

# 电绝缘预应力锚固体系在T梁中的应用研究

刘平伟<sup>1</sup> 朱万旭<sup>2,3</sup> 周红梅<sup>3</sup> 高明大<sup>1</sup>

( (1 广西工学院土木建筑工程系 柳州 545006 2 哈尔滨工业大学土木学院 哈尔滨 150090

3 柳州欧维姆机械股份有限公司 柳州 545005) )

**摘要:** 主要介绍一种在后张法预应力桥梁中采用的电绝缘预应力锚固体系, 该锚固体系能有效地提高预应力混凝土结构的安全性和耐久性, 并且具有可无损检测的优点, 使用便携式LCR电桥表测出它们之间的电阻值, 其阻值的大小能反映预应力筋的腐蚀程度, 这样就能很好地监测到预应力筋的工作状况。通过在实际工程30mT梁中运用, 得出在工程运用中需考虑的问题, 并提出一些解决的方法, 为下一步更好地应用做出有益的尝试。

**关键词:** 电绝缘 锚具 塑料波纹管 无损检测系统 阻抗

本文30mT检测梁所在项目是广西玉林至铁山港高速公路, 它位于广西壮族自治区东南部, 北起玉林市北流市西琅白坟洞的南面, 与岑溪至兴业高速公路相接, 终点位于北海市铁山港区, 与北海至铁山港一级公路相接。本项目全长约174.076km, 设计时速为120km/h, 双向四车道高速公路。由于K162+255白沙头港大桥是跨海大桥, 桥区为侵蚀河谷地貌, 地势平坦开阔, 地表水, 地下水发育, 微地貌为河道和虾塘, 容易遭受海水氯离子的腐蚀, 梁板中的钢绞线比其他普通梁板更容易被海水中的氯离子腐蚀, 所以选用跨海大桥的30mT梁能更好地验证电绝缘锚固体系的可靠性和安全性。检测梁位于白沙头港大桥预制T梁厂内, 白沙头港大桥梁板设计为30m预制T梁, 采用后张预应力法施工, 整个体系采用先简支后连续。

## 1 引言

后张法预应力混凝土结构以其安全性、可靠性、耐久性而在公路、铁路方面广泛应用, 而采用常规的传统金属波纹管道和普通锚具施工的预应力筋, 预应力筋容易受到周围环境氯化物、材料的氢脆、金属电解质、杂散电流、微动疲劳、电接触等腐蚀而发生脆性破坏。

在2005年, FIB(国际结构混凝土协会)就对后张预应力筋的耐久性问题作了规定, 并根据预应力系统耐腐蚀性能的大小分成了三种体系:

PL1——传统的金属孔道;

PL2——塑料波纹管孔道;

PL3——塑料波纹管+电绝缘锚具(EIT)。

指出对于在PL1体系中预应力筋易受到的6大因素的腐蚀:

- (1) 来自周围环境的氯化物(氯离子);
- (2) 杂散电流(直流电);
- (3) 金属溶解电解质;
- (4) 材料的氢脆;
- (5) 微动疲劳;
- (6) 电接触。

在PL1体系中这些腐蚀因素难以用无损技术进行检测, 最终锈蚀引发结构的瞬间破坏, 严重的影响结构的安全性和可使用年限。

采用PL3体系能很好的防止和监测预应力筋的腐蚀问题, 并且有以下几大优势:

- (1) 整个系统密封性能好, 避免氯化物侵蚀预应力筋;
- (2) 隔绝杂散电流接触预应力
- (3) 允许检测, 可采用无损检测技术对结构进行控制和监测;
- (4) 增强结构的安全性和耐久性。

在国外, 通过试验室试验以及工程应用, 在意大利以及瑞士的应用证明在后张预应力中使用电绝缘型锚固体系是成功的, 该体系用简单以及可靠的测量手段对结构的腐蚀防护提供了可靠的信息。而在瑞士从1993年起至今约有120座结构(主要是桥梁)安装了电绝缘型锚固体系, 国家

铁路局 (Swiss Federal Railway authorities) 和交通部 (Swiss department of Transport) (针对直流电轨道方面) 要求必须使用电绝缘型锚固体系。

## 2 电绝缘预应力锚固体系

电绝缘预应力锚固体系是由电绝缘型锚具、塑料波纹管和无损检测系统组成。电绝缘预应力锚固体系将预应力筋和锚具与外围混凝土隔离开来, 最大程度上保证预应力筋不被腐蚀, 并且可以在任意时刻用快速的无损检测方法检测预应力筋的腐蚀情况, 保证了桥梁结构在服役年限内的完整性, 这是与普通预应力锚固体系的最大区别。

### 2.1 电绝缘型锚具

电绝缘型锚具由普通锚板、夹片、螺旋筋和ZH型电绝缘锚垫板组成, 而ZH型电绝缘锚垫板由芯板、近乎电绝缘的高性能混凝土和塑料喇叭管组成。芯板为中空铸铁或铸钢件, 其与工作锚板接触, 并将预应力传递给外周的高性能混凝土; 高性能混凝土强度在150MPa以上, 有效地包络住芯板, 并将预应力安全地传递、分散给预应力混凝土构件; 喇叭管为电绝缘性和耐久性好的塑料件, 起着连接塑料波纹管, 隔绝钢绞线和外部钢筋联系的作用。图1为OVM公司开发的ZH型锚垫板产品。

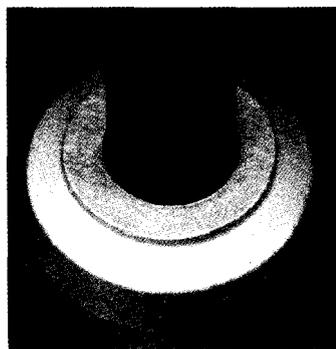
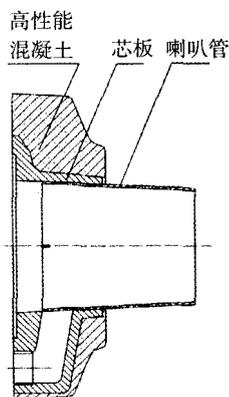


图1 ZH型电绝缘锚垫板

### 2.2 塑料波纹管

塑料波纹管的作用是封闭和隔绝了预应力钢绞线和普通钢筋的联系, 在锚具附近波纹管的连接非常重要, 这将是保证钢绞线被密封和绝缘性的重要因素, 因此在塑料波纹管、通气孔和排浆孔的连接需要非常的小心。塑料波纹管的另一大

优势是摩擦系数减小了, 传统的金属管道摩擦系数为0.3, 而塑料波纹管为0.14, 磨损现象显著地减少了。

塑料波纹管有以下优异性能:

- (1) 提高预应力筋的防腐保护, 可防止氯离子入侵而产生的腐蚀;
- (2) 不导电, 可防止杂散电流腐蚀;
- (3) 密封性能好, 不生锈;
- (4) 提高预应力筋的耐疲劳性能。

### 2.3 可随时监测的无损检测系统

此无损检测系统最大的优点是无传感器, 钢绞线和混凝土中的钢筋即是传感器; 在结构整个寿命期间任何时候都可迅速测量其电阻, 实现其质量控制。电阻值在灌浆完成后是不断的增大, 一旦减少时就等于预警腐蚀产生。检测所用的仪表是便携式LCR电桥表。

本试验采用PL3体系来监测预应力筋的腐蚀问题。根据FIB (国际结构混凝土协会) 建议检测系统工作原理图:

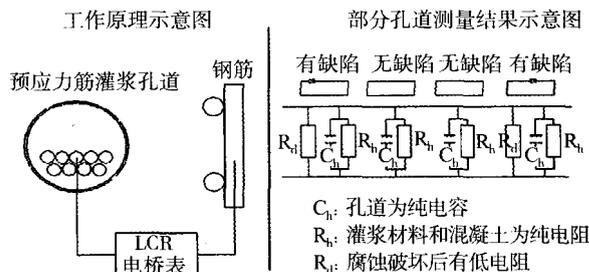


图2 检测系统工作原理图

按照FIB建议, 预应力筋张拉灌浆完成后, 随着时间的推移, 动态电阻值越来越大, 呈上升趋势, 一旦有下降的趋势则是预示着预应力筋有腐蚀, 开始了早期预报提示。

## 3 检测梁的制作

检测梁的制作工艺: 梁肋钢筋绑扎→模板安装→翼缘板钢筋绑扎→浇筑混凝土→拆模养生→张拉 (强度达到设计要求)→压浆。

钢筋的制作要按照图纸设计要求, 保证主筋搭接长度满足要求, 焊缝要均匀饱满, 骨架筋和水平筋要安装位置准确, 间距均匀, 波纹管定位钢筋位置要准确, 这些都是保证梁板以后安全性、耐久性的重要因素, 必须加以控制, 钢筋经

监理工程师检验合格后方可进行下道工序。

模板要采用定型钢模板,模板拼装平整度要满足规范设计要求,相邻模板拼装接缝不大于2mm,模板底角支撑要满足牢固、稳定性的要求,施工时安排专人检查,如发现底角支撑有松动,应立即进行加固。

翼缘板钢筋绑扎好后,经检验合格后,然后进行导线的预埋,所选用的导线为 $1\text{mm}^2$ 的铜线。导线的预埋的方法是先在梁体一端翼缘板钢筋处选择两根钢筋,用砂纸打磨除掉钢筋上的浮锈,剥掉导线上的绝缘皮,把裸露的铜丝缠绕在打磨好的钢筋上,然后用锡焊焊接导线,焊接完毕后把AB胶水均匀地涂在导线焊接处,保证粘接牢固,最后用绝缘防水胶带包裹导线连接处。这样处理的目的是可以防止导线接触不良、潮湿、脱落等问题的出现,有效地避免非绝缘性因素造成的影响。然后用同样的方法预埋另一端。

电绝缘型锚垫板要安装在梁的端部,安装时要先把锚垫板用螺栓固定在端头钢模板上,将塑料连接管按缺口对着灌浆口推进到锚垫板内孔,直到配合紧密。



图3 T梁翼缘板导线预埋的检测梁

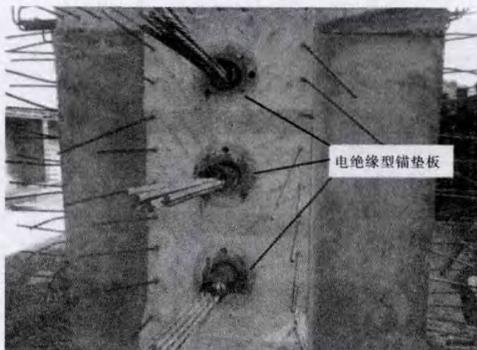


图4 预埋电绝缘锚垫板的检测梁

混凝土的浇筑采用搅拌站集中拌合,砼运输车运输混凝土,混凝土塌落度控制在 $10\sim 12\text{cm}$ ,浇筑过程中应该注意混凝土的和易性,发现混凝土中有骨料离散的现象,混凝土应废掉不得再次使用,这是保证混凝土质量的关键。浇筑应从梁体一端到另一端,浇筑完成24h小时后拆模,拆模后要覆盖水养,养生要达到规范规定时间。

张拉时采用油表读数和伸长量双重控制,张拉完成后切掉端头多余钢绞线,然后在钢绞线上预埋导线,方法和翼缘板钢筋预埋导线类似。

压浆采用真空压浆,施工过程控制浆体稠度为 $30\sim 50\text{s}$ ,压浆完成后,等到浆体强度达到设计要求时才能移运和吊装。

#### 4 检测数据分析

本次试验选用9片T梁做检测梁,八片检测梁是采用PL3体系,一片检测梁采用PL2体系,每片梁的波纹管采用的是 $\phi 85\text{mm}$ 的内径,每个孔道的钢绞线是10根,钢绞线采用的是公称直径为 $15.2\text{mm}$ 的钢绞线,标准强度为 $1860\text{MPa}$ ,导线接在锚具端头钢绞线任意两根上,每片检测梁翼缘板和电绝缘锚具处都接导线。每片检测梁长度 $29.6\text{m}$ ,重量达 $70\text{t}$ 左右。检测所用仪器为 $1\text{KHz}$ 频率的便携式LCR电桥表,检测时导线翼缘板钢筋导线和锚具处钢绞线导线分别连接LCR电桥表两端,部分测试数据如下表1。

从检测结果来看,随着压浆时间的增长,浆体和混凝土都逐渐变干,电阻值呈增大的趋势。但是,也有部分孔道电阻值在 $20\Omega$ 以下,说明预应力筋和混凝土中的钢筋有接触,锚具与塑料波纹管的接头处绝缘防护没有做好,导致钢绞线和混凝土中的钢筋接触。这也提醒以后要更注意安装施工。

图7中看出孔道钢绞线电阻值呈增大的趋势,偶尔有下降的波动,分析可能原因是导线端头被氧化,测阻值时没有打磨导线氧化部位,导致阻值有下降波动。

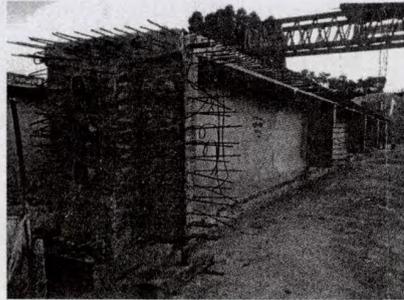


图5 预埋导线的检测梁



图6 LCR电桥表

表1 右幅25-5#T梁N1、N2孔道测试阻抗值

右幅25-5#T梁 (浇筑2010.08.23, 压浆2010.0.9.29)									
孔道编号	N1Y		N1T		N2Y		N2T		
测量日期	电容C (nF)	电阻R (Ω)	备注						
2010.09.29	43.38	299.5	42.45	304.4	37.23	205.5	35.35	208.5	灌浆前
	42.73	299.2	41.64	304.1	37.72	205.3	38.43	208.3	
2010.10.02	156.98	204.9	155.04	206.7	163.7	92.89	162.5	92.65	压浆3d
	153.78	206.8	155.45	206.4	161.43	92.8	162.7	95.55	
2010.10.05	151.86	265.2	151.26	264.2	166.3	94.5	155.2	94.51	压浆6d
	150.77	256	150.95	265.3	169.6	94.41	166.9	94.51	
2010.10.09	150.85	286.5	150.95	285.7	160.13	111.4	154.6	111.2	压浆10d
	150.86	286.4	151.53	285.7	154.68	111.19	156.4	111.09	
2010.10.13	155.45	268.1	154.95	273.5	156.22	173.72	149.4	173.77	压浆14d
	153.88	272.5	153.41	273	156.2	133.68	150.3	133.98	

表2 左幅25-4#T梁N2、N3孔道测试阻抗值

左幅25-4#T梁 (浇筑2010.09.25, 压浆2010.10.03)									
孔道编号	N1Y		N1T		N2Y		N2T		
测量日期	电容C (nF)	电阻R (Ω)	备注						
2010.10.05	177.9	83.75	164.5	83.96	184.2	53.15	166.9	53.21	压浆2d
	177.67	83.75	169.3	83.88	182.6	53.21	167.05	53.28	
2010.10.09	168.51	96.95	166.1	96.84	166.04	63.64	174.56	63.5	压浆7d
	168.75	96.98	162.6	96.9	166.14	63.56	166.78	63.65	
2010.10.13	169.4	102.23	171.7	101.85	182.61	66.36	158.46	66.3	压浆10d
	162.4	102.21	163.9	101.8	172.5	66.48	158.62	66.36	

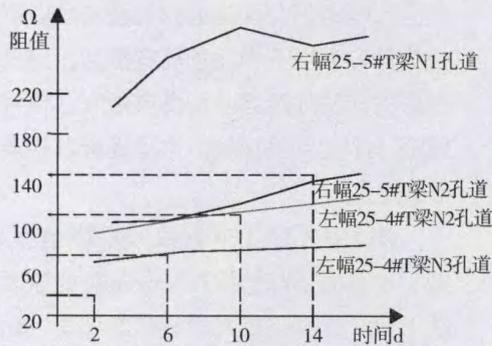


图7 试验梁部分孔道阻值变化趋势图

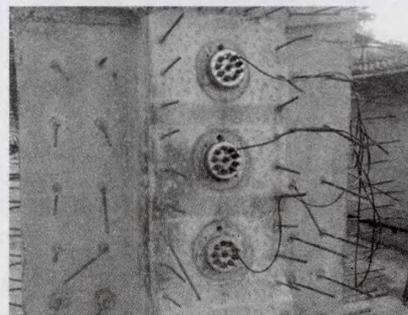


图8 试验梁端部绝缘锚具导线预埋

(下转第32页)



图11 塔端预埋管

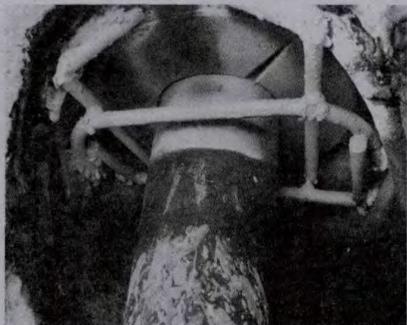


图12 塔端减振器安装



图13 聚氨酯发泡料填充

(上接第14页)

## 5 结论

(1) 电绝缘型锚垫板和塑料波纹管在工程中的运用,提高了钢绞线的防护能力,并且通过一种简单有效可行的办法来监测钢绞线腐蚀的可能性。

(2) 随着时间的推移,检测测得它们之间的电阻值是逐渐增大的。

(3) 建议OVM.M15ZH型电绝缘锚垫板进一步优化,增强锚垫板的绝缘防护能力。

## 6 施工总结

白沙洲大桥斜拉索维修施工工作面广,工期紧,任务重,加上冬季施工气候条件恶劣,存在较大的施工难度和施工风险。通过精心组织和严格施工,圆满的完成了施工任务。针对白沙洲大桥出现的具体问题,总结施工经验,提出如下建议,供同类型工程施工参考借鉴:

(1) 白沙洲大桥已经运行十多年,斜拉索护套PE破损及钢丝锈蚀严重,当初施工时破损的护套未能修补,大大降低了斜拉索的使用寿命。斜拉桥施工时应重点加强施工现场对斜拉索护套的保护,出现PE破损应及时修补。

(2) 白沙洲大桥塔端和梁端的锚头都没有安装保护罩并且也没有采取有效的防护防腐措施,锚头螺牙大部分已经生锈,对锚具的结构有一定影响,今后进行换索工作时,也会有一定困难。为防止斜拉索锚头生锈,并考虑以后大桥换索施工方便,施工单位应重视对斜拉索锚头的防腐工作。

(3) 梁端防水罩的橡胶圈严重老化,两半之间的缝隙未填充防水腻子,导致防水罩内腔及预埋管锈蚀严重,防水罩已经没有防水效果。经重新设计加工防水罩,加长防水罩顶部尺寸,在防水罩两半的密封处填充防水腻子,并且用热缩套把防水罩顶部和斜拉索焊接在一起,达到很好的防水效果。

### 参考文献

- [1] 王文涛. 斜拉桥换索工程[M]. 北京:人民交通出版社, 1997.
- [2] 陈明宪. 斜拉桥建造技术[M]. 北京:人民交通出版社, 2004.
- [3] 刘效尧, 蔡键, 刘晖. 桥梁损伤诊断[M]. 北京:人民交通出版社, 2002.

(4) 电绝缘锚固体系在30米T梁中的应用,经间隔检测电阻,证明是成功的,为下一步更广泛的推广应用打下了坚实的基础。

### 参考文献

- [1] M.Della Vedova, B.Elsener, L.Evangelister. Corrosion Protection and Monitoring of Electrically Isolated Post-Tensioning Tendons [C]. Proceedings of the Third European Conference on Structural Control, 3ESCS, 12-15 July 2004.
- [2] Measures to ensure the durability of post-tensioning tendons in bridges, guideline of the Swiss Federal Roads Authority and Swiss Federal Railways[M], edition 2001.