

# 城市燃气管网工程施工中的地下管线保护技术研究

于志鹏

(上海能源建设集团有限公司, 上海 200434)

**摘要** 城市燃气管网是城市的重要基础设施之一, 其安全稳定运行关系到广大市民的生产生活。然而, 地下管线容易受到外力破坏、腐蚀等因素的影响, 导致管线损坏事故频发。为此, 对城市燃气管网工程施工中地下管线的保护技术进行研究具有重要的理论价值和实践意义。本研究通过文献研究和实地调查的方法, 系统地分析了地下管线损坏的主要原因, 提出了采用预制保护套管、就地浇筑混凝土、设置管道防腐层等技术手段来有效保护地下管线的建议。研究表明, 这些技术措施可以显著减少管线的外力破坏和腐蚀问题, 确保地下管线的安全可靠。

**关键词** 城市燃气; 管网工程; 地下管线; 保护技术; 预制套管

中图分类号: TU996

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)05-0046-03

我国城市化进程不断加快, 城市燃气管网建设也在快速发展。然而, 在管网工程施工过程中, 地下管线易受损坏。地下管线一旦发生破裂泄漏, 不仅会造成严重的经济损失和社会影响, 还会危及人民的生命财产安全。因此, 有效保护地下管线, 对确保管网工程施工和运行质量, 提高燃气供应可靠性, 保障人民利益具有重要意义。本文拟就该问题的现状、原因和对策进行探讨, 以期在城市燃气管网工程的可持续发展提供参考。

## 1 城市燃气管网工程施工中地下管线损坏的原因

### 1.1 外力破坏

地下管线容易受到外力的破坏, 主要包括施工机械碾压、车辆重载碾压以及第三方施工对管线的破坏。在管线敷设之前, 相关部门往往没有做好管线走向调查和标识工作, 导致施工人员不了解地下管线的具体位置, 重型机械和车辆在施工过程中很容易碾压覆盖管顶部的土层, 管线承受不了这样的压力而发生变形破裂<sup>[1]</sup>, 特别是在初期道路规划设计时, 对可能铺设的地下管线并没有给予足够重视, 导致后期施工作业时信息缺失, 机械设备操作人员根据经验判断无法准确掌握地下管线走向。此外, 周边建筑工程施工和道路改造也会对地下管线产生损害。比如交通施工队使用大型挖掘机或打桩机进行道路整修时, 很容易直接撞击地下埋设的燃气管道, 造成管道破裂或变形。

### 1.2 腐蚀问题

土壤中的水分和氧气以及部分具有腐蚀作用的化

学物质都是导致地下金属管道腐蚀的重要因素。土层中的水分可以使一些腐蚀介质溶解并运移, 当它们接触管道表面后会启动电化学反应导致金属材料的腐蚀。此外, 某些类型的土壤如黄土和淤泥质黏土的腐蚀性更强, 极易侵蚀管道金属材料。还有的土层中含有硫化物等对管材极为不利的成分。管道长期暴露于此类土层环境中, 即使采用耐腐蚀材料, 也难以避免腐蚀问题的发生。同时微生物的生长繁殖及其代谢产物也会加速金属管道的腐蚀, 这是地下管线腐蚀的又一重要原因。

### 1.3 设计问题

燃气管网工程设计阶段如果没有充分考虑土层侵蚀性以及管线长期承受机械荷载的影响, 很可能在管线运行后期导致破损。例如, 管道埋深设计不当, 会使其长期承受过大的土层压力和外力作用, 这是造成管道损坏的重要设计原因; 管道的材料选择没有考虑当地土壤的腐蚀性, 使用的管材抗腐蚀性能不足, 也是导致管道腐蚀渗漏的根本原因之一; 还有管道的防腐设计如阴极保护系统的设计参数设置不当, 不能够形成完整的防腐蚀电位, 这同样会加剧管道腐蚀问题<sup>[2]</sup>。

### 1.4 施工操作失误

地下管道的安装铺设是整个管网工程中的重要施工内容, 而施工人员的操作失误也是导致管线破损的常见原因。如填埋不当使管道四周空隙过大, 管体长期承受压力过大而发生变形; 现场管段焊接时保温和防腐处理不到位, 增加了腐蚀发生的概率; 修建人员对管道和零件的连接没有检验严密, 连接部位强度不足, 管网正式供气后连接处在长期内压荷载下断裂;

管道回填时大型碎石块直接撞击管段,造成管壁局部破损等。这些施工细节的疏忽都可能导致地下管线在今后运行过程中出现破损事件。

## 2 城市燃气管网工程施工中地下管线的保护意义

### 2.1 确保供气安全连续

采取科学合理的地下管线防护措施,可以最大限度地减少管线损坏情况的发生,确保地下管网系统的安全可靠运行,从而保证城市燃气向居民和产业用户的持续稳定供应。一旦发生管线破裂渗漏或其他安全事故,都会直接威胁供气的连续性,迫使燃气公司实施临时性供气应急措施,给广大居民生活和工商业生产带来极大不便,增加企业的运营成本。仅管线泄漏导致的经济损失就达到数亿元量级。

### 2.2 降低事故发生概率

地下管线的科学防护对于减少安全事故发生具有重大意义。一旦发生管线破裂、爆炸等事故,不仅会对相关企业造成数以亿计的巨额经济损失,更会对周边居民的生命财产安全产生重大威胁,严重破坏地区社会生产秩序稳定。从相关数据看,近年我国城市燃气管道爆炸事故发生频率较高,年均超过 50 起,并有近百人死亡。事故不仅造成生命财产损失,后续的善后、维修和赔偿成本更是天文数字<sup>[3]</sup>。充分考虑到管线事故的高发性及其严重后果,加强防护措施和管线保护技术研发刻不容缓,这是避免重大事故发生、保障人民群众利益的重要举措。

### 2.3 减少道路开挖影响

地下管线安全事故发生后,抢修队将频繁切开主要道路并长时间占用进行施工处置,极大地影响城市交通秩序正常运转。此外,管线损坏后的修复项目成本极为高昂,需要设备调配、人工操作、材料更换等费用支出,这无疑增加了企业的施工负担。据不完全统计,单次地下管线损坏事故的道路占用和修复作业成本平均超过百万元。而采用科学合理的防护技术和优质抗腐材料,可以从源头减少管线破损情况发生,避免后续的道路挖掘和修复工作量,保证城市交通的正常畅通,也大幅降低企业的运行成本。从这个层面来说,加强管线防护对企业和社会发展都是极为重要的。

### 2.4 降低管线维修成本

一旦地下管道发生破裂、泄漏等安全事故,后期的维修和保养工作量将巨大复杂,需要进行道路挖掘切开、污染土壤更换、管线及配件更换安装、回填养护等一系列庞大工程,这无疑给企业运营增加了沉重经济负担。相关统计数据显示,单次管道事故的道路占用费、管材购置费、机械作业成本、人工清运费以

及后续养护费用,总成本平均超过千万元人民币。而在管线正常使用年限内,这些成本本应可避免<sup>[4]</sup>。因此,加强前期的防腐和防护措施,减少事故发生,不仅有利于保障安全运营,也从根本上减轻了企业的后续修复作业负担,极大地降低了维护成本,这是不可忽视的经济效益。

## 3 城市燃气管网工程施工中地下管线的保护技术

### 3.1 选用耐腐蚀管材

选择使用抗腐蚀性能优异的管材,是保证地下管线安全运行的第一道防线。针对不同的土质和环境条件,目前常用的耐腐管材主要有内外壁抗腐处理的复合管、高密度聚乙烯管(HDPE)和玻璃钢增强型环氧立管(GRE)等。HDPE 管材密度在 0.945 ~ 0.960 g/cm<sup>3</sup>,抗拉强度 $\geq 20$  MPa,使用寿命可达 50 年以上。GRE 管的抗压强度高达 20 MPa,抗腐蚀性能优异,使用年限在 30 年以上。

这些管材表面光滑、接头牢固,能有效抵御外力和土壤侵蚀。同时,在敷设和连接过程中,必须严格控制工艺流程,确保焊缝与管体连接处的气密性,并喷涂或抹覆优质型阻隔防腐涂料,避免微孔处发生腐蚀渗透,保证管材本身的耐腐蚀性。只有从管材源头抓住质量,才能最大限度地减少后期地下管线发生损坏的概率。

### 3.2 采用预制保护套管

采用混凝土、复合材质或高密度聚乙烯等材料制作的预制管片或套管,在地下管线外围进行安装,可以构筑第二道抗压和防腐的保护层,使其免受外力挤压和土壤侵蚀的威胁。

1. 这种预制保护套管主要采用将混凝土、沥青以及玻璃钢材料按一定比例混合制成,表面涂覆腐蚀抑制剂,使其具有较高的机械抗压强度和防腐性能。典型的混凝土预制套管,其抗压强度可达 20 MPa 以上,远高于普通混凝土管,密封性和抗腐性也优于后者<sup>[5]</sup>。

2. 预制套管的安装过程简便,一般采用机械箍扎或现浇混凝土固定,对地下管线进行全面封隔,安装速度较快。同时,预制套管的使用寿命较长,在土层环境较好时可达 20 年以上。

3. 这种预制保护套管安装后,还可以与混凝土外包层现场浇筑结合,形成夹层结构,在一定程度上实现对管线的双重保护,防腐性和安全系数更高。所以,预制保护套管是一种经济实用的地下管线防护手段。

### 3.3 就地浇筑混凝土保护层

1. 沿地下管道外围预先铺设钢筋网笼,再围绕管体浇筑 C25 或者 C30 等强度级别的混凝土围护层,就地形成抗压强度高达 15 MPa 以上的管道外包结构,使

其足以承受土体压力和第三方施工的机械碰撞,大幅提升管线的承载能力和抗压、抗弯、抗剪性能。这种外包混凝土层在制作时需控制水灰比于 $0.4 \sim 0.5$ ,保证混凝土致密性。

2. 在混凝土中掺入腐蚀抑制剂等添加剂,提高抗侵蚀性。外包后形成的混凝土保护层轻质砂坯块石混凝土抗压强度的 $3 \sim 4$ 倍。这种结构在防止管线变形、抵御土压和第三方施工机械振动的同时,还可起到一定的隔热隔音作用。

3. 混凝土外包层与下部压实基层、预制保护管共同协作,使管线防护效果更佳。混凝土外包层施工简便,材料易得,可以现场就地实现,是确保管线安全的经济高效手段。

### 3.4 加装阴极保护装置

阴极保护技术运用金属防腐的原理,其核心思想是在土壤中埋设的金属管道表面形成一个保护电位,使管道自身成为一个大的阴极,从而抑制或减缓金属材料在土壤条件下的电化学腐蚀反应过程。

1. 在管道外部钻孔分散布置多个阳极护板,并接入微弱的直流电源,外加电压使护板成为阳极,管道则通过电线相连成为阴极。这将在管道与土壤之间形成一个稳定的电位差,通常保护电位会低于管道自身的腐蚀电位 $0.2 \sim 0.8$ 伏。微弱的电位差能够抑制管壁与土壤发生明显的电化学反应,从而在一定程度上减缓管道金属材料在土壤条件中的腐蚀<sup>[6]</sup>。这种阴极保护的使用寿命较长,并可以通过调节电流电压的方式优化防腐效果。

2. 还可以通过检测土壤电压、管壁电位等参数来判断阴极保护的运行状态,对其进行持续监控和过程控制,从而确保其长期有效运行。总体而言,阴极保护技术应用简便,运行可靠,是确保地下管线免受腐蚀的经济高效手段之一。

### 3.5 在管身内涂覆防腐层

在地下管道的内壁表面,采用喷涂或机械抹覆的方式,涂覆一定厚度的特殊防腐涂料,增大管道内壁的密封性,切实阻隔管道内传输介质对管壁的侵蚀接触作用。

1. 这种抗腐蚀保护层多采用环氧煤油碱复合材料或聚氨酯、聚醚类高分子材料制成,表面涂后平整、厚度均匀一致。

2. 涂层具有优异的机械强度、抗压性、耐磨性和耐渗透性,既能有效增强内壁密封性,也可抵抗介质的侵蚀,从而在源头上减少内腐蚀问题的发生。据统计,这种涂层的使用寿命可达10年以上。

3. 涂层的构建工艺是确保涂层质量的关键,必须严格控制表面处理和喷涂/抹涂的参数,比如稀释度、

喷涂厚度、温度、喷涂次数等,使涂层结构致密、附着牢固。

4. 涂层表面还可以进行抛光处理,以改善其涂层性能。所以内部抗腐涂层是切实有效防止管道内腐蚀的经济实用手段。

### 3.6 加强管线运行检测与维护

1. 采用红外线探测仪、GPS定位仪等非开挖检测设备,对埋地管道进行全线路实时状态监测,能够快速诊断出管壁本体是否破损以及防腐涂层是否老化,实现地下管道的过程性监控。这种技术可以对管壁温度场、结构应力和管道走向等信息进行扫描检测。一旦监测数据反馈管壁或涂层出现异常,可以快速定位损坏部位,指导工程技术人员开展维修更新,及时消除安全隐患。

2. 当监测到局部管段温度突然升高,很可能代表这一区段管体或涂层发生损伤;当检测到管壁应力超过正常范围,也可能预示着管壁老化增大事故风险。利用这种非开挖监测,可以事先发现地下管线的异常状况,通过及时处理,避免事故进一步扩大。与传统的人工巡检相比,这种技术手段可以实现对地下管网运行状态的全面、实时监控,事前发现问题、事前防范,是保证地下管道安全稳定运行的有效手段。

## 4 结论与建议

想要确保城市燃气管网工程施工过程中地下管线的安全可靠,必须准确判断地质情况,加强管线防护设计,采用先进的防腐技术和检测技术,并在管网运行期加强维护管理。只有管线材质、设计施工、运行维护等环节的有机配合,才能形成完整的防护体系。展望未来,随着科技进步,必将研发出更多先进经济实用的地下管线防护新材料新工艺,进一步提高城市燃气管网的安全性、经济性和生命周期。

### 参考文献:

- [1] 王云.城市燃气管网工程施工中地下管线保护技术及对策探讨[J].产业与科技论坛,2020,19(19):215-216.
- [2] 郝琪.城市燃气管网工程施工中地下管线的保护技术分析[J].中国石油和化工标准与质量,2020,40(07):240-241.
- [3] 李子平.城市燃气管网工程施工中地下管线的保护技术[J].建材与装饰,2019(30):9-10.
- [4] 陈玉生.城市燃气管网工程施工中地下管线保护技术分析[J].中国设备工程,2019(20):164-165.
- [5] 屠小斌,沈颖.城市燃气管网工程施工中地下管线保护技术及措施探究[J].科技创新与应用,2019(30):145-146.
- [6] 高艳秋,国静芳.城市燃气管网工程施工中地下管线保护技术及措施分析[J].建筑技术开发,2018,45(08):65-66.