高兰, 王登红, 熊晓云, 等. 中国铝土矿资源特征及潜力分析[J]. 中国地质, 2015, 42(4): 853−863.
Gao Lan, Wang Denghong, Xiong Xiaoyun, et al. Minerogenetic characteristics and resource potential analysis of bauxite in China[J]. Geology in China, 2015, 42(4): 853−863(in Chinese with English abstract).

中国铝土矿资源特征及潜力分析

高 兰[1] 王登红[1] 熊晓云[2] 齐帅军[1] 易承伟[3] 夹少辉[3]

（1矿产资源成矿规律与成矿预测研究中心, 成矿作用与资源评价重点实验室, 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 10037; 2 湖北国土资源职业学院, 湖北 武汉 430090); 3 中国矿业大学, 北京, 100083）

提要: 本文从铝土矿资源现状、成因类型、预测类型、资源潜力等方面总结了中国铝土矿资源特征。中国铝土矿划分为古风化壳沉积型、堆积型和红土型3大矿床成因类型, 对应于铝土矿3大预测类型; 根据中国铝土矿查明资源储量和预测资源量分布, 从成铝区带、省区市和主成矿期3个层面, 重点分析了中国铝土矿资源潜力, 提出中国南方红土型铝土矿和中国北方煤下铝土矿是今后主要的找矿方向。

关 键 词: 铝土矿; 资源现状; 成矿特征; 成因类型; 预测类型; 资源潜力
中图分类号:P618.45 **文献标志码**: A **文章编号**: 1000−3657(2015)04 −0853−11

Minerogenetic characteristics and resource potential analysis of bauxite in China

GAO Lan[1], WANG Deng−hong[1], XIONG Xiao−yun[2],
QI Shuai−jun[1], YI Cheng−wei[3], JIA Shao−hui[3]

(1. *MRL Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing* 100037, *China;* 2. *Hubei Land Resources Vocational College, Wuhan* 430090*, Hubei, China;* 3. *China University of Mining & Technology, Beijing* 100083*, China*)

Abstract: This paper summarizes the bauxite minerogenetic characteristics in the aspects of present situation of bauxite resources, genetic types of deposits, prediction types and resource potential of bauxite. Chinese bauxite can be assigned to three genetic types of palaeoweathering crust sedimentary bauxite, accumulation bauxite and laterite bauxite, corresponding to the three bauxite forecast types. Based on distribution of the proven reserves and predicted resources of bauxite in China, the authors made potential analysis of Chinese bauxite deposits in the aspects of main metallogenic belts and provinces of bauxite and main mineralization stages. It is detected that South China lateritic bauxite and North China bauxite under the coal layer will be the main prospecting direction.

Key words: bauxite; present situation of bauxite resources; minerogenetic characteristics; deposit type; prediction type; resource potential

About the first author: GAO Lan, male, born in 1964, senior researcher, doctor, mainly engages in the study of geology of ore deposits and the exploration of mineralization zoning; E−mail: 1075084613@qq.com.

收稿日期:2014−09−09;**改回日期**:2015−04−18
基金项目:中国地质调查局地质大调查项目(12120115065601、12120106330903、121201120369)资助。
作者简介:高兰,女,1964年生,博士,研究员,主要从事矿床地质和成矿远景区划研究工作;E−mail:1075084613@qq.com。

铝是世界上最为广泛应用的金属之一，是仅次于钢铁的第二大金属，铝土矿是生产金属铝的主要原料。据美国地质调查局公布的数据，2011年全球铝土矿资源量为550~750亿t，中国铝土矿储量居第7位，约占2.86%。2011年中国首次超过澳大利亚成为全球第一大铝土矿消费国，由于国内优质铝土矿资源短缺，2012年中国铝土矿对外依存度高达50%，资源供应能力面临较大压力。因此，为保证中国铝工业持续发展，了解中国铝土矿资源现状，开展中国铝土矿成矿规律研究和资源潜力分析，寻找优质铝土矿资源成为当前工作的重点。

1 中国铝土矿资源现状

1.1 铝土矿储量相对集中

中国铝土矿资源比较丰富，全国31个省区市中19个省区市探明有铝土矿资源(图1)❶，但储量分布相对集中，华北陆块和扬子陆块的铝土矿成矿地质条件最好，铝土矿资源也最丰富，山西、广西、贵州和河南4省区铝土矿资源储量和矿区数均位居全国前列，4省区铝土矿保有资源储量合计超过全国保有资源储量的90%，其中山西约占37%，是中国第一铝土矿资源大省，广西、贵州和河南以20%、18%和17%比例位居第二、第三和第四位。重庆、云南、山东、河北、四川和海南等省区虽分布有一定数量的铝土矿资源，但矿区数量和资源储量均不占重要地位(图2)。

1.2 铝土矿矿床类型以古风化壳沉积型为主，矿床规模以大中型为主

古风化壳沉积型铝土矿是中国铝土矿的主要矿床类型，其保有资源储量占全国保有资源储量总量的80%以上。按矿床规模划分，中国铝土矿以大中型矿床为主(图3)。从矿区数量来看，以中小型矿

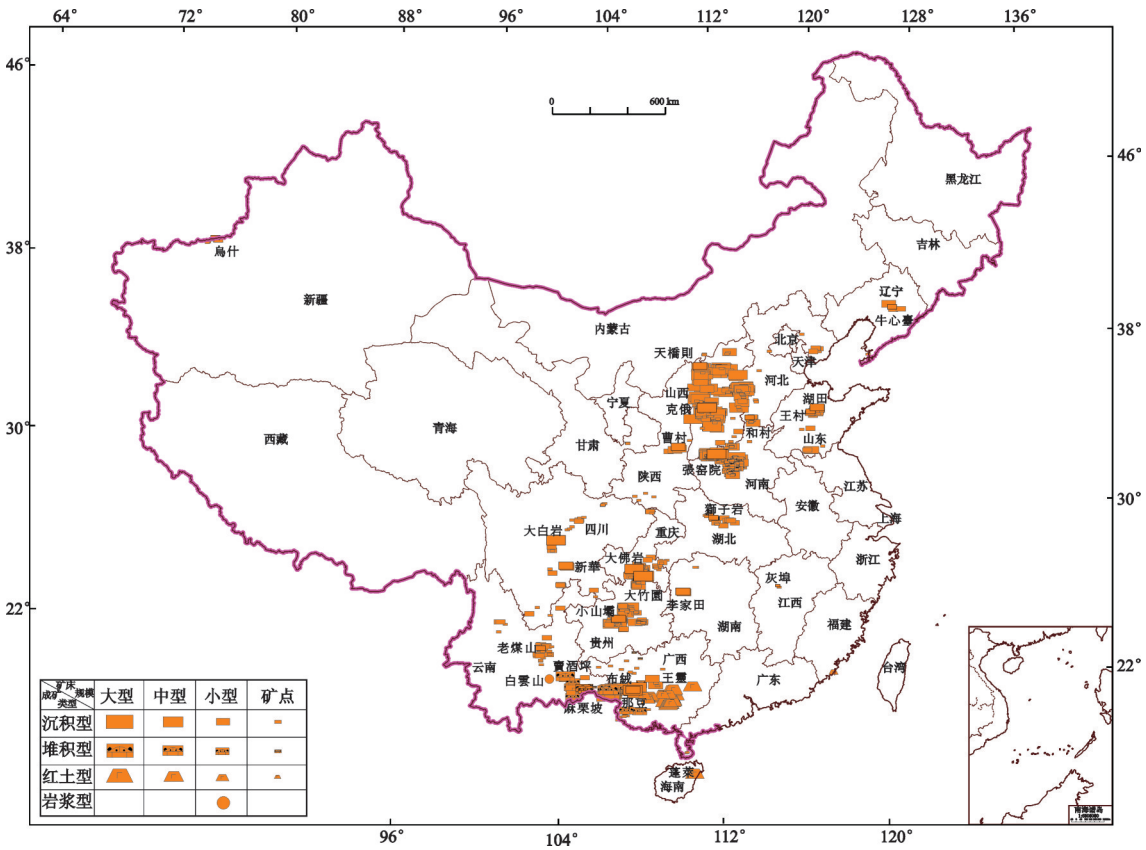

图1 中国铝土矿矿床分布图

(除白雲山霞石铝矿外，全部为铝土矿矿床)

Fig.1 The distribution of Chinese aluminium deposits

(All for bauxite deposits except Baiyunshan nepheline aluminium deposit)

❶高兰，王登红. 中国铝矿成矿规律研究汇总成果报告[R]. 内部资料，2013.

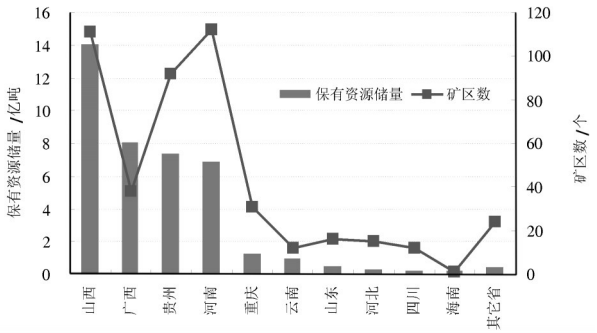

图2 中国铝土矿矿区及保有资源储量分布图
Fig.2 The distribution of Chinese bauxite deposits and the maintain resources reserves

区为主, 从保有资源储量的分布, 大中型铝土矿占主导地位。大型铝土矿矿区数仅占全国矿区总量的13%, 其保有资源储量超过全国保有资源总量的55%, 中型次之, 矿区数占39%的小型铝土矿矿区其保有资源储量仅占8%(图3)。大中型矿区保有资源储量所占比例超过90%, 其中超过九成为山西、广西、贵州和河南四省区所贡献。

1.3 铝土矿矿石以一水硬铝石为主, 矿石多属中低硅铝比

中国铝土矿资源比较丰富, 但与国外相比, 中国铝土矿品质没有优势, 国外铝土矿资源丰富, 而且以红土型矿床和三水铝石为主, 覆盖层薄, 适于露采, 矿石质量好。中国铝土矿资源以古风化壳沉积型一水硬铝石为主, 适于露采比例小, 加工难度大, 能耗高的一水硬铝石资源储量占比高达90%以上, 缺少易采易选的红土型三水软铝石。

统计表明, 截至2009年底, 中国铝土矿矿石平均品位Al_2O_3以40%~60%为主, 平均铝硅比(A/S)为4~6, 其中铝硅比A/S大于7的铝土矿资源储量占全国比例不足30%, 铝硅比4~7的铝土矿资源储量占比超过60%, 因此, 中国铝土矿矿石多属中低硅铝比, 开采利用成本较高, 资源禀赋不佳。

1.4 铝土矿共伴生矿产较多

中国铝土矿经常有多种共伴生矿产。在古风化壳型沉积型铝土矿分布区, 上覆岩层常产有工业煤层和优质石灰岩, 而含铝岩系中, 共生有粘土矿、硫铁矿和铁矿, 低铁中高品级铝土矿也是优质的高铝粘土矿。粘土矿是铝土矿相变的产物, 在矿区含铝岩系的平面和剖面中, 常常与铝土矿交替产出。铁矿通常产于含矿岩系的底部, 紧邻铝土矿层产于其下部, 如贵州的清镇式铁矿, 中国北方的山西式铁矿。铝土矿中还伴生有镓、钒、锂、稀土、铌、钽、钛、钪等多种有用元素, 其中镓、钒、钪等具有综合利用价值。

1.5 铝土矿资源储量逐年增长, 优质红土型铝土矿仍然匮乏

根据全国矿产资源储量通报(2014年)❶, 截至2013年底, 全国保有铝土矿矿区487处, 保有资源储量40.23亿t, 基础储量9.83亿t(其中储量4.84亿t), 资源量30.40亿t。与2001年相比, 矿区数量增加166处, 年均增速3.5%, 主要集中在山西、河南、贵州、云南、广西、重庆和山东; 保有资源储量增加15.52亿t, 年均增速4.14%, 其中保有基础储量增加3.09亿t, 年均增速3.2%, 资源量增加12.43亿t, 年均增速4.47%, 新增铝土矿资源储量类型以资源量为主。新增铝土矿矿床类型古风化壳沉积型为主, 仅广

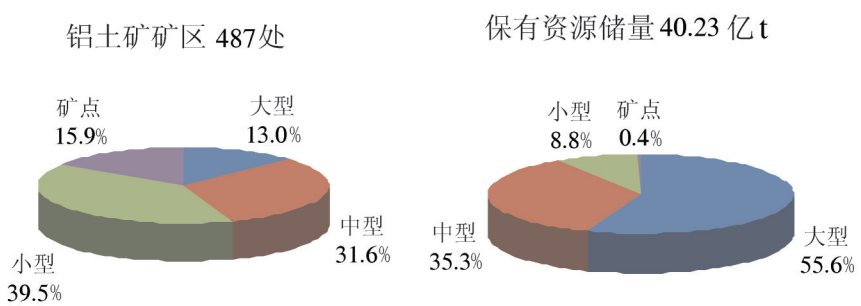

图3 中国铝土矿矿区数量与保有资源储量的规模分布❶
Fig.3 The distribution of Chinese bauxite mines and the conserved resources reserves❶

❶国土资源部储量司. 全国矿产资源储量通报. 内部出版, 2014.

西靖西等地有少量新增堆积型铝土矿, 而广西新发现的红土型铝土矿因暂不能利用, 暂无上表资源储量。

1.6 铝土矿找矿前景大

据中国铝土矿潜力评价最新成果❶, 中国铝土矿预测新增资源量超过200亿t, 是查明铝土矿资源储量的5倍, 显示中国铝土矿巨大找矿潜力。华北陆块、扬子陆块和华南陆块成铝区具有较好的成矿条件, 山西、河南、广西、贵州等省区可作为找矿重点, 特别是中国南方广西中南部, 近10年发现了多处红土型铝土矿矿床, 远景储量超过亿t, 为中国寻找优质红土型铝土矿提供了方向。

1.7 优质铝土矿对外依存度较高

据统计, 中国铝土矿资源利用率较低, 截至2009年底, 中国约有3/4铝土矿资源未被占用, 主要原因是铝土矿矿石品质较差, 开采利用成本较高。长期以来, 中国氧化铝生产都要依靠国外进口铝土矿原料, 特别是20世纪80年代以来, 中国铝土矿消费量迅速增长, 国内铝土矿产量无法满足原料供应, 每年需要大量进口铝土矿以满足生产需要, 2012年中国进口铝土矿3961万t, 对外依存度高达50%, 2013年中国进口铝土矿7007万t, 同比增长78%, 是2000年40万t的170倍, 年均增速48%。由于国内优质三水铝石型铝土矿匮乏, 未来一段时期内, 中国进口优质铝土矿的比例仍将持续保持在50%左右。

2 铝土矿成因类型

2.1 划分方案

中国铝土矿按矿床成因划分为古风化壳沉积型、堆积型和红土型3大类型❷[1-2], 根据铝土矿矿层下伏基底的岩性, 古风化壳沉积型进一步划分为以硅酸盐和以碳酸盐岩为基底的2个亚类(表1)。国外较多采用Bardossy et al. (1991)[3-4]的铝土矿矿床分类方案, 由红土型、碳酸盐岩(喀斯特)岩溶型和季赫温型或机械碎屑沉积型3大类型组成(表1)。

国外与中国铝土矿分类命名略有差异, 基本可以进行对比, 部分互为包含关系(表1)。国外红土型指由下伏铝硅酸盐岩石演变而成的(红土风化)残余矿床, 只相当于中国红土型铝土矿的一个亚类; 岩溶型指覆盖在碳酸盐岩的岩溶侵蚀表面上(钙红土或岩溶堆积)铝土矿矿床, 涵盖了中国铝土矿3大类型或其中一个亚类; 季赫温型是产于铝硅酸盐岩中或侵蚀面上的碎屑(沉积)铝土矿矿床, 只相当于中国古风化壳沉积型的一个亚类。

2.2 成因类型

2.2.1 古风化壳沉积型

该类矿床多产于古风化壳碳酸盐岩侵蚀面上, 少数产于砂岩、页岩或玄武岩等硅酸盐岩的侵蚀面上或其组成的岩系中。矿体形态、规模及矿石物质组分等均受含矿岩系基底岩性和古地形的控制, 据此又可划分为2个亚类。

(1)产于碳酸盐岩侵蚀面上的一水硬铝石型铝土矿矿床, 也称G层铝土矿。

含矿岩系呈假整合覆盖于灰岩、白云质灰岩或白云岩侵蚀面上。含矿岩系自上而下由粘土页岩、煤线(部分薄煤层)、粘土岩(矿)、铝土矿、含铁粘土岩、铁矿(赤铁矿、菱铁矿)或黄铁矿等组成, 铝土矿位于含水量矿岩系的中上部。矿体呈似层状、透镜状和漏斗状。单个矿体长一般数百米至数千米, 个别的仅数十米, 宽200 m至千余米。产状一般平缓, 部分受后期构造影响而变陡。矿层厚度变化较大, 一般厚1~6 m。古地形低凹处矿体厚度增大, 质量

表1 国内外铝土矿矿床类型对比

Table 1 Classification of bauxite deposits in China and abroad

中国划分方案		占比/%	国外划分方案	占比/%
古风化壳沉积型	以硅酸岩为基底	5	季赫温型	0.5
	以碳酸盐岩为基底	74	岩溶型	11.5
堆积型	以沉积型铝土矿或碳酸盐岩为基底	20		
红土型	以碳酸盐岩为基底	<1		
	以硅酸岩为基底	<1	红土型	88

❶高兰, 王登红. 中国铝矿成矿规律研究汇总成果报告[R]. 内部资料, 2013.

❷铝土矿、冶镁菱镁矿地质勘查规范. Specifications for bauxite, smelter-grade magnesite Exploration(DZ/T 0202-2002), 中华人民共和国地质矿产行业标准.

也好, 岩溶漏斗极发育地区矿体厚度很不稳定, 最厚可达50余米(漏斗中部); 古地形凸起处厚度变薄, 质量变差, 甚至出现无矿"天窗"。该亚类铝土矿矿石结构呈土状(粗糙状)、鲕状、豆状、碎屑状等。矿石颜色多为白色、灰色, 也有红色、浅绿色及杂色等。矿物成分以一水硬铝石为主, 含少量高岭石、一水软铝石、伊利石、褐铁矿、针铁矿、赤铁矿等, 微量的锆石、锐钛矿、金红石等。主要化学组分含量Al_2O_3为40%~75%、SiO_2为4%~18%、Fe_2O_3为2%~20%、S<0.8%~8%、硅铝比值为3~12。伴生有用元素镓等, 共生矿产有耐火粘土、铁矿、熔剂灰岩、煤矿等。该类矿床规模多为大中型, 该类铝土矿储量约占全国总储量的75%。

根据矿石中铁和硫组分含量, 可划分低铁低硫型铝土矿、高硫型铝土矿和高铁型铝土矿3种矿石类型, 同一矿床以一种矿石类型为主, 或少数兼有两种类型而以某一类矿石为主。

以低铁低硫型铝土矿为主的矿床, 产于石炭系底部、寒武系或奥陶系碳酸盐岩溶侵蚀面上。矿石Fe_2O_3含量小于10%、S含量<0.8%、硅铝比值为3~12, 一般4~7。这类矿床是目前中国工业意义最大、主要开采利用的铝土矿矿床。如贵州小山坝、林歹; 河南小关、张窑院; 山西克俄、相王, 山东沣水等。

以高硫型铝土矿主的矿床, 含矿岩系为石炭系、二叠系, 基底为下二叠统或更老地层的灰岩、白云岩或泥质白云岩。矿石颜色多为灰、灰白、灰黄等, 氧化后为褐黄色。矿石S含量较高,为0.8%~13%, Fe_2O_3含量2%~20%。属于这类矿床的有如贵州猫场、四川大佛岩、山东湖田南(深部)、广西平果布绒等。该类矿床矿层的浅部(潜水面以上), 常因黄铁矿被氧化, 硫被淋失, 低价铁转为高价铁, 高硫铝土矿转变为高铁铝土矿, 两者为渐变过渡关系。

以高铁型铝土矿为主的矿床, 含矿岩系为石炭系或二叠系, 基底为石炭系或寒武系的灰岩、白云岩或泥质白云岩。这类矿床以低铝、低硅、高铁、中高铝硅比为特征, 矿石Fe_2O_3含量10%~20%, S含量<0.8%。矿石因含铁比重较大, 颜色多为褐红、灰绿。属于这类矿床有陕西府谷、山西保德和贵州大豆厂等。

(2)产于砂岩、页岩、泥灰岩、玄武岩侵蚀面上, 或由这些岩石组成含矿岩系中的一水硬铝石铝土矿矿床, 也称B层或A层铝土矿。

含铝岩系为二叠系砂页岩、粘土岩, 基底为砂岩、页岩、玄武岩。矿体呈层状或透镜状, 单个矿体一般长数十米至数百米。厚度较稳定, 一般厚1~4 m。矿石品位变化较大, 沿走向及倾向常被粘土岩所代替。该类铝土矿矿石结构呈致密状、角砾状、鲕状、豆状等。矿石颜色呈灰、青灰、浅绿、紫红及杂色等。矿石类型多为高铁型或高硫型一水硬铝石型。矿物成分主要为一水硬铝石, 次为高岭石、蒙脱石、多水高岭石、绿泥石、菱铁矿、褐铁矿、黄铁矿等。主要化学组分含量Al_2O_3为40%~70%、SiO_2为8%~20%、Fe_2O_3为2%~20%、S<0.8%~3%, 铝硅比值为2.6~9, 一般为3~5。伴生有用元素镓等, 共生矿产有半软质粘土和硬质粘土矿等。属于这类矿床有山东王村、湖南李家田、四川新华乡和辽宁牛心台等矿床。

该类矿床规模小到中型, 矿石储量约占全国总储量的6%。

2.2.2 堆积型

该类矿床系由原生沉积型高硫铝土矿在适宜的构造条件下经风化淋滤, 就地残积或在岩溶洼地(或坡地)中重新堆积而成的。在风化淋滤过程中有害组分硫被淋失, 矿石由高硫铝土矿转变为高铁铝土矿, 从而提高了矿床工业利用价值。矿石呈大小不等的块砾及碎屑夹于松散红土中构成含矿层(矿体), 上覆松散红土或无覆盖。矿体形态复杂, 呈不规则状, 多随基底地形而异, 长数百米至2000余米, 宽数十米至千余米。含矿层厚度变化较大, 一般0.5~10 m。含矿率一般0.4 t/m^3~1.2 t/m^3。

矿石类型以高铁型铝土矿为主, 矿物成分以一水硬铝石铝土矿为主, 次为高岭石、针铁矿、赤铁矿、一水软铝石和少量三水铝石。矿石结构呈鲕状、豆状、碎屑状。矿石颜色为灰色、褐红色、杂色等。化学成分含量$A1_2O_3$为40%~65%、SiO_2为2%~12%、Fe_2O_3为16%~25%、S<0.8%, 铝硅比值4~15, 一般大于7。该类矿床因矿石与红土混杂, 需经选洗才能利用。矿石特征是含Fe_2O_3高, 铝硅比值高,伴生有用组分镓等。

矿床产状平缓, 覆盖薄, 宜露采。属此类矿床的有广西平果、云南广南等。矿体规模多为中、小型, 矿石储量约占全国总储量的18%。

2.2.3 红土型

红土型铝土矿矿床是由基岩风化作用形成矿床, 自上而下可大致分为红土带、三水铝土矿带、半风化过渡带和基岩带。根据风化壳基岩岩性, 中国红土型铝土矿划分玄武岩风化壳型和硫酸盐岩风化壳型2个亚类。

(1)产于玄武岩风化壳的红土型铝土矿矿床(即玄武岩风化壳型)。

矿床产于新生代玄武岩风化壳中, 由玄武岩风化淋滤而成。玄武岩风化壳一般自上而下分为红土带、含矿富集带、玄武岩分解带, 再下为新鲜玄武岩。含矿富集带位于风化壳的中上部, 与上、下两带均为过渡关系, 由红土与块砾状铝土矿组成。

含矿富集带(含矿层)多分布于残丘顶部, 呈斗篷状或不规则状, 产状平缓。单个含矿层面积一般 0.1~4 km^2, 厚度一般0.2~l m, 含矿率0.1~0.6 t/m^3。

矿石呈残余结构, 如气孔状、杏仁状、斑点状、砂状等。矿石颜色为灰白色、棕黄色、褐红色等。矿物成分以三水铝石为主, 其次为褐铁矿、赤铁矿、针铁矿、伊丁石、高岭石、一水软铝石及微量石英、蛋白石、钛铁矿等。矿石类型属高铁低硫型铝土矿。化学成分 $A1_2O_3$ 含量为30%~50%、SiO_2 为2%~12%、Fe_2O_3 为12%~30%、铝硅比值4~6, 共伴生矿产有镓及钴土矿。

该类矿床覆盖薄, 宜露采。国外多为大型—特大型矿床, 为国外铝工业的主要矿源之一。中国已知矿床不多, 且多为小型, 仅海南蓬莱为大型。属此类矿床的有海南蓬莱、福建漳浦、广东徐闻曲界等矿床。矿石储量不足全国总储量的1%。

(2)产于碳酸盐岩风化壳的红土型铝土矿矿床(即碳酸盐岩风化壳型)。

矿床产于新生代碳酸盐岩风化壳中, 由碳酸盐岩经红土化作用形成。碳酸盐岩风化壳自上而下可分为红土表层带、三水铝土矿层带、杂色粘土层带、半风化基岩带和基岩带。铝土矿层由由棕黄-褐红色红土与块砾状铝土矿及少量褐铁矿结核组成, 矿石表面常有一层深褐色铁、锰质外壳。

含矿层厚0.1~16 m, 一般为2~6 m, 一般中上部含矿率高(大于0.5 t/m^3) 、矿石块度大、基质粘土疏松、粘性弱, 为高铁三水铝土矿的主矿层; 下部含矿率较低(0.1 t/m^3~0.5 t/m^3) 、矿石块度较小(一般小于3 mm), 含铁、锰相对较高, 基质粘土结构较紧密、粘性中等, 为次要含矿层, 两者呈渐变过度关系, 无明显分界线。

矿石主要呈细晶-隐晶结构、自形—他形粒状结构、残余结构等。矿石构造主要有砾状、豆状、鲕状、结核状、皮壳状、熔渣状(多孔状)、角砾状等, 其中豆(鲕)状、结核状构造最为常见。矿石成分以三水铝石为主, 其次为含铝针铁矿、赤铁矿、高岭石、伊利石、锂硬锰矿、钛铁矿、一水软铝石及微量磁铁矿、蛋白石、石英等。矿石类型属高铁低硫型铝土矿。化学成分含量 $A1_2O_3$ 为30%~40%、SiO_2 为10%~18%、Fe_2O_3 为25%~45%、铝硅比为2~4。

该类矿床覆盖薄, 宜露采。目前, 中国已发现的该类矿床潜在规模多为大型, 由于矿石含铁较高, 尚未开采利用, 目前暂无上表资源储量。属此类矿床的有广西贵港王灵等矿床。

3 铝土矿预测类型

中国铝土矿按成因成因分为古风化壳沉积型、堆积型和红土型铝土矿3大类型, 对应于3大预测类型, 26个亚类型(表2、3, 图4)。华北地区孝义克俄式、西南地区的修文小坝式古风化壳沉积型铝土矿、西南地区的平果式堆积型铝土矿和贵港式红土型铝土矿型是中国铝土矿的重要预测类型。

3.1 铝土矿预测类型

(1)古风化壳沉积型: 根据铝土矿矿床(层)下伏古风化壳基岩的岩性, 进一步划分(碳酸盐)古风化壳沉积型和(硅酸盐)古风化壳沉积型2个亚类。古风化壳沉积型(碳酸盐岩基底)是华北、西南地区以寻找与古生代沉积(风化)作用有关铝土矿、稀土、Ga矿床为主要目的的矿产预测类型, 可扩展到铁、煤等矿种。古风化壳沉积型(硅酸盐基底)是西南、华南和华北地区以寻找古生代地层分布区沉积型铝土矿为主要目标的矿产预测类型。

(2)堆积型: 华南地区以寻找新生代岩溶堆积作用有关的铝土矿、镓矿床为主要目的的矿产预测类型, 可扩展到沉积型铝土矿。

(3)红土型: 华南地区以寻找红土型铝土矿为主要目的的矿产预测类型, 可扩展到金、锰、镍、钴等矿种。

3.2 铝土矿预测亚类型

根据全国典型铝土矿矿床分布特点, 铝土矿预

表2 中国铝土矿预测类型划分[5]

Table 2 The division of Chinese bauxite forecast types[5]

预测方法类型	预测类型\分布区域	西北	华北	东北	西南	中南	华东
沉积型	古风化壳沉积型(碳酸盐)	陕北天桥则式、乌什阿依里式曹村式	孝义克俄式、巩义竹林沟式、新安张窑院式、淄博湖田式、邯郸峰峰和村式		修文小山坝式、滇中老煤山式、滇东南麻栗坡式	平果布绒式	赣西灰埠式
	古风化壳沉积型(硅酸盐)		淄博王村式	本溪牛心台式	重庆大佛岩式、黔北大竹园式、乐山新华式大白岩式	湘西李家田式、鄂西狮子岩式	
	堆积型				滇东卖酒坪式	平果那豆式	
	红土型					桂中贵港式、文昌蓬莱式	闽东漳浦式

注: 据文献[5]修改。

表3 中国铝土矿预测类型亚类一览

Table 3 The division scheme of Chinese bauxite forecast sub-types

序号	预测类型亚类	分布	矿床成因类型	含铝岩系时代
1	孝义克俄式	华北地块	古风化壳沉积型	C_2
2	巩义竹林沟式	华北地块	古风化壳沉积型	C_2
3	新安张窑院式	华北地块	古风化壳沉积型	C_2
4	邯郸峰峰和村式	华北地块	古风化壳沉积型	C_2
5	平果布绒式	华南褶皱系	古风化壳沉积型	P_2
6	赣西灰埠式	华南褶皱系	古风化壳沉积型	T_3
7	陕北天桥则式	华北地块	古风化壳沉积型	C_2
8	陕南曹村式	华北地块	古风化壳沉积型	P_2
9	乌什阿依里式	塔里木地块北缘	古风化壳沉积型	C_2
10	修文小山坝式	上扬子地块	古风化壳沉积型	C_1
11	滇中老煤山式	上扬子地块	古风化壳沉积型	P_2
12	滇东南麻栗坡式	华南褶皱系	古风化壳沉积型	P_2
13	淄博王村式	华北地块	古风化壳沉积型	P_2(B层)※
14	淄博湖田式	华北地块	古风化壳沉积型	C_2(G层)
15	本溪牛心台式	华北地块	古风化壳沉积型	P_1
16	鄂西狮子岩	上扬子地块	古风化壳沉积型	P_2
17	湘西李家田式	江南古陆西段	古风化壳沉积型	P_2
18	重庆大佛岩式	上扬子地块	古风化壳沉积型	P_2
19	黔北大竹园式	上扬子地块	古风化壳沉积型	P_2
20	乐山新华式	上扬子地块	古风化壳沉积型	P_1
21	川中大白岩式	上扬子地块	古风化壳沉积型	P_1
22	平果那豆式	华南褶皱系	堆积型	P_2-Q
23	滇东卖酒坪式	华南褶皱系	堆积型	P_2-Q
24	闽东漳浦式	华南褶皱系	红土型	E-Q
25	文昌蓬莱式	华南褶皱系	红土型	E-Q
26	桂中贵港式	华南褶皱系	红土型	D-C-Q

注: ※—A层、B层和G层分别表示A层铝土矿、B层铝土矿和G层铝土矿。

测类型进一步划分为26个亚类型(矿床式)(表3, 图4), 各亚类型基本特征概括如表3。

4 铝土矿资源潜力分析

4.1 成铝区带及铝土矿资源潜力

中国铝土矿分布较广泛, 储量分布相对集中, 全国划分了塔里木西北缘、华北地块南缘等15个成铝区带[7](表4, 图4)。其中华北陆块山西断隆、华北陆块南缘、桂西南、黔中古陆和渝南黔北成铝区带铝土矿查明资源储量居前五位; 山西断隆、华北陆块南缘、桂西南、桂中和黔中古陆预测资源量居前五位, 5个成铝区带预测资源量合计超过全国的95%。

山西断隆成铝区, 是中国铝土矿矿床(点)最集中、分布范围最大铝土矿成矿区, 分布面积约19.27万 km^2。行政区以山西省为主, 包括陕西东北部府谷、内蒙南部鄂尔多斯、河南北部济源以及河北省

表4 中国成铝区带划分及其资源储量分布

Table 4 The distribution of bauxite metallgenic belts and their proven reserves and predicted resources

Ⅱ级区带	Ⅲ级区带	成铝区带编号	成铝区带名称	典型矿床(规模)	查明资源储量占比/%	预测资源量占比/%
Ⅱ-4	Ⅲ-12	Al1(C)	塔里木西北缘	乌什(小)	0.02	0.02
Ⅱ-14	Ⅲ-57	Al2(C)	冀东-辽东	牛心台(小)	0.34	0.03
	Ⅲ-61	Al3(A)	山西断隆	克俄(大)	30.54	42.01
	Ⅲ-61	Al4(C)	渭北隆起	曹村(中)	0.08	0.38
	Ⅲ-63	Al5(A)	华北陆块南缘	张窑院(大)	20.96	23.57
	Ⅲ-64	Al6(C)	鲁西断隆	王村(小)	2.40	0.99
Ⅱ-15	Ⅲ-73	Al7(C)	龙门山-大巴山	狮子岩(小)	0.70	0.65
	Ⅲ-76	Al8(C)	康滇古陆	大白岩(小)	0.70	0.87
	Ⅲ-77	Al9(A)	渝南黔北	大佛岩(大)	9.48	2.91
	Ⅲ-77	Al10(A)	黔中古陆	小山坝(中)	11.78	3.85
	Ⅲ-78	Al11(C)	江南古陆西段	李家田(中)	0.15	0.22
Ⅱ-16	Ⅲ-89	Al12(A)	滇东南	卖酒坪(大)	2.19	1.13
	Ⅲ-88	Al13(A)	桂西南	那豆(大)	19.99	16.74
	Ⅲ-86	Al14(B)	桂中	王灵	0.00	6.56
	Ⅲ-90	Al15(B)	琼北	蓬莱(中)	0.68	0.05

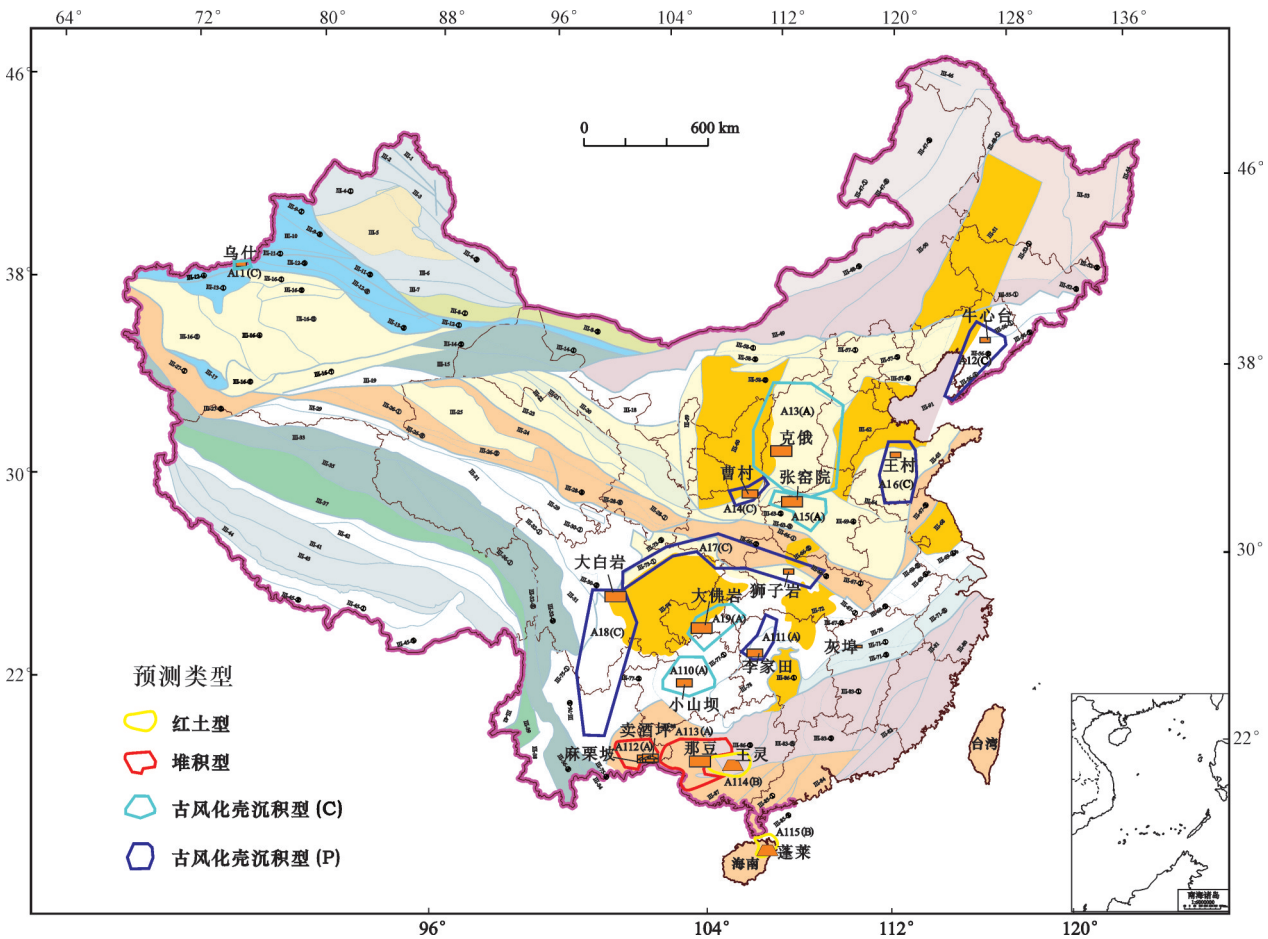

图4 铝土矿预测类型分布图

(底图据文献[6], 注: A11~A115为成矿区带编号)

Fig.4 The map of Chinese bauxite forecase types (base map after reference[6], Note: A11~A115 show serial number of metallogenic belt)

西部邯郸和石家庄地区。大地构造位置属于华北陆块山西断隆,华北陆块山西(断隆)铁-铝土矿-石膏-煤-煤层气成矿带(Ⅲ-61)内,是中国最重要的古风化壳沉积型铝土矿成矿区,区内发育上石炭统含铝岩系,主要寻找孝义克俄式古风化壳沉积型铝土矿,本区查明资源储量约占全国查明总量的31%,预测资源量约占全国预测总量的45%。该区查明资源储量和预测资源量均居全国首位。

华北陆块南缘成铝区位于河南省西部,包括山西南部晋城地区,分布面积约2.81万km²。大地构造位置属于华北陆块南缘,华北陆块南缘铁-铜-金-钼-钨-铅锌-铝土矿-硫铁矿-萤石-煤成矿带(Ⅲ-63),是中国较重要的古风化壳沉积型铝土矿成矿区,区内发育上石炭统含铝岩系,主要寻找张窑院式或竹林沟式古风化壳沉积型铝土矿。铝土矿查明资源储量约占全国查明总量的21%,预测资源量约占全国预测总量的23%。

桂西南成铝区位于广西西南部,分布面积约5.07万km²。大地构造位置处于华南褶皱系右江褶皱带,桂西—黔西南—滇东南北部(右江海槽)金-锑-汞-银-锰-水晶-石膏-(铝土矿)成矿带内(Ⅲ-88),是中国较重要的堆积型铝土矿成矿区,区内发育中二叠统含铝岩系和第四系岩溶风化壳,形成古风化壳沉积型和堆积型两种类型铝土矿,以平果式堆积型铝土矿为主。铝土矿查明资源储量约占全国查明总量的20%,预测资源量约占全国预测总量的17%。

桂中南成铝区位于广西中南部贵港—南宁地区,分布面积约1.17万km²。大地构造位置属于桂中—桂东台陷的广西大瑶山凸起的西南部,湘中—桂中(坳陷)铅-锌-锡-铜-铁-锰-(铝土矿)成矿亚带(Ⅲ-86-2)。主要由贵港市的蒙公、覃塘、附城、大圩、大岭;宾阳县的王灵、稔竹、古辣;横县的马岭、云表、校椅、石塘;来宾市石牙;武宣县禄新等矿(化)区组成。该成铝区主要发育新生代钙红土风化壳,主要寻找贵港式红土型铝土矿。该成铝区暂无查明资源总量,预测资储量约占全国预测总量的7%。

黔中古陆成铝区是中国南方重要铝土矿矿床(点)集中分布区,分布面积约3.26万km²。行政区为贵州中南部,大地构造位置属于上扬子陆块东南缘黔中隆起,上扬子中东部(坳褶带)铅-锌-铜-银-铁-锰-汞-磷-铝土矿-硫铁矿和煤层气成矿带((Ⅲ-77))。南起贵阳至清镇一线及凯里—黄平,向北经修文、息烽、开阳、遵义等地,构成NNE向长约200 km的黔中成铝区,成铝区内铝土矿矿床分片集中分布,自南而北大致可分为3个亚区(带),即3个Ⅳ级成铝亚区:修文—清镇亚区、凯里—黄平亚区和遵义—瓮安亚区。空间上3个成铝亚区与黔中古陆方向基本一致,大致呈近EW向和NNE向带状展布。区内主要发育下石炭统含铝岩系,主要寻找修文小山坝式铝土矿。铝土矿查明资源储量约占全国查明总量的12%,预测资源量约占全国预测总量的4%。

4.2 省区市铝土矿资源潜力

根据中国铝土矿资源潜力评价统计结果(图5),截至2009年,全国山西、河南等19省区市探明有铝土矿资源,山西、广西和河南3省铝土矿预测资源量合计约占全国预测总量的90%,找矿潜力最大,其中山西和河南2省古风化壳沉积型铝土矿资源潜力较大,特别是煤下铝资源丰富,广西以(钙)红土型铝土矿资源远景最好;贵州、陕西、云南、重庆和山东五省铝土矿预测资源量合计约占9%,仍有一定有找矿潜力。

4.3 各成矿期铝土矿资源潜力

中国已查明铝土矿矿床集中分布在晚石炭世、第四纪等7个成矿期,最重要的是晚石炭世、第四纪、早石炭世和中二叠世4个主成矿期,其查明资源储量合计超过96%(表5)。

根据全国铝土矿资源潜力评价成果,晚石炭世古、古近纪—新近纪和晚二叠世3个主成矿期的铝

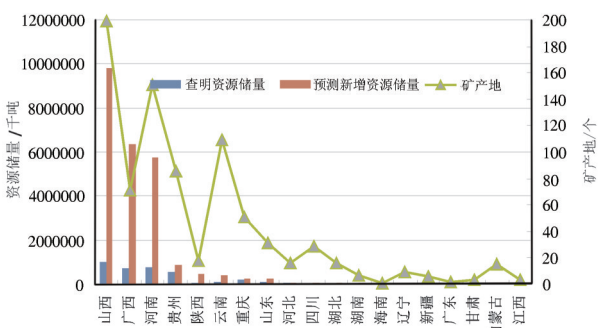

图5 中国铝土矿矿产地及其查明资源储量和预测资源量分布
Fig.5 The distribution of bauxite mineral resources and their proven reserves and predicted resources

表5 各成矿期铝土矿的查明资源储量及预测资源量一览
Table 5 The distribution of proven reserves and predicted resources of various Chinese bauxite metallogenic epochs

成矿期	矿床类型	查明资源储量占比/%	预测资源量占比/%
第四纪	堆积型	20.28	2.72
古近-新近纪	红土型	0.68	16.49
中晚三叠世	古风化壳沉积型	0.01	0.00
晚二叠世	古风化壳沉积型	2.76	8.95
中二叠世	古风化壳沉积型	10.95	3.62
晚石炭世	古风化壳沉积型	53.73	66.25
早石炭世	古风化壳沉积型	11.58	1.96

土矿预测资源量分列前三(表5), 其中晚石炭世铝土矿预测资源量约占预测总量的2/3, 华北陆块的山西、河南等省晚石炭世铝土矿资源丰富, 找矿潜力最大; 古近纪—新近纪铝土矿预测资源总量(含查明未上表资源储量)超过预测总量的1/6, 古近纪—新近纪铝土矿主要出露华南陆块广西中南部, 是中国红土型铝土矿未来的找矿方向; 晚二叠世铝土矿主要分布于扬子陆块贵州、重庆等地, 是目前中国南方古风化壳沉积型铝土矿找矿取得重大进展地区, 未来铝土矿勘查可能再上一个新台阶。

5 找矿工作建议

5.1 中国南方红土型三水铝土矿地质找矿

国外铝土矿以红土型三水铝石为主, 储量占比超过80%; 中国正好相反, 以古风化壳沉积型为主, 红土型铝土矿储量占比不足1%。全国仅有海南、福建和广西3省的部分地区发育红土型铝土矿, 矿床规模多为小型, 只有海南蓬莱1处大型红土型矿床。中国的玄武岩风化壳和碳酸盐岩风化壳两类红土型铝土矿矿床, 分别是20世纪60年代在东南沿海的福建和海南以及90年代中期在桂中贵港地区发现的, 云南鹤庆有红土型铝土矿矿点报道, 尚无查明铝土矿资源储量。

红土型三水铝矿主要分布在赤道两侧、南北回归线之间的范围, 中国南方海南、广西、广东和云南4省区面积有数十万平方千米, 具有找寻红土型铝土矿的巨大潜力。据前人对贵州、广西、云南、湖南等地区岩溶风化壳地貌研究, 中国南方地区寻找夷平面可能是大型红土型铝土矿找矿取得突破的关键。

5.2 中国北方煤下铝土矿地质找矿

近年来, 在华北陆块石炭—二叠系煤田的下部发现了大量优质铝土矿, 据报道部分铝土矿矿石达到Ⅲ级品级(铝硅比≈7), 河南西部煤下铝是河南省西部铝土矿层位向深部的自然延伸[8]。截至2014年1月, 河南省首个煤下铝整装勘查取得重大进展, 渑池曹窑以西煤下铝已确定铝土矿资源量2.08亿t, 矿床规模达特大型[9]。

中国北方石炭系含铝岩系与石炭—二叠系煤层空间上密切共生, 这与其相似的成矿古气候环境有关, 但并不是所有煤层下部都存在铝土矿矿层, 煤层与铝土矿矿层互为消长关系。例如辽宁红阳煤田仅红菱井田(二井)的薄煤层下发育品质不佳铝土矿层, 其他井田厚煤层之下无铝土矿矿层。中国北方石炭—二叠系煤层广泛分布, 在华北陆块二叠系煤层之下, 寻找有利的本溪组含铝岩系层位, 开展河南、山西等省煤下铝找矿是今后勘查布署的重点。

5.3 铝土矿伴生元素的综合利用

中国古风化壳沉积型铝土矿经常与煤、铁和硫铁矿等矿产伴生, 此外还伴生有镓、钒、锂、稀土金属、铌、钽、钛、钪等多种有用元素, 其中铝土矿中的镓、钒、钪等也都具有回收价值。近年来在贵州务正道地区铝土矿中发现伴生钨和锂[10], 河南省铝土矿伴生锂矿成为该省锂矿的主要来源。因此, 加强铝土矿伴生元素的选矿工艺, 弥补中国占优势一水硬铝石资源品质的先天不足, 应该铝土矿找矿勘查和综合利用的重要方向。

6 主要结论

(1)中国铝土矿资源十分丰富, 但能耗高的一水硬铝石占比高达90%以上, 缺少易采易选的红土型三水软铝石。

(2)中国铝土矿矿床划分为古风化壳沉积型、堆积型和红土型3大类型, 古风化壳沉积型铝土矿是中国最主要的铝土矿类型, 储量占比约81%, 广泛分布于中国山西、河南、贵州和广西等19省区; 其次是堆积型铝土矿矿床, 主要分布于广西和云南2省; 红土型铝土矿矿床最少, 储量占比不足1%, 主要分布于桂中南、琼北和粤南。

(3)全国共划分塔里木西北缘、华北地块南缘等15个成铝区带。其中华北陆块山西断隆、华北陆块南缘、桂西南、黔中古陆和渝南黔北成铝区带铝土矿查明资源储量居前5位, 山西断隆、华北陆块南缘、桂西南、桂中和黔中古陆铝土矿预测资源量居

前5位, 成矿潜力最大。

(4)近年来, 华北陆块的煤下铝地质勘查取得了重大突破, 煤下铝土矿资源潜力巨大; 中国南方海南、广西、广东和云南具有形成红土型铝土矿的有利条件, 中国南方红土型铝土矿和中国北方煤下铝土矿是今后主要的找矿方向。

致谢: 本文在编写过程中参考了山西、河南、贵州等19省区对于铝土矿资源利用现状调查、成矿规律及潜力评价的成果报告, 审稿专家及编辑部杨艳老师对论文提出了宝贵修改意见, 在此一并表示感谢!

参考文献(References):

[1] 刘长龄. 中国铝土矿成因类型[J]. 中国科学(B辑), 1987, 38(5): 535−544.
Liu Changling. The origin type of bauxite deposit in China[J]. Science in China(Series B), 1987, 38(5): 535−544(in Chinese).

[2] 廖士范, 梁同荣, 章柏盛, 等.中国铝土矿矿床[M]. 贵州: 贵州科技出版社, 1991.
Liao Shifan, Liang Tongrong, Zhang Baisheng, et al. Bauxite Geology of China[M]. Guizhou: Guizhou Science and Technoloy Press, 1991(in Chinese).

[3] G.巴多西著, 项仁杰等译. 岩溶型铝土矿[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1990.
Bardossy G. Xiang Renjie, et al(trans.). Karst Bauxites[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1990(in Chinese).

[4] G.巴多西等著, 顾皓民等译, 红土型铝土矿[M]. 辽宁: 辽宁科学技术出版社, 1993.
Bardossy G, Aleva G J J. Gu Haomin (trans.). Karst Bauxites[M]. Liaoning: Liaoning Science and Technology Publishing House, 1993(in Chinese).

[5] 陈毓川. 重要矿产预测类型划分方案[M]. 北京: 地质出版社, 2010.
Chen Yuchuan. Division for Prospecting Types of Important Mineral Resources in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2010(in Chinese).

[6] 徐志刚. 中国成矿区带划分方案[M]. 北京: 地质出版社, 2007.
Xu Zhigang. The Attached Map for the Scheme of the Classification of the Minerogenetic Units in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007(in Chinese).

[7] 高兰, 王登红, 熊晓云, 等. 中国铝矿成矿规律概要[J]. 地质学报, 2014,88(12): 2284−2295.
Gao Lan, Wang Denghong, Xiong Xiaoyun, et al. Summary on aluminun ore deposits minerogenetic regulation in China[J]. Acta Geologica Sinica, 2014, 88(12): 2284 − 2295(in Chinese with English abstract).

[8] 杨言杰. 河南省西部煤下铝土矿勘查前景及找矿意义[J]. 华北国土资源, 2010, 59(4): 22−26.
Yang Yanjie. Exploration prospect and prospecting significance of bauxite under coal in the west of Henan Province[J]. Huabei Land and Resources, 2010, 59(4): 22− 26(in Chinese with English abstract).

[9] 工程动态与信息. 曹窑以西煤下铝项目取得成果[J]. 中国矿山工程, 2014, 43(2): 63−64.
Dynamic Engineering and Information. Bauxite project achievements of West Caoyao[J]. China Mine Engineering, 2014, 43(2): 63−64(in Chinese).

[10] 王登红, 李沛刚, 屈文俊, 等. 贵州大竹园铝土矿铝土矿中钨和锂的发现与综合评价[J]. 中国科学(D辑), 2013, 4(1): 44 −51.
Wang Denghong, Li Peigang, Qu Wenjun, et al. Discovery and preliminary study of the high tungsten and lithium contents in the Dazhuyuan bauxite deposit, Guizhou, China[J]. Science in China (Series D), 2013, 4(1): 44−51(in Chinese).