

中国地质调查局《计算机辅助区域地质调查系统》
国土资源部科技司《区域地质调查新技术新方法集成示范》

项目研究经费资助

数字区域地质调查 基本理论与技术方法

李超岭 于庆文 张克信 等编著
杨东来 邱丽华 葛梦春

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书根据区域地质调查的任务和目的,对数字区域地质调查的定义和研究内容进行了阐述。并从近 20 年地质填图中计算机野外数据采集技术研究现状和存在的问题入手,在确定地质填图空间数据表达的基础上,保证地质工作者取全取准各项地质观测数据,对构成数字区域地质调查的数字填图技术核心内容:PRB 数字填图技术、PRB 数据模型、PRB 基本过程、PRB 的基本过程组合的规则、PRB 过程的公共机制、PRB 过程基本程式、PRB 数据操作、PRB 字典、三级 PRB 体系、PRB 数据流“栈”、PRB 数据质量定量评价体系进行了论述。基于该项技术开发的数字填图系统和集 GPS 一体化野外数据采集设备已在野外填图中推广应用,实践效果很好。本书是在实践的基础上,通过对已有研究资料的进一步分析、总结而完成的。本书适合从事区域地质调查、地质科学研究、矿产勘察与勘查的地质工作者使用,也可作为大专院校地学类高年级学生和研究生参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数字区域地质调查基本理论与技术方法/李超岭等编著.

- 北京:地质出版社,2003.8

ISBN 7-116-03794-2

数... 李... 区域地质 地质调查 .P623 .1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 061767 号

SHUZI QUYU DIZHI DIAOCHA JIBEN LILUN YU JISHU FANGFA

责任编辑:陈 磊

责任校对:王素荣

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号,100083

电 话:(010)82324508(邮购部);(010)82324577(编辑部)

网 址:[http:// www.gph.com.cn](http://www.gph.com.cn)

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010)82310759

印 刷:北京印刷学院学习工厂

开 本:787mm×1092mm¹/₁₆

印 张:13.75 图版:2 页

字 数:345 千字

印 数:1—1000 册

版 次:2003 年 8 月北京第一版·第一次印刷

定 价:40.00 元

ISBN 7-116-03794-2 P·2363

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

前 言

区域地质调查(geological mapping,简称区调)是各国经济建设和社会可持续发展中最重要基础工作,是衡量一个国家工业化程度的主要标尺之一。区调工作是对一定区域内的地层、岩石、岩体、构造、矿化等各种地质体和地质现象进行比较系统的观察研究,阐明区域内各地质体的基本特征及其相互关系和地质发展史,同时对区域内的自然重矿物的分布以及地球化学、地球物理场进行调查,并对矿点、矿化点和各类主要矿化异常及进行检查,圈出成矿远景区带和普查找矿有利地段,编制区域地质图、区域矿产图及其他相关图件,因此具有战略性、超前性、综合性的特性。

新中国成立以来,我国区调工作取得巨大成就,到上世纪末,我国最基本比例尺(1:20万)的区调已经覆盖国土面积的72%,并且根据全球地理基础信息的发展现状,全国中比例尺新测图幅从“九五”开始由1:20万改为1:25万,这为全面推进我国区调数字化进程提供了可能,奠定了基础。

区调工作是一项多学科高度综合的调查研究工作,信息量极大。区调野外路线的地质观测及地质填图成果,需要形成具有区域性、多维性和时序性的地学空间数据库,涉及地理、遥感、基础地质、地球物理、地球化学、矿产地质、灾害地质、工程地质、农业地质、城市地质、旅游地质、生态环境等多源信息。同时,随着我国经济建设和社会发展对区调基础数据的需求不断增长,相对单一、传统的区调工作,其服务面正在向国家急需、社会关注的国土规划、政府各部门的经济安全规划决策、重大工程建设、国防建设、农业地质、生态环境、医学地质、旅游地质等领域拓宽,这对区调工作海量的野外数据采集、成果数字化表达、数据综合处理及解译等提出了更高的要求,动态更新地学数据建立各专业和学科的地学空间数据库及其延伸的各种地学产品也已成为必然趋势。因此,野外数据采集、储存、数据处理、成图的区调全流程数字化已是当务之急,技术手段上也已具备了成熟的条件。

根据中央、部领导的具体指示,中国地质调查局在执行国家重大专项“新一轮国土资源大调查”时,于1999年部署了区调野外数据采集自动化、区调基础数据库研究和建设等一系列开拓性工作,其核心目标就是建立区调工作的空间数据模型,完成对区域的历史和现实的数据描述,实现对多源地学空间信息的空间数据采集、存储、检索、分析、表示等全过程的数据表达。要达到这一目标,首先是突破传统的野外地质调查及地质填图方法,彻底解决野外原始数据的“源头数字化”问题,在方法、质量、效率、后续工作路径上实现跨越式发展。

经过地质工作者三年多的艰苦探索,特别是在野外采集、室内数据处理等方面进行了具有创新意义的反复研究和试验,全面完成了预定的任务和目标,取得多方面的高水平科技成果。一是全面运用GIS理论与技术,创建了PRB地质调查与填图的可视化过程及其相应的数据模型,极大地改变和优化了传统的地质资料记录、存储与分析、检索与管理方式;二是研制成功了集GIS、GPS、RS于一体的野外数字采集系统,以电子笔记簿取代了传统的手写笔记簿,改变了传统地质调查繁琐的手工操作过程,实现了野外地质观察的图、文、像的数字化信息采集系统和方法,特别是在RGMAP野外数据采集器中内设GPS,从根本上解决了实时定位精度、数据采集与集成速度等难题;三是成功研制了“野外地质调查与填图掌上数据采

集系统(RGMAPGIS) ”、“ WINCE GPS 系统(CE GPS) ”、“ 野外地学剖面数据采集系统(RG-SECTION) ”等应用软件;四是实现了区调过程的全数字化表现形式,地对地观察、空对地观察、历史专题图与即时多源地学信息的整合与再现显得更为客观、准确,三维数字高程模型、遥感、地球物理、地球化学与野外电子手图的整合性能优越,大幅度提高了人们对区域地质观察结果的广度和深度概括能力,使单一用途的区调图件拓展为适应不同需求的多用途、多目标成果。这一成果首次实现了传统地质工作的数字化革命,引起了国内外的广泛关注。

与上述研制成果相配套的工作,是开展多幅不同地域、不同地质背景和不同比例尺的数字地质试验填图的综合研究,在此基础上编制完成《数字区域地质调查野外数据采集操作指南》,对数字区调工作的野外数据采集内容、技术方法、技术流程、精度与质量约束提出了具体要求,这是当今地学界公认的首部区调数字化工作指南,对于推进我国今后的数字化地质调查工作乃至全球区调方法技术发展具有重要的理论和实践意义。

需要指出的是,发达国家高度重视信息化在国家经济发展各领域的核心作用,各国为此每年有大量的经费投入,地学数据库是各国地质调查局连结政府、公众等多层结构的重要服务平台,一般均通过国家法律、政府法令使公司、非营利组织、社会公众分享空间数据,各国的基础地质、地理空间数据由国家地质调查机构负责收集、管理、传播,并向生产者和服务者提供服务,该工作已经成为许多国家重要的基础性社会服务项目。这就要求海量的空间数据具有统一的标准、术语、代码等,需要现代信息技术作为支撑。最近有著名专家指出,目前全球科学技术的发展大势中,信息、生物、能源和材料等四领域最应关注,其中的信息技术领域、集成电路设计与制造、操作系统、新一代移动通信、信息安全技术等的研究开发将发生质的进展。未来的信息技术的发展也必将为地质工作主流程的信息化提供了强有力的工具。从这一点而言,颁布试行《数字区域地质调查技术要求》、推进野外原始数据采集及处理工作的数字化革命,其意义不言而喻。

在本《数字区域地质调查基本理论与技术方法》付印出版之际,笔者除了充分肯定、衷心感谢作者的辛勤劳动之外,特别要向读者介绍本书作者的创新意识和奉献精神。他们是一群年轻人,他们敢于置身于新技术革命的洪流,勇于直面具有两百年历史的传统区调工作的重大变革,他们刻苦钻研,求真务实,善于借鉴,勇于创新,锐意进取,在短短的数年内完成了大量的工作,取得的成果一举达到世界前沿!

还要指出的是,实现区调工作的数字化流程固然是区调发展史中的一件具有里程碑意义的成果,但是在数据精度、运行速度、人工智能化程度、综合解译的科学性、便携式仪器的“傻瓜化”、轻便化、多功能化等方面还具有进一步发展、提高的空间,还有无数个需要解决的科学难题有待我们去攻关。从这一意义上讲,本成果只是区调工作数字化系统进一步完善、发展的一个基础,当然也是向下一个奋斗目标进军的前沿阵地。

本书资料丰富,内容翔实,理论科学,实践有据,既是一份优秀的调查研究成果,又是一份数字区调工作的实践指南,是作者贯彻落实中央领导同志指示精神、推进地质工作主流程信息化的有益探索,值得业内外感兴趣的读者一读。

张兴博

2003年6月北京

目 录

前 言	
绪 论	(1)
1 国内外区域地质调查研究概况	(4)
1.1 国外区域地质调查概况	(4)
1.2 国内区域地质调查概况	(8)
2 国内外区域地质调查中数字填图应用研究概况	(12)
2.1 野外数据采集设备发展概况	(12)
2.2 国外区域地质调查中数字填图开展概况	(14)
2.3 国内前人与数字填图相关内容的研究概况	(22)
2.4 我国地质调查主流程信息化研究现状	(24)
2.5 数字填图技术发展趋势	(25)
3 数字填图技术理论基础	(27)
3.1 数字填图技术主要研究内容	(27)
3.2 区域地质调查空间数据类型及其关系	(29)
3.3 区域地质调查空间数据模型及其数据表达	(31)
3.4 区域地质调查空间数据组织原则	(36)
4 PRB 数字填图理论与技术方法	(42)
4.1 传统区域地质观测与调查过程简述	(42)
4.2 野外路线地质观测与调查数字 PRB 过程定义	(49)
4.3 区域地质调查与填图的三级数字 PRB 过程划分	(57)
4.4 区域地质调查与填图的 PRB 数据质量定量评价模型	(59)
4.5 PRB 过程数据流“栈”模型	(60)
4.6 区域地质调查与填图的数字 PRB 过程系统概念模型	(61)
5 PRB 数据模型	(66)
5.1 区域地质调查野外数据采集数据模型	(66)
5.2 数字区域地质调查要素数据集与要素类划分	(70)
5.3 野外 PRB 数据模型	(72)
5.4 野外实测地质剖面数据模型	(85)
5.5 地质图数据模型	(92)
6 PRB 数字填图技术与方法实现	(97)
6.1 PRB 数字填图系统模型管理视图	(98)
6.2 PRB 数字填图系统实现的静态建模	(105)
6.3 PRB 数字填图系统实现的动态建模	(112)
6.4 数字图案线岩石花纹库生成技术	(119)

7 PRB 数字填图技术与方法应用实例	(125)
7.1 实验图幅概况	(125)
7.2 野外数据采集器实验概况	(125)
7.3 PRB 野外数据采集实验实例	(126)
7.4 PRB 数据综合处理实验实例	(133)
7.5 PRB 数据输出	(140)
7.6 PRB 最终成果表现形式	(141)
7.7 数字剖面数据采集与处理实验实例	(144)
致谢	(147)
参考文献	(149)
附录一 数字填图系统操作说明	(151)
附录二 数字剖面系统操作说明	(191)

绪 论

区域地质调查的野外地学空间数据与属性的获取——数字地质填图技术是当前国内外地学界研究的热点和难点。全面、准确、快捷地采集野外第一手资料,是地质调查任务完成的基础。以往的野外地质填图数据采集技术已经不能适应当前地质工作现代化的要求。开展地质填图数据采集与制图技术研究,以实现地质调查数据获取全过程的信息化,是世界技术先进国家地质填图工作的普遍趋势。

传统的区域地质调查,是通过连续的野外地质路线观测和观察,把获得的第一手基础资料记录在纸介质的记录簿和工作手图上。其数据采集的内容包括空间定位信息、涉及多个专业的大量文字描述信息以及表示地质现象空间形态的点、线、面空间信息,所涉及的信息种类多、内容复杂、信息量大。由于野外地质数据采集的信息化难度大,导致区域地质调查工作的数据采集一直采用野外记录簿手写记录的工作方式。野外地质数据和信息基本上还处于分散的、非动态的管理现状,远远不能满足市场经济发展与社会广泛需求的多元性、科学性与迫切性,也极大地制约实现地质调查工作主流程的信息化。这种传统的方法越来越不适应当今信息时代的要求,极大地影响了地学数据采集的效率和精度。毫无疑问,野外地学数据的采集理论与技术方法的研究,已成为实现地学数据获取全过程信息化迫切需要解决的问题。它是构建地学数据栅格和服务栅格的重要基础。

目前,解决区域地质调查和资源调查全过程信息化的技术问题在发达的国家已全面展开研究。这种信息化并不是仅仅将传统工作流程简单的实现信息化;而是采用数据库技术管理地质调查成果,并根据区域地层、构造、岩石、矿产、地球物理、地球化学等属性对地质图中的信息进行灵活检索,还可根据用户需求派生出各种不同的应用图件。地质图不仅只是一张复杂的,面向专业地质人员的专业图件,而且是面向多学科、多用户的多用途的空间数据库。这是对传统地质填图的重大变革。

1999年开始,中国地质调查局和国土资源部国际合作与科技司开展相关研究项目,进行了数字填图技术的研究、试验和实验。已开展和正在进行的研究项目如下:

“计算机辅助地质填图系统”的项目研究(1999~2001年);

“区调新技术新方法集成示范”(2000~2002年);

“数字填图野外数据采集工作指南”的项目研究(2000年);

“数字地质调查野外数据采集系统(续项)研究”(2001年);

“数字地质填图技术规范的研究”(2002~2003年)

“数字地质填图过程多源数据整合和成果表达方式研究”(2002~2004年);

已开展和正在进行的试验图幅如下:

“青海阿拉克湖幅1:25万区域地质调查数字填图(1:10万阿拉克湖、巴隆幅)实验”(2000~2002年);

“福建东山、宫前幅(火山岩和变质岩区)1:5万数字填图实验”(2001~2003年);

“湖北崇阳、汀泗桥幅(沉积岩区)1:5万数字填图实验”(2001~2003年);

“青海民和县幅(青藏高原与黄土高原结合部)1:25万数字填图实验”(2002~2004年);

“黑龙江阿荣旗幅(浅覆盖及森林分布区)1:25万数字填图实验”(2002~2004年);

“广西玉林幅(花岗岩及大比例尺填图研究程度较高地区)1:25万数字填图实验”(2002~2004年)。

目前,研制开发的计算机野外辅助填图系统中的野外数据采集器与GPS集成已初步成型,它使野外数据采集的空间定位及数据采集方法发生了根本性变化,填补我国资源信息现场数字采集技术的空白。传统的笔记簿、手图被具有显示和漫游研究区地理底图、地质草图、正射影像图、遥感影像图等基础信息背景、具有GPS导航路线显示及定点图形编辑功能的电子笔记簿取代;历史专题图层和现势图层整合再现,以及具有可视化野外采样、素描、产状、照片、野外实测剖面数据、素描等多源空间数据的获取、存储与管理的功能和采用结构化数据库与非结构化地质观察现象文本数据库相结合的特点,辅以PRB字典库,为地质学家野外调查提供了多方位技术支撑。

经过试点图幅配合研究,填图手段发生了重大改变,建立了地质调查与填图信息数字化采集技术流程、基于GIS理论与应用技术建立了数字填图野外数据采集系统。找到了地质调查与填图野外数据获取技术核心,即建立了PRB数字填图过程及其相应的数据模型。第一次把野外路线观测的过程实现了精确的数字化描述;同时,基于数字填图技术,建立了地质调查与填图信息数字化采集技术流程、基于GIS理论与应用技术建立了数字填图野外数据采集系统。它改变了野外数据采集方法,提高了精度,开创了区域地质调查全过程的数字化地质填图时代。

PRB数字填图过程实质是将常规的地质点(POINT)作为“实体点”、分段路线(ROUTING)为“网链”、点和点间界线(BOUNDARY)为“全链或几何拓扑环”的数据模型和组织方式,对野外观测的对象及其过程的描述进行定义、分类、聚合和归纳,分层并结构化存储在空间数据库中。其特点为:每个过程的空间位置数据库解决了地质制图问题;每个过程的结构化数据库解决了调查内容结构的规范化;每个过程的非结构化数据,即自由文本拓展了思维空间,既满足计算机处理的需要,又保证地质人员取全所观测数据和参数,及地质体等相互关系、研究内容的描述。其不但满足常规的野外工作方法,还能将野外调查中采集到的各种复杂地质数据,使其数字化、标准化和规范化编绘出数字实际材料图、编稿地质图等。这种集GPS、GIS、RS技术为一体的野外数据采集系统大大简化传统手工繁琐制作过程,野外观测的各种数据无须数据交换直接形成野外实际材料图。地质点、产状、样品、素描、化石、地质界线等的空间位置和属性数据按规范要求直接成图和建库。减少从手图到野外实际材料图的搬绘和整理过程;采用PRB数据操作技术,可检索(从空间到属性或从属性到空间)任一地质点、路线、各类采样数据并可同时打开多个野外记录簿,大大加快了野外资料整理和图件编制的时间,并最终建立了野外原始基础地质数据库和最终成果数据库及输出了相应地质等各类专题图件。

该数据采集系统,由于具有GIS多种空间数据的处理和分析能力,为地质工作提供了对地理、地质、土地、地球物理、地球化学、环境、灾害以及遥感等多源资源信息进行集成管理、综合分析解释以及成果表达的有力工具。可以预测,该项成果的应用不仅将遍及国土资源工作各个领域的数据采集、处理、管理、成果输出等全过程,而且将深入到解决跨学科、跨领域的信息共享、集成等问题。这就需开展两个方面研究:一是解决现存数据的利用;二是保证新积累的数据能够遵循相对统一的标准。目的是解决数据集成、共享和个性化的社会化服务等问题。

该数据采集系统与试点图幅配合实验研究集 GIS、GPS、RS 技术为一体,以 GIS、GPS、RS 技术与手持计算机为一体的野外数据采集器为主体的新五件(手持计算机、GPS、数码相机、数码录音笔、数码摄像机)向世人展示了 21 世纪我国数字化地质队员的新形象;改变了传统的工作效率和劳动强度,实现了区域地质调查全过程中 3S 集成的地对地、空对地观察、历史专题图与现势的多源地学信息的整合与再现;改变了传统的地质成果表现形式,创建了 PRB 数字地质填图的可视化过程及其相应的数据模型,可快速、准确编绘出新一代的数字化实际材料图、编稿地质图及地质图。实现了数字地质填图成果的全程数字化。

本专著是笔者在上述研究项目和图幅数字地质填图实验的基础上进行编写的。主要执笔人是李超岭、于庆文、张克信、杨东来、邱丽华和葛梦春,其中绪论由李超岭执笔;第 1 章国内外区域地质调查研究概况由于庆文执笔;第 2 章国内外区域地质调查中数字填图应用概况由李超岭执笔;第 3 章数字填图技术理论基础由李超岭执笔;第 4 章 PRB 数字填图理论与技术方法由李超岭、张克信、于庆文执笔;第 5 章 PRB 数据模型由李超岭、邱丽华执笔;第 6 章 PRB 数字填图技术与方法实现由李超岭执笔;第 7 章 PRB 数字填图技术与方法应用实例由邱丽华、杨东来、葛梦春、李超岭执笔;附录数字填图系统操作说明由邱丽华、李超岭执笔;全文由李超岭和于庆文统稿。参加本项研究和试点图幅工作的骨干人员还有陈斯盾、朱云海、张智勇、孙广瑞、黄志强、康云骥、顾延生、揭育金、赵焕力、周开华等。

本书中的研究内容为阶段性成果,许多内容目前正在加深研究之中,书中难免存在不足和批漏,恳请读者批评指正。

1 国内外区域地质调查研究概况

区域地质调查(简称区调)是地质工作中具有战略意义的综合性基础地质工作,是一切地质工作的先行步骤,同时又是一项由国家有计划部署和实施的面向全社会、服务于国民经济建设各个领域的基础性、公益性地质工作。

区域地质调查运用地质科学理论技术,对一定区域内的地层、岩石、岩体、构造、矿化等各种地质体和地质现象进行比较系统的观察研究,阐明区域内各地质体的基本特征及其相互关系和地质发展史。区域地质调查图件,一般按照地质制图学原理分别填制成 1:100 万、1:50 万、1:25 万(1:20 万)和 1:5 万几种比例尺区域地质图。与此同时,除对区域内的岩石分布以及地球化学、地球物理场进行调查,对矿点(矿化点)和各类主要异常进行检查,圈出成矿远景区和普查找矿有利地段外,据区域地质地貌环境特点,与地方经济发展和重大工程建设等密切结合,开展如:城市地质、农业地质、生态环境地质、灾害地质、旅游地质等项调查内容。区域地质调查所取得的资料和成果内容涉及地学的各个领域,不仅促进了地质科学理论和各种勘查工作的发展,而且也广泛为国民经济各个部门和全社会利用。

因此,区域地质调查工作的进展情况与研究程度的高低,往往是衡量一个国家地质工作和地质科学技术总体水平的标志,也是制约这个国家地下资源预测、地质工作服务于经济建设能力的重要因素。

1.1 国外区域地质调查概况

近些年来,随着地质图应用范围大大拓宽,一些发达国家中填图工作服务领域出现了许多重大变化。陆区填图,强调要从过于专业化的狭窄圈子里走出来,从填绘传统地质图向填绘多功能的通用地质图转变,使地质图占领更多的用户市场。环境地质填图日益显得重要。许多国家改变了长期主要对陆区开展不同比例尺地质填图工作的做法,领海海域也成为国家地质填图工作的重要组成部分。

进入 20 世纪 90 年代,国外地质填图普遍采用地理信息系统(GIS)、卫星全球定位系统(GPS)、遥感系统(RS)等高新技术,向填图全程计算机化与成果数字化、网络化及地质三维分析可视化方面发展。基础地质图件已呈信息量大、功能多样、服务领域广泛,用户面广的趋势。近年来,各国政府都围绕国家目标,加速地质填图改革与新一代填图革命,相继组织实施了一系列地质调查重大国家填图计划,总体发展趋势如下。

1.1.1 区域地质调查工作将沿着为国家可持续发展提供全新地质调查信息的方向发展

冷战结束以后,由于国家安全概念由战争转向国家经济安全和生态安全,国际政治、经济、科技发展战略与政策都已发生重大变化与调整。1992 年世界地球首脑会议提出的可持

续发展战略,对全球社会经济与科技发展走向产生了重大的导向性影响;以信息与知识经济为标志的新产业革命使冷战后的经济战正在演变为一场科技战。上述社会经济的新变化要求地质调查工作为保证社会持续发展提供全新的地质调查信息和新的研究领域。在这样的国际大背景下,各国地质调查所都在制定新的发展战略,重新确立或调整今后的发展方向和重点工作。虽然各国的发展战略研究有所不同,但是,各国制定的新的发展战略的基点都把发展区域地质调查作为国家经济持续发展的基础和增强综合国力的关键;试图通过新的战略使 21 世纪从不可持续增长转向可持续发展的世纪,以可持续的方式调查和负责管理其自然环境和天然资源。欧、美等一些发达国家通过法律法规和政令的形式规定了不同类型、不同比例尺地质填图工作的目标、任务和拨款方式,以保证地质填图工作的顺利进行。旨在扩大和更新地质图,提高和改善区域填图覆盖水平,为资源评价、开发和环境保护提供地质资料,促使地学填图协调发展。充分发挥区域地质调查在国土综合利用、整治及生态系统管理过程中的作用,从强调资源特别是矿产资源的填图,转向强调环境和可持续发展问题的综合生态系统填图。总的趋势是更加面向社会需求,服务领域扩大,更加强调面向大众的科学服务。侧重于长远的、战略性和基础性的地质调查研究及探索性研究。目的是使战略研究与国家填图工作更紧密结合起来,加强地质科学填图和基础数据库的工作。

1.1.2 未来社会经济需求将进一步影响区域地质调查内容和方向

任何科学的发展必须服从社会需要,否则就得不到发展,地质调查也不例外。随着区域地质调查任务和目标的扩大,当代区域地质调查研究的重点正从勘查和开发资源,转移到全球与区域规模的环境和社会问题上。这样,区域地质调查已成为解决人类生存环境的关键学科。与此相适应,区域地质调查从矿产时代进入社会化与环境时代,因而要求其社会功能由“矿产型”拓宽到“社会型”。在这种新的任务和新的目标面前,区域地质调查只有通过不断拓宽研究领域,对一些具科学意义,又有远景社会价值的重大基础问题进行专题科学研究,才能建立起新一代的区域地质调查知识体系,才能解决围绕当代社会发展和人类生存环境提出的种种社会的、科学的问题。

面对这种形势,世界各国地质调查所在开展国家级填图计划的同时,都积极开展了重大地质科学问题的超前研究,如美国地质调查所配合国家填图计划,积极开展了一些短期和长期的研究工作,并把两者结合起来。短期研究针对国家的紧迫问题,采用快速、创造性和灵活性的手段,解决填图中的科技问题。长期研究的目的是对基本的地球作用过程有一个更深入的理解和认识,从而可以不断为解决国家面临的一些更复杂和更困难的问题提供依据,并使科学得到发展。对地质调查和地质工作将会产生重要影响的社会经济变化主要是人口增长和城市化、环境污染和土地退化、水资源危机、能源危机、全球变化、新材料的需求等等。

在这些社会挑战面前,区域地质调查除要继续解决矿产资源问题外,还必须帮助解决当今社会发展所面临的许多重大问题:减轻自然和人为灾害,安全处置有毒害的放射性废物,以及为自然资源的合理利用、环境污染的综合治理、生态环境保护、国土整治、农业发展提供地质调查知识和服务。特别需要指出的是,由于人类活动对地球的影响已经达到了与自然地质作用相当的程度,人与自然关系的协调已成为人类认识地球的新的出发点。所有这一

切,使区域地质调查的任务和目标都发生了变化。总的说来,其变化主要表现在:不断拓宽服务领域,加强了在土地利用规划、灾害预防、生态建设和城市发展等方面的应用。

特别需要指出的是,早期的地质填图主要是以矿产找寻为目的;目前不仅其应用领域不断拓宽,许多领域都要求主要通过绘制一系列管理者和决策者易懂的图件,特别是大比例尺通用地质图,提高在土地利用规划、城市建设和环境保护等领域服务的能力。

1.1.3 广泛应用高新技术,实现地质调查全过程的信息化或数字化

随着区域地质调查领域的扩大,区域地质调查技术方法和基本手段在 21 世纪头十年将发生巨大的变革。例如,空间遥感技术将越来越多地应用于监测和量化地质作用过程以及与自然灾害和地质景观演化相伴随的变化;计算机技术将是模拟和认识这些作用过程和变化,评价人类活动对地表和近地表环境所造成影响的重要手段。

近些年最大的技术进展就是信息技术的广泛应用。由于 GIS、GPS、RS 等高新技术的广泛应用,极大地提高了区域地质调查(填图)的效率,改进了地质填图的质量,加快了地质填图的速度,使地质调查领域信息化难度最大的区域地质调查实现了全过程的信息化,建立的数字地质图数据库,从根本上改变了地质图信息的传统表达方式,为地质图信息的灵活检索、信息共享、扩大服务领域奠定了基础,并大大提高了为社会提供服务的能力。许多国家在开展新的国家地质填图计划时,还明确了应用高新技术的基本要求。

美国、加拿大、澳大利亚在实施新一代填图计划中,明确要在信息采集、管理、分析、储存、成果输出等填图的各个阶段及信息服务全面采用数字技术。美国地质调查所为此成立了数字填图委员会,组成若干工作组制定各个阶段所需的标准。到目前为止,上述国家地质填图计划都有一批项目已经完成,每个项目都建立了以 GIS 为基础的数据库。

近十年来,随着信息技术的迅速发展,其应用不仅已经遍及国土资源工作各个领域的数据采集、处理、管理、成果输出等全过程,而且深入到解决跨学科、跨领域的信息共享、集成等问题。尤其,在资源工作领域方面,所使用的计算机从仪器设备的内置单片机、掌上计算机、PC 机、工作站、巨型机等无所不包,现在在集成管理空间与属性数据的大型数据库技术、高速并行处理技术、图示技术、大容量存储技术、可视化与虚拟现实技术、计算机模拟技术、网络通讯技术、人工智能技术(专家系统、语音与手写识别)、电子出版等技术已广泛应用于资源工作的全过程,即信息采集、处理、管理与服务等全过程。主要进展如下。

1.1.3.1 地学数据(库)模型发展特点

(1)改变以往数据模型的研究立足于建立单个数据库或面向项目研究的数据模型。研究正在向建立专题或领域数据模型或扩展到对整个地学数据库群的研究,从而实现地学数据资源的高度共享。

(2)地质数据的最显著特点就是空间性,因而 GIS 技术是地质数据处理的核心技术。当前 GIS 技术的瓶颈之一就是如何解决海量空间数据管理问题,因为对于地质行业级的 GIS 系统,其数据量极其巨大,一般都在几十至几百 GB 的数据量级。传统的基于文件的管理方式显然不能处理这些问题,而利用面向对象的大型数据库(如 Oracle、SQL Server)技术则能够有效地解决这一问题。在面向对象的空间数据库中,海量地图数据的使用变得更加简单:只需建立单一图层,不必再进行分幅处理。如果用户原来的数据源是分幅的,可将其全部存

储到一个图层中,数据库将自动对其进行拼接和索引处理,即可形成一个完整的图层。在应用时,客户端只需极少量的编程(实际上只是指定数据源),就可实现对数据库里数据的动态显示。数据库会根据当前地图客户端的显示视野,自动将此范围内的图形检索出来,并送到客户端显示。因此,即使服务器端的数据是 GB 级的,在客户端的数据量却仅是几十到上百 KB,大大减轻了客户端系统的配置需求,并减轻了网络流量。所以,利用面向对象的数据库技术,可建立一种真正的 Client/Server 结构的空间信息系统,这不仅可以解决海量数据的存储与管理等问题,也解决了多用户编辑、数据完整性、数据安全机制等许多问题,将给 GIS 的应用、地质调查数据社会化服务带来更广阔的前景。

(3)数据库管理向集中化发展,从单个数据库到专业数据库再到数据仓库,总体数据量直线攀升,数据库系统的功能也从早期的数据存储、查询到联机事务处理,再到数据挖掘,从单纯的数据库发展到与之相关的模型库、知识库的集成。数据库将焦点瞄准在建设更快、更庞大的系统。在 Internet 飞速发展的今天,情况正在发生着根本性的变化。数据库一方面向集中化、大型化方向发展,但应用却在向着分散化、小型化的方向延伸。对于越来越多的移动办公人员,他们需要随时查询和更新数据库,而他们所需要操作的一般并不是数据库的全部,而往往只是与之紧密相关的极少量数据,但这极少量的数据必须与中心数据库同步更新。这方面的应用将越来越多。

(4)数据库管理在集中化发展成熟的基础上,数据库技术将从集中走向分散。

1.1.3.2 到 20 世纪 90 年代,世界发达国家在地学工作各个领域都建立了基础数据库

据不完全统计,美国、加拿大与澳大利亚地质调查所建立的主要类型的地质调查数据库包括:文献资料数据库;各种比例尺的基础地理信息数据库,包括数字高程模型、地形数据库、数字正射影像图数据库、全国地理名称信息系统等;如地质图数据库、地质名称数据库、钻孔数据库、放射性年代数据库、岩石分析数据库、古生物数据库、海洋地质数据库、国家数字地图集等基础地质数据库;矿产资源数据库包括分布在全国范围的固体矿产、石油等矿床、矿点数据和油田数据库;水文钻孔数据库、水资源数据、水质数据及水监测数据;地籍数据库及土地利用、土地覆盖数据库;地震、滑坡、崩塌等环境与地质灾害数据库;航磁、重力、人工地震等地球物理数据库;包括全岩地球化学、水系沉积、勘探地球化学等地球化学数据库;航片与卫星影像数据库等。

1.1.3.3 注重区域地质调查工作全过程的信息化

解决区域地质调查和资源调查全过程信息化的技术问题在发达国家已全面展开研究。这种信息化并不仅仅是将传统工作流程简单的实现信息化;而是在采用数据库技术管理地质调查的成果,并根据区域地层、构造、岩石、矿产、地球物理、地球化学等属性对地质图的信息进行灵活检索,还可根据用户需求派生出各种不同的应用图件。地质图不再只是一张复杂的,除专业地质人员外,别人很难看懂的专业图件。这是对传统地质填图的重大变革。

现在美、加、澳实施的第二代地质填图计划中,都明确提出要在填图的各个阶段及信息服务全面采用数字技术。到目前为止,上述填图计划都有一批项目已经完成。每个项目都建立了基于 GIS 的数据库。

上述国家第二代填图计划的实施过程具有以下特点:为地质调查全过程信息化组织制定一系列标准,如:地质调查数据模型标准、空间定位标准、野外数据采集标准、数字地质图数据库标准、数字地质图出版标准及元数据标准等;探索野外数据采集的计算机化问

题,直到 2002 年,国外大多地学专家才普遍认为,野外数据采集设备技术的发展,将导致地学及其相关领域的数据采集革命;采用 GIS 技术完成室内资料整理、分析及图件的编辑;提供两种输出:建立数字地质图数据库与硬拷贝地质图;建立了适应新技术的完整工作流程。

1.1.3.4 掌上计算机和 GPS 技术逐渐广泛地应用于野外数据采集

国外在 20 世纪 80 年代中期就开始研究野外地质数据采集的计算机技术。从编码表格、到编码与自由文本混合式描述,从格式化的记录簿发展到野外电子记录簿,建立原码资料数据库。野外数据采集的硬件设备从无(用笔填写编码表格,从室内输入计算机建立数据库)到便携式计算机至掌上计算机。并应用在地质填图的实际工作中。现在,掌上计算机的重量更轻、功能更强,手写体识别软件已可集成其中,它使地质人员从敲击键盘中解脱出来,很适于野外工作。随着计算机技术的发展,完全符合野外数据采集的设备(电源,与 GPS 集成一体化,可在阳光下阅读屏幕等技术指标)和操作系统会越来越成熟,轻便、实用的野外数据采集设备将会像罗盘、放大镜和地质锤一样成为野外工作必备的随身工具。

1.1.3.5 空间信息栅格技术正在成为地质调查信息服务与信息获取的重要基础设施

空间信息栅格(Spatial Information Grid)技术,是一种能够聚集网络上的各种信息获取设备、计算机、高性能服务器、海量数据存储和处理系统、应用模拟系统、仪器设备、虚拟现实系统等广泛分布的各种资源,进行大规模数据和信息处理、面向应用提供信息处理服务的通用底层基础支撑结构。通过对区调空间信息源的数据、信息和知识进行有效的描述、组织、管理、处理、交换、检索及分发,将地理上分布的空间信息获取系统、数据传输系统、分布的空间数据集、高性能服务器系统、传感器、仪器设备、大型存储系统、GIS 系统等资源融为一体,利用各种通信与网络基础设施,组成一个虚拟的大型分布空间数据信息获取、汇集、存储、分发、管理和高性能分析处理平台。空间信息栅格的建立将为各类空间信息用户对区域地质调查的空间数据进行信息共享、访问、复杂分析和处理提供技术支持,为空间信息应用提供一个强大的空间数据管理和信息处理基础设施,确保来自任何空间信息源的信息经过处理,能在任何时候发送给在任何地点有任何需求而且有相应权限的空间信息用户。空间信息栅格多层次的信息处理和服务能力,将为基础地质调查用户随时随地应用空间信息提供强大的空间数据管理和信息处理服务。

1.2 国内区域地质调查概况

建国以来,我国区域地质调查工作成绩显著,为国民经济建设和社会发展提供了大量基础地质资料。全国 1:100 万区域地质调查在 1980 年底已基本完成;1990 年底,除内蒙古、青海和西藏以外,全国各省(区)均完成了 1:20 万区域地质调查,共完成陆地面积 691 万 km^2 。1986 年至今,配合全国区域地质调查,相继开展了一系列专题科研和基础地质研究系统工程及高新技术应用研究;制定了一系列全国地矿行业标准。开展了区调填图新技术与新方法研究,区调填图方法出现重大变革,推动了我国区调的科技进步。这些对阐明有关地球科学问题,起到了重点突破的作用。1996~2002 年已安排 1:25 万区域地质调查面积 256.9 万 km^2 ;截止到 2002 年底,可完成 1:5 万区域地质调查面积 179 万 km^2 。

目前,所开展的 1:25 万区域地质调查突出综合性,1:5 万区域地质调查突出针对性,从而体现我国地域优势与特色。调查重点为:针对青藏高原及周缘地区和大兴安岭地区 1:20

万区域地质调查空白区开展 1:25 万区域地质调查,对大部分已完成的 1:20 万区域地质调查图幅围绕解决若干重大的或国内外关注的基础地质问题,结合地方经济发展等进行修测,对 20 世纪 50、60 年代地质成果已老化的图幅,进行 1:25 万实测更新。其调查内容和工作重点体现在以下几方面。

1.2.1 区域地质调查应面向国民经济建设和为社会进步服务

在科学技术日新月异、国际竞争日趋激烈的今天,总结我们以往的工作经验,并在充分了解和把握国际国土资源调查研究的现状和趋势的基础上,提出新的部署或发展战略,使我国国土资源大调查真正做到既能满足国民经济建设对国土资源日益高涨的需求,又有所创新和发展。其具体体现如下。

(1) 围绕国家重大目标和社会重大需求,明确重大科学问题,紧扣国家经济战略布局,突出区域特色,选择有关区域的关键地区,进行国土资源区域综合调查研究。调查的主要内容按自然区域综合部署,主体工作按与大地构造域直接相关并与国家社会经济发展宏观规划的区域划分相吻合的自然区域进行综合部署,在每一区域内以具有突出意义的国家经济和社会发展需要及其相关的重大科学问题为国土资源调查主题,突出各区域的特色,解决区域的突出问题。发挥区域地质调查的优势,整体提高我国国土资源研究水平,为资源预测评价、国土规划整治、环境预测治理、重大工程项目选址、地质灾害预警预报等提供更有力、更科学的基础性支撑能力,为发展地质科学、实现理论创新做出贡献。

(2) 把解决各地区长期存在的区域地质问题与国际地学前缘的一些重大科学问题相结合。在对若干国际科学前沿领域有计划地组织研究的同时,瞄准重要区带,抓住那些具全球性意义的,能促进区域经济、社会发展的重大科学问题,并把区域性和全球性统一起来,把区域研究置于地球科学整体发展框架中,组织专项研究计划,采用矩阵管理,集中多种资源,广泛开展国际合作,开展多学科综合性研究,通过今后的工作部署,不但解决一些地区长期存在的基础地质问题,提高我国区域地质研究程度和总体水平,同时满足国家近期、中期和长远发展目标的要求。

(3) 要以战略性综合调查研究与常规填图相结合的基本工作方法,围绕国家急需,选择重点区带。分级序有步骤有重点地进行,尽快提交高水平、客观、正确、全面的成果。把解决关键基础地质问题与满足国家经济发展的需求相结合,重点围绕重大地质问题关键地区、重要经济区、重大工程区、重要成矿区等,并密切围绕国家确定的西部大开发重点,进行合理规划部署,为西部地区国土资源调查评价、规划、管理、保护和合理利用提供基础资料。

(4) 强调区域地质调查与专题研究相结合、地表地质与深部地质相结合,随着工作的深入,将系统地部署多项专题研究工作。在学科交叉渗透的基础上,进而研究解决所面临的重大基础地质问题,并建立一完整的区域地质调查研究体系。

(5) 围绕国家发展需求和国际地学发展趋向,注意工作部署规划的超前性。

1.2.2 努力拓宽区调服务领域,突出新形势下的新要求

区域地质调查的目标应立足于国家目标,既为国家建设、经济和社会发展规划以及可持

续发展提供全方位服务。其主要任务是查明调查区的区域地质特征、矿产资源、土地资源、旅游资源等自然资源的分布,为深化调查区的基础地质研究和自然资源的开发以及大型工程和国防建设提供必要的基础资料,为国民经济和发展提供可靠的资源保障,为可持续发展做出贡献。

加快区域地质调查与国家地学基础系列图件的全面更新,为建立我国区域地质调查信息网络和社会服务系统提供依据;在区域地质调查工作的主要领域实现跨越式发展;在区域地质调查关键技术方面达到世界发达国家 20 世纪 90 年代的水平;加深对中国区域地质特征的了解和认识,解决一批重大疑难的地质问题;在一些领域提出具有国际影响的新发现、新理论和新方法,发展一批重大地学理论;理顺区域地质调查和科学研究关系,建立一支适应当代区域地质调查的高素质区域地质调查队伍。

区域地质调查今后的主要任务是:

(1)扩大区域地质调查服务领域,与国民经济建设和地方经济发展紧密结合,积极了解社会需求,积极进行为国民经济发展服务的探索,加强基础地质调查为国民经济服务项目的安排;因地制宜地对重要城区、工程区、沿海重要经济带进行立体地质填图和陆区—海区大陆架联合填图;加大农业地质、旅游地质、环境地质等社会经济服务研究内容,积极拓宽区域地质调查服务领域,提交各专题研究内容成果。

(2)深化对中国区域地质的认识,为政府决策提供全新可靠的地学数据、信息和认识,通过区域地质调查和重大基础地学问题专题研究紧密结合,通过对中国重大地学问题的调查和综合创新研究,加深对中国区域地质特征的了解和认识,并从总体上做出比较满意的理论解释,形成体系,提高中国国土地质研究程度。为政府宏观决策提供全新可靠的地学数据、信息和认识;为预测评价我国矿产资源、减轻和治理地质灾害,改善人类生存提供科学依据。

(3)发展优势学科,总结我国独特的地质特征,建立和发展中国地质理论,为建立和发展中国地质理论体系进行必要的理论储备,发展优势学科。

修订填图方法指南,开展不同区区域地质调查填图方法研究。

(4)加强高新技术的应用,实现国土区域地质调查工作全程信息化、现代化和跨越式发展。与国外相比,我国区域地质调查最大差距是没有实现地质填图的全过程信息化。尤其在野外数据采集上,除了应用 GPS 定位外,还应用传统的纸介质的野外记录簿,严重地限制了地质填图过程的信息化,为此重点围绕区域地质调查技术,积极开展和推进以空间技术和信息技术为先导的高新技术的应用,加快区域地质调查的工作速度,改变区域地质调查工作方式,区域地质科学研究的思维方式。实现从野外数据采集到室内资料整理成果表达全程的信息化,与此同时,加强现代高精度的物探技术的应用,提高区域地质调查能力。

(5)逐步理顺区域地质调查与科学研究关系,建立区域地质调查与科学研究一体化体制。

(6)培养和造就一批适应新时代的区域地质调查队伍和人才

1.2.3 区域地质调查领域应用高新技术是当务之急

虽然我国在应用高新技术方面已取得较大成绩,但总体上仍以传统技术和工作方式为主,高新技术应用的广度和深度与国内其他行业及先进国家相比明显落后,高新技术的研制开发能力比较薄弱,信息化及基础建设滞后。在新科技革命条件下,我国区域地质调查工作

应充分吸收和应用空间技术和信息技术为主导的高新技术,改造传统的工作方式,实现国土区域地质调查工作全程信息化、现代化和跨越式发展,以此解决与国民经济发展密切相关的重大热点和难点问题。

在地质填图技术方法方面,近些年最大的进展就是信息技术的广泛应用。由于 GIS、GPS、RS 等高新技术的广泛应用,极大地提高了地质填图的效率,改进了地质填图的质量,加快了地质填图的速度,使地质调查领域信息化难度最大的区域地质调查实现了全过程的信息化,建立的数字地质图数据库,从根本上改变了地质图信息的传统表达方式,为地质图信息的灵活检索、信息共享、扩大服务领域奠定了基础,并大大提高了为社会提供服务的能力。

从目前情况看,RS、GIS、GPS 等高新技术应用,开始对传统区域地质调查基本的方法和手段冲击,结构化的数据库、与非结构化文件系统、GIS 技术与工具及支持运行这些系统的硬软件环境(掌上机及嵌入式操作系统)给我们提供了用于在野外大量地采集露头数据的有力工具,所采集的数据还能很方便跟其他的数据集成。

以地学为基础,在地球学科理论的指导下,发挥多学科优势,应用多种技术方法,对国土资源进行综合调查评价,提高科学技术含量。在区域地质调查过程中加大物化遥和计算机辅助填图等技术方法的应用,充分体现多专业密切结合,综合解释分析的特点,提出相应的填图技术要求和方法。连续的野外地质路线观测和观察,是区域地质调查中获得详实的一手基础资料的最基本的方法和主要手段,以野外观察取得的资料为基础资料,实事求是地准确地观察记录野外地质现象。取全、取准野外各项原始地质资料,是区域地质调查野外数据采集主要目的之一。目前大多采用人工记录、手工编图进行区域地质调查野外数据采集。这种传统的方法越来越不应当今信息时代的要求。极大影响填图效率和精度,传统的方法所记录的野外数据,而且效率低下,大多不适合于用现代数字数据分析软件包来进一步处理它们。即使把传统的记录在笔记簿上的野外描述转换成数字系统也非常耗费时间,容易产生错误。因而也直接影响快速地为社会公众提供公益性的数字区域地质信息的要求和周期。为此,开展了基于掌上机及 3S 与 4D 技术建立区域地质调查野外数据采集系统的研究势在必行。

在了解区域地质背景前提下,收集整理深部综合信息,确立利用地球物理数据对工作区进行综合地质解释的方法。解释大地构造单元及进行构造单元的划分、深浅层地质体、断裂构造、火山机构、侵入岩体、找矿远景区划及建立复杂地下构造的三维模型方法等。建立图幅及区域性多源区调空间数据库综合信息系统,以区调野外数据采集系统为主要接口,建立区调野外数据空间与属性的数据模型及其相关标准和技术规程,实现计算机辅助填图与管理,在建立以图幅为单位的样品数据库、专题数据库、剖面数据库、地质点库、数字地质图空间数据库、影像数据库的基础上,考虑各种空间分析的方法对多种不同的空间信息进行综合分析解释、解决空间实体的相互关系的技术要求,以区域为空间对象,现实多源区调信息的形成、组织、集中、保存、检索与分析,在不同 GIS 平台上建立面向多源信息管理与分析的 GIS 的区域性区调空间综合地学信息系统。以解决公诸于社会的各类公益性基础地质图件过于专业化,社会服务面局限,面向广泛用户的通用地质图及科普性地质图件不多,与人民生活质量息息相关的水文、环境地质,以及与国家重点基础设施建设所需的超前地质工作等严重滞后。基础地质调查明显滞后于当今社会经济发展步伐,填图内容难以满足国民经济高速发展对基础地质资料的需求等问题。