

模糊数学在预测大孤山铁矿深部涌水量中的应用

苗阶,刘帅,刘超

(辽宁省冶金地质勘查局地质勘查研究院,辽宁鞍山114038)

摘要: 大孤山铁矿为露采矿山,其排水量的预测始终存在着计算过程复杂、矿坑充水因素多的困扰。文章以模糊数学理论为基础、应用现有矿山水文地质资料,对矿区深部涌水量进行了预测计算,其计算结果比较理想。

关键词: 大孤山铁矿;模糊数学;深部涌水量预测;辽宁省

中图分类号: P641.4;P618.31 **文献标识码:** A

0 引言

为了延长老矿山服务年限,目前许多矿山都在加强矿区深部及外围找矿工作,同时开展对深部开采过程中的涌水量预测工作十分必要。老矿山开采工作时间较长,水文地质资料较多,可以充分利用现有资料,减少不必要的重复工作,从而降低矿山的开采成本。

由于传统的比拟法预测涌水量仅考虑水头降深与开采面积2个因素,忽略了降雨量、渗透系数、给水度等因素,因此可能会产生较大的误差。本次工作以鞍钢矿业集团大孤山铁为例,引入模糊数学中的模糊综合评价法^[1-2],根据模糊数学的隶属度理论把定性评价变为定量评价,对受到水头降深、矿区开采面积、含水层给水度、导水系数等因素制约的矿山涌水量作出总体的定量评价,从而减小传统比拟法所产生的误差。

1 自然地理及水文地质概况

1.1 自然条件

大孤山铁矿位于辽宁鞍山市千山山脉西北边缘

地带,其地貌为丘陵地形,总地势东南高西北低,东南部为山地,西北部为低丘和大面积山间平原。区内最高山峰位于东南部,标高为378.0 m,当地侵蚀基准面标高54.2~74.9 m,比高约90~300 m不等。山坡角10°~30°,植被不甚发育。

矿区属温带半湿润大陆性季风气候区。多年平均气温8.8℃,最高气温36.9℃,最低气温-30.4℃;平均冻土深度91 mm。多年平均降水量为720.6 mm,年最大降水量994.5 mm(1975年),月最大降水量416.7 mm(1985年7月),日最大降水量236.8 mm,降水多集中在7—9这三个月份;多年平均蒸发量为1 058.5 mm。

区内地表水体不甚发育,西部有一流向由南至北的小河,河床宽3~10 m不等,水深0.1~0.6 m,据2006年9月23日观测其下游流量0.195 m³/s,季节性变化明显。北部黄岭子有流向由南至北的小溪,其流量为0.127 m³/s,其水量之所以偏大与尾矿库回水有关。

1.2 水文地质条件

大孤山铁矿区的水文地质工作较为详尽,矿区于1963年7月至10月进行过专门水文地质工作。1964年与地质勘探同时又作了水文地质钻探24个孔,抽水试验27次(其中干扰抽水2次,多孔抽水10次);水文电测井13个孔,水质分析106件。对这些水文孔进行了地下水长期观测等工作,其成果

收稿日期: 2013-05-21; 改回日期: 2014-01-22; 责任编辑: 王传泰

作者简介: 苗阶(1982-),男,工程师,毕业于辽宁工程技术大学资源与环境工程学院地质工程系,从事水文地质、工程地质和环境地质工作。通信地址:辽宁省鞍山市铁东区鞍千路298号,辽宁省冶金地质勘查局地质勘查研究院;邮编:114038;E-mail:15998000116@139.com

资料十分详细。

矿区出露地层主要有:新元古界青白口系钓鱼台组(Qbd)石英砂岩夹页岩;新太古界鞍山群樱桃园组(Ar_3An_y)绿泥片岩、绿泥石英片岩及铁矿层;太古宙花岗岩(γ_1)及早白垩世花岗岩(γ_3^s)等。上覆第四系上更新统及全新统堆积物。依岩性特征及其赋水条件可划分成3个含水岩组。

(1)第四系松散岩类孔隙含水岩组。

全新统冲洪积孔隙含水岩组。分布于矿区西、西北部,岩性为亚黏土、亚砂土、砂及砂砾卵石。地下水位埋深1.46~5.19 m。根据1963年CK112, CK115孔资料,揭露厚度17.19~29 m,平均单位涌水量为1.415 15~3.0821 L/s·m,为强富水性。补给来源主要为大气降水,径流条件较好,多以人工开采形式排泄或部分补给基岩裂隙水。

更新统残坡积孔隙含水岩组。分布于沟谷及山麓地带。岩性主要为黏性土,下部含少量砂、碎石,厚度1~10 m不等;地下水位埋深2.18~9.18 m,为弱或微弱富水性,此层水与基岩风化裂隙水联系密切。补给来源主要为大气降水下渗,径流条件较差,多以人工开采形式或下渗补给基岩风化裂隙水。

(2)层状岩类裂隙含水岩组(Qbd, Ar_3An_y)。樱桃园组分布于矿区西南部露天采场,而钓鱼台组于东北部零星出露。钓鱼台组主要为石英砂岩、页岩,樱桃园组主要为绿泥石英片岩及铁矿层等。这些岩石均含微弱或弱的构造裂隙水,且富水性极不均一。地下水补给来源主要为大气降水下渗或接受区域性地下径流补给,径流条件取决于浅层风化裂隙和深层构造裂隙发育程度及连通程度;排泄以人工开采形式排泄为主。

(3)块状岩类裂隙含水岩组(γ_1, γ_3^s)。分布于矿区东南、西北部的较大面积。太古宙花岗岩为二长花岗岩,早白垩世花岗岩为钾长花岗岩。含微弱的风化裂隙水和弱的构造裂隙水,水量不大。根据临近长岭子机井资料,井深41.00~59.7 m,水量约80~150 m³/d。地下水补给来源主要为大气降水下渗,径流条件一般,以人工开采形式排泄为主。

1.3 地下水补迳排条件及含水岩组之间水力联系

区内各含水岩组地下水均直接或间接接受大气降水补给。大气降水后,一部分水呈地表径流汇入小溪注入主河道形成地表水体,另一部分降水则通过植被根系或直接沿松散岩类孔隙、基岩风化裂隙、构造裂隙下渗,分别形成孔隙水、风化裂隙水和构造裂隙水。

孔隙含水层与风化裂隙含水层,或风化裂隙含水层与构造裂隙含水体(带),在一定程度上并无绝对的隔水层(带),它们之间是相互补给,相互连通的,只是程度不同而已,最终达到相对、暂时的平衡状态。其间的径流条件好坏,与岩石孔隙、基岩表层风化裂隙及深部构造裂隙的发育程度、破碎程度及充填物性质等有关。

本区地下水径流条件一般或欠佳,主要以人工开采形式排泄。各含水层(带)之间存在一定程度的水力联系。地下水的总体流向在部分地段受露天采坑排水控制,与地表水的趋同性差。

2 大孤山铁矿深部涌水量预测模糊数学模型建立

2.1 模糊数学模型建立

2.1.1 确定影响矿坑涌水量主要因素

以合集形式表示选取影响矿坑涌水量的主要因素: $U=\{u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6\}$ 。其中, u_1 为待测矿区的降水量, u_2 为待测矿坑的水头降深, u_3 为矿区开采面积, u_4 为主要充水含水层的给水度, u_5 为含水层的导水系数, u_6 为非降雨补给源的丰富程度,如河流、湖泊、含水层静储量等(抽象的定量指标)。

在这些因素中,有的可确定具体数值,称确定性因素,如降雨量、水头降深、开采面积等;另几个因素可能无法确定出它的准确数值,称模糊因素,即对它们的大概规律的认识,也就是可用模糊数学方法规律数字化。

2.1.2 确定影响因素“相对大小”

“相对大小”是指待测矿影响因素与已知矿影响因素对应元素之间的数量关系。这里不一定要精确的数据,只要知道大概的关系就可以了。

本区建立“相对大小”的模糊子集: $V=\{1/3 \text{ 倍}, 1/2 \text{ 倍}, \text{等同}, 2 \text{ 倍}, 3 \text{ 倍}, 4 \text{ 倍}\}$ 。

2.1.3 建立模糊关系(矩阵)

首先,要有一个资料比较齐全可靠的已开采矿坑(或同一矿坑目前的开采资料),以它作为比拟的原型。然后,把待测矿坑影响涌水量的诸因素与已采矿的对应因素进行比较,可得到它们之间的大概比值,当某个影响因素可以获得准确数据时(如水头降深),两矿比较后得到一个常数,这个常数又必然

表 1 大孤山铁矿影响矿坑涌水量主要因素和相对大小关系

Table 1 Factors influencing large (small) water inflow volume to depth of Dagushan iron mine

V	相对大小	1/3 倍	1/2 倍	等同	2 倍	3 倍	4 倍
U	降雨量(u_1)	0	0	1	0	0	0
	水头降深(u_2)	0	0	0.4	0.6	0	0
	开采面积(u_3)	0.4	0.6	0	0	0	0
	给水度(u_4)	0	0.3	0.7	0	0	0
	渗透系数(u_5)	0	0.4	0.6	0	0	0
	补给水源(u_6)	0	0.3	0.7	0	0	0

落在 V 模糊子集的 2 个元素之间,尚且一行中只有 2 个非 0 元素;当所讨论的因素不确定或不能用具体数表示(如补给水源),我们只能知道它的大概情况时,就须按工作人员的经验用几个非 0 隶属度来反映这种模糊现象。属于哪个元素的可能性大,则对应的隶属度应大些。同一行的隶属度之和应等于 1,同一行中非 0 元素越多,说明我们所描述的现象越模糊。

把上述影响因素的这些比值以隶属度的形式表示为表格形式,如表 1 所述。

将上表格写成矩阵形式,即得到预测与已知矿坑影响因素模糊关系——R 值;R 是反映待测矿坑与已知矿坑诸多影响因素的定量关系。

$$R = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4 & 0.6 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0.6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.3 & 0.7 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.4 & 0.6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.3 & 0.7 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

2.1.4 确定影响因素权重及综合评判

影响矿坑涌水量的上述 6 个因素虽然都对涌水量有影响,但其影响程度不一,故有主次之分,所以在比拟时对各因素应赋予不同的权重。在确定权重时,不但要考虑该因素影响涌水量的重要性,还要考虑它变化的大小,变化大的权重应大些,反之应小些。

权重可通过模糊统计确定,但主要还是根据工作人员的经验及其对水文地质条件的认识来确定。待测矿坑的涌水量主要受降水量的影响,其次是水头降深、开采面积和渗透系数,再次是给水度和补给源丰富程度。大孤山铁矿影响矿坑涌水量上述 6 个因素分别赋权重为 0.3,0.2,0.2,0.2,0.05,0.05。

写成于 U 元素对应的向量形式:

$$\alpha = (0.3, 0.2, 0.2, 0.2, 0.05, 0.05) \quad (2)$$

有了模糊矩阵 R 和权重向量 α ,即可进行模糊

综合评判:

$$A = \alpha \cdot R \quad (3)$$

把(1)和(2)式带入(3)式,计算得:

$$A = (0.08, 0.215, 0.585, 0.12, 0, 0)$$

A 中的元素为隶属度,与“相对大小”子集 V 中的元素对应。它表明经过综合评判以后,同矿不同开采深度坑充水能力“1/2 倍”和“等同”的隶属度较大,分别为 0.215 和 0.585,从而可得出:待测矿的充水能力是已知矿的 1/2~1 倍。根据隶属度的大小,并用线性插值得充水能力综合比例系数(β)为 0.866。充水能力综合比例系数(相当于一个加权平均数),它表示同矿不同开采深度充水能力的定量关系,并作为计算涌水量的重要参数。

2.2 预测涌水量

由大孤山铁矿水文条件可知,影响其矿坑涌水量的因素主要是水头降深和开采面积。现有露天采场坑底标高为-280 m,平排水量 4 800 m³/d。下期设计开采标高-486 m 时,采坑的上开口面积 2.20 km²。

前已经述及, $\beta=0.866$ 是指相当于预测深度的各个影响因素均为已知深度对应因素的 0.866 倍。由此得出涌水量公式:

$$Q_2 = \beta^n \cdot Q_1 \quad (4)$$

式中: Q_2 —预测涌水量; Q_1 —已知涌水量; n —自然数($n=1,2,3$ 或 4), n 的选取与影响涌水量因素的多少有关,即与各因素的权重有关。从达西渗流定律: $Q=T \cdot B(\Delta H/\Delta L)$ 可知,涌水量(Q)与导水系数(T)、断面宽度(B)、水头降深(ΔH)均成正比关系;对一个矿山而言,一般认为开采面积、深度与涌水量成正比。

综上所述,大孤山铁矿的矿坑涌水量:

$$Q_2 = \beta^n Q_1 = 0.866^2 \times 4\,800 = 3\,600 \text{ m}^3/\text{d}$$

2.3 模糊综合评判法与传统比拟法对比分析

前面的计算表明,当采坑深度增加 206 m(从现有露天采场坑底标高为-280 m→-486 m)的情况

下,预测矿坑涌水量 Q_2 为 $3\ 600\ \text{m}^3/\text{d}$,相对应原开采水平,涌水量减少为原来的 75%。若采用传统的比拟法公式对矿坑涌水量进行预测,当采坑深度增大的情况下, $F_2 > F_1$,且 $S_2 > S_1$, $Q_2 = Q_1 \cdot (F_2/F_1) \cdot (S_2/S_1)$,由此计算得的 Q_2 要大于 Q_1 。

根据鞍本地区各大铁矿山多年的涌水量实测资料,90%以上的露天开采铁矿山涌水量均表现为随开采深度增大而减小的特点,该特点与鞍本地区露天开采铁矿山基岩裂隙率(赋水空间)随深度增大而减小、第四系水的疏干、渗透系数随深度增大而减小等现象有直接关系。而这些因素均是传统比拟法计算所忽略的,故传统比拟法预测的涌水量较实际涌水量偏大。相对而言,模糊综合评判法则将水头降深与矿山开采面积以外的导水系数、渗透系数等因素均引入到涌水量预测中,故其预测结果误差更小,更符合鞍本地区露天开采铁矿山的实际情况。

3 结论

通过与传统比拟法对比,模糊综合评判法将水头降深、矿山开采面积以外的导水系数、渗透系数等因素均引入到涌水量预测中,其预测结果误差更小,更符合鞍本地区露天开采铁矿山涌水量的实际情况。然而,对于水文地质工作相对较少的已知矿山,其推测精度将受限制,应对同一矿山不同深度的水文地质条件基本了解后赋值对比,从而达到弱化原始数据随机性、增强其规律性、提高预测精度的目的。

参考文献:

- [1] 谢季坚,刘承平. 模糊数学方法及其应用[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2006.
- [2] 吕康林. 论模糊水文地质比拟法[J]. 煤田地质与勘探,1988(02): 45-49.

Application of fuzzy mathematics to forecasting upwelling volume of water to depth of Dagushan iron mine

MIAO jie, LIU shuai, LIU chao

(Geological Exploration Institute of Liaoning Metallurgical Geology Bureau,
Anshan 114038, Liaoning, China)

Abstract: Dagushan is an open-pit mining mine with complicated calculation process for its prediction of volume of water drainage and multiple water infilling factors. Based on fuzzy mathematic theory this paper uses the existing hydrogeological data to forecast upwelling of water to depth of the mine. Results obtained are satisfactory.

Key Words: Dagushan iron mine; fuzzy mathematics; deep water inflow forecasting; Liaoning province