VEGF 鳞片胶泥在烟气脱硫装置中的应用

Application of VEGF scale daub in FGD equipment

王天堂，陆士平
（上海富晨化工有限公司，上海 200235）

摘要：简要介绍了 VEGF 鳞片胶泥的耐腐蚀性能、防腐机理、施工要点及其在烟气脱硫装置中的应用。

关键词：玻璃鳞片；胶泥；烟气脱硫；应用

Abstract: Corrosion resistant performance of VEGF scale daub, its resistant mechanism, its paint steps and its application are briefly introduced.

Key words: glass scale; daub; FGD; application

中图分类号：X701.3　　**文献标识码**：B　　**文章编号**：1009－4032(2002)04－0042－04

烟气脱硫（Flue Gas Desulfurization）是当今燃煤电厂控制 SO_2 排放的主要措施之一，湿式石灰石洗涤法是当今世界最成熟、应用最多的工艺。国家电力公司已将湿式石灰石脱硫工艺确定为火电厂烟气脱硫的主导工艺。根据有关资料介绍，自 1980 年以来，仅从日本进口或与之合作装配的 FGD 装置就有近 10 套，占中国进口 FGD 装置的 70%。预计到 2003 年湿法脱硫设备国产化率将大于 96%；到 2010 年，国产化率达 100%。

1 湿法烟气脱硫工艺的腐蚀问题

在湿法脱硫过程中，烟气中的 SO_2、SO_3、HF 或其他有害化学成分在高温状态下与某些化学介质相遇发生化学反应，生成稀硫酸、硫酸盐或其他化合物，与此同时，烟气温度降低到露点附近，这就给脱硫装置带来了露点腐蚀问题。

燃煤电厂烟气中含有 SO_2、NO_x、HF、HCl 等成分，脱硫系统洗涤液中含有 H_2SO_4、HCl、HF 等，并含有 20%左右的固形物。脱硫吸收塔入口温度高达 160～180 ℃，且有一定的干、湿界面；而吸收塔出口烟温较低，在 45～55 ℃之间，处于露点附近。因此，湿法脱硫系统对材质的耐蚀、耐磨、耐温要求极为严格。同时，脱硫系统要求与电站主机同步运行，因而对系统运行的可靠性、利用率和使用寿命要求也极高。

研究和选择合适的耐腐蚀材质是各国长期努力的目标。上世纪 80 年代初，国内的电力、冶金研究设计部门为了克服湿法脱硫系统中脱硫塔、烟道和烟囱及其衬里的腐蚀，一直在寻求一种造价低、耐高温、耐腐蚀的材料。根据树脂基体基材的不同，国内有 2 种适用的耐蚀鳞片胶泥：①环氧树脂鳞片胶泥（由兰州化机设计院提供），②乙烯基酯鳞片胶泥（vinyl ester glass flake mortar），简称为 VEGF 鳞片胶泥（由上海富晨化工有限公司研发）。

2 VEGF 鳞片胶泥的耐蚀机理

胶泥的耐腐蚀性能与其组成有关。一般情况下，防腐层的防蚀失效主要是指树脂基体受到腐蚀，亦即基本树脂产生失重、变色等情况会引起材料鼓泡、分层、剥离或开裂等，最后导致防腐层失效；由于渗透等因素，加速了腐蚀性化学介质渗入到防护层内部。因此，在选择具有良好耐蚀性树脂基体的同时，应采取有效的措施来减弱、减缓腐蚀介质或水蒸汽的渗透。VEGF 鳞片胶泥较基体树脂能提供更有效的耐腐蚀性能，这主要是因为它能有效地防止腐蚀介质或水蒸汽的物理渗透。

（1）VEGF 鳞片胶泥具有较强的抗渗透性。一般情况下，VEGF 鳞片胶泥含有 10%～40%片径不等的玻璃鳞片，胶泥在施工完毕后，扁平型玻璃鳞片在树脂的连续相中呈平行重叠排列，从而形成致密的防渗层结构（如图 1 所示）。腐蚀介质在固化后的胶泥中的渗透必须经过无数条曲折的途径，因此在一定厚度的耐腐蚀层中，腐蚀渗透的距离大大延长，这相当于增加了防腐层的厚度。若无玻璃鳞片增强，树脂基体的连续相中会存在大量“缺陷”，如微孔、气泡及其他微缝等，这些缺陷的存在会加速腐蚀介质的

万方数据

渗透,一旦介质渗透到这些缺陷中,在渗透速度增大的同时,接触腐蚀性介质的基体连续相的面积也随之加大,从而加速了物理渗透和化学腐蚀过程。在 VEGF 玻璃鳞片胶泥中,由于平行排列的玻璃鳞片能有效地分割基体树脂连续相中的"缺陷",所以能够有效抑制腐蚀介质的渗透速度。

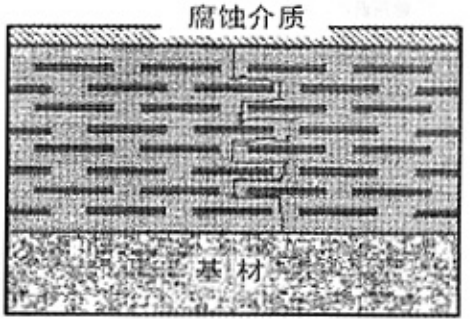


图 1　VEGF 鳞片胶泥示意

另外,除了腐蚀性化学介质的渗透外,还存在水蒸汽的渗透。通常情况下,高聚物材料的分子间距为 10 Å,而对于水蒸汽来说,只要高聚物材料的分子间距达到 3 Å,就能很容易地透过高聚物的单分子层。若基体材料是碳钢,水蒸汽渗透到达碳钢表面后,在氧气存在的情况下,发生电化学反应而生锈。VEGF 鳞片胶泥固化后,由于乙烯基酯树脂的高交联密度可以有效地减弱水蒸汽和腐蚀性化学介质的渗透,达到防渗和减渗的效果。经测定,VEGF 鳞片胶泥的水蒸汽扩散速率为 1.5×10^{-6} g/(h.cm^2)。

(2)固化后的 VEGF 鳞片胶泥是一种复合材料,其中的基体树脂起粘结作用。具有高度活性不饱和双键的基体树脂通过交联,形成三维的体型结构,期间线性的高分子形成的网状结构会导致化学体积的收缩。同时分子中的不饱和双键打开成为单键时伴随着分子体积的变化。据资料介绍,液态树脂中的 C=C 基团分子体积在固化后将缩小 25%,该过程中分子自由体积的变化,也是造成不饱和树脂(包括乙烯基酯树脂)收缩的一个重要原因。而收缩会产生内应力,严重时会出现微裂纹等,而残余内应力的存在为微裂纹的扩展提供了潜在条件。因此,在选择基体树脂时,应充分考虑树脂的耐腐蚀性能和收缩率。由于在 VEGF 鳞片胶泥中加入了玻璃鳞片和其他填料,其收缩率大幅度降低。玻璃鳞片的存在还可以起到降低固化后残余内应力的作用,其原因是:在树脂基体中不规则分布的玻璃鳞片是比表面积较大的分散体,在胶泥固化后,树脂由于固化收缩而产生的界面收缩内应力可以被玻璃鳞片分散或松弛,因此能有效地减弱内应力的影响;虽然玻璃鳞片在树脂基体连续相中是近乎平行排列,但还是存在一定的倾角,该倾角的存在可以有效地将树脂基体连续相分割为小区域,使应力不能相互影响或传递。

3　VEGF 鳞片胶泥的特点

(1)耐腐蚀性能好。VEGF 鳞片胶泥采用的基体树脂是高性能的乙烯基酯树脂,具有较环氧树脂更好的耐腐蚀性能。

(2)较低的渗透率。VEGF 鳞片胶泥的抗水蒸汽渗透率是普通环氧树脂涂料的 15 倍,是普通环氧 FRP 的 4 倍。

(3)具有较强的粘结度。除了树脂基体与其中的玻璃鳞片之间粘结强度较高外,VEGF 鳞片胶泥与混凝土或碳钢基材之间的粘结强度亦相当高。其与钢板的粘结强度大于等于 2.0 MPa,与混凝土的粘结强度大于等于 2.5 MPa。因此,VEGF 鳞片胶泥涂层不易产生龟裂、分层或剥离,附着力和冲击强度较好,从而保证了较好的耐蚀性。

(4)热冲击性能较好。VEGF 鳞片胶泥适合于温度交变的重腐蚀环境,如电力行业的湿法 FGD。我们曾进行了耐热冲击性能试验,即把涂有 VEGF 胶泥的钢板交替放置在 100 ℃沸水和 0 ℃的冰水中各 1 h,经 100 次交变试验,未出现异常。

(5)耐磨性好。VEGF 鳞片胶泥固化后的硬度较高,是普通醇酸漆的 2~3 倍。

(6)价格适中。目前国内外湿法 FGD 装置衬里选材主要有不锈钢、整体镍基合金、整体玻璃钢等。有关的造价比较见表 1。

(7)工艺简便。由于 VEGF 鳞片胶泥的固体成分含量高,可以一次性形成较厚的涂层。涂层工艺可以是喷涂(spray coating)、刷涂(trowel coating)、滚涂(roller coating)等,并具有现场配制和室温下固化的特点。VEGF 鳞片胶泥涂层在使用几年后,若出现损坏,只需在该处作简单的处理即可修复,不影响使用性能,具有修补性好的特点。

万方数据

表 1 湿法 FGD 衬里材料典型造价

材　料	造　价/元·m^{-2}		备　注
	美元	相当于人民币	
碳　钢	270	2 235	主体设备不推荐
碳钢内衬 VEGF	430	3 560	目前首选材料
碳钢内衬橡胶	440 ~ 760	3 642 ~ 6 292	耐磨好,造价高,物理失效多,施工难度大,难修补。
整体 FRP	480 ~ 700	3 974 ~ 5 795	使用温度≤80 ℃
整体 316/317	540 ~ 1 080	4 470 ~ 8 941	易出现点蚀、缝隙腐蚀和冲刷腐蚀
整体镍基合金	1 350 ~ 1 880	11 177 ~ 15 565	效果好,但投资高

4 VEGF 鳞片胶泥的施工

VEGF 鳞片胶泥已在发电厂 FGD 和冶炼厂硫酸系统烟道内壁的防腐蚀衬里中得到成功应用,有效地延长了防腐衬里的使用寿命。表 2 列出了 VEGF 鳞片胶泥的使用量。根据衬里基层材料的不同,有相应不同的施工工艺要求。

4.1 碳钢基层

(1)先将表面除油、去污,再进行除锈,除锈等级应满足不低于 Sa2.0 或 St3 标准。在锈面清理干净后,用 VEGF 树脂打底,待干后施工;

(2)用手工泥刀刮成 1 ~ 2 mm(每道)厚的 VEGF 胶泥层,数小时后即硬化,再按设计要求施工至规定厚度。一般在每涂 1 mm 厚度时进行检测,以确认涂层是否有针孔及其他瑕疵;

(3)在弯角或形状突变处适当增加厚度,或与 FRP 复合使用;

(4)用 VEGF 树脂罩面 1 ~ 2 道。

VEGF 鳞片胶泥涂层的质量好坏直接影响其耐腐蚀性能和使用寿命,因此,应对 VEGF 鳞片胶泥涂层的质量加以严格控制。一般情况下,涂层的最终检测项目主要有:外观缺陷、硬度、针孔测试、厚度测试、锤击检查等。检测方法为:①目测法检查。表观应无明显缺陷;②用巴柯尔硬度检测。一般要求其表面硬度值不低于材料性能指标值的 90%;③用放电型小孔检测器检测。以基材和检测器的探头为正负极,加以 2 500 kV/mm 的高压,以测试涂层的针孔缺陷及不连续点;④用电磁厚度计测试并与标准试块厚度比较。每 1 ~ 2 m 选 1 个测点,平均厚度要达到设计要求;⑤用木锤轻击涂层表面。任意取点测试,应无不正常声音。

表 2 VEGF 鳞片胶泥使用量

项　目	用　量/kg·m^{-2}		
	底涂(每道)	胶泥层(1 mm 厚)	面涂(每道)
VEGF - 1 - M 金属面	0.20 ~ 0.25	1.4 ~ 1.6	0.25
VEGF - 1 - C 混凝土面	0.25 ~ 0.30	1.5 ~ 1.7	0.25
VEGF - 2 - M 金属面	0.15 ~ 0.20	1.3 ~ 1.5	0.20
VEGF - 2 - C 混凝土面	0.20 ~ 0.25	1.4 ~ 1.6	0.20

注:VEGF - 1 - 高温型胶泥;VEGF - 2 - 中温型胶泥;M - 钢铁基层;C - 混凝土基层。

4.2 混凝土基层

(1)基础混凝土要求养护期大于等于 28 d,表面含水率应小于 6%。首先中和去掉表面的碱性物质,之后利用喷砂或其他机械方法去除混凝土表面浮灰,清理干净后,用 VEGF 树脂打底 1 ~ 2 道,待干后施工;

(2)用手工泥刀刮成 1 ~ 2 mm(每道)厚的 VEGF 胶泥层,硬化后,再刮第 2 道,直到达到规定厚度。一般每涂 1 mm 厚要进行检测,以确认涂层是否有针孔及其他瑕疵;

(3)凹凸部位适当增加厚度,或与 FRP 复合使用;

(4)用 VEGF 树脂罩面 1 ~ 2 道。

5 VEGF 鳞片胶泥的应用

5.1 VEGF 鳞片胶泥在湿法 FGD 中的应用

目前,美国和日本的烟气脱硫防腐首选 VEGF 鳞片胶泥,我国运行的引进装置亦均采用此技术。

万方数据

VEGF 鳞片胶泥的抗渗性好、施工难度小、易修补、物理失效少和造价适中等优点,使其在电力、冶金和化工等行业,尤其是电力行业的烟气脱硫系统中广泛使用。表 3 列出了 VEGF 鳞片胶泥在湿法 FGD 中的应用情况。

表 3　VEGF 鳞片胶泥在湿法 FGD 中的应用

装　置	腐　蚀　环　境	防　腐　蚀　处　理
进料管	SO_2 等,≤150 ℃	VEGF 衬里,FRP
	SO_2 等,150 ~ 200 ℃	高温涂料
冷却塔	SO_2 等,≤150 ℃	VEGF 衬里
快速冷却塔	SO_2 等,150 ~ 200 ℃	VEGF – 耐火砖
	SO_2 等,200 ~ 300 ℃	VEGF – 耐火砖
	SO_2 等,500 ~ 700 ℃	VEGF – 耐火砖
循环槽	H_2SO_3,H_2SO_4 雾等,60 ~ 90 ℃	VEGF 衬里,FRP
中间体输送管	SO_2,H_2SO_4 雾等,60 ~ 80 ℃	VEGF 衬里,FRP
吸收塔	pH = 3 ~ 12,60 ~ 80 ℃	VEGF 衬里,橡胶衬里
	pH = 3 ~ 12,150 ℃	VEGF 衬里
	pH = 3 ~ 12,250 ℃	VEGF 衬里 – 耐火砖
循环塔	pH = 4 ~ 14,60 ~ 80 ℃	VEGF 衬里,橡胶衬里,FRP
出料管	SO_2,H_2SO_4 雾,60 ~ 70 ℃	VEGF 衬里,FRP
酸雾分离器	SO_2,H_2SO_4 雾,60 ~ 70 ℃	VEGF 衬里,FRP
浓缩器	pH = 3 ~ 12,60 ~ 70 ℃	VEGF 衬里,橡胶衬里,FRP
氧化塔	pH = 3 ~ 12,60 ~ 80 ℃	VEGF 衬里,VEGF – FRP
输送管	≤100 ℃	VEGF 衬里,FRP
	100 ~ 150 ℃	VEGF 衬里,FRP
化学贮罐	室温 ~ 60 ℃	VEGF 衬里,橡胶衬里,FRP

5.2　VEGF 鳞片胶泥应用案例

(1)由安徽华星集团公司负责安装的锅炉高温烟道(烟气温度长期高达 170 ℃,且含有大量的烟尘)中采用 VEGF 鳞片胶泥作为防腐蚀材料。

(2)在江西贵溪冶炼厂的脱硫烟道中替代原日本进口的鳞片胶泥材料,经多年使用,未出现异常情况。

(3)山东某工程公司承包的 FGD 设备中采用高温型 VEGF 鳞片胶泥材料,制作的 FGD 装置,长期使用温度达 170 ℃,运行情况良好。

参考文献:

[1] 陆士平,等.建筑防腐蚀材料设计与施工手册[M].北京:化学工业出版社,1996.

[2] 陆士平,等.耐蚀鳞片胶泥在脱硫烟道中的应用[J].腐蚀与防护,2001,22(1):30 – 31.

[3] 郭东明.硫氮污染防治工程技术及其应用[M].北京:化学工业出版社,2001.

[4] 肖文德.二氧化硫脱除与回收[M].北京:化学工业出版社,2001.

[5] Mitsru Takeshita, et al. FGD Performance & experience on coal – fired plants. London: IEA Coal Research 58, 1993.

收稿日期:2002-09-28

作者简介:王天堂(1975 –),男,浙江台州人,工程师,主要从事高性能乙稀基树脂及复合材料的开发工作。

保护环境和资源
走可持续发展的道路

万方数据