

## 采矿科学发展的新方向——智能采矿学

Intelligent Mining Science——A New Direction in Mining Science Development

冯夏庭 王泳嘉

(东北大学, 沈阳 110006)

采矿科学是以具有地质构造的岩石为对象的一门科学。采矿生产受许多因素的影响,虽然目前从力学、地质学和经济学等角度去寻找各种技术问题的解答已取得重要的进展,但因其工程性太强,涉及问题太多,采矿中的许多问题还只能凭实践经验最后拍板定论,这是造成当今采矿技术落后,阻碍采矿工业发展的根本原因。世界各国为了取得采矿业的竞争优势,提高生产效率和降低成本,正在大力引进其它工业部门已采用的高新技术,使采矿设备进一步自动化。如芬兰正在实施的一项智能矿山技术研究计划包括 28 项子计划,总预算近 1 200 万美元。我国也应努力向此方向发展。冶金部在编制 2000 年矿业发展规划时指出,“到 2000 年要生产 1.2 亿吨钢,每年需要铁矿石 4.8 亿吨”,并且是“利用两种资源,以在国内建矿为主”。这就对采矿学以及与此有关的理论与实践问题提出了严峻的挑战。这一挑战要求我们进一步完善采矿学理论。为此,我们从战略角度提出了 21 世纪采矿科学发展的新方向——智能采矿学。智能采矿学包括许多方面的研究内容,本文主要探讨几个重要的部分。

### 一、实时矿山控制系统

采矿的控制是十分复杂的系统工程问题,系统的状态复杂多变,常表现出不确定性、未确知性。因此,采矿控制系统应具有非线性、动态的自适应性,而且要具有自学习功能。图 1 给出了一种实时矿山控制系统模型。该模型可以对矿山整个生产状态进行实时监控,根据监控得到的信息进行实时自适应分析与决策。对矿山施行实时控制的目标是:无论矿山的内部环境和外部环境发生怎样的变化,矿山产值都保持在最佳水平。这种控制可以通过改变矿山的某些内部因素来实现:矿床的经济品位、边界品位和选择性;采矿方法的选择性和生产能力;回采面积;机械设备的自动化水平、效率和费用。

为顺利实现矿山内部因素的改变,需要完成下面的工作:

1. 开发维护、电气化、材料搬运、地层控制系统和采矿工艺及设备方面的新技术,实现生产自动化。

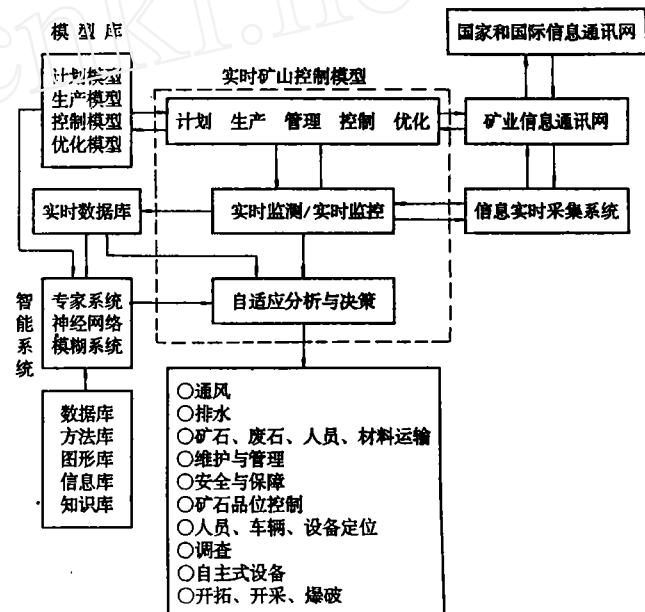


图 1 实时矿山控制系统

2. 采用遥控和自动控制技术减少机器与操作人员的相关性,向全矿信息网提供设备状况和生产效率的实时信息,改进设备以适应生产自动化。

3. 编制智能矿山进度计划,包括开拓(剥离)、开采、采准等进度计划,而且这种计划在实施过程中能根据生产情况进行自适应的调整。

4. 进行矿山系统的智能设计,引进智能、优化方法进行方案和设备优选,开发出矿山智能 CAD 设计系统,这种设计系统可以根据地质和生产情况进行自适应的矿山设计。

5. 建立矿山生产实时控制模型,采用模糊控制、自适应控制、智能控制对矿山的生产进行实时控制,提高生产效率。

6. 研制自动化生产设备,如装药和混凝土喷射的遥控自动化装置、地下移动式破碎机、自动化架线电动汽车、无人驾驶运矿机、矿山机器人等,实现高难采、高危险下矿山的遥控开采。

实现矿山生产的实时控制还需要有良好的外部条件,这就是要建设矿业“信息高速公路”,实现矿业信息管理自动化,为此要开展以下研究工作。

1. 开发高速准确的信息采集系统,对矿山现场的环境条件、产品价值、设备状况和生产效率以及设备与人员的位置等信息进行实时采集,建立采区双向信息网,将控制员办公室同设置在各工作面的固定式收发报机联结起来。利用这些收发报机便可对穿孔、装药、破碎、运输以及混凝土喷射等采矿设备(将来则是对机器人)实现监控与遥控,以便管理部门的领导和智能系统在随时了解矿山生产信息的前提下做出快速准确的决策。

2. 建立矿产资源分布信息数据库,包括矿产资源的种类、分布、储藏量、品位以及开采、矿石价格、运输费用、选矿等情况的信息数据,实现资源的实时管理。

3. 建立一个具有足够容量的能传送声频、数据和视频信息的高速双向矿业信息通讯网络,包括全矿的信息通讯网络及矿山与其管理部门(如公司、矿务局、部委等)的通讯网络。

4. 研究矿产信息实时决策的智能决策支持系统,以便对矿业信息网上的信息变化做出迅速的反映和决策。

## 二、智能采矿岩石力学模型

采矿结构的稳定性直接关系到矿山的安全生产、矿石回收率和损失贫化等。这是采矿岩石力学应该解决的问题。但它是不平衡、不可逆的非线性问题,有些现象能建立数学模型,有些则根本无法建立。所以采矿计算至今还提不出令人信服的定量关系。人工智能理论的问世,为岩石力学提供了很好的思维方法,是对经典力学根本性的一次变革。智能采矿岩石力学就是在这种思维下提出的。智能采矿岩石力学主要研究岩石力学的不确定性推理、自适应算法(包括智能离散元、智能有限元等模型)、遗传算法、并行算法、自适应模式识别方法,以信息分形为标度,建立描述岩体变形、破坏、失稳的全过程智能非线性方程以及多种方法集成计算的综合决策系统。

图2给出了一种采矿岩石力学智能自适应控制系统模型。它由结构和参数可以改变的控制器、

智能推理与决策、系统参数的智能辨识与估计、学习系统、测量装置等几部分组成。系统控制的对象可以是岩层、顶板等。该模型根据对象的输入输出数据,不断地辨识模型结构和参数。这个过程就是系统的在线辨识。通过在线辨识,模型会变得越来越精确,越来越接近实际。既然模型在不断地改进,基于这种模型综合给出的岩石力学控制也将随之不断改进。输入 $X(t)$ 也可以不知道,测量装置可直接或间接地测量被控对象的状态,通过调整系统中的信息双向运动(即反馈)来实现对岩层等被控对象的最优控制。由于引入知识库和推理机,使得系统的自适应能力得到很大的增强,对模型知识的依赖性很小,甚至在完全不知道模型特性的基础上,最终也能使系统获得比较满意的岩石力学控制。

当系统的智能控制器根据原有知识所产生的决策对控制器结构和参数的修改已无法使系统达到满意的性能指标时,启动学习系统,由通过环境的信息自动更改知识库,以适应环境和控制对象(岩层、顶板等)的多样性和多变性。

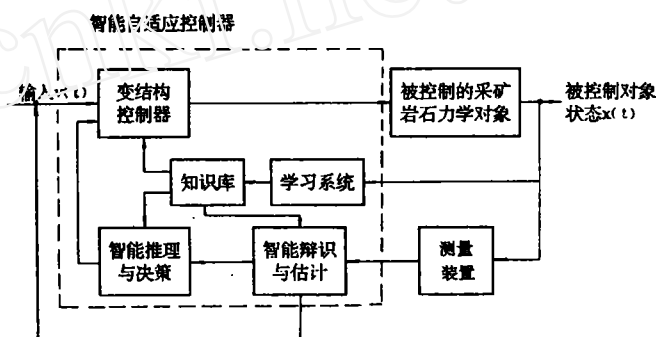


图2 采矿岩石力学智能自适应控制系统

## 三、智能矿山机器人

由于地下开采条件不断恶化和各种矿山设备相继实现计算机控制,地下机器人技术逐渐发展起来。已经出现了几种矿用机器人的样机,如自动化凿岩台车、自动化锚杆机、遥控装载机、程控巷道掘进机。但是,目前矿用机器人还未发展成一种新的采矿方式,在这方面有必要进一步发展。未来的一种发展方向是,研究如何将专家系统、神经网络、模糊逻辑、模式识别以及其它人工智能技术用于无组织性的矿井环境中控制矿山设备,开发适用的智能矿山机器人。这可以体现在以下几个方面:

1. 通过采用触觉一定位一测力矩阵、可编程事后学习控制器的网络和专用工业视觉装置,实现传感技术与机动设备的自适应性。

2. 研究机载微型电子装置与智能型传感器,可

保证实现多道传感,以识别复杂的工艺状况和为机器人导向,使其进入巷道。

3. 根据机械的工作状态改变控制算法,可以稳定机头轨迹,并可使机架成行和保持步距,在时间和空间上协调矿山设备的操作动作。

#### 四、实现突破的关键是思维方式的变革

智能采矿学是基于现代科学理论的综合而提出的新兴研究课题。实现传统采矿到智能采矿学的转变的首要问题是思维方式的变革,必须采用信息时代的系统、不确定、反馈和全方位等新思维方式。这需要将系统的部分要素与整体的关系系统考虑。如采场的稳定性需要综合考虑回采方法、支护方式、爆破方法、原岩应力、上部回采的应力等。

采矿系统具有不确定性,包括随机性、模糊性、未确知性,原始条件是模糊的,有些现象根本无法弄清楚,需要运用不确定性推理方法才能解决问题。因此需要研究学习方法,在实践中不断通过学习来完善采矿知识。

全方位思维要求从不同的途径探索解决问题的方法,主要是采用多学科交叉、渗透的方法,发展新的采矿理论,以攻克采矿难关。要从采矿工艺、生产设备、安全、维护、运输、人员等多方面综合研究,以提高采矿生产效率。

采矿系统本身的某些状态可能是不清楚的,但其过程是可以控制的,通过反馈可以实现系统的稳定性、平衡态的转变、系统的最优控制,通过测量系统的输出状态可以推知系统的输入状态。

上面的实时矿山控制模型和智能岩石力学模型等就是基于这种新思维方式提出来的。

目前,人工智能、神经网络、模糊数学等智能科学的理论已开始应用到采矿中,建立了一些专家系统和智能决策系统;分形、灾变等非线性科学理论已开始用于描述采矿力学中的非线性问题;岩石具有记忆性已进一步明确,并提出了开挖理论;新的岩层控制理论也已提出;新的采矿方法和新的采矿设备不断涌现,与采矿相关的科学理论也有一定的发展,所有这些都为实现高效率的智能采矿这一目标提供了基础。

(责任编辑 刘先曙)

(上接第 17 页)

按照上面的标准,1992 年和 1994 年我国公众符合“理解科学技术对社会影响”标准的分别为 1.9% 和 2.3%,美国为 26.4%。

两次全国性抽样调查表明,我国公众的科学技术素养已产生了极大的变化,正在不断提高。与发达国家相比,我国公众对科学知识的理解虽然相差并不大,但对科学研究过程和方法的理解以及对科学技术对社会影响的理解还存在一定的差距。如果被调查者对科学素养三项指标都能达到标准才算具备了科学素养,从 1992 年的抽样调查看,我国具备科学素养的人仅 0.3%,1994 年仅 0.54%。而美国从 80 年代至 90 年代的调查结果,符合科学素养标准的在 5~7% 之间。米勒教授认为,如果考虑误差和保险因素,美国符合科学素养标准的公众应为 7~9%。鉴于此,我国符合科学素养标准的公众约在 0.5~1% 之间。(注:科学素养的比较是相对的,由于中美文化背景、教育水准和内容、大众媒介导向等诸多因素的差异,必然导致科学素养比较方面的误差。)

美国对多年调查结果的统计分析表明,决定公众科学素养的关键是中学的理科教学。中学是基础教育阶段,文化课包括文科和理科,而上大学后文科学生很少涉及理科内容,所以中学阶段是公众获

得较好科学素养的时期。美国 1990 年的分析得出,符合科学素养标准的,在研究生中占 32% 以上,在获得学士学位的人中占 20%,在高中毕业生中占 4.5%,在高中文化程度以下的人中仅占 0.6%。从学习的专业来看,学过科学课程或数学课程的人符合科学素养的标准的比例要高得多。在被调查者中,学过三门科学课程的有 19.1% 达到标准;学过五门科学课程的有 23.8% 达到标准。1990 年我国的人口统计表明,没有接受过初中教育的人口比例占 67.4%,文盲、半文盲率高达 18.16%,在农村普及九年制义务教育还是一个长期而艰巨的任务。这就是我国公众科学素养比发达国家低的主要原因之一。因此,我国在目前初中教育尚未普及的情况下,大力开展非正规科技教育,普及科学知识和科学方法,是提高我国公众科学素养的关键措施之一。

21 世纪将是人才素质竞争的世纪。普及科学技术,提高公众的科学素养,推动公众理解科学,不仅反映了一个国家和民族重视发展科学技术的程度,也是推进国家现代化建设,促进社会文明与进步的重要环节。公众理解科学,科学更需要公众的参与,这是科学自身发展的趋势,也是社会发展的必然要求。

(责任编辑 肖庆山)