

doi:10.12097/j.issn.1671-2552.2023.08.005

摩洛哥成矿地质背景与主要矿产资源

吴发富, 向鹏, 王建雄, 刘江涛, 王成刚, 李福林, 李闫华, 胡鹏
WU Fafu, XIANG Peng, WANG Jianxiong, LIU Jiangtao, WANG Chenggang,
LI Fulin, LI Yanhua, HU Peng

中国地质调查局武汉地质调查中心, 湖北 武汉 430205
Wuhan Center, China Geological Survey, Wuhan 430205, Hubei, China

摘要:摩洛哥受西非克拉通、大西洋和阿尔卑斯造山带三大构造域的联合作用,其构造历史久远,太古宙至新元古代早期西非克拉通的构造演化、泛非期构造岩浆活动、早古生代克拉通边缘的裂解与海西造山,以及中生代构造活动在该区均有反应。受这种构造背景的控制,摩洛哥的矿床分布具有一定的时空规律,太古宙克拉通基底、伊比鲁利亚期岩基及泛非期构造带均有银、铁、铀、钽、铌、金、铜和稀土等矿产出露,加里东期有沉积型铁矿床产出,海西期有重要的 VMS 型铅-锌-铜矿床和矽卡岩型矿床产出,阿尔卑斯期有磷矿、MVT 型铅-锌矿和重晶石矿等产出。沉积成矿作用、岩浆热液成矿作用及构造热液成矿作用在摩洛哥都有显著体现,最主要的矿产类型为磷酸盐矿、银矿、MVT 型铅-锌矿及重晶石矿。

关键词:摩洛哥;构造活动史;构造单元;矿产分布;磷酸盐;矿产勘查工程

中图分类号:P612 文献标志码:A 文章编号:1671-2552(2023)08-1302-16

Wu F F, Xiang P, Wang J X, Liu J T, Wang C G, Li F L, Li Y H, Hu P. Metallogenic geological background and major mineral resources in Morocco. *Geological Bulletin of China*, 2023, 42(8): 1302-1317

Abstract: The geological setting of Morocco is affected by three tectonic domains, including the West African Craton, the Atlantic and the Alps tectonic belt. It has undergone the long tectonic evolution and complex geological processes, including the tectonic evolution of West African Craton from the Archean to the early Neoproterozoic, the tectonic-magmatic activity during the Pan-African period, the rifting in West African Craton margin in early Paleozoic, the Hercynian orogeny and the tectonic activity during the Mesozoic and the Cenozoic. Under the control of this tectonic setting, most of the ore deposits in Morocco show the regular spatial and temporal distribution characteristics. Typically, some metal minerals such as Ag, Fe, U, Ta, Nb, Au, Cu and REE crop out in the Archean craton basement, the Eburnéen batholiths and the Pan-African tectonic belt; several of sedimentation type oolitic hematite deposits were formed during the Caledonian; some volcanogenic massive sulphide (VMS) Zn-Pb-Cu deposits and skarn type deposits occurred in the Hercynian; and the Alpine formed most of the phosphate deposits, the MVT type Pb-Zn deposits and the barite deposits, and so on. The sedimentary mineralization, magmatic-hydrothermal mineralization and tectonic-hydrothermal mineralization can be easily recognized in Morocco, and the main types of mineral resources are phosphate ore, silver ore, MVT Pb-Zn ore and barite ore.

Key words: Morocco; history of structural evolution; tectonic units; minerals distribution; phosphate; mineral exploration engineering

摩洛哥位于大陆(非洲)、大洋(大西洋)和活
板块碰撞带(阿尔卑斯造山带)3个大地构造单元组
成的三叉点处,构造演化历史复杂。太古宙—古元

古代为多板块时期,古元古代未发生伊比鲁利亚
(éburnéen)造山运动,中元古代为构造宁静期,新元
古代发生了与罗迪尼亚超大陆裂解对应的构造活

收稿日期:2021-04-20;修订日期:2021-12-05

资助项目:商务部援外地质调查项目《援摩洛哥十幅地球化学填图项目》(编号:202107)、《援摩洛哥西阿特拉斯山地区地球化学和地质填图第一期
技术合作项目》(编号:201426)和《援摩洛哥东阿特拉斯 Mekkès-Tafilalt 地区 1:10 万地球化学填图技术合作项目》(编号:201426)

作者简介:吴发富(1980-),男,博士,高级工程师,从事境外地质矿产、地球化学调查与研究。E-mail:wufafu@126.com

动;泛非期发生了板块碰撞,并伴随大规模钙碱性、碱性岩浆活动,发育蛇绿混杂岩(Soulaimani et al., 2006; Michard et al., 2008);早古生代西非克拉通发生伸展作用,导致其边缘变质地体的分离;海西期构造活动表现为俯冲增生与板块拼贴;阿尔卑斯期发生了短暂的裂解与其后的走滑拉伸与俯冲拼贴作用(曲玮, 1991; Pique et al., 2000; Michard et al., 2008)。区内太古宙—新生代的地质均有出露,构造系统既有沉积盆地,也有褶皱变质带;岩浆活动发育,尤以前寒武纪钙碱性—碱性侵入岩、火山岩出露最广泛,并有相当数量的加里东期及新生代基性岩产出(Saadi et al., 1985)。在此构造背景下,摩洛哥产出了丰富的矿产资源,出露大量的磷矿床、银矿床、VMS 型多金属矿床、MVT 型铅锌矿床、沉积型铁矿床,并有萤石—重晶石矿和少量贵金属、宝石矿产出(Michard et al., 2008; Mouttaqi et al., 2011),特别是磷酸盐储量巨大,居世界第一位(李国祯, 1984; 孙家寿, 1991; Pique et al., 2000; 赵增泰, 2002; 吴发富等, 2021),具有良好的找矿勘探前景。

摩洛哥的地质填图工作始于 20 世纪 20 年代, 1921—1950 年实施了 1:200 000 地质填图, 1950 年起填制 1:100 000 地质图, 1959 年启动地球物理勘探工作, 1960 年起在里夫山脉填制 1:50 000 地质图。1996 年,摩洛哥政府制定了国家地质填图计划,以加快国家地质调查工作进程,具体包括开展成矿远景区 1:50 000 和 1:100 000 地质填图、沉积盆地 1:100 000 地质填图、矿产区航空地球物理填图、盆地区地球物理填图等工作。目前已实现摩洛哥国土的 1:2 000 000 摩洛哥构造图、1:1 000 000 摩洛哥地质图、1:1 000 000 万摩洛哥矿产图等小比例尺全覆盖;部分地区完成了 1:500 000、1:200 000 地质图、1:100 000 及 1:50 000 地质图等中大比例尺地质图件。目前,1:500 000 和 1:200 000 尺度的地质图分别占据了其国土面积的 50% 和 40% 左右,且暂未继续启动该两种比例尺的地质填图工作。根据摩洛哥国家地质填图计划,近年正大力推进 1:100 000 和 1:50 000 两个尺度的地质填图工作,分别占据其国土面积的 60% 和 40% 以上。此外,少数地区还完成了化探图、航磁图、矿产预测图、地质灾害图等图件。

鉴于摩洛哥重要的构造位置、独特的地质条

件、优越的成矿背景,且目前国内有关其地质与矿产方面的文献和论著较少,本文基于笔者参与或主持的多项中国援助摩洛哥完成(或正在开展)的化探填图和综合地质填图项目成果,包括对摩洛哥阿特拉斯山地区重要的矿产类型、分布、成矿地质背景等许多重要的矿产地质信息的认识,并以项目工作区研究为基础对全摩洛哥的成矿地质背景和主要矿产资源进行梳理总结,对该国境内矿产资源类型、矿产分布特征初步归纳,并选取典型矿床介绍其矿床地质特征,从而为认识摩洛哥地质与矿产,进行深入的基础地质研究和矿产工作提供参考。

1 主要构造单元及其演化

受前寒武纪以来多次构造活动的影响和控制(Pique et al., 2000; Michard et al., 2008),摩洛哥境内形成了马格里布阿尔卑斯褶皱带和前寒武纪非洲阿拉伯地台两大构造单元,可进一步细分为里夫推覆带、阿特拉斯构造带、梅赛塔地块、小阿特拉斯构造带和廷杜夫向斜盆地 5 个次级构造单元(Michard et al., 2008)(图 1)。

1.1 摩洛哥主要构造活动及构造演化

前人曾提出摩洛哥的地质构造格局为位于撒哈拉板块边缘的一系列 E—W 向连续褶皱带,后期有多次构造叠加,向北构造活动逐渐变新(Choubert et al., 1952)。现今,这种古老的“大陆生长模式”构造观点已被更复杂的地球动力学概念所取代,该观点认为大的再造与裂解是受板块构造控制的,在漫长的地质历史中,经历了多次板块聚合与解体过程(Michard et al., 2008)。

(1) 太古宙—新元古代早期的构造演化

摩洛哥较低洼的最南部区域属于西非克拉通太古宙—古元古代岩石圈。西非克拉通北部为古老基底(Reguibat 地盾)和 2 个向形盆地(Tindouf—Reggane 盆地和 Taoudenni 盆地),这些盆地由几乎未变形的新元古代—新近纪沉积物组成,为典型的克拉通地区;在 Taoudenni 盆地以南为 Reguibat 地盾的南部端元(即 Man 地盾)。Reguibat 地盾的西半部分由 3.0 Ga 前的古太古代地体组成,而其东部则由 2.1~2.0 Ga 前的古元古代地体组成, Eburnian 造山运动将前述东、西 2 个彼此游离的古陆卷入其中,并碰撞聚合形成了一

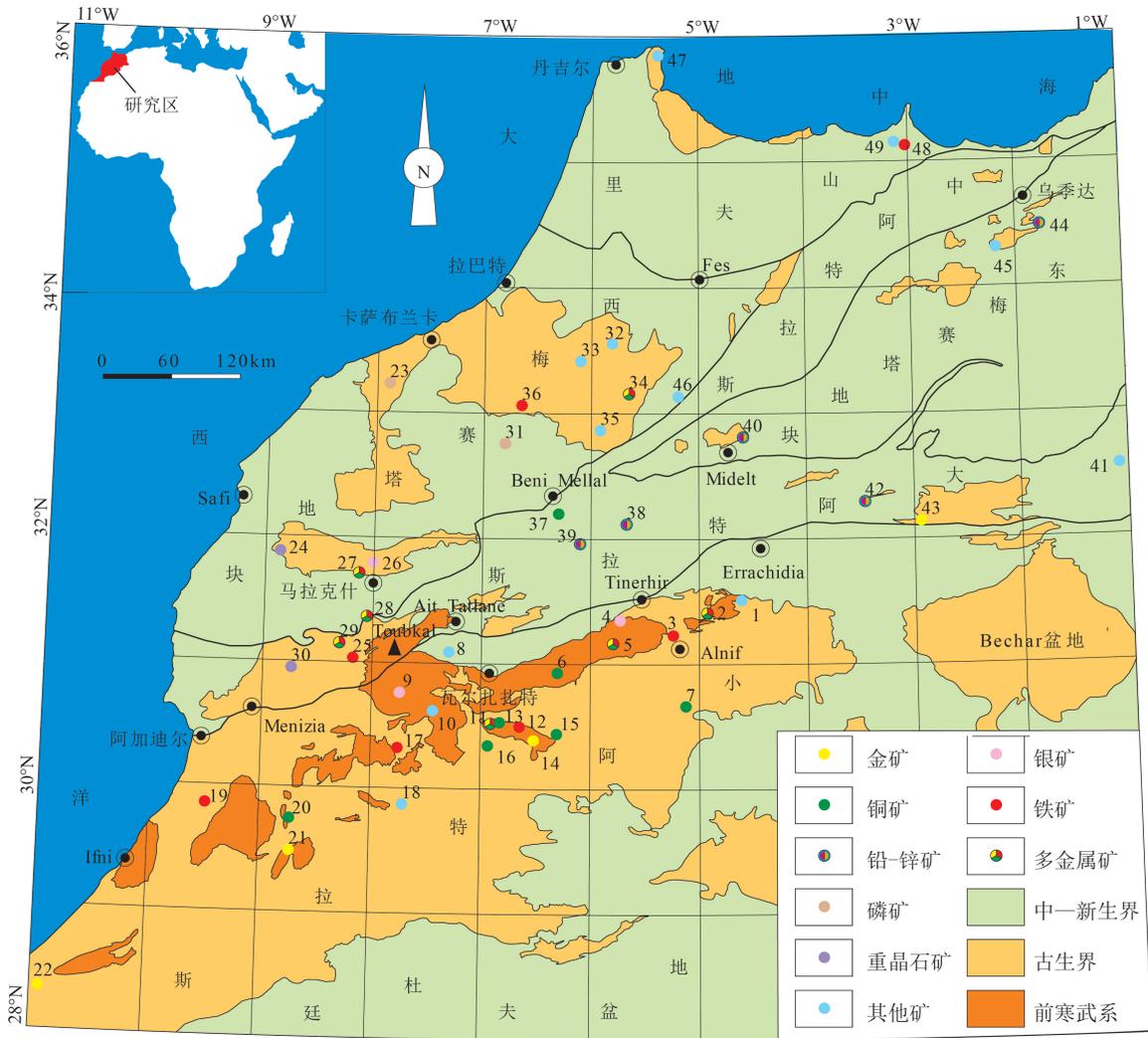


图1 摩洛哥主要构造区带划分及主要矿床分布图(据 Saadi et al., 1985; Michard et al., 2008; Moustaqi et al., 2011, 并结合野外调查成果修编, 矿床名称见表1)

Fig. 1 The sketch map of tectonic belts and the distribution of major ore deposits in Morocco

个统一的大陆,相应的NW走向的缝合带没有明显的蛇绿岩出露。

西非克拉通中元古代的地质活动至今仍不很清楚,没有发现此阶段的地质事件记录。新元古代早期,西非克拉通可能卷入了罗迪尼亚超大陆的构造演化,Taoudenni盆地小阿特拉斯西南部等地显示的构造下降可能是超大陆裂解的诱发因素。关于西非克拉通浅水沉积中心碎屑物的源区(西非克拉通的抬升部分、相邻的中元古地体,或者其他地质体?)至今未有明确定义。罗迪尼亚超大陆的解体导致西非克拉通的孤立,直到泛非期板块聚合之前,西非克拉通均为大洋所围绕。

(2) 泛非期构造演化

泛非构造带围绕西非克拉通发育。泛非地体由长英质岩石和蛇绿岩组成,在泛非运动中被卷入Mauritanide逆冲推覆体内,并最终在海西造山运动中就位,该过程与导致离散大陆聚合为潘诺西亚超级大陆(Pannotia)(冈瓦纳大陆+劳伦古陆+波罗地大陆+西伯利亚大陆)的碰撞事件一致。具俯冲和碰撞作用的构造过程由小阿特拉斯的Siroua和Bou Azzer蛇绿岩及大洋岛弧(Soulaimani et al., 2006)和缝合带东部Mali一带的高压低温变质带所佐证。推测的参与碰撞过程的小阿特拉斯的北部大陆至今仍未被发现,它可能隐藏于阿特拉斯或梅赛塔地

块之下,也可能为现今分散于欧洲和美洲的冈瓦纳大陆周围的地体之一。

这一阶段的大陆再造还伴随着大规模的岩浆侵入和喷发作用,首先为钙碱性岩浆,然后为钾质岩浆,最后为碱性岩浆。由于古老地壳的熔融再循环,形成了重熔岩浆;另一部分为幔源岩浆,有新的幔源物质加入到陆壳中。除逆冲构造和前陆拆离带褶皱作用外,与主要岩浆作用同时代的构造体制主要表现为平移断层,此期间可能伴随有应力转换。

(3) 加里东期构造演化

埃迪卡拉纪晚期,伸展构造影响了泛非带,在寒武纪期间裂谷作用增强,并在奥陶纪一直持续,裂谷作用主要发生于西非克拉通的西部和北部变形带。这使得相当于现今的 Mauritanide 带和梅赛塔地区的地壳减薄或仅有洋壳,伸展作用一直持续到泥盆纪—早石炭世。在此期间,西非克拉通接受沉积,并在此构造阶段的最后,在西非克拉通的北部形成了厚达 5~10 km 的碎屑沉积,这些巨型碎屑沉积物可能源于 Tuareg (Hoggar) 地盾。关于早古生代伸展构造驱动力的来源仍然存在争论。

(4) 海西期构造演化

海西期为本区大陆再造的新阶段。外来地体加入到非洲西北部:西部为 Mauritanide 带、北部为海西期梅赛塔地块。后者包括北面以奥陶纪长英质岩浆作用和变质作用为特征的加里东期—萨迪期地体 (Sehoul 地块) 和晚志留世未变形的中梅赛塔地块,奥陶纪—土尔内昔期缩短事件被记录在梅赛塔地块中。Mauritanide 带和梅赛塔地体与非洲地体的最终拼贴发生于晚石炭世—早二叠世,形成于盘古大陆再造的构造框架下。因此,海西期构造带的一部分在盘古大陆解体后仍然残留于非洲地区,并围绕西非克拉通北部和西部形成了一个“造山圈”。此外,Ougarta 泛非单元在海西碰撞期间再活化,形成了一个陆内构造带并与小阿特拉斯相连,一起构成了海西构造单元的弧前褶皱带,如 Mauritanides 和梅赛塔海西构造带。

总之,海西期造山作用把冈瓦纳大陆裂谷作用阶段形成的碎块带回非洲大陆。这些碎块与来自撒哈拉地块的碎屑物组成的变沉积岩一起加入非洲大陆。大陆中几乎没有镁铁质和长英质岩

石,也几乎没有前造山、同造山和后造山期物质加入。

(5) 中生代以来的构造演化

最显著的是大西洋的裂谷活动,随着盘古大陆的解体,使非洲与美洲分离,导致了摩洛哥边缘大西洋的形成。该裂谷活动最早始于二叠纪,但直到里阿尔卑斯期才开始扩张。大西洋中央岩省 (CAMP) 200 Ma 的岩浆事件带来了大量的玄武质火山岩和辉长质侵入岩,记录了裂谷活动。

与大西洋的大规模扩张不同,新特提斯洋的打开几乎未将非洲与欧洲分开。该区裂解活动以与非洲边缘平行的 NW 向强烈左行活动为特征,NW 向的非洲边缘一直延伸到了海西期构造域内。西特提斯洋 (Ligurian-Maghrebian 洋) 的打开使非洲与欧洲 (Iberia) 之间的海西构造带发生分裂,Betic-Maghrebide 带的内部 (如 AlKaPeCa 地区) 可能是 Iberian 边缘的南端或者为特提斯域内一孤立的地块。

特提斯裂谷作用也影响了非洲北部被动大陆边缘。中三叠世—中侏罗世,伸展断裂活动形成了拉伸盆地 (或海槽) 和高地 (地台),该高地是现今阿特拉斯山脉和梅赛塔地块的雏形。中—晚侏罗世,在大阿特拉斯中部少量的辉长岩就位后,裂谷活动终止,一条显著的构造带——西摩洛哥构造带 (WMA) 形成。该构造带位于大西洋沿岸盆地和特提斯阿特拉斯海湾之间,开始以两裂谷盆地之间的剪切活动为特征,之后在晚三叠世—中侏罗世有一定的下降,最后遭受了晚侏罗世—早白垩世抬升和侵蚀。

非洲北部被动大陆边缘 (如马格里布外围区域) 的范围特别广。在其西部,侏罗纪—早白垩世,以位于被动大陆边缘邻近区 (Prerif, Mesorif) 和陆块远端 (Intrarif) 的拉长的加厚地壳 (或洋壳) 出现为特征。

晚白垩世以来,非洲—欧洲会聚趋向于特提斯洋的关闭,俯冲作用沿伊比利亚板块边缘开始 (可能为 2 个连续的俯冲过程,一个位于伊比利亚之下,另一个位于阿尔沃兰之下)。始新世中—晚期之前,几乎没有缩短事件影响阿特拉斯和马格里布内部区域。森诺期—始新世,大型宽缓褶皱可能影响了整个岩石圈,并导致东部区域的抬升:马格里布

和阿特拉斯相邻区域(即摩洛哥北部隆起带)、小阿特拉斯地区、Reguibat 地盾。阿特拉斯古老断层普遍倒转始于始新世中—晚期,如在 AlKaPeCa 地体(马格里布核心部分)从非洲地块分离出来之前。阿尔卑斯期缩短的顶峰于新进纪期间发生在马格里布外部区域,是 AlKaPeCa 活动地体前端增生楔发展及 AlKaPeCa 地体最终与非洲地体碰撞的直接结果,可能发生于 18 Ma 或 15 Ma 左右。与碰撞相关的变形从地中海沿岸向南逐渐扩展到南阿特拉斯一带,早期的变形明显集中于马格里布地区,但扩展变形在阿特拉斯系统甚至小阿特拉斯均有出露。另一方面,会聚作用远离非洲陆内板块序列,通常以岩浆涌动(Hoggar、Tibesti)和火山作用为标志,一般发生于包括西非克拉通变质边缘在内的地区。

因此,由于新地体的加入,马格里布带的阿尔卑斯造山作用与大陆增生的一个新阶段对应。所观察到的大陆增生残留的证据非常有限,因为伊比利亚与非洲大陆间的碰撞被有效的折返过程中止(该折返使 AlKaPeCa 地体向非洲,然后向 Gibraltar 弧移动);同时,汇聚大陆之间的地中海也逐渐裂开。

1.2 摩洛哥阿尔卑斯褶皱带

摩洛哥阿尔卑斯褶皱带可分为 4 个次级构造单元,由北向南依次如下。

(1) 里夫逆冲推覆带

主要分布在摩洛哥的北部,与西班牙境内的贝蒂克山构成一个统一的造山带。其南部界线为通过塔扎、弗斯和肯尼特拉北部的推覆体的前缘。褶皱内带是超覆在超基性变质岩基底之上的滑脱推覆体;褶皱外带由浅变质的中生代复理石层组成;内推覆体为重力推覆体和中、新生代复理石推覆体;褶皱带以南的“混合带”是混杂岩体和中、新生代岩层组成的推覆体。里夫推覆带中的主要矿产是里夫山脉东部的铁矿;里夫山脉古生代地层中含锑、铅、锌、铜、镍等。

(2) 阿特拉斯构造带

主要受阿尔卑斯造山作用的影响,大阿特拉斯和中阿特拉斯之间相隔上木卢亚平原。该带由以下 4 个构造单元组成:大阿特拉斯灰岩层的西段,主要为侏罗纪和白垩纪灰岩;马拉克什阿特拉斯(古老地块),由前寒武系和古生界基底岩石组成;大阿

特拉斯的中部和东部,由灰岩和泥灰岩及早、中侏罗世陆相红色岩层组成,该区侏罗纪—白垩纪造山运动活跃,并发生褶皱作用和岩浆作用,在西部梅塞塔(磷酸盐高原)不同地区磷酸盐不断沉积(麦什卡拉区),并持续到晚白垩世和始新世。

该带主要矿带有:大阿特拉斯西北侧中新世海相地层中的磷酸盐矿;位于上阿特拉斯带的多金属矿带,主要含铜、钨、钼、铅、锌、银等;大阿特拉斯中部的重晶石矿带;底特麦利尔古生代地层中的氯化钠盐矿带。

(3) 梅塞塔地块

位于里夫推覆带和阿特拉斯构造带之间,与前者以加尔布平原相隔,与后者以豪兹和巴希拉平原相隔。该构造带主要由古生代以来的岩层组成。其内主要矿带有:中梅塞塔地区的磷酸盐矿带,中央摩洛哥地区古生代地层中的锑矿带,萨菲地区晚侏罗世地层内以石膏为主的盐类矿带。

(4) 小阿特拉斯构造带

自北向南以阿特拉斯断裂与大阿特拉斯构造带为界,向南为廷杜夫盆地。小阿特拉斯由前寒武纪短轴背斜核部组成,在背斜剥蚀带,前寒武纪基底显著出露,周围被前寒武纪晚期—古生代的沉积层不整合覆盖。最老的前寒武纪岩层由大约 2.0 Ga 前的片麻岩和花岗岩组成(Malek et al., 1998; Loughlin et al., 2002; Walsh et al., 2002; Gasquet et al., 2004; Thomas et al., 2004);晚新元古代盖层通常为火山质、火山碎屑质和碎屑质岩石,包括 Saghro 群(新元古代中—晚期)和 Ouarzazate 群(新元古代晚期),并且向寒武纪海相沉积渐变过渡(Soulaimani et al., 2006)。小阿特拉斯带被 WNW—ESE 向剪切带(即小阿特拉斯主断层)切断(Choubert, 1949),该断层从 Sirwa 高地(Sirwa Mssif)南部向 Zagora 延伸,界定了 2 条主要的构造带,南部为伊比利亚造山期基底及新元古代盖层,北部为泛非期弧间或弧后盆地及火山弧组合。小阿特拉斯主断层带沿 Bou Azzar—El Graara 出露一条长 15 km、宽 4 km 的蛇绿混杂岩,由南部增生杂岩和北部弧前盆地之间的不同构造块体组成,岩石成分为镁铁质和超镁铁质蛇纹石(Saquaque et al., 1989),其形成时代早于 650 ± 2 Ma,即切穿蛇纹岩的 Ait Ahmane 石英闪长岩的形成时代(Samson et al., 2004)。混杂岩中以含蓝片岩为代表的高压低温岩石的出露证实了泛非期间沿

小阿特拉斯构造带存在古老的俯冲活动(Soulaimani et al., 2006)。

该区主要矿带有:小阿特拉斯中部的布阿泽区的钴、镍矿带,矿化与前寒武纪中期的蛇纹岩有关;小阿特拉斯山脉的铜矿带;位于该区中部前寒武纪晚期地层中的锰矿带。

1.3 西非克拉通西北缘

阿特拉斯构造带呈 NE—SW 向横贯摩洛哥,在其以南及南东侧的广大地区则为西非克拉通的北缘部分(Soulaimani et al., 2006; Brooklyn et al., 2008),向南西与小阿特拉斯带紧邻的为廷杜夫盆地,该盆地向南延伸到阿尔及利亚。盆地内出露前寒武纪古老结晶基底,为构造上较稳定的地区,向上被大量中—新生代沉积物覆盖。

1.4 摩洛哥区域构造演化与成矿

构造活跃期往往也是巨量成矿物质聚集的重要时期,矿床的形成与地史上不同时期的构造活动密切相关。根据摩洛哥主要构造—岩浆活事件及其

与成矿间的联系,可大致分为 4 个成矿期,并形成了相应的成矿省(区)和矿床类型组合。主要包括伊比鲁利亚岩基的成矿作用(安基阿特拉斯山背斜鞍部地区)、泛非运动期成矿作用(安基阿特拉斯山背斜鞍部地区)、海西期成矿作用、阿尔卑斯运动期成矿作用(Mouttaqi et al., 2011)(图 2)。

(1)伊比鲁利亚期成矿作用(小阿特拉斯背斜鞍部地区)

伊比鲁利亚期的成矿作用主用表现为金成矿作用。小阿特拉斯构造带内 Kerdons、Zenaga、Ighrem、Tagragra d' Akka、Tata 等背斜核部的岩基由伊比鲁利亚期岩基构成,该古老岩基内出露的含金矿脉可能由古元古代伊比鲁利亚期构造活动形成。该类矿床中最重要的是 Iourim 金矿(位于 Tagragra d' Akka 背斜鞍部),但其成矿时代存在争议(可能形成于海西期)。在 Kerdons、Zenaga、Ighrem、Tata 等背斜鞍部也有这类矿床出露。此外,伊比鲁利亚岩基内伟晶岩脉中还存在绿柱石、云母、长石等

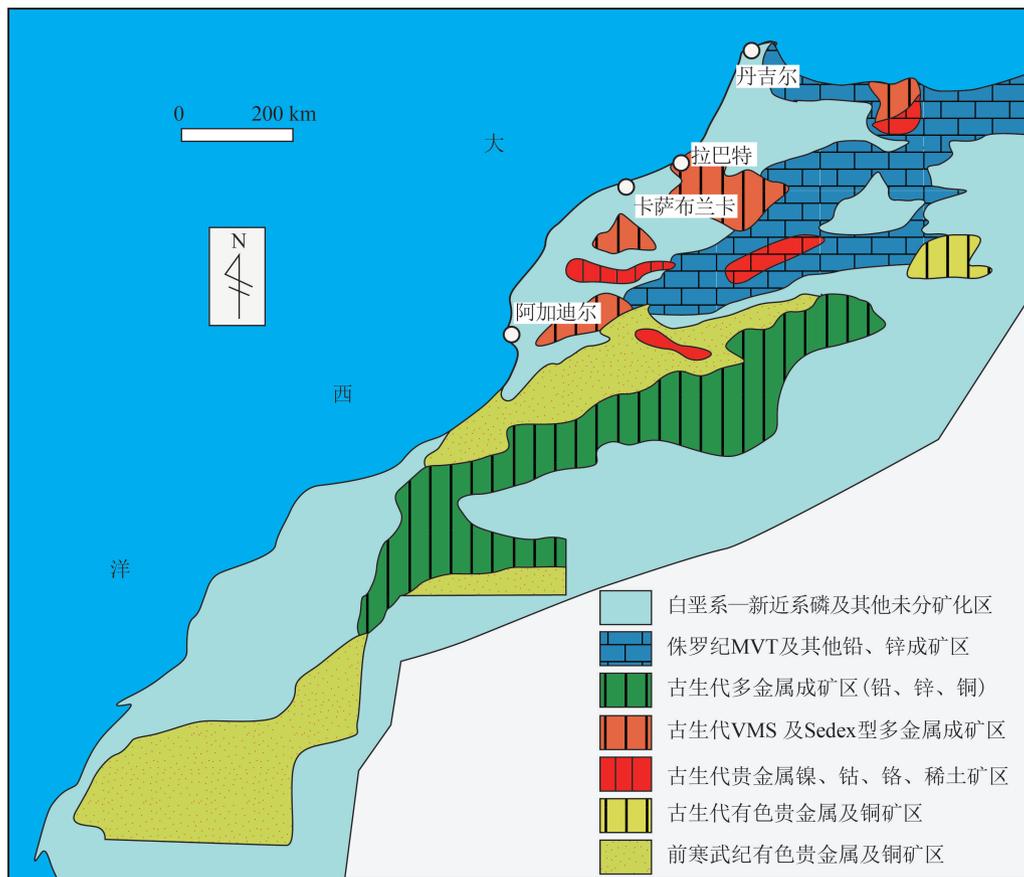


图 2 摩洛哥成矿区带简图(据 Mouttaqi et al., 2011)

Fig. 2 Sketch map of metallogenic province in Morocco

矿产。

(2) 泛非运动期成矿作用(小阿特拉斯背斜鞍部地区)

这一造山旋回界定了西非克拉通的北界,并控制了对应的蛇绿岩带和弧岩浆作用带构成的泛非构造南部区域的重要成矿作用。该成矿省(区)主要包含前泛非期裂谷和冰碛岩相关的钴-铬和金-铜成矿、造山晚期背景下的贵金属成矿和下古生界层状铜矿床成矿等成矿作用。

(3) 海西期成矿作用

海西期构造域也形成了一个巨大的金属成矿省(区),包括 Meseta 西部硫化物矿化体次级成矿省(区)、大阿特拉斯西部岩基周围矿化次级成矿省(区)和元古宙成矿带古生代活化富集次级成矿省(区)。

Meseta 西部硫化物矿化体次级成矿省(区):以 Meseta 西部前造山期拉斑玄武质火山作用形成的 VMS 型多金属层状火山岩矿化为特征。这种矿床是 Jebilet 中部和 Guemssa 高地已发现的矿产中最重要的矿床,典型的矿床有 Hajjar、Draa Sfar、Kettara、Koudiat Aicha 等。

大阿特拉斯西部岩基周围矿化次级成矿省(区):该区矿床由海西期花岗闪长质浆活动形成,通过岩浆热液作用或去酸(性)化作用成矿。典型矿床有 Achmmach 锡矿、El Karit 锡矿、El Hammam 萤石矿、Zrahina 氟-铅-钡-银矿、Ment 花岗岩周围的高温热液型锡-钨矿化、铅-铋(或仅含铅)矿等。此外,还有 Jebilet 地区的 Sidi Bou Othmane 矽卡岩型铁矿床、Koudiat El Beida 地区及 Koudiat Hamra 地区的银矿床。在大阿特拉斯西部的古老地块区,有 Azegour 高温热液交代型钨-铜-钼矿脉和 J. Tichka 高地周围的钨-锡-铜-金矿化。

元古宙成矿带在古生代活化富集成矿省(区):东阿特拉斯南部 J. Malek 地区的含金矿脉由成矿物质在海西期再次活化富集而形成。Azougar N' Tili 含金多金属(铅-银-金)矿床为海西造山运动期间由 Bas Draa 地区的伊比鲁利亚岩基下水热循环形成。

(4) 阿尔卑斯期成矿作用

阿尔卑斯期成矿以贱金属及工业矿物的形成为特征。在前阿特拉斯裂谷作用期间的成矿地质背景之下,许多矿床具层状特征,在不同的海侵旋

回下形成。考虑到大型成矿作用的地质特征,可通过成矿时代或者大地构造阶段来对该类矿床进行分类。由此可分为前阿特拉斯期矿化作用、红层(或类似地层)型层状成矿作用、密西西比型铅-锌成矿作用、侏罗纪侵入岩成矿作用、新近纪侵入岩成矿作用 5 类。

此外,更老的太古宙克拉通基底对成矿的贡献主要表现为提供赋矿空间或部分成矿物质,古老基底中的成矿往往都与后期的构造/岩浆作用有关。如太古宙基底内的 Lafwila 含金石英脉型矿床与海西期 Ouland Dwlilim 逆冲推覆体内的大型走滑剪切带相关。

2 主要矿产类型及矿床分布

摩洛哥矿产资源较为丰富,除储量巨大的磷酸盐矿外,还蕴藏有大量的铅锌矿、银矿、萤石-重晶石矿、铜矿等其他矿产(李国祯,1984;赵增泰,2002;Michard et al.,2008;Mouttaqi et al.,2011;徐方等,2012),已发现的主要矿产资源类型有磷酸盐、铅、锌、重晶石、锰、银和萤石等,其次还有铁、铜、铀、铍、钴、石盐、石膏等,矿床的分布与构造单元间密切相关。

2.1 摩洛哥优势矿产资源类型

磷酸盐是摩洛哥的主要矿产,估计储量为 1.1×10^8 t(景宁,2018)。磷矿床主要分布在摩洛哥中部中梅塞塔地块的磷酸盐高原区、甘图尔盆地,马斯卡拉区马斯特里赫特的白垩纪-始新世沉积层内,属沉积型矿产,其赋矿层位为大西洋沿岸白垩纪-始新世台地上连续沉积的沉积建造。摩洛哥最大的磷酸盐矿床是胡里卜加、尤素菲亚、本格里尔和马斯卡拉矿床。胡里卜加矿床位于赛塔特区乌姆雷卜亚河北部的乌莱德阿卜敦盆地,为砂质磷酸盐,据估算其矿床储量为 2.7×10^{10} m³ 以上;尤素菲亚矿床位于马拉克什以北的甘图尔盆地内,其储量达 1.5×10^{10} m³ 以上(Mouttaqi et al.,2011)。

铅锌矿在摩洛哥矿产中占据重要地位,在过去的 2 个多世纪,摩洛哥一直是全球前十大铅锌生产国之一。该国有 2/3 以上的贱金属资源产自于三大铅锌矿集区,分别为 Touissit-Bou Beker、Upper Moulouya 和 Jbel Bou Dahar,均出于东北部侏罗系内,其中 Jbel Bou Dahar 铅锌矿集区沿下侏罗统碳酸盐台地边缘,特别是其南侧,分布有 20 多个具

有经济价值的铅锌矿床(典型矿床如 Sebbab、Bou Dahar、Ksar Moghal),矿体主要以脉状产出或充填于喀斯特溶洞或裂隙中。阿特拉斯断裂系统是该区最重要的控岩控矿构造,由一系列形态一致的断层组成,走向一般为 NEE—SWW 向,以及一些范围较大的 EW 向断层,它们对区域成矿流体的汇集起到关键作用,这一认识的依据主要是区内产出的铅锌矿体基本沿断裂展布,且沿断层走向均有一定延伸(Bouabdellah et al., 2016)。

摩洛哥重晶石矿成矿较广泛。对摩洛哥大阿特拉斯构造带和小阿特拉斯构造带进行了深入的矿产地调查,发现从新元古代—三叠纪的各类岩层内均可见有重晶石矿床(化)出露,但在侏罗纪以后的岩层中未见有重晶石矿体出露。矿体以脉状产出于岩层内的构造裂隙中,矿脉走向大多呈 NE 向,陡倾。矿化广泛、规模较小,主要属构造热液型矿床。控矿构造的时空分布特征表明,成矿时代为阿尔卑斯期,三叠纪之后岩层中均未见矿床(化),表明成矿早于侏罗纪,从而把成矿时代界定于早阿尔卑斯期。最主要的重晶石矿产区有 Jbel Ighoud(Jebilet 西面)、Zrahina、摩洛哥中部地区、Tafilalt 地区;最大的矿床为 Zelmou 矿床,位于 Bou Arfa 地区。

萤石矿也为构造热液型,常与重晶石相伴产出,最大且正在开采中的矿床为 El Hammam (Mouttaqi et al., 2011);另一个萤石矿床位于 Ougant 北部侧边(El-Hamda-Touroug),该矿床同时含有重晶石矿(据笔者野外实地考察)。

摩洛哥典型的银矿床为 Imiter 矿床,是一个古老的矿床,产出于小阿特拉斯构造中段瓦尔扎扎特群火山杂岩中,是北部非洲地区最大的银矿。此外,Zgounder 地区也是著名的银矿区,位于 Siroua 一带,该区也有古老的银矿开采活动(Cheilletz et al., 2002)。

摩洛哥主要铁矿类型为沉积型铁矿,以铁的氢氧化物或磁铁矿的形式赋存于早奥陶世沉积建造中,常呈鲕状赤铁矿或块状磁铁矿产出,形成时代为奥陶纪,通常产出于小阿特拉斯山西部或南部(如 Tachilla 和 Imi n' Tourza 铁矿)或 Massif 中央(如 Ait Ammar 铁矿)稳定的奥陶系内(Mouttaqi et al., 2011)。另外,也有与岩浆作用有关的矽卡岩型

磁铁矿床,产出于中生代中基性侵入岩与侏罗系灰岩层接触带矽卡岩中,该类铁矿整体表现为品位高、规模小。代表性矿床为位于大阿特拉斯构造带中段的 Anefgou 矿床,北西距 El Ksiba 市约 100 km,拣块样 Fe 品位可达 65%,现中摩矿业公司(在摩洛哥中资矿业公司)正在进行该矿的矿权申请,拟开展开采工作(笔者 2021 年在摩洛哥考查中与中摩矿业公司地质人员交流获知)。

主要的铜矿床是位于瓦尔扎扎特 80 km 处的布雷达铜矿床。该矿床为含铜硫化物矿床,产在前寒武纪瓦尔扎扎特火山岩中。矿石含黄铜矿、斑铜矿、铜蓝和蓝绿矾类矿物,矿石储量达 2×10^6 t 以上。

2.2 矿床分布特征

从摩洛哥主要构造区带划分及主要矿床分布图(图 1)可以看出,摩洛哥境内的矿床分布规律明显。整体上磷酸盐矿分布于大西洋沿岸台地的上白垩统—古近系中;MVT 型铅锌分布于大阿特拉斯构造带东段及东梅塞塔地块东段—地中海南岸侏罗系内;而铜、金、银、铁、钴、铀及构造热液脉型重晶石、萤石等矿大多沿阿特拉斯构造带呈 NE 向分布;石盐矿主要分布在上三叠统粘土岩层内;石膏矿则主要分布于上侏罗统一白垩系。

前述对摩洛哥及其邻区构造演化的综述表明,这些区域是地史上俯冲增生、碰撞聚合及裂解最活跃的地区,如小阿特拉斯地区 Bou Azzer—El Graara 蛇绿混杂带泛非期俯冲增生作用极强烈,其邻近区域产出 Zgounder 银矿床、Nqob 滑石矿床、Bou Azzer 钴—镍—砷矿床、Bou Azzer 与蛇纹石相关的铬铁矿和铂族元素矿床、Bleida 铜矿床、Bleida—Far 西部金矿化、J.La'Sal 氧化铜矿、Jbel N'Zourk 铜矿床等(图 1;表 1),说明板块活动与成矿之间存在一定的联系。此外,矿床出露多的地区也是岩浆岩发育的地区,如在 Saghro 群和 Ouarzazate 群晚新元古代火山岩中分布的矿床均较其他地区密集(图 1)。

3 典型矿床地质特征

在摩洛哥众多矿产中,尤以磷盐矿、银矿、VMS 型锌—铅—铜多金属矿为重要,重晶石矿广泛出露。以下选取各类矿床的典型代表,简要介绍其矿床地质特征。

表1 摩洛哥主要矿床
Table 1 Major ore deposits in Morocco

序号	矿床名称	所属构造单元
1	Touroug-El Hamda 萤石矿床	
2	Bou-Madine 多金属床	
3	Tourza 鲕状赤铁矿床	
4	Imiter 银矿	小阿特拉斯构造带东段
5	Tiouit 金、铜、银多金属矿床	
6	Bouskour 铜和银矿床	
7	Oumjrane-Bou Nahas 铜矿床	
8	Imini 层状锰矿床	
9	Zgounder 银矿床	
10	Nqob 滑石矿床	
11	Bou Azzer 钴、镍、砷矿床	
12	Bou Azzer 与蛇纹石相关的铬铁矿和铂族元素矿床	
13	Bleida 铜矿床	小阿特拉斯构造带中段
14	Bleida-Far 西部金矿化区	
15	J.La'Sal 氧化铜矿	
16	Jbel N'Zourk 铜矿床	
17	小阿特拉斯中部石英脉型赤铁矿床	
18	Bou-Oudi 紫水晶宝石矿	
19	Jbel Tachilla 鲕状赤铁矿床	
20	Tazalarht 铜矿床	小阿特拉斯构造带西段
21	Iourim 含金矿脉	
22	Azougar n'Tilili 寒武纪含金多金属矿床	
23	Ganntour 盆地内的 Benguerir 和 Youssoufia 磷酸盐矿床	
24	Jbel Irhoud 重晶石矿	
25	Kettara 磁黄铁矿	
26	Roc Blanc 银矿	大阿特拉斯构造带西段-梅赛塔地块南部
27	Draa Sfar VMS 型多金属矿床	
28	Hajar 多金属矿床	
29	Azegour 交代型铜、钼、钨矿床	
30	Ifi N'Jenjar 铜和重晶石矿床	
31	Khouribga 磷矿区	
32	ElHamam 和 Achmmach 萤石和锡石复合成矿区	
33	ElKarit 锡石-绿柱石矿脉	梅赛塔地块中部
34	Tighza-Jbel Aouam 多金属成矿区	
35	Zrahina 萤石和多金属硫化物矿床	
36	Ait Ammar 变质鲕状赤铁矿床	
37	Tansrift 红层内铜矿床	
38	Ali-ou-Daoud 锌矿床	阿特拉斯构造带中段
39	Aguerd n'Tazoult 铅-锌矿床	

续表 1

序号	矿床名称	所属构造单元
40	Haute Moulouya 铅矿区	大阿特拉斯构造带东段
41	Bou-Arfa 锰矿	
42	Jbel Bou Dahar MVT 型矿区	
43	Tamlelt-Menhouhou 含金矿层	
44	Horsts 山链 Touissit-Bou Beker MVT 型铅-锌矿区	
45	Jerada 煤田	大阿特拉斯构造带中段
46	Timahdite 含沥青片岩带	
47	Fnideq-Beni Mezala 铌矿区	里夫推覆带北部
48	Beni Bou Ifrouf-Ouixane 新近纪砂卡岩型铁矿床	
49	Nador 火山岩区膨润土和珍珠岩矿	

3.1 梅塞塔地块 (Meseta) 南部 Ganntour 盆地的磷酸盐矿床

Ganntour 盆地是摩洛哥重要的磷酸盐矿区(图 1, 矿床编号 23)。Ganntour 盆地是大西洋沿岸盆地的一部分, 晚白垩世—始新世处于梅塞塔地块西部地区。在北部, 晚白垩世末期(麦斯里希特期(Mastrichtian)—伊普雷斯期(Ypresian))的磷酸盐矿层是 Rehamna 海西期基底之上的主要地质体, 早白垩世中期则缺失磷酸盐层; 在南部, 该层位被新近纪 Bahira 盆地覆盖。该矿床是由于大西洋边一小湾的打开, 且周期性的涨潮为其带来富含矿质的冷的海水, 之后矿质发生沉淀而形成的, 而浮游生物和动物的活动也促使磷酸盐的形成(Mouttaqi

et al., 2011)。

Ganntour 盆地内出露 Benguirir 和 Youssoufia 两个主要磷酸盐矿。Benguirir 矿位于马拉克什以北约 55 km 处, Benguirir 市东约 12 km 处, Youssoufia 矿位于 Youssoufia 市东南。2 个矿床分别位于 Ganntour 盆地的东部和西部, Benguirir 矿采取露天方式开采, Youssoufia 为坑采(Mouttaqi et al., 2011; Youssef et al., 2014)。在所开采的矿层中, 磷灰石占 50% ~ 98%。

1965 年以来, 该区进行了一系列的地质研究。Benguirir 磷矿床赋存于白垩系中(图 3)。磷酸盐矿层由磷酸盐层-硅化层-碳酸盐层组成, 形成时代介于麦斯里希特期(Mastrichtian)到伊普雷斯期

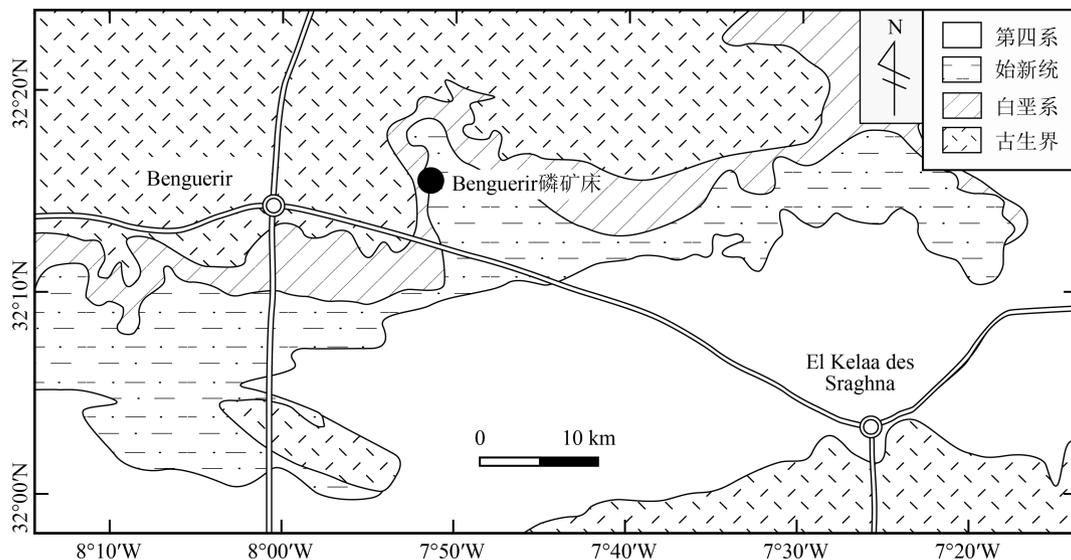


图 3 Benguirir 磷矿床地质简图(据 Saadi et al., 1985; Henri et al., 2014 修改)

Fig. 3 Sketch geological map of the Benguirir phosphate deposit

(Ypresian)之间。主要包括5个成矿阶段(Youssef et al., 2014)。^①麦斯里希特期(Mastrichtian)磷酸盐:该期磷酸盐以粗糙磷酸盐开始,以硅化杂岩结束,由一黄色粘土层分为2期,该黄色粘土层形成于麦斯里希特期,位于Ganntour盆地相应层位。^②达宁期(Danian):该期磷酸盐通常由灰岩磷酸盐开始,以硅化杂岩结束,是磷酸盐系列矿层中重要的层位。^③赞尼特期(Thanetian):以广泛含砂磷酸盐层为代表,顶部为泥灰土。^④伊普雷斯期(Ypresian):由泥灰到硅化体复合体和磷酸盐组成。^⑤卢台特期(Lutetian):该期磷酸盐标志着磷酸盐成矿的结束,并以白云质-灰质岩层出露为特征。

3.2 大阿特拉斯西部 Draa Sfar VMS 型锌-铅-铜多金属矿床

Draa Sfar 矿位于马拉克什西北约 16 km 处(图 1, 矿床编号 27)。构造上属梅赛塔地块西部 Jebilet 地块南带。Jebilet 地块 NW 向长 170 km, SN 向长 40 km, 属泥盆纪—石炭纪陆内裂谷盆地, 形成于弧后陆壳裂解的伸展阶段。该地块包括西部、中部和东部 3 个构造域, 相互间由 2 条大型剪切带分开。西部域由寒武纪和奥陶纪岩石组成; 中部域由变质和变形的上韦先阶(350~340 Ma)岩石组成; 东部域也由韦先阶岩石组成, 并被奥陶纪—晚石炭世逆冲推覆体掩盖。其中, 中部域(CJD)主要岩石为巨厚的泥岩和炭质泥岩序列, 炭质泥岩厚达 1.5 km, 为该岩石序列的下部; CJD 泥岩为缺氧的浅水环境沉积。CJD 石炭纪末期以发育梅赛塔盆地为特征, 盆地内发育 3 种类型的岩浆作用: ^①双峰式火山岩, 具体为裂谷相关的拉斑玄武质次火山岩、少量流纹岩及流纹-英安岩; ^②同构造钙碱性花岗岩侵入体; ^③后构造微粒闪长岩墙和岩基。CJD 内的变形以海西期 EW 向缩短(D1)为标志, 伴随着 SN 向的构造、区域片理(S1)(走向近 SN 向, 近于直立)、走向 30° 的区域褶皱和同构造花岗岩的就位。D1 变形还伴有低级区域变质作用, 形成了石英-白云母-绿泥石变质矿物组合, 同时还伴有 SN 向缩短(D2)和晚期脆性变形。

包括 Draa Sfar 在内的大型硫化物矿床均赋存于 CJD 火山沉积序列的 Sarhlef 组中, 赋矿地质体为韦先阶浅变质的火山沉积系列, 以流纹英安质熔岩为主, 含黑色砂岩泥质岩和凝灰岩(图 4)。矿体呈层状, 为层控型矿床。以富含磁黄铁矿(占总硫化

物含量的 70%~95%)为主要矿物组成特征, 主要金属矿物为锌、铅、铜, 属层控型锌-铅-铜火山块状硫化物矿床(VMS)。矿体底板为厚 500 m 以上的泥岩和炭质泥岩层, 该泥岩层含有粉砂岩和少量(但局部占主导)流纹岩和火山碎屑岩; 顶板为炭质泥岩夹粉砂岩层, 层内有厚层辉长岩脉侵入。矿床走向近 SN 向到 NNE 向, 延伸 1.7 km 以上, 倾向西, 包含南部富锌矿体 Tazakourt 和北部富铜矿体 Sidi M' Berek 两个矿体。矿体受横切断层分割, 在地表被 Tensift 河分割开, 但矿体的构造是连续的。2 个矿体均由锌-铜-铅块状硫化物透镜体组成, 硫化物的主要成分为磁黄铁矿。

Tazakourt 矿体是 Draa Sfar 矿床的主要矿体, 埋藏于地下 50~900 m 的深度范围(更深处仍有可能蕴含有矿体), 位于流纹岩层上部地层中, 主要为富锌块状硫化物透镜体, 平均品位为 Zn 8%~9%、Cu 0.3%、Pb 1%~2%。金属元素背景值表明, 南部相对富集 Cu, 而北部相对富集 Zn。Sidi M' Berek 矿体由 2 个块状硫化物透镜体组成, 且赋存于泥岩-粉砂岩中。西部或上部富锌透镜体(Zn 6%~7%、Cu 约 0.3%、Pb<1%)与 Tazakourt 是连续的; 东部或下部透镜体则富集铜(Cu 2%~3%、Zn<1%、Pb<1%、Co 600×10^{-6} ~ 700×10^{-6})。Sidi M' Berek 矿体只在岩心中见到矿石, 矿体形态还不清楚。钻孔数据表明, 上部和下部透镜体在垂向上是连续的, 但沿走向不连续。

Draa Sfar 矿床最主要的金属硫化物通常为磁黄铁矿, 其次为闪锌矿, 方铅矿与闪锌矿相伴出露, 但含量较低, 黄铜矿含量很低(但在 Sidi M' Berek 矿体下部或东部是除磁黄铁矿外含量最高的金属硫化物)。黄铁矿和白铁矿在 Tazakourt 矿体内的含量极低, 但在 Sidi M' Berek 矿体中较常见。毒砂是最常见的次要矿物, 毒砂中富砷, 也含有钴和硒, 不含锑和镍。磁黄铁矿富集是 Draa Sfar 矿床的显著矿物学特征, 也是摩洛哥 VMS 型矿床的典型特征。

Draa Sfar 矿床经历了低级区域变质事件, 发生了普遍的重结晶作用, 并形成了脆韧性变形, 局部发生糜棱岩化。矿床成矿金属为大陆地壳来源, 硫化物沉积可能就位于海底和海底以下缺氧环境下的炭质泥页岩层中。取自矿床底板流纹岩内的水热绢云母的 Ar-Ar 年龄为 331.7 ± 7.9 Ma, 代表了 Draa Sfar 矿床的成矿年龄和流纹岩的形成年龄

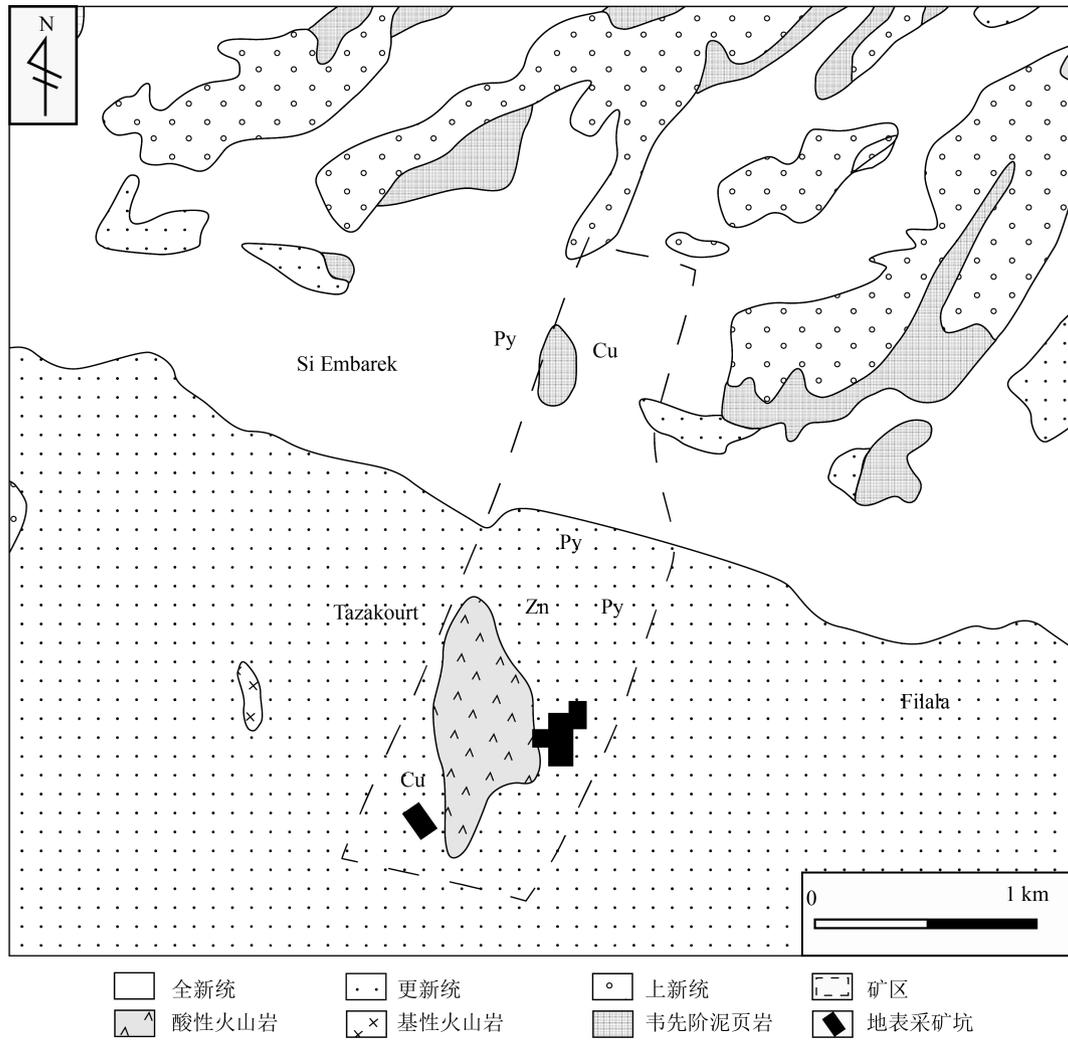


图 4 Draa Sfar VMS 型锌-铅-铜多金属矿床地质简图(据 Mouttaqi et al., 2011)

Fig. 4 Sketch geological map of the Draa Sfar polymetallic VMS deposit

Pb—铅矿; Zn—锌矿; Cu—铜矿; Py—多金属矿

(Marcoux et al., 2008)。

3.3 小阿特拉斯东部 Imiter 银矿床

Imiter 银-汞矿床是摩洛哥最具代表性的银矿床之一,位于小阿特拉斯东部, Tineghir 市南西 27 km(Mouttaqi et al., 2011), 见图 1(矿床编号 4)。矿床出露于 Saghro 地块北部新元古代晚—中期黑色页岩和新元古代晚期火山岩及黑色片岩内的裂隙中,近 EW 向的伊米泰尔断裂横贯地块,断裂以南出露新元古代砾岩和火山岩组合,其顶部含有一套新元古代黑色页岩,夹有含黄铁矿和碳酸盐岩的夹层,是主要赋矿层位;断层北侧为古生代沉积岩和火山岩盖层(图 5)。

Saghro 地块与其他元古宙残块(Ifni、Kerdous、

Akka、Bou Azzer、Sirwa 和 Ougnat)一起构成了摩洛哥小阿特拉斯造山带,即西非克拉通北部边缘。主泛非造山阶段期间发生的系列褶皱作用形成了百米级到千米级的斜歪到平卧褶皱,褶皱发育轴面节理。黑色片岩与前寒武纪晚期火山岩地层呈复杂的断层接触关系。构造分析表明,Imiter 断层带最初显张性特征,呈 NNW—SSE 向;于前寒武纪晚期火山岩就位期间逐渐演化为左行走滑断层,呈 NW—SE 向。在这一复杂的压扭带内,发生了含硫热液流动和热水压裂作用。这些作用可能发生于泛非造山后晚碰撞或后碰撞阶段,随后发生了胶结作用,形成了自然银矿床(Fekkak et al., 2001)。

Imiter 银-汞矿床是浅成低温型矿床,银矿化与

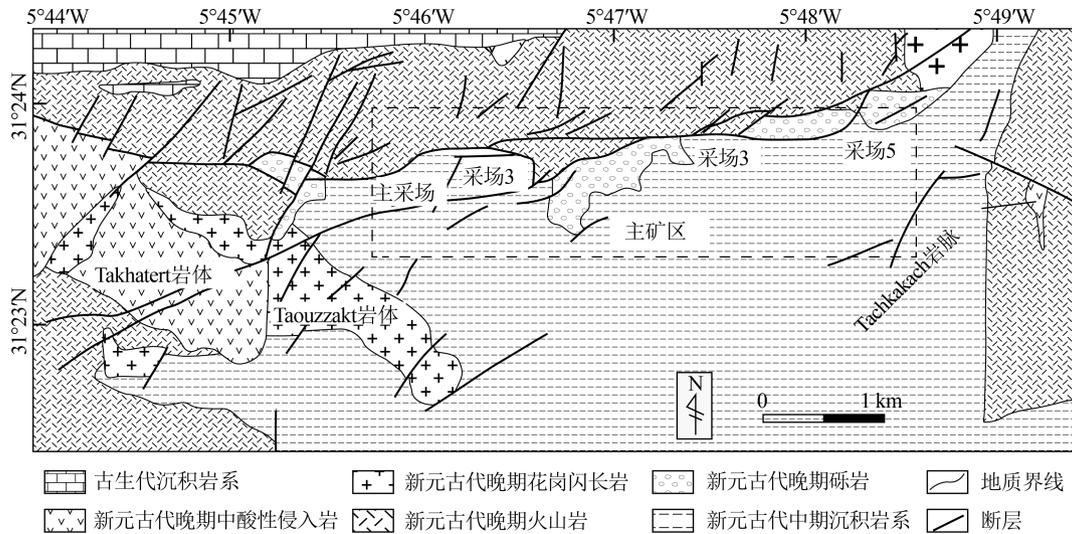


图5 Imiter 银矿床地质简图(据向鹏等,2019)

Fig. 5 Sketch geological map of the Imiter silver deposit

长英质火山岩穹窿和火山岩脉相关,火山岩的锆石 U-Pb 年龄为 550 Ma (Cheilletz et al., 2002)。有研究表明,Imiter 矿床具 2 个阶段的浅成低温流体:早期流体相对较热(均一温度 T_h 介于 100~290℃ 之间);第二阶段流体较冷($T_h = 115 \sim 192^\circ\text{C}$),岩浆水和盆地卤水分别为 2 个阶段流体的来源,其中卤水是金属银以氯化物络离子的形式从封闭的黑色页岩萃取出来的载体,银矿化与卤水和热流体的混合相关(Fekkak et al., 2001)。

综合研究表明,Imiter 银矿床是由新元古代晚期的 2 期成矿作用叠加形成:①初始成矿期(也是较为次要的)为贱金属矿化期,主要为 Pb-Zn-Cu 矿化,该期成矿与形成年龄为 572 ± 5 Ma 的钙碱性侵入岩相关;②主成矿期成矿作用表现为大型浅成低温银矿床的形成,该期成矿与 550 ± 3 Ma 的流纹质火山岩岩浆活动有关(Levresse et al., 2004)。

3.4 西大阿特拉斯 Jbel Irhoud 重晶石矿床

沿北大西洋边缘有大量的重晶石矿床出露,且多数矿床都形成于三叠纪—侏罗纪之交的裂谷作用阶段,此外,在内陆大阿特拉斯和小阿特拉斯地区也广泛出露重晶石矿。摩洛哥是大西洋沿岸最大的重晶石出产国,根据重晶石矿体的形态可以分为 3 种主要的矿床类型:脉型、喀斯特型和层控型,其中层控型极罕见。

Jbel Irhoud 重晶石矿集区位于 Jebilet 西部,从

Tleta d'Irhoud 延伸到 Chemaia 一带,面积 500 km² 以上。重晶石主要赋存于古生代泥页岩、砂岩及三叠纪和侏罗纪盖层底部灰岩层中(Mouttaqi, 1987; Mouttaqi et al., 2011)(图 6)。其中 Jbel Irhoud 重晶石矿床主体赋存于石灰岩透镜体中,属喀斯特型矿床,是摩洛哥最主要的重晶石矿床之一。矿床位于马拉克什北西 120 km 处,西距萨菲(Safi)60 km(图 1,矿床编号 24)。该矿床自 1955 年到 20 世纪 80 年代末均由摩洛哥 Comabar 公司开采。重晶石预测储量为 7×10^6 t, BaSO₄ 含量 50%。

在页岩和砂岩内也有重晶石脉产出,且赋存于砂岩中的矿脉较厚,因为大多数寒武系沉积岩层都是近水平的,这直接影响了脉体的垂向延伸。此外,大多数 SN 向的镁铁质岩墙和相伴的重晶石脉出露于页岩中,而角砾状的赤铁矿细脉和晚期白色晶簇状重晶石则主要出露于砂岩中。在时代上,重晶石矿床沿寒武系和三叠系沉积岩之间的断层接触带出露,呈脉状赋存在三叠系砾岩中,表明重晶石矿脉形成于三叠纪之后。局部可见重晶石矿脉被上侏罗统海侵沉积层切穿,表明大多数重晶石形成于基默里奇期之前;同时,上侏罗统砾岩层内缺少重晶石胶结物,表明矿化形成于瑞提阶之后,即重晶石矿形成于西大阿特拉斯地区伸展构造活动期。

赋存于灰岩中的重晶石脉与赋存于碎屑沉积

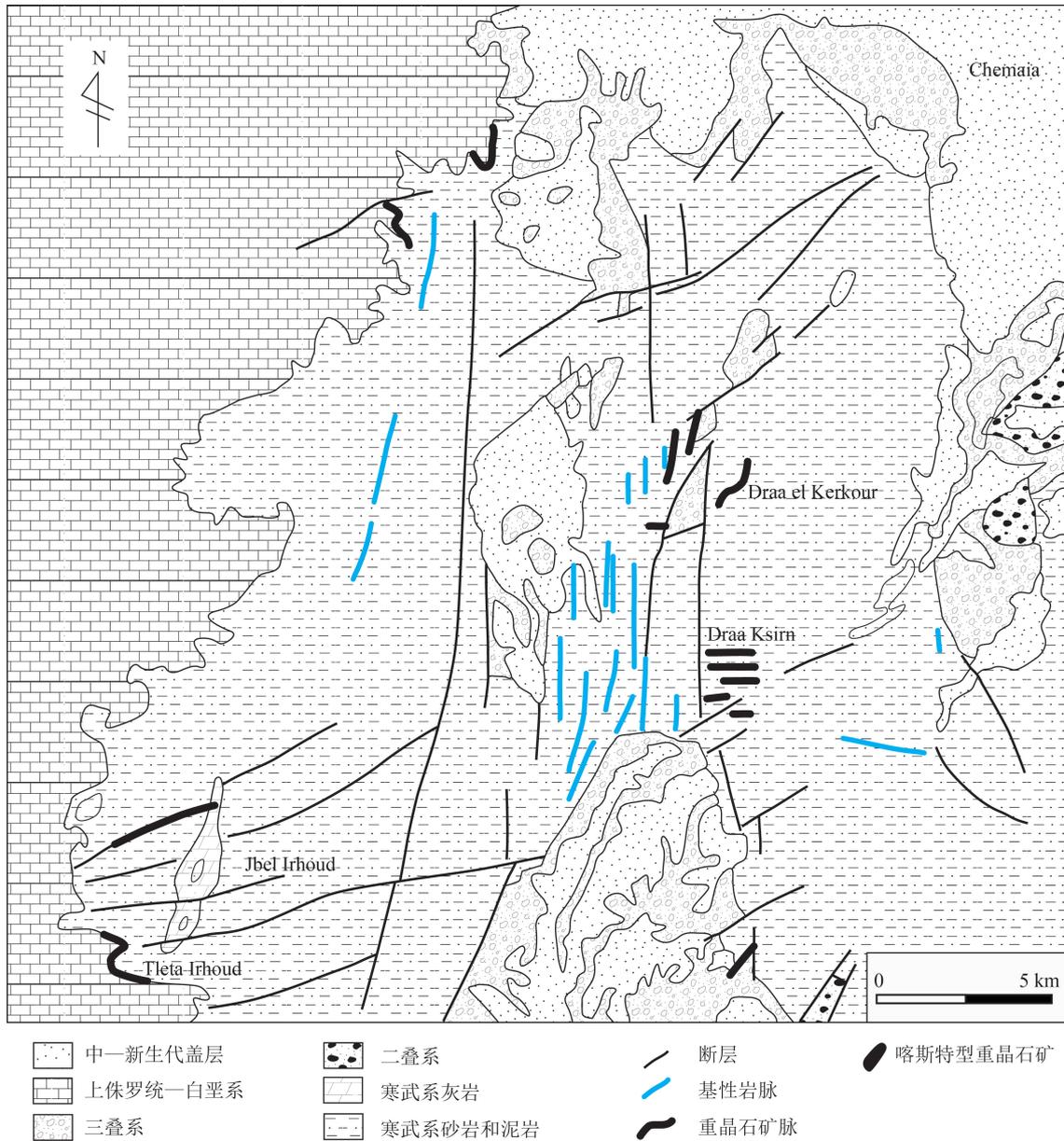


图 6 Jbel Irhoud 重晶石矿床地质简图(据 Mouttaqi et al., 2011)

Fig. 6 Sketch map of the Jbel Irhoud barite deposit

岩中的重晶石脉有明显的区别,因为前者不仅含方解石和石英,也含有大量的白色重晶石、针铁矿、方铅矿和少量其他硫化物。赋存在 Irhoud 地块中的重晶石多数呈喀斯特型沉积,其内可见系列粉色片状重晶石。随着灰岩的溶蚀,发生了周期性的矿化蚀变。因此,在喀斯特建造中,可识别出许多世代的重晶石,这解释了 Jbel Irhoud 地块内复杂的重晶石共生序列。

多数重晶石矿脉呈 EW 向或 SN 向,矿脉近于

垂直,脉体厚度介于 0.2~2 m 之间,向深部逐渐增厚。大多数重晶石脉沿走向出露不连续,海西期走滑断层带内重晶石脉最发育。在重晶石沉积期间或其后,成矿物质再活化,形成了与主体块状重晶石脉相关的角砾。后者主要由红色重晶石和少量白色重晶石、石英、赤铁矿和碳酸盐组成。除少数重晶石脉和 Jbel Irhoud 喀斯特地块见有少量方铅矿及其他硫化物与重晶石、石英和方解石伴生外,少数重晶石脉矿床有硫化物伴生 (Valenza et al., 2001)。

4 结论

(1)摩洛哥地质背景受西非克拉通、大西洋和阿尔卑斯造山带三大构造域的共同影响,伊比利亚期、泛非期、海西期及阿尔卑斯期构造活动在摩洛哥均有不同程度的成矿贡献,尤以海西期与阿尔卑斯期成矿最重要。

(2)摩洛哥主要矿床类型有赋存于奥陶系砂岩、砂泥岩地层中的沉积型鲕状赤铁矿床、赋存于大西洋沿岸中生代盆地中的磷酸盐矿床、MVT型铅-锌矿床、浅成低温型银-汞矿床、构造热液型重晶石矿床等许多重要矿床。

(3)磷酸盐矿主要产出于大西洋沿岸上白垩统一古近系中;MVT型铅-锌矿主要分布于摩洛哥东北部侏罗系中;铜、金、银、铁、钴及构造热液脉型重晶石、萤石等矿种主要出露在阿特拉斯构造带内。

(4)磷酸盐、重晶石、铅、锌、锰、银、铁、铜、金、铋、钴、镍、萤石、石膏、石盐等矿产资源在摩洛哥均有产出,但该国现已发现的最具经济意义的矿产资源为磷酸盐、银、锌、铜、铁矿、重晶石、石膏等。

(5)摩洛哥具有优越的成矿地质背景,其区域地质工作和找矿工作还不够完善,大比例尺地质填图工作,特别是地球化学调查、地球物理调查工作还远未完成,许多矿床没有开展系统的矿产地质调查工作。

致谢:在摩洛哥地质考察期间得到摩洛哥能矿部地质司 Ben Larkdim 司长、RJIMATI Ech Cherki 总工、Aissam 处长等的大力支持与帮助,提供了许多重要的参考资料,并进行了许多有益探讨,在此表示感谢;并感谢审稿专家为文章提出的宝贵修改意见。

参考文献

Bouabdellah M, Sangster D F. Geology, geochemistry, and current genetic models for major Mississippi Valley-type Pb-Zn deposits of Morocco[J]. Mineral Deposits of North Africa, 2016: 463-495.

Cheilletz A, Levresse G, Gasquet D, et al. The giant Imiter silver deposit: Neoproterozoic epithermal mineralization in the Anti-Atlas, Morocco[J]. Mineralium Deposita, 2002, 37: 772-781.

Choubert G, Marçais J. Géologie du Maroc, Fasc. 1: Aperçu structural. Histoire géologique du Massif de l' Anti-Atlas, Notes Mém[J]. Serv. Geol. Maroc, 1952, 100: 196.

Choubert G. L' accident majeur de l' Anti-Atlas[J]. C. R. Acad. Sci. Paris, 1949, 234: 1172-1173.

Fekkak A, Poulet A, Ouguir H. Géochimie et signification géotectonique des volcanites du Cryogénien inférieur du Saghro (Anti-Atlas oriental, Maroc)[J]. Geodin. Acta, 2001, 14: 373-385.

Gasquet D, Chevremont P, Baudin T. Polycyclic magmatism in the Tagragra d' Akka and Kerdous-Tafeltast inlier (Western Anti-Atlas, Morocco)[J]. J. Afr. Earth Sci., 2004, 39: 267-275.

Henri C, Nathalie B, Xabier P S, et al. Marine vertebrate faunas from the Maastrichtian phosphates of Benguérir (Ganmtour Basin, Morocco): Biostratigraphy, palaeobiogeography and palaeoecology[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2014, 409: 217-238.

Levresse G, Cheilletz A, Gasquet D. Osmium, sulphur, and helium isotopic results from the giant Neoproterozoic epithermal Imiter silver deposit, Morocco: evidence for a mantle source[J]. Chemical Geology, 2004, 207: 59-79.

Loughlin S C, Hawkins M P, Gillespie M. Proterozoic volcanism and crustal evolution in the Anti-Atlas mountains, southern Morocco [C]//19th Colloquium of African Geology. El Jadida, Morocco, 2002: 121-122.

Malek H A, Gasquet D, Bertrand J-M. Géochronologie U-Pb sur zircon de granitoïdes éburnéens et panafricains dans les boutonnières d' Iggherm, du Kerdous et du Bas Drâa (Anti-Atlas occidental, Maroc)[J]. C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. IIA, 1998, 327: 819-826.

Marcoux E, Belkabar A, Gibson H L. Draa Sfar, Morocco: A Visean (331 Ma) pyrrhotite-rich, polymetallic volcanogenic massive sulphide deposit in a Hercynian sediment-dominant terrane[J]. Ore Geology Reviews, 2008, 33: 307-328.

Michard A, Saddiqi O, Chalouan A, et al. Continental Evolution: The Geology of Morocco[M]. Berlin: Springer, 2008: 1-424.

Mouttaqi A. Etude géologique des indices miniers de l' extrémité nord-ouest du massif des Jebilet (Meseta occidentale, Maroc): un exemple de relation génétique entre une minéralisation stratiforme de couverture et des filons du socle paléozoïque [M]. These 3ème cycle, Univ. Cadi Ayyad, Marrakech, 1987: 270.

Mouttaqi A, Rjimat E C, Maacha L. Nouveaux guides géologiques et miniers du Maroc (Volume 9): Les Principales mines du Maroc[M]. Rabat: Edition du service géologique du Maroc: 2011: 1-344.

Pique A, Bouabdelli M. Histoire géologique du Maroc[M]. Rabat: Edition du service géologique du Maroc, 2000: 9-67.

Saadi S E M, Hilali M M E A, Bensaïd M, et al. Carte Géologique du Maroc au 1 : 100 000 [Z]. Rabat: Edition du service géologique du Maroc, 1985.

Samson S D, Inglis J D, D' Lemos R S. Geochronological, geochemical, and Nd-Hf isotopic constraints on the origin of Neoproterozoic plagiogranites in the Tasriwine ophiolite, Anti-Atlas orogen, Morocco[J]. Precamb. Res., 2004, 135: 133-147.

Saquaque A, Admou H, Karson S. Precambrian accretionary tectonics in the Bou Azzer-El Graara region. Anti-Atlas, Morocco [J]. Geology, 1989, 17: 1107-1110.

Soulaimani A, Jaffal M, Maacha L. Modélisation magnétique de la suture ophiolitique de Bou Azzer-El Graara (Anti-Atlas central, Maroc): Implications sur la reconstitution géodynamique panafricaine[J]. Comptes

Rendus Geoscience,2006,338: 153-160.

Thomas R J,Fekkak A,Ennih N.A new lithostratigraphic framework for the Anti-Atlas orogen,Morocco[J].J.Afr.EarthSci,2004,39: 217-226.

Valenza K,Moritz R.Vein and karst barite deposits in the Western Jebilet of Morocco: Fluid inclusion and isotope(S, O,Sr)evidence for regional fluid mixing related to Central Atlantic rifting[J].Economic Geology, 2001,95: 587-606.

Walsh G J, Aleinikoff J N, Benziane F. Armstrong, Pb - zircon geochronology of the Paleoproterozoic Tagragra de Tata inlier and its Neoproterozoic cover, western Anti - Atlas, Morocco [J]. Precamb. Res.,2002,117: 1-20.

Youssef D,Ahmed C,Essaid J.Geology and mine planning of phosphate deposits: Benguerir deposit Gantour Basin - Morocco [J]. Procedia Engineering,2014,83: 70-75.

李国祯.磷酸盐王国摩洛哥[J].现代化工,1984,(3): 44-46.

景宁.对外投资合作国别(地区)指南——摩洛哥(2018年版)[R].中国驻摩洛哥大使馆经济商务参赞处,2018.

曲玮.西北非地体的增生历史[J].世界地质,1991,(1): 81-83.

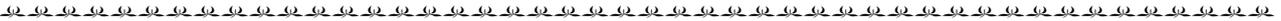
孙家寿.世界磷矿资源及磷肥展望[J].湖北化工,1991,(4): 39-43.

向鹏,王建雄,吴发富.摩洛哥伊米泰尔(Imiter)浅成低温热液型银矿床地质特征与成因[J].华南地质与矿产,2019,35(1): 117-124.

徐方,Hajraoui Chams Eddine E L,郭立君.摩洛哥矿产资源概况及矿业投资指南[J].国土资源情报,2012,(12): 21-24.

吴发富,王建雄,刘江涛,等.磷矿的分布、特征与开发现状[J].中国地质,2021,48(1): 82-101.

赵增泰.摩洛哥硫酸-磷肥工业概况[J].硫酸工业,2002,(3): 1-5.



《地质通报》第 42 卷第 9 期要目预告

辽宁大连金州地区王家坦组最古老水母型化石的再研究	牛绍武等
内蒙古自治区额济纳旗雅干地区下白垩统巴音戈壁组化石的新发现	丁海生等
雄安新区岩土标准地层序列划分	杜亚楠等
惠民凹陷滚动背斜与顶部垮塌断层形成的构造物理模拟	汤梦静等
地质调查技术标准体系研究与展望	金霄等
兴安地块南段霍布林岩体成因及对蒙古-鄂霍茨克洋演化的启示	李猛兴等
高精度 Pb 同位素比值 MC-ICP-MS 测试方法及岩石标样 Pb 同位素组成	卢山松等
东昆仑西段原特提斯洋洋盆闭合时间的约束——来自新疆木孜塔格地区同碰撞花岗岩的证据	王坤等
陆相页岩气富集主控因素研究——以鄂尔多斯盆地延安探区山西组为例	李艳霞等
湘东光明萤石矿黑云母花岗岩地球化学特征及其对萤石成矿的启示	龚雪婧等
江西众埠街大型铅锌矿床 Rb-Sr 同位素年龄及成矿流体特征	蔡报元等
长江中下游成矿带鸡笼山矽卡岩型铜金矿花岗岩闪长斑岩对成岩-成矿的指示	王兆强等
新疆希勒库都克铜铅矿床成矿地质特征与找矿勘查模型	王幻等
基于 AHP 的大连金普新区地下空间开发利用地质条件适宜性评价	张静等
颗粒粒径对滑坡碎屑流动力特征及能量转化的影响——以三溪村滑坡为例	陶伟等
云南兰坪-思茅地块西缘中新世岩浆活动的发现	黄亮等