

RFPA 数值模拟分析软件系统应用的价值前景分析与经济评价

刘建兴¹, 孙鹏²

(1. 福州大学紫金矿业学院, 福州 350108;
2. 东北大学资源与生态经济研究中心, 沈阳 110004)

摘要: RFPA (rock failure process analysis) 软件作为一种早已投入使用的研究岩石破坏过程的有力分析工具, 依据自身不断发展升级的优良品性, 目前在理论分析研究和参与解决实际工程问题的能力方面均有了很大的提高。该软件已经得到了国内外同行专家的认可。可以预见, 随着研究队伍的不断壮大、研究水平的不断提高和软件功能的进一步增强, 未来 RFPA 软件也必将发挥更大的作用。本文试图就其理论价值和前景作出分析, 以探寻其战略发展之路。

关键词: 采矿工程; RFPA 数值模拟分析软件系统; 理论方法基础; 前景分析

中图分类号: F062.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-2850(2008)00-0687-5

The prospective analysis and economic evaluation on the RFPA numerical value analogue analysis system

LIU Jianxing, SUN Peng

(1. *College of Zijin Mining, Fuzhou University, Fuzhou 350108;*
2. *Resources and Ecological Economics Research Center, Northeastern University, Shenyang 110004*)

Abstract: As one of analysis tools to research the process of failure about the rock, rock failure process analysis (RFPA) had been used to practice in many situations. Since, the soft ware has a good character to upgrade its own continuously, and the capacity has been improved either in research on the analysis of theory or in solving the engineering problem in practice. Up to now, it has received the acknowledged fact in its field from the domestic experts and abroad. It is reasonable to foresee that RFPA in the future will be valued more than present and with the expanded terms and abilities improved step by step. This paper discovered the approach on stratagem analyzing the value of theory and the prospect of application.

Key words: mining engineering; RFPA numerical value analogue analysis system; the basis of theory & means; the prospective analysis

0 引言

随着人类物质需求的不断增加, 地球上的自然资源已经“供不应求”。一方面, 许多资源总量明显地呈现短缺的局面。专家预测, 未来 20 年中国钢铁缺口总量将达 30 亿 t, 铜超过 5 000 万 t, 精炼铝缺口 1 亿 t。今后的 20 年, 中国实现工业化, 石油、天然气、铜、铝矿产资源累计需求总量至少是目前储量的 2~5 倍^[1]。另一方面, 大力开发矿产资源的后果, 造成一系列的地压活动及露天边坡的失稳, 不仅给采矿生产带来了巨大的危害, 破坏了地质和生态环境, 同时还造成了资源的极大浪费。美国宾汉姆康诺露天矿在采深 467 m 处发生大面积边坡失稳, 滑坡量 1 600 万 t, 造成露天矿坑一半以上被淹没。我国抚顺西露天煤矿在 1949~1985 年间从滑坡区清理出的岩石量达 7 500 万 m³。大冶铁矿在 1967~1979 年间共发

作者简介: 刘建兴 (1972—), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向: 资源、矿业经济与可持续发展, E-mail: liujx1972@163.com

生不同规模的滑坡 25 次。鞍钢弓长岭铁矿井下矿通峒区于 1956 年 8 月发生的大规模地压活动, 导致一开拓竖井报废, 井下生产被迫停止两年, 大量矿石被压在岩石移动区内造成损失^[1]。在文献[1]中有关专家指出, 我国制定全球矿产资源战略, 其中很重要的一个目标是“由粗放式开发利用资源向集约开发、节约资源和有效提高资源利用率的跨越式消费方式转变”。事实上, 无论是提高矿产资源回收利用率、保证矿山安全作业, 还是保护地质环境、对新技术的开发与应用都提出了迫切的要求。在露天边坡工程与地压控制方面, 常用的研究方法有解析法、模拟法及现场观测(物理实验)法等几种。理论上用现场观测获得第一手资料的方法最好, 但是基于矿业工程的复杂性, 在很多情况下难以实现。与此相反, 随着科学技术的发展, 计算机技术的广泛应用, 数值模拟技术在解决和评价矿山工程岩体稳定性评价的问题上也取得了较大的发展和应用。通过研究岩石的破坏过程机理, 模拟再现、分析预测岩石的破坏过程, 无疑对矿山采矿工程有着极为重要的意义。这些研究正是东北大学岩石破裂与失稳研究中心(CRISR, Center for Rock Instability and Seismicity Research)所要开展的重要工作之一。RFPA 岩石破坏过程分析软件系统即是该中心自主开发的一种研究岩石破坏过程的有力分析工具。

1 RFPA 岩石破坏过程分析软件系统理论基础和发展现状

1.1 RFPA 岩石破坏过程分析系统及其理论方法基础

为解决岩石破裂过程的分析, 通常采用有限差分法、有限单元法、边界元法、半解析法和离散元法等数值模拟方法。1995 年东北大学岩石破裂与失稳研究中心(CRISR)的唐春安教授基于有限元基本理论, 充分考虑岩石破裂过程中伴随的非线性、非均匀性特点, 提出新的数值模拟方法 RFPA (rock failure process analysis), 其要点参见该软件的帮助介绍(岩石破裂过程分析系统, Win'95/NT 版用户手册)。该软件系统用包含缺陷的微元体和没有或者缺陷较少的微元体之间表现出极大的离散性来描述微元体力学属性, 这样非均质、不连续的岩石能够被近似地描述。而构成岩石的每一个微元体可以被认为是均质、连续的, 其力学属性可以用弹性力学的方法来解决, 即用连续介质的力学方法解决了非连续的问题。通过有限单元法实现了对岩石材料变形, 微破裂, 再到宏观破坏全过程的模拟。其强大的生命力正是在于对研究对象“复杂性”——“不连续性”的不断挑战, 该问题处于当代岩石力学理论的前沿。

1.2 RFPA 岩石破坏过程分析软件系统的现状及发展

岩石力学是伴随着采矿、土木、水利和交通等岩石工程的建设及数学、力学等学科的进步而逐步发展起来的新兴学科。起初的理论是用来解决岩体开挖的力学计算问题。1912 年 HEIM 提出了静水压力理论, 但这一理论随着开挖深度的增加出现了越来越大的误差。后来为分析地下工程支护问题, 该理论结合经验提出了地压理论(开始用材料力学和结构力学的方法)。最有代表性的理论是自然平衡拱学说, 即普氏理论。虽然在一定条件下(松散地层压力)具有适用性, 但是由于该理论对于围岩破坏形式及受力分析认识不足, 在实际支护应用中有很大的局限性。20 世纪 30~60 年代形成了“连续介质理论”和“地质力学理论”两大派别。其中, 连续介质理论是以固体力学作为基础, 从材料的基本力学性质出发来认识岩石工程的稳定问题, 这是认识方法上的重要进展, 抓住了岩石工程计算的本质问题。从大范围、大尺度上看, 岩体可以看作是连续介质^[3], 但传统的连续介质理论对岩石工程的不确定因素和地应力考虑不足, 难以解决岩石工程问题。20 世纪 60 年代以后(现代发展阶段), 岩石力学的理论和实践得到了很大发展, “不连续性”成为岩石力学的重点。随着计算机技术的广泛应用, 流变学、断裂力学、非连续介质力学、数值方法、灰色理论、人工智能和非线性理论等各种理论百花齐放, 纷彩相呈。其中 20 世纪 70 年代出现、80 年代得到较快发展的数值计算方法成为岩石力学分析计算的主要手段, 在矿山岩石力学应用中获得许多成果。RFPA 系统正是在这样的背景下产生的。

RFPA 软件系统的分析方法起初作为一种教学实验和研究的辅助工具出现, 是近些年用于研究岩石破坏过程分析数值计算和数值模拟的一种新方法, 它将细观力学方法与数值计算方法有机结合起来,

通过考虑非均匀性特点，研究岩石的非线性力学行为，是一种运用连续介质力学方法解决非连续介质力学问题的新型数值分析方法，为岩石的非线性力学响应和破坏过程的分析与模拟提供了有用和方便的工具，KAISER^[4]称其为“极具前景的数值计算方法”。

1995 年至今，历经 10 余年的发展建设，RFPA 系统的发展轮廓已显现端倪。专家队伍不断扩大，理论水平不断提高。现已与加拿大、瑞典等国进行合作研究，并成立了实验室和研究基地，进一步促进了 RFPA 软件系统的发展。

伴随着 CRISR 的不断建设和发展，岩石破坏过程分析软件系统从最初的数值模拟软件到 RFPA'98，再发展到现在的 DRFPA、RFPA2003 版，除了软件开发界面环境得到不断的改进外，计算功能更加强大，研究的领域也在不断的拓展和细分。作为该软件的支撑载体“材料破坏力学数值实验室”顺利通过教育部专家组的验收并得到专家组的充分肯定。

在外部支持方面的宏观层面上，由于全球生态问题和可持续发展问题日益突出，我国可持续发展战略中明确指明了长远目标是“重点恢复和健全中国经济—社会—生态系统调控能力，使中国经济、社会发展保持在环境和资源的承受能力之内，探索一条适合我国国情的高效、和谐、可持续发展的现代化道路，对全球的可持续发展进程做出应有的贡献”。可见，要实现经济持续、快速、健康发展的目标必然离不开科技生产力的推动，对于生态环境有明显影响作用的岩土工程更是一个需要关注和发展的重点。微观层面上，高校对于 CRISR 建设发展也给予了莫大的支持和鼓励，211 岩石力学重点实验室的建设仅仅是一个开始，在今后随着 CRISR 的建设与发展，RFPA 软件系统的发展前景将更为广阔。

2 RFPA 岩石破坏过程分析软件系统发展前景的战略规划

2.1 系统构成

将 RFPA 岩石破坏过程分析软件系统看作是一个研究对象，从发展和全局的角度出发，组建结构如图 1 所示。

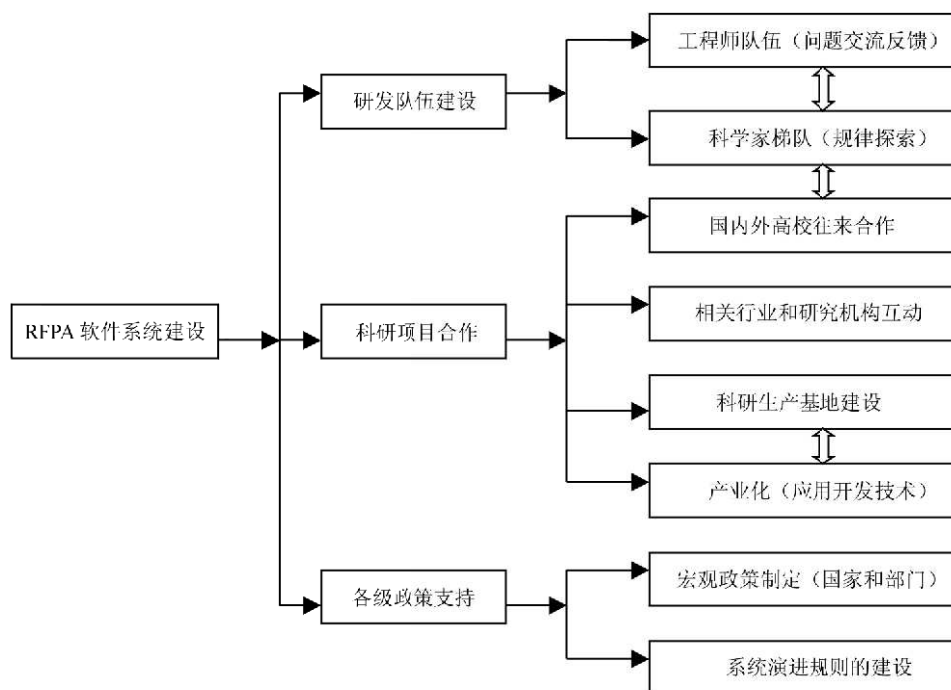


图 1 RFPA 软件系统建设结构示意图
Fig. 1 Structure of building RFPA software system

2.2 研究所涉汲的工程领域和范围

矿山工程方面,包括边坡治理、巷道支护、采场地压、地下水危害预防和岩爆等项目;除此之外,还包括水力工程上大坝的建设与灾害预防、隧道工程、地铁工程和地震灾害的研究与治理等项目。随着该软件系统的逐步完善,今后的研究从二维到三维,从静态到动态,从事后模拟到事前预测,从单元划分几万单元到更大范围,该系统将更高效地完成更大规模的计算,更准确地完成更多复杂的现实工程问题。

2.3 RFPA 软件系统的发展前景战略规划构思

将该系统作为一个有发展目标的实体(公司)考虑,其创造的有形和无形价值作为其产品和服务,设想该软件系统企业化运营的思路。可以做以下分析:

1) 内外部环境分析

外部环境:从需求出发考察,预测相关行业市场需求状况,考虑国家和行业研发支出、专利保护、新产品新技术的商业化,研究环保法及外企政策、市场运行机制和教育文化水平状况。该部分内容在发展现状中已作粗线条勾勒。

内部环境:系统内部的状况包括组织结构、管理者数量和素质、研发人员队伍及水平、产品自身产业化开发价值(包括生产可能性与成长性),同行“产品”调查并与自己做优劣势比较;系统内部可能遇到的环境问题。

2) 确定宗旨

确定系统宗旨即使命,对确定经营理念、领域和目标具有指导作用。建立市场和服务理念是矿产资源部门及岩土工程领域的支撑。系统将以岩石破坏过程研究和技术开发、服务作为主要经营方向,把研究目标设定为科研基础方面即探究岩石的力学性质和属性、各种破坏过程和机理(不确定性和不连续性)的合理解释,并完成理论的技术转化,建立先进、完善的技术解决方案。

3) 设置战略目标

由于该领域具有很大的发展前景,因此选择发展性的战略。考虑到专业性较强,可以选择密集型发展战略,即通过现有及开发的新生产或服务能力,扩大产品和服务的市场领地、份额,集中优势力量,实现专业化市场的开拓。

4) 制定战略

总体上,系统(公司)采用内部发展和合资经营战略,经营上,采用集中化战略,即确定经营产品范围为特定的专业市场领域。

5) 制定政策

上述各项确定后,制定具体的政策进入实施阶段。

3 软件系统的经济性定性分析和评价

随着计算机科学的进步,人力资本的价值将逐渐体现出来。本文所研究的系统价值含量集中于此,不便做定量的分析和考察;但是通过对比分析,很明显物理实验和现场观测的方法已退居研究的始端,创造实际工程价值的高端显然在于对工程的分析研究和预测评价上,而且许多工程无法采用传统的试验方法完成,只是采用一些近似的手段,所以结果也往往有很大程度的失真,而数值分析具有动态仿真的效果,通过建立理论和经验的模型,可以预见未来该软件系统的发展之路,正是在不断解决个案基础上逐渐完善和丰富起来的。而案例的映证过程本身就是其使用价值的体现,并能由此进一步促进系统的优化发展。

4 结论

本文通过对支持 RFPA 岩石破坏过程分析系统的岩石基本理论分析,论证了该系统具有发展的潜

力。将该系统看作是可以运作的发展实体对其发展和现状作出分析，对其发展前景也作了初步设想。这项工作具有一定的意义。

[参考文献] (References)

- [1] 于莘明, 曹菲. 未来 20 年中国将面临矿产资源短缺的分析报告[N]. 科技日报, 2002-12-8.
YU X M, CAO F. Analysis report of the mineral resource short situation China will face in the future of 20 years [N]. Science and Technology Daily, 2002-12-8.
- [2] 郑永学. 采场地压与边坡工程 (工程岩体力学)[M]. 沈阳: 东北工学院出版社, 1992.
ZHENG Y X. Stope ground pressure and slope engineering (rock mechanical engineering)[M]. Shenyang: Northeast Institute of Technology Press, 1992.
- [3] 蔡美峰. 岩石力学与工程[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
CAI M F. Rock mechanics and engineering[M]. Beijing: Science Press, 2002.
- [4] 唐春安, 赵文. 岩石破裂全过程分析软件系统 RFPA2D[J]. 岩石力学与工程学报, 1997, 16 (5): 507~508.
TANG C A, ZHAO W. RFPA2D system for rock failure process analysis[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 1997, 16(5): 507~508. (in Chinese)