

· 轻金属原料矿山 ·

中国南方红土型铝土矿的找矿远景与战略选择

凌坤跃^{1,2}, 朱笑青¹, 王中刚¹, 陈文一³

- (1. 中国科学院地球化学研究所 矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002;
2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;
3. 贵州省地矿局地质科学研究所, 贵州 贵阳 550004)

摘要: 中国是世界上最大的铝生产和消费国, 铝土矿又是生产铝的主要原料。因此, 寻找铝土矿资源对于发展我国的铝工业具有重要意义。铝土矿分为红土型、古红土型和堆积型三大类, 国外铝土矿多为红土型, 而中国却以古红土型为主, 目前只有少数几个小型红土型铝土矿。红土型铝土矿冶炼流程简单、能耗低, 而古红土型铝土矿冶炼能耗大、成本高。本文参考国外红土型铝土矿资料, 总结国外大型矿床的构造、气候、地貌、成矿母岩和成矿时间等特点。分析我国特别是南方地区的成矿条件, 找出利于成矿的区域, 绘制出中国南方红土型铝土矿的找矿远景区。并探讨红土型铝土矿的找矿方法, 为找矿勘探提供服务。

关键词: 铝工业; 红土型铝土矿; 成矿条件; 找矿方法; 远景区

中图分类号: P618.45 **文献标识码:** B **文章编号:** 1002-4752(2013)04-07-6

Discussion of the prospecting and searching strategy of laterite bauxite in Southern China

Ling Kunyue^{1,2}, Zhu Xiaoqing¹, Wang Zhonggang¹ and Chen Wenyi³

- (1. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;
2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3. Institute of Geosciences, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Resources, Guiyang 550004, China)

Abstract: China is the largest aluminum producer and consumer in the world, and bauxite is the main raw material for alumina production. So searching for bauxite resources is great significance for the development of aluminum industry in China. Bauxite is divided into laterite-type, paleo-laterite-type and karst accumulation-type, mostly laterite-type abroad and paleo-laterite-type in China, only little small laterite bauxite in our country. The refining process is simple, low energy consumption for laterite bauxite and contrary to paleo-laterite bauxite. The information of the lateritic bauxite is referred to, and the characteristics with tectonics, climate, geomorphology, and the host rock and metallogenetic epoch are summed up in foreign country in this paper. After analysis of the metallogenetic conditions, the areas which conducive to metallogenetic in China are found out, and Southern China lateritic bauxite potential prospective areas are mapped out. The methods of laterite bauxite prospecting are discussed to provide some services for bauxite prospecting and exploration.

Key words: aluminum industry; laterite bauxite; metallogenetic conditions; prospecting methods; prospecting area

前言

世界铝土矿资源极其丰富, 遍及五大洲 40 多个国家。据美国矿业局估计, 世界铝土矿资源总量(储量加次经济资源及推测资源)约为 550~750 亿 t^[7]。生产铝土矿的主要国家有澳大利亚、几内亚、巴西和牙买加、印度和中国, 这六国的产量约占世界总产量的 84.22%^[8]。铝土矿按其赋存状态主要分为红土型铝土矿床和古红土型铝土矿床。红土型铝

土矿占世界总储量 90% 以上, 矿石以高铁、中铝、低硅、高铝硅比为特征。是铝工业易采易溶的优质原料, 通常用流程简单、能耗低的拜耳法生产氧化铝^[7]。而我国的铝土矿主要是古红土型矿床, 矿石以较难溶的一水硬铝石为主^[9], 冶炼能耗大、成本高。目前我国只在福建漳浦、海南蓬莱和广西贵港等地找到了小型红土型铝土矿床, 而且未形成工业开采规模。因此, 总结国外红土型铝土矿的特征, 分析比对我国南方适于红土型铝土矿形成的有利地区, 对于寻找优质的红土型铝土矿资源和发展我国

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA08090500); 矿床地球化学国家重点实验室基金(SKLOG-ZY125-01)资助
作者简介: 凌坤跃(1987-), 男, 硕士研究生, 专业方向: 矿床地球化学。E-mail: lingkunyue@163.com
通讯作者: 朱笑青(1955-), 女, 研究员。E-mail: zhuxqcas@sohu.com
收稿日期: 2012-12-17

铝工业具有战略意义。

全球大型红土型铝土矿床都集中在西非(几内亚、喀麦隆等) 澳洲和南美东北部(牙买加、苏里南、圭亚那等), 这些国家的铝土矿资源约占全球储量的80%。构造、气候、地貌、成矿母岩和成矿时间是铝土矿形成的基本条件, 李启津(1989)^[10]也曾经总结过红土型铝土矿的特点。本文将从这四个角度来分析比对国内外红土型铝土矿的成矿环境差异, 并分析中国南方地区的成矿条件, 绘制出红土型铝土矿的成矿远景区, 为找矿勘探提供服务。

1 铝土矿的分类

铝土矿的分类, 对研究其成矿条件、成矿规律及找矿勘查都具有重要的意义。国际上流行 E. Vadasz 对铝土矿的分类, 即分为红土型、喀斯特(岩溶)型和机械碎屑沉积型。布申斯基(1984)^[11]将铝土矿床分为两大类: 红土的和沉积的, 将喀斯特型划入沉积型范围之内。在国内, 上个世纪80、90年代以来流行将铝土矿划分为红土型、堆积型和沉积型三大类^[2~4], 这跟 E. Vadasz 的划分大致相当。廖士范(1991)^[5]提出按矿体上覆是否有地层覆盖将铝土矿分为古风化壳型(古红土型)和红土型, 即把堆积型归类到古风化壳型的一个亚型。作者赞同廖士范将沉积型改为古红土型的分类方案。

廖士范(1991)^[5]将堆积型铝土矿划入古红土型, 作者不甚赞同。首先, 堆积型(原生矿体二次风化形成)铝土矿上覆没有地层覆盖, 又怎么能算是古风化壳型呢? 其次, 堆积型铝土矿的颜色以红色为主(占50%以上), 部分灰色、褐红色、杂色等, 这跟古红土型铝土矿以白色、灰白色为主要色调的特征是完全不同的, 因此它不能称为古红土型铝土矿。把它划入红土型铝土矿中也是不合理的, 原因有二: 一是红土型铝土矿的核心含义是红土化作用过程跟铝的富集过程是同步的, 即红土化作用形成的铝土矿叫红土型铝土矿, 然而堆积型铝土矿是原生矿体坠落成碎块、转石夹杂于铝土质红土中^[5], 它的形成机理不同; 二是堆积型铝土矿主要含铝矿石是一水铝石, 这一点跟红土型以三水铝石为主要含铝矿物的特点是不同的。因此它也不能归类为红土型铝土矿。综合上面分析, 作者认为, 把堆积型铝土矿单独列为一种类型是最恰当合理的, 即将铝土矿划分为红土型、古红土型和堆积型为宜。

2 构造条件

形成红土型铝土矿床所必需的大地构造条件主

要为相对稳定的大地构造体制, 或其他大地构造体制中有较长的相对稳定期^[11]。B. A. Bogatyrev (2009)^[12]认为形成好的铝土矿需要几十到几百万年的构造稳定期和最小的风化剥蚀作用。

2.1 国外红土型铝土矿床构造

西非成矿省是全球最大的红土型铝土矿成矿区, 位于西非克拉通之上, 仅在几内亚, 铝土矿储量有56亿吨, 占全球总储量的24.3%^{[7][14]}。澳大利亚成矿省位于澳大利亚板块, 区内有 weipa、gove 等几个大型红土型铝土矿床, 全国铝土矿储量有56亿吨, 占全球总储量的24.3%^[7]。在南美圭亚那地盾地区, 圭亚那、苏里南和委内瑞拉, 南部的亚马逊平原和巴西等地区都广泛存在红土型铝土矿^[15]。老挝波罗芬高原红土型铝土矿位于印度板块和亚欧板块碰撞后产生的新近纪至今相对稳定的东南半岛微板块上^[16]。综上, 国外大型红土型铝土矿大部位于构造稳定的克拉通(地盾、地台等)地区, 如西非克拉通、南美地盾及澳大利亚板块。少部分位于东南半岛、菲律宾微板块等相对稳定的构造区。即稳定地台区或有其它有较长相对稳定期的地区最有利于红土型铝土矿的形成。

2.2 中国南方适于红土型铝土矿形成的大地构造区

从始新世开始, 中国西南部逐渐由海变陆, 青藏地区进入剧烈隆升期, 构造特点是山体强烈隆起并伴随着强烈的褶皱和逆掩^[18], 不适宜铝土矿的形成。中国东部华南板块及大陆边缘地区虽然出现大规模的裂隙和凹陷作用, 但主要是形成大陆边缘的一些盆地, 如东海盆地和莺琼盆地。华南板块总体相对稳定, 秦岭以南、青藏高原以东直到闽、浙沿海, 除江汉-南阳盆地外, 只有零星分布的小型盆地^[19]。就该大地构造条件来说, 中国南方地区(扬子准地台、华南褶皱系、东南沿海褶皱系)适于形成红土型铝土矿, 如福建漳浦、广西贵港和海南蓬莱红土型铝土矿。

3 气候条件

气候是三水型铝土矿形成最重要的条件。在热带潮湿地区的活动大陆边缘, 分布广泛的铝土矿, 这也说明了气候因素对铝土矿形成的重要性^[20]。按照 Segalen 的观点“含有氢氧化铝的铁质土壤是在年平均温度 18~25℃之间, 年降雨量 1000~2500mm 的条件下形成的”。近期研究表明新生代铝土矿的规模和质量均有从低纬度带到高纬度带发生急剧下降的趋向, 而且铝土矿的质量也明显降

低^[9]。铝土矿的形成不仅需要高温和高降雨量,也需要短时期的干旱间隔,这样可以使潜水面反复升降,进而有利于元素的溶解、运移和沉淀^[21]。再者,红土型铝土矿的保存也需要类似形成时的各项条件,如果保存条件不好,即使已经形成的好的铝土矿也会被后期的复硅化和各种贫化作用破坏,所以,不但成矿的古环境很重要,现代保存环境也是成矿的重要条件。

3.1 国外红土型铝土矿床气候

国外大型红土型铝土矿都位于热带季风或者热带海洋性气候区,年平均降水量在1500mm以上,年平均气温也在20°以上。

3.2 中国南方适宜红土型铝土矿形成的气候区

李启津(1989)^[10]总结国内外红土型铝土矿床的气候条件,认为铝土矿集中于赤道两侧,南北纬0~20°之间,年平均温度不低于20°C,年降雨量不小于1500mm。作者参考了全球红土型铝土矿的大量气候资料^[14~26],认为李启津总结的关于纬度、气温

和降雨量的约束条件是最合理也是最具代表性的,本文将采纳该约束条件。现代震源机制分析和古地磁资料证明新生代东亚地区是在作由南向北的运动。刘椿(1978)^[24]认为“按照东亚地区古地磁质料分析,就东亚其中某一个别地点而言,当时的古纬度要比现在靠南几度”^[18]。统计这些地点的古纬度和今天的纬度差值,得出古纬度平均比今天的纬度低5°。那么结合两者,以李启津认为的南北纬20°为参考,作者认为北纬25°以南的我国领土是找矿的重点区域。

以国家气象信息中心提供的中国30年(1971~2000)年平均气温分布图和降水量分布图该数据由中国气象科学数据共享服务网(<http://cdc.cma.gov.cn/>)提供为参考,绘制我国北纬25°以南、年平均气温不低于20°、年降水量不小于1500mm的地区为我国南方红土型铝土矿的I级成矿远景区(图1)。它包括海南省、台湾岛、广东省的全部,广西省的大部,云南省的西南部和福建省的东南沿海地区。

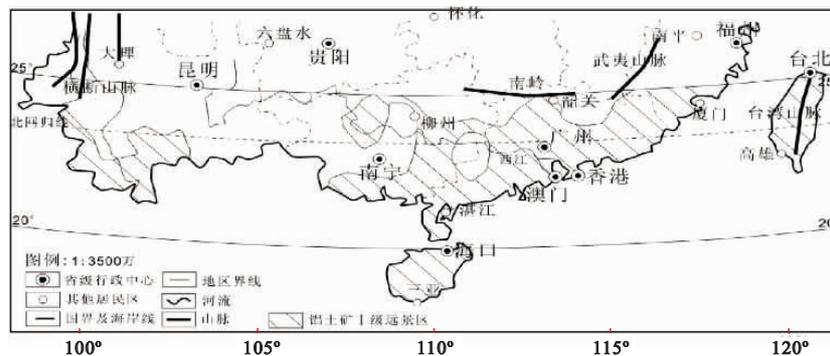


图1 中国南方红土型铝土矿I级远景区

4 地貌条件

在地理地貌上,根据大量的统计资料,红土型铝土矿主要产于赤道两侧的热带、亚热带地区;产出地形较为平坦,一般坡度3°~15°,以5°~10°为最佳;地形具备良好的排水条件和极有限的侵蚀剥蚀环境^[25]。从成矿空间上来看,多数矿床位于临海边缘区和大洋岛屿中,而在内陆发现这类矿床很少。铝土矿成矿最有利的地形是起伏不大的多丘或低山地,或者高原边缘地形;只有在地形高差不大,排水条件良好,渗透率高的岩石构成的地形地貌,才可能形成品位较好的三水铝土矿。如印度南部帕勒

(Bule)山脉的铝土矿产于第三纪准平原的斜坡上。

4.1 国外红土型铝土矿地貌

国外大型红土型铝土矿大部分位于残留的夷平面或高原边缘地形,其次是高差不大的山地丘陵地区。这些地区具备良好的排水条件和有限的侵蚀环境,适宜形成优质的红土型铝土矿。

4.2 中国南方适于红土型铝土矿形成的地貌

中国南方地区分布广泛的低缓丘陵和山地,总体来说是个非常不错的远景区。含铝成熟红土化剖面的形成需要百万年以上的时间^[25]。然而覆盖在我国南方220km²土地上的红土大部分都是第四纪

的产物,由于风化时间太短,较难形成大型红土型铝土矿,只能形成小型矿床如福建漳浦、海南蓬莱和广西贵港铝土矿。那么根据国外经验,南方地区第三纪形成的残留夷平面或许是红土型铝土矿找矿勘探的重要区域。如福建漳浦红土型铝土矿,矿体就位于海拔 40 ~ 130m 的残丘顶部的夷平面上(图 2)^[9]。

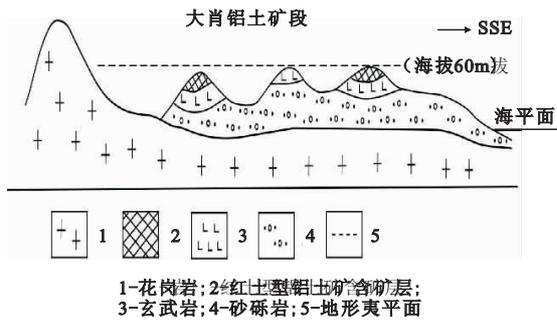


图 2 福建漳浦铝土矿地质剖面图(据文献[5])

在古地理地貌上,据王鸿桢《中国古地理图集》(1985)^[28] 现今台湾岛西部海岸平原直到更新世都还是海洋环境,不适宜铝土矿。台东海岸山脉冲断山地和缝合线地带极不稳定,也不是很好的靶区。即在绘制红土型铝土矿 I 级远景区时,将黄镇国等《中国热带第四纪板块构造的地貌效应》(2004)^[29] 划分的台湾岛构造地貌带中的 1、2 和 7 三个构造地貌带去除。广东雷州半岛和海南省北部地区直到更新世晚期才逐渐抬升,之前都是滨海沉积的海陆交互和断陷盆地沉积,没有合适的成矿条件。始新世中期海水内侵,到达三水、广州太和一带,直到上新世海退,珠江口盆地以海岸交互为主^[30],因此也不适合铝土矿的形成,不应在 I 级远景区范围内。那么依据中国的地形地貌图,在 I 级远景区的基础上,作者综合该区古地理地貌条件绘制出铝土矿的 II 级远景区(图 4)。它在 I 级远景区的基础上去除了雷州半岛的湛江和茂名部分地区,也去掉了珠江口盆地、海南岛北部海岸平原和台湾岛的西南部海岸平原地区。



图 3 中国南方红土型铝土矿 II 级远景区

5 成矿母岩和成矿时间

成矿母岩和成矿时间也是很重要的因素。国内外大量的矿例说明,除了超基性岩石和纯石英岩外,几乎所有的岩石在具备一定条件下都有可能成为有利源岩^[9]。计算表明:含矿红土风化剖面的形成,短者只要一百万年左右,长者亦仅数十百万年。这些计算结果与许多铝土矿区估计的矿化时间是相当一致的,就是说长者自第三纪、短者自第四纪开始矿化即可形成相当规模的矿床。

5.1 国外红土型铝土矿成矿母岩和成矿时间

在成矿母岩上,除了超基性岩石和纯石英岩外,几乎所有的岩石在有利条件下都可以形成铝土矿;在成矿时间上,以第三纪特别是始新世(50MA)为主要成矿期,少部分形成于第四纪。

5.2 中国南方红土型铝土矿成矿母岩和成矿时间

红土型铝土矿成矿母岩的岩石种类多种多样,范围很广,但中国红土型铝土矿的成矿母岩比较单一,福建漳浦铝土矿和海南文昌蓬莱铝土矿的母岩都是玄武岩,广西贵港铝土矿的成矿源岩是粉砂岩

石灰岩互层^[9]。这可能是在中国还没有找到足够多该类型铝土矿的原因,因此并不具备代表性。总的来说,富铝的碱性岩类以及中基性的火成岩(玄武岩、辉长岩、安山岩等)和沉积岩(碳酸盐岩、砂页岩等)可能是最有利的成矿源岩,可以作为中国南方寻找红土型铝土矿的重点岩石类型。当然国外也不乏其他岩类中形成大型铝土矿的例子。再者,古红土型铝土矿出露的地区也可经后期风化作用形成堆积型或红土型铝土矿,如广西平果那豆铝土矿。

全球红土型铝土矿最集中的成矿时代是始新世,其次是中新世。中国目前已发现的小型红土型铝土矿成矿时间都是晚第三纪-第四纪。由于晚白垩世到始新世华夏山地的抬升对气候的阻隔作用,导致中国南方大部地区在始新世是热带亚热带干旱气候,所以不大可能形成大型的红土型铝土矿床,而在渐新世之后,华南地区进入热带亚热带潮湿气候,利于成矿^[32]。所以就中国的大环境而言,渐新世-更新世可能才是中国红土型铝土矿形成的重点时代,最有希望的是中新世。

6 找矿远景与战略选择

中国已发现的红土型铝土矿如福建漳浦铝土矿、海南蓬莱铝土矿和广西贵港铝土矿都位于作者所绘的红土型铝土矿Ⅱ级远景区内(图3),且陈国达(1991)^[11]认为的红土型铝土矿重要找矿地段如广东南部的贵港、横县及宾阳等地也与作者绘制的红土型铝土矿Ⅱ级远景区相吻合(图3)。因此,作者认为绘制的红土型铝土矿Ⅱ级远景区具有一定的参考价值,结合地质填图等基础普查手段和现代技术方法如地球物理、地球化学异常、卫星遥感技术等,可为寻找大型红土型铝土矿提供必要的帮助。

铝土矿就是脱硅富铝的古土壤,也是热带亚热带夷平面发育的产物^[33]。红土型铝土矿其实就是铝含量达到工业品位的风化红土,是风化壳的一部分。经贵州、广西、云南、湖南等地的岩溶风化壳地貌研究认为,红色岩溶风化壳和夷平面的关系是很密切的^[34-35]。所以在中国南方地区寻找夷平面或许是大型红土型铝土矿找矿勘探取得突破的关键。

综合分析,在中国南方寻找到大型红土型铝土矿还是很有可能且很有必要的。中国南方沿海热带亚热带海洋气候区(广东、海南、福建、广西等地),分布有广泛的低缓丘陵和山地,并出露大量的红土风化壳,是个非常不错的远景区。结合作者绘制的铝土矿找矿远景区图和当地的地质资料,将重点勘查区域放在高差不大的山地丘陵、波状台地和高原边

缘地区。特别是在山地丘陵与盆地或平原的连接转换地带,那里水文地质条件最佳,最有利于成矿。富铝的碱性岩类以及中基性的火成岩(玄武岩、辉长岩、安山岩等)和沉积岩(碳酸盐岩、砂页岩等)可能是最有利的成矿源岩,有这些岩石类型出露的地区可以作为寻找红土型铝土矿的重点地区。另外,岩石的物理力学性质也是重要的因素,孔隙度高和渗透率大的岩类利于铝土矿的形成。所以在找矿方法上,应结合当地的地质资料,以火成岩分布区和沉积岩分布区为重点区域,结合当地的气候、地貌条件开展矿产勘查工作。

7 结语及探讨

① 铝土矿按其赋存状态应分为红土型、古红土型和堆积型三大类。

② 绘制出红土型铝土矿Ⅰ级和Ⅱ级远景区,具有一定的参考价值。结合地质资料和其它技术手段如遥感、地球物理、地球化学方法等可为找矿勘探提供服务。

③ 红土型铝土矿跟风化夷平面存在着密切的成因联系,寻找夷平面或许是大型红土型铝土矿找矿勘探取得突破的关键。

④ 红土型铝土矿的成矿母岩多样,多数学者认可除纯石英岩等少数几种岩石外的所有岩石类型都可能形成铝土矿的观点。但具体来说,包括碱性岩在内的富铝岩类(高铝片岩、霞石岩等)、中基性火成岩(玄武岩、安山岩、辉长岩等)和沉积岩(碳酸盐岩、碎屑岩)是最有可能的。

⑤ 就全球范围而论,红土型铝土矿储量占全球80%以上。但在中国却恰恰相反,以古红土型为主,只在福建漳浦、广西贵港和海南蓬莱地区找到小型的红土型铝土矿。究其原因,通过上面的分析,作者认为:在全球最大成矿期的始新世,干旱气候横亘东亚,特别是在中国中南及华南,由于华夏山地的阻隔作用,使中国南方大部处于干旱气候,不适于铝土矿的形成,晚始新世后才逐渐变为潮湿气候。因此中国红土型铝土矿的主成矿时代应该在晚第三纪到更新世。

参考文献:

- [1] 布申斯基. 铝土矿地质学(王恩孚译) [M]. 北京:地质出版社, 1984: 154-210.
- [2] 刘平. 六论贵州之铝土矿——铝土矿床成因类型划分意见 [J]. 贵州地质, 1996, 13(1): 45-60.
- [3] 孙惠有. 铝土矿地质勘探规范 [J]. 轻金属, 1984(05).

- [4] 国土资源部. DZ/T0202-2002, 铝土矿、冶镁菱镁矿地质勘探规范[S]. 北京: 地质出版社, 2003.
- [5] 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.
- [6] 宋叔和, 康永孚, 涂光炽. 中国矿床[M]. 北京: 地质出版社, 1996: 267-268.
- [7] 刘中凡. 世界铝土矿资源综述[J]. 轻金属, 2001(5): 7-12.
- [8] USGS, Mineral Commodity Summaries: Bauxite and alumina[R]. Washington: United States Government Printing Office, 2009.
- [9] 谭绿贵. 我国三水型铝土矿成矿规律及找矿预测探讨[J]. 轻金属, 2000(5): 6-8.
- [10] 李启津. 在我国南方寻找三水型铝土矿床的浅析[J]. 轻金属, 1989(4): 1-6.
- [11] 陈国达. 中国大型三水型铝土矿的找矿思路和远景[J]. 中国有色金属学报, 1991, 1(1): 2-9.
- [12] B. A. Bogatyrev, V. V. Zhukov, Yu. G. Tsekhovskiy. Formation Conditions and Regularities of the Distribution of Large and Super-large Bauxite Deposits [J]. Lithology and Mineral Resources, 2009, 44(2): 135-151.
- [13] 陈世益, 周芳, 何学锋. 中国南方新生代主要岩类的红土化进程[J]. 中国有色金属学报, 1994, 4(3): 1-5.
- [14] 高灶其, 樊克锋. 几内亚红土型铝土矿床地质特征[J]. 资源调查与环境, 2009, 30(2): 115-118.
- [15] P. L. C. GRUBB. Genesis of Bauxite Deposits in the Lower Amazon Basin and Guianas Coastal Plain [J]. Economic geology, 1979, 74(4): 735-750.
- [16] 薛静, 高光明, 成功. 老挝波罗芬高原红土型铝土矿地质特征与成矿规律[J]. 地质找矿论丛, 2009, 24(4): 297-302.
- [17] 戴晓彬. 菲律宾西萨马省铝土矿基本地质特征及成矿机理初探[J]. 矿产与地质, 2005, 19(4): 394-397.
- [18] 任纪舜, 姜春发, 张正坤, 秦德余. 中国大地构造及其演化[M]. 北京: 科学出版社, 1980: 116-117.
- [19] 杜远生, 董金南. 古生物地史学概论[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2007: 190.
- [20] B. A. Bogatyrev, V. V. Zhukov. bauxite provinces of the world [J]. Geology of Ore Deposits, 2009, 51(5): 339-355.
- [21] Regory D. price, Paul J Valdes, Bruce W. Sellwood. Prediction of modern bauxite occurrence: Implication for climater reconstruction [J]. Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology, 1997(131): 1-13.
- [22] F. Michael Meyer et. al. The geometry and anatomy of the Los Pijiguas bauxite deposit, Venezuela [J]. Ore Geology Reviews 2002(20): 27-54.
- [23] 中国科学院地理所外国地理研究室. 老挝地理 [R]. 北京: 中国地理学会, 1977.
- [24] 刘椿. 东亚更新统古地磁学数据的地质意义 [J]. 1978.
- [25] 洪金益. 红土型铝土矿的矿化时间研究 [J]. 有色金属矿产与勘查, 1994, 3(3): 141-145.
- [26] P. L. C. GRUBB. Genesis of Weipa Bauxite Deposits, N. E. Australia [J]. Mineral deposits, 1971: 265-274.
- [27] Soler, J. M., Lasaga, A. C.. The Los Pijiguas bauxite deposit (Venezuela): a compilation of field data and implications for the bauxitization process. Journal of South American Earth Sciences, 2000(13): 47-65.
- [28] 王鸿祯. 中国古地理图集 [M]. 北京: 地图出版社, 1985: 121-133.
- [29] 黄镇国, 张伟强. 中国热带第四纪板块构造的地貌效应 [J]. 地理科学, 2004, 24(3): 286-291.
- [30] 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: 823-826.
- [31] Tony Eggleton, Graham Taylor. Bioturbation of the weipa bauxite [J]. Regolith 2005 — Ten Years of CRC LEME, 2005: 83-85.
- [32] 国家地质总局宜昌地质矿产研究所. 中南地区白垩纪-第三纪岩相古地理 [M]. 北京: 地质出版社, 1979: 63-65.
- [33] 陆景冈. 土壤地质学 [M]. 北京: 地质出版社, 1997: 220-221.
- [34] 崔之久, 李德文, 伍永秋, 刘耕年. 关于夷平面 [J]. 科学通报, 1998, 43(17): 1794-1805.
- [35] 崔之久, 李德文, 刘耕年, 冯金良, 张威. 湘桂黔滇藏红色岩溶风化壳的性质与夷平面的形成环境 [J]. 中国科学 (D 辑), 2001, 31: 134-141.

(责任编辑 杜雅君)

· 行业资讯 ·

洛阳华陵镁业特种镁合金材料助神舟飞船升空

河南洛阳华陵镁业有限公司研发的特种镁合金在神舟五号、六号、七号、八号、九号飞船上得到了有效的应用, 为飞船的顺利升空作出了重要贡献。这种航天镁合金具有: 弹性模量大, 消震性强, 承受冲击载荷能力大, 抗腐蚀性能高等特点。在神舟飞船上起到了类似汽车大梁的作用, 是一种主要的受力结构件。

(王祝堂 供稿)