

楞古水电站建设与防灾减灾

周喜德, 唐奇志, 姚雷

(雅砻江流域水电开发有限公司, 四川 成都 610051)

摘要:力丘河口-蒙古山河段内分布有唐古栋滑坡、马河变形体等特大型、巨型潜在不稳定体,在地震工况下可能失稳的总方量约为4.5亿 m^3 ,失稳后的堰塞体溃决洪水将可能对其下游电站的正常运行、下游沿河居民带来风险。建设楞古水电站能改善该区域的通讯、交通条件,设置边坡自动监测设施,有利于增强滑坡变形体的预警预报和对滑坡灾害的应急处置能力。同时,楞古水电站采用混合长引水开发方案,在滑坡影响区设置公路隧洞,在紧急情况下可以泄流,在来水小于丰水期平均流量时可以避免堰塞体溃决,在发生洪水时可以延长堰塞体的溃决时间,从而实现防灾减灾。

关键词:楞古水电站;滑坡;枢纽布置;防灾减灾

中图分类号:

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2013)06-0086-05

1 概述

楞古水电站工程场址位于四川省甘孜藏族自治州康定、雅江两县交界处,地处雅砻江中游支流利丘河河口~蒙古山大河湾尾部长约27 km的雅砻江干流河段(图1)。

力丘河口~蒙古山河段内山高、谷深、坡陡,地层岩性复杂,褶皱断裂发育,岩体破碎,为特大型滑坡灾害的发生提供了特定的地形地质条件。历史上曾经发生过多次巨型滑坡活动,其中规模巨大且有详细记载的是1967年6月8日9时左右在雅江县孜河乡唐古栋发生的大滑坡^[1-3]。

1967年6月8日9时,唐古栋滑坡2750 m高程以下堆积体首先产生滑动,形成100多m高的滑坡后壁,为上部坡体的变形提供了空间,随后在不到20 min的时间内,上部滑体剪断了下部锁固段岩体,产生整体高速滑坡冲向雅砻江对岸,5 min内形成左岸堰高355 m、右岸堰高175 m、体积达6800万 m^3 的堰塞坝。失稳边坡高差达1000 m,剪出口高程2500 m,后缘高程3550 m(照片1、2)。堰塞湖控制流域面积达71160 km^2 ,至6月17日8时漫顶溢流时,最大拦蓄水量达6.8亿 m^3 ,最高库水位达2585 m高程,回水长53 km。1967年6月17日8时水库漫顶,8时30分坝体缺口宽约数米,12时后坝体溃决加快,15时溃口宽达150 m左右,至20时坝体溃决结束。整个过程历时12 h,坝体逐渐溃决时间达4.5 h,

收稿日期:2013-08-09

集中溃决2 h,泄洪总量达6.57亿 m^3 ,由此造成雅砻江罕见的特大洪水。据调查和实测资料,溃决处水位雍高达50.7 m,溃决后最大流量约53000 m^3/s ,主要泄洪历时13 h,泄洪量约6亿 m^3 。洼里水文站出现的最大洪峰流量为23600 m^3/s ,泸宁水文站为23100 m^3/s ,小得石水文站为19900 m^3/s 。

2 地质条件及其地质灾害危险性分析

2.1 地形地质条件

力丘河口~蒙古山河段左岸属于康定县普沙绒乡、吉居乡,右岸属于雅江县孜河乡。周围高山海拔在4600~4850 m,两岸山体雄厚,谷坡陡峭,为典型的高山峡谷地貌,河谷多呈不对称“V”型谷。谷坡临江坡高一般在500 m以上,横向上表现为上宽下窄的“谷中谷”形态,临河岸坡陡峻,坡度为40°~60°,局部达60°~85°,中、上部岸坡相对较缓,坡度一般为30°~40°。雅砻江沿岸基岩裸露,多为基岩岸坡,河谷类型为斜向谷,左岸为斜顺向坡,右岸为斜反向坡。河流以下切侵蚀为主,河谷两侧阶地不发育,仅在夏日吊桥附近见I级阶地零星分布。

第四系以来,伴随着青藏高原的大规模强烈隆升,区域地壳急剧抬升,雅砻江快速下切,河谷两岸逐渐形成了高达数百米至千米以上的陡峻岸坡,加之自身坡体结构特征和地震等外动力作用的影响,物理地质作用强烈,主要表现为岸坡岩体的风化、卸荷拉裂、崩塌、变形及滑坡等。

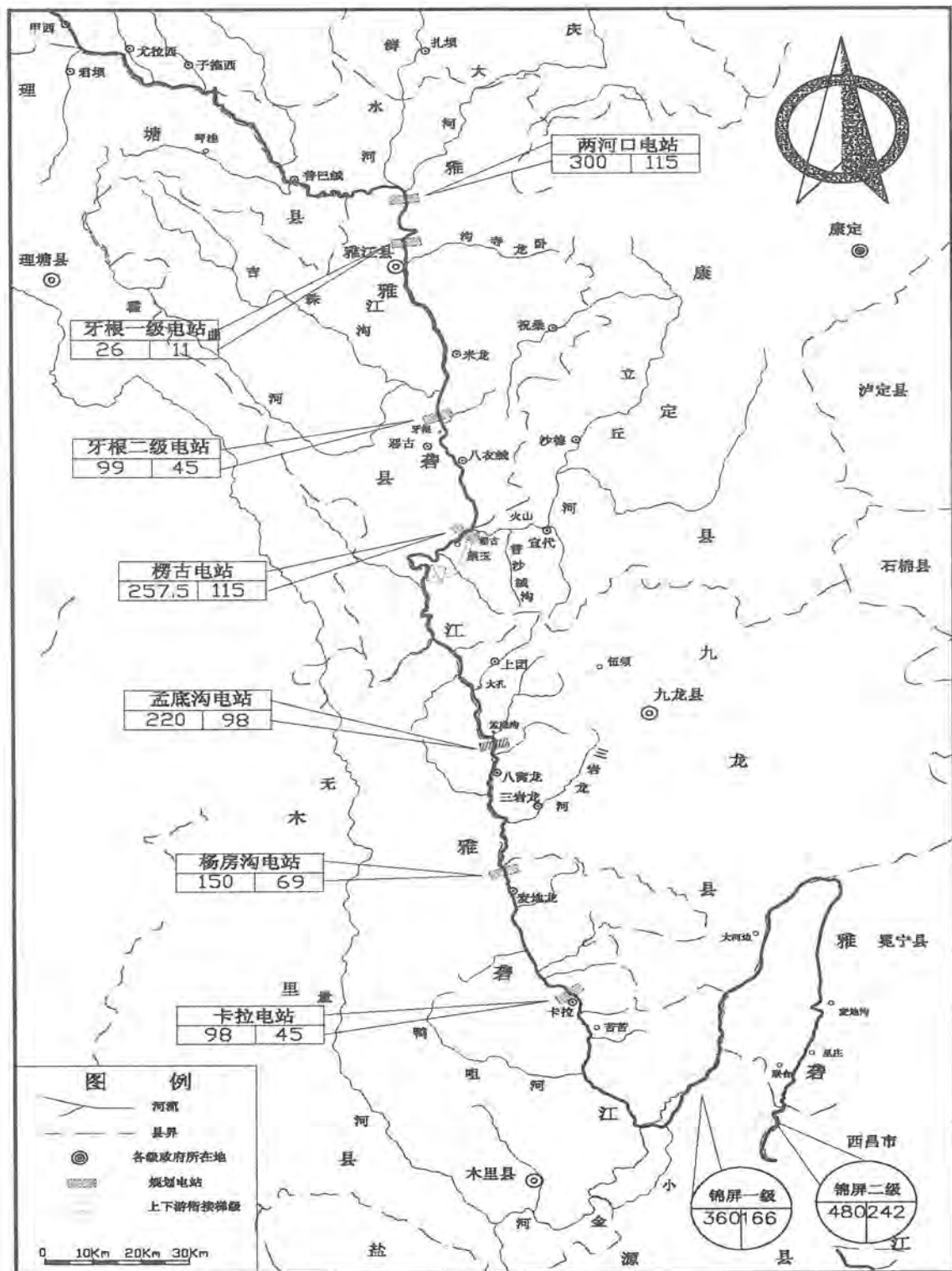


图1 雅砻江中游(两河口~卡拉河段)梯级开发方案平面图

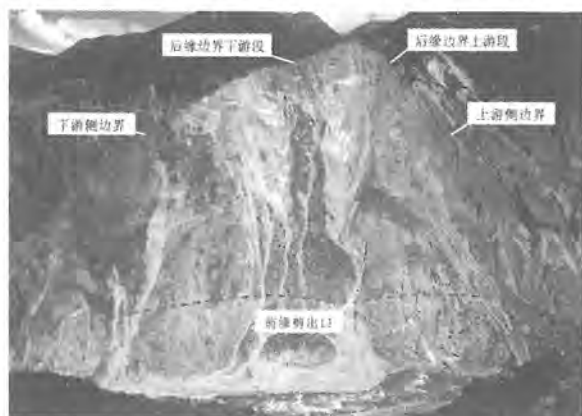
楞古水电站工程区谷坡陡峻,相对高差大,地质结构复杂,天然状态下地应力水平较高。岸坡形成后在长期应力释放及重力、风化作用、河流快速下切等综合因素影响下,岩体向临空方向产生

明显的卸荷回弹变形,形成卸荷裂隙,出现卸荷松弛及松动现象。

特别是右岸谷坡,山高坡陡,属反向坡体结构,岩体卸荷强烈且卸荷深度较大,在强卸荷岩体

的表部还发育有松动变形岩体。经统计,右岸欠稳定岸坡总长达4.5 km,占本河段长度的37.5%,主要发育有唐古栋滑坡、夏日和马河变形

体等特大型-巨型潜在不稳定体,总方量达4.5亿 m^3 ,规模巨大,成因机制复杂。此外,左岸还分布有蔡玉及色古等大型滑坡体。



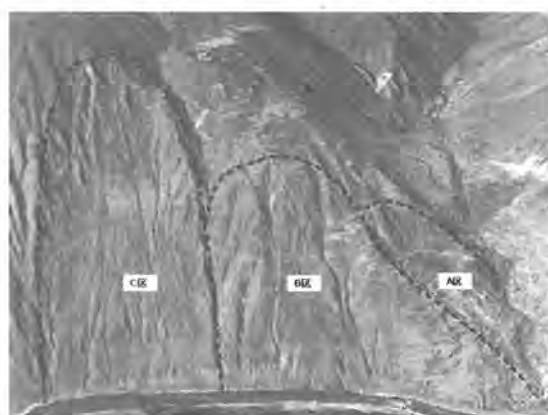
照片1 1967年唐古栋滑坡滑床地貌



照片2 唐古栋滑坡堰塞体在左岸的堰塞边界



照片3 唐古栋滑坡体分区图



照片4 马河变形体分区图

2.2 滑坡体及其稳定性

通过对河段岸坡环境地质条件、基本地质特征、地质力学概念模型、岩土体物理力学试验与取值研究和稳定性定性、定量分析与评价得知河段唐古栋滑坡体、马河变形体均存在失稳的可能。

唐古栋滑坡体横河长约1.4 km,顺河宽约1 km,展布面积约1.1 km^2 ,前缘高程2 475~2 500 m,后缘高程3 500 m,高差约1 000 m。从上游至下游分为A、B、C、D四个区(照片3)。A区分别由滑移-压致拉裂松动变形体和蠕滑体两部分组成,高高程蠕滑体变形强烈,目前处于欠稳定状态,地震工况下有发生大规模高速失稳的可能,失稳方量约为1 700万 m^3 ;B、C、D区滑坡残余堆积物总方量约1 050万 m^3 ,稳定性较差,目前时有崩滑现象发生,地震工况下有失稳的可能。

马河变形体前缘高程2 305 m,后缘高程为

3 580 m,垂直高差1 230 m,顺河宽2.2 km,面积约3.1 km^2 ,从上游至下游可依次划分为古滑坡体A区、倾倒变形体B区、松动崩塌体C区(照片4)。A区古滑坡体、B1区倾倒变形体在各工况下整体失稳的可能性小,B2区处于临界稳定状态;C区边坡岩体松弛破碎,倾倒变形强烈,目前已处于蠕动变形向挤压阶段转变的过渡阶段,随弯曲变形不断发展,特别是在叠加地震、蓄水等不利因素的影响下,有导致边坡发生大规模整体高速失稳的可能,失稳总方量约1.6亿 m^3 。

2.3 主要灾害分析

该河段唐古栋滑坡A区、马河变形体C区等可能整体高速失稳。当出现滑坡时将形成堰塞体堵江。同时马河变形体出现1.6亿 m^3 滑坡后,堰塞体上游将出现壅水现象;唐古栋滑坡体、夏日变形体的稳定条件变差,将会诱发滑坡并在已形成

的堰塞湖中产生涌浪。

唐古栋滑坡体 A 区、马河变形体 C 区发生大规模高速滑坡形成堰塞体的堆积分析成果见表

表 1 各滑坡变形体失稳堰塞堆积分析成果表

滑坡体区域	失稳部位	失稳方量 /万 m ³	堰塞高度		河道 高程 /m	堰塞体高程 /m
			右岸 /m	左岸 /m		
唐古栋 A 区	覆盖层及强松动岩体	1 700	63	181	2 391	2 454 ~ 2 572
马河 C 区	松动岩体底界	16 000	169	391	2 320	2 489 ~ 2 711

均有可能溃决。据国内外相关滑坡堰塞体溃坝资料,结合 1967 年唐古栋滑坡堰塞体溃决情况及“5.12”汶川大地震唐家山堰塞体溃决洪水演算成果分析,采用类比方法,按漫顶溃决方式,对表

表 2 堰塞湖参数对比表

滑坡体区域	失稳方量 /万 m ³	物质组成	堰塞坝高度 /m	堰塞坝轴线长度 /m	堰塞湖库容 /亿 m ³
唐古栋 A 区	1 700	块石夹土	63 ~ 181	420	1.2
马河 C 区	16 000	块碎石为主	169 ~ 391	940	7.3
1967 年唐古栋堰塞湖	6 800	块石夹土	175 ~ 335	500	6.8

“5.12”汶川大地震唐家山堰塞湖在堰塞体物质组成、堰塞湖高度、坝轴线长度、库容等方面具有一定的可比性。从宏观分析角度可以认为马河 C 区滑坡堰塞体溃决洪水与表 3 所列的 1967 年唐古栋滑坡堰塞体溃坝洪水规模相当,溃口处最大

表 3 1967 年唐古栋滑坡堰塞体溃坝洪水情况表

堵江断流时间 /d	溃口处水位壅高 /m	溃决历时 /h	洪峰流量 /m ³ ·s ⁻¹				
			溃口	麦地龙站	洼里站	泸宁站	小得石站
9	50.7	12	57 000	48 000	23 600	23 100	19 900

段邻近地区的防洪标准,有造成灾害的风险。

3 楞古水电站枢纽布置及河段防灾减灾作用

3.1 电站枢纽布置

在充分考虑了电站建设与滑坡地质灾害防治的前提下,楞古水电站枢纽布置拟采用混合长引水开发方式,即在力丘河汇口上游附近建坝取水,引水至蒙古山大河湾尾部建厂发电,同时考虑长引水带来的环境影响,设置坝后环保小电站。引水系统布置于左岸,设置 3 条引水隧洞,引水隧洞平均长度为 15.3 km,洞径 12.5 m,单条引水隧洞引用流量 468.67 m³/s 时,设计流速 3.82 m/s,电站最大引用流量 1 406.00 m³/s。根据施工的需要,在雅砻江左岸设置了一条从坝址至厂址的对外交通公路。为避开河段滑坡变形体失稳堰塞影响,对外交通公路采用隧洞方式经过各河段滑坡变形体,隧洞进出口位置设在河段滑坡变形体堰塞堆积体上下游边界之外,对应唐古栋滑坡体,1#

1。

在堰塞湖水位上升过程中或漫顶时,堰塞体

2 中的唐古栋 A 区、马河 C 区滑坡溃决洪水规模进行分析如下。

由表 2 可见,马河 C 区滑坡堰塞湖与 1967 年唐古栋滑坡堰塞湖,唐古栋 A 区滑坡堰塞湖与

洪峰流量约为 50 000 m³/s。假定每日入堰塞湖洪量与 1967 年唐古栋滑坡时相当,马河 C 区、唐古栋 A 区滑坡堰塞体堵江断流-自然漫顶的时间分别约为 9 d、1.5 d。

由此可知,堰塞体溃决洪水远大于其下游河

公路隧洞长约 2 021 m;对应马河变形体、夏日变形体,2#公路隧洞长约 5 284 m。隧洞断面尺寸为 9 m×7 m(宽×高)。楞古水电站工程建筑物布置及滑坡体分布情况见图 2。

从工程场址、建筑物布置、施工布置与河段滑坡变形体位置、失稳范围之间的关系看,坝址位于唐古栋滑坡体上游 2.5 km,厂址离河段滑坡变形体更远,引水发电系统建筑物多布置于地下,施工场地、施工工厂、渣场等亦不在河段滑坡变形体失稳范围;交通采用隧洞方案,也避开了河段滑坡变形体直接影响的危险区域,从而为电站对河段滑坡体失稳后发挥减灾作用创造了条件。

3.2 楞古水电站枢纽对河段的防灾减灾作用

楞古水电站的建设对河段的防灾减灾作用主要体现在以下三方面:(1)设置滑坡变形体的自动监测系统,及时发现滑坡变形体失稳趋势,实现预警预报;(2)在滑坡变形体失稳后形成堰塞体,

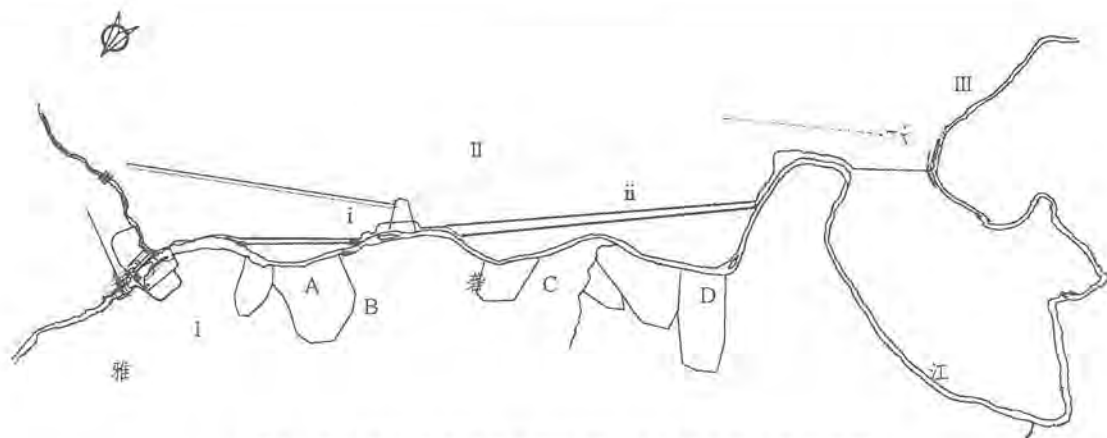


图 2 该河段主要滑坡体分布与楞古水电站工程布置示意图

通过工程引水措施防止堰塞体溃决的可能性或降低堰塞体溃决带来的危害；(3)改善区域通信、交通等基础设施，为及时应对滑坡创造条件。

楞古水电站引水隧洞发电引用流量为 1 406 m³/s，通过引水隧洞可以将天然流量的一部分从堰塞湖上游引走，不进入堰塞湖，有利于控制堰塞湖水位，相当于提供了马河 C 区、唐古栋 A 区滑坡堰塞湖的排泄通道。

楞古坝址至厂址设置了交通公路，采用隧洞方案穿过了滑坡体影响区域，1#公路隧洞和 2#公路隧洞分别跨过唐古栋 A 区和马河 C 区滑坡影响区域，可以作为相应堰塞湖的泄水通道。在唐古栋 A 区滑坡堰塞湖漫顶水位 2 454 m 高程时，1#公路隧洞过流能力约为 908 m³/s；在马河 C 区滑坡堰塞湖漫顶水位 2 489 m 高程时，2#公路隧

洞过流能力约为 1 007 m³/s。

引水隧洞和 1#、2#公路隧洞组合，过流能力分别约为 2 314 m³/s、2 413 m³/s，分别为力丘河口～蒙古山河段年平均流量 852 m³/s 的 2.7 倍、2.8 倍，和丰水期平均流量(6～10 月)1 538 m³/s 的 1.5、1.6 倍。从表 4 可见，在引水隧洞及 1#、2#公路隧洞过流作用下，年平均流量时，唐古栋 A 区、马河 C 区滑坡堰塞湖将不会蓄水；丰水期平均流量时，堰塞湖最高水位约 2 423 m、2 383 m 高程时，不会漫顶，将大大降低非洪水情况下唐古栋 A 区、马河 C 区潜在的滑坡堰塞湖淹没与堰塞体溃决风险；遭遇 5 年一遇、20 年一遇洪水时，形成堰塞体～漫顶溃决的时间较无引水隧洞及公路隧洞过流情况延长近一倍的时间，有利于转移避险。

4 结 语

表 4 滑坡堰塞湖淹没与溃决过程对比表

河段滑坡 变形体	堰塞湖淹没 与堰塞体溃决 情况	有无引水洞 及交通洞等 建筑物	对应高程 /m	对应堰塞湖 库容/万 m ³	所需时间 /h				
					年平均	枯水期 平均	丰水期 平均	5 年一遇	20 年一遇
唐古栋 A 区	漫顶溃决 情况	有 无	2 454	4 000	不会蓄水 13	不会蓄水 31	不会漫顶 7	4 2.4	3 1.9
马河 C 区	漫顶溃决 情况	有 无	2 489	62 000	不会蓄水 202	不会蓄水 481	不会漫顶 112	82 39	51 30

(1)力丘河口～蒙古山河段全长约 13.5 km，区域地质构造背景和场址工程地质条件复杂，岸坡稳定问题突出，唐古栋滑坡、马河变形体等特大型、巨型潜在不稳定体对其下游邻近地区带来潜在风险。

(2)楞古水电站的建设将会大量增加边坡自动化监测设施和监测频率，由此而极大地增强了滑坡变形体的预警预报能力。

(3)当河段滑坡体失稳后形成堰塞湖时，通

过引水隧洞和公路隧洞的排泄作用，可大大延长堰塞坝体的溃坝时间，为应急处置提供条件。

(4)由于结合电站的建设及运行管理，大大改善了该区通讯、交通条件，为灾情信息传递、抢险救灾人员、机械、物资的运输提供了条件，提高了抢险的时效性。

由此可见，通过及时预警、快速反应，对堰塞湖水大流量排放，能有效实现中下游防灾减灾。

(下转第 114 页)

表 1 各测点水化温升特性表

仪器编号	浇注温度/℃	峰值温度/℃	达到峰值温度所需时间/h	高程/m	部位
S1	24.9	50.3	14.5	671	上游防渗墙
S2	22.4	46.7	14.5	671	
S3	18.3	36	59	645	
S4	18.4	32.3	59	645	
S5	19.5	33.1	62	618	
S6	19.6	34.7	59	618	
S7	19.8	68.6	80.1	671	
S8	19.4	69.1	83.1	671	
S9	20.2	34.6	48	645	
S10	20.3	34.6	48	645	
S11	21.6	36.2	48	618	下游防渗墙
S12	23.2	34	51	618	
S13	25.5	58	75.15	671	
S14	25.2	58.4	75.15	671	
S15	20.6	36	60	646.5	
S16	20.7	34.6	60	646.5	

(1) 防渗墙浇筑初期温度变化规律: 在浇筑初期的几天时间内上升至峰值后降低, 温降速率小于温升速率, 在峰值温度后的两周时间内尚未降至环境温度。该规律符合大体积混凝土水化温升规律。

(2) 混凝土在浇筑后 50 h 左右达到温度峰值, 峰值温度比环境温度高 40℃ ~ 50℃, 其中上游防渗墙最大峰值温度为 50.3℃, 下游防渗墙最大峰值温度为 83.1℃。

(3) 高标号混凝土产生的水化热较大, 峰值温度较高, 这主要是由于高标号混凝土中的水泥含量较多的缘故。

(4) 大体积混凝土浇筑过程中, 应对高标号混凝土采取工程措施, 严格控制水化温升, 防止混

凝土开裂。

参考文献:

- [1] 哈尔滨建筑工程学院. 混凝土学[M]. 北京: 建筑工业出版社, 1990.
- [2] 朱伯芳. 大体积混凝土温度应力与温度控制[M]. 北京: 水利电力出版社, 1999.
- [3] 刘有志, 朱岳明, 张国新. 基于现场实验的墩墙混凝土真实温度应力性态及开裂机理分析[J]. 水力发电学报, 2008, 27(5): 47-52.

作者简介:

- 王 文(1984-), 男, 湖北咸宁人, 助理工程师, 学士, 从事水电工程建设技术与管理工作;
- 陈科文(1984-), 男, 四川南充人, 工程师, 从事水利工程建设管理工作;
- 汪 征(1984-), 男, 湖北黄冈人, 助理工程师, 从事水电工程建设合同管理工作. (责任编辑: 李燕辉)

(上接第 97 页)

参考文献:

- [1] 许厚材. 水利水电工程基础灌浆中特殊地层的灌浆方法[J]. 水力发电, 2005, 31(9): 36-38.
- [2] 孙 钊. 大坝基岩灌浆[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004.

作者简介:

(上接第 90 页)

参考文献:

- [1] 伍 超, 冉洪兴, 郑永红, 等. 雅砻江唐古栋垮山堵江溃决洪水过程研究[J]. 水动力学研究与进展, 1996, 11(6): 646-652.
- [2] 冷 伦. 雅砻江垮山堵江及溃泄洪水[J]. 水文, 2000, 20(3): 46-50.
- [3] 黄润秋. 20 世纪以来中国的大型滑坡及其发生机制[J].

- 孟 吉(1968-), 男, 吉林长春人, 副总经理, 高级工程师, 工程硕士, 一级注册建造师, 从事水电工程合同管理工作;
- 郑占强(1985-), 男, 辽宁阜新, 助理工程师, 硕士, 从事水利水电工程施工技术与管理工作;
- 陈 益(1980-), 男, 贵州习水人, 项目副经理, 高级工程师, 从事地下水堵漏技术研究. (责任编辑: 李燕辉)

岩石力学与工程学报, 2007, 26(3): 433-454.

作者简介:

- 周喜德(1962-), 男, 湖南新化人, 副主任, 教授级高工, 学士, 从事水电工程建设技术与管理工作;
- 唐奇志(1966-), 女, 重庆市人, 高级工程师, 学士, 从事水电工程建设管理工作;
- 姚 雷(1979-), 男, 河南人南阳, 工程师, 硕士, 从事水电工程建设技术与管理工作. (责任编辑: 李燕辉)