

文章编号:1671-251X(2015)01-0097-05

DOI:10.13272/j.issn.1671-251x.2015.01.024

杜安平. 基于穿层抽采钻孔的隐伏断层预测[J]. 工矿自动化, 2015, 41(1): 97-101.

基于穿层抽采钻孔的隐伏断层预测

杜安平^{1,2}

(1. 中煤科工集团常州研究院有限公司, 江苏 常州 213015;

2. 天地(常州)自动化股份有限公司, 江苏 常州 213015)

摘要:针对传统断层超前预报方法存在信息读取不方便、钻探工程量等局限性,提出了一种基于穿层抽采钻孔的隐伏断层预测方法,依据断层特征论述了该方法的基本原理,阐述了利用最小二乘原理和Matlab绘图功能进行断层判断的方法和步骤,并用实例验证了该方法的可行性,为煤矿超前地质预报工作提供了一种新的思路和方法。

关键词:隐伏断层;穿层抽采钻孔;超前预报;最小二乘

中图分类号:TD713.3

文献标志码:A

网络出版时间:2015-01-05 16:44

网络出版地址:<http://www.cnki.net/kcms/detail/32.1627.TP.20150105.1644.024.html>

Prediction of blind fault based on cross-strata drainage boreholes

DU Anping^{1,2}

(1. CCTEG Changzhou Research Institute, Changzhou 213015, China;

2. Tiandi (Changzhou) Automation Co., Ltd., Changzhou 213015, China)

Abstract: In view of limitations of inconvenient information read and big drilling engineering quantity existed in traditional advanced prediction method for blind fault, a prediction method of blind fault based on cross-strata drainage boreholes was put forward, the basic principle of the method was discussed based on the fault characteristics, fault diagnosis methods and steps were expounded by use of the least square principle and Matlab drawing function, and the feasibility of the proposed method was verified by an example. The paper provides a new thought and method for mine advanced geological forecast.

Key words: blind fault; cross-strata drainage boreholes; advanced prediction; least squares

0 引言

我国煤矿地质条件复杂,落差在5 m以下的小断层普遍存在。巷道掘进或工作面回采工作中,一旦突遇这类隐伏断层,常会引发突水、冲击地压、煤与瓦斯突出等地质灾害。尤其近几年,随着煤矿开采深度不断增加,煤层赋存的地质条件变得更为复杂,准确的断层超前预报对防治矿井地质灾害就显得尤为重要。目前,我国煤矿普遍采用的断层超前

预报方法有超前地质钻探法、探地雷达法、电磁辐射法、地震弹性波法、无线电波透视法等地球物理方法^[1]。然而,这些方法需要专业的技术人员利用专门的探测设备读取设计、施工的地质信息,且钻探工程量大,在煤矿地质探测工作中的应用受到限制。按照《防治煤与瓦斯突出规定》要求,突出危险区的煤层在不具备开采保护层条件的情况下,应优先采用穿层钻孔预抽煤层瓦斯进行区域防突。在煤矿防突工作中,采掘工作面前方常施工有成百上千个穿

层钻孔,这些大面积、密集、均匀分布的工程钻孔为隐伏断层的预测提供了客观条件。然而,在理论研究和生产实践中,却尚未见有开展利用穿层钻孔预测隐伏断层的研究。针对传统探测方法存在的局限性,本文提出了利用穿层抽采钻孔预测隐伏断层的方法,为煤矿超前地质预报工作提供了一种新的思路和方法。

1 隐伏断层勘查的必要性

按照综合作用假说,煤与瓦斯突出是地应力、瓦斯和煤的物理力学性质综合作用的结果。断层附近往往由于地应力异常、瓦斯分布不均衡、煤体强度低而成为发生煤与瓦斯突出的重灾区。据统计,焦作矿区截至 2009 年底,有 269 次瓦斯突出发生在断层影响带内,占到瓦斯突出事故总数的 73%^[2];北票煤田发生在断层附近的瓦斯突出共 391 次,约占瓦斯突出总次数的 36.13%^[3];淮南矿区 85% 以上的动力灾害与以断层为主的构造有关^[4],其中近 72% 的煤、岩巷突出点发生在小断层附近^[5]。在煤矿生产实践中,相比落差较大的断层,小型断层具有更强的隐蔽性,更易造成煤与瓦斯突出。这是因为落差较大的断层如果是开放性的,断层两侧煤层中的瓦斯通过断裂带逸散,反而不易造成煤与瓦斯突出。而且,依靠目前的常规探测方法足以准确查明这类断层的位置、产状和规模,提前做好防治工作,也能够消除突出危险。然而,煤矿井下小型断层错综复杂,容易形成瓦斯积聚带,并且依靠常规的地质探测技术和方法,不易查明。在没有提前做好防突工作的情况下,一旦遇到这类断层,常会发生煤与瓦斯突出。

在断层形成过程中,断层带内的煤层会受到断层两盘相对运动产生的强烈剪切作用形成糜棱煤,由于糜棱煤裂隙连通性差、渗透率低^[7],在断层两盘之间会形成一个不渗透带,在抽采不均衡的情况下,两盘煤层形成高瓦斯含量差和高瓦斯压力差,当工作面靠近糜棱煤区,工作面前方卸压带变窄,地应力梯度升高,最终造成煤与瓦斯突出(图 1)。如果能够提前探测出断层存在的位置、产状和规模,通过对断层两盘煤层瓦斯实施均衡抽采,提前消除应力集中,就可以消除突出危险性。

2 利用穿层钻孔预测隐伏断层的原理和方法

2.1 原理

在构造应力作用下,断层两盘发生运动,使煤层

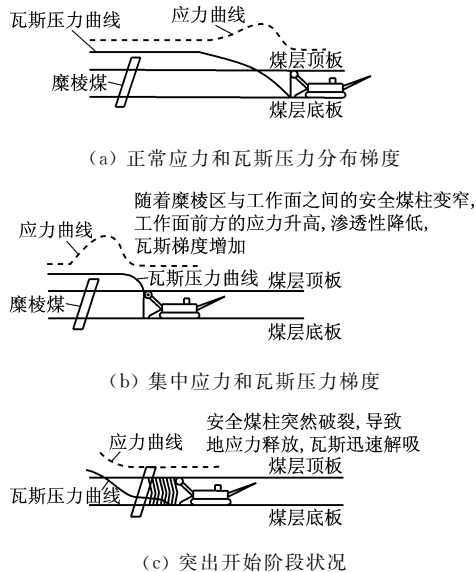


图 1 糜棱煤造成的煤与瓦斯突出

偏离了原始层位,导致断面两侧煤层与原始煤层产生落差,通过计算断裂前、后煤层底板的高度差可判断断层的存在。

假设某一巷道掘进工作面前方煤层内存在一条隐伏逆断层 F,如图 2 所示。

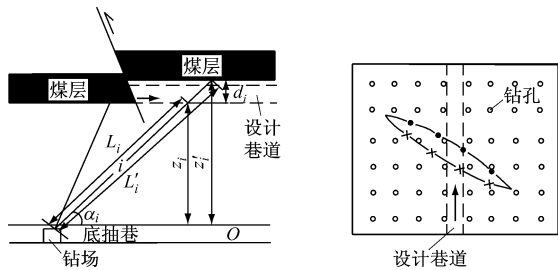


图 2 断层示意

按照施工设计图,第 i 个钻孔见煤点孔深为 L_i ,距基准面 O 的设计高度应为 Z_i (式 1);钻孔施工之后,依据现场实测数据资料,第 i 个钻孔见煤点孔深为 L'_i ,距基准面 O 的实际高度为 Z'_i (式 2)。从理论上来讲,在断层 F 影响范围之外,煤层处于原始状态,有 $Z_i = Z'_i$;而断层带内,钻孔见煤点的实际高度 Z'_i 与设计高度 Z_i 存在差值 d_i ,计算公式见式(3)。显然,式(3)中的 d_i 值与断层落差大小有关,落差越大, d_i 值越大。

$$Z_i = L_i \sin \alpha_i \quad (1)$$

式中: α_i 为第 i 个钻孔见煤点的仰角。

$$Z'_i = L'_i \sin \alpha_i \quad (2)$$

$$d_i = Z'_i - Z_i \quad (3)$$

如果在掘进工作面前方有一条断层,而且断层两盘煤层的落差由断面向两侧倾斜方向上和沿断层

两端延展方向上均渐近至零。假设穿层钻孔施工中有 n 个钻孔落在断层带内,通过计算可得到 n 个非零的 d_i 值,将这些 d_i 值按照钻孔在煤层中的地理坐标反映到三维坐标系中,便能得到一个反映断层产状的立体图。

2.2 方法和步骤

依据上述原理,利用穿层钻孔预测隐伏断层的方法和步骤如下所述。

2.2.1 计算数据准备

为了确保数据的可靠性,应该使用最新的矿井地质资料,并且要保证钻孔施工质量和施工数据精确。钻孔每施工一定距离,数据处理人员应及时依据式(1)一式(3)计算出每个钻孔见煤点的实际高度与设计高度的差值 d_i ,并按照钻孔(第 μ 行第 ν 列钻孔)在煤层中的地理坐标以矩阵 $\mathbf{D}$ 的形式记录。

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} d_1 & d_{\mu+1} & \cdots & d_{(\nu-1)\mu+1} \\ d_2 & d_{\mu+2} & \cdots & d_{(\nu-1)\mu+2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ d_{\mu} & d_{2\mu} & \cdots & d_{\nu\mu} \end{bmatrix} \quad (4)$$

由于地质条件、钻孔技术和人员操作等因素的影响,钻孔轨迹可能会发生偏斜,使孔位偏离设计位置,相比设计钻孔,实测孔深增加、仰角偏小(或偏大),按照式(2)计算得到的 Z'_i 偏小(或偏大),因此,必须对矩阵 $\mathbf{D}$ 进行误差纠正。

假设经过一段钻孔施工,获取了一系列的 (L_i, L'_i, α_i) 值,并未发现隐伏断层,则钻孔偏斜产生的孔深误差 $l_i = L'_i - L_i$ 。在施工条件相似的情况下,钻孔孔深误差主要受设计孔深 L_i 以及钻孔与岩层法线夹角 β_i 的影响,即

$$l_i = f(L_i, \beta_i) \quad (5)$$

令 $S(L_i, \beta_i) = a_0 \varphi_0(L_i, \beta_i) + a_1 \varphi_1(L_i, \beta_i) + \cdots + a_n \varphi_n(L_i, \beta_i) = \sum_{j=0}^n a_j b_j$ 为式(5)的拟合函数,其中假设 $\varphi_0(L_i, \beta_i), \varphi_1(L_i, \beta_i), \cdots, \varphi_n(L_i, \beta_i)$ 是已给定的函数。由最小二乘原理,要使 $\|\delta\|^2 = \sum_{i=1}^m [S(L_i, \beta_i) - f(L_i, \beta_i)]^2$ ($m > n$) 最小,有

$$\frac{\partial I}{\partial a_k} = 2 \sum_{i=1}^m [a_j \varphi_j(L_i, \beta_i) - f(L_i, \beta_i)] \varphi_k(L_i, \beta_i) = 0 \quad (6)$$

式中: $I = \sum_{i=1}^m [S(L_i, \beta_i) - f(L_i, \beta_i)]^2$, 是关于 $I(a_0, a_1, \cdots, a_n)$ 的函数。

由式(5)得到方程组:

$$\begin{cases} \frac{\partial I}{\partial a_1} = 2 \sum_{i=0}^m [a_j \varphi_j(L_i, \beta_i) - f(L_i, \beta_i)] \times \\ \quad \varphi_1(L_i, \beta_i) = 0 \\ \frac{\partial I}{\partial a_2} = 2 \sum_{i=0}^m [a_j \varphi_j(L_i, \beta_i) - f(L_i, \beta_i)] \times \\ \quad \varphi_2(L_i, \beta_i) = 0 \\ \quad \vdots \\ \frac{\partial I}{\partial a_m} = 2 \sum_{i=0}^m [a_j \varphi_j(L_i, \beta_i) - f(L_i, \beta_i)] \times \\ \quad \varphi_m(L_i, \beta_i) = 0 \end{cases} \quad (7)$$

解方程组(7),得到 $a_k = a_k^* (k=1, 2, \cdots, m)$ 。从而得到最小二乘解为

$$S^* = a_0^* \varphi_0(L_i, \beta_i) + a_1^* \varphi_1(L_i, \beta_i) + \cdots + a_n^*(L_i, \beta_i) \quad (8)$$

第 i 个钻孔由于孔深误差导致的误差 d'_i 为

$$d'_i = l_i \sin \alpha_i \quad (9)$$

根据孔深和钻孔仰角,按照式(8)和式(9)得到与矩阵 $\mathbf{D}$ 相对应的钻孔偏斜矩阵 $\mathbf{D}'$ 。最后,由式(9)得到断层预测矩阵 $\mathbf{D}''$ 。

$$\mathbf{D}'' = \mathbf{D} - \mathbf{D}' \quad (10)$$

$$\mathbf{D}' = \begin{bmatrix} d'_1 & d'_{\mu+1} & \cdots & d'_{(\nu-1)\mu+1} \\ d'_2 & d'_{\mu+2} & \cdots & d'_{(\nu-1)\mu+2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ d'_{\mu} & d'_{2\mu} & \cdots & d'_{\nu\mu} \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$\mathbf{D}'' = \begin{bmatrix} d''_1 & d''_{\mu+1} & \cdots & d''_{(\nu-1)\mu+1} \\ d''_2 & d''_{\mu+2} & \cdots & d''_{(\nu-1)\mu+2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ d''_{\mu} & d''_{2\mu} & \cdots & d''_{\nu\mu} \end{bmatrix} \quad (12)$$

2.2.2 隐伏断层的判断

Matlab 是一种广泛应用于工程计算及数值分析领域的新型交互式软件系统,具有强大的矩阵计算以及仿真能力,它本身带有许多绘图的库函数,可以很轻松地绘制出各种复杂的三维图形。通过 Matlab 可以将预测矩阵 $\mathbf{D}''$ 转换成三维图形,清晰地反映出断层的位置和产状。具体步骤如下:

(1) 在煤层平面图中,沿巷道掘进的平行和垂直方向建立平面直角坐标系,将钻孔 i 的地理位置表示成坐标 (x_i, y_i) 。

(2) 令矩阵 $\mathbf{X} = (x_1, x_2, \cdots, x_{\nu\mu})$, 矩阵 $\mathbf{Y} = (y_1, y_2, \cdots, y_{\nu\mu})$, 矩阵 $\mathbf{Z} = (d''_1, d''_2, \cdots, d''_{\nu\mu})$ 。其中 x_i, y_i, d''_i 均为钻孔 i 的参数。

(3) 应用 Matlab 中自带的 mesh() 函数按矩阵

X,Y,Z 绘制成三维曲面图,曲面图中指示断层存在的位置具有沿着某一剖面向两侧倾向相同、延展连续的倾伏面特征。

3 实例分析

某矿一新设计采区具有瓦斯突出危险,采区煤层倾角为 $10\sim15^\circ$,走向长为 650 m,倾向长为 140~160 m。由于具备底板岩巷的条件,在巷道掘进之前实施穿层钻孔预抽煤巷条带煤层瓦斯来消除突出危险性。底抽巷与机巷法向距离为 32~43 m,水平距离平均为 30 m,底抽巷内每隔 20 m 开挖一个 $3\text{ m}\times3\text{ m}$ 的钻场,每个钻场施工 5 组 8 排钻孔,控制到设计巷道轮廓线外 15 m,终孔间距为 5 m,具体布置如图 3 所示。

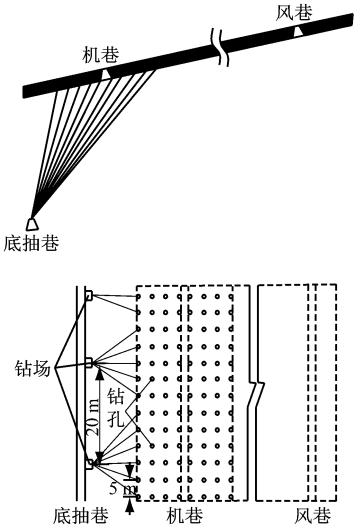


图 3 钻孔钻场布置

巷道实施边抽边掘,抽采钻孔超前于工作面 40 m,每施工完一个钻场对钻孔设计和施工参数进行一次数据处理,并根据预测矩阵预判隐伏断层。穿层钻孔自开切眼施工到掘进 230 m 以前,未发现有隐伏断层,根据钻孔设计和施工参数(表 1),运用 Matlab 中的 regress() 函数对钻孔数据进行最小二乘拟合,建立了孔深偏差 l_i 关于钻孔与煤层法线夹角 β_i 和孔深 L_i 的函数,即

$$l_i = 1.046\,7 - 0.011\,2L_i - 2.522L_i\beta_i + 1.413\,0\beta_i$$

(13)

依据式(5)、式(9)和式(10),得到距开切眼 230~270 m 内巷道两侧煤层的预测矩阵 D'' ,并运用 Matlab 中的 mesh() 函数功能将 D'' 反映到三维图中,得到图 4。从图 4 中可以看到,在工作面前方

表 1 抽采钻孔数据

钻孔 编号	与煤层法线 夹角 $\beta/(\circ)$	钻孔仰角 $\alpha/(\circ)$	设计孔深 L/m	实际孔深 L'/m	孔深误差 /m
1	42.9	37.6	43.71	44.0	0.29
2	50.8	29.4	51.15	51.5	0.35
3	54.0	26.2	54.51	55.0	0.49
4	56.7	23.3	58.38	59.0	0.62
5	59.3	20.8	62.55	63.3	0.75
6	61.5	18.7	66.78	67.7	0.92
7	63.4	16.8	71.19	72.2	1.01
8	65.0	15.1	75.46	76.6	1.14
9	41.6	38.5	42.97	43.2	0.23
10	50.1	29.9	49.97	50.3	0.33
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
360	41.5	39.2	49.59	49.80	0.21
361	48.7	31.1	56.18	56.5	0.32
362	51.7	27.8	59.8	60.3	0.50
363	54.4	24.8	63.55	64.2	0.65
364	56.8	22.2	67.55	68.3	0.75
365	58.9	19.9	71.60	72.5	0.90

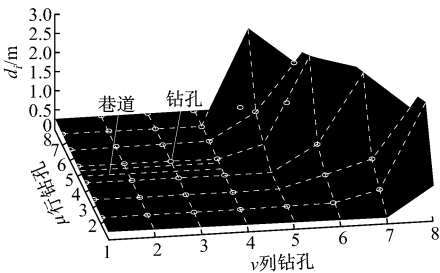


图 4 预测断层三维图

大约 20 m 的地方有一条疑似断层带,经过详细探测之后确定了该位置为与巷道呈 60° 斜交、落差在 2.5 m 左右的逆断层。

4 结语

在煤矿防突工作中,基于穿层抽采钻孔的隐伏断层预测方法可以提前预报工作面前方隐伏断层的位置和特征,为矿井灾害防治工作提供精确的地质信息,指导防护措施的设计、实施,避免地质灾害事故发生。但由于数据计算偏差,落差较小的断层会被淹没,无法在预测矩阵中显现出来,该方法有可能造成漏判。因此,要不断改进和完善钻孔施工、资料收集、数据处理和断层判断等工作,提高预测的准确度。

参考文献：

[1] 张子敏. 瓦斯地质学[M]. 徐州:中国矿业大学出版社, 2009.

[2] 魏国营,姚念岗. 断层带煤体瓦斯地质特征与瓦斯突出的关联[J]. 辽宁工程技术大学学报:自然科学版, 2012,31(5):604-608.

[3] 刘咸卫,曹运兴. 正断层两盘的瓦斯突出分布特征及其地质成因浅析[J]. 煤炭学报,2000,25(6):571-575.

[4] 张永将. 淮南矿区煤与瓦斯动力灾害特征及规律分析[J]. 矿业安全与环保,2011,38(2):60-62.

[5] 张国成,熊明富,郭卫星,等. 淮南矿区井田小构造对煤与瓦斯突出的控制作用[J]. 焦作工学院学报:自然科学版,2003,22(5):329-333.

[6] 董钢锋,明川,孙东玲. 打通二矿一次打钻引起的重大煤与瓦斯突出事故的分析[J]. 矿业安全与环保,2002,29(增刊 1):37-39.

[7] 姜波,琚宜文. 构造煤结构及其储层物性特征[J]. 天然气工业,2004,24(5):27-29.