

## 广东省离子吸附型稀土矿区域成矿规律研究

杨大欢,肖光铭

(广东省地质调查院,广东广州510080)

**摘要:**广东省是我国稀土资源的重要产区之一。省内稀土矿以离子吸附型稀土矿最具特色。其含矿原岩分布广,成矿条件优越。基于成矿特征分析,从成矿控制条件、分布富集规律等方面对离子吸附型稀土矿成矿规律进行了初步总结,建立了区域成矿模式。

**关键词:**成矿规律;稀土矿;离子吸附型;广东省

## REGIONAL METALLOGENIC REGULARITIES OF THE ION ADSORPTION TYPE OF RARE-EARTH DEPOSITS IN GUANGDONG PROVINCE

YANG Da-huan, XIAO Guang-ming

(Guangdong Institute of Geological Survey, Guangzhou 510080, China)

**Abstract:** Guangdong is one of the important mineral sites for rare-earth resources in China. The ion adsorption type is the most characteristic of the rare-earth deposits in the province. The ore-bearing protolith is broadly distributed, with favorable metallogenic conditions. Based on the research of the metallogenic features, this paper preliminarily summarizes the ore-forming regularities of the ion adsorption type of rare-earth deposits from the aspects of ore-controlling conditions, distribution and enrichment of orebodies to establish the regional metallogenic model.

**Key words:** metallogenic regularity; rare-earth deposit; ion adsorption type; Guangdong Province

广东省是我国稀土资源的重要产区之一。省内稀土矿以离子吸附型稀土矿最具特色。其含矿原岩分布广,成矿条件优越。近年来,随着“广东省矿产资源潜力评价”项目的开展,对广东省稀土矿进行了成矿规律研究和矿产预测。本文即为该成果的一部分。

### 1 成矿特征

#### 1.1 矿源岩时代及岩性

广东省离子吸附型稀土矿的矿源岩主要为各类侵入岩、火山岩和次火山岩,其次为混合岩。侵入岩形成时代有加里东期、华力西期、印支期和燕山期,以燕

山期最为重要,特别是燕山三期矿源岩最多,面积最大,次为燕山一期和燕山四期。岩性为二长花岗岩、黑云母花岗岩、二云母花岗岩等。火山岩为晚白垩世火山岩,主要分布于粤东地区,为中酸性岩类。这些矿源岩的显著特点是稀土含量较高,矿床(点)附近岩石稀土元素分析值大部分为地壳平均丰度值2~5.4倍。侵入岩稀土元素主要赋存于易风化的长石、褐帘石等矿物中,火山岩中稀土元素主要呈分散状态存在<sup>①②</sup>。矿源岩稀土元素含量及赋存状态是广东省离子吸附型稀土矿成矿的物质基础。

#### 1.2 含矿风化壳发育特征

收稿日期:2011-07-25;修回日期:2011-08-31。编辑:李兰英。

基金项目:广东省矿产资源潜力评价项目(编号121201088123)。

作者简介:杨大欢(1967—),男,工程硕士,高级工程师,主要从事基础地质、矿产地质工作,通信地址 广东省广州市东风东路739号广东地质大厦507室, E-mail:123ydh@sina.com

①广东省地质矿产局区域地质调查大队。广东省-海南省区域矿产总结。1989。

②广东省地质矿产局。广东省离子吸附型稀土矿资源远景调查报告。1989。

### 1.2.1 风化壳类型

矿床以离子吸附形式赋存于风化壳中。含矿风化壳一般风化程度较高,化学风化较强,主要形成硅铝黏土型和红土型两类风化壳。

硅铝黏土(高岭土)型风化壳主要为酸性、中酸性花岗岩类岩石,在表生风化作用条件下,铝硅酸盐矿物(长石等)形成高岭石(高岭土)类黏土矿物,多呈灰白色的砂土、亚砂土状壳层覆盖于基岩之上,是离子吸附型稀土矿体的赋存部位。

红土型风化壳多出现在基性、超基性以及中酸性闪长岩分布区。上述岩石铁总量较高,在表生风化作用条件下,形成砖红色亚黏土、亚砂土状壳层覆盖于基岩之上。当硅铝黏土型风化壳进一步风化时,也可形成红土型风化壳。故在风化壳发育较好而冲刷剥蚀弱的缓坡山顶(脊)处,有厚度不等的红土型风化壳层覆盖于风化壳之上。该类风化壳偏酸性,在地表水作用下,稀土元素被淋滤而贫化,一般不构成工业矿体。

### 1.2.2 风化壳垂直分层结构

保存完好的风化壳,因风化程度不同而产生分层结构。按风化壳层的特征,在垂向上可分为表土层(坡残积层)、全风化层和半风化层。3层之间无明显界面,呈渐变过渡关系。

以乳源寨背顶稀土矿区为例,对风化壳垂直分层结构描述如下<sup>①</sup>。

(1)表土层:厚度一般0~3 m,最厚15 m。pH值4.8~5.96。该层风化程度高,以化学风化为主,铝硅酸盐矿物已黏土化,铁质氧化为高价铁,因而呈灰黄、黄褐或略带砖红色,由黏土(40%~70%)、石英砂、花岗岩及脉石英碎块等组成,结构疏松,孔隙发育,不保留原岩结构。本层表部时而保存0.1~0.4 m的腐植层。本层一般稀土含量较低,仅局部构成工业矿体。

(2)全风化层:一般厚5~15 m,最厚达60 m。pH值5.22~6.80。本层以化学风化为主,铝硅酸盐矿物已黏土化。呈灰白、灰黄色,主要由石英、黏土组成,局部保留长石外形,并见少量云母及电气石。呈疏松多孔状,易粉碎,保留原岩花岗结构,尤其是下部较明显。本层稀土含量高,为稀土矿主要赋存部位。

(3)半风化层:一般厚2~5 m,少数厚10~15 m。pH值6.23~6.48。本层化学风化弱,部分长石黏土化。呈黄白、黄褐或略带砖红色,原岩结构基本保留,长石晶体保留完好。本层上部尚可形成稀土矿体,但矿石品位和矿石质量相对较差。

### 1.3 矿体特征

矿床矿体(层)均赋存在含矿岩体的风化壳中,尤其是风化壳的全风化层中,具体位置与矿石粒度有关。矿石粒度细,渗透系数小,矿体(层)产于风化壳(全风化层)中上部,如和平下车稀土矿。花岗岩型矿石颗粒粗大,渗透系数大,矿体(层)主要赋存于风化壳(全风化层)中下部,少量在半风化层上部。

矿体形态、产状与风化壳相似,呈面型分布。矿体平面形态不规则,被沟谷、溪流及冲积层所分割,呈若干不连续的不规则状矿块。剖面上呈似层状、透镜状及新月形。矿体(层)顺山脊侧伏延伸,顺山坡坡向倾斜,倾斜角略比地形坡角缓。

矿体厚度随风化壳厚度大小的变化而变化。一般是山顶(脊)厚,往山坡、山麓逐渐变薄,甚至尖灭。

矿石以全风化矿石为主,有时有坡残积矿石和半风化矿石。矿石主要矿物成分为黏土矿物、长石、石英及云母。黏土矿物主要为高岭石、埃洛石、水云母、蒙脱石、三水铝石。副矿物主要有磁铁矿、赤褐铁矿、钛铁矿、独居石、磷钇矿、褐钇铈矿。

矿石稀土(REO)品位一般为0.08%~0.20%,最高0.478%(平远仁居稀土矿)。矿石品位变化特征:稀土元素在表生风化作用过程中,浓集在风化壳中,稀土含量达到工业品位时便构成矿石。因此,矿石稀土品位与矿源岩稀土丰度、风化壳发育与保存条件有关。一般矿源岩稀土浓度高、风化壳发育且保存完整者稀土浓集程度高、品位富。矿石稀土品位还与所处矿体部位有关。平面上,矿体中心部位(山顶、山脊)稀土品位高,矿体边部(山脚、山麓)品位低。顺山脊和缓山坡矿体稀土品位变化幅度小,横切山脊陡坡变化幅度大。铅垂剖面上,自地表往下至半风化层,稀土含量由低到高,又由高到低,直至接近原岩含量。矿石稀土元素主要呈阳离子吸附在黏土矿物表面,占稀土总量的70%以上,另有少量呈类质同象或固体分散相、矿物相。

### 1.4 矿床类型

1989年,广东省地质矿产局开展的“广东省离子吸附型稀土矿资源远景调查”,按广东稀土矿原矿的重稀土的配分值( $\Sigma Y_{O}$ )将矿床分成重稀土和轻稀土两类。重稀土的 $\Sigma Y_{O} \geq 50\%$ ,轻稀土的 $\Sigma Y_{O} < 50\%$ 。按照原矿的氧化钇( $Y_2O_3$ )的配分值进一步分为富钇型( $Y_2O_3 \geq 50\%$ )、高钇型( $Y_2O_3$  35%~50%)、中钇型( $Y_2O_3$  20%~35%)和低钇型( $Y_2O_3 < 20\%$ )。按照原矿的氧化铈( $Eu_2O_3$ )的配分值分为高铈型( $Eu_2O_3 \geq 0.8\%$ )、中铈型

①广东省地质矿产局地球物理探矿大队.广东省乳源县寨背顶重稀土/高岭土矿区地质详细报告.1988.

( $\text{Eu}_2\text{O}_3$  0.5%~0.8%)和低铕型( $\text{Eu}_2\text{O}_3 < 0.5\%$ ).

综合含矿原岩的岩石类型、成矿地质条件、(原)矿石的稀土配分特征,将广东省离子吸附型稀土矿划分为5种主要矿床类型<sup>①</sup>.

(1) 细粒白云母或二云母花岗岩风化壳富钇重稀土矿床:多分布于广东省北部,主要与燕山早期重熔成因侵入岩有关,如乳源寨背顶稀土矿.

(2) 混合岩化花岗岩风化壳高钇重稀土矿床:目前仅见于粤西地区,与加里东期混合花岗岩有关,如信宜沙子坪稀土矿.

(3) 火山岩、次火山岩风化壳高铈轻稀土矿床:原岩为上白垩统喷发相中酸性火山碎屑岩及同源同期浅成相次花岗斑岩,属同熔成因的岩浆岩,如和平下车矿.

(4) 二长花岗岩、花岗闪长岩风化壳高铈轻稀土矿床:原岩的岩石类型是酸性偏中性岩石,大多属同熔成因,主要岩石类型有二长花岗岩、花岗闪长岩,如高明杨梅稀土矿.

(5) 中粗粒黑云母花岗岩、二长花岗岩风化壳中铈中铈型稀土矿床:矿床数量最多,分布最广,母岩包括从加里东期至燕山晚期岩浆岩,既有重熔成因侵入岩,也有同熔成因侵入岩,从粤北山区至南部沿海均有分布,如揭西五经富稀土矿、宝安龙华稀土矿等.

## 2 成矿控制条件

### 2.1 含矿原岩及其特征

广东离子吸附型稀土矿含矿原岩主要为各类侵入岩、火山岩和次火山岩,其次为混合岩.侵入岩形成时代有加里东期、华力西期、印支期和燕山期,以燕山期最为重要,特别是燕山三期矿源岩最多,面积最大,次为燕山一期和加里东期.岩性为二长花岗岩、黑云母花岗岩、二云母花岗岩等.火山岩为晚白垩世火山岩,主要分布于粤东地区,为中酸性岩类.

#### 2.1.1 含矿原岩的产状特征

①广东省地质矿产局.广东省离子吸附型稀土矿资源远景调查报告.1989.

②广东省地质矿产局区域地质调查大队.广东省-海南省区域矿产总结.1989.

③广东省地质矿产局地球物理探矿大队.广东省乳源县寨背顶重稀土/高岭土矿区地质详细报告.1988.

④广东省地质矿产局722地质大队.广东省揭西-揭阳县五经富矿区五房重稀土矿床详细普查地质报告.1992.

⑤广东省冶金地质935队.广东省新丰县来石(回龙)稀土矿勘探总结报告.1979.

⑥广东省地质矿产局756地质大队.广东省平远县仁居稀土矿区详细勘探地质报告.1983.

⑦广东省地质矿产局756地质大队.广东省和平县下车稀土矿区详细普查地质报告.1987.

轻稀土矿以大型岩基和复式岩体主体的舌状突出部中心相最有利<sup>②</sup>,如新丰来石稀土矿.高铈轻稀土矿围岩主要为老地层.火山岩以火山盆地中心相的次火山岩、次火山花岗斑岩和喷出相凝灰岩最有利,如平远仁居稀土矿.重稀土矿产于复式岩体中心,或边缘侵位相对较高的岩脉群或复式岩体中分异演化程度高、侵位时间相对较晚的岩体或岩脉,并与白云母化、萤石化、钠长石化等蚀变类型有关,如寨背顶、牛背坑等矿床<sup>③④</sup>.

#### 2.1.2 含矿原岩的岩性特征

本类矿床的含矿原岩以酸性岩(花岗岩)为主,其次为中性岩(石英闪长岩、石英二长岩).火山岩只有两处(长塘、仁居盆地).轻稀土的含矿原岩主要为黑云母花岗岩和二长花岗岩.岩石的矿物成分有钾长石、斜长石、角闪石、黑云母和副矿物榍石、磷灰石、褐帘石等,且含量高.而独居石、磷钇矿、褐钇铈矿含量低.其次为闪长岩、石英二长岩、闪长花岗岩和中酸性火山岩及次花岗斑岩.其中部分二长花岗岩、花岗闪长岩、中酸性火山岩、次花岗斑岩及混染化花岗岩往往形成高铈轻稀土矿床(点),如下车、八尺等矿床(点).重稀土矿含矿原岩主要为碱长花岗岩或钾长花岗岩和二云母(白云母)花岗岩等.岩石副矿物成分复杂,除含稀土矿物外,还常有钨、锡、铌、钽矿物共生,富含萤石、锆石、磷灰石含量少<sup>⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺㊻㊼㊽㊾㊿</sup>[1].

#### 2.1.3 含矿原岩岩石化学特征

轻稀土矿的含矿原岩 Al、Fe、Ca、Mg 含量比普通花岗岩高, $\text{K}_2\text{O}$  远大于  $\text{Na}_2\text{O}$ ,微量元素 Li、Be、Nb、Ta、W、Sn 等也比普通花岗岩高.重稀土矿含矿原岩为高硅( $\text{SiO}_2 \geq 75\%$ )、富碱( $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} \geq 8\%$ ), $\text{K}_2\text{O}$  略大于  $\text{Na}_2\text{O}$ (个别矿床甚至  $\text{Na}_2\text{O}$  大于  $\text{K}_2\text{O}$ ),氟高磷低,微量元素 Li、Rb、Cs、Be、Nb、Ta、W、Sn 比轻稀土含矿原岩高,但低于含铌钽花岗岩<sup>②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺㊻㊼㊽㊾㊿</sup>[2-3].

#### 2.1.4 含矿原岩稀土元素浓度特征

稀土浓度是形成本类矿床的物质基础.广东省以

燕山期花岗岩稀土丰度普遍较高。矿床(点)附近岩石稀土元素分析值大部分为地壳平均丰度值2~5.4倍,为形成矿床奠定了良好的成矿物质基础。据统计,本类矿床的矿石品位一般为0.08%~0.20%,通常为含矿原岩岩石丰度值的2~6倍。

### 2.1.5 含矿原岩稀土元素赋存状态

稀土元素的赋存状态是能否形成本类矿床的重要因素。火山岩矿物结晶程度差,在成矿过程中稀土元素形成矿物的机遇少,以分散状态分散于深色的玻璃质中,在风化过程中随载体(岩石)解体,呈离子状态释放出来被黏土矿物吸附富集成矿体。故火山岩在风化条件下最易形成本类矿床。侵入岩矿物结晶程度好,稀土元素主要赋存在矿物中。故含稀土元素矿物的物理、化学性质对能否形成本类矿床至关重要。如果含矿原岩中稀土元素赋存在易风化矿物(如长石、云母、角闪石、榍石、磷灰石、褐帘石和氟碳酸盐类矿物)中,对形成本类矿床最有利。如果含矿原岩中稀土元素赋存在不易被风化的矿物(如独居石、磷钇矿、褐钇铈矿等矿物)中,则对形成本类矿床不利<sup>[4]</sup>。

### 2.2 风化条件

影响风化壳发育的因素颇多,最主要的是地貌和气候。

气候条件是形成本类矿床最重要的条件之一<sup>[5]</sup>。广东省地处22~25°N之间,属亚热带湿润炎热气候区,气温高,雨量充沛,含矿原岩化学风化作用发育,这对矿物的分解和稀土元素的淋滤起着非常重要的作用。在风化速度快、冲刷剥蚀弱的情况下,风化壳发育,保存完好,厚度大,多呈硅铝黏土型风化壳,且顶部常有对其具保护作用的红土型风化壳层,对成矿极为有利。

地貌条件不仅控制剥蚀作用的进行,同时还可决定地下水的动态和风化壳的地球化学特征<sup>[4]</sup>。风化产物的淋滤状况、风化壳的厚度和保留程度等均与地貌有关。一般低山及丘陵区,切割浅,风化壳保存较好,厚度大,对成矿有利;平缓山顶(脊),陡坡地形,“V”形山谷,形成裸脚式风化壳,此类风化壳矿体连续性差;尖棱形山顶(脊),“V”形山谷,陡坡地形,不利于风化壳的形成。从广东省离子吸附型稀土矿的分布和保存情况来看,最有利于离子吸附型稀土矿形成与保存的地貌条件为海拔低于500 m、切割深度一般小于

200 m、坡度小于30°(一般在15~20°之间)的低山丘陵缓坡地貌。

风化壳的酸碱度(pH值)对稀土元素的迁移富集有重要的影响<sup>[6-7]</sup>。据研究,在酸性和弱酸性介质条件下(pH<7),稀土元素主要以可溶性水合物阳离子的形式迁移<sup>[8]</sup>。

广东省由于降雨量大,水的渗滤、径流作用活跃,易溶的碱金属元素被带出,加上有机酸的产生,常使风化壳成弱酸性(pH值约5~6.5)。此酸度条件有利于稀土元素的迁移(渗滤)富集成矿。

新构造运动对成矿起间接作用。新构造运动强烈地区,地形抬升,坡度增大,切割加剧,冲刷剥蚀作用增强,影响风化壳的发育,不利于成矿。

此外,海风和海水的作用对稀土矿的形成或保存可能也有影响,以至在沿海50 km范围内一般无规模较大的稀土矿形成。

### 2.3 构造对稀土成矿富集带的控制规律

表面上看,稀土的富集成矿与构造无甚关系,实际上,稀土富集带严格受构造控制,构造起着控岩控矿的作用,使稀土矿床(点)成群成带产出<sup>[9]</sup>。广东省离子吸附型稀土矿主要受东西向和北东向构造带控制。

自北向南有3个明显的东西向构造带。

(1)九峰控岩控矿构造带:位于广东最北的湘粤、赣粤边境。分布在该带上的含矿岩体有诸广山复式岩体、青蟑岩体、油山岩体、高埠岩体、平田岩体。成矿时间为加里东—燕山第四期。岩体总体延伸为东西向,局部边界受东西向和北东向断裂控制,呈曲折状。

(2)大东山—贵东—(寻乌)—蕉岭控岩控矿构造带:出露在该带上的含矿岩体有大东山复式岩体、贵东复式岩体、洞源岩体、和平岩体、大坝岩体、古寨岩体、黄竹塘岩体。成岩时代主要是燕山期(一至五期),并有加里东期、印支期花岗闪长岩。岩体总体呈东西向分布。

(3)佛岗—新丰江控岩控矿构造:出露带上的有七星岩体、凤村岩体、广宁岩体、新丰江岩体、白石岗岩体。除七星岩体为加里东期外,主要是燕山三期花岗岩。

北东向控岩控矿构造主要表现为濒太平洋北东向活动断裂带。控制粤东南侵入岩、火山岩呈北东向大面积分布,有莲花山复式岩体、葫芦田复式岩体、大埔复式岩体等作北东向延伸,并有北东向断裂作为岩体边界。

此外,尚有一些岩体,如新兴复式岩体、广宁复式岩体等受东西向和北东向断裂复合控制。

### 3 分布富集规律<sup>①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺㊻㊼㊽㊾㊿</sup>[2-39-10]

#### 3.1 风化壳中稀土矿富集规律

##### 3.1.1 稀土表生富集规律

(1)稀土元素在风化壳中的含量是上、下贫,中间富,即:坡残积层一般含量低,很少形成工业矿体。全风化层(硅铝黏土型)含量高,多数成为工业矿体。半风化层稀土含量介于上述两层之间,上部含量较高,部分形成矿体,下部稀土含量低,接近于母岩丰度。

(2)稀土富集层(矿体)厚度一般 2~8 m,最厚逾 15 m,埋深(顶板)1~4 m,最浅 0~0.2 m,最深大于 40 m。

(3)富集层位是全风化层。矿物成分主要是黏土(50%~65%)和石英(30%~45%),为松散砂土状、亚砂土状、亚黏土状结构。砂土状结构疏松,渗透性好,富集层位偏低,富集度高;亚黏土结构者,渗透性差,富集层位偏高,富集程度低。

##### 3.1.2 稀土表生分馏作用

由于各稀土元素的地球化学特征的差异,在风化壳的酸碱度(pH 值)条件下,地球化学行为以及富集规律各有差异。

轻稀土元素在风化壳中迁移性比重稀土大,主要聚集于风化壳中上部。其中的  $\text{CeO}_2$  主要富集于表土层中,往下,随深度的增大而逐渐变贫。 $\text{La}$ 、 $\text{Pr}$ 、 $\text{Nd}$ 、 $\text{Sm}$  诸元素集中于全风化层中。重稀土元素普遍富集在风化壳的下部<sup>[11]</sup>。所以,配分值自上往下逐渐增高,向上的迁移意味着增加流失的机会。

总的来说,矿石稀土配分与母岩稀土配分相似<sup>[12]</sup>,即矿石中  $\Sigma \text{CeO}/\Sigma \text{YO}$  的比值与母岩的比值相似,由于元素富集程度不一,矿石中的比值比母岩略大。

当母岩  $\Sigma \text{CeO}/\Sigma \text{YO}$  的比值在 1~2,且  $\text{Ce}$  的配分值高的情况下,经表生分馏作用, $\text{Ce}$  主要富集在坡残积层中,甚至继而被淋滤流失,致使矿石中  $\Sigma \text{CeO}$  的配分值逐渐减小,而  $\Sigma \text{YO}$  逐渐增加,以致形成母岩为轻稀土型,而矿石为重稀土型的现象,如广宁打铁坑矿区。

#### 3.2 分布规律

##### 3.2.1 成岩成矿的时代规律

从时间垂直方向来看,广东省从加里东期起,经海西期、印支期及燕山期,各个时期岩浆活动都有稀土富集作用,到燕山期是稀土富集作用最高峰时期。其中重稀土富集作用主要是燕山期(以燕山早期最为重要),加里东期、印支期、燕山晚期同高铈稀土成矿关系较密切。

##### 3.2.2 区域分布规律

离子吸附型稀土矿在广东省分布十分广泛,北起与湘、赣两省交界的边境(约  $25^{\circ}30'N$ ),南到粤西电白(约  $21^{\circ}30'N$ ),而以  $23^{\circ}$ ~ $25^{\circ}N$  之间矿化最为集中。

重稀土大多分布于莲花山断裂带北西侧,即南岭  $\text{W-Sn-Mo-Be-REE-Pb-Zn-Au-U}$  成矿带、浙中-武夷  $\text{W-Sn-Mo-Au-Ag-Pb-Zn}$  成矿带的广东部分、永安-梅州-惠州  $\text{Fe-Pb-Zn-Cu-Au-Ag-Sb}$  成矿带广东部分的北段、粤中  $\text{Pb-Zn-Au-Ag-Sn-W-U-RM}$  成矿带北部和粤西-桂东南  $\text{Sn-Au-Ag-Cu-Pb-Zn-Fe-Mo-W}$  成矿带的东北部。重稀土矿呈东西向或北东向排列分布。从区域地质构造背景来看,上述这些地区主要处于上地幔拗陷区,地壳厚度相对较大,成熟度高,大片分布的侵入岩是由富含钇等稀土元素及钨、锡等陆壳物质经重熔、改造形成重熔型偏酸性黑云母花岗岩,重熔型岩体往往呈串珠状沿东西构造带展布。因此,重稀土矿床分布常常与钨锡矿床有较密切的空间分布关系。重稀土矿床具体产出位置还受岩浆演化分异化学场的局部环境所控制,即产于岩浆分异晚期,分异程度高的部位。如后期补充侵入体,以及岩体的边缘相。

轻稀土矿分布遍及全省大部分地区,其中高-中铈矿分布于粤北、粤东和南部沿海地区。

粤北高-中铈稀土矿分布区属南岭  $\text{W-Sn-Mo-Be-REE-Pb-Zn-Au-U}$  成矿带,南岭  $\text{W-Sn-Mo-Be-REE-Pb-Zn-Au-U}$  成矿带与粤中  $\text{Pb-Zn-Au-Ag-Sn-W-U-RM}$  成矿带、粤西-桂东南  $\text{Sn-Au-Ag-Cu-Pb-Zn-Fe-Mo-W}$  成矿带的过渡区及浙中-武夷  $\text{W-Sn-Mo-Au-Ag-Pb-Zn}$  成矿带和永安-梅州-惠州  $\text{Fe-Pb-Zn-Cu-Au-Ag-Sb}$  成矿带的一些晚白垩世中酸性火山喷发盆地。南岭  $\text{W-Sn-Mo-Be-REE-Pb-Zn-Au-U}$  成矿带含母岩岩石类型大多是酸性偏中性,即二长花岗岩、花岗闪长岩及石英闪长岩,呈小岩基、岩株、岩枝

①广东省地质矿产局区域地质调查大队. 广东省-海南省区域矿产总结. 1989.

②广东省地质矿产局 722 地质大队. 广东省揭西-揭阳县五经富矿区五房重稀土矿床详细普查地质报告. 1992.

③广东省冶金地质 935 队. 广东省新丰县来石(回龙)稀土矿勘探总结报告. 1979.

④广东省地质矿产局 756 地质大队. 广东省平远县仁居稀土矿区详细勘探地质报告. 1983.

⑤广东省地质矿产局 756 地质大队. 广东省和平县下车稀土矿区详细普查地质报告. 1987.

⑥广东省地质矿产局地球物理探矿大队. 广东省乳源县寨背顶重稀土/高岭土矿区地质详细报告. 1988.



状产出. 南岭 W-Sn-Mo-Be-REE-Pb-Zn-Au-U 成矿带与粤中 Pb-Zn-Au-Ag-Sn-W-U-RM 成矿带、粤西-桂东南 Sn-Au-Ag-Cu-Pb-Zn-Fe-Mo-W 成矿带的过渡区, 含矿原岩大致呈东西向展分布, 为燕山三期中粗粒黑云母花岗岩. 浙中-武夷 W-Sn-Mo-Au-Ag-Pb-Zn 成矿带和永安-梅州-惠州 Fe-Pb-Zn-Cu-Au-Ag-Sb 成矿带成矿的晚白垩世中酸性火山喷发盆地, 含矿原岩为同源同熔成因系列的浅成相花岗斑岩.

南部沿海高-中铕稀土矿分布区以时代较新 (如燕山晚期) 同熔型成因系列的小岩基、岩株为主, 在粤东并有大片同源火山岩喷发. 稀土矿分布常与锡矿相伴生.

4 成矿模式

通过对广东省离子吸附型稀土矿的综合研究, 建立了该类矿床的区域成矿模式 (图 1)<sup>[13]</sup>.

4.1 地质构造背景

矿体成矿构造位置主要为东西向和东北向控岩控矿构造带. 成矿环境为亚热带湿润炎热气候区, 气温高, 雨量充沛. 海拔低于 500 m, 切割深度一般小于 200 m, 坡度小于 30° (一般在 15~20° 之间), 属低山丘

陵缓坡地貌. 出露有较高稀土丰度的侵入岩、火山岩. 侵入岩中稀土元素主要赋存于易风化的长石矿物中. 火山岩中稀土元素呈分散状态存在于玻璃质中. 成矿时代为新生代.

4.2 矿床特征

矿体呈似层状、透镜状、新月形产于硅铝黏土 (高岭土) 型风化壳中部 (主要为全风化层). 矿石矿物组合主要为黏土矿物、长石、石英及云母. 黏土矿物主要为高岭石、埃洛石、水云母、蒙脱石、三水铝石. 副矿物主要有磁铁矿、赤褐铁矿、钛铁矿、独居石、磷钇矿、褐钇铈矿. 矿石保留了原岩结构, 常见土状、块状、粉状等构造, 属重要的稀土矿床类型, 可构成大型矿床. 典型矿床有揭东五经富-五房、新丰来石、平远县仁居、和平下车、乳源寨背顶.

4.3 矿床成因

富含稀土的含矿原岩在湿热气候条件下, 逐渐风化分解. 长石等造岩矿物一方面次生为高岭石等黏土矿物, 成为 TR 的吸附剂, 另一方面从长石等矿物中释出的稀土为黏土的吸附提供了物质来源. 在地表植被发育、有机酸丰富的风化壳上部为稀土运移、富集创造了有利条件. 在地表弱酸性条件下, 稀土元素转化为溶

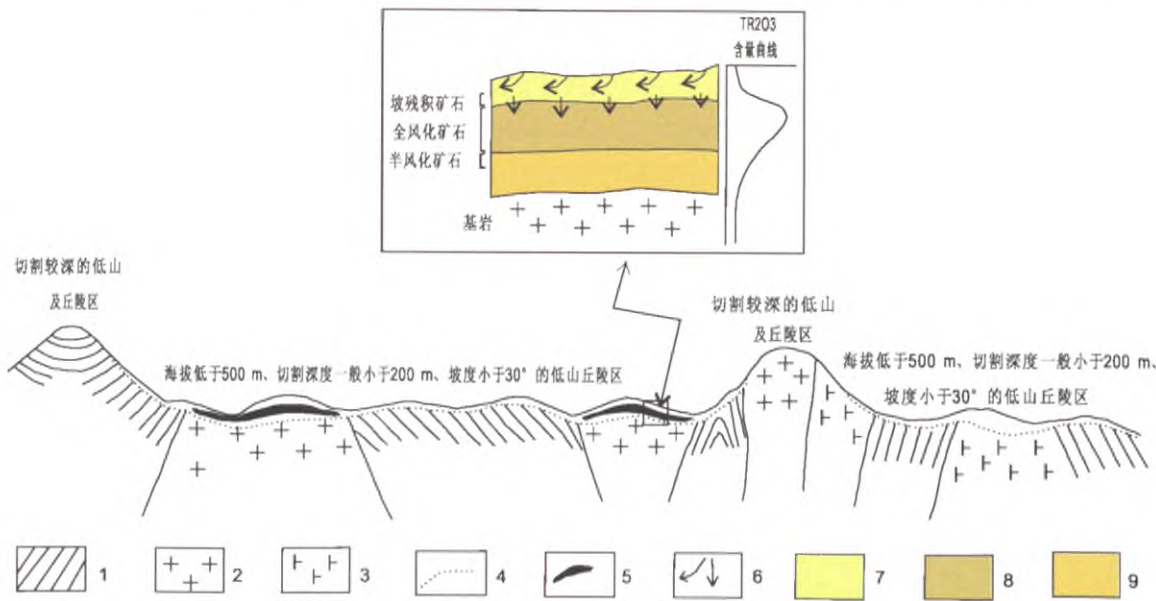


图 1 广东省离子吸附型稀土矿区域成矿模式图

Fig. 1 Regional metallogenic model for the ion adsorption type of rare-earth deposits in Guangdong Province

1—沉积-变质岩 (sedimentary and metamorphic rocks); 2—含矿原岩 (侵入岩、火山岩) (intrusive and volcanic rocks with ore); 3—非含矿原岩 (侵入岩、火山岩) (intrusive and volcanic rocks without ore); 4—风化壳界线 (boundary of weathering crust); 5—矿体 (orebody); 6—稀土元素迁移方向 (migrating direction of rare-earth elements); 7—表土层 (overburden); 8—全风化层 (complete weathering layer); 9—半风化层 (partly weathering layer)

液状态,随地表径流和地面水流动和运移(渗透).在垂直剖面上,稀土元素往下运移,酸度冲淡,pH值升高,使黏土矿物在弱酸性介质中吸附能力提高,出现稀土元素的富集带(中部).随着往下深度增大,距地面远,风化作用减弱,释出的稀土和渗透下来的稀土量减少,稀土含量降低,品位逐渐接近原岩(图2).上述风化剥蚀、淋滤吸附作用长期不断地进行.虽然矿体富集部位有所移动,但富集部位始终处于风化壳中部(全风化带中部),其pH值一般在5~7之间.

#### 4.4 找矿方向及标志

(1)酸性及中酸性(以燕山期为主)富含稀土的长英质基岩出露区的亚热带海拔低于500m的低山丘陵缓坡地貌区;

(2)存在La、Y化探异常,无或只有极弱稀土矿物重砂异常.

致谢:本项工作系集体劳动成果.研究工作参阅了《广东省-海南省区域矿产总结》《广东省离子吸附型稀土矿资源远景调查报告》及大量稀土矿区普查-勘探地质报告,尤其是《广东省离子吸附型稀土矿资源远景调查报告》《广东省-海南省区域矿产总结》对本项研究具有较大参考、借鉴价值.原广东省地质矿产局罗子声教授级高工、张振璠高工、伍广宇总工对本项研究工作给予了热情的指导和帮助.在此向涉及本项工作的有关单位和上述老专家表示衷心感谢!

#### 参考文献:

- [1]广东省地质矿产局.广东省区域地质志[M].北京:地质出版社,1988.
- [2]陈炳辉,等.广东平远花岗岩风化壳及其稀土成矿特征[J].中山大学学报:自然科学版,1995(1):96.
- [3]李杰维,等.广东江门地区风化壳型稀土元素矿床成因探讨[J].西部探矿工程,2005(9):101.
- [4]杨岳清,等.离子吸附型稀土矿床成矿地质特征及找矿方向[J].中国地质科学院矿床地质研究所分刊,1981(1):102.
- [5]袁见齐,等.矿床学[M].北京:地质出版社,1985:184.

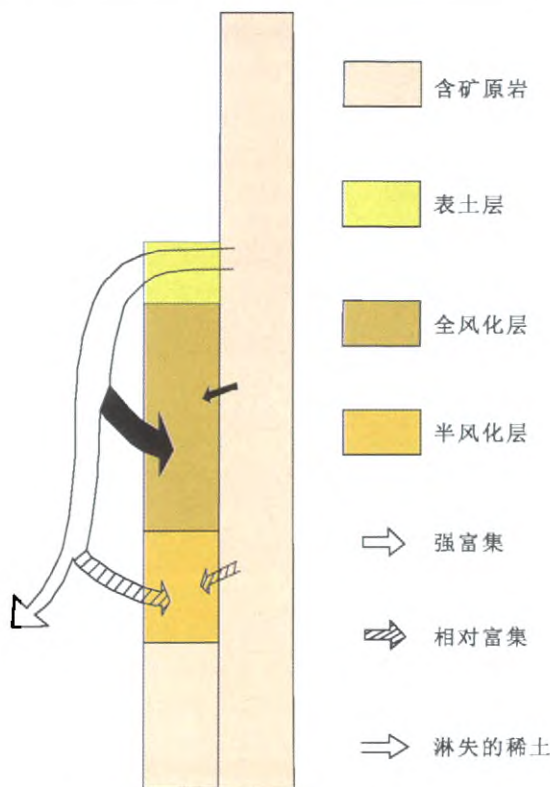


图2 离子吸附型稀土矿成矿作用模式图

Fig. 2 Metallogenic model for the ion adsorption type of rare-earth deposits

- [6]林传仙,郑作平.风化壳淋积型稀土矿床成矿机理的实验研究[J].地球化学,1994(2):189.
- [7]陈志澄,等.华南花岗岩风化壳中稀土的存在形态及迁移富集模式[J].中山大学学报:自然科学版,1994(4):106.
- [8]池汝安,田君.风化壳淋积型稀土矿评述[J].中国稀土学报,2007(6):641.
- [9]张祖海.华南风化壳离子吸附型稀土矿床[J].地质找矿论丛,1990(1):57.
- [10]徐志刚,陈毓川,王登红,等.中国成矿区带划分方案[M].北京:地质出版社,2008.
- [11]《中国矿床》编委会.中国矿床(中册)[M].北京:地质出版社,1994.
- [12]伍东森,陈厚彦,张家骥.试论我国南方离子吸附型稀土矿床稀土配分特征[J].华东有色矿产地质,1988(2):10.
- [13]裴荣富,编.中国矿床模式[M].北京:地质出版社,1995.