

窦衍光, 印萍, 陈斌, 等. 滨海基岩城市地质调查成果应用探索与理论技术创新——以青岛市为例[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(9): 1-9.

# 滨海基岩城市地质调查成果应用探索与理论技术创新 ——以青岛市为例

窦衍光<sup>1,2</sup>, 印萍<sup>1,2</sup>, 陈斌<sup>1,2</sup>, 薛碧颖<sup>1,2</sup>, 王蜜蕾<sup>1,2</sup>, 邹亮<sup>1,2</sup>, 胡睿<sup>1,2</sup>, 徐刚<sup>1,2</sup>, 岳保静<sup>1,2</sup>,  
宋维宇<sup>1,2</sup>, 林曦<sup>1,2</sup>, 董杰<sup>3,4</sup>, 付佳妮<sup>3,4</sup>, 徐锐<sup>3,4</sup>, 何松<sup>5,6</sup>, 林琴岗<sup>5,6</sup>

(1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266071; 2 青岛海洋科学与技术试点国家实验室海洋矿产资源评价与探测技术功能实验室, 青岛 266237; 3 青岛地质工程勘察院(青岛地质勘查开发局), 青岛 266100; 4 自然资源部滨海城市地下空间地质安全重点实验室, 青岛 266100; 5 青岛市勘察测绘研究院, 青岛 266033; 6 青岛岩土工程技术研究中心, 青岛 266033)

**摘要:**城市地质工作是未来地质工作的重要发展方向, 已成为城市规划建设和经济社会发展的重要基础支撑。系统阐述了青岛市城市地质工作定位、服务成效、理论和技术创新以及未来青岛城市地质工作战略思考。2018 年以来, 中国地质调查局组织实施的青岛多要素城市地质调查项目, 在服务青岛市国土空间规划、重大工程建设规划论证、海岸带生态环境保护与修复、自然资源管理中心工作等方面成效显著, 并实现了滨海基岩城市地质调查理论与技术的创新。强化城市地质服务经济社会发展的先行性作用, 加强监测预警与实现多网融合, 有效解决与城市发展和城市居民生活密切相关的重大地质问题, 是青岛城市地质调查未来发展方向。

**关键词:**城市地质调查; 滨海基岩城市; 国土空间规划; 地下空间资源; 青岛

中图分类号: P736.21

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2021.122

## 0 引言

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全过程。做好城市地质调查工作, 对统筹城市地上地下建设、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、解决大城市病等具有重要意义<sup>[1-2]</sup>。我国的城市地质工作始于 20 世纪 50 年代, 先后经历了单要素调查阶段、水工环调查阶段<sup>[3-5]</sup>、综合性多要素城市地质调查阶段<sup>[6-7]</sup> 3 个主要阶段。2018 年起, 为更好地服务国家新型城镇化战略和生态文明建设, 自然资源部大力推进多要素城市地质调查, 选择成都、青岛、延安、杭州等 16 个不同类型城市作为试点, 打造城市地质工作 3.0 升级版。多要素城市地质调查以城市规划、建设、运行、管

理为服务对象轴, 以空间、资源、环境、灾害等为调查要素轴, 梳理城市地质调查工作的主要内容和精度, 根据不同需求设计针对性的服务产品, 解决城市规划建设中不同发展阶段的关键地质问题<sup>[1]</sup>。青岛多要素城市地质调查通过 3 年的工作, 在调查成果应用服务方面成效显著, 推动了滨海基岩城市地质调查理论、技术、方法的创新, 具有重要的示范性意义。

## 1 青岛市城市地质工作定位与现状

### 1.1 青岛市城市地质工作定位

青岛多要素城市地质工作在调查过程中始终坚持“问题和需求导向、针对性调查”的工作定位, 依据中国城市地质调查总体构想的思路<sup>[3]</sup>, 选择主城区、西海岸新区、蓝色硅谷、红岛经济区、青岛上合示范区, 以及近海海岸带等城市规划的重点区域开展工作, 统筹地上与地下、陆域与海域、资源与环境(表 1)。目前, 青岛市城市规划区不同区域处于不同发展阶段, 功能定位、面临问题、发展需求各不

收稿日期: 2021-03-28

资助项目: 中国地质调查局“重要经济区和城市群综合地质调查”工程二级项目“青岛多要素城市地质调查”(DD20189230)

作者简介: 窦衍光(1979—), 男, 博士, 研究员, 主要从事海洋地质方面的研究工作。E-mail: douyanguang@gmail.com

相同,因此,工作部署的重点有差异。主城区处于城镇化后期,属于稳定发展阶段,在青岛市功能定位上为优先发展区,但土地资源紧张、地下空间开发地质安全、水土污染等问题比较突出,城市布局优化、重大地质问题防范需要加强;西海岸新区处于城镇化中后期,属于快速发展阶段,在功能定位

上为国家级新区,但面临水资源紧张、地质灾害、水土污染等问题,亟需资源合理利用,合理编制城市规划;青岛上合示范区、蓝谷、红岛经济区等城市新区,处于城镇化发展中期,属于加速发展阶段,在功能定位上为国家级、省级重点发展区,但面临海水入侵、软土发育、水土污染等问题。

表1 青岛市城市地质重点调查区定位与工作重点

Table 1 Location and focus of key urban geological survey area in Qingdao

区位	主城区及近海海岸带	西海岸新区	青岛上合示范区、蓝谷、红岛经济区
发展阶段	城镇化后期 稳定发展阶段	城镇化中后期 快速发展阶段	城镇化中期 加速发展阶段
功能定位	优化发展区	国家级新区	国家级、省级重点发展区
面临问题	土地资源紧张 地下空间开发地质安全 水土污染	水资源紧张 地质灾害 水土污染	海水入侵 水土污染 软土发育
发展需求	规划布局优化调整 重大地质问题防范 环境提升	合理编制规划 灾害防治 资源合理利用	规划布局制定 绿色能源开发利用
工作重点	地下多种资源协同 关键带水体环境 旧城改造区地下空间	地质结构调查 地质灾害调查 水土质量调查	地质结构调查 资源综合调查 水土质量调查

## 1.2 青岛城市地质工作历史与现状

青岛市与城市地质相关的工作始于1970年代,主要是20世纪70、80年代完成的1:20万水文地质普查工作。此后,先后完成了1:25万水文地质调查、1:10万水文地质、工程地质调查。2000年以来,青岛市城市地质工作主要以服务城市建设地质适宜性、生态环境保护与经济可持续发展的各类专题调查为主。以往的工作取得了大量地质成果资料。

中国地质调查局2018—2020年部署实施的“青岛多要素城市地质调查”项目,打破了专业的概念,围绕城市规划、建设、运行、管理过程中的重大问题,从空间、资源、环境、灾害、生态5个方面出发,采用多种新技术、新手段开展综合性调查。截止到2020年年底,青岛多要素城市地质调查项目完成了1:5万环境地质调查1274 km<sup>2</sup>、1:2.5万工程地质调查294 km<sup>2</sup>,同时,完成了重点农田区和生态区土地质量地球化学调查1000 km<sup>2</sup>,重大基础设施和工程规划建设区地下结构高精度探测、陆海统筹海岸带地质调查、地下水应急后备水源地补充调查等专题性工作,取得了丰硕的成果。

## 2 青岛市城市地质调查成果应用探索

青岛多要素城市地质调查项目积累了大量的基础地质、土工环地质等各类地质调查数据、地质环境监测数据,调查成果已为青岛市国土空间规划、重大工程建设规划论证、海岸带生态环境保护与修复、自然资源管理中心工作等提供重要的支撑服务。

### 2.1 支撑服务青岛城市规划建设

#### 2.1.1 服务国土空间规划编制

青岛多要素城市地质调查项目基本查明主城区、蓝色硅谷、红岛经济区、古镇口、青岛上合示范区等5个城市重点规划区的地下空间、矿产与地下水资源、水土环境、地质灾害现状,提出了重点规划区国土空间规划地学建议,为青岛市规划部门开展资源环境承载力、国土空间开发适宜性“双评价”提供重要基础数据(图1)。同时,编制完成《青岛市自然资源与地质环境图集》和《支撑服务国家(青岛)古镇口核心区规划建设地质环境图集》,精准服务支撑《青岛市国土空间规划(2020—2035)》的编制和“三区三线”划定。

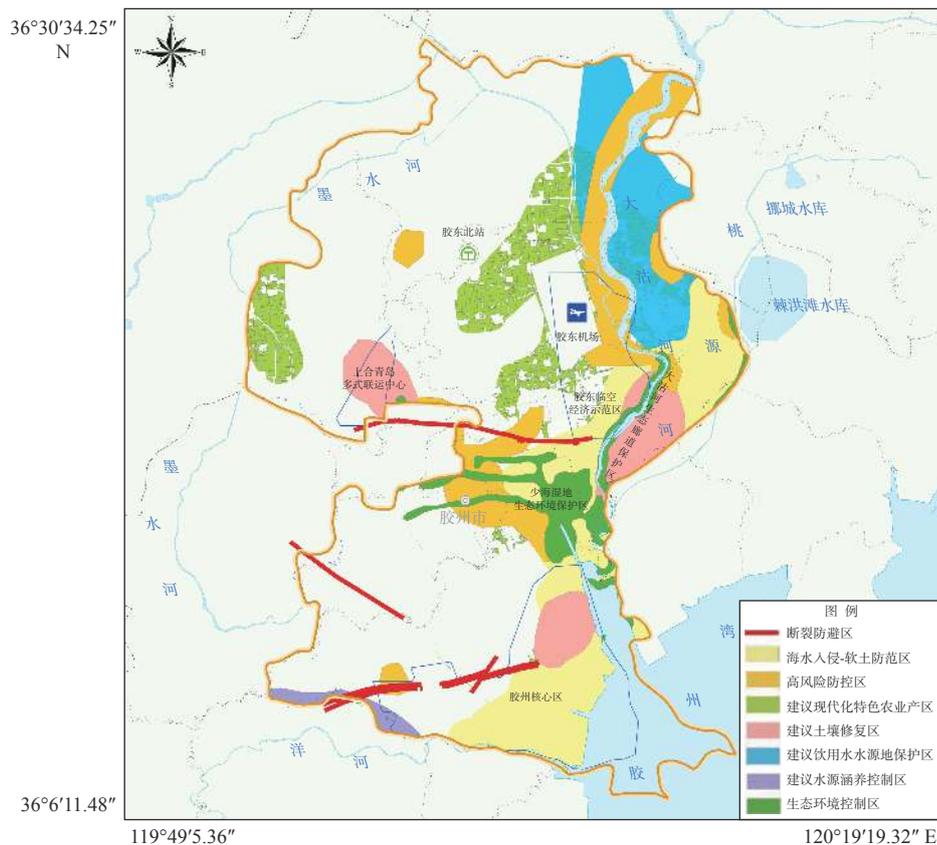


图 1 青岛上合示范区国土空间规划地质建议

Fig.1 Geoscience suggestions for land and space planning of Shanghai Cooperation Organization Demonstration Zone, Qingdao

调查发现,青岛上合示范区北部大沽河水源地面积约  $98.23 \text{ km}^2$ ,可开采资源总量  $22.09 \text{ 万 m}^3/\text{d}$ ,建议规划为饮用水源地保护区;少海国家湿地公园、大沽河生态廊道的森林资源和河流湿地面积共计  $45.52 \text{ km}^2$ ,建议规划为生态环境控制区;胶东临空经济区周边及上合青岛多式联运中心西侧一带绿色优质耕地、园地占地总面积  $339.88 \text{ km}^2$ ,建议规划为现代化特色农业产区。大沽河下游及胶州核心区西侧沿岸区域海水入侵面积约  $124.69 \text{ km}^2$ ,软土面积  $74.72 \text{ km}^2$ ,需加强防范;上合青岛多式联运中心、大沽河下游重金属污染区建议进行土壤修复;五里堆断裂(F1)、北西向(F2)断裂和洛戈庄断裂(F3)需加以防避。

#### 2.1.2 服务于地下空间规划利用

基于高精度 DEM 数据、地质图、产状、钻孔和剖面等地质资料,构建了青岛市全域、重点调查区、示范区等多尺度地下空间三维地质模型。在此基础上,根据主要工程地质条件、含水层的分布情况及现有地下空间开发利用的技术条件,分别对主城区、古镇口、红岛经济区等重点区域浅层(0~15 m)(图 2)、次浅层(15~30 m)、深层(30~100 m)4 个

深度范围开展开发利用适宜性进行评价,为地下空间开发利用和保护提供重要依据。为支撑服务地下空间安全利用,对青岛市基岩地下空间氡放射性评估,研究发现,青岛市不同岩性氡释放能力:土壤层 > 沉积岩 > 岩浆岩 > 变质岩,青岛市花岗岩氡浓度平均值为  $1.91 \text{ KBq/m}^3$ ,高于《地下建筑氡及其子体控制标准》GBZ116—2002 中规定标准值( $0.4 \text{ KBq/m}^3$ ),青岛市地下空间开发应及时检测氡气浓度,对于氡浓度超标的地下空间,需采取必要的降氡措施。

此外,在充分收集资料基础上,基于大量数据,编制完成《支撑服务青岛城市规划区地下空间综合利用地质建议报告》,对青岛城市规划区(主城区、蓝色硅谷、红岛、西海岸新区、上合示范区,面积共  $3923 \text{ km}^2$ )开展了 0~15 和 15~30 m 地下空间可开发利用资源量( $\text{km}^2$ )评估。经计算,青岛城市规划区 0~15 m 可充分开发  $2720 \text{ km}^2$ ,占总面积 69.33%,15~30 m 地下空间可充分开发面积  $3056 \text{ km}^2$ ,占总面积 77.88%。

## 2.2 支撑服务重大工程规划论证

### 2.2.1 服务胶州湾第 2 条海底隧道规划论证

沧口断裂(压扭性)的次生断裂是影响胶州湾

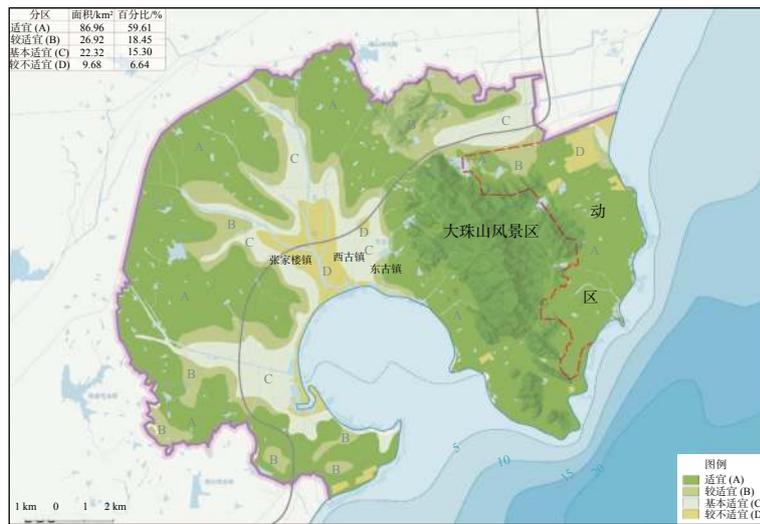


图2 古镇口浅层(0~15 m)地下空间适宜性进行评价

Fig.2 Suitability evaluation of shallow underground space (0-15 m) in Guzhenkou

第2条海底隧道规划的卡脖子地质问题,其性质、与周边岩层的接触关系未探明或识别不清,隧道施工中可能发生突涌水、塌方等灾难性事故,存在潜在巨大的工程风险。项目利用海域多波束测深、单道地震、钻探、实验测试等综合调查方法,对关键界面的性质取得重要认识。在疑似断裂F7所在位置的2个钻孔锆石U-Pb同位素定年的花岗岩年龄在 $121 \pm 2$  Ma左右,与青岛地区花岗岩年龄一致;花岗斑岩 $778 \pm 10 \sim 792 \pm 8$  Ma之间,这一年龄与青岛地区花岗岩体中的新元古代捕虏体年龄一致。两孔中花岗斑岩与花岗岩为同一岩体,花岗斑岩捕虏体磁力异常。青山群地层与下伏侵入岩为沉积接触关系,而非断层(图3)。疑似断裂F7所在位置沉积岩、火山岩为青山群地层,西南向超覆于花岗斑岩接触面上,是胶莱盆地在胶州湾海域的东南边界,东北向超覆于沧口断裂带,沧口断裂带东部花岗岩为燕山期花岗岩。判断胶州湾海域隧道规划区疑似断裂F7不是全新活动性断裂,

此工作为青岛市地下空间开发重大工程规划论证提供重要依据。

### 2.2.2 服务青岛市前海沿线地下交通规划论证

精细识别前海沿线地下交通工程规划路线重要地质问题,为前海沿线地下交通工程规划论证的高精度探测数据。前海沿线主要发育北东向的劈石口断裂、王哥庄断裂、青岛山断裂以及北北西向的山东头断裂。三分量谐振探测发现,前海沿线存在疑似断裂54条,包括劈石口断裂(主干断裂、次级断裂9条)、王哥庄断裂(主干断裂、次级断裂5条)、青岛山断裂、山东头断裂等(图4)。前海沿线第四系沉积层厚度介于0~28 m,平均厚度约2 m,自西向东整体逐渐变薄。强风化带厚度介于0~35 m不等,其较厚区主要分布于断裂破碎带内。中风化带厚度介于0~20 m不等。微风化带顶界面埋深在2~50 m范围内。前海沿线发现疑似地下排洪暗渠7处;疑似地下停车场3处,疑似地下空间2处。

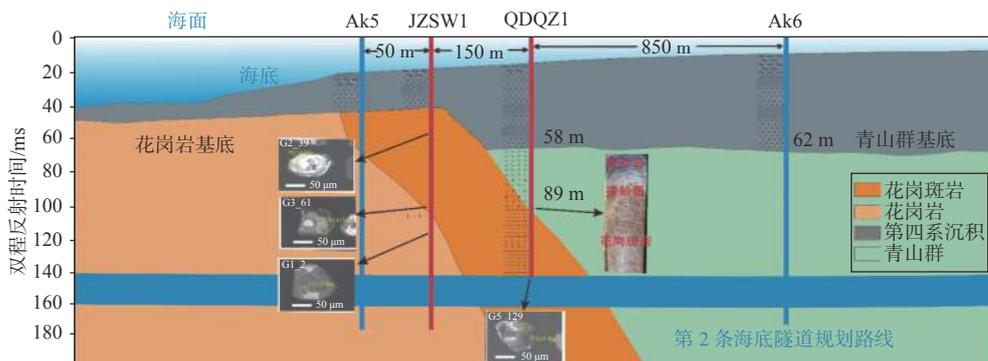


图3 青山群地层与下伏侵入岩的沉积接触关系

Fig.3 Sedimentary contact relationship between the Qingshan group strata and the underlying intrusive rocks

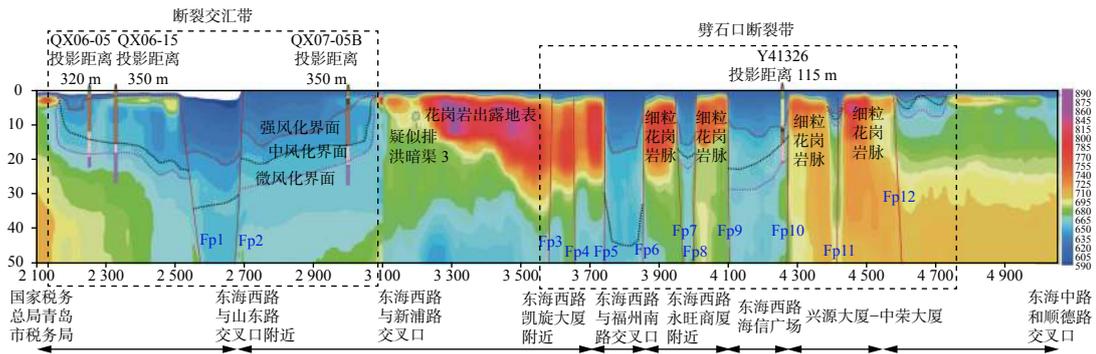


图 4 青岛市前海沿线典型三分量谐振剖面

Fig.4 Typical profile of three component resonance along forehead in Qingdao

### 2.3 服务海岸带生态环境保护与修复

胶州湾生态环境一直是备受关注的问题。调查发现胶州湾面积逐年萎缩,存在土壤水质污染、海水入侵、软土发育等生态和环境地质问题突出(图 5)。水域面积由 1928 年的 560 km<sup>2</sup> 萎缩至现今 370 km<sup>2</sup>;自然岸线由 1963 年的 170 km 急剧减

少至现今 22 km; 2019 年大沽河下游地下水超采漏斗面积达 189 km<sup>2</sup>;胶州湾海岸带地下水水质以 IV 类为主;胶州湾海域 2019 年 I、II 类海水所占比例为 74.8%。环胶州湾土壤盐渍化面积约 31.2 km<sup>2</sup>;胶州湾海域表层沉积物以 I 类为主,重金属高值区主要出现在大沽河口、海泊河和李村河口等北、东部河口及近岸海域,沉积物质量多数为 II 类, Cr、

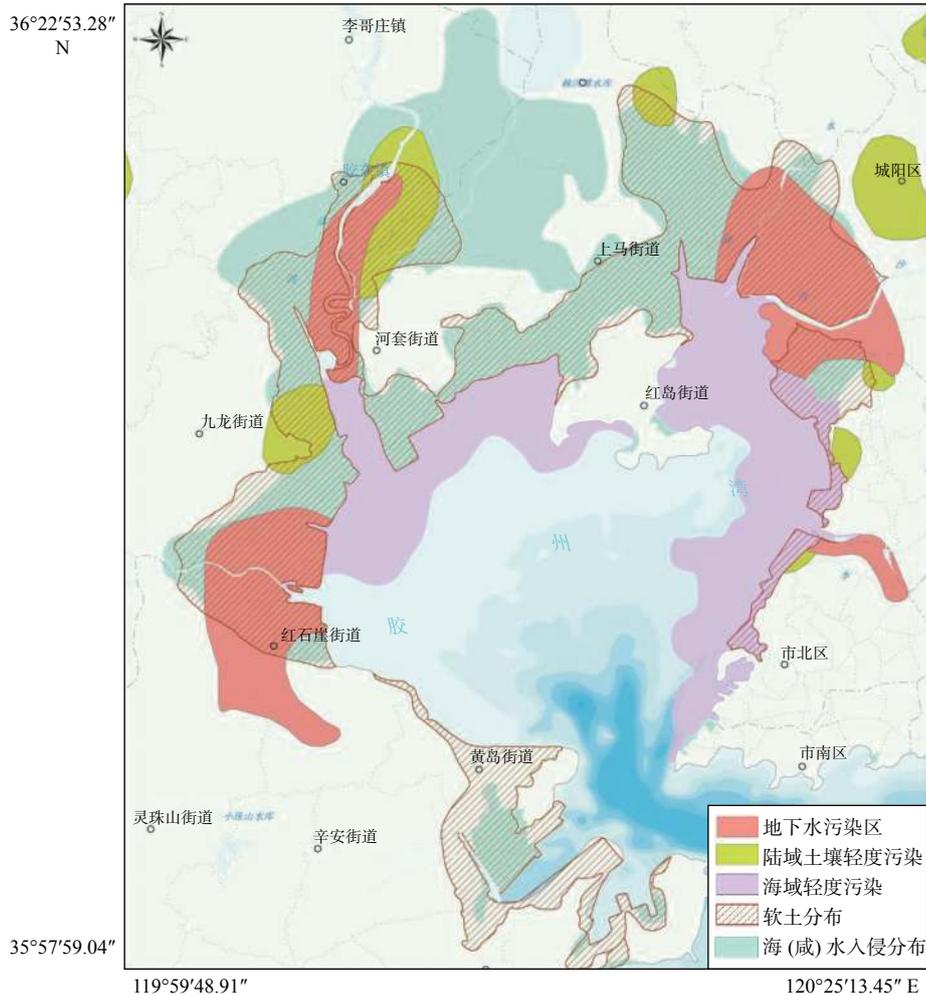


图 5 胶州湾海岸带生态与环境地质问题

Fig.5 Ecological and environmental geological problems in coastal zone of the Jiaozhou Bay

Cu生态风险较大;胶州湾沿岸海(咸)水入侵、咸水分布区面积约为305 km<sup>2</sup>,红岛经济区存在严重侵染区,面积约94.16 km<sup>2</sup>,实时监测数据表明大沽河河口区海水入侵严重。胶州湾周边软土面积约487.20 km<sup>2</sup>,主要分布于滨海浅滩和部分河流的中下游平原。基于以上调查数据,编制完成胶州湾海岸带资源与生态环境系列图件,为规划部门制定海岸带专项规划与生态环境保护修复提供重要依据。

## 2.4 服务自然资源管理中心工作

促进青岛市地质资源合理利用,服务生态环境修复。圈定3处地下水应急水源地,2处无公害或绿色富硒、富锌特色农产品基地,提交青岛古镇口、即墨重点农田区、蓝色硅谷土地质量调查成果,系统梳理分析大沽河-胶州湾生态地质环境,污染来源,提出海岸带生态环境修复建议。

推进信息平台纳入自然资源和规划一张图,实现城市地质信息集成管理、分析处理和共享服务,服务青岛市智慧城市建设。目前,平台已经共享“多规合一”应用专题,数据包括控规、土地利用现状、生态空间格局(生态廊道、生态源地、生态用地等)、生态保护红线、林地、湿地及部分差异图斑等数据,并且与三维地质可以无缝融合展示和分析。通过“多网融合”实现多部门之间的网络衔接,达到数据共享、辅助决策的目标。

## 3 城市地质调查理论与技术创新

### 3.1 地下多种资源协同利用理论创新

地下空间资源协同规划理论是城市地质亟需突破的关键理论之一,主要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<sup>[3,8]</sup>。青岛市城市规划区地下资源主要包括地下空间资源、地质材料、地下水和浅层地温能资源(图6)。针对地下资源禀赋特征与协同利用专题研究<sup>[9]</sup>发现,青岛市城市规划区地壳稳定性较好,地下空间持力层工程力学性质较稳定,地下空间资源禀赋好,适宜规模化开发利用;地质材料较为丰富,以花岗岩、建筑石料、建筑砂料、渣土为主。青岛市城市规划区地下水资源短缺,以赋存在河流下游平原地区的浅层松散岩类孔隙水为主;城市规划区基岩埋深较浅以及地下水资源短缺,限制了浅层地温能有效开发利用。青岛市城市规划区富水地区,

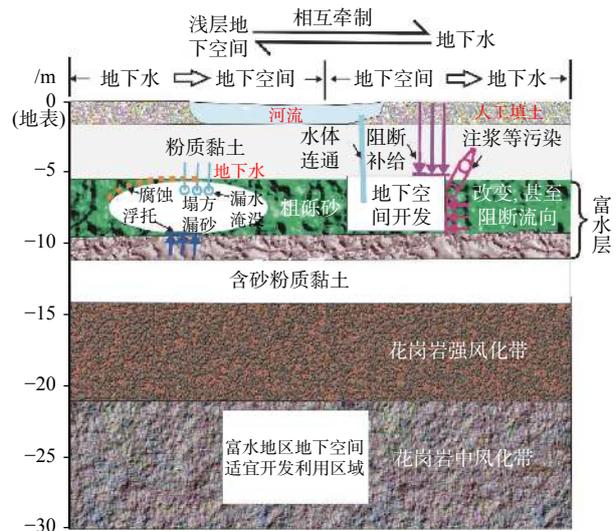


图6 基岩城区地下空间资源与地下水资源相互影响模式示意<sup>[9]</sup>

Fig.6 Schematic diagram of interaction between underground space resources and underground water resources in bedrock urban area<sup>[9]</sup>

浅层地下空间开发利用处于含水层内,浅层地下空间开发与地下水资源呈现为相互牵制的关系,地下空间开发利用应统筹地下含水层保护。城市规划区浅层地温能与浅层地下空间开发利用为相互制约关系,在浅层地温能适宜开发区,应限制地下空间规模化开发利用。城市规划区地下空间与花岗岩等地质材料开发利用为相互成就的关系,花岗岩矿地区地下空间开发利用应做到超前规划,遵循花岗岩地质材料优先开发原则。研究成果为青岛市城市规划区地下资源协同利用提供较好的理论支撑;同时,也将为其他基岩城市地下资源协同开发提供借鉴。

### 3.2 滨海基岩城市陆海一体三维地质建模技术

陆海一体三维地质模型主要基于隐式建模的三维地质建模技术,利用空间插值方法、空间拓展方法,最大程度的融合工作区的多维地学数据,在统一坐标框架下的陆海衔接,实现多源数据耦合(图7)。建模的思路是,利用已获取的地质图、钻孔、地形、地层标准等多源数据分类提取断层剖面数据、产状数据、地层界面数据,逐步构建地质构造格架、三维地质构造标量场、提取地质曲面、对含有特殊地质要素进行处理,最后完成三维地质体拓扑构建。海洋和陆地不同的测量数据可能都有着不同的坐标参考框架,在对海岸带进行综合时要把所有的测量数据都关联到统一的坐标框架。

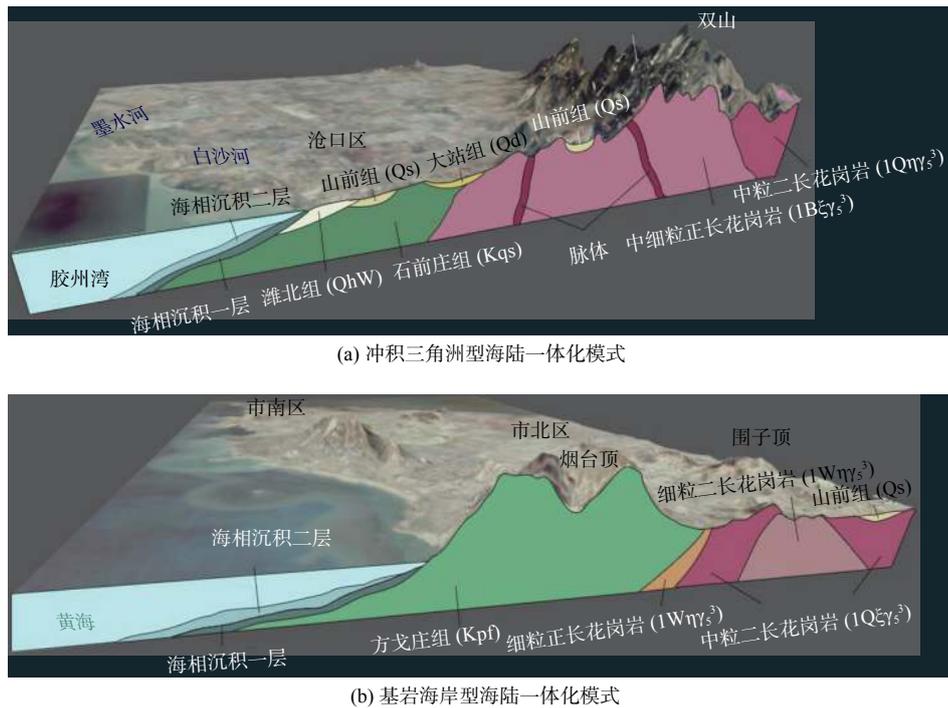


图 7 海陆衔接模式

Fig.7 Land-sea connection model

与传统建模技术相比, 多源数据耦合建模算法通过范围约束、断层约束、层面上下、层厚等约束条件, 数据约束能力较强, 实现了地层、断面、岩溶、岩脉、第四系及细分等细节模型可视化; 针对离散不完备的地质体, 采用三维等值面构建与三维可视化技术相结合, 推断和预测地质体的分布趋势, 快速构建三维可视化模型; 采用真实标准地层的遍历算法, 确定地层的先后构建顺序; 根据地质点和产状点进行空间点的地质点插值, 根据地层区自动生成 bottom 地质界线等高精算法, 大大提高了模型的精度。

### 3.3 基岩复杂地质条件和城区强干扰条件下地球物理探测技术

青岛地表覆盖物很薄, 局部地区上覆中粗砂、粉土、粉质黏土和原岩风化的碎屑, 大部分地区岩体结构基本以基岩为主, 主要是单层结构(基岩为主), 双层结构由大量中粗砂、粉土、粉质黏土及岩石组成。岩石由于风化作用, 可以划分为强风化层、中风化层和微风化层。三分量谐振物探技术在基岩城区浅地层地下结构探测中应用效果较好。其探测深度远远超过地质雷达, 可达 50 m。纵向的成像精度可以达到 2%~5%, 远远超过高密度电法、浅层人工反射波/折射波/绕射波地震、面波勘探和

电磁法。成像质量与常规地震勘探相比, 其可以对高角度断层及其破碎带、富含水砂砾岩叠置、侵入岩体、基岩不同程度风化带等各类地质现象进行清晰成像, 且具有辨识介质物性和密度的能力。安全环保, 抗噪音干扰能力强, 其不受电磁干扰, 在城市居民区、道路复杂区、油库和加油站、强电磁环境等均可获得高质量、高精度的成像结果, 几乎覆盖了常规地质雷达、电磁法、重力勘探、人工地震勘探的所有探测盲区环境。

### 3.4 基岩城市地下空间开发利用适宜性评价技术

模糊综合评判法和 BP 神经网络法是目前地下空间开发利用适宜性评价最为成熟技术, 并在国内一些城市地下空间评价中得到成功应用。然而, 利用模糊综合评判模型进行地下空间适宜性评价, 指标隶属度及权重等判别准则的确定是评价的关键, 判别准则的确定受主观因素的影响较大。BP 神经网络模型的实质是对数据的处理和分析, 为数据驱动模型, 评价结果的准确性取决于样本数据的质量, 样本集的数据越多、准确度越大, 网络的预测能力就越强。对于地下空间适宜性评价来说, 不需要主观的确定各个指标的权重, 克服了模糊综合评判模型判别准则难以确定的缺点。青岛多要素城市地质调查创新性采用两种方法相结

合的方式对重点调查区地下空间适宜性进行评价,即先通过模糊综合评判模型得出适宜性评价,再挑选适宜性好和适宜性差的单元作为样本,利用这些样本进行BP人工神经网络的训练,训练结束后将所有样本导入神经网络得到最终的评价结果。BP神经网络的评价方法,在极大程度上规避了评价因子模糊性和不确定性的影响,为基岩城市地下空间适宜性评价提供了最佳的解决方案。

## 4 未来青岛城市地质工作战略思考

党的十九大明确提出“加快生态文明体制改革,建设美丽中国”的新要求,推进绿色发展,着力解决突出城市环境、城市安全问题等工作对城市地质的需求更加迫切。青岛市应充分借鉴上海等特大城市的地质工作经验,强化城市地质服务经济社会发展的先行性作用,统筹部署地质工作,有效解决与城市发展和城市居民生活密切相关的重大地质问题。

### 4.1 滨海基岩城市地质调查理论与技术方法体系有待完善

目前,城市地质工作在理论方法体系上仍有欠缺,如高端创新型技术方法、手段相对较少,地质环境评价方法和指标理论体系有待深入研究<sup>[10-12]</sup>。2017年7月国土资源部(现自然资源部)发布了《城市地质调查规范》,同时,中国地质调查局组织制定了一系列的城市地质调查工作指南,但结合青岛市滨海基岩城市的实际情况,实用性、适用性、可操作性有待进一步完善。提出典型样板成果,以推动青岛市城市地质工作“规范化”开展,必须加强城市地质工作理论与技术方法的探索。

### 4.2 加强地下空间探测与安全利用

自2011年以来,上海等大城市先后开展了深层地下空间开发地质环境适宜性与若干重大地质问题、深层地下空间地质安全评估及利用技术等课题研究工作<sup>[13]</sup>,青岛市地下空间需求旺盛,但调查研究工作比较薄弱。沧口断裂一直是影响青岛市城市规划区陆海地下空间开发利用重大地质问题,青岛作为自然资源部组织的“深地探测重大科技专项”重点靶区,需开展城市地下空间探测和安全利用研究工作,加强地下空间利用基础地质调查研究、

基岩地质与地壳稳定性的调查评估,同时加强地下空间开发利用规划、建设风险评估、安全运营监测等方面的研究。

### 4.3 加快建设青岛市海陆一体地质资源环境监测预警平台

推进城市地质工作方式由调查评价型向监测预警型转变,建设青岛市海陆一体“高智能”的地质资源环境监测预警平台,建立覆盖不同建设用地类型、农用地类型的土地质量动态监测网,海岸带冲刷淤积监测与跨海大桥、重点岸堤保护结合,地震、滑坡、泥石流等地质灾害监测与启动应急响应机制结合。不断提高城市地质灾害动态监测与预警水平,筑牢生态地质安全屏障。

### 4.4 落实“大数据”理念,实现多网融合

把城市地质调查融入当前自然资源工作体系,作为青岛市国土空间基础信息平台的重要组成部分,将海陆一体地质资源环境监测预警数据库与青岛市地质大数据中心有机融合,同时与“多规合一”、国土调查、自然资源和规划一张图等平台互联互通,实现城市全息透明、地上地下一体、资源协同开发,全面服务青岛市国土空间规划与自然资源管理工作,助力青岛“智慧城市”建设。

## 5 结论

青岛作为全国新一轮城市地质调查的试点城市,通过3年的工作,完成了1:5万环境地质调查1274 km<sup>2</sup>、1:2.5万工程地质调查294 km<sup>2</sup>,以及各项专题性调查,取得了丰硕的成果。

青岛多要素城市调查成果在服务国土空间规划编制、地下空间规划利用、胶州湾第2条海底隧道和前海沿线地下交通等重大工程规划论证、海岸带生态环境保护与修复,以及自然资源管理中心工作等方面成效显著。同时,在地下多种资源协同利用理论、滨海基岩城市陆海一体三维地质建模技术、基岩复杂地质条件和城区强干扰条件下地球物理探测技术、基岩城市地下空间开发利用适宜性评价技术等方面取得了创新。

未来青岛城市地质工作,需加强滨海基岩城市地质工作理论与技术方法的探索,加强地下空间探测与安全利用,加快建设青岛市海陆一体地质资源

环境监测预警平台,落实“大数据”理念,实现多网融合。

#### 参考文献:

- [1] 郝爱兵,林良俊,李亚民.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,2017,44(4):3.
- [2] 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.
- [3] 林良俊,李亚民,葛伟亚,等.中国城市地质调查总体构想与关键理论技术[J].中国地质,2017,44(6):1086-1101.
- [4] 方家骅.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,2001,22(2):84-86.
- [5] 冯小铭,郭坤一,王爱华,等.城市地质工作的初步探讨[J].地质通报,2003,22(8):571-579.
- [6] 程光华,翟刚毅,庄育勋,等.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,2014.
- [7] 卫万顺,郑桂森,于春林,等.未来10—15年我国城市地质工作战略构想[J].城市地质,2018,13(1):1-8.
- [8] 林良俊,马震,郭旭,等.城市地质学基础理论探讨[J].中国地质,2020,47(6):1668-1676.
- [9] 徐刚,窦衍光,王蜜蕾,等.青岛市城市规划区地下资源协同利用研究[J].地质通报,2021:待刊.
- [10] 刘映,尚建嘎,杨丽君,等.上海城市地质信息化工作新模式初探[J].上海地质,2009,30(1):54-58.
- [11] 关伟.规划新城城市地质工作体系研究[D].北京:中国地质大学(北京),2016.
- [12] 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.
- [13] 陈大平.上海深部地下空间开发关键地质问题分析[J].上海国土资源,2014,35(3):73-77.

## APPLICATION EXPLORATION, THEORETICAL AND TECHNOLOGICAL INNOVATION OF GEOLOGICAL SURVEY RESULTS IN COASTAL BEDROCK CITY: TAKING QINGDAO AS AN EXAMPLE

DOU Yanguang<sup>1,2</sup>, YIN Ping<sup>1,2</sup>, CHEN Bin<sup>1,2</sup>, XUE Biying<sup>1,2</sup>, WANG Milei<sup>1,2</sup>, ZOU Liang<sup>1,2</sup>,  
HU Rui<sup>1,2</sup>, XU Gang<sup>1,2</sup>, YUE Baojing<sup>1,2</sup>, SONG Weiyu<sup>1,2</sup>, LIN Xi<sup>1,2</sup>, DONG Jie<sup>3,4</sup>,  
FU Jiani<sup>3,4</sup>, XU Rui<sup>3,4</sup>, HE Song<sup>5,6</sup>, LIN Qingang<sup>5,6</sup>

(1 Qingdao Institute of Marine Geology, China Geological Survey, Qingdao 266071, China; 2 Laboratory for Marine Mineral Resources, Pilot National Laboratory for Marine Science and Technology (Qingdao), Qingdao 266237, China; 3 Qingdao Geo-Engineering Exploration Institute (Qingdao Geological Exploration and Development Bureau), Qingdao 266100, China; 4 Key Laboratory of Geological Safety of Coastal Urban Underground Space, Ministry of Natural Resources, Qingdao 266100, China; 5 Qingdao Surveying & Mapping Institute, Qingdao 266033, China; 6 Qingdao Geotechnical Engineering Technology Research Center, Qingdao 266033, China)

**Abstract:** Urban geological work is an important development direction of geological work in the future, and has become an important basic support for urban planning and construction, economic and social development. This paper systematically expounds the positioning, service effect, theoretical and technological innovation of urban geological work in Qingdao, as well as the strategic thinking of future urban geological work of Qingdao. Since 2018, the multi factors urban geological survey project of Qingdao organized and implemented by China Geological Survey Bureau has achieved remarkable results in serving the land and space planning of Qingdao, demonstration of major engineering construction planning, coastal ecological environment protection and restoration, and work of natural resources management center. This work has realized innovation of theory and technology for coastal bedrock urban geological survey. The future development direction of Qingdao urban geological survey is to strengthen the leading role of urban geological services for economic and social development, strengthen monitoring and early warning and realize multi network integration, and effectively solve major geological problems closely related to urban development and urban residents' life.

**Key words:** urban geological survey; coastal bedrock city; land and space planning; underground space resource; Qingdao City