

# 三峡左岸厂房 1~5 号坝段 基础加固预应力锚索施工

任宗社 邓德彬

**【摘要】** 三峡左岸厂房 1~6 号坝段轴线长 229.8m, 基础开挖后形成近 70m 的高边坡。由于断裂组合形成倾向下游的不利滑动面。加固处理主要采用 3000KN 级预应力锚索, 共 218 束, 长 30~55m。钻孔孔径 165, 总进尺 8445.6m。锚索施工与钢管槽开挖交叉进行。施工后经监测, 锚索实际伸长率与理论值吻合较好, 锁定锚固损失在 1%~3%, 满足设计要求。

**关键词** 三峡厂房 坝基础 预应力锚索 施工

## 1 概述

左岸厂房 1~6 号坝段位于方坪——凉水井的山体及斜坡上, 轴线长 229.8m, 系坝后式厂房。第二阶段开挖 1~5 号大坝建基面高程至 90.0m, 6 号坝段建基面高程至 70~80.0m, 下游厂房建基面高程至 22.2m, 坝后形成近 70.0m 的高边坡。垂直坝轴线布置有 6 条平行钢管槽, 单槽宽 16.6m, 槽间隔墩宽 21.7m。因电站厂房布置的需要, 分别在▽81.7、▽75.0、▽68.0、▽65.0m 设马道。

1~5 号坝段基岩倾向下游的倾角 15~30°, 结构面较发育, 且存在长大于 30~40m 的长裂隙。厂房开挖后, 形成近 70m 的高边坡, 加之本区 NNE、NNW 两组陡倾角裂隙相互切割, 不仅管槽成形困难, 且易在施工期形成倾向下游的不利滑动面。永久性稳定加固的重要措施为 3000KN 级预应力锚索。1~5 号坝段基础加固预应力锚索分三个阶段施工, 总计 218 束, 钻孔进尺 8445.6m, 历时 11 个月。一阶段为基础下游边坡加固, 以改善坝基应力状态和阻止卸荷裂隙发展, 减少施工期爆破影响, 主要是对缓倾角结构面发育的坝基进行浅层加固。二阶段为 1 号、2 号钢管槽隔墩不利块体的加固, 三阶段为 1~3 号坝段基础深层结构面加固。

## 2 预应力锚索设计

### 2.1 锚索布置

锚索孔布置见图 1。

一阶段在▽81.7~90.0m 钢管槽和隔墩后坡上布置 30~55m 深度不等的 3000KN 级锚索 125 索(其中 8 束安装测力计)。300×300 梅花形布孔(个别 400×300 方格形布孔)孔径 165, 孔向为向下游倾角 15°垂直坝轴线。二阶段 1 号、2 号隔墩不利块体的加固采用 2000KN 级对穿锚, 每墩 8 束, 共 16 束, 索长 24.1m。三阶段在 1~3 号坝段▽48.8~81.7m 高程钢管槽和隔墩布置 20~50m 深度不等的 3000KN 级锚索 77 束, 孔距 400cm。因结构面倾角不同, 孔斜向下游倾角分别为 15°、20°、45°、(35°)、54°。

### 2.2 设计要求

- ① 钻孔孔斜误差不得大于 3%。
- ② 钢绞线,  $\varnothing 15.24$ , 抗拉强度 1860MPa。
- ③ 内锚段浆材标号  $R_7 = 350$  号。
- ④ 垫座混凝土设计标号同浆材。
- ⑤ 锚具为 OVM15—19(端头锚)、OVM15—12(对穿锚)。

⑥ 张拉锚固以 30KN 荷载单根预紧, 整束分级张拉, 分级荷载为: 750KN→1500KN→2250KN→3000KN(设计张拉力)→3450KN(超载安装)。稳压时间为每级 5min, 超载安装吨位达到后, 稳定 20min 锁定。

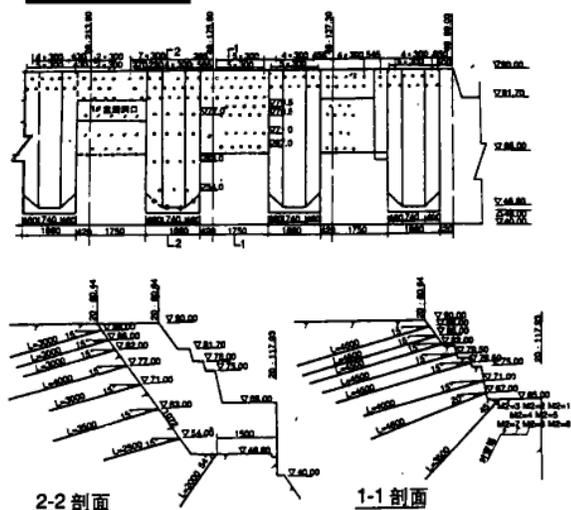


图 1 3~5 号坝段下游边坡预应力锚索布置

### 2.3 锚索结构设计

内锚固段长度 8.0m, 以充气式止浆环封闭内锚固段。内锚固段、张拉段各设一套灌浆系统, 均为有压灌浆。索体径向分内外两层, 内层 7 根、外层 12 根钢绞线。内锚固段每 1m、张拉段每 5m 设一架线环。孔口钢套管为  $\phi 165$  直钢管, 钢板为  $350 \times 350 \times 350$ , 与钢套管丁字焊接。

### 3 预应力锚索施工

根据加固锚索边坡锚固的要求, 锚索施工与钢管槽开挖交叉进行, 立体作业, 相互影响较大, 在无固定施工场地的情况下, 编 55m 长索体在基础开挖后的  $\nabla 90\text{m}$  搭台进行。施工位于高边坡, 和开挖立体交叉, 工作面复杂多变, 长锚束编束场地不固定。

#### 3.1 造孔

造孔用 MD-50 型锚杆钻,  $\phi 165$  钻头, DH6 冲击器, XHP760 空压机。钻孔检测用 JJX-III 型多点测斜仪, 钻孔偏斜率控制在 3% 以内。对部分钻孔还辅以孔内灯泡照明查孔斜。

#### 3.2 编索

编索在 0.8m 高、1.0~1.5m 宽、60.0m 长的索平台上进行。为了减少索体入孔的阻力, 在专门搭设的架子上均匀设置滚筒, 每 3~5m 一根。穿索以人力送入, 对于孔口到编索台间高差较大的孔, 利用索体重力辅以人工引导穿入, 并以人力(或机械)拖住索体尾部, 控制下索速度。

#### 3.3 内锚固段灌浆

灌浆采用 0.2~0.3MPa 压力, 0.3~0.4MPa 的气塞压力, 0.37:1 的浓浆灌注。浆材内添加

YNZ-I 早强剂和 UEA 膨胀剂。

#### 3.4 孔口钢套管安装

设计钢套管为  $\phi 165 \times 5$  直管, 与锚垫板、外锚头钢筋网焊接, 整体吊装, 垫座混凝土添加 YNZ-I 早强剂。

#### 3.5 张拉锚固

对千斤顶、油压表、油泵进行配套率定, 通过率定得出千斤顶张拉力与油压表读数的相应关系。千斤顶为 YCW400-200 型、YKD18-100 型, 油泵为 ZB4/500 型, 油压表 1.5 级 60MPa。

张拉前利用自制分线器进行锚板、夹片安装。每安装一块锚板, 时间不超过 5min。

预紧以单根 30km 的荷载为标准, 由内向外, 对称进行。部分进行了整体预紧, 效果优于单根预紧。

张拉分五级进行, 每级稳压 5min。达到超载安装吨位后, 稳压 20min, 无异常, 即锁定。张拉时和每级加荷完成后测量钢绞线伸长值, 锁定后测量回缩值。

#### 3.6 张拉段灌浆

张拉结束后, 在 1~2 天内对张拉段进行灌浆, 水灰比 0.45:1, 灌浆压力 0.2~0.3MPa, 待进、回浆浓度相同后进浆 30min 结束灌浆。初期施工中, 发现二期灌浆系统不畅通, 故对孔口外锚头进行了改造(见图 2)。

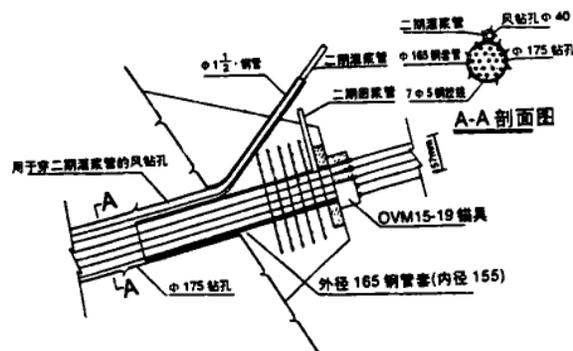


图 2 改进外锚头结构图

原灌浆系统不畅通的原因是: 二期灌浆管在孔口由钢管套内引出, 张拉时受到钢绞线径向张力挤压而导致不通。改造后的二期灌浆管经钢管套管外的风钻孔引出, 从而保证了二期灌浆系统畅通。

#### 3.7 施工中出现的问題及改进措施

3.7.1 止浆环及充气管

原设计编索时将充气管捆绑在索体外层上部,这样在穿索过程中易受磨损,造成慢漏气。发现问题后,将充气管调到索体内层,从而保证了气管不受磨损。穿索前应对止浆环进行充气检查。

3.7.2 内锚段灌浆

初期施工中,有少数孔内锚段灌浆不回浆,或回浆比重达不到要求,经综合分析认为,主要是止浆环与孔壁接触不够紧密(即气塞压力偏低)所致。后提高止浆环气塞充气压力到 0.3~0.4MPa,同时以理论进浆量为依据,对内锚段进行控制性灌浆,终于获取了满意效果。

3.7.3 张拉段灌浆

张拉段封孔灌浆是锚索永久保护措施,没有完善的排气、排水措施,就无法将全孔封灌密实,影响锚索质量。为解决这一问题,在原有二期回浆管的基础上,增设一根 $\varnothing 12.7$ 钢管,以加大孔内的排气排水量。

4 预应力锚索监测

分别在 2#墩 $\nabla 88m$ 、L109#孔, $\nabla 82.5m$ 、L304#孔,3#槽 $\nabla 88m$ 、L116#孔, $\nabla 82m$ 、L311#孔,3#墩 $\nabla 88m$ 、L121#孔, $\nabla 82.5m$ 、L316#孔,5#槽 $\nabla 88m$ 、L137#孔,5#墩 $\nabla 88.0m$ 、L141#孔,共 8 束锚索安装了监测张拉及运行状况的测力计。

4.1 锚索测力计

测力计采用辽宁丹东电器仪表厂 JXL-4 型振弦式传感器。测力计包括传感器垫板、锚索测力计、传力柱三部分。

4.2 观测

安装后,读取测力计初频,随锚索的预紧、分级张拉、锚固锁定,同步进行测力计观测。读取测力计四根钢弦频率读数,取其算术平均值得出测力计测试荷载。锁定后,长期监测锚索运行情况。

5 锚固效果分析

综合张拉钢绞线伸长值、测力计监测成果,并对每一阶段施工中的 2#、3#隔墩 35 束锚索锚固效果进行分析。

5.1 锚索体张拉理论伸长值与实际伸长值对比(表 1、表 2)

表 1 2#隔墩 3000KN 级预应力锚索张拉锚固成果

孔号	孔深 /m	伸长量/mm			回缩值 /mm	超载安装吨位 /KN	计算锁定吨位 /KN	锚固损失率 /%
		理论	实际	误差率 /%				
106	50	279.50	280	0.2	5	3 450	3 399.92	1.8
107	45	247.07	247	0	3	3 450	3 421.62	1.2
108	50	279.50	289	3.0		3 450		
109	45	247.07	254	3.0		3 450		
110	50	279.50	283	1.0	3	3 450	3 424.96	1.1
111	45	247.07	250	1.0	3	3 450	3 421.62	1.2
112	50	279.50	259	-7.0	3	3 450	3 424.96	1.2
207	45	247.07	237	-4.0	3	3 450	3 421.62	1.3
208	50	279.50	274	-2.0	10	3 450	3 337.32	4.0
209	45	247.07	226	-8.0	4	3 450	3 407.43	1.8
210	50	279.50	276	-1.0	3	3 450	3 424.96	1.1
211	45	247.07	230	-7.0	4	3 450	3 407.43	1.7
212	50	279.50	262	-6.0	4	3 450	3 412.44	1.5
301	50	279.50	268	-4.0	3	3 450	3 424.96	1.1
302	45	247.07	255	3.0	3	3 450	3 421.62	1.2
303	50	279.50	268	-4.0	3	3 450	3 424.96	1.1
304*	45	247.07	245	-1.0	4	3 450	3 407.43	1.6
305	50	279.50	278	-1.0	5	3 450	3 399.92	1.8
306	45	247.07	242	-2.0	6	3 450	3 379.05	2.5
307	50	279.50	272	-3.0	6	3 450	3 387.40	2.2

注:1、孔号带“\*”者为安装测力计的监测孔;

2、表中回缩值为实测回缩值减去工作锚到工具锚间的钢绞线伸长值后之值。

表 2 3#隔墩 3000KN 级预应力锚索张拉锚固成果

孔号	孔深 /m	伸长量/mm			回缩值 /mm	超载安装吨位 /KN	计算锁定吨位 /KN	锚固损失率 /%
		理论	实际	误差率 /%				
119	55	311.90	324	4.0	3	3 450	3 247.60	0.9
121*	55	311.90	264	-15.0	3	3 450	3 427.60	1.1
122	50	279.50	280	0	3	3 450	3 424.96	1.1
123	55	311.90	306	-1.0	4	3 450	3 416.40	1.3
124	50	279.50	272	-3.0	4	3 450	3 412.44	1.5
218	50	279.50	272	-3.0	4	3 450	3 412.44	1.5
219	50	279.50	276	-1.0	4	3 450	3 412.44	1.4
220	55	311.90	285	-8.0	4	3 450	3 416.40	1.4
221	50	279.50	260	-7.0	3	3 450	3 424.96	1.2
314	45	247.07	240	-3.0	5	3 560	3 399.92	2.1
315	50	279.50	284	1.0	3	3 450	3 424.96	1.1
316*	45	247.07	265	7.0	7	3 560	3 474.86	2.6
317	50	279.50	265	-5.0	4	3 450	3 412.44	1.5
318	45	247.07	237	-4.0	5	3 450	3 393.24	2.1
319	50	279.50	268	-4.0	5	3 450	3 399.92	1.9

注:1、孔号带“\*”者为安装测力计的监测;

2、表中回缩值为实测回缩值减去工作锚到工具锚间的钢绞线伸长值后之值。

实际伸长值与理论值吻合较好,98%误差率在 5%~10%之间。少数锚束,实际和理论伸长值差值较大,但各分级荷载间的实际伸长值与理论伸长值近似相等,说明锚固力吨位达到了要求,只是张拉段长度取值受内锚段灌浆的影响较大。

5.2 千斤顶荷载与测力计荷载对比(见表 3、表 4、表 5)

表 3~表 5 反映千斤顶和测力计荷载趋势一致,但相差较大,且低荷载下差率较高荷载下要

大。

5.3 锚固力损失

5.3.1 理论计算值

假定锚具变形沿锚索全长均匀分布,不考虑孔道摩擦

$$\Delta\sigma = \frac{\lambda}{L} E$$

式中 $\Delta\sigma$ ——锚固应力损失,MPa;

$\lambda$ ——锚固时钢绞线回缩值,mm;

L——锚索体张拉段长度,m;

E——钢绞线弹性模量,取  $2.0 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ 。

由表1、表2统计结果看,钢绞线回缩值在3~5mm之间,锚固损失率一般在1%~3%之间,最大不超过4%。

表3 锚索张拉锚固及测力计(SF<sub>2</sub>CF<sub>2</sub>)观测成果

分级	千斤顶荷载 /KN	张拉段伸长值 /mm		以实际伸长值计算荷载 /KN	测力计荷载 /KN	差率/%
		理论	实际			
张拉前	0	0	0	0		
1	750	53.71	56.0	781.9	6643	11.4
2	1500	107.42	109.0	1522.0	1366.1	8.9
3	2250	161.13	163.0	2276.0	2124.6	5.6
4	3000	214.84	213.0	2974.2	2818.5	6.0
5	3560	247.07	245.0	3421.0	3202.5	7.2
锁定		238.0	3323.3	3033.3		

表4 L121 锚索张拉锚固及测力计(SF<sub>3</sub>CF<sub>3</sub>)观测成果

分级	千斤顶荷载 /KN	张拉段伸长值 /mm		以实际伸长值计算荷载 /KN	测力计荷载 /KN	差率/%
		理论	实际			
张拉前	0	0	0	0		
1	750	67.80	58.0	641.5	867.20	-15.6
2	1500	135.60	117.0	1260.9	1699.40	-13.3
3	2250	203.40	173.0	1902.3	2476.320	-10.1
4	3000	271.20	228.0	2521.7	3137.10	-4.6
5	3450	311.90	264.0	2919.9	3356.90	-3.1
锁定		260.0	2875.7	3385.20		

表5 L316 锚索张拉锚固及测力计(SF<sub>4</sub>CF<sub>4</sub>)观测成果

分级	千斤顶荷载 /KN	张拉段伸长值 /mm		以实际伸长值计算荷载 /KN	测力计荷载 /KN	差率/%
		理论	实际			
张拉前	0	0	0	0		
1	750	53.71	50.0	698.2	570.60	23.9
2	1500	107.42	105.0	1466.1	1178.0	21.5
3	2250	161.13	163.0	2276.0	1851.3	17.7
4	3000	214.84	221.0	3085.9	2538.31	15.4
5	3560	247.07	265.0	3700.3	3020.1	15.2
锁定		255.0	3560.6	2927.0		

5.3.2 锚固力~时间过程线(见图3、图4)

测力器反映的锁定损失在3%~6%之间,大

于根据钢绞线回缩计算的损失值,主要是由于计算参数取值和钢绞线回缩测量的误差引起的。锁定后的吨位不论是监测结果还是计算结果均满足设计要求。

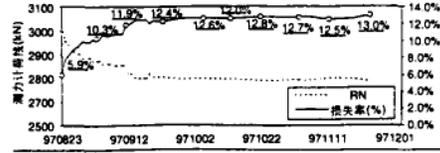


图3 L304孔 SF<sub>2</sub>CF<sub>2</sub>锚固过程线

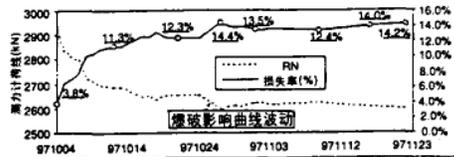


图4 L137孔 SF<sub>3</sub>CF<sub>3</sub>锚固过程线

5.4 张拉段灌浆前后锚固力变化

监测中发现L121#孔在灌浆前后不到2.5h锚固力损失值就达34.9KN,损失率为1%,这说明水化热温升对锚固力影响较大(表6)。

表6 L121(SF<sub>3</sub>CF<sub>3</sub>)锚索张拉段灌浆前后锚固力变化

日期	时间	锚固 /KN	锚固力损失值 /KN
1997.08.28	20:00(灌浆前)	3324.6	
1997.08.28	22.20(灌浆后)	3289.7	34.9

6 结语

(1)30~55m长锚索,在墩、槽间隔布置的条件下,采用分墩、槽集中流水作业,分别搭建移动编索平台和高空施工平台,进行开挖预锚交叉作业的方案是成功的。采取索架上设置滚筒,以人辅以机械牵引的下索方法是合理的。

(2)纯水泥浆材,添加高效减水早强剂,不仅获得了早期高强度,而且缩短了等强时间,加快了工程进度。

(3)内锚段止浆环充气管编索时内圈和张拉段灌浆管引出方式的改变使锚索结构更合理,从而保证了工程质量。

(4)虽然千斤顶和测力计存在系统误差,但测力计反映的锚索锚固力趋势和各孔变化规律是非常相似的,即锁定时有个突降段,锁定后7~10天内出现明显的下降,20天趋势于稳定,总损失率在13.5%以内。

参考文献(略)

注:本文原载《中国三峡建设》9/1995