

石油化工管道保温与防腐施工技术及其效果评估

王景才 李德维 (中化鲁西工程有限公司, 山东 聊城 252000)

摘要: 石油化工管道, 本质就是串联生产全流程的“血管”。其运行状态, 不仅划定安全底线, 更会直接牵动经济效益的起伏。然而腐蚀、保温失效这两大行业沉痾, 纠缠多年仍未根除。唯有深耕施工技术、做精效果评估, 方能破解诸多生产梗阻。本文结合文献梳理、理论探析与一线实操经验, 专攻保温防腐核心技术, 搭建起一套相对严谨的评估体系。核心诉求, 就是把施工细节打磨得更加缜密, 让技术适配更为贴合工况, 为管道长效安全运转保驾护航, 藉此提供出一份扎实且可落地的支撑方案。

关键词: 石油化工管道; 保温防腐技术; 施工工艺; 效果评估

中图分类号: TE973 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 008-0151-03

Construction Technology and Effect Evaluation of Thermal Insulation and Anti-Corrosion for Petrochemical Pipelines

Wang Jingcai, Li Dewei (Sinochem Luxi Engineering Co., Ltd., Liaocheng, Shandong 252000, China)

Abstract: Petrochemical pipelines, in essence, are the “vessels” connecting the entire production process. Their operational status not only defines safety thresholds but also directly impacts economic performance. Two persistent industry challenges—corrosion and insulation failure—remain unresolved after years of effort. Only by refining construction techniques and optimizing effect evaluations can these production bottlenecks be effectively addressed. Combining literature review, theoretical analysis, and frontline operational experience, this paper focuses on core insulation and corrosion prevention technologies, establishing a relatively rigorous evaluation system. The primary goal is to refine construction details for greater precision, ensure better technical alignment with operational conditions, and provide a solid and actionable support plan for the long-term safe operation of pipelines.

Keywords: Petrochemical pipelines; Thermal insulation and corrosion protection technology; Construction techniques; effect evaluation

石油化工行业的工况, 没有固定范式。所输送介质多含腐蚀性成分, 且管道常置于高温高压工况中, 在这般环境下输送本身便暗藏不小风险。长期运转之下, 腐蚀加剧、热量散失的问题只会持续恶化。在施工过程中, 材料与工况适配偏差、工艺衔接脱节的现象, 如今也极为普遍。更棘手的是, 效果评估统一准则都尚未形成。通过深入研究, 本文先厘清施工核心价值与现存症结, 再拆解优化策略, 最终搭建贴合实操的评估体系。要真正破解管道运行痛点, 技术落地与效果校验这两大环节, 缺一不可。

1 石油化工管道保温与防腐施工的核心意义

石油化工管道串起整条生产线, 保温与防腐绝非多余工序。生产能否连续、运行是否安全、效益有无保障, 全凭这两项基础工程托底。管道常年浸于腐蚀性介质, 还得耐受高温、高压考验, 腐蚀从不是骤然发生的——皆在缓慢侵蚀管壁, 逐步磨薄厚度、耗损强度, 终致介质泄漏。腐蚀方面的损失, 既浪费物料, 更可能诱发火灾、爆炸, 后果难以估量。更棘手的是保温层失效, 管内介质温度剧烈起伏, 直接影响后续工艺推进与产品品质。

低温环境下, 管道易冻裂、介质易凝固堵管, 生

产便会即刻停滞。腐蚀与保温失效引发的, 是不小的经济损耗。零星检修、局部部件更换, 严重时还需整体改造, 每一项都在叠加成本压力。那些隐蔽的热量损耗, 更在悄无声息地推高能耗。行业数据足以佐证, 未做好保温防腐的管道, 年能耗较达标管道超出 20% 以上, 使用寿命亦缩减近四成。

时日一长, 企业运营负担只会持续加重。科学开展保温防腐作业, 本质是为管道“延长服役周期”, 减少非计划停机频次, 为高效生产筑牢根基。如今行业向高效、绿色、本质安全转型, 极端工况与长距离输送场景日渐增多, 对技术的适配度、耐用性、环保性要求也同步攀升。技术迭代与评估体系完善, 皆是行业升级绕不开的关键。

2 石油化工管道保温与防腐施工现存问题

在实际施工中, 石油化工管道保温与防腐施工这两项基础工序暗藏诸多症结。材料甄选适配度、工艺落地精度、过程管控力度, 乃至技术与工况的契合度, 这些环节最易出现偏差, 直接拉低施工质量与防护效能。保温材料导热系数不达标、防腐材料防腐性能扛不住工况考验, 这类情形屡见不鲜。传统岩棉材料便是典型, 吸水性极强, 潮湿环境下长期服役, 保温效

果会急剧衰减，精准控温根本无从实现。普通防腐涂层遭遇高温、强酸碱或含硫介质时，亦易起鼓、龟裂、剥离，最终与无防护状态无异^[1]。

施工工艺层面的问题更为突出，流程失范、细节疏漏的现象俯拾皆是。管道表面除锈没做到位，油污、杂质还粘在上面，就急着刷防腐涂层，肯定是粘不牢的，用不了多久就会脱落。保温层铺得厚薄不一致，接缝密封也只是走个过场，这样一来，无形的“热量通道”就形成了，保温效果会大打折扣。核心问题其实就是技术和实际工况对不上。

输送的介质、运行参数不一样，安装场景（不管是地上、地下还是海洋）也差得很多，管道对保温防腐的需求自然也各不相同。但不少工程就抱着传统方案不放，不结合实际工况调整设计，最后施工效果不理想，防护性能也达不到要求。这些问题越来越突出，关键原因就是施工质量管控和效果评估体系太薄弱。

多数工程没有实时又高效的监测办法，像涂层针孔、保温层内部空隙这类隐蔽的缺陷，很难及时发现，这无疑给后续运行埋下了长期安全隐患。评估指标也显得太单一，大多只关注施工后的短期性能，长期运行中的耐用性、对工况的适应性以及综合效益都没人顾及，根本没法全面反映防护体系的真实效果，反而让管道运行的风险变高。

3 石油化工管道保温与防腐施工优化策略

3.1 复合涂层防腐施工技术优化

复合涂层防腐技术，核心就是把不同用途的涂层材料科学搭配好，靠着多介质相互配合的作用，给管道搭起一层“防护屏障”——既能防腐、绝缘，还能耐磨、适应不同气候。它的核心优势很明显，不仅能让涂层和管道金属基体粘得更牢，应对复杂工作环境的能力也跟着变强。施工流程一点都不能马虎，必须按着“基体预处理-底漆涂覆-中间层加固-面漆防护”的步骤来。

底漆是防护的底子，附着力够不够、防锈效果好不好，直接决定能不能牢牢贴住管道；中间层主要负责增厚加固，把腐蚀介质渗透的路子彻底堵死；面漆则管着耐候和耐磨这两块，把防护做到无死角。温度、湿度、涂覆间隔这些关键参数，一定要严格把控。一点偏差，都可能导致出现针孔、裂纹这类问题，直接破坏涂层的致密密封性。

以金陵石化的实际施工案例，为同类工程提供了很有价值的参考。他们在2号催化裂化装置管道防腐施工时，用了王振研发的防腐保温隔热复合涂层体系，还特意针对性优化了涂层组合：底漆选环氧富锌型，中间层配环氧云铁漆，面漆就用聚脲弹性体材

料。施工后的检测数据很出彩，涂层附着力能够达到90MPa，比传统单一环氧涂层高35%，耐冲击性、柔韧性也都完全符合工况需求。这套管道在酸性介质、120℃高温环境下稳定运行了12个月，腐蚀速率控制在0.02mm/a以内，比行业标准好不少，防护效果和耐用性比传统工艺明显上一个档次^[3]。

3.2 “管中管”保温防腐一体化施工技术

“管中管”技术换了个思路，直接把保温和防腐这两大核心作用，整合到同一个施工体系里。它的核心组成很简单，就是外护管、保温层和工作管，没什么多余的复杂结构。外护管得选耐腐又抗冲击的材料，不光要挡住外面的腐蚀，更得给里面的保温层把好关。至于保温层，导热性要低、密封性要足、抗压性要强，一样都不能缺，还得紧紧卡在工作管和外护管中间。先在工厂预制好，再运到现场拼接，这种方式能大大减少现场的工作量，还能避开传统喷涂、铺设工艺里的各种不确定问题，将施工效率提上来了，质量也更稳定^[4]。

施工能否顺利进行，关键是看以下几点：外护管封得严不严、保温层填得够不够密、够不够匀，还有各个结构衔接得准不准。哪怕就是一条微小细缝，都有可能形成热量跑掉的通道，整体防护效果会直接受到影响。

西气东输二线东段穿河南、湖北两省，总长差不多210km，施工时就用了新慧研发的“管中管”技术，还配上热收缩套工艺，并且专门针对接口密封这块做了优化。外护管选的是高密度聚乙烯，耐土壤腐蚀、抗老化的表现都很不错；保温层用的是聚氨酯泡沫，既能保温又能起到缓冲作用；接口处靠热收缩套加强密封，防护做到了无死角。施工后的检测数据能说明问题，保温层热导率控制在0.022W/(m·K)以内，完全能满足低温输送的保温需求，外护管的耐蚀性也达标了。

3.3 智能监测辅助施工质量管控技术

材料与工艺的创新之外，智能化技术亦为保温防腐施工提供助力。由在线激光监控系统构建的智能监测体系，现已成为精细化管控的核心依托。其原理并不复杂，核心在于依托高精度激光检测技术——实时捕捉保温防腐层的厚度、平整度、密封性、均匀性等关键参数，同步将数据传输至管控平台。唯有落实全程动态监控与闭环管理，方能及时排查、当场整改隐蔽缺陷^[5]。

这项技术将精密仪器检测、实时数据分析与智能预警功能深度融合。关键之处在于，需要厘清检测参数与质量标准的对应逻辑，科学界定参数阈值。数据

一旦超出设定范围，系统便即刻自动报警，指引施工人员调整工艺、校正操作，从源头遏制质量隐患。

茂名石化炼油管廊管道改造项目，便引入了清华大学研发的石油防腐保温泡夹管质量在线激光监控系统，重点监测保温层厚度、防腐涂层均匀性及接口密封质量。该系统检测精度可达 $\pm 0.1\text{mm}$ ，再细微的缺陷亦能被精准捕捉。在施工期间，该系统成功检出 3 处隐蔽性涂层针孔缺陷，以及 2 处保温层厚度不达标问题，施工人员及时整改，杜绝了后续隐患。项目收尾统计数据显示，施工合格率从传统人工管控的 88%，大幅提升至 99.2%，质量与效率均实现显著飞跃。

3.4 工况适配型保温防腐施工工艺优化

技术纵是先进，若与工况脱节，终究徒劳无功。工况适配型施工工艺的核心，正在于“因地制宜、按需定制”。管道输送介质的核心特性必先摸清——诸如腐蚀性、温度、粘度等指标，再结合运行参数与安装场景，针对性甄选保温防腐材料、敲定施工路径，让防护效能精准匹配工况诉求^[5]。

面向高温高压管道，耐高温、抗高压、热稳定性优异的材料及涂层，必须作为优选品类，否则高温环境下材料极易发生失效破损。埋地管道则需强化防腐层的耐土壤腐蚀性能与抗杂散电流能力，搭配阴极保护技术，构筑双重防护方可确保稳妥。处于潮湿环境的管道，防潮防水为首要任务，需选用疏水性能佳的保温材料，规避保温层受潮失效进而加剧管道腐蚀的问题。

大庆油田采油四厂第四作业区，冬季低温高湿，对管道保温防腐形成严苛考验。他们摒弃传统材料，以工况适配型工艺破解困局，选用水性陶瓷颗粒保温隔热材料，搭配牺牲阳极法阴极保护技术，搭建起双重防护体系。冬季监测数据足以佐证成效：管道保温层外表面温度平均降幅达 3°C ，阀组关键部位温度却同比提升 4.1°C ，管内介质温度维持稳定。传统工艺中，因保温层渗水、积水引发的管道腐蚀、冻堵难题，至此彻底根除，极具低温潮湿工况适配性。深耕这套工艺，不仅能提升依据工况优化施工方案的实操能力，更能深化对材料特性、工况适配逻辑的认知，应对复杂环境施工时亦更具底气。

3.5 阴极保护与保温协同施工技术

阴极保护技术，堪称管道防腐领域的硬核手段。其运作核心，是借电化学原理扭转管道金属的电化学属性，使管道在腐蚀反应中转为阴极，从源头遏制阳极溶解、切断腐蚀链条。但与保温施工叠加时，兼容难题便极易凸显。保温层大概率会阻隔保护电流的传导路径，最终导致两项技术相互掣肘，防护效能大幅

折损。阳极装置的布设，务必兼顾合理性与适配性。管道的长度、直径及工况参数，皆为核心依据，需据此精准核算阳极的数量与间距，确保保护电流可均匀覆盖管道表面。

保温材料的甄选亦不容忽视——不阻碍电流传导、具备强效耐腐蚀性，是必备硬性条件。施工顺序更容不得错乱，“安装阴极保护装置—处理管道表面—铺设保温层”的流程必须恪守，各环节的衔接精度与密封质量需筑牢，方能维系整个防护体系的稳定性。

逸盛石化埋地输油管道工程（输送含硫原油），便摸准了这一核心逻辑，采用牺牲阳极法阴极保护与聚氨酯保温层协同施工技术。阳极选用锌合金材质，牺牲效率与使用寿命均表现出众；保温层则采用高密度聚氨酯泡沫，兼顾保温效能与电流传导需求，实现双向适配。

4 总结

石油化工管道的保温与防腐施工，看似是不起眼的基础工序，对于行业安全生产、经济效益的牵连却极深。本文先梳理了这项施工的核心价值，点出当前存在的症结，还拆解出五项优化路径——复合涂层、“管中管”一体化、智能监测辅助、工况适配、阴极保护协同，顺带搭建了一套多维度效果评估框架。实践已然印证，针对性打磨施工技术、把效果评估落到实处，管道保温防腐效能便能显著提升，运行风险与能耗也可有效压降。立足长远发展，保温防腐材料的研发绝不能停滞，需朝着绿色化、高性能化方向深耕，既要兜牢防护核心需求，又要契合环保发展大势。智能化监测技术的集成应用，同样得往纵深推进，如此方能实现管控的精准化、高效化。再者，评估指标与标准也需进一步补充优化，构建一套统一规范的行业体系。唯有这般发力，才能推动管道保温防腐施工迈向精准化、长效化、可持续化，为石油化工行业高质量发展筑牢根基。

参考文献：

- [1] 李丽新. 管道防腐保温技术综述 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2012, 33(12): 81.
- [2] 石油防腐保温泡夹管质量在线激光监控系统 [Z]. 北京: 清华大学精密仪器及机械学系, 2003-01-01.
- [3] 王振. 石油炼化管道防腐保温隔热复合涂层的制备及性能研究 [D]. 赣州: 江西理工大学, 2020.
- [4] 新慧. 石油管道局管道防腐保温“管中管”技术和热收缩套的研究 [J]. 石油学报, 1986(01): 82.
- [5] 陈虹宇. 油气管道阴极保护技术现状与发展趋势研究 [J]. 建筑工程技术与设计, 2020(4): 2980.