

# 氟硅改性脂肪族聚脲涂料在风电混凝土塔筒领域的应用

张余英, 胡晓伟, 程琳, 许明汉, 刘文强

(广东坚派新材料有限公司, 广东 佛山 528000)

**摘要:** 介绍了氟硅改性脂肪族聚脲面漆的性能和在风电混凝土塔筒领域的应用, 着重介绍了涂层设计方案及涂装施工工艺, 该涂层为位于高寒与海洋地区的风电混凝土塔筒提供了一种有效的保护措施。涂层与水的接触角 $>105^\circ$ , 疏水性好, 有耐脏污和自清洁功能, 具有优异的耐紫外线性能, 有抗碱性好、耐风沙打击、耐高低温冲击、冬季施工方便等诸多优点, 在风电混凝土塔筒防护领域展现出良好的应用前景。

**关键词:** 氟硅改性; 脂肪族聚脲; 耐紫外线性能; 疏水性能

中图分类号: TQ637 文献标志码: A 文章编号: 1007-9548(2024)08-0012-03

## Application of Fluorosilicon Modified Aliphatic Polyurea Coatings for Concrete Wind Power Tower Barrels

ZHANG Yu-ying, HU Xiao-wei, CHENG Lin, XU Ming-han, LIU Wen-qiang

(Guangdong KingPower New Materials Co., Ltd., Foshan 528000, Guangdong, China)

**Abstract:** The properties of fluorosilicone modified aliphatic polyurea topcoat and its application in the field of wind power concrete tower were introduced. The coating design scheme and coating construction technology were emphatically introduced. The coating provides an effective protection measure for wind power concrete towers located in alpine and marine areas. The coating has a contact angle with water  $>105^\circ$ , good hydrophobicity, dirt resistance and self-cleaning function, excellent UV resistance, good alkali resistance, wind and sand resistance, high and low temperature impact resistance, and convenient winter construction. It shows a good application prospect in the field of wind power concrete tower protection.

**Key words:** fluorosilicon modification; aliphatic polyurea; UV resistance; hydrophobicity performance

### 0 引言

随着我国绿色经济的蓬勃发展, 逐渐构建了完善的清洁能源体系。风力发电作为一种技术成熟、价格极具竞争力的可再生能源, 正在逐步成为“碳中和、碳达

峰”的主力军。近年来, 随着风电装机功率的增大和叶片长度的增加, 风电塔筒的高度不断增高, 达到 160~180 m, 筒体壁厚以及承受载荷也随之不断增大, 纯钢制的塔筒逐渐暴露出阻尼小和不易抑制振动等缺点。混凝土塔筒和钢混塔筒不仅耐用性好、制造及维护成本低, 还能很好地改善全钢塔筒存在的这一问题, 同时混凝土塔筒使用寿命大大延长, 可以达到 50 年以上, 因此逐渐受到风电行业的青睐<sup>[1]</sup>。目前, 在风力发电行业中, 混凝土塔筒的工作环境主要有高山、荒地与海洋。在这些环境工作条件下, 混凝土塔筒遇到的破坏成因有酸雨侵蚀、碳化和硫化、冻融破坏、空蚀破坏、钢

收稿日期: 2024-03-10

基金项目: 佛山市科技创新专项资金项目 FSOAA-KJ919-4402-0086。

作者简介: 张余英(1964—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事聚天门冬氨酸酯聚脲树脂及改性天冬聚脲多功能涂料的研究工作。

E-mail: 1652326804@qq.com。

筋锈蚀破坏以及水质侵蚀<sup>[2]</sup>。李志高<sup>[3]</sup>以抗冻性与抗氯离子渗透性能为标准,对喷涂聚脲的青岛海湾大桥混凝土进行了性能研究,认为喷涂聚脲对海洋中混凝土的抗氯离子性能、耐酸碱性能以及耐冻融性能等都有很好的效果;张余英<sup>[4]</sup>在水电混凝土大坝上应用氟硅改性天冬聚脲后,发现氟硅改性天冬聚脲具有耐紫外线好、耐水性好、抗冻融、抗高低温冲击以及疏水性强等优点,可以很好地保护混凝土基体。宋凯<sup>[5]</sup>利用天冬聚脲固化快速、高强度、耐候性能优异以及良好的抗化学腐蚀性和防水性对水上乐园进行防护翻修,保证了水上乐园翻新工程的最终质量和效果。

本文根据混凝土的破坏机理,研发成功适用于风电混凝土塔筒保护的氟硅改性脂肪族聚脲防护涂料。该产品具有高固含、高弹性、高耐磨、抗开裂、抗冻融、抗风沙打击、疏水性好和耐候性优异等一系列优点。在某知名风电企业混凝土塔筒管片经过1年多的大批量涂装应用,无论在夏季高温环境还是冬季0~5℃的低温环境下,该涂料均有很好的涂装施工性和良好的固化成膜能力,有望在风力发电行业获得广泛的应用。

## 1 试验部分

### 1.1 主要原料与仪器

T9302 高渗透环氧底漆;T3080 氟硅改性脂肪族聚脲面漆:工业级,广东坚派新材料有限公司。

磨耗试验机、电子拉力机、弯曲仪、冲击仪、BGD 515/S 型光泽仪:标格达(广州)精密仪器有限公司;紫外线加速老化试验箱:Q-Lab 公司;PosiTest AT-M Manual 附着力拉力仪:Defelsko 公司;SDC-350 接触角测量仪:东莞市晟鼎精密仪器有限公司。

### 1.2 漆膜制备

涂料按配比辊涂在混凝土试块上或马口铁板上。复合涂层预先辊涂底漆,24 h 后辊涂面漆。制膜标准参照 JG/T 172—2005,漆膜在(25±2)℃条件下固化,养护 7 d 后备用。

### 1.3 测试与表征

涂层基本理化性能测试按 GB/T 31817—2015《风力发电设施防护涂装技术规范》进行。按照 GB/T 1768—2006 测定漆膜耐磨性,使用砂轮负载 1 000 g 在磨耗仪运行 1 000 r 测量质量损耗;按照 GB/T 1865—2009 测定漆膜耐老化性能,通过 UVB 313 nm 加速老化 1 500 h 后测试涂层色差  $\Delta E$ 。

## 2 风电混凝土塔筒防护涂层设计和性能

T3080 氟硅改性脂肪族聚脲面漆是最新研制的用于混凝土表面的防护涂料,可以保持涂层 20 年不变色,具有防腐蚀、装饰、自清洁、防水、防开裂等诸多功能。该产品耐紫外线性能优异,弹性好,疏水性好,水接

触角 105°以上,有耐脏污和自清洁功能,耐划伤和耐磨性好,可施工期限长,有 45 min 以上施工时间,快干,10~20 min 表干,冬季 0~5℃可以施工,表干时间 45~60 min。

T9302 高渗透环氧底漆作为脂肪族聚脲理想的底漆和基层处理剂,可渗透至混凝土表面 2 mm 深处,排出其中的水和空气,封闭和固结毛细管道、微孔隙和微细裂纹,增加混凝土的强度,保证聚脲涂层对混凝土优良的黏结性能。

风力发电混凝土塔筒防护涂层设计见表 1 所列。

表 1 风力发电混凝土塔筒防护涂层设计

项目	品种	厚度/ $\mu\text{m}$
底漆层	T9302 环氧高渗透底漆	20~50
面漆层	T3080 氟硅改性脂肪族聚脲面漆	100~150
总厚度		120~200

氟硅改性脂肪族聚脲面漆的基本理化性能见表 2 所列。

## 3 结果讨论

### 3.1 面漆的疏水性和自清洁性

混凝土塔筒防护涂层如果具有良好的疏水性和自清洁性,可以减少水滴和脏物在混凝土表面的附着;可以最大限度地减少混塔表面冬天挂冰现象及冻融危害。氟硅改性脂肪族聚脲面漆其表面张力低,与水的接触角可达 105°~114°,超过氟碳面漆的疏水性能<sup>[4]</sup>。具有优异的疏水性和自清洁性能,冬天具有较好的抗覆冰及冻融性。

### 3.2 面漆的耐碱性

混凝土在产生微裂纹时,其中的可溶性碱性物质  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  会随着水分迁移到混凝土表面,造成泛碱现象。碱性物质有可能腐蚀表面涂层,因此必须检测该涂层的耐碱性能。氟硅改性脂肪族聚脲面漆的耐碱性能优异,在经过饱和  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  碱溶液浸泡 96 h 试验后,不脱落、不起泡,表现出了很好的耐碱性。

### 3.3 面漆的耐紫外线性能

氟硅改性脂肪族聚脲面漆耐紫外线性能优异,耐紫外线 UVB 313 nm 加速老化试验 1 500 h 后检测,只有极小的色差( $\Delta E=1.2$ ),可以保证涂层 20 年以上不变色,与风电混塔的设计同寿命。

### 3.4 漆的延伸率

混凝土基材有很明显的热胀冷缩性能,夏天体积膨胀,冬天体积收缩,其线膨胀系数为 0.01 mm/(m·℃)。因此混凝土保护层必须具备一定的延伸率才能应对基体的形变,否则涂层有开裂之风险。氟硅改

表 2 氟硅改性脂肪族聚脲面漆的基本理化性能

项目	检测方法	技术指标	检测结果
不挥发物含量/%	GB/T 1725—2007	≥75	78.2
表干时间/h	GB/T 1728—2020	≤2	0.3
实干时间/h	GB/T 1728—2020	≤24	6
光泽度(60°)/%	GB/T 9754—2007	≤30	18.6
拉拔附着力(对 C60 以上混凝土)/MPa	GB/T 5210—2006	≥5.0	10~13
柔韧性/mm	GB/T 1731—2020	≤1	1
耐冲击性/cm	GB/T 1731—2020	≥50	50
扯断强度/MPa	ISO 527-3:2008	≥10	18.9
断裂伸长率/%	ISO 527-3:2008	≥30	50
耐磨性(1 000 g/1 000 r,cs-10)/mg	GB/T 1768—2006	≤60	30
耐碱性(饱和 Ca(OH) <sub>2</sub> 溶液,96 h)	GB/T 9274—1988	无异常	无异常
耐紫外线加速老化 (UVB 313 nm,1 500 h)	GB/T 14522—2008 表 C.1 暴露周期 7 GB/T 1766—2008	漆膜无起泡、剥离,粉化≤1 级, 轻微失光,变色 ΔE≤3.0	漆膜无起泡、剥离,粉化 0 级, 轻微失光,变色 ΔE=1.2
防霉变性能/级	GB/T 1741—2020	0~1	0
接触角/(°)	GB/T 30447—2013	≥100	105~114

性脂肪族聚脲面漆有 50%左右的延伸率,可以最大限度地克服混凝土变形,防止涂层开裂导致返碱现象。

#### 4 风电混塔涂装施工工艺

##### 4.1 施工工具

电子秤,油漆桶,角磨机,辊筒和辊把,拉拔仪水分测定仪,口罩,手套,工作服,高压无气喷涂机,加热盘等。

##### 4.2 施工环境条件

1)施工温度:0~35℃;2)施工相对湿度:≤85%;3)阴雨天不能施工;4)管片水分≤15%,并且表面无明水;5)管片表面平整,无肉眼可见瑕疵;6)混凝土养护 28 d。

##### 4.3 施工方法

1)用 300~400 目砂纸对混凝土塔筒管片的外弧面轻轻打磨,用干抹布擦拭干净。粗糙表面要用打磨机打磨平整。细微裂纹要彻底打磨掉,粗裂纹刮环氧腻子填充,再用打磨机打磨平整。

2)将 T9302 高渗透环氧底漆 A/B 按质量比 5:1 比例进行混合,并充分搅匀;用辊筒将混合均匀的渗透底漆在混凝土塔筒管片的外弧面均匀辊涂一遍,表干后可以涂装第一遍面漆。

3)将 T3080 面漆 A 组分开启包装后,使用电动搅拌机搅拌 3 min 以上(搅拌至均匀),然后将 A/B 按 1 h(极端高温 0.5 h)使用量以 1:0.75 比例进行混合并充分搅拌;使用辊筒将其均匀涂刷在底漆已表干的混凝土塔筒管片的外弧面。

4)面漆表干后开始对管片表面缺陷进行全面修

整,对裂纹处进行打磨和修补,对有颗粒之处用砂纸打磨修整。打磨修整完毕后按上述比例配料,采用高压无气喷涂机喷涂最后一遍面涂,喷涂时压力为 0.15~0.30 MPa,走枪要均匀,避免出现漏喷现象。

5)本产品冬季 0~5℃可以施工,不同温度下的干燥固化情况见表 3 所列。

表 3 氟硅改性脂肪族聚脲涂料温度-表干时间关系

项目	温度/℃						
	0~5	10	15	20	25	30	35
面漆表干时间/min	60	30	25	22	20	18	15
底漆表干时间/h	8	7	6	4	2	2	1.5

冬季施工注意事项:冬季施工时气温低,由于底漆固化慢(6~8 h 表干),底漆施工后,必须保证底漆有 24 h 的固化时间;必要时底漆 A 组分预先加热至 30~40℃,再配料进行辊涂施工。24 h 后涂装面漆,必须保证面漆在白天有充分固化时间。如果面漆固化时间不够,遇到夜间气温骤降情况下,有导致涂层开裂之风险。油漆在冬季应保存于有暖气的仓库内。冬季施工必须保证施工环境温度在 0~5℃或以上,必要时可以将面漆 A 组分预先加热至 40~50℃,再按比例配料进行辊涂或喷涂施工。0 或 0℃以下环境禁止施工。环境湿度大时,必须高于露点温度 3℃才能施工。

##### 4.4 养护和测试

在面漆涂装完毕 2 h 内,应避免与水接触。施工完毕后,夏季养护 3~4 d、冬季养护 5~7 d(下转第 18 页)