

# 矿井地质构造预测与应用

李志华<sup>1</sup>, 窦林名<sup>1</sup>, 张卫东<sup>2</sup>

(1. 中国矿业大学, 江苏 徐州 221008; 2. 济宁二号矿, 山东 兖州 272100)

**摘要:** 矿井地质构造普遍存在而且错综复杂, 它已经成为煤矿生产与安全的关键性问题。但是构造分布是有规律的, 通过对矿井已揭露各种构造形迹及其它信息的统计、整理和分析, 利用它们所表现出的各种规律和相互关系, 可以推测出未知的“隐伏”构造的分布规律及各要素之间的种种内在关系。从而指导采掘工作顺利进行, 收到了良好的经济效益。

**关键词:** 地质构造; 断层预测; 数理统计

**中图分类号:** TD163      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1671- 0959(2005) 02- 0040- 04

## Forecast and application of geological structures is the mine

LI Zhihua<sup>1</sup>, DOU Linming<sup>1</sup>, ZHANG Weidong<sup>2</sup>

(1. China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China; 2. Jining No. 2 Mine, Yanzhou 272100, China)

**Abstract:** The geological structures of the mine generally exist and intricate, it has become the key question in restricting and influencing the production and the safe in the mine. However, the structures distribution has some certain laws. Through statistic, arrangement and analysis of various kinds of structures and other information had revealed, utilize various kinds of laws and interaction which they demonstrated, Infer out distribution law and inherent relations in every key element for “lying concealed” structures that is unknown to appear. Thus make the working of excavate carry out smoothly, and receive the good economic benefits.

**Keywords:** geological structures; fault forecast; mathematical statistics

### 0 引言

矿井构造预测的目的是在煤矿生产和建设中对未开拓、未掘进、未回采地段的地质构造, 根据已掌握的信息和资料运用合适的方法提出具有足够精度的评价和预测, 以保证采掘工作的正常进行, 保证国家资源的充分开发与合理利用。预测的作用不仅仅是保证采掘生产正常运转、煤炭合理开发和提高机械程度来推进煤炭高速度发展的问题, 而且也是防止和减轻受构造制约的矿井充水、瓦斯突出、冲击矿压、矿震岩爆、片帮冒顶等各种矿井灾害, 保证矿井安全生产的至关重要的基础工作<sup>[1]</sup>。

### 1 生产、地质概况<sup>[2]</sup>

济宁二号煤矿以背斜系统的宽缓褶曲为主要构造形态, 其断层数量多和构造复杂。特别是三采区, 在回采 33 下 01 及 33 下 06 工作面时, 由于在工作面范围内小断层众

多, 压力异常, 顶板岩层节理发育, 顶板非常难于控制, 从而造成了工作面推进缓慢, 经济效益差的局面。在 33 下 01 工作面推进长度 1000m 左右的范围内, 就有大小不等的断层 34 条, 工作面回采了将近 18 个月。在 33 下 06 工作面推进长度 1200m 左右的范围内, 就有大小不等的断层 20 多条, 工作面回采了将近 16 个月。生产矿井小构造问题的解决已成为制约综合机械化采煤和一般采煤工作面提高产量效益的最主要因素之一, 这不仅使得地质界, 而且在采矿界对开采环境预测和构造条件研究重要性的认识已越来越为清楚。因此, 构造预测与评价已成为开采理论和实践中迫切需要解决的世界性难题。

### 2 矿井构造预测理论及评价指标

错综复杂的地质因素和不同构造作用的复合叠加, 造成了矿井构造具有明显的复杂性和随机性。数理统计作为一种处理随机数据的数学方法, 多年来一直被人们所重视,

收稿日期: 2004- 11- 03

基金项目: 国家自然科学基金重大项目(50490273) 及国家自然科学基金重点项目(50134040)

作者简介: 李志华(1981- ), 男, 陕西汉中, 2003 年毕业于中国矿业大学能源学院采矿系, 现在中国矿业大学能源学院攻读硕士学位, 主要从事矿山压力方面的研究。

而且在许多方面取得了良好的应用效果。这一方法成为矿井构造预测由定性向定量发展的转折纽带。数理统计预测的实质是通过对矿井已揭露各种构造形迹及其它信息的统计、整理和分析,利用它们所表现出的各种规律和相互关系,推测出未知的“隐伏”构造。从狭义上讲,其研究内容主要包括:构造展布规律的统计分析、断层各相关因素之间的统计预测,以及构造信息的多元统计等几个方面<sup>[1]</sup>。

2.1 断层规模及其方向性统计

不同等级、不同规模的断层对生产影响程度不同。断层距大于 30m 的断层,一般在勘探阶段已经查明,这些断层主要影响矿井设计和总体规划;断层小于 30m 的各级断层,则会分别控制采区、阶段以至工作面的合理划分和回采的顺利进行<sup>[3]</sup>。那么,具体哪个级别的断层影响哪一级的采掘生产,各矿区、各矿井各有不同。为了正确掌握某一矿井断层的强度,必须及时统计断层的大小和等级。对断层等级的恰当划分,目前尚无统一标准,也没有很理想的分类方法,但影响生产的最小破坏断距,则可用下式表示:

$$h \geq h_1 - h_2 \tag{1}$$

式中  $h$  ——断层最小破坏断距, m;  
 $h_1$  ——煤层总厚度, m;  
 $h_2$  ——煤层最小可采厚度, m。

任何构造的形成与展布都是在地壳运动中地应力作用的结果。地应力是一种矢量,它的量纲不仅有强度,而且有作用方向,在这种方向应力作用下形成的构造必然具有方向性。它必然沿一定的方向向上下左右延展,而且在三维空间上的赋存具有一定的产状,这也是在矿井中能够对未揭露构造进行预测预报工作的主要依据<sup>[1,4-6]</sup>。

2.2 断层空间分布规律

统计断层的空间规律,主要是在作图基础上进行。即利用历年勘探和生产揭露的工作面说明书、巷道写实、采区总结等资料,统计分析各类断层的空间变化特征,进一步预测未开拓区构造的分布规律。

断层密度  $M$  指的是单位面积或单位长度内断层的条数,表达式为<sup>[7]</sup>:

$$M_s = \frac{n}{S} \tag{2}$$

$$M_L = \frac{m}{L} \tag{3}$$

式中  $n$  ——断层条数, 条;  
 $S$  ——统计面积,  $\text{km}^2$ ;  
 $L$  ——统计长度,  $\text{km}$ 。

2.3 断层落差与水平延伸长度间的关系

大量事实证明,断层各要素(包括落差、水平延伸长度、走向、倾向和倾角等)之间存在密切的相关关系。针对不同地质条件,采用不同统计方法,在许多地区揭露了断层各要素之间的种种内在规律,并以此为生产提供了一定的地质依据。

理论与实践表明,断层落差与水平延伸长度之间存在一定的相关关系,掌握这种关系,主要是通过统计分析。对于一个矿区或矿井,往往经历过多次构造变动,导致断层的展布方向、力学性质存在各种差异。因此,在统计断层落差与水平延伸长度之间的关系时,应首先统计断层的力学性质,并按力学性质分类,然后对同一力学性质的断层分别统计。以往的统计研究,常常忽视这一点,不考虑矿井范围内的构造演化和成生规律,而将所有已揭露的断层,一起参加落差与水平延伸长度之间相关关系的统计。这在有些矿区(如构造变动次数少的矿区),统计规律性明显,预测效果较好;而在其它矿区(尤其构造变动次数多的矿区),效果不甚理想<sup>[1,8]</sup>。

2.4 断层落差的空间变化规律

上述研究表明,断层落差与水平延伸长度呈正相关关系。对于同一条断层来说,实际观测和分析其平面展布发现,其落差大多数在空间呈现一定的变化规律:最大落差多数位于断层的中部,向两端逐渐变小,以至为零(图 1a)。因此,可利用这种自身变化规律分析预测断层。如在断层落差最大点的一侧,如果再揭露两点(图 1b),根据这两点的落差之差,便可求出落差在水平方向上的变化梯度,并且粗略地算出断层向一端延伸的水平长度  $l$  为<sup>[1,9-10]</sup>

$$l = \frac{h_2}{q} = \frac{l_1 h_2}{h_1 - h_2} \quad (h_1 > h_2) \tag{4}$$

式中  $h_1$ 、 $h_2$  ——沿断层走向上两点的断层落差, m;  
 $l_1$  ——沿断层走向  $h_1$ 、 $h_2$  两点间的垂直长度, m;  
 $q$  ——落差在水平方向上的变化梯度。

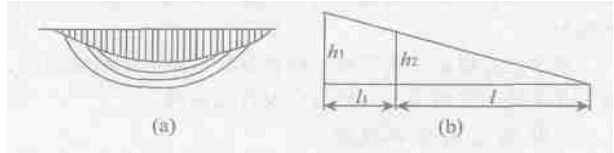


图 1 断层落差在空间的变化规律示意图

3 矿井地质构造预测技术应用举例

3.1 断层规模及其方向性统计

济宁二号矿三采区 33<sub>下</sub>05 工作面煤厚 1.6~6.5m,平均厚度 4.46m,规定 2.2m 为最小可采厚度,所以遇到断距为 2.26m 以上的断层时,煤层就被断“死”,工作面必须采用挑顶、卧底的方法才能通过小断层;而遇到断距为 2.26m 以下的断层时,工作面能直接通过。由此可知,同一范围内,煤层厚度不同,最小破坏断层的密度也不相同。如煤层厚度大,其破坏性断层的密度就稍小一些。

一般在断层统计时,断距下界常以最小破坏断距为准,其它界线则要根据本矿具体情况确定。根据 33<sub>下</sub>05 工作面在掘进过程中两顺槽及切眼揭露落差 0.6m 以上的 14 条断层和 33<sub>下</sub>03 工作面在掘进过程中两顺槽及切眼揭露落差 0.6m 以上的 14 条断层(表 1),可以做出统计,见表 2 所示。

表 1 工作面断层参数表

33 下 05 工作面断层参数							33 下 03 工作面断层参数						
断层名称	走向/ (°)	倾向/ (°)	倾角/ (°)	落差/ m	性质	对回采的影响程度	断层名称	走向/ (°)	倾向/ (°)	倾角/ (°)	落差/ m	性质	对回采的影响程度
F <sub>01</sub> <sup>35</sup>	20	110	55	3.5	正	大	F <sub>04</sub> <sup>32</sup>	1.5	91.5	65	2.3	正	大
F <sub>02</sub> <sup>35</sup>	0	270	70	0.6	正	小	F <sub>06</sub> <sup>32</sup>	9	99	75	1.3	正	较小
F <sub>03</sub> <sup>35</sup>	70	160	70	2.1	正	大	F <sub>09</sub> <sup>32</sup>	20	290	40	3.5	正	大
F <sub>04</sub> <sup>35</sup>	25	295	65	5.2	正	大	F <sub>11</sub> <sup>32</sup>	40	310	60	1.2	正	较小
F <sub>06</sub> <sup>35</sup>	56	146	70	1.4	正	较大	F <sub>12</sub> <sup>32</sup>	20	290	55	0.8	逆	小
F <sub>07</sub> <sup>35</sup>	30	120	70	1.4	正	较大	F <sub>13</sub> <sup>32</sup>	25	115	60	0.7	正	小
F <sub>15</sub> <sup>35</sup>	20	110	50	2.3	正	大	F <sub>28</sub> <sup>32</sup>	59	149	70	0.6	正	小
F <sub>08</sub> <sup>35</sup>	30	120	60	1.0	正	较大	F <sub>18</sub> <sup>32</sup>	7	287	55	1.3	正	较小
F <sub>58</sub> <sup>36</sup>	35	125	70	0.6	正	小	F <sub>17</sub> <sup>32</sup>	70	160	76	1.6	正	较大
F <sub>05</sub> <sup>35</sup>	24	114	67	1.0	正	较大	F <sub>16</sub> <sup>32</sup>	60	150	85	1.7	正	较大
F <sub>57</sub> <sup>36</sup>	30	120	70	2.2	正	大	F <sub>01</sub> <sup>35</sup>	17	107	70	2.7	正	大
F <sub>12</sub> <sup>35</sup>	40	130	60	3.0	正	大	F <sub>08</sub> <sup>35</sup>	67	157	38	1.7	正	较大
F <sub>13</sub> <sup>35</sup>	40	130	60	5.0	正	大	F <sub>02</sub> <sup>34</sup>	45	135	80	2.5	正	大
F <sub>101</sub>	45	315	70	4.0	正	大	F <sub>03</sub> <sup>34</sup>	11	101	60	0.8	正	小

表 2 三采区断层落差统计

落差/ m	H≤2.26	2.26<H≤3	3<H≤5.5	百分比/ %
北东向	18	5	5	100
百分比/ %	64.29	17.86	17.86	100

根据上述分析，济二矿三采区多为规模较小的断层，落差小于最小破坏断距的小断层统计概率为 64.29%，这些小断层从单个来看，对生产影响不大，但在断层密集分布的地段，就会由于压力异常，顶板岩层节理发育，顶板非常难于控制，从而造成了工作面推进缓慢，经济效益差的局面。

济宁二号煤矿三采区断层性质及其方向统计结果表明，断层几乎全为正断层，延展方向仅有北东向。

3.2 断层空间分布规律

33下01工作面从开始回采至2002年1月17日停产线这一区域内，工作面共推进683m，工作面长度182m。两顺槽及切眼揭露落差0.6m以上的断层15条(F<sub>34</sub><sup>31</sup>、F<sub>39</sub><sup>31</sup>、F<sub>44</sub><sup>31</sup>、F<sub>47</sub><sup>31</sup>、F<sub>13</sub><sup>31</sup>、F<sub>48</sub><sup>31</sup>、F<sub>45</sub><sup>31</sup>、F<sub>40</sub><sup>31</sup>、F<sub>36</sub><sup>31</sup>、F<sub>35</sub><sup>31</sup>、F<sub>69</sub><sup>31</sup>、F<sub>31</sub><sup>31</sup>、F<sub>30</sub><sup>31</sup>、F<sub>29</sub><sup>31</sup>、F<sub>28</sub><sup>31</sup>)。而工作面在推进过程中共揭露断层36条。因此，可以求得33下01工作面断层的线密度 $M_L = 9.69$ (条/km)，面密度 $M_S = 0.29$ (条/km<sup>2</sup>)，两者之比为 $\frac{M_L}{M_S} = 33.41$ 。

33下06工作面从2001年开始回采至2002年V区这一区域内，工作面共推进710m，工作面长度223m。两顺槽及切眼揭露落差0.6m以上的断层10条(F<sub>57</sub><sup>36</sup>、F<sub>58</sub><sup>36</sup>、F<sub>63</sub><sup>36</sup>、F<sub>55</sub><sup>36</sup>、F<sub>54</sub><sup>36</sup>、F<sub>53</sub><sup>36</sup>、F<sub>42</sub><sup>36</sup>、F<sub>37</sub><sup>36</sup>、F<sub>65</sub><sup>36</sup>、F<sub>25</sub><sup>36</sup>)。而工作面在推进过程中共揭露断层24条。因此，可以求得33下06工作面断层的线密度 $M_L = 6.09$ (条/km)，面密度 $M_S = 0.15$ (条/km<sup>2</sup>)，两者之比为 $\frac{M_L}{M_S} = 40.60$ 。

通过对33下01工作面和33下06工作面断层条数的统计，可以看出断层线密度与面密度有着密切的关系，面密度随着线密度的增加而增加，两者的比值非常接近。因此，可以根据工作面在掘进过程中两顺槽及切眼揭露落差的情况(线密度)预测该工作面内存在的断层数目(面密度)，为该面地质构造综合评估、工作面作业规程的制定提供依据。

33下05工作面从2003年9月12日开始回采至2004年6月30日这一范围内，工作面共推进1214m，工作面长度205m。两顺槽及切眼揭露落差0.6m以上的断层8条(F<sub>03</sub><sup>35</sup>、F<sub>04</sub><sup>35</sup>、F<sub>15</sub><sup>35</sup>、F<sub>08</sub><sup>35</sup>、F<sub>58</sub><sup>36</sup>、F<sub>05</sub><sup>35</sup>、F<sub>57</sub><sup>36</sup>、F<sub>101</sub>)。断层线密度 $M_L = 3.04$ (条/km)所以可以推断出面密度 $M_S = 0.082$ 。

据此结果，预测在该工作面存在断层 $n = M_S \times S = 20$ 条。后经生产揭露证实，工作面在推进过程中共揭露断层18条。证实了这一结论基本正确。

3.3 断层落差与水平延伸长度间的关系

研究断层落差与水平延伸长度之间的关系时(图2)，最常用的方法是做散点图和回归分析法。这种方法直观、清晰，易于揭示其内在规律。济宁二号矿三采区采掘过程揭露的所有断层中，全为北东走向，且几乎全为正断层，断层面及其附近倾向擦痕和相关节理极为明显，角砾岩发育，显示受到同一应力场的作用。从33下01工作面任意抽取所揭露的10条断层的延伸长度和落差(表3)，以x坐标表示断层落差 $H_{max}$ ，坐标表示水平延伸长度 $L_{max}$ ，然后做出散点图(图3)。从图中可明显看出，断层落差随水平延伸长度的增大而增加。因此，(选择回归方程来分析其规律性。



图 2 断层落差与水平延伸长度示意图

表 3 断层延伸长度和落差关系统计

断层名称	F <sub>63</sub> <sup>31</sup>	F <sub>64</sub> <sup>31</sup>	F <sub>66</sub> <sup>31</sup>	F <sub>65</sub> <sup>31</sup>	F <sub>67</sub> <sup>31</sup>	F <sub>68</sub> <sup>31</sup>	F <sub>69</sub> <sup>31</sup>	F <sub>73</sub> <sup>31</sup>	F <sub>39</sub> <sup>31</sup>	F <sub>72</sub> <sup>31</sup>
落差 H/m	0.8	2.0	0.6	0.6	0.8	1.0	1.5	2.0	3.2	1.0
垂直距离/m	42.02	79.65	30.00	15.00	24.94	43.42	102.13	71.84	93.05	30.81

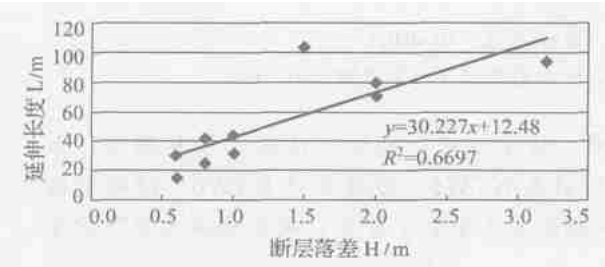


图 3 断层落差与水平延伸长度关系散点图

$R^2 = 0.6697$ , 得到  $R = 0.818$ , 查表,  $n = 10$ ,  $K_\alpha = 0.632$ , 因为  $R > K_\alpha$ , 故  $x$  与  $y$  显著相关, 得到的回归方程具有实用价值。

回归方程为

$$L_{max} = 30.227H_{max} + 12.48 \tag{5}$$

利用这一回归方程即可对断层进行预测。如在 33<sub>下</sub>05 工作面在掘进轨道顺槽时揭露一条落差 1.1m 的正断层 F3505, 将该落差视为最大值, 预测断层水平延伸总长度为 45.73m, 根据断层走向, 从图纸上测的: 当工作面推进到 393m 时, 预计在 125 号架(1.5m 间距)首先揭露, 并向轨顺方向延伸, 当工作面推进到 416m 时在轨顺消失。后经实际揭露后, 这条断层长 42.53m, 与预测值非常近似。

一般不同方向、不同成因和不同规模的断层, 落差与水平延伸长度具有不同的相关关系, 需要重新确定相关参数。

3.4 断层落差的空间变化规律

在 33<sub>下</sub>01 工作面推进过程中, 揭露一条落差 1.0m 的正断层 F<sub>68</sub><sup>31</sup>, 工作面推进一段距离后, 落差变为 0.5m, 两点间的垂直距离为 14.44m, 预测断层向一端延伸的水平长度  $l$  为 14.44, 实际揭露后为 12.50m, 如图 4 所示。

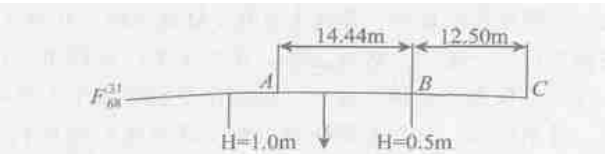


图 4 F<sub>68</sub><sup>31</sup>断层落差的空间变化规律

利用这种方法预测构造时会遇到两个主要问题: 第一个问题是断层落差变化梯度在水平方向是否保持稳定。所以要特别注意产状变化处的断层特征。这样上述公式也就仅适应于走向上产状变化较小的断层。第二个问题是确定断层最大落差的具体位置较为困难。目前, 除用类比法和几何作图法近似确定外, 主要通过井下实测。比较可靠简便的判别标志有: 沿走向揭露断层时, 相邻两点间落差不变或变化较小; 断层最大落差处的擦痕多为倾向擦痕; 断

层最大落差处, 相关节理最为发育, 水平断距最大, 断层面上盘垂直于断层走向的张节理最为明显。

4 结 语

1) 构造的形成与展布都是在地壳运动中地应力作用的结果。因此, 任何矿井中构造形迹的出现不是杂乱无章的, 它们的展布具有一定规律。

2) 不同等级、不同规模的断层对生产影响程度不同, 影响生产的最小破坏断距与煤层厚度、最小采高有关。同一范围内, 煤层厚度不同, 最小破坏断层的密度也不相同。如果煤层厚度大, 其破坏性断层的密度就相对稍小一些。

3) 断层面密度随着线密度的增加而增加, 对于一个矿区或矿井, 两者的比值接近于一个常数。因此, 可以根据工作面在掘进过程中两顺槽及切眼揭露断层的情况(线密度)预测该工作面内存在的断层数目(面密度), 为该面地质构造综合评估、工作面作业规程的制定提供依据。

4) 断层落差与水平延伸长度线形相关, 断层水平延伸长度随着落差的增大而增大。因此, 可以根据断层最大落差推断出断层水平延伸长度; 或者在断层落差最大点的一侧, 如果再揭露两点, 根据这两点的落差之差, 便可求出落差在水平方向上的变化梯度, 并且粗略地算出断层向一端延伸的水平长度。

参考文献:

[1] 王桂梁, 龙荣生, 徐凤银, 等. 矿井构造预测 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1993, 11.

[2] 济宁二号矿, 中国矿业大学. 济宁二号煤矿三采区顶板损害机理及围岩控制技术研究项目论证报告 [R]. 2004.

[3] 高永成. 影响综采的地质因素及其评价 [J]. 煤炭科学技术, 1994, 22(3): 52~ 56.

[4] 王树常, 李佩民. 兖州煤田地质构造对瓦斯的控制作用 [J]. 焦作工学院学报, 1997, 16(2): 28~ 32.

[5] 刘文明, 鲁江, 张登龙. 皖北前岭煤矿地质构造及其对煤层破坏的影响 [J]. 淮南工业学院学报, 2001, 21(2): 1~ 4.

[6] 刘长武, 诸秀生. 构造应力对巷道维护的影响 [J]. 矿山压力与顶板管理, 1999, 2: 22~ 24.

[7] 徐凤银, 魏铭康. 矿井构造预测与评价的理论、方法及其应用 [M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1993, 12: 55~ 66.

[8] 徐凤银, 王桂梁. 矿井构造预测与评价的发展途径 [J]. 中国矿业大学学报, 1995, 24(3): 68~ 73.

[9] 赵明鹏, 刘俊杰. 矿井地质工作方法及其新进展 [M]. 北京: 地质出版社, 1996, 5.

[10] 俞鸿年, 卢华复. 构造地质学原理 [M]. 南京: 南京大学出版社, 1998.

(责任编辑 章新敏)