

南水北调济东明渠农田浸没问题研究

王宪法¹, 刘文静², 汪新健³

(1. 山东省海河淮河小清河流域水利管理服务中心, 山东 济南 250100;

2. 山东省国土空间生态修复中心, 山东 济南 250014; 3. 青岛市水利勘测设计研究院有限公司, 山东 济南 250013)

【摘要】南水北调济东明渠是山东省内重要输水通道, 在运行过程中, 渠道外局部农田受到一定的浸没影响。文章针对济东明渠某段堤内农田地下水浸没问题, 根据农作物根系长度及土壤中毛细水上升高度的不同确定了轻微浸没和严重浸没两种程度的地下水临界埋深。基于 GeoStudio 软件下的 SEEP/W 模块构建了非饱和-饱和渗流数值模型, 运用现状运行工况下的实测资料验证了模型的可靠性, 并对设计水位和加大水位两种工况进行了渗流仿真运算, 得到渠道在 3 种工况下输水运行时研究区内地下水位埋深的分布情况; 研究了输水运行水位抬升对浸没面积的影响及其变化趋势, 得出产生浸没的主要原因为渠道未进行防渗措施、截渗沟、农田排水系统不完善等, 并提出建议。

【关键词】南水北调工程; 济东明渠; 地下水浸没; 渗流模型; 农业生产

【中图分类号】F323.213

【文献标志码】A

【文章编号】1009-6159(2026)-05-0069-04

Study on Farmland Inundation Problem of Jidong Open Channel of the South-to-North Water Diversion Project

WANG Xianfa¹, LIU Wenjing², WANG Xinjian³

(1. Haihe River, Huaihe River and Xiaoqinghe River Basin Water Conservancy Management and Service Center of Shandong Province, Jinan, Shandong 250100, China; 2. Shandong Provincial Territorial Spatial Ecological Restoration Center, Jinan, Shandong 250014, China;

3. Qingdao Water Conservancy Construction Survey Design Research Institute Co., Ltd. Jinan, Shandong 250013, China)

Abstract: The Jidong Open Channel of the South-to-North Water Diversion Project is an important water diversion corridor in Shandong Province. During operation, partial farmland outside the channel is affected by inundation. Aiming at the groundwater inundation of farmland inside the dike along a section of the Jidong Open Channel, this paper determines the critical groundwater burial depths for slight and severe inundation according to crop root length and capillary water rise height in soil. An unsaturated-saturated seepage numerical model is established by adopting the SEEP/W module of Geo-Studio software. The reliability of the model is verified by measured data under current operating conditions. Seepage simulation calculations are carried out under design water level and increased water level working conditions, and the distribution of groundwater burial depth in the study area under three water diversion operating conditions is obtained. The influence and variation trend of rising water transportation level on inundated area are studied. It is concluded that the main causes of inundation are lack of channel anti-seepage measures, imperfect interception drainage ditches and farmland drainage systems, corresponding suggestions are put forward.

Key words: South-to-North Water Diversion Project; Jidong Open Channel; Groundwater inundation; Seepage model; Agricultural production

南水北调济东明渠位于山东省境内, 是南水北调东线工程的重要组成部分, 是连接东平湖与胶东地区的关键输水通道。该工程将长江水经京杭大运河、东平湖调蓄后, 通过明渠和管道输送至鲁中及胶东地区, 缓解鲁中、胶东等地的水资

源短缺问题, 同时兼顾生态补水、农业灌溉和防洪排涝功能^[1]。济东明渠全长约 90 km, 设计流量 50 m³/s, 采用明渠与局部暗涵结合的输水形式。

收稿日期: 2025-11-22

作者简介: 王宪法(1992—), 男, 工程师

作为随南水北调东线一期工程的一部分,2013 年正式通水,年均调水量可超过 3 亿 m^3 。

经实地调查,济东明渠堤防内靠近明渠处局部农田地面出现浸没、麦苗稀疏现象,葡萄、紫藤花等经济作物也出现一定的减产现象。杨建锋、郭枫等指出,浸没现象对场区内种植的小麦、葡萄、紫藤花等作物可能会产生以下影响:地下水埋深过浅,导致土壤中的氧气减少,农作物主根系过湿,影响农作物主根系的呼吸,蒸腾速率降低,限制农作物的生长和发育,进而导致产量下降;随着不同供水工况的切换,浸没影响区域易发生次生盐渍化现象,使得土壤中盐分、酸碱度和营养物质等含量不稳定,可能需要增加农药和肥料的使用,从而增加了生产成本;严重浸没区地下水直接影响农作物根系的生长,农作物根系长期浸泡在水中可能会导致根系死亡;轻微浸没区地下水通过土壤毛细管上升至农作物根系附近,影响农作物主根系的呼吸,可能会引起农作物生长发育不良从而导致减产^[2-3]。

文章以济东明渠某段堤防内侧农田为研究对象,综合考虑研究区域内的地形地貌、地层岩性、水文地质条件等,建立了研究区域的地质概化模型,并采用 GeoStudio 中的 SEEP/W 软件,建立了地下水渗流模型,分析济东明渠在不同输水工况下稳定运行时对研究区内农田浸没情况的影响。

1 理论基础

1.1 地下水浸没临界埋深

$$H_{cr}=H_k+\Delta H \quad (1)$$

式中: H_{cr} 为浸没地下水埋深临界, m ; H_k 为土的毛管水上升高度, m ; ΔH 为安全超高值, m ^[4]。

根据水利水电工程地质勘察规范“附录 D”的相关规定,此次研究根据不同农作物根系长度及不同土层毛细水上升高度将浸没影响划分为严重和轻微^[5],并综合土壤次生盐渍化情况,分别计算了其浸没临界埋深,见表 1。

1.2 地下水渗流理论

地下水渗流模型的理论公式基于饱和与非饱和土体渗流的达西定律:

$$v=ki \quad (2)$$

式中: v 为渗透速度, cm/s ; k 为渗透系数, cm/s ; i 为水力坡度。

表 1 研究区地下水浸没临界埋深

农作物	地下水浸没临界埋深/ m	
	严重浸没	轻微浸没
小麦、紫藤花	0.6	1.2
葡萄	1.5	2.1

2 工程应用

2.1 工程概况

济东明渠是南水北调干线一期工程的重要组成部分,非汛期承担输水任务,用以缓解中下游地区缺水问题。研究对象为济东明渠堤内侧至小清河的河间农田,渠段长度约 5 km,堤防形式为均质土堤,未衬砌,农田区域宽度约 0.5 km。在研究区内布置 25 条测线、762 个钻孔,实测得到现状水位工况下地下水埋深以及地层分布情况。地面以下 15 m 范围内岩土类型主要为第四系全新统冲积层黏土、壤土和砂壤土,地表以壤土为主。调查期间,济东明渠为低水位输水运行,明渠内运行水位高为 6.41~6.93 m(子槽拓宽后输水运行水位),顺水流方向水面逐渐降低,堤内农田地面相对高程范围为 6.11~8.51 m。农田地下水位高程由北向南逐渐降低,水力坡降在 4‰左右。

2.2 地质概化模型

对研究区域内的工程地质条件进行综合分析,济东明渠、小清河的水位为上下游约束条件,假定二者为恒定流即渗流分析过程中上下游水位保持不变。选取 7 条横剖面作为计算剖面,依据实测地形、水位及地层信息得到概化后的地质模型,以 L1 剖面为例展示,如图 1 所示。其中济东明渠实测水位 6.93 m,小清河分洪道实测水位 2.89 m,各土层的渗透系数取值见表 2。网格大小取 2 m,建模求解步骤如图 2 所示。

2.3 模型验证

根据实测数据及模拟数据,采用相关系数 R 及纳什效率系数 NSE 对模型分别进行评价,计算公式如下:

$$R=\frac{\sum_{i=1}^n(Q_0^i-\overline{Q_0})(Q_m^i-\overline{Q_m})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n(Q_0^i-\overline{Q_0})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^n(Q_m^i-\overline{Q_m})^2}} \quad (3)$$

$$NSE=1-\frac{\sum_{i=1}^n(Q_m^i-Q_0^i)^2}{\sum_{i=1}^n(Q_0^i-\overline{Q_0})^2} \quad (4)$$

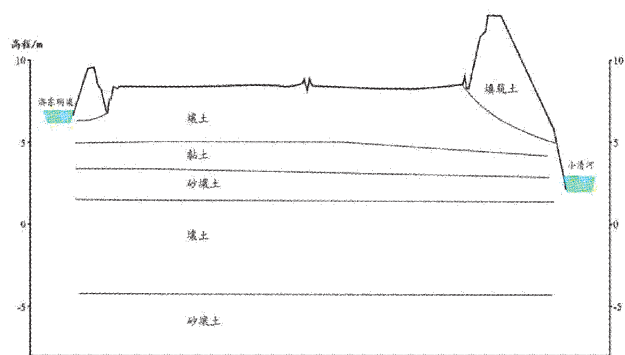


图 1 L1 剖面地质概化模型

表 2 各土层特征参数

土层	孔隙比	渗透系数/(cm·s ⁻¹)	含水量/%	干密度/(g·cm ⁻³)
砂壤土	0.62	1.30×10 ⁻⁴	21.5	1.65
壤土	0.64	8.90×10 ⁻⁶	23.1	1.66
黏土	0.83	3.90×10 ⁻⁶	29.6	1.50

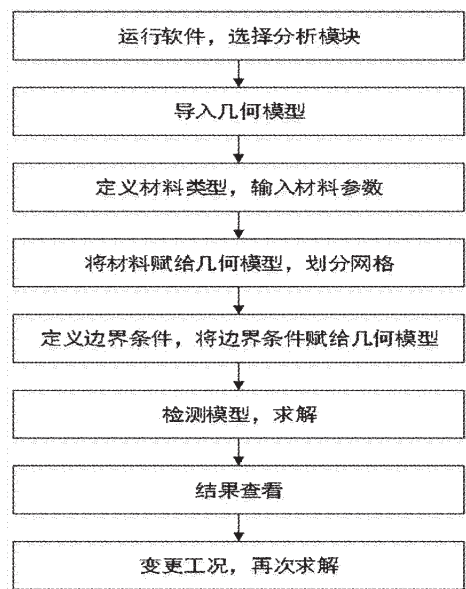


图 2 软件求解步骤

式中: Q_0^i 为*i*处的水位实测值; Q_m^i 为*i*处的水位模拟值; $\overline{Q_0}$ 为实测水位的平均值; $\overline{Q_m}$ 为模拟水位的平均值。

经计算,相关系数均大于 0.92,纳什效率系数均大于 0.65,具体见表 3,模拟效果良好,该数值模型可靠性较好。

2.4 数值模拟

根据济东明渠不同的输水运行工况,针对各个剖面分别预测当济东明渠水位为设计水位及加大水位且小清河侧水位为常水位时农田地下水埋深分布情况,利用地图可视化 surfer 绘图软件生成地下水埋深等值线图,从而得到不同水位

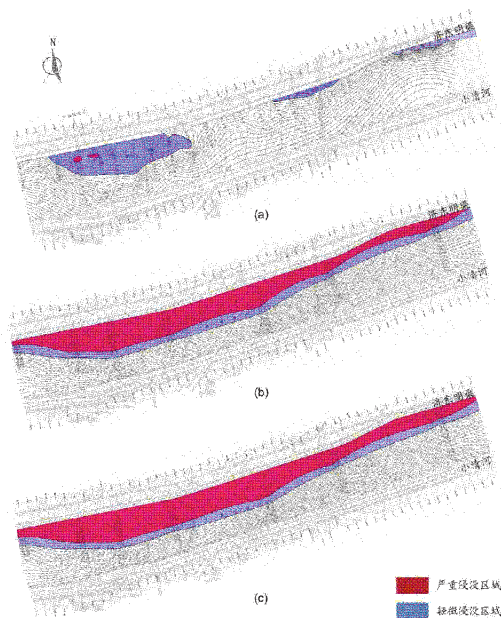
表 3 实测水位与模拟水位的相关系数及纳什效率系数

剖面	相关系数(R)	纳什效率系数(NSE)
L1	0.99	0.98
L4	0.98	0.81
L6	0.97	0.72
L9	0.95	0.75
L14	0.99	0.65
L18	0.97	0.99
L24	0.92	0.99

情况下的浸没范围,各个剖面对应上下游水位详见表 4。

表 4 两种工况下上下游水位统计表 m

剖面	济东明渠 桩号	设计水位 工况上游水位	加大水位 工况上游水位	小清河 侧水位
L1	90+308	7.20	7.47	2.89
L4	90+911	7.17	7.43	2.92
L6	91+308	7.13	7.41	3.17
L9	91+903	7.08	7.36	3.21
L14	92+908	7.03	7.29	2.80
L18	93+703	6.74	7.01	2.92
L24	94+915	7.02	7.30	3.02



(a)现状水位工况;(b)设计水位工况;(c)加大水位工况

图 3 3 种工况下浸没区域示意图

3 分析研究

3.1 结果分析

根据实际调查结果,现状水位工况下,严重浸没区和轻微浸没区基本分布在距离渠道较近的区域,且严重浸没区域地面高程相较周围稍

低,即地势低洼处更容易发生浸没现象,且浸没程度更严重。

随着明渠输水水位的提升,严重和轻微浸没区域展现出不同程度的增大趋势。经测算具体表现为:现状水位工况下研究区域内严重和轻微浸没区面积仅为 2.9 hm² 和 41.41 hm²,设计水位工况下该数值分别增大到 94.62 hm² 和 129.91 hm²,加大水位工况下又分别增大到 109.50 hm² 和 143.03 hm²。研究区域的浸没面积与济东明渠的输水水位呈正相关。

表 5 不同工况下浸没面积测算表 hm²

运行水位	严重浸没区面积	轻微浸没区面积
现状水位工况	2.90	41.41
设计水位工况	94.62	129.91
加高水位工况	109.50	143.03

3.2 原因分析

浸没问题主要是由于地下水补给与地下水排泄失衡导致的,具体原因包括渠道渗水、无排水通道、大气降水增多、灌溉尾水渗透、区域性地面沉降等。

小清河分洪道是小清河防洪除涝工程的重要组成部分,其主要任务是分泄胜利河及其以上小清河干流来水,腾出下游干流河道,为下游南岸支流及低洼地带排水提供条件。研究区属于济东明渠小清河分洪道段,该段输水线路自分洪道分洪闸下入分洪道后,采用与分洪道治理相结合的方案,即在分洪道内按输水规模开挖疏通分洪道子槽。小清河分洪道治理工程扩挖了南水北调渠道,但未对渠底及渠坡采取防渗措施,且现状运行水位略高于渠道南侧耕地地面,从而加大了渠道渗漏的影响。

研究区内整体地形较平坦,地面高程约 6.11~8.51 m,中间有洼地分布。根据渠道工程施工详图设计阶段的地形图、卫星地图显示和对当地群众、工程参建人员的调查走访,济东明渠分洪道段输水渠道外侧有不规则、不连续的低洼沟以及原砖厂取土坑,这些坑洼地在汛期可起到一定的滞蓄地表径流的作用,但该区域内没有完善的排水系统,涝水和渠道渗水均无外排出路。

根据《南水北调东线第一期工程:济南引黄济青明渠段输水工程施工图》(2011 年 1 月)与现场测量成果对比,工程场区内出现了不同程度的地面沉降,沉降量为 0.34~1.94 m。地面沉降使得场区地面高程降低,致使该区域成为地下水汇集区,从而加大了浸没影响范围。

3.3 建议

一是受浸没影响的局部小面积土地可通过加铺覆盖土层、提高地表高程的方式来弱化浸没影响;二是可采取“上堵下排”思路采取相关工程措施。可以对未衬砌的均质土堤防实施防渗措施,大大减少渗出量;也可以针对研究区易积水、排水功能不完善的问题,重修截渗沟拦住渗水,同时完善农田排水系统,让多余的水能及时、通畅地排出场区,从根本上解决浸没问题;三是对于无法采取上述措施的,可采取更换种植品类的方式来缓解浸没导致的减产问题。

4 结 语

济东明渠农田浸没问题对渠道安全运行和周边环境构成往负面影响。研究通过现场调查、数值模拟和理论分析,揭示了浸没成因,评估了其影响,并提出了针对性防治措施。研究成果可为类似渠道浸没问题的解决提供参考,对保障渠道安全运行和促进区域可持续发展具有重要意义。未来研究可进一步揭示浸没机理,跟踪不同措施下的长期防治效果,为渠道安全运行提供更坚实的科学依据。

参考文献

- [1] 吴炼石.南水北调东线一期工程对南四湖及周边地区环境 and 经济影响分析[D].济南:山东大学,2012.
- [2] 杨建锋,万书勤.地下水对作物生长影响研究[J].节水灌溉,2002(2):36-38.
- [3] 郭枫,郭相平,袁静,等.地下水埋深对作物的影响研究现状[J].中国农村水利水电,2008(1):3.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部.水利水电工程地质勘察规范:GB 50487-2008[S].北京:中国计划出版社,2008.
- [5] 吴炳富.月潭水库库区浸没问题研究[J].安徽水利水电职业技术学院学报,2020,20(2):17-19,46.

(责任编辑 崔亚男)