

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2008.06.005

堤防截渗墙加固对圩区地下水水质的影响

刘建成¹, 孔莉莉²

(1.江西省水利厅农村水利处,江西 南昌 330009;2.河海大学农业工程学院,江苏 南京 210098)

摘要:为了研究圩区堤防截渗墙封闭率对圩区内地下水水质的影响,以江西省赣抚圩区大堤为研究对象,通过野外试验分析,并运用 Visual MODFLOW 计算软件对大堤在截渗墙不同封闭率条件下地下水水质的变化趋势进行了数值模拟.结果表明,现状封闭率(0.75)不会造成地下水中总氮累积超标,封闭率的合理选择可以缓和堤防加固与圩区水环境之间的矛盾.

关键词:圩区;截渗墙;堤防封闭率;地下水水质;赣抚圩区

中图分类号: X143;TV871 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1980(2008)06-0748-05

近年来,为提高圩区堤防抵御洪涝灾害的能力,常采用垂直封闭截渗墙技术对其进行加固和堤基防渗处理.这种加固技术,有效阻隔了洪水期外河高水位的堤基渗透,大大减少了管涌、流土、散浸等堤防隐患,改善了堤防的安全状况.但是,除了汛期短时的截渗护堤外,其他时段封闭截渗墙则成为堤内外地下水渗流的障碍,使得圩区内外地下水不能自由交换.因截渗墙的阻隔,可能造成圩区内地下水水位升高,加剧农田土壤渍害、沼泽化和地温降低等环境问题.同时,由于土壤中肥料、农药、盐分的淋溶而在地下水中不断积聚,可能会引起圩区内地下水水质变化,给区域生态环境带来不利影响.国内外学者在圩区地下水运动与污染物运移方面已做了大量工作^[1-4],但以前的研究主要是针对开放型边界,对于圩区在不同封闭率条件下水环境模拟及治理规划的研究成果不多.本文以江西省赣抚圩区大堤为研究对象,通过野外试验与数值模拟的方法,研究截渗墙不同封闭率对圩区地下水水质的影响,运用 Visual MODFLOW 计算软件对大堤在截渗墙不同封闭率条件下地下水水质的变化趋势进行数值模拟,给出在截渗墙不同封闭率条件下圩区地下水水质随时间变化的规律,选择合理的堤防整治封闭率,以期对类似圩区水利工程治理规划与管理提供决策参考.

1 野外试验

1.1 赣抚圩区概况^[5]

江西省赣抚圩区总面积 201.38 km²,耕地面积 145 km².赣抚大堤为圩区的骨干堤防,是赣江下游以东、抚河下游以西一带广阔平原、城镇的安全屏障.据观测资料统计,圩区内多年平均降水量 1 586.5 mm,多年平均蒸发量 1 131.10 mm.圩区内地面平均高程 28 m,农作物以水稻为主.地下水以孔隙潜水为主,埋藏于第四系砂砾石层中,水量丰沛.地下水与外河水联系密切,汛期有明显承压性.

针对赣抚大堤的地形、地质条件,本圩区堤防采用了垂直截渗治理技术,采用封闭截渗加固处理的堤防长度占圩区堤防总长的 75%,即现状封闭率 $\alpha = 0.75$.治理后对阻隔洪水期外河高水位,减少管涌、流土、散浸等堤防隐患起到十分重要的作用.但同时采用截渗墙后圩区地下水水质发生了不同程度的变化.近年来水质分析资料表明,地下水对混凝土构件有中等碳酸性侵蚀,局部有溶解性侵蚀.

1.2 野外试验方法

选取赣抚大堤樟树段为研究对象,在桩号 14 + 330(无垂直截渗墙)、16 + 280(有垂直截渗墙)、25 + 172(有垂直截渗墙)和 27 + 175(无垂直截渗墙)处(图 1),垂直大堤方向每隔大约 200 m 埋设 1 条测压管,总共埋设 16 条测压管.自 2000 年 1 月至 2002 年 11 月每月分别对 14 + 330、16 + 280、25 + 172 及 27 + 175 这 4 个大堤断面观测井中地下水水质进行观测,观测记录数据见表 1.

收稿日期:2008-03-24
作者简介:刘建成(1949—),男,江西丰城人,高级工程师,主要从事水工建筑物与水环境研究.

应污染物质量浓度.不同年份之间,地下水水质呈波动性变化,不同水质指标值有升有降,这是由于截渗墙的存在,阻碍了圩区内外地下水的交换,使得污染物在地下水中有积聚趋势,导致圩区内局部区域地下水污染物质量浓度增高.但无截渗墙区域,地下水水质指标值无明显变化.总体上,整个圩区水环境无明显的变化.

2 数值模拟

2.1 模型选择

赣抚圩区可概化为非均质各向同性的潜水含水系统.本文采用 Visual MODFLOW 计算模型进行模拟预报.以往的数值模型在计算中往往采用越流系数分区赋值,这一数值一般是理论计算值或经验值,给模型计算带来了不确定性^[6-9].因此,在 Visual MODFLOW 模型中采用准三维模型^[10],在模型中的每个单元上都要考虑两含水层之间弱透水层的渗透性能与厚度因素,进行垂向补给量的模拟.具体在模型中需要计算每个单元的越流参数 V_{CONT} :

$$V_{\text{CONT}} = \frac{2}{\frac{\Delta Z_u}{K_{uz}} + \frac{2\Delta Z_c}{K_{cz}} + \frac{\Delta Z_l}{K_{lz}}}$$

式中: K_{uz} , K_{cz} , K_{lz} ——上部含水层、弱透水层和下部含水层的垂向渗透系数; ΔZ_u , ΔZ_c , ΔZ_l ——上部含水层、弱透水层和下部含水层的厚度.

2.2 计算方法

准三维情况下,选择赣抚圩区东部边界为流线边界,或零通量边界.西部为赣江,存在侧向补给,故西部确定为侧向补给边界.赣东圩区的北部与南部边界为水位边界,但并非固定水位边界,处理为随时间变化的函数.在本模型中具体使用了用来模拟随水头变化而变化的流量边界和随时间变化的已知水位边界.边界水位变化的预测可利用长期观测资料建立随机模型来完成.通过建立的随机模型,可解决边界水位在计算中不断变化的问题,进而分析圩区地下水水质随时间变化的问题.对水质模拟,根据观测资料输入相应的边界条件,包括定浓度边界、补给浓度边界、蒸发浓度边界及点源浓度边界等.另外,赣抚圩区平面尺寸为 $11\,937\text{ m} \times 16\,870\text{ m}$,考虑到效率与精度取计算单元个数为 $120 \times 168 = 20\,160$ 个.

2.3 模型验证

为了验证计算模型和方法的合理性,选择有代表性的特征点进行分析,其中:OW1 为圩区靠近堤防未封闭段的一点,OW3 点位于居民生活区内,OW5 点位于农田内,OW6 点为靠近山区的林地特征点.4 个特征点的位置分布见图 1.借助 Visual MODFLOW 先对截渗墙现状封闭率 ($\alpha = 0.75$) 条件下地下水中污染物(以总氮为研究对象)浓度进行模拟.通过将 2001 年(1 月、4 月、6 月、7 月、9 月、11 月、12 月)及 2002 年(1 月、3 月、4 月、5 月)实测值与计算模拟值对比可知,模拟值与实测值基本一致,最大相对误差为 13.37%(图 2),说明模拟结果可靠,该模型可用于圩区水环境中长期模拟预测.

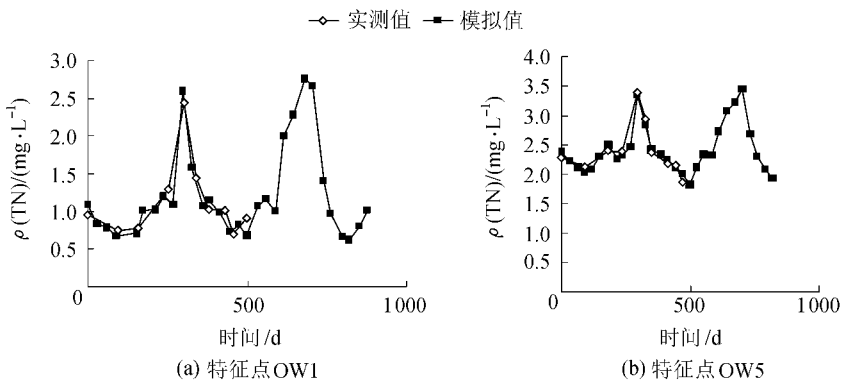


图2 截渗墙现状封闭率条件下总氮质量浓度实测值与模拟值对比

Fig.2 Comparison between the observed data of total nitrogen concentration of groundwater and the simulated results at the characteristic spots under the existing closing ratio

3 结果分析

3.1 模拟预测结果

为预测截渗墙不同封闭率条件下圩区内地下水水质的中长期变化趋势,仍然选择 OW1,OW3,OW5 和 OW6 等 4 个有代表性的特征点(观测井)进行分析,运用 Visual MODFLOW 准三维模型进行数值模拟,得出在现状封闭率($\alpha = 0.75$)条件下圩区内各特征点 30 年内地下水总氮质量浓度模拟结果以及在模拟封闭率 $\alpha = 0.50$ 与 $\alpha = 0.90$ 条件下各特征点地下水总氮质量浓度模拟结果,见表 2。

3.2 模拟结果分析

由表 2 可知 (a)在现状截渗墙封闭率($\alpha = 0.75$)条件下,通过对实际工程的模拟计算,特征点 OW1,OW3,OW5 和 OW6 处年平均总氮质量浓度在 30 年内分别增长 1.05mg/L,1.19mg/L,1.56mg/L 和 0.99mg/L(是指计算期的第 30 年与第一年相比)。圩区 30 年内平均总氮质量浓度变化范围为 1.233 ~ 5.055 mg/L,年平均总氮质量浓度在 30 年内增长 1.46 mg/L,30 年内年平均总氮质量浓度增长最大的为 OW5 处,最大值为

1.56 mg/L。(b)在模拟截渗墙封闭率 $\alpha = 0.50$ 条件下,30 年内各特征点处地下水总氮质量浓度变化趋势不明显,30 年内年平均总氮质量浓度增长最大的为 OW5 处,最大值为 1.08 mg/L。(c)在模拟截渗墙封闭率 $\alpha = 0.90$ 条件下,特征点 OW1,OW3,OW5 和 OW6 处,年平均总氮质量浓度在 30 年内分别增长 1.75 mg/L,2.53 mg/L,2.81 mg/L 和 1.99 mg/L,30 年内年平均总氮质量浓度增长最大的为 OW5 处,最大值为 2.81 mg/L。根据以上模拟计算结果可知:

a. 在 $\alpha = 0.75$ 条件下 30 年内圩区地下水总氮质量浓度不会超标。总体上,靠近截渗墙的区域地下水中总氮质量浓度比无截渗墙区域高,圩区内部地下水总氮质量浓度比外河水高,但变化趋势不明显。分析其原因,可能一方面是由于土壤和水体自身对总氮的吸附、分解等过程;另一方面由于圩区地处中国南方区域,雨量充沛,封闭率适当,圩区内外地下水的交换状况良好,地下水中的总氮累积程度相对较轻。

b. 在 $\alpha = 0.9$ 时圩区地下水总氮的最高、最低质量浓度都明显高于 $\alpha = 0.75$ 和 $\alpha = 0.5$ 时地下水总氮的最高、最低质量浓度。这充分说明高封闭率截渗墙虽然可以更好地加固堤防,但同时也会对圩区地下水水质有较大影响。这是由于实施一定范围内的连续性垂直截渗墙治理措施后,截渗墙阻碍了圩区内外地下水的交换,总氮在地下水中不断地积聚导致圩区内地下水的总氮质量浓度增高,从而使得整个圩区水环境受到明显的影响。

c. 3 种封闭率条件下 30 年内各特征点的年平均总氮质量浓度都存在不同程度的增长,增长最大值都发生在 OW5 处。该处代表农田区域,由于土壤中肥料、农药、盐分的淋溶随时间变化不断地在地下水中积聚,圩内外地下水在截渗墙的阻碍下得不到及时的渗透交换,因而造成此处总氮比其他 3 处有较大积聚现象;而 30 年内年平均总氮质量浓度增长最小值都发生在 OW6 处,OW6 为靠近山区的林地,上边界污染源小,因而该区域地下水总氮质量浓度增长最小。

4 结 论

通过野外观测试验,并运用 Visual MODFLOW 准三维模型数值模拟方法,模拟预测 30 年内不同截渗墙封闭率条件下圩区地下水水质的变化趋势。结果表明:在截渗墙现状封闭率($\alpha = 0.75$)条件下,30 年内地下水总氮质量浓度不会超标。随着封闭率增加,截渗墙对阻碍圩区内外地下水交换的影响增大,总氮在地下水中不断地积聚,导致圩区内地下水的总氮质量浓度增高,圩区点面水环境均会受到明显的影响。

表 2 30 年内截渗墙不同封闭率条件下各特征点地下水总氮质量浓度模拟结果

Table 2 Simulated results of total nitrogen concentration of groundwater within 30 years at different characteristic spots under different closing ratios					
特征点	封闭率 α	最高总氮质量浓度/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	出现日期	最低总氮质量浓度/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	出现日期
OW1	0.50	3.10	2025-11-15	0.19	2025-05-15
OW3	0.50	3.73	2031-01-15	1.19	2012-06-15
OW5	0.50	6.66	2031-09-15	2.03	2007-06-15
OW6	0.50	2.61	2031-01-15	0.10	2006-06-15
OW1	0.75	4.11	2033-11-15	0.57	2009-06-15
OW3	0.75	4.25	2033-11-15	1.50	2007-06-15
OW5	0.75	7.82	2032-06-15	2.59	2004-06-15
OW6	0.75	3.63	2031-01-15	0.18	2004-06-15
OW1	0.90	4.60	2032-11-15	0.62	2004-06-15
OW3	0.90	6.18	2032-11-15	1.44	2004-06-15
OW5	0.90	9.40	2032-01-15	2.695	2004-06-15
OW6	0.90	4.93	2031-01-15	0.256	2003-06-15

圩堤垂直截渗墙加固技术能有效地阻隔汛期圩区外河水位的堤基渗透,减少管涌、流土和散浸等堤防隐患,有效保护圩区安全,但不当工程也会给圩区水环境带来不利影响,因此,合理选取截渗墙封闭率,优化工程布局,对圩区生态水利工程建设,对促进圩区农业可持续发展均具有重要指导意义。

参考文献:

- [1] 张家发,吴昌瑜,李胜常,等.堤防加固工程中防渗墙的防渗效果及应用条件研究[J].长江科学院院报,2001(5):56-60.
- [2] 刘衍美.大沽河下游地下水截渗墙建设前后水质分析与防治对策[J].地下水,2005,27(1):23-24.
- [3] 徐卫军,李刚.长江堤防防渗墙对堤内地下水位的影响分析[J].长江科学院院报,2003,20(5):51-54.
- [4] VRBA J,ROMIJN E.农业活动对地下水的影响[M].北京:地质出版社,1991.
- [5] 詹红丽,张展羽,刘建成,等.封闭圩区水环境治理规划[J].中国农村水利水电,2003(11):37-39.
- [6] JURY W A. Simulation of solute transport using a transfer functions model[J]. Water Resources,1982,18(2):363-368.
- [7] JURY W A, SPOSITO G, WHITE R E. A transfer function model of solute transport through soil:1 fundamental concept[J]. Water Resources,1986,22(2):243-247.
- [8] WHITE R E, DYSON J S, HAIHG R A. A transfer function model of solute transport through soil:2 illustrative applications[J]. Water Resources,1986,22(2):248-254.
- [9] JURY W A, DYSON J S, BUTTER G L. Transfer function model of field scale solute transport under transient water flow[J]. Soil Sci Soc Am J,1990,54:327-332.
- [10] 詹红丽,张展羽,王南海,等.圩区水环境治理规划及地下水溶质运移预测模拟[J].河海大学学报:自然科学版,2003,31(5):522-525.

Influence of reinforcement of cut-off walls for dikes on groundwater quality of polder areas

LIU Jian-cheng¹, KONG Li-li²

(1. Rural Water Resources Division, Water Resources Department of Jiangxi Province,
Nanchang 330009, China;

2. College of Agricultural Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: To study the influence of the closing ratio of the cut-off walls for dikes in the polder areas on the groundwater quality, the dike of Ganfu polder area in Jiangxi Province was taken as a case. Based on the field tests, the changing trend of the groundwater quality under different closing ratios of the cut-off walls was simulated by use of the software Visual MODFLOW. The results show that the existing closing ratio(0.75) will not lead to the excessive accumulation of TN in groundwater, and the reasonable closing ratio of the cut-off walls may mitigate the contradiction between the water environment in the polder areas and the reinforcement of the dikes.

Key words: polder area; cut-off wall; closing ratio of dikes; groundwater quality; Ganfu polder area