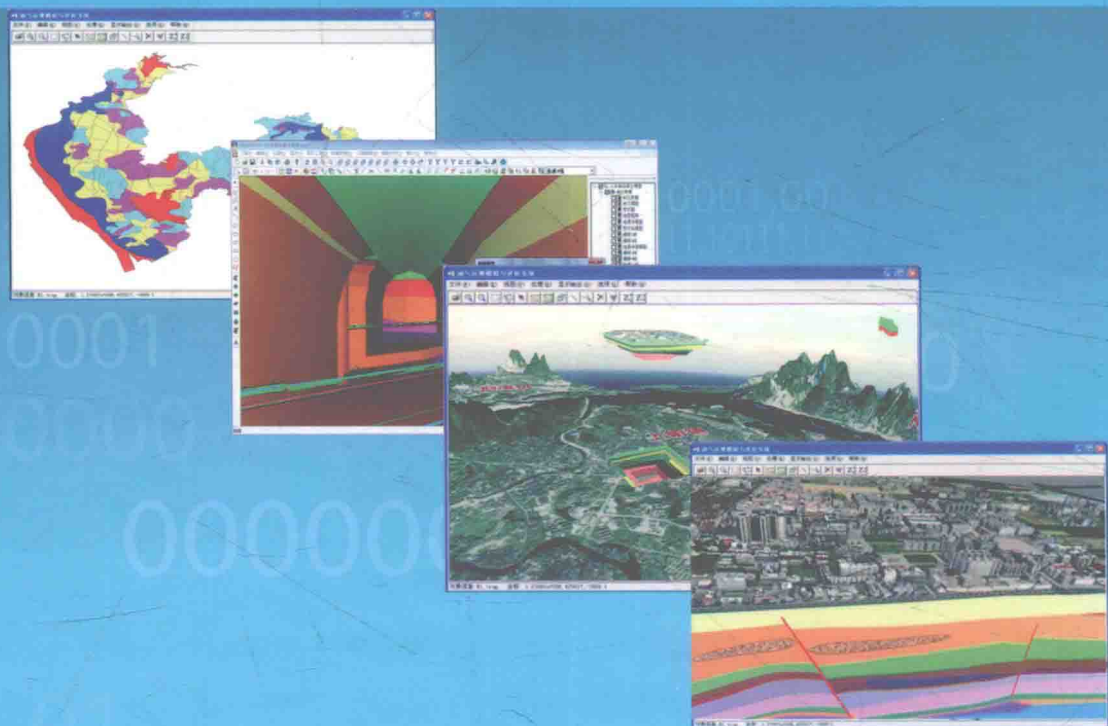


地质信息科学与技术丛书

城市地质环境信息系统

吴冲龙 刘刚 何珍文 翁正平 张志庭 等著



科学出版社

“地质信息科学与技术丛书”之二

城市地质环境信息系统

吴冲龙 刘 刚 何珍文 翁正平 张志庭 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是“地质信息科学与技术丛书”的第二部，是作者团队长期从事计算机辅助地质调查理论、方法和技术领域的探索性研究和开发的成果积累。书中着重介绍了城市地质环境调查信息化的技术体系，即以对象-关系数据库为核心，以“多S”集成和计算机网络为支撑，能够实现地质-地理、空间-属性数据一体化存储、管理、处理和应用。其主要构成包括：野外地质数据采集技术、空间-属性数据一体化管理技术、地质图件机助编绘技术、三维城市地质环境建模技术、地质特征空间分析技术、数据挖掘和基于网络的数据共享服务技术等。

本书与城市地质时空大数据的统合应用，以及“玻璃地球”和“智慧城市”建设相适应，可作为地质信息化领域的科技人员及博士生和硕士生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

城市地质环境信息系统/吴冲龙等著. —北京：科学出版社，2016.12

“地质信息科学与技术丛书”之二

ISBN 978-7-03-051177-5

I. ①城… II. ①吴… III. ①城市地质环境—管理信息系统 IV. ①X21-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第319148号

责任编辑：周 丹 王 希 / 责任校对：贾娜娜

责任印制：张 倩 / 封面设计：许 瑞

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

北京利丰雅高长城印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年12月第一版 开本：787×1092 1/16

2016年12月第一次印刷 印张：20

字数：480 000

定价：148.00元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

“地质信息科学与技术丛书”之二

“地质信息科学与技术丛书”

编委会名单

主编：吴冲龙

编委：刘 刚 田宜平 毛小平 何珍文 翁正平

《城市地质环境信息系统》

作者名单

吴冲龙 刘 刚 何珍文 翁正平 张志庭
李新川 毛小平 田宜平 郑先昌 张夏林
徐 凯 陈 勇 孔春芳 刘军旗 李章林
李俊杰 唐丙寅 陈麒玉 张军强 郭向群
陈惠兰 田善君 彭诗杰

丛书总序

地质信息科学与技术是一个崭新的研究领域，它随着计算机科学和技术的兴起，以及地球空间信息学（geomatics）、地球信息学（geoinformatics）、地理信息科学（geographic information science）和地球信息科学（geo-information science）的出现和发展，以及多种信息技术在基础地质调查、矿产资源勘查和工程地质勘察中的应用而兴起，正吸引着越来越多研究者的关注和参与。

作为地质工作信息化的理论和方法基础，地质信息科学是关于地质信息本质特征及其运动规律和应用方法的综合性学科，主要研究在应用计算机软硬件技术和通信网络技术对地质信息进行记录、加工、整理、存储、管理、提取、分析、综合、模拟、归纳、显示、传播和应用过程中所提出的一系列理论、方法和技术问题。它既是地球信息科学的一个重要组成部分和支柱，也是地球信息科学与地质科学交叉的边缘学科。吴冲龙教授及其科研团队从 20 世纪 80 年代开始，就在这个领域进行探索性研究，先后承担并完成了多个国家级、省部级和大型企业重点科技项目的研究与开发任务，在实践中逐步形成了较为完整的思路、理论与方法，并且研发出了一套以主题式点源数据库为核心的三维可视化地质信息系统平台软件（QuantyView，原名 GeoView）。在该软件平台的基础上，还研发了一系列应用软件，在多家大型和特大型地矿企、事业单位推广应用。吴冲龙教授及其科研团队于 2005 年对上述研究和开发成果进行了归纳和概括，提出了地质信息科学的概念并对其理论体系、方法论体系和技术体系进行了初步探讨。

该系列丛书就是该团队近年来在地质信息科学的理论、方法论和技术体系框架下，所进行各种探索性研究的一次系统总结。丛书包括一部概论和四部分论。其中，概论从初步形成的地质信息科学概念及其理论、方法论、技术体系框架开始，介绍了地质信息系统的结构、组成和设计原理，地质数据的管理、地质图件机助编绘及地质模型的三维可视化建模，地质数据挖掘与勘查（察）决策支持，地质数据共享及地质信息系统集成的基本原理与方法；分论的内容涵盖了基础地质调查、固体矿产地质勘查、油气地质勘查和工程地质勘察专业领域。书中借鉴、参考和吸取了地球空间信息学、地球信息学、地理信息系统和地理信息科学，以及国内外地质信息科技领域的最新成果，体现了研究成果的系统性、先进性、实用性和实践性，以及学科交叉的特色。

随着地质工作信息化的深入发展，地质信息科技领域的研究方兴未艾，希望有更多研究者参与，以便共同推进这一学科的进一步发展。

中国科学院院士



2013 年 8 月 26 日


序

当前,随着新一轮地理国情普查工作开展以及我国城镇化进程的发展,城市地下空间利用和资源环境管控在城市发展规划和运行中的作用越来越重要。中国地质调查局从2003年开始,就把基础地质调查的重点转移到了城市地质环境调查。特别是在“玻璃地球”和“智慧城市”建设风潮的推动下,城市地质环境调查的数据采集、管理、建模和分析,逐步向三维可视化和智能化方向发展,其信息系统的建设也开始由二维向三维转变。三维城市地质环境信息系统,是一种复杂的计算机应用系统,要求实现地下-地上、地质-地理的空间与属性数据一体化采集、存储、管理、处理和应用,并基于这些数据开展三维可视化表达、三维可视化建模和三维可视化分析,为进一步实现城市资源、环境和地灾的智能化监测、管控和预警提供坚实的数据支持和技术支持。

吴冲龙教授及其团队在这方面进行了长期的探索性研究,先后承担了国家863计划、973计划、重大科技专项项目课题和国家自然科学基金项目等的研究和开发任务,研发出了具有自主知识产权的三维可视化地质信息系统平台软件QuantyView,并开发了系列应用软件。从2006年开始,承担了中国地调局城市三维地质环境信息系统建设的试点和扩大试点项目,先后合作进行了南京市、福州市、泉州市、哈尔滨市、齐齐哈尔市、牡丹江市和佳木斯市等城市的三维地质环境信息系统研发和建设工作。在这个过程中,他们在一些方面取得了多项重要的进展,其中包括城市地质结构的快速、动态、精细和全信息建模,以及地质结构表达三维可视化、地质资源分析三维可视化、地质过程模拟三维可视化、地质工程设计三维可视化和地质工作决策三维可视化。本书即是在上述各项探索性研究和技术开发的实践基础上归纳总结而成的,内容涵盖了城市地质信息系统的系统设计、野外数据采集、地质时空数据管理、三维地质建模、地质空间分析与数据挖掘、地质环境综合评价与地质信息共享服务等多个方面的理论、方法和技术。这是地质信息科技领域的一项新成果。

新时期的空间信息科学和技术,正在向着深空、深时、深地等方向发展,作为空间信息科学和技术的分支学科,地质信息科学和技术已经成为地下“数字城市”建设的重要支撑。随着大数据时代的到来,对城市地质环境信息系统建设和城市地质环境大数据的高效应用,提出了更高的要求,也指明了发展的方向。本书的出版对于城市三维地质信息系统的开发、建设与应用,乃至“数字城市”与“智慧城市”建设,都将会有重要的促进意义和参考价值。

中国科学院院士



2016年10月26日

前 言

本书是“地质信息科学与技术丛书”的第二部。

21 世纪以来, 各国地质调查重心从野外基础地质调查, 转向城市地质环境与水资源调查。随着三维可视化技术及其相关支撑软硬件环境的快速发展, 开展三维基础地质调查(填图)的需求逐渐明朗化。为了提高这些多源异构异质地质数据的采集、存储、管理、处理、建模和应用的效率和水平, 需要借助于计算机和地质信息科技的成果, 其中包括全面实现城市地质环境调查、研究、评估和应用工作的信息化。尤其是在“玻璃地球”建设风潮的推动下, 城市地质环境调查的数据采集、建模和分析, 逐步向三维可视化方向发展, 其信息系统的建设也开始了由二维到三维的转变。三维城市地质环境信息系统, 是一种复杂的计算机应用系统, 应能有效地实现地下-地上、地质-地理的空间与属性数据一体化采集、存储、管理、处理和应用, 并基于这些数据开展三维可视化表达、三维可视化建模和三维可视化分析。这是当前地质信息科学和技术成果的重要体现。

城市地质环境调查信息化的技术体系, 是一种以对象-关系数据库为核心, 以“多 S”集成和计算机网络为支撑, 能够实现地质-地理的空间-属性数据一体化存储、管理、处理和应用的技术体系。其主要构成包括: 野外地质数据采集技术、空间-属性数据一体化管理技术、地质图件机助编绘技术、三维城市地质环境建模技术、地质特征空间分析技术、数据挖掘和基于网络的数据共享服务技术。此外, 还有基于这些技术的相关专题分析及报告编写技术等。随着地质科学研究与地质勘查事业的发展, 以及社会需求范围的扩大, 对城市地质环境调查工作提出了越来越高的要求, 该技术体系必然随着计算机科学技术、信息科学技术和地质科学技术的发展而不断进步。大数据时代的到来和“智慧城市”建设高潮的兴起, 为城市地质环境大数据的高效应用和城市地质环境信息系统的发展, 奠定了新的基础。

作者的团队从 20 世纪 90 年代中期开始, 参与对计算机辅助地质调查的理论、方法与技术的探索性研究, 并在 2000 年研发出了“基于便携机的辅助地质填图系统”。该系统首次将数据库、图形库、计算机辅助设计系统和野外数据采集系统集成在一起, 实现了从野外数据采集到室内综合整理、数据管理, 从数据存储、管理到图件编绘、专题研究, 再到调查报告编写的全过程计算机辅助化, 获得了国家技术发明专利。随后, 从 2006 年开始, 又荣幸地参加了中国地质调查局城市三维地质环境信息系统建设的试点工作, 先后合作进行了南京市、福州市、哈尔滨市、泉州市、齐齐哈尔市、牡丹江市和佳木斯市等的三维地质环境信息系统的研发和建设。本书即是在上述各项探索性研究和技术开发的实践基础上归纳总结而成的。尽管还很不成熟, 却也是多方面共同努力的结果。

值此专著出版之际, 作者们衷心感谢中国地质调查局及其所属的水文地质环境地质调查中心、发展研究中心、南京地质调查中心、福建省地质矿产勘查开发局、江苏省地质矿产勘查局、黑龙江省地质矿产勘查开发局、福建省地质调查研究院、南京市规划建设局、

黑龙江省地质调查院、闽东南地质大队，以及中国地质大学（武汉）计算机学院、资源学院和地球科学学院等单位及其领导和专家的热情支持和帮助；衷心感谢中国地质大学（武汉）地质信息科技研究所全体教员和博士生、硕士生在研究和开发中的积极参与和贡献；衷心感谢科学出版社的罗吉和周丹等编辑为本书的出版所付出的辛勤劳作和奉献；感谢赵鹏大院士为本丛书撰写了总序言，龚健雅院士为本书撰写了序言。

吴冲龙

2016年8月16日

目 录

丛书总序

序

前言

第一章 城市地质调查信息化概述	1
1.1 城市地质调查的发展及现状	1
1.1.1 城市地质调查工作的基本内容	1
1.1.2 城市地质调查信息化的概念与方法	4
1.2 地质调查信息化的技术体系	7
1.2.1 野外地质数据采集技术	7
1.2.2 空间-属性数据一体化管理技术	7
1.2.3 地质图件计算机辅助编绘技术	8
1.2.4 三维可视化建模技术	9
1.2.5 地质特征空间分析技术	10
1.2.6 基于网络的数据传输技术	10
1.3 “玻璃地球”建设与三维地质填图	11
1.3.1 “玻璃地球”概念与发展现状	11
1.3.2 “玻璃地球”建设的发展趋势	16
1.3.3 三维地质填图是“玻璃地球”建设的基础	19
第二章 城市地质信息系统的规划、分析与总体设计	21
2.1 信息系统设计的原则与方法	21
2.1.1 信息系统设计的原则	21
2.1.2 信息系统设计参照标准	22
2.1.3 信息系统的设计方法	27
2.1.4 信息系统的开发模式	28
2.2 城市地质信息系统的规划	28
2.2.1 地质信息系统规划的概念与方法	29
2.2.2 地质信息系统规划的主要内容	29
2.2.3 城市地质信息系统规划的实施	30
2.3 城市地质调查的系统分析	31
2.3.1 城市地质数据现状	32
2.3.2 业务流程与数据流程	33
2.3.3 系统功能需求分析	35
2.4 城市地质信息系统总体设计	37

2.4.1	系统建设目标和内容	37
2.4.2	系统总体架构	40
2.4.3	系统功能结构	40
2.4.4	系统网络结构	42
2.4.5	系统软硬件结构	42
2.4.6	概念模型的构建	45
2.4.7	系统安全保障	51
第三章	数据采集子系统	55
3.1	数据采集子系统设计基础	55
3.1.1	数据采集子系统设计的基础	55
3.1.2	城市地质环境调查数据的谱系	56
3.1.3	城市地质环境调查的野外工作模型	57
3.2	野外属性数据机助采集模块设计	60
3.2.1	属性数据的机助采集方法	60
3.2.2	机助采集模块优化的关键技术	61
3.2.3	属性数据采集模块的实现	65
3.3	野外空间数据机助采集模块设计	69
3.3.1	空间数据采集模块的系统分析	69
3.3.2	空间数据采集模块的系统设计	71
3.4	地质剖面实测与图件编绘模块设计	81
3.4.1	实测剖面的工作流程分析	81
3.4.2	地质剖面图实测与编绘模块设计	84
3.4.3	地质剖面实测与编图模块的实现	91
第四章	地质数据管理子系统	98
4.1	地质数据管理子系统设计概述	98
4.1.1	数据管理子系统的总体结构	98
4.1.2	各类数据库的命名与编码	100
4.1.3	城市地质数据库建设规则	103
4.2	原始数据库及其管理模块	104
4.2.1	原始数据分类与代码	104
4.2.2	原始数据库分类表单设计	105
4.2.3	原始数据库管理模块	107
4.3	基础数据库及其管理模块	110
4.3.1	基础数据的分类与代码	110
4.3.2	基础数据库的结构设计	114
4.3.3	基础数据库的管理模块	130
4.4	成果数据库及其管理模块	133

4.4.1 成果数据库组成与存储内容	133
4.4.2 成果数据库管理模块	135
4.5 元数据库及其管理模块	138
4.6 城市地质时空大数据管理问题	139
第五章 城市三维地质建模子系统	141
5.1 城市三维地质建模的功能目标	141
5.2 三维建模子系统的结构与功能	142
5.2.1 三维图形编辑模块的功能	143
5.2.2 三维地质建模模块的功能	143
5.2.3 三维地质空间数据可视化	146
5.3 用于三维地质建模的空间数据模型	152
5.3.1 常用的三维地质建模的数据结构	153
5.3.2 TIN、CPG 结构及其混合三维空间数据结构	153
5.4 基于 TIN-CPG 混合结构的建模方法	163
5.4.1 对象框架与属性的空间插值算法	163
5.4.2 基于 TIN-CPG 混合结构的建模方法	169
5.4.3 多尺度刻画与局部网格加密算法	173
5.4.4 知识驱动的沉积相精细刻画方法	175
5.5 基于 TIN-CPG 混合结构的建模应用	176
5.5.1 数据准备和数据预处理	176
5.5.2 第四系层序地层学与沉积学分析	178
5.5.3 沉积相与沉积环境剖面与平面图编制	180
5.5.4 第四系三维精细地质模型的构建	187
第六章 城市地质数据的处理与信息提取	193
6.1 数据处理系统的功能结构与逻辑结构	193
6.2 二维地质图件编绘模块	194
6.2.1 二维地质图件编绘模块的结构与功能	194
6.2.2 地层柱状图类编绘模块	195
6.2.3 地质参数等值线图类编绘模块	201
6.2.4 地质剖面图类编绘模块	206
6.2.5 综合图类编绘模块	212
6.3 三维地质空间分析与数据挖掘模块	216
6.3.1 结构与功能	217
6.3.2 三维空间分析	217
6.4 水面升降过程分析模块	224
6.4.1 海水入侵分析	224
6.4.2 水面升降过程模拟子模块	226

6.5	城市地质环境分析模块	227
6.5.1	地质环境分析模块的功能需求	227
6.5.2	地质环境分析模块设计与应用	229
第七章	城市地质环境综合评价	232
7.1	城市地质环境综合评价方法概述	232
7.1.1	综合评价的内容与方法	232
7.1.2	综合评价的实体模型与评价体系	236
7.1.3	综合评价的数学模型	238
7.1.4	模糊综合评估法的工作步骤与实现	246
7.2	宝安区地下空间可利用性评估实例	252
7.2.1	城市地下空间资源评估总体思路	253
7.2.2	宝安区地下空间资源评估模型	254
7.2.3	宝安区地下空间资源质量评估实践	258
7.2.4	宝安区地下空间资源数量评估实践	273
第八章	城市地质环境信息服务子系统	280
8.1	关键技术应用与发展	280
8.1.1	基于 SOA 的应用集成思路	280
8.1.2	网络集成的体系结构	281
8.1.3	若干软件开发技术应用	283
8.1.4	网格技术及其应用	286
8.1.5	云计算和云技术的应用	287
8.2	信息服务子系统的结构	288
8.2.1	信息服务子系统的总体框架	288
8.2.2	功能模块及其运行逻辑过程	289
8.3	二维数据产品服务模块	290
8.3.1	二维数据产品服务模块功能结构	290
8.3.2	城市地质环境专题图查询方法	291
8.3.3	城市地质环境专题图浏览方法	292
8.4	三维数据产品服务模块	294
8.4.1	三维数据产品服务模块功能结构	294
8.4.2	三维数据产品服务模块功能简介	294
	参考文献	299

第一章 城市地质调查信息化概述

随着城市化进程的加速,城市人口急剧膨胀,城市范围快速扩张,城市地质环境问题日益突出,水资源短缺、水与土地污染、地面沉降、地表塌陷、滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害频繁发生,成为影响城市社会经济可持续发展的重要因素。因此,深化城市地质工作,建立城市地质调查信息系统,对实施大数据战略,全面推进“数字城市”和“智慧城市”建设,提升城市规划、建设、管理与运行的水平,具有十分重要的意义。

1.1 城市地质调查的发展及现状

1.1.1 城市地质调查工作的基本内容

城市地质调查工作的基本内容,是在城市及其周围地区,或潜在城市化地区,综合研究各种地质要素对城市发展所提供的资源和所施加的约束,以及城市发展对各种地质要素所产生的反作用,为城市规划、建设和管理服务。具体地说,城市地质调查工作是研究城市的地质构造条件、工程地质条件、地基岩土稳定性,岩土体的出露和埋藏条件、城市土地合理利用、重大工程选址、地下空间可利用性等问题;研究水文地质结构和水文地质条件、地下水埋藏和分布规律、地下水的水质和水量、地下水的补给和排泄、地下水的可利用性和合理开发利用,以及城市供水水源地评价和保护问题;研究与城市有关的地震、活断层、滑坡、泥石流、洪水、地面沉降与塌陷,以及水土流失等地质灾害问题;研究城市建筑材料、地热、矿产资源开发利用的经济评价问题;研究城市中工业和生活垃圾的处理、地下水污染、土壤污染与环境保护问题,开展城市地质环境质量综合评价。

国际上的城市地质工作的开展,是与城市化进程相伴随的,大致开始于 20 世纪初,中间因第二次世界大战而陷于停顿。第二次世界大战以后,许多经济发达的国家根据城市建设的需要,纷纷开展系统的城市地质调查工作。初期的城市地质调查工作内容,主要是基础地质和工程地质填图,至 20 世纪 60~70 年代,工作内容扩大到水土污染调查评价,城市废弃物危害调查评价,以及各种相关地质资源的勘查评价。20 世纪 80 年代以来,开始广泛应用信息技术,使各项专题研究水平和为社会服务的能力,得到迅速的提升。

美国地质调查局(USGS)在 21 世纪初把加强城市地质灾害研究,以及土壤污染问题的研究列为主要工作内容。他们借助 GIS 编制美国主要城市的多种灾害和污染状况数字化图件,还绘制出了描述城市土壤潜力与限制的“地质潜力图”。例如,在科罗拉多州格伦伍德斯普林斯市,开展了城市地质灾害评价项目。该市位于山区河谷地区,崩滑流地质灾害制约着城市的发展,城市规划部门委托科罗拉多州立大学,利用 GIS 进行地质灾害易损性和风险评价编图研究。他们按 14 种土地利用适宜性等级,对评价区进行了土地利用区划,圈出了未来城市发展的适宜地段和高风险区,在此基础上建立了“城市整体化决策支持系统”。

加拿大的城市地质工作已有 100 多年的历史。Henry Arm 在 1900 年发表的“加拿大东部主要城市的地质”，被认为是加拿大城市地质的开创性成果。但是，加拿大系统开展城市地质工作是从 20 世纪 50 年代开始的。其目的是为市政规划和发展提供基础信息，主要成果是填制温哥华和蒙特利尔地区表层内容丰富的地质图。1971 年，加拿大科学委员会出版的“加拿大地球科学”报告，高度强调了城市地质工作的重要意义。加拿大地质调查局在渥太华—赫尔地区启动了环境地质项目，出版了综合地质报告和一系列地质图。与此同时，加拿大地质调查局还得到资助，在全国 27 个主要城市开展了城市地质计划 (WWSEP)。该计划收集了大量的城市地区的岩土数据 (包括 11 万个钻孔资料)，建立了城市岩土数据库，但由于财力等原因没有进一步维护和开发。目前，一半数据已经遗失，一半数据转换成 PC 格式，特别是在渥太华、温哥华、圣约翰和多伦多地区，岩土数据已经综合到 GIS 系统之中。加拿大近期的城市地质工作主要是解决海岸带软地基稳定性、隧道开挖、供水、废物处置、岸边侵蚀、冰碛物滑动、地震、洪水和火山喷发等地质问题。未来的挑战一是使市政管理者支持并参与城市地质工作和计划，二是开发出用户界面友好的城市地质信息系统，从而促进在城市地区将地质知识和信息直接应用于解决城市环境与岩土工程问题之中。

澳大利亚的城市地质调查工作，基本是与全国系统化区调工作同步进行的。在 20 世纪 80 年代，澳大利亚地学机构在遥感技术应用、地下水调查、核监测和地质灾害评估方面获得进展，并建立了地震监测活动。随后在 20 世纪 90 年代初期，制定了一项国家地球科学填图协议 (national geoscience mapping accord)，进一步将新的科学方法与新的空间信息技术结合起来，开始填制数字化的第二代澳大利亚陆地地质图。在此期间，为了减轻澳大利亚城市社区的地质灾害风险，提高城市社区安全，促进城市的可持续发展，于 1996 年实施了一个“城市项目”。该项目以昆士兰州凯恩斯市为首座试点研究的城市，开展了一系列地质灾害风险试点研究，研发了城市地质灾害填图与评价的科学方法与技术。经过几年的努力，研究人员完成了包括地震、滑坡、洪水和飓风等地质灾害风险与社区地质灾害脆弱性综合评价图。试点完成后，便将所取得的新方法、新技术成果向全国推广。至 21 世纪初，随着“玻璃地球”建设项目的设立和开展，澳大利亚的城市地质调查迅速采用了三维地质信息技术，迄今为止，基本完成了全国各大城市的地质调查。

德国也是最早开展城市地质调查工作的国家之一。20 世纪 90 年代，随着工业现代化程度的不断提高，德国地质调查局也将工作重点由矿产资源勘查转向环境地质调查研究。所开展的研究工作包括以下几个方面：开展城市及其周围地区的环境地球化学调查、土壤污染评价；开展垃圾场污染的调查、评价及污染监控、治理；建立了城市行政机关、地质调查所的综合数据库，绘制出了描述城市土壤潜力与限制的“地质潜力图”，并获取广泛的其他地学知识，为城市规划建设和地下水利用服务。与此同时，德国还与泰国、印度尼西亚、尼泊尔等开展了城市环境地质调查与规划的技术合作。

荷兰也是开展城市地质调查工作最早的国家之一。从 20 世纪 90 年代初开始，荷兰地质调查机构与本国土壤调查所、应用地球科学研究所合作，进行了基于 GIS 平台的数字化区域工程地质和环境地质填图。其中，环境地质图的比例尺主要是 1:5 万和 1:25 万，是根据现有数据情况和用户需求进行生产的，其主题有水文地质系统、草地土壤稳定性、

适宜于储存核废物的盐丘构造、适宜于地下建筑的深层黏土层性质、地热能的开采与储存、工业建材、受开挖影响的地貌脆弱性、地下水遭受硝酸盐污染的脆弱性、地下水水位波动、由于地下水开采易于发生土壤下沉的敏感性、建筑场地选址、城市扩展的区域地基深度等。在土地利用规划中,注重自然潜力和限制条件,以及土地复垦对地面沉降的影响。目前,已经有 200 个城镇进行了底土技术质量编图,并建立了基础地质信息数据库。

英国地质调查局很早就把资源、环境和灾害地质调查放在同等重要地位。特别是在 20 世纪末,针对 21 世纪的挑战和机遇,提出了加强与环境、自然资源和灾害相关的地质调查的 21 世纪新战略,并先后提出了 2000~2005 年、2005~2010 年和 2009~2014 年科学战略规划。这些规划进一步使地质调查的内容和作用走向多样化,并促进了空间信息技术的广泛应用,加深了对环境及其过程的认识,同时革新了对新发现的解释和传播。例如,2005~2010 年科学战略规划围绕 8 个主题(英国大陆的 3D 地球科学框架;地球环境信息;海岸带、大陆架及大陆边缘的 3D 特征;可持续水资源管理;可持续土地管理;能源和矿产资源的可持续生产和安全供应;岩石圈的物理、化学和生物灾害及其影响;监测全球变化过程)和 5 个交叉性问题(农村经济与土地利用和土地质量、气候变化、地球生命支持系统、能源和自然资源的安全性、国际发展)展开,而 2009~2014 年科学战略规划则在前一个战略规划的基础上,进一步把重点放在海岸带人口聚居地区的资源与环境地质调查,以及建立多尺度三维地层框架。显然,城市地质调查是其重点。其中,英国地质调查局启动的“伦敦计算机化地下与地表项目”(LOCUS),以 2 万多份钻孔描述资料为基础,建立城市地质数据库,形成了用于土地利用规划、土木工程建设以及解决地质环境问题的各种地质主题图件。

与此同时,欧洲其他国家如西班牙、比利时和俄罗斯,以及日本、新加坡、泰国、印度尼西亚、中国台湾和中国香港等东亚和东南亚的一些国家和地区,也开展了城市地质调查工作,完成了不少城市的 1:2.5 万的地质填图工作,并开始了城市地质数据库建设。

所有这些研究,促成了一门新的地质学科——城市地质学的诞生。

在中国,城市地质调查起步较晚,直到近年来随着城市化进程加快,城市人口急剧膨胀,城市范围迅速扩大,城市地质资源、环境和地灾问题突出,城市地质调查才成为基础地质调查工作及其信息化的技术研发和应用的重点。

中国较为正式、系统的城市地质工作开始于 20 世纪 80 年代。最初于 1983 年,由北京市、地质矿产部和城乡建设环境保护部联合,开展了北京地区航空遥感方法调查。接着,在国家“七五”计划期间(1986~1990 年),地质矿产部组织了上海、天津、丹东、大连、福州、广州、深圳、珠海、温州、宁波等 21 个沿海城市的城市环境地质调查。从 21 世纪初开始,在全国更大范围内开始大、中城市的 1:5 万、1:25 万区域地质调查,其内容包括城市生态环境地球化学调查与城市工程地质、水文地质调查。另外地震、石油、化工、煤炭、建材、农业、城建、水利、航运、交通等部门,也从各自专业角度积累了大量的城市地质资料。随着地质信息科学技术的迅速兴起,中国地质调查局在 2006~2010 年完成了北京、上海、天津、南京、杭州和广州六大城市的三维地质环境综合调查试点,在相关高等学校的协助下,分别建立了这些城市的地质环境信息系统和三维地层框架模型。在总结这些新成果的基础上,中国地质调查局于 2013 年出版了《中国城市地质调查工作指南》

(程光华等, 2013a) 和《中国城市地质调查技术方法》(程光华等, 2013b)。

综上所述, 开展城市地质环境、地灾和资源主题的综合地质填图工作, 促进地学信息为城市规划、管理和运行服务, 已经成为世界各国城市地质工作的主要内容。基于三维地质信息平台, 开展以主题式数据库为核心的城市地质信息系统建设, 实现城市地质环境、地灾和资源评价与决策的信息化, 成为城市地质工作的发展趋势。

1.1.2 城市地质调查信息化的概念与方法

城市地质调查的内容, 主要涉及环境地质、工程地质、水文地质、土地利用和废弃物处理等多个领域。由于研究对象与研究内容存在显著差异, 所采用的工作方法和手段有明显的差异。其中, 环境地质调查常采用地质观察、物探、化探、遥感等方法; 工程地质调查常采用地质观察、物探、钻探等方法; 水文地质(含地热)调查常采用地质观察、物探、钻探等方法; 土地利用调查常采用遥感、测绘等方法; 废弃物处理场地调查常采用地质观察、遥感、物探和钻探等方法。在进行城市地质调查时, 还需要搜集、整理并采用大量的前期物探、化探和钻探资料。除了地质观测之外, 这种情况与传统的野外区域地质调查(填图)有明显差异。为了提高这些多源异构地质数据的采集、存储、管理、处理、建模和应用的效率和水平, 需要采用三维地质信息科技, 全面实现其信息化。

1. 地质调查信息化的概念

地质科学的发展、地质调查和其他地质勘查工作的深入开展, 以及计算机和信息技术的应用, 各个地区的地质资料 and 知识以空前的速度在积累着, 使得已有地质图内容迅速变得陈旧。同时, 社会的进步和需求的提高, 又要求地质调查提供更多丰富的地质信息服务。因此, 地质调查需要定期重复进行, 地质图需要动态地填制和更新。

在一般情况下, 1:25 万的地质图更新周期为 20 年左右, 而 1:5 万的地质图更新周期为 10~15 年。然而, 由于传统的基础地质调查方式效率极低, 严重地阻滞了地质图的更新速度。一些发达的西方大国的地质图更新率, 通常每十年只有 10% 左右。另外, 最初的基础地质调查成果比较单一, 通常只要求填绘出一张区域地质图。近年来, 随着地质科学研究与地质勘查事业的发展, 以及社会需求范围的扩大, 对野外和城市地质调查工作提出了越来越高的要求, 除了填制基础地质图和矿产图之外, 还要求编绘出一系列专题图件, 包括第四纪地质图、水文地质图、环境地质图、灾害地质图、构造纲要图、地貌图, 以及地球物理异常图和地球化学异常图等。不仅如此, 还要求充分地发挥基础地质调查数据的价值, 提高地质研究水平、认知水平和地质信息的服务水平。为此, 需要借助于计算机和地质信息科技的成果, 实现基础地质调查和研究工作的信息化。

基础地质调查工作信息化涉及十分深刻和广泛的内容, 并非地质信息技术的简单应用。其内涵与一般地质工作信息化相对应(吴冲龙等, 2005), 是指: 采用信息系统对传统的地质调查工作主流程进行了充分改造, 实现了全程计算机辅助化, 数据在各道工序间流转顺畅、充分共享。这里面包含着 3 项相互密切相关的内容: ①建立以主题式点源地质数据库为基础的共用数据平台, 力求避免系统内出现大量的数据冗余, 并实现了空间数据和属性数据的一体化存储和管理; ②进行“多 S”的技术集成、网络集成、数据集成和应