

# 对紫坪铺面板堆石坝抗震性能的几点认识和体会

冯 军

(中国水电顾问集团成都勘测设计研究院, 四川 成都 610072)

**摘要:**根据对紫坪铺水库大坝在2008年5月12日汶川大地震中震损情况进行的分析,对面板坝抗震性能的设计提出了几点认识和体会,供今后在强震区修建类似工程参考。

**关键词:**紫坪铺面板堆石坝;抗震;认识及体会

**中图分类号:**TV641.4<sup>+</sup>3;TU973<sup>+</sup>31

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2012)02-0155-03

## 1 工程概况

紫坪铺水利工程位于成都市西北60余km的岷江上游,是一座以灌溉和供水为主、兼有发电、防洪、环境保护、旅游等综合效益的大型工程,大坝及其他挡水建筑物按Ⅷ度设防。坝顶高程884 m,最大坝高156 m,坝顶全长663.77 m,坝顶宽度12 m,上游坡度为1:1.4,下游坡度为1:1.5和1:1.4,坝顶上游侧设6 m高防浪墙。坝体分区从上游向下游方向分别为上游压重区、坝前辅助防渗区、防渗面板、垫层料(特殊垫层料)、过渡料、主堆石区、次堆石区、反滤料、下游坝体堆石料区,详见图1。

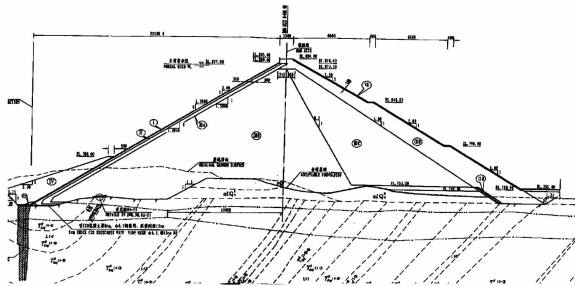


图1 大坝典型剖面图

## 2 “5.12”汶川地震后大坝的破坏情况

2008年5月12日发生的汶川里氏8级大地震,坝址距震中约17 km,坝址区影响烈度为Ⅸ~Ⅹ度。大坝的基本蓄水功能没有受到大的影响,但产生了一定的局部震损,其主要表现为:

(1)大坝发生较明显震陷,最大沉降量744.3 mm,位于大坝最大断面坝顶附近;坝坡向下游方向发生水平位移超过300 mm。

(2)部分面板之间、沿分缝处两侧一定范围

内发生挤压破坏现象,靠近河床部位的原设计的压性缝面板区域内面板破坏情况比两岸岸坡段面板(原设计为张性缝区域)严重。原设计的位于张性缝区域内的面板之间也有挤压破坏情况出现,但相对压性缝面板区域内面板破坏程度较轻。

(3)845 m高程二、三期混凝土面板施工缝错开,最大错台达17 cm;部分混凝土面板与垫层间有脱空现象,最大脱空23 cm。

(4)坝顶防浪墙基本完好,个别部位发生挤压破坏和拉开现象,坝顶下游侧交通护栏大部分遭到破坏。靠近坝顶附近的下游坡面干砌石块松动并伴有向下的滑移。

紫坪铺面板坝经受了远超出设计标准的地震考验,表现出较强的抗震能力,表明大坝设计和施工质量是好的。大坝基岩原设计地震加速度为0.26 g,本次实际遭遇的地震加速度峰值估计应该在0.5 g以上。从坝体震陷情况看,如此强烈的地震作用震陷仅为744.3 mm,占坝高的0.47%,表明紫坪铺大坝坝料选择和坝料分区合理,碾压控制指标合适、碾压质量得到了有效控制。从坝坡稳定情况看,除了坝体中上部下游坝面部分区域块石松动、沿坡面向下稍有滑移外,没有发生明显的块石滚落现象;从面板防渗功能看,尽管出现有周边缝拉开、面板错台、面板挤压破坏现象,但从渗流量监测结果看,地震中面板所承担的防渗功能并没有遭到明显破坏。

上述分析表明,坝体整体是稳定的,大坝的基本蓄水功能没有受到大的影响。

## 3 几点认识与体会

(1)坝体结构及分区。

收稿日期:2012-01-07

紫坪铺面板堆石坝设计时主要使用的是《混凝土面板堆石坝设计规范》SL228-98,对比紫坪铺大坝典型剖面与98规范推荐的硬岩堆石坝体主要分区示意图,二者的差别是明显的。紫坪铺坝体结构及分区是以98规范推荐的坝体分区为基础,但不拘泥于98规范,经国内多方人士、多位

专家、多方案比较最终敲定的一个比较完美的坝体分区方案,设计人员为此做了大量的工作。从抗震的角度考虑,这种坝体分区较好地解决了上下游侧坝坡的稳定问题。

### (2) 坝体各分区材料控制标准。

紫坪铺大坝各分区控制指标见表1。

表1 坝料分区表

坝料分区		主要设计指标			
名称	来源	干密度 $\gamma_d / t \cdot m^{-3}$	孔隙率 $n / \%$	渗透系数 $K / cm \cdot s^{-1}$	最大粒径 $D / mm$
垫层料	料场爆破料	2.3	16.4	$2.5 \times 10^{-3}$	100
特殊垫层料	料场爆破料	2.3	16.4	$2.5 \times 10^{-3}$	40
反滤料	河床砂卵石料筛分	2.35	16.1		200
过渡区料	料场爆破料	2.25	18.2	$5.3 \times 10^{-1}$	300
坝体主堆石区料	料场爆破料	2.16	21.5	2.1	800
坝体次堆石区料	河床砂卵石料	2.3	18.1		1 000
	料场能用的灰岩料	2.15	21.8		1 000
	建筑物开挖砂岩料	2.15	21		1 000
下游坝体堆石区料	料场爆破料	2.15	21.8	2.1	1 000

2000年左右,国内面板坝施工振动碾重量偏小,从表1中可以看出,各分区填筑料控制指标均比较高,施工单位要达到这套控制指标有相当难度,但设计单位却觉得这套控制指标合理。后来施工单位从国外进口了25t振动碾,试碾后能达到设计单位的控制指标。“5.12”地震后,大坝整体变形不大,最大断面处震陷仅744.3mm,占坝高的0.47%。大坝能在“5.12”地震中屹立不倒,直接得益于这套严格的控制指标。当时设计单位如不坚持这套控制指标,则“5.12”地震时大坝的总体变形将加大,面板破坏情况将更加严重,其后果很难预料。因此,应该对那些敢于顶住压力的设计工程师表示感谢。

### (3) 坝顶结构的抗震设计。

混凝土面板堆石坝坝顶结构一般分两种形式,紫坪铺采用的是其中一种。其上游侧为高防浪墙,下游设计为低矮的挡墙或栏杆,以减少坝体填筑量;上游侧高防浪墙与下游侧挡墙均建基于坝体堆石上;上、下游不通过混凝土结构互相连接。另一种坝体结构是让坝顶上游侧高防浪墙与下游侧挡墙通过混凝土结构连接,整个坝顶结构呈现“U”型结构。设计人员一直比较关心这两种坝顶结构的抗震性能孰优孰劣。从紫坪铺大坝坝顶及上游侧面板破坏的情况看,特别是对上游侧面板从845m高程二、三期混凝土面板施工缝错开破坏情况分析,如紫坪铺工程采用“U”型结构

的坝顶结构设计,由于坝体的“辫梢”效应,坝顶“U”型结构可能会沿上游侧或下游侧整体抛离原位置,如遇到库水位在防浪墙与面板之间的缝以上的时候,后果将非常严重。当地震波传入坝体时,其在散离体状的坝体填筑料中的传播速度远小于在混凝土结构中的传播速度,各石块块体之间有相位差,在某一瞬间很难形成向某一个方向的合力;当坝顶采用“U”型混凝土结构,由于地震波在混凝土结构中的传输速度极快,混凝土结构内部各质点相位差极小,很容易在瞬间朝某个方向形成合力,坝顶结构极易沿某个方向被抛离。但该结构也不能按拱坝坝顶的抗震性能简单的类推,拱坝坝顶为混凝土结构,但拱坝本身是一个超稳定结构,拱坝坝顶部位受多方面约束,而面板堆石坝坝顶如采用“U”型混凝土结构,此结构相当于“放”在散离体状的坝料上的混凝土块,虽然坝的两端头与岸边基岩相接,但只是简单的连接;同时,这种“U”型混凝土结构每隔一定距离设有沉降缝,各分块之间互不约束,故不能由拱坝坝顶部位的抗震性能类推面板堆石坝的“U”型坝顶结构的抗震性能。

### (4) 坝顶部位上、下游的抗震保护性能。

从边坡保护角度看,面板堆石坝上游侧的面板可以看成是坝体堆石上游坡的护坡。紫坪铺大坝上游侧面板在845m高程二、三期混凝土面板施工缝错开破坏情况比较严重,这种错动几乎贯

穿整个坝面的所有面板分块。如果下游侧最上一级马道以上部位采用混凝土块护坡,则可预见面临上游侧同样的问题,破坏情况将比上游侧面板表现的更为突出;上游侧二、三期混凝土施工缝中除布置有面板本身的配筋外,还布置有加强筋,其尚沿 845 m 高程发生大的错动;如果下游侧采用混凝土块护坡,混凝土块护坡是直接“斜躺”在堆石上的,由于其没有得到下部钢筋的约束,则混凝土块会直接抛离坝体,对坝后建筑物构成大的威胁。为减轻高面板堆石坝坝体上部面板在低水位遇地震时的错动情况,或可在坝体上游侧埋设一些锚筋与面板钢筋连接,将面板锚固于堆石上。

#### (5) 面板坝坝坡比值。

紫坪铺面板堆石坝上游坡度为 1:1.4,下游坡度为 1:1.5 和 1:1.4。“5.12”特大地震中,上、下游边坡均没有出现大规模的滑坡,没有出现大的破坏,表现良好。下游边坡虽然有局部掉块,但不构成对整个坝体的安全威胁,说明基于目前实践经验的面板坝边坡设计理念能很好的抵御地震。当然,必要的边坡稳定分析也是必需的。

#### (6) 边坡稳定及边坡稳定分析。

用拟静力法进行地震工况下边坡稳定分析时,一般都计算其向凌空面滑出时的最小安全值,要求其值不得小于规范的最小安全系数。从紫坪铺面板堆石坝坝体在地震中的表现看,坝前、坝后边坡并没有向凌空一侧滑出;相反,坝体是向坝体内部发生沉降,说明在具有一定坡度的人工边坡中,由于整个边坡是由人工一层一层用震动机具碾压而成的,只要施工质量有保证,整个边坡内部出现明显的软弱结构面的几率非常低,边坡向凌

空面滑出的可能性亦非常低。这一点明显不同于自然界因各类自然因素形成的边坡,自然界形成的边坡其成因复杂,没得人的因素参与其中,不可控因数太多,极易形成软弱结构面,很多时候还有地下水参与其中,因此,设计时将注意力更多的考虑向凌空面滑出是必须的。对人工修建的各类建筑物边坡则还需考虑内陷问题。

#### (7) 张、压性缝问题。

目前在面板坝设计时把两岸岸坡部位的面板坝分缝设计成张性缝,靠河床中心部位的面板之间的缝设计成压性缝,从紫坪铺面板堆石坝面板在地震中的表现看,设计的压性缝区域内的面板破坏情况较张性缝区域严重,但张性缝之间由于各块面板的相对位移不一致,依然有挤压破坏。考虑到在实际工程中压性缝和张性缝施工、造价差别不大,故可以全部按压性缝设计。各压性缝之间的面板之间的有效接触面积要加大,以减小应力集中时的应力值,减轻面板之间的挤压破坏情况。

## 4 结 语

“5.12”汶川大地震对紫坪铺枢纽建筑物的抗震性能全面进行了检验,交出了一份合格的答卷。事实证明,只要按照相关法律法规、规程规范要求严格管理、精细设计、认真施工,最终建成的建筑物基本能达到设计地震“可修复”、校核地震“不溃坝”的目标。

#### 作者简介:

冯 军(1972-),男,四川南充人,设计总工程师,高级工程师,学士,从事水电工程设计工作。

(责任编辑:李燕辉)

## 孟底沟水电站预可报告通过审查

2012年2月16日至17日,水电水利规划设计总院会同四川省发展和改革委员会、能源局在成都主持召开了《四川省雅砻江孟底沟水电站预可行性研究报告》审查会议。孟底沟水电站是已批复的雅砻江中游七级开发方案中的第五个梯级,上、下游分别与楞古、杨房沟梯级相衔接。坝址位于甘孜州九龙县与凉山州木里县交界的雅砻江干流上,水库区涉及到甘孜州的九龙、康定、雅江县和凉山州的木里县。孟底沟工程交通条件较差,开展勘探工作之前,坝址区为原始森林区和无人居住区。孟底沟水电站预可报告中,初选水库正常蓄水位 2 254 m,装机容量 220 万 kW,拟初代表坝型为混凝土双曲拱坝,最大坝高 206 m。受业主二滩水电开发有限责任公司的委托,成都院从 2008 年开始修建总长度为 70 公里的勘测道路,至 2009 年底路基完成,道路初通,2010 年具备运输勘探设备和人员往来的通行条件;成都院为解决坝址区无社会资源可利用、现场工作人员的基本生活问题,从 2009 年开始策划和设计勘测设计基地,2010 年基地建成并投入使用。孟底沟预可报告的勘测设计工作是从 2010 年年初开始(启动现场勘探),前后历时约 2 年,成都院克服现场勘测条件艰苦、交通不便、坝址区无社会资源可利用、社会环境复杂(主要是坝址区神山问题、少数民族村民阻工、火工材料和油料供应经常中断)等诸多不利因素带来的困难,在两年的时间里,在坝址区修建约 30 km 的勘探便道,完成钻探 5 500 m/36 孔、洞探 4 420 m/28 洞;2011 年 5 月完成坝址初选专题报告;2011 年 12 月编制完成了预可研报告,其中有 13 篇章报告、7 个地质专题报告及 2 卷图册。本次会议听取了孟底沟项目经理兼总薛云飞关于预可研报告成果的全面汇报,并分八个专业组进行了认真细致的讨论和审议。会议审查认为,孟底沟预可研报告满足预可阶段勘测设计内容和深度的要求,会议同意该报告。