

# 数字地质调查与填图技术方法研究

李超岭<sup>1,2</sup> 杨东来<sup>2</sup> 于庆文<sup>3</sup> 其和日格<sup>3</sup>

(1.中国地质大学,湖北 武汉 430074 2.中国地质调查局发展研究中心,北京 100035;  
3.中国地质调查局,北京 100083)

**摘要:**数字区域地质调查是地质调查主流信息化迫切需要解决的问题,也是世界先进国家区域地质调查工作的普遍趋势。笔者根据世界先进国家在野外地质调查与填图采集技术方面的研究现状,结合我国实际,基于3S技术野外地质调查与填图信息化的新一代野外数据采集(器)技术,从改变传统的填图手段,提高研究精度、研究程度,加快研究(工作)周期和改变成果表现形式的技术方法研究着手,对野外地质调查与填图数字化采集技术、数据模型、技术流程、实现的工具与方法等进行了初步探讨。

**关键词:**数字区域地质调查与填图;数字填图;野外数据模型;地质图数据模型

**中图分类号:** P56.75 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2002)02-0213-05

区域地质调查是一项基础性、公益性、综合性的地质调查研究工作,涉及的信息种类多,内容广泛复杂、信息量大。全面、准确、快捷地采集野外第一手资料,是保证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技术研究,以实现地质调查数据获取全过程的信息化,是提高区域地质调查工作质量和效率,实现区调工作现代化所必须采取的步骤和措施。

毫无疑问,目前资源信息数据的采集理论与技术方法的研究已成为实现数字资源全过程信息化迫切需要解决的问题。数字填图技术的应用将使国土资源调查的研究方法、研究精度、研究程度、研究周期和研究成果发生深刻的变化,而且还是其他高新技术应用的基础,故数字地质调查与填图采集技术已成为地学界当前研究的热点和难点<sup>[1]</sup>。20世纪80年代初至今,发达国家一直在开展资源数字采集技术的研究。澳大利亚地质调查局(AGSO)和联合资源工业协会联合开发了一套在Newton PDA上运行的AGSO FieldPad——野外随身带<sup>[2-3]</sup>。它能将野外描述和素描数字化,并与GPS相连,利用实时的GPS定

位显示地理参考矢量图。GSMCAD是美国地质调查局开发供内部使用的一种专门为野外地质填图及室内编图设计的微软视窗程序<sup>[4-6]</sup>。该软件可以在两种模式下使用GSMCAD配合GPS接收器进行野外数据采集。第一种模式可与相应的说明文本相连或者一些数字照片相连。第二种模式,观察结果仍旧记录在传统的野外笔记本上,观察点的位置以路线点的形式存储在GPS接收器中。Fieldlog是加拿大地质调查局(GSC)开发的软件工具<sup>[7-8]</sup>,其用途是用来辅助地质工作者进行野外地质数据的数字化管理。它提供了对野外观察结果进行数字化记录、处理、演示和分析的手段,同时也是对制图准备和地质解译的补充。数据以一种专门的文本文件格式传输到Fieldlog中,并被转入项目数据库。美国地质调查局1998年开始转向正在兴起的PDA市场、GPS接收机和个人数字助理(PDA)在地质填图和地质构造数据采集上应用的研究<sup>[9]</sup>。ESRI公司新近推出一种可运行于掌上电脑、进行移动制图和GIS应用的软件——ArcPad。美国地质调查局现正着手该软件在地质调查的应用研究。经查明,目前基于3S技术的野外数据采集在国外未见报道。在国内,到目前为止,直接在野外进行

收稿日期 2001-03-28;改回日期 2001-12-10

基金项目:中国地质调查局国土资源大调查项目(2000201)和国土资源部科技项目(200018200101)联合资助。

作者简介:李超岭,男,1957年生,在职博士生,高级工程师,主要从事计算机、GIS技术在地学中的应用。

地质调查与填图数据采集系统研究还是空白, 但已有把传统的记录在笔记本上的野外描述转换成数字系统的研究, 但这种二次采集方式容易产生错误, 也难以提高效率和精度。

## 1 数字填图数字化采集技术研究方法

系统连续的地质路线观测, 是区域地质调查最基本的方法, 是任何其他方法所不能代替的。因此, 野外地质路线观测是区域地质调查最基础的工作, 按照野外工作不同阶段的划分, 基本可划分为踏勘路线、系统观测路线和检查路线。

为编写设计和部署区域地质调查工作收集素材、提供依据而布置的路线为野外踏勘路线。

系统观测路线则是区域地质调查中进行区调填图的主要阶段, 按照设计要求对全区系统布置路线进行全面调查, 并完成地质图的填制。它以全面控制测区所有地质体和构造形迹的形态和分布规律为目的, 收集到尽可能丰富的资料。

检查路线: 是野外区域地质调查工作中三级质量监控中部署的野外观测路线。野外资料经过室内综合整理后, 发现某些地段图面不合理, 接图尚存在问题, 重要接触关系或重要地质问题未得到解决, 根据实际情况, 必须在野外实地才能得到解决。为此目的布置野外检查路线。

以上所述3种情况的野外地质观测路线的成果, 是通过野外资料在室内最终整理到实际材料图上来反映的。野外地质调查与填图数字化采集技术就是把上述野外地质观测路线与实际材料图的完全人工工作过程, 跨越式转变为野外现场地质调查与填图信息数字化过程。这个过程就是野外数据的数字化获取技术及其成果统一性的数字化重现和认识的研究重点。从国内外研究现状来看, 目前需进一步解决的问题有(1)数据库的建立是通过回到室内整理野外采集的数据, 然后输入到数据库中, 或直接将大量的预先定义好格式的纸质表格的数据输入到数据库中的方式完成的。这种二次输入的方式难以提高效率。(2)过分结构化数据输入的数字野外笔记本, 要求地学工作者改变他们观察和记录地质野外信息的方式。(3)记录空间定点位置和属性信息分离管理, 野外数据采集系统未真正实现地质空间数据的显示、编辑能力, 不能提供符合流行的GIS软件格式的数据输出能力。(4)野外电子手图处理系统。(5)目前

尚无集空间定位、现场野外观测数据(空间数据与属性数据)的获取与数字化于一体的系统及其采集器。

### 1.1 数字填图技术的硬软件支撑基础

随身带到野外的掌上机能够描述与管理复杂的信息, 具有足够的存储容量, 体积小, 重量轻, 功耗低, 至少能连续工作10小时以上。满足这种要求的设备是最终实现野外数据采集信息化的硬件基础。否则, 不能解决一次性数据录入问题, 数字填图技术的实现则是一句空话。空间定位是数字填图基础的基础。实时的GPS接收机能否应用于野外地质数据采集主要有3个因素: 精度、体积和重量与功耗。2001年出现内置掌上机的GPS产品, 将使野外数据采集的定位方法发生革命性变化。其掌上机代表产品以类似HP688机型为主。GPS代表产品以类似RGP2202、RUIX机型为主。嵌入系统WINDOWS CE的应用将是野外地质调查与填图数字化采集系统的主流系统。

### 1.2 数据模型必须满足地质调查与填图信息

#### 数字化统一性再现和认识的要求

地质调查与填图信息数字化统一性再现和认识的目的是提供一个框架结构, 以便在计算机内组织、储存、利用地质(图)数据。数据模型独立于任何具体的软件/硬件配置, 核心是地质对象的数字化。标准化是统一性的基础, 统一性再现是有效地把地质调查与填图信息组织起来, 而认识则是通过数据模型来反映的。野外资源数据模型由两大部分组成, 地质野外数据模型和地质图数据模型。

(1) 区域地质调查野外数据采集PRB过程及其相应的数据模型: 现实世界的地质现象是经地质学家在野外调查和解释结果作为具有描述性信息的地理对象(点、线、面等)记录在地图或笔记本上。地质野外数据模型就是把地质体的地理表示和描述性信息结构化地储存在数据库中。目前在地学界争论较大的问题是描述性信息结构化程度。由于地质现象错综复杂, 不同地区、不同地质构造位置、不同岩类等情况, 都难以用非常结构化的数据模型来满足对包罗万象的野外地质现象的数字化。国外在开展这方面的研究中试图采用非常结构化的野外数据模型来满足野外数据的采集, 最后证明难以被地质学者接受。因为他们很快发现这些数据模型不能满足他们对各种野外现象的描述。非结构化数据模型很容易记录各种野外地质现象, 但很难进行计算机处理,

因而也就失去了数字化的主要意义。出现上述两种问题的症结在于没有找到区调野外数据采集计算机过程及其相应的数据模型。

根据最新研究成果与实验表明,如果说掌上机、GPS+WINCE、GIS、手写输入与电子词典等基本技术的应用使数字区调成为可能,那么,区调野外数据采集PRB过程的建立,将使数字区调变为现实。PRB过程及其相应的数据模型的建立将不但使野外地质观测与观察的过程准确的数字化,而且使野外数据采集过程标准化和规范化。PRB过程通过把野外数据采集的过程分为地质点(POINT)、分段路线(ROUTING)、点间界线(BOUNDARY)的数字化过程来保证对区调野外数据采集所需要计算机处理最基本的信息项的结构化,而且具有能够保证地质学者不受约束地采全、采准野外观察数据的特点。

(2)地质图数据模型综述 地质调查成果的绝大部分都是以图的形式来表现的。空间地质图与数字地质图是资源信息化的重要成果之一。

很显然,涉及空间地质图与数字地质图的数据模型是不尽相同的。空间地质图数据库是资源信息化最重要的组成部分之一,是资源评价的重要基础。目前国内有的空间数据库数据模型存在的问题是既考虑制图的特点又考虑空间数据特点,而这样的数据模型在今后资源评价分析中不能提供足够的空间数据分析的信息,因为足够的空间数据分析的信息是靠点、线、面之间的拓扑关系及相应的属性表来提供的。而数字地质图数据模型可以不考虑不同图元之间的拓扑关系也可满足要求。

空间地质图数据库数据模型是不受人的主观意识或不同学术观点影响的数据模型。在区域地质调查中,空间地质图数据库数据模型是由不可再分的自然地质实体及相关属性表构成<sup>[10-11]</sup>。而数字地质图需要通过建立概念地质数据模型和相应的图示图例才能实现从空间地质图到数字地质图的转换。

有了以上的认识,就能确定建立空间地质图数据库数据模型的原则。因此,在图层划分中,必须注意以下因素:①图元多义性问题,在图层划分中比较好的方法就是采用主要图层,然后可通过空间运算产生派生图层的方法。②GIS的数据模型特点是单独的空间数据与属性数据。空间数据包含几何数据及拓扑数据,几何数据即空间坐标、高度、面积,拓扑数据即空间特征的几何关系<sup>[12]</sup>。但这种数据对于空

间分析和建模能力是相当有限的。因此还需要用一些高级空间特征来建立新的地学数据模型,这些数据模型非常适合有关地学在网络分析和空间扩散方面的研究。③充分考虑空间数据物理存储结构,不允许在图层及属性表的命名上出现同物异名、同名异物等问题。④图层及属性表描述结构。图层描述结构:空间信息名(类Class,图层Theme,层文件名Coverage,空间属性Attribute,外挂属性库Associated Look-up Table,注释Annotation Coverage,备注)。图层属性描述结构:图层名(序号,字段名,字段类型,长度,小数位,备注)。⑤区域性地学空间信息的集成除了用于空间分析外,还有一个目的就是产生新的专题图件。对数字地图而言,要非常注重数字化线条的颜色、分类、线型及成图质量,而不考虑空间数据之间的关系以及数据的后继处理,这一点与GIS的空间数据有着本质的区别。因此,地学空间信息的集成不可能有一个既能满足GIS的空间数据要求又能满足制图要求的图层划分原则,解决的办法就是针对制图要求而增设注释图层或用于图示图例库的标准代码。

### 1.3 地质调查与填图信息数字化采集技术流程(图1)

### 1.4 基于GIS理论与应用技术数字填图野外数据采集系统组成

据地质调查与填图过程的特点,基于GIS理论与应用技术数字填图野外数据采集系统由五大子系统组成:RGMAP FOR WIN CE野外数字填图(CE)子系统、RGMAP FOR WIN CE野外剖面数据采集系统、RGMAP FOR WIN CE野外素描图系统、RGMAP FOR WIN PC野外数字填图(PC)子系统、RGMAP FOR WIN PC数字剖面子系统。

## 2 数字区域地质调查系统功能特点

### 2.1 数字填图技术将改变传统的技术研究手段

集GPS、GIS、RS技术为一体的野外数据采集系统开创了区调填图数字化时代。(1)数字化文件取代传统的笔记簿、手图、纸介质实际材料图、表格、图件。(2)传统笔记簿、手图被具有显示、漫游、研究区域地理底图、地质草图、正射影像图、遥感解释图等基础信息的功能和有GPS导航性质的路线显示及定点图形编辑功能的新一代电子笔记簿取代。(3)历史专题图层和现势图层整合再现。具有可视化野外样品、素描、产状、照片、野外实测剖

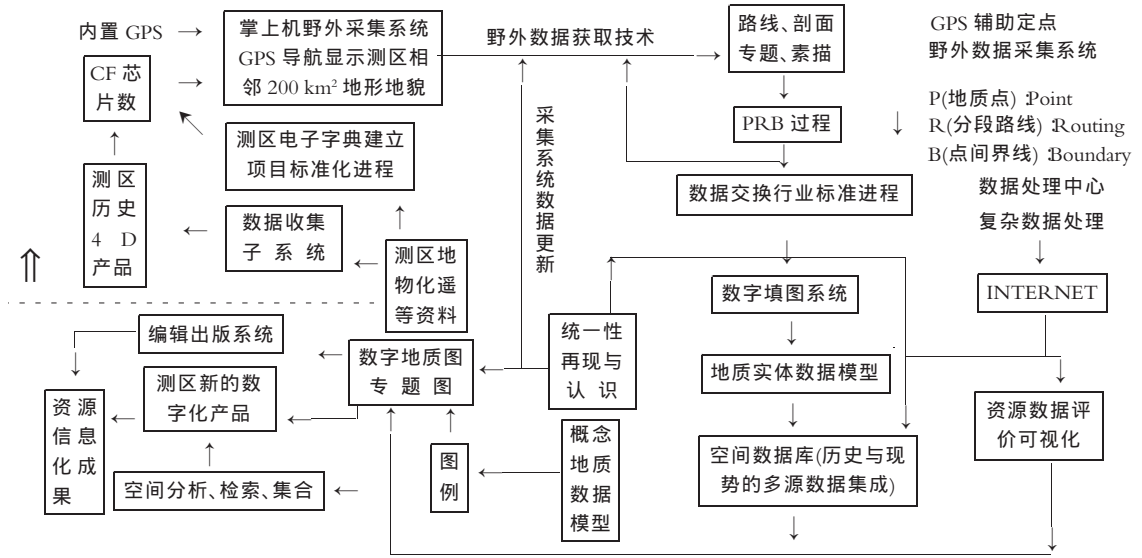


图1 数字区调数字填图技术流程

Fig. 1 Digital regional geological survey and digital mapping technique flow diagram

面等多源空间数据的获取、存储与管理的功能；采用结构化的数据库与无容量描述限制地质观察现象文本数据库相结合的方法，可以扩展地质学家思维空间。(4)计算机技术将简化和改进传统的空间记录方式，使地质学家更注重地质本身调查。

### 2.2 数字填图技术将提高研究精度和研究程度

集GPS、GIS、RS技术为一体的野外数据采集系统可以简化传统的手工繁琐的精度控制。(1)采用实时GPS定位与野外电子手图的整合，提高了空间定位精度和速度。(2)采用GIS技术，构造适合野外观测路线数据结构(图层)，可以使点间点(含点间界线)的实际勾画，产状、样品、素描、化石的定位，野外实际路线距离、方位与观测内容的定性定量的整合实现可视化和自动化。(3)野外数据采集系统可以提供PRB字典，规范野外记录格式，提高数据采集精度。

集GPS、GIS、RS技术为一体的野外数据采集系统可以为提高研究程度提供丰富的手段和方法(1)野外数据采集系统提供了3种PRB词典，有助于野外填图地质实体的识别。(2)历史专题图层和现势图层整合再现，有助于野外填图的认识和判断。(3)野外数据采集系统的三维数字高程模型、遥感图像与野外电子手图整合显示，有助于地质人员直接在野外勾绘地质界线，最大程度地采集野外信息，避免遗漏，而且精度高。(4)利用GIS空间分析功能，进行有效地质点和有效路线分析，为提供最佳路线、最佳剖

面位置部署提供依据。(5)利用GIS空间分析功能，指导各种专题研究。

### 2.3 数字填图技术将加快填图周期

(1)野外观测数据的现场数字化采集降低了劳动强度。(2)野外数据采集系统提供了3种PRB词典及其文字处理功能，加快了野外记录速度。(3)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，避免从手图到野外实际材料图的搬绘和整理的过程。(4)可同时打开多个野外记录本，加快了野外资料整理和处理(连图)时间。其周期可减少到传统的2/3。(5)可视化剖面自动计算与交互式成图，减轻了劳动强度，提高了速度，其周期可减少到传统的4/5。(6)野外填图工作量自动统计。(7)按规范要求输出各类图件和文档(野外记录簿)等。

### 2.4 数字填图技术将改变成果表现形式

数字填图技术及系统的应用使区调成果的表现形式丰富多彩(1)数字地质图。(2)空间地质图图形与图像的融合(三维、正射影像)。(3)各类数字化专题图。(4)数字化野外原始记录本及采样数据库。(5)测试结果数据库。(6)多源数字化多媒体地质图。(7)超文本地质报告。(8)数字化地质剖面图。(9)计算成果数字图。

结语：数字区调是把野外地质观测路线与实际材料图的完全人工工作过程跨越式转变为野外现场

地质调查与填图信息数字化的复杂过程。该技术的研究与应用将使地质调查工作的研究方法、研究精度、研究程度、研究周期、研究成果发生深刻的变化,集GPS、GIS、RS技术为一体的野外数据采集系统使传统的野外地质调查发生了革命性的变化并开创地质调查主流程——地质调查与填图的数字化时代,填补我国地质调查信息现场数字采集技术的空白,为相关地质调查的野外数据采集奠定了基础。

#### 参考文献:

- [1] 姜作勤.野外地质数据采集信息化现状与技术发展[J].地质调查情报,2000(6):95~109.
- [2] Blewett R S, Hazell M S. Digital on-site capture using an Apple Newton palm computer[A]. Geological Society of Australia Abstracts No.41, 13th Australian Geological Convention[C], Canberra February, 1996.
- [3] Ryburn R J, Bond L D, Hazell M S, Guide to OZROX-AGSO's Field Geology Database[M]. Australian Geological Survey Organisation Record, 1995.
- [4] Robert J Krumm, Curtis C. Abert, Daniel O Nelson, etc. Review of Digital Mapping Techniques: The Illinois Experience[J]. Digital Mapping Techniques '97, U S Geological Survey Open-File Report 97-269, 1997.
- [5] Williams V S, Selner G I, Taylor R B. GSMCAD, a new computer program that combines the functions of the GSMAP and GSMEDIT programs and is compatible with Microsoft Windows and Arc/Info: U S Geological Survey Open-File Report 96-007, 1997, 18.
- [6] Schetselaar E, Computerized Field-Data Capture and GIS Analysis for Generation of Cross Sections in 3-D Perspective View[J]. Computers and Geosciences, 1995, 21(5):687~701.
- [7] Brodaric Boyan, Field data capture and manipulation using GSC Fieldog v3.0. In: Soller D R, ed, Digital Mapping Techniques '97, Proceedings of a Workshop on Digital Mapping Techniques: Methods for Geologic Map Data Capture, Management and Publication. U S Geological Survey Open-File Report 97-269, 1997. 77~81.
- [8] Struik L C, Atrens A, Haynes A. Handheld computer as a field notebook and its integration with Ontario Geological Survey's "FIELDLOG" program: Current Research, Part A[J]. Geological Survey of Canada, Paper 91-1A, 1991. 279~284.
- [9] Tim Cowman. GIS and Digital Mapping at the South Dakota Geological Survey. Digital Mapping Techniques '97, U.S. Geological Survey Open-File Report 97-269, 1997. 89~94.
- [10] Gary L Raines, Boyan Brodaric, Bruce R Johnson. Progress Report-Digital Geologic Map Data Model. Digital Mapping Techniques '97, U S Geological Survey Open-File Report 97-269, 1997. 43~46.
- [11] David Viljoen. Topological and Thematic Layering of Geological Map Information: Improving Efficiency of Digital Data Capture and Management. Digital Mapping Techniques '97, U S Geological Survey Open-File Report 97-269, 1997. 89~94.
- [12] 龚健雅. 当代GIS的若干理论与技术[M]. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 1999.
- [13] Bruce R Johnson, Boyan Brodaric, et al. 数字地质图数据模型[M]. 中国地质科学院、国土资源部信息中心译. 2000. 71~134.

## Digital geological survey and mapping techniques

LI Chao-ling<sup>1,2</sup>, YAN Dong-lai<sup>2</sup>, YU Qing-wen<sup>3</sup>, QIHE Rige<sup>3</sup>

(1. China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China;

2. Center of Research and Development, China Geological Survey, Beijing 100083, China;

3. China Geological Survey, Beijing 100035, China)

**Abstract:** Digital regional geological survey is a problem that needs urgent solution in the main informatization course in geological survey and mapping. Based on the present state of the digital field geological survey and digital mapping techniques and mapping data capturing techniques in developed countries, coupled with the actual conditions of China, the authors discuss the field geological survey and mapping digital data capturing techniques, data model, technical flow chart and tools and methods of applying digital mapping techniques for the purposes of changing the conventional mapping means, raising the research accuracy and degree, accelerating the cycle of research work and changing the form of presentation of the research results.

**Key words:** digital regional geological survey and mapping; digital mapping technique; field geological data model; geological map data model