

三峡永久船闸高边坡锚索预应力状态监测分析

高大水 曾勇

(长江勘测规划设计研究院枢纽处 武汉 430010)

摘要 三峡永久船闸高边坡使用了250束1 000 kN和3 873束3 000 kN的预应力锚索进行加固,并安装了113台锚索测力计对锚索的受力状态进行长期监测,在使用锚索的数量及安装测力计台数上均属世界少有。在对锚索测力计监测资料系统整理和分析的基础上,重点分析了高边坡锚索的受力状态、加固效果及预应力损失,为船闸高边坡稳定安全状态的判别提供依据,并为今后其他工程提供可资借鉴的实际应用资料。

关键词 三峡,永久船闸,高边坡,锚索,预应力,监测

分类号 TV 554⁺.13, TV 698.1⁺1

文献标识码 A

文章编号 1000-5915(2001)05-0653-04

1 前言

长江三峡水利枢纽双线连续五级船闸位于长江左岸,主体段长为1 617 m,总水头为113 m。船闸系在花岗岩山体中深切开挖修建而成,两侧形成人工开挖岩质高陡边坡,最大坡高达170 m,闸室边墙部位直立坡高为50~70 m。两线船闸间保留55~57 m宽的岩体中间隔墩。闸室采用混凝土薄衬砌墙与边坡岩体联合受力的闸室结构,因此船闸边坡岩体的稳定性十分重要。为增加船闸高边坡的整体稳定性,改善边坡岩体的应力条件,布置了250束1 000 kN级、1 937束3 000 kN级系统锚索;针对闸室槽开挖产生的潜在不稳定块体,布置了1 936束3 000 kN级随机锚索对边坡块体进行加固;船闸边坡锚索加固典型断面见图1。鉴于锚索的重要性,在系统锚索中选取了64束作为监测锚索,加装了74台测力计;在块体加固随机锚索中选取了39束为监测锚索,安装了39台测力计,以监测船闸区锚索的长期预应力状态及船闸边坡的稳定性^[1]。

永久船闸一期工程开挖于1994年4月动工,1995年10月一期工程开挖结束,1998年4月完成一期边坡(直立墙以上)锚索施工。1996年初进入二期工程施工,到2001年5月二期锚索除少数回填混凝土部位未施工外,其他均已实施。

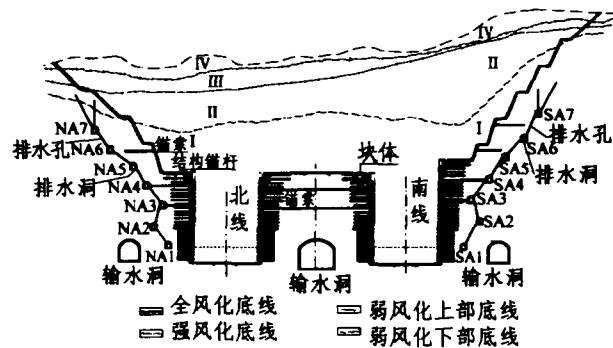


图1 船闸边坡锚索加固典型断面
Fig.1 Typical section reinforced by anchor cable in shiplock slope

本文在对船闸高边坡中锚索测力计监测资料系统整理和分析的基础上,重点分析了锚索的受力状态、锚固效果及预应力损失情况,为船闸高边坡稳定安全状态的判别提供依据;另一方面,三峡船闸高边坡如此多锚索测力计的实测资料,监测时间达1~2 a,最长达3 a,是十分难得的实际锚固工程的监测资料,可供今后其他工程借鉴。

2 监测锚索结构及测力计型号

船闸监测锚索除3根采用全长粘结结构外,其

2001年5月25日收到初稿,2001年6月18日收到修改稿。

作者 高大水 简介:男,39岁,硕士,1997年毕业于华中理工大学力学系固体力学专业,现任高级工程师,主要从事水工及岩土工程设计与科研方面的工作。

他均为无粘结锚索。无粘结锚索张拉段钢绞线与线皮之间为油脂，绞线可自由变形，其预应力的变化过程及永承荷载均能由锚墩处的测力计反映出来。船闸监测锚索作为工作锚索使用，采用 OVM 锚具和水泥灌浆，其结构形式如图 2。

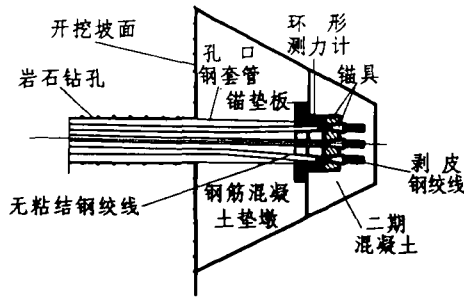


图 2 监测锚索结构形式

Fig.2 Structure of anchor cable for monitoring

锚索测力计均为圆环式，安装在锚垫板和锚具之间，实际测量的是压力值^[2]。船闸区共采用 4 种类型的测力计，其型号及数量见表 1。其中丹东前阳工程仪器厂的 XYJ 型 3 钢弦式测力计因分辨率相对较低，只安装了 1 台，未再使用；丹东电器仪表厂的 JXL-4 型 4 钢弦式测力计，因稳定性相对后两种稍差，后期也未使用；丹东三达测试仪器厂的 GMS 型液压式 1 钢弦测力计，测量精度和稳定性均很好，但有漏油现象，同时也无法避免长期高压的渗油，长期监测可能会产生较大误差问题；北美仪器公司(GK)的 NA-4900 型 6 钢弦测力计，稳定性较好，后期基本使用该仪器，但仪器价格较高。

表 1 永久船闸锚索测力计统计表
Table 1 Statistics of anchor monitor in permanent shiplock

测力计型号	数量/台	类型
丹东电器仪表厂 JXL-4	24	4 钢弦式
丹东三达测试仪器厂 GMS	42	1 钢弦液压式
丹东前阳工程仪器厂 XYJ	1	3 钢弦式
北美仪器公司 NA-4900	46	6 钢弦式

3 锚索预应力损失统计分析

目前船闸高边坡安装锚索测力计有 113 台，其中 15 台因漏油或电缆被打断等原因失效，有 12 台数据不稳定，或实测时间太短，这里未列入，实际分析的有效台数为 86 台。监测锚索与工作锚索设计

吨位为 3 000 kN，超张拉到 3 450 kN。施工中锚索张拉千斤顶均按设计张拉荷载控制，但由于不同千斤顶率定参数及不同测力计的率定参数存在差异，为了便于分析比较，监测锚索预应力变化统一按测力计测值的相对百分数计算。锚索预应力总损失为锁定预应力损失值与锁定后预应力损失值(简称预应力损失)之和。其中：

$$\text{锁定预应力损失值} = (\text{锁定值} - \text{超张拉值}) / \text{锁定值}$$

$$\text{锁定后预应力损失值} = (\text{测量值} - \text{锁定值}) / \text{锁定值}$$

锚索锁定损失与锚索锁定回缩变形及张拉段长度有关，船闸高边坡支护锚索采用 OVM15-19 锚具及 YCW 锚索张拉千斤顶，张拉锁定时钢绞线回缩约 4 mm，锁定损失为 2%~3%。锚索锁定后的预应力损失统计如表 2(正值为预应力增加)，典型测力计预应力损失变化曲线见图 3 中的 SF17GP01 测力计曲线。

表 2 锁定后锚索测力计监测的预应力损失值
Table 2 Prestress loss measured by anchor monitor after lock

时间	7 d	30 d	90 d	180 d	1 a	1.5 a	2 a
最小	-0.12	1.80	2.27	4.39	4.52	-0.40	-4.81
最大	-6.60	-9.37	-12.01	-14.42	-16.23	-15.64	-13.37
平均	-2.61	-3.51	-5.13	-6.67	-7.48	-8.53	-8.43

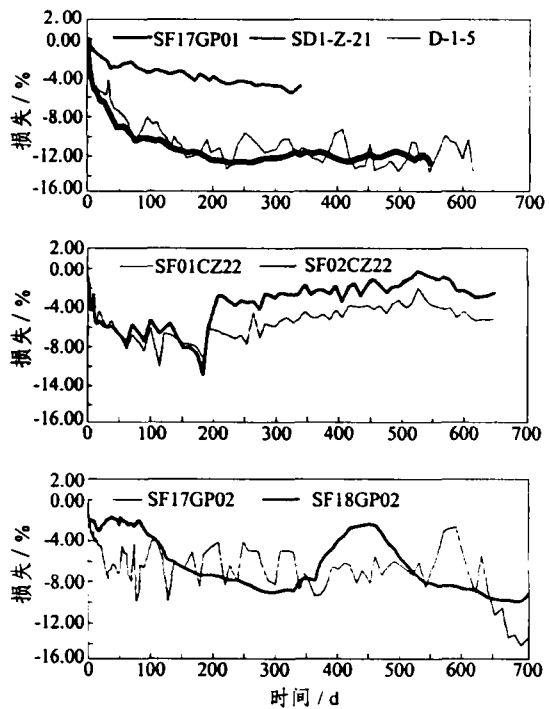


图 3 典型锚索预应力损失曲线

Fig.3 Typical prestress loss curve of anchor cable

船闸高边坡监测锚索测力计数据统计显示：锚索安装 1 a 后，预应力损失最大值为 -16.23%，最

小值为 4.52 % (应力增大), 平均值为 -7.48%。预应力损失一般为 -3 % ~ -15 %, 占 93.1%; 有 5 台测值为 -15 % ~ -23 %, 占 8.5%; 有 2 台锁定后应力略有增大, 占 3.4 %。预应力损失过程呈 3 个阶段:

(1) 急剧损失期, 时间一般为 6~15 d, 损失值为 -2 % ~ -5 %;

(2) 一般损失期, 时间为 2~6 个月, 损失值为 -3 % ~ -5 %;

(3) 缓慢损失期, 一般损失期以后进入缓慢损失期, 该期锚索应力趋于稳定, 但整体呈下降趋势, 下降量为 -1 % ~ -3 %; 有些锚索由于施工及外界因素干扰呈小幅波动。

4 几种典型部位锚索受力状态分析

(1) 洞内、外锚索受力状态

在南、北坡排水洞与直立坡的对穿锚索的排水洞端安装了 23 台测力计, 其中有 3 束在洞内、外同时安装了测力计。洞内、外测力计的预应力损失统计如表 3, 安装在 SC-1-7 锚索两端的 SF17GP02 和 SF18GP02 的测力计上, 预应力损失变化曲线见图 3。

表 3 排水洞内、外预应力损失统计表
Table 3 Prestress losses inside and outside drainage hole %

洞内(23台测力计)			洞外(46台测力计)		
最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值
-12.8	1.27	-7.41	-16.23	4.52	-9.03

显然: 洞内、洞外测力计预应力损失变化存在差别, 洞内(SF18GP02)预应力损失变化曲线平滑, 洞外(SF17GP02)测值波动较明显, 且预应力损失大于洞内。其原因是: 洞内为深层岩体, 新鲜完整, 受卸荷变形及受岩体温度变形影响小; 另一方面, 洞内温度和湿度相对稳定, 测力计受环境变化的干扰影响小。另外, 对穿锚索两端测力计测值的大小存在差别, 主要与锚索绞线与线皮之间存在的摩阻力有关。

(2) 中隔墩锚索受力状态

二闸室~三闸首中隔墩, 因岩体直立坡高度和所受的地应力均较大, 卸荷变形较大, 且受开挖爆破的影响, 其顶面找平混凝土出现大量裂缝。该段隔墩为整个中隔墩的重点锚固部位, 该部位的有效测力计数量为 10 台, 最大损失为 -16.23 %, 最小为 4.52 %, 平均为 -8.64 %, 该部位典型对穿锚索

(MC2-3-1)预应力损失曲线见图 3 中的 SF01CZ22 和 SF02CZ22 测力计。预应力损失统计显示: 中隔墩锚索预应力整体上呈下降规律, 预应力损失值与其他部位差不多, 且锚索预应力测值无突增现象, 说明中隔墩岩体稳定状态良好。另外, 由 SF01CZ22 和 SF02CZ22 测力计同步变化规律看出, 对穿锚索可敏锐感应出中隔墩近 60 m 宽范围岩体变形特点, 从而为判断边坡岩体稳定提供依据。

(3) 块体上锚索受力状态

在船闸高边坡开挖中, 由于岩体结构面的切割, 在边坡中形成大量潜在不稳定块体, 对其中大于 100 m³ 的潜在不稳定块体均实施了锚固, 并对大于 1 000 m³ 的特大型加固块体实施了监测。其中位于二闸首南坡的 f₁₂₃₉ 块体, 方量约 10 000 m³, 布置 3 000 kN 加固锚索 124 束, 测力计 7 台; 三闸首中隔墩北侧的 f₅ 块体, 方量为 25 000 m³, 布置 3 000 kN 加固锚索 223 束, 测力计为 10 台。测力计预应力损失统计: f₁₂₃₉ 块体锚索预应力最大损失为 -11.92%、最小损失为 -1.33 %、平均损失为 -8.09 %; f₅ 块体最大损失为 -16.23 %、最小损失为 4.52 %、平均损失为 -8.63 %。典型锚索预应力损失过程线如图 3 的 D-1-5 测力计。显然: 块体锚索预应力损失量与非块体部位差不多, 预应力损失过程线也基本一致, 由此说明锚索加固后的块体受力正常, 块体稳定状态良好。

(4) 全长粘结锚索测力计预应力变化

在一闸室南坡的 3 束全长粘结锚索上安装了测力计, 其典型测力计预应力损失变化曲线见图 3 的 SD1-Z-21。根据岩锚试验, 三峡船闸 3 000 kN 级锚索只要有 1 m 长的灌浆粘结段, 就能承受 3 450 kN 以上的荷载, 因此全长粘结锚索墩头部位测力计不能反映锚墩深处岩体变形引起的预应力变化, 仅能反映锚具、锚墩及墩下局部岩体蠕变引起的预应力变化。3 束全长粘结锚索测力计的测量的最大损失值为 -6.65 %、最小为 -4.5 %、平均为 -5.85 %。显然, 全长粘结锚索测力计测到的预应力损失比无粘结小, 且没有急剧损失期; 由此说明船闸区预应力损失主要由锚群效应、锚墩混凝土及墩下局部岩体蠕变产生, 达 50%~70%, 而钢绞线松弛及深部岩体蠕变影响均较小。

5 结 论

通过对永久船闸 86 台锚索测力计监测资料的分析, 对永久船闸锚索工作状况及锚索与边坡岩体

的相互作用关系得出以下认识:

(1) 锚索在张拉锁定后,整体上会产生一定预应力损失,但损失量值不大,一般为-3%~-15%,占93.1%,平均损失值为-7.48%。预应力损失过程呈3个阶段:

① 急剧损失期,时间为6~15 d,损失值为-2%~-5%;

② 一般损失期,时间为2~6个月,损失值为-3%~-5%;

③ 缓慢损失期,一般损失期以后进入缓慢损失期,该期锚索应力趋于稳定。

(2) 三峡船闸边坡岩体虽然为坚硬的花岗岩,但岩体中陡倾硬性裂隙发育,边坡开挖后,表层一定深度范围(15 m左右)产生卸荷变形,同时部分裂隙伴随卸荷变形张开^[3]。而锚固措施多布置在开挖卸荷区,锚索提供的预应力一方面可提高块体的稳定性,另一方面还可控制裂隙的张开变形。

(3) 锚索预应力损失主要与群锚效应、锚墩头混凝土及墩下岩体的蠕变有关,约为总损失的50%~70%,而钢绞线松弛及深部岩体蠕变影响均较小。

(4) 由锚索测力计的预应力随着时间的变化过

程线看,有的锚索预应力存在波动和局部时段的增加,说明监测锚索能敏锐反映出锚索张区段内岩体的变形和监控边坡岩体的稳定性。从已有的86台测力计监测曲线看,虽然部分锚索应力存在波动和局部时段增加,但幅值不大,没有突增现象,说明边坡岩体稳定状态良好。

(5) 从船闸监测锚索的4种测力计监测成果看,测力计钢弦数越多,测量精度越高,测值越稳定。油压式测力计,测值虽然稳定,但有渗油及漏油问题,长期稳定性差。鉴于该类测力计在船闸区埋设的数量较大,测值还能说明一些问题,建议对该类测力计渗油问题及渗油后带来的误差进行研究,以充分发挥已埋设仪器的作用。

参考文献

- 1 宋维邦. 三峡工程永久通航建筑物研究[M]. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1997
- 2 二滩水电开发公司. 岩土工程安全监测手册[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999
- 3 夏熙伦. 工程岩石力学[M]. 武汉: 武汉工业大学出版社, 1998

MONITORING ANALYSIS ON PRESTRESS STATE OF ANCHOR CABLE OF HIGH SLOPE OF THE TGP PERMANENT SHIPLOCKS

Gao Dashui, Zeng Yong

(Department of Center, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan 430010 China)

Abstract 250 and 3 873 bundles of prestressed anchor cables with grade of 1 000 kN and 3 000 kN respectively, have been employed to stabilize the high slope of the TGP permanent shiplocks and 113 sets of stress monitors have also been installed to monitor the stress state of these anchor cables. It is rare to have so many anchor cables and stress monitors for a slope in the world. Based on the interpretation and analysis of stress monitor data, the stress state of anchor cables, stabilization effect and loss of prestress are discussed, which will facilitate the safety judgment of high slope stabilization and provide practical experience for other similar projects.

Key words TGP, permanent shiplock, high slope, anchor cable, prestress, monitoring