

# 贫胶和富胶凝渣砾料筑坝技术的应用

刘建林, 范林文

(四川二滩国际工程咨询有限公司, 四川 成都 610072)

**摘要:** 胶凝砂砾石坝(CSG)是一种新型筑坝技术,是碾压混凝土筑坝技术的一种延伸,其最大的优势是拓宽了骨料使用范围,利用可能的当地材料、天然砂砾石混合料、开挖弃料或一般不用的风化岩石且胶凝材料用量少,通过CSG配合比设计,经拌和、运输、入仓、摊铺碾压胶结成具有一定强度的干硬性坝体。贫胶和富胶凝渣砾料筑坝技术在老挝南欧江五级电站的成功应用,对今后类似工程具有一定的借鉴意义。

**关键词:** 老挝;南欧江五级电站;胶凝砂砾石坝(CSG);配合比;拌和;仓面作业;养护;质量评价

**中图分类号:** TV4;TV52;TV641

**文献标识码:** B

**文章编号:** 1001-2184(2014)增1-0115-05

## 1 胶凝砂砾石坝(CSG)的特点

CSG(Cemented Sand and Gravel)坝即胶凝砂砾石坝,采用胶凝砂砾石(CSG)筑坝技术,施工方法与碾压混凝土基本相同,主要区别为设计指标、防渗性能和配合比材料组成不同而已。CSG最早用于筑坝技术是法国于1970年提出来的,它是一种新型筑坝技术。其设计理念与施工方法介于混凝土面板堆石坝和碾压混凝土坝之间。CSG坝是碾压混凝土筑坝技术的一种延伸,其最大优势是拓宽了骨料使用范围,可以利用可能的当地材料、天然砂砾石混合料、开挖弃料或一般不用的风化岩石且胶凝材料用量少。通过CSG配合比设计,经拌和、运输、入仓、摊铺碾压胶结成具有一定强度的干硬性坝体。

胶凝砂砾石(CSG)筑坝技术与碾压混凝土筑坝技术类似,施工方法基本相同,可以显著加快筑坝的碾压速度。采用CSG坝的主要优势是放宽了许多施工要求,笔者总结如下:

(1)层面处理可降至最低限度。因为其只有抗剪切摩擦要求,因此,不论是层间或施工缝均不需进行任何特殊处理即可浇筑下一层。

(2)现场碾压可不考虑骨料分离带来的危害,因其整体强度和防渗性能要求比较低。

(3)水平层间缝的渗透不会危害到坝体的整体稳定。因为CSG坝与混凝土面板堆石坝类似,CSG坝的上、下游通常采用常态混凝土护面,因此在施工缝面和坝体上游区域施工面上不需铺设垫

层料。

(4)模板简单。由于不需要设置施工收缩缝,当上、下游坝面坡比较大时,上、下游面可采用混凝土预制模板或可移动的钢筋混凝土预制模板(即面板堆石坝采用的移动式挤压边墙钢筋混凝土预制模板)。

(5)不需要温度控制。由于CSG水泥用量很低,其温升亦很低。温度应力主要取决于筑坝材料的绝热温升与弹性模量,因此,CSG坝比碾压混凝土坝的温度应力要低,故不需要设置横缝及温度控制。

(6)CSG围堰的优点。一般工程在导截流时,混凝土和砂石料系统大都还没有投入使用。由于围堰的防渗要求较低,采用CSG坝施工省去了砂石料筛分系统,简化了拌和工艺、施工速度快、投资省。CSG坝抗冲能力强,透水性相对较大。因此,CSG坝尤其适合于在围堰工程中应用。

## 2 老挝南欧江五级水电站混凝土纵向围堰

老挝南欧江五级水电站混凝土纵向围堰全长392.42 m,其中:上游围堰长142.42 m(坝横0+0.00~0+142.42),下游围堰长80 m(坝横0+170.00~0+250.00),消力池部位长96.5 m(坝横0+73.50~0+170.00),堰坝结合部位全长为53.5 m(坝横0+20.00~0+73.50),10#坝段长20 m(坝横0+0.00~0+20.00),总计碾压混凝土16.5万m<sup>3</sup>。

(1)上游纵向围堰。

老挝南欧江五级水电站上游纵向围堰为全年

收稿日期:2014-04-18

碾压混凝土围堰,设计挡水标准为全年洪水频率  $P=10\%$ ,相应流量  $Q=4\,000\text{ m}^3/\text{s}$ ,堰前最高水位为高程 408.27 m。考虑安全超高及与土石横向围堰衔接需要,将围堰顶高程确定为 410 m,围堰顶宽 4 m,最大高度 32 m,总长 142.42 m。堰型采用 C7.5 贫胶渣砾料碾压混凝土,其靠导流明渠侧墙面坡比为 1:0.3,靠江侧墙面坡比为 1:0.7。

(2) 下游纵向围堰。

老挝南欧江五级水电站下游纵向围堰为全年碾压混凝土围堰,设计挡水标准为全年洪水频率  $P=10\%$ ,相应流量  $Q=4\,000\text{ m}^3/\text{s}$ ,堰前最高水位为高程 397.95 m。考虑安全超高及与土石横

向围堰衔接需要,围堰顶高程确定为 399 m,围堰顶宽 4 m,坝横 0+20.00~0+170.00 部分围堰最低建基面为弱风化基岩(高程 360 m),最大高度 39 m,堰型采用 C15 富胶凝渣砾料碾压混凝土(重力式),靠导流明渠侧墙背为立面,靠江侧墙面坡比为 1:0.75;坝横 0+170.00~0+250.00 部分围堰建基面为弱风化基岩(高程 380 m),最大高度为 18.5 m。堰型采用 C7.5 贫胶凝渣砾料碾压混凝土(重力式),靠导流明渠侧墙背为立面,靠江侧墙面坡比为 1:0.75。

3 设计指标

纵向 CSG 围堰设计指标见表 1、2。

表 1 纵向贫胶 CSG 围堰设计指标表

设计强度等级	最大粒径/mm	设计龄期/d	抗渗等级	抗剪强度	容重	相对密度/%
$\geq C7.5$ $P \geq 85\%$	$\leq 250$	28	W2	$f' \geq 0.8\text{ MPa}$ $c' \geq 0.5\text{ MPa}$	$\geq 2\,250$	$\geq 96$

表 2 纵向富胶 CSG 围堰设计指标表

设计技术指标	堰体上、下游防渗层混凝土	堰体内部碾压混凝土
设计强度等级	C <sub>90</sub> 15	C <sub>180</sub> 15
强度保证率	80%	80%
抗渗等级(90 d)	W4	W4
极限拉伸值( $\times 10^{-6}$ )	$\geq 75$	$\geq 70$

4 骨料要求

(1) 砂砾料质地坚硬,其最大表观密度应不小于  $2\,450\text{ kg/m}^3$ ,最大粒径应按拌和工艺和碾压工艺确定,最大粒径不应超过 250 mm。

(2) 砂砾料中直径小于 5 mm 的细骨料含量不宜小于 25%;当不足 25%时,可掺入人工料。

(3) 砂砾料的含泥量应控制在 5% 以内,并避

免泥块集中。

(4) 砂砾料级配中,粒径 80~250 mm 的颗粒宜为 40%,5~80 mm 的颗粒宜为 30%,小于 5 mm 的颗粒宜为 30%。

5 配合比设计

配合比设计情况见表 3。

6 渣砾料碾压混凝土(CSG)碾压试验

表 3 CSG 碾压混凝土施工配合比汇总表

设计等级	水胶比	设计 $V_c$ 值(s) /坍落度(mm)	每 $\text{m}^3$ 混凝土材料用量/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$				
			水泥	粉煤灰	天然渣砾料	水	减水剂
C7.5W2	1	2~8	105		2150	105	
变态 C7.5W2	0.98	40~60	768			753	
C15W4	0.63	2~8	173		2\,098	109	
变态 C15W4	0.61	40~60	1\,076			656	
C9015	0.55	2~12	145	63	2\,068	115	2.08
变态 C <sub>90</sub> 15W <sub>4</sub>	0.55	2~12	145	63	2\,068	115	2.08
		40~60	46	20		36	0.66

根据《贫胶渣砾石碾压混凝土施工导则》(DL/T 5264-2011)及有关技术要求,为了核实围堰 CSG 设计压实标准的合理性,检验所选用的 CSG 铺筑压实机械的适用性及其性能的可靠性,确定经济合理的施工压实参数,如:拌料次数、铺料厚度、碾压遍数、用水量等;研究和完善铺筑的施工工艺和措施。根据试验结果确定的现场 CSG

施工碾压参数为:

(1) 采用反铲结合正铲进行拌和,投料顺序为:天然砂砾石→水泥→水。先用反铲结合正铲干拌 2 遍,再加水湿拌 4 遍后使混合料整体颜色均匀为控制标准;现场翻拌应保证渣砾料拌和物充分搅拌均匀,剔除超径料并满足施工的要求,目测基本均匀。碾压贫胶渣砾料碾压混凝土以手抓

细料能基本粘聚为判断合格的辅助手段。

(2)拌和料应搅拌均匀,其中粒径80 mm以内的粒料应充分混合、裹浆、黏聚。

(3)当渣砾料发生变化时,应及时调整拌和用的配料和用水量。

(4)铺料厚度(松铺)50 cm,静碾压2遍,振动碾压8遍,将碾压速度控制在1~1.5 km/h,碾压条带间搭接宽度为300~400 mm,端头部位搭接长度为1 m,水泥净浆掺量取变态CSG体积的10%。

## 7 渣砾料碾压混凝土(CSG)的质量控制

### 7.1 贫胶渣砾料碾压混凝土原材料的质量控制

(1)水泥。采用越南生产的PC 40水泥:凝结时间、安定性、强度应满足《通用硅酸盐水泥》(GB175-2007)标准中的要求。

(2)砂砾石。砂砾石为南欧江河床天然砂砾石料,砂砾石中的含泥量不宜超过5%;砂砾石宜质地坚硬,其表观密度应不小于2450 kg/m<sup>3</sup>;天然料中砂子的细度模数宜在2~3.3之间;粒径<5 mm含量的颗粒为18%~35%。粗骨料针片状颗粒含量≤15%(经试验论证,可以放宽至25%)。

(3)拌和用水。贫胶渣砾料碾压混凝土拌和用水应符合饮用水标准或采用其它经检验合格的水。

### 7.2 拌和及运输

(1)胶凝材料按重量法计量,渣砾料可按体积法简易计量,水可用流量计计量。

(2)采用反铲结合正铲进行拌和,投料顺序为:天然砂砾石→水泥→水。先用反铲结合正铲干拌2遍,再加水湿拌4遍后使混合料整体颜色均匀为控制标准;现场翻拌应保证渣砾料拌和物充分搅拌均匀,剔除超径料并满足施工的工作度要求,目测基本均匀。碾压贫胶渣砾料碾压混凝土

土以手抓细料能基本黏聚为判断合格的辅助手段。

(3)拌和料应搅拌均匀,其中粒径80 mm以内的粒料应充分混合、裹浆、黏聚。

(4)当渣砾料发生变化时,应及时调整拌和的配料和用水量。

(5)运输贫胶渣砾料碾压混凝土宜采用自卸汽车、装载机等,在使用前进行全面检查和清洗。宜采取防高温、防日晒和调节仓面局部小气候等措施,减缓拌和物表面失水,有助于延长其凝结时间。

(6)贫胶渣砾料碾压混凝土拌和物的 $V_c$ 值宜控制在2~8 s,应根据天气、温度、碾压状态等实际情况进行动态控制, $V_c$ 值增大时应增加碾压遍数,满足设计要求。

### 7.3 卸料及平仓

(1)胶凝渣砾料碾压混凝土宜采用平层通仓、连续铺筑法。铺筑面积应与铺筑能力及贫胶渣砾料碾压混凝土允许层间间隔时间相适应。当无法满足要求时,应进行缝面处理。

(2)铺筑厚度应由碾压工艺试验论证确定。若铺筑厚度较大时,每个碾压层可分2~3次平仓铺筑,但每层厚度不小于渣砾料最大粒径。

(3)采用自卸卡车直接进仓卸料时,应一次卸料。卸料堆边缘与模板距离不宜小于1.2 m。

(4)仓面作业宜采用推土机、湿地平仓机或反铲挖掘机等。

(5)对于卸料堆旁出现的分离石料,应将其分散到未碾压的条带上,防止大石集中、叠合。

(6)铺筑厚度应均匀。平仓过的贫胶渣砾料碾压混凝土仓面应平整,并不宜向下游倾斜。

### 7.4 碾压

(1)根据料源的实际情况和现场碾压试验成果,围堰贫胶渣砾料混凝土施工碾压参数见表4。

表4 铺筑推荐机械、施工参数表

铺料厚度 /cm	碾压遍数 $n$ /遍 (静+振)	$V_c$ 值 /s	行车速度 /km·h <sup>-1</sup>	碾压机械	铺料方法	搭接宽度 /cm
50	2+6	2~8	1~1.5	SSR200 振动碾	退铺法	30~40

(2)振动碾的行走速度宜控制在1.5 km/h以内。

(3)碾压条带间的搭接宽度应为300~400 mm,端头部位的搭接长度宜为1 m左右。

(4)碾压作业过程中,应通过人工补充细料

进行平整。

(5)光照强烈或大风干燥时,应进行喷雾或表面水分补偿,保持其表面不发白。

(6)每层碾压作业结束后,应根据规定检测表观密度。当所测表观密度低于规定指标时,应

立即重复检测并查找原因,采取处理措施。

(7)各种设备在碾压完毕的贫胶渣砾料碾压混凝土层面上行走时,应避免损坏已成型的层面。对已造成损坏的层面,应及时采取修补措施。

(8)贫胶渣砾料碾压混凝土入仓后,应尽快完成平仓和碾压,从胶凝材料加水拌和到碾压完毕的最长允许历时应根据不同季节、天气条件及贫胶渣砾料碾压混凝土特性,经过试验或类比其他工程确定。

#### 7.5 层、缝面的处理

(1)连续上升铺筑的贫胶渣砾料碾压混凝土层间间隔时间宜控制在直接铺筑允许时间以内。对于超过直接铺筑允许时间的层面,应先在层面上铺垫砂浆等垫层拌和物,再铺筑上一层贫胶渣砾料碾压混凝土。超过加垫层铺筑允许时间的层面即为冷缝。

(2)施工缝面在铺砂浆前,应清除二次污染物,铺砂浆后应立即覆盖贫胶渣砾料碾压混凝土。

(3)直接铺筑的允许时间和加垫层铺筑的允许时间应根据工程要求综合考虑拌和物的初凝时间进行确定。

(4)施工缝及冷缝应进行缝面处理,处理合格后方可继续施工。缝面处理应清除硬化缝面的浮浆及松动骨料,冲洗干净。

(5)缝面处理完成并经验收合格后,为保证层间结合,可均匀喷洒一层水泥粉煤灰净浆或均匀刮铺厚10~15 mm的砂浆。对采用的净浆要求加入适量的缓凝剂,保持与碾压混凝土初凝性能的同步性,厚度约3 mm,净浆喷洒后10 min内必须覆盖。所采用的砂浆强度等级比贫胶渣砾料碾压混凝土高一级,砂浆应与贫胶渣砾料碾压混凝土一道逐条摊铺,并应在砂浆初凝前将上层渣砾料碾压混凝土碾压完毕。

(6)因降雨或其他特殊原因造成施工中断时,应及时对已摊铺的贫胶渣砾料碾压混凝土进行平仓碾压,接头部位应做专门处理。恢复施工时,应对结合面进行处理。

#### 7.6 变态胶凝渣砾料的浇筑

(1)变态胶凝渣砾料应随贫胶渣砾料碾压混凝土浇筑逐层施工,宜优先采用强力振捣器。变态胶凝渣砾料应根据振捣器的有效振捣深度控制摊铺厚度,逐层注浆振捣,必要时可剔除大石。

(2)变态混凝土在铺料时,若采取同大仓面碾压混凝土一起直接使用平仓机进行摊铺,则往往存在骨料集中且局部会高出碾压混凝土大仓面的情况,振实后变态混凝土部位高出碾压混凝土仓面,不利于振捣作业且易造成变态混凝土灰浆流失。因此,变态混凝土铺料常采取人工辅助摊铺的方式进行平整。同时,为防止变态混凝土的灰浆流入碾压混凝土仓面,一般要求将变态混凝土区域摊铺成低于碾压混凝土6~10 cm左右的槽状。

(3)为保证层间结合良好,变态混凝土区域铺料前应先喷洒一层水泥净浆。

(4)掺浆方式采用梅花形插孔加浆方式,用浆量经实验确定,取渣砾料体积的10%。具体做法为:在已经摊铺好的渣砾料层面上,人工用钢钎在渣砾料层面上按梅花形插孔,灰浆通过插孔均匀地渗入渣砾料。

(5)在加浆后10~15 min后插入 $\phi 100$ 振捣器进行振捣,振捣器采用“快插慢拔”的方式,振捣时间控制是以变态混凝土粗骨料不再显著下沉、泛浆为准,避免欠振或过振。

(6)相邻区域贫胶渣砾料碾压混凝土碾压时,与变态区域的搭接宽度应大于300 mm。

#### 7.7 养生及防护

(1)施工过程中,贫胶渣砾料碾压混凝土的仓面应保持湿润。

(2)正在施工和刚碾压完毕的仓面,应防止外来水流入。

(3)施工间歇期间,贫胶渣砾料碾压混凝土终凝后即应开始保湿养护。对于施工缝,养护工作应持续到上一层贫胶渣砾料碾压混凝土开始铺筑;对于暴露面,养护时间不宜少于28 d。

#### 7.8 特殊气象条件下的施工

(1)施工期间,应加强气象预报信息的收集,及时了解雨情和气温情况,妥善安排施工进度。

(2)雨季开仓前,必须配备好防雨布、水管、海绵等材料,并将其作为检查其是否具备开仓条件的一项重要检查内容。防雨材料应与仓面面积相当并备放在现场。

(3)雨天施工应加强降雨量测试工作,降雨量测试由专职质检员负责,1 h内降雨量超过3 mm时,不得进行铺筑、碾压施工,并尽快将已入

仓的混凝土摊铺碾压完毕或妥善覆盖,用塑料布遮盖整个新混凝土面。塑料布的遮盖必须采用搭接法,搭接宽度不少于 20 cm,并应有效阻止雨水从搭接部位流入混凝土面。将雨水集中引排至坝外,对个别无法自动排出的部位采用人工处理。

(4)恢复施工前,应将尚未被振实而已初凝的贫胶渣砾料碾压混凝土清除,并按规定进行处理,完成后需经监理工程师认可后方可恢复施工,应由实验室根据现场检测情况适当调整  $V_c$  值。

(5)在大风或干燥气候条件下施工,应采取专门的措施保持仓面湿润。

(6)高温季节施工,应根据所配置的施工设

备的能力,合理确定碾压仓面的尺寸、铺筑方法,宜安排在早晚和夜间施工。混凝土运输过程中,采用隔热遮阳措施减少温度回升,采用喷雾等办法,降低仓面的局部气温。

### 8 CSG 碾压混凝土质量控制的执行情况及评价

(1)CSG 碾压混凝土现场相对密实度检测。

纵向围堰 CSG 碾压混凝土施工过程中,监理工程师依据合同技术规范要求,对现场 CSG 碾压混凝土每层的相对密实度进行了抽检,以检验 CSG 碾压混凝土的碾压质量;相对密实度采用灌水法,共抽检了 159 组,合格率达 100%,抽检结果统计情况见表 5。

表 5 CSG 相对密实度监理抽检结果统计表

取样部位与混凝土等级	统计值	基准表观密度 /kg·m <sup>-3</sup>	表观密度 /kg·m <sup>-3</sup>	设计相对 密实度 /%	实测相对 密实度 /%
上下游纵向围堰 C7.5W2	组数 $n$		84		84
	最大值		2 415		99.8
	最小值	2 420	2 236	≥94	94.5
	平均值		2 356		97.4
	合格率 /%		100		100
下游纵向围堰 C <sub>90</sub> 15	组数 $n$		75		75
	最大值		2 505		103.5
	最小值	2 420	2 333	≥96	96.4
	平均值		2 376		98.2
	合格率 /%		100		100

(2)CSG 碾压混凝土性能检测。

纵向围堰 CSG 碾压混凝土施工中,监理工程师依据合同技术规范要求,对现场施工的 CSG 碾

压混凝土进行了抽检,共抽检强度 20 组,合格率为 95%;抗渗 4 组,合格率为 100%。抽检结果统计情况见表 6、7。

表 6 CSG 碾压混凝土抗压强度监理抽检结果统计表

部位	设计 强度	龄期 /d	组数 /组	最大值 /MPa	最小值 /MPa	平均值 /MPa	标准差 /MPa	离差 系数
上下游纵向围堰 CSG	C7.5W2	28	7	11.7	5.7	8.6	1.88	0.22
上下游纵向围堰 变态 CSG	C15W4	28	2	20.9	16.1	18.5	/	/
下游纵向围堰 富胶 CSG	C <sub>90</sub> 15	28	5	15.4	12.3	14.2	/	/
		90	5	18.4	16	17.5	0.98	0.056
下游纵向围堰 富胶变态 CSG	C <sub>90</sub> 15W4	28	6	20.3	14	16.2	/	/
		90	6	21.4	16.7	19.6	1.87	0.095

表 7 CSG 碾压混凝土抗渗监理抽检结果汇总表

取样部位	设计指标	抗渗 /28 d	备注
下游纵向围堰 CSG	C7.5W2	> W2	平均渗透高度 64 mm
下游纵向围堰变态 CSG	C15W4	> W4	平均渗透高度 57 mm
上游纵向围堰 CSG	C7.5W2	> W2	平均渗透高度 78 mm
下游纵向围堰富胶变态 CSG	C <sub>90</sub> 15W4	> W4	平均渗透高度 76 mm

(3)CSG 碾压混凝土质量评价。

在 CSG 碾压混凝土施工前,依据规范和设计技术要求对 CSG 碾压混凝土进行了配合比试拌,根据配合比试验结果确定了施工配合比,并根据

施工配合比在现场进行了生产性碾压试验,确定了具体的施工参数。在施工过程中,对每层 CSG 碾压混凝土进行了相对密实度的抽检,并留样进

(下转第 131 页)

## 5 类似工程对比

笔者将锦屏一级水电站大坝蓄水期坝体变形实测值与同类工程——二滩、小湾、拉西瓦、溪洛渡的类似蓄水阶段的坝体实测变形进行了对比(表3)。

表3 锦屏一级水电站拱坝蓄水期变形与类似工程对比表

工程	坝高 /m	蓄水初水头 /m	蓄水末水头 /m	水头变幅 /m	变形增量 /m	单位水头变形量 mm/m
二滩	240	65	210	145	22	0.152
小湾	294.5	88.5	174	85.5	14.99	0.176
拉西瓦	250	40	160	120	15.02	0.125
溪洛渡	285.5	115.5	215.5	100	18.6	0.186
锦屏一级	305	135	220	85	14.9	0.175

由表3可以看出:锦屏一级水电站拱坝与小湾、溪洛渡拱坝坝高及蓄水过程较为接近,三个工程在类似蓄水阶段的变形增量量值相当。二滩、拉西瓦拱坝坝高较小,并且从较低水位开始蓄水,变形量值相对较小。由此可以推断:锦屏一级水电站拱坝当前的坝体变形较为正常。

## 6 结语

通过以上分析,可以得到以下结论:

(1) 锦屏一级水电站拱坝垂线系统工作状况

(上接第119页)

行了抗压强度和抗渗试验。从相对密实度、抗压强度和抗渗试验结果看,施工的CSG碾压混凝土各种性能满足《贫胶渣砾石碾压混凝土施工导则》(DL/T 5264-2011)及设计技术要求。

## 9 结语

南欧江五级水电站混凝土纵向围堰全长392.42 m(0-142.42~0+250.00),最大堰高达45 m(高程360~405 m),下游最大堰高部位(堰坝接合段)综合坡比为1:0.7,整个混凝土纵向围堰总量达16.5万 $m^3$ (其中RCC:3.5万 $m^3$ ,富胶CSG:6.5万 $m^3$ ,贫胶CSG:6.55万 $m^3$ ),与国内已建CSG坝工程相比,其规模最大,综合坡比最小,围堰高度最高并同时采用贫胶CSG和富胶CSG。

经过2013年8月4日20 a一遇超标洪水

良好,为分析锦屏一级水电站特高拱坝蓄水期变形特征提供了有力依据。

(2) 当蓄水至死水位1 800 m高程时,在上游水压力作用下,坝体变形基本符合一般规律:径向变形方向整体表现为向下游,拱冠梁部位变形最大,向两岸变形减小;切向变形方向表现为向两岸。变形量值与小湾、溪洛渡等同类工程类似蓄水阶段的变形量值相当。

(3) 由于受坝基地形及地质结构不对称的影响,坝体变形有一定的不对称性,左岸1 730 m高程以上存在轻微扭转变形。

### 参考文献:

- [1] 韩世栋,赵斌,廖占勇,等.小湾特高拱坝蓄水初期垂线监测成果分析评价[J].大坝与安全,2010(3):38-41.
- [2] 李蒲健,魏鹏,张群.拉西瓦水电站首次蓄水期拱坝主要性状综述[J].水力发电,2009,35(11):12-15.

### 作者简介:

陈晓鹏(1983-),男,浙江松阳人,工程师,硕士,从事水电工程安全监测工作;

阮彦晨(1982-),女,湖北沙洋人,工程师,硕士,从事水电工程安全监测工作。

(责任编辑:李燕辉)

CSG筑坝技术在我国应用时间较晚,且应用较少,其材料性能指标受施工工艺及现场材料情况等影响较大,渣砾料的离散性较大,加之机械拌和的均匀性及加水量不易掌握,而且目前尚无规范或标准可查。国内已经实施CSG筑坝技术的工程见表8。

表8 国内CSG坝工程实例表

序号	工程名称	应用部位	建成时间/a	最大高度/m	迎水面坡比	背水面坡比
1	贵州道塘水库	上游围堰	2004	4	1:0.2	1:1
2	福建街面水电站	面板坝量水堰	2004	13.5	1:0.4	1:0.96
3	福建洪口水电站	上游围堰	2006	35.5	1:0.3	1:0.75
4	云南功果桥水电站	上游围堰	2009	50	1:0.4	1:0.7
5	四川雅安飞仙关水电站	纵向围堰	2012	12	1:0.6	1:0.6

(5 960  $m^3/s$ )和2013年12月15日枯期百年一遇洪水(4 000  $m^3/s$ )的考验,工程安然无恙,从而为今后的水电站围堰及碾压混凝土坝施工提供了借鉴。

### 作者简介:

刘建林(1963-),男,重庆长寿人,副总工程师,老挝南欧江流域项目部经理,高级工程师,从事水电工程监理工作;

范林文(1970-),男,四川南部人,老挝南欧江流域项目副经理、南欧江五级电站总监理工程师,工程师,从事水电工程监理工作。

(责任编辑:李燕辉)