

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2018.05.001



岩溶隧道工程修建对地下水环境的影响

赵瑜^{a,b}, 胡波^a, 陈海林^a, 向伟^a

(重庆大学 a. 土木工程学院; b. 库区环境地质灾害防治国家地方联合研究中心, 重庆 400045)

摘要:岩溶地区隧道施工期涌突水危害巨大,而大量输排地下水又会引发一系列的地质灾害。对中梁山隧道水文地质进行分析,采用遗传算法优化 BP 神经网络并对渗透参数进行反演,研究了隧道工程不同埋深、排水量对地下水环境的影响规律,并探究了隧道施工期和运行期地下水环境随时间的演变规律。结果表明:富水岩溶地区隧道具有从隔水层到含水层界面处涌突水风险最大的特点;开挖隧道时隧道高程越低、排水量越大,地下水环境变化越大;隧址区降落漏斗呈现出南侧小于北侧、东侧小于西侧的特征。现有施工期排水条件下施工地下水水位下降很快且不能恢复到原水位,建议该地区在隧道施工期控制排水量,并在施工期及运营期采取保护地下水环境的措施。

关键词:隧道;地下水;数值模拟;水位降深;降落漏斗

中图分类号:X45 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2018)05-0001-08

Impact of tunnel engineering on groundwater environment in karst area

Zhao Yu^{a,b}, Hu Bo^a, Chen Hailin^a, Xiang Wei^a

(a. College of Civil Engineering; b. National Joint Engineering Research Center for Prevention and Control of Environmental Geological Hazards in the TGR Area, Chongqing 400045, P. R. China)

Abstract: During the tunnel construction in the karst area, there is a great danger of water inrush, and the discharge of groundwater will lead to the geological disasters. The hydrogeology in Zhongliang mountain tunnel area was analyzed and the BP neural network optimized by the genetic algorithm is used for inverse analysis of the permeability coefficient of aquifer. The impact of tunnel elevation and the discharge of groundwater on groundwater environment change was studied, and the groundwater environment change with time was explored. The results show that water inrush during karst tunnels construction is most likely to occur on the interface between the aquifuge and the aquifer, and that tunnel elevation and the discharge of groundwater have both great impacts on the groundwater environment. The results indicate that the groundwater level drops rapidly and cannot return to the original level in the current drainage conditions. Consequently the discharge of groundwater should be controlled properly during construction. Measures should be also taken to protect the groundwater environment during construction and operation stage of tunnels.

Keywords: tunnel; groundwater; numerical simulation; groundwater level drawdown; depression cone

收稿日期:2017-10-15

基金项目:国家自然科学基金(51374257)

作者简介:赵瑜(1978-),男,教授,博士生导师,主要从事岩石力学、计算力学、地质力学方面的研究,E-mail: zytyut1@126.com。

Received:2017-10-15

Foundation item:National Natural Science Foundation of China (No. 51374257)

Author brief:Zhao Yu (1978-), professor, doctoral supervisor, main research interests: rock mechanics, computational mechanics, geomechanics, E-mail: zytyut1@126.com.

中国交通事业的发展日新月异,隧道工程不仅越建越多,而且越建越长。有效的交通在很大程度上依赖于具有良好线形的公路和铁路隧道^[1]。据统计,中国已建长隧道(长度大于 3 km)中的 41.27%的隧道在修建过程中几乎不同程度遇到了地下水的危害,并产生了隧道涌突水、区域地下水位下降、岩溶塌陷、地下水污染和生态环境退化等一系列的地下水环境问题^[2]。岩溶地区隧道地下水涌水问题是长期以来难以突破的水文地质难题。富水岩溶地区地下水不仅危及施工安全、影响施工进度,而且在隧道施工期大量输排地下水情况下极大地恶化当地环境。2016 年《环境影响评价技术导则》^[3]的修订则突显地下水环境影响研究的必要性。掌握隧道工程因素以及隧道施工和运行不同时期对地下水环境的影响规律,是对地下水环境进行科学评价的理论基础^[4]。

岩溶地区地质条件复杂,渗流参数是局部和粗糙的,因此,裂隙岩体系统水力参数的确定非常困难。人工智能、BP 神经网络等非线性研究工具的兴起,对参数反演这一问题开辟了新的思路。许多学者将遗传算法和神经网络用到参数反演中^[5-9],结果表明遗传算法和神经网络均能得到满意的结果。岩溶区隧道地下水与环境相互作用及相互影响已有不少研究^[4,10-18],隧道工程“以排为主”的设计原则已不能适应当前水环境保护的要求,而完全封堵地下水又会使隧道衬砌难以承受巨大的水压力,如何控制隧道施工期和运行期的排水量成为了隧道排水设计的关键。目前对于隧道施工排水量与地下水自动修复时间的研究仍处于薄弱阶段。针对于此,采用 Visual Modflow 建立了隧道渗流模型,基于遗传算法优化 BP 神经网络并对渗透参数进行反演,研究了隧道工程因素中埋深、排水量对地下水位变化、降落漏斗范围的影响规律,分析了隧道施工期和运营期的地下水环境变化规律,为隧道安全施工和地下水环境保护提供理论参考和依据。

1 隧址区水文地质分析

1.1 隧址区构造

川东地区地质构造主要以隔档式构造为主。即由一系列平行的背斜和向斜相间组成,其中背斜是窄而紧闭的,形态完整清楚,呈线状延伸;而两个背斜之间的向斜则开阔平缓。图 1 为研究隧道穿越典型川东隔档式构造山剖面图,背斜核部为二叠系上统长兴组(P_2c),两翼依次为三叠系飞仙观组(T_1f)、嘉陵江组(T_1j)、雷口坡组(T_2l)、须家河组(T_3xj)及侏罗系地层(J)。

重庆轨道交通六号线 II 期工程中梁山隧道中梁山区域一观音峡冲断背斜即为典型的隔档式背斜。背斜轴部位于山顶岩溶槽谷下(隧道穿越地层 P_2c 上方),两翼分布有岩溶槽(地层为 T_1j 、 T_2l)。该背斜特点导致其隧道修建主要存在以下问题:1) 高压。背斜核部为碳酸盐岩和碎屑岩类为主,给地下水提供了良好的赋存条件,而背斜两翼隔水层,地下水区域径流缓慢,使得背斜核部岩溶赋水层位内的水位普遍较高,而隧址区岩层倾角较大,易形成地下水径流(隧址区为岩溶水(地层为 T_1f^1 、 T_1f^3 、 T_1j 、 T_2l)和裂隙水(地层为 T_3xj^2 、 T_3xj^4)为主)。2) 地下水环境复杂。背斜以可溶性岩和不可溶性岩交叉发育,岩溶发育,与一般的地下水径流存在很大的差异,其水压大小与溶洞形态、大小密切相关。3) 难恢复。背斜窄而紧闭、向斜则开阔平缓、且由于背斜延伸长,地下水区域径流缓慢、排泄不畅,隧道开挖排水情况下,一旦超过了其恢复能力,将很难恢复,对自然和地下水环境影响很大。

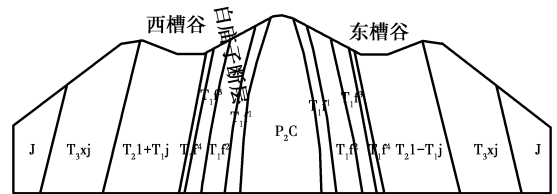


图 1 观音峡隔档式构造水文条件典型剖面

Fig. 1 A typical section of hydrological conditions of Guan Yin

1.2 工程概况

重庆轨道交通六号线二期工程中梁山隧道为单洞双线轻轨专用隧道,该隧道设计纵坡呈“人”字坡,里程 YDK47+509~YDK49+050 段设计纵坡 3.000%、里程 YDK49+050~YDK52+173 段设计纵坡 -21.000%,进洞口轨顶设计高程 309.789 m、里程桩号 YDK49+000 处轨顶设计高程 312.412 m(隧道最高点)、出洞口轨顶设计高程 246.829 m;隧道跨度:最大开挖宽 12.720 m(IVB 断面)、净跨 9.600 m,隧道高度:最大开挖高 10.621 m(IVB 断面)、净高 8.104 m。

1.3 隧道涌水、排水分析

中梁山隧道于 2010 年开始掘进,根据隧道进、出口的涌水量监测结果,进口出水量在 85.19~3 894.96 m³/d,平均日出水量约 710 m³/d;隧道出口出水量在 499.79~3 894.96 m³/d,平均日出水量约 1 821 m³/d,隧道建设将导致大量的地下水排出。2012 年 1 月在 2# 通风斜井掘进至郑家院子煤窑(KD1),造成了隧道涌水量突然增大,KD1 流量迅速减小并最终干涸。2012 年 1 月,隧道掘进至孔雀

谷附近时,水库在几天时间内完全干涸,在经过治理后水库又重新开始蓄水。经分析,此阶段为地层 T_3xj^3 进入地层 T_3xj^2 ,裂隙发育,表层水与地下水联系紧密。2012 年 4—5 月,隧道掘进至 T_{1j} 含水层,隧道涌水量增大明显,最大达 $3\ 849\ m^3/d$ 。如图 2 所示。可以看出,岩溶隧道在从隔水层到含水层界面处涌突水风险最大。

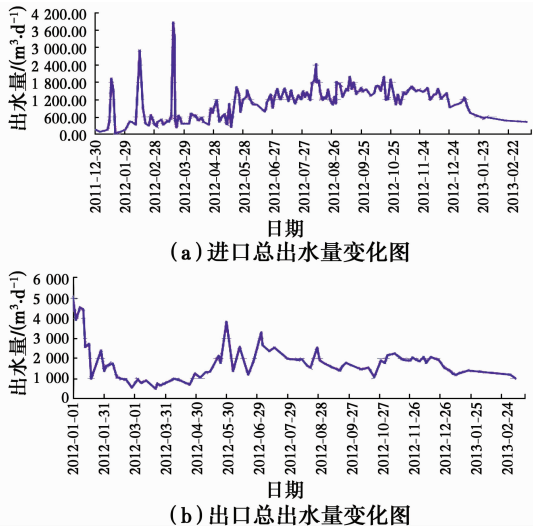


图 2 中梁山 2# 隧道进出口总出水量变化图
Fig. 2 Variation of total water yield of 2# tunnel ingress and egress in Zhongliang mountain

2 三维模型建立和参数反演

2.1 三维模型建立

以上述隧道地形建立地质模型,以三叠系嘉陵

江组(T_{1j})、三叠系中统雷口坡组(T_2l)、三叠系飞仙观组(T_1f^1 、 T_1f^3)在模型中作为主要含水层,三叠系上统须家河组二段和四段(T_3xj^2 、 T_3xj^4)作为含水层。山体东、西两侧的侏罗纪中统沙溪庙组(J_2s)、侏罗系下统珍珠冲组(J_1z)作为弱透水层;其外的侏罗系地层($J_{1-2}zl+J_2x$)作为隔水层处理。

根据区域水文地质资料、现场调查确定以隧道所在的水文地质单元为分析模型区域。长(沿中梁山走向)为 11.6 km,宽(隧道轴线方向)为 5.4 km,底部高程为 0 m,划分单元格 $300 \times 110 \times 10$ 个。三维地质模型如图 3 所示。模型采用等效连续介质模型。

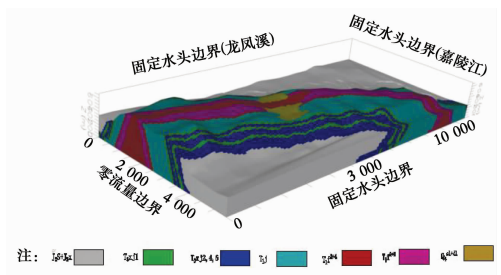


图 3 三维地质模型

Fig. 3 Three-dimensional geological model

2.2 地层参数选取

按不同地质地层赋渗流参数,参考勘察报告及区域水文地质资料的作为初始值。并按照平面上出露的岩性分布及地表地形进行分区赋值。给水度近似于空隙裂隙度,根据地区经验孔隙度作为储水系数。地层渗透系数选取如表 1 所示。

表 1 地层渗透系数选取

Table 1 Selection of coefficient of permeability

地层	$K_x/(m \cdot s^{-1})$	$K_y/(m \cdot s^{-1})$	$K_z/(m \cdot s^{-1})$	S_x	S_y	有效孔隙	总孔隙	降雨补给
J	1.97×10^{-7}	1.97×10^{-7}	1.97×10^{-7}	0.000 4	0.015	0.034	0.034	100
$T_3xj^{2,4,6}$	2.00×10^{-6}	2.00×10^{-6}	2.00×10^{-6}	0.001 1	0.023	0.051	0.051	200
$T_3xj^{1,3,5}$	8.33×10^{-7}	6.02×10^{-7}	8.33×10^{-7}	0.000 5	0.017	0.043	0.043	100
T_{1j}, T_2l	2.95×10^{-6}	2.09×10^{-6}	2.06×10^{-6}	0.002 3	0.141	0.196	0.196	900
T_1f^2, T_1f^1	1.27×10^{-7}	1.27×10^{-7}	1.27×10^{-7}	0.000 2	0.011	0.025	0.025	100
T_1f^1, T_1f^3	2.23×10^{-6}	1.98×10^{-6}	1.33×10^{-6}	0.002 1	0.107	0.117	0.117	150
Q_4^{dl+el}	2.70×10^{-8}	1.97×10^{-8}	2.33×10^{-8}	0.000 1	0.014	0.018	0.018	100

2.3 参数反演

地层初始渗透系数结合勘查报告和和经验选取,通过 Modflow 数值模拟软件模拟地下水位初始渗流场。不同渗透系数反应地下水位变化,记录每组渗透系数值和观测水头值。遗传算法种群规模为 10,进化次数 50 次,交叉概率为 0.3,变异概率为

0.1。神经网络的输入层 6 个节点,隐含层 5 个节点,输出层 8 个节点。为了得到更多的训练样本,采用有限元对三维渗流进行计算,得到 100 组训练样本。把计算水头当作输入训练样本,渗透系数作为输出样本,观测水头是钻孔取得的实际水位值,当作预测数据。利用遗传算法优化神经网络的手段,对

渗透系数值进行反演。参数反演结果如表 2 所示。

表 2 参数反演结果
Table 2 The result of parameters inversion

地层	$K_x/(m \cdot s^{-1})$	$K_y/(m \cdot s^{-1})$	$K_z/(m \cdot s^{-1})$
J	2.21×10^{-7}	2.21×10^{-7}	2.21×10^{-7}
T ₃ xj ² , 4, 6	6.55×10^{-7}	6.55×10^{-7}	6.55×10^{-7}
T ₃ xj ¹ , 3, 5	2.72×10^{-7}	1.28×10^{-7}	2.70×10^{-7}
T ₁ j, T ₂ l	2.08×10^{-6}	2.08×10^{-6}	2.08×10^{-6}
T ₁ f ² , T ₁ f ¹	3.15×10^{-7}	3.15×10^{-7}	3.15×10^{-7}
T ₁ f ¹ , T ₁ f ³	5.98×10^{-6}	5.62×10^{-6}	5.02×10^{-6}
Q ₄ ^{dl+el}	4.70×10^{-8}	3.53×10^{-8}	4.20×10^{-8}

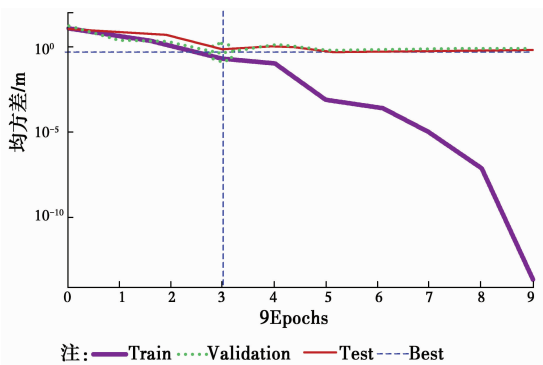


图 4 反演拟合曲线
Fig. 4 Tnefitting curve of inversion

图 4 为反演拟合曲线。水头校正用已知的水头和对应的计算水头比较,两者间的误差在精度范围内说明模型准确,达到模拟精度,可以采用该模型进行数值模拟分析。根据勘察资料,隧址区分布有 6 个钻孔,通过钻孔可以直接得到该钻孔水位。在模型中添加 6 个观测井,将计算水位和观测水位进行对比,如表 3 所示。

表 3 观测点误差统计

Table 3 The error statistics of observation point

编号	计算水头/m	观测水头/m	误差/m	百分比/%
1	403.5	403.84	0.34	0.08
2	419	418.56	0.44	0.10
3	461.7	461.88	0.18	0.04
4	554	553.94	0.06	0.01
5	573.5	573.63	0.13	0.02
6	594	594.41	0.41	0.07

从表 3 可以看出,对比 6 个观测井,所有点都落在置信区间内,误差均小于 0.5 m,符合国标要求。后面将采用该反演结果进行数值模拟分析。

3 隧道工程因素对地下水环境的影响规律

校正好的模型符合真实的地质条件,可以用来模拟隧道施工渗流场的演变规律,模拟的稳定流水位作为非稳定流的初始水位。图 5 为初始水位等值线图。

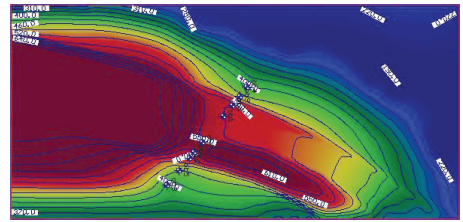


图 5 初始地下水位

Fig. 5 Initial groundwater level

3.1 隧道高程对地下水环境影响规律

模型原型隧道进洞口轨顶设计高程 309.789 m、隧道最高点设计高程 312.412 m、出洞口轨顶设计高程 246.829 m。隧道高程越高,埋深越小,同时相对于地下水位埋深越小。根据隧道排水量监测结果,现设定排水量为 2 500 m³/d,分别设置隧道高程为 250、300、350、400 m,分析不同埋深条件下隧道施工对地下水环境的影响。

图 6 为不同隧道高程(埋深)条件下的地下水位

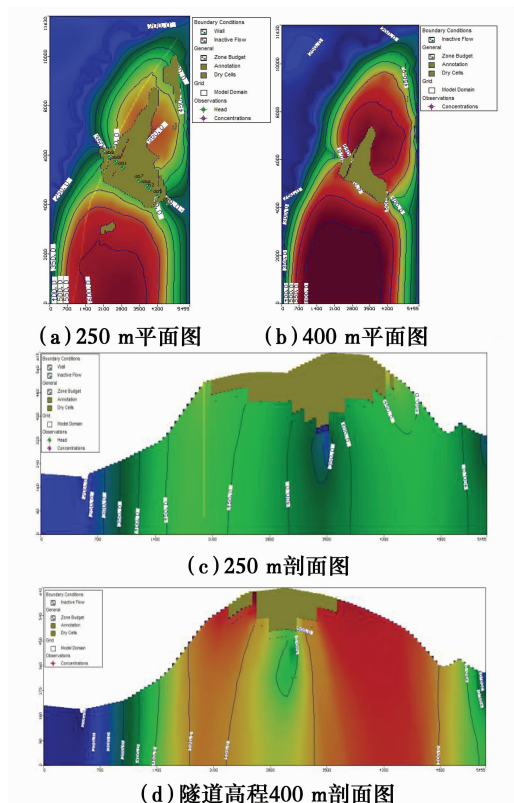
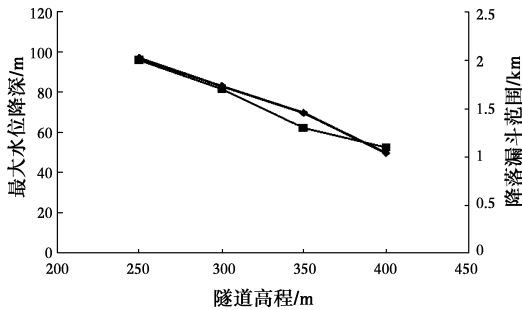


图 6 不同隧道高程的渗流场图

Fig. 6 The seepage field of tunnel with the different elevation

图。从图 6 可以看出,隧道施工时持续排水,隧道高程越低,即天然水位相对越高,隧道处水头越高,地下水位降深越大,降落漏斗范围越大,地下水流失量越大。降落漏斗影响范围并不严格的沿隧道轴向对称分布,降落漏斗范围呈现出隧道北侧大于南侧,西侧大于东侧。这与隧道两侧相对水头高度和地下水径流有关,南侧补给范围更广,影响较小,北侧为观音峡背斜北部边界,与嘉陵江相邻,其地下水储存量较小有关;同时,隧道出口(西侧)埋深低于进口(东侧)。在隧道开挖后,沿线含水层被破坏,水位降深很快,影响范围较广。



注: —●— 最大水位降深 —■— 降落漏斗范围

图 7 最大地下水位降深和降落漏斗范围随隧道高程变化曲线

Fig. 7 The maximum water level drawdown and scope of depression cone with different tunnel elevation

从图 6 和图 7 可以看出,随着隧道高程的增大,地下水位降深减小,降落漏斗范围变小,隧道高程升高 150 m(即地下水位相对下降 150 m)时,最大地下水位降深减小约 50%,降落漏斗范围减小约 50%;在高水位、排水量较大情况下,地下水环境改变明显,最大水位降深达到了 97 m。隧道高程增大后围岩处水头降低,孔隙水压力减少,在同等隧道堵水措施条件下,隧道渗水量减少。可见,隧道选址高程在地下水位之下时,应尽量浅埋,既保证隧道施工安全,又减少对水环境的影响。

通过对数值分析结果进行总结,富水岩溶区在施工期排水量较大情况下,水位降深和降落漏斗范围均变化很快,施工期地下水环境保护工程控制方法及措施:在富水岩溶地区,应尽量选择高位隧道。根据相关文献分析^[18-19],高位隧道施工风险低,对衬砌和注浆要求均较低,高位隧道对地下水环境影响较小,且增加隧道高程效果显著。

3.2 排水量对地下水环境影响规律

根据隧道施工期进出口排水量监测结果,平均排水量约 2 531 m³/d,分别模拟排水量为 500、1 000、1 500、2 000、2 500、3 000、3 500 m³/d 的渗流

场,探讨不同的排水量对地下水渗流场的影响,各排水量条件下渗流场(90 d)如图 8 所示。

从图 8 和图 9 可以看出,模拟表明:隧道施工期排水量为 500 m³/d 时,在 90 d 后地下水位降落漏斗已经形成。降落漏斗范围沿隧道轴线并不严格对称,与不同高程类似,北侧大于南侧,西侧大于东侧,分析其原因,隧道西侧(出口)隧道高程较东侧(进口)低,排水量较东侧(进口)大。随着隧道排水量的增加,地下水环境影响范围和最大水位降深均加,隧道排水量从 500 m³/d 增加到 3 500 m³/d 时,最大地下水位降深增加了约 4 倍,地下水影响范围增加约 1 倍。

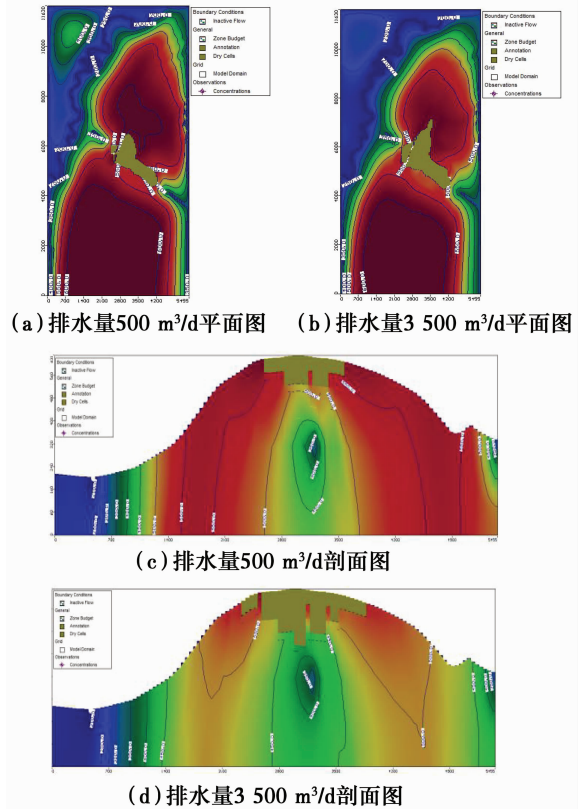
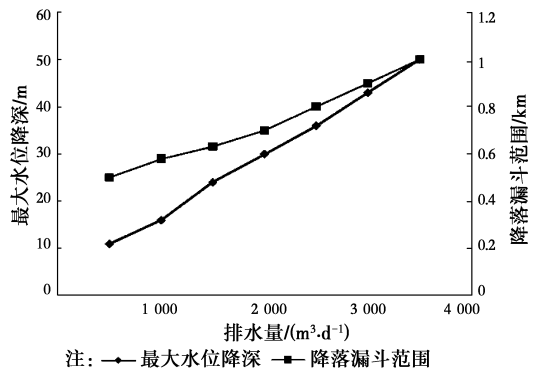


图 8 不同排水量的地下渗流场图

Fig. 8 The seepage field with different water discharge



注: —●— 最大水位降深 —■— 降落漏斗范围

图 9 最大地下水位降深和降落漏斗范围随排水量变化曲线

Fig. 9 The maximum water level drawdown and scope of depression cone with different water discharge

3.3 施工期地下水环境随时间的变化规律

假设隧道施工期间排水量为 $2\ 500\ \text{m}^3/\text{d}$, 根据隧道施工进度, 隧道施工工期为 2 年, 分为 8 个应力期, 每个应力周期为 90 d, 模拟隧道非稳定渗流的动态变化, 如图 10 所示。经分析, 地下水位变化很快的可能原因为岩溶区隧道一旦穿越含水层, 其地下水位迅速下降。调查发现, 随着地下水位的下降, 地下水与地表径流发生相应改变, 直接造成了隧址区岩溶泉的出水量减少甚至消失、机井水位的下降或者干涸。地下水位下降同时造成原来农田的含水量降低, 甚至变为旱地。

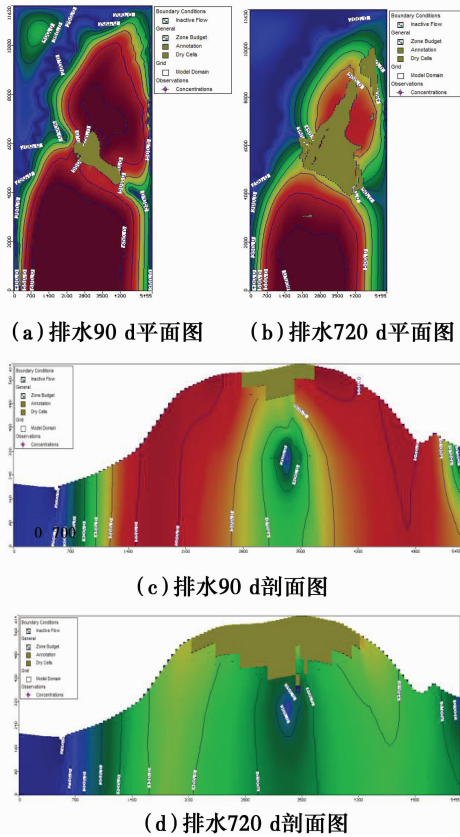


图 10 隧道施工期间地下水渗流场

Fig. 10 The seepage field during tunnel construction

3.4 运营期地下水环境随时间的变化规律

模拟发现, 隧道完工后地下水位降深最大达到 97 m, 影响范围 2 km。说明隧道开挖破坏了地下水循环系统, 改变了渗流路径。通过图 10 渗流场变化可以看出, 影响最大的是隧道轴线顶部以上部分。现分别模拟运营期为 0.5、1、2、3、5、10、20 a 时地下水渗流场, 如图 11 所示。

观测井水头的变化即地下水降深。从图 11 可以看出, 隧道运营 1 a 内地下水位上升较快, 隧道轴线顶部降落漏斗慢慢减小。5 a 后减小到约 30 m 处, 之后随着时间推移, 地下水位基本稳定, 降深维

持在约 30 m。分析其原因是隧道开挖破坏了地下水循环系统, 同时改变了地表水径流, 使得水位难以恢复到初始水位。隧道完工时降落漏斗范围向隧道中线两侧延伸 2 km, 5 a 后影响范围扩大到约 4 km, 以后不再发生较大变化。

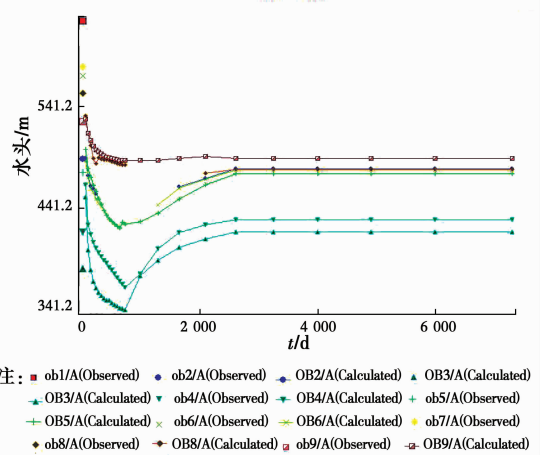


图 11 隧道地下水水位降深时间效应

Fig. 11 The time effect of groundwater level drawdown

经分析, 由于隧道运营期间堵水作用, 隧道两侧较远区域地下水向隧道轴线附近区域补给, 使得隧道轴线附近水位有所上升, 然而影响范围却向两侧逐渐扩展。通过调查和监测发现, 重庆轨道交通六号线二期中梁山隧道施工期间大量疏干地下水, 对周边环境造成不可恢复的影响。

实际工程中人们更关注运营期地下水环境情况。根据数值模拟结果, 结合工程经验和相关研究^[4,18], 运营期地下水环境保护控制方法及措施: 主要是控制好隧道施工期排水量, 同时减小运营期渗水量(如施工阶段进行注浆、衬砌等方法加大围岩和隧道的抗渗性), 可有效保护地下水环境。

4 结果分析

隧道工程与水环境的相互作用包括水环境对隧道工程的作用和隧道工程对水环境的反作用 2 个方面。水环境对隧道工程的作用表现为隧洞涌漏水和承受水压力。隧道工程对水环境的反作用导致洞顶的环境灾害: 隧道涌排水使地下水逐渐疏干, 使地下水位不断下降, 地下水疏干漏斗不断扩大, 水环境失去平衡。而如何平衡这两方面关系则是隧道设计的关键。

中梁山观音峡背斜由南至北地质构造较为相近, 对已建成的隧道对地下水环境影响进行分析对于未来隧道修建的环境影响有重要的借鉴意义。

表 4 中梁山南侧部分隧道工程与地下水相互作用^[19,有改动]

Table 4 Interaction between Partial Tunnel Engineering and Groundwater in Zhongliang Mountain

隧道名称(建设时间)	隧道设计高程/m	涌(排)水量/(m ³ ·d ⁻¹)	西槽谷影响范围/km 东槽谷影响范/km	
			北侧/南侧	围北侧/南侧
襄渝铁路(1970)	约 480	(运营)东侧 7 000;西侧 2 000	1.5/2	2.3/2
渝怀铁路(2001—2003)	约 250	涌水达到 53 000	3/3	4/6
成渝高速公路(1990—1994)	约 320~370	核部最大,为 2 996~3 398	1.5/1	1.1/1
渝遂高速公路(2004—2005)	约 300	东侧约 2 000,西侧约 2 800	2/2	2/2

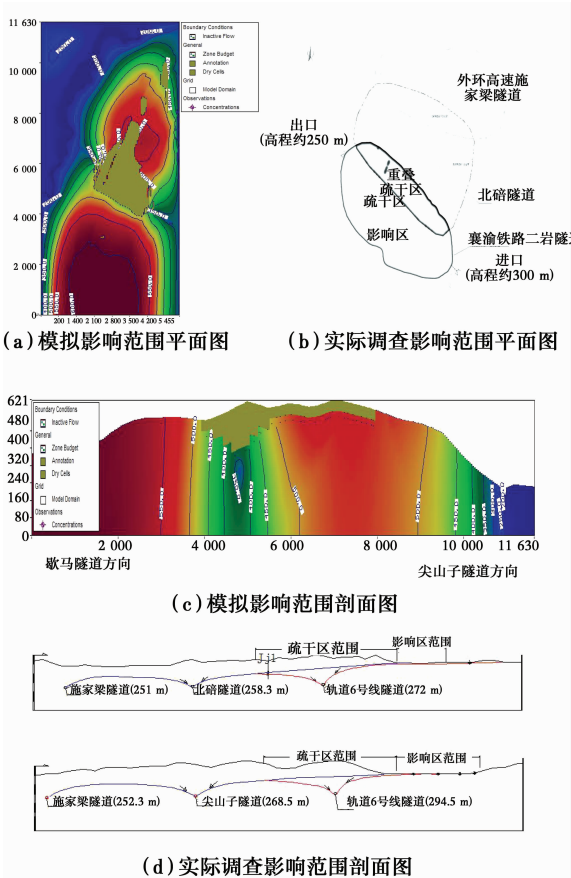


图 12 模拟与实际结果对比图

Fig. 12 Comparison of simulation and actual results

通过表 4 和图 12 分析可知,中梁山隧道工程的影响均在所处的局部系统范围内,各隧道影响程度有限,并未影响至深部径流的地下水。从图 12(a)和 12(b)、12(c)和 12(d)对比分析可以看出,模拟结果和调查结果均显示隧道高程对地下水环境影响很大。模拟结果基本符合实际情况。但需要注意的是本次模拟均只模拟了一条隧道,而研究区两侧均有隧道(歇马隧道在其后修建),隧道修建后地下水影响范围和最大水位降深可能与实际有细微出入。

5 结论

1)对隧址区水文地质进行分析,总结出岩溶地

区隧道难题:高水压、地下水环境复杂、难恢复的特点,其主要地层含水为岩溶水(主要地层为 T_1f^1 、 T_1f^3 、 T_{1j} 、 T_2l)和裂隙水(主要地层为 T_3xj^2 、 T_3xj^4),隧道施工期间涌水和排水量均表明岩溶地区隧道施工隔水层和含水层交界处涌水风险非常大,应注意防排水措施。

2)采用遗传算法优化 BP 网络方法对含水层渗透系数进行参数反演,通过与调查结果对比,模拟结果理想,表明遗传算法优化 BP 网络方法在参数反演的可行性,以及模型概化的准确性。

3)分别对隧道工程因素中的隧道埋深和排水量对地下水环境的影响进行了模拟。结果表明,随着隧道高程的增大,地下水位降深减小,降落漏斗范围变小;随着施工期排水量的增大,最大地下水位降深增加,降落漏斗范围变大;研究区降落漏斗范围并不严格对称分布,呈现出西侧大于东侧、北侧大于南侧的趋势。富水岩溶地区开挖隧道对地下水环境影响很大,隧道选线时应尽量选择高位隧道和控制施工期排水量。

4)分别对隧道施工期(2 a)和运营期(20 a)进行地下水渗流场模拟,结果表明,施工期内,降落漏斗在建设初期就已初步形成;运营期内,地下水位在 1 年内恢复较快,5 a 后基本达到稳定状态。在现有施工排水量情况,如果不采取相关措施,隧道地下水环境 20 a 内并不能完全恢复。

5)隧道开挖使原来的渗流场发生变化,当排水量较大时,即使渗流场稳定后,地下水也难以恢复到初始水平;中梁山地区隧道建设应该加深分析隧道群对地下水环境影响,同时在施工过程中应该采取相应的控制措施。

参考文献:

[1] BUTSCHER C, HUGGENBERGER P, ZECHNER E. Impact of tunneling on regional groundwater flow and implications for swelling of clay-sulfate rocks [J]. Engineering Geology, 2010, 117(3): 198-206.

- [2] 王勤,许兆义,王连俊. 圆梁山毛坝向斜段隧道涌突水灾害及对地下水的影晌[J]. 中国安全科学学报,2004,14(5):6-10.
WANG M, XU Z Y, WANG L J. Effects of water bursting and its impact on groundwater in the dike tunnel of Yuanliangshan Maoba [J]. Journal of Chinese Society for Safety Sciences, 2004, 14 (5): 6-10. (in Chinese)
- [3] 环境影响评价技术导则—地下水环境: HJ610-2016 [S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2016.
Technical guidelines for environmental impact assessment-groundwater environment: HJ610-2016 [S]. Beijing: China Environmental Science Agency, 2016. (in Chinese)
- [4] 刘志春,王梦恕. 隧道工程因素对地下水环境影响研究 [J]. 岩土力学, 2015(Sup2): 281-288
LIU Z C, WANG M S. Study on the influence of tunnel engineering factors on groundwater environment [J]. Rock and Soil Mechanics, 2015 (Sup2): 281-288. (in Chinese)
- [5] 刘要来,周红波,荀小伟. 基于 BP 神经网络的渗流场反演分析[J]. 中国水运月刊, 2014, 14(10): 113-116.
LIU Y L, ZHOU H B, XUN X W. An inverse analysis of seepage field based on BP neural network [J]. Chinese Journal of Water Transport, 2014, 14(10): 113-116. (in Chinese)
- [6] XU L, ZHANG T, REN Q. Intelligent auto feedback and safety early-warning for underground cavern engineering during construction based on BP neural network and FEM [J]. Mathematical Problems in Engineering, 2015(3): 1-8.
- [7] CAO Y, WANG W K, WANG T L, et al. Parameter inversion of tritium migration based on parallel genetic algorithm [J]. Advanced Materials Research, 2013, 610-613: 1883-1888.
- [8] MONTESINOS F G, BLANCO-MONTENEGRO I, ARNOSO J. Three-dimensional inverse modeling of magnetic anomaly sources based on a genetic algorithm [J]. Physics of the Earth & Planetary Interiors, 2016, 253: 74-87.
- [9] 尹小波,钟衍明,郭棋武,等. 基于改进遗传算法的岩体结构面幂函数模型参数辨识[J]. 煤田地质与勘探, 2016 (1): 85-89.
YIN X B, ZHONG Y M, GUO Q W, et al. Parameter identification of surface power function model of rock mass structure based on improved genetic algorithm [J]. Coal Geology and Exploration, 2016 (1): 85-89. (in Chinese)
- [10] LIU Y J, SHEN L Z. Numerical simulation study on three-dimensional seepage field of deep excavation dewatering in thick aquifer [J]. Applied Mechanics & Materials, 2013, 353-356: 1305-1309.
- [11] WU Y Z, WAN J W. The forecasting of tunnel water inflow in bare karst area [J]. Advanced Materials Research, 2015, 1065-1069: 397-401.
- [12] LIU H, DENG X Z. Construction simulation and monitoring data analysis on influence of tunnel excavation on the treatment structure of karst cave [J]. Applied Mechanics & Materials, 2012, 204-208 (9): 1323-1326.
- [13] ZHU Q Q, MIAO Q Q, JIANG S P. On karst water inrush (Gushing) geological environment in Pingyang Tunnel [J]. Applied Mechanics & Materials, 2014, 580-583: 1008-1012.
- [14] YAO B, BAI H, ZHANG B. Numerical simulation on the risk of roof water inrush in Wuyang Coal Mine [J]. International Journal of Mining Science and Technology, 2012, 22(2): 273-277.
- [15] HAO Y, RONG X, MA L, et al. Uncertainty analysis on risk assessment of water inrush in Karst Tunnels [J]. Mathematical Problems in Engineering, 2016(2): 1-11.
- [16] MENG Z, LI G, XIE X. A geological assessment method of floor water inrush risk and its application [J]. Engineering Geology, 2012, 143-144(4): 51-60.
- [17] LAI Y B, WANG M S, BAI C U. Predicting model of safe distance between tunnel and karst cave [J]. Applied Mechanics & Materials, 2014, 470: 862-865.
- [18] 高新强,艾旭峰,孔超. 高水压富水区裂隙岩体隧道渗流场的特征[J]. 中国铁道科学, 2016, 37(6): 42-49.
GAO X Q, AI X F, KONG C. Characteristics of seepage field of fractured rock mass in high water pressure rich-water area [J]. China Railway Science, 2016, 37 (6): 42-49. (in Chinese)
- [19] 龚睿. 隧道工程建设对隔档式岩溶富水背斜地下水环境的影响研究—以观音峡背斜为例[D]. 成都: 成都理工大学, 2010.
GONG R. Study on the impact of tunnel construction on the groundwater environment of the partition style karst water-rich anticline - A case study of Guan Yin Gorge Anticline [D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2010 (in Chinese)