

长江三峡水库区岩土锚固监测技术

胡时友 姜昭群 王全成

(中国地质科学院探矿工艺研究所 成都 610081)

摘要: 由于预应力锚索具有主动加固、深层加固、布置灵活、施工快速、经济性好等显著特点,因此在三峡库区岩土体加固和地质灾害治理工程中得到广泛应用。按照预应力锚索的国家标准和相关的行业规范,根据设计、施工的不同阶段和地层情况,要进行锚索的基本试验、蠕变试验、验收试验和长期监测,根据监测结果对锚索采取相应的维护措施。论文简要介绍了作者近年来在预应力锚索监测方面的研究成果和在三峡库区的应用情况。

关键词: 锚固 监测 三峡

1. 概况

长江三峡水库淹没涉及湖北省宜昌、秭归、兴山、巴东和重庆市巫山、巫溪、奉节、云阳、万州、开县、忠县、丰都、石柱、涪陵、武隆、长寿、渝北、巴南、重庆市区和江津市共20个县(市、区),总面积5.67万 km^2 ,其中淹没陆地面积600 km^2 。由于城镇搬迁带来荷载增加、工程建设扰动和蓄水后库区水位的大幅度变化,再加上库区暴雨型气候的影响,出现了大量的地质灾害,体积较大的第四系堆积体大都是崩塌滑坡体。预应力锚索具有主动加固、深层加固、布置灵活、施工快速、经济性好等显著特点,因此在三峡库区岩土体加固和地质灾害治理工程中得到广泛应用。按照预应力锚索的国家标准和相关的行业规范,根据设计、施工的不同阶段和地层情况,一般要进行锚索的基本试验、蠕变试验、验收试验和长期监测,根据监测结果,对锚索采取相应的维护措施。下面就作者近年来在三峡库区进行预应力锚索研究测试方面的工程实践和体会作一简要介绍。

2. 砂浆与孔壁的粘结力测试

长江三峡链子崖危岩体防治工程锚索砂浆与孔壁粘结力试验点的地层为灰白色棗霞组厚一巨厚层状致密坚硬灰岩(P_{1q})。采用潜孔锤冲击钻进成孔,清水洗净钻孔。为了防止在张拉过程中出现钢绞线与砂浆之间的滑移,在孔内锚固段内加装了一个OVM15-12锚具。其结

构如图1所示。注浆材料为525#普通硅酸盐水泥,香溪河水洗中细砂,灰砂比为3:1,水灰比为0.38:1,砂浆19d强度为56.8MPa,张拉试验严格按照国家和行业有关锚索试验技术规范进行。按照逐级递增的方式加载,变形稳定后才能施加下一级荷载,用YCW250型千斤顶进行张拉,试验时发现实际的粘结力要比估计值大得多,只有No1锚索的砂浆体与孔壁出现滑移, No2和No3改用YCW350型千斤顶才使张拉试验成功。试验数据如表1所示。从图2中一号锚索的Q-S曲线可以看出,在未滑移之前,锚索的变形与拉力呈严格的线性关系,一旦出现滑移,变形就急剧增加。

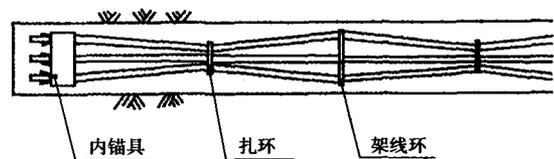


图1 粘结力测试锚索结构图

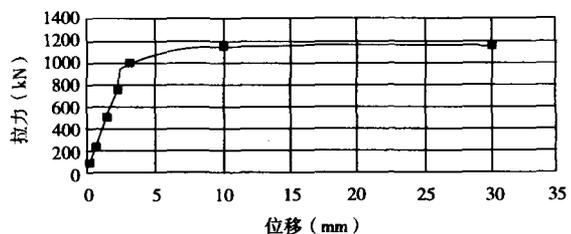


图2 链子崖一号砂浆与孔壁粘结力试验锚索

3. 锚索基本试验

锚索基本试验是在锚索正式施工之前,为了判定锚索性能的一种综合型试验,是在工程现场施工的和工程锚索参数完全一致的锚索试

表1 长江三峡链子崖锚索砂浆与孔壁粘结力试验数据

No1		No2		No3	
荷载(kN)	位移 (mm)	荷载 (kN)	位移 (mm)	荷载 (kN)	位移 (mm)
103	0	199	0	199	0
253	0.51	501	1.477	501	2.298
517	1.37	1001	3.924	1001	6.101
766	2.171	1502	6.377	1502	9.911
1002	2.97	2002	8.824	2002	13.714
1159	滑移破坏	2268	滑移破坏	2298	滑移破坏
锚固段长度(m)	0.81	锚固段长度	1.47	锚固段长度	1.53
极限粘结强度(Mh)	2.545	极限粘结强度	2.744	极限粘结强度	2.672
单位长度极限承载能力 (kN/m)	1359	单位长度极限承载能力	1466	单位长度极限承载能力	1427

验。我所在三峡库区进行了较多的锚索基本试验。下面以重庆菜园坝片区改造工程南区路预应力锚索桩-板-墙工程中的一组(3根)基本试验为例加以说明。该工程桩长18~23m, 桩间距3m, 每根桩上布置了5~8根锚索, 桩间有弧形档土板。试验孔采用XU-300型钻机进行取心回转钻进成孔, 清水冲洗锚孔。从取出的岩心看, 3个孔的锚固段都在中风化的紫红色泥岩之中。钻孔直径 $\phi 150\text{mm}$, 锚索材料由35根矫直回火预应力高强钢丝组成 $5 \times 7 \phi 5$ 锚索, 钢丝强度为1570MPa, 砂浆配合比为1:0.5:0.59(水泥:砂:水), 10d后砂浆试块强度达到325MPa, 自由段没有灌浆。试验采用7级循环加载方式。2#锚索在845kN的张拉荷载时, 变形不能收敛(图3)。该锚索在845kN的荷载下稳压10min, 变形5.47mm。从变形速度分析, 属于钢丝进入塑性区引起的塑性流变。2#锚索的极限承载能力为803kN。1#锚索的极限承载能力为836kN。3#锚索

孔口岩石较软, 在张拉到860kN时, 因外锚墩严重内陷而终止试验。其极限承载能力大于760kN。 $5 \times 7 \phi 5$ 锚索的理论屈服荷载 $F_{0.2}$ 为914kN。1#、2#锚索分别在理论屈服荷载的91.5%和87.9%时就发生较大的塑性变形。表明每根钢丝之间的不均匀受力情况较为严重(尽管在整体张拉之前进行了单束预紧张拉)。与我们其他钢绞线锚索测试结果相比较, 说明钢丝束锚索的不均匀受力情况要比钢绞线锚索严重得多。

4. 锚索的长期监测

锚索在施加预应力后, 由于地质、地下水、地震等自然因素和杆体材料的蠕变、锚具的效率损失、爆破振动等人为因素的影响, 在相当长的一段时间内, 其锁定预应力必然会发生变化。变化严重时甚至会导致整个工程的失败。因此, 各国标准都规定, 必须对预应力进行长期监测。由于野外长期监测的恶劣环境, 测量系统性能的好坏将直接影响测量的精度。

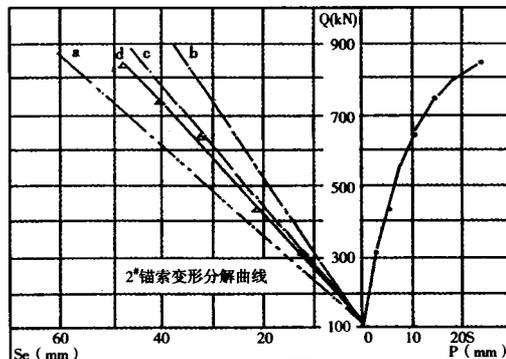
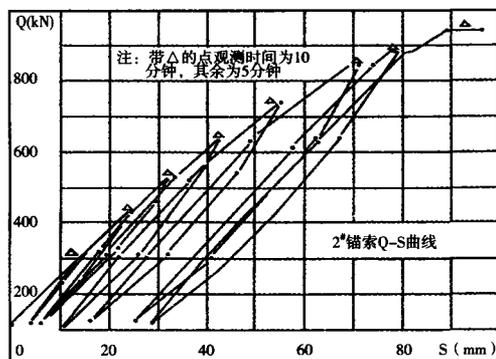


图3 锚索基本试验Q-S曲线

锚索的长期监测仪器特别要求有较好的防潮、防水、防雷电、抗干扰性能，有较好的长期稳定性和较宽的使用温度区间。现有锚索测力传感器从结构形式上可分为3种类型，即圆筒式、轮辐式和液压式。从敏感元件上又可分为电阻应变计式、差动电阻应变计式和钢弦式等几种类型。目前国际上以电阻应变计、钢弦为敏感元件的圆筒式结构的锚索传感器应用较为普遍。图4和图5是采用我所研制的数字式预应力锚索监测系统，测试三峡奉节县高边坡预应力锚索框架梁上锚索预应力的变化。两个边坡地层都是碎石土。从测试结果看（图6、图7），锚索张拉后的第一个月预应力损失较大，以后逐渐趋于稳定。9根锚索的总预应力损失在2.8%~11%。根据测试结果统计，硬岩锚索的长期损失在5%左右，土锚的损失在10%左右；相同条件下，十字框架梁上的锚索的预应力损失比独立锚墩的小。

5. 锚索腐蚀程度检测

锚索施工后就被埋入岩土体之中，并长期处于高预应力的状态下。虽然现在设计施工的绝大多数锚索都采取了不同程度的防腐措施，但多年以后锚索的受腐蚀程度和残余承载力，仍然是设计部门、建设单位和使用部门十分关心的问题。因为一旦锚索破断或失效，往往会导致整个工程的失败，并危及附近建筑物和居民的安全。锚索用于岩土工程或各种结构中，由于预应力的存在和周围环境介质的影响，对锚索各个部分会产生不同程度的腐蚀，对锚索寿命的最大威胁也是来自腐蚀。因此，锚索的腐蚀控制技术及其检测方法就成为世界各国锚固界研究的焦点。迄今为止，国际预应力协会（FIP）地锚工作小组已收到几十例锚索腐蚀破坏的实例。这些锚索大都采取了涂沥青或防腐油脂后，再在钢绞线或高强钢丝外穿防腐套管的防腐措施。破坏发生在6个月至31d不等。就破坏发生的部位而言，1/2发生在锚头或距锚头1m以内，1/2发生在自由段内，只有个别发生在锚固段内。

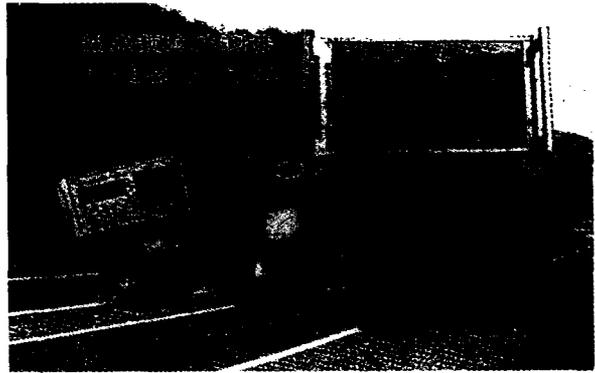


图4 锚索预应力监测仪表

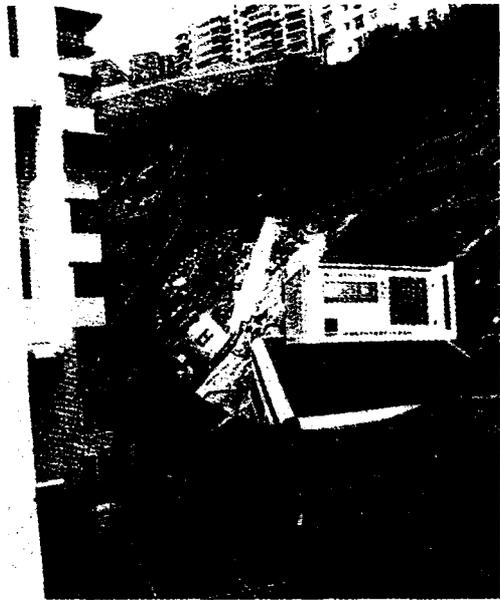


图5 锚索预应力监测现场

通过对目前国内预应力锚索使用最普遍的两种钢绞线（ $\phi 15.24\text{mm}$ 和 $\phi 15\text{mm}$ ）的室内快速腐蚀试验、电阻和残余破断力测试，精确测定出了钢绞线的电阻率，建立起了电阻值、腐蚀量和承载能力的对应关系，为电阻法检测锚索腐蚀和评价锚索受腐蚀后的残余承载力提供了依据。

本研究提出了将锚索看成一个导体，从需要监测的锚索体两端接出双芯测量导线，测出锚索体两端的电阻来判断锚索受腐蚀程度的方法。试验证明该方法对埋于地下、长度已知的锚索体受均匀腐蚀程度的判断是可行的。为提高危险段锚索局部腐蚀的监测精度，可以采用分段布设测量线和加密测点的办法来解决。采用4线制接线法剔除了测量导线电阻对测量结果的影响。

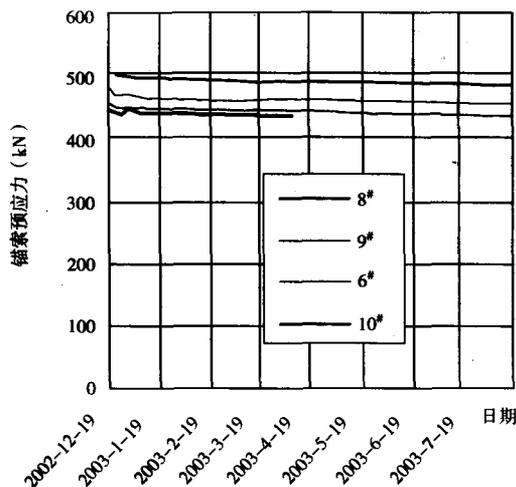


图6 一号路边坡锚索预应力-时间曲线

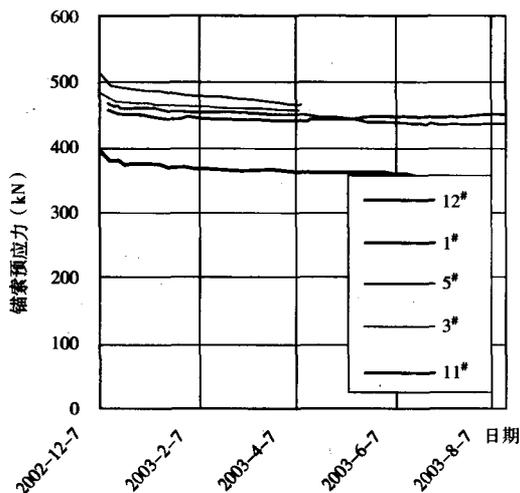


图7 吴家湾高边坡锚索预应力-时间曲线

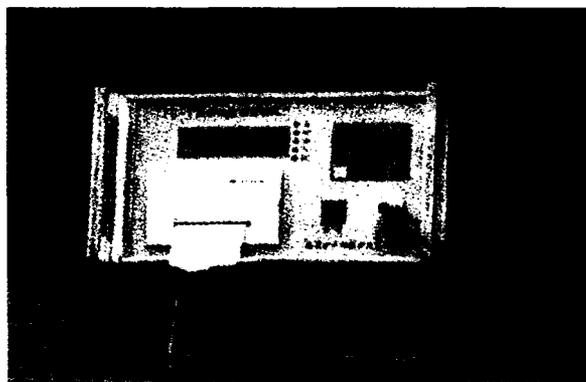


图8 FS-1型锚索腐蚀检测仪

利用单片机和高精度恒流源技术,研制成功了FS-1型锚索腐蚀检测仪(图8)。该仪器在测量出锚索电阻后,根据输入的锚索参数就可以计算出被测锚索段的腐蚀量和残余承载能力。测量结果由八位液晶显示器显示,同时可以存储和打印测量结果。

参考文献

- [1] CECS22:90, 土层锚杆设计与施工规范[S]. 北京:中国计划出版社, 1990.
- [2] GB50086-2001, 锚杆喷射混凝土支护技术规范[S]. 北京:中国计划出版社, 2001.

(上接第8页)

使用经ZH砂浆灌注的转向器的桥梁有: 苏通长江大桥转向器(1440套)、北京四丰立交桥(730套)、天津大沽桥(16套)、辽宁大石桥市南轩桥(168套), 等等, 见图15。



图15 转向器灌注ZH砂浆

8. 小结

经过长期的研究与实践应用, ZH砂浆解决了水泥砂浆大流动度与体积变化率小的矛盾、大

流动度与早强的矛盾、高强度与抗冲击韧性的矛盾, 使诸多相互制约的矛盾因素达到了较为理想的平衡, 抗疲劳性、耐候性、抗冻性、耐久性等性能均满足使用要求。实践证明, ZH砂浆及其施工工法能完全满足具体工程的要求, 并且操作简便, 有利于环保。

2006年7月27日, 由广西壮族自治区科技厅在柳州主持召开了“ZH型砂浆料”专家鉴定会, 顺利通过了专家鉴定, 认定该产品在城市轨道交通工程中应用填补了国内空白。

参考文献

- [1] 《板式轨道设计与施工》王其昌, 韩启孟编译
- [2] 《实用混凝土大全》冯乃谦主编
- [3] 《混凝土外加剂》熊大玉, 王小虹编著