



精细化工技术系列



无机精细化学品生产技术

WUJI JINGXI HUAXUEPIN SHENGCHAN JISHU

刘宏 刘雁 主编

丁志平 主审



化学工业出版社

精细化工技术系列

无机精细化学品生产技术

刘宏 刘雁 主 编
丁志平 主 审



化学工业出版社

· 北京 ·

本书在概述无机精细化学品的定义、范畴、分类和生产方法的基础上,详细介绍了碳族化合物,磷酸盐,钛化合物,钨、钼、硼化合物,锂化合物,氟化物等传统精细化学品,以及无机纳米材料、精细陶瓷、功能材料、新型复合材料等现代无机精细化学品的生产技术。

本书重点在于典型无机精细化学品生产原理、生产方法、生产工艺条件、工艺流程等内容的分析与讨论,突出实用性,基础知识以实用为主,够用为度。

本书可作为高等职业院校精细化工专业学生的教材,也可供从事精细化工或相关行业的生产技术人员、培训人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

无机精细化学品生产技术/刘宏,刘雁主编. —北京:
化学工业出版社, 2008. 6

精细化工技术系列

ISBN 978-7-122-02909-6

I. 无… II. ①刘…②刘… III. 无机化工: 精细
化工-化工产品-生产工艺-高等学校: 技术学院-教材
IV. TQ110.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 070048 号

责任编辑: 窦 臻 张双进

文字编辑: 咎景岩

责任校对: 李 林

装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 北京云浩印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 12 字数 301 千字

2008 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 23.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本教材是在全国化工高职教学指导委员会精细化工专业委员会的指导下,根据教育部高职高专教材建设的文件精神,以高职高专精细化工专业学生的培养目标为依据编写的。

为了有效地解决就业市场的不断变化与相对稳定的教育教学体系之间的矛盾,深化精细化工专业教育教学改革,使精细化工专业更加体现高职特色,培养的学生贴近市场,根据全国高职高专精细化工教学指导委员会教学改革工作会议一横多纵的指导思想(一横指《精细化工概论》,多纵指精细化工分支),系统介绍无机精细化工产品生产技术。全书本着以培养精细化工生产一线人员为主线,重在实践能力的培养,以典型的无机精细化工产品的生产为主导,注重对产品的生产工艺路线、工艺条件、性能与用途等技术基础进行介绍,强调应用,具有较强的实用性。

本教材既可作为高职高专精细化工专业的教材,也可作为其他专业的选修教材,还可作为化工行业工程技术人员、供销人员的参考书。

本教材由湖南化工职业技术学院刘宏、贵州化工职业技术学院刘雁主编,南京化工职业技术学院丁志平教授主审。本教材共分十二章,依次为绪论、无机精细化工产品生产方法、碳族化合物精细化学品、磷酸盐精细化学品、钛化合物精细化学品、钨、钼、硼化合物精细化学品、锂化合物精细化学品、氟化物精细化学品、无机纳米材料、精细陶瓷、功能材料、新型复合材料。其中第一、二、四、十章由刘雁编写,第三、五、六、九章由刘宏编写,第七、八、十一、十二章由河北化工医药职业技术学院许新芳编写。编写过程中得到了湖南化工职业技术学院李平辉、河北化工医药职业技术学院田铁牛教授、常州工程职业技术学院刘峥德教授及化学工业出版社编辑等对编者给予的大力支持与帮助,特在此表示感谢!

由于编者水平所限,编写时间仓促,不妥之处在所难免,望广大读者批评指正。

编者

2008年4月

目 录

第一章 绪论	1	一、白炭黑的性质与用途	36
第一节 无机精细化工的定义、范畴与分类	1	二、白炭黑的生产方法	37
一、精细化工产品的定义、范畴	1	三、沉淀法白炭黑的生产工艺	39
二、精细化工产品的分类	2	四、气相法白炭黑的制备	42
三、无机精细化学品的定义、分类及研究范畴	3	第二节 纳米超细碳酸钙的生产	43
第二节 无机精细化工在发展国民经济中的作用	6	一、概述	43
一、促进科学技术的发展	6	二、纳米碳酸钙的性能与分类	44
二、促进信息技术的发展	7	三、纳米碳酸钙的生产方法	44
三、促进国防建设和空间技术的发展	8	四、纳米碳酸钙的主要生产工艺控制	46
四、促进降低能源消耗和节省资源	8	五、纳米碳酸钙的应用及发展前景	51
第三节 我国无机精细化工产品的发展现状及发展策略	9	思考题	53
一、无机精细化工发展趋势	9	第四章 磷酸盐精细化学品	55
二、我国无机精细化工发展现状	9	第一节 磷酸钠盐	55
三、我国无机精细化工生产存在的问题	10	一、品种和性质	55
四、我国无机精细化工产品发展策略	11	二、生产原理	56
思考题	12	三、生产方法	57
第二章 无机精细化工产品生产方法	13	四、复合磷酸钠盐	61
第一节 传统无机精细化工产品生产方法	13	五、主要生产设备	63
一、原料	13	六、产品质量标准	64
二、传统无机精细化工产品的生产过程	14	第二节 磷酸钾盐	65
第二节 现代无机精细化工产品生产方法	19	一、品种和性质	65
一、超细化	20	二、用途	66
二、单晶化	22	三、生产原理和方法	66
三、非晶化	23	四、产品质量标准	72
四、表面改性化	24	思考题	73
五、薄膜化	26	第五章 钛化合物精细化学品	74
第三节 无机精细化工工艺基础及技术开发	27	第一节 钛酸钡	74
一、无机精细化工的生产特性	27	一、钛酸钡的性质和用途	74
二、无机精细化工工艺学基础	29	二、钛酸钡粉体的主要制备技术	74
三、无机精细化工过程开发的一般步骤	31	三、 TiCl_4 化学共沉淀法生产钛酸钡影响因素分析	76
四、无机精细化工的技术开发	32	四、钛酸钡的合成与工艺流程	81
思考题	35	第二节 钛白粉	81
第三章 碳族化合物精细化学品	36	一、钛白粉的性质与用途	81
第一节 白炭黑的生产	36	二、钛白粉的制备方法简介	83
		三、钛白粉的硫酸法工业生产	85
		四、硫酸法钛白粉生产工艺条件的讨论	86
		五、硫酸法钛白粉生产的工艺流程	89
		六、硫酸法钛白粉生产的三废治理	89

七、二氧化钛高功能化	91	三、其他的无机氟化物	119
思考题	94	思考题	120
第六章 钨、钼、硼化合物精细		第九章 无机纳米材料	121
化学品	95	第一节 纳米材料简介	121
第一节 仲钨酸铵	95	一、纳米材料的定义	121
一、仲钨酸铵的性质和用途	95	二、纳米材料的表征	121
二、仲钨酸铵的生产方法	95	三、纳米粒子的结构特性与性能	123
三、离子交换法生产仲钨酸铵的基本		第二节 纳米氧化物的制备与应用	127
原理	96	一、纳米氧化物的制备	127
四、离子交换法生产仲钨酸铵的工艺过程		二、纳米氧化物的应用	129
与操作控制	96	三、纳米氧化物举例——纳米二氧化	
五、仲钨酸铵结晶条件的分析	98	化钛	131
六、离子交换法生产仲钨酸铵的工艺		思考题	133
流程	100	第十章 精细陶瓷	134
第二节 钼酸铵	101	第一节 概述	134
一、钼酸铵的性质和用途	101	一、定义与分类	134
二、钼酸铵的生产方法	101	二、研究精细陶瓷的意义及方法	134
三、氨浸法钼酸铵的生产	102	第二节 精细陶瓷的制备工艺	135
第三节 硼酸锌	105	一、精细陶瓷的粉体制备	135
一、硼酸锌的性质和用途	105	二、精细陶瓷的成型方法	137
二、硼酸锌的生产方法	106	三、精细陶瓷的烧结方法	140
三、硼酸锌的生产工艺条件影响因素		四、精细陶瓷的加工技术	142
分析	107	第三节 功能陶瓷与结构陶瓷简介	143
四、硼酸锌的生产工艺流程	109	一、功能陶瓷	143
思考题	109	二、结构陶瓷	145
第七章 锂化合物精细化学品	111	思考题	147
第一节 碳酸锂	112	第十一章 功能材料	148
一、碳酸锂的性质和用途	112	第一节 无机膜材料	148
二、碳酸锂的生产原理	112	一、结构与特性	148
第二节 溴化锂	112	二、制备方法	150
一、溴化锂的性质和用途	112	三、主要应用	152
二、溴化锂的生产方法	113	第二节 储能新材料	153
三、溴化锂的生产工艺条件影响分析	113	一、金属氢化物储氢原理	154
四、溴化锂的生产工艺流程	114	二、储氢合金材料及其特性	155
思考题	114	三、金属氢化物的主要应用	156
第八章 氟化物精细化学品	115	第三节 形状记忆材料	158
第一节 六氟化硫	116	一、形状记忆效应	158
一、六氟化硫的性质和用途	116	二、形状记忆材料的种类和特性	159
二、六氟化硫的生产原理	116	三、形状记忆材料的应用	161
三、六氟化硫的生产工艺条件确定	117	第四节 生物材料	161
四、六氟化硫的生产工艺流程及主要		一、对生物材料性能的要求	161
设备	118	二、生物材料的种类和特性	162
第二节 三氟化氮	118	三、羟基磷灰石的制备和应用	164
一、三氟化氮的性质和用途	118	思考题	165
二、三氟化氮的制备方法	119	第十二章 新型复合材料	166

第一节 碳纤维增强复合材料	166
一、碳纤维增强塑料	167
二、碳/碳复合材料	167
三、碳纤维/铝复合材料	169
第二节 晶须增强复合材料	170
一、晶须增强塑料	170
二、晶须增强金属材料	171
第三节 电学和电子功能复合材料	171
一、导电复合材料	171
二、超导复合材料	172
三、压电复合材料	173

四、电接触复合材料	175
第四节 吸声和吸波功能材料	176
一、吸声材料	176
二、吸波材料	177
第五节 生物及仿生功能复合材料	179
一、生物复合材料	179
二、仿生复合材料	181
思考题	181
参考文献	183

第一章 绪 论

【学习目的与要求】

- 掌握无机精细化工的定义、研究范畴与分类。
- 掌握无机精细化学品的用途及在发展国民经济中的作用。
- 了解国内外无机精细化工产品发展情况：无机精细化工发展概况，国内外无机精细化工现状及发展趋势，发展策略。

精细化学工业（简称精细化工）是生产精细化工产品的工业，精细化工产品亦称精细化学品。近 20 年来，由于市场、资源和环境的导向，化学工业产品结构的变化和高新技术发展的要求，精细化工产品愈来愈受到重视，广泛应用于国民经济和现代工业的各个领域，极大地促进了社会文明的进步和人们生活水平的提高。

无机精细化工在整个精细化工大家族中，相对而言起步较晚、产品较少。然而，近几年来崛起的趋势越来越明显，不管是门类还是品种都在以较快的速度增长，并且对其他部门或化工本身的科技发展起着推波助澜或不可替代的作用。

第一节 无机精细化工的定义、范畴与分类

为了更好地学习无机精细化工生产技术方面的知识，必须先了解精细化工的概念。

一、精细化工产品的定义、范畴

化学工业中的产品可以分为通用化工产品和精细化工产品两大类。前者指生产过程中化工技术要求高、产量大、应用范围广泛的大宗化学品（heavy chemicals），例如石油化工中的合成树脂、合成橡胶及合成纤维三大合成材料，无机化工产品中的三酸两碱、合成氨等。后者则是与之相对的合成工艺步骤多、反应复杂、产量小、多品种、具有特定应用性能的精细化学品（fine chemicals），例如各种试剂和高纯物，精细无机盐，催化剂和各种助剂、涂料，医药和功能高分子等。

精细化学品与非精细化学品在某些情况下并无明显的界限。例如，一些磷酸盐在作食品添加剂或阻燃剂使用时，属于精细化学品，而它们在农业上又主要作为肥料，是大宗化学品。又如作医药用的水杨酸和作食品添加剂用的苯甲酸属于精细化学品，而它们用作化工原料时属于基本有机化工产品；再如试剂和高纯物属于精细化学品，而含有较多杂质的同种产品则往往属普通的化工原料。因此，精细化学品强调的是精细化和具有独特的应用性、功能性。为了区分精细化学品和大宗化学品，有必要给精细化学品一个明确的定义。为此，国内外许多学者对精细化工产品的定义提出了许多不同的看法。尽管已经展开了较长时间的讨论，然而迄今为止，仍无简明、确切而又得到公认的科学定义。

欧美国家将精细化工产品分为精细化学品和专用化学品（specialty chemicals），其主要依据是侧重以产品的功能性来区别的。也就是说，精细化学品是按其分子组成（即作为化合物）来销售的小量产品，强调的是产品的规格和纯度；专用化学品也是小量产品，是根据它们的功能来销售的，强调的是功能。

我国目前所称的精细化学品的含义,与日本的基本相同。概括起来讲,就是“精细化学品是深度加工的,具有功能性或最终使用性的,品种多、产量小、附加价值高的一大类化工产品”。所谓功能,是指该化学品通过物理作用、化学作用或生物作用,而产生某种功能或效果。所谓最终使用性,是指该化学品不需再加工即可提供用户使用。一般说来,可以称为精细化学品的应具备如下特点:

- ① 品种多,产量小,主要以其功能进行交易;
- ② 多数采用分批方式进行间歇生产;
- ③ 技术要求比较高,质量指标高;
- ④ 生产占地面积小,一般中小型企业都可以生产;
- ⑤ 整个产品产值中原材料费用比率比较低,商品性较强;
- ⑥ 直接用于工农业、军工、航天、人民生活和健康等方面,重视技术服务;
- ⑦ 投资小,见效快,利润大;
- ⑧ 技术密集性高,竞争激烈。

二、精细化工产品的分类

我国的精细化工分别隶属于化工、医药、轻工、石化、农业等部门,较长时间也无比较明确而统一的说法。1983年曾有权威人士提出分为38类,1985年又归纳为:医药、农药、染料、颜料、涂料、香料和香精、化妆品与盥洗卫生用品、合成洗涤剂、表面活性剂、印刷油墨、水处理剂与高分子絮凝剂、造纸用化学品、试剂、胶黏剂、感光材料、磁记录材料、催化剂、皮革用化学品、合成材料助剂、纺织印染助剂与整理剂、食品添加剂、动物用药、饲料添加剂、石油添加剂、石油炼制助剂、油田用化学品、合成润滑油与润滑油添加剂、混凝土外加剂、矿物浮选剂、铸造用化学品、金属表面处理剂、汽车用化学品、芳香除臭剂、工业用防菌防霉剂、精细陶瓷、电子用化学品、功能性高分子材料等。1986年,为了统一精细化工产品的口径,加快调整产品结构,发展精细化工,原化工部对精细化工产品的分类作出了暂行规定。具体分类如下:

- ① 农药;
- ② 染料;
- ③ 涂料(包括油漆和油墨);
- ④ 颜料;
- ⑤ 试剂和高纯物;
- ⑥ 信息用化学品(包括感光材料、磁性材料等能接受电磁波的化学品);
- ⑦ 食品和饲料添加剂;
- ⑧ 黏合剂;
- ⑨ 催化剂和各种助剂;
- ⑩ 化工系统生产的化学药品(原料药)和日用化学品;
- ⑪ 高分子聚合物中的功能高分子材料(包括功能膜、偏光材料等)。

其中催化剂和各种助剂包括以下内容。

- (1) 催化剂 炼油用、石油化工用、有机化工用、合成氨用、硫酸用、环保用催化剂,其他催化剂。
- (2) 印染助剂 柔软剂、匀染剂、分散剂、抗静电剂、纤维用阻燃剂等。
- (3) 塑料助剂 增塑剂、稳定剂、发泡剂、塑料用阻燃剂等。

- (4) 橡胶助剂 促进剂、防老剂、塑解剂、再生胶活化剂等。
- (5) 水处理剂 水质稳定剂、缓蚀剂、软水剂、杀菌灭藻剂、絮凝剂等。
- (6) 纤维抽丝用油剂 涤纶长丝用、涤纶短丝用、锦纶用、腈纶用、丙纶用、维纶用、玻璃丝用油剂等。
- (7) 有机抽提剂 吡咯烷酮系列、脂肪烃系列、乙腈系列、糠醛系列等。
- (8) 高分子聚合物添加剂 引发剂、阻聚剂、终止剂、调节剂、活化剂等。
- (9) 表面活性剂 除家用洗涤剂以外的阳性、阴性、中性和非离子型表面活性剂。
- (10) 皮革助剂 合成鞣剂、涂饰剂、加脂剂、光亮剂、软皮油等。
- (11) 农药用助剂 乳化剂、增效剂等。
- (12) 油田用化学品 油田用破乳剂、钻井防塌剂、泥浆用助剂、防蜡的降黏剂等。
- (13) 混凝土用添加剂 减水剂、防水剂、脱模剂、泡沫剂（加气混凝土用）、嵌缝石膏等。
- (14) 机械、冶金用助剂 防锈剂、清洗剂、电镀用助剂、各种焊接用助剂、渗炭剂、汽车等机动车用防冻剂等。
- (15) 油田添加剂 防水、增黏、耐高温等各类添加剂，汽油抗震、液力传动、液压传动、变压器油、刹车油添加剂等。
- (16) 炭黑（橡胶制品的补强剂） 高耐磨、半补强、色素炭黑、乙炔炭黑等。
- (17) 吸附剂 稀土分子筛系列、氧化铝系列、天然沸石系列、二氧化硅系列、活性白土系列等。
- (18) 电子工业专用化学品（不包括光刻胶、掺杂物、MOS 试剂等高纯物和高纯气体） 显像管用碳酸钾、氟化物、助焊剂、石墨乳等。
- (19) 纸张用添加剂 增白剂、补强剂、防水剂、填充剂等。
- (20) 其他助剂 玻璃防霉（发花）剂、乳胶凝固剂等。

这里需要提醒注意的是，上述分类主要是从原化工部的范围所作的规定，并未包含我国精细化工的全部内容，例如医药制剂、酶、化妆品、香料、精细陶瓷等。

三、无机精细化学品的定义、分类及研究范畴

无机精细化工是精细化工当中的无机部分，是指精细化工当中无机精细化学品的生产。

从组成和结构上看，无机精细化学品主要包括高纯化合物、非晶态化合物、精细陶瓷、合金类物质等。但从功能和应用上分类更有意义，主要可分为如下几类。

1. 高纯特种气体

如电子工业中常用的蚀刻反应气体： CF_4 、 C_3F_8 、 FB_5 、 BCl_3 、 SiCl_4 、 Cl_2 等。

2. 高纯化学试剂

如 H_2O_2 、 HF 等。

3. 无机黏合剂

如磷酸铝系列、磷酸锌系列等。

4. 食品添加剂

如磷酸、磷酸钠盐、磷酸钙盐等。

5. 饲料添加剂

如磷酸钙盐、磷酸脲、碘酸钾等。

6. 水处理剂

如六偏磷酸钠（SHMP）、 ClO_2 、 K_2FeO_4 等。

7. 工业催化剂

如合成氨催化剂、硫酸工业催化剂、石油炼制催化剂和合成甲醇催化剂等。

8. 阻燃剂

如聚磷酸铵 (APP)、 Sb_2O_3 、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Zn}(\text{BO}_2)_2$ 等。

9. 颜料

如磷酸锌、氧化铁红、氧化铁黄、亚磷酸铝、三聚磷酸二氢铝等。

10. 功能材料

(1) 光学功能材料

① 感光材料。依光敏物质的不同,可分为银盐感光材料(如卤化银)和非银盐感光材料(如 $\alpha\text{-Se}$ 、 SeTe 、 CdS) 等。

② 非线性光学材料。无机非线性光学晶体材料主要有:磷酸二氧钾(KDP)、磷酸二氢铵(ADP)、铌酸锂(LiNbO_3)、铌酸钡钠($\text{Ba}_2\text{NaNb}_5\text{O}_{15}$)、偏硼酸钡($\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$)、砷酸二氢铯(CsH_2AsO_4)、钽酸锂(LiTaO_3)、碘酸锂(LiIO_3)、砷化镓(GaAs)、石英(SiO_2)等。我国首先研制成功的磷酸氧钛钾(KTiOPO_4 ,简称KTP)晶体,是一种性能优良的非线性光学材料,也是目前最好的激光倍频材料。

③ 激光材料。继红宝石之后,又开发出加入稀土元素的钕玻璃、钨酸钙、钇铝石榴石、磷酸钕玻璃以及氟化物晶体等作为固体激光物质材料。

④ 光导纤维材料。光导纤维(简称光纤)是能以光信号的形式传递光束或图像,具有特殊光学性能的玻璃纤维。目前应用的光导纤维是高纯石英掺杂P、Ge等元素组成的纤维。氟化物玻璃光纤以 ZrF_4 、 HF_4 、 ThF_4 为基础,可分别作为芯料和皮料。与石英相比,氟化物光纤低色散的波长范围要宽得多,可用于超高带宽的光纤通讯。

⑤ 红外和紫外窗口材料。如蓝宝石以及 Y_2O_3 系透明陶瓷均可作红外光学介质材料。

⑥ 光记录材料。即光盘存储材料,主要有两类:非磁性材料如碲、碲合金、氧化碲;磁性材料如Mn-Bi合金、稀土类合金、石榴石系材料。

⑦ 光电功能材料。主要有半导体、磁性体和电介质材料。光电功能材料用于光学信息的探测、变换和运算等方面。

⑧ 声光材料。主要有 $\alpha\text{-HfO}_3$ 、 PbMoO_4 、 Pb_2MoO_5 、 TeO_2 、Ge、 $\alpha\text{-HgS}$ 、 $\text{Pb}_5(\text{GeO}_4)(\text{VO}_4)_2$ 等。声光材料主要用于制造调制器、偏转器、滤波器和相关器件。

(2) 磁功能材料

① 永磁材料。是一类重要的电子材料,广泛用于各种电子电工仪表、记录仪、通讯设备、电声、电视以及发电机和电动机中。目前应用最广的永磁材料主要是三大系列:铝镍钴系合金、稀土钴系永磁合金、铁氧体永磁材料。此外,近年来研制的铁钴铬合金和锰铝系合金,也是很有希望的永磁材料。

② 磁记录材料。简称磁头材料,目前研究和应用的磁头材料有3类:铁氧体单晶和多晶材料、金属磁头材料[如Fe-Ni-Nb(Ta)系合金和Fe-Si-Al系合金]、非晶态磁头材料[如Fe-B(Si、C)系、Fe-Ni(Mo)-B(Si)系、Fe-CoB(Si)系等]。

③ 磁泡材料。主要有(Y、Eu、Gd、Th) $a(\text{Fe、Al})_5\text{O}_{12}$ 系磁膜、(Y、Gd、Yb) $_3(\text{Fe、Al})_5\text{O}_{12}$ 系磁膜、(Sm、Tb) FeO_3 系磁膜,以及Gd-(Fe、Co)系非晶磁膜,用于制造计算机存储元件材料。

④ 微波吸收材料。能在宽阔的微波波段强烈地吸收电磁波的材料,它在航空航天和军事应用中亦称为隐形材料,主要是软磁铁氧体。

⑤ 磁致冷材料。如稀土合金系列。

(3) 超导材料 超导材料是近年来发展最快的功能材料之一。目前已发现具有超导性的材料有 2000 多种,按材料学科可划分为以下 4 大类。

① 金属及其合金类超导体。如 Nb-Zr、Nb₃Sn、Nb₃Ge、Nb₃Al 等。

② 陶瓷超导体。如 Y-Ba-Cu-O 系陶瓷超导材料。

③ 球壳碳 C₆₀ 超导体。

④ 有机聚合物超导体。

但是实际应用的仅限于前两类。

(4) 形状记忆材料 具有形状记忆效应的材料称为形状记忆材料。形状记忆材料主要有 3 类:形状记忆合金,如镍钛系合金、铜锌系合金等;形状记忆陶瓷如氧化铝陶瓷等;以及形状记忆聚合物。

(5) 储氢合金材料 氢作为 21 世纪的未来能源,举世瞩目。氢能源的储存和利用是一个具有重大意义的研究课题,而储氢合金是目前重点研究和最有希望的储氢材料。

(6) 分离材料 无机分离材料由于独特性能和重要应用,近年来发展很快,主要品种有:无机陶瓷膜如氧化铝、氧化锆、氧化硅等多孔陶瓷膜;分子筛如硅酸铝系分子筛、磷酸铝系分子筛;以及无机离子交换剂。

(7) 生物医学材料 生物医学材料是指具有替代、修复、增强等医疗作用的功能材料。无机生物材料主要有:羟基磷灰石 (HA)、磷酸钙、氧化铝陶瓷、以及生物玻璃陶瓷材料等。

(8) 压电材料 所谓压电材料是利用材料的正逆压电效应,实现机械力(声或超声)和电的相互转换,从而广泛应用在工业、军事、科技和家用的许多仪器和电器等设备中。目前已知的压电体超过 1000 余种,其中应用最多的压电体有钛酸钡、钛酸铅、铌酸锂、铌酸钾以及锆钛酸铅(简称 PZT)和改性 PZT 等。

(9) 梯度功能材料 由于高新技术的发展,对材料提出了更加苛刻的要求,往往单一材料难以满足,梯度功能材料(FGM)便应运而生。例如金属陶瓷构成的热应力缓和的梯度功能材料用于航天飞行器;由金属-特种陶瓷组成的梯度功能材料用于原子核反应堆。

(10) 智能材料 智能材料是指对环境可感知、可响应并具有功能发现能力的新材料,主要包括金属系智能材料、无机非金属系智能材料以及高分子系智能材料。智能材料在信息、电子科学技术、生命科学等领域具有重要的应用。

无机精细化工属于精细化工范畴,但又与精细化工有所区别。它包括为医药、兽药、农药、染料、颜料、涂料、感光材料、磁性记录材料、印刷油墨、香精香料、化学试剂、催化剂、气雾剂、胶黏剂、表面活性剂、洗涤剂、造纸化学品、汽车化学品、皮革化学品、油田化学品、电子化学品、信息化学品、饲料、食品、电镀、水处理剂、选矿剂、制冷剂、工业清洗剂等精细化学品配套的原料及添加剂,也包括各类助剂(如纺织助剂、印染助剂、塑料助剂、橡胶助剂、高分子聚合助剂、农药用助剂、油品添加剂等)、功能性树脂、生物化工产品以及各类中间体等。无机精细化学品很少作为产品直接供应给最终用户。

无机精细化工也属高科技范畴。它虽不直接为国民经济、人民生活服务,推进国民经济各领域、国防和科学研究进步,但它可以改变下游产品的性能,提高其品质,增加产品的附加值,降低其生产成本。品种多、产量大、用途广、涉及面宽是传统无机盐产品的特点。而对无机精细化工产品,则要求更加专业化、功能化、系列化、精细化。不仅如此,无机精细化工产品在传统产品中的应用,也正改变着它原有的形象。如超微细碳酸钙在塑料、橡胶行

业中应用,起着填充、补强双重作用,降低了制品的生产成本,还增强了制品的功能,提高了制品的品质,增加了制品的附加值。这些都表明,无机精细化工产品不再仅是“味精”,而成为各行业不可缺少的主要原材料。可以讲,发展高新技术离不开无机精细化工产品。

综上所述,无机精细化工是精细化工中的重要组成部分,它的注意力不在于合成更多的新的无机化合物,而是采用众多的、特殊的、精细的工艺技术,或对现有的无机物在极端的条件下进行再加工,从而改变物质的微结构,产生新的功能,满足高新技术的各种需求。

第二节 无机精细化工在发展国民经济中的作用

无机精细化工是国民经济的重要组成部分,目前不仅已找不到不使用无机精细化工产品的工业部门,而且由于各工业部门的技术水平不断提高,对无机精细化工的品种要求越来越多,质量要求也越来越高。根据有关部门的统计,我国无机精细化工(包括部分无机盐原料)在国民经济各行各业中所起的作用是相当可观的。例如,用于纺织印染工业的有100多种,它们广泛用于合成纤维原料制造的多种催化剂,印染工业用的多种漂白剂、染料的助溶剂,以及脱浆剂、媒染剂、助染剂、拔染剂、防染剂等;用于医药工业的也有100多种,它们可以直接用于制成片剂和针剂,有些用来作为消毒剂、杀菌剂、造影剂,还有大量用于西药配方成分等;用于日用品工业的更是大大超过100种,它们有的用于合成洗涤剂的主要成分,有的用于食品的添加剂、保鲜剂、杀菌剂,有的用于家庭使用的脱臭剂、清洗剂,有的用于自来水的消毒剂、沉淀剂,等等;用于造纸工业的有七八十种;用于电子工业的仅一台彩色电视机就需七八十种。不言而喻,可见无机精细化工在现代化建设各个部门中的重要作用。随着我国现代化建设的蓬勃发展和人民生活水平的日益提高,可以预料,一定还会需要越来越多的和各种各样的无机精细化工产品。

开发无机精细化工产品,可使原来的低档产品变为高档产品,不仅可以显著提高经济效益,而且可以提高产品在国际市场上的竞争能力,增加外汇收入。有了更多的外汇,则可以更多地引进先进的科学技术,实现国民经济更好地良性循环,加速现代化建设的速度。

无机精细化工在发展国民经济中除以上作用外,还具体表现在以下方面。

一、促进科学技术的发展

无机精细化工是当今世界新的技术革命潮流中,信息科学、生命科学和材料科学三大前沿科学发展的物质基础,也是当今新技术革命竞争的热点内容。

从现代科学技术发展的历史来看,一种新的化合物的合成,它的功能特性的发现和实际应用,往往可以导致一个新产业的兴起,可以创造数十亿乃至数百亿元的产值。表1-1中列出一些新的原型无机化合物和随后开发出的新技术材料。我们可以看出,一种新的原型化合物一旦被发明、发现和应用,就可以形成一种规模巨大的产业,人类的物质生活和精神生活就能前进一步。

无机精细化工产品一般具有不燃、耐候、轻质、高强、高硬、抗氧化、耐高温、耐腐蚀、耐摩擦以及一系列特殊的光、电、声、热等独特功能,从而成为微电子、激光、遥感、航空航天、新能源、新材料以及海洋工程和生物工程等高新技术得以迅猛发展的前提和物质保证。例如无机精细化工不仅提供了大量用于集成电路加工的超纯试剂和超纯电子气体,制

造了大直径、高纯度、高均匀度、无缺陷方向的单晶硅用作半导体材料，而且砷化镓、磷化铟、人造金刚石相继进入了实用阶段，使电子器件实现了微型化、集成化、大容量化、高速化，并有条件向着立体化、智能化和光集成化等更高的技术方向发展。用于激光技术的工作物质钨酸钙、铝酸钇、磷酸铍锂、多种氟化物等的晶体，大功率固体激光材料及其非线性光学晶体的研制成功，为激光通讯、激光制导、激光核聚变、激光武器等激光高技术提供了物质保证，以多晶硅特别是以非晶硅为材料的太阳能电池的技术进展和实用化，对世界性的能源紧缺是一个福音，将对空间技术、未来工业以及人民生活提供无公害和取之不尽、用之不竭的能源。又如精细陶瓷制成的发动机应用于汽车工业，体积小、重量轻，可使热效率增加 45%，燃料消耗减少 34%。在混凝土中添加 2% 左右的以亚硝酸钙为主要成分的混凝土添加剂，可以使桥梁等大型建筑的寿命延长 15~20 年，而且抗压强度也得到提高。研制出新型的固体电解质应用于电池、制碱、制钠以及磁流体发电等，将开辟节能的新途径。

表 1-1 导致新产业兴起的材料

新的原型化合物	随后开发出的新技术材料
InP(1910)	Ⅲ~Ⅴ族化合物, 半导体
CaO 或 Y_2O_3 稳定化的 ZrO_2 (1929)	固体电解质, 氧传感器
$Na\beta-Al_2O_3$ (1926)	固体电解质, 钠-硫燃料电池
$BaTiO_3$ (1925)	铁电、压电、陶瓷电容器
$LiNbO_3$ (1937)	非线性光学
$BaFe_{12}O_{19}$ (1938)	铁氧体、磁记录
$(Zn, Cd)S$ (1940)	阴极射线发光显示器件
$LaNi_5$ (1943)	强磁体, 储氢材料
非晶硅 (1944)	太阳能电池
$Ca_5(PO_4)_3X \cdot Sb^{3+}, Mn^{2+}$ (1949)	荧光照明
$Y_2O_2S; E^{2+}$ (1969)	彩色电视
ZSM-5 型铝硅酸盐分子筛 (1972)	石油催化裂化
$Nd_2Fe_{14}B$ (1984)	新永磁材料
多元氟化物玻璃 (1986)	洲际光纤通讯
$YBaCu_3O_{7-8}$ (1986)	高温超导

因此，新型的无机精细化学品不再局限于传统的无机盐产品，而在当今世界新的技术革命潮流中，将发挥极其重要的作用。

二、促进信息技术的发展

现在，人类已进入了以电子信息为中心的高技术时代。电子计算机是微电子技术和信息技术的成果，也是信息科学发展的集中表现。近些年来，电子计算机的开发工作不断取得新突破，现已研制成功具有部分人工智能的第五代计算机和每秒运算十亿次的巨型机，今后的方向是研制运算速度更快的巨型机和功能更高级的微型机。为此，必须更高层次地解决大规模和超大规模集成电路的制备问题，以及声光记录，转换、传输和存储等问题。无机精细化工不仅提供了质优的半导体材料、磁性材料、敏感等材料，而且提供了大量的用于集成电路加工的超纯化学试剂和超纯电子气体。由于在半导体材料中已制得了大直径、高纯度、高均匀度、无缺陷方向的单晶硅，以及砷化镓、磷化铟、人造金刚石相继进入实用阶段，使电子器件实现了微型化、集成化、大容量化、高速度化，并有条件向着立体化、智能化和光集成化等更高的技术方向发展。光纤通讯 20 世纪 70 年代还仅是科学家、工程师们开发研究的课题，可是现在光纤已在逐步取代铜质电线，某些发达国家如英国、美国、联邦德国等已不再生产铜轴电缆。这场信息技术方面的革命，被称为继电子计算机问世以来信息时代的第二次

浪潮。光学纤维的实用化, 不仅将引起邮电、通讯、广播、电视技术、微光夜视技术、工业探伤技术、医疗诊断技术等革命性飞跃, 而且还将对印刷、自动控制、自动监测等方面产生巨大影响。在这当中, 无机精细化工提供了用于光通讯的 $\text{SiO}_2\text{-GeO}_2$ 石英系通讯光纤, 使光损耗已接近其理论极限, 使光纤通讯在洲际之间方便地接通; 提供了用于激光技术的工作物质钨酸钙、铝酸钇、磷酸铍锂、多种氟化物等的晶体。大功率固体激光材料及其非线性光学晶体的研制成功, 为激光通讯、激光制导、激光核聚变、激光武器等激光高技术提供了物质保证。其他, 铌锡合金超导材料的研制成功, 使超导技术付诸实用; 当发现金属氧化物可用于超导材料后, 立即在全世界范围内掀起了超导热, 在几个月之内就将超导转变温度提高了 100 多开 (K), 从而为超导材料的应用和进一步发展树立了一个新的里程碑。

三、促进国防建设和空间技术的发展

无机精细化工对国防建设和空间技术的发展起着特别重要的作用。许多无机新材料已广泛应用于飞机、火箭、导弹、卫星、核武器等的制造方面, 以及用于侦察、通讯、制导、隐身、防御系统等部门。其水平的高低直接关系到国家安全和国家在世界上的地位。空间技术的发展对航天器的喷嘴、燃烧室内衬、前锥体、尾锥部、喷气发动机叶片等方面用的材料提出了愈来愈高的要求: 要能经受高温作用而又不氧化, 具有良好的耐蚀性、耐磨性和热震性的材料。尤其是作为“空间实验室”用的航天器, 要实现返回地面时不致被烧毁, 所用材料必须是耐高温、重量轻、强度高的一种特殊的烧蚀材料。现代战争, 就是高科技的较量, 一般是夜间进行突然袭击, 如果没有高性能的激光夜视仪, 战士夜间作战就看不清目标; 没有高性能的激光测距和制导系统, 火箭、大炮就变成“瞎子”, 无所适从; 没有高灵敏的卫星遥感遥测系统, 就无法掌握敌人的兵力部署和调动情况, 知己知彼、百发百中就只能是空想。有矛必有盾, 现代军事设施的隐身法, 已从一般的吸波涂层隐身法, 逐步过渡到反红外侦察涂层隐身法。只要在坦克、装甲车、大炮等军事装备和军事设施上涂上这种涂料, 即使敌人用红外热像仪来侦察, 也发现不了目标。可以这样说, 发展是无止境的, 随着现代军事科学技术和空间技术的发展, 无机新材料将越来越显示出极其重要的主角作用。

四、促进降低能源消耗和节省资源

开发无机精细化工产品, 可以降低能源消耗和节省资源。按人口平均分配计算, 我国是世界上既缺能源, 又少资源的国家。因此, 降低能耗和节省原料对我国的现代化建设具有特别重要的意义。例如: 日本试制精细陶瓷发动机应用于汽车工业, 不仅发动机的体积小、重量轻, 且可以去掉风冷和水冷散热系统, 汽缸内的燃气温度可以从 900°C 提高到 1200°C , 从而使热效率增加 45%, 燃料消耗减少 34%。1990 年我国也有试制的报道, 用此发动机试制的汽车成功地从上海安全行驶到北京。用于宇宙飞船的无机纤维增强复合材料, 若能使宇宙飞船的重量减轻 1kg, 则可以使推送它的火箭的重量减轻 500kg, 这是一种多么大的效益啊! 据报道, 日本日产化学工业公司发明了一种以亚硝酸钙为主要成分的混凝土添加剂, 只要添加 2% (质量分数) 左右, 就可以使桥梁等大型建筑的寿命延长 15~20 年, 而且抗压强度也得到提高。固体电解质材料的发现和应用用于电池、制碱、制钠以及磁流体发电等方面, 将开辟节能的新途径。

过去, 无机化工曾以提供重要的基础原料和辅助材料为特点发挥了巨大作用; 现今, 大批无机精细化学品的开发和应用, 正在使无机化学工业充满新的生机。所有这些将会对我国现代化建设起到更巨大的作用。

第三节 我国无机精细化工产品的发展现状及发展策略

一、无机精细化工发展趋势

首先是无机精细化学品的比重逐步增大,为了适应世界经济的发展,发达国家积极采取措施,调整产品结构,大力发展无机精细化工行业。其主要原因:一是精细产品节省资源,附加值高,技术密集;二是消费水平的提高,为无机精细化工产品提供了广阔的市场。

其次是新技术、新材料不断涌现,应用范围也越来越广。21 世纪,人类面临资源与能源、环境与健康、食品与营养等重大问题,精细化工也将围绕这些主题发展。现代生物工程、新材料、信息化产业将为无机精细化工的发展提供有力的支持。生产高质量、多品种、专用或多功能的无机精细化学品,研究开发增加功能、节能降耗、减少污染及相应配套的应用技术,将是无机精细化工产品发展的基础。计算机技术和组合化学技术进行分子设计、膜分离技术、超临界萃取技术、超细粉体技术、分子蒸馏技术等,都进一步得到应用。最引人注目的是纳米材料和纳米技术。纳米材料有着与普通材料完全不同的性能。如纳米铜强度为普通铜的 5 倍;纳米氧化锆比普通品有 400% 的塑性变形;通用的氮化硅陶瓷是无极性的,而纳米氮化硅却有电极性和压电效应等。纳米材料和纳米技术的最终目标是实行微型化,是当今世界各国高科技竞争的热点之一,更是 21 世纪的战略材料和新技术。这些技术的应用,将进一步促进无机精细化工产品向高档化、精细化、复合化、功能化方向发展,成为“绿色”化工产品。在日益饱和的无机化工产品市场,通过发展高性能产品,拓展新的应用领域,对于无机精细化工的发展至关重要。

第三是技术壁垒不断加强,竞争将会更加激烈。随着全球经济一体化进程的进一步加快,国际竞争也将日益剧烈。发展无机精细化工已经成为世界无机化工的发展趋势,也是竞争的焦点。国外许多大型化工企业也把提高无机精细化工率作为企业经营的战略目标,以提高其竞争能力。发达国家在与发展中国家争夺无机精细化工市场的过程中,由于其劳动力成本高,环保要求严格,只能在技术水平上体现其优势。因此,发达国家在不断加强技术壁垒,某些无机精细化工产品的生产技术只掌握在少数或个别公司手里,市场占有率很高,几乎完全被垄断。

二、我国无机精细化工发展现状

改革开放以来,随着国民经济现代化进程的加快,国内无机精细化工得到了空前的快速发展,无机精细化工产品的作用越来越突出。目前,我国无机精细化工生产企业有 1000 多家,生产能力占无机盐产品总产能的 10% 左右,产品品种 700 多种,年产值 300 亿元左右。无机盐产品精细化率已达 35% 左右。一些无机精细化学品不仅可以满足国内需要,也是重要的创汇产品。相当数量的无机精细化工产品在国际市场上占有重要地位。无机精细化工的发展,促进和带动了我国无机盐行业的发展,具体体现在以下方面。

首先是生产水平不断提高。近年来我国无机精细化工生产企业的生产水平和专业化水平不断提高,装置规模不断扩大,基本上满足了国内消费的需要。特别是食品及饲料添加剂、水处理剂及电子化学品生产企业规模、产量、销售额都得到迅速提高。如钼盐和锑盐产量居世界第一,年出口量占世界总贸易额的 50% 左右。锰、钨、钼、锆、锡、铋、稀土等无机精细化学品在世界贸易中也占有举足轻重的地位。与此同时,我国无机精细化工的技术水平也有很大的提高。主要表现:一是自主技术水平不断提高;二是引进技术带动了相关行业技

术水平的提高。

其次是产品结构得到初步改善,新品种增加较快。无机精细化工在产量大幅度提高的同时,产品的品种、档次也发生了很大的变化,较程度地满足了国内外市场的需要。如造纸工业用的专用碳酸钙、氯酸钠、低铁硫酸铝,水处理用的聚合硫酸铝、聚合硫酸铁、聚合氯化铝、二氧化氯,电子配套用的高纯过氧化氢、六氟磷酸锂、钴酸锂、锰酸锂、镍酸锂、高纯碳酸钡、碳酸铈、氧化铅、硅酸铅、碳酸钾、氧化锌、高纯氧化铁、球型高活性氢氧化镍,与精细陶瓷配套的氧化锆、碳化硼、氮化硼、氧化钴、氧化铍、高纯纳米级氧化铝、二氧化硅,以及一大批为食品、饲料、医药、农药、染料等精细化工配套的产品,成为近年我国无机盐行业发展的新热点。

三、我国无机精细化工生产存在的问题

精细化工要求技术密集、资金密集,而且市场竞争激烈,更要求具备人才、技术、资金和配套下游产品市场等许多条件,显然它要随着国民经济和科技进步而相应发展。作为一个发展中国家,我国无机精细化工的发展必然受到许多客观条件的制约。虽然生产水平有一定提高,但在总体上我国无机精细化工产品与国外发达国家还有明显的差距,在更多的新领域内,我国仍处于发展起步阶段。我国无机精细化工生产与世界发达国家相比,突出问题是:技术水平和开发能力尚不够高;生产企业相对分散,规模不尽合理,装置效益低;部分生产企业对环境污染严重;科技投入不够;应用研究和市场营销比较薄弱。具体主要表现在以下几方面。

1. 生产技术水平低

受综合国力和科技水平的制约,我国无机精细化工生产水平普遍较低。迄今仍有一些作坊式生产,一些单元操作、产品后处理等仍停留在20世纪70年代水平;自动化水平低,仅有少数企业生产实现DCS控制,相当部分企业还靠手工操作。许多高新技术如超高温技术、超高压技术、超真空技术、超临界技术、超微量技术、失重状态下技术等差距更大,很多仍是空白。

2. 产品以低档居多,精细化率低,附加值不高

我国无机精细化工虽然经过几十年的发展有了较大的进步,但总体水平仍然较低,精细化率低,低档品居多,专用化、功能化、高档产品少,附加值不高。如硅胶,我国生产的90%以上的产品用于干燥剂和猫砂,而发达国家则有一半以上用于高附加值的微粉、色谱分析硅胶和催化剂的载体等。

3. 尚未形成完整的工业体系

我国无机精细化工生产虽然有了较快的发展,但尚未形成完整的工业体系。无机盐产品仍以原料、通用型为主,行业精细化率仅35%左右,远低于发达国家;品种少,总量不足,产品质量差,不能适应国内不同行业发展的要求。这是无机盐行业的主要问题。我国大宗、通用无机盐产品的产能在世界上均排名前一两位,而无机精细产品如氯酸钠、气相法白炭黑等的排名却在第7~10位,一些无机精细产品的产能甚至还低于某些发展中国家。在总供给方面,我国对国外仍有相当大的依赖度。另外地区发展也不平衡,无机精细化工产品生产厂多位于东南沿海及东部经济较发达地区,西部地区相对落后。

4. 环境污染已成为无机精细化工产品发展的重要制约因素

我国无机精细化工生产企业一般规模较小,厂点分散,生产过程中排放的“三废”量较大,有的还难于治理。另外,建设“三废”治理装置需要较大的投入,副产品经济价值又较