

小浪底工程消力塘上游边坡 3 000 kN 锚索 张拉试验及成果分析

李向东 马邦凯

(中国水利水电第七工程局,四川郫县,611730)

摘 要 小浪底水利枢纽消力塘上游边坡锚索施工是在复杂地质条件下进行的,为确保锚索施工达到设计要求,先进行了现场张拉试验。通过试验,掌握了锚索自由端、锚墩和基础变形以及锚索徐变度与荷载的关系,验证了锚索设计吨位的合理性。

关键词 无粘结预应力岩石锚索 张拉试验 徐变度

1 概 述

小浪底水利枢纽位于黄河中下游,距洛阳市 50 km,主要建筑物由堆石坝、导流洞、排沙洞和地下发电厂房等组成。导流洞出口消力塘上游边坡主要由紫红色砂岩组成,断层、节理发育,并含软弱泥化夹层。为了确保边坡稳定,设计上除布置了砂浆锚杆、张拉锚杆和挂网喷护外,还采用岩体锚索进行加固。整个边坡共布置锚索 328 束,共计 11 932 m,其中 2 000 kN 锚索 210 束,计 6 455 m,3 000 kN 锚索 118 束,计 4 937 m。锚索孔倾向上游,倾角在 $-10^{\circ} \sim +40^{\circ}$ 。单束最大长度为 55 m,全部采用无粘结式双层防腐保护型锚索,全孔一次性注浆,锚固段长度 10~12 m,并在现场先选择一孔进行张拉试验。

2 试验目的

- (1) 了解混凝土的变形情况;
- (2) 了解张拉吨位与锚索钢绞线伸长值之间的关系;
- (3) 了解基础岩石的变形情况;
- (4) 观测锚索钢绞线在恒载作用下的徐变情况;
- (5) 分析试验数据,为正式进行 3 000 kN 锚索施工提供依据和质量保证。

3 试验孔施工

试验锚索孔编号为 A02,孔口高程 163.20 m,桩号 P.0+096.20 m,正处于 F236 断层上,周围岩体破碎松散。锚索孔采用阿特拉斯 A66-CB 钻机配风动潜孔锤冲击回转成孔,钻孔直径为 220 mm,钻孔倾向上游,倾角 10° ,锚索锚固段长度 12 m。

4 锚索材料

(1) 钢绞线 秦皇岛预应力联营公司生产的、符合美国 ASTM A416 标准,270 级“高强度、低松弛”无粘结钢绞线,其弹性模量为 202 GPa,计算截面积 140 mm^2 。

(2) 波纹管、对中架及隔离片等均采用承包商从意大利进口的 PVC 材料。

(3) 水泥 洛阳 525R 普通硅酸盐水泥。

(4) 外加剂 广州西卡(Sika)建筑材料有限公司生产的 Intrapast-z,其掺量为水泥质量的 1%。

(5) 锚具 广西柳州建筑机械总厂生产的 OVM15-19 型锚具。

5 张拉试验

A02 锚索进行锚固灌浆达 11 d 时,净浆试块抗压强度为 39.6 MPa,锚墩混凝土试块抗压强度 43.8 MPa,经报现场监理工程师同意后,进行张拉试验。在远离试验区 60 m 处设立一个控制水准点,以保证不受锚索张拉时对其造成影响。在控制点用 WILD 经纬仪观测锚索基础岩石在荷载作用下的变形。

张拉由千斤顶 YCD-4000 在 8 t 东风汽车吊的辅助下进行工作。张拉试验步骤按照“小浪底水利枢纽工程第二标进水口、洞群和溢洪道招标文件”第 7.5.2 条款和图 1 所示进行。设计荷载为 3 000 kN,在进行观测前,对锚索在设计荷载的 30%~100% 之间循环加载 20 次。张拉共历时 30 h 30 min,整个试验过程是连续进行的。当超张拉至 3 750 kN 时,无任何异常情况发生,试验结果达到预期目的。

6 试验成果分析

经对试验观测的原始数据整理后,得出在不同荷载作用下锚索自由端伸长值、锚墩变形和基础岩体变形的关系见表 1。

从表 1 中可见,锚墩在各级荷载作用下变形值均较小,并且在最后卸荷至 300 kN 时,锚墩变形为 -0.07 mm ,可视其为永久变形,故其在短时间内各级荷载作用下的变形为弹性变形。

在表 1 中锚索所发生的变形值应满足下式:

$$L_t = L_a + S_1 + S_2$$

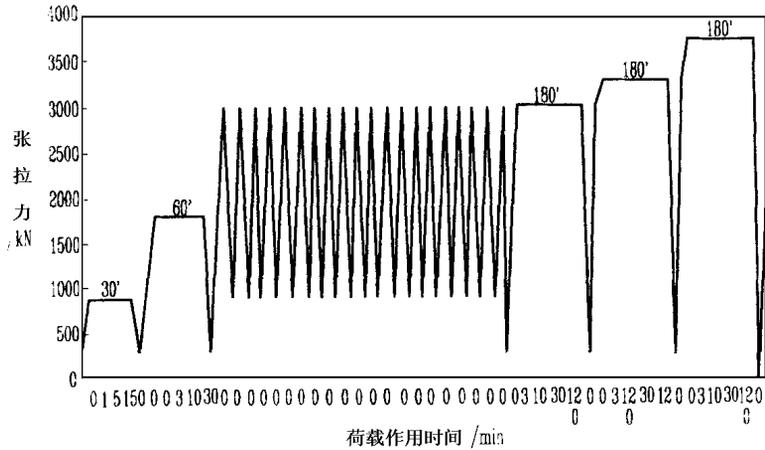


图1 3 000 kN 锚索张拉试验施加荷载步骤示意图

表1 荷载与各部位变形关系表

荷载/kN	300	900	300	900	1 800	300	1 800	3 000	300
总变形/mm	0	21.84	0	21.76	75.24	3.64	69.86	137.90	8.56
锚索弹性变形/mm	0	21.59			70.9				
自由端永久变形/mm	0	0			3.32				
锚墩变形/mm	0	0.25	0.21	0.32	0.35	0.16	0.32	0.55	- 0.10
基础岩体变形/mm	0		- 1.0		0.67	0.32			
荷载/kN	3 000	300	3 000	3 300	300	3 300	3 750	300	
总变形/mm	146.54	9.20	139.60	158.02	10.00	161.96	190.84	12.32	
锚索弹性变形/mm	135.34			146.15			176.29		
自由端永久变形/mm	7.82			8.65			10.49		
锚墩变形/mm	0.55	0.09	0.43	0.39	- 0.09	0.23	0.23	- 0.07	
基础岩体变形/mm	2.83	1.38		2.83	1.35		3.83	1.83	

式中 L_t ——荷载作用下千斤顶油缸实测伸长值 (mm) ;

L_a ——锚索自由端伸长值 (mm) ;

S_1 ——荷载作用下锚墩弹性变形值 (mm) ;

S_2 ——荷载作用下基础岩体变形值 (mm) ;

根据表1中数据绘制出锚索自由端变形、弹性变形和永久变形与荷载的关系曲线见图2。由锚索钻孔的测斜资料,其孔斜度小于 1° ,可不考虑孔道摩擦的影响。其理论计算伸长值可按下式计算:

$$L_a = \frac{(F - 300) \cdot L}{A \cdot E_s}$$

式中 F ——锚索张拉力 (kN) ;

A ——锚索截面积 (mm^2) ;

E_s ——锚索弹性模量 (GPa) ;

L ——锚索长度 (mm)。

张拉试验锚索自由段长度 (L) 为 28.5 m, 锚索弹性模量 (E_s) 为 202 GPa, 锚索截面积 (A) 为 2 660 mm^2 , 试验张拉力 (F) 为 3 750 kN。按上述公式计算锚索自由端伸长值为 183 mm, 试验实测值为 176.29 mm, 两者结果相当接近。

因试验锚索 A 、 E_s 和 L 为定值, 故可在图2上

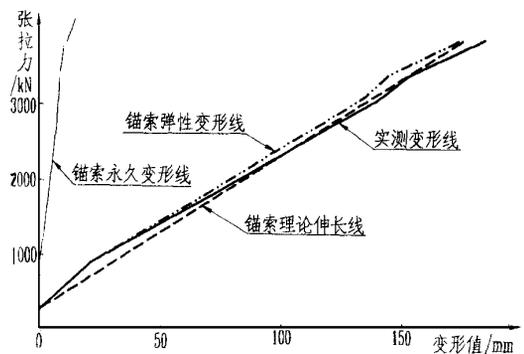


图2 作用荷载与变形量之间的关系图

表示出计算张拉伸长值与荷载的直线关系。由图2可知, 锚索理论伸长和弹性变形两条直线是较为接近的, 完全满足《水工预应力锚固施工规范》SL46-94第5.2.4条款+10%、-5%的误差范围要求。

在设计中, 将3 000 kN锚索的锁定吨位定为2 400 kN, 仅为锚索破断负荷的45.5%。在图2中可以看出, 锚索自由端变形线与理论伸长线相交于2 290 kN, 当荷载大于2 290 kN时, 锚索自由端因永久变形增大而伸长值大于计算伸长值, 在5%的

(下转第67页)

3.9 补气试验

试验的主要目的是确定补气对机组稳定性和效率的影响程度。

试验在对应于 135 m 和 189 m 水头、带部分负荷及电站空化系数工况下进行。空气由转轮下环底部的水轮机轴中心孔补入。通过补气,电站整个水头段内的压力脉动振幅值均小于合同规定的保证值 5%。补气量与机组的运行工况有关,经试验得出的补气量与水轮机流量的最佳比值($Q_{\text{air}}/Q_{\text{water}}$)为 0.15%。若水轮机按此比值补气运行,对效率影响不大,仅下降约 0.25%。补气后,尾水管内压力脉动的混频幅值均减小到 2% 以下。

试验还表明,补气系统仅在导叶 $12^\circ \sim 18^\circ$ 开度范围内并出现最大压力脉动的工况下才需要投入。

3.10 蜗壳测流压差试验

按合同要求及蜗壳压差测量法的规定,在蜗壳上选定两个不同的测流断面,并在每个断面上测量水轮机的流量。此项试验的目的是为现场指数试验的相对流量公式取得数据。通过试验,获得的用于验证现场指数的最终相对流量公式为:

$$\log Q = 0.51176 \log H + 1.08073.$$

3.11 水力流道的尺寸检查

(上接第 30 页)

允许误差范围内, $2290 \times (1.0 + 0.05) = 2405$ kN,基本与设计锁定吨位吻合。因此,可以认为,以 2400 kN 为锁定吨位的主要目的,是保证在边坡稳定的前提下,使锚索处于完全弹性范围内,将锚索的应力松弛损失和徐变量降到最低限度。

在进行无粘结岩锚施工中,进行锚固灌浆使岩石和锚索成为整体,故在张拉时产生的徐变值可视作此整体的徐变值。而在设计荷载 3300 kN 和 3750 kN 时,经过 180 min 的徐变观测,徐变呈非线性变化。当 $F = 3300$ kN 时,徐变值为 1.32 mm,徐变度为 34.3×10^{-6} MPa;当 $F = 3750$ kN 时,徐变值为 0.68 mm,徐变度为 15.5×10^{-6} MPa。徐变度满足混凝土徐变度变化范围 $(3 \sim 36) \times 10^{-6}$ MPa,也就是说,在超张拉状态下,所发生的徐变是正常的。

7 结 语

(上接第 20 页)

overland flow. Trans. ASAE, 1985, 28(3), 755 ~ 762

14 钱宁,万兆惠著.泥沙运动力学.北京科学出版社,1983,24,284,356

15 G. M. Smart. Sediment Transport Formula for Steep Channel. J. Hydraulic Engineering, 1984, 110(3), 267 ~ 277

所有模型过流部件均按业主选定的项目进行了实物尺寸检查,同时还验证了导叶和转轮的型线。

4 结 语

二滩电站水轮机模型试验在业主代表目击下,于 1994 年 11 月 6 日至 12 月 2 日在 GE 公司位于加拿大蒙特利尔市拉辛的水力试验室进行。试验期间,各测试项目均严格按合同规定的程序和条件进行,试验中记录和获得的数据是真实和有效的。

各项试验均严格按合同技术规范、IEC 出版物 193(1965)、193A 及其第一次补充(1972)和 1 号修正(1977):“水轮机模型验收试验的国际规范”进行。试验期间,主要对模型水轮机的效率、空蚀、飞逸转速,补气和水推力等项目进行了测试。试验结果表明,模型水轮机的效率、能量、空蚀、轴向水推力、导叶水力矩等主要指标达到合同要求,尾水管压力脉动指标基本达到要求,但个别工况下超过了合同规定的指标。

作者简介

金德才 男 二滩工程公司 工程师

(收稿日期:1998-09-03)

(1) 本试验分析了锚索自由端、锚墩和基础变形与荷载的关系,为验证锚索的理论设计提供依据。

(2) 按钢绞线计算伸长值理论,将直线与实测变形线的交点,作为锁定吨位是合理的。

(3) 将预应力混凝土的徐变度变化范围 $(3 \sim 36) \times 10^{-6}$ MPa 引入作为分析岩体锚索徐变度变化的范围,有一定的可行性。

(4) 此锚索正处于断层破碎带上,经试验张拉,效果理想,为下一步进行 3000 kN 锚索施工的安全性提供了依据。

作者简介

李向东 男 中国水利水电第七工程局勘测设计院 工程师

马邦凯 男 中国水利水电第七工程局基础处理公司经理 高级工程师

(收稿日期:1997-10-24)

作者简介

王协康 男 四川大学高速水力学国家重点实验室 博士

敖汝庄 女 四川大学调整水力学国家委员实验室 工程师

喻国良 男 四川大学文选水力学国家重点实验室 教授 博导

方 铎 男 四川大学水利系 教授 博导

(收稿日期:1997-11-10)

Design of Impervious and Drainage Systems for Underground Powerhouse at Ertan Hydropower Station

Fan Xiangrong

(Chengdu Hydroelectric Investigation and Design Research Institute ,State Power Company ,Chengdu ,610072)

Abstract Design of impervious and drainage systems for underground powerhouse at Ertan hydropower station is presented. The underground powerhouse complex is a gigantic project ,powerhouse is immediately adjacent to reservoir and seepage flow conditions are complex. Therefore , it is essential to take seepage control measures for cavern rock stability and safe operation of the power station.

Key words Ertan hydropower station ,underground powerhouse ,seepage control and drainage ,curtain

Deformation and Supporting of Surrounding Rock in Caverns of Underground Powerhouse complex at Ertan Hydropower Station

Li Zhenggang

(Ertan Engineering Corporation ,Panzihua ,Sichuan ,617000)

Abstract Caverns in underground powerhouse complex at Ertan is of a massive scale with the longest span and length in the world. Due to high in situ stress in the powerhouse area ,important deformation of local surrounding rock ,rock burst ,shotcrete spalling occur during excavation. Systematic rock bolt support and shotcrete were carried out for the surrounding rock and reinforcement was done locally for rock stability. Supporting force for surrounding rock is determined by Q value of rock quality. It is an example for design of supporting strength.

Key words Ertan hydropower station ,underground powerhouse ,high in situ stress ,deformation of surrounding rock ,rock bolt support and shotcrete ,support strength

Tension Test and Result Analysis on 3000 kN Anchorage Cable on Upstream Slope of Stilling Basin at Xiaolangdi Waterconservancy Project

Li Xiangdong Ma Bangkai

(The 7th Construction Bureau of Water Conservancy and Hydropower Engineering of China ,Pixian ,Sichuan ,611730)

Abstract Installation of anchorage cable on upstream slope of stilling basin at Xiaolangdi project was carried out under difficult geological conditions. Insitu tension test was conducted first to ensure anchorage meeting design requirements. From test ,the relationship of cable free end , anchor pier ,foundation deformation and cable creep with load is revealed and rational design force for anchorage cable is proved.

Key words rock anchor with prestress without bond ,tension test ,creep degree

Problem of Drainage in Dam Foundation of High Arch Dam

Zhang Wenzhuo

(Kunming Hydroelectric Investigation and Design Research Institute ,State Power Company ,Kunming ,650051)

Abstract By analysis on example of project defeats and on the Casagrande Theory ,a elementary introduction on purpose ,arrangement ,mode and parameters for drainage in dam foundation of high arch dam is presented. The drainage parameters are so difficult to be determined that data from some projects in China and abroad are analyzed. Preliminary knowledge is gained finally and suggestions are proposed.

Key words arch dam ,dam foundation ,drainage ,seepage pressure ,grout

Long - term Study on Autogenous Deformation of Concrete Added with MgO

Li Chengmu

(Chengdu Hydroelectric Investigation and Design Research Institute ,State Power Company ,Chengdu ,610072)

Abstract Test and experiment for autogenous deformation of concrete added with lightly burnt MgO and inside MgO observed for 10 years and 20 years are provided. Test of mechanical and deformation properties during 12 years proves that long - term mechanical property for concrete with MgO is stable and not so much effected by slight expansion.

Key words added MgO ,inside MgO ,autogenous deformation ,concrete with MgO ,deformation by expansion