

开放的深井开采复杂巨系统中岩爆灾害研究方法

贾明涛, 潘长良, 王李管

(中南大学资源与安全工程学院, 长沙 410083)

[摘要] 岩爆是深井开采中的主要灾害之一。随着我国矿床开采由地表、浅部向深部转移, 这一问题变得日益突出, 传统的关于深井开采过程中岩爆问题的研究, 由于没有或较少考虑系统整体性, 按照还原论的方法进行, 取得的成果与实际应用之间尚存在较大距离。文章通过对深井开采系统特征的分析研究, 提出深井开采系统是一个典型的开放的复杂巨系统。对于这种系统的研究, 目前行之有效的的方法是采用从定性到定量的综合集成方法, 将专家群体(包括地质专家、采矿专家、系统工程专家、计算机专家、岩石力学专家等)、统计数据和信息资料、计算机技术三者有机结合起来, 构成一个高度智能化的以人为主、人机结合的交互系统。通过集成各种知识, 获得对问题的正确的认识和理解, 才能在工程实践中发挥具体的指导作用。

[关键词] 深井开采; 开放的复杂巨系统; 岩爆; 从定性到定量的综合集成方法

[中图分类号] TD324, X45 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2003)06-0074-05

我国矿山已从浅部转向深部开采, 这其中的岩爆问题变得日益突出, 对其机理及预测预报方法进行研究日益迫切。虽然众多科研机构进行了大量的研究, 因受传统还原论研究方法的限制, 这些研究成果距离实际应用尚存在很大的距离。笔者认为, 深井开采系统是一个开放的复杂巨系统, 对其中岩爆问题的研究必须通过对系统整体的认识及研究, 按照从定性到定量的综合集成方法, 充分利用人们掌握的各种知识、经验、判断及各种数据和信息, 利用以人为主、人机结合的综合技术进行研究。

1 开放的复杂巨系统

1.1 系统及其分类

信息论创始人贝塔郎非认为: 系统是指在一定相互联系中的与环境发生关系的各组成部分的整体^[1]。我国著名学者钱学森则认为: 系统是指由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合成的具有特定功能的有机整体^[2]。通过几十年种种系统工程的实践, 按照钱学森的分类方法, 系统科学已成

为现代科学技术体系十一个组成部分之一, 系统工程则处于科学技术体系三层次中的工程技术层次。

依据不同的原则可以得到不同的系统分类, 钱学森在对社会系统、人体系统、地理系统、军事系统的提炼、概括和总结的基础上, 于1990年提出了新的系统分类方法。根据组成系统的子系统数量和种类的多少, 以及它们之间关联系统的复杂程度, 把系统分为简单系统和巨系统两大类。在巨系统中又分为简单巨系统和复杂巨系统^[3]。

1.2 开放的复杂巨系统及其特征

复杂性问题的研究是当今科学研究的前沿和焦点, 国内外学者对复杂性问题及其研究方法进行了大量的探索并取得了一定的成果。钱学森及其合作者在继承和发扬我国传统文化的精华及国外的先进科技成果, 总结了两弹一星研制、发射等复杂系统工程的实践经验, 以及社会主义建设中各种巨大的复杂系统工程实践基础上, 于20世纪80年代末创造性地提出了开放的复杂巨系统的概念、理论及其方法论^[4], 并于1991年在美国自然杂志上发表

[收稿日期] 2002-10-15

[基金项目] 国家九五科技攻关课题资助项目(96-116-01-01-02)

[作者简介] 贾明涛(1973-), 男, 河南淅川人, 博士, 中南大学讲师

了题为“一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论”，开辟了复杂性研究的新思路，使得系统科学及其应用有了实质性的重大进展。

钱学森认为：开放的复杂巨系统是指那些包含有数量巨大的、种类繁多的子系统，子系统之间具有复杂的相互关系，整个系统具有层次结构并与周围环境之间存在着物质、能量以及信息的交流。对于这类系统由于内部各子系统、各层次、各因素之间的相互联系、相互作用、相互激发，是相当复杂的、非线性的，甚至还有一些偶然的、奇异的、模糊因素的影响。因此，系统的整体性质不是其中子系统性质的简单相加，而是出现了完全不同于子系统特征的突现特征。

这类系统在人类认识世界和改造世界的过程中是普遍存在的。

2 从定性到定量的综合集成方法

不同性质的系统只有采用不同的研究方法，才能确保对研究系统予以科学揭示及合理说明，保证整体系统较优运行。

开放的复杂巨系统由于其不同于一般系统的特征，因此对其研究方法的选择应该本着这样一条原则：“……我们不能用传统的还原论手段来处理它，不能像经典统计物理以及由此派生的处理开放的简单巨系统的方法那样来处理，我们必须依靠宏观观察，只求解决一定时期的发展变化的方法。所以任何一次解答都不可能是一劳永逸的，它只能管一定的时期。过一段时间，宏观情况变了，巨系统成员本身也会有变化，具体的计算参量及其相互关系都会有变化。因此对开放的复杂巨系统，只能作比较短期的预测计算，过了一定时期，要根据新的宏观观察，对方法作新的调整”^[5]。

从当今世界社会形态、科技发展的新趋势、以往工程实践和社会改革的经验教训中，钱学森提出了处理开放的复杂巨系统行之有效的、不同于传统认识手段的新方法——“从定性到定量的综合集成方法”，并把运用这个方法的集体称为“总体设计部”。从定性到定量的综合集成方法与过去工程技术人员常用的“定性定量相结合”的方法有相似之处，但也有很大的区别。其实质是将专家群体（与研究问题有关的各个领域的专家）、统计数据和信息资料、计算机技术三者有机结合起来，构成一个高度智能化的以人为主、人机结合的交互系统。

它具有集成各种知识，实现从感性到理性、由定性到定量转化的功能^[6]。充分发挥由认识主体、认识对象和认识手段所组成的复杂系统的整体优势和综合效应，在动态过程中达到对整体的认识。实现“分析与综合的统一、微观与宏观的统一、定性与定量的统一、整体论与还原论的统一、整体论与矛盾论的统一”，这就是所称的“大成智慧工程”。

在这种人机交互的综合集成方法中，一切与问题有关的先验理论、经验、判断、数据及信息均是获得对系统正确判断及掌握的智慧源泉。人的智能占据着主导地位，通过对系统的整体分析并运用各种知识和数据获得包含大量参数的系统框架模型，通过大量统计数据及信息确定模型的参数，并随着发展变化的过程、数据信息的增多，不断地进行信息反馈、修正模型，使之逐步逼近事物的本来面貌，这个过程的完成需要借助于计算机强大的处理能力，并在处理过程中适时接纳认识主体——人的意见和建议。

实践证明，从定性到定量的综合集成方法（或从定性到定量的综合集成研讨厅体系），是目前揭示开放的复杂巨系统的唯一有效的方法。实际上“开放的复杂巨系统及其方法论”无论其提出的过程还是具体应用，自始至终接受并贯彻着马克思主义哲学的实践论、矛盾论及认识论的观念。通过对一个个特定的、具体的复杂系统的研究，从特殊到一般，理论来自实践、又用于指导实践，并在实践中根据矛盾的发展运动不断修正，以便更好地指导实践。

3 深井开采中岩爆问题研究方法

岩爆是深井矿床开采中的主要灾害问题之一，国内外许多深井矿山均有岩爆发生事件的记录。由于岩爆灾害导致的矿山人员伤亡、设备损坏、生产停顿的情况不一而足。虽然国内外众多科研机构对岩爆发生机理以及预测预报方法进行了大量的研究，取得了一定的成果。但是一个较普遍的认识是：这些结论及成果距离实际应用尚存在很大的距离。尤其在国内外，这种理论到实践、科研成果到生产力转化等方面问题更为突出。笔者认为，深井开采过程中的岩爆问题属于开放的复杂巨系统中出现的地压问题，对于由开采引起的岩爆灾害机理的研究及其预测预报方法必须摒弃传统的还原论方法，不能就事论事，按照简单的、机械论的观点，而必

须通过对事物整体的认识及研究,按照“从定性到定量的综合集成方法”,发挥人的智慧及计算机的功能,充分利用人们掌握的各种知识、经验、判断及各种数据和信息,不过分关注系统的物质结构,而把关注的重点放在对系统的信息特征及其功能特征的认识上,即从“它们是什么的问题”转变到“它们做什么的问题”^[7],最终达到对深井开采岩爆灾害较为准确的预测预报。

3.1 深井开采系统是一个开放的复杂巨系统

岩爆属于动力型地压灾害,其产生与生产系统及生产过程中的各种因素有关,因此其研究不能脱离深井开采生产系统及生产过程这样一个整体系统。

深井开采系统是一个开放的复杂巨系统,其主要有以下几个方面的特点:

1) 系统中子系统数量庞大、种类繁多,与岩爆灾害有关的就有自然系统、生产系统等。每一个子系统又由各自的子系统组成,如自然系统又可分为工程地质子系统、水文地质子系统等,工程地质子系统下又可细分为更多的子系统,如矿岩分布子系统、岩石性质子系统、岩体结构子系统等。生产子系统有开拓、采准、回采、运输、提升、通风、排水、供电等工艺子系统,每一工艺子系统又包含若干工艺环节,如回采工艺中的采场结构、生产规模、开采顺序、开采速度、空区形态等,这些大都与岩爆灾害产生与否有关,与岩爆程度、规模有关。

2) 子系统之间关系复杂。与岩爆灾害有关的各子系统或局部系统之间存在着复杂的关联。这种关联不仅表现在结构上,而且表现在内容上,它是物质、信息、能量的关联。它们之间相互关系对于岩爆的产生与否直接关联,如回采过程中采矿(形成空区)与充填工艺(消除空区)之间在地压方面就表现为地压产生与消灭的关系。

3) 系统的层次性。根据1)的分析,表明系统中各子系统之间具有明显的层次特征。

4) 系统的开放性。在采矿过程中,自始至终存在着人的参与,同时受到外界社会系统、经济系统的影响。采矿不但是不断需要与外界进行大量的物质与能量的交换过程,同时也是一项需要与外界获取、加工、处理信息的过程,与外界之间存在着物质、能量与信息方面的交换^[8]。

5) 系统的动态性。矿床开采是一个动态的过

程,这主要表现在工作地点、生产工艺在时间和空间上的不断推进过程。此动态过程在空间形态上表现为采空区形成和采空区消除的矛盾运动与转化,在地下管理上表现为地压产生和消失的动态运动。

综上所述,可以看出深井开采系统是一个开放的复杂巨系统,地压问题(主要表现为岩爆)是此开放复杂巨系统中产生的问题。对深井开采中的岩爆灾害,必须把它放在开放的深井开采复杂巨系统的整体环境下进行考虑,采用“从定性到定量的综合集成方法”,从传统的“问题出发型”转变到“问题发现型”,变被动型研究思路为主动型研究思路,这样才能克服深井开采矿山岩爆灾害研究与防治的被动性,降低可能由岩爆引起的损失,提高矿山的经济效益。

3.2 深井开采岩爆问题研究中的四个支柱

采用从定性到定量的综合集成方法来研究开放的深井开采复杂巨系统中的岩爆问题,事实上是深井开采采矿问题、岩石力学问题与开放的复杂巨系统问题的结合,必须在三者理论与方法的基础上进行综合研究。按照整体论的观点,把一切与深井开采复杂巨系统中岩爆问题有关的理论、方法、经验、判断、统计数据和数据借助于计算机工具集成起来、统一考虑。这些内容概括起来可分为四个方面,这是深井开采岩爆问题研究中的四个支柱。

1) 理论支柱。对开采过程中可能的岩爆问题进行研究,其主要目的是在保证生产安全性的前提下合理安排生产,并寻求一种较优状态,保证高效、稳定的生产,获得较优的经济效益。很明显,与采矿工艺有关的各种理论、方法,工程地质、岩石力学等理论及方法无疑是该项研究的理论支柱。

2) 经验支柱。所谓经验支柱,是指专家群体的经验知识和判断力^[1],包括采矿、工程地质及岩石力学等领域专家的经验 and 判断。它在解决实际采矿工程设计、施工、生产阶段可能遇到的各种问题起着关键性的作用。事实上,由于采矿工程涉及的自然因素的随机性、不确定性以及采矿过程的离散性、复杂性等,与之有关的各种理论大都是在经过抽象、简化之后得出的结论,在实际应用中往往存在较大的偏差,此时专家的经验及判断就显得至关重要。如在中条山自然崩落法研究中,关于拉底面积,美国专家利用数值分析方法认为至少需要10 000 m²,而我们结合工程地质调查,通过综合分析,认为最多只需4 000 m²就足以引起崩落,

这与后来的生产是非常一致的。

3) 监测支柱。根据前面的论述,从定性到定量的综合集成方法中一个重要的智慧源泉在于大量的统计数据和信息。仪器监测和群众调查是数据、信息获得的重要途径,因此建立起合理的“监测”系统是研究的支柱之一。这里的监测数据和信息包括两个方面的内容,一是由监测网络获取,另一是通过合理的群众调查体系获取。

4) 综合的信息分析与集成技术支柱。无论是理论分析,还是大量的监测、统计数据和信息的获取以及其分析处理,采用人工处理是难以完成的,必须借助于高度发达的计算机技术、甚至是网络技术才能实现这一目标。

3.3 深井开采岩爆问题研究的方法

3.3.1 室内实验与现场调查相结合 主要工作为:

1) 进行现场原岩应力测试,明确矿区原岩应力分布情况,为工程布置及采掘计划提供指导性意见。

2) 深入工程施工期间岩爆现场,调查了解岩爆发生部位、岩石破坏形态、破坏方式等,通过对一线工人的调查,了解岩爆发生前的征兆,为实验室研究岩爆机理、设计施工过程中采取防岩爆措施、监测网布置以及在岩爆发生前采取相应对策提供基础性统计资料。

3) 通过从岩爆发生断面上所采取的岩块以及地质钻孔岩心作为室内试验试样,进行劈裂拉伸试验、单轴压缩条件下的全应力应变试验、峰值前的循环加卸载试验、峰值后的应力松弛试验、室内声发射实验,等等,对矿岩的岩爆倾向性进行分类,提出岩爆发生判据,为数值分析、工程布置、作业计划以及岩爆防范、预测预报系统建立提供依据。

3.3.2 采掘计划、过程模拟与数值分析相结合

在传统的矿山管理或科研模式中,采掘计划的编制与稳定性分析往往是分别进行的。即使有一定的联系,也仅仅是人工提出若干采场结构参数以及回采方案,然后对其进行分析,从中选出稳定性较好的方案及参数进行生产计划的编制。

这种处理模式存在着几个方面的弊端。首先,人工提出若干方案,由于方案较少,可能最合理的方案并没有包纳在预选方案中。其次,进行稳定性分析及优选的方案,一般按照一种理想的状态进行了简化,尽管直观上认为可以达到生产能力,但事实上,由于采矿过程的离散性、回采单元及工艺作

业时间的不一致性或不均匀性,生产能力很难达到,这样的结果靠手工或直观的方法很难发现。此后按照选定方案进行生产势必引起被动局面,需要加大作业采场数量,甚至重新调整结构参数及工艺。如果加大作业采场数量,那么对设备、人员数量的要求必然提高,同时我们知道,岩爆的发生与生产规模是有直接关系的,从安全性上看,无疑增大了岩爆发生的可能性。

因此,为了增强矿山生产的主动性、提高设备利用率及劳动生产率、降低作业成本、保证稳定生产,提高经济效益、增强企业竞争力,有必要把采掘计划、回采过程模拟(仿真)及数值分析结合起来。

具体方法为:编制回采过程动态模拟系统,采用计算机与人工结合的方法,自动产生或人工列举众多结构参数及回采工艺方案,对其回采过程进行模拟,并通过系统内部众多模拟参数的调整,找出生产较稳定、作业采场数较少、设备及人员利用率较高的若干方案,然后通过数值分析软件,考虑回采过程进行稳定性分析,从而最终选择一种最优的、既能满足生产能力,又能保证生产安全性的方案进行生产计划的编制。这个过程在生产期间应该及时进行信息反馈,反复进行。

3.3.3 群众调查与现场监测相结合 在3.2节中已经论述,作为“从定性到定量的综合集成方法”重要的智慧源泉之一的统计数据及信息,在开放的深井开采复杂巨系统的岩爆灾害研究中,包括由监测网络获取的信息以及建立群众调查体系获取的信息等两个方面的内容。

建立群众调查体系是符合马克思主义关于人民群众是历史创造者的原理的。因为群众处在生产及认识的第一线,他们获得的信息是专家或生产管理人员难以获得的。由于这些信息往往是直观的,即使没有专业知识的群众也可以感知和认识,因此,可以通过建立合理的岩爆事件群众调查体系,拟定调查内容,编制相应的工作制度及调查记录表,让处于生产一线的工人予以记录。调查表至少应该包括如下内容:凿岩速度、爆破速度、爆破块度质量等,这是因为在调查研究中发现,在发生岩爆之前,工人在施工时明显感到打眼和爆破都比其他地方容易,而且爆破块度质量更好。

对于监测系统,应该贯彻大范围内长期监测与较小区域和局部部位短期预报的目标。采用以微震

监测系统和短周期地震监测系统为主,以电阻率监测、电磁波监测和便携式声发射仪为辅建立岩爆监测系统。

3.3.4 加强信息综合集成,建立信息分析决策中心 矿床地质模型信息、矿床开采模型信息、回采过程动态模拟系统产生的信息、稳定性分析结果、大量的调查及监测信息等,一方面在数据特征、存储结构上存在着不同;另一方面,如何从大量的知识、经验、信息、判断中得到有价值的结论,做出准确的判断,并指导下一步工作,这都要求加强协调、统一规划、提高信息共享程度及分析处理能力。

实现这一目标,建立综合集成系统是非常必要和重要的。建立的系统应具备如下功能^[9]:网络集成管理数据集成管理、应用集成管理和用户集成管理。用户集成管理通过网络集成管理和研讨过程来实现。

4 结语

岩爆是深井开采中遇到的主要灾害之一,对其进行研究具有重要的理论与实践意义。笔者认为岩爆属于开放的深井开采复杂巨系统中的问题,

其研究应该在系统整体下,按照从定性到定量的综合集成方法进行研究,才能得出有价值的结论,文中对这方面的问题进行了详细的论述,提出了具体的研究思路及方法。

参考文献

- [1] 杨志法,王思敬.工程地质学一个新的研究方向[J].地质灾害与环境保护,1996,3(1):1~6
- [2] 钱学森,等.论系统工程[J].长沙:湖南科技出版社,1998
- [3] 冯根尧.开放复杂巨系统及其方法论[J].汉中师范学院学报,1997,9(3):18~21
- [4] 钱学敏.论钱学森的大成智慧学[J].中国工程科学,2002,3(3):6~15
- [5] 钱学森.第68次香山科学会议书面发言.1996
- [6] 于景元.钱学森关于开放的复杂巨系统的研究[J].系统工程理论与实践,1992,9(5):8~12
- [7] 李夏,戴汝为.突现(emergence)——系统研究的新观念[J].控制与决策,1999,3(2):97~101
- [8] 魏一鸣,刘敏,童光煦.矿床开发决策多目标集成方法[J].黄金,1997,3(3):16~19
- [9] 胡晓慧.研讨厅系统实现方法及技术的研究[J].系统工程理论与实践,2002,6(6):1~10

The Research Methods for the Rockburst Disaster in the Open Complex Giant System of Deep Deposit Exploitation

Jia Mingtao, Pan Changliang, Wang Liguan

(Central South University, Changsha 410083, China)

[Abstract] Rockburst is one of the disasters in the course of deep deposit exploitation. The problem becomes more and more outstanding with the exploitation from the surface to the depth. Because traditional research methods didn't or seldom consider the whole system, there is a longer distance between the conclusion and the actual application. Being based on the analysis of the system characters, the paper puts forward that the deep deposit exploitation system is an open complex giant system. Recently, one of the effective methods is meta-synthesis engineering for this kind of problem. The essence of this method is to band the experts group, statistic data and other information and computer techniques together, forming a highly intelligent human-computer complex system where human intelligence is in the primary status. The detailed research methods and thoughts about rockburst disaster were discussed in this paper.

[Key words] deep deposit exploitation; open complex giant system; rockburst disaster; meta synthesis