

焦作矿区底板突水预报模型

陈朝阳 (煤炭科学研究院西安分院 710054)

李德安 (煤炭工业部 北京 100713)

姜 峰 王清龙 高建中 (焦作矿务局 454159)

摘要 选取对突水有影响的地质因素,如构造、矿压、构造裂隙、断层断距、断层至突水点距离、隔水层厚度、水压等为自变量,以突水点及未突水点的这些资料为基础,用数量化理论(I、II)的方法,将定性变量数量化,并参与计算,建立了焦作矿区底板突水的定量预报模型。经检验表明,所建模型可靠,可用于实际预测。

关键词 数量化理论 底板 突水预测 模型

中国图书资料分类法分类号 P641.461

作者简介 陈朝阳 男 57岁 高级工程师 水文地质 数学地质

1 引言

目前突水预报多是定性的,建立快速、定量的早期预报方法是本文的目的。

焦作矿区是典型的大水矿区,30多年来积累了丰富的突水点地质资料,它为建立可靠的突水预报模型提供了坚实的资料基础。

本矿区煤层底板突水主要来自石炭系第八层和第二层灰岩(简称八灰和二灰)、奥陶系灰岩(简称奥灰)3个含水层。其中二灰与奥灰含水层有较强的水

力联系,一般二灰水突出时都有奥灰水补给,所以在作突水预报时,将其当成一个类型,称作二灰突水类型。

八灰厚6~10 m,距主要可采煤层二₁煤20~40 m,是矿井主要充水含水层,其地下水位在+50~-250 m间。二灰厚10~20 m,距二₁煤70 m左右。有较强的富水性。

2 预报模型简介

本文建立突水预报模型所采用的方法是数量化

RESEARCH OF THE REACTION-TRANSPORTATION MODEL CONTROLLED UNDER THE DISSOLUTION AND PRECIPITATION OF CARBONATE

Zhang Yongxiang Xue Yuqun

(Earth Sciences Department of Nanjing University)

Cao Yuqing

(Hydrogeology and Engineering Geology Department of Changchun University of Earth Sciences)

Abstract The reaction-transportation model is established on basis of dissolution and precipitation reactions of calcite, dolomite and gypsum, the model consists of the reaction model which reveals the reaction processes of compositions as the time goes, the flow model which reveals the flow processes of water in the aquifer and the relation equation of chemical dynamic equation-flow equation. The reaction-transportation model is verified by the example in Jinan karst area. The reaction model is resolved with analysis method. The transportation model is resolved by the finite element method. The reaction rate constant and the hydraulics paramate are determined.

Keywords carbonate rocks; dissolution; precipitation; reactions-migration model

理论Ⅰ、Ⅱ,因为数量化理论既可以使用定量数据,又可使用定性数据。众所周知,影响底板突水的因素中,隔水层厚度和充水含水层水压等是定量变量,而岩性(砂岩、泥岩、灰岩)和矿井地质构造复杂程度(简单、中等、复杂)等是定性变量,它们在许多问题中的作用是不可忽视的,甚至是决定性的。对于定性变量及其数据,能设法按某一合理原则,实现向定量方面转化,并以得到的定量数据作为基础进行预报和分类,这就是数量化理论的任务。

2.1 项目、类目及其反应

在数量化理论中常把定性变量叫做项目(如岩性),而把定性变量的各种不同取“值”叫做类目,如岩性中的砂岩、泥岩、灰岩。

根据一些项目 x_1, x_2, \dots, x_m 对基准变量(即被视为变化结果的变量) y 进行预测。设第 1 个项目有 r_1 个类目,第 2 个项目有 r_2 个类目,第 m 个项目有 r_m 个类目,总共有 $\sum_{j=1}^m r_j = p$ 个类目, $\delta_{(j,k)}$ ($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, r_j$) 称为 j 项目之 k 类目在第 i 个样品中的反应,并按下式确定:

$$\delta_{(j,k)} = \begin{cases} 1 & \text{当 } i \text{ 样品中 } j \text{ 项目的定性数据为} \\ & \quad k \text{ 类目时} \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad (1)$$

一般还有 k 个定量变量 $x_{i(u)}$ ($i = 1, 2, \dots, n; u = 1, 2, \dots, h$) 参与建模。

2.2 数量化理论Ⅰ的数学模型

假设有经过简化后的方程^[1]:

$$y_i = \sum_{k=1}^{r_i} \delta_{(1,k)} \hat{b}_{1k} + \sum_{j=2}^m \sum_{k=1}^{r_j} \delta_{(j,k)} \hat{b}_{jk} + \sum_{u=1}^h \hat{b}_{u} x_{i(u)} \quad (2)$$

这里 \hat{b}_u ($u = 1, 2, \dots, h$)、 \hat{b}_{jk} ($j = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, r_j$) 是根据最小二乘法求出的常数项。这就是数量化理论Ⅰ的数学模型。

各变量对基准变量的贡献用综合指标 Z 表示:

$$Z_j = \sigma_j |\varphi_j| \sqrt{\sum_{i=1}^m (\sigma_i |\varphi_i|)^2} \quad (3)$$

$$i = 1, 2, \dots, m,$$

式中 σ_j — 第 j 项目的方差;

φ_j — 第 j 项目与基准变量的偏相关系数。

本文把该综合指标 Z 起名为“作用”。

2.3 数量化理论Ⅱ的数学模型

数量化理论Ⅱ中^[1],基准变量都是定性变量,如突水或不突水。设有两个母体,从第 t ($t = 1, 2$) 个母体中取出 n_t 个样品,共有 $n = n_1 + n_2$ 个样品。数量化理论Ⅱ的原始数据,即各样品的项目、类目的反应为 $\delta_{(j,k)}$,共有 4 个角标,比数量化理论Ⅰ的反应符号多一个类别号 t ,放在反应符号的右上角,其它角标的含义同前。除定性变量外,还有 h 个定量变量 $x_{i(u)}$ ($u = 1, 2, \dots, h$),它表示第 t 组、第 i 个样品的第 u 个定量变量。线性判别函数是:

$$y^t = \sum_{k=1}^{r_i} \delta_{(1,k)} \hat{b}_{1k} + \sum_{j=2}^m \sum_{k=1}^{r_j} \delta_{(j,k)} \hat{b}_{jk} + \sum_{u=1}^h \hat{b}_u x_{i(u)} \quad (4)$$

$$i = 1, 2, \dots, n; \quad t = 1, 2.$$

该式与数量化理论Ⅰ方程[(2)式]的形式相同。

在已知母体 H_1, H_2 都服从正态分布,均值、方差、先验概率分别是 $y^1, y^2; \sigma^1, \sigma^2; q^1, q^2$ 时,在判错概率最小的原则下,其判据应满足

$$\frac{(y^0 - y^1)^2}{\sigma^1} - \frac{(y^0 - y^2)^2}{\sigma^2} = 2 \ln \frac{q^1 \sigma^2}{q^2 \sigma^1} \quad (5)$$

归属概率的计算方法参考判别分析的有关部分^[2],此处不详述。

3 突水预报模型的建立与应用

3.1 变量的选取

为建立突水预测模型,应该选取与本矿区底板突水机理有关的一些变量,如矿井地质构造复杂程度、矿压大小、构造裂隙存在与否等。下面叙述一下它们的内涵。

3.1.1 构造复杂程度(简称构造)

本区褶曲平缓,断裂构造较发育。根据实际突水数据,构造复杂程度主要由下述 3 个因素决定:

- a. 小断层密集与否;
- b. 是否位于背斜轴部或倾角较大;
- c. 是否在断层交接部位。

构造复杂程度可分为简单、中等、复杂 3 个类目。在上述 3 项因素中,同时具有两个以上肯定因素者定为构造复杂;只有一个肯定因素者为构造中等;全部为否定因素者则定为构造简单。该项目的标号 j 为 1, 其反应用 $\delta_{(1,k)}$ ($k = 1, 2, 3$) 表示。

3.1.2 矿压大小(简称矿压)

由于突水时矿压的定量数据极少,只能定性地

对矿压作描述。可将矿压分为小、中、大 3 个类目。一般把工作面初次来压及周期来压或巷道密集及曾发现突水时矿压增大者定为矿压大类;而把工作面刚推进(10 m 以内)或老顶跨落 5 m 以内或过去突水时矿压较小者定为矿压小类;介于二者之间者定为矿压中等类。此项目号 j 为 2, 其反应用 $\delta_{2,k}$ ($k=1,2,3$) 表示。

3.1.3 构造裂隙存在与否(简称裂隙)

裂隙是指延伸较长, 穿过几个岩石分层, 张开 2 mm 以上的裂隙。它只有 2 个类目: 有或无。项目号是 3, 其反应用 $\delta_{3,k}$ ($k=1,2,3$) 表示。

3.1.4 断层落差与断层至突水点(或待判点)的距离之比(简称断层)

断层落差 H 越大, 则断层破坏带越宽, 延伸就越长, 对突水的影响也就越大, 即断层落差与突水可能性成正比。相反, 断层至突水点的距离 s 越大, 则影响越小。为了减少变量个数, 将这两者合为一个变量, 用二者的比值 H/s 表示。在断层处, 为便于计算, 把 s 定为 0.5 m。断层的影响范围没达到预报区者, 不参与计算。这是定量变量, 用 $x_{(1)}$ 表示。

3.1.5 突水系数

突水系数是水压 p 与隔水层厚度 M 之比。当预测点与含水层接触时, 也把 M 定为 0.5 m。该变量用 $x_{(2)}$ 表示。

在上述 5 个说明变量(即被视为变化原因的变量)中, 前 3 个是定性变量, 它们的类目数 r_j ($j=1, 2, 3$) 分别是 3, 3, 2。后 2 个是定量变量。

对基准变量(突水、不突水)也进行数量化

$$\left\{ \begin{array}{ll} y^2 = \frac{n_1}{n_1 + n_2} & i \leq n_1 \\ & \\ & - \frac{n_2}{n_1 + n_2} & i > n_1 \end{array} \right.$$

式中 n_1, n_2 —— 第 1 组和第 2 组的样品个数。

3.2 八灰突水点的预报模型

焦作矿区八灰突水点资料较多, 且内容齐全, 这为建立突水预报模型奠定了基础。选取上述 5 个说明变量资料齐全的 145 个八灰突水点(其类别号定为 1), 又随机选取了 40 个未突水点(其类别号为 2), 用于建模。通过计算处理, 我们建立了类似于(2)与(4)式的数学模型:

$$y = 0.4392865 \delta_{1,1} + 1.531334 \times 10^{-2} \delta_{1,2}$$

$$\begin{aligned} & + 6.645031 \times 10^{-2} \delta_{1,3} + 2.746514 \times 10^{-2} \delta_{2,1} \\ & + 0.2604554 \delta_{2,3} + 0.2107027 \delta_{2,3} \\ & + 8.504981 \times 10^{-2} x_{(1)} + 0.911413 x_{(2)} \end{aligned} \quad (6)$$

值得注意的是, $\delta_{1,1}$ 的系数不是“构造简单”这个类目的系数, 而是常数项。

假设这 185 个点为未知能否突水点, 用这个模型进行预报, 以检验模型的好坏。该模型除判别能否突水之外, 还能算出突水或不突水的归属概率, 这可参见检验结果简化表(表 1)。此模型的正确预报率为 86.12%, 表明该模型符合实际, 可用于突水预报。(6)式预报模型中各变量在预测中的“作用” Z 用(3)式计算, 结果见表 2。“作用”最大的变量是断层, 其值为 51.5%, 相当于其余 4 个变量之和; 其次是突水系数, 其作用值为 29.5%; 占第 3~5 位的分别是矿压、裂隙和构造。构造这个因素的“作用”最小, 这

表 1 八灰突水模型检验计算结果表

序号	原归类号	现归类号	判别得分	归属概率	序号	原归类号	现归类号	判别得分	归属概率
1	1	1	0.74167	0.62057	2	1	1	0.76063	0.63428
3	1	2	0.51688	0.78729	4	1	1	0.77430	0.64416
5	1	1	0.96604	0.78280	6	1	1	0.74349	0.62189
7	1	1	0.69865	0.58947	8	1	1	0.95784	0.77686
9	1	1	0.71561	0.60173	10	1	1	0.89497	0.73141
11	1	1	0.74714	0.62453	12	1	1	0.65769	0.55986
13	1	1	0.76810	0.63968	14	1	1	0.78177	0.64957
15	1	1	0.71990	0.60484	16	1	2	0.56318	0.55803
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
179	2	2	0.50473	0.84746	180	2	2	0.57044	0.52209
181	2	2	0.49033	0.91877	182	2	2	0.55484	0.59931
183	2	2	0.51050	0.81888	184	2	2	0.52852	0.72964
185	2	2	0.56790	0.53464					

表 2 各变量作用大小表

说明变量	构造	矿压	裂隙	断层	突水系数	合计
作用	0.005	0.100	0.085	0.515	0.295	10.
贡献大小序号	5	3	4	1	2	

是因为断层和裂隙本应属构造的范畴,现将它们从构造项目中拉出来,各自成一个变量所致,若3个变量合在一起,其“作用”无疑占第1位。

3.3 二灰突水预报模型

焦作矿区二灰突水点较少,去掉那些资料不全的点,总共收集到45个突水点资料,随机选取11个非突水点,用这56个点建模。同样,突水的类号标为1,非突水的类号标为2。将有关数据送入计算机,算得预报模型是:

$$\begin{aligned} y = & 0.3225014 \delta_{1,1} + 0.1332028 \delta_{1,2} \\ & + 0.1199283 \delta_{1,3} + 0.8092773 \delta_{2,2} \\ & + 0.4743973 \delta_{2,3} + 0.1651903 \delta_{3,2} \\ & + 0.7699366 x_{(1)} + 0.5132911 x_{(2)} \quad (7) \end{aligned}$$

假设原56个点能否突水并不知道,用这56个点的自变量数据对该模型进行检验,只错报5个,正确预报率为91%。表明该模型可靠,可用于突水预测。

各变量对基准变量的“作用”按大小排序,类似八灰模型,不再详述。

3.4 预报实例

按上述预报模型,我们编制了计算程序。欲对某点(或块)进行预报,只要将该点(或块)的自变量送入计算机中就行。打印出的结果包括归类号(1代表突水,2代表不突水)、归属概率等。现将6个实例的有关数据及预报结果列于表3。头5个地点预报正确;第6个地点没突水而预报为突水,归属突水的概率为69%。正确预报率为83%。

对二₁煤及其附近巷道预测时用八灰模型,对小煤(—煤)预测时用二灰模型,若选错模型会使错报

表3 实例预报结果

预报地点	开采 煤层	构 造	矿 压	裂 隙	断 层	突 水 系 数	判归类号 实际类号	归属 概率
冯营矿1591 工作面	二 ₁	中	大	有	0.0	0.54	1/1	0.79
演马庄矿下 山东大巷	二 ₁	中	小	无	3.6	0.72	1/1	0.68
九里山矿	二 ₁	简单	中	无	0.6	0.46	2/2	0.83
韩王矿—150 轨道老配风	二 ₁	中	中	无	0.5	0.20	2/2	0.66
李封斜井5112 工作面	小煤	中	中	无	0.2	0.41	1/1	0.78
冯营矿1306 工作面	小煤	简单	中	无	0.1	0.22	1/2	0.69

率增加。

4 结束语

以上各模型的好坏,除方法正确外,数据资料的质量及多少也十分重要,今后应随资料增多,每隔3~5年修改现有模型一次,以提高预报精度。

该研究项目得到焦作矿务局总工陈碧川、地质处王青龙、高建中等同志的指导和大力支持,在此一并致谢。

参考文献

- 董文泉等. 数量化理论及其应用. 长春:吉林人民出版社, 1979
- 煤炭科学研究院地质勘探分院等. 数学地质基础与方法. 北京:煤炭工业出版社, 1982

(收稿日期 1995-10-27)

THE PREDICTION MODEL OF GROUND WATER INRUSH FROM FLOOR IN JIAOZUO COAL MINE

Chen Zhaoyang (Xian Branch CCMRI)

Li Dean (Ministry of Coal Industry)

Jiang Feng Wang Qinglong Gao Jianzhong (Jiaozuo Coal Mine)

Abstract Selecting some geological factors as independent variables, which impact on the inrush of ground water, such as structure, mine stress, fracture, fault displacement, distance between fault and inrush point, thickness of water-proof layer and ground water pressure, the data at inrush points and uninrush zone as bases, introducing the theory of quantification I and II, quantifying the qualitative variables, implementing the calculation, the authors constructed the prediction model of inrush of ground water from floor in Jiaozuo Coal Mine. After practical forecast tests, the model is proved to be reliable and useful for the prediction of water outburst.

Keywords theory of quantification; inrush of water from floor; prediction model