

# 保山西邑岩溶充水矿床涌水量三维模拟研究

郭良<sup>1</sup>, 徐世光<sup>1,3</sup>, 李洪伟<sup>2</sup>, 刘德安<sup>2</sup>

(1. 昆明理工大学, 云南 650093; 2. 保山恒源鑫茂矿业有限公司 云南 保山 678000;  
3. 云南省地质矿产勘查开发局, 昆明 650011)

**摘要:** 概化研究区合理水文地质概念模型的基础上, 建立地下水三维数学模型。通过渗透试验确定出三维渗透系数, 运用有限差分法对该模型进行计算, 模拟出在实施不同工程条件下的矿井开采涌水量, 提供经济合理的治水途径。

**关键词:** 三维数学模型; 渗透试验; 实际开采量; 岩溶充水矿床; 云南 保山西邑

**中图分类号:** P618.134 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-1885(2010)01-069-05

研究区位于保山市西部, 具工业价值的资源埋藏较深。未来开采矿井的平巷全部位于当地最低侵蚀基准面之下。研究区容矿层本身就是富水性强的岩溶含水层, 溶蚀裂隙和构造破碎带发育, 且与河流直接接触, 致使矿坑地下水补给条件充足, 并具较高水压。加之水文地质边界条件复杂, 利用传统的“大井法”预测水量与实际情况有较大差异, 需要对该矿井进行数值模拟, 以对未来开采情况下的矿井涌水量进行预测。

## 1 水文地质条件

研究区地势南高北低, 西高东低, 标高 1570m~1800m。区内地表有三条水流: 东南侧的马桥河、西北侧的莫家河和北侧的东河, 矿区处于马桥河和莫家河挟持位置(图 1)。

矿区出露中泥盆统何元寨组( $D_2hy$ )、上泥盆统大寨门组( $D_3d$ ), 下石炭统香山组( $C_1x$ ), 上石炭统卧牛寺组( $C_3w$ ), 中三叠统河湾街组( $T_2h$ )和第四系洪冲积、残坡积层。矿体隐伏于香山组中。

区内  $T_2$ 、 $C_1$  地层富含碳酸盐岩类裂隙溶洞水, 属强富水性, 构成主要含水层;  $D_2$  地层含有碳酸盐岩类裂隙溶洞水, 富水性中等, 对主要含水层有一定补排作用;  $D_3$ 、 $C_3w$  以及  $Q$  等地层富水性弱, 确定为相对隔水层。

## 2 水文地质概念模型

根据调查情况, 矿区内并无连续隔水层存在, 且  $F_7$  断层破碎带有很强的透水性, 致使北侧东河与矿区存在紧密的水力联系。沿  $F_1$  断层破碎带岩溶发育, 表明  $F_1$  断层具有良好导水性, 矿区北东是  $T_2$  和  $C_1$  两大碳酸盐岩强含水层联系的桥梁。含水层溶隙、裂隙含水介质之间相互切割, 关系密切, 具有较统一的水力联系。

### (1) 自然条件下的概念模型

自然条件下, 矿井巷道开采后, 巷道的充水来源主要是马桥河水倒灌, 以及东河河水、 $D_2hy$  地下水, 巷道充水量主要受含水层溶隙、裂隙介质所控制。

此时, 矿区北东  $T_2h$  岩溶水流场因马桥河水恒定水头的作用, 基本不受影响。平面上, 矿区北部  $C_3w$  与  $C_1x$  地层接触界线构成一隔水边界; 东部和南部的马桥河构成矿区定水头边界(一类边界)。矿区西部为  $D_2hy$  地层, 与矿区的  $C_1x$  地层通过  $F_7$  断层相接, 在建立模型中处理为定流量边界(二类边界), 该边界北部有东河水汇入, 流量值相对较大。矿区天然概念模型平面概化如图 1。

收稿日期: 2009-04-08

作者简介: 郭良(1984~), 男, 河南安阳人, 在读硕士研究生, 专业方向: 水文地质。

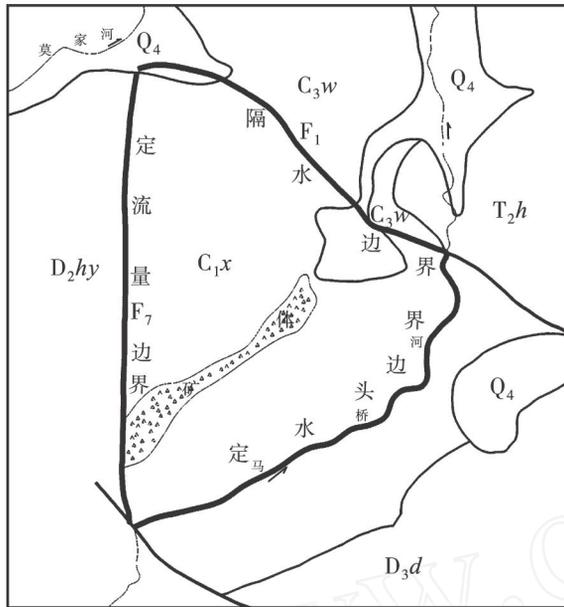


图1 研究区天然情况下的概念模型  
Fig 1. Natural Concept Model of Study Area

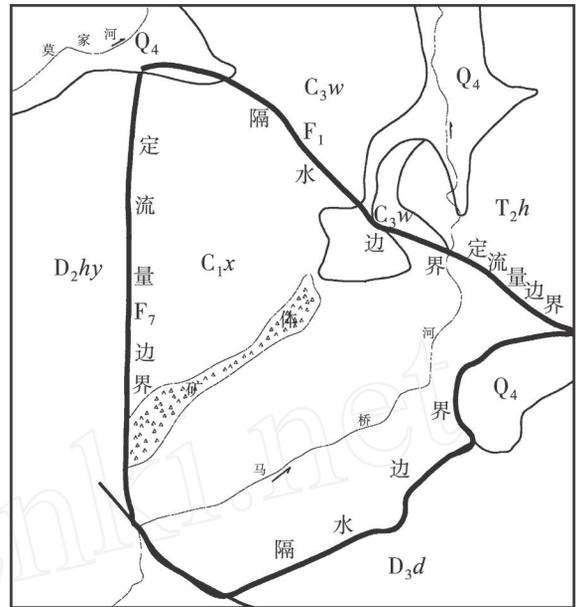


图2 研究区实施工程情况下的概念模型  
Fig 2. Concept Model under Engineering State of Study Area

### (2) 实施工程条件下的概念模型

如果采取工程，隔断马桥河与含水层的联系（如浆砌河床），矿区南东、南部的  $C_1x$  含水层的边界将相应向东扩展到其与  $D_3d$  地层交界处。由于  $D_3d$  地层富水性较弱，在概念模型中将其概化成隔水边界；另外，马桥河边界性质的改变，将致使矿区东北  $T_2$  岩溶水跨  $F_1$  断裂流入矿区，成为透水边界。区域水文地质条件揭示， $C_1x$  含水层比  $T_2h$  的富水性明显要弱，因而巷道充水量主要也受  $C_1x$  含水层的溶隙、裂隙介质所控制，此时，东北  $T_2$  岩溶水跨  $F_1$  断裂段，可概化为定流量边界。矿区其他边界条件同自然状态边界，概念模型平面概化如图（2）所示。

## 3 数学模型建立及求解

基于前述建立的水文地质模型，本次数值模拟的数学模型为：

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} \left( K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_{zz} \frac{\partial h}{\partial z} \right) + w - p = \mu \frac{\partial h}{\partial t} \\ H|_1 = H(x, y, z) = C & (x, y, z) \quad 1 \\ \frac{\partial H}{\partial n} |_2 = M & (x, y, z) \quad 2 \end{cases}$$

式中： $K_{xx}$ 、 $K_{yy}$ 、 $K_{zz}$ 为含水层在主轴方向上的渗透系数投影（ $m/d$ ）； $H$ 为含水层水位（ $m$ ）； $w$ 为降雨入渗量（ $m^3/d$ ）； $p$ 为矿区巷道排水量（ $m^3/d$ ）； $\mu$ 为含水层重力给水度； $1$ 为定水头边界； $2$ 为定流量边界； $M$ 为常数； $C$ 为常数。

本次模拟采用 Processing Modflow 软件包中的 Modflow 数值模拟模块（水流模型），运用有限差分法对上述模型进行求解。模拟的研究区面积约  $1.69 \text{ km}^2$ ，在实际的计算中，根据工作区含水层的结构和地下水渗流特征，将计算域在垂向上分为二十八层结构，在平面上采用  $100 \times 100$  网格进行剖分，矿区所在总格数为 4 692 个。在自然条件下，由于边界条件的改变，矿区所在总格数为 3 358 个，每个格子面积约  $505.6 \text{ m}^2$ 。

### (1) 参数选取

本次研究主要针对含水层的渗透系数，并且由于研究区范围较小，所以降水补给、蒸发量、含水层给水度等参数仍按定值输入。

由前述水文地质条件可知，研究区为一潜水含水层系统，影响巷道涌水量的各参数中，垂向上的渗透

系数变化规律尤为重要。所以在本次研究中，利用已有的抽水试验结果，结合模型调参来确定平面上的渗透系数  $K_x$ 、 $K_y$  值。垂向上的渗透系数  $K_z$  利用室内的渗透试验结果。

将获取的参数按照位置、深度进行整理，由此，本次模拟的研究区分层渗透系数见表（1）。

表 1 研究区渗透系数分层表  
Tab. 1 Seepage Coefficient Division of Study Area

钻孔号	深度 (m)	kxx (m/d)	kyy (m/d)	kzz (m/d)	钻孔号	深度 (m)	kxx (m/d)	kyy (m/d)	kzz (m/d)
1	127	2.1642	3.4294	1.676	8	450	5.7205	9.0647	4.43
	183	3.6907	5.8483	2.8581		468	0.8431	1.336	0.6529
	423	0.3759	0.5956	0.2911		530	1.142	1.8096	0.8843
	519	2.6723	4.2345	2.0694		104	0.9083	1.4393	0.7034
2	145	2.2241	3.5243	1.7223	9	364	0.5914	0.9371	0.4579
	209	2.1692	3.4374	1.6798		662	5.1659	8.1859	4.0005
	285	1.8259	2.8933	1.414	10	124	3.7214	5.897	2.8819
	495	3.6733	5.8207	2.8446		159	1.4849	2.353	1.1499
	508	1.4578	2.31	1.1289		290	0.2737	0.4338	0.212
3	353	0.2285	0.3621	0.177	308	2.7622	4.3769	2.139	
	411	0.1361	0.2156	0.1054	340	0.4558	0.7223	0.353	
4	152	4.9627	7.8639	3.8431	385	0.1328	0.2105	0.1028	
	200	1.4772	2.3408	1.144	11	129	1.3214	2.0938	1.0233
5	441	1.1051	1.7512	0.8558		259	1.0598	1.6793	0.8207
	299	0.148	0.2346	0.1146		388	0.6314	1.0006	0.489
6	327	0.8147	1.291	0.6309	435	0.4252	0.6737	0.3293	
	338	0.1094	0.1734	0.0847	12	217	0.9022	1.4295	0.6986
7	226	2.1109	3.3449	1.6347		413	1.1725	1.858	0.908
	285	0.1731	0.2744	0.1341	13	170	6.8749	10.8939	5.3239
	310	1.799	2.8506	1.3931		215	0.493	0.7812	0.3818
	332	5.8279	9.2348	4.5131		275	6.786	10.7531	5.2551
	395	0.8661	1.37	0.67		384	0.0541	0.0857	0.0419

## (2) 数值模型识别

由于矿区尚未开采，缺乏矿坑放水、矿坑突水和矿坑排水试验等人工形成的较大降深的水动力场动态资料，本次研究利用已有的地下水流场观测资料对模型进行检验。

首先，利用收集的钻孔水位资料以及泉点的标高，建立天然情况下工作区的流场图，然后根据已建立的模型对天然情况进行模拟，将两者进行拟合，拟合检验结果见图 3。从模型识别和检验拟合结果可以看出，天然流场与模拟流场宏观规律一致，地下水位拟合程度较高，误差满足精度要求。

## (3) 不同工程条件数值模拟结果输出

经过模型的识别，可见所建模型比较真实地反映研究区地下水流场的实际情况，该模型可以用于对研究区巷道涌水量预测。

针对矿区水文地质条件，结合巷道布设设计，本次研究按以下五种工程情况对各条巷道开采过程中的涌水量进行预测。

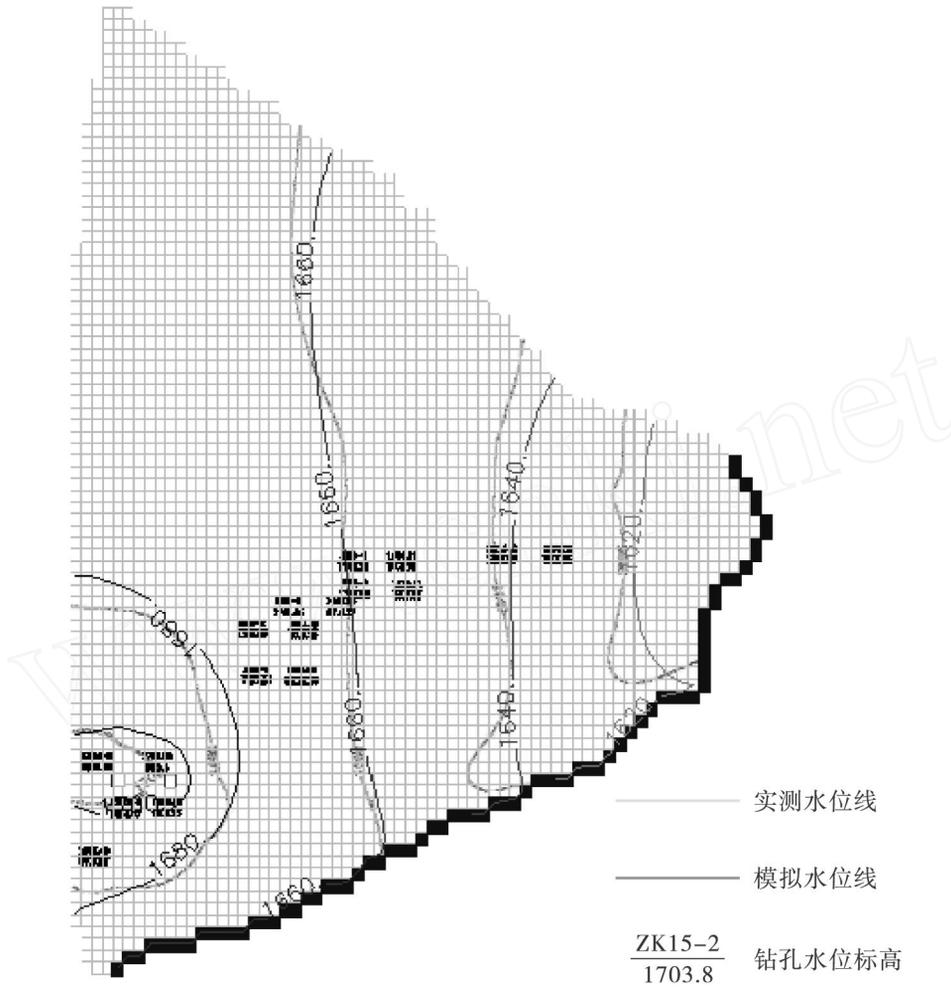


图 3 数值模拟天然场拟合图

Fig. 3 Map of Numerical Imitation of Natural Field

方案 A: 自然方案 . 矿井开采中不改变目前的自然条件。

方案 B: 浆砌马桥河方案 . 矿井开采中对邻近的马桥河底部河床进行浆砌, 隔断马桥河与矿区地下水的联系。

方案 C: 封堵 F<sub>7</sub> 断层方案 . 对马桥河进行封堵的同时, 对矿区西部边界 F<sub>7</sub> 断层于东河附近实施灌浆封堵, 而对矿区北东部 F<sub>1</sub> 边界不采取工程处理。

方案 D: 封堵 F<sub>1</sub> 断层方案 . 对马桥河进行封堵的同时, 对矿区北东部 F<sub>1</sub> 边界断层实施灌浆封堵, 而对矿区西部 F<sub>7</sub> 边界不采取工程处理。

方案 E: 全部封者方案 . 开采过程中对矿区周边的透水边界, 即马桥河、F<sub>7</sub> 断层和 F<sub>1</sub> 断层进行工程处理, 全部封堵。

预测的不同工程条件下的涌水量结果见 (表 2)

表 2 数值模拟输出结果

Tab. 2 Output of Numerical Imitation

	自然情况 (方案 A)	封堵马桥河 (方案 B)	封堵 F <sub>7</sub> 断层 (方案 C)	封堵 F <sub>1</sub> 断层 (方案 D)	全部封堵 (方案 E)
巷道标高	流量 (m <sup>3</sup> /d)	流量 (m <sup>3</sup> /d)	流量 (m <sup>3</sup> /d)	流量 (m <sup>3</sup> /d)	流量 (m <sup>3</sup> /d)
1300	303 378	188 642	50 373	133 335	16 085

由模拟结果可以清楚的看出，巷道的涌水量主要来源是马桥河水、东河河水以及  $T_2h$  地层通过  $F_1$  断层越流过来的地下水。结合经济条件的考虑，C方案即可防止大部分水源涌入开采巷道，又经济合理，是工程防水的优先实施方案。

### 参 考 文 献

- [1] 薛禹群. 地下水动力学 [M]. 北京: 地质出版社. 1997.
- [2] 薛禹群、吴吉春. 地下水数值模拟 [M]. 北京: 科学出版社. 2007.
- [3] 魏文清、马长明、魏文炳. 地下水数值模拟的建模方法及应用 [J]. 东北水利水电, 2006. 3.
- [4] 武强、朱斌等. MODFLOW在淮北地下水数值模拟中的应用 [J]. 辽宁工程技术大学学报, 2005. 8.

## THE 3D MATHEMATICAL STUDY ON WELL YIELD OF XIYI KARST WATER FILLED DEPOSIT, BAOSHAN

GUO Liang<sup>1</sup>, LU De-an<sup>2</sup>, XU Shi-guang<sup>1,3</sup>, LI Hong-wei<sup>2</sup>

(1. Kunming University of Science & Technology, Kunming 650093)

(2. Hengyuan Xingnao Mining Industry Company (Ltd) of Baoshan, Yunnan Baoshan 678000)

(3. Yunnan Exploration & Development Bureau of Geology & Mineral Resources, Kunming 650011)

**Abstract:** On the basis of the general model of rational hydrogeological concept of the study area, we have set up the 3D mathematical model of underground water. According to the seepage experiment, the 3D seepage coefficient is determined. This model is calculated with the limited difference method. And then, the initiation of well exploitation yield is carried out under different engineering condition, which can provide the economic and rational management method of water for well.

**Key Words:** 3D Mathematical Model; Seepage Experiment; Real Exploitation Amount; Karst Water Filled Deposit; Xiyi, Baoshan, Yunnan