doi: 10.3969/j.issn.1007-3701.2013.04.005

苏门答腊岛(印尼)岩浆旋回中的成矿作用

高小卫,杨振强,吴秀荣

GAO Xao-Wei, YANG Zhen-Qiang, WU Xiu-Rong

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

摘要:本文阐述了东苏门答腊地体和西苏门答腊地体自海西期岩浆旋回以来各自的金属矿产分布特征。海西期东苏门答腊 地体以裂陷盆地的层控型铅-锌矿为主,而砂卡岩型 Ag、Cu和 Pb-Zn 矿化产于西苏门答腊地体。印支期 Sn 矿成矿作用主 要与 S-型花岗岩类(220~195 Ma)侵入和苏门答腊岛中部的梅迪亚苏门答腊深大断裂走滑活动有关。燕山早期铜-金成 矿作用为陆缘夭折古裂谷和岛弧环境。燕山晚期为弧-陆碰撞的火山弧的 Sn,Au-Ag 成矿作用。喜山期发育的岩浆弧 Au-Ag 成矿与苏门答腊深大断裂活动和巴厘散构造带有关,归因于印度-澳大利亚洋壳斜向俯冲于苏门答腊岛之下。 关键词:成矿作用;岩浆旋回;苏门答腊岛;印度尼西亚 中图分类号:P612 文献标志码:A 文章编号:1007-3701(2013)04-299-09

Gao X W, Yang Z Q and Wu X R. A discussion on mineralization within magmatic cycles, Sumatra (Indonesia). Geology and Mineral Resources of South China, 2013, 29(4):299-307.

Abstract: This paper presents the distribution characteristics of metallic mineral deposits since Hercynian cycles within East Sumatra Terrane and West Sumatra Terrane (Indonesia) separately. The strata-bound Pb-Zn deposits are dominant in sedimentological basins in East Sumatra Terrane within Hercynian cycle, and the Ag, Cu and Pb-Zn mineralizations of skarn-type occur in West Sumatra Terrane. The Indosinian cycle's tin-mineralization is related to the intrusion of S-granitoids (220 ~ 195 Ma) and to the deep strike-sliping activity of Media Sumatra Fault Zone at Central Sumatra. The Early Yanshanian cycle's Cu-Au mineralization occur in the died ancient rifting valley and arc island environment at the continental margin. The Sn and Au-Ag mineralization in volcanic arc was caused by arc-continent collision during Late Yanshanian cycle. The Au-Ag mineralizations of magmatic arc within Himalayan cycle were related to the Sumatra Fault and Barisan Fault Zone that were caused by the oblique subduction of Indian-Australia crust beneath Sumatra.

Keyword: Mineralization; magmatic cycles; Sumatra island; Indonesia

苏门答腊岛(印度尼西亚)盛产金、银、铜和锡等 有色金属矿产。自古以来盛产黄金,有'金岛'(印度 梵文 suvara dvī pa)或"金洲"(马来语 Pulaw Emas)之称。估计 1994 年以前产金 91 吨,银 937 吨。

锡矿主要产于廖内岛、班加岛和勿里洞岛,从1710 年至1942年产锡矿1.5百万吨,现代产锡以河流 和滨外砂锡矿为主^[1]。

苏门答腊岛海西期岩浆旋回以来的金属矿产

收稿日期:2013-05-21;修回日期:2013-08-10.

基金项目:国际合作研究项目《印尼中苏门答腊岛铜金等多金属矿产成矿规律研究》(科[2011]01-71-14)

第一作者:高小卫(1968—),男,高级工程师,长期从事地质矿产勘查与研究, E-mail:574006680@qq.com.

类型有:斑岩型 Cu-Mo 矿(唐塞矿床)、密西西比河 谷型(MVT)矿床(戴里铅-锌矿床)、花岗岩型锡矿 (锡岛)、火山喷气型 Au-Ag 矿 (格纽 Geuneu 矿 田)。最近开采的有:勒邦丹戴 (Lebong Tandai) Au-Ag 矿、曼加尼金矿、穆阿拉西邦基铅-锌矿,以 及一些新发现的矿产:花岗岩型南萨图 (Nam Satu) 锡矿和铅-锌矿、双溪伊萨汉(Sungei Isahen)锡矿、 哈塔邦 (Hatapang) 锡矿和火山喷气型马塔比 (Martabe)Au 矿等。

本文是中国 / 印尼国际合作研究项目的初步 成果,目的是综合该岛海西旋回以来的金属矿产在 岩浆旋回中的分布特征,初步揭示其时间和空间的 分布规律。研究结果表明,特定的岩浆旋回具有特 定的含矿性,显示海西期以来的板块运动对本区金 属成矿的控制作用。

根据不同的地层系统、沉积古地理、古生物地 理区系、岩浆旋回和构造运动特征可将该岛的晚古 生代板块构造划分为东苏门答腊地体和西苏门答 腊地体,前者为亲冈瓦纳地体,后者为亲华夏地体。 两者之间的界限为梅迪亚(中间)苏门答腊构造带 (MSTZ)。西苏门答腊地体的岩浆活动特征和金属 成矿的控制作用与东马来半岛相似,具有强烈的石 炭一二叠纪酸性岩浆侵入和基性火山活动,而东苏 门答腊地体的岩浆活动特征和金属成矿的控制作 用与冈瓦纳体系暹缅马苏地体相似^[24]。根据苏门答 腊岛的岩浆旋回(表1)及其含矿性,笔者将其成矿 期划分为海西期(C-P)、印支期(T-J₁)、燕山期(J₂-K) 和喜山期(E-N)^[35],并阐述了东苏门答腊地体和西 苏门答腊地体自海西期岩浆旋回以来金属矿产区 域分布特征及成矿规律。

1海西期成矿作用

苏门答腊岛晚古生代沉积盆地的古地理性质属 于板内裂陷槽。海西期矿床模式为密西西比型矿床。 见于东苏门答腊地体戴里铅锌矿田。勿里洞岛的晚 古生代变沉积岩和变火山岩是层控型铅-锌矿含矿 层位。戴里铅锌矿田位于多巴湖的西北部,含矿层位 为石炭系克鲁伊特组。该矿为块状 Pb-Zn 矿脉,1900 年开始小规模开采,采矿历史悠久。矿化层为一个穹 状构造,矿体长可追溯 5 km,含矿母岩为钙质页岩 和白云质粉砂岩。矿化作用是火山热液与沉积岩发 生交代作用的结果。Pb-Zn 资源储量为 710 万吨, 矿石品位为 Zu 16.67%, Pb 10.2% 和 Ag 13× 10⁶。 在该矿床之南的西苏门答腊地体上,还发现有海西 期砂卡岩型的 Ag、Cu、Pb 和 Zu 矿化,可能与实武 牙岩浆复合岩体侵入克鲁伊特组钙质层的活动有 关。实武牙花岗岩属于海西 – 印支早期的多期次酸 性岩浆侵入复合体 (Rb-Sr 等时线年龄和 K-Ar 法 同位素 年龄值为 264~257 Ma 和 219~206 Ma) ^[78]。2003 年以来,该岩体附近的马塔比金矿一直处 在勘探评价阶段。

海西期的层控型铅 – 锌矿化还见于勿里洞岛 克拉帕坎皮特(Kelapa Kampit)锡矿的南萨图露天 开采场,位于文冬 – 勿里洞加积复合体中。其含矿 层为遭受交代蚀变作用的变质沉积岩和火山岩层。 其资源储量至今为 2500 万吨,含有 Zn (品位 6.5%)、Pb(品位 4.0%)和 Ag(品位 60× 10⁶)。矿石类 型为块状细粒闪锌矿、方铅矿和黄铁矿、角砾状石英 脉矿和砂岩中浸染状闪锌矿和方铅矿。矿床成因可 有多种解释,可能与暹缅马苏(Sibumasu)地体与印 支地体在海西期发生板块同碰撞时在缝合线附近所 产生的火山喷气或和岩浆热液运移和渗透有关。

2印支期成矿作用

印支期苏门答腊群岛是东南亚锡矿带西南边 缘的一部分,有"锡岛"之称,形成一条北西一南东 向锡矿带,从西马来半岛向 SE 方向一直延伸至勿 里洞岛,属于东苏门答腊地体成矿带。另一条印支 期 S-型含锡花岗岩带 (K-Ar 法同位素年龄为 203 ~208 Ma)¹⁹位于北苏门答腊和中苏门答腊,包括梅 迪亚(中间)苏门答腊构造带(MSTZ)和西苏门答腊 地体。

印度尼西亚印支期成矿作用与东苏门答腊地 体和印支陆块发生碰撞后地壳的伸展减薄的有关, 主要是与后碰撞的含锡过铝花岗岩类(220~195 Ma)侵入,并伴生强烈的热液活动。也与东苏门答 腊地体与西苏门答腊地体之间的走滑拼接有成因 联系。

2.1 锡岛和北苏门答腊的锡矿带

印度尼西亚的有经济价值的锡矿产地大量见 于印支碰撞带内的廖内群岛至勿里洞岛(锡岛)一 带。锡岛花岗岩自北西方向的廖内群岛、新及岛起, 向南东方向延伸至班加岛和勿里洞岛,以S-型花 岗岩为主,与少数I-型花岗岩共存,主要矿床与碰

表1苏门答腊的岩浆构造旋回简表

Table 1 Magma tectonic cycles in Sumatra

齿回	п+ 40	同位素 西苏门答腊地体		>腊地体	东苏门答腊 地 体	
灰凹	时代	平政 (Ma)	侵入岩	火 山 岩	侵入岩	火 山 岩
	上新世~ 晚中新世	1.5~6	洛洛深成岩,双溪帕努 花 岗 岩 等 (11), 6.03 ~2.5 Ma	实武牙安戈拉组安山 岩,明古鲁玄武-安山 岩,古农巴都山岩等 (14),1.76~6.45 Ma		多巴湖闪长岩脉(1) 5.66 Ma
	中中新世	8~12	洛洛花岗闪长岩, 唐塞 英安闪长斑岩, 亚逸邦 义斯河花岗岩等(12), 13.1~7.9 Ma	阿勒姆组玄武岩,胡鲁 辛姆邦组玄武岩墙 组。。。等(4),8.74~ 11.2Ma		
喜	早中新世 晚期	14~22	洛洛花岗闪长岩,根特 乌特花岗闪长岩。。。。等 (6), 20.1~14.3 Ma	卡兰玄武-安山岩, 萨耶 恩火山岩组玄武岩, 派 南组安山-玄武岩, 胡鲁 辛姆邦组玄武岩-流纹 岩, 锡卡拉拉组橄榄安 粗岩 (38), 21.4 ~ 12.8 Ma		
Щ	早中新世~ 晚渐新世	24~30	(缺失)	派南组玄武-英安岩,打 巴端北的玄武。。。等 (4),23.7~37.3Ma		
期	早渐新世~ 晚始新世	30~35	亚逸邦义斯河花岗岩等 (2), 28.2~29.7Ma	打巴端玄武-安山岩, 兰 萨特村玄武岩, 泗纶康 组玄武岩等(3), 31.6 ~37.3Ma		
	中始新世 晚期	35~46	格莱塞乌肯复合岩体, 锡默卢岛蛇绿岩套的辉 长岩等(4),35.4~45.0 Ma	兰萨特组安山岩,丹戎 加兰橄榄粗玄岩,因达 伦组玄武岩,锡昆布组 安山岩等(5),41.1~ 45.8Ma		
	古新世	50~65	萨马杜阿(打巴端)花 岗岩,拉西花岗岩-辉长 岩,邦科岩基石英闪长 岩。。。等(34),47.2~ 63.7Ma	本塔洛火山凝灰岩-玄 武岩, 泗纶康组玄武岩- 辉长岩脉, 巴塘纳塔尔 闪长岩脉。。。.等(14), 49.5~63.7Ma		塔米昂 2-钻井凝灰岩 (1), 55Ma
燕	晚白垩世	75~120	加尔巴花岗岩-二长闪 长岩,古迈山闪长岩, 苏兰云英闪长岩-花岗 岩,拉西花岗岩,实武 牙花岗岩。。。等(34), 75~120Ma	卢布克帕鲁库凝灰岩, 古迈安山岩, 坦巴克巴 鲁火山岩组等(3), 105~75Ma	丹戎加当花岗岩,勿 里洞古农曼闪长岩; 哈塔邦花岗岩,帕莱 帕特花岗岩。。。。等 (5),88~120 Ma	帕莱帕特安山岩 (1), 75Ma
期	早白垩世~ 中侏罗世	121~175	卡尤马班花岗岩,麻拉 西邦基花岗岩,实武牙 花岗岩,苏利特河闪长 岩,邦科花岗岩和花岗 闪长岩。。。等(37), 180~121 Ma	泗纶康安山岩,古迈基 性火山岩,伦巴克安山 岩。。。等(3), 121~ 140 Ma	丹戎加当花岗岩,基 里花岗岩。。。等(6), 129 ~169Ma	帕兰基安山岩, 勿里 洞丹戎锡安图变质玄 武 岩。。。(2), 143~181 Ma
印 支 期	早侏罗世 早期~三叠 纪	183~246	劳劳多洛克侵入体 (P-T);实武牙花岗岩, 苏利特河闪长岩,麻拉 西邦基花岗岩。。。等 (22),246~183 Ma 梅迪亚构造带:双溪伊 萨汉花岗片麻岩,罗干 花岗岩。。。等(5),198 ~186Ma	泗纶康安山岩(1), 248 Ma	伊德利斯 1 钻井花岗 岩、贝鲁克微粒花岗 岩。。。等(4),203~ 208Ma: 宾坦花岗 岩。。。等(17), 229~193Ma	
海西 一 加里 东期	二叠纪~前 石炭世	256~427	辛卡拉克花岗岩,实武 牙花岗岩,锡朱琼花岗 岩。。。等(6),266~348 Ma	 泗纶康安山岩(中二叠 世地层)	班加勿里洋花岗岩, 寨提提钻井的花岗 岩,伊德利斯1钻井 的花岗岩。。。等(6), 276~427 Ma	

注:括号内的数值表示同位素年龄的个数

撞成因的过铝花岗岩有关,是印支造山运动期间岩 浆侵位的结果。这些过铝花岗岩与西马来半岛的中 央山脉花岗岩属于同一条 S-型花岗岩带。含锡花 岗岩类都是印支期陆 - 陆碰撞后地壳扩展拉伸和 岩浆侵位的结果。

班加岛的锡和钨矿产于云英岩中,以块状交代 矿床、细脉状或单脉状矿床产于帕马利矿区。该花 岗岩侵位年代为 211 Ma(Rb-Sr 等时线法同位素年 龄)^[10],在碰撞后的漫长地质历程中,缓慢冷却的岩 浆侵入体提供了形成锡矿的优越条件。

一般认为,锡在热液阶段中在运移成矿之前, 一直残留于溶液中。锡和锡矿化不同程度地与晚期 硫化物共生,矿化伴随有高温气成热液矿物(电气 石、萤石和黄玉)等。这些交代矿体、矿脉和细网脉 系统是以缺少磁铁矿和铁的硫化物为特征,形成于 花岗岩类的岩钟构造中。在勿里洞的南部,许多锡 矿床都呈脉状矿和席状脉产于变质沉积岩中。克拉 帕坎皮特锡矿的矿床形态十分特别,复杂的锡-硫 化物矿化表现为层控特征的"层状平行脉"和交错 的细脉。层控矿脉在其它许多矿区也可见及,包括 巴都伯西(Batu Besi)和色鲁马(Selumar)。这种情 况使许多学者误认为该矿化作用为同生成因。但 是,普遍认为是与花岗岩侵入有关的浅成热液交代 成因,甚至在矿层中还出现有矽卡岩成因组合矿物 特征(角闪石、辉石和石榴石),可能与矽卡岩有一 定的成因联系。

北苏门答腊和位于马六甲海峡的几个岛屿都 是由锡矿化的花岗岩和云英岩组成。贝哈拉 (Berhala)岛是砂锡矿和稀土矿产地,其海滩砂矿来 源于风化的矿化片麻状白云母花岗岩、云英岩和堇 青石 - 矽线石 - 接触变质角岩。北苏门答腊许多花 岗岩都埋藏于第三系沉积物之下。据德利斯一号钻 井井下的蚀变白云母花岗岩基的白云母 K-Ar 法年 龄为 208Ma(晚三叠世)¹⁹判断,锡矿化应为印支期 热液作用产物。

2.2 梅迪亚(中间)中央苏门答腊构造带(MSTZ)锡矿

梅迪亚(中间)苏门答腊构造带(MSTZ)是西苏 门答腊地体与暹缅马苏地体之间的印支期走滑和 拼结缝合带。其成矿作用与含锡花岗岩基有关,与 马来半岛的中央山脉花岗岩带一样,都是与过铝花 岗岩类侵入的有关。蒂加普卢山(Tigahpuluh)锡矿 田的原生锡矿和砂锡矿来源于侵位于 MSTZ 带之 东侧的打巴奴里(Tapanuli)群变沉积岩。双溪伊萨 汉岩钟上的含锡石云英岩的白云母 K-Ar 法同位素 年龄为 197~193Ma^[11](属于印支晚期 T₃-J₁ 岩浆旋 回)。蒂加普卢山和双溪伊萨汉是寻找小型砂锡矿 和小型原生金矿的远景区。

罗干含锡花岗岩的黑云母 K-Ar 法同位素年龄 为 186~189 Ma^[12](属于印支晚期 T₃ - J₁ 岩浆旋 回),皆为印支末期侵入体。MSTZ 带上苏门答腊断 裂以西阿拉斯剖面的二叠 - 三叠纪花岗岩基为交 代岩钟,是走滑断层活动期侵入的产物。片状黑云 母 - 白云母花岗岩基是凯斯河(Kais)矿田河流砂锡 矿的原生矿源区。该构造带的成矿作用时代应归属 于印支运动晚期。

2.3 西苏门答腊地体的斑岩铜金矿化和锡矿化

西苏门答腊地体的印支期侵入岩与印支陆块 相同,属于岛弧型 I-型花岗岩带^[2]。巴东 - 明古鲁地 区位于西苏门答腊地体中部,长期以来是普查找矿 的重要靶区^[13]。其中,巴东以东的辛卡拉克矿田的 斑岩型铜和贵金属与锡朱琼花岗岩、苏利特河 (Sulit Air)岩体、拉西花岗岩和蚀变的辛卡拉克(翁 比林)花岗岩类有关。后者为多期次的复合侵入体, 既有海西期 Rb-Sr 法和 K-Ar 法同位素年龄 287 ~ 256 Ma^[14-15],也有印支晚期(T₃-J₁)K-Ar 法同位素年 龄 246~206 Ma^[15-16]。

辛卡拉克矿田是一条呈北西-南东向展布的 狭长多金属成矿带,其分布范围北起自帕亚孔布, 向南东经辛卡拉克湖、索洛克(Solok)、南索洛克的 巴东加罗(Padangaro)至双溪帕努,主要矿床包括 辛卡拉克贱金属矿、迪亚塔斯湖贱金属矿、巴吉布 拉特金矿、萨立达(Salida)金矿、廷布兰(Timbulan) 铜矿。这是一条 NW-NE 向分布的 Cu-Au(Ag)-Pb (Zn)-Cr-Co(Ni)地球化学异常带。矿区铜矿化类型 包括斑岩型、砂卡岩型、石英脉型(低温热液交代)。 矿床成因可能与侵入活动以及苏门答腊大断裂带 和东巴厘散断裂带(EBFZ)热溶液活动有关。

西苏门答腊地体印支期锡矿与东马来半岛一 样不发育。在实武牙花岗岩(206 Ma)岩基^{IB}内只有 少量的锡矿化。

3 燕山期成矿作用

燕山期沃伊拉群(中侏罗 – 白垩纪)是推覆在 巽他古大陆边缘西苏门答腊地体之上的一个大推 覆体(图 3),其岩石组合显示其古地理面貌为大陆

303

边缘上的火山弧 - 洋壳 - 洋岛的综合加积体。据笔 者研究,该火山岩群以大陆初始裂谷型为主,其次 为陆缘火山弧和大洋板内(图 4)^[2]。故此,沃伊拉群 代表燕山早期(中侏罗世)从巽他古大陆边缘分裂 而成的夭折裂谷深海湾沉积地层,于燕山晚期(晚 白垩世)裂谷又重新闭合并加积在西苏门答腊地体 边缘的弧 - 陆碰撞体。燕山期成矿作用是受陆缘弧 和夭折裂谷形成以及古裂谷闭合过程的控制。

3.1 燕山早期(J2-K1)火山弧铜-金矿

(1)中苏门答腊的贵金属和铜 - 钼矿

中苏门答腊只发现有少数的中侏罗 - 早白垩 世的矿化侵入体。穆拉西帮基贵金属和铜矿床是岩 基在 158 Ma 侵位时形成的矽卡岩和浸染型矿化的 结果。在邦科矿群之北有低品位的达努拉努克拉扬 (Danau Ranau Kelayang)Cu-Mo 矿化,产于邦科岩 基的蚀变岩石中,其 K-Ar 法同位素年龄为 169~ 129 Ma(中侏罗 - 早白垩世)^[17]。

(2)沃伊拉群及其加积复合体 Au-Ag, Pb-Zn 矿

南苏门答腊的沃伊拉群及其加积复合体成矿 作用与燕山早期巽他古陆边缘古裂谷的海底扩张, 以及洋壳俯冲、洋岛与大陆之间的碰撞引发的超基 性岩活动和火山-热水作用有关。

燕山早期古裂谷中喷气硫化物矿化的例子见 于根特乌特(Geunteut)矿群(图 1),矿化产于本打洛 火山岩组镁铁质熔岩中。而打巴端火山岩组中的层 状含赤铁矿-磁铁矿岩石是火山喷气成因的含金 块状磁铁矿和硫化物的潜在矿产资源,形成于打巴 端矿群和巴巴洛矿群,为砂金矿的来源。纳塔尔河 的砂金来源于晚白垩世侵入体与沃伊拉变沉积岩 接触带上的矽卡岩矿床。冲积砂金和含铬矿物则来 源于帕萨马(Pasaman)蛇绿岩体(即为沃伊拉群海 台)。卢布加当附近的古帕河 Pb-Zn 矿产于沃伊拉 群灰岩中的蛇纹石化巨砾岩中(大多数巨蛇纹石化 砾块来源于邻近的蛇纹石化方辉橄榄岩)。这里的 Pb-Zn-Mn 矿化可能是热水沉积型的含锰金属矿 层,形成于深海环境,与代表海台构造的方辉橄榄 岩(洋壳)一起整合地叠置于沃伊拉群灰岩之上。

3.2 燕山晚期(晚白垩世)岩浆弧(Sn, Au-Ag)矿化

西苏门答腊地体的本塔洛 - 萨洋岛弧复合体 在中白垩世与巽他古陆发生碰撞,整个苏门答腊岛 的俯冲系统在晚白垩世以后发生了根本性的变化。 由于洋岛弧逆冲在巽他古陆之上,使沃伊拉群矿化 作用产生了重大的变化,变成与火山弧的活动有 关。例如,北苏门答腊的锡库莱金矿与本塔洛洋岛 弧的礁灰岩上的砂卡岩有密切的成因联系,是由较 年轻的锡库莱岩基(K-Ar 法同位素年龄平均 98 Ma)^[18]侵位而形成的。





Fig. 1 Sumatra Yanshanian period (Middle Jurassic - Cretaceous) mineralization

物产于曼努加尔(Manunggal)岩基与沃伊拉群的接触带上,该侵入体形成时间的为 87 Ma(K-Ar 法同 位素年龄)^[19]。

中苏门答腊的晚白垩世锡矿与哈塔邦花岗岩侵 入有密切关系。该花岗岩为板内 A- 型和 S- 型深熔 花岗岩共生(Rb-Sr 等时线法同位素年龄 80 Ma)^[29]。

南苏门答腊加巴矿群的锡石和独居石砂矿来 源于加巴岩基燕山晚期的火山岩钟上的片麻岩和 伟晶岩。该岩基是由早白垩世闪长岩相(K-Ar 法同 位素年龄 117~115Ma)^[17] 和晚白垩世花岗岩(K-Ar 法同位素年龄 86~80 Ma)^[17,21]组成。Sepuit 矿群至 加巴山东南一带的砂锡矿来源于较年轻的白云母 花岗岩,其原生锡矿是帕丁(Padean)侵入体(K-Ar 法同位素年龄 85 Ma)^[17]相分异的产物。

4 喜山期成矿作用

喜山期苏门答腊岛的古地理面貌和古构造性质 发生了根本改变,形成了 NW-SE 向的苏门答腊-巴厘散大断裂。强烈的火山-侵入岩沿着该大断裂 分布,控制了此期的有色金属和贵金属的成矿作用。 4.1 喜山早期

1)古新世岩浆孤 Cu, Au-Ag 成矿

在南苏门答腊的拉瓦斯矿群中的小规模硫化物矿化点产于武吉拉贾花岗岩(K-Ar法同位素年龄 54Ma)^[22] 与沃伊拉群变质沉积岩的接触带和浸染带上,为喜山早期成矿的产物。拉瓦斯矿群的砂金矿与古新世侵入体成矿物质的风化剥蚀有关。位于其东南方向的双溪图波为含铜和贵金属的矽卡岩矿床(矿石储量为 176 万吨),形成于石英二长岩(K-Ar 法同位素年龄 40 Ma)^[22]的接触带上。

2) 晚始新 - 早中新世岩浆弧成矿

喜山早期与新近纪火山弧有关的矿化作用不 发育。只见于班达亚齐 NW 的布勒韦 (Breueh)矿 群。其浸染状硫化物和含矿石英脉与浅成的闪长岩 体(K-Ar 法同位素年龄 19 Ma)^[18]有成因联系。

4.2 喜山晚期

1)中新 - 上新世岩浆弧(斑岩 Cu, Mo)成矿

新近纪中新 - 上新世 Cu-Mo 矿化与斑状闪长 岩和花岗岩侵人体有关,广乏分布于巴厘散山(属 于西苏门答腊地体),但品位很低。斑岩型矿化与苏 门答腊断裂系统的活动有密切的成因联系。

北苏门答腊的唐塞斑岩型 Cu-Mo 矿发现于

1978年。Cu-Mo 矿化产于苏门答腊断裂系统中的 多期次斑岩侵入体中,例如始新世的格莱瑟科乌姆 (Gle Seukeun)岩浆复合体。其地球化学特征以低的 Rb、Nb、Th(<4μg/g)和低的 Sr 初始同位素比值 (⁸⁷Sr/⁸⁸Sr);=0.70423~0.70453 为特征,显示它们是 代表着与洋壳俯冲有关的地幔源钙碱性岩套。 K-Ar 法年龄表明多期次的唐塞深成岩体是古近纪 中始新世的产物,矿化岩株、网脉的成矿时代和晚 期岩墙侵入时代是新近纪晚中新世,可能比洛洛岩 基的砂卡岩矿化的 K-Ar 法同位素年龄大约为 15 Ma^[23]更为年轻。唐塞矿床为中型矿床。铜、钼(锌、 铅)矿石总储量为6亿吨(铜品位 0.15%),Mo 的含 量极小。与此相反,其金的含量相当高 [Au 品位 (0.17~0.38)× 10⁶]。

杜孙(Dusun)矿群的其它矿点则与小型侵入的 闪长岩-云英闪长斑岩有关。

2)新近纪岩浆弧 Au-Ag 成矿

沿着苏门答腊断裂系统,可以将喜山晚期(新 近纪)岩浆弧 Au-Ag成矿分布带分成两条互相平 行的次成矿带:一条是分布在萨立达(Sadida)至 哥 打阿贡(Kotaagung)的联线上,称为外金矿带(断层 的两侧);另一条分布在曼加尼和丹绒加兰(Tanjungkarang)联线上,称为内金矿带(断层的东侧) (图 2)。北苏门答腊只发现三个喜山晚期的 Au-Ag 矿点(马塔比、米瓦和梅卢阿克)。

目前,关于新近纪 Au 矿化的地质时代、规模、 品位和物质来源等都不是十分清楚。其中,勒邦多 诺克(Lebong Donok)金矿的成矿时代(K-Ar 法同 位素年龄 1.2~1.3 Ma)很有特色,与爪哇芝洛坦 浅成热液系统中冰长石的 K-Ar 法同位素年龄 1.7 Ma 相近。很显然,苏门答腊金矿化大多数发生 于同位素年龄 3~5 Ma(上新世)以后,这个成矿时 代正好是发生在菲律宾岛弧与欧亚大陆板块变生 碰撞的时间间隔内^[6]。同时,也与东南亚巽他古陆上 的一些特大型和大型斑岩 - 浅成热液金矿的成矿 年龄相一致,例如与几内亚岛上的格拉斯贝格斑岩 型铜 - 金矿成矿年龄(3 Ma)一致。潘古纳斑岩型金 - 银成矿的同位素年龄年龄(1.6~3.4 Ma)为上新 世,而奥克太迪砂卡岩型铜 - 金矿成矿的同位素年 龄更为年轻(1.1 Ma,更新世)^[24]。

新近纪金矿床产于沉积岩中,属于层控矿床类型,见于北苏门答腊的阿邦(Abong)和锡哈约(Si hayo)矿床。阿邦金矿床由 NW 向的泥岩/黑色岩

i.



图2 苏门答腊新近纪金矿成矿作用^[1] Fig. 2 Sumatra Neogene gold mineralization

组成,产于灰岩层之下,长 200m,宽 450m。含金地 层属于 Bampo 组(上渐新世至中中新世)安山质火 山岩呈互层状,是一条不规则含矿带。含金岩石产 于接近灰岩顶板,为层状碧玉和硅质页岩/粉砂岩, 平均厚度 9m,显示发育程度不等的角砾状构造。其 胶结物包括块状结晶石英、胶状石英、鸡冠花状石 英和伊利石。金矿化与银矿共生(Ag>680× 10⁶), 伴随着 As(>6%)、Sb 和 Hg 异常。

最近的勘探结果表明,锡哈约矿化带长度1 km,宽450m,金金属储量17吨。金矿化为硅质角 砾岩,产于二叠纪灰岩顶部和见于凝灰质粉砂岩的 夹层中,黑色硅质(碧玉)蚀变交代角砾的基质胶结 成分。硫化物含量为1%~2%,局部超过10%,主要 硫化物为黄铁矿,其次为毒砂和辉锑矿。矿化与侵 入体中心区域有关,而不是属于厚层沉积序列中变 质脱水的卡林型。

喜山晚期(新近纪)层控型的 Au 矿的矿石类 型可分为低硫型和高硫型两类。南苏门答腊新近纪 金成矿带的浅成贵金属矿为低硫型,以石英脉型为 代表。北苏门答腊金矿带为高硫型。

第一类低硫型金矿为高品位的金矿,见于南苏 门答腊。在勒邦多诺克和萨立达,该类型都产于沉 积岩和火山岩的交界接触面上,其矿体的形成过程 是由断层界面反复打开、闭合和热液充填的结果。因此,其矿床成因实际上是与含矿流体经历了长距 离的横向流动有关。这些矿体都产于含有低温钙沸 石的石英脉中,意味着原始含矿热液经历了强烈横 向扩张流动过程,再经过脱气、沉淀的地方。

第二类为高硫型金矿床,见于北苏门答腊的马 塔比。该矿床系统产于火山岩和沉积岩系(古生物 确定的地质年龄为 18~20 Ma)^[23],中苏门答腊断 层的系统的张性断层中。其中最有意义的是普马马 (Pumama)矿床,其金属储量为 1.049 吨金和 13.04 吨银,为苏门答腊岛上最大的金矿银床。它沿着一 个火山侵入通道分布于沉积 - 火山地层单元的分 界层状面上。由于喜山晚期发生多期次的酸性淋滤 热液蚀变事件,使其产生了大体积的板状晶洞和块 状硅质成分。该矿化带长 1.2~1 km,富矿体为块状 硫砷铜矿。高硫酸盐蚀变矿化为该矿床类型不寻常 的特征,其蚀变顺序是:酸性硫化物蚀变 - 低硫酸 盐脉 - 高硫酸盐脉。

苏门答腊新近纪矿化范围总体方向呈线状分 布,形成 NW-SE 向的"新近纪金矿轴"。另一条次要 的金矿分布方向为呈不太明显的东西向的火山-构造线。

总之,新近纪含矿岩浆侵入体位置的迁移和与

苏门答腊岛上地体的平移运动和苏门答腊大断裂 系统的活动有关。但归根结底,都是由印度 – 澳大 利亚洋壳斜向俯冲于苏门答腊岛之下引起的(俯冲 速度为 7cm/年)。

5 结论

苏门答腊岛的晚古生代的板块构造划可分为 东苏门答腊地体(亲冈瓦纳地体)和西苏门答腊地 体(亲华夏地体)。两个地体在不同构造旋回中形成 不同岩浆旋回:前者为 S-型含锡花岗岩,后者为岛 弧型 I-型花岗岩,是不同金属矿产类型成矿作用 的根本原因。

(1)海西期层控型铅锌矿床可能是与东苏门答 腊地体向印支地体俯冲时板内拉伸形成的岩浆热 液成矿作用有关;而西苏门答腊地体上的海西期砂 卡岩型矿床与岛弧型花岗岩侵入有关。

(2)印支期成矿作用主要与东苏门答腊地体与 印支地体碰撞后的 S-型过铝含锡花岗岩类侵入有 关,也与东苏门答腊地体与西苏门答腊地体之间的 走滑拼接和深大断裂活动有关。

(3)燕山早期成矿是陆缘夭折古裂谷和岛弧环 境的火山喷气硫化物矿化的作用,燕山晚期成矿 与巽他古陆发生弧 - 陆碰撞时形成的火山弧的岩 浆侵入和喷发有关。

(4)喜山期(古近纪和新近纪)是苏门答腊 – 巴 厘散断裂系统形成的时期,其火山岩浆弧的活动形 成了斑岩型 Cu、Mo- 浅成热液金矿。

参考文献:

- [1] Crow M J, van Leeuwen T M. Metallic mineral deposits [M].// Barker A J, Crow M J and Milson J S (eds). Sumatra: Geology, Resources and Tectonics. Geological Society, London, Memoir, 2005,31:147 174.
- [2]高小卫,杨振强,吴秀荣.苏门答腊(印度尼西亚)火山岩的地层时代及其中、新生代地球化学-构造环境判别[J]. 华南地质与矿产,2012,28(2):107-113.
- [3]高小卫,杨振强,吴秀荣.初论苏门答腊(印尼)的岩浆旋回及其板块构造背景[J].华南地质与矿产,2013,29(4): 259-270.
- [4] Hutchison C S. Gondwana and Cathaysian blocks, Palaeotethys sutures and Cenozoic tectonics in Southeast Asia[J]. Geologische Rundschau, 1994, 83(2):388 – 405.

[5]高小卫,杨振强,吴秀荣.苏门答腊岛(印尼)两类地体划

分及其区域成矿背景[J]. 地质通报,(待刊).

- [6] Barley M E, Rak P, Wyman D. Tectonic controls on magmatic-hydrothemal gold mineralization in the magmatic of SE Asia [M]. // Blundell D J, Neubauer F and von Quadt A (eds). The Timing and Location of Major Deposits in a Evolving Orogen. Geological society, London, Special Publication, 2002, 204:39 - 47.
- [7] Aspden J K, Katawa W, Aldiss D T, et al.. The geology of the Padangsidempuan and Sibolga Quadrangle (0617 and 0717), Sumatra, Scale 1:250 000 [M]. Geological Survey of Indonesia, Directorate of Mineral Resources, Geological Research and Development Centre, Bandung, 1982.
- [8] Fontaine H, Gafoer S (eds). The Pre-Tertiary Fossils of Sumatra and their Environment [M]. Fontaine H, Gafoer S, (Eds.). CCOP Technical Paper, United Nations, Bangkok, 1989.
- [9] Koning T, Damono, 1985. The geology of the Beruk Northeast Field, Central Sumatra: Oil production from Pre-Tertiary basement rocks [M]. // production of the Indonesian Petroleum Association, 13th Annual Convention Jakarta, 1984: 385 - 406.
- [10] Schwartz M O, Surjono. The Pemali tin deposit, Bangka, Indonesia[J]. Mineralum Deposita, 1991, 26: 18-25.
- [11] Schwartz M. Tin-Bearing and Tin-Barren Granites, Primary Tin Mineralization in Indonesia [M]. Bundesanstalt fur Geowissenschaften und Rohastoffe, Hannover, 1987:1-15.
- [12] Rock N M S, Aldiss D T, Aspden J A, Clarke M C G, Djunuddin A, Kartawa W, Miswar S J, Thompson R, dan Whandoyo R. The Geology of the Lubuk Sikaping Quadrangle (0716) Sumatra, scale 1:250 000 [J]. Geological Research and Development Centre, Bandung. 1983.
- [13]朱章显,杨振强,胡鹏.苏门答腊岛(印尼)巴东地区含矿 火山岩的地球化学特征 [J].吉林大学学报(地球科学 版),2013,(待刊).
- [14] Hahn L, Weber H S. The Structure system of West Central Sumatra [J].Geologisches Iahrbuch, 1981, B47:21 - 39.
- [15] Silitonga P H & Kasowa D, 1975. The geological map of the Solok Quadrangle (5/VIII), Sumatra, Scale 1:250 000 [M]. Geological Survey of Indonesia, Ministry of Mines, Bandung.
- [16] Sato K. K-Ar ages of granitoids in Central Sumatra, Indonesia[J]. Bulletin Geological Survey of Japan, 1991, 42:111 181.
- [17] McCourt W J, Cobbing E J. The Geochemistry, geochronology and tectonic setting of granitoid rocks from southern Sumatra, Indonesia [R]. Southern Sumatra Geological and and Mineral Exploration Project. Project Report Series, No.
 9. Directorate of Mineral Resources/ Geological Research and Development Centre, Bandung, Indonesia, 1993.
- [18] Bennett J D, Bridge D Mc C, Cameron N R. The geology of the Calang Quadrangle Sumatra(1:250 000)[R]. Geological Research and Development Centre, Bandung, 1981.

- [19] Kanao N et al. Summary Report on the the Survey of Sumatra, Block No. 5 [J]. Bull. N. I. G. M., 1971, 2: 29-31.
- [20] Clarke M C G, Beddoe-Stephens B. Geochemistry, mineralogy and plate-tectonic setting of a Late Cretaceous Sn-W Granite from Sumatra, Indonesia[J]. Mineralogical Magazine, 1987, 51:371 - 387.
- [21] Pulungono A S, Agus Haryo, Kosuma C G. Pre-Tertiary and Tertiary fault system as a framework of the South Sumatra Basin:a Study of SAR-map [M].// Indonesian Petroleum Association, Proceedings of the 21st Annul Convention Jakarta,1992, 1: 338-360.
- [22] JICA. Report on the cooperative mineral exploration of

Sumatra, Consolidated Report [R]. Japan International Cooperation Agency, Metal Mining Agency of Japan, February 1987.

- [23] Imtihanah. Isotopic dating of igneous of the Sumatra Fault System [D]. M. Phil thesis, London University, 2000.
- [24] 姚华舟,朱章显,韦延光,杨振强,吴健辉.巽他群岛-新 几内亚岛地区地质与矿产[M].北京:地质出版社,2011: 1-277.
- [25] Levet B, Jones M L and Sutopo B.The Martabe gold project, Sumatra, Indunesia [C].// Paper presented at SMEDG-AIG Symposium 2003, Asian update on mineral exploration and development,Sydney,10 October 2003.

《华南地质与矿产》参考文献著录格式

本刊按引用文献在正文中出现的先后顺序连续编码,以阿拉伯数字排序,并用方括号标注。引用格式举例:"花岗岩成矿问题研究近年来取得了不少进展^[1,22-27]。""高山和金振民^[1]最早将'拆沉作用'的概念引入国内。""原始地幔数据引自文献[26]。"

文后参考文献著录格式如下:

1 普通图书

[序号](顶格,下同)作者(全部列出).书名[M]. 版次(第1版不写).出版地:出版者,出版年:起止页 码.例如:

[1] 史明魁,傅必勤,靳西祥,周雪昌.湘中锑矿
[M]. 长沙:湖南科学技术出版社,1993: 56-67.

2 普通图书、会议论文集等中析出的文献

[序号]作者(全部列出).题名[文献类型标识]//原文献编者(全部列出).原文献题名.版次 (第1版不写).出版地:出版者,出版年:起止页码.例如:

[1] 陈丕基,万晓樵,曹流,等.中国陆相白垩系富 饶阶研究进展[M]// 王泽九,黄枝高.中国主 要断代地层建阶研究报告(2001-2005).北 京:地质出版社,2008:65-73.

3 连续出版物中析出的文献

[序号] 论文作者(全部列出).题名[J].连续出版

物名,出版年,卷号(期号):起止页码.例如:

[1] 李献华.扬子地块南苑四堡群 Sm-Nd 同位素体 系及其地壳演化意义[J].地质科学,1996,31(3): 218-228.

4 学位论文

[序号]作者. 题名[D].保存地点:保存单位,年份. 例如:

- [1] 刘锐.华夏地块前海西期地壳深熔作用[D]. 武汉:中国地质大学(武汉),2009:65-69.
- 5参考文献类型及其标识

文献类型	类型标识
普通图书	М
会议论文集	С
报纸文章	N
期刊文章	J
学位论文	D
报告	R
汇编	G
档 案	В
标准	S
专利	Р
参考工具	K
其 他	Z