

# 精细爆破发展现状及展望

谢先启<sup>1,2</sup>

(1. 武汉市市政建设集团有限公司, 武汉 430023; 2. 武汉爆破有限公司, 武汉 430023)

**[摘要]** “精细爆破”作为一个有别于传统“控制爆破”的概念,被认为是工程爆破发展新阶段的标志。简要介绍了精细爆破的定义、内涵和技术体系,以及自提出以来在我国的应用与发展现状。关于精细爆破的未来发展,建议从4个方面开展研究:加强多学科的基础理论研究,为精细控制炸药爆炸能量的释放和量化爆破设计提供理论支撑;以爆破对象的数字化研究与应用为切入点,开展精细爆破与信息化技术的融合研究;加强数值模拟精细化研究,为爆破方案的优化和爆破危害效应预测预报提供更有力的技术手段;加强精细爆破施工现代化和标准化建设。

**[关键词]** 精细爆破;现状;信息化;标准化;展望

**[中图分类号]** TU443 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2014)11-0014-06

## 1 前言

我国工程爆破技术的发展与国家经济建设的需要密不可分,工程爆破技术已成为我国经济社会建设中不可缺少的重要支撑技术之一。笔者在大量理论研究和工程实践基础之上,基于我国工程爆破领域取得的最新研究成果,并结合不同行业、不同领域对工程爆破的需求,提出了精细爆破的理念并初步建立了其技术体系。2008年4月,中国工程爆破协会在武汉召开了“精细爆破”研讨会;2009年9月,湖北省科技厅在武汉组织召开了“精细爆破”成果鉴定会,与会专家一致认为“精细爆破是我国工程爆破发展新阶段的标志,必将对我国工程爆破技术的发展产生深远的影响”。精细爆破自提出至今,虽只有6年多时间,但它已逐步被我国工程爆破行业所认可并推广应用,取得的经济和社会效益是十分显著的。

当前,我们所面临的是一个知识爆炸的时代,新理论、新技术、新材料日新月异,同时,以4G和物联网为主要特征的新信息时代给各行业、各领域带

来了机遇和挑战,精细爆破未来如何发展,是我们必须面对并思考的课题。

## 2 精细爆破的发展现状

### 2.1 精细爆破定义与内涵<sup>[1]</sup>

#### 2.1.1 精细爆破定义

精细爆破是指通过量化的爆破设计、精心的爆破施工和精细化的管理,进行炸药爆炸能量释放与介质破碎、抛掷等过程的精密控制,既达到预期的爆破效果,又实现爆破有害效应的有效控制,最终实现安全可靠、技术先进、绿色环保及经济合理的爆破作业。

#### 2.1.2 精细爆破的内涵

精细爆破秉承了传统控制爆破的理念,但二者又存在显著的区别。

精细爆破的目标比传统控制爆破的目标更高,既要求爆破过程或效果更加可控、危害效应更低、安全性更高,又要求爆破过程对环境影响更小、经济效果更佳。

精细爆破不仅是一种爆破方法,而且是含义更

**[收稿日期]** 2014-08-25

**[作者简介]** 谢先启,1960年出生,男,湖北洪湖市人,教授级高级工程师,博士生导师,主要从事工程爆破理论与工程实践工作;

E-mail: xxqblast@163.com

为广泛的一种理念。精细爆破不仅含有精确精准,也含有模糊方面的内容,这种模糊并不代表不清晰,而是模糊理论在爆破领域的应用;精细爆破不仅是细心细致,更是一种态度,一种文化。

精细爆破涵盖了有关爆破的技术、生产、管理、安全、环保、经济等方方面面的内容,是一个发展的概念,更是一个包容的概念,它将吸收最新科技成果的营养,融合发展,共同进步。

## 2.2 精细爆破技术体系

精细爆破不是一项单纯的爆破技术,它是一项系统工程,是一种技术体系。笔者提出的精细爆破技术体系包括:目标、关键技术、支撑体系、综合评估体系和监理体系五个方面,其中,目标是方向,关键技术是核心,支撑体系是基础,综合评估体系和监理体系是保障。精细爆破的核心即关键技术,主要包括四个部分,即量化设计、精心施工、精细管理和实时监测与反馈等:a. 量化设计:包括爆破对象的综合分析、爆破参数的定量选择与确定、爆破效果和爆破有害效应的定量预测与预报;b. 精心施工:包括精确的测量放样、钻孔定位与炮孔精度控制、爆破设计与爆破作业流程的优化;c. 精细管理:运用程序化、标准化和数字化等现代管理技术,实施人力资源管理、质量安全管理和成本管理等,使爆破工作能精确、高效、协同和持续地工作;d. 实时监测与反馈:包括爆破块度和堆积范围等爆破效果的快速量测、爆破效应的跟踪监测与信息反馈以及基于反馈信息的爆破方案和参数优化。精细爆破技术体系略图如图1所示。

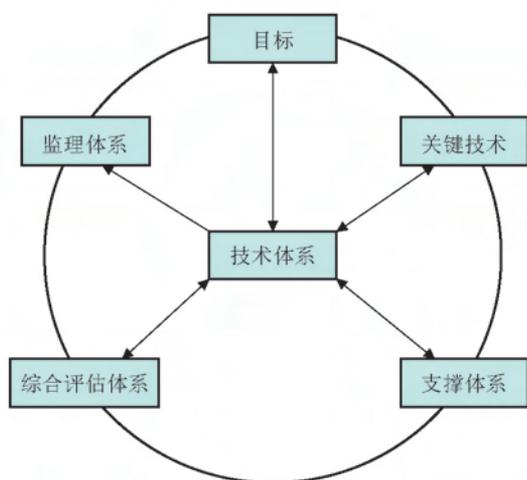


图1 精细爆破技术体系略图

Fig. 1 Technology system diagram of precision blasting

## 2.3 精细爆破的应用与发展

精细爆破自提出以来,已获得国内外爆破界同仁的广泛认可,并在不同行业的爆破工程中得到应用并取得了良好的效果。同时,许多专家学者和工程技术人员围绕精细爆破技术体系,通过理论研究和关键技术研发,在爆破技术和管理等方面取得了丰硕的成果,极大地丰富和延伸了精细爆破的内涵和外延。

### 2.3.1 精细爆破的核心内容已成为行业标准

精细爆破的核心内容已被电力行业标准《水电水利工程爆破安全监测规程》(DL/T 5333—2005)、《水工建筑物岩石基础开挖工程施工技术规范》(DL/T 5389—2007)等采用,上述举措大大推动了行业进步,提升了行业的核心竞争力。我国爆破行业首部工具书《爆破手册》、全国工程爆破技术人员统一培训教材《爆破设计与施工》也将精细爆破的核心内容收录在内。后者还专门列为一节介绍了“精细爆破的定义与内涵;精细爆破的技术体系”。精细爆破已成为爆破工程技术人员必须了解的专业知识之一。

### 2.3.2 践行精细爆破理念的精品爆破工程不断涌现

#### 2.3.2.1 拆除爆破

基于精细爆破的关键技术,结合3.5 km沌阳高架桥爆破拆除工程,武汉爆破有限公司围绕复杂环境下城市超长高架桥爆破拆除的量化设计、精细管理和有害效应实时监控量测等内容展开研究。通过建立高架桥倒塌的动力学模型,研究了高架桥的连续垮塌机理,提出了物理模型试验方法,为爆破方案和爆破参数量化设计提供了理论和试验支撑;建立了非电导爆管起爆网路延期时间期望值和交叉复式起爆网路可靠度计算公式,并研发了“宽间隔、超长延时、互动有序”城市超长高架桥非电导爆管接力式起爆网路技术,使超长延时非电起爆网路的可靠度大于99.99%;建立了城市超长高架桥爆破拆除有害效应控制和监测技术体系,确保了复杂环境下超长高架桥爆破拆除的安全性和环保性。基于这些研究成果,成功实施了世界上最长城市高架桥——武汉沌阳3.5 km高架桥爆破拆除工程。被认为是“精细爆破的成功典范”,其成果丰富和发展了拆除爆破的基础理论和技术体系(见图2和图3)。



图2 3.5 km 沌阳高架桥物理模型试验

Fig. 2 Physical model tests of 3.5 km Zhuanyang viaduct



图3 3.5 km 沌阳高架桥起爆瞬间

Fig. 3 Initiate explosive moment at 3.5 km Zhuanyang viaduct

### 2.3.2.2 水利水电爆破

水利水电工程在防洪、发电、航运、灌溉等方面发挥着独特、巨大的作用,而工程爆破则是其主体工程第一道极具科技含量的关键施工环节。在水利水电工程爆破初、中期,因处于市场竞争意识薄弱的计划经济时代和受工程爆破技术的局限,对工程爆破质量、工期、安全和成本控制等各方面要求不是很高,这直接导致相当一部分人认为工程爆破是一种技术粗糙、管理粗放的工作。这种认知体现到具体爆破工作中,带来的是爆破超欠挖严重、开挖工期迟缓或拖延、爆破安全事故频发、施工成本超支等不利后果。20世纪90年代末期,随着我国水利水电行业进入快速发展期,在长江科学院、中国水利水电第七、十四工程局有限公司等科研和生产等单位的推动下,精细爆破理念在水利水电行业被广泛认可并得到迅速推广应用,在水电站高陡边

坡、地下厂房和水下爆破等领域涌现出一批爆破精品工程<sup>[2,3]</sup>(见图4和图5)。



图4 柘溪水电站进水口挡水岩坎爆破

Fig. 4 Demolition blasting for rock bank of Zhexi hydropower plant



图5 向家坝水电站右坝肩精细爆破开挖效果

Fig. 5 Precision blasting excavation effect of right dam slot of Xiangjiaba hydropower plant

### 2.3.3 精细爆破在矿山的应用——数字矿山(digital mine)

数字矿山是建立在数字化、信息化、虚拟化、智能化和集成化基础上的,由计算机网络管理的管控一体化系统。它是信息化、虚拟化矿山,是用信息化和数字化的方法来研究和构建矿山,是矿山的人类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<sup>[4-6]</sup>。可以说,数字矿山是精细爆破在矿山和岩土爆破领域的应用典范。

大红山铜矿通过应用Dimine数字矿山软件平台,建立了矿山地质模型和工程实体模型,以三维形态直观可视地反映矿山的地质情况及开采环境。并以此为基础开展三维采矿设计、测量数字自动成图、数字化的资源储量管理等应用工作,极大

地提高了地质、测量、采矿等各专业工作的精度和效率<sup>[7]</sup>(见图6和图7)。

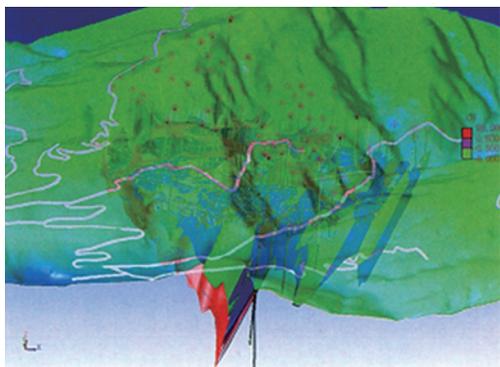


图6 大红山铜矿三维可视化模型

Fig. 6 Three dimension visual model of Dahongshan mine

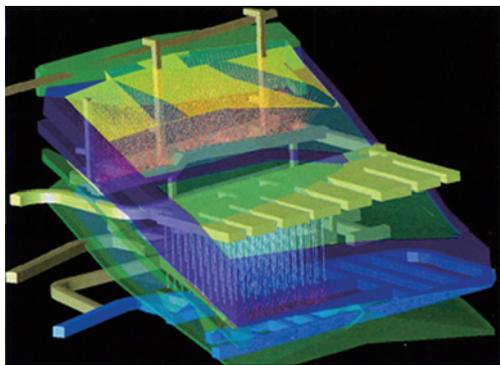


图7 三维采矿模型

Fig. 7 Three dimension model of mining

#### 2.3.4 精细爆破外延的升华——基于物联网的智能爆破概念

智能爆破是以物联网为核心的新一代信息技术为基础,实现对爆破行业全生命周期的数字化、可视化及智能化,将新一代信息技术与现代爆破行业技术紧密相结合,构成人与人、人与物、物与物相连的网络,动态详尽地描述并控制爆破行业全生命周期,以高效、安全、绿色爆破为目标,保证爆破行业的科学发展<sup>[8-11]</sup>。

1)爆破设计。地质勘探和测量新技术、新设备的出现,使爆破前可以获得更为详细和可靠的地质和地形等爆破条件,为破碎和抛掷堆积等爆破效果的正确预测提供保证;动光弹、高速摄影、钻孔电视、岩石CT和激光扫描等量测和监测设备和技术的进步,为爆破效果与爆破损伤效应的检测与量化评价提供了可能,为水利水电量化爆破设计和爆破有害效应的合理控制提供了技术支持。建立露天

(地下)爆破智能化设计系统,综合利用正向对象技术、地理信息系统、虚拟现实技术、多维数据库理论和地质统计学方法,进行现场条件下的爆破参数设计、爆破过程的数值模拟和爆破效果预测。

2)爆破器材管理。爆破器材智能管理中的重要组成部分——智能追溯系统,主要包括爆破器材追溯管理、追溯应用子系统、全生命周期检验监控管理、重点场所视频监控管理和爆破器材流通监管等内容。

3)爆破现场监测管理。爆破现场智能监测管理重要组成部分——爆破全程智能监控系统。采用物联网技术的爆破全程智能监控系统是实现爆破安全的又一大重要举措。

4)爆破振动监测与分析。优良的便携式和遥控式爆破振动监测设备的出现,能实现地面振动数据的实时采集、传输与快速的资料分析,使得重要工程开展爆破振动等有害效应的跟踪监测及监测信息快速反馈成为可能;在爆破现场采集的爆破振动数据,实时传输到爆破远程测振系统进行数据处理。系统初步建立“测振网格”,采用计算机网格技术使得分布在各地的测振工作站可实时进行数据交换,共同完成爆破测振计算任务的自动分析和处理,使计算处理的速度大大提高。

### 3 对精细爆破未来发展的几点建议

党的“十八大”明确提出,要实施“创新驱动发展”战略。这是我们党放眼世界、立足全局、面向未来作出的重大决策。针对精细爆破的发展现状,结合现有技术水平尚不能满足精细爆破技术需求的客观现实,我们唯有以更开阔的视野谋划和推动自主创新,着力增强创新驱动发展新动力,方能加快精细爆破的发展和应用。笔者建议从以下几个方面加强研究。

1)加强岩石爆破动力学、结构(动)力学、爆炸力学、非线性碰撞、振动力学和地质学等多学科的基础理论研究,为精细控制炸药爆炸能量的释放和定量化爆破设计提供理论支撑。

中国工程院汪旭光院士在中国第十届工程爆破学术会议报告《中国爆破技术现状与发展》中指出,“研究炸药能量转化过程中的精密控制技术,提高炸药能量利用率,降低爆破有害效应是新世纪工程爆破的发展战略”。为此,在建立地质体、钢筋混凝土、金属材料等各种介质,在爆炸强冲击动载荷

作用下本构关系的基础上,选择与介质匹配的炸药、不耦合装药、逐孔起爆技术等实用技术,研究提高炸药能量利用率的新工艺、新技术,最大限度地降低能量转化过程中的损失,控制其对周围环境的有害影响。

2)以爆破对象的数字化研究与应用为切入点,开展精细爆破与信息化技术的融合研究。

(1)传统的爆破设计仍依赖图纸,通过专业的绘图反映爆破对象的基本特征以及爆破设计方案与参数,图纸实现了爆破工程设计与施工环节的信息共享与传递。在新信息时代,随着数字化技术的发展,爆破对象的描述将发生根本的变化。通过先进的摄影测量和激光扫描技术,山体、建筑、爆破加工材料等爆破对象将实现快速且精细的数字化,同时通过后期的后处理还可在数字化对象上附加丰富的信息。爆破对象的数字化可为智能化设计和自动化施工提供关键的基础信息。

在土石方爆破工程中,爆破对象的三维数字模型可附加地层分层、岩体的可爆性、可钻性等重要信息,而通过计算机辅助设计技术,进行设计断面的精细剖分,进而可精确地设计炮孔的间排距和炮孔的装药结构,并利用先进的钻机实现炮孔的精确定位。

在拆除爆破工程中,爆破对象的三维数字模型可附加如建筑物的配筋、材料强度等爆破设计所需要的信息。而精细化的数字模型为建(构)筑物爆破拆除中,建(构)筑物爆破拆除塌落模式、爆破参数、爆破网络的计算机智能模拟和设计提供数据基础。同时,精细化的数字模型也为智能机器人进行建筑物爆破的钻孔、装药和联网提供了可能。

在特种爆破方面,精确的数字化可使爆破对象的机械加工更加精细,并通过数字化技术和自动化等技术,实现炸药药量和爆炸过程的精确控制,实现对复杂结构的爆破加工或实现复杂的特种爆破过程。

(2)基于计算机、通讯、软件、数据库、网络、网络、GPS/GIS(卫星定位技术/地理信息)、CA身份认证(数字认证)等高新技术,建立多层次、多专业的行业数据库,实现信息互联互通、资源共享。

(3)加快对云计算、大数据等新兴信息技术与爆破技术的融合研究。

3)加强爆破数值模拟精细化研究,为爆破方案

的优化和爆破危害效应预测预报提供更有力的技术手段,并力求更贴近工程实际。

爆破过程的数值模拟就是采用模拟方法,以不同的数值方法为手段,求得爆破过程的模型解。数值模拟不再是理论分析和实验研究的辅助手段,而是独立于它们的基本科研活动。数值模拟和实验、理论分析已构成认识爆炸力学,甚至整个力学问题的3种有效方法,已成为人类认识世界的第三种手段。

爆破数值模拟的未来发展是数值模拟的精细化,主要表现在数学模型的精细化、数值方法的多样化。其最终目的是使计算结果更接近工程实际。

数值模拟的精细化是指节理裂隙岩体的爆破数值模拟代替均质、完整岩体的数值模拟。

数值方法的多样化是指在已有的有限元法(FEM)、有限差分法(FDM)和离散元法(DEM)等模拟方法的基础上,开发出适合于岩体爆破、拆除爆破、特种爆破等不同类别的多种数值方法。

4)加强精细爆破施工现代化和标准化建设。

精心的施工和精细化的管理是精细爆破的关键技术之一,精细化施工和管理的发展趋势就是施工现代化和标准化。

(1)精细爆破施工现代化是一个整体概念,包括管理思想、管理组织、管理方法和管理手段的现代化。

(2)精细爆破施工现代化的重要依托是:科学理论的应用和飞速发展的计算机水平。科学理论的应用是指系统论、信息论、控制论、数理统计、运筹学等科学原理在管理实践中的应用。计算机的水平更是影响现代管理方法应用效果的关键。

(3)精细爆破施工标准化就是借鉴工业生产标准化的理念,通过引进系统理论对施工现场安全生产、文明施工、质量管理、工程监理等内容进行整合熔炼,形成密切相关的爆破施工管理新体系。其目的就是以实施管理标准化为突破口,全面改革爆破施工现场管理方式和施工组织形式,以提高爆破施工的管理水平。

(4)标准化建设。为提高工作效率和质量,必须建立完整的标准化体系,才能满足当前技术、管理、生产各方面标准化的需求。标准化体系可以包括以下4项内容:管理制度的标准化;人员配备标准化;现场管理标准化和过程控制标准化。

## 4 结语

精细爆破作为我国工程爆破的发展方向,已获得爆破界同仁的广泛认可,并在不同行业的爆破工程中得到推广和应用。但是,精细爆破是一个发展的概念,除了对爆破基础理论和关键技术开展进一步研究之外,如何在新信息时代,开展精细爆破和相关学科的融合研究,是必须面对的重要课题。因此,为推动精细爆破的发展,需要爆破工作者付出更多的艰辛和努力。

### 参考文献

- [1] 谢先启. 精细爆破[M]. 武汉:华中科技大学出版社,2010.
- [2] 徐成光. 柘溪水电站扩机挡水岩坎拆除精细化爆破施工[J]. 水利水电施工,2012,130(1):5-7.

- [3] 张习平,李孟辉,张 昆,等. 黄登水电站导流隧洞开挖精细爆破技术[C]// 第十届全国工程爆破学术会议,2012.
- [4] 周俊成. 我国数字矿山建设现状及发展对策[J]. 矿冶装备,2008(12):40-44.
- [5] 申晋鹏. 我国数字化矿山发展现状及存在问题研究[J]. 中国煤炭工业,2012(12):54-55.
- [6] 白复铨,王善功,姜顺鹏,等. 浅谈数字化矿山建设整体架构思路[J]. 中国矿业,2012,21(增刊):49-51.
- [7] 玉溪矿业公司大红山铜矿. 创建中国一流井下数字矿山——玉溪矿业公司数字矿山建设大红山铜矿[J]. 云南科技管理,2011(8):104.
- [8] 陶刘群,汪旭光. 基于物联网技术的智能爆破初步研究[J]. 有色金属(矿山部分),2012(11):59-62.
- [9] 曲广建,黄新法,江 滨,等. 数字爆破(I)[J]. 工程爆破,2009,15(2):23-28.
- [10] 曲广建,黄新法,江 滨,等. 数字爆破(II)[J]. 工程爆破,2009,15(3):5-13.
- [11] 黄跃文,吴新霞,张 慧,等. 基于物联网的爆破振动无线监测系统[C]// 2011全国爆破理论研讨会论文,2011.

# Precision blasting, current status and its prospective

Xie Xianqi<sup>1,2</sup>

(1. Wuhan Municipal Construction Group Co. Ltd., Wuhan 430023, China;

2. Wuhan Blasting Engineering Co. Ltd., Wuhan 430023, China)

**[Abstract]** Precision blasting, which is different from traditional control blasting, is regarded as the signs of new development stage of engineering blasting. The definition, connotation, technology system and current situation of its application and development were described briefly. With regard to the prospect of precision blasting, following aspects for further study are recommended: a. a multiple disciplinary study should be developed for a more understanding on the explosive energy release and quantitative blasting design; b. according to requirements of digital blasting objective, syncretic study of precision blasting and technology should be enhanced; c. numerical simulation was an important tool for optimizing engineering blasting scheme and blasting adverse effects control, a more elaborate precision numerical simulation methods should be studied furthermore; d. the modernization and standardization of precision blasting construction should be enhanced.

**[Key words]** precision blasting; current situation; information technology; standardization; prospect