

表面油脂对环氧喷涂钢绞线影响分析及其应用

朱万旭^{1,2} 汪洋¹ 付委²

(1 广西科技大学土木建筑工程学院 柳州 545006 2 柳州欧维姆机械股份有限公司 柳州 545005)

摘要:通过对五种不同情况下的环氧喷涂钢绞线张拉强度对比试验分析,研究环氧喷涂钢绞线表面油脂对其与水泥砂浆握裹力的影响。经过试验研究表明:环氧喷涂钢绞线表面油脂对其水泥砂浆握裹力有一定影响,表面油脂较多的钢绞线握裹力较差,而表面油脂清洗干净的钢绞线握裹力较好;在无粘结预应力筋张拉的实际过程中,应该将环氧钢绞线表面油脂清洗干净,以免影响无粘结预应力的张拉性能。

关键词:表面油脂 环氧喷涂钢绞线 试验分析 无粘结预应力

1 引言

经过技术的不断发展,环氧喷涂钢绞线已经在现代工程中得到广泛的运用,与普通钢绞线相比,环氧喷涂钢绞线具有许多优点:防腐性强,强度高。自1992年美国颁布环氧钢绞线6ASTMA882PA882M-92标准以来,环氧喷涂钢绞线一直广泛用于实际工程,特别是在柳州欧维姆机械股份有限公司生产的预应力产品中得到广泛的应用。

作为锚索、锚具等预应力产品中的佼佼者,柳州欧维姆机械股份有限公司一直对预应力产品不断地进行研发。为了研究环氧喷涂钢绞线无粘结预应力筋的性能,进一步分析比较有油脂和无油脂的情况下,环氧喷涂钢绞线与水泥砂浆的握裹力,根据GB50152-1992《混凝土结构试验方法标准》^[1]结合实验室设备,制定出一套较为完整的试验方案,通过对环氧喷涂钢绞线的拉拔试验,分析表面油脂对环氧喷涂钢绞线与水泥砂浆的握裹力的影响。

2 环氧喷涂钢绞线的特点

环氧喷涂钢绞线是引进日本高环保无污染高压静电喷涂技术,将环氧树脂粉末喷射于钢绞线上,经过加热、固化、冷却,最终在钢丝表面形成一层致密的环氧薄膜,其防腐性能良好。在喷涂环氧树脂粉末前先将钢绞线各钢丝暂时打散,经过一系列的生产工艺后,再将打散喷涂好的环

氧喷涂钢绞线重新扭转成束。在钢绞线的加工过程中,又重新对钢绞线表面材质进行了调整,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 $150\mu\text{m}\sim 180\mu\text{m}$),且均匀,致密性好,可靠性高;涂膜无气泡、剥落、龟裂等现象,能在 -70°C 至 $+100^{\circ}\text{C}$ 的环境中工作而不影响涂层性能。与普通钢绞线相比,环氧喷涂钢绞线的柔软性没有降低,外径也没有太大的改变,使用十分方便,并不因为钢绞线的改变而使用专用的锚具、夹片等。^[2]因此,结合其优点,双层电隔离锚索产品采用环氧喷涂钢绞线,提高产品的质量。

3 表面油脂对环氧钢绞线性能影响

为了使钢绞线防腐性能提高,于是考虑在环氧喷涂钢绞线外侧涂抹一层防腐油脂或者石蜡,使钢绞线与外界隔绝。由于环氧喷涂钢绞线表面喷涂石蜡,其表面的摩擦力相对于油脂较大,影响无粘结预应力筋应力的传递,故在环氧喷涂钢绞线表面涂抹一层防腐油脂。

对于钢绞线而言,与变形钢筋类似。钢绞线与水泥砂浆之间的粘结作用也包括化学胶结力、摩擦力和机械咬合力^[3]。化学胶结力是由水泥砂浆与钢绞线表面的粘附作用产生的。在钢绞线初步受拉阶段,水泥砂浆与钢绞线表面的粘结力和摩擦力占主要部分;随着拉力逐步增加,当钢绞线与水泥砂浆之间发生微小滑移时,化学胶结力

很快丧失,而摩擦力也因为钢绞线表面涂有少量油脂,产生的摩擦力较小,此时,拉力由钢绞线与水泥砂浆的机械咬合力来承担。根据相关研究^[4-6]表明:钢绞线的表面状况对其粘结性能影响较大,粗糙的表面状况可以提高其粘结性能^[6]。因此,本文通过对比试验,研究表面油脂对环氧喷涂钢绞线与水泥砂浆的握裹力的性能。

4 表面油脂对其性能影响试验与分析

4.1 试验准备

由于拉拔试验的试验制作、试验装置及试验操作均比较简单,且对于不同情况下的钢绞线的粘结试验相对较准确。按照GB-50152-1992《混凝土结构试验方法标准》结合相关试验经验,制定如下试验方案(如图1)。

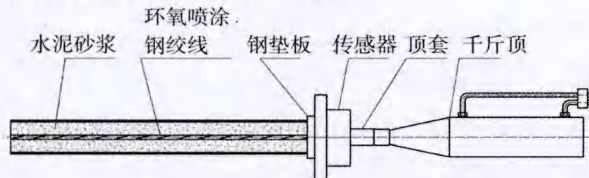


图1 钢绞线粘结性能试验示意图

将去除PE的1.5m长的环氧喷涂钢绞线放入圆形钢管内,然后注入高流动的水泥砂浆,在常温下进行养护,然后分别对5种不同情况的单根无粘结环氧喷涂钢绞线按 $0.05f_{ptk}$, $0.2f_{ptk}$, $0.4f_{ptk}$, $0.6f_{ptk}$, $0.8f_{ptk}$ 的荷载进行张拉(如图2),直到钢绞线被拔脱。并记录下相关试验数据。

试验所需的试验材料及设备由柳州欧维姆机械股份有限公司技术中心与实验室提供:5根 $\phi 15.2$ 环氧喷涂钢绞线(5 \times 1.5m/根),高流动水泥砂浆20kg,钢垫板1件,YDC240QXA-200千斤顶1台,CZL-YB-M24 300kN锚固力传感器1台,顶套1件,水泥砂浆试块3组。

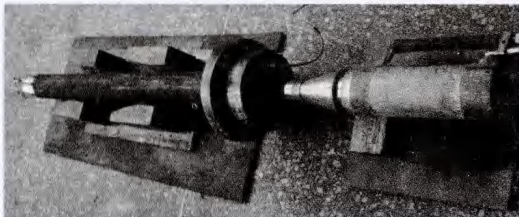


图2 钢绞线粘结性能试验

4.2 试验步骤

4.2.1 单根无粘结环氧喷涂钢绞线和无缝钢管准备

首先,下料五根长度在1500mm的无粘结环氧喷涂钢绞线,然后剥除外层长为1m的PE,表面的油脂处理及标记如下:1#:钢绞线不打散,用棉纱头简单擦除粘附在钢绞线上的油脂一遍,使其含油量较多,并作好标记。2#:钢绞线不打散,用棉纱头简单擦除粘附在钢绞线上的油脂二遍,使其含油量较少,并作好标记。3#:钢绞线打散,用棉纱头简单擦除粘附在钢绞线钢丝上的油脂一遍,中心丝油脂不擦除,各钢丝粘附的油脂量较多,复合钢绞线后作好标记。4#:钢绞线打散,用棉纱头擦除粘附在钢绞线各钢丝上的油脂二遍,各钢丝粘附的油脂量少,复合钢绞线后作好标记。5#:钢绞线打散,用棉纱头擦除粘附在钢绞线各钢丝上的油脂多遍,将表面油脂清理干净,再复合钢绞线后作好标记(如图3)。然后,下料五根规格为 $\phi 90 \times 7 \times 1000$ 的无缝钢管备用。

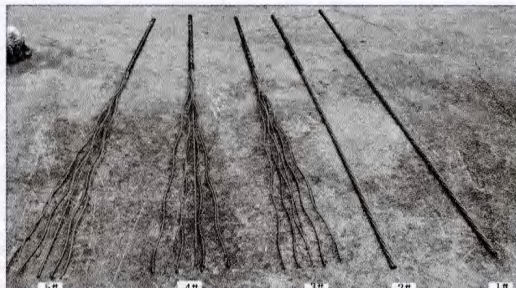


图3 钢绞线表面油脂清除

4.2.2 安装钢绞线

将准备好的五根无粘结环氧喷涂钢绞线分别放入五根1000mm长的无缝钢管,钢绞线未剥除PE的一端外露,然后将已剥除PE一端的无缝钢管管口用橡皮胶垫或透明胶密封好,并将密封好的管口向下垂直安放固定好。

4.2.3 浇灌水泥砂浆

配制高流动度水泥砂浆料,并用高速搅拌机进行充分搅拌。将搅拌后的水泥砂浆倒入安放好钢绞线的五根无缝钢管内,让水泥砂浆自动充满整根无缝钢管。保证浇灌后的钢绞线与无缝钢管的对中,并且及时取样制作水泥砂浆试块(如图4)。



图4 浇筑混凝土

4.2.4 水泥砂浆模拟注浆体的养护

按普通混凝土进行常温养护7天，使水泥砂浆达到一定的张拉强度。

4.2.5 试验装置的张拉及数据采集

先对水泥砂浆试块作强度试验。然后将五组试样中的钢绞线外露的PE剥除后根据简图安放试验装置并安装张拉机具等张拉测控元件。并记录相关的实验数据。在张拉至钢绞线初动后，继续缓慢加载，直至钢绞线拔脱，记录钢绞线拔脱力。

4.3 试验分析

通过对三块150mm × 150mm × 150mm的水泥砂浆试块进行抗压强度试验，试验测得的水泥砂浆抗压强度试验结果分别是32MPa，30MPa，32MPa。对5组单根带油脂环氧喷涂钢绞线（1 × φ 15.2）进行张拉，钢绞线的强度为1860MPa，张拉长度为1260mm。其记录表如表1。

表1 单根带油脂环氧喷涂钢绞线粘结强度试验记录表

荷载 分级	F ₀ (kN)	第	第	第	第	第	备注
		一	二	三	四	五	
		活塞伸长值					
0.05f _{ptk}	13	14	26	21	14	23	
0.2f _{ptk}	52	38	33	32	25	32	
0.4f _{ptk}	104	73	45	60	42	42	
0.6f _{ptk}	156	/	84	78.5	64	61	
0.8f _{ptk}	208	/	/	/	/	78	
拔脱力 (kN)		104.7	185	171	188.5	240	

砂浆试块强度：32MPa，30MPa，32MPa

根据对各组张拉过程的数据整理，分别绘出滑动前的综合张拉曲线（如图5）和滑动力与拔脱力的对比曲线（如图6）

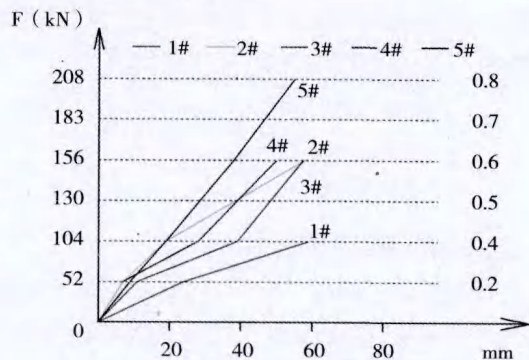


图5 张拉至滑动前的张拉曲线

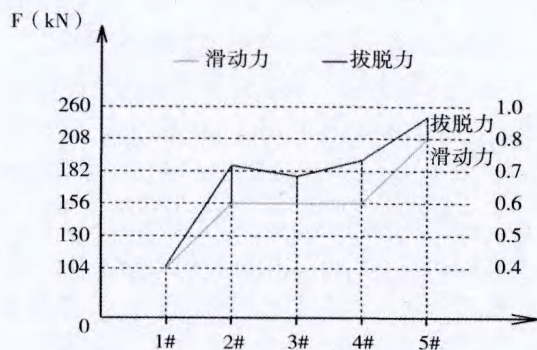


图6 滑动力与拔脱力的对比曲线

通过对5种不同情况的钢绞线进行张拉分析，其试验结果如下：

(1) 带油脂环氧喷涂钢绞线在张拉过程中均存在不同程度的粘结滑移，其中5#钢绞线开始产生滑移时间最晚，1#钢绞线在张拉不久后就出现滑移现象，说明5#水泥砂浆对钢绞线的握裹力最好，而1#的握裹力最差。

(2) 将表面带油脂的环氧喷涂钢绞线张拉至完全拔脱，通过比较2#、3#、4#钢绞线的拔脱力结果可知，环氧喷涂钢绞线打散擦除油脂与不打散擦除油脂的效果大致一样，虽然与水泥砂浆接触面积改变了，但是并不影响最终水泥砂浆对环氧喷涂钢绞线的握裹力大小。

(3) 表面油脂清洗干净的环氧喷涂钢绞线可达到较高的握裹力，但在0.8 f_{ptk}时钢绞线也发生了滑移的现象，说明开始张拉钢绞线时水泥砂浆与钢绞线的握裹力主要是钢绞线表面的化

学胶着力和摩擦力，最终钢绞线克服阻力而产生滑移。

(4) 根据滑动力与拔脱力的对比分布曲线分析，1#滑动随即拔脱，2#~4#试件从滑动到拔脱均有一个拉力增量区间，其平均值为：

$$\Delta = \frac{(185+171+188.5+240)-(156 \times 3+208)}{4}$$

$$= 27.13 \text{ kN} \approx 0.1 f_{pk}$$

5 在实际工程中的应用

越南Huoi Quang（会广）水电站位于炭渊县境内，在莱州省和山萝省之间的NAM MUN河上，装机容量为52万千瓦，于2006年1月开工，预计2012年完工并投入运营。会广水电站的建成，将促进越南北部地区经济的快速发展。

通过与越南第一水电管理局合作，越南会广水电站的边坡锚固采用OVM公司设计生产的LDM15B-4HQ双层电隔离防护锚索，该锚索由4根 $\phi 15.2$ 环氧喷涂钢绞线无粘结筋组成。为了提高产品的质量，柳州欧维姆机械股份有限公司按照严格要求对生产双层电隔离锚索进行清洗和检验。其清洗及检验要求如下：（1）将剥除PE段的钢绞线打散，然后先用干净纱头将各根钢丝过多油脂擦掉；（2）用洗衣粉溶液或柴油将各根钢丝的油脂清洗干净；（3）用干净纱头将各根钢丝表面擦干净。然后进行自检：首先，用干净白色纸巾对锚索分段擦拭，检查各钢丝，要求纸巾上用肉眼观察无油渍；然后，对锚索进行外观检查，仔细查看钢绞线环氧涂层无损坏。最后，按照自检的要求进行抽检加工方式生产了200多束LDM15B-4HQ双层电隔离防护锚索。

2012年7月，柳州欧维姆机械股份有限公司安排技术中心工作人员随机抽取5束锚索，并且在越南会广水电站进行现场试验（如图7~8），锚索的设计拉力为500kN，而试验锚索最大试验拉力为750kN，符合设计及施工要求。在越南山萝水电站的边坡锚固中也采用由7根 $\phi 15.2$ 环氧喷涂钢绞线无粘结筋组成的LDM15B-7SL双层电隔离防护锚索，通过现场试验，也取得了很好的效果。



图7 锚索现场堆放

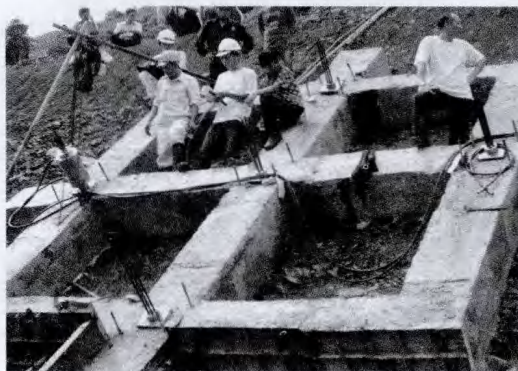


图8 锚索施工现场试验

6 结论

通过分析比较有油脂和无油脂的情况下，环氧钢绞线与水泥砂浆的握裹力试验，其结论如下：环氧喷涂钢绞线表面油脂对其水泥砂浆的握裹力有一定影响，表面油脂较多的钢绞线的握裹力较差，而表面油脂清洗干净的钢绞线的握裹力较好。因此，在无粘结预应力筋的张拉实际工程中，应该把环氧喷涂钢绞线表面油脂清洗干净，以免影响无粘结预应力的张拉性能。

参考文献

- [1] 中华人民共和国建设部. GB 50152-1992 混凝土结构试验方法标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992.
- [2] 谢永红, 罗志恭. 环氧喷涂钢绞线在悬索桥锚碇中的应用[J]. 预应力技术, 2008, 03: 8-11.
- [3] 杜毛毛, 苏小萃, 赵勇. 预应力钢绞线粘结性能试验研究综述[J]. 结构工程师, 2008, 24: 140-144.
- [4] Rose Dallas R, Russell Bruce W. Investigation of Standardized Tests to Measure the Bond Performance of Prestressing Strand [J]. PCI Journal. 1997, 42 (4): 56-80.
- [5] Cousins Thomas E, Baduau Michael H, MoustafaSaad E. Proposed test for determining bond characteristics of prestressing strand [J]. PCI Journal. 1992, 37 (1): 66-73.
- [6] Gustavson R. Experimental studies of the bond response of three-wire strands and some influencing parameters [J]. Materials and Structures, 2004, 37 (266): 96-106.