

无机晶须研究进展 III: 碱式硫酸镁晶须的制备及应用

乃学瑛, 叶秀深, 崔香梅, 李 武
(中国科学院青海盐湖研究所, 青海 西宁 810008)

摘 要: 碱式硫酸镁晶须是新型的阻燃、增强纤维材料, 有着广阔的应用前景。文章较详细地介绍了碱式硫酸镁晶须的性质、制备方法及应用。指出加强其应用基础研究, 是镁资源综合利用的一条重要途径。

关键词: 碱式硫酸镁; 性质; 制备方法; 应用

中图分类号: O782 文献标识码: A 文章编号: 1008—858X(2005) 03—0022—07

我国镁资源十分丰富, 不仅有盐湖、海水等液体资源, 还有十分丰富的菱镁矿、白云石、水镁石、蛇纹石等固体资源, 因此多途径开发利用镁资源, 加强技术研究工作, 生产多品种规格镁盐产品, 极具经济价值和战略意义。

目前我国主要镁化合物生产仍处于初级阶段, 其产品多属于原料性产品, 并且高档次、功能化产品少, 因此深层次镁资源开发应着重于产品的高值化与精细化, 以满足现代化工业和科学技术发展对新型材料和新化工产品的更高要求。以丰富的镁资源为原料制备碱式硫酸镁晶须(MOS), 原料易得、价格低廉、制备方便且应用前景广阔, 成为镁资源综合利用的一条途径。

1 碱式硫酸镁晶须的一般性质^[1]

碱式硫酸镁晶须亦称水合碱式硫酸镁晶须, 有多种存在形式, 其中见诸报道的以晶须形态制备出来的有 $MgSO_4 \cdot 5Mg(OH)_2 \cdot 3H_2O$ 、 $MgSO_4 \cdot 5Mg(OH)_2 \cdot 2H_2O$ 和 $2MgSO_4 \cdot Mg(OH)_2 \cdot 3H_2O$, 外观为白色粉体, 显微镜下为单个针状或扇形晶须, 在扫描电镜(SEM)下观察, 碱式硫

酸镁晶须长度为 $10 \sim 100 \mu m$, 直径 $1.0 \mu m$, 长径比为 $50 \sim 100$; 相对密度为 2.3, 表观密度为 $0.1 g/cm^3$, 比表面为 $10 m^2/g$; 耐热性为 $300^\circ C$; 吸油量为 $500 mL/100g$ 。它具有高强度、低密度和高弹性模量的特点, 可以做为塑料、橡胶和树脂等复合材料的补强增韧剂, 提高基底材料的抗弯曲强度和抗冲击力。它的光学折射率为 1.53, 与各种树脂的折射率最为接近, 因而对复合材料的色调调整影响很小, 对抛光着色几乎没有妨碍。并且, 其良好的电绝缘性能还能使碱式硫酸镁晶须在电缆领域得到应用。

2 碱式硫酸镁晶须的制备

碱式硫酸镁晶须多以氢氧化镁(或氧化镁)、硫酸镁或者氢氧化钠、硫酸镁、硫酸钠为原料, 采用水热合成的方法制备。近年来人们对水合碱式硫酸镁晶须的制备过程开展了不少研究。

Yamaguchi 等用 $Mg(OH)_2$ 和 MgO 作为起始反应物料, 和 H_2SO_4 水溶液反应, 以水热合成温度在 $50 \sim 300^\circ C$ 条件下生长了吸油性很强的碱式硫酸镁晶须。另外, 他们用同样的反应物加

入到浓度小于 25% 的 MgSO_4 溶液中, 在 $180\text{ }^\circ\text{C}$ 、压力为 10 kg/cm^2 水热条件下生长了针状和扇形碱式硫酸镁晶须, 针状晶须的长度为 $100\text{ }\mu\text{m}$, 直径为 $1.5\text{ }\mu\text{m}$ 。

Kimura 等^[2] 用 $1.0\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{MgSO}_4$ 溶液与 $0.001\sim 1.7\text{ mol/L}$ 碱金属氢氧化物在水热条件下作用, 得到了扇形碱式硫酸镁晶须。Otaka 等^[3] 在 $2\sim 4\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 MgSO_4 溶液中加入 $1\%\sim 5\%$ 的 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 或 MgO 固体, 充分搅拌, 使固液完全接触, 在 $130\sim 180\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $3\sim 10\text{ kg/cm}^2$ 的水热条件下反应 2 h , 得到 $2\text{MgSO}_4\cdot\text{Mg}(\text{OH})_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 针状硫氧镁化合物, 长度为 $1\sim 30\text{ }\mu\text{m}$, 直径为 $0.1\sim 10\text{ }\mu\text{m}$, 冷却后加入 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 的 $1.5\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 MgSO_4 溶液, 在 $45\text{ }^\circ\text{C}$ 下反应 5 h , 得 $\text{MgSO}_4\cdot 5\text{Mg}(\text{OH})_2\cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 硫氧镁化合物, 再在 $170\text{ }^\circ\text{C}$ 下加热 3 h , 就可以得到 $\text{MgSO}_4\cdot 5\text{Mg}(\text{OH})_2$ 晶须。采用该法制备的晶须形貌较为规则, 但过程较为复杂。

我国也有学者对碱式硫酸镁晶须的合成进行过研究。

魏钟晴^[4] 等以硫酸镁和氢氧化镁(或氧化镁)为原料, 在高压釜内反应, 控制温度为 $130\sim 170\text{ }^\circ\text{C}$, 压力为 $304\sim 709\text{ kPa}$, 搅拌强度中等, 反应时间为 $2\sim 6\text{ h}$, 在此条件下可得到完全的晶须, 无毛团状物且分散性好, 反应率达 90% 以上。XRD 分析表明产物是 153 型碱式硫酸镁晶须, 测得密度为 1.1416 。

李慧青^[5] 等同样用硫酸镁和氢氧化镁(或氧化镁)为原料, 在 $100\sim 200\text{ }^\circ\text{C}$ 的水热条件下反应, 得到碱式硫酸镁晶须产品。而利用硫酸镁与氧化镁进行反应时, 在室温下反应 24 h , 得到茧状晶须团块母液, 然后经过破碎、过滤分离得到 153 或 158 型碱式硫酸镁晶须产品。

董殿权^[6] 等采用摩尔比为 $1\sim 1.1:1$ 的氧化镁和硫酸镁混合物为原料, 其中硫酸镁浓度为 $0.1\%\sim 20\%$ (质量分数), 在高压釜内反应, 控制温度为 $150\sim 200\text{ }^\circ\text{C}$, 反应时间为 $4.5\sim 7\text{ h}$, 得到碱式硫酸镁晶须。化学分析和 XRD 分析确定产物为 153 型碱式硫酸镁晶须, SEM 结果表明, 产物直径 $0.5\sim 10\text{ }\mu\text{m}$, 长度为 $20\sim 120\text{ }\mu\text{m}$, 长径比为 $30\sim 50$ 。

朱黎霞^[7] 等研究了 153 型碱式硫酸镁晶须

的合成及反应时间对其形貌的影响。采用氢氧化钠、硫酸镁和水, 摩尔比为 $1:2:36$ 的混合物为原料, 在 $140\text{ }^\circ\text{C}$ 下反应 $2\sim 24\text{ h}$, 得到 153 型碱式硫酸镁晶须。TEM 表征结果表明反应时间小于 8 h , 晶须长度在 $10\sim 50\text{ }\mu\text{m}$ 之间, 而水热反应超过 15 h 后, 晶须逐渐变短, 所以认为随着水热反应时间的增长, 153 型碱式硫酸镁晶须发生了断裂。

岳涛^[8] 等则研究了 152 型碱式硫酸镁晶须的合成及反应时间对其形貌的影响, 采用氢氧化钠、硫酸镁、水等以一定比例的混合物为原料, 在 $160\text{ }^\circ\text{C}$ 水热条件下反应 $0.5\sim 168\text{ h}$, 结果证明反应时间对晶须的组成无影响, 但是随着反应时间的增长, 多个晶须的尖端处逐渐靠拢, 并粘结成簇状, 继续生长则转变为扇形。碱式硫酸镁晶须在这种形态下不稳定, 随着反应时间的进一步加长, 就会破碎成为聚集程度较低的晶须。

Ding Yi 等通过硫酸镁、氢氧化钠和水在水热条件下反应, 合成了碱式硫酸镁晶须。研究发现, 只有严格控制反应温度和合适的反应物的量的比值, 才能够得到纤维状碱式硫酸镁晶须产品, 产品结构组成可表示为 $\text{MgSO}_4\cdot 4.34\text{Mg}(\text{OH})_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 反应时硫酸镁和氢氧化钠的摩尔比应该大于 0.89 , 温度控制在 $150\text{ }^\circ\text{C}$, 温度过低或者过高, 都不利于反应进行。

高世扬^[9] 等则是利用氢氧化钠、硫酸镁和硫酸钠的水溶液混合后在高压釜内反应, 得到 153 型碱式硫酸镁, 反应温度为 $130\sim 200\text{ }^\circ\text{C}$, 压力为 $507\sim 2027\text{ kPa}$, 时间为 $2\sim 10\text{ h}$ 。

隋学礼^[10] 等将晶质菱镁矿经过 $750\sim 1000\text{ }^\circ\text{C}$ 煅烧 $1\sim 10\text{ h}$, 然后粉碎并加水形成浆液, 然后与硫酸镁或硫酸混合, 在 $100\sim 250\text{ }^\circ\text{C}$ 反应 30 min 至 10 h , 得到 153 型碱式硫酸镁晶须。

另外, 江苏山达化工有限公司和中科院金属研究所合作开展了 153 型碱式硫酸镁晶须的中试试验研究, 也取得了较好的结果。

3 碱式硫酸镁晶须的应用

碱式硫酸镁晶须早在 20 世纪 50、60 年代

就被发现,但直到 80 年代末、90 年代初,才由日本的 Ube 公司将其逐渐开发为商品,广泛应用于塑料、树脂、橡胶和陶瓷等复合材料中。主要可以应用于以下几个领域:

3.1 水泥

晶须、纤维增强水泥,在水泥中添加无机晶须或纤维材料可使浆体的抗拉、抗冲击强度明显提高,并有效地改善其韧性。以往,用于水泥的增强剂有玻璃纤维、钢纤维、碳纤维和氯氧镁的纤维或晶须。这些材料虽然在某些方面改善了水泥的性能,但是在实际应用中也存在缺陷,如玻璃纤维增强水泥的韧性较差;钢纤维、碳纤维用于水泥添加其成本较高;而氯氧镁的纤维或晶须增强的水泥虽强度高、硬化快、有弹性,但它还存在着抗水性能差、使用寿命短和易变形的缺点,因而限制了它们的应用范围。碱式硫酸镁晶须作为水泥的添加剂,克服了以上几种添加材料的缺点,提高了水泥的强度和韧性,而且使其抗水性、耐磨性、耐酸碱侵蚀等性质明显提高,其最大的优点在于成本低廉,易于推广^[11]。

3.2 热塑树脂复合材料

塑料在当今世界上已成为新兴的材料工业,它和钢材、水泥、木材并列为四大基本材料,而且作为塑料原料的合成树脂产量多年来始终以高速度增长着,到 20 世纪 90 年代中期已经随着塑料制品在工业和民用领域的更广泛地应用,人们对其性能也提出了更高的要求,如物

理、机械性能和外观等方面。以碱式硫酸镁晶须添加增强的热塑树脂基复合材料¹²⁻¹⁴,不仅具有很好的外观、优异的刚性、抗冲击力、弯曲模量和抗损伤能力,而且有极低的体积收缩性、优异的尺寸精确度和抗热性。它与其它补强增韧剂在热塑复合材料方面相比作用更为明显。

碱式硫酸镁晶须比其它添加增强材料有更好的综合性能。由它得到的树脂基复合材料重量轻、比强度和比刚度高,可以在铁路客车、货车、冷藏车上应用于机车车身、客车和货车车箱或顶篷以及门、窗等部位,应用较多的是以泡沫塑料为芯的夹层结构。在汽车制造方面,日本也使用这种复合材料制造各种轿车、大型客车、拖车、载重汽车以及其它车辆的大型塑料部件,如车身、坐椅、仪表盘和发动机罩等。很多日本专利^{15,19}报道了碱式硫酸镁晶须增强热塑树脂复合材料的各种物理和力学性能。

可应用碱式硫酸镁晶须的热塑树脂范围很广^[17,18],它包括:聚烯烃(高、中、低密度线性聚乙烯、聚丙烯和聚丁烯等)、聚氯乙烯、聚苯乙烯、丙烯酸类树脂、ABS 树脂、尼龙、聚碳酸酯和热塑聚脂。在这些材料中,加入碱式硫酸镁晶须,其各种特性有明显的改善。

3.2.1 碱式硫酸镁晶须在聚丙烯树脂(PP)的应用^[19-21]

表 1、2 分别列出了不同碱式硫酸镁晶须含量及玻璃纤维对 PP 复合材料力学性能的影响,和碱式硫酸镁晶须(M-HOS)及各种填料(含 20%)加入 PP 的效果比较。

表 1 不同晶须含量及玻璃纤维对 PP 复合材料力学性能的影响

Table 1 Influences of varying contents of M-HOS whisker and glass fiber on the mechanical performances of PP composite materials

性 能	实验方法	碱式硫酸镁晶须(M-HOS) 含量/%					玻璃纤维
							/ %
		0	10	20	30	40	30
拉伸强度/MPa	GB/ T1040	39.4	45.6	56.5	65.6	75.8	50.7
断裂伸长率/%	GB/ T1040	20.94	16.74	14.38	10.25	9.54	10
弯曲强度/MPa	GB9341	52.0	89.6	102.2	114.5	132.0	84.7
弯曲模量/MPa	GB9341	1700	3970	4345	4956	6074	3550
无缺口简支梁冲击强度	GB1043	/	25.1	23.6	16.9	20.3	21.0
热变形 1.82/MPa	GB1634	58.2	82.1	96.6	118.6	129.9	/
温 度 0.45/MPa	GB1634	126	148	160	162	163	155

表 2 碱式硫酸镁晶须(M-HOS) 及各种填料(含 20%) 加入 PP 的效果比较

Table 2 Comparison of the effects of M-HOS whisker and other additives on PP materials

性 能	实验方法	M-HOS	滑石粉	碳酸钙	二氧化硅	玻璃纤维
拉伸强度/MPa	GB/ T1040	36.3	31.2	28.4	24.2	24.6
简支梁冲击强度	GB1043	5.1	3.8	3.6	1.8	3.5
断裂伸长率/%	GB/ T1040	20.1	16.8	17.9	28.6	3.0
弯曲强度/MPa	GB9341	52.1	25.5	23.7	51.1	53.6
弯曲模量/MPa	GB9341	3553	1723	1847	2675	3682
热变形温度(0.45MPa)	GB1634	133	124	114	120	128
熔融指数 q/ 10min	GB3682	2.85	2.3	2.3	0.9	0.1

从表中可以看出, 碱式硫酸镁晶须加入聚丙烯后复合材料无论强度、刚度、抗冲击和阻燃性能都有大幅度的提高。

碱式硫酸镁晶须(M-HOS) 应用于聚丙烯的显著优点表现在高模量, 高耐热和优良的耐磨性。加入碱式硫酸镁晶须后的模塑制品具有较高的表面光泽度, 耐划伤, 尺寸稳定不易翘曲, 易着色, 制品喷涂时附着力强, 加工过程中对设备和模具的磨损小。聚丙烯/碱式硫酸镁晶须复合材料现已大量应用于汽车仪表板, 汽车保险杠, 防擦条, 耐温洗衣机及摩托车部件等。

但是, 碱式硫酸镁晶须是高强度脆性材料,

在加工过程中, 晶须易折断, 长径比下降。因此, 加工时聚合物基体的黏度越高、加工时间越长、加工装备的剪切和混合性能越好, 晶须折断程度就越严重, 对改性材料的增强效果就越差。并且, 碱式硫酸镁晶须填充改性 PP 材料的流动性随晶须添加量增加而呈缓慢下降趋势, 其对改性材料的熔点和结晶度几乎没有影响。

3.2.2 碱式硫酸镁晶须增强 ABS 树脂

碱式硫酸镁晶须(M-HOS) 加入 ABS 树脂中, 不仅能提高弯曲强度和弯曲模量, 还能显著提高阻燃和防老化性能, 有协同阻燃和增强的双重效果。已用于青岛海尔出口美国的空调机外壳等部件上。

表 3 碱式硫酸镁晶须(M-HOS) 加入阻燃 ABS 的增强阻燃效果

Table 3 The enhancing effects of M-HOS whisker on the flame retarding performances of ABS before and after addition

项 目	试验方法	晶须增强阻燃 ABS				
ABS(PA757)		86	80	/	/	/
ABS(121H)		/	/	85	80	76
复合阻燃剂		14	11	15	13	11
助剂		若干	若干	若干	若干	若干
M-HOS		0	9	0	7	13
拉伸强度/MPa	GB/ T1040	37	51	41.9	41.8	42.6
伸长率/%	GB/ T1040	6	3	5	5	5
弯曲强度/MPa	GB9341	57	87	64.5	65.1	66.5
弯曲模量/MPa	GB9341	2000	3234	2130	3100	3700
冲击强度/MPa	GB1043	8	6.3	11.0	8.3	8.5
热变形温度	1.82MPa	78	87	/	/	/
	0.45MPa	/	/	96	98	99
阻燃性	UL- 94	V0	V0	V0	V0	V0

3.2.3 碱式硫酸镁晶须增强聚乙烯(PE)^[18, 22]

制备碱式硫酸镁晶须增强聚乙烯时, 晶须的表面处理以及在表面处理和与 HDPE 的混合

过程中, 减少晶须损伤是获得性能优良晶须增强 HDPE 的关键问题。并且, 采用湿法处理晶须, 其增强 HDPE 的性能优于干法处理。

表 4 不同含量的碱式硫酸镁晶须对 HDPE 复合材料力学性能的影响

Table 4 Influences of varying amounts of M—HOS whisker on the mechanical performances of HDDE compasite materials

项 目	试验方法	不同 M—HOS 含量(%) 的性能数据			
		0	10	15	20
拉伸强度/MPa	GB/ T1040	20.8	25.2	26.5	27.0
弯曲强度/MPa	GB9341	15	17	19.5	24
弯曲模量/MPa	GB9341	730	830	1070	1200
热变形温度(0.45MPa)	GB1634	81	86	89	94

从上表可以看出碱式硫酸镁晶须(M—HOS)加入高密度聚乙烯(HDPE)树脂中,能显著提高复合材料的拉伸强度,抗弯强度,弯曲模量和热变形温度。

3.2.4 碱式硫酸镁晶须增强聚氯乙烯(PVC)

聚氯乙烯刚度较低,易产生翘曲变形,存在着色与耐热劣化问题,加入碱式硫酸镁晶须(M—HOS)可使其刚度显著提高,稳定性增加。用碱式硫酸镁晶须增强的聚氯乙烯复合材料可用作各种塑料型材,大口径 PVC 管材等。

表 5 碱式硫酸镁晶须加入聚氯乙烯的效果

Table 5 Effects of M—HOS whisker on PVC material

	实例 1	实例 2	实例 3	比较例 1	比较例 2	比较例 3	比较例 4
聚氯乙烯(103EP8J)	100	100	100	100	100	100	100
M—HOS	25	28.5	12.5				
BDTL	2	2	2	2	2	2	
硬脂酸铝	2	2	2	2	2	2	2
玻璃纤维			12.5	25			
二氧化钛		14.2				14.2	
碳酸钙					25	28.5	
石棉							25
弯曲模量/MPa	4120	5460	4520	3620	3000	3070	3010
肖氏硬度	76	77	79	79	75	78	79
密度/(g/cm ³)	1.44	1.60	1.53	1.49	1.43	1.61	1.42

3.2.5 碱式硫酸镁晶须尼龙 6 中的应用^[23]

尼龙 6 具有良好的物理机械性能,如拉伸强度高,耐磨性好,韧性好,耐化学药品和耐油性突出等,是五大工程塑料中应用最广的品种之一。但尼龙 6 吸水率高,在较强外力和受热条件下,其刚性和耐热性不佳,制品的尺寸稳定性较差,在许多应用领域受到限制。而碱式硫酸镁晶须用于改性尼龙 6 具有高强度,高模量,高耐热性,高尺寸稳定性,阻燃性能好等特点。并且,碱式硫酸镁晶须含量越高,增强及阻燃效果越好,其增强效果与玻璃纤维相当,且明显优于滑石粉。用作无卤阻燃剂时与有机硅有良好的协同作用,可以大幅度提高材料的阻燃性,并可有效地防止尼龙 6 燃烧过程中的“滴落”现象。并可广泛地应用于汽车,电子电器,工程机械等领域。

3.2.6 碱式硫酸镁晶须在酚醛树脂中的应用^[24]

碱式硫酸镁晶须加入到酚醛树脂中有更好的补强效果,特别是电性能阻燃性能和机械力学等综合性能均有较大的提高,适合于作电器材料。少量碱式硫酸镁晶须的存在使得酚醛树脂在高温区间的热稳定性能有明显提高。并且碱式硫酸镁晶须在酚醛树脂中促进了树脂的固化,起到了助固化剂的作用。

3.3 阻燃、抑烟建筑、装饰材料

传统的无机建筑板、天然木材装饰板、木屑纤维压制的复合板和有机材料装饰板,已经占有很大的市场份额。但是它们最致命的缺陷在于防火抑烟的效果差,很可能成为火灾隐患。为克服这一缺点,目前的方法是在基底材料中

添加阻燃剂, 其中包括: 卤系阻燃剂、磷系阻燃剂、氢氧化镁阻燃剂和碱式硫酸镁晶须阻燃剂。这些阻燃剂中氢氧化镁和碱式硫酸镁晶须正受到人们的极大关注。它们的优点是: 低毒、低腐蚀性、低烟或抑烟、热稳定性较高, 且有利于延长阻燃高聚物的使用寿命。

美国专利^[31]报道了在天然木材、木材碎片中加入增强、阻燃材料制成的家具、装饰用硬木或软木聚合板。此种聚合板中添加了碱式硫酸镁晶须, 不但提高了材料的强度和韧性, 而且增加了防火性能, 使用时不需其它附加的防火屏障(如金属包层、灰泥墙板等)。这种碱式硫酸镁晶须作为阻燃材料的优点在于大大地降低了火焰的蔓延和渗透, 抑制了烟的产生。另外, 碱式硫酸镁晶须可用于隔音阻燃的泡沫建筑板, 这种板在生产中不收缩、固化之后不卷曲、对水不敏感、吸水性极低、不膨胀、有足够的承受力、防火效果特别好, 且实用经济。

吕通建等^[27]对碱式硫酸镁晶须增强阻燃聚丙烯材料进行了研究。实验表明在不影响聚丙烯复合材料力学性能的情况下, 随着碱式硫酸镁晶须添加量的增加, 复合材料的氧指数也随之升高, 由 20 提高到 27.3。并将碱式硫酸镁晶须同常用的无机阻燃剂 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 和 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 的阻燃性能进行了比较, 证明其阻燃效果更优。因此, 碱式硫酸镁晶须的阻燃性质不仅可以用于建筑、装饰材料, 而且可以用于电线、电缆的绝缘层。

M-HOS 作无卤阻燃剂使用, 与常用的无机阻燃剂相比, 阻燃性能和物理机械性能都有很好的效果。

3.4 碱式硫酸镁晶须在涂料中的应用^[25]

碱式硫酸镁晶须在涂料中, 能明显改善涂膜的机械性能、硬度等。喷漆时附着力特强, 并具有一定的消光效果。在环氧树脂和聚酯树脂溶液中, 加入碱式硫酸镁晶须可以提高溶液的黏度, 在不同的温度下, 增粘效果的变化趋势相同。在聚酯涂料的配方中, 加入 $<5\%$ 的晶须有明显的消光作用, 加入量增加, 消光性增强。同时, 加入的晶须不影响漆膜的性能。因此, 碱式硫酸镁晶须适用制造消光漆, 可以替代进口消

光粉。在树脂中加入不同含量的碱式硫酸镁晶须, 可使消光漆具有不同的消光性, 从而得到无光或半光的漆膜。由于碱式硫酸镁晶须在树脂溶液中易分散, 还可得到透明或半透明的涂料。

3.5 其它方面的应用

针状或扇形碱式硫酸镁晶须与聚四氟乙烯一起可以作为减震器导向套筒、液压泵轴承等滑动摩擦组件的润滑剂^[26]。这种晶须最好为由针状晶体聚集成束生长成的扇形晶须, 它可以为聚四氟乙烯提高耐磨性、在使用润滑油的情况下, 提高油的残留性、具有优良的抗气蚀性, 也可以提高其它填料的分散性。

由碱式硫酸镁晶须制得的一种或多种水溶性肥料^[27](如脲素、硫酸钾、硝酸钾、硫酸铵和磷酸铵等) 生产控释或缓释肥料。它可以保持这些高溶解度化合物的肥效, 避免被雨水或灌溉水将其排泄掉, 有利于生态环境的保护。

在彩色陶瓷或玻璃的生产中碱式硫酸镁晶须可用作耐火填料^[28]。加工过程烘烤彩色陶瓷混合物时, 使用碱式硫酸镁晶须不会在表面产生气泡或只有很少的气泡, 而其它晶须耐火材料如碳晶须、钛的碳化物晶须和钛的氮化物晶须, 烘烤时会产生明显的气泡, 导致彩色陶瓷的不透明层模糊不清, 使产品质量下降。

用碱式硫酸镁晶须作沥青填料, 对沥青的各项力学性能如弯曲模量、压缩强度等在室温或较低温度下都有显著提高, 而且收缩率小, 增强了沥青耐温和抗流动性的能力。

在要求高澄清度的工业领域中, 使用碱式硫酸镁晶须作过滤材料, 无论是过滤速度和滤液澄清性都明显好于常用的硅藻土、活性氧化铝、粉碎纸浆、活性炭等的效果, 甚至优于 $0.1\mu\text{m}$ 膜滤器。

4 结 语

碱式硫酸镁晶须作为一种新型的材料, 近几年国内外对其制备方法、结构、性能、用途等诸方面作了广泛的研究, 在重视本身产业化开发的同时, 特别重视应用开发(及晶须复合材料及其制品的研究开发) 和推广应用工作, 若能使其优异性能在高分子材料的改性研究中得到充

分发挥,开发制备出高性能的晶须增强复合材料,这无疑会对今后的国防工业以及建筑等国民经济的重要领域产生巨大影响。

参考文献:

- [1] 袁俊生,刘燕兰.大有发展前途的海洋无机盐晶须材料[J] .盐湖盐与化工,1999, (2) : 5—7.
- [2] Kimura Takayaki, Ito Yukimasa. Fan—shaped magnesium oxysulfate and its preparation[P] . Japan petent; JP61256920, 1986.
- [3] Otake, Staoshi K, Matsunami, et al. Fibrous anhydrous magnesium oxysulfate and process for the preparation thereof[P] . EP. Patent. Ep0509473A1, 1992.
- [4] 魏钟晴,马培华.水合碱式硫酸镁晶须材料的水热合成[J] .盐湖研究,1997, 5(3—4) : 16.
- [5] 李慧青,张毅,孙莹.若干无机盐晶须的研究状况与展望[J] .无机盐工业,2002, (2) : 17—19.
- [6] 董殿权,王军.碱式硫酸镁晶须的研制[J] .功能材料,1999, (5) : 559—560.
- [7] 朱黎霞,高世扬. $Mg(OH)_2 \cdot 2MgSO_4 \cdot 2H_2O$ 晶体的水热生长过程[J] .物理化学学报,2003, (3) : 212—215.
- [8] 岳涛,朱黎霞,杨荣榛,高世扬.无机镁盐晶须的应用研究进展[J] .无机盐工业,2003, (4) : 11—13.
- [9] 高世扬,岳涛,朱黎霞.制备硫氧镁晶须的新方法[P] .中国专利: CN1346800A, 2002.
- [10] 隗学礼,赵宽放.镁盐晶须的制备方法[P] .中国专利: CN128860A, 2001.
- [11] Lida T, Haraka M. Lightweight inorganic hardened body[P] . Japan Patent; JP58130150, 1983.
- [12] Sugimura S., Watanabe K., Manufacture of master batch pellet[P] . Japan Patent; JP 2000127152, 2000—05—09.
- [13] Miyake Y, Doi T. Thermoplastic resin composition and injection molded article thereof [P] . EP. patent; EP0739943A1, 1996—10—30.
- [14] Nomura, Wada, Thermoplastic resin composition and process for producing the same[P] . EP. Patent; EP0319924A2, 1989—06—14.
- [15] Nakajima Y.. Flame—retardant resin composition[P] . Japan Patent; JP63218747, 1988—09—12.
- [16] Kimura T, Suenaga F.. Lightweight composite material composition[P] . Japan Patent; JP61256955, 1986—11—14.
- [17] Nomura M., Wada K.. Thermoplastic resin composition and process for producing the same[P] . EP. Patent; EP319924, 1989—06—14.
- [18] 廖明义,隗学礼.镁盐晶须增强聚丙烯力学性能的研究[J] .塑料科技,1999, (6) : 41—42.
- [19] 陶国良,龚方红,丁永红.镁盐晶须填充改性聚丙烯材料的研究[J] .中国塑料,2003, (12) : 45—48.
- [20] 刘春林,姚汝奇.镁盐晶须/聚丙烯复合材料的研究[J] .塑料工业,2003, (8) : 19—21.
- [21] 吕通建,于洋,范平,等.碱式硫酸镁晶须增强阻燃聚丙烯的研究[J] .中国塑料,2001, (9) : 66—68.
- [22] 刘伯元,隗学礼,许浩坤.镁盐晶须在塑料改性和涂料工业中的应用[J] .中国非金属矿工业导刊,2003, (4) : 43—46.
- [23] 谭凤宜,杨小燕,贾艳秋,叶红梅.镁盐晶须改性尼龙 6 的研究[J] .塑料助剂,2004, (3) : 27—29.
- [24] 周大鹏,范宏,卜志扬,等.镁盐晶须原位复合酚醛树脂及其性能研究[J] .中国塑料,2003, (10) : 72—76.
- [25] 徐绍韶,童身毅.碱式硫酸镁晶须在涂料中的应用[J] .中国涂料,2000, (3) : 32—33.
- [26] Nakamaru T., Watai T., Okimura A., et al. Multi kyende sliding member[P] . EP. Patent; EP0581185A1, 1994—02—02.
- [27] Yaniv, Itzhak Controlled release fertilizers[P] . WO Patent; WO9601794, 1996—01—25.
- [28] Chiba J., Shimosaka T., Mukai K., et al. Ceramic color composition and process for producing a curved glass plate[P] . EP. Patent; EP0987227A1, 2000—03—22.

Progress of inorganic whisker research(II) : Preparation and application of hydrous magnesium oxysulfate whiskers

NAI Xue-ying, YE Xiu-sheng, CUI Xiang-mei, LI Wu

(Qinghai Institute of Salt lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China)

Abstract: Hydrous magnesium oxysulfate whisker is a new type of fibroid material used as flame retardants and reinforceers. In this paper, their characteristics and properties, method of preparations and applications were reviewed in detail. It was pointed out that promoting its applied fundamental research was an important way to boost the comprehensive utilization of magnesium resources.

Key words: Hydrous magnesium oxysulfate whisker; Characteristic; Preparation; Application