

干旱区平原水库渗流及下游土壤盐渍化分析

谢晓勇, 侍克斌

(新疆农业大学 水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要: 为预测平原水库蓄水对下游生态环境的影响, 在非饱和土力学理论的基础上, 利用 ABAQUS 有限元软件模拟某大型平原水库蓄水后坝体坝基的稳定渗流形态, 得到大坝下游的地下水埋藏深度, 对比地下水临界深度, 判断是否会出现土壤盐渍化现象。计算结果表明: ①水库蓄水水位越高, 渗流速度就越快, 相应水库下游土壤盐渍化的范围也越广。②水库渗漏补充下游地下水, 抬高地下水水位随着时间的推移最终会达到稳定状态, 此时由水库蓄水引起的土壤盐渍化的程度和范围都达到极限。根据实际工程监测数据与本文计算结果中相对应部分的对比, 证明所采用的方法基本可靠, 可为平原水库周边土壤盐渍化的防治提供依据。

关键词: 稳定渗流; 地下水临界深度; 土壤盐渍化; ABAQUS 软件; 平原水库

中图分类号: TV139.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2014)02-0180-04

Analysis of plain reservoir seepage and downstream soil salinization in arid area

XIE Xiaoyong, SHI Kebin

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urmqi 830052, China)

Abstract: In order to predict the influence of water storage on plain reservoir, the paper used the finite element software ABAQUS to simulate the stabilize percolation structure of some plain reservoir so as to get the burial depth of groundwater and to determine whether there will be the phenomenon of soil salinization by comparing the depth on the basis of theory of unsaturated soil mechanics. The result indicates two sides: ① The higher the water level of reservoir, the faster the seepage velocity, meanwhile the wider the range of soil salinization in the downstream of related reservoir. ② The reservoir leakage recharges groundwater and heightens groundwater level, it finally reach a steady-state with time, meanwhile, the degree and range of soil salinization resulting from water storage of reservoir can also reach a steady state. According to the comparison between the actual engineering monitoring data and the corresponding part of the results in this paper, it can be confirmed that the method is basically reliable and can provide the basis for the prevention of soil salinization around the plain reservoir.

Key words: stable seepage; critical depth of groundwater; soil salinization; ABAQUS software; plain reservoir

平原水库是利用平原地区天然湖泊、洼淀、河道通过修筑河堤和控制闸等建筑物形成的水库。平原水库的大坝类型多为土石坝, 其结构简单, 运用管理方便^[1], 能有效地解决区域性缺水的问题, 因此一直是水利工程建设的重要组成部分。但土石坝的缺点亦不容忽视, 尤其是渗漏, 加上平原水库坝体长, 渗漏比山区性水库更为严重。水库渗漏常抬高下游地下水位, 造成周围土壤盐渍化, 由于新疆处于干旱

地区, 土壤盐渍化现象尤其严重^[2], 土壤盐渍化是干旱区农业发展的重要障碍^[3], 既涉及资源问题和生态环境问题又与区域农业可持续发展息息相关^[4], 因此, 利用一种较精准的方法评估水库的渗漏对下游地下水位的影响, 采取相应措施防治土壤盐渍化, 对提升水库的效益和保护环境具有重要的意义。ABAQUS 是国际著名的通用大型有限元计算软件之一, 具有强大的计算能力和优秀的模拟性能。

收稿日期: 2013-10-17; 修回日期: 2013-11-19

基金项目: 新疆科技支撑计划项目(201233132); 新疆水利水电工程重点学科基金资助项目(xjzdkk-2010-02-12)

作者简介: 谢晓勇(1988-), 男, 新疆阿勒泰人, 硕士研究生, 主要从事干旱区平原水库节水及周边土壤次生盐渍化防治研究。

通讯作者: 侍克斌(1957-), 男, 新疆石河子人, 教授, 博士生导师, 主要从事水利工程领域的教学与科研工作。

在求解器 ABAQUS/Standard 中,按照非饱和土力学理论,利用软件的温度求解模块可以方便地求解坝体、坝基及下游地下的渗透问题,直观的反映出渗透水对大坝下游的影响范围和程度^[5]。

1 计算原理

1.1 温度模块分析渗流

由于渗流与热传导的规律遵循同样的数学方程(Laplace 或 Poisson 方程),因此在 ABAQUS 中利用温度求解模块求解渗流问题得以实现。

符合达西定律的三维各向异性土体稳定渗流问题的控制方程和边界条件为^[6]:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x}\left(k_x \frac{\partial H}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(k_y \frac{\partial H}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(k_z \frac{\partial H}{\partial z}\right) + \omega = 0 \\ \text{在 } \Omega \text{ 内} \end{cases} \quad (1)$$

$$H(x, y, z) = \bar{H}(x, y, z) \quad \text{在 } S_1 \text{ 上} \quad (2)$$

$$\begin{cases} k_x \frac{\partial H}{\partial x} \cos(n, x) + k_y \frac{\partial H}{\partial y} \cos(n, y) + \\ k_z \frac{\partial H}{\partial z} \cos(n, z) = q \end{cases} \quad \text{在 } S_2 \text{ 及 } S_3 \text{ 上} \quad (3)$$

$$H(x, y, z) = \bar{z}(x, y) \quad \text{在 } S_3 \text{ 及 } S_4 \text{ 上} \quad (4)$$

式中: z 为高程方向上的坐标; H 为渗流区域 Ω 内任意点的总水头; k_x 、 k_y 和 k_z 分别为 x 、 y 和 z 方向的渗透系数; ω 为入渗或蒸发水量; $\bar{H}$ 为给定的水头; q 为给定单位面积上的流量; S_1 为给定水头边界; S_2 为给定流量边界; S_3 为自由面; S_4 为逸出段; n 为 S_2 及 S_3 上任一点外法线方向上的单位矢量。

对于上式目前通常用迭代法求解,即先假定一个自由面的位置,解定解问题式(1)~(3),从而求出渗流场的水头值,然后验算水头值在自由面上是否满足(4)式,若满足,则计算结束,否则,修正自由面的初始位置,重复上述迭代过程,直到满足精度要求为止。但计算时每次迭代都需改变渗流场的范围,重新划分网格,有时会出现假定的渗流自由面位置与实际相差过大而无法计算的问题。本文结合非饱和土力学理论,采用一种改进的方法^[7]。将计算的渗流区域 Ω 扩大为整个坝体断面,只需确定渗流逸出点的位置,将自由面设置为 0 孔压边界,迭代计算时修正逸出点的位置即可,渗流自由面的位置是由节点孔压插值得到。对于其它非均质土坝,如有棱体排水、褥垫排水或有心墙的情况,可不用迭代,只需一次确定逸出点的位置就可得到满意的结果。

1.2 确定地下水临界深度

在易发生盐碱化的地区,通常把可以保证不致

引起耕作层土壤盐渍化和作物不受盐害的最浅地下水埋藏深度,叫做防盐渍化地下水临界深度。要判断水库蓄水是否会对下游地下水产生影响,首先要了解坝后和下游土壤及地下水的状况,确定地下水临界深度。影响地下水临界深度的因素包括气候(主要是降水与蒸发)、土壤(特别是土壤的毛管性能)、水文地质(特别是地下水的矿化度)和人为措施等,综合考虑以上因素后,提出估算地下水临界深度的公式如下:

$$D = Z + G + A + S \quad (5)$$

式中: D 为地下水临界深度, m; Z 为作物根系层厚度, m; G 为毛管水的上升高度, m; A 为安全超高, m; S 为地下水矿化度级差, m。

公式中的几个因素确定如下:

(1) 作物根系层厚度是指作物的根系吸水层的厚度,不同作物的厚度不同。

(2) 毛管水强烈上升高度需通过测定取得,其测定方法是:在地下水位较浅的地段,不受灌溉和降水影响的情况下,定期测定土壤含水量分布曲线,通过对比分析,以毛管破裂点出现的位置距浅水层水面的距离来表示。

(3) 安全超高根据新疆主要灌区的经验,通常取 0.5 m。

(4) 地下水矿化度直接影响地下水临界深度,矿化度小,返盐速度慢,地下水临界深度就会小些,反之临界深度就会大些。

2 工程算例

2.1 计算模型

某大型平原水库均质坝坝顶高程 503 m,水库总库容 2.63 亿 m^3 ,坝顶宽 8 m,最大坝高 26 m,上游坝坡坡比为 1:3.0,下游坝坡坡比 1:2.5,坝体内部设一“L”型排水体,渗流逸出点即为浸润线与排水体交界点。库坝区地层岩性主要为粉质壤土。水库为四面筑坝,坝长 17.68 km,采用 ABAQUS 有限元软件计算,取中坝 4+080 断面为计算的典型坡面。计算时,有限元网格划分节点数 3 521 个,实体单元数为 3 362,单元类型为 CPE4P,有限元网格见图 1^[8]。

根据实际工程资料,坝基部分分为 3 层,每层渗透系数各不相同。文献[1]中建议均质土坝的有效地基取 0.5~1 倍的坝底宽。坝基计算长度向上游取 200 m,向下游取 400 m。下游 200、400 m 处设有地下水位监测井。所取典型坡面坝段筑坝前初始地下水埋深为 7.3 m。

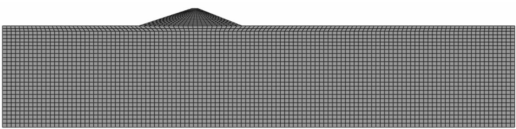


图1 有限元计算网格

2.2 计算工况及计算参数

计算工况:实际情况,上游水位高程为 495 m;最不利情况,上游水位高程为 500 m。假设计算年限最长为 50 年;地下水临界深度: $D = Z + G + A + S = 0.3 + 1.6 + 0.5 + 0.4 = 2.8\text{m}$ 。其中:综合考虑水库周围的主要作物小麦、玉米、棉花, Z 取 0.3m 合适;通过对水库周围土壤的试验测定毛管水强烈上升高度为 1.6 m;安全超高根据经验取 0.5 m;矿化度级差为 0.4 m。计算区域划分见图 2,计算各区域渗透系数见表 1。

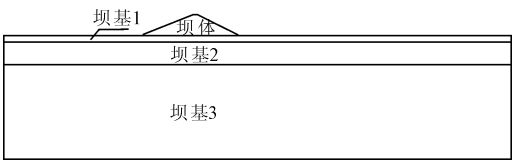


图2 计算区域划分

表 1 计算各区域渗透系数					cm/s
区域	坝体	坝基 1	坝基 2	坝基 3	
k_x	4×10^{-5}	1.5×10^{-3}	1.5×10^{-5}	1.5×10^{-6}	
K_z	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-5}	1.0×10^{-6}	

3 计算成果及分析

3.1 实际情况

该均质坝于 2005 年蓄水,根据监测资料显示,截止目前水库的平均水位为 492 m,考虑到今后可能加强对水库的使用,水库水位将会升高。假设计算中平均水位为 495 m。由 ABAQUS 分析所得孔压等值线云图见图 3。

在距坝趾 200 和 400 m 处设两个观测点(图 4)。水库蓄水初期,坝后地下水埋深在一段时期内开始骤升,上升速度在埋深值达到 4m 时开始变缓,之后随着时间推移逐渐上升。计算结果中 2012 年之前的地下水埋深与水库实际监测数据基本相符。

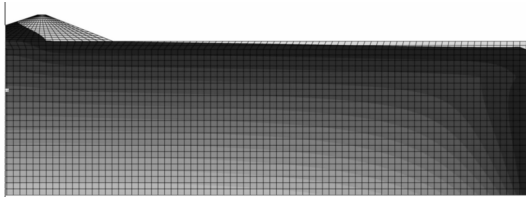


图3 孔压等值线云图

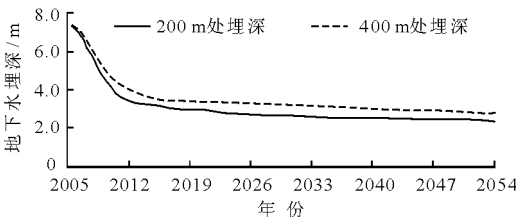


图4 实际情况下游地下水埋深变化过程

3.2 最不利情况

最不利情况是指水库蓄水后水库水位始终保持在正常蓄水位 500m,这种情况下水库对下游的地下水埋深影响程度和范围都最大,最有可能造成下游土壤盐渍化。由图 5 可以看出水位较高时渗流对下游地下水埋深的影响明显增强,下游地下水埋深在不断上升之后最终达到稳定状态,2045 年开始出现下降的趋势,然后再上升,说明此时水库蓄水对下游地下水的影响程度和范围已达到极限。

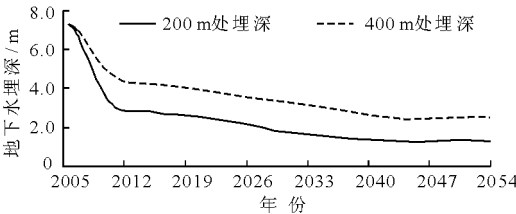


图5 最不利情况下游地下水埋深

地下水临界深度是判断是否会出现土壤盐渍化的一个标准,由前面计算已知本工程的地下水临界深度为 2.8 m。随着水库渗漏对地下水的补充,地下水埋深正好是 2.8 m 的位置会不断向下游远处移动,这个位置可看作是出现土壤盐渍化现象的边界。图 6 是在两种计算工况下,以土坝坝趾为参考起点,地下水临界深度位置随时间的变化。

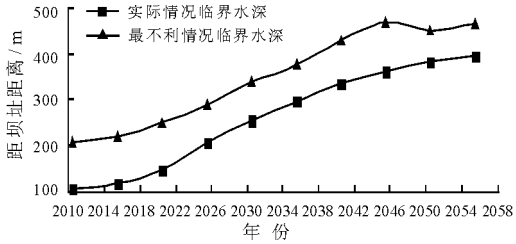


图6 下游地下水临界深度所在位置

从图 6 中可以看出:①实际情况下由于水库水位相对较低,渗流缓慢,因此到 2055 年还没有达到稳定状态,土壤盐渍化影响范围最远到大坝下游 395 m 处;②最不利情况下水库长期处于高水位运行状态,渗流相对较快,到 2045 年时渗流达到稳定状态,此时土壤盐渍化范围最远,达到大坝下游 469 m 处。

4 结 语

由以上计算分析可得出如下结论:

(1)在水库以平均库水位 495 m 运行时,渗流较为缓慢,预测水库开始运行 50 年后水库渗漏对下游地下水的影响还未稳定,距坝趾 200 m 处观测点的地下水埋深由初始的 7.3 m 上升至 2.3 m,距坝趾 400 m 处观测点的地下水埋深上升至 2.81 m,并且仍将继续上升,可能出现土壤盐渍化现象的最远位置为距坝趾 395 m 处,范围会继续扩大。

(2)在水库库水位始终为 500 m 的最不利工况下,渗流比前一工况下有所加快,预测水库运行至 40 年时水库渗漏对下游地下水的影响就会达到稳定状态,此时距坝趾 200 m 处观测点的地下水埋深由初始的 7.3 m 上升至 1.25 m,距坝趾 400 m 处观测点的地下水埋深上升至 2.4 m,随后会轻微上下波动,可能出现土壤盐渍化现象的最远位置为距坝趾 469 m 处,不会继续扩大。

平原水库建成后,管理者不仅要使水库更好地发挥作用,也要注重保护库区生态环境,对于干旱区,地下水是其脆弱的生态环境中很关键的因素。

因此,分析水库蓄水对下游地下水的影响并采取措施加以保护和治理,对干旱区平原水库及其周边的可持续发展有着重要的意义。

参考文献:

- [1] 陈德亮. 水工建筑物(供农业水利工程专业用)[M]. 北京:中国水利水电出版社,2008.
- [2] 颜承渠. 刍议新疆的平原水库[J]. 新疆农垦科技,2001(5):32-33.
- [3] 姜 凌,李佩成,胡安焱,等. 干旱区绿洲土壤盐渍化分析评价[J]. 干旱区地理,2009,32(2):234-239.
- [4] 李新国,李会志,王 影,等. 开都河下游灌区土壤盐渍化研究[J]. 水土保持研究,2010,17(6):111-114.
- [5] 王金昌,陈页开. ABAQUS 在土木工程中的应用[M]. 杭州:杭州大学出版社,2006.
- [6] 毛昶熙. 渗流计算分析与控制[M]. 北京:中国水利水电出版社,2003.
- [7] 徐千军,张建红. 确定稳定渗流自由面位置的一种简便方法[J]. 水动力学研究与进展,1999,14(4):418-423.
- [8] Soleymani S, Akhtarapur A. Seepage analysis for Shurijeh reservoir dam using finite element method[C]//Proceedings of Geo-Frontiers, Dallas, Texas, 2011:3227-3234.
- [12] 喻 钰,黄领梅,沈 冰,等. 和田河流域耗水现状分析[J]. 水资源与水工程学报,2009,20(6):47-51.
- [13] 董得福. 不同因素对和田绿洲蒸散发的影响研究[D]. 西安:西安理工大学,2013.
- [14] 刘 敏,黄领梅,沈 冰,等. 和田绿洲地下水埋深的自然影响因素分析[J]. 中国生态农业学报,2009,17(1):174-177.
- [15] 刘 敏. 和田绿洲地下水时空分布规律及其生态环境效应研究[D]. 西安:西安理工大学,2007.
- [16] 乔云峰,沈冰,黄领梅等. 和田绿洲地下水及土壤离子含量特征[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2002,30(2):186-189.
- [17] 冷中笑,海米提·依米提,高前兆. 和田绿洲洛浦灌区地下水动态变化规律分析与模拟[J]. 干旱区资源与环境,2009,23(3):130-133.
- [18] 陈国明. 浅谈地下水危害及工程勘察水文地质评价[J]. 西部探矿工程,2006,18(3):128-129.
- [19] 丁宏伟,张荷生. 近 21 年来河西走廊地下水资源变化及对生态环境的影响[J]. 自然资源学报,2002,17(6):691-697.
- [20] 易 秀. 干旱半干旱地区地下水问题[J]. 干旱区研究,2001,18(3):54-57.

(上接第 179 页)