

# 全涂装环氧喷涂钢绞线系杆在桥梁中的应用

张相杰<sup>1</sup> 彭爱红<sup>2</sup> 何小云<sup>2</sup>

(1.广东省高速公路有限公司 广州 510100 2.江西省公路桥梁工程局 南昌 330009)

**摘要:**通过对景德镇市昌江支线I桥使用的六根全涂装环氧喷涂钢绞线系杆,介绍了防腐钢绞线的种类、环氧喷涂钢绞线原理与特性,全涂装环氧喷涂系杆的构成,及其各组成材料的性能特点,同时介绍了该系杆的施工工艺要点及张拉方法。

**关键词:**防腐钢绞线种类 全涂装环氧喷涂钢绞线系杆 构成 性能特点 施工工艺 张拉方法

## 前言

改革开放以来,我国公路建设事业发展迅猛,尤其高速公路建设发展速度极快。作为公路建设重要组成部分的桥梁建设也得到了很大的发展,随着我国设计、制造、施工工艺的不断完善,工程质量达到了一个新的高度。其中作为桥梁预应力构件中重要组成部分的钢绞线,其施工工艺已经达到了相当高的水平。由于其防腐性能对结构耐久性起着最为关键的作用,因此,随着预应力工程技术的不断发展及应用领域的不断扩大,对钢绞线的防腐要求也越来越高,许多因预应力钢绞线腐蚀破坏而导致的各种事故时有发生,二十世纪九十年代中期,就已经发现在斜拉桥、吊杆拱桥等索类桥梁工程中普遍出现PES拉索索体HDPE护套提前开裂、下端预埋管进水、锚头及钢丝提前腐蚀等严重问题,危及拉索直至桥梁的安全。本文介绍了一种新的防腐钢绞线组成的系杆以及其性能特点、施工工艺和要点。

景德镇市昌江支线I桥为一座半拱式拱桥,其跨径组合为:25+70+25m,采用上承式拱桥作为桥梁的结构形式。主孔跨径为70m,两个25m的副拱为半拱形式。由于两个副拱为半拱形式,为抵抗主拱对主墩产生的水平推力,设计在副拱靠近边墩处设置两个大型锚块,并设置六束贯穿全桥的无粘结预应力钢绞线系杆。由于这六束系杆也属于体外索,相当于斜拉桥的

拉索和吊杆拱桥中的吊杆,只是其平面位置不一样而已。系杆在该桥中起到了至关重要的作用。因此,系杆类型的选择相当重要。经过多方考察与论证选择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(又称环氧全涂装钢绞线)组成的环氧喷涂系杆,其防腐性能已经达到了国际先进水平。每束系杆由55根环氧喷涂钢绞线组成,单束控制张拉力为626T,其钢绞线根数之多也是国内首位。

整个系杆贯穿全桥,在每两个拱肋中间设置三束系杆,系杆在锚固端设置了锚固区,在其它部位的每个横梁底下,设置钢材制成的悬挂件,系杆通过悬挂件的孔洞,里面的减振器,起约束作用。系杆沿桥向都为直线形式。

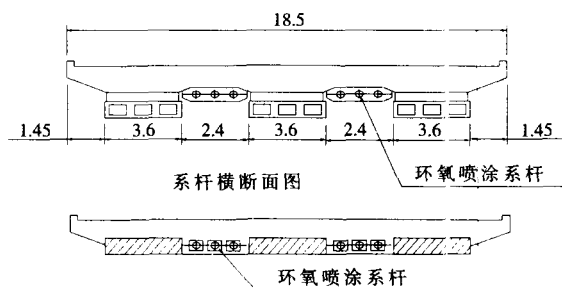


图1 系杆锚固图

## 1. 钢绞线防腐种类介绍

目前应用得较多的防腐钢绞线主要有镀锌钢绞线和环氧喷涂钢绞线。镀锌钢绞线与环氧喷涂钢绞线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。经实验,环氧喷涂钢绞线其防腐效果

明显优于镀锌钢绞线。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),且镀锌钢绞线被刮伤后,在伤处产生阴极反应,会使腐蚀速度加快。环氧喷涂钢绞线不但机械性能与原钢绞线基本上没有差别,而且在生产过程中进行了充分的表面处理和再次稳定处理,其抗拉强度和延伸率较普通钢绞线稍有提高。

## 2. 全涂装环氧喷涂钢绞线系杆构成及特性

### 2.1 环氧喷涂钢绞线种类

环氧喷涂钢绞线,是在正常的裸钢绞线表面上涂覆了有机环氧树脂。涂覆的方法有两种:一种仅在钢绞线的表面涂覆环氧树脂,但不填充钢丝间的空隙;另一种是除了表面涂覆环氧树脂之外,钢绞线内部每根钢丝也涂覆了环氧树脂,又称全涂装环氧喷涂钢绞线。前者最大的缺点就是芯线及侧线均没有完全涂上防锈膜,因而这部分易受腐蚀。

### 2.2 全涂装环氧喷涂钢绞线原理

全涂装环氧喷涂钢绞线:即将环氧树脂粉末喷射于解开的钢绞线上所有钢丝,然后加热熔融、固化,冷却后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。为实现这一过程,喷涂前必须先将钢绞线各钢丝暂时打散,喷涂好后再将其复扭成形。其喷涂工艺流程为:钢绞线输入检查—钢绞线解盘抽头—外侧线解开—钢丝表面处理—预热—高压静电喷涂—后加热—一次冷却—二次冷却—外侧线复扭成形—一定速牵引—厚度检测、表面质量检查、外径检测—成盘—包装—入库。

### 2.3 全涂装环氧喷涂钢绞线特性

2.3.1 防腐结构及性能 芯线和侧线钢丝表面均形成环氧树脂被膜,因此防锈充分可靠;普通钢绞线即使是刚出厂,其芯线附近仍易产生锈蚀或浮锈,而该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;

2.3.2 喷涂均匀、厚度薄 对构成钢绞线的各根钢丝都进行了充分的表面材质调整,各钢丝一边旋转一边进行涂装,因此与其他涂装相比,膜厚较薄,平均为120~180 $\mu\text{m}$ ,且均匀,致密性好,可靠性高;

2.3.3 柔软性、可弯曲性好 芯性与侧线各钢丝表面均单独形成被膜,其柔软性与涂装前钢绞线相同;同时各钢丝间形成被膜,各钢绞丝之间不受约束因而弯曲半径在钢绞线直径的两倍以上时不发生龟裂、膨胀、剥落等现象;

2.3.4 半径变化小 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,无需专用锚具、夹片,施工方便,费用低;

2.3.5 机械性能、抗疲劳强度变化小 在同等条件下,与普通钢绞线相比,两者的抗拉强度与松弛率基本上没有差别,而且在生产过程中进行了充分的表面处理和再次稳定处理,其抗拉强度和延伸率较普通钢绞线稍有提高。

### 2.4 全涂装环氧喷涂钢绞线系杆构成

全涂装环氧喷涂系杆由环氧喷涂钢绞线组成,由于系杆属体外预应力,是无粘结预应力的一种,为了达到更好的防腐性能,不是采用钢绞线简单的组合,而是增加了其他两种材料,一种是防腐油脂,另外一种为聚乙烯层,使防腐达到最佳。其做法如下:在已经喷涂好环氧层的全涂装环氧钢绞线上先涂上一层防腐油脂,然后在其上裹一层聚乙烯层。这样就组成了单根的无粘结环氧喷涂预应力钢绞线,再根据系杆的设计长度,并预留好两端的张拉工作长度,进行单根下料,同时将这些无粘结环氧喷涂预应力钢绞线组成一束,并在其上涂上防腐油脂,最后采用聚乙烯层进行最后的握裹成束。所有这些工作都在工厂精心加工而成,工厂加工时为了便于牵引,在系杆的一端焊上

牵引头进行牵引加工；同时为了施工现场便于安装系杆，该牵引头先不切除，等系杆安装完成并要准备张拉前再切除。

## 2.5 全涂装环氧喷涂钢绞线系杆各材料要求与作用

2.5.1 钢绞线 作为系杆的主要受力材料，其标准应满足国家标准要求，喷涂前应当做抗拉强度、延伸率等试验，符合要求后才能使用；

2.5.2 环氧树脂层 其原材料要求化学稳定性、温度稳定性、耐曲折度、抗冲击性优良；同时满足对金属材质的附着性好、抗阴极分解好、耐磨性好等要求；喷涂时保证均匀、致密；其主要作用是防腐；

2.5.3 环氧喷涂钢绞线外的聚乙烯层 裹住环氧喷涂钢绞线，保护钢绞线起到防腐作用，同时防腐油脂使其与环氧喷涂钢绞线隔开，使环氧喷涂钢绞线成为无粘结筋得以实现；厚度为0.8~1.2mm；

2.5.4 防腐油脂 不但起到防腐作用，而且起到减少环氧喷涂钢绞线与聚乙烯层之间的滑动摩擦力，使裹上了聚乙烯层的环氧喷涂钢绞线成为无粘结筋；

2.5.5 无粘筋外的聚乙烯层 裹住无粘结筋，保护环氧喷涂钢绞线，同时使无粘结筋成为束，便于无粘筋的安装和施工，其厚度为10~15mm；要求有一定的柔软性并有相当的硬度；

通过组成系杆的各材料与作用可以说明该系杆有多层防腐，防腐性能好。

## 3. 全涂装环氧喷涂钢绞线系杆施工要点

### 3.1 运输及存储

全涂装环氧喷涂钢绞线系杆一般成盘运输，由于本桥系杆长而粗：每束系杆的设计长度为112.8m，施工长度为118m；每根系杆由55根无粘结筋组成，每根系杆的重量在8.5吨左右。所以其卷筒要求相当牢固，并要求筒径足

够的大。运输车辆采用挂车。在运输途中和施工现场应有遮盖以防潮气及日光的作用，在每次部分使用后都应加以保护以防潮和污染物浸入。

### 3.2 施工要点

3.2.1 工艺流程 设备准备—清理预埋管道—设置牵引机构—放索—牵引—一端就位、固定—牵引另一端就位、固定—切除牵引头、安装工作锚板—安装千斤顶、预紧—配合施工进度分次张拉—切除多余钢绞线、上防松压板、安装减振装置

3.2.2 机具准备 将所需的设备、工具准备好运抵工地，张拉机具配套标定。

3.2.3 清理预埋钢管 清除预埋钢管和定位钢管内的杂物，并应于内壁上涂防护油漆，然后在管道内铺橡胶垫板，以防安装系杆时聚乙烯层破损。

3.2.4 设置牵引机构 安装系杆时，在横梁下安装工作平台，在悬挂件孔道上用橡胶板隔离，防止在穿束过程中系杆聚乙烯层受损。

3.2.5 放索 将制好的成品索索盘整体运输至A端边墩边，置于边墩上的放线架上。在桥的两端边墩后放置2台5t卷扬机，卷扬机牵引端依次穿过B端边墩、临时辅助吊点，从A端拱脚穿出，然后与成品索索端相连接。启动卷扬机，牵引索向前移动，人工辅助转动索盘，同时配有留缆措施，将系杆一直牵引到对岸。牵引过程中要注意各种可能发生的情况并采取相应措施。牵引前应将前段聚乙烯层全部剥掉并清洗油脂，擦洗干净，且用胶带封裹切口处。系杆牵引出B端预埋钢管后停住卷扬机，启动另一端卷扬机用同样的方法牵引尾端进另一端锚固端。穿好后用卷扬机预紧，使系杆索尽量拉紧平直，然后改用葫芦将两端拉住，将卷扬机牵引线解除，安装工作锚板和工作夹片。切除多余的钢绞线索。准备安装下一根系杆。

3.2.6 调索 安装OVM15-55锚具及OVM夹片，力求各根钢绞线孔位对齐，锚具紧贴锚垫

板,并注意保护各组装件不受污渍。安装 YCW900-200千斤顶和 ZB10/320-4/800 高压油泵,按设计要求分阶段调索。

**3.2.7 安装防松装置、减振器** 当张拉完成后,考虑到体外索的特性,同时考虑到锚固体系的动荷载,为提高锚固单元在低应力状态下自锁的可靠性、安全性,防止张拉完毕后,夹片相对锚板而产生松动,专门设置了夹片的防松装置。由于系杆总长 112.8m,除去两端锚固长度处各 7m 外,还有近 100m 外露,外露的部分穿过 27 个悬挂在盖梁底部的悬挂件,悬挂件里安装了减振器,避免在运营过程中产生共振。

**3.2.8 防护处理** 钢绞线应保持清洁,避免泥土或腐蚀物质粘附于裸露的钢绞线上,张拉结束后,要求灌注防护油脂进行保护。自由段索体表面不得有损伤,如有损伤必须及时修补,不得附着任何腐蚀索体的物质,注意防火。当外露的钢绞线和锚具上全部涂满防腐油脂后,套上保护罩同时安装密封条并拧紧螺丝,进行隔绝空气保护。

### 3.3 张拉方法

由于系杆索比较长,为防止反复张拉损伤钢绞线,采用“悬浮”张拉施工方案。悬浮法张拉的基本原理:在 YCW900 千斤顶增加一套工具锚及支架,在千斤顶与锚板间设限位板,除了有前工具锚外,还有后工具锚;在每次张拉时后自动工具锚夹片处于放松状态,在完成一个行程回油时自动工具锚夹片锁紧钢绞线,多次倒顶,直到张拉到设计吨位。由于限位板的作用,在张拉过程中,工作夹片不至于退出锚孔,在回油倒顶时,工作夹片不会咬住钢绞线,工作夹片始终处于“悬浮”状态,在张拉到位后,旋紧定位板的螺母,压紧工作夹片,随后千斤顶回油放张,使工作夹片锚固钢绞线。具体可参考前期《预应力技术》。

## 4. 结 语

在景德镇昌江支线 I 桥半拱式拱桥中采用了六束全涂装环氧喷涂系杆,并成功的使用了悬

浮法进行整体张拉。目前该桥的运营效果良好,随着使用年限的增加必将证明该系杆防腐的优越性,越来越多的体外索将采用全涂装环氧喷涂系杆也将是一种趋势,也必将促进桥梁建设的飞速发展。

### 参考文献

- [1] JTJ041-2000, 公路桥梁施工技术规范[S]
- [2] 柳州建筑机械总厂: 环氧树脂涂层预应力钢绞线
- [3] 柳州建筑机械总厂: 新型预应力材料及体系
- [4] 柳州建筑机械总厂: OVM 拱桥拉索锚固体系设计施工参考
- [5] 江西省公路桥梁工程局: 景德镇昌江支线 I 桥施工组织设计

(上接第 26 页)

书, 承包人要建立一个完整的自检为主的质量保证组织体系。严格进行钢绞线、锚具及连接器和张拉机具的检验和试验, 实施预应力张拉工序质量监控。及时检查工序活动质量, 并对质量进行数理统计和分析处理, 建立质量档案。

### 5.1.3 预应力材料的质量控制

严审锚具生产厂家的资质, 不合格的锚具产品不准进场, 对有资质的厂家生产的锚具也要按规范要求验证试验; 对重要工程使用的锚具产品, 其进场验收应按国标附录 A 的规定进行确定。

**5.2** 为了确保预应力锚具的锚固性能, 应开展锚具与钢绞线硬度匹配的研究工作。另外应修订相关标准, 补充规范的不足, 并完善预应力混凝土实用手册等参考书籍。

### 参考文献

- 1、中华人民共和国国家标准 GB/T14370-93 预应力筋用锚具、夹具和连接器
- 2、中华人民共和国交通行业标准 JT329.2-1997 公路桥梁预应力钢绞线用锚具、连接器试验方法及检验规则
- 3、建设工程质量管理条例\* 国务院令 279 号于 2000 年 1 月 10 日
- 4、广东某试验室\* 锚具静载锚固性能试验报告