

开采沉陷

# 开采沉陷若干理论与技术问题的研究

王金庄(中国矿业大学(北京校区),北京100083)

摘要:简要介绍了多年来中国矿业大学北京校区在开采沉陷理论与技术方面的主要研究成果:矿区地表移动规律;巨厚松散层条件下开采地表移动规律;块段开采条件下覆岩移动机理及地表移动变形计算;极不充分开采地表移动变形预计方法;基于倾角变化的开采沉陷模型研究;曲面分布形式煤层开采地表移动预计方法;覆岩离层注浆减缓地表沉降机理及减沉效果评价方法。开采沉陷预测分析系统的开发研究等。

关键词:开采沉陷;地表移动规律;巨厚松散层;块段开采;极不充分开采

中图分类号:P TD 325.4

文献标识码:A

文章编号:1001-358X(2003)03-0001-05

开采沉陷学最早来自德文Bergschadenkunde和英文Mining Subsidence,而俄文称之为

——矿山岩层与地表移动。

它是一门研究地下有用矿物开采引起岩层和地表移动及相关问题的科学。它是一门交叉学科,主要涉及采矿、地质、测量、岩石力学、统计学和计算科学等诸多学科。

早在十九世纪中叶以来,由于采矿业的发展,因采矿引起地表塌陷,给地面建(构)筑物和农业带来严重损害,引起了人们的关注。采矿企业的测量人员从二十世纪初开始建立地面观测站,对地表移动进行系统观测。在对地表移动观测成果综合分析和地表移动规律探讨的基础上,产生了新的学科领域——开采沉陷学。1931年开始在德国高等学校的矿业学院讲授《开采沉陷学》这门课程。1949年德国学者Niemczyk.o出版了开采沉陷的第一本有代表性的著作《Bergschadenkunde》<sup>[1]</sup>。该书根据实测资料系统地分析了地表移动规律并用移动变形曲线表示。

二十世纪30年代,原苏联开始矿山岩层与地表移动实地观测工作。1936年成立了矿山测量研究所,后来规模扩大改称全苏矿山测量研究院(简称),统一组织和领导全苏各矿区的实地观测和研究工作。1947年苏联学者

出版了《

》<sup>[2]</sup>,中译版称《煤矿

地下开采的岩层移动》。作者在对大量实测数据分析研究基础上,确立了水平和倾斜煤层开采条件下地表移动矢量的垂直分量 $d_z$ 和水平分量 $d_x$ 间的重要微分关系式:

$$\frac{d}{dx} = K \frac{d^2}{dx^2}$$

式中 $K$ 为常数。

世界各国在地表移动计算中至今大都采用此关系式。作者首次应用塑性力学理论研究地表移动规律,求出了地表移动预计公式。后来经过多年的实践,说明

在塑性力学理论基础上建立的地表移动计算公式难于在实践中应用。此后苏联学者主要应用实地观测方法研究岩层和地表移动。1958年出版了《

》<sup>[3]</sup>(岩层与地

表移动)这是一本实践性很强的代表性著作。书中首次提出采空区上方岩层移动的形式——垮落带、断裂带和整体弯曲带,所谓三带理论。系统地分析研究了地表移动和变形分布规律及有关参数规律。提出了苏联通用的地表移动变形计算方法——典型曲线法。

波兰也很重视开采沉陷的研究工作。二十世纪50年代先后提出了三种地表移动变形预计方法:(1)布德雷克—克诺特方法;(2)柯赫曼斯基方法;(3)李特维尼申方法。

我国开采沉陷研究工作是从新中国成立以后才开始。1953年在北京矿院矿山测量教研室由苏联专家哥尔地克首次为青年教师和研究生讲授《岩层与地表移动》课程。随后在教研室以王积明主任为首的岩移教学小组开始开采沉陷的教学与科研的准备工作。1955年《岩层与地表移动》作为一门专业课为我国第一届矿山测量专业的大学生开设。

1954年在开滦矿务局林西矿设置了我国第一个地表移动观测站。1956年开滦煤炭研究所成立(现今的煤科总院唐山分院),该所的矿山测量研究室岩移课题组积极开展岩层与地表移动的实地观测研究工作。原煤炭部也下达文件要求各矿区重视岩层与地表移动实地观测工作,随之许多矿区的地表移动观测工作开展起来。

1959年煤炭科学研究所北京开采所矿压室成立了水体下采煤组(即现在的特采室)专门从事开采沉陷及防护的研究试验工作。后来一些兄弟院校的测量和采煤教研室也开展了开采沉陷及防护的研究工作。

1960年我们与峰峰等矿务局签定了合作协议,开始研

究岩层与地表移动规律及建筑物下采煤的试验工作,数十年如一日,一直坚持至今。我们的研究方法是以实地观测资料和现场试验为基础,辅以相似材料模拟、数值模拟和理论分析进行研究,研究工作紧密结合生产实际,为煤矿生产服务。

下面仅简要介绍我们的一些研究成果。

## 1 地表移动规律研究<sup>[4,5]</sup>

与峰峰矿务局合作,在峰峰矿区建立了30余个地表移动观测站,获得了丰富的实地观测资料,通过综合分析取得了以下成果:

(1) 峰峰矿区地表移动参数和地表移动规律;

(2) 求出适合峰峰矿区的地表移动变形预计方法——典型曲线法。

(3) 在我国首次系统地研究了动态地表移动规律,求出了动态地表移动变形预计方法。

在上述成果的基础上,制定了峰峰矿务局建筑物保护规程,积极开展建筑物和铁路下压煤的开采技术试验工作。据不完全统计,30余年来,峰峰矿务局共从建筑物下、铁路下采出煤炭约5000万t,占总产量的24%,取得了巨大的经济效益、社会效益和环境效益。上述研究成果分别被编入1985年出版和2000年再版由煤炭工业部制定的《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》<sup>[4]</sup>。许多专著和教材也多次引用。一些成果和参数对类似条件的矿区也有参考价值。

该项成果1984年获河北省科技进步二等奖,伙同煤炭科学研究院及有关矿务局1985年获国家科技进步二等奖。以此项目研究成果为基础,1995年出版了专著《矿山开采沉陷及其防治》<sup>[5]</sup>。

## 2 巨厚松散层条件下开采地表移动规律<sup>[6,7]</sup>

以邢台矿区地表移动实地观测资料为基础,参考其它矿区部分实测资料,辅以室内相似材料模拟试验及数学模拟等手段,较全面、系统地研究了邢台矿区巨厚松散层下采煤岩层及地表移动规律、岩层及地表移动机理。并对采动沉陷模型等方面进行了较为深入的分析研究。

(1) 提出了厚松散层条件下采煤采动沉陷双层介质下沉模型

理论研究和生产实践表明,地表沉陷主要取决于上覆岩层的物理力学性质及地质采矿条件。松散层与基岩力学性质差别很大,其移动和变形特点各不相同。过去人们研究地表移动沉陷规律时,为解决问题方便而将上覆岩层过分简化;或者看成单一的松散介质;或者看成纯粹的弹性介质;或者采用所谓的“综合系数”。因此,预计值与实测值差别很大,巨厚松散层时,这种差别更大。

实测资料和模型试验表明,在厚松散层条件下,地下开采形成采空区后,首先在基岩体内产生移动和破坏;在基岩与松散层交接面上形成下沉盆地;可以认为是采空区向上传播的结果。由于松散层结构松散,抗弯能力差,抗弯强度小,与基岩相比,属于软弱层,而基岩对地表移动起控制作用。因此,建立采动沉陷模型时,应把基岩和松散层看做两种不同的介质处理。基岩除具有弹性性质外,还具有塑性性质,长时间加力还表现出与时间有关的粘性性质。因此,可将上覆岩梁视为粘弹性梁,运用梁的理论,从流变学的观点出发研究岩梁的弯曲过程。我们采用了由胡克体(弹性元件)、圣维南体(塑性元件)和麦克斯威尔体并联而成的模型进而推导出基岩顶面的移动方程。松散层由于其结构特点,更接近随机介质模型,单元开采的随介质模型一般采用克诺特使用的高斯函数,鉴于厚松散层下沉盆地收敛较慢的特点,我们选用双曲函数法的单元下沉盆地,双曲函数法与概率积分法类似,但是盆地边缘收敛慢。

因此,巨厚松散层下采煤引起地表移动可视为基岩和松散层双层介质的叠加,根据单元开采影响和叠加原理,推导出了地表下沉曲线方程,给出了预计公式和参数求法。

### (2) 地表移动特征

(a) 地表下沉盆地纵向发育程度与基岩的采动程度及松散层厚度有关,采动过程中松散层呈整体移动,松散层内不出现离层裂缝,因此,松散层厚则下沉系数偏大。

(b) 在同一地质采矿条件下,采动程度是决定地表盆地纵向发育程度的关键因素。通过实测资料和移动机理分析说明,在厚松散层条件下采煤,采动程度计算中不应用开采深度 $H$ 而应用基岩厚度(不包括松散层厚度)更为合理。更准确的计算还应考虑到松散层厚度的影响。

(c) 地表移动活跃期剧烈且集中,初始期和活跃期二者约占总移动时间的43%,而下沉量却占98%,衰退期较长,占总移动期的57%,而下沉量只占总下沉量的2%。

## 3 块段开采条件下覆岩移动机理及地表移动变形计算<sup>[8,9]</sup>

以连续介质弹塑性和薄板小挠度理论为基础,考虑覆岩中某层厚而坚硬的控制层为托板,结合现场岩层内部及地表实测资料、室内相似材料模型试验和有限元数值分析成果,研究了块段开采条件下覆岩移动机理、煤柱上方岩体及煤柱下方底板的应力、应变规律,取得了以下成果:

(1) 首次对块段开采条件下覆岩移动机理进行了研究

块段开采条件下覆岩沉降机理不同于全陷法开采,由于单元开采面积小,每个开采单元上方顶板垮落不充分,断裂带上方某个厚硬岩层处于悬空稳定状态,其上方直到地表的岩土层(包括它本身)重量将向四周转移,由下覆

岩体来承担，这就改变了下覆岩体的受力状态。垂直应力增加使得这些岩体产生压缩变形，这种压缩变形导致覆岩沉降，由于叠加作用，使得覆岩下沉量由下往上逐渐增加，至地表沉降量为最大。我们称覆岩中那层起控制作用的厚而坚硬的岩层为“托板”。托板的作用是，一方面阻止覆岩垮落、断裂及弯曲变形向上发展，另一方面又支撑住其上方直至地表的岩土层。只有当开采范围达到某一特定临界组合尺寸时，该厚硬岩层暴露面积达到极限时，才垮断失稳，导致其上方岩土层因失去支撑而随动沉陷。

(2) 块段开采条件下地表最大下沉量 $W_{max}$ 由以下五部分组成：自下而上依次为煤柱压入底板量 $W_1$ 、煤柱压缩量 $W_2$ 、岩柱压缩量 $W_3$ 、承重岩层压缩量 $W_4$ 和托板挠度 $W_5$ 。

$$W_{max} = \sum_{i=1}^5 W_i$$

(3) 基于托板理论求出了地表移动变形计算公式。

(4) 基于托板理论给出了条带开采采宽优化设计方法。

(5) 研究了煤柱的稳定性，给出了条带留宽的设计方法。

研究成果：峰峰矿区建筑物下条带开采试验研究，1994年获煤炭部科技进步三等奖；条带开采优化设计及地表沉陷托板控制技术2000年获教育部科技进步二等奖；专著《建（构）筑物下压煤条带开采理论与实践》2000年获国家煤炭局科技进步二等奖。发表的论文多篇被EI和SCI收录。博士论文2000年被评为全国优秀论文。

#### 4 极不充分开采地表移动变形预计方法<sup>[10, 11]</sup>

实践说明，在同一地质采矿条件下，开采的充分性一般我们称之为采动程度（采宽 $L$ 与采深 $H$ 之比）是影响岩层与地表移动的关键因素。采动程度小，地表移动平缓，反之地表移动剧烈。经过大量实测资料分析发现，在采动程度很小的情况下，地表最大下沉值很小，一般小于充分采动时地表最大下沉的十分之一。当采动程度超过某一临界值时，地表最大下沉急剧增大，采动程度的这一临界值我们称之为临界采动程度系数。对于中硬岩层，临界采动程度系数约为1/3。小于临界采动程度系数的采动称为极不充分采动（或极不充分开采）。

我国通用的概率积分法主要适用于水平和倾斜煤层半无限开采（充分采动）条件下的地表移动变形计算。对于非充分采动情况，采用调整参数方法进行修正，实践说明，存在较大偏差。随着采动程度的减小，预计偏差越大，对于极不充分开采条件，预计偏差更大。

在分析研究了大量极不充分开采条件下实测地表移动分布规律基础上，分析了离散介质碎块体移动概率分布。认为有限开采时，随开采深度的增加，碎块体移动概率可

应用正态分布的概率密度函数进行近似计算。在此基础上提出了适合极不充分开采的地表移动和变形计算方法——概率密度函数法。建立了极不充分开采地表移动和变形预计公式。预计结果与现场实测结果对比说明概率密度函数法适合于极不充分开采地表移动和变形预计。

条带法开采可视为极不充分开采，因此，可将概率密度函数法推广应用到条带开采地表移动和变形预计。建立了适合条带开采地表移动变形预计公式，可以应用概率密度函数法进行条带开采地表移动变形预计。

根据极不充分开采理论，提出了建筑物下深部压煤开采综合开采技术。该技术现正在开滦矿务局和峰峰矿务局进行现场试验，已取得初步成果。我们认为该项研究成果对我国矿区建筑物下深部压煤开采具有重要意义。研究成果2002年获煤炭工业协会科学技术二等奖。

#### 5 基于倾角变化的开采沉陷模型研究<sup>[12, 13]</sup>

大倾角（急倾斜）煤层开采地表移动预计是开采沉陷领域国内外尚未解决的难题之一。目前尚无公认的方法可用。实践中一般是在传统的预计方法基础上，通过修改模型使其对大倾角具有一定的适应性，或者根据实测资料建立大倾角煤层开采的剖面函数，这些模型都未突破传统方法以水平煤层为出发点的建模思想，引入的参数意义不甚明确且离散性大，关于非连续变形问题国内外更很少有人研究。针对上述问题，我们进行了以下两方面的研究工作：

(1) 建立了基于倾角变化的开采沉陷模型；

提出了基于倾角变化的建模思想，视大倾角为闭区间 $[0^\circ, 90^\circ]$ 上的一个子域，建立了适用于各级别倾角煤层开采沉陷的统一模型和预计方法——矢量预计法。矢量法不仅适应于大倾角，而且也可用于小倾角煤层开采地表移动预计。

以任一倾角煤层开采为建模出发点，视倾斜面积微元为可按空间等量原则进行投影分解的微元矢量。依据随机介质理论分别建立水平分量和垂直分量的开采影响函数，按叠加原理并考虑采动层面效应构建倾斜面积微元的单元下沉盆地，通过对开采区域的积分建立基于倾角变化的开采沉陷基本模型。

以 $0^\circ$ 和 $90^\circ$ 煤层开采最大下沉与开采空间的关系为基础推证和建立基于倾角变化的最大下沉值计算公式，把最大下沉值计算统一于一个既满足边界条件又具有普遍性的公共模型。

(2) 通过相似材料模型试验、数值计算和现场实验，揭示了大倾角煤层开采岩层移动规律和地表非连续变形机理。建立了急倾斜煤层开采层间弱面条件下地表非连续变形的计算方法。

该项研究成果1999年获煤炭部科技进步三等奖，发表

的论文1篇被SCI收录,6篇被EI收录。博士论文被评为中国矿业大学(北京)优秀博士论文。

## 6 曲面分布形式煤层开采地表移动预计方法研究<sup>[14, 15]</sup>

该项研究以随机介质理论为基础,将复杂的褶曲构造煤层按轴线划分为单斜构造煤层,采用曲面积分法进行研究。

该项研究取得以下几个方面成果:

(1) 根据数学力学原理建立了褶曲构造煤层三维空间开采时地表面单元下沉盆地和单元水平移动表达式,推导出地表任意点在任意方向的地表移动和变形计算公式,并分析了预计公式中参数的变化规律,推导出求参公式。

(2) 建立了便于使用的工作面坐标系,划分了煤层开采区域的积分区间,确定了计算坐标的数学表达式,利用曲线积分方法解决了任意形状工作面开采时的积分区域问题。

(3) 确定了曲面分布煤层和任意形状工作面开采时计算煤层开采面积的方法,并给出了具体的算法和计算公式。

(4) 改变了现行预计方法中的近似处理部分,利用曲面积分方法代替平面积分方法,利用曲面积分方法取代了处理任意形状工作面的矩形分割方法,提高了地表移动与变形的预计精度。

(5) 采用数值计算方法解决了一些复杂烦琐的数学公式求值问题和不能求出原函数的重积分值的问题。

对于矩形工作面,水平煤层或倾斜煤层,就相当于把积分区间、拐点平移距、主要影响半径、煤层倾角及开采影响传播角取为常数,则该方法的计算公式就与概率积分法的公式相同。

该项研究1998年获煤炭部科技进步三等奖。发表的论文3篇被EI收录。博士论文被评为中国矿业大学(北京)优秀博士论文。

## 7 关于覆岩离层注浆减缓地表沉降机理与在建筑物下采煤应用中的问题探讨<sup>[16, 17]</sup>

近十余年来,覆岩离层注浆减缓地表沉降研究成了一个热门课题。有硕士、博士以此为题进行研究,撰写论文;学校和科研单位立项研究;有的局矿在现场进行试验。从发表的硕士论文、博士论文、现场试验总结及相应的学术论文看出,所有这些论文和试验报告多数都认为此技术是解决村庄下压煤开采的好技术,认为减沉效果可达36%~65%,有的达到了83%,理论研究甚至可达到88%。有了这样好的研究试验结果,为什么至今还不能在村庄下应用此技术进行开采呢?这就给我们提出了一个不可回避的尖锐问题,这些成果的可信度如何?

本着科学的精神,我们从理论上,从实际试验数据和减沉效果评价方法等方面进行了分析研究,得出如下几点看法:

(1) 该项技术研究重点应研究回采工作面推进过程中上覆岩层中离层的发生、发展和闭合的时空规律。这一研究只有以实测资料为基础得出的结论可信,模拟研究的成果只有经实测资料验证后方有可信度。目前模拟技术水平难以求出定量成果。我国前一段的研究中还没有见到岩层内部离层发生、发展和闭合的实测研究,因此,尚未见到令人信服的覆岩内部离层发展规律成果。

(2) 已有离层注浆减沉试验都是采深大,倾斜长度小,属极不充分采动。根据这种条件下的试验成果评价减沉效果,是导致求出的减沉率偏大的重要原因之一。正确的方法应是用充分采动或采动程度较大情况下的试验评价减沉效果。

(3) 减沉效果评价方法应科学、合理。我们提出了三种评价方法——下沉盆地体积减沉率、断面减沉率和平均减沉率法。经分析说明,用断面减沉率法评价减沉效果更真实可靠。选用的评价方法不当也是导致求出减沉率偏大的重要原因之一。

(4) 准确的评价注浆减沉效果应是根据同一采区注浆后的实测地表下沉与未实施注浆的实测地表下沉相互比较而定。我国已有的实践中未实施注浆的地表下沉,没有一个实测资料,都是通过预计求得。由于预计参数选取不当,未考虑采动程度的影响,因而预计下沉值均比实际偏大,这也是导致求出的减沉率偏大的重要原因。

(5) 覆岩离层注浆减缓地表沉降是一种新技术,但其减沉效果是有限的。经过我们对某一现场实测资料认真分析,其减沉率一般超不过30%。单靠离层注浆一种技术解决矿区村庄下采煤问题是困难的。

发表的论文1篇被EI收录。

## 8 开采沉陷预测分析系统(MSAS)的开发研究

开采沉陷预测分析系统(MSAS)是在上述理论研究的基础上,经过历届博士生和硕士生不断的开发、补充和完善,并经过生产实践应用和检验而逐渐形成的。它为理论研究和实际应用提供了有效的分析手段。该系统主要功能是:

(1) 可进行各级别倾角煤层开采岩层和地表移动变形计算;

(2) 可进行任意点、任意剖面、任意断面岩层和地表移动变形计算;

(3) 可进行地面建(构)筑物的采动影响分析;

(4) 可进行地表移动等值线、移动变形曲线绘制和GIS可视化图表的形成。

该系统以GIS 软件作平台，采用C 和Fortran 作为基础编程语言，数据共用，集中调用，使系统既具有整体良好的人机对话模式，各个组件又具有相对独立性，便于更新和移植。

该系统经过多年的实际应用，取得了良好的效果。

## 9 今后工作展望

(1) 对已取得的成果，通过理论研究、生产实践和实测资料进一步的深化、补充、完善。使之更符合实际，更好的为建筑物下压煤开采、矿区环境保护和治理等生产实践服务。

(2) 在已有的理论成果基础上，进一步研究：a、建立基于倾角变化的矢量法模型；b、建立基于开采充分性变化的开采沉陷模型；c、建立基于时间过程与空间过程的地表移动预计模型。通过上述研究，构建矿山开采沉陷学更加完整的理论体系。

(3) 研究断层对岩层和地表移动变形的影响。

(4) 研究开采沉陷引起的水文地质条件改变对地面沉陷和建筑物的影响。

(5) 在理论研究成果的基础上与有关矿务局合作，积极探索和试验我国建（构）筑物（特别是村庄）下压煤开采的切实可行的途径。

### 参考文献：

[1] Niemezyk.O. Bergschadenkunde. ESSEN: Glückuf. 1949.

[2] . . . . . 1947 ( 1959 年北京矿业学院矿山测量教研室译为中文 ) .

[3] . . . . . 1958.

[4] 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程[M]. 北京：煤炭工业出版社，2000.

[5] 王金庄，邢安仕，吴立新. 矿山开采沉陷及其防治[M]. 北京：煤炭工业出版社，1995.

[6] 王金庄，李永树，周雄等. 巨厚松散层下采煤地表移动规律研究[J]. 煤炭学报，1997,22(1):18-21.

[7] 李永树，王金庄，周雄. PTS 采动沉陷模型研究[J]. 河北煤炭建筑工程学院学报，1998,(3):32-39.

[8] 吴立新，王金庄，刘延安，邢安仕. 建（构）筑物下压煤开采理论与实践[M]. 徐州：中国矿业大学出版社，1994.

[9] 吴立新，王金庄，郭增长. 煤柱设计与监测基础[M]. 徐州：中国矿业大学出版社，2000.

[10] 郭增长，殷作如，王金庄. 随机介质碎块体移动概率及地表移动[J]. 煤炭学报，2000,25(3):264-267.

[11] 郭增长，王金庄，戴华阳. 极不充分开采地表移动与变形预计方法[J]. 矿山测量，2000, (3):35-37.

[12] 戴华阳，王金庄，腾永海. 急倾斜煤层开采地表非连续变形计算方法研究[J]. 煤炭学报，2000, (5):356-360.

[13] 戴华阳，王金庄，蔡美峰. 岩层与地表移动的矢量预计方法[J]. 煤炭学报，2002, (5):473-478.

[14] 李永树，王金庄，邢安仕. 任意分布形式煤层开采地表移动预计方法[J]. 煤炭学报，1995 (3).

[15] 李永树，王金庄，邢安仕. 向斜构造煤层开采地表移动规律研究[J]. 测绘学报，1996,15(2).

[16] 王金庄，康建荣，吴立新. 煤矿覆岩离层注浆减缓地表沉降机理与应用探讨[J]. 中国矿业大学学报，1997, (4):331-334.

[17] 郭增长，王金庄. 离层注浆减沉效果的评价方法及误差分析[J]. 中国矿业大学学报，2002, (4):384-387.

( 收稿日期：2003-06-25 )

## ENGLISH ABSTRACTS OF MAIN ARTICLES IN THIS ISSUE

### **Research on Some Theories and Technical Problems Regarding Mining-induced Subsidence**

--A brief introduction is made in the paper to main research-derived achievements with respects to mining-induced subsidence theories and techniques obtained by Beijing Campus of China University of Mining and Technology for so many years, which include mainly laws of surface movement in coal mines, surface movement laws of mining under condition of giant thick loose strata, overburden movement mechanics and computation of surface movement and deformation in block cut mining, prediction methods of surface movement and deformation in extremely-insufficient mining, study on mining-induced subsidence models based on varied dip angles, prediction methods of surface movement in coal seam mining with a distribution shape of curved surface, mechanics of applying overburden delaminating grouting method to alleviate surface subsidence and evaluation on its effect, and development and research on prediction & analysis system of mining-induced subsidence. **Keywords:** Mining-induced subsidence, law of surface movement, giant thick loose strata, block cut mining, extremely-insufficient mining (Wang Jinzhuang )

**Prediction Method of Traffic Line Subsidence**--Based on the principle of surface subsidence and prediction method of movement and deformation values of certain surface point in arbitrary direction under conditions of fold tectostratigraphy and workface with arbitrary shape, the destructive effect of the traffic line caused by surface subsidence is discussed in the paper, the prediction method of movement and deformation of the traffic line in surface subsidence area is also illustrated, and safety evaluation method of the traffic line and preventive actions against subsidence accident are provided as well. At the end of the paper, an actual example predicting subsidence of a highway is given. (Li Yongshu )

### **Method to Realize Auto-generation of Finite Element Analysis Mesh Related to Mining-induced Subsidence**

--The paper highlights the mesh-generating principle and method dedicated to four-joints element during numerical computation of finite element in arbitrary area based on the interpolation function. Through running by program-ming, it proves that the method is capable of realizing fully automatic mesh generation in the area. (Kang Jianrong )

### **Computational Method of Increment in Surface Movement and deformation**

--In the paper, the law that parameters vary with mining-induced effect and is predicted with probability integration method based on actual measured data is analyzed. In addition, a method to calculate surface subsidence increment caused by coal mining on different faces of the same mining area is also provided. (Guo Zengzhang et al. )

### **Research on Three Stages and Law of Dynamic Surface Subsidence Deformation**

--In the paper, the whole process of dynamic surface subsidence deformation is divided into such three stages as subsidence development, full subsidence and subsidence attenuation, and corresponding development and variation laws of surface subsidence deformation in these three stages are also respectively analyzed. **Keywords:** Dynamic surface subsidence deformation, subsidence development stage, full subsidence stage, subsidence attenuation stage (Huang Leting)

### **Approach of Comprehensively Harnessing Ecological Environment in Mining-induced Subsidence Area of Kailuan Coal Mine**

--To protect the ecological environment and realize the sustainable development has become global subject of the 21st century. While large-scale exploration and utilization of coal and other useful minerals bring enormous economic and social benefits to mankind on one hand, on the other hand, inevitably produce a series of negative influence to our living environment, out of which, effect of mining-

induced subsidence on environment is just one important reflection at this aspect. Taking Kailuan Coal Mine as example, the authors explain several circumstances of comprehensively harnessing ecological environment in mining-induced subsidence area in order to prove that unfavorable elements can be changed to be favorable and it is feasible to realize sustainable development in coal mines. (Yin Zuoru et al.)

### **Comparison and Analysis of Overburden Mining-induced Destructive Process Based on Geological Models with Different Accuracies**

--On the basis of two kinds of geological models with different accuracies established, the numerical simulation and analysis of overburden mining-induced destructive process are respectively made with RF-PA2D (Rock Failure Process Analysis System) in the paper. The results indicate that the numerical simulation of overburden mining-induced destructive process based on detailed geological model can reflect more truly the stress and strain characteristics of surrounding strata. **Keywords:** Geological models, overburden destruction, numerical simulation, geonomy information system (Hou Enke et al. )

### **Future Development of Mine Surveying**

--In the paper, the trend of mine surveying from land to ocean and other celestial bodies is analyzed from a developing angle of view, and some basic problems regarding newly-developed system of mine surveying discipline and frameworks of digital mine surveying as well as future mine surveying disciplines are discussed further. What's more, future development direction of mine surveying oriented to digital mine, ocean and other celestial bodies are also predicted. The authors point out at the end of the paper that besides advantages of 3S (RS/GPS/GIS) and information techniques should be made full use of, pace of establishing digital mine surveying standards, and researching and developing new type mine surveying instruments should also be quickened; in addition, higher education and talents training related to new type mine surveying are required to be strengthened conscientiously, so as to keep abreast of future development of mine surveying technique. **Keywords:** Digital mine, ocean mining, mining in other celestial bodies, mine surveying (Wu Lixin et al. )

### **Research on Architecture of Logistics Spatial Information System Based on Middleware**

--The middleware technique provides us a kind of completely-new software engineering idea, while flexible bus model offers a type of software-integrated plug-and-play mode. The paper illustrates firstly the logistics spatial information system and then gives a design pattern of architecture of logistics spatial information system applying the flexible bus model on a basis of middleware technique.

(Cai Shaohua et al. )

### **Analysis of Affecting Factors and Mechanics of Infrared Radiation Coming from Loaded Rocks**

--In the paper, based on summary of past experiments, analysis and discussion are made on affecting factors (i. e. Loading speed, loading mode and rock character) and mechanics of infrared radiation happened during rocks are compressed, the conclusion reached is that:(1) AIRT(average infrared radiation temperature) rises quickly with increase of loading speed, but when the loading speed reaches between  $2.75 \times 10^{-5}/s$  and  $1.65 \times 10^{-4}/s$ , the infrared radiation of rocks within unit strain has not obvious regular variation; (2) the IRT rises when rocks are compressed and decreases when stretched; (3) due to differences of mineral composition, structure and constitution in rocks with different characters, infrared radiation in the loading process presents different variation laws; (4) the variation laws of infrared radiation are controlled by two kinds of heating effects, i.e. thermoelastic effect and friction heating effect, which play different roles in different loading stages. (Liu Shanjuan et al. )