付佳妮, 刘洪华, 董杰, 等. 遥感技术在青岛市城市地质调查中的应用[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(9): 69-78.

遥感技术在青岛市城市地质调查中的应用

付佳妮[1,2], 刘洪华[1,2], 董杰[1,2], 窦衍光[3], 明强[1,2], 刘海松[1,2], 夏伟强[1,2], 邹亮[3]

(1 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; 2 青岛地质工程勘察院(青岛地质勘查开发局), 青岛 266100; 3 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266071)

摘　要: 遥感技术可运用于地质调查、城市空间拓展、自然资源开发、生态环境保护和城市安全等多个领域, 为城市地质工作提供更为宏观和直观的数据支撑。通过多期高精度遥感影像分析, 建立了胶州湾地质单元遥感解译标志, 重新厘定了胶州湾区域地质图, 查明了环胶州湾人工填土分布及面积, 初步估算出青岛市主城区 0～10、10～30、30～50、50～100 m 深度地下空间资源量, 提出 10～50 m 是青岛市地下空间拓展的主要深度。遥感技术为城市地质问题解决和城市空间扩展提供了技术支持, 在青岛城市地质调查中发挥了巨大作用。

关键词: 遥感; 城市地质调查; 人工填土; 地下空间; 自然资源

中图分类号: TP79　　**文献标识码:** A　　**DOI:** 10.16028/j.1009-2722.2021.108

0　引言

做好城市地质工作, 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[1-2]。随着城市化进程不断加快, 城市地表地质环境已经不复存在, 如何针对性的开展城市地质工作, 探索城市地质调查的技术方法, 成为摆在地质工作者面前的难题[3-4]。

遥感技术自 20 世纪 70 年代中期应用于地质调查领域后, 便引发了与地质学、矿物学、环境化学、生态学等多学科碰撞[5]。从基础地质学角度, 遥感解译成果可用于划分地层[6-8]、找寻地质构造[9-11]、查明工程地质[12] 和水文地质特征[13]、寻找矿产资源[14-15] 和地热资源[16]。从城市空间拓展来看, 遥感技术可用于分析城市变迁, 用以调整城市开发边界, 评价地下空间资源潜力[17]。从城市自然资源与生态环境来看, 遥感技术可用于查明山、水、林、田、湖、草、海岸线等自然资源[18-23] 和旅游资源禀赋[24], 探索湿地、河道等生态资源演化变迁规律[25-27]。从城市安全角度分析, 遥感技术还可以运用于滑坡、泥石流等地质灾害监测和治理[28-30], 水体污染现状监测和评价[31], 水利、地铁和管线等工程对城市安全性影响等多个方面[26]。建立高质量的城市生态系统和安全系统, 构建高质量发展的国土空间布局和支撑体系, 离不开高标准城市地质工作[1], 而遥感技术为城市地质工作提供更为宏观和直观的数据支撑。

青岛市在城市发展中面临诸多地质问题, 如地下空间资源利用不足、资源禀赋认识不够、城市地质灾害防治任务艰巨、海岸带生态环境问题突出、重大工程规划有关的基础地质情况不清等。为解决以上问题, 2018 年, 青岛市正式启动城市地质调查项目, 遥感工作同步开展。

1　遥感资料的收集和使用

青岛市城市地质调查选用了多种类型、多时相的遥感图像和数据, 包括: Landsat-5 TM、Landsat-8 TIRS、Landsat-8 OLI、WorldView-2、Google 地图、天地图、GF2 影像和 DEM 高程数据。Landsat、WorldView-2 和 GF2 遥感影像作为地质解译的主体数据, 用于青岛市多重地质单元解译, Google 卫星影像数据宏观把控大型地质构造, 天地图和 DEM 高程数据构建重点调查目标的三维影像。

不同精度的调查采用相对应的遥感资料。例如 1:5 万遥感解译, 以空间分辨率优于 5 m 的影像为主; 1:1 万以上精度的遥感解译, 以空间分辨率优

收稿日期: 2021-03-28

资助项目: 青岛市自然资源和规划局“青岛市城市地质调查项目”(ZFCG2019001542); 中国地质调查局地质调查二级项目“青岛多要素城市地质调查”(DD20189230)

作者简介: 付佳妮 (1987—), 女, 高级工程师, 主要从事水工环地质研究方面的工作. E-mail: 497384588@qq.com

于 1 m 的影像为主，进行精细提取。遥感数据的时相，根据青岛市城市地质调查专题内容和地理环境来确定，同一地区用于融合处理的多平台遥感数据的时相一致。

2 遥感技术在城市地质调查中的应用

在基础地质研究方面，遥感技术主要应用于：地层岩性解译、人工填土层划分、沧口断裂构造解译、大沽河古河道和湿地解译、海岸带变迁分析、灾害地质调查等。在服务于城市发展方面，遥感技术用于主城区城市地下空间资源评价、山水林田湖草海陆一体资源可利用性研究以及地质旅游资源调查等。

2.1 基础地质解译

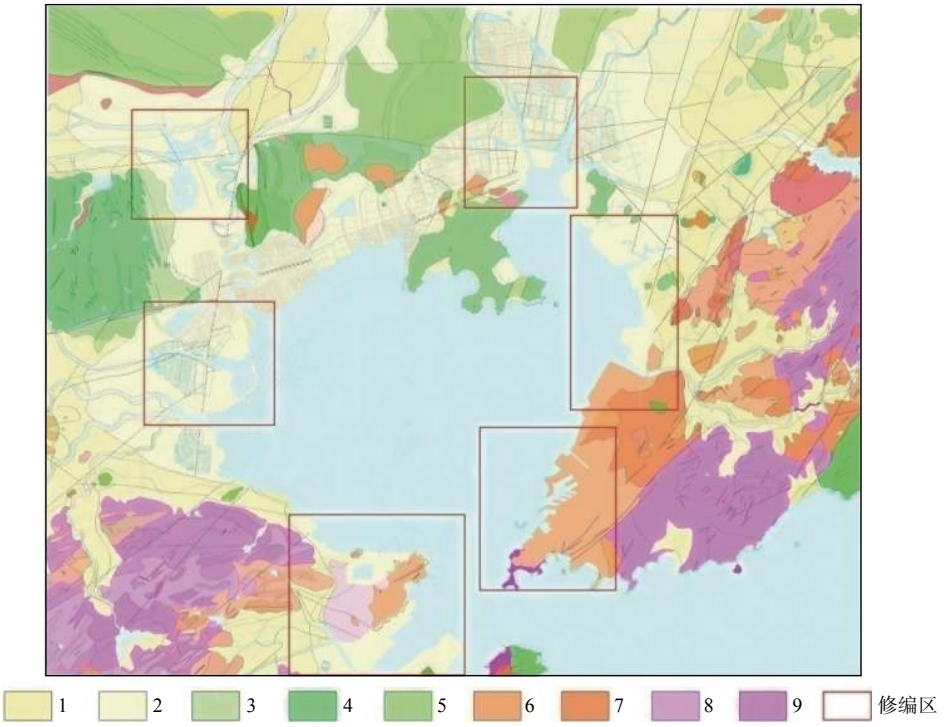
青岛市城市地质调查中采用了遥感与传统地质调查相结合方法进行基础地质解译。首先，进行遥感影像解译，建立多重地质单元解译标志。利用高分卫星遥感数据对地层、岩体、构造等地质要素的几何形态、纹理特征以及各要素之间的空间关系等进行分析，同时使用不同岩层反射光谱差异所形成的形态、结构、纹理、色调等特征差异判断岩石露头的物理特性和产出特点，划分岩石类型和岩性组合，对地质图进行修编（图 1、表 1）。其次，通过野外地质调查、工程地质钻探、岩矿分析等，对修编后的地质图进行验证。

以胶州湾为例，从 20 世纪 50 年代开始，沿岸盐田大规模建设，60 年代中期至 70 年代，围垦滩涂农业用地不断扩张，80 年代以后出现填海高潮，围垦养殖、开发港口、建设公路和临港工程等项目纷纷上马，胶州湾岸线向湾内迅速扩张，20 世纪 90 年代以后，经济高速发展，原本用于农业种植、渔业养殖的区域逐渐规划为经济技术开发区。近几年，大沽河、洋河下游新建了湿地公园，西海岸新修人工蓄水池及河道，西海岸新区修建了大面的人工码头，胶州湾东岸新建人工交通岸线。

通过基础地质解译工作，重新厘定了胶州湾第四系界线，增加了小断裂和隐伏构造，校正了胶州湾北岸地区断裂构造产状；在地质图上新增少海湿地、河道、码头、胶州湾大桥等重点工程；重新修正了胶州湾东北沿岸、西海岸、陡山及黄岛区海岸线；大幅缩减了已有盐田、养殖池分布区域。

2.2 人工填土区圈定

人工填土是指由人类活动而堆填的土，物质成分较杂，具有不均匀性、欠固结、湿陷、高压缩以及低强度等特性。若处置不当，可能会引发边坡失稳、



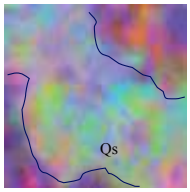
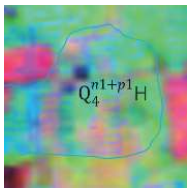
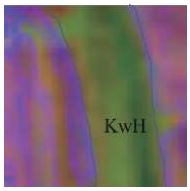
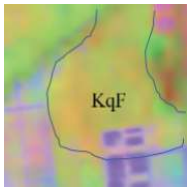
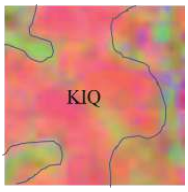
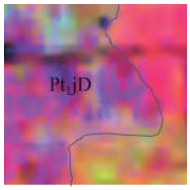
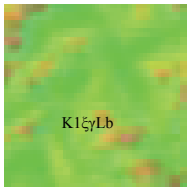
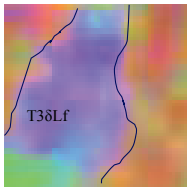
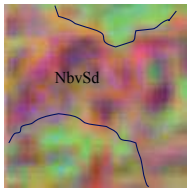
1-2 新生界第四系；3-5 中生界白垩系；6-7 中生代燕山晚期崂山序列花岗岩；8-9 新元古代南华纪片麻岩

图 1 修编后的胶州湾区域地质略图

Fig.1 The revised regional geological map of Jiaozhou Bay

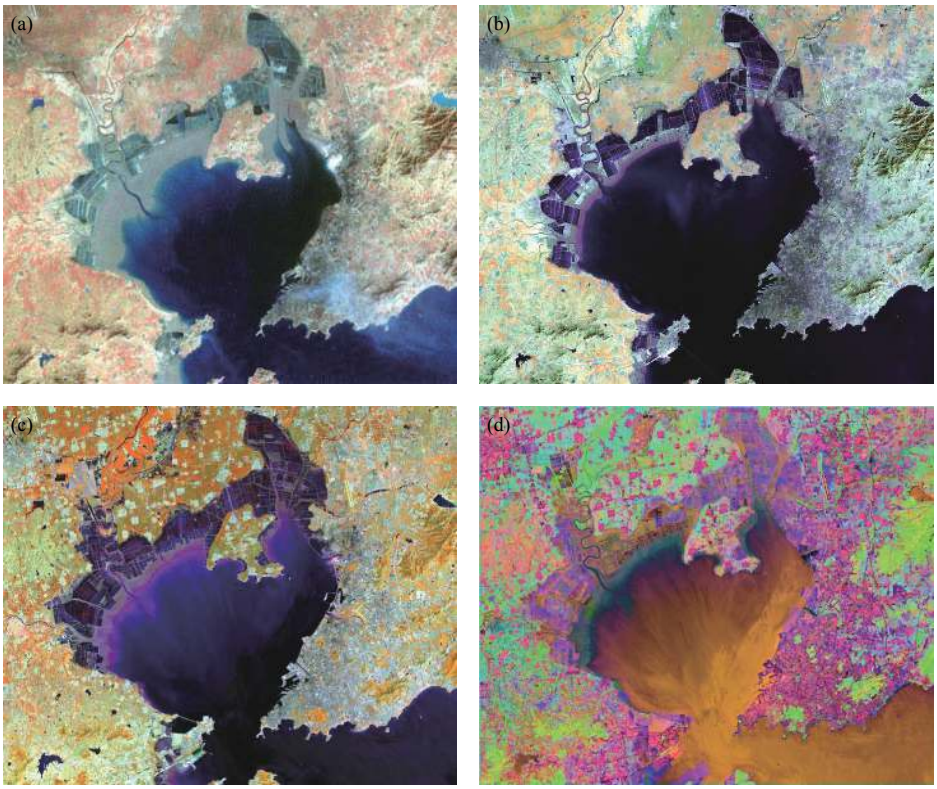
表 1　地质单元解译标志

Table 1　Interpretation marks of geological units

地层解译标志	岩性	地层分布及解译
	新生界第四系更新统山前组($Q_{2+3}^{d1+e1}S$)	残坡积相灰黄色含砾砂质黏土。主要分布在黄岛西北武山周边，黄岛西南部，小珠山水库东部及南部，灵山卫西南部及南部，北部凤凰山以北地区，青岛浮山所周边，李村河周边地区和沧口北部地区。在融合数据PCA321假彩色图像上表现为青蓝色
	新生界第四系全新统临沂组($Q_4^{n1+p1}H$)	冲积相黏土质粉砂夹含砂中粗粒砂。主要分布于胶州大沽河农场西北部，共青团水库西南部，黄岛西北部及红石崖西部，灵山卫西南部河流两岸附近，青岛李村河附近，石老人西部，沧口北部及白沙河附近。在融合数据PCA321假彩色图像上表现为浅蓝绿色
	中生界白垩系王氏群红山崖组(KwH)	橄灰玄武岩、玄武安山岩夹不稳定细沙岩、粉砂岩薄层，紫红色、紫灰色中细粒岩屑上市砂岩夹黑色、黑灰色、灰色气孔杏仁状伊丁石化橄榄玄武岩，砖红色长石细沙岩、粉砂岩、粉砂质页岩。主要分布于胶州胶东镇及其周边地区，上马镇及其周边地区，沧口、黄岛的西北部。在融合数据PCA321假彩色图像上表现为黄绿色
	中生界白垩系青山群方戈庄组(KqF)	粗面质含角砾熔结晶屑凝灰岩，粗面质角砾熔结晶屑凝灰岩，粗面质含集块角砾熔结晶屑凝灰岩。紫红色岩屑长石细砂岩为主，夹含砾中粒，长石岩(岩石中以含安山质砾石为特征)，下部为黄绿色粉砂质页岩夹流纹质岩屑凝灰岩。主要位于胶州东部地区。在融合数据PCA321假彩色图像上表现为杏黄色
	中生界白垩系莱阳群曲格庄组(KIQ)	紫灰色含砾中粒砂岩、细沙岩夹泥岩，以含安山质岩屑和砾石为特征，局部夹流纹质熔结岩屑凝灰岩透镜体。主要分布在胶州南部及黄岛红石崖的东南部。在融合数据PCA321假彩色图像上表现为粉红色
	古元古界滹沱系陡崖组(Pt1jD)	主要岩性为含石墨绢云石英片岩、石英岩、透闪岩。厚度178.1 m。主要分布于红石崖西部的朱郭、田家窑及花林东山地区。在融合数据PCA321假彩色图像上表现为玫紫色
	显生宙中生代燕山晚期崂山晶洞中细粒正长花岗岩($K_1\xi\gamma Lb$)	岩石呈肉红色，主要分布于胶州湾东畔的青岛市区。在融合数据PCA321假彩色图像上表现为浅绿色
	显生宙中生代印支期细粒含黑云角闪闪长岩($T_3\delta Lf$)	主要分布于胶州湾柳花泊镇窝洛子村一带，岩体规模小，呈包体状，小岩柱零星分布。在融合数据PCA321假彩色图像上表现为蓝紫色
	新元古代南华纪中细粒变角闪辉长岩(NhvSd)	岩体主要分布于崂山北东的王哥庄峰山及小管岛、兔子岛、大管岛、马儿岛一带。在融合数据PCA321假彩色图像上表现为紫灰色

滑坡、地貌沉降等问题。因此研究人工填土的分布范围及其力学性质对工程建设极其重要。胶州湾原有填土区已经被建筑物或植被覆盖，从地表上无法确定填土分布范围。此时，采用遥感技术可以快速有效的解决问题。

采用变化检测方法将多期 Landsat 影像（1983、1990、2000 和 2018 年）进行对比叠加分析，并结合 2018 年的 GF-2 和 Landsat 影像融合数据，经 PCA 分析获取的 321 波段进行 RGB 假彩色合成[32]，对人工填土区进行圈定。经对比分析发现，人工填土区在 Landsat 假彩色影像上呈灰色或深蓝色，在 PCA 假彩色合成影像上呈亮紫色（图 2）。经解译分析，环胶州湾人工填土分布范围较广，总面积 185.44 km^2，在胶州海岸、高新区、西海岸新区和东岸均有分布（表 2、图 3）。通过遥感技术，首次圈定了胶州湾地区的人工填土分布情况，为后续工程勘察、填土工程处置等环节提供了方向，实际应用性较强，为环胶州湾工程建设提供有力安全保障。



（a）1983 年 Landsat 影像；（b）1990 年 Landsat 影像；（c）2000 年 Landsat 影像；（d）2018 年 GF-2 和 Landsat 融合后 PCA 假彩色数据

图 2 Landsat 影像和融合数据 PCA 分析 321 波段假彩色影像

Fig.2 Landsat and PCA analysis of false color images

表 2 1983—2018 年间人工填土面积统计

Table 2 Area statistics of artificial reclaimed land from 1983 to 2018

区域	胶州海岸	高新区	西海岸新区	东岸	总计
面积/km^2	38.68	97.92	1.94	29.68	185.44

2.3 地下空间资源评价

近几年，青岛市大型建筑、地下建筑、文化娱乐和基础设施逐年增加，市区范围不断向外扩展，出现了城市用地紧张、地价攀升、交通拥挤等问题。城市地下空间开发利用已经成为扩展城市容量、缓解城市交通、改善城市环境的重要手段。目前，青岛市地下空间资源评价处于空白状态，开展城市地下空间资源调查，挖掘城市后备空间资源，是实现城市建筑空间环境可持续发展的有效途径之一，具有十分重大的战略意义。

以青岛市主城区为例，采用高分二号遥感卫星数据作为提取建筑物相关信息的数据源。首先，将经过辐射定标、大气校正、正射校正的多光谱数据与全色数据结合，进行图像融合以获取高分辨率遥感影像（图 4）。其次，将融合后的影像用于建筑物基坑识别、单体提取、阴影提取。再次，根据太阳射线和卫星视线在地面的投影，以及与建筑物走向的几何关系，进行建筑物高度反演。在建筑物高度数据的基础上，利用建筑物影响深度分级表，计算出建筑物的影响深度[33]（图 5）。将地下空间进行分层，

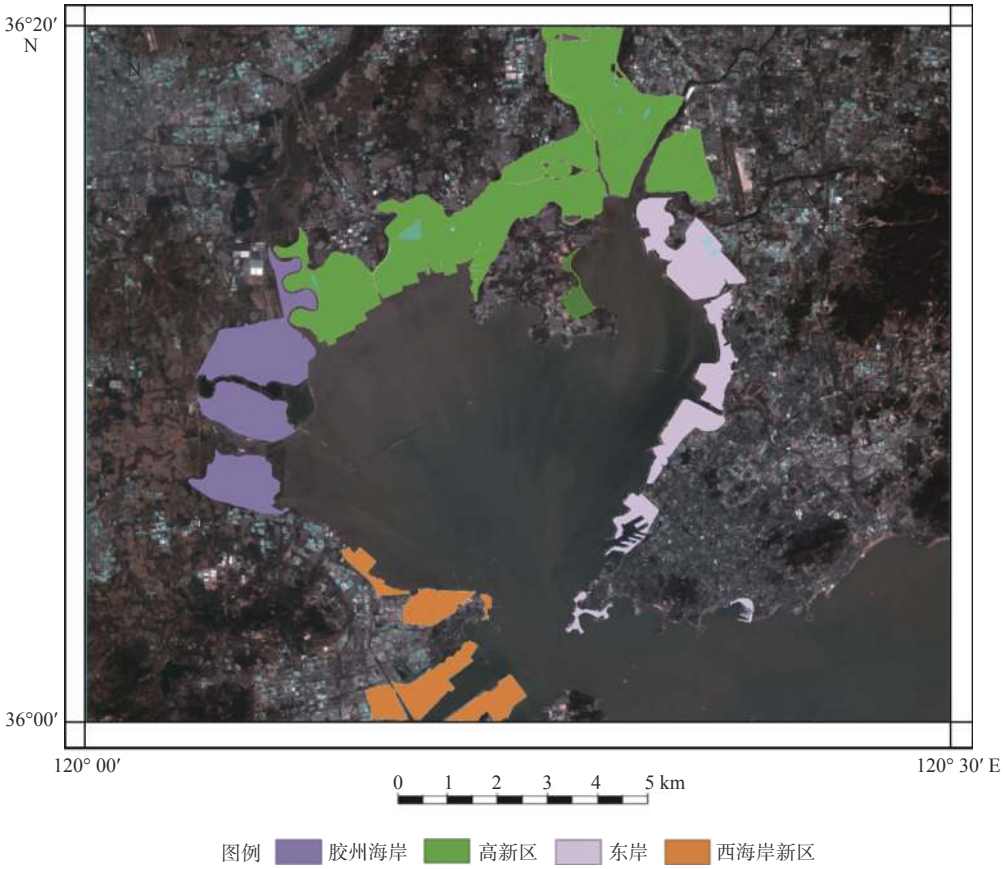


图 3　1983—2018 年间人工填土区范围

Fig.3　Land reclamation areas from 1983 to 2018

每层总资源量扣除已利用资源量和深度超过该层地下空间资源已利用的部分。

图 4　青岛市主城区遥感影像

Fig.4　The remote image of main urban area of Qingdao

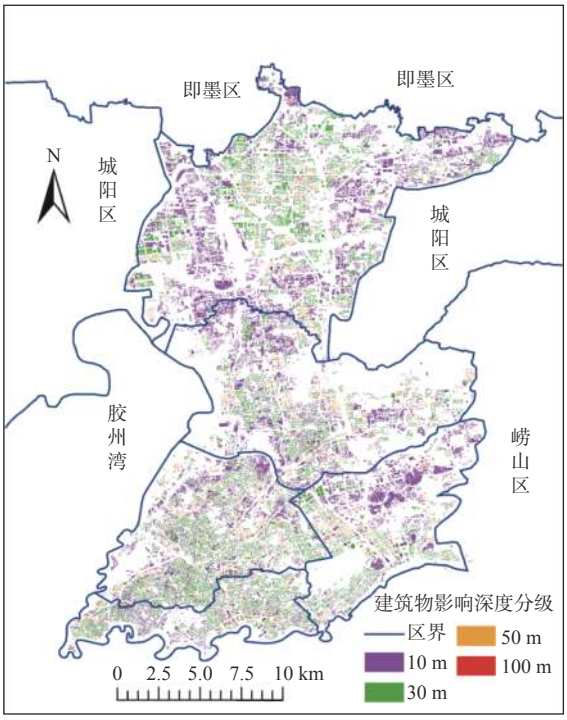


图 5　建筑物影响深度分级

Fig.5　Level map of building influenced depth

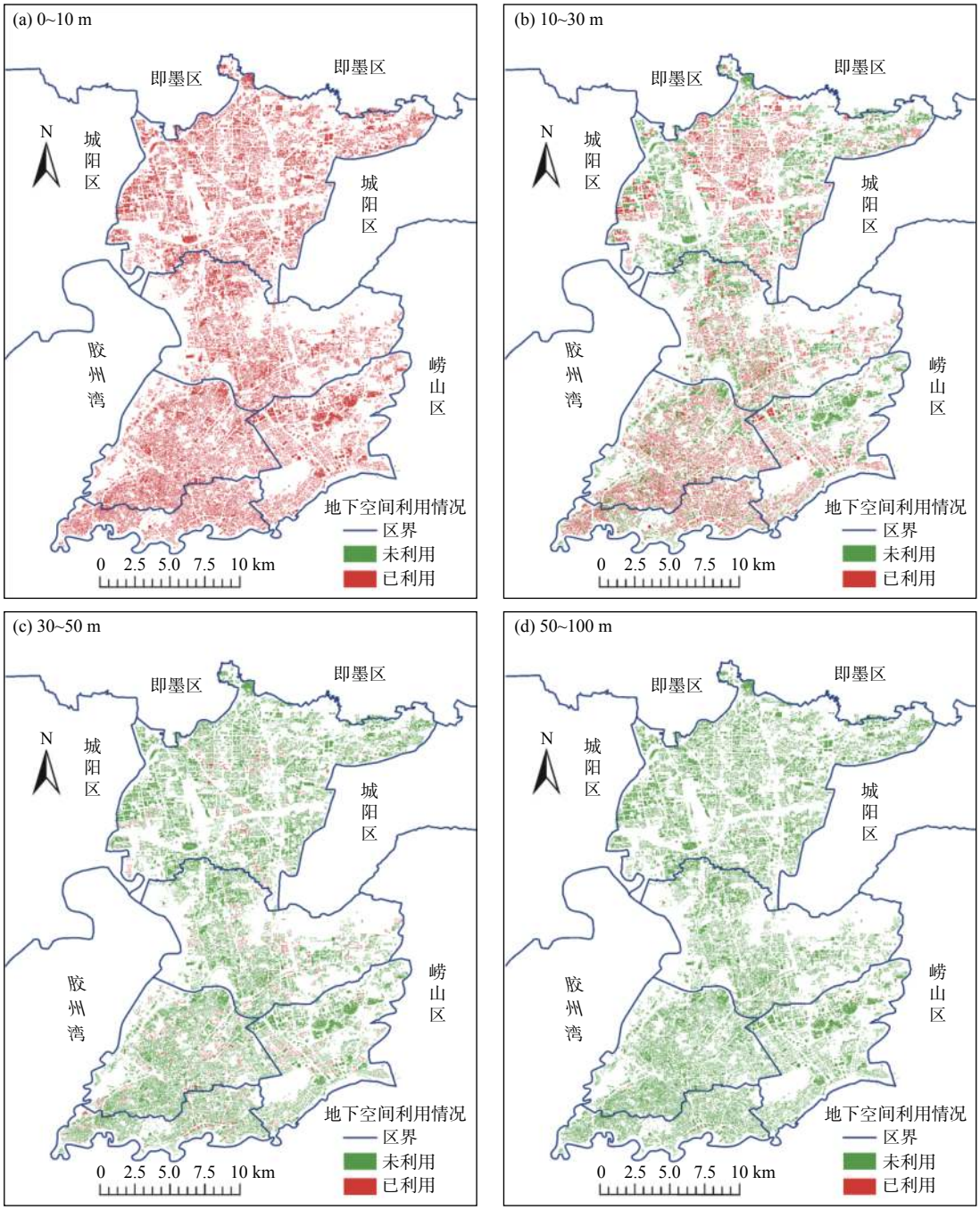
经解译获得青岛市主城区地下空间资源量与利用状况(表 3、图 6)。青岛市主城区 0～100 m 地

下空间总资源量 43.03 km^3, 已利用地下空间资源量 1.27 km^3, 可利用资源量 41.76 km^3, 综合利用率为 2.95%, 主城区地下空间仍具有较大的开发潜力(表 3)。从不同深度来看, 0～10 m 地下空间已利用资源 0.64 km^3, 地下空间开发程度最高, 利用率达 14.88%, 主要用途为商业、旅游、停车场、步行街、人防工程以及城市水电气通讯等市政管线等公共设施。随着深度增加, 建筑物影响深度逐渐减小,

表 3 青岛市主城区可利用地下空间资源量统计

Table 3 Statistics of available underground space resources in the main urban area of Qingdao

空间分层/m	总资源量/km^3	已用资源量/km^3	利用率/%	可用资源量/km^3
0～10	4.30	0.64	14.88	3.67
10～30	8.61	0.55	6.39	8.06
30～50	8.61	0.08	0.91	8.53
50～100	21.51	0.01	0.024	21.51
总计	43.03	1.28	2.95	41.75



(a)0～10 m 地下空间利用情况; (b)10～30 m 地下空间利用情况; (c)30～50 m 地下空间利用情况; (d)50～100 m 地下空间利用情况

图 6 青岛市主城区地下空间利用情况

Fig.6 Utilization of underground space resources in the main urban area of Qingdao

地下空间利用率逐渐降低。10～30 和 30～50 m 地下空间可利用资源量分别为 8.06 和 8.53 km^3。50～100 m 地下空间利用难度较大, 目前青岛市利用率仅为 0.024%。10～50 m 地下空间资源量丰富, 具有较大开发潜力, 是青岛市地下空间拓展的主要深度, 50～100 m 可作为远景发展方向。

2.4　山水林田湖草海陆一体资源调查

随着国家山水林田湖草生命共同体新理念的提出, 从该角度进行考量成为城市地质工作的新思路、新方向。本次青岛城市地质调查进一步加深对生命共同体的认识, 创新性加入了海陆一体调查理念, 运用于大沽河流域自然资源调查当中。其中, 水、林、草、海岸线等资源量评价可以借助遥感技术实现。

基于 Landsat 数据、谷歌地球影像和天地图高分辨率影像, 对青岛市 2000、2010、2019 年 3 年的水体、湿地(图 7)、植被(图 8)、海岸线(图 9)等地类进行遥感解译。同时在重点区域结合无人机航测, 采用 RTK(载波相位差分技术)现场采集拐点坐标, 精细化划分边界, 系统查明了自然资源分布范围以及变化规律。

解译成果表明: 2000—2019 年间, 大沽河流域

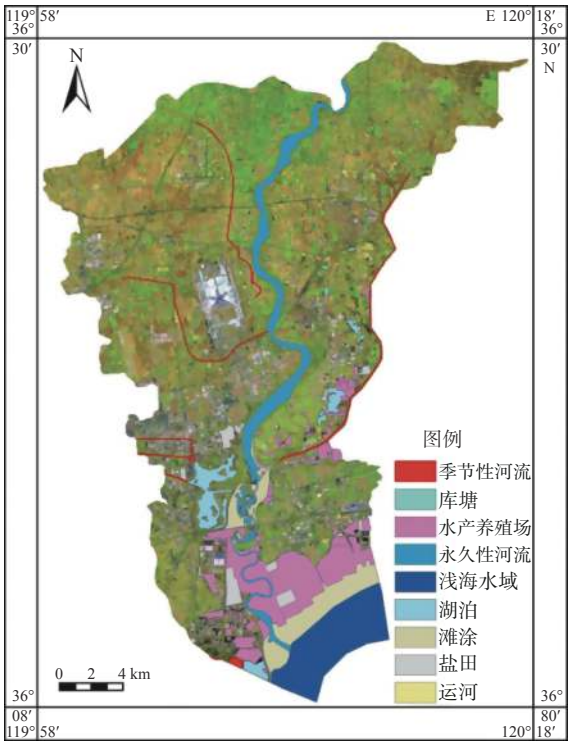


图 7　大沽河流域湿地解译

Fig.7　Remote sensing interpretation map of wetland in Dagu River basin

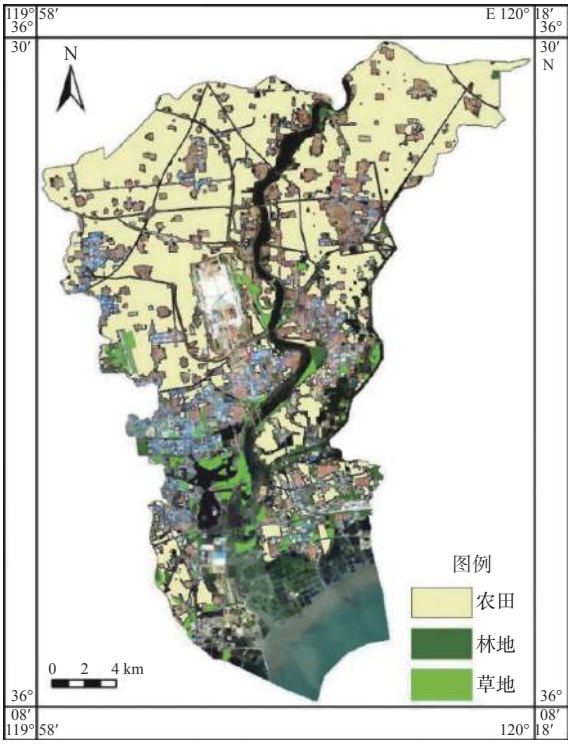


图 8　大沽河流域植被解译

Fig.8　Remote sensing interpretation map of vegetation in Dagu River basin

图 9　大沽河下游海岸线解译

Fig.9　Remote sensing interpretation map of coastline in the lower reaches of Dagu River

湿地面积基本保持稳定, 人工湿地逐步减少, 自然湿地慢慢恢复增多。海岸线总长度逐渐减小, 海岸

线分布向外慢慢扩张，但是岸线类别增加了生态岸线。大沽河流域整体植被面积呈下降趋势(表 4)。

表 4 大沽河流域自然资源分布情况

Table 4 The distribution of natural resources in Dagu River basin

自然资源	2000年	2010年	2019年
湿地	112.85 km^2	116.40 km^2	115.39 km^2
海岸线	30.33 km	28.51 km	27.07 km
植被	356.29 km^2	318.24 km^2	280.92 km^2

3 遥感技术应用性分析

遥感技术在青岛市城市地质调查中的应用较广，与物探、雷达等技术相结合，还应用于地热地质调查、地质遗迹调查、地质灾害调查、河道变迁、土地类型等领域。通过这些应用，总结出以下优点：

(1)增强调查目的性

受人类活动影响，青岛地区地质条件发生改变，现场踏勘第四系覆盖区地面露头缺失，隐伏断裂构造有待查证；原有 1:5 万地质图虽为青岛市城市地质调查奠定了基础，但成图年代较远，新增和改变的要素未能显示出来；调查区域较广，盲目调查缺乏针对性，耗时较长。采用遥感技术与传统地质调查相结合方法，既可以增强野外调查的目的性，规避传统地质调查方法缺乏整体把握、目的性不强的缺陷，还能够提高填图质量和研究成果的可信度。

(2)保证成果完整性

青岛市作为海滨城市，拥有青岛港、邮轮母港等多个重点港口。同时青岛市也承担着艰巨的海防责任。在这些重要区域内进行地质调查难度大。遥感技术发挥了巨大的作用，通过多期影像资料就可以查明填土、海岸线等要素的变化情况，填补调查空白，保证地质成果完整性。

(3)提高成果准确性

在地表资源调查方面，遥感结合无人机航测技术，比传统图像解析方法准确性更高。例如，传统调查成果中误将 220 省道划定为平度市蓼兰现河湿地的一部分；即墨区桃源河水库原湿地面积 59.67 公顷，因降水量减少，湿地范围不断缩小，面积减少了 42.83 公顷。这些问题在本次调查中均得到了修正(图 10、11)。

(4)提高工作效率

在地下空间调查中有 2 个难点：①走访调查人力成本高，时间周期长，需要大量时间整理零散数据；②全面掌握地下构筑物信息较难。地面建筑较多，其地下结构占用了浅部地下空间，地下建筑物、管道、电缆、人防工程、地铁等资料掌握在市政、城建、交通部门以及建设单位手中。目前，青岛市尚未建成地质资料共享机制，想要跨部门跨单位获取资料不易。遥感技术为一种简单可行的办法，大大提高了工作效率。

图 10 平度市蓼兰现河湿地修正

Fig.10 Revised map of the Xian river wetland in Pingdu

图 11 即墨区桃源河水库湿地修正

Fig.11 The revised map of Taoyuan river reservoir wetland in Jimo

4 结论

(1)通过岩性及地层单元的光谱差异，建立研究区地质单元遥感解译标志，进一步修正了胶州湾第四系界线和隐伏构造，新增湿地、码头、人工填土区等人类工程，丰富地质内容，使其为精确客观。

(2)通过多期遥感数据对比，查明了环胶州湾人工填土分布范围、主要用途和变化原因。估算出青岛市主城区 0～10、10～30、30～50、50～100 m 深度地下空间资源量，10～50 m 地下空间资源量丰富，具有较大开发潜力，是青岛市地下空间拓展的主要深度。结合无人机航测和 RTK 技术，查明了

大沽河流域湿地面积、海岸线类型及长度、植被面积以及多年变化情况。

(3)遥感技术运用于青岛市城市地质调查工作, 可以增强城市地质调查的目的性, 保证成果的完整性, 提高野外调查效率, 采用多种技术相结合, 可以有效提高成果的准确性。

(4)估算地下空间资源量的方法是一种探索, 一般适用于城市总体空间规划[34]。该方法精度较低, 未考虑地下管网和地下线性交通工程。在进行场地尺度的地下空间利用时, 需要充分收集现有工程资料, 结合遥感、地质调查、多种物探、钻探、化探、数值模拟等多种技术, 进行更高精度的调查和研究。

参考文献:

[1] 邢丽霞, 葛伟亚, 周平. 地质调查精准支撑城市高质量发展[N]. 中国自然资源报, 2020-12-7(7).

[2] 黄敬军, 赵增玉, 姜素, 等. 自然资源管理视角下江苏城市地质调查工作新思考[J]. 地质评论, 2020, 66(6): 1609-1618.

[3] 薛重生, 贾锦生, 张志. 义乌市城市地质调查与遥感技术应用[J]. 地质科技情报, 2003(2): 99-106.

[4] 姜月华, 周权平, 陈立德, 等. 长江经济带地质环境综合调查工程进展与主要成果[J]. 中国地质调查, 2019, 6(5): 1-20.

[5] 于学政, 杨日红, 贲卫平. 遥感技术在城市地质调查中的应用[J]. 地质通报, 2003, 22(8): 580-588.

[6] 闫颖, 陈有炘, 孟勇, 等. 遥感技术在东天山大黑山地区地质填图中的应用[J]. 西北地质, 2015, 48(2): 231-237.

[7] 山克强, 潘明, 林宇. 无人机航空遥感地质解译在岩石地层单元识别中的应用[J]. 地质力学学报, 2016, 22(4): 933-942.

[8] 陈立泽, 徐岳仁. 宣化盆地高光谱遥感第四系地层分类提取初步研究[J]. 湘潭大学学报(自然科学版), 2015, 37(1): 81-86.

[9] 王静雅, 任升莲. 北秦岭构造带断裂遥感解译及其构造意义[J]. 地质科学, 2016, 51(4): 1101-1113.

[10] 谢小平, 白毛伟, 陈芝聪, 等. 龙门山断裂带北东段活动断裂的遥感影像解译及构造活动性分析[J]. 国土资源遥感, 2019, 31(1): 237-246.

[11] 孙世瑞. 遥感在断裂构造中的应用[J]. 高原地震, 2018, 30(3): 25-28.

[12] 支瑞荣, 刘德卫. 基于遥感技术的工程地质条件调查[J]. 科技创新与应用, 2017, 203(19): 85-86.

[13] 费美高, 许模. 应用遥感图像信息研究青岛地区水文地质问题[J]. 成都理工学院学报, 1996(1): 39-48.

[14] 林健. 西部高精度遥感地质调查取得重要进展[J]. 西部资源, 2014, 60(3): 54.

[15] 王辉, 汤洪志, 许志彬, 等. 江西某地区遥感地质解译[J]. 西部探矿工程, 2019, 31(3): 127-128, 133.

[16] 侯珂. 遥感技术在鲁西南地区地热资源勘查的应用[J]. 城市地质, 2018, 13(1): 69-72.

[17] 周丹坤, 李晓昭, 常晓军, 等. 基于ArcGIS的地下空间资源禀赋评价[J]. 城市地质, 2019, 14(3): 14-20.

[18] 邸亮. 遥感技术在森林资源图像识别中的应用[J]. 城市地理, 2017(24): 193.

[19] 卜程丹. 遥感技术在土地资源评价中的应用[J]. 城市地理, 2017(24): 192.

[20] 张兵, 崔希民, 赵彦博, 等. 基于High-1卫星影像的土地整治遥感监测方法研究与实践[J]. 农业工程学报, 2015(20): 98.

[21] 彭远新, 邓振利, 姜亚俊, 等. 近50年莱州湾南岸海岸线变迁遥感监测研究[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(3): 54-56.

[22] 李刚, 孙桂华, 姚永坚, 等. 三沙湾海岸线时空演变[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2019, 49(1): 196-205.

[23] 张云芝, 张千力, 胡云锋. 2010—2017年珠江河口海岸线遥感监测和动态变化分析[J]. 海洋通报, 2019, 38(2): 217-224.

[24] 王绪龙, 王世进, 刘奇志, 等. 山东省旅游地质资源遥感调查成果及潜力展望[J]. 中国地质调查, 2018, 5(6): 90-96.

[25] 邢宏. 基于遥感的青岛胶州湾湿地信息提取与分析[J]. 科技经济导刊, 2018, 26(6): 20-22.

[26] 周玉明, 赵志峰, 刘晓磊. 天津市区古河道工程特性及对地铁工程的影响[J]. 勘察科学技术, 2017, 213(6): 42-46, 50.

[27] 张竞, 马震, 吴爱民, 等. 基于岩性光谱特征的雄安新区地面古河道识别研究[J]. 地球学报, 2018, 39(5): 542-548.

[28] 叶成名, 李尧, 崔鹏, 等. 高光谱遥感地质灾害信息提取系统设计与实现[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2018, 29(5): 89-94.

[29] 魏少伟. 线性工程地质灾害监测新技术及发展趋势[J]. 铁道建筑, 2019, 59(2): 57-63.

[30] 王少林. 基于遥感影像的矿山地质灾害形成机理分析[J]. 世界有色金属, 2017, 490(22): 183-185.

[31] 段瑞琪, 董艳辉, 周鹏鹏, 等. 高光谱遥感水文地质应用新进展[J]. 水文地质工程地质, 2017, 44(4): 23-29.

[32] 贾永红, 李德仁, 孙家柄. 多源遥感影像数据融合[J]. 遥感技术与应用, 2000(1): 41-44.

[33] 周圆心, 何静, 徐旸. 基于遥感影像的城市地下空间资源量估算方法[J]. 城市地质, 2017, 12(3): 87-90.

[34] 田毅, 陈建平, 王丽梅. 北京市中心城区地下空间潜在资源量三维评价[J]. 中国土地科学, 2012, 26(11): 40-44, 97.

APPLICATION OF REMOTE SENSING TECHNOLOGY TO URBAN GEOLOGICAL SURVEY AT QINGDAO CITY

FU Jiani[1,2], LIU Honghua[1,2], DONG Jie[1,2], DOU Yanguang[3], MING Qiang[1,2],
LIU Haisong[1,2], XIA Weiqiang[1,2], ZOU Liang[3]

（1 Key Laboratory of Geological Safety of Coastal Urban Underground Space, Ministry of Natural Resources, Qingdao 266100, China;
2 Qingdao Geo-Engineering Surveying Institute (Qingdao Geological Exploration Development Bureau),Qingdao 266100, China;
3 Qingdao Institute of Marine Geology, China Geological Survey, Qingdao 266071, China）

Abstract: Remote sensing technology is now efficiently used in urban geological survey. It may provide more macroscopic and intuitive data support for urban geological mapping and specific investigations of some geological problems. In the Project on Urban Geological Survey of Qingdao City, the method of remote sensing is widely used and has achieved a lot. Firstly, based on the multi-period high accuracy remote sensing images, the remote sensing interpretation marks for Jiaozhou Bay are established and the regional geological map of Jiaozhou Bay recompiled. Secondly, the distribution of artificial reclaimed land around Jiaozhou Bay is identified. And the third, a preliminary estimation of underground space resources is made available with remote sensing data for the depth of 0~10 m, 10~30 m, 30~50 m and 50~100 m respectively of the main urban area of Qingdao city. It is proposed that 10~50 m underground is the potential layer for expansion of underground space. Our practice demonstrates that the results are very useful to realize the purpose of geological survey, to improve the work efficiency, and to ensure the integrity and accuracy of results. The remote sensing technology may also provide references for solving of some specific urban geological problems.

Key words: remote technique; urban geological survey; artificial reclaimed land; underground space; natural resources