

文章编号: 1006-6616 (2007) 01-0007-08

# 煤瓦斯突出研究方法探索

孙叶<sup>1</sup>, 谭成轩<sup>2</sup>, 孙炜锋<sup>2</sup>, 王瑞江<sup>3</sup>, 吴树仁<sup>2</sup>, 陈群策<sup>2</sup>

(1. 国土资源部实物地质资料中心, 燕郊 056201; 2 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;  
3. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

**摘要:** 构造应力、能量集中与采动应力叠加, 是煤瓦斯突出的根本原因, 是现今构造活动的表现, 由现今地壳失稳所致, 属于地质力学问题。借鉴李四光倡导的地震地质工作经验, 从现今活动构造体系研究入手, 采用岩石力学与构造应力场的研究思路方法、技术, 结合地壳稳定性评价实践经验, 探索煤瓦斯突出减灾防灾的基本思路。

**关键词:** 煤瓦斯突出; 构造应力; 能量集中; 采动应力; 岩石力学; 构造应力场; 减灾防灾

中图分类号: P694

文献标识码: A

现代煤炭开采已超过 200 年历史, 煤瓦斯突出灾害仍是我国安全事故的“头号杀手”, 对之预测预报目前还没有成熟的方法和经验, 也是研究中的难题。煤炭约占我国能源中的 80% 左右, 由于世界石油持续涨价, 我国已经启动“煤炼油”的批量生产, 预示今后我国煤炭仍将扩大开采的趋势, 因此, 准确地预测预报煤瓦斯突出, 有效地减灾、防灾, 对国家经济持续发展、构建和谐社会环境具有重要意义, 广大地质工作者应该积极参加探索这个紧迫的重大研究课题。

## 1 煤瓦斯突出灾害属性界定

灾害属性的准确界定, 是研究思路、方法、技术选择的依据, 也是不同专业人员研究观点、立场、方向的“分水岭”, 随之出现从不同角度进行灾害研究的道路, 谁更合理、适宜, 需要在实践中进行考验。这是取得成功的关键, 也是拟定预测预报路线的依据。其属性界定如下:

①煤瓦斯突出是现今构造活动的表现。强调构造现今活动, 是要从构造活动发展演化, 从区域→煤矿→重点地段, 在不同范围进行不同比例尺的研究序列中, 重点查明现今活动规律和灾害分布特征。

②煤瓦斯突出是内、外动力地质灾害结合的典型事例。构造应力为其主控因素, 采动应力是诱发因素。

③煤瓦斯突出是地壳稳定性问题。通过地应力场与岩石力学性质研究, 分析地壳稳定性

收稿日期: 2007-01-11

作者简介: 孙叶 (1932-), 男, 研究员, 长期从事地质力学、地应力场、地壳稳定性等研究工作。  
©1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.>

问题，揭示地壳失稳状态发展演化过程中煤瓦斯突出问题。

④煤瓦斯突出具有动态变化的特点。煤瓦斯气体在煤炭沉积、成岩和构造变动过程中，具有形成、运移、集中、离散等变化规律；在煤体和瓦斯气体突出运动过程中，活动范围、发展过程、环境条件、影响因素，以及与地应力场的关系等也是变化的。其动态变化特点除了相关研究获得系统认识之外，强调现场的调查勘测研究将获得更多的、更深入的认识，也是实现准确测报的基础。

⑤煤瓦斯突出与其他地质事件是相关联的。煤瓦斯突出全球性、洲际性各种周期性分布变化和迁移活动规律，与其它各种内动力地质灾害的相互关系，以及地球地壳运动规律和天体运动规律的关系，将帮助我们更加全面的认识煤瓦斯突出灾害的有关问题。如果缺少全面的开阔的研究思路，仅仅限于局部问题的研究工作，有时也许不利于更好地认识和分析解释问题。

## 2 构造应力、能量集中与采动应力叠加是煤瓦斯突出灾害的根本原因

煤瓦斯突出、岩爆等灾害，实质是一个地质力学问题，属于现今地应力场急剧活动的表现之一，是地应力和能量骤然释放的一种形式，当构造应力能量集中与人为采动应力叠加超过岩体（或岩层）强度极限时发生爆裂、突出的灾害现象<sup>[1-4]</sup>（图1）。

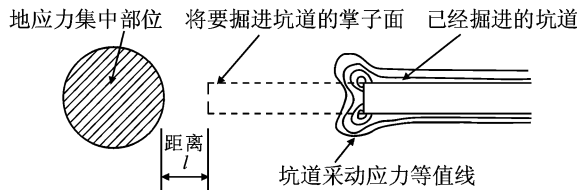
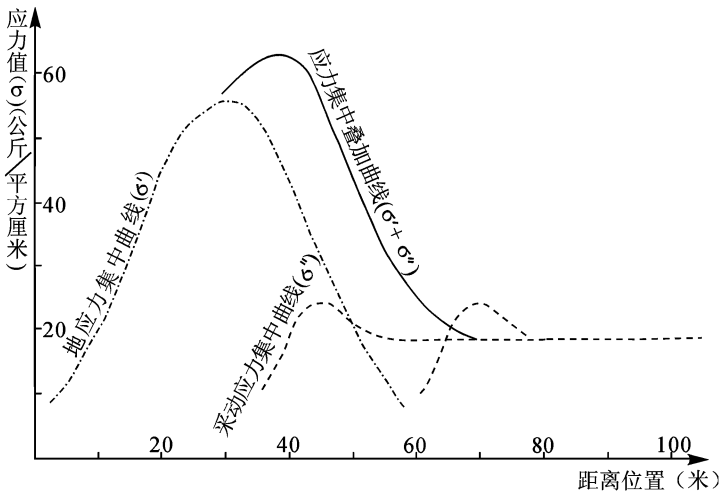


图1 构造应力集中与采动应力叠加示意图

Fig. 1 Overlapping of tectonic stress concentration and mining-induced stress

上图为应力叠加曲线变化示意图，表示随着坑道掘进，采动应力前移（虚线），与构造应力集中部位（点画线）叠加曲线（实线）；下图为上图对应的平面示意图

当采掘面不断前进, 接近构造应力能量集中地点时, 二者叠加值 ( $\sigma' + \sigma''$ ) 迅速增大, 同时掌子面到应力集中的距离 ( $L$ ) 不断减小, 当接近阻挡岩石厚度极限时, 岩爆或突出处于临界状态, 依此可以对之进行时间、空间、强度的预测预报, 及时采取减灾防灾措施。应该指出除了上述主导因素以外, 还有许多环境变化因素, 以及前人已经积累多年的突出前兆经验, 都应该加以利用和分析。同样矿震、煤炮等灾害都可以参照该研究思路、原理进行探索研究, 为减灾防灾服务。

## 3 研究思路方法与技术经验的储备和积累

### 3.1 研究思路方法

采用地质力学的思路方法, 借鉴李四光地震地质的工作经验, 以现今构造活动性研究为先导, 采用构造应力场与岩石力学性质研究核心技术, 进行煤瓦斯地质研究, 探索预测预报, 实现减灾防灾<sup>[3-9]</sup>。该研究思路方法具有以下特点:

研究范围由大到小即由区域→煤田→煤矿区→井田, 不同层次研究内容和重点有所差异;

从内、外动力地质共同作用研究煤瓦斯突出的成因机制;

从动态平衡“场”的角度研究空间范围地质现象之间的相互关系。

### 3.2 技术经验的储备和积累

(1) 陈庆宣等 (1998) 对岩石力学与构造应力场实验和理论研究成果进行了系统总结, 有关理论可觅寻和确定构造应力和能量集中位置, 为预测煤瓦斯突出的时间、空间、强度提供相关信息, 作为煤瓦斯突出研究的理论、方法和技术支撑<sup>[7]</sup>。

(2) 孙叶等 (1998) 按照地质力学理论方法, 将构造活动性与地壳稳定性研究结合起来, 把构造应力场的理论、方法、技术全面引进地壳稳定性评价领域, 实现了量化评价研究。其中相关经验总结, 可以帮助煤瓦斯突出地壳稳定性研究工作提供帮助<sup>[8]</sup>。

(3) 《中国地质学》扩编委员会 (1999) 将李四光原著“中国地质学 (英文版, 1939)”进行了扩编出版, 对全国地质资料进行了系统综合研究总结, 其中构造体系及其活动性规律、地质环境与地质灾害等部分的研究、总结, 对研究煤瓦斯突出灾害提供了重要信息和相关资料<sup>[9]</sup>。

(4) 地质力学研究已经取得了许多研究成果, 对煤瓦斯突出灾害研究具有重要的参考价值<sup>[10-13]</sup>。

(5) 国内外相关煤田地质以及煤瓦斯突出灾害的大批研究成果, 对减灾防灾已经作出了许多贡献, 都是我们应该学习的重要内容<sup>[14-18]</sup>。

## 4 煤瓦斯突出研究基本内容

应用地质力学理论方法研究煤瓦斯突出灾害, 是一项长期艰难的系统工程, 涉及研究内容很多, 特别是目前尚处于探讨阶段, 许多问题都需要通过实践不断认识提高。有关研究基本内容概述如下 (图2):

### 4.1 煤田地质研究

对煤田地层、厚度、埋深、组分、产状、空间分布、成因、结构、构造等进行详细调

查, 为煤瓦斯突出研究提供基础资料。

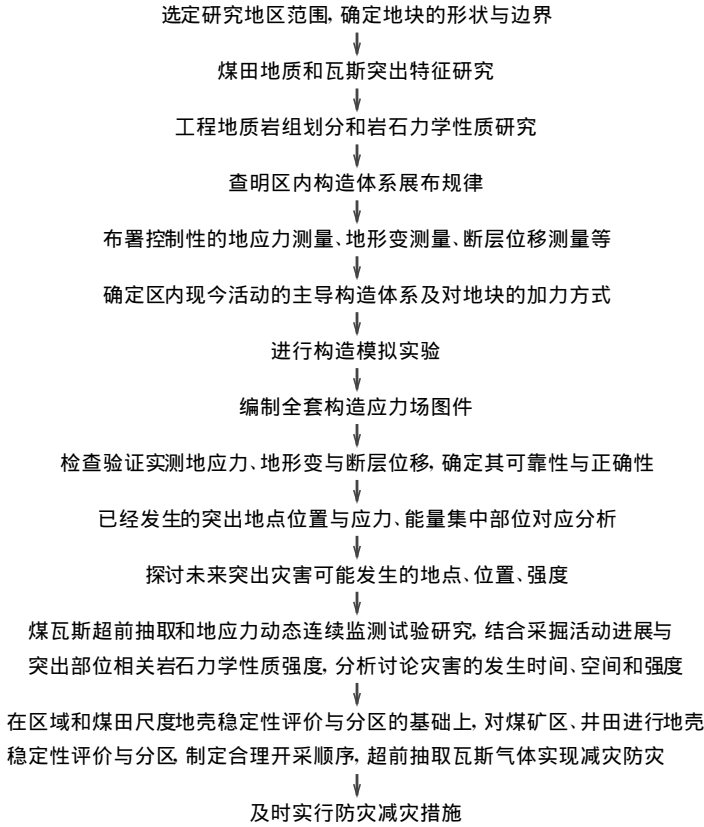


图 2 煤瓦斯突出研究基本内容框图

Fig. 2 Block diagram of the general content of coal and gas outburst research

### 4.2 煤瓦斯突出基本特征研究

分析煤瓦斯突出与煤层层位、煤层组分、构造部位、埋深等相互关系及对比分析, 研究煤瓦斯突出的方式、规模、速度、成份等基本特征。

### 4.3 岩石力学性质研究

岩石力学性质是构造应力场研究的重要基础, 二者在研究中不能分割, 不同岩石及其组合体经常具有各向异性的特征, 特别在变化的物理、化学环境中, 随着时间及条件变化表现出更为复杂的特征<sup>[7]</sup>。众所周知, 不同岩性的强度差异导致应力测值的差异, 高强度岩石中所测应力较低强度岩石中高, 一个典型实例是长江三峡库区秭归测孔的泥岩段测值较其上下砂岩段低许多<sup>[19]</sup>。不同地点测值的对比分析的前提是同一岩性和同一测量深度, 否则对比分析是不确切、不科学的<sup>[7, 20, 21]</sup>。这就需要对不同地点的测值在岩石物理学参数现场和室内测试的基础上进行岩性校正, 然后在同一深度或同一高程进行对比分析。通过对中国境内 2011 个现今地应力实测数据统计对比分析发现: 花岗岩类和变质岩类的实测最大主压应力值, 在相同深度大致在相同的量级范围, 即  $\sigma_{花} : \sigma_{变} = 1.3 : 1$ ; 砂岩类和石灰岩类的实测最大主压应力值, 在相同深度也大致在相同的量级范围, 即  $\sigma_{砂} : \sigma_{灰} = 1.6 : 1$ ; 侵入岩 (含变质岩) 类和沉积岩类的实测最大主压应力值, 在相同深度前者是后者的 (2.0 ~ 2.4) 倍, 即  $\sigma_{侵} : \sigma_{沉} = (2.0 \sim 2.4) : 1$ <sup>[7]</sup>。

#### 4.4 现今地应力测量与地应力场研究

目前, 现今地应力测量已经形成独立的分支学科, 在工程建设、矿产开采、地质研究等各个方面都已获得广泛的应用, 就测量方法、技术、种类可多达近百种, 其成熟程度和可靠性各有差异, 甚至也存在不同程度的争议<sup>[10, 11]</sup>。其实关键是在正确分析地质背景和选择适宜的测量方法, 在合理范围内使用, 并考虑到各种影响因素的校正, 取得可信的测值, 是保证测量的正确、合理使用的基础, 也是分析研究应用时, 必需重视和关注的问题。现今地应力测量有绝对值地应力测量与相对值地应力测量两类。绝对值地应力测量是指测量地点的背景值, 经常通过地应力解除法或水压致裂法获得地应力绝对值。例如, 大地震后震中区与相邻外围地区地应力绝对值大小具有明显差异<sup>[12, 23]</sup>。相对地应力测量是指地应力随着时间的变化值, 当年李四光建立长期地应力观测站, 旨在监测变化, 探索地震预报, 经常用三个不同方向的探头固定在井孔内, 进行连续监测。

煤层的物理力学性质决定了煤层中的地应力测量有别于其它坚硬基岩地应力测量, 已有地应力测量方法需要进一步改进和试制。20世纪90年代, 我国曾经引进过国外煤层地应力测量设备, 在北京地区试验研究, 要求测量条件很高。试验研究可以参考利用20世纪80年代曾在长江三峡屈原庙不同岩性中的水压致裂地应力测量成果, 测量结果表明: 泥质粉砂岩中的主应力值 ( $\sigma_1 = 9.91\text{MPa}$ ,  $\sigma_3 = 5.00\text{MPa}$ ) 明显低于上、下厚层石英砂岩的测值 ( $\sigma_1 = 14.97 \sim 17.59\text{MPa}$ ,  $\sigma_3 = 9.84 \sim 12.27\text{MPa}$ ), 显然是受岩石弹性模量、抗压强度、刚度等的影响。

煤瓦斯突出时, 大量瓦斯气体和煤、岩石一起突出, 是地应力和能量突然释放的表现, 也是研究突出灾害的关键, 因此首先要准确的确定构造应力和能量集中的部位及其集中强度, 然后随着井田采掘的采动应力叠加, 导致灾害的发生发展, 接着构造应力场也会随之调整, 又出现了新的态势。总之地应力场的发展演化进程是与灾害预测预报紧密联系在一起的研究内容。

#### 4.5 模拟实验研究

由于不可能在地壳三维空间中, 无限制地到处实测地应力值, 因此在地应力场研究分析时, 经常要借助模拟实验, 实现由点到面的研究, 模拟实验已成为地应力场研究不可缺少的重要手段。模拟实验是从实物模拟开始, 起初为定性模拟, 后来实现量化模拟, 随着计算机发展进步, 现在数学模拟已经日益完善, 成为模拟实验的主角, 已经由平面模拟进入三维模拟<sup>[24]</sup>。模拟实验关键在于保证可靠性, 否则将可能带给科研实践以误导, 值得深思和重视。

#### 4.6 现今地应力场检验和地应力动态监测研究

通过上述现今地应力测量及地应力场研究, 结合岩石力学性质分析, 可以初步确定煤瓦斯突出的位置, 为预测预报提供依据, 但要做到准确、可靠, 还需要对初步确定的地应力和能量集中位置与已发生突出灾害的部位进行对比分析, 对新的未发生突出的预测预报地点进行现场钻孔和地应力实测对比验证。

为实现煤瓦斯突出减灾目标, 尚需开展煤瓦斯超前抽取试验研究, 部署现代地应力测量流动站与长期地应力连续监测站, 以获得较长时间的背景值资料, 实现现今地应力监测的目标:

探究煤瓦斯气体前期、期间、后期的现今地应力场的变化规律, 特别是应力和能量集中部位是否降低? 如何降低? 是否仍能引起开采时的突出灾害?

研究瓦斯气体叠加地应力场的存在和消长发展演化过程,为减灾防灾积累资料。

为煤采掘提出预测预报支撑体系和监测研究。

综合研究,总结经验,为建设坑道地应力监测系统提供经验和资料。

#### 4.7 现今地壳形变测量与现今地壳形变场研究

在20世纪60年代前后,我国随着地震地质研究工作的深入开展,现今地壳形变研究也不断取得了进展,开始主要利用大地重复水准测量资料由测量人员编制地壳垂直形变等值线图,后来地质人员结合地质构造图,可以更好地说明现今构造活动特征,利于探讨测报地震问题,逐步走向测量人员与地质人员共同研究的发展方向<sup>①</sup>。

现今地壳形变测量包括大地重复水准测量、重复大地三角测量、断层位移测量和全球卫星定位系统(GPS)等方法,大地重复水准测量主要用于地壳垂直形变图编制和区域现今地壳垂直形变场研究,而后三种方法主要用于地壳水平形变图编制和区域现今地壳水平形变场研究。

针对煤矿瓦斯突出的特点,开展坑道中的形变测量研究对确定煤瓦斯突出的可能发生位置具有重要意义。但是坑道中经常叠加人工扰动使研究难度增加,因此区别构造形变与非构造形变就成了首要问题,同时在布署和选定测点时,也需要考虑这方面的影响,尽可能排除和减少干扰。坑道中的形变测量研究,主要通过坑道内观测网的复测,例如主要坑道中轴线复测,可以发现在某个时期发生变形部位和变化幅值。当然也可以进行水准复测发现坑道的地鼓变形,如果进行距离(长度)复测,则可以发现边长的伸缩变化,如组成局部的三角形变网,则可把它们与地应力测量进行对比分析,会获得良好的效果。目前应用定点地形变观测仪器种类型号比较多。定点倾斜仪主要是监测点的地形变连续变化发展情况,如果用于对比分析坑道内可能存在的地应力和能量集中部位,则应注意排除非构造形变的干扰,选点应该注意在相同岩石层位中,避免岩石力学性质变化的影响,同时加强岩石力学性质测试研究,以增加对比的可靠性。此外,有些矿山经常布设水准网和三角网用于监控煤矿采空诱发的地面形变,有关资料对坑道变形场分析具有参考作用。

#### 4.8 煤瓦斯突出灾害的地壳稳定性评价研究

煤瓦斯突出灾害的地壳稳定性评价应参考已开展的不同类型重大工程的研究思路<sup>[2]</sup>,采用不同的比例尺和研究精度,由区域(1:50万~1:100万)→煤田(1:10万~1:20万)→煤矿区(1:2.5万~1:5万)→井田(1:5000~1:10000),开展不同层次地壳稳定性评价,达到煤瓦斯突出预测预报研究的目的。

### 5 煤炭开采、掘进中煤瓦斯突出监控测量系统网络讨论

我国在近百年来煤炭开采过程中,主要由采矿工作者监测煤瓦斯突出灾害,并取得了许多成就。下面我们将从现今构造应力场(广义)研究和监测系统,对煤瓦斯突出的预测预报进行探索研究。

其一,研究工作围绕煤瓦斯突出灾害的总体目标进行部署和安排,应用现今构造应力场的核心技术,按照地质构造的级序展开研究探索工作。首先以区域现今构造活动和现今构造应力场为背景,分析煤瓦斯突出的发展演化阶段,开展煤瓦斯突出空间预测预报,并进行现

①北京市地震地质会战第五专题组.北京地质地壳形变(附件).1980.内部印刷.

场钻孔试验验证, 评价预测预报的准确性。其次对可能出现煤瓦斯突出的部位开展超前煤瓦斯气体抽取, 动态监测煤瓦斯气体抽取过程中现今构造应力场变化, 配合必要的现场试验验证, 评估煤瓦斯气体抽取的减灾效果。实现上述目标所采用的各种监测系统主要都在地面进行, 很少布控在地下的坑道和采场中, 可以概括为地面监测系统网络。

其二, 在煤炭开采和掘进过程中, 需在地下部署煤瓦斯突出的监测系统网络, 与地面监测系统网络构成三维空间的监测系统网络。地下(坑道和采场)监测系统网络可以实现以下三个目标:

① 控制点地应力测量: 用解除法绝对值测量或水压致裂法测量等方法验证应力、能量集中部位, 建立地应力长期监测站动态连续观测地应力的发展变化。

② 坑道形变测量: 主要通过复测对比分析形变变化, 如中轴线变化、坑道地面高程变化、局部三角基线复测变化等。为了配合地应力监测, 可以同步进行地倾斜测量研究工作。

③ 断层位移测量: 在坑道内选择不同方向的主要断层进行位移监测, 连续监测其动态变化, 发现异常, 是预测预报煤瓦斯突出的重要资料之一。同时也为地应力动态变化提供佐证。

## 6 结束语

煤瓦斯突出的根本原因, 是构造应力、能量集中与采动应力叠加, 增强了集中强度, 骤然释放成灾。属性界定为内动力地质灾害为主, 内外动力地质灾害共同作用的过程, 认为是现今构造活动的表现, 也是地壳失稳的表现, 主张采用地质力学思路方法, 借鉴李四光地震地质研究工作的经验, 采用他倡导的岩石力学与构造应力场分析研究方法, 结合区域地壳稳定性地质力学实践经验, 开拓煤瓦斯突出灾害研究的前进道路。这与当前煤炭系统采矿工作者的研究思路和方法有所区别。

本文采用岩石力学与构造应力场分析研究, 探索煤瓦斯突出的预测预报。在超前煤瓦斯气体开采过程中, 通过监测系统网络监控应力和能量集中部位的动态变化, 随着大量气体抽出, 应力和能量集中程度应逐渐减弱, 甚至消失, 达到减灾目标。同时, 通过各种比例尺的地壳稳定性评价, 为选择合理采矿方法, 安排安全采场顺序, 促使应力、能量集中部位(即可能煤瓦斯突出部位)在煤炭开采过程中处于“半解除状态”, 使应力集中程度自动减退, 甚至消失, 达到减灾目标, 或采取相关减灾防灾措施, 保证煤炭安全生产的总体目标。

考虑到煤瓦斯突出释放的应力和能量与大地震相比, 二者相差很大, 前者很小, 因此必须在煤矿区、井田范围内布署密集地应力、地形变、断层位移等监控测量系统网络。

过去在构造应力场分析研究中, 岩石力学研究方面是薄弱环节, 在煤瓦斯突出灾害研究中必须加强, 并建立专门实验研究室, 从事相关岩石、岩体、地层组合体等力学性质的测量研究, 使之成为一个研究的重点。

典型重大煤瓦斯突出现场的调查与详细勘探研究是深入认识灾害的发生、发展、调整与形成机制的关键。与地震研究相比, 煤瓦斯突出灾害研究在技术上相对较易突破, 因为对煤瓦斯突出的现场可进行调查研究和详细勘探工作, 分析其地质环境的发生、发展和调整过程, 而目前还难以实现对震源附近发生的地质背景进行准确研究。

煤瓦斯突出是中长期研究任务, 经过5~10年(甚至更长的时间)的实践研究, 完成1~2个煤田的系统研究以后, 应该总结出应用岩石力学与构造应力场研究煤瓦斯突出减灾防

灾的经验, 可望能够取得初步突破性进展。同时, 也会发现我们今天考虑问题的片面性和不足之处。煤瓦斯突出研究无疑具有重要的科学意义, 同时对我国经济可持续发展和和谐社会建设也具有重要意义。

值此地质力学研究所建所 50 周年, 我们深深怀念奠基人李四光教授, 发表这篇论文表示敬意和纪念! 同时对地质力学学报编辑部的邓乃恭研究员、杨农研究员等所提出的宝贵建议表示衷心感谢!

## 参 考 文 献

- [ 1 ] 重庆煤炭科学研究所, 等. 煤、岩石和煤瓦斯突出 (图外资料汇编). 1978、1979、1980, 科学技术文献出版重庆分社.
- [ 2 ] Lippmann H. 等. 关于煤矿中“突出”的理论 [ J ]. 力学进展, 1990, 20.
- [ 3 ] 李四光. 论地震 [ M ]. 1977, 地质出版社.
- [ 4 ] 李四光. 地震地质 [ M ]. 1973, 科学出版社.
- [ 5 ] 李四光. 地质力学概论 (第二版) [ M ]. 1999, 地质出版社.
- [ 6 ] 李四光. 天文, 地质, 古生物资料摘要 (初稿) [ M ]. 1972 科学出版社.
- [ 7 ] 陈庆宣, 王维襄, 孙叶, 等, 编著. 岩石力学与构造应力场分析 [ M ]. 1998, 地质出版社.
- [ 8 ] 孙叶, 谭成轩, 等, 著. 区域地壳稳定性量化评价 (区域地壳稳定性地质力学) [ M ]. 1998, 地质出版社.
- [ 9 ] 《中国地质学》扩编委员会编著. 中国地质学 (扩编版) [ M ]. 1999, 地质出版社.
- [ 10 ] 孙叶, 等. 地应力与经济建设 [ M ], 1989, 地质出版社.
- [ 11 ] 王连捷, 等. 地应力测量及其在工程中的应用 [ M ], 1991, 地质出版社.
- [ 12 ] 黄庆华. 三维变弹性模量光弹性模拟在地学上应用 [ J ]. 科学通报, 1987, (6).
- [ 13 ] 廖椿庭, 等. 金川矿区地应力测量与构造应力场 [ M ]. 1985, 地质出版社.
- [ 14 ] 张我华. 煤/瓦煤突出过程中煤介质局部化破坏的损伤机理 [ J ]. 岩土工程学报, 1999, 21 (6): 731~736.
- [ 15 ] 张宏伟, 陈学华, 王魁军. 地层结构的应力分区与煤瓦斯突出预测分析 [ J ]. 岩石力学与工程学报, 2000, 19 (4): 464~467.
- [ 16 ] 张我华, 金萸, 陈云敏. 煤瓦斯突出过程中的能量释放机理 [ J ]. 岩石力学与工程学报, 2000, 19 (增): 829~835.
- [ 17 ] Airey, E. M. Gas emission from broken coal: an experimental and theoretical investigation [ J ]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 1968, 5 (4): 475~494.
- [ 18 ] 中华人民共和国地质矿产部, 等. 中国地质灾害与防治 (图集) [ M ]. 1991, 地质出版社.
- [ 19 ] 李细光, 等. 三峡库首区现今构造应力场的形成体制分析 [ J ]. 地质力学学报, 2006 12 (2).
- [ 20 ] 谭成轩, 孙炜锋, 孙叶, 王连捷. 地应力测量及其地下工程应用的思考 [ J ]. 地质学报, 2006, 80 (10): 1627~1632.
- [ 21 ] 谭成轩, 孙叶, 王连捷. 地应力测量值得注意的问题探讨 [ J ]. 地质力学学报, 2003 9 (3): 275~280.
- [ 22 ] 国家地震局《一九七六年唐山地震》编辑组. 一九七六年唐山地震 [ M ]. 1982 地震出版社.
- [ 23 ] Liao Chunting et al. Stress change near the Kunlun fault before and after the  $M_s$  8. 1 earthquake [ J ]. Geophysical Research Letters, 2003, 30 (20): 1~4.
- [ 24 ] 谭成轩, 王连捷, 孙宝珊, 徐守礼, 胡道功. 含油气盆地三维构造应力场数值模拟方法 [ J ]. 地质力学学报, 1997, 3 (1): 71~80.
- [ 25 ] 中华人民共和国地质矿产部发布. 中华人民共和国专业标准. 工程地质编图规范 (1:50 万~1:100 万, ZB D14001-89)、工程地质调查规范 (1:10 万~1:20 万, ZB D14002-89)、工程地质调查规范 (1:2.5 万~1:5 万, ZB D14003-89) [ M ]. 1990 中国标准出版社.

(下转第 69 页)



stratigraphic framework of the subbasin and described the types of sedimentary facies and their plan distribution and constructed a sedimentary facies model of this half graben. According to the features of the source-reservoir-cap rock assemblage, the authors predict that: the Tengger Formation (sequence III) and the first member of the Duhongmu Formation (sequence IV) are the favorable target zones for petroleum exploration, the fluvial sand bodies along the southern gentle slope and alluvial fan deposits along the northern steep slope are the favorable reservoir zones for hydrocarbon accumulation and the Da'erqi fault-block and Sanghe district are favorable blocks for hydrocarbon accumulation.

**Key words:** Bayan Qagan subbasin; sequence stratigraphy; sedimentary facies; half graben

(上接第 14 页)

## AN APPROACH TO THE STUDY OF COAL AND GAS OUTBURSTS

SUN Ye<sup>1</sup>, TAN Cheng-xuan<sup>2</sup>, SUN Wei-feng<sup>2</sup>, WANG Rui-jiang<sup>3</sup>, WU Shu-ren<sup>2</sup>, CHEN Qun-ce<sup>2</sup>

(1. *National Geological Material Center, Ministry of Land and Geological Resources, Yanjiao 056201, Hebei, China;*

2. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;*

3. *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*)

**Abstract:** The overlapping of tectonic stress, rock mass energy concentration and mining-induced stress is the basic cause for coal and gas outbursts. Coal and gas outbursts, which are one of the manifestations of present tectonic activities and induced by crustal instability, belong to the research content of geomechanics. It is a good way to explore the basic idea of prevention and reduction of hazards caused by coal and gas outbursts by using the experience in seismogeological work initiated by Prof. J. S. Lee for reference, beginning with the study of present active tectonic systems and using the methodology and technology of rock mechanics and tectonic stress field, combined with the practice and experience of crustal stability assessments.

**Key words:** coal gas outburst; tectonic stress; energy concentration; mining-induced stress; rock mechanics; tectonic stress field; disaster prevention and reduction