

doi:10.3969/j.issn.1007-3701.2019.01.004

马来西亚金属矿产资源概况

向文帅^{1,2}, 高小卫¹, 王建雄¹

XIANG Wen-Shuai^{1,2}, GAO Xiao-Wei¹, WANG Jian-Xiong¹

(1. 中国地质调查局武汉地质调查中心(中南地质科技创新中心), 湖北, 武汉 430205; 2. 中国地质大学(北京), 北京 100083)
(1. Wuhan Center of China Geological Survey, Wuhan 430205, Hubei, China; 2. China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083)

摘要: 马来西亚拥有丰富的矿产资源, 其找矿勘查与矿业开发投资历史悠久, 矿业环境较为成熟。随着二十一世纪海上丝绸之路倡议的提出, 该国的地理位置和基础设施优势不断凸显。本文对马来西亚的优势矿产资源地质特征和成矿规律进行了总结, 介绍了马来西亚的成矿环境、典型矿床特征和成矿作用, 并对找矿潜力进行了讨论, 旨在加强对该国的矿产资源现状的认识, 为我国“一带一路”倡议的推广提供参考。

关键词: 马来西亚; 金属矿产; 典型矿床; 成矿规律

中图分类号: P617

文献标识码: A

文章编号: 1007-3701(2019)01-0039-10

Xiang W S, Gao X W and Wang J X. Overview of Metal Mineral Resources in Malaysia. *Geology and Mineral Resources of South China*, 2019, 35(1):39-48.

Abstract: Malaysia is rich in mineral resources. Its prospecting, exploration and mining investment have a long history, and its mining environment is relatively mature. With the proposal of the Maritime Silk Road Initiative in the 21st century, the country's geographical location and infrastructure advantages are constantly highlighted. This paper summarizes the geological characteristics and metallogenic regularities of the dominant mineral resources in Malaysia, introduces the metallogenic environment, typical deposit characteristics and mineralization of Malaysia, and discusses the prospecting potential, aiming at strengthening the understanding of the current situation of mineral resources in the country, and providing reference for the promotion of the "one belt and one road" initiative in China.

Key words: Malaysia; metal minerals; typical ore deposit; metallogeny

马来西亚(Malaysia)位于东南亚, 该国被南海分隔为马来半岛(以下简称西马)和婆罗洲北部(以下简称东马), 西马位于欧亚大陆东南端, 属于巽他陆块, 东马位于婆罗洲岛, 属于欧亚板块与太平洋板块的过渡带。马来西亚位于欧亚板块、印度洋板块、太平洋板块三大板块的构造关键部位, 经历了

复杂的构造演化历史^[1-3]。石炭纪以来, 西马东部和东马沙捞越西南部拼合, 形成了与华夏板块相关的印支(Indochina)陆块^[4]; 二叠纪晚期, 随着古特提斯洋关闭, 西马西部与西马东部拼合, 并在西马发育一系列岩浆岩^[5]; 燕山期以来, 马来西亚东西两侧分别受太平洋板块和印度洋板块的挤压、俯冲作用,

收稿日期: 2018-12-14; 修回日期: 2019-2-24; 责任编辑: 董好刚

基金项目: 中国地质调查局项目“埃及及邻区矿产资源潜力评价”资助(121201009000172708, DD20160109)资助

第一作者: 向文帅(1986—), 男, 高级工程师, 长期从事境外地质调查研究工作, E-mail: oldwenzi@163.com

形成了马来半岛和古晋两个增生带^[6]。马来西亚从古生代到新生代的地质均有出露,构造系统既有板块碰撞导致的走滑断裂带和增生造山带,也有板块俯冲相关的岩浆弧及盆地构造带;岩浆活动非常发育,在西马主要以晚三叠世到早白垩世的黑云母花岗岩为主,在东马有相当数量的新生代基性岩(图1)^[7-8]。由于其有利的地质地理环境,马来西亚矿产资源较丰富,发现了大量的残积型锡矿、造山型金矿、斑岩型铜矿、矽卡岩型铁矿、红土型铁矿、红土型铝土矿等。其中,锡矿资源非常丰富,开采历史悠久,产量曾居世界首位,具有极佳的找矿勘探前景。

马来西亚的地质工作程度不高,从上世纪四十年代开始,进行了区域地质填图工作,目前西马区域已经完成了大部分重点成矿区的1:63 360地质图(英制)和1:100 000地质图,东马地区完成了部分1:50 000地质图^[9],一些重点成矿区,如巴乌等地,完成了1:10 000等大比例尺的地质图^[10]。全国尺度上,目前已完成的有:1:200万马来半岛地质图及矿产图、1:200万沙捞越地质图及矿产图、1:200万沙巴地质图及矿产图、1:150万地震构造图、1:50万马来半岛地质图及矿产图。此外,部分地区还完成了地球化学图、航磁异常分布图、矿产预测图、地质灾害图等图件的编制。

前人对马来西亚的研究多集中于局部地区,目前对该国的地质背景和成矿特征研究较少,由于其独特的构造位置、地质条件和优越的成矿背景、投资环境,是我国企业“走出去”进行矿产开发和投资的较为理想的目的国家。本文通过对马来西亚矿产资源类型、矿产分布特征初步归纳,并选取典型矿

床详细介绍其矿床地质特征,为认识马来西亚地质与矿产和开展深入的基础地质研究和矿产工作提供参考。

1 地质背景及主要构造单元特征

马来西亚全国分属五个不同的构造单元,属于同一个大陆架,更新世以后海平面上升,西马与东马隔海相望^[1-3]。

1.1 构造活动史概述

三叠纪前,文冬-劳勿缝合带以东地区为亲印支(Indochina)体系,以西地区属于亲冈瓦纳体系的暹罗马苏(Sibumasu)地块,二者在印支期拼合以后,即形成了现代西马的主要格架^[8]。晚白垩世至新生代,由于印度洋板块与欧亚板块的碰撞造山作用,导致东南亚发生挤出效应,在西马引发了主要断裂带(如Lebir断裂带)的走滑断裂作用^[1-2]。

在二叠纪俯冲期,马来半岛东部火山弧位于印支地块边缘,发育一系列钙碱性I型花岗岩和少量S型花岗岩^[11-12]。印支运动造山隆起之后发育磨拉石堆积的山麓冲积扇-湖泊沉积Tembeling组(晚三叠世-侏罗纪),晚侏罗世-早白垩世的Gagau群陆相砂砾岩呈角度不整合覆盖在二叠纪地层或花岗岩之上^[13]。马来半岛中部的的主岭花岗岩(Main-Range)也为S型,侵位的时间稍晚,为早三叠世到晚侏罗世,岩浆来源于碰撞之后的陆壳重熔;马来半岛西部的花岗岩侵位时间最晚,从晚白垩世到新生代,主要为I型花岗岩,其形成与特提斯洋的消减相关^[11]。

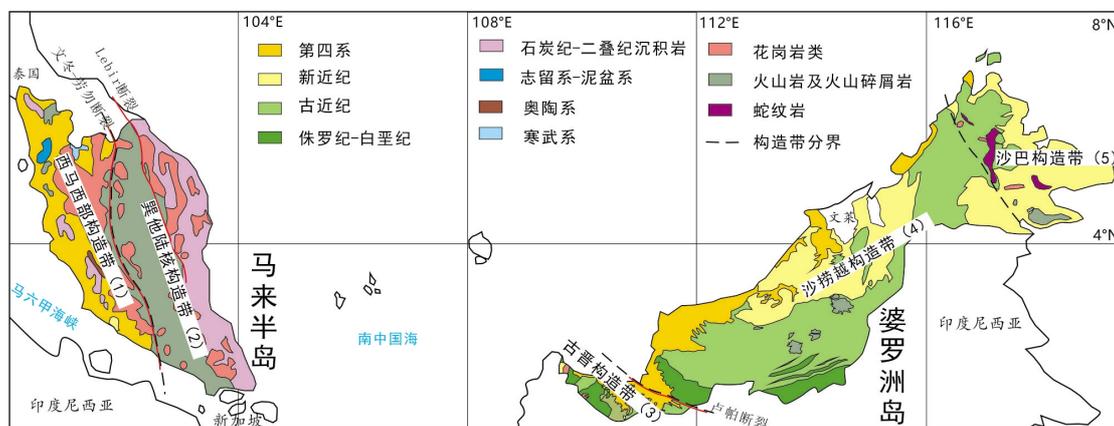


图1 马来西亚地质简图

Fig. 1 Simplified Geological Map of Malaysia

卢帕(Lupar)断裂以西的沙捞越地区,在始新世—中新世,受南中国海板块向加里曼丹大陆西北部边缘俯冲影响^[14-15],在西部沙捞越形成了一条晚渐新世—中新世的钙碱性岩浆带^[6]。沙巴地区为一套北东向褶皱的晚白垩世到早古近纪的平缓沉积地层,并由于南中国海的俯冲作用,形成了一系列北西向的左行走滑断裂(如基纳巴鲁断裂带),并沿断层带发育一系列侵入岩。

1.2 主要构造单元特征

东马与西马地区的地质背景有所差异,西马主要由古、中生界基底和海西—印支期花岗岩组成,并以文冬—劳勿断裂为界分为巽他陆核构造带和西马西部构造带。东马地区以卢帕(Lupar)断裂和基纳巴鲁山断裂为界,可划分出古晋、沙捞越、沙巴三个构造带,显现出不同的大地构造演化历史^[2-4]。(图2)

1.2.1 西马西部构造带(1)

西马西部构造带位于南北向的文冬—劳勿缝合带以西,它隶属于可北延至泰国西部的暹罗马苏(Sibumasu)地块。

西马西部构造带所属的暹罗马苏(Sibumasu)地块为亲冈瓦纳体系,它与亲印支体系的巽他(Sunda)地块在印支期(晚二叠世至早三叠世)发生碰撞造山作用^[8]。晚二叠世—早三叠世是马来半岛主要的褶皱造山期,期间马来半岛构造不整合发育,古生代地层均发生高度变形和片理化,区域构造也以一系列南北向的线性构造为主^[5]。马来半岛大部分花岗岩成岩时代为晚古生代—三叠纪。

1.2.2 巽他陆核构造带(2)

巽他陆核构造带位于文冬—劳勿断裂以东的马

来半岛东半部,该构造带为亲华夏体系,基底为印支期褶皱,由泥盆系到三叠系和侏罗系到白垩系组成。古近纪以来,为构造稳定区,由强烈变形的前古近纪岩石组成。最老的地层为泥盆系。中生界侏罗系及白垩系最为发育,同时,古晋带有花岗岩侵入及较为强烈的变形和变质。新生界主要为陆相磨石建造和火山岩建造^[4]。

1.2.3 古晋构造带(3)

古晋构造带位于马来西亚在婆罗洲岛的国土最西部,它呈弧形向东北方向延伸至基纳巴卢山,向西南伸展至山口洋^[16-17]。

古晋构造分区南以拉耳山断裂为界,与巽他陆核构造分区毗邻,北以卢帕断裂为界,与沙捞越构造带相邻。古晋构造带内可划分出三个构造层:前燕山期基底构造层,以古生代及以前的地层为变形体,形成一系列紧密褶皱;燕山基底构造层,侏罗纪到晚白垩世的裂谷沉积,沉积物由粗变细(由碎屑岩、碳酸盐岩到硅质岩),岩浆活动为由酸性到基性的海底喷发;喜马拉雅期构造层,为欧亚板块与太平洋板块汇聚形成稳定的陆台之后,在其上发育的一套稳定的盖层沉积^[6]。

1.2.4 沙捞越构造带(4)

沙捞越构造带位于婆罗洲岛西北部,南西以卢帕断裂为界,北东以基纳巴鲁山断裂为界,形成于喜山期,由南部的诗巫亚带和北部的米里亚带组成。

诗巫亚带西以卢帕断裂与巽他陆核构造带相邻,东以丰盛港断裂为界与米里亚带相接。其形成主要是南海板块与位于其东南方向的欧亚板块碰撞的结果^[18],形态上具星月形特征,呈弧形向东南

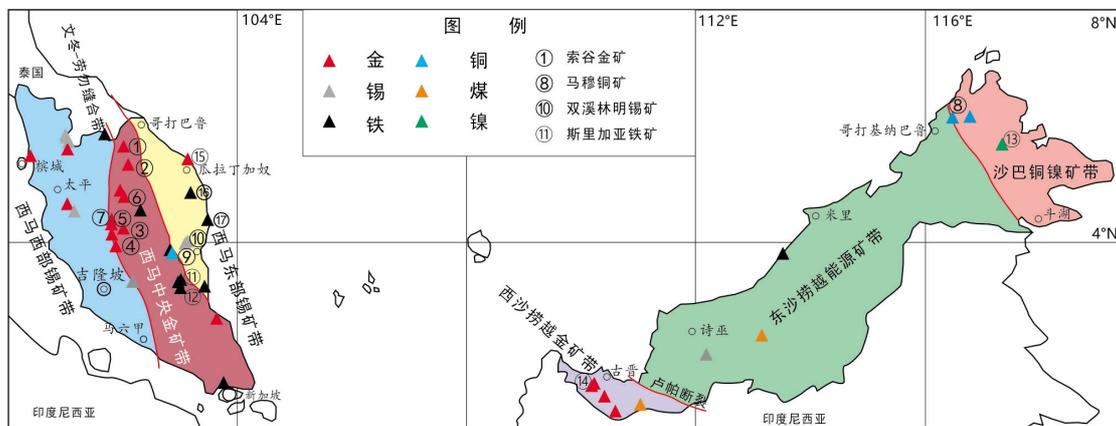


图2 马来西亚主要矿床分布图(图中矿床序号及详情见表2)

Fig. 2 Major ore deposits of Malaysia (The detail of each deposit see table 2)

突出。诗巫构造亚带分为基底和盖层两个构造层。其基底为早喜山期,始新世裂谷相沉积或俯冲混杂岩。在卢帕河谷地区,岩石发生强烈褶皱变形变质,地层陡倾,呈叠瓦状。盖层为晚喜山期,以古近纪-第四纪磨拉石建造和陆相火山岩建造为主;受到中新世末构造运动影响部分岩层发生平缓褶皱,上新世晚期构造运动发育了部分侵入岩浆活动。

米里亚带位于诗巫亚带东北,东以基纳巴鲁山断裂与沙巴构造带相邻。该构造亚带活动于喜山晚期,为复理石建造,属于大陆坡环境沉积组合。

1.2.5 沙巴构造带(5)

沙巴构造带位于东马东北部,西南以基纳巴鲁山断裂与沙捞越构造带相邻。主要为中中新世活动的构造带,其构造迹线沿北西方向展布;其基底为侏罗系-中中新统的蛇绿岩套,出露于断裂带附近区域;盖层为上中新统至第四系。

2 主要矿产类型及分布

2.1 矿产类型

马来西亚资源丰富,已探明的主要矿产资源有:石油、天然气、锡、金、银、铁、铜、锑、锰、铝土、铬及钛、铀、钴、钽、重晶石、独居石。其中,锡矿资源非常丰富,开采历史悠久,素有“锡国”的美称。马来西亚的铁矿主要产自柔佛州,彭亨州,霹雳州和登嘉楼州的小型矿山。低品位铁矿石多供应本国,高品位的铁矿石多出口到中国。铜矿主要分布在西马彭亨州的 Mengapur 和东马沙巴州的基纳巴卢山的马穆,全国铜矿石储量近 2 亿吨。金矿在东马、西马一

些地区都有分布,其中大部分位于西马的吉兰丹州、彭亨州、登嘉楼州,全国超过 90%的金产量来自彭亨州,索谷金矿和东马的巴乌金矿带研究程度较高^[19-21]。马来西亚的锰矿主要位于柔佛州、吉兰丹州、彭亨州和登嘉楼州,大部分锰矿品味低于 50%。

据历史数据显示,在上世纪 80 年代马来西亚的锡资源储量曾占世界总储量的 36%,锡矿年开采量占世界总开采量的 20.6%,居第一位。但自 1986 年以来,由于国际锡价走低,高品位锡矿床的耗尽以及马来西亚通货膨胀等原因,马来西亚的锡采矿业显著萎缩。据 USGS 最新数据显示,2013 年马来西亚锡矿储量为 25 万吨,年产量为 3 697 吨,排名降至世界第九位(表 1)。同时锡矿山的数量也急剧减少,从 1980 年的 847 个减少到 1997 年末的 36 个^[19]。

近年来,马来西亚的金矿勘查与开发十分活跃。西马的多期造山运动和广泛发育的断裂带,为成矿作用提供了非常有利的成矿地质环境。西马中央金矿带主要与晚三叠世到早白垩世的黑云母花岗岩相关,它们沿南北向的文东-劳勿断裂带分布。而在东马,主要的金矿床形成于渐新世-中新世,金矿类型包括了斑岩型到浅成低温热液型等多种^[22-24]。

2.2 矿产分布特征

由于西马和东马的地质背景不同,二者的成矿特征也具有明显差异。西马主要分为三个矿带:西马西部锡矿带,西马中央金矿带,和西马东部锡矿带。东马地区主要分为三个矿带:西沙捞越金矿带,东沙捞越能源矿带和沙巴铜镍矿带。

著名的东南亚锡矿带北起缅甸东部、泰国西

表1 马来西亚2009-2013主要金属矿产资源产量表

Table 1 Production of metal mineral commodities of Malaysia from 2009-2013

矿种	2009	2010	2011	2012	2013
金	2,794	3,765	4,219	4,625	3,822
银	367	436	459	1,678	361
铝土矿	263,432	124,274	188,141	121,873	208,770
铁矿石	1,470,186	3,465,895	8,077,879	12,143,987	12,133,556
锰矿石	468,963	899,703	597,917	1,099,585	1,125,127
锡矿石	2,412	2,668	3,340	3,726	3,697
钛铁矿	15,983	19,036	28,782	22,275	16,043
金红石	1,502	7,567	10,810	20,008	5,983
锆	1,145	1,267	1,685	442	379

注:表中单位除金、银为千克外其余为吨,数据引自文献^[22]。

部,穿过马来半岛直到南部的印度尼西亚邦加勿里洞岛,这条锡矿带的锡资源占全球储量的近一半^[25-27]。西马的两条锡矿带都属于东南亚锡矿带的一部分,西部锡矿带和东部锡矿带都呈南北走向,锡矿以及相关矿化被认为与分布在成矿带上的花岗岩体相关,例如,主脉(Main Range)花岗岩和吉兰丹/丁加奴边界山脉花岗岩。锡矿带被开采的主要锡矿类型均为砂锡矿床,由于自三叠纪以来的抬升,以致含锡花岗岩体在新近纪晚期被揭去顶盖,产生巨大的坚打河谷、吉隆坡等第四纪冲积型矿床^[28]。西马中央金矿带位于东西两个锡矿带之间,其中发育一系列金矿床,以及贱金属矿床如锰矿、铁矿、重晶石矿。

东马的砂捞越,以卢帕河谷为界,分为两个成矿带,主要的金属矿产几乎都位于卢帕河以西的西砂捞越成矿带,河谷东北的东砂捞越能源矿带主要发育煤、石油、天然气等能源矿产。

西砂捞越金矿带属于巽他陆块区域,以金为主,伴生有铜、铅、锌、银、铁、锑以及汞等。Bau 地区的金锑矿和 Tegora-Gading 地区的汞矿都受北东东向的 Bau 背斜和北北东向中新世英安质斑岩和微晶闪长花岗岩斑岩侵入体控制^[23],其他非金属矿产还有白云石、玻璃砂、高岭土以及石油、天然气、煤等。

东砂捞越能源矿带的大型煤矿发育于新近纪 Balingian, Merit-Pila 和 Bintulu 盆地。油气资源分布于 Lutong-Baram 地区的陆地和海洋区域,以及 Bintulu 附近的海域。石油主要产于晚中新世或早上新世地层中,天然气则产于 Bintulu 海域的中新世灰岩和白云岩中。

沙巴铜镍矿带的金属矿产沿 Banggi 岛-基纳巴鲁山-Labuk 河谷-Segama 河谷-Darvel 湾-仙本那半岛这一近南北向迹线分布。主要矿床为小型的热液型铜矿、镍矿,以及铬铁矿。前人研究表明沿沙巴的蛇绿岩带超基性岩中发育有一些岩浆熔离型铬铁矿,此外在基性岩分布区域发育着一些残积矿床如铝土矿,红土型铁矿,红土型镍矿及锰矿, Segama 河与 Diwata 河流域发育有砂金矿^[30]。

马来西亚的主要矿床分布及其简要信息见图 2 和表 2。马来西亚主要优势矿种的代表性矿床的详细介绍见下一章。

3 典型矿床特征

本文选择了马来西亚各成矿带内的代表性矿床,其中包括西马中央成矿带的索谷金矿,斯里加

表2 马来西亚主要矿床列表(数据引自文献^[29])

Table 2 List of major ore deposits of Malaysia

序号	矿床	矿种	经纬度(E,N)	位置	资源量(t)	矿床类型
1	Ulu Sokor	金	102.00491,5.56368	吉兰丹	10,750,000	造山型
2	Sungai Pergau	金	102.06752,5.24035	吉兰丹	1,000,000	造山型
3	Penjom	金	101.98556,4.14083	彭亨	26,287,688	剪切带型金矿
4	Raub	金	101.855,3.823	彭亨	20,330,000	造山型
5	Selinsing	金	101.78697,4.25368	彭亨	7,009,000	造山型
6	Damar	金	101.78527,4.27963	彭亨	3,661,000	造山型
7	Bumi Emas	金	101.78611,4.25	彭亨	1,250,000	造山型
8	Mamut	铜	116.46667,6.03333	沙巴	83,000,000	斑岩型
9	Mengapur	铜	102.82291,3.77109	彭亨	289,209,000	矽卡岩型
10	Sungai Lembing	锡	103.06667,3.88306	彭亨	757,000	矽卡岩型
11	Sri Jaya	铁	102.84389,3.72083	彭亨	212,000,000	矽卡岩型
12	Bukit Ibam	铁	102.98374,3.23612	彭亨	831,000	矽卡岩型
13	Tavai	镍	117.33278,5.58444	沙巴	270,000,000	红土型
14	Bau	金	110.20445,1.44969	砂捞越	72,614,300	低温热液型
15	Lubuk Mandi	金	103.15,5.26667	登嘉楼	3,487,000	造山型
16	Bukit Besi	铁	103.16139,4.75083	登嘉楼	47,500,000	矽卡岩型
17	Kemaman	铁	103.47583,4.29083	登嘉楼	25,000,000	矽卡岩型

亚铁矿,西部锡矿带的坚打河谷锡矿,和沙巴的马穆(Mamut)铜矿。

3.1 索谷金银铅锌矿

索谷(Ulu Sokor)矿床位于西马吉兰丹州西北部,往西距离瓜拉吉赖(Kuala Krai)约 22 km,在南北长约 8 km,东西宽约 2 km 的范围内,圈定了四条矿脉,分别是 Manson's Lode、New Discovery、Sg. Ketubong 和 Rixen。确定的矿石量为 111 万吨,金平均品位为 2.12 $\mu\text{g/g}$,金属量为 2.34 吨金和 3.5 吨银。在 2011–2014 年间,该矿床共生产了 1.44 吨金。索谷金矿为中国有色集团所有,是中国企业走出去的一处代表性矿山。

从大地构造位置上看,索谷矿床位于文冬–劳勿缝合带以东,隶属巽他陆核构造带。矿床以东约 10 km 为 Lebir 深大断裂,该断裂带两侧的岩石地球化学,成矿组合类型以及地层分布存在显著的差异,为西马东部锡矿带与西马中央金成矿带的分界线。索谷金矿位于中央金矿带,区域内出露大量石炭纪–晚二叠世的灰岩和页岩,并伴有大量的火山碎屑岩–灰岩与近地表次火山岩组合(图 3)^[8]。

矿区主要岩石类型为二叠–三叠纪的一套海相中酸性火山沉积岩系,岩性主要为千枚岩、凝灰质千枚岩、凝灰岩、含砂质板岩夹少量炭质千枚岩、大理岩等。由于受区域构造运动的影响,矿区地层片理发育,揉皱现象普遍,从而使地层产状复杂多变,但其总体走向近 S–N。矿区岩浆岩较发育,主要为沿断裂充填的石英斑岩脉。

矿化主要位于断裂系统中的石英脉以及硫化物和碳酸盐岩中。在 Manson's Lode,矿体主要产于钙质千枚岩与大理岩的层间接触破碎带中,矿石类型自下而上依次为矿化角砾岩、块状硫化物型矿石和铁帽;在 New Discovery,矿体产于强烈揉皱变形

的钙质凝灰质千枚岩中,矿石类型为沿裂隙充填的含金石英脉^[31]。

索谷金矿为造山带型金矿,其金矿化类型主要可划分为含金块状硫化物型,含金细脉浸染型,含金石英脉型和褐铁矿型四种。

成矿热液蚀变可分三期:(1)硅化和角砾岩化,(2)碳酸盐化、绢云母化、绿泥石化,(3)石英脉–方解石脉。

深部岩浆热液及大气降水加热循环,将地层中金元素萃取,并受构造控制,在有利环境下富集成矿^[17]。

3.2 双溪林明锡矿

双溪林明(Sungai Lembing)锡矿是西马东部已发现的最大原生锡矿(锡金属量储量>75 万吨,SnO₂品位:5.14%–24.25%),该矿床位于彭亨州关丹西北的关丹河流域。矿区东西宽约 3.2 km,南北长约 4.8 km。矿区内地层主要为厚层的早石炭世黑色页岩、砂岩、粉砂岩和石英岩夹层,后被二叠纪花岗岩类侵入体(主要是斑状中粒黑云母花岗岩)侵入(图 4),接触界面不规则,总体倾向北东东,倾角约 30°,大致与沉积岩层平行,花岗岩周围发育有完好的含十字石的热接触晕。矿区内断裂发育,主断裂曾反复活动,是主要的矿液通道。锡矿化充填于与主断裂平行的裂隙中,主要的矿脉有 40 余条,走向近东西,长 100–200 m,宽度变化较大(<10 cm 至>10 m)。大部份矿脉位于花岗岩顶部以上 600 m,矿化带与花岗岩接触带平行^[32–33]。

双溪林明锡矿床的主要矿化类型分为两类:矽卡岩型和浅成热液型。其中,矽卡岩型呈层状,锡赋存于硅酸盐矿物中(如钙铁石榴石、符山石等),局部可见锡石与含铁矽卡岩密切伴生。浅成高温热液型锡矿主要位于被称为曼森的矿脉中,锡石与磁黄

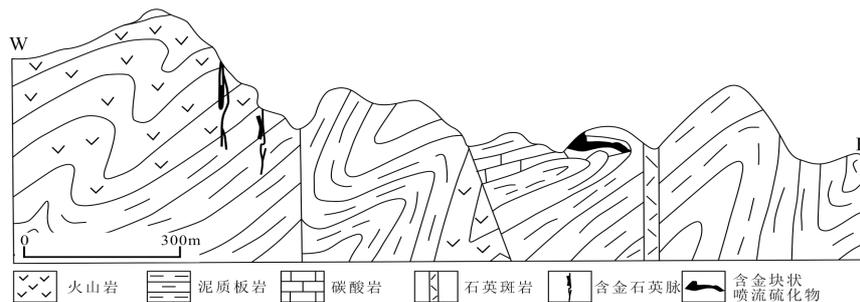


图3 索谷金矿剖面图(修编自文献^[25])

Fig. 3 Cross section of Ulu Sokor gold deposit

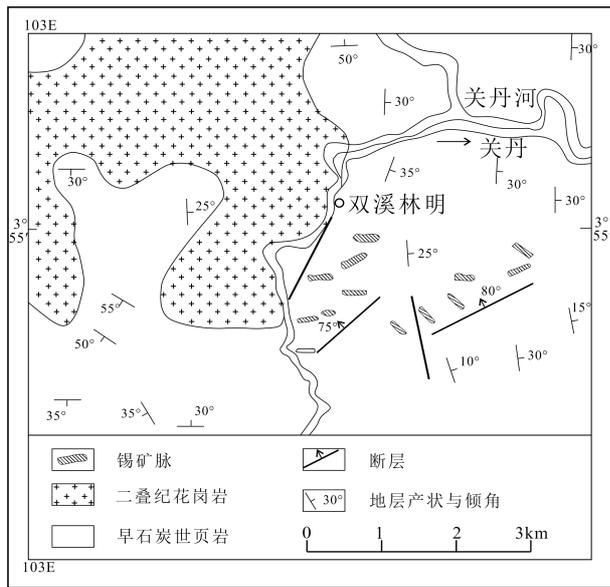


图4 双溪林明锡矿区简明地质图^[34]

Fig. 4 Simplified geological map of Sungai Lembing Tin deposit

铁矿、磁铁矿伴生。其它热液矿床在矿体形态、矿物成分和矿石结构、构造方面变化很大^[33]。

对双溪林明矿床 Gahak 断裂带中 Hantu 矿脉的研究表明^[33],在整个锡矿化期间,依次发生了下列五个主要事件:①锡石-绿泥石化成矿,有少量硫化物形成;②脉带再次张开,沉淀了无矿白色石英;③硫化物大量沉淀,并有少量锡石形成;④安山岩脉侵入;⑤方解石脉充填。流体包裹体研究表明大脉的重复张开引起了流体的沸腾。均一化温度测定显示成矿溶液的温度随时间逐渐降低,从 272℃→180℃→148℃→70℃,各阶段均有石英沉积^[35]。成矿期间,矿脉反复张开,压力反复降低,导致矿液的沸腾不时地发生,产生多期锡石沉淀,并形成了条带状石英英脉。

状石英英脉。

矿物组合一般为:锡石-磁黄铁矿-磁铁矿;锡石-绿泥石。矿石矿物主要为锡石、毒砂、黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿^[36]。

3.3 斯里加亚铁矿

斯里加亚(Srijaya)铁矿床位于西马彭亨州关丹西南约 55 公里,目前已确定的铁矿资源量大于 2 亿吨。矿石类型为磁铁-赤铁矿型。

该矿床位于西马东部矿带,属于巽他陆核构造带,区域上位于多条断层交汇处,岩浆活动强烈,大面积出露燕山期花岗闪长岩(图 5)。

区域内主要为一套二叠纪斯里加亚组变质凝灰岩,深部发育有燕山期隐伏花岗岩。矿体产于花岗闪长岩与围岩外接触带,分为原生矿体和氧化矿体两部分。原生铁矿为矽卡岩型矿床,中等规模透镜状矿体,主要金属矿物为磁铁矿、赤铁矿、钛铁矿、磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、辉钼矿等,非金属矿物主要是镁矽卡岩矿物,即透辉石、石榴子石、石英、绿泥石、绿帘石、方解石等。次生的氧化矿床为风化残积和坡积成因,主要金属矿物为磁铁矿、赤铁矿、褐铁矿、钛铁矿、少量孔雀石及蓝铜矿,氧化矿颜色为黑褐色,红褐色,蜂窝状、块状构造,磁铁矿颜色为灰黑色及紫红色,呈半氧化状态,常有原生铁矿石、矽卡岩等碎石混杂^[35]。

3.4 马穆铜矿床

马穆铜矿床位于东马北部沙巴构造带。矿床储量为 17 900 万吨,含铜 0.476%;可采储量 8 300 万吨,品位 0.59%。1958 年,Fitch 发现在 Labuk 山谷的许多玄武岩和超基性岩的铜含量偏高,1963 年,联合国特别基金资助开始进行勘探。首先进行水系

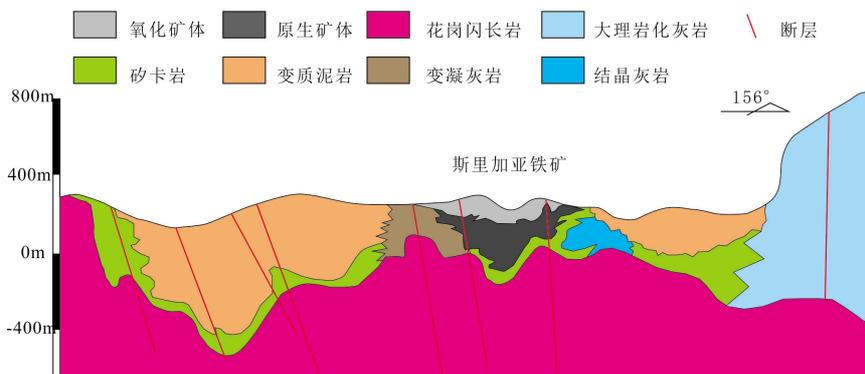


图5 斯里加亚铁矿地质剖面图(修编自^[35])

Fig. 5 Geological section of Srijaya iron deposit

沉积物地球化学调查,并圈定了矿体的范围。1975年,由日本海外矿产资源开发公司进行了开发和生产^[37]。

该铜矿为斑岩型矿床,晚中新世二长花岗岩侵入到碎屑沉积杂岩体和蛇纹岩中。马穆矿床周边的沉积岩属于 Rajang 组,为一套晚白垩世至早中新世厚层的复理石建造。这套地层被北西走向的基纳巴鲁断层左行走滑错断。沿该断层发育一系列侵入岩,成分从酸性岩到超基性岩。同时在这一区域发现大量金、银、铜、铅、锌、铬、镍和锰的地球化学异常。马穆矿床位于这一异常带的西北端,矿床与基纳巴鲁岩基相关。岩基的年龄为晚中新世(K-Ar 年龄 9 Ma)^[38]。

马穆矿区的主要岩浆岩为石英二长斑岩岩株,其围岩为黑色页岩、泥岩、砂岩及凝灰岩和橄榄岩(图6)。

矿物组合为黄铜矿、金、黄铁矿和磁黄铁矿。作为一个斑岩型矿床出现磁黄铁矿不寻常。矿化相关

的蚀变为强烈硅化和黑云母发育。马穆矿床的地球化学特征,如高钾含量与大陆地壳的矿床特征相似,而金含量高则与岛弧环境的矿床相似。

4 结论

(1) 马来西亚受印支运动影响,形成了主要的构造格架,在燕山期受东西两大板块挤压影响,最终形成了五大构造带,从全球成矿域的尺度来看,马来西亚位于特提斯(喜马拉雅)成矿域与环太平洋成矿域的交汇部分,成矿条件极为有利。

(2) 马来西亚矿产资源分布具有一定特征,全国可分为锡矿、金矿、能源矿产、铜镍矿等各具特色的六大矿带,并形成了造山型金矿、矽卡岩型铜铁矿、斑岩型铜矿等许多重要矿床类型。

(3) 马来西亚金属矿产资源较为多样,锡矿、金矿、铁矿、铜矿、铝及各类金属矿床上千处,该国最具经济价值的矿产资源为金矿和锡矿。

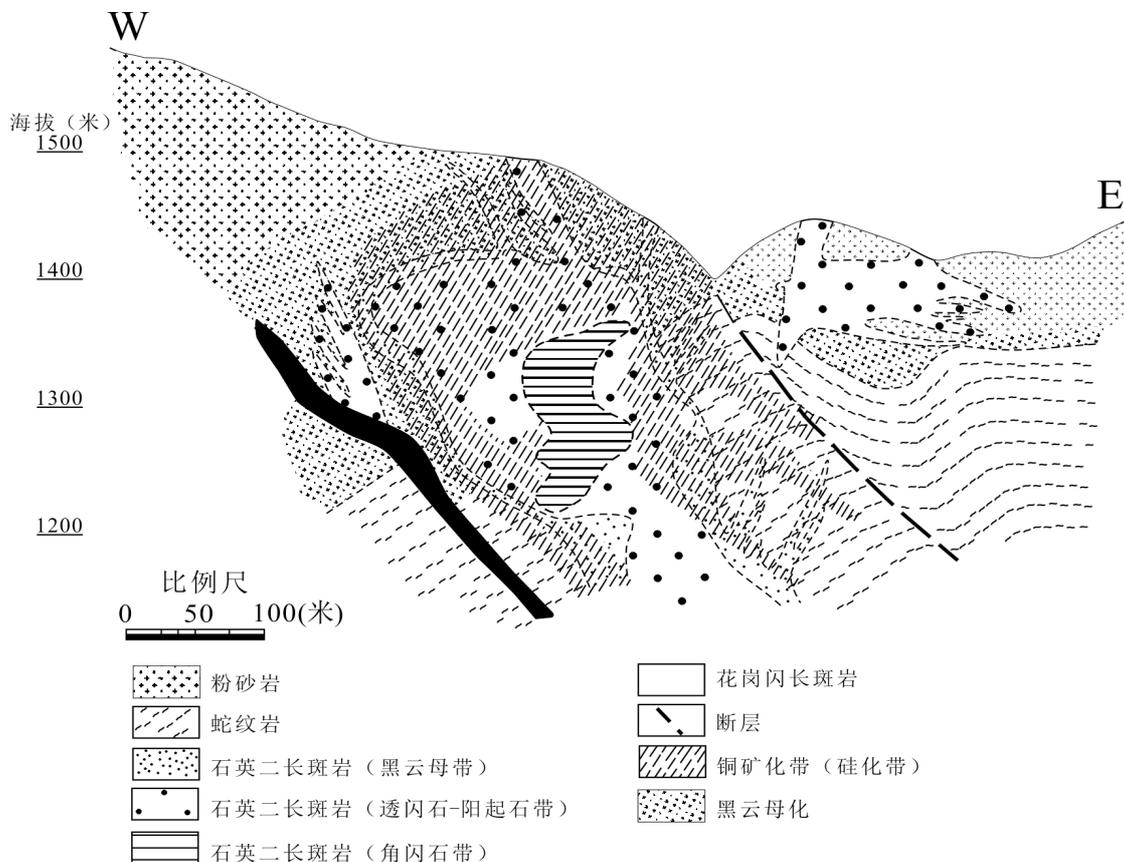


图6 马穆铜矿地质剖面图(摘编自文献^[37])

Fig. 6 Geological section of Mamut copper deposit

本文写作过程中得到了武汉地质调查中心陈开旭研究员、朱章显教授级高级工程师、吴发富博士等人的支持与帮助,在此谨致谢忱!

参考文献:

- [1] Metcalfe I. Tectonic framework and Phanerozoic evolution of Sundaland [J]. *Gondwana Research*, 2011, 19(1): 3–21.
- [2] Metcalfe I. Gondwana dispersion and Asian accretion: Tectonic and palaeogeographic evolution of eastern Tethys [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, 66: 1–33.
- [3] Hutchison C S. Geological Evolution of South East Asia [M]. Clarendon Press, Oxford, 1989: 1–36.
- [4] Harbury N A, Jones M E, Audley–Charles M G, Metcalfe I, Mohamed K R. Structural evolution of Mesozoic Peninsular Malaysia [J]. *Journal of the Geological Society*, 1990, 147(1): 11–26.
- [5] Metcalfe I. The Bentong–Raub Suture Zone [J]. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 2000, 18(6), 691–693.
- [6] Atmadja R S, Noeradi D, Priadi B. Cenozoic magmatism in Kalimantan and its related geodynamic evolution [J]. *Journal of Asian Earth Science*, 1999, 17(1): 25–45.
- [7] Ghani A A, Lo C H, Chung S L. Basaltic dykes of the Eastern Belt of Peninsular Malaysia: The effects of the difference in crustal thickness of Sibumasu and Indochina [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, 77: 127–139.
- [8] Searle M P, Whitehouse M J, Robb L J, Ghani A A, Hutchison C S, Sone M, Ng S W P, Roselee M H, Chung S L, Oliver G J H. Tectonic evolution of the Sibumasu–Indochina terrane collision zone in Thailand and Malaysia: constraints from new U–Pb zircon chronology of SE Asian tin granitoids [J]. *Journal of the Geological Society*, 2012, 169(4): 489–500.
- [9] Chung S K. Annual Report of Geological Survey of Malaysia [M]. Geological Survey of Malaysia, 1973.
- [10] Pour A B, Hashim M. Structural geology mapping using PALSAR data in the Bau gold mining district, Sarawak, Malaysia [J]. *Advances in Space Research*, 2014, 54(4): 644–654.
- [11] Ghani A A, Searle M, Robb L, Chung S L. Transitional I S type characteristic in the Main Range Granite, Peninsular Malaysia [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2013, 76: 225–240.
- [12] Beckinsale R D. Granite magmatism in the tin belt of south-east Asia [A]. // *Origin of granite batholiths*. Birkhauser Boston, 1979: 34–44.
- [13] 颜佳新. 加里曼丹岛和马来半岛中生代岩相古地理特征及其构造意义 [J]. *热带海洋学报*, 2005, 24(2): 27–28.
- [14] Tougkul F. 孙克虬(译). 马来西亚北沙巴的地质: 与南中国海盆地打开的关系 [J]. *海洋地质译丛*, 1995, (3): 28–37.
- [15] 赵财胜, 孙丰月, 李碧乐, 丁清峰, 吴尚昆. 马来西亚沙撈越邦达、什兰江控矿角砾岩筒构造对比研究及其找矿意义 [J]. *世界地质*, 2003, 22(04): 366–372.
- [16] van Bemmelen R W. The geology of Indonesia [M]. Govt. Printing Office The Hague, 1949.
- [17] Haile N S. Borneo [C]. // In: Spencer A M (eds.). *Mesozoic–Cenozoic Orogenic Belts: Data for Orogenic Studies*. Geological Society, London, Special Publications, 1974, 4: 333–347.
- [18] Hall R. Cenozoic reconstructions of SE Asia and the SW Pacific: changing patterns of land and sea [C]. // In: Metcalfe I, Smith J M B, Morwood M, Davidson I D, (eds.). *Faunal and Floral Migration and Evolution in SE Asia–Australasia*. Lisse: Swets & Zeitlinger, 2001: 35–56.
- [19] 韦继康. 马来西亚乌鲁索谷(UluSokor)金矿控矿因素、矿床成因及找矿预测研究 [D]. 中南大学硕士学位论文, 2010.
- [20] Li B, Jiang S Y, Zou H Y, Mu Y, Lai J Q. Geology and fluid characteristics of the Ulu Sokor gold deposit, Kelantan, Malaysia: Implications for ore genesis and classification of the deposit [J]. *Ore Geology Reviews*, 2015, 64: 400–424.
- [21] Makoundi C, Zaw K, Large R R, Meffre S, Lai C K, Hoe T G. Geology, geochemistry and metallogenesis of the Selinsing gold deposit, central Malaysia [J]. *Gondwana Research*, 2013, 26(1): 241–261.
- [22] United States Geological Survey. 2013 Minerals Yearbook Malaysia [R]. 2015, <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/country/2013/myb3–2013–my.pdf>.
- [23] Zaw K, Meffre S, Lai C K, Burrett C, Santosh M, Graham I, Manaka T, Salam A, Kamvong T, Cromie P. Tectonics and metallogeny of mainland Southeast Asia — A review and contribution [J]. *Gondwana Research*, 2014, 26(1): 5–30.
- [24] Garwin S, Hall R, Watanabe Y. Tectonic Setting, Geology, and Gold and Copper Mineralization in Cenozoic Magmatic Arcs of Southeast Asia and the West Pacific [C]. *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, 2005: 891–930.
- [25] Yeap E B. Tin and gold mineralizations in Peninsular

- Malaysia and their relationships to the tectonic development [J]. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 1993, 8(1-4): 329-348.
- [26] Schwartz M O, Rajah S S, Askury A K, Putthapiban P, Djaswadi S. The Southeast Asian tin belt [J]. *Earth - Science Reviews*, 1995, 38(2-4): 200-203.
- [27] Mitchell A H G. Tectonic settings for emplacement of Southeast Asian tin granites [J]. *Geological Society of Malaysia Bulletin*, 1977, 9: 123-140.
- [28] Ingham F T Bradford E P. The Geology and Mineral Resources of the Kinta Valley, Perak [M]. Malaya: Government Press, Federation of Malaya Geological Survey Memoir 9, 1960, pp347.
- [29] SNL Metals & Mining Database. 2015 [EB/OL]. <http://www.snl.com/Sectors/metalsmining>
- [30] United Nations. Atlas of mineral resources of the ESCAP region volume 1 Malaysia explanatory Brochure [M]. Bangkok, United Nations, 1985.
- [31] 李 斌, 邹海洋, 杨牧, 杜高峰, 韦继康, 王天国. 马来西亚吉兰丹州Ulu Sokor金矿地质特征及找矿方向 [J]. *黄金科学技术*, 2010, 18(4): 17-21.
- [32] Hutchison C S. Multiple Mesozoic Sn-W-Sb granitoids of southeast Asia [C]. *Geol. Soc. of America Memoir*, 1983, 159: 35-60.
- [33] Foo B N. Mineral paragenesis, fluid inclusion studies and geochemistry of the Sungei Lembing tin lodes, West Malaysia [J]. *Institution of Mining and Metallurgy, Transactions, Section B: Applied Earth Science*, 1977, 86: B163.
- [34] 姚华舟, 朱章显, 韦延光, 杨振强, 吴键辉. 巽他群岛-新几内亚岛地区地质与矿产[M]. 北京:地质出版社, 2010.
- [35] 祝明金, 练兵, 田亚洲, 亢庚. 马来西亚斯里加亚铁矿床地质特征及成因探讨[J]. *贵州地质*, 2011, 28(3): 206-210.
- [36] Hutchison C S. Economic deposits and their tectonic setting[M]. John Wiley & Sons Australia, Limited, 1983.
- [37] Kosaka H, Wakita K. Some geologic features of the Mamut porphyry copper deposit, Sabah, Malaysia [J]. *Economic Geology*, 1978, 73(5): 618-627.
- [38] Jacobson G. Gunung Kinabalu area, Sabah, East Malaysia [M]. Kuching: Government Press, Malaysia Geological Survey, Report 8, 1970.