

# 烧结板状刚玉节能降耗的方式

赵义 黄凯 沈明科 方斌祥 叶林

**摘要：**本文介绍了板状刚玉生产工艺中节能降耗的方式和方法，主要从原料的选择、球磨、干燥、窑炉烧成以及后续的破碎加工等生产工艺上分析节能降耗的方式，从而也是降低板状刚玉生产成本的一种方法，另外也简单介绍板状刚玉和电熔白刚玉在生产和使用过程中的节能对比，鼓励大量使用板状刚玉取代电熔刚玉，也可以起到耐火行业上的整体节能降耗。

**关键词：**板状刚玉 高温烧结 节能降耗

## 前言

能源是人类社会赖以生存的物质基础，是经济和社会发展的主要源泉。节约能源不仅能够产生巨大经济效益，而且从长远考虑社会效益更为显著。同时面对当前严峻的钢铁市场大环境，节能降耗、降本增效成为我国耐火材料行业提高竞争力的重要措施。

板状刚玉作为耐火材料中的一种大型重要原料，其生产是通过大型竖窑快速烧结而成，因此其生产过程也是一个大量能耗的过程，因此从生产工艺角度思考降低其能耗是提升板状刚玉竞争力的必要方式，同时从原料开始节能降耗也是为整个耐火材料行业的节能降耗起到带动作用。

## 1 我国国内板状刚玉生产状况

### 1.1 国内板状刚玉发展历程

早期板状刚玉是由Thomas S. Curtis于1934年在竖窑中烧成制得，接着便开始工业化生产使用，用作耐火材料和陶瓷行业窑炉的内衬材料<sup>[1]</sup>。后来美国铝业公司（也是现在的安迈铝业公司）大力发展板状刚玉产品，并开发一系列烧结板状刚玉产品。

国内接触板状刚玉比较晚，其发展经历大致可以分为以下4个阶段<sup>[2]</sup>：初期接触阶段、了解发展阶段、尝试生产阶段、发展壮大阶段，见表1。

表1 国内板状刚玉发展历程

发展阶段	时间	主要内容
初期接触阶段	20世纪70年代	武钢和宝钢生产高档耐火制品从美国引进板状刚玉做为原料，这才使得国内耐火材料行业接触到板状刚玉。

了解发展阶段	20世纪90年代	洛阳耐火材料研究院开始对板状刚玉进行深度剖析，中国耐火材料行业协会对板状刚玉进行课题攻关，这期间使得国内对板状刚玉有较为全面的了解和认识。
尝试生产阶段	1996-2002年	国内几家生产厂家都尝试生产板状刚玉，虽然都以失败告终，但是总结了很好的经验教训。1999年，汉中秦元新材料有限公司在广泛考察研究的基础上，以洛阳耐火材料研究院和陕西冶金设计院为主，于2001年修建了1条年产4000t烧结板状刚玉生产线，于2002年9月生产出了满足用户使用要求的产品，揭开了烧结板状刚玉国产化大规模生产的序幕。
发展壮大阶段	2003年后	汉中秦元新材料有限公司烧结板状刚玉生产调试成功后，2003年10月，淄博泰贝利尔铝镁有限公司烧结板状刚玉生产线开工建设。2005年，江苏扬州晶辉耐火材料有限公司开始建设烧结板状刚玉竖窑生产线。浙江自立股份有限公司在2009—2013年5年间，共投资建设板状刚玉生产线4条，目前公司板状刚玉产能每年达到6万t。

## 1.2 国内板状刚玉生产规模和质量

通过近十多年的发展，我国烧结板状刚玉事业得到了快速的发展，也实现了国内的工业化、规模化、国产化。表2示出了2014年国内主要板状刚玉生产企业的生产情况。

表2 2014年国内主要板状刚玉生产企业的生产情况

企业名称	生产能力 万t	备注
安迈铝业(青岛)有限公司	5.0	其中有1万t球料来自欧洲工厂
浙江自立股份有限公司	6.0	目前有4条生产线
淄博泰贝利尔铝镁有限公司	4.0	
江苏晶辉高温材料有限公司	3.0	
汉中秦元新材料有限公司	1.2	

中铝集团晋铝耐材有限公司	1.5	
郑州铝城三星白刚玉司	0.5	
山东鲲鹏科技有限公司	5.0	
萍乡黄冠化工材料有限公司	1.5	

虽然国内生产烧结板状刚玉的厂家已经很多,但是由于技术和设备水平的不一致而导致板状刚玉质量也参差不齐,表3显示了国内几家板状刚玉生产的主要指标。

表3 不同厂家3-1 mm板状刚玉的理化指标

	化学分析 %				显气孔率 %	体积密度 $\text{g/cm}^3$
	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Na}_2\text{O}$		
安迈铝业(青岛)有限公司	99.35	0.13	0.05	0.28	4.5	3.53
浙江自立股份有限公司	99.34	0.12	0.06	0.27	4.5	3.53
江苏晶辉高温材料有限公司	99.33	0.10	0.05	0.25	4.4	3.52
汉中秦元新材料有限公司	99.36	0.12	0.05	0.27	4.5	3.53
郑州铝城三星白刚玉公司	99.37	0.10	0.05	0.27	3.5	3.54

## 2 板状刚玉生产工艺中可以节能降耗的方式

从烧结板状刚玉的基本生产工艺和生产设备出发,研究讨论可以节能降耗的一些方式。

### 2.1 原料的选择

目前国内生产板状刚玉的原料大部分是采用工业氧化铝粉即  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ,而安迈铝业采用煅烧氧化铝粉<sup>[3]</sup>。煅烧氧化铝粉是工业氧化铝粉经过一定的高温处理得到,所以较工业氧化铝粉而言,煅烧氧化铝粉具有较高的活性和烧结性能,能适当得降低烧结温度。然而由于煅烧氧化铝粉成本较高,导致国内一些板状刚玉生产厂家没有选择煅烧氧化铝粉作为生产原料。因此,综合考虑,在原料方面可以采用工业氧化铝和煅烧氧化铝粉复配使用,以一定的比例复配使用后既可以控制原料成本,同时也可以提高原料的烧结性能,降低烧结温度,减少天然气的用量,降低能源的消耗,达到一种最佳的性价比。目前已经有厂家采用该方法在试生产,并取得不错的效果。

### 2.2 球磨技术的改进

板状刚玉所用的原料在成球之前需要球磨成细粉，而目前大部分厂家只是控制球磨机出粉粒度为 325 目通过率，并没有从细粉粒度上去研究。然而原料粒度是影响烧结效果的一个重要因素，粒度的减小，增大原料的比表面积，增加烧结活性，促进烧结效果，降低烧结需要的温度，从而可以降低天然气用量。

原料粉的粒度主要是通过球磨机控制来实现的，安迈球磨机中使用的研磨球为钢质，而国内大部分生产厂家还是采用瓷球。球磨机中采用钢质磨球的生产效率要比瓷球效率高 20-30% 左右，节约电力消耗 10-15% 左右。另外同样的条件下，钢质磨球生产出的细粉粒度要比瓷球生产出的粒径小 5% 左右，这样可以大幅度提高原料的烧结活性，降低烧成时需要的热能能耗。

### 2.3 成球方式的选择

板状刚玉的烧成过程是一个固相烧结，通过物质迁移使粉末体产生强度并导致致密化和再结晶的过程。因此板状刚玉的半成品球的致密度是影响制品烧结效果的一个重要因素，半成品致密度的提高是改变粉料颗粒之间的接触状态，缩短颗粒之间的距离，增大接触面积，提高固相之间传递能量的速度和效率，从而提高烧结效果。为了达到较为致密的半成品球，浙江自立氧化铝材料科技有限公司对成球系统进行改造发明了一种回转式成球机<sup>[4]</sup>，该回转式成球机基于的理论为双向循环成球理论：粉状物料在旋转的多层造粒筒内实现泄落滚动，同时加入经过雾化的粘结剂，在筒体的旋转作用下，物料滚动成球，在双向返料器的作用下，物料在成球机内实现双向闭路循环，不同粒径的料球和未成球的粉状料经过筛分筒分级后，大颗粒料球经过整粒后泄出作为成品，小粒径料球和粉状物料返回成球筒继续成球，料球在双向循环过程中经过整粒筒的不断滚动，成为极其致密且表面光滑的圆球。此方法成出的半成品球的体密在  $2.0\text{g/cm}^3$  以上，而传统式的成球机半成品体密只在  $1.85\text{-}1.90\text{g/cm}^3$  之间，半成品致密度的提高可以适当降低高温下烧结需要的能耗。

### 2.4 利用余热进行完全干燥

由于半成品球在成型的过程中加入大量的水分结合，其含水率高达 18-23%，因此在进入竖窑之前必须进行干燥处理，要求进窑前半成品球的含水率低于 5%，否则在窑炉中会出现大量炸球碎料状况，进而影响到整个窑炉的气氛分布，降低天然气的燃烧效率，增加天然气消耗量。同时有大量的逆流热气从竖窑窑口排出大气中，造成热能散失浪费。为此，大多数厂家也会收集余热进行干燥处理，但是由于烘干仓设计问题，除竖窑的逆流热风供热能外，该烘干仓还需要额外提供能源，依靠烧嘴加热进行半成品球的干燥。虽然最终也可以达到很好的烘干效果，但额外增加了天然气的消耗量。

为了仅靠竖窑的逆流热风能量就达到半成品球完全干燥的效果，浙江自立氧化铝材料科技有限公司发明了一种改进换热的刚玉原料球的烘干仓<sup>[5]</sup>，该烘干仓包括加热室，加热室上部为带有进风口和出风口的烘干工作区，加热室下部为出料区，烘干工作区内设有热风输送管。热空气由进风口进入热风输送管总管后，沿各支管管道流动，可加热热风输送管管壁。刚玉半成品球由进料管进入加热室的烘干工作区内部，一方面与烘干工作区中的热空气进行热交换，实现烘干效果；另一方面与热风输送管的管壁接触进行热交换，实现刚玉半成品球的干燥。此方法干燥后的球含水率基本上都小于 5%，起到较好的烘干效果。同时也回收利用了窑炉口的逆流热风能量，减少烘干仓中天然气消耗。

## 2.5 提高燃烧系统效率

竖窑燃烧系统是生产板状刚玉最重要也是耗能最大的地方，板状刚玉是要经过 1900℃-1950℃ 的高温快速烧结，而这么高的烧结温度是通过天然气的燃烧实现。因此，提高烧嘴天然气的燃烧效率是节约能源的一个重要方式。

天然气的燃烧是一个化学放热过程，其燃烧的充分性由天然气和助燃风之间的比例及其之间混合的均匀度来决定的。若助燃风不够可能导致天然气燃烧不充分，若助燃风比例过高又会带走一部分热量造成能源浪费。目前国内大部分厂家是在分别向竖窑中通入天然气和助燃风，在烧嘴处混合后燃烧，这样可能会导致不容易控制天然气和助燃风之间的比例，不能保证天然气和助燃风混合均匀，这样也难以确保天然气得到充分燃烧。而按脉铝业公司则是在进入窑炉之前，在一个特定的容器中进行天然气和助燃风之间的混合，这样可以保证天然气和助燃风混合的比例及均匀性。因此，为了提高燃烧系统的效率，降低天然气的消耗量，首先就要改进燃烧系统，包括烧嘴、气体混合装置等，确保天然气的燃烧能够充分、集中。

## 2.6 出炉机余热的充分利用

板状刚玉的烧制过程是一个快速烧成快速冷却的过程，因此成品从窑炉出炉机中出来时还是温度较高，带有较高热能。若靠自然冷却，不但影响其生产效率，而且造成热能的大量浪费。因此，可以考虑在出炉机下安装一个冷却仓，进行冷风冷却，同时冷却后的热风进行回收送往前面的烘干仓，提高烘干仓的干燥效果。经过冷却仓后的板状刚玉成品球温度可以低于 35℃，可以进行后面的加工处理，提高生产效率。另外，大量的热量回收利用，降低了能源消耗。

## 2.7 加工破碎系统的改进

板状刚玉的加工破碎系统中基本都是采用巴马克方式加工，然而现在巴马克内衬和耐磨体都是采用耐磨铁，而此材质导致的问题是向板状刚玉成品中带入较多 Fe 杂质，影响产品质量，另外消耗量高价格昂贵。现在有些厂家开始使用 99

瓷质耐磨衬砖代替耐磨铁用于巴马克，也取得了较好的效果。此方法可以降低原耐磨材料费用的 50-70%，同时还可以降低产品中铁杂质含量。

### 3 板状刚玉与电熔刚玉在节能方面的对比

电熔刚玉生产是众所周知的高耗能大户，每吨电熔刚玉耗电 2000—3000 度，而烧结板状刚玉综合能耗只有电熔刚玉的 20%到 35%。电熔刚玉生产过程中要排放大量的废气和废渣，而烧结板状刚玉生产以天然气为热源，除了天然气中的二氧化碳排放外，无其它废气和废渣排放。所以无论是从节能方面还是从环境保护方面，烧结板状刚玉都可以做到优于电熔刚玉。

在刚玉使用性能和指标上，烧结板状刚玉也存在较大优势。首先，烧结板状刚玉杂质含量低且分布均匀，电熔刚玉杂质含量高且分布不均匀。烧结板状刚玉以高纯工业氧化铝为原料，生产过程中不添加任何外加剂，所以其产品中杂质如铁、硅、钠均为微量<sup>[6-7]</sup>。而电熔刚玉生产过程中需加入铁、碳作为添加剂，铁、碳、硅、钠等杂质含量远远高于烧结板状刚玉。同时由于电熔刚玉熔融块冷却中，不同部位冷却速度不一样，造成不同部位的杂质含量不一样。因此电熔刚玉强调严格捡选，而烧结板状刚玉不需要捡选，质量分布较为稳定和均匀。另外烧结板状刚玉具有特性的显微结构和较多的球形封闭气孔，这决定其具有较好的抗热震和抗剥落性能<sup>[8]</sup>。而电熔刚玉开口气孔较多，封闭气孔较少，在抗侵蚀抗渗透等性能上不如烧结板状刚玉。

由于近几年国内烧结板状刚玉已得到快速发展，无论是从技术指标还是从产量上已经达到了较高水平，打破了原来的安迈铝业公司的垄断局面，从而大幅度降低了烧结板状刚玉的价格。因此，从某个角度来讲，以烧结板状刚玉来取代电熔刚玉在耐火制品中使用不但是提高耐火制品的使用寿命，降低耐材的消耗量，而且也是降低整个耐材对能源大消耗量的依赖。

### 4 结语

烧结板状刚玉属于高端耐火原料，在未来耐火行业中使用的范围会越来越广泛，使用的数量也会越来越多，因此降低板状刚玉在生产过程中的能耗，不但是降低生产成本、提高竞争优势的一种方式，也是为整个耐火材料行业节约能源的一种贡献。

### 参考文献

- [1] 刘解华. 板状氧化铝的生产、特性及应用[J]. 耐火材料, 1994, 28(5):286-288.
- [2] 赵义, 沈明科, 李雪等, 板状刚玉在中国的发展状况[J]. 耐火材料, 2013, 41(1):61-64.

- [3] 毛庆龙等, 不同厂家板状刚玉原料分析[J]. 第十三届全国耐火材料青年学术报告会暨 2012 年六省市金属(冶金)学会耐火材料学术交流会论文集, 2012, 497-499.
- [4] 丁炜, 樊华锋, 赵义等, 一种回转式成球机[P]. 中国专利: CN 2014201824080.
- [5] 丁炜, 樊华锋, 赵义等, 改进换热的刚玉原料球的烘干仓及带该烘干仓的烧结系统[P]. 中国专利: CN 201420259697X.
- [6] 艾桃桃, 冯小明, 王晓林. 烧结板状刚玉的制备及性能研究[J]. 无机盐工业, 2010, 42(10): 29-30.
- [7] 陈玉如, 沈继耀, 金玉俊等. 板状氧化铝和烧结氧化铝的显微结构[J]. 耐火材料, 1994, 28(1): 52.
- [8] 高振昕, Tabular 氧化铝的显微结构[J]. 耐火材料, 1994, 28(5): 293.