

An Examination of Strategies for Applying Cathodic Protection to Subterranean Urban Gas Conduits

Xiaoli Zhang¹ Zhenbo Huang²

1. Xiamen China Resources Gas Engineering Design Co., Ltd., Xiamen, Fujian, 361000, China

2. Xiamen China Resources Gas Co., Ltd., Xiamen, Fujian, 361000, China

Abstract

Driven by the continuous and rapid social progress, natural gas, with its clean, environmentally friendly and high energy efficiency features, has been deeply applied in various fields of modern society, providing key power and convenient guarantee for industrial activities and residents' lives. To ensure the efficient cross-regional transportation of this high-value flammable energy source, the vast natural gas pipeline system, as the backbone of energy transmission, has seen its strategic significance continuously strengthened and has become a focus of security concerns. However, in long-distance pipeline transportation of natural gas, there are multiple high-risk safety challenges. Any negligence may lead to major accidents. Therefore, it is urgent to formulate and implement precise pipeline safety guarantee plans. In particular, the problem of pipeline corrosion is a core challenge restricting safe operation and must be controlled and alleviated through scientific and reasonable technical means. This research is dedicated to systematically summarizing and deeply analyzing the commonly used and effective anti-corrosion technical strategies for natural gas pipelines.

Keywords

Natural gas pipeline; protection measures; cathodic protection

浅析城市埋地燃气管道的阴极保护方法

张小莉¹ 黄振波²

1. 厦门华润燃气工程设计有限公司, 中国·福建 厦门 361000

2. 厦门华润燃气有限公司, 中国·福建 厦门 361000

摘要

在持续快速的社会进步推动下,天然气因其清洁环保及高效特征,已在现代社会各领域得到深度应用,为工业活动和居民生活提供了关键动力和便捷保障。为保障这种高价值易燃性能源的跨区域高效输送,庞大的天然气管道系统作为能源传输的主干,其战略意义不断强化,成为安全关注的焦点。但天然气在长距离管道输送中,面临多重高危的安全挑战,任何疏忽可能酿成重大事故,这就亟需制定并实施精密的管道安全保障方案。特别是管道腐蚀问题,是制约安全运行的核心难题,必须通过科学合理的技术手段加以控制和缓解。本研究致力于系统归纳和深入分析天然气管道常用的、行之有效的防腐技术策略。

关键词

天然气管道; 保护措施; 阴极保护

1 引言

作为无污染且具有高效率的清洁能源形态,天然气在开发利用中展现出重要的经济与社会双重效益。目前,天然气输送主要依赖钢管与PE管,钢管因其广泛应用成为主导,主要分为无缝钢管、螺旋钢管和直缝钢管这三类。根据统计资料,对于未进行防腐处理的埋地钢管,通常2-3年便会因腐蚀而破裂;然而,通过科学的防腐手段,钢管的使用寿命可显著提升至30年以上。必须强调的是,若钢管未能得到合理的防腐保护,其安全运行将面临极大风险,因腐蚀穿孔

可能导致的天然气泄漏事故,对公共安全和个人财产构成严重威胁。2021年6月13日6时42分,位于湖北省十堰市张湾区艳湖社区的一个集贸市场发生了严重的燃气爆炸事件,该事故造成26人丧生,138人受伤,其中37人伤势严重,事故直接导致的财产损失约为5395.41万元。调查显示,爆炸的直接源头为中压天然气钢管发生锈蚀穿孔引发天然气泄漏。这一案例突出表明,加强天然气管道的防腐管理与维护措施具有至关重要的现实意义。

在周围介质的影响下,金属材料会产生破坏性的腐蚀现象,这主要依据其腐蚀机理可划分为化学腐蚀和电化学腐蚀两大类。针对埋地钢管而言,电化学腐蚀具有显著危害性,因为它破坏进程迅速且预防难度很高。

【作者简介】张小莉(1988-),女,中国重庆人,本科,工程师,从事城市燃气设计研究。

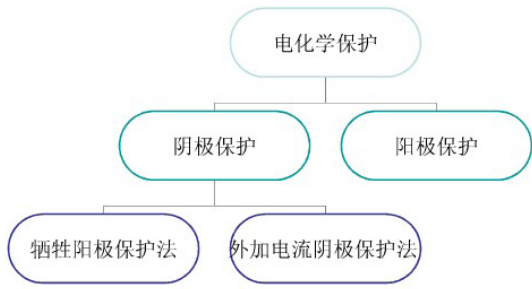


图1 常见防腐蚀方法

金属管道在土壤环境中，因其电位差异及微生物作用，表面易产生阳极与阴极区域，引致阳极部位发生局部腐蚀。为解决此问题，阴极保护技术通过施加外部电流，促使被保护金属维持阴极状态，从而有效遏制腐蚀的进程。为优化保护成效并减少能耗，应用此技术需配合优质防腐绝缘层，以提高能量利用效率。从电流供给角度出发，阴极保护分为牺牲阳极法和强制电流法两种主要体系，二者依据实际工况需求进行选用。

表1 阴极保护方法

方法	优点	缺点
外加电流	<ol style="list-style-type: none"> 1. 输出电源，电压连续可调 2. 保护范围大 3. 不受土壤电阻率的限制 4. 工程量越大越经济 5. 保护装置寿命长 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 必须要有外部电源 2. 对临近金属构筑物有干扰 3. 管理、维护工作量大
牺牲阳极	<ol style="list-style-type: none"> 1. 不需要外部电源 2. 对临近金属构筑物无干扰或较小 3. 管理工作量小 4. 经济性好 5. 保护电流均匀，且自动调节，利用率高 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 高电阻率环境不经济 2. 防腐层差时不适用 3. 输出电流有限

表1明确展示了阴极保护方法中两种主导技术——外加电流保护和牺牲阳极法的特定适用条件与明显优缺点。前者依赖外部电源供应，一旦外部电流中断将无法实施，且在与邻近地下金属设施共存时，需细致评估阴极保护站可能产生的杂散电流所带来的潜在干扰。若杂散电流影响超出标准限值，则须综合运用联合电流保护措施。相对地，牺牲阳极法在高电阻率土壤及水域环境中效果受限，且为保障阳极功能稳定性，必须将其埋设于土壤冰冻层以下区域。

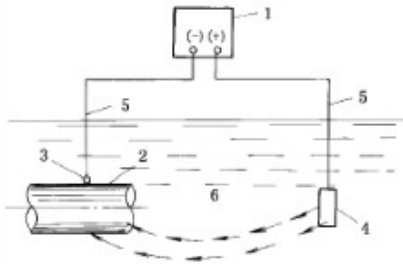


图2 管线外加电流保护系统示意图

2 外加电源阴极保护法

阴极保护技术通过引入阴极保护站等设施提供的直流电源，构建一种使金属管道在土壤环境中形成显著负电位的防护体系，以实现有效的防腐目标。其工作原理可参考图2所示：该方法的实现依赖于将阴极保护站的直流电源正极与辅助阳极紧密连接，辅助阳极常采用废旧钢材、耐腐蚀石墨或高硅铁等材料；与此同时，电源负极需与被保护管道在指定位置建立牢固的电气接触。直流电流从电源正极经导线流向辅助阳极，其通电点与管道边缘构成的边线须保持垂直，两点间的最佳水平间距通常控制在300米至500米之间。电流随后沿辅助阳极表面传导，通过电导率较高的土壤渗透至被保护管道，最终经由管道本体沿导线返回至电源负极，由此构筑起一个闭合的直流电流回路。此技术以管道作为整体阴极，与辅助阳极形成腐蚀电池系统。辅助阳极的正离子持续渗入土壤，不断进行腐蚀反应，进而对管道起到有效防护作用。

3 牺牲阳极选用及布点的技术要求

在电防护技术的选择上，必须遵循严谨的规范：对于锌阳极，其部署应严格限制在土壤电阻率不高于200欧姆·米的环境；而镁阳极则仅在土壤电阻率低于100欧姆·米的条件下有效；相较之下，外加电流阴极保护法的技术效能不受土壤电阻率的任何影响，展现出更强的适应性。

在实施牺牲阳极法阴极保护时，务必保证阳极材料的选取能够使受保护结构符合精确的电化学防护指标：其形成的对地电位需低于-0.85V的参考基准；而在通电状态下，阴极电位应较其自然电位负移至少300mV。尤为关键的是，当土壤或水体中存在硫酸盐还原菌且硫酸根离子浓度超过0.5%时，保护电位必须进一步强化至-0.95V下方，以确保防护效果的持久性和有效性。

安装牺牲阳极时，应注意将其与被保护的燃气管道保持适宜间距，此距离应在0.3米至7米之间，以确保防护效能。埋设深度须控制在1米及以下，且应优先选择在湿润土壤中直接安装，这有利于电化学保护过程的进行。阳极的具体埋设方式（如立式或卧式）可根据现场条件灵活选择，但须严格遵守：在阳极与防护管之间严禁引入其他金属构筑物，以防对保护效果造成不利干扰。

在安装牺牲阳极检测桩和检测头过程中，需严格遵守相关技术规程。优先将检测桩和检测头部署于燃气主干管两侧，以确保监测的全面性。每部署五组牺牲阳极或每1000米管线，应增加一个检测桩，以提升监测的密度。检测桩的设置位置应邻近牺牲阳极，且优先选择土壤腐蚀性较强、湿度大、地下水位高或管道防腐层存在缺陷的区域，以便准确识别腐蚀情况。同时，每个检测桩必须配备一个检测头，构建起覆盖广泛、精度高的监测网络。

布置检测桩与检测头的关键作用：前者主要应用于牺

牺牲阳极装置保护电位的精确监控,保证其维持在适宜区间;而后者则致力于对阴极保护系统运行后管道表面的保护效能进行全面评估,并准确量化受保护状态。



图3 混凝土测试桩和玻璃钢测试桩

4 牺牲阳极的施工要求

阳极的埋设工作要求按比例混合并均匀调配优质填充物,随后将配好的材料填充于直径 300×1000 的棉麻布袋内。处理完毕后,需选用经过铁砂纸精细打磨且表面彻底清洁的阳极,迅速并精确地放置于填料核心区域,并用适当力度压实。外部需用坚韧的铁丝紧密缠绕加固,随后选择平放或垂直的方式将其安装在管道边缘的2至3米位置。确保埋深与管道埋深完全吻合,且必须位于冰冻层以下。最终步骤涉及将细土与适量盐分混合,分层细致浇水确保充分湿润,然后实施混凝土回填作业。

在燃气管道领域,阴极保护技术作为一项成熟且高效的手段,其应用却因多重因素的制约而显得尤为复杂。城市地下环境的管线密集、电气干扰普遍、杂散电流分布不均,加之土壤类型的多样性、管道外防腐层的质量差异及稳定性不足,这些挑战显著增加了阴极保护技术的实施难度。

按照《阴极保护设计规范》的条款,设计前需全面分析管道周边土壤成分、腐蚀特性、地下水位、杂散电流作用及管道自然电势等核心要素。

阴极保护技术主要涵盖牺牲阳极保护法和外加电流保护法两种典型工艺。这两种技术的应用需要综合考虑一系列关键因素,例如管道涂层的完整性、沿线土壤的腐蚀性特征、邻近地下管道或金属结构的潜在干扰风险,以及阴极保护的造价效益等。特别是在复杂的城市地下构造中,管道密集交错,采用外加电流保护技术时,因其所需电流较大,可能形成的电流回路会加剧对未实施阴极保护的相邻管道的电化学腐蚀。此外,城市燃气管网的工程往往呈现分期建设的模式,单次施工的管线长度通常较短,若为每段管线独立配备阴极保护站,将导致成本显著增加,经济性较差。相较而言,牺牲阳极保护技术对周边环境的影响更为有限,特别适应于短距离管线的防腐需求,且施工操作更为便捷。基于城市燃气管网的建设特性及降低环境干扰的需求,选用牺牲阳极法实施阴极保护是更为合理和高效的技术方案。在市区外缘敷

设的长距离输气管道,若需不影响周边其他金属构筑物的运作,选用外加电流保护方式是一种经济且可行的解决方案。

5 阴极保护系统的检测和维护管理

城市燃气管道阴极保护技术的应用历史较为短暂,导致其覆盖面狭窄,同时专业技术人员缺口显著。这一现状使得对阴极保护系统的常规维护工作一度未得到充分重视。进入改革开放时期,伴随我国城市化建设的迅猛增长,新建桥梁与道路等市政工程项目不断涌现,这些施工活动往往无意中损坏阴极保护设施,不仅显著降低了保护性能,甚至可能完全破坏相关系统。因此,亟需将燃气管道阴极保护系统提升至战略高度,明确将其归入市政设施体系中,建立系统化的日常运行监管制度,并定期开展精密检测与维修养护工作。

为精准增强阴极保护监测效果、降低现场操作人员的工作压力并改善行政管理效能,我国已成功开发具备现场自动采集与遥控遥测能力的阴极保护综合管理系统。该技术通过计算机管理系统实现对城市燃气阴极保护的严格检测、全面分析及科学化运营管理,为相关领域提供现代化技术支撑体系。

6 结语

根据建设部2003年11月发布的《城市燃气设施防腐标准》,城市高中压钢质燃气管道及D200以上钢质管道必须执行阴极保护措施,这预示着阴极保护技术将深度融入城市燃气行业。作为防腐专业人才,应当充分理解并掌握这一城市燃气设施保护的关键技术规范。

领导高度重视,技术人员积极参与

燃气管道建设和阴极保护系统的建设要同步进行

已运行燃气钢质主干管线应依据规划分阶段逐步实施阴极保护措施。

阴极保护技术应仅在燃气钢管拥有高效绝缘防腐层时实施,以保障效果。

天然气管线的阴极防护具有核心地位,不仅可有力维护其安全运行,还能大幅增加服役年限与耐久性。需系统分析各类电流技术的优劣势,依据实际工况灵活应用其优点,方能使管线得到周全且高效的防护。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部.GB50028-2006 城镇燃气设计规范(2020年版).北京:中国建筑工业出版社.
- [2] 中国国家标准化管理委员会.GB/T 21448-2008 埋地钢质管道阴极保护技术规范.
- [3] 湖北省十堰市张湾区艳湖社区集贸市场:“6.13”重大燃气爆炸事故调查报告.