

# 数字矿山与我国矿山未来发展 \*

吴立新<sup>1</sup> 朱旺喜<sup>2</sup> 张瑞新<sup>3</sup>

(中国矿业大学 3S 与沉陷工程研究所, 所长、教授、博士生导师<sup>1</sup> 北京 100083; 国家自然科学基金委员会工程与材料学部, 博士、高级工程师<sup>2</sup> 北京 100085; 国家安全生产监管局通信信息中心, 教授、博士生导师<sup>3</sup> 北京 100013)

〔摘要〕 空间信息技术、数字信息技术和自动化、智能化技术飞速发展, 给传统采矿业带来了前所未有的改造机遇和发展挑战。近年, 国际上发达采矿国家已纷纷利用数字信息技术来改造和提升其采矿业, 不仅变革了传统矿业沿袭百年的生产工艺和组织管理模式, 而且极大地提高了矿山企业的生产效率和水平。本文结合中国科协第 86 次青年科学家论坛成果, 介绍数字矿山概念与框架、数字矿山核心理论与关键技术以及数字矿山战略实施对策与方案, 希望藉此促进我国数字矿山研究与建设的健康有序发展。

〔关键词〕 数字矿山 信息技术 复杂系统 [中图分类号] TD TP

〔文章编号〕1000-7857(2004)07-0029-04

## DIGITAL MINE AND THE FUTURE DEVELOPMENT OF MINES IN CHINA

WU Li-xin<sup>1</sup> ZHU Wang-xi<sup>2</sup> ZHANG Rui-xin<sup>3</sup>

(1. Institute of RS/GPS/GIS & Subsidence Engineering, China University of Mining & Technology, Beijing 100083, China;

2. Department of Engineering & Materials Sciences, National Natural Science Funds of China, Beijing 100085, China;

3. Communication Information Center, State Administration of Work Safety, Beijing 100013, China)

**Abstract:** The rapid development of spatial information technology, digital information technology, automation technology and intelligence technology has brought both chances and challenges for traditional mines. In recent years, the developed mining countries have applied information technology to reconstruct and promote their traditional mines. This work not only changed the traditional mining techniques and organization modes, but also greatly improved the production efficiency and safety level. Based on the achievements of the 86th Youth Scientists Forum of China Association of Science & Technology, which took digital mine as its topic, this paper introduces the concept and the framework of digital mine, the core theories and the technologies of digital mine, and the strategies and schemes for the implementation of digital mine. It is hoped that the study and construction of digital mine in China can be promoted and developed.

**Key Words:** digital mine, information technology, complex system

### 1 前言

21 世纪是信息主导的世纪, “数字化生存” 已成为知识经济的标志。信息技术的飞速发展, 给中外采矿业带来了巨大冲击。采矿业是以矿产资源为生产对象的古老产业, 绝大多数矿山企业还处在劳动密集型阶段, 信息化改造势在必行。

发达采矿国家的矿山信息化改造已迈出了坚实的步伐, 有的已制定了长远发展规划<sup>[1-4]</sup>。加拿大从 20 世纪 90 年代初开始研究遥控采矿技术, 目标是实现整个采矿过程的遥控操作, 现已研制出样机系统, 并在 INCO 公司的几个地下镍矿试用, 实现了从地面对地下矿山进行控制。加拿大已制订出一项拟在 2050 年实现的远景规划, 即将加拿大北部边远地区的一个矿山改造为无人矿井, 从萨得伯里通过卫星操纵矿山的所有设备实现机械自动破碎

和自动切割采矿。芬兰采矿业也于 1992 年宣布了自己的智能采矿技术方案, 涉及采矿实时过程控制、资源实时管理、矿山信息网建设、新机械应用和自动控制等 28 个专题。瑞典也制定了向矿山自动化进军的“Grounteknik 2000” 战略计划。

我国采矿业总体信息化水平还不够高。近年来, 随着社会经济的发展和宏观调控的实施, 我国矿山企业的经济形式和运行状态正在发生喜人的变化, 信息化建设逐渐升温。1999 年, 国家计委、信息产业部《“十五” 期间国家信息化发展战略和规划思路》中明确提出, 要利用信息技术改造提升能源、矿山等传统行业。党的十六大报告也指出: 应“坚持以信息化带动工业化, 以工业化促进信息化, 走出一条科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少、人力资源优势得到充分发挥的新型工业化路子”。

自 1999 年首届“国际数字地球” 大会上提出了“数字矿山” (Digital Mine, 简称 DM) 概念<sup>[5]</sup>以来, DM 的思想已开始深入人心, DM 科学研究与技术攻关已悄然兴起<sup>[6-8]</sup>。2001 年“国际 APCOM” 会议上组织了首次“国际 DM” 主题讨论; 2004 年 4 月中国科协青

\* 教育部第三届“高校青年教师奖” 支持计划和“全国优秀博士学位论文专项基金” 联合资助。

年科学家论坛第 86 次活动以“数字矿山战略与未来发展”为主题。本文即是对此次论坛成果的总结。

2 数字矿山及其基本特征

所谓 DM,是“在统一的时空框架下,对真实矿山整体及其相关现象的统一理解、表达与数字化再现,是数字矿区和数字中国的一个重要组成部分”。数字矿山的核心是在统一的时间参照与空间框架下,科学有序地组织、管理、维护和通过真三维可视化表达等不同手段获取海量、异质、异构、多维、动态的矿山信息,并建立矿山信息的分布式共享、协同与利用机制,形成多种灵活便捷的数字方法与模拟工具,最大限度地挖掘和发挥矿山数据的潜能和作用,并贯穿于矿山规划、生产、经营与管理的全过程,保障矿山的科学决策与现代管理。

DM 建设的总体目标是实现矿山的“高效、安全、绿色与可持续”。DM 建设是一个由初级、中级到高级的发展过程,是矿山信息化由简单的业务管理信息系统(management information system,简称 MIS)到一般性办公自动化(office automation,简称 OA),再到高度智能化、可视化的复杂决策支持系统(decision-making support system,简称 DSS)的发展方向。DM 建设可以按部就班地循序渐进,也可以进行跨越式发展。DM 的最终表现为矿山的高度信息化、自动化、智能化与高效安全开采,以至无人采矿和遥控采矿模式(如图 1 所示)。

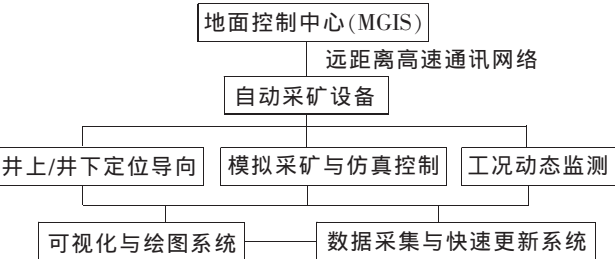


图 1 DM 的基本模式<sup>[1]</sup>

以智能交通体系为参照,可以形象地描述和概括 DM 的 6 大基本特征<sup>[1]</sup>:以高速企业网为“路网”,以组件式矿山软件为“车辆”,以矿山数据与模型为“燃料”,以三维地学模拟(3DGM)与数据挖掘为“过滤”,以数据采集与更新为“保障”,以矿山 GIS(MGIS)为综合“调度”。

统、调度系统、应用系统、过滤系统、核心系统共 5 部分。其基本组成如图 2 所示。

3.1 采集系统 负责数据的采集、处理与更新,包括测量、勘探、传感和文档(含设计数据)4 大类矿山基础数据。

3.2 调度系统 作为矿山信息化办公与决策的公共平台和各类矿山软件集成和各类模型融合的公共载体的 MGIS,负责矿山地物对象的拓扑建立与维护、空间查询与分析、矿山制图与输出等 GIS 基本功能,并进行数据访问控制,调度和控制各类“车辆”的运行、“燃料”的采集、更新与过滤等。

3.3 应用系统 各种专业应用软件的综合,包括采矿 CAD(MCAD)、虚拟采矿(VM)、矿山模拟(MS)、工程计算(EC)、人工智能(AI)和科学可视化(SV)等,为矿山业务流程和决策所需的各类工程计算与应用分析提供功能服务。

3.4 过滤系统 负责多源异质数据的集成和质量控制,集成和融合多源异质矿山数据进行 3D 空间建模,并通过数据过滤与重组机制进行数据挖掘和规律发现。

3.5 核心系统 负责统一管理矿山数据和应用模型,由矿山时空数据仓库和矿业应用模型库两个子系统组成,是 DM 的心脏或“油库”。

DM 系统在矿山企业中的业务化运算是基于企业的宽带、高速网络来实现的。基于工业 IP 的矿山企业网是 DM 网络架构的基本模式。基于矿山业务流程的 4 层 C/S 的 DM 系统模式如图 3 所示。该系统模式由 WWW 服务器、GIS 服务器、应用服务器和数据与模型服务器 4 层组成,数据与模型服务器中的数据组织以对象-关系型数据库为核心。

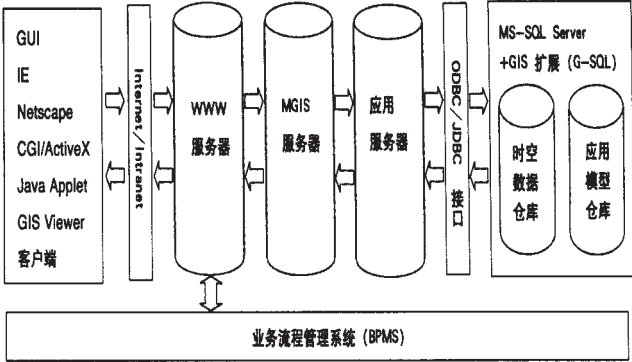


图 3 DM 的网络架构<sup>[1]</sup>

3 数字矿山基本框架

DM 作为一个复杂巨系统,具有同心圆型的层次结构特点。按数据流和功能流进行剖分,DM 结构由外向里依次为采集系

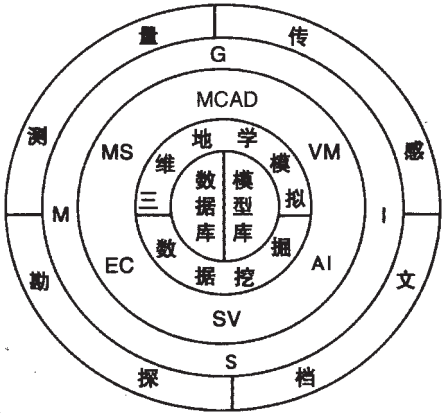


图 2 DM 的基本组成<sup>[1]</sup>

4 数字矿山理论基础

DM 是一个典型的多学科交叉学科新领域,具有综合性、复杂性、系统性和前沿性,所涉及的学科领域非常广泛。它以空间信息理论(以 RS、GPS、GIS 为代表的现代测绘理论)、数字地质学、现代采矿理论、通讯理论、机器人与自动化理论、监测监控理论、运筹学理论等为理论基础,涉及多门工程学科、基础学科和管理学科(如图 4 所示)。

5 数字矿山关键技术

数字矿山是一个目标、一个方向,不是一项具体的工程,不可能一蹴而就,需要化较长的时间甚至很长的时间分阶段分步骤地组织不同领域、不同学科的一大批科研人员来进行攻关研究。基于 DM 特征与框架,当前应重点对以下 9 项关键技术进行攻关<sup>[1]</sup>。

5.1 矿山数据仓库技术 针对矿山信息的“五性四多”(复杂

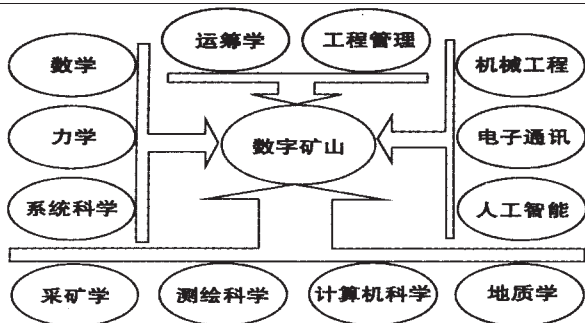


图4 数字矿山交叉学科领域

性、海量性、异质性、不确定性和动态性,多源、多精度、多时相和多尺度)特点,研究一种新型的数据仓库技术,包括矿山数据分类组织、分类编码、元数据标准、高效检索、快速更新与分布式管理等。其中,适合多源异质矿山数据集成且独立于应用软件与数据模型的数据组织结构,为当务之急。

**5.2 矿山数据挖掘技术** 指“从海量的矿山数据中挖掘、发现矿山系统中内在的、有价值的信息、规律和知识的过程”。必须研究一种高效、智能、透明、符合矿山思维、基于专家知识的数据挖掘技术,这些信息、规律和知识对矿山的安全、生产、经营与管理能发挥预测和指导作用。

**5.3 真3DGM与可视化技术** 只有通过真3D地学模拟技术对钻孔、物探、测量、传感、设计等地层空间数据进行过滤和集成,并实现动态维护(局部更新、细化、修改、补充等),才能对地层环境、矿山实体、采矿活动、采矿影响等进行真实、实时的3D可视化再现、模拟与分析。

**5.4 矿山3D拓扑建模与分析技术** 矿山信息的拓扑空间查询、分析与应用及许多采矿安全问题的模拟、分析与预测等,均以矿山3D空间实体的属性、几何与拓扑数据的统一组织为基础。必须立足矿山3D数据的矢栅集成,尽快攻克矿山3D实体拓扑描述、表达、组织与动态维护这一技术难题。

**5.5 组件式矿山软件与模型** 矿山信息的分析与应用、矿山生产的评估与监控、矿山工程的模拟与决策等,均以各类应用软件与相关模型为工具。必须针对不同应用和矿山工程需求,研究开发多品种、多型号、多功能、组件式软件与模型。

**5.6 地下快速定位与自动导航技术** 基于GPS的地面快速定位与自动导航问题已基本解决,而在卫星信号不能到达的地下矿井,除传统的陀螺定向与初露端倪的影像匹配定位技术之外,尚没有满足矿山工程精度与作业速度要求的地下快速定位与自动导航的理论、技术与仪器,这是未来10年的重要科研方向和攻关目标。

**5.7 井下多媒体通讯与无线传输技术** 在矿井通信方面,除宽带网络之外,如何快速、准确、完整、清晰、实时地采集与传输矿山井下各类环境指标、设备工况、人员信息、作业参数与调度指令等数据,并以多媒体的形式进行地面-井下双向、无线传输,也是有待改进的技术问题。

**5.8 智能采矿机器人“班组”技术** 在矿山自动化方面,要突破过去关于采矿机器人的个体行为方式,要从群体协同的角度,从采矿设备整体与整个作业流程中的自动控制、协调、适应、保护、调整、修复甚至再生的角度,去理解、研究和设计新一代智能化采矿机器人“班组”及其作业模式。

**5.9 矿山3S、OA、CDS五位一体技术** 为实现全矿山、全过程、全周期的数字化管理、作业、指挥与调度,必须基于矿山GIS

对矿山信息的统一管理与可视化表达,无缝集成自动化办公(OA)与指挥调度系统(CDS);并集成RS和GPS技术,真正做到从数据采集、处理、融合、设备跟踪、动态定位、过程管理、流程优化到调度指挥的全过程一体化。

此外,还应在以下领域开展交叉研究,即现代矿山测绘理论、智能采矿与高效安全保障技术、数字环境中采动影响分析与仿真模拟、采矿动态模拟与非线性分析算法、矿山系统工程与多目标决策理论与技术、数字环境中现代矿山管理模式与机制等。

## 6 我国数字矿山战略对策

我国矿山企业信息化现状基本是“无路无车”(既没有起码的计算机网络设施与硬件资源,又没有相应的矿山应用软件)、“有路无车”(进行了计算机网络设施与硬件资源建设投入,却忽视了矿山应用软件的投入)、“车货不一”(矿山应用软件及基础数据的建设混乱无序,无法实现信息资源共享)三层次并存<sup>[1]</sup>。受体制、观念和教育程度的限制,我国矿山企业的决策者、管理者和工程技术人员在矿山信息化建设方面尚存在4种不良倾向:因循守旧、短期效益、重硬轻软和事不关己高高挂起<sup>[1]</sup>。

DE战略在给我国矿业带来挑战的同时,也带来了前所未有的发展机遇。矿山信息化改造是一项复杂、系统而艰巨的工作,有观念的因素,也有技术的因素和资金的制约。因此,提出以下战略对策。

**6.1 进行观念更新,组织人才培养** 应加大宣传力度,组织各类人才培养,尽快进行观念更新,使企业决策者、管理者和广大工程技术人员积极参与和协同配合DM建设。

**6.2 加大经费投入,组织科技攻关** 政府、企业应高度重视和联合投入,通过设立持续稳定的“数字矿山”创新基金来支持DM创新研究,组织不同层次、不同范围的科研攻关与技术推广。

**6.3 形成优势合力,稳步健康推进** 有关高校、院所和矿山企业之间、不同高校和学科之间应优势互补、通力合作,有计划、有步骤地稳步实施DM战略,力争实现我国矿业生产的跨越式发展,使我国的矿山和矿区逐步走向可持续发展之路。

## 7 结语

数字矿山是矿业科技创新的核心方向,是采矿业改造与可持续发展的重要保障,任重而道远。我国矿业要走出困境,面向21世纪寻求可持续发展,必须走DM之路,将DM建设与整个矿山企业的技术创新、管理改革相结合。就当前而言,通过DM建设,至少可以给矿山企业带来以下4方面的好处<sup>[2]</sup>:(1)拓展矿山企业的生存与发展空间;(2)促进矿山企业组织结构的优化;(3)降低决策的风险性;(4)提高企业快速反应能力,从而使矿山企业在现代企业竞争中取胜,并逐步走向可持续发展之路。但必须清醒地认识到,DM建设是一项复杂的巨系统工程,有观念的因素,也有技术的因素和资金的制约。因此,必须兼顾观念更新、人才培养、资金投入和科研攻关各个方面,有计划、有步骤地稳步实施DM战略。

### 参考文献

- [1] M. Kelly. Developing coal mining technology for the 21<sup>st</sup> century [J]. Proc. Mining Sci. & Tech. Netherlands: Balkema, 1999. 3~7
- [2] B. Denby, D. Schofield. Advanced computer techniques: Development for the minerals industry towards the new

(下转第28页)



Mean 850hPa vapor transportation 2003 6.01-6.15

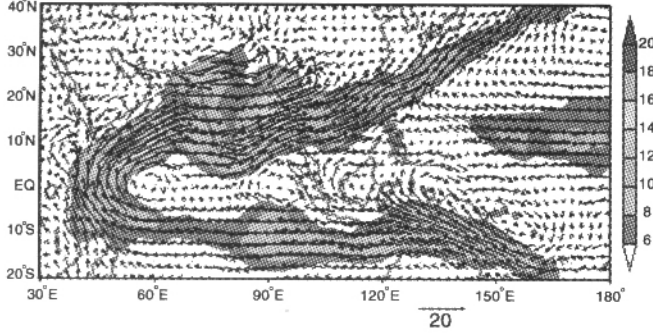


图 7.a 第一阶段水汽输送

Mean 850hPa vapor transportation 2003 6.21-7.10

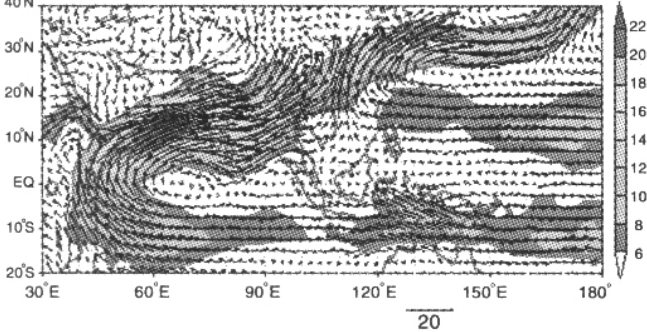


图 7.b 第二阶段的水汽输送

Mean 850hPa vapor transportation 2003 7.26-7.10

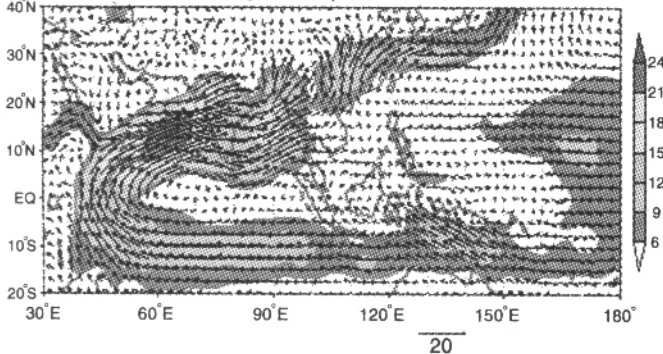


图 7.c 第三阶段的水汽输送

的这种时空分布特征是与夏季风的活动情况密切联系的。

(2) 2003 年南海夏季风于 5 月第 5 候首先在南海南部建立, 6 月第 1 候全面爆发, 比常年偏晚。南海夏季风爆发后到 6 月第 3 候前是南海夏季风的活跃期, 将来自孟加拉湾地区的暖湿气流输送到南海地区及华南南部, 使得华南南部发生了强降水过程。6

月第 5 候随着副热带高压的北跳, 长江以南的及南海的大部分地区为高压控制, 南海季风进入中断期, 强南风气流将来自南海的水汽向北输送, 强降水带位于淮河流域。华北进入汛期后, 在我国大陆地区, 没有强劲的西南气流, 使得南海或西太平洋的水汽不能进入华北地区, 导致该地区汛期降水偏少。

(3) 2003 年夏季副热带高压的一个显著特点是高强度、位置偏西。其中从 6 月下旬至 7 月中旬, 副热带高压的位置稳定少变, 其北脊线位于 25°N 附近, 且副高位置偏西, 这导致了长江以南的大部分地区高温少雨, 而副热带高压西侧的南风气流将南海地区的水汽源源不断地输送到淮河流域, 是该地区发生持续性的强降水的主要水汽来源。

(感谢中国气象科学研究院陈隆勋研究员为本文修改提出的宝贵意见。)

#### 参考文献

- [1] 丁一汇, 胡国权. 1998 年中国大洪水时期的水汽收支研究[J]. 气象学报, 2003, 61(2): 129~145
- [2] 李崇银, 张利平. 南海夏季风活动及其影响 [J]. 大气科学, 1999, 23(3): 257~266
- [3] 徐予红, 陶诗言. 东亚夏季风的年际变化与江淮流域梅雨期早涝[A]. 见: 黄荣辉主编. 灾害性气候的过程及其诊断[C]. 北京: 气象出版社, 1996. 31~39
- [4] Zhang Xiuzhi, Li Jianglong, Ding Yihui, et al. A study of circulation characteristics and index of south china sea summer monsoon[J]. ACTA.METE.SINICA, 2001: 450~464
- [5] 戴念军, 谢安, 张勇. 南海夏季风活动特点的年际和年代际特征 [J]. 气候与环境研究, 2000, 5(4): 363~374
- [6] 谢安, 宋炎云, 毛江玉, 等. 南海夏季风期间水汽输送的气候特征 [J]. 气候与环境研究, 2001: 425~434
- [7] 谢安, 毛江玉, 宋炎云, 等. 长江中下游地区水汽输送的气候特征 [J]. 应用气象学报, 2002: 67~77
- [8] 赵汉光, 张先恭. 东亚季风和我国夏季雨带的关系 [J]. 气象, 1996, 22(4): 8~12
- [9] 陆尔, 丁一汇. 1991 年持续性特大暴雨的夏季风活动分析[J]. 应用气象学报, 1994, 8(3): 316~324
- [10] 中国气象局国家气候中心. 98 中国大洪水与气候异常 [M]. 北京: 气象出版社, 1998
- [11] 陈隆勋, 李薇, 赵平, 等. 东亚地区夏季风爆发过程[J]. 气候与环境研究, 2000: 345~355
- [12] 何金海, 丁一汇, 高辉, 等. 南海夏季风建立日期的确定与季风指数[M]. 北京: 气象出版社, 2001
- [13] 吴立新. 数字地球、数字中国与数字矿区 [J]. 矿山测量, 2000 (1): 6~9
- [14] 吴立新, 殷作如, 邓智毅等. 论 21 世纪的矿山——数字矿山[J]. 煤炭学报, 2000, 25(4): 337~342
- [15] 吴立新, 殷作如. 数字矿山构想与关键技术[A]. 见: 中国矿业联合会年会暨首届国际矿业博览会论文集, 中国矿业 (专刊) 2001: 77~85
- [16] 吴立新. 论数字矿山及其基本特征与关键技术[A]. 见: 第六届全国矿山测量学术会议论文集, 2002, 68~72
- [17] 吴立新, 殷作如, 钟亚平. 再论数字矿山: 特征、框架与关键技术[J]. 煤炭学报, 2003, 28(1): 1~7

(责任编辑 邱夜明)

(责任编辑 苏青 王宏章)

(上接第 31 页)

- millennium [J]. Proc. Mining Sci. & Tech. Netherlands: Balkema, 1999: 635~644
- [3] S A Shuey. Mining technology for the 21st century: Inco digs deep in Sudbury[J]. E&M J China, 1999(2): 7~11
- [4] 朱训. 世纪之交的中国矿业[J]. 中国矿业, 1999(专): 3~6
- [5] 冯夏庭等. 21 世纪的采矿——智能矿山 [J]. 中国矿业, 1999 (专): 77~79
- [6] Wu LX, Yang KM, Qi AW, Hu DH, Deng ZY, Liu HJ. Information Classification & Management For MGIS And Digital Mine [A]. In: Towards Digital Earth-Proc. of Int. Sym. on DE, Beijing, 1999.11, pp. 999~1004