

DOI :10.3880/j. issn. 1006-7647. 2010. 04. 010

毛尔盖心墙堆石坝防渗墙与坝体防渗体连接形式

田景元¹,王 平¹,刘汉龙²,张鹏飞^{1,3}

(1. 中国水电顾问集团成都勘测设计研究院,四川 成都 610072; 2. 河海大学岩土工程研究所,江苏 南京 210098; 3. 河海大学水利水电学院,江苏 南京 210098)

摘要 介绍毛尔盖心墙堆石坝概况:最大坝高为 147 m,河床覆盖层厚度为 30 ~ 50 m,拟用混凝土防渗墙对坝基进行防渗处理。在分析防渗墙与心墙防渗体各种连接形式的优缺点之后,结合本工程实际和工程经验,选定防渗墙按硬接头接廊道的连接形式。进行有限元计算分析,确定防渗结构参数,防渗墙仅取 1 道,墙厚 1.4 m。实践表明,采用该方案防渗墙和廊道内的应力适中、投资较少。
关键词 心墙堆石坝;深厚覆盖层;混凝土防渗墙;混凝土廊道;防渗体连接形式;毛尔盖水电站大坝
中图分类号 :TV223.4⁺2 **文献标识码** :B **文章编号** :1006-7647(2010)04-0041-05

Joint types for impervious walls and core mass of Maoergai core wall rockfill dam //TIAN Jing-yuan¹, WANG Ping¹, LIU Han-long², ZHANG Peng-fei^{1,3} (1. Chengdu Hydroelectric Investigation and Design Institute of China Hydropower Consulting Group, Chengdu 610072, China; 2. Geotechnical Research Institute, Hohai University, Nanjing 210098, China; 3. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)
Abstract :Maoergai core wall rockfill dam has the maximum height of 147 m and the overburden layer is 30 ~ 50 m in thickness. The dam foundation will be treated by use of impervious walls of concrete. The advantages and disadvantages of the joint types for impervious walls and core mass were analyzed. Based on the engineering background and experience, the scheme of gallery type with rigidity mode for the impervious walls was selected. FEM calculation and analyzed were employed to determine parameters for impervious structure, and only one impervious wall 1.4 m in thickness was adopted for Maoergai core wall rockfill dam. The case practice shows that the proposed scheme results in the moderate stress situation in the gallery and the concrete walls and relatively smaller engineering investment.
Key words :core wall rockfill dam; thick overburden layer; concrete anti-seepage wall; concrete gallery; joint type; Maoergai Hydropower Station

毛尔盖水电站位于四川省阿坝藏族羌族自治州黑水县黑水河中游红岩乡至河石坝河段,电站采用高坝引水式开发。拦河大坝采用直心墙堆石坝,坝顶高程为2 133 m,心墙底高程为 1991 m,最大坝高为 147 m,坝址区覆盖层厚度为 30 ~ 50 m,由冲洪积的漂卵石层组成,见图 1。对于深厚覆盖层的防渗处理,混凝土防渗墙由于具有施工速度快、防渗效果好、成本低等优点得到广泛应用。毛尔盖水电站大坝拟用混凝土防渗墙对坝基进行防渗处理,防渗墙最大深度为51.87 m^[1]。

在深厚覆盖层上建高土石坝,在坝体自重和水压力的作用下,坝基中的混凝土防渗墙会产生较高的应力和变形。由于混凝土防渗墙与坝体防渗体的刚度和受力状态不同,变形不协调,两者的连接部位

易产生应力集中和变形位移差,所以该部位是坝体与坝基防渗体系中的薄弱环节。混凝土防渗墙与坝体防渗体的连接必须满足连接处以及坝体防渗体和混凝土防渗墙的防渗和应力应变要求,同时力求接头结构简单、施工方便、运行可靠,并最好能在需要时对整个防渗体起维护作用。

1 防渗体连接形式及布置方式

混凝土防渗墙与坝体防渗体心墙的连接,目前主要有通过混凝土廊道连接和防渗墙直接插入心墙内部 2 种形式。对前者,廊道可作为防渗墙灌浆施工的通道和场地,兼起大坝内部变形、应力、水压观测作用,若防渗墙有施工缺陷,通过廊道还可对防渗墙进行修补。

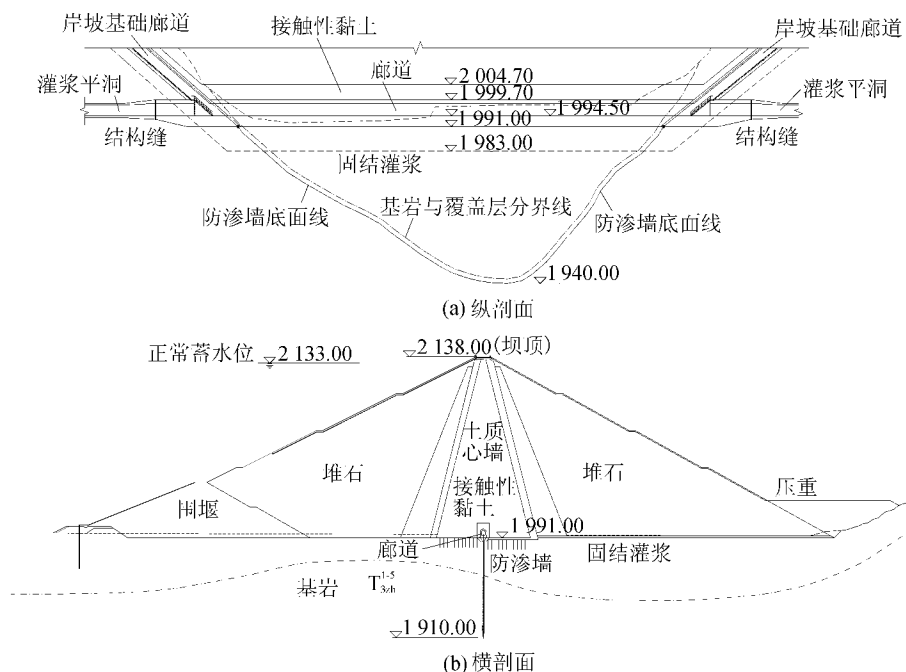


图1 毛尔盖水电站大坝纵横剖面(单位: m)

防渗墙与廊道的连接主要有刚性接头(硬接头)、软接头和空接头3种形式^[2]。刚性接头,即混凝土防渗墙与廊道底座采用刚性连接,如加拿大Manic 3号大坝所采用的接头形式^[3],国内碾磨水电站砾石土心墙堆石坝首次采用这种接头形式,其后瀑布沟、狮子坪心墙堆石坝也采用这种形式。软接头,即混凝土防渗墙与廊道之间留有一定的空隙,空隙中充填一部分具有防渗性能的塑胶材料,随着坝体堆筑的上升,在坝体自重作用下空隙逐渐被压缩紧密,塑胶材料被挤出空隙,直到廊道和防渗墙直接接触贴紧。软接头可以减小廊道传给防渗墙顶的荷载,软接头厚度越大,作用越显著,但接头构造也越复杂。德国的Brombach大坝防渗体的连接具有软接头形式的特点^[4]。空接头,即在混凝土防渗墙顶部与廊道底座之间留有足够大的空间,保证混凝土防渗墙与廊道底座在坝体填筑期间不接触,也就是在大坝填筑期间保证坝体的填筑荷载不会通过廊道直接传给混凝土防渗墙。顶部空接头在大坝蓄水之前用混凝土全部封堵完毕,使混凝土防渗墙和廊道连成1个整体。以1道防渗墙的情形为例,3种不同接头形式如图2所示。

建造在深厚覆盖层上的高土石坝,往往还需要设计2道混凝土防渗墙来截断坝基覆盖层渗流。设计者除了要选择防渗墙与廊道的接头形式外,还要设计2道防渗墙的布置方式^[4],见图3。2道防渗墙主要有以下3种布置方式:①2道墙分开布置,2道墙之间设置灌浆廊道对墙间覆盖层及下部基岩进行灌浆。这种布置方式2道墙的施工干扰小,工期短,

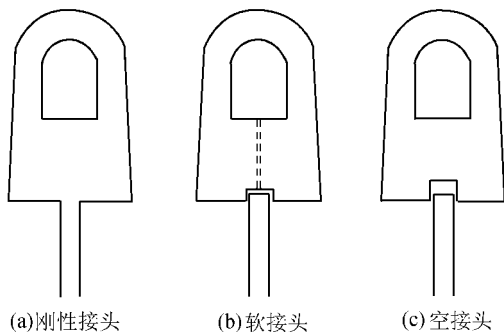


图2 3种接头形式

但墙间覆盖层及下部基岩帷幕灌浆施工难度大,防渗墙与基岩灌浆帷幕连接差,防渗系统整体性和可靠性难以保证;②2道防渗墙顶共设1个灌浆廊道,廊道和防渗墙的受力条件较好,但2道墙的施工干扰大,工期长,2道墙顶部需设置内孔尺寸较大的廊道,防渗系统整体性和可靠性也较差;③2道墙分开布置,形成一主一副布置格局,主防渗墙顶设置灌浆廊道对墙下基岩进行灌浆。这种布置方式施工干扰小,节省工期,墙顶灌浆廊道尺寸小,防渗系统整体性和可靠性好,但主防渗墙及墙顶廊道应力状态稍差,2道墙不能均衡地承担水压。

2 毛尔盖水电站大坝防渗体连接形式的选择

防渗体连接形式选择的原则是:防渗体混凝土结构内应力适中、曾有成功的案例、投资适度、结构功效尽可能大等。

防渗墙直接插入心墙内部的方式(插入式)可作为推荐的连接形式之一,这种方式有一定的成功经验,如小浪底斜心墙堆石坝,2000年底竣工,坝高

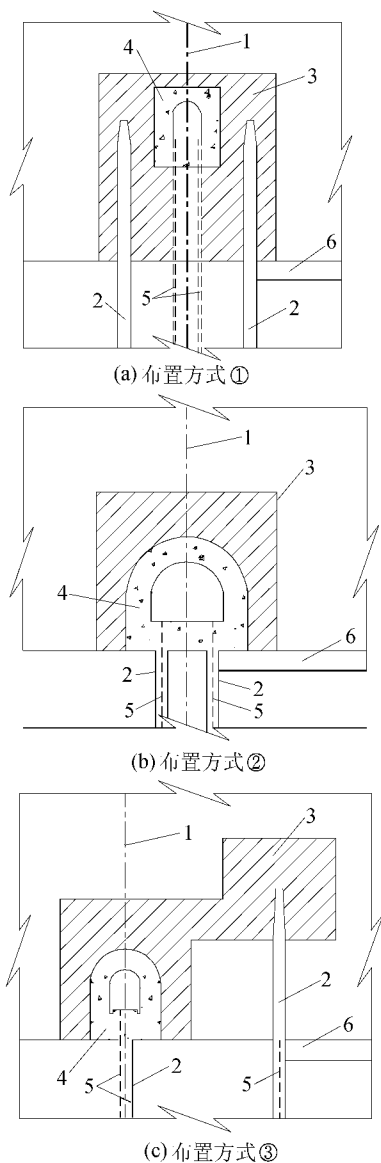


图3 2道防渗墙布置方式

1—防渗轴线 2—防渗墙 3—高塑性黏土层；

4—灌浆廊道 5—帷幕灌浆孔 6—水平反滤排水层

160 m,覆盖层厚 80 m,由砂砾石组成,夹有厚约 20 m 的细砂层及粉细砂透镜体,防渗墙厚 1.2 m,插入心墙 12 m^[5]。但其经过考验的时间还不到 10 a,不能保证在其使用周期 50 a 或更长的时间范围内不会出现相应的技术质量问题。万一出现防渗墙及附近心墙土体防渗失效问题,则很难修补。另有水牛家碎石土心墙堆石坝,2005 年底竣工,坝高 108 m,全封闭防渗墙最大深度 32 m,厚 1.2 m,插入心墙 10 m。在大坝刚开始填筑时就出现了防渗墙因施工缺陷导致防渗功能局部失效的情况,于是停止填筑,对防渗墙相应部分进行修补(建成后使用至今防渗墙状态良好),这说明防渗墙有功能失效的可能性。德国 Brombach 大坝防渗墙深度仅为 35 m,施工时(20 世纪 80 年代)也出现过“天窗”缺口的情况。

采取防渗墙连接廊道的形式,墙内的压应力一

般都比采取插入式的大,原因是廊道顶托的心墙自身有较大质量,以及附近土体因沉降产生较大的拖曳力。但有时插入式防渗墙内的压应力也相当高,如小浪底水利工程防渗墙最大压应力发生在墙下部,其值大于 50 MPa^[5],由于毛尔盖水电站大坝河床覆盖层为漂卵砾石层,比小浪底水利工程的砂卵砾石层的变形模量大,且黑水河的河床比黄河的窄得多,所以即使采用防渗墙接廊道的连接形式,防渗墙内的应力也比小浪底水利工程的小。

若采用与廊道相连接的接头形式,软接头或空接头可以改善防渗墙和廊道的应力^[6-7],但还没有应用到工程实践中。软接头中类似 IGAS 的防渗材料抗渗强度较低,水压力在 0.4 ~ 0.5 MPa 时即开始漏水^[8]。若不设沉降缝或廊道与两岸基岩的连接缝,空接头或软接头的廊道犹如一根悬挂的、两端支撑于两岸基岩的混凝土管,大坝纵向受力状态很差,极易拉裂,若设沉降缝或连接缝,缝间必然会产生较大的沉降差,很难保证止水结构不会失效,这些不利因素可能是其几乎没有工程应用的原因。采用软接头的 Brombach 坝高仅为 37.3 m,技术难度相对不高。由于毛尔盖水电站大坝的坝高和覆盖层厚均比 Brombach 坝大得多,不宜采用风险大的软接头甚至空接头的形式。

防渗墙与廊道刚性接头是另一种推荐连接形式,加拿大 Manic 3 号大坝是典型的成功案例。大坝位于蒙特利尔东北圣洛朗河上。主坝为冰积土心墙坝,坝高 107 m。坝基覆盖层厚 130 m,河床有较大范围的细砂层,设计选用 2 道厚度为 0.61 m 的混凝土防渗墙,最大深度为 131 m,两墙中心距为 3.2 m,墙顶长为 220 m,墙顶深入基岩 12.2 m,墙底深入基岩最小为 0.61 m。防渗墙采用 28 d 强度设计为 34 MPa 的混凝土,实际强度介于 27 ~ 48 MPa 之间。防渗墙于 1971 年 2 月开始施工,1972 年 11 月完工。经观测,墙顶只压缩了 3.14 cm,墙内应力超过 26 MPa。运行至今无重大质量问题报告。

硃砂砾石土心墙堆石坝最大坝高为 125.5 m,坝基采用 1 道厚度为 1.2 m 的混凝土防渗墙,墙最大深度为 70.5 m。防渗墙顶部设有灌浆、观测廊道,2006 年底初期蓄水后,发现廊道与岸边的连接结构缝出现压扭现象,并有少量渗水,修补后至今运行良好。

在插入式和防渗墙接廊道方式的比选中,后者结构功效大,但也存在廊道出现裂缝的问题。类比相近坝高和覆盖层深度的硃砂砾石土心墙堆石坝工程,采用防渗墙接廊道的方案是可靠的,即使出现一定程度的裂缝也是有补救措施的,只是若改进廊道

与两岸的接头设计则更好。考虑到毛尔盖水电站大坝工程 1999.00 m 高程下防渗墙已基本施工完毕,工期要求紧。因此对原设计方案不必做大的修改,最终还是选定 2006 年可行性研究报告中通过审查的防渗墙按硬接头接廊道的连接形式。廊道具有观测变形、应力、水压和修补防渗墙可能缺陷的等作用,该连接形式具有一定的优势。

3 毛尔盖水电站大坝防渗结构参数的确定

在选定防渗墙按硬接头接廊道连接形式的前提下,防渗墙与廊道的连接形状、防渗墙的数量、厚度仍需进一步研究。若是 2 道防渗墙方案(双墙方案),则副防渗墙设在下游,与上游主防渗墙相距 13 m,插入心墙 10 m。主防渗墙与廊道连接的 3 种拟选形状和尺寸见图 4。几种典型方案的有限元法计算分析结果^[9]见表 1。

无论是单墙还是双墙方案,墙体厚度都不宜太薄。由表 1 可知,双墙方案墙厚 1.0~1.2 m,墙体最大压应力接近 33 MPa,拉应力变化不大,均在 2 MPa

以内。单墙方案墙厚 1.0~1.5 m,墙厚 1.0 m 的压应力最大,达到 36.5 MPa,墙厚 1.5 m 的压应力最小,为 27.1 MPa,相差近 10 MPa。因此认为,在条件许可的前提下,墙体越厚,对改善混凝土结构的应力变形越有利。

另一方面,防渗墙数量和厚度对坝体本身的应力变形影响较小。在能保证防渗功能和墙体安全的前提下,可以考虑采用一定厚度的单墙方案。在 3 种单墙方案中,方案 1(墙厚 1.3 m)的应力变形介于方案 12(墙厚 1.0 m)和方案 10(墙厚 1.5 m)之间,并且和方案 11(墙厚 1.2 m,双墙)相比,其坝体应力变形基本变化不大,廊道和防渗墙的大主应力有所增加,但增加幅度有限,墙体最大压应力为 31.3 MPa,廊道最大压应力为 23.8 MPa,混凝土结构内的拉应力数值均较小,在 2 MPa 以内,应力变形规律能够满足设计要求。

总体来说,单墙方案中,方案 10(墙厚 1.5 m)的墙体应力变形最小,但墙体厚度太厚,施工难度增大,综合技术经济指标不一定好 方案 1(墙厚 1.3 m,

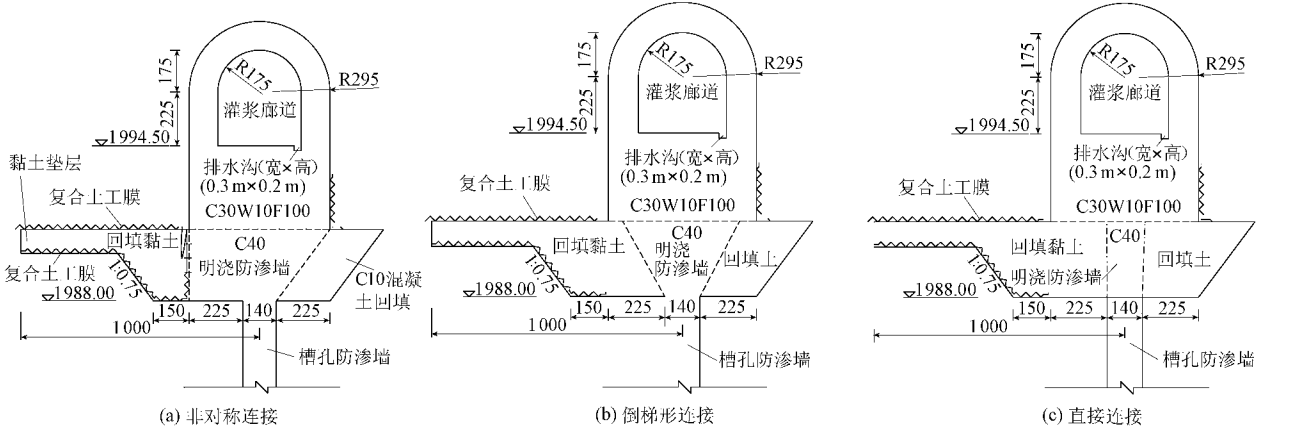


图 4 毛尔盖大坝防渗墙与心墙的连接形状(高程单位 m,尺寸单位 cm)

表 1 不同方案计算结果比较

方案	防渗墙形式	防渗墙厚度/m	工程期	上游防渗墙				下游防渗墙						
				墙顶最大水平位移/cm	墙顶最大沉降/cm	大主应力最大值/MPa	小主应力最小值/MPa	残渣单元最大压缩量/cm	墙顶最大水平位移/cm	墙顶最大沉降/MPa	大主应力最大值/MPa	小主应力最小值/MPa	残渣单元最大压缩量/cm	
1	单墙	1.3	竣工期	8.2	-26.9	24.0	-0.8	9.9						
		1.3	蓄水期	54.8	-27.3	31.3	-1.4	9.8						
5	单墙	1.3	竣工期	8.7	-27.8	23.7	-0.5	9.8						
		1.3	蓄水期	56.3	-28.1	31.9	-1.7	9.8						
9	双墙	1.0	竣工期	5.1	-26.5	26.0	-0.8	10.2	17.1	-14.0	25.6	-1.1	10.1	
		1.0	蓄水期	47.0	-26.8	32.9	-1.8	10.2	55.9	-14.3	27.1	-1.8	10.1	
10	单墙	1.5	竣工期	8.0	-25.7	21.5	-0.6	9.0						
		1.5	蓄水期	54.4	-26.0	27.1	-1.2	8.9						
11	双墙	1.2	竣工期	5.4	-24.2	21.3	-0.7	8.6	19.2	-12.0	20.1	-0.7	8.9	
		1.2	蓄水期	46.8	-24.4	29.2	-1.3	8.5	59.8	-12.4	23.2	-1.6	8.8	
12	单墙	1.0	竣工期	7.9	-29.5	29.5	-1.1	11.6						
		1.0	蓄水期	54.4	-29.9	36.5	-1.7	11.7						

注 方案 1 防渗墙与廊道直接连接 方案 5,9,10,11,12 均采用倒梯形连接形式。

单墙)的墙体应力变形略高于方案 11(墙厚1.2 m,双墙),虽然墙厚略有增加,但减少了下游副墙,减小了施工工作量。在能保证防渗要求的前提下,可以考虑采用 1.3~1.5 m 墙厚的单墙方案,可取 1.4 m。

对比方案 1 和方案 5,防渗墙与廊道采用倒梯形连接比直接连接的应力状态稍有改善。而非对称连接形式在直角过渡处产生应力集中,竣工期有拉应力存在,因而拟采用倒梯形连接形式。

在各种方案中,竣工期廊道内的压应力都未超过 12.0 MPa,仅顺河向出现了拉应力,位置在底板上部,但拉应力没有超过 2.0 MPa,说明廊道内应力状态良好,采取恰当配筋后廊道质量有保证。

因而毛尔盖水电站大坝的防渗墙取 1 道,厚度为1.4 m,防渗墙与廊道连接部位形状为倒梯形,廊道侧壁和顶拱厚度取 1.2 m,底板厚度取 3.5 m。廊道与坝肩连接处,廊道底板结构缝可在水平方向深入基岩 5 m,这样可减少缝的错移,又不致产生较大应力集中。在结构缝附近预留灌浆孔,以便在结构缝出现张开时进行灌浆补强,并在缝周廊道与岩体接合部位设置一定厚度的反滤层,防止渗水和泥沙大量涌出。

4 结 论

根据毛尔盖水电站大坝高度和覆盖层厚度及其物质组成,参照目前类似工程的实践经验以及计算分析,毛尔盖水电站大坝防渗墙与心墙防渗体的连接形式为防渗墙与廊道刚性连接,防渗墙取 1 道,厚度为 1.4 m,廊道基座底高程与心墙基底高程相同,廊道外轮廓高为 8.7 m,内部净高为 4.0 m,廊道侧壁和顶拱厚度取 1.2 m,底板厚度取 3.5 m,防渗墙与廊道连接部位形状为倒梯形。廊道与坝肩连接处廊道

底板结构缝可深入基岩水平深 5 m。该方案防渗墙最大压应力约为 32.0 MPa(位于防渗墙底部),混凝土能达到此强度要求。廊道内顺河向拉应力接近 2.0 MPa,可通过配筋解决混凝土拉应力问题。

参考文献：

[1] 中国水电顾问集团成都勘测设计研究院. 四川省黑水河毛尔盖水电站可行性研究报告之 5 工程布置及建筑物[R]. 成都:中国水电顾问集团成都勘测设计研究院, 2006.

[2] 电力工业部成都勘测设计研究院. 混凝土防渗墙墙体材料及接头形式研究之混凝土防渗墙与坝体防渗体不同连接形式的适用条件研究[R]. 成都:电力工业部成都勘测设计研究院,1995.

[3] 雷群华. 考虑地基防渗墙弹塑性的土石坝三维有限元分析[D]. 南京:河海大学,2006.

[4] STROBL T H, PAUL D, STRAUB J. Field tests for ground sealing at the Brombach dam [C]//Trans 15th ICOLD. Lausanne :Lausanne Publishing House,1985 :329-345.

[5] 王伯乐. 中国当代中石坝工程[M]. 北京:中国水利水电出版社,2004 :36-47.

[6] 朱俊高,姜朴,黄书秦. 混凝土防渗墙接头大比尺模型试验与计算[J]. 水利学报,1998(3) :40-43.

[7] 陈刚,马光文,付兴友,等. 瀑布沟大坝基础防渗墙廊道连接形式研究[J]. 四川大学学报,2005(3) :32-37.

[8] 朱俊高,姜朴. 防渗墙接头止水材料的防渗性能试验研究[J]. 水利学报,1998(3) :43-47.

[9] 河海大学岩土工程研究所,中国水电顾问集团成都勘测设计研究院. 四川省黑水河毛尔盖水电站砾石土心墙土心墙堆石坝静动力三维有限元应力变形及稳定性分析报告[R]. 成都:中国水电顾问集团成都勘测设计研究院,2006 :19-20.

(收稿日期 2009-08-01 编辑 骆超)

(上接第 34 页)

参考文献：

[1] 唐震,周,周海炜. 长三角地区跨界水事纠纷协商面临的问题及对策[J]. 水利经济,2007,25(2) :70-77.

[2] 刘文荣,陈鹏,马小明. 公共池塘资源管理的自治制度分析[J]. 环境科学动态,2005(3) :14-15.

[3] 石路,蒋云根. 论政府危机管理中的公众参与[J]. 理论导刊,2007(1) :19-21.

[4] 高大宏. 论公共管理对科层制的八大突破[J]. 理论观察,2007(47) :68-69.

[5] 孙国强. 西方网络组织治理研究评价[J]. 外国经济与管

理,2004,26(8) :8-12.

[6] 埃莉诺·奥斯特罗姆. 公共事物的治理之道[M]. 余逊达,陈旭东,译. 上海:上海三联书店,2000.

[7] 胡正昌. 公共治理理论及其政府治理模式的转变[J]. 前沿,2008(5) :90-93.

[8] 罗珉. 组织间关系理论最新研究视角探析[J]. 外国经济与管理,2007,29(1) :25-32.

[9] 鄞益奋. 网络治理:公共管理的新框架[J]. 公共管理学报,2007,4(1) :89-96.

[10] 杨丹华. 西方社区治理中的公民参与[J]. 陕西行政学院学报,2009,23(2) :41-44.

(收稿日期 2009-09-24 编辑 方宇彤)