



氧化铝期货系列专题（一）：氧化铝生产工艺及应用

光大期货研究所

有色研究团队

研究总监：展大鹏

品种：有色

分析师：刘轶男

品种：锌锡

助理分析师：王珩

品种：铝硅

助理分析师：朱希

品种：镍锂

撰写日期：

2023/5/29

期市有风险

入市需谨慎

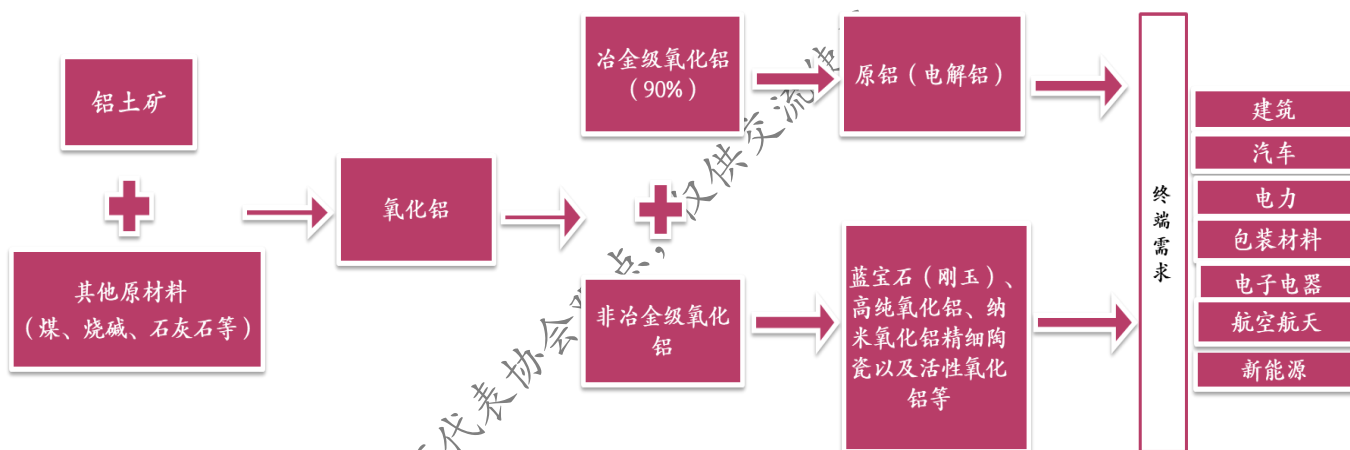
- 氧化铝是铝的稳定氧化物，外观为白色晶状粉末或固体，在矿业、制陶业和材料科学上又被称为矾土，是生产电解铝的核心原材料，涉及应用范畴非常广泛。针对上期所即将推出上市的氧化铝期货，为了更好地市场宣导和服务客户，光期研究将通过氧化铝系列专题带您全面了解其基础特征属性、应用及资源分布、产业基本面、报价体系及价格影响因素以及设计的整体概况。
- 氧化铝是一种高硬度的化合物，难溶于水，能溶于无机酸和碱性溶液中，无臭、无味、质极硬，易吸潮而不潮解（灼烧过的不吸湿）。相对密度4.0，熔点为2054℃，沸点为2980℃，是在高温下可电离的离子晶体，常用于制造耐火材料。工业 Al_2O_3 是由铝矾土（ $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ ）和硬水铝石制备的，对于纯度要求高的 Al_2O_3 ，一般用化学方法制备。
- 氧化铝按照不同的生产用途可分为冶金级氧化铝和非冶金级氧化铝两类。而全球超过90%的氧化铝都是冶金级氧化铝。冶金级氧化铝为熔盐电解法生产金属铝所用的氧化铝，是生产电解铝的主要原料。非冶金级氧化铝即化学品氧化铝，为除生产铝锭用氧化铝以外的氧化铝、氢氧化铝及含铝化合物。
- 氧化铝的冶炼工艺大致可以分为烧结法、拜耳法和烧结-拜耳联合法等，而目前烧结法已经较少运用，主流冶炼方法为拜耳法。拜耳法基本原理是用苛性钠溶液溶出铝土矿中的氧化铝而制得铝酸钠溶液，采用对溶液降温、加晶种、增加搅拌的办法，从溶液中分解出 $Al(OH)_3$ 。将分解后的母液经过蒸发后用来重新溶出新的一批铝土矿，溶出过程是在加温加压下进行的。
- 氧化铝的应用主流方向为生产电解铝，此外应用方向还有制备蓝宝石、高纯氧化铝、纳米氧化铝精细陶瓷以及活性氧化铝等。其中电解铝产业链完整，分为上游铝土矿的采矿，中游对氧化铝及电解铝的冶炼以及下游的铝材的加工和应用。下游在轻工业、电器行业、机械制造、电子行业、交通运输、冶金以及房产建筑行业等行业应用广泛。

氧化铝期货系列专题（一）：氧化铝生产工艺及应用

氧化铝是铝的稳定氧化物，外观为白色晶状粉末或固体，在矿业、制陶业和材料科学上又被称为矾土，是生产电解铝的核心原材料，涉及应用范畴非常广泛。针对上期所即将推出上市的氧化铝期货，为了更好地市场宣导和服务客户，光期研究将通过氧化铝系列专题带您全面了解其基础特征属性、应用及资源分布、产业基本面、报价体系及价格影响因素以及设计的整体概况。

一、氧化铝概况

图表 1：氧化铝产业链



资料来源：公开资料整理，光大期货研究所

世界氧化铝工业有着近百年的历史。法国萨林得厂被认为是氧化铝工业的诞生地。第一个氧化铝生产方法——烧结法就是 1856-1860 年在这里研究出来的。1856 年查得力提出铝土矿苏打烧结法生产氧化铝。1880 年优列儿提出进步添加石灰石，后来又改为添加石灰，以至于发展成为今天的烧结法。1889-1892 年奥地利人拜尔发明了用苛性碱溶液直接溶出铝土矿生产氧化铝的拜尔法，为氧化铝的迅速发展和大规模生产开辟了道路。二十一世纪以来，随着铝应用的领域不断扩展，氧化铝资源需求高涨，铝土矿的开采量也不断增长，国际氧化铝市场已经成为世界关注的一个焦点。

（一）氧化铝的物理和化学性质

氧化铝是一种高硬度的化合物，难溶于水，能溶于无机酸和碱性溶液中，无臭、无味、质极硬，易吸潮而不潮解（灼烧过的不吸湿）。相对密度 4.0，熔点为 2054℃，沸点为 2980℃，是在高温下可电离的离子晶体，常用于制造耐火材料。工业 Al_2O_3 是由铝矾土（ $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ）和硬水铝石制备的，对于纯度要求高的 Al_2O_3 ，一般用化学方法制备。

氧化铝有许多同质异晶体，目前已知的有 10 多种，主要有 3 种晶型，即 γ - Al_2O_3 、 β - Al_2O_3 、 α - Al_2O_3 （刚玉）。其中结构不同性质也不同，在 1300℃ 以上的高温时几乎完全转化为刚玉。煅烧氢氧化铝可制得 γ - Al_2O_3 。 γ - Al_2O_3 具有强吸附力和催化活性，可做吸附剂和催化剂。刚玉是桶状或锥状的三方晶体，有玻璃光泽或金刚光泽，密度为 3.9~4.1g/cm³，硬度 9，熔点 2000±15℃。不溶于水，也不溶于酸和碱，耐高温。其中，无色透明者称白玉，含微量三价铬的显红色称红宝石；含二价铁、三价铁或四价钛的显蓝色称蓝宝石；含少量四氧化三铁的显暗灰色、暗黑色称刚玉粉，可用做精密仪器的轴承，钟表、钻石、砂轮、抛光剂、耐火材料和电的绝缘体，也可制坩埚、瓷器等。色彩艳丽的可做人造宝石做装饰用，人造红宝石单晶还可制激光器的材料。此外，氧化铝也是炼铝的原料。

因其具有机械强度高、硬度大、高频介电损耗小、高温绝缘电阻高、耐化学腐蚀性和导热性良好等优良综合技术性能等优势，氧化铝在陶瓷行业中也有广泛运用——氧化铝陶瓷是一种以 Al_2O_3 为主要原料，以刚玉为主晶相的陶瓷材料。

（二）氧化铝的分类

氧化铝按照不同的生产用途可分为冶金级氧化铝和非冶金级氧化铝两类，而全球超过 90% 的氧化铝都是冶金级氧化铝。

1、冶金级氧化铝

冶金级氧化铝为熔盐电解法生产金属铝所用的氧化铝，是生产电解铝的主要原料。

氧化铝中含有 Fe_2O_3 、 SiO_2 、 TiO_2 、 V_2O_5 等氧化物，这些元素在电解过程中将首先在阴极

上析出，降低铝的质量，同时磷、钒、钛、铁等杂质进入电解质，还会使电流效率降低；氧化铝中含有碱金属及碱土金属的氧化物如 Na_2O ，则在电解时这些元素将与氟化铝反应，造成氟化铝耗量增加；氧化铝中的 Fe_2O_3 、 SiO_2 在电解炼铝过程中，全部进入铝锭，对铝锭中 Fe、Si 元素的杂质含量有着重要的影响。因此，电解炼铝用的氧化铝必须具有较高的纯度，其杂质含量应尽可能低。

由全国有色金属标准化技术委员会归口的 YS/T 803-2012 准则，规定了冶金级氧化铝的行业标准，其中将冶金级氧化铝按照化学成分和物理性能分为三个牌号，划分标准如下表：

图表 2：冶金级氧化铝牌号分类标准

牌号	化学成分 (%)				
	Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	Na_2O	灼减
	\geq	\leq	\leq	\leq	\leq
YAO-1	98.6	0.02	0.02	0.45	1.0
YAO-2	98.5	0.04	0.02	0.55	1.0
YAO-3	98.4	0.06	0.03	0.65	1.0

资料来源：全国有色金属标准化技术委员会，光大期货研究所

2、非冶金级氧化铝

非冶金级氧化铝即化学氧化铝，为除生产铝锭用氧化铝以外的氧化铝、氢氧化铝及含铝化合物。按化学成份分类，化学氧化铝又可分为氢氧化铝系列、特种氧化铝系列、拟薄水铝石系列、沸石系列、铝酸钙水泥系列等。

氢氧化铝系列产品包括用于生产氟化盐、硫酸铝、铝酸钠、氯化铝等铝盐的普通氢氧化铝和用于复合材料、特殊塑料、纸张、人造石等填充材料以及用于生产高级光学玻璃的特种氢氧化铝。普通氢氧化铝牌号命名按 GB/T 4294，特种氢氧化铝系列产品牌号、成分及用途见下表：

图表 3：特种氢氧化铝系列产品牌号用途表

产品名称	牌号	牌号说明	主要用途
------	----	------	------

工业细氢氧化铝	H-I-30	平均粒径为 30 微米工业细氢氧化铝	活性氧化铝及铝盐等
白色氢氧化铝	H-W	烧结法白色氢氧化铝	填料氢氧化铝、沸石等
高白填料氢氧化铝	H-WF-1	平均粒径为 1 微米高白填料氢氧化铝	电线、电缆及纸张等填料
	H-WF-3	平均粒径为 3 微米高白填料氢氧化铝	绝缘塑料、泡沫塑料等填料
	H-WF-10	平均粒径为 10 微米高白填料氢氧化铝	人造石、地毯等填料
	H-WF-10-LS	平均粒径为 10 微米低钠高白填料氢氧化铝	人造石、牙膏等填料
	H-WF-50	平均粒径为 50 微米高白填料氢氧化铝	人造石、复合材料等填料
	H-WF-75	平均粒径为 75 微米高白填料氢氧化铝	人造石、玛瑙制品等填料
高纯氢氧化铝	H-P-9995	纯度为 99.95% 高纯氢氧化铝	高级光学玻璃等

资料来源：全国有色金属标准化技术委员会，光大期货研究所

特种氧化铝系列产品包括用于硫磺回收催化剂、脱氟剂、吸附剂和干燥剂等活性氧化铝，用于耐火材料、陶瓷和磨料行业的煅烧氧化铝；用于生产单晶陶瓷、荧光材料等的高纯氧化铝以及用于生产高压电器开关等绝缘件的电工填料氧化铝。其产品牌号、成分及用途见下表：

图表 4：特种氧化铝系列产品牌号用途表

产品名称	牌号	牌号说明	主要用途
活性氧化铝	A-AC-03	孔容为 0.3ml/g 柱状活性氧化铝	催化剂、脱氟剂、吸附剂、干燥剂等
	A-AP- γ	γ -氧化铝	
	A-AP- ρ	ρ -氧化铝	
	A-AS-04	孔容为 0.4ml/g 球状活性氧化铝	
煅烧氧化铝	A-C-LS	低钠煅烧氧化铝	陶瓷、抛磨材料、耐火材料等
	A-C-MS	中钠煅烧氧化铝	
	A-CG-5-MS	平均粒径为 0.5 微米中钠煅烧氧化铝微粉	
	A-CG-5-LS	平均粒径为 0.5 微米低钠煅烧氧化铝微粉	
高纯氧化铝	A-P-999	纯度为 99.9% 高纯氧化铝	单晶陶瓷、荧光材料等
	A-P-9999	纯度为 99.99% 高纯氧化铝	
电工氧化铝	A-F-15	平均粒径为 15 微米电工填料氧化铝	高压绝缘器件等

资料来源：全国有色金属标准化技术委员会，光大期货研究所

拟薄水铝石系列产品包括用作催化剂载体——活性氧化铝的原料及用作分子筛、硅酸盐耐火纤维制品成型粘结剂的假一水软铝石。其产品牌号、成分及用途见下表：

图表 5：拟薄水铝石系列产品牌号用途表

产品名称	牌号	牌号说明	主要用途
拟薄水铝石	P-G-03	孔容为 0.3ml/g 拟薄水铝石	催化剂、分子筛、耐火纤维制品等
	P-D-03	孔容为 0.3ml/g 烘干拟薄水铝石	
	P-DF-03-LS	孔容为 0.3ml/g 低钠粉碎拟薄水铝石	
	P-DF-08-HSi	孔容为 0.8ml/g 高硅粉碎拟薄水铝石	
	P-DF-08	孔容为 0.8ml/g 粉碎拟薄水铝石	
	P-DF-03-HV	孔容为 0.3ml/g 高粘度粉碎拟薄水铝石	
	P-DF-03-LD	孔容为 0.3ml/g 低密度粉碎拟薄水铝石	催化剂等

资料来源：全国有色金属标准化技术委员会，光大期货研究所

沸石系列产品包括用于生产洗涤剂用的 4A 沸石、催化剂载体的 NaY 沸石和石油化工行业的脱芳烃、脱氮、脱有机硫的 10X 型等沸石。铝酸钙水泥系列产品包括用于生产不定型耐火材料的纯铝酸钙水泥。其产品牌号、成分及用途见下表：

图表 6：沸石系列产品牌号、铝酸钙水泥系列产品牌号用途表

产品名称	牌号	牌号说明	主要用途
沸石	Z-4A	4A 沸石	洗涤剂
	Z-NaY	Y 型沸石	催化剂载体等
	Z-10X	10X 沸石	分子筛等
铝酸钙水泥	C-CA-80	氧化铝含量为 80% 的铝酸钙水泥	不定型耐火材料结合剂等
	C-CA-75	氧化铝含量为 75% 的铝酸钙水泥	不定型耐火材料结合剂等
	C-CA-70	氧化铝含量为 70% 的铝酸钙水泥	

资料来源：全国有色金属标准化技术委员会，光大期货研究所

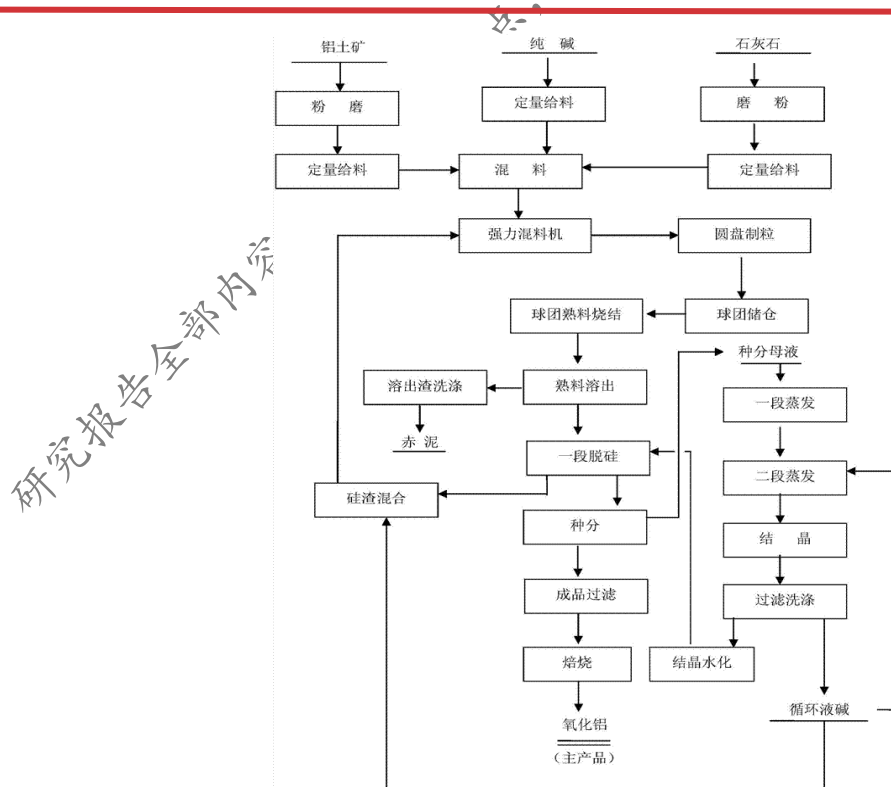
二、氧化铝的冶炼技术

氧化铝的冶炼工艺大致可以分为烧结法、拜耳法和烧结-拜耳联合法等，而目前烧结法已经较少运用，主流冶炼方法为拜耳法。

(一) 烧结法

烧结法的基本原理是将铝土矿与一定数量的纯碱、石灰（或者石灰石）、配成炉料在高温下进行烧结，使氧化硅和石灰化合成不溶于水的原硅酸钙，氧化铝与纯碱化合成可溶于水的固体铝酸钠，而氧化铁与纯碱化合成可以水解的铁酸钠，将烧结产物（熟料）用稀碱溶液溶出时固体铝酸钠便进入溶液，铁酸钠水解放出碱，氧化铁以水合物与原硅酸钙一道进入赤泥。再用二氧化碳分解铝酸钠溶液便可以析出氢氧化铝，经过焙烧后产出氧化铝。分离氢氧化铝后的母液成为碳分母液经过蒸发后返回配料。料烧结熟料溶出赤泥分离和洗涤粗液脱硅精液碳分氢氧化铝分离和洗涤氢氧化铝焙烧母液蒸发。具体流程如下图所示：

图表 7：烧结法流程示意图

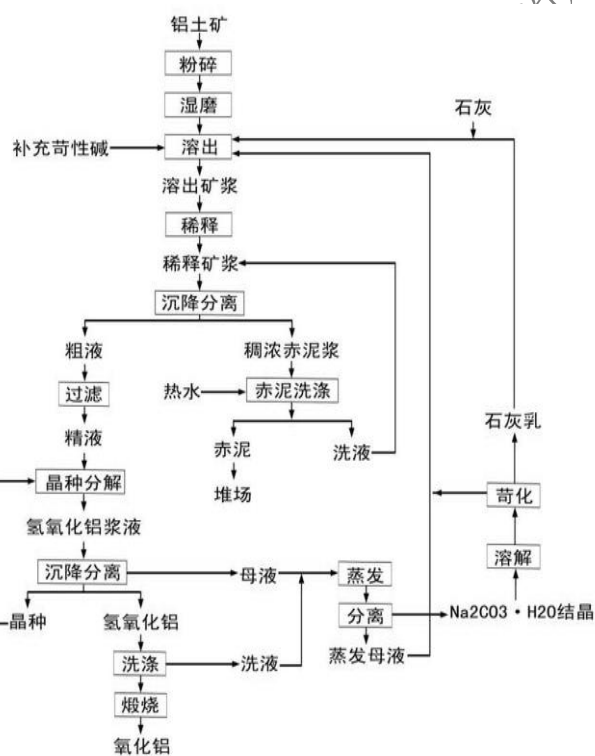


资料来源：公开资料整理，光大期货研究所

（二）拜耳法

拜耳法的基本原理是用苛性钠溶液溶出铝土矿中的氧化铝而制得铝酸钠溶液，采用对溶液降温、加晶种、增加搅拌的办法，从溶液中分解出 $Al(OH)_3$ 。将分解后的母液经过蒸发后用来重新溶出新的一批铝土矿，溶出过程是在加温加压下进行的。破碎湿磨溶出稀释沉降分离赤泥赤泥洗涤煅烧蒸发苛化，具体流程如下图所示：

图表 8：拜耳法流程示意图



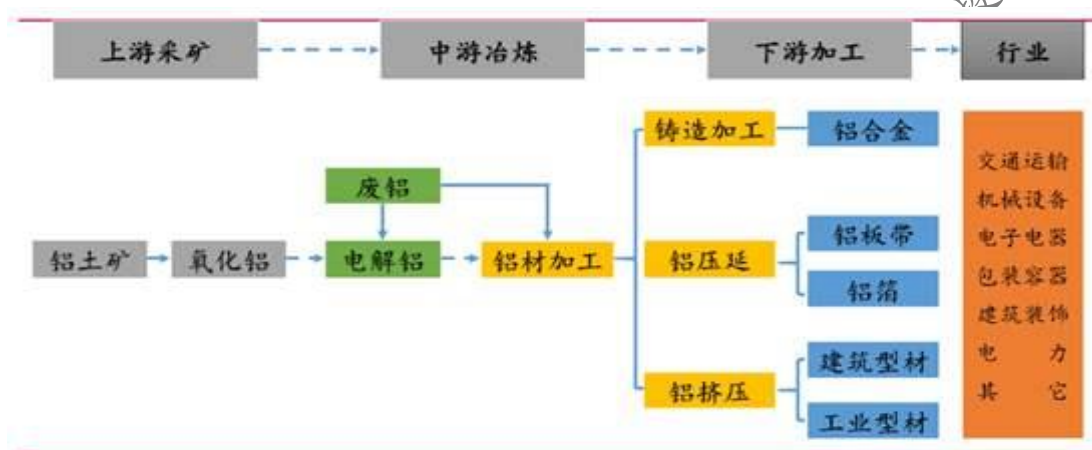
资料来源：公开资料整理，光大期货研究所

（三）烧结-拜耳联合法

烧结-拜耳联合法是拜耳法和烧结法并用的一种氧化铝生产方法。这是一种用于处理 Al_2O_3 与 SiO_2 比为 5~7 的中等品位铝土矿的较经济方法。这种方法的最大的特点是可用烧结法系统所

电解铝是一种应用广泛的基本金属，主要用于生产各种不同用途的铝加工材。电解铝产业链完整，分为上游铝土矿的采矿，中游对氧化铝及电解铝的冶炼以及下游的铝材的加工和应用。下游在轻工业、电器行业、机械制造、电子行业、交通运输、冶金以及房产建筑行业等行业应用广泛。目前最重要的下游行业为房产建筑行业、交通运输业、电力电子行业以及包装行业，合计对铝金属的消耗量约占总量的 80%。电解铝的行业产业链如下图所示：

图表 10：铝行业产业链



资料来源：公开资料整理，光大期货研究所

(二) 蓝宝石

蓝宝石是一种氧化铝 α - Al_2O_3 的单晶，又称为刚玉。蓝宝石作为一种重要的技术晶体，已被广泛地应用于科学技术、国防与民用工业的许多领域。蓝宝石晶体具有优异的光学性能、机械性能和化学稳定性，强度高、硬度大、耐冲刷，可在接近 2000°C 高温的恶劣条件下工作。蓝宝石晶体具有独特的晶格结构、优异的力学性能、良好的热学性能。其主要用途如下：

(1) 用于红外军事装置、卫星空间技术、高强度激光的窗口材料。成为实际应用的半导体 GaN/ Al_2O_3 发光二极管 (LED)、大规模集成电路 SOI 和 SOS 及超导纳米结构薄膜等最为理想的衬底材料。

(2) 用于半导体照明产业，如 LED，LED 是新一代光源，被公认为是 21 世纪最具发展前景的高技术领域。LED 能使发光效率提高近 10 倍，寿命是传统灯具的 20 倍以上，兼有绿色、环

保等优点。现在世界各个主要国家和地区纷纷制定 LED 技术与产业发展计划，目前全球 80% 的 LED 企业都采用蓝宝石衬底，所以蓝宝石拥有巨大的市场应用前景。

(3) 用于民用航天、军工等，如透波窗口、整流罩、光电窗口、护板、陀螺、耐磨轴承等部件。军用光电设备，如：光电吊舱、光电跟踪仪、红外警戒系统、潜舰光电桅杆等。

(4) 在民用领域的应用，如条码扫描仪的扫描窗口，永不磨损型雷达表的表蒙，纺织工业的纤维导丝器，照相机外护镜头，耐磨轴承。

(三) 高纯氧化铝

从功能方面看，高纯氧化铝具有电学、光学、化学、生物、吸声、热学、力学等多种功能，主要应用领域如下：

1、电基材料：集成电路基片、封装、火花塞、Na-S 电池固体电解质，用 4N 高纯纳米氧化铝造粒粉 VK-L05C。

2、光学功能：高压钠蒸气灯发光管、激光器材料，传感器，用 5N 高纯纳米氧化铝 VK-L100G。

3、化学功能：控制化学反应，净化排出气体，催化剂载体、耐腐蚀材料、固酶载体。

4、生物体功能：人工骨骼，人工牙根，用 5N 高纯纳米氧化铝 VK-L100G。

5、热学功能：耐热，隔热结构材料。

6、力学功能：研磨材料、切削材料，轴承、精密机械零部件。

(四) 纳米氧化铝精细陶瓷

以纳米氧化铝为主要原料制得的纳米氧化铝精细陶瓷，因具有多种功能，在高技术领域及许多行业都已得到应用，主要应用领域如下：

1、在电子工业中的应用：

a) 多芯片式封装用陶瓷多层基板：封装用的纳米氧化铝陶瓷多层基板的制造方法有厚膜印刷法、生坯叠片法、生坯印刷法、厚薄膜混合法等四种。

- b) 高压钠灯发光管：由多晶不透明的高纯纳米氧化铝（VK-L100G，99.999%）所形成的纳米氧化铝透明体，应用于高压钠灯发光管，照明效率为水银灯的两倍，从而开拓了提高照明效率的新途径。透明高纯纳米氧化铝精细陶瓷不仅能透光，而且具有耐高温、耐腐蚀、高绝缘、高强度、介质损耗小等性能，是一种优良的光学陶瓷，还可作微波炉窗等。
- c) 纳米氧化铝陶瓷传感器：用高纯纳米氧化铝（VK-L100G）陶瓷的晶粒、晶界、气孔等结构特征和特性作敏感元件，用于高温和含腐蚀性气体的环境中，使检测、控制的信息准确而迅速。从应用的类型看，有温度、气体、湿度等传感器。

2、生物纳米高纯氧化铝（VK-L100G）陶瓷：

高纯氧化铝多晶作为生物功能材料并应用于人体是 1969 年，高纯氧化铝精细陶瓷用于医学工程的有单晶体和烧结的多晶体两种。现在，美国、西德、瑞士和荷兰都在广泛地使用多晶高纯纳米氧化铝制作人造牙和人造骨，医学用材料主要是高纯纳米氧化铝，用于牙根、关节，纳米氧化铝精细陶瓷与人体组织液的接触角是最接近人体牙的材料。迄今用于医学工程中的生物陶瓷有 20 余种，高纯纳米氧化铝是用得最多的一种。

3、纳米氧化铝（VK-L05C）陶瓷刀具：

纳米氧化铝的硬度（Hr）为 2700~3000，杨氏模量(kg/mm²)35000~41000。导热系数 0.75~1.35*10³J/m*h *°C，热膨胀系数 8.5*10⁻⁶/°C（室温~1000°C）。人们在利用这些特性的同时，又开发了 Al₂O₃-TiO₂，Al₂O₃-ZrO₂ 系陶瓷，以改善纳米氧化铝陶瓷刀具的韧性和耐热冲击性，Al₂O₃ 的粒度组成在烧结过程中纳米氧化铝晶粒度的控制是决定刀具质量的重要环节，若采用高温等静压烧结（HIP），可使晶粒度为 0.3~0.5 微米。纳米氧化铝刀具的抗折强度可提高到 900~1000MPa，适应高速切削的需要。

（五）活性氧化铝

活性氧化铝外观多为白色球状多孔性颗粒，粒度均匀，表面光滑，机械强度大，吸湿性强，吸水后不胀不裂保持原状，无毒、无臭、不溶于水、乙醇，对氟有很强的吸附性，主要用于高氟地区饮用水的除氟。

活性氧化铝对气体、水蒸气和某些液体的水分有选择吸附本领。吸附饱和后可在约 175℃~315℃ 加热除去水而复活。吸附和复活可进行多次。除用作干燥剂外，还可从污染的氧、氢、二氧化碳、天然气等中吸附润滑油的蒸气。并可用作催化剂和催化剂载体和色层分析载体。

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

有色研究团队成员介绍

展大鹏，理科硕士，现任光大期货研究所有色研究总监，贵金属资深研究员，黄金中级投资分析师，上期所优秀金属分析师，期货日报&证券时报最佳工业品期货分析师。十多年商品研究经验，服务于多家现货龙头企业，在公开报刊杂志发表专业文章数十篇，长期接受期货日报、中证报，上证报、证券时报、第一财经、华夏时报等多家媒体采访，所在团队曾荣获第十五届期货日报&证券时报最佳金属产业期货研究团队奖，上期所 2016 年度有色金属优秀产业团队称号。期货从业资格号：F3013795 交易咨询从业证书号：Z0013582

刘轶男，英国利物浦大学理学硕士，现任光大期货研究所有色研究员，主要研究方向为锌锡。深入国内外有色产业，扎根产业链上下游，关注行业热点和时事政策，服务于多家产业龙头企业。长期在期货日报、中证报、第一财经、华夏时报等国内主流财经媒体发表观点，撰写多篇深度专题报告和热点解读报告，获得客户高度认可。期货从业资格号：F3030849 交易咨询从业证书号：Z0016041

王珩，澳大利亚阿德莱德大学金融学硕士，现任光大期货研究所有色研究员，主要研究方向为铝硅。扎根国内有色行业研究，跟踪新能源产业链动态，为客户提供及时的热点和政策解读，撰写多篇深度报告，获得客户高度认可；深入套期保值会计及套保信披方面研究，更好的服务上市公司风险管理。期货从业资格号：F3080733

朱希，英国华威大学理学硕士，现任光大期货研究所有色研究员，主要研究方向为镍和锂。期货从业资格号：F03109968

公司地址：中国（上海）自由贸易试验区杨高南路 729 号陆家嘴世纪金融广场 1 号楼 6 楼

公司电话：021-80212222 传真：021-80212200

客服热线：400-700-7979 邮编：200127

免责声明

本报告的信息均来源于公开资料，我公司对这些信息的准确性、可靠性和完整性不作任何保证，也不保证所包含的信息和建议不会发生任何变更。我们已力求报告内容的客观、公正，但文中的观点、结论和建议仅供参考，并不构成任何具体产品、业务的推介以及相关品种的操作依据和建议，投资者据此作出的任何投资决策自负盈亏，与本公司和作者无关。

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