

DOI:10.19751/j.cnki.61-1149/p.2022.03.014

西北地区区域地球物理调查工作现状与展望

唐小平,冯治汉,刘生荣,郭培虹,杨尚倍*

(中国地质调查局西安地质调查中心,陕西 西安 710054)

摘要:西北地区地域广阔,资源能源丰富,但地质灾害频发,地质调查任务繁重。长期以来,西北地区区域地球物理工作有力地支撑了西北地区区域地质、资源能源和地质灾害等勘查与研究工作。笔者在回顾西北地区区域地球物理发展历程的基础上,系统分析了工作现状,概述了西北地区区域重力、航磁、深部探测、综合研究等方面的工作进展,并针对新时期、新特点提出下一步工作展望。

关键词:西北地区;区域地球物理;现状;展望

中图分类号:P631

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2022)03-0191-09

Present Situation and Prospect of Regional Geophysical Survey in Northwest China

TANG Xiaoping, FENG Zhihan, LIU Shengrong, GUO Peihong, YANG Shangbei*

(Xi'an Center of China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: Northwest China is not only vast in territory and rich in energy resources, but also has frequent geological disasters and heavy geological survey tasks. For a long time, the regional geophysical work in Northwest China has supported the exploration and research of regional geology, energy resources and geological disasters. This paper systematically combs the current situation of work and summarizes the progress of regional gravity, aeromagnetism, deep exploration and comprehensive research in Northwest China, and puts forward the prospect of the next work according to the characteristics of the new period.

Keywords: Northwest China; regional geophysics; present situation; expectation

区域地球物理调查作为基础地质、油气与金属区域成矿(藏)背景调查的一项重要工作,是逐步提高对地球内部空间结构特征与物质组成认识的一项重要手段(孙文珂等,1997)。经过近 70 年的发展,逐步形成了以重力测量和航磁为主,深部剖面探测为辅的学科与方法技术体系。区域地球物理调查以 1:100 万~1:20 万区域地球物理调查为主。近年

来,为了更好的服务资源能源探测,查清重要成矿带、盆地和盆山结合部的精细地质结构,采用重力测量、电磁格网和地震探测等方法,逐步发展了 1:5 万或 1:10 万综合物探区域调查方法。

中国的西北地区幅员辽阔,行政区划包括新疆、甘肃、陕西、青海、宁夏、陕西及内蒙古西部等省(区),面积约 320 万 km²,区域内能源资源丰富,富

收稿日期:2022-03-01;修回日期:2022-06-10;网络发表日期:2022-08-15;责任编辑:姜寒冰

基金项目:陕西省自然科学基金“含起伏地表模型 2.5D 逆时偏移成像及其在渭河盆地氦气勘探中的应用”(2022JQ-241)、国家重点研发计划课题“北秦岭华阳川地区隐伏铀矿空-地-井协同勘查技术示范研究”(2017YFC0602205)联合资助。

作者简介:唐小平(1981-),男,高级工程师,主要从事重磁电等地球物理正反演方法研究。E-mail:63466329@qq.com。

* 通讯作者:杨尚倍(1991-),男,工程师,主要从事地震及电磁法正反演方法研究。E-mail:yangshangbei@chd.edu.cn。

含铝、铁、铜、铅锌、锂、钾盐、油、气及氦等金属和非金属资源;水资源匮乏,大多处于干旱-半干旱区,降雨稀少,河流以内流型为主,下游盐渍化、荒漠化严重,生态环境脆弱;自然灾害频发,黄土塌陷、泥石流时有发生。经过近 70 年的发展,西北地区区域地球物理作为全国区域地球物理的一个重要组成部分,形成了以重力、航磁面积覆盖为主,深部探测骨干剖面穿插为辅的基本格局,基本实现了 1 : 100 万和 1 : 50 万重力全覆盖,重要成矿区带大部覆盖 1 : 20 万或 1 : 25 万区域重力(孙文珂等,2019);航磁已实现了 1 : 20 万~1 : 100 万覆盖,重点成矿区带和矿集区基本实现 1 : 5 万覆盖;西北地区由中国科学院、中国地质科学院、国家地震局等单位共计完成 24 条深部探测剖面(雄小松等,2010;董树文等,2012)。

整体来讲,西北区域地球物理调查工作涵盖时间较长,参与单位较多,且受当时勘查目标、仪器发展、工作手段、定位精度等方面的限制,存在老资料精度较低、原始记录不全等问题,并且相较于东部省份,西北地区在工作程度、资料研究程度与综合利用等方面均明显落后于东部地区,这就决定了西北地区区域地球物理未来的发展趋势与任务调整。新时期随着勘查精度需求的不断提高,将继续向多方法、多参数空-地-协同三维勘查、区域监测等方向发展。笔者将从历史发展的角度出发,重点梳理西北地区重力测量、航磁工作、深部探测和地球物理综合研究

等工作现状,并结合西北地区工作实际,提出下一步工作的建议。

1 西北地区区域地球物理调查现状

1.1 西北地区重力工作进展

西北地区重力测量工作开始于 1940 年初,由勘探地球物理学的前辈翁文波先生首先在玉门油田使用了重力勘探。新中国建国以来,在西北地区开展了以石油普查、地震预测和地球形状测量为目的的区域重力测量,以铬铁矿等矿产为主的大比例尺矿区重力勘探。先后由原石油部、地质部、国家地震局、国家测绘局和总参测绘局等部门进行了不同比例尺、不同精度的工作。1978 年开始,由孙文珂先生等地球物理学家倡导,在全国开展系统正规的区域重力调查工作。主要工作由原地矿系统地球物理勘探单位实施(图 1)。

1.1.1 1 : 50 万~1 : 100 万区域重力调查

西北地区 1 : 50 万~1 : 100 万区域重力调查开始于 1978 年。其中,陕西省 1983~1990 年完成了 1 : 50 万区域重力调查和重力老资料改算工作;20 世纪 90 年代中期,甘肃省完成东部 1 : 50 万、西部 1 : 100 万区域重力调查;青海省于 20 世纪 90 年代中期完成青海北部 1 : 100 万区域重力调查,从 1999 年在青海南部开始新一轮地质大调查,到 2006 年全

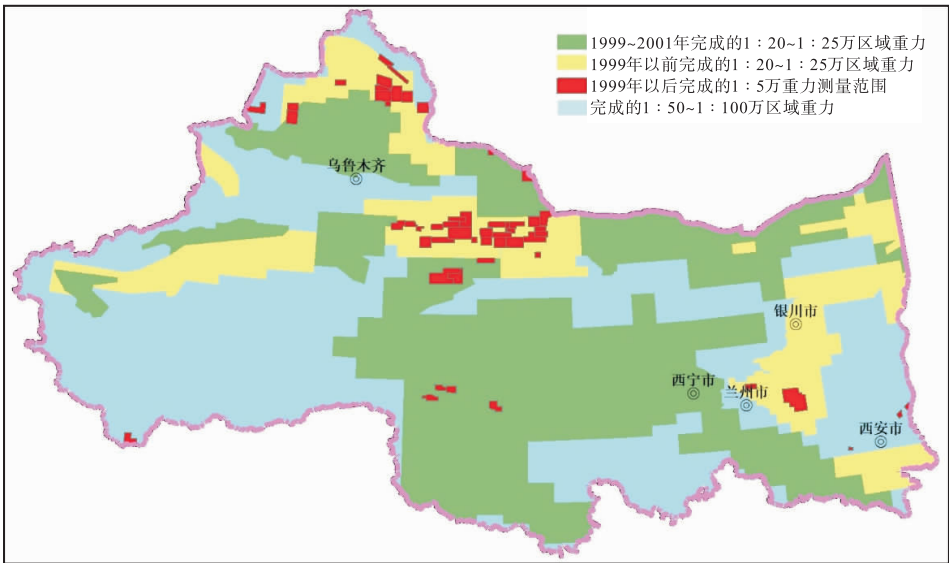


图 1 西北地区重力工作程度示意图(截止 2021 年)

Fig. 1 Schematic diagram of gravity working degree in Northwest China

部完成 1:100 万区域重力调查;新疆于 20 世纪 90 年代中期完成东天山及北疆地区 1:100 万比例尺的区域重力调查;西昆仑地区 1:100 万比例尺区域重力调查于 1999 年新一轮地质大调查开始,到 2006 年全部完成。塔里木、准噶尔、柴达木等大型盆地 1:100 万区域重力数据由原石油部提供的重力数据改算;宁夏除早期石油重力工作外,未开展 1:50 万~1:100 万区域重力调查工作。截至目前,西北地区除西昆仑、西天山及阿尔泰山北部高山深切割山区留有部分空白区外,1:50 万~1:100 万区域重力调查基本达到全覆盖。

1.1.2 1:20 万~1:25 万区域重力调查

西北地区系统的 1:20 万区域重力调查工作始于 1978 年,除宁夏回族自治区于 1980~1989 年完成全覆盖外,其他各省(区)1:20 万区域重力调查工作主要分布在秦岭、祁连山中段、东天山、新疆甘肃北山、新疆北部、青海东昆仑、阿尔金及三江北段等地区。截止 2021 年,西北五省(区)共完成 1:20 万~1:25 万区域重力调查总面积 133.46 万 km^2 (不包含石油等部门完成的工作),占西北地区总面积的 42.9%。

1.1.3 大比例尺重力测量工作

西北地区 1:5 万~1:2.5 万和更大比例尺重力勘查主要为矿区重力普查、油气勘探等服务,除石油重力勘探外,以金属矿普查为目标的 1:5 万重力测量仅在新疆东天山土屋—延东地区完成 1 000 km^2 ,矿区重力测量工作一般面积较小,或者仅为剖面工作。

1.1.4 西北地区重力资料精度概述

西北地区系统重力调查工作,比例尺有 1:100 万、1:50 万、1:20 万和 1:5 万。2009 年以来,为了和国际分幅标准接轨,将区域重力调查比例尺由 1:20 万调整为 1:25 万,实际工作网度和精度仍采用 1:20 万区域重力调查要求,只是工作范围以 1:25 万标准图幅进行。其中,1:100 万区域重力在新疆天山山脉、阿尔泰山、艾比湖、昆仑山等深切割地区 and 无法通行地区留有部分空白区,在使用这些地区资料时应予以注意;塔里木、柴达木等大型盆地利用石油部门路线重力测量资料,其余地区重力测点平均密度大约为每 135 km^2 一个重力点;1:100 万区域重力调查数据精度大体可分为 2 个阶段:第一阶段为 1998 年以前,这一阶段由于测点位置和高程均采用 1:5 万地形图确定,部分地区采用

1:10 万地形图定点,其定位及高程精度受地形图精度限制,定位精度相对较低,仪器大部分采用国产 ZSM-IV、V 或者 WORDEN 等中精度重力仪,布格重力异常总精度最弱值为 $\pm 1.293 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$;第二阶段从 1999 年开始,测点定位采用单频和双频 GPS,重力仪除部分仍应用中精度重力仪外,不少单位开始使用 LCR 型、CG-5 型高精度重力仪,这一阶段布格重力异常总精度好于 $\pm 1.0 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。

1:50 万区域重力调查工作主要分布在陕西省境内和甘肃东部,重力测点平均密度为每 19.8 km^2 一个重力点,布格异常总精度优于 $\pm 0.98 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。

1:20 万和 1:25 万区域重力调查工作主要分布在各重要成矿带,测点密度约 6 km^2 一个重力点。第一阶段为 1998 年以前,这一阶段由于测点位置采用 1:2.5 万航空照片确定,高程采用气压计测高方法获取,定位精度相对较低,仪器大部分采用国产 ZSM-IV、V 或者 WORDEN 等中精度重力仪,布格重力异常总精度优于 $\pm 0.66 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ (实际可能更低);第二阶段从 1999 年开始,测点定位采用单频和双频 GPS 进行,重力仪除部分仍应用中精度重力仪外,不少单位开始使用 LCR 型、CG-5 型高精度重力仪,这一阶段布格重力异常总精度好于 $\pm 0.5 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$ 。

1.2 西北地区航磁工作程度

西北地区航磁工作始于 1961 年,主要由原国土资源航空物探遥感中心完成,原冶金部航空物探大队在少量铁矿带进行了小面积测量。区域航磁工作比例尺为 1:100 万、1:50 万、1:20 万、1:10 万、1:5 万、1:2.5 万,截止 2016 西北地区完成的各种比例航磁工作见图 2(范正国等,2007;朱英,2013;朱卫平等,2014)。

1:50 万~1:100 万航空磁测包括新疆罗布泊阿拉善、青藏高原中西部、天山地区、准噶尔盆地、塔里木盆地、吐鲁番哈密、青海中南及西南、祁连山地区等。航磁飞行的时间大都集中在 20 世纪 80 年代中期以前,基本覆盖了距国界 30 km 内的全区。飞行高度为 100~4 000 m,一般采用光泵磁力仪,以目视领航为主,测量精度为 2~15 nT(熊盛青等,2014,2016)。

1:20 万航磁在 1966~2005 年完成,主要在青海西宁、内蒙鄂尔多斯、柴达木东部边缘、甘肃甘南、青海南部、陕甘宁交界区、新疆塔里木西部、新疆塔里木东北及鄂尔多斯北部等地区完成。飞行高度为

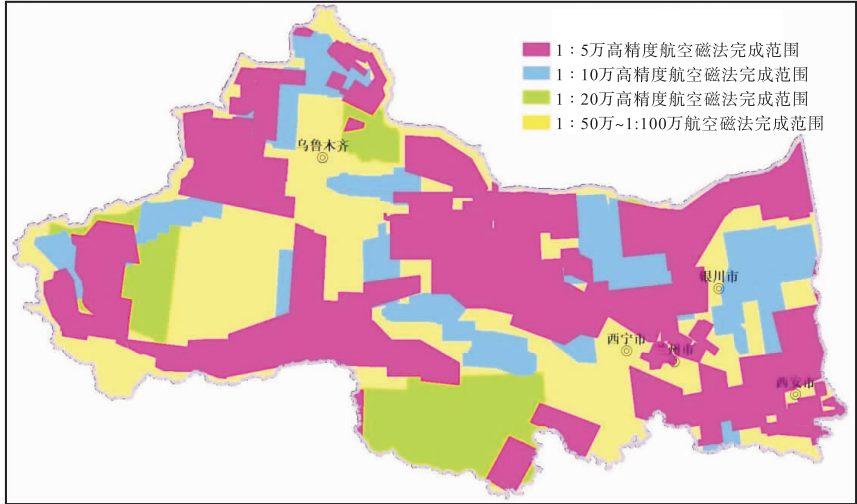


图 2 西北地区航磁工作程度示意图(截止 2016 年)

Fig. 2 Schematic diagram of aeromagnetic working degree in Northwest China

300~1 200 m,一般采用光泵磁力仪,以目视领航为主,测量精度为 2~11 nT(熊盛青等,2018)。

1:10 万航磁在 1960~1998 年完成,主要在新疆托里、新疆塔克扎勒阿尔曼、准噶尔盆地周缘、秦岭中东部大巴山、青海柴达木、宁夏同心—贺兰山、甘肃龙首山潮水盆地、青海柴达木中部、秦岭西段武都略阳、新疆伊犁新源及新疆库尔勒尉犁等地区完成。飞行高度为 60~800 m,一般采用光泵磁力仪,以目视领航为主,测量精度为 5 nT 左右。

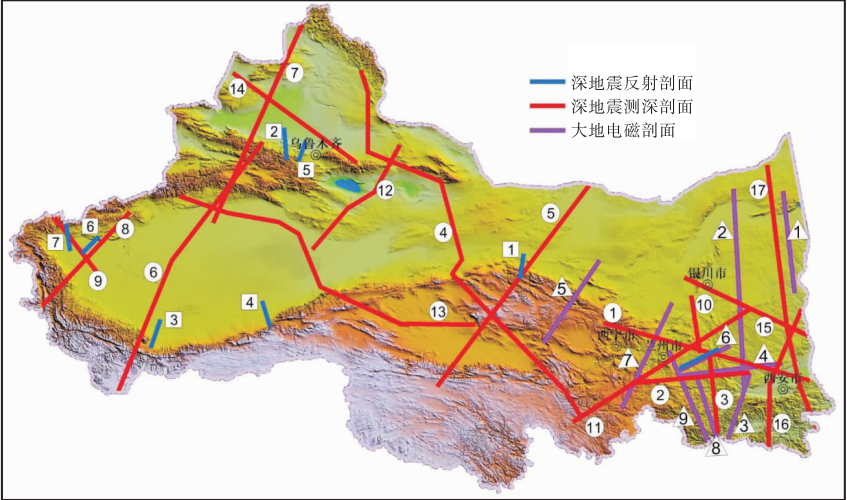
1:5 万~1:2.5 万航磁在 1966~2000 年完成,主要分布在新疆东天山、准噶尔西缘等重要成矿带。飞行高度为 50~500 m,一般采用光泵磁力仪,以目视领航为主,测量精度为 2~12 nT 左右。

1.3 西北地区深部探测现状

自 20 世纪 70 年代以来,在中国西北地区进行了大量的深部探测工作(图 3)。其中,深地震探测方法包括深地震测深、深地震反射和宽频带地震观测 3 种方法(熊小松等,2010)。深地震测深方法利用人工爆破激发的地震波研究地壳结构,是地壳深部探测工作的主要手段。自 1974 年至今,在西北地区完成了“门源—平凉—渭南”、“灵台—阿木去乎”、“成县—西吉”、“阿克赛—可可托海—敦煌—都兰”、“格尔木—额济纳旗”、“独山子—泉水沟”、“沙雅—布尔津”、“塔什库尔干—伽师—阿合奇”、“莎车—阿图什—拖云”、“西吉—中卫”、“玛沁—兰州—靖边”、“库尔勒—吉米萨尔”、“大柴旦—若羌—拜城”、“奇台—克拉玛依—额敏”、“鱼泉—咸阳—延川”、“竹山—渭南—延安—白云鄂博”及“阿

拉善—靖边—甘泉—郑州”等 17 条深地震测深剖面(赵俊猛,2005;Zhao et al.,2006,2008)。

深地震反射是刻画地壳上地幔精细结构的最有效手段。自 1993 年以来,西北地区共完成深地震反射剖面 7 条,合计长度 670 余 km,包括北祁连—河西走廊剖面(吴宣志等,1995)、横跨乌鲁木齐凹陷南北向剖面(Wang et al.,2001)、西昆仑—塔里木剖面、阿尔金—塔里木剖面(高锐等,2000,2001)、天山北缘同准噶尔盆地之间的剖面(刘保金等,2007)、伽师地震区剖面(杨卓欣等,2006)及“西南天山—塔里木盆地主动源地震反射剖面”(高锐等,2002)。除此之外,随着数字化观测技术及流动台站观测的迅速发展,宽频地震观测方法被广泛采用。中国地震局在横跨中国境内天山的西段、中段及东段实施了 3 条南北向的转换波地震测深剖面(邵学钟等,1996;张家茹等,1998)。1998 年,中法合作完成了穿越阿尔金和天山的“若羌—芒崖”、“克拉玛依—库车”宽频地震观测剖面(姜枚等,1999)。随后,中国地震局、中国地质科学院地质所及南京大学分别在横穿天山造山带、西昆仑山前、伽师强震区及青藏高原东北缘等开展了相应的宽频地震探测(刘启元等,2000;陈九辉等,2005;李昱等,2007)。这些深地震探测剖面结果表明,比起中国其他地区,西北地区莫霍面无论是埋深还是形态均变化最大,反映出受印度板块与欧亚板块碰撞远程效应影响,西北地区地壳整体变形强烈。同样,大地电磁方法是探测活动构造带深部分段结构及地震区深部结构的有效方法之一。在中



深地震测深剖面:①. 门源-平凉-渭南剖面;②. 灵台-阿木去乎剖面;③. 成县-西吉剖面;④. 阿克赛-可可托海-敦煌-都兰剖面;⑤. 格尔木-额济纳旗剖面;⑥. 独山子-泉水沟剖面;⑦. 沙雅-布尔津剖面;⑧. 塔什库尔干-伽师-阿合奇剖面;⑨. 莎车-阿图什-拖云剖面;⑩. 西吉-中卫剖面;⑪. 玛沁-兰州-靖边剖面;⑫. 库尔勒-吉米萨尔剖面;⑬. 大柴旦-若羌-拜城剖面;⑭. 奇台-克拉玛依-额敏剖面;⑮. 鱼泉-咸阳-延川剖面;⑯. 竹山-渭南-延安-白云鄂博剖面;⑰. 阿拉善-靖边-甘泉-郑州剖面;深地震反射剖面:①. 北祁连-河西走廊剖面;②. 横跨乌鲁木齐凹陷南北向剖面;③. 西昆仑-塔里木剖面;④. 阿尔金-塔里木剖面;⑤. 天山北缘-准噶尔盆地剖面;⑥. 伽师地震区剖面;⑦. 西南天山-塔里木盆地主动源地震反射剖面;大地电磁测深剖面:△. 土默特右旗-绥德剖面;△. 乌拉特中旗-宝鸡北剖面;△. 广元-通渭剖面;△. 广元-灵台剖面;△. 乌兰-银额盆地南缘剖面;△. 定西-环线剖面;△. 合作-大井剖面;△. 榆中-大桥镇剖面;△. 陇西-黄陵剖面

图3 西北地区部分深部探测剖面示意图

Fig. 3 Schematic diagram of some deep exploration sections in Northwest China

国大陆多个重要构造边界,如青藏高原周缘边界带等,开展过大量的大地电磁测深方法研究工作,取得了一系列的重要地学成果。例如,“土默特右旗-绥德”剖面、“乌拉特中旗-宝鸡北”剖面、“广元-通渭”剖面、“广元-灵台”剖面、“乌兰-银额盆地南缘”剖面、“定西-环线”剖面、“合作-大井”剖面、“榆中-大桥镇”和“陇西-黄陵”剖面(许林斌等,2017;詹艳等,2014;金胜等,2012;闵刚等,2017;韩松等,2016)。

1.4 西北地区地球物理综合研究

2006~2012年,在“西北地区矿产资源潜力评价”项目中进行了西北地区矿产资源潜力评价重磁资料应用研究工作,同时进行陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆5个省级重磁资料应用研究工作。上述工作取得的一系列成果:①系统收集了西北地区1:100万、1:50万、1:25万、1:20万等区域重力调查数据资料;中国国土资源航空物探遥感中心、冶金等部门完成的1:100万、1:50万、1:20万、1:10万、1:5万、1:2.5万航磁数据资料和部分地磁资料,以及西北五省(区)重磁资料应用成果;编制了西北地区重力、航磁、地磁工作程度图、西北地区

重磁系列图件和推断解释成果图件,为西北地区矿产资源潜力评价提供了重、磁基础图件及解释推断地质构造信息。②对西北地区岩石、地层密度和磁性资料进行了系统整理,并对各成矿带岩石和地层密度、磁性特征进行了分析总结,为重磁解释提供了地质、地球物理依据。③在对西北地区局部重、磁异常解释的基础上,圈定中生代沉积盆地或局部沉积凹陷共计639个,并对已知大型沉积盆地的重磁场特征进行了分析研究;在西北地区共推断各类岩浆岩体557处,其中中酸性侵入岩252个,中基性侵入岩110个,基性侵入岩73个,超基性侵入岩34个,火山岩88个,并选择有代表性的异常进行了定量解释;以各省编制的1:50万航磁图为基础,参考大比例尺磁异常、重力异常及地质等资料,在西北地区推断变质岩146处。④以重磁资料为主,结合地质、航磁、深部地震及遥感等资料,编制了西北地区各矿种预测工作区分布图;并优选了60个不同矿种预测工作区,对其重磁场特征进行了分析研究。

在细化成矿带综合研究方面,在2010~2015年,先后在东天山-北山重要成矿带、阿尔泰-准噶尔

北缘重要成矿带和阿尔金-东昆仑成矿带进行了区域地球物理成果集成与方法技术研究工作,取得了一系列的研究进展和成果:①系统收集 3 个成矿带区域重力调查数据、航磁及部分地磁数据,建立起了不同比例尺、不同来源的数据融合与拼接方法技术体系。②系统收集了 3 个成矿带不同年代岩石、地层密度和磁性资料,分类统计研究区内各成矿带地层、岩石的密度、磁性及电性特征,为后续资料处理和综合解释提供依据。③新圈定了一批隐伏和半隐伏岩体,为区域找矿与覆盖区填图选取提供了基础数据支撑。④对研究区各成矿带重要断裂划分与性质厘定、区域成矿背景研究、大地构造区划、区域地质界线的厘定等工作研究提供了大量新的证据。⑤助推了新疆大白地-雅满苏北山、新疆康古尔-马头滩金、新疆哈密市彩霞山-赤龙峰等一批综合物探项目的开展,取得了较好的找矿效果。

总体来讲,中国陆地全境基本实现了 1:100 万(1:50 万)重力覆盖,东部地区实现了 1:20 万或 1:25 万区域重力全覆盖,京津冀、环渤海湾、长三角等地区基本实现了 1:5 万区域重力覆盖。相较于东部地区,西北地区区域重磁覆盖程度与覆盖精度均有较大差距,整体呈现空白区大、老资料多,集成研究程度低等特点。以区域重力为例,1:25 万区域重力尚有空白区 126 万 km²,各大盆地基本为 2000 年以前开展的低精度重力资料,部分资料存在记录不全、地形改正精度较低等问题;1:5 万区域重力工作除东天山、柴达木较为连片以外,其他地区均只在个别图幅开展工作,整体工作以地方为主。另外,西北地区航磁 1:5 万基本覆盖东秦岭成矿带、祁连-西秦岭成矿带、东天山-北山成矿带、阿尔泰成矿带、阿尔金-东昆仑成矿带及三江源-巴彦喀拉成矿带等 7 大成矿带及银额盆地,但其他盆地的覆盖度仍然是 1:100 万(1:50 万)尺度的老资料,由于测量比例尺太小,远远不能满足地质找矿的需求。

2 西北地区区域地球物理工作展望

2.1 持续推进西北盆山系基础地质调查与应用

西北地区矿产能源丰富,生态环境脆弱,地质灾害频发,是中国自然资源综合调查的主战场。但总体来看,西北地区深部和盆地及盆山结合部的面积性资料相对较少,在“全力支撑能源、矿产、水和其他

战略资源安全保障、精心服务生态文明建设和自然资源管理中心工作”的总方针的指引下,区域地球物理工作程度难以支撑庞大而繁重的综合地质调查任务,急需立足长远需求,积极推动与部署地球物理工作,进而更好的服务国家能源资源安全、国防建设与重大战略工作的开展。

2.2 构建与细化陆域大地电磁骨干网

根据中国地质调查局整体部署,在 2022~2026 年要基本完成西北地区 50 km×50 km 的陆域大地电测骨干网探测,完成莫霍面以上地区基础深度资料采集,基本完成西北地区 1:500 万尺度三维骨干网电阻率建模工作。在此基础上,用 10~15 年的时间,对西北大地电磁骨干网进行细化,整体达到 20 km×20 km 的网度;在重点造山带、盆地及盆山结合部、人口集中区、自然灾害易发区,大地电磁骨干网细化至 5 km×10 km 的网度,整体实现对西北地区重要区域性构造与层位的区域性控制,同时完成对西北重点地区的细化调查。为达到这一目标,在积极完成现阶段中国地质调查局下达的东天山-北山-祁连北部地区 50 km×50 km 大地电磁格网探测的基础上,积极推动秦岭、鄂尔多斯及外围盆地、东天山-北山地区、青海柴达木盆地及周缘等地区的大地电磁骨干网细化工作,整体达到 10 km×10 km 的网度,其中尤以工作程度较高的东天山-北山、秦岭、鄂尔多斯及外围盆地等地区基本实现 5 km 的细化网度,基本实现对西北重点区的三维细化建模。

2.3 开展重要盆地与盆山结合部穿透性廊带地球物理综合调查工作

西北地区地域广阔,成矿带与造山带资料积累较多,盆地及盆山结合部资料积累较少,所以需快速填补盆地与盆山结合部关键地区的资料空白,急需开展针对重要盆地与盆山结合部的穿透性 1:5 万重力、磁法、音频大地电磁剖面及长周期大地电磁剖面等组合方法为一体的综合地球物理调查,服务资源能源、水及地质灾害等调查与研究工作。在鄂尔多斯盆地开展太白-巴彦淖尔-中蒙边境、户县-乌拉特前旗-中蒙边境、华阴-包头-中蒙边境、甘肃民和一山西大宁及宁夏石嘴山-山西保德等两横三纵贯穿性廊带综合地球物理探测,查明鄂尔多斯盆地及周缘地区与秦岭、阴山、贺兰山等造山带及鄂尔多斯西部多盆山耦合关系,建立鄂尔多斯盆地骨干密度、磁化率、电阻率框架,为鄂尔多斯地区地热、

氢气、油气及水资源勘查提供地球物理资料支撑;在青海柴达木盆地宗加—怀头他拉镇、格尔木—镜铁山、乌兰乌珠尔—花海等3条1:5万综合物探廊

带,查清柴达木盆地基础构造特征及其与昆仑、祁连的盆山耦合转换特征,服务该区铜镍、油气、钾盐等资源能源勘查,具体工作部署见图4。

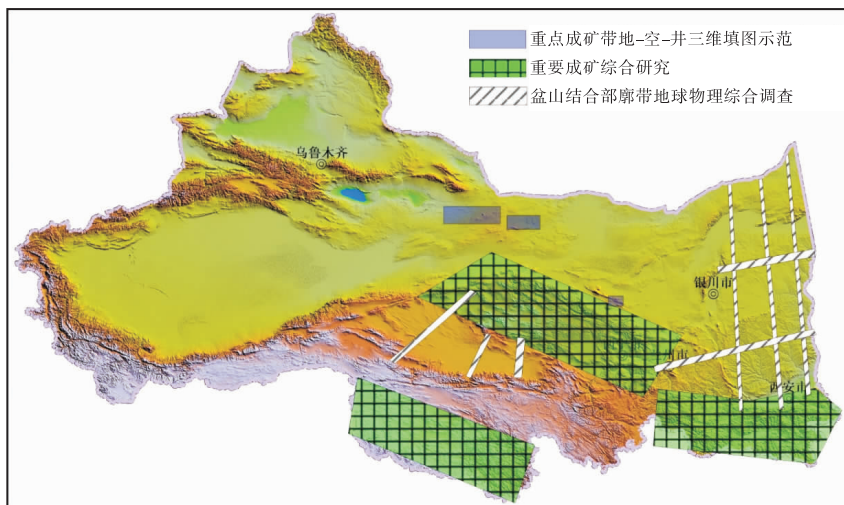


图4 西北地区区域地球物理重点设想工作部署图

Fig. 4 Deployment map of regional geophysical key assumptions in Northwest China

2.4 加强重要成矿带综合研究

西北地区拥有7大成矿带,前期对东天山—北山成矿带、阿尔泰成矿带和阿尔金—东昆仑成矿带等3大成矿带的资料集成与综合研究,基本实现对上述区域地球物理数据集成、岩体、构造及成矿有利区段划分等工作,促进了一批综合物探与找矿项目立项工作,为各成矿找矿突破提供重要资料支撑。新时期,在自然资源综合调查的背景下,应大力推进地质科技创新和信息化建设,继续推动成矿带资料集成与综合研究是当前重点工作。三江源—巴彦喀拉成矿带地处黄河、长江、澜沧江的发源地区,有中华水塔之称。近年来,青海地调院调查研究表明该区具有良好的三稀成矿潜力;秦岭、祁连地区是国家生态保护与综合治理的重点地区,同时也是中国重要的金属矿产基地,开展三江源—巴彦喀拉、秦岭、祁连等3个成矿带的资料集成与综合研究,构建成矿带级别的三维地球物理—地质模型,服务生态保护与水土涵养是西北区域地球物理转型的重要尝试,亟待开展。

2.5 开展重点成矿带空—地—井地球物理—地质三维填图与应用示范

聚焦铁、铜、镍等大宗矿产找矿突破及当前深部找矿中急需解决的关键参数、关键技术问题,在重要矿集区及其外围地区,开展无人机航磁、地—空瞬变电磁、超大功率—超大极距三维直流/交流激电为主

的空—地—井三维地球物理—地质填图与应用示范,探索深部(500~2 000 m)立体填图与综合找矿方法技术,为西北地区找矿突破与资源型城市转型升级提供方法技术支撑。在东天山黄山—图拉尔根、甘肃北山黑山铜镍矿外围、甘肃龙首山周缘和青海祁漫塔格外围等地区开展试验与示范工作,解决上述地区已知矿产外围与深部的找矿问题,建立相关方法技术体系。在秦岭北麓、天水盆地、西宁盆地等地区开展盆地区工作,综合查明上述区域地热、氢气资源富集有利区,服务该区清洁能源综合调查。

2.6 开展区域重磁关键技术研发

当前区域重磁已基本覆盖全国雪线以下地区,但地调系统对盆地资料的掌握较少,并且当前区域重磁大多用于地表平面异常解释工作,如何依靠区域重、磁获取地下空间三维结构,并构建密度、磁力参数模型已成为当前重、磁发展与推广应用的核

3 结束语

整体来讲,西北地区区域地球物理工作涵盖时

间较长,参与单位较多,且受当时勘查目标、仪器发展、工作手段及定位精度等方面的限制,存在老资料精度较低、原始记录不全等问题,并且相较于东部省份,西北地区在工作程度、资料研究程度与综合利用等方面均明显落后于东部地区,工作程度与精度均难以支撑西北地区自然资源综合调查需求,急需进一步推动与细化西北地区区域地球物理调查工作,进而更好地为保障国家能源资源安全保障及生态文明建设服务。

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):

陈九辉,刘启元,李顺成,等. 青藏高原东北缘-鄂尔多斯地块地壳上地幔 S 波速度结构[J]. 地球物理学报, 2005, 48(2):333-342.

CHEN Jiuhui, LIU Qiyuan, LI Shuncheng, et al. Crust and upper mantle S-wave velocity structure across Northeastern Tibetan Plateau and Ordos block[J]. Chinese J. Geophys., 2005, 48(2): 333-342.

董树文,李廷栋,陈宣华,等. 我国深部探测技术与实验研究进展综述[J]. 地球物理学报,2012,55(12):3884-3901.

DONG Shuwen, LI Tingdong, CHEN Xuanhua, et al. Progress of deep exploration in mainland China: A review [J]. Chinese J. Geophys., 2012, 55(12): 3884-3901.

范正国,方迎尧,王懋基,等. 航空物探技术在 1:25 万区域地质调查中的应用[J]. 物探与化探,2007,31(6): 504-509.

FANG Zhengguo, FANG Yingyao, WANG Maoji, et al. The application of aerogeophysical techniques to 1:25 000 regional geological mapping[J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2007, 31(6): 504-509.

高锐,肖序常,高弘,等. 西昆仑-塔里木-天山岩石圈深地震探测综述[J]. 地质通报,2002,21(1):11-18.

GAO Rui, XIAO Xuchang, GAO Hong, et al. Summary of deep seismic probing of the lithospheric structure across the West Kunlun-Tarim-Tianshan[J]. Geological Bulletin China, 2002, 21(1): 11-18.

高锐,黄东定,卢德源,等. 横过西昆仑造山带与塔里木盆地结合带的深地震反射剖面[J]. 科学通报,2000,45(17):1874-1879.

GAO Rui, HUANG Dongding, LU Deyuan, et al. Deep seismic reflection profiles across juncture zone between Tarim basin and west Kunlun Mountain[J]. Chinese Science Bulletin, 2000, 45(17): 1874-1879.

高锐,肖序常. 新疆地学断面深地震反射剖面揭示的西昆仑

-塔里木结合带岩石圈细结构[J]. 地球学报,2001, 22(6):547-552.

GAO Rui, XIAO Xuchang. Detail lithospheric structure of the contact zone of west Kunlun and Tarim Revealed by deep seismic reflection profile along the xinjiang geo-transect[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2001, 22(6): 547-552.

韩松,韩江涛,刘国兴,等. 青藏高原东北缘至鄂尔多斯地块壳幔电性结构及构造变形研究[J]. 地球物理学报, 2016,59(11):4126-4138.

HAN Song, HAN Jiangtao, LIU Guoxing, et al. Crust and upper mantle electrical structure and tectonic deformation of the northeastern margin of the Tibetan Plateau and the adjacent Ordos Block[J]. Chinese J. Geophys., 2016, 59(11): 4126-4138.

姜枚,许志琴,薛光琦,等. 青海茫崖-新疆若羌地震探测剖面及其深部构造的研究[J]. 地质学报,1999, 73(2): 153-161.

JIANG Mei, XU Zhiqin, XUE Guangqi, et al. Seismic profiling between mangnai, Qinghai and Ruoqiang, Xinjiang and infrastructure study[J]. Acta Geologica Sinica, 1999, 73(2): 153-161.

金胜,张乐天,金永吉,等. 青藏高原东北缘合作-大井剖面地壳电性结构研究[J]. 地球物理学报,2012,55(12): 3979-3990.

JING Sheng, ZHANG Letian, JIN Yongji, et al. Crustal electrical structure along the Hezuo-Dajing profile across the Northeastern Margin of the Tibetan Plateau [J]. Chinese J. Geophys., 2012, 55(12): 3979-3990.

李廷栋,袁学诚,肖庆辉,等. 中国岩石圈三维结构[M]. 北京:地质出版社,2013.

李昱,刘启元,陈九辉,等. 天山地壳上地幔的 S 波速度结构[J]. 中国科学:D 辑,2007,37(3):344-352.

LI Yu, LIU Qiyuan, CHEN Jiuhui, et al. Shear wave velocity structure of the crust and upper mantle underneath the Tianshan orogenic belt[J]. Science in China: Series D, 2007, 37(3): 344-352.

刘保金,沈军,张先康,等. 深地震反射剖面揭示的天山北缘乌鲁木齐拗陷地壳结构和构造[J]. 地球物理学报, 2007,50(5):1464-1472.

LIU Baojing, SHEN Jun, ZHANG Xiankang, et al. The crust structures and tectonics of Ürümqi depression revealed by deep seismic reflection profile in the northern margin of Tianshan mountains [J]. Chinese J. Geophys., 2007, 50(5): 1464-1472.

刘启元,陈九辉,李顺成,等. 新疆伽师强震群区三维地壳上地幔 S 波速度结构及其地震成因的探讨[J]. 地球物理学报,2000,43(3):356-365.

LIU Qiyuan, CHEN Jiuhui, LI Shuncheng, et al. Passive seismic experiment in Xinjiang-Jiashi strong earthquake

- region and discussion on its seismic genesis[J]. Chinese J. Geophys., 2000, 43(3): 356-365.
- 吕庆田, 吴明安, 汤井田, 等. 安徽庐枞矿集区三维探测与深部成矿预测[M]. 北京: 科学出版社, 2017.
- 闵刚, 王绪本, 夏时斌, 等. 岷山隆起带与西秦岭构造带中段中上地壳电性结构特征[J]. 地球物理学报, 2017, 60(6): 2397-2413.
- MING Gang, WANG Xuben, XIA Shibing, et al. Electrical structure of middle and upper crust beneath the Mins-han uplift zone and central section of the West Qingling orogenic zone[J]. Chinese J. Geophys., 2017, 60(6): 2397-2413.
- 邵学钟, 张家茹, 范会吉, 等. 天山造山带地壳结构与构造: 乌鲁木齐-库尔勒地震转换波测深剖面[J]. 地球物理学报, 1996, 39(3): 336-346.
- SHAO Xuezhong, ZHANG Jiaru, FAN Huiji, et al. The crust structures of Tianshan orogenic belt: a deep sounding work ny converted waves of earthquakes by converted waves of earthquakes along Ürümqi-Korla profile[J]. Chinese J. Geophys., 1996, 39(3): 336-346.
- 孙文珂, 涂承林. 中国区域重力调查 40 年回顾[M]. 北京: 地质出版社, 2019.
- 吴宣志, 吴春玲, 卢杰, 等. 利用深地震反射剖面研究北祁连-河西走廊地壳细结构[J]. 地球物理学报, 1995, 38(S2): 29-35.
- WU Xuanzhi, WU Chunling, LU Jie, et al. Research on the fine crustal structure of the northerh Qilian-Nexi corridor by deep seismic reflection[J]. Chinese J. Geophys., 1995, 38(S2): 29-35.
- 熊盛青. 中国陆域航磁系列图说明书[M]. 北京: 地质出版社, 2015.
- 熊盛青, 周锡华, 薛典军, 等. 航空地球物理综合探测理论技术方法装备应用[M]. 北京: 地质出版社, 2018.
- 熊盛青, 丁燕云, 李占奎, 等. 中国陆域航磁特征与地质构造研究: 基于 1: 100 万航磁资料解释[M]. 北京: 地质出版社, 2016.
- 熊盛青, 丁燕云, 李占奎. 中国陆域磁性基底深度及其特征[J]. 地球物理学报, 2014, 57(12): 3981-3993.
- XIONG Shengqing, DING Yanyun, LI Zhankui. Characteristics of China continent magnetic basement depth[J]. Chinese J. Geophys., 2014, 57(12): 3981-3993.
- 熊小松, 高锐, 李秋生, 等. 深地震探测揭示的西北地区莫霍面深度[J]. 地球学报, 2010, 31(1): 23-31.
- XIONG Xiaosong, GAO Rui, LI Qiusheng, et al. The Moho depth of northwest China revealed by seismic detection[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2010, 31(1): 23-31.
- 许林斌, 魏文博, 金胜, 等. 鄂尔多斯地块北部至阴山造山带深部电性结构特征研究[J]. 地球物理学报, 2017, 60(2): 575-584.
- XU Linbing, WEI Wenbo, JIN Sheng, et al. Study of deep electrical structure along a profile from northern Ordos block to Yinshan orogenic belt[J]. Chinese J. Geophys., 2017, 60(2): 575-584.
- 杨卓欣, 张先康, 嘉世旭, 等. 伽师强震群区震源细结构的深地震反射探测研究[J]. 地球物理学报, 2006, 49(6): 1701-1708.
- YANG Zhuoxin, ZHANG Xiankang, JIA Shixu. Fine crustal structure in the Jiashi earthquake swarm region revealed by deep seismic reflection profiling[J]. Chinese J. Geophys., 2006, 49(6): 1701-1708.
- 詹艳, 赵国泽, 王立凤, 等. 西秦岭与南北地震构造带交汇区深部电性结构特征[J]. 地球物理学报, 2014, 57(8): 2594-2607.
- ZHAN Yan, ZHAO Guoze, WANG Lifeng, et al. Deep electric structure beneath the intersection area of West Qingling orogenic zone with North-South seismic tectonic zone in China[J]. Chinese J. Geophys., 2014, 57(8): 2594-2607.
- 张家茹, 邵学钟, 范会吉. 塔里木盆地中部地震转换波测深及其解释[J]. 地震地质, 1998, 20(1): 34-42.
- ZHANG Jiaru, SHAO Xuezhong, FAN Huiji. Deep sounding survey by converted waves of earthquakes in central part of the Tarim Basin and its interpretation[J]. Seismology and Geology, 1998, 20(1): 34-42.
- 赵俊猛. 天山造山带岩石圈结构与动力学[M]. 北京: 地震出版社, 2005.
- 朱英. 中国及邻区大地构造和深部构造纲要: 全国 1: 100 万航磁异常图的初步解释(第 2 版)[M]. 北京: 地质出版社, 2013.
- 朱卫平, 熊盛青, 薛典军, 等. 航空物探遥感联合探测技术现状及应用前景[J]. 地球物理学进展, 2014, 29(5): 2356-2363.
- ZHU Weiping, XIONG Shengqing, XUE Dianjun, et al. Aerogeophysical jointly remote sensing detection technology present and prospect[J]. Progress in Geophysics, 2014, 29(5): 2356-2363.
- Wang Chunyong, Lou Hai, Wei Xiucheng, et al. Crustal Structure in Northern Margin of Tianshan Mountains and Seismotectonics of the 1906 Manas Earthquake[J]. Acta Seismologica Sinica, 2001, 14(5): 491-502.
- Zhao Jungmeng, Mooney Walter D, ZHANG Xiankang, et al. Crustal Structure across the Altyn Tagh Range at the Northern Margin of the Tibetan Plateau and Tectonic Implications[J]. Earth and Planetary Science Letters, 2006, 241(3-4): 804-814.
- Zhao Junmeng, Cheng Honggang, Pei Shunping, et al. Deep Structure at Northern Margin of Tarim Basin[J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 53(10): 1544-1554.