

郑州龙湖工程建设中的环境地质问题分析

邓晓颖¹ 陈鸿汉² 龚晓凌¹ 高茂生³ 宋会香¹

(1.河南省地质矿产勘查开发局第二水文地质工程地质队 河南 郑州 450053 ;
2.中国地质大学水资源环境学院 北京 100083 ;3.青岛海洋地质研究所 山东 青岛 266071)

摘要 采用野外调查、试验及模拟计算的方法 ,在分析龙湖区地质背景及现状条件的基础上 ,对规划龙湖建设前后可能产生的环境地质问题进行综合分析。研究结果表明 :龙湖在建设过程中存在潜蚀及边坡失稳的可能 ,蓄水运行后会引起地下水位抬升 ,造成湖岸区部分土体密度增大、压缩系数增大、压缩模量减小、 c 和 φ 值减小、强度降低、地震液化指数增大、局部地区存在浸没及土壤次生盐渍化等问题。为郑州龙湖工程科学规划及建设提供了一定的地质依据。

关键词 地下水 ;渗透稳定性 ;地震液化 ;次生盐渍化 ;人工湖 ;龙湖工程

中图分类号 :X524 **文献标识码** :B **文章编号** :1006-7647(2009)01-0066-03

The analysis of environmental geological problems in the construction of Longhu Lake in Zhengzhou//DENG Xiao-ying¹ , CHEN Hong-han² ,GONG Xiao-ling¹ ,GAO Mao-sheng³ ,SONG Hui-xiang¹ (1. No.2 Hydro-geological and Engineering Geological Brigade , Bureau of Geoexploration and Mineral Development of Henan Province , Zhengzhou 450053 , China ;2. School of Water Resources and Environment , China University of Geosciences , Beijing 100083 , China ;3. Qingdao Institute of Marine Geology , Qingdao 266071 , China)

Abstract :Based on analysis of the geological background and present situation of Longhu Lake ,environmental geological problems that may occur before and after the construction of Longhu Lake are synthetically analyzed through survey , test and simulation calculations. The research results indicate the possibility of suffosion and slope instability during the construction of Longhu Lake. After impounding and operation , the groundwater level will rise , resulting in some problems , including an increase of density , an increase of compressibility , a decrease of the compression modulus , a decrease in the value of c and φ , a decrease of strength , an increase in the earthquake liquefaction index , local submersion , and soil secondary salinization. This study provides a geological basis for the scientific planning and construction of the Longhu Lake project.

Key words :groundwater ; seepage stability ; earthquake liquefaction ; secondary salinization ; artificial lake ; Longhu Lake project

郑东新区位于郑州市东北郊 ,西距市区中心约 6~8 km ,北距黄河 9~10 km。其规划方案采用了日本黑川纪章建筑都市设计事务所的“郑东新区总体发展概念规划” ,规划构思的核心思想是建设具有新陈代谢功能的生态型现代化城市。龙湖工程作为规划理念的点睛之笔 ,其工程建设至关重要。根据规划 ,拟建人工湖(龙湖) ,水面标高 85.5 m ,湖岸标高超过 86.0 m ,平均水深 5.0 m ,相应的水域面积为 6.0 km² ,湖岸线长度为 45.33 km ,水体规模约 3 000 × 10⁴ m³ ,设计防洪水位为 50 年一遇 ,龙湖湖体等级为Ⅲ级 ,工程规模为中型。龙湖湖体形成后 ,会使浅层地下水水位上升 ,将改变该地区地下水的天然流场 ,产生一系列环境地质问题 ,因此有必要对龙湖建设及运行中可能产生的环境工程地质问题进行分析研究。

1 地质背景条件

1.1 龙湖工程地质条件

龙湖工程位于黄河冲积扇顶部南翼平原区 ,区内地势西南高东北低 ,西南部地面标高 89~91 m ,东北部地面标高 86 m ,中东部地面标高 84~86 m ,现状多为鱼塘。过去该区低洼易涝、沼泽遍布、盐碱化严重 ,20 世纪 70 年代后进行了引黄淤灌改良土壤、钻凿机井、旱地稻改等措施 ,使原来的盐碱地变成了鱼米之乡。

在勘察深度 30 m 范围内 ,土层主要是第四系全新统的砂、粉土和粉质黏土层。根据地层岩性、地层结构及工程性质 ,以中部的市林场—沙庄—祭城东西一线为界 ,大致可划分为南北 2 个区 :北区(Ⅰ区)地面至地下 3 m(局部 5~6 m)范围内为粉土 ,以下基

本上为砂 8~10m 分布有一层不稳定的粉土和粉质黏土层透镜体。南区(Ⅱ区)地面至地下 13~16m 范围内为粉土、粉质黏土和黏土 ;13~16m 以下为砂 (图 1)。各土层岩性及其工程地质特征见表 1^[1-2]。

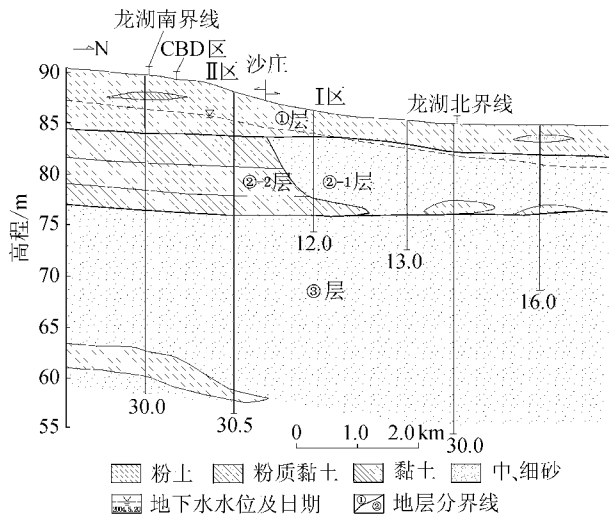


图 1 龙湖区地质剖面(南北向)(单位:m)

1.2 龙湖区水文地质条件

龙湖区地下含水为松散岩类孔隙水,地表以下 30m 埋深范围内属浅层含水层组。根据地下水埋藏条件和水力性质,浅层含水层又分为浅层潜水含水层和浅层微承压水含水层。浅层潜水含水层全区均有分布,在Ⅱ区基本无砂层,全为粉土,含水微弱;Ⅰ区含水层以中、细砂为主,顶板埋深 3~6m,厚度为 6~10m,水位埋深一般在 2~5m,单井出水量 500~1000 m³/d。浅层微承压水含水层主要分布在Ⅱ区。在Ⅰ区,含水层②-1 与③局部相连通,二者基本形成统一水位。含水层以中、细砂为主,顶板埋深 11~13m,自西南向东北含水层由薄变厚,厚度为 13~20m,承压水头一般低于潜水位 0.5m,单井出水量为 1000~2000 m³/d。浅层地下水自西南向东北径流,水力坡度平均为 0.08%。浅层地下水动态主要受气象和灌溉控制,年水位变幅一般在 0.34~5.0m

之间,水化学类型以重碳酸型为主。

2 环境工程地质问题分析

2.1 开挖时可能出现的工程地质问题分析

2.1.1 龙湖开挖基坑突涌的可能性

在Ⅱ区的龙湖 CBD 区一带,潜水水位埋深一般为 2.0m(丰水期),承压水顶板埋深为 13.5m 左右,承压水头为 11.0m(按低于潜水水位 0.5m 计),龙湖开挖最大深度为 5.0m。可以采用式(1)判定基坑突涌产生的可能性^{3]}。

$$H \geq (\rho_w/\rho)h \tag{1}$$

式中:H 为基坑开挖后不透水层的厚度,m; ρ_w 为水的密度,取 $1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$; ρ 为土的密度,取 $1.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$;h 为承压水头高于含水层顶板的高度,取 11.0m。当 $H \geq (\rho_w/\rho)h$ 时,基坑不产生突涌。

经计算 $H = 6.1 \text{ m}$,若安全系数取 1.3,则理论计算不透水层厚度应大于 7.9m,而实际不透水层厚度为 8.5m。因此,龙湖基坑开挖时不会产生突涌。

2.1.2 潜蚀问题分析

龙湖湖区开挖涉及土层为粉土、中细砂、粉质黏土,不均匀系数值分别为 10.77、5.12 和 17.52,且颗粒较细。按龙湖开挖平均深度 5m 计,岩土层的不均匀系数多大于 10,粉土与中细砂层渗透系数之比大于 2。因此,当龙湖开挖敞开降水时易产生潜蚀。

2.1.3 边坡(基坑)稳定性

由于该区地下水位埋深较浅,在湖体开挖过程中,将会遇到低于地下水位(高程 84m)的砂层和粉土层,其渗透系数一般为 $n \times 10^{-4} \sim n \times 10^{-2} \text{ cm/s}$,属弱~强透水层。根据龙湖开挖边坡设计参数,结合经验,给出 5.0m 以上各层土的黏聚力 $c = 12 \text{ kPa}$ 、内摩擦角 $\varphi = 18^\circ$ 及岩土天然密度 $\rho = 1.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 。

据经验公式 $h = \frac{2c}{\rho g} \tan(45^\circ + \frac{\varphi}{2})$,确定自立边坡极限

表 1 龙湖区各土层工程地质特征

土层编号	岩性	主要特征	厚度/m	黏粒含量 平均值/%	不均匀系数 平均值	压缩系数 平均值/ MPa ⁻¹	水平渗透 系数/ (10 ⁻⁴ cm·s ⁻¹)
①层	粉土	灰黄色,潮湿—饱和,稍密—中密,分布较稳定,局部有粉土、细砂及粉质黏土透镜体,在整个湖区均有分布。	1.8~6.2	6.31	10.77	0.22	1.0~10
②-1 层	中、细砂	灰黄色、浅灰色,不均匀,饱和,中密—密实,标贯击数平均值 23.9 击。主要分布于北区(Ⅰ区)。	6~10	2.44	5.12	0.09	12.1~240
②-2 层	粉质黏土	灰色,可塑—软塑,底板高程 68.0~77.0m,夹有 1~2m 的粉土层和中砂层透镜体。主要分布在南区(Ⅱ区)。	5~14	20.85	17.52	0.23	0.6~6
③层	中、细砂	灰黄色,不均匀,饱和,密实,标贯击数平均值 32.5 击。在 30m 深度范围内大多未揭穿该层底板。	13~20	4.30	5.84	0.07	95~350

高度为 1.85 m。因此 ,在湖体开挖时为保证其施工安全 ,应首先进行基坑排水 ,同时需采用放坡开挖来保持基坑稳定 ,以避免发生流沙及坑壁土体坍塌。

2.2 蓄水运行后的工程地质问题分析

龙湖蓄水运行后 ,湖体水面高程为 85.5 m ,将高出蓄水前的地下水位 2 ~ 4 m。当湖水向地层渗漏时 ,会引起周围地下水位的上升 ,存在砂土液化、土体强度降低、地下水浮力增大等工程地质问题。

2.2.1 地震液化

经统计 ,饱和粉土层液化点占试验组数的 63% ,且不液化点的标贯击数接近临界击数 ,据此判定粉土层为可能液化土层。饱和中细砂层液化点主要集中在地面以下 15 m 范围内 ,占试验总数的 45.5%。在地面以下 10 m 范围内土层为可能液化土层 ,而 10 m 以下土层局部存在地震液化点 ,一般具有轻微液化。龙湖蓄水后 ,若不采取有效的防渗措施将会引起地下水位抬升 ,加重地基土的液化。选取龙湖周边部分标贯孔对龙湖蓄水前后地震液化判别进行对比分析可知(表 2)^[4] ,液化指数从蓄水前的 0.10 ~ 1.87 增大到 0.23 ~ 5.75 ,增大了 1.1 ~ 1.3 倍。但龙湖蓄水对地震液化等级的影响不大。

2.2.2 龙湖蓄水后工程地质条件的变化

龙湖蓄水至 85.5 m 后 ,湖区地下水位上升 ,它将改变地下水的径流条件、湖区岩土体中的应力环境(孔隙水压力的变化)以及岩土体的物理力学性质。为了研究蓄水对土体工程性质的影响 ,在湖区采原状粉土试样进行天然和饱和状态的对比试验。结果表明 :龙湖蓄水后 ,土体的密度普遍增大了 0.5% ~ 7% ,压缩系数增大了 22% ~ 80% ,压缩模量减小了 19% ~ 41% ,土体的压缩性增大。直剪试验结果表明 ,土体的 *c* 值平均减小了 25% ,最多减少了 42% ;*φ* 值平均减小了 9% ,最多减小了 21% ,土体表现为强度降低的趋势。

2.2.3 地下水位波动所产生的附加应力

龙湖湖区设计蓄水位 85.5 m ,地下水位升降改变了地基土中的应力环境。如果湖水位的波动引起地下水位升降 ,特别是地下水位的突然下降 ,会在地基土中产生附加应力。以地下水位下降 1 m 计算 ,

相应的附加应力将增加 10 kPa。该附加应力将促使地层土体压缩 ,增加建筑物基础沉降量。在湖心(副 CBD 中心)进行建筑时 ,应注意该附加应力的动态变化对建(构)筑物基础沉降变形的影响。

2.2.4 湖区开挖后的湖底渗漏

在湖面标高 85.5 m 以下 2.5 m 水深(高程 83 m 层面)到 4.5 m 水深(高程 81 m 层面)之间 ,中细砂的分布面积占湖体底面积的比例为 38% ~ 67% ,入渗速度为 $1.68 \times 10^{-5} \sim 2.96 \times 10^{-5}$ cm/s ,渗漏量为 $8.7 \times 10^4 \sim 15.34 \times 10^4$ m³/d ,根据上述指标或数据 ,如果不采取有效的防渗措施 ,湖底将存在严重的渗漏问题^[5]。

2.2.5 农田浸没及次生盐碱化

龙湖湖区蓄水造成局部地下水水位抬升 ,会引起湖区周围大部分地区受浸没影响 ,当地下水位上升接近地表时 ,由于包气带的毛细作用 ,再加之强烈的蒸发浓缩作用 ,可使盐分在上部岩土层中积聚形成盐渍土。这样改变了岩土的物理力学性质和化学成分 ,使地下水矿化度增高 ,增强了对建筑材料的腐蚀性。郑州地区的粉土、粉质黏土毛细上升高度为 2.0 ~ 2.5 m ,浸没的临界地下水水位埋深在 2.5 ~ 3.0 m 之间 ,若水力坡度以 1/1000 计 ,则在湖区东部的西禄庄、西湖庄(地形标高在 84 ~ 85 m)方向上的 2.5 km 范围内都有可能产生次生盐碱化问题^[6]。

3 结 语

- a. 郑东新区龙湖工程位于黄河冲积平原区 ,地下水埋藏浅 ,开挖涉及的岩土层主要为中细砂和粉土 ,在成湖及其运行过程中面临着诸多环境地质问题。
- b. 龙湖在开挖时产生突涌的可能性小 ,敞开降水时有发生潜蚀的可能性。龙湖蓄水后 ,土体的密度将普遍增大 ,压缩系数增大、压缩模量减小 ;抗剪强度指标和内摩擦角减小 ,土体的强度降低。
- c. 龙湖在不采取有效的防渗措施时 ,湖底将存在严重的渗漏问题 ,会引起局部地下水水位抬升 ,湖区周围部分地区将遭受浸没影响 ,存在产生次生盐碱化问题。
- d. 在龙湖周边地区进行建筑时 ,应充分考虑各

表 2 龙湖蓄水前后地震液化判别对比

位置	地下水位埋深/m		液化指数		液化等级	
	蓄水前	蓄水后(预测水位)	蓄水前	蓄水后	蓄水前	蓄水后
1 号测点(龙湖湖区北部)	2.52	0.5	1.82	3.92	轻微	轻微
2 号测点(龙湖湖区西部)	3.50	0.5	0.12	5.75	轻微	轻微
3 号测点(龙湖湖区南部)	3.65	1.0	0.10	0.23	轻微	轻微
4 号测点(龙湖湖区东部)	2.53	0.5	1.87	3.93	轻微	轻微

(下转第 89 页)

利学报,1998(3):68-73.

[14] 李新强.无压渗流有限元分析的改进初流量法[J].水利学报,2007(8):961-965.

[15] BATHE K J,KHOSHGOFTAAR M R. Finite element free surface seepage analysis without mesh iteration [J]. International Journal of Numerical and Analysis Methods in Geomechanics,1979,3(1):13-22.

[16] 李春华.稳定渗流有限元计算时采用固定网格法的初步研究[C]//中国力学学会.第三届全国渗流力学讨论会论文汇编.武汉:长江科学院,1986.

[17] 王贤能.有自由面渗流分析的高斯点法[J].水文地质工程地质,1997(6):23-27.

[18] 舒仲英,邓建霞,李龙国.加密高斯点单元传导矩阵调整法在有自由面渗流分析中的应用[J].四川大学学报:工程科学版,2007,39(1):48-52.

[19] 朱军,刘光廷.改进的单元渗透矩阵调整法求解无压渗流场[J].水利学报,2001(8):49-52.

[20] 吴梦喜,张学勤.有自由面渗流分析的虚单元法[J].水利学报,1994(8):67-70.

[21] 彭华,曹定胜,王家荣,等.有自由面渗流分析的弃单元法及其应用[J].人民长江,1997,28(8):38-40.

[22] 梁业国,熊文林,周创兵.有自由面渗流分析的子单元法[J].水利学报,1997(8):34-38.

[23] 黄蔚,刘迎曦,周承芳.三维无压渗流场的有限元算法研究[J].水利学报,2001(6):33-36.

[24] 张巍,肖明.有自由面渗流分析的丢单元法的改进及其在地下工程中的应用[J].水利与建筑工程学报,2005,3(1):32-36.

[25] BAIOCCHI C. Free boundary problems in fluid flow through porous media[J]. Symp on Finite Element Methods in Flow Problems,1976(6):14-18.

[26] ODEN J T. Recent Advance :theory of variational inequalities with applications to problems of flow through porous media. [J]. Eng Sci,1980(8):173-184.

(上接第 68 页)

种环境地质问题,特别是由于湖水位波动产生的附加应力变化对建(构)筑物的基础沉降变形的影响。

e. 龙湖的建设将改变该地区目前的地质环境,并打破其水动力平衡,其变化是一个长期的过程。应加强水位的长期监测,在其规划建设过程中应通盘考虑,多权衡利弊。

参考文献：

[1] 中国地质大学(北京),河南省郑州地质工程勘察院.龙湖水系对水文地质、工程地质和生态环境影响分析主要成果报告[R].北京:中国地质大学(北京),2004.

[2] 水利部黄河水利委员会勘测规划设计研究院.郑东新区

[27] 速宝玉,沈振中,赵坚.用变分不等式理论求解渗流问题的截止负压法[J].水利学报,1996(3):22-29.

[28] 张乾飞,吴中如.有自由面非稳定渗流分析的改进截止负压法[J].岩土工程学报,2005,27(1):48-54.

[29] 吴梦喜,高莲士.饱和-非饱和土体非稳定渗流数值分杭[J].水利学报,1999(12):38-42.

[30] 朱军,刘光廷,陆述远.饱和-非饱和三维多孔介质非稳定渗流分析[J].武汉大学学报:工学版,2001,34(3):5-8.

[31] 彭华,陈胜宏.饱和-非饱和岩土非稳定渗流有限元分析研究[J].水动力学研究与进展,2002,17(2):253-259.

[32] 金生,耿艳芬,王志力.利用饱和-非饱和渗流模型计算坝体自由面渗流[J].大连理工大学学报,2004,44(1):110-113.

[33] 陈建余.有密集排水孔的三维饱和-非饱和渗流场分析[J].岩石力学与工程学报,2004,23(12):2027-2031.

[34] NIWA Y. An application of the integral equation method to seepage problems[M]. Tokyo :Univ of Tokyo Press,1976.

[35] 柴军瑞,仵彦卿.采用边界元法确定渗流自由面的一种改进方法[J].陕西水力发电,2000,16(1):11-13.

[36] 廖红建,王铁行.岩土工程数值分析[M].北京:机械工业出版社,2006.

[37] 王均星,吴雅峰,白呈富.有自由面渗流分析的流形单元法[J].水电能源科学,2003,21(4):23-25.

[38] 陈小虎,沈振中.无单元法的工程应用进展[J].水利水电科技进展,2006,26(6):90-94.

[39] 葛锦宏,李广信,介玉新.无单元法在有自由面渗流计算中的应用[J].计算力学学报,2003,20(2):241-243.

[40] 李春晓.小湾水电站坝肩岩体裂隙网络渗流的三维网络与无网格法耦合模型研究[D].长春:吉林大学,2005.

[41] 沈振中,陈小虎,吴越建.求解堤坝渗流场的罚函数无单元法[J].河海大学学报:自然科学版,2008,36(1):44-48.

(收稿日期:2008-05-15 编辑:方宇彤)

龙湖水系工程工程地质勘察报告(可行性研究阶段)[R].郑州:水利部黄河水利委员会勘测规划设计研究院,2003.

[3] 常士骠,张苏民,项勃,等.工程地质手册[M].3版.北京:中国建筑工业出版社,1992.

[4] GB50011—2001,建筑抗震设计规范[S].

[5] 高茂生,陈鸿汉,李桂荣,等.郑州市龙湖成湖方案研究[J].地质前缘,2005(特刊):107-111.

[6] 河南省地质矿产勘查开发局第二水文地质工程地质队,武汉地质学院工程地质教研室.郑州市浅层土体特征及工程地质问题研究报告[R].郑州:河南省地质矿产勘查开发局第二水文地质工程地质队,1986.

(收稿日期:2008-01-29 编辑:方宇彤)