

防水节能型复合保温技术在兰州石化中压蒸汽管线的应用

冀美萍 焦永杰 王 斌

(中国石油兰州石化公司)

摘 要：针对兰州石化炼油区中压蒸汽管线存在表皮超温、温降大、保温结构不合理及抗风雨能力弱等问题，采用预制防水节能型复合保温技术进行改造。通过精细化设计、模块化预制及防水防风结构优化，改造后热流密度降至国标值一半以下，表面与环境温差平均降低 26℃。DN450 及 DN500 管线千米温降分别降至 3.96℃和 5.11℃，远优于改造前。三条管线合计每小时节约中压蒸汽 1.57 吨，年创效 341.78 万元。该技术显著提升能效与稳定性，为同类老旧管道改造提供了工程范例。

关键词：中压蒸汽管线；复合保温；节能降碳；防水保温；气凝胶；千米温降

引 言

工业蒸汽管网是石化企业能源输配的大动脉，其保温性能直接关系到企业的能耗成本与碳排放水平。兰州石化公司炼油区中压蒸汽管线由于建设较早，长期存在保温结构设计不合理、材料选型落后、防水防风措施缺失等问题。前期调研检测发现，部分管线外表面温度高达 100–300℃，千米温降平均达 32.7℃，远高于行业合理水平。尤其在雨雪、大风天气下，供汽压力和流量显著下降，严重影响了下游生产装置的安全稳定运行。

为实现节能减碳目标，保障生产平稳，项目组决定对问题突出的中压蒸汽管线进行绝热保温升级改造。本文详细阐述了采用预制防水节能型复合保温新技术的实施方案、关键结构设计、改造效果及经济效益分析。

1 改造前问题分析与技术路线

1.1 改造前主要问题

1.1.1 保温效果不达标

管廊空间狭小，原设计保温层厚度不足；部分区域保温材料塌陷、破损，形成热桥。

1.1.2 热损失巨大

热流密度实测值为国家标准（220 W/ m²）的 3–4 倍，表面温度超温严重。

1.1.3 结构不合理

缺乏系统性的防水、防风、防塌陷设计；管托为非节能型，底板散热严重。

1.1.4 环境影响敏感

遇风雨天气，保温层受潮或外护层被吹损，热损失急剧增加，导致下游蒸汽参数波动。

1.2 技术路线与改造目标

项目采用中石油推广的预制防水节能型复合保温新技术，核心思路为：

复合选材：引入气凝胶等高性能材料，在有限空间内提升保温效能。

结构优化：采用台阶状错缝搭接、整体式弯头、可拆卸阀门盒等设计，杜绝贯穿缝隙。

全系统防水防风：保护层接缝达到 IPX3 防水等级，管托采用半干法挤压成型整体隔热瓦。

量化目标：改造后，环境温度 25℃ 以下时外表面温度 ≤ 40℃；千米温降：DN450 ≤ 8℃ /km（雨天 ≤ 9℃），DN500 ≤ 7℃ /km（雨天 ≤ 8℃），且稳定运行 10 年。

2 关键技术方案与实施

2.1 复合保温层结构设计

材料选型：遵循 GB50264 标准，复合结构中必须包含至少一层 10mm 厚气凝胶作为核心绝热层。弯头等关键部位采用两层 20mm 厚气凝胶加强。

性能指标：要求各部件衔接处外壁温度与环境温差不超过 15℃；管托底板温升控制在 35-45℃ 以内。

2.2 专项防水防风结构

保护层材料：选用 3003 铝合金板（H24 状态），厚度 0.8-1.0mm。

接缝防水：所有环向、纵向接缝及异形件接口均设计有防水结构，并按 GB/T 4208-2017 IPX3 等级检测。

无贯穿设计：弯头保温壳整体加工，禁止使用销钉、铁丝等贯穿件，避免热穿透。

可拆卸阀门盒：采用哈弗口结构，兼具防水与限位功能，缝隙不超过 1mm。

节能管托：隔热瓦为轴向连续整体，采用半干法挤压成型，杜绝分段浇注。

2.3 实施范围与流程

项目于 2024 年 1 月立项，2025 年 4 月下旬开始施工。主要对炼油区 3.5MPa 中压蒸汽系统的 DN350、DN450、DN500 管线（总长约 1832 米）及其附件进行改造。实施内容包括：现场精确测量、复合保温管壳加工定制、旧保温拆除、新结构安装、管托更换、阀门及异形件保温盒制作等。

3 改造效果分析

改造完成后，兰州石化研究院对保温效果进行了全面检测与标定。

3.1 热流密度与表面温度

热流密度：改造前三条管线平均热流密度高达 1100-1250 W/ m²，为国标限值（220 W/ m²）的 5-6 倍。改造后降至 100 W/ m² 左右，低于国标值的一半。

表面温度：改造前表面温度与环境温度差值平均约 32℃，改造后降至 8℃，降低幅度达 26℃。

3.2 千米温降

DN450 管线（流量 65t/h）：改造前千米温降 32.7℃，改造后降至 3.96℃。

DN500 管线（流量 50t/h）：改造前千米温降 34.0℃，改造后降至 5.11℃。

结果远优于项目预设的晴天 ≤ 7-8℃ /km 的目标，说明复合保温技术效果显著。

3.3 抗风雨能力

通过全系统防水防风结构设计，彻底解决了雨水渗透和外护层破损问题。改造后，在风雨天气下未再出现供汽压力和流量大幅下降的情况，保障了生产装置的稳定运行。

4 经济效益与节能减碳

基于改造前后热流密度实测数据，计算三条管线的节能效益如下：

系统	表面积（m ² ）	节约热量（kW）	节约中压蒸汽（t/h）	年创效（万元）
DN450	290.24	334.74	0.54	115.05
DN350	219.47	218.22	0.35	82.50
DN500	372.60	413.49	0.67	144.23
合计	882.31	966.46	1.57	341.78

注：按中压蒸汽单价 205.02 元 / 吨，年运行时间 8750 小时（晴天 8400h+ 雨天 350h）估算。

合计年节约蒸汽约 1.57 万吨，折合经济效益 341.78 万元，同时实现显著的二氧化碳减排。

5 结 论

预制防水节能型复合保温技术成功解决了兰州石化炼油区中压蒸汽管线长期存在的保温超温、温降大、抗风雨能力弱等难题。改造后管线表面温度、热流密度、千米温降等关键指标均大幅优于国家标准和项目预期。

通过精细化设计、模块化预制及系统性防水防风结构（台阶错缝、无贯穿弯头、哈弗口阀门盒、整体节能管托等），实现了保温系统的长周期（10 年）稳定运行，并杜绝了保温层下腐蚀风险。

项目经济效益显著，年节约蒸汽价值超 340 万元；社会效益突出，有力支撑了企业的节能减碳目标与生产安稳长满优运行。

该技术的成功应用，为石化行业同类老旧蒸汽管网的能效提升改造提供了成熟、可靠的技术路径和工程参考。

参考文献

- [1]GB 50264-2013, 工业设备及管道绝热工程设计规范 [S]. 北京：中国计划出版社，2013.
- [2]GB/T 34336-2017, 纳米孔气凝胶复合绝热制品 [S]. 北京：中国标准出版社，2017.
- [3] 全国能源基础与管理标准化技术委员会 .GB/T 8174-2008 设备及管道绝热效果测试方法 [S]. 北京：中国标准出版社，2008.