

# 数字矿山的概念、框架、内涵及应用示范

毕思文<sup>1</sup> 殷作如<sup>2</sup> 何晓群<sup>2</sup> 董荣泉<sup>2</sup> 邓智毅<sup>2</sup> 张长江<sup>2</sup> 郭继如<sup>2</sup> 景东升<sup>2</sup>  
(中国科学院遥感应用研究所遥感科学国家重点实验室副主任、研究员、博士生导师<sup>1</sup>  
北京 100101; 开滦(集团)有限责任公司<sup>2</sup> 河北唐山 063018)

[摘要] 数字矿山是当今矿山科学技术、信息科学、人工智能、计算科学、计算机和 3S 技术的高度综合,它将深刻改变未来矿山系统的生产活动和人们的生活方式。本文分析了数字矿山的概念和特征,构建了数字矿山的理论体系框架和有关模型,并开展了相应的应用示范研究。

[关键词] 数字矿山 概念 框架 内涵 示范 [中图分类号] TD

地建立全局观念和模拟直观感<sup>[3]</sup>。

## 一、数字矿山提出的背景和意义

“数字矿山”是“数字地球”的重要组成部分,从学科角度讲,也称“矿山系统数字学”。在数字矿山科学技术研究中,我们的注意力和想象力不仅应聚焦在如煤田地质、井田开拓、井巷掘进与支护、采煤方法、矿山机械、电器与自动化、通讯与安全和矿山其它生产系统等技术工艺层次上,还需要从宏观战略上放眼国际矿山科技发展和世界潮流的大趋势;否则,我们在矿山科学技术、安全管理和决策等方面将全面地陷入被动<sup>[1]</sup>。

我国矿山目前面临着越来越尖锐的挑战,如矿山的资源环境问题、矿山系统内部各子系统结构和功能的局限性问题,矿山有限的人力、财力、物力资源的优化问题、矿山的可持续发展问题等。解决这些问题,数字矿山提供了一个新的思路;因此,要从矿山可持续发展、安全、高效的需要和矿山科技发展战略的高度来看数字矿山建设的必要性和紧迫性,将“数字矿山计划”尽早提到日程上来。

数字矿山的主要研究内容包括矿山科学技术发展战略、共享矿山数据资源、矿山可持续发展战略、矿山经济发展、矿山安全和矿山科技创新的需要等<sup>[2]</sup>,它把关于矿山系统的原始数据流转换成可以理解的信息,转换成具有矿山经济价值的知识。这种数据不仅包括矿山系统的高分辨率的影像、数字矿图,还包括矿山经济、社会和人口的信息,其作用和意义主要体现在以下几个方面:(1)将改变矿山的生产和生活方式,在矿山设计、施工、开采、安全、管理、教育、可持续发展、土地利用规划以及科学决策等方面产生广阔的社会和经济效益,促进大型产业的增长,提供很多的产业机会和安全预测及决策管理服务;(2)为矿山系统数字学开创了科学实验条件,使过去认为不可能进行且结构太复杂的矿山系统的过程实验成为可能,为矿山科学技术的发展提供了强大的动力;(3)使矿山规划管理具有更高的效率、更丰富的表现手法、更多的信息量、更高的分析能力和准确性,从而提高矿山生产和管理的时效性、有效性、资源优化配置水平、综合实力,促进矿山的可持续发展,并在有准确坐标、时间和对象属性的多维虚拟环境中进行规划、决策和管理,在处理矿山复杂系统问题时帮助人们更好

## 二、数字矿山的概念和特征

数字矿山是以矿山系统为原型,以地理坐标为参考系,以矿山科学技术、信息科学、人工智能和计算科学为理论基础,以高新矿山观测和网络技术为支撑,建立起的一系列不同层次的原型、系统场、物质模型、力学模型、数学模型、信息模型和计算机模型并集成,可用多媒体和模拟仿真虚拟技术进行多维的表达,同时具有高分辨率、海量数据和多种数据的融合以及空间化、数字化、网络化、智能化和可视化的技术系统。它是信息化、数字化的虚拟矿山,是用信息化与数字化的方法来研究和构建的矿山,是矿山地表之下的人类工程活动的信息全部数字化之后由计算机网络来管理的技术系统。通过它可以了解整个矿山系统所涉及的信息过程,特别是矿山系统多体之间信息的联系和相互作用的规律<sup>[1-3]</sup>。

数字矿山是以多时空、动态的矿山系统为研究对象,以矿山观测、网络 and 计算机信息处理为主体的技术系统。它在空间上可把矿山工程的部分工作转移到实验室,在时间上可从过去、现在的研究发展到三维空间上定量地预测未来。数字矿山具有如下特征。(1)空间性、数字性和整体性三者的融合统一。这是它与其它信息系统的根本区别。(2)具有无边无缝的分布式数据层结构,包括多源、多比例尺、多分辨率的历史和现时的矢量格式及栅格格式的数据。(3)具有海量、充实、分类、迅速、联网的矿山地理信息数据库。(4)采用开放平台、构件技术、动态互操作等最先进的技术方案。(5)可以用图形、图像、图表、文本报告等形式提供服务。(6)用户可以从多种方式中获取信息。无论生产者是谁,也无论数据在什么地方,任何一个用户都可以实时调用信息,国际互联网上的用户可以根据自己的权限查询“数字矿山”中的信息。(7)服务对象覆盖整个矿山层面,分机构、分密级地为矿山机关、生产单位、科教部门、专业技术人员、普通矿工等提供其所需要的信息服务。

## 三、数字矿山的理论框架、原型和有关模型

本文采取基础理论与模型、技术支撑、系统工程和建设有中国特色的数字矿山4个组成部分的思路来研究和构建数字矿山,其核心和目的是汇集并处理巨量的矿山信息,进而对矿山系统进行高分辨率、四维的描述。数字矿山基础理论与模型主要研究内容包括:建立在矿山科学技术、信息科学和计算科学等学科研究的基础上,将矿山系统作为一个有机整体,研究矿山多体要素之间的相互联系、相互作用的规律,进而建立矿山系统现象的发生、发展的地学模型、物质模型、力学模型、数学模型、信息模型和计算机模型等。数字矿山技术支撑系统主要研究内容包括:数据采集、存储、传输、处理和显示技术,构建宽带数据网,建立国家空间数据基础设施,发展超级计算机、大容量时空数据存储、管理、模拟仿真和虚拟现实、显示等。数字矿山系统工程是在上述理论研究和支撑体系的支持下,通过软件开发和硬件集成,建立可行的、分布式和开放的网络信息系统,为我国矿山资源合理开采、合理利用、环境保护、减灾防灾、矿山安全、管理决策和矿山科学技术研究服务<sup>[1-3]</sup>。

所谓原型是指研究对象的实体。以煤矿为例,数字矿山原型也称为矿山系统,主要由煤矿地质、井田开拓、井巷掘进与支护、采煤方法、机械电器、提升运输、矿井通风与安全、矿井生产系统、露天开采和煤的地下气化等子系统组成。煤矿的生产建设一般要经过地质勘探、矿井设计、建井、开采、提升运输以及加工洗选等多个程序组成,而开采是其中中心环节<sup>[3-4]</sup>。上述内容便构成了数字矿山的原型,其主要研究内容有矿山系统物质组成、矿山系统动力学特征、矿山系统工程活动效应、矿山系统资源特征和环境变化及灾害规律、矿山系统经济活动响应、矿山系统科学技术,以及矿山系统管理决策等。

数字矿山的物质模型是数字矿山的重要组成部分,其主要研究内容由矿山系统的形态和规模、地质勘探、矿井设计、建井、开采、机械、电器、安全以及加工洗选等几个程序组成,而矿山开采是其物质模型的中心环节。

围绕着数字矿山物质模型的几何学、运动学和动力学特征,数字矿山力学模型主要有数字矿山多体系统力学、非完整系统力学、变质量系统力学、碰撞系统力学、破坏系统力学、流体系统力学、极端系统力学和爆炸(发)系统力学等。

数字矿山数学模型主要研究内容包括3个方面。(1)计算应用学科。围绕数字矿山建立数学模型,包括数字矿山的数论分析、数字矿山动力系统的稳定性、数字矿山的自适应以及矿山的排队论研究等。(2)计算方法。计算方法的研究将沿统一算法研究趋势发展,这与以往算法研究问题越来越细、范围越来越窄的趋势相反。这种研究将借助于更新的数学理论工具,高性能计算机和设计结构优化紧密结合将是新一代算法的显著特点。(3)科学可视化。数字矿山的科学可视化是将科学计算的数值结果转化为图形、图像以及动画在计算机屏幕上显示,它帮助人们更好地观察及理解科学计算的结果及发现研究对象的规律。科学可视化依赖于计算几何、数值逼近等,它的实现离不开先进的计算方法、图形运算和高速计算机。

数字矿山信息模型是依附于矿山系统能量流、物质流和人流而存在的,它是时空变化、特征和运动状态的表征与认识,是对矿山系统信息的机理、信息产生、信息获取和处理方法以及信息传播规律等进行研究。具体来说,它是从研究矿山系统信息机理入手,从信息流的角度,探讨矿山系统信息的结构和性质、矿山系统信息的认识和分类、矿山系统信息的获取与处理和应用基础理论等<sup>[5]</sup>,其主要研究内容包括矿山系统的物质流和能量流、矿山系统的信息模型、矿山空间的认知模型与信息图谱、矿山空间场的信息特征和矿山系统的全息信息与记忆信息模型。

#### 四、数字矿山信息技术系统

数字矿山的信息技术体系研究包括:矿山中各种信息的动态获取与实时更新技术、数据处理与信息提取技术、空间数据仓库、空间建模技术、虚拟仿真技术、决策模型、网络技术。对这些技术体系及其相互集成方式的研究,是数字矿山实现的关键。

数字矿山空间信息的本质特征是区域空间上的分布性,它具有明显的地理参考,可以根据行政区划、自然地理区域、坐标系统、地名、地址或数码来识别。数字矿山空间信息的另一重要特征是基础性和综合性——矿山信息渗透、分布到矿山的不同部门和多种科学技术中,这些部门根据各自的需求收集、保存、更新、维护属于自己范围内的数据。

矿山空间信息的基础性、区域性、共享性、综合性和分布性,使得它有别于其它任何信息。处理矿山信息涉及到广泛的学科和技术,同时也涉及最前沿的信息技术。矿山信息是数字矿山的重要基础信息,是矿山信息系统和矿山信息基础设施的重要组成部分。其研究内容主要包括矿山信息基础设施、Internet与Web、下一代Internet、通信网的新发展、矿山空间信息基础设施、矿山空间数据基础设施、矿山空间数据及其标准、空间信息框架、空间信息基础设施的体系结构和矿山空间信息基础设施规划等。数据标准化和元数据控制技术包括系统维护、标准与互操作规范、相关法规等,是数字矿山正常运行的重要保障。

数字矿山信息获取的主要研究内容包括数据采集、存储、传输、处理和显示等技术,以及构建宽带数据网、建立矿山空间数据基础设施、发展超级计算机和大容量时空数据存储及其管理。要应用现代信息技术及高科技手段,从时空维或更高维尺度对整个矿山综合体进行监控,以触发机制解决数据的动态获取和更新。

数字矿山是一个复杂、开放的巨系统,是由数据采集系统、计算机处理与存储系统、高速通讯信息网络子系统、各部分或数据库与Web GIS、Com GIS组成的子系统、各处有关设备子系统,以及研究、开发与用户等人员子系统共同组成的一个庞大、复杂的技术系统。数字矿山是对矿山系统的数字化或信息化的表达。从拓扑的信息交互看,数字矿山系统与人的脑神经有相似之处,和生态系统、人类社会系统一样具有自组织功能,包括自调控、自适应、自发展(进化与遗传)等生命系统的特征。

数字矿山要管理海量的空间数据和属性数据及其它数据,由于存储容量的限制,在集中存储与管理的基础上,可能需要适量分散以提高存取及更新的速度;但分散存储和建库的方法存在安全性差、数据兼容性及标准化困难等局限,需要做大量的研究及规范化工作。因而,数字矿山的建设需要大力发展数据存储和数据仓库技术。要使数字矿山中大量的数据有用,在基本数据分析处理的基础上,还需要采用现代科学方法进行挖掘,并提取可用的、相关的信息。这些都要借助数据挖掘及信息提取体系。

数字矿山模拟仿真与虚拟现实的主要研究内容包括:矿山系统模拟的非线性和复杂性,矿山系统模式的提出、模式的检验、模式的组装、预报的可行性,数字矿山无级比例尺数据管理技术,多种数据的融合技术,数字矿山的虚拟与仿真技术,虚拟矿山系统的关键理论、系统模型,虚拟现实技术的发展,虚拟现实系统的类型和构成,GIS与虚拟现实技术相结合建立“数字矿山”,以及“数字矿山”数据模型与数据结构等<sup>[6-7]</sup>。

数字矿山辅助决策技术是指:在各种数据库和模型的支持下,利用定性定量方法和决策理论,形成动态实时的辅助决策方案。

## 五、数字矿山标准化建设

数字矿山标准化建设包括以下4方面内容:(1)数字矿山数据标准化;(2)数字矿山信息处理标准化;(3)数字矿山系统构建标准化;(4)数字矿山管理标准化。

数字矿山数据标准化是在对矿山的数据资源的属性特征进行分析的基础上,研究数字矿山信息体系、信息分类编码、数据质量和控制等标准化的理论、方法、内容等。它包括3类标准。(1)数字矿山信息指标体系标准。它是指一定范围内所有信息的标准按其内在联系所组成的科学、有机的整体,具有目标性、集合性、可分解性、相关性、适应性和整体性等特征。在管理层次和管理部门众多的情况下,只有统一和规范指标体系,才能使各系统、各行业和各个层次开发和实施的信息系统能够实现数据和信息的兼容与共享。(2)信息分类编码标准。信息分类编码是对一些常用的、重要的数据元素进行分类和代码化。信息的分类与取值是否科学、合理直接关系到信息处理、检索和传输的自动化水平与效率,信息代码是否规范、标准影响和决定了信息的交流与共享等性能。(3)数据控制和质量标准。包括空间数据质量标准,空间数据质量控制的内容、方法、质量评价过程的标准,旨在为数据生产者提供质量控制的依据,以便生产出合格的空间数据;为用户提供质量评价的方法和要求,以便对数据的应用价值做出客观的评价。

数字矿山信息处理标准化是在数字矿山业务模型研究的基础上,引用和建立信息系统开发、信息交换接口、空间数据转化等的规范和标准体系。它包括制定下述标准规范。(1)信息系统开发标准。主要指在系统开发中应遵守统一的系统设计规范、程序开发规范和项目管理规范。(2)信息交换接口

标准。即对信息系统内部和信息系统之间各种软件和硬件的接口与联系方式以及信息系统输入和输出的格式制定规范和标准,包括网络的互联标准和通信协议、异种数据库的数据交换格式、不同信息系统之间数据的转换方式等。(3)空间数据转换格式标准。该标准应能使国内自主研制以及引进的主要商品化GIS软件数据实现无损失的相互转换<sup>[1]</sup>。

数字矿山系统构建标准化就是要建立数字矿山系统平台的软硬件、网络和数据库管理系统的标准体系。软件环境标准化包括数字矿山工程的软件环境、网络的结构和连接方式、系统的安全和保密等。硬件环境标准化包括数据的采集、数字化、处理、输出、交换等硬件设施。数据库标准包括数据库命名、设计、查询、联接等规范。

要保证数字矿山工程为矿山的生产、科研、管理等众多部门提供有效的服务,就必须对系统实行标准化管理,即在系统开发和建设过程中对系统内部的各个技术环节提出相应的标准化原则和要求,制定并贯彻执行相应的各级标准,使得数字矿山的设计、开发和应用工作有一个共同的依据和约束。它的建设内容包括制定下述标准规范。(1)管理规定标准:数字矿山标准体系编写的基本规定、原则与方法,以及有关符号、代码、术语等的编写规定。(2)方法标准:标准化的规则,以及数据元、文件格式和其它各类信息的表示方法、规则。(3)术语标准:数字矿山涉及各领域的专业术语、词汇、软件工艺术语的界定和规范。(4)管理办法标准:数字矿山的标准管理办法、有关机构的职能等。

## 六、数字矿山示范研究

数字矿山的建成将为矿山构建一个信息化、数字化的矿山,人们可以随时获取其所需要的数字化信息,并借助这些信息从事矿山科学技术研究,进行企业的有效管理和决策以及安全预测预报,处理日常工作业务。本课题组以河北省的开滦煤矿为应用示范开展了相应的数字矿山研究<sup>[1]</sup>。

本示范研究旨在:通过对数字矿山工程的研究,建立数字矿山的模型和基础理论,使之具有理论创新和推广示范意义;初步建立和完善数字矿山系统,实现原型设计和业务功能;建立数字矿山的数据标准体系和元数据库,为数字矿山工程的进一步建设提供建设依据和指导。

本课题组充分利用开滦煤矿多年来在矿山建设、矿山开采、矿山资源管理、矿山安全、矿山科学技术研究等方面积累的大量文字、图纸和多媒体等形式的资料以及相应的数据及模型成果,作为构建“开滦煤矿数字矿山”的有用信息资源,从而可缩短“开滦煤矿数字矿山”构建的周期。建成后的“开滦煤矿数字矿山”应包括如下系统或平台。

(1)基础地理空间信息系统。矿山空间数据库由底层的国家基础地理信息、上层的矿山地理空间信息组成,同时加入各种矿山挖掘、开拓的矿图和管线图。信息图库包括:各种比例尺矿山电子地图库、航空像片数据库、卫星遥感影像数据库,以矿山采掘区资源调查总体为单位的数字化矿相图库,以

(下转第63页)

开发的首要任务。这就要求企业必须把握研究—开发—生产—营销的各个环节,流程上要进行必要的整合,以便保障在技术创新活动中及时掌握各个阶段的进展情况,分析各种情况可能对技术创新产生的影响,在充分沟通的基础上随时调整技术创新的资源利用,从而提高技术创新产出的经济效果。因此,现阶段我国医药企业整合技术创新资源,在组织设计上保证技术创新活动内外部信息沟通的便利,彰显企业技术创新战略,形成以技术创新活动个体为元素的跨组织合作研发组织模式,将是我国医药企业从事技术创新活动的必然选择。

跨国公司的实践也表明,协调企业内外部资源对于技术创新管理的效率和效益是非常重要的。对于我国医药企业,在项目初期由市场与销售、研发、中试、生产、技术支持、财务等不同职能部门和机构共同参与,组成产品开发的跨部门、跨组织的项目小组,由项目小组统一协调指挥,可以充分发挥各个参与部门和机构的资源优势,更有利于全面把握技术创新的进程与效果。

**结论** 我国医药企业历史上有过高速发展的时期,从产业发展的角度看,目前已进入了调整的阶段。由于整体医药企业的技术创新管理的薄弱,这一阶段的情况比较严峻。在这一新阶段,我国医药企业必须加强技术创新管理、提高企业核心竞争力。为此,必须确立“有所为、有所不为”的技术创新战略,建立以项目管理为基础的能充分利用企业内外资源的柔性企业技术创新体系,并采取合适的创新组织形式进行技术创新活动。

(上接第 41 页)

采场等为单位的数字化分布图库。

(2)业务数据库系统。建立各部门的专业数据库系统,将各指标数字化、流程模型化。网络环境下的数据库管理系统可以由“后端数据支撑子系统”和“前台业务运行子系统”构成(C/S 或 B/S 结构)。其中后端负责空间地理信息、政务信息以及其它专业信息的采集和编辑工作,为前端提供所需要的信息;前端则具有信息检索、业务管理和分析决策等功能。属性数据库包括各部门的指标数据,矿产资源的自然属性和开发状况,矿点的位置、储量、采选矿指标、勘查程度、品位、生产规模、经营状况以及矿业权属性等。文档数据库主要包括矿山的基本情况、有关文件和报告。模型库包括建立数字矿山所需要的各种专业模型,如网络分析、资源规划、项目管理、统筹规划等。

本课题组采取统一规划、统一标准、统一设计、分项建设、数据共享的方法来实现矿山信息专业数据库的建设,既避免同一数据库信息的重复,也避免各数据库间的信息重复,同时以矿山基础地理信息数据库系统与安全管理软件模块结合成矿山安全管理系统(其它系统依此类推),以此形成矿山行业各类型的数字信息管理系统。

(3)业务系统和运行平台。通过计算机和网络技术建立各个作业的业务系统,包括矿山设施管理系统、资源规划管理系统、环境生态治理保护与灾害防治系统、交通运输网络管理系统、矿产资源勘

## 参考文献

- [1]Scherer F.M., Concentration, R&D, and Productivity Change[J].Southern Economic Journal;Jul 1983:93~98
- [2]Pisano,Gary P Knowledge,integration,and the locus of learning:An empirical analysis of process development [J].Strategic Management Journal;1994:76~82
- [3]Tapon,A Transaction Costs Analysis of Innovations in the Organization of Pharmaceutical R&D[J]. Journal of Economic Behavior & Organization;Oct 1989:23~27
- [4]汤锡芳主编.生命科学领域中的知识产权保护、开发与融资[M].北京:军事医学科学出版社,1998.124~153
- [5]Hanson,M.T.1999.The Search -Transfer Problem:The Role Weak Ties In Sharing Knowledge Across Organizational Subunits[J].Administrative Science Quarterly,44:82~111
- [6]Adler,P.S.1996.Interdepartmental Interdependence and Coordination:The Case of the Design/Manufacturing Interface[J].Organ.Sci.6(2):147~167
- [7]West,M.A.,& Farr,J.L.1990.Innovation at Work.In M.A. West & J.L.Farr (Eds)[M].Innovation and Creativity at Work,John Wiley & Sons.201~243
- [8]Ensenhardt,K.M.,1999.The Multinational Corporation As a Coordinated Network:Organizing and Managing Differently[J].Thunderbird International Business Review, May-June,41(3):290~324
- [9]赵明剑,司春林.突破性技术创新与技术发展的制度主导战略[J].科技导报,2003(6):22~24
- [10]司春林,孙鲁峰,赵明剑.创新流程与创新模式[J].研究与发展管理,2003(6):22~26
- [11]赵明剑,司春林,佟石,马玲.企业内部价值网络与技术创新.科技导报[J].2003(10):15~19

(责任编辑 王宏章)

探信息系统、采矿管理信息系统、选矿管理信息系统、生产管理信息系统、辅助决策支持系统、基于空间信息的图文矿政办公自动管理系统、电子商务与物资关系系统、房产物业管理信息系统等,最终达到实现矿山业务数字化管理的目的。

总之,数字矿山的构建势在必行,我们应抓住难得的历史发展机遇,迅速推进高新技术在矿山建设上的应用,逐步用高新技术改造传统矿业,以促进矿山生产、安全管理和决策的精确化、科学化。

## 参考文献

- [1] 毕思文,殷作如,何晓群,董荣泉,邓智毅,张长江等.开滦数字矿山原型和平台建设研究.中国科学院遥感应用研究所遥感科学国家重点实验室、开滦(集团)有限责任公司合作项目研究报告,2003
- [2] 毕思文,殷作如等.数字矿山概念、框架和内涵[J].3S世界,2002,(19):32~33
- [3] 毕思文,殷作如等.数字矿山——矿山系统数字学[M].北京:科学出版社,2004
- [4] 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
- [5] 毕思文.数字地球—地球系统数字等[M].北京:地质出版社,2001
- [6] 毕思文,景东升.数字地球基础理论研究[J].武汉大学学报,2002,27(增刊):31~34
- [7] Bi Siwen, Jing Dongshen, Zhang Xianfeng. Framework of Basic Theory in the Digital Earth[C].第二届数字地球国际会议学术论文,加拿大,2001

(责任编辑 苏青)