

doi: 10.12029/gc20200605

林良俊, 马震, 郭旭 Zhenya Zhang, 李亚民. 2020. 城市地质学基础理论探讨[J]. 中国地质, 47(6):1668–1676.

Lin Liangjun, Ma Zhen, Guo Xu, Zhenya Zhang, Li Yamin. 2020. Research on basic theory of urban geology[J]. Geology in China, 47(6):1668–1676(in Chinese with English abstract).

城市地质学基础理论探讨

林良俊^{1,2}, 马震^{1,2}, 郭旭^{1,2}, Zhenya Zhang³, 李亚民⁴

(1. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170; 2. 中国地质调查局雄安城市地质研究中心, 北京 100037; 3. University of Tsukuba, Japan, 305–8577; 4. 中国地质环境监测院, 北京 100037)

摘要:城市地质有近百年的研究历史, 学科研究取得了很大的进展, 但是总体上看, 学科性质存在较多的争论, 城市地质学基础理论难于满足现代城市管理的需求, 无法为城市高质量发展提供系统完整的地质解决方案。本文系统梳理了国内外城市地质的发展历程和研究进展, 进一步明确了城市地质学的学科性质, 运用系统理论提出城市地质系统的概念, 并基于这一概念, 清晰地界定了城市地质学的研究对象, 阐述了现代城市地质学的研究内容和技术框架, 为今后形成完善的城市地质学理论体系提供研究基础。

关键词:城市地质; 学科性质; 基础理论; 系统科学; 城市管理; 地质调查工程

中图分类号: P628 文献标志码: A 文章编号: 1000–3657(2020)06–1668–09

Research on basic theory of urban geology

LIN Liangjun^{1,2}, MA Zhen^{1,2}, GUO Xu^{1,2}, Zhenya Zhang³, LI Yamin⁴

(1. Tianjin Center of China Geological Survey, Tianjin 300170, China; 2. Xiong'an Urban Geological Research Center of China Geological Survey, Beijing 100037, China; 3. University of Tsukuba, Japan, 305–8577; 4. China Institute for Geo-Environmental Monitoring, Beijing 100081, China)

Abstract: Urban geology has been developed for nearly one hundred years, and great progress has been made in subject property research. However, in general, there are many controversies about the subject property. In addition, it is difficult for the basic theory of urban geology to meet the needs of modern urban management and hence it can not provide a systematic and complete geoscience solution for high-quality urban development. In this paper, the development and research progress of urban geology were systematically studied. The subject property of urban geology was further clarified and a concept was put forward for urban geological system. On the basis of this concept, the research object of urban geology was clearly defined, and the research content and technical framework of modern urban geology were described. The result obtained by the authors provides a research basis for the formation of a perfect theoretical system of urban geology in the future.

Key words: urban geology; subject property; basic theory; system science; urban management; geological survey engineering

收稿日期: 2020–03–20; 改回日期: 2020–05–29

基金项目: 中国地质调查局项目(12130024)资助。

作者简介: 林良俊, 男, 1975年生, 博士, 教授级高级工程师, 主要从事环境地质和城市地质的研究和管理; E-mail: lliangjun@cgs.gov.cn。

About the first author: LIN Liangjun, male, born in 1975, doctor, professor, majors in environmental geology and urban geology; E-mail: lliangjun@mail.cgs.gov.cn.

Fund support: Supported by the project of China Geological Survey (No. 12130024).

1 引言

19世纪20年代德国出现用于城市规划的地质图,如果以此为城市地质研究的起点,那么至今城市地质已经走过了近百年的研究历史,在支撑服务城市规划和运行管理方面发挥了重要的作用,也积累了丰富的实践经验。中国随着新型城镇化战略的推进,城市地质调查研究工作得到了蓬勃发展,但是总体上城市地质研究和城市管理融合度不高,调查研究成果难于得到有效运用,其中重要的原因是对城市地质学科性质认识不清,有的学者认为城市地质属于传统地质学的范畴,是各种地质工作在城市和城市化地区的应用(张友枝等,2003;罗国煜等,2004;金江军等,2007);有的学者认为它是环境地质学的分支,称为城市环境地质学(方家骅,2000;何中发,2010)。由于学科性质的争论,导致城市地质研究的对象模糊,研究内容和方法五花八门,学科发展缓慢。解决这些城市地质基础理论问题,需要在具体工作实践的基础上,进行总结提炼升华,围绕解决城市管理的一系列重大问题去探索思考,不断为城市管理提供新的指导观念和发展思路,推动城市地质和城市管理的融合,不断获得自身发展的现实动力,最终确立自身的学科地位。

2 学科发展

2.1 城市地质学是以地质学理论为基础发展起来的应用性学科

城市地质学研究起源于城市发展的实际需求,并且随着城市的发展和技术的进步,其研究内容和服务方式在不断演化(表1)。在学科萌芽阶段(1920s—1960s),针对城市规划建设的基础地质条件,运用普通地质学、工程地质学理论知识,以地面调查、简单试验测试为主,获取土壤、岩石以及土地利用状况等定性描述数据,编制各类城市地质图件,例如,德国编制了用于城市规划的特殊土壤分布图(Hoyningen-Huene P F Von. 1931)和标示着各种土地利用适宜性的1:10 000、1:5 000的地质图

(Brdning, 1940; 吕敦玉等, 2015),开展土壤和岩石的自然属性进行填图(Hageman, 1963)。在学科初创阶段(1960s—1990s), *Geology and our City*(Kaye, 1969), *Cities and Geology*(Legget, 1973)等专著发表,主要开展废弃物处置、水土污染防治、地质灾害风险性评估、地下水脆弱性评价、多目标地球化学等专题应用研究(Luttig, 1978; Hafdi, 1987; 冯小铭等, 2003),电子化信息提取和处理被用于成果编制和传播。在学科快速发展阶段(1990s—),城市地质工作走向更加综合,工作思路突出为城市发展提供整体解决方案,研究对象涉及了城市规划建设管理所需要的空间、资源、环境、生态等多种地质要素(程光华等, 2014; 张茂省, 2018)。GIS、RS、GPS技术以及数字建模技术逐步应用到城市地质领域(Johnson, et al, 2008; 刘映等, 2009; 龚文峰, 2014; 屈红刚等, 2015),数据采集和处理更加快速,实现了信息及时更新、动态评价和社会共享(图1)。纵观整个历程可以看出,城市地质学是以地质学的理论为基础,以解决城市规划建设的基础地质条件、资源需求和环境问题为目标,逐渐发展起来的一门应用性学科。

2.2 城市地质学是地球科学与城市管理学融合发展的综合性学科

现代科学呈现出一种分化与综合并行的趋势。一些新兴学科不断分化产生的同时,学科与学科之间相互渗透,无法对其作严格区分,甚至自然科学和人文社会科学之间的界限也正在走向模糊。学科间界限的模糊性使得某些学科的划分实际上只具有相对的意义,但是,模糊化的思维方法能够真实地反映客观事物的复杂性,更有利于我们科学和深入地认识客观事物。城市地质学就是自然科学和人文社会交叉融合产生的。城市地质学不应只是一门纯粹的地质学分支学科,其研究内容还涉及城市管理方面的人文社会学科,特别是与城市规划学、土地科学、城市管理学等有着密切的关联,如果脱离了城市管理而仅从地质学的角度来开展研究,便很难给出符合管理逻辑且技术实用的研

表1 城市地质不同发展阶段的主要特征

Table 1 Main characteristics of different development stages of urban geology

发展阶段	时 间	标志事件	主要特征
萌芽	1920s-1960s	德国出现了用于城市规划的地质图	理论基础:普通地质、工程地质 研究内容:土壤和岩石的基础地质信息 成果服务:城市规划建设所需的纸介质地质图件
初创	1960s-1990s	Kaye、legget 等出版城市地质专著	理论基础:水文地质、工程地质、环境地质 研究内容:水土污染、地面沉降等地质问题防治 成果服务:城市地质问题防治所需的电子地质信息和图件
发展	1990s-	可持续发展理念进入城市地质领域	理论基础:可持续发展、地球科学、城市管理 研究内容:空间、资源、生态、灾害等综合地质信息 成果服务:城市可持续发展所需的综合地质解决方案

究成果。

进入21世纪以来,中国在促进城市地质与城市管理融合方面进行了大量的探索工作。2003年,上海市启动三维城市地质调查试点,通过地质资料集群化产业化,搭建共享服务平台,服务土地利用、工程建设、灾害防治、生态保护等方面取得良好成效(龚士良,2008;魏子新等,2010;陈华文,2010),探索了上海城市地质信息服务政府管理主流程工作机制(图2)。2017年,为了更加有效地支撑服务国家城镇化战略,中国地质调查局启动了多要素城市地质调查,提出要聚焦城市规划、建设、运行、管理的重大问题,开展空间、资源、环境、灾害等多要素地质调查,针对一般区和重点区提出了相应的调查技术要求(表2),出台了城市地质调查行业标准(郝爱兵等,2017)。随后陆续在雄安、武汉、成都、杭州、广州、青岛、西安、南昌、海口等城市,开展多要素城市地质调查试点,各地方也开展了大量的城市地质工作。在全新的城市地质调查思路指引下,城

市地质工作加强了相关保障制度和协调机制建设,在空间规划、土地高效开发、资源协同利用、灾害风险管控、生态环境治理等方面,形成了许多研究成果(郝爱兵等,2018;彭汉发等,2018;高立等,2019;闫文晓,2019;魏永耀等,2019),这些有益的实践探索取得了丰富的经验,推进了城市地质学科发展。

2.3 城市地质学是需要新的基础理论和研究方法的前沿性学科

随着中国城市地质工作的大力推进,调查评价方面的技术研究较多,学科方面的基础理论研究相对较少。孙培善(2004)在《城市地质工作概论》中提出了城市地质工作定义和主要工作任务,指出了城市地质作用的特点;《中国城市地质》对城市地质主要任务、研究内容、城市地质与其他学科关系做了概要论述(中国地质学会城市地质研究会,2005年)。李烈荣等(2012)回顾了进入21世纪以来中国学者对城市地质问题的认识和思考,认为在理论体系上逐步完善,但是这个理论体系侧重在工作理念

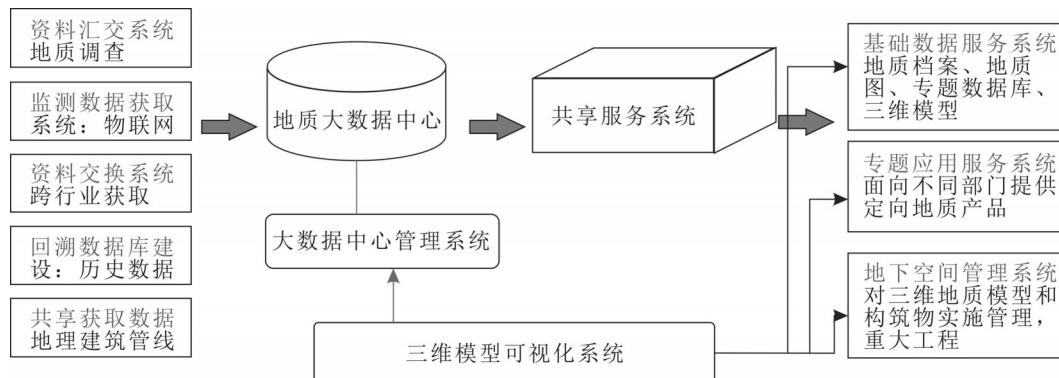


图1 城市地质信息系统框架结构

Fig.1 Framework of urban geological information system

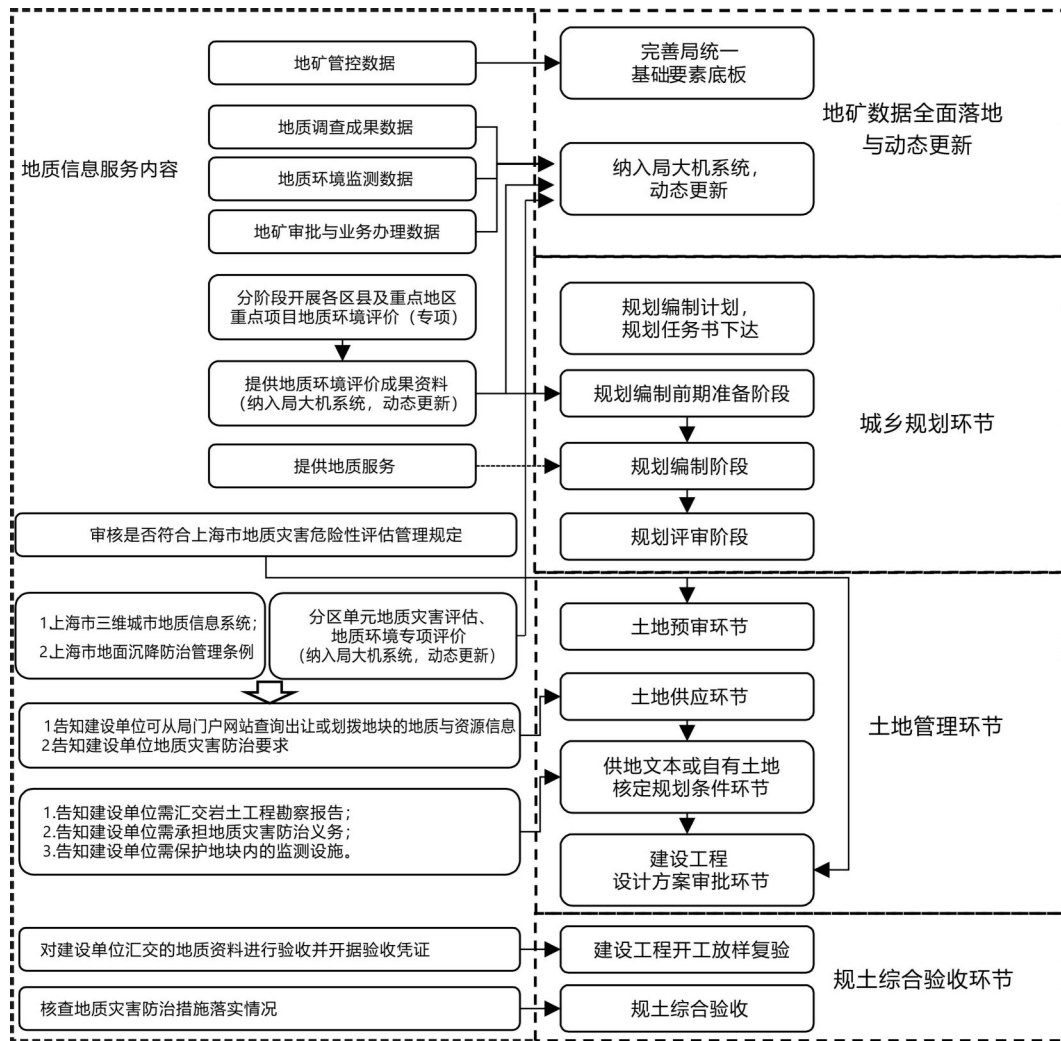


图2 上海城市地质信息服务政府管理主流程框图

Fig.2 Main schedule of government management of Shanghai urban geological information service

和勘查评价技术层面。卫万顺等(2008, 2013, 2016, 2018)认为,近10年来城市地质学理论创新取得明显进展,主要表现在创新了城市地质工作发展理念、创立了浅层地温能地质学理论体系、构建了城市地质调查与区域工程地质勘查评价体系三个方面。郑桂森等提出,可持续发展理论是城市地质学的指导理论,围绕城市选址安全、城市规模上限、城市发展保障等三个方面,明确了相应的城市地质核心研究内容,进而提出城市地质基础理论是城市区域地质条件适宜性评价理论、城市区域地质资源环境承载能力评价理论、城市地质作用研究。郝爱兵等(2017)、林良俊等(2017)提出多要素城市地质调查的概念,明确城市地质调查工作内容包括构建三维可视化城市地质模型、完善空天地一体化的地

质资源环境监测网络、建立开放共享、动态更新的城市地质信息服务与决策支持系统,并指出未来需要突破的城市地质理论和技术。总体上看,目前的城市地质理论体系总体上呈现松散的理论堆积状态,逻辑性还不够严密,对城市地质学科发展的指引性不够。

3 研究对象与内涵

一门学科的研究对象,是由这门学科所研究的现象的特殊本质所决定的。对城市地质研究的现象进行抽象化和本质化,不同的学者有不同的认识,国内有不少关于城市地质研究对象的论述。孙培善(2004)认为,城市地质学研究城市地区或潜在城市化地区资源环境对城市发展的保障与约束,以

表2 多要素城市地质调查内容及技术要求

Table 2 Contents and technical requirements of multi-factor urban geological survey

要素	一般区	重点区
空间	范围:城市规划涉及的区域及对城市规划建设有重大影响的地质问题区 精度:1:250000~1:50000区域地质和水文地质、1:50000~1:25000工程地质	范围:旧城改造区、新城规划区、重大工程建设区 精度:1:25000~1:10000工程地质
资源	范围:城市规划涉及的区域及对城市地质资源开发有影响的区域 精度:1:250000~1:50000地下水资源调查评价、1:200000~1:100000地热资源调查评价、1:200000~1:50000浅层地温能调查评价。地质遗迹和天然建筑材料普查	范围:地质资源禀赋条件好、拟进行资源开发的地区 精度:1:25000~1:10000水文地质和地热地质,1:25000~1:10000浅层地温能调查评价。地质遗迹和天然建筑材料详查
环境	范围:城市规划区 精度:1:250000~1:50000土地质量调查、1:50000地下水水质与污染调查;	范围:优质或劣质水土分布区、垃圾场区 精度:1:10 000~1:2 000土地质量调查、1:25 000~1:10 000地下水水质与污染调查;污染场地和垃圾场调查
灾害	范围:城市规划区 精度:1:50000滑坡 崩塌泥石流、岩溶塌陷和采空塌陷、活动断裂调查,1:100 000~1:50 000地面沉降与地裂缝调查	范围:地质灾害隐患区 精度:1:10000滑坡 崩塌泥石流、岩溶塌陷和采空塌陷调查,1:50 000~1:10 000地面沉降与地裂缝调查、活动断裂详细调查

及城市发展对资源环境的负作用;中国地质学会城市地质研究会(2005)提出,城市地质学的研究对象是城市与地质环境关系及互相作用。这两个表述比较接近城市地质学研究对象的本质,但是还不够准确。基于近十多年来中国城市地质工作的实践,笔者认为,城市地质学研究对象的准确表述应该是城市人类活动与地球表层相互作用的复杂系统(简称“城市地质系统”)。

系统是由相互作用、相互依赖的若干组成部分(要素)按照特定的结构组成的具有特定功能的统一的有机整体。按照这个系统的概念,城市地质系统通过某些特定的规则或者法则将相关的城市地质要素有机组合起来具有特定功能的系统,而不是一个城市区域内所有人类活动要素和地球表层要素简单聚合,因为这种简单的聚合没有研究的意义。从城市管理角度来看,城市地质系统一般具有4个大的方面的功能(目标),也就是空间利用、资源开发、生态保护、灾害防治。按照城市地质系统功能(目标),梳理出与功能相关的地球表层要素和人类活动要素,以及将这些要素有机组合在一起的相互作用机理认识、管理制度机制等,共同构成一个统一的整体(图3)。这4个功能系统之间并不是绝对独立的、封闭的,而是存在着互相的联系,互相之间有影响。同时,通过以上分析看出,城市地质

功能系统的要素,包括实体要素和概念要素。“实体”要素是指地下水、土壤、岩石等自然要素构成的地球表层要素,以及地表、地下各种工程建筑物等人为要素构成的人类活动要素。“概念”要素是指用于理解系统要素、结构、功能的各类概念、原理、知识,以及调节和管理人地相互作用关系而制定的各类法规、规划方案、技术标准、应急预案等。

4 研究内容与方法

4.1 基础研究

城市地质基础研究的目的是了解城市区域内的地球表层系统的演化和发展规律、人类活动对地球表层系统的作用机理以及有效管理和调节人地相互作用的机制和制度。

4.1.1 地球表层系统研究

研究城市地区地球表层要素,也就是研究城市所处地球表层岩石、土壤、地下水、地热、微生物等地质要素的分布规律和演化特征,这是地质学者的传统研究方向。每个城市所处的都是一个独特的地球表层系统,这个系统包含着地下水水动力场、土壤和地下水化学场、地下热力场、地应力场等,各种场之间互相联系且相互影响,需要运用地球系统科学的理念加以研究,而不能将每一个要素割裂开来进行独立的研究,这样才可能全面掌握地质资源环境

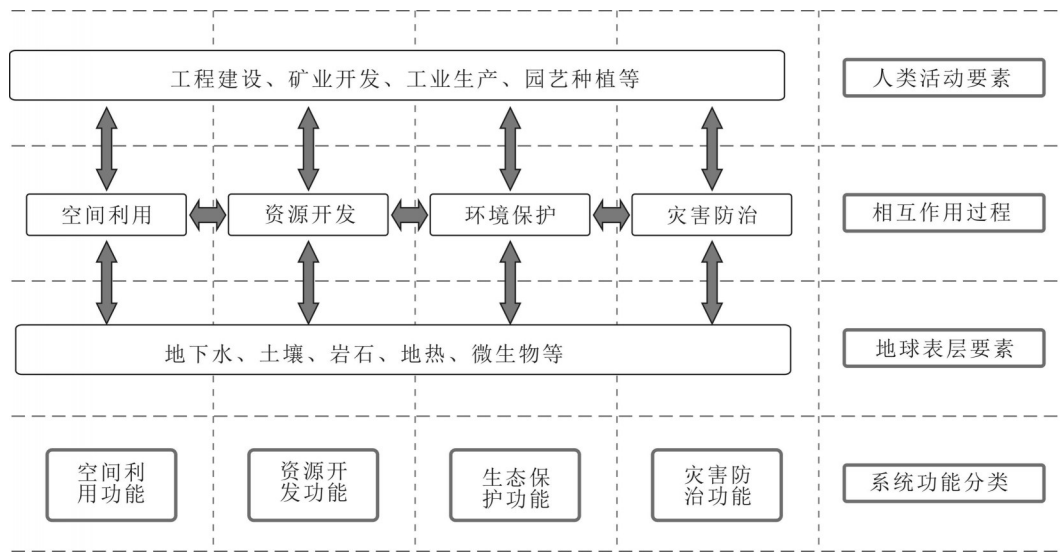


图3 城市地质系统功能框架
Fig.3 Framework of urban geological system function

要素的基本特征、变化规律、成因机理、发展趋势。

4.1.2 相互作用机理研究

研究城市人类活动与地球表层的相互作用机理,这是目前研究的热点方向,可以分为两个方面,一是研究自然状态下地质条件对城市规划建设的支撑和制约作用,地质条件包括地形地貌、水文地质、工程地质、土壤和水文地球化学、地热地质等基础条件,研究这些条件对不同的空间利用、工程建设的影响机理;二是研究人类活动对地球地质环境的影响,工程建设活动、地质资源开发、企业生产活动、园艺种植等对地质环境都会造成影响,有物理的影响,比如可能造成地面沉降、地面塌陷等地质灾害,也有化学的影响,比如土壤与地下水污染,也有生态的影响,比如湿地退化、植被破坏等。研究不同活动形式对不同地质环境的影响机理。

4.1.3 功能调节机制研究

针对城市地质系统的不同功能,研究各类功能的调节机制,这是目前研究的弱项,很多时候被忽视,但是这方面恰恰是城市地质研究成果能够发挥作用的重要内容。毫无疑问,只要是城市人类活动,就会对地球表层会产生影响,核心是影响的程度要是可接受的范围,不至于从总体上影响到城市的可持续发展。如何调节城市人类活动,这就涉及到很多社会科学的内容,包括城市规划学、土地管理学、矿产管理学、公共管理学等。需要统筹考虑城市地

质资源和环境的自然属性和社会属性,研究现有城市空间治理、资源开发、生态保护、灾害防治的有关制度的不足,充分运用现代管理的思维方式,研究科学有效的制度办法、技术标准和工作机制。

4.2 应用研究

城市地质应用研究的目的是针对具体城市管理需求,通过一定的法制、机制和标准规范的设计,将相关的“实体”要素和“概念”要素进行有机整合,形成一个具有相应功能的城市地质系统,并且能够有效运转。根据每一个具体城市规划建设和管理的需求以及地质资源环境禀赋特征,结合城市地球表层系统、相互作用机理、功能调节机制等基础研究成果,以实现优化利用空间、高效开发资源、保护生态环境、防治地质灾害为目标,设计出具体的城市地质的功能系统。针对不同的城市地质功能系统,在不同城市管理阶段,应该有明确而具体的研究内容,形成一个具有可操作性的研究技术框架(表3),三个阶段的研究内容相互联系,逐步推进,以保证在城市规划、建设、运行等每个管理阶段,能够有效调节的城市地质系统功能,实现趋利避害。

在城市规划阶段,重点研究潜在的人地相互作用关系,包括地球表层系统的因素及其对国土空间利用的限制性作用,以及国土开发活动可能对地球表层系统的影响,结合城市规划研究成果,提出地质研究成果与空间规划融合的技术和法律的制

表3 城市地质系统功能实现技术框架

Table 3 Technical framework of urban geological system research

系统功能	规划阶段(作用前)	建设阶段(作用中)	运行阶段(作用后)
空间利用	研究城市国土空间(立体)利用涉及的地质要素及其分布,研究地质适宜性评价制度	研究城市空间利用的资源环境影响,制定国土空间生态修复标准	研究制定国土空间利用承载能力尤其是地下空间利用的动态监测制度
资源开发	研究地质资源量及其分布状况,根据城市总体规划,研究确定城市地质资源的工作目标及规划	研究城市实施的地质资源可开发资源量,研究提出地质资源开发利用管理制度	研究制定地质资源开发的动态监测制度
生态保护	研究水土及生态地质环境背景,根据城市总体规划,研究确定城市地质保护的工作目标及规划	研究城市实施的各项开发活动对地质环境的影响,提出环境影响评价制度	研究制定水土生态环境的监测制度,制定水土污染事件应急预案
灾害防治	研究地质灾害的种类及其分布,评价易发性,根据城市总体规划,提出地质灾害防治目标和规划	研究城市实施的各项工程建设与地质灾害的关系,提出工程建设地质灾害评估制度	研究地质灾害监测预警制度,地质灾害事件的突发应急预案

度。在城市建设阶段,重点研究正在进行的人地相互作用关系,包括支撑城市建设的地球表层系统要素,以及开发活动对地球表层系统的影响,提出这一阶段调节相互作用关系的工程勘察、矿业权管理、灾害防治、水土保护等制度。在运行阶段,重点研究人地相互作用的系统动态变化,及时发现问题隐患,同时可能的突然事件的应急预案。

5 结 语

国内外长期城市地质研究取得了丰富的研究成果,在城市地质研究成果运用到城市管理的方面,探索形成了一些机制、体制与制度。然而,针对城市地质学基本理论的研究尚不够系统,城市人类活动和地球表层相互作用规律的探索尚显不足,融入城市管理主流程比较困难。由于没有统一的研究理论体系,城市地质学显得底气不足,学科发展也缺乏基础。

笔者基于国内城市地质工作的一些成功经验,提出了城市地质系统的概念,从城市地质系统功能的角度,阐述了城市地质的研究对象、研究内容和技术方法,主要观点有:①城市地质学是以地质学理论为基础发展起来的、逐渐与城市管理学融合发展的综合性应用学科,迫切需要新的基础理论和研究方法。②城市地质学研究对象是城市人类活动与地球表层相互作用的复杂系统(简称“城市地质系统”),具有空间利用、资源开发、生态保护、灾害防治4个方面功能。③城市地质基础研究重点揭示基本原理和规律,包括了解城市区域内的地球表层

系统的演化和发展规律、人类活动对地球表层系统的作用机理以及有效管理和调节人地相互作用的机制和制度。④城市地质应用研究应针对具体城市的情况,以实现优化利用空间、高效开发资源、保护生态环境、防治地质灾害为目标,设计出城市地质功能系统,结合不同城市管理阶段,明确相应的研究内容,形成一个具有可操作性的研究技术框架。

致谢:本文形成过程中,中国地质调查局发展研究中心王学明教授级高级工程师对文章结构和内容提出了建议,在此表示感谢。

References

- Brdning K. Bodenallas Von Niedersachsen [M]. Gottingen: Wirtschaftswiss: 1940: 7—9.
- Chen huawen. 2010. Mechanism and pattern of Shanghai urban geology in serving economic and social development[J]. Shanghai Geology, 31(3): 9—15(in Chinese with English abstract).
- Fang Jiahua. 2001. Review and future work of urban environmental geology in China[J]. Volcanology & Mineral Resources, 22(2): 84—86(in Chinese).
- Feng Xiaoming, Guo Kunyi, Wang Aihua, Liu Hongying, Wang Jingdong, Gong jianshi. 2003. Comparative study of urban geological work[J]. Geological Bulletin of China, 22(8): 571—579 (in Chinese with English abstract).
- Gao Li, Chen Huogen, Yang Lumei, Qu Jingjing, Lu Yan, Xu Shugang. 2019. Application of geologic environment elements based on space control in mineral—land integration[J]. Journal of Geology, 43(2): 334—340(in Chinese with English abstract).
- Gong Shiliang. 2008. The reinforced service fields and mechanisms in Shanghai's urban geology[J]. Urban Geology, 3(2): 4—7 (in Chinese with English abstract).

- Gong Wenfeng. 2014. The clustering and industrialization development of urban geological information based on the big data time[J]. *Urban Geology*, 9(3): 14–17 (in Chinese with English abstract).
- Hafdi A. 1987. Approach of a methodology for drawing up a habitability map[C]//Arndt P, Lijttig G. *Mineral Resources' Extraction, Environmental Protection and Land use Planning in the Industrial and Developing Countries*. Stuttgart: Schweizerbart, 271–278.
- Hageman B P. 1963. A new method of representation in mapping alluvial areas[J]. *Geologic en Mijnbouw—Netherlands Journal of Geosciences*, 211–219.
- Hao Aibing, Lin Liangjun, Li Yamin. 2017. Vigorously promote the multi-factor urban geological survey of accurate service urban planning and construction management of the whole process[J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, (4): Hydrogeological, Engineering and Environment Geology Forum (in Chinese).
- Hao Aibing, Lin Liangjun, Wen Dongguang, Liu Changli, Li Yamin. 2017. Code for Urban Geological Survey [M]. Beijing: Geological Publishing House.
- Hao Aibing, Wu Aimin, Ma Zhen, Liu Futian, Xia Yubo, Xie Hailan, Lin Liangjun, Wang Tao, Bai Yaonan, Zhang Jing, Meng Qinghua. 2018. A study of engineering construction suitability integrated evaluation of surface–underground space in Xiongan New Area[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 39(5):513–522 (in Chinese with English abstract).
- He Zhong fa. 2010. Preliminary discussion on research and development of urban geology[J]. *Shanghai Geology*, 31(3): 16–22 (in Chinese with English abstract)
- Hoyningen—Huene P F Von. 1931. *Übersichtskartierung im Gebiet der Meßtischblätter Kempen, Krefeld, Viersen, Willich nebst Randgebieten: "Briefe" Landesplanungsverb* [M]. Berlin: Düsseldorf, 5–11.
- Jin Jianguan, Pan Mao. 2007. Urban geological research and progress in urban geological work in the last decade[J]. *Geological Bulletin of China*, 26(3): 366–371 (in Chinese with English abstract)
- Johnson C C, Ander E L, 2008. Urban geochemical mapping studies: How and why we do them[J]. *Environmental Geochemistry Health*, 30:511–530.
- Kaye C A. 1968. *Geology and our cities*. Transactions of the New York Academy of Sciences, 30: 1045–1051.
- Legget R F. 1973. *Cities and Geology*[M]. New York: McGraw Hill, 1–624.
- Li Lie rong, Wang Bingchen, Zheng Guisen. 2012. The major progress and future development of China urban geology[J]. *Urban Geology*, 7(3): 1–11 (in Chinese with English abstract).
- Lin Liangjun, Li Yamin, Ge Weiya, Hu Qiuyun, Li Xiaozhao, Li Yun, Meng Hui, Zhang Lizhong, Yang Jianfeng. 2017. General ideas for urban geological survey in China and key theory and techniques[J]. *Geology in China*. 44(6): 1086–1101 (in Chinese with English abstract).
- Liu Ying, Shang Jianga, Yang Lijun, Yu Biao, Hua Weihua, Yang Zhentao. 2009. Pilot study on a new work pattern of Shanghai urban geological informationization[J]. *Shanghai Geology*, 30(1): 54–58 (in Chinese with English abstract).
- Luo Guoyu, Li Xiaozhao, Yan Changhong. 2004. Development & prospect of the urban geology in China[J]. *Journal of Engineering Geology*, 12(1): 1–5 (in Chinese with English abstract).
- Luttig G W. 1978. Geoscientific maps of the environment as an essential tool in planning III. *Geologie en Mijnbouw*[J]. *Netherlands Journal of Geosciences*, 57(4): 527–532.
- Lü Duniyu, Yu Chu, Hou Hongbing, Liu Changli, Zhang Yun. 2015. Development and trends of foreign urban geological work and its enlightenment to China[J]. *Geoscience*, 29(2): 581–587 (in Chinese with English abstract).
- Peng Hanfa, Xie Jihai, Zhang Yating, Xia Dongsheng. 2018. Application of Wuhan urban geological survey result[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 45(10): 1–5 (in Chinese with English abstract).
- Qu Honggang, Pan Mao, Lü Xiaojian, Liu Xueqing, Zhang Yongbo, Yu Chunlin. 2008. Design and development of 3D urban geological data management and service system[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 44(5): 781–786 (in Chinese with English abstract).
- Research Association of Urban Geology, Chinese Geological Society, 2005. *Urban Geology of China* [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Sun Peishan. 2004. *Introduction to Urban Geological Work*[M]. Beijing: Geological Publishing House: 1–199 (in Chinese).
- Wei Wanshun, Zheng Guisen, Yu Chunlin, Xu Jixiang. 2016. Strategic thinking on China urban geological work in the next five years[J]. *Urban Geology*, 11(2): 1–5 (in Chinese with English abstract).
- Wei Wanshun, Zheng Guisen, Yu Chunlin, Xu Jixiang. 2018. Strategic conception on China urban geological work in the next ten to fifteen years [J]. *Urban Geology*, 12(3): 1–8 (in Chinese with English abstract).
- Wei Wanshun. 2008. The urban geological work should take the road of conceptual development[J]. *Urban Geology*, 3(4): 1–6 (in Chinese with English abstract).
- Wei Wanshun. 2013. The theory innovation of urban geology and the development of geological work in Beijing[J]. *Urban Geology*, 8(1): 1–10 (in Chinese with English abstract).
- Wei Zixin, Zhai Gangyi, Yan Xuexin. 2010. *Shanghai Urban Geology* [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Yan Wenxiao. 2019. Research on the application of geological environmental conditions in land spatial planning[J]. *Shanghai Land & Resources*, 40(2):56–60 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Maosheng, Wang Huaqi, Wang Yao, Dong Ying, Sun Pingping. 2018. Progress and prospect of urban geological survey in

- China[J]. *Northwestern Geology*, 51(4):1-9 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Youzhi, Zhang Yuxun, Cai Gang, Liu Shiyi, Zhang Zhengfang. 2003. Urban geology— a new work of national geological work[J]. *Geological Bulletin of China*, 22(8): 589-596 (in Chinese with English abstract)
- Zheng Guisen, Wei Wanshun, Liu Zongming, Wang Jiming, Yu Chunlin, Xu Jixiang, Li Xiaolong. 2018. Study on theory of urban geology[J]. *Urban Geology*, 13(2): 1-12 (in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 陈华文. 2010. 上海城市地质工作服务经济社会发展机制与模式探索[J]. *上海地质*, 31(3): 9-15
- 程光华, 翟刚毅, 庄育勋. 2014. 中国城市地质调查成果与应用: 北京、上海、天津、杭州、南京、广州试点调查[M]. 北京: 科学出版社.
- 方家骅. 2001. 中国城市环境地质工作回顾和今后工作思考[J]. *火山地质与矿产*, 22(2): 84-86.
- 冯小铭, 郭坤一, 王爱华, 刘红樱, 王敬东, 龚建师. 2003. 城市地质工作的初步探讨[J]. *地质通报*, 22(8): 571-579.
- 高立, 陈火根, 杨露梅, 瞿晶晶, 陆燕, 许书刚. 2019. 基于空间管制下的地质环境要素在矿地融合中的应用[J]. *地质学刊*, 43(2):334-340
- 龚士良. 2008. 上海城市地质工作深化服务领域及机制[J]. *城市地质*, 3(2):4-7
- 龚文峰. 2014. 大数据时代城市地质信息的集群与产业化发展[J]. *城市地质*, 9(3):14-17
- 郝爱兵, 林良俊, 李亚民. 2017a. 大力推进多要素城市地质调查精准服务城市规划建设运行管理全过程[J]. *水文地质工程地质*, 44(4):3.
- 郝爱兵, 林良俊, 文冬光, 刘长礼, 李亚民. 2017b. 城市地质调查规范[M]. 北京:地质出版社.
- 郝爱兵, 吴爱民, 马震, 柳富田, 夏雨波, 谢海澜, 林良俊, 王涛, 白耀楠, 张竞, 孟庆华. 2018. 雄安新区地上地下工程建设适宜性一体化评价[J]. *地球学报*, 39(5):513-522.
- 何中发. 2010. 城市地质研究现状及发展趋势[J]. *上海地质*, 31(3): 16-22,48.
- 金江军, 潘懋. 2007. 近10年来城市地质学研究和城市地质工作进展述评[J]. *地质通报*, 26(8):366-371.
- 李烈荣, 王秉忱, 郑桂森. 2012. 我国城市地质工作主要进展与未来发展[J]. *城市地质*, 7(3): 1-11.
- 林良俊, 李亚民, 葛伟亚, 胡秋韵, 李晓昭, 李云, 孟晖, 张礼中, 杨建锋. 2017. 中国城市地质调查总体构想与关键理论技术[J]. *中国地质*, 44(6):1086-1101.
- 刘映, 尚建嘎, 杨丽君, 郁标, 花卫华, 杨振涛. 2009. 上海城市地质信息化工作新模式初探[J]. *上海地质*, 30(1): 54-58.
- 吕敦玉, 余楚, 侯宏冰, 刘长礼, 张云. 2015. 国外城市地质工作进展与趋势及其对我国的启示[J]. *现代地质*, 29(2): 466-473.
- 罗国煜, 李晓昭, 阎长虹. 2004. 我国城市地质研究的历史演化与发展前景的认识[J]. *工程地质学报*, 12(1):1-5.
- 彭汉发, 谢纪海, 张娅婷, 夏冬生. 2018. 武汉城市地质调查成果应用探索与思考[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 45(10): 1-5.
- 屈红刚, 潘懋, 吕晓俭, 刘学清, 张永波, 于春林. 2008. 城市三维地质信息管理与服务系统设计与开发[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 44(5): 781-786.
- 孙培善. 2004. 城市地质工作概论[M]. 北京:地质出版社.
- 卫万顺, 郑桂森, 于春林, 徐吉祥. 2018. 未来10-15年我国城市地质工作战略构想[J]. *城市地质*, 12(3): 1-8.
- 卫万顺, 郑桂森, 于春林, 徐吉祥. 2016. 未来五年我国城市地质工作战略思考[J]. *城市地质*, 11(2): 1-5.
- 卫万顺. 2013. 城市地质学理论创新与北京城市地质工作实践发展[J]. *城市地质*, 8(1): 1-10.
- 卫万顺. 2008. 城市地质工作应走理念发展型之路[J]. *城市地质*, 3(4): 1-6.
- 魏子新, 翟刚毅, 严学新. 2010. 上海城市地质[M]. 北京:地质出版社.
- 闫文晓. 2019. 地质环境条件在国土空间规划中的应用研究[J]. *上海国土资源*, 40(2): 56-60.
- 张茂省, 王化齐, 王尧, 董英, 孙萍萍. 2018. 中国城市地质调查进展与展望[J]. *西北地质*, 51(4):1-9.
- 张友枝, 庄育勋, 蔡纲, 刘士毅, 张振芳. 2003. 城市地质—国家地质工作的新领域[J]. *地质通报*, 22(8): 589-596.
- 郑桂森, 卫万顺, 刘宗明, 王继明, 于春林, 徐吉祥, 李小龙. 2018. 城市地质学理论研究[J]. *城市地质*, 13(2): 1-12.
- 中国地质学会城市地质研究会. 2005. 中国城市地质[M]. 北京:地质出版社.