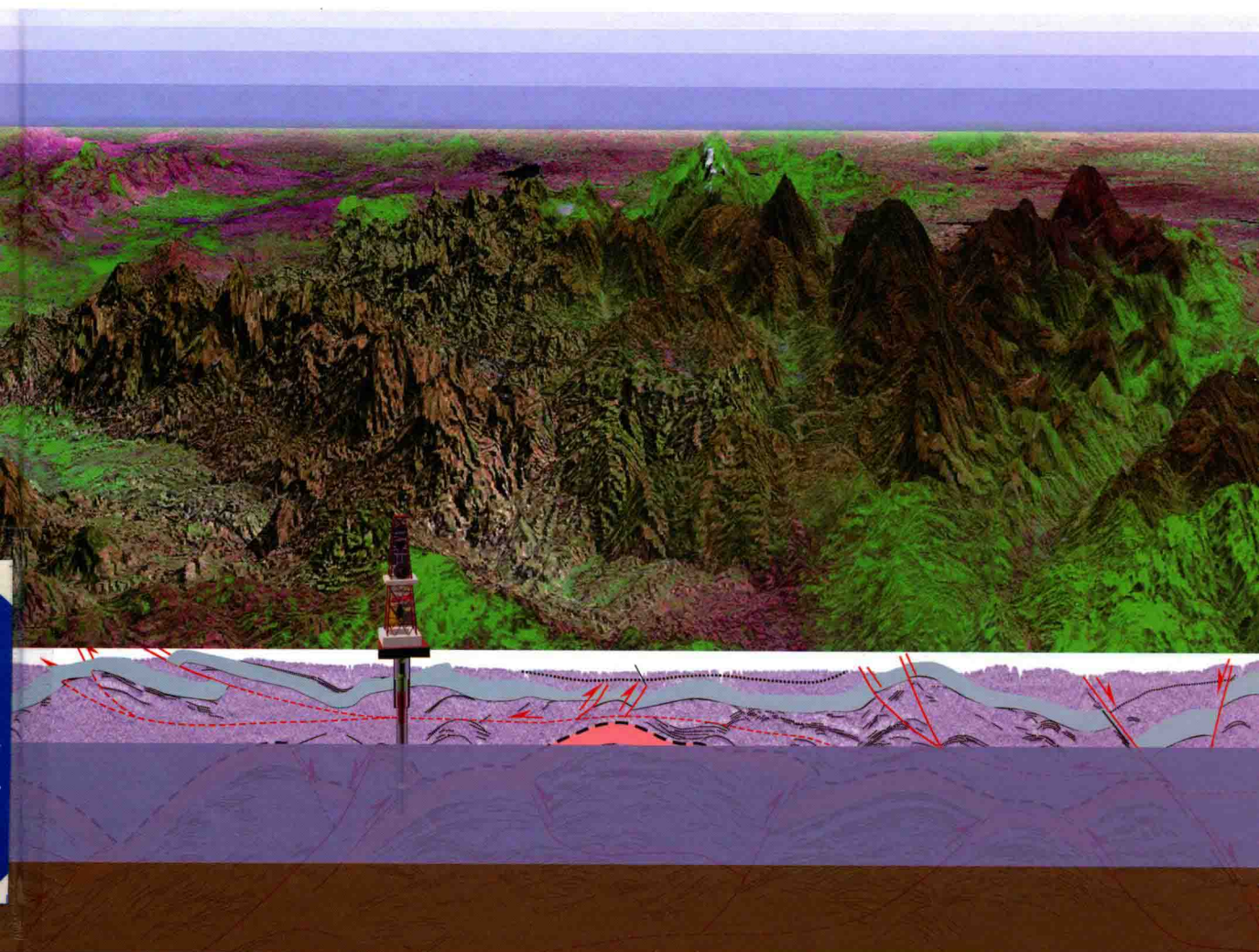




中国深部探测研究丛书

安徽庐枞矿集区三维探测 与深部成矿预测

吕庆田 吴明安 汤井田 周涛发 等/著



科学出版社

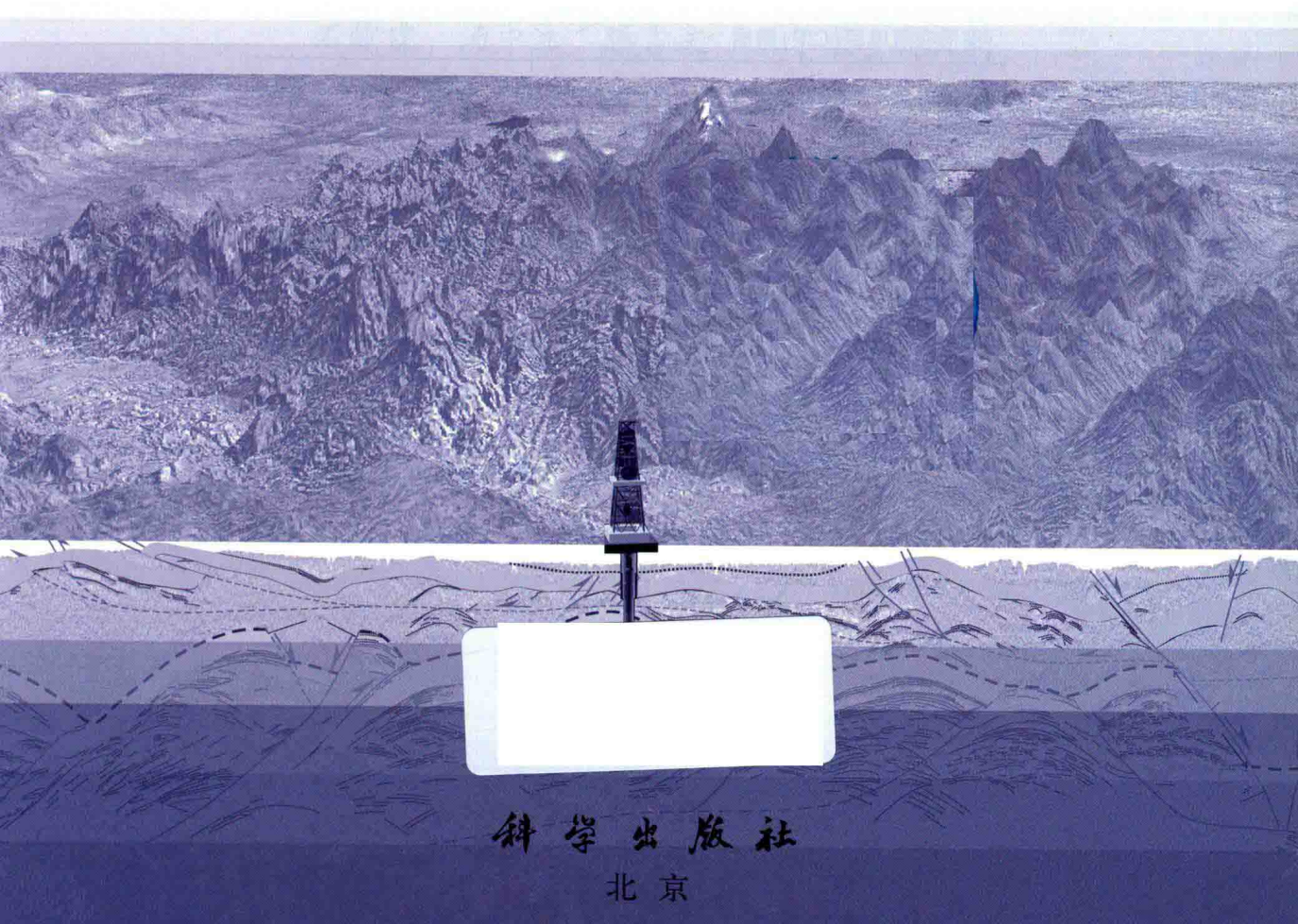


SINO PROBE

中国深部探测研究丛书

安徽庐枞矿集区三维探测 与深部成矿预测

吕庆田 吴明安 汤井田 周涛发 等/著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书为国家深部探测计划 (SinoProbe) 第三项目第四课题“庐枞矿集区立体探测技术与深部成矿预测示范”(2009~2015年)的研究成果。系统介绍了长江中下游庐枞矿集区深部结构三维探测及典型矿床的综合探测技术和探测成果。主要内容包括矿集区尺度地壳结构探测的反射地震、大地电磁和区域重磁探测新技术;矿床尺度的CSAMT、AMT、TEM、SIP探测和重磁岩性识别、三维建模技术,以及这些技术在矿集区和矿床上的探测成果;研究和建立了区域成矿模式和找矿模式,在此基础上预测了一批深部找矿靶区,并对其中的刘屯靶区进行了2000 m钻探验证,实现了深部铀矿异常的重大发现。

本书可供从事地球物理探测、矿产勘查、矿床学研究和应用的科研人员和学生参考。

图书在版编目(CIP)数据

安徽庐枞矿集区三维探测与深部成矿预测 / 吕庆田等著. —北京: 科学出版社, 2017. 10

(中国深部探测研究丛书)

ISBN 978-7-03-054695-1

I. ①安… II. ①吕… III. ①深部地质-矿产地质调查-安徽 ②深部地质-成矿预测-安徽 IV. ①P622 ②P612

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第243585号

责任编辑: 王 运 韩 鹏 / 责任校对: 张小霞

责任印制: 肖 兴 / 封面设计: 黄华斌

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年10月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2017年10月第一次印刷 印张: 23

字数: 550 000

定价: 278.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

丛书编辑委员会

主 编 董树文 李廷栋

编 委 (以姓氏汉语拼音为序)

白星碧	常印佛	陈群策	陈毓川	董树文
高 平	高 锐	黄大年	姜建军	李廷栋
李 勇	廖椿庭	刘嘉麒	龙长兴	吕庆田
石耀霖	汤中立	滕吉文	王学求	魏文博
吴珍汉	谢学锦	许志琴	杨经绥	杨文采
张本仁				

著 者 名 单

吕庆田	吴明安	汤井田	周涛发	刘振东
严加永	肖 晓	高文利	范 裕	张 舒
张 昆	祁 光	陈向斌	刘 彦	梁 锋
陈明春	李 兵	徐文艺	谢文卫	赵金花

丛 书 序

地球深部探测关系到地球认知、资源开发利用、自然灾害防治、国土安全和地球科学创新的诸多方面，是一项有利于国计民生和国土资源环境可持续发展的系统科学工程，是实现我国从地质大国向地质强国跨越的重大战略举措。“空间、海洋和地球深部，是人类远远没有进行有效开发利用的巨大资源宝库，是关系可持续发展和国家安全的战略领域”（温家宝，2009）。“国务院关于加强地质工作的决定”（国发〔2006〕4号文）明确提出，“实施地壳探测工程，提高地球认知、资源勘查和灾害预警水平”。

世界各国近百年地球科学实践表明，要想揭开大陆地壳演化奥秘，更加有效的寻找资源、保护环境、减轻灾害，必须进行深部探测。自20世纪70年代以来，很多发达国家陆续启动了深部探测和超深钻探计划，通过“揭开”地表覆盖层，把视线延伸到地壳深部，获得了重大成果：相继揭示了板块碰撞带的双莫霍结构，发现造山带山根，提出岩石圈折沉模式和大陆深俯冲理论；美国在造山带下找到了大型油田，澳大利亚在覆盖层下发现奥林匹克坝超大型矿床；苏联在超深钻中发现了极端条件下的生物、深部油气和矿化显示，突破了传统油气成藏理论，拓展了人类获取资源的空间，加深了对生命演化的认识。目前，世界主要发达国家都已经将深部探测作为实现可持续发展的国家科技发展战略。

我国地处世界上三大构造-成矿域交汇带，成矿条件优越，现今金属矿床勘探深度平均不足500 m，油气勘探不足4000 m，深部资源潜力巨大。我国也是世界上最活动的大陆地块，具有现今最活动的青藏高原和大陆边缘海域，地震较为频繁，地质灾害众多。我国能源、矿产资源短缺、自然灾害频发成为阻碍经济、社会发展的首要瓶颈，对我国工业化、城镇化建设，甚至人类基本生存条件构成严峻挑战。

2008年，在财政部、科技部支持下，国土资源部联合教育部、中国科学院、中国地震局和国家自然科学基金委员会组织实施了我国“地壳探测工程”培育性启动计划——“深部探测技术与实验研究专项（SinoProbe）”。在科学发展观指导下，专项引领地球深部探测，服务于资源环境领域。围绕深部探测实验和示范，专项在全国部署“两网、两区、四带、多点”的深部探测技术与实验研究工作，旨在：自主研发深部探测关键仪器装备，全面提升国产化水平；为实现能源与重要矿产资源重大突破提供全新科学背景和基础信息；揭示成藏成矿控制因素，突破深层找矿瓶颈，开辟找矿“新空间”；把握地壳活动脉搏，提升地质灾害监测预警能力；深化认识岩石圈结构与组成，全面提升地球科学发展水平；为国防安全的需要了解地壳深部物性参数；为地壳探测工程的全面实施进行关键技术与实验准备。国土资源部、教育部、中国科学院和中国地震局，以及中国石化、中国石油等企业和地方约2000名科学家和技术人员参与了深部探测实验研究。

经过多年来的实验研究，深部探测技术与实验研究专项取得重要进展：①完成了总长

度超过 6000 km 的深反射地震剖面,使得我国跻身世界深部探测大国行列;②自主研制和引进了关键仪器装备,我国深部探测能力大幅度提升;③建立了适应我国大陆复杂岩石圈、地壳的探测技术体系;④首次建立了覆盖全国大陆的地球化学基准网(160 km×160 km)和地球电磁物性($4^{\circ}\times 4^{\circ}$)标准网;⑤在我国东部建立了大型矿集区立体探测技术方法体系和示范区;⑥探索并实验了地壳现今活动性监测技术并取得重要进展;⑦大陆科学钻探和深部异常查证发现了一批战略性找矿突破线索;⑧深部探测取得了一批重大科学发现,将推动我国地球科学理论创新与发展;⑨探索并实践了“大科学计划”的管理运行模式;⑩专项在国际地球科学界产生巨大的反响,中国入地计划得到全球地学界的关注。

为了较为全面、系统地反映深部探测技术与实验研究专项(SinoProbe)的成果,专项各项目组在各课题探测研究工作的基础上进行了综合集成,形成了《中国深部探测研究丛书》。

我们期望,《中国深部探测研究丛书》的出版,能够推动我国地球深部探测事业的迅速发展,开创地学研究向深部进军的新时代。



2015 年 4 月 10 日

序

矿产资源是社会发展的物质基础。进入 21 世纪，我国经济高速发展，新型工业化、信息化、城镇化快速推进，对矿产资源的巨量需求在相当长时期内仍将持续，解决资源安全、稳定供给将是我国面临的长期任务。

矿产勘查已经走过了一个世纪的历史，工作程度高的地区近地表矿的发现难度越来越大，迫使我们必须把勘查重点转移到深部。然而，深部找矿难度很大，面临很多挑战，如深部地质结构认识不清、探测技术能力有待提升等。因此，发展深部探测技术，开展三维探测示范，积累深部找矿经验十分重要。1985 年地质矿产部太原普查工作会议上，有与会者借鉴当时国际上苏联的先例，从找矿勘查学科发展和我国普查工作历史经验出发，提出在勘查研究程度高的重要成矿远景区开展立体地质填图、进行深部找矿的建议，并得到采纳和支持，于 1988 年在铜陵和大冶进行立体填图试点，取得了较好效果，显示了该方法在深部找矿中的重要意义。由于当时技术条件的限制，开展立体填图的难度还很大，现在的技术情况已有很大不同，深部探测技术和计算机三维模拟技术取得飞速发展，开展深部探测和立体填图，在此基础上进行深部找矿，从技术的角度已基本上具备了，应该大力倡导和推广。

纵观全球的发展状况，在深部资源勘查技术储备和勘查理论研究方面，总体上西方国家走在前头。2008 年加拿大成立了“加拿大矿业创新委员会（Canadian Mining Innovation Council, CMIC）”，目的是通过理论和技术创新实现靶区的深部找矿突破，并启动了“蚀变痕迹（Footprints）”研究计划；2012 年澳大利亚能源和资源常务理事会（SCER）正式发布了“国家矿产勘查战略”，启动了宏大的“揭盖（UNCOVER）计划”，并成立了“深部勘探技术合作研究中心（Deep Exploration Technologies Cooperative Research Center, DET-CRC）”，目的是发展深部勘探技术，通过技术的进步实现矿业的持续发展。美国勘探地球物理学会（SEG）和经济地质学会自 2010 年以来每年联合召开深部资源勘查学术研讨会，着重研讨覆盖层深部勘查的理论和技术问题以及找矿实例。

值得欣慰的是，我国在深部资源勘查技术和实践方面也迈出了重要的步伐。21 世纪初，即开展了国土资源部“十五”专项计划“大型矿集区深部精细结构探测研究”项目。接着在财政部和国土资源部支持下，2008 年启动了“深部探测技术与实验（SinoProbe）”科技专项。选择我国东部的长江中下游和南岭两个成矿带，开展了成矿带、矿集区和矿田三个层次上多尺度综合地球物理探测和方法技术研究。尤其是矿集区和矿田尺度上，系统探索了以深部找矿为目的综合探测、三维地质建模和成矿预测工作，都取得了很好的效果。《安徽庐枞矿集区三维探测与深部成矿预测》系统介绍了庐枞矿集区和典型矿床上的综合探测技术试验和探测成果，这是我国第一次在矿集区层次系统开展的探测工作。书中

介绍了目前矿集区探测中的一些新技术,如高分辨率反射地震技术、强干扰地区电磁去噪技术、重磁岩性填图技术和三维建模技术等,提出了“三维结构+成矿模式+综合信息”“三位一体”的预测思路,这对我国未来深部找矿具有重要的意义。

该书作者长期在长江中下游地区开展深部探测和成矿理论研究,积累了丰富的经验,取得了大量理论和方法技术成果。我相信,本书的出版将对推动我国深部找矿工作发挥重要作用,对从事深部找矿理论研究和勘查的人员具有重要的参考价值。

常印佛

2017年5月18日

前 言

长江中下游成矿带是我国东部最重要、勘查程度最高的成矿带之一，经过几十年的找矿工作，浅表矿床发现的难度越来越大，开展深部找矿工作，开辟“第二找矿空间”，已成为长江中下游成矿带，乃至中国东部地区找矿工作的必然趋势。庐（江）-枞（阳）矿集区是长江中下游成矿带典型的铁、硫矿集区，至20世纪80年代，区内找矿工作取得了丰硕的成果，探明了罗河、大包庄、龙桥等一大批矿产地。90年代以来，地质工作逐步萎缩，找矿工作进入了停滞状态。2006年，泥河大型铁矿的发现，证实了深部“第二找矿空间”的巨大找矿前景。2007年国土资源部在合肥召开“全国深部找矿工作研讨会”现场推广泥河深部找矿经验，从此，拉开了长江中下游地区，乃至全国深部找矿工作的序幕。

自20世纪90年代，全球矿产勘查已转向深部和“难进入”地区及覆盖层之下。拓展深部资源，面临理论、技术和找矿思路的巨大挑战。传统的模式找矿、异常找矿在应对深部目标时，首先面临的是深部三维地质结构不清，勘查技术的探测深度、分辨率不够的挑战。为了解决上述问题，勘探地质学家开始探索三维综合地球物理探测，尤其重视发挥反射地震技术在地质结构探测深度和精度方面的优势，在此基础上，开展三维岩性填图和地质填图，进而实现深部成矿预测，或指导深部矿产勘查。

20世纪70年代以来，围绕庐枞矿集区的火山岩、成矿作用和基础地质工作开展了大量研究，在火山岩地层层序、成岩、成矿的时空框架、成矿作用与机理和深部构造背景与过程等方面取得了较大进展。然而，多数研究集中在火山岩、岩浆岩、年代学、矿床地质和对深部背景的探讨，而与深部找矿密切相关的深部结构探测和技术方法研究相对较少，很多深部找矿和成矿的基础地质问题仍不清楚。比如，上地壳与火山岩盆地的结构框架、厚度与可能的物质组成，控岩、控矿断裂的性质及深部延伸，以及庐枞下面是否有寻找铜陵式矿床的可能？等等。寻找这些问题的答案，对全面认识庐枞矿集区的成矿、找矿潜力和深部找矿工作部署都具有十分重要的意义。

2008年，在财政部和国土资源部的支持下，我国启动了“深部探测技术与实验（SinoProbe）”科技专项。专项下设9个项目，其中项目三“深部矿产资源立体探测技术及实验研究”围绕深部找矿的理论和技术问题开展相关研究。该项目下设7个课题，其中课题四为“庐枞矿集区立体探测技术与深部成矿预测示范”（编号：201111049；SinoProbe-03-04）。课题以庐枞矿集区为研究对象，以玢岩型、斑岩型矿床的成矿环境和找矿方法为主要研究内容，部署若干骨干性综合地球物理探测剖面（反射地震、MT、重磁等），通过综合反演解释，精细刻画矿集区5 km三维精细结构和物质组成，追踪主要容矿控矿构造、控矿岩体的深部延伸，发现深部“第二找矿空间”，拓展资源勘查深度；研

究区域成矿规律，建立深部找矿模式，开展深部成矿预测。

课题依托单位为中国地质科学院矿产资源研究所和安徽省地质调查院，课题负责为吕庆田研究员、吴明安教授级高级工程师。主要参加单位有：中南大学、合肥工业大学、吉林大学、中国地质大学（北京）、东华理工大学、中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所、中国地质科学院勘探技术研究所、北京派特森科技发展有限公司等。野外反射地震数据采集由中石化石油工程地球物理有限公司云南分公司完成。本专著是该课题的综合研究成果，全书共七章，其中第一章由吕庆田执笔；第二章由周涛发、范裕执笔；第三章由吕庆田、刘振东、陈明春、李兵、梁锋执笔；第四章由汤井田、肖晓执笔；第五章由严加永、祁光、刘彦、吕庆田执笔；第六章由张昆、祁光、陈向斌执笔；第七章由严加永、陈向斌执笔；第八章由周涛发、吴明安、范裕、张舒、谢文卫、高文利、徐文艺、刘彦执笔；第九章由吕庆田执笔；全书由吕庆田、吴明安、汤井田、周涛发统编定稿。

课题执行期间曾得到国土资源部科技司姜建军司长、高平副司长、白星碧副司长、马岩处长、赵财胜处长和中国地质调查局科外部连长云主任、刘凤山处长、秦绪文处长的关心和支持，得到安徽省国土资源厅、安徽省地质矿产勘查局、安徽省地质调查院、合肥工业大学等单位的支持和配合。专项首席科学家董树文研究员、李廷栋院士，课题承担单位的领导以及专项办公室对课题的实施给予大力支持和协助。滕吉文院士、王椿镛研究员、刘启元研究员、黄宗理研究员、于晟研究员、高锐院士、杨宝俊教授、张忠杰研究员、薛爱民研究员、李秋生研究员、李兵高级工程师等一批专家，一直跟踪课题研究进展，参与了课题的设计审查、数据采集招投标、野外质量检查等工作，提出过很多有建设性的意见和建议，对课题的完成做出了巨大贡献。课题组成员密切合作，为本项任务的完成做出了重要贡献，在此，一并向他们表示衷心的感谢！

值得指出的是，矿集区的三维探测、立体填图和深部找矿技术是一项长期的研究任务，需要广大地球物理、矿床地质学家不懈的努力，很难在短时期内得到解决。加之作者水平有限，文中不妥之处在所难免，一些技术方法还需要进一步完善，对矿集区深部结构的认识还需要进一步推敲，敬请读者批评指正。

吕庆田

2017年5月1日

目 录

丛书序

序言

前言

第一章 绪论	1
第一节 研究现状及问题	1
第二节 研究思路和内容	5
第三节 主要研究进展	6
第二章 区域地质背景	13
第一节 基底与盖层	13
第二节 构造	16
第三节 侵入岩	18
第四节 区域矿产	20
第三章 反射地震探测与地壳结构	22
第一节 反射地震数据采集	22
第二节 首波层析成像与浅层地表结构	44
第三节 反射地震数据处理	50
第四节 反射地震剖面的地质解释	73
第五节 综合分析 with 讨论	82
小结	85
第四章 大地电磁探测与电性结构	87
第一节 数据采集及数据质量评价	87
第二节 数据处理	93
第三节 数据的定性分析及反演	113
第四节 地质解释	119
第五节 综合分析 with 讨论	131
小结	133
第五章 重磁探测与三维建模	135
第一节 岩/矿石物性测量	135
第二节 边缘检测与地质体边界划分	156
第三节 基于重磁三维反演的岩性填图试验	162
第四节 重磁三维建模	173

第五节 综合分析讨论	186
小结	189
第六章 典型玢岩型铁矿的综合探测方法试验	190
第一节 泥河铁矿区地质概况	190
第二节 重磁探测试验	192
第三节 AMT 探测试验	205
第四节 CSAMT、TEM 与 SIP 探测试验	215
第五节 综合分析讨论	224
小结	230
第七章 典型斑岩型铜矿的综合探测方法试验	232
第一节 沙溪铜矿区地质概况	232
第二节 重磁探测试验	234
第三节 AMT 探测试验	239
第四节 CSAMT、TEM 与 SIP 探测试验	244
第五节 综合分析讨论	249
小结	255
第八章 深部找矿预测	256
第一节 区域成矿模式	256
第二节 区域找矿信息与找矿模式	286
第三节 深部找矿预测	301
第四节 深部找矿验证	313
小结	331
第九章 结论与展望	333
第一节 主要结论	333
第二节 未来展望	336
参考文献	339

第一章 绪 论

第一节 研究现状及问题

加强深部成矿理论研究,拓展资源勘查深度,向深部索取资源,是未来实现我国矿产资源可持续供给的重要途径。开展重要成矿带、矿集区的深部探测综合研究,不仅可以揭示成矿带、矿集区深部精细结构、物质组成和构造演化过程,提高对成矿深部过程的认识,还可以直接或间接圈定控矿地质体(构造、岩体或地层)的深部延伸,甚至直接发现隐伏矿体,为深部找矿工作部署提供重要依据。

长江中下游成矿带是我国东部重要的成矿带之一,由七个主要矿集区构成,根据不同矿集区成矿的“缺位”与深部找矿潜力分析(吕庆田等,2009),其深部(500~2000 m)找矿潜力巨大,是我国未来深部找矿的战略远景区之一。庐枞矿集区是长江中下游成矿带与断陷火山岩盆地、富钠闪长岩系有关的铁(硫)、铜矿集区,随着泥河深部大型铁矿的发现(吴明安等,2011),庐枞矿集区的深部找矿工作再次引起了人们高度关注,探测庐枞火山岩覆盖区及之下的地壳结构,不仅是实现矿集区深部找矿全面突破的关键,还对认识我国东部陆内成矿过程、揭示陆内成矿规律具有重要的科学意义。

一、研究现状

1. 基础地质与成岩成矿研究

庐枞矿集区大规模的研究工作起始于20世纪70年代的铁矿会战,随着罗河铁矿、沙溪铜矿、岳山铅锌矿、龙桥铁矿等一批矿床的发现与勘探,相关的地质研究工作日益增多。20世纪70年代以来,原安徽省地矿局、中国地质科学院、南京大学、合肥工业大学等单位相继开展了多项科研项目,如“六五”“七五”期间的玢岩铁矿和沙溪斑岩铜矿研究、“八五”国家科技攻关项目“沿江重要成矿带铁铜矿找矿研究”等(刘湘培等,1988;常印佛等,1991;翟裕生等,1992;吴言昌,1994;邢凤鸣和徐祥,1995),对深化该区的成矿作用认识和指导找矿起到了重要的推动作用。同时,原安徽省地矿局还完成了“罗河铁矿床研究”(黄清涛和尹恭沛,1989)、“龙桥铁矿床研究”等(吴明安等,1996),提高了庐枞矿集区主要典型矿床的研究程度。

20世纪80年代以来,国内更多的专家参与了庐枞矿集区的基础地质和矿床地质的研究,在火山岩地层层序、成岩成矿的时空格架、成矿机理、深部过程和深部找矿等方面取

得了较大进展。

岩石序列的划分：庐枞矿集区内晚中生代火山作用强烈，形成了一套偏碱富钾的中基性岩石组合。于学元和白正华（1981）较早注意到这套火山岩具有类似于国外岛弧及大陆边缘钾玄岩系的特点，并命名为“安粗岩系”。随后，吴利仁（1984）、任启江等（1991）和孙冶东等（1994）先后对区内火山岩进行过不同程度的研究。孙冶东等（1994）通过详细的岩石化学和地球化学的对比研究，认为庐枞中生代火山岩系属于橄榄玄粗岩系（王德滋等，1996）。对应侵入岩为典型的富钠闪长岩类（常印佛等，1991；唐永成等，1998）。

盆地区域构造：庐枞盆地经历了复杂的构造演化历史，即经历了中、晚三叠世华北板块与扬子板块的碰撞，又遭受了中、晚侏罗世古太平洋板块北西向的挤压和早白垩世的地壳伸展。任启江等（1991）在分析区域地球物理资料和野外构造的基础上，对庐枞火山-构造洼地的构造特征、火山沉积岩分布和构造演化进行了研究；王中杰（1982）讨论了庐枞火山岩盆地的总体构造轮廓，分析了盆地的环状、放射状构造和火山口构造。潘国强和董恩耀（1983）通过大量的野外火山地质调查，对盆地的火山构造类型和特征进行了划分和研究，并讨论了火山构造对成矿的控制作用。董树文和李廷栋（2009）、高锐等（2010）在庐枞矿集区及外围实施一条 NW-SE 向长 150 多千米的深地震反射剖面，初步揭示了地壳和莫霍面的特征，并讨论了一些反射的地质意义。

成岩、成矿年代学：郑永飞（1985）采用 U-Pb、K-Ar 测年法测定了庐枞矿集区南部黄梅尖岩体的结晶年龄及冷却年龄，并结合 Rb-Sr 年龄计算了黄梅尖岩体的冷却速率，从而探讨了黄梅尖岩体热历史及其与成矿的关系。傅斌等（1997）通过对沙溪斑岩铜（金）矿床的 Ar-Ar 测年得出，其坪年龄为 126.8 ± 1.0 Ma，确定该岩体为早白垩世岩浆活动产物，并据 Sr、Nd 同位素及岩石化学资料得出该活动受邻庐断裂的控制。徐兆文等（2000）对沙溪斑岩铜（金）矿床有关的石英闪长斑岩地质地球化学特征及形成时代进行了研究，得出全岩 Rb-Sr 同位素等时线年龄值为 127.9 ± 1.6 Ma，属于燕山第二期产物。王强等（2001）、杨晓勇（2006）由角闪石的 Ar-Ar 法测得沙溪岩体形成时间在 134 ~ 132 Ma。 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 值为 0.7058，说明成岩物质主要来自上地幔，可能在岩浆上升过程中受地壳物质混染。周涛发等（2007，2008，2010）、范裕等（2008）通过大量精确定年，将整个庐枞矿集区的岩浆活动时限确定在 134 ~ 123 Ma，并确定了岩浆岩演化的时空格架。

成岩、成矿机理：庐枞矿集区曾发生多期次岩浆活动和成矿作用，矿床类型复杂。任启江等（1991）将庐枞矿集区内铁铜多金属矿床分为罗河式、沙溪式、岳山式、小岭式、黄屯式等 11 种矿床类型。魏燕平和张冠华（1999）在分析龙桥铁矿的矿石结构、构造、矿体产状、矿石自然类型的分布规律及地球化学特征的基础上，得出火山成矿作用是该矿床形成的主要因素。吴明安等（1996）通过综合研究，认为龙桥铁矿为沉积-热液叠加改造型矿床。张荣华（1980，1981）对罗河铁矿床的围岩蚀变及矿床成因进行了深入研究。段超等（2009）、张乐骏等（2010）、Zhou 等（2011）、周涛发等（2012b）、范裕等（2012）、袁峰等（2012）等对沙溪铜矿、泥河铁矿和龙桥铁矿等典型矿床进行了系统的成因研究，建立了典型矿床的成矿模式。刘洪等（2002）在系统总结庐枞矿集区内中生代火山岩地球化学特征的基础上，着重运用元素-同位素综合示踪的研究方法，探讨了岩浆

源区性质,并讨论了岩石的成因。张旗等(2001)在区别O型和C型埃达克岩的基础上,判定沙溪斑岩铜矿体属于C型埃达克岩,并初步探讨了该岩体斑岩铜(金)矿与埃达克岩的关系。王强等(2008)持有类似观点。周涛发等(2007,2008)、袁峰等(2008)通过详细的岩浆岩地球化学研究,认为庐枞盆地4个旋回的火山岩和4阶段侵入岩具有岩浆同源性关系,其岩浆源区为成分接近EM I富集地幔的交代地幔,交代地幔的形成与古板块的俯冲交代作用有关。

深部动力学背景:孙冶东等(1994)在详细的岩石化学和地球化学的对比研究的基础上,认为庐枞矿集区内中生代火山活动形成于活动大陆边缘由挤压作用向引张作用转变的过渡时期,是火山弧后拉张形成的前裂谷阶段的产物。但王强等(2001)通过沙溪富钠石英闪长玢岩微量元素和同位素地球化学研究认为,沙溪岩体及斑岩矿床的形成与大洋板片俯冲无关,而是底侵的玄武质下地壳熔融、地壳垂向增生背景的产物。周涛发等(2007)通过研究认为庐枞矿集区内早期岩浆岩形成于挤压-拉张过渡的构造背景,而晚期岩浆岩则形成于典型的拉张构造背景,构造背景的转换时间约在130.5 Ma。吴长年等(1994)在庐枞火山岩盆地东北部区域金成矿研究中,发现金的背景值不仅严格受不同级别火山机构控制,而且受不同级别火山机构形成的火山岩建造控制。魏燕平(1994)从破火山口演化规律入手,分析研究了环形火山构造对庐枞火山喷流、潜火山气液叠加改造型铁硫矿床形成的制约作用。

2. 地质调查与矿产勘查

新中国成立以来,许多单位和专家在庐枞矿集区进行过基础地质和矿产勘查工作。安徽省地矿局等单位于20世纪60年代至90年代期间在该区进行了大量的区域地质研究和矿产勘查工作,完成了多项地质成果(常印佛等,1991;汪祥云等,1991^①;唐永成等,1998;汤加富等,2003)。在区域地质研究方面,安徽省地矿局321地质队1969年完成了铜陵幅1:20万区域地质调查;安徽省地矿局区调队1983~1985年期间完成了将军庙幅、庐江幅、矾山幅、义津幅、枞阳幅等多幅1:5万区域地质调查。

在物化探工作方面,1976年地质矿产部航测大队完成了涵盖本区在内的大别山地区1:5万航空磁测;地质矿产部第二物探大队完成了庐枞部分地区1:5万重力、磁力和化探测量;1978年安徽省物探大队完成了涵盖本区的铜陵幅1:20万化探扫面工作;1991年地质矿产部物探所完成了涉及本区的第二代1:5万航空磁测与航电工作。2007年至今,庐枞矿集区已全面完成1:1万高精度磁测和部分地区1:1万高精度重力测量。上述工作为在该区的地质研究和矿产勘查提供了良好的基础地质和物化探资料。

庐枞矿集区的矿产勘查工作一直没有停止,1952~1954年地质矿产部321地质队对区内枞阳穿山洞铜矿和拨茅山铜矿、庐江石门庵铜矿和黄山寨铜矿等脉状铜矿床进行了普查评价;1958~1962年安徽省地矿局327地质队对庐江县的明矾石矿、何家小岭等硫铁矿和一批铜矿点进行了普查勘探工作;罗河铁矿会战期间,安徽省地矿局327地质队对庐枞北部开展了铁、铜、铅、锌等矿床普查,326地质队对庐枞南部开展了铜、铁矿床普查。同时,冶金系统地勘队伍对庐枞矿集区东部及西南部地区开展了铜、金矿床普查工作,找矿

^① 汪祥云等,1991.龙桥铁矿床勘探地质报告.安徽省地质矿产局327地质队.

工作成果显著,发现了罗河铁矿、沙溪铜矿,以及芦柴岭、天头山等铜金矿床等。20世纪80年代,安徽省地矿局327地质队在庐枞矿集区北部相继发现岳山铅锌矿床、龙桥铁矿床、马鞍山铁矿床。

近年来,安徽省公益性地质项目管理中心、安徽省地勘局327地质队、安徽省地质调查院、安徽省地球物理地球化学勘查研究院、华东冶金地勘局地质调查院、合肥工业大学等单位继续在该区进行矿产资源勘查和“找矿工程计划”前期研究,并取得可喜成果。2007年,安徽省地调院在庐枞矿集区西部发现了泥河大型铁矿床(吴明安等,2011;赵文广等,2011),取得了庐枞矿集区深部找矿的重大突破;2008~2012年,在沙溪矿区凤台山和铜泉山,以及沙溪外围新增一批铜资源量;2012年,327地质队在罗河外围发现了小包庄铁矿床,该矿床达到大型规模,并仍有较大资源潜力。此外,庐枞矿集区南部马口、石矾等正长岩中铁矿化引起重视,有望发现新类型的矿床,取得找矿突破。

围绕矿产勘查工作,一些专家总结了具有实际意义的找矿标志。张寿稳(2000)分析了区内高岭土矿形成机理及蚀变矿化组分特点,总结了有效的找矿标志。刘昌涛(1994)在分析庐枞矿集区内硫铁矿地质特征及控矿因素的基础上,提出硫铁矿常与铁、铜、硬石膏等矿产共生或伴生形成综合型矿床,硅化等热液蚀变与矿产关系密切,是找矿的主要标志。吴明安等(1996)通过综合分析,总结了龙桥式铁矿的地层学、构造环境、地球物理、蚀变与矿化、地球化学、同位素及其他共七方面找矿标志,并指明了该类矿床的找矿方向。周涛发等(2007)、刘珺等(2007)提出庐枞矿集区内各系列矿床表现出较明显的岩浆岩成矿专属性,并初步总结与各系列矿床有关的岩浆岩成矿专属地球化学特征。

二、存在问题

纵观庐枞矿集区的基础地质研究和矿产勘查现状,不难发现研究工作多集中在地层、岩浆岩和区域矿床地质等方面,而从深部找矿的需求角度,矿集区三维结构、构造,深部勘查技术等方面的研究相对缺乏,与之相关的科学问题急需解决,这些问题包括:

(1) 深部过程与岩浆系统结构:火山岩盆地岩浆岩形成的动力学过程和机制,岩浆从源区迁移到地表的途径与结构等。

(2) 矿集区地壳结构与变形:上、下地壳结构框架和物质组成,地壳变形期次、特征和演化历史。

(3) 上地壳精细结构及对成矿的控制作用:火山岩覆盖厚度、边界断裂、断陷盆地内部结构及与基底的构造关系;控岩、控矿断裂网络的深部延伸;主要地质体(火山岩、岩浆岩体、断裂)空间展布等。

(4) 深部找矿潜力及有效的勘查技术:玢岩型铁矿、斑岩型铜矿的成矿模式和综合找矿信息模式;深部找矿潜力和远景靶区;玢岩型铁矿、斑岩型铜矿深部找矿勘查技术方法。

(5) 火山岩区深部探测技术:火山岩区反射地震数据采集和处理解释技术,起伏条件大地电磁(MT)数据反演、解释技术,强干扰电磁信号去噪技术,以及地震约束下的重磁反演建模技术等。