

大屯水库区域渗流场的三维动态分析

周建芬, 王玉强, 何晓锋

(浙江水利水电专科学校, 浙江 杭州 310018)

摘要:根据大屯水库的蓄水过程和地质、结构特点,建立了饱和—非饱和非稳定渗流计算模型,采用三维有限元方法模拟库区及坝体迎水面铺设全封闭土工膜情况下,库区及坝基区域地下水位在水库蓄水过程中的动态变化过程。通过计算分析表明库区和坝基地下水位在蓄水初2年的变化急剧,5年后变化达到稳定。

关键词:土坝;全封闭土工膜;非饱和渗流;非稳定渗流;地下水位

中图分类号:TV139.14,O242

文献标识码:A

文章编号:1008-536X(2007)04-0012-04

3D Dynamic Analysis on Seepage of Datun Reservoir

ZHOU Jian-fen, WANG Yu-qiang, HE Xiao-feng

(Zhejiang Water Conservancy and Hydropower College, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Based on the impounding process and the geological and structural features of Datun Reservoir, a saturated - unsaturated and unsteady seepage model is created, and the dynamic variation process of the ground water level within the dam site area is simulated using 3D finite element method. The results show that the groundwater level in the foundation tend to be stable in 5 years.

Key words: earthfill dam; seal geomembrane; seepage in unsaturated soil; unsteady seepage; ground water level

水库运行过程中,蓄水位随时间呈季节性周期变化,水库渗流是饱和—非饱和非稳定渗流问题,确定其渗流场分布是个复杂的问题。本文研究的平原水库采用全封闭土工膜防渗,其渗流情况的分析、库区地基渗流场的确定是一个更加复杂的难题。为了准确的了解水库蓄水位变化对地基中地下水位的影响和水库区域渗流场分布随时间的变化规律,本文建立了饱和—非饱和非稳定渗流空间模型,借助于基于有限元技术的三维渗流分析软件对大屯水库区域渗流进行了分析评价,对实际工程有重要指导意义。

1 数学模型

1.1 渗流微分方程与定解条件

当渗透系数方向与坐标方向一致时,饱和非饱和渗流满足如下微分方程^[1]:

$$\frac{\partial}{\partial x} (K_x \frac{\partial H}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (K_y \frac{\partial H}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (K_z \frac{\partial H}{\partial z}) + Q = \frac{\partial}{\partial t}$$

式中: H —总水头; K_x — x 方向渗透系数;

K_y — y 方向渗透系数; K_z — z 方向渗透系数;

θ —体积含水量; t —时间。

饱和非饱和渗流微分方程的定解条件由初始条件与边界条件构成。而边界条件通常包括有水头边界条件,流量边界条件以及自由面和溢出面这4类。

1.2 渗流计算有限元方程

对渗流控制方程应用伽辽金加权残值法得到下式^[2]:

$$([B]^T [C] \cdot [B]) dv \{H\} +$$

$$([N]^T [N]) dv \{H\} t = \int_A (q [N]^T [N]) dA$$

令单元特征矩阵 $[K] = \int_V ([B]^T [C] \cdot [B]) dv$, 单

元质量矩阵 $[M] = \int_V ([N]^T [N]) dv$, 单元流量矩阵

$[Q] = \int_A (q [N]^T [N]) dA$, 则上式变为

$$[K] \cdot \{H\} + [M] \{H\} t = \{Q\}$$

收稿日期:2007-11-08

基金项目:浙江省教育厅科研基金资助项目(21211)

作者简介:周建芬(1977-),女,江西南昌人,讲师,硕士,主要从事岩土多场耦合数值仿真方面的研究。

2 建立三维数值模型

2.1 工程概况

大屯水库呈梭形,东西短轴方向约 2 900 km,南北长轴方向约 3 800 km.库区面积约 5.72 km²,水库总库容 4 902 万 m³;最高蓄水位 31.05 m,死水位 21.5 m,上游坝坡 1 3.0,下游坝坡 1 2.5,平均坝顶高程 33.40 m,坝顶宽 7.5 m.坝体上游坡面铺设防渗土工膜,库区地基表面铺设全封闭防渗土工膜.

2.2 计算模型

数值模型模拟的区域包括库区、大坝坝体、坝趾外截水沟、大坝下游天然河道和坝趾外 500 m 范围内的土体,模型中心取在库心的位置.为了提高计算精度并简化模型,有限元模型剖分采用 8 节点 6 面体单元.坝体部分剖分较密,远离坝体的库区和下游远离坝体的地基部分,网格剖分相对稀疏.高程方向沿深度向下取到地面以下 45 m,达坝高的 3.5 倍³.经离散后的有限元三维模型见图 1,模型总单元数 183 060,总节点数 194 252.坝体横断面网格见图 2.

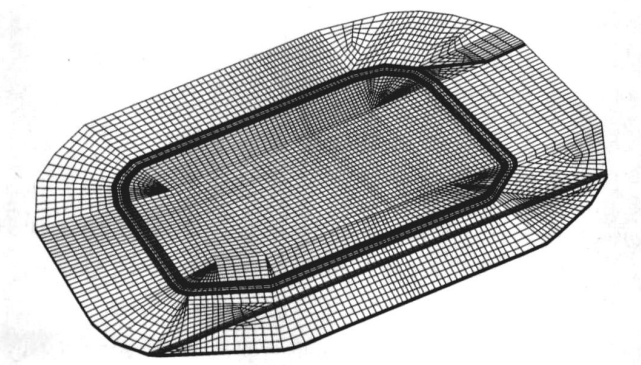


图 1 库区模型单元图

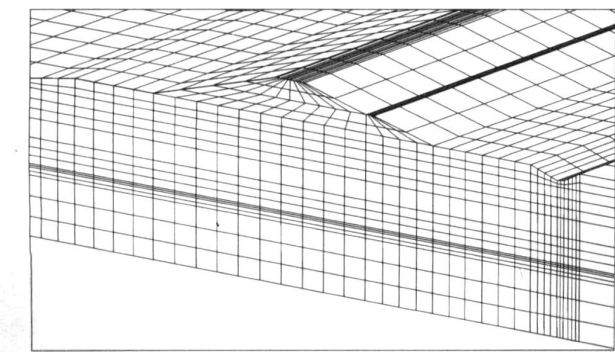


图 2 坝段剖面网格详图

2.3 边界条件的施加

上游库区和坝体上游面施加大水头边界条件,水库蓄水位与时间的关系见图 3,时间为 6 年.下游地表面为自由出流边界条件,以压力水头边界条件模拟截渗沟水位,沟内水深为 2 m.下游远处垂直边界加压力水头模拟地下水位,图 4 为大坝下游地基中初始地下水位与时间的关系曲线,地下水位呈周年变化,年变幅 1.6 m.库区土层底部渗透系数普遍较小,为上一土层的 1/20.其他面为零流量边界.

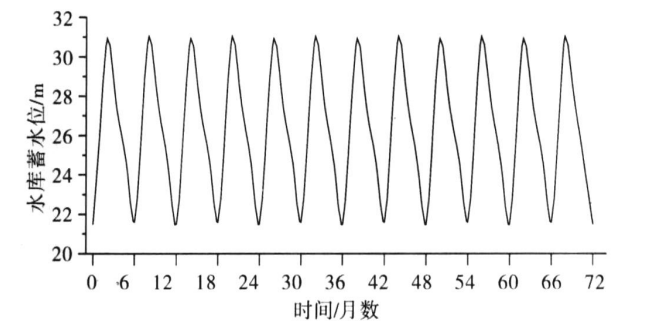


图 3 水库蓄水位与时间关系图

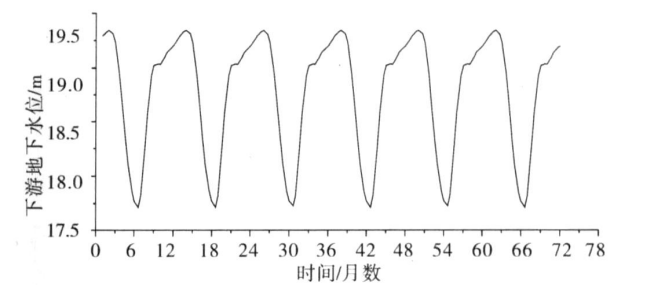


图 4 大坝下游地下水位与时间的关系图

2.4 计算参数

水库防渗采用库底全铺塑与坝坡铺塑相结合的防渗方法.库底水平铺塑土工膜选用两布一膜,PE 膜厚 0.4 mm,土工膜的渗透系数为 $1 \times 10^{-11} \text{ cm s}^{-1}$.调蓄水库坝坝在勘探深度内坝基及库内地层主要为第四系松散堆积层,岩性主要有:壤土、砂壤土、裂隙粘土、粘土、粉细砂、中细砂等,其参数见表 1.

表 1 各土层渗透系数表						$\times 10^{-5} (\text{m s}^{-1})$
土层分区	壤土	砂壤土	裂隙粘土	粘土	粉细砂	中细砂
渗透系数	0.537	0.619	4.79	4.38	2.86	5.19

2.5 计算结果与分析

为了全面分析库区及水库下游的渗流情况,设定水库的中心位置为原点,取贯穿模型南北方向的横断面 1 个,即 SA 13-NA 52 断面,贯穿东西方向的断面 3 个,即 WA 30-EA 74 断面、WA 39-EA 65 断面、WA 27-EA 1 断面,各断面位置见图 5。在水库蓄水初的 6 年时间里,在库区和大坝上游被土工膜封闭覆盖的情况下,分析各断面渗流场的动态变化情况。

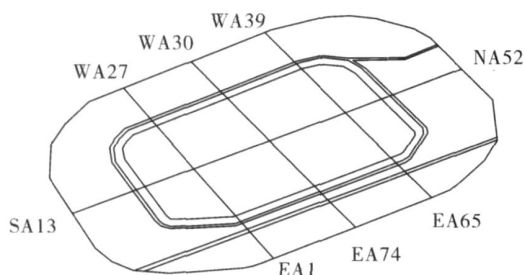


图 5 各断面位置示意图

在 4 个断面中,提取库盆内土工膜下地基土体高程为 20.8 m 处 7 个位置节点的地下水位值,即南北方向 SA13-NA52 断面中位置分别为南北轴线上距离库心 400 m、800 m、1 300 m 和库心 0 m 处的 7 个节点;东西方向 WA 30-EA 74 断面中位置分别为东西轴线上距离库心 300 m、600 m、800 m 和库心 0 m 处的 7 个节点。水库蓄水初 6 年里地下水位值与时间的典型关系见图 6 和图 7。

如图所示,库区内地下水位呈逐年增加趋势,蓄水初的 3 年里增幅较大,到第 5 年基本稳定;库区沿南北方向的地下水位值变幅较大,沿东西方向的地下水位值变幅较小。将库区土层内同一高程地下水位相等的

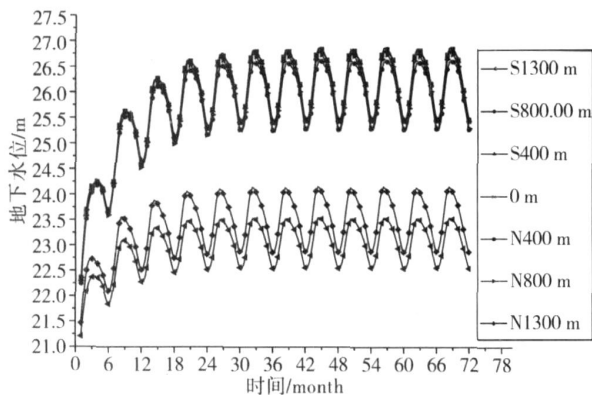


图 6 SA 13-NA 52 断面不同位置处总水头变化图

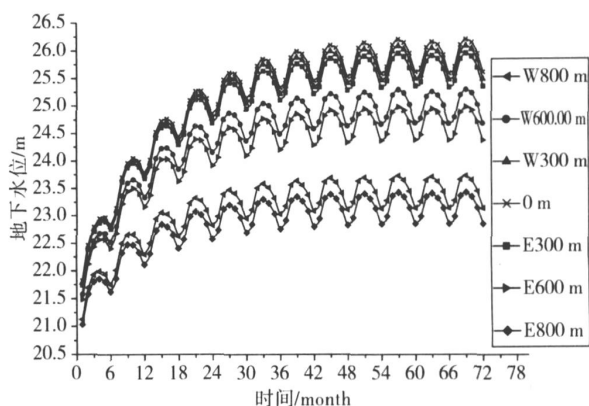


图 7 WA 30-EA 74 断面不同位置处总水头变化图

点用曲线连接起来就是一组同心近似椭圆的等值线,椭圆的长轴为南北向,短轴为东西向,椭圆心在库心的西北方向 140 m 左右。库区土层沿深度方向地下水位逐渐减小。

渗流稳定后正常蓄水位条件下,南北方向典型断面 SA 13-NA 52 和东西方向典型断面 WA 30-EA 74 的区域渗流场等势线及渗流速度分布见图 8、图 9、图 10 和图 11。

由于南坝段 SA 13 处坝基土表层渗透系数大的土层较厚,北坝段 NA 52 处相反,坝基土表层渗透系数大的土层较薄,所以南坝段库区内坝基渗流比北坝段库区内的坝基渗流严重,渗流量大,南坝段库区内坝基的水头比北坝段库区内坝基的水头低。库区地下水位最高点偏离中心点向北约 100 m 左右,地下水位从库中心向两岸逐渐减小,并且距离库心越远减小越快。

东坝段 A 74 断面处坝基土表层渗透系数大的土层比西坝段 A 30 断面较厚,所以东坝段 A 74 断面坝基渗流比西坝段 A 30 断面的坝基渗流严重,渗流量大,东坝段 A 74 断面坝基的水头比西坝段 A 30 断面的水头低。库区地下水位最高点偏离中心点向西约 58 m 左右,地下水位从库中心向两岸逐渐减小,并且距离库心越远减小越快。分析成果与实际情况一致,证明计算参数取值合理。

3 结 语

全封闭土工膜防渗土石坝的区域渗流场中地下水位与时间的关系复杂。库盆内地基中地下水位随水库蓄水位波动而变化,蓄水初的 2 年里变化急剧,随时间增加而逐渐趋于稳定,到第 5 年里逐渐变化稳定。分析

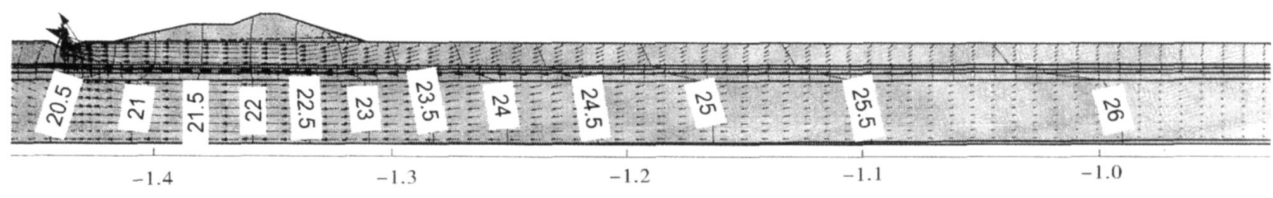


图 8 南坝段 SA 13 坝体和坝基渗流等势线及渗流速度分布图

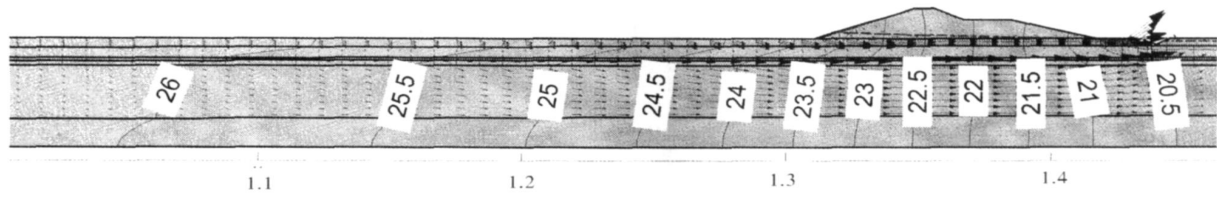


图 9 北坝段 NA 52 坝体和坝基渗流等势线及渗流速度分布图

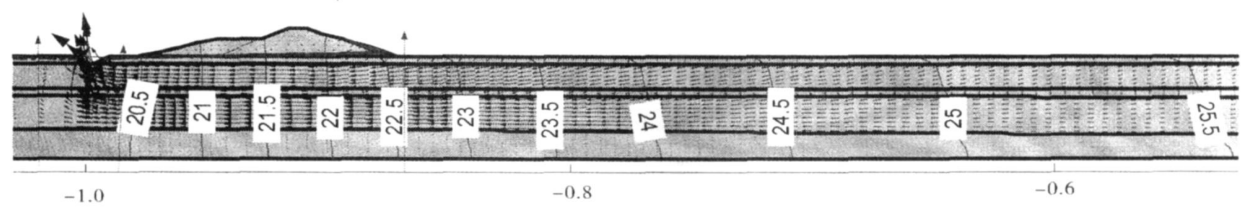


图 10 西坝段 WA 30 坝体和坝基断面渗流等势线及渗流速度分布图

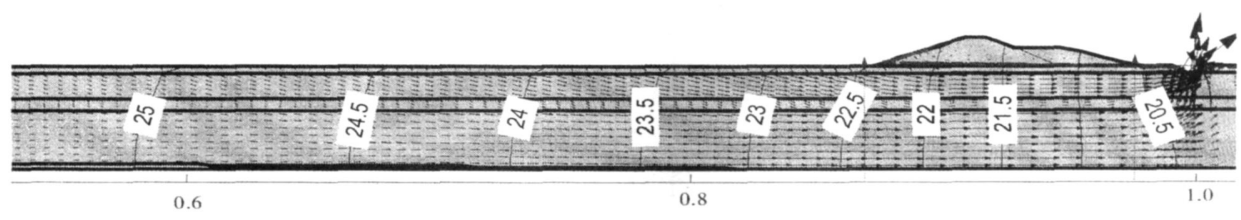


图 11 东坝段 EA 74 坝体和坝基断面渗流等势线及渗流速度分布图

显示水库蓄水初的 2 年里由于地下水位上升较快,地基土体孔隙中的气体很难排除,积聚到一定程度承受的压力很大后就会沿土工膜薄弱处突然释放压力,产生“气爆”现象,严重时甚至威胁坝坡的稳定.分析结果显示水库中心地基表层土体中气体承受的压力最大,为了将气体尽快疏导排出库区,特在土工膜下设置盲沟.这样处理后“气爆”现象得到有效控制.

参考文献:

- 1 D·G弗雷德隆德,H·拉哈尔佐.非饱和土土力学M.北京:中国建筑工业出版社,1997.
- 2 周建国,李涛,郭雪萍.土坝渗流对地下水位动态影响三维有限元分析J.水利水电技术,2006,36(2):110-112.
- 3 龚晓南.高等土力学M.杭州:浙江大学出版社,1996.
- 4 刘凤茹,沈洪俊,王铁强.复合土工膜缺陷渗透量试验观测J/OL.(2006-11-13)2007-10-10.http://www.321jz.com/shuil-i/RiverCcsj/200611/20373.html.