

# 预应力锚索双层电隔离防护技术研究

甘国荣 关炳良

(柳州欧维姆机械股份有限公司 广西柳州 545006)

**摘要:**介绍了预应力锚索电隔离防护技术及其测试方法,进一步研究了锚索双层电隔离防护技术的主要结构特点和技术性能,进行了锚索室外长期电隔离防护性能监测和我国台湾现场测试。研究表明采用环氧喷涂钢绞线和锚索波纹管组合的OVM双层电隔离防护锚索在潮湿等恶劣工况下能有效实施电隔离防护,其永久防护的隔离电阻值满足欧洲标准的要求。

**关键词:**预应力 锚具 锚索 防腐 电隔离 施工技术

**DOI:** 10.13211/j.cnki.pstech.2016.01.004

## 1 概述

预应力锚索的腐蚀破坏,是影响预应力锚索耐久性和锚固效率的主要因素之一。由于锚索体深置于地下或工程结构中,长期处于潮湿等复杂地质环境和高应力状态,这对锚索体的耐久性 & 永久监测提出了更高的要求。近年来,因锚索加固失效的工程事例时有发生,给工程运营带来了极大的安全隐患。

我国台湾因边坡锚固失效造成的滑坡灾害,如图1所示带来了生命及财产的巨大损失,台湾因此对已完工20多年的13829支地锚进行了检查,并对台湾中部和南部的15处地锚边坡进行了详查。通过外观检查发现,锚具组件及钢绞线锈蚀严重的占38.9%,基本丧失功能的占13.6%,使用情况良好的占47.5%;通过拉拔试验检查发现,预应力损失不超过20%的占23.2%,预应力损失20%~50%的占35.3%,预应力损失50%~80%的占23.9%,基本失效的占17.6%。预应力锚索长期工作工况在工程运营期间会持续劣化,这就要求我们要加强对锚索长期工作情况的监测和维护,维护工程总体安全,如图2所示。

## 2 预应力锚索防腐新技术

预应力锚索体系的监测是预应力锚固体系正常使用期间日常维护和检修的必要手段,锚固体系隔离电阻值的测量是一种成熟技术,也是成本最低的预应力筋腐蚀进程的测试方法。预应力锚固体系电隔离防护技术的发展和运用,为我们改进和完善预应力锚索锚固的可靠性和耐久性带来



图1 台湾3号线3K+100段大型滑坡



图2 锚头严重锈蚀

了新的技术选择。

从1993年起,瑞士要求预应力锚固结构采用电隔离防护技术,至今约有120座桥梁等预应力结构安装了电隔离防护锚固体系。2000年,欧洲通过执行BS EN1537:2000《Execution of special geotechnical work—Ground anchors》,在岩土锚固领域推广应用电隔离防护锚索锚固体系。德国近年已开发应用设计寿命可达120年以上的超耐久性预应力锚索锚固体系,其锚固体系采用了双层电

转载于《公路》2015年05期

隔离防护技术和可长期监测预应力筋腐蚀进程的隔离测试方法来满足锚固体系的高寿命要求。

通过监测锚固体系的隔离电阻，可建立锚索锚固体系的长期监测系统，如图3所示，长期监测锚具（或预应力筋）与大地（或构筑物）之间的绝缘电阻 $R$ 。当锚固体系永久防护电阻值 $R \geq 0.1M\Omega$ ，满足欧标BS EN1537: 2000的永久防护要求；当防护电阻值 $R < 0.1M\Omega$ 时，我们应及时进行锚固体系维护，可以继续维持预应力锚索的正常使用和预防预应力失效现象的发生。

### 3 预应力锚索电隔离防护体系

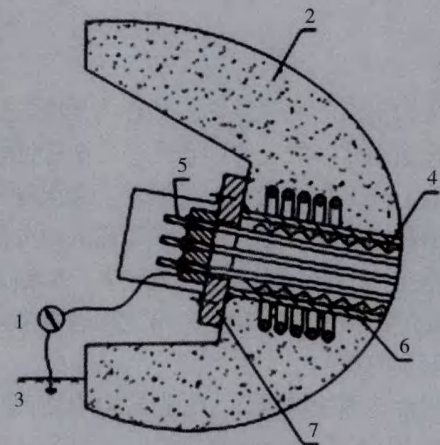
随着对锚固机理研究的深入和制造技术的发展，我国在锚索锚固机理和预应力新材料上也做了积极探索，比如以无粘结筋替换光面钢绞线形成的荷载分散型锚索，环氧涂层钢绞线及缓结钢绞线的应用等，但在超耐久性锚索体系技术与国外还有相当的差距。

#### 3.1 双层电隔离防护锚索体系

欧美等国经过多年的应用，通过树脂浆材、双层波纹管等结构和工艺改进实现了双层电隔离

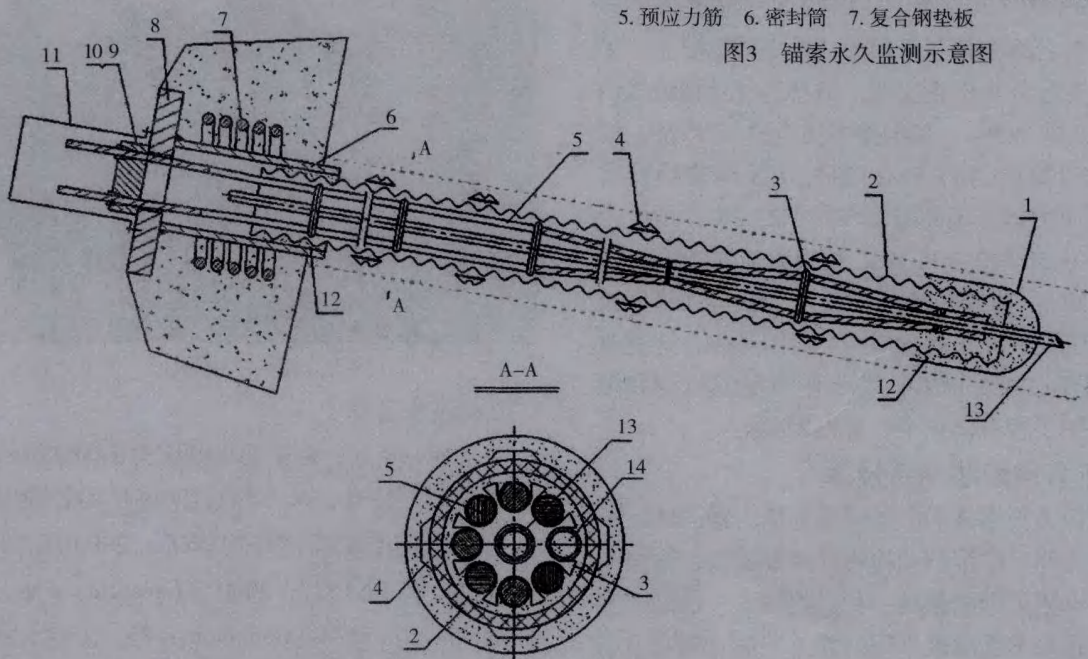
防护技术，使锚固体系具备了防腐可靠、维护有效和监测方便的特点，满足了岩土锚索锚固体系在复杂地层的高耐久性要求。对于我国来说，上述锚索工艺的改进还是较为昂贵的，结合我国现阶段的技术特点，OVM双层电隔离防护锚索运用钢绞线涂覆技术和波纹管组合使索体具有双层电隔离防护功能，较好地解决预应力锚索体系的长期有效防护问题，其锚索结构如图4所示。

锚索的内锚固段为钢绞线黏结锚固段，自由段为无黏结钢绞线。锚索体全长采用锚索波纹



1. 绝缘电阻表 2. 构筑物 3. 接地极 4. 塑料波纹管  
5. 预应力筋 6. 密封筒 7. 复合钢垫板

图3 锚索永久监测示意图



1. 导向帽 2. 锚索波纹管 3. 隔离架 4. 对中架 5. 环氧喷涂钢绞线无黏结筋 6. 预埋钢管 7. 螺旋筋  
8. 复合钢垫板 9. 工作锚具 10. 工作夹片 11. 保护罩 12. 环氧树脂 13. 外部注浆管 14. 内部注浆管

图4 双层电隔离防护锚索基本结构示意图

管,索体钢绞线采用具有电隔离防护涂层的环氧喷涂钢绞线。复合钢垫板采用复合材料作为电隔离层。

### 3.2 环氧喷涂钢绞线黏结性能试验

锚索锚固段钢绞线及锚索波纹管组装件与水泥浆体的黏结强度是达到锚索双层电隔离防护效果的重要因素。采用满足《单丝涂覆环氧涂层预应力钢绞线》(GB/T 25823-2010)的OVM环氧喷涂钢绞线和满足《桥梁缆索用高密度聚乙烯护套料》(CJ/T 297-2008)的专用锚索波纹管,试验分别采用了8、12、19、27根环氧喷涂钢绞线

和配套锚索波纹管,在水泥浆体强度 $\geq 45\text{MPa}$ 情况下做了锚索极限拉拔力试验,如图5所示,其试验结果见表1。

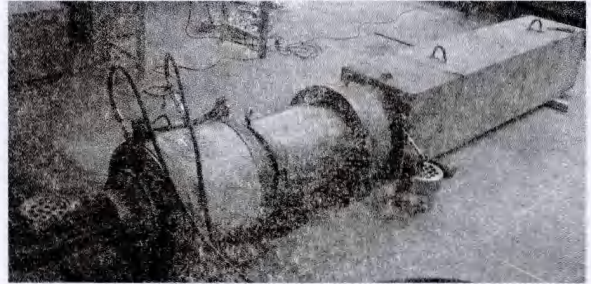


图5 环氧喷涂钢绞线与锚索波纹管组装件张拉试验

表1 环氧喷涂钢绞线与锚索波纹管组装件静载试验数据

项目	极限拉力/(kN)	锚具效率系数( $\eta_a$ )	备注
8 $\times$ $\phi$ 15环氧喷涂钢绞线, 1860MPa	2180	0.99	$\phi$ 100/ $\phi$ 80锚索波纹管
12 $\times$ $\phi$ 15环氧喷涂钢绞线, 1860MPa	3296	0.99	$\phi$ 120/ $\phi$ 100锚索波纹管
19 $\times$ $\phi$ 15环氧喷涂钢绞线, 1860MPa	4969.5	0.97	$\phi$ 140/ $\phi$ 115锚索波纹管
27 $\times$ $\phi$ 15环氧喷涂钢绞线, 1860MPa	7062	0.98	$\phi$ 160/ $\phi$ 130锚索波纹管

试验中,环氧喷涂钢绞线均能与水泥砂浆稳定黏结,都能张拉至钢绞线破断。钢绞线张拉破断后,打掉部份水泥砂浆后,发现环氧喷涂钢绞线环氧涂层良好,无破损迹象,锚索波纹管无明显变形,如图6、图7所示。

### 3.3 隔离垫板电隔离性能试验

为保证锚具的电隔离性能,需要在锚下安装隔离垫板。隔离垫板的主要性能是要在承压应力达250MPa时仍具有在500V下可靠的电绝缘性能。在多次压力机的循环加载过程中,不间断测试锚具与钢垫板之间的绝缘电阻值,发现隔离垫板绝缘电阻值均能稳定在500M $\Omega$ 以上,从而最终选定了隔离垫板的复合材料。

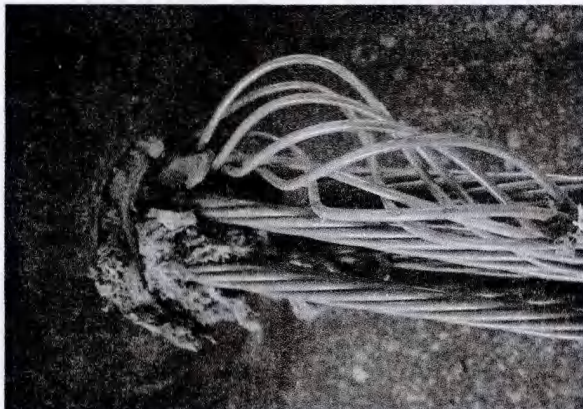


图6 环氧喷涂钢绞线张拉破断情况



图7 打开波纹管观察钢绞线情况

### 3.4 锚索体系长期电隔离性能试验

模拟地层的试验梁采用水泥砂浆浇筑,试验梁截面为300mm $\times$ 300mm,长度为2m。将养护后的试验梁竖起,编制好的锚索体安装入锚索波纹管,并在锚索波纹管注入与试验梁相同的水泥砂浆,浆体强度 $\geq 40\text{MPa}$ 时进行张拉,试验装置如图8所示。锚索张拉按钢绞线标称强度的5%、20%、40%、60%、80%循环张拉并测试各级张拉后的绝缘电阻值R,实测R值均能稳定在300M $\Omega$ 以上。

锚索在 $0.8f_{pk}$ 锁定后,将试验装置移放在室

外。经过长达两年半的持续监测，锚索体系的隔离电阻值R除在第3~7月的雨天等潮湿环境下降较多以外，大多达到了200MΩ以上，图9监测

数据显示锚索长期防护电阻值远大于 $R \geq 0.1M\Omega$ 的要求。

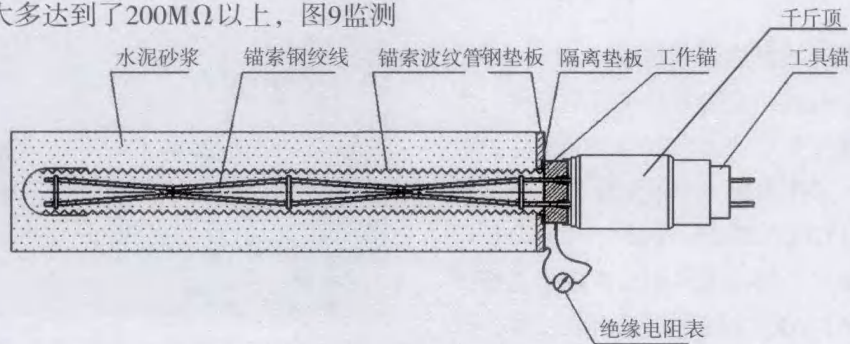


图8 锚索长期防护性能试验装置安装示意图

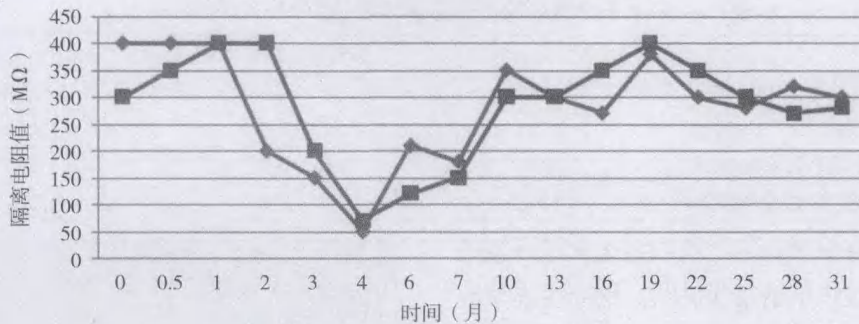


图9 锚索长期防护性能曲线图

#### 4 预应力锚索双层电隔离防护性能现场试验

对于目前台湾地区诸多使用十几年以上的预应力锚索开始出现各种质量问题，需要大规模维护的情况，在台方的安排下，采用OVM.LDM15B双层电隔离防护锚索进行长期电隔离防护性能现场测试。本次现场试验在台湾典型的海岸潮湿砂砾岩、泥岩互层地区，主要利用西湖服务区既有垂直挡土墙进行锚索拉拔试验和电隔离防护性能对比测试，如图10、图11所示。

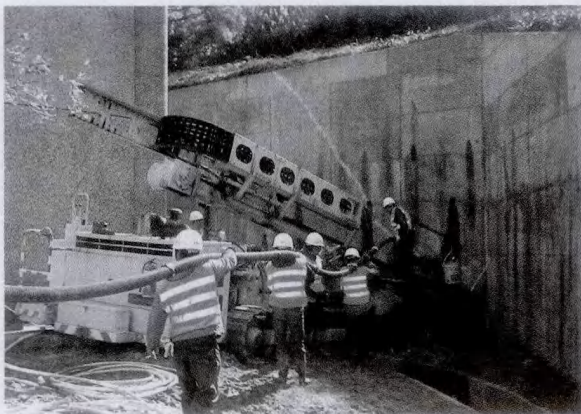


图10 双层电隔离防护锚索安装

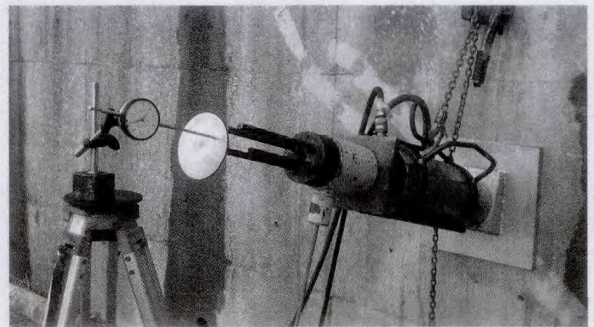


图11 锚索台湾现场基本试验

试验采用的LDM15B-4TW双层电隔离防护锚索，索体钢绞线采用4根 $\phi 15.2$ 环氧喷涂钢绞线无黏结筋，索体长度分别为15m和18m，锚固段长度分别为8m和10m，锚索试验方法参考欧标ISO DIS 22477-5和BS EN1537: 2000，锚索最大拉力为800kN。现场电隔离防护性能对比测试结果如表2所示。

在后来的长期监测中，2-1锚索在阴雨等不利天气下均达到30MΩ以上。1-1和3-1锚索的测量结果表明索体单层隔离防护无法确保电隔离效果，而采用2-1锚索的双层隔离防护则可大幅提高

隔离电阻值, 满足BS EN1537: 2000大于0.1MΩ的要求。

表2 锚索隔离电阻值测量数据

锚索 编号	测量值 (MΩ)		备注
	张拉前	张拉后	
1-1	0.028	0.016	普通光面钢绞线+全长波纹管
2-1	2000	301.1	OVM双层电隔离防护锚索 (环氧喷涂钢绞线+全长波纹管)
3-1	0.001	0	环氧喷涂钢绞线+部份波纹管

## 5 结束语

新防腐技术和方法是提高并维持预应力锚索耐久性的重要手段, 本文通过介绍预应力锚索电隔离防护技术及其日常测试方法, 进一步研究了双层电隔离防护锚索的结构组成和主要性能, 并进行了长期防护性能测试。试验结果表明, OVM双层电隔离防护锚索采用环氧喷涂钢绞线和锚索波纹管组合较好地解决了锚固可靠性以及在潮湿等恶劣工况下有效实施电隔离防护的技术难题, 其永久防护隔离电阻值满足欧洲标准要求, 是一

(上接第6页)

### 6.2 抗弯性能试验

测试方法为四点弯曲加载法, 将荷载加载到背板上。在板的跨中布置应变片, 观察板面上是否有裂缝产生并记录跨中挠度值。若板面上无裂缝出现则满足抗裂要求, 且跨中挠度要小于设计限值19.8mm。

对3块单元板试件进行试验检测, 在面荷载7.0kPa时, 板面上无肉眼可见裂缝产生, 跨中挠度为3~4mm, 远小于其限值。当加载到8.0kPa时单元板仍未发生断裂破坏, 跨中挠度小于10mm。试验表明弯曲荷载7.0kPa作用下单元板满足抗裂要求和变形要求, 抗弯曲断裂强度达到8.0kPa。

## 7 结论

试验表明, 该型单元板吸音性能优良。而且, 通过采用钢纤维高性能混凝土作为壳体材料, 壳体厚度可取最小工艺厚度25mm, 内部完全中空不含支撑隔板, 有效地控制了自重。试验研究表明, 弯矩荷载7.0kPa作用下单元板未产生裂缝, 跨中变形小, 抗弯曲断裂强度达到8.0kPa, 满足台风地区高速铁路弯曲荷载的抗弯要求。

种高耐久性的预应力锚索锚固体系。

近年来, OVM双层电隔离防护锚索在国外, 如苏丹、巴基斯坦、越南、马来西亚、塔吉克斯坦等国得到大量应用, 最大锚索张拉力可达8000kN以上, 该锚索体系为解决岩土预应力锚索的耐久性问题提供了一种新的技术途径。

### 参考文献

- [1] 程良奎, 范景伦等. 岩土锚固[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003
- [2] 阎莫明, 徐祯祥, 苏自约. 岩土锚固技术的新进展[M]. 北京: 人民交通出版社, 2000
- [3] 刘宁, 高大水等. 岩土预应力锚固技术应用及研究[M]. 湖北科学技术出版社, 2002
- [4] 戴源昱, 陈佩玉, 温廷睿等. 台湾既有地锚之检查与维护探讨[C]. 2013海峡两岸土工技术. 岩土工程交流会论文集
- [5] 刘平伟, 朱万旭, 周红梅等. 一种后张预应力筋腐蚀防护和监测的新方法[C]. 第十五届全国混凝土及预应力混凝土学术交流会. 2010.12
- [6] BS EN1537: 2000. Execution of special geotechnical work—Ground anchors[S].
- [7] 阎莫明, 徐祯祥, 苏自约. 岩土锚固技术手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004
- [8] 李宛瑾, 阮仲如, 邱德夫, 杨品铮. 地锚新材料新工艺之适用性研究[C]. 2013海峡两岸土工技术. 岩土工程交流会论文集
- [9] 台湾地锚设计与施工问题探讨[M]. 中华技术. 2012总第93期

单元板结构构造简单、施工工序少。可将模具分拆运输, 便于在高速铁路附近施工生产, 显著地降低运输成本和损坏几率, 具有很好的推广应用价值。

本文以裂缝为主要控制目标, 通过理论计算和有限元软件模拟分析作为指导参考依据, 成功研制出了符合要求的声屏障单元板, 有效地减少了试验工期和试验成本; 研制方法可靠实用。

### 参考文献

- [1] 贺丽平. GRC高速铁路声屏障板正截面受弯承载力的理论与试验研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2013.
- [2] 贾志锋. 炉渣无砂大孔混凝土在声屏障工程的应用[J]. 新型建筑材料, 1994, (6):28-30.
- [3] 于洪涛. 混杂纤维自密实混凝土在预制声屏障中的应用[D]. 大连: 大连理工大学, 2007.
- [4] 唐玉斌, 朱立, 李昊. 活性粉末混凝土在地铁声屏障结构单元板中的应用[J]. 混凝土, 2010,(3):139-141.
- [5] 刘子健, 李晨光. 超高性能活性粉末混凝土研究现状与应用前景探讨[J]. 建筑技术开发, 2009,(4):58-63.
- [6] 王冲, Liza O' Moore. 高性能微钢纤维增韧混凝土的制备及其力学性能研究[J]. 土木工程学报, 2009, (6).
- [7] 杜修力, 田予东, 窦国钦. 纤维高性能混凝土的制备及力学性能试验研究[J]. 混凝土与水泥制品, 2011,(2):44-71.
- [8] 韩嵘, 赵顺波, 曲福来. 钢纤维混凝土抗拉性能试验研究[J]. 土木工程学报, 2006,(11):63-67.
- [9] 中铁第四勘察设计院集团有限公司. 时速350km客运专线铁路路基插板式非金属声屏障[Z]. 铁道部经济规划研究院, 2009.
- [10] 游海波, 梁勇. 高速铁路混凝土声屏障单元板整体压制成型自动化生产技术[J]. 混凝土与水泥制品, 2012,(4):58-63.