

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2022.03.015

西北地区城市地质调查与城市规划建设

董英^{1,2,3}, 刘洁^{1,2,3,*}, 王化齐^{1,2,3}

(1. 中国地质调查局西安地质调查中心/西北地质科技创新中心, 陕西 西安 710054;

2. 陕西省水资源与环境工程技术研究中心, 陕西 西安 710054;

3. 自然资源部黄土地质灾害重点实验室, 陕西 西安 710054)

摘要:城市地质调查是支撑城市规划建设管理的先行性地质工作,对城市地质安全、资源保障和安全运营具有至关重要的作用。如何开展城市地质调查,明确调查内容、精度和深度,地下空间精细化探测和安全利用,以及如何支撑服务是做好城市地质工作的关键。笔者梳理了中国城市地质工作的进展及程度,重点以关中平原城市群、西安国家化大都市城市地质调查工作为例,对黄土覆盖区城市地质工作内涵、精度及应用进行了详细论述,试图总结西北城市地质工作在支撑国土空间规划中的作用和存在的问题,进一步开展西北地区城市地质研究。

关键词:西北地区;城市地质;地质安全;国土空间规划

中图分类号:P642;X144

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2022)03-0200-10

Urban Geological Survey and Urban Planning and Construction in Northwest China

DONG Ying^{1,2,3}, LIU Jie^{1,2,3,*}, WANG Huaqi^{1,2,3}

(1. Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. Shaanxi Province Engineering Research Centre of Water Resources and Environment, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 3. Key Laboratory for Geo-hazards in Loess Area Ministry of Natural Resources, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: urban geological survey is the leading geological work supporting urban planning and construction management. It is a vital role in urban geological safety, resource guarantee and safe operation. How to carry out urban geological survey, clarify the survey content, survey accuracy and depth, fine exploration and safe utilization of underground space, and how to support services are the key to do a good job in urban geological work. This paper combs the progress and degree of urban geological work in China, focuses on the urban geological survey of Guanzhong Plain Urban Agglomeration and Xi'an National Metropolis, discusses in detail the connotation, accuracy and application of urban geological work in Loess covered areas, and tries to summarize the role and existing problems of urban geological work in supporting land spatial planning in Northwest China, so as to further guide urban geology in Northwest China.

Keywords: Northwest China; urban geology; geological safety; land spatial planning

收稿日期:2022-02-21;修回日期:2022-05-23;网络发表日期:2022-08-15;责任编辑:姜寒冰

基金项目:中国地质调查局项目“西安城市地质安全调查评价与风险管理示范”(DD20211317)资助。

作者简介:董英(1981-),男,正高级工程师,主要从事水工环地质调查研究。E-mail:dongy329@163.com。

* 通讯作者:刘洁(1980-),女,工程师,主要从事水工环地质调查研究。E-mail:xa.liujie@qq.com。

新时期新型城镇化建设、西部大开发、生态保护与高质量发展等国家战略对城市地质工作带来了前所未有的发展机遇,也对地质工作提出了更高要求,必须解决以下4个关键科技问题:①新时期城市地质工作面临转型发展,如何有效支撑服务城市绿色高质量发展。②如何破解重大地质环境问题,确保城市安全运营。③如何科学开展“双评价”,实现多规合一的国土空间规划新要求。④如何精准探测和科学评价地下空间资源,建立地质构造复杂区三维地质结构模型,推进地下地上空间协同利用和宜居城市建设(张茂省等,2014)。

中国地质调查局在西北部部署了丝绸之路境内段综合地质调查工作,西安地质调查中心组织实施了关中平原城市群综合地质调查、南疆生产建设兵团城镇地质调查、宁夏沿黄生态经济区综合地质调查、兰州-西宁经济区综合地质调查、西安多要素城市地质调查及延安革命老区综合地质调查等项目,引领地方开展了西宁、乌鲁木齐等省会城市开展城市地质调查工作,试图回答上述4个关键科技问题,并支撑服务城市规划建设。

1 中国城镇化进程与城市地质工作

人类刚刚进入文明时代是以小型群落为单元的,后来逐渐成为大型部落和原始村落,5 000年前开始发展为小型城镇。18世纪机械化的普及造成城市进程的加快,二战后发达国家城镇化快速发展,20世纪80年代后发展中国家城市化进程加快。

尽管中国汉、唐、元、明历代的都城辉煌,无论是都城选址,还是建设,都能顺应自然并或多或少地运用了地质学原理,但都谈不上真正的城市地质工作。1912~1949年,中国的地质工作主要是针对基础地质和矿产地质展开,真正的城市地质工作始于新中国成立。

建国以来,中国城镇化治理政策经历了从重视工业建设忽视城镇化建设,到明确提出城镇化战略的转变(钱七虎,1998)。大多数城市发展都经历了起步阶段(1950~1978年)、扩容阶段(1979~1999年)、快速发展阶段(2000~2017年)及提质阶段(2018年~)等4个阶段。各阶段城市发展对地质工作的需求不同,并受国家宏观政策的影响,对应的城市地质工作内容也不尽相同。依据城市发展阶段

将城市地质调查可划分为相应的专项调查阶段(1950~1978年)、水工环调查阶段(1979~1999年)、综合地质调查阶段(2000~2017年)和多要素城市地质调查阶段(2018~2025年)等4个阶段。

1.1 城市起步与专项调查阶段(1950~1978年)

1950~1978年是中国经济建设全面开展时期,城市建设处于起步阶段,城市地质工作是以解决制约城市发展的水资源为主,兼顾地基稳定性、地质灾害及环境地质问题开展的零星专项调查工作。1952年,第一次全国城市建设座谈会讨论了“城市建设管理机构的建立健全”、“城市规划的开展”等议题(王成善等,2019),对北方部分缺水城市(北京、西安、包头等)开展了以寻找地下水资源为目的的水文地质勘查、重点工程的工程地质勘查及环境地质和地质灾害调查。20世纪50年代是区域水文地质的开创时期,在基本完成中国区域水文地质普查之后,逐渐转入重点经济发展区,开展了重要城市地下水资源与环境水文地质评价。

在城市地质研究方面,尽管尚未形成城市地质学,但前苏联地质、水文地质和工程地质等理论与技术方法不断输入中国,为解决城市发展遇到的地质问题提供了理论与技术支撑,对中国城市地质科学的发展产生了深远的影响。

在城市地质队伍建设方面,20世纪50年代地质部成立以后,各省先后建立了水文地质工程地质专业队伍、有关的研究机构及地质院校等,为开展城市地质相关工作储备了必要的技术人才与专业化队伍。

1.2 城市扩容与水工环调查阶段(1979~1999年)

1979~1999年,国家把工作重心重新转移到经济建设上来,城市建设进入扩容阶段,现在的许多特大城市、大城市都是在这个时期奠定了坚实的基础。城市扩容阶段,城市规划对地质工作提出了新的要求,不再是单一的水资源问题,或重点工程的工程地质问题,也非零星的专项调查所能解决。以城市为中心的水工环地质调查全面展开,掀起了中国城市地质调查的高潮。完成了60多个城市供水水文地质勘查,以14个沿海城市为重点开展了水文地质工程地质综合勘查;这一阶段开展的水文地质、工程地质和环境地质调查比较全面系统,从以解决资源问题为主到资源与环境问题并重,并解决了重点城市典型环境地质问题;上海、天津、西安、苏州等城市的

地面沉降研究取得重要进展,部分城市还开展了区域地壳(或工程地质)稳定性评价工作,服务城市意识逐渐增强。不足之处:①调查范围偏小,勘查深度不足。②进入 20 世纪 90 年代,国家层面的城市地质工作处于低迷时期,岩土工程得到快速发展并在城市建设中发挥了重要的作用。

工业化的兴起兴盛和经济逐渐繁荣带动城市建设进入扩容阶段。城市扩容对城市地质学科发展提出了要求,这一时期,众多学者注重基础研究,在工程地质、岩土工程、水文地质、环境地质及矿山地质环境等方面出版了一系列的专著。虽然还没有形成城市地质学,但这个时期可以被认为是中国城市地质学的早期发展阶段或是萌芽时期。

在城市地质队伍建设方面,随着 20 世纪 80 年代水文地质普查的结束,各省水文地质工程地质专业队伍大都投入到服务于城市的水工环地质调查工作中,有关的研究机构及地质院校等也参与了相关的调查和研究工作,但尚未形成专门的研究体系。20 世纪 90 年代,随着国家地质勘查经费投入的锐减,城市地质工作者相当一部分转为岩土工程者。

1.3 城市快速发展与综合地质调查阶段(2000~2017 年)

2000~2017 年是中国经济发展和城市建设最快的时期,城市建设进入快速发展阶段,各级城市在这个时期都得到大规模发展。城市在快速发展的过程中暴露出一系列并非岩土工程所关注和所能解决的重大地质问题。20 世纪 80 年代完成的较为系统的水工环地质调查成果,无论是从城市范围、勘查深度,还是关注的问题及其对地质问题的认识上,都不能满足城市快速发展阶段城市规划、建设、运行及管理对地质工作的需求,服务城市发展的多学科、多门类联合的综合地质调查应运而生。

1999 年,中国地质调查局成立后,城市地质工作逐渐被重视,城市地质调查项目的数量和经费逐渐增大,调查的内容越来越广泛并趋于综合,服务城市 and 解决问题的意识愈来愈强。主要开展了 4 个方面的工作:①2004~2012 年,开展了全国 306 个地级以上城市地质环境资源摸底调查,初步查明了城市环境地质问题及地质资源状况。②2004~2009 年,完成了上海、北京、天津、广州、南京及杭州 6 个城市三维地质调查试点。③自 2009 年,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、秦皇岛及济南等 28 个城市地质调查工作。④2010 年以来,以城市群为单元,相继开展了京津冀、长三角、珠三角、海峡西岸、北部湾、长江中游、关中平原、中原及成渝等重点城市群综合地质调查工作。2016 年中国地质调查局设立了重要经济区和城市群综合地质调查计划,下设京津冀一体化协同发展区地质保障工程、长江经济带地质环境综合调查工程、海岸带综合地质调查工程、泛珠三角地区地质环境综合地质调查工程和丝绸之路境内段综合地质调查工程,部署了 44 个综合地质调查项目,是当代综合地质调查的代表。

2017 年是城市地质工作承上启下,实现重大转折的一年,城市地质工作从此进入新时代辉煌时期。城市地质工作第一次被写进国务院工作报告,原国土资源部出台了《关于加强城市地质工作的指导意见》,召开了全国城市地质工作会议,发布了《城市地质调查总体方案》(2017~2025 年),部署了雄安新区、西安、成都等城市的空间、资源、环境及灾害等多要素城市地质调查示范项目,提出了未完成城市地质调查不批准城市规划的要求。同时,打破专业界限,创新成果表达内容和方式,编制了北京城市副中心、雄安新区、京津冀和粤港澳大湾区等一系列国土资源与环境地质图集、对策建议报告,服务成效尤为明显。科技部设立了城市地下空间精细探测与安全利用技术重大科技研发项目。

1.4 城市提质与多要素城市地质调查阶段(2018~2025 年)

2018~2025 年是中国经济发展和城市建设的提质阶段,对应的城市地质工作主体为多要素城市地质调查阶段,同时完成全国地级以上城市 1:5 万基础性综合地质调查。

多要素城市地质调查就是以空间、资源、环境及灾害等要素为调查内容,以城市群、大中城市及小城镇多层次需求和问题为导向,开展服务规划、建设和运行、管理全过程的新型城市地质调查。在《城市地质调查总体方案(2017~2025)》中,提出该阶段的目标任务是:要聚焦城市规划、建设、运行和管理的重大问题,大力推进“空间、资源、环境、灾害”多要素的城市地质调查,开展重大科技问题攻关,搭建三维城市地质模型,构建地质资源环境监测预警体系,建立城市地质信息服务与决策支持系统。到 2025 年,着重推进 140 个中等以上城市的多要素地质调查,倾

力打造 25~30 个城市地质调查示范样板,创建多要素城市地质调查工作体系和技术标准体系。

多要素城市地质调查采取中央引导,地方和城市人民政府主导,多方联动,协同推进的工作模式。自然资源部代表中央主要负责制定推进城市地质工作的相关政策措施,统筹部署全国城市地质工作。中国地质调查局按照全国城市地质工作部署,主要开展城市行政辖区 1:25 万和规划建设区 1:5 万综合地质调查评价、重点城市多要素城市地质调查示范、编制城市地质调查技术规程规范和全国城市地质调查工作技术指导。各省(直辖市、自治区)自然资源厅及省政府相关部门主要负责组织开展辖区内公益性综合地质调查评价,制定省级地质资料汇交管理办法,统筹推进辖区内城市地质工作。各城市人民政府主要负责建立城市地质工作协调机制,推进城市地质资料汇交及共享与服务,制定城市地质成果服务政府管理的相关制度,构建城市地质三维结构模型,建立资源环境监测预警网络和城市地质可视化信息服务决策支持平台。相关建设单位主要开展商业性城市地质调查工作,汇交相关地质资料,承担相应监测防治责任。

城市总体规划、详细规划、建设和管理的不同阶段对空间、资源、环境和灾害等多要素城市地质调查的需求不同,对应的调查内容和精度要求也随之不同(李晓昭等,2019)。

在总体规划阶段,面向空间:①开展城市行政辖区 1:25 万自然资源综合地质调查,初步掌握区域自然资源状况、地质环境条件和资源环境问题,评价资源环境承载能力和国土空间开发适宜性,划定三条“红线”,提出国土空间规划优化与用途管制建议。②开展城市规划区 1:5 万综合地质调查,基本查明土地利用类型和三维地质结构条件。

面向资源:①在有供水前景的地区圈定水源地范围并设定保护区,地下水允许开采量应满足 C 级精度。②在地热富集区,圈定地热田范围,地热水可采资源量评价精度达到控制级。③进行浅层地热能开发利用适宜性分区,评价浅层地热能资源量。④在建筑石材等矿产资源分布区,开展矿产资源储量评价。

面向环境:开展城市规划建设区 1:5 万生态地质与水土质量调查,分区评价生态地质与土壤质量等级、地下水质量等级、湿地功能等级和地质遗迹等级。

面向灾害:开展城市规划建设区 1:5 万地质灾

害易发程度区划,划定基于地质灾害的城镇与重大工程禁建区。

在详细规划阶段,面向空间:主要开展 1:1 万综合地质调查,查明各建筑区块土地利用条件、地质条件和地下空间利用条件。面向资源:主要开展各建筑区块浅层地热能评价,统筹考虑地下空间开发利用,提出浅层地热能开发利用方案。面向环境:主要开展建筑区块 1:1 万生态地质与水土质量调查评价,确定生态保护对象与污染场地风险。面向灾害:主要开展规划建设区块 1:1 万地质灾害调查,评价地质灾害风险。

在建设阶段:面向空间:①提供拟出让地块的地表与地下空间利用状况、地质背景条件、建设控制指标等。②按照有关工程勘察规范,建设单位在工程建设区内组织开展土地测量和工程勘察。③竣工验收时,提交建设项目的工程勘察资料、工程设计及建设相关资料。

面向资源:①提供拟出让地块的地下水、地热水、浅层地热能、矿产资源状况与开发利用要求。②按照有关技术规范,建设单位根据资源开发和保护的需求,开展地下水水源地、地热资源和矿产资源的勘查评价。③竣工验收时,提交地下水、地热水、浅层地热能、矿产资源工程勘察资料和开发利用方案等相关资料。

面向环境:①提供拟出让地块的土壤、地下水、地质遗迹开发利用与保护要求。②按照有关技术规范,建设单位开展建设项目的生态地质环境影响评价。③竣工验收时,提交工程设施对土壤、地下水、地质遗迹的保护措施和监测承诺书。

面向灾害:①提供拟出让地块的地质灾害分布情况和地质灾害防治要求。②按照有关技术规范,建设单位开展建设项目的地质灾害危险性评估。③竣工验收时,提交地质灾害勘察、设计、施工和监理等资料,及地质灾害监测承诺书。

面向空间:在管理阶段要通过监测,实时掌握城市“三区四线”的控制情况,有效控制地下空间开发秩序。

面向资源:①通过监测,掌握地下水资源均衡状况、地热水开采情况和回灌效果、矿产资源开采情况。②根据极端干旱气候发生概率,制定地下水应急供水方案。

面向环境:①监测生态地质、土壤质量、地下水

质量及地质遗迹状况的变化。②开展生态地质、土壤和地下水突发污染事件风险点评估,制定应急调查和处置方案。

面向灾害:①通过群专结合、空天地一体化的监测预警网络建设,掌握地质灾害的实时变化。②提供编制城市规划区及相邻影响区地质灾害应急预案,建立地质灾害应急响应平台。

2 城市地质工作内容

2.1 城市地质工作模式

城市地质工作是服务性极强的地质工作,需要地方政府的积极配合。城市地质工作应当以“精准对接、精准实施、精准服务”3个精准为要求开展相关工作。

(1)精准对接,掌握需求。精准掌握城市对地质工作的需求,系统分析不同城市规划建设面临的主要资源环境地质问题。例如:中国地质调查局与延安市国土局等相关部门进行需求对接,中国地质调查局总工室、水环部、西安地调中心等部门参加调研,精准获取了延安市对地质调查工作的3项总体需求(张茂省等,2019):①服务民生保障,主要解决水和土壤污染现状与产生原因。②支撑城市有序建设,提前服务城市新区建设规划,提供空间承载力评价依据。③服务实现科学发展,提出如何依托资源优势,合理进行空间布局的建议。对接效果很好,延安市人民政府认为,中国地质调查局的调研是有史以来最为顺畅、最接地气的对接。体现了局党组对需求对接必须精准的要求,对后续的需求调研有一定启迪。

(2)精准实施,有效推进。城市地质工作的实施需要地方政府的精准配合,在政府部门的协同配合下,整合不同部门累计沉淀的地质资料,进行二次开发与集成。例如:延安市政府大力支持地质调查工作,采取现场办公的形式,夯实基层衔接,多次召开多部门协同联动的工作推进会。延安市发改委、国土局、水务局、农业局和旅发委等22个相关部门到会议现场办公,指定专人与项目组逐一进行落地对接,进一步掌握基层工作需求,建立了良好的沟通机制,及时解决野外调查与施工中遇到的问题,并及时提供了工作区基础数据。在西安市人民政府的协调下,与国土、规划、城建、地铁和人防等多部门合作,

整合各方资料优势,建立资料标准,收集累计4万余份各类资料,极大地减小主要实物工作量的投入,在城市规划建设运营各环节中直接纳入城市地质调查成果进行服务。

(3)精准服务,及时提交。项目实施期间,及时向地方政府汇报和移交阶段性成果,延安市政府多次召开专题会,逐项成果落实到各部门。

精准对接是地质工作部署的基础,只有在中央和地方在事权和责任达成高度一致的情况下,地质工作部署才有最强针对性,才能最优化部署方案;科学部署是地质工作实施的前提,在总结前人研究成果的基础上,充分消化已有地质资料,结合区域地貌特征,进一步梳理重大资源、环境问题,精准对接需求,科学部署地质项目,地质工作实施才能保障最强目的性,才能最优化预期成果。

精心实施是地质工作成果的保障,强有力的领导机构,全力精心分解实施项目总体目标,精心选择作业队伍,构建高效顺畅的协调机制,在实施任务时就与应用部门衔接,注重成果表达,做到落地生根,地质调查成果才能有更大的应用性,得到更好的应用。科技创新是城市地质工作的命脉,依靠科技创新推进综合地质调查工作,发现凝练科学问题,使地质工作聚焦科学问题,解决科学问题,才能使城市地质工作具备最大科技活力性。

2.2 城市地质工作精度

经济区和城市地质工作的比例尺应该根据城市规划和发展对地质工作的需求和存在的地质问题来决定,即因地制宜,针对不同的调查对象、面临或存在的问题及其严重程度,采取不同的比例尺。以关中城市群城市地质工作为例,采取了3个层次的比例尺。

第1层次是1:100 000~1:250 000区域地质调查。调查区范围为整个关中盆地,是一个完整的地质单元。工作方法是在充分收集和利用已有资料的基础上,采用遥感解译、野外核查和补充调查的方式。补充调查内容是在基础地质、水文地质、工程地质和环境地质等方面,针对以往资料中存在疑义、控制精度不够、认识或结论不清、发生明显变化和新出现的地质灾害和环境地质问题等开展补充调查。调查成果以区域地质环境条件和区域地壳稳定性评价、资源环境承载力评价与优化配置、宏观战略性咨询报告、区域性系列综合性和单因素图件及三维地质结构模型为主。

第2层次是1:50 000城市地质调查。调查区范围为西安市、咸阳市、宝鸡市、渭南市和铜川市等城市的建成区和规划区及未来将要形成的西咸新区。工作方法是在收集利用已有资料和遥感解译的基础上,采用以野外调查为主按1:50 000图幅逐步实施的方式。调查内容包括基础地质、水文地质、工程地质和环境地质等,调查的重点是以往资料中存在疑义、控制精度低、认识后结论不清、发生明显变化和新出现的地质灾害和环境地质问题等。调查成果以城市地质环境条件和区域工程地质稳定性评价、资源环境承载力评价与优化配置、城市发展咨询报告、城市系列综合性和单因素图件及三维地下水与地下空间地质结构模型为主。

第3层次是1:10 000~1:5 000,甚至更大比例尺地质灾害和地质环境问题专项调查。调查区范围为地质灾害和地质环境问题发生的区域或地段。工作方法以野外专项调查为主,并采用室内外实验、数值模拟等手段。调查内容包括地质灾害和地质环境问题形成条件、发育特征、成因机理、现状与发展趋势预测及防控措施等。调查的重点是发生明显变化和新出现的地质灾害和环境地质问题等。调查成果以地质灾害和地质环境问题专题研究报告和专题咨询报告为主。

2.3 城市地质工作深度

经济区和城市地质工作勘查深度应该根据经济区和城市的地质结构和需要解决的地质问题来决定,即因地制宜,针对面临或存在的地质问题及其所涉及的地质结构,采取不同的勘查深度。以关中城市群城市地质工作为例,主要采取了4个层次的4个勘查深度。

(1)盆地基底构造探测深度为4 500~7 000 m。旨在评价关中盆地地区地壳稳定性和地热资源,建立盆地基底构造模型;工作手段以资料收集与综合研究为主;资料收集内容主要包括各类深大物探剖面,地震的活动断裂,石油能源的勘探钻孔及测井数据,地热资源开发施工的地热井及测井数据等资料。

(2)第四系水文地质勘查深度为350~500 m。旨在建立盆地地下水系统模型,研究地下水富集与循环规律,评价地下水资源。工作手段是在收集已有资料的基础上,采取调查、物探、钻探、原位试验和实验测试等综合手段。

(3)城市地下空间工程地质勘查深度为100~

150 m。旨在查明城市地下空间开发利用所涉及的岩土体类型、工程地质性质及其空间分布,建立工程地质结构模型。工作手段以地面调查、工程地质钻探、原位实验和室内测试为主。

(4)包气带岩性结构勘查深度一般为0~50 m。旨在查明包气带岩性结构、表层土壤农业地球化学特征、包气带水分运移及土壤易污性能等。工作手段以地面调查、原位实验和室内测试为主。

3 关中平原城市群城市地质的应用

2010年以来,关中平原城市地质调查主要开展了3个方面工作:①开展1:50 000综合地质调查,查明区域环境地质条件和地质资源。②针对关中平原重大问题开展专题调查研究和综合研究。③建设地质环境综合监测网络、信息系统和服务平台,取得了一批珍贵的科学数据和5项创性成果。

(1)破解了制约城市发展的关键地质问题。从引起地面沉降的区域地壳下降、水位变幅带地下水位下降由饱和状态转化为非饱和状态、饱和带地下水位下降将地下水浮力转化为土颗粒附加应力、建筑荷载及开采井三维流区渗透变形等5个因素入手,揭示了西安地区地面沉降地裂缝形成与演化机理,构建了地面沉降地裂缝预警模型和基于地下水位管理的风险防控技术。在活动断层调查、物探与槽探的基础上,进一步查明了关中平原活动断裂发育分布特征及其活动性,揭示了活动断层上、下盘空间破坏概率,提出了国土空间开发中不同活动断层的安全避让距离,实现了从规划源头防控灾害风险。揭示了西安地区地下水动力场演化规律及其环境效应,统筹解决地下水位下降引起的地面沉降地裂缝和地下水位上升引起的黄土湿陷、砂土液化及地下空间浮力等地质环境问题,构建了基于地下水监测与调控的环境灾害风险防控技术,促进人地和谐。破解了关中平原城市群发展中面临的几个关键基础地质问题,明确关中裂陷形成时代及演化过程,重新厘定了关中平原第四系下限,推断了千年、百年一遇的历史洪水水位和最大年降水量。揭示了关中平原地质灾害成灾模式和典型重大地质灾害形成机理,形成了面向关中平原城市群国土空间规划与用途管制的地质灾害风险评价与区划图。

(2)建立了城市地质调查与评价技术方法体系。

建立了面向新型城镇化建设的城市地质调查技术方法;分析和明确了新时期城市地质工作的内涵与定位、基本思路、精度与深度等;提出了以需求为导向部署工作,以问题为导向选择工作手段与路径,采用地调与科研高度融合的城市地质调查技术方法;建立了城市地下空间精准探测-三维建模-资源评价一体化技术;建立了城市强干扰区地面物探、多参数测井、钻探及随钻监测组合的地下空间精细化探测技术;研发了多要素城市地质随机建模技术,建立了等效工程地质特性随机模型;提出了城市地下空间天然资源量、可利用资源量和可利用资源增量的概念,以及服务于总体规划阶段的基于负面因素的城市地下空间资源评价方法、服务于详细规划阶段的城市地下空间地质安全评价方法。提出了一套全新的“双评价”理论与技术方法。以人类活动带来的风险是否可接受及接受程度作为判别标准,提出资源环境容许承载能力和极限承载能力概念,从抓住关键因素、科学定量评价、阈值标准有据、结果可信适用的思路出发,构建了基于木桶-边际-风险的“双评价”和国土空间规划理论与技术方法。构建了1:5 000 000 区域远程和链式地质灾害风险识别、1:10 000 城区地质灾害风险识别、1:500~1:5 000 场地地质灾害风险识别等不同尺度地质灾害风险调查与评价技术方法。建立了复杂断陷平原基于块体的三维地质结构建模技术。建立了关中平原基底构造模型、第四系结构模型、水文地质结构模型和工程地质结构模型,实现了地上地下一体化飞行控制和三维分析功能。

(3)为城市绿色有序发展探明了一批自然资源。为关中平原城市群评价地下水可采资源为 $3.6 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,探明地下水水源4处:玉蝉、东大、渭南麦王;渭河漫滩的赤水河口可采资源量为 $8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。建立了陕西省地温梯度、热传导系数等参数查询表,以及地热运移数值模型和地热井取热解析公式,提出“取热不取水”的地热资源评价方法并评价关中盆地该模式的供热资源量为 $6.86 \times 10^{15} \text{ kcal}$ 。在关中平原圈定富硒土地30余处,总面积为 872.96 km^2 ,完成土地质量地球化学分区,其中优质土地占33.5%,良好占34.75%,中等占26.00%,差等和劣等仅占5.75%。发现地质遗迹点429处,其中具有价值的地质遗迹146处。将地质遗迹区域划分为3个地质遗迹景观带、10个地质遗迹景观亚带、22个地质遗迹景观区。对茂陵地区地下遗址及地下空间

进行了无损探测,解析了汉武帝陵地宫的位置、规模及墓室等结构信息,摄制15分钟宣传片虚拟再现了汉武帝陵地宫,显著提升了旅游产品品质。查明了关中平原绿色天然建材场12处,其中石材为 $320 \times 10^4 \text{ m}^3$ 、石料为 $24.35 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、制砖黏土为 $3 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、砂石 $7\,780 \times 10^4 \text{ m}^3$ 等。

(4)建立了城市地质大数据库和三维地质结构模型。系统搜集、标准化和整合了以往钻孔和物探资料,构建了关中平原地质大数据库。搜集了已有地质勘察资料2 487卷,整理录入钻孔信息28 083个,整理录入地层信息192 510条。优化完善了关中平原地质环境监测网。主要依托基岩地质图和物探资料,建立了基于块体的关中平原基底结构模型。建模共考虑18条断层,其中控盆断层共计3条,控单元断层共计5条,一般断层共计10条。应用“分块镶嵌”方法建立的关中平原新生界三维地质结构模型。模型直观表达了构造控制下新生代地层的沉积特点。建立了关中平原水文地质结构模型,模型涵盖了第四系松散岩类孔隙含水岩组、寒武—奥陶系碳酸盐岩岩溶含水岩组、基岩裂隙含水岩组3大类含水岩组。建立了西咸新区工程地质结构模型,根据区域内控制性断裂将研究区划分为I、II、III、IV等4个建模单元区,利用工程地质钻孔资料分别进行地层插值,形成各个建模单元内的工程地质层面模型。

(5)成果得到及时转化与应用,支撑服务成效显著。与陕西省、西安市和关中平原地级市主管部门保持持续需求对接,统筹部署,省、市主管部门领导深入参与项目的设计评审、野外验收、成果交流,掌握工作进展和主要成果,随时提出需求,项目组及时提供资料和技术服务。在中国地调局-西安市政府签订合作协议的基础上,西安地调中心与西安市规划局、建委、国土局签订四方协议,形成了规划部门牵头,西安地调中心技术支撑的城市地质工作多方联动机制。做到了中央-地方-城市地勘资金共同部署,资料共享,协同推进,项目组成果及时提交,有效支撑服务。编制并提交了《支撑服务西咸新区地质调查报告》,提出规划建设需要关注的7大自然资源环境条件和7个重大地质问题,据此优化了西咸新区主体功能规划。编制了《丝绸之路经济带资源与环境图集》包括丝绸之路经济带7张,国家级经济区42张,主动服务丝绸之路经济带规划和建设。应地方政府邀请,解决重大地质问题。针对2018年底地

面沉降回弹,危及地铁三号线运营安全问题,项目组及时跟进,科学地分析了地面回弹的原因,精准预测了发展趋势,为地方政府部门和地铁办提供了科学的咨询意见。实施的8眼水文地质探采结合井,及时移交地方政府和当地群众,探采结合井总出水量为1.7万 m^3/d ,可灌溉耕地面积2000余亩,解决供水人口约5000人,有效服务了当地群众和经济社会发展。

(6)总结了城市地质调查项目组织实施经验。梳理重大需求和关键地质问题,以需求和问题为导向,做好顶层设计是项目高质量运行的前提条件。系统搜集已有资料,编制水文地质、工程地质、环境地质等草图,发现存在问题,是提高填图针对性和效率的有效途径。建立健全严格的质量管理责任制和检查制,并将经常性检查贯穿于项目的整个实施过程是保障项目质量的基本措施。注重业务培训和人才培养,建立专业结构合理、凝聚力强、快速高效的地质创新团队是实现项目成果目标的根本保障。中央引导、地方主导、产学研政企协调参与等多方联动,形成合力是推进项目顺利实施,成果及时转化应用的主要抓手。地调与科研高度融合,围绕关键科技问题申报国家五大平台科技项目是深化地质调查认识、破解重大地质问题和建设创新团队的关键。

4 西北地区城市地质工作存在的问题与发展趋势

4.1 存在的问题

(1)先进理念落实不够。五大发展理念,以及以人民为中心、人地和谐共生、主动超前服务城市发展等理念在城市地质工作体现不够。

(2)体制机制不够完善。除上海等极少数城市外,规划、建设、国土等部门分设,尚未建立与新时代城市地质工作相适应的城市地质工作体制,导致城市地质调查与城市规划结合不紧密;缺乏城市地质工作的规范性文件,尚未将城市地质工作纳入城市管理主流程,城市地质工作经费没有纳入城市财政预算;城市地质工作缺乏统筹部署,缺乏城市地质信息资料汇交共享机制和持续动态更新机制。

(3)尚未形成独立的学科。目前还停留在运用基础地质、水文地质、工程地质、岩土工程、环境地质、地球化学及地球信息科学等理论和技术方法来解决城市发展中的地质问题,尚未形成独立的地学与城市学

交叉的城市地质综合性学科,没有建立完整的城市地质理论与技术方法体系(夏吉祥等,2013)。

(4)工作内容不完全适合。由于未形成地学与城市学交叉的城市地质学,导致城市地质工作侧重地质思维,不能很好地站在城市规划、建设、运行、管理的角度全面地策划和实施城市地质工作,造成城市地质调查内容与城市发展需求不尽一致,调查评价结果实用性较差(张茂省等,2018)。

(5)精细化探测技术不成熟。常规的地球物理勘探方法在城市多场干扰环境下难以精细化精准地探测地质结构和地下空间(王化齐等,2019)。

(6)三维建模技术不成熟。各行业及行业内部都在各自为政,低层次重复开发,尚未研发出行业公认的、可在全国推广应用的、功能强大的城市三维地质建模技术和平台(宁国民等,2006)。

(7)评价理论与计算方法不够完善。针对地下空间、资源环境承载能力、国土空间适宜性、区域地壳稳定性及地质灾害风险等评价的理论与技术方法尚不够完善,缺乏科学统一定量化的评价方法和评价阈值。

4.2 未来发展趋势

当前全球性的城镇化具有2个不同的发展趋势:①随着交通和信息网络的不断扩大和便捷,让城市居民不必仅仅生活在城市的核心区,而是向城市周边进行扩展,带来人口的迁移和产业的疏散。②随着经济全球化程度的不断加深,大城市拥有更多的发展机会,从而出现城市聚集的现象,表现为更多的人和良好的资源都聚集大城市,使大城市,甚至超大城市数量进一步增多。

到2050年,全世界城市人口总数将相当于一个世纪前的全世界人口,整个世界将成为一个城市化的世界。届时中国城市数量将增加到800个左右,中小城市发展最为迅速,很多农村将转型为城市,或者成为附近城市的一部分,大量人口进入城市生活。在城市规模不断扩大和大城市数量不断增多的过程中,若不处理好人地和谐共生问题,就会出现过渡城市化问题或城市病,并面临城市环境风险和自然灾害。面向2050年的城市地质工作充满了前所未有的机遇和挑战,创新驱动是解决未来城市地质面临的各类问题的唯一途径(Bobylev,2009)。

(1)从哲学和中华理性思维的角度创新思考城市高质量发展与地质生态安全问题。树立创新、协

调、绿色、开放、共享五大发展理念,以及以人民为中心、人地和谐共生、城乡融合、主动超前服务等新理念,并落实到城市地质工作的方方面面和各个环节,促进安全、绿色、文明、宜居、智慧城市建设。

(2)创新与城市发展要求相适应的城市地质管理体制和工作机制。改革和捋顺城市地质管理体制,出台相关规范性文件,将城市地质工作纳入城市规划建设管理的主流程,实现城市地质工作的统筹部署和经费保障。聚焦城市规划、建设、运行、管理过程中的重大问题,构建中央引导、地方主导的多方联动机制,分类推进城市地质调查评价工作。在“数字地球”、“智慧城市”、移动互联网及人工智能的日益发展背景下,构建城市地质信息资料汇交共享机制和持续动态更新机制,提升城市地质工作服务新时代城镇化建设的能力和水平。

(3)创建城市地质学科和城市地质专业队伍。构建地质学与城市学交叉的独立城市地质二级学科,形成完整的城市地质理论与技术方法体系。在大学设立城市地质专业,培养城市地质专业人才。在国家和地方相关机构分别设立城市地质调查和研究部门,建立城市地质专业队伍,创建城市地质科技创新平台。

(4)拓展城市地质调查评价内容,全方位精准支撑服务国土空间规划与用途管制。指导理论从地球科学转变为地球系统科学;工作区范围从城市规划建设区拓展到整个城市群,甚至其所在的自然单元;服务对象从服务城市规划建设转变为服务城乡融合,城乡一体化的国土空间规划与用途管制,涵盖服务小城镇建设和乡村振兴战略,构建以城市群为主体、大中小城市和小城镇协调发展的城镇格局;调查内容从综合地质调查转变为地下与地上空间协调利用条件调查、多门类自然资源综合调查、生态环境问题调查及地质灾害调查;评价内容从综合地质评价转变为自然资源及其开发利用程度、地质环境安全条件、资源环境承载能力评价、国土空间适宜性评价,更加注重资源环境问题的快速识别与资源环境承载能力的智能评价,及时调整和优化国土空间规划,推动资源协同利用和城市绿色发展。

(5)创新城市干扰环境下精细化探测与监测技术,破解大城市面临的环境风险和自然灾害。创新地球物理、钻探、遥感和监测等精细化探测与监测技术方法,在城市多场干扰环境下,精准获取地质结构

和地下缺陷信息,支撑服务城市地下空间开发和安全利用。密切关注新构造运动活跃、地震发育的城市群和大中城市,加强地质环境综合监测和预警研究,加强区域工程地质或地壳稳定性研究,规避在发生突发地质灾害时造成的巨大人员伤亡和财产损失。

(6)打造全球通用的三维建模技术,支撑引领智慧城市建设。各国都在研发三维地质建模技术,但目前尚无国际公认的城市三维地质建模技术和平台(Hunt et al., 2016)。全球化需要领头羊和领导者,未来的美国和西方国家城镇化业已完成,在城市地质方面不再扮演领导者,中国有动力,也有能力作为领导者研发全球通用的三维地质建模技术,为世界提供全球公共品,支撑引领未来国际智慧城市建设。

5 结论与建议

城市地质工作已经成为城市规划建设管理运营不可或缺的支撑性地质工作,也是地质工作转型升级的重要方向。城市地质调查工作内容非常繁杂,涉及资源、环境、灾害及空间多维要素,城市规划建设不同阶段对城市地质工作的精度和深度要求不一。整体上1:5万城市地质工作可支撑城市总体规划;1:2.5万及更大比例尺地质工作可支撑城市详细规划阶段;1:1万更大比例尺精度及专项调查工作可支撑城市建设阶段。城市地下空间资源调查评价和安全开发利用是建设“地上、地下”两个城市未来发展的重要方向,需要创新地下空间探测的技术方法,建立地下空间管理办法。

加强示范引领,统筹协调。建议地方政府将城市地质工作纳入城市管理,高度重视城市地质工作对城市规划建设管理运营的支撑作用。联合攻关,通过中央财政与地方财政的共同投入,统筹自然资源与规划、城建、人防、地铁等多部门协同攻关,开展空间、资源、环境、灾害多要素城市地质调查。建立城市地质工作平台,包括形成一套数据标准,通过对已有资料分析,参照国家和行业相关标准规范建立一套完善的城市地下空间资源信息数据标准体系;建立一个大数据库,通过地质调查、地下空间普查、已有资料收集整理形成一套完善的、权威的、标准化的、及时性强的城市地下空间资源信息数据体系,并建立地下空间资源信息大数据库;搭建一个平台,基

于目前成熟的大数据、云计算和互联网技术,建立大西安地下空间资源信息管理和应用服务平台,为政府管理和决策提供高效的网络化数据和功能服务;并为“智慧西安”建设提供支撑,建立一套数据更新机制。通过项目建设和城市发展规划要求,建立一套合理高效的城市地下空间资源信息数据更新机制,保证数据及时性。

建议“中央引导、地方主导”,协同攻关,联合开展新阶段西北特大城市地质安全风险调查评价。建议开展城市水资源安全保障、活动断裂调查、黄土湿陷、城市地面塌陷、地面沉降地裂缝、垃圾填埋及城市内涝等风险调查评价与管控研究,建立“地上、地下”两个城市空间地质大数据平台。打造“地上、地下”两个城市空间,充分利用西北地区城市良好的地下空间资源禀赋,高效合理开发地下空间。在梳理城市地下空间开发面临的文物保护、地面沉降、地裂缝、地面塌陷等负面清单的基础上,研究多组合的地下空间稳定性评价,科学合理规划交通、物流、人防、基础设施地下空间建设方案。

致谢:谨以此文庆祝中国地质调查局西安地质调查中心成立60周年。

参考文献(References):

- 张茂省,董英,刘洁.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),2014,50(5):581-587.
- ZHANG Maosheng, DONG Ying, LIU Jie. Discussion of Urban Geological Work in New Urbanization [J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 2014, 50(5): 581-587.
- 钱七虎.城市可持续发展与地下空间开发利用[J].地下空间,1998,18(2):69-74.
- QIAN Qihu. Sustainable Development of the Cities and the Development and Utilization of Underground Space[J]. Underground Space, 1998, 18(2): 69-74.
- 王成善,周成虎,彭建兵,等.论新时代我国城市地下空间高质量开发和可持续利用[J].地学前缘,2019,26(3):001-008.
- WANG Chengshan, ZHOU Chenghu, PENG Jianbing, et al. A Discussion on High-quality Development and Sustainable Utilization of China's Urban Underground Space in the New Era[J]. Earth Sciences Frontiers, 2019, 26(3): 001-008.
- 李晓昭,王睿,顾倩,等.城市地下空间开发的战略需求[J].地学前缘,2019,26(3):032-038.
- LI Xiaozhao, WANG Rui, GU Qian, et al. Prediction of Strategic Demand of Urban Underground Space Development[J]. Earth Sciences Frontiers, 2019, 26(3): 032-038.
- 张茂省,李同录,程秀娟,等.山区城市地下空间资源评价与开发利用模式——以延安市为例[J].山地学报,2019,37(3):303-315.
- ZHANG Maosheng, LI Tonglu, CHENG Xiujuan, et al. Evaluation of Underground Space Resources in Mountain Cities and Their Development Models-Taking Yan'an City as an Example[J]. Mountain Research, 2019, 37(3): 303-315.
- 夏吉祥,杨志刚,王海英.城市地下空间工程信息数据库结构的研究与建立[J].地下空间与工程学报,2013,9(3):469-476.
- XIA Jixiang, YANG Zhigang, WANG Haiying. Research and Setup of the Information Database Structure for Urban Underground Space Project [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2013, 9(3): 469-476.
- 张茂省,王化齐,王尧,等.中国城市地质调查进展与展望[J].西北地质,2018,51(4):1-9.
- ZHANG Maosheng, WANG Huaqi, WANG Yao, et al. Progress and Prospect of Urban Geological Survey in China[J]. Northwestern Geology, 2018, 51(4): 1-9.
- 王化齐,董英,张茂省.西安市地下空间开发利用现状与对策建议[J].西北地质,2019,52(2):46-52.
- WANG Huaqi, DONG Ying, ZHANG Maosheng. Present Situation and Countermeasures for the Underground Space Utilization in Xi'an City[J]. Northwestern Geology, 2019, 52(2): 46-52.
- 宁国民,陈国金,徐绍宇,等.武汉城市地下空间工程地质研究[J].水文地质工程地质,2006,33(6):29-35.
- NING Guomin, CHEN Guojin, XU Shaoyu, et al. Engineering Geological Research on The Underground Space of Wuhan City[J]. Hydrogeology and Engineering Geology, 2006, 33(6): 29-35.
- Bobylev N. Mainstreaming Sustainable Development into a City's Master Plan: A Case of Urban Underground Space Use [J]. Land Use Policy, 2009, 26(4): 1128-1137.
- Hunt dvl, Makanalo, Jefferson I et al. Liveable Cities and Urban Underground Space [J]. Tunneling & Underground Space Technology Incorporating Trenchless Technology Research, 2016, 55:8-20.