

氧化铝系列报告-氧化铝生产工艺及成本

研究院 新能源&有色组

研究员

陈思捷

☎ 021-60827968

✉ chensijie@htfc.com

从业资格号: F3080232

投资咨询号: Z0016047

师橙

☎ 021-60828513

✉ shicheng@htfc.com

从业资格号: F3046665

投资咨询号: Z0014806

付志文

☎ 020-83901026

✉ fuzhiwen@htfc.com

从业资格号: F3013713

投资咨询号: Z0014433

联系人

穆浅若

☎ 021-60827969

✉ muqianruo@htfc.com

从业资格号: F03087416

投资咨询业务资格:

证监许可【2011】1289号

摘要

本篇为该系列报告第三篇, 将主要从氧化铝的生产工艺、成本等方面, 对氧化铝产业链做分析解读。

氧化铝的生产已有 100 余年的发展历史, 由于氧化铝的两性属性, 即既可以用碱性溶液也可以用酸性溶液使铝土矿的氧化铝溶出。因此氧化铝的生产方法大致可分为碱法、酸法、酸碱联合法和热法, 但目前在工业上得到应用只有碱法。

碱法是用工业烧碱或纯碱来处理铝土矿, 使矿石中的氧化铝转变为铝酸钠溶液。矿石中的铁、钛等杂质和绝大部分的硅则成为不溶解的化合物进入残渣(赤泥), 将残渣与溶液分离, 从净化后的铝酸钠溶液中分解析出氢氧化铝, 氢氧化铝与母液分离、洗涤后进行焙烧, 从而得到氧化铝产品。按生产过程的特点碱法生产氧化铝可以分为拜耳法、烧结法和拜耳-烧结联合法, 联合法又包括并联、串联、混联联合法等。但不管采用何种生产方法, 生产氧化铝的实质始终是为了将矿石中的氧化铝与杂质分离。

目录

摘要	1
氧化铝生产工艺	3
拜耳法	3
烧结法	4
拜耳-烧结联合法	5
环保问题	6
氧化铝成本结构	7

图表

图 1: 拜耳法生产流程	4
图 2: 碱石灰烧结法生产流程	5
图 3: 拜耳-烧结串联法	6
图 4: 赤泥排放	7
图 5: 赤泥堆存	7
图 6: 氧化铝成本结构	7
图 7: 分省氧化铝生产成本 单位: 元/吨	8
图 8: 国内外氧化铝价格 单位: 元/吨	9
图 9: 电解铝及氧化铝价格 单位: 元/吨	9
图 10: 氧化铝南北价差 单位: 元/吨	9
图 11: 氧化铝进口盈亏 单位: 元/吨、美元/吨	9
图 12: 进口铝矿 CIF 单位: 美元/吨	9
图 13: 国产铝土矿价格 单位: 元/吨	9
图 14: 国内氧化铝完全成本 单位: 元/吨	10
图 15: 山东氧化铝成本占比 单位: %	10
图 16: 山西氧化铝完全成本 单位: %	10
图 17: 河南氧化铝成本占比 单位: %	10
图 18: 广西氧化铝完全成本 单位: %	11
图 19: 贵州氧化铝成本占比 单位: %	11

氧化铝生产工艺

氧化铝的生产已有 100 余年的发展历史，由于氧化铝的两性属性，即既可以用碱性溶液也可以用酸性溶液使铝土矿的氧化铝溶出。因此氧化铝的生产方法大致可分为碱法、酸法、酸碱联合法和热法，但目前在工业上得到应用只有碱法。

碱法是用工业烧碱或纯碱来处理铝土矿，使矿石中的氧化铝转变为铝酸钠溶液。矿石中的铁、钛等杂质和绝大部分的硅则成为不溶解的化合物进入残渣(赤泥)，将残渣与溶液分离，从净化后的铝酸钠溶液中解析析出氢氧化铝，氢氧化铝与母液分离、洗涤后进行焙烧，从而得到氧化铝产品。按生产过程的特点碱法生产氧化铝可以分为拜耳法、烧结法和拜耳-烧结联合法，联合法又包括并联、串联、混联联合法等。但不管采用何种生产方法，生产氧化铝的实质始终是为了将矿石中的氧化铝与杂质分离。

世界上第一种氧化铝工业生产的方法是烧结法，首先应用的是碳酸钠烧结法，但该方法只适合处理低硅优质铝土矿，处理高硅铝土矿时容易损失大量氧化铝。之后在碳酸钠烧结法的基础上，添加石灰石从而演变出碱石灰烧结法，该法有效地解决了碳酸钠烧结法难以处理的高硅铝土矿的问题。

后来随着拜耳法面世后，氧化铝进入了工业规模化生产的阶段，目前世界上 95% 以上的氧化铝都是通过拜耳法生产出来的。经过多年的发展，拜耳法由间断连续生产逐渐改进为连续操作，生产设备上也逐步实现了大型化、自动化、高效化和节能化。

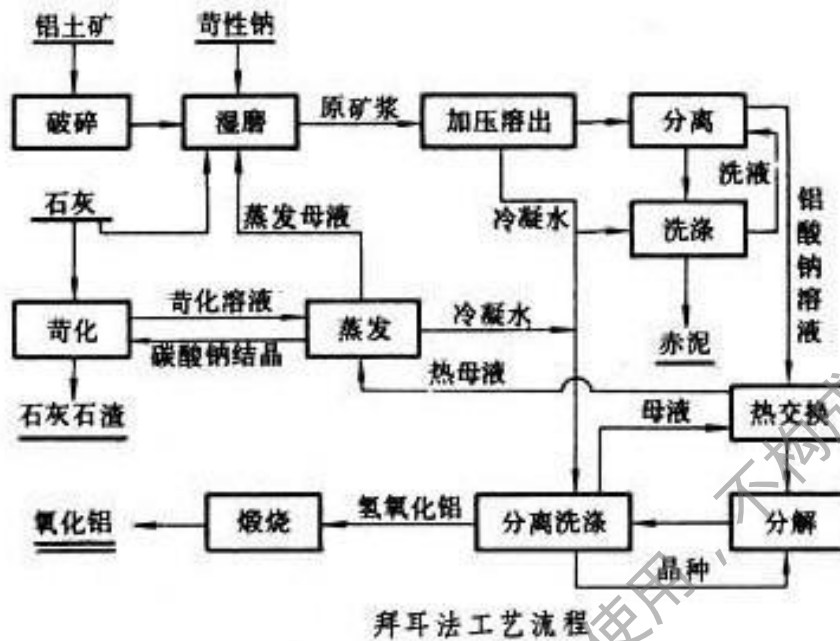
选择何种氧化铝生产方法主要由铝土矿矿石的性质决定。目前铝土矿主要有三大类，分别是三水铝石、一水软铝石和一水硬铝石。其中三水铝石中的氧化铝最易溶出，基本采用低温拜耳法生产，国外大部分氧化铝生产都采用低温拜耳法。而我国目前所发现的铝土矿几乎全部为一水硬铝石型铝土矿，是拜耳法溶出性能最差的一种水铝石矿物，因此采用国内矿生产氧化铝基本只能选择高温拜耳法或者烧结法。

拜耳法

拜耳法是由拜耳在 1889-1892 年所发明的，该方法直接利用含有大量苛性碱的循环母液来处理铝土矿，溶出其中的氧化铝得到铝酸钠溶液，然后向铝酸钠溶液中添加氢氧化铝晶种经长时间搅拌解析析出氢氧化铝结晶，再焙烧氢氧化铝得到氧化铝。分解得到的母液，经蒸发浓缩后在高温下可以用来溶出新一批的铝土矿。交替使用这两个过程就能够处理每一批矿石，从中得出纯的氢氧化铝产品，构成拜耳法循环。

拜耳法适合高铝硅比矿石，其生产流程简单、能耗低、成本低且产品质量好、纯度高，也是目前世界上处理铝土矿生产氧化铝的最主要方法。

图 1：拜耳法生产流程



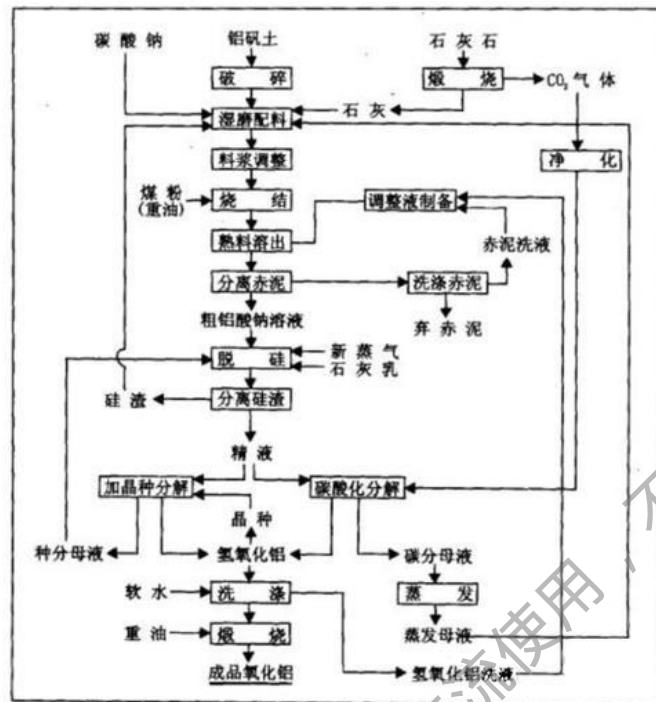
数据来源：公开资料整理 华泰期货研究院

烧结法

碱石灰烧结法是在铝土矿中加入石灰石和纯碱，从而形成炉料，炉料在高温下烧结得到含有固态铝酸钠的熟料(铝酸钠、铁酸钠、原硅酸钙和钛酸钙)，然后用水或稀碱溶液溶出熟料得到铝酸钠溶液，铝酸钠溶液净化后通入二氧化碳便可分解结晶出氢氧化铝，再经过焙烧即为氧化铝，该方法适合于处理低铝硅比矿。

尽管烧结法相比拜耳法而言，流程复杂、投资大、能耗高、产品质量略差，但其生产特点有利于利用中国低品位铝土矿，因此碱石灰烧结法在我国也得到一定的发展。

图 2：碱石灰烧结法生产流程



数据来源：公开资料整理 华泰期货研究院

拜耳-烧结联合法

拜耳-烧结联合法兼有拜耳法和烧结法两种方法的优点，可以充分利用铝土矿资源，但其流程复杂、成本高、能耗高且产品质量较拜耳法低。在氧化铝生产中得到实际应用的拜耳-烧结联合法有三种，即串联法、并联法和混联法，其分类主要是依据烧结法处理的原料来源。

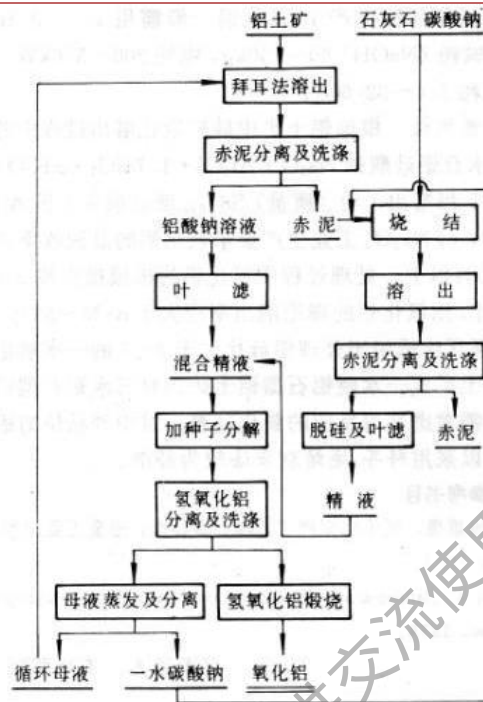
拜耳-烧结串联法，就是烧结法部分全部用来处理拜耳法赤泥，这种方法的优点主要是氧化铝的总回收率高、碱耗低、且烧结法部分产量小。但在烧结法部分，赤泥炉料中氧化铝含量低，熟料折合比高，且烧结比较困难。

而在拜耳-烧结并联法中，拜耳法和烧结法是两个并行的生产系统。拜耳法处理高品位矿石，而烧结法并不处理拜耳法赤泥，而只处理矿石。这种方法的优点在于：既可处理优质铝土矿，又可处理铝硅比较低的矿石，资源利用较为合理；但由于烧结法部分仅限于补碱，本身无氢氧化铝产出，产量受到限制。

我国采用的拜耳-烧结混联法实质上是烧结法与拜耳-烧结串联法的简单组合，兼有串联法和烧结法的优点，但流程更复杂，尤其是烧结法部分，由于要处理拜耳法赤泥和自身产生的硅渣，熟料品位受到很大的限制，从而烧结法部分的产能较纯烧结法低 30%

左右。

图 3：拜耳—烧结串联法



数据来源：公开资料整理 华泰期货研究院

环保问题

需要注意的是，生产 1 吨氧化铝会产生 1-2 吨固废赤泥，是一种不溶性残渣，可分为烧结法赤泥、拜耳法赤泥和联合法赤泥，具有强碱性。

随着铝工业的发展和铝土矿石品位的降低，赤泥量将越来越大，且赤泥为碱性物质，随着雨水的冲淋，赤泥中的碱会被溶出，可能污染地表水和地下水。而且由于赤泥不能充分有效的利用，只能依靠大面积的堆场堆放，占用了大量土地。国内外曾多次发生赤泥库泄漏或垮塌事故，造成企业停产。

图 4：赤泥排放



图 5：赤泥堆存



数据来源：SMM 华泰期货研究院

数据来源：SMM 华泰期货研究院

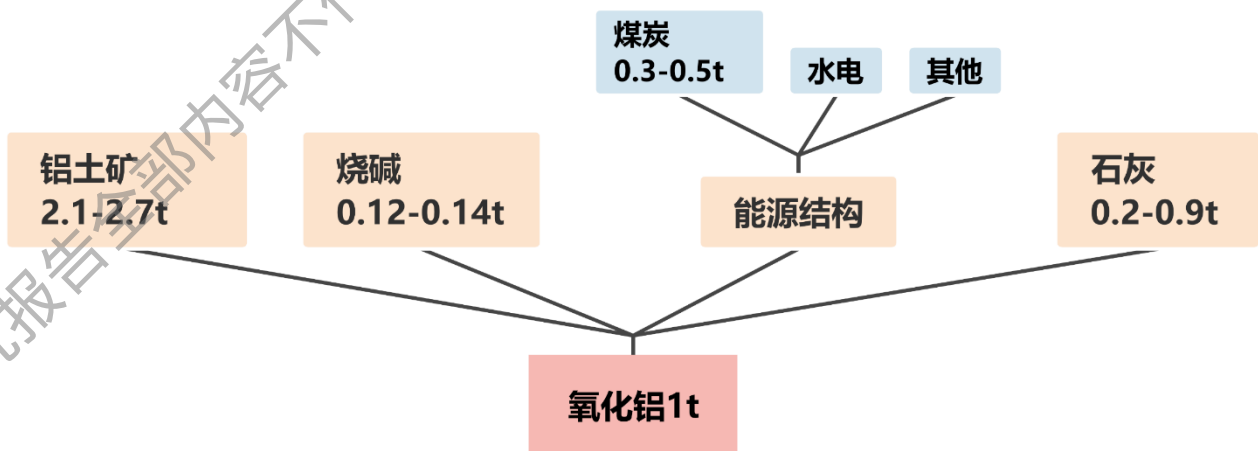
氧化铝成本结构

在氧化铝的生产中，纯碱或烧碱用于处理铝矿石，使矿石中的氧化铝转变成铝酸钠溶液，纯净的铝酸钠溶液即可分解析出氢氧化铝，经分离、洗涤后煅烧，便获得氧化铝产品。前文提及氧化铝有三种生产工艺：拜耳法、烧结法、联合法。其中拜耳法使用烧碱，适用于处理高品位的铝土矿，约占全国氧化铝产能的 90%以上；烧结法使用的是纯碱，主要用于处理低品位矿石，全国产能占比不足 10%。

根据氧化铝的生产工艺流程，氧化铝的生产成本大致由下面几部分构成：

- （一）原材料：铝土矿、石灰石、碱（纯碱和烧碱）等；
- （二）燃料及动力费用：电耗、蒸汽消耗、水、重油、焦炭等；
- （三）其他费用：人工、制造、管理费用。

图 6：氧化铝成本结构



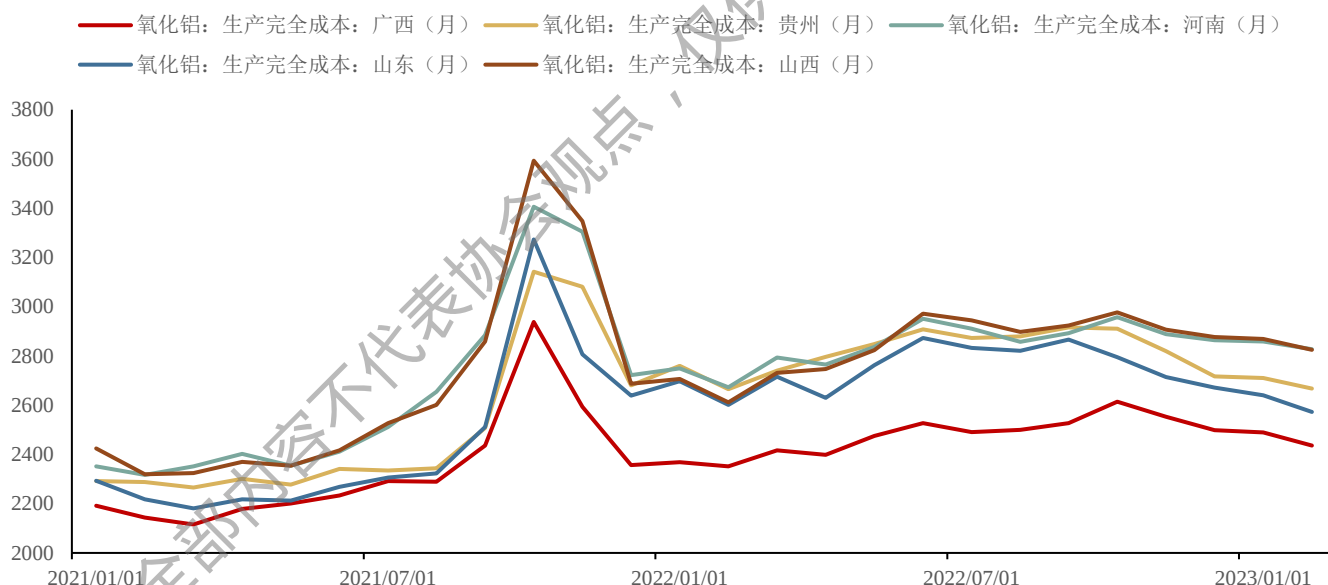
数据来源：SMM 华泰期货研究院

其中铝土矿是生产氧化铝的主要原材料和成本来源，一般生产 1 吨氧化铝约需 2.1-2.7 吨左右的铝土矿（因品位不同，生产 1 吨氧化铝需要铝土矿的量差别较大）。以拜耳法生产氧化铝为例，铝土矿成本约占总成本的 30%-40%，烧碱约占 15%-20%，动力煤约占 10%-13%，三者占总成本的 70%以上，是氧化铝生产的主要成本项。

三项成本中铝土矿对氧化铝成本的占比最大，也受国内铝土矿地区分布不一和进口矿石采购问题影响，价格区域内有所差异。从国内铝土矿的分布来看，国内铝土矿主要产地为广西、贵州、河南和山西四省，当地的高品位及低品位铝土矿报价是重要的参考价格。近年来，受矿石供应偏紧和安全环保政策等因素影响，国内铝土矿价格重心整体抬升。除国内自有铝土矿之外，我国氧化铝企业也大量采购海外铝土矿进行生产，主要来源国为几内亚、澳大利亚、印尼、马来西亚等国。因此，海外进口来源国的气候、政局变动、政策变化、海运费用等因素也值得关注。

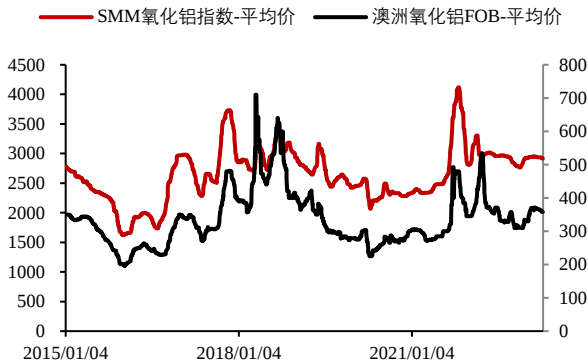
从国内总成本上看，山东、贵州、广西在氧化铝生产中成本优势较为突出。贵州，广西得益于廉价的铝土矿开采，具有成本优势，而山东港口众多，相比于其他省市更方便使用进口矿，在运费上具有优势。

图 7：分省氧化铝生产成本 | 单位：元/吨



数据来源：钢联 华泰期货研究院

图 8：国内外氧化铝价格 | 单位：元/吨



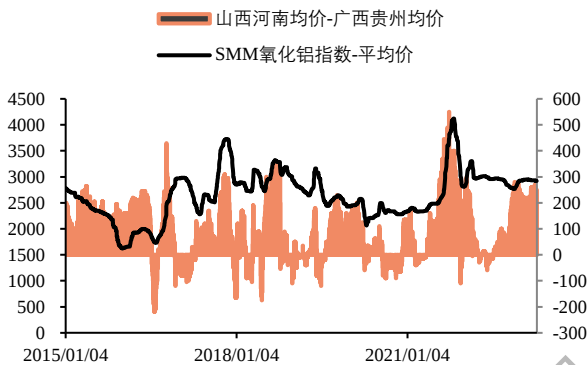
数据来源：SMM 华泰期货研究院

图 9：电解铝及氧化铝价格 | 单位：元/吨



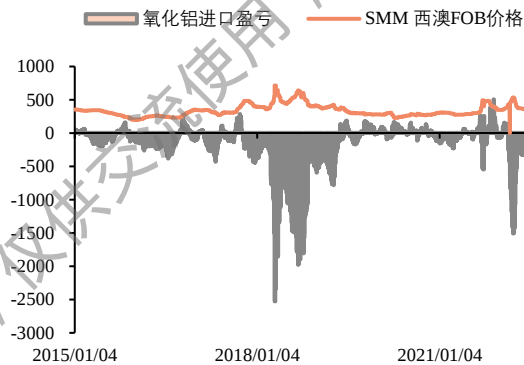
数据来源：SMM 华泰期货研究院

图 10：氧化铝南北价差 | 单位：元/吨



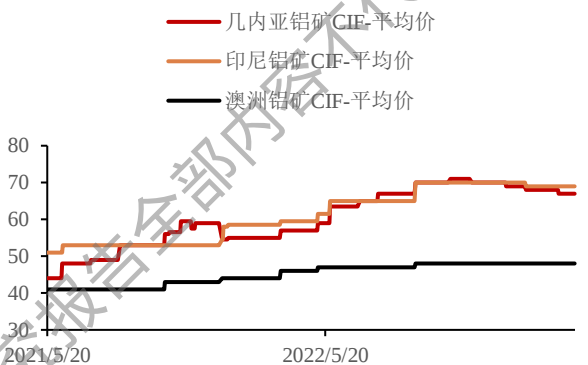
数据来源：SMM 华泰期货研究院

图 11：氧化铝进口盈亏 | 单位：元/吨、美元/吨



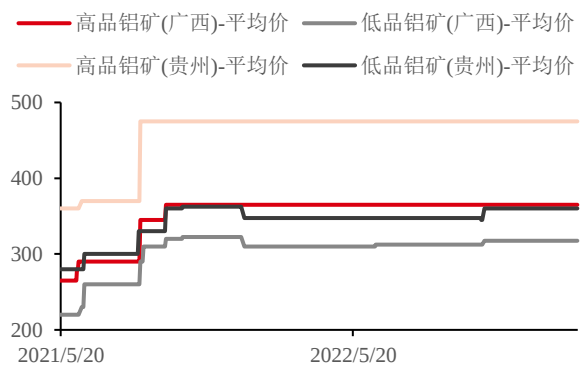
数据来源：SMM 华泰期货研究院

图 12：进口铝矿 CIF | 单位：美元/吨



数据来源：SMM 华泰期货研究院

图 13：国产铝土矿价格 | 单位：元/吨



数据来源：SMM 华泰期货研究院

而成本项中动力煤、烧碱价格则主要受市场行情影响。以 2023 年氧化铝成本为例，随着原料价格的回调，氧化铝企业生产成本有所下移。截至 2023 年 4 月初，据钢联统计，中国氧化铝平均完全成本为 2634 元/吨，较年初下降 107.3 元/吨，主要就在于烧碱和煤炭这两个方面价格的回落。

烧碱主要受需求薄弱的影响价格偏弱运行，一方面国内下游需求偏弱，另一方面出口订单不济，因此烧碱整体出货相对困难。截至 2023 年 4 月初主流地区烧碱价格（折百）约 2900 元/吨，较年初下跌 840 元/吨，折合氧化铝成本下降 70-110 元/吨。而煤炭则因供应回升而价格有所下跌，一方面内蒙、山西等地区原煤产量增加，另一方面澳煤进口窗口打开，导致整体煤炭供应有所增加。虽然受安全环保督查、进口量不及预期等因素影响，实际煤炭产量增量较为有限。

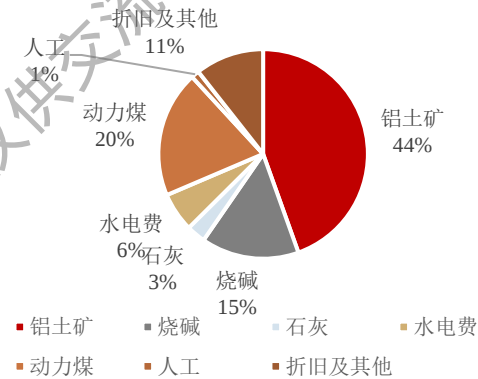
由于对氧化铝市场的关键影响因素在于氧化铝市场的供需状况、氧化铝成本状况以及电解铝产能运行状况等方面，因此成本分析值得关注。

图 14：国内氧化铝完全成本 | 单位：元/吨



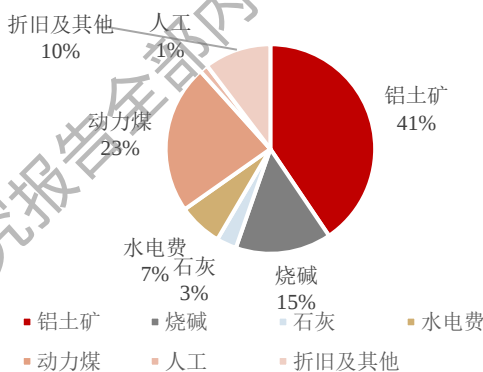
数据来源：钢联 华泰期货研究院

图 15：山东氧化铝成本占比 | 单位：%



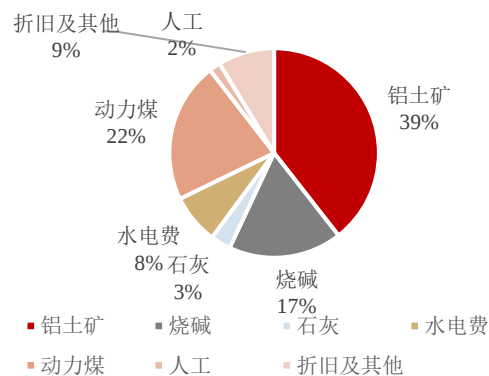
数据来源：钢联 华泰期货研究院

图 16：山西氧化铝完全成本 | 单位：%



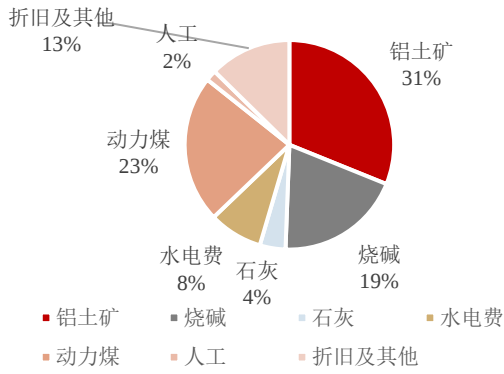
数据来源：钢联 华泰期货研究院

图 17：河南氧化铝成本占比 | 单位：%



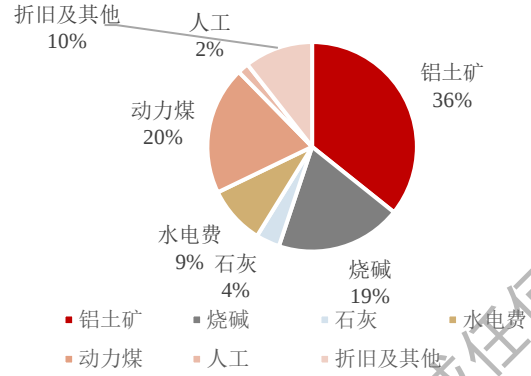
数据来源：钢联 华泰期货研究院

图 18: 广西氧化铝完全成本 | 单位: %



数据来源: 钢联 华泰期货研究院

图 19: 贵州氧化铝成本占比 | 单位: %



数据来源: 钢联 华泰期货研究院

研究报告全部内容不代表协会观点，仅供交流使用，不构成任何投资建议

免责声明

本报告基于本公司认为可靠的、已公开的信息编制，但本公司对该等信息的准确性及完整性不作任何保证。本报告所载的意见、结论及预测仅反映报告发布当日的观点和判断。在不同时期，本公司可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。本公司不保证本报告所含信息保持在最新状态。本公司对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。

本公司力求报告内容客观、公正，但本报告所载的观点、结论和建议仅供参考，投资者并不能依靠本报告以取代行使独立判断。对投资者依据或者使用本报告所造成的一切后果，本公司及作者均不承担任何法律责任。

本报告版权仅为本公司所有。未经本公司书面许可，任何机构或个人不得以翻版、复制、发表、引用或再次分发他人等任何形式侵犯本公司版权。如征得本公司同意进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并注明出处为“华泰期货研究院”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。本公司保留追究相关责任的权力。所有本报告中使用的商标、服务标记及标记均为本公司的商标、服务标记及标记。

华泰期货有限公司版权所有并保留一切权利。

公司总部

广州市天河区临江大道1号之一2101-2106单元 | 邮编：510000

电话：400-6280-888

网址：www.htfc.com