

文章编号 :1001 - 4810(2003)01 - 0041 - 06

华北型煤田煤层底板突水预测信息 分析理论、方法及应用*

靳德武^{1,2}

(1. 煤炭科学研究总院西安分院, 陕西 西安 710054; 2. 长安大学地质工程与测绘工程学院, 陕西 西安 710054)

摘 要: 在我国华北煤矿区, 回采工作面煤层底板突水问题相当严重, 困扰着煤矿经济效益的正常发挥。本文针对回采工作面煤层底板突水的特点, 提出采用随机-信息方法解决其突水预报问题, 建立了信息判据, 并对大量的实例进行了验证, 取得了满意的效果。

关键词: 煤层底板; 突水; 随机-信息; 迭加原理; 熵

中图分类号: TD713 **文献标识码:** A

0 引 言

煤层底板突水作为我国华北型煤田主要的水文地质工程地质问题, 影响着煤炭的正常安全生产, 轻则淹没巷道、采区, 重则造成淹井人亡的恶性事故, 是矿井基建、生产过程中所遇到的主要地质灾害之一。华北型煤田是我国矿山岩溶地下水害最为集中的典型煤田, 在各类矿井水害中, 无论是突水次数、突水水量, 还是影响范围, 煤层底板突水灾害均居于首位。由于其隐蔽性、随机性, 一旦发生突水, 往往造成灾难性的后果。与其它地质灾害一样, 预测、预报是防灾、减灾的首要 and 关键的问题。

按现有煤层底板突水预报方法所依赖的基础理论划分, 可分为岩体工程地质力学方法和泛决策分析理论两大体系^[1]。前者在应用现代数学、力学的精确化研究成果方面发挥了重要的作用, 但这一方法对煤矿区地质勘探的精度要求较高, 在很大程度上依赖于岩体工程地质力学的测试试验数据和岩体突水机理的认识。在目前的条件下, 岩体力学性质的测试尚处于室内与现场测试的褒贬之争中, 试验条件与岩体地质条件的巨大差异必然会带入测试成果中, 对于此

类误差的消除尚缺乏足够的经验。同时, 对一个具体矿区开展煤层底板突水预报工作均需从头做起, 研究周期长, 受勘探精度的限制, 其预测精度往往得不到保证^[2]。

泛决策分析理论实际上是对一些软科学方法的通称, 系统科学是其方法论基础。软科学理论与方法的研究日益受到科学技术界的广泛关注与推广应用。早在 20 世纪 90 年代初, 贺仲雄教授就大力倡导在工程技术问题的研究中应进一步推广软科学的思想方法。宋健院士多次对软科学研究给予了积极的肯定, 王光远院士的《工程软设计理论》堪称软科学研究中的一部经典力作。可以看出, 软科学方法在工程中的应用研究正呈现出方兴未艾的发展势头, 这主要与工程问题中大量的非确定性因素的存在有关。

煤层底板突水现象的发生取决于一定的水文地质背景条件, 又受到大量非确定性的随机因素的干扰^[3], 各种定量因素的组合只能以一定的概率指示突水的发生, 这种多因素组合的特点及其相干性正是煤层底板突水问题的普遍规律。以往的单因素预测方法(如突水系数法)由于考虑的因素较为单一, 将复杂的煤层底板突水问题简单化, 因而逐渐失去了对于生

* 基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 49672160)资助

作者简介: 靳德武(1966-)男, 高级工程师, 1993 年于煤炭科学研究总院西安分院获硕士学位, 目前在长安大学攻读地质工程博士学位。

收稿日期: 2002-12-04

产的普遍指导意义。同时,由于煤炭开采的纵深化,开采技术条件较 20 世纪六、七十年代更为复杂多变,特别在一些岩溶大水矿区更这样。因此对突水预报模型提出了更高的要求,这势必将涉及完整、准确的水文地质概念模型,切合实际的采煤要素概念模型,以及由上述两类概念模型为基础整合而成的突水预报模型。面对因素复杂、量纲不一,定性、定量同时并举的多层次底板突水概念模型,就需要应用相关的理论和方法解决这一问题。

煤层底板突水预测的信息分析理论即为一类在该领域应用的软科学方法。煤矿突水岩体在其特定的地质环境中受制于一系列因素,它们对岩体的力学平衡、渗流场与应力场耦合特征及煤层底板突水的性质起着决定性的作用。研究和解决具有上述特点的煤层底板突水问题,应该首先面对多因素集成问题,即

(1) 如何从测量空间向特征空间进行映射,形成特征因子的有序集;

(2) 包含着定性与定量特征的因子采用什么样的度量尺度和度量空间形成统一的预测范式。

信息理论可以同时面向以上两个问题。它的熵减原理是实现测量空间向特征空间映射的有效途径;可加性原理、传递信息量的实际运用较好地解决了在建立定性、定量同时并举的多因素突水预报模型中的巨大困难。由此形成了以熵、信息量为基本概念的计值系统。只要实现了由单因子向多因子的过渡,突水预报就不会仅仅停留在突水系数法的预测阶段,为大样本、高精度的突水预报方法的形成和发展提供了较大的空间。

1 信息分析的数学基础——熵减原理^[4]

设信息源 X 的概率空间为:

$$Y_1 : x_1, x_2, \dots, x_N ; P(x_1), P(x_2), \dots, P(x_N) \quad \sum_{i=1}^N P(x_i) = 1 \quad (\Omega \text{ 为概率空间})$$

$H(X) = -\sum_{i=1}^N P(x_i) \log P(x_i)$; $\sum_{i=1}^N P(x_i) = 1$ (归一化条件)

式中 x_i 为概率空间中的样本, $P(x)$ 为其概率。

信息熵定义为: $H(X) = -\sum_{k=1}^N P(x_k) \log P(x_k)$ (1)

两个信源 X, Y 的概率空间为:

$$X : x_1, x_2, \dots, x_N ; P(X) : P(x_1), P(x_2), \dots, P(x_N)$$

$$Y : y_1, y_2, \dots, y_M ; P(Y) : P(y_1), P(y_2), \dots, P(y_M)$$

按照熵的定义,二源联合信源的共熵为:

$$H(X \cdot Y) = -\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M P(x_i, y_j) \log P(x_i, y_j) \quad (2)$$

信息论中有:

$$H(X \cdot Y) = H(X) + H(Y|X) = H(Y) + H(X|Y) \quad (3)$$

其中: $H(X|Y)$ 为条件熵,其定义可仿照共熵写出,只是以条件概率代替联合概率。

熵与共熵之间存在如下关系:

$$H(X \cdot Y) \leq H(X) + H(Y) \quad (4)$$

不难证明,条件熵的一个重要性质

$$H(X|Y) \leq H(X) \text{ 或 } H(X|Y) \leq H(Y) \quad (5)$$

即条件熵不大于无条件熵。上述不等式关系被称为熵减原理。

一般地,在进行了试验 Y 之后,对试验 X 的结果的不确定程度减少了,即 $H(X|Y) \leq H(X)$; 只有当 X, Y 独立时,试验 Y 所得结果才会对减少 X 的不确定性程度毫无疑义。此时, $H(X|Y) = H(X)$ 。对于突水预报而言, X 可以看作预报结论, Y 为某一种预报因子空间,如果 $H(X|Y) = H(X)$, 则 Y 这种预报因子不会在任何程度上减少突水事件的不确定性,否则, $H(X|Y)$ 相对于 $H(X)$ 而言,减少的程度越大, Y 与 X 二者的相关程度就越大, Y 的预报能力就越强。以熵减原理为基础的信息计算 ($I_f(X) = H(X) - H(X|Y)$ 为 Y 中包含的有关 X 的信息量) 称为特征参数提取的信息分析方法。

2 煤层底板突水预报问题的信息分析

从本质上讲,突水预报问题就是如何取得突水的信息,以减少突水事件预发生的不确定性程度的问题。因此,应用信息理论研究突水问题是十分适宜的。从信息的传输角度分析突水预报过程,可以把突水因素集看成是一个信息源;预报方法则是一个变换、传递信息的机构。预报因子经预报方法变换成预报结论,输出的预报结论就包含预报对象(突水)的信息。可以看出,突水预报过程与信息传输过程是一一对应的,可用图 1 表示:

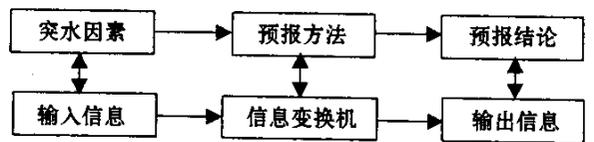


图 1 突水预测过程与信息传输过程的等价关系图

Fig. 1 Contrast relationship between the processes of water intrusion forecasting and information transformation

按照通信理论的观点,突水问题是具有噪声通道的,这种噪声是由通信系统以外的非确定性因素引起

的。不难看出,由各类突水因素组成的信息源是有限、离散、无记忆的信息源。可以应用条件熵、传递信息量等来处理。如此,我们就把突水因素对突水体的影响和作用建立在信息传输的基础上,从而可以应用信息分析的原理和方法处理突水预报问题。

3 信息分析的可加性原理^[4]

以 x_1, x_2, \dots, x_n 分别表示 n 个预报因子, Y 表示预报对象。突水预报的任务就是根据一组已观测到的量值 x_1, x_2, \dots, x_n 去预报另一个变量 Y 的值。

对于 n 个自变量 x_1, x_2, \dots, x_n 和因变量之间的信息,有:

$$\begin{aligned} I_{x_1, x_2, \dots, x_n}(Y) &= H(Y) - H(Y | x_1, x_2, \dots, x_n) \\ &= H(Y) - H(Y | x_1) + H(Y | x_1) - H(Y | x_1 x_2) + \\ &\quad H(Y | x_1 x_2) - H(Y | x_1 x_2 x_3) + \dots + H(Y | x_1 x_2 \\ &\quad \dots x_{n-1}) - H(Y | x_1, x_2, \dots, x_n) \\ &= [H(Y) - H(Y | x_1)] + [H(Y | x_1) - H(Y | \\ &\quad x_1 x_2)] + [H(Y | x_1 x_2) - H(Y | x_1 x_2 x_3)] + \dots \\ &\quad + [H(Y | x_1 x_2 \dots x_{n-1}) - H(Y | x_1, x_2, \dots, x_n)] \\ &= I_{x_1}(Y) + I_{x_2|x_1}(Y) + I_{x_3|x_1 x_2}(Y) + \dots + I_{x_n|x_1 x_2 \dots x_{n-1}}(Y) \end{aligned}$$

$$\text{即 } I_{x_1 x_2 \dots x_n} = I_{x_1}(Y) + I_{x_2|x_1}(Y) + I_{x_3|x_1 x_2}(Y) + \dots + I_{x_n|x_1 x_2 \dots x_{n-1}}(Y) \quad (6)$$

它表明, n 个预报因子 x_1, x_2, \dots, x_n 提供的预报对象 Y 的信息量为各预报因子提供的信息量及条件信息量之和。突水问题中,信息源之间是相互独立的,如 α' 系数的取值大小与煤层底板隔水层中煤的含量没有关系,其余依次类推。因此,信息理论的可加性原理变成:

$$I_{x_1, x_2, \dots, x_n}(Y) = I_{x_1}(Y) + I_{x_2}(Y) + \dots + I_{x_n}(Y) \quad (7)$$

由此看来,从不同预报因子提供的突水的综合信息(或以信息描述的综合突水势)进行突水预报具有可靠的理论基础。

4 信息分析理论在华北型煤田煤层底板突水预测中的应用

根据在峰峰、井陘、鹤壁、焦作、肥城、韩城等华北典型煤田所采集的 100 例因素齐全的煤层底板突水资料(包括不突水资料),分别采用二项检验、 χ^2 检验、mann-whitney 检验作为筛选器^[5],综合分析三种检

验结果,初步确定影响煤层底板突水的因素为: α' 系数、构造有无(即断层、褶皱等大型构造存在与否)、构造复杂程度、距断层距离、煤层倾角、断层倾角、底板隔水层中煤含量、采深及采煤方法。

在上述筛选的基础上,应用信息熵和信息量对突水因子做进一步筛选和优化。

4.1 煤层底板突水的概率统计模型^[5]

就突水而言,可分为突水(用 y_1 表示)和不突水(用 y_2 表示)两种状态。影响突水的因素 A_i ($i = 1, 2, \dots, n$) 又处于两个不同的水平 A_{ij} ($j = 1, 2$),如构造的有、无等。

根据概率论中的乘法公式:

$$P(A_i y_1) = P(y_1) \cdot P(A_i | y_1)$$

$$P(A_i y_2) = P(y_2) \cdot P(A_i | y_2)$$

就某一具体的回采工作面而言, y_1, y_2 是两种互不相容的状态,即

$$y_1 + y_2 = \Omega \quad \Omega \text{ 代表一概率空间}$$

因为 $A_i = A_i \Omega = A_i(y_1 + y_2) = A_i y_1 + A_i y_2$,

所以 $P(A_i) = P(A_i y_1) + P(A_i y_2)$

$$= P(y_1) \cdot P(A_i | y_1) + P(y_2) \cdot P(A_i | y_2)$$

$$= \sum_{j=1}^2 P(y_j) P(A_i | y_j) \quad (8)$$

由概率论中的条件概率公式:

$$\begin{aligned} P(y_1 | A_i) &= \frac{P(A_i y_1)}{P(A_i)} = \frac{P(y_1) P(A_i | y_1)}{P(A_i)} \\ &= \frac{P(y_1) P(A_i | y_1)}{\sum_{j=1}^2 P(y_j) P(A_i | y_j)} \quad (9) \end{aligned}$$

上式是在 A_i 状态下,发生突水的概率公式。

根据上述煤层底板实际突水资料,不难求出工作面突水(巷道突水略,下同)原始概率(表 1)。

利用公式(9)即可以计算出工作面突水的概率(表 2)。

4.2 煤层底板突水因素(子)的信息分析与筛选

根据前述华北各典型矿区的突水资料(也包括不突水情况,作为建立模型的对照样本,下同)的综合分析,初步确定影响矿坑突水的因素为:

(1) 巷道突水:突水系数、构造的有无、距断层距离、断层落差、构造复杂程度、底板隔水层中泥质岩含量、灰岩含量、煤含量及煤层倾角。

(2) 工作面突水:突水系数、构造有无、构造复杂程度、距断层距离、煤层倾角、断层倾角、底板隔水层中煤含量、采深及采煤方法。

以华北典型矿区巷道突水为例,根据华北煤矿区不同时期大量的突水资料进行统计,得出构造存在与发生突水的关系如下:

总案例集中突水样本所占比例 $P(x_1) = 0.34$;

总案例集中不突水样本所占比例 $P(x_2) = 0.66$;

总案例集中构造样本所占比例 $P(y_1) = 0.5$;

总案例集中无构造样本所占比例 $P(y_2) = 0.5$;
 有构造而发生突水的条件概率 $P(x_1|y_1) = 0.57$;
 有构造不发生突水的条件概率 $P(x_2|y_1) = 0.43$;
 无构造而发生突水的条件概率 $P(x_1|y_2) = 0.11$;
 无构造不发生突水的条件概率 $P(x_2|y_2) = 0.89$.

表 1 工作面突水原始概率表

Tab.1 Original probability table of the working surface water inrush

因素	状态 A_i	突水 y_1 条件概率 $P(A_i y_1)$	不突水 条件概率 $P(A_i y_2)$
α' 系数 (Mpa·m ⁻¹)	>0.046	0.84	0.09
	≤0.046	0.16	0.91
构造	有	0.99	0.84
	无	0.01	0.16
底板隔水层	>3.15	0.3	0.49
中煤的含量(%)	≤3.15	0.7	0.51
距断层距离(m)	>40.7	0.18	0.47
	≤40.7	0.82	0.53
采深(m)	>287.7	0.53	0.29
	≤287.7	0.47	0.71
开采方法	炮采	0.72	0.58
	机采	0.28	0.42
断层倾角(°)	>59°	0.64	0.58
	≤59°	0.36	0.42
煤层倾角(°)	>13°	0.34	0.45
	≤13°	0.66	0.55
构造复杂程度	复杂	0.59	0.29
	简单	0.41	0.71
先验概率		0.508	0.492

表 2 工作面突水计算概率表

Tab.2 Calculated probability table of the working surface water inrush

因素	状态 A_i	$P(A_i)$	$P(y_1 A_i)$
α' 系数 (Mpa·m ⁻¹)	>0.046	0.47	0.91
	≤0.046	0.53	0.15
构造	有	0.92	0.55
	无	0.08	0.064
底板隔水层	>3.15	0.39	0.39
中煤的含量(%)	≤3.15	0.61	0.58
距断层距离(m)	>40.7	0.32	0.29
	≤40.7	0.68	0.61
采深(m)	>287.7	0.41	0.66
	≤287.7	0.59	0.41
开采方法	炮采	0.65	0.56
	机采	0.35	0.41
断层倾角(°)	>59°	0.61	0.53
	≤59°	0.39	0.47
煤层倾角(°)	>13°	0.39	0.44
	≤13°	0.61	0.55
构造复杂程度	复杂	0.44	0.68
	简单	0.56	0.37

可以看出：

$$P(x_1|y_1) + P(x_2|y_1) = 1 ; P(x_1|y_2) + P(x_2|y_2) = 1$$

其中 x_1 为突水, x_2 为不突水, y_1 为有构造, y_2 为无构造。

突水的信息熵：

$$H(x) = - \sum_{i=1}^2 P(x_i) \log_2(P(x_i)) = 0.9248$$

在构造信息源存在的情况下, 突水的信息熵为条件熵 $H(X|Y)$ ：

$$\begin{aligned} H[X|Y] &= \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 P(y_j) P(x_i|y_j) \log_2 P(x_i|y_j) \\ &= P(y_1) [P(x_1|y_1) \log_2 P(x_1|y_1) + P(x_2|y_1) \log_2 P(x_2|y_1)] \\ &\quad + P(y_2) [P(x_1|y_2) \log_2 P(x_1|y_2) + P(x_2|y_2) \log_2 P(x_2|y_2)] = 0.743 \end{aligned}$$

信息量 $I(X) = H(X) - H(X|Y) = 0.182$;

$$\text{相对信息量 } I \cdot R = \frac{I(X)}{H(X)} \times 100\% = 19.7\%$$

应用同样的方法计算工作面突水因素(子)的相对信息量, 结果列于表 3 第 5 列。该列综合反映了各类突水因素对于突水事件所提供的相对信息量的大小, 是突水因子预报能力的一种综合测试度。

经过突水因素(子)的信息分析(计算)可以看出, 影响工作面突水的不同因素所提供的信息量是不同的。突水系数与断层倾角之间的相对信息量相差 182 倍。参照生物信息学的有关标准: 煤层倾角、断层倾角对于工作面突水所提供的信息量微不足道, 以它们作为相应突水预报的建模因子意义不大, 不应列入因素集中。以此为基础, 可以对突水因子进行筛选并形成如前述的华北型煤田煤层底板回采工作面突水预测信息分析模型的 α' 系数、构造、构造复杂程度等共 7 类“特征因子”。

与此同时, 我们可以不断地改变相对信息量的阈值大小从而形成不同的因素组合, 为突水预报模型提供一组动态的因子配置序列, 最后以符合(拟合)率为优化配置标准。将上述计算过程编制成计算机程序可以大量、快速地解决突水因素的信息分析问题, 实现突水因子的最优配置。

4.3 突水预报信息分析模型及其建模步骤

用 Y 表示突水事件($P(Y)$ 表示突水的概率, $1 - P(Y)$ 表示不突水的概率), $P(Y|x_i)$ 表示因子 x_i 相对于突水的条件概率。 $-\log_{10} P(Y)$ 就是发生突水的熵值(取以 10 为底的对数完全是为了计算上的方便, 计量单位 Hartley)引入 x_i 的结果, 使其熵值减少为 $-\log_{10} P(Y|x_i)$ 。所传递的信息量为^[6]：

$$I = -\log_{10} P(Y) - [-\log_{10} P(Y|x_i)] = \log_{10} \frac{P(Y|x_i)}{P(Y)} =$$

$$\log_{10} \frac{P(x_i, Y)}{P(Y)P(x_i)} = \log_{10} \frac{P(Y)P(x_i|Y)}{P(Y)P(x_i)} = \log_{10} \frac{P(x_i|Y)}{P(x_i)} \quad (10)$$

建立基于信息分析的突水预报模型的步骤如下:

- ① 用信息分析法重构突水预报的因子空间, 实现突水因素的最优配置。
- ② 计算突水因素各水平所提供的突水的信息

量, 定量地评价各因素对底板突水岩体的作用大小。

③ 对定量计算结果进行评价: 在所计算的信息量中, 有正数、负数和零三种情况。信息量等于零标志 x_i 不提供任何突水信息; 信息量为负值表示 x_i 存在不利于突水的发生, 其绝对值越大, 不利程度越高; 信息量大于零的情况表示 x_i 对突水发生是有利的。

④ 综合突水势阈值的确定。

表 3 突水因素各水平传递信息量计算表

Tab.3 Calculated table of transport information quantity of all sorts of water inrush factors

因素 (x_i)	水平 (x_{i1}, x_{i2})	$\frac{P(y_1 x_{ij})}{P(y_1)}$	$\lg \frac{P(y_1 x_{ij})}{P(y_1)}$	相对信息量
α' 系数 (MPa·m ⁻¹)	> 0.046	1.79	0.25	47.56%
	≤ 0.046	0.295	-0.53	
构造	有	1.08	0.034	25.6%
	无	0.126	-0.90	
底板隔水层中煤的含量 (%)	> 3.15	0.77	-0.115	2.63%
	≤ 3.15	1.14	0.058	
距断层距离 (m)	> 40.7	0.57	-0.24	7.66%
	≤ 40.7	1.20	0.079	
采深 (m)	> 287.7	1.30	0.114	4.6%
	≤ 287.7	0.81	-0.093	
开采方法	炮采	1.10	0.042	1.64%
	机采	0.81	-0.093	
构造的复杂程度	复杂	1.34	0.13	7.08%
	简单	0.73	-0.14	

注: y_1 - 突水, $\alpha' = P/(M-h)$, 单位 MPa/m, P - 地下水水压 (MPa), M - 隔水层厚度 (m), h - 底板破坏深度 (m); 构造: 断层、褶皱等大型构造的存在与否; 距断层距离: 无断层时按 > 40.7m 的因子水平考虑; 采深: 工作面水平到地面的垂直深度 (m)。

4.4 华北煤矿区煤层底板突水的信息预测

随机选取前述华北煤矿区回采工作面 100 例突水事件 (突水及不突水), 根据各因子所处的不同水平, 按照表 3 第 4 列确定传递信息量的具体数值, 应用信息理论的可加性原理 (7) 建立具体矿区、具体回采工作面的综合突水势。在完成 100 例突水事件综合突水势计算的基础上, 采用“单因子”数轴分划图解

法, 按照最优拟合度原则, 确定其综合突水势阈值为 $I_c = -0.27$ 。即当煤层底板某一具体的空间点综合突水势 $I \geq -0.27$ 时, 发生突水; $I < -0.27$ 不突水。

利用未参加建模的 50 例突水事件作为大样本检验集, 应用所提供的信息判据进行预测, 仅有 3 例与实际不符, 其符合率达 94% (表 4 仅列部分算例)。

表 4 华北煤矿区回采工作面突水预测部分结果

Tab.4 Water inrush predict result for mining work face of Northern China coal mine (partly)

序号	α' 系数 (MPa·m ⁻¹)		构造	底板隔水层 中煤的含量 (%)		距断层距离 (m)		采深 (m)		开采 方法	构造复 杂程度		综合 突水势	预测 结果	实际 情况		
	值	信息量		值	信息量	值	信息量	值	信息量		值	信息量					
1	0.05	0.25	有	0.034	4.08	-0.115	52	-0.24	70	-0.093	炮	0.042	复杂	0.13	0.008	突水	突水
2	0.034	-0.53	有	0.034	2.31	0.058	37	0.079	230	-0.093	机	-0.093	简单	-0.14	-0.685	不突水	不突水
3	0.021	-0.53	无	-0.9	2.5	0.058	20	0.079	110	-0.093	炮	0.042	简单	-0.14	-1.484	不突水	不突水
4	0.06	0.25	有	0.034	4.6	-0.115	35	0.079	320	0.114	机	-0.093	复杂	0.13	0.399	突水	突水
5	0.011	-0.53	无	-0.9	1.7	0.058	78	-0.24	90	-0.093	机	-0.093	简单	-0.14	-1.938	不突水	不突水

5 讨论与结论

(1) 煤层底板突水问题,其实质是底板突水安全性评价问题。自从人们对突水系数的实用性和应用条件提出质疑以来,众多学者试图从不同的角度研究煤层底板突水预报问题,但对于涉及自然、人为两大类几十种不同类别因素的突水问题,如何既全面反映以上众多的突水特征,以克服单(少)因素预测模型的缺点,又能够抓住影响突水形成规律的主要因素,是建立其它突水预报模型首先需要解决的问题。多因素集成性是处理突水预报问题的迫切要求,在信息、熵这一普遍的计值系统中,解决多因素集成化问题是十分自然的。基于以信息传递为特征的煤层底板突水预报模型正是克服突水系数预报方法自身缺陷和在实现突水因素集成条件下建立起来的。

(2) 突水预报信息模型与信息传输模型是一对等价模型。因此,信息传输的概念系统和公理化方法可以用来建立突水预报模型,解决突水预报问题。煤层底板突水因素的预处理是建立突水预报模型的关键之一。熵减少原理的相对信息量计算和比较定量地反映了各突水因素的预报能力,是实现突水预报因子空间重构与优化的有效途径。信息分析的可加性原理是进行多因素复合的理论基础,它一方面定量地说明了底板突水是多因素综合作用的结果;另一方面定量地反映了各因素的贡献大小。

(3) 在影响底板岩体稳定的诸多因素中,不同程度地包含着突水的信息。因此,在煤层底板突水系统中既存在物质、能量交换又存在着信息交换。信息的提取与加工^[7]是确定系统演变的一条重要途径,这是本文研究的基本出发点。

(4) 在煤矿安全生产中,往往存在如下这样一种

情况:突水系数超过《煤矿安全规程》中的临界突水系数却没有发生突水;相反,突水系数小于其临界突水系数而发生突水。这正好说明突水系数尚不能涵盖突水预报问题的主要信息,即存在信息缺失现象。在煤炭浅部开采中这种丢失信息的问题并没有完全暴露出来,但随着矿井开采水平的进一步延伸,发生这种漏判或错判的情况会时有发生。如前所述,矿井突水现象的发生取决于一定的水文地质背景条件,深部与浅部的开采技术条件的差异会更加明显,如深部首先应考虑采深问题等,应在突水预报模型中加以描述和体现。

(5) 本文采用了信息化的手段进行突水问题的信息分析、突水因子优化配置和建立突水预报模型,并对华北型煤田进行了实际应用研究,结果表明,方法预报精度较高,准确率达 94%,具较高的推广价值。

致 谢:在撰写本文过程中承蒙煤炭科学研究总院西安分院王延福研究员指导和帮助,谨致谢忱!对曾艳京、徐拴海二位同志在收集、整理华北典型矿区突水案例过程中所付出的智慧和辛劳表示崇高的敬意!

参考文献

- [1] 靳德武. 采煤工作面煤层底板突水预报泛决策分析理论综述[J]. 焦作工学院学报(自然科学版), 2000, 19(4).
- [2] 靳德武. 我国煤层底板突水问题的研究现状与展望[J]. 煤炭科学技术, 2001(6).
- [3] 王延福, 等. 岩溶矿井煤层底板突水系统的非线性特征初步分析[J]. 中国岩溶, 1998, 17(4).
- [4] 孟庆生. 信息论[M]. 西安:西安交通大学出版社, 1988.
- [5] 煤炭科学研究总院西安分院, 峰峰矿务局等. 华北型煤矿奥灰水防治研究[M]. 西安:陕西人民出版社, 1990.
- [6] 赵鹏大等. 矿床统计预测[M]. 北京:地质出版社, 1986.
- [7] 靳德武. 防治水决策的信息资源及其加工问题[J]. 煤, 2003, 待发.

THEORY, METHODS AND APPLICATION IN ANALYZING THE FORECASTING INFORMATION OF WATER INRUSH FROM THE BOTTOM COAL LAYER IN NORTHERN CHINA COALFIELD

JIN De-wu

(Xi'an Branch, Central Coal Research Institute, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

Abstract: Water inrush from the bottom coal layer in mining work faced now is rather serious in Northern China coalfield, which constraints seriously the normal economical benefits. Aiming at the characteristics of water inrush up to the mining working surface through coal bottom layer, the paper puts forward information method to solve water inrush problem and sets up information criterion. A lot of examples have been verified and satisfactory effect has been obtained.

Key words: The bottom coal layer; Water inrush; Information; Superposition principle; Entropy