

两河口水电站导流洞进口边坡监测资料分析

张忠举¹, 冉 林²

(1. 水利部南京水利水文自动化研究所, 江苏 南京 210005 ;
2. 长江勘测规划设计研究有限责任公司, 湖北 武汉 430000)

摘要: 两河口水电站导流洞进口边坡是导流洞的关键部位, 通过监测对边坡施工期的稳定有一定的施工指导, 稳定性进行初步分析, 监测结果表明: 导流洞边坡的变形等情况和地质与施工的爆破有相关的关联性, 地质条件较差, 边坡开挖后, 产生了裂缝等, 为确保工程及施工安全, 为工程建设赢取宝贵的时间, 为同类工程的设计积累了设计的经验等。对该工程具有借鉴的作用。

关键词: 两河口水电站; 导流洞; 进口边坡; 监测资料分析

中图分类号: TV74 **文献标识码:** B **文章编号:** 1007-7839 (2017) 08-0043-06

Analysis on the monitoring data of inlet slope of diversion tunnel of Lianghekou Hydropower Station

ZHANG Zhongju¹, RAN Lin²

(1. Nanjing Automation Institute of Water Conservancy and Hydrology, Ministry of Water Resources, Nanjing 210005, Jiangsu; 2. Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research Co., Ltd, Wuhan 430000, Hubei)

Abstract: The inlet slope of the diversion tunnel of Lianghekou Hydropower Station is the key part. There was certain construction guidance on the stability of the slope construction period by monitoring. Through preliminary analysis of stability, the results show that the deformation of the diversion tunnel slope was related to the geology and the blasting of the construction. Cracks generated after slope excavation because of the poor geological conditions. To ensure the quality of the project and the safety of construction, and win precious time for the construction of the project, design experience for similar engineering was accumulated. It could be used for reference in this project.

Key words: Lianghekou Hydropower Station; inlet slope of diversion tunnel; analysis of monitoring data

1 概述

两河口水电站位于四川省甘孜州雅江县境内的雅砻江干流上, 为雅砻江中、下游梯级电站的“龙头水库”, 坝址位于鲜水河河口以下约 1.8 km 河段上, 控制流域面积约 65599 km², 坝址处多年平均流量 670 m³/s, 水库正常蓄水位 2865.0 m, 相应库容 101.54 亿 m³, 死水位 2785.00 m, 相应库容

35.94 亿 m³, 水库具有多年调节能力。

两河口水电站 2 条初期(1# 和 2#) 导流洞均布置在雅砻江右岸。1# 导流洞洞身长 1724.65 m, 其中与电站尾水隧洞结合段长 610.82 m, 在 0+157.06 m 至 0+170.06 m 间设封堵闸门竖井, 出口处设有尾水闸室; 2# 导流洞洞身长 1983.43 m, 其中与电站尾水隧洞结合段长 755.82m, 在 0+209.14 m 至 0+222.14 m 间设封堵闸门竖井, 出口处设有尾水

收稿日期: 2017-05-30

作者简介: 张忠举 (1983-), 男, 主要从事水工建筑物大坝及岩土工程安全监测工作。

闸门。1#和2#导流洞为城门洞型,净断面尺寸为 $12\text{ m}\times 14\text{ m}$ (宽 \times 高),与尾水隧洞结合段净断面尺寸为 $12\text{ m}\times 15\text{ m}$ (宽 \times 高),洞身采用钢筋混凝土衬砌。

2 工程地质

进口洞脸边坡走向约 $\text{N}35^\circ\text{W}$,倾 NE ,最大开挖坡高 45 m 。上游侧边坡走向约 $\text{N}35^\circ\text{E}$,倾 SE ,边坡最大开挖高度约 75 m ;下游侧边坡走向约 $\text{N}75^\circ\text{E}$,倾 NW ,开挖高度 20 m 。洞脸边坡开挖坡比 $1:0.5$;侧坡上部开挖坡比为 $1:0.75$,下部 $1:0.5$ 。 2620 m 、 2640 m 、 2660 m 高程分别设三级马道。

进口区为基岩岸坡,1#导流洞自然边坡,在 2770 m 以下地形坡度 $45^\circ\sim 55^\circ$; 2770 m 高程以上,坡度为 $70^\circ\sim 75^\circ$ 。2#导流洞河边为十余米陡崖,上部地形坡度 $30^\circ\sim 45^\circ$ 。地层岩性为 $\text{T}3\text{lh}1(2)$ 层变质粉砂岩夹粉砂质板岩,主要发育① $\text{N}63^\circ\sim 72^\circ\text{W}/\text{SW}\angle 75^\circ\sim 85^\circ$ (层面),⑥ $-1\text{ N}15^\circ\sim 40^\circ\text{E}/\text{SE}\angle 22^\circ\sim 45^\circ$,⑦ $-1\text{ N}10^\circ\sim 25^\circ\text{W}/\text{NE}\angle 25^\circ\sim 46^\circ$,④ $\text{N}15^\circ\sim 40^\circ\text{E}/\text{SE}\angle 70^\circ\sim 85^\circ$ 优势裂隙组。

3 监测仪器布置

进口边坡布置5个监测断面,共有锚杆应力计11支,锚索测力计6台、4点位移计11套,监测布置见表1(粗体部分表示已经完成仪埋安装,标下划线者属设计通知增加量)。

导流洞进口边坡共布置5个监测断面,共有锚杆应力计11支,锚索测力计6台、4点位移计11套。

从2009年7月22日第1支锚杆应力计($\text{Rr}06\text{DLJ}$ 、 $\text{Rr}09\text{DLJ}$)安装,已安装埋设锚杆应力计6支,4点位移计5套。仪器埋设部位见图1,图中 $\text{M}4$ 为4点位移计, Rr 为锚杆应力计。

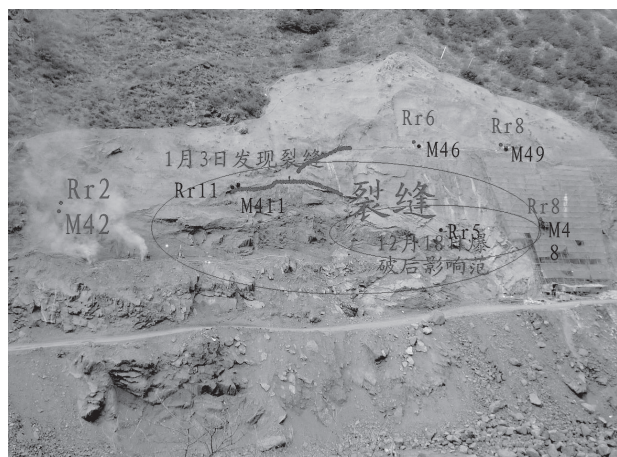


图1 进口边坡仪器埋设图

4.1 锚杆应力计监测成果

导流洞进口边坡安装了6支锚杆应力计,最大拉应力 294.51 MPa ,最大压应力 2.16 MPa ,当前应力在 $0.97\text{ MPa}\sim 294.48\text{ MPa}$ 之间,见表2。

从表1和图3~图8可以看出,导流洞进口边坡的锚杆应力计具有如下特征:

(1)杆从安装初期到2009年底,大部分时间处于受拉状态,温度等因素对应力的影响不明显,

表1 导流洞进口边坡监测布置情况表

部位及安全监测仪器 类型	1号导流洞进口边坡			2号导流洞进口边坡		
	锚杆应力计	锚索测力计	多点位移计	锚杆应力计	锚索测力计	多点位移计
2660m 以上斜坡	<u>$\text{R}^{\text{t}}11\text{DLJ}$</u>		<u>$\text{M}^{\text{t}}11\text{DLJ}$</u>	$\text{R}^{\text{t}}06\text{DLJ}$ $\text{R}^{\text{t}}09\text{DLJ}$		$\text{M}^{\text{t}}06\text{DLJ}$ $\text{M}^{\text{t}}09\text{DLJ}$
2640 ~ 2660m 斜坡	$\text{R}^{\text{t}}02\text{DLJ}$ <u>$\text{R}^{\text{t}}10\text{DLJ}$</u>		$\text{M}^{\text{t}}02\text{DLJ}$ <u>$\text{M}^{\text{t}}10\text{DLJ}$</u>	$\text{R}^{\text{t}}05\text{DLJ}$ $\text{R}^{\text{t}}08\text{DLJ}$	$\text{PR}04\text{DLJ}$ $\text{PR}06\text{DLJ}$	$\text{M}^{\text{t}}05\text{DLJ}$ $\text{M}^{\text{t}}08\text{DLJ}$
2620 ~ 2640m 斜坡	$\text{R}^{\text{t}}01\text{DLJ}$ $\text{R}^{\text{t}}03\text{DLJ}$	$\text{PR}01\text{DLJ}$ $\text{PR}02\text{DLJ}$	$\text{M}^{\text{t}}01\text{DLJ}$ $\text{M}^{\text{t}}03\text{DLJ}$	$\text{R}^{\text{t}}04\text{DLJ}$ $\text{R}^{\text{t}}07\text{DLJ}$	$\text{PR}03\text{DLJ}$ $\text{PR}05\text{DLJ}$	$\text{M}^{\text{t}}04\text{DLJ}$ $\text{M}^{\text{t}}07\text{DLJ}$

4 进口边坡监测资料

锚杆反映的拉应力主要是岩体变形使锚杆所承受的拉力^[1-2]。

表 2 导流洞进口边坡锚杆应力计特征值表

点名	最大拉应力			最大压应力			当前应力		
	日期	P (MPa)	T (℃)	日期	P (MPa)	T (℃)	日期	P (MPa)	T (℃)
2662 高程锚杆									
R'06DLJ	09-12-11	11.06	14.96	09-7-25	-0.01	17.78	09-12-25	11.01	14.10
R'09DLJ	09-9-25	68.97	17.41				09-12-25	57.08	13.52
2650 高程锚杆									
R'11DLJ	09-12-18	294.51	11.99	09-9-10	-1.09	17.01	09-12-25	294.48	11.62
2642 高程锚杆									
R'02DLJ	09-9-18	1.09	16.95	09-10-9	-2.16	17.15	09-12-25	0.97	14.88
R'05DLJ	09-12-4	15.06	15.15	09-9-30	-0.01	16.66	09-12-25	15.01	14.32
R'08DLJ	09-12-18	51.51	13.36				09-12-25	49.33	12.99

(2)附近施工爆破后, 锚杆拉应力有较大幅度的增加, 主要原因是: ①边坡岩石破碎, 结构面朝向临空面, 本身结构不稳, 见图 2; ②施工爆破诱发边坡岩石向临空面滑动, 导致锚杆拉应力不断增加。各锚杆应力计的具体情况如下:



图 2 导流洞进口边坡岩石结构面

锚杆应力计 Rr02DLJ 位于 1 号导流洞进口边坡 1 号监测断面 2642 m 高程, 2009 年 8 月 23 日取得基准值, 锚杆应力在 -2.16 ~ 1.09 MPa 之间, 应力变化主要受温度影响, 见图 3。

锚杆应力计 Rr05DLJ 位于 2 号导流洞进口边坡 3 号监测断面 2642 m 高程, 2009 年 9 月 28 日取得基准值, 锚杆应力在 -0.01 ~ 15.06MPa 之间, 10 月 30 日至 11 月 7 日附近爆破施工, 锚杆应力增加了约 10MPa, 主要表现为拉应力, 应力变化除

受温度影响外, 锚杆还承受了边坡荷载, 但量值较小^[3], 见图 4。

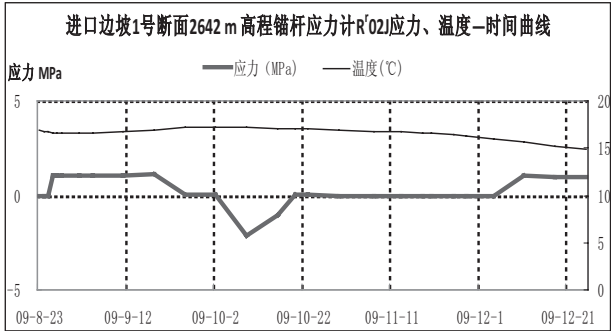


图 3 进口边坡锚杆应力计 Rr02DLJ 应力—时间曲线

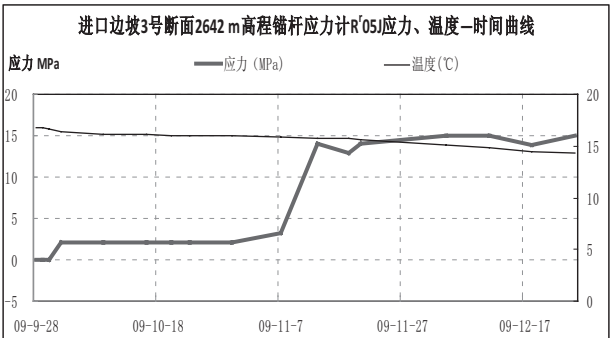


图 4 进口边坡锚杆应力计 Rr05DLJ 应力—时间曲线

锚杆应力计 Rr06DLJ 位于 2 号导流洞进口边坡 3 号监测断面 2662 m 高程, 2009 年 9 月 28 日取得基准值, 锚杆应力在 -0.01 ~ 11.06 MPa 之间, 主要表现为拉应力, 且有增大趋势, 说明锚杆与边坡岩体之间灌浆固结效果良好, 边坡表层岩体有向河谷滑动趋势, 施工锚杆对表层岩体的滑动起到了加固和控制作用, 但量值较小, 见图 5。

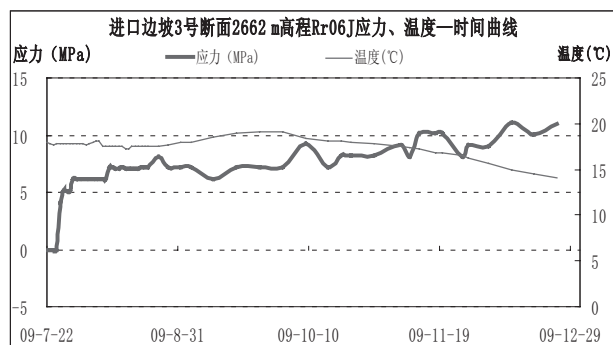


图5 进口边坡锚杆应力计 Rr06DLJ 应力—时间曲线

锚杆应力计 Rr08DLJ 位于2号导流洞进口边坡4号监测断面2642 m高程,2009年9月28日取得基准值,锚杆应力在0.00 ~ 51.51 MPa之间,11月6日至11月3日附近爆破施工,锚杆应力增加了约30 MPa,表现为拉应力,应力变化除受温度影响外,锚杆还承受了边坡荷载。11月18日后,锚杆应力变化主要受温度影响,见图6。

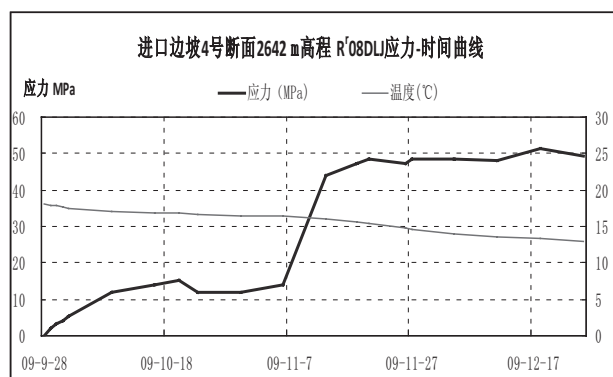


图6 进口边坡锚杆应力计 Rr08DLJ 应力—时间曲线

锚杆应力计 Rr09DLJ 位于2号导流洞进口边坡4号监测断面2662 m高程,2009年7月22日取得基准值,锚杆应力在0.00 ~ 68.97 MPa之间,7月25日至7月26日附近爆破施工,锚杆应力增加了约62 MPa,表现为拉应力,应力变化除受温度影响外,锚杆还承受了边坡荷载。11月7日附近锚索灌浆后,锚杆应力受气温降低影响,应力成逐步减小趋势^[4],见图7。

锚杆应力计 Rr11DLJ 位于1、2号导流洞进口边坡中间段5号监测断面2650.6 m高程,2009年9月9日取得基准值,锚杆应力在-1.09 ~ 294.51 MPa之间,10月30日,仪器附近放炮后,锚杆应力增加了约43 MPa,达到47.20 MPa,以后随着边坡爆破,锚杆应力逐步增加,到12月11日,达到74.56 MPa,12月18日,边坡爆破后,锚杆应力陡

增约220 MPa,达到294.51 MPa,边坡出现裂缝,见图9,应力变化过程见图8。

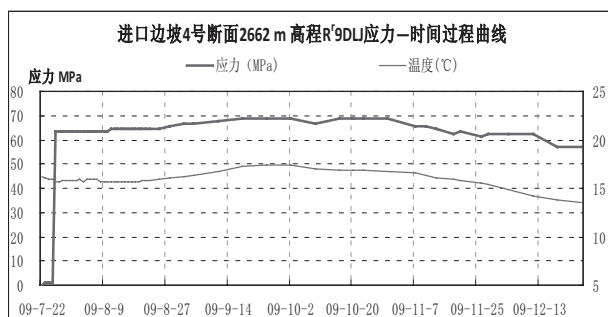


图7 进口边坡锚杆应力计 Rr09DLJ 应力—时间曲线

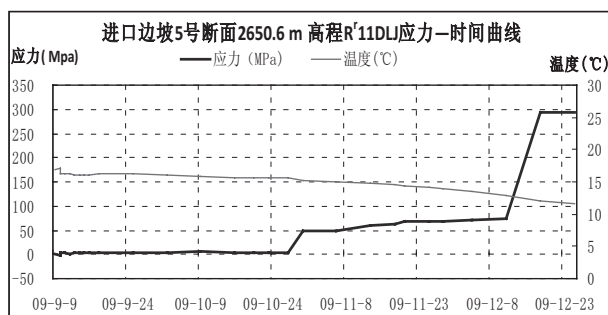


图8 进口边坡锚杆应力计 Rr11DLJ 应力—时间曲线

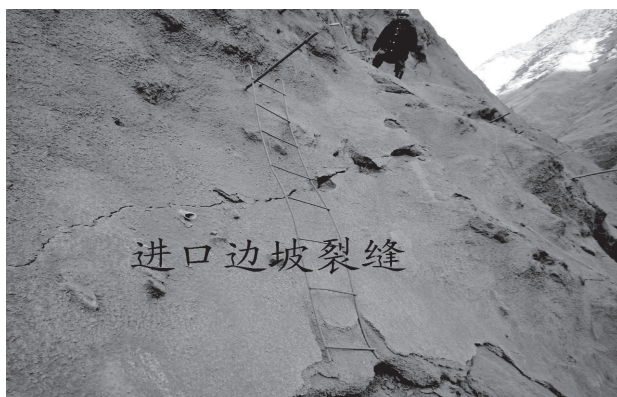


图9 进口边坡裂缝

4.2 多点位移计监测成果

导流洞进口边坡目前埋设5套多点位移计,各测点埋设部位见图1。其中M406DLJ、M408DLJ、M409DLJ12月31日灌浆。正在取基准值。其余2套监测成果表明,边坡主要表现为向临空面的位移,累计位移在-3.81 ~ 18.92 mm之间。各测点具体情况如下^[5-6]:

位于1号导流洞进口边坡1号监测断面2641.5 m高程的4点位移计M402-DLJ,2009年9月11日取得基准值,表2为各测点变形特征值,图10为其变形过程线图。

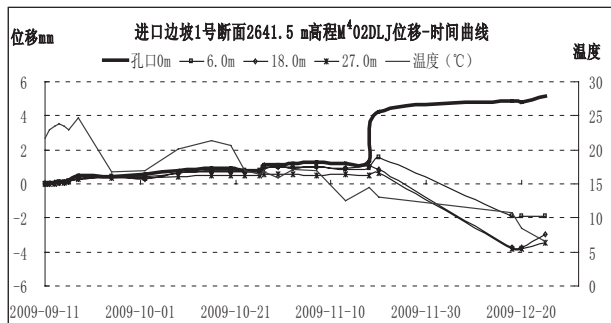


图 10 进口边坡多点位移计 M402DLJ 位移—时间曲线

从观测结果可以看出，该部位的变形主要有以下几个趋势：① 9 月 11 日至 11 月 18 日，测点主要受边坡开挖后，边坡卸荷影响，表现为向临空面的蠕动变形，但效应量很小，到 11 月 18 日，孔口位移为 1.32 mm。② 11 月 18 日至 11 月 20 日，由于受附近边坡爆破影响，表现为向临空面的松胀变形，2 d 时间，孔口向临空面变形 2.93 mm，达到 4.25 mm。③ 11 月 20 日至 12 月 18 日，随着下游侧洞室开挖，测点受边坡施工和洞室开挖的综合影响，表层岩体表现为向临空面的位移，深层岩体表现为向洞室（下游）侧的位移，孔口的位移为 0.65 mm，6 m 测点处的位移为 -3.48 mm，18 m 测点处的位移为 -4.59 mm，27 m 测点处的位移为 -4.46 mm。④ 12 月 18 日至 12 月 25 日，受该处边坡开挖影响，边坡向临空面有小量位移^[7]。

位于导流洞进口边坡 5 号监测断面 2650.6 m 高程的 4 点位移计 M411-DLJ，2009 年 9 月 11 日取得基准值，表 3 为各测点变形特征值，图 11 为其变形过程线图。

10 月 30 日，仪器附近放炮后，边坡向临空面

位移了约 4 mm，达到 4.87 mm，到 12 月 11 日，边坡基本未动，12 月 18 日，边坡爆破后，位移量陡增约 14 mm，达到 18.92 mm，边坡出现裂缝，裂缝宽小于 1mm，边坡位移过程见图 11。

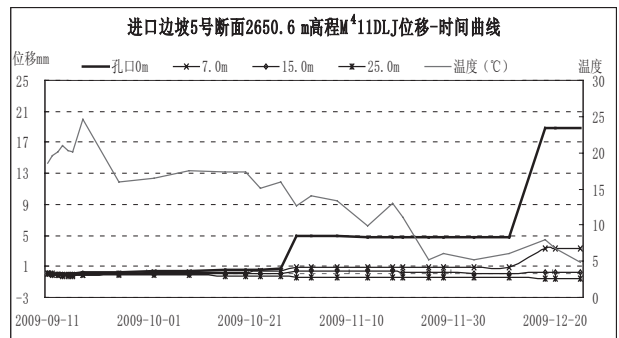


图 11 进口边坡多点位移计 M411DLJ 位移—时间曲线

从观测结果可以看出，该部位的变形主要有以下几个趋势：①边坡位移主要是受爆破影响；②边坡位移主要表现为表层位移^[8]。

5 结论

(1) 附近施工爆破后，锚杆拉应力和边坡位移都有较大幅度的增加，主要原因是：①边坡岩石破碎，结构面朝向临空面，本身结构不稳；②施工爆破诱发边坡岩石向临空面滑动，导致锚杆拉应力和边坡位移不断增加^[9]。

(2) 边坡的变形主要表现为表层变形，深层岩体处于稳定状态。

(3) 锚杆与边坡岩体之间灌浆固结效果良好，边坡表层岩体有向河谷滑移趋势，施工锚杆对表层岩体的滑动起到了加固和控制作用^[10]。

表 3 导流洞进口边坡多点位移计特征值表

仪器编号	观测日期	累计位移 (mm)					本次变化量 (mm)				备注
		孔口	6.0 m	18.0 m	27.0 m	34.0 m	孔口	6.0 m	18.0 m	27.0 m	
M ⁴ 02-DLJ 钻孔深度 35 m 孔口高程 2641.5 m	09-09-11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00					基准值
	09-11-18	1.32	0.93	1.02	0.50	0.00	1.32	0.93	1.02	0.50	
	09-11-20	4.25	1.58	0.85	0.64	0.00	2.93	0.65	-0.18	0.15	边坡爆破
	09-12-18	4.90	-1.91	-3.75	-3.81	0.00	0.65	-3.48	-4.59	-4.46	洞室开挖
	09-12-25	5.18	-1.89	-2.95	-3.46	0.00	0.28	0.02	0.80	0.36	

(下转第 51 页)

参考文献:

- ## 参考文献:
- [1] 国家电力监管委员会大坝安全监察中心. 岩土工程安全监测手册 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2013:359-360.
 - [2] 冯小磊, 施云江, 易丹. 溪洛渡水电站左岸地下洞室群安全监测与分析 [J]. 人民长江, 2010 (20).
 - [3] 吕学清. 高边坡内夹层置换及其安全监测 [J]. 水利水电施工, 1995 (21).
 - [4] 崔立军. 陡河水库大坝安全监测自动化系统的建设与应用 [J]. 海河水利, 2008 (6).
 - [5] 覃毅宝, 刘聪元, 张保军. 隔河 岩电厂高边坡运行期的稳定性 [J]. 人民长江, 2007 (1).
 - [6] 王志远, 沈慧. 关于围岩及边坡监测资料分析中一些问题的思考 [J]. 水电自动化与大坝监测, 2011 (2).
 - [7] 李珍照. 三峡工程水工建筑物监测资料分析工作研究 [J]. 大坝观测与土工测试, 1999 (1).
 - [8] 方卫华. 综论土石坝的安全监测 [J]. 红水河, 2002 (4).
 - [9] 郝长江. 长江三峡水利枢纽永久船闸高边坡安全监测设计综述 [J]. 大坝与安全, 1995 (1).
 - [10] 李学启, 陈洪蛟, 李光等. 兰滩水电站导流洞高边坡综合治理 [J]. 水利水电工程设计, 2007 (2).

(责任编辑:王宏伟)