

• 水文地质工程地质 •

## 内蒙一煤矿区地下水水资源管理模型

煤田水文地质公司一队 付跃军

研究区位于大兴安岭西麓，H河自东向西流经该区北部，为主干河流。经勘探知该河河谷第四系孔隙含水层及基岩风化裂隙带地下水资源丰富，水质优良。研究区供水水源地选在河南岸的一矩形区域内，现有供水井3组，分别设在涵洞，电厂及运销处，总供水能力为 $14\ 688\ m^3/d$ ，与规划需水量尚差 $21\ 957\ m^3/d$ 。由于矿区向H河及其南侧河漫滩排放污水，致使该区含水层北部被大面积污染。因排污区处在含水层径流区上游，污染区域尚在不断扩大（图1）。

如何有效地控制污染，充分利用现有供水井来满足各阶段需水量，是一亟待解决的问题。本文通过系统分析，建立了该区地下水水力管理模型，给出了利用现有供水井满足各阶段需水量，同时又有效控制污染的最优布井方案及出水量。

## 1 地下水流模型的建立

## 1.1 地下水流模拟模型

该区含水层主要由第四纪全新世冲积砂砾石层、晚更新世冰水堆积砂砾石层及侏罗纪的火成岩风化带组成，厚度稳定，一般为60~70 m。含水层顶板为漫滩相粘土及亚粘土，厚3~10 m，具有较好的隔水性；底板为风化带下部的巨厚火山岩，是稳定的隔水层。地下水位埋深较小，一般为4~8 m。总的来看，含水层是承压的，由于水位低于含水层顶板，仅在局部形成层间无压水。东部M河方向的侧向径流及北部H河局部河床的渗漏是其主要补给来源。由于含水层顶板粘土、亚粘土层的阻隔，含水层不能接受大气降水的直接入渗补给。天然状态下，地下水由东向西径流，与H河流向基本一致；径流及人工开采是该含水层的主要排泄途径，H河下游是其主要排泄区（见图1）。据此，可以确定东部为补给边界；西部为排泄边界；北部H河总的来看为排泄边界，仅局部补给地下水；南部由于侏罗纪火成岩出露，地形凸起，含水层尖灭可视为隔水边界。

根据上述水文地质条件，可将含水层概化为东、西及北部为定水头边界、南部为隔水边界，无降水入渗补给，以侧向径流为主，

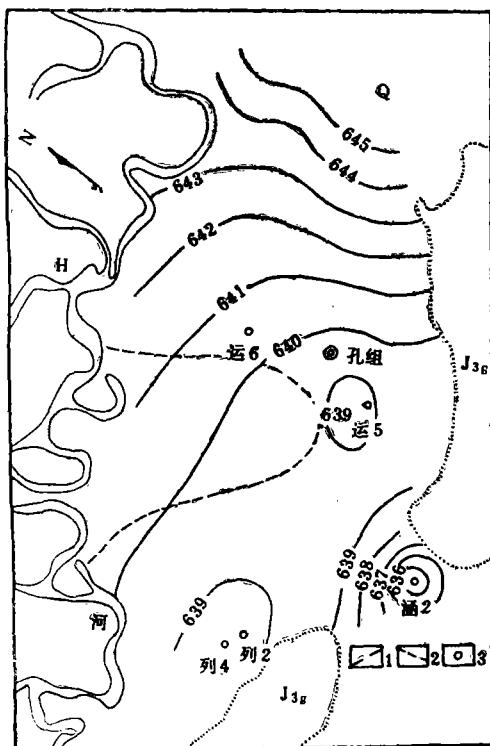


图 1 矿区水文地质图

1—等水位线; 2—污染区范围; 3—供水孔

向H河排泄的承压含水层。用不规则网格有限差分法进行数值模拟,圈定的计算区域及单元剖分如图2所示,共剖分142个节点,232个面元。

综上所述,可建立如下数学模型:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( T_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( T_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) = S \frac{\partial H}{\partial t} + W \dots \dots \quad (1)$$

$$H(x, y, o) = H_0(x, y)$$

$$H(x, y, t) |_{\Gamma_1} = H_0(x, y)$$

$$T \frac{\partial H}{\partial n} |_{\Gamma_2} = 0$$

式中: $T_x, T_y$ — $x$ 和 $y$ 方向导水系数;

$S$ —储水系数;

$H$ —水头;

$t$ —时间;

$W$ —单位面积上水的垂向交换量;

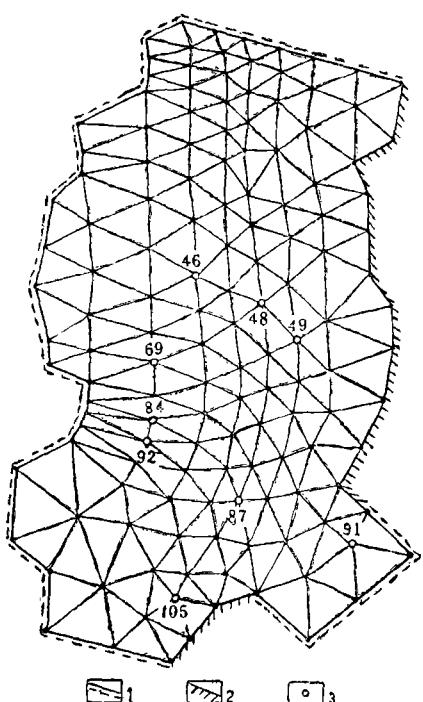


图2 单元剖分图

1—第一类边界; 2—隔水边界; 3—供水点

$H_0$ —初始水位;

$\Gamma$ —计算边界( $\Gamma_1$ 表示一类,  $\Gamma_2$ 表示二类);

$n$ —边界 $\Gamma$ 的外法线方向。

采用1986年7月4日的统测水位为初始水位。利用1986年7月4日至7月19日的孔组抽水试验资料进行水位拟合。经反复调参,4个参数区的7个观测孔水位拟合良好,模型得以校正。

## 1.2 地下水管理模型

地下水管理实质上就是最优化决策,系统分析是建立地下水管理模型的基础。如前所述,本区地下水系统的结构比较简单。系统地层可分3个剖面结构层,上部是全新世的粘土及亚粘土层,具有良好的隔水性,几乎隔断了大气降水对下部含水层的入渗补给;中部由砂砾石层及基岩风化带组成,是系统地下水贮存、运移的主要场所;下部为凝灰岩,厚度大,是稳定的隔水层。

根据地下水动态分析,每年的8、9、10三个月是系统接受补给的主要时期,在此期间,系统的输入大于输出,表现为地下水位升高。补给方式以侧向径流为主,同时侧向径流也是其主要排泄方式。

由上述系统特征及其数值模拟模型,不难看出该地下水系统为线性系统。因此,该区的地下水管理采用线性规划。

本文设计的管理方案是在有效地控制污染范围、改善污染含水层的前提下,充分利用现有供水井来满足各阶段的需水量,其目标函数为

$$\max Z = \sum_{i=1}^m Q_i \dots \dots \dots \quad (2)$$

式中: $Q_i$ — $i$ 节点的抽水量;

$m$ —管理区内设计的供水点数。

约束条件有3组。第一组是为现有开采并不被疏干,根据水文地质条件进行的水位

限制，即：

式中:  $h$ —抽水点(井)的水位标高;  
 $c$ —水位限制值。

将有关点数据代入上式, 得各开采井的水位约束:  $h_{4,9} \geq 617.65$ ;  $h_{5,3} \geq 576.392$ ;  
 $h_{4,7} \geq 620.6$ ;  $h_{6,1} \geq 626.7$ ;  $h_{1,5} \geq 617.11$ 。

为了控制污染水体的入侵，采取限制污染水体边缘节点水位，控制地下水局部流向的方法。此为第二组约束： $h_{70} \geq h_{69}$ ;  $h_{85} \geq h_{84}$ ;  $h_{98} \geq h_{97}$ 。

第三组为需水量约束，即：

$$\sum_{i=1}^n Q_i = D_j \quad (j=1, 2, \dots, N) \quad \dots$$

..... ( 4 )

式中:  $D_i$  ——各规划阶段的用水指标。

另有非负约束:  $Q_i \geq 0$

以上目标函数及约束条件，就构成了该地区地下水管理的线性规划模型。

## 2 管理模型求解

由于系统是线性的，因此满足叠加原理。应该指出的是，在各规划期内假定边界条件是不变的。采用响应矩阵法求解管理模型，若系统中有 $m$ 口抽水井，规划时段为 $n$ ，根据叠加原理， $n$ 时段末所观测节点的水位降深是 $m$ 口抽水井共同作用的结果。

根据研究矿区的建设规模，本文设计了1986年7月～1991年7月5年规划期，分3个阶段进行管理。1986年7月～1987年7月为第一阶段，1987年7月至1989年7月为第二阶段，1989年7月至1991年7月为第三阶段。

## 2.1 第一阶段管理模型

第一阶段的需水量为 $14\ 688 \text{ m}^3/\text{d}$ 。设计供水点6个，分别设在46、48、49、87、91和105号节点，其中48号节点为原孔组抽水试验井，其余均为现有供水井。由于污染区

位于含水层的上游，要防止污染水入侵，就必须在污染区设计排污井或注水井，以形成局部反向水力坡度，从改善含水层的角度看，前者更为有利。为此，在69、84及92号节点设计3个排污点。各抽水节点的抽水量可以是单个井的抽水量，也可以是节点附近多个井抽水量的叠加。为了产生响应矩阵，根据该区的水文地质条件及管理目标，经调试选取单位抽水量为 $1\text{ 000 m}^3/\text{d}$ 。将有关数据及水位响应值分别代入(2)~(4)式，即得第一阶段管理模型。

对于污染区边缘的水位约束，即第二组约束条件，可采取下列变换：某节点某时刻的水位标高等于该节点的初始水位标高与该时刻的水位降深之差，即 $h = H_0 - S$ 。其中， $H$ 是已知的， $S$ 是系统中所有抽水井共同作用的结果，可用响应函数表达：

式中:  $\beta(x, y, t)$  ——响应函数。

因此,  $h_i \geq h_j$ , 即为  $H_{i_0} - S_i \geq H_{j_0} - S_j$ ,  
 $S_i - S_j \geq H_{j_0} - H_{i_0}$ , 亦即

$$\sum_{k=1}^m Q_k \beta(x_i, y_i, t) - \sum_{k=j}^m Q_k \beta(x_i, y_i, t) \\ \geq H_{i0} - H_{i0}$$

用改进的单纯形法计算, 得出该阶段的最优开采量及最佳分配方案(表1)

上述结果所控制的流场是本管理方案该阶段的最佳流场。代入数值模拟模型进行水头预报，可得到该阶段末的水位分布。

## 2.2 第二阶段管理模型

第二阶段的需水量为 $23.868 \text{ m}^3/\text{d}$ , 同理可建立第二阶段管理模型。计算结果见表2, 亦可画出该阶段末的水位分布。

### 2.3 第三阶段管理模型

该阶段规划需水量  $36.645 \text{ m}^3/\text{d}$ 。该阶段的计算结果如表 3，其流场如图 3 所示。

表1 第一阶段抽水点流量表

抽水点	类型	供水点				排污点
		节点号 (编号)	46 (运6)	87 (供1)	91 (涵2)	
抽水量(m³/d)		12 832.74	599.5135	347.982	907.7701	8 531.961
合计			14 688.0056			76 892.97

表2 第二阶段抽水点流量表

抽水点	类型	供水点			排污点	
		节点号 (编号)	46 (运6)	91 (涵2)	105 (列2)	
抽水量(m³/d)		23135.75	198.7855	533.459	8301.026	106585.2
合计		23 867.9945		114 886.266		

表3 第三阶段抽水点流量表

抽水点	类型	供水点		排污点	
		节点号 (编号)	46 (运6)	105 (列2)	
抽水量(m³/d)		36020.22	624.777	86884.89	28087.59
合计		36 644.997		114 972.48	

### 3 结果分析

各阶段管理模型运行结果有以下规律：

a. 随着开采时间的延长，抽水量的增加，供水点减少，且向着远离污染区、补给条件好的地段集中，排污点数始终不变，其抽水量随时间的延长而增加。这是因为随供水量增加，抽水时间延长，各供水点形成的水位降落漏斗不断扩大，管理区内部水位逐渐下降，要同时满足需水量和防止污染水入侵等条件，供水井只有向远离污染区、补给条件较好的区域集中，以便使污染区边缘地下水位下降速度减缓、幅度减小。同时也正是由于管理区内部水位的下降，迫使排污点不得不增加抽水量，以保证污染区边缘的水位低于管理区内部水位。

b. 各阶段管理模型运行结果均未给新

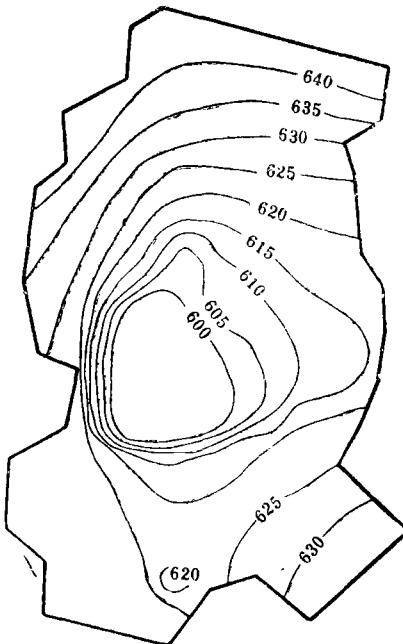


图3 第三阶段末流场图

增供水点48号节点分配水量，说明此处抽水是不合适的。同理，未分配水量的几个现有供水井，在污染区水质未改善之前，不宜抽水。

c. 各阶段供水点的出水量正好等于相应阶段的需水量。也就是说，供水点的出水量在满足需水量约束的下限后，不再增加。这是管理方案本身的要求所决定的。前面已谈到该管理模型主要功能有两方面：一是控制污水的入侵，即最佳流场控制；二是求得满足各阶段需水量的最佳开采方案（供水点分布及水量分配）。两者是相辅相成的，也就是说“最佳”流场是在满足各阶段需水量的前提下，防止污染水入侵的“最佳”流场，

# 鹤壁一矿-50水平 下夹煤试采突水可能性预测

煤炭科学研究院西安分院鹤壁课题组

在充分研究分析鹤壁一矿-50m水平下夹煤试采区水文地质条件的基础上，通过二项检验、 $\chi^2$ 检验和 Mann—Whitney检验，从鹤壁、安阳、峰峰等矿区的大量突水资料中筛选出突水部位、开采方法、有无构造、距构造距离、断层落差、构造复杂程度和突水系数等7个因素，建立矿坑突水预测模型，预测试采区突水可能性。经过多年试采验证，效果良好。

## 1 试采区水文地质概况

鹤壁矿区位于河南北部，西依太行山。一矿位于矿区中部，属许家沟泉域。井田南部以F<sub>1</sub>断层与二矿相隔，北部以F<sub>1+5</sub>断层与四矿相邻。井田北翼为一被断层切割的单斜构造，属曹家倾伏背斜的一翼。井田南部为不对称的被F<sub>1-1</sub>和SF<sub>3</sub>断层切割的向斜褶曲，轴向NE，倾向SE，岩层平缓，倾角8°～10°。试采区即位于此不对称向斜褶曲内。试采区内已探明落差2m的断层2条，其余断层落差<2m。

与下夹煤试采关系最为密切的含(隔)

而“最佳”开采方案则是满足流场控制、不扩大污染条件下的开采方案。显然，增加供水点的出水量，必然导致含水层内部的水位降加大，这无疑增加了控制污染范围的难度。因此，该供水量结果是解决上述矛盾的最佳值。

d. 从各阶段末的流场来看，随着抽水时间增加，环绕污染区的降落漏斗逐步形成。

水层有：

### 1.1 太原群二层石灰岩含水层

它是下夹上煤(六煤)的直接顶板，厚7~11m。分布稳定，岩溶比较发育，-50m水平石门疏干水量28.0~350m<sup>3</sup>/h。据放水资料，钻孔单位涌水量5.88~7.39m<sup>3</sup>/h·m，导水系数T=5.19~9.46m<sup>2</sup>/h，贮水系数S=1.42×10<sup>-5</sup>~2.16×10<sup>-6</sup>。水质为HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-Ca型，当得到奥陶纪石灰岩(下称奥灰)水补给后，SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>含量减少。水中含微量元素Mn<sup>2+</sup>，说明地下水交替弱，循环条件差。-50m水平以上已处于被疏干状态。

### 1.2 本溪组隔水层

它是下夹下煤的底板，平均厚36.8m。由铝质泥岩、砂质泥岩、砂岩和薄层石灰岩组成，以泥岩类为主。具有削减奥灰含水层水头压力、防护奥灰水突入矿井的功能。砂岩和薄层石灰岩弱含水，水位标高+67~+105m，钻孔涌水量可达5.4~21.6m<sup>3</sup>/h。水质为富含亚铁的SO<sub>4</sub>-Ga型水，表明地下水循环条件差，处于强还原环境中。

第二阶段漏斗初具规模，到了第三阶段污染区已位于漏斗中心。如果矿区排放的生活污水达到排放标准，亦即含水层不再受到新的污染，那么，在此条件下含水层会很快得以改善，排污井即可做为供水井使用。因此，建议在排污井抽水过程中对其水质随时监测。

在上机计算过程中，得到了方向清、龙玲两位同志的热情帮助，再此致谢。