

# 沙湾水电站泄洪冲砂闸闸基处理有限元数值计算研究

高远贵<sup>1</sup>, 高山<sup>2</sup>, 崔露丹<sup>3</sup>

(1.四川省水利科学研究院, 成都 610072; 2.四川大学水电学院, 成都 610065;

3.成都协和水利水电工程公司, 成都 610072)

**摘要:**沙湾水电站5<sup>#</sup>~8<sup>#</sup>泄洪冲砂闸, 闸基下一期围堰2道塑性砼防渗墙对闸底板应力和闸基不均匀沉降产生较大影响。针对闸下塑性混凝土防渗墙提出了6种处理方案, 通过有限元分析计算不同工况和塑性防渗墙处理方案下的沉降及应力分布, 推荐采用对建基面以下8 m范围内的塑性砼防渗墙进行松动爆破, 同时对建基面以下2.0 m范围内的残存防渗墙进行清挖后回填原状砂卵石。从处理后泄洪冲砂闸运行情况来看, 闸基处理方式是合适的, 可为类似工程作参考。

**关键词:**沙湾水电站; 泄洪冲砂闸; 闸基处理; 有限元

**中图分类号:**TV662+.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-1891(2018)02-0009-04

## Numerical Calculation Research on Flood Discharge Foundation Treatment of Shawan Hydropower Station in Finite Element Method

GAO Yuan-gui<sup>1</sup>, GAO Shan<sup>2</sup>, CUI Lu-dan<sup>3</sup>

(1. Institute of Water Conservancy Science of Sichuan Province, Chengdu 610072, China; 2. College of Water Resource & Hydropower of Sichuan University, Chengdu 610065, China; 3. Xiehe Water Conservancy and Hydropower Engineering Company of Chengdu, Chengdu 610072, China)

**Abstract:** It caused great influence of uneven settlement on flood discharge foundation from two plastic concrete impervious walls of first-stage cofferdam of No.5 to No.8 flood discharge in Shawan hydropower station. In accordance with plastic concrete impervious walls under flood discharge foundation, this paper calculated settlement and stress distribution of 6 processing schemes in finite element method under different conditions. Numerical calculation research shows that loose blasting should be carried out to plastic concrete impervious wall under 8m of foundation surface, and original sandy gravel should be cleaned and filled the residual impervious wall under 2m of foundation surface. The subsequent operation confirms foundation treatment is correct, which can be used as a reference for similar projects.

**Keywords:** Shawan hydropower station; flood discharge; foundation treatment; finite element

## 0 引言

沙湾水电站位于四川省乐山市沙湾区境内, 采用河床式厂房加长尾水渠混合式开发, 是以发电为主, 兼顾灌溉和航运等综合效益的二等大(2)型工程。枢纽工程中泄洪冲砂闸布置于主厂房左侧, 均建于深厚覆盖层砂卵石地基上, 共10孔, 其中靠近厂房5孔为冲砂闸(1<sup>#</sup>~5<sup>#</sup>); 其余5孔(6<sup>#</sup>~10<sup>#</sup>)为泄洪闸, 除5<sup>#</sup>、6<sup>#</sup>闸孔为1孔闸一个单元外, 其余均为2孔闸一个单元, 为开敞式平底宽顶堰, 闸孔净宽14 m, 闸室顺水流方向长40.78 m, 闸底板顶高程

均为416.5 m, 闸底板厚5 m<sup>[1]</sup>。闸后采用底流消能。泄洪冲砂闸设检修门和工作门, 检修门为露顶平面滑动门, 工作门为露顶弧形门。在泄洪冲砂闸室上游设长15 m, 厚度2 m的铺盖, 铺盖上游端基础下设厚1.0 m的塑性砼防渗墙, 塑性砼防渗墙贯穿穿48 m厚的覆盖层, 嵌入基岩1 m。

## 1 问题的提出

泄洪冲砂闸均建于深厚覆盖层砂卵石地基上, 砂卵石地基本身很均匀无砂层及透镜体分布, 其稳定和承载力均满足水闸对地基的要求, 但由于一期

围堰两道深 48 m 的塑性砼防渗墙顺水流方向纵卧于 5#~8# 闸闸底板下,造成闸基软硬不一,闸底板下塑性砼防渗墙在闸室竣工及运行期间,对闸底板产生较大的顶托,造成闸底板应力集中产生裂缝<sup>[2-4]</sup>;闸体沉降不均使闸室倾斜,破坏止水<sup>[5-7]</sup>,危及闸室的安全。针对沙湾水电站泄洪冲砂闸 5#~8# 闸段结构特性为研究目标,结合该区域地形、地质条件,采用三维有限元法<sup>[8-9]</sup>,系统研究不同地基处理方案情况下,闸室结构及地基在完工工况、运行期工况以及地震工况条件下的应力、位移分布规律,并进行综合比较,提出推荐的地基处理方案,保证闸室长期安全运行。具体研究内容包括:①在充分研究闸坝地质条件的基础上,建立 5#~8# 闸段三

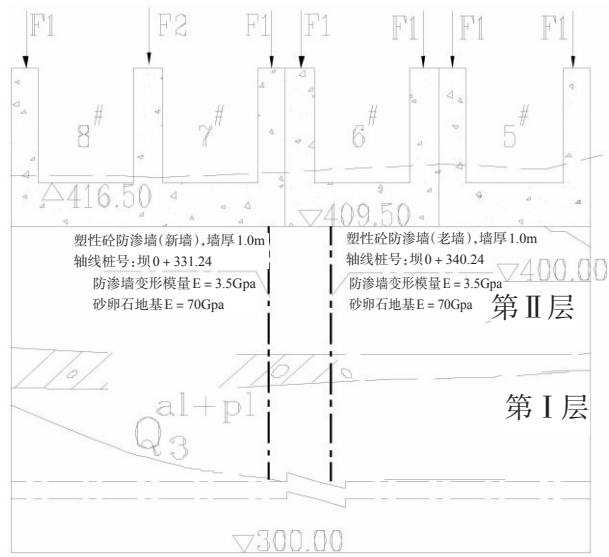
维有限元法计算模型,全面准确地模拟闸室、地基及塑性砼防渗墙空间展布及材料物理力学性质。

②研究完工工况条件下闸室结构特性,包括应力、变形及闸段不均匀变形程度,为工程安全评价和处理提供依据。③研究运行期(正常运行工况、校核工况及检修工况)闸室结构特性,包括应力、变形及闸段不均匀变形程度,为工程评价和处理提供依据。④采用振型分解反应谱法计算分析地震工况下闸室结构特性,并评价其工程安全性。

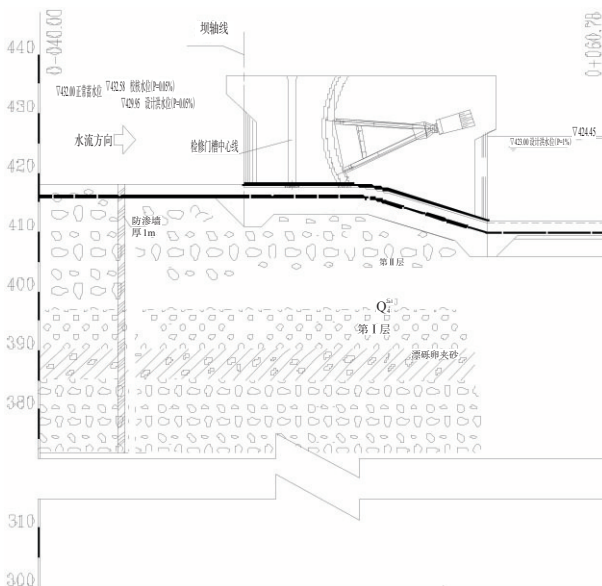
## 2 三维有限元仿真计算

### 2.1 计算模型

针对沙湾水电站泄洪冲砂闸区域的地形地质条件,结合工程布置及主要计算分析范围,计算区域选定见图 1。顺河向建模范围为:上游至坝纵 0-040.0 m,下游至坝纵 0+060.78 m,长度共 100.78 m;横河向建模范围为:5#~8# 闸室段坝横 0+293.72—坝横 0+377.76,长度共 84.04 m,铅直向底部取至 300.00 m 高程,上部延伸至闸室顶部,高程为 435.00 m,见图 2。



(a) 横河向建模范围



(b) 顺河向建模范围

图 1 有限元建模范围

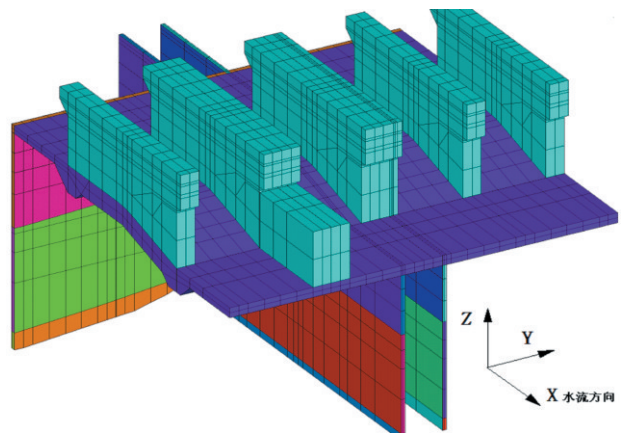


图 2 三维有限元模型结构及防渗墙透视图

### 2.2 计算工况及荷载组合<sup>[10]</sup>

#### 2.2.1 基本组合及荷载

正常运行情况下,上游正常蓄水位 432.00 m,下游无水。考虑荷载包括自重、水重、静水压力、淤沙压力、浪压力、扬压力、土压力。

#### 2.2.2 特殊组合及荷载

施工完工情况下,闸室自重和土压力荷载。校核洪水位情况下,上游水位 432.58 m,下游水位 424.45 m,考虑荷载包括自重、水重、水压力、扬压力、浪压力、土压力。地震情况下,上游正常蓄水位 432.00 m,地震烈度为 7 度,考虑荷载为包括自重、水重、水压力、扬压力、地震力、浪压力、土压力。

### 2.2.3 拟定塑性防渗墙处理方案

为了对比建基面以下不同清挖深度情况下5<sup>#</sup>~8<sup>#</sup>闸段最大不均匀沉降差、闸底板应力的变化规律,针对残存的塑性砼防渗墙,拟定6种处理方案:①对塑性砼防渗墙不做任何处理。②建基面以下防渗墙范围内清挖2.0 m,并回填砂卵石,砂卵石模量为20.0 MPa。③建基面以下防渗墙范围内清挖2.0 m,并回填黏土,黏土模量为7.0 MPa。④对防渗墙建基面以下8 m范围砼防渗墙进行松动爆破,松动爆破之后砼防渗墙模量取为80 MPa,同时建基面以下防渗墙范围内清挖2.0 m,并回填砂卵石,砂卵石模量为20.0 MPa。⑤对防渗墙建基面以下8 m范围砼防渗墙进行松动爆破,松动爆破之后砼防渗墙模量取为80 MPa,同时建基面以下二道防渗墙之间清挖2.0 m,并回填黏土,黏土模量为7.0 MPa。⑥对防渗墙建基面以下8 m范围砼防渗墙进行松动爆破,松动爆破之后砼防渗墙模量取为80 MPa,同时建基面以下二道防渗墙之间清挖2.0 m,并回填橡胶,橡胶模量为1.0 MPa(图3)。

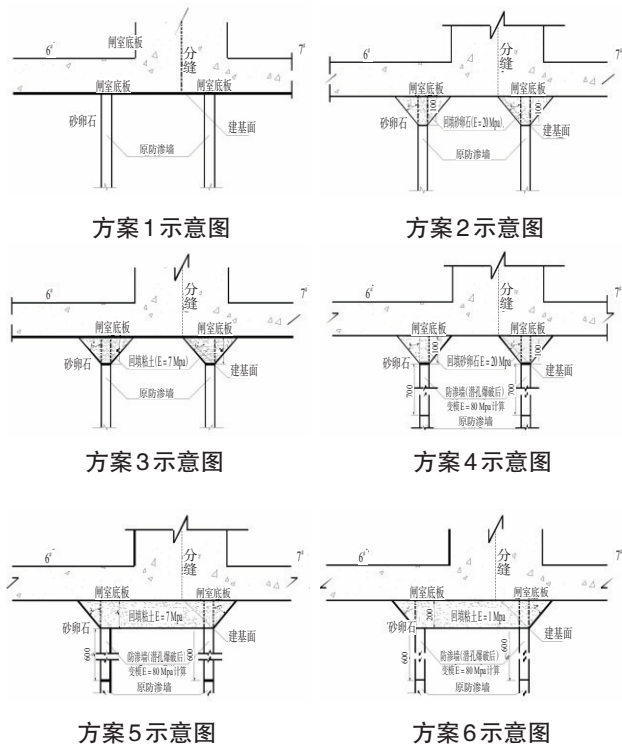


图3 拟定塑性防渗墙处理方案图

## 2.3 计算结果

### 2.3.1 不均匀沉降比较

三维有限元分析计算表明,由于闸基中塑性砼防渗墙与砂卵石弹性模量差异较大,各典型工况下5<sup>#</sup>~8<sup>#</sup>闸段存在不均匀沉降变形。受塑性防渗墙顶托作用,6<sup>#</sup>、7<sup>#</sup>闸室铅直向沉降量相对较小,而以防

渗墙与闸底板交界线为中心线向左右两岸延伸,闸室铅直向沉降逐渐增大。由于向右岸延伸时地基覆盖层逐渐增厚,而向左岸延伸时时地基覆盖层厚度逐渐减小,故5<sup>#</sup>闸室沉降量相对最大,8<sup>#</sup>闸室沉降其次。其中方案一在水闸正常运用工况下不均沉降量大于5 cm,闸底板拉应力集中值达3.95 MPa,均超过了设计要求<sup>[1]</sup>。方案二和方案三在水闸正常运用工况下不均沉降量均小于4 cm,满足规范要求,但闸底板拉应力集中值达3.15 MPa,超过了设计要求<sup>[1]</sup>。

### 2.3.2 绝对沉降比较

针对不同地基处理方案,各典型工况5<sup>#</sup>~8<sup>#</sup>闸段建基面的绝对沉降极值及同一闸室最大不均匀沉降差,呈现出地震工况>校核工况>正常运行工况>完建工况的特点。对比各典型工况下闸段结构的受力情况可以看出:各闸段底板的应力分布来看,在闸室底板与边墙交接部位出现了一定的压应力集中现象,由于防渗墙顶托作用引起的闸室不均匀沉降,闸室底板存在一定的拉应力区域;闸室底板和建基面的压应力、拉应力极值均出现在地震工况。各方案及工况下闸室的最大不均匀沉降值和绝对沉降值见表1。

表1 各方案闸室的最大不均匀沉降值和绝对沉降值

方案	工况	最大沉降值/cm			闸室底板应力/MPa		
		绝对值	不均匀值	附加值	应力	集中应力	拉应力
1	正常	7.84	4.58	0.09	4.2	3.57	-0.2
	校核	8.02	4.76	1.24	4.5	3.81	-0.6
	地震	11.37	5.96	1.85	7.6	4.47	-0.9
2	正常	6.28	3.67	0.07	2.1	2.46	-0.6
	校核	7.49	3.97	1.02	1.5	2.98	0
	地震	10.93	4.66	1.71	3.2	3.98	0.2
3	正常	5.82	3.27	0.06	2.0	2.54	-0.5
	校核	6.43	3.56	1.00	1.6	2.91	-0.1
	地震	10.75	4.87	1.62	3.0	3.97	0.1
4	正常	5.92	1.36	0.03	2.8	3.2	-0.8
	校核	8.28	1.44	0.51	2.0	3.11	-1.0
	地震	10.01	1.75	1.26	4.4	5.15	0
5	正常	5.36	1.04	0.02	3.2	3.4	-0.6
	校核	7.84	1.38	0.43	3.0	3.62	-1.2
	地震	9.25	1.79	1.07	4.3	5.37	0.2
6	正常	5.03	1.02	0.03	3.3	3.6	-0.7
	校核	7.42	1.32	0.45	2.8	3.73	-1.4
	地震	8.51	1.68	1.11	4.2	5.45	0.3

### 2.3.3 回填材料影响比较

在不同的基础处理方案中,随着2道防渗墙之间回填材料变形模量的降低以及回填深度和回填



范围的增大,相应方案闸坝建基面的不均匀沉降程度也随之降低,闸室结构的应力不均匀程度也减弱,其中方案6闸坝不均匀沉降差相对最小。随着闸基处理深度或范围的增大,施工难度及工程量随之增大,回填材料变形模量若降低过大,则会引起闸基整体抗滑稳定,从而影响闸基抗滑稳定安全性。

综合闸体变形特性、施工难度、工程量、闸基抗滑稳定性、闸门运行安全性等方面的因素,推荐方案4作为沙湾5<sup>#</sup>~8<sup>#</sup>闸段闸基处理方案,即对建基面以下8 m范围混砂防渗墙进行松动爆破,同时对建基面防渗墙范围内清挖2.0 m,并回填砂卵石。

## 2.4 典型工况下推荐方案计算成果

### 2.4.1 不均匀沉降

在推荐方案4情况下,正常运行工况下闸室的最大绝对沉降值约为5.92 cm,出现在5<sup>#</sup>闸段,最大不均匀沉降值约1.36 cm,出现在6<sup>#</sup>闸段,最大附加不均匀沉降值约为0.03cm,出现在6<sup>#</sup>闸段。校核工况下闸室的最大绝对沉降值约为8.24 cm,出现在5<sup>#</sup>闸段,最大不均匀沉降值约1.44 cm,出现在6<sup>#</sup>闸段,最大附加不均匀沉降值约为0.51 cm,出现在5<sup>#</sup>闸段。地震工况下闸室的最大绝对沉降值约为10.01 cm,出现在5<sup>#</sup>闸段,最大不均匀沉降值约1.75 cm,出现在6<sup>#</sup>闸段,最大附加不均匀沉降值约为1.26 cm,出现在5<sup>#</sup>闸段。

### 2.4.2 底板应力分布

在推荐方案4情况下,在闸室底板与边墙交接部位出现了一定的拉、压应力集中现象。正常运行工况下,闸室底板压应力约2.80 MPa,其中7<sup>#</sup>闸段局

部出现约3.20 MPa压应力集中,拉应力约-0.80 MPa。校核工况下,闸室底板压应力约2.0 MPa,7<sup>#</sup>闸段局部出现3.11 MPa压应力集中,拉应力约-1.0 MPa。地震工况下,闸室底板压应力约4.40 MPa,局部出现5.15 MPa压应力集中。但在推荐方案4情况下,各工况底板应力分布均满足地基承载力要求<sup>[11]</sup>。

### 2.4.3 地基应力分布

在推荐方案4情况下,完工况下闸室地基应力值约0.3 MPa,5<sup>#</sup>闸段局部出现应力集中,极值约0.61 MPa。正常运行工况下闸室地基应力值约0.2 MPa,局部出现应力集中,极值约0.44 MPa,出现在6<sup>#</sup>闸段。校核工况下闸室地基应力值约0.4 MPa,7<sup>#</sup>闸段局部出现应力集中,极值约0.63 MPa。地震工况下地基应力极值约0.87 MPa。各工况地基应力总体上量值较小,仅在沉降缝周边部位出现局部应力集中现象,满足地基承载力要求<sup>[11]</sup>。

## 3 结语

(1)在推荐方案4情况下,各工况闸室的绝对沉降值、不均匀沉降值以及附加不均匀沉降值均满足规范要求。

(2)闸室底板出现了一定的拉、压应力集中区域,但量值较小,在工程实施时按照拉应力的量值对底板进行了相应配筋。室地基的应力值总体较小,满足地基承载力要求。

(3)从电站泄洪冲沙闸运行期监测数据来看,闸最大沉降量为3.8 cm,相邻部位的最大沉降差为1.2 cm<sup>[12]</sup>,闸室底板无变形或开裂情况发生,满足规范和水闸长期安全运行的要求。

## 参考文献:

- [1] 沙湾水电站可行性研究报告[R].成都:四川省水利科学研究院,2003.
- [2] 张枝阳,程井,陈浩,等.软土地基上超长底板节制闸沉降及应力分析[J].三峡大学学报(自然科学版),2016,38(6):31-34.
- [3] 尹忠胜.长洲水利枢纽工程一号闸检查不均匀沉降的处理[J].建材与装饰,2016(26):287-288.
- [4] 康国强.唐山市玉田县大和平闸地基不均匀沉降原因分析[J].水科学与工程技术,2014(6):92-94.
- [5] 司建辉,路前平,简政.混凝土重力坝止水位置对闸墩应力的影响研究[J].西安理工大学学报,2009,25(1):115-119.
- [6] 金建军.永宁江闸闸门止水问题探讨[J].黑龙江水利科技,2005,33(2):18.
- [7] 王苏静.现代水利工程中的涵闸止水技术[J].科技展望,2014(16):77.
- [8] 卢羽平.水闸参数化三维有限元分析软件的研究[D].南京:河海大学,2005.
- [9] 孙留颖.基于ANSYS的预应力闸墩补强加固三维有限元分析[D].郑州:华北水利水电大学,2015.
- [10] 黄黎冰.水闸闸室结构与地基力学作用机理数值分析[D].成都:四川大学,2006.
- [11] SL265-201.水闸设计规范[S].北京:中国水利水电出版社,2016.
- [12] 沙湾水电站冲沙泄洪闸运行期安全监测报告[R].成都:四川省水利科学研究院,2015.