

危机矿山深部隐伏矿 大比例尺定位定量预测技术研究

彭省临 赖健清 毛先成 邵拥军 杨斌 杨牧 等著

地质出版社

危机矿山深部隐伏矿 大比例尺定位定量预测技术研究

彭省临	赖健清	毛先成	邵拥军
杨 斌	杨 牧	席振铎	邹艳红
陈 进	王 颖	王雄军	毛政利
疏志明	王建清	吕俊武	吕才玉

著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

深部隐伏矿三维可视化定位定量预测技术是一种适应于危机矿山深部找矿特点的预测评价新技术。本书紧扣复杂成矿系统中矿床(体)定位机制和空间定位规律、多源多因矿致信息与隐伏矿体间的非线性联系、复杂环境中隐伏矿体的高效探查技术集成和准确定位预测等关键科学和技术问题,以铜陵矿集区为例,通过深化对铜(金)多金属成矿系统和定位规律的认识,建立危机铜矿山深边部的大比例尺定位预测模型;通过找矿技术方法的“有效性”评价研究和隐伏矿大比例尺三维可视化定位定量预测技术开发研究,形成具有自主知识产权的、适合于铜陵矿集区危机矿山 500~1000m 深部及边部大比例尺定位预测技术集成体系;为矿山接替资源验证靶区靶位的选定提供可靠的科技依据,也为危机矿山接替资源找矿研究和定位定量预测提供典型范例。

本书既可作为从事地质勘查与开发的研究人员、技术人员的参考用书,也可作为地质科研院所师生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

危机矿山深部隐伏矿大比例尺定位定量预测技术研究 /
彭省临等著. —北京:地质出版社, 2012. 1
ISBN 978-7-116-07499-6

I. ①危… II. ①彭… III. ①隐伏矿床—成矿预测
IV. ①P612

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 267865 号

WEIJIKUANGSHAN SHENBUYINFUKUANG DABILICHI DINGWEIDINGLIANG YUCEJISHU YANJIU

责任编辑:罗军燕

责任校对:杜悦

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京市海淀区学院路 31 号, 100083

电 话:(010) 82324508 (邮购部); (010) 82324514 (编辑部)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82324340

印 刷:北京天成印务有限责任公司

开 本:787mm×1092mm 1/16

印 张:23

字 数:570 千字

版 次:2012 年 1 月北京第 1 版

印 次:2012 年 1 月北京第 1 次印刷

定 价:90.00 元

书 号:ISBN 978-7-116-07499-6

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

谨将此书呈献给陈国达院士诞辰 100 周年

本书得到

国家“十一五”科技支撑计划课题“铜陵地区危机铜矿山大比例尺定位预测技术开发”（编号：2006BAB01B07）

国家“973”计划前期研究专项课题“危机矿山接替资源大比例尺定位预测基础研究”（编号：2007CB416608）

国家自然科学基金项目“基于栅格模型的地质体三维形态定量分析”（编号：41172297）

国土资源部公益性行业科研专项 04 课题“安徽铜陵矽卡岩型铜多金属矿科学基地研究”（编号：200911007-04）

铜陵有色金属集团股份有限公司

有色金属成矿预测教育部重点实验室

联合资助

序

找矿是人类社会一项永恒的工作，是当前缓解我国能源、矿产资源短缺局面，保证我国经济与社会发展的紧迫工作。找矿是一项应用知识与技术对自然界进行科学探索的工作，具有很强的探索性、创新性和实践性。

在漫长的找矿历程中，目前已进入到“经验+理论+多元探测技术方法+计算机信息技术”发展阶段。通过地质调查研究及多种探测技术方法取得的成矿多元信息，进行科学的转化、综合分析研究，与已有的矿床模型进行对比，在此基础上开展定性、定量的成矿预测（资源潜力与找矿远景区、靶区），是一项减少找矿风险，缩小找矿范围的十分重要的工作。近年来随着计算机技术的充分利用，使这项工作提高了效率，提高了可行性，正向智能化发展。

本专著是由中南大学彭省临科研团队负责承担的国家“十一五”科技支撑计划课题“铜陵地区危机铜矿山大比例尺定位预测技术开发”和国家“973”计划前期研究专项课题“危机矿山接替资源大比例尺定位预测基础研究”的主要成果；是继该团队2004年出版的专著《大型矿山接替资源勘查技术与示范研究》后的又一新作。

全书按“理论深化—技术优化—信息集成”的思路编写，涉及大比例尺定位预测研究全过程。点面结合，突出点的研究；定性与定量结合，突出定量研究创新。在研究总结铜陵矿集区成矿大地构造的基础上，深入研究凤凰山铜矿、铜山铜矿、安庆铜矿和天马山金矿四个危机矿山的成矿—定位规律，建立了成矿模式，并详细介绍了凤凰山矿区流体包裹体系统研究的最新成果；在四矿区全面开展了多种找矿技术方法试验及其有效性评价，并重点介绍了有效性定量评价的新思路和新方法——“Meta比较分析法”和“有效度评价法”，阐述其推广应用前景。以凤凰山铜矿为例，开展危机矿山深边部隐伏矿三维可视化定位定量预测研究，详细介绍了研究开发的“控矿地质因素场建模”等四项新技术和凤凰山铜矿区-2500m以上范围内的隐伏矿大比例尺三

维可视化定位定量预测模型；并介绍了矿区深边部综合预测结果。

目前，国内外常用的找矿预测方法多停留在经验和定性预测的范畴。在综合运用多种探测技术开展隐伏矿定位预测的研究中，找矿探测技术的有效性定量评价可为最佳探测技术的优化集成和实现三维定位定量预测提供关键参数；深部隐伏矿三维可视化定位定量预测技术是一种适应于危机矿山深部找矿特点的预测评价新技术。这些技术的不断开发和完善必将促进找矿预测从经验—定性预测向理论—定量预测的方向发展，同时也可为危机矿山深边部隐伏资源的高效探测提供更可靠的技术支撑。本书的出版，无疑会对“危机矿山深部隐伏矿大比例尺定位定量预测技术”的研究起到良好的示范和推动作用。

丁金亮 2010年12月

前 言

近些年来国内外矿产勘查的实践表明,随着矿产勘查和开发的力度不断加强,地表矿、浅部矿、易识别矿日益减少,矿产勘查工作正朝着寻找隐伏矿、深部矿、难识别矿的方向转变,对已知矿区的深边部隐伏矿的寻找被广泛关注;成矿理论对深部找矿工作的指导作用日益突出;矿产勘查新技术在深部找矿工作中起着关键的作用;现代电子和计算机信息技术的飞速发展对矿产勘查的影响意义日益深远。

我国《2006~2020 国家中长期科学和技术发展规划纲要》中明确提出“矿产资源高效开发利用”和“资源勘探增储”的主要发展思路为:“重点研究地质成矿规律,发展矿山深边部评价与高效勘探技术,努力发现一批大型后备资源基地,增加资源供给量。”

本专著是由中南大学负责承担的国家“十一五”科技支撑计划课题“铜陵地区危机铜矿山大比例尺定位预测技术开发”(编号:2006BAB01B07)和国家“973”计划前期研究专项课题“危机矿山接替资源大比例尺定位预测基础研究”(编号:2007CB416608)的主要成果,是继本科研团队2004年出版的专著《大型矿山接替资源勘查技术与示范研究》后的又一新作。

本成果的主要研究思路是:紧扣“复杂成矿系统中矿床(体)定位机制和空间定位规律、多源多因矿致信息与隐伏矿体间的非线性联系、复杂环境中隐伏矿体的高效探查技术集成和准确定位预测”等关键科学和技术问题,以铜陵矿集区为例,通过深化对铜(金)多金属成矿系统和定位规律的认识,建立危机铜矿山深边部的大比例尺定位预测模型;通过找矿技术方法的“有效性”评价研究和隐伏矿大比例尺三维可视化定位定量预测技术开发研究,形成具有自主知识产权的、适合于铜陵矿集区危机矿山500~1000m深部及边部大比例尺定位预测技术集成体系;为矿山接替资源验证靶区靶位的选定提供可靠的科技依据。同时,为危机矿山接替资源找矿研究和定位定量预测提供典型范例。

全书在研究总结了铜陵矿集区成矿大地构造的基础上,深入研究了凤凰山铜矿、铜山铜矿、安庆铜矿和天马山金矿4个危机矿山的成矿-定位规律,建立了成矿模式,并详细介绍了凤凰山矿区流体包裹体系统研究的最新成果;在4个矿区全面开展了多种找矿技术方法试验及其有效性评价,并重点介绍了有效性定量评价的新思路和新方法——“Meta比较分析法”和“有效度评价法”,阐述了其推广应用前景。以凤凰山铜矿为例,开展危机矿山深边部隐伏矿三维可视化定位定量预测研究,详细介绍了研究开发的“控矿地质因素场建模”等4项新技术和凤凰山铜矿区-2500m以上范围内的隐伏矿大比例尺三维可视化定位定量预测模型。

目前,国内外常用的找矿预测方法多停留在经验和定性预测的范畴,难以达到深部隐伏矿大比例尺定位预测的要求。其技术关键是如何定量提取具有预测意义的地、物、化、遥等探测方法获得的找矿信息;准确确定它们在定位预测中的权重大小;定量刻画复杂地质体形态、控矿地质因素与矿化分布的制约关系;以及三维可视化预测模型表达等。本书介绍了近些年来,我们在“找矿方法有效性定量评价”和“隐伏矿体三维可视化定位定量预测”等关键技术研究方面取得的突破性进展,研究开发的“Meta分析比较法”、“有效度评价法”、“地质体三维形态分析法”、“控矿地质因素场模拟”、“成矿信息三维定量分析提取”和“地质三维可视化建模”等新技术。在综合运用多种探测技术开展隐伏矿定位预测的研究中,找矿预测技术的有效性定量评价可为最佳探测技术的优化集成和实现三维定位定量预测提供关键参数;深部隐伏矿三维可视化定位定量预测技术是一种适应于危机矿山深部找矿特点的预测评价新技术;这些技术的不断开发和完善必将促进找矿预测从经验-定性预测向理论-定量预测的方向发展,同时也为危机矿山深边部隐伏资源的高效探测提供更可靠的技术支撑。

全书按“理论深化—技术优化—信息集成”的思路编写,涉及大比例尺定位预测研究全过程。点面结合,突出点的研究;定性与定量结合,突出定量研究创新。

本书是在课题负责人彭省临教授主持下由课题组主要成员分工编写完成的。具体编写分工是:前言由彭省临、赖健清编写,第一、五、九章由杨牧、邵拥军、疏志明编写,第二、六、十四章由赖健清、毛政利编写,第三、七

章由邵拥军、疏志明、王颖编写，第四、八章由杨斌、王雄军编写，第十章由彭省临、毛先成、王颖、王雄军、陈进编写，第十一、十二、十三章由毛先成、邹艳红、陈进编写，物探资料部分由席振铎审定，全书由赖健清统稿后经彭省临审核、修改、定稿。课题进行过程中得到了铜陵有色金属集团公司及其所属凤凰山铜矿、铜山铜矿、安庆铜矿及天马山金矿的大力支持，在此深表感谢！

参加课题研究工作的人员还有：中南大学地球科学与信息物理学院教师刘亮明、邹海洋、宋刚、张建东、胡斌等，博士研究生邓浩、赵义来，硕士研究生周胜、胡荣国、梁恩云、欧阳恒、张贻舟、丁宗炜、黄敏、陈星霖、曾文波、陈春、唐艳华、汪凡云、胡超、羊建波、汪雯、周凤、戴雪灵、夏天、叶珂、刘洋、安江华、刘忠法、徐桃、郑明泓、刘清泉、王天国、徐桃、张宇，本科生李胜斌、宋泽友、雷源宝、陈随；铜陵有色金属集团股份有限公司资源部袁新洪、俞沧海，地勘分公司王勇、汪宏、李长庆等，凤凰山铜矿汪齐全、谷惠堂、张亚海、杨文、毛荐新、魏代焕、唐树平等，铜山铜矿詹德光、高定海、李品杰、吴竞成，安庆铜矿刘道昆、方志甫、胡强、范良伍、罗皖东等，天马山金矿石效明、茆亚生、徐涛、肖福权等；中国有色金属工业技术开发交流中心饶玉学；湖南师范大学杨波等。

目 录

序 前 言

第一篇 示范矿床成矿-定位机理研究

第一章 铜陵地区区域成矿地质背景与深部构造	(2)
第一节 区域地质背景	(2)
一、大地构造背景	(2)
二、区域地层及其含矿性	(4)
三、区域岩浆活动及其控矿特征	(5)
四、区域构造格架	(6)
第二节 地球物理资料所反映的区域深部构造特征	(7)
一、岩石圈厚度特征	(7)
二、莫霍面深度特征	(8)
三、重力场对深部结构的约束	(8)
四、磁场对区域构造的约束	(9)
五、深反射地震剖面反映的深部构造特点	(9)
第三节 区域地壳物质组成特点	(11)
第四节 区域地壳活化的主要表征	(12)
第五节 深部构造对成矿的控制	(13)
第二章 凤凰山铜矿床成矿-定位机理研究	(15)
第一节 凤凰山铜矿床地质特征	(15)
一、矿区地层	(15)
二、矿田构造特征	(18)
三、岩浆活动特征	(20)
四、矿床的基本特征及成矿作用	(20)
第二节 成矿流体特征与成矿作用分析	(27)
一、矿物流体包裹体特征	(27)
二、冷热台测定结果	(30)
三、讨论和结论	(32)
第三节 主要控矿地质条件分析	(34)
一、地层条件	(34)
二、岩浆岩条件	(35)

三、构造条件	(37)
第四节 矿床的定位机理与成矿模式	(49)
一、矿床成矿规律总结	(49)
二、矿床成矿定位机理	(51)
三、成矿模式	(54)
第三章 铜山铜矿床成矿 - 定位机理研究	(55)
第一节 矿床地质特征	(55)
一、区域地质背景	(55)
二、矿区地质概况	(56)
三、矿体地质特征	(57)
四、矿石特征	(59)
第二节 矿床地球化学特征	(61)
一、岩石学及岩石化学特征	(61)
二、微量元素地球化学特征	(63)
三、稀土元素地球化学特征	(65)
第三节 成矿定位机理研究	(71)
一、成矿地质条件	(71)
二、典型矿体解剖	(74)
三、关键控矿因素	(75)
四、矿床成因分析	(76)
五、成矿定位规律	(77)
六、矿体定位机理	(78)
七、成矿过程探讨	(78)
第四章 天马山及其外围金(铜)矿床成矿 - 定位机理研究	(81)
第一节 区域地质与矿床地质	(81)
一、区域地质	(81)
二、矿床地质	(82)
第二节 矿田构造演化与控矿构造应力场分析	(89)
一、铜陵矿集区构造演化概述	(89)
二、天马山—金口岭—铜官山地区控矿构造应力场分析	(91)
第三节 天马山及其外围地区矿床地球化学特征	(94)
一、硫同位素地球化学	(94)
二、铅同位素地球化学	(95)
三、氢氧同位素与碳氧同位素地球化学	(95)
四、稀土元素地球化学	(97)
第四节 成矿模式	(98)
一、成矿条件分析	(98)
二、成矿演化与矿床空间定位机理	(99)

第五章 安庆铜矿床成矿 - 定位机理研究	(102)
第一节 矿床地质特征	(102)
一、矿区地层	(102)
二、矿区构造	(103)
三、岩浆岩	(104)
四、变质作用	(106)
五、矿体地质特征	(107)
第二节 成矿作用分析	(113)
一、矿床地球化学特征	(113)
二、成矿机制及成因分析	(118)
第三节 主要控矿地质条件分析	(127)
一、地层岩性及其组合控矿	(127)
二、岩浆岩与矿体定位关系	(128)
三、构造控矿因素	(130)
四、矿床控矿因素综述	(134)
第四节 矿化富集规律	(135)
一、研究方法	(135)
二、接触带形态与矿体厚度的关系	(135)
三、矿化富集规律	(137)
第五节 成矿 - 定位模式	(138)
一、矿床描述性模式	(138)
二、矿床的成因模式	(139)

第二篇 探查技术方法及其有效性研究

第六章 凤凰山铜多金属矿区	(142)
第一节 电吸附法	(142)
一、电吸附找矿方法简介	(142)
二、应用效果分析	(144)
三、相思树测区地电提取与电吸附找矿方法的对比分析	(149)
第二节 铜陵凤凰山北区剖面原生晕、原生叠加晕模型探讨	(152)
一、矿体原生晕形成、叠加机理及研究方法	(152)
二、凤凰山铜矿床北区剖面原生晕的分带性	(153)
三、微量元素线分布特征	(155)
第三节 凤凰山铜矿南区构造地球化学	(162)
一、凤凰山铜矿南区地球化学异常结构模式分析	(162)
二、南区东段构造地球化学数据处理方法新探索	(167)
第四节 可控源音频大地电磁法 (CSAMT)	(171)

一、工作简况	(172)
二、工作成果	(172)
三、小结	(173)
第五节 瞬变电磁法 (TEM)	(176)
一、测线布置	(177)
二、瞬变电磁测深法 (TEM) 资料分析	(177)
三、凤凰山南区 106 线与以前的资料对比	(181)
第六节 高精度磁测	(183)
一、杉木岭测区 2 线高精度磁测资料分析	(183)
二、杉木岭测区 29 线高精度磁测资料分析	(184)
三、相思树测区 106 线高精度磁测资料分析	(184)
四、瞬变电磁法及高精度磁测小结	(184)
第七章 铜山铜矿区	(186)
第一节 工作概况	(186)
一、研究目的	(186)
二、测线布置	(186)
三、完成工作量	(186)
第二节 地球物理测深剖面分析	(187)
一、高频大地电磁测深法 (EH-4)	(187)
二、可控源音频大地电磁测深法 (CSAMT)	(191)
三、时间域瞬变电磁法 (TEM)	(194)
第三节 铜山铜矿物理探测技术有效性评价	(197)
一、前山南测区 13 线地球物理测深技术有效性分析	(197)
二、前山南测区 19 线地球物理测深技术有效性分析	(199)
三、前山南测区地球物理测深技术有效性综合评价	(201)
第八章 天马山矿区及其外围	(202)
第一节 铜陵地区遥感异常分析与找矿前景评价	(202)
一、技术方法原理简介	(202)
二、遥感蚀变信息的提取	(203)
三、铜陵地区遥感蚀变异常与遥感构造影像的分布规律	(206)
四、铜陵地区找矿前景分析	(207)
第二节 天马山及其外围地区空间信息成矿预测模型	(209)
一、矿床空间信息模型与成矿模式的关系	(209)
二、信息统计单元概述	(210)
三、信息统计单元的划分	(210)
四、预测区地质信息变量的确定及编码	(211)
五、成矿有利度法的数学描述及其确定	(217)
六、矿床空间信息成矿预测模型的实现	(218)

七、找矿靶区圈定及综合评价	(219)
第三节 天马山-黄狮涝测区构造地球化学找矿预测	(222)
一、概述	(222)
二、构造地球化学晕的圈定和解释	(222)
三、多元统计分析	(228)
四、多重分形统计学特征	(234)
第九章 安庆铜矿区	(238)
第一节 矿区重、磁场特征	(238)
一、重力场特征	(238)
二、磁场特征	(239)
第二节 高频大地电磁测深	(245)
一、基本原理简介	(245)
二、EH-4 系统野外工作方法与技术	(246)
三、数据处理方法	(247)
四、工作布置及数据质量评价	(248)
五、资料解释及成矿分析	(249)
第十章 勘查技术方法的有效性定量评价研究	(256)
第一节 多种方法的有效性定量比较评价——Meta 比较分析法	(256)
一、Meta 分析简况	(256)
二、Meta 分析的基本程序	(256)
三、将 Meta 分析引入到找矿预测中的基本思路和可行性分析	(257)
四、Meta 分析移植应用于有效性定量比较研究	(257)
第二节 单种方法的有效性定量评价——有效度评价法	(262)
一、基本思路和主要步骤	(262)
二、凤凰山铜矿 CSAMT 法有效性定量评价	(262)
三、有效性定量评价结果的推广应用思路	(266)

第三篇 隐伏矿体三维可视化定位定量预测

第十一章 地质信息三维建模与深部推断	(270)
第一节 概述	(270)
第二节 地质信息三维可视化建模	(272)
一、地质建模数据构建与可视化	(272)
二、地质体三维建模与可视化	(275)
三、基于 CSAMT 的三维地质推断	(278)
第十二章 成矿信息三维定量分析与提取	(284)
第一节 凤凰山矿田矿体定位预测概念模型	(284)
一、典型矿床地质找矿标志	(284)

二、凤凰山矿田矿体定位规律	(285)
三、凤凰山矿田矿体定位预测概念模型	(286)
第二节 地质空间定义与立体单元划分	(287)
一、地质空间定义	(287)
二、立体单元划分	(288)
三、立体单元取值	(288)
第三节 成矿信息三维定量分析关键技术研究	(290)
一、控矿地质因素场建模技术	(290)
二、地质体三维形态分析技术	(292)
第四节 控矿地质因素三维场模型	(295)
一、岩体热力场因素 (dG)	(296)
二、岩体形态因素 ($wr1G$ 、 $wr2G$)	(296)
三、接触带因素 (dI)	(303)
四、接触面构造因素 (aIT)	(303)
五、横向张性断层因素 (dF)	(304)
六、区域挤压远应力场因素 (aIP)	(304)
七、褶皱构造因素 ($dD3$)	(306)
第五节 控矿因素分析与控矿指标提取	(307)
一、单元矿化指标计算	(307)
二、控矿因素定量分析与控矿指标提取	(308)
第十三章 隐伏矿体立体定量预测与可视化	(320)
第一节 预测模型	(320)
第二节 边界条件	(322)
一、控矿指标的边界条件	(322)
二、立体单元定位的边界条件	(323)
第三节 预测结果及统计	(323)
第四节 预测结果可视化	(326)
一、预测结果三维栅格模型	(326)
二、预测结果三维可视化查询	(326)
三、分层单元矿化指标预测结果图	(327)
四、分层单元矿化指标预测等值线图	(330)
第十四章 主要结论	(336)
第一节 区域背景及遥感特征	(336)
一、区域成矿背景	(336)
二、区域遥感特征	(336)
第二节 成矿-定位规律及找矿标志	(336)
一、凤凰山铜矿区	(336)
二、铜山铜矿区	(338)

三、天马山矿区	(338)
四、安庆铜矿区	(339)
第三节 探查技术方法的有效性定性评价	(339)
一、遥感技术	(339)
二、电吸附找矿方法	(340)
三、原生叠加晕	(340)
四、构造地球化学	(340)
五、地球物理探测	(341)
第四节 探查技术方法的有效性定量评价研究	(341)
一、多种方法的有效性定量比较评价	(341)
二、单种方法的有效性定量评价	(341)
三、有效性定量评价结果的推广应用前景	(342)
第五节 凤凰山矿区深边部隐伏矿三维可视化定位定量预测技术开发	(342)
一、地质形态分析技术	(342)
二、地质场模拟技术	(343)
三、成矿信息三维定量分析与提取技术	(343)
四、隐伏矿体三维可视化定位定量预测技术	(343)
参考文献	(344)

第一篇 ◀◀

示范矿床成矿－定位机理研究

本篇深化了铜陵地区成矿地质背景、成矿条件和控矿因素的研究，通过凤凰山铜多金属矿、铜山铜矿、安庆铜矿及天马山金矿4个典型矿床的解剖研究，分析矿床成矿－定位机理，总结铜金矿床的定位规律，建立了成矿作用模式。