

高职高专教材

# 精细化工 生产工艺学

刘德峰 主编

2-43

化学工业出版社  
教材出版中心



7Q062-43

671

高职高专教材

# 精细化工生产工艺学

刘德崢 主编

化学工业出版社  
教材出版中心  
·北京·

(京)新登字 039 号

**图书在版编目(CIP)数据**

精细化工生产工艺学/刘德崢主编. —北京: 化学工业出版社, 2000. 6  
ISBN 7-5025-2652-8

I. 精… II. 刘… III. 精细化工-生产过程  
IV. TQ062

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 21615 号

---

高职高专教材

**精细化工生产工艺学**

刘德崢 主编

责任编辑: 何曙霓

责任校对: 陶燕华

封面设计: 田彦文

\*

化学工业出版社 出版发行  
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

北京市燕山印刷厂印刷

北京市燕山印刷厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 19¼ 字数 446 千字

2000 年 6 月第 1 版 2000 年 6 月北京第 1 次印刷

印数: 1-5000

ISBN 7-5025-2652-8/G·683

定 价: 27.00 元

---

**版权所有 违者必究**

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

# 前 言

为了适应“科教兴国”的需要，培养更多的精细化工专门人才，在目前各高等专科和高等职业教育化工工艺类专业尚无统编教材的情况下，以原自编教材为基础，我们组织了平原大学、淮海工学院、安阳大学等高校精细化工专业教师共同编写了这本教材。根据精细化工学科知识结构的要求和编者自身的教学经验，在进行每一个专题编写时，注重讲授其基本原理，然后结合重要产品的实例，对产品的生产工艺路线、反应条件、性能和用途等技术基础知识进行介绍。对复配技术型产品，例如洗涤剂和化妆品，在介绍配方的基本原则后，列举了90多个实用配方。对新兴领域，如无机材料中的精细陶瓷，功能高分子材料中的光导电聚合物，信息存储材料中的光盘等，尽可能介绍它们的发展趋势。但是，由于学时数和篇幅有限，本书仅介绍了11大类。学生通过学习本书，可对精细化工的基本面貌、技术范畴、11类重要系列产品的合成路线和生产工艺、性能和应用、发展趋势有一个比较全面的了解；为毕业后从事精细化工产品的生产和研制、开发打下较好的基础。同时，本书也可供从事生产和科研的工程技术人员参考。

本教材共分12章，依次为绪论、无机精细化学品与材料、高分子精细化学品、功能高分子材料、精细生物化学品、表面活性剂、皮革化学品、石油化学品、洗涤剂、化妆品、信息存储材料和电子化工材料。全书由刘德峥主编。各章编写的作者依次为：第一、五章，刘德峥；第二章，张引沁；第三章，牛永生；第四章，周勇；第六章，刘德峥，于艳春；第七章，张所信；第八章，于艳春；第九章，刘德峥，张所信；第十章，刘德峥，张引沁，牛永生；第十一章，刘伟；第十二章，刘伟，周勇。

本书各章在编写中参考了大量专著和文献资料。由于数量太多，仅将主要参考书列于书后，期刊文献从略，敬请原著作者谅解。

编者衷心感谢北京化工大学周游教授承担审稿，对教材的内容进行了斧正；任明节高工协助提供部分素材并协助整理部分教材内容。刘淑萍绘制了部分图表。

在编写过程中得到了郑州工业大学刘大壮教授、河南师范大学蔡崑教授的帮助和指导，并得到了化学工业出版社的大力支持和帮助，他们对大纲和教材的内容安排提出了宝贵意见；本书在编写过程中还得到平原大学领导的大力支持，在此一并感谢。

应该指出，虽说主编在1987年就编写了精细化工讲义，但是组织编写这样一本涉及多行业且知识面很宽的教材，实感力不从心，由于水平有限，时间仓促，书中缺点和错误敬请专家和广大读者给予批评指教，以使本教材不断得到完善。

编者  
于平原大学  
2000.3

# 第一章 绪 论

## 第一节 精细化工产品的定义

精细化工产品（又名精细化学品）是化学工业中用来与通用化工产品或大宗化学品相区别的专用术语。国内外许多学者对精细化工产品提出的定义到目前为止还没有一个公认的说法。综合国外的释义，凡具有投资少、收益率高、利润率高和附加价值高、知识密集高、专利期长的小量多品种特性的化学品称为精细化学品，这是欧美定义的精细化学品和专用化学品的总称。中国原则上采用这个精细化学品的命名法和定义。

“精细化学工业”，通常简称为“精细化工”，是生产精细化学品工业的总称。近 20 年来，由于社会生产及生活水平的提高，化学工业产品结构的变化以及高新技术的要求，知识经济的兴起使得精细化工产品越来越受到重视。精细化工在化学工业内所占产值比重（精细化率）逐年增长，精细化率大小被认为是一个国家化学工业发达程度的标志之一。并已有把生产精细化工产品的工业单独作为一个部门从化学工业中独立出来的倾向。

## 第二节 精细化工产品的范畴和分类

精细化工产品的范围十分广泛，而且随着一些新兴的精细化工行业的不断涌现，其范围越来越宽，种类也日益增多。如何对精细化工产品进行分类，目前国内外也存在着不同的观点。通常是按结构分类和应用分类。由于同一类结构的产品，功能可以完全不同，应用对象也不同，因而按结构分类不便应用。也有按大类属性区分为精细无机化工产品、精细有机化工产品、精细高分子化工产品和精细生物化工产品四类。这种分类方法又显得粗糙。目前国内外较为统一的分类原则是以产品的功能来进行分类。据日本《精细化学品年鉴》报道，1985 年将精细化学品分为 35 类，1990 年扩大为 36 类。分别是：医药、农药、合成染料、有机颜料、涂料、粘合剂、香料、化妆品、表面活性剂、肥皂、洗涤剂、印刷油墨、有机橡胶助剂、照相、感光材料、催化剂、试剂、高分子絮凝剂、石油添加剂、食品添加剂、兽药、饲料添加剂、纸及纸浆用化学品、塑料添加剂、金属表面处理剂、芳香消臭剂、汽车用化学品、杀菌防霉剂、脂肪酸、稀土化学品、精密陶瓷、功能性高分子、生化制品、酶、增塑剂、稳定剂、混凝土外加剂、健康食品、有机电子材料等。

中国为了统一精细化工产品的口径，加快调整产品结构，促进精细化工的发展，原化学工业部在 1986 年曾对精细化工产品的分类作了暂行规定，把精细化工产品分为 11 大类，分别是：（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）粘合剂，（9）催化剂和各种助剂，（10）化学药品（原料药）和日用化学品，（11）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两项又包括以下内容：1）催化剂，分为炼油用、石油化工用、有机化工用、合成氨用、硫酸用、环保用和其他用途的催化剂；2）印染助剂，包含柔软剂、匀染剂、分散剂、抗静电剂、纤维用阻燃剂等；3）塑料助剂，包含增塑剂、稳定剂、发泡剂、阻燃剂等；4）橡胶助剂，包含促进剂、防老

剂、塑解剂、再生胶活化剂等；5) 水处理剂，包含水质稳定剂、缓蚀剂、软水剂、杀菌灭藻剂、絮凝剂等；6) 纤维抽丝用油剂，分为涤纶长丝用、涤纶短丝用、锦纶用、腈纶用、丙纶用、玻璃丝用油剂等；7) 有机抽提剂，分吡咯烷酮系列、脂肪烃系列、乙腈系列、糠醛系列等；8) 高分子聚合物添加剂，含引发剂、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，包含合成鞣剂、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、防蜡用降粘剂等；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）、嵌缝油膏等；14) 机械、冶金用助剂，包含防锈剂、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) 油用添加剂，分为防水、增粘、耐高温等各类添加剂，汽油抗震、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，包括稀土分子筛系列、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），包括显像管用碳酸钾、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，如玻璃防霉剂、乳胶凝固剂等。以上分类仅就原化学工业部范围所作的规定，并未包含精细化工的全部内容，例如医药制剂、化妆品、生化制品、精细陶瓷等。

综上所述，精细化工产品作为一个知识门类来说，在不同目的的要求下有多种分类方法。精细化工产品的分类和范围，不仅国际上缺少统一准则，即使在一个国家内，由于分类的目的不同，其分类法和包含的范围也不尽相同。但有一点，即分类和范围必须符合国情，符合国家经贸政策，且不断作出必要的调整。

### 第三节 精细化工产品的特性

精细化工产品作为商品，在研究与开发、生产、交换、分配和消费过程中有其内在规律，和通用化工产品有明显区别，下面加以简要说明。

#### 一、精细化工产品的研究与开发特性

精细化工产品的研究包含两个层次，一是为科学技术的进步而进行的基础研究，二是为发现产品或寻找工艺过程的工程技术或商业目的的应用研究。开发是将研究成果应用于产品的生产，其目的是证实研究成果经济上的可能性或所需要的工程技术。

##### 1. 知识密集度高

日本统计资料表明，化学工业是资本密集度和知识密集度都很高的工业，而精细化工产品的知识密集度是所列产业门类中最高的。日本曾把机械制造业的知识密集度定为 100，推定化学工业为 248，医药品则为 340。然而，精细化工产品的资本密集度为化学工业平均指数的 0.3~0.5，为化肥工业的 0.2~0.3，为乙烯工业的 0.1。知识密集度高和资本密集度低是构成精细化工产品经济效益的基础。精细化工产品的知识密集度贯穿于研究和开发的全过程中，集中表现在品种多、费用高、生产难度大、时间长和成功率低。

##### 2. 研究与开发难度大

20 世纪 80 年代以来，随着科学技术的发展和人民生活水平的提高，许多国家对化学物质的安全性要求越来越高，对精细化工产品新品种登记注册的审查日趋严格。因此，要研究开发比现有品种应用性能更好，更有商业竞争力的新品种的难度加大，研究开发的时间加长，费

用增高，而研究成功率则下降。例如，美国在医药新品种的研究开发居世界领先地位，但美国食品药品监督管理局对新药的审批时间比其他国家长，以致新药上市速度低于法、德等国。美国研究开发一个医药新品种所需时间和费用，20世纪60年代为5年和300~500万美元，80年代为9~10年和6000~8000万美元，到90年代初为10~12年，费用增加到2.31亿美元。

### 3. 技术和产品更新快

精细化工产品的研究和开发与科学技术的进步、社会经济的发展以及人民生活水平的提高紧密联系在一起。不断地研究新技术、新产品取代老品种是精细化工产品的又一个特征。为了适应生产发展和生活水平提高的需要，精细化工产品不断推出一系列新产品，如电子工业的迅速发展要求高纯、高性能用化学品和电子材料；开发了化工、环保所需的高转化率、高选择性的催化剂；为保障人体健康和环境清洁的新医药等。

综上所述，尽管精细化工产品研究开发需要时间长、费用大、成功率低，但由于精细化工产品利润率和收益率高、技术垄断性强，世界各大公司不惜投入大量人力和财力把精细化工产品的研究开发作为重点，以获取最大限度的利润。中国应抓住机遇，加快精细化工产品研究开发的步伐，不断创新，提高产品的竞争能力，才能逐步满足国内市场需要和扩大出口创汇能力。

### 4. 质量要求高

精细化工产品和材料的质量要求高，对不同种类精细化工产品和在不同领域的应用，表现为不同的质量标准。首先是纯度要求高，如电子化学品的高纯物其含量在99.99%~99.9999%。其次是要求性能稳定和寿命长。另外是功能性要求高，这是评价精细化工产品质量的重要标志之一。如医药、农药、香料的生物活性；染料、颜料、压敏色素、荧光增白剂、紫外线吸收剂、感光色素、指示剂、激光色素等的光学性能。

## 二、精细化工产品的生产特性

精细化工产品的质与量的两个基本特性表现在特定功能、专用性质和品种多、批量小。由此决定了精细化工产品的生产特性。其生产过程不同于通用化工产品，而是由化学合成、剂型（制剂）、标准化（商业化）三个生产环节组成。在每一个生产过程中又派生多种多样化学、物理、生理、技术和经济的要求和考虑，这就导致精细化工是高技术密集的产业。

### 1. 综合生产流程和多功能生产装置

有些精细化工产品需要由基本原料出发经深加工才能得到，因而生产流程较长、工序较多。由于产品的需求量不大，往往采用间歇生产。虽然精细化工产品品种繁多，但从化学合成角度看，其单元反应不外十几种，尤其是同系列产品，其合成反应及生产过程和设备有很多相似之处。近年来，许多工厂采用多品种综合生产流程，设计和制造用途广、多功能的生产装置，即在同一套生产装置中，使用同一流程、不同的原料生产多种产品。精细化工最合理的设计方案是按单元反应和单元分离操作为组合单元，组成单元型的生产装置。这种生产方式可以生产同系列或不同系列产品。此种生产方式不仅灵活性强，且可构成专业化反应，培养操作人员，提高生产效益和劳动生产率。

### 2. 制剂加工技术

精细化工产品中除少数直接上市外，一般都需要加工成各种剂型的制剂。由于精细化工产品品种繁多、应用范围广，其生产过程复杂，且具有一定的保密性，一般不予公开，也很难向别的公司、企业购买，完全靠本企业进行研究开发。现代科学技术的飞速发展，为精细化工产品的商品化制剂加工技术提供充分的理论基础和试验研究的先进手段，并为商品化制

剂加工提供各种性能优异的原材料,从而使商品化制剂加工技术的发展达到新的水平。例如药物制剂学已从单纯的加工工艺发展到以物理药剂学和生物药剂学为理论基础、各种剂型为主要内容的专门学科;药物片剂出现了双层片、多层片、包心片、微囊片和薄膜包衣片等品种;注射剂中开发了静脉注射乳剂;而药物前体制剂技术、固体他散法、微囊与分子包含等新技术迅速发展,出现了各种复方制剂及高效、速效、长效制剂。

### 3. 采用复配技术

为了使精细化工产品具有特定功能,满足各种专门用途的需要,许多通过精细化学合成得到的产品,不仅要加工成多种剂型,如粉剂、粒剂、可湿剂、乳剂、液剂等,而且须加入多种其他化学试剂进行复配。例如,合成纤维纺丝用油剂中,其主要成分是润滑油及表面活性剂,配以抗静电剂等助剂,而且还要根据高速纺丝和低速纺丝等不同的应用要求采用不同的配方;其他如化妆品、表面活性剂、农药等产品也大量应用复配技术。已知在一些经过复配的商品化产品中,其组分可能多达一、二十种。经过剂型加工和复配技术所制成的商品数目,往往远远超过由化学合成得到的单一产品数目,这是构成精细化工产品品种繁多的一个主要原因。利用复配技术所推出的产品,具有增效、改性和扩大应用范围等功能,其性能往往超过结构单一的产品。因此在精细化工生产中配方通常是技术关键,也是专利保护的对象。掌握复配技术是使产品具有市场竞争能力的极为重要措施。但这也是目前中国精细化工发展的一个薄弱环节,必须给予足够的重视。

### 4. 商品标准化技术

商品标准化技术是使产品达到商品标准化的加工方法,或称后处理。例如染料商品的后处理包括打浆、添加助剂、粉碎、干燥、拼混和包装。不同的染料及剂型有不同的加工技术。水溶性染料通常采用先干燥后粉碎工艺,原染料滤饼经干燥、粉碎、筛分成粉料,测定其强度,然后加规定数量的元明粉或食盐等填料和尿素、磷酸氢二钠等稳定剂复配,使达到标准强度的商品染料。非水溶性染料加工通常先湿磨后干燥,原染料滤饼经测定强度后,加规定量水和研磨助剂,经打浆后再进行湿磨、湿状复配、混合干燥,即可得到标准化的商品染料。

## 三、精细化工产品的商业特性

### 1. 市场的从属性

精细化工产品是根据其性能及使用效果销售的商品,其主要的销售方式是推销,因此精细化工产品的生产很大程度上从属于市场,要对已生产产品或拟开发产品做深入的近期、以至中长期的市场分析和预测。市场调节的主要内容包括发现和寻求市场需要的新产品;开发新产品和现有产品的新用途;对现有及潜在市场的规模、价格、价格弹性系数作出符合实际的估计;预测市场的增长率;调查用户的意见和竞争对手的动态。综合分析市场状况,提出改进生产和开发的建议;对市场销售策略进行调整等。

### 2. 市场的垄断性和排他性

精细化工产品既是按规格说明书,又按设计的特定功能和专用性质生产和销售的化学品,商品性很强,同时用户对产品的选择很严,而且同类产品的市场竞争十分激烈。值得注意的是占精细化工产品份额很大的专用化学品多数是复配型的加工产品,其配方和加工技术都成为生产厂商拥有的非公开性的技术机密。现在市场上流通的专用化学品为保护其知识产权,仅有部分产品进行专利登记,在转让专利许可证的技术贸易中,其软件所占比重远比通用化工产品高。名牌产品和新开发的产品,在回收全部投资和获取巨额利润前,从不出让其专利许可证。另一部分则不申请专利,而是作为技术秘密,由开发单位作为内部控制和独占。如美



国生产的可口可乐，其分装销售网遍及世界，而原液的配方仅为少数几个人所掌握，从不扩散。技术的垄断性构成市场的排他性。

### 3. 应用技术和技术服务

精细化工产品在完成商品开发后，即投入市场试销。试销是对商品化中制定的应用技术并通过技术服务与用户直接见面。对商品化产品的性能和功能作最终的检验和考查。除了在开发过程中解决内在质量，通过应用技术及技术服务作出与外部条件相适应的质量补充。

对精细化工公司来说，技术服务是开发和占有市场的主要手段和必要条件。精细化工产品的销售和技术服务人员通常由具有研究开发和生产实践经验的人员担当。其任务之一是把技术服务过程作为了解市场动态的机会，对销售中发现的问题及时反馈到公司有关部门，如应用技术、商品特殊规格要求、商品包装、市场的机会研究等，供修订计划和调整生产参考。

## 四、精细化工产品的经济特性

生产精细化工产品可以获得较高的经济效益已为实践所证明。概括起来，可以从下列两方面的实例加以阐明。

### 1. 投资效率高

1978年美国商业部经济局关于石油化工原料与有机化学品投入产出的经济资料表明，随石化原料的加工深度和加工产品的精细化，其资金投入产出率有了很大的提高。一般来说，1美元石化原料加工成合成材料可增值8美元，如加工到精细化工产品则可增值106美元。

### 2. 利润率高

资金利润率是衡量项目或企业资金使用效果的重要指标。20世纪70年代评价一个企业或一个项目资金利润率的标准是销售利润率高于20%为高利润率，在15%~20%之间的为中等利润率，低于15%的为低利润率。据有关资料介绍，1977年至1980年世界上100家大型化工公司销售利润率高于20%的仅有5家，在15%~20%之间的也是5家，以上10家企业均为生产精细化工产品的公司。

## 第四节 精细化工在国民经济中的作用

精细化工与工农业、人民生活及国防有着极为密切的关系。为进一步了解精细化学工业在国民经济中的地位和所起的重要作用，可以从以下几个主要方面体现。

农业是国民经济的命脉，精细化工产品农、林、牧、渔业中的应用主要有农药、兽药、饲料添加剂和微量元素肥料等几个方面。精细化学工业与轻工业和人民生活休戚相关，首先，精细化学工业生产的表面活性剂，大量用于家用清洗剂、纺织印染行业、发酵酿造和食品工业；其次，与人民生活密切相关的精细化工产品还有香料与香精、各类化妆品、涂料和装饰品、感光材料、食品添加剂和保鲜剂等。此外，在轻工业当中还有皮革工业所用的精细化工产品（如鞣剂、加脂剂、涂饰剂等）；造纸工业需要的精细化工产品；印染工业用的染料及其他助剂（如硬挺整理剂、防水整理剂、阻燃剂等）等。

高科技领域一般是指当代科学、技术和工程的前沿，而精细化工是当代高科技领域中不可缺少的重要组成部分。我国“863”计划确定的7个高技术领域是生物技术、信息技术、航天技术、激光技术、自动化技术、能源技术和新材料技术。这些高技术与精细化工都有着密切关系，其相互促进共同发展。例如，由于生物法的选择性高、反应条件温和、效益好，估计到21世纪初，将有30%的精细化工产品用生物技术方法生产。

对信息技术，精细化工是微电子技术的基础。制造集成电路板时，为达到亚微米级精度，

需用各种化学化工技术：制板、晶体生长、晶体取向附生、扩散、蚀刻等众多化学处理工序，同时还要为之提供超纯试剂、高纯气体、光刻胶等精细化工产品。

精细化工与能源技术关系十分密切，当金属氢化物分解时，从外界吸收热量起贮热作用，同时释放出氢可供氢用户；氢气和金属结合时，对外释放热量，向用户供热。例如要贮存70°C以下的低温热量，可选用  $M_xNi_5-H_6$ ，其贮热转换效率为60%；要贮存200~400°C的热量，可选用  $Mg-H_2$ ，其贮热转换效率为80%~90%，要贮存900°C的热量，可选用  $La-H_2$ 。

航天和新材料技术的开发更离不开精细化工产品。运载火箭、人造卫星、航天飞机、太空站等，大量采用蜂窝结构、泡沫塑料、高强高模的复合材料、密封材料等，这些材料的制备和连接都离不开高性能的粘合剂。另一方面，自动化技术、生物技术、激光技术等有关的工业改革，需要精细化学工业提供具有特殊光学、电学、磁学特性以及适用生物体的新型材料。

## 第五节 精细化工产品的发展趋势和重点

随着工农业、国防和高技术的发展，人民生活水平的不断提高，对精细化工产业提出越来越多的要求，使精细化工产品具有客观发展的需要。同时由于石油化工产品生产结构的调整，高新技术的挑战，促进了世界各国政府高度重视发展精细化工产品，近年主要呈现如下的新趋势。

(1) 精细化率迅速增长 发达国家的精细化率已由20世纪70年代初期的约40%迅速增长到接近60%。例如，日本为57%、德国为56%、美国为53%，预计2000年将达60%~65%。发展中国家也不例外，中国由1991年的27.8%上升到1995年的32%。20世纪末将达到45%。

(2) 精细化工产品新品种不断增加 尤其是适应高新技术发展的精细化工新领域不断涌现，因此精细化工所涉及的范围越来越广泛，多学科交叉在新领域的开拓中起着越来越重要的作用。

(3) 高新技术促进精细化工产品的发展 在精细化工产品应用到高新技术领域的同时，各种高新技术在精细化工产品的生产、复配、包装、贮存、运输等各个环节被采用，大大促进了精细化工产品的发展，产品质量得到提高，技术含量和利润率不断增加。

中国精细化工生产起步较晚，与发达国家相比还有一定差距。20世纪80年代以来，中国对发展精细化工十分重视，把精细化工作为化学工业发展的重点。经过十多年的积极建设，已建成了一系列的精细化工生产基地，一些重要的精细化工产品如医药、农药、涂料、表面活性剂等已形成了一定的规模，许多新兴领域也得到迅速发展，精细化率逐年增加。为了加快精细化工的发展，应该以下面三方面为重点。

(1) 掌握先进的科学知识，优先发展关键技术 国外实践说明，当今发展精细化工一要建立在石油化工基础上，二要掌握先进的科学技术，开发新品种，形成产业化成套技术。采取“结合国情，突出重点，择优发展，讲究效益”的发展战略，对于推动精细化工行业技术进步有着重要作用的关键技术要优先发展。例如：新催化技术、生物技术、新分离技术、超细粉体技术、增效复配技术等。采用先进的综合生产流程和多功能、多用途组合单元反应装置，并使这些装置更加先进，控制更加精确，并配备先进的测试设备。

(2) 以技术开发为基础，创制新的精细化工产品 利用新的科学成果进行技术开发，创造新型结构的功能性化学物质，经过应用和市场开发使成为商品，推向市场。也可利用已有

化学结构的产品，采用化学改性、新的加工技术等多种方法改进其性能，开发生产新产品新牌号。尚需进一步开发的精细化工产品新领域有：功能高分子材料、电子材料、精细陶瓷、精细无机盐、液晶材料、印刷及油墨化学品、建筑用化学品、汽车用化学品、办公设备用化学品、生命科学及生物工程。

(3) 加快高素质的精细化工专业技术人才的培养 科技是实现社会主义现代化的关键，教育是基础。加快高素质的专业技术人才的培养是发展精细化学工业的极其重要的任务。从工业特点比较，精细化学工业具有高技术、多品种、小批量、更新快等特点；从产品特点比较，与一般的基本化工产品不同，精细化工产品自身主要是一种多学科交叉的化学品。由于具有较强的商品性，受市场需求的直接制约。因此，做为一项产品，不仅需要不断地进行技术开发，同时还应努力于产品的应用和市场开发。应用开发的跨度越大，产品的生命力和竞争力也就越强。从而可知，精细化学工业的专业技术人员必须具备下列素质：专业基础理论扎实、专业知识面宽、理论联系实际的能力强；勇于探索、不断充实和提高、创新能力强；思维敏捷、适应市场变化、随机应变能力强。

## 第六节 本课程的性质和基本内容

由于精细化工产品涉及的面十分广泛，除了必须具有良好的无机化学、有机化学、物理化学、高分子化学和生物化学知识外，对重要的精细化工产品的化学、合成和生产以及应用知识有充分的了解也是十分必要的。因此，本课程是在学生学完《精细有机合成单元反应》等专业技术基础课之后开设的一门专业课，通过本课程的学习，使学生对精细化工的基本面貌、技术范畴、重要系列产品、基本合成原理、生产工艺、性能应用和发展趋势有一个比较全面的了解和掌握。

考虑到精细化工自身特点及本课程属于专业课，限于学时数和篇幅，在教学内容的深广度安排上必然有一定的局限性，也就是说，应该贯彻“少而精”的基本原则，不必要也不可能面面俱到地介绍所有行业的系列产品。结合精细化工发展的重点及本学科的主要研究方向，本课程的基本内容包括：绪论、精细无机化学品与材料、精细高分子化学品、功能高分子材料、生物精细化工产品、表面活性剂、日用化学品、洗涤剂、电子化工材料、信息存储材料、石油化学品、皮革化学品等。各个学校可根据自己的不同特点，选取其中部分内容作为重点，其他内容可供自学，以拓宽知识面。

当今的时代科学技术发展迅猛，精细化工和高新技术又关系十分密切，因而课程内容应该能充分体现出当代精细化工领域中有发展生命力的精神，反映出其先进性、科学性、新颖性和实用性。本书选材新颖、内容丰富，与国民经济发展精细化工新领域密切相关，同时又具有较强的实用性。应该说，通过本课程的学习，在很大程度上能打下精细化工工艺学的深厚基础和得到良好的基本功训练，能拓宽学生的知识面和增强其独立思考问题的能力。

## 第二章 无机精细化学品与材料

### 第一节 概 述

无机精细化工是精细化工当中的无机部分，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，近年来崛起的趋势越来越明显，无论是门类还是品种都在以较快的速度在增长；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。

#### 一、无机精细化工的分类与研究范畴

多少年来，尽管工农业、医药和日常生活中都要消耗大量的多种无机盐，但无机盐工业一直主要是作为基础原料工业的面貌而生存和发展。由于精细化工的兴起，才使无机盐工业的面貌逐步改变过去单纯原料性质转变成为原料-材料工业。特别随着无机功能材料品种日益增多，以及对国民经济各部门的作用越来越大，从而引起人们的普遍重视。无机精细化工产品按产品的功能进行分类分为无机精细化学品和无机精细材料两大类。

从化学结构来看，无机精细化学品除单质外，可以分为如下类别，包括无机过氧化物、碱土金属化合物、硼族化合物、氮族化合物、硫族化合物、卤族化合物、过渡金属化合物、锌族化合物以及金属氢化物等。许多无机精细化学品在近代科技领域中获得广泛的应用。由这些物质出发进一步制造的许多精细无机产品已成为当代科技领域中不可缺少的材料。在本章中将选择重要和有代表性的化合物，对其合成工艺、性质和用途作概要介绍。

从应用说，无机精细材料已被开发应用作为：高性能结构材料（精细陶瓷）、纤维材料、能源功能材料、阻燃材料、微孔材料、超细粉体材料、电子信息材料、涂料和颜料、水处理材料、试剂和高纯物等。无机精细材料是近年科技发展中展现的一个新领域，从应用角度而言，可以概括为工程材料（即结构材料）和功能材料两大类。由此可见，无机精细化工材料的开发，标志着一个国家科学技术和经济发展的水平。本章着重讨论结构材料中的精细陶瓷和功能材料中的纤维材料、阻燃材料，并对其合成工艺、性质及应用作简要介绍，其余精细无机材料将在以后相关章节中讨论。

#### 二、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，各个工业部门广泛使用无机精细化工产品，由于各部门的技术水平不断提高，对无机精细化工的品种要求愈来愈多，质量要求也愈来愈高。据统计中国无机精细化工在国民经济各行业中所起的作用是相当可观的。例如：用于医药工业的有 100 多种，可以直接用于制成片剂和针剂，有些用作消毒剂、杀菌剂及造影剂，并大量用于做西药配方成分；用于纺织印染工业的有 100 多种，广泛应用于合成纤维制造的多种催化剂，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。用于日用品工业的更是远远超过 100 种，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；有的用于自来水的消毒剂、沉淀剂；有的用于家庭使用的脱臭剂、清洗剂等；用于电子工业，仅一台彩色电视机就需要七、八十种；用于造纸工业的也有七、八十种；……。随着中国市场经济建设的蓬勃发展和人民生活水平的日益提高，可以预料将来一定还会需要更多的无机精细化工产品。

无机精细化工在当今世界新技术革命浪潮中，是信息科学、生命科学和材料科学三大前沿科学发展的物质基础。无机精细化工产品中的无机新材料一般具有高硬、高强、轻质、不燃、耐候、耐高温、耐腐蚀、耐摩擦、抗氧化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速发展的前提和有力保证。也是当今新技术革命竞争的热点内容。

目前，已进入以电子信息为中心的高新技术时代。电子计算机是微电子和信息技术的成果，也是信息科学发展的集中表现。近年来，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千亿次的超型机，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，必须进一步解决声光记录和超大规模集成电路的生产。无机精细化工不仅提供了优质的半导体材料、磁性材料、敏感材料，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。由于半导体材料已制出大直径、高纯度、高均匀度、无缺陷方向的单晶硅。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。光学纤维的实用化，不仅引起邮电、通讯、广播、电视及微光夜视、工业探伤、医疗诊断等技术革命性飞跃，而且对印刷、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，使光损耗接近其理论极限，使光纤通讯在洲际间进行。提供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。此外，由于铌锡合金超导材料的研制成功才使超导技术付诸实用；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，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。

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，并用于侦察、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及其在世界上的地位。

开发无机精细化工产品，可以降低能源消耗和节省资源。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 $900^\circ\text{C}$ 提高到 $1200^\circ\text{C}$ ，从而使热效率提高45%，燃料消耗减少34%。1990年中国试制成功精细陶瓷发动机，所装配的汽车从上海安全行驶到北京。用于航天器的无机纤维复合增强材料，当航天器的质量减轻1kg时，则可使运载火箭的质量减轻500kg，由此产生非常可观的效益。据报道，日本日产化学工业公司发明的以亚硝酸钙为主要成分的混凝土添加剂，只要添加2%左右的质量，就可使桥梁等大型建筑物的寿命延长15~20年，抗压强度也得到明显提高。

开发无机精细化工产品，可使原来的初加工产品变为深加工产品，不仅可以显著提高经济效益，而且可以提高产品在市场上的竞争力。例如，粉体碳酸钙是一种很平常的无机产品，中国已有五十多年的生产历史。开始产品品种单一，基本上都是平均粒径约在 $(3\sim 5)\times 10^{-3}\text{m}$ 纺锤形轻质碳酸钙，主要用途是作为橡胶制品填充剂和增量剂。近年来，随着精细化技术的发展，开始将化学方法和物理方法结合，控制碳酸钙晶体的结构形态和粒径大小，并进行表面改性处理，发展成为微细、超微细的改性系列产品，适应了橡胶、塑料、造纸、涂料、日化等各种不同工业用户要求的需要；尤其是在橡胶中的补强作用已接近炭黑，不仅大幅度降

低橡胶制品的生产成本，而且使橡胶产品变得五彩缤纷，从而超细碳酸钙成为一种精细化工产品。然而碳酸钙的开发利用并没有结束，据报道 20 世纪 90 年代初已投产的一种超高纯碳酸钙，产品分为 99.9% 和 99.99% 两个级别，杂质包括铁、锰、铬等，其质量分数都小于  $1 \times 10^{-6}$ 。这种高纯碳酸钙的用途十分广泛，首先用于电子材料工业，如集成电路板、陶瓷电容器、微波介电体、压电陶瓷、固体激光；光学材料工业用于制造高纯氟化钙、光学结晶体、萤光材料、新型玻璃、红外线透过材料、光纤维；在传感器用材料中以湿度传感器为主的气体传感器、露点传感器、热敏电阻、氧气传感器等；生物体材料，如磷灰石、多孔晶体、生物体玻璃；以及用作试剂及特需的烧结助剂等。

无机精细化工是精细化工中的重要组成部分，其注意力不在于合成更多的新化合物，而是利用众多的、特殊的、精细的工艺技术，或对现有的无机物质在极端条件下进行再加工，从而改变物质的微结构，呈现新的功能，满足高新技术的需求。无机精细化工不仅已经为中国高科技的代表“两弹一星”的成功崛起提供了上千种的化工材料；而且将为信息科学、生命科学和材料科学三大前沿科学走向世界前列提供更多的、各种各样的新型功能材料；为我们的工作和生活现代化提供各种崭新的用品。

### 三、无机精细化工的发展趋势

近几年来，中国的精细化工发展很快，不仅有大批精细化工产品投产，而且在化工总产值中所占比例逐年上升，其中先后开发出上百种无机精细化工产品。目前世界无机盐类产品已达 1300 多种，国内可生产 600 多种产品，已具有 8000 kt/a 生产能力，居世界第二位，1996 年出口创汇 9 亿多美元；在品种数量上和国外的差距还很大。发展无机精细化工产品已成为当务之急，需要制订切实可行的发展规划。

首先，立足于丰富资源，积极发展系列化、多规格、多性能、高质量的产品。中国有丰富的硅、钙、钡、锰、锶、锡、钼、钨等矿藏，多年来出口矿砂和初加工产品，这是极不合理的。今后应积极开展这方面的精细化工产品的研究，使向精细化、专业化程度发展。

无机硅化合物，是 90 年代无机化学品中发展较快的系列产品。品种极多，应用范围较广，并且随着科学技术的不断发展，无机硅化物仍在迅速发展。而它所用主要原料是地球上广泛分布的二氧化硅。据初步统计已商品化的不同的硅化物品种约有 60 多种，有不少品种，又具有很多不同的形态和功能，正在进入工业、农业、医药及国防和宇航等各个领域，并发挥着越来越大的作用。例如，碳化硅陶瓷用于制造大规模集成电路衬底，是提高计算机功能的新型材料；碳化硅纤维具有密度小、强度高、导电性高、热膨胀系数小、耐热性和耐药品性好等优点，多为热塑性树脂的填充剂制成各种复合材料，用于航天材料、运动器械材料、医疗材料、土木工程等；氮化硅陶瓷主要用于耐热、耐腐蚀、耐磨材料等；而氮化硅纤维、氮化硅晶须则用于航空、航天等；而非晶态硅是无机非晶态物质中目前最有使用价值的材料，主要用于制做太阳能电池。

第二，注意发展与信息科学、生命科学和材料科学有关的无机精细化工产品。例如，氧化铁除众所周知的用作颜料外，目前已用作铁酸盐的原料及录音、录像、计算机的磁性记录材料；在  $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$  的表面覆盖一层极薄 ( $10^{-9} \sim 10^{-8} \text{ m}$ ) 的铁酸钴，即可制成具有高密度、高准确度、低杂音等优良性能的录像磁带；氧化锌为 N 型半导体，与适量氧化铝（或氧化锡、氧化铟）混合，在还原性气氛中烧制后具有导电性，其粉末用作静电复印纸的导电层；氧化锌还具有光传导性而用作电子传真的感光层，用粘合剂涂粘在普通纸上即可。磷灰石的氢氧化物与自然骨质相近，与肌体有极好的亲和性，能与新生骨结合，可以代换人齿和人骨。

第三，注意开发新的工艺技术，大力发掘无机物潜在的特殊功能。无机盐是化学工业中发展较早的古老工业，由于过去人们习惯注意无机物的固有的物理化学性质及其相应的用途；较长时间以来，使无机化合物的应用领域未能拓宽。近年来，随着科学技术迅速发展，无机物的许多潜在特殊功能逐渐被人们所发现。为了挖掘这些特殊功能，开发出许多相应的特殊的工艺技术，包括超细化、纤维化、单晶化、非晶化、薄膜化、多孔化、形状化、高密度化、高聚合化、高纯化、表面改性化、非化学计量化及化合物的复合化等。

第四，面对现状，积极研制当前急需的产品，为深入发展无机精细化工打好基础。近期应该重视开发如下产品：

精细陶瓷原粉的新产品，导电陶瓷  $ZnO-Bi_2O_3$ 、透光陶瓷氧化铝、多孔材料  $CaO \cdot nSiO_2$ 、硬质材料碳化钛等；半导体材料方面：砷化镓、磷化镓、碳化硅、半导体用高纯气体磷烷、乙硼烷等；补强材料方面：透明铁红、氧化钛、活性氧化铝多规格化、立方体微粒碳酸钙、中空二氧化硅微粒、鳞片状铝镁硅酸盐等；微孔材料方面：天然沸石、合成沸石要不断增加品种、扩大应用领域；其他磁性材料二氧化铬、氧化铁；无机纤维材料氧化铝、二氧化硅；无机功能材料反渗透用水合二氧化锆膜、沸石型无机离子交换剂；食品和饲料添加剂用脱氟磷酸盐；阻燃剂水合氧化铝、氢氧化镁、透明液态三氧化镁、胶体五氧化锑、氟硼铵等。

为了满足高纯物质、功能材料等产品的研究和生产需要，还需开发各种产品的水热合成法、醇盐水解法及超细粉体材料的研究。

## 第二节 精细化工艺技术

以前对无机化合物的认识和应用主要只停留在表面的、容易认识的宏观特性上。近代化学和物理学的发展，为揭示物质本质的奥秘提供了理论依据，各种分析方法和精密测试技术的确立有力地推动了对无机物物性的更深层次的认识。量子化学、结晶化学和固体物理学的发展，对由宏观状态的认识深化到原子、电子层次微观状态的了解起了重要作用。例如，现在不仅发现了晶体在离子或原子排列方面的缺陷，而且深入认识到缺陷既有不利的一面，也有有利的一面。为了避免不利的一面，努力控制好晶体生长的条件，制造出大尺寸、完整性良好的单晶体，如中国1998年生产出了 $\phi 300$  mm的单晶硅，为大规模集成电路提供了必要的材料保证。另一方面，利用有利的一面，根据杂质及缺陷对材料的结构敏感性的关系，有目的地掺进特定杂质、控制缺陷，从而实现赋予晶体材料以各种各样的预期性能。

生产和科学技术的发展，以及人们生活水平的提高，对物质功能的要求也无止境。发展各种高新技术需要提供各种新功能材料；工程上需要的结构材料要求具有更高的强度、耐疲劳、耐高温、轻量等特性。人们在充分认识了各种材料物性规律的基础上，一方面为合成新材料提供了理论和方法；更重要的，大量为改善已有材料的性能和挖掘已有材料的潜在的特殊功能开辟了道路。无机精细化学品在很大程度上就是通过物理和化学新工艺，对已有的无机物进行精细化加工而制得的。目前已运用的精细化技术有前述的十多种，受篇幅所限，以下仅举五种做简要介绍。

### 一、单晶化工艺技术

多数的无机化合物以固体状态形式存在或使用。固体状态有单晶态、多晶态和非晶态，也有相互组合成复合态，单晶体是整个固体中的原子规则有序排列的结构；非晶体是短程有序而宏观无序的周期性结构；多晶体是许多微小单晶的聚合体，即由许多取向不同的晶粒组成。通常情况下一般固体都以多晶态形式存在，如所有的金属和陶瓷，仅玻璃属于非晶态。晶体

的热学、电学、声学、光学、磁学及力学等性质都与晶体内部原子排列的特点紧密相关。如果能利用某种工艺技术，寻常多晶态物质制成具有一定使用尺寸的单晶体或非晶体，都可赋予原物质新的特性和功能，变成新型功能材料，使其具有更多更大的应用价值。

目前应用的单晶化工艺主要有焰熔法、引上法（又称提拉法）、导模法和梯度法四种。焰熔法具有设备简单、晶体生长速度快等优点，是目前生长高熔点单晶体时常选用工艺。焰熔法大体过程是料斗中装着高纯无机化合物细粉，小锤周期性地敲打料斗，使粉料下落进入氢气混合燃烧的2000°C以上的高温区，使粉料熔化成小液滴，掸落在支座上，支座缓慢向下移动，随着时间的推移，单晶体就逐渐生长起来。激光工作物质用的红宝石单晶体就是高纯度掺铬氧化铝细粉利用焰熔法制得的。引上法简单过程是用钼片或铂做成的坩埚中装入高纯原料，用电阻（或高频）加热使原料熔化，然后把籽晶浸入熔体中，再缓慢地把籽晶向上提，从籽晶开始单晶体就会逐渐长大。为了得到良好的单晶体，需要有合适的始终稳定的炉温温场分布、合适的籽晶提拉速度和旋转速度等条件。

采用导模法的生长技术，可以直接制得片状单晶体，可避免单晶体材料在切割、研磨等过程中的大量浪费。用导模法生产片状单晶是将原料放入钼坩埚中，在电炉中加热。为了防止钼在高温下的氧化，炉中通入如氩气等保护性气体。生长过程是把原料熔融，在熔体中插入一个中间开槽的导模，通过它就可以拉出片状单晶体。应用这种方法可以生长出集成电路衬底材料片状蓝宝石单晶体，生产出太阳能电池用的片状硅单晶体。对于尺寸大而且厚的单晶体，导模法不适用，而是采用更新的梯度法生长单晶技术。梯度法是将装有原料的钼坩埚放在钨热交换器上，在热交换器里通氦气，坩埚底部正中央部位放一块籽晶、坩埚和热交换器都放在真空石墨加热炉中。当原料熔化后，通过缓慢降低炉温和控制氦气的流量，就能在籽晶上长成大块的单晶体。使用梯度法生产单晶体技术，可以得到直径达30 cm、厚度12 cm质量很好的蓝宝石单晶体。

## 二、非晶化工艺技术

相对晶态，非晶态是物质的另一种结构状态。非晶态材料是由晶态材料转变来的。非晶态材料与晶态材料相比有两个最基本的区别：即非晶态材料中原子排列不具有周期性和非晶态材料属于热力学的亚稳态。在晶体中，原子的排列规则、有序，共有32种基本排列方式，从一个原子位置出发，在各个方向每隔一定的距离，一定能找到另一个相同原子。在非晶体中，原子的排列是混乱的，排列方式也不是32种，而是千变万化无章可循。由于这种混乱情况，所以至今对非晶态材料还没有确切的定义。但它的别名有几个：无定形材料，无序材料，玻璃态材料等。

目前，非晶态材料包括非晶态金属及合金、非晶态半导体、非晶态电介质、非晶态离子导体、非晶态高聚合物、以及传统的氧化物玻璃。由于它们比同类晶态材料具有更优异的物理和化学性能，因此已成为现代材料科学中广泛研究的十分重要的新领域，也是一类发展迅速的新型材料。

非晶态合金是在研究晶态合金快速淬火处理的过程中意外发现的。由于这一发现从根本上解决了晶态与非晶态之间的转变难题，所以大大促进了对非晶态金属及合金的研究和应用。由于非晶态合金处于非晶状态，因此具有通常晶态金属材料所没有的新的材料特性。例如：高坚韧性、高耐腐蚀性、低磁致伸缩、低磁致损耗、高电阻、超电导性、高催化性能、吸附氢气、耐放射性等。目前，非晶态金属已逐渐应用于工业的各个领域，而且其应用前景仍然是非常广阔。



要使材料非晶化，首先要考虑材料各组元的化学本性及各组元的含量，大多数纯金属无法非晶化。非晶态合金的制备，最主要的条件是要有足够快的冷却速度，冷却到材料的再结晶温度以下。目前，制造非晶态合金的方法大体上分为液相急冷法、气相冷凝法和镀层法三类。液相急冷法可以制造薄片、薄带、细线、粉末等多种形式，而且可以批量生产，因此更受重视。目前在生产中多采用液相单辊急冷法，生产宽度可达 100 mm 以上的薄带，长度可达 100 m 以上。

非晶态半导体材料中目前研究得最多、实用价值最大的是非晶态硅。近年来，发展了许多种气相沉积非晶态硅膜技术，主要有真空蒸发、辉光放电、溅射及化学气相沉积等方法。一般用的原料是单硅烷 ( $\text{SiH}_4$ )、二硅烷 ( $\text{Si}_2\text{H}_6$ )、四氟化硅 ( $\text{SiF}_4$ ) 等，纯度要求很高。非晶态硅膜的结构和性质与制备工艺的关系非常密切，目前认为以辉光放电法制备的非晶硅膜质量最好，设备也不复杂。辉光放电法是利用反应气体在等离子体中分解而在衬底上沉积成薄膜，实际上是借助等离子体进行的化学气相沉积。等离子体是由高频电源在真空系统中产生的。根据在真空室内施加电场的方式，可将辉光放电法分直流电高频法、微波法及附加磁场的辉光放电。在辉光放电装置中，非晶硅膜的生长过程就是硅烷在等离子体中分解并在衬底上沉积的过程。

### 三、超细化工艺技术

通常粉末或细颗粒指粒径为 1 mm 以下的固态物质。当固态颗粒的粒径在  $0.1 \sim 10 \mu\text{m}$  之间称为微细颗粒，粒径达到  $0.1 \mu\text{m}$  以下时，则称为超细颗粒。目前所述的超细粉体材料是指粒径在  $0.1 \sim 0.01 \mu\text{m}$  之间的固体颗粒。超细颗粒是介于大块物质和原子或分子间的中间物质状态，是人工获得的数目较小的原子或分子所组成的，它保持了原有物质的化学性质，而处于亚稳态的原子或分子群，在热力学上是不稳定的。所以对其研究和开发，是了解微观世界如何过渡到宏观世界的关键。

超细颗粒与一般粉末比较，现今已经发现了一系列奇特的性质，如熔点低、化学活性高、磁性强、热传导好、对电磁波的异常吸收等特性。这些性质的变化主要起因于“表面效应”和“体积效应”。超细颗粒正在催化、低温烧结、复合材料、新功能材料、隧道工程、医药及生物工程等方面得到应用，并取得了显著成果。超细颗粒的开发研究从 80 年代开始，还有许多技术和理论问题有待于进一步探讨。科学家预言超细颗粒将是 21 世纪的新型功能材料。

目前超细颗粒的制备大体上有两种方法：一是通过机械力将常规粉末进一步超细化；另一是借助于各种化学和物理方法，将新形成的分散状态的原子或分子逐渐生长或凝聚成所希望的超细颗粒。前者目前还难以得到微米级以下的粉末，有待于技术的进一步发展来实现。后者是当今超细化技术的主要方法，其最大优点是容易制成超细粉体。具体方法很多，若按原料物质的状态可分为气相法、液相法和固相法。固相法具有简单易行、成本低等优点，但产品粒径较大、粒度及组成存在分布、易混入杂质等缺点，达不到对产品质量的要求，因此处于逐渐被淘汰的状态。气相法则相反，产品具有粒径小、粒度和组成均匀、纯度高等优点，但该法设备庞大而且复杂，操作要求较高，成本偏高，因此使经济和技术实力薄弱的工厂望而却步，难以推广。液相法虽在产品质量的某些方面还赶不上气相法，但设备简单、易于操作、成本低，所以成为首选方法。

液相法是目前工业上经常采用的制备超细粉体材料的方法，其主要优点是颗粒的化学组成、形状、大小较易控制，易于均匀添加微量有效成分，在制备过程中还可以利用各种精制手段来提高纯度。特别适用于制备组成均匀、纯度较高的复合氧化物超细粉体材料。液相法