

文章编号: 1004-0609(2004)05-0877-06

胶体五氧化二锑胶粒大小与分布的影响因素及其稳定性^①

张 利, 陈文汨, 龚竹青, 汤家明

(中南大学 冶金科学与工程学院, 长沙 410083)

摘 要: 选择 3 种有机物作为稳定剂, 采用双氧水回流氧化法制备胶体五氧化二锑, 探讨了影响胶体粒子大小及分布的主要因素, 并从 Zeta 电位的观点研究了胶体的稳定性。结果表明: 稳定剂的种类及用量、反应温度、双氧水的用量及加入方式、反应物的固液比是影响胶体粒子大小及分布的主要因素。2 号稳定剂的吸附作用、静电斥力作用及空间位阻效应导致胶体能稳定存放 1 a 以上, 等电点从 $\text{pH} = 1.85$ 向更酸性区移动, Zeta 电位从 -30 mV 变为 -60 mV 。

关键词: 胶体五氧化二锑; 稳定剂; 粒子大小及分布; 等电点; Zeta 电位

中图分类号: TQ 135.3

文献标识码: A

Size and distribution and its stability of colloidal Sb_2O_5 particle prepared by refluxing oxidation with hydrogen peroxide as oxidant

ZHANG Li, CHEN Wen-mi, GONG Zhu-qing, TANG Jia-ming

(College of Metallurgical Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: The colloid antimony pentoxide was prepared by refluxing oxidation with hydrogen peroxide as oxidant and three organic agents as stabilizer. The effects on colloidal particles' diameters and distributions were discussed. The colloidal stability was studied in the view of Zeta potential. The results show that the size and distribution of colloidal particles are strongly influenced by the addition of stabilizers, reaction temperature, amount of hydrogen peroxide and its adding methods and ratio of reactive solid to liquid. The strong adsorption of stabilizer No. 2 on surface of Sb_2O_5 , the electric repulsive force and the steric stabilization energy make colloid Sb_2O_5 stable at least one year, the colloidal isoelectric point switches from $\text{pH} = 1.85$ to the more acidic field and Zeta potential from -30 mV to -60 mV .

Key words: colloid Sb_2O_5 ; stabilizer; particle diameter and distribution; isoelectric point; Zeta potential

锑系阻燃剂是目前世界上使用较多的阻燃剂或阻燃增效剂之一^[1-3]。胶体五氧化二锑是锑系阻燃增效剂中最好的一个品种, 它颗粒微细, 比表面积大, 活性高, 分散性好, 不影响高聚物的色泽和透明度; 在达到相同阻燃效果时的添加量少, 一般仅为三氧化二锑的 30%, 有利于降低成本和减小阻燃剂对高聚物性能的不良影响; 发烟量小, 毒害小; 经过干燥可制成粉末产品, 加水又可制成一定浓度的水溶胶, 使用方便, 主要用于塑料、涂料、织物、橡胶、纸张、覆铜箔板等制品中, 具有极好的阻燃

增效作用^[4, 5]。

目前, 国内外生产胶体五氧化二锑大多采用回流氧化法, 而该方法的技术关键是胶体稳定剂的选择及使用。国内外大多采用 NaOH 、 Na_2CO_3 等作为稳定剂^[6-8]。在本研究中, 我们选择了 3 种都含有 O 原子和 N 原子的有机稳定剂, 通过单因子条件实验, 研究了这 3 种有机稳定剂对胶体五氧化二锑粒大小及分布的影响, 并且从胶体的扩散双电层和 Zeta 电位的观点讨论了稳定剂对胶体稳定性的作用。

① 收稿日期: 2003-09-03; 修订日期: 2003-12-10 作者简介: 张 利(1976-), 女, 博士研究生。
通讯作者: 张 利, 电话: 0731-8876531; E-mail: zhangli_phd@tom.com

1 实验

1.1 胶体五氧化二锑的制备

根据化学反应 $\text{Sb}_2\text{O}_3 + 2\text{H}_2\text{O}_2 \longrightarrow \text{Sb}_2\text{O}_5 + 2\text{H}_2\text{O}$ 制备胶体五氧化二锑。将三氧化二锑粉末、水和有机稳定剂按一定的固液比或物质的量之比,加入带有搅拌器及回流冷凝管的 500 mL 四颈烧瓶中。烧瓶置于 KDM 型连续可调电子控温电热套中,以使反应在恒温条件下进行。在充分搅拌条件下,加入氧化剂双氧水,在回流温度下保持一定的时间。随着三氧化二锑被双氧水氧化成五氧化二锑,当五氧化二锑的浓度大于其在水中的溶解度时,五氧化二锑就会以固相的形式从水中析出,形成溶胶。

1.2 胶体的 Zeta 电位测定

取等量的五氧化二锑粉末,均匀分散到一定量的去离子水中形成稀溶胶,再用 0.1 mol/L NaOH 或 0.1 mol/L HCl 调节稀溶胶的 pH 值,测定不同 pH 值下的 Zeta 电位。

1.3 测试仪器

胶体五氧化二锑的粒径分布、平均粒径及 Zeta 电位用美国 COULTER 公司的 DELSA 440SX 型粒度分析仪测定。

2 结果与讨论

2.1 不同稳定剂的特性及作用方式

选择了 3 种分子中都含有 N、O 原子的有机物作为制胶过程中的稳定剂,观察分散系是否稳定,结合有机物的分子结构分析它们对胶体稳定性的影响。实验结果如表 1 所列。

从表 1 可以看出:这 3 种有机物对于制取胶态五氧化二锑都有稳定效果,但是 2 号的稳定效果最好,用量小,黏度低,流动性好;1 号、3 号的共同缺点就是用量较大,胶体黏度大,最后转变成凝胶。

所选择的这 3 种有机物中都含有 N、O 原子,都容易被五氧化二锑表面吸附,同时,分子中的 N—H、—O—、COOH 或—OH 基团具有一定的亲水性,因此这 3 种有机物都可以对胶体起到一定的稳定作用。

但是,1 号稳定剂是一种环状分子,环上 O 原子的电负性使环上 N 原子上的电子云密度降低,碱性减弱,吸附能力减弱^[10],同时只有一个亲水基团,亲水性较弱,因此它的稳定效果较差,较大的添加量使胶体黏度增大。3 号稳定剂是一种含有一NH和一COOH 的物质,虽然亲水性较好,但是由于分子内或分子间的脱水作用,很容易形成网状结构的凝胶。而 2 号稳定剂分子末端接有 3 个亲水性很强的—OH 基团,同时含 N 的基团和氧化锑的亲合力也较强,所以制胶效果最好。

2.2 影响胶体粒子大小及分布的因素

2.2.1 稳定剂用量的影响

要获得胶体分散系,必须控制粒子的平均粒径具有一定的细度。研究了 2 号稳定剂对胶体粒度大小及分布的影响,结果如图 1 所示。

表 1 不同稳定剂的制胶效果

Table 1 Effect of different stabilizers on preparation of colloidal Sb_2O_5

Stabilizer	Ratio of amount of stabilizer to antimony	State of prepared colloidal Sb_2O_5
No. 1	0.25	Yellow green emulsion, sedimentation after 1.5 h
	0.50	White emulsion, sedimentation after 4 h, higher viscosity
	0.60	Blue transparent sol, no sedimentation in half a year, but becoming gel at last
	0.75	Yellow green emulsion, sedimentation after 64 h
	1.0	Rufous transparent sol, but sedimentation after 2 d with higher viscosity
No. 2	0.125	White yellow emulsion, sedimentation after 4 h, and complete sedimentation after 16 d
	0.25	Blue transparent sol, no sedimentation after 3 months, but transparency becoming worse
	0.375	Blue transparent sol, no sedimentation after one year, lower viscosity and better fluidity
No. 3	0.2	White yellow emulsion, sedimentation after 2 h, higher viscosity
	0.5	Blue transparent sol, higher viscosity, becoming gel after 2 d

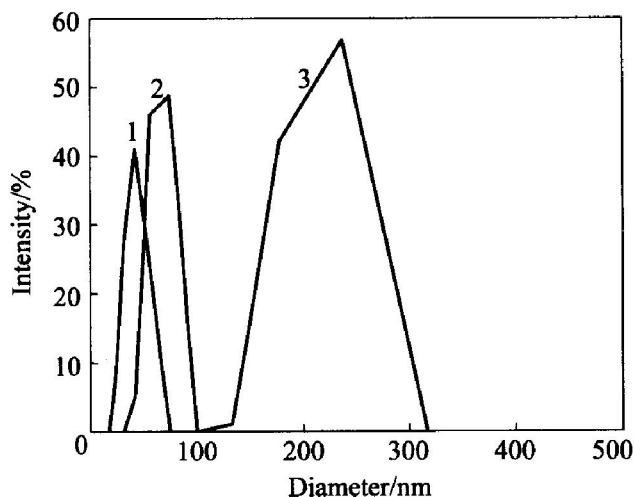


图 1 2 号稳定剂对胶粒大小及
粒度分布的影响

Fig. 1 Effect of stabilizer No. 2 on size and
distribution of colloidal Sb_2O_5 particles

(95 °C, 60 min, S/L= 200 g/L, $n(\text{H}_2\text{O}_2)/n(\text{Sb}_2\text{O}_3)=3$)

1— $n(\text{Stabilizer})/n(\text{Sb})=0.375$;

2— $n(\text{Stabilizer})/n(\text{Sb})=0.25$;

3— $n(\text{Stabilizer})/n(\text{Sb})=0.125$

从图 1 可以看出, 随着 2 号稳定剂用量的增加, 胶体粒子逐渐变小, 分布逐渐变窄。当 2 号稳定剂的添加量与锑的物质的量之比 ($n(\text{Stabilizer})/n(\text{Sb})$) 分别为 0.125, 0.25, 0.375 时, 所制得的胶体粒子平均粒度分别为 (211 ± 33) nm, (65 ± 12) nm, (41 ± 11) nm。当体系中存在稳定剂时, 一旦生成的 Sb_2O_5 分子凝聚成 Sb_2O_5 胶核, 稳定剂便会吸附在胶核的表面, 在一定程度上限制了胶核的生长, 由此可以得到粒径较小、分布较窄的胶粒。

2.2.2 反应温度的影响

根据胶体科学理论^[11], 胶体粒子的大小主要取决于其成核速率和长大速率。研究了反应温度对形成 Sb_2O_5 胶粒大小及分布的影响, 结果如图 2 和 3 所示。

对比图 2 和图 3 可以看出, 2 号稳定剂的加入改变了反应温度对胶体粒子大小及分布的影响规律。

当没有 2 号稳定剂存在时, 反应温度对胶体粒子大小及分布的影响十分显著, 随着反应温度的降低, Sb_2O_5 胶粒变小且分布变窄。在 95 °C 下反应制得的分散系粒子平均粒径有两个分布, 即 (189 ± 77) nm 占 85%、 (731 ± 68) nm 占 15%; 当反应温度降至 80 °C 和 60 °C 时, 分散系粒子的平均粒径分别是 (221 ± 29) nm 和 (190 ± 39) nm。因为降低反应温度, 使反应生成的 Sb_2O_5 分子动能减小, 分子之

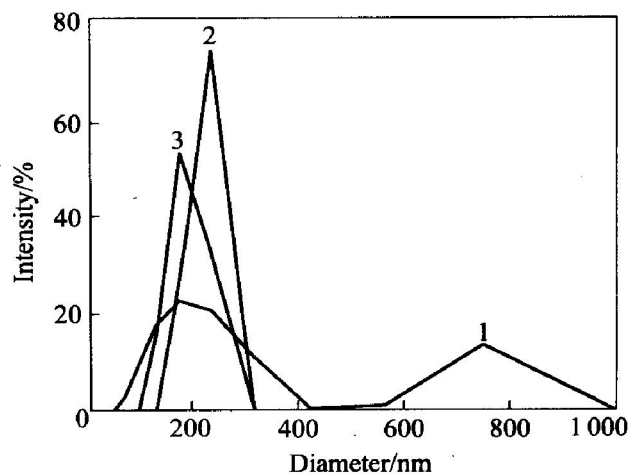


图 2 反应温度对未加稳定剂的
胶体粒度及分布的影响

Fig. 2 Effect of reaction temperature on
size and distribution of colloidal
particles without any stabilizer

(S/L= 200 g/L, $n(\text{H}_2\text{O}_2)/n(\text{Sb}_2\text{O}_3)=3$)

1—95 °C; 2—80 °C; 3—60 °C

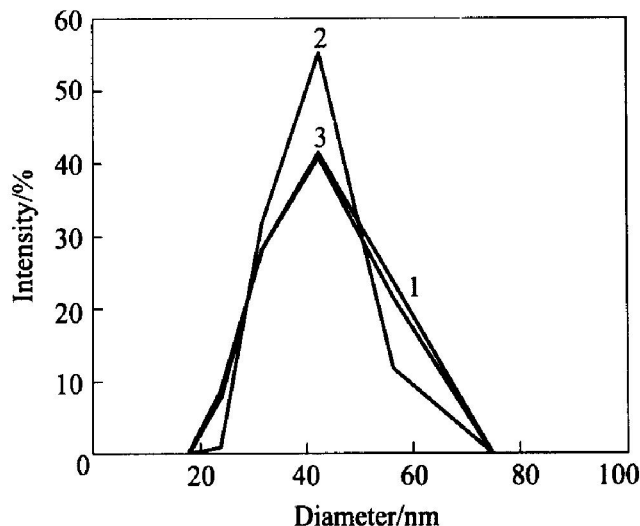


图 3 反应温度对添加有 2 号稳定剂的
胶体粒度及分布的影响

Fig. 3 Effect of reaction temperature on
size and distribution of colloidal
particles with stabilizer No. 2

(S/L= 200 g/L, $n(\text{H}_2\text{O}_2)/n(\text{Sb}_2\text{O}_3)=3$,

$n(\text{stabilizer})/n(\text{Sb})=0.375$)

1—95 °C; 2—80 °C; 3—60 °C

间的吸引力相对增加, 致使 Sb_2O_5 分子较易聚集成核, 即成核速率增大。同时, 温度降低会使液体粘度增大, 不利于新生 Sb_2O_5 分子迁移和扩散到已有的胶核表面, 降低了 Sb_2O_5 胶粒长大速率。所以温度的降低, 使胶体的成核速率提高, 胶核的长大速率降低, 从而使 Sb_2O_5 胶粒粒径变小、分布变窄。

但是, 2号稳定剂在胶核表面的吸附作用消除了反应温度对胶粒大小及分布的影响, 在95、80、60℃下制备的胶体平均粒径分别是 (41 ± 11) 、 (40 ± 8.4) 、 (41 ± 11) nm。因此, 当有2号稳定剂存在时, 制胶过程可以在95~60℃之间任意温度下进行。

2.2.3 氧化剂用量及加入方式的影响

双氧水作为反应物之一, 它的用量及加入方式对胶体粒度分布的影响如图4和5所示。

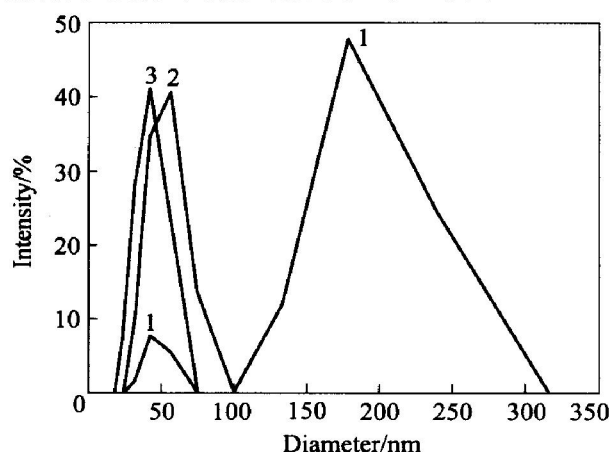


图4 双氧水加入量对胶体粒度及分布的影响

Fig. 4 Effect of amount of H_2O_2 on size and distribution of colloidal particles
($S/L = 200 \text{ g/L}$, $n(\text{Stabilizer})/n(\text{Sb}) = 0.375$,
95℃, 60 min)

1— $n(\text{H}_2\text{O}_2)/n(\text{Sb}_2\text{O}_3) = 2$; 2— $n(\text{H}_2\text{O}_2)/n(\text{Sb}_2\text{O}_3) = 2.5$;
3— $n(\text{H}_2\text{O}_2)/n(\text{Sb}_2\text{O}_3) = 3$

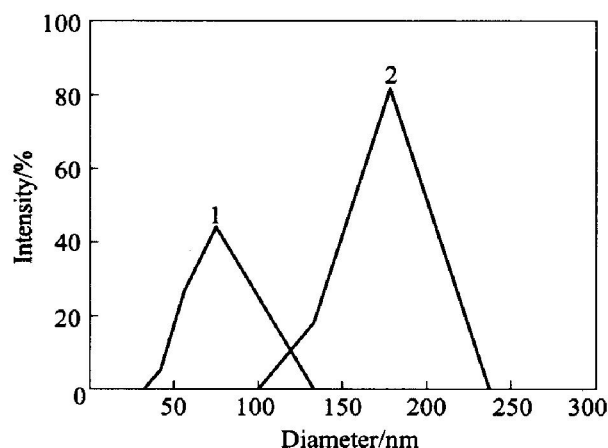


图5 双氧水加入方式对胶体粒度及分布的影响

Fig. 5 Effect of adding method of H_2O_2 on size and distribution of colloidal particles

($S/L = 200 \text{ g/L}$, $n(\text{H}_2\text{O}_2)/n(\text{Sb}_2\text{O}_3) = 2.5$,
 $n(\text{Stabilizer})/n(\text{Sb}) = 0.31$, 80℃, 60 min)
1—Slow addition of H_2O_2 ; 2—Quick addition of H_2O_2

从图4可以看出, 在95℃、 $n(\text{No. 2})/n(\text{Sb}) = 0.375$ 条件下, 当双氧水按照理论比例($n(\text{H}_2\text{O}_2)/n(\text{Sb}_2\text{O}_3) = 2$)缓慢加入时, 所得的胶粒粒度分布不均, (46 ± 9.2) nm占15%, (189 ± 38) nm占85%; 当双氧水用量高于理论比例时, 即 $n(\text{H}_2\text{O}_2)/n(\text{Sb}_2\text{O}_3) = 2.5$ 、 $n(\text{H}_2\text{O}_2)/n(\text{Sb}_2\text{O}_3) = 3$ 时, 所得胶粒粒径变小、分布变窄, 分别是 (51 ± 14) nm、 (41 ± 11) nm。

从图5可以看出, 双氧水的加入方式对胶体粒度大小及分布也有影响。在80℃、 $n(\text{Stabilizer})/n(\text{Sb}) = 0.31$ 条件下, 缓慢滴加双氧水制得的胶体平均粒径为 (74 ± 19) nm, 若是一次性快速加入双氧水, 制得的胶体平均粒径较大, 为 (170 ± 19) nm。根据LaMer模型^[12], 当一次性加入双氧水时, 反应瞬间产生的 Sb_2O_5 分子浓度远大于其过饱和度, 但其生成速度大于粒子生长所消耗的速度, 导致体系第二次达到过饱和状态而发生二次成核, 因此粒子尺寸出现2个峰值。由于小粒子容易溶解, 不断消失, 大粒子不断长大, 于是最终导致胶粒粒径较大、分布较宽。另一方面, 该反应是放热反应, 加入双氧水的速度过快, 会使反应体系的温度过高, 同时使体系出现局部反应物浓度过浓, 影响生成的晶核的质量, 也会导致颗粒团聚程度增加、胶粒粒径变大^[13]。

2.2.4 固液比的影响

适当的固液比实质上是从另一方面调整反应物的浓度, 从而也会影响胶粒大小及分布。实验结果如图6所示。

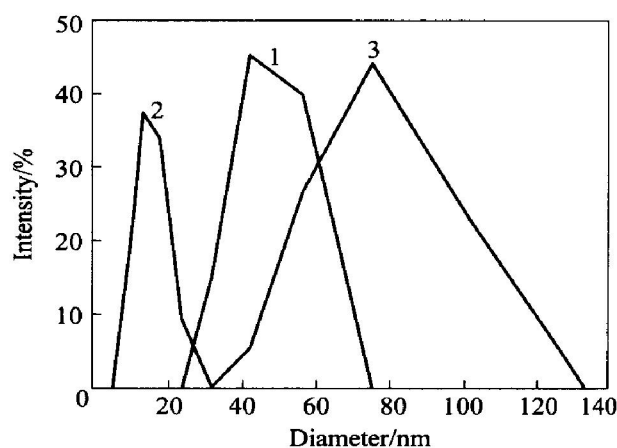


图6 固液比对胶体粒度及分布的影响

Fig. 6 Effect of ratio of reactive solid to liquid on size and distribution of colloidal particles
($n(\text{H}_2\text{O}_2)/n(\text{Sb}_2\text{O}_3) = 2.5$,

$n(\text{Stabilizer})/n(\text{Sb}) = 0.31$, 80℃, 60 min)
1— $S/L = 50 \text{ g/L}$; 2— $S/L = 100 \text{ g/L}$; 3— $S/L = 200 \text{ g/L}$

从图 6 可以看到, 适当的固液比可以显著地减小胶粒大小。当固液比分别为 50, 100, 200 g/L 时, 所得的胶粒平均粒度分别为 (46 ± 9.7) , (15 ± 4.3) , (74 ± 19) nm。固液比 S/L = 100 g/L 是制备均匀分散胶体五氧化二锑的最佳比例。

3 胶粒的电性质及稳定性

从扩散双电层观点来说明溶胶的稳定性已经普遍为人们所采用^[14-16]。实验测定了胶体五氧化二锑的 Zeta 电位(ξ) 随体系 pH 值的变化关系, 根据 Zeta 电位研究了胶粒表面带电情况及其稳定性, 结果如图 7 所示。

根据图 7, 可以得到: 未添加稳定剂时, Sb_2O_5 胶粒的等电点为 $\text{pH} = 1.85$; 当 $\text{pH} < 1.85$ 时, $\xi > 0$, 胶粒带正电; 当 $\text{pH} > 1.85$ 时, $\xi < 0$, 胶粒则带负电。在 $\text{pH} < 2.8$ 的范围内, $|\xi| < 30$ mV。较低的 Zeta 电位反映出在没有添加稳定剂条件下制得的五氧化二锑胶粒处于不稳定状态。加入少量 2 号稳定剂后, Sb_2O_5 胶粒在很宽的 pH 范围内带负电, $|\xi|$ 均远高于 40 mV, 并且加入适量的酸或碱, 均可以使胶粒的 $|\xi|$ 升高至 60 mV, 更加稳定。

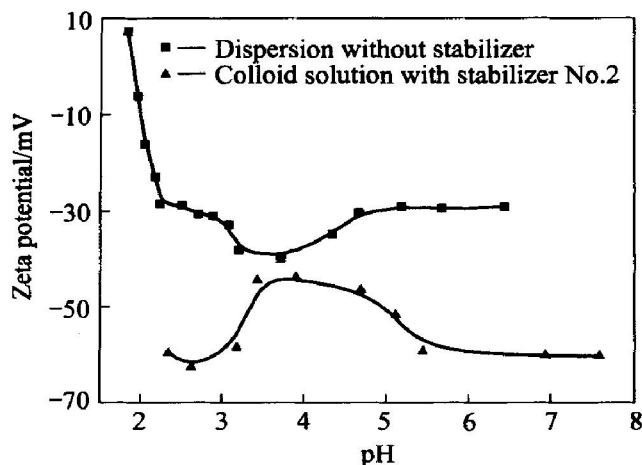


图 7 2 号稳定剂对胶粒 Zeta 电位的影响

Fig. 7 Effect of stabilizer No. 2 on Zeta potential of colloidal particles

Sb_2O_3 在 H_2O_2 的作用下, 被氧化成 Sb_2O_5 分子, 随着反应的进行, 当 Sb_2O_5 分子在水中的浓度大于其溶解度时, 即从水相中析出, 聚结在一起形成固体 Sb_2O_5 粒子, 此即为 Sb_2O_5 溶胶粒子的胶核。由于它具有很大的比表面积和表面能, 因而有很强的吸附能力, 可以从溶液中吸附由水部分电离产生的 OH^- 离子。在胶核表面定向排列的 OH^- 离子一方面阻止胶核继续长大, 另一方面使胶粒带负

电。带有同号电荷的胶粒之间的静电斥力可以防止粒子之间由于范德华引力而聚结, 但是水的电离毕竟是极少量的, 因此不添加稳定剂时, 胶粒之间的静电斥力小于范德华引力, Zeta 电位较低, 导致 Sb_2O_5 胶粒聚沉。

加入 2 号稳定剂后, 一方面它的含 N 基团和 Sb_2O_5 表面有较强的亲核性, 吸附在表面, 亲水基团加强了胶体的水溶性, 链状分子形成的空间位阻效应阻碍了胶粒之间的团聚; 另一方面 2 号稳定剂亲水端的部分电离产生负离子, 增加了表面的负电荷, 提高了 Zeta 电位。所以, 2 号稳定剂的吸附作用、空间位阻效应和静电斥力都促使 Sb_2O_5 胶粒更加稳定。

4 结论

1) 选择的 3 种含 N、O 原子的有机物均可以作为制备胶体五氧化二锑的稳定剂, 但是 2 号稳定剂的稳定效果最佳, 当 $n(\text{Stabilizer})/n(\text{Sb}) > 0.25$ 时, 所得的胶体粒度较小, 分布较窄, 粘度较低, 可以稳定存放 1 a 以上。

2) 添加 2 号稳定剂降低了反应温度对胶体粒子大小及分布的影响, 可以在 95~60 °C 之间任意温度下反应; 不添加稳定剂时, 随着反应温度降低, 胶体粒子粒径减小、分布变窄。

3) 双氧水的用量必须大于化学反应的理论用量, 即 $n(\text{H}_2\text{O}_2)/n(\text{Sb}_2\text{O}_3) > 2$, 而且必须缓慢滴加双氧水。

4) 制备均匀分散的胶体五氧化二锑的最佳固液比为 100 g/L。

5) 2 号稳定剂的加入改变了胶体质点的带电情况。当不添加稳定剂时, 胶粒的等电点 $\text{pH} = 1.85$ 。当 $\text{pH} < 1.85$ 时, 胶粒带正电; 当 $\text{pH} > 1.85$ 时, 胶粒带负电; 在 $\text{pH} < 2.8$ 的范围内, $|\xi| < 30$ mV, 胶粒不稳定。加入少量 2 号稳定剂后, 它在 Sb_2O_5 胶核表面的吸附作用、空间位阻效应和静电斥力导致胶粒的等电点向更酸性范围移动, 使 Sb_2O_5 胶粒在很宽的 pH 范围内带负电, $|\xi|$ 均远高于 40 mV, 甚至达到 60 mV, 胶体可稳定存放 1 a 以上。

REFERENCES

- [1] 申云飞. 阻燃剂胶体五氧化二锑[J]. 精细化工, 1995, 12(1): 29-32.
SHEN Yur-fei. Flame retardant colloidal substance anti-

- mony pentoxide[J]. Fine Chemicals, 1995, 12(1): 29 - 32.
- [2] 姚宝书, 石俊瑞, 薛恩钰, 等. 某些锑化合物的制备及阻燃性[J]. 化学世界, 1984(11): 410 - 414.
YAO Bao-shu, SHI Jun-rui, XUE En-yu, et al. Preparation of some antimony compounds and their flame retardant properties[J]. Chemical World, 1984(11): 410 - 414.
- [3] 段学臣, 赵天从. 超细五氧化二锑-三氧化二锑复合粉末的研制[J]. 中国有色金属学报, 1994, 4(1): 91 - 95.
DUAN Xue-chen, ZHAO Tian-cong. Preparation of ultrafine powders of Sb_2O_3 - Sb_2O_5 [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 1994, 4(1): 91 - 95.
- [4] 单桃云, 彭阶岑. 胶体五氧化锑的制备[J]. 锡矿山科技, 1994(1): 21 - 23.
SHAN Tao-yun, PENG Jie-cen. Preparation of colloidal antimony pentoxide [J]. Science and Technology of Xikuangshan, 1994(1): 21 - 23.
- [5] Crompton C E. Colloidal Sols of Antimony Pentoxide in Aqueous Medium and Their Preparation [P]. US5008036, 1991.
- [6] 谈定生, 朱永达, 诸永泉, 等. 氧化法制备胶体 Sb_2O_5 过程中胶粒的大小及分布[J]. 上海大学学报(自然科学版), 1984, 4(6): 698 - 702.
TAN Ding-sheng, ZHU Yong-da, ZHU Yong-quan, et al. Size and distribution of colloidal particle in the process of preparation colloid antimony pentoxide with oxidation method[J]. Journal of Shanghai University(Natural Science), 1984, 4(6): 698 - 702.
- [7] Godbehere D W. Rapidly Dispersible Compositions of Antimony Pentoxide[P]. EP0282747, 2000.
- [8] Kintz D P. Colloidal Antimony Pentoxide Powders and Method of Making[P]. US5182048, 1993.
- [9] 周祖康. 胶体化学基础[M]. 北京: 北京工业大学出版社, 1987. 1 - 14.
ZHOU Zu-kang. The Base of Colloid Chemistry[M]. Beijing: Beijing Polytechnic University Press, 1987, 1 - 14.
- [10] 徐寿昌. 有机化学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1995. 375 - 381.
XU Shou-chang. Organic Chemistry [M]. Beijing: Higher Education Press, 1995. 375 - 381.
- [11] 沈 钟. 胶体与表面化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001. 40 - 45, 54 - 62.
SHEN Zhong. Colloid and Surface Chemistry[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2001. 40 - 45, 54 - 62.
- [12] 陈咏梅, 郭广生. 均相溶液中纳米粒子尺寸、形貌及晶型均一性的控制[J]. 化工新型材料, 2002, 28(1): 16 - 18.
CHEN Yong-mei, GUO Guang-sheng. Control on the morphology and the crystal type of the prepared nanosized particles in homogeneous solution[J]. New Chemical Material, 2002, 28(1): 16 - 18.
- [13] 周武艺, 唐绍裘, 魏 坤. 影响钛盐水解制备二氧化钛纳米晶粒大小的因素[J]. 应用化工, 2002, 31(4): 1 - 4.
ZHOU Wu-yi, TANG Shou-qiu, WEI Kun. Influence factor of preparation tio nanoscale particle by hydrolyzing titanuniumsalt [J]. Applied Chemical Industry, 2002, 31(4): 1 - 4.
- [14] 刘梅堂, 韦园红. 高分子 PVP 吸附对胶体 Zeta 电位的影响[J]. 中国粉体技术, 2001, 7(2): 1 - 4.
LIU Mei-tang, WEI Yuan-hong. Effect of polymer adsorption on potential and adsorption layer thickness of silica gels[J]. China Powder Science and Technology, 2001, 7(2): 1 - 4.
- [15] 韦园红, 虞大红, 叶汝强, 等. 聚乙烯醇在 Al_2O_3 、 SiO_2 颗粒上的吸附及对 Zeta 电位的影响[J]. 华东理工大学学报, 2001, 27(1): 99 - 102.
WEI Yuan-hong, YU Da-hong, YE Ru-qiang, et al. Adsorption of polyvinyl alcohol on Al_2O_3 , SiO_2 and its effect on the Zeta potential of particles[J]. Journal of East China University of Science and Technology, 2001, 27(1): 99 - 102.
- [16] 刘素文, 何 文. 超细 ZrO_2 -CaO 水系料浆的分散性与稳定性研究[J]. 中国陶瓷工业, 2001, 8(1): 5 - 8.
LIU Su-wen, HE Wen. Dispersion and stability studies on water system slip of ultrafine ZrO_2 -CaO[J]. China Ceramic Industry, 2001, 8(1): 5 - 8.

(编辑 袁赛前)