

# 硅溶胶的应用

李良, 梁汉东, 张海军, 韦妙

(中国矿业大学, 北京 100083)

**摘要:** 硅溶胶是高分子二氧化硅( $\text{SiO}_2$ )微粒分散于水中或有机溶剂中的胶体溶液。硅溶胶作为一种精细化工产品, 广泛应用于涂料、各种材料、半导体、造纸、纺织、水处理等行业。本稿介绍了国内外有关硅溶胶的制备工艺以及主要性能, 并进行了评述。

**关键词:** 硅溶胶; 涂料; 二氧化硅

## 1 制备硅溶胶的主要工艺

硅溶胶的制备方法很多, 主要有离子交换法、电渗析法、单质硅一步溶解法、酸中和法、胶溶法等。

离子交换法一般都是采用强酸型阳离子交换树脂。根据工艺和硅溶胶纯度要求的不同, 可以联用弱碱型阴离子交换树脂, 以除去体系中的杂质阴离子。此方法一般可以分为3个步骤: 1)制备活性硅酸; 2)胶粒增长; 3)稀硅溶胶浓缩。

单质硅一步溶解法, 以纯净的单质硅为原料, 在催化剂(分析纯氢氧化钠)的作用下, 直接与蒸馏水反应, 一步得到所需成品。此外, 张扬正<sup>[1]</sup>采用金属硅粉与加热到一定温度的稀水玻璃溶液反应, 制备出高浓度、大粒径、稳定性好, 低粘度的硅溶胶。

电解电渗析法是一种电化学方法, 在槽中加入电解质原料, 调节电解质的 pH, 控制电流密度、温度等反应条件, 反应过后可制取硅溶胶成品。

酸中和法一般采用稀水玻璃作为起始原料, 经过离子交换除去钠离子、制备晶核、直接酸化反应、晶体长大等步骤可以制得硅溶胶。胶溶法先要制得凝胶, 而后在加温加压条件下将凝胶溶解, 可以制得硅溶胶<sup>[2]</sup>。

## 2 硅溶胶的基本性质

硅溶胶是无定形二氧化硅胶体粒子在水或有机溶剂中的分散体系, 分子式表示为  $m(\text{SiO}_2) : n(\text{H}_2\text{O})$ 。硅溶胶在科研及各工业领域的广泛应用与它的特点有着密切关系, 从硅溶胶的性质出发可发现主要性状有<sup>[3]</sup>:

1)由于胶体粒子细微(10~20 nm), 有相当大的比表面积, 粒子本身无色透明, 不影响被覆盖物的颜色;

2)粘度较低, 水能渗透的地方都能渗透, 因此和其他物质混合时分散性和渗透性都非常好;

3)当硅溶胶水分蒸发时, 胶体粒子牢固地附着在物体表面, 粒子间形成硅氧结合;

4)附着在固体表面的二氧化硅粒子可增大摩擦系数, 干燥或烧结可形成固态凝胶, 因而具有一定的耐久性, 既可形成具有比表面积大及均匀细孔的凝胶, 又可均匀分散粉料, 增加悬浮体的稳定性;

5)通过 Si—OH 基和吸附水可提高润湿性和防止带电的性能;

6)可浸入充填到多孔性物质中, 使表面平滑; 通过均匀混合微粒, 可使有机树脂进行机械、光学及电性能方面的改性增强;

7)溶胶为液状,能进行均相反应,以硅溶胶代替二氧化硅作原料进行反应,可提高反应速度。当然根据不同的制备工艺及不同反应条件所制得的硅溶胶性质上是有所差别的。

### 3 硅溶胶的应用

#### 3.1 涂料中的应用

硅溶胶颗粒细微,析胶时的氧化硅具有较高的活性,能与某些无机盐、金属氧化物生成新的硅酸盐无机高分子化合物,形成很硬的膜;粒子细小对基材的渗透力强,细小的颗粒能通过毛细管作用渗透到基材的内部,并能与基材中的碱性物质  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  反应生成硅酸钙,使涂膜具有较强的附着力。

附着力的增强是硅溶胶的渗透、硬化粘结的综合效果,是机械咬合与化学键合的综合结果,因而具有优于一般涂料的表面附着的黏结力。硅溶胶与有机高分子聚合物混溶,使有机高分子均匀地分布在硅—氧—硅无机涂层的间隙中,屏蔽无机涂层中残存的亲水基团,涂膜经受冷热交替时使涂层的收缩得到缓冲,并使涂层具有一定的弹性,所形成的涂层兼具无机涂料和有机涂料的特性,弥补两者不足。

硅溶胶成膜后形成硅氧体为网状结构,不怕酸碱,提高了涂膜的性能。以硅溶胶为主要成膜物,以合成乳液(如苯丙乳液、醋酸乙烯树脂乳液等)为辅助成膜物,外加颜料、填料、添加剂所配制的复合面墙涂料,具有独特的耐水、耐火、耐洗刷、耐污染性能。用硅溶胶与耐火粉末混合配制的铸造涂料,在浇铸钢锭时,可较好地防止钢水熔附和平板磨损。现在的“立邦漆”等大部分高档乳胶漆都含有硅溶胶。

此外硅溶胶在制备金属型面层导热涂料、耐水仿瓷涂料、墙面珠钢涂料、节能防腐高温陶瓷涂料、金属型保温涂料、发泡型防火涂料等中广为应用。

#### 3.2 耐火材料中的应用

以硅溶胶为主要原料的硅酸盐耐火纤维,由于其卓越的节能性和抗高温性,被作为保温绝热材料广泛应用于工业炉等设备上。用硅溶胶作结合剂的其他不定形耐火材料,因其不会带人各种低熔点氧化物,提高了使用性能,且具有脱模强度高、高温体积稳定、抗震性能好等优点。

此外用硅溶胶处理的耐酸性水泥或陶瓷,可以制耐酸的化工设备,能阻止酸渗透和承受较高压力。

不定形耐火材料采用硅溶胶作结合剂,在高温下不会因结合剂带人低熔点氧化物而使其使用性能恶化。不定形耐火材料的基质是由特级或一级高铝熟料与二氧化硅粉组成,在高温下生成针柱状次生莫来石网状结构,因而在高温强度大的情况下,具有高温体积稳定、抗温度急变性能好等优点。

#### 3.3 精密铸造中的应用

随着对精铸件质量和精度要求的提高<sup>[6]</sup>,用水玻璃或硅酸乙酯为粘结剂的制造工艺所造成的“精铸不精”及环境污染等弊端已严重阻碍了中国铸造工业的发展。因此,为提高铸件质量、缩小同国际精铸业的差距,用硅溶胶取代水玻璃和硅酸乙酯势在必行。同时,在无需增加较大财力、物力及改变主要工艺的情况下,使用硅溶胶—水玻璃复合制壳工艺,可以提高铸件的光洁度。

#### 3.4 半导体元件抛光剂中的应用

20世纪60年代中期,半导体基片抛光大部分沿用机械抛光,所得的镜面表面损伤极其

严重。1965年提出SiO<sub>2</sub>溶胶和凝胶抛光后,以SiO<sub>2</sub>为代表的化学机械抛光(CMP)工艺技术逐渐代替传统的机械抛光。自1996年以来,随着电子工业的发展,作为硅晶片抛光液的原料硅溶胶的需求量激增。所谓抛光剂由SiO<sub>2</sub>粉体、水、分散稳定剂、润湿调节剂、pH调节剂和表面处理剂组成, SiO<sub>2</sub>的质量分数最高可达60%,产品的粘度<0.1 Pa·s,重力沉降性能为1 a以上,是一种性能优良的CMP技术用的抛光材料,能用于硅片的粗抛和精抛,以及IC加工过程,特别适用于大规模集成电路多层化薄膜的平坦化加工,也可用于晶圆的后道CMP清洗等半导体器件、平面显示器、多晶化模组、微电机系统、光导摄像管等的加工过程。

### 3.5 造纸工业中的应用

玻璃纸和塑料薄膜夏季容易发粘<sup>[8]</sup>,如用硅溶胶和单硬脂甘油酯的混和液处理,就可以圆满解决。感光纸用硅溶胶与感光液的混合液处理,可使感光纸纸面平滑,影像鲜明,并增大曝光范围。用于晒图纸、复印纸和胶印纸的预涂层,可使纸面平滑,图像造影清晰,对比度好。

牛皮纸和瓦楞纸表面用硅溶胶处理后,可以提高纸的防滑性,减少运输中堆层的滑动,提高纸品的耐湿性和强度。

在非灰复写纸制造中,用硅溶胶代替粘土、滑石粉和二氧化硅粉涂层,可使其色泽更加鲜明。电子计算机使用的穿孔卡,用硅溶胶涂覆后,可具有较高的稳定性和防滑性,且打印性好。

### 3.6 纺织工业中的应用

用硅溶胶和毛油并用处理羊毛,可改善羊毛的可纺性,减少断头,防止飞花,提高成品率;用于纱线上浆液中,可提高浆料的粘着力,且易于落浆,使干燥时间缩短等;添加于纺织用树脂中,可使纱线防滑,使织物挺括,有干燥感,还可控制织物的光泽。

另外,硅溶胶还可广泛用作各种织物的处理剂,如尼龙、粘胶纤维、醋酸纤维、聚酯、聚丙烯等材质的织物,经处理后,均具有消光、防滑、耐磨、耐洗、耐污染、防静电等优点。

### 3.7 硅溶胶用作净水剂、澄清剂

硅溶胶或硅胶液<sup>[9]</sup>,用于酿造酱油,可有效吸附酱油中各类杂质,很好地提高酱油的澄清度,还可防止发生二次沉淀及微生物的繁殖。与自然沉淀过滤相比,可在短时间内使杂质分离得更彻底。

在啤酒进行发酵后的溶液中加入酸性硅溶胶,能使不纯的离子生成凝聚物而被除去,使得产品清澈透亮。

硅溶胶也可用于米酒、酱油、果汁等的澄清剂,不影响产品的色、香、味。而且硅对于人体无毒害。

### 3.8 用于蓄电池工业

酸性硅溶胶用于胶体铅酸蓄电池上时<sup>[10]</sup>,与硫酸混合后生成的硅胶体是胶体铅酸蓄电池的理想不流动电解质。它改变了传统铅酸蓄电池的漏酸、污染环境,和繁重的加酸、加水及维护等缺点,使蓄电池的使用寿命延长,低温启动性能好,耐震,一次灌注,安全可靠。

### 3.9 应用在静电植绒技术上

酸性硅溶胶应用在静电植绒技术上,是因为酸性硅溶胶在其纤维表面形成硅烷醇基,而使纤维具有亲水性,使植绒毛带电性得到改善,它是静电植绒的绒毛处理剂的主要成分,起

分散作用。

### 3.10 应用于可降解的防水纸杯及植物纤维花盆、餐具等

主要原材料麦草浆、木浆、草浆或由废品纸打成的浆, 通过化浆后再加入硅溶胶热压成型, 主要是利用了硅溶胶是二氧化硅粒子。二氧化硅是一种稳定剂, 在 pH 为 9 左右时, 硅溶胶会渗透到纸杯内表面和外表面壁孔内, 并在壁孔内自发长大, 形成一种防水的膜, 具有防水功能。

### 3.11 喷墨涂层配方中

硅溶胶是由分散状的球型  $\text{SiO}_2$  颗粒组成的分散胶状体, 具有很大的表面积, 具有阴阳离子的作用和宽范围的颗粒尺寸。在喷墨涂层配方中作为基本的颜料成分, 具有以下作用:

- 1) 优秀的打印清晰性和光学密度;
- 2) 良好的油墨分散、吸收性, 促进油墨快干;
- 3) 很大程度上减少基料(粘合剂)用量, 典型的配方是使用 10 份或更少的聚乙烯醇粘合剂;
- 4) 硅溶胶以液态形式存在, 不存在把干粉  $\text{SiO}_2$  混合成浆料的问题, 例如粉化和润湿。

### 3.12 其他

特别要指出的是最近某个科研组利用硅溶胶作为纳米尺寸胶水, 制备凝胶和气溶胶。这个发现可以为电子学和光学应用制备纳米材料。

此外硅溶胶还广泛作为添加剂应用于牙膏、各种药物, 以及生物制药中。硅溶胶还用于轻质粘土建筑用砖。利用硅

溶胶的大比表面和活性, 可用作催化剂载体。利用活性硅溶胶的除臭作用, 生产的肥料无臭味。利用硅溶胶具有良好的分散性和粘接性, 可做彩色显像管及荧光屏的分散剂。同时还广泛地应用于矿物浮选、橡胶制品、陶瓷、油漆、地板蜡、珍珠着色等行业中。

## 4 结束语

随着经济全球一体化, 中国经济和世界其他国家的经济逐渐融为一体, 带动了中国制造业的飞速发展, 硅溶胶作为一种精细化工产品, 在各个制造领域得到了越来越广泛的应用, 硅溶胶的需求量逐年激增, 同时对硅溶胶的质量要求越来越高。因此加大对中国硅溶胶新产品的研发投入是必要的, 拓宽其应用领域是具有重要意义的工作。

### 参考文献:

- [1] 张扬正. 大粒径、低粘度硅溶胶的制造方法: CN, 86104144A[P]. 1998—10—22.
- [2] 唐永良. 硅溶胶制备方法评述[J]. 浙江化工, 2003, 34(5): 4—6.
- [3] 彭弟基. 硅溶胶的制备和应用[J]. 无机盐工业, 1982(5): 39—41.
- [4] 徐国华. 硅溶胶及涂料[J]. 上海涂料, 1998(4): 15—17.
- [5] 曾光远. 纳米硅溶胶在建筑涂料中的应用[J]. 化工新型材料, 2005, 33(5): 67—69.
- [6] 乌兰. 硅溶胶的应用研究[J]. 西北民族学院学报(自然科学版), 2002, 23(12): 19—20.
- [7] 潘鹤林.  $\text{SiO}_2$  分散体及硅溶胶性能研究[J]. 涂料工业, 1997(1): 12—14.
- [8] 王自新, 赵冰. 硅溶胶制备与应用[J]. 化学推进剂与高分子材料, 2003, 1(1): 34—39.
- [9] Charles C Payne. Application of colloidal silica: past, present, and future[J]. The Colloid Chemistry of Silica and Silicates, 1994, 234: 581—594.
- [10] 陈红雨, 朱绍勇. 硅溶胶与气相二氧化硅配制胶体电解质的研究[J]. 试验研究, 2002(5): 5—8.