

大口径 3PE 防腐管冷却系统工艺设计及应用

李涛, 郑建红, 叶凤树, 张瑾, 谢家超

中油宝世顺(秦皇岛)钢管有限公司 河北秦皇岛

【摘要】3PE 防腐层结构为底层环氧粉末、中间层胶粘剂、外层聚乙烯的三层防腐层结构。是一种性能优良的防腐涂层,其生产自动化程度高,施工速度快,易于施工质量管理 and 控制。3PE 外涂敷冷却过程是钢管外防腐层涂敷工艺中的重要环节,由喷淋冷却系统、涂层预冷装置、喷淋水循环冷却装置等组成的防腐钢管生产冷却系统。该系统的应用对 3PE 涂层冷却、涂层质量控制等起到关键作用。依据涂敷生产线及喷淋冷却特点,设计科学合理的涂层喷淋冷却工艺系统,以满足大口径 3PE 防腐钢管的生产质量需求。

【关键词】防腐; 涂层; 喷淋; 冷却

【收稿日期】2024 年 12 月 16 日

【出刊日期】2025 年 1 月 19 日

【DOI】10.12208/j.jer.20250029

Process design and application of large diameter 3PE anti-corrosion pipe cooling system

Tao Li, Jianhong Zheng, Fengshu Ye, Jin Zhang, Jiachao Xie

Zhongyou Baoshishun (Qinhuangdao) Pipe Co., Ltd., Qinhuangdao, Heibei

【Abstract】The 3PE anti-corrosion layer structure is a three-layer anti-corrosion layer structure of the bottom layer epoxy powder, the middle layer adhesive and the outer layer polyethylene. It is a kind of anticorrosive coating with excellent performance, which has high degree of production automation, fast construction speed and easy construction quality management and control. 3PE coating cooling process is an important link in the coating process of the outer anti-corrosion layer of the steel pipe, which is composed of spray cooling system, coating pre-cooling device, spray water circulation cooling device, etc. The application of this system plays a key role in 3PE coating cooling and coating quality control. According to the characteristics of coating production line and spray cooling, a scientific and reasonable coating spray cooling process system is designed to meet the production quality requirements of large diameter 3PE anticorrosive steel pipe.

【Keywords】Corrosion protection; Coating; Spraying; Cooling

前言

3PE 防腐层结构为底层环氧粉末、中间层胶粘剂、外层聚乙烯的三层防腐层结构。是一种性能优良的防腐涂层,其生产自动化程度高,施工速度快,易于施工质量管理 and 控制。3PE 防腐层施工方式与传统的手工涂敷防腐涂层类型相比,采用作业线一次成型施工工艺,生产线全部自动化,无污染、施工速度快,产品使用寿命长,用 3PE 防腐技术的埋地管道寿命可长达 50 年。

在 3PE 防腐层生产中,钢管在传动线上螺旋前进通过水冷区,喷淋循环水通过水泵和管道将冷却

水均匀的喷射在钢管表面。对 3PE 生产过程中的高温钢管防腐层进行冷却,对聚乙烯外涂层冷却定型,以满足连续涂生产,涂层检验及后续作业要求。喷淋水冷却过程中,将热塑聚乙烯涂层温度从 200℃左右速降到 60℃以下。水冷却质量是保证钢管涂层外观和粘接质量的关键环节。

冷却过程中,如速度控制、水量大小、循环水降温、封水控制等缓解控制不足,将导致涂层冷却不充分,无法满足后期钢管倒运及检验工作。同时,因水流等影响,3PE 防腐层表面出现水击点、水纹等表面缺陷,影响涂层外观质量。水击点产生的根本

原因在于水珠的急冷作用使防腐层局部先于整体硬化而造成的。

钢管在涂敷前需使用中频设备来实现钢管加热, 以满足熔结环氧粉末涂层工艺要求。中频设备运行过程中, 需使用设备冷却循环水来维持设备系统温度, 达到持续工作并连续降温的目的。如水质差、污染等问题, 易导致中频系统冷却管路堵塞, 影响设备正常运行。

1 现状问题

(1) 喷淋水箱: 现用喷淋水箱下水不均匀, 易堵塞, 堵塞时水量降低, 冷却温度不易满足。

(2) 预冷装置: 目前采用水布+海绵方式预冷以满足表面质量控制, 水布调整时需要技较高操作技能, 操作相对复杂。

(3) 喷淋冷却塔: 现用喷淋冷却塔采用横流冷却型式, 因临近厂房墙体, 北侧进气区域空间小, 且多年使用冷却能力不足。

(4) 喷淋泵: 现用喷淋泵采用底阀设计, 水质略差时, 底阀易发生卡死, 生产时存在断水现象。

(5) 喷淋管路: 现用喷淋管路均使用铸铁阀门, 长期不是使用时出现阀体锈蚀, 影响正常使用。

(6) 设备冷却塔临近粉末除尘室, 粉尘工艺清理中易导致水冷却塔污染, 造成设备循环水污染。影响生产设备正常使用。

2 研究目标

提升大口径 3PE 涂层钢管冷却能力, 满足涂层冷却后温度 $\leq 60^{\circ}\text{C}$; 管径范围 $\phi 323.9\sim\phi 1626\text{mm}$; 钢管长度 8~12.5m; 钢管壁厚: 6.4~30mm 钢管 3PE 防腐层冷却要求; 涂敷系统设备冷却系统需满足中频加热系统、挤出机设备冷却系统、除锈预热系统的设备水冷却要求。设备循环水热交换后, 供水温度应 $\leq 32^{\circ}\text{C}$ 。

3 工艺方案

(1) 喷淋冷却系统技术方案

①喷淋水路

依据喷淋流量至少 $300\text{m}^3/\text{h}$ 测算, 选用直径至少 300mm 的 PPR 管材。可避免原碳钢管路锈蚀问题, 消除管内锈蚀产生, 避免使用过程中锈蚀堵塞管路问题。主管路沿水线从顶棚敷设, 并由水房自西向东布置, 两端堵头法兰便于日常管路排水清理。满足大口径钢管涂敷冷却要求。依据水房长度水线

总长度至少为 34 米。配置对应下水管路约 48 支, 管径 D50mm。上水箱区域处配置 10 支(水箱 5 支), 10 支管路间隔 400mm; 其余下水管路间隔不小于 800mm, 每个下水管路配置阀门, 阀门采用不易生锈材质, 消除锈蚀维护困难等问题。在阀门的下方安装底座便于连接伸缩软管, 依据管径大小便于高低调节, 防止淋水高度过高造成淋水飞溅。阀门内径与下水管路直径一致。下水管路可满足不同管径高低调型应用。

②喷淋上水箱

喷淋上水箱安装 1 个不锈钢材质水箱, 能够手动高低调节, 满足不同管径应用及淋水位置的调整。调整方式宜采用不易生锈绳组+滑轮组件+绞盘等部件, 人员可在水房外部(地面)方便调节, 且确保安全可靠。调整系统能够在喷淋水房内经久耐用, 无安全隐患。满足水箱调节底部距离设计管径上表面约 100mm。水箱底部应有网眼, 水箱内部应有分水结构, 各网眼下水均匀, 同时便于杂物清理。水箱数量 1 个。底板采用激光切割小孔若干, 底板做成半圆弧形, 可拆卸, 便于清理, 达到过滤水中杂质的目的, 水箱根据不同管径的满足上下调节功能, 升降用的绳索采用抗腐蚀耐老化的材质。

③喷淋下预冷水箱

预冷海绵夹具作业受限, 换线繁琐, 改造后更换为水浴冷却系统, 当外防腐成型后迅速进入水浴冷却槽内进行初冷却, 水浴槽会将把钢管浸入水中进行冷却, 水浴槽体位不锈钢材质, 分两级设计, 外部设有接水槽防止水到处乱溢。初冷却后的 3PE 防腐表面这样处理完后会非常光泽减少水击点的出现对产品美观产生影响。

a 在水淋房钢管进口处, 托辊与水淋室第一组螺旋辊道之间, 安装水浴槽, 水浴槽南、北两侧各预留 3 个带防锈阀门的进水口, 通过管道与现有供水管线连接, 注水后灌满整个降温池, 形成水浴浸泡钢管底部, 对钢管下方进行均匀降温处理。

b 水浴槽的尺寸约为(长 1000mm×宽 700mm×高 400mm), 用 2mm 厚的 304 不锈钢焊接而成。

c 水浴槽顶部加工成圆弧形, 方便钢管的通过。圆弧形两个面均设有海绵固定螺栓, 方便固定海绵, 满足海绵缝隙填充和挡水的功能。东侧弧形挡板考虑安装足够数量的带阀门的放水口, 或挡板采用升

降可调节设计（调节行程 50mm 即可），应满足较大流量时的排水需要，且满足在生产过程中随时调节。

d 水浴槽左右两侧做出延伸，设计折叠夹板，此板设为活动板，根据钢管的不同规格进行角度调节。拭水海绵在此板上固定。

e 水浴槽外部安装回水池。水淋房进管口处水泥台上方切割出长 1500mm 高 400mm 的孔，方便安装回水池。回水池尺寸为（长 1400mm×宽 1200mm×高 300mm）。

④内喷水枪及配套泵

水房临近出口处安装不少于 3 个内喷枪装置，当钢管防腐成型后在水线内钢管与钢管之间分开的时候由下出水向钢管内部喷水，使钢管内部也开始降温，随着钢管向水线的后方移动，第一个下出水口已经不能将水喷到钢管内部了，再由下一个喷水口继续向钢管内部喷水。水源来自水泵房内水池，敷设方式为水房辊道下方一字排开。供水方式为在喷淋房内水池上方安装一台卧式循环泵，不锈钢过滤，便于拦截水中的杂质。通过管路引至喷淋房内喷枪位置。水泵设置在喷淋泵水池取水。

配置内喷水枪安装一台 15KW，100 立方的喷淋泵，配置过滤装置、阀门及管路。满足产品冷却需求。各喷头安装阀门调整水量大小。水泵整体采用卧式泵，泵体轴及叶轮采用不锈钢材质。

⑤水泵房水泵、管路、阀门

拆除原水冷房喷淋泵 2 台。更换 2 台（一备一用）至少 37KW，500 立方的喷淋泵，采用卧式泵，泵体轴及叶轮采用不锈钢材质。电机与泵体采用联轴器连接。采用变频控制，水泵可以满足同时或单台使用。可调节水量大小。喷淋泵底阀，更换为储水罐式设计。每个罐内安装一个不锈钢过滤装置。便于清理。喷淋塔塔提升泵使用原设备水泵。

拆除泵房内所有管路、阀门。更换配套管路（DN200）及阀门，阀门操作采用不易生锈材质，便于操作方便轻松，密封严密。每台泵出水路配置阀门，泵间管路配置阀门，主路配置阀门。便于水路切换，分配应用等。整套喷淋系统需满足喷淋水供给、提升冷却、回流等全工艺流程要求。

⑥喷淋水温、水压、水位监测配件。在喷淋水管路、水池等部位设置喷淋水压、水温实时监测，水位

高低报警装置。水压、温监测数据反馈至水泵控制柜面板。水位报警指示灯明显。装置简单可靠，易于维护，数据稳定准确。

⑦冷却塔。拆除 2 台（设备冷却、喷淋冷却）旧水冷塔，安装 1 台新喷淋冷却塔（方形逆流冷却塔 300m³）。冷却后水温满足 <35℃ 要求。具有热交换效率高，结构安全牢固，易清理维护等特点。安装应与现有泵房结构匹配，需对基座维护加固，确保安全可靠。喷淋塔配置安全护栏，顶部设置人员通道，便于清理维护。爬梯护笼等必要的安全设施。风机传动方式为非皮带式。

⑧电控系统。依据供方技术方案设计可利用需方原水泵控制柜。配置相关材料，电气安装符合相关要求。驱动电机及配线。水泵及风扇驱动电机选型应符合最新国标 GB18613-2020，不得使用淘汰的高能耗型号电机，不低于 YE3 型，能效等级不低于 3 级，需要变频使用的电机，使用专用的变频电机。电机配线线径应与电机功率相符，电机端可靠接地。电线过墙应走穿线管，水泵房内电机走线需走金属穿线管，转角及拖地部位需使用不锈钢波纹管。

（2）设备冷却系统技术方案

①闭式冷却塔

拆除现设备冷却塔及相关管路水泵等。在水泵房内原设备泵区域，安装一台闭式逆流冷却塔，并考虑设备冷却水池承重能力，必要时增加承载结构。冷却塔水路分别供一号除锈预热中频、主机加热中频及挤出机设备、内防除锈预热中频三个主水路。

a 循环流量 ≥ 250m³/h；设计压力 ≥ 1MPa；设计进水温度 ≥ 42℃；设计出水温度 ≤ 32℃；设计湿球温度 ≤ 24℃；设计漂水率 ≤ 0.015%。

b 外壳材质选用镀镁铝锌板或不锈钢板；冷凝器材质选用 304 不锈钢；整体尺寸需结合需方冷却塔放置位置设计。

c 冷凝器冷却盘管采用 304 不锈钢管，冷却盘管的规格：Φ19mm、δ=0.8mm，焊前必须对焊件、焊丝、包括需使用的工艺衬垫等进行清理；焊件的清理区域为焊缝周围 10mm 以内，焊缝质量等级要求按 GB 12469 IV 级执行。为方便盘管内水排出及清理，每组盘管均按坡向倾斜角度设计；每组换热管坡向排列方向与介质方向一致，需经过预检和压力试验，冷却盘管组装完成后应进行气密性实验和

水压试验, 气密性试验压力 $\geq 2.5\text{MPa}$ 。提供检验、试验报告。

d 冷却风机采用电机直接驱动的直联式轴流风机, 电机的防护等级 $\geq \text{IP55}$, 绝缘等级 $\geq \text{F}$ 级, 风筒热浸锌、封釉, 风筒采用厚钢板卷制后整体热浸锌处理, 风扇叶为中控铝合金风叶。

e 闭式冷却塔设有水温、水压、水位监测等功能, 具有纯水自动补水功能。控制柜设有显示屏, 操作及维修人员能够掌握运行情况。

f 循环管路上合理设置排污口、溢流口。

g 安全防护设施齐全。闭式冷却塔顶部设置安全护栏; 风机风筒底部设置安全防护网。

h 在设计过程中, 应充分考虑冬季管路保温、伴热等设施。

②设备循环水泵

结合需方各设备用水量及闭式冷却塔选型, 设计配套的设备循环水泵(两台、一备一用)。设备循环水泵选型不低于现用水泵流量、压力、扬程等参数, 确保满足设备冷却水循环需求。

③水泵房局部结构

改造水泵房子顶部局部结构, 满足闭式冷却塔内部放置。水泵房侧面开散热窗, 满足闭式冷却塔工作散热及换气, 具有防雨雪功能。

④工业净水器

闭式冷却塔配置一套工业净水器, 以满足净水需求, 水质电导率 $\leq 50\ \mu\text{S}/\text{cm}$; 并配套纯水箱。

⑤其他要求

a 设备循环水进、回水管路需供方设计, 满足需方使用需求。可利用原有管路, 将闭式冷却塔纯水管路连接至设备循环水进、回水管路。

b 中频控制循环水管路需改造, 取消原热交换系统, 将原外循环水管路连接至内循环管路, 并设计压力、温度监控系统。

c 回水管路设置过滤器, 确保水路中的杂质不能进入闭式冷却塔。

4 结论

经过以上冷却工艺设计及应用, D1219*22mm 规格 3PE 防腐生产过程中, 涂层冷却后温度由原来 59°C 降低至 45°C , 进一步提高了整体涂层冷却能力, 消减了焊缝处涂层冷却慢所带来的质量风险, 并进一步降低聚乙烯材料消耗。通过预冷水箱应用, 解决了涂层预冷调整困难, 水箱清理困难, 高速生产涂敷冷却能力差等问题。通过喷淋泵系统的优化提升, 消除了喷淋水系统管路、阀门锈蚀导致的堵塞、开关困难等问题。提升了喷淋水过滤能力, 可满足不停机水泵清理要求, 提高了生产效率。经对设备冷却管路的纯水工艺优化, 有效提高了中频设备运行稳定性, 降低设备故障发生。通过闭式冷却塔的设计应用, 降低了冷却水蒸发消耗。节约能源。

参考文献

- [1] 刘旭, 朱青. 3PE 防腐管外观缺陷分析[J]. 中国新技术新产品, 2015, (07): 66.
- [2] 屈磊, 臧彤, 王涵. 钢管 3PE 防腐生产线水冷过程有限元分析[J]. 焊管, 2014, 37(02): 53-55.
- [3] 席岳峰, 符永春. 大口径管道 3PE 防腐质量问题及解决方案[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2012, 33(16): 41+43.
- [4] 张爱丽. 钢质管道 3PE 防腐层施工与质量控制技术[J]. 化学工程与装备, 2011, (09): 130-134.
- [5] 迟百川, 张岩岩. 密闭水冷式冷却塔的可靠性改造分析[J]. 设备管理与维修, 2023, (21): 144-146.
- [6] 江建军, 刘景丽, 朱丛静, 等. 逆流式冷却塔降温性能及节水研究分析[J]. 能源工程, 2022, 42(05): 62-67.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

