

燃气管网工程施工中地下管线的保护技术

周宗敏（济南能源工程集团有限公司，山东 济南 250000）

摘要：为解决燃气管网工程施工中地下管线易受破坏的问题，本文从技术手段和实施方法两方面进行了详细探讨，提出了包括管线探测与定位技术、管线标识与信号增强技术、动态监测与实时预警技术等在内的综合保护措施，同时分析了施工过程中安全技术规范的落实以及施工后管网维护的关键技术。通过系统性的技术总结和实践应用，可有效降低燃气管网施工的安全风险，提高地下管线的运行可靠性与维护效率，以期为相关工程人员在管线保护领域提供有价值的技术参考。

关键词：燃气管网工程施工；地下管线；保护技术

0 引言

燃气管网工程在城市基础设施建设中占据重要地位，其施工过程复杂，涉及多种地下管线的交叉保护。由于地下管线种类繁多且分布密集，施工过程中稍有不慎便会引发管线损坏、泄漏甚至安全事故。因此，针对地下管线保护的关键技术需求，深入研究和实践科学有效的保护措施，成为保障施工安全和燃气管网稳定运行的重要课题。这不仅对工程本身具有深远意义，也为提升城市基础设施建设质量提供了重要支撑。

1 地下管线分类与燃气管网的特殊需求

地下管线按功能可分为供水管线、燃气管线、通信电缆、排水管线及电力线路等多种类型，其设计与施工均有严格的技术规范与特殊要求。在燃气管网施工中，由于燃气具有易燃易爆的特性，其地下管线对施工环境和安全性提出了更高的技术需求。燃气管线的敷设需满足管径、压力等级和耐腐蚀性的要求，同时保证与其他类型管线的安全间距，避免因管线交叉或重叠造成的潜在威胁。燃气管线对地质条件的依赖较强，要求施工前进行详尽的地质勘查，以规避不良地质对管线的稳定性影响。此外，燃气管线对气密性要求极高，在施工中必须采用优质焊接技术和密封材料，以防止泄漏风险。燃气管网的特殊需求还包括运行阶段的实时监控与维护技术，通过智能化传感器和信号检测系统确保燃气管道在复杂地下环境中的长期稳定运行^[1]。

2 燃气管网工程施工中地下管线的主要威胁因素

2.1 地下管线周边地质条件对施工的影响

地下管线的施工与地质条件密切相关，不同的地质特性会显著影响管网工程的设计和实施效率。松散土壤地区，地下管线易受沉降影响，会导致管线连接点的松动或接口泄漏；而在岩石层或硬质地质条件下，

施工过程中的机械震动会对邻近管线产生不利作用，甚至诱发断裂风险。此外，高地下水位区域对燃气管线施工尤为不利，施工需采取抽排水措施以降低水位，从而减少对管线稳定性的潜在威胁。地质的非均质性也是影响地下管线施工的重要因素，若不充分考虑地质不连续性，会导致管线局部承压不均，进而削弱其长期运行的可靠性。

2.2 燃气管网施工过程中挖掘作业的风险

挖掘作业是燃气管网施工中的核心工序，但其直接对地下管线造成的风险不可忽视。施工中常需开挖深基坑或沟槽，而对既有地下管线的识别不足会导致管线损坏，尤其是对老旧或未标识清晰的管线，挖掘作业容易引发管壁破损或焊缝脱离。机械化施工设备在深基坑挖掘中使用频繁，但其振动及冲击作用会对管线周围土体的密实度产生负面影响，进而削弱地下管线的承载能力。施工中土方转移也会改变局部地基的应力分布，诱发管线变形或下沉。此外，开挖作业还面临土方坍塌的风险，对施工人员和管网均构成威胁。

2.3 外部环境与管线保护的复杂性分析

燃气管网施工过程中，外部环境的多样性和复杂性给地下管线保护带来诸多挑战。城市区域中，地下空间的高密度利用导致燃气管线与供水、排水、通信等管线交错复杂，增加了施工中相互干扰的可能性。道路交通振动和建筑施工的长期动态荷载对地下管线的稳固性也提出更高要求，尤其在管线接近桥梁或隧道等重点区域时，需采取额外的加固措施。

在腐蚀性环境中，例如酸性土壤或盐碱地带，地下管线表层材料的抗腐蚀性能面临考验，若防护层破损则会引发泄漏风险。气候因素同样不可忽视，极端温度变化会导致土体膨胀或收缩，从而影响管线的密

封性和稳定性^[2]。

3 地下管线保护的技术手段与实施方法

3.1 管线探测与定位技术

管线探测与定位技术是地下管线保护的基础环节，其精准性直接关系到燃气管网施工的安全性和效率。目前，主流探测技术包括电磁波法、地质雷达和磁探测法。其中，电磁波法能够通过探测地下金属物体的反射信号对管线进行定位，其探测深度可达5m，适用于金属材质的燃气管线；地质雷达以高频电磁波为媒介，通过接收不同介质的反射波形构建地下结构图像，能够探测金属与非金属管线，其分辨率可达5cm，在复杂地质条件下尤为适用；磁探测法则通过感应地下铁磁性物质的磁场变化实现对铁质燃气管线的精准定位。

为了提高探测效率，多种技术常被结合使用，例如将地质雷达与电磁波法联合应用以覆盖不同材质管线。探测作业需严格按照地下管线探测规范进行，确保信号采集的准确性，并结合数字化数据处理技术生成高精度地下管网分布图。

3.2 管线标识与信号增强技术

管线标识与信号增强技术在燃气管网保护中起到重要作用，通过优化管线的可视性与信号识别能力，为后续施工及维护提供了技术支持。传统管线标识采用物理标志，如警示标志牌和标志桩，虽然能够提供基础位置指示，但在复杂施工环境中其效果有限。近年来，信号增强技术逐步应用于地下管线保护中，通过埋设信号发射器或感应器，使管线能够主动发出电磁信号，便于探测设备进行精确定位。信号发射器通常采用中频范围（如30~60kHz）进行信号传输，以确保信号在深度1~3m范围内的稳定覆盖。

同时，高对比度的管线涂层标识和光纤信号增强技术也得到推广，光纤标识不仅能起到标识作用，还能通过光信号传输实现实时监测。此外，为应对多管线交叉重叠的复杂情况，可采用差分信号技术分离不同管线的信号特征，进一步提高识别精度。管线标识与信号增强技术的结合为燃气管线施工提供了可靠的技术保障，显著提升了管线保护效率和施工安全性。

3.3 施工方法优化与技术创新

施工方法的优化与技术创新是保障燃气管网工程中地下管线安全的关键。传统开挖技术易对周围管线和地质环境造成扰动，因此逐步采用非开挖技术，如水平定向钻进和顶管法，以减少对既有地下管网的干

扰。水平定向钻进技术通过地下导向钻头精确控制管线敷设路径，其水平精度可达 $\pm 2\text{cm}$ ，适合用于穿越建筑密集区的管线施工。顶管法则通过液压顶推设备将管线沿设定路径穿越障碍物，广泛应用于高密度管线交叉区域。

为了进一步优化施工过程，自动化与数字化技术得到了广泛应用，例如基于地理信息系统（GIS）的管线布设规划和基于建筑信息建模（BIM）的施工过程模拟，有效降低了施工偏差率。此外，创新的防护措施如多层复合防护材料和可塑性填充技术的使用，显著提高了管线的抗压性和抗振性。施工方法的持续优化为燃气管网工程的高效、安全施工提供了坚实的技术支持^[3]。

3.4 管线交叉与重叠区域的保护技术

管线交叉与重叠区域是地下管网施工中的高风险区域，需采取科学的保护技术以确保管线的稳定性和安全性。在管线交叉区域，垂直间距的设计至关重要，按照现行技术规范，不同功能管线的垂直净距通常需保持0.5~1.0m以上，同时采用高强度支撑结构避免管线因地质沉降或负载作用产生变形。对于承受较大应力的交叉点，采用金属支架、混凝土保护层或增强聚合物材料进行固定，以提升结构稳定性。重叠区域的管线保护则强调防护层的设置，如多层复合隔离垫，可有效避免因土体运动或水土侵蚀导致的交互损伤。此外，电腐蚀问题在重叠区域尤为突出，通过牺牲阳极和阴极保护法对金属管线进行防腐处理，显著提高其耐久性。施工阶段实时监测交叉点和重叠区域的受力状态，并结合力学分析模型预测潜在风险，可显著降低管线破损率。这些保护技术的实施为复杂管线环境提供了安全保障。

3.5 动态监测与实时预警技术

动态监测与实时预警技术在燃气管网地下管线保护中发挥着重要作用，通过对施工过程和运行状态的持续监控，有效减少事故风险。光纤传感技术是目前应用较广泛的动态监测手段，其灵敏度高且抗干扰能力强，能够实时检测管线周围的振动、应力和温度变化。光纤传感器的监测精度可达 $1\mu\text{e}$ ，覆盖范围超过30km，适用于大型燃气管网的全面监控。数据采集与分析系统通过无线传输技术将监测数据实时上传至中央控制系统，结合大数据分析模型判断异常情况，如管线变形、泄漏或外部侵扰，并通过警报系统及时反馈。

与之配套的预警机制包括自动关闭燃气输送阀门和精准定位故障点的功能，有效提高应急响应效率。此外，监测系统与地理信息系统（GIS）和物联网技术相结合，可实现对整个燃气管网的动态管理。

4 燃气管网施工中地下管线保护的关键技术保障措施

4.1 施工前的地下管线勘察与风险评估

地下管线的勘察与风险评估是燃气管网施工中保障管线安全的首要技术环节，其目的是全面掌握地下管线分布、结构特性和潜在风险因素，以确保施工设计和方案的科学性与可行性。勘察工作通常通过综合运用地质雷达、电磁波探测、磁感应扫描等技术手段进行。其中，地质雷达可提供地下管线高分辨率成像，其分辨率可达到5~10cm，适用于复杂地质条件下多材质管线的探测；电磁波探测技术能够高效识别金属管线，探测深度通常为3~5m。

勘察数据需与已有的地下管网信息数据库进行比对，通过三维建模技术构建地下管线数字地图，为施工方案优化提供支持。在风险评估阶段，需要对地质稳定性、周边环境影响及管线交叉区域的结构安全性进行全面分析，并结合可靠性数学模型对施工过程中的潜在风险进行量化评估^[4]。

4.2 多方协作机制与信息共享技术

多方协作机制与信息共享技术在燃气管网施工中的应用是地下管线保护的关键保障措施，通过实现跨部门协作和高效数据交互，提高施工管理的整体效率和安全性。施工项目涉及燃气、通信、电力及市政排水等多部门协调，各管线产权单位需按照技术规范共享完整的管线分布数据，并通过建立地下管网综合信息平台实现动态信息更新与统一管理。信息共享技术主要依赖于地理信息系统（GIS）和建筑信息建模（BIM），GIS可提供空间定位功能，帮助施工团队明确地下管线的精确位置，而BIM能够以三维可视化形式展示管网交互结构，为施工设计优化提供实时参考。协作机制还需要配合制定明确的管线保护责任分工，通过定期召开多方技术协调会议，及时解决施工中遇到的交叉问题。在信息传递过程中，利用区块链技术确保数据的透明性和真实性，有效减少因信息不对称导致的施工安全隐患。

4.3 施工过程中的安全技术规范落实

施工过程中的安全技术规范是确保燃气管网施工中地下管线安全的核心措施，其实施涵盖施工准备、

作业执行以及动态监测等多个环节。在施工准备阶段，需严格按照《城市地下管线工程技术规范》（如CJJ 200-2013）开展现场勘查和技术交底工作，明确施工区域内管线分布和相应保护措施。作业过程中，必须采用低振动、高精度的施工设备，例如液压挖掘机和非开挖导向钻，以最大限度减少对既有管线的扰动。对于开挖区域，需根据管线种类设置防护支撑结构，如钢支撑或混凝土支撑，以防止周围土体的位移引发管线变形。施工时，应持续进行管线位置与状态的动态监测，利用应变传感器实时采集管线受力数据，并将应力变化控制在允许范围内（通常小于设计安全系数的50%）。同时，施工现场必须设立警示区域并安排专人监督，确保人员、设备与管线的安全距离符合法规要求^[5-6]。

5 结语

总而言之，燃气管网工程施工中地下管线的保护技术是保障施工安全与管网运行稳定的关键环节。通过科学的技术手段和完善的实施方法，可以有效降低施工过程中的风险，避免对地下管线造成破坏。在实际应用中，精准的管线探测、优化的施工方法以及动态监测和预警技术共同构建了多层次的保护体系。同时，合理的技术规范落实和管网维护措施进一步提高了管线的安全性和使用寿命。地下管线保护技术的持续发展将为燃气管网工程的高效实施和长期可靠运行提供有力支持，为城市基础设施建设奠定坚实基础。

参考文献：

- [1] 张卓然. 城市燃气管网工程施工中地下管线的保护技术探讨[J]. 内蒙古石油化工, 2024, 50(11):66-69.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 王彤, 宋华旸, 赵瑞东, 等. 北京市地下管线智慧化管理实践研究[J]. 科技创新与应用, 2025, 15(02):85-88+93.
- [5] 张大杰, 刘苗. 城市道路老旧燃气管网改造工程施工问题难点及对策[J]. 城市管理与科技, 2024, 25(04):31-32+45.
- [6] 赵永谱. 城市燃气管网工程施工中地下管线保护技术分析[J]. 百科论坛电子杂志, 2020, (16):307-308.