

DOI: 10.11779/CJGE201711010

水库枢纽区抬升变形水文地质结构模式研究

蒋中明^{1,2}, 李双龙¹, 丁 鹏¹, 冯树荣³, 钟辉亚³

(1. 长沙理工大学水利工程学院, 湖南 长沙 410114; 2. 水沙科学与水灾害防治湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410114;
3. 中国电建中南勘测设计研究院有限公司, 湖南 长沙 410014)

摘要: 水库蓄水引起枢纽区产生抬升变形的现象在国内外水利工程中比较少见。为了解岩体水文地质结构对抬升变形的影响, 通过对国内外文献研究, 提出了坝基及近坝岸坡产生抬升变形的水文地质结构模式: 即坝址区存在倾向下游或两岸的相对隔水层, 且相对隔水层下存在透水性较大的水文地质结构层。采用流固耦合数值分析方法研究了相对隔水层产状要素变化对抬升变形空间分布规律的影响。研究结果表明: 相对隔水层在上游库区的出露区域至坝体距离越近, 下游岸坡抬升变形范围越大, 抬升变形量也越大; 随着相对隔水层倾向下游倾角的增大, 枢纽区最大抬升位移呈先增大后减小的变化规律; 隔水层倾向角的变化将引起抬升变形空间分布位置的变化。

关键词: 水库枢纽区; 水文地质结构; 相对隔水层; 数值模拟; 抬升变形

中图分类号: TV61; TU457 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2017)11-2026-08

作者简介: 蒋中明(1969-), 男, 教授, 博士, 主要从事岩土工程等方面的教学和科研。E-mail: zzmmjiang@163.com。

Modes of hydro-geological structure for uplift deformation near reservoir pivot

JIANG Zhong-ming^{1,2}, LI Shuang-long¹, DING Peng¹, FENG Shu-rong³, ZHONG Hui-ya³

(1. School of Hydraulic Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China; 2. Key Laboratory of Water-Sediment Sciences and Water Disaster Prevention of Hunan Province, Changsha 410114, China; 3. Power China Zhongnan Engineering Corporation Limited, Changsha 410014, China)

Abstract: The uplift deformation phenomenon occurring in the dam due to reservoir impounding appears rarely. To explore the influences of the hydro-geological structure of the rock mass on the uplift deformation, the mode of the hydro-geological structure inducing the generation of uplift deformation near the dam area is put forward through the researches on the existing literatures. The relative impermeable layer inclination to the downstream under the dam foundation and the relative permeable layer lying beneath the impermeable layer are the necessary hydro-geological conditions for the generation of uplift deformation. A numerical method based on the hydro-mechanical coupling theory is employed to study the influences of the variation of attitude elements on the spatial distribution law of uplift deformation occurring near the dam. It is shown that the shorter the distance between the exposure site and the dam, the greater the uplift deformation value. With the increase of the dip angle of the impermeable layer, the maximum uplift deformation near the dam increases firstly and then decreases. It is also indicated that the spatial distribution position of the uplift deformation is directly determined by the variation of dip direction.

Key words: area near reservoir pivot; hydro-geological structure; relative impermeable layer; numerical simulation; uplift deformation

0 引言

在水库水压力作用下, 坝基及近坝岸坡一般表现为沉降变形。然而国内外也有水库蓄水导致大坝及岸坡产生抬升变形的文献报道。位于吉尔吉斯斯坦境内的托克托古尔重力坝是最早观察到产生抬升变形的水利枢纽^[1]。托克托古尔坝高215 m, 1973年水库蓄水后, 对坝基及坝肩岩体变形进行原型观测时发现, 随着上游水位的升高, 地面出现了不同程度的抬升变形。英

古里电站水库1978—1979年蓄水后, 除监测到下游河床升高外, 毗邻坝体的基础也发生抬升变形^[2-3]。契尔克电站水库在1974年开始蓄水后, 坝肩下游左、右岸岸坡都监测到了抬升变形现象^[4]。湖南溇水江垭大坝自1998年开始蓄水后, 坝基抬升变形导致大坝也产生了28.4~32.6 mm的抬升变形^[5]。大渡河最末梯级铜街

子水电站蓄水后, 其河谷中的坝体产生了22.2~27.5 mm的抬升位移, 同时右岸山体表面也产生了24.3~28.9 mm的抬升位移^[6]。向家坝水电站初期蓄水后, 左岸边坡也出现了不同程度的抬升变形现象, 其最大变形量超过13.0 mm。针对水库蓄水引起的坝基及岸坡抬升变形现象, 国内外部分学者对此进行了较为全面的研究^[5-13]。现有研究成果侧重于抬升变形的因素及机理方面, 对水文地质结构模式影响抬升变形的研究甚少。本文拟对国内外水利枢纽产生抬升变形的水文地质结构进行全面深入研究, 归纳总结坝基及近坝库岸边坡产生抬升变形的水文地质结构模式, 然后应用流固耦合数值分析方法, 研究特定水文地质结构对坝基及岸坡抬升变形的影响规律, 为坝基及岸坡抬升变形的预测性研究提供参考。

1 抬升变形水文地质结构模式

文献研究^[7]表明: 坝基及岸坡产生抬升变形的直接诱因是水库蓄水。水库蓄水引起坝基及岸坡产生抬升变形的工程都具有以下特点:

(1) 坝基及岸坡抬升区域内存在倾向下游的相对隔水层。例如, 莫古里电站坝址下游不远处有一层与大坝近于平行分布的陡倾角隔水层; 铜街子电站在右岸分布有厚度约2 m的F₃断层(相对隔水层), 其走向与河流走向平行, 并倾向下游偏右岸, 倾角约20°(图1所示); 江垭水电站坝址区下伏隔水层(T_{2b}, P₂, D₃, S₂, D_{2x}), 相对隔水岩层走向NE(40°~70°), 与河流方向近于正交, 倾向SE(下游微偏右岸), 倾角38°左右(图2所示)。向家坝水电站左岸近坝边坡抬升变形区域也存在相对隔水层(左岸挤压破碎带)。

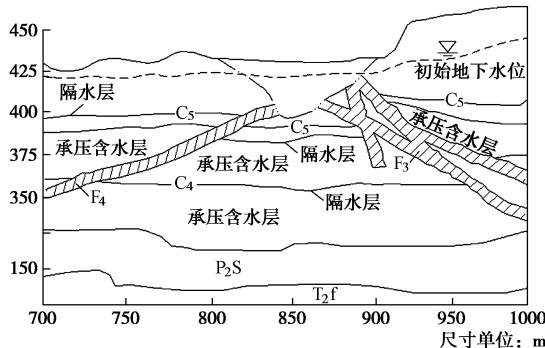


图1 铜街子大坝右岸水文地质纵剖面图

Fig. 1 Hydro-geological profile at right bank of Tongjiezi dam

(2) 抬升变形区域存在与上游水库连通的相对透水层。例如江垭水电站坝基隔水层下盘的泥盆纪云台观组(D_{2y})的透水率超过100 Lu^[8], 该岩层在坝前水库底部出露。铜街子坝址区F₃断层下部存在透水性、且与水库连通的承压含水层^[9]。

(3) 抬升区域位于隔水层上盘。例如: 铜街子抬升变形部位集中在F₃上盘的右岸坝段及右岸岸坡区域; 江垭电站大坝坝址左右两岸及大坝抬升变形均位于相对隔水层的上盘区域; 向家坝抬升变形部位出现在左岸近坝边坡附近的挤压带之上。

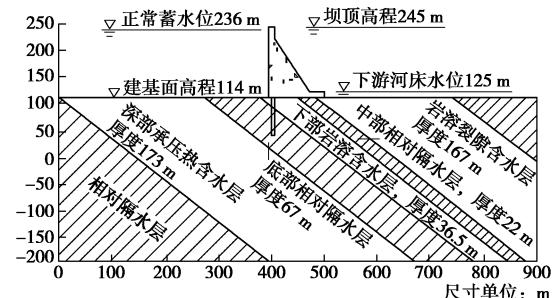


图2 江垭大坝水文地质横剖面

Fig. 2 Hydro-geological profile of Jiangya dam

基于上述认识, 可以推断: 坝址区存在倾向下游或两岸的相对隔水层, 同时相对隔水层下具有连通上游水库的透水性相对较大的地质结构层(含水层)是坝基及库岸边坡产生抬升变形所必须的水文地质结构。

下面采用基于流固耦合理论的数值分析方法来验证上述推断。

2 抬升变形数值分析理论

文献[9]研究指出, 蓄水引起的坝基及岸坡抬升变形是坝基和边坡岩体在渗流场作用下的结果。渗流现象的存在将在渗流介质中产生渗透作用力, 从而引起渗流介质产生相应的应力和变形。渗流介质的变形反过来也会改变渗流场的分布。这种相互作用效应可以采用流固耦合理论来进行阐释。坝基抬升变形分析的流固耦合理论^[14]简介如下:

(1) 力学平衡方程

$$\operatorname{div}\boldsymbol{\sigma} + \mathbf{b} = 0 \quad , \quad (1)$$

式中, $\boldsymbol{\sigma}$ 为 Cauchy 应力张量, \mathbf{b} 为外力。

(2) 流体质量平衡方程

饱和多孔介质模型采用 Coussy 方法进行描述, 其流体质量平衡方程为

$$\operatorname{Div}\mathbf{w} + dm/dt = 0 \quad , \quad (2)$$

式中, \mathbf{w} 为流体流量向量, m 为相对于初始状态的流体质量增量, t 为时间。流体质量平衡方程实质上描述了孔隙介质中流体流量的空间变化与流体质量时间变化之间的关系。

(3) 固液耦合本构关系

$$\boldsymbol{\sigma} - \boldsymbol{\sigma}_0 = (K - 2G/3)\operatorname{tr}\boldsymbol{\varepsilon}\mathbf{1} + 2G\boldsymbol{\varepsilon} - \alpha(p - p_0)\mathbf{1} \quad , \quad (3)$$

$$p - p_0 = M[-\alpha\operatorname{tr}\boldsymbol{\varepsilon} + m/\rho_0^H] \quad , \quad (4)$$

式中 σ 为应力张量; σ_0 为初始状态应力张量; K 为不排水不可压缩体积模量; $\text{tr}\epsilon$ 为体积应变; $\mathbf{1}$ 为单位张量; G 为剪切模量; ϵ 为外力引起应变张量; α 为比奥系数; p 为孔隙压力; p_0 为初始状态孔隙压力; M 为比奥模量; m 为相对于初始状态的流体质量增量; ρ_0^* 为参考状态流体密度。

渗流变化引起的孔隙压力变化对有效应力的影响在式(3)通过比奥系数的大小来反映。孔隙介质骨架变形引起的孔隙水压力的改变也是通过式(4)中的比奥系数来反映。由此可见, 渗流场对固体骨架变形的影响是通过改变固体骨架的应力来实现的。在下面的研究中, 孔隙压力和应力之间按全耦合考虑, 孔隙压力改变量的大小既影响孔隙介质体中的流体体积改变量, 同时也影响着孔隙介质中有效应力的变化情况, 即式(3)中的应力为总应力。有关流固耦合理论更详细的介绍可见参考文献[14]。

本研究采用基于有限差分的数值分析软件 FLAC^{3D} 对蓄水引起的抬升变形流固耦合效应进行计算分析, 计算结果的后处理采用 Tecplot 软件进行处理。

3 数值模型

3.1 研究方案

针对本文提出的抬升变形地质结构模式, 研究隔水层与含水层组合对坝基与库岸抬升变形的响应规律。主要考察相对隔水层与大坝空间位置关系、相对隔水层倾角和倾向对坝体和岸坡抬升变形的影响。基于江垭水利枢纽坝址区的水文地质结构, 数值研究中相对隔水层与坝体的空间位置相对关系采用三种计算方案, 如图 3 所示。其中相对隔水层倾角为 38° , 厚度为 90 m。隔水层产状要素变化对抬升变形的影响以方案 2 为基准, 倾角分别取 15° , 30° , 45° , 60° , 75° , 90° , 倾向分别取 0° , 30° , 45° , 60° , 90° 。

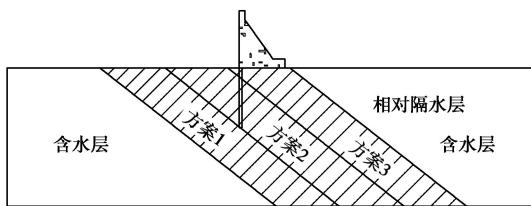


图 3 相对隔水层与坝体空间位置示意图

Fig. 3 Spatial position between relative permeable layer and dam

3.2 数值模型及计算方案

整体三维计算模型范围以坝轴线为基准沿上下游方向各取 800 m, 沿左右坝段分界线向左右岸坡各取 450 m, 模型底高程为 -200 m, 坝顶高程 245 m, 建基

面高程 114 m, 考虑坝基灌浆帷幕对渗流场的影响。方案 2 的水文地质结构如图 4 所示, 图 5 为 FLAC^{3D} 软件的数值计算网格。

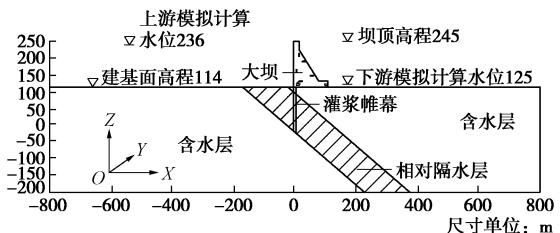


图 4 方案 2 水文地质结构图

Fig. 4 Hydro-geological structure for numerical case 2

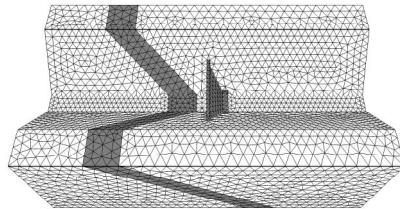


图 5 计算模型网格图

Fig. 5 Grid of numerical model

流固耦合数值的关键之一在于设定合理的计算边界。FLAC^{3D} 软件在流固耦合分析的力学计算循环时, 首先将固体骨架和孔隙流体作为整体六面体微元进行受力分析, 并采用总应力指标建立六面体微元平衡方程, 进而对计算域的应力状态进行求解, 得到的应力计算结果也是总应力。因此, 在整个力学计算过程中应按总应力对应的处理方式来处理数值模型的力学边界。故对于水库底面和大坝上游水位下的表面应该施加以总应力表述的应力边界, 其值的大小为库水压力。由于在水库底面和上游大坝面上同时施加了数值大小相同的孔隙水压力, 实际上作用在这些面上的附加边界有效应力等于零。计算域内有效应力采用式(3)得到的总应力减去相应位置处的孔隙水压力进行计算。

力学边界: 模型底部为铅直位移约束, 铅直面为法向水平位移约束。上游水库水位以下的水库及大坝表面按线性变化施加库水压力, 下游河道水位以下的坝体及河道表面按线性变化施加水压力。

水力学边界: 水库库底表面及下游河道表面按水位高低按线性变化施加孔隙水压力边界(即水头边界); 模型底部及四周铅直边界按不透水边界处理。

力学本构模型: 力学计算本构模型选用基于摩尔-库伦屈服准则的弹塑性本构模型。

渗流本构律: 线性达西渗流定律。

参考文献[5, 7, 8]中使用的岩体力学与水力学参数, 本文数值研究采用的计算参数取值见表 1。

计算过程如下: ① 初始应力场模拟(自重应力场);

表1 计算参数表

Table 1 Parameters for numerical simulation

岩体	变形模量 E/GPa	泊松比 ν	内摩擦角 $\phi/(\text{°})$	黏聚力 c/MPa	抗拉强度 f/MPa	密度 $\rho/(\text{kg}\cdot\text{m}^{-3})$	渗透系数 $k/(10^{-5}\text{cm}\cdot\text{s}^{-1})$
含水层	11	0.25	32	0.8	1.5	2640	100
相对隔水层	9.6	0.35	31	0.7	1.0	2600	0.5
灌浆帷幕(含水层内)	15	0.25	35	0.9	1.5	2650	1.0
大坝混凝土	28	0.25	45	1.1	2.0	2450	0.01

②大坝施工模拟(不考虑流固耦合作用);③初始渗流场模拟(不考虑流固耦合作用),计算完成后,所有位移清零;④上游水库蓄水效应模拟(流固耦合计算)。

4 抬升变形位移分布规律

4.1 相对隔水层位置对抬升变形影响

图6为计算模型表面铅直位移空间等值分布云图。由图可知,相对隔水层倾向角90°、倾角38°条件下,水库蓄水后将引起大坝及大坝附近库岸边坡产生不同程度的抬升变形。水库库底在库水压力作用下产生沉降变形;由于计算模型中,水库水压力按面力作用在水库表面上,水库底部的水压力最大,因此水库最大沉降变形部位出现在水库底部。大坝附近的下游河床及岸坡部分区域在渗流场作用下产生抬升变形;远离大坝的河床部位及下游岸坡高程较高部位的渗流场几乎不受蓄水影响,且远离渗流场变化部位,因此这些部位依然产生沉降变形。

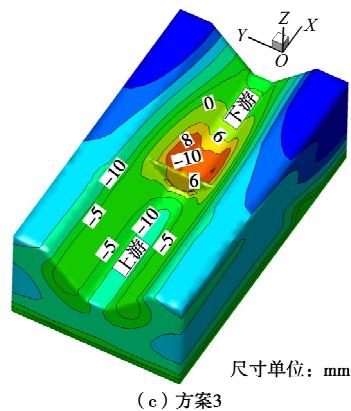
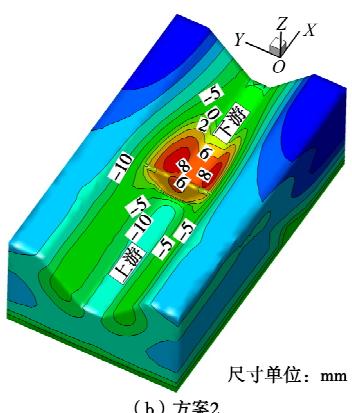
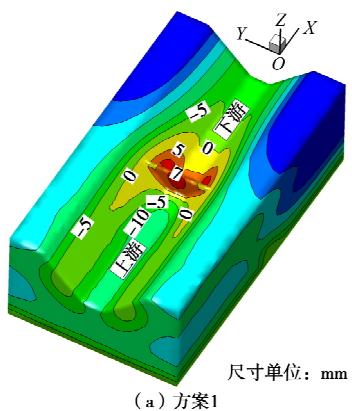
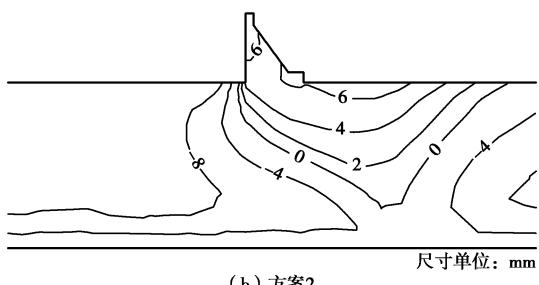
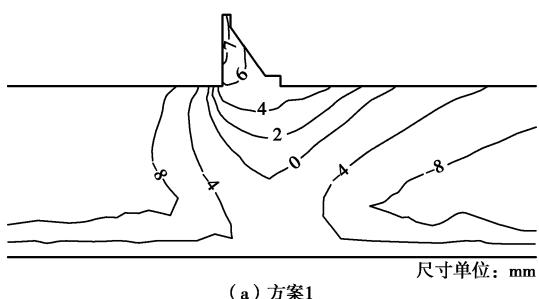


图6 铅直位移空间分布云图

Fig. 6 Spatial distribution of vertical displacement

图7为沿河谷中心剖面的铅直位移等值分布图。由图可知,水库蓄水引起的坝基及坝体变形并非只发生在表面。根据流固耦合模型,只要渗流场有改变的部位,都会产生相应的渗透力作用,进而引起固体骨架应力和变形的改变。从这一角度看,抬升变形是坝基内部渗流场改变部位岩体变形的综合反映,坝体表面抬升位移只是岩体内铅直向上位移累计变形的结果。



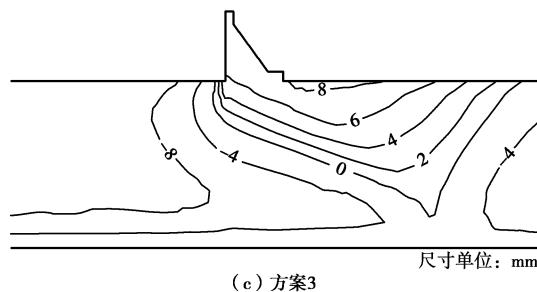


图 7 河床中心剖面铅直位移等值图

Fig. 7 Contours of vertical displacement on longitudinal profile along riverbed

图 6,7 揭示了岸坡和坝基岩体中存在一个抬升位移为“零”的分界面。“零”分界面的出现实质上是坝基中各部位渗流力方向不一致对坝基变形方向影响的结果。该分界面将岩体内部的变形方向区分开来,这种变形特点有可能对坝基防渗帷幕带来不利影响,导致帷幕开裂。图 8 为 3 种计算方案条件下沿河流中心纵剖面上的孔隙水压力等值分布图。抬升变形空间分布与孔隙水压力空间分布之间存在较强的相关关系。

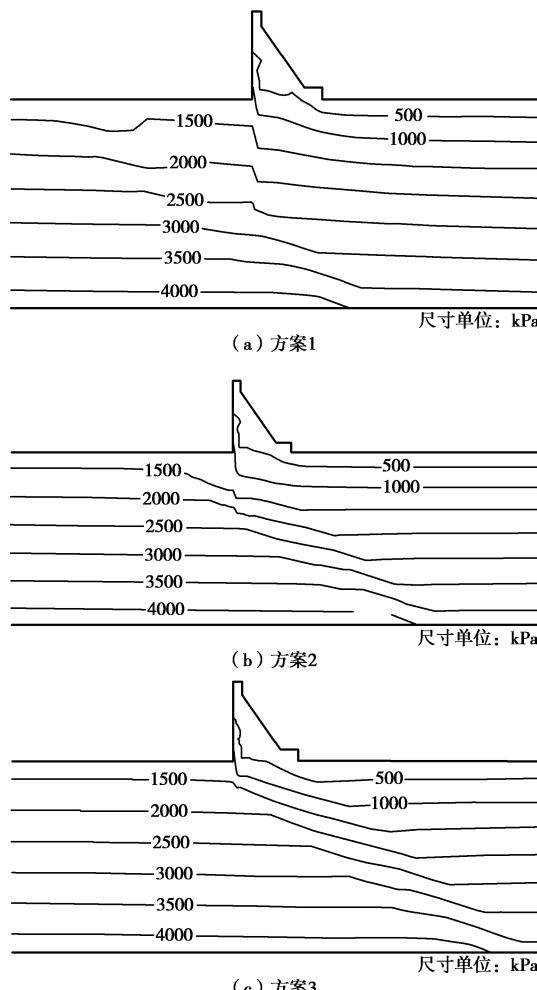


图 8 河床中心剖面孔隙压力等值图

Fig. 8 Contours of pore pressure on longitudinal profile along riverbed

表 2 为相对隔水层与坝体相对位置关系之间的抬升变形特征值对比表。由表可知, 相对隔水层在库底的出露位置距离大坝越近, 其下游岸坡抬升变形值越大; 坝体最大抬升位移分布与坝基下的相对隔水层距离无明显规律。

表 2 不同隔水层位置条件下最大抬升位移特征值

Table 2 Vertical maximum displacements at different positions of relative permeable layer

计算 方案	坝体抬升位移		岸坡抬升位移	
	数值 /mm	位置	数值 /mm	位置
方案 1	7.7	坝顶	7.4	下游岸坡 83 m 处
方案 2	7.5	坝趾	9.1	下游岸坡 170 m 处
方案 3	8.9	坝趾	10.0	下游岸坡 200 m 处

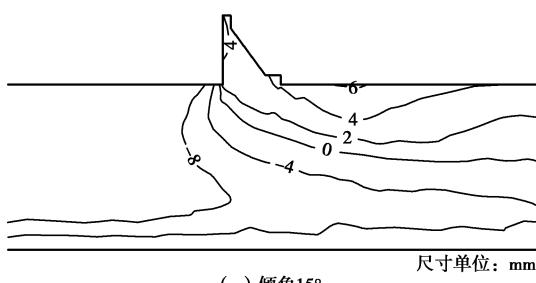
4.2 相对隔水层倾角对抬升变形影响

图 9 为隔水层倾向角 90° 条件下, 变化岩层倾角得到的河床中心剖面铅直位移分布图。由图可知, 随着坝基下伏隔水层倾角逐渐增大, 下游河床中的抬升变形范围越来越小, 抬升变形最大值出现部位距离坝体越来越近。图 10 给出了最大抬升位移与隔水层倾角关系图。图 10 表明, 倾向一定条件下, 随着倾角的逐渐增加, 岸坡和坝体最大抬升变形呈现先增后减的变化趋势。大坝及库岸边坡抬升变形的最大值出现在倾角 40° 左右。坝基下无相对隔水层时, 坝基及岸坡不会产生抬升变形。表 3 为坝体及岸坡最大抬升位移统计表。

表 3 隔水层倾角变化条件下最大抬升变形表

Table 3 Vertical maximum displacements under different dip angles of relative permeable layer

倾角 /(°)	坝体抬升位移		岸坡抬升位移	
	数值/mm	位置	数值/mm	位置
15	5.0	坝趾	6.6	下游岸坡 778m 处
30	6.4	坝趾	8.6	下游岸坡 214m 处
38	7.5	坝趾	9.1	下游岸坡 170m 处
45	7.6	坝趾	8.7	下游岸坡 105m 处
60	7.0	坝顶	6.5	下游岸坡 80m 处
75	5.4	坝顶	4.6	纵坝轴线附近岸坡
90	0	—	0	—



(a) 倾角 15°

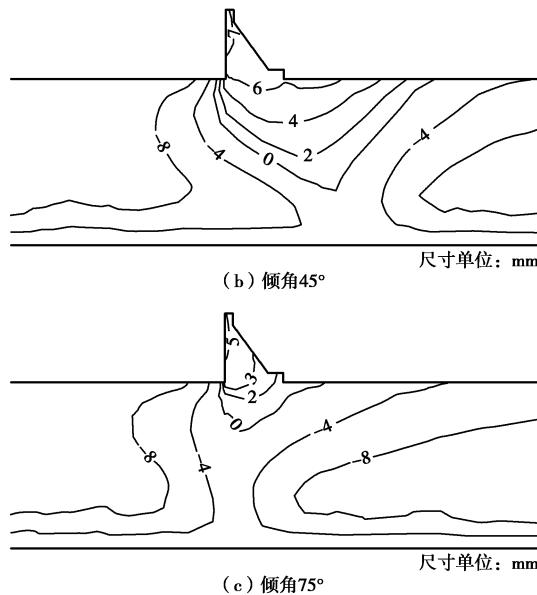


图 9 河床中心剖面铅直位移等值图

Fig. 9 Vertical displacements of central riverbed section

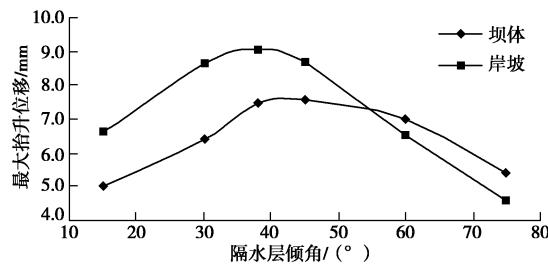


图 10 最大抬升位移与隔水层倾角关系

Fig. 10 Relationship between vertical maximum displacement and dip angle of relative permeable layer

4.3 隔水层倾向对抬升变形影响

图 11 为在隔水层倾角 38° 时, 倾向从 0°, 45° 和 90° 时的铅直位移等值分布云图。倾向角为 0° 时, 坝体和岸坡抬升最大位移值分别为 8.5, 11.4 mm, 分别位于左岸坝头及下游 175 m 附近的岸坡上; 右岸坝体和边坡在库水压力作用下均表现为沉降变形, 没有产生抬升变形。倾向角为 90° 时, 坝体和岸坡抬升最大位移值分别为 7.5, 9.1 mm, 分别位于大坝河床中心坝顶及下游两岸 170 m 附近的岸坡上; 且大坝及岸坡沉降与抬升变形关于河床中心线呈对称分布。倾向角为 45° 时, 坝体及岸坡抬升变形分布范围逐步向右岸河床及岸坡扩展。由此可见, 隔水层倾向变化直接影响枢纽区地表及大坝抬升变形分布位置及范围大小。

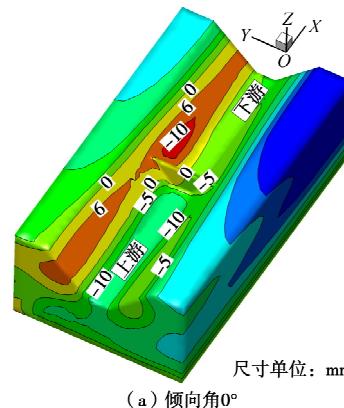
表 4 给出了隔水层倾向变化条件下的最大抬升位移表。图 12 为最大抬升位移与倾向角之间的关系。由图可知, 隔水层在倾角相同条件下, 倾向角为 0° 和 90° 时引起的枢纽区抬升变形量相对较大; 而倾向在

30° ~45° 之间变化时, 抬升变形量相对较小。

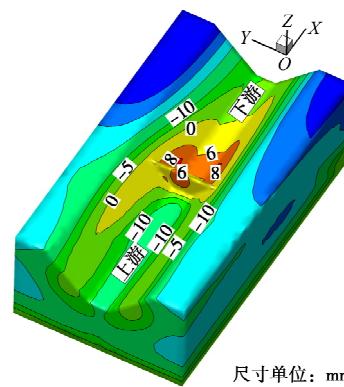
表 4 隔水层倾向变化条件下最大抬升变形表

Table 4 Vertical maximum displacements under different dip-direction angles of relative permeable layer

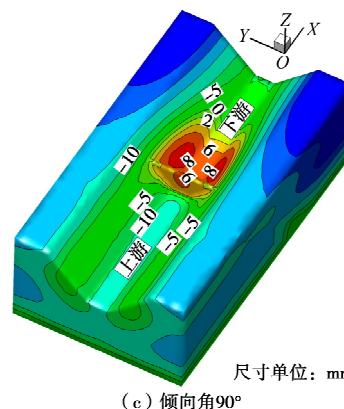
倾向角 /(°)	坝体抬升位移		岸坡抬升位移	
	数值/mm	位置	数值/mm	位置
0	8.5	左岸坝肩	11.4	下游左岸坡 175 m 处
30	6.8	左岸坝趾	8.4	下游右岸坡 217 m 处
45	7.1	左岸坝趾	8.2	下游右岸坡 190 m 处
60	7.2	左岸坝趾	8.3	下游左岸坡 120 m 处
90	7.5	河床坝趾	9.1	下游两岸岸坡 170 m 处



(a) 倾向角0°



(b) 倾向角45°



(c) 倾向角90°

图 11 不同倾向下的铅直位移空间分布云图

Fig. 11 Contours of vertical displacement by 3D numerical model

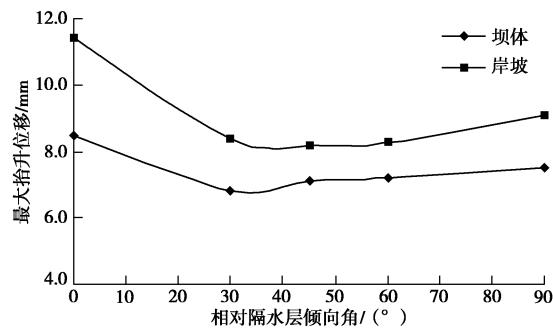


图 12 最大抬升位移与隔水层倾向关系

Fig. 12 Relationship between vertical maximum displacement and dip-direction angle of relative permeable layer

5 结 论

本文数值研究中,对于有效应力的计算实际上采用了Terzaghi 有效应力原理;对于岩体和混凝土这类孔隙介质来说,一般应该采用广义有效应力原理,即比奥系数不等于 1.0^[15-16]。因此,本文研究成果在数值上与实际情况之间可能存在一定差异,但数值研究获得的定性认识是合理的。

通过对国内外抬升变形文献资料的研究,提出了水库枢纽区产生抬升变形的水文地质结构模式,即坝址区存在倾向下游或两岸的相对隔水层,且相对隔水层下存在透水性较大的水文地质结构层。应用流固耦合理论对此进行验证和分析,得到以下 3 点结论。

(1) 倾角一定条件下,相对隔水层在上游水库出露位置距离大坝越近,其下游岸坡抬升变形值越大;

(2) 倾向一定条件下,随着隔水层倾角增大,枢纽区最大抬升变形呈现先增后减的变化趋势;抬升变形最大值出现在隔水层倾角为 40° 左右;

(3) 随着坝隔水层倾向角逐渐增大,枢纽区抬升变形分布范围逐步由左岸向右岸扩展,且当倾向角为 0° 和 90° 时引起的枢纽区抬升变形量相对较大。

参考文献:

- [1] BEREZINSKII S A, ENIKEEV F G, MAKSIMOV K I, et al. Condition of the concrete dam of the Toktogul hydroelectric station according to onsite observation data[J]. Power Technology and Engineering, 1985, 19(9): 470 - 478.
- [2] BERDICHEVSKII G, BRONSHTEIN V I, FRADKIN B V. Use of a mathematical model for interpreting data of on-site observations of the arch dam at the Inguri hydroelectric station[J]. Power Technology and Engineering, 1992, 26(10): 653 - 668.
- [3] BRONSHTEIN V I. State of the arch dam and foundation of the Inguri hydroelectric station[J]. Power Technology and Engineering, 1994, 28(2): 77 - 84.
- [4] 张景秀, 韩凤禹. 高坝附近基岩的一些变位现象[J]. 大坝与安全, 1992, 19(1): 42 - 51. (ZHANG Jing-xiu, HAN Feng-yu. Deformation phenomenon of rock mass in the foundation near high dam[J]. Dam and Safety, 1992, 19(1): 42 - 51. (in Chinese))
- [5] 伍法权, 祁生文. 江垭水库大坝及近坝山体抬升变形机理[J]. 岩土工程学报, 2003, 25(4): 449 - 454. (WU Fa-quan, QI Sheng-wen. Mechanism of uplift deformation of the dam foundation of Jiangya reservoir and the nearby mountains[J]. Journal of Geotechnical Engineering, 2003, 25(4): 449 - 454. (in Chinese))
- [6] 张超萍, 王东, 沈定斌, 等. 铜街子水电站右岸大坝抬升原因浅析[J]. 长江科学院报, 2015, 32(5): 57 - 60. (ZHANG Chao-ping, WANG Dong, SHEN Ding-bin, et al. Causes of uplift deformation on the right bank of the dam of Tongjiezi hydropower Station[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2015, 32(5): 57 - 60. (in Chinese))
- [7] 王兰生, 金德濂, 骆诗栋. 江垭大坝山体抬升的形成机制与趋势分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(6): 1107 - 1115. (WANG Lan-sheng, JIN De-lian, LUO Shi-dong. Formation mechanism and trend analysis of lifting of valley and dam in Jiangya hydraulic project[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(6): 1107 - 1115. (in Chinese))
- [8] 祁生文, 伍法权. 江垭水库大坝及近坝山体抬升发展趋势[J]. 岩土工程学报, 2004, 22(2): 259 - 262. (QI Sheng-wen, WU Fa-quan. Development of uplift deformation of dam foundation and surrounding mountains of Jiangya water power station[J]. Journal of Geotechnical Engineering, 2004, 22(2): 259 - 262. (in Chinese))
- [9] LIU X L, WANG S J, WANG E Z. Study on the uplift mechanism of Tongjiezi dam using a coupled hydro-mechanical model[J]. Engineering Geology, 2011, 117: 134 - 150.
- [10] YAN F Z, TU X B, LI G C. The uplift mechanism of the rock masses around the Jiangya dam after reservoir inundation, China[J]. Engineering Geology, 2004, 76: 141 - 154.
- [11] 杨威, 廖文嘉, 黄立波. 江垭大坝抬升资料分析及初步建模[J]. 水利信息化, 2011(5): 16 - 20. (YANG Wei, LIAO Wen-jia, HUAN Li-bo. Analysis of materials on lifting-up of rock mass and preliminary model establishment of Jiangya dam[J]. Water Resources Informatization, 2011, 5: 16 - 20.

(in Chinese))

- [12] 唐国进, 骆诗栋, 杨定华, 等. 江垭大坝及近坝山体抬升变形研究[J]. 水力发电学报, 2003(3): 9 - 12. (TANG Guo-jin, LUO Shi-dong, YANG Ding-hua, et al. Study on the uplift deformation of Jiangya Dam and its near-by mountainous body[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2003(3): 9 - 12. (in Chinese))
- [13] 凌玉标, 刘奇志. 江垭水库坝区岩体抬升变形分析[J]. 东北水利水电, 2003, 10(6): 8 - 9. (LING Yu-biao, LIU Qi-zhi. Deformable analysis of rock mass lift in Jiangya reservoir region[J]. Water Resources & Hydropower of Northeast China, 2003, 10(6): 8 - 9. (in Chinese))
- [14] COUSSY O, DORMIEUX L, DETOURNAY E. From mixture theory to Biot's approach for porous media[J].

International Journal of Solids Structure, 1998, 24(23): 4619 - 4635.

- [15] 梁通, 金峰. 基于广义有效应力原理的混凝土坝分析[J]. 水力发电学报, 2009, 28(2): 47 - 51. (LIANG Tong, JIN Feng. Analysis on concrete dams based on the concept of generalized effective stress[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2009, 28(2): 47 - 51. (in Chinese))
- [16] 谢妮, 徐礼华, 邵建富, 等. 法向应力和水压力作用下岩石单裂隙水力耦合模型[J]. 岩石力学与工程学报, 2011, 30(增刊2): 3796 - 3803. (XIE Ni, XU Li-hua, SHAO Jian-fu, et al. Coupled hydro-mechanical modeling of rock fractures subject to both normal stress and fluid pressure[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2011, 30(S2): 3796 - 3803. (in Chinese))

第七届中国水利水电岩土力学与工程学术研讨会（1号征文通知）

主办单位: 中国水利学会岩土力学专业委员会。

承办单位: 湖南大学, 中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司, 长沙理工大学, 湖南科技大学, 南京水利科学研究院, 中国水利水电科学研究院, 长江科学院, 河海大学等。

协办单位: 《岩土工程学报》编辑部, 《岩土力学》编辑部, 《湖南大学学报》编辑部等。

为了应对社会快速发展和解决能源短缺问题, 我国水利水电基础建设仍然方兴未艾。与此同时, 在“一带一路”国家战略的实施过程中, 水利水电基础设施建设也将面临新的技术难题。为了深刻认识和深入探讨我国水利水电工程建设开发中遇到的新的岩土工程基础科学和建设技术问题, “第七届中国水利水电岩土力学与工程学术讨论会”定于2018年8月中下旬在湖南省长沙市举行, 将以“一带一路”战略实施过程中的水利水电工程建设为背景, 对我国近年来水利水电岩土工程和工程领域的最新技术开展广泛的学术交流。

会议议题: ①岩土体基本性质; ②岩土工程物理与数值模拟技术; ③水利水电工程建设与环境协调; ④高坝及边坡工程; ⑤隧道与地下洞室工程; ⑥海洋岩土工程; ⑦岩土工程中的新技术与新材料; ⑧重大岩土工程实录; ⑨“一带一路”战略实施中的水利水电岩土工程。

论文征稿: 论文全文请于2018年1月31日前, 电邮至会议秘书处邮箱hnugeo2018@163.com, 审查结果将于2018年3月30日通知。根据审查意见, 作者修改后的论文终稿请于2018年4月30日前电邮至会议秘书处邮箱: hnugeo2018@163.com。论文限6页以内, 论文格式参考《岩土工程学报》。会议论文邮箱 hnugeo2018@163.com。本次会议优秀论文将推荐在《岩土工程学报》、《岩土力学》、《湖南大学学报》等正刊或增刊上发表。热忱欢迎相关领域的研究、勘察、设计、施工的科技工作者及研究生踊跃投稿。论文请控制在6页以内。正式论文要求以电子邮件提交大会秘书组邮箱。来稿请注明作者详细通讯地址、E-mail及联系电话。

重要日期: 2017年11月15日: 论文摘要投稿截止; 2018年1月30日: 论文全文投稿截止; 2018年3月30日: 论文审稿结果通知; 2018年4月30日: 论文终稿提交截止; 2018年8月中下旬会议召开。

秘书处联系方式: 地址湖南省长沙市麓山南路1号, 湖南大学土木工程学院; 邮编: 410082, E-mail: hnugeo2018@163.com; 会议咨询及联系人: 康馨, 18392218715; 周苏华, 13677312005; 刘晓明, 18975189922; 张桂荣, 13814068823。

(中国水利学会岩土力学专业委员会 供稿)