

乙烯基酯玻璃鳞片涂料在烟囱钢内壁防腐中的应用

陈建兵

(江苏省电力建设第一工程公司,南京市,210028)

[摘 要] 某电厂 2 ×600 MW 超临界机组扩建工程烟囱钢内壁防腐材料选用乙烯酯玻璃鳞片涂料。该涂料是一种厚浆型、玻璃鳞片加强的乙烯基酯漆,特别适合电厂脱硫烟道、烟囱内壁的防腐蚀。使用该涂料防腐可减小安全风险、减少施工工期、质量有可靠保证、工艺性较好、节约防腐费用。在防腐施工时,应进行管理策划准备、施工机械及检测仪器准备、施工原材料准备、施工场地准备等。施工方案包括表面处理、过渡、表面喷砂处理、喷涂施工等。

[关键词] 烟囱钢内壁 乙烯基酯玻璃鳞片涂料 防腐

中图分类号: TK224.9⁺3 文献标识码: B 文章编号: 1000 - 7229 (2006) 07 - 0054 - 05

Application of Ethylene Basin Glass Scale Coating in Anti - corrosion of Inner Steel Cylinder of Stack

Chen Jianbin

(Jiangsu Provincial No. 1 Electric Power Construction Engineering Company, Nanjing City, 210028)

[Keywords] steel inner cylinder; ethylene basin glass scale; anti - corrosion

某电厂 2 ×600 MW 超临界机组扩建工程烟囱钢内壁防腐材料选用乙烯酯玻璃鳞片涂料。该涂料是一种厚浆型、玻璃鳞片加强的乙烯基酯漆,用于高温、严酷化学腐蚀环境下,特别适合电厂脱硫烟道、烟囱内壁的防腐蚀。

1 乙烯基酯玻璃鳞片的特点^[1]

乙烯基酯玻璃鳞片的拉伸强度 85 MPa;延伸率 3% ~ 4%;挠曲强度 130 MPa;收缩率 8.3%;热扭曲温度 150 °C;分解温度 165 °C;巴氏硬度 40。

1.1 耐腐蚀性能好

由于玻璃鳞片加强乙烯酯漆采用酚醛型 VE 分子结构中含有 2 个以上的乙烯基端,因而具有高交联密度。分子链中以酚醛结构为主,因而具有良好的耐酸、耐溶剂和耐高温性能。

乙烯基酯玻璃鳞片具有优良的耐腐蚀性能,这主要与玻璃鳞片组成有关。防腐蚀层的防蚀失效主要是玻璃基体受到腐蚀,玻璃基体产生失重、变色,之后材料鼓泡、分层、剥离或开裂等,最后导致整个材料失效。玻璃鳞片约 5 μm 厚,鳞片在涂层中与基体平行、叠压排列,象片片鱼鳞,如层层盔甲,形成致密、迷宫结构的防渗层。1 000 μm 的涂层中有约

100 层密封迷宫,使腐蚀介质扩散、渗透到基体的途径曲折,提高了涂层的抗渗透性及耐蚀寿命。

1.2 较低的渗透率

玻璃鳞片用硅烷型偶联剂处理,可增加鳞片与树脂间的黏结力,有效增加涂层的抗渗性,降低涂层的吸水性。玻璃鳞片在树脂中的漂浮性好,有利于鳞片与基体间的平行排列,从而提高涂层的抗渗性。

1.3 较强的粘结强度

不仅基体与玻璃鳞片间的粘结强度较高,而且玻璃鳞片与碳钢基材间的粘结强度也较高,与钢板的粘结强度不小于 6.8 ~ 7.8 MPa。因此,乙烯基酯玻璃鳞片涂层不易产生龟裂、分层或剥离,附着力和冲击强度较好,从而保证有较好的耐蚀性。

1.4 耐温差(热冲击)性能较好

乙烯基酯玻璃鳞片涂层的线膨胀系数与钢相近,使其适合温度交变的环境。进行耐热冲击性能试验时,把涂有乙烯基酯玻璃鳞片的钢板交替放置在 100 °C 沸水和 0 °C 的水中各 1 h,经 100 次试验,未见异常。

1.5 耐磨性好

乙烯基酯玻璃鳞片固化后的硬度较高,耐磨性较好。当受机械损伤时,玻璃鳞片是局部破坏,其扩

散趋势小,易修复。

2 用乙烯基酯玻璃鳞片防腐的优越性

2.1 减小了安全风险

采用乙烯基酯玻璃鳞片涂料对钢内筒进行防腐施工,全部为地面作业,减少了施工的风险。

2.2 减少了施工工期

乙烯基酯玻璃鳞片涂料施工和钢内筒制作、提升同步施工,钢内筒提升结束时,防腐施工完成,比钢内筒耐酸混凝土防腐缩短工期约 7 个月。

2.3 质量有可靠保证

因其施工为常规涂料作业,施工简单方便,施工质量有保证。因其在地面作业,方便了质量检验,保证了质量。

2.4 工艺性较好

由于乙烯基酯玻璃鳞片的固体成分较高,可一次形成较厚的涂层。可喷涂、滚涂、刷涂,可当场配制和室温固化。该工程选用原浆量为 95%,涂刷 $2 \times 600 \mu\text{m}$,采用无气喷涂施工技术。涂层使用 15 年后,若出现损坏,只需在该处简单处理即可修复,修补性好。

2.5 节约防腐费用

采用乙烯基酯玻璃鳞片对钢烟囱内筒防腐,每座钢烟囱内筒可节约 300~500 万元。

3 有关烟囱钢内筒防腐设计标准

我国国家和电力行业烟囱的现行设计标准中,均未对烟囱脱硫防腐设计做出规定,只是从烟气的腐蚀性等级对烟囱的防腐设计进行了要求^[2]。

国家标准《烟囱设计规范》GB 50051—2002 和电力行业标准《火力发电厂土建结构设计技术规定》DL 5022—93(修),收集了一些国外烟囱设计标准和资料,对烟囱烟气温度低于 150℃、且燃煤含硫量大于 0.75% 时,对钢内筒防腐结构形式做了规定。

防腐结构(从外到内)为保温层—钢内筒—防腐涂料是标准规定的形式之一。

4 乙烯基酯玻璃鳞片防腐施工方案^[3]

4.1 施工准备

4.1.1 管理策划准备

根据该工程的特点,抓好施工准备工作。建立相应的施工组织和管理制度,对该工程的施工全过程进行控制和管理。

开工前,组织施工人员学习有关工艺规范、技术标准;进行工种培训;加强质量教育,使每个施工人

员能自觉按规范和标准作业。

4.1.2 施工机械及检测仪器准备

检查检测仪器,符合要求才能使用。投入该工程的设备有:(1)2 台空气压缩机。压力为 0.588~0.784 MPa,配备后冷却器、油水分离器、砂罐等。(2)手提环保砂除锈机、电动砂轮。进行焊缝和焊伤处喷砂处理。(3)2 台高压无气喷涂机。气漆体积比 65:1,同时去除所有的滤网;喷嘴压力 15~25 MPa;喷嘴可使用反转喷头,喷孔直径 0.86~1.14 mm、喷幅 40°~80°;小面积区域或者预涂区域使用喷孔直径 0.50 mm 的喷头。(4)防爆风机。保持施工环境的空气流通。(5)加热器。冬季施工时,将烟道内的温度加热到施工最低温度 15℃,平均温度应达到 20℃ 以上。(6)除湿机。雨季施工时,降低烟道内的湿度。(7)高压水清洗机。(8)真空吸尘器。喷砂后、喷涂前,彻底清理钢管内表面的灰尘。(9)强力搅拌机。材料混合、搅拌。(10)检测仪器。测厚仪、钢材粗糙度仪、电火花检测仪、温湿度仪、湿膜卡。(11)其他。打磨机、吸尘器、漆膜保护材料,500 ml 量杯 4 个,红外温度计,苯已烯,丙酮,湿膜卡,电动搅拌器,5~10 L 的清洗小桶 2 个;施工人员保护设备;盖全脸的防毒面具。

4.1.3 施工场地准备及施工原材料准备

根据现场施工需要,准备并保管好施工材料。喷砂涂装施工基地必须建在施工现场,场地应平整空旷,面积约 400 m²,管材堆放、倒运、吊装应方便;电、水设施齐全。

4.2 乙烯基酯玻璃鳞片涂料的施工工序

施工工序如图 1 所示。

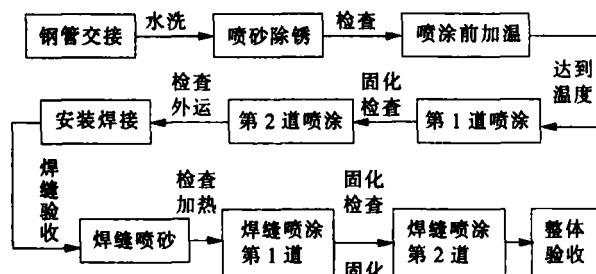


图 1 乙烯基酯玻璃鳞片涂料的施工工序

4.3 乙烯基酯玻璃鳞片涂料的施工方案

4.3.1 表面处理要求

4.3.1.1 表面处理执行标准

采用 ISO 8501—1、ISO 8502—6、ISO 8502—3 和 ISO 8503—2。

4.3.1.2 表面预处理

(1)喷砂前,用高压洁净水冲洗基材表面,将污染物如盐分、油污、油脂清洗干净;(2)喷砂前,用电动工具打磨底材表面的钻孔边缘、气割面及边缘、焊缝突起部分、焊渣及飞溅的焊点。这些部位应表面平整、圆滑过渡,以保证油漆能均匀覆盖钢表面。钢材的边角及边缘喷涂时,不能达到设计的漆膜厚度,必须用电动工具打磨成圆角(半径至少为 2 mm)。

4.3.1.3 表面喷砂处理

采用钢丝切丸进行表面喷砂,步骤如下:

(1)施工环境温度宜 15~30℃,空气相对湿度小于 85%,基体金属表面温度应大于露点温度 3℃以上。(2)钢结构表面及焊缝喷砂除锈时,要求除锈等级达到 GB8923—88 标准中规定的 Sa2.5 级,即喷砂后应无可见的油脂、污垢、焊渣毛刺、氧化皮、铁锈和油污、涂层等附着物,任何残留的痕迹应是点状或条纹状的轻微色斑;同时表面粗糙度为 85~130 μm 。(3)喷射处理工艺参数。压缩空气工作压力为 0.6~0.7 MPa;喷射角,即磨料喷射方向与工作表面法线间夹角 15°~30°;喷嘴离工件距离要求 100~300 mm;磨料粒径为 0.5~1.5 mm。(4)喷射所用的压缩空气必须经冷却装置及油水分离器处理,保证压缩空气清洁、干燥、无油。压缩空气应检查合格后方可使用,可将喷嘴对着白纸吹 30 s,不见油和水的痕迹,则可认为符合要求。(5)喷砂除锈后,喷涂前,用吸尘器清除表面浮尘和碎屑。清理后的表面不得用手触摸。涂装前,如发现钢板表面污染或返锈,应重新处理。

4.3.1.4 清洗油污及粉尘和喷涂底漆

油污及粉尘用稀释剂清洗,清洁度达 ISO 8502—3 中规定的 2~3 级以上。喷砂后,应及时喷涂底漆。因处理后的钢材表面容易返锈,一般应在 4 h 内完成涂装底漆;潮湿环境下,应在 2 h 内完成底涂。潮湿环境下,采用除湿机或加热器,以保持空气湿度符合标准(RH 小于 85%)。

4.3.2 喷涂施工要求

4.3.2.1 喷涂施工方法

采用无气喷涂施工方式,施工方法如下:

(1)涂装前,应将涂料各组分按涂料说明书配比、搅拌,搅拌均匀后方可喷涂。(2)对于边、角、焊缝、切痕等部位,喷涂前,应先人工涂刷 1 道,然后再进行大面积的涂装,以保证凸出部位的漆膜厚度。(3)喷涂厚度应均匀一致,该工程计划喷涂 2 道漆,干膜厚度为 1200 μm 。在涂层未干实前,需防止浸水或雨淋。(4)喷雾扇面应尽量狭窄,喷涂距离通

常为 300~500 mm,距离太小操作困难,容易出现流挂和皱皮;距离太大会造成涂膜表面粗糙且涂料损失增大。另外,喷枪与被涂表面应保持垂直。喷枪应在被涂表面平行移动,避免弧形移动。开始喷涂时,用湿膜测厚仪边测、边喷,确定移动速度,喷枪的移动速度以膜厚达到规定标准、又不出现流挂为宜。

(5)喷涂设备连续喷涂 1 h 后,应停止喷漆。需用专用稀释剂,在空载压力工况下,循环清洗喷涂机、高压软管、喷枪及喷嘴。(6)喷涂施工前,在每节钢管两端的管内壁预留出约 150~200 mm 的焊接缝(实际宽度做实验后确定)。热影响区用胶带纸粘贴。

(7)高压无气喷涂时,应保证喷涂机安全使用,最高进气压力不准超过 0.7 MPa。喷涂过程中会产生静电,喷涂操作时,应将喷涂机接地,以防静电。喷涂过程中,当喷嘴不喷漆时,应清洗、更换喷嘴;这时,应及时将喷枪扳机的保险装置锁住。在任何情况下,喷枪枪口不能朝向自己或他人,以免误压扳机,喷出高压涂料击伤人体。(8)只有在小面积预涂装或修补时,才可采取刷涂或辊涂。采用刷涂或辊涂时,漆膜厚度往往达不到设计要求。在一次涂装不能达到规定的干膜厚度时,必须采用多道施工方法,最终达到规定的漆膜厚度。

4.3.2.2 施工的其他事项

(1)监控空气、油漆、压力泵的温度;每次混合后,都要用清洗剂清洗、搅拌叶片;(2)清洗剂可采用丙酮、17 号稀释剂或 23 号稀释剂;(3)施工将结束时,每次只准备 1 桶涂料待用。(4)如果在长期使用后,无气喷涂机反应迟缓或喷嘴变小,此时应将已添加引发剂的油漆用完,再使用干净稀释剂清洗压力泵、喷管和喷枪。

4.3.2.3 施工时发生堵塞的处理

(1)由于不完全雾化的油漆积在枪头表面,在喷枪头上引起堵塞时,用抹布或硬毛刷子沾些溶剂去擦洗枪头。(2)如果施工过程中,玻璃鳞片或不完全雾化的油漆在枪头后面引起堵塞,应取下枪头,放入盛有干净溶剂的容器内,换上干净的枪头,继续施工。(3)安装新枪头前,应先喷出少量的油漆,以保证管内油漆平滑流动。(4)如果缓冲器堵塞或流速缓慢,将泵减压后,取下缓冲器清洗。缓冲器取出后,压出少量的油漆,保证管内油漆流出正常。如果油漆流动缓慢或油漆较干,则继续泵压油漆,直到油漆流出正常。(5)如果油漆流出正常,可用稀释剂清洗喷枪连接接口,更换新的缓冲器和枪头后继续施工。(6)如果油漆流出不正常,应立即清洗压力泵、流管和喷枪。(7)如果连续使用后,出现喷雾

表 1 基料、促进剂、阻聚剂及引发剂在不同温度下的配合比

项目	钢材和油漆配比温度 /											
	30 ~ 35			25 ~ 30			20 ~ 25			15 ~ 20		
体积比 /%	0.60	1.40	2.20	0.60	1.75	2.20	0.60	2.00	2.50	0.60	2.25	2.50
体积 /mL	100	225	350	100	280	350	100	320	400	100	360	400
使用材料名称	促进剂	促进剂	引发剂	促进剂	促进剂	引发剂	促进剂	促进剂	引发剂	促进剂	促进剂	引发剂
	9826	9802	1号 /11号	9826	9802	1号 /11号	9826	9802	1号 /11号	9826	9802	1号 /11号

注：混合后油漆的清洗剂为丙酮或佐敦 17号 /23号稀释剂，稀释剂为苯乙烯。

上、下晃动或喷气泵不发生敲击声，表明压力泵、流管和喷枪都需清洗。

4.3.2.4 设备的清洗

移开油漆存放桶，洗刷干净吸漆管，将吸漆管放入一个盛满干净溶剂的清洁容器内，调低泵的压力，取下喷头后，将泵和流管内的剩余油漆泵出。当干净的溶剂流出后，换上喷头、继续压出，直到干净的溶剂流出。停止泵运转，将盛有溶剂的容器放在压力泵阀的下面。慢慢打开泵阀减压，启动泵，使溶剂循环流动约 5 min 左右，直到泵发出均匀的敲击声。停止泵运转，关闭泵阀。从喷枪上取下枪头和缓冲器，放入溶剂中清洗。将喷枪放入溶剂桶内，慢慢重新启动压力泵，使溶剂回流循环。当溶剂循环流出物干净、顺畅时，停止压力泵运行。检查喷头和缓冲器是否干净，应没有玻璃鳞片粒子。在喷枪上重新装上缓冲器和枪头，所有连接接口应干净。启动压力泵，喷出油漆，保证整个施工系统清洁、没有粘连物。

4.3.3 涂装质量控制

4.3.3.1 油漆的准备

(1)油漆放置一段时间后，会有不同程度的沉淀和分层。所以，开罐后，应电动搅拌，将其完全搅拌均匀后再使用，否则，将影响油漆的成膜品质。双组分油漆的主漆和固化剂混合后，有规定的使用时间。超过使用时间后，油漆会难以施工或不能施工。因此，要用多少漆就混合多少，以免造成浪费。

(2)该产品混合后的使用时间较短，在 23 的条件下只有 45 min。只有在所有的准备工作就绪以后，才能加入、混合引发剂和促进剂。

4.3.3.2 施工时的操作步骤

(1)提前将 2 ~ 3 桶基料（如果用量许可）搅拌均匀，以保证基料供应的平稳持续性。(2)该阶段不要加入添加剂。(3)确保混合机干净，以保证在搅拌纯基料时，不受促进剂或杂质的影响。(4)测量气温、基漆以及压力泵体的温度，评估平均温度（要考虑压力泵摩擦产生的热量使温度增高）。(5)在确定平均温度后，准确计算促进剂、阻聚剂的数量。(6)监控正使用的漆桶，当桶内油漆用掉全桶

的 3/4 时，向准备的另外一桶漆内加入所需数量的 1 号引发剂。不要将新混合好的油漆直接加入正在使用的油漆中。(7)当桶内的油漆使用完后，迅速地将吸管抽出，插入准备的下一漆桶内。(8)将吸料管插入新漆桶内上、下各处，这样可避免空气阻塞。

4.3.3.3 基料、促进剂、阻聚剂及引发剂的配合比

经过严格计算和实际测试，得出最佳配合比、材料的混合比及混合后的使用时间，见表 1。

4.3.3.4 涂装施工的环境条件控制

施工前，前道涂层的表面要清洁、干燥，且底材温度要高于露点温度 3℃ 以上，以免底材结露影响涂料的附着力。雨雪天施工时，用防雨布覆盖管口，避免雨雪淋湿防腐层，特别是已安装的 37 m 钢内筒，施工时，上口一定要用防雨布遮盖。施工环境条件应满足以下标准：(1)ISO 8502—4 规定。油漆施工前，钢材表面可能发生结露的评估指导。底材温度应为 15℃ 以上，最适合的温度为 23℃（不能超过 40℃）；相对湿度在 85% 以下，应在施工区域内测量；底材温度至少高于空气露点温度 3℃。(2)ISO 2808 规定。油漆膜厚的确定。(3)NACERPO 188—88 规定。400 V / 100 μm，推荐用电子针孔探测仪在第 1 道油漆后检测。

考虑到环境温度达不到涂料固化对环境温度的要求，所以，在涂料喷涂施工前，需在钢管内部进行加热，温度升至 35℃ 左右，且该温度要一直保持到所有涂层固化为止。加热器采用 3 ~ 4 台安全系数高的油式电加热器（2 000 W）。为了达到更好的加热效果，钢管上口加热时需用防火布覆盖。

4.3.3.5 漆膜厚度的控制

(1)施工时，必须检查湿膜的厚度，做到对所喷的干膜厚度可进行大致的预测。施工各道油漆时，要注意使漆膜均匀，并达到规定的漆膜厚度。(2)用湿膜卡、干膜测厚仪检测漆膜的厚度。(3)湿膜的检测方法：油漆喷涂后，应立即用湿膜测厚仪垂直按入湿膜，直至接触到底材，然后取出湿膜卡，读取数值。(4)湿膜厚度与干膜厚度的相应值为干膜厚度 600 μm；湿膜厚度 625 μm；理论涂布率为 1.6 m² /L。

涂装的膜厚度标准要求达到 $1\ 200\ \mu\text{m}$ 。膜厚控制应遵守 2 个 90% 的规定,即 90% 的测点应在规定膜厚以上,余下的 10% 的测点应达到规定膜厚的 90%。测点密度根据施工面积定。

4.3.3.6 涂装间隔期

一道漆涂装完毕后,在进行下道漆涂装之前,要确认是否已达到规定的涂装间隔时间,并且在涂装间隔时间内,否则就不能进行涂装。不同温度下的涂装间隔时间见表 2。

表 2 在不同温度下的涂装间隔时间

底材温度 /	最短覆涂 间隔/h	最长覆涂 间隔/h	表干时间 /h	硬干时间 /h	固化时间 /天
15	8	36	8	8	8
23	4	24	4	4	4
40	2	12	2	2	2

4.3.3.7 漆膜的完全固化

漆膜表干、硬干后,尚不能使用,必须完全固化后,才能使用。烟道内应避免机械碰撞或机械擦伤等损伤漆膜。环境温度越高,完全固化时间越短;反之,环境温度越低,完全固化时间越长。

4.3.4 安装焊缝处的喷涂及缺陷修补

(1)涂装缺陷、针孔、漏涂、焊缝和碰伤、擦伤等应修补。(2)修补的区域应干燥,无油脂、无杂质。(3)待修补区域应除去防腐层的松散部位,表面除去修补区域的焊瘤、毛刺和其他污物,补口处应保持干燥,然后采用手提式喷砂机处理,质量应达到 GB/T 8923—1988 规定的 Sa2.5 级。(4)根据涂料固化对环境温度的要求,在环境温度达不到要求时,焊缝处及修补区域需加热,采用红外线加热,即喷涂钢管外壁缠绕红外线加热绳(6道),使钢管壁温度加热达到 $30\ ^\circ\text{C}$ 左右,并持续恒温 2 h 至涂层实干。(5)在焊口清根时,要对防腐层实施保护,避免焊接火花烧伤防腐层。(6)由于焊缝处的喷涂及缺陷修补在高空进行,所以该处施工是该工程的安全隐患之处。经研究,决定采用吊篮代替普通脚手架进行高空作业。吊篮制作和安装由专业人员进行。

5 质量检查

成品管的检验应严格执行 ST/Y0414—98 标准和国际油漆企业施工标准,检验项目包括防腐层外观、厚度、电火花检漏。

5.1 防腐层外观检查

逐根检查防腐层的外观质量,表面应平整、搭接均匀、无皱折、无凸起,不允许有破裂点。应检查补

口、补伤处,防腐层表面应无永久性气泡和破损。

5.2 防腐层厚度检测

采用磁性测厚仪逐根检查,随机测量 1 处,每处按圆周方向均匀分布测量 4 点,每个补口、补伤处随机抽查 1 处。

5.3 电火花检漏

在制作场应逐根检查,在现场全线检查管线,补口、补伤处应逐个检查。检漏探头移动速度不大于 $0.3\ \text{m/s}$,检漏电压 $400\ \text{V}/100\ \mu\text{m}$,以不打火花为合格。对所有放电处应做好记号,并用胶带修补。做好缺陷形状、性质及位置、修补工艺等检测记录。

6 材料验收与储存

原材料应在规定期限内接收,不得超过有效期。材料验收必须确认生产厂家、产品说明书、生产日期、有效日期、产品批号及供应商提供的试验数据、检测报告和合格证书。材料包装必须完好,无受潮、破损现象。每一批原材料,均应有性能检测报告,报告应由国家认证的检验机构出具,按技术标准进行检测。

该涂料储存期较短,在 $15\sim 23\ ^\circ\text{C}$ 的环境下,储存期为 4 个月。随着温度的升高,其储存期限会大大缩短。该涂料储存时,要储存在阴凉、干燥 ($10\sim 23\ ^\circ\text{C}$) 处,保持通风、远离火源,油漆包装要密封,并放置室内。

7 结束语

采用乙烯基酯玻璃鳞片涂料对烟囱钢内筒防腐,只需在每节钢内筒制造完成、验收结束后进行。提升前,对钢内筒内壁去除表面油污,再进行除锈。在锈面清理干净后,涂刷乙烯基酯玻璃鳞片涂料并达到规定厚度。在每节钢内筒两端,预留 $10\sim 15\ \text{cm}$ 长的不涂刷乙烯基酯玻璃鳞片涂料段。在钢内筒提升后,管端对口焊接完成即可对此段进行除锈、涂刷乙烯基酯玻璃鳞片涂料。该防腐方法在该电厂超临界机组的烟囱钢内筒的施工进展顺利,效果良好,质量优良。

8 参考文献

- 周至祥. 湿法 FGD 湿烟囱工艺的问题及对策. 电力环境保护, Vol 19 (1)
- 陆卯生. 火力发电厂高烟囱设计的回顾与展望. 电力建设, 1998 (7)
- Randolph W. Snook 杜振华译. 高烟囱的改造关键在内衬. POWER, 1992 (2)

(责任编辑:王莘志)