响。

参考文献:

- [1] 李柏松,王学力,武士坤.管道输送全过程油品质量风险管理研究 [D].广州:华南理工大学,2022.
- [2] 徐波,孙巍,赵云峰.国内外油气管道运行管理现状与智能化趋势 [J].油气储运,2022(03):241-250.
- [3] 王新,王天瑜.天然气管道风险分析与安全距离计算方法研究 [D].北京:中国矿业大学,2021.
- [4] 帅健,王晓霖,石磊.油气管道事故原因分析及分类方法研究 [J].中国安全科学学报,2020(07):109-115.

作者简介:

樊宏帅(1989-),男,汉族,山东郓城人,工程师,硕士研究生,主要从事:油气储运。