

文章编号: 0253-9993(1999)04-0383-05

矿井动力现象区域预测研究

张宏伟¹, 段克信¹, 张建国², 陆 鑫²

(1 辽宁工程技术大学 资源与环境工程学院, 辽宁 阜新 123000; 2 平顶山煤业(集团)有限责任公司, 河南 平顶山 467000)

摘要: 以平顶山矿区为研究对象, 根据地质动力区划方法查明的各级活动断裂建立了地质构造模型。利用 ANSYS 软件计算了平顶山十矿岩体应力, 得出了 III-12 断裂所形成的构造应力区制约着该矿煤与瓦斯突出发生的结论, 并对未来矿井生产中可能发生煤与瓦斯突出的区域作出了预测。

关键词: 煤与瓦斯突出; 地质构造; 数值计算; 区域预测

中图分类号: P 551 **文献标识码:** A

对国内外煤与瓦斯突出事例的统计分析表明, 突出在井田内的分布是不均匀的, 比较集中地分布在某些地质构造区, 称之为区域性分布^[1]。研究表明, 地形地貌的基本形态和主要特征取决于地质构造形式, 地质构造形式与矿井动力现象有着密切联系。我国多个矿区的大量开采实践表明, 冲击地压、煤和瓦斯突出、矿区地震等矿井动力现象都发生在构造活动区^[2]。

1 地质构造

1.1 矿区地质

平顶山矿区位于华北古板块南缘、华北聚煤区南缘的区域性推覆构造的中段, 属秦岭—大别造山带北侧区域性逆冲断层系的前锋端元。整个地区受北西向构造控制较为明显。以宽缓的李口向斜为主体, 次级褶皱和断裂发育, 岩层倾角平缓。整个矿区及其外围形成一系列北西向褶皱平行排列的复式褶皱构造形态, 伴随以北西向为主的张扭及压扭性断裂和次一级北东向张扭性断裂, 周缘断裂对矿区内部构造发育具有控制作用。

1.2 煤与瓦斯突出

平顶山矿区是中国煤与瓦斯突出次数较多、危害比较严重的矿区之一。自 1973 年 6 月在平顶山八矿发生第一次煤与瓦斯突出起至 1997 年底, 全矿区先后共发生有据可查的突出 50 次, 累计突出煤量 2 648 t, 瓦斯量 78 613 m³。平均每次突出煤量 53 t, 瓦斯量 3 592 m³。随着开采深度的增加, 突出次数和强度都明显增加, 对安全生产威胁日趋严重。

突出特征表现在 (1) 突出频繁, 强度较低; (2) 突出发生以煤层平巷掘进较多, 石门揭煤易发生突出; (3) 煤和瓦斯突出受地质构造控制, 有 36 次突出发生在构造区, 占突出总数的 72%; (4) 具有区域性分布的特征。

2 划分区域地质构造形式

2.1 区域预测

冲击地压、煤与瓦斯突出和矿震统称为矿井动力现象, 是煤矿的重大突发灾害之一。由于矿井动力现

象问题的复杂性和我国生产地质条件的多样性, 其预测预防任务极为艰巨。矿井动力现象预测和治理方面的研究应包括 3 个相互联系的内容, 即区域预测、局部检测和解危措施。从预测矿井动力现象方面看, 无论何种检测方法, 在预测不发生动力现象时都是准确的, 预测发生动力现象时则不理想。究其原因这是由于局部检测无法考虑区域岩体应力状态, 在使用上有一定的盲目性, 致使检测的准确性下降, 而区域预测正是弥补了矿井动力现象治理工作中的这一不足。

目前, 国内外有关区域预测的研究尚处于起步阶段。俄罗斯国家地质力学与测量研究院提出的基于板块学说的地质动力区划方法是其代表性的成果之一。地质动力区划是地质动力学的一个新分支, 是一个涉及采矿、地质、测量、力学和计算机技术的交叉学科。它主要是根据地形地貌的基本形态和主要特征决定于地质构造形式的原理, 通过对地形地貌的分析, 查明区域活动断裂的形成与发展, 结合地应力测量、计算机数值方法和相关实验, 确定区域岩体应力状态, 为人类的工程活动提供地质环境信息和预测工程活动可能产生的地质效应。

区域预测以区域构造和区域岩体应力状态为主要研究对象, 找出一种矿井动力现象预测新方法, 它对局部检测和解危措施的选择具有指导意义。

2.2 区域地质构造形式的确定

在构造应力场的作用下, 各级板块内岩体应力状态受板块运动和活动断裂的赋存状态及活动方式的制约。地壳任何一种构造形迹都反映地应力的作用, 而地壳上的构造形迹是成群发生的, 每一群中的构造形迹, 反映了某种一定方式的构造活动和构造应力场^[3]。地质动力区划方法是一种综合分析的方法, 使用的方法越多, 资料越全面, 得出的结果就越翔实可靠。在平顶山十矿研究工作中, 以绘图法为主, 结合趋势面分析、航卫片判读、地面和井下考查、地震及区域构造活动调查等方法, 最终划分出了 I ~ V 级活动断裂^{*}。它构成了平顶山矿区现代构造运动的格架, 反映了现今构造运动所引起的并正在起作用的岩体应力状态。由各级活动断裂确定的断块构成了区域地质构造的基本形式(图 1)。

3 岩体应力数值计算

3.1 模型建立

用地质动力区划方法确定了区域地质构造形式, 数值计算以这个模型为基础, 将平顶山十矿简化为由 10 条活动断裂组成的 $10 \text{ km} \times 8 \text{ km}$ 区域, 建立平面计算模型, 用 ANSYS 软件进行区域岩体应力计算。全区共划分了 6 221 个节点、6 187 个单元。

3.2 参数定义

3.2.1 断裂几何参数的确定

对于二维有限元计算, 确定断裂的产状、切割深度不是最重要的, 难点是如何确定断裂的宽度和影响范围。从地质研究上看, 中国大型断裂的宽度可达 40 km (郯庐断裂鲁北段), 而笔者研究的断裂有时就是某一条断层, 宽度可以小到几米。因此, 仅用某一断面露头的宽度来表示某一断裂的宽度是不合适的。断裂常常表现为一系列规模不等的近于平行的断层, 或构造弱化带。所以说, 断裂越大、越深, 它的宽度就越大。从理论上讲, 利用高精度仪器, 布设小间距的地球物理探测网可以揭示断裂带的实际宽度, 但对于笔者研究的断裂(级别低、规模小), 目前还没有这方面的资料。为此, 笔者根据上述推断, 并参考俄

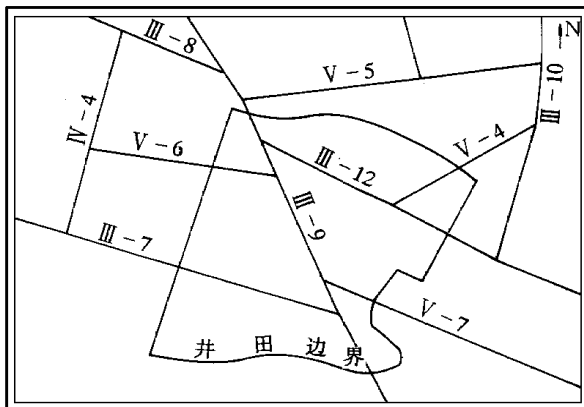


图 1 平顶山十矿断块图

Fig. 1 Tectonic plates in No. 10 Mine

* 用地质动力区划方法确定地层应力分布(研究报告)。辽宁工程技术大学等, 1999

罗斯的经验公式 $b = 10h^{**}$ (b 为断裂的影响宽度, m; h 为沿断裂垂直的落差, m) 和文献 [4] 对断裂的影响宽度进行估算, 确定 I 级断裂宽 1 000 m, II 级断裂宽 500 m, III 级断裂宽 200 m, IV 级断裂宽 100 m, V 级断裂宽 50 m.

3.2.2 岩体力学参数的确定

在一定的应力或位移的边界条件下, 计算区域内所形成的应力场在大小和方向上的分布与区域内岩体的力学性质及分布状况有关, 因而正确地确定计算区域内岩体参数及边界条件对计算结果有重要的影响. 平顶山十矿井田区域内计算平面岩体多为泥岩, 经过取样做力学试验, 得到了岩体的力学参数 (表 1). 对断裂带采用弱化断裂内介质的方法处理, I 级断裂带的弹性模量取邻近岩体的 1/10, 其它取 1/5.

3.3 定义分析类型和边界条件

根据地应力作用特点, 模型边界作用的地应力视为均匀分布. 以平顶山十矿区地应力测量结果 (水平最大主应力 15.56 MPa, 方向 N42°E; 最小主应力 5.28 MPa, 方向 N48°W) 作为计算模型的边界载荷. 模型边界上作用着相应的约束.

3.4 岩体非线性处理

岩体物理力学性质存在着非线性. 以往的有限元分析程序多将这个特点简化为均质处理, 导致计算结果失真. ANSYS 程序可模拟材料的非线性性质, 用 New-ton Raphson 方法解决.

为全面分析塑性材料的性质, 必须考虑 3 个重要的概念: 屈服准则、流动准则和硬化定律. ANSYS 用 Dyucker-Prager 描述岩石材料. 该功能使用 Von mises 屈服准则模拟由于边缘压力增加产生的屈服强度增加. 流动准则可相关或不相关, 无硬化假定.

3.5 计算结果

在平顶山十矿现生产水平-320 m 深处 (垂深 413 m), 按前面选取的力学参数及边界载荷计算了区域岩体水平应力场. 在计算过程中, 笔者同时用自己开发的应力计算软件 EG 进行了对比计算 (模型的参数选择同上), 得出的计算结果与 ANSYS 具有较好的一致性. 计算结果的后处理是根据两个软件的计算结果来进行的.

通过计算获得了所希望的后处理数据, 就能以图形方式显示. 应力等值线图展示应力在计算模型上的变化情况. 由于软件输出的应力等值线图无规范比例, 且图幅较小, 而现场应用中则需要精确比例, 因此在研究中, 依据软件输出的应力等值线图, 经过 GIS 和 AUTOCAD 技术处理后, 输出了标准的工程图件, 并根据现场的要求, 在图中加入不同的图层, 显示各类工程信息. 水平最大主应力等值线图见图 2 (其它图件略).

4 构造应力区的划分

在岩体应力数值计算时, 为减小边界效应的影响, 选取的计算区域远大于十矿井田. 在进行构造应力区划分时, 选取了十矿井田范围内 (6 km × 4.5 km) 岩体应力数据进行分析. 构造应力区

表 1 岩体力学参数

Table 1 Rock mass dynamic parameters		
岩 性	弹性模量 / GPa	泊松比
深部岩层	40~ 60	0.20
浅部岩层	30~ 50	0.23
煤系地层	10~ 20	0.25

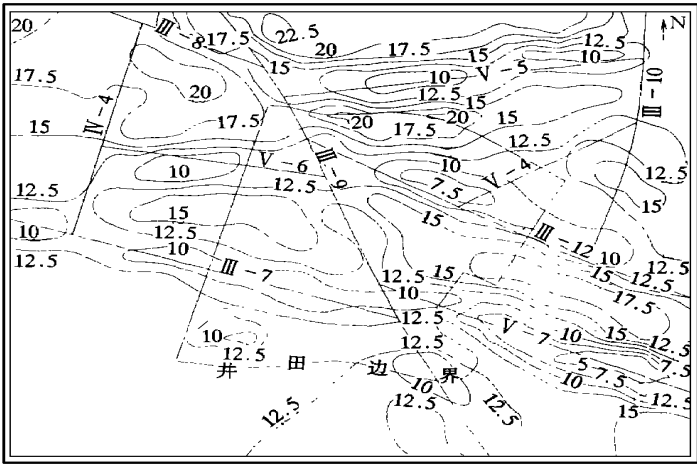


图 2 最大主应力等值线
Fig. 2 Isogram of maximum principal stress

** 北票矿区地质动力区划及岩体动力现象预测研究 (研究报告). 中俄合作课题组, 1993
© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

可用影响范围和应力集中系数来描述。应力集中系数为水平应力与 σ_H 的比值。

(1) 井田中部高应力区位于 V-6 与 III-7, III-12 与 V-7 断裂之间, 水平最大主应力值在 12.5~17.5 MPa 之间变化, 应力集中系数为 1.2~1.7 (图 2)。从图中可看出, 十矿已发生的煤与瓦斯突出点绝大多数落在这个区域内。进一步以应力集中系数为 1.5 的应力等值线划定影响范围, 又可分成两个区域: 西部区地面临近平顶山, 影响范围为 1.4 km × 0.7 km; 东部区影响范围 2.3 km × 0.8 km。

(2) 井田深部高应力区位于 V-5 与 III-12 断裂之间, 地面位置是马棚山。水平最大主应力值在 17.5~20 MPa 之间变化, 应力集中系数为 1.7~2.0。影响范围 2.5 km × 0.5 km (图 2)。

(3) 应力降低区位于井田东部高应力区的北部、III-12 附近, 应力集中系数为 0.7, 影响范围 1.4 km × 0.3 km。这一区域临近井田东部高应力区, 在这两个区域的过渡区内, 应力梯度增量最大。

(4) 井田中部高应力梯度区位于 III-12 断裂南侧, 应力值在 7.5~17.5 MPa 之间变化, 变化幅度达 10 MPa, 影响范围 1.2 km × 2.5 km。

(5) 井田深部高应力梯度区位于 III-12 断裂北侧, 应力值在 7.5~20 MPa 之间变化, 变化幅度达 12.5 MPa, 影响范围 1.3 km × 3.3 km (图 3)。

最小主应力和剪应力的分布规律与最大主应力的分布规律相同。

5 煤与瓦斯突出区域预测

5.1 煤和瓦斯突出的区域分布规律

平顶山十矿煤与瓦斯突出比较严重, 从 1988 年 4 月首次发生突出以来截止到 1997 年 12 月, 已记录大小突出 31 次。把划分出的构造应力区同瓦斯突出点的信息进行对比分析得出: 在十矿的井田内, 大约 83% 的瓦斯突出地点位于井田中部高应力梯度区内, 并受 III-12 这条活动断裂的影响, 规律十分明显 (图 3)。

5.2 煤与瓦斯突出区域预测

在岩体中存在不同应力程度的区域时, 能够强化岩石性质的非均匀性, 其中也包括同一种岩性的岩石。在岩石从低应力区向高应力区转化时, 应力和变形模量能同数量级或更高的比例增长, 从而会导致弹性波速度增大, 以及导电率的急剧变化等。在这些区域内, 自然水份会降低, 岩石的物理相态发生变化, 其脆性以及冲击危险程度都会增大。

由上面分析可知, 在十矿井田深部存在一个高应力梯度区, 这个区域应力梯度比中部高应力梯度区的还大, 预测在同样开采条件下, 该区域内发生煤与瓦斯突出危险程度会增大。

6 结 论

(1) 用地质动力区划方法查明的各级活动断裂和以其为边界划出的平顶山十矿 III, IV, V 级断块, 展现了现今构造运动的基本形式, 以及与其制约的一个以 N42°E 取向的最大压应力作用的区域构造应力场。通过分析构造地貌形迹和地震震中分布资料, 发现并精确地确定了一条北西向的 II 级断裂, 它是一条正在形成的断裂带, 穿过十矿井田北部区域, 形成了 6~7 km (十矿井田内 3~4 km) 的构造应力区。这条断裂对其它次级断裂及其构造应力区起主导控制作用, 是平顶山十矿动力现象显现的动力源。这一认识已被十矿煤与瓦斯突出和地震震中的分布所证实。

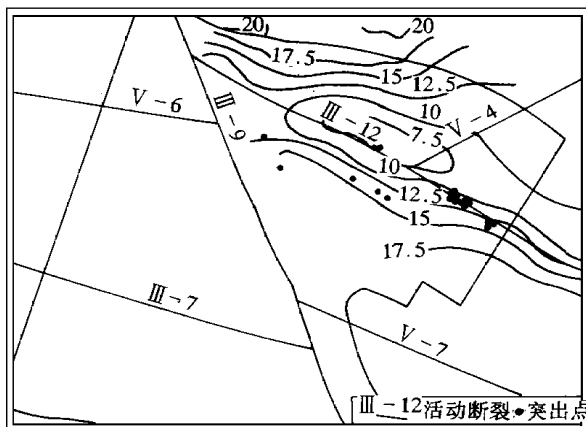


图 3 应力降低区和梯度区划分

Fig. 3 Partition of stress decreasing zone and the stress grads zone

(2) 系统地利用地质动力区建立地质模型 (在此基础上建立数值模拟计算模型), 利用 ANSYS 软件进

行构造应力计算和构造应力区划分。计算结果与地应力实测值、动力现象显现以及构造物理分析结果基本一致。计算得出的-320 m 水平的构造应力分布和划分的构造应力区对矿井设计、生产、施工和动力现象预测有重要参考意义。

(3) 用地质动力区划方法评估岩体应力状态, 进而对煤与瓦斯突出进行区域预测, 提高了矿井动力现象预测、预防水平。该方法也可在区域性地震灾害预测以及大型工程设施建设的稳定性评价方面推广应用。特点是工程投入少, 简便易行, 具有明显的经济和社会效益。

参考文献:

- [1] 于不凡. 地应力对煤和瓦斯突出的控制作用 [A]. 第三届全国地应力会议专辑 [C]. 北京: 地震出版社, 1994. 38 ~ 45
- [2] 张宏伟, 段克信, 张文军. 现代构造应力场与矿井冲击地压 [J]. 山东矿业学院学报, 1996 (3): 13~ 17
- [3] 李四光. 地质力学概论 [M]. 北京: 科学出版社, 1973
- [4] 徐煜坚, 罗焕炎, 毓顺民, 等. 华北北部地区地质模型与强震迁移 [M]. 北京: 地震出版社, 1985. 45~ 49

作者简介:

张宏伟, 男, 硕士, 副教授。1982年毕业于阜新矿业学院采矿工程专业, 主要从事采矿工程的教学和科研工作。出版《地壳应力状态与地应力测量》等3部著作, 发表“构造应力与矿区地震”等论文30余篇。

段克信, 男, 教授, 博士生导师。1965年毕业于阜新矿业学院采矿工程专业, 1985~ 1987年作为访问学者赴德国, 现从事采矿工程的教学和科研工作。出版《冲击地压和突出的力学计算方法》等3部著作, 发表“北票矿区地质动力区划”等多篇论文。

Study on the regional prediction of mining dynamic phenomenon

ZHANG Hongwei¹, DUAN Ke xin¹, ZHANG Jiar guo², LU Xin²

(1. Liaoning Engineering University, Fuxin 123000, China; 2. Pingdingshan Coal (Group) Co Ltd, Pingdingshan 467000, China)

Abstract: Geological structure model is built through different classes active faults that are determined by the method of geologic dynamic zoning. The tectonic stress in rock mass is calculated by the software “ANSYS”, and a conclusion is drawn that the tectonic stress zone formed by the fault “III- 12” controls coal-gas burst in the No. 10 Mine. Furthermore, it is predicted where coal gas burst can happen in the future.

Key words coal and gas outburst; geological structure; numerical calculation; regional prediction