

国家自然科学基金 (51174205) 资助

中低品位铝土矿 分选研究

周长春 / 编著

Zhongdi Pinwei Lütukuang Fenxuan Yanjiu

中国矿业大学出版社

国家自然科学基金(51174205)资助

中低品位铝土矿分选研究

周长春 编著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书综述了国内外铝土矿资源概况及其脱硅研究进展,介绍了铝土矿的分析测试方法,铝土矿浮选的工艺、药剂和设备,探讨了铝土矿的可浮性,开展了选择性磨矿试验及其柱式强化分选试验,取得了较好的分选指标,提出了适宜低品位铝土矿分选的机-柱联合分选工艺,为中低品位铝土矿资源的开发提供了一种新思路。

本书可供从事铝土矿选矿生产、科研、设计和教学相关人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

中低品位铝土矿分选研究 / 周长春编著. — 徐州:

中国矿业大学出版社, 2015. 9

ISBN 978-7-5646-2846-8

I. ①中… II. ①周… III. ①铝土矿—分选技术—研究 IV. ①TD952.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 228682 号

书 名 中低品位铝土矿分选研究

编 著 周长春

责任编辑 陈 慧

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司

(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 787×960 1/16 印张 15.5 字数 278 千字

版次印次 2015 年 9 月第 1 版 2015 年 9 月第 1 次印刷

定 价 36.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

自然界常见的含铝矿物约 43 种,通常讲的铝土矿是指工业上能利用的,以三水铝石、一水软铝石或一水硬铝石为主要矿物所组成的矿石的统称。铝土矿是一种土状矿物,化学成分为 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$,含水不定,但多为单水或三水矿物,如一水软铝石($\gamma\text{-AlOOH}$ 或 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)、一水硬铝石($\alpha\text{-AlOOH}$ 或 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)、三水铝石[$\text{Al}(\text{OH})_3$ 或 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$],一小部分的氧化铝以铝硅酸盐形式存在。铝土矿是氧化铝工业、耐火材料工业和建材工业的重要原料,这三个工业也是铝土矿最主要的应用领域,其用量占世界铝土矿总产量的 90% 以上。

目前已探明的铝土矿全球储量约在 245 亿吨左右,其中 92% 是风化红土三水铝石型铝土矿,特点是低硅、高铁、高铝硅比,适宜采用低能耗、低碱耗的拜耳法生产氧化铝。而我国铝土矿大部分为一水硬铝石型,占到资源总量的 98% 以上,特点是高硅、高铝、低铁,矿石整体铝硅比较低,80% 以上的是中低品位铝土矿,铝硅比大于 9 的矿石仅 18.5% 左右。因此开发中低品位铝土矿资源,是实现我国氧化铝工业可持续发展的必由之路。

世界各国基于铝土矿资源的特点,结合氧化铝生产工艺,开展了各种选矿脱硅研究。本书综述了国内外铝土矿资源概况、铝土矿的主要类型及其工艺矿物学特征、铝土矿的浮选工艺与设备、铝土矿的浮选药剂等,重点研究了中低品位铝土矿的性质及其对浮选的影响、铝土矿的可浮性及其浮选速率模型、中低品位铝土矿的选择性破碎磨矿及其粒度特征,低品位铝土矿的强化分选试验及机-柱联合分选工艺等,为铝土矿资源的开发提供了技术支持。

本书由国家自然科学基金(项目编号 51174205)资助出版,在成书过程中,得到了中国矿业大学化工学院相关老师的支持和帮助,同时书中参阅了许多国内外著作及期刊论文,在此向资料的作者一并表示感谢。

限于作者水平,书中不妥之处在所难免,敬请专家、学者和读者朋友批评指正。

编 者

2015 年 8 月

目 录

1 铝土矿资源概况	1
1.1 铝土矿简介	1
1.2 铝土矿类型及矿石性质	2
1.3 铝土矿资源及其分布	7
1.4 我国铝土矿矿石特点	16
参考文献	18
2 铝土矿分析测试方法	21
2.1 铝土矿主要成分的化学分析方法	21
2.2 铝土矿的化学物相分析	28
2.3 铝土矿的工艺矿物学	30
参考文献	41
3 铝土矿的浮选工艺与设备	43
3.1 铝土矿选矿脱硅的意义	43
3.2 铝土矿浮选工艺	44
3.3 铝土矿浮选设备	53
3.4 铝土矿浮选脱硅工艺的影响因素	67
参考文献	68
4 铝土矿浮选药剂	71
4.1 铝土矿正浮选捕收剂	71
4.2 铝土矿反浮选捕收剂	86
4.3 铝土矿浮选调整剂	96
4.4 铝土矿浮选组合用药	99
参考文献	100

5 铝土矿的可浮性及其浮选速率模型	102
5.1 铝土矿主要组成矿物的可浮性	102
5.2 铝土矿的浮选速率	108
5.3 铝土矿的可浮性	114
5.4 铝土矿浮选的特点及对浮选设备的要求	118
5.5 小结	119
参考文献	120
6 中低品位铝土矿选择性碎磨试验研究	122
6.1 碎磨技术研究进展	122
6.2 低品位铝土矿矿样性质	126
6.3 实验室破碎试验	130
6.4 实验室磨矿试验	145
6.5 小结	159
参考文献	159
7 中低品位铝土矿强化分选研究	161
7.1 矿石性质	161
7.2 微细颗粒铝土矿强化分选研究	164
7.3 实验室铝土矿浮选机分选工艺	169
7.4 微泡浮选概述	172
7.5 实验室铝土矿柱式分选试验	176
7.6 铝土矿柱式分选半工业试验	177
7.7 小结	185
参考文献	186
8 中低品位铝土矿柱式分选工业实践	187
8.1 柱式分选工业试验系统	187
8.2 一粗一精一扫工艺	188
8.3 铝土矿柱式分选的优势	194
8.4 小结	196

9 低品位铝土矿机柱-联合分选试验研究	197
9.1 矿石性质	197
9.2 低品位铝土矿浮选过程研究	198
9.3 低品位铝土矿机-柱联合实验室分选试验研究	205
9.4 低品位铝土矿机-柱联合半工业分选试验研究	208
9.5 小结	234
参考文献	235
总结	236

1 铝土矿资源概况

铝(Al)原子序数 13, 相对原子质量 26.98, 在元素周期表中的位置是第三周期、ⅢA 族, 属于 p 区元素。铝在地壳中的含量仅次于氧和硅, 约为 8.8%, 是地壳中含量最丰富的金属元素, 在自然界中以氧化物、氢氧化物或铝硅酸盐形式存在。金属铝是仅次于铁的第二重要金属, 广泛应用于国民经济各部门。由于铝及其合金具有许多优良的性能, 而且铝的资源丰富, 因此铝工业自问世以来发展十分迅速。1890~1900 年全世界金属铝的产量约 2.8×10^4 t, 到 2014 年, 世界原铝产量达到了 4.837×10^7 t。2014 年我国人均铝消费量已经达到了 20.6 kg。

铝土矿是一种土状矿物, 化学成分为 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, 含水不定, 但多为单水或三水矿物, 如一水软铝石($\gamma\text{-AlOOH}$ 或 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)、一水硬铝石($\alpha\text{-AlOOH}$ 或 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$)、三水铝石 $[\text{Al}(\text{OH})_3$ 或 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}]$, 一部分的氧化铝以铝硅酸盐形式存在。在无机酸和碱性溶液中, 三水铝石溶解性最好, 一水硬铝石溶解性最差。

自然界常见的含铝矿物约 43 种, 通常讲的铝土矿是指工业上能利用的, 以三水铝石、一水软铝石或一水硬铝石为主要矿物所组成的矿石的统称。铝土矿是氧化铝工业、耐火材料工业和建材工业的重要原料, 其用量占世界铝土矿总产量的 90% 以上。铝土矿常含铁、硅等杂质, 硬度为 1~3, 比重为 2.4~2.6。

1.1 铝土矿简介

铝的矿石有 250 多种, 常见的有 43 种, 有工业价值的是硅酸盐族以及它们的风化产物黏土, 而能够用于工业提炼金属铝的矿石只有少数几种, 如铝土矿、霞石、明矾石和蓝晶石等。地壳中铝资源总量在 400 亿~500 亿 t 左右, 仅次于氧和硅, 居第三位。铝土矿的化学成分主要为 Al_2O_3 、 SiO_2 、 Fe_2O_3 、 TiO_2 和 H_2O , 五者总量占 95% 以上, 一般大于 98%, 次要成分有 S、CaO、MgO、 K_2O 、 Na_2O 、 CO_2 、 MnO_2 、有机质和碳质等, 微量成分有 Ga、Ge、Nb、Ta、TR、Co、Zr、V、P、Cr 和 Ni 等。 Al_2O_3 主要存在于铝矿物一水铝石、一水软铝石、三水铝石中, 其次存在于硅矿物中(主要是高岭石类矿物)。铝土矿产状多为

无光泽、无解理、土状、鲕状、豆状、碎屑状和致密状的集合体,中等硬度,颜色有白色、灰色、灰黄色、黄绿色、浅绿色和砖红色等。

按矿床成因,铝土矿可分为两大类型:沉积型和红土型。若按矿石类型,铝土矿可分为三水铝石型(分子式 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$),成分 Al_2O_3 65.4%, H_2O 34.6%;一水硬铝石型(分子式 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$),成分 Al_2O_3 85%, H_2O 15%;一水软铝石型(分子式 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$),成分 Al_2O_3 85%, H_2O 15%。一水硬铝石和一水软铝石在硬度上有差别,前者莫氏硬度 5.7~6.3,后者莫氏硬度 3.5~4.0。

铝土矿的质量主要取决于其氧化铝存在的矿物状态及脉石的种类与含量,不同类型的铝土矿其溶出性能差别很大。衡量铝土矿质量一般考虑以下几个方面:

① 铝硅比。铝硅比是指矿石中氧化铝与二氧化硅含量之比,一般用 A/S 表示。二氧化硅是碱法(特别是拜耳法)生产氧化铝过程中最有害的杂质。

② 铝土矿的氧化铝含量。氧化铝含量越高,对生产氧化铝越有利。

③ 铝土矿的矿石类型。铝土矿的矿石类型对氧化铝的溶出性能影响很大,其中三水铝石型铝土矿最容易被苛性碱溶液溶出,一水软铝石型次之,而一水硬铝石的溶出较困难。另外,铝土矿类型对溶出以后各湿法工序的技术经济指标也有一定的影响。因此,铝土矿的类型与溶出条件及氧化铝的生产成本密切相关。

1.2 铝土矿类型及矿石性质

1.2.1 铝土矿矿石的分类

国外很早以前就对铝土矿的类型进行了划分。1930年, J. 拉帕兰在研究法国铝土矿矿床时,根据矿物含量的多少把铝土矿划分为四种类型:一水硬铝石型、一水软铝石型、三水铝石型和高岭石型。1940年,别洛乌索夫将铝土矿分为三种类型:一水型、三水型和混合型(一水和三水)。1947年,罗日科娃和索波列娃将铝土矿进一步详细划分成以下类型:

(1) 含一水氧化铝的铝土矿

这种类型的铝土矿包含以下几种:一水软铝石—一水硬铝石型(一水硬铝石占多数);高岭石—一水硬铝石型;绿泥石—一水硬铝石型;一水软铝石型;高岭石—一水软铝石型。

一水氧化铝的铝土矿常为一水软铝石、一水硬铝石或其混合成分,大部分含有铁质矿物及高岭石、绿泥石的混合物,少数混入方解石、菱铁矿、黄铁矿、刚玉。西伯利亚、中亚、南欧、土耳其等地矿床大部分由这种铝土矿组成。有的以一水软铝石为主,有的以一水硬铝石为主,但只有一水软铝石或一水硬铝石的矿床非常少见。

(2) 含三水氧化铝的铝土矿

这种类型的铝土矿包含:三水铝石型(石质和疏松的);高岭石-三水铝石型(疏松的和黏土质的);多水高岭石-三水铝石型;水铝英石-三水铝石型。

三水氧化物的铝土矿多为铁质或弱铁质,通常含一定数量的高岭石或刚玉,有的含有菱铁矿或方解石。铁质三水铝石型铝土矿分布范围广,热带地区、西伯利亚、哈萨克斯坦的许多矿床多为该种矿床;贫铁的三水铝石型铝土矿多分布在苏里南矿床,另外在我国和印度等其他国家也有少量分布。

(3) 含一水和三水氧化铝的铝土矿

这种类型的铝土矿主要是三水铝石-一水软铝石型。三水铝石型矿床中有大量的一水软铝石,如牙买加、印度、非洲等地的铝土矿。该类矿石由于混入一些磁赤铁矿和磁铁矿,因此一般为磁性铝土矿。

我国铝土矿可以划分为古风化壳型和红土型两个类型。其中,矿石总量的98%以上属于古风化壳型铝土矿,该种类型的铝土矿是由红土风化作用形成的,上层一般有较新的地层覆盖;矿物组合主要是铝土矿物,其次是黏土矿物、含铁矿物,少量含钛矿物,微量重矿物等。红土型铝土矿又称漳浦式铝土矿,可以分为原地残积亚型铝土矿(多分布于高地)和异地坡积亚型铝土矿(多分布在低地、谷地),我国南方的福建、广东、海南、广西和台湾等地多分布该种类型的铝土矿。

1.2.2 我国铝土矿的类型

新中国成立前,我国把铝土矿统一划归为“沉积矿床”一类,没有进一步细分;新中国成立后,我国按照前苏联的划分模式将铝土矿床划分为地槽型和地台型两种;1984年国家矿床储量委员会编制了我国铝土矿规范,将我国铝土矿床分为沉积型(古风化壳型)、堆积型和红土型三个类型。

(1) 贵州古风化壳型铝土矿

贵州铝土矿均为古风化壳型铝土矿,分布在遵义、瓮安、正安、息烽、开阳、修文和贵阳等地。典型矿床有:遵义苟江铝土矿和川主庙铝土矿、修文小山坝铝土矿、云雾山铝土矿、黄平王家寨铝土矿、清镇猫场铝土矿等。矿石特点是:

矿石主要有碎屑状结构、致密状结构,其次有豆、鲕状结构,大多数均由大小不等、形态各异的红土砾块组成;矿石中矿物主要为一水硬铝石,其次为高岭石、埃洛石及赤铁矿、黄铁矿,极少量陆源重矿物,如钛铁矿、电气石等。

(2) 河南古风化壳型铝土矿

河南古风化壳型铝土矿位于华北准地台南缘,主要分布在新安、宝丰、禹县、巩县、登封、偃师一带。典型矿床有新安张窑院铝土矿、巩县小关铝土矿等。矿石中主要矿物为一水硬铝石,少量高岭石、水云母、氧化铁矿物、绿泥石等。

(3) 山西古风化壳型铝土矿

山西古风化壳型铝土矿属于晚石炭纪,主要分布在孝义、阳泉、保德和宁武等地区。典型矿床有孝义西河底铝土矿和阳泉白家庄铝土矿。矿石结构中有致密块状、半土状、土状、碎屑状、豆鲕状和渗流管状等结构,是由微细碎屑状一水硬铝石聚集而成的微团粒,主要矿物一水硬铝石,其次为高岭石、水云母、赤铁矿、针铁矿、镜铁矿、锆英石、叶蜡石、地开石、方解石,少量石英、长石、蛋白石、黄铁矿、磁铁矿、钛铁矿、菱铁矿、电气石、云母、磷灰石、绿泥石等。

(4) 广西古风化壳型铝土矿

主要分布在桂西地区的平果、田东、田阳、德保、靖西等地区。典型矿床有平果那豆铝土矿,包括那豆、太平、果化、教美和新安五个矿段,是碳酸盐岩古风化壳准原地堆积铝土矿,经过喀斯特风化作用形成的碎块堆积。矿石中一水硬铝石的结构有豆鲕状、碎屑状、团粒状、致密块状、多孔状和显微细脉状结构;铁矿物多呈块状、肾状、皮壳状、多孔状、蜂窝状、粉末状和浸染状构造;黏土矿物有致密块状、微层状、浸染状和斑点状结构。铝土矿矿物有一水硬铝石、三水铝石、勃姆石、拜铝石和微量刚玉;铝硅酸盐矿物有高岭石、绿泥石和水云母;含铁矿物有针铁矿、赤铁矿和菱铁矿;含钛矿物有锐钛矿、金红石和钛铁矿。

(5) 四川古风化壳型铝土矿

主要分布在四川盆地西北边缘的龙门山褶皱断裂带、东南边缘的扬子准地台西段,包括乐山、芦山、灌县、绵竹、安县、广元、南川和武隆等地。典型矿床有南川大佛岩铝土矿、乐山新华铝土矿、乐山沙湾铝土矿和芦山大白岩铝土矿等。铝土矿矿石中一水硬铝石呈土状、半土状、致密块状、豆鲕状、椭圆形和扁豆形等分布。主要矿物为一水硬铝石,少量勃姆石,黏土矿物主要为高岭石,其次为多水高岭石,铁矿物为水赤铁矿,还有微量钛铁矿、锆石、榍石、黑云母、石英和电气石等。

(6) 云南古风化壳型铝土矿

主要分布在昆明市郊、安宁、富民、寻甸、呈贡、西畴、麻栗坡、广南和丘北等地。典型矿床有富民老煤山铝土矿和麻栗坡铁厂铝土矿等。矿石结构有条板柱状、土状、碎屑状、豆鲕状、团块状、砂屑状和胶凝状等,矿石中常见海相动物化石,有明显的层理、层纹。矿物包括一水硬铝石、少量勃姆矿和三水铝石、高岭石、锆石、电气石、赤铁矿、褐铁矿、黄铁矿、锐钛矿、白钛矿和金红石等,颗粒多呈滚圆状。

(7) 新疆乌什阿依里古风化壳型铝土矿

位于新疆乌什县县城西北。矿石多为致密状,有少量半土状淋失结构,矿石呈紫红色、红棕色、灰黑色、黄绿色和白色等。矿石的红土结构以红土鲕粒结构为主,少量红土豆状、碎屑状。主要矿物为一水硬铝石,其次为高岭石、铁质氧化物、黄铁矿、黏土矿物、石英、白钛矿、锐钛矿、金红石和电气石等。

(8) 福建漳浦红土型铝土矿

由玄武岩在气候炎热、潮湿多雨的环境中,经红土风化作用后形成。矿区位于福建漳浦、海澄等地的沿海地区,呈东北—西南走向分布。含矿层由红土及铝土矿石团块共同混杂组成,团块直径 0.3~50 cm。主要矿物为三水铝石,少量勃姆矿、高岭石、石英和赤铁矿等。铝土矿物 90% 以上是三水铝石,属高铁的三水铝石型铝土矿,三水铝石大部分晶体结构完整;铝硅酸盐矿物主要是高岭石,结晶程度差,多与凝胶状氢氧化铝和氧化铁等矿物共生。

(9) 广西红土型铝土矿

主要分布在贵县城西、城东附近,包括蒙工、覃唐、附城和大屿等矿段。典型矿床为贵县铝土矿。铝土矿含矿层厚度变化较大(2.5~16 m),共分四层:红色黏土层、铝土矿含矿层、残坡积黏土层和残积亚黏土层。其中红色黏土层属于红色松散状土壤,含矿块极少;铝土矿含矿层由大小不等的铝土矿团粒和黏土混杂而成,一水硬铝石呈浑圆形碎屑、鲕状、结核状、块状和结石状等不规则形状,黏土呈红、橙红和黄褐色;残坡积黏土层由红黄色黏土和亚黏土组成,夹杂少量微粒状铝土矿。主要矿物为三水铝石,其他有褐铁矿、石英、绿泥石、白云母和针铁矿等。

1.2.3 铝土矿矿石中元素的赋存状态

不同地区铝土矿中化学元素的含量波动很大,常见的几种元素赋存状态如下:

(1) 铝。铝存在于—水硬铝石、三水铝石、—水软铝石、刚玉、高岭石、多水高岭石、绿泥石、伊利石、叶蜡石等矿物中。部分铝以类质同相混合物的形

式进入铁矿物。在铝土矿中, Al_2O_3 主要以氢氧化物的形式存在; 在火成岩中, Al_2O_3 主要赋存于架状硅酸盐中; 在沉积岩中, Al_2O_3 主要赋存于层状硅酸盐中。

(2) 硅。硅主要以二氧化硅的形式赋存于高岭石和多水高岭石中, 少量赋存于石英和绿泥石中, 极少量赋存于水云母和胶岭石。我国和哈萨克斯坦、圭亚那、乌克兰等国铝土矿的突出特点就是二氧化硅含量高。

(3) 铁。铁元素主要赋存于针铁矿和赤铁矿中, 少量赋存于菱铁矿和绿泥石中。某些地区的铝土矿含有一定数量的磁铁矿、磁赤铁矿、钛磁矿和钛铁矿等磁性铁矿物。少部分铁可能进入一水硬铝石、一水软铝石和三水铝石中。在希腊、乌拉尔的铝土矿中, 有时见到黄铁矿。在沉积型铝土矿中, 沿地势的下降, 铁含量逐渐降低; 有时由于有机物的混入, 使铁的存在形式发生改变, 通常以低价态氧化物的形式赋存于绿泥石、菱铁矿或黄铁矿中。

(4) 钛。钛元素在铝土矿中主要以锐钛矿、金红石或白钛矿形式存在。钛是铝土矿的一种特征组分, 含量通常较低(1%~3%)。

(5) 钙和镁。红土型铝土矿中 CaO 含量一般在 0.1%~0.2%, 但在岩溶型铝土矿中可达 5%~8%, 通常以方解石的形式存在。镁一般赋存于绿泥石中, 局部含在铁质碳酸盐中。

(6) 锰。锰元素的含量一般在 0.2% 左右。在岩溶型矿床中, 锰以黑色氢氧化物的形式富集在矿层的下部, 呈枝状、细脉状、结核或薄膜状分布。

(7) 钾和钠。铝土矿中钾和钠的含量很低, 主要含在长石、沸石和黏土矿物中。当在显微镜下观察铝土矿时, 很难看到含碱矿物, 有时可以看到云母小鳞片。

(8) 磷。铝土矿中的磷主要赋存于细分散的铝、铁的磷酸盐中, 在部分矿床底部, 有时可以见到细晶磷灰石。在磷灰岩或其他含磷高的岩石红土化的地区, 发现了铝、铁的磷酸盐大量堆积。

(9) 碳。碳在铝土矿中分布极不均匀, 红色铝土矿一般含碳万分之几, 而粉红色、白色、灰色、黑色铝土矿中碳含量可高达 10%, 主要以煤、石墨或有机物的形式存在。

(10) 硫。在铝土矿中硫的含量通常在 0.03%~0.05%, 少数可达 6%~7%, 一般以硫化物或硫酸盐的形式存在。硫化物主要是黄铁矿, 少数为白铁矿或胶黄铁矿, 有时还可以见到呈浸染状的后生黄铁矿。

除了以上几种常见元素外, 铝土矿中伴生着一些微量元素, 如镓、锂、钽、钒等, 含量从万分之几到十万分之几不等, 大多数微量元素仅具有理论

意义,难以回收。铝土矿中微量元素的矿物形态是各式各样的,这些元素大部分处于分散状态,独立矿物很少。铝和铁的胶体氧化物或氢氧化物在沉淀时吸附并一起沉淀了许多元素,这些元素以类质同相混入物的形式进入矿物晶体。

(1) 钪。钪在化合物中一般为+3价,氧化物为白色粉末。铝土矿中,赤铁矿含钪最富,一水软铝石、绿泥石中也含有一定量的钪。地壳中钪的分异作用明显。钪在酸性岩中含量5 g/t,基性岩中38 g/t,而在碱性岩中含量为50 g/t,因此与基性岩或碱性岩有关的铝土矿中钪的浓度高。

(2) 钇。钇在地壳岩石中分布很不均匀,酸性岩中含量为20 g/t,基性岩中可以达到250 g/t。钇主要赋存于蛇绿岩中,前苏联10个矿床的铝土矿中钇平均含量0.04%,匈牙利铝土矿矿床中钇平均含量0.05%~0.07%,意大利、希腊的铝土矿中钇含量较高,约为0.1%。

(3) 镓。镓是一种灰色脆性金属,主要从铝土矿中回收。化合物中镓通常为+3价,在自然界中容易迁移和富集,在矿物中存在类质同相现象。目前已知的一种镓矿物是在西南非洲发现的天顶石 $[\text{Ga}(\text{OH})_3]$ 。在氧化铝生产过程中,大约有一半的镓残留在铝酸盐溶液中,在多次重复使用过程中,富集了镓,通过碳化作用,就可提取出镓。镓在地壳中的含量为15 g/t,基性岩中含镓12 g/t,酸性岩中含镓18 g/t,黏土岩中镓含量20 g/t,而铝土矿中镓含量可达45~60 g/t,霞石和钠沸石含镓量可以高达100~200 g/t。

1.3 铝土矿资源及其分布

1.3.1 世界铝土矿资源及其分布

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550亿~750亿t。主要分布为:非洲160亿~200亿t、大洋洲70亿~100亿t、南美洲190亿~250亿t、亚洲80亿~130亿t、加勒比海地区20亿~30亿t、欧洲30亿~40亿t,见表1-1。

表 1-1

全球铝土矿分布

地区	南美洲	非洲	亚洲	大洋洲	其他地区
储量分布/%	33	27	17	13	10

从地理分布上看,几内亚和澳大利亚两国的储量占世界储量的 49%;西半球的巴西、牙买加、圭亚那和苏里南四国的储量占世界总储量的 26%。值得注意的是,近十几年来,亚洲的铝土矿储量在世界储量中所占比例由 1985 年的 10%增长到现在的 20%。但在美国矿业局的统计中,没有反映出中国和越南等亚洲某些国家铝土矿储量的实际情况。据越南铝土矿资源调查报告,越南铝土矿探明储量为 20.3 亿 t,应居世界第五位;而中国比越南储量还多,应居世界第四位。

目前已探明的铝土矿全球储量在 245 亿 t 左右,在世界各地分布极不均匀,其中 92%是风化红土型铝土矿,属三水铝石型,特点是低硅、高铁、高铝硅比,这些铝土矿品位高、储量大,集中分布在非洲西部、大洋洲和中南美洲;其余的 8%是沉积型铝土矿,属一水软铝石和一水硬铝石型,中低品位,主要分布在希腊、前南斯拉夫及匈牙利等地。储量在 10 亿 t 以上的国家有几内亚、澳大利亚、巴西、中国、牙买加及印度等,这些国家拥有的铝土矿占世界铝土矿总储量的 73%,见表 1-2。按世界铝土矿产量计算,静态保证年限在 200 年以上。

表 1-2 世界主要铝土矿出产国储量

国家	澳大利亚	几内亚	巴西	中国	越南	牙买加	印度
储量/亿 t	56.2	56.4	28.0	23.0	20.0	20.0	10.0

世界主要铝土矿出产国的矿石类型及化学成分见表 1-3。

表 1-3 铝土矿的矿石类型及化学成分

序号	国家	化学成分/%				主要矿物、矿石类型
		Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	
1	澳大利亚	25~58	0.5~38	5~37	1~6	三水铝石、一水软铝石
2	几内亚	40~60.2	0.8~6	6.4~30	1.4~3.8	三水铝石、一水软铝石
3	巴西	32~60	0.9~25.7	1~58.1	0.6~4.7	三水铝石
4	中国	50~70	9~15	1~13	2~3	一水硬铝石
5	越南	44.4~53	1.6~5.1	17~22.3	2.6~3.7	三水铝石、一水硬铝石
6	牙买加	45~50	0.5~2	16~25	2.4~2.7	三水铝石、一水硬铝石

1 铝土矿资源概况

续表 1-3

序号	国家	化学成分/%				主要矿物、矿石类型
		Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	
7	印度	40~80	0.3~18	0.5~25	1~11	三水铝石
8	圭亚那	50~60	0.5~17	9~31	1~8	三水铝石
9	希腊	35~65	0.4~3.0	7.5~30	1.3~3.2	一水硬铝石、一水软铝石
10	苏里南	37~61.7	1.6~3.5	2.8~19	2.8~4.9	三水铝石、一水软铝石
11	前南斯拉夫	48~60	1~8	17~26	2.5~3.5	一水硬铝石、一水软铝石
12	委内瑞拉	35.5~60	0.9~9.3	7~40	1.2~3.1	三水铝石
13	前苏联	36~65	1~32	8~45	1.4~3.2	软、硬铝石、三水铝石
14	匈牙利	50~60	1~8	15~20	2~3	一水软铝石、三水铝石
15	美国	31~57	5~24	2~35	1.6~6	一水软铝石、三水铝石
16	法国	50~55	5~6	4~25	2~3.6	一水硬铝石、一水软铝石
17	印度尼西亚	38~59.7	1.5~13.9	2.8~20	0.1~2.6	三水铝石
18	加纳	41~62	0.2~3.1	15~30	—	三水铝石

美国、欧盟、日本和德国合计铝的年消费量占世界原铝总产量的 50%，但它们的铝土矿资源仅占世界总储量的 2% 左右。这些国家多年来积极开展利用氧化铝含量低的铝土矿和非铝土矿含铝原料提炼氧化铝的试验研究，以此作为扩大其铝土矿资源的一个有效途径。世界非铝土矿中的铝资源相当巨大，包括自然界大量产出的富铝矿物，如红柱石、白榴石、钠明矾石、片钠铝石、钙长石、霞石和高岭土等，它们也是铝的重要潜在来源，为世界铝土矿资源不足的美国、欧盟、日本和德国铝工业提供了广泛的后备资源。

1.3.2 我国铝土矿资源及其分布

我国铝土矿资源丰富，是世界十大铝土矿资源国之一，但资源储量仅占世界总储量的 2.8%。我国铝土矿产区集中，山西、河南、广西和贵州储量占全国保有储量 90% 以上，矿石类型主要有沉积型和堆积型两类，其中沉积型铝土矿约占 86%，堆积型铝土矿约占 13%。我国典型的铝土矿矿床特性见表 1-4。

表 1-4

我国铝土矿矿床类型

矿床类型		地质特征	矿体特征	矿 石 类 型			
				结构和颜色	矿物组成	化学成分	矿床实例
沉积型	产于碳酸盐侵蚀面上的亚型	矿层假整合覆盖于碳酸盐岩侵蚀面上	呈似层状、透镜状、漏斗状, 矿体长度一般几百到两千余米, 厚度不定, 矿床规模为大中型	土状、鲕状、豆状、碎屑状, 白、灰、红、浅绿等	一水硬铝石为主, 其次为高岭石、水云母、绿泥石、褐铁矿、赤铁矿、针铁矿、一水软铝石	Al_2O_3 40%~75% SiO_2 4%~18% Fe_2O_3 2%~20% S < 0.8%~8% A/S 3~12	贵州小山坝、林歹, 河南小关、张窑院, 山西克俄, 山东津水, 山西府谷, 广西平果等
	产于其他岩石面上的亚型	矿层多产于砂岩、页岩、泥灰岩、玄武岩等侵蚀面上	呈层状、透镜状, 单矿体长度数百至千余米, 厚 1~4 m, 矿体规模多为中小型	致密状、角砾状、鲕状、豆状, 灰、青灰、浅绿、紫红等	一水硬铝石为主, 其次为高岭石、蒙脱石、埃洛石、菱铁矿、褐铁矿、黄铁矿等	Al_2O_3 40%~70% SiO_2 8%~20% Fe_2O_3 2%~20% S < 0.8%~3% A/S 2.6~9	湖南李家山、山西王村、四川新华乡
堆积型			形态复杂, 不规则状, 矿体长度数百至两千余米, 厚 0.5~10 m, 矿体规模多为中小型	土状、鲕状、碎屑状, 灰、褐红、杂色等	一水硬铝石为主, 其次为高岭石、赤铁矿、针铁矿、三水铝石等	Al_2O_3 40%~65% SiO_2 2%~12% Fe_2O_3 16%~25% S < 0.8% A/S 4.5	广西平果(堆积矿)、云南广南(堆积矿)
红土型		产于玄武岩风化壳中, 风化淋滤而成	斗篷状、不规则状, 产状平缓, 含矿面积 0.1~4 km ² , 厚度 0.2~1 m, 矿床规模小型	残余结构、气孔状、杏仁状、斑点状、砂状, 灰白、棕黄、褐红等色	三水铝石为主, 其次为褐铁矿、赤铁矿、针铁矿、高岭石、一水软铝石、石英、蛋白石等	Al_2O_3 30%~50% SiO_2 7%~10% Fe_2O_3 18%~25% A/S 4~6	海南蓬莱, 福建漳浦等

沉积型铝土矿主要分布在河南、山西和贵州, 突出特点是高铝、高硅和低铁。矿石中 useful 矿物为一水硬铝石, 主要含硅脉石矿物为黏土, 包括高岭石、水云母、叶蜡石和绿泥石等。堆积型铝土矿主要分布在广西、贵州和云南等地, 矿石的特点是中铝、低硅、高铁和低硫, 矿石中 useful 矿物为一水硬铝石, 脉