

碳纤维筋拉索体系的试验研究与应用

周红梅¹ 庞忠华¹ 张旷怡² 陈竞¹ 区锡祥¹ 姚勇科¹

(1 柳州欧维姆机械股份有限公司 广西柳州 545005 2 湖南大学土木工程学院 湖南长沙 410082)

摘要:介绍了一种基于碳纤维拉索和超高性能混凝土形成的新型岩锚体系,并对这两种新型材料进行了相关的试验研究,通过试验结果确定了锚索和混凝土性能指标、原材料的选型,并制定了生产、施工工艺。

关键词:碳纤维拉索 RPC粘结材料 超张拉 静载试验

1 概述

矮寨悬索桥为湖南省吉茶高速公路建设的控制性工程,结构体系为塔梁分离式悬索桥,桥身全长约1073.65m。为了减小主缆的应力幅,该桥设计单位提出并采用在主缆端部附近区域设置地锚吊杆,即吊杆不与加劲梁连结而是与地面连接这一有别于普通悬索桥吊杆的新型吊杆体系。这些特殊吊杆的岩锚体系,原设计采用普通钢绞线作为锚杆、普通砂浆作为地下注浆粘结介质、普通预应力钢绞线锚具锚固锚杆张拉端的常规体系,其耐久性能否与矮寨悬索桥的设计寿命相匹配值得重新审视。为大幅提高吊杆岩锚体系的耐久性,设计采用高性能材料来构成矮寨悬索桥地锚吊杆新的岩锚系统,选用C00—对吊杆岩锚进行工程实践研究。

基于高性能材料的大型岩锚体系应用研究隶属湖南省交通科技项目,由湖南大学、湖南交通规划勘察设计院、柳州欧维姆机械股份有限公司合作完成,计划将研究成果应用于矮寨桥工程实例,由前期试验指导工程设计。新体系采用高级复合材料CFCC(Carbon Fiber Composite Cable 碳纤维索)作为锚杆、以超高性能混凝土RPC(Reactive powder concrete 活性粉末混凝土)作为锚杆两端的粘结介质,而形成一种基于高性能材料的岩锚体系,以期提高其长期荷载作用下的耐久性。新体系的组成部分同传统体系基本一样,分为:地上锚固段、自由段和地下锚固段。地上锚固段采用RPC作为粘结介质的粘结式锚具来锚固CFCC锚杆,自由段灌注普通水泥砂浆,地下

锚固段也采用RPC粘结介质将CFCC锚杆锚固于岩体中。

地上段生产试制及试验在工厂内进行,根据试验结果确定锚索的参数、生产工艺以及施工工艺。

2 碳纤维拉索结构与材料技术性能

2.1 碳纤维拉索结构形式

碳纤维拉索结构形式如图1所示,图中上图为超张拉检验时的结构形式,超张拉检验合格后将右端的临时锚固端切断,即安装成为图中下图检验合格后的施工成品索。拉索锚具结构图如图2所示。

2.2 碳纤维筋拉索技术性能

经过试验,预应力筋材料采用东京制钢公司生产的 $\phi 12.5$ 碳纤维绞线—CFCC(Carbon Fiber Composite Cable),其技术参数见表1。

2.3 锚头粘结材料

锚具内灌浆同期浇注 $70.7\text{mm} \times 70.7\text{mm} \times 70.7\text{mm}$ 立方体试件,锚头粘结材料试件强度需满足表2要求:

热养护是指—试件覆盖静置36h成型,后拆模,置于养护池内 $80 \pm 2^\circ\text{C}$ 的热水中养护48h,再静置水中12h自然冷却至室温,采用热水养护的试件4天强度需 $\geq 120\text{MPa}$;标准养护参照《普通混凝土力学性能试验标准》(GB/T 50081-2002)的标准养护方法,采用标准养护的试件28天强度需 $\geq 110\text{MPa}$ 。

2.4 拉索技术性能指标

所制作成的拉索技术性能要求见表3。

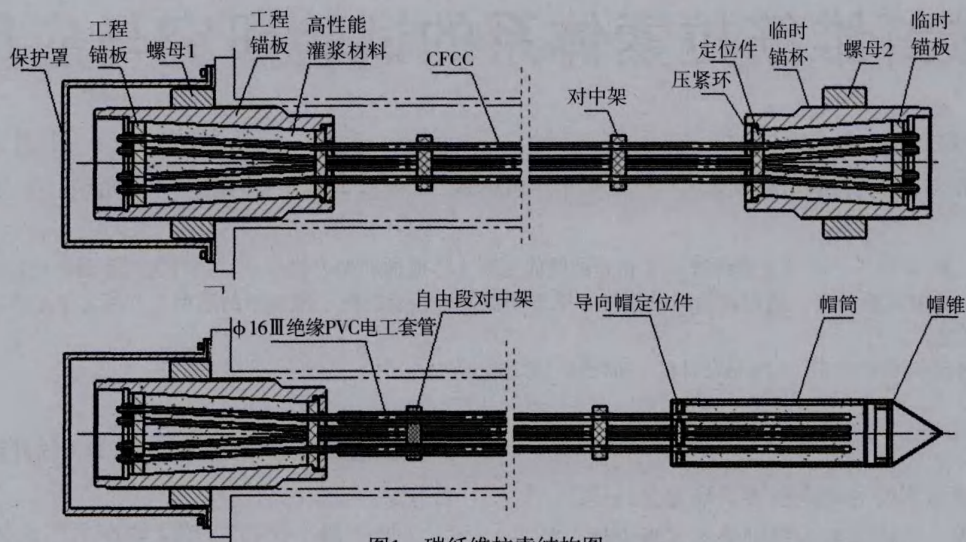


图1 碳纤维拉索结构图

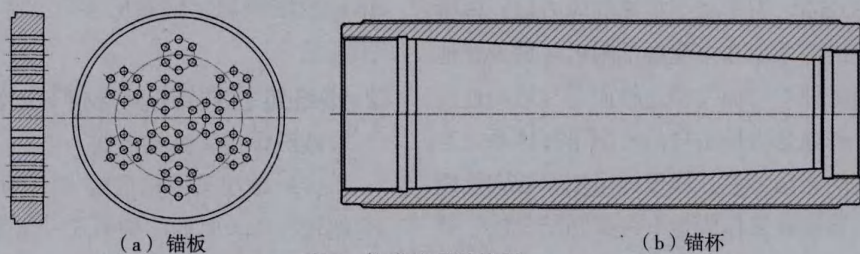


图2 拉索锚具结构图

表1

名称	直径 (mm)	有效断面积 (mm ²)	保证破断荷重 (kN)	单位长度质量 (g/m)	弹模 (kN/mm ²)	破断延伸率 (%)
1 × 7 12.5	12.5	76.0	184	145	155	1.7

表2

名称	流动度 (mm)	抗压强度 (MPa)	备注
RPC粘结材料	180	110	

表3

拉索规格	锚具直径 (mm)	设计张拉力 (kN)	超张拉最大力 (kN)
CFRM12-9	210	780	940
CFRM12-24	270	2496	3000

3 试验研究

3.1 原材料试验

通过多次对国产和日本进口的碳纤维筋材进行对比试验后,发现国产的筋材性能差别很大,每批次的力学性能都不稳定,外径的差别也大,效果很不理想。为确保工程的质量,最终选择采用东京制钢公司生产的碳纤维绞线。

3.2 拉索生产工艺

厂内锚索成品的制作步骤如下:

①下料:取相应数目的CFCC筋,精确测量长度后下料;

②安装:先将筋材束穿过自由段对中架、压紧环及橡胶定位件,再将筋材束穿过锚杯、锚板,平置于地上;将端部打散的筋材固定牢固,保证各筋材端部平齐,且在锚筒内不发生扭转;

③搅拌:按配合比称量搅拌均匀锚杯灌浆料;

④灌注:将锚杯竖向吊装,平稳放置振动台上,从内端部进行锚固段灌浆,同时打开振动台,使灌浆料密实;

⑤养护:灌浆完成后,静止24h后,置于养护池内 $80 \pm 2^\circ\text{C}$ 的热水中养护48h,再随水自然冷却至室温静置12h;

⑥超张拉:按照相应的标准进行超张拉检验;

⑦包装:检验合格,按设计长度平齐截断筋束,裁掉临时锚头,安装好导向帽,将锚索成品(连同锚头)包装防护好,运输至工程现场;

⑧运输：已包装好的锚索上车前应再次检查包装，并采取相应运输防护措施，在运输及下索过程中不得剧烈碰撞或弯折超过极限弧度，避免索体的机械损伤。

3.3 超张拉试验及静载试验

在前期验证设计的静载试验通过以后，在产品的生产中主要进行超张拉检验。矮寨桥工程需要全部进行超张拉检验，其内容包括以下几方面：

3.3.1 组装件个数（见表3）

表3 组装件个数

组装件名称	CFRM 12-24	CFRM 12-9	
对应锚杆型号	N1	N2-1	N2-2
组数	2	8	3
测试试验组数	2	2	0
筋材自由段长度	19m	16m	15m

3.3.2 荷载等级

检验试验张拉至设计荷载的1.2倍。均进行预备性试验，初始荷载取10% F_{max} ，共分五级加载。具体参数见表4、5。

(1) CFRM 12-9

(2) CFRM 12-24

具体见表6、7。

表4 预备性张拉

加载等级	预紧	1	2	卸载
筋材张拉力(kN)	78	200	400	78
加载时间(min)	0.5	1	1	--

表5 正式张拉

加载等级	预紧	1	2	3	4	5	卸载
筋材张拉力(kN)	78	200	400	600	800	940	500 300 78
加载时间(min)	0	1	1	1	1	1	0.5 0.5 0.5

表6 预备性张拉

加载等级	预紧	1	2	3	卸载
筋材张拉力(kN)	250	500	700	1000	250
加载时间(min)	0.5	1	2	2	--

表7 正式张拉

加载等级	预紧	1	2	3	4	5	卸载
筋材张拉力(kN)	250	500	1200	1900	2500	3000	2000 1000 250
加载时间(min)	0	2	3	3	5	5	3 3 3

4 工程应用

碳纤维拉索经过设计确认后，在工厂生产制作并经过严格的检验后，运至矮寨桥工地现场，此时安装基础预先已钻孔并安置好垫墩，将锚杆

放入孔中就位后，进行地下段的灌浆。当灌浆抗压强度达到设计强度的90%以上，才能进行拉索的张拉锚固。施工步骤见图3~图6。

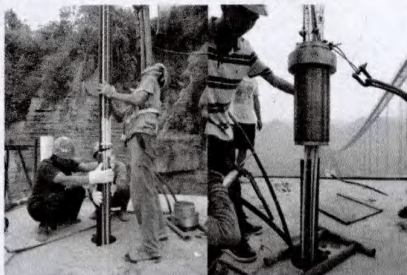


图3 下索



图4 安装灌浆

图5 张拉



图6 完成

5 结语

碳纤维索以其轻质、高强、耐腐蚀、耐疲劳、热膨胀系数低等优点，正逐步被应用到桥梁工程中，目前由于受原材料成本制约，碳纤维索依然难以与传统钢索竞争，但若对桥梁整个生命周期成本进行评价，考虑到桥梁的检测和维护费用，碳纤维索比钢索在成本上也有较大优势，在跨径大的悬索桥上，轻质的碳纤维索比自重大的钢索优势更加明显。碳纤维筋拉索体系在矮寨特大悬索桥的成功应用，为今后大型悬索桥的设计提供了参考，是对该体系应用在悬索桥上优势的有力证明。

参考文献

- [1] 湖南省交通规划勘察设计院. 湖南矮寨大桥工程施工图设计[Z], 2006.
- [2] 方志, 蒋田勇, 梁栋. CFRP筋在活性粉末混凝土中的锚固性能[J]. 湖南大学学报, 2007(7)