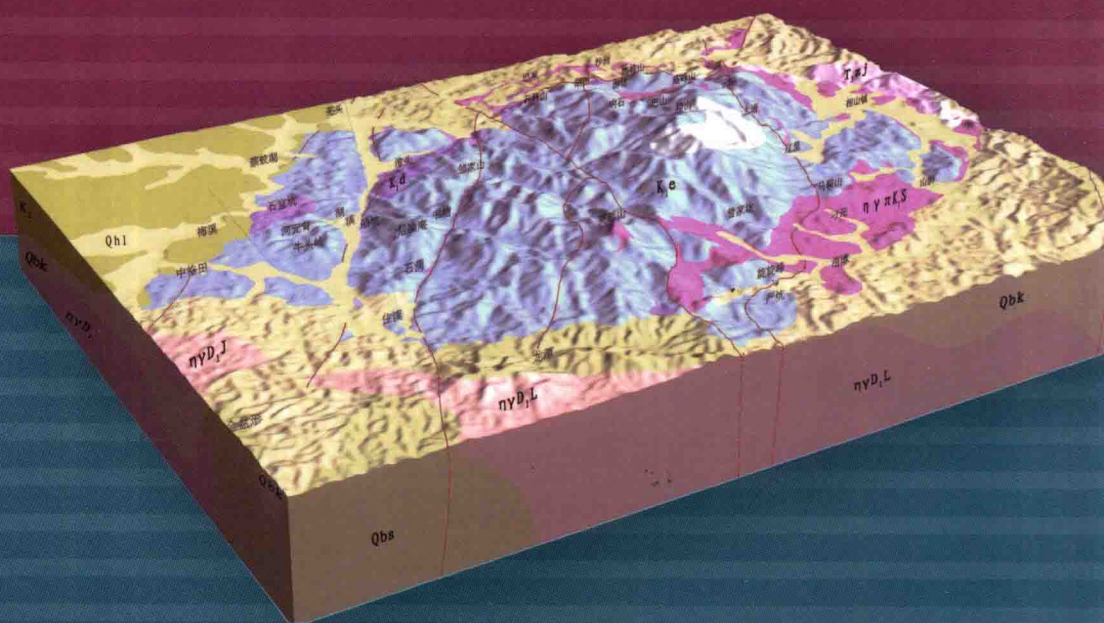


矿田三维地质调查方法与实践

——以江西相山火山盆地为例

郭福生 谢财富 邓居智 等 著
杨海燕 林子瑜 吴志春



科学出版社

矿田三维地质调查方法与实践

——以江西相山火山盆地为例

郭福生 谢财富 邓居智 等 著
杨海燕 林子瑜 吴志春

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是作者在江西相山火山盆地开展三维地质调查与建模研究的成果总结。以我国最大的火山岩型铀矿田为例,介绍了三维地质调查技术方法和三维建模方法流程,阐述了研究区三维地质调查主要成果与经验体会,展示了系列大地电磁测深剖面、地质解译图件及三维地质模型,图文并茂,简明实用。

全书共分七章,第一章介绍了三维地质调查国内外进展、相山火山盆地三维地质调查工作简况;第二章总结了研究区地质和地球物理概况;第三章介绍了研究区目标地质体特征;第四章阐述了三维地质调查总体技术流程;第五章详细阐述了三维地质调查数据采集方法及其取得的数据与主要成果;第六章叙述了三维地质建模方法和所建模型性能;第七章总结了本书取得的主要成果以及对三维地质建模的一些思考。

本书可供区域地质、地球物理、三维建模技术方面的科研和教学人员,以及相关专业研究生和高年级本科生参考。

图书在版编目(CIP)数据

矿田三维地质调查方法与实践:以江西相山火山盆地为例/郭福生等著.
—北京:科学出版社,2017.6

ISBN 978-7-03-051693-0

I. ①矿… II. ①郭… III. ①矿产地质调查—方法 IV. ①P622

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第022862号

责任编辑:张井飞 韩 鹏 陈娇娇/责任校对:何艳萍

责任印制:肖 兴/封面设计:耕者设计工作室

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6月第 一 版 开本:889×1194

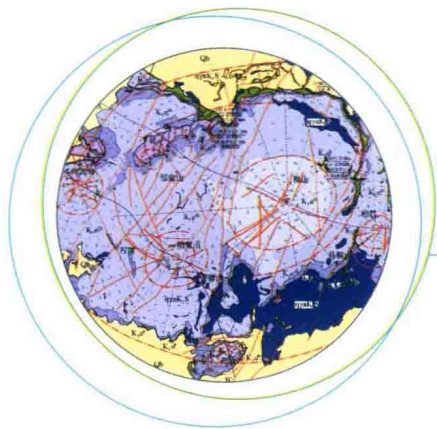
2017年6月第一次印刷 印张:12 3/4

字数:376 000

定价:168.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)





矿田三维地质调查方法与实践——以江西相山火山盆地为例

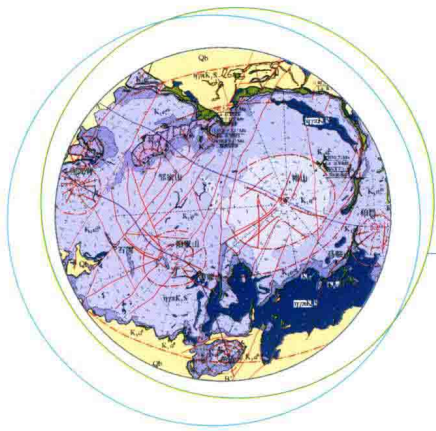
本书主要作者

郭福生	谢财富	邓居智	杨海燕	林子瑜
吴志春	周万蓬	杨庆坤	姜勇彪	李红星
方根显	黎广荣	蒋振频	刘林清	李 祥
陈留勤	张树明	张文华	张士红	罗 勇

国家自然科学基金项目 (41572185)

中国地质调查局项目 (1212011220248,1212011120836) 资助成果

江西省“赣鄱英才555工程”领军人才计划项目



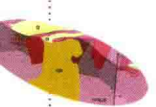
“上天、入地、下海”是当代人类向科学进军和挑战自然极限的伟大创举，是衡量一个国家科技水平和综合国力的重要标志。随着科学技术的进步，人类在“上天、入地、下海”的追梦征程中已经迈出了坚实的步伐。我国已经把“深空、深地、深海”列为国家发展战略，并在深空、深海探索研究上取得了突破性进展。在航天工程方面，我国成功开展了多次载人航天飞行，太空站的建立和登月计划也已提上了议事日程。在深海方面，开展了包括深海远洋地质矿产在内的海洋调查和科学研究，基本查明了我国海域的状况。在地球深部探测方面，我国已经开展了地质、地球物理、地球化学相结合的调查研究和大陆科学钻探工程，完成了 11000 余千米的深反射地震探测，取得了丰富的地质资料和数据，为揭示地球内部各圈层组成和构造提供了大量新信息。然而，我国的深地探测起步较晚，科学技术比较滞后，所获成果还难以全面了解和认识我国深部地质情况。随着我国工业化、城镇化进程的加快，资源需求不断增长，地质灾害频发，地质环境问题日趋严重，迫切需要系统的深部地质资料和数据支撑，深化对地球深部的认知。随着信息技术的迅猛发展和大数据时代的到来，传统基础地质调查面临新的机遇与挑战。我国“十三五”规划提出了“深空、深海、深地”三大战略，其中深地目标就是要为解决地学重大基础理论问题、国家能源与资源勘查开发以及扩展经济社会发展空间提供保障。

三维地质调查是开展深地研究的重要内容，是在地表地质填图的基础上，以解决关键地质问题为目标，采用现代地学理论、先进的综合勘查方法和三维可视化信息技术而开展的综合立体式的地质调查。我国三维地质调查工作始于二十世纪八十年代，开展了一些重要造山带、金属矿集区和油气盆地的深部探测。中国地质调查局 2012 年启动了“三维地质调查”试点工作，选取了五类关键地区或盆地开展三维地质填图与深部地质调查，目的在于为后续全国性的三维地质调查提供示范。试点项目实施以来，取得了较为突出的成绩和明显的成效。

我国的地质调查与研究正从二维走向三维、从单一学科向多学科融合发展，是传统地质调查的一次重要革新，对实现找矿突破、提升地质工作的服务功能和支撑作用具有重大意义。

郭福生教授研究团队负责的“相山火山盆地深部地质调查”工作项目是针对矿集区三维地质调查试点而设置的。江西相山火山盆地是我国著名的火山岩型铀矿田，不仅铀矿储量大，而且深部还伴生有 Pb-Zn-Ag 矿化，显示出了巨大的找矿潜力。项目组经过五年的研究，通过地表地质填图、地球物理探测和计算机三维地质模拟等多学科、多方法体系的交叉融合，获得了丰富的资料与成果，揭示了相山地区三维地质结构。为更广泛地提供有关部门和专家参考使用，特以专著形式出版。

作者在书中系统阐述了相山盆地主要岩浆岩体的产状、火山机构特征，厘定了盆地岩浆演化序列，探索了主要断裂的性质及断裂系统对铀多金属成矿的控制规律。根据大地电磁测深解译和钻孔数据圈定了主要地层、岩体和断裂带等目标地质体的空间分布。融合上述地质、地球物理研究结果，在 GOCAD 软件平台上构建了多个不同数据源、不同精度的三维地质模型。

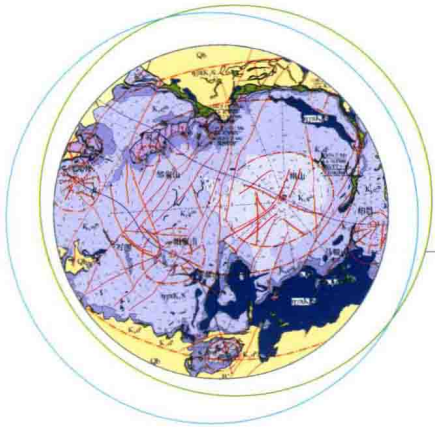


我国系统的三维地质调查工作刚刚启动，研究方法和手段还处于摸索与实践阶段。我相信本书的出版对相山盆地找矿实践、对我国三维地质调查方法体系的完善将起到推动和示范作用。

最后，热烈祝贺本书的出版面世，谨以序致贺。

中国科学院院士
中国地质科学院研究员

李廷栋

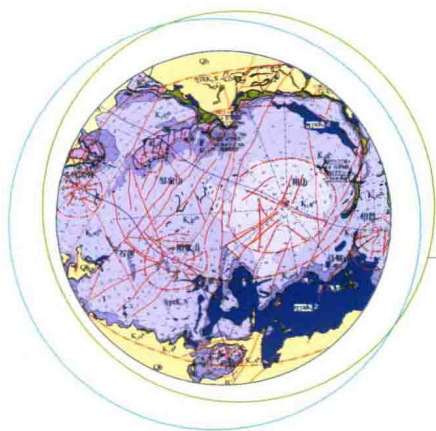


江西相山火山盆地因产有我国最大的火山岩型铀矿床而引人瞩目,查明该区三维地质结构,对新一轮铀多金属矿产勘查意义重大。2012年中国地质调查局正式启动三维地质调查试点工作,笔者承担的“相山火山盆地三维地质调查”是其中工作项目之一。该项目在地表地质填图、钻探与坑探资料分析、重磁三维反演、深孔综合测井等工作手段的基础上,根据深部目标地质体情况部署了覆盖全区的大地电磁测深(MT)工作,通过多参数交互解译确定了相山火山盆地2000m以浅目标地质体的三维空间展布特征与成因联系;在GOCAD软件平台上构建了该区三维地质模型,为深部找矿勘探提供依据。本书在该项目成果以及近年来其他项目研究成果的基础上,总结出三维地质调查技术方法,阐述了研究区三维地质结构特征。

本书介绍了“数字地质填图建模”和“地质剖面建模”两种建模方法。这两种方法既能直接利用数字地质填图数据,又可综合应用物探解译的深部地质剖面 and 矿山勘探资料。其中数字地质填图建模既可以作为地表区域地质填图的一种新型表达方式,也是一种过渡性模型,可用于更深层次三维地质调查的工作部署基础和建模约束条件,具有很好的应用推广价值。

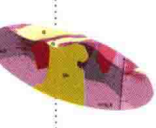
本书是项目组成员集体劳动成果。第一章由郭福生、谢财富、杨庆坤执笔;第二章由谢财富、周万蓬、姜勇彪、李红星、罗勇执笔;第三章由周万蓬、蒋振频、谢财富、李红星、张文华执笔;第四章由郭福生、邓居智、陈留勤执笔;第五章第一节由姜勇彪、刘林清、黎广荣、张树明执笔;第五章第二节由邓居智、杨海燕、李红星、方根显执笔;第五章第三节由林子瑜、杨海燕、杨庆坤、吴志春执笔;第六章由吴志春、刘林清、李祥、林子瑜、张士红执笔;第七章由郭福生、邓居智、吴志春执笔;郭福生负责统稿。

参加工作的人员还有:侯增谦、孟祥金、李子颖、谢尚平、陈辉、陈凯、应阳根、时国、聂江涛、王健、胡荣泉、王昇、李符斌、王龙、曹寿孙、朱永刚、曾文乐、李芳、郑翔、罗建群、侯曼青、周邓、王峰、张洋洋等。本项研究工作得到中国地质调查局基础部、中国地质调查局南京地质调查中心、江西省地质调查研究院、核工业二七〇研究所等单位的大力支持及于庆文、张智勇、毛晓长、卢民杰、郭坤一、翟刚毅、邢光福、吕庆田、程光华、张彦杰、楼法生、张芳荣、李超岭、马金清、卢清地、张万良、张赣萍、余达淦、饶明辉、巫建华等专家给予的关怀和指导。中国地质科学院地质研究所、江西省核工业地质局二六一大队、中核抚州金安铀业有限公司、核工业北京地质研究院给予了通力合作。李凯明、潘家永、胡宝林、陈志德、朱忠、刘燕学、田世洪、周肖华、陈荣清、张作宏、杨轮凯、吴怀春等专家审阅了书稿。笔者致以诚挚的谢意!



序
前言

第一章 绪言	1
第一节 三维地质调查国内外进展	1
第二节 相山火山盆地三维地质调查工作简介	3
一、研究区位置交通、自然地理及社会经济简况	3
二、已有地质工作程度	4
三、三维地质调查工作概况	6
第二章 研究区地质及地球物理概况	8
第一节 地层	9
第二节 岩浆岩	11
一、火山岩	11
二、侵入岩	14
第三节 构造	15
一、褶皱构造	15
二、断裂构造	16
第四节 矿产	17
第五节 地球物理场特征	18
一、区域重力场特征	18
二、区域磁场特征	19
三、放射性地球物理特征	20
第六节 地层（岩石）物性特征	20
一、磁性特征	20
二、密度特征	21
三、电性特征	21
第三章 目标地质体特征	23
第一节 确定目标地质体的原则及依据	23



第二节 目标地质体的基本特征	24
一、形态、产状、物质组成及与其他地质体的接触关系	24
二、对深部延深情况的认识	36
三、目标地质体的物性特征	37
第四章 三维地质调查技术流程	39
第一节 技术方法选择与确定依据	39
第二节 技术流程	41
第五章 三维地质调查数据采集方法	43
第一节 地表地质工作部署及采集的主要数据	43
一、地表地质工作部署情况	43
二、采集的主要地质数据	43
第二节 深部数据采集主要方法及获得数据	63
一、方法选择的依据	63
二、深部探测工作部署	63
三、所取得主要深部探测数据	63
四、数据处理方法	65
第三节 深部地质特征分析	69
一、MT 资料解释原则与结果	69
二、CSAMT 剖面解译结果	118
三、深部地质解译质量评述	130
第六章 三维地质建模方法	132
第一节 三维地质建模软件选择	132
一、国内外三维地质建模软件发展概况	132
二、目前常用三维地质建模软件简介	133
三、三维地质建模软件选择历程	137
第二节 三维地质模型构建方法及构建过程	138
一、数字地质填图建模	138
二、地质剖面建模	142
第三节 三维地质模型	152
一、模型简介	152
二、模型的性能与运行环境	155
三、模型分析	157
第七章 结语	173
第一节 相山火山盆地三维地质调查新进展	173

第二节 三维地质调查的技术关键与对策思考.....	177
一、三维地质调查的难点.....	177
二、三维地质调查的技术关键点.....	178
三、对三维地质调查的几点思考.....	181
参考文献.....	183
英文摘要.....	188

第一章

绪 言

第一节 三维地质调查国内外进展

矿产勘查走向深部调查已成为国际大趋势。近 100 多年的勘查实践表明, 勘查技术的每次进步都会带来一批新矿床的发现, 并使勘探深度不断加大 (Gordon, 2006)。在深部探测的基础上, 开展三维地质建模可以了解一个地区的结构框架, 助力深部成矿预测。2001 年, 澳大利亚政府率先启动“玻璃地球”(Glass Earth) 计划, 应用地质、地球物理勘探和三维可视化技术使大陆表层 1000m 以浅“像玻璃一样透明”, 并通过计算机网络技术为地质工作者及社会公众提供地学信息分析及决策支持服务 (Carr *et al.*, 1999)。它主要用于描述地壳浅层地质结构、成分及其空间拓扑关系, 采集、管理和处理基础地质调查、矿产地质勘查、矿产资源开采、地下水管理、矿权管理与生产安全监控、工程地质及灾害地质勘察等信息。加拿大和法国接着提出了类似的计划, 把目标提高到地下 3000m 以浅 (De Kemp, 2000; Farquharson and Craven, 2009; Glynn *et al.*, 2011; Russell *et al.*, 2011)。随后, 其他欧美国家纷纷响应并制定了相应的规划, 开展了关键技术研究 (Carr *et al.*, 1999; 吴冲龙等, 2012), 其中深部勘探技术和三维地质建模技术得到长足发展 (Houlding, 1994; Carr *et al.*, 1999; Egan *et al.*, 1999; Esterle and Carr, 2003; 武强、徐华, 2004; Graymer *et al.*, 2005; 柯丹等, 2005; 潘懋等, 2007; 吴冲龙等, 2011, 2012)。近年来, 三维地质建模已经成为矿体形态描述和深部成矿预测的常规手段, 其中大地电磁测深、深反射地震技术等三维地质建模中起到关键约束作用 (Milkereit *et al.*, 1992; Goleby *et al.*, 2002; Malehmir *et al.*, 2006, 2007)。在资源与环境的双重压力下, 让地球深部“透明化”已经成为越来越多国家关注的热点。

我国区域地质调查工作取得丰硕成果, 为社会经济建设和国家安全提供了强有力的资源保障。然而, 随着我国工业化和城镇化进程的加快与资源需求急剧上升, 地质环境问题日趋严重, 建立我国重要矿产资源储备体系、地质灾害调查评价与监测预警体系的任务也日趋紧迫。积极发展地球深部能源资源勘查和开发, 切实保障我国能源资源有效供给和高效利用势在必行。但在当前, 我国地质找矿和地质灾害监测预警所需的深部地质信息却极为匮乏, 迫切需要基础地质工作转变工作模式。近年来, 随着计算机三维技术的迅速发展, 三维地质填图和建模作为描绘地质信息的技术手段也逐渐成熟 (吕鹏等, 2013)。因此, 我国基础地质调查“从传统走向现代、从单一走向综合、从二维走向三维”的理念呼之欲出。

我国的三维地质调查与建模研究始于 20 世纪 80 年代, 主要涉及地矿、石油、冶金、铁路等领域 (魏世斌等, 1983)。1985 年以来, 我国陆续在一些造山带、含油气盆地、多金属成矿带, 如唐山、邢台、延庆-怀来盆地、东秦岭、燕山褶皱带等地开展了深地震反射探测, 试图揭示区域深部结构 (王椿镛等, 1993, 1994; 张先康等, 1996; 高锐等, 2002; 张先康等, 2002; 杨宝俊等, 2003; Yuan *et al.*, 2003;

朱日祥, 2007; 刘保金等, 2009)。1998年, 中国地震局实施了“长白山天池火山岩区岩浆系统、地壳结构的三维深地震测深研究”。2000年, 中国科学院启动了“华北地区内部结构探测研究计划”。2001年, 董树文等完成了横贯大别山前陆褶皱带的深地震反射剖面探测, 近年来实施的横穿造山带内部的深反射地震剖面揭示了造山带内的地壳结构(董树文等, 2005)。2008年开始, 中国地质调查局先后启动了长江中下游综合地球物理调查的立体地质填图应用试验和华南岩体形态圈定与研究项目, 初步尝试了利用物探和钻探开展三维地质填图的方法组合技术(祈光等, 2012; Lü *et al.*, 2013)。2009年, 中国地质科学院岩石圈中心在华北地区开展了一条550km的深反射剖面, 南起怀来盆地, 北至内蒙古二连盆地, 揭示了华北北缘与兴蒙造山带的深部结构。21世纪以来许多地矿与勘测部门在城市地质、工程地质、固体矿产及其可视化研究应用方面做了大量的尝试(陈昌彦等, 1998; 黄地龙等, 2001; 朱大培等, 2001; 钟登华等, 2004), 获得了一批数据并积累了一定的经验。2004年上海市启动了三维城市地质调查工作, 建立了三维基岩地质、第四纪地质、工程地质和水文地质结构模型, 开启了地质工作社会化服务的新篇章(魏子新, 2010)。

在三维技术领域方面, 龚健雅等(1997)、李德仁等(1998)、李清泉等(1998)提出了矢量与栅格集成的3D数据模型, 指出空间实体由多种空间对象组成, 这些对象可以由矢量或栅格数据表达。朱良峰等(2004)提出了一种由工程钻孔数据构建三维地层模型的方法, 能够将钻孔剖面图融入实际建模流程。张宝一等(2007)提出了一种利用三维地质建模与可视化技术进行固体矿产储量估算的可行性方案, 并提出了应用轮廓线进行三维矿体表面建模时尖灭与分支情况处理、带约束的三维矿体表面建模的解决方案。程朋根和文红(2011)探讨了建模算法设计。高阳等(2013)利用国产3DMine矿业工程软件系统建立了广东石人嶂钨矿的地层模型、构造模型、矿体模型、地质工程模型等, 实现了矿区深部数据的三维可视化。陈建平等探讨了成矿带和含矿地质体三维模型建立并进行储量估算(陈东越等, 2013; 陈建平等, 2014)。

根据建模数据来源可以将三维地质模型分为基于钻孔数据、基于地球物理测深数据、基于平面地质图和基于多源混合数据等类型(李超岭等, 2008; 潘懋等, 2007; 王功文等, 2011; 孙波、刘大安, 2015; 武强、徐华, 2004)。由于受经济条件的制约, 钻孔、勘探线剖面和物探资料等数据不易获取, 数量有限, 分布离散且不均匀(杨东来等, 2007; 邵毅等, 2010; 毛先成等, 2011; 徐峰, 2014)。平面地质图成本相对低廉, 容易获取且是能覆盖整个研究区的数据源, 在一定程度上可缓解数据源带来的瓶颈(侯卫生等, 2006, 2007; 李延栋等, 2011)。因此, 在其他地质数据匮乏的前提下, 利用平面地质图构建区域三维地质模型是一种有效的解决方法(Ichoku *et al.*, 1994)。它既可以从整体上了解研究区域的地质构造, 又可为后续增加钻孔、剖面数据后进一步精化模型作准备(Kaufmann and Martin, 2008)。已有许多学者对以平面地质图为主要数据源的三维地质建模方法进行了研究(胡进娟, 2008; 周良辰等, 2013; 徐峰, 2014)。笔者认为, 在未开展地球物理测深工作, 钻孔、坑道资料不多的地区, 可以开展这种地质图三维建模, 或者称地质概念模型。

由于资金投入及地质构造复杂程度等因素的限制, 很多三维数据模型尚处于探索和尝试阶段。目前, 成熟的三维地质模拟技术仅集中于简单层状地质体的三维结构与可视化表达分析上, 而对结构复杂、物化属性分布不均匀的复杂地质体的三维可视化建模研究还不够深入。当前, 随着我国综合国力的增强, 信息技术的快速进步, 开展不同类型地区三维地质填图试点工作客观上已经成为可能。

2011年3月, 中国地质调查局在北京召开了三维地质填图学术交流与研讨会, 交流三维地质填图的前期经验, 研究和部署我国三维地质填图试点工作。会议认为, 开展三维地质填图适应我国当今地质工作需求和未来发展趋势, 是地质调查工作的一次重大创新, 对实现地质调查由二维向三维的转变, 显著提升地质工作的服务功能和支撑作用具有重大意义。2012年, 中国地质调查局实施了第一轮三维地质调查试点项目。由笔者主持的“相山火山盆地三维地质调查”是其中一个工作项目, 重点探索矿集区1:5

万甚至更大比例尺的三维地质调查方法。笔者在地表地质填图的基础上,综合运用已有的钻探与坑探资料,开展遥感解译、重磁三维反演、深孔综合测井和专题研究工作,根据深部目标地质体情况有针对性地部署 MT、CSAMT 测量工作,通过多参数交互解译确定目标地质体的三维空间展布特征,在 GOCAD 软件平台上构建不同类型的三维地质模型,为找矿勘探提供深部依据,总结了矿集区三维地质调查方法(郭福生等, 2017a, 2017b; 林子瑜等, 2013; 吴志春等, 2015a, 2015b, 2016; Guo Fusheng *et al.*, 2017)。

第二节 相山火山盆地三维地质调查工作简介

相山火山盆地三维地质调查属中国地质调查局“地质矿产调查评价专项”工作项目,是在“江西 1:5 万陀上、鹿冈、乐安县幅区调”工作项目的基础上,于 2012 年转为以开展相山火山盆地深部调查和三维建模为主要目的而设立的,历时 5 年。

项目的总体目标任务是,通过地表地质填图、地球物理剖面探测和信息技术等综合手段,开展 1:5 万三维地质调查,探测区内 2000m 以浅的流纹英安岩、碎斑熔岩、粗斑花岗斑岩、变质基底、主干断裂带等目标地质体的空间分布并建立三维模型,为深部找矿提供依据,研究总结矿集区三维地质填图方法。

一、研究区位置交通、自然地理及社会经济简况

(一) 位置交通

研究区位于江西省抚州市乐安县、崇仁县交界地区(图 1-1),涵盖整个相山铀铅锌多金属矿集区。主要位于 1:5 万陀上幅(G50E003008)内,少部分位于乐安县幅(G50E004008)、宜黄县幅(G50E003009)、二都幅(G50E004009)。地理坐标:115°46′24″E~116°03′30″E, 27°27′01″N~27°38′12″N,面积 582km²。向(塘)一乐(安)铁路通达本区北侧江边村。区内交通以公路为主,有 S329、S221 两条省道从测区西侧通过,抚吉高速 S46 从测区东南角穿过,相山矿田内部有供地质勘探和矿山开采所用的公路,研究区内各乡(镇)村都有公路相通,交通尚属便利。

(二) 自然地理

研究区属武夷山余脉,主要为中低山和丘陵区,山势较陡峻,山谷切割深度一般为 300~1000m,正向地形,中间高,四周低。最高峰为相山,海拔 1219.2m;其次为芙蓉山,海拔 1070.8m;其他地方海拔一般为 500~800m,低洼处海拔 100m 左右。区内绝大多数地方植被茂密,终年郁郁葱葱,路径稀少,岩石露头差,通视条件较困难。

区内主要属抚河流域,部分属赣江流域,多为小河流。河流径流量随季节而变化,雨季水量很大,可引发洪涝灾害,旱季水量明显减少。较大的河流有东部的凤岗河(西宁水)和西北部的公陂河,于测区北侧注入崇仁河,再汇入抚河。

研究区属赣中南亚热带潮湿多雨区,夏季炎热,冬季较寒冷,年均气温为 17℃,极端最低气温为 -7.5℃,极端最高气温为 39.6℃。年均日照时数约 1776 小时,无霜期 266 天。3~6 月为雨季。年均降水量 1500~2000mm,年均蒸发量 1100~1600mm。

(三) 社会经济概况

研究区居民点较分散,主要分布在相山四周的地势平坦处。山区内部狭窄的山谷平坦地或坡地,也有少量居民点。居民以汉族为主,有畲族等少数民族,是畲族聚居较多的地区。当地工业不发达,中核抚州金安铀业有限公司是区内最大工矿企业。区内以农业和林业生产为主,主要农林和畜牧产品有水稻、

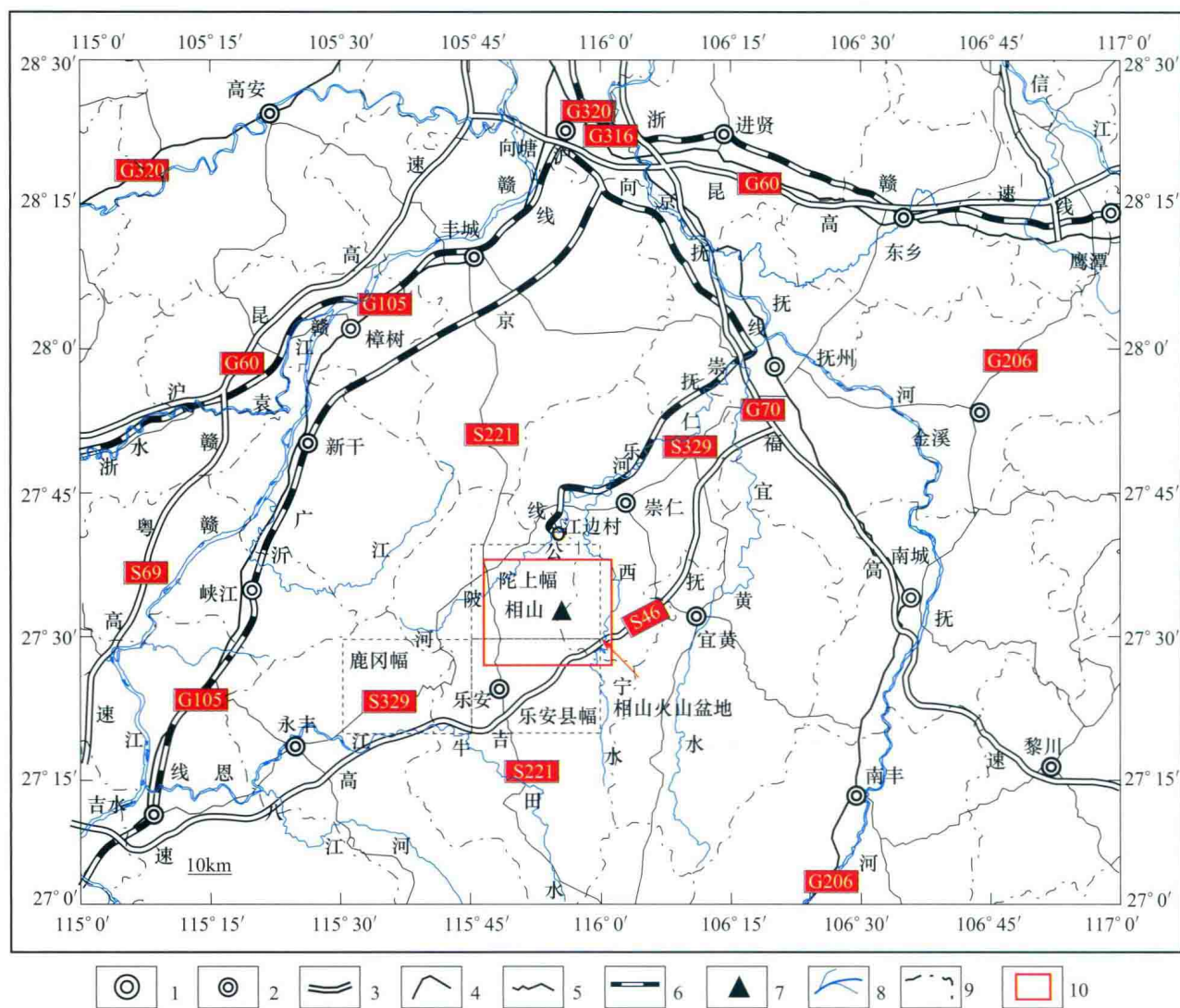


图 1-1 交通位置示意图

1. 设区市; 2. 县城; 3. 高速公路; 4. 国道; 5. 省道; 6. 铁路; 7. 制高点; 8. 水系; 9. 县界; 10. 研究区

棉花、烤烟、蚕桑、蘑菇、商品蔬菜、毛竹、山笋、油茶、松、杉、生猪等。特产有霉豆腐、霉鱼、茶薪菇等。乐安县是全国商品木竹基地县，也是江西省林业、蚕桑产出重点县。崇仁县是江西省主要产粮县之一，也是芝麻的重点产出县。

二、已有地质工作程度

工作区地质调查工作始于新中国成立之后。1957 年 8 月，核工业中南三〇九大队四队（航测队）开展该区 1:25000 放射性航空伽马测量时，在相山盆地北部发现 6 个异常点，揭开了相山地区找矿勘查和地质矿产调查研究工作的序幕。此后，诸多单位和众多学者在区内先后开展了矿产勘查、区域地质（矿产）调查、化探、物探、遥感、地质科学研究等工作，并有多多个矿床已开采或正在开采，为本次工作奠定了坚实基础并提供了便利条件。

（一）区域地质调查程度

江西区域地质调查大队于 1974~1977 年完成了 1:200000 新干幅区域地质矿产调查，对测区地层、岩石、构造的时空分布与地质地球化学特征进行了全面调查研究，并开展了矿（化）点检查或概查。1977~1980 年，核工业华东地勘局二六一队开展了相山矿田岩性、岩相填图（1985 年提交报告），测制

了多条地质短剖面,对相山火山-侵入杂岩岩性、岩相进行了详细调查,认为相山矿田的矿床总体上受塌陷火山构造盆地(破火山口)的控制,主体岩性为碎斑熔岩。1982~2002年江西地质矿产调查研究大队及中国地质大学(武汉)等相继完成了毗邻区1:5万戴坊街幅、八都幅、白陂幅、宜黄县幅、二都幅区域地质调查或区域地质矿产调查,提高了邻区的地质矿产调查程度,对测区工作具有借鉴意义。2004~2007年江西省地质调查研究院对1:25万抚州幅进行数字地质填图修测,对测区的地层、岩石系统进行了全面清理和重新划分、厘定。2010~2013年东华理工大学开展了涵盖研究区主体部分的1:5万陀上幅、乐安县幅区域地质调查,为本次三维地质调查提供了系统的地表地质调查新资料。

(二) 地质矿产勘查和开采工作程度

相山地区自1957年航测发现16个异常点后,由核工业地勘单位开展了大量矿产勘查工作,累计投入钻、硐探工作量200多万米,探明了27个铀矿床。勘查工作量主要在相山矿田西部和北部,而东部和南部勘查程度较低。西部和北部仅对浅部勘查程度较高,而对深部的控制程度也较低,钻孔深度多小于500m,少数为500~1200m。2012~2013年在邹家山东侧施工了1个深达2818.88m的科学深孔,近期在河元背地区施工完成了一个1535m的深钻。

相山矿田于1958年开始开采,有11个矿床已开采或正在进行开采,1个矿床正在筹建矿山,已累计完成井巷工程量约360000m、井下钻探工程量约110000m。

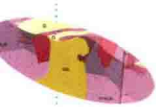
(三) 地球物理探测工作程度

由于铀矿具放射性特征,所以与其他矿产资源相比较而言,放射性测量在其勘查过程中有更多的应用和更显著的成效。自1957年8月核工业中南三〇九大队四队(航测队)开展1:25000航空伽马测量并在相山北部发现了903号异常后,前人相继在该区做了大量的放射性测量工作,累计控制有效面积大于5000km²。工作方式从航测到地面测量;比例尺为1:1000~1:50000;方法运用方面,前期(1958年前)为单一伽马测量,后来逐步发展到运用爱曼、深孔爱曼、径迹、钋法、地球化学、植物、 α 卡、活性炭等。

除放射性测量外,相山矿田还开展了大量其他物探工作。1976年江西省核工业地质局二六一大队开展了邹家山-如意亭电法工作。1978~1979年由江西省地质矿产勘查开发局物化探大队开展了新干幅1:20万航空磁测、1:20万重力测量,涵盖本区。1989年核工业航测遥感中心完成本区1:5万航磁测量。1991~1996年,江西省核工业地质局二六一大队、二六六大队联合开展了相山地区1:2.5万地面高精度磁法测量。1991年4月~1997年1月,江西省核工业地质局二六六大队完成相山矿田1:5万山地重力测量。1993~1995年,江西省核工业地质局二六一大队、江西省核工业地质局二六六大队、核工业二七〇研究所联合在相山开展重力攻深、遥感TM数据增强处理,并开展基底变质及构造变形和矿床现代温热水形成机制等研究,以查明矿田深部地质背景和成矿地质环境。提出了富大铀矿控制因素及成矿规律的新认识,对相山地区攻深找盲工作有指导意义。2000年以后,核工业北京地质研究院、核工业二七〇研究所和江西省核工业地质局二六一大队先后在相山矿田开展了可控源音频大地电磁测量(CSAMT)、音频大地电磁测量(AMT)、高频大地电磁测深(EH4)和少量的频谱激电及浅层地震等物探工作,对研究成矿构造和探查岩性分界面提供了一定依据。

(四) 地质科学研究程度

1970~1972年,原二机部北京地质局组织的“3队1所1矿”联合科研队对相山矿田以往地质资料进行了全面的总结,提出矿田北部控矿的花岗质小岩体为次火山岩体,对其展布特征编制了系列图件。并对相山地区进行了以构造地质为主的综合研究,编制了第一份相山构造地质图(1:10000),揭示了深断裂对铀矿化的控制作用。



1978~1980年,核工业北京地质研究院、江西省核工业地质局二六一大队联合调研组对相山矿田进行系统研究,进一步提出相山盆地是破火山口(火山塌陷盆地),铀矿田在总体上受其控制,矿床成为“双混合”模式(热液和矿源都为混合来源)。

1982~1986年,核工业二七〇研究所,以及江西省核工业地质局二六一大队、二六五大队、二六八大队、二六九大队联合对赣杭构造火山岩成矿带开展了综合研究,并系统总结了相山的成矿特征和成矿规律,所编写的《赣杭构造火山岩成矿带铀成矿规律及成矿预测研究》获国家科学技术进步奖一等奖。

1975~1995年,东华理工大学(原华东地质学院)余达淦、赵永祥、李学礼、孙占学等在相山地区开展过矿床地质及水文地质等方面多项专题研究,在区域成矿规律和成矿古水热系统方面取得了许多新认识,对相山地区铀成矿理论的深入研究起到了重要推动作用。

2006~2007年,核工业二七〇研究所、中国地质科学院地质力学所等单位开展“江西省乐安县山南铀矿接替资源勘查”(试点)项目时设立了“江西省乐安县相山铀矿田控矿因素研究及找矿预测”专题研究。系统研究总结了控矿因素,有较高参考价值。对碎斑熔岩、流纹英安岩和粗斑二长花岗斑岩等的研究获得了五个高精度锆石 SHRIMP U-Pb 年龄以及一批同位素和流体包体等测试数据。

2010年以来,核工业北京地质研究院、核工业二七〇研究所、江西省核工业地质局二六一大队、东华理工大学、南京大学等开展了“相山核原料基地”“相山铀矿整装勘查”等相关项目,对成矿地质条件、矿床成因、深部成矿环境等进行了较深入的研究。

此外,还有许多学者对相山矿田的岩浆岩、基底变质岩、火山-沉积地层、构造、矿床特征、矿床成因、找矿勘查方法等方面开展了大量研究,其成果见于各种刊物和专著中。

相山火山盆地是我国第一大、世界第三大火山岩型铀矿区,并且深部伴有 Pb-Zn-Ag 矿化。与铀多金属矿化有关的垂向蚀变幅度达千米(张万良,2012)。该矿区研究历史有60余年,积累了大量的基础地质和矿山探采资料。但随着研究的深入,争论也从未间断。争论焦点之一是含铀火山盆地的火山机构。相山盆地碎斑熔岩的产状由四周往内倾,并且火山盆地在平面上呈现近椭圆形,剖面上呈南北对称、东陡西缓的漏斗状(方锡珩等,1982),因此多数地质工作者认为这是一个塌陷火山盆地,碎斑熔岩主火山口位于相山主峰附近(李邦达,1993;张万良,2012)。该结论得到重力资料的支持,相山主峰周围10余平方千米出现明显的负异常(邱爱金,2001),可能指示区域内存在一个或数个古火山通道。魏祥荣和龙期华(1996)尝试通过遥感与重力相结合的方法探讨相山火山岩盆地的构造,然而受限于反演技术等条件,对火山通道位置及盆地基底等讨论较少。陈正乐等(2012)通过地貌、遥感等技术对相山铀矿田火山构造特征进行了讨论,认为:①该盆地中部的相山主峰及芙蓉山是两个古火山口;②存在石马山等六个面积大约为10km²的次级火山机构。近年来,东华理工大学科研团队通过大地电磁测深技术来探测地下结构,根据火山岩磁组构定向性和地面流动构造来确定古火山通道位置,取得了较好的成效。

三、三维地质调查工作概况

相山火山盆地三维地质调查工作以探测区内2000m以浅的流纹英安岩、碎斑熔岩、粗斑花岗斑岩、变质基底、主干断裂带等目标地质体的空间分布并建立三维模型为主要目的,开展的主要工作有以下8个方面。

(1)充分收集和分析原有地、物、化、钻、坑、遥等资料,特别是设立专题对相山矿田钻孔资料和矿山坑道资料进行筛选集成和数字化再开发,对已有的1:5万重力和1:2.5万磁力数据进行三维反演及解译。

(2)开展地表1:50000地质填图,施测穿越整个盆地的1:5000地质综合剖面,以揭示相山火山盆地的岩性岩相分布及火山构造特征,并为大地电磁测深剖面的解译工作提供约束和参照。

(3)开展高分辨率遥感解译,解译地层、岩体、断裂、蚀变带及火山构造等地质体或地质形迹的地