

# 中国煤系煅烧高岭土加工利用现状与发展

郑水林<sup>1</sup>，冯欲晓<sup>2</sup>，刘贵忠<sup>3</sup>

1.北京工业大学材料科学与工程学院，北京 100022；

2.内蒙古蒙西高新技术集团，内蒙古乌海 016016；

3.中国建筑材料工业地质勘查中心内蒙古总队，内蒙古呼和浩特 010070

[摘 要] 本文综述了中国煤系煅烧高岭土的生产、消费与技术现状，并展望了未来市场与技术发展。

[关键词] 煤系高岭土；煅烧；超细粉碎

## 1 煅烧高岭土的生产、消费与贸易

煤系高岭土是我国的优势非金属矿资源，用煤系高岭土为原料加工的煅烧高岭土以其白度高、晶形好、孔隙率大、容重小、化学稳定性和绝缘性好、遮盖率强等特性广泛用于油漆涂料、造纸、橡胶、塑料、电缆、陶瓷等领域。在现代产业发展和传统产业技术进步中起重要作用。

当今世界约有60多个国家和地区生产高岭土。1998年世界高岭土总产量为3980万t，其中精选优质高岭土约2000万t。但只有美国、英国、中国、巴西等少数几个国家生产煅烧高岭土。

中国以其独特且丰富的煤系高岭石资源而著称于世。但工业规模的以煤系高岭岩为原料的煅烧高岭土的生产20世纪90年代才起步，而以所谓“双90”（即白度 $\geq 90\%$ ，细度-2 $\mu\text{m}$ 含量 $\geq 90\%$ ）产品为标志的优质煅烧高岭土的规模化生产1998年前后才开始。1998年中国煅烧高岭土的产量约6万t，其中白度大于90，细度1250目以上的超细煅烧高岭土产品约2万t，“双90”产品约1万t，其余为325至500目左右的产品。1999年煅烧高岭土的产量约7万t，较上年增长16.67%，其中白度大于90，细度1250目以上的超细煅烧高岭土产品约3.0万t，“双90”产品约1.5万t，分别较上年增长50%。2000年煅烧高岭土的产量约为9万t，其中白度大于90，细度1250目以上的超细煅烧高岭土产品约4.5万t，较上年增长50%。“双90”产品约2万t，较上年增长33.33%。

目前，中国煅烧高岭土的生产能力已达到13万t，其中高白度和超细优质煅烧高岭土的生产能力约5万t。煅烧高岭土生产企业主要分布在山西、内蒙、河南、陕西、山东，安徽、湖北等省(自治区)。主要生产企业有山西金洋煅烧高岭土有限公司、内蒙古三保准格尔高岭土有限公司、山西阳泉金锐化工有限公司、山西代县喜迪精细化工有限公司、山西锯丰高岭土有限公司、陕西韩城矿务局高岭土厂、陕西蒲白高岭土公司、河南巩义市中龙高岭土公司、山东兖州矿务

局北宿煤矿高岭土总厂、陕西榆林高岭土厂、山东新汶汶南高岭土公司、中煤公司高碑店煅烧高岭土厂、湖北恩施金山煅烧高岭土公司、大同市银河精细化工厂、福建泰宁陶金峰高岭土有限公司等；目前正在建设或拟建的煅烧高岭土生产厂家主要有山西朔州矿业公司(1万t)、蒙古高新材料股份有限公司(3万t)、山西金洋煅烧高岭土有限公司(2万t)、山西大同秦家化工有限公司(1万t)、吉林白城经济开发区(2万t)、北京泰邦化工有限公司、安徽淮北金岩高岭土有限公司等。但是，由于工艺及设备选型不合理、能耗和生产成本偏高以及产品质量不稳定等原因，部分厂家，如陕西格林高岭土厂、中煤公司高碑店煅烧高岭土厂等基本上已停产或未能正常生产。

煅烧高岭土的主要市场(消费领域)是油漆涂料、造纸、橡胶和塑料制品、电缆、陶瓷等，其中油漆涂料和造纸是我国优质煅烧高岭土最主要的消费领域，分别占国内超细、高白度优质煅烧高岭土消费量的60%和30%左右。估计2000年国内煅烧高岭土在油漆、造纸及橡胶、塑料等中的消费量约16万t。其中油漆涂料(乳胶漆、内外墙涂料等)的消费量约7.5万t，涂布纸(铜版纸、涂布白纸板、轻量涂布纸、玻璃纸等)的消费量3.5万t左右，橡胶、塑料和电缆等约3万t，其他约2.0万t。其中高白度(92±2)和超细(1250目以上)优质煅烧高岭土的消费量约12万t。在工业发达国家、造纸业(主要用做铜版纸、涂布白纸板及其他高档或特种纸张等的涂料)和中高档油漆涂料也是优质煅烧高岭土的主要应用领域，其中造纸业占优质煅烧高岭土总消费量的40%以上。

据中国海关统计，1996年中国从国外进口优质高岭土3.72万t用于高档油漆涂料及造纸等领域，1997年中国消费的国外进口优质高岭土(包括部分优质煅烧高岭土)5.43万t，1998年消费国外进口优质水洗和煅烧高岭土6.43万t，1999年进口优质水洗和煅烧高岭土首次超过10万t，达到10.52万t，2000年增加到18.276万t，较上一年度增加73.73%(详见表1)。由此可见，国内优质精选高岭土和煅烧高岭土的数量还不能完全满足高档油漆涂料及造纸等领域的需求。

**表1 1995~2000 中国高岭土的进出口情况**

年份	进 口				出 口			
	数量	增长率	用汇额	增长率	数量	增长率	创汇额	增长率
	(万t)	(%)	(万美元)	(%)	(万t)	(%)	(万美元)	(%)
1995	3.08	20.31	757.00	17.68	44.00	9.41	1727	11.51
1996	3.72	20.78	959.00	26.68	88.22	100.5	1927	11.58
1997	5.43	45.91	1 326.39	38.29	82.05	-7.00	1 850.25	-4.00
1998	6.43	18.42	1 473	11.05	88.2	7.51	766	-4.55
1999	10.52	63.61	2 537.73	72.28	89.2	1.13	1 807.7	2.36
2000	18.27	673.73	3 544.86	39.69	87.1	-2.35	2 070.14	14.51

资料来源：国家海关总署

2000年9月国际市场煅烧高岭土产品的价格(美国佐治亚高岭土出厂价)为: 336~394美元/短吨, 与2000年8月相比, 美国煅烧高岭土的出厂价平均提高了5%。中国煅烧高岭土产品的价格为: 325目(白度大于90)1000~1200元/t, 600~800目(白度大于90)1500~2000元/t, 1250目(白度大于90)2000~2600元/t,  $2\mu\text{m}80\%\pm 2$ (白度大于90)2800~3400元/t; “双90”(白度大于90、细度 $-2\mu\text{m}$ 含量 $90\%\pm 2$ )产品3600~4200元/t, 表面改性产品(1250目)3900~4300元/t。

中国高岭土或瓷土的出口量自1989年首次超过10万t以来, 增长迅速, 1996年突破80万t(详见表1)。但是, 到目前为止, 尚无大批量的煅烧高岭土产品出口, 中国出口的主要是低档次的陶瓷或耐火材料级(原土或初加工)高岭土产品, 单位产品价格较低, 而进口的则是优质高岭土或煅烧高岭土产品, 单位产品价格较高。以1999年为例, 出口平均价20.26美元/t, 进口平均价241.23美元/t, 进口平均价约为出口平均价的12倍, 但2000年的单位产品出口价格有所提高, 虽然出口量下降2.35%, 创汇额却增长14.51%、相反单位产品进口价格有所下降。中国高岭土或瓷土出口的主要流向是香港、日本、韩国、台湾等地。

## 2 煤系煅烧高岭土加工技术

用优质煤系高岭土(高岭石含量达97%以上、氧化铁含量小于或等于0.5%)加工煅烧高岭土的关键技术是超细粉碎和煅烧。

20世纪90年代初, 受当时超细粉碎设备类型和规格的限制, 尤其是用于加工 $-2\mu\text{m}$ 的湿式超细研磨设备类型和规格的限制, 只能选择单机生产能力较小、单位产品能耗相对较高的超细粉碎设备, 如1993年开始建设的陕西榆林高岭土厂选用气流磨作为干法超细粉碎设备, 山西金洋煅烧高岭土有限公司选用近30台BP80型湿式研磨剥片机加工1万t/a $-2\mu\text{m}90\%$ 以上的超细煤系高岭土。

由于1995年以来国内超细粉碎和精细分级技术进步速度的加快, 国产超细粉碎设备型号规格增多, 单机处理能力增大, 仍以研磨剥片机为例, 在80型机的基础上, 现在已有300型和500型机。生产规模1万t/a的超细( $-2\mu\text{m}90\%$ 以上)煤系煅烧高岭土, 采用500型机只需4~5台即可满足要求, 与90年代初采用80型机相比, 不仅简化了工艺和减少了投资, 而且提高了工艺的稳定性、降低了单位产品能耗和生产成本。至于干法加工设备, 90年代初, 加工 $d_{97}\leq 5\sim 7\mu\text{m}$ 的超细煤系高岭土只能选用气流粉碎机, 加工 $d_{97}\leq 10\mu\text{m}$ 的超细煤系高岭土除了选用气流粉碎机外, 也只有CM型超细粉磨机可以选择, 但CM型超细粉磨机的单机生产能力只能达到200kg/h左右。现在则有除气流粉碎机之外的单机(套)生产能力1000kg/h(产品细度 $d_{97}\leq 10\mu\text{m}$ )以上的各类干式超细粉碎工艺设备可供选择。因此, 如果建设年产1万t级的超细煤系煅烧高岭土生产线, 选用国产设备完全可以满足设计和产品细度要求, 有关技术经济指标与进口设备基本相当。

与超细粉碎技术和设备相比, 国内煤系高岭土的煅烧技术尚处于不成熟的研发阶段。目前国内用于生产煤系煅烧高岭土的煅烧窑大体上可分为静态和动态二种, 前者如隧道窑、倒焰窑、

梭式窑等，基本上是传统的陶瓷窑炉，后者如回转窑、立式煅烧炉、管壳式煅烧炉、流态化煅烧炉等。根据目前的生产实践，静态煅烧(隧道窑、倒焰窑、梭式窑等)存在物料受温不均匀(物料因位置不同受温不等)以及产品白度因位置不同而不同的致命缺点，此外，劳动强度较大、产量低、单位产品能耗也较高，国产立式煅烧炉虽然具有连续生产、投资较少、能耗较静态煅烧低等优点，但因为要求物料成型后煅烧及焦炭烟气直接与管状物料接触，从而导致产品白度指标不稳定等问题，此外单机产量低、成型时劳动强度较大，管壳式煅烧炉具有“动态运动、静态闷烧”的特点，便于在煅烧过程中排放含铁钛废气，能够确保产品白度，但存在产量低、单位产品能耗高、易混料等严重缺点；国内在流态化连续煅烧炉方面也作过一些研究和半工业规模的试验。中煤公司高碑店煅烧高岭土厂还采用流态化煅烧工艺与设备建了一个年生产能力5000t级的煅烧高岭土厂，遗憾的是迄今为止所有这些努力没有取得预期的成功。比较来说，采用隔焰式回转窑的煅烧高岭土产品白度好、质量稳定，如山西金洋煅烧高岭土有限公司、内蒙古三保准格尔高岭土有限公司，这种回转窑采用计算机控制。煅烧温度、气氛、物料停留时间等工艺参数均可自动调控，采用隔焰式煅烧、烟气不直接接触物料，物料连续旋转翻动、受热均匀，单机煅烧高岭土产量可达1万t/a，热效率较高，单位产品能耗较低，是目前国内使用最成功的超细煤系高岭土煅烧工艺设备。但是，目前这种隔焰式回转窑都是从国外进口，因而投资较大，此外，单台年产1万t左右的产量对于建设一个年产10万t以上的煅烧高岭土厂来说，单机生产能力还是偏小。

煅烧工艺的选择取决于产品纲领，对于产品细度 $d_{97} \geq 6 \mu\text{m}$ ，尤其是 $d_{97} \geq 10 \mu\text{m}$ 的煤系煅烧高岭土，可以采用全干法“先磨后烧”的加工工艺。有关“先磨后烧”和“先烧后磨”工艺的争论主要因生产 $-2 \mu\text{m} \geq 90\%$ 、白度 $>90$ 的所谓“双90”产品而起，“先磨后烧”指的是先将煤系高岭土湿法超细研磨至 $-2 \mu\text{m} \geq 90\%$ ，干燥解聚后再进行煅烧；“先烧后磨”指的是先将煤系高岭土干法粉碎到一定细度，如800目、1250目甚至2000目后进行煅烧，然后再将煅烧产品湿法超细研磨至 $-2 \mu\text{m} \geq 90\%$ 。目前，采用进口隔焰式回转窑煅烧的生产线，如山西金洋煅烧高岭土有限公司、内蒙古三保准格尔高岭土有限公司均采用“先磨后烧”的加工工艺。与“先磨后烧”工艺相比，“先烧后磨”可以简化生产工艺。产品细度指标也完全可以做到，但白度指标有不同程度的下降。根据我们所做的实验室试验和工业试验，其白度指标下降的程度与煅烧是否完全(有无“黑”心)、煅烧气氛(氧化还是还原)以及煅烧原料的细度和粒度分布等有关。如果煅烧不完全，颗粒中间有黑心，则产品白度下降较大，如果是氧化气氛煅烧且煅烧完全，则白度下降主要源于研磨设备的污染，如果研磨设备对物料无污染或污染很轻，则产品白度基本不下降或略有下降，如果采用还原气氛煅烧，即使煅烧完全，白度指标也要明显下降，具体下降的幅度与煅烧原料的细度和粒度分布等有关，煅烧原料粒度越细、分布越窄，白度下降越少，反之，白度下降越多。因此，在生产“双90”产品时，采用“先烧后磨”工艺一定要慎重。

### 3 展 望

#### 3.1 市场展望

作为造纸涂料主要用于铜版纸、涂布白板纸、轻量涂布纸、玻璃纸等。尽管在造纸领域高岭土面临碳酸钙强有力的竞争，但是在造纸涂料市场，优质高岭土(含优质煅烧高岭土)仍占重要地位，例如在美国，优质高岭土仍占据70%~80%的造纸涂料市场份额，即使在碳酸钙使用比例较高的欧洲，高岭土涂料的市场份额也在60%左右。

中国是人口大国，尽管自20世纪80年代以来国内纸及纸板产量的增长率高于世界平均水平，但人均纸消费量仍然低于世界平均水平。20世纪90年代以来，虽然我国使用高岭土做涂料的铜版纸和涂布白板纸的产量以年平均两位以上的百分数增长，但仍然满足不了国内不断增长的市场需求。1998年和1999年，铜版纸的进口量分别达到98.48万t和103.9万t，占当年国内消费量的70%~80%，同期涂布白板纸的进口量分别达到54.2万t和96.4万t，分占当年国内消费量的50%和40%左右。

1998年，国内铜版纸和涂布白板纸的生产能力已接近200万t。由于近2a华东地区还将建设几个年产几十万吨的现代化大型造纸厂，因此，2000年，使用优质高岭土作涂料的铜版纸和涂布白板纸的实际生产能力将超过200万t。从2001年至2010年国内铜版纸、涂布白板纸等涂布纸产量的增长速度将高于同期纸及纸板的平均增长速度。据估计到2005年，如果已形成的涂布纸生产能力都能达产的话，届时将需要涂料130万t左右，其中高岭土将占62%左右的份额(该份额低于美国的70%~80%，高于欧洲的60%)，即需求量将达到80万t左右，按12.0%使用煅烧高岭土计算，其中需要煅烧高岭土10万t左右；2010年国内造纸涂料级优质高岭土的需求量将达到140万t，占造纸涂料或颜料市场60%左右的份额，其中煅烧高岭土18万t，占优质高岭土涂料需求量的13%左右。

除了造纸涂料之外，高档油漆、油墨、功能橡胶和塑料制品、电缆、陶瓷釉料等也要使用优质高岭土或煅烧高岭土作为颜料、填料或原料。其中，高档油漆，如立邦漆大量使用白度90以上、粒度1250目以上(325目筛余量为零)的优质煅烧高岭土。近2a国内优质煅烧高岭土呈现出供不应求的局面，其中60%以上的需求量是高档油漆生产厂商。中国人口众多，目前人均油漆涂料消费量仅1~2kg，低于世界平均水平，油漆涂料潜在市场巨大(据统计1998年油漆涂料业的增长速度快仅低于信息产业)。随着人民生活水平的提高，高档油漆涂料的产量将不断扩大，对高白度和超细煅烧高岭土的需求量将不断增加。1999年我国油漆涂料的年产量已近200万t，目前仅有3%左右的油漆涂料厂家使用高白度和超细煅烧高岭土作为功能性颜料或填料，用量约6.0万t。由于涂料中加入超细高白度煅烧高岭土后，具有良好的涂刷性、流动性和优异的耐湿擦洗性和良好的耐候性或耐久性、抗沉降(高分散性)和良好的遮盖性以及光学性能，添加4%~6%的超细高白度煅烧高岭土可节省15%~25%的钛白粉，从而降低涂料成本并提高白色和其他颜料的

效率、改善不透明度，随着油漆涂料行业对高白度和超细煅烧高岭土优良使用性能的认可以及市场对高档油漆涂料需求量的增大，预计2005年将有9%左右的油漆涂料厂家使用高白度和超细煅烧高岭土，需求量约15万t；2010年将有16%左右的油漆涂料厂家使用高白度和超细煅烧高岭土，需求量约27万t。由于煅烧高岭土优良的电绝缘性能，电缆填料市场对煅烧高岭土的需求量将稳定增长，预计2005年需求量将达到3万t左右，2010年5万t左右。由于煅烧高岭土能提高橡胶和塑料制品的耐磨性、增加抗撕裂和挠曲强度等机械物理性能以及煅烧高岭土填料优良的红外線阻隔性能，煅烧高岭土在功能性塑料和橡胶制品以及农用棚膜行业的需求量将不断增加，预计2005年将达到5万t左右，2010年9万t左右。预计2005、2010年煅烧高岭土在其他行业(陶瓷釉料、油墨、高档耐火材料等)的需求量将分别达到5万t和8万t(见表2)。由表2可见，2005、2010年国内市场对优质煅烧高岭土需求量将分别达到38和67万t左右。就目前优质煅烧高岭土的生产能力和2001年将要形成的生产能力来估计，国内优质煅烧高岭土供不应求的局面至少将持续3~5a。但是，3~5a后市场竞争将趋于激烈，规模小、产品单一、质量不稳定，生产成本高的企业将面临严峻的市场环境。

**表 2 2005、2010 年中国优质煅烧高岭土  
需求量的预测 (万 t)**

消费领域	2005 年	2010 年
造 纸	10	18
油漆涂料	15	27
橡胶及塑料制品	5	9
电 缆	3	5
其 他	5	8
国内需求量合计	38	67
出口量	7	25
合 计	45	92

与中国临近的日本、韩国、东南亚国家和香港及台湾地区，由于缺乏高岭土资源，不生产优质高岭土和煅烧高岭土或产量很少，每年要大量从美国、巴西、英国等国家进口优质高岭土(包括精选高岭土和煅烧高岭土)产品。1998年日本、台湾、南韩、印度尼西亚仅从美国一个国家进口的优质高岭土就分别达到103.794、14.593、11.59、6.846万t。加上从巴西等国的进口量，日本每年高岭土的进口总量达120万t以上。与美国、巴西、英国等国相比，中国与日本、韩国、东南亚等国家和地区距离近，运输费用少。因此，随着我国煅烧高岭土加工技术的进步、产品质量的稳定提高和生产规模的扩大，预计将在2003年前后开始向日本、韩国、东南亚周边国家和香港及台湾等地区出口优质煅烧高岭土，按保守估计，2005年出口量将达到7万t左右，2010年达到25万t左右。

### 3.2 技术展望

现在制约我国煤系高岭土开发的关键是加工技术，尤其是煅烧工艺和设备。目前我国单机生产能力最大、质量最好的煤系高岭土煅烧产品是采用英国进口的隔焰式回转窑生产的。但是，进口一台年产10000t级煅烧高岭土的隔焰式回转窑需要约1500万人民币。从2000年至2005年预计我国将要新增30万t以上的优质煅烧高岭土生产能力，如全部采用年产10000t左右的隔焰式回转窑，共需要30台以上，届时如果全部依赖进口需要花费人民币4.5亿元左右，2005年至2010年还将要新增50万t左右的优质煅烧高岭土生产能力，届时如果也要全部依赖进口则要花费7.5亿元以上。而且1万t/a·台的生产能力对于建设一个年产量10万t以上的优质煅烧高岭土加工厂来说也嫌过小。因此，先进的煤系高岭土煅烧工艺和设备是非金属矿深加工领域的一个潜在大市场。发展这项技术将有效开发我国的优质煤系高岭土资源、形成一个有巨大市场前景的新的非金属矿深加工产业。预计我国在未来几年将加快发展煅烧温度、气氛、物料停留时间等工艺参数均可由计算机自动调控、生产能力大、单位产品能耗低、白度指标稳定的动态连续煅烧工艺与设备，首先将在隔焰式回转窑、流态化煅烧炉领域获得突破。值得高兴的是国产隔焰式回转窑已经问世并已成功地进行了煅烧试验，各项技术性能达到了国外同类设备的水平。同时，将在2005年前后完全淘汰隧道窑、倒焰窑、梭式窑等静态煅烧工艺设备和其他高能耗、低产量、自动控制水平差、质量不稳定的其他煅烧工艺设备。

虽然对于年产1万t的生产线，超细粉碎目前完全可以采用国产设备，但未来要建设年产10万t以上的生产线就需要有比目前更大处理能力的干法和湿选超细粉碎与精细分级设备。因此，适应未来煤系煅烧高岭土大规模开发的需要，将在国外大型先进设备的基础上发展国产大型超细粉碎与精细分级设备，尤其是湿法超细研磨设备。

与上述大型煅烧窑炉和超细粉碎设备相适应，还将开发干燥、打散解聚等相关的大型配套工艺设备。预计2005年前后我国将形成成套提供成熟煤系煅烧高岭土加工技术与设备的能力。