

doi: 10. 11720/wtyht. 2023. 2670

吴发富, 刘江涛, 王建雄, 等. 摩洛哥地球化学景观划分[J]. 物探与化探, 2023, 47(1): 47-54. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2023.2670>

Wu F F, Liu J T, Wang J X, et al. Division of the geochemical landscapes in Morocco[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2023, 47(1): 47-54. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2023.2670>

摩洛哥地球化学景观划分

吴发富, 刘江涛, 王建雄, 胡鹏, 程湘, 李福林, 赵凯, 曾国平, 王成刚, 向鹏
(中国地质调查局 武汉地质调查中心, 湖北 武汉 430205)

摘 要: 从地球化学勘查的角度, 以摩洛哥的自然地理、地形地貌、水文气候等特征为依据, 结合多年在摩洛哥从事地球化学调查工作的认识, 划分了摩洛哥地球化学景观, 绘制了摩洛哥地球化学景观分区图。将摩洛哥全境划分为 6 个一级地球化学景观区: 森林覆盖区、半干旱高山区、湿润—半湿润中低山丘陵区、干旱—半干旱中低山丘陵区、干旱荒漠戈壁区、沙漠覆盖区; 并根据海拔和切割强度, 进一步将湿润—半湿润中低山丘陵区 and 干旱—半干旱中低山丘陵区两个一级景观区划分为 4 个二级景观区: 丘陵区、低山区、浅切割中山区、中—深切割中山区, 在此基础上提出了在摩洛哥进行地球化学调查工作的建议。

关键词: 摩洛哥; 地球化学景观; 自然地理; 地球化学景观分区图

中图分类号: P632

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2023)01-0047-08

0 引言

20 世纪末以来, 摩洛哥政府对地质工作越来越重视, 努力推进地质调查工作以提高其国土的地质图、地球化学图及地球物理图的覆盖率。根据摩洛哥能源、矿业与环境部资料, 截至 2018 年, 摩洛哥国土的地球化学图覆盖率仅 8% 左右, 因此希望通过实施其国家五年地质行动计划(2017~2021 年) 将国土的地球化学图覆盖率提高到 11.81%。目前南非、中国都在摩洛哥开展过地球化学调查工作。中国对摩洛哥的地球化学调查工作始于 21 世纪初, 迄今为止, 先后由新疆宝地矿业有限责任公司^[1]、天津地质调查院、中国地质调查局武汉地质调查中心等单位在摩洛哥实施了多个地球化学和地质填图项目, 项目工作区涉及摩洛哥西南临大西洋地区、阿特拉斯山腹地山区、阿特拉斯山东南侧向撒哈拉沙漠西北缘过渡区等多种地球化学条件迥异的区域, 开展了丰富的地球化学调查理论探索, 积累了海量的资料与实践经验。对于地球化学勘查方法和技术的

选择除了要考虑勘查目标和工作要求外, 还要考虑景观环境、景观地球化学条件等因素^[2]。由于摩洛哥暂未进行地球化学景观分区, 且各地球化学填图项目多由不同地质机构乃至不同国家完成, 在地球化学工作方法上缺乏统一的参考和统筹协调, 对上述不同地区的地球化学调查工作在景观认识、采样介质、取样粒度等没有可供借鉴的景观划分等地球化学调查参考资料来针对性地制定最有效的方案, 从而致使项目工作存在不同程度的不足(与各项目实施人员内部交流)。本文依据近 6 年来在摩洛哥开展地质和地球化学调查工作取得的对该地区自然地理、水文、气候以及基本地质特征等认识, 从地球化学勘查的角度出发, 尝试对摩洛哥全境(含西撒哈拉)进行地球化学景观划分, 以便为摩洛哥地球化学调查工作提供借鉴和参考。

1 摩洛哥自然地理特征

摩洛哥地处非洲西北缘, 北临地中海、西濒大西洋、南接撒哈拉沙漠, 整个国土沿大西洋东岸呈 NE

收稿日期: 2021-12-12; 修回日期: 2022-02-09

基金项目: 中国商务部对外援助项目([2021]28)

第一作者: 吴发富(1980-), 男, 2013 年毕业于中国地质科学院, 获博士学位, 高级工程师, 现主要从事境外区域地质矿产调查与研究工作。

Email: wufafu@126.com

通讯作者: 刘江涛(1979-), 男, 2016 年毕业于加拿大约克大学, 获博士学位, 高级工程师, 现主要从事数学地质研究与地球化学调查工作。

Email: hb.jtliu@foxmail.com

向展布,面积 45.9 万 km²(不含西撒哈拉 26.6 万 km²)^[3]。NE—SW 向延绵 1000 多千米的阿特拉斯山脉在地理上将摩洛哥一分为二,北西为大西洋,南东为撒哈拉沙漠。阿特拉斯山脉像一道天然屏障,阻挡了大西洋湿热气流向南东迁移,形成摩洛哥境内阿特拉斯山脉北西湿润、南东干旱炎热的地理格局。摩洛哥自然地理的纬度分带和垂直分带明显,根据自然地理特征,可将其自然地理区划分为亚热带地中海山地—平原省、亚热带半沙漠山地—高平原省和亚热带撒哈拉沙漠省 3 个自然地理省,并可进一步细分为 10 个自然地理区(图 1)。摩洛哥以南西撒哈拉地区地势低缓,气候炎热干旱,植被稀少,大片石漠、沙漠裸露,统一划为西撒哈拉沙漠区。

1.1 地形概述

摩洛哥地形起伏大,最高海拔 4 167 m,位于其中部大阿特拉斯山顶峰——图卜卡勒峰(Jbel Toubkal)^[4];据美国发布的航天飞机雷达地形测绘数据(SRTM3),其最低海拔-90 m 位于大西洋沿岸,在西撒哈拉北部阿尤恩市东南 100 km 左右的盆地内,高差达 4 200 m 以上。摩洛哥是一个山地较多的国家,山脉占到摩洛哥领土面积的 1/3 以上^[5],从北到南分布着 4 座主要山脉。北部地中海南岸为里夫山脉,呈近 EW 向南凸的弧形,从丹吉尔向东延伸至摩洛哥—阿尔及利亚边界附近的木卢亚河谷一

带,中段较高(海拔 2 000 m 以上),最高峰为提迪根山(海拔 2 456 m),东、西段较低缓(海拔介于 700~800 m)。向南为中阿特拉斯山,以塔扎低地与里夫山相隔。中阿特拉斯山脉在摩洛哥中北部呈 NE 向延伸,其南西端在贝尼迈拉勒(BeniMellal)一带与大阿特拉斯山脉相接,北东端至塔扎以东木卢亚河一带,海拔多在 1 000~2 500 m 之间,位于其北东端的最高峰海拔达 3 354 m。大阿特拉斯山脉延绵 600 km 以上,西起大西洋沿岸的阿加迪尔,东至阿尔及利亚境内,呈 NEE 向贯穿摩洛哥全境;海拔多在 1 750~3 000 m 之间,核部区域海拔大多在 3 000~3 500 m,外延地带及相对较低的东北端海拔多 1 000~1 750 m 之间,最高峰为图卜卡勒峰。在大阿特拉斯山以南与其近于平行延伸的为安基阿特拉斯山,西起大西洋沿岸的伊夫尼,东接阿尔及利亚,其东段(Ouarzazate 以东至 Tinghir 一带)也叫萨弋山脉(JbelSagh-ro),再向东从 Tinejdad 到 Erfoud 一带称为 Ougnate 山^[6];安基阿特拉斯山脉整体上中间高,两端低,海拔多在 1 000~2 500 m 之间,最高峰位于中部与大阿特拉斯山脉连接带的锡尔瓦山,海拔 3 300 m^[5]。

山脉之外的广大区域为大西洋、地中海沿岸低地、丘陵区或撒哈拉沙漠西北缘石漠、沙漠区。最北部与阿尔及利亚交界处由地中海南岸、里夫山脉以东和中阿特拉斯山北东段界定了一面积不大的利夫

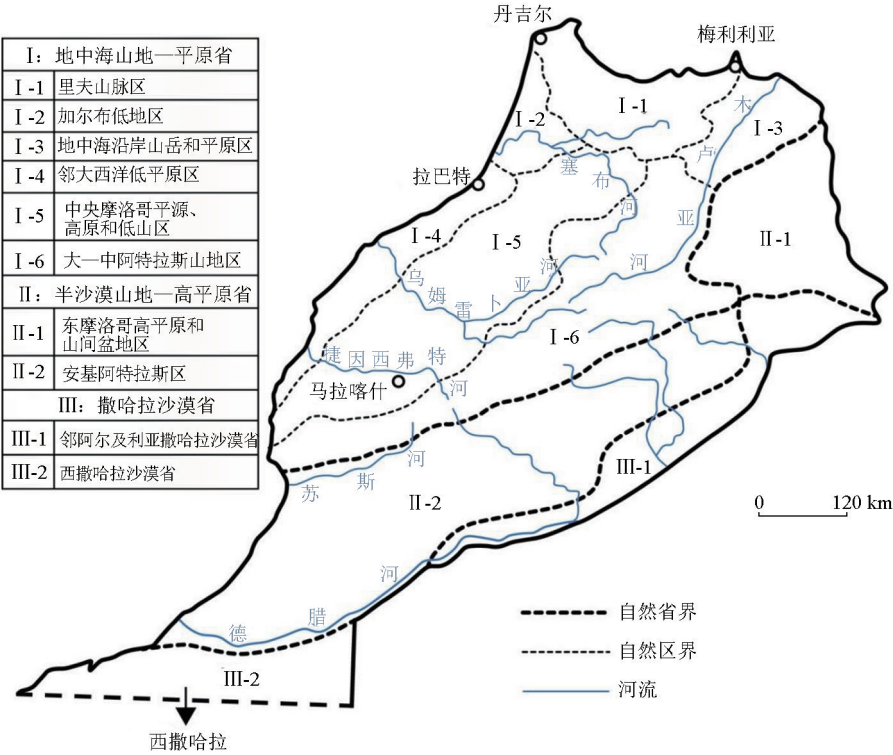


图 1 摩洛哥自然地理分区^[5]

Fig. 1 Geographical zoning map of Morocco^[5]

利低地平原(图 1 中 I-3),海拔多在 500 m 以下。里夫山南西、中阿特拉斯山以西、大阿特拉斯山北西直至大西洋东岸的广大区域为大西洋沿岸低地、丘陵地带(近似于图 1 中 I-2、I-4、I-5),海拔大多在 500 m 以下,靠近阿特拉斯山脉边缘区局部海拔可达 500~1 000 m。大阿特拉斯山脉西段和安基阿特拉斯山脉西南段所夹的区域为苏斯低地,向西一直延伸到大西洋东岸,海拔在 500 m 以下。在中阿特拉斯山脉和大阿特拉斯山脉东段之间向东延伸至阿尔及利亚的大片荒漠区域为东摩洛哥高平原和山间盆地区(图 1 中 II-1),地势平坦,海拔多在 1 000~1 300 m 之间。安基阿特拉斯山以南为大片荒漠戈壁和沙漠覆盖区,在安基阿特拉斯东段以南向东直至阿尔及利亚的大片区域,大量砂、砾石裸露,多为荒漠戈壁区(图 1 中 III-1),海拔多介于 500~1 000 m 之间;在安基阿特拉斯西段以南,直至西撒哈拉,地势平坦,海拔多在 500 m 以下,几乎全被荒漠戈壁和沙漠覆盖(图 1 中 III-2)。

1.2 气候分带

摩洛哥处于亚热带,北部属地中海型气候,夏季受副热带高压带控制,炎热干燥,冬季受西风带控制,温和多雨,1 月份平均气温 13 ℃,7 月份气温介于 22~29 ℃^[7]。中部为山区,属副热带山地气候,温和湿润,气温随海拔高度而变化;东部、南部为热带沙漠气候,受副热带高气压带和信风带的控制,全年干旱少雨,干旱闷热是该区的气候特点;南部西撒哈拉地区西部沿海气候相对湿润,东部高原气候干燥。

海洋影响和大陆性气温变化特征在摩洛哥均有清晰的体现,大西洋沿岸等温线与海岸线近于平行。地中海以南的大陆区域,随着纬度和高度的变化气温变化明显,尤其纬度变化对温度的影响更为显著,垂直地温梯度为 0.45 ℃。摩洛哥境内不存在 0 ℃ 以下的年平均等温线,表明在高纬度山区气候也是温和的,但除沿海外的许多地区最低温度也常达 0 ℃ 以下。摩洛哥绝大多数地区最高温度都不超过 45~46 ℃,仅少数地区偶尔可达 51 ℃ 的高温,南部西撒哈拉地区常年炎热。此外,摩洛哥的季节温差居世界前列,物理风化作用强烈。

摩洛哥最强烈的风为西洛可风,源于撒哈拉地区,向北吹至地中海、欧洲。这种风在各种天气条件下都可以产生,尤其在夏天反气旋情况下。西洛可风通常具有强大的力量,携带大量砂粒和尘埃,形成风暴,往往沿总风向顺着固定通道(如摩洛哥北部塔扎走廊)吹去。大风常会引发酷热天气。摩洛哥

西部和北部沿海地区空气湿度较高,在被山脉阻挡的内陆地区(如菲斯和马拉喀什等)、东部以及南部临撒哈拉沙漠区湿度低,受海风影响的沿海(30~40 km)地区的湿度有 20%~40% 的增加^[5]。

摩洛哥全年云量不大,介于 20%~40% 之间,特别是南部和东部撒哈拉地区云量更低,北部地区云量相对较高(如卡萨布兰卡,可达 50%)。日照时间充足,平均一天内日照时间与总时间之比约达 70%,高于相邻的阿尔及利亚和突尼斯,称得上是“太阳之国”,在太阳能利用方面潜力巨大。摩洛哥东部 Ouarzazate 市郊的 Noor 太阳能光伏电站已于 2018 年建成,总装机容量达 580 MW,为目前世界上规模最大的太阳能聚热电站^[8]。

1.3 水文特征

摩洛哥是一个干旱占主导的国家,尤其是东南部地区,水资源匮乏,其大气降水、地表水、地下水等水资源情况概述如下。

摩洛哥大气降水显示出较为独特的冬雨夏旱的气候特征,冬季是雨季。全年降水量在 300~1 000 mm,冬半年约占 60%~70%,夏半年只有 30%~40%。在降水的地理变化总体趋势上,由北向南、由沿海向内陆逐渐减少,阿特拉斯山脉东南坡降水显著低于西北坡。摩洛哥北部年降水量为 300~800 mm,中部年降水量从 300~1 400 mm 不等,东部、南部年降水量在 250 mm 以下^[7]。垂向上,降水量随海拔高度升高而增加,如纬度相近的拉巴特、梅克内斯和乌利梅斯地区,随着海拔逐渐升高,年降水量也依次升高为 523 mm、574 mm 和 773 mm^[5]。降水量最高的地区为北部里夫山区和中部中阿特拉斯山及大阿特拉斯山核心区域,年降水量 800 mm 以上,其中里夫山局部区域年降水量可高达 1 200 mm;南部前撒哈拉沙漠区年降水量最低,不足 100 mm。摩洛哥全国 60% 以上的领土年降水量不到 300 mm,降水量 300~600 mm 且适宜农业生产的面积约占摩洛哥国土的 1/3。从北向南主要城市年平均降雨量如下:丹吉尔(810 mm)、拉巴特(570 mm)、卡萨布兰卡(450 mm)、马拉喀什(253 mm)、阿加迪尔(289 mm)^[3]。

摩洛哥境内地表径流多为季节性河,但也有乌姆雷卜亚河和塞布河终年不断流。由于境内河流以季节性河流为主,因此水文网的分布受雨季和降雨量分区的时空控制。据此可将摩洛哥划分为地中海流域外流区、大西洋流域外流区和撒哈拉封闭流域内流区 3 大水文区。主要河流有地中海外流区的木卢亚河,大西洋外流区的塞布河、布—列格列格河、麦拉赫河、乌姆雷卜亚河、捷因西弗特河、苏斯河,撒

哈拉封闭内流区的达乌拉河、萨乌拉河以及跨越大西洋外流区和撒哈拉封闭内流区的德腊河,部分河流见图 1。无论是流量还是河流密度,摩洛哥东南部和南部的前撒哈拉内流区均远不如北部和西部的地中海外流区和大西洋外流区。

摩洛哥境内还有相当数量的湖泊,虽然其湖泊水资源量不大,但却是阿特拉斯山区湖泊最多的国家。摩洛哥阿特拉斯山区内的湖泊多为淡水湖,有的与岩溶有关,有的与火山岩裂隙有关(如卜卡勒峰南侧的 Ifni 湖);在低洼盆地中也有蒸发作用形成的咸水湖(如摩洛哥东部奥兰—方山一带出露的湖泊)。

摩洛哥的岩石构造条件有利于形成相当大储量的地下水,多集中在低缓处平原冲积层浅层中,地下水埋藏深度多介于 10~15 m,但在近山麓处的埋藏深度可达 80~100 m。在里夫山区以及安基阿特拉斯的灰岩层中都有丰富的地下水储集,具有开发利用潜力。

1.4 植被分布

摩洛哥生物地理主要表现为亚热带地中海型湿润景观向亚热带干旱沙漠景观过渡的特点,南部西撒哈拉地区则为热带干旱沙漠景观区,因此具有地中海型和撒哈拉沙漠型的双重特点。此外,由于摩洛哥地势高,还出现特征的近似中纬度地带的山地土壤—植物带。摩洛哥北部植物群接近于地中海植物群,与欧亚干旱—半干旱区的植物群也相似;南部则向沙漠植物群落过渡^[5]。Google Earth 图像上清晰显示了摩洛哥境内的植被覆盖特征,整体上在阿特拉斯山脉向大西洋一侧,植被相对茂盛,而向撒哈拉一侧以及南部地区则植被稀疏。在里夫山地区、北部大西洋沿岸、中阿特拉斯山地区以及大阿特拉斯山中—高海拔大部分地区,植被较茂盛,生长常绿森林。常绿森林带以下植被逐渐过渡为针叶林、橄榄、矮生灌木林。摩洛哥东南部和南部前撒哈拉沙漠区,植被稀少,以多刺灌木丛、阿尔法草、艾属等低矮植物稀疏生长为特征,局部低洼湿润处生长椰枣树形成绿洲。

摩洛哥东南部及南部荒漠戈壁区生长的草本和乔本—灌丛的植物是向沙漠景观过渡的特征,由以阿尔法草和艾属为代表的草本和乔本—灌丛组成半沙漠的基本植物群落。

2 地球化学景观区划分方案

地球化学景观(geochemical landscape)的概念

由苏联学者 B. B. 波雷诺夫提出,用于制定化探工作方法和进行异常解释,它将自然地理景观与化学元素迁移规律相联系,其分类是根据研究化学元素和化合物的迁移而划分出来的^[9]。景观地球化学借助地球化学的研究方法,来认识元素在景观中的分布、迁移、富集规律,在研究中还更多地借鉴了地理学、生态学,特别是景观生态学等相关学科的研究方法^[10]。地表地理特征相似,地球化学元素迁移条件相近的地理区域被划分为同一类地球化学景观区^[9],地球化学景观特征被当成表生地球化学异常评价指标之一^[11]。有研究表明,Au、Ag 等成矿元素的迁移、富集不但与母岩相关,而且土壤中的水介质和植被条件对元素的表生迁移作用也有较大的影响^[12]。因此,在进行地球化学景观划分时应综合考虑地形地貌、气候、水文、植被、风等可能对地球化学元素的组成、分布及其元素地球化学行为产生影响的多方面因素^[13]。依据勘查地球化学要求,以自然地理、气候等特征为基础,对摩洛哥全境(含西撒哈拉)进行两级地球化学景观划分,具体划分流程见图 2,划分方案如下。

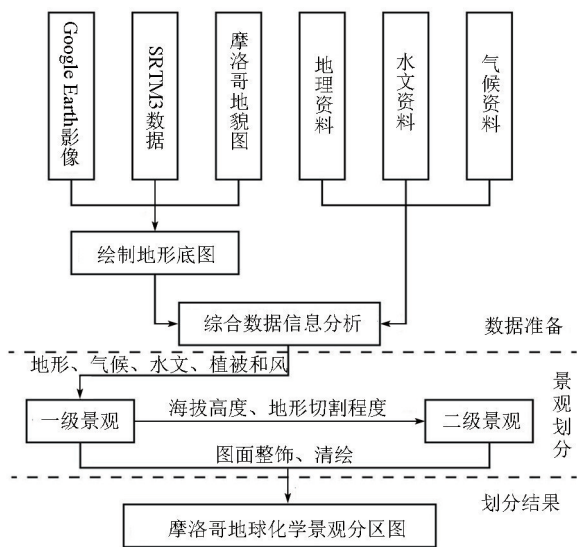


图 2 摩洛哥地球化学景观划分流程

Fig. 2 Geochemical landscape division flow chart of Morocco

2.1 一级地球化学景观区划分方案

在划分一级地球化学景观时主要考虑地形、气候、水文、植被和风 5 个方面的因素。

地形:据美国发布的航天飞机雷达地形测绘数据(SRTM3),运用地形图绘制软件(Global Mapper 13.0),结合 Google Earth 影像和摩洛哥地貌图,绘制出摩洛哥和西撒哈拉全境地形图,以此为海拔高程依据进行地势等级划分。在划分过程中,考虑到摩洛哥境内平原、高原、山地等各类地形均有出露,

表 1 摩洛哥地势分级与景观区划分

Table 1 The topography classification and geochemical landscape district of Morocco

地势等级		海拔/m	相对高差/m	景观区类型
高山	中等切割	>3500	500~1000	半干旱高山区
	浅切割		100~500	
中山	深切割	1000~3500	>1000	中—深切割中山区
	中等切割		500~1000	中—深切割中山区
	浅切割		100~500	浅切割中山区
低山	中等切割	500~1000	500~1000	低山区
	浅切割		100~500	
丘陵、台地		<500	丘陵、台地、荒漠戈壁和沙漠覆盖区	

地势特征与中国有一定的相似性,采用中国科学院地理研究所编著的《中国地貌区划(初稿)》^[14]的地势等级划分方案(表 1)进行地势划分。

气候:由于摩洛哥北部属亚热带地中海型气候,南部有向热带沙漠气候过渡的特点,形成摩洛哥整体上北部和西部气候湿润,东南部和南部气候干旱的气候特征。对气候区的划分主要依据温度、降水量、干燥度等,结合摩洛哥自然地理分区(图 1)^[5],划分出湿润、半湿润、干旱及半干旱几种自然地理气候。

水文:水被比作是景观的“血液”^[9],大部分化学元素在水溶液(离子态、分子态或胶体态)中都是借水介质这一途径进行迁移,景观地球化学的研究重点是水在景观中常温常压环境下的地球化学行为^[10]。在进行摩洛哥地球化学景观区划分过程中未单独划分出水文景观区,但对地表水和地下水的资料进行收集和总结,重点参考《摩洛哥自然地理和经济地理》^[5]的相关论述,在进行景观划分时对河流、湖泊、泉等对地球化学特征有影响的水文情况予以综合考虑。

植被:植被对气候、水文、地形都有很好的体现。相对湿润的北部地区、西部地区和降水量较多的山区植被覆盖率都较高,而东南部、南部干旱—半干旱山区和前撒哈拉沙漠区则植被稀少。以摩洛哥生物气候分区^[5]所述的生物气候分区特点为基础,根据摩洛哥植物群落生长分布特征,综合考虑 Google Earth 影像资料,在摩洛哥植被最发育的里夫山区、中阿特拉斯山西坡中山区以及大阿特拉斯山西段西北坡中—高山区分别划出了森林覆盖区。

风:摩洛哥东南部盛行的西洛可风向北西吹至阿特拉斯山时受阻,能量减弱,携带的风沙沉降,而造成风沙覆盖区域地球化学元素组成的变化,这种影响在摩洛哥东南部前撒哈地区最为明显,进行地球化学调查时予以充分考虑。根据风沙覆盖情况,在东南部和南部划出了大片荒漠戈壁和沙漠覆盖区。

2.2 二级地球化学景观区划分方案

前述 5 个方面的地理因素从宏观上控制了摩洛哥一级地球化学景观分区,但同一个一级地球化学景观区内也可能存在地球化学条件的差异,对岩石的出露特征、风化程度、地球化学元素的形为等产生相应的影响,在一定程度上影响到土壤测量、水系沉积物测量、岩石测量等地球化学调查工作方法的选择,因此有必要在一级景观划分的基础上进行二级地球化学景观划分。

在二级景观划分中,主要考虑海拔高度和地形切割程度。海拔高度和地形切割程度对岩土的稳定性和岩石碎屑物的组成、元素的迁移能力等都有很大影响,从而造成地球化学特征的差异。地形切割程度用相对高差来度量,具体等级的划分采用《中国地貌区划(初稿)》^[14]的划分方案(表 1),高程值采用 SRTM3 地形数据,并结合摩洛哥地形上具有代表性的西大阿特拉斯山核心区域 1:5 万地形图(Jbel Toubkal 幅、Talwat 幅、Had Zraqtane 幅、El Menizla 幅)显示的地形特征。摩洛哥海拔 4 000 m 以上的地方极为罕见,因此高山区(海拔>3 500 m)不再进行切割等级的划分;低山区和丘陵区相对高差都不大,也未进行切割等级划分;切割程度强的地区主要位于中山区,根据其高程差,划分出中—深切割区(相对高差>500 m)和浅切割区(相对高差介于 100~500 m 之间)。

3 地球化学景观分区结果

根据前述划分方案,摩洛哥全境(含西撒哈拉)共划分为 6 个一级景观区:森林覆盖区、半干旱高山区、湿润—半湿润中低山丘陵区、干旱—半干旱中低山丘陵区、干旱荒漠戈壁区、沙漠覆盖区,其中湿润—半湿润中低山丘陵区 and 干旱—半干旱中低山丘陵区两个一级景观区又可划分为丘陵区、低山区、浅切割中山区、中—深切割中山区(图 3)。

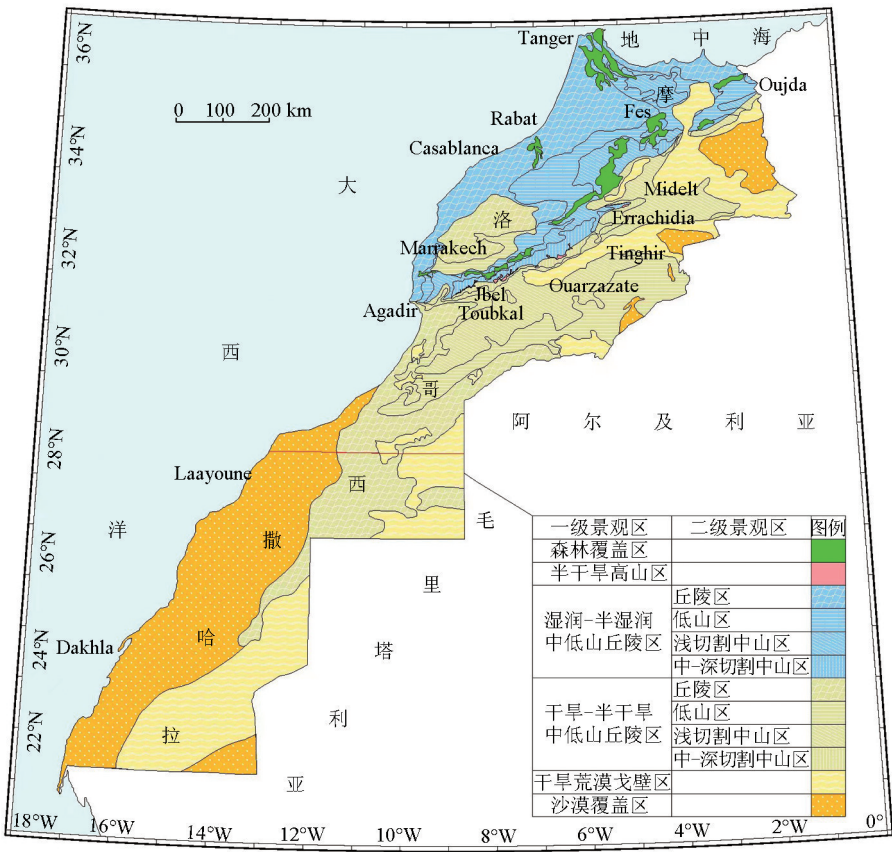


图 3 摩洛哥地球化学景观分区

Fig. 3 Geochemical landscape zoning map of Morocco

摩洛哥整体上从大西洋沿岸的阿加迪尔附近起,向北东沿大阿特拉斯山到大阿特拉斯山与中阿特拉斯山交汇处的贝尼迈拉勒和海尼夫拉一带,再沿中阿特拉斯山向北东延至摩洛哥与阿尔及利亚交界处乌季达(Oujda)一带,构成一 NE 向的分界线,分界线北西侧为大西洋沿岸湿润—半湿润区,南东侧及摩洛哥南部西撒哈拉大片区域为临撒哈拉干旱—半干旱荒漠区。

森林覆盖区:分布于大阿特拉斯山和中阿特拉斯山靠大西洋一侧中山区(局部低山区)和里夫山濒地中海丘陵区,植被茂密,生长着冬青栎、针叶林和杜松等高大树木,在地中海沿岸还有大量橄榄、矮生灌木林等。该区域在植物营力作用下,物理风化作用、化学风化作用以及生物风化作用均较强,覆土、腐植层覆盖厚,元素地球化学活动性强。

半干旱高山区:该区为摩洛哥境内最高海拔区,面积很小,植被罕见,降雨量极低,温差大,风力作用强,几乎没有地表水系发育。表生地质营力主要为物理风化作用,地表基岩裸露,少见覆土。

湿润—半湿润中低山丘陵区:位于由大阿特拉斯山和中阿特拉斯山组成的 NE 向分界线北西侧中低山区域(马拉克什周围区域除外)。该区降水量

相对充沛,气候相对温暖潮湿,流域面积大,区内有不同程度的乔木、灌木以及草丛生长覆盖,少见极端天气条件,是重要的地球化学景观区。该区域元素的地球化学活动性较强,物理风化作用、化学风化作用、生物风化作用以及人类活动等都会对地球化学元素的组成和分布产生一定的影响,根据具体工作区和工作目的的不同,可选择水系沉积物地球化学测量、土壤地球化学测量、生物地球化学测量等不同的地球化学调查方法。该区根据海拔高度和地形切割程度的不同又进一步划分为湿润—半湿润丘陵区、湿润—半湿润低山区、湿润—半湿润浅切割中山区以及湿润—半湿润中—深切割中山区 4 个二级地球化学景观区。

干旱—半干旱中低山丘陵区:位于由大阿特拉斯山和中阿特拉斯山组成的 NE 向分界线南东侧(含马拉克什周围区域)和摩洛哥—西撒哈拉中低山区域,是摩洛哥境内面积最大的地球化学景观区。该区域主要受热带沙漠气候影响,干旱少雨,气候炎热,光照充足,盛行西洛可风。区内以物理风化作用为主,植物稀少、地表径流少、地下水位低、人类活动较少。根据不同的工作目的,土壤地球化学测量、水系沉积物地球化学测量、岩屑地球化学测量等方法

均可在适当地区选择使用。该区根据海拔高度和地形切割程度的不同可进一步划分为干旱—半干旱丘陵区、干旱—半干旱低山区、干旱—半干旱浅切割中山区以及干旱—半干旱中—深切切割中山区 4 个二级地球化学景观区。西洛可风常带来砂粒尘埃,在该区域特别是山间洼地、山麓地带等大量堆积,很大程度上影响到本区或改变局部区域的地球化学元素组成,给地球化学工作带来许多困难,如笔者在小阿特拉斯山东延部 Fezzou 地区进行水系沉积物测量时就由于风成沙的影响,使得部分样品测量结果难以解释。

干旱荒漠戈壁区:位于摩洛哥东南部、南部临近撒哈拉沙漠地区,海拔多在 500 m 以下,气候受热带沙漠气候影响,高耸的阿特拉斯山脉阻挡了大西洋暖湿气流,使本区异常酷热干旱。水系不发育,且多为季节性水流,盛行西洛可风,地质营力以风力吹蚀、河流冲蚀为主,物理风化作用占主导。荒漠上基岩裸露,但风成沙、细小砾石等风砂带来的外源物质较常见,会对景观区内地球化学元素组成产生一定的影响,进行地球化学调查时应在样品采集和测试数据处理上采取有效的方法,尽可能地降低或消除外源物质对调查结果的影响。对我国特殊景观区化探方法选择的研究^[15]表明,该类区域内风成沙影响较大的地区可尝试采用岩屑测量或岩石测量方法。

沙漠覆盖区:多分布在西撒哈拉地区,在摩洛哥东南部区域大面积低洼处或平坦区域也不同程度的出露,气候干旱炎热是本区的显著特征。常年的风蚀、堆积作用使沙漠区形成巨厚层的砂砾层。由于风向以及风力大小的变化,风成沙、砾的来源也具有很大的不确定性,使该区的地球化学异常显得杂乱无序。沙漠覆盖区的地球化学调查工作异常困难,对地球化学调查方法需谨慎选择。有研究显示深穿透地球化学方法在荒漠区提取矿化信息方面具有良好的效果^[16],并在中国北方干旱沙漠覆盖区得到有效运用^[17],可为该类区域的化探工作提供借鉴。

4 摩洛哥地球化学调查建议

本文对摩洛哥全境进行了地球化学景观区划分,为地球化学调查工作方法选择提供参考。结合实际工作认识,提出几点在摩洛哥开展地球化学调查工作的建议。

1)摩洛哥地形复杂,平原、丘陵、高原、山区等多种地形均有,不同地区地形切割程度不同,气候特征、植被覆盖程度也变化大,因此具体地球化学调查

时应根据工作区所处的实际位置,进一步研究其地理地质环境,选择地球化学调查方法。

2)与一些非洲国家不同,摩洛哥有着自己的一套较为系统的地质和地球化学填图方法,对全国地质调查有系统的规划。在摩洛哥开展地球化学调查应熟知其技术规范和国家地质填图计划,使地球化学调查工作在其国家填图计划的框架下,为项目顺利开展提供条件。

3)摩洛哥的地球化学调查工作受以往工作惯例思维的影响较大。该国在地球化学工作布置时会综合考虑农业、环境、矿产等多方面的综合因素,从而对地球化学调查方法的选择常会有一定的限制。因此,在摩洛哥布置或开展地球化学调查时,在工区选定、工期设置、工作方法选择、工作目的以及成果表达形式等方面应先与摩方充分交流沟通。尤其对地球化学调查工作方法的选择,应对工作区进行系统考察,从地球化学基本原理和实际工作的需要出发,与摩方地质管理部门达成一致意见。

4)地质因素(如岩石地层单元的类型、构造发育程度、风化蚀变强弱等)对地球化学元素的组成、分布以及扩散能力等都会有影响,在划分次级地球化学景观分区时也应考虑。鉴于摩洛哥还有大片区域未完成的中大比例尺地质填图工作,部分区域缺乏有效的基础地质资料支持,全国范围更细致的地球化学景观划分有困难,具体地球化学调查工作中应根据实际情况进行景观研究并进而选择适宜的地球化学调查工作方法。

参考文献 (References):

[1] 中国驻摩洛哥大使馆经济商务参赞处. 援摩洛哥三幅地球化学填图项目开工 [EB/OL]. 中国商务部网站, 2003. <http://ma.mofcom.gov.cn/aarticle/jmxw/200305/20030500091811.html>. Economic and Commercial Office of the Embassy of the People's Republic of China in the Kingdom of Morocco. Three sheets geochemical mapping project aided by Chinese government to Morocco started [EB/OL]. Website of Ministry of Commerce of the people's republic of China, 2003. <http://ma.mofcom.gov.cn/aarticle/jmxw/200305/20030500091811.html>.

[2] 匡文杰, 邓浩. 解析不同景观区的岩石地球化学勘查方法 [J]. 科技创新与应用, 2013, (29): 138. Kuang W J, Deng H. Analysis of rock geochemical exploration methods in different landscape areas [J]. Technology Innovation and Application, 2013, (29): 138.

[3] 景宁, 何婧南, 邵申涵, 等. 对外投资合作国别(地区)指南——摩洛哥(2019 年版) [R]. 中国驻摩洛哥大使馆经济商务参赞处, 2019: 2-3. Jing N, He J N, Gao S H, et al. Country (region) guide for foreign investment cooperation—Morocco (version 2019) [R]. Economic and Commercial Office of the Embassy of the People's Republic of

- China in the Kingdom of Morocco, 2019; 2-3.
- [4] Direction de la conservation fonciere, du cadastre et de la cartographie de la Ministere de l'agriculture et de la mise en valeur agricole du Maroc. Carte topographique du Maroc au 1/50000, feuille Jbel Toukal [M]. Rabat: Division de la Catographie, 2012.
- [5] ГОРЬУНГ М Б, УТКИН Г Н. 摩洛哥自然地理和经济地理 [M]. 西北大学地理系翻译组, 译. 西安: 陕西人民出版社, 1966.
- ГОРЬУНГ М Б, УТКИН Г Н. Morocco physical and economic geography [M]. Translation Group of Geography Department of Northwest University, Translation. Xi'an: Shaanxi People's Press, 1966.
- [6] Mustapha E G, Thomas O, Frank M, et al. Gold-palladium mineralization at Bleïda Far West, Bou Azzer-El Graara Inlier, Anti-Atlas, Morocco [J]. Miner Deposita, 2006(41): 549-564.
- [7] 景宁, 胡胜军, 汪棋, 等. 对外投资合作国别(地区)指南——摩洛哥(2014年版) [R]. 中国驻摩洛哥大使馆经济商务参赞处, 2014; 3-6.
- Jing N, Hu S J, Wang Q, et al. Country (region) guide for foreign investment cooperation—Morocco (version 2014) [R]. Economic and Commercial Office of the Embassy of the People's Republic of China in the Kingdom of Morocco, 2014; 3-6.
- [8] 光热发电网. 摩洛哥瓦尔扎扎特 Noor 太阳能发电园区将于 2018 年夏季全部完工 [EB/OL]. 2018. <http://www.csplaza.com/article-11512-1.html>.
- CSPPLAZA. Noor solar power park in Ouarzazate, Morocco, will be fully completed in summer 2018 [EB/OL]. 2018. <http://www.csplaza.com/article-11512-1.html>.
- [9] 彼列尔曼 А И. 景观地球化学概论 [M]. 陈傅康, 王恩涌, 译. 北京: 地质出版社, 1958.
- Pileman A И. Introduction to landscape geochemistry [M]. Chen F K, Wang E Y, Translation. Beijing: Geological Publishing House, 1958.
- [10] 徐德兰, 曾勇. 景观地球化学研究现状与进展 [J]. 江苏地质, 2003, 27(3): 159-163.
- Xu D L, Zeng Y. Landscape geochemistry study and its development [J]. Geology of Jiangsu, 2003, 27(3): 159-163.
- [11] 王瑞廷, 欧阳建平, 蒋敬业. 内蒙古东部半干旱草原残丘景观区铜多金属元素表生地球化学异常特征及其评价指标体系的构建 [J]. 矿产与地质, 1999, 13(74): 348-353.
- Wang R T, Ouyang J P, Jiang J Y. Characteristics of supergenic geochemistry anomaly of copper and poly-metal elements in semi-dried grass landscape region of eastern interial-mogolia and construction of evaluating index system [J]. Mineral Resources and Geology, 1999, 13(74): 348-353.
- [12] 王志华. 景观地球化学研究在土壤地球化学测量中的作用 [J]. 地质与勘探, 1999, 35(6): 55-57.
- Wang Z H. Application of landscape geochemistry to geochemical survey of soil [J]. Geology and Exploration, 1999, 35(6): 55-57.
- [13] 郭志娟, 孔牧, 张华, 等. 适合地球化学勘查的景观划分研究 [J]. 物探与化探, 2015, 39(1): 12-15.
- Guo Z J, Kong M, Zhang H, et al. Landscape division suitable for geochemical exploration [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2015, 39(1): 12-15.
- [14] 中国科学院地理研究所. 中国地貌区划(初稿) [M]. 北京: 科学出版社, 1959; 24-29.
- Institute of geography of Chinese academy of sciences. Chinese geomorphological regionalization (first draft) [M]. Beijing: Science Press, 1959; 24-29.
- [15] 张必敏. 我国西部特殊景观区化探方法研究进展 [J]. 物探与化探, 2008, 32(5): 473-476.
- Zhang B M. Advances in the research of geochemical exploration methods in special landscape areas of western China [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2008, 32(5): 473-476.
- [16] 谢学锦, 王学求. 深穿透地球化学新进展 [J]. 地学前缘, 2003, 10(1): 225-238.
- Xie X J, Wang X Q. Recent developments on deep-penetrating geochemistry [J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10(1): 225-238.
- [17] 王学求, 张必敏, 姚文生, 等. 覆盖区勘查地球化学理论研究进展与案例 [J]. 地球科学, 2012, 37(6): 1126-1132.
- Wang X Q, Zhang B M, Yao W S, et al. New evidences for transport mechanism and case histories of geochemical exploration through covers [J]. Earth Science, 2012, 37(6): 1126-1132.

Division of the geochemical landscapes in Morocco

WU Fa-Fu, LIU Jiang-Tao, WANG Jian-Xiong, HU Peng, CHENG Xiang, LI Fu-Lin,
ZHAO Kai, ZENG Guo-Ping, WANG Cheng-Gang, XIANG Peng

(Wuhan Center, China Geological Survey, Wuhan 430205, China)

Abstract: Based on the characteristics of the physical geography, topography, and hydroclimatology of Morocco and years of experience in the geochemical survey in Morocco, this study divided the geochemical landscapes in Morocco and plotted the geochemical landscape zoning map of Morocco. As a result, Morocco was divided into six first-order geochemical landscape areas, namely a forest coverage area, a semi-arid high mountain area, a humid-semi-humid middle-low mountain and hill area, an arid-semi-arid middle-low mountain and hill area, an arid desert and gobi area, and a desert coverage area. According to the elevation and surface cutting intensity, the humid-semi-humid and arid-semi-arid middle-low mountain and hill areas were subdivided into four second-level landscape areas each, namely a hill area, a low mountain area, a shallow-cutting middle mountain area, and a medium-deep-cutting middle-mountain area. Based on this division scheme, this study proposed several suggestions for geochemical surveys in Morocco.

Key words: Morocco; geochemical landscape; physical geography; geochemical landscape zoning map