

压力容器

LNG深冷管道复合保冷结构的创新与实践

郑庆路* 郭林

(国家管网集团天津液化天然气有限责任公司)

摘要 某公司二期项目在一期工程预留区域内进行扩建,其主要功能是增加液化天然气(LNG)接收站的储存容量和外输能力。LNG具有超低温存储和输送的特点,因此LNG输送的管道保冷方式以及保冷材料的选取至关重要,该管道的保冷性能关系到LNG接收站的经济效益和运行安全。管道保冷多采取单一的聚异三聚氰酸脂(PIR)保冷结构,阀门法兰等异形件保冷方式采用传统的聚氨酯现场发泡。为了达到低温LNG管道保冷预期效果,结合各类保冷材料的技术参数,多次优化施工方案,最终采用PIR加泡沫玻璃复合结构,阀门法兰等异形件的保冷采用气凝胶绝热毡。管道试运行后,保冷效果良好。

关键词 PIR 泡沫玻璃 气凝胶绝热毡 LNG管道

中图分类号 TE 832

DOI: 10.16759/j.cnki.issn.1007-7251.2024.08.010

Innovation and Practice of Composite Cold Insulation Structure for LNG Cryogenic Pipeline

ZHENG Qinglu GUO Lin

Abstract: The second phase project of a certain company was an expansion carried out within the reserved area of the first phase project, with the main function of increasing the storage capacity and export capacity of the LNG (liquefied natural gas) receiving station. LNG had the characteristics of ultra-low temperature storage and transportation, so the selection of pipeline insulation methods and insulation materials for LNG transportation was crucial. The insulation performance of the pipeline was related to the economic benefits and operational safety of LNG receiving stations. Pipeline insulation mostly adopted a single PIR insulation structure, while valve flanges and other shaped parts were insulated using traditional polyurethane on-site foaming. In order to achieve the expected effect of cold insulation of low temperature LNG pipeline, the construction scheme was optimized for many times in combination with the technical parameters of various cold insulation materials. PIR plus foam glass composite structure was finally used for cold insulation of pipeline, and aerogel insulation felt was used for cold insulation of valve flanges and other profiled parts. After the trial operation of the pipeline, the cold insulation effect was good.

Key words: PIR; Foam glass; Aerogel insulation blanket; LNG pipeline

0 引言

国家管网集团天津 LNG 二期项目在深冷管道复

合保冷结构施工中,采取了聚异三聚氰酸脂(PIR)、泡沫玻璃(CG)复合结构加新型防潮层卷材(ZES ABP Barrier)的施工方案,阀门法兰等异形件的保冷

* 郑庆路,男,1989年生,本科,工程师。天津市,300452

采用了气凝胶绝热毡施工方案。本文深入分析了几种保冷材料使用性能的优劣,进行了详细对比,为此类保冷方式在施工中的应用推广提供了依据。

1 不同保冷材料性能参数对比

1.1 PIR与CG材料对比

(1) 可燃性和安全性

CG 不燃;PIR 在持续火焰中可燃,且产生浓烟和毒气,如遇火灾,CG 能有效保护管道和设备。

(2) 闭孔率、吸水率和水蒸气渗透性

CG 优于 PIR,PIR 因相对易吸入水气,降低其低温绝热效果。

(3) 线膨胀系数

PIR 因温差引起的收缩较大,易导致接头处拉开

而结冰、结霜。

(4) 感光性、抗老化

CG 稳定;PIR 易老化,性能衰减、寿命缩短。

(5) 制造的环保性

CG 无污染,PIR 有污染。

(6) 导热系数

PIR 比 CG 小,价格也相对便宜。

(7) 检修后的废旧料处置

CG 可回收、无污染;PIR 不降解,目前很难处置。

PIR 加泡沫玻璃复合结构,充分利用 PIR 导热系数小和泡沫玻璃不燃烧、尺寸稳定、不透水、不吸水的特点,保证绝热系统安全、稳定和持久。

1.2 传统工艺与新型防潮层卷材对比

传统工艺(玛蹄脂加玻璃布)与新型防潮层卷(ZES ABP Barrier)对比情况详见表 1。

表 1 材料性能对比

	传统工艺(玛蹄脂加玻璃布)	新工艺(ZES ABP Barrier)
生产工艺	沥青加树脂加工而成,含有甲苯,生产过程中难免对环境造成影响,不环保	丁基高温热熔覆铝箔,做成卷材,厚度为1.2~1.5 mm,材料本身环保绿色。使用时,只需清扫表面灰尘,再将卷材覆合到保冷材料表面,预制成一体
防水性	会吸水,室温浸泡24 h,吸水量不大于试料质量的0.5%	不吸水,透湿率为 $\leq 0.72 \text{ ng}/(\text{pa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^2)$
延伸率	$\geq 3\%$	$\geq 35\%$
干燥时间	指干5 h,全干7 d	密封后,立即干燥
燃烧性	施工时无引火性,干燥后具有阻燃性	ASTM E84A级
施工工艺	保冷防潮层采用黑色玛蹄脂,中间隔放一层玻璃布增强	保冷防潮层采用自粘性防潮卷材,厚度为1.2 mm,单面带增强PAP铝箔,在工厂完成保冷结构最外层的自粘性防潮卷材的工序。在现场为装配式进行施工,在接缝处用铝箔胶带密缝即可完全防潮层的施工
施工方案	现场施工方法还算比较简单、方便,但施工成本较高	现场施工便利,有效降低施工成本,施工进度快
气密性	整体气密性能够满足要求	防潮卷材整体气密性好
环保	玛蹄脂材料环保性较差,施工如在密闭环境中气味重,可能对人体造成伤害	ZES ABP Barrier绿色环保
文明施工	现场施工对周边设备等设施会造成污染、很难清理干净	现场施工干净、无污染
垃圾处理	数量大,包装桶难处理	数量少、干净

1.3 传统聚氨酯现场发泡与气凝胶绝热毡对比

阀门法兰等异形件部位采用气凝胶绝热毡进行施工,气凝胶绝热毡是由纳米二氧化硅气凝胶与玻璃纤维棉或预氧化纤维毡通过特殊工艺手段复合制成的柔性绝热毡。气凝胶是一种多孔三维网络结构的非晶态材料,97% 体积由空气占据其纳米级孔隙。这种结构不利于空气流动从而抑制了对流和气相传热,达到了良好的绝热效果。气凝胶绝热毡最大的特点是具有超低的导热系数,在 $-160 \text{ }^\circ\text{C}$ 时,导热系数小于

$0.012 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,超低温稳定性优异。

传统的聚氨酯现场发泡不使用模具,无法控制发泡的温度和压力,发泡不均匀,产品没有经过熟化,随着时间推移,泡体收缩变形,出现缝隙漏冷,泡沫老化吸水,导热系数显著变大,氯离子水解析出,使阀门法兰产生应力腐蚀,造成安全风险。因气凝胶绝热毡本身是柔性材料,安装便捷;防火性能为 A 级;利用普通裁剪工具便可将其加工成所需的形状;在后期检修中,拆卸下来的部分材料可重复利用。

2 深冷管道复合保冷结构性能分析

2.1 PIR与泡沫玻璃复合保冷结构

传统管道保冷结构的绝热层常采用 PIR 绝热材料,但由于该材料易老化,尺寸稳定性较差和吸水性能较好,当管道发生膨胀位移时,交变拉伸和挤压作用会导致其过早失效,而采用单一较昂贵的硬质绝热材料(泡沫玻璃),由于厚度增加而不够经济,尤其在防火性能上,传统的 PIR 绝热材料在持续火焰中可燃,会产生浓烟和有毒气体,而泡沫玻璃材料的燃烧性是 A 级,达到不燃等级,如遇火灾时,泡沫玻璃能有效保护管道和设备。

项目组技术人员结合 2 种材料(PIR、泡沫玻璃)的技术指标和特性,多次优化设计方案,充分利用 PIR 材料导热系数低、耐磨性较好以及泡沫玻璃材料尺寸稳定、不透水、不吸水、不燃的特点,采用内层为 PIR 材料,外层用泡沫玻璃材料的管道保冷施工方案。

2.2 新型防潮层卷材(ZES ABP Barrier)

新型防潮层卷材采用自粘性防潮卷材,单面带增强 PAP 铝箔,在工厂完成保冷结构最外层的自粘性防潮卷材的工序,在接缝处用铝箔胶带密缝即可完成防潮层的施工,施工便利,有效降低了施工成本,提高了施工效率。传统工艺采用玛蹄脂,中间隔放一层玻璃布用于增强保冷效果。传统工艺施工步骤多,现场施工会对周边设备等设施造成污染,较难清理,且会吸水。在 LNG 深冷管道保冷中,水汽含量增加会导致保冷材料的导热系数增大,影响绝热系统运行。项目组技术人员结合新型防潮层卷材的材料特性,优化施工方案,最后取代了传统工艺。

2.3 气凝胶绝热毡

传统的聚氨酯现场发泡不使用模具,无法控制发泡的温度和压力,易导致发泡不均匀。产品没有经过熟化,随着时间的推移,泡体收缩变形,出现缝隙漏冷,泡沫老化后吸水,导热系数显著增大,氯离子水解析出,阀门法兰易产生应力腐蚀,形成安全隐患。

阀门法兰等异形件的保冷会出现缝隙漏冷等现象,一直都是 LNG 管道保冷的难点和重点。气凝胶绝热毡与管道保冷部分的 PIR、泡沫玻璃搭接处理,是阀门法兰等异形件的气凝胶保冷施工的关键。项目组技术人员对各类方案的技术和经济进行比较分析,结合气凝胶绝热毡材料本身特性,且查阅相关规范和

技术要求,不断优化技术施工方案,气凝胶绝热毡与 PIR、泡沫玻璃分层的每层搭接长度为 100 mm,内层气凝胶绝热毡采用合成胶带固定,最外层,用不锈钢带固定(单侧至少 2 根),最大程度保证各层保冷材料紧密结合。针对异形件的不规则形状处,用 18k 玻璃棉或气凝胶绝热毡的碎条进行填充,将不规则的形状转化为圆柱结构。

3 推广应用及效益情况

3.1 推广应用情况

“LNG 深冷管道复合保冷结构”首次在国家管网集团天津 LNG 二期项目中使用,该技术根据 PIR 加泡沫玻璃、气凝胶绝热毡、新型防潮层卷材的材料特性,扬长避短,从根本上保证了绝热系统的安全性、稳定性和持久性。同时简化了施工方法,在保证质量的前提下,便于施工。

3.2 近三年经济效益

“LNG 深冷管道复合保冷结构”应用后近 3 年的经济效益如表 2 所示。

表 2 经济效益

应用单位	国家管网集团天津液化天然气有限责任公司
应用起止时间	2021年7月—2023年7月
经济效益	约4 871 556元

天津 LNG 二期项目,防潮层面积约 70 833 m²。

(1) 按照传统的玛蹄脂加玻璃布结构所需费用。

a) 材料费

Foster60-90 玛蹄脂质量为: $8 \text{ kg/m}^2 \times 70 833 \text{ m}^2 = 566 664 \text{ kg}$, Foster Mast-A-Fab 玻璃布面积为: $70 833 \text{ m}^2 \times 1.4$ (搭接系数) $= 99 166 \text{ m}^2$, 总计: $566 664 \text{ kg} \times 15 \text{ 元/kg} + 99 166 \text{ m}^2 \times 3 \text{ 元/m}^2 = 8 797 458 \text{ 元}$ 。

b) 施工费

综合人工费为 60.98 元/d, 管道防潮层每平方米的玛蹄脂加玻璃布防潮层施工需 0.795 工日。总计: $60.98 \text{ 元/d} \times 0.795 \text{ d/m}^2 \times 70 833 \text{ m}^2 = 3 433 920 \text{ 元}$ 。

(2) 使用新型防潮层卷材

a) 材料费

ZES ABP Barrier 防潮层卷材面积为: $70 833 \text{ m}^2 \times 1.2$ (搭接系数) $= 85 000 \text{ m}^2$, 总计: $85 000 \text{ m}^2 \times 75 \text{ 元/m}^2$

=6 375 000 元。

b) 施工费

综合人工费为 60.98 元/d, 管道防潮层每平方米的玛蹄脂加玻璃布防潮层施工需 0.228 工日。总计: 60.98 元/d × 0.228 d/m² × 70 833 m² = 984 822 元。

综上可知, 节约费用为: (8 797 458 + 3 433 920) - (6 375 000 + 984 822) = 4 871 556 元。

4 结语

PIR 加泡沫玻璃复合结构充分利用了 PIR 导热系数小和泡沫玻璃不燃烧、尺寸稳定、不透水、不吸水

等特点, 保证了绝热系统的安全性、稳定性和持久性。新型防潮层卷材 (ZES ABP Barrier) 应用, 施工便利, 有效降低了施工成本, 提高了施工效率。阀门法兰等异形件保冷常采用气凝胶绝热毡, 最大程度地保证各层保冷材料紧密结合, 保冷效果良好。

“LNG 深冷管道复合保冷结构”在国家管网集团天津 LNG 二期项目中成功应用, 大大提高了施工质量, 保证了绝热系统的安全性、稳定性和持久性, 简化了施工过程, 既节约了施工成本, 也保障了管道的使用安全, 未来可以应用到同类管道保冷施工项目。

(收稿日期: 2024-01-12)

上海市第八届危险化学品安全知识竞赛圆满落幕

6月26日, 上海市第八届危险化学品安全知识竞赛团体决赛在上海化工区成功举办。上海市应急管理局党委委员、副局长杨晓东, 上海化学工业区管理委员会副主任朱斌, 太平洋安信农保股份有限公司党委委员、副总经理郑凯, 上海市安全生产科学研究所所长胡日清等领导观摩比赛并给获奖单位颁奖。

上海市第八届危险化学品安全知识竞赛, 是2024年“安全生产月”系列活动的一个重要环节。通过层层选拔, 来自上海市各区、临港新片区、上海化学工业区的24支队伍参加复赛, 并角逐产生了8支代表队进入决赛。决赛现场, 经过必答、抢答、风险题等环节的激烈比拼, 最终, 中国航空油料有限责任公司华东分公司代表队获得一等奖, 科思创聚合物(中国)有限公司代表队、上海华谊能源化工有限公司代表队、上海海隆赛能新材料有限公司代表队获得二等奖,

上海密尔克卫特种物流有限公司代表队、上海碳谷绿湾产业园联合代表队、阿克苏诺贝尔功能涂料(上海)有限公司代表队、力森诺克高分子材料(上海)有限公司代表队获得三等奖。上海化工区管委会、长宁区应急局、宝山区应急局、闵行区应急局获得优秀组织奖。2024年的危险化学品安全知识竞赛还开展了网上个人知识竞赛活动, 全市16 342人参加了网上竞赛答题, 在答题成绩为90分(含)以上的6 348人中抽取了200人授予个人优胜奖。

杨晓东向获奖企业、个人及荣获优秀组织奖的区局表示祝贺, 对参与竞赛的所有单位和个人精彩表现给予充分肯定。他围绕深入贯彻习近平总书记关于安全生产重要论述和重要指示精神, 扎实做好全市危险化学品安全工作提出三点要求: (一)要继续发挥宣传培训提升危险化学品安全水平的基础作

用, 把从业人员能力提升工作做细做实, 切实提升从业人员安全作业意识和能力, 切实提升从业人员日常隐患排查和安全处置异常工况的本领, 防范生产安全事故。(二)要充分发挥安全联盟提升危险化学品安全水平的引领作用。建立起共促安全履责、共辨安全风险、共除安全隐患、共享安全资源、共育安全文化的安全命运共同体。为提升整个行业的安全管理水平作出积极贡献, 实现合作共赢。(三)全力以赴推动危险化学品安全生产治本攻坚年度工作见成效。紧密围绕国家部署, 结合上海实际和特点, 制定实施安全生产治本攻坚三年行动“2+8”上海方案, 确保危险化学品安全生产治本攻坚行动工作出成果、见成效, 以应急新质保障力助力提升新质生产力。

本次竞赛由上海市应急管理局和上海化学工业区管理委员会指导。