

文章编号: 1000-7598-(2007) 12-2715-08

龙湖主湖区开挖及防渗方案优化研究

武 雄¹, 曾 平², 胡文杰³, 谢定松², 高茂生⁴, 孙燕冬¹, 陈鸿汉¹

(1. 中国地质大学(北京)水资源与环境工程北京市重点实验室, 北京 100083; 2. 中国水利水电科学研究院, 北京, 100044;
3. 郑东新区管理委员会, 郑州, 450008; 4. 青岛海洋地质研究所, 青岛, 266071)

摘 要: 郑州市郑东新区龙湖这样大规模的城市人工湖建设在我国尚属首次。在平均湖深 4.5 m 的前提下以及已有研究成果的基础上, 采用现场调研、室内外试验、水质分析及数值分析计算相结合的综合研究方法, 结合实际工程经验对龙湖开挖及防渗方案进行研究, 结果表明, 龙湖主湖区开挖宜采用干法和湿法相结合的“综合开挖”方案; 防渗宜采用水中抛土和碾压铺盖相结合的方案, 这样既能保证成湖, 又不会对周边地区地下水系统和地质环境造成大的影响, 还能满足水质要求, 从施工设备和工程投资角度来讲也是合理可行的。另外, 在龙湖正式开挖之前, 应先在现场进行试挖工程, 对开挖、防渗设计进行优化。

关 键 词: 龙湖; 主湖区; 开挖; 防渗

中图分类号: P 64

文献标识码: A

Optimization of excavation and seepage control scheme for main lake district of Dragon Lake

WU Xiong¹, ZENG Ping², HU Wenjie³, XIE Ding-song⁴, SUN Yan-dong¹, CHEN Hong-han¹

(1. Beijing Key Laboratory of Water Resources and Environment Engineering, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China; 3. Management Committee of Zhengdong Xin Region, Zhengzhou 450008, China; 4. Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China)

Abstract: It is the first time in China to construct such a huge lake like the Dragon Lake in the Zhengdong Xin Region of Zhengzhou. On the condition of the average lake depth 4.5 m and on the basis of achievement, we adopt such methods as fieldwork, in-situ and laboratory tests, water quality analysis and numerical analysis to study the excavation of the Dragon Lake and seepage control scheme with experiences of practical project. The result indicates that it is better to use dry and wet methods to excavate the main lake district of the Dragon Lake and to eject soil into water to control seepage. It can form the lake and has no significant impact on groundwater system and geological environment in the nearby area. It also can meet the water quality request. It is also reasonable and feasible from the angles of construction equipment and project investment. In addition, it is considered that it should perform pre-excavation test in-situ and optimize excavation and seepage control programme prior to the formal excavation of the Dragon Lake.

Key words: Dragon Lake; main lake district; excavation; seepage control

1 引 言

郑东新区是郑州市未来城市建设的重点, 其规划方案最终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”(以下简称“规划”), 其核心思想是建设生态型、具有新陈代谢功能的现代化城市。其中, 龙湖水系工程是规划理念的点睛之笔, 主要包括: 6.08 km²龙湖主湖区、

与湖区相连通航的运河、与运河相连但不通航的金水河、熊耳河、东风渠、魏河以及黄河、南水北调中线、地下水等水源、输水和控导工程, 见图 1。“规划”中的龙湖水面标高为 85.5 m, 周边湖岸标高为 87.5 m, 平均水深为 5.0 m, 设计防洪水位 50 年一遇, 湖体等级为 III 级, 工程规模为中型, 主要水工建筑物为 3 级^[1-2]。

龙湖建成后将是我国最大的城市人工湖。建设这样

大面积、大深度的城市人工湖会带来许多新的问题,其中采用什么开挖和防渗工艺既能保证成湖蓄水,又能做到经济合理,还能把对负面环境的影响降到最低是龙湖建设最关键的问题之一。本文针对龙湖开挖及防渗方案进行了优化研究,

2 湖区地质条件概述

2.1 地形地貌特征

龙湖主湖区属泛滥平原区,地形相对平坦,西南部标高为 91 m,东北部标高为 86 m,中部安庄至西胡庄一线,地面标高为 84~85 m,形成带状地势相对低凹区,龙湖主湖区就位于这一带,见图 1。区内有大面积的渔塘分布。

2.2 湖区地质条件

龙湖主湖区地表主要为上更新统(Q_3)、全新统(Q_4)沉积物。研究区在勘察深度 30 m 范围内,土层主要是第四系全新统的表层填土、耕植土层、砂、粉土、粉质黏土层,在水平方向上可大致划分为两个区:市林场-沙庄-祭城以南为 1 区,以北为 2 区。其中,在 1 区地面至地下 13~16 m 范围内为粉土、粉质黏土、黏土,13~16 m 以下为中细砂;2 区地面至地下 3 m 范围内为粉土(局部达 5~6 m),以下基本上为中细砂,见图 1^[3]。由于沉积环境的差异,湖区不同标高层面的岩性分布特征不同,见表 1。

2.3 水文地质条件

区内降水量适中,但年际变化量较大,年内降水分布不均,每年降水多集中在 7~9 月,每年 12 月至翌年 1~2 月降水量最少;多年平均蒸发量为 1 822.9 mm,主要集中在 4, 5, 6 三个月;多年平均相对湿度为 66.3%。

龙湖主湖区周边河流除黄河干流外,均属淮河水系贾鲁河流域,分别是金水河、东风渠、魏河、熊耳河等,现均为城市排污河道,见图 1。

根据地下水埋藏条件和水力分布性质,研究区地下水可分为浅层地下水 and 中深层地下水。其中,60 m 深度以内为浅层地下水,分为两段,上段埋深 0.0~37.0 m,以粉砂-中细砂夹薄层粉土为主,是主要的含水层,以下则以粉质黏土为主,属弱含水层及相对隔水层。60~350 m 深度内为中深层地下水。在中深层含水层与浅层含水层之间,一般有粉质黏土、黏土和粉土相隔,中深层地下水位较浅层地下水位略低。浅层地下水与中深层承压水间水力联系不密切。

现有地下水位埋深约 1.5~5.0 m,年变幅一般

在 0.34~5.0 m 之间。市林场-沙庄-祭城以南地区(1 区)单井涌水量一般为 1 000~2 000 m^3/d ,市林场-沙庄-祭城以北地区(2 区)单井涌水量一般为 1 500~3 000 m^3/d ,见图 1^[3]。

3 主湖区开挖方案确定

3.1 龙湖平均湖深的确定

龙湖平均湖深的确定主要依据以下几个方面:

(1)水质要求。衡量龙湖水系工程成败的一个关键因素就是龙湖建成后的水质指标,根据“规划”,龙湖生态水系工程全面建成后,龙湖湖区水环境质量要达到《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中的 III 类水标准,河道要达到 IV 水标准。对龙湖湖区平均水深为 2.5, 4.5, 6.5 m 种方案对龙湖水质的影响进行了研究,研究后认为 2.5 m 方案水质不能满足规划要求,4.5 m 方案和 6.5 m 方案水质情况基本接近,均能满足规划要求,而 4.5 m 方案的开挖工程量要远小于 6.5 m 方案^[6]。

(2)土方量挖填平衡。为防止龙湖建成后湖区周边土壤盐渍化,“规划”要求主湖区周边地区土地回填到 87.50 m 高程,约需土方量为 3 753 $\times 10^4 m^3$,2.5 m 方案的土方开挖量远远不能满足需要,而 4.5 m 方案的土方开挖量约为 3 069 $\times 10^4 m^3$,基本上能满足垫高需求,其实,本次研究认为,龙湖主湖区周边地区土地回填到 87.10 m 高程时就能有效防止土壤盐渍化,此时需要回填土方量 3 069 $\times 10^4 m^3$,4.5 m 方案完全能够保持土方量挖填平衡^[7]。

(3)4.5 m 方案与“规划”的龙湖平均水深 5.0 m 的方案比较接近。

本次研究就是在龙湖平均水深为 4.5 m 的方案基础上进行的。

3.2 渗透系数的确定

水利部黄河水利委员会勘测规划设计研究院对龙湖地区地层进行了室内测试、野外试坑注水及抽水试验,室内测试结果表明,龙湖地区粉土渗透系数垂向平均值为 1.78 $\times 10^{-4} cm/s$,水平方向平均值为 5.37 $\times 10^{-5} cm/s$,现场试坑注水试验结果为 5.9 $\times 10^{-4} \sim 1.3 \times 10^{-3} cm/s$,与室内结果相差较大,并且具有各向异性;室内中细砂渗透系数垂向方向平均值 1.21 $\times 10^{-3} cm/s$,水平方向平均值 7.61 $\times 10^{-4} cm/s$,抽水试验结果为 6.11 $\times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-2} cm/s$,与室内结果相差一个量级,同样具各向异性;粉质黏土渗透系数垂向平均值为 1.6 $\times 10^{-4} cm/s$,在水平方向为 9.2 $\times 10^{-5} cm/s$,也具各向异性。说明湖区各种土性混杂,且变化比较大^[3]。

本次研究考虑到上述数据的离散性较大,又在现场布置了6组稳定流抽水试验,同时利用区内原

有的一组非稳定流抽水试验的结果来确定各分区的渗透性参数, 其结果见表 2。

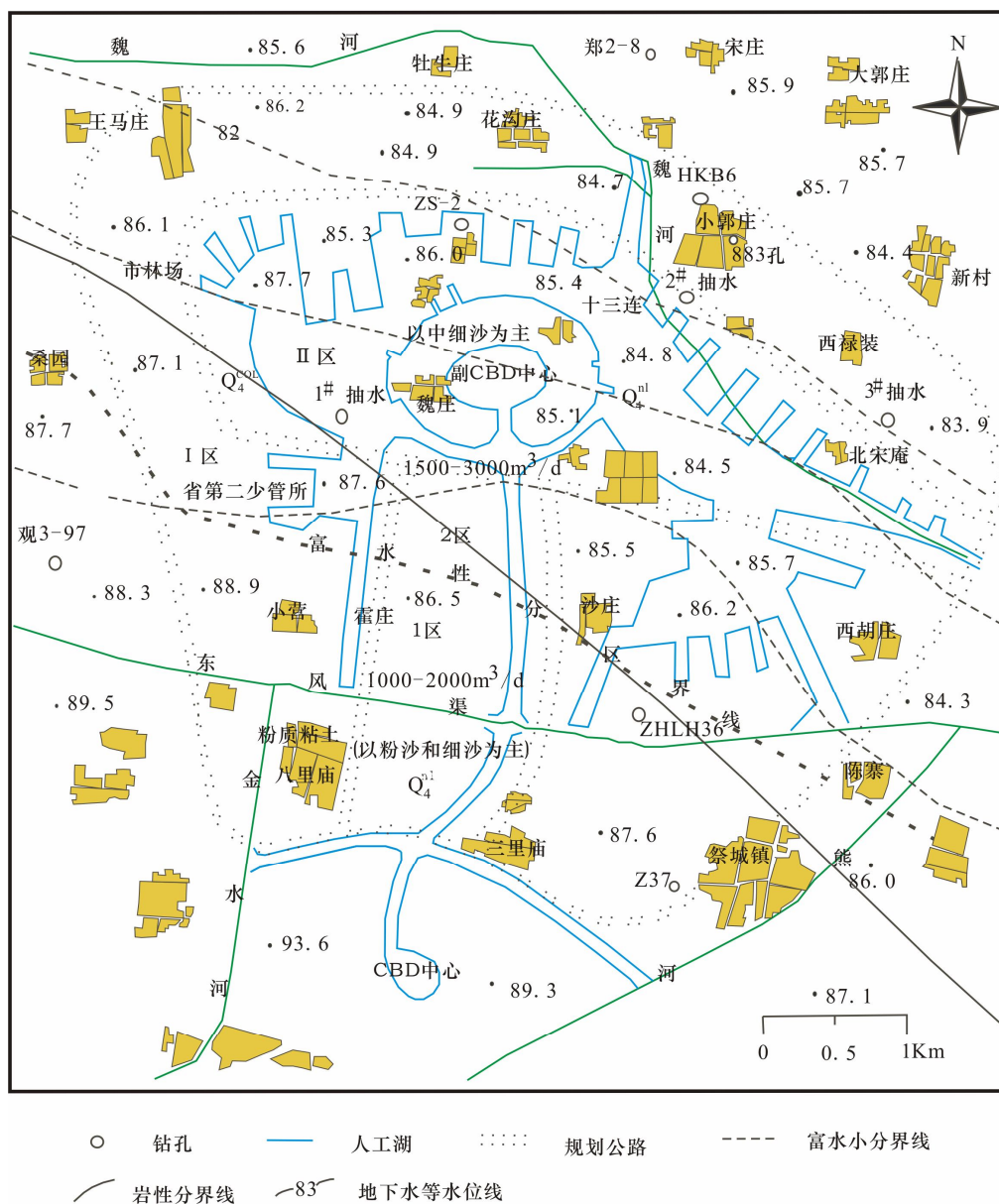


图1 龙湖主湖区地质条件

Fig.1 Geological condition of the main lake district of the Dragon Lake

表 1 龙湖主湖区不同开挖深度湖底岩性分区

Table 1 Lithological distribution of the main lake district with different excavation depths

高程 /m	湖面面积 /km ²	湖底范围内岩性分布面积及 占湖面面积的比例 /km ² /%			备 注
		中细砂	粉土	粉质黏土	
84	6.08	3.13/52	2.18/36	0.69/12	(1) 中细砂主要分布在弓庄~魏庄一带,处在“龙身”部分,分布面积最大;粉质黏土分布在小郭庄、花胡庄一带,处在“龙头、龙腰”部分;粉土分布在“龙尾”部分。 (2) 粉土:灰黄色,潮湿~饱和,稍密~中密,分布较稳定;局部还有粉、细砂及粉质黏土透镜体。厚度 1.8~6.2 m,在整个湖区均有分布,层底高程为 80.0~85.8 m。 (3)中细砂:黄色、灰黄色及浅灰色,不均匀,饱和,中密~密实,主要分布于 2 区,厚度大于 25 m,黄色、灰黄色,饱和,可塑状。
83	6.08	2.30/38	2.08/35	1.62/27	
82	6.08	2.82/47	1.03/17	2.15/36	
81	6.08	4.02/67	1.5/25	0.48/8	
80	6.08	5.21/87	0/0	0.79/13	
79	6.08	5.47/91.1	0/0	0.53/8.9	(4)粉质黏土:岩性以粉质黏土为主,其次为粉土,饱和,软塑~可塑,主要分布在 1 区,厚度 5~14 m,底板高程为 68.0~78.8 m,局部夹 1~2 m 的粉土和中砂层透镜体。
78	6.08	5.71/95.2	0/0	0.29/4.8	

表 2 龙湖湖区地层渗透系数抽水试验成果表 (中国地质大学 (北京))
Table 2 Results of the permeability coefficient with pumping tests in the area of the Dragon Lake
(China University of Geosciences, Beijing)

孔号	坐标		孔深/ m	孔径/ mm	涌水量/ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	降深/ m	渗透系数 $K/\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$
	X	Y					
B ₁	3 850 160	3 847 576 2	40	35	41	8.57	1.27×10^{-2}
B ₂	3 851 765	3 847 399 6	27	35	30	7.94	1.27×10^{-2}
B ₃	3 854 710	3 847 260 0	31	35	45	6.77	1.47×10^{-2}
B ₄	3 854 019	3 847 453 6	30	35	47	6.16	1.81×10^{-2}
B ₅	3 854 437	3 847 752 2	42	35	58.2	6.57	2.52×10^{-2}
B ₆	3 852 751	3 847 658 7	30	35	32	3.66	2.13×10^{-2}

综上所述可知,龙湖湖底土层土性变化比较大,同一种土的不均匀系数大,渗透系数离散性较大,且室内试验与现场试验结果差别较大。研究认为,室内试验结果受样品尺寸和取样质量的影响较大,龙湖湖区地层渗透系数的判定应以现场测试结果为主,室内试验结果只能作为参考。因此,本次研究将龙湖湖区中细砂层渗透系数确定为 $n \times 10^{-3} \sim n \times 10^{-2} \text{ cm/s}$,粉土、粉质黏土层渗透系数确定为 $n \times 10^{-4} \sim n \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ 。

为了合理确定渗透系数,本次研究采用三维地下水有限差分软件 PROCESSING MODFLOW 2000 和湖区周边钻孔水位长期观测资料对参数进行“反演”。研究区南北边界均为流量边界,根据初始浅层地下水位流场。分析东西边界为相对隔水边界。选取 2003 年 2 月 18 日的 15 个观测孔作为初始水位,采用克里金插值自动获得所有单元中心点的初始水位。MODFLOW 采用 6 面体单元,中心差分方法。在研究区 58 km² 范围内共分 35 列 40 行,网格大小为 200 m×200 m,剖分后全区共 1 440 个单元网格,水文地质计算模型及初始地下水位见图 2,图中⊕代表钻孔位置,模拟结果见图 3~4,图中横、纵坐标为大地坐标值。

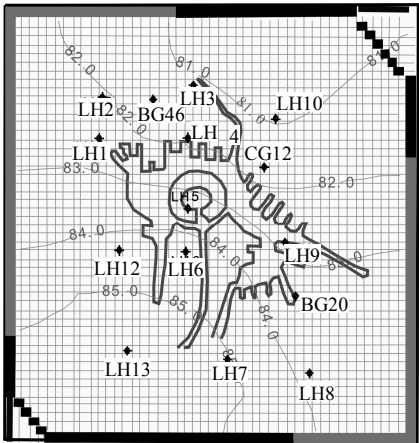


图 2 初始浅层地下水等水位线 (2003-02-18)
Fig.2 Contour map of initial shallow groundwater levels

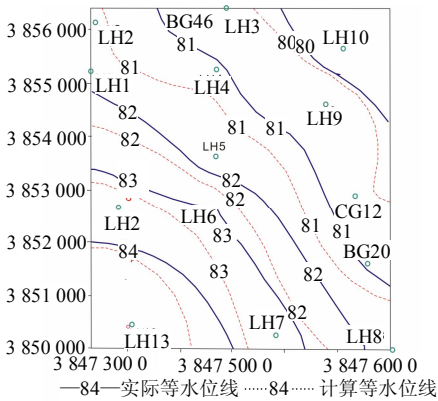


图 3 浅层地下水流场拟合曲线(2003-06-30)
Fig.3 Fitting curves of groundwater flow field

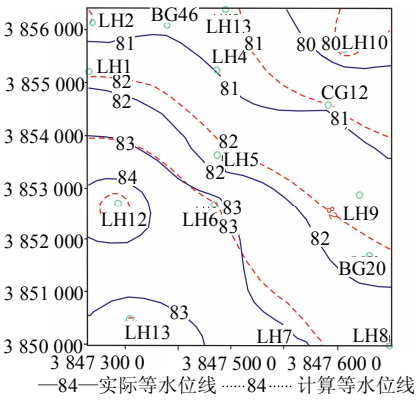


图 4 浅层地下水流场拟合曲线(2003-08-30)
Fig.4 Fitting curves of groundwater flow field

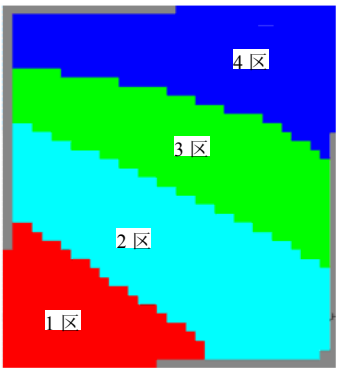


图 5 龙湖湖区地层水文地质参数优化分区图
Fig.5 Distribution of optimal hydrogeological parameters in the area of Dragon Lake

根据龙湖地区富水性分区和对现场钻孔水位的拟合, 最后将龙湖湖区分成 4 个参数区, 见图 5, 各区参数见表 3, 表中给水度 μ 值来自文献[8]。

表 3 龙湖湖区地层渗透系数分区优化参数表
Table 3 Optimal parameters of the permeability coefficient distribution in the area of Dragon Lake

参数分区号	渗透系数 $K/\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$	给水度 μ
1 区	9.26×10^{-3}	0.066
2 区	1.47×10^{-2}	0.085
3 区	1.78×10^{-2}	0.095
4 区	2.13×10^{-2}	0.11

3.3 开挖方案的确定

最初龙湖湖区平均水深确定为 2.5 m, 开挖方案为“干法开挖”, 该工艺和基坑开挖基本相同, 就是先把龙湖湖区及周边地下水位降至开挖基础面以下, 再进行开挖^[4,5]。本次研究认为, 这种开挖工艺对于平均水深为 2.5 m 成湖方案是可行的, 这是因为龙湖主湖区西南部地下水位埋深最大约 3.5 m, 中间部分埋深最大约 2.5 m, 东北部埋深最大 3.0 m, 因此, 降水工程比较容易, 工程量也小, 工期也不会太长; 另外, 对地下水系统的影响和环境方面影响也较小。但对于已确定的平均水深为 4.5 m 的方案来讲, “干法开挖”方案就不合适了, 这是因为:

(1) “干法开挖”对地下水资源疏干严重

本次研究采用 MODFLOW 程序对“干法开挖”方案疏干的地下水资源量进行了计算, 降水期取一个水文年(12 个月), 渗透系数和给水度取值见表 3。计算结果表明, 若采用干法开挖, 日地下水排水量为 $14.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$, 地下水下降漏斗影响范围 89.34 km^2 , 影响半径达 5 334 m, 整个降漏斗影响范围内地下水总排水量为 $5\,256 \times 10^4 \text{ m}^3$, 占浅层地下水储量的 1/3。

(2) “干法开挖”会加剧地下水环境污染

龙湖周边金水河、熊耳河、东风渠等河流是郑州市的主要纳污河流, 污水排放总量占郑州市整体污水量的 99.5%, 水体中主要污染物是有机污染物和含氮、磷的营养盐类, 目前, 这些河流水质总体为 V 类~劣于 V 类水^[6]。若采用“干法开挖”, 肯定会导致该地区地下水位下降, 周边这 4 条污水河将回灌, 势必会对地下水造成极大的污染。目前, 在东风渠及贾鲁河两侧, 浅层地下水中 Cl^- 、 SO_4^{2-} 含量较高, 可达 100~148 mg/L, 其主要原因是由于引污灌溉及排污河污水下渗所致。

(3) “干法开挖”会引发地面沉降

“干法开挖”需布设大量抽水井进行排水, 地下水的抽取将使含水土层固结、压缩, 形成地面沉降。龙湖地区分布有大量的粉土、粉质黏土, 开挖后肯定会引发大面积地面沉降, 对主湖区周边大面积基本农田和大量农田水利设施造成破坏。

综上所述, 对于龙湖这样大规模的水系工程来讲, 采用“干法开挖”方案肯定是不合适的。调查表明, 我国目前许多人工湖均采用干法和湿法相结合的“综合开挖”方案, 如宁夏沙坡头水利枢纽工程水下最大开挖深度为 7.2 m、浙江外雄水电站枢纽水下开挖最大深度为 5.8 m, 天津堆山造井工程、上海等地的人工湖开挖等。“综合开挖”方案指的是在地下水位以上部分直接开挖, 在地下水位以下部分也采用分区分段直接开挖, 不需降水。因此, 本次研究认为, 龙湖主湖区工程宜采用干法和湿法相结合的“综合开挖”方案。同“干法开挖”方案相比, 该方案不仅可以将上述 3 个方面的损失降低很多, 而且从施工机械、工程投资等角度来讲, 也没有较大的问题。

(1) 目前的开挖机械水平完全能够满足 4.5 m 方案要求。

(2) 本次研究对 2.5 m 方案采用“干法开挖”和 4.5 m 方案采用“综合开挖”的工程投资进行了初步估算: 2.5 m 方案约需 110 798 万元; 4.5 m 方案约需 111 628 万元, 4.5 m 方案虽然在成湖工程上投资要大, 但由于没有基坑排水费用, 回填和临时征地费用也比较小, 因此, 工程投资两者相差不多, 而且综合考虑长远的运行、环保、水土流失等因素, 4.5 m 方案还是要优于 2.5 m 方案的。

4 防渗方案确定

4.1 成湖后渗漏量计算

龙湖湖区地质条件表明, 龙湖成湖后, 湖区水体肯定会发生渗漏, 黄河水利委员会勘测规划设计研究院对成湖后湖区水体的渗漏量进行了预测分析, 认为在平均湖深为 2.5 m 情况下, 如不采取工程防渗措施, 渗漏量约为 $2\,698 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{a}$ 。

中国地质大学(北京)根据浅表地层岩性分布情况, 对多个渔塘进行了渗漏调查, 经统计, 龙湖成湖后的渗漏量见表 4^[9]。

在平均湖深为 4.5 m 情况下, 龙湖成湖后湖区第一年每天的渗漏量约为 $15.34 \times 10^4 \text{ m}^3$, 以后每天渗漏量约 $10.58 \times 10^4 \text{ m}^3$; 第 1 年的渗漏量为 $5\,599 \times 10^4 \text{ m}^3$, 以后每年的渗漏量约为 $3\,862 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

根据规划, 龙湖每年可以从黄河引水 $6\,000\times10^4\text{ m}^3$, 为保证湖水水质, 这些水需分 3 次更换, 按照上述湖区渗漏量, 黄河引水根本不能解决问题, 也就是说, 龙湖开挖后不能蓄至规划高程, 考虑到在引水过程中的水量损失, 就更难达到蓄水要求了。因此, 必须对湖底进行工程防渗处理。

表 4 不同深度湖底渗漏量
Table 4 Seepage of different depths from the bottom

水深/ m	入渗强度 (第 1 年~第 2 年后) ($\times10^{-5}\text{ cm/s}$)	渗漏量 (第 1 年~第 2 年后) / $\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$	渗漏量 (第 1 年~第 2 年以后) / $\times10^4\text{ m}^3/\text{a}$
2.5	1.66~1.11	8.60~5.70	3139~2081
4.5	2.96~2.045	15.34~10.58	5599~3862
6.5	3.98~2.747	20.60~14.21	7519~5187

4.2 防渗方案的确定原则

龙湖防渗面临两个方面的问题: 一是, 如果湖底不采用防渗措施, 龙湖可能成不了湖; 二是, 如果采用传统的水工土工膜防渗工艺, 则龙湖蓄水成湖没有问题, 但可能会引发水质问题。因此, 本次研究认为, 对于郑州这样一个缺水的大型城市, 龙湖防渗方案既要满足蓄水成湖要求, 又要使建成后的龙湖水质满足景观用水要求, 这就是龙湖防渗方案的确定原则。

4.3 水中抛土防渗工程

在查阅大量资料和广泛调研的基础上, 根据上述确定原则, 综合考虑龙湖地区料场土料性质、规模、防渗效果和环境等因素, 本次研究提出水中抛土的防渗方案。该方案其实在国内外已得到较广泛的应用。目前国际上最大的水中抛土防渗工程是巴基斯坦的太伯位大坝, 坝高 110 m, 用人工铺盖防渗, 运行一年后发现铺盖渗透破坏, 有很多塌坑, 最后用水中抛土的方法进行了修补, 以后照常运行。国内许多水利工程也采用水中抛土的方式进行防渗, 取得了较好的应用效果。《水利工程的养护与修理》一书中提到, 处理土坝或堤防异常渗漏的基本原则是“上堵下排”。其中, 上游防渗的主要技术措施有: 建造防渗斜墙、防渗心墙、翻修上游坝坡辗压密实形成防渗体、水中抛土形成防渗铺盖、采用水工织防渗塑料薄膜构造防渗斜墙等。牛运光撰写的“试论病险水库加固措施”一文中提到, 在水库水平铺盖加固过程中, 在特殊情况下, 如不能放空水库时, 也可利用水中倒土、深水抛土、冰上凿孔抛土及人工放淤等方法。《水工建筑物保养修理规程》第二章“养护修理”第 7.7 条规定, 对坝体的滑坡处理, 应根据其产生的原因、部位、大小、严重程度

及水库内水位高低等情况, 进行具体分析, 采取适当的措施。若水库已经蓄水, 可向水中大量抛土, 用来增加坝坡稳定和防渗能力; 待库水位降低后, 再将松散的滑坡体清除, 重新回填夯实。另外, 水中抛土还经常被用来进行堤防抢险中“闭气”。

3.4 水中抛土室内防渗试验研究

大量实际工程经验表明, 水中抛土防渗方案存在主要问题之一就是在第 1 年运行中防渗效果不太好, 运行 1 年以后防渗效果就会有较大地提高。本次研究采用大型垂直渗透仪对龙湖周边料场土样进行了室内试验研究, 抛填水深 1.0 m, 最大抛填土块直径控制在 5~6 cm 范围内, 土块含水率保持天然含水率。所需的 7 个土样分别来自龙湖水系工程的 4 个料场, 试验结果表明, 4 号料场土样防渗效果最好, 该土样颗分及物理性质指标见表 5 和表 6; 防渗试验结果见表 7, 渗透系数与时间的关系曲线见图 6 和图 7。

表 5 4 号土样颗分试验结果
Table 5 Results of gradation of test for soil sample No.4

土样 编号	粒组含量/%		
	<0.005 mm	0.005~0.075 mm	0.075~0.1 mm
4	20.5	70.5	9.0

表 6 4 号土样物理性质指标
Table 6 Physical appearance indexes for soil sample No.4

土样 编号	天然密度 / $\text{g}\cdot\text{cm}^3$	天然含 水率/%	干密度 / $\text{g}\cdot\text{cm}^3$	液限 /%	塑限 /%	塑性 指数	土的 定名
4	2.64	20.01	1.60	34.1	18.3	15.8	低液限黏土

表 7 4 号土样水中抛土室内试验结果
Table 7 Results of indoor test of ejecting soil into
water for soil sample No.4

土样编号	抛土厚度 / cm	干密度 ρ_d / $\text{g}\cdot\text{cm}^3$		渗透系数 $K/\times10^{-5}\text{ cm}\cdot\text{s}$
		试验前	试验后	
4	81.2	1.30	1.33	7.12
4	99.5	1.36	1.40	5.17

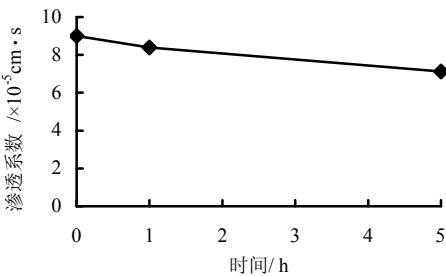


图 6 水中抛土渗透系数试验成果 (防渗层厚 81.2 cm)
Fig.6 Results of the permeability coefficient when ejecting
soil into water (the thickness of seepage
-proofing layer 81.2 cm)

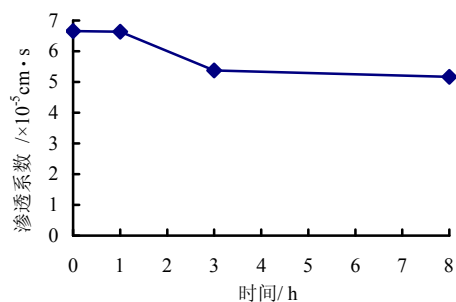


图 7 水中抛土渗透系数室内成果 (防渗层厚 99.5 cm)
Fig.7 Results of the permeability coefficient when ejecting soil into water (the thickness of seepage-proofing layer 99.5 cm)

3.5 防渗效果预测

根据上述试验结果,进行了两个防渗方案的渗漏水计算:(1)在 83.00 m 高程(地下水位高程)以下采用水中均匀抛填壤土形成防渗铺盖,渗透系数达到 $7.12 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$,厚度 81.2 cm;在 83.00 m 高程(地下水位高程)以上,采用碾压方式形成防渗铺盖,渗透系数达到 $5 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$,厚度 50 cm;(2)在 83.00 m 高程(地下水位高程)以下采用水中均匀抛填壤土形成防渗铺盖,渗透系数达到 $5.17 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$,厚度 99.5 cm;在 83.00 m 高程(地下水位高程)以上,采用碾压方式形成防渗铺盖,渗透系数达到 $5 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$,厚度 50 cm。计算仍采用 PROCESSING MODFLOW2000 程序,计算结果见图 8 和图 9。

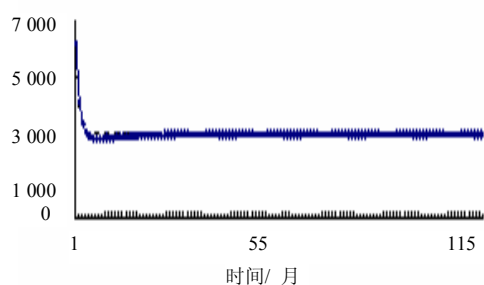


图 8 采用防渗方案 (1) 渗漏水预测结果
Fig.8 Forecasting results of seepage with seepage control scheme (1)

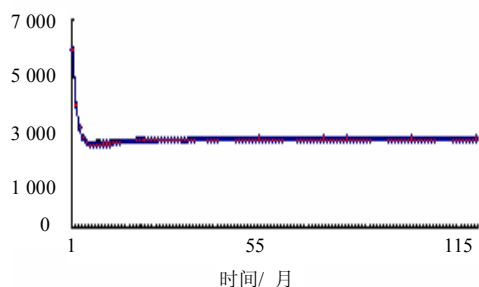


图 9 采用防渗方案 (2) 渗漏水预测结果
Fig.9 Forecasting results of seepage with seepage control programme (2)

上述计算结果表明,方案(1)和方案(2)在水中抛土后刚开始 1 个月渗透量很大,方案(1)为 $62\,209 \text{ m}^3/\text{d}$,方案(2)为 $59\,763 \text{ m}^3/\text{d}$,以后逐渐降低,第 1 年末平均近 $33\,000 \text{ m}^3/\text{d}$,以后各年渗漏量降低,基本维持在近 $30\,000 \text{ m}^3/\text{d}$,每年的总渗漏量约为 $1\,095 \times 10^4 \text{ m}^3$,规划中的引水工程完全能满足渗漏需求。

5 开挖与防渗工艺简介

经对多个方案的比选和实际工程考察,本次研究提出龙湖主湖区在 83.0 m 高程以上采用“干法开挖”施工,83.0 m 高程以下采用“水下开挖”施工,原则上按照由浅到深,先周边后主体的顺序进行。水中抛土防渗以边挖边抛填的工艺为主,辅以推土机填筑防渗工艺(水深 0.5 m 以下),83.0 m 高程以上采用碾压铺盖的工艺进行防渗。在水中抛土工程中,可能会出现湖底凹凸不平和抛土不太密实的情况,可采用自制式拖平器和振动棒等工艺,并结合水下测量,以保证水中抛土防渗的效果。

6 结 论

(1)在已有成果的基础上,对龙湖水质要求、黑川纪章规划、土方需求以及大量实际工程经验进行综合分析后,确定龙湖开挖平均深度为 4.5 m。

(2)现场调研、室内外试验、水质分析及数值分析计算结果表明,“干法开挖”会对龙湖地区的地下水系统和地质环境造成严重的破坏,结合实际工程经验,研究认为,龙湖开挖需采用干法和湿法相结合的“综合开挖”方案。

(3)研究表明,龙湖成湖必须进行防渗处理,在对开挖方式、室内试验结果的基础上,结合大量实际工程经验,本次研究提出水中抛土的防渗方案,并对龙湖蓄水后的渗漏量进行了分析计算,结果表明,龙湖蓄水后第一年的渗漏量较大,以后每年渗漏量约为 $1095 \times 10^4 \sim 1205 \times 10^4 \text{ m}^3$,规划中的引水工程完全能满足渗漏需求。

(4)龙湖这样规模的城市人工湖建设在我国尚属首次,建议在正式开挖之前,先在现场进行试挖工程,对开挖、防渗设计进行优化,具体包括开挖过程中引发的地质灾害、水中抛土厚度等。

参 考 文 献

- [1] 郑州市郑东新区龙湖地区概念规划深化最终结果[R]. 日本:日本黑川纪章建筑都市设计事务所. 2002.3.
- [2] 郑州市郑东新区龙湖地区控制性详细规划最终报告书[R]. 日本:日本黑川纪章建筑都市设计事务所. 2003.8.