

# 中国非金属矿物材料进展\*

冯安生<sup>1,2</sup>, 郭珍旭<sup>1,2</sup>, 刘新海<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所 2. 国家非金属矿资源综合利用工程技术研究中心 郑州 450006)

**摘要** : 从纳米非金属矿物材料、石油天然气开发用非金属矿物材料、环境非金属矿物材料以及功能非金属矿物材料等方面评述了中国近几年非金属矿物材料最新研究进展, 展望了非金属矿物材料发展趋势。

**关键词** : 非金属, 矿物材料, 研究进展, 发展趋势

中图分类号 : TB32 ; TD985 文献标识码 : A 文章编号 : 1001 - 0076(2006)03 - 0049 - 06

## Progress in Non - metallic Material in China

FENG An - sheng , GUO Zhen - xu , LIU Xin - hai

(Zhengzhou Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources , CAGS , Zhengzhou 450006 , China )

**Abstract** : This paper reviewed the recent research progress of non - metallic materials in China in the fields of nanometer non - metallic materials , energy resource non - metallic material , environment non - metallic materials and functional non - metallic materials. The expecting development trends of non - metallic materials were analyzed.

**Key words** : non - metallic minerals ; mineral material ; research progress ; development trends

一般认为矿物材料是具有应用价值的天然矿物、岩石及其制品和仿制品。包括(1)能被直接利用或稍经加工处理(如破碎、选矿、切割、改性等)即可利用的天然矿物或岩石(2)以天然的非金属矿物、岩石为主要原料,通过物理化学反应(如焙烧、熔融、烧结、胶结等)制成的成品或半成品材料(3)人工合成的矿物或岩石(4)这些材料的直接利用目标主要是其自身具有的物理或化学性质,而不局限于其中的个别化学元素或化合物。本文主要探讨了近年中国非金属矿物材料研究的一些重要发展方向及其应用前景。

## 1 纳米非金属矿物材料

纳米材料由于具有量子效应、小尺寸效应及表面效应,呈现出许多特有的物理、化学性质,已成为物理、化学、材料等诸多学科研究的前沿领域

纳米科学在矿物材料领域的应用起步较晚,但

天然矿物中的各种纳米级别结构早已引起人们的重视。许多天然矿物(如沸石类、粘土类矿物及其改性化合物)具有纳米级孔道结构以及离子交换、吸附性能,绝大部分天然矿物具有纳米尺度的掺杂结构,层状结构的矿物的层间结构可被扩充或压缩,纤维状结构的矿物可以被剥离为径向呈纳米级的单纤维。可以预料,纳米科学和纳米技术的研究成果将在矿物材料研究领域产生更为广泛的影响,矿物的纳米结构的研究、纳米级矿物材料的合成、制备、改造、性能研究及应用将成为矿物材料重点研究的方向之一。其中,纳米级的矿物粉体的制备、矿物纳米介孔结构的改造及其应用将得到优先发展。

矿物材料在纳米科技中的应用意义主要体现在两个方面:一是某些矿物如高岭石、蒙脱石等由于其具有层状结构特征,可以通过层间插层和层离技术得到纳米矿物材料。这不仅为矿物材料在高新技术领域的应用开辟了新途径,而且与传统的纳米材料

\* 收稿日期: 2005 - 09 - 14 ; 修回日期: 2006 - 01 - 09

作者简介: 冯安生(1964 - )男,河南民权人,研究员,博士,所长,工程中心主任,现从事矿业科研及管理工作。

制备技术如物理的蒸发冷凝法、离子溅射法、机械研磨法、低温等离子体法、氢脆法、电火花和爆炸法,化学的液相反应法、气相反应法和固相反应法相比,具有原料丰富、工艺简单、成本低廉等特点,其应用前景十分广泛。另一方面纳米介孔矿物材料和生物矿物材料为纳米材料的合成提供了新的模板和自组装思路,为纳米科技的发展提供了新增长点。

聚合物-粘土复合材料是典型纳米矿物复合材料,它是利用层状粘土矿物的吸附性、离子交换性和膨胀性的特点,将许多单体或聚合物嵌入到矿物的层间域而得到。这种复合纳米矿物材料具有独特的纳米晶体结构特征和表现出协同效应,从而使这种新型材料一方面表现出粘土矿物优良的强度、尺寸稳定性和热稳定性,另一方面又具有聚合物的韧性、可加工性和介电性能。

目前,国内外有机-无机纳米复合材料的制备方法一般分为三种类型:一是纳米粒子直接分散法,适用于各种纳米粒子,易于工业实现,最接近目前的工业生产方式。但是,由于纳米颗粒具有很高的表面自由能,很容易发生团聚,故采用这种方法时必须将纳米粒子很好地预分散。否则,将在高分子基体中以团聚体存在,影响复合材料的性能,通常通过表面改性进行表面处理,减小无机纳米粒子和高分子聚合物的界面能差异,从而达到均匀分散,并使两相具有良好的亲和性。这种方法还包括高分子溶液共混、熔融共混和机械共混等几种加工方法。其中熔融共混就是在高分子塑炼机械如开炼机等上将高分子聚合物熔融,然后加入纳米材料粒子,在机械力作用下塑炼成为复合材料。二是插层原位聚合法,该方法是将聚合物单体通过交换、插层的方法插入到层状无机物的片层之间,然后加入引发剂,进行单体聚合,合成高分子聚合物。由于高分子聚合将仅仅 1 nm 左右的无机物片层撑开,均匀分散在分子中。这样得到了纳米复合材料。根据无机物片层撑开的程度,可以将这种方法合成的纳米复合材料分为插层型和剥离型。三是溶胶-凝胶(sol-gel)法,该方法是将烷氧基金属或金属盐等前驱物在一定条件下水解缩合成溶胶,然后经溶剂挥发或加热等处理使溶胶转化为凝胶。

余丽秀等人<sup>[1]</sup>研究了熔体挤出法制备蒙脱石/尼龙 6 纳米复合材料的性能、影响因素及应用前景。将自制的改性蒙脱石同尼龙 6、稳定剂、硬脂酸等混

合均匀后,用双螺杆挤出机挤出造粒,制备的蒙脱石/尼龙 6 纳米复合材料拉伸强度 84.41 MPa、抗弯强度 115.40 MPa、热变形温度(0.45 MPa)189℃。

林蔚等人<sup>[2]</sup>研究应用熔融插层法成功地制备了聚苯乙烯/蒙脱石纳米复合材料,对蒙脱石的结构变化、复合材料的力学性能、耐热性、阻燃性及抗溶性进行了分析。以十六烷基三甲基溴化铵改性钠基膨润土与聚苯乙烯熔融插层,制备了无机-有机纳米复合材料,蒙脱石层间距由于改性剂及插层剂的进入而逐次增大。复合纳米材料由于纳米尺度效应和界面粘性,使复合材料的耐热性、阻燃性、抗溶性提高,扩大了材料的应用范围。聚苯乙烯-钠基膨润土复合材料与其它聚合物复合材料相比具有较好的力学性能。

王立新等人<sup>[3~4]</sup>首先用有机胺对蒙脱石(Na-基膨润土)通过离子交换反应进行改性,然后将改性后的蒙脱石与双酚 A 型环氧树脂在搅拌下充分混合,热模浇铸,制备出环氧树脂-蒙脱石纳米复合材料,讨论了影响材料形成的各种因素。利用 TGA、XRD、TEM、DMA 等手段表征了材料的结构和性能,并对其形成机理进行了初步探讨。定量计算结果表明,形成纳米复合材料的推动力是环氧树脂在蒙脱石晶层间的固化反应热。

李桂英等人<sup>[5]</sup>进行了聚酰亚胺/蒙脱石纳米复合材料的制备、结构、性能及应用等方面的研究。利用聚合物大分子溶液插层法和单体溶液插层原位聚合法制得的聚酰亚胺/蒙脱石纳米复合材料比传统复合材料有更优异的力学性能、热性能和气、液阻隔性能,且掺入少量改性蒙脱石以后聚酰胺酸脱水环化的反应时间和反应温度都有所改进。对有机可溶性聚酰亚胺来说,少量蒙脱石的加入不仅未影响其溶解性,反而在含量低时其溶解性增强。由于纳米粒子尺寸小于可见光波长,材料仍然具有高的光泽性和良好的透明度。这些性能的提高都是因为蒙脱石在聚酰亚胺基体中的扩散达到了纳米水平,形成了二维稳定性,因此复合材料可适应于特殊条件下工作的精密零件和微电子工业的各种要求,从而拓宽了聚酰亚胺的应用领域。

范丽珍等人<sup>[6]</sup>用离子交换法对蒙脱石进行有机及无机改性制备了 3 种改性蒙脱石。采用溶液浇铸法分别对 3 种改性蒙脱石与聚氧乙烯、LiClO<sub>4</sub> 进行复合制备了聚合物电解质膜。用 X 射线衍射对

改性前后的蒙脱石及部分电解质膜进行了结构表征。采用交流阻抗法对复合型电解质膜的离子电导率进行了测试。结果表明:一定量的改性蒙脱石可以使(PEO)<sub>16</sub>LiClO<sub>4</sub>的离子电导率提高几倍到几十倍。改性蒙脱石对基体离子电导率提高程度的不同取决于改性蒙脱石的含量和结构。

顾圆春等人<sup>[7]</sup>以新型聚烯烃弹性体 POE 为增韧剂,以纳米高岭土为增强剂,将传统的弹性体增韧方法和新型的纳米粒子增韧增强手段相结合;采用合金化技术和填充复合工艺,制得高性能的聚丙烯复合材料。研究表明,纳米高岭土和弹性体 POE 对 PP 增韧具有协同作用,呈现的并不是二者独立增韧作用的简单加和,纳米无机粒子对复合体系 PP/POE 还有增强作用并大大减缓了因 POE 的加入而导致复合体系强度的降低。

徐曼等人<sup>[8]</sup>为了提高橡胶电缆的使用寿命,通过在橡胶电缆料中加入不同种类、粒径的纳米 SiO<sub>2</sub>、ZnO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和经过不同方法进行表面处理的无机纳米粒子,改善了对橡胶基体的机械、硫化、介电等性能。结果表明:不同的纳米粒子及添加量对橡胶性能的影响不同。总体上看,纳米粒子的加入能够对橡胶起到改善强度、韧性等机械性能、缩短硫化时间等作用,同时不使橡胶原有的优良介电性能恶化,并且在某些方面还有一定的提高。

随着纳米矿物材料的发展,纳米矿物材料的超细和提纯还需要进一步研究;由于纳米矿物晶体研究刚起步,许多参数的测定需要技术上支持,纳米矿物空间结构的几何构型、空间电荷构型、物理化学性质及其内外表面的过渡部位都需要深入研究。

## 2 油气钻井用非金属矿物材料

### 2.1 重晶石

重晶石主要的工业用途是作石油和天然气钻井泥浆加重剂。作钻井泥浆加重剂的重晶石,质量要求是比重和细度两方面。重晶石比重越大,效率就越高,加入量就越少。这样,在较少地改变钻井泥浆粘度等性质的条件下,就可以获得高比重的泥浆。细度方面要求重晶石在泥浆中能均匀分散而不致发生沉降,以保持泥浆稳定。钻井泥浆用重晶石一般细度要达到 -325 目,比重大于 4.2, BaSO<sub>4</sub> 含量不低于 95%,可溶性盐类小于 1%。石油工业比较发

达的国家,重晶石产量的 50% 以上用于石油和天然气工业的钻探工程。据统计,钻井每钻进 30 m 就要消耗 1 t 重晶石粉,因此重晶石消耗量较大。

### 2.2 膨润土

膨润土是一种以蒙脱石为主要组分的粘土类矿物,具有强烈的吸水性,能吸收相当于本身体积 8 倍的水,体积膨胀 10~30 倍,在水溶液中呈悬浮和胶凝状态。膨润土分散性好,出浆量大,因此是制造钻井泥浆的理想材料。用作钻井泥浆的膨润土,最重要的技术要求是悬浮性质、湿筛分析和水分含量。

### 2.3 硅藻土

硅藻土是一种生物成因的硅质沉积岩非金属矿物,化学式为 SiO<sub>2</sub>·nH<sub>2</sub>O,它用作油气井减轻剂是近几年刚刚开发出来的新产品。经在大庆油田和我国西部的塔北地区塔河油田的固井试验,效果良好。在石油钻井过程中,常用的固井材料是水泥。由于水泥制浆密度较大,很容易压裂地层,造成水泥浆大量漏失,影响固井质量,而且极易堵塞油气孔道,污染地层,降低产率。减轻剂硅藻土加入到水泥中制浆,不仅增加造浆量,节约水泥,而且水泥浆流变性变好,析水降低,提高固井体系沉降稳定性,不仅流动度高,早期强度和静胶凝强度发展快,而且有利于防气窜、防水窜,因而提高了固井质量。硅藻土减轻剂经在塔北 5 409.52 m 的钻井中使用,优质率达到 5%,合格率达 92%,与不使用硅藻土减轻剂的钻井相比,固井质量显著提高。

### 2.4 海泡石/凹凸棒石

海泡石/凹凸棒石是一种富镁的纤维状粘土矿物。它不仅热稳定性能好(在 350℃ 时晶体构造无变化),而且又是一种适应性强的触变增粘剂。海泡石/凹凸棒石是地热钻井、超深钻井和海上钻井最理想的钻井泥浆原料,用它配制的钻井泥浆在高温下不发生絮凝,在盐水中不受带电荷离子的影响。自 1977 年至 1979 年,美国有 89 口钻井,加拿大有 3 口钻井均使用海泡石制备的泥浆。对这 90 多口钻井进行调查的结果表明:用海泡石制备的泥浆无毒,不会引起水质污染,作为深井的触变增粘剂,能获得最佳的钻井速度和经济效果;在地热石油钻井中,具有高的抗盐性能和热稳定性能。如美国加利福尼亚州南部英佩里尔谷一带进行地热钻探时,在 10 口钻井中利用了海泡石作主要增粘剂,使泥浆成本降低

5%~10%。美国采用由海泡石和经加工的多糖聚合物及氢氧化钙制备的一种新的盐水泥浆系统,使钻探费用降低 15%~25%。北科他州使用海泡石泥浆使钻探成本降低 30%,并节省了钻井时间。

## 2.5 球粒石英砂

球粒石英砂是油田防止井喷所用的一种型砂,年用量 1 万多吨,过去主要从美国贝克休斯顿公司进口,每吨价格折合人民币 6 000 元。每年用外汇 6 000 多万元。球粒石英砂是一种球粒状无色透明的石英砂,很稀少。目前在国内仅发现两处:一是河北省行唐县;二是甘肃省兰州市的安宁堡。这两处都已建厂。河北行唐的球粒石英砂,是以球粒石英砂岩为原料,加工成球粒石英砂。年生产规模为 5 000 t,成本 1 400 元/t,售价 2 600 多元/t,比进口价低 57%。行唐产的球粒石英砂,与美国产品相比,一是颜色为无色透明,美国的产品为暗黄色;二是主要指标破碎率、酸溶解度均较美国产品低,综合对比,优于美国产品。兰州安宁堡的型砂,均呈圆形颗粒,品质优良。产品不仅销往全国各大油田,还出口埃塞俄比亚、土库曼斯坦、美国等国家。近几年出口量逐年增加,1998 年出口 3 万吨,1999 年出口 4.3 万吨,2000 年出口达到 5 万多吨。

## 2.6 云母粉

石油、天然气钻井行业是云母粉应用的一个传统市场,用粗目数云母粉(8~20 目)作钻井工程中的泥浆填加剂,可增加泥浆在孔壁的附着力,有利于固壁扩壁和减少循环水的渗透损失,对于提高工作效率,防止塌陷事故有着极好的作用。尽管将更多地使用云母代用品,但在短期内,云母在油、气钻井行业中的应用量还会略有增加。

## 3 环境非金属矿物材料

环境矿物材料基本性能包括:矿物表面吸附、孔道过滤、结构调整、离子交换、化学活性、物理效应、纳米效应及与生物交互作用等,旨在发掘、凝炼并新提出继物理方法和化学方法之后与有机界生物同效的无机界矿物天然自净化功能的基础理论与应用方法,以发展和完善无机矿物与有机生物所共同构筑的自然界中存在的天然自净化系统,目前在黄铁矿、锰钾矿、金红石、蛭石、蒙脱石、黄钾铁矾等天然矿物方面已经完成和正在开展一系列环境矿物材料研究

工作。

我国虽拥有丰富的电气石资源,但除宝石级电气石外,占有相当资源比重的非宝石级电气石矿产资源一直未得到应用,其工业开发应用应将有更大的价值和重要意义。张志湘等人<sup>[9]</sup>对电气石具有永久性自发极化效应,其极化值不受外界电场影响进行了研究。已经证实电气石颗粒周围存在静电场,而且电气石颗粒能够释放负离子和发射远红外线。利用电气石的这些性质,可将电气石应用于环境与健康领域,如水处理、环保涂料及健康衣料等。因此,电气石是一种很有前景的天然绿色环保材料。刘峰等人<sup>[10-11]</sup>选用内蒙古赤峰地区天然电气石为原料,加工成电气石超细粉体,用于对  $Zn^{2+}$  离子的吸附试验,分析总结了电气石对重金属的吸附机理。电气石吸附锌的最佳试验条件是,吸附时间为 30 min,电气石用量为 20 g/L,pH 值等于 6.8,吸附温度为 35℃时,对锌的去除率最高;电气石超细粉体对  $Zn^{2+}$  溶液的 pH 值的提高和其表面的羟基化作用是对  $Zn^{2+}$  有极好吸附效果的主要原因。魏健等人<sup>[12]</sup>通过对山东鲁西地区电气石在水处理、电子和声电材料、医疗保健中专属性研究及在其它领域中的相关性研究,全面阐述了电气石矿物的物化特性与应用之间的专属性关系。利用选矿分离、精细提纯、超细加工、表面改性、煅烧等技术手段,对矿物进行处理,从而对电气石进行全面技术评价,指出重点应用领域和应用方向。

杨胜科等人<sup>[13]</sup>对海泡石进行了试验研究。结果表明,海泡石对去除水中的铅离子具有较好的作用。可以将含  $Pb^{2+}$  10 mg/L 的水净化至 0.05 mg/L 以下,去除率达到了 99% 以上,海泡石与含  $Pb^{2+}$  溶液的作用时间、海泡石用量、水中  $Pb^{2+}$  浓度以及酸度等因素都会影响  $Pb^{2+}$  的去除效果。

王琼等人<sup>[14]</sup>对蒙脱石的提纯、人工钠化、有机改性及改性蒙脱石在污水处理中的应用进行了研究。通过试验证明了改性蒙脱石对垃圾渗沥液的色度去除率可以达到 96%,对 COD 的去除率可以达到 84%,且处理方法简单有效,成本低廉。他们指出蒙脱石经过人工钠化改型,用有机阳离子表面活性剂改性后,其比表面积、疏水性能都得到很大提高,充分利用改性蒙脱石其诸多性能进一步研究其在环境化学,特别是在污水处理方面的应用及在处理环境土壤中有机污染物,如苯酚、苯胺、有机农药

的残留量等方面都有重要意义。

商平等<sup>[15]</sup>选用珍珠岩、蛭石等矿物材料与超声波相结合的方法处理校园生活污水,分析了温度、流速、珍珠岩与蛭石的粒径、质量及超声波作用时间对污水 COD 去除率的影响,测试确定了最佳试验条件下的吸附时间和对污水 COD 的去除率,污水处理结果达到国家二级排放标准。

泡沫陶瓷具有三维空间网架结构,形如钢化的泡沫塑料或瓷化的海绵体,具有高气孔率、低容重、耐高温、耐化学腐蚀、抗热震等特点,特别是材料内部存在大量的连通气孔和高比表面能的毛细孔,因而在低流体阻力损失下可保持良好的过滤吸附性能,被广泛地应用于冶金、化工、环保、能源、生物等各个部门,如用作金属熔体过滤、高温烟气净化、催化剂载体和化工精过滤材料等。李金洪等人<sup>[16]</sup>以聚氨酯泡沫塑料为前驱体,以高岭土、铝土矿和滑石为原料,经配方和工艺设计,制备了以堇青石为主晶相的泡沫陶瓷,制成品密度为  $0.310 \sim 0.447 \text{ g/cm}^3$ ,气孔率为  $81.7\% \sim 87.6\%$ ,孔径为  $0.2 \sim 0.5 \text{ mm}$ ,平均抗压强度为  $0.98 \text{ MPa}$ 。探讨了烧成温度对材料气孔率、抗压强度和吸水率等性能的影响。

天然矿物是一类资源丰富、价格低廉、能源消耗最少、污染少、与环境协调性最佳的材料。一些天然矿物还具有净化环境和修复环境的功能,是理想的环境材料,如沸石、硅藻土、海泡石、坡缕石、蒙脱石、麦饭石、膨胀珍珠岩等许多具有选择性吸附、过滤性能,已被广泛应用于工农业生产和环境污染治理。以蒙脱石、沸石等层状、多孔状矿物研制的抗菌材料已用于日用消费品。铁的硫化矿物可用于处理重金属污染物。今后一个时期,具有纳米或微米级尺度的多孔结构的矿物材料和用于载体、催化、过滤媒介的矿物材料以及对已有材料的“绿色化”改造,将是环境矿物材料研制、开发的重点。废气、废水治理、工业用水净化、居室净化等领域将是环境矿物材料研究和应用的主要领域。

#### 4 功能非金属矿物材料

高分子聚合物行业为矿物材料工业提供了生产高附加值和高性能产品广泛的市场。由于聚合物市场是如此种类繁多,因此难以将其简单地定义和归类划分。聚合物市场带动了高性能矿物材料产品的未来发展,高附加值、高性能的矿物材料产品与

聚合物工业的未来发展是紧密联系在一起的。

刘新海等人<sup>[17]</sup>对硅灰石功能粉体材料的制备和应用进行了深入研究,实现了超细粉碎-表面改性一体化,同时保持了针状硅灰石晶体形貌。采用多种方法对改性针状硅灰石进行表征,其活性指数  $H$  大于  $95\%$ 。产品应用于绝缘材料中具有很好的物理机械性能和优异的电气绝缘性能;产品复配玻纤增强尼龙 6 材料具有明显的增强改性效果,其物理机械性能技术指标分别为:缺口冲击强度为  $14.10 \text{ kJ/m}^2$ 、拉伸强度为  $160.10 \text{ MPa}$ 、断裂伸长率为  $1.70\%$ 、压缩强度为  $222.00 \text{ MPa}$ 、弯曲强度为  $256.20 \text{ MPa}$ 、热变形温度( $1.82 \text{ MPa}$ )  $208.90^\circ\text{C}$ 。另外,对珍珠岩、高岭土、伊利石、绢云母等矿物的超细粉碎、表面改性及其在 PVC、乙丙绝缘胶、氯丁电缆护套胶和天然胶等聚合物中的应用及其机理进行了研究,结果表明功能性非金属矿物材料填充补强聚合物制品不仅降低了生产成本,而且改善了制品物理机械性能。

高岭土特别是沉积型高岭土是中国特有的重要非金属矿资源,被广泛应用于很多领域,高岭土在聚合物工业的应用一直是非金属矿物材料研究和企业生产的热点之一。熊传溪等人<sup>[18]</sup>用硅烷类偶联剂(KH-570)和高分子偶联剂处理高岭土,研究了高岭土疏水值的变化;制备了高岭土/HDPE 复合材料,研究了材料的力学性能。结果表明:在 HDPE 中填充用偶联剂处理的高岭土,可起到增韧增强作用,其中 KH-570 的最佳用量为  $2\%$ ,高分子偶联剂的最佳用量为  $1\%$ ;在相同用量时,高分子偶联剂处理的高岭土比 KH-570 处理的高岭土具有更好的增韧增强效果。郭蓉、邬润德等人<sup>[19~21]</sup>利用力学测试及扫描电镜分析等方法,研究了改性高岭土对 PVC 性能的影响,并与未改性高岭土填充 PVC 体系进行了比较。结果表明:改性高岭土粒度在 1250 目、填充量为  $30\%$  时,断裂伸长率较未添加高岭土体系有所提高;改性高岭土较未改性高岭土的分散性与 PVC 体系的相容性,以及 PVC 填充体系的力学性能都有一定提高。 $15\% \sim 20\%$  的活性煅烧超细高岭土填充 PVC 软质电缆料中,其电性能指标可以达到或超过国标 JR-70 之要求,而且其物理强度指标均超过国标要求。另外,林海等人<sup>[22,23]</sup>对超细煤系煅烧高岭土颗粒表面包覆二氧化钛膜的工艺进行了研究。结果表明,改性温度和改性时间、改性药剂用

量、基体悬浮液浓度和搅拌速度是影响包覆效果的关键因素。运用 SEM、TEM 对最终包膜产品进行了测试分析,表明超细煤系煅烧高岭土颗粒表面包覆了厚度为 150 nm、均匀且致密的二氧化钛薄膜。

重质碳酸钙粉体是一种用途广泛的无机非金属材料,在塑料、橡胶、涂料、胶粘剂等高分子及复合材料领域中有很重要的地位。重质碳酸钙填料不仅可以降低材料的成本,还能提高材料的刚性、硬度、尺寸稳定性等物理性能。近年来,重质碳酸钙粉体的制备工艺、表面改性及应用研究非常活跃。如,毋伟等人<sup>[24]</sup>对苯乙烯接枝聚合改性的重质碳酸钙表面特征分析及形成机理进行研究,认为改性后在重质碳酸钙表面与苯乙烯聚合生成的聚苯乙烯之间形成 C-O-C 键。邓丽等的<sup>[25]</sup>研究表明:某些阴离子、非离子表面活性剂可有效地抑制 CaCO<sub>3</sub> 晶粒的团聚,使制得的碳酸钙粉体的粒度小于 1 μm,且分布变窄。另外,在重质碳酸钙粉体干法和湿法制备技术、粉体表面改性技术、晶体形态及粒度控制技术以及应用技术领域都进行了广泛深入的研究。

## 5 非金属矿物材料发展趋势

非金属矿物材料与高新技术和新材料、传统产业升级以及环境保护等密切相关。未来非金属矿物材料加工技术将重点发展与高新技术新材料产业、环境保护、新型建材、特种涂料、生物医学材料等相关的功能性非金属矿物材料或制品的加工技术和设备。

综上所述,非金属矿物材料应用范围广泛,市场前景看好。但是,非金属矿物材料的研究开发涉及众多的学科,需要各学科的交叉和协同。由于产业关联及体制等方面的原因,我国非金属矿物材料工业还相对落后,平均技术含量还较低,品种规格也不够,还难以满足相关应用领域的需要。今后应整合材料性能、材料加工以及应用领域的研究重点加强应用研究,尤其是非金属矿物新材料的应用研究,以促进我国非金属矿物材料产品品种和产业规模的扩大以及技术水平的提高。

### 参考文献:

- [1] 余丽秀等. 蒙脱石/尼龙 6 纳米复合材料制备及性能研究[J]. 矿产保护与利用 2003 (2):15-18.
- [2] 林蔚,张循海,李青山,等. 聚苯乙烯—蒙脱石纳米复合材料的研究[J]. 齐齐哈尔大学学报 2002 (4):9-12.
- [3] 王立新,等. 环氧树脂—蒙脱石纳米复合材料制备与形成机理[J]. 大连理工大学学报 2000 (6):681-684.
- [4] 张楷亮,王立新. 改性蒙脱石增强增韧环氧树脂纳米复合材料性能研究[J]. 中国塑料 2001 (3):37-39.
- [5] 李桂英,张其震,王大庆. 聚酰亚胺/蒙脱石纳米复合材料研究进展[J]. 化学通报 2002 (11):742-747.
- [6] 范丽珍,等. 聚氧乙烯—改性蒙脱石复合材料电性能的研究[J]. 硅酸盐学报 2003 (1):57-59.
- [7] 顾圆春,邱桂学,包艳. 聚丙烯/弹性体/纳米高岭土三元复合材料的研究[J]. 塑料工业 2004 (10):15-17.
- [8] 徐曼,杨柳,曹晓珑,等. 纳米填料改性橡胶电缆料的研究[J]. 绝缘材料 2004 (1):1-3.
- [9] 张志湘,冯安生,郭珍旭. 电气石的自发极化效应在环境与健康领域的应用[J]. 中国非金属矿工业导刊, 2003 (1):47-49.
- [10] 刘峰,蒋侃. 电气石超细粉体对废水中 Zn<sup>2+</sup> 离子吸附的研究[J]. 辽宁城乡环境科技 2004 (4):32-34.
- [11] 郭力. 电气石—多功能环保健康新材料[J]. 中国非金属矿工业导刊 2004 (5):56-58.
- [12] 魏健,刘渝燕,张开永. 电气石应用专属性研究[J]. 非金属矿 2003 (1):34-36.
- [13] 杨胜科,等. 非金属矿物材料处理含铅废水影响因素探讨[J]. 化工矿物与加工 2002 (5):11-12.
- [14] 王琼,吴翠玲. 改性蒙脱石复合材料在污水处理中的研究与应用[J]. 环境科学与技术 2004 (1):87-89.
- [15] 商平,等. 环境矿物材料与超声波结合去除污水中的 COD[J]. 化工环保 2004 (增刊):240-242.
- [16] 李金洪,鲁安怀,宋庭兵. 新型环境矿物材料堇青石质泡沫陶瓷的研制[J]. 矿物学报 2001 (3):481-484.
- [17] Liu Xinhai, Shen Shangyue, Yang Yousheng et. Preparation and Application of Wollastonite Powder, Eurofillers2003, Fillers for Formulations. Paper Index 59-62.
- [18] 熊传溪,等. HDPE/高岭土复合材料的制备与性能[J]. 武汉理工大学学报 2002 (1):1-3.
- [19] 郭蓉,周安宁,曲建林. 改性高岭土填充 PVC 体系的性能研究[J]. 塑料科技 2004 (5):21-24.
- [20] 邬润德,童筱莉,黄国波. 高岭土补强硫化橡胶/PVC 热塑性弹性体[J]. 特种橡胶制品 2003 (3):5-7.
- [21] 刘广荣,王莉,程艳红. 活性高岭土填充聚氯乙烯电缆料的研究[J]. 山东化工 2004 (4):9-11.
- [22] 林海. 超细煤系煅烧高岭土颗粒表面包覆二氧化钛膜的工艺研究[J]. 中国矿业 2000 (4):61-64.
- [23] 郭奋,高立东,刘润静,等. 高岭土/钛白复合粉体的制备与表征[J]. 材料科学与工艺 2001 (4):427-429.
- [24] 毋伟,卢寿慈,陈建峰,等. 苯乙烯接枝聚合改性的重质碳酸钙表面特征分析及形成机理[J]. 过程工程学报 2002 (6):501-505.
- [25] 邓丽,等. 表面活性剂工业应用新探—制备超细碳酸钙[J]. 日用化学工业 2002 (5):14-16.