

WISDOM
EXPLORATION

智慧勘探

——云时代的地质勘查革命

邵毅 宋震 倪平泽 等编著



中国地质大学出版社有限责任公司
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE YOUXIAN ZEREN GONGSI

智慧勘探

——云时代的地质勘查革命

邵毅 宋震 倪平泽 等编著



中国地质大学出版社

ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

图书在版编目(CIP)数据

智慧勘探:云时代的地质勘查革命/邵毅,宋震,倪平泽等编著. —武汉:中国地质大学出版社,2013.9

ISBN 978-7-5625-3159-3

I. ①智…

II. ①邵…②宋…③倪…

III. ①信息技术-应用-矿产-地质勘探-研究②信息技术-应用-矿产地质调查-研究

IV. ①P62-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 206727 号

智慧勘探——云时代的地质勘查革命

邵毅 宋震 倪平泽 等编著

责任编辑:陈 琪

责任校对:张咏梅

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)

邮政编码:430074

电 话:(027)67883511

传真:67883580

E-mail:cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

<http://www.cugp.cug.edu.cn>

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16

字数:310 千字 印张:11.875

版次:2013 年 9 月第 1 版

印次:2013 年 9 月第 1 次印刷

印刷:湖北新新城际数字出版印刷技术有限公司

ISBN 978-7-5625-3159-3

定价:98.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

我国目前已进入加快实施“十二五”发展规划、全面建设小康社会的关键时期。为缓解资源瓶颈约束、提高国内矿产资源保障能力,经国务院批准,国土资源部会同发展改革委员会、科技部、财政部,自2011年起,在全国范围内组织实施了以“3年实现找矿重大进展,5年实现找矿重大突破,8至10年重塑矿产勘查开发格局”为目标的找矿突破战略行动。找矿突破战略行动的实施,不仅要求加大找矿力度、加快找矿进度,更重要的是通过技术方法创新提升地质找矿水平,实现找矿更大突破。同时,随着地质找矿难度的日益增加,找矿工作重心已经转向寻找深部矿、隐伏矿、难识别矿。矿产勘查的成功越来越依赖于深入的成矿规律研究和先进的矿产资源预测评价方法技术。

随着第三次工业革命的兴起,信息技术特别是云技术已在一些发达国家的地质找矿工作中逐渐发挥重要作用。利用统一的数据组织、管理、建模与综合处理平台,将矿产资源勘查过程中获得的多元异构地质数据进行统一管理、处理与分析,并通过可视化界面和三维视图对矿产勘查成果进行综合表达已成为这些国家矿产资源勘查的主要工作模式。本书作者所在工作单位——江苏有色金属华东地质勘查局作为国内改革发展步伐最快的地勘单位之一,积极顺应时代发展趋势,将信息技术充分运用到地质找矿工作中,提出了智慧勘探理念,研发了智慧勘探系统。经过三年的自主研发,智慧勘探系统已形成数字采集系统、地质数据综合管理系统、地质找矿业务综合服务系统三大研发成果,实现野外数据动态采集、地质数据标准化入库、数据资料一体化集成管理、综合地质研究、资源储量估算、资源勘探设计、成果编制等地质找矿工作全流程的信息化和智能化,大大提升了地质找矿工作的效率、质量、精度以及科学性和规范性,有效降低了矿产勘查风险,为勘查投资决策提供了支撑,在地勘行业具有广阔的推广应用前景。

本书基于智慧勘探系统建设实践,结合成矿理论,综合应用地理信息系统、大型关系型数据库、智能移动设备等现代信息技术以及定量统计分析、三维地质建模等先进地质信息方法,探讨了如何利用信息技术推动我国地质找矿技术方法革新,阐述了如何开展地质找矿全流程信息化与智能化平台建设,介绍了如何构建既符合中国国情又与国际接轨的矿产资源勘查评价方法体系。衷心希望广大地勘单位和矿业企业能从本书的探索实践经验中得到启发和借鉴,不断提升地质找矿的科技含量和信息化水平,推动地质找矿实现更大突破!

国土资源部总工程师:



2013年8月

我国目前已进入“十二五”科学发展的关键时期,为实现地质找矿重大突破、缓解资源瓶颈制约、提高国内资源保障能力,国土资源部相继出台了《国土资源部关于构建地质找矿新机制的若干意见》、《国土资源部关于促进国有地勘单位改革发展指导意见》和《国土资源部关于建立健全矿业权有形市场的通知》,构建了“公益先行,基金衔接,商业跟进,整装勘查,快速突破”的新机制,提出了全国地质找矿三年有重大进展,五年有重大突破,八年重塑地质矿产勘查开发格局的“358”目标。因此,如何贯彻落实国土资源部提出的地质找矿“358”行动,探索和实践地质找矿新机制落实的方法途径和政策措施,研究新技术、新方法改善和提升传统地质找矿工作,提高深部找矿的技术水平,已成为地勘单位地质找矿科研工作的重点攻关领域。同时,随着地质找矿勘查难度的日益增大,找矿工作重心已经转向寻找隐伏矿、难识别矿。矿产勘查的成功越来越依赖于深入的成矿规律研究和科学的矿产资源预测评价理论与方法。矿产勘查已从直接找矿进入基于理论和新技术的科学找矿阶段。

随着第三次工业革命的到来,信息技术已在国外地质找矿工作中逐渐发挥重要的作用,利用统一的数据组织、管理、建模与综合处理平台,将矿产资源勘查过程中获得的多元异构的地质数据进行统一的管理、处理与分析,并通过可视化的处理界面和三维的视图对矿产勘查成果进行综合的表达,已成为国外矿产资源勘查的主要工作模式。

然而,当国外找矿理论不断创新、信息化找矿技术日益普及、定量分析技术日臻成熟、找矿设备日趋先进之时,我国的地质找矿基础理论与方法却依旧是适用于浅部找矿要求的传统方法,成矿理论的创新跟不上世界步伐,找矿时起主要作用的仍然是地质锤、罗盘和放大镜……与此同时,作为地质找矿主力军的地勘单位虽然人数众多、专业技术较强,但由于地质工作历经 30 多年的低迷徘徊,许多地勘单位都丢掉了勘查主业,找矿力量已相当薄弱。一些单位即便还从事着找矿工作,但由于缺乏资金,既不能添置高端、新型设备,也没有新技术、新方法的自主研发能力,“经验找矿”的旧模式依旧是地勘单位的看家

本领。

本书结合成矿理论,综合应用 GIS、大型关系型数据库、智能移动设备等现代信息技术和定量统计分析、三维地质建模等先进地质信息方法,详细探讨如何利用信息技术推动我国地质找矿技术方法革新,同时分析阐述如何在一线地勘单位中开展地质找矿工作全流程信息化与智能化平台建设,从而实现对现有地勘单位地质找矿工作模式的改造和升级。全书共分成三部分:

“上篇 地质找矿理念的创新:从定性到定量”主要总结我国传统地勘单位地质找矿工作方式中的问题,提出通过智慧勘探系统研发实现地质找矿信息化、量化、智能化,全面提升地质找矿效率的主题思想。同时对国内外现有的找矿定量分析理论,支撑上述理论的信息技术方法等进行回归和分析。

“中篇 地质找矿工作模式的创新:从手工到智能”提出地勘单位地质找矿工作信息化、量化、智能化实现思路与智慧勘探系统设计方案。对其中涉及的野外地质数据动态回传、实时处理与远程指导、地质三维建模与可视化分析、矿床资源储量标准估算与预可研、地质找矿智能化分析及定量预测等关键技术进行原理分析及详细设计。

“下篇 创新理念与模式的实施:从研发到应用”从实例出发,系统讲述了通过智慧勘探系统在安徽马头铜钼矿区深部找矿、云南播卡铜矿资源潜力评价等地质找矿工作中取得的应用效果。

本书作者所在的工作单位——江苏省有色金属华东地质勘查局是目前国内改革步伐最快的地勘单位之一,智慧勘探理念的提出也是其自身改革发展动力催生出的创新理念和技术方法。经过三年时间的自主研发,智慧勘探系统已形成数字采集系统、地质数据综合管理系统、地质找矿业务综合服务系统三大系统研发成果,实现了野外数据动态采集、地质数据标准化入库与规范化管理、综合地质研究、资源储量估算、勘探设计、成果编制等地质找矿工作全流程信息化和智能化,切实提升了地质找矿工作的规范性,加强了地质资料的一体化集成与统一管理,提高了地质找矿质量和勘探精度,降低了风险,为华东有色开展全球地质找矿与矿业开发工作提供了重要的技术支撑。

作 者

2013 年 6 月

上篇 地质找矿理念的创新：从定性到定量

1 绪 论 (3)

1.1 矿产勘查全球化对地质勘查行业的冲击 (3)

1.2 我国地质矿产勘查信息化建设现状分析 (4)

1.2.1 我国公益性地质调查领域信息化工作现状 (4)

1.2.2 我国地质勘探及商业勘查领域信息化工作现状 (4)

1.3 智慧勘探——云时代的地质勘查革命 (5)

1.4 小 结 (6)

2 定量找矿技术方法评述 (7)

2.1 地质矿产资源潜力评价 (7)

2.1.1 矿产资源潜力区的概念 (7)

2.1.2 矿产资源评价中的地学信息 (9)

2.1.3 信息关联和转换 (11)

2.1.4 信息量化与集成 (11)

2.1.5 矿产资源潜力评价 (12)

2.2 面向地质矿产资源评价的定量方法 (14)

2.2.1 “三联式”数字找矿方法 (14)

2.2.2 “三部曲”矿产资源评价方法 (17)

2.2.3 基于“奇异性-多重分形”的非线性找矿方法	(24)
2.3 小结	(25)
3 地质勘查信息处理与分析技术评述	(26)
3.1 地质勘查信息集成管理	(26)
3.1.1 地质资料分类	(26)
3.1.2 地质资料数字标准化总体路线	(27)
3.1.3 地质资料数据库分层结构	(28)
3.2 地质找矿信息处理与成果编制	(29)
3.2.1 矿体的工程圈定	(29)
3.2.2 矿体剖面间的连接	(29)
3.2.3 基于传统方法的资源储量估算	(30)
3.2.4 基于三维块体模型的资源储量估算	(31)
3.2.5 地质找矿成果的自动化编制	(31)
3.3 三维地质建模与可视化技术	(32)
3.3.1 勘查(探)工程建模	(32)
3.3.2 三维地质建模	(33)
3.3.3 三维地质模型可视化分析	(36)
3.4 小结	(37)

中篇 地质找矿工作模式创新：从手工到智能

4 地质找矿全流程智能化信息平台建设	(41)
4.1 智慧勘探系统总体架构	(41)
4.2 智慧勘探系统特点	(42)
4.3 系统功能与工作机制	(43)
4.3.1 野外数据采集系统	(44)
4.3.2 地质数据综合管理系统	(45)
4.3.3 地质找矿业务综合服务系统	(51)

4.4	小结	(58)
5	云时代地质勘查空间数据管理新模式	(59)
5.1	云时代——地质数据管理新变革	(59)
5.2	空间地质云平台数据分类标准	(61)
5.2.1	地质数据按阶段分类	(61)
5.2.2	地质数据按专业分类	(62)
5.2.3	地质数据按表达形式分类	(64)
5.3	基于云平台的地质空间数据管理模式	(64)
5.3.1	云平台下地质空间数据部署机制	(64)
5.3.2	面向海量地质资料的云服务平台	(65)
5.3.3	云平台数据安全策略	(66)
5.4	小结	(67)
6	三维数字矿床模型构建技术	(68)
6.1	面向地质矿产勘查的数字矿床建模技术	(68)
6.1.1	数字矿床建模流程	(69)
6.1.2	单工程矿体圈定	(70)
6.1.3	基于语义识别的矿体剖面自动连接	(73)
6.1.4	矿体空间模型的建立	(74)
6.1.5	矿体属性模型的建立	(75)
6.2	矿床资源储量的标准化统计	(80)
6.2.1	传统法矿床资源储量的标准化统计	(80)
6.2.2	克里格法矿床资源储量的标准化统计	(81)
6.3	矿区预可行性研究定量评价	(82)
6.3.1	矿区预可行性定量化研究评价技术	(82)
6.3.2	矿区预可行性定量化评价流程	(82)
6.3.3	矿区预可行性研究报告的自动化生成	(84)
6.4	小结	(85)
7	基于定量地质分析的资源储量估算技术	(86)

7.1	品位数据的预处理	(86)
7.1.1	区域化变量选择	(86)
7.1.2	特高品位的处理	(87)
7.1.3	不同性质样品的处理	(88)
7.1.4	缺失样品的处理	(88)
7.1.5	样品的组合及统计分布特征	(89)
7.2	实验变异函数计算	(89)
7.2.1	变异函数的定义	(90)
7.2.2	变异函数的性质	(90)
7.2.3	引起区域化变量之间品位变异的因素	(91)
7.2.4	影响实验变异函数的因素	(91)
7.3	变异函数的理论模型	(99)
7.3.1	常用的变异函数拟合模型	(99)
7.3.2	变异函数结构套合的方法	(100)
7.4	矿床品位的克里格模拟	(102)
7.4.1	普通克里格法	(102)
7.4.2	指示克里格法	(104)
7.4.3	评价模型精确度的指标	(105)
7.5	小结	(106)
8	地质找矿智能化分析及定量预测理论	(107)
8.1	矿床智能化分析与预测总体实现思路	(107)
8.2	综合控矿地质模型构建方法	(109)
8.3	控矿地质因素的定量提取技术	(111)
8.3.1	地质控矿要素定量提取的主要思想	(111)
8.3.2	地质控矿要素定量提取流程设计	(113)
8.4	矿床成因智能化分析	(119)
8.4.1	矿床成因智能化分析关键技术	(119)
8.4.2	矿床模式认知库建设主要思路	(120)

8.4.3 矿床模式认知库地质成矿要素分类	(122)
8.5 深部矿床资源的定量预测评价	(123)
8.5.1 矿化空间分析的目的	(123)
8.5.2 隐伏矿体立体定量评价模型	(125)
8.6 小结	(125)

下篇 创新理念与模式的实施:从研发到应用

9 安徽池州马头铜钼矿深部找矿	(129)
9.1 区域与矿区地质概述	(129)
9.1.1 区域地质背景	(129)
9.1.2 矿床地质特征	(129)
9.2 矿区地质勘探数据库构建	(132)
9.2.1 勘查区地形地质数据	(132)
9.2.2 物化探资料处理	(133)
9.2.3 地质勘探资料处理	(133)
9.3 数字矿床模型构建	(135)
9.3.1 主要建模流程	(135)
9.3.2 控矿地质模型	(136)
9.3.3 下冲矿段钼矿体三维模型	(137)
9.4 数字矿床模型成果应用	(140)
9.4.1 马头铜钼矿区钼空间品位分布模拟	(140)
9.4.2 基于证据权法的地质找矿辅助评价	(145)
9.4.3 三维勘探辅助设计技术在本矿区的应用	(151)
9.5 小结	(152)
10 云南东川人占石铜矿床深部资源潜力评价	(153)
10.1 矿区地质概况	(153)
10.1.1 矿区地层特征	(153)

10.1.2	构造特征	(155)
10.1.3	岩浆岩	(156)
10.2	矿床地质特征	(156)
10.2.1	控矿构造	(156)
10.2.2	矿体特征	(156)
10.2.3	成矿规律	(157)
10.3	三维数字矿床构建	(157)
10.3.1	基础数据处理	(157)
10.3.2	地形地质模型	(158)
10.3.3	勘探工程模型	(158)
10.3.4	矿区地层模型	(160)
10.3.5	矿区构造模型	(160)
10.3.6	矿区主要岩体模型	(160)
10.3.7	铜矿体模型	(162)
10.4	找矿数字模型构建与分析	(163)
10.4.1	找矿概念模型构建	(163)
10.4.2	成矿信息三维可视化分析	(163)
10.5	矿产资源三维预测与评价	(165)
10.5.1	预测模型的建立	(165)
10.5.2	三维证据权预测	(166)
10.5.3	远景区圈定	(166)
10.6	小结	(168)
主要参考文献		(169)

上 篇

地质找矿理念的创新：



从定性到定量

1 绪 论

长期以来,地勘行业作为我国工业化建设的基础性、保障性行业,受管理理念、经营条件和职工素质的限制,存在着信息渠道闭塞、科技水平滞后、管理方式老套等诸多问题。在本章节中作者将主要分析我国传统地勘单位地质找矿工作面临的机遇与挑战,总结目前我国地勘单位地质勘查业务信息化研究现状,提出通过智慧勘探系统研发实现地质找矿信息化、量化、智能化,全面提升地质找矿效率的主题思想。

1.1 矿产勘查全球化对地质勘查行业的冲击

全球矿业自进入 21 世纪以来一直呈现蓬勃发展的势头,固体矿产勘查的投资资金持续飙升,从 2002 年的 19 亿美元迅速提升至 2008 年的 144 亿美元。但是受到国际金融危机的影响,自 2008 年下半年始至 2009 年上半年,全球对矿产资源的需求呈明显下降趋势,矿产品的价格持续下跌,矿产勘查的资金投入趋缓,全球矿业进入新的调整期。2009 年下半年,全球经济的复苏拉动了全球能源与矿产品需求的恢复性增长。

矿产勘查全球化是矿业全球化的主要表现。目前,全球主要国家都在大力开展境外矿业勘查与开发活动,同时将矿产资源勘查、开发和利用的重点逐渐转向亚洲、拉丁美洲和非洲等地区。通过组建国际矿业公司,在全球范围内进一步开展地质矿产勘查活动。我国近年来也进一步加大了公益性地质矿产勘查的力度,使地质矿产勘查投资主体呈现日益多元化的趋势。随着我国对地质矿产勘查领域投资和投入的不断增加,我国的地质矿产勘查工作也取得了一批重要成果。同时,我国矿业对外合作的步伐也在日益加快,中国与国际矿业的深入合作取得了巨大的成果。以矿业改革与发展为契机,融入全球矿业大环境中,使我国矿业产值得以快速增长,矿产品贸易也迅速发展。面对 2008 年以来国际矿产品价格大幅下挫,国际矿产勘查投入趋缓的形势,我国加大了投资力度,并带动社会投入,推动全国地质矿产勘查工作的开展。2009 年前三季度,我国固体矿产地质勘查投入大约为 195 亿元,较 2008 年同期增长近 10%,全国地质找矿工作也陆续取得一些阶段性及突破性成果。

在取得丰硕成果的同时,我国地质找矿工作也面临着巨大的挑战。据资料统计,截至 2008 年,在全球新发现的、较为重要的矿床中有近 58% 是找矿新区,在老矿区附近新发现的矿床占到 23%,而在已知的成矿带中新发现的矿床只占 19%。这充分表明,随着全球矿产资源勘查、开发与利用的不断深入,地质矿产勘查的难度正日益增大。易识别矿、地表矿和浅部矿正逐渐地减少,而难识别矿、深部矿和隐伏矿的发现则成为当今地质找矿的重要方向。通过新的方法和技术,研究改善和更新现有矿产勘查技术,在已知矿区的深边部及未知矿区内寻找新

的隐伏矿床,已成为目前地质矿产勘查工作中不可缺少的部分。

1.2 我国地质矿产勘查信息化建设现状分析

1.2.1 我国公益性地质调查领域信息化工作现状

自2000年以来,我国公益性地质工作在新技术、新方法研究方面开展了大量工作,特别是在基于信息技术提升和改善地质工作方面,取得了显著成果,主要表现在如下方面。

(1)地质调查项目管理方面。通过2000—2007年“国家地质调查项目管理信息系统”工作项目(隶属于数字国土工程项目)、2008—2010年“国家地质调查项目管理信息系统”专题项目(隶属于“国家地质工作业务管理信息系统”工作项目)等工作的开展,已基本实现了国家地质调查项目任务书的编写、下达、设计审查、任务变更、申报与审批、工作进展、质量检查、野外验收和成果评审等过程的计算机流程化管理,使国家地质调查项目的现代化管理水平有了显著提高。

(2)地质调查项目业务应用方面。通过在国土资源大调查项目中设立数字国土地质调查信息项目,开展数字地质调查系统(DGSS)研究(2002—2010年)。目前我国已全面实现了基础地质调查、矿产地质调查与勘查数据采集的全过程数字化,并实现了固体矿产调查全流程信息化处理与三维建模,形成了覆盖地质矿产调查主流程的数字地质调查软件体系。

(3)地质资料社会化服务方面。由国土资源部等相关部门牵头启动的地质资料信息服务集群化、产业化研究,其目的是通过地质资料信息集群化、产业化服务,为社会提供多元、多层次的信息服务,发挥地质资料的社会效益和经济价值。目前我国地质资料信息服务集群化、产业化研究已初见成效,建立了全国岩石数据库、地质钻孔数据库,开展了地质资料图文数据化工作,形成了丰富的地质信息储量,同时开展了各种地质资料信息的快速检索、3D立体显示、数据共享平台和咨询系统的开发。上海、山东、湖南、湖北、安徽和青海六省市被指定为地质资料信息服务集群化、产业化试点地区,为我国的地质资料信息服务集群化、产业化提供了示范作用。

1.2.2 我国地质勘探及商业勘查领域信息化工作现状

近几年来,我国地质勘探领域信息化研究也取得了很大的进展,开发了一系列具有自主知识产权的软件系统,其中的典型代表有以下几种。

中国地质调查局发展研究中心与中国地质大学(武汉)教育部地理信息系统软件及应用工程中心合作开发了iExploration-EM(资源量估算与三维建模系统),该系统是一款面向数字地质勘查成果编制的软件。作为中国地质调查局数字地质调查系统(DGSS)的组成部分,iExploration-EM以MapGIS6X和MapGIS-TDE平台开发,系统数据库原型按照我国固体矿产地质勘查数据编录规范设计,支持基础地质资料、测量成果资料、储量估算数据、成果图件及三维模型数据等多源异构地质矿产勘查综合资料数据的一体化存储与管理,保证了采集、存储、