

高压静电喷涂环氧粉末防腐钢绞线的研制

黄克邱 刘成洲

摘要 高压静电喷涂环氧粉末防腐钢绞线是柳州东方缆索有限公司最新研制开发的具有防腐性的预应力钢材。本文介绍这种钢绞线的形状结构和特征、制造方法、主要材料的质量标准、FC 钢绞线的性能特点及其适用领域。

关键词 静电喷涂、环氧粉末、防腐钢绞线

一、前言

国内外对桥梁建筑用预应力构件研究最多的课题是“耐久性”，作为预应力混凝土结构重要组成部分的 PC 钢绞线，其防腐性对结构耐久性起着最为关键的作用。为此，有关研究单位提出了各种各样的防腐方法，以提高 PC 钢绞线的防腐性能及其耐久性。随着预应力工程技术的不断发展及应用领域的不断扩大，对 PC 钢绞线、钢筋的防腐要求也越来越高，许多 PC 钢绞线等预应力钢材因腐蚀破坏而导致的各种事故时有发生，一般的防腐技术已显然不适应需要。为了从根本上解决预应力构件的耐久性问题，我公司从 1995 年底开始着手研制了一种全新的防腐钢绞线——高压静电喷涂环氧粉末防腐钢绞线(以下称 FC 钢绞线)。为了更好地掌握涂装技术，我公司于 1995 年 11 月专门组团赴日本对高压静电涂装设备生产厂

家及涂装技术应用状况进行了实地考察，随后从日本引进了高压静电喷涂设备及涂料，开始了 FC 钢绞线的研制开发。经过几年的研究实践，现已成功的开发出了这种全新的 FC 钢绞线。本文介绍这种钢绞线的形状结构和特征、制造方法、主要材料的质量标准、FC 钢绞线的性能特点及其适用领域。

二、FC 钢绞线的形状结构及特征

(一)形状结构

FC(Full Coat) 钢绞线的形状如图-1 所示。组成钢绞线的芯线和侧线各根钢丝的表面都有一层致密的厚度均匀的环氧被膜，因此称为全涂装钢绞线。

(二)特征

1、FC 钢绞线与其它防腐钢绞线的区别

目前应用得较多的其他防腐钢绞线主要有镀锌钢绞线和外表整体环氧涂装

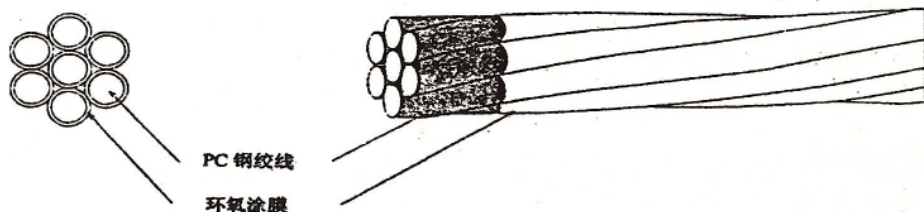


图-1 FC 钢绞线形状结构图

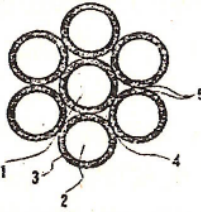
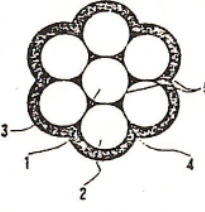
黄克邱 柳州东方缆索有限公司 助工
刘成洲 柳州东方缆索有限公司 经理、工程师

钢绞线, 镀锌钢绞线与 FC 钢绞线的主要区别是所用防腐材料与工艺上的不同, 因而防腐效果及钢绞线的机械性能有所差别。PC 钢绞线经镀锌处理后, 机械性能均有所下降(如 1860MPa 级的钢绞线镀锌后降为 1770MPa), 镀锌钢绞线被刮

伤后, 在受伤处产生阴极反应, 会使腐蚀速度加快。环氧涂装钢绞线有现用的外表整体涂层的和从侧线到芯线每根钢丝都进行全涂装的两种类型。两者的区别如表 - 1 所示。

2、FC 钢绞线的特征

表 - 1 全涂装(FC)钢绞线与外表整体涂装钢绞线性能比较

比较项目	FC 钢绞线	外表整体涂装钢绞线
防腐结构断面图	 <p>1: 芯线 2: 侧线 3: 环氧树脂被膜 4: 空隙部分 5: 接触部分</p>	 <p>1: 芯线 2: 侧线 3: 环氧被膜 4: 树脂填充部分 5: 接触部分</p>
防腐结构	芯线 1 和侧线 2 各钢丝外表面均单独形成环氧树脂被膜	芯线 1 和侧线 2 的空隙中填充有树脂 4, 外表覆有被膜 3, 整束钢绞线形成一体
涂装厚度	较薄(平均为 150 ~ 180 μm)	较厚(平均为 500 ~ 600 μm)
防腐性能	因芯线 1 和侧线 2 的外表面均单独形成了涂膜, 因此防锈充分可靠	芯线 1 与侧线 2 之间的缝隙由树脂 4 填充, 而芯线 1 与侧线 2 的接触部分 5 以及侧线之间的相互接触的部分 5 没有防锈涂膜, 因而这部分易受腐蚀
柔软性	芯线 1 和侧线 2 各钢丝外表面均单独形成被膜, 其柔软性与涂装前的 PC 钢绞线相同	芯线 1 与侧线 2 之间的缝隙由树脂 4 填充而使钢绞线结成了一体, 因而其柔软性显著降低甚至为 0
可弯曲性	芯线 1 与侧线 2 各钢丝外表面均单独形成被膜, 各钢绞丝之间不受约束, 因而弯曲半径在钢绞线直径的 2 倍以上时不发生龟裂、膨胀、剥落等现象	芯线 1 与侧线 2 由树脂联成一体, 弯曲半径必须在 25 倍以上才不会发生龟裂、膨胀、剥落等现象, 特别是在延伸时各侧线之间因延伸量不同而使螺旋状凹部的涂膜开裂
与混凝土的附着性	PC 钢绞线与混凝土的附着强度的主要取决于螺旋状凹部, 由于芯线 1 与侧线 2 各钢丝外表面均单独形成了被膜, 螺旋状凹部的深度也随着涂膜的形成而变深, 因而附着强度与喷涂前的 PC 钢绞线相同	PC 钢绞线与混凝土的附着强度主要部分因在螺旋状凹部的表层形成了较厚的涂膜, 使螺旋状凹部的深度变浅而降低其附着强度, 因此必须在树脂硬化前采取喷上砂粒等措施改善其附着强度后方可使用
施工性	由于芯线 1 与侧线 2 各钢丝外表面均单独形成涂膜, 具有与普通 PC 钢绞线通用锚具的优点	为了不使涂膜产生气孔, 必须使涂膜厚度达到 500 μm 以上, 因而由于涂膜增厚须使用专用锚具

从 FC 钢绞线与其它钢绞线的区别可看出, FC 钢绞线具有以下特征:

1) 对构成钢绞线的各根钢丝都进行了充分地表面材质调整, 各钢丝一边旋转一边进行涂装, 因此与其它涂装法相比,

膜厚较薄(平均 150 ~ 180 μm)且均匀, 致密性好, 可靠性高;

2) 与涂装前的 PC 钢绞线相比, FC 钢绞线的柔软性基本上没有降低;

3) 普通钢绞线即使是刚出厂, 其芯线

本期专题

附近仍易产生锈蚀或浮锈,而 FC 钢绞线在制造时因在散开状态下对各钢丝进行了表面处理,不会锈蚀,而且涂膜无气泡、剥落、龟裂等现象;

4) FC 钢绞线涂装后外径变化较小,以往所用的锚具、夹片仍然适用,无需改用专用锚具、夹片,施工方便,费用低;

5) 涂料用量少,价格较低廉。

三、制造方法

(一) 涂装方法

目前广泛应用的粉末涂装法主要有流动浸渍法和静电喷涂法。FC 钢绞线是采用高压静电喷涂法将环氧树脂粉末喷射于钢绞线的各钢丝上,然后加热熔融、固化、冷却,从而在各钢丝表面形成一层致密的环氧涂膜。为了实现这一过程,喷涂前必须先将钢绞线各钢丝暂时打散,喷涂后再将其复扭成形。高压静电涂装原理如图-2 所示。

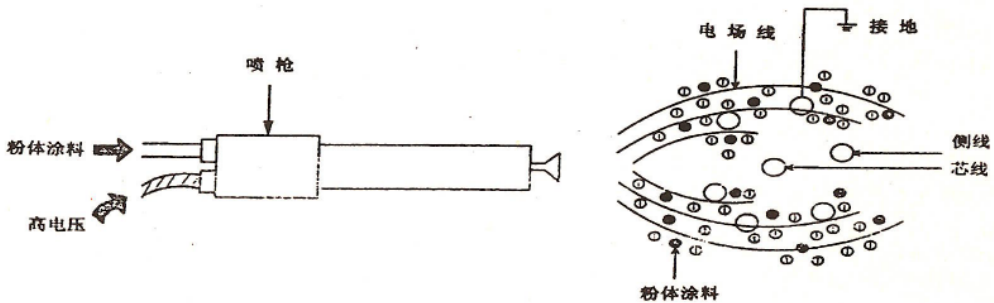


图-2 高压静电喷涂原理图

(二) 喷涂工艺流程图

FC 钢绞线喷涂工艺流程如图-3 所示。

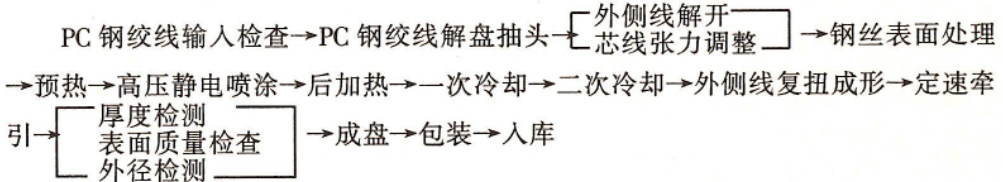


图-3 FC 钢绞线喷涂工艺流程图

四、主要材料的质量标准

(一) PC 钢绞线

用于制作 FC 钢绞线的光面 PC 钢绞,应符合有关标准规定,我国标准为 GB/5224-95,外国标准有:ASTMA416-90A;BS5896:80;JISG3536。

(二) 环氧粉末

采用熔融键结型环氧树脂

(Fusion Bonded Epoxy) 粉末。

1、熔融键结型环氧树脂粉末的优点

- 1) 化学稳定性优良;
- 2) 温度稳定性优良;
- 3) 对金属材质的附着性好;
- 4) 抗阴极分解好;
- 5) 耐曲折度优良;
- 6) 抗冲击性优良;
- 7) 耐磨性好;
- 8) 低氧浸透性。

2、粉末性能

用于 FC 钢绞线的环氧粉末性能应符合表 - 2 要求。

表 - 2 粉末性能

项 目	试 验 方 法	试验结果
光 泽 度	GB/T1743 - 1979 涂膜光泽度测定法	90% 以上
硬 度	GB/T6739 - 1986 涂膜硬度铅笔测定法	H ~ 2H
耐冲击性	GB/T1732 - 1993 涂膜耐冲击性测定法	无异常
耐 水 性	GB/T1733 - 1993 涂膜耐水性测定法	无异常
耐沸水性	GB/T1733 - 1993 涂膜耐沸水性测定法	无异常
耐 磨 性	GB/T1768 - 1979 涂膜耐磨性测定法 (用 JM - 1 漆膜耐磨仪测定涂膜失重)	30mg 以下
耐酸碱性	GB/T1763 - 1979 涂膜耐化学试剂测定法	无异常
耐盐水性	GB/T1763 - 1979 涂膜耐化学试剂测定法	无异常
耐腐蚀性	GB/T1771 - 91 色漆和青漆耐中性盐雾性能的测定 (盐水喷雾 2000 小时)	无异常
耐湿热性	GB/T1740 - 1979 涂膜耐湿热性测定法	无异常
涂层附着力	GB/T5210 - 1985 涂层附着力测定法	合规定

五、FC 钢绞线的性能特点

(一)性能评价标准

由于 FC 钢绞线目前在国内刚刚研制成功,尚无这方面的国家标准,因此参照

日本环氧树脂涂装钢筋及其它有关资料 [见文后参考文献],提出表 - 3 所列的公司标准。

表 - 3 FC 钢绞线的质量标准(厂标)

项 目	试验方法及条件	标准要求
外 观	生产过程中成盘前用目视检查	涂膜均匀、表面光滑平整、无凸起、开裂、气孔、气泡或其它附着物
涂膜厚度	用电磁膜厚仪测量	厚度在 150 ~ 220 μ m 范围内,且超出此范围的频度在 10% 以下
耐冲击性	耐冲击试验法(JIS K54008.3.2 中的杜邦试验法)	冲锤直接冲击的部位以外涂膜无损伤
可弯曲性	用油压千斤顶进行弯曲加工,弯曲半径为钢绞线直径的 2 倍,弯曲角度有 90°和 180°两种	涂膜无损伤
涂膜硬度	按 JIS K5400.8.4.2 用 H 型铅笔手划	涂膜无破损、划伤
涂膜硬化度	用试剂来回抹拭	涂膜无软化和粘着
耐腐蚀性	按 JIS Z 2371 的方法进行 2000 小时盐水喷雾试验	钢绞线表面及内部发锈率在 0.5% 以下
耐化学药品性	分别用 CaCl ₂ 、Ca(OH) ₂ 、NaOH 溶液进行浸渍试验 1000 小时	钢绞线内部及表面均无发锈
柔软性	用与无涂装 PC 钢绞线比较的方法进行	挠度差在 4% 以下
疲劳强度	用与无涂装 PC 钢绞线比较的方法进行	疲劳试验结束后再分别对两种钢绞线进行拉伸试验,然后将抗拉强度进行比较,基本上无差别

(二) 试验结果

参照以上质量要求,对 FC 钢绞线进行性能试验后得到以下试验结果。

1、防腐性能

为了检验钢绞线的防腐性能,进行了盐水喷雾试验、干湿交替试验、耐化学药品性试验、涂膜硬化度试验。试验结果表明,钢绞线外部、内部均无发锈、膨胀、气泡等现象发生,确认 FC 钢绞线具有良好的防腐性能。

2、可弯曲性

经过对 FC 钢绞线进行 90°和 180°两种弯曲试验后确认,在弯曲半径为钢绞线直径的 2 倍的情况下,弯曲部位的涂膜无开裂、膨胀、剥落等现象发生,FC 钢绞线具有良好的可弯曲性。

3、柔软性

对 FC 钢绞线和普通 PC 钢绞线进行柔软性试验,然后将试验结果进行比较,对比表明,两种钢绞线的柔软性基本相同,挠度差均在 3% 以下。

4、涂膜耐冲击性

对 FC 钢绞线涂膜进行冲击试验,结果表明,除锤芯直接冲击的部位以外,涂膜无开裂、膨胀、剥落等现象发生,证明涂层具有良好的耐冲击性。

5、机械性能

对 FC 钢绞线进行了拉伸试验及松弛度试验,将试验结果与普通 PC 钢绞线的进行比较,结果表明,在同等条件下,两者的抗拉强度与松弛率基本上没有差别。值得一提的是,FC 钢绞线在生产过程中进行了充分的表面处理和再次稳定化处理,其抗拉强度和延伸率较普通钢绞线稍有提高。

6、疲劳强度

将 FC 钢绞线与普通 PC 钢绞线分别进行疲劳试验后,再将其进行拉伸试验,然后将抗拉强度进行比较。试验结果表明,FC 钢绞线与普通 PC 钢绞线抗拉强度的比值在 0.99 以上,两者的疲劳强度相差在 1% 以下。

六、FC 钢绞线的适用领域

FC 钢绞线适用于长期性、永久性土木建筑工程,如斜拉桥、悬索桥、体外索桥、高层建筑以及核电安全壳工程,特别适用于盐害的预应力混凝土工程、岩土工程等特殊环境。

七、结论

综上所述,FC 钢绞线具有优良的耐腐蚀性、耐化学药品性和优良的可弯曲性、柔软性、耐冲击性以及良好的与混凝土的附着性和锚固性能。它的研制成功,填补了国内一项空白,为预应力工程界提供了期待已久的防腐钢绞线。

参考文献

- (1) エポキシ塗装樹脂鉄筋を用いるコンクリートの設計施工指針(案)コンクリート・ライブラリー. 土木学会. 1986.
- (2) 道路橋の盐害対策指針(案). 同解説. 日本道路協会. 1984.
- (3) BS 7295:Part1:1990,
Fusion boneded epoxy coated carbon steel bars for the reinforcement of concrete Part1. Specification for coated bars.
- (4) BS 7295:Part2:1990,
Fusion boneded epoxy coated carbon steel bars for the reinforcement of concrete Part2. Specification for coatings.
- (5) ASTM Designation: A775/A775M - 93a.
Standard Specification for
Epoxy - coated Reinforcing Steel Bars¹.