



菲律宾铜、铝、磷矿产资源概况

铜矿资源 在《矿床地质》2012年第6期中“周边国家矿产资源简介”刊登的《菲律宾有色金属矿产概况》,已阐述了铜矿资源的区域成矿规律及其各种类型矿床的产出分布特征,现将其典型(主要)的矿床实例介绍如下。

阿特拉斯(Atlas)铜矿床 位于菲律宾中部宿务岛的 Toledo,是菲律宾生成最早的白垩纪斑岩型铜矿床。该矿床于1955年开始规模生产,至1982年已产出铜金属170万吨,金29吨,银169吨,辉钼矿70吨,铁矿石81万吨。1981年曾估算含铜品位0.45%的铜矿石约942亿吨。矿区范围内最老地层为上白垩统 Pandan 组,主要为暗色区域变质细碧岩和玄武岩,具枕状和流纹状条带构造,有时夹凝灰岩和玄武岩碎屑。Lutopan 闪长斑岩侵入到 Pandan 组中,据 K-Ar 和 Rb-Sr 同位素数据,其侵位时间是早白垩世晚期。岩体出露宽约200 m,延深可达460 m,呈蘑菇状。岩性主要为黑云母角闪闪长斑岩,但其中的黑云母和角闪石分布不均,出现贫云母富角闪石和富云母2个变种。矿区最新地层是新近纪 Naga 组,主要为砂岩、灰岩、页岩夹砾岩透镜体和煤层,不整合覆盖在上述地层与岩体之上。矿区受北、南2条 N—NE 向的北 Barot 和 Cantabaco 断裂控制,构成宽3660 m地垒构造,NE向和NW向次级断裂发育。矿区内至少发现2处爆破角砾岩筒, Bige Barot 角砾岩筒于 NNE 向和 ENE 向2组次级断裂交叉处,直径约120 m,角砾主要由1~3 cm 角状闪长岩组成,其自地表向下延深达3000 m。矿区与矿化有关的围岩蚀变具有分带现象,其中闪长岩具明显绢云母化,局部有黑云母化,近矿围岩为绿帘石化、蒙脱石化、高岭石化和叶蜡石化,远矿围岩为青磐岩化。成矿后的石膏化以脉状充填在矿体与围岩裂隙中。该矿床有3个矿体, Lutopan 矿体在矿区偏西南方向,产出在蘑菇状黑云闪长斑岩体的“手把”部位。硫化物呈浸染状分布在闪长斑岩中,通常交代镁铁质矿物。若按 $\omega(\text{Cu})$ 为0.3%的边界品位圈定,矿化在斑岩体中延伸了120 m,然后进入围岩变质火山岩中并继续沿走向延伸900 m。Bige Barot 矿体位于矿区中部,走向与该区 NNE 向北 Barot 断裂一致,长约1500 m,宽450 m,主要产出在爆破角砾岩筒周围的黑云母角闪闪长斑岩中,其次在角砾岩筒中。前者石英-硫化物多呈细脉-浸染状分布,后者石英-硫化物作为角砾岩充填胶结物。另一个矿体——Carmen 矿体在矿区中西部,规模较小。该区矿石矿物以黄铜矿和黄铁矿为主,其次为斑铜矿,少量辉钼矿、磁铁矿及痕量金、银。矿石矿物在空间分布有一定规律。在 Lutopan 矿体上盘硫化物占岩石组分的10%,而下盘降至1.5%,相应的黄铁矿与黄铜矿比例从5:1降至0.5:1。Bige Barot 矿体磁铁矿高达5%,并含少量镜铁矿与赤铁矿。磁铁矿在变质火山岩和低品位矿段中多呈浸染状,而在硅化或高品位铜矿段中呈细脉状产出。辉钼矿通常与粗粒黄铁矿、黄铜矿共生。金与银非常细小,主要在精矿熔炼时回收。地表发育次生的孔雀石、铜蓝、蓝铜矿和赤铜矿,多呈薄模状产出,而褐铁矿和赤铁矿多呈薄层覆于裂隙表面。

锡佩莱(Sipalay)铜矿床 分布于菲律宾中部内格罗斯岛西南,是菲律宾规模较大的古近纪斑岩型铜矿床之一,发现于1936年,1957年开始生产,至1982年生产铜金属45万吨,银79吨,金2吨,辉钼矿968吨。1981年,估算该矿床品位按 $\omega(\text{Cu})$ 0.5%、 $\omega(\text{Mo})$ 0.1%的矿石有6亿吨。该矿区内中、东部出露地层为白垩纪变质安山岩及其火山碎屑岩,西部主要为上中新统砾岩、钙质砂岩、碳酸盐岩和页岩,此外还零星出露上新统珊瑚灰岩。古新纪侵入岩自矿区东北向西南方向侵入于白垩纪变质火山岩中,其出露长4.5 km,宽1.0 km,走向 N—NE,主要岩性为黑云母石英闪长岩、角闪石英闪长斑岩和石英斑岩,侵位时间为始新世至渐新世。在侵入体西北部发育角砾-砾石脉岩,呈近似环形,直径约250 m,砾石成分主要是安山岩和细碧岩,大小在1~15 cm,胶结物为石英,局部为铁和铜硫化物。该矿床有3个矿体, Binulig 矿体和 Cansibi 矿体于侵入体南端,成矿特点也比较相似。矿体产出在压扭性断裂交汇处,其附近断层泥与角砾岩发育。金属硫化物

呈浸染状均匀地分布在石英闪长斑岩体及接触带附近变质火山岩中。岩体中主要遭受硅化和绢云母化,接触带上主要为绿泥石化。石膏-硬石膏化发育,常以纤维状于裂隙面上或呈不规则直立透镜体产出,在 Cansibi 矿体中构成一条宽几厘米至 10 m 的带。矿化强度通常与断裂发育以及硅化程度具有明显关系。矿石矿物成分主要为黄铜矿、斑铜矿、辉铜矿、辉钼矿、硫砷铜矿等,通常上部以黄铜矿和斑铜矿为主,中部为黄铜矿、斑铜矿、铜蓝、辉铜矿混合,下部以斑铜矿为主。Baclao 矿体在岩体西北侧,与上述 2 个矿体基本相似,但它具有矿化的角砾-砾岩脉,脉中含黄铜矿、斑铜矿、辉钼矿和黄铁矿,矿体呈细脉状、小透镜体或扁透镜体状。

斯托 托马斯 II (Sto Tomas II) 铜矿床 位于北吕宋岛西岸碧瑶市南,是菲律宾最大的铜金生产地之一。该矿床为新近纪斑岩型铜矿床,发现于 1955 年,1958 年投产,至 1982 年已生产了 38 万吨铜、55 吨金、63 吨银和 37 万吨铁矿石。预计仍有 $\omega(\text{Cu}) 0.32\%$ 的矿石量 2.0 亿吨。矿区中部出露主要为古近纪变质安山岩与玄武岩,西部主要为新近纪凝灰岩和砾岩。东部被 Agno 岩基侵位。在矿区中部侵入岩较发育,岩体侵位时期为新近纪,大体有 3 个侵入期次,首先是石英闪长斑岩呈岩筒状侵入于变质火山岩中,随后安山玢岩侵入闪长斑岩中,最后是英安质至玄武质脉岩切割了上述地层与岩体。矿区内有 3 条 W—NW 向断裂,呈扫帚状分布。受断裂构造影响,放射状断裂较发育,其走向几乎直交于闪长岩体,并在一些岩体与围岩接触处可见到角砾岩或角砾岩柱。矿区内热液蚀变广泛,主要有硅化、黑云母化、绢云母化、青磐岩化、黄铁矿化、硫酸盐化。硅化呈网脉状、脉状和石英晶洞出现在岩体与围岩中。黑云母化主要发生于变质火山岩中。青磐岩化多出现在离矿体 500 m 以远的地区。黄铁矿化多呈浸染状或脉状产出。在矿体下部层位脉状石膏-硬石膏发育,并与石英密切共生。矿化作用主要沿着石英闪长斑岩及其接触带围岩发育,呈浸染状产出。矿体为陡倾斜筒状,在平面上呈卵圆形,最大直径近 500 m。矿化受接触带构造的控制,上部强烈破裂的围岩比深部致密块状的矿化强烈,铜品位与石英网脉和裂隙充填脉发育密切相关。矿石矿物有黄铜矿、斑铜矿、磁铁矿、金和银矿物。黄铜矿为主要矿石矿物,以细脉、浸染状产出,有时与斑铜矿共生,磁铁矿常与黄铜矿紧密在一起,金呈粗粒明金产出。

苏拉特 (Sulat) 铜矿床 在菲律宾东部萨马岛中东部。该矿床发现于 1956 年,随后立即进行勘查,1981 年估算块段矿石储量为 3250 万吨,平均 $\omega(\text{Cu}) 0.61\%$, $\omega(\text{Au}) 0.62 \text{ g/t}$, $\omega(\text{Ag}) 21 \text{ g/t}$ 。该区基底为白垩系,其下部为页岩和砂岩,夹灰岩与红色锰质泥岩;上部为集块岩和熔岩。白垩系被中新统不整合覆盖,后者下部为玄武岩及其凝灰岩和集块岩;上部为英安岩及其集块岩和凝灰岩,夹泥岩、灰岩和砂岩。中新统下部岩层基本没有蚀变,而上部岩层受强烈的热液蚀变。上新统主要为砾岩、砂岩、页岩和煤层,与中新统呈平行不整合关系。矿化作用主要发生在中新统上部英安岩中,从 Lonoy 矿区揭露出的剖面表明,矿化作用层次比较分明,自上而下为:

(1) 由黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、闪锌矿和方铅矿组成的条带状矿石,构成透镜状矿体,呈水平层状分布。

(2) 由黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、闪锌矿、方铅矿与白色黏土、石英充填并胶结了英安岩角砾,形成不规则状矿体。

(3) 金属硫化物呈网脉状充填和浸染状分布,构成产状较陡的脉状矿体。

(4) 浸染状贱金属硫化物在英安质火山岩中交代黄铁矿,构成了面型浸染状矿化体。该矿床属于黑矿型,相邻的 Bagacay 矿床与其产出特点基本相似,但底部网脉状矿化中重晶石脉较发育。

巴洛 (Barlo) 铜矿床 位于吕宋岛西部三描礼士山东北隅的斑玢省。该矿于 1962 年开始生产并延续至 1981 年,据统计,1966 年至 1981 年生产了铜金属 379 吨,金 186 kg,银近 8 吨。1981 年关闭时仍有 Cu 平均品位 1.35% 的矿石量近 32 万吨。该矿区出露地层为白垩纪—古新世厚层火山岩,由玄武岩、细碧岩、石英角斑岩组成,石英角斑岩在底部,局部经变质具绿片岩特征;玄武岩、枕状熔岩与玄武质角砾岩、燧石岩呈互层状产出,广布矿区。玄武岩和枕状熔岩中逆冲断层和陡倾斜断层发育,并有一俗称为“角砾-断层泥带”,其中含碧玉结核和圆形围岩碎屑,已强烈泥化。该区矿化作用几乎与“角砾-断层泥带”相伴,其中直径在 10 ~ 50 m、平均 $\omega(\text{Cu}) 8\%$ 和含 $\omega(\text{Zn}) 6\%$ 的高品位小矿体大约 20 个,均呈不规则透镜状产出,其底面弯曲变化相对比顶面小,这些矿体群断续延伸可达 450 m。高品位小矿体周围的矿石品位较低。矿石为块状,细粒

结构,基本可分为含铜黄铁矿矿石和铜锌矿石 2 类。前者以黄铁矿为主,黄铜矿含量变化较大,此外还有斑铜矿、砷黝铜矿和黝铜矿;后者主要由黄铜矿和闪锌矿组成,次为砷黝铜矿和黝铜矿。脉石矿物主要为石英,在个别地方见石膏和重晶石。矿体上部有几英尺厚的褐铁矿壳。该矿床一般认为属于与枕状玄武岩有关的塞布鲁斯型矿床。与它相似的还有班乃岛的 Bongongan 铜矿床和苏里高的 Malabog 铜矿床。

希克斯巴(Hixbar)铜矿床 位于东部阿尔拜省的 Rapa-Rapa 岛东南部。1981 年估算矿石储量 110 万吨,矿石品位: $w(\text{Cu})$ 平均 1.17%, $w(\text{Au})$ 2.04 g/t, $w(\text{Ag})$ 14.16 g/t, $w(\text{Fe})$ 30.38%, $w(\text{Zn})$ 1.10%。该区主要出露绿泥-绿帘片岩和石英绢云片岩,呈等斜与牵引构造,大多数片岩线性构造十分发育,有的由矿物定位引起,也有的由微小至大面积微细褶皱引起。矿体产于石英绢云片岩中,呈厚大透镜状。主矿体长 140 m,宽 60 m,厚 30 m。矿体长轴平行于褶皱轴和围岩的线理,在一些矿石中可见到残余片状构造平行于围岩片理方向。矿体整个几乎被浸染状黄铁矿和黏土的晕圈所围绕,其接触关系十分明显。矿体中黄铁矿粒径不一,往往构成黄铁矿条带与绢云母条带间互出现。具工业意义的铜矿出现在次生富集带中,90 m 厚,其矿石矿物主要是辉铜矿和黄铁矿,其次是黄铜矿、闪锌矿、铜蓝和斑铜矿。矿体上部有厚 10 m 的坚硬、多孔、蜂窝状褐铁矿帽,其中 $w(\text{Au})$ 最高达 46 g/t。该矿床一般认为属于别子型,与其相似的矿点有该矿东南部的 Rapu-Rapu 铜矿和民都洛岛 Lubang 铜矿。

菲律宾铜矿类型较多,其中以斑岩型铜矿规模较大,并且勘查与开发也较早,而其他类型矿床研究与开发程度相对都比较低,前景尚不清楚,有待进一步工作。

铝土矿资源 菲律宾铝土矿发现于 1958 年,在 1970~1980 年间曾进行过勘查。铝土矿均属风化残积型。从矿床产出部位可分为红土层中铝土矿和灰岩岩溶中铝土矿 2 种类型。前者以棉兰老岛东北部苏里高地区为代表,后者主要分布于东部萨马岛及其附近。

苏里高地区铝土矿产出在南部 Bucas Grande 岛上。该岛呈南北向展布,基底主要为白垩纪—古新世的富辉石橄榄岩、闪长岩和辉长岩,其上为中新世砾岩、粗粒-细粒砂岩和钙质页岩互层,夹褐煤层,而在南部白色至浅黄色灰岩不整合其上。在该岛北半部,新生代风化残余的堆积层发育,呈水平至平缓起伏状覆盖在上升的准平原或古老侵蚀面上。风化残余的堆积层具有红、黄、褐 3 种色调,在个别地方具有分层现象,上部固结为硬壳;下部具多孔状、条带状和杂色组分,与下伏风化镁铁质岩呈不规则接触。铝土矿常呈不连续透镜体产出在风化残余的堆积层的中上部,其主要矿物成分为三水铝石和高岭石,含铁较高,以赤铁矿或(和)针铁矿为主,伴生矿物为铬铁矿、磁铁矿、石英和长石。矿石的 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 7.74%~31.41%; $w(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 45.11%~53.02%; $w(\text{SiO}_2)$ 1.00%~13.58%,铝土矿属于含铁铝土矿石。

萨马岛铝土矿主要分布在该岛西部 Concord 和东部 Salcedo 以及邻近的 Batag 岛上,其中以 Batag 岛的铝土矿工业意义较大。萨马岛底部由辉长岩、橄榄岩、片岩和石英闪长岩组成,其上不整合覆盖着中新统凝灰质砂岩、页岩夹灰岩,地表为全新统珊瑚礁灰岩和近代冲积层。铝土矿与中新统灰岩密切相伴,赋存在岩溶发育的溶坑、溶沟和溶洞中。矿体在岩溶中不连续分布,形态、规模变化较大。矿石为砖红色至黄褐色,松散块状、粉末土状,似红土又似一般土壤,但在深部个别地方可见到鲕状结构的铝土矿,化学分析与 X 光衍射结果表明其主要矿物成分为三水铝石-勃姆石变种。据 Batag 岛资料,铝土矿的 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 为 31.44%~53.43%; $w(\text{SiO}_2)$ 0.94%~16.85%,其中砖红色铝土矿 $w(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 较高,为 24.59%~28.29%,而黄褐色的 $w(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 为 18.23%~19.97%。萨马岛铝土矿产在 3 个地方,其资源储量估算可达 1.2 亿吨,其中以 Batag 岛工作程度较高,矿石质量尚佳,在 8 km² 范围内已查明资源储量 1100 万吨。关于成矿物质来源目前尚有不同认识,多认为与基底超镁铁质岩强烈风化作用以及该区有利气候、地貌条件有关,但也有人认为与附近火山作用中火山灰有关,另有人认为与中新世灰岩岩溶作用有关。

磷矿资源 菲律宾磷矿资源主要为鸟粪和磷块岩。前者类型稀特,后者含磷酸盐较高。

鸟粪类磷矿资源早在上世纪初就已利用,直至上世纪 60 年代才开始规模开发,向外出口。目前已开发了 20 多万吨,主要出口日本。菲律宾鸟粪产于石炭纪至更新世不同时期的洞穴中,目前在全国 35 个省已发现了 2466 个含鸟粪的洞穴,现有 10 多家企业在中东部地区,如宿务、保和、达沃、莱特、卡皮斯、八打雁、甘马邻等省开发。菲律宾鸟粪可分为新鲜鸟粪、含磷酸盐土壤和磷酸盐化鸟粪等 3 种。

新鲜鸟粪通常是暗褐色,呈椭圆形,粒径相当于鸡粪大小,干后逐渐变为粉末状。含氮 $\omega(\text{N})$ 多在1%~6%; $\omega(\text{P}_2\text{O}_5)$ 0.25%~10%,并含大量钾,新鲜鸟粪中往往含昆虫残体,有别于含磷酸盐土壤。

含磷酸盐土壤是由普通土壤与鸟和蝙蝠堆积在洞穴中的残留物和落下物混合产生的。它相当松散,颜色比新鲜鸟粪淡,通常为淡桔黄色至黄褐色,不仅富含磷酸盐,而且由于混合了灰岩微粒亦富含氧化钙,从而使它没有经过腐朽作用而成为土壤。一些资料表明其 $\omega(\text{P}_2\text{O}_5)$ 变化于4%~12%之间。

磷酸盐化鸟粪通常覆于鸟粪堆积层之上,为多孔状、性脆、坚硬、致密,除在酸中微弱或完全不起泡外,与磷酸盐化灰岩较相似。色调常为褐色至紫色,往往与杂质含量有关。其 $\omega(\text{P}_2\text{O}_5)$ 最高可达39.70%。

据估算,菲律宾鸟粪资源储量有81万吨, $\omega(\text{P}_2\text{O}_5)$ 为0.25%~37.60%。

磷块岩在菲律宾有次生与原生2种类型。次生磷块岩的分布与数量均有限,主要在鸟粪堆积的石灰岩洞穴下方灰岩层中,是鸟粪中大量可溶性磷酸盐经淋滤作用,沿着灰岩层裂隙与孔隙渗透到深部与灰岩发生交代作用而形成的。矿体呈不连续状小透镜体或不规则脉状和叶片状,规模较小。矿石为暗褐色至褐黑色、多孔状、含晶洞、性脆。据部分样品资料,矿石 $\omega(\text{P}_2\text{O}_5)$ 一般在43%~11%; $\omega(\text{SO}_2)$ 为54%~3%。

原生磷块岩主要分布在中部莱特岛、宿务岛和内格罗斯岛一带。该区发育一套新近纪海相地层,其中中新统发育较全,砂岩、页岩、砾岩和灰岩呈互层状产出,灰岩中富含珊瑚礁,并且岩层之间至少有3个以上不整合面;上新统下部以灰岩为主、夹少量砾岩、砂岩与页岩,不整合覆盖在中新统之上;上新统上部为玄武质火山岩,规模较小,分布局限。上新统中下部灰岩是该区磷块岩的赋存层位。矿体产出有2种形式:一是矿石呈块状产出。其矿体多呈扁豆体,厚度1~2 m,长1~200 m,矿石 $\omega(\text{P}_2\text{O}_5)$ 一般为15%~20%,资源储量在5000吨以下,规模较小,如宿务的Balamban、Pinamungahan等磷矿;另一是矿石呈碎屑角砾状产出。矿化体内部具有明显的3个带,上部带是与土壤混合的磷酸盐砾石带,厚度小于1.5 m,磷酸盐砾石容积百分率为20%~30%;中部带是由大小不等的磷酸盐岩碎屑和磷酸盐化灰岩构成的,厚1~7 m,砾石至巨砾直径为3 cm~2 m,其成分通常为磷酸盐化珊瑚礁、鲕状磷块岩和条带状磷酸盐,偶尔散布有坚硬、重结晶灰岩巨砾,有的巨砾的间隙与裂隙中充填了斑脱石黏土。磷酸盐岩碎屑容积百分率变化大,最高达80%,最低仅10%。下部带是磷酸盐充填在结晶或白云岩化灰岩裂隙中,在强烈的珊瑚礁灰岩裂隙面上可以见到磷酸盐呈纵横交错的细脉和条带,厚3 m。该类型磷矿以莱特岛的Isabel磷矿和内格罗斯岛的Guihulngan磷矿为代表,矿体呈不规则状和透镜状,矿石 $\omega(\text{P}_2\text{O}_5)$ 多在25%以上,而高品位矿石中往往含一些海相脊椎动物的骨片、腹足类印模。矿床规模较大,资源储量达10万吨以上。有人认为该类型磷矿床与海洋风暴作用形成的异地磷块岩可以对比。

(中国地质科学院矿产资源研究所 吴良士 供稿)