

燃气管网泄漏原因分析与防泄漏对策探讨

郭占硕（长汀福燃天然气有限责任公司，福建 龙岩 366300）

摘要：燃气管网泄漏是城市燃气系统难以完全避免的一个顽固问题，采取防范措施降低燃气管网泄漏概率既是燃气管网维护管理的重要工作内容，也是保障燃气管网安全的重要举措。本文对燃气管网泄漏的危害与原因进行分析，并提出四点燃气管网防泄漏的对策，希望能够为燃气管网安全建设与运行提供参考。

关键词：燃气管网；管网泄漏；防泄漏；管网运行

1 燃气管网泄漏的危害

燃气管网泄漏是城市中一种较为危险的安全隐患，一旦发生燃气管网泄漏事故不仅影响居民的生命安全，也将给居民和政府带来巨大的经济损失。事故危害首先在于如果泄漏出的可燃气体浓度过大，而泄漏空间又相对密闭，则很可能引发火灾和爆炸等次生事故。而密闭环境中出现大量天然气等有毒气体，也可能导致室内人员中毒。^[1]而火灾和爆炸对周围建筑的破坏、抢修以及恢复供气所用的维修成本则是一笔巨大的经济开支。因此，深入研究燃气管网的泄漏原因，大力做好防燃气管网泄漏工作至关重要。

2 燃气管网泄漏原因分析

2.1 埋地钢管腐蚀

燃气管网建成投入使用一段时间后，可能会由于埋地钢管腐蚀穿孔造成燃气泄漏。引起埋地钢管在土壤中发生腐蚀穿孔的原因包括土壤腐蚀、电化学腐蚀、气体腐蚀和杂散电流腐蚀等。^[2]

在燃气管网的土壤腐蚀实例中，土壤的成分、电阻率、含水量、pH值均影响腐蚀速率。例如，高电阻率的土壤通常腐蚀速率较低，而低电阻率、高含水量或强酸性的土壤则可能加速腐蚀过程。土壤中的细菌、真菌等微生物在代谢过程中会产生酸性物质改变土壤环境，加速埋地钢管腐蚀。因此酸性土壤地区、土壤肥沃地区、南方地区的燃气管网更容易因埋地钢管腐蚀穿孔而发生泄漏。

燃气管网中埋地钢管微观金相结构具有不均匀性。其表面会形成许多微小的阳极和阴极区域，这些区域之间会构成微电池而发生局部腐蚀。这种腐蚀往往比较均匀，但长期作用将显著降低钢管的壁厚，甚至诱发穿孔泄漏。长距离输气管道穿越不同土壤时，土壤性质的差别、管道材质的差异和埋深不同导致的土壤环境差异会形成宏腐蚀电池，这也有可能加速埋地钢管的腐蚀过程。

燃气管网运行过程中输送的天然气中通常含有一定比例的二氧化碳、硫化氢等酸性气体，这些气体会在钢管内壁形成类似原电池的电化学反应，破坏金属晶格导致内壁腐蚀。内壁腐蚀会使管壁金属疏松脱落，进而造成穿孔泄漏。

而埋设在大型城市地下的燃气管网，可能受到地铁或电气化铁路运行过程中产生的杂散电流影响进一步加剧其电化学腐蚀。受该因素影响而出现的埋地钢管腐蚀通常呈现腐蚀点集中于管道某些区域，局部腐蚀严重的特点。

2.2 土层变动使管道接口被破坏

燃气管网投入使用后可能会由于土层变动而导致管道接口处出现裂隙甚至错位，引起燃气泄漏。^[3]

能够造成土层变动的因素主要包括不均匀降水和季节性气温变化。当降水量在干旱和多雨间剧烈变化时，土壤湿度的剧烈变化会引起土壤体积的膨胀或收缩，从而造成土层扰动。季节性的温度变化会导致土壤热胀冷缩，冰冻和解冻过程将对土壤产生显著的体积影响，造成土层的不均匀胀缩和升降。埋设在土层中的燃气管道随土层的位置变动而变化，可能出现前一节管道沉降而后一节管道抬升的现象，此时，管道接口就会受到剪切力，使得接口出现缝隙、输送的燃气逸出。

2.3 外力破坏燃气管网

若燃气管网所在地未能做好管网地上保护工作，则可能使燃气管网因受外力破坏而发生泄漏，此类泄漏由于突发性较强、管网破坏相对严重，因此造成的危害也相对较大。

施工破坏是燃气管网外力破坏的主要来源之一，据统计，野蛮施工给燃气管道造成的破坏占管道损害事故的60%以上。地基施工中可能掘断燃气管道，道路施工中路面打夯机则可能压断燃气管道。一些不经批准而施工建造的违章建筑如果占压在燃气管道所在

土层上方，可能导致管道受力过大而出现断裂泄漏。此外，大型机械车辆对路面的碾压、重物坠落等外力冲击也可能对燃气管道造成破坏。

2.4 管网运行管理不当

燃气管网运行中，一项重要的管理操作是对管网进行清洗吹扫和气体置换。如果这一过程中操作管理不当，也可能造成燃气管网泄漏。

燃气管网的清洗吹扫工作是为了去除管道内的杂质和水分，防止杂质在管网运行过程中对管道造成磨损或堵塞，并确保管网内部气体的纯净度。气体置换是为了将燃气管网中原有的空气等杂质气体置换成燃气。如果操作不当或置换不彻底，就可能在管网内部形成爆鸣气体。爆鸣气体在管网内部积聚到一定程度时会引发管网的振动或爆燃。振动会损坏管网的支撑结构和附属设施，使燃气管道接口对接不紧密发生燃气泄漏。

3 燃气管网防泄漏的有效对策

3.1 新建管网时的防泄漏对策

要有效预防燃气管网的泄漏，首先应当从做好新建管网的各项防泄漏工作开始，为燃气管网投入运行后在地下环境中保持一段时间的长期稳定打好工程基础。

选择燃气管网所用的管材时，应当考虑使所选材料具有足够的机械强度以抵抗管内燃气压力及管外荷载的作用，确保管道在正常运行和突发情况下不会发生破裂；使所选材料具有良好的耐腐蚀性能，能够长期在具有腐蚀性的土壤和地下水环境下保持管道结构的完整性和稳定性；使所选管道的管体材料具有良好的气密性；使所选材料具有一定的韧性和抗震性能以减少灾害对管网的破坏。

准确依据燃气管网在不同管网区域的使用需求和环境选择管网铺设方案，能够有效解决由于土层扰动带来的管网接口移位泄露问题。对于因气候原因频繁出现土层扰动现象的地区，建设燃气管网时应注意尽量选择土层稳定、地质条件良好的区域铺设管道。若必须在土层变动较大的区域铺设管道，则可以使用柔性接头或增加管道的弯曲半径以减少土层变动对接口的影响。

利用所选的高质量安全管材构建燃气管网的过程中，对于管道接口处的焊缝施工完成后要进行焊缝检测，确保焊接密实不泄漏。对于 PE 管等采用热熔连接的管材，应确保连接面清洁无杂质，并按照规定

的温度和时间进行热熔连接，热熔连接完成后也需对连接处进行气密性检测。对于非连接处的管材，易腐蚀的钢管应进行涂覆防腐涂料或电化学防腐等特殊处理。例如，在管道外壁采用 3PE 防腐层将管道与土壤隔绝以防止电化学腐蚀，或采用牺牲阳极以及强制电流保护的形式，从而保护管道不被腐蚀。

3.2 按标准定期检测燃气管网

对于不同时期建成的燃气管网，需按照其施工年限标准进行定期检测，确保燃气管网的管道气密性正常，以防燃气泄漏。新管道在投入使用初期可能因施工、材料等因素存在潜在问题，需要密切监控。因此，对于新铺设的燃气管道，应在竣工验收后进行首次检测，之后每三年至少进行一次常规检测。老旧管道由于长期运行和自然环境的影响，更容易出现腐蚀、老化等问题，因此，对于使用年限较长的管道，也应按照其使用年限递增检测频率。

3.3 以 PE 管穿套法改造旧有管网

通过定期检测燃气管网发现腐蚀等问题隐患后，可以利用具有高强度、高韧性和耐腐蚀性的 PE 管穿套进旧有管网中对旧燃气管网进行改造，能够在旧燃气管网因管道过度腐蚀而发生泄漏之前消除这一隐患。同时，PE 管穿套法可根据管道复杂情况灵活调整的优势也使其适用于复杂施工环境，能够避免对旧有管网产生新的伤害而在施工过程中诱发燃气管网泄漏。^[4] 这些优点使 PE 管穿套法改造后的煤气管网具有更长的使用寿命和更高的安全性。

PE 管穿套法作业的施工工艺如下：①施工准备：先确定施工段和作业坑位置，并准备 PE 管材、管件、密封材料、注浆材料等施工用料，计算所选用的 PE 管材的屈服拉伸强度以便制定合理的穿套作业参数。切断改造段旧燃气管道的气源并进行排空处理，确保施工安全。拆除旧管道上的附属设施为穿套作业提供空间。利用管道爬行器（CCTV）对旧管道内部进行清洗和检查，清除杂质和堵塞物，如果发现旧管道中铁锈可能影响 PE 管穿套，则需进行除锈修复处理；② PE 管穿套作业：将准备好的 PE 管管材按照各施工段的尺寸标准进行切割处理，切割好的各段 PE 管管材在一端设置拖管头，并安装用于牵引的套环。使用定向钻机或其他动力设备将 PE 管穿入旧管道内部，穿套时通过滚轮支架等辅助设备保护 PE 管不受损伤。实时监测牵引力大小，确保其在 PE 管屈服拉伸强度 50% 以下并能够牵引 PE 管在旧管道中克服摩擦力顺

畅穿套。在 PE 管穿套完成后，使用混合水泥浆液对内外管道间隙进行注浆处理。注浆过程中应控制注浆压力和注浆量，确保浆液充满间隙并凝固成型。最后对各施工段的 PE 管进行电熔焊接，在插入管与原管道的端口采用“O”形橡胶圈、塑料密封套或其他柔性填缝材料密封；③后期处理：按照设计要求对改造后的燃气管道进行强度试验和气密性试验。试验合格后恢复供气并进行试运行观察。

3.4 强化管网巡检防范第三方施工破坏

燃气公司应该制定完善第三方施工管控制度和流程，规范日常巡检管理要求、明确第三方处置的流程和措施，强化第三方施工相关的培训教育以及应急处置。

在日常巡检过程中，除内部专职巡检队伍外，还应该积极发挥外部力量。借助地方规划和住建等信息优势，建立第三方施工信息网络，掌握第三方施工项目、单位、人员和机械信息。同时，对区域内的第三方施工重点单位开展燃气管网安全培训，强化事前管理。其次，深化联防联控机制，与社区、物业、供水供电、城管等单位建立管道互巡互保机制。

对于发现第三方施工作业，涉及与管道交叉施工的，要第一时间发放安全告知书，要求第三方施工单位提交施工方案、管道安全保护专项方案、应急预案进行审核审查，同时双方签订安全协议，缴纳施工质保金。最后，在作业过程中要落实技术交底，管道标识和围挡以及过程监护和竣工验收等工作。

3.5 建立 SCADA 与 GIS 系统优化管网管理

SCADA 系统是一种集数据采集、数据传输、数据处理和控制于一体的自动化系统，能够通过实时监测燃气管网的压力、流量、温度等关键参数及时发现异常情况，从而有效防止燃气泄漏事故的发生。其作用机制如下所示：①实时监测：SCADA 系统能够持续不断地采集燃气管网中压力、流量、温度等各项数据并将这些数据实时传送到控制中心。控制中心通过数据分析，能够及时发现管网振动或混合爆鸣气体等异常波动；②异常报警：当 SCADA 系统检测到管网中的压力、流量或温度等参数超出正常范围时，会立即触发报警机制。报警信号会以声光等形式传输到燃气管网管理系统显示终端通知监控人员，使其能够迅速响应并采取相应的处理措施；③远程控制：在发现燃气泄漏或疑似泄漏情况时，SCADA 系统支持监控人员通过系统远程控制管网中的阀门迅速切断泄漏源，防止

燃气进一步扩散，并按照抢险人员的指令需求继续保持对燃气泄漏位点的实时情况监测，对抢险修复工作提供实时数据支持。

GIS 系统则通过整合地理信息数据、管网布局数据以及实时监测数据等功能为管网的安全运行提供全方位的信息支持。其能够为燃气管网优化管理提供的信息支持功能如下所示：①管网可视化：GIS 系统能够将复杂的燃气管网以直观的图形方式展示出来，使管理人员能够清晰地了解管网的布局、走向以及各关键节点的位置。这种可视化展示有助于管理人员快速定位潜在的风险区域；②数据处理：GIS 系统能够结合地理信息数据和管网监测数据对分布在不同区域的燃气管网安全性进行综合评估，将地理信息与监测数据结合预测管网中可能出现的问题区域，提示燃气管网管理人员强化对隐患区域的巡查；③辅助决策：当疑似发生燃气泄漏事故时，GIS 系统能够迅速提供事故地点的地理影像，从而辅助燃气管网维修人员决策对附近区域燃气管网运行状态的控制，以便于快速切断关联区域管网运行，阻止燃气泄漏事故进一步扩大影响。

结合上述两种信息技术系统综合构建燃气管网监测维护系统，燃气管网维护人员能够在更强大的信息支持和功能辅助下进一步完善燃气管网的运行管理和安全保障工作，防范燃气管网泄漏。

4 结语

燃气管网防泄漏安全建设与千家万户的用气安全息息相关，燃气管网维护管理人员应当树立起从工作中总结经验的意识，不断积累燃气管网泄漏事故经验，提升燃气管网管理系统预判泄露隐患、消除泄露隐患的工作能力，着力优化燃气管网运行安全水平。

参考文献：

- [1] 田琦. 城市燃气管网泄漏致灾害风险评价研究 [D]. 北京：首都经济贸易大学, 2022.
- [2] 张有礼. 城市燃气管网泄漏原因分析及安全防范措施 [J]. 工程与建设, 2012, 26(6):152-153.
- [3] 袁伟林. 城市燃气管网泄漏的原因分析及预防措施 [J]. 沿海企业与科技, 2009(6):56-57.
- [4] 朱健华. 燃气管网泄漏检测及其安全防护技术 [J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2013(7).

作者简介：

郭占硕 (1990-)，男，汉族，福建龙岩人，本科，研究方向：城镇燃气。