

doi:10.12097/j.issn.1671-2552.2023.04.010

戈壁荒漠浅覆盖区 1 : 5 万区域地质填图技术方法探索

——以东天山哈密地区为例

康磊¹, 刘生荣¹, 张海迪¹, 王国灿², 郭伟立¹, 罗彦军¹, 任广利¹, 吕鹏瑞¹, 曹凯¹
KANG Lei¹, LIU Shengrong¹, ZHANG Haidi¹, WANG Guocan², GUO Weili¹, LUO Yanjun¹,
REN Guangli¹, LYU Pengrui¹, CAO Kai¹

1. 中国地质调查局造山带地质研究中心/自然资源部岩浆作用成矿与找矿重点实验室/中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054;

2. 中国地质大学(武汉)地质调查研究院, 湖北 武汉 430074

1. Centre of Orogenic Belt Geology, CGS/Key Laboratory for the Study of Focused Magmatism and Giant Ore Deposits, MNR/Xi'an Center, CGS, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2. Institute of Geological Survey, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China

摘要:为了更好地服务生态文明建设和经济社会高质量发展,区域地质填图工作亟需从基岩区向盆山结合带、盆地等覆盖区进行拓展。戈壁荒漠浅覆盖区是研究中国北方中小城市和大城市边缘干旱区找水、隐伏区找矿、盆地基底性质、盆山耦合演化的关键地区,但一直缺乏针对性的区域地质填图技术方法。以东天山哈密地区觉罗塔格山与吐哈盆地结合部位的戈壁荒漠浅覆盖区为例,利用地质、物探、遥感、钻探等多技术手段,采用由“已知”到“未知”的思路,从调查内容、调查方法、技术手段、成果表达等方面,针对不同覆盖层深度、覆盖层结构和地质矿产目标,通过大量方法实验和实践,开展适用性、经济性和分辨率的综合分析,完善优化了地球物理和钻探的技术方法组合。利用 GeoModeller 软件,实现了戈壁荒漠浅覆盖区三维地质结构的可视化表达,建立了从地表、覆盖层到覆盖区基岩的立体式透明化的区域地质填图技术方法体系,查明了地质填图区域的三维地质结构及其成矿地质背景,满足戈壁荒漠浅覆盖区 1 : 5 万区域地质填图的目标,也为东天山大草滩断裂带性质、吐哈盆地基底性质及其中新生代盆地构造环境演化等关键地质问题提供了重要信息。

关键词:浅覆盖区;戈壁荒漠;区域地质填图;技术方法;东天山;地质调查工程

中图分类号:P62 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2023)04-0616-15

Kang L, Liu S R, Zhang H D, Wang G C, Guo W L, Luo Y J, Ren G L, Lyu P R, Cao K. Exploration of 1 : 50000 geological mapping in Gobi desert shallow covered area: a practice in Hami area of East Tianshan. *Geological Bulletin of China*, 2023, 42 (4): 616-630

Abstract: In order to better serve the construction of ecological civilization and high-quality economic and social development, geological mapping is urgently needed to be expanded from the bedrock area to covered area containing the basin-mountain combination zone and basin cover areas. Gobi desert shallow covered area is the key for investigating water, prospecting in hidden areas,

收稿日期:2022-06-05;修订日期:2022-12-13

资助项目:中国地质调查局项目《东天山喀拉塔格—雅满苏一带戈壁荒漠浅覆盖区地质填图》(编号:DD20179607)、《天山—北山成矿带那拉提—营毛沱一带地质矿产调查》(编号:DD20160009)、《东天山昌吉—双沟山地区区域地质调查》(编号:DD20190370)、《西北地区区域基础地质调查》(编号:DD20221636)和国家自然科学基金项目《西准噶尔克拉玛依岩体中多种岩浆混合产物的矿物成因及岩浆》(批准号:41202044)

作者简介:康磊(1984-),男,硕士,教授级高工,从事区域地质调查和岩浆作用与大地构造研究。E-mail:kang844@163.com

and studying basin base properties, basin-mountain tectonic relationships and evolution in the middle-small cities and margin of metropolis of North China. However, there has been lack of systematic geological mapping techniques and methods for Gobi desert shallow covered area. In this paper, taking the Gobi desert shallow cover area in the joint part of Jueluotage Mountain and Turpan-Hami Basin in Hami area of East Tianshan Mountains as an example, using multiple technical methods such as geology, geophysics, remote sensing and drilling, and adopting the idea from "known" to "unknown", the geological mapping technology method which consist of the content, method, technical means of geological survey and achievement expression is systematically summarized. In particular, on the basis of experiment and practice, for different cover depth, different cover structure and different geological and mineral targets, the combination of geophysical and drilling technology were summed up on the main evaluation indicators of applicability, economy and resolution. Moreover, by GeoModeller software, the technical method of 3D geological structure modeling was explored in Gobi desert cover. Through the above work, a three-dimensional and transparent geological survey technology and method system has been established from the surface, the overburden and the bedrock, and the geological structure and its metallogenic geological background have been identified, which fully meet the expected goal of 1:50000 regional geological mapping in Gobi desert shallow covered area. At the same time, it provides important information for the nature of the Dacotan fault zone, the structural evolution of the Turpan-Hami Basin, and the basement nature of the Turpan-Hami Basin.

Key words: shallow covered area; Gobi desert; geological mapping; technical method; East Tianshan; geological survey engineering

目前,中国 1:5 万区域地质填图主要以地质找矿为目的,基本集中在基岩裸露区(图 1),形成了一套完整的基岩区地质填图技术标准规范(自然资源部中国地质调查局,2019)。但是,随地质基岩出露区找矿难度越来越大,成矿带覆盖区已成为找矿突破的关键(邓震等,2019),同时新时代国家对地质工作服务生态文明建设和社会经济高质量发展的迫切需求(贾磊等,2022),对地质填图工作提出了现代化、高精度、多目标等更高要求,需要区域地质调查工作从基岩区向蕴含丰富能源资源和人类主要活动的盆山结合带和盆地等覆盖区进行延伸(王国灿等,2016;陈超等,2021)。

21 世纪以来,英国、法国、澳大利亚、美国等国家开展了覆盖区地质调查研究工作,取得了较好的成效(陈超等,2021),经历了从能源资源勘探、深部地质结构调查研究到服务人类宜居环境的发展历程,但国外以物探资料收集研究为主,仅少量的针对性物探调查,尚未建立系统的覆盖区地质填图技术方法体系^①。在国内,覆盖区地质调查主要应用于矿产能源勘查,一些学者利用地球化学或地球物理手段探索了覆盖区地质构造界线识别的技术方法(刘建华等,2003;刘菁华等,2003;冉志杰等,2005;郝立波等,2007;曾凯等,2013;陈浩辉等,2014;刘嵘等,2016;史冬岩等,2021),积累了重要经验。但覆盖区地质填图需采用地质、物探、化探、遥感、钻探等多种技术手段,经费投入比传统地质填图高,针对性和系统性较强,一直是地质调查工作

的难点。

2015 年,中国地质调查局为了探索中国不同的地质地貌区填图技术方法,设立了“特殊地区地质填图工程”,重点是针对 7 类覆盖区,开展了一批填图试点工作,形成了系列重要成果(刘晓彤,2016;王国灿等,2016;2018;胡健民等,2017;2019;辜平阳等,2018;李朝柱等,2020;田世攀等,2021;卜建军等,2021;王东明等,2021;陈虹等,2022)。其中,在中国不同覆盖区类型中,戈壁荒漠覆盖区分布最广(申元村等,2016)(图 1),主要位于中国北方地区盆地和盆山结合带(王国灿等,2018)。近几年,王国灿(2016;2018)和陈超等(2021)以巴里坤断陷盆地为例,开展了以深覆盖为主的戈壁荒漠覆盖区基岩填图试点,邓震等(2019)和孟贵祥等(2022)在东准噶尔成矿带探索了覆盖区地质找矿的填图技术方法,取得了重要进展。但是,戈壁荒漠覆盖区地质填图技术方法组合因覆盖层深度、调查目标不同差异较大(王国灿等,2018),其中浅覆盖区作为中国北方中小城市和大城市边缘干旱区找水、隐伏区找矿,以及研究盆地基底性质、盆地构造关系、盆山耦合演化等地质资源能源环境问题的关键地区,一直缺乏针对性的填图技术方法和有效经验。

2017—2019 年,中国地质调查局“特殊地区地质填图”工程部署了旨在探索戈壁荒漠浅覆盖区地质填图技术方法的“东天山喀拉塔格—雅满苏一带戈壁荒漠浅覆盖区地质填图”二级项目。调查区位

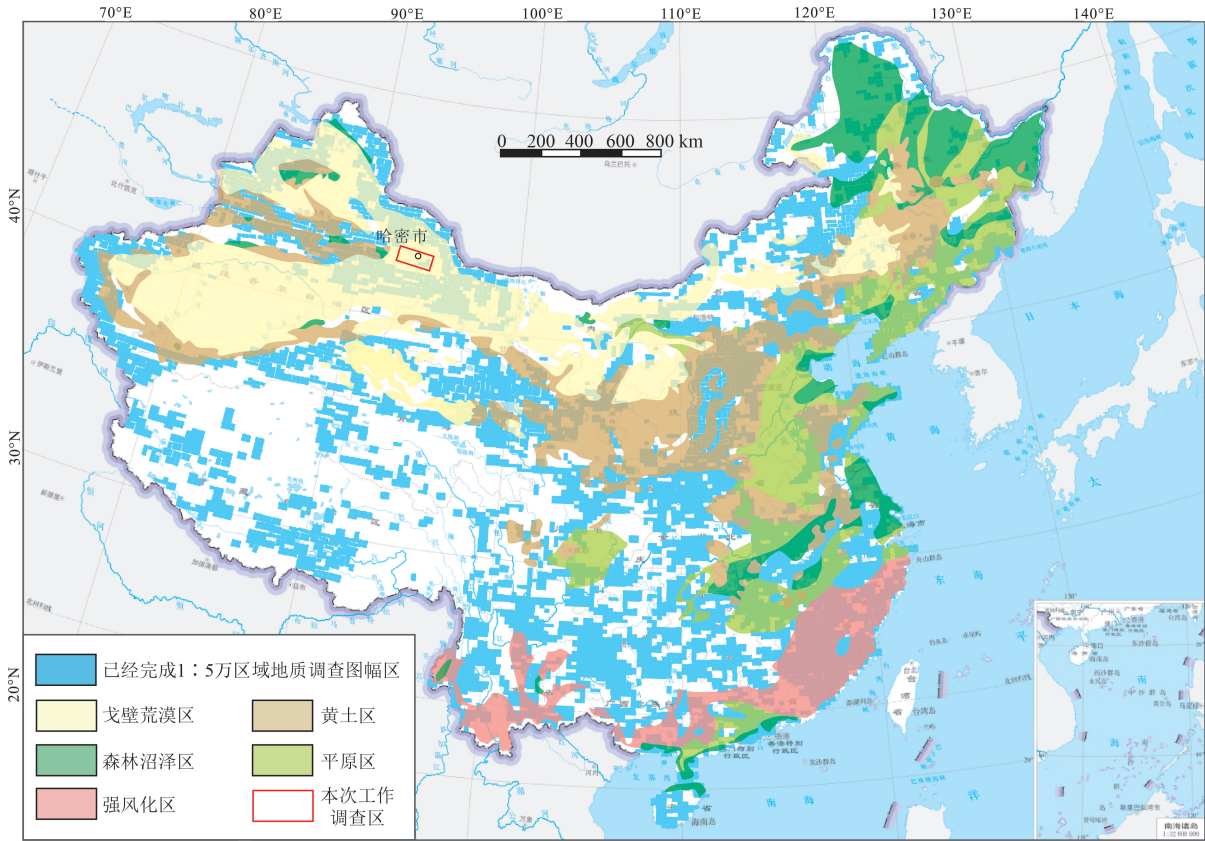


图1 中国不同类型覆盖区分布范围及研究区位置(据王东明等,2021 修改)
(中国地图引自中国主要河流、湖泊图(审图号:GS(2019)4345 号),据自然资源部标准地图服务系统(<http://dzdt.ch.mnr.gov.cn>))

Fig. 1 Distribution of different of coverage areas in China and study area

于觉罗塔格山与吐哈盆地过渡区域的东天山哈密地区,属于典型的戈壁荒漠区(图2),区内普遍被中新世地层覆盖(图2-b、c),以浅覆盖为主,成矿条件优越(李锦轶等,2006;Han et al.,2010;王登红等,2016;丁建华等,2016;刘彬等,2016;龙灵利等,2017)。本文基于地质、物探、化探、遥感、钻探等综合手段,以东天山哈密地区为例,系统探索1:5万

戈壁荒漠浅覆盖区区域地质填图技术方法,特别是针对不同覆盖深度、不同覆盖层结构和不同地质目标的物探技术方法组合,创新图面表达方式,建立三维地质建模方法,揭示覆盖区成矿地质背景条件,发展完善戈壁沙漠覆盖区区域地质填图技术方法体系,为戈壁荒漠覆盖区1:5万区域地质填图的全面开展提供示范。



图2 东天山哈密地区戈壁荒漠区地质地貌特征

Fig. 2 Geological and geomorphological characteristics of the Gobi desert in Hami area,East Tianshan
a—地表基岩露头地貌特征;b—中生代地层风化剥蚀地貌特征;c—第四系冲洪积物地貌特征

1 戈壁荒漠浅覆盖区基本特点及调查目标

戈壁荒漠区指在干旱或极端干旱区受长期、强烈的风蚀或物理风化作用的地区,广泛分布于地势开阔地带,主要分布于东亚内陆地区,在中国主要位于贺兰山以西,昆仑山、阿尔金山和祁连山以北(陈超等,2021)。覆盖区一般指第四纪堆积物连续分布且覆盖面积占图幅面积 50% 以上的地区,而戈壁荒漠区的覆盖层主要指中生代地层,通常将覆盖层厚度小于 200 m 地区的称为浅覆盖区,大于 200 m 的称为深覆盖区。浅覆盖区包括小于 3 m 的超浅覆盖区和 3~200 m 的浅覆盖区。超浅覆盖区主要分布于森林、草场、山麓堆积、沙漠边缘风沙覆盖等地区;浅覆盖区主要分布于盆地边缘、山涧盆地、河网汇聚地等地区,普遍位于中、小城市地区及大城市边缘;深覆盖区包括 200~500 m 的深覆盖区和大于 500 m 的超深覆盖区,主要分布在盆地中心、黄土高原、沙漠和三角洲地区,多位于大至超大城市地区。

根据中国北方地区地质演化特征,洋陆转换作用结束于晚古生代末,中新生代表现为系列断陷盆地的发育过程(刘训,2004),由于中新生代盆地演化并不均衡,导致戈壁荒漠区前中生代地质体之上的覆盖层组合形式多样,划分为 3 种类型覆盖层结构(王国灿等,2018):①单层覆盖,前中生代地质体直接被第四系覆盖,往往出现于盆山边部;②双层覆盖,前中生代地质体之上被古近系—新近系及第四系双层覆盖,出现于断陷较晚发育的盆地;③三层覆盖,前中生代地质体之上发育中生界、古近系—新近系和第四系。

覆盖区地质填图的基本目标有 3 个方面:①查明地表地质信息,是通过“已知”推测“未知”的前提,为覆盖区基岩和覆盖层结构推测提供依据,是覆盖区地质填图的首要任务;②查明覆盖层三维结构,中新生代地层与油、气、煤、铀矿、盐等非金属成矿关系密切,古近系—新近系和第四系结构与地下水的赋存与运移有关,是覆盖区地质填图的重要方面;③查明下伏基岩地质结构,中国戈壁荒漠覆盖区往往与造山带系统关系密切,其覆盖层下伏的基岩地质状况直接关系到深部地质找矿,而且浅覆盖区通常处于盆山过渡带,是研究盆地基底性质、盆山构造关系等重要基础地质问题的关键位置,是覆

盖区地质填图的核心任务。通过以上 3 个方面的调查,利用三维地质建模技术,可实现戈壁荒漠覆盖区的三维地质填图。

2 地表地质填图技术方法

地表地质填图应贯彻“构造-岩性”实体填图的理念,详细查明基岩区和覆盖区地表地质实体的岩性、物性、分布、结构构造及其属性,是推测覆盖层和下伏基岩地质结构的关键和前提。

2.1 基岩区地质调查

戈壁荒漠覆盖区地表基岩出露面积较少,信息量少,一般采取 2 种措施:一是加大基岩出露区地质路线调查的精度,对岩石地层、填图单位、接触关系、构造界面进行精细调查,局部比例尺可提高至 1:2.5 万;二是对外围相邻基岩露头进行路线调查或剖面测制,查明区域地质填图单位、展布规律、接触关系及构造特征,特别是典型矿床、重要矿点的赋矿围岩、成矿特征及其规律,为测区覆盖层地质找矿提供方向和依据。

在戈壁荒漠区地表基岩地质调查过程中,遥感数据建议选用高分辨率数据 Worldview-2 和多光谱数据 Landsat-8(OLI),进行数据融合,可提高岩性和构造的识别能力(康磊等,2021)。相比传统的野外地质调查,应更注重精细化地质实体填图,建议以自然层(岩石类型或岩石组合)为基本填图单元,不同自然层组成岩性段,岩性段构成地层岩群或岩组的填图单元组合方式,查明各填图单元和调查区各区域的岩石类型或岩性组合及其构造形态。通过地表基岩地质填图,查明调查区及邻区地层、岩石、构造的空间分布和结构关系,精细填绘 1:5 万地表基岩地质图,同时建立完整的基岩填图单元体系,为覆盖层及其下伏的基岩地质结构推测提供重要依据。

2.2 覆盖区地表调查

戈壁荒漠覆盖区地表主要出露中新生代地层,遵循地层地质调查方法,同时地层产状一般较平缓,延伸稳定,填图单位相对简单。首先,采用 ETM 或 OLI、Aster 等多光谱遥感数据,进行遥感影像解译和 DEM 地形分析,了解填图区地貌特征、地层单位、地层分布、构造样式等信息,增强调查的预见性和针对性,再在此基础上进行工作部署。其中,路线地质调查以穿越主要地质、地貌单元界线为目

的,开展验证性调查,查明覆盖区地貌形态(如扇体、沟谷、垄岗、阶地、台地等)、沉积学标志(岩性、结构、构造和厚度,基本层序及特殊岩性夹层,生物化石)、环境标志(物理、化学、生物环境标志),以及不同填图单位之间的接触构造关系等。特别是,注意对覆盖区零星基岩露头进行全面排查,尤其冲沟、干沟等低洼处,可为覆盖区基岩推测起到事半功倍的效果。在剖面测制方面,原则上每个中新世地层单位都应有实测剖面控制,选择出露厚度大、层序齐全、露头好的剖面,根据地层空间展布情况,必要时在邻区选择典型剖面测制,掌握各地层填图单位的岩石层序、厚度及其沉积环境。另外,还应注重覆盖层中节理、断层、断裂的调查,查明其产状、规模、断距、性质及其与地层、构造的交切关系,推测其可能的形成时代。

基于以上工作,查明覆盖区地貌特征和覆盖层的岩石、构造的空间分布和结构关系,精细填绘 1:5 万地貌-地质图,建立系统完整的覆盖层填图单元体系和构造格架,为深部覆盖层地质结构推测提供依据。

2.3 各类填图单位物性测量及标准建立

因所有的地球物理方法都是以物性为基础的,

通过物性测量建立物性标准是利用地球物理信息推测覆盖区深部地质结构的主要依据。在地质路线调查、剖面测制和钻探岩心中应对各填图单元岩石标本进行系统采集,利用现代高精度测试设备,在室内测试其物性数据,统计分析各地质体的物性参数标准。本次对物性标本密度、磁化率、电阻率等进行了测量,首先统计分析不同岩石类型物性特征(图 3),根据不同填图单元中岩石类型和地质体组成比例,计算各填图单元的物性标准(图 4)。通过对钻孔岩心或测井、孔旁测深等隐伏地质体的物性数据统计,分析不同深度、地段的地质体物性变化规律,进一步优化对物探异常的地质体推断。

各填图单元物性统计结果显示,古生代、中生代、新生代岩石地层的密度和电阻率差异均较明显(图 4),中生代、新生代岩石地层磁化率差异较小,但大多低于古生代地层(图 4)。由此可知,重力异常和高密度电法可较好地反映新生界、中生界和古生界之间的界面,磁异常仅可揭示中新世与古生界的界面,但古生代不同地层单元的磁化率差异明显,可利用磁异常揭示基岩面的地质

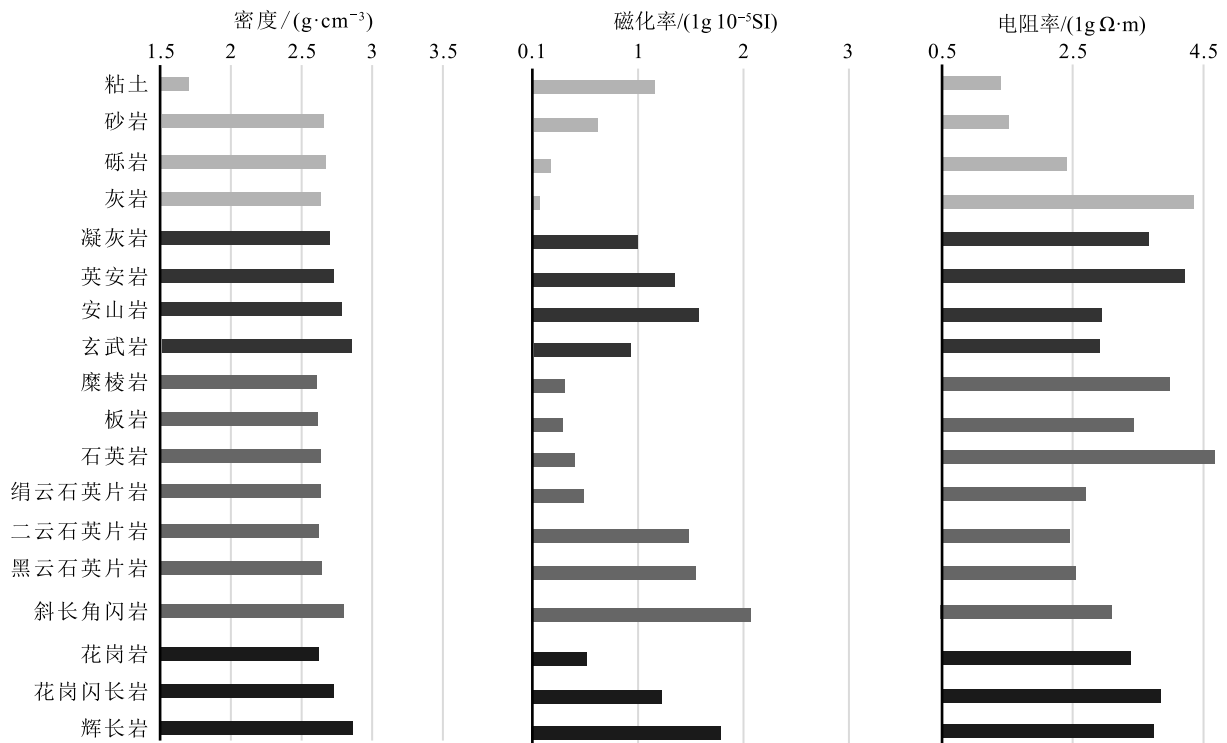


图 3 哈密地区红丘陵图幅主要岩石类型物性参数对比图

Fig. 3 Physical parameters of main rock types in the Hongqiuling sheet in Hami area

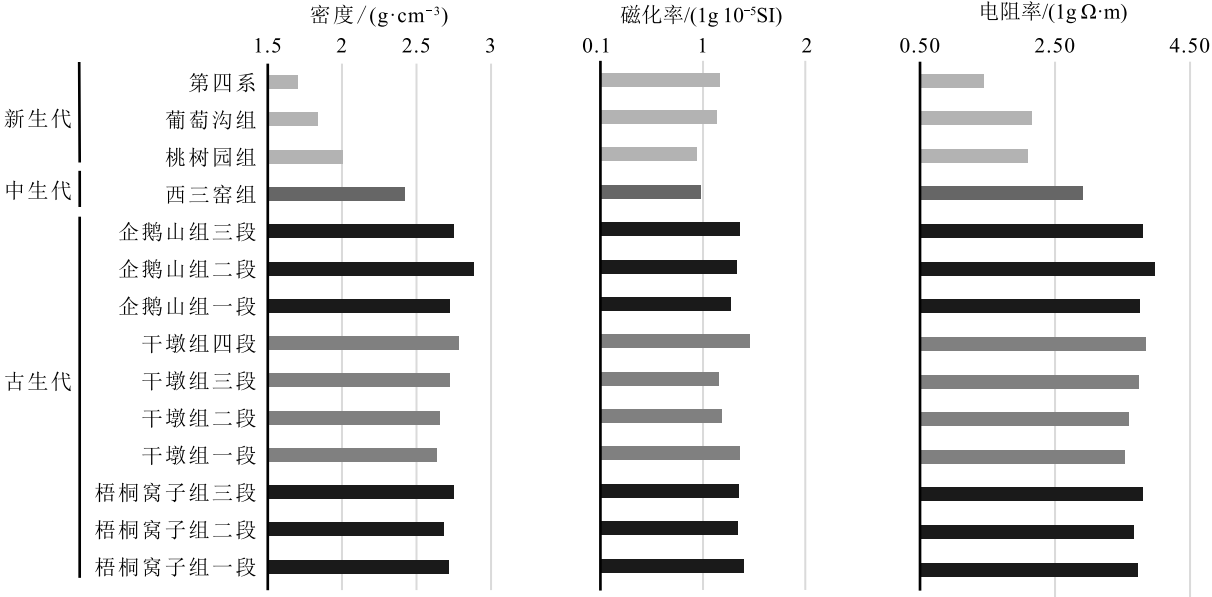


图 4 哈密地区红丘陵图幅主要地层填图单元物性参数标准对比图

Fig. 4 Physical property parameters of main stratigraphic mapping units in the Hongqiuling sheet in Hami area

结构。在岩体方面,中酸性岩石类型与古生代岩石地层的物性特征较相似,不易区分,但基性岩的密度和磁化率明显较高,可利用重力和磁异常进行圈定。

3 覆盖层地质调查方法

覆盖层地质调查的目标为覆盖层三维结构及其覆盖层底面三维形态,主要采用地表信息延伸推断、浅层地球物理揭示和浅层钻探验证的技术方法。

3.1 地表信息的延伸推断

在覆盖区地表地质调查基础上,利用个别深沟地层岩石序列出露较齐全,查明各覆盖层地层的岩石序列、分布范围及接触关系,再根据地表地层产状、展布形态及其断层/断裂的改造,合理外延和推断覆盖层各填图单元的空间展布形态。

3.2 浅层地球物理揭示

紧密围绕项目目标任务,在充分收集分析前人资料的基础上,补充必要的面积性物探和控制性物探剖面,常用的地球物理方法包括重力、磁法、探地雷达、高密度电法、大地电磁、浅层地震等,需兼顾有效性和经济性。不同的覆盖层厚度、结构类型及其目标层采用不同的物探技术方法,同时还要预判可能影响地球物理方法有效性和精度的地貌、地面

设施和地质次生蚀变等因素,如风电场对航空磁测和地面磁测的干扰,戈壁荒漠区表层强烈盐碱化对高密度电法探测的干扰等,往往需要提前进行地球物理方法试验,分析其抗干扰能力、分辨率及各项技术参数。

东天山喀拉塔格—雅满苏地区从超浅覆盖—浅覆盖—深覆盖均有发育,单层、双层和三层覆盖层结构类型齐全。本次利用 1:20 万布格重力异常数据初步反演区域覆盖层底面,即基岩顶面三维形态(图 5),推测区域覆盖层厚度总体分布特征,针对不同厚度和结构的覆盖层采用不同的地球物理方法组合(表 1)。

(1)深覆盖区(大于 200 m),以三层覆盖为主,少量双层覆盖。先采用面积性 1:5 万重力调查和航磁资料分析下伏基岩面深度(图 6),反演覆盖层厚度分布,再部署横跨调查区的大地电磁测深剖面建立构造格架,然后选择覆盖层结构齐全、具有代表性的位置,采用反射法浅源地震剖面揭示覆盖层厚度、内部结构及其构造形态(图 7),对重磁进行反演。

(2)浅覆盖区(100~200 m),以双层覆盖为主,少量单层覆盖和三层覆盖。除采用 1:5 万重磁资料分析覆盖区厚度分布和大地电磁测深剖面建立基本构造格架外,可利用高密度电法大致揭示基岩

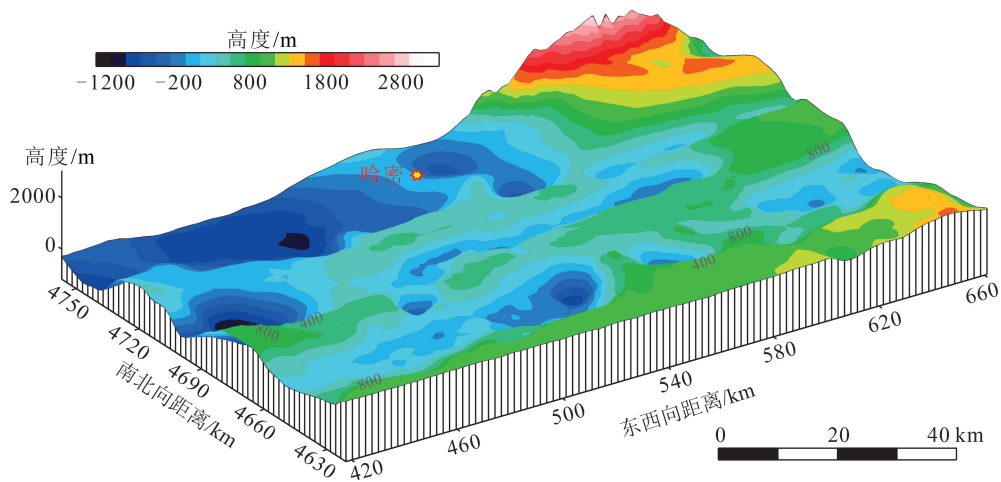


图5 哈密地区前中生代基岩面(覆盖层底面)三维形态图

Fig. 5 3D morphological map of the pre-Mesozoic bedrock surface(bottom of overburden)in Hami area

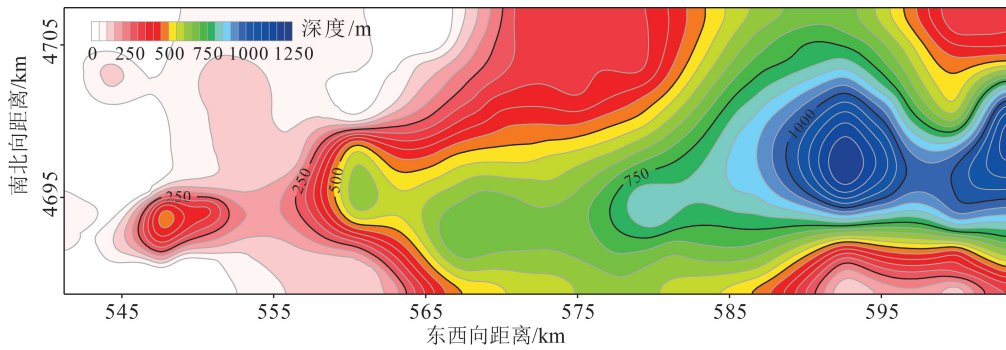


图6 哈密地区烟墩区块重力与磁法结合反演基岩深度及覆盖层底面深度

Fig. 6 Depth map of bedrock top and cover bottom of Yandun block in Hami area, according to gravity and magnetic data

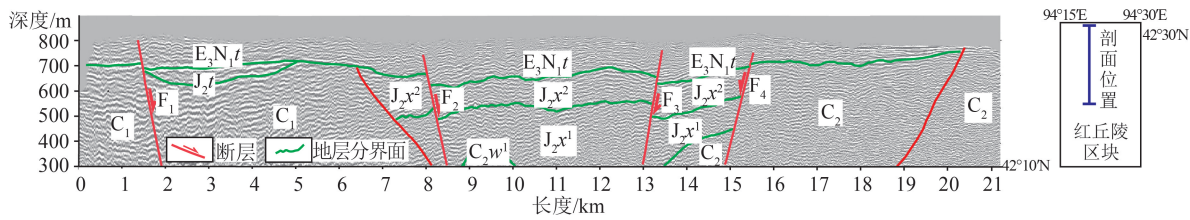


图7 东天山哈密地区红丘陵区块浅源反射地震剖面揭示覆盖层厚度、结构及其基岩分布图

Fig. 7 The shallow reflection seismic section which revealing the thickness,structure of cover and bedrock distribution in the Hongqiuling sheet of Hami area

C₁—早石炭世地层;C₂—晚石炭世地层;C_{2w}¹—晚石炭世梧桐窝子组一段;J_{2x}¹—中侏罗世西山窑组下段;J_{2x}²—中侏罗世西山窑组上段;J_{2t}—中侏罗世头屯河组;E_{3N}^{1t}—渐新世—中新世桃树园组

深度、覆盖层厚度及其内部结构形态(图8),若经费充足,可采用反射法浅源地震,效果更佳。

(3)浅覆盖区(50~100 m),以双层覆盖为主,少量单层和三层覆盖。利用1:5万重磁和大地电

磁测深剖面分别对覆盖区厚度和构造格架进行反演,精度均明显降低,但高密度电法剖面揭示基岩深度、覆盖层厚度及其结构的精度明显提高,甚至可达到反射法浅源地震的效果。

戈壁荒漠浅覆盖区揭示覆盖层结构和基岩地质结构的地球物理及钻探技术方法

Table 1 The combination of geophysics and drilling techniques for revealing the geological structure of the overburden and bedrock in Gobi desert shallow cover area

地质目标		1：5万重磁测量			音频电磁法(AMT)			高密度电法			地震			探地雷达			钻探											
																				槽型钻			汽车钻			机械钻		
																				适用性	经济性	分辨率	适用性	经济性	分辨率	适用性	经济性	分辨率
覆盖层结构	0~3 m	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	☉	♣	☐	☐	☉	♣	☐	☐	♣	☐	☐	☐	
	3~20 m	☉	☉	☉	☉	☉	☉	♣	☐	☐	☉	☉	☐	☉	☉	☐	☉	☉	☉	☉	☉	☐	☐	☉	☐	☐		
	20~50 m	●	♣	☐	☉	☉	☉	♣	☐	☐	☉	☉	☐	☉	☉	☐	☉	☉	☉	☉	☉	☐	☐	☉	☐	☐		
	50~100 m	●	♣	☐	●	♣	☐	♣	☐	☐	☉	☉	☐	☉	☉	☐	☉	☉	☉	☉	☉	☐	☐	☉	☐	☐		
	100~200 m	●	♣	☐	●	♣	☐	♣	☐	☐	☉	☉	☐	☉	☉	☐	☉	☉	☉	☉	☉	☐	☐	☉	☐	☐		
	>200 m	●	♣	☐	●	♣	☐	☉	☉	☐	☉	☉	☐	☉	☉	☐	☉	☉	☉	☉	☉	☐	☐	☉	☐	☐		
基岩地质构造	岩石类型	●	♣	☐	●	♣	☐	♣	☐	☐	☉	☉	☐	☉	☉	☐	☉	☉	☐	☐	☉	☐	☐	☉	☐	☐		
	断裂/断裂	●	♣	☐	●	♣	☐	♣	☐	☐	☉	☉	☐	☉	☉	☐	☉	☉	☐	☐	☉	☐	☐	☉	☐	☐		
	金属矿产 (铜、镍)	●	♣	☐	●	♣	☐	☉	☉	☐	☉	☉	☐	☉	☉	☐	☉	☉	☐	☐	☉	☐	☐	☉	☐	☐		

注:◎表示不推荐使用,●表示可使用;♣表示经济性较好;♠表示经济性适中;♣♣表示经济性一般;♣♣♣表示经济性较好;□表示分辨率(地质信息精细度)欠佳,□□表示分辨率(地质信息精细度)良好

到滨浅湖相的柳树泉组(K_2l),和干旱、半干旱的大海道组(K_2d)。渐新世—中新世,普遍发育扇三角洲相的桃树园组(E_3N_1t)和滨浅湖相的葡萄沟组(N_2p)。整体上,哈密地区中新世受到晚侏罗世—早白垩世、晚白垩世末期—始新世和晚新世—第四纪3期构造隆升作用影响,导致缺失相应时代的地层,最终形成现今的东天山盆山面貌。

4 覆盖区基岩调查方法

浅覆盖区基岩调查主要任务为查清基岩顶面形态、识别基岩地质体单元及其分布范围、识别主要断裂构造,基本方法包括地表信息的延伸推断、地球物理勘探和浅层钻探,但具体方法组合的选择仍因具体地质结构和目标任务的差异而不同,其中基岩顶面起伏形态即覆盖层底面三维形态,前文已详细论述,不再赘述。

4.1 地表信息延伸推断

在地表地质精细填图查明基岩区域岩石地层序列、空间展布及其构造改造特征的基础上,对与覆盖区接触的基岩区边部进行详细调查,由已知到未知,利用露头信息顺构造走向外延到覆盖区,推测覆盖区基岩的岩石组成、填图单位及其构造属性。原则上,覆盖区基岩填图单元不能超过地表区域填图单元系统范围,除非有充足的物探及地质依据。

4.2 地球物理揭示

调查基岩面地质结构主要利用区域磁法、区域重力、剖面大地电磁法和高能量地震发射波法,针对不同的基岩地质结构和地质矿产问题,使用不同的技术方法组合。一般采用面积性测量与剖面测量有机结合,多种物探方法相互补充、相互印证,物探剖面应尽量垂直主要基岩地质体或主构造线的走向布置,尽可能多地穿越不同的基岩填图单位、物探异常中心、基岩埋藏浅或残留露头的地段。此外,物探剖面位置应与地质—钻探控制性剖面重合。

4.2.1 查明区域构造格架和填图区主要断裂构造

通过大地电磁测深剖面(MT),调查区域主要断裂(带)的位置、产状及规模(图9),建立区域构造格架,结合地表新厘定的大草滩蛇绿构造混杂岩带,指示大草滩断裂(F5)为通达地幔的具有区域性分割意义的大断裂。然后,对调查区进行1:5万重力和1:5万磁法调查,通过线性提取对断裂/断层

进行解译(图10),结合地表地质构造展布,进行校正。若经费和实施条件允许,覆盖层较浅时(小于20 m)可利用探地雷达,覆盖层较深(大于20 m)时利用地震反射剖面对覆盖区关键构造位置进行详细的断层/断裂调查(图7)。

4.2.2 对基岩地质体单元的识别及其圈定

对于覆盖区基岩填图,由于资料有限,加之地球物理数据往往是对一定范围内岩石地层组合的综合反映,因此填图精度要求仅限于填图地质单元。本次首先通过1:5万重力和1:5万航磁调查,查明覆盖区重磁特征分布,根据覆盖层重磁性测量标准及其厚度,剔除覆盖层重磁影响。然后,利用根据地表物性测量建立的各基岩填图单元重磁标准,对地表基岩区重磁特征进行校准,分析物探目标体与地质填图单元的关系,再结合地表基岩空间展布规律,圈定覆盖区基岩填图单元。通过调查研究,吐哈盆地东部覆盖层下伏基岩主要为黑草滩组($O_{2-3}h$)、大南湖组($D_{1-2}d$)、康古尔塔格组(D_3-C_1kg)、干墩组(C_1g)、梧桐窝子组(C_2w)、企鹅山组(C_2q)等,均为形成于火山弧环境的火山岩夹少量沉积岩,同时普遍存在前寒武纪的锆石信息,揭示吐哈盆地的基底性质应为活动陆缘增生岩浆弧,不排除微陆块的存在。

4.3 钻探验证

在深入分析地质、地球物理信息的基础上,部署钻探工作,尽量布置在推测重要岩性界线、地质填图单位界线、构造点、矿化蚀变带或物探异常突变点处,一般沿地球物理剖面线布设,形成地质—物探—钻探联合地质剖面,控制主要地质填图单位。在钻探部署施工方面,与钻探揭示覆盖层地质结构的思路一样,针对不同覆盖层深度和地质目标,采用不同的钻探工艺组合。

覆盖层厚度小于3 m时,采用槽型钻,揭露基岩厚度应超过0.3 m,基本查明主要岩石特征和岩石组合分布,达到对各地层群—组—段、具一定规模侵入体和主要断裂/层的控制。

覆盖层厚度为3~200 m时,以汽车冲击钻为主,揭露基岩深度至少1 m,揭示基岩的基本岩性特征,配合机械岩心钻查明基岩岩石类型、结构构造等信息,揭露基岩厚度不少于2 m,钻遇含矿层、蚀变矿化带时须穿透,基本达到对地层群—组—段、较大规模侵入体和重要断裂/层的控制。

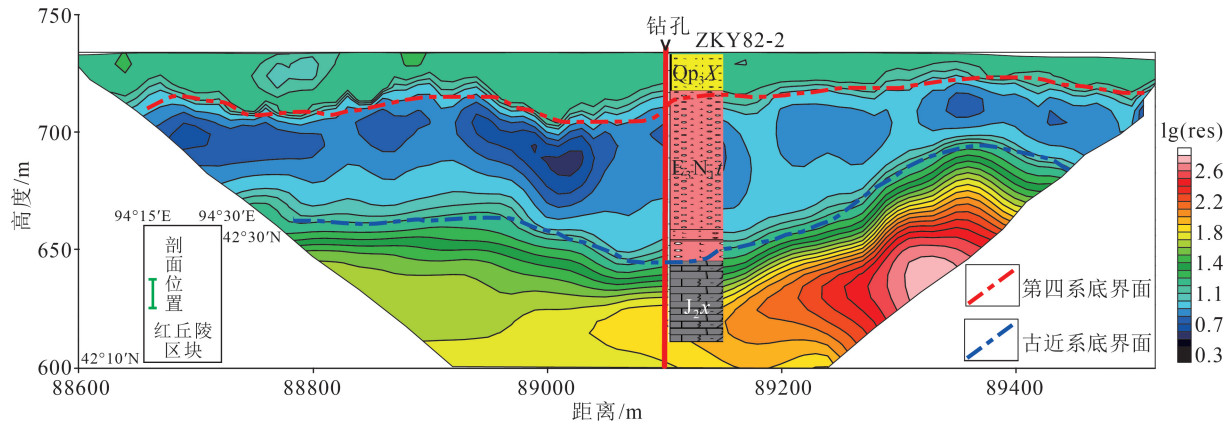


图 8 东天山哈密地区红丘陵区块高密度电法剖面揭示覆盖层厚度和结构及钻探验证示意图

Fig. 8 High-density electrical section and drilling verification which showing the thickness and structure of cover in the Hongqiuling sheet of Hami area

J_2x —中侏罗世西山窑组; E_3N_1t —渐新世-中新世桃树园组; Qp_3X —晚更新世新疆群

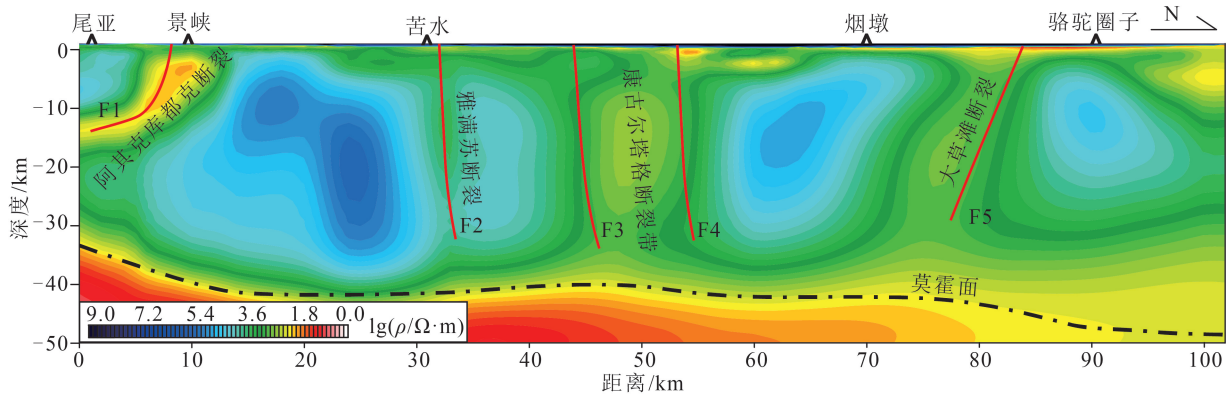


图 9 东天山尾亚-南庙尔沟大地电磁测深剖面二维 NLCG 反演电性结构模型

Fig. 9 Two-dimensional NLCG inversion electrical structure model of the MT sounding profile in Weiya-Namiaoergou, East Tianshan

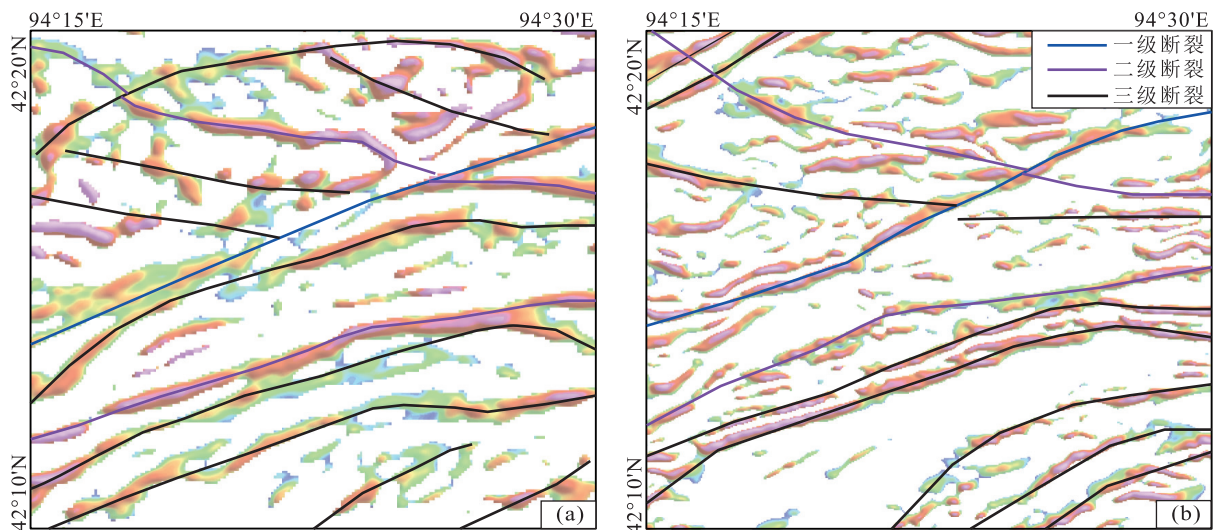


图 10 东天山哈密地区红丘陵幅重力异常线性(a)和航磁异常线性特征(b)识别与断裂/断层推断图

Fig. 10 Faults inferred map according to the linear feature of the gravity anomaly(a) and aeromagnetic anomaly(b) in the Hongqiuling sheet of Hami area

覆盖层厚度大于 200 m 时,采用机械岩心钻,揭示关键部位的基岩岩石特征和构造信息,达到对重要地层群-组、较大规模关键侵入体和重要断裂或重要构造结合带的控制。

5 成果表达

5.1 地质图面表达

在地表地质图表达方面,基岩露头图面应充分体现“岩性-构造”实体精细化表达:①利用“色系-颜色-图案花纹”表示“地层岩群或岩组-岩性段-自然层”(图 11-a);②利用不同颜色的线条加点表达不同岩石类型岩脉,对岩脉进行精细化表示(图 11-b);③采用不同颜色表达不同期次构造样式,用线条粗细表示断层/断裂的级别,丰富构造纲要图的表达(图 11-c)。另外,戈壁荒漠覆盖区地表主要为中生代地层,填图单位较少,传统地质图表达较简单,本次为了丰富图面表达,提供更全面的地表地质信息:①针对第四系,采用年代+成因划分,按地质年代划分出更新统(进一步划分为下、中、上更新统)和全新统,按成因划分出冲积、洪积、湖积、海积、风积、冰碛、冰水堆积等;②针对中生代地层,将与盆地演化和气候变迁关系密切的古流向与古风向表达于地质图上(图 11-d);③采用地貌和地质为一体的地貌地质填图方式,将阶地地貌表达在地质图上,直观地体现新生代盆地构造特征(图 11-e)。

覆盖区基岩地质图相较于传统地质图应注意以下方面:①为体现实体填图理念及地球物理对岩石物性反映的基本原理,填图单位代号需后缀岩性或岩石组合代号(如 C_2q^3pr-a ,晚石炭世企鹅山组火山碎屑岩夹安山岩),确保调查区每处都有明确或推测的岩石类型或岩石组合;②地质界线与地表基岩应做好衔接,相互协调,可根据地质体展布、构造行迹做适当延伸;③将钻探位置、编号及其岩心钻柱表达于主图(图 12-a),直观展示覆盖层结构和基岩信息;④将三维地质结构模型或深部不同层次地质界面(如新生界底面、中生界底面等)展布形态作为附图展示(图 12-b),直观表达各层次深部的空间展布形态;⑤将主要的地球物理图件作为附图表达,如区域重力异常、区域磁法异常、地震主干剖面、大地电磁主干剖面等(图 12-c)。

5.2 三维地质建模

三维地质建模是对地质结构、地质属性进行空

间分析和展示的重要方法和途径。目前有多款三维地质建模软件,基于各自特点,结合本项目拥有的大量地质、遥感、地球物理、钻探等多源数据,本次选用可充分融合多维地学数据的 GeoModeller 软件,特别是支持重力、磁法等地球物理数据的正反演模拟,构建三维地质结构模型,可分为数据获取、模型建立、可视化 3 个步骤。

三维建模需具备的数据有 DEM 高程数据、地表与基岩面地质图、图切剖面与边界数据、钻孔数据、断层数据等。其中,本次使用的 DEM 高程数据从国家测绘地理信息局申请获取,为 1:5 万比例尺,网格为 25 m×25 m,需转换为 Geosoft Grid 或 ER Mapper 网格格式;地表与基岩地质图,需要转化为 shp 格式;绘制主干图切剖面,尽可能穿过更多的地质填图单元,并将地质边界赋予产状数据;将所有钻孔数据按照要求整理为 Collars.csv, Geology.csv 和 Surveys.csv 3 种类型的文件,待后续导入工程;输入断层走向、倾向及延伸范围,特别是需明确各断层性质、错断地质体等。

然后,在 GeoModeller 软件中按照操作流程导入准备的数据,按照自下而上、由粗到细、先简单后复杂的建模思路,逐层构建各地质体的曲面模型,处理地质体之间的网格交切关系,最终构建完整的三维地质结构模型(图 13),全方位展示每个地质体的空间形态及互相关系。

6 结论与建议

本文通过地、物、遥、钻等多技术手段,对东天山哈密地区开展戈壁荒漠浅覆盖区地质填图的方法实验与填图实践,系统总结了地表地质填图、覆盖层填图和覆盖区基岩地质填图的技术方法,探索了系列成果表达方式。特别是,针对不同深度、不同类型地质体,综合适用性、经济性和分辨率等因素,建立了一套较系统的戈壁荒漠浅覆盖区区域地质填图技术方法体系,具有一定的普适性,为中国戈壁荒漠覆盖区 1:5 万地质填图的推广提供了技术支撑。同时,针对东天山东段关键地质矿产问题,结合地表、覆盖层和下伏基岩的立体式调查研究,为东天山大草滩断裂带性质、吐哈盆地基底性质及其中新生代构造环境演化提供了重要信息。

戈壁荒漠覆盖区地质情况复杂,调查目标也不尽相同,应在普适性技术方法组合的基础上,继续

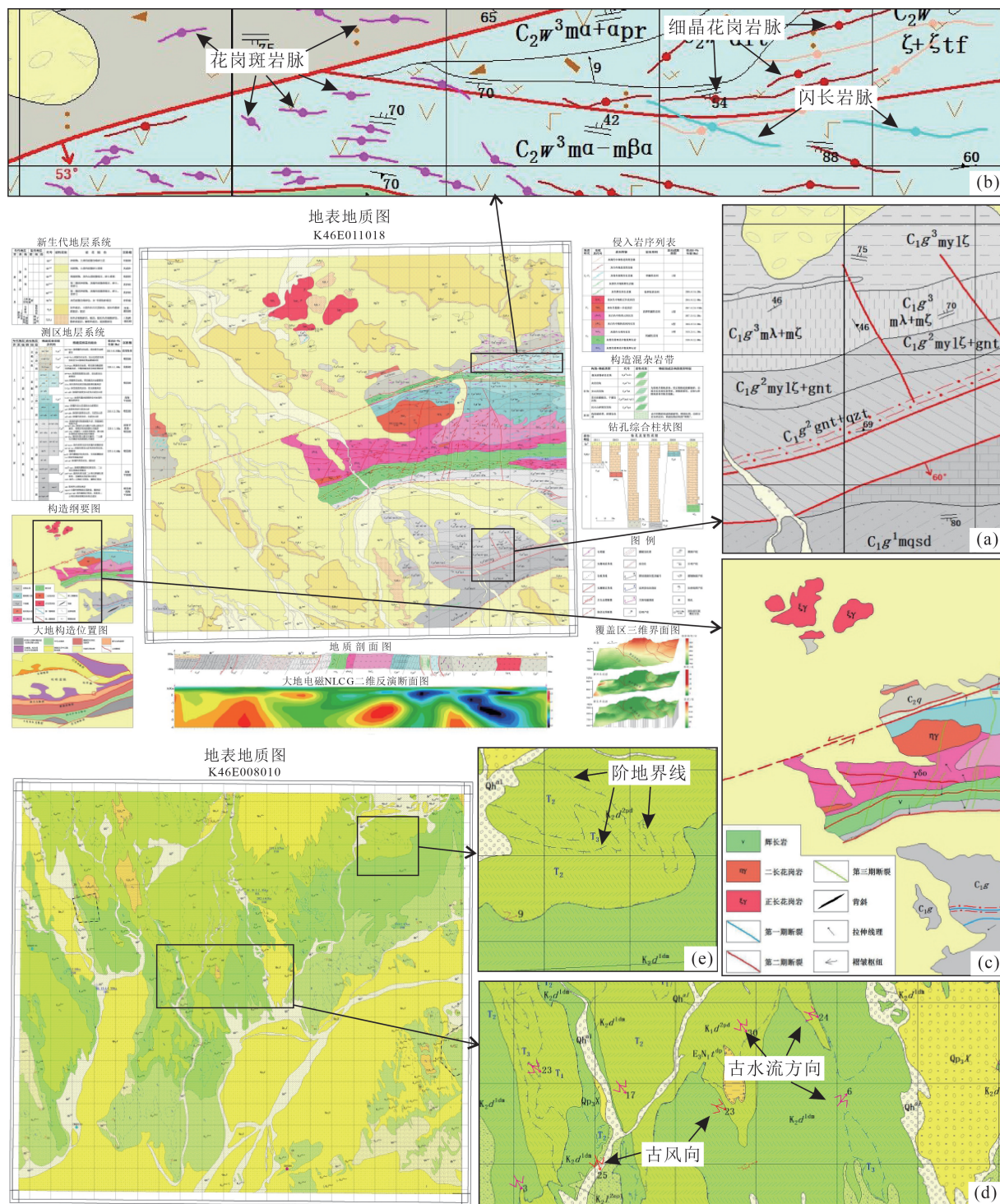


图 11 地表地质图图面表达

Fig. 11 Expression of surface geological map

a—采用“色系-颜色-图案花纹”表示“地层岩群或岩组-岩性段-自然层”;b—不同颜色线条表达不同岩石类型岩脉;c—不同颜色表达不同期次构造样式,线条粗细表示断层(裂)的级别;d—古流向与古风向地质图表达方式;e—侵蚀阶地图面表达方式

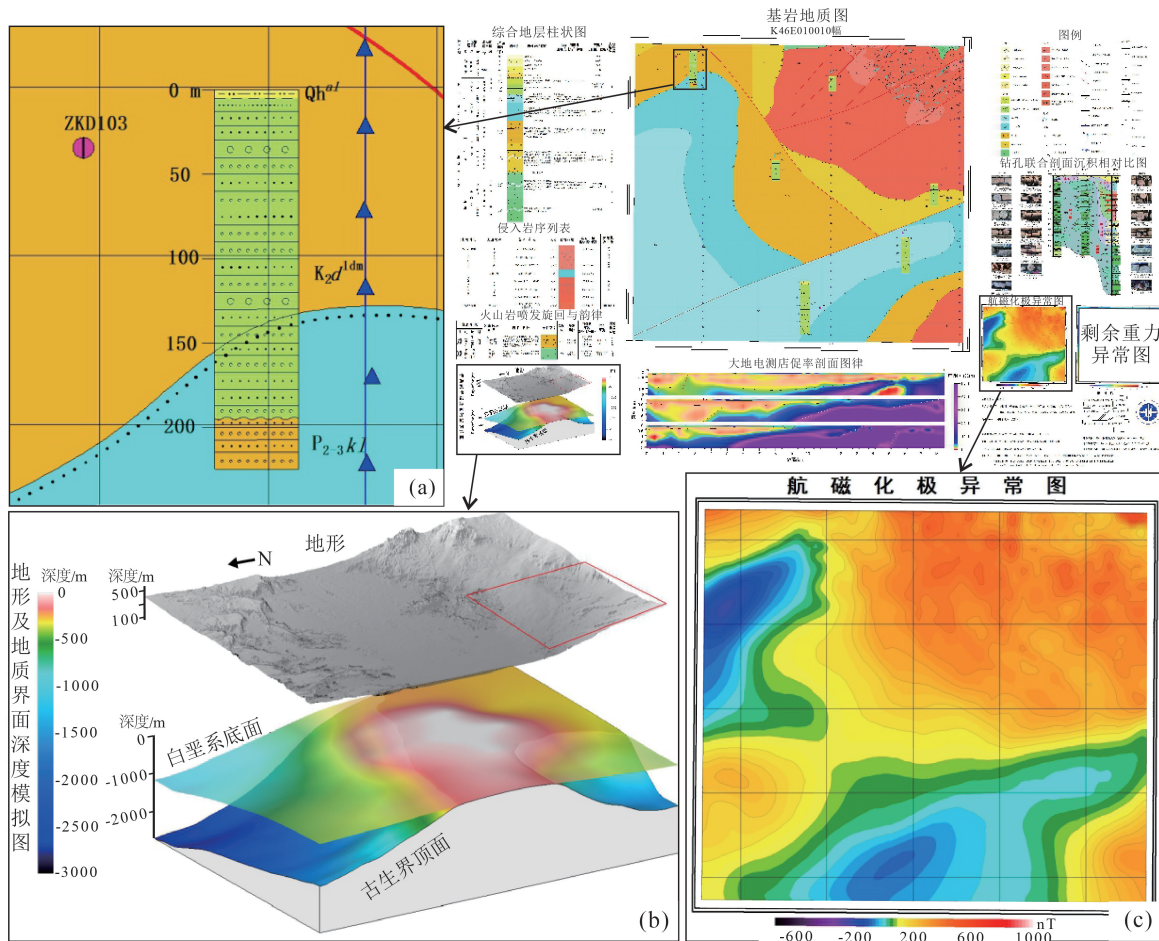


图 12 基岩地质图图面表达

Fig. 12 Representation of the bedrock geological map

a—基岩地质图中钻探位置、编号及其岩心钻柱表达;b—不同覆盖层地质界面展布形态;c—调查区航磁化极异常附图

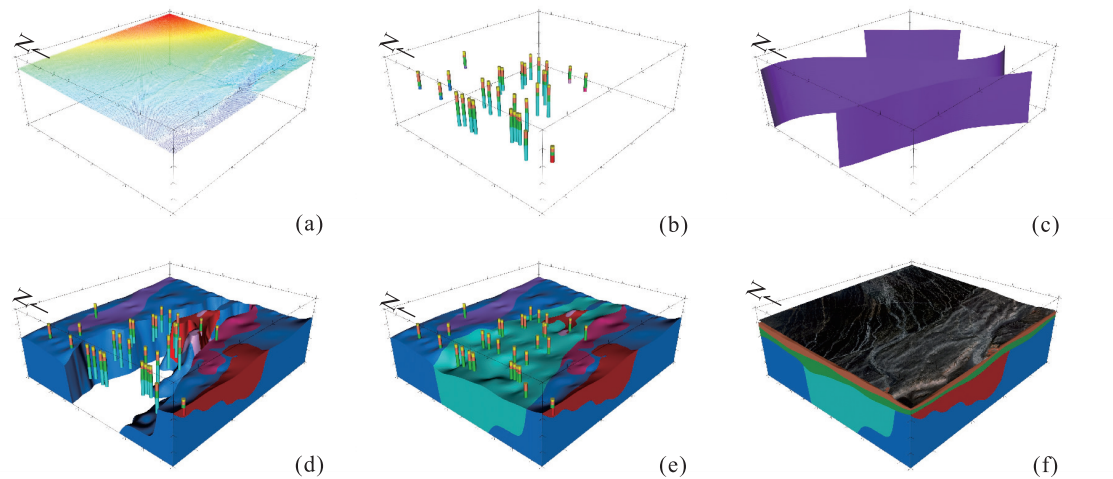


图 13 哈密地区长干河幅三维地质建模示意图

Fig. 13 Schematic diagram of 3D geological structure modeling for Changgan River sheet by GeoModeller software in Hami area

a—地表 DEM 高程三维展示;b—钻孔空间展布;c—断层空间展示;d—石炭纪地质体及钻探空间展布;

e—基岩三维地质结构展示;f—覆盖区三维地质结构模型

加强物探、化探与地质的深度融合与方法试验,探索适合研究区的具有针对性的最佳技术方法组合。覆盖区地质填图经费投入相对传统地质填图较高,应加强需求导向、问题导向和目标导向,围绕国家战略、重大工程建设和地方经济社会高质量发展需求,针对区域地球基础科学、战略性矿产资源找矿、地质安全、重大生态环境等关键问题,需加强预研究和立项论证,确保成效。同时,对于以揭示基岩地质结构为核心目标的覆盖区地质填图,地球物理方法应用是关键,虽然国内进行了许多探索,但对于欧美国家依然存在较大差距,特别是地球物理数据提取与处理方法,如何将覆盖层物性影响剔除,揭示基岩物性特征,仍缺乏有效办法^①。建议进一步加强地球物理数据处理软件开发、算法创新、参数校正、成果表达及实验验证探索,深度挖掘数据潜力,如浅覆盖区地质填图需要提取更多近地表、浅层次的地球物理信息。另外,在地质填图精度方面,1:5万地质填图技术要求(自然资源部中国地质调查局,2019)明确地表地质体标定直径大于200 m的闭合体和长度大于500 m的线状地质体必须表达,但覆盖层基岩无明确的表达尺度要求,仅要求表达达到组级地层单位,标准孔地层划分详细的区域需表达达到段级地层单位及岩性层组。这是由于覆盖区基岩识别的精度主要取决于其物性特征,以及与相邻地质体物性的差异,导致用来扫面的1:5万重磁调查对地下基岩识别精度无法保证,并且无法予以最小表达尺寸要求。因此,覆盖区填图应根据目标任务和地质特征,加强预研究,划分物探调查重点区与一般区,重磁扫描工作不平均使用工作量,在重点地区可适当加密,避免物探调查的机械性,保证对覆盖区重要地质体或构造的重点揭示。

致谢:戈壁荒漠浅覆盖区1:5万区域地质填图技术方法探索是一项集体成果,是中国地质调查局西安地质调查中心与中国地质大学(武汉)共同合作的结果,项目组百余名一线地质工作人员付出了辛勤的努力。在项目实施过程中,得到胡健民研究员、计文化研究员、Steve教授、李荣社教授级高工、王永和教授级高工、李建星研究员、李振宏研究员、唐小平高级工程师和杨建国教授级高工等多位专家的辛勤指导和帮助,也感谢审稿专家提出的诸多建设性意见,在此一并表示最诚挚的感谢。

注释

- ① Steve Sheppard. Sino - Australian geological mapping collaboration. Australia: Curtin University, 2017.

参考文献

- Han C M, Xiao W J, Zhao G C, et al. In-situ U-Pb, Hf and Re-Os isotopic analyses of the Xiangshan Ni-Cu-Co deposit in eastern Tianshan (Xinjiang), Central Asia Orogenic Belt: Constraints on the timing and genesis of the mineralization [J]. *Lithos*, 2010, 120 (3/4): 547-562.
- 卜建军, 吴俊, 邓飞. 中国南方强风化层覆盖区1:50000填图方法指南[M]. 北京: 科学出版社, 2021: 1-178.
- 陈超, 许顺芳, 王国灿, 等. 戈壁荒漠覆盖区地质调查中综合地球物理方法与实践[J]. *地球科学*, 2021, 46(8): 3028-3038.
- 陈浩辉. 综合物探方法在深覆盖区地质构造划分中的应用[D]. 中国地质大学(北京)硕士学位论文, 2014.
- 陈虹, 杨晓, 田世攀, 等. 覆盖区智能地质填图的探索与实践——以森林沼泽区为例[J]. *地质通报*, 2022, 41(2/3): 218-241.
- 邓震, 孟贵祥, 汤贺军, 等. 浅覆盖区1:5万基岩地质填图实践探索——以准噶尔北缘克什克涅绍喀尔(L45E009020)图幅为例[J]. *地球学报*, 2019, 40(5): 651-660.
- 丁建华, 邢树文, 肖克炎, 等. 东天山—北山 Cu-Ni-Au-Pb-Zn 成矿带主要成矿地质特征及潜力分析[J]. *地质学报*, 2016, 90(7): 1392-1412.
- 辜平阳, 陈锐明, 胡健民, 等. 高山峡谷区1:50 000填图方法指南[M]. 北京: 科学出版社, 2018: 1-136.
- 郝立波, 陆继龙, 李龙, 等. 区域化探数据在浅覆盖区地质填图中的应用方法研究[J]. *中国地质*, 2007, 34(4): 710-715.
- 胡健民, 陈虹, 梁霞等. 特殊地区地质填图技术方法及应用成果[J]. *地质力学学报*, 2017, 23(2): 181.
- 胡健民, 陈虹. 覆盖区区域地质填图指导思想与方法体系的创新与探索——特殊地质地貌区填图试点项目成果概述[J]. *地质力学学报*, 2019, 25(5): 1001-1002.
- 贾磊, 刘洪, 欧阳渊, 等. 基于地质建造的南方山地丘陵区地表基岩填图单元划分方案——以珠三角新会—台山地区为例[J]. *西北地质*, 2022, 55(4): 140-157.
- 康磊, 计文化, 王杰, 等. 新疆北山地区白山幅1:50 000地质图数据库[J]. *中国地质*, 2021, 48(S1): 26-37.
- 李朝柱, 傅建利, 王书兵, 等. 黄土覆盖区1:50 000填图方法指南[M]. 北京: 科学出版社, 2020: 1-104.
- 李锦轶, 何国琦, 徐新, 等. 新疆北部及邻区地壳构造格架及其形成过程的初步探讨[J]. *地质学报*, 2006, 80(1): 148-168.
- 刘彬, 王学求. 东天山白山斑岩铜矿床深部斑岩体锆石 SIMS U-Pb 定年、Hf 同位素组成及其地质意义[J]. *地学前缘*, 2016, 23(5): 291-300.
- 刘建华, 王祝文, 田钢. 地面伽马能谱测量在浅覆盖区地质填图中的应用[J]. *地质与勘探*, 2003, 39(2): 61-64.
- 刘菁华, 王祝文. 地面综合物探方法在浅覆盖区地质填图单元的划分研究[J]. *中国地质*, 2005, 32(1): 162-167.
- 刘嵘, 马见青, 李庆春, 等. 重磁电综合地球物理探测河套盆地深部结

- 构[J].地质力学学报,2016,22(4): 943-954.
- 刘晓彤,张绪教,叶培盛,等.河流沉积分析在浅覆盖第四纪填图中的应用——以内蒙古河套地区 1:50000 填图试点为例[J].地质力学学报,2016,22(4): 867-881.
- 刘训.中国西北盆山地区中-新生代古地理及地壳构造演化[J].古地理学报,2004,6(4): 448-458.
- 龙灵利,王京彬,王玉往,等.东天山卡拉塔格铜多金属矿集区黄铁矿化(次)流纹岩年代学、地球化学特征及其对成矿的潜在意义[J].岩石学报,2017,33(2): 367-684.
- 孟贵祥,邓震,祁光,等.新疆东准噶尔成矿带浅覆盖区地质填图效果——以杜热一带浅覆盖区基岩地质填图为例[J].地质通报,2022,41(2/3): 374-387.
- 冉志杰,温超,岳秀霞,等.综合物探方法在浅覆盖区断裂调查中的应用[J].山西地震,2005,2(121): 28-31.
- 申元村,王秀红,程维明,等.中国戈壁综合自然区划研究[J].地理科学进展,2016,35(1): 57-66.
- 史冬岩,张坤,张玉鹏,等.黑龙江省浅覆盖区地物化特征与找矿标志:以黑河市 340 高地金矿化区为例[J].吉林大学学报(地球科学版),2021,51(4): 1042-1053.
- 田世攀,王东明,苏艳民.森林沼泽浅覆盖区 1:50000 填图方法指南[M].北京:科学出版社,2021: 1-178.
- 王登红,李纯杰,陈郑辉,等.东天山成矿规律与找矿方向的初步研究[J].地质通报,2016,25(8): 910-915.
- 王东明,田世攀,张星斗,等.森林-泽浅覆盖区地质填图方法试验——以黑龙江 1:5 万望峰公社幅为例[J].地质通报,2021,40(5): 782-797.
- 王国灿,陈超,胡健民,等.戈壁荒漠覆盖区 1:50000 填图方法指南[M].北京:科学出版社,2018.
- 王国灿,赵璇,陈超,等.西北断陷盆地覆盖区填图方法探索——新疆巴里坤盆地填图实践[J].地质力学学报,2016,22(4): 809-821.
- 曾凯,陈建国,肖凡,等.东天山戈壁沙漠覆盖区重磁场特征与构造格架研究[J].地质学刊,2013,37(4): 598-605.
- 自然资源部中国地质调查局.区域地质调查技术要求(1:50 000)(DD2019-01)[S].北京,2019: 1-19.