

doi: 10.12029/gc20170604

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.

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).

中国城市地质调查总体构想与关键理论技术

林良俊¹ 李亚民² 葛伟亚³ 胡秋韵¹ 李晓昭⁴ 李云³ 孟晖² 张礼中⁵ 杨建锋⁶

(1. 中国地质调查局, 北京, 100037; 2. 中国地质环境监测院, 北京, 100081; 3. 中国地质调查局南京地质调查中心, 江苏 南京 210016; 4. 南京大学, 江苏 南京 210093; 5. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 河北 石家庄 050061; 6. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037)

摘要:近年来,我国在城市群、大城市和中小城镇等不同层面组织开展了大量的城市地质调查,在城市地质资源、地质环境、发展空间的调查评价,以及地质信息服务城市管理制度建设等方面取得了丰富成果,在调查技术方法、成果产品服务、工作协调机制等方面积累了一些经验,但和新型城镇化的需求相比,还存在着工作理念较落后、地质信息更新慢,成果体系没标准、工作机制不完善等诸多不足。国家新型城镇化发展战略提出了全新的城市发展理念,在优化城市结构布局、拓展城市发展空间、推进绿色城市建设、提高城市安全保障水平等方面,对城市地质调查提出了迫切需求。新时期应该以全新的思路开展城市地质调查,要树立大资源、大环境、大数据理念,服务城市规划、建设、运行、管理等多个层面,开展空间、资源、环境、灾害等多要素综合调查,打造地下三维可视化的城市地质模型(透明城市),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,构建城市地质调查成果服务产品体系、技术标准体系和保障制度体系。为实现这个目标,需要建立城市资源环境承载力、城市多圈层交互带、地下空间资源协同规划等理论,开展城市地质探测与监测、国土空间开发地质适宜性评价、地下空间开发利用地质安全评价、三维城市地质建模与公共服务等技术攻关。

关键词:多要素城市地质调查;城市地下空间利用;城市地质信息服务

中图分类号:P642.5 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2017)06-1086-16

General ideas for urban geological survey in China and key theory and techniques

LIN Liangjun¹, LI Yamin², GE Weiya³, HU Qiuyun¹, LI Xiaozhao⁴, Li Yun³, MENG Hui², ZHANG Lizhong⁵, YANG Jianfeng⁶

(1. *China Geological Survey, Beijing 100037, China*; 2. *Geological Environment Monitoring Institute of China, Beijing 100081, China*; 3. *Nanjing Center of China Geological Survey, Nanjing 210016, Jiangsu, China*; 4. *Nanjing University, Nanjing 210093, Jiangsu, China*; 5. *Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Shijiazhuang 050061, Hebei, China*; 6. *Development Research Center of China Geological Survey, Beijing 100037, China*)

收稿日期:2017-09-30;改回日期:2017-11-07

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、城市地质调查研究与管理工;

E-mail: lliangjun@mail.cgs.gov.cn。

Abstract: In recent years, urban geological survey has been carried out in some city groups, big cities and small towns of China and, as a result, obtained great achievements in survey and evaluation of urban geological resources, geological environment, urban development space, and system construction of geological information service in urban management and some other aspects, and gained some experience in the survey methods, products, services, and coordination mechanism. However, compared with the requirements of new urbanization, there are still many shortcomings, such as backward work concept, slow updating of geological information, lack of standard systems, and imperfect working mechanism. In the national new urbanization development strategy, a new concept on urban development has been proposed. Urban geological survey is imperative to support the optimization of city layout structure, the expansion of urban development space, the promotion of green city construction, the improvement of city safety level and so on. In the new period, urban geological survey should be carried out with new ideas and the concept of big resources, big environment and big data. A comprehensive survey, which includes space, resources, environment, disaster and other factors, is required to serve urban planning, construction, operation, management and some other aspects. It also needs the development of three-dimensional visualization underground geological model for cities (transparent cities), the improvement of monitoring networks on geological resources and environment, the establishment of an open, shared and dynamic updating city geological information service and decision support system, the development of service product system, urban geological survey technical standard system and security system. In order to achieve this goal, it is necessary to establish the theory on urban resources and environment carrying capacity, urban multi-layer interaction zone and underground space resources collaborative planning so as to study and solve these technical difficulties encountered in urban geological exploration and monitoring, geological suitability evaluation for land space development, geological safety assessment for underground space development and utilization, 3D urban geological modeling and public services, and so on.

Key words: multi-factor urban geological survey; urban underground space utilization; urban geological information service

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 China Geological Survey Program (No. 12130024).

1 引言

我国正在大力推进新型城镇化建设,提出了集约、智能、绿色、低碳的城市发展理念,要求转变城市发展方式,完善城市治理体系,提高城市治理能力,着力解决城市病等突出问题,提高城镇化水平。城市地质工作是城市规划建设的重要基础,贯穿于城市运行管理的全过程。解决“大城市病”、优化城市结构布局、拓展城市发展空间、推进绿色低碳城市建设、提高城市安全保障水平,需要城市地质调查提供空间、资源、环境、灾害等基础要素数据和服务支撑。综合考虑我国新型城镇化建设的需要和城市地质工作状况,新时期城市地质调查需要重点考虑以下四方面工作:(1)开展城市群综合地质调查,评价资源环境承载能力和国土开发适宜性;(2)开展空间、资源、环境、灾害等多要素城市地质调查,建立可视化的三维城市地质模型(透明城市);(3)建立空天地一体化的城市地质资源环境监测预警网络;(4)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。

2 我国城市地质调查工作现状

城市地质调查与城市发展阶段密切相关。城市发展早期主要开展工程建设地质条件调查,城市发展中期主要调查工程建设与地下空间利用条件、地质资源、水土环境、地质灾害等,城市发展后期主要开展城市更新改造和运行管理的相关地质调查(Hollingshead et al., 1998; Huggenberger, 2011; Culshaw et al., 2011; 张丽君, 2001; 卫万顺, 2008; 张洪涛, 2003; 罗国煜等, 2004)。我国专门性的城市地质调查工作起步于改革开放初期,在地下水勘查、工程地质勘查和地质灾害与环境地质问题防治方面做了大量工作(方家骅, 2001; 冯小铭等, 2003; 罗国煜, 2005; 徐争启等, 2006)。1999年国土资源大调查以来推进力度不断加大,相继开展了一系列城市地质调查工作,以及活动断裂、地质灾害、地热等专项调查工作(高亚峰等, 2007; 金江军等, 2007; 何中发, 2010; 李烈荣等, 2012),目前正在大力推进

重要经济区和城市群的综合地质调查,初步掌握了我国城市地质环境、地质资源、发展空间和典型城市地下三维地质结构(郭培国等,2014;吕敦玉等,2015;卫万顺,2015)。

2.1 城市地质环境

进入21世纪,随着我国城市化进程的进一步加快,城市环境地质问题越来越突出(王军等,2003;栾光忠等,2010;邢怀学等,2010;贾高萌等,2013)。为了摸清我国城市环境地质问题状况,中国地质调查局组织开展了大量的地质灾害与环境地质问题调查。2004年起,开展了全国287个地级以上城市和19个地州盟所在地县级城市的摸底调查,基本摸清了我国主要城市地质资源环境状况(文冬光等,2006)。1999—2008年,全面完成县(市)地质灾害调查与区划,涉及国土面积834万 km^2 ,覆盖2020个山地丘陵县级城市。2005年开始,在西南山区、湘鄂桂山区、西北黄土地区等重点地区,开展了1:5万地质灾害详细调查,覆盖151个县级城市。开展了长江三角洲、华北平原、汾渭盆地等地面沉降调查,基本查明了地面沉降现状,建立了地面沉降监测网络。开展了广州、长沙、武汉、铜陵、徐州等城市岩溶塌陷调查,重点查明岩溶塌陷现状和地质条件。开展了重大工程区和城市群活动断裂调查与区域地壳稳定性评价。开展了全国土地质量地球化学调查和全国地下水污染调查。通过以上工作,基本查明了我国城市地质环境状况,形成如下认识。

2.1.1 滑坡崩塌泥石流威胁

我国受滑坡崩塌泥石流威胁的地级以上城市有199个,其中省会级以上城市和计划单列市23个。截至2015年,发现隐患点4429处,威胁人口共计61.4万人,威胁财产185.1亿元。综合考虑易发程度、威胁人口、威胁财产等因素,对地级以上城市受滑坡崩塌泥石流威胁程度进行评价,结果表明受滑坡崩塌泥石流威胁大的城市18个,受威胁人口大多超过1万人。受滑坡崩塌泥石流威胁较大的城市26个,受威胁人口大多超过2000。受滑坡崩塌泥石流威胁中等的城市28个,受威胁人口大多超过1000人。受威胁小的城市127个(图1)。

2.1.2 岩溶塌陷影响

我国岩溶发育区面积344.7万 km^2 ,主要分布于

广西、广东、云南、贵州、湖北、湖南、重庆等省(区),涉及217个地级以上城市。岩溶塌陷高易发区面积52.7万 km^2 、中易发区面积113.7万 km^2 。截止2015年,全国共发现岩溶塌陷3315处。根据岩溶塌陷中高易发区占城市规划区的比例和岩溶塌陷发育现状,对我国337个地级以上城市受岩溶塌陷影响程度进行评估,结果表明受岩溶塌陷影响大的城市有41个,影响中等的城市有29个(图2)。

2.1.3 地面沉降严重程度

我国地面沉降主要发生在长江三角洲、华北平原、汾渭盆地、珠江三角洲、东北平原、淮河平原、江汉平原、滨海平原以及山区断陷盆地等地区。全国有102个地级以上城市发现地面沉降现象,包括20个省会级以上城市和计划单列市。2015年,全国57个主要城市地面沉降监测数据表明,城市规划建设区年沉降量大于10 mm的地面沉降区面积8372 km^2 。最大年沉降量超过100 mm的城市有北京、太原和廊坊,最大年沉降量50~100 mm的城市有6个,最大年沉降量10~50 mm的城市有48个(表1)。

2.1.4 土壤与地下水污染

我国1:25万土地质量地球化学调查评价覆盖了179个地级以上城市,评价结果表明,有4个城市土壤重金属重度污染,3个城市中度污染,26个城市轻度污染,78个城市轻微污染,68个城市无重金属污染。污染元素主要为砷、镉、铬、铜、汞、镍、铅、锌等。根据中国地质调查局组织的全国地下水污染调查结果,城市地下水中氮超标现象普遍,少数城市地下水出现重金属超标和微量有机物超标现象。

2.1.5 活动断裂或地震影响

我国受活动断裂或地震影响大的地级以上城市有25个,主要位于天山南北缘、西昆仑山前、祁连山北缘、喀喇昆仑山、鲜水河—小江等活动断裂带周边的城市;受活动断裂或地震影响较大的地级以上城市有7个,主要分布在南北地震带、鄂尔多斯裂谷带、郯庐断裂带邻侧的城市;受活动断裂或地震影响中等的地级以上城市有50个,主要分布在新疆北部、青藏高原东北缘、西南、华北、环鄂尔多斯和东部沿海等地区的城市;其余地区的城市受活动断裂或地震影响小。

2.2 城市地质资源

城市地质资源是对城市规划建设具有重要意

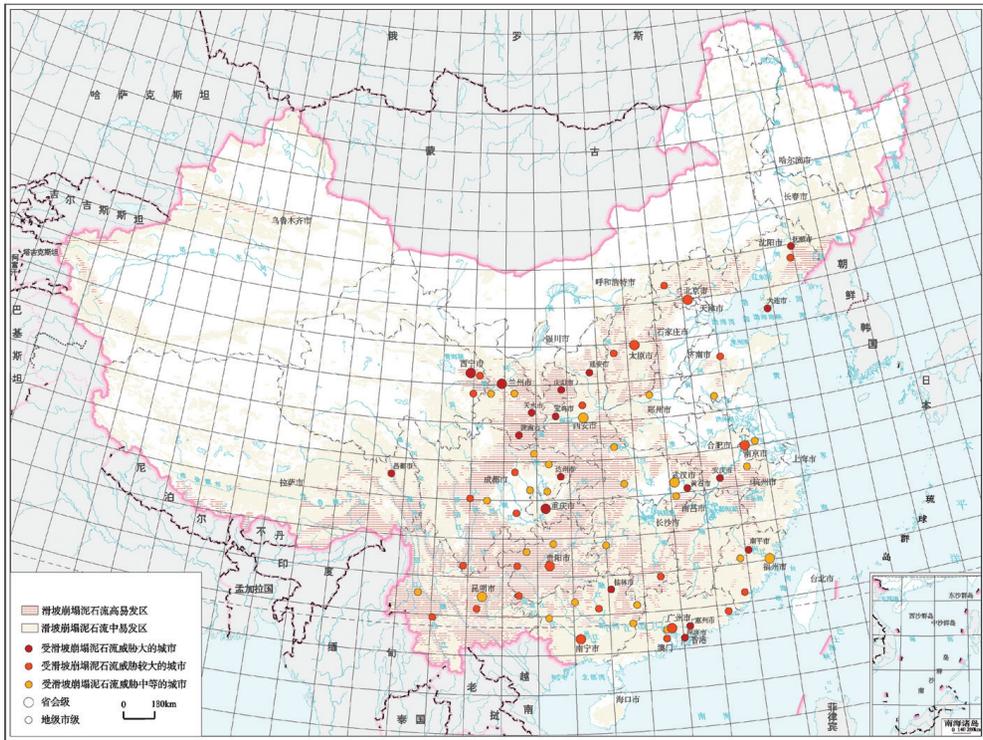


图1 中国城市受滑坡崩塌泥石流灾害威胁程度

Fig.1 Different threat degrees of landslides, collapse and debris flows in cities of China

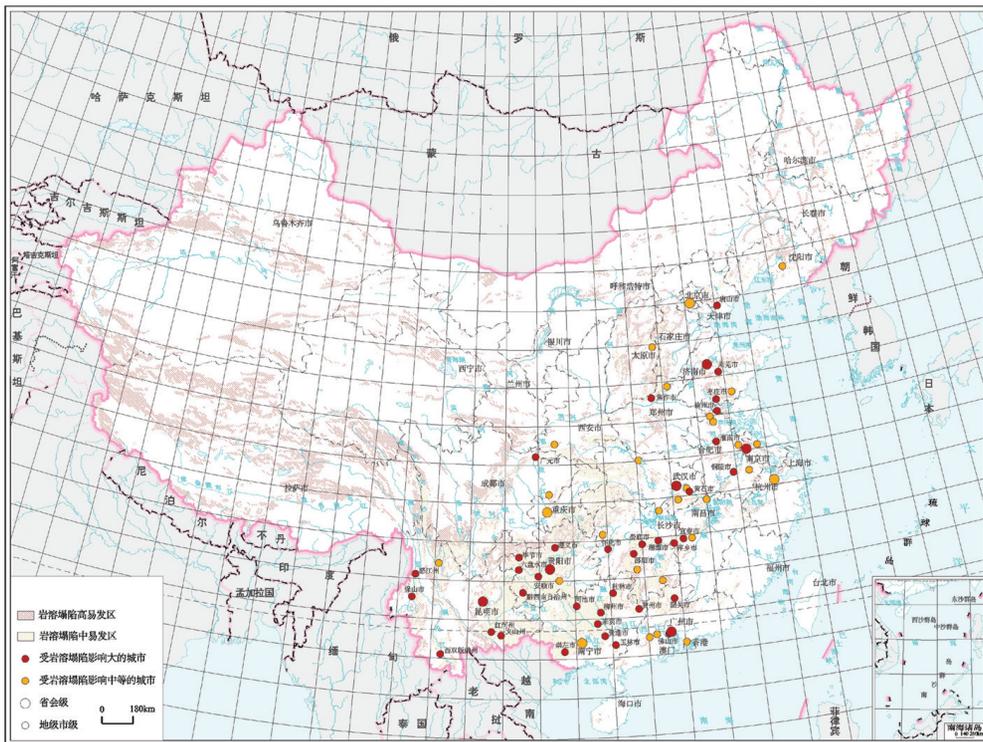


图2 中国城市受岩溶塌陷灾害影响程度

Fig.2 Influences of karst collapse disaster in cities of China

表1 全国主要城市规划建设区地面沉降情况(2015年)
Table 1 Surface subsidence in major urban planning and construction areas of China

城市名称	最大沉降速率/(mm/a)	>10mm 沉降面积/m ²	城市名称	最大沉降速率/(mm/a)	>10 mm 沉降面积/m ²	城市名称	最大沉降速率/(mm/a)	>10 mm 沉降面积/m ²
北京	140	2201.7	菏泽	30	194.4	太原	100	226.2
天津	90	2440.2	济宁	20	13	运城	40	104.9
上海	30	35.2	安阳	20	25.6	渭南	15	12.8
唐山	20	40.9	鹤壁	20	21.6	咸阳	15	5
廊坊	100	320.2	濮阳	20	26.4	西安	45	270
保定	60	303.7	新乡	30	99.2	宝鸡	20	54.5
沧州	30	49.6	焦作	20	20	襄阳	20	25.9
石家庄	20	24.5	开封	20	52.6	武汉	20	16.1
衡水	50	65	郑州	70	230.1	徐州	15	2.2
邢台	20	8.4	洛阳	20	39.2	宿迁	25	35.2
邯郸	50	118.5	商丘	20	105.1	淮安	20	28.2
德州	40	130.6	许昌	20	14.8	南京	15	2.6
聊城	20	136.2	平顶山	20	0.5	无锡	20	0.3
济南	20	3.3	周口	30	159.8	苏州	25	3.4
滨州	30	125	南阳	20	75.4	湖州	30	2.1
东营	20	98.2	大同	20	93.1	杭州	15	0
潍坊	20	9.3	忻州	40	63	宁波	20	14.1
淄博	40	10.8	临汾	20	1.2	台州	20	40.5
莱芜	30	40.4	晋中	70	105	温州	20	27

义的地下水、地热、浅层地温能、矿泉水、地质遗迹、天然建筑材料、渣土等资源的统称。近年来,中国地质调查局开展了31个省会城市和地级城市的浅层地温能调查评价,完成了全国地热资源现状调查和潜力评价,启动了干热岩资源调查与开发利用示范工作。在全国第二轮地下水资源调查评价的基础上,继续开展了北方平原盆地地下水资源调查和全国地下水监测工作。开展了全国重要地质遗迹调查。基于以上调查成果,形成了我国城市地热、地下水、地质遗迹资源分布及利用状况的认识。

(1) 地热资源

我国地热资源量十分丰富,初步测算,地级以上城市每年可开采地热资源折合标准煤8亿t,若充分利用可实现建筑物供暖制冷面积356亿m²。其中,143个地级以上城市适宜规模化开发利用浅层地温能,112个地级以上城市位于水热型地热富集区,年可开采地热能总量折合标准煤5亿t,能够满足200亿m²以上建筑物供暖制冷需求,是发展绿色低碳城市的有利条件。截至2015年底,我国每年实

际开发利用浅层地温能资源折合标准煤1600万t,实现建筑物供暖制冷面积4.3亿m²,地热水资源年开采量仅占全国资源量的0.2%。总体上看,我国城市地热开发利用程度低,开发利用潜力巨大。

(2) 地下水资源

我国南北方的水资源构成迥异,南方城市以开发利用地表水资源为主,北方城市以开发利用地下水资源为主。南方省份173个地级以上城市地下水可开采资源量1900亿m³,年利用总量145亿m³,地下水资源开发潜力大,在保障地质环境安全的条件下进行适度开采,选择有条件的城市可建设地下水应急水源地。北方省份164个地级以上城市地下水可开采资源量1700亿m³,年利用总量955亿m³,乌鲁木齐、哈尔滨、呼和浩特、郑州、兰州、长春、太原、石家庄等51个城市地下水资源超采严重,地下水位较深,形成较大的地下储水空间,可以建设地下水库调蓄城市洪水,是建设海绵城市的有利条件。

(3) 地质遗迹资源

我国城市及周边分布着地质遗迹798处,其中

世界级遗迹点136处。地质遗迹超过10处的城市包括焦作、平顶山、昆明、南京、郑州、大理等20个,地质遗迹5~10处的城市包括杭州、桂林、丽江、韶关、承德等31个,地质遗迹5处以下的城市包括徐州、黄山、三明、三门峡以及新乡等160个(图3)。城市地质遗迹具有重大科普、旅游和生态作用,社会和经济价值突出。建立地质遗迹保护区、地质遗迹保护段、地质遗迹保护点或地质公园,可以推进绿色城市建设。据不完全统计,截止到2013年全国地质遗迹参观人数12.3亿人次,创造经济价值5961.8亿元,提供300万以上就业岗位。

2.3 城市发展空间

2007年,国土资源部组织开展了全国第二次土地调查,掌握了城镇每宗土地的界址、范围、界线、数量和用途。2010年以来,组织开展了京津冀、长三角、珠三角、海峡西岸、北部湾、长江中游、关中、中原、成渝等城市群综合地质调查工作,编制完成了1:25万基础地质环境图件。通过以上工作,对我国城市发展空间状况有了初步认识。

(1)重要城市群国土空间开发程度

根据土地和地质调查资料初步评价结果表明,我国东部地区的京津冀、长三角、珠三角等大型城市群的49个城市中,有21个城市国土开发过度。其中,上海、天津、深圳、无锡、佛山、东莞、中山等城市国土开发程度已经超过30%的国土开发国际警戒线,北京、广州、南京、唐山、苏州、珠海等14个城市国土开发程度介于20%~30%,已经处于过度开发状态(表2)。中西部城市面积也在快速扩张,部分城市出现了国土开发过度的现象,例如,武汉和成都国土开发程度分别达到22%和21.9%,郑州、焦作、许昌、漯河等也超过了20%。

(2)重要城市群国土空间地质安全程度

我国城市地质环境条件复杂,综合考虑区域地壳稳定性和地质灾害(滑坡崩塌泥石流、地面塌陷、地面沉降、地裂缝)易发性,对全国地质环境安全程度进行分区(图4),可以看出,我国城市地质环境安全程度不高,尤其在中西部地区更为明显。我国19个城市群中,滇中和黔中城市群地质环境安全程度低,不安全区V面积超过30%;成渝、关中、天山北坡、兰西等4个城市群地质环境安全程度较低,不安

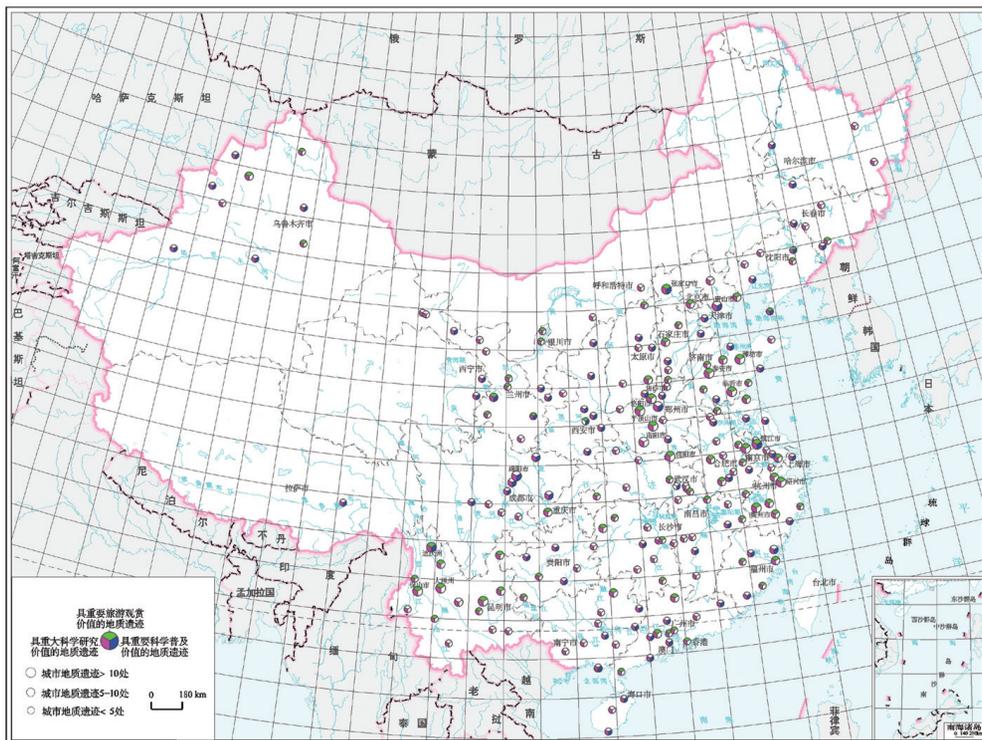


图3 中国城市及周边地质遗迹资源分布图

Fig.3 Distribution of geological heritage resources in cities and surrounding areas of China

表2 京津冀、长三角、珠三角城市国土开发程度

Table 2 The extents of urban land development in Beijing Tianjin Hebei, Yangtze River Delta and Pearl River Delta

国土开发程度	城市名称
>30%	上海、天津、深圳、无锡、佛山、东莞、中山
20%~30%	北京、广州、南京、唐山、廊坊、苏州、嘉兴、常州、镇江、铜陵、舟山、泰州、南通、珠海
15%~20%	沧州、保定、石家庄、邯郸、衡水、扬州、宁波、合肥、芜湖、马鞍山、盐城、湖州、滁州
<15%	邢台、秦皇岛、张家口、承德、绍兴、杭州、金华、安庆、台州、宣城、池州、江门、惠州、肇庆

全区面积比例介于10%~30%;其余13个城市群地质环境安全程度高,仅局部地区存在地质安全隐患(表3)。

(3)城市地下空间

城市地下空间资源量需要考虑城市规模及发展需求、城市地质条件、适宜开发利用强度等因素。根据我国超大城市、特大城市、大型以下城市的发展需求,城市地下空间开发深度分别按照100 m、50 m、30 m来测算。参考东京、巴黎和我国上海地下空间利用的经验,确定城市地下空间适宜开发利用强度。结合我国区域城市地质条件,初步评估我国地级以上城市可开发的地下空间资源90亿 m^3 ,可置换地表土地面积880万亩。与日本、加拿大、美国、法国等发达国家相比,我国地下空间开发深度

较浅,多数城市开发深度在30 m以浅,仅上海局部地区达到70 m。目前,我国城市地下空间总利用量约6亿 m^3 ,利用程度总体较低。

2.4 三维城市地质

2004—2009年,中国地质调查局与上海、北京、天津、广州、南京、杭州等市政府合作,开展三维城市地质调查试点,系统建立了三维城市地质模型、三维可视化城市地质信息管理决策平台和面向公众的城市地质信息服务系统。特别是上海等城市地质调查试点,在地质工作服务经济社会发展、支撑政府决策等方面做了积极探索,推进了城市地质信息服务融入政府管理主流程(图5),开创了“政府主导、体制保障、科技支撑、机制推进、信息共享、服务决策”的地质工作服务地方经济社会发展的新模

表3 中国城市群城镇地质安全程度统计

Table 3 Statistics of urban geological safety degrees of urban agglomerations in China

城市群	安全区		次安全区		不安全区	
	面积/($10^4 km^2$)	比例/%	面积/($10^4 km^2$)	比例	面积/($10^4 km^2$)	比例/%
滇中	0.2	1.9	5.1	54.7%	4.1	43.4
黔中	0.1	0.7	5.1	66.9%	2.5	32.4
天山北坡	3.3	37.9	4.1	46.9%	1.3	15.2
兰西	0.2	4.6	3.5	81.2%	0.6	14.2
成渝	8.2	44.0	8.0	43.2%	2.4	12.8
关中	0.2	3.5	5.5	83.9%	0.8	12.6
晋中	0.1	4.8	2.2	88.3%	0.2	6.9
长江中游	13.7	44.0	16.1	51.8%	1.3	4.2
宁夏沿黄	0.0	0.0	2.3	95.9%	0.1	4.1
中原	2.5	42.0	3.2	53.9%	0.2	4.1
京津冀	5.8	26.8	14.9	69.4%	0.8	3.8
辽中南	3.4	35.9	5.8	61.5%	0.2	2.6
呼包鄂榆	10.3	59.0	6.7	38.4%	0.5	2.6
山东半岛	2.5	42.0	3.4	56.9%	0.1	1.1
长三角	15.2	74.1	5.3	25.8%	0.0	0.1
海峡西岸	5.7	23.9	18.1	76.1%	0.0	0.1
珠三角	3.5	87.3	0.5	12.7%	0.0	0.0
哈长	25.1	77.7	7.2	22.3%	0.0	0.0
北部湾	2.8	67.6	1.3	32.4%	0.0	0.0
合计	102.5		118.2		15.1	

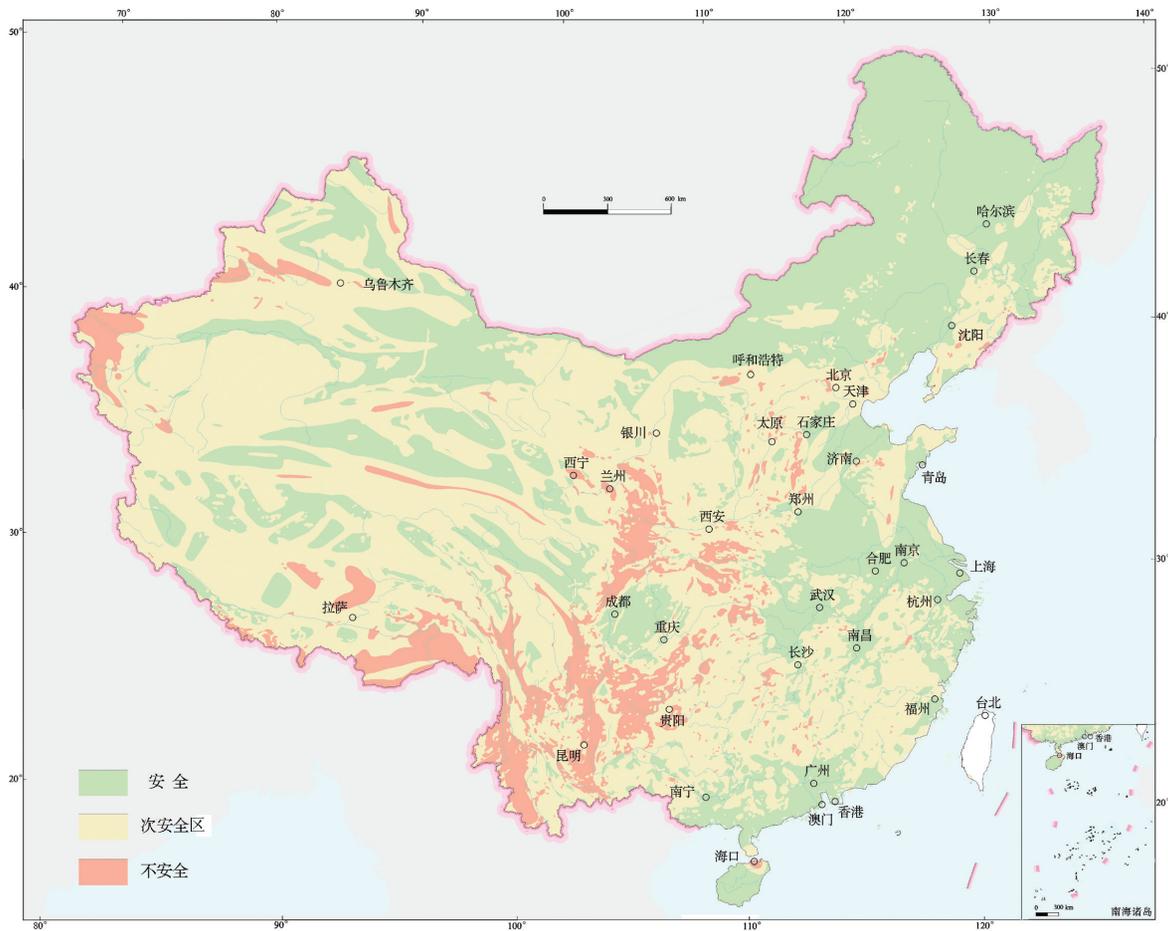


图4 全国地质环境安全程度分区

Fig.4 Urban geological safety degree of urban agglomerations in China

式,为全国城市地质工作积累了宝贵经验。从2009年开始,采用部、省、市的多方合作模式,完成了福州、厦门、泉州、苏州、镇江、嘉兴、合肥、石家庄、唐山、秦皇岛、济南等28个城市地质调查工作。

3 未来城市地质调查总体构想

以往城市地质调查工作,形成了我国城市地质资源环境条件的初步认识,在服务城市规划、建设和运行管理上取得了一定的服务成效,但是与我国新型城镇化建设的需求相比,还存在许多不足,需要进一步加强城市地质调查工作(张茂省等,2014;卫万顺等,2016;郝爱兵等,2017;何中发,2017)。例如,工作理念上,缺乏城市地球系统科学理念和意识,不能满足城市地上地下统筹规划、资源环境协调开发与保护等新要求;资料精度上,公益性地

质调查以小比例尺为主,商业性调查资料汇交困难,城市地质信息不能满足城市建设和管理需要;成果服务上,尚未形成标准化成果产品体系,城市地质工作难以融入城市行政管理主流程;协调机制上,缺乏中央和地方联动、公益性和商业性工作融合发展、政府多部门协调配合。

3.1 总体思路

未来一段时期,城市地质调查需要适应新型城镇化发展需求,树立大资源、大环境、大数据理念,聚焦城市规划、建设、运行、管理的重大问题,分层次推进城市地质调查,创新城市地质理论和技术方法,形成现代城市地质调查工作体系。主要的工作任务包括以下三个方面:

(1)城市群综合地质填图。在全国重要城市群开展基础性综合地质填图,基本查明区域地质、水

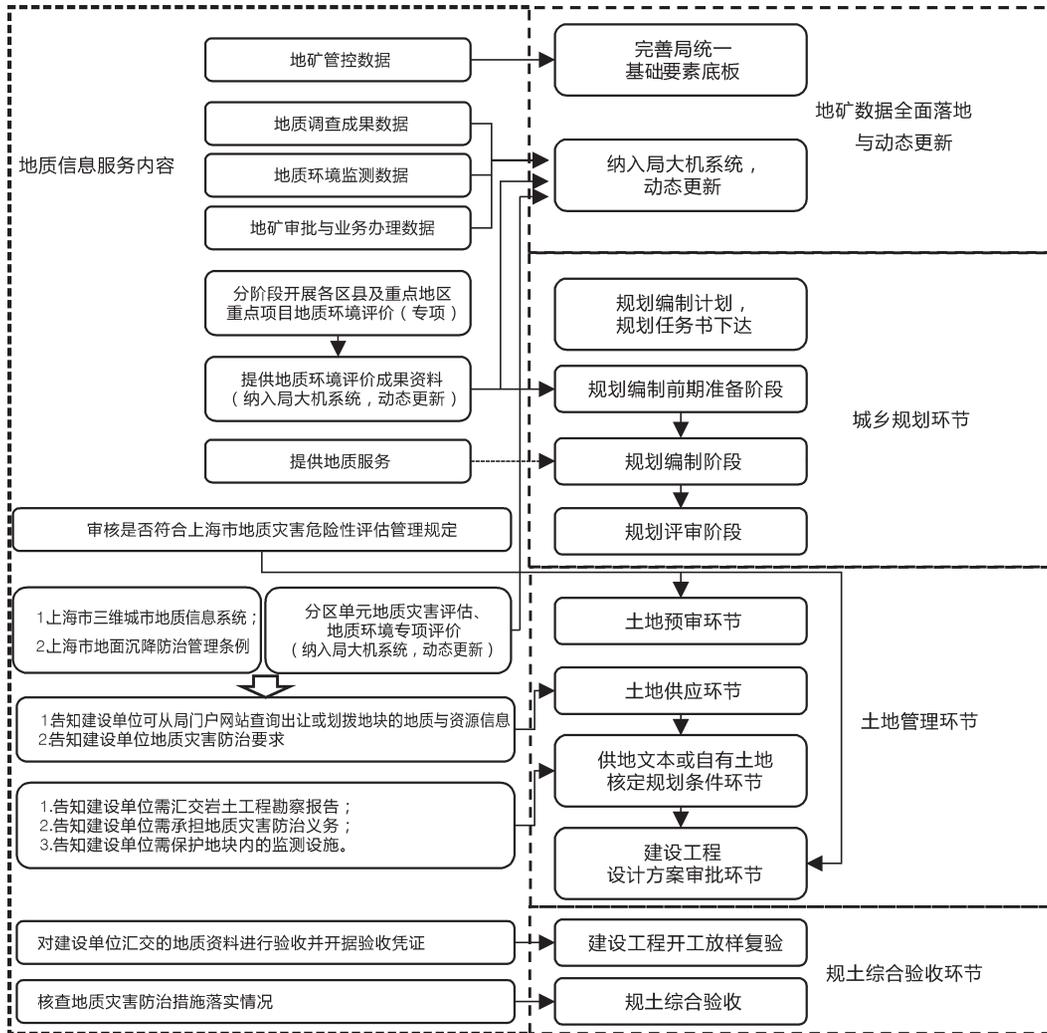


图5 上海城市地质信息服务政府管理主流程框图

Fig.5 Main schedule of government management of Shanghai urban geological information service

文地质、工程地质、环境地质、灾害地质等基础地质条件,全面摸清区域资源环境和灾害等重大问题,综合评价资源环境承载能力和空间开发适宜性,提出国土空间布局、重大工程和基础设施建设的地质学建议。

(2)多要素城市地质调查。开展城市空间、资源、环境、灾害等要素调查,服务城市规划、建设、运行、管理全过程。大型以上城市须构建三维地质模型、资源环境监测预警网络、地质信息决策支持系统。中小城市要突出特色、因地制宜,根据实际发展需求,开展相应地质调查,提出相关地质学建议。

(3)业务支撑体系建设。研究城市地质服务成果服务政府管理主流程的法律制度,建立城市地质调查评价与监测预警技术标准,探索中央和地方联

动、公益性和商业性地质工作融合发展、政府多部门协调等方面的有效工作机制,形成服务政府管理、科学研究和社会工作的成果产品体系。

3.2 城市群综合地质填图

城市群基础性综合地质填图,可以按1:25万比例尺和1:5万比例尺两个层次来开展工作。不同的城市群地质工作基础不同,可以根据需要确定填图工作区范围和填图比例尺。

3.2.1 1:25万基础性综合地质填图

由于我国大部分城市群地区都有一定的地质工作基础,应该充分收集整理地质、城建、水利水电、冶金、市政、石油、交通和煤田等部门资料,在此基础上,适当补充开展野外地质调查,开展城市群资源环境条件综合研究,以城市群为单元,编制区

表4 一般调查区和重点调查区范围和精度
Table 4 Range and precision of general survey area and key investigation area

要素	一般调查区	重点调查区
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

域地质、第四纪地质、水文地质、工程地质、环境地质等基础性专业图件,按照城镇和基础设施规划建设、产业发展、生态环境保护、地质灾害防治等不同服务对象编制应用性服务图件,提出优势地质资源科学利用和重大地质问题防治的对策建议,为区域主体功能区划和国土规划编制提供重要的依据。

3.2.2 1:5万基础性综合地质填图

在1:25万填图的基础上,在城市群内部选择重要城镇规划区、重大基础设施建设区、重要生态保护区、重大地质问题区等重点地区,按照1:5万调查规范开展区域地质、第四纪地质、水文地质、工程地质、环境地质等调查,基本查明基础地质条件、主要地质问题及其发育条件的区域分布特征,评价城市群地质资源环境条件承载能力和国土开发地质适宜性,为城镇总体规划、重大工程建设规划选址和可行性论证、生态环境保护等提供地质依据。

3.3 多要素城市地质调查

多要素城市地质调查的工作内容包括打造地下三维可视化的城市地质模型(透明城市)、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。

3.3.1 三维城市地质模型

建立三维城市地质模型是城市地质调查的首要任务。三维城市地质模型涵盖空间、资源、环境、灾害等多方面的地质数据,空间数据主要有区域地质构

造、含水层和岩土体等工程建设与地下空间开发需要的地质条件数据,资源数据主要有地下水、地热、地质遗迹、天然建材资源等资源禀赋、空间分布、开发利用情况,环境数据主要有区域土地和地下水质量状况、土地与地下水污染状况、污染场地和垃圾场分布及其污染状况,灾害数据主要有滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷、地面沉降、地裂缝、活动断裂等地质灾害地质条件、发育特征、诱发因素、危害程度、工程治理效果等(Kessler H, et al.2009;Campbell S D G, et al.2010;陈麒玉等,2016;方寅琛等,2017)。

三维城市地质模型所需要的一部分地质数据来自于以往城市地质资料和补充开展的公益性地质调查资料。每一个城市需要调查的工程建设与地下空间开发利用条件、地质资源种类、水土环境指标、地质灾害类型,是根据城市发展需求、地质条件和资源环境禀赋等来确定的。同时,在时序上分轻重缓急统筹考虑,阶段内容应突出重点。根据城市空间规划、资源开发、环境保护、灾害防治的需求,针对不同调查对象确定一般调查区和重点调查区,两种类型的地区地质工作程度满足相应的精度要求(表4)。

三维城市地质模型所需要的另一部分地质数据来源于市场主体实施的商业性地质勘察资料,比如岩土工程、地下水源地、浅层地温能、地热田等勘察资料,环境影响评价、场地污染修复、矿山环境整

表5 城市地质调查成果服务产品清单
Table 5 List of service products for urban geological survey results

服务层面	产品内容
	<p>一般调查区可形成以下服务产品:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 地表空间约束类: 崩塌滑坡泥石流高易发区、地面塌陷高易发区、全新世活动断裂影响带、地质公园、优质耕地分布区、土壤和地下水污染严重区、地面沉降地裂缝严重区、重要地下水水源地保护区(已建和宜建)、重要矿产地。 2. 地下空间条件类: 区域含水层与隔水层垂向分布、岩土体类型及结构垂向分布、松散层厚度和基岩埋深等值线图。 3. 资源支撑类: 具有开发潜力的优质地下水富水地段及资源量、重要地热田及资源潜力、浅层地温能开发适宜区及资源潜力、具有潜在开发与保护价值的重要地质遗迹分布区。
规划层面	<p>重点调查区可形成以下服务产品:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 地质灾害隐患点分布及影响范围; 2. 土壤质量分级; 3. 包气带(浅表层岩土体)防污性; 4. 土壤与地下水污染场地范围和有毒有害元素高背景区; 5. 工程地质条件复杂程度分区及不良地质问题分布; 6. 浅层地温能单位面积换热功率; 7. 地质遗迹景观点开发与保护方案; 8. 地下空间分区分层开发工程地质与水文地质参数。
建设层面	<ol style="list-style-type: none"> 1. 出让地块的公益性地质资料信息清单、出让地块需详细查明的地质问题清单; 2. 场地地质灾害危险性评估工作类别建议、岩土工程勘察场地等级建议; 3. 接收建设项目各类勘察报告、图件及原始数据。
运行管理层面	<ol style="list-style-type: none"> 1. 城市资源环境评价与监测预警产品; 2. 突发事件的应急地质调查监测预案及应急处置报告; 3. 面向政府管理、社会公众、专业人员的城市地质信息系统与服务产品。

治、地质公园建设、地质灾害危险性评估和勘察治理等资料。

3.3.2 地质资源环境监测预警网络

建立城市地质资源环境监测预警网络是城市地质工作服务城市运行管理的必要条件。城市地质调查项目实施阶段需要提出监测网点完善方案,项目实施阶段和结束后,需要实施相应的监测预警工作。

城市地质资源环境监测包括生态地质监测和地质环境监测。生态地质监测对象包括地貌形态、土地利用、植被覆盖、水体分布、湿地变化等,监测精度应达到1:10 000标准,宜选择空间分辨率不低于2.5 m的遥感影像,监测周期宜为每年1次,时相和谱段按照监测内容的需求确定。地质环境监测对象应考虑滑坡、崩塌、泥石流、地面塌陷、地面沉降、地裂缝、活动断裂、地下水环境、土地质量、城市垃圾等,监测网点建设应充分利用3S技术、互联网、物联网等先进技术,构建空天地一体化的监测网络。

根据城市地质资源环境监测数据,分析城市空

间、资源、环境、灾害等方面的重要安全隐患,提出监测预警方案和应急处置预案。针对突发地质安全事件和异常征兆,应及时开展调查并加密监测,加强预警分析,提出处置建议。

3.3.3 地质信息服务与决策支持系统

城市地质信息系统是城市地质服务城市规划、建设和运行管理的基础平台(Mallet J L 2002;吴冲龙等,2003;屈红刚等,2008;Kessler Het al,2009;刘映等,2009;顾丽影等,2012;吴春霞,2016)。信息系统由数据库、管理服务软件和支撑环境三部分构成。数据库是信息平台建设中的核心内容,是从各行各业收集整理和调查评价获取的地质资料,通过数据提取和面向信息化的数据重组,形成的数据及其元数据组成的数据集。管理服务软件系统至少应具备集成建立的数据集、更新维护、检索查询、分析评价、三维地质结构建模和结果可视化及输出功能。支撑环境是指在单机、局域网及互联网上稳定、安全运行所需的基础软件、硬件、网络和场地等条件。

决策支持成果服务产品是城市地质调查融入

城市行政管理主流程的体现形式。每个城市需要系统梳理城市规划、城建、国土、市政、交通、水利、环保、人防等部门管理对地质调查工作的需求,从规划、建设、运行管理等层面,确定符合该城市特点的服务产品清单,并定制相应的产品。本文在总结以往城市地质调查成果服务经验的基础上,提出了城市地质调查成果服务产品清单(表5)。

3.4 业务支撑体系建设

3.4.1 地质资料汇交、共享与服务制度

地质资料信息是地质调查研究成果的载体与表现,是地质工作服务能力提高的阶梯。发挥其作用的前提是要把分散资料集中管理,把纸质资料转变为数据,通过信息化工具把数据整合成为可利用信息。上海市的成功经验表明,加强制度体系建设是实现城市地质资料汇交、共享和服务的最有效方式。充分利用现有的行政资源优势,通过内部管理创新,明确地质资料汇交要求,确保地质资料汇交广覆盖、不遗漏,强化建设工程项目各类地质勘察资料的汇交工作(龚士良,2008;陈华文,2010)。

3.4.2 城市地质调查评价与监测标准

全国范围内推进城市地质调查工作,建立技术标准体系至关重要。首先要制定行业标准,对城市地质调查进行了框架性规定,提出了基本要求,能够起到指导性作用。城市地质调查涵盖到诸多的地质专业领域,涉及相关领域的技术要求直接引用了国家或行业标准。针对城市地区地质探测与监测、地下空间评价与安全利用、地质资源环境承载能力评价、三维地质信息平台建设等需要制定详细的技术细则或规程。各地方要根据工作需求和城市地质特点制定地方标准。行业标准在经过一段时间使用后,可以进一步总结经验并修订完善,最终形成国家标准。

3.4.3 多方协调联动工作机制

构建责任明确的多方协调联动机制是推进城市地质调查的重要保障。国土资源部和中国地质调查局重点在政策措施探索、标准规范制定、重大科技问题攻关和多要素城市地质调查试点示范等方面发挥主导作用,对试点示范城市予以适当的经费支持。省级国土资源主管部门应在政策和经费等方面积极争取支持,借鉴有效的经验和做法,统筹部署推进本行政区多要素城市地质调查。多要

素城市地质调查必须以城市人民政府的大力支持为前提,既要在经费投入方面发挥主体作用,也要通过机制创新克服部门间的体制障碍,通过制度设计保障地质资料的汇交、共享和服务。

4 需要突破的关键理论和技术

城市地区人地相互作用强烈,导致城市地质环境演化过程十分复杂。同时,空间利用、资源开发、环境保护、灾害防治的需求强烈且相互交织,工作要求很高。因此,需要加强城市地质基础理论和核心技术方法研究,创新理论,攻关技术,制定标准,提高工作效率和科技水平,用科技创新改造、引领、支撑城市地质调查。

4.1 城市地质理论

以往开展的城市地质调查,主要是沿用水文地质学、工程地质学、环境地质学、岩石力学等各自的理论、方法,相互之间没有真正的融合,缺少将不同专业融入一体的理论基础,缺少和规划学科的结合,难以有效指导城市地质调查工作和成果服务。当前需要突破以往地质填图、水文地质、工程地质、环境地质、灾害地质、地质矿产的专业分割,将城市人类活动和地质环境相互作用作为一个整体进行研究,建立城市地质系统档案,包括物质组成、结构构造,各种场及水文地质、工程地质和环境地质参数,突出系统内的多要素、多场、多参数特征及地下空间开发与地质环境互馈机制。

需要研究的城市地质理论应该有三个方面的,一是融合自然科学和社会科学知识,综合地质学、经济学、社会学等多学科理论,以促进人地和谐为导向,建立城市资源环境承载能力理论。二是研究不同场、不同尺度地球表层系统扰动变化和再平衡过程,建立城市多圈层交互带理论。三是研究制约地下空间资源禀赋的地下岩土水气要素,地下多相多场影响因素,建立地下空间资源协同规划理论。

4.2 城市地质调查评价技术

以服务城市规划、建设、运行、管理的全过程为目标导向,围绕城市化区如何获取可靠地质数据、城市地质环境容量如何确定、城市发展后备空间资源如何保障、城市地质信息如何有效服务城市管理等问题,开展城市城市地质调查评价技术研究,为城市安全提供基础保障,为城市生态发展提供支撑。

4.2.1 城市地区地质探测与监测技术

地球物理探测在城市地质调查中发挥的作用越来越广泛,但也受到外部客观环境的制约(赵文津,2003;周立军等,2009)。当前急需研究以下四项技术:(1)城市地质结构地球物理探测抗噪、去噪技术方法,研发城市高干扰环境条件下地质物探仪器与数据处理专业系统;(2)城市化区地质体变形光纤监测技术,建立起光纤传感产品、实施过程及数据分析的标准体系;(3)研究活动断裂地应力监测技术,提出内动力地质灾害的识别、监测与风险防控建议;(4)研究生态地质环境高光谱遥感技术,建立星空地高光谱、多光谱和其他遥感数据融合的生态地质生态环境智能监测分析技术体系。

4.2.2 城市国土空间开发地质适宜性评价技术

合理确定生态功能保障基线、环境质量安全底线、自然资源利用上线,优化国土空间开发布局,完善土地利用规划等空间规划,促进城市的开发与国土空间开发适宜性相协调,需要开展以地质资源、环境、生态、安全及土地利用等为主要内容的国土空间开发地质适宜性评价。研究内容包括影响城市规划建设的主要地质因素及其地质背景条件,分析不同地质因素的发育规律和变化趋势,以及对城市规划建设的制约和危害程度,探索不同尺度的国土空间开发地质适宜性评价方法和指标体系,开展尺度效应分析,建立相应评价模型。

4.2.3 城市地下空间开发利用地质安全评价技术

城市地下空间开发利用地质安全非常重要(束昱等,2006;葛伟亚等,2015)。城市地下空间开发利用地质安全评价技术需要进行探索,研究包括城市地下空间资源地质条件对城市地下功能类型的适宜性,不同类型地质体地下空间开发岩土工程施工和运营过程中可能出现的地质问题,地下空间资源禀赋调查评价和协调可持续开发技术,地质环境条件对地下空间开发的制约机制。形成具有可推广性的调查评价方法与技术指标体系。

4.2.4 三维城市地质建模与公共服务技术

国外发达国家在三维城市地质建模与公共服务方面做了大量的研究,取得了突飞猛进的进展,值得我国学习和借鉴(Zervakou A,et al.2007; Pantelias E,et al.2008,龚文峰,2014)。目前我国需要研究城市三维地质数据模型、城市海量分布式感

知传输、多源多态地质数据融合、大数据管理与动态维护、地质安全评价的技术方法,研发地质大数据下城市三维地质建模系统、地质安全评价系统。研究城市地质大数据与智慧城市融合技术,研发城市地质安全保障与服务支撑平台与智慧城市接口,形成智慧城市专项应用产品。

5 结 语

服务国家新型城镇化战略,落实2017年政府工作报告中关于“统筹城市地上地下建设,加强城市地质调查”的要求,城市地质调查工作任务道远。这项工作要充分发挥和调动各方面的优势和工作积极性,建议按照三个层次来推进,首先,开展城市地质调查试点示范工作,建立城市地质调查技术标准体系,探索形成城市地质调查工作模式和多层次成果产品服务体系,推进地质工作与新型城镇化发展深度融合体制机制构建;其次,以城市群为单元,通过中央和地方公益性地质调查为主体,推进全国城市群基础性综合地质填图,综合评价资源环境承载能力和空间开发适宜性,建立地级以上城市地质基础框架模型;最后,通过中央层面统一指导、省级国土资源部门统筹协调、城市人民政府负责推进,全面完成地级以上城市地质调查,建立三维地质模型、地质资源环境监测预警体系、地质信息服务与决策支持系统。

致谢:本文形成过程中,中国地质调查局水文地质环境地质部郝爱兵主任在工作思路和部署方面给予了精心指导;上海市地质调查研究院严学新总工程师、史玉金所长提供了丰富的上海城市地质调查成果资料;中国地质科学院郝梓国研究员、中国地质调查局发展研究中心姜作勤研究员、中国地质调查局南京地质调查中心姜月华研究员和程光华研究员,参与讨论并提出建议;中国土地勘测规划院贾克敬和张辉、中国地质科学院水文地质环境地质研究所荆继红和朱喜、中国地质科学院地质力学研究所吴中海、中国地质环境监测院董颖、郭海朋、曲雪妍和黄卓、中国地质科学院岩溶地质研究所雷明堂、中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所成杭新和李括等提供了大量翔实的调查资料和研究成果。还有很多专家学者对城市地质调查工作思路提供了宝贵的意见和建议,在此一并表示感谢。

References

- Adhikari D K, Roy M K, Datta D K. 2006. Urban geology: A case study of khulna city corporation, Bangladesh[J]. *Life Earth Science*, 1(2):17–29.
- Campbell S D G, Merritt J E, Dochartaigh B E. 2010. 3D geological models and their hydrogeological applications: supporting urban development a case study in Glasgow–Clyde, UK[J]. *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, 161(2): 251–262.
- 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).
- Chen Qiyu, Liu Gang, Wu Chonglong, Li Xinchuan, Zhang Zhiting. 2016. Knowledge – driven multiple scale 3D geological modeling method in urban geological survey. [J]. *Geography and Geo-Information Science*, 32(4): 11– 16 (in Chinese with English abstract).
- Culshaw M, Price S. 2011. The 2010 Hans Cloos lecture: the contribution of urban geology to the development, regeneration and conservation of cities[J]. *Bulletin of Engineering Geology and Environment*, 70(3): 333–376.
- Edbrooke S W, Mazengarb C, Stephenson W. 2003. Geology and geological hazards of the Auckland urban area, New Zealand[J]. *Quaternary International*, 103(1): 3–21.
- Fang Jiahua. 2001. Review and future work of urban environmental geology in China[J]. *Volcanology & Mineral Resources*, 22(2): 84–86(in Chinese).
- Fang Yinchun, Gong Rixiang, Li Sanfeng, Pan Shengyong, Gu Mingguang, Huang Weiping. 2017. Suitability evaluation of underground space development based on a three-dimensional geological model, using the Jiaying urban geological survey as an example[J]. *Shanghai Land & Resources*, 38(2):43–45(in Chinese with English Abstract).
- 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 Yafeng, Gao Yawei. 2007. The present situation of urban geological survey in China and its development trend[J]. *Urban Geology*, 2(2): 1–8(in Chinese with English abstract).
- Ge Weiya, Zhou Jie, Chang Xiaojun, Li Yun, Xing Huaixue, Li Liang. 2015. Study on urban underground space development and geology safety problems[J]. *Journal of Engineering Geology*, 50(5): 581–587(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).
- Gu Liying, Hua Weihua, Li Sanfeng. 2012. On 3D information platform of urban geology[J]. *Journal of Geology*, 36(3): 285–290 (in Chinese with English abstract).
- Guo Peiguo, Dai Zhiqiang, Nie Daozhong, Li Hailong.2014.The research content and development status of urban geology[J]. *Resources Environment & Engineering*, 28(3):304– 307 (in Chinese with English abstract).
- 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).
- He Zhongfa.2017. The practice and prospect of urban geology in post-industrial cities in Shanghai[J]. *Shanghai Land & Resources*, 38(3): 49–52(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).
- Hollingshead S, Gartner J. 1998. Urban geology of Canadian cities[J]. *Canadian Geotechnical Journal*, 35(6): 1116.
- Huggenberger P. 2011.Urban Geology: Process-oriented Concepts for Adaptive and Integrated Resource Management [M]: Springer.
- Ji Jiangjun, 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).
- Jia Gaomeng, Hu Xiaoshuo, Weng Jie, Xiang Xing, Qin Taigui. Research on urban geological environment evolution mode based on multidimensional dissemination model[J]. *J of China Three Gorges Univ.(Natural Sciences)*, 35(1): 109–112 (in Chinese with English abstract).
- Kessler H, Mathers S, Sobisch H– G. 2009.The capture and dissemination of integrated 3D geospatial knowledge at the British Geological Survey using GSI3D software and methodology[J]. *Computers & Geosciences*, 35(6): 1311–1321.
- Li Lie rong, Wang Bingchen, Zheng Guisen. 2012. The major progress and future development of china urban geology e[J]. *Urban Geology*, 7(3): 1–11(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).
- Luan Guangzhong, Wang Hongxia, Yin Mingquan, Wang Jian, Zhang Huadong. 2010.Characteristics of main faulted structures in qingdao city and their influence on urban geological environment[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 31(1): 102– 108 (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).
- Luo Guoyu. 2005. On the study of urban geology in China[J]. Jiangsu Geology, 29(1): 1–4 (in Chinese with English abstract).
- Lv Danyu, 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).
- Mallet J L. 2002. Modeling[M]. New York: Oxford University Press.
- Pantelias E, Zervakou A D, Tsombos P I. 2008. Spatial database for the management of urban geology geothematic information: the case of Drama City, Greece[C]. International Society for Optics and Photonics.
- Qu Honggang, Pan Mao, Lv 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).
- Shuyu, Pengfangle, Wang xuan, Zhu hehua. 2006. Study and practice of urban underground space planning in China[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2(7): 1125–1129 (in Chinese with English abstract).
- Suitability evaluation of underground space development based on a three-dimensional geological mode[J]. Shanghai Land & Resources, 38(2): 43–45 (in Chinese with English abstract).
- Sun Xiaohua, Hao Chunyan. 2007. New services of urban geological work in Beijing – development and utilization of geological heritage landscape resources[J]. Urban Geology, 2(2): 9–13 (in Chinese with English abstract).
- Wang Jun, Zhang Donghuan. 2003. Geological disasters control strategy for city[J]. Urban Management Science & Technology, 12(1): 1–5 (in Chinese with English abstract).
- 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. 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. 2015. Progress and thoughts of urban geological work in Beijing[J]. Urban Geology, 10(Z1): 1–7 (in Chinese with English abstract).
- Wen Dongguang, Liu Changli. 2006. Investigation and assessment of environmental geology in China's major cities[J]. Urban Geology, 1(2): 4–7 (in Chinese with English abstract).
- White C E. 2009. Urban Geology of the Halifax regional municipality, Nova Scotia, Canada [C]. Geological Society of America Abstracts with Programs.
- Wu Chonglong, Niu Ruiqing, Liu Gang, Kong Chunfang, Lei Shitai, Liu Pide. 2003. Construction aim and solution of the urban geological information system[J]. Geological Science and Technology Information, 22(3): 67–72 (in Chinese with English abstract).
- Wu Chunxia. 2016. Research of expanding Fuzhou urban geological information service[J]. Geology of Fujian, 35(3): 216–225 (in Chinese with English abstract).
- Xing Huaixue, Ge Weiya, Dong Zhigao, Tian Fujin. 2010. Assessment of urban geo-environmental quality based on GIS for Fuzhou city[J]. Shanghai Geology, 31(S1): 20–23 (in Chinese with English abstract).
- Xu Zhengqi, Ni Shijun, Zhang Chengjiang, Tuo Xianguo. 2006. Present state and problems in urban environmental geology research in China[J]. Scientific and Technological Management of Land and Resources, 23(1): 100–103 (in Chinese with English abstract).
- Zervakou A, Tsombos P I, Nikolakopoulos K G. 2007. Urban geology: documentation of geo-thematic information for urban areas in Greece, the case of Nafplio, Greece[C]. International Society for Optics and Photonics.
- Zhang Hongtao. 2003. Urban geological work – an important support for national economic construction and social development[J]. Geological Bulletin of China, 22(8): 549–550 (in Chinese).
- Zhang Lijun. 2001. Main trends of international urban geological work[J]. Land and Resources Information, (6): 1–13 (in Chinese).
- Zhang Maosheng, Dong Ying, Liu Jie. 2014. Discussion of urban geological work in new urbanization[J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 50(5): 581–587 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Xianlin. 2001. A certain approach to urban geological work and sustainable development – case of Shanghai city[J]. Shanghai Geology, (4): 1–4 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Wenjin. 2003. Urban geology and Geophysics[J]. Geological Bulletin of China, 22(8): 558–562 (in Chinese).
- Zhou Lijun, Dong Rongwei, Xu bo, Yang Yongqing. 2009. The application of ground penetrating radar in city geological investigation[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 6(5): 632–635 (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.
- 陈麒玉, 刘刚, 吴冲龙, 李新川, 张志庭. 2016. 城市地质调查中知识驱动的多尺度三维地质体模型构建方法[J]. 地理与地理信息科学, 32(4): 11–16.
- 方家骅. 2001. 中国城市环境地质工作回顾和今后工作思路[J]. 火山地质与矿产, 22(2): 84–86.
- 方寅琛, 龚日祥, 李三凤, 潘声勇, 顾明光, 黄卫平. 2017. 基于三维地质模型的地下空间开发适宜性评价——以嘉兴城市地质调查工作为例[J]. 上海国土资源, 38(2): 43–45.

- 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.
- 高亚峰,高亚伟. 2007. 我国城市地质调查研究现状及发展方向[J]. 城市地质, 2(2): 1-8.
- 葛伟亚,周洁,常晓军,李云,邢怀学,李亮. 2015. 城市地下空间开发及工程地质安全性研究[J]. 工程地质学报, 23(S1):529-534.
- 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.
- 顾丽影,花卫华,李三凤. 2012. 三维城市地质信息平台[J]. 地质学刊, 36(3):285-290.
- 郭培国,戴志强,聂道忠,李海龙. 2014. 城市地质研究内容和现状[J]. 资源环境与工程, 28(3):304-307.
- 郝爱兵,林良俊,李亚民. 2017. 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, (4): 水工环论坛.
- 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.
- 何中发. 2017. 后工业化时期城市地质工作实践与展望[J]. 上海国土资源, 38(3): 49-52.
- 贾高萌,胡小硕,翁杰,向玲,覃太贵. 2013. 基于多维传播模型研究城市地质环境的演变模式[J]. 三峡大学学报(自然科学版), 35(1): 14-17.
- 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(3): 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.
- 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.
- 栾光忠,王红霞,尹明泉,王建,张华东. 2010. 青岛城市主要断裂构造特征以及对城市地质环境的影响[J]. 地球学报, 31(1):102-108.
- 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.
- 罗国煜. 2005. 关于当前我国城市地质研究的认识[J]. 江苏地质, 29(1): 1-4.
- 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):581-587.
- 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.
- 束昱,彭芳乐,王璇,朱合华. 2006. 中国城市地下空间规划的研究与实践[J]. 地下空间与工程学报, 2(7): 1125-1129.
- 王军,张东焕. 2003. 城市地质灾害防治对策[J]. 城市管理与科技, 5(3): 133-134.
- 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. 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.
- 卫万顺. 2015. 北京城市地质工作进展与思考[J]. 城市地质, 10(Z1): 1-7.
- 文冬光,刘长礼. 2006. 中国城市环境地质调查评价[J]. 城市地质, 1(2): 4-7.
- 吴冲龙,牛瑞卿,刘刚,孔春芳,雷世泰,刘丕德. 2003. 城市地质信息系统建设的目标与解决方案[J]. 地质科技情报, 22(3):67-72.
- 吴春霞. 2016. 福州市城市地质信息服务应用拓展研究[J]. 福建地质, 35(3):216-225.
- 邢怀学,葛伟亚,董志高,田福金. 2010. 基于GIS城市地质环境质量综合评价—以福州市为例[J]. 上海地质, 31(S1):20-23.
- 徐争启,倪师军,张成江,虞先国. 2006. 我国城市环境地质研究现状及应注意的几个问题[J]. 国土资源科技管理, 23(1):100-103.
- 张洪涛. 2003. 城市地质工作—国家经济建设和社会发展的主要支撑[J]. 地质通报, 22(8): 549-550.
- 张丽君. 2001. 国际城市地质工作的主要态势[J]. 国土资源情报, (6): 1-13.
- 张茂省,董英,刘洁. 2014. 论新型城镇化中的城市地质工作[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 50(5): 581-587.
- 赵文津. 2003. 城市地质与地球物理[J]. 地质通报, 22(8):558-562.
- 周立军,董荣伟,徐波,杨永清. 2009. 探地雷达在城市地质调查中的应用[J]. 工程地球物理学报, 6(5): 632-635.