

## 从赤泥中回收铁的研究现状

逯军正, 于先进, 张丽鹏

(山东理工大学 化学工程学院, 山东 淄博 250049)

**摘要:** 叙述了从赤泥中回收铁的意义及赤泥的物质组成, 着重介绍了国内外从赤泥中回收铁的研究现状。由于原铝土矿与氧化铝生产工艺不同, 赤泥中铁含量也各不相同, 应根据赤泥的特点, 采用相应的工艺对其中的铁进行回收。

**关键词:** 赤泥; 回收; 铁

中图分类号: X758 文献标识码: A 文章编号: 1004-4620 (2007) 04-0010-03

### Development Condition of Recovering Iron from Red Mud

LU Jun-zheng, YU Xian-jin, ZHANG Li-peng

(College of Chemical Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 250049, China)

**Abstract:** The paper has narrated the meaning of iron recovery in red mud and the chemistry composition and minerals of red mud. The process of recovering iron from red mud has introduced in the world. Due to different alumina production, the content of iron in red mud is different; we should take corresponding way to recover iron during to the characteristic of red mud.

**Key words:** red mud; recovery; iron

## 1 前言

赤泥是氧化铝生产过程中铝土矿经强碱浸出时矿石中的铁、钛等杂质和绝大部分的硅不溶解而形成的残渣。每生产1 t氧化铝就有1.0~1.8 t赤泥产出, 到2006年底全国氧化铝产量约为1 000万t, 年排出赤泥量接近2 000万t。目前我国氧化铝厂一般采用平地筑台、河谷拦坝、凹地填充等方法堆存赤泥, 不仅占用了大量的土地, 防护措施也不完善, 而且赤泥为碱性物质, 雨水冲洗赤泥产生的污水对水质及土壤均有污染, 同时也是对资源的一种浪费。赤泥的化学成分与原铝土矿的成分及氧化铝的生产工艺有关<sup>[1]</sup>, 特别是随着进口铝土矿的增加, 采用了拜耳法生产工艺, 铁含量普遍在30%以上。在铁矿石资源日益减少趋向枯竭及环境污染越来越严重的情况下, 为便于更好地从赤泥中回收铁, 仅就从赤泥中回收铁的工艺及研究进展进行综述。

## 2 从赤泥中回收铁的研究现状

### 2.1 国外的研究情况

美国矿务局曾研究了将赤泥、煤、石灰石及碳酸钠混合、磨碎, 然后在800~1 000 °C温度下进行还原烧结。烧结块经破碎后用水溶出、过滤。滤渣用高强度磁选机分选, 磁选部分在1 480 °C条件下进行熔炼产生生铁。利用此工艺经小型试验、半工业试验, 可制得含Fe 93%~94%、C 4.0%~4.5%的生铁, 按磁性部分铁含量计算, 铁回收率达到了95%。该工艺的主要问题是耗能大, 铁的磁选效率低<sup>[2]</sup>。另有文献介绍了从赤泥中低温还原-磁选回收铁的工艺<sup>[3]</sup>, 试验表明: 用煤、碳、锯木屑、干蔗渣作固相还原介质, 还原温度可降低到350 °C, 还原后磁选也较好地回收了铁。Mishra, B. Staley, A. 等在前人研究的基础上利用焦炭作还原

剂对赤泥进行了还原炼铁研究<sup>[4-5]</sup>，结果表明：采用碳热还原，铁的金属化率超过了94%，进一步熔化可炼得生铁，同时， $TiO_2$  在熔化炉渣中得到有效富集，经酸浸出后可从溶液中回收。

早期德国的格布尔·基里尼公司曾进行了两段熔炼法处理赤泥生产炼钢生铁的半工业化试验。第一段将赤泥与煤粉（或泥煤）、碎石灰石混合，送入长100 m的回转窑中在1 000 °C温度下进行还原烧结，使80%以上的氧化铁被还原成金属铁；第二段采用特殊结构的用油作加热介质的竖式熔炼炉进行熔炼，进一步还原使还原效率达到95%以上。熔融体中的铁和渣自行分离，残渣连续流出，在水中粒化。液态铁从炉中放出，经适当处理后，铸成生铁锭。

日本曾将含铁33%的赤泥与石灰石粉、焦粉烧结成块，然后在高炉中熔炼。由于赤泥中含铁量较高，在高炉中直接还原赤泥炼铁是可行的。此外，日本还提出利用还原烧结处理赤泥，将氧化铁转化为磁铁矿，其余部分用于回收氧化铝。首先将赤泥烘干至含水率30%后放在干燥器中进行自然蒸发，然后放在流化床中进行烧结。在流化床中利用还原气体还原赤泥，使氧化铁变成磁化铁；磁性物质经磁选分离后，再浓缩制成高纯冶金团块。研究发现，如果对试验条件严格控制，焙烧赤泥的还原反应可一直进行到使赤泥中的赤铁矿完全转化为海绵铁，而后进行磁选分离；获得海绵铁制团后，可以直接用于电炉炼钢，这比使用磁铁矿更为简便经济。

苏联巴夫洛达尔厂将烧结赤泥与磁铁精矿按5:95~15:85的比例配矿，再添加一定量的石灰石混合成球、烘干，加入一定量焦炭在达蒙型高温炉内的石墨坩埚中进行冶炼，所用赤泥含 $Fe_2O_3$  22.8%左右，熔融得到的生铁含Fe 90%~93%。冶金学家B. A. YTKOB认为高炉精矿配入少量的高铁赤泥虽然增加了物流量和出渣量，也增加了焦炭消耗，降低了熔炼效率，但是由于赤泥的配入使烧结矿粉料减少，烧结生产能力提高。虽然如此，由于铁精矿中配入赤泥量太少，即使技术经济合理，赤泥处理量也是非常有限的。前苏联还研究了将铝土矿进行磁化焙烧的试验。在铝土矿中配入2%~3%的煤，在650~700 °C的弱还原气氛中焙烧，拜尔法溶出后利用磁性机分离出铁矿物，磁性尾矿再返回用烧结法处理，半工业试验取得了良好效果。A. A. 米沙耶夫等人采用天然气作还原剂对基洛瓦巴德氧化铝厂的赤泥进行了间接还原熔炼研究，赤泥含铁42.04%。结果表明：可利用天然气代替煤来还原赤泥中的氧化铁，而后在800~850 °C下制得金属铁。此外还进行了采用水蒸汽作还原剂的试验。研究表明：改用水蒸汽作还原剂，可提高氧化铁的还原率，进而改善了还原物料的磁性过程，提高了金属铁的提纯率。

乌拉尔铝厂和前苏联科学院乌拉尔分院合作研究了用高炉或电炉熔炼赤泥的大型试验。试验所用的是乌拉尔铝厂存堆多年的赤泥，含铁达31.0%。经过制粒、脱硫、脱去附着水和结合水后，再加入5%~6%的焦炭作还原剂在电炉中熔炼制得炼钢生铁。

阿拉巴耶夫冶金联合企业和斯维尔德洛夫冶金研究所采用串联的2台回转窑对从乌拉尔氧化铝厂赤泥中回收铁进行了半工业试验。第1台回转窑的作用是烘干和还原，还原剂主要是焦煤和无烟煤；第2台回转窑用于熔炼赤泥产生生铁和自碎渣。试验的主要特点是不需要制粒直接与石灰石和焦炭进行熔炼。

匈牙利采用改良的串联法将阿尔马什菲济特氧化铝厂的拜尔法赤泥( $Fe_2O_3$  40.76%)，配加无烟煤作还原剂在捷克的耶依保维查厂60 mm长的回转窑中还原焙烧，再磁选分离，得到的铁精矿含Fe 77%，铁回收率达81.5%~83.0%，这种铁精矿可以直接用于电炉炼钢。匈牙利铝托拉斯工程和发展中心<sup>[6]</sup>及土耳其的E. Ercagt<sup>[7]</sup>等进行过电弧熔炼赤泥和炉渣湿法冶炼试验研究，其工艺过程包括赤泥焙烧预处理、电弧熔炼制得炼钢生铁及其炉渣，其中匈牙利产出的生铁成分为(%)：Si 0.3~0.6，Ti 0.2~0.7，Mn 0.3~0.5，V 0.3~0.4，C 4.2~5.0，P<0.3，S<0.01，是一种介于铸造生铁和制钢生铁之间的特种生铁，可用于生产合金钢和冷硬铸件。

另外，印度报道了用酸处理赤泥回收铝、铁和钛工艺<sup>[8-9]</sup>。前南斯拉夫对赤泥综合回收也进行了系统研究，所提出的回收工艺流程包括赤泥造块、还原熔炼、炉渣浸出和萃取分离。

## 2.2 我国的研究现状

我国是世界上生产氧化铝的大国，2007年底氧化铝产量将达到1 000万t，大量的赤泥需要利用和回收以防止资源浪费和环境污染。我国铝工业较世界上先进国家发展比较落后，但在赤泥处理和利用方面也做了大

量的工作。

中南大学研究了广西贵港高铁三水型铝土矿拜尔法溶出所得的残渣，提出了一条合理利用高铁赤泥的新途径。即由高铁赤泥直接生产制备海绵铁，其方法是配入A型催化剂赤泥煤基直接还原制备海绵铁，实验取得了初步成果，海绵铁品位91.79%，金属化率91.15%，这种产品可代替废钢作电炉炼钢原料。由于所用赤泥原料含Fe近40%，其综合经济效益较好。

东北大学研究的处理贵港铝土矿的“先铁后铝”方案，以铝土矿(含 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  40%左右)为原料，配加石灰石先烧成高碱度烧结矿再进行高炉冶炼，产出生铁和铝酸钙炉渣，实现铁铝分离。据说在冶炼过程中生铁与渣分离性能良好，铁回收率较高。

山东铝厂研究了采用非冶金方法回收赤泥中的铁，提出平果铝土矿两段溶出工艺。先将矿石粗磨，在245℃一段溶出，将赤泥分级，粗赤泥中富集了较多的铁和一水硬铝石，将粗赤泥再稍磨，于160℃二段溶出，可以得到含Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>近64%的赤泥，铁的收率达50%~60%。该方案的优点是回收赤泥中的铁矿物时，还能给拜尔法溶出流程带来一些效果，但是两段溶出使流程加长，回收的铁矿物品位不高，只能掺在铁精矿中用作炼铁烧结矿原料，同时弃赤泥中含 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 仍然很高(26%)，不利于进一步烧结处理，这些缺点在工业生产中应用时仍是非常重要的因素。

1995年，吴琼珍等进行了“平果铝土矿拜尔法赤泥综合利用研究”。将赤泥以还原焙烧后磁选，铁的回收率达到86.96%，海绵铁含铁84.17%，金属化率91.49%。尾矿处理可以提取钪、氧化铝和碱，最后剩余的残渣还可用于生产硫铝酸盐水泥，实现了零排放的目标。

中南大学梅贤功等人1996年报道了“高铁拜尔法赤泥煤基直接还原工艺的研究”，提出了配入A型催化剂的赤泥煤基直接还原焙烧-磁选分离-冷固成型的工艺。所用原料为广西某铝土矿拜尔法赤泥，主要成分为(%)：Fe 38.9， $\text{Al}_2\text{O}_3$  15.32， $\text{SiO}_2$  9.6， $\text{Na}_2\text{O}$  1.85。实验结果分析：铁精矿品位为91.79%，铁回收率94.12%，金属化率91.15%。

李佩鸿研究了将拜尔法赤泥直接还原焙烧后磁选回收铁<sup>[10]</sup>。用煤作还原剂，配煤比为17%，干燥温度(100±5)℃，焙烧温度1 000℃，焙烧时间120 min，一段磨矿细度-0.043 mm 87.36%，粗选磁场强度135 286 A/m，二段磨矿细度-0.038 5 mm 100%，精选磁场强度636 64 A/m。试验表明，用直接还原-磁选的方法处理平果拜尔法赤泥制取海绵铁，产品含TFe 84.17%， $\text{Al}_2\text{O}_3$  2.53%， $\text{SiO}_2$  1.44%， $\text{Na}_2\text{O}$  0.50%，CaO 1.34%，金属化率91.49%，铁的回收率达86.96%，在技术上是可行的，产品海绵铁可以代替废钢作为电炉炼钢的原料。

赣州有色冶金研究所和平果铝业公司按照国家“九五”重点科技攻关“赤泥综合利用技术研究”专题在平果铝业公司生产技术处的组织领导下，进行了半工业试验研究<sup>[11]</sup>。选用2台SLON型脉动高梯度磁选机作为选别设备，采用一粗一细全磁选流程工艺。一粗一精开路流程试验指标，赤泥中TFe 18.88%，获铁精矿中TFe 54.16%，铁回收率30.3%；一粗一精闭路(精选尾矿返回)流程试验指标，赤泥中TFe 17%~19%，获得铁精矿中TFe 54%~58%，铁回收率16%~36%；闭路流程72 h连续运转试验平均指标：赤泥中TFe 18.99%，铁精矿中TFe 54.65%，回收率35.28%。

湘潭工学院罗道成等采用了同梅贤功提出的类似的工艺研究了从氧化铝厂赤泥回收铁。配入A型催化剂，控制赤泥与还原煤及添加剂质量比为83：14：3，采用煤基直接还原焙烧-渣铁磁选分离-冷固成型性工艺流程，生产出优质的直接还原铁团矿，所得产品的金属化率为92.1%，含铁品位为92.7%，该产品可作电炉炼钢的原料，这种新工艺为氧化铝厂赤泥的综合利用开辟了新途径<sup>[12]</sup>。

李卫东研究了从拜尔法赤泥中选铁的新技术。试验分别采用正反浮选、重选以及利用脉动高梯度磁选机进行磁选的方法从赤泥中回收铁。研究表明：采用单一浮选、重选方法难以得到工业品级的铁精矿；利用脉动高梯度磁选机采用粗选工艺流程，一次选别可使赤泥中的铁含量由37.63%提高到48.70%，且回收率高达99.73%；采用粗选-精选开路流程，磨矿细度-0.425 mm 100%，获得精矿品位55.56%的铁精矿，精矿产率为77.79%，铁回收率90.38%；在此基础上又进行了模拟现场样机试验，试验分别采用一粗一精和一粗一扫两种流程。试验结果表明：一粗一精及一粗一扫两种流程都能获得高品位的精矿，且回收率高。一粗一精流程精矿品位高，一粗一扫流程回收率高。由于一粗一精流程中矿品位和金属收率比一粗一扫流程高，可认为闭路

后在保证精矿品位的前提下一粗一精流程也能获得较高的回收率，故建议生产采用一粗一精流程。

### 3 结 语

自氧化铝工业发展起来以后，赤泥的处理与综合利用一直是世界各国急需解决的难题之一，回收赤泥中的铁更是赤泥综合利用的一项重要；回收赤泥通常采用通过还原焙烧使 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 转变为 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ，然后磁选提取 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ，或将赤泥直接通过电炉熔炼产出生铁，或将赤泥先还原成海绵铁，然后用电炉炼成钢；赤泥的化学成分与原铝土矿的成分和氧化铝生产工艺有密切关系，针对不同的赤泥，要采用不同的提取工艺，才能取得较好的回收效果。总之，众多资料表明，从高铁赤泥中回收铁工艺技术难度不大，最主要的问题是如何通过优化工艺减少资源浪费以及能源消耗，降低回收成本，真正实现经济的可持续发展。

#### 参考文献：

- [1] 杨志民. 我国氧化铝生产的综合回收与利用[J]. 世界有色金属, 2002, (2):35-38.
- [2] Luige Piga, Fausto Pochetti, Luisa Stoppa. Recovering Metals from Red Mud Generate during Alumina Production [J]. JOM, 1993, 45:54-59.
- [3] Xiang Qinfang, Liang Xiaohong, Schiesinger Mark E, etal. Low temperature reduction of ferric iron in red [J]. Light Metals: Proceeding of Session, TMS Annual Meeting Feb 11 Nov 15 2000:157-162.
- [4] Mishra B, Staley A. Recovery of value added products from red mud [J]. Minerals and metallurgical Processing society for mining, Metallurgy and Exploration, 2002, 19(2):87-89.
- [5] Mishra B, Staley A, Kirkpatrick D. Recovery and utilization of iron from red mud[J]. Light Metal : proceeding of Sessions , TMS Annual Meeting(Warrendale, Pennsylvania) Feb 11 Nov 15 2000:149-156.
- [6] 徐进修, 罗修连. 赤泥的综合利用和有价金属的回收工艺综述[J]. 广西冶金, 1994, (4): 19-29.
- [7] E.Ercagt, R.Apak. Furnace smelting and extractive metallurgy of red mud: recovery of  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and pig iron[J]. Chem. Technol. Biotchnol, 1997, 70:241-246.
- [8] P.M.Prasad. Processing and Application of red mud .Processing of the International Symposium of Light Metals[J], Science and Technology, Switzerland; Trans Tech. Publications, 1985, (4):31-52.
- [9] R.S.Thakur, S.N. Das. Red Mud Analysis and Utilization [J]. Wrley Eastern, New Delhi, 1994, (2):18-20.
- [10] 李佩鸿. 平果铝矿赤泥直接还原炼铁的研究[J]. 广西冶金, 1999, (7):16-19.
- [11] 李朝祥. 从平果赤泥中回收铁半工业性试验取得成功[J]. 矿冶工程, 2000, (1):52.
- [12] 罗道成, 刘俊峰, 易平贵. 氧化铝厂赤泥综合利用的新工艺[J]. 中国矿业2002, 11(5):50-53.

---

[返回上页](#)