

DOI: 10.16788/j.hddz.32-1865/P.2021.02.005

引用格式:程秀娟,孙萍萍,王晓勇,等.延安城市地下空间探测技术方法及应用研究[J].华东地质,2021,42(2):167-175.

延安城市地下空间探测技术方法及应用研究

程秀娟,孙萍萍,王晓勇,薛强,王益民,田中英

(自然资源部黄土地质灾害重点实验室,中国地质调查局西安地质调查中心,陕西 西安 710054)

摘要: 该文选取延安市作为黄土丘陵沟壑区的典型代表,总结出侧向山体地面探测适宜采用航空摄影测量、三维基础地质调查填图等方法,垂向地下空间探测可采用工程地质钻探、随钻监测、钻孔多参数地球物理测井等技术方法,其中工程地质钻探、多参数地球物理测井对于探测黄土丘陵沟壑区地下空间效果较好。探测结果显示,延安市中心城区地下岩土体可划分为8个土体填图单元、5个岩体填图单元,其中中侏罗世延安组宝塔山段石英砂岩是地下空间开发的理想岩层。总结出延安市城区地下空间地质结构类型包括4种,其中侧向山体空间地质结构包括黄土梁峁区地质结构、斜坡带地质结构2种类型,垂向地下空间地质结构包括河谷阶地区地质结构、人类工程活动挖填方区地质结构2种类型,结果可为区内建立山体及地下三维地质结构模型提供控制性的准确数据。

关键词: 黄土丘陵;延安;地下空间;探测方法

中图分类号: P631.8

文献标识码: A

文章编号: 2096-1871(2021)02-167-09

21世纪以来,随着全国城镇化水平的不断提高,城市人口与土地之间的矛盾越来越突出,导致生存空间拥挤、道路交通堵塞、生态环境恶化等限制城市发展的的问题随之而来^[1]。2014年,我国制定了《国家新型城镇化规划(2014—2020年)》^[2],提出全新的城市发展理念,从而对城市地质调查产生了迫切需求^[3]。2016—2017年,我国制定“向地球深部进军”的科技创新战略,开展地下空间开发利用攻关,统筹城市地上地下建设。

在国外,从1863年英国伦敦建成世界上第一条地铁开始,西欧和美国等国家掀起了地下空间建设的第一次高潮,20世纪后期,日本、韩国、新加坡等亚洲国家也开始大力发展城市地下空间^[4]。近几十年,地下空间开发利用高速发展,从初期开发地下交通、人防工程、商业街,发展到现今建设复杂的地下城、地下博物馆、地下综合管线等智慧型地下空间^[5]。当前,我国一线城市地下空间利用深度大约20 m,二三线城市地下空间利用深度为10 m,像北京、上海等特大城市地下空间利用深度达到50 m,

部分区域超过70 m^[6]。开展城市地下空间探测是科学合理开发地下空间资源的基本前提^[7],然而目前城市地下空间探测的理论方法还不成熟^[6],城市地下空间探测的整体进度及开发利用效率赶不上城市发展的要求^[8]。我国西北地区由于经济实力和技术水平等方面的原因,城市地下空间开发利用起步较晚,除西安、兰州等一线大城市外,其他中小城市地下空间的探测与利用正处于逐步推进中^[9],已有地下探测工作主要集中在煤炭等能源资源的勘探,较少应用于地下空间的开发利用^[10]。目前,城市地下空间探测主要以城市地质调查、钻探、地球物理探测等技术方法为主^[6],在城市强干扰环境下,地下空间探测技术方法及其获取的数据资料不能完全满足资源评价和开发利用规划的需求^[11],因此,探测技术方法体系是目前需要深入探索的问题。然而不同城市具有不同的地貌、地质背景和地层结构条件^[12],地下空间探测技术方法的适用性亦有所不同。本文通过在典型西北黄土高原山区城市延安对地下空间探测技术的应用,探索总结适应

* 收稿日期:2021-01-04 修订日期:2021-04-05 责任编辑:叶海敏

基金项目:中国地质调查局“延安革命老区综合地质调查(编号:DD20189270)”项目资助。

第一作者简介:程秀娟,1983年生,女,高级工程师,主要从事地质灾害、城市地质调查研究工作。Email:cugcheng2008@sina.com。

于黄土丘陵沟壑区的地下空间地质结构探测方法,为全国其他黄土地区地下空间的探测提供借鉴。

1 地质概况

延安位于陕北黄土高原中部,第四纪黄土几乎遍布全区,总体地形特点城区低,四周高,最高海拔达1 290 m,最低海拔约 930 m,相对高差 360 m。在新构造运动的影响下,由于延河、南川河及其支流的长期侵蚀切割,形成了现今梁峁起伏、沟壑纵横的地貌景观,属典型的黄土梁峁沟壑区。

延安市区在形态上呈现出“三山夹两川”的 Y 字形(图 1),属典型的线状城市。川道最宽处不足 1 km,据统计,城区坡度<10°的面积不足 12%,城市发展空间非常狭窄,导致中心城区建筑密度大,交通拥堵,人口密集,地表空间严重短缺。

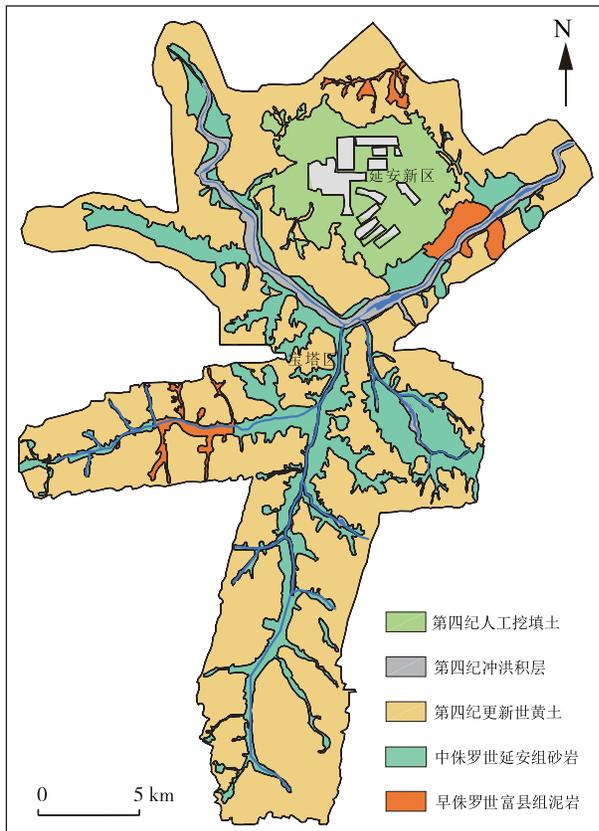


图1 延安市城区地质略图

Fig. 1 Geological sketch map of Yan'an urban area

2 地下空间探测方案

黄土丘陵沟壑区的延安城市具有地形起伏大、表面黄土广泛覆盖的特征,针对这一特征本文提出

了“侧向山体+垂向地下”组合开发探测的理念(图 2),主要探测城区地下空间的岩性分层、基岩面埋深及起伏等地质结构情况。前期通过对区内基础地质、水工环地质特别是工程地质钻探、城市规划等方面资料的收集整理分析,按照区内河谷河床为基准面,将探测分为地面探测和地下探测 2 个部分:地面探测主要以探测地面建筑等地物、侧向山体地质结构为主,采用航空摄影测量、三维地质调查填图、三维激光扫描探测技术;地下探测主要以探测河床以下地质结构为主,采用工程地质钻探、随钻探测、地球物理探测等技术手段。在此基础上对探测结果进行综合分析,各种手段之间相互补充验证,对山体及地下地质结构进行详细划分,绘制典型工程地质剖面,建立城区侧向山体及垂向地下三维地质结构模型,搭建地质信息平台,从而服务城市地下空间开发利用的总体规划(图 3)。

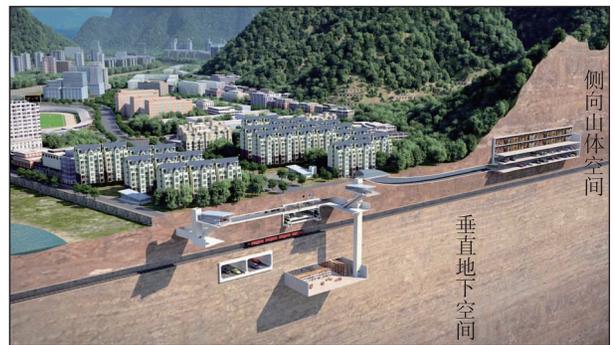


图2 “侧向山体+垂向地下”组合开发示意图

Fig. 2 Combined utilization of “hillside lateral + underground downwards” space

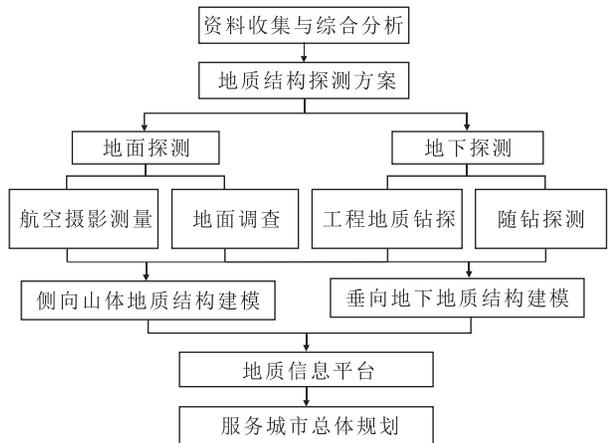


图3 地下空间开发的地质结构探测流程

Fig. 3 Detection process of geological structure for underground space development

3 地下空间探测技术方法及应用

3.1 航空摄影测量

搭载多台或多种传感器的无人机倾斜摄影测量技术发展越来越快,可从不同角度获取影像信息^[13]。在数据处理方面,可利用 Smart3D 等软件将倾斜摄影测量数据处理生成实景三维模型^[14],用于黄土丘陵区侧向山体地质结构的探测与三维模型的建立。

本文运用无人机搭载 SWDC-5 航摄仪,对延安市中心城区进行了 1:10 000 精度的航摄,获取了延

安市区倾斜摄影测量数据,同时通过地面控制点测量,获取航空影像精确外方位元素,建立立体模型,利用影像匹配技术生成数字表面模型,对航空影像进行畸变纠正,应用纠正影像对数字表面模型进行纹理映射,生成真三维模型和正射影像,同时使用数字表面模型生成测区的数字高程模型(图 4),在此基础上,运用 Smart3D 软件系统处理航空数据,构建城市地面实景三维模型,利用 DP-Modeler 和 3dmax 对实景三维模型做精细化处理,建立了延安城市地面实景真三维模型(图 5),为延安市侧向山体空间地质结构的探测提供了基础数据。

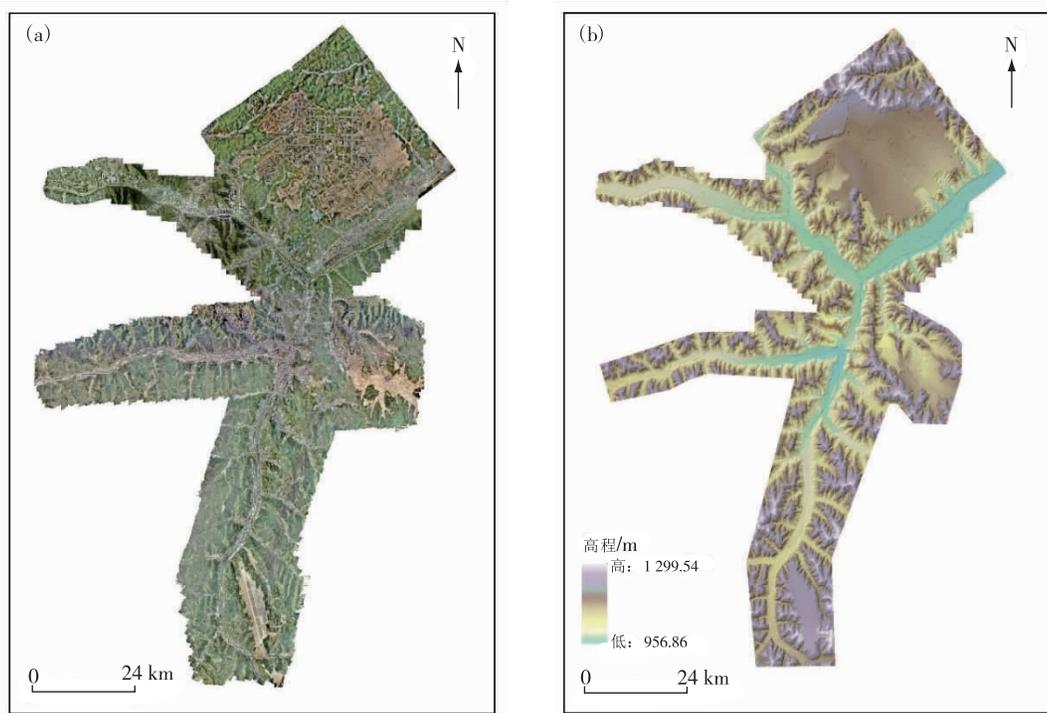


图 4 延安市城区正射影像(a)及数字高程模型(b)

Fig. 4 Orthophoto map (a) and digital elevation model (b) of Yan'an urban area

3.2 三维地质调查填图

在对已往基础地质资料进行收集分析的基础上,结合遥感地质解译及区内地层分布,以航空摄影测量获取的数据为底图,按照 1:10 000 比例尺的精度设计调查路线与填图单元,选择连续性好、特征明显、代表性强、沉积速率相对较大的位置,采用岩性实体填图、地质剖面测量、地质路线调查、采样测试为主要手段开展城区地面及高程方向的三维基础填图,填图内容主要包括:

(1)岩体调查内容。查明岩石地层单位的岩

性、主要物质成分、基本层序、化石组合、沉积特征(结构、构造及组构特征)、厚度、产状、成因、接触关系、时空分布变化规律,识别划分出碎屑岩中的特殊夹层(如灰岩和砾岩夹层等),并将其作为标志层进行地层细分,从而保证正确建立地层层序,合理划分岩石地层单位。

(2)土体调查内容。由于工作区第四纪出露黄土几乎遍布全区,因此采用岩性-成因类型-年代的填图划分方法开展调查,主要以马兰黄土、离石黄土、午城黄土为基本填图单元,结合古土壤标志层

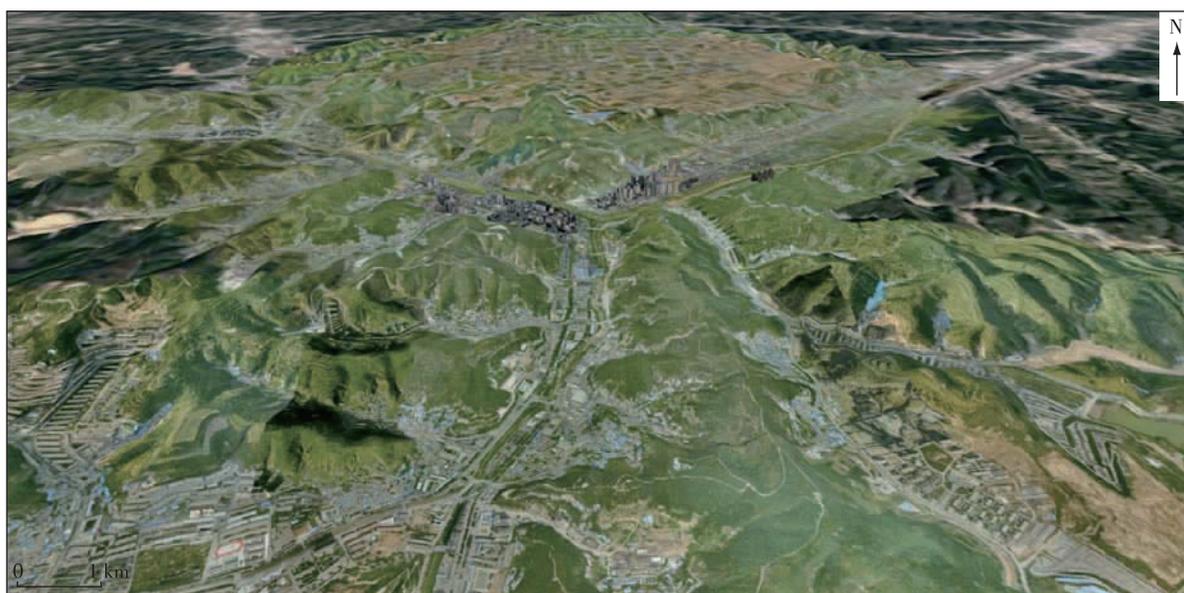


图5 延安市城区倾斜摄影测量三维模型

Fig. 5 Three-dimensional models of oblique photogrammetry of Yan'an urban area

进行区域第四纪地层层序对比,建立古土壤地层序列和年代地层序列,查明第四纪不同成因类型土体的岩性、物质成分、颜色、厚度、风化特征、接触关系及空间分布等特征,探讨其形成时代与发展演化过程。

通过市区三维基础地质调查填图,确定了8个土体填图单元(表1),5个岩体填图单元(表2),测制柱状剖面273个,识别出延安市区三维基础地质填图关键的5个特殊标志层:古土壤层-钙质结核层,离石黄土内L9、L15粉砂层,砂泥岩透镜体,瓦

窑堡组与延安组枣园段中的煤层(线)。

3.3 工程地质钻探

工程地质钻孔采用剖面线的形式布设,将区内岩土层地质结构探测单元按照黄土梁峁区、黄土斜坡带、河谷阶地区、人类工程活动挖填方区4种类型进行了划分,侧重于中心城区及其他已规划地下空间工程的人类工程建设密集区。工程地质钻孔的孔径采取133 mm,根据延安市区地层的展布特征及所搜集的煤炭钻孔、水文地质钻孔,确定了5个地

质标志层位,从老到新分别是晚三叠世瓦窑堡组二段内的 2 号煤层、晚三叠世瓦窑堡组三段底部的厚层状中细粒砂岩层、早侏罗世富县组底部砂砾石层、中侏罗世延安组底部砂砾石层、黄土基岩接触面。2018~2019 年间,区内共实施完成 45 孔约 6 004.1 m 的工

程地质钻探,将所有钻孔钻至目标标志层位,相同层位相连总体上可控制性搭建整个延安市区地下三维地质结构模型。在黄土梁峁区地层探测中,证实了黄土梁峁地貌是继承下更新世早期午城黄土—上新世末期三趾马红土高原所形成的(图 6)。

表 1 确定的中心城区土体填图单元

Table 1 Geological mapping units of soil in Yan'an urban area

地质年代	地层填图单位划分	岩性综合描述	
新生代	全新世	晚期	人工填土(Qh ^{2ml}) 主要由人工平山造地形成,杂填土
		河流冲积(Qh ^{2al}) 漂石、卵石、圆砾和各种粉土、黏性土	
		早期	冲洪积(Qh ^{1(al+pl)}) 粉土、粉质黏土、黏土、细砂,含砾石
			河流冲积(Qh ^{1al}) 粉质黏土、粉土、砂土和黄土所构成,有卵石、圆砾的夹层
	第四纪	晚更新世	马兰黄土(Qp ³) 灰白色、黄白色粉土为主,粉土成分含量较高,结构疏松,质地均一,具大孔隙,无层理,垂直节理发育,含有较多白云母片及少量蜗牛化石
		中更新世	离石黄土(Qp ¹⁻²) 浅棕黄或浅棕红色粉质黏土、黏土夹十余层棕红色古土壤,结构较致密,垂直节理发育,无层理
		晚期	
	早更新世	早期	午城黄土(Qp ¹) 肉红色土状粉质黏土(石质黄土)和密集钙质结核(层)构成,块体性较强,总体显棕红色
		早期	
	新近纪	上新世	三趾马红黏土(N _{2s}) 上部为棕红色黏土,夹有钙质结核,富铁锰质斑点,含有多种化石;中部为棕红色疏松细砂岩;底部为灰白色、褐色砾岩,钙质胶结、致密

表 2 确定的中心城区岩体填图单元

Table 2 Geological mapping units of rock mass in Yan'an urban area

地质年代	地层填图单位	岩性综合描述
中生代	侏罗纪	中侏罗世 延安组 枣园段泥质粉砂岩(J _{2y} ²) 黄绿、灰黑、灰绿色泥质页岩与灰黄、灰绿、黄绿色砂岩互层,以泥页岩为主,岩石风化严重,节理发育
		宝塔山段砂砾岩(J _{2y} ¹) 以砂岩为主,为一套灰白、灰黄色厚层状由细粒、粗粒砂岩及含砾砂岩组成,交错层理发育
	早侏罗世	富县组 泥岩段(J _{1f} ²) 紫红、灰绿等杂色泥岩、砂质泥岩
		砂砾岩段(J _{1f} ¹) 浅灰、灰黄色巨厚层-块状砂岩或砾岩
三叠纪	晚三叠世 瓦窑堡组 泥岩、粉砂质泥岩(T _{3w}) 灰黑色页岩,砂质泥岩与黄绿色厚层至薄层中细砂岩互层,夹数层薄层煤线	

3.4 随钻监测技术

对工程岩土体质量的正确认识和定量描述是任何岩土工程得以安全、有效、合理进行的基础和重要环节^[15-16],也是地下空间地质结构探测的内容之一。香港大学 YUE Z Q 等^[17]在长期对钻孔进行全过程数字实时监测的基础上,开发和研制了现场钻孔过程监测仪 DPM(Drilling Process Monitoring),该

技术是利用岩土体钻进速度的不同,按照时间测量钻进过程中钻速等相关参数的随钻监测技术,为现有工程岩体质量评价提供了途径和手段。

基于随钻监测设计理念和基础,通过改造主动钻杆位置传感器、无线扭压一体传感器以及随钻监测数据采集装置,在延安市区的工程地质钻探中进行了探索性的应用,随钻监测的优势在于其能够自

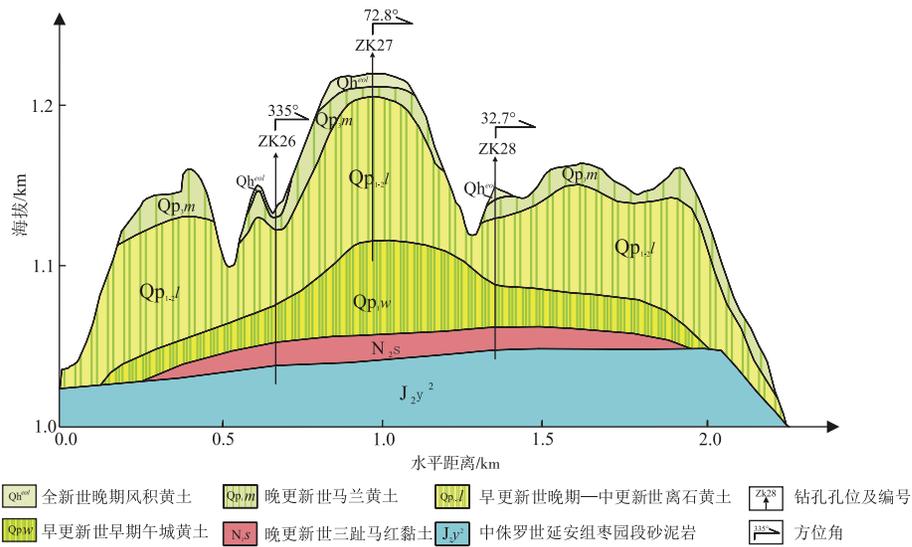


图6 延安市黄土梁峁沟壑继承性典型剖面

Fig. 6 Typical inherited section of loess hilly area in Yan'an urban area

动、连续地对钻机的各种动力和运动参数进行监测与记录(图7),可无损伤快速地安装到任何钻机钻具上,快速揭露和反映钻进过程中的岩土体物理力学特性。但应用中也发现其与钻探取室内试验的对比反演需要海量的数据才能保证准确性,因此随钻监测技术在黄土丘陵沟壑区的应用范围及适宜性还有待进一步研究。

3.5 地球物理探测

采用的地球物理方法主要包括:多参数测井、高密度电法、探地雷达、浅层地震、浅层瞬变电磁法、微动探测等^[6,18]。第四纪黄土广泛覆盖于延安市城区,因此高密度电法、探地雷达等方法主要在部分典型斜坡段、延安市新区地质环境监测中进行了应用^[19],而探测地下空间地质结构则以钻孔多参数地球物理测井为主,通过实施不同类型的钻孔测井总结了区内地层的物性参数及岩性力学参数特征,证实了延安市地下水含水层的赋存地层主要为宝塔山中粗砂岩段,隔水层的岩性为枣园组及下部富县组砂质泥岩、泥岩。研究认为,在黄土覆盖层较厚的地区,地球物理方法探测黄土地层的结构及分层仍是个难点,而钻孔多参数测井运用在黄土丘陵沟壑区地下空间探测中可取得较好的效果。

(1)应用三侧向电阻率、天然伽玛、补偿密度、声波时差、自然电位、中子密度、井径等测井组合方法可准确划分地下岩土层的岩性剖面,综合分析整个钻孔剖面及软弱夹层的物性特征。

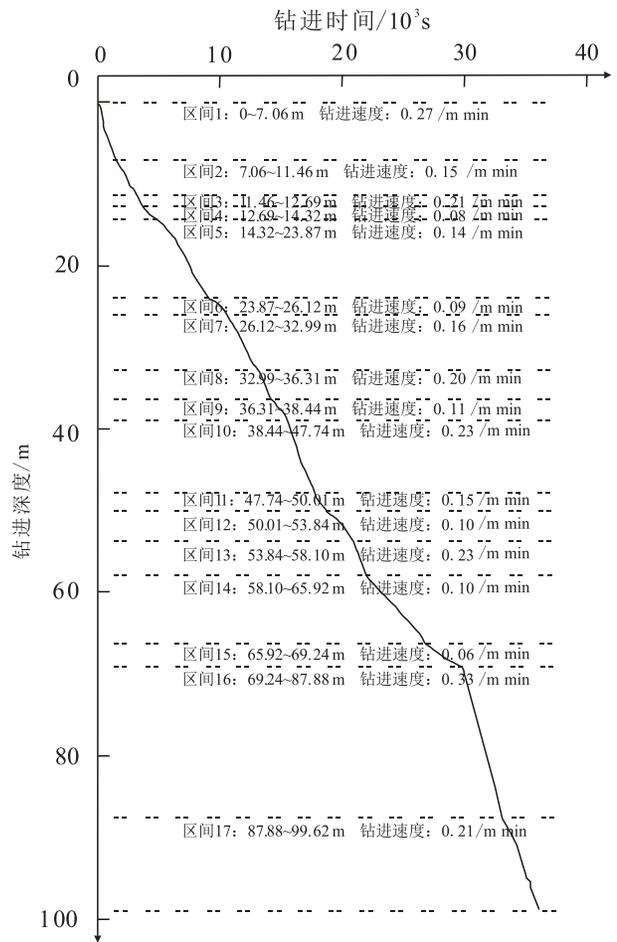


图7 延安市城区钻孔 DPM 钻速分段图

Fig. 7 Piecewise diagram of drilling speed measured by DPM in Yan'an urban area

(2)应用声波时差、强度指数、侧向电阻率、补偿密度结合井径、中子孔隙度、渗透率等测井组合方法可评价岩石的致密程度及完整性。

(3)应用双侧向电阻率、天然伽玛、自然电位、声波时差、井温等测井组合方法可对地下岩层中的含水层做准确划分,并初步判断含水层的赋水情况(图 8)。

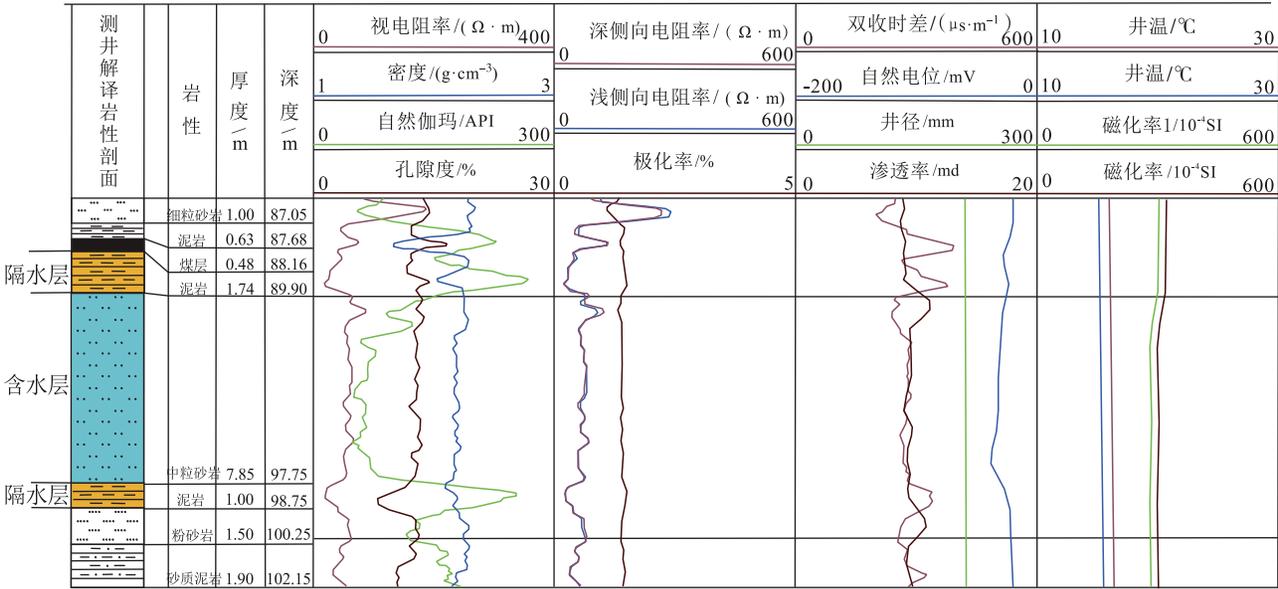


图 8 延安市城区地下水含水层与隔水层测井曲线特征图

Fig. 8 The logging characteristics of groundwater aquifers and aquicludes in Yan'an urban area

4 地下空间地质结构特征

以上研究表明,延安市区侧向山体岩土层地质结构有 2 种类型:黄土梁峁区地质结构与黄土斜坡带地质结构。垂向地下岩土层地质结构也有 2 种类型:河谷阶地区地质结构与人类工程活动挖填方区地质结构。本文根据延安组宝塔山段、枣园段,富县组等标志层位的顶面标高与厚度等值线图,绘制延安市区东西向和南北向的工程地质剖面图,为延安市区侧向山体与垂向地下三维地质结构模型的建立提供了准确的数据支撑。延安市区各类型岩土层地质结构特征分析如下。

(1)黄土梁峁区地质结构中,黄土层序发育情况相对齐全,从马兰黄土向下至离石黄土层以及 S1-S15 古土壤均发育完整,最大厚度可达 150 m。黄土基岩接触面的形态近似平直,稍有起伏,中间略有凹陷,二者接触面高程从西向东、从南向北缓缓下降。

(2)黄土斜坡带地质结构中,全新世黄土、马兰黄土在斜坡带发育较全,黄土覆盖主要是第四纪全新世崩积层及滑坡堆积层,而离石黄土、午城黄土、

三趾马红黏土时厚时薄,且层序不全,其中离石黄土斜坡现象较为明显,三趾马红黏土一般出露于滑坡滑带附近。

(3)河谷阶地区地质结构中,上部为人工堆填土、河流冲洪积层等第四纪全新世地层,下覆基岩为中侏罗世延安组枣园段(J_2y^2)砂泥岩互层,中侏罗世延安组宝塔山段(J_2y^1)粗砂岩、砂砾岩,早侏罗世富县组(J_1f)泥岩,晚三叠世瓦窑堡组(T_3w)砂质泥岩。其中中侏罗世延安组宝塔山段整套地层岩石较为均一,整体上由北向南、由东到西表现出逐渐增厚的趋势,岩性以粗砂岩为主,产状近水平,致密坚硬,未风化,节理裂隙不发育,属层状块裂结构,室内试验测得砂岩平均抗拉强度为 1.97 MPa,干燥状态下平均单轴抗压强度为 61.2 MPa,饱水状态下平均单轴抗压强度为 41.2 MPa,工程地质性质良好,适宜于地下空间的开发利用。

(4)人类工程活动挖填方地层主要位于延安市新城区,由于大规模平山造地工程的实施,地质结构在挖方区和填方区差别较大,挖方区主要集中于平山造地之前的梁峁地带,其工程地质结构与黄土梁峁区相似;填方区主要位于平山造地之前的沟谷地带以及两侧的斜坡带,地质结构较为简单,自上而下主要有填

筑土、少量的离石黄土、基岩风化层三层组成,根据钻孔揭露,填筑土最大填埋深度达 96.7 m。

5 结论

(1)总结出延安城区地下岩土层地质结构类型包括黄土梁峁区地质结构、黄土斜坡带地质结构、河谷阶地区地质结构、人类工程活动挖填方区地质结构 4 种。证实了延安市黄土梁峁地貌是继承下更新世早期午城黄土—上新世末期三趾马红土高原所形成的,确定了区内不同地貌单元的地层接触关系及空间展布特征,为区内侧向山体及垂向地下三维地质模型的建立提供了准确的控制性数据。

(2)针对黄土丘陵沟壑区地形起伏大的特点,分别探索了侧向地面与垂向地下 2 个方面的探测技术方法适宜性,其中侧向山体地面探测可采用航空摄影测量、三维基础地质调查填图等,垂向地下探测可采用工程地质钻探、随钻监测、钻孔多参数地球物理测井等技术方法,其中三维基础地质调查填图、工程地质钻探及多参数地球物理测井对于探测黄土丘陵沟壑区地下空间效果较好。

(3)通过实施地下空间探测,认为延安市具有开展地下空间开发利用的有利条件,一是延安市区地质结构简单,无明显活断层,有利于地下工程建设;二是区内中侏罗世延安组宝塔山段石英砂岩岩石取心率高,岩体结构完整,构造裂隙不发育,工程地质性质良好,但该层属地下水含水层,应防范地下水对地下空间开发利用的影响;三是河谷两岸的基岩顶面高出河床 30~40 m,具良好的侧向地下空间开发层位。

致谢:感谢张茂省研究员的全程技术指导,感谢中国煤炭地质总局航测遥感局组织实施项目工程地质钻探,中国地质大学(北京)张中俭副教授在随钻监测方面给予的技术指导,长安大学李同录教授在地下空间资源探测方面提出的宝贵意见。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 中共中央、国务院.国家新型城镇化规划(2014—2020年)[M].北京:人民出版社,2014:1-96.
- [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] 程光华,苏晶文,李采,等.城市地下空间探测与安全利用战略构想[J].华东地质,2019,40(3):226-233.
- [5] 张彬,徐能熊,戴春森.国际城市地下空间开发利用现状、趋势与启示[J].地学前缘,2019,26(3):48-56.
- [6] 赵锴,姜杰,王秀荣.城市地下空间探测关键技术及发展趋势[J].中国煤炭地质,2017,29(9):61-73.
- [7] 何静,郑桂森,周圆心.城市地下空间资源探测方法研究及应用[J].地质通报,2019,38(9):1571-1580.
- [8] 杨晓刚,王睿,黄伟亮.基于国内典型城市对比的地下空间开发利用现状及问题分析[J].地学前缘,2019,26(3):69-75.
- [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.
- [10] 贺玉周,张楠.关中地区城市地下空间开发利用的探讨[J].城市发展研究,2019,26(增刊):53-59.
- [11] 张茂省,王益民,张戈,等.干扰环境下城市地下空间组合探测与全要素数据集[J].中国地质,2019,46(S2):30-49.
- [12] 彭建兵,黄伟亮,王飞永,等.中国城市地下空间地质结构分类与地质调查方法[J].地学前缘,2019,26(3):9-21.
- [13] 宋媛媛.基于 Smart3D 三维模型的大比例尺地形图测绘精度分析[J].测绘与空间地理信息,2020,43(2):219-221.
- [14] 李莹,林宗坚,苏国中,等.Smart 3D 数据的三维模型重建[J].测绘科学,2017,42(9):88-93.
- [15] 陈祖煜,汪小刚,杨健,等.岩质边坡稳定分析:原理方法程序[M].北京:中国水利水电出版社,2005:82-85.
- [16] 岳中琦.钻孔过程监测(DPM)对工程岩体质量评价方法的完善与提升[J].岩石力学与工程学报,2014,33(10):1977-1996.
- [17] YUE Z Q, LEE C F, LAW K T, et al. Automatic monitoring of rotary-percussive drilling for ground characterization—illustrated by a case example in Hong Kong [J]. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2004,41(4):573-612.
- [18] 姜月华,吴吉春,李云,等.高密度电法在城市地下水和土壤有机污染调查中的应用[J].华东地质,2021,42(1):1-8.
- [19] 田中英,张茂省,冯立,等.基于综合物探的黄土滑坡优势通道探测[J].西北地质,2019,52(2):172-180.

Research and application of detection methods for urban underground space in Yan'an area

CHENG Xiujuan, SUN Pingping, WANG Xiaoyong, XUE Qiang, WANG Yimin, TIAN Zhongying
(Key Laboratory for Geo-hazards in Loess Area, Ministry of Natural Resources, Xi'an Center,
China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: This paper considers that the methods of aerial photogrammetry and three-dimensional basic geology mapping are suitable for detecting the lateral mountain space while the technique methods of engineering geological drilling, monitoring while drilling and geophysical well logging of multi-parameters can be used in detection of vertical underground in loess hilly and gully region like Yan'an, among which the detection effect of engineering geological drilling and geophysical well logging of multi-parameters is much better. The detection result shows that the rock and soil of underground in Yan'an center areas can be divided into 8 soil mass mapping units and 5 rock mass mapping units, and the quartz sandstone strata of Baotashan Member in Middle Jurassic Yan'an Formation is favorable for underground space exploitation. It concludes four types of underground geological structure in Yan'an City, i.e. the loess gully region and slope zone of lateral mountain space geological structures, and the valley terrace area and the excavation and filling area of human engineering activities in vertical underground geological structure. The research result can provide controlled and accurate data for the establishment of a three-dimensional geological structure models in the area.

Key words: loess hills; Yan'an; underground space; detection method

• 成果快讯 •

无人机技术在长三角水网平原区生态环境地质调查中的应用示范

2019年12月1日,中共中央、国务院印发了《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》,长三角区域一体化上升为国家战略。中国地质调查局南京地质调查中心紧扣“一体化”和“高质量”两个关键词,聚焦水环境和水生态等突出问题,以水为脉,积极探索长三角水网平原区无人机调查、采样和监测在生态环境地质调查的技术应用示范。

(1)形成无人机水域污染源快速筛查技术,利用无人机搭载热红外相机,可在1小时内完成10 km²的工业排污口监测,极大地提高了工业园区污染源调查和监测效率,为圈定污染源和水体精准采样提供技术支撑。

(2)形成无人机水域高效安全采样技术,破解湖泊中心水样采集难题,通过无人机搭载自主研发采水器进行水样采集,大幅提高工作效率和野外安全,16小时完成了26个湖泊中心区水样采集工作,可为涉水地区生态环境调查与监测提供技术支撑。

(中国地质调查局南京地质调查中心 周权平,杨海 供稿)