

doi: 10.19388/j.zgdzdc.2024.274

引用格式: 张勤军, 陈驰清, 滕龙, 等. 平陆运河建设对区域地下水流场的影响[J]. 中国地质调查, 2025, 12(4): 78–85.
(Zhang Q J, Chen C Q, Teng L, et al. Effect of Pinglu Canal construction on the regional groundwater flow field[J]. Geological Survey of China, 2025, 12(4): 78–85.)

平陆运河建设对区域地下水流场的影响

张勤军¹, 陈驰清², 滕龙³, 李健伟¹, 郑焕君¹, 康志强^{4*}

(1. 广西壮族自治区地质调查院, 广西南宁 530023; 2. 中国地质大学, 湖北武汉 430074;
3. 广西壮族自治区水文地质工程地质队, 广西柳州 545006; 4. 广西壮族自治区地质矿产
勘查开发局, 广西南宁 530023)

摘要: 平陆运河建设需要长距离的深基坑开挖, 会很大程度改变周边地下水流场。选择平陆运河重点开挖段为研究对象, 建立三维地下水数值模型, 预测平陆运河施工期排水疏干和运营期蓄水浸没条件下的地下水流场变化。结果表明: 研究区现状地下水流场为北部郁江流域由南西向北东径流, 南部钦江流域由北向南径流, 而施工期和运营期地下水流场改变为地下水由东西向运河渠道段径流并排泄于运河, 并随运河由北往南流入钦江。平陆运河施工期时, 马道头梯级枢纽开挖深度最大, 对周边地下水影响程度最大, 造成地下水水位最大降深深度为 63.1 m。而平陆运河运营蓄水引起地下水大范围下降的区域主要在运河各航道段, 最大降深为 20.8 m。模型预测结果反映了平陆运河建设对地下水流场的影响, 为后续的水资源–环境管理制定监管方案和防治措施提供了数据支撑, 有助于从源头上缓解运河建设可能引起的地下水环境问题。

关键词: 平陆运河; 地下水数值模拟; 地下水流场; 地下水水位

中图分类号: P641 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095–8706(2025)04–0078–08

0 引言

平陆运河作为广西内河水运规划中重要的一条出海通道, 是结合了广西水利、铁路、公路、水运、物流、港口等基础设施网络于一体的综合工程^[1]。而平陆运河工程建设将连接郁江流域和钦江流域, 会改变原河流水系的水文情势和水力特性等, 因此平陆运河跨流域调水实现水资源重新分配的同时, 不可避免地会导致新的问题产生^[2]。已有研究表明平陆运河工程对钦江河势^[3]、流域防洪安全^[4]、饮水安全^[5]等有一定的不利影响。

根据平陆运河沿线区域水文地质调查发现平陆运河沿线区域水文地质条件复杂, 原河流和地下水

存在着密切的水力联系。平陆运河跨流域调水工程建设成功, 不仅会改变河流的水文情势和地下水的补给、径流和排泄条件, 而且会对地表水–地下水相互作用模式造成影响, 进而改变区域内地下水的流场、水位和水量等特征。跨流域调水工程对地下水的影响不可忽视, 关乎生态环境、民生经济等^[6], 例如巴基斯坦西水东调工程造成部分地段地下水位上升, 导致了土地内涝和土壤盐碱化^[7]。而地下水位的降低则也会导致一系列生态和环境问题, 如水质恶化、植被退化、土地荒漠化和泉水溢出区面积减少^[8]。中国黄河调水工程明显改变了受水河流和周边地下水的水化学特征^[9]。近年来, 地下水可持续发展和管理在跨流域调水工程中也得到了更多关注, 王西琴等^[10]评估了南水北调南线工程新的调水方

收稿日期: 2024–08–02; 修订日期: 2025–05–31。

基金项目: 广西科技重大专项“中国—柬埔寨典型岩溶关键带碳循环过程对比研究与应用示范(编号: 桂科 AA24206020)”、国家自然科学基金“酸雨条件下碳酸盐岩溶蚀过程及对岩溶碳汇效应的影响机制(编号: 42372294)”、广西地质矿产勘查开发局“广西靖西市坡豆河流域岩溶碳汇调查评价(编号: GXDK202405)”及“广西矿山水文地质勘查关键技术研究人才小高地(编号: 桂地矿综研[2024]6号)”联合资助。

第一作者简介: 张勤军(1984—), 男, 正高级工程师, 主要从事水文地质研究。Email: 412941045@qq.com。

通信作者简介: 康志强(1982—), 男, 正高级工程师, 主要从事水文地质研究。Email: zqkang000@126.com。

案对生态环境的影响,包括对供水区域的温度、降水、水质和生物的影响;Zhuang 等^[7]发现巴基斯坦西水东调工程中灌溉渠道向地下水的渗漏量过大,导致了河岸周边形成沼泽,同时由于排水不足引起土地内涝和土壤盐碱化;Lin 等^[11]系统地评估整个敦煌盆地中地下水和地表水相互作用和地下水可持续性,发现实施调水方案后月牙湖水位下降得到有效缓解,但也进一步加剧灌区土地盐渍化。因此,探明平陆运河建设对工程沿线区域地下水的影响很有必要。

数值模拟方法是研究地下水实际问题的重要手段^[12-13]。目前大量研究通过概化调水工程的渠道调水量或水位变化,分析调水工程对地下水环境的影响^[14-16]。然而,通过详细刻画跨流域调水工程建设细节,分析跨流域调水工程建设如何改变地下水环境的研究较为缺乏。因此,本研究采用数值模拟方法分析平陆运河建设对区域地下水的影响,通过构建三维地下水流模型,结合实际

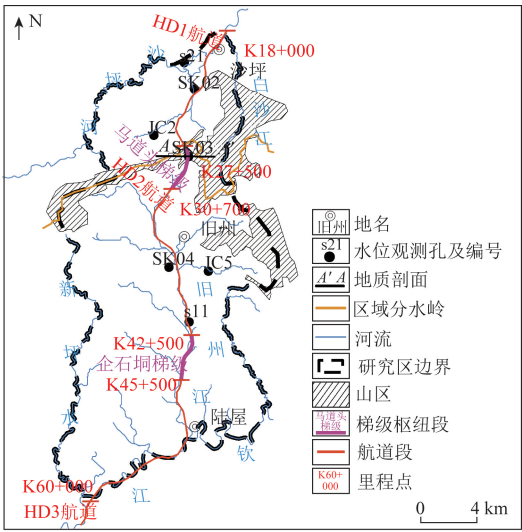
工程建设方案,预测平陆运河施工和运营两个时期对地下水流场以及地下水水位的影响。研究旨在为后续的水资源-环境管理制定监管方案和防治措施提供数据支撑。

1 研究区概况

平陆运河始于南宁平塘江口,溯沙坪河而上,跨区域分水岭后沿旧州江至陆屋附近进入钦江干流,最终到达钦州港口出海,全线长约 140 km。工程建设主体包括航道和枢纽工程,主要分 4 个航道段,分别为 HD1—HD4,其间布置马道头、企石垌、青年三个梯级枢纽^[17]。平陆运河建设主要是沿原有河道进行炸礁、拓宽和疏浚建设,对蜿蜒曲折段进行裁弯取直开挖,沿分水岭两侧进行开挖施工。其中,研究区设定为区域分水岭两侧和平陆运河重点开挖段落,主要由沙坪经旧州到陆屋一带(图 1)。



(a) 研究区位置



(b) 平陆运河拟建设路线

图 1 研究区位置和平陆运河拟建设路线

Fig. 1 Location of the study area and the proposed construction route of Pinglu Canal

研究区地处灵山县,总面积约为 321 km²。灵山县地处低纬度,属亚热带季风气候,一年中气候温和,夏长冬短,雨量充沛,光照充足,冬春季有间歇性寒潮入侵。灵山县受海洋暖湿气流和台风活动影响,降雨多集中于春末至初秋之间(4—9月),占全年降雨量的 80%。

研究区由中部分水岭分割为郁江流域和钦江流域,流域间无明显水力联系。研究区北部郁江水文地质单元,地下水主要赋存于风化及构造裂隙、

孔隙中,地下径流多沿近东西两侧山坡作缓慢渗流,在低洼处呈散流状排入溪沟或以泉水出露地表,汇入沙坪河,最终注入西津水库(郁江流域)。南部钦江水文地质单元,地下水主要赋存于风化及多组构造裂隙、孔隙中,地下径流亦多沿近东西两侧山坡作缓慢渗流,在低洼处呈散流状排入溪沟或以泉水出露地表,汇入旧州江,最后注入钦江干流。

区内以沉积岩为主。沉积岩地层包括第四系、白垩系、三叠系、二叠系、泥盆系、志留系等,其中以

白垩系及志留系为主。岩浆岩主要分布于区域或局部分水岭一带,主要为堇青石墨云母花岗岩。因此,研究区内主要赋存裂隙水、孔隙水和岩溶水,岩溶地层与非可溶岩层通过裂隙和断层沟通,具有一定的水力联系。裂隙含水层在地貌上分为裸露和半裸露的基岩丘陵,另一部分则为浅埋于丘陵风化堆积的残积物下的河谷盆地。裂隙岩溶含水层起伏的第四系岩层多为粉质黏土,属于弱透水层,仅越流补给下伏含水层。而研究区内松散岩类孔隙含水层面积较小,且含水层厚度较薄。

2 平陆运河流域水文地质模型建立

为验证地下水流模型的准确性,在前期野外工作中,沿平陆运河拟建设线路布设地下水位长期观测点 7 个,分别为机井 2 个(JC2、JC5)、民井 5 个(s11、s21、SK02、SK03、SK04)(图 1(b))。

2.1 模型概化和边界条件

研究区被中部分水岭分为南北两个流域,且流域间无明显水力联系。平陆运河建设将连通两个流域,因此将两个流域概化到一个模型(图 2),并对比分析平陆运河建设前后研究区内两个流域的

地下水流场变化。

考虑平陆运河开挖仅影响到浅层含水层,故将研究区概化成单一潜水含水层。模型以中部分水岭为界将研究区分割成两个流域,中部分水岭定义为隔水边界。北部郁江局部按水文地质单元设定流量边界,其他边界以常年性河流白沙江和沙坪河为界,南部钦江水文地质单元以钦江干流及其支流为界,均定义为水头边界。模型下边界为风化程度较低的基岩层,定义为隔水边界。

2.2 数值模型建立

利用 Visual MODFLOW 建立三维地下水流数值模型。将研究区剖分为东西方向 100 格,横向间距 173 m;南北方向剖分 200 格,纵向间距 182 m;垂向上分为三层,由地表到深度 100 m,最小层厚度约 30 m。地表高程依据 30 m 分辨率的 DEM 数据插值生成。模拟时间为 2021 年 8 月 28 日至 2022 年 8 月 27 日,总天数为 365 d。

区内地下水补给来源主要是大气降水,通过遥感解译得到的研究区内 2021—2022 年间的日降水数据集。模拟期间年降水量达到 1 824 mm,其中 5—8 月降水量占全年的 59%。潜水的蒸发量主要取决于包气带岩性、地下水位埋深、植物分布等。由于研究区浅层地下水位埋深多小于 3 m,且表层土壤多为黏土或粉土层,地下水毛细上升高度较大,蒸发量强烈,综合考虑设置极限蒸发深度为 5 m。区域内河流以 DRAIN 模块进行计算。

部分镇、村屯饮用水已由人饮工程、水厂供水,但绝大多数村民饮用水仍然取自民井、机井。因此,根据运河沿线附近村庄村民饮用水源情况,按照人均 $0.1 \text{ m}^3/\text{d}$ 得到日平均机(民)井人工开采量。研究区内河流水系繁杂,而已有的河流水系图对区域内的河流描绘并不细致,故利用 DEM 栅格数据生成河网。

2.3 模型参数

2.3.1 降雨入渗系数

降雨入渗补给系数的大小由地表土层和包气带岩性、结构、地形地貌特征,还有降水强度、时间分配等因素确定。模拟区域尺度较大,综合考虑岩性分布、含水层富水性以及地貌特征对区域进行降雨入渗系数和渗透系数分区(图 3)。

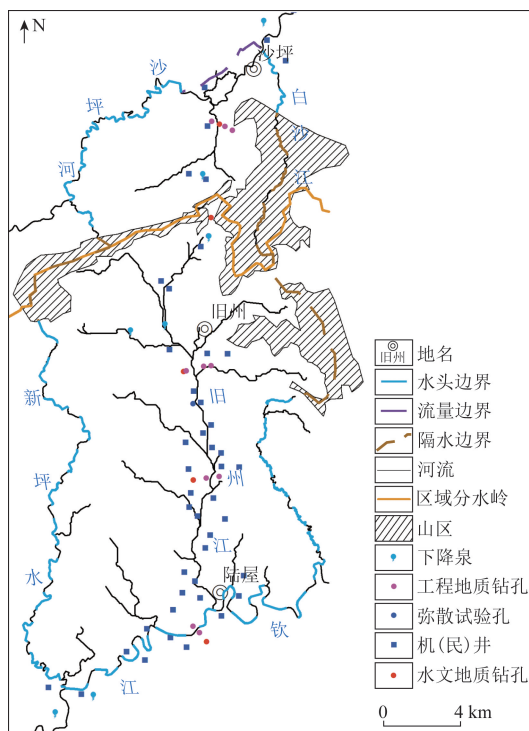


图 2 平陆运河流域水文地质概念模型

Fig.2 Hydrogeological conceptual model of Pinglu Canal basin

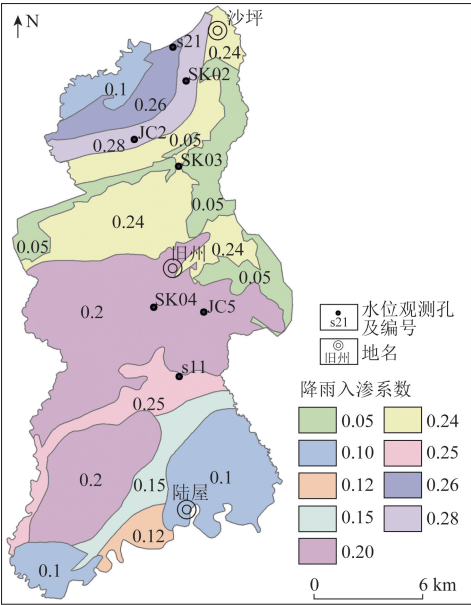


图3 研究区降雨入渗系数分区

Fig.3 Rainfall infiltration coefficient zoning of the study area

2.3.2 渗透系数

抽水试验、土工试验等方法确定的岩土层渗透系数具有局部性,并不足以确定研究区同一地层的参数需求。因此,需结合区域水文地质资料中各岩土层渗透系数、渗透性分类建议值确定参数初值,通过调整参数提高模型精度。根据钻孔资料和地层剖面,研究区内各岩性的参数分区及赋值见图4和表1。

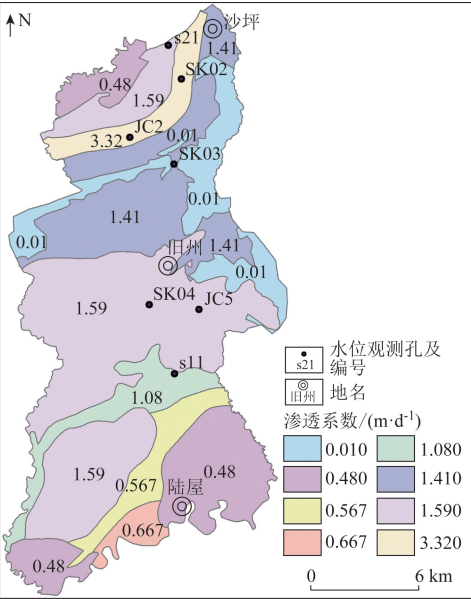


图4 研究区渗透系数分区

Fig.4 Permeability coefficient zoning of the study area

表1 研究区渗流参数分区及赋值
Tab.1 Seepage parameter zoning and assignment values of the study area

主要岩性	渗透系数/(m·d ⁻¹)	给水度
砾岩、泥质粉砂岩(K ₂)	0.480	0.020
泥灰岩(T ₁)	3.320	0.020
泥质粉砂岩(D ₁)	1.410	0.030
花岗岩(T ₂)	1.590	0.030
泥质灰岩(S ₃)	1.080	0.020
泥质硅岩(S ₂)	0.567	0.020
灰岩夹泥灰岩(D ₁)	0.667	0.010
泥质粉砂岩(P ₃ 、S ₃ 、D ₁)	0.010	0.001

2.4 均衡方程

描述地下水运动的数学模型主要分为等效多孔介质模型^[18]、双重介质模型^[19]、三重介质模型^[20]。研究区地下水主要赋存在裂隙、孔隙中,而目前建立双重或多重介质模型仅适用于中小尺度地区,对大尺度地区的适配程度不高^[21]。采用等效多孔介质法将研究区裂隙和岩溶地层概化为孔隙介质,建立等效多孔介质模型。研究区地下水流系统概化为非均质、各向同性、非稳定的三维地下水流模型,均衡方程如下

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(K_{xx}\frac{\partial H}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(K_{yy}\frac{\partial H}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(K_{zz}\frac{\partial H}{\partial z}\right)+\varepsilon=\mu_s\frac{\partial H}{\partial t},\tag{1}$$

$$H(x,y,z,t)|_{t=0}=H_0(x,y,z),\tag{2}$$

$$H(x,y,z,t)|_{(x,y,z)\in B_1}=H_1(x,y,z,t),\tag{3}$$

$$K\frac{\partial H}{\partial n}|_{(x,y,z)\in B_2}=q_1(x,y,z,t).\tag{4}$$

式中： x,y,z 表示空间坐标， $m((x,y,z)\in\Omega,\Omega$ 表示渗流区域)； t 表示时间， $d(t>0)$ ； H 表示地下水水头， m ； K_{xx},K_{yy},K_{zz} 表示 x,y,z 方向渗透系数， m/d ； μ_s 表示含水层给水度或比储水系数（第一含水层取重力给水度 μ_d ，其他层选用比弹性释水（储水）系数 μ_s ）； H_0 表示含水层初始水头， m ； H_1 表示各层边界水位， m ； q_1 表示含水层二类边界单位面积过水断面补给流量， m/d ； ε 表示源汇项强度（包括开采强度等）， m/d ； B_1 表示为给定水头边界，第一类边界； B_2 表示为给定流量边界，第二类边界； n 表示渗流区边界的单位外法线方向。

2.5 模型的识别与验证

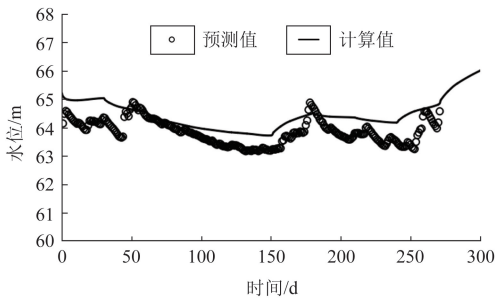
结合模型拟合误差检验统计见表2,观测井计算水位与实测水位的平均绝对残差和标准误差在1 m以内,表示两者数值较为接近,模型拟合效果好。

表 2 研究区模型拟合误差检验统计

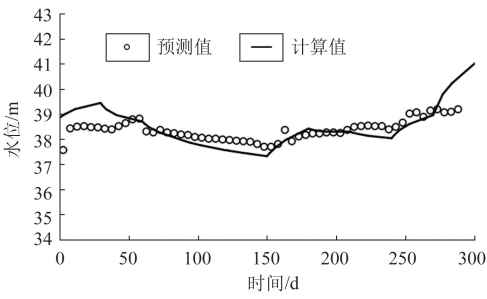
Tab.2 Statistics of model fitting error testing of the study area

	观测点						
	s21	SK02	JC2	SK03	s11	SK04	JC5
平均绝对残差	0.272	0.515	0.22	0.45	0.375	0.336	0.185
标准误差	0.048	0.019	0.02	0.048	0.064	0.023	0.022
相关系数	0.538	0.711	0.854	0.675	0.741	0.707	0.902

s21 观测点的相关性不佳,主要原因可能是第 250 天



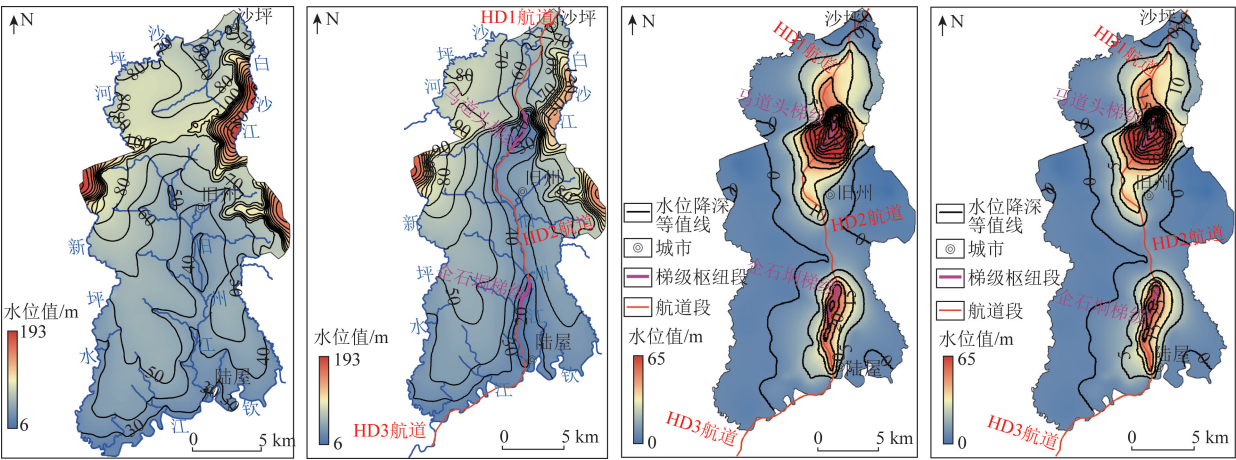
(a) 民井 SK02



(b) 民井 s11

图 5 研究区观测与计算水位对比

Fig.5 Comparison of observed and calculated water levels in the study area



(a) 模拟流场图(2022 年 8 月) (b) 建设期第 5 年地下水流场 (c) 建设期第 2 年地下水水位降深 (d) 建设期第 5 年地下水水位降深



图 6 研究区施工期地下水流场和地下水水位降深

Fig.6 Groundwater flow field and groundwater level drawdown in the construction period of the study area

3 运河建设对区域地下水流场的影响

基于平陆运河建设实施方案,分别模拟预测平陆运河施工期开挖疏干排水条件以及运营期蓄水淹没条件下的两类情况,主要分析平陆运河不同建设情况下研究区内地下水流场以及水位变化特征。

至第 300 天 s21 钻孔水位受人为因素影响,导致水位不随降水量的增加而上升,同时由于观测精度过高而降雨统计数据精度较低,导致观测值和计算值存在一定误差。根据对比结果(图 5),观测点观测水位和计算水位整体上拟合较好。研究区地下水流场(图 6(a))年内未有明显变化,总体上以中部分水岭为界,上部流域地下水向北径流,下部流域地下水向南径流。

3.1 施工期

运河航道建设主要是沿原有河流河道进行炸礁、拓宽和疏浚建设,进行裁弯取直开挖,沿分水岭两侧进行开挖施工。研究区内沙坪河段以及钦江干流段需渠化开挖形成航道,主要采用水下开挖。研究区内其余段落需要进行疏浚开挖或深部基坑开挖,因此模型中使用 DRAIN 模块进行设置,排泄底板高程依据各航道及枢纽程主

要设计指标表中的设计建基面标高。

运河渠道开挖形成的地下水排泄带改变了地下水水流场(图 6(b)),运河建设区域形成类似宽度不一的条带状的长距离排泄面。当平陆运河渠道开挖后,航道底板成为周边地形的最低排泄基准面,开挖渠道段地下水流向由原来的北部郁江流域由南西向北东径流,南部钦江流域由北向南径流,改变为地下水由东西向运河渠道段径流并排泄于运河,并随运河由北往南流入钦江。运河开挖造成运河渠道段周边地下水水位持续下降,形成降落漏斗,在第 5 年区域地下水水流场基本保持稳定。对比研究区现状流场(图 6(a)),运河航道建设明显改变了地下水水流场,使南北流域产生了水力联系。结合地下水位降深模拟结果(图 6(c),(d)),运河建设对地下水位降深影响由两个船闸梯级枢纽展开,其中马道头梯级枢纽开挖深度最大,周边地下水位降深范围最广、强度最大,地下水位最大降深为 63.1 m。马道头梯级和企石垌梯级枢纽需要进行超深基坑的开挖,马道头梯级枢纽最大开挖深度约 76 m,企石垌梯级枢纽最大开挖深度约 51 m。因此,梯级枢纽区域对周边区域地下水位的影响最为剧烈,形成明显的降落漏斗。

3.2 运营期

平陆运河运营期间,运河蓄水过程中会补给

地下水造成周边水位迅速上升,而模拟中很难体现运河反补地下水的过程。因此以现状地下水水流场作为初始条件,主要探讨运营期运河蓄水后,对研究区内地下水水流场的影响。平陆运河运营期间,各工程段落以 RIVER 模块带入模型,平陆运河正常蓄水位参考各航道及枢纽工程主要设计指标。

平陆运河蓄水进入运营期后,地下水水流场(图 7(a))将在 3 年后保持基本稳定,根据第 3 年地下水水流场图,地下水流向与施工期(图 6(b))基本一致,表现为运河河道两侧地下水由东西向运河渠道段径流并排泄于运河渠道,随运河由北往南流入钦江。由于马道头梯级枢纽和企石垌梯级枢纽建设船闸,隔绝与地下水的交互,因此地下水主要与平陆运河各航道段进行水量交换。结合地下水位降深(图 7(b),(c)),区别于施工期梯级枢纽引起的大范围高强度的地下水降深,运营期平陆运河对周边地下水位的影响主要集中在各航道段。分水岭两侧的 HD1、HD2 航道段以及 HD3 航道段为满足通航要求,蓄水水位仍低于现状周边地下水水位,因此引起大范围的地下水位降深,最大降深为 20.8 m。梯级枢纽隔绝运河与地下水的交互,造成了周边小范围的水位上升。

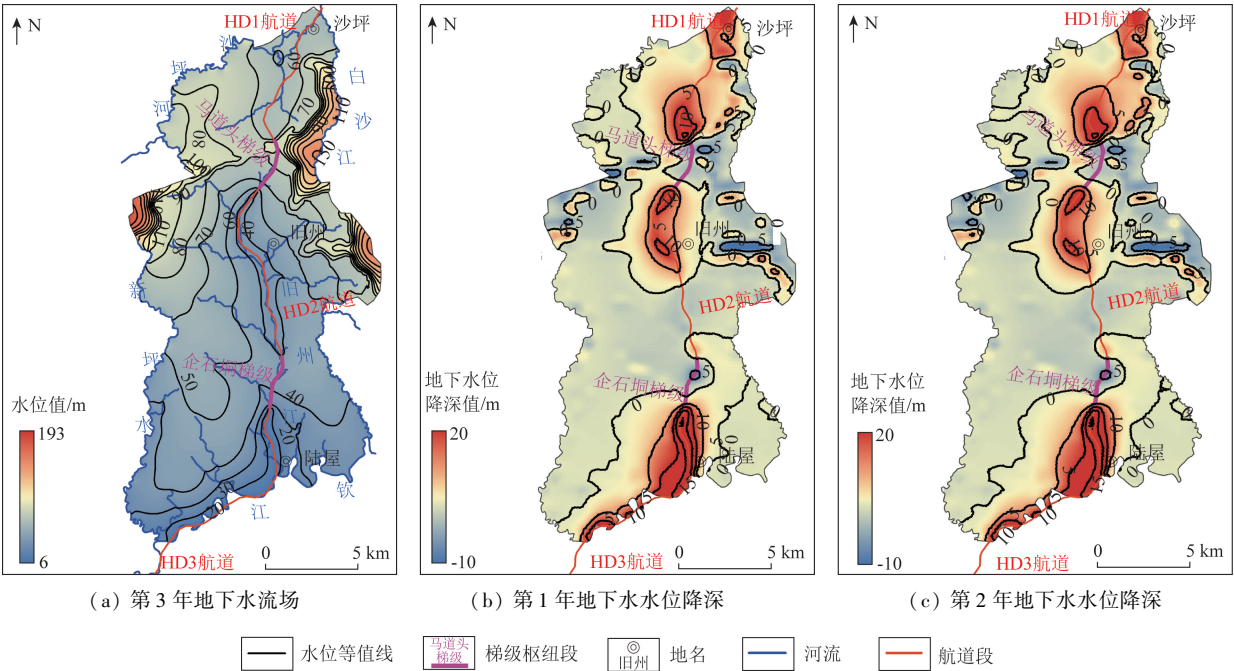


图 7 研究区运营期地下水水流场和地下水位降深

Fig. 7 Groundwater flow field and groundwater level drawdown in the operation period of the study area

4 结 论

(1)平陆运河施工期渠道底板高程低于周边地下水水位,而平陆运河运营期蓄水水位仍低于周边地下水水位,地下水流向均由原来的北部郁江流域由南西向北东径流,南部钦江流域由北向南径流,改变为地下水由东西向运河渠道段径流并排泄于运河,并随运河由北往南流入钦江。

(2)平陆运河渠道开挖引起大范围的地下水位下降,其中马道头梯级枢纽开挖深度最大,对周边地下水影响程度最大,造成地下水位最大降深为63.1 m。平陆运河蓄水运营引起地下水大范围下降的区域主要在运河各航道段,最大降深为20.8 m。

(3)平陆运河建设改变了周边地下水流场及水量,这会导致周边河流水系如钦江的河势变化,并对防洪安全和饮水安全等产生威胁。建议就平陆运河工程重点区域制定相应地下水监测方案以及消除和减轻影响措施。

参考文献(References):

[1] 韦卫华. 把平陆运河打造成世界级绿色工程[J]. 当代广西, 2022(18):20.
Wei W H. Build Pinglu Canal into a world-class green project[J]. Contemporary Guangxi, 2022(18):20.

[2] Zhu X B, Wu J C, Nie H J, et al. Quantitative assessment of the impact of an inter-basin surface-water transfer project on the groundwater flow and groundwater-dependent eco-environment in an oasis in arid northwestern China[J]. Hydrogeology Journal, 2018, 26(5):1475-1485.

[3] 梁全明, 杨利福. 平陆运河对沿线饮水安全的影响及对策[J]. 广西水利水电, 2023(2):37-42.
Liang Q M, Yang L F. Impacts of Pinglu Canal on drinking water safety and countermeasures[J]. Guangxi Water Resources & Hydropower Engineering, 2023(2):37-42.

[4] 叶飞武. 平陆运河分洪方案研究[J]. 广西水利水电, 2023(4):91-93, 97.
Ye F W. Study of Pinglu Canal flood diversion plan[J]. Guangxi Water Resources & Hydropower Engineering, 2023(4):91-93, 97.

[5] 靳高阳, 何俊. 平陆运河工程对钦江流域防洪的影响与思考[J]. 水利规划与设计, 2023(12):16-18, 43.
Jin G Y, He J. Impact and reflection of the Pinglu canal project on flood control in Qinjiang river basin[J]. Water Resources Planning and Design, 2023(12):16-18, 43.

[6] Gallardo B, Aldridge D C. Inter-basin water transfers and the expansion of aquatic invasive species[J]. Water Research, 2018,

143:282-291.

[7] Zhuang W. Eco-environmental impact of inter-basin water transfer projects: A review[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2016, 23(13):12867-12879.

[8] Cui H H, Zhang G H, Wang Q, et al. Study on index of groundwater ecological function crisis classification and early warning in Northwest China[J]. Water, 2022, 14(12):1911.

[9] Yuan R Q, Wang M, Wang S Q, et al. Water transfer imposes hydrochemical impacts on groundwater by altering the interaction of groundwater and surface water[J]. Journal of Hydrology, 2020, 583:124617.

[10] 王西琴, 刘昌明, 杨志峰. 西线调水工程对水量调出区的环境影响分析[J]. 地理科学进展, 2001, 20(2):137-145.
Wang X Q, Liu C M, Yang Z F. An analysis on the impacts on the environment in the water exporting region of western line south to north water transfer project[J]. Progress in Geography, 2001, 20(2):137-145.

[11] Lin J J, Ma R, Hu Y L, et al. Groundwater sustainability and groundwater/surface-water interaction in arid Dunhuang Basin, Northwest China[J]. Hydrogeology Journal, 2018, 26(5):1559-1572.

[12] 曹振东, 谭廷静, 杨明星, 等. 基于 Visual MODFLOW 地下水数值模拟的水源地保护研究[J]. 中国地质调查, 2023, 10(5):91-98.
Cao Z D, Tan T J, Yang M X, et al. Research on water source protection based on Visual MODFLOW groundwater numerical simulation[J]. Geological Survey of China, 2023, 10(5):91-98.

[13] 李铎, 毕攀, 张可, 等. 地下水应急水源地综合研究——以唐山市平原区为例[J]. 中国地质调查, 2022, 9(6):67-75.
Li D, Bi P, Zhang K, et al. Comprehensive study on groundwater emergency sources: A case study of Tangshan plain area[J]. Geological Survey of China, 2022, 9(6):67-75.

[14] 祁元昊, 张鑫, 焦莹, 等. 南水北调供水前后京杭运河梁济段沿岸地下水埋深变化预测研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2012, 10(3):145-149.
Qi Y H, Zhang X, Jiao Y, et al. Prediction for groundwater depth changes in intake area of south-to-north water transfer project in Liangji reach of Hangzhou Canal[J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2012, 10(3):145-149.

[15] 何剑波, 李玉山, 胡立堂, 等. “引哈济党”工程对敦煌盆地地下水位影响的数值模拟研究[J]. 水文地质工程地质, 2021, 48(6):34-43.
He J B, Li Y S, Hu L T, et al. Numerical simulation studies of the influences of water transferring project from the Haerteng River to the Dang River on groundwater levels in the Dunhuang Basin[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2021, 48(6):34-43.

[16] Zhao M Y, Meng X B, Wang B X, et al. Groundwater recharge modeling under water diversion engineering: a case study in Beijing[J]. Water, 2022, 14(6):985.

[17] 潘海涛, 吴澎, 袁和平, 等. 西部陆海新通道(平陆)运河工程规划设计方案综述[J]. 水运工程, 2024(11):1-7.

Pan H T, Wu P, Yuan H P, et al. Overview of planning and design scheme for western land – sea new corridor (Pinglu) canal project[J] . Port & Waterway Engineering, 2024 (11) : 1 – 7 .

[18] Borelli M, Pavlinz B. Approach to the problem of undergroundwater leakage from the storages in karst regions[C]//Hydrologie des Roches Fissures, Proceedings of the Dubrovnik Symposium. Paris: AIME, 1965 : 32 – 62 .

[19] Saller S P, Ronayne M J, Long A J. Comparison of a karst groundwater model with and without discrete conduit flow[J] . Hydrogeology Journal, 2013 , 21 (7) : 1555 – 1566 .

[20] 成建梅, 陈崇希. 广西北山岩溶管道 – 裂隙 – 孔隙地下水流数值模拟初探[J] . 水文地质工程地质, 1998 (4) : 52 – 56 .

Cheng J M, Chen C X. Preliminary numerical study of karst conduit fissure pore groundwater flow in Beishan area in Guangxi Province[J] . Hydrogeology & Engineering Geology, 1998 (4) : 52 – 56 .

[21] 徐中平, 周训, 崔相飞, 等. 岩溶区地下水数值模拟研究进展[J] . 中国岩溶, 2018 , 37 (4) : 475 – 483 .

Xu Z P, Zhou X, Cui X F, et al. Research advances of numerical simulation of groundwater in karst areas[J] . Carsologica Sinica, 2018 , 37 (4) : 475 – 483 .

Effect of Pinglu Canal construction on the regional groundwater flow field

ZHANG Qinjun¹, CHEN Chiqing², TENG Long³, LI Jianwei¹, ZHENG Huanjun¹, KANG Zhiqiang⁴
(1. Guangxi Geological Survey Institute, Nanning Guangxi 530023, China; 2. China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China; 3. Guangxi Institute of Hydrogeology and Engineering Geology Survey, Liuzhou Guangxi 545006, China; 4. Guangxi Bureau of Geology & Mineral Prospecting & Exploitation, Nanning Guangxi 530023, China)

Abstract: Pinglu Canal construction required long, deep foundation excavations that would largely alter the surrounding groundwater flow field. The key excavation section of Pinglu Canal was selected as the research object to establish a three – dimensional groundwater flow numerical model. The changes in the groundwater flow field under the condition of the drainage and drying period of Pinglu Canal construction and water storage submergence during operation were predicted. The results show that the current groundwater flow field in the study area is from south – west to north – east runoff in the northern Yujiang River basin and from north to south runoff in the southern Qinjiang River basin. And the groundwater flow field during the construction and operation phases was changed to the runoff of east – west canal channel section and discharged to the canal, and flowed into Qinjiang River with the canal from north to south. During the construction period of Pinglu Canal, the excavation depth of Madaotou cascade hubs was the largest, which had the greatest impact on the surrounding groundwater and resulted in the maximum groundwater level drawdown depth of 63.1 meters. The area with extensive groundwater level decline caused by the operation and water storage of Pinglu Canal was mainly in each navigation channel segment of the canal, with the maximum drawdown being 20.8 meters. The model prediction results have reflected the impacts of the construction of Pinglu Canal on the groundwater flow field, and provided data support for future of regulatory programs and preventive and control measures for subsequent water resource – environmental management, which could help alleviate the groundwater environmental problems that may be caused by the construction of the canal at the source.

Keywords: Pinglu Canal; numerical simulation of groundwater; groundwater flow field; groundwater level
(责任编辑: 王晗)