

河北蔚县矿区水资源管理

杨兰和

(中国矿业大学资源与环境科学学院 徐州 221008)

摘 要 用水文地质数学模型,对蔚县矿区各井田奥陶系灰岩岩溶水不同设计水平的涌水量进行了预测.根据环境水文地质问题,分析了人工补给的必要性和可能性,建立了矿区水资源系统的管理模型,用对偶单纯形法对之进行了求解,证明了优化管理模型的正确性和可靠性.给出的最佳管理方案,为水资源的合理开发和综合利用提供了途径,收到了较好的效益.

关键词 环境水文地质;人工补给;管理模型;管理方案

中图分类号 P641

蔚县矿区位于一断陷盆地内,蕴藏着丰富的煤炭资源和水资源.地表水有壶流河水库及常年性河流——壶流河(图1),南部分布有第四系孔隙水,西部分布有奥陶系岩溶地下水.矿区主要可采煤层为中下侏罗统煤层.该矿区主要有4个井田——崔家寨、南留庄、单候和北阳庄井田(图2),开采水平分别为+850 m,+850 m,+650 m,+550 m.设计年生产能力为1000万t,达到生产能力需10年,服务年限100年以上.煤炭资源开采直接受到奥陶系岩溶水的威胁,同时,它又是矿区生活用水和工业用水的主要供水水源.矿区需水量随开采规模的增大而增加,将面临水资源不足的问题.煤矿的安全生产要求把地下水位疏降至安全水位以下,但大量排水必然产生工农业用水的矛盾,同时会引起一系列环境水文地质问题.这样,就给我们提出了如何合理地开发利用岩溶水这一新课题.

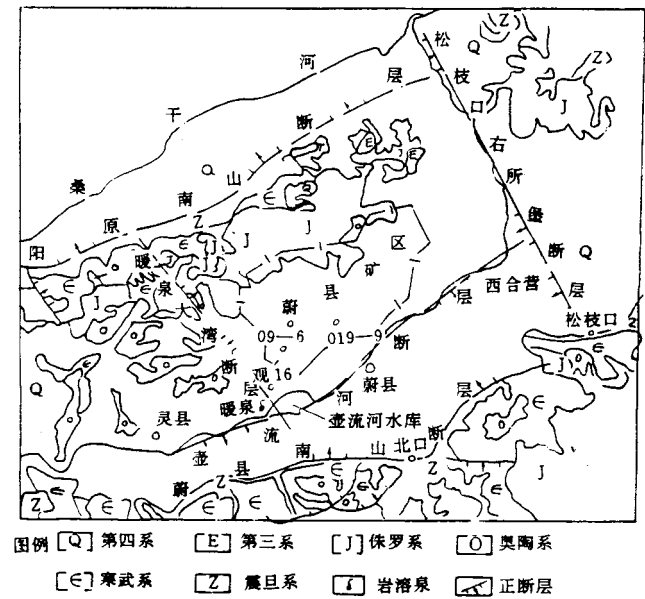


图 1 水文地质略图

Fig. 1 Abridged drawing of hydrogeology

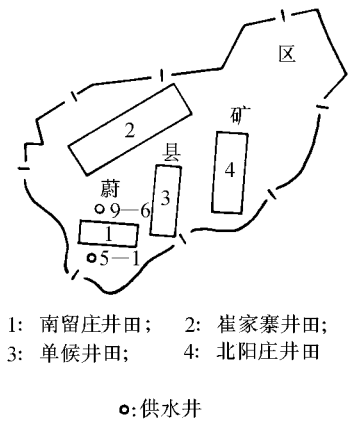


图 2 井点分布

Fig. 2 Distribution of well points

1 环境水文地质问题

本文建立了矿区奥陶系石灰岩岩溶含水系统地下水运动的数学模型,并对矿井涌水量进行了预测,各个井田奥陶系岩溶水不同设计水平的涌水量预测结果示于表 1.预测结果表明:在井田疏干条件下^[1],会造成整个矿区奥陶系灰岩水位大幅度下降,并产生下列环境水文地质问题 (a)5—1,9—6 两供水井报废(5—1,9—6 供水井初始水位分别为 943.57 m 和 958.51 m),不能继续使用 (b)暖泉干枯(暖泉泉口标高为 940.48 m,暖泉是蔚县城区开发旅游业的标志).

2 优化控制和管理模型

2.1 人工补给方案的必要性和可能性

根据设计部门的要求,矿区总需水量为 7.34 万 m³/d.由计算可知,矿区可供利用的稳定可靠的岩溶水水量最大为 3.64 万 m³/d.此水量不能满足需水要求.在疏干条件下,以专用的供水井为地面提供用水是不可能的,且因大量排水还将导致暖泉泉群干枯问题.

解决上述问题的途径有二:其一,于暖泉东部帷幕注浆,以壶流河南部的孔隙水、西部的岩溶水及水库作为供水水源;其二,人工补给,保证暖泉正常流水,实行排补结合.由预算得知,采取第一种方案至少投资1 000 万元.从经济效益出发,可以采用后者.暖泉东侧的第四系孔隙介质垂向渗透性能良好,适合于地下水人工补给的坑灌、竖立或漫灌方式;而且人工灌注补给集中,工程投资少,易于清淤,效果好.人工补给可利用的水源除暖泉以西的岩溶水外,尚有相距咫尺的壶流河水库,水库可提供的水量为 3.74 万 m³/d.以水库和西部岩溶水作为回灌水源,还可达到人工补给与农田灌溉相结合的目的.因此,进行人工补给不仅条件有利,而且可以发挥较大的经济效益和社会效益,有必要性,又具有可能性.

2.2 目标函数

研究的目的是在确保煤层安全开采的前提下,充分利用岩溶地下水,尽可能满足矿区用水要求,并保护环境.为了查明其供水的能力,目标函数确定为矿区供水量达到最大值.

2.3 约束条件

- a. 水动力条件.必须满足描述地下水渗流运动规律的定解问题(I).
- b. 安全开采条件.从疏干角度出发,要求威胁煤层开采的奥陶系水位低于安全水位值.
- c. 水资源条件.人工补给量不应超过水库和西部岩溶地下水最大可提供的水量.
- d. 环境条件.泉的水位不能低于泉口标高.
- e. 其它条件.(a)充分利用现有的供水水源井和勘探钻孔,把疏干孔尽可能布置在无煤区,为了提高排水效益与经济效益,拟在矿区的强富水带布置主要排水孔,同时又要兼顾井田首采区布孔排水 (b)各井田首采区内的排水量需满足本矿井的需水要求 (c)回灌水量不能超过排水量 (d)非负条件.

2.4 时段的选择

根据各矿井的建设顺序及产量规划,研究区水资源规划期为 12 年,分 10 个管理时间段,从 0.5 年,1 年到 2 年不等.

2.5 优化控制和管理模型

蔚县矿区岩溶地下水系统优化控制和管理模型为

(I)
$$\max(Q(i)) = \sum_{j=1}^{m_1} Q_1(i, j) - \sum_{j=1}^{m_2} Q_2(i, j) \quad i = 1, 2, \dots, n$$

表 1 涌水量预测结果

Table 1 Prediction data of inflow

井田	疏降水平 /m	供水井水位 /m		涌水量 (万 m ³ ·d ⁻¹)		暖泉水位 /m
		5—1	9—6	丰水期	枯水期	
崔家寨和南留庄	+ 850	852.10	844.88	2.637	2.169	940.48
单候	+ 650	828.53	670.59	3.785	3.347	913.01
北阳庄	+ 550	787.10	589.50	4.619	4.180	495.45

$$\begin{cases} s(k,i)=\sum_{j=1}^{m_1}Q_1(i,j)\beta_1(k,j,i)-\sum_{j=1}^{m_2}Q_2(i,j)\beta_2(k,j,i) & i=1,2,\dots,n;k=1,2,\dots,K \\ s(k,i)\geq s_1(k,i) & i=1,2,\dots,n \\ s(k',i)\leq 0 & i=1,2,\dots,n \\ \sum_{j=1}^{m_2}Q_2(i,j)\leq D_1(i) & i=1,2,\dots,n \\ \sum_{j=1}^{m_1}Q_1(i,j)\geq D_2(kk,i) & i=1,2,\dots,n;kk=1,2,\dots,K \\ \sum_{j=1}^{m'_1}Q_1(i,j)\leq \sum_{j=i}^{m_1-m'_1}Q_1(i,j) & i=1,2,\dots,n \\ \sum_{j=1}^{m_2}Q_2(i,j)\leq \sum_{j=i}^{m_1}Q_1(i,j) & i=1,2,\dots,n \\ Q_1(i,j),Q_2(i,j)\geq 0 & i=1,2,\dots,n;j=1,2,\dots,m_1(m_2) \end{cases}$$

II

式中： m_1 ——可供优选的排水节点数； m_2 ——可供优选的回灌节点数； m'_1 ——弱富水带内可供优选的排水节点数； n ——时段总数； kk ——矿井数； k' ——暖泉的节点号； $Q_1(i,j)$ —— i 时段 j 节点的抽水量； $Q_2(i,j)$ —— i 时段 j 节点的回灌量； $\beta_1(k,j,i)$ —— j 节点对 k 节点输入单位水量时，在 i 时段的响应（水位变化）； $\beta_2(k,j,i)$ —— j 节点对 k 节点输入单位回灌量时，在 i 时段的响应； $s(k,i)$ ——排、灌 i 时段对 k 节点的水位影响之和； $s_1(k,i)$ —— i 时段 k 节点的安全水位降； $D_1(i)$ —— i 时段人工回灌可供利用的资源量； $D_2(kk,i)$ —— i 时段 kk 矿井的需水量； $s(k',i)$ —— i 时段暖泉的水位降。

2.6 模型的验证

对上述管理模型采用对偶单纯形法求解^[2]，最优排水量和人工补给量计算结果如图 3 所示。为了验证优化模型的正确性，把决策变量的优选值反馈原系统，以崔家寨和南留庄井田为例，其输出结果见表 2。

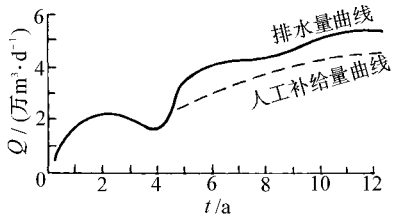


图 3 最优排水量、人工补给量曲线
Fig. 3 Curves of optimal drainage and artificial recharge

表 2 崔家寨和南留庄井田 + 850 m 疏降水平反馈输出结果

Table 2 Back feed output for + 850 m level of Cui Jiazhai and Nan Liuzhuang mine fields

结点号	67	94	41	63	65	96	97	98	99	101
水位/m	835.15	839.19	845.89	850.32	847.42	840.74	848.44	848.90	845.45	857.23

注 暖泉影响 5—1 9—6 供水井水位分别为 836.88 m 和 845.15 m。

计算结果满足模型的约束条件，符合实际，令人满意，并且体现出水资源系统的均衡性。

3 优化管理方案

根据优化计算结果，从保证矿井安全生产，尽可能满足矿区用水要求，保护水文地质环境及提高经济效益的角度出发，对矿区水资源的合理利用可规划为如下 3 个阶段。

第一阶段：即初期阶段，崔家寨井田投入生产，开采水平浅（+ 850 m），排水量少，需水量亦较少，由 5—1 和 9—6 两供水井即可为地面提供用水。

第二阶段：矿区初具生产规模，崔家寨、南留庄及单候井田已先后投入生产，疏降水平大幅度降低（+ 650 m），9—6 供水井报废，5—1 井仅能为南留庄矿提供用水。由于地面基本建设规模的扩大，需水量增加，这样，需在南留庄矿奥灰富水区及利用单候井田的 19—9 孔群设置疏降排水点，暖泉泉群开始受到影响，应在暖泉的西侧或南侧进行人工回灌。

第三阶段 矿区已达到生产规模 , 崔家寨、南留庄、单候和北阳庄矿井全面投入生产 . 奥灰水水位再度降低 (+ 550 m) 9—6 和 5—1 两供水井已不能使用 , 矿区需水量亦日益增加 , 为满足地面用水要求 , 在第二阶段的基础上 , 尚应在北阳庄井田的首采区设置排水点 , 以供代排 , 排供相结合 . 同时 , 为保证暖泉泉群正常流水 , 应不断地增加人工补给量 . 在该阶段 , 人工补给可与农田灌溉相结合 .

4 结 语

本文建立了蔚县矿区岩溶地下水系统渗流运动的数学模型 , 考虑到实际问题 , 进而建立了矿区的水文地质管理模型 . 采用排、供、补三结合的管理原则 , 合理利用岩溶地下水 , 变害为利 , 既能解除水患 , 提高生产率 , 保护环境 , 又能为地面提供生活和工业用水 , 同时既可缓和工农业用水的矛盾 , 收到较大的经济、环境效益和社会效益 , 还可为岩溶水的综合防治及水资源的合理开发提供最佳途径 .

参 考 文 献

1 薛禹群 , 谢春红 . 水文地质学的数值法 . 北京 : 煤炭工业出版社 , 1980 . 141 ~ 187
2 杨悦所 . 石家庄市地下水资源管理模型 . 长春地质学院学报 , 1987 9 (4) 53 ~ 58

Water Resources Management of the Yuxian County Mining Region
in Hebei Province

Yang Lanhe

(College of Mineral Resource and Environment Science , CUMT , Xuzhou 221008)

Abstract In this paper , hydrogeologic mathematical model is used to predict the mine inflow of karstic water in Ordovician limestone in different fields at the different designing mining levels in the Yuxian county mining region . In consideration of the environmental hydrogeological problems , necessity and probability of artificial recharge are analysed , management model of water resources system in the mining region is set up and is solved by a dualization simplex method . The correctness and reliability of the optimal management model are verified . The best management scheme is given , which provides means for rational exploitation and comprehensive utilization of water resources .

Key words environmental hydrogeology ; artificial recharge ; management model ; management scheme