

陶瓷及铁氧体微粉制造技术

上册



国营北京第七九八厂情报室

前面的话

精细陶瓷是用高纯度的微细粉料制备的。它既具有传统陶瓷的耐高温、耐腐蚀等特性，同时又具有介电、光电、压电等诸方面的优异性能。因此，它不仅可作为结构材料使用，而作为功能材料，在电子学、声学、光学、力学、磁学等方面也有着广阔的发展前景。

近年来，围绕精细陶瓷的研究开发，一些发达国家给予了高度的重视，研究费用和人员在逐年增加，其原因大致在于，首先，精细陶瓷与节能密切相关，而且大有潜力可挖；二是它与高、精、尖技术密切相关，是发展高科技不可缺少的重要材料，三是精细陶瓷的原材料资源丰富。

精细陶瓷现在正向高性能、高稳定性、高可靠性发展，为适应这种发展，一方面要在成型、烧结工艺上狠下功夫，另一方面在原材料粉体的制备中要向高纯度、高细度、高均匀性和高活性刻意进取。在某种意义上说，优质原材料是优质陶瓷制品的基础。

精细陶瓷在我国的研究开发方兴未艾，为加快其进程，我们编辑了“陶瓷及铁氧体微粉制造技术”专集。编译自“ニューセラミック粉体ハンドブック”新陶瓷粉体手册。

因人力和篇幅所限，仅选编了微粉生产技术，各种陶瓷(包括铁氧体)用的部分原材料的微粉生产方法以及超细粉碎等内容。

由于时间仓促，不足和错误在所难免，敬请读者予以指正。

参加编校互作的有：吕景楼 田春旗 高秀卿 杨 莉 苏世菊 李 菲 杨宇乾 江树儒 周 虹 陈 建 李德恒 阎克钧。

主编：李 远

付主编：吴志华 吕景楼 田春旗

责任编辑：阎克钧

《陶瓷及铁氧体微粉制造技术》编译组

一九九一年十月

微粉制造技术 (上册)

一、气相法	1
1. 气相法及其特征	1
2. 原理	1
3. 蒸发—凝聚法	4
4. 气相反应法	5
5. 结束语	11
二、液相法	12
引言	
1. 沉淀法	12
2. 共沉法	13
3. 化合物沉淀法	15
4. 加水分解法	16
5. 无机盐加水分解法	16
6. 醇盐分解法	16
7. 喷雾干燥法	18
8. 溶液燃烧法	21
9. 界面反应法(微胶囊化法)	21
10. 冷冻干燥法	22
11. 乳浊液干燥法	23
12. 结束语	
三、固相法	24
引言	
1. 固相法的分类	25
2. 热分解法	26
3. 热分解草酸盐	28
4. 由固相反应制备粉末	33
四、超细粉碎技术	35
1. 微粉碎概论	35
1.1 微粉碎机的种类	35
1.2 粉碎机理与效果	38

2. 用气流粉碎机制造陶瓷微粉	38
2.1 气流粉碎机概要	38
2.2 影响粉末生成粒度的参数	44
2.3 原料特性对粉碎的影响	45
2.4 气流粉碎机的维修	46
2.5 气流粉碎机的运行成本	47
3. 超细粉碎与分级	48
3.1 干式分级机与闭路粉碎	48
3.2 闭路粉碎方式	49
结束语	

氧化物微粉的制造

三氧化二铝

一. 氧化铝的制造方法	52
1.1 用拜耳法制造	52
1.2 高纯度氧化铝的制造	53
二. 氢氧化铝的加热变化	54
三. 氧化铝的性质及特点	55
四. α -氧化铝的一次粒径与烧结特性	56
五. 氧化铝的粉末特性	56
5.1 粉碎性	56
5.2 成型密度	57
5.3 微粉氧化铝浆料的流动特性	57

二氧化硅

一. 氧化硅微粉的制造	61
1.1 湿法	61
1.2 干法	62
二. 性质与特征	63
2.1 外观	63
2.2 氧化硅的颗粒结构及其表面特性	63
2.3 氧化硅微粉的物理化学特性	64
三. 氧化硅微粉的性能和用途	64
3.1 橡胶填充剂氧化硅微粉	64

3.2 悬浮分散在液体中的氧化硅微粉	65
3.3 在固体物质中或表面方面的应用	66
3.4 在粉状产品上的应用	66
3.5 其它	67
四、微粉氧化硅对人体的影响	67
氧化钛	
一、标准及物理特性	69
1.1 氧化钛标准	69
1.2 物理特性	69
二、氧化钛的制造方法	70
2.1 流酸法	70
2.2 氯化法	72
三、氧化钛产品的品质与性能	72
3.1 氧化钛产品的品质	72
3.2 基本性能	73
二氧化锆	
一、前言	78
二、氧化锆粉体的种类	78
三、一般的制造方法	79
3.1 氧化锆的原料	79
3.2 干法	79
3.3 湿法	80
四、氧化锆微粉的合成方法	80
4.1 湿式合成法	80
4.2 凝胶的加热变化	82
五、氧化锆微粉的特性	83
5.1 粉末特性	83
5.2 微粉的烧结性	83
六、氧化锆微粉的用途	83
氧化锌	
一、氧化锌的性质	86
二、氧化锌的制造方法	87
2.1 前言	87
2.2 间接法(法国法)	87

2.3 直接法(美国法)	88
2.4 湿式法(德国法)	88
三、氧化锌的质量	88
四、用途	89
4.1 各种用途的需要量	89
4.2 橡胶用的硫化促进剂	89
4.3 用于电子照相	89
4.4 媒介	90
4.5 铁氧体	91
4.6 压敏电阻器	92
4.7 其它用途	92

三氧化二铁

前言	93
一、氧化铁的制造方法	93
1.1 干式法	94
1.2 湿式法	96
1.3 其它制造方法	102
二、氧化铁的性质和用途	103

氧化铋

(下册)

一、前言	111
二、制造方法	111
2.1 一般的制造方法	111
2.2 微粒子法	113
三、特性与用途	113
3.1 一般性质	113
3.2 三氧化二铋的晶相转移	114
3.3 电性能及其用途	114

氧化铜、氧化镍、氧化钴

一、前言	116
二、制造方法	116
2.1 一般的制造方	116
2.2 微粉化法	118
三、特性和用途	119
3.1 一般性质	119

3.2 电性能及用途	120
3.3 用作无机颜料	121
3.4 其它用途	122

碳酸钡、碳酸锶的制造

一、碳酸钡

1.1 前言	123
1.2 用途	123
1.3 制造方法	123
1.4 性质	125
1.5 陶瓷用碳酸钡	125

二、碳酸锶

2.1 前言	127
2.2 种类与用途	128
2.3 制造方法	129
2.4 性质	132
2.5 陶瓷用碳酸锶	132

氧化锰、碳酸锰

前言

一、电解二氧化锰的工业制造方法	134
1.1 原料	134
1.2 溶解矿石和精制工序	134
1.3 电解工序	136
1.4 成品(E-MnO ₂)工序	137
二、电解二氧化锰的特性和用途	137
三、其它的锰氧化物	138
四、碳酸锰	138

非氧化物微粉的制造

氮化硅

一、特性和种类	142
1.1 特性	142
1.2 烧结原料的特性	143
二、制造方法	148

2.1 硅的直接氮化	148
2.2 卤化硅氮化法	151
2.3 二氧化硅还原法	152
2.4 其它方法	153
三. 用途	155

碳化硅

一. 碳化硅微粉的种类和性质	155
1.1 碳化硅的性质	155
1.2 碳化硅的种类	160
1.3 碳化硅微粉的特性	160
二. 碳化硅微粉的工业制造方法	163
2.1 用阿加逊(Achenson)法制造 α 型碳化硅微粉	164
2.2 用氧化硅—碳还原反应法制造 β 型碳化硅微粉	165
2.3 用硅—酸直接反应法制造 β 型碳化硅微粉	166
三. 碳化硅微粉的用途	166

碳化硼、氮化硼

一. 碳化硼	167
1.1 性质	167
1.2 碳化硼的制造方法	167
1.3 用途	171
二. 氮化硼	172
2.1 氮化硼的特性	172
2.2 制造方法	179
2.3 氮化硼的用途	183

各类微粉的电子显微照片

1. Al_2O_3	9. NiO
2. SiO_2	10. Bi_2O_3
3. TiO_2	11. $BaCO_3$
4. ZrO_2	12. $MnCO_3, MnO_2$
5. ZnO	13. Si_3N_4
6. Fe_2O_3	14. SiC
7. CuO	15. BC
8. CoO	16. BN

氧化铋

一. 前言

铋的氧化物有多种形态, 如三氧化二铋(Bi_2O_3)、 Bi_2O_5 、 BiO 、 Bi_2O_4 等等。在此谈谈制得稳定的纯氧化物 Bi_2O_3 的方法。

近几年来, 随着研究应用领域的不断拓展, 作为重要添加剂, Bi_2O_3 已被广泛用于制造多种机能的电子陶瓷元件中。现代产品要求电子陶瓷元件更趋于小型、轻量和高性能, 而目前的产品远远达不到这个要求, 因而尽管以 Bi_2O_3 为添加剂的陶瓷元件的品种增多, 但用量却未增加。在产品外型向“轻薄短小”发展的今天, 为提高陶瓷元件的产量和可靠性, 必须加快元件制造技术的研究步伐。这就对以陶瓷为原料的生产厂家提出了更加严格的要求, 其具体内容是高纯度化和稳定化, 也就是急待提高粉体的一致性和颗粒的微细化。

二. 制造方法

2.1 一般的制造方法

Bi_2O_3 的制造方法主要有干式法和湿式法两种。干式法适应于一般低熔点金属氧化物的制取, 金属Bi的熔点较低(277.44°C), 因此也可以用干式法来制取 Bi_2O_3 。市销的 Bi_2O_3 多是用湿式法制取的针状品, 采用干式法制取的较少。

用干式法和湿式法制取的 Bi_2O_3 在性质上是有差异的。即使都用同样的湿式法来制取 Bi_2O_3 , 由于厂家不同, 其产品也有细微的差异。

(1) 干式法

将金属铋熔化, 在氧气中使石墨电极与金属铋液面产生电弧, 再经加热氧化($750\sim 900^\circ\text{C}$)后制得。用这种干式法制得的 Bi_2O_3 的特点是呈颗粒状。

(2) 湿式法

湿式法的基础原料是铋盐, 将金属铋在硝酸中溶解后得到硝酸铋。湿式法又分为两种, 所制得的铋的粉体特性也有所不同, 分散性和固体反应也不同, 在实际使用中应充分注意这一点。

① 次硝酸铋或氢氧化铋的烧结法制取

次硝酸铋以前经常作为一种药品来使用(肠胃药等)。其组分因生成条件的不同而异, 有 $\text{Bi}(\text{OH})_2\text{NO}_3$ 、 $\text{Bi}(\text{OH})(\text{NO}_3)_2$ 、 $\text{BiO}(\text{OH})$ 等混合物。

把原始材料次硝酸铋加水分解, 用氢氧化钠中和硝酸铋, 生成氢氧化铋($\text{Bi}(\text{OH})_3$ 或 $\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), 剩下碱性盐。再对 $\text{BiO}(\text{OH})$ 作脱水处理, 生成含次硝酸铋的氢氧化铋。

对这些白色沉淀物进行充分的水洗、脱水、干燥、粉碎处理后, 再进行烧结, 烧结温度以 $600\sim 700^\circ\text{C}$ 为宜。随 NO_x 的生成, 需要做排气处理, 这对氢氧化铋的烧结是有利的(见图1)。

用这种方法制取的 Bi_2O_3 呈粗针状。由于加水分解及中和条件的不同，其颗粒大小各异。颗粒大时，有必要进行粉碎加工。另外，烧结条件发生变化，必然导致密度的变化，因此，生产厂家对粉体的一致性要进行认真管理。

②硝酸铋的中和反应中的老化·脱水法。

在硝酸铋和碱的中和反应中，可以得到氢氧化铋。用纯碱再进行中和，然后经加热、老化，生成 Bi_2O_3 。把在中和过程中生成的次硝酸铋和氢氧化铋的白色沉淀物放到母液中加热、老化，进行脱水，用浓碱(高pH值)转移，生成黄色的 Bi_2O_3 (在老化中脱水，从氢氧化物转移成它的氧化物的过程，可以参见铜、铝、铁的例子)。对此方法得到的黄色沉淀物，进行充分的水洗后，再经过脱水、干燥处理，即可制成产品(参见图1)。

用此方法制得的 Bi_2O_3 的粉体特性仍与中和反应的条件有很大关系

(反应温度低且pH值低时，其粉体细而多；温度高且pH值高时，则颗粒大而为重质)，颗粒的形状为针状。由于各厂家的中和条件不同，所制得的 Bi_2O_3 颗粒的宽和长各异，且粉体的致密度也不同。这是各厂家的中和条件有差异的缘故。为了维持其特性，各生产厂家加强了工艺管理，但保持粉体一致性并非易事，需要下大气力。

另外，随着陶瓷元件日趋小型化，消除杂质成为必不可少的工艺流程之一。在生产现场要有良好的防尘设施，以求万无一失。

在湿式法中，排水内含有 NO_3 和 NH_3 ，需要做排水处理：这是因为氮化合物和磷化合物会给湖泽和海湾造成污染，并且COD的法规也非常严格的缘故。

③其他的方法

用硝酸铋或次碳酸铋($(\text{BiO})_2\text{CO}_3 \cdot 1.2\text{H}_2\text{O}$)进行热分解也可制得氧化铋，但这种方

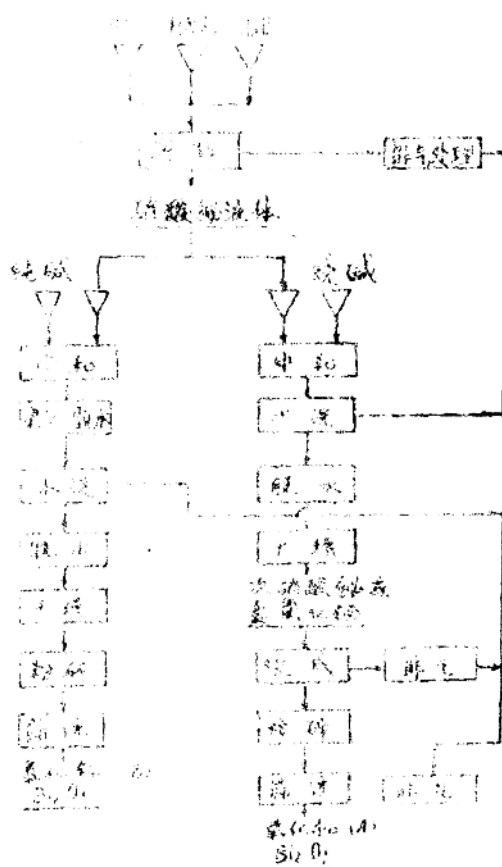


图1 用湿式法制取 Bi_2O_3 的制造工艺流程

法不适用于工业生产。

2.2 微粒法

在各种陶瓷粉体原料中, Bi_2O_3 的颗粒是较粗的, 因此, 各生产厂家都在不断地向微粒化方向努力, 可是平均粒径在 $1\mu\text{m}$ 下的超微颗粒的工业生产, 目前还实现不了。

(1) 用微粉碎机粉碎的方法

在一般的生产方法中也有粉碎工艺, 但不使用微粉碎机。因为用粉碎机生产, 作业性差, 不适用于大批量生产。

用粉碎机粉碎的 Bi_2O_3 粉末, 其平均粒径在 1μ 左右, 且为轻质物。

(2) 化学方法

在湿式法中, 控制沉淀的生成条件可以制取微细粉末。用用这种方法难以制成平均粒径 1μ 以下的超微颗粒。这是因为粉质过于细小, 不便清洗, 操作性差, 另外也难剔除杂质。而从次碳酸铋的生成来看, 要想提高其纯度也是有困难的。

用化学法制得的 Bi_2O_3 微细粉末同一般的针状 Bi_2O_3 相比, 其颗粒很小, 便于集中, 具有极好的混合性, 因而适用于制造电子陶瓷元件(图2, 照片2)。

目前, 平均粒径对 1μ 以下微细颗粒的要求日趋增强, 这对生产厂家来说也是一个重大课题。

三. 特性与用途

3.1 一般特性

Bi_2O_3 的物理特性如表1所示, 市销品的主要特性如表2所示, 图2是粒度与分布。

表1 Bi_2O_3 的物理特性

分子量	465.9
金属理论含量%	89.70
外观	黄色
熔点 $^{\circ}\text{C}$	825
沸点 $^{\circ}\text{C}$	1900
溶解性	不溶于水 可溶于酸

图2 市销 Bi_2O_3 的粒度分布

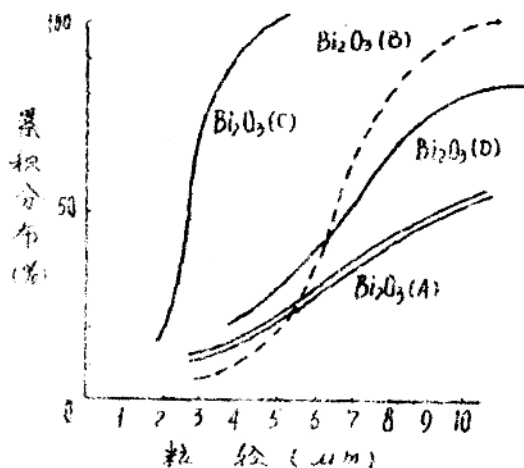


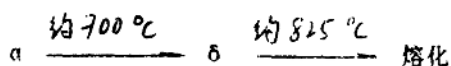
表2 市销Bi₂O₃的主要特性

种类	制造方法	化学分析值(%)			粉 体 特 性		晶 相	其 他
		Bi ₂ O ₃	Fe	Na	平均粒径μ	粒子形状		
A	湿式法1	99.5	0.01以下	0.01以下	9	粒状	α	(121)面的
B	湿式法2	99.5	0.01以下	0.01以下	6~8	针状	α	异常生长根
C	湿式法	99.0	0.01以下	0.015以下	2~4	细针状	α	据X线的反
D	干式法	99.8	0.01以下	0.01以下	7	粒状	α	射来确认

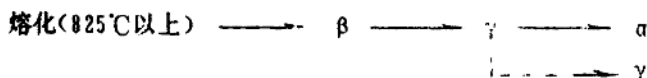
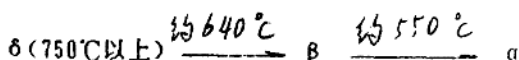
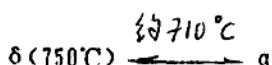
3.2 Bi₂O₃的晶相转移

Bi₂O₃的相变类型中,有低温稳定型的α(单斜晶相),高温稳定型的δ(立方晶相),高温冷却过程中呈现出准稳定相的β(正方晶相),γ(体心立方晶相)。δ、β、γ三相,由于添加了种种添加物,因而较稳定。这些晶相的相位转移归纳如下:

(1)加热过程中的相转移



(2)冷却过程中的相转移



3.3 电性能及其用途

Bi₂O₃的电性能因各晶相的变化而异。

(α在650℃以下的空气中为P型导体,在650℃以上则为N型电子导体,δ则显示离子导电性。β是N型电子导电占优势的离子-电子混合导体,γ相固溶体呈现光电性,具有光电效应,这些已有论文述及)。

Bi₂O₃的熔点为825℃,因熔点低,在电子陶瓷的烧结中(1000℃以上)成液相,在烧结体的粒界层中形成玻璃相,其作用是生成高阻抗的粒界层,可显示出主成分所没有的电

性能。电子陶瓷中粒界的利用越来越多，把Bi₂O₃作为添加剂使用的例子有如下效果：

- 铁氧体：使钡铁氧体的电性能稳定化。
- 陶瓷电容器：提高了钛酸钡等钙钛矿型复合氧化物的特性。
- 半导体陶瓷：改变了ZnO系陶瓷变阻器的变阻特性，提高了电压非线性指数和非线性阻抗。

此外，将Bi₂O₃的最新研究和应用情况简介如下：

- 在放射线检查闪烁器中：采用BG0(Bi₄Ge₃O₁₂)。
- 氧离子导体：用SrO、CaO或La₂O₃等稀土元素的氧化物作为添加剂，使 δ -Bi₂O₃稳定，应用到氧传感器和燃料电池中。
- 材料：已有论文指出，以6Bi₂O₃·MO₂(M₁为4价金属)组成的稳定的 γ 相固溶体，已显示出光导电性和光电效应。
- 强介电体：Bi₂WO₆和Bi₄Ti₃O₁₂等铋的层状化合物是作为不含铅的强介电体材料研究的，这些材料可望能应用到开关元件、光元件和记忆元件中去。

3.4 其它用途

在玻璃和陶瓷制造的有关领域中经常使用。

四. 结束语

在此以前，Bi₂O₃主要被作为添加剂来使用，安心当“配角”。但最近，作为“主角”活跃起来了。以Bi₂O₃微粒化为主的制造技术的进步，必将对有关Bi₂O₃主体材料的研究产生极大的影响。

氧化铜、氧化镍、氧化钴

一. 前言

铜、镍、钴的氧化物很早以前就与陶瓷业有关，并作为陶瓷器颜料和玻璃的着色剂使用。近年来，这些金属氧化物也在电子陶瓷领域开始使用，但其用量不如在陶瓷工业中使用的那么多。

氧化铜中有氧化亚铜(Cu_2O)和氧化铜(CuO)。氧化钴中有一氧化钴(CoO)、四氧化三钴(Co_3O_4)和三氧化二钴(Co_2O_3)。氧化镍通常为 NiO 。本文对铜和镍的氧化物中只介绍 CuO 和 NiO ，对于氧化钴，因一般市售商品为 CoO 和 Co_3O_4 的混合氧化物或者是 Co_3O_4 ，故对它们都进行介绍。

二. 制造方法

2.1 一般方法

(1) CuO

通过热分解铜的硝酸盐、氢氧化物、碳酸盐等或者通过煅烧金属铜使其氧化得到 CuO 。另外，也有用所谓的“湿法”制取 CuO 。

作为工业上的制造方法，当首推金属铜的煅烧氧化法。煅烧温度为 700°C 左右，煅烧中进行充分搅拌和混合，以此解决未氧化成氧化铜的残留金属铜存在问题。将所得的 CuO 进行粉碎、分级，从而制得不同粒度的产品。如果选择廉价的原材料就可以制得便宜的氧化铜粉。

下面所列举的是电解法。该方法以食盐水溶液做电解液，以金属铜板(电解铜)做两个电极来进行电解，首先得到 Cu_2O (Cu_2O 大量地使用于船底涂料)。然后经水洗、干燥进行煅烧。煅烧温度可以选择几种不同的温度，但一般不超过 700°C ，煅烧中仍然需要搅拌和混合。煅烧后粉碎制成 CuO 粉末(图1)。

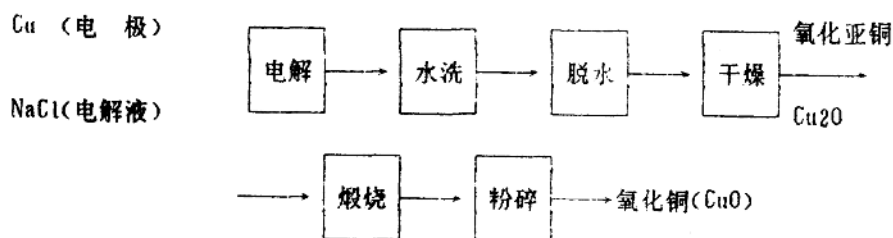


图1 用电解法制造 CuO 的工艺流程图

CuO 的生成条件即电解条件(电解质浓度、电流密度、电解液的温度等等)决定了电解法生产的 CuO 粉体的特性。另外，若 Cu_2O 的一次颗粒太细，在煅烧时导致颗粒间的聚

接，这是二次颗粒粒径变大的主要原因。不言而喻，CuO的固相反应性与粒径大小有关，而且随煅烧温度的不同，差异也很大。这种方法中所用的原材料(电解铜)较贵且电解时又要消耗很多电能，这对降低成本不利。但是，由于质量稳定，作为电子材料使用还是值得的，令人放心的。

湿式法是用碱中和铜盐的方法。一般都用碳酸钠进行中和，再经加热老化制得CuO。中和时一旦生成氢氧化铜($\text{Cu}(\text{OH})_2$)和碱式盐，则通过在母液中加热老化、脱水转变成CuO。该方法不必煅烧，通过选择合适的原材料(铜盐)可获得高活性且廉价的CuO。但该方法容易生成微细沉淀物，故水洗困难，容易形成含有多量Na和阴离子的低品位CuO。

除此之外，对于做催化剂等特殊用途的CuO，往往采用铜盐或碳酸铜(碱式盐)的热分解法来制取，有时也直接使用碳酸铜(碱式盐)。

(2) NiO

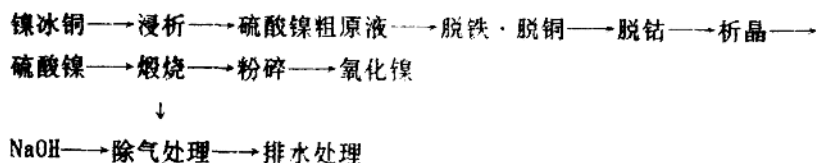


图2 制造NiO的工艺流程图

通过镍的硝酸盐、硫酸盐、氢氧化物和碳酸盐等的热分解或煅烧金属镍粉使其氧化或者焙烧镍冰铜(Ni 75~80%，S 18~22%)等等方法可以制得NiO。

用于制造铁氧体等电子陶瓷的NiO其工业生产大多采用硫酸镍的热分解法来制取。从制造电解镍的工序中可以得到硫酸镍。首先，混合粉碎镍冰铜和若干硫黄，然后在提取槽中经高温高压将其溶解而制得的硫酸镍溶液，除去铁和铜等杂质再进行脱钴后，用蒸发结晶装置制成硫酸镍。此后用回转窑热分解(煅烧)所制得的硫酸镍晶体，将其粉碎后制成NiO(图2)。这种方法中因煅烧时产生大量的SO_x，故用氢氧化钠溶液洗净、脱硫，由此提高了成本，因而成为今后研究的课题。

作为工业制造方法还有金属镍粉的煅烧氧化法和碱式碳酸镍的热分解法。另外，用焙烧流动的镍冰铜所制得的粒状NiO还可用于制造不锈钢等钢材。

再有碱式碳酸镍本身也有许多用途——有时可以直接使用。

因上述的工业制造法是在空气中进行，当热分解温度特别低时，热分解产物中含有比NiO更多的氧。NiO的外观随含氧量而异，高温煅烧所得的纯NiO是浅绿色，含过剩氧的NiO为灰色或黑色。

(3) 氧化钴

钴的硝酸盐、碳酸盐、硫酸盐和氢氧化物等经热分解或金属钴粉经煅烧氧化等方法

可制得氧化钴。因工业制法是在空气中进行，故得到的是 Co_3O_4 或 CoO 和 Co_3O_4 的混合氧化物。这是因为即使制得纯 CoO ，但“ CoO 在常温下也吸收氧而转变 Co_3O_4 ”之故。

通过热分解(煅烧)碳酸钴或氢氧化钴可制得陶瓷颜料(彩釉)用的和电子陶瓷用的氧化钴。所使用的钴的碳酸盐或氢氧化物是通过制造电解钴时得到的氯化钴，经碳酸盐化处理及中和作用制得的。其方法是，首先，“把硫化镍和硫化钴混合物原料做成料浆后，一边吹入压缩空气，一边在浸析槽中浸析(高温高压下)，从而制得硫酸镍和硫酸钴的混合溶液。然后除去锰、铁、铅、铜和锌之类的金属，溶剂提取法制成氯化物液体，再把氯化镍溶液和氯化钴溶液分离，把这样制得的氯化钴溶液与碳酸盐化作用剂(或碱)反应而制成碳酸钴(或氢氧化钴)，将其热分解后粉碎而制得氧化钴”图3。

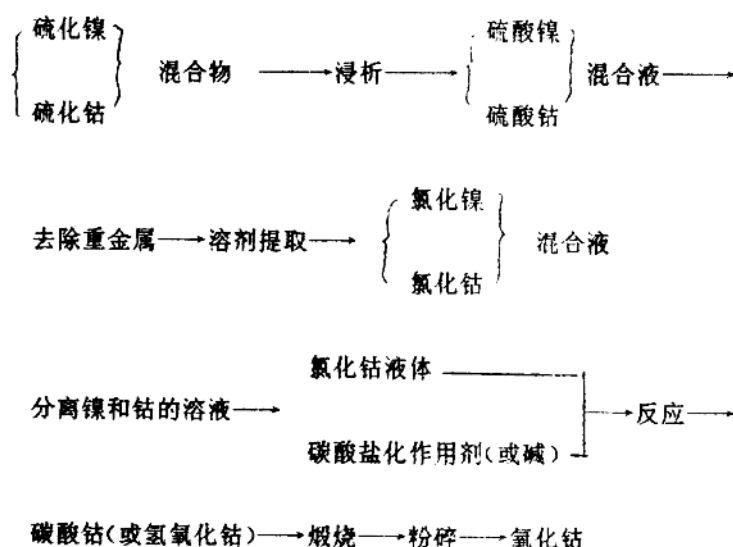


图3 制造氧化钴的工艺流程图

往往有这种情况，为了提到特定的颜色和电性能，直接使用碱式碳酸钴，而不使用氧化钴。这时使用者要周密考虑，使其在适当的温度下煅烧，以保性能一定。对于这种碱式碳酸钴的粉体特性的稳定性要严格要求，即要求粉体颜色、含钴量和纯度要稳定一致。因此和一般工业用的不同，一定要使用高纯度的钴盐，并对制备工艺严加控制。

2.2 微粉化的方法

CuO 和氧化钴的粒度以筛号目表示，颗粒间常出现二次团聚，因此粒度显得“粗”。 NiO 粉末的平均粒径可达 1μ 左右，对于这样的粉末氧化物就不一定要进行微粉化处理了。因为用户大多是把碳酸盐煅烧之后再使用，因此，今后对微粉化的要求将日渐强烈，这

肯定是粉料生产厂家今后一项重要的研究课题。

三、特性和用途

3.1 一般特性

铜、镍、钴氧化物的物性列于表1，市售的CuO、NiO和钴的主要特性列于表2~表4。

表1 铜、镍、钴氧化物的物性

	CuO	NiO	CoO	Co ₃ O ₄	Co ₂ O ₃
分子量	79.55	74.71	74.93	240.8	165.8
金属理论含量%	79.88	78.59	78.65	73.42	71.14
外观	黑/棕	绿、灰、黑	棕/灰	黑	灰
晶体结构	畸变的氯化钠型 单斜晶系	氯化钠型 立方晶系	氯化钠型 面心立方晶系	尖晶石型 立方晶系	六方晶系
晶格常数	4.653Å	4.168Å	4.26Å	8.08Å	a=4.64Å c/a=1.24
比重(常温)	~6.32	~6.96	~6.46	~6.05	~5.13
稳定性	常温下稳定。高于800℃时慢慢地转变为Cu ₂ O。	即使在高温下也很稳定	常压下在高温低氧分压下稳定。常温下可吸氧变成Co ₃ O ₄	常温稳定。900℃以上分解为CoO	非常不稳定，很难获得不含水的产品
熔点℃	1336	1950	1935	熔融前分解成CoO	
溶解性	不溶于水。可溶于酸。在氨、氯化铵和氰化钾溶液中形成络合物溶解。也可溶于氢氧化碱水溶液中	不溶于水可溶于酸可溶于氨水	不溶于水、氨水和乙醇中 常温下与强酸形成络盐，加热时与弱酸形成络盐	不溶于水、酸、乙醇和氨水。可溶于热浓硫酸	不溶于水 和乙醇中 可溶于酸中