

# 柬埔寨王国蒙多基里省红土型铝土矿矿床 地质特征及成因浅析

陈庆刚, 陈群, 谢江涛

(贵州省地矿局 115 地质大队, 贵州 清镇 551400)

**[摘要]** 柬埔寨王国红土型铝土矿, 产于北东部蒙多基里高原, 属第四系风化壳红土型三水铝石矿床, 系玄武岩经风化作用残留而成。矿体呈面状分布于坡体顶部平缓台地区, 厚度稳定, 矿体分布受坡体展布形态制约, 平面上受浅地表水系侵蚀呈不规则面状覆于地表、浅地表; 矿床规模为大型, 铝土矿资源量达数亿吨。

**[关键词]** 风化壳; 红土型; 三水铝石铝土矿床; 蒙多基里; 柬埔寨王国

**[中图分类号]** P618.45 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1000-5943(2016)01-0019-05

柬埔寨王国红土型铝土矿产于柬埔寨王国北东部蒙多基里省高原地区, 区内矿床矿石类型为三水铝石铝土矿, 矿床成因类型为玄武岩风化壳红土型铝土矿, 矿体产于玄武岩经风化形成的风化壳红土层中, 分布范围大, 矿床规模大, 矿石品质优, 开采技术条件简单, 具有较高的开发利用价值。贵州省地矿局一一五地质队通过对柬埔寨王国东部××矿区历时三年的详查工作, 于2014年提交详查报告, 经中矿联组织国内矿业界知名专家评审通过, 一致认为是我国近年来所提交的现代风化形成的红土型三水铝石大型矿床, 矿床勘查研究可作为同类型矿床勘查工作的范例。本文在对××矿床特征进行总结分析的基础上, 对矿床的风化作用、物理化学机制、成因、勘查工作方法手段等方面进行总结研究, 供勘查研究本类型铝土矿参考交流。

## 1 区域地质背景

### 1.1 区域构造

矿区大地构造位置位于东印支板块印支断块

格罗奇-上川龙玄武岩高原中北部, 出露地层为燕山-喜马拉雅旋回构造层, 矿区及周边未发现明显断裂和褶皱构造, 本区域构造条件简单(图1)。

### 1.2 区域地层

区域出露地层主要为上新世-早更新世玄武岩和侏罗系砂岩、钙质页岩。次为泥盆-石炭系页岩、砂岩、灰岩, 第四系玄武岩、更新世-全新世泥砂粘土层、冲洪积层。局部有晚侏罗-白垩纪和晚白垩-古近纪花岗闪长岩侵入。

矿区及周边大片出露上新世-早更新世玄武岩( $N_2-QP^1\beta$ ), 玄武岩基岩为深灰色致密块状, 硬度中等, 断面粗糙, 呈尖棱角状, 见少量气孔。

### 1.3 岩浆活动

由于地壳运动, 在2.6 Ma ~ 1.77 Ma间, 基性玄武岩浆沿NW-SE向断裂(裂隙)溢出(喷发)地表, 因岩浆粘度小, 流动性大, 覆盖柬埔寨东南部和越南的南西部, 面积约80万 $km^2$ , 最终成为上新世-早更新世玄武岩溢流相, 呈面状熔岩被, 厚度大于100 m。

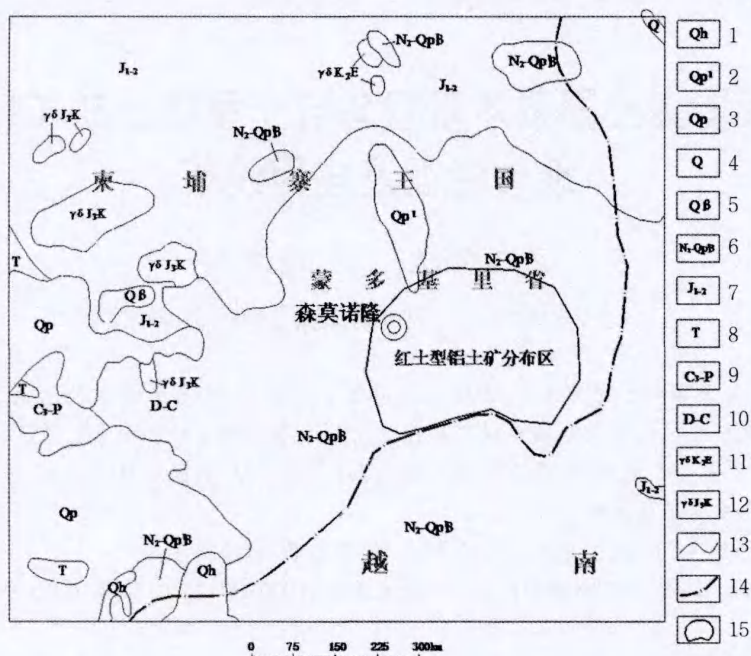


图1 蒙多基里省红土型铝土矿区域地质简图

Fig. 1 Regional geologic sketch of lateritic bauxite in Mondulkiri

1—全新统砾石、砂、粉砂和粘土;2—下更新统河流近海和海相砂、粉砂、粘土;3—更新统砾石、砂、粉砂和粘土;4—第四系冲积、洪积及沿海面岸地区的海相沉积;5—第四系玄武岩、碱性玄武岩;6—上新世—早更新世玄武岩;7—中—下侏罗统海相砂岩、粉砂岩、钙质页岩向上过渡为陆相红色砂页岩;8—三叠系砂岩、粉砂岩、页岩、泥灰岩;9—上石炭统一二叠灰岩;10—泥盆系—石炭系页岩、砂岩、燧石、泥灰岩、少量灰岩;11—晚白垩纪—古近纪花岗岩闪长岩;12—晚侏罗纪—白垩纪花岗岩闪长岩;13—地层界线;14—国界线;15—红土型铝土矿分布区

### 1.4 地形地貌及气象特征

#### 1.4.1 地形地貌

矿区地处玄武岩分布的高原区,因风化剥蚀和降雨冲刷,形成宽缓台地与斜坡、沟谷相间的高原地貌。区内海拔标高350~920 m,一般相对高差30~50 m。自矿区向北、西、南,海拔高度逐渐降低。



矿区地貌形态

#### 1.4.2 气象

矿区地处低纬度地区,属热带季风气候,温差小,降雨充沛。每年11月至次年4月盛行东北风,降雨量少,气候凉爽、干燥,气温在25~32℃间;5—10月盛行西南风,多对流雨,雨量充沛,降

雨量在1800 mm左右,占全年降雨量的80%,相对湿度90%,气温徘徊在33℃上下。

## 2 矿床地质特征

### 2.1 含矿系特征

区内矿床类型为玄武岩风化壳红土型铝土矿,含矿层为第四系风化壳,风化壳层自上而下分层明显,依次为:腐植土层、红土层、砾石红土层、含砾红土层、杂色粘土层、玄武岩风化砾块层,见图2。各层特征如下:

①腐植土层:灰、灰黑色粘土,含有机质及植物根茎,局部区域含少量砾粒。厚0~0.3 m。

②红土层:褐红、褐黄色粘土(红土),结构松软,具弱粘性和可塑性,不含砾或含极少量砾粒。厚0~7.0 m。

③砾石红土层:为铝土矿的主要赋存部位,由砾块和红粘土组成,其中砾块主要为风化作用形成的铝土矿结核、结块,少部分为玄武岩碎块和铁质结壳,总体呈砾状。红土具弱粘性和可塑性。呈褐红色。厚0~8.0 m。

④含砾红土层:褐、褐红、褐黄、灰褐色含砾红土,含砾5%~20%。砾粒呈棱角状、次棱角状散布在红土中。厚0~4.5 m。

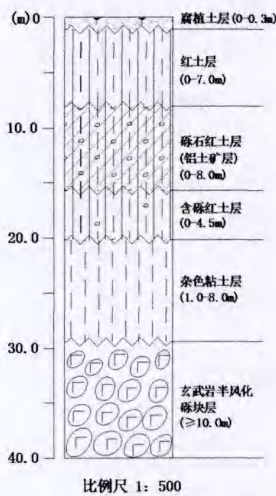
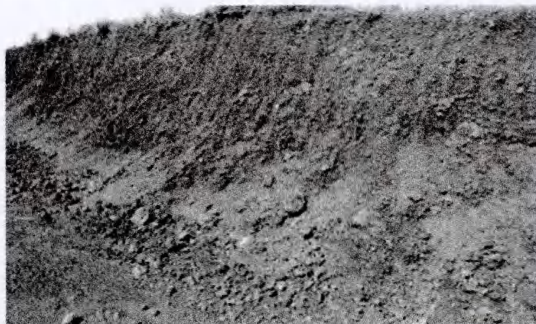


图 2 风化壳柱状剖面示意图

Fig. 2 Diagram of columnar profile of weathering crust

⑤杂色粘土层:位于风化壳下部,为灰、灰白、紫红、浅绿等杂色粘土。厚 1.0~8.0 m。

⑥玄武岩风化砾块层:位于风化壳底部,玄武岩砾块呈球状、椭球状、不规则状,外层为褐色铁质浸染层,核部为灰、深灰色致密状玄武岩。厚度大于 10 m。



铝土矿层 (砾石红土层)

## 2.2 矿体特征与分布规律

矿体特征:区内三水铝石铝土矿产于红土风化壳上部的砾石红土层中,矿体呈层状、似层状产出,矿床由多个矿体组成,单个矿体最大长 8.8 km,平均宽 1.5 km,平均厚 3.54 m,矿石资源量达 3 000 万吨。

矿体分布规律:矿体分布受地貌形态和海拔标高制约,主要分布于海拔标高 750 m 以上,坡体顶部至中上部和地形舒缓平坦区域,呈不规则面状分布,沟谷区基本无矿体分布。

## 2.3 矿石特征

区内三水铝石矿石形态复杂多样,常呈不规则团块状、姜状、豆状、结核状、皮壳状、棱角状、次棱

角状块体或粒,总体上呈砾块状,砾径 0.1~3.0 cm,部分砾块达 5~30 cm,呈褐、棕红、灰褐、灰黄等色,矿石表层多被褐铁矿、赤铁矿等混染成一层较硬的外壳,呈褐红、暗褐色。矿石断面粗糙。

矿石结构:具胶状结构,纤维状变晶结构(残余间粒结构)。



铝土矿砾块

矿石构造:普遍具土状构造,集块状构造,似砾粒状构造,气孔状构造。

矿石矿物成分:三水铝石矿物为主,其次为高岭石、铝针铁矿、赤铁矿、钛铁矿,含少量锐钛矿、石英。三水铝石含量最高 67.7%,最低 51.2%,平均 61.6%;高岭石含量平均 11.3%;石英含量平均 0.59%;锐钛矿含量平均 0.9%;钛铁矿含量平均 3.9%;铝针铁矿含量平均 13.5%;赤铁矿含量平均 6.3%。

矿石主要化学组份: $Al_2O_3$ 、 $TFe_2O_3$ 、 $SiO_2$ ,含少量  $TiO_2$ 、 $CaO$ 、 $MgO$ 、 $P_2O_5$ 、 $K_2O$ 、 $Na_2O$ 、 $V$ 、 $S$ 、 $Mn$ 、有机质,含微量  $As$ 、 $Co$  及稀有稀散元素  $Ga$ 、 $Nb$ 、 $Ta$  等。主要有用组份  $Al_2O_3$  含量最低 42.15%,最高 49.24%,平均 47.19%,品位变化系数 7.10%,变化系数小,矿石主要有用组分含量稳定,主要赋存于三水铝石矿物中; $SiO_2$  含量最低 2.67%,最高 8.15%,平均 5.80%,主要赋存于高岭石粘土矿物中; $TFe_2O_3$  含量平均 18.65%,主要含铁矿物为赤铁矿、针铁矿、钛铁矿等;烧失量 (LOSS) 含量平均 25.16%,主要成份为矿物中结构水,其次为少量  $CO_2$ 、 $SO_2$  等。

## 3 勘查工作方法

根据区内矿体产出特征、地形地质条件和已有地质工作程度,勘查工作采用地形测量、工程测

量、地质填图、浅井工程揭露、样品分析、水工环调查相结合的方法。

区内仅有 1:50 000 比例尺地形图,且成图时间早,为满足勘查工作需要,需开展 1:10 000 地形图测量工作;区内以前虽开展过少量地质调查工作,但未形成资料积累,未形成系统地质调查资料,需开展 1:10 000 地质调查,基本查清地层地序,分布情况,矿体露头分布情况,了解矿体分布区域;矿层产于第四系风化壳红土层中,裸露地表,矿层结构松散,矿层结构受挤压后极易变形,破坏矿层原始结构和状态,采用浅井工程揭露矿层,既能达到揭露矿层的目的,也不破坏矿层原始结构状态,有利于资料的收集和样品的采取。

区内对铝土矿层的揭露采用浅井工程,浅井为矩形井,井口规格按 1.20×0.80 m 施工,长边位置依坡向而定,为确保井壁的稳定,一般平行于坡向,在短壁分层取样,样长一般在 1 米左右。

铝土矿层中三水铝石砾块与红粘土混杂产出,红粘土为杂质,且二者易通过洗选分离,因而增加洗样环节,计算出样品中矿石含矿率,并将此参数用于资源量估算。

### 4 成因探讨

区内三水铝石铝土矿经由玄武岩基底风化而成,其矿床成因模式示意图 3。

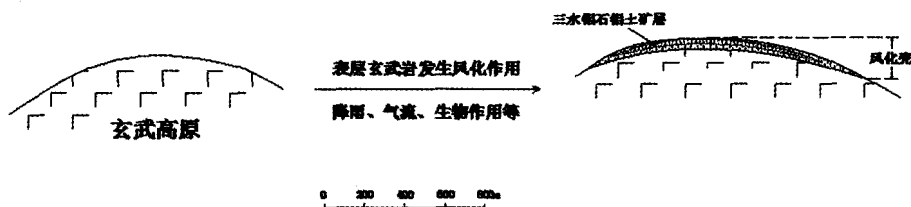
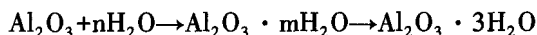


图 3 矿床成因示意图

Fig. 3 Diagram of deposit genesis



#### 4.1 成矿物质来源

区内大面积、大厚度玄武岩的稳定分布,为红土化形成三水型铝石提供了成矿物质条件。

玄武岩矿物组成主要有斜长石、辉石,其次为橄榄石、皂石,含少量钛铁矿、磁黄铁矿、白云石。

化学成份主要有  $Al_2O_3$ 、 $SiO_2$ 、 $Fe_2O_3$ ,其次为  $TiO_2$ 、 $CaO$ 、 $MgO$ 、 $K_2O$ 、 $Na_2O$ ,以及其他微量元素,其中  $Al_2O_3$  含量 13.63%~15.22%,平均 14.50%;  $SiO_2$  含量 46.27%~51.31%,平均 48.20%;  $TFe_2O_3$  含量 11.17%~13.38%,平均 12.52%;  $TiO_2$  含量 1.77%~2.80%,平均 2.36%;  $CaO$  含量 7.18%~9.15%,平均 8.18%;  $MgO$  含量 6.14%~9.13%,平均 7.43%;  $K_2O$  含量 0.97%~1.91%,平均 1.41%;  $Na_2O$  含量 2.06%~2.60%,平均 2.38%。

在玄武岩风化分解过程中,分解出来的碱和碱土金属(去碱作用)不易被地表水带出风化场所,因此溶液具碱性反应; $SiO_2$  溶胶在碱性介质中不凝结,而被潜水带走(去硅作用),而溶胶  $Al_2O_3 \cdot mH_2O$  和  $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$  则可在原地凝聚。这样在地表就逐渐堆积起铝的氢氧化物(三水铝石  $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$  和铁的氢氧化物、氧化物。其化学变化过程如下:

#### 4.2 地形地貌

蒙多基里地区自新近纪上新世玄武岩喷发以来,形成高原地貌,较周边区域地形凸起,有利于空气流通,有利于地表水的垂直运移产生淋滤作用,有利于风化作用的进行。

#### 4.3 气候条件

蒙多基里地区地处低纬度地区,属热带气候,雨季降雨量大,并与旱季相互交替,全年气候炎热,11月至次年4月的旱季期间气温平均在 25~32℃之间,5月至10月雨间,气温徘徊在 33℃左右,降雨量可达 2 000 mm。且昼夜温差变化小,有利于植物繁殖和微生物的作用,从而形成丰富的腐殖质和有机酸,促进了化学风化的进行,岩石和矿物迅速分解和破坏,风化作用不断向纵深发展,元素发生大量迁移和富集,形成厚层风化壳,为三水型铝土矿的形成创造了条件。

#### 4.4 构造条件

区内自上新世以来未发生剧烈构造活动,一直处于不断缓慢隆升的构造背景,使该区处于区

域上相对隆起(凸起)的状态,且其隆升速度基本能与地表浅层玄武基岩的风化淋滤速度保持平衡,使区域地貌未发生剧烈的升降变化,保持了地貌的相对稳定,同时也保持了地下水潜水面的相对稳定性,保持了地下水水动力条件的稳定性和物理化学环境的稳定性,满足了能长期进行淋滤作用的构造条件、地下水动力条件、物理化学条件,满足了长期、持续、稳定的风化作用的进行。

同时区内舒缓的斜坡地貌条件也有利于铝土矿体的后续积聚和保存,有利于形成风化矿床。

## 5 结论

(1)柬埔寨王国红土型铝土矿矿床类型为玄武岩风化壳红土型铝土矿,含矿层为第四系风化壳,铝土矿层产于风化壳中上部红土层中。

(2)铝土矿层由铝土矿砾块和红粘土组成,其中砾块主要为风化作用形成的铝土矿结核、结核,少部分为玄武岩碎块和铁质结壳,总体呈砾状,红土具弱粘性和可塑性,呈褐红色,厚0~8.0 m。

(3)区内矿体分布受地貌形态和海拔标高制约,主要分布于海拔标高750 m以上,坡体顶部至中上部和地形舒缓平坦区域,呈不规则面状分布,沟谷区基本无矿体分布。

(4)三水铝石矿石形态复杂多样,常呈不规则团块状、姜状、豆状、结核状、皮壳状、棱角状、次棱角状块体或粒,总体上呈砾块状,砾径0.1~3.0 cm,部分砾块达5~30 cm,呈褐、棕红、灰褐、灰黄等色,矿石表层多被褐铁矿、赤铁矿等混染成一层较硬的外壳,呈褐红、暗褐色,矿石断面粗糙。具胶状结构,纤维状变晶结构(残余间粒结构),普遍具土状构造,集块状构造,似砾粒状构造,气孔状构造。

(5)矿石矿物成分以三水铝石矿物为主,其次为高岭石、铝针铁矿、赤铁矿、钛铁矿,含少量锐钛矿、石英。矿石主要化学组份为 $Al_2O_3$ 、 $TFe_2O_3$ 、 $SiO_2$ ,含少量 $TiO_2$ 、 $CaO$ 、 $MgO$ 、 $P_2O_5$ 、 $K_2O$ 、 $Na_2O$ 、V、S、Mn、有机质。

(6)区内铝土矿的形成得益于广泛分布的玄武岩基底,缓慢隆升的构造背景,准平原化的高原地貌环境,特定区域的降雨、湿度、温度等气象条件以及生物活动,为长期持续稳定的风化作用创造了条件,同时舒缓的地貌条件也有利于铝土矿体的后续积聚和保存。

### [参考文献]

- [1] 袁见齐,朱上庆,翟裕生. 矿床学[M]. 北京:地质出版社,1985.
- [2] 廖士范,梁同荣. 中国铝土矿地质学[M]. 贵阳:贵州科技出版社,1991.
- [3] 杨坤光,袁晏明. 地质学基础[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2009,9.
- [4] 曹伯勋. 地貌学及第四纪地质学[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1995. 10.
- [5] 李方夏. 东南亚地质矿产与矿业经济[M]. 云南省地质矿产局,1995.
- [6] 刘大文,王平安,卫万顺,等. 柬埔寨地质矿产与矿业开发[M]. 北京:地质出版社,2012.
- [7] 中国地质调查局发展研究中心. 东南亚地质矿产图[R]. 2005.
- [8] 成都地质矿产研究所. 东南亚五国及邻区主要矿产成矿带划分图[R]. 2006.
- [9] 贵州省地矿局一一五地质大队. 柬埔寨王国蒙多基里省铝土矿详查地质报告[R]. 2013,8.
- [10] D. R. Workman. 湄公河盆地下游及高棉共和国、老挝、泰国和越南相邻地区矿产资源[R]. 1972.
- [11] H. Fontaine 和 D. R. Workman. 柬埔寨、老挝和越南地质及矿产资源总结[R]. 1978.

## Analyses of Deposit Characteristics and Genesis of Lateritic Bauxite in Mondulkiri Province, Cambodia

CHEN Qing-gang, CHEN Qun, XIE Jiang-tao

(115 Geological Party, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration & Development, Qingzhen 551400, Guizhou, China)

[Abstract] In Cambodia, the lateritic bauxite occurs in Mondulkiri highland, it is crust lateritic gibbsite of Quaternary system and formed by basalt weathering. The orebody distributes in the platform of slope as planar, the thickness is stable, the orebody distribution is restricted by the slope, the planar is irregular on the surface or shallow surface by the erosion of surface water. The scale is big and the resource is hundreds of million ton.

[Key words] Crust of weathering; Lateritic; Gibbsite; Bauxite deposit; Mondulkiri; Cambodia