

一种新型 SiO₂ 纳米气凝胶保温材料在油田站库的应用

谢 炜¹ 刘立虎²

1. 东营海利丰志成工程设计咨询有限公司 山东东营 257000
2. 延长油田股份有限公司吴起采油厂 陕西延安 717600

摘 要: 目前油田集输系统采用保温材料种类主要有岩棉、PE 聚乙烯、陶瓷微珠、柔性橡塑、纳米气凝胶等, 经过现场实际应用效果及测试, 新型 SiO₂ 纳米气凝胶材料具有施工不影响生产、综合性价比优越等条件。相比传统保温材料, 更适合不宜动火清罐的已建大型原油储罐不停产改造。

关键词: 原油储罐保温; 新型 SiO₂ 纳米气凝胶; 允许最大散热损失; 憎水率高; 适宜不停产改造

Application of a new SiO₂ nano aerogel thermal insulation material in oil station storage

Wei Xie¹ Lihu Liu²

1. Dongying Haili Fengzhicheng Engineering Design Consulting Co., LTD., Dongying 257000, Shandong, China
2. Wuqi Oil Production Plant, Yanchang Oilfield Co., LTD., Yan 'an 717600, China

Abstract: At present, the thermal insulation materials used in the oil field gathering and transportation system mainly include rock wool, PE and polyethylene, ceramic microbeads, flexible rubber and plastic, nano aerogel, etc. Through the practical application effect and test on the site, the new SiO₂ nano aerogel material has the conditions of no impact on production and superior comprehensive cost performance. Compared with the traditional thermal insulation material, it is more suitable for the construction of large crude oil storage tank without stopping production transformation.

Keywords: Crude oil storage tank insulation; New SiO₂ nano-aerogel; Maximum allowable heat dissipation loss; High hate water rate ; Suitable for production transformation

引言

油田站库多数大型储罐的传统保温材料因更换改造的同时需要停产清罐等因素, 无法及时修理导致保温层年久失效, 并且错缝搭接处产生“热桥效应”和憎水性下降, 现场测试表明实际热流密度超过国家允许的最大限值, 散热快能耗高, 不利于油田集输系统构建清洁低碳、安全高效的现代能源体系。

新型 SiO₂ 纳米气凝胶保温材料从施工难度、作业周期、作业风险以及使用寿命方面, 均优于传统保温材料。可以同时满足不停产施工、粘结强度高、固化成品重量轻、一体化成型无搭接错缝、耐高温等优点, 通过设计计算优选保温层厚度, 合理部署改造方案, 并对实施工程进行经济效果评价, 论证新型纳米气凝胶相比传统保温材料更适合不宜动火的已建大型原油储罐不停产改造。

一、保温性能对比测试及应用方案

1. 保温性能对比测试

根据《工业设备及管道绝热工程设计规范》GB50264-2013, 对储存或输送易燃易爆物料的设备及管

道, 以及与其临近的管道, 其保护层必须采用不低于国家标准《建筑材料及制品燃烧性能分级》GB 8624-2012 中规定的 A2 级不燃材料。

PE 聚乙烯阻燃性为 B1 难燃, 如果不作防护层, 材料本身不符合油气站场储存介质对应要求, 测试分别从岩棉、陶瓷微珠、柔性橡塑、纳米气凝胶等 4 类 A 级不燃保温材料选取^[1]。

近几年, 油田技术检测中心能源站对对多家油气生产单位所使用的多种保温材料开展比对测试, 为今后的项目决策提供数据来源。目前已完成测试储罐 24 座、分离器 16 套、各类保温管线 12.8km、阀门及异形件 136 个, 累计测试点数 37212 个。

由于陶瓷微珠材料在垂直壁面上的粘结强度较弱且线性膨胀系数与钢质表面差异较大易开裂, 不适宜罐壁保温^[2]。因此, 适合大型储罐的保温材料主要集中在岩棉、柔性橡塑、新型纳米气凝胶这三类。通过对同类站场相邻储罐的测值数据的整理归纳、对比分析, 确定新型纳米气凝胶保温材料相比岩棉的保温层厚度降低近 80%, 散热损失降低 50%^[3]。测试时间为 2021 年 7 月, 储罐内流体介质温度 47.5℃, 环境温度 30.5℃, 风速 0.19m/s。

序号	设备型号	保温材料	保温层厚度 (mm)	外表面温度 (°C)	散热损失 (W/ m ²)	允许散热损失 (W/ m ²)
1	某站库 5000m ³ 1# 储罐	岩棉	60	36.3	84.3	47.2
2	某站库 5000m ³ 3# 储罐	柔性橡塑	40	32.7	40.9	47.2
3	某站库 5000m ³ 3# 储罐	纳米气溶胶	14	33.3	41.6	47.2

传统常规岩棉以及柔性橡塑保温作业需要在罐顶圈梁处动火焊接承重护圈与承重扁钢,根据《中石化用火作业安全管理规定》,实施区域可燃气体含量 < 0.2% 方可动火,需先进行清罐处理,待作业区可燃气体含量达标再进行保温施工。清罐作业周期一般为 30 ~ 45d,保温材料及保护层施工包括脚手架措施搭设周期为 30 ~ 60d,施工总周期长达 3 个月。5000m³ 原油储罐油泥固体废物处理量约 400m³,处理费用约 35 万元。

考虑到油气站场大型储罐的停产改造会影响正生产运行,采用新型纳米气凝胶材料可以满足不动火的条件下进行原有保温结构的拆除以及新材料的安装。操作人员使用可移动式的便携升降平台和佩戴必须的高空安保设施,通过喷涂工艺将新型纳米气凝胶颗粒附着在罐壁上固化后形成保温层,节省了清理储罐、油泥处理、动火报备、停产作业等一系列施工及措施费用,缩短了施工周期。尤其针对部分无法停产停运的设备,新型 SiO₂ 纳米气凝胶喷涂施工工艺是唯一可行的解决方案。

2. 改造及实施方案

对于已建储罐,首先进行原有保温材料的拆除。员工上岗前需进行包括高空作业在内的岗前安全培训,对可移动式的便携升降平台进行进场组装,离地面 2m 以上进行施工时,必须制定高处作业的安全防护措施,并严格执行。拆除的固体废物和可回收物资按照规定运送至指定位置存放,保证作业场地的整齐畅通。

保温涂料作为储罐保温层正式施工前,必须进行预涂装实验,业主、监理、设计、供货商和施工方均应在场,预涂装实验结果达到业主认可后方可进行施工。

涂装前的罐体钢材应按照《涂装前钢材表面处理规范》(SY/T 0407-2012)的规定进行预处理,彻底清除钢材表面的铁锈、油污、氧化皮等,除锈质量等级应达到《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第 1 部分:未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》(GB/T 8923.1-2011)中 Sa2.5 级的要求。为了使涂层与钢材之间达到最佳粘结,喷射除锈处理必须保证足够的锚纹深度,深度要求应根据涂料品种及其生产厂商的建议定。喷射磨料处理达不到的区域,经设计和业主同意,可以按防爆动力工具除锈的规定进行表面处理,除锈等级达到 St3.0 级。喷射磨料必须符合国家有关标准的规定,并按所要求的锚纹深度选择磨料品种规格。供喷砂处理使用的磨料和压缩

空气必须干燥洁净,不得含有水分和油污及其它污染物。喷射除锈后,应用清洁干燥、无油的压缩空气吹扫,除去浮灰和磨料残渣。不得用酸洗及其它溶液或溶剂洗涤,包括不得使用防止生锈的缓蚀性洗涤剂。钢材表面预处理后应在 4 小时内涂上第 1 道底漆,当表面返锈或污染时,必须重新进行表面处理。底漆采用环氧富锌材料,涂刷层数 2 道,干膜厚度大于等于 80μm。

底漆干燥固化成型后,使用可移动式的便携升降平台进行储罐罐壁保温材料纳米气凝胶喷涂工艺。

根据《工业设备及管道绝热工程设计规范》GB50264-2013,储罐保温材料厚度参照平壁型单层最大允许绝热层厚度公式 5.3.5 计算。

$$\delta = \lambda (-) \quad (5.3.5)$$

: 平壁型单层最大允许绝热层厚度 m;

: 绝热材料在平均温度下的导热系数 W/m.K 纳米气凝胶,取 0.019

To: 设备外表面温度 按正常生产介质流体温度,取 55

Ta: 环境温度 按冬季平均气温,取 5

[Q]: 每平方米绝热层外表面的最大允许热损失 W/ m² 插值法计算,取 58.4

根据介质温度 55 以及《设备及管道绝热效果的测试与评价》GB/T 8174-2008

s: 绝热外表面与空气换热系数(W/ m² .K) 取 8.141

按《工业设备及管道绝热工程设计规范》GB50264 5.8.4-4, s=4.53

=0.019 × (-) = 0.014m, 计算储罐保温材料厚度 14mm。

环氧富锌底漆干化成型后,通过喷涂工艺将新型 SiO₂ 纳米气凝胶颗粒附着在底漆干膜上,涂刷层数不少于 5 道,干膜厚度 14mm。为了增强涂料抗开裂以及抗机械碰撞性能,需在喷涂第 4 道与第 5 道之间缠绕网格布,

新型 SiO₂ 纳米气凝胶保温材料应具备产品合格证(标明生产日期及有效期)、由技术质量监督部门出据的技术质量检测报告、产品标准、使用说明书及本批产品检验报告等文件。如果对涂料质量有疑问时应委托有检验资质的部门进行抽样检查,检验结果不符合要求的涂料或超过储存期的涂料不得使用。保温涂料性能应满足下表所列指标。

序号	项目	性能指标	测试方法
1	外观质量	色泽均匀一致粘稠状浆体	目测
2	导热系数 [W/(m · K)]	≤ 0.046	GB/T 17371
3	耐火燃烧性能	A 级	GB/T 5464
4	pH 值	7 ~ 9	GB/T 17371
5	憎水率	98%	GB/T 10299
6	附着力	1 级	GB 1720

所用的全部新型 SiO₂ 纳米气凝胶涂料均应为有清晰标识且尚未起封开盖的生产厂原装的涂料。涂料应在规定的温度下保存,不得使用超过储存期的涂料。严格按照涂料产品说明书进行涂料的配制和涂装施工。保温涂料在配制及涂敷前应进行充分搅拌或机械振动,使其混合均匀。开桶搅拌,搅拌时间在 3 分钟以上。如果必要,则应按规定进行稀释或过滤,稀释剂的品种和用量必须遵循涂料供货商的要求。用户要求的规范与涂料生产厂家推荐的做法之间的任何分歧均应在施工开始之前加以明确和解决。钢表面经喷射或机械除锈处理合格后,按设计的涂层结构进行涂装作业。同品种涂料层间的涂装间隔时间应参照涂料产品使用说明书,不同种的底漆、面漆的涂装间隔时间,应在上道漆完全固化后再进行下道漆的涂装,如果所用涂料有特殊要求,则按其使用说明书执行。涂下道漆前,所有漏涂的或损坏的表面应先进行补涂。多道涂刷必须等前一道涂料完全干燥后再涂刷下一层,多次涂装时间应尽可能缩短,完工后表面平整,上下左右厚度误差控制到 3mm 以内。涂层全部涂装完成后,一般需自然干燥 10 昼夜以上方可投入使用。

为了避免罐底边缘板处钢材锈蚀对涂层造成破坏剥离,需加强罐底边缘板处防腐,首先进行底漆涂刷,从罐壁向上 150mm 处至混凝土基础与罐底板边缘板接触位置以下 100mm 的区域需要铺矿脂防腐带。金属表面处理,在所有需要铺上矿脂防腐带的地方涂一层高粘度底漆;混凝土表面处理,在所有需要铺上矿脂防腐带的地方涂一层沥青带底漆。底漆表面不能有水滴流动,15min ~ 30min 后,开始矿脂胶带的施工。矿脂胶泥整形:用矿脂胶泥填平罐底和水泥交接处的地方,矿脂胶泥表面必须平整和没有空隙。如果有螺栓和螺母,也要用胶泥包好。矿脂防腐带宽 150mm,搭接宽度 55%。铺贴内层矿脂防腐带时,从混凝土基础与罐底板边缘板接触位置以下 100mm 处开始向上铺;用足够的拉力,保持矿脂防腐带与罐底表面一致,避免矿脂防腐带出现皱纹或气囊。整个被保护面用矿脂带铺完后,再铺外层矿脂防腐带。

保温材料投产前应按照《钢质储罐外防腐层技术标准》(SY/T 0320-2010),对防腐涂层粘结力进行检查。用锋利刀刃垂直划透防腐层,形成边长为约 40mm、夹角约 45° 的 V 形切口,用刀尖从切割线交点挑剥切口内的涂层,符合下列条件之一认为涂层粘结力合格: 实干

后只能在刀尖作用处被局部挑起,其他部位的涂层仍和钢基材粘结良好,不出现成片挑起或层间剥离的情况;

固化后很难将涂层挑起,挑起处的涂层呈脆性点状断裂,不出现成片挑起或层间剥离的情况。

保温材料投产前应按照《管道防腐层检漏试验方法》(SY/T 0063-1999),使用电火花检漏仪对涂层针孔检测,检查不合格处用原涂料修补或复涂。

保温材料厚度检查应符合下列规定: 保温涂料的厚度应用磁性测厚仪检查,干膜厚度应大于等于 14mm。检查保温涂料厚度时,应把储罐外壁划分成至少三个有代表性的部分(立式储罐外壁按高度每 3 ~ 4m 分为上、中、下三个部分),按 20% 的比例进行检验。以 1 m² 为一个检测区域,每个检测区域至少抽测 3 个点,布点应均匀,每个罐不得少于 20 个区域。焊缝处的抽测点数不得少于总检测点数的 30%。每个检测区域有 1 个及以上的点不合格,则应加倍检查;若加倍检查仍不合格,则该部位保温涂料厚度不合格,应按规定选型复涂至合格。

保温材料固化后的强度可直接作为保护层,也可根据业主要求进行外加防火涂料保护处理。根据《石油天然气工程管道和设备涂色规范》SY/T 0043-2020,防火涂料颜色选用灰色,燃烧性能不低于国家标准《建筑材料及制品燃烧性能分级》GB 8624-2012 中规定的 A2 级不燃材料。

保温材料实施及检测合格后,按计划保证所有操作人员及施工装备有序安全撤出,恢复已建设备设施正常生产运行。

3. 经济效果评价

新型 SiO₂ 纳米气凝胶保温材料的使用寿命周期长达 10 年,远高于传统保温材料 3 ~ 5 年的使用期限。相比常规岩棉保温及柔性橡塑的搭设脚手架、高空捆扎施工,新型纳米气凝胶保温材料喷涂作业在不停产施工的前提下,节省了清罐及油泥危险废弃物处理费用(每座 5000m³ 储罐约 35 万元),并相应减少了包括且不限于火灾爆炸、气体中毒、人员触电、高空坠落、机械碰撞等动火作业 HSE 风险。

根据中国石油大学(华东)在油田某联合站进行的保温性能测试数据,所有设备及管线散热外表面总面积 7904 m²,在相同条件下采用气凝胶涂料作为保温材料后设备外表面散热量是 95780MJ/d,采用柔性橡塑材

料作为保温材料、镀锌铁皮保护后设备外表面散热量是 98662MJ/d, 采用常规岩棉材料、镀锌铁皮保护后作为保温材料后设备外表面散热量是 145895MJ/d, 不加保温层设备外表面散热量为 707682MJ/d。气凝胶涂料的散热量比复合硅酸铝材料的散热量少 50115MJ/d, 节能 34%^[4]。

按照加热原材料原油站库分离的天然气热值 35MJ/Nm³, 销售价格 2.8 元 /Nm³ 计算, 气凝胶涂料相比传统岩棉保温材料节省能量经费为 $(145895-95780) \div 35 \times 2.8=0.4$ 万元 /d。气凝胶涂料成本 $7904 \text{ m}^2 \times 1160 \text{ 元} / \text{m}^2 =501.9$ 万元, 静态投资回收期为 $501.9 \text{ 万} \div 0.4 \text{ 万元} / \text{d}=3.43$ 年, 经济效益显著。

二、结束语

经过现场实际应用效果及测试, 新型 SiO₂ 纳米气凝胶相比传统常规保温材料具有不停产施工、实施难度低、憎水率高, 粘结强度高、固化成品重量轻、一体化成型无搭接错缝、耐高温、使用寿命长、综合性价比优越等条件, 更适合不宜动火的已建大型原油储罐不停产改造。

新型纳米气凝胶在改造项目中的静态投资回收期一

般为 3 ~ 4 年, 在新建项目中的静态投资回收期不大于 5 年, 经济效益明显。

参考文献:

- [1] 郭莉. 保温材料的概况及选择 .[J]. 山西建筑 2003
- [2] 牟杨. 如何评判保温材料质量的好坏 .[J]. 工程质量 2015 (03)
- [3] 赵发刚. 王云霞. 保温材料导热系数的自动化测量 .[J] 自动化与仪表 2009 (24)
- [4] 黄仁达. 李丽. 吴会军. 李铮伟. 夏热冬冷地区外墙保温材料厚度的经济性分析 .[J] 新型建筑材料 .2017 (09)

作者简介:

第一作者谢炜(1975.5)男,本科学历,工学学士学位,中级职称,东营海利丰志成工程设计咨询有限公司,研究方向为油气田地面工程。

第二作者刘立虎(1986.11)男,本科学历,工学学士学位,中级职称,延长油田股份有限公司吴起采油厂,研究方向为油气田地面工程。