

燃气管道泄漏风险控制系统及巡检管理探究

周 恒 (山西华阳集团新能股份有限公司煤层气开发利用分公司, 山西 阳泉 045000)

摘要: 随着能源消费结构的调整, 燃气消费比重正在日益扩大, 作为燃气输送中的重点设施燃气管道成为重点管理对象。综合外力、施工、材料、腐蚀、设计及人工巡检等诸多问题缺陷影响, 围绕风险强度指标的管控、风险筛查、气体泄漏的巡查与定位、压力管理几个方面展开分析, 探讨燃气管道泄漏监测及巡检定位系统相关内容, 为有效进行燃气管道泄漏风险控制, 保障安全生产提供支持。

关键词: 燃气管道; 泄露风险; 系统控制; 巡查管理

0 引言

当前, 世界能源格局呈现煤炭、石油、天然气、可再生能源四分天下局面, 其中煤炭、石油、天然气消费比重基本相当; 我国能源呈现煤炭消费占比约 3/5, 其他能源发展潜力巨大的特征。同时, 我国于 2006 年成为世界第一大 CO₂ 排放国, 即将达到美国、欧盟、日报排放总和, 促使能源消费领域由高速发展向高质量发展。作为最清洁化石能源的天然气, 兼具价格低廉、种类丰富、易获取输送等优势, 成为了化石能源向新能源过渡的重要桥梁。目前, 天然气主要通过管道输送、制备 CNG 或 LNG 运输等形式利用。管道输送因输送量大、稳定性高、安全性能好、运行维护成本低等优势, 成为当前主流输送方式。燃气管道具有管网里程长、沿途情况复杂、穿越城市主干道路、泄漏不易监测、泄漏爆炸危害性大等特征, 因此, 有效开展泄漏风险控制及巡检管理, 成为燃气行业安全高质量发展的基础。

1 燃气管道泄漏风险控制的重要意义

自 20 世纪 80 年代起, 我国燃气行业迅速发展, 各大中型城市相继建成了燃气输配管网。大部分管道分布在居民密集区域, 且管网运行年限大部分在 20 年以上, 加之除常规天然气外气质较差, 燃气管道出现管壁变薄、锈蚀破裂、强度降低等现象, 极易发生泄漏、断裂, 引发燃气爆炸事故。

根据管输燃气工艺特点, 大部分燃气通过各类储配站及门站加压输送至用户端, 再通过降压加以利用, 管道全线均有可能发生泄漏, 即都为风险点; 加之燃气用户及管网规模不断扩大, 为保证末端正常用气, 燃气输送压力大幅提高, 也进一步提升了管道泄漏风险, 一旦发生断裂, 可能冲毁路面, 引发爆炸, 对沿途造成严重威胁。且燃气管道基本采用直埋敷设, 土壤及周边环境会对其造成化学腐蚀, 导致防腐层破坏,

氧化锈蚀, 且工作人员无法及时发现, 带来一定的安全风险。

据统计, 2022 年我国共发生燃气事故 802 起, 其中管网事故 212 起, 占比约 26%, 是仅次于居民用户事故的第二大事故类型。燃气管道泄漏具有突发性、不易察觉、影响范围大、后果严重、易引发次生灾害等特点。因此, 加强燃气管道泄漏风险控制及巡检管理成为燃气行业安全生产的重点。

2 燃气管道泄漏风险出现的主要原因

2.1 外力破坏

外力破坏指燃气管道受外界力的作用, 管道发生变形、扭曲、破损、断裂等现象, 且外力破坏造成的管道泄漏量较大, 具有较大的危害性, 即使受力当下未发生泄漏, 仍有可能对管道强度造成损害。目前, 燃气管道受外力破坏主要有地质变化及第三方破坏两种。燃气管道敷设一般要避开地质活跃区域, 但在煤层气作为气源的输送系统中, 管道沿途可能经过采动影响区域, 出现管道断裂泄漏。第三方破坏主要是在打桩、挖掘、打地质探井、定向钻、大开挖等过程中, 施工单位未完全了解地下管道的类别、方位、分布、走向等信息, 或野蛮施工挖破管道、沿线违章占压等造成管道破损及泄漏。

2.2 施工及材料缺陷

燃气管道施工过程中, 由于工艺、监管等不到位, 管道防腐层未做好, 或部分管段无防腐层, 导致锈蚀穿孔。此外, 施工过程中未规范施工, 亦可对管道形成损点。2021 年 6 月 13 日湖北十堰发生的燃气管道事故就是因为管道弯头处防腐未按防腐蚀规范施工, 导致管道腐蚀穿孔。材料方面, 管道生产过程中, 受原材料、设备、工艺把控等因素影响, 生产的管材可能存在气孔、裂纹等缺陷, 在输送过程中极易出现老化、破损、泄漏等问题。

2.3 腐蚀及设计缺陷

燃气管道特别是输送煤层气管道中,含有水分和杂质,在高温高压环境下,易对内壁产生腐蚀。土壤中含有多种化学元素,加之复杂的外部环境,发生化学反应,导致管道外壁发生腐蚀穿孔。设计方面受历史因素等局限或实际施工,管线与周边管线及建筑物未达到相关规范要求,导致周边环境及建筑物对管道造成了一定破坏。

2.4 人工巡检效率及质量缺陷

燃气管道往往具有里程长、分布广、沿途情况复杂等特点,当通过人工巡检对管道泄漏进行巡查时,工作人员往往通过各类沟道、涵洞、地井、封闭空间等有无甲烷积存;周围有无土壤塌陷、地基下沉、堆积重物;巡查沿线有无异味、泄漏声响、水面冒泡、树草枯萎、地表异常升温、积雪黄斑等观察法判别,效率较为低下,准确度不高。且由于巡查地点分散,员工责任心等问题,巡查容易流于形式或未严格按照规定要求巡查,无法准确掌握燃气管道情况。

3 燃气管道泄漏风险控制系统以及巡检的措施研究

3.1 风险强度指标的管控

为确保燃气管道泄漏问题效能的有效控制,应加强风险预测管理工作。通过对杂质电流强度检测方法的运用,工作人员更加迅速地获取相应数据信息,通过时间占比对其进行精准检测,保证动态化数据信管理工作价值与优势的充分体现。具体检测中,利用式(1):

$$S_{1di} = \frac{100t_{1i}}{t_{1toti}} \quad (1)$$

其中: S_{1di} 是实际测量中第 i 条管段电流风险强度评分, t_{1toti} 表示第 i 条管道的总检测时间。在对土壤腐蚀强度进行风险检测过程中,也需对土壤电阻率、静水面距离等检测分析,保证最终土壤腐蚀强度效能与优势的全面体现。由于土壤电阻率与地理位置信息有着紧密关联,为邻近算法运用提供帮助。利用式(2):

$$S_{2i} = 50R_{2Ni} + 35S_{2Ni} + 10A_{2Ni} + 5L_{2Ni} \quad (2)$$

其中: S_{2i} 是在第 i 条管段当中土壤腐蚀的风险强度评分, R_{2Ni} 是第 i 条管段归一化土壤的电阻率, S_{2Ni} 是最近的归一化水洗面距离, A_{2N} 是归一化的水系面积, L_{2Ni} 则是水洗面长度。这一表达过程,能够最大限度为风险强度管理能力的提升提供引导。为了能够真正意义上将各组数值的信息进行精准的表达,应对

其进行更为详细的公式计算与分析。即式(3)及式(4)所示:

$$R_{2Ni} = 1 - \frac{R_{2i} - R_{2nmin}}{R_{2nmax} - R_{2nmin}} \quad (3)$$

$$A_{2Ni} = \frac{A_{2i} - A_{2nmin}}{A_{2nmax} - A_{2nmin}} \quad (4)$$

3.2 风险筛查

要更加全面地避免严重风险问题出现,应加强对高风险地区风险筛查,尽可能将其中制约性因素控制在合理范围内,为风险管理效能的提升提供更为完善的基础引导。在具体高风险筛查工作中,应从不同的步骤中展开更为详细的研究。其中对风险强度事件的统计,及对各种样本的对照审查等,都能够很好地避免燃气管道一些比较明显泄露问题的出现。也正因经常会出现一些比较严重的施工风险问题,相关人员应加强对周边区域及燃气管道的实际腐蚀情况进行了解与分析,通过式(5),可以了解到更为详细的风险强度管理情况。

$$S_{9i} = 40L_{91N} + 30L_{92N} + 15L_{93N} + 10L_{94N} + 5L_{95N} \quad (5)$$

其中: L_{91N} 到 L_{95N} 主要强调的是归一化之后施工的管道长度。通过对各级风险强度指标的贡献度进行详细分析之后,可以得到更加统一的数据信息管理,极大层面上为最终风险强度贡献提供了引导,即式(6)所示,为最终管道泄漏风险控制系统及巡检管理工作效能的提升,提供了更为完善的基础引导。

$$C_k = C_k S_k \quad (6)$$

3.3 气体泄漏巡查与定位

管道泄漏的识别,应充分运用声波、负压波等技术,在管道上安装声波传感器、压力传感器等,对管道工况进行 24h 在线监测,并利用激光检漏设备无人机等进行复合式巡检。同时,在相关阀门井或地质变化活跃地点,安装带有无线远传功能的环境甲烷浓度传感器,对有限空间及周边环境甲烷浓度进行监测,提高泄漏识别效率。

同时,为了保证巡检工作的准确性、高效性,应建立巡检人员巡检定位系统,巡检人员配置防爆式移动巡检设备,相关设备应具备实时定位、巡检轨迹生成、巡检路线调取、安全隐患上报、对讲、拍照及录音录像及上传功能,从而进一步规范巡查人员巡检路线,确保巡检人员按照规定路线及要求,进行巡检工作,及时发现隐患并有效处置。相关移动巡检定位设备参数如表 1 所示:

表1 移动巡检定位设备主要参数表

项目	参数
防爆标志	Ex ib I Mb
防护等级	IP68
工作电压	3.6V-4.2VDC
最大工作电流	≤ 550mA
电池容量	2340mAh
重量	210g
定位	支持 GPS/ 北斗

3.4 压力管理

压力管理在泄露风险管控中，占据着非常重要地位，加强对流量及压力传感器等信息传递工作的重视，能够在对数据信息的压力评估中，更加精准地了解到燃气管道网压力分布的实际情况。尤其是在对重点位置燃气管道的检测与管理中，加强对各组数据信息的详细检测与分析，能够有限避免一些制约性因素的出现。

由于管道本身的风险强度可以直接地影响到燃气输送的实际情况，需要在对各组信息都有一个更为细致的了解之后，通过即式(7)及式(8)，对其中的管道本体风险强度展开更为精准的计算与分析。

$$S_{4i} = 40W_{41Ni} + 20W_{42Ni} + 20W_{43Ni} + 20W_{44Ni} \quad (7)$$

$$W_{41Ni} = \frac{W_{41ij} - W_{41n1min}}{W_{41njmax} - W_{41n1min}} \quad (8)$$

4 结论

随着能源消费总量的升级和消费结构的调整，燃气成为了当前及今后一段时期的重要能源，而作为其

主要输送工艺重点设施的燃气管道安全成为了重要管控环节。由于外力破坏、施工及材料缺陷、腐蚀及设计缺陷以及人工巡检效率质量问题，本文从风险强度指标的管控、风险筛查、气体泄漏的巡查与定位、压力管理几个角度对燃气管道泄漏风险进行了有效的控制，探讨了泄漏监测及巡检定位系统相关内容，为保障燃气管网运行安全提供技术保障。

参考文献:

- [1] 刘晓龙, 崔磊磊, 李彬, 等. 碳中和目标下中国能源高质量发展路径研究 [J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2021, 23(03): 1-8.
- [2] 邹才能, 赵群, 张国生, 等. 能源革命: 从化石能源到新能源 [J]. 天然气工业, 2016, 36(01): 1-10.
- [3] 刘爱华, 黄检, 吴卓儒, 等. 城市燃气管道状况及燃气事故统计分析 [J]. 煤气与热力, 2017, 37(10): 27-33.
- [4] 赵孟孟, 亢永, 吴壮. 城市燃气爆炸事故及其防治措施 [J]. 北京石油化工学院学报, 2021, 29(02): 61-66.
- [5] 周雄, 方丽萍, 陈雄, 等. 外力破坏作用下燃气管道突发性破损泄漏扩散及风险分析 [J]. 化工设计通讯, 2021, 47(09): 151-154.
- [6] 刘畅. 城镇燃气管道材料对比分析与应用研究 [D]. 北京: 北京建筑大学, 2020.
- [7] 徐建军, 石巍. 城镇燃气管道事故原因分析及建议 [J]. 大众标准化, 2022(04): 75-77.
- [8] 王为, 玉建军, 于长春, 孙博, 李军. 中压燃气管道泄漏工况下流量扰动幅度模拟分析 [J]. 中国安全生产科学技术, 2021(02).
- [9] 张晋英. 燃气管道泄漏事故成因及防范措施 [J]. 建材与装饰, 2018(30).
- [10] 张曼, 张立中, 王随林, 李仲博, 王海鸿, 张威, 穆连波. 供热管道泄漏流场/声源特性及其变化规律 [J]. 消防科学与技术, 2021(03).
- [11] 姜春放. 天然气长输管道泄漏抢修与纵向价值链分析 [J]. 化工管理, 2019(10).
- [12] 徐笑. 城市燃气管道的质量控制及应急抢修策略分析 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2019, 36(9).
- [13] 许仁辞, 岳永魁, 胡鑫杰. 城市燃气爆炸事故统计分析对策 [J]. 煤气与热力, 2020(7).

作者简介:

周恒(1990-), 男, 汉族, 山西阳泉人, 机电工程师, 硕士。研究方向: 煤层气、机电、自动化、控制工程。