

综合评述

中国铝土矿资源及氧化铝生产技术状况透析*

赵恒勤^{1,2}, 李劼¹, 王立卓², 刘业翔¹

(1. 中南大学冶金科学与工程系, 长沙, 410083 2. 国家非金属矿资源综合利用工程技术研究中心, 郑州, 450006)

摘要: 中国铝土矿资源的特点是多为一水硬铝石型, 且高硅高铝, 铝硅比在 7 以上的商品铝土矿仅占现保有储量的 33%, 我国现行的氧化铝生产方法已愈益不适应目前的资源状况及日益竞争的国际市场, 尽快发展研究适应我国铝土矿资源特点的新的氧化铝生产工艺方法是我国铝科技界的责任所在。

关键词: 铝土矿, 氧化铝, 资源, 拜耳法

中图分类号: TF041; TF821 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2001)05-00

Review of Current Situation on Bauxite Resources and Production Technology of Alumina in China

ZHAO Heng-qin, LI Jie, WANG Li-zhuo, LIU Ye-xiang

(Department of Metallurgical Science and Engineering Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: Most bauxite in China is diasporic, and contains higher silica as well as alumina and with lower mass ratio of Al_2O_3/SiO_2 . Commercial bauxite reserves with mass ratio of Al_2O_3/SiO_2 no less than 7 constitute 33% of A+B+C grade in proved bauxite reserves. As the fact that existing production technology of alumina from bauxite is not compatible with present situation of bauxite resources in China and increasingly losing its market competitiveness in the world of alumina, it is urgent that new technology and process be developed at present.

Key words: bauxite; alumina; resources; Bayer Process

中国的铝土矿资源储量十分丰富, 但 99% 属于难溶性的一水硬铝石型矿石, 而且富矿资源(铝硅比 $A/S > 7$) 少——即可经济利用的商品铝土矿“资源少”, 对国家经济发展具有重大影响的铝工业正面临着资源逐渐枯竭的危险。

另一方面, 中国氧化铝工业采用混联法生产技术, 历经几十年努力, 在碱耗和氧化铝回收率两个方面取得了巨大进步。但是, 混联法生产技术装备落后、工艺复杂、能耗高、成本高, 面对国内供不应求的市场和国际氧化铝低成本的冲击, 显现出危机四伏、回天无

* 收稿日期: 2001-06-14

基金项目: 国土资源部地质大调查项目(DKD9904010)

作者简介: 赵恒勤(1964-)男, 河南巩义人, 高级工程师, 中南大学博士研究生。

力的局面。同时,原有工艺的大量废渣排放所造成的污染不但已成为一大公害,而且也日益不适应国家可持续发展的总体战略。

随着中国加入WTO的日益临近,我国的铝工业将面临着日益严峻的来自国际大市场的冲击。因此,弄清我国铝土矿的资源状况及氧化铝技术现状及其与世界发达国家的差距,将对增强我国铝工业的竞争实力具有重要的意义。

1 我国的铝土矿储量现状

我国铝土矿资源储量丰富,保有储量为22.88亿吨。主要分布在山西、贵州、河南、广西、山东五省区,储量21.16亿吨,占全国总储量的92.48%^[1]。

目前,世界已探明铝土矿资源储量约360亿吨,其中几内亚90亿吨,澳大利亚60亿吨,巴西30亿吨,牙买加30亿吨,苏里南20亿吨,喀麦隆20亿吨,中国23亿吨约居世界第五位。

2 我国铝土矿资源的特点

(1)大型矿床少,已查明的306处矿床中,储量在5000万吨以上的矿床仅有5个,多数储量在500~2000万吨之间,还有许多500万吨以下的小型矿床。

(2)沉积型矿床多,坑采储量比重大,保有储量中88%为沉积型矿床,堆积型矿床占11%,红土风化壳型矿床仅占1%,适合于露天开采的约占30%,介于露采和坑采之间的占30%,其余40%为坑采矿。且多数沉积型矿床的矿体薄,缓倾斜,围岩不稳定,坑采难度大。

(3)一水硬铝石型矿石为主是中国铝土矿的主要特点,在保有储量中,一水硬铝石型矿石占99%,这是一种高铝高硅的难溶矿石,矿石的铝硅比(A/S)低,溶出性能差,生产成本高。

(4)我国铝土矿虽然资源丰富,但商品铝

土矿储量少,国际上按铝土矿中 Al_2O_3 的溶出性能,把 $A/S > 7$ 的铝土矿称为商品矿。在我国铝土矿保有储量中A+B+C的储量为7.5亿吨,其中 $A/S_4 \sim 7$ 的储量占59.53%即4.46亿吨,而 $A/S > 7$ 的商品铝土矿仅占保有储量的33.05%,即为2.467亿吨。

3 我国铝土矿的开发利用现状

全国已开发利用的矿区储量3.75亿吨,占16.39%。现已生产利用的矿区59处,重点矿区17处,拥有铝土矿生产能力445万 t/a ,实际采矿量207万吨,加上民采矿石,全国铝土矿年产量约662万吨。到1995年底,全国已形成氧化铝年生产能力346万吨,年产量220万吨。全国山东、郑州、山西、贵州、平果六大氧化铝生产基地最终可形成年产615万吨的生产能力。我国目前的铝土矿开采均为“采富弃贫”的方法,尤其是近年来氧化铝厂成本高,经济效益下降,从而加剧了民采富矿的比例增大。

4 我国氧化铝工业现状

自50年代中国建立了自己的铝工业以来,中国氧化铝工业得到迅速发展,混联法是我国研制成功的一种生产氧化铝方法,它既有完整的拜耳法系统,又有完整的烧结法系统。经过30年的努力已经取得了低碱耗,高氧化铝回收率的成绩。

目前,我国氧化铝生产能力约为380万 t/a ,到2005年达到450万 t/a 。尽管如此发展,我国氧化铝产品缺口仍在150万 t/a 左右。铝土矿的性能质量决定了氧化铝的生产方法,为适应我国铝土矿高铝高硅一水硬铝石型的铝土矿的特点,国内氧化铝工业50年来走过了曲折的道路,从我国第一个山东铝厂的烧结法开始,到自行研究设计的郑州铝厂、山西铝厂的混联法及贵州铝厂的串联法,以至发展到近期平果铝厂的拜耳法生产工

艺。这期间虽然吸取了国外的成功经验,在山西铝厂和贵州铝厂引进了关键设备,但国内的矿石和生产方法与国际铝工业相比,存在着巨大的差距。目前世界氧化铝总产量达 4500 万 t/a 以上,采用一水硬铝石矿生产的国家是我国和希腊,占世界总产量的 8.8%,其中我国占 7%,采用三水铝石型铝土矿生产氧化铝的占 62.7%,采用三水—一水软铝石型铝土矿的占 34.8%,采用一水软铝石型矿的占 0.7%。国外的生产方法均为低温(143℃)溶出的拜耳法生产工艺,投资省,能耗小,生产成本低。而我国的氧化铝工业取得的成绩是氧化铝回收率高(>90%),碱耗低(90~150kg/kg),但能耗却是国外拜耳法的 2~4 倍,在直接生产成本中能耗费占 50% 以上。

相反,国外铝工业,由于采用三水铝石矿为原料进行拜耳法工艺技术生产氧化铝,其工艺简单、流程短、能耗低、生产成本低,即使国外唯一的希腊—一水硬铝石矿氧化铝生产厂,由于其矿石特有的矿物特征,其运作成本也相对较低。而我国最新设计,最近期建设的平果铝厂,其生产成本据伦敦商品研究所(CRU)报告,在西方 35 个冶金级氧化铝厂中,平果铝厂的生产成本为最高,其成本为西方 35 个厂加权平均生产成本的 140%。

统计资料表明,中国氧化铝工业的 Al_2O_3 生产成本为 1181~1595 元/t,折合 142~192 美元/t,现有生产厂的投资回收费用平均为 77 美元/t,新建厂为 129 美元/t。这样一来现有生产厂的销售成本为 219~269 美元/t,新建厂销售成本高达 271~321 美元/t。而同期国外的氧化铝厂生产成本为 122~140 美元/t,其投资回收费用在 20~70 美元/t,其实际销售成本为 167~185 美元/t。通过对比可见,我国氧化铝厂成本比国外厂高出 30 美元/t 以上,在国际市场缺乏竞争力,致使国内现有氧化铝厂低利润运行,一旦中国进入 WTO,放开国内市场,氧

化铝工业将面临着被挤跨的危机。

与此同时,我国氧化铝生产工艺中产生的大量赤泥,利用率较低,大量占用我国本来就十分缺乏的土地资源去堆放,如今面对开放的国际市场和我国及世界“保护环境实现经济可持续发展”的发展战略,我国氧化铝工业生产技术不仅显现出工艺复杂、流程冗长、能耗高的弊端,而且极不利于我国经济的可持续发展。因此,开发中国铝工业新技术、新工艺已迫在眉睫。

另一方面,我国有工业价值的铝土矿全部为一水硬铝石型矿,这是溶出性能最差的矿石。表 1 展示了各种铝土矿类型的性质差

表 1 各种铝土矿类型性质的比较

性质	三水铝石	一水软铝石	一水硬铝石
化学分子式	$Al_2O_3 \cdot 3H_2O$	$Al_2O_3 \cdot H_2O$	$Al_2O_3 \cdot H_2O$
含 Al_2O_3 (%)	65.35	84.98	84.98
含化合水 (%)	34.65	15.02	15.02
晶系	单斜晶系	斜方晶系	斜方晶系
莫氏硬度	2.3~3.5	3.5~5	6.5~7
密度(g/cm_3)	2.3~2.4	3.01~3.06	3.3~3.5
溶出温度(℃)	140	180	242

别,可以看出一水硬铝石型铝土矿石不活泼的存在形态,这对我国的氧化铝生产的确是一个不利因素,但这也是我国铝工业科技界大力开展科技研究的机遇所在。此外值得注意的是,尽管全国铝土矿的保有储量较大,但我国以前地勘部门提供的地质储量并非国际通常采用的“可经济利用的商品铝土矿储量”,而实际上可以利用的资源储量要低得多,全国具有工业开采价值、储量较大的晋、黔、豫、桂四省区的储量约占全国总储量的 90%,其它各省可利用的储量十分有限,如山东拥有 A+B+C 级储量约 2400 万吨(总量约 4400 万吨),其中约 2000 万吨为湖田矿区的坑采高硫矿,至今尚难利用。由此可见,我国铝土矿的富矿资源不容乐观,除平果矿外,到 2005 年前 A/S>10 的富矿基本枯竭,铝

硅比 >7 的商品矿仅能维持到2020年。我国铝土矿将以中、低品位资源为主的客观现实无法回避,铝工业必须要走上应用中、低品位铝土矿之路。

图1向我们展示出铝土矿(一水硬铝石型)的铝硅比与拜耳法单位氧化铝生产能耗之间的关系,不难看出,铝硅比愈大,能耗愈低。当矿石A/S到7~8时,A/S的增加带来能耗的降低并不多,这正是商品铝土矿的品位。因此,在通过选矿提高矿石的铝硅比时,如若不能同时带来工艺技术经济上其他的益处,不必花费大的代价去一味的提高矿石的铝硅比,而只要达到经济的品位即可。

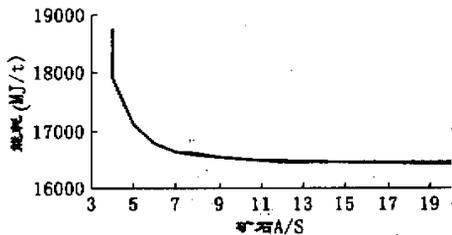


图1 铝土矿铝硅比与拜耳法能耗的关系

针对中国铝土矿的资源特点,如何发展中国的氧化铝工业一直是科技界思考和实践的问题,问题的根本是如何利用中、低品位的铝土矿并彻底解决因渣(赤泥)利用率低而大量堆放占用我国大量宝贵的耕地同时污染环境的问题,寻求探索低能耗、低成本、低污染的氧化铝生产新工艺,这才是我国氧化铝工业的发展方向。我国氧化铝工业50年的发展之路是在盲目强调我国铝土矿资源特点即一水硬铝石型矿的难溶性及商品的铝土矿(A/S=7)少的特点下,研究发展起来的联合法生产工艺,该工艺具有氧化铝回收率高,碱耗低的优越性,而盲目地渲染了中国的特色工艺方法,固步自封,忽略了它的经济性和国外先进工艺的参比性。我国日前氧化铝的产能为380多万吨,近十年来国内的供需矛盾十分突出,每年需进口150万吨,即使到

2005年发展到600万吨,仍需进口氧化铝150万吨,因此氧化铝工业急需铝土矿的资源支持。从我国的铝土矿资源现状来看,我国商品铝土矿(A/S >7)的A+B+C级储量仅2.467亿吨,按年产氧化铝600万吨计,其铝土矿的使用年限为20年左右。因此,从铝土矿资源来看急待开发利用中低品位铝土矿,这是一个新的资源增长点,仅A+B+C级中A/S为4~7的储量就有4.46亿吨,若这一部分的铝土矿资源充分经济的利用便可使铝土矿的有效利用率从32.89%增加到92.42%,其使用年限增加到50年。

5 氧化铝生产工艺比较

从铝土矿制取 Al_2O_3 的方法就碱法而言可分为烧结法、拜耳法、混联法三大类。混联法是我国开发的一种生产氧化铝工艺,其碱耗较低,但能耗较大,在当今世界竞争力愈已失去优势。烧结法尽管其在处理低品位铝土矿及赤泥利用方面有优势,但它的高能耗及庞大的投资建设费用使多数企业望而却步。拜耳法工艺简单,技术先进,能耗低是国内外公认的先进工艺,但是拜耳法生产对矿石A/S比有严格的要求,这是直接关系到技术、能耗和成本的重要因素,我国的铝土矿为一水硬铝石型矿,特点是 Al_2O_3 高,硅也高,A/S低。只有脱硅提高A/S才能应用拜耳法生产工艺。几十年来国内外均进行了大量的选矿提高A/S的研究工作,实践证明:铝土矿的选矿优势十分明显,但却不能在生产中应用,究其原因有以下几点(1)将铝土矿的A/S4~6选到A/S >10 时,资源利用率低,仅在60%~65%之间,不仅造成资源浪费,且选矿后的尾矿需考虑综合利用(2)增加选矿造成投资增加(3)我国铝土矿中的硅赋存于高岭石和伊利石中,嵌布粒度很细而带来磨矿、选别、产品脱水等一系列问题,尤其是选矿过程中的药剂、水份给后序工艺拜耳法溶出的稳定带来问题。(4)几十年来我国铝工业界对

Al₂O₃ 工艺的研究进入误区。对降低能耗和成本的拜耳法研究不够。因此研究开发新的拜耳法工艺应是氧化铝工业的一个发展方向。近年来,中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所又提出了选矿石灰-拜耳法新工艺,该工艺对现行工艺中存在的问题得到了较好的解决。为了说明各工艺的特点,现将各工艺比较如下(1)各种生产方法的工艺技术及消耗指标的比较(见表2)。

表2 各种生产方法每吨 Al₂O₃ 经济指标比较

工艺方法	国外拜耳法	选矿拜耳法	选矿石灰拜耳法 ²⁾	混联法 ³⁾
铝土矿 A/S	11.0	10.30	7.0	6.37
铝土矿耗量(t)	2.10	2.116	2.152	1.645
石灰石(kg)	238	243	506	822
碱耗(kg)	112	120	98	95
Al ₂ O ₃ 回收率(%)	86.6	72	76	89
建厂投资 ¹⁾ (元)	6382	7391	6400	9434
生产成本(元)	1035.8	1194.23	1145.2	1327.66

1)按60万t/a建设规模和1996年物价水平计算 2)根据初步研究结果算得 3)郑州铝厂1995年数据。

从上表可见:选矿石灰拜耳法的物料单耗和经济指标均优于其它方案,应该是今后 Al₂O₃ 厂建设和改造的首选方案。

(2)各种工艺方法的排尾量及尾矿利用的对比(见表3)。

表3 各种工艺方法的排尾量及尾矿利用(%)

工艺方法	国外拜耳法	选矿拜耳法	选矿石灰拜耳法	混联法
尾矿量	100	142	126	137
尾矿可利用率	<10	65	90	10~15
利用途径	填海	尾矿可作建材,赤泥未利用	建材和配料烧水泥	水泥添加 10%~15%
资源利用率	48	65	90	60

* 尾矿指选矿尾矿加赤泥。

从上表可见:在尾矿利用率和资源利用

率两方面,选矿石灰拜耳法都优于其它工艺方法,应是首选的工艺技术路线。

根据上述的比较,结合我国的铝土矿资源状况,选矿石灰拜耳法都优于其它工艺方法,应是首选的工艺技术路线。而且该工艺由于充分利用了原有拜耳法的优点,同时生成理论上不含碱的赤泥,这为赤泥的综合利用奠定了基础。

6 结束语

氧化铝工业是我重要的基础工业之一,早在“七五”期间,国家就根据我国国民经济的发展状况提出了优先发展铝的方针,但是丰富的铝资源储量和其匮乏的可经济利用的商品铝土矿资源之间的矛盾,制约了我国氧化铝生产技术的发展,尽快扩大我国可经济利用的商品铝土矿的资源储量目前已迫在眉捷。因此,国家应集中资金,组织国内优势的科研院所联合攻关,尽快解决优势工艺(如选矿石灰拜耳法)存在的产业化技术难题,使我国的铝工业在国际市场上更有竞争力,同时彻底解决氧化铝工业中的污染难题,改变我国氧化铝工业的高能耗、高成本、高污染状况,真正实现我国铝工业的可持续健康发展。

参考文献:

[1] 张国斌. 推广铝土矿选矿技术,促进氧化铝工业发展[J]. 轻金属, 2001(3):1-6.

[2] 曲正. 铝土矿铝硅比与拜耳法能耗关系[J]. 轻金属, 1998(11):20-23.

[3] 秦得龙. 我国铝土矿发展方向的探讨[J]. 轻金属, 1997(4):7-9.

[4] 马朝建,等. 用我国中低品位一水硬铝石矿生产氧化铝的新方法[J]. 轻金属, 1998(7):7-11.

[5] 尹克庭. 我国铝生产现状、问题和发展对策[J]. 轻金属, 1996(12):9-12.

[6] 孙宏华. 中国有色金属矿产资源的开发利用必须走可持续发展之路[J]. 有色金属(矿山部分), 1999(3):2-4.