

纳米复合技术在新型建材中的应用

杨 毅, 姜 炜, 刘宏英, 李凤生

(南京理工大学 国家特种超细粉体工程中心, 江苏 南京 210094)

摘 要: 为了研究纳米材料的基础应用技术, 综述了纳米复合技术在研制新型建材中的应用情况, 重点介绍了纳米复合技术在新型功能建筑涂料方面的进展, 论述了纳米复合技术应用于制备纳米结构型和功能型复合水泥混凝土的进展和思路, 并简单讨论了纳米复合技术和纳米复合材料在其他军民领域的应用前景。通过论述认为, 纳米复合技术为纳米材料的广泛应用提供了可靠的技术基础和理论指导, 也为研制新型建材提供了新的思路。

关键词: 纳米技术; 复合技术; 建筑材料

中图分类号: TF123.7, TU532 文献标识码: A

文章编号: 1008-5548(2006)01-0043-05

Application of Nanometer Compounding Technology in New Style Building Materials

YANG Yi, JIANG Wei, LIU Hong-ying,
LI Feng-sheng

(National Special Superfine Powder Engineering Research Center,
Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

Abstract: In order to research the application technologies of nanometer materials, the nanometer compounding technologies applied to new style building materials were reviewed. The applications of the new technologies in functional coating were discussed, and the preparations of nanometer structural and functional composite cement with the new technologies were emphasized. The application prospects of the technologies and nanometer composites in other military and civil fields were discussed briefly too. Based the discussion, a conclusion can be reached that nanometer compounding technology supplied credible technologies and theories for the widely application of nanometer materials. The nanometer technology can also provide new ideas for developing the new building materials.

Key words: nanometer technology; compounding technology; building materials

纳米粒子的颗粒尺寸极小, 比表面积大, 具有小尺寸效应、表面与界面效应及量子尺寸效应等。但是

它们因为表面能很高, 表面活性很大, 极不稳定, 容易吸附其它物质或粒子, 颗粒间相互吸引团聚而降低其表面能和表面活性, 从而导致其许多优异特性丧失。

避免纳米粒子的团聚是解决其应用难题的关键。实践与研究证明, 利用纳米/微米粒子复合技术可有效地避免单一纳米粒子的团聚问题, 充分发挥纳米颗粒的优异特性, 提高其使用效果^[1]。复合粒子除了具有单一超细粒子所具有的表面效应、体积效应、及量子尺寸效应外, 还具有复合协同多功能效应, 并可以改善单一颗粒的表面性质, 增大两种或多种组分的接触面积, 使其使用性更好。

纳米复合技术是基于微粒子设计, 通过对微粒子结构的组装实现对粒子的表面特性及功能设计, 从而获得适用于应用领域的新型纳米复合功能材料。在对纳米、微米粒子进行复合的过程中, 需要涉及到多方面参数和物质的选取, 如: 对表面改性剂的选择; 对复合粒子的成份及尺寸大小的选择; 对复合工艺技术的选择等。根据复合粒子的结构形式不同, 有颗粒复合型、膜复合型和多层复合型等, 其基本的工艺过程如图 1 所示。

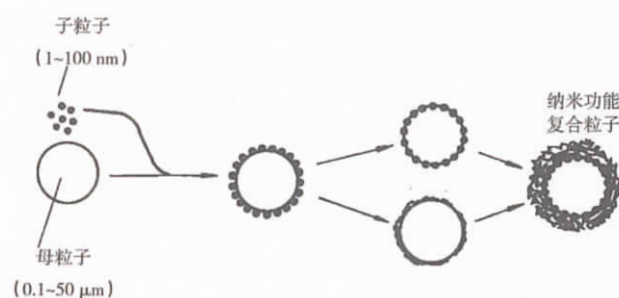


图 1 纳米/微米粒子复合过程示意图

Fig.1 Synthesis process of nanometer/micron composite particles

随着科学技术的发展和人类生活水平的提高, 高档、舒适和具有保健功能等特性建材的需求量越来越大。利用纳米复合技术, 将纳米材料的优异功能特性应用于建筑材料中, 可以制备出各种高档次和高性能的新型建材。利用纳米材料的特殊功能开发

收稿日期: 2005-04-28。

基金项目: 国家自然科学基金 (编号: 50306008), 江苏省自然科学基金 (编号: BK2003421) 资助项目。

第一作者简介: 杨毅 (1973-), 男, 博士, 讲师。

多功能、高附加值的新建建材,将在未来的建筑行业创造巨大的经济和社会效益^[2]。本文以建筑物的内、外衣(建筑涂料)和建筑物的骨髓(水泥)为例,论述了纳米复合技术在建筑材料研制中的作用和意义。

1 纳米/微米复合技术在研制新型建筑涂料中的应用

涂料是建筑物的内衣(内墙涂料)和外衣(外墙涂料),国内传统的涂料普遍存在悬浮稳定性差、不耐老化、耐洗刷性差、光洁度不高等缺陷。而高档次的建筑涂料除了必须具有高耐候性、耐沾污性和高保色性以外,还需要具有诸如除臭、杀(抗)菌、防尘及隔热保温等多种功能。纳米复合技术的发展,为研制新型建筑涂料提供广阔的前景。

以超细 TiO_2 为例, TiO_2 由于具有很好的白度和遮盖力,而被广泛用作建筑涂料中的白色颜料,这样使用是对 TiO_2 资源的一种浪费。由于纳米级的 TiO_2 在有光照(包括灯光和日光)的作用下,具有杀菌、分解有机臭气及自清洁等功能,因此,如果将 TiO_2 制成纳米粒子再添加到涂料中,不但可以避免对 TiO_2 资源的浪费,而且可以赋予建筑涂料一定的功能性,有助于提高涂料的档次,增加涂料本身的附加值。

但纳米 TiO_2 本身的强极性和颗粒的微细化,使得纳米 TiO_2 不易在非极性介质中分散,在极性介质中又易于团聚,直接影响 TiO_2 本身优异性能的发挥。当涂料系统的颜料体积浓度增加时, TiO_2 粒子互相靠近,甚至互相接触进而发生团聚,使 TiO_2 粒子的光散射性能下降,出现光群集现象。人们试图在涂料配方中加入填料以间隔开 TiO_2 粒子,防止产生群集效应,但分布在涂料系统中的这些填料粒子很难使 TiO_2 达到最高的遮盖力。因为填料粒子一般较粗,也可能是呈聚集体状态,在加入到配方中以后取代了树脂成分,提高了 TiO_2 体积浓度,但却降低了其散射性能。因此,必须对纳米 TiO_2 进行处理,以便获得良好的分散性,从而解决纳米 TiO_2 本身的团聚及其在其他体系中的分散性问题。

纳米 TiO_2 除具有普通 TiO_2 涂料的所有性能以外,还具有很强的屏蔽紫外线能力和优异的透明性,可应用于汽车工业、防晒化妆品、感光材料及文物保护等诸多方面。虽然纳米材料在建材(特别是建筑涂料)方面的应用刚开始,却已经显示出了它的独特魅

力^[3]。

作为内墙涂料,将 TiO_2 涂在室内建筑物的砖墙或墙纸上,在有太阳光或室内的照明光时,利用纳米 TiO_2 的强氧化分解能力不仅可使室内的恶臭物和油污分解,而且对杀死大肠杆菌有明显效果,有利于室内空气的清新和病菌、细菌的减少。

在污染严重的地域,在建筑物外墙壁或高速公路的隔音壁上涂上含有纳米 TiO_2 的建筑涂料,利用太阳光可有效地分解除去空气中的 NO_x 。而涂料表面所积聚的 HNO_3 可由雨水冲洗,不会引起 TiO_2 光催化活性的降低^[4,5]。在日本的长滨隧道中放置涂有纳米 TiO_2 复合涂料和不涂 TiO_2 复合膜的灯具进行对比实验^[6],结果发现随时间的延长,前者比后者的透光率要高得多(见图2)。日本三菱制纸公司将具有强吸附作用的活性炭与纳米 TiO_2 制成复合材料涂在灯罩上^[7],当活性炭吸附物质后立即在表面扩散,移到 TiO_2 处被分解,活性炭被再活化。这样在灯不被点燃时,灯罩就通过吸附除臭,点燃时或有日光照射时,就由于纳米 TiO_2 的作用而起到除臭、杀菌、防污的目的,且除臭速度快、效果好。

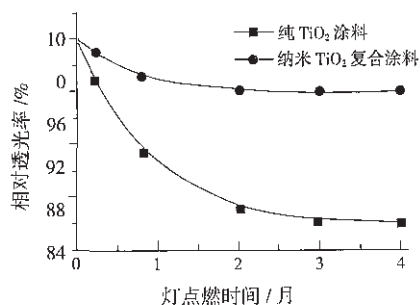


图2 两种灯罩透光率的变化

Fig.2 Different light transmittance of two lamps

通常情况下, TiO_2 表面与水的接触角约为 72° , 经紫外光照射以后, 其接触角在 5° 以下, 甚至可以达到 0° 左右。水滴可完全润湿其表面, 显示出非常强的超亲水性。利用 TiO_2 表面的超亲水性, 可使涂有含 TiO_2 的建筑涂料的建筑物表面具有防污、防雾、易洗、易干等特性, 使其表面具有长期的自清洁去污效应。

利用纳米复合技术, 还可以使建筑涂料实现以下功能^[2]: 提高涂料与建筑物表面的粘结强度、表面硬度和耐磨性; 增加涂料的柔韧性、延展性和机械强度; 提高涂膜层的耐水冲刷能力、耐风沙冲刷和侵蚀能力; 提高涂料膜层光洁度、强度和保色性, 赋

予高分子基涂料微裂痕自修复能力;提高基体的防腐能力,达到表面修饰、装饰的目的;提高涂料的抗紫外线能力和耐候性、增加涂料的使用年限;提高涂料的耐热性、热稳定性;赋予高分子基涂料抗菌、自清洁性和净化空气等作用;提高外墙涂料的阻燃、隔热等作用。

发展高性能、环保型及多功能的建筑材料,在国内外都受到了高度的重视。作为使纳米材料具有良好的分散性,并使之功能化的纳米复合技术是纳米技术应用于建筑涂料所必需的专业技术之一,也必将对提高建筑涂料档次和促使建筑涂料进行新的历史性变革发挥巨大推动作用。

2 纳米复合技术在开发新型水泥中的应用

随着社会工业化的深入发展和我国基础建设的广泛开展,水泥混凝土作为一种传统的建材其产量和用量都在不断的增加,高性能混凝土已成为水泥基复合材料领域中的研究热点。但是,由于普通水泥混凝土的刚性过大而柔性不足,以及其本身固有的一些缺陷,使其在使用过程中不可避免地产生开裂与破坏,这就限制了它在许多领域的应用^[8]。同时,许多特殊领域要求水泥混凝土具有一定的功能性,如希望其能够吸声、防冻、高强且高韧性等功能。因此,对传统的水泥材料的改造任务已迫在眉睫。

纳米材料和纳米技术的出现,为传统的水泥混凝土的改造提供了前所未有的广阔前景。纳米材料由于具有小尺寸效应、量子效应、表面及界面效应等优异特性,因而能够在结构或功能上赋予其所添加体系许多不同于传统材料的性能。

2.1 纳米结构型复合水泥

这类水泥材料是通过添加纳米材料或纳米复合材料使水泥的结构性能得到明显的改善和改变。因为纳米材料不但可以填充水泥的空隙,提高混凝土的流动度,更重要的是还可以改善水泥混凝土中水泥石与骨料的界面结构,使水泥混凝土的强度、韧性、抗渗透性及耐久性等结构性能得以提高^[9]。

当纳米材料的尺寸减小到纳米级时,其表面性质会发生巨大的变化,表面原子的数量急剧增加,表面活性非常高。因此,当被添加到水泥中时,纳米材料就会与水化产物大量键合,并以纳米粒子为晶核,

在其颗粒表面形成以纳米粒子为核的网状结构,降低了水泥的徐变度,从而提高水泥硬化浆体的强度和其他结构性能。

如有研究报道^[10],当纳米材料的添加量为水泥用量的 1%~3%,并在高速混合机中与其他混合料进行混合后,制备成的纳米复合水泥结构材料,在 7 d 和 28 d 龄期的水泥硬化强度比未添加纳米材料水泥的提高约 50%,而且韧性、耐久性等性能也得到较大的改善。

李颖等人^[11]研究了硅灰和纳米级 SiO_x 对水泥浆体需水量的影响。研究表明,纳米级 SiO_x 的掺量对水泥浆体的需水量影响非常显著,当纳米级 SiO_x 掺量达到水泥用量的 8% 时,水泥浆体的需水量增大 1 倍,而硅灰的掺量在水泥用量 10% 以内时,对水泥浆体的需水量影响不明显。同时,研究发现当将两者进行复合添加时,纳米级 SiO_x 的小球体填充于硅灰颗粒之间,与硅灰形成很好的颗粒级配结构。因此,当两者同时添加且纳米级 SiO_x 为 1% 和硅灰为 9% 时,需水量并未双倍增加,可见两者的交互作用十分明显。

3.2 纳米功能型复合水泥

纳米材料由于其性质的特殊性,使其本身表现出许多优异的性能。当纳米材料被添加到其他体系中时,被添加体系也会同时表现出很多的功能特性。对于纳米功能型复合水泥来说,它可以表现出吸波、防水、除臭、杀菌、光敏、湿敏及温敏等功能特性中的一种或多种。

3.2.1 纳米防水复合水泥

一种被称为 XPM 水泥外加剂的纳米材料,在添加到水泥中后,可以使水泥具有很好的防水功能。这种纳米外加剂掺入水泥后,可以加快水泥诱导期和加速期的水化反应,使气-液-固 3 相通过过饱和度达到相应的浓度梯度,改善了水泥凝固的三维结构;同时改善水泥砂的堆积密度,既减表面水又减间隙水,使胶团产生聚合再聚合的作用。

这种水泥可以应用在许多领域^[12]。在喷射混凝土领域,使用 XPM 纳米外加剂后,由于粘结力高,可以加大砂石的用量,使每立方米混凝土的水泥用量降低到 400 kg,粉尘浓度降低 50%。在灌注浆领域,采用 XPM 注浆材料进行黄土层注浆,压力为 0.6 MPa,水灰比 0.4,流速比水快,28 d 强度为 50 MPa,抗渗 P40,不离析,可灌入 0.1 mm 的孔隙;离子交换率高、粘结力强,相同段可节省水泥 50%。

在动水堵漏方面,采用纳米 XPM 抗渗漏剂对混凝土进行治理,因纳米材料表面能的亚稳定状态导致其粘结力增强达 3.8 MPa ,凝结时间快 $1'20''$), 1 h 强度达 $3\sim 5\text{ MPa}$,将水泥孔隙率由 $75\ 000\text{ A}$ 降至 100 A 左右, 250 A 开放型孔水分子方能透过,使抗渗指标大幅度提高。用于核电站的三废处理中,采用 XPM 核固化外加剂对混凝土进行处理,因其独特的纳米效应,导致其浸出率低、抗老化性能优异,在预防 α 、 β 、 γ 等射线辐射方面收到了良好的效果。

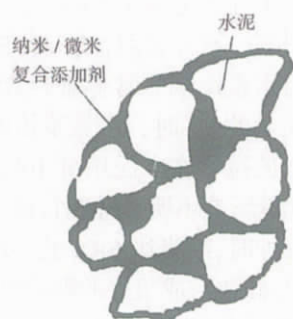


图3 使用纳米复合添加剂的高强胶结防水复合水泥
Fig.3 Paste of high-strength composite cement
mixed nano-sized additive agents

3.2.2 纳米敏感复合水泥

许多纳米材料(金属氧化物)具有对周围环境变化十分敏感的特性,环境的改变会迅速引起表面和界面离子价态和电子运输的变化。利用这种性质,可以赋予水泥制品诸如温敏、湿敏、气敏、力敏等功能特性。

在添加了气敏纳米复合材料的复合水泥中,可以对周围的气体进行检测并报警。这种具有气敏功能的纳米复合水泥可以应用在有毒气泄漏的化工厂的建筑物建设或路面的铺设中。一旦有毒气泄漏,旁边的水泥墙体或地面首先就会检测到,并发出警告,有利于人们对事故的及早发现和减少对人员的伤亡。添加对 CO 等气体敏感的纳米复合材料,这种复合水泥可以运用在使用煤气的厨房建设中,达到提醒煤气泄漏的目的;它也可以运用在煤气管道的铺设中,如果煤气管道出现漏气的情况,这种纳米气敏复合水泥就会在相应的位置发出警示,便于对事故的及时发现和处理。

如果在水泥中添加对力学性能比较敏感的纳米材料,使水泥制品具有力敏的功能特性。这种纳米功能复合水泥可以大量用于高速路面的铺设,特别是

桥梁的建设中,对于超重的车辆就会发出警告,从而避免因负荷太重而造成路面破坏和桥梁坍塌事故的发生。

3.2.3 纳米环保复合水泥

利用纳米材料的光催化功能,可以使水泥制品具有净化空气、杀菌、除臭及表面自清洁等功能特性。众所周知,锐钛矿型纳米 TiO_2 等纳米光催化材料具有很强的光催化活性,在光线的照射下,它可以产生大量氧化性很强的自由基($\cdot\text{OOH}$ 、 $\cdot\text{OH}$ 及 O_2^- 等)。这些氧化、分解能力很强的物质,不但可以将细菌杀死,将有机臭气分解净化,还可以将氮氧化物、二氧化硫等对人体有害的污染气体进行分解去除。纳米光催化复合水泥混凝土的制作方法有两种^[9]:

纳米光催化复合材料(如二氧化钛)掺入法。即在透水性多孔水泥混凝土制作过程中,通过距离混凝土上表面 $7\sim 8\text{ mm}$ 深度范围内掺加纳米光催化复合材料微粉,使其掺入量控制在 50% 以下,可制作成具有很好除氮氧化物功能的光催化复合水泥混凝土,其 NO_x (氮氧化物)的去除率可达 80% 。此种材料若应用于公路的铺设,可以除去汽车排出尾气中所含 NO_x ,使空气质量得到改善。

光催化载体法。该法首先对混凝土中的部分集料包覆一层纳米 TiO_2 复合薄膜,这些集料相当于光催化剂的载体。然后把这部分集料放置于混凝土砌块表面,使包覆 TiO_2 复合薄膜的集料部分显露出来,从而制得具有光催化功能的纳米复合水泥混凝土。这种光催化混凝土也能够有效地去除 NO_x 和其它有害气体。

3.2.4 纳米隐身复合水泥^[1, 8, 13, 14]

许多纳米材料,特别是纳米金属粉,具有很好的电磁波吸收功能。当电磁波照射时,由于纳米材料的表面效应,原子和电子运动加剧,促使电子能转化为热能,从而增加对电磁波的吸收。不同的纳米材料经过复合处理后,能够在很宽的频带范围内逃避雷达的侦察,起到隐身、隐形的作用。因此,某些纳米复合材料大量应用于雷达波及红外光等的隐身材料。

在水泥表层一定深度范围内添加对电磁波具有吸收功能的纳米复合材料,就可以使这些水泥制品具有对电磁波隐身的功能。这种纳米隐身复合水泥特别适合于制作军事掩体,如碉堡、战壕等。使用这种水泥后,就可以在很大程度上逃避雷达、红外等信

号的搜索,降低或避免军事目标被发现和被打击的概率。

4 纳米复合技术在其他领域的作用

纳米复合技术除了在建筑材料领域具有广泛的应用前景,在其他各个领域也具有重要意义。

首先,在经济上具有重要意义。在许多领域所使用的纳米材料一般都比较昂贵,将某种贵重物质制成纳米粒子与价格低廉的微米粒子进行复合,这样的复合粒子不但可以表现出纳米贵重物质的特性,减少贵重物质的使用量,降低成本,还可以从很大程度上提高贵重物质的使用效率。

在化工催化领域。将纳米催化剂粒子与反应物颗粒进行复合处理,使反应物粒子与催化剂粒子均匀紧密结合,催化剂与反应物的接触面增大,作用均匀,催化效果好,化学反应速度大大提高;而反应均匀和稳定性也大大提高;还可以减少催化剂的用量。

纳米复合技术在制备高能、高性能火炸药方面也具有重要作用。纳米复合催化剂的使用可使推进剂的燃烧性能获得明显的改善;纳米复合金属粉的使用可使推进剂的燃烧速度及能量释放效率都有大幅度提高;超细炸药(如 HMX、RDX)的复合处理可使其在火炸药中的含量大幅度提高,因而可制备出高能、高性能、高强度火炸药;微米及亚微米级强氧化剂高氯酸铵(UFAP)经过复合处理后,其热分解温度大幅度降低,从而使推进剂的燃烧速度获得明显提高。

纳米复合技术在其他领域的应用也具有广泛意义。如粒子复合对提高纳米、微米粉体的加工性能,对开拓纳米粉体的应用具有十分重要的意义;粒子复合在医药领域中对提高药物疗效,提高利用率,或提高病理检查效果等方面都有着十分重要的作用和意义;纳米粒子复合技术在中药领域的作用显得突出,对方便中药的使用,提高疗效,节约中药材资源都十分有利。

5 结束语

纳米材料的发展日新月异,其应用领域也在广泛延伸,从微电子、生物技术到航空、航天领域,都在进行着纳米材料的应用研究。建筑涂料与水泥混凝土作为当今建筑行业不可缺少的重要组成部分,引

入纳米技术和纳米复合技术是科技发展的必然。而在许多建筑领域,对水泥和涂料的要求也逐渐提高,不但要求它们具有传统的特性,还希望其能够发挥一些特殊的功能特性,即对水泥或涂料的功能化。纳米复合材料不但可以提高水泥的结构性能,能够适应许多特殊领域对水泥在功能上的需求,也可以满足新型功能复合建筑涂料的指标。因此,纳米材料及纳米复合技术在建材中的应用,是将来新型建筑材料发展的重要方向。

参考文献(References):

- [1] 李凤生,杨毅.纳米/微米复合技术及应用[M].北京:国防工业出版社,2002.
LI Feng-sheng,YANG Yi.Nano/micrometer Composite Technology and Application [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2002. (in Chinese)
- [2] 魏智强,王政军,乔宏霞,等.纳米技术在建筑材料中的发展与应用[J].中国粉体技术,2005,11(1):45-48.
WEI Zhi-qiang, WANG Zheng-jun, QIAO Hong-xia, et al. Application and development of nano-technology in construction materials[J]. China Powder Science and Technology, 2005,11(1): 45-48. (in Chinese)
- [3] 樊芷芸.纳米科学技术与化学建材[J].化学建材,1998,(3):41-43.
FAN Zhi-yun. Nanometer technology and chemistry construction materials[J]. Chemistry Construction Materials, 1998, (3): 41-43. (in Chinese)
- [4] Dupont Company. TiO₂ pigments coated with discontinuity inorganic particles on the surface [P]. WO 98 150 472, 1998.
- [5] Moro Osamu Tanaki. Aerosol composition [P]. EP0348091 A1, 1989.
- [6] 藤屿照.光触媒——照明分野への应用展开[J].照明学会志,1996,80(12):925-929.
- [7] 小島浩之.光触媒技术の照明器具への应用[J].照明学会志,1997,81(4):333-335.
- [8] 熊国宣,邓敏,宋碧涛,等.纳米材料在混凝土中应用的思考[J].混凝土与水泥制品,2002,(5):18-21.
XIONG Guo-xuan, DENG Min, SONG Bi-tao, et al. Application of nanometer materials in concrete [J]. China Concrete and Cement Product, 2002, (5): 18-21. (in Chinese)
- [9] 葛瑞斌,李大华.混凝土技术的新进展[J].安徽建筑,2001,(3):82-84.
GE Rui-bin, LI Da-hua. New progress of concrete technology [J]. Anhui Construction, 2001, (3):82-84. (in Chinese)
- [10] 叶青.纳米复合水泥结构材料的研究与开发[J].新型建筑材料,2001,(11):4-6.
YE Qing. Research and development of nanometer composite cement materials[J]. New Construction Materials, 2001, (11):4-6. (in Chinese)

(下转第50页)

在 100~200 进行热处理,形成含各种尺寸 α - Fe_2O_3 颗粒的纳米复合材料。日本人采用该方法制得了 $\text{SiO}_2/(\text{AlOOH})_n$ 、 SiO_2/AgCl -玻璃、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ni}$ 结构单元尺寸为几纳米的复合材料。我国的鲁圣国^[24]等人采用溶胶-凝胶法两步水解的制备工艺,第一次水解的 pH 值在 1.0~2.0 之间,第二次水解 pH 值在 10~11.5 之间,得到了尺寸为 3~6 nm 的分散在二氧化硅玻璃中的 CdS 半导体微晶,且随着 CdS 半导体微晶尺寸减小,纳米复合材料的吸收边和荧光峰表现出明显的蓝移现象。目前,采用溶胶-凝胶法得到的纳米复合材料还有 $\text{Cu}(\text{Pt}, \text{Ni})-\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Cu}(\text{Ni})-\text{ZrO}_2$ 、 $\text{Co}(\text{Fe}, \text{Ni}, \text{Mn})-\text{SiO}_2$ 、 $\text{CdS}(\text{ZnS}, \text{PbS}, \text{CuCl}, \text{CdHgTe}, \text{HgTe})-\text{SiO}_2$ 。

溶胶-凝胶法是制备纳米粉体的一种有效方法,具有极大的潜在应用前景。但它也有一定的局限性,制备纳米粉体的关键在于金属醇盐的合成,控制水解-聚合反应形成溶胶凝胶和热处理工艺等 3 方面,而金属醇盐比较昂贵,合成工艺研究在我国很少,难以实行大型化的生产;而且影响溶胶凝胶形成的因素如溶液 pH 值、溶液浓度、反应温度、反应时间和催化剂等没有深入的研究,使溶胶凝胶方法低温合成高性能材料的本质原因还不明确,从而难以在更低的温度下合成高性能的纳米粉体;再者,制备粉体时,粒子的团聚现象明显,影响烧结体的致密度和微观结构的均匀性,降低了材料的高温性能。这些因素都限制着它的发展,这些问题都有待于进一步的解决。所以,纳米粉体的溶胶-凝胶法合成机理,寻求代替金属醇的其它前驱体;控制颗粒形状、分布、粒度、性能的技术;纳米的收集、防止团聚及能和溶胶-凝胶法结合起来优化粉体的有效方法成为我们今后研究的主要方向。

参考文献(References):

- [1] 王世敏,许祖勋.傅晶编著.纳米粉体制备技术[J].北京:化学工业出版社,2002.
- [2] Briuker C J, Scherer G W. Sol-gel Science: The Physics and Chemistry of S-G Processing[M]. Academic Press, INC, 1990.
- [3] 余家国,赵修建. TiO_2 纳米粉体的溶胶-凝胶工艺制备和光催化活性表征[J].中国粉体技术, 2000, 6 (2): 6-10.
- [4] 陶国忠,古宏晨,陈爱平,等. sol-gel 法制备 TiO_2 粉末的光催化剂研究[J].华东理工大学学报, 2002, 26(1): 62-65.
- [5] 沈伟韧,贺飞,赵文宽,等. TiO_2 纳米粉体的制备及光催化活性[J].武汉大学学报, 1999, 45(4): 389-392.
- [6] 张朝平,黄毅,申德君,等. 溶胶-微乳液化学剪裁制备 TiO_2 纳米颗粒[J].稀有金属, 2002, 26(4): 257-261.
- [7] Viadimir V Sridic, Radovan P Omorjan. Electrical conductivity of sol-gel derived yttrium-stabilized zirconia[J]. Ceramics International, 2001, 27(8): 89-101.
- [8] 赵青,常爱民,简家文,等. 改性溶胶-凝胶法制备 ZrO_2 纳米粉及其团聚控制[J].材料科学与工程学报, 2003, 21(5): 683-686.
- [9] DelaRosa F N, Esquivias, Craievich A F, et al. Structural study of silicas onogels[J]. J Non-cryst Solids, 1990, (2): 211.
- [10] Chaumont D, Craievich A, Zarzycki A, Effect of ultrasound on the formation of ZrO_2 sol sand wet gels[J]. J Non-cryst Solids, 1992, (4): 147-148.
- [11] 栾伟玲,高濂,郭景坤,等. BaTiO_3 纳米粉体的制备和性能[J].无机材料学报, 1998, 13(4): 457-462.
- [12] 柏朝晖,王学荣,张希艳. 溶胶-凝胶法制备 BaTiO_3 纳米粉体[J].长春理工大学学报, 2002, 25(4): 7-9.
- [13] 栾伟玲,高濂,郭景坤,等. 溶胶-凝胶制备纳米 BaTiO_3 粉体的影响因素[J].无机材料学报, 1999, 14(6): 861-865.
- [14] 陈龙武. 微乳液反应法制备氧化铝(含水)超细微粒[J].高等学校化学学报, 1995, 16(1): 13-16.
- [15] 王晶,邱竹贤,谢朋,等. 有机醇盐 sol-gel 法纳米 Al_2O_3 粉体制备及特征[J].有色金属, 2001, 22(2): 90-93.
- [16] 张洪涛,徐重阳,许辉. sol-gel 法制备纳米碳化硅粉体的研究[J].功能材料, 2000, 31(4): 366-368.
- [17] 位民. β - BaB_2O_4 纳米粉体的制备[J].人工晶体学报, 2000, 29(1): 83-86.
- [18] 周立群,柳士忠,樊瑛. $\text{H}_2\text{SiW}_{12}\text{O}_{40}/\text{SiO}_2$ 纳米粉体的溶胶-凝胶法合成与表征[J].湖南大学学报, 2002, 24(1): 56-58.
- [19] 牛淑云,傅晓燕,玉占君,等. 络合溶胶-凝胶法制备纳米级 $\text{Y}_2\text{O}_3(\text{Eu}, \text{Dy})$ 发光体[J].辽宁师范大学学报, 2003, 26(3): 272-274.
- [20] 黎大兵,胡建东,连建设,等. 纳米粉体 $\text{CeO}_2_{0.9x}(\text{GdO}_{1.5})_x(\text{Sm}_2\text{O}_3)_{0.1}$ 的溶胶-凝胶低温燃烧合成[J].硅酸盐学报, 2001, 29(4): 340-343.
- [21] 王疆瑛,陶明德. NiMn_2O_4 纳米粉体的制备[J].材料研究学报, 1996, 10(2): 180-182.
- [22] 沈晓冬,吕军华,周宏庆,等. 溶胶-凝胶法制备 SnO_2 纳米粉体及表征研究[J].南京工业大学学报, 2003, 25(1): 69-72.
- [23] 包定华,顾豪爽,邝安详,等. sol-gel 法合成 TiO_2 纳米粉体和薄膜[J].无机材料学报, 1996, 11(3): 453-458.
- [24] 鲁圣国,韩玉,张良莹,等. 含纳米 CdS 玻璃的溶胶-凝胶制备和性质[J].硅酸盐学报, 1994, 22(1): 71-76.

(上接第 47 页)

- [11] 李颖,唐明,聂元秋. 纳米级 SiO_x 与硅灰对水泥浆体需水量的影响[J].沈阳建筑工程学院学报(自然科学版), 2002, 18(4): 278-281.
- LI Yin, TANG Ming, NIE Yuan-qiu. Effect of nano- SiO_x and silica fume on cement paste water demand [J]. Journal of Shenyang Architecture and Civil Engineering University (Natural Science), 2002, 18(4): 278-281. (in Chinese)
- [12] 王芳. XPM 水泥基防水复合外加剂在混凝土结构工程中的应用[J].铁道标准设计, 2003, (5): 54-55.
- WANG Fang. Application of cement base waterproof composite-XPM admixture in concrete engineering [J]. Railway Standard Design, 2003, (5): 54-55. (in Chinese)
- [13] 焦恒,周万城.雷达波吸收剂研究进展[J].材料导报, 2000, (3): 11-12.
- JIAO Heng, ZHOU Wan-cheng. Progress of radar wave absorber [J]. Materials Review, 2000, (3): 11-12. (in Chinese)
- [14] 阎鑫,胡小玲,岳红,等.雷达波吸收剂材料的研究进展[J].材料导报, 2001, (1): 62-64.
- YAN Xin, HU Xiao-ling, YUE Hong, et al. Progress of radar wave absorber materials [J]. Materials Review, 2001, (1): 62-64. (in Chinese)