

西北工业大学

---

硕士学位论文

---

1000t/a粉末涂料流平剂生产工艺设计

---

姓名：梁博科

---

申请学位级别：硕士

---

专业：材料工程

---

指导教师：李铁虎;廖列文

---

20040618

## 摘 要

粉末涂料是近年来迅速发展的环保涂料品种，在众多领域中已经广泛使用。粉末涂料配方中加入流平剂，可以有效克服施工中的许多弊病，消除粉末涂料交联固化过程中可能出现的缩孔、针孔、桔皮等现象，改善工件表面涂装效果，提高粉末涂料产品质量，是粉末涂料配方中的重要助剂。目前，我国的流平剂的生产远远不能满足粉末涂料生产的需要，因此，建设一定规模的粉末涂料流平剂生产装置对于我国粉末涂料的发展是十分必要的。

本文根据我国粉末涂料的生产需要，在经过多年对粉末涂料及其流平剂的实验室研究和生产性试验的基础上，设计了一套年产 1000 吨的粉末涂料流平剂生产工艺。本工艺采用丙烯酸酯类为基础单体，配合功能性丙烯酸单体，以异丙醇为溶剂，过氧化苯甲酰为引发剂，应用溶液聚合合法合成三元共聚物液体流平剂；并根据用户的要求，配制出固体产品。同时较详细地进行了工艺流程的选择论证与研究，通过对生产过程的物料与能量衡算进行设备的设计与选择，并对工艺实施的经济效益进行了分析。

本设计所用生产工艺的特点为：在粉末涂料流平剂配方中引入功能性单体，显著地提高了粉末涂料的流平性和光泽度；采用连续滴加单体的加料方式，使反应过程平稳，聚合物分子量均匀，产品流平性能提高；采用异丙醇为聚合溶剂，提高了分子量的均匀性，避免了使用苯类溶剂的毒性。本设计的工艺还具有技术、生产可行性好，生产操作稳定等特点，所生产的粉末涂料流平剂产品质量稳定，使用性能达到了国内同类产品的水平。

本设计的主要内容包括：粉末涂料的发展概况，粉末涂料流平剂的作用，工艺、生产概况、市场需求情况的综述；项目所涉及的粉末涂料生产工艺流程的论证和选择；物料及热量衡算；生产工艺流程及控制介绍；主要设备选型和工艺尺寸的计算；设备投资估算；技术经济指标分析。本设计有如下附图：生产工艺流程图，生产设备平立面布置图。

关键词：粉末涂料；流平剂；生产线；工艺设计

## ABSTRACT

Powder coating developed rapidly in recent years because it can be widely used in many fields. Modaflow is a kind of additive of powder coatings, when added into powder coatings, such bugs of powder coatings as crinkling hole and pinhole can be eliminated, and quality of powder coatings can be improved effectively as well. At present, the production of modaflow in our country can't satisfy the need of powder coatings, it is essentially for development of powder coatings in our country to establish factory to manufacture modaflow.

In this paper, according to the need of powder coatings in our country and based on the study on powder coatings and modaflow for many years, the production device and technology for modaflow with ability of 1000 t/a were designed. In our technology, 2-propanol was used as solvent, benzoylperoxide (BPO) was used as initiator, liquid modaflow were synthesized by copolymerized of acrylate and acrylic acid, and solid modaflow were manufactured to satisfy consumer's need. At the same time, technical conditions were studied, facilities were designed and selected by way of calculation of energy and materials during of production, and benefits were analyzed as well.

The technology characterized by followings: functional monomer was introduced into the modaflow to improve luster and modaflow effect obviously, monomers were continuously added to the reactor, reaction was placidly carried, and the molecular weight of the product is uniform; 2-propanol instead of poisonous benzene was used as solvent, uniformity of the molecular weight can be improved. Additionally, this technology has such benefits as stability of quality, easy to operate.

The main contents of this paper include: summary of powder coatings, functions of modaflow; summarization of technology, production and demand of the market; selection of the technology, calculation of energy and materials, introduction of the technology, selection and calculation of facilities, calculation of investment, analysis of economic and technical targets. Flowchart and drawings of facilities arrangement were affiliated.

**Keywords:** Powder Coatings; Modaflow; Production Line; Technology Design

## 论文的新见解

粉末涂料流平剂的制备的实验室研究报道不少,但是生产实施过程却少见报道,本论文所做的工作是在生产试验的基础上进行生产线的设计,所采用工艺和设计的的新见解在:

(1) 在粉末涂料流平剂配方中引入功能性单体,显著地提高了粉末涂料的流平性和光泽度;

(2) 采用连续滴加单体的加料方式,使反应过程平稳,聚合产物分子量均匀,产品流平性能提高;

(3) 采用异丙醇为聚合溶剂,提高了分子量的均匀性,避免了使用苯类溶剂的毒性,有利于环保。

# 第1章 绪论

## 1. 1 文献综述

### 1. 1. 1 粉末涂料的发展概况

粉末涂料是从 20 世纪 60 年代发展起来的一种节省资源、节省能源、无溶剂污染的涂料新品种。所以,粉末涂料迅速获得了广泛的应用,其应用领域包括电冰箱、洗衣机、电饭提等家用电器,汽车、摩托车、拖拉机、建筑材料、金属家具以及机械、化工设备的防腐等方面<sup>[1~6]</sup>。

粉末涂料是一种由树脂、颜料、填料及添加剂等组成的粉末状物质,其中作为主要成膜物质的树脂组分可以是一种树脂及其固化系统,也可以是几种树脂混合物。其涂膜具有优异的性能,如优异的附着力和耐腐蚀性,以及良好的硬度、光泽、柔韧性和抗冲击强度等。粉末涂料还因其 100%的固体分,生产与施工中无 VOC 排放,有利于环境保护,同时由于其利用率高达 90%~95%,涂装周期短,生产效率高,优越性能而广泛应用于家电、机械、电子、建筑、化工、航天航空、矿山冶金等各个领域。成为当今涂料工业发展较快的品种。

粉末涂料始于 20 世纪 30 年代后期。人们用火焰喷涂法把聚乙烯粉末以熔融状态涂覆到金属表面上,这就是粉末涂装的开端。1952 年,德国 Knaspark Grieshe 公司的 Ercoin Gemmer 发明了流化床浸涂法(Fluidzed Bed System),热塑性粉末涂料有了较快的发展。50 年代是以热塑性粉末涂料为主,在管道防腐和电绝缘方面有更多的应用。1962 年,法国 Sames 公司发明了静电粉末喷涂设备;1964 年伴随着热固性环氧粉末涂料的开发和利用,粉末涂料引起了世界各国的关注。从 70 年代两次石油危机以后,粉末涂料作为省资源、省能耗和劳动效率高的新一代涂料产品,受到各国涂料生产和使用部门的充分重视,发展相当迅速。70 年代后期至 80 年代初,欧美对排放挥发性有机物的限制法规不断颁布,粉末涂料作为最理想的品种更引起世界各国重视<sup>[7-13]</sup>。但由于粉末涂装的装饰性满足不了高装饰要求而曾一度徘徊。进入 90 年代后,随着装饰性粉末问世,粉末涂料得到极大的发展。世界粉末涂料市场每年以 15%~20%的速度快速递增。1998 年北美地区粉末涂料市值达 9.2 亿美元,预计到 2003 年,该地区粉末涂料市值

# 第1章 绪论

## 1. 1 文献综述

### 1. 1. 1 粉末涂料的发展概况

粉末涂料是从 20 世纪 60 年代发展起来的一种节省资源、节省能源、无溶剂污染的涂料新品种。所以,粉末涂料迅速获得了广泛的应用,其应用领域包括电冰箱、洗衣机、电饭提等家用电器,汽车、摩托车、拖拉机、建筑材料、金属家具以及机械、化工设备的防腐等方面<sup>[1~6]</sup>。

粉末涂料是一种由树脂、颜料、填料及添加剂等组成的粉末状物质,其中作为主要成膜物质的树脂组分可以是一种树脂及其固化系统,也可以是几种树脂混合物。其涂膜具有优异的性能,如优异的附着力和耐腐蚀性,以及良好的硬度、光泽、柔韧性和抗冲击强度等。粉末涂料还因其 100%的固体分,生产与施工中无 VOC 排放,有利于环境保护,同时由于其利用率高达 90%~95%,涂装周期短,生产效率高,优越性能而广泛应用于家电、机械、电子、建筑、化工、航天航空、矿山冶金等各个领域。成为当今涂料工业发展较快的品种。

粉末涂料始于 20 世纪 30 年代后期。人们用火焰喷涂法把聚乙烯粉末以熔融状态涂覆到金属表面上,这就是粉末涂装的开端。1952 年,德国 Knaspark Grieshe 公司的 Ercoin Gemmer 发明了流化床浸涂法(Fluidzed Bed System),热塑性粉末涂料有了较快的发展。50 年代是以热塑性粉末涂料为主,在管道防腐和电绝缘方面有更多的应用。1962 年,法国 Sames 公司发明了静电粉末喷涂设备;1964 年伴随着热固性环氧粉末涂料的开发和利用,粉末涂料引起了世界各国的关注。从 70 年代两次石油危机以后,粉末涂料作为省资源、省能耗和劳动效率高的新一代涂料产品,受到各国涂料生产和使用部门的充分重视,发展相当迅速。70 年代后期至 80 年代初,欧美对排放挥发性有机物的限制法规不断颁布,粉末涂料作为最理想的品种更引起世界各国重视<sup>[7-13]</sup>。但由于粉末涂装的装饰性满足不了高装饰要求而曾一度徘徊。进入 90 年代后,随着装饰性粉末问世,粉末涂料得到极大的发展。世界粉末涂料市场每年以 15%~20%的速度快速递增。1998 年北美地区粉末涂料市值达 9.2 亿美元,预计到 2003 年,该地区粉末涂料市值

将增至 12.7 亿美元。该咨询机构还预测, 至 2003 年北美地区粉末涂料年均增长率为 6.8%, 日本的年均增长率为 7.3%, 西欧地区的增长率低一些, 为 5.6%, 世界其他地区则要高达 11.5%<sup>[14-18]</sup>。

我国粉末涂料生产起步较晚, 1965 年由广州电器科学研究所和常州绝缘材料厂率先开展了环氧绝缘粉末涂料的研制和生产。上海无线电二十四厂于 1968 年开始了静电涂装的试验, 应用于通信产品外壳。1974 年原化工部涂料研究所开展了环氧粉末涂料、聚酯粉末涂料、粉末涂料流平剂、节能粉末涂料等项目的研制工作。1985 年无锡造漆厂和杭州中法化学有限公司从英国、法国引进成套的粉末涂料生产线之后, 我国的粉末涂料生产技术和产品质量提高到了一个新的水平。伴随着改革开放以来国内家电产业的兴起, 我国粉末涂料产业获得了空前的发展, 产量由 1990 年的 12 万 t 增长到 2002 年的 16 万 t, 年均增长率达 24%, 我国已成为仅次于美国的世界第二大粉末涂料生产国。我国粉末涂料产品品种已形成 10 个大类: 装饰型环氧、绝缘环氧、防腐型环氧酚醛、环氧丙烯酸花纹型、聚酯环氧装饰型、环氧美术型、聚酯/异氰脲酸三缩水甘油酯、聚氨酯、半光、无光及其他功能性粉末涂料(包括阻燃型、导电型、耐热型等)<sup>[19-25]</sup>。我国的粉末涂料生产厂从 1982 年的 4~5 家发展到目前的 1000 家以上, 包含了外商独资、中外合资、国有、民营等多种经济成分。据 2002 年最新统计, 实际年产量在 4000 t 以上的企业有 10 家, 其总产量约占全国产量的 50%; 年产量 1000~4000 t 的企业约 35 家; 生产量 500~1000 t 的企业约 50 家; 其他虽然也有年产 200~300 t 的企业, 但多数是几十吨的小厂, 甚至十几吨的家庭作坊<sup>[26-28]</sup>。

### 1. 1. 2 粉末涂料的优点

粉末涂料由于省资源、节能、低公害和劳动生产效率高等得到各国重视。作为一种新型材料, 粉末涂料与溶剂涂料和水性涂料相比具有如下一些优点<sup>[29-31]</sup>。

①粉末涂料是一种固体含量为 100%粉末状涂料, 不含有机溶剂, 避免了有机溶剂对大气造成污染及对操作人员健康带来危害; 生产、储存和运输中减少火灾危险; ②在涂装过程中, 喷溢的粉末涂料可以回收再用, 涂料的利用率达到 95%以上, 如果颜色和品种单一, 设备的回收率高时, 利用率可达到 99%以上; ③粉末涂料的一次涂膜厚度可达 50~500  $\mu\text{m}$ 。相当于溶剂型涂料几道至几十道的厚

将增至 12.7 亿美元。该咨询机构还预测, 至 2003 年北美地区粉末涂料年均增长率为 6.8%, 日本的年均增长率为 7.3%, 西欧地区的增长率低一些, 为 5.6%, 世界其他地区则要高达 11.5%<sup>[14-18]</sup>。

我国粉末涂料生产起步较晚, 1965 年由广州电器科学研究所和常州绝缘材料厂率先开展了环氧绝缘粉末涂料的研制和生产。上海无线电二十四厂于 1968 年开始了静电涂装的试验, 应用于通信产品外壳。1974 年原化工部涂料研究所开展了环氧粉末涂料、聚酯粉末涂料、粉末涂料流平剂、节能粉末涂料等项目的研制工作。1985 年无锡造漆厂和杭州中法化学有限公司从英国、法国引进成套的粉末涂料生产线之后, 我国的粉末涂料生产技术和产品质量提高到了一个新的水平。伴随着改革开放以来国内家电产业的兴起, 我国粉末涂料产业获得了空前的发展, 产量由 1990 年的 12 万 t 增长到 2002 年的 16 万 t, 年均增长率达 24%, 我国已成为仅次于美国的世界第二大粉末涂料生产国。我国粉末涂料产品品种已形成 10 个大类: 装饰型环氧、绝缘环氧、防腐型环氧酚醛、环氧丙烯酸花纹型、聚酯环氧装饰型、环氧美术型、聚酯/异氰脲酸三缩水甘油酯、聚氨酯、半光、无光及其他功能性粉末涂料(包括阻燃型、导电型、耐热型等)<sup>[19-25]</sup>。我国的粉末涂料生产厂从 1982 年的 4~5 家发展到目前的 1000 家以上, 包含了外商独资、中外合资、国有、民营等多种经济成分。据 2002 年最新统计, 实际年产量在 4000 t 以上的企业有 10 家, 其总产量约占全国产量的 50%; 年产量 1000~4000 t 的企业约 35 家; 生产量 500~1000 t 的企业约 50 家; 其他虽然也有年产 200~300 t 的企业, 但多数是几十吨的小厂, 甚至十几吨的家庭作坊<sup>[26-28]</sup>。

### 1. 1. 2 粉末涂料的优点

粉末涂料由于省资源、节能、低公害和劳动生产效率高等得到各国重视。作为一种新型材料, 粉末涂料与溶剂涂料和水性涂料相比具有如下一些优点<sup>[29-31]</sup>。

①粉末涂料是一种固体含量为 100%粉末状涂料, 不含有机溶剂, 避免了有机溶剂对大气造成污染及对操作人员健康带来危害; 生产、储存和运输中减少火灾危险; ②在涂装过程中, 喷溢的粉末涂料可以回收再用, 涂料的利用率达到 95%以上, 如果颜色和品种单一, 设备的回收率高时, 利用率可达到 99%以上; ③粉末涂料的一次涂膜厚度可达 50~500  $\mu\text{m}$ 。相当于溶剂型涂料几道至几十道的厚



度，减少了多道喷涂中产生的二次污染问题，同时有利于节能和提高生产效率；⑤涂装操作技术简单，不需要很熟练的技术，涂膜厚涂时也不容易产生流挂等弊病，容易实行自动化流水线涂装；⑥不需要像乳溶剂型涂料那样随季节调节粘度，也不需要喷涂后放置一段时间挥发溶剂后进烘烤炉，可以节省涂装时间；⑦粉末涂料不用溶剂，是一种有效的节能措施，因为大部分溶剂的起始原料是石油原油。减少溶剂的用量，直接节省了原油的消耗。

### 1. 1. 3. 粉末涂料涂膜的缺陷与形成

由于粉末涂料是以固体形式进行施工，依靠加热使固体成膜剂熔融后形成涂膜，同时进行热固化的，所以具有与溶剂型涂料完全不同的流动、成膜、固化过程。同时由于粉末涂料本身固有的性能和特殊的施工形式，在成膜后必然存在缩孔、针孔、鱼眼、桔皮等涂膜缺陷<sup>[32-35]</sup>。

粉末涂料在生产和成膜过程由于不存在有助于湿润性和改善涂膜流动性的溶剂，导致粉末涂料表面缺陷的消除较之液态(溶剂型)涂料要难得多。粉末涂料的成膜过程是通过升温，使其粉末粒子熔融在一起(聚结)，进而流动、流平(成膜)，通过一个粘性液态阶段润湿底材，最后化学交联形成更高分子量的涂膜。

在粉末涂料涂膜形成过程中，由于连续涂膜流动不足或过度将会导致表面缺陷的形成，而这一流动又取决于驱使流动的表面张力和与此力相反的施加于涂膜中的分子间的相互作用力(表现为体系的熔融粘度)之间的差。对于具有优良流动性的涂层而言，体系的表面张力应尽可能的高，熔融粘度应尽可能的低。表面张力太低和或熔融粘度太高时，会阻止涂膜的流动，导致其流动性差而产生桔皮效应等，而表面张力太高时，成膜过程中会出现缩孔，熔融粘度太低会导致施工时边缘覆盖性差，立面流挂。显然，在粉末涂料的成膜过程中，受成膜中参与状态变化成膜物的高熔融粘度所支配，并且由于是以粉末形式施工，涂层中含有大量气体需要逸出，这样就必然会伴随有一些典型的表面缺陷产生，诸如桔皮、缩孔、针孔、缩边、流挂等。

另一方面由于粉末涂料的树脂相交联剂的固有特性，且又不含有低表面张力的溶剂，致使其对底材的湿润性较之溶剂型涂料也因难得多，缩孔也会因对底材的润湿不足而形成。

度，减少了多道喷涂中产生的二次污染问题，同时有利于节能和提高生产效率；⑤涂装操作技术简单，不需要很熟练的技术，涂膜厚涂时也不容易产生流挂等弊病，容易实行自动化流水线涂装；⑥不需要像乳溶剂型涂料那样随季节调节粘度，也不需要喷涂后放置一段时间挥发溶剂后进烘烤炉，可以节省涂装时间；⑦粉末涂料不用溶剂，是一种有效的节能措施，因为大部分溶剂的起始原料是石油原油。减少溶剂的用量，直接节省了原油的消耗。

### 1. 1. 3. 粉末涂料涂膜的缺陷与形成

由于粉末涂料是以固体形式进行施工，依靠加热使固体成膜剂熔融后形成涂膜，同时进行热固化的，所以具有与溶剂型涂料完全不同的流动、成膜、固化过程。同时由于粉末涂料本身固有的性能和特殊的施工形式，在成膜后必然存在缩孔、针孔、鱼眼、桔皮等涂膜缺陷<sup>[32-35]</sup>。

粉末涂料在生产和成膜过程由于不存在有助于湿润性和改善涂膜流动性的溶剂，导致粉末涂料表面缺陷的消除较之液态(溶剂型)涂料要难得多。粉末涂料的成膜过程是通过升温，使其粉末粒子熔融在一起(聚结)，进而流动、流平(成膜)，通过一个粘性液态阶段润湿底材，最后化学交联形成更高分子量的涂膜。

在粉末涂料涂膜形成过程中，由于连续涂膜流动不足或过度将会导致表面缺陷的形成，而这一流动又取决于驱使流动的表面张力和与此力相反的施加于涂膜中的分子间的相互作用力(表现为体系的熔融粘度)之间的差。对于具有优良流动性的涂层而言，体系的表面张力应尽可能的高，熔融粘度应尽可能的低。表面张力太低和或熔融粘度太高时，会阻止涂膜的流动，导致其流动性差而产生桔皮效应等，而表面张力太高时，成膜过程中会出现缩孔，熔融粘度太低会导致施工时边缘覆盖性差，立面流挂。显然，在粉末涂料的成膜过程中，受成膜中参与状态变化成膜物的高熔融粘度所支配，并且由于是以粉末形式施工，涂层中含有大量气体需要逸出，这样就必然会伴随有一些典型的表面缺陷产生，诸如桔皮、缩孔、针孔、缩边、流挂等。

另一方面由于粉末涂料的树脂相交联剂的固有特性，且又不含有低表面张力的溶剂，致使其对底材的湿润性较之溶剂型涂料也因难得多，缩孔也会因对底材的润湿不足而形成。

#### 1.1.4 粉末涂料涂膜缺陷的消除

原则上粉末涂料要有两个基本条件才能满足最佳流动。其一要有一种高的表面张力,当底材表面张力小时,应确保底材的润湿。其二,在界面上的表面张力与空气保持局部的均质性。

粉末涂料生产工艺不能与湿漆制备相比,其在粉末涂料生产过程中必须加入一种称为流平剂的助剂,不加流平剂的粉末涂料几乎不能满足后一条件。原因是,粉末涂料在制备过程的混合和混炼中由于工艺和设备固有的特性,总会存在一定的局部均匀性,而这种均匀性与物理特性(如表面张力)的局部均匀性密切相关。

粉末涂料不加流平剂不仅流平不好,而且表面也很容易产生缩孔。这种效应被解释为由熔化的粉末涂料漆膜局部表面张力的不同而引起的。粉末涂料在涂漆底材表面上的熔化总是遵循物理规律,趋向较大的表面张力值,形成很强结构的波纹表面(桔皮效应)。

可以把粉末涂料的成膜过程分为连续的聚结阶段和流化阶段(也叫流动阶段)。流平不好,主要产生在涂料成膜和流动这两个阶段。在形成缩孔时,局部表面张力差别相当大,所以要用特别低的表面张力才能将漆膜拉开,缩孔直径大都控制在0.1~1mm。这种缺陷大都表现在漆膜形成的第一阶段(聚结阶段)、而且流动阶段更强。这种表面效应,实际上不依赖于所用的底材,因此它不作为典型的底材润湿障碍,而是作为极端的流平障碍。

目前使用的流平剂是通过它对界面性能的影响起作用:它对表面张力的影响很小,但能平衡局部差别,是均匀流动的前提。所以在粉末涂料的制造中常靠加入流平剂来改善涂膜外观,消除或减轻桔皮、缩孔、针孔、缩边等表面缺陷。流平剂通过降低或改变表面张力和界面张力,降低粉末涂料的熔融粘度,以及通过促使固化中表面张力的均匀化来消除涂膜表面缺陷。在获得最终所需的平整度、光泽和鲜映度的最佳表面涂层方面起关键作用。所以是粉末涂料配方中不可缺少的组分之一。此外流平剂的使用还可帮助颜料分散、涂层中气体的释逸、避免透印(污渍潜移)、改善底材润湿性。这些助剂在很小的用量下即会产生明显的作用。

#### 1.1.5 粉末涂料流平剂

#### 1.1.4 粉末涂料涂膜缺陷的消除

原则上粉末涂料要有两个基本条件才能满足最佳流动。其一要有一种高的表面张力,当底材表面张力小时,应确保底材的润湿。其二,在界面上的表面张力与空气保持局部的均质性。

粉末涂料生产工艺不能与湿漆制备相比,其在粉末涂料生产过程中必须加入一种称为流平剂的助剂,不加流平剂的粉末涂料几乎不能满足后一条件。原因是,粉末涂料在制备过程的混合和混炼中由于工艺和设备固有的特性,总会存在一定的局部均匀性,而这种均匀性与物理特性(如表面张力)的局部均匀性密切相关。

粉末涂料不加流平剂不仅流平不好,而且表面也很容易产生缩孔。这种效应被解释为由熔化的粉末涂料漆膜局部表面张力的不同而引起的。粉末涂料在涂漆底材表面上的熔化总是遵循物理规律,趋向较大的表面张力值,形成很强结构的波纹表面(桔皮效应)。

可以把粉末涂料的成膜过程分为连续的聚结阶段和流化阶段(也叫流动阶段)。流平不好,主要产生在涂料成膜和流动这两个阶段。在形成缩孔时,局部表面张力差别相当大,所以要用特别低的表面张力才能将漆膜拉开,缩孔直径大都控制在0.1~1mm。这种缺陷大都表现在漆膜形成的第一阶段(聚结阶段)、而且流动阶段更强。这种表面效应,实际上不依赖于所用的底材,因此它不作为典型的底材润湿障碍,而是作为极端的流平障碍。

目前使用的流平剂是通过它对界面性能的影响起作用:它对表面张力的影响很小,但能平衡局部差别,是均匀流动的前提。所以在粉末涂料的制造中常靠加入流平剂来改善涂膜外观,消除或减轻桔皮、缩孔、针孔、缩边等表面缺陷。流平剂通过降低或改变表面张力和界面张力,降低粉末涂料的熔融粘度,以及通过促使固化中表面张力的均匀化来消除涂膜表面缺陷。在获得最终所需的平整度、光泽和鲜映度的最佳表面涂层方面起关键作用。所以是粉末涂料配方中不可缺少的组分之一。此外流平剂的使用还可帮助颜料分散、涂层中气体的释逸、避免透印(污渍潜移)、改善底材润湿性。这些助剂在很小的用量下即会产生明显的作用。

#### 1.1.5 粉末涂料流平剂

目前用于粉末涂料的流平剂主要有下列四类<sup>[36-42]</sup>：第一类是能涂料相容的丙烯酸酯长链聚合物，例如聚丙烯酸丁酯、聚丙烯酸异辛酯、聚丙烯酸月桂酯等，第二类是长链有机硅，如二甲基聚硅氧烷、甲基苯基硅氧烷等，第三类包括其它一些有机和无机物质的流平剂，如芳香族多羧酸烷基酯、硬脂酸锌和氧化锌等。第四类为含有功能性基团的丙烯酸酯类共聚物。

其中第一类主要是在早期的粉末涂料中使用，由于其性能单一正在被淘汰；第二类长链有机硅在早期在粉末涂料中也有使用，在粉末涂料中如果不合理使用长链有机硅助剂（太活泼或太小可配伍性）会污染整个设备，影响产品的质量，正确地选择改性的聚硅氧烷（可配伍性，表面活性较小的的硅酮）可改进粉末涂料特性，而且没有污染，聚硅氧烷的一个外加性质是改善了涂膜的防滑性。但是有机硅类助剂的最大缺点是价格高，使粉末涂料的成本增大；第三类由于其流平性能较差也很少使用；第四类丙烯酸酯类共聚物由于在合成配方中对改善粉末涂料的综合性能进行了考虑，引入功能性的单体进行共聚，使用时能针对要改善的涂料性能，通过调整共聚单体来提高粉末涂料的各种性能，因而身受研究者的重视和生产厂家的青睐。

目前工业中使用最流行的体系仍是丙烯酸酯类聚合物。主要原因是它们的流平性能良好，与粉末涂料常用的树脂相容性好，用超量和受污染的敏感性较之用聚硅氧烷的要轻，尤其是价格上更具竞争优势。为了提高粉末涂料的有关性能（与树脂和颜填料的相容性，流平性，光泽等）往往可以用具有不同功能团的丙烯酸酯类的共聚物，在共聚物中以丙烯酸丁酯为主，并配合带不同功能团的单体的2-乙基甲基丙烯酸酯、甲基丙烯酸甲酯、丙烯酸、甲基丙烯酸丁酯、含酰胺基的丙烯酸酯等<sup>[43-45]</sup>。

粉末涂料流平剂的供货形式，对使用者来说是非常重要的，由于粉末涂料特殊的配制工艺，应当优先采用有利于粉体均匀分散及有利于分散操作工序的粉状物或粒状物。因为考虑到大多数流平剂的有效物质在室温下发粘，所以目前特别提供了粉末状的配制品，即用适当的惰性物质将液体流平剂先行分散，然后使用。例如在粉末涂料中用硅酸或者其他惰性粉体作载体物质按有效物含量5—15%进行分散混合配制的粉体作为母体混合物。流平剂通常在粉末涂料中仅为粉末总量的0.5%—5.0%。

### 1. 1. 6 粉末涂料流平剂的研究情况

对于粉末涂料流平剂国外的研究报道不多,国内在二十世纪 90 年代起陆续有研究报道。最早报道的是以均聚物为主的粉末涂料流平剂,1989 年北京化工大学赵大庆等以丙烯酸异辛酯为聚合单体,过氧化苯甲酰为引发剂,分别以甲苯,二甲苯,四氢呋喃为溶剂合成了粉末涂料用流平剂,经喷涂试验表明,流平剂在丙烯酸粉末涂料中的用量 1% 时,能使板面无陨坑和桔皮现象,光泽度高<sup>[41]</sup>。随后的研究主要是以丙烯酸酯的共聚物为主,如安徽大学高分子研究所的周艺峰等研究了以丙烯酸酯丁酯为基础单体,与丙烯酸甲酯和一种功能性合成的共聚物粉末涂料流平剂,这种流平剂对粉末涂料具有良好的相容性,能使固化后的涂层具有平整、光滑及光泽度高的表面<sup>[38]</sup>。1997 年广东工业大学梁亮等选用以丙烯酸丁酯为主单体及部分抗老化性能好的、刚性的甲基丙烯酸酯单体组成的三元共聚物,能有效地消除粉末涂料中的缩孔和桔皮,使涂膜产生较高的光泽<sup>[37]</sup>。同年王同华等报道以丙烯酸乙酯(EA)和丙烯酸异辛酯(EHA)混合单体, BPO 为引发剂,二甲苯为溶剂进行共聚,按一定比例将制成的流平剂和自制的含酰胺基的微晶蜡熔融混合,放入压片机中冷却压片或粉碎制成了多功能流平剂<sup>[43]</sup>。成型品室温下为 100% 固体,由于组成中引入了酰胺极性基因,称之为酰胺改性流平剂。使用该流平剂可以解决树脂“相容性”问题使配方具有更广泛的可调性。2001 年廖列文等选用以丙烯酸丁酯为主单体及部分抗老化性能好的、刚性的甲基丙烯酸酯单体和一种功能性单体合成的三元共聚物粉末涂料流平剂,其流平性能好,并能使涂膜产生较高的光泽<sup>[36]</sup>。2002 年北京化工大学刘亚康等研究以丙烯酸异辛酯为基本单体利用双官能团单体甲基丙烯酸缩水甘油酯(GMA)参加共聚,使流平剂除了能改善板材的表面张力,使支链逸出涂层表面,除起到流平作用,防止缩孔外,还能与粉末涂料的基料反应,固化成为一体,得到的流平剂流平效果明显比丙烯酸酯均聚物流平剂好,没有缩孔和桔皮现象,表面极为光滑,光泽度有很大的提高,产品透明性能好,能有效地消除粉末涂料中的缩孔和对环氧-聚酯、纯聚酯和聚丙烯酸酯粉末涂料都能适用<sup>[46]</sup>。

### 1. 1. 7 粉末涂料流平剂的生产情况

粉末涂料在我国经过迅速发展,使我国以成为第二大粉末涂料生产国,据统

### 1. 1. 6 粉末涂料流平剂的研究情况

对于粉末涂料流平剂国外的研究报道不多,国内在二十世纪 90 年代起陆续有研究报道。最早报道的是以均聚物为主的粉末涂料流平剂,1989 年北京化工大学赵大庆等以丙烯酸异辛酯为聚合单体,过氧化苯甲酰为引发剂,分别以甲苯,二甲苯,四氢呋喃为溶剂合成了粉末涂料用流平剂,经喷涂试验表明,流平剂在丙烯酸粉末涂料中的用量 1% 时,能使板面无陨坑和桔皮现象,光泽度高<sup>[41]</sup>。随后的研究主要是以丙烯酸酯的共聚物为主,如安徽大学高分子研究所的周艺峰等研究了以丙烯酸酯丁酯为基础单体,与丙烯酸甲酯和一种功能性合成的共聚物粉末涂料流平剂,这种流平剂对粉末涂料具有良好的相容性,能使固化后的涂层具有平整、光滑及光泽度高的表面<sup>[38]</sup>。1997 年广东工业大学梁亮等选用以丙烯酸丁酯为主单体及部分抗老化性能好的、刚性的甲基丙烯酸酯单体组成的三元共聚物,能有效地消除粉末涂料中的缩孔和桔皮,使涂膜产生较高的光泽<sup>[37]</sup>。同年王同华等报道以丙烯酸乙酯(EA)和丙烯酸异辛酯(EHA)混合单体, BPO 为引发剂,二甲苯为溶剂进行共聚,按一定比例将制成的流平剂和自制的含酰胺基的微晶蜡熔融混合,放入压片机中冷却压片或粉碎制成了多功能流平剂<sup>[43]</sup>。成型品室温下为 100% 固体,由于组成中引入了酰胺极性基因,称之为酰胺改性流平剂。使用该流平剂可以解决树脂“相容性”问题使配方具有更广泛的可调性。2001 年廖列文等选用以丙烯酸丁酯为主单体及部分抗老化性能好的、刚性的甲基丙烯酸酯单体和一种功能性单体合成的三元共聚物粉末涂料流平剂,其流平性能好,并能使涂膜产生较高的光泽<sup>[36]</sup>。2002 年北京化工大学刘亚康等研究以丙烯酸异辛酯为基本单体利用双官能团单体甲基丙烯酸缩水甘油酯(GMA)参加共聚,使流平剂除了能改善板材的表面张力,使支链逸出涂层表面,除起到流平作用,防止缩孔外,还能与粉末涂料的基料反应,固化成为一体,得到的流平剂流平效果明显比丙烯酸酯均聚物流平剂好,没有缩孔和桔皮现象,表面极为光滑,光泽度有很大的提高,产品透明性能好,能有效地消除粉末涂料中的缩孔和对环氧-聚酯、纯聚酯和聚丙烯酸酯粉末涂料都能适用<sup>[46]</sup>。

### 1. 1. 7 粉末涂料流平剂的生产情况

粉末涂料在我国经过迅速发展,使我国以成为第二大粉末涂料生产国,据统

计我国 2002 年粉末涂料的产量达到 16 万 t。按每生产一吨粉末涂料需用流平剂 40 公斤计, 共需消耗 6400 吨粉末涂料流平剂。而我国粉末涂料厂家使用的粉末涂料流平剂还是以进口为主, 国内生产粉末涂料流平剂(特别是生产液体流平剂)的厂家不多, 仅在浙江奉化, 江苏无锡等地有为数不多的几家厂家。广东省生产粉末涂料流平剂的厂家仅两家左右, 年产不足 800 吨, 而且是以购买液流生产固流为主。广东省是我国粉末涂料的生产集中地, 粉末涂料总生产能力占全国粉末涂料流平剂的 50% 左右, 估计全省粉末涂料总生产能力在 10 万吨左右, 年需要流平剂(固流)产品超过 4000 吨。可见在我国发展流平剂还是有广阔的前景。

### 1. 1. 8 流平剂的生产工艺概况

传统的聚丙烯酸酯流平剂在粉末涂料领域中已成功地应用多年, 其代表性的品种主要是聚丙烯酸丁酯、乙酯、月桂酸酯<sup>[47]</sup>之类的均聚物以及丙烯酸脂的共聚物。作为流平剂使用的聚丙烯酸酯大都是一类具有低玻璃化转变温度(-50—+10℃)。外观为粘稠状透明或浅色的粘稠液体, 液体流平剂由于其强大的粘稠性, 直接应用于粉末涂料生产时很难分散。因此, 通常制成所谓的“母体混合物”, 用树脂(如环氧树脂或聚酯树脂)或惰性填料(如沉淀 BaSO<sub>4</sub>, 白碳黑等)作为载体吸附或熔融加工冷却成固体后经粉碎应用。所以以固体流平剂为目标产品时其生产过程包括液体流平剂和固体流平剂的生产工艺过程。

1. 1. 8. 1 液体流平剂的生产 液体流平剂的制备过程为自由基溶液聚合反应, 反应是使丙烯酸酯在烃类、芳香类、醇类溶剂中, 以过氧化苯甲酰等为引发剂, 在加热回流下进行反应, 反应完成后经常压后减压蒸馏得到粘稠状的液体流平剂产品。

流平剂制备中使用的单体有丙烯酸丁酯、丙烯酸异辛酯, 甲基丙烯酸丁酯, 甲基丙烯酸甲酯, 丙烯酸, 甲基丙烯酸缩水甘油酯等。其中丙烯酸丁酯、丙烯酸异辛酯为主要组分起调节玻璃化温度的作用, 甲基丙烯酸丁酯, 甲基丙烯酸甲酯, 丙烯酸, 甲基丙烯酸缩水甘油酯等起改善粉末涂料的各种性能的作用。

使用的溶剂可以为环己烷、苯、甲苯、二甲苯、乙醇、正丁醇、异丙醇等, 由于要求所得到的聚合物分子量要适当以及分布均匀所以要求溶剂要有高的链



计我国 2002 年粉末涂料的产量达到 16 万 t。按每生产一吨粉末涂料需用流平剂 40 公斤计, 共需消耗 6400 吨粉末涂料流平剂。而我国粉末涂料厂家使用的粉末涂料流平剂还是以进口为主, 国内生产粉末涂料流平剂(特别是生产液体流平剂)的厂家不多, 仅在浙江奉化, 江苏无锡等地有为数不多的几家厂家。广东省生产粉末涂料流平剂的厂家仅两家左右, 年产不足 800 吨, 而且是以购买液流生产固流为主。广东省是我国粉末涂料的生产集中地, 粉末涂料总生产能力占全国粉末涂料流平剂的 50% 左右, 估计全省粉末涂料总生产能力在 10 万吨左右, 年需要流平剂(固流)产品超过 4000 吨。可见在我国发展流平剂还是有广阔的前景。

### 1. 1. 8 流平剂的生产工艺概况

传统的聚丙烯酸酯流平剂在粉末涂料领域中已成功地应用多年, 其代表性的品种主要是聚丙烯酸丁酯、乙酯、月桂酸酯<sup>[47]</sup>之类的均聚物以及丙烯酸酯的共聚物。作为流平剂使用的聚丙烯酸酯大都是一类具有低玻璃化转变温度(-50—+10℃)。外观为粘稠状透明或浅色的粘稠液体, 液体流平剂由于其强大的粘稠性, 直接应用于粉末涂料生产时很难分散。因此, 通常制成所谓的“母体混合物”, 用树脂(如环氧树脂或聚酯树脂)或惰性填料(如沉淀 BaSO<sub>4</sub>, 白碳黑等)作为载体吸附或熔融加工冷却成固体后经粉碎应用。所以以固体流平剂为目标产品时其生产过程包括液体流平剂和固体流平剂的生产工艺过程。

1. 1. 8. 1 液体流平剂的生产 液体流平剂的制备过程为自由基溶液聚合反应, 反应是使丙烯酸酯在烃类、芳香类、醇类溶剂中, 以过氧化苯甲酰等为引发剂, 在加热回流下进行反应, 反应完成后经经常压后减压蒸馏得到粘稠状的液体流平剂产品。

流平剂制备中使用的单体有丙烯酸丁酯、丙烯酸异辛酯, 甲基丙烯酸丁酯, 甲基丙烯酸甲酯, 丙烯酸, 甲基丙烯酸缩水甘油酯等。其中丙烯酸丁酯、丙烯酸异辛酯为主要组分起调节玻璃化温度的作用, 甲基丙烯酸丁酯, 甲基丙烯酸甲酯, 丙烯酸, 甲基丙烯酸缩水甘油酯等起改善粉末涂料的各种性能的作用。

使用的溶剂可以为环己烷、苯、甲苯、二甲苯、乙醇、正丁醇、异丙醇等, 由于要求所得到的聚合物分子量要适当以及分布均匀所以要求溶剂要有高的链

转移常数,以及要求聚合物含残留溶剂少,因此反应回流温度和蒸馏温度低为好,当然使用有机溶剂时还要考虑其易燃性和毒性。

1. 1. 8. 1 固体流平剂的生产 固体流平剂的生产过程有 2 种方式。一种是熔融法,即按配比在已加热和搅拌的熔融釜内加入树脂、填料和液体流平剂,使其熔融、混合均匀、出料、冷却、粉碎,得到固体流平剂。第二种是混合分散法,即采用吸油量大的无机填料于高速混合机中,按比例加入液体流平剂,使其充分混合、分散,得到粉状固体流平剂。第一种方法由于加入树脂需要加热熔融和粉碎,制备能耗较大、成本较高,有时会在树脂间的相容性问题<sup>[48]</sup>。但针对性地加入树脂,并且填料相对较少,有利于粉末涂料制备过程的混炼和涂装效果。第二种方法由于不需加入树脂所以不需加热,生产能耗低。而且使用中不存在树脂的相容性,树脂的适应性强,用量少(有效成分含量高),但存在用量少时造成的分散效果问题,并且目前市场还没有完全接受。

## 1. 2 课题的来源及意义

### 1. 2. 1 课题的来源

本课题是广东省科技创新项目,由广东省惠州市泰美精细化工有限公司投资建设厂。

### 1. 2. 2 课题研究的目的和意义

流平剂是粉末涂料制备中不可缺少的助剂,对粉末涂料的性能起十分重要的作用。它能有效地防止涂膜产生针孔和桔皮,赋予涂膜光泽和流平性,提高涂膜的装饰性能和机械性能。随着近年来我国粉末涂料生产厂家如雨后春笋般地兴起,产量迅速增长,因而对流平剂的需求日增,而我国粉末涂料流平剂需大量进口。为适应我国粉末涂料发展的需要,发展粉末涂料流平剂的生产也愈来愈显得重要。为此我们在总结了目前国内外流平剂生产工艺技术基础上。经过多年研究开发出以丙烯酸酯类为基础单体的共聚物流平剂,在经过生产性试验的基础上立项建厂。

转移常数,以及要求聚合物含残留溶剂少,因此反应回流温度和蒸馏温度低为好,当然使用有机溶剂时还要考虑其易燃性和毒性。

1. 1. 8. 1 固体流平剂的生产 固体流平剂的生产过程有 2 种方式。一种是熔融法,即按配比在已加热和搅拌的熔融釜内加入树脂、填料和液体流平剂,使其熔融、混合均匀、出料、冷却、粉碎,得到固体流平剂。第二种是混合分散法,即采用吸油量大的无机填料于高速混合机中,按比例加入液体流平剂,使其充分混合、分散,得到粉状固体流平剂。第一种方法由于加入树脂需要加热熔融和粉碎,制备能耗较大、成本较高,有时会在树脂间的相容性问题<sup>[48]</sup>。但针对性地加入树脂,并且填料相对较少,有利于粉末涂料制备过程的混炼和涂装效果。第二种方法由于不需加入树脂所以不需加热,生产能耗低。而且使用中不存在树脂的相容性,树脂的适应性强,用量少(有效成分含量高),但存在用量少时造成的分散效果问题,并且目前市场还没有完全接受。

## 1. 2 课题的来源及意义

### 1. 2. 1 课题的来源

本课题是广东省科技创新项目,由广东省惠州市泰美精细化工有限公司投资建设厂。

### 1. 2. 2 课题研究的目的和意义

流平剂是粉末涂料制备中不可缺少的助剂,对粉末涂料的性能起十分重要的作用。它能有效地防止涂膜产生针孔和桔皮,赋予涂膜光泽和流平性,提高涂膜的装饰性能和机械性能。随着近年来我国粉末涂料生产厂家如雨后春笋般地兴起,产量迅速增长,因而对流平剂的需求日增,而我国粉末涂料流平剂需大量进口。为适应我国粉末涂料发展的需要,发展粉末涂料流平剂的生产也愈来愈显得重要。为此我们在总结了目前国内外流平剂生产工艺技术基础上。经过多年研究开发出以丙烯酸酯类为基础单体的共聚物流平剂,在经过生产性试验的基础上立项建厂。

## 1.3 建设项目说明

### 1.3.1 本项目设计的依据

本项目《1000t/a 粉末涂料流平剂生产工艺设计》是广东惠州广美化工有限公司的一个建设项目，项目根据长期国内市场的调查结果，一致认为进行粉末涂料流平剂的开发生产并推向国内市场，具有很好的前景，是一种值得规模化生产的精细化工产品。项目根据广东工业大学研究开发的现有的生产工艺、技术为前提进行设计的。主要设计原则如下：

- (1) 本设计是以广美化工有限公司已建设完成的标准厂房作为生产用地。厂房的结构完全符合拟建设项目的要求。
- (2) 在积极采用先进技术，在工艺和设备设计时，既考虑设备与工艺过程的相应适性和合理性，在满足工艺要求前提下，尽量采用先进设备。
- (2) 在工艺设计时，充分考虑操作的环境卫生、安全，展现现代化生产企业的文明风范。

### 1.3.2 项目设计分工

我们负责的设计内容包括工艺设计和部分非标设备的设计和选型。土建、供水、供电、公用工程等，根据工艺提出条件要求，具体执行由广美化工有限公司委托其他单位设计和施工。

### 1.3.3 生产方法

以丙烯酸丁酯，甲基丙烯酸丁酯和一种功能性单体为共聚单体，过氧化苯甲酰为引发剂，在异丙醇溶剂中进行共聚合反应合成粉末涂料的液体流平剂；然后将液体流平剂，环氧树脂和分散填料在一定温度下熔融混合，经冷却、粉碎制得固体流平剂产品。

### 1.3.4 建厂规模及产品规格

立项项目拟建 1000t/a 粉末涂料流平剂生产线，其中液流设计生产能力为 150

吨/年, 本论文主要对该生产线工艺进行论证、设计。该建设项目拟生产的粉末涂料流平剂产品为白色(或淡黄色)粒状固体, 是通过生产液体流平剂中间产品而制得, 液体流平剂和固体流平剂的质量指标见表 1-1, 1-2。

表 1-1 液体流平剂产品规格

Tab. 1-1 Index of liquid modaflow production quality

编号	项目名称	技术指标	检测方法
1	外观	无色或略黄色透明粘液	目测
2	黏度	13 ~ 28 秒	涂 4 杯加 50% 二甲苯溶液 25℃
3	固体含量	≥ 99%	按 GB1725-79 测定方法
4	闪点	≥ 200℃	按 GB3536-83 开口杯法

表 1-2 固体流平剂产品规格

Tab. 1-2 Index of solid modaflow production quality

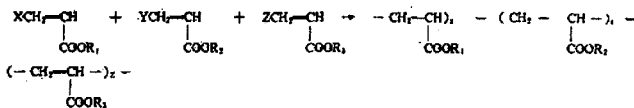
编号	项目名称	技术指标	检测方法
1	外观	乳白或浅黄色固体颗粒	目测
2	环球软化点	95 ~ 115℃	按 HG <sub>2</sub> —741—72 测定法
3	固含量	≥ 99%	按 GB1725—79 测定法
4	酸值 mgKOH/g	25 ~ 60	按 HG <sub>2</sub> —569—77 测定法

## 1. 4 本章小结

本章通过调研国内外大量的文献, 对粉末涂料的发展现状、粉末涂料涂膜的缺陷与形成、粉末涂料流平剂的作用和生产情况进行了综述, 并对粉末涂料流平剂在国内的消耗和生产情况进行了分析。近年来在我国粉末涂料发展迅速, 生产量逐年增大, 应用领域不断扩大, 粉末涂料流平剂的需求也不断增加。但是我国的粉末涂料流平剂生产能力很低, 大多依赖进口, 进行粉末涂料流平剂的生产显得十分必要。本章还对项目的设计依据、项目分工、生产方法和建厂规模及产品规格进行了说明。

## 第2章 设计工艺条件的选择及生产工艺

本项目设计生产的粉末涂料流平剂主要采用数种在侧链上含不同碳原子的丙烯酸酯类单体及少量功能性丙烯酸酯单体在引发剂的存在下进行溶液聚合来制备的。其反应式如下：



对于设计所采用的工艺，为了得到涂膜性能良好的粉末涂料流平剂，经过大量的实验室研究和生产性试验，取得了良好实验结果。本章主要在实验的基础上，进行相关工艺条件的论证和选择。

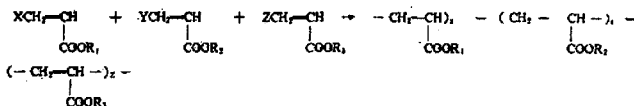
### 2.1 共聚物玻璃化温度 (T<sub>g</sub>) 的选择

各种单体在共聚物组成中起着不同的作用，而单体的种类和配比又影响着最终共聚物的玻璃化温度。对于粉末涂料，流平剂在施工过程中必须在较低的温度下能够熔融、流动，即要求有低的玻璃化温度 T<sub>g</sub>。在适当范围内，流平剂分子量越小，玻璃化温度越低，其流平性就越好。当聚合物温度低于 T<sub>g</sub> 时，它的大部分碳链具有固定的构型，只发生很小的移动和旋转，而聚合物温度高于 T<sub>g</sub> 时，其碳链具有足够的热能而发生旋转运动和扭变振动。聚丙烯酸酯流平剂在常温下一般为液态，作为流平剂使用的丙烯酸酯共聚物应具有较低的玻璃化温度。而采用单一种类的丙烯酸酯单体难以合成出性能良好的流平剂。此外，流平剂与涂料基体树脂的混溶性好也有利于流平性能提高。另外，聚合物低的熔融粘度有利于涂料中树脂与颜填料的相混溶，有利于流平剂从树脂中渗出被涂物表面，使被涂物润湿。通常共聚物的玻璃化温度(T<sub>g</sub>)介于各均聚物的玻璃化温度(T<sub>g</sub>)之间，可由式 1-1 求得

$$\frac{1}{T_{g_c}} = \frac{\omega_1}{T_{g_1}} + \frac{\omega_2}{T_{g_2}} + \frac{\omega_3}{T_{g_3}} + \dots \quad (\text{式 1-1})$$

## 第2章 设计工艺条件的选择及生产工艺

本项目设计生产的粉末涂料流平剂主要采用数种在侧链上含不同碳原子的丙烯酸酯类单体及少量功能性丙烯酸酯单体在引发剂的存在下进行溶液聚合来制备的。其反应式如下：



对于设计所采用的工艺，为了得到涂膜性能良好的粉末涂料流平剂，经过大量的实验室研究和生产性试验，取得了良好实验结果。本章主要在实验的基础上，进行相关工艺条件的论证和选择。

### 2.1 共聚物玻璃化温度 (T<sub>g</sub>) 的选择

各种单体在共聚物组成中起着不同的作用，而单体的种类和配比又影响着最终共聚物的玻璃化温度。对于粉末涂料，流平剂在施工过程中必须在较低的温度下能够熔融、流动，即要求有低的玻璃化温度 T<sub>g</sub>。在适当范围内，流平剂分子量越小，玻璃化温度越低，其流平性就越好。当聚合物温度低于 T<sub>g</sub> 时，它的大部分碳链具有固定的构型，只发生很小的移动和旋转，而聚合物温度高于 T<sub>g</sub> 时，其碳链具有足够的热能而发生旋转运动和扭变振动。聚丙烯酸酯流平剂在常温下一般为液态，作为流平剂使用的丙烯酸酯共聚物应具有较低的玻璃化温度。而采用单一种类的丙烯酸酯单体难以合成出性能良好的流平剂。此外，流平剂与涂料基体树脂的混溶性好也有利于流平性能提高。另外，聚合物低的熔融粘度有利于涂料中树脂与颜填料的相混溶，有利于流平剂从树脂中渗出被涂物表面，使被涂物润湿。通常共聚物的玻璃化温度(T<sub>g</sub>)介于各均聚物的玻璃化温度(T<sub>g</sub>)之间，可由式 1-1 求得

$$\frac{1}{T_{g_c}} = \frac{\omega_1}{T_{g_1}} + \frac{\omega_2}{T_{g_2}} + \frac{\omega_3}{T_{g_3}} + \dots \quad (\text{式 1-1})$$

式中  $\omega_1$ 、 $\omega_2$  和  $\omega_3$  等为各种单体的质量分数， $T_{g1}$ 、 $T_{g2}$  和  $T_{g3}$  等为各种单体均聚物的玻璃化温度。按照本工艺的配方，本设计选定的流平剂 Tgc 在  $-35\sim-50^\circ\text{C}$  之间。试验选择的结果见表 2-4。

## 2.2 共聚单体的选用

粉末涂料流平剂是以丙烯酸酯为主要原料进行共聚合而制备得到，因此其组成单体必然会影响到产品的性能，选择其组成单体主要是根据单体均聚物的性能，本项目选择的聚合体系的单体性能见表 2-1。

表 2-1 单体对共聚物膜性能的影响

Tab.2-1 Effect monomer for film of polymer

性能	单体		
	丙烯酸丁酯	甲基丙烯酸丁酯	丙烯酸
粘性	很粘	几乎不粘	很粘
硬度	很软	软塑性有限	硬
抗张强度	很低	低	—
伸长性	极高	高	—
附着力	尚可	良好	良好
耐溶剂（汽油）性	尚可	良好	尚可
抗湿性	良好	—	低
保光性	尚可	很好	很好
抗冷裂性	良好	不良	良好
耐紫外光性	良好	很好	良好
光泽	很低	低	很高

由表 2-1 可见所用丙烯酸酯对涂膜的性能均有很好的贡献，而且选用功能性单体丙烯酸对涂膜的光泽贡献最大。

作为粉末涂料流平剂，即要求流平性能好，又要具有较好的光泽。在选择共聚单体时，首先必须从单体均聚物的玻璃化温度着手，其玻璃化温度越低，流平性越好。其次要考虑选用具有改善、提高涂膜其他性能的单体。因此，选用玻璃



式中  $\omega_1$ 、 $\omega_2$  和  $\omega_3$  等为各种单体的质量分数， $T_{g1}$ 、 $T_{g2}$  和  $T_{g3}$  等为各种单体均聚物的玻璃化温度。按照本工艺的配方，本设计选定的流平剂 Tgc 在  $-35\sim-50^\circ\text{C}$  之间。试验选择的结果见表 2-4。

## 2.2 共聚单体的选用

粉末涂料流平剂是以丙烯酸酯为主要原料进行共聚合而制备得到，因此其组成单体必然会影响到产品的性能，选择其组成单体主要是根据单体均聚物的性能，本项目选择的聚合体系的单体性能见表 2-1。

表 2-1 单体对共聚物膜性能的影响

Tab.2-1 Effect monomer for film of polymer

性能	单体		
	丙烯酸丁酯	甲基丙烯酸丁酯	丙烯酸
粘性	很粘	几乎不粘	很粘
硬度	很软	软塑性有限	硬
抗张强度	很低	低	—
伸长性	极高	高	—
附着力	尚可	良好	良好
耐溶剂（汽油）性	尚可	良好	尚可
抗湿性	良好	—	低
保光性	尚可	很好	很好
抗冷裂性	良好	不良	良好
耐紫外光性	良好	很好	良好
光泽	很低	低	很高

由表 2-1 可见所用丙烯酸酯对涂膜的性能均有很好的贡献，而且选用功能性单体丙烯酸对涂膜的光泽贡献最大。

作为粉末涂料流平剂，即要求流平性能好，又要具有较好的光泽。在选择共聚单体时，首先必须从单体均聚物的玻璃化温度着手，其玻璃化温度越低，流平性越好。其次要考虑选用具有改善、提高涂膜其他性能的单体。因此，选用玻璃

化温度低的丙烯酸丁酯作为主要成分,使其获得低的玻璃化温度,同时配以赋予涂膜硬度的高玻璃化温度的甲基丙烯酸丁酯和赋予涂膜光泽的丙烯酸进行共聚。实验表明,它可由其均聚物玻璃化温度较低的丙烯酸酯单体(约占85~95%)和其均聚物玻璃化温度较高的丙烯酸酯单体(约占3~10%)配以少量功能性单体(约占2~7%)共聚组成。正交试验结果见表2.3。

### 2.3 溶剂与引发剂的选用

为了更好地控制反应温度,常压下的溶液聚合反应通常是在溶剂回流温度下进行。在丙烯酸酯类的聚合反应过程中通常使用醇类和苯系溶剂作为溶剂,使用不同的溶剂也会直接影响到聚合物的分子量大小。

在溶液聚合反应中,溶剂在不同程度上也是聚合物的链转移剂,对聚合物的分子量会产生影响。为了得到分子量均匀的聚合物,应当考虑使用链转移常数( $C_s$ )大的溶剂。在链转移活性大的溶剂中聚合,所得聚合物的分子量小。溶剂结构不同,其链转移常数不同,在一定的条件下制得的聚合物分子量也不同。溶剂的沸点不同,聚合反应的温度不同,产物的分子量也不同。聚合反应的温度高,分子量低。目前市场上的粉末涂料流平剂的粘度为13~25s。采用异丙醇( $C_s=50 \times 10^5$ ,沸点82.3℃)和甲苯( $C_s=0.3 \times 10^4$ ,沸点115℃)进行试验,所得聚合物的粘度分别为 $\eta_{\text{异丙醇}}=12.9\text{s}$ , $\eta_{\text{甲苯}}=15\text{s}$ ,在此聚合反应中,链转移常数对产物的分子量起着决定作用。从毒性和溶剂去除难易考虑,采用毒性小、沸点低的异丙醇作为溶剂。

引发剂的种类和用量也会对聚合物的分子量和分子量分布产生影响,过氧化苯甲酰、偶氮二异丁腈等油溶性引发剂都可以在该体系中使用。引发剂的选择首先应考虑其在聚合单体中的溶解性,还必须考虑聚合反应温度与引发剂活性相匹配。在本设计涉及的溶液聚合反应中要求合成的聚合物有相对较低的分子量,所以要求引发剂必须要有相对较高的分解速率。引发剂的分解速率低时,反应温度高时,聚合反应速度慢,使生成的聚合物分子量高。相反,引发剂分解速率高时,聚合反应速度加快,生成的聚合物分子量就低。表2-2为过氧化二苯甲酰在(79.8℃)不同溶剂中的分解速率。

经过实验选用过氧化二苯甲酰作为聚合反应的引发剂,在聚合反应过程中为

化温度低的丙烯酸丁酯作为主要成分,使其获得低的玻璃化温度,同时配以赋予涂膜硬度的高玻璃化温度的甲基丙烯酸丁酯和赋予涂膜光泽的丙烯酸进行共聚。实验表明,它可由其均聚物玻璃化温度较低的丙烯酸酯单体(约占85~95%)和其均聚物玻璃化温度较高的丙烯酸酯单体(约占3~10%)配以少量功能性单体(约占2~7%)共聚组成。正交试验结果见表2.3。

### 2.3 溶剂与引发剂的选用

为了更好地控制反应温度,常压下的溶液聚合反应通常是在溶剂回流温度下进行。在丙烯酸酯类的聚合反应过程中通常使用醇类和苯系溶剂作为溶剂,使用不同的溶剂也会直接影响到聚合物的分子量大小。

在溶液聚合反应中,溶剂在不同程度上也是聚合物的链转移剂,对聚合物的分子量会产生影响。为了得到分子量均匀的聚合物,应当考虑使用链转移常数( $C_s$ )大的溶剂。在链转移活性大的溶剂中聚合,所得聚合物的分子量小。溶剂结构不同,其链转移常数不同,在一定的条件下制得的聚合物分子量也不同。溶剂的沸点不同,聚合反应的温度不同,产物的分子量也不同。聚合反应的温度高,分子量低。目前市场上的粉末涂料流平剂的粘度为13~25s。采用异丙醇( $C_s=50 \times 10^5$ ,沸点82.3℃)和甲苯( $C_s=0.3 \times 10^4$ ,沸点115℃)进行试验,所得聚合物的粘度分别为 $\eta_{\text{异丙醇}}=12.9\text{s}$ , $\eta_{\text{甲苯}}=15\text{s}$ ,在此聚合反应中,链转移常数对产物的分子量起着决定作用。从毒性和溶剂去除难易考虑,采用毒性小、沸点低的异丙醇作为溶剂。

引发剂的种类和用量也会对聚合物的分子量和分子量分布产生影响,过氧化苯甲酰、偶氮二异丁腈等油溶性引发剂都可以在该体系中使用。引发剂的选择首先应考虑其在聚合单体中的溶解性,还必须考虑聚合反应温度与引发剂活性相匹配。在本设计涉及的溶液聚合反应中要求合成的聚合物有相对较低的分子量,所以要求引发剂必须要有相对较高的分解速率。引发剂的分解速率低时,反应温度高时,聚合反应速度慢,使生成的聚合物分子量高。相反,引发剂分解速率高时,聚合反应速度加快,生成的聚合物分子量就低。表2-2为过氧化二苯甲酰在(79.8℃)不同溶剂中的分解速率。

经过实验选用过氧化二苯甲酰作为聚合反应的引发剂,在聚合反应过程中为

了提高单体的转化率和所得产品分子量的均匀程度,采用滴加法加入引发剂,并在反应结束前补加 0.5%的引发剂,使聚合反应更加完全。引发剂滴加时间为 2~3h。

表 2-2 过氧化二苯甲酰在(79.8℃)不同溶剂中的分解速率

Tab. 2-2 decomposing rate of BPO in different solvents (79.8℃)

溶剂	苯	甲苯	环己烷	甲醇	乙醇	异丙醇	正丁醇
分解	60min	15.5	17.4	51.0			
	10min				46.3	81.8	95.1

在聚合反应中氧对自由基聚合有阻聚作用,这是由氧分子结构的特征所决定的,氧分子可以作为一个二价的自由基,当正在进行链增长的自由基加到氧分子上去后,就可能失去活性,使链增长反应终止。因此在丙烯酸酯进行溶液聚合时必须消除氧的影响,我们在实验中采用在溶剂回流情况下开始滴加单体溶液,使反应在溶剂回流下进行,这对排除氧的影响很有作用。

## 2.4 单体比、溶剂用量、引发剂用量的确定

对聚合物分子量的影响主要有单体比、溶剂用量和引发剂用量。单体比主要影响聚合物的性能,单体比的选择,应考虑产物兼具足够低的粘度、好的流平性能和光泽;溶剂选择要考虑保证产物的分子量和生产能力;引发剂的选择,应考虑产物的分子量和工艺的简单性(即单体应不需精制)。根据以往的经验,采用加大引发剂用量的方法引发反应。并在前期实验的各因素用量范围的基础上进行实验条件优化,采用三因素、三水平进行正交试验,实验设计见表 2-3。

采用  $L_9(3^4)$  进行正交试验,按正交试验方案,进行 9 次小试验,其结果见表 2-4。

由正交试验结果的极差可知,对产物性能影响最大的是单体比,其次为溶剂用量,引发剂用量影响最小。配制成粉末涂料的涂膜光泽和流平性能结果表明,随着功能性单体丙烯酸用量的增加,涂膜的光泽增加,其玻璃化温度升高,使流平性能下降,主要是因为丙烯酸含量增加其交联点位增加,会使固化时的交联速度增大而影响涂膜流平性,与文献<sup>[5]</sup>所述一致。功能性丙烯酸单体用量不能太多,

了提高单体的转化率和所得产品分子量的均匀程度,采用滴加法加入引发剂,并在反应结束前补加 0.5%的引发剂,使聚合反应更加完全。引发剂滴加时间为 2~3h。

表 2-2 过氧化二苯甲酰在(79.8℃)不同溶剂中的分解速率

Tab. 2-2 decomposing rate of BPO in different solvents (79.8℃)

溶剂	苯	甲苯	环己烷	甲醇	乙醇	异丙醇	正丁醇
分解	60min	15.5	17.4	51.0			
	10min				46.3	81.8	95.1

在聚合反应中氧对自由基聚合有阻聚作用,这是由氧分子结构的特征所决定的,氧分子可以作为一个二价的自由基,当正在进行链增长的自由基加到氧分子上去后,就可能失去活性,使链增长反应终止。因此在丙烯酸酯进行溶液聚合时必须消除氧的影响,我们在实验中采用在溶剂回流情况下开始滴加单体溶液,使反应在溶剂回流下进行,这对排除氧的影响很有作用。

## 2.4 单体比、溶剂用量、引发剂用量的确定

对聚合物分子量的影响主要有单体比、溶剂用量和引发剂用量。单体比主要影响聚合物的性能,单体比的选择,应考虑产物兼具足够低的粘度、好的流平性能和光泽;溶剂选择要考虑保证产物的分子量和生产能力;引发剂的选择,应考虑产物的分子量和工艺的简单性(即单体应不需精制)。根据以往的经验,采用加大引发剂用量的方法引发反应。并在前期实验的各因素用量范围的基础上进行实验条件优化,采用三因素、三水平进行正交试验,实验设计见表 2-3。

采用  $L_9(3^4)$  进行正交试验,按正交试验方案,进行 9 次小试验,其结果见表 2-4。

由正交试验结果的极差可知,对产物性能影响最大的是单体比,其次为溶剂用量,引发剂用量影响最小。配制成粉末涂料的涂膜光泽和流平性能结果表明,随着功能性单体丙烯酸用量的增加,涂膜的光泽增加,其玻璃化温度升高,使流平性能下降,主要是因为丙烯酸含量增加其交联点位增加,会使固化时的交联速度增大而影响涂膜流平性,与文献<sup>[5]</sup>所述一致。功能性丙烯酸单体用量不能太多,

以2%为宜。溶剂用量增大，分子量降低，粘度降低，但溶剂与单体用量比超过2以后，对产物流平性的提高已经很小。从经济方面考虑取溶剂与单体用量比为2，引发剂用量以4%为宜。

表 2-3 三因素、三水平正交试验

Tab. 2-3 Orthogonal experiment table

水平	单体比(A) / % <sup>①</sup>	溶剂用量(B) <sup>②</sup>	引发剂用量(C) / %	玻璃化温度 / °C
1	6: 7: 87	1.0	2	-41.3
2	4: 5: 91	1.5	3	-45.4
3	2: 3: 95	2.0	4	-49.3

注：①功能性单体：甲基丙烯酸甲酯；丙烯酸丁酯；②溶剂与单体用量比

表 2-4 三因素、三水平正交试验结果

Tab. Result of Orthogonal experiment

试验 次数	影响因素			评价指标		
	A	B	C	粘度 / s	涂膜光泽 / GS	涂膜流平性
1	1	1	1	24	74	a
2	1	2	2	21.5	76	b
3	1	3	3	16.6	74	b
4	2	1	2	18	72	b
5	2	2	3	14	71	c
6	2	3	1	14.6	71	c
7	3	1	3	14	70	d
8	3	2	1	14	69	d
9	3	3	2	12.9	70	d
0	—	—	—	—	45	d
极差 (R <sup>2</sup> )	7.07	3.97	2.66			

注：0—普通流平剂；a—差；b—较差；c—中；d—良好；均不加增光剂。

对于单体比，正交试验的结果为：丙烯酸：甲基丙烯酸甲酯：丙烯酸丁酯=2:

3: 95。在此基础上为了综合考虑流平剂的综合性能, 进一步进行试验得到得到的单体比为: 2.7: 10.3: 87。对于溶剂量和引发剂用量进一步试验的结果表明溶剂与单体用量比为 1.5, 引发剂用量为 2.9%时得到的产品性能最好。

## 2.5 单体溶液滴加方式的选择

加料方式不同, 产物的分子量及其分布不同, 共聚物的组成也不同。单体的加入可分为一步法(单体、引发剂混合物一次性加入)、半连续滴加法(先加入部分单体、引发剂混合物, 然后滴加剩余混合物)和连续滴加法(单体、引发剂混合物在反应过程中缓慢滴加)。若一次性投料, 则反应速度一开始就很快, 产生大量的聚合热不易排除, 易发生自动加速反应, 从而使分子量分布变宽, 导致共聚物的组成不均匀, 还可能引起暴聚, 使反应失去控制。半连续滴加法由于不能保持单体和引发剂的浓度比的一致性, 产物的分子量分布会增大。采用连续滴加, 控制滴加速率等于或小于最大聚合反应速率, 不仅能使分子量分布窄, 还可以控制共聚物的组成与单体配方组成一致或基本一致。我们的试验也证明采用连续滴加单体方式的流平剂流平性能明显好于一次性和半连续滴加法。试验结果见表 2-5。

表 2-5 单体混合液滴加方式实验结果

Tab. 2-5 Result of feeding method

滴加方式	粘度 (s)	实验现象	涂膜性能
一次性	>40	爆聚	流平性极差
半连续	30	反应期间粘度变化较大	桔皮严重
连续	12.2	反应平稳	流平性好、无桔皮

由表 2-2 可见单体混合液采用一次性和半连续滴加均不能得到符合要求的流平剂产品, 只有一次性加入法的加料方式能得到流平性好的产物。

## 2.6 固体流平剂生产工艺的确定

在粉末涂料生产中固体流平剂是流平剂的使用形式, 第一章介绍固体流平剂的生产方式有 2 种, 熔融法和混合分散法。考虑到目前市场上使用的流平剂基本

3: 95。在此基础上为了综合考虑流平剂的综合性能, 进一步进行试验得到得到的单体比为: 2.7: 10.3: 87。对于溶剂量和引发剂用量进一步试验的结果表明溶剂与单体用量比为 1.5, 引发剂用量为 2.9%时得到的产品性能最好。

## 2.5 单体溶液滴加方式的选择

加料方式不同, 产物的分子量及其分布不同, 共聚物的组成也不同。单体的加入可分为一步法(单体、引发剂混合物一次性加入)、半连续滴加法(先加入部分单体、引发剂混合物, 然后滴加剩余混合物)和连续滴加法(单体、引发剂混合物在反应过程中缓慢滴加)。若一次性投料, 则反应速度一开始就很快, 产生大量的聚合热不易排除, 易发生自动加速反应, 从而使分子量分布变宽, 导致共聚物的组成不均匀, 还可能引起暴聚, 使反应失去控制。半连续滴加法由于不能保持单体和引发剂的浓度比的一致性, 产物的分子量分布会增大。采用连续滴加, 控制滴加速率等于或小于最大聚合反应速率, 不仅能使分子量分布窄, 还可以控制共聚物的组成与单体配方组成一致或基本一致。我们的试验也证明采用连续滴加单体方式的流平剂流平性能明显好于一次性和半连续滴加法。试验结果见表 2-5。

表 2-5 单体混合液滴加方式实验结果

Tab. 2-5 Result of feeding method

滴加方式	粘度 (s)	实验现象	涂膜性能
一次性	>40	爆聚	流平性极差
半连续	30	反应期间粘度变化较大	桔皮严重
连续	12.2	反应平稳	流平性好、无桔皮

由表 2-2 可见单体混合液采用一次性和半连续滴加均不能得到符合要求的流平剂产品, 只有一次性加入法的加料方式能得到流平性好的产物。

## 2.6 固体流平剂生产工艺的确定

在粉末涂料生产中固体流平剂是流平剂的使用形式, 第一章介绍固体流平剂的生产方式有 2 种, 熔融法和混合分散法。考虑到目前市场上使用的流平剂基本



3: 95。在此基础上为了综合考虑流平剂的综合性能, 进一步进行试验得到得到的单体比为: 2.7: 10.3: 87。对于溶剂量和引发剂用量进一步试验的结果表明溶剂与单体用量比为 1.5, 引发剂用量为 2.9%时得到的产品性能最好。

## 2.5 单体溶液滴加方式的选择

加料方式不同, 产物的分子量及其分布不同, 共聚物的组成也不同。单体的加入可分为一步法(单体、引发剂混合物一次性加入)、半连续滴加法(先加入部分单体、引发剂混合物, 然后滴加剩余混合物)和连续滴加法(单体、引发剂混合物在反应过程中缓慢滴加)。若一次性投料, 则反应速度一开始就很快, 产生大量的聚合热不易排除, 易发生自动加速反应, 从而使分子量分布变宽, 导致共聚物的组成不均匀, 还可能引起暴聚, 使反应失去控制。半连续滴加法由于不能保持单体和引发剂的浓度比的一致性, 产物的分子量分布会增大。采用连续滴加, 控制滴加速率等于或小于最大聚合反应速率, 不仅能使分子量分布窄, 还可以控制共聚物的组成与单体配方组成一致或基本一致。我们的试验也证明采用连续滴加单体方式的流平剂流平性能明显好于一次性和半连续滴加法。试验结果见表 2-5。

表 2-5 单体混合液滴加方式实验结果

Tab. 2-5 Result of feeding method

滴加方式	粘度 (s)	实验现象	涂膜性能
一次性	>40	爆聚	流平性极差
半连续	30	反应期间粘度变化较大	桔皮严重
连续	12.2	反应平稳	流平性好、无桔皮

由表 2-2 可见单体混合液采用一次性和半连续滴加均不能得到符合要求的流平剂产品, 只有一次性加入法的加料方式能得到流平性好的产物。

## 2.6 固体流平剂生产工艺的确定

在粉末涂料生产中固体流平剂是流平剂的使用形式, 第一章介绍固体流平剂的生产方式有 2 种, 熔融法和混合分散法。考虑到目前市场上使用的流平剂基本

上都为熔融法的产品，所以选择熔融法为本设计的生产工艺。在设备上同时配备高速混合机，使得生产装置可同时满足固体流平剂的熔融法和混合分散法的生产。

## 2.7 所选流平剂生产工艺的特点

经以上工艺选择与论证，确定的以丙烯酸酯类单体配合具有提高粉末涂料光泽的功能性丙烯酸，采用以异丙醇为聚合溶液，BPO 为引发剂，连续滴加单体和引发剂混合溶液的方法进行溶液聚合合成液体流平剂。然后以沉淀硫酸钡为主要分散介质，添加液体流平剂，采用熔融法生产商品固体流平剂的方法，具有以下特点：

- (1) 选用的丙烯酸酯配合功能性单体合成的流平剂流平性能好，光泽度高；
- (2) 采用异丙醇为聚合溶液，聚合反应、蒸馏溶剂温度低，溶剂容易蒸出，产品色泽低，生产容易控制，而且所用溶剂毒性低；
- (3) 采用连续滴加连续滴加单体和引发剂混合溶液的加料方式，生产过程稳定，可避免聚合过程聚合反应热量的大量放出，所得到的产品分子量均匀，产品综合性能好；
- (4) 采用加大引发剂用量的方法可以不用脱除单体中的阻聚剂，直接使用商品单体，使生产过程简单化；
- (5) 采用的生产固体流平剂的方法工艺过程简单，可以同时使用熔融法和混合分散法生产市场需要的两种固体流平剂商品。

## 2.8 流平剂的生产与控制

流平剂产品的制备过程分为液体流平剂和固体流平剂两个过程，前一过程涉及到化学反应，生产控制要求较高，后一过程仅为物理过程。

### 2.8.1 液体粉末涂料流平剂

液体流平剂的生产过程为在反应釜中按配比加入异丙醇溶剂，开动搅拌器，同时加热升温至溶液回流，开始缓慢滴加按配方配制并溶解好引发剂的单体溶液，此时开始反应，滴加完后继续反应，然后进行常温蒸馏蒸出大部分溶剂，减压蒸馏蒸出剩余溶剂，得到浅黄色、透明、粘稠的液体流平剂产品。其工艺流程

上都为熔融法的产品，所以选择熔融法为本设计的生产工艺。在设备上同时配备高速混合机，使得生产装置可同时满足固体流平剂的熔融法和混合分散法的生产。

## 2.7 所选流平剂生产工艺的特点

经以上工艺选择与论证，确定的以丙烯酸酯类单体配合具有提高粉末涂料光泽的功能性丙烯酸，采用以异丙醇为聚合溶液，BPO 为引发剂，连续滴加单体和引发剂混合溶液的方法进行溶液聚合合成液体流平剂。然后以沉淀硫酸钡为主要分散介质，添加液体流平剂，采用熔融法生产商品固体流平剂的方法，具有以下特点：

- (1) 选用的丙烯酸酯配合功能性单体合成的流平剂流平性能好，光泽度高；
- (2) 采用异丙醇为聚合溶液，聚合反应、蒸馏溶剂温度低，溶剂容易蒸出，产品色泽低，生产容易控制，而且所用溶剂毒性低；
- (3) 采用连续滴加连续滴加单体和引发剂混合溶液的加料方式，生产过程稳定，可避免聚合过程聚合反应热量的大量放出，所得到的产品分子量均匀，产品综合性能好；
- (4) 采用加大引发剂用量的方法可以不用脱除单体中的阻聚剂，直接使用商品单体，使生产过程简单化；
- (5) 采用的生产固体流平剂的方法工艺过程简单，可以同时使用熔融法和混合分散法生产市场需要的两种固体流平剂商品。

## 2.8 流平剂的生产与控制

流平剂产品的制备过程分为液体流平剂和固体流平剂两个过程，前一过程涉及到化学反应，生产控制要求较高，后一过程仅为物理过程。

### 2.8.1 液体粉末涂料流平剂

液体流平剂的生产过程为在反应釜中按配比加入异丙醇溶剂，开动搅拌器，同时加热升温至溶液回流，开始缓慢滴加按配方配制并溶解好引发剂的单体溶液，此时开始反应，滴加完后继续反应，然后进行常温蒸馏蒸出大部分溶剂，减压蒸馏蒸出剩余溶剂，得到浅黄色、透明、粘稠的液体流平剂产品。其工艺流程

上都为熔融法的产品，所以选择熔融法为本设计的生产工艺。在设备上同时配备高速混合机，使得生产装置可同时满足固体流平剂的熔融法和混合分散法的生产。

## 2.7 所选流平剂生产工艺的特点

经以上工艺选择与论证，确定的以丙烯酸酯类单体配合具有提高粉末涂料光泽的功能性丙烯酸，采用以异丙醇为聚合溶液，BPO 为引发剂，连续滴加单体和引发剂混合溶液的方法进行溶液聚合合成液体流平剂。然后以沉淀硫酸钡为主要分散介质，添加液体流平剂，采用熔融法生产商品固体流平剂的方法，具有以下特点：

- (1) 选用的丙烯酸酯配合功能性单体合成的流平剂流平性能好，光泽度高；
- (2) 采用异丙醇为聚合溶液，聚合反应、蒸馏溶剂温度低，溶剂容易蒸出，产品色泽低，生产容易控制，而且所用溶剂毒性低；
- (3) 采用连续滴加连续滴加单体和引发剂混合溶液的加料方式，生产过程稳定，可避免聚合过程聚合反应热量的大量放出，所得到的产品分子量均匀，产品综合性能好；
- (4) 采用加大引发剂用量的方法可以不用脱除单体中的阻聚剂，直接使用商品单体，使生产过程简单化；
- (5) 采用的生产固体流平剂的方法工艺过程简单，可以同时使用熔融法和混合分散法生产市场需要的两种固体流平剂商品。

## 2.8 流平剂的生产与控制

流平剂产品的制备过程分为液体流平剂和固体流平剂两个过程，前一过程涉及到化学反应，生产控制要求较高，后一过程仅为物理过程。

### 2.8.1 液体粉末涂料流平剂

液体流平剂的生产过程为在反应釜中按配比加入异丙醇溶剂，开动搅拌器，同时加热升温至溶液回流，开始缓慢滴加按配方配制并溶解好引发剂的单体溶液，此时开始反应，滴加完后继续反应，然后进行常温蒸馏蒸出大部分溶剂，减压蒸馏蒸出剩余溶剂，得到浅黄色、透明、粘稠的液体流平剂产品。其工艺流程

框图见图 2-1。

液体流平剂生产过程说明：

### (1) 配制单体溶液

按规定比例称取各类单体、引发剂（须预先抽去水分，干燥）于配料桶中，搅拌使引发剂完全溶解于单体中，配成物料（A），用真空抽上高位计量槽中。

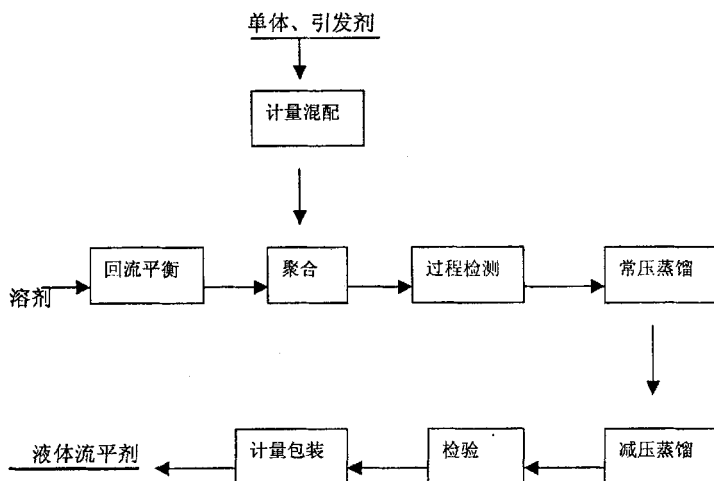


图 2-1 液体流平剂生产工艺流程框图

Fig. 2-1 Production technical flow chart of liquid modaflow

### (2) 聚合反应

在反应釜内按配方比例装入定量的溶剂（异丙醇），开动搅拌及加热装置，使釜内溶剂在搅拌下加热沸腾达回流状态，待釜内溶剂加热回流达平衡状态后，将物料（A）从高位槽中在规定时间内滴加入反应釜中进行共聚反应，滴加完毕后继续在回流状态下反应 3~4 小时，取样检验反应是否完全。

### (3) 常减压蒸馏溶剂

反应完全后，切换装置为蒸馏状态，继续加热，在常压下蒸馏，蒸馏出大部分溶剂后，停止加热，让釜内温度下降，将回流装置切换到真空减压蒸馏装置，慢慢增加真空度，在减压状态下蒸出釜内剩余的溶剂，随着溶剂的不断蒸出，反

应釜内物料温度将逐步升高,当釜内温度升至一定温度时,真空度达恒定值时(温度=130~150℃,真空度=1333Pa),再无溶剂蒸出时,即可停止加热,待釜内物料温度稍冷后,抽样检验,检验合格后趁热放出成品,称量包装,登记入库。

生产过程的主要工艺条件:

溶剂平衡工序:釜内温度 70~72℃;平衡时间 1.5h

聚合反应工序:釜内温度 100~120℃;反应时间 3h

常减压蒸馏工序:釜内温度 40~138℃;釜压 0.1~ - 0.09Mpa;

反应时间 4h

## 2.8.2 固体粉末涂料流平剂

固体流平剂生产过程:

固体粉末涂料流平剂的生产过程主要采用熔融法,生产过程为:按配比在已加热和搅拌的熔融釜内加入树脂、填料和液体流平剂,使其熔融、混合均匀、出料、冷却、粉碎,得到固体流平剂。其生产流程框图见图 2-2。

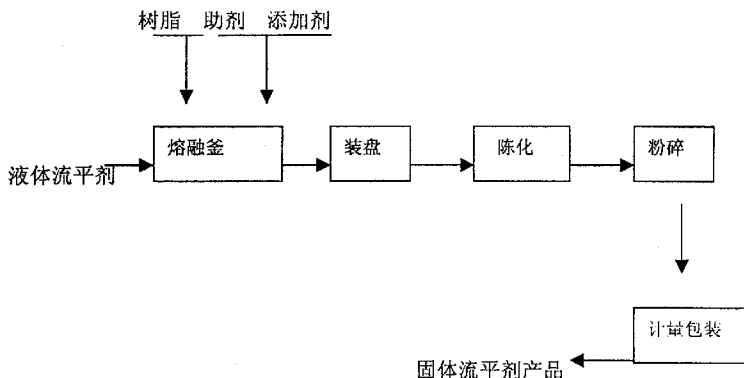


图 2-2 固体流平剂生产工艺流程框图

Fig. 2-2 Production technical flow chart of solid modaflow

固体流平剂生产过程说明:

### (1) 备料混合

应釜内物料温度将逐步升高,当釜内温度升至一定温度时,真空度达恒定值时(温度=130~150℃,真空度=1333Pa),再无溶剂蒸出时,即可停止加热,待釜内物料温度稍冷后,抽样检验,检验合格后趁热放出成品,称量包装,登记入库。

生产过程的主要工艺条件:

溶剂平衡工序:釜内温度 70~72℃;平衡时间 1.5h

聚合反应工序:釜内温度 100~120℃;反应时间 3h

常减压蒸馏工序:釜内温度 40~138℃;釜压 0.1~ - 0.09Mpa;

反应时间 4h

## 2.8.2 固体粉末涂料流平剂

固体流平剂生产过程:

固体粉末涂料流平剂的生产过程主要采用熔融法,生产过程为:按配比在已加热和搅拌的熔融釜内加入树脂、填料和液体流平剂,使其熔融、混合均匀、出料、冷却、粉碎,得到固体流平剂。其生产流程框图见图 2-2。

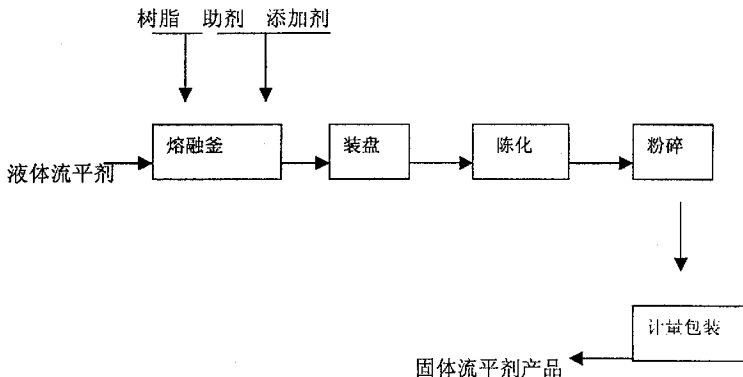


图 2-2 固体流平剂生产工艺流程框图

Fig. 2-2 Production technical flow chart of solid modaflow

固体流平剂生产过程说明:

### (1) 备料混合

按配方分别称取环氧树脂、沉淀硫酸钡、超细碳酸钙、助剂，加入高速混合机中混合均匀。

### (2) 熔融混炼

加热熔融釜，在搅拌下将混合好的物料放入釜中，同时滴加计量好的液体流平剂，使其与熔融的物料充分混合均匀，趁热出料，放入冷却盘中。

### (3) 陈化、粉碎和包装

待物料凝固、冷却后将其倒入陈放场地，陈放 24h 以上，使其中填料充分吸收液体流平剂。然后用粉碎机粉碎，包装。

生产过程的主要工艺条件：

熔融温度不超过 120℃，投料完搅拌时间 1h，陈放时间 24h 以上。

## 2.9 本章小结

本章在实验室和生产性试验的基础上对拟设计的粉末涂料流平剂进行了论证和选择。经论证确定以丙烯酸酯类单体配合具有提高粉末涂料光泽的功能性丙烯酸，采用以异丙醇为聚合溶液，BPO 为引发剂，连续滴加单体和引发剂混合溶液的方法进行溶液聚合合成液体流平剂。然后以沉淀硫酸钡为主要分散介质，添加液体流平剂采用熔融法生产商品固体流平剂的方法。最后还论述了所选用工艺的特点，以及对生产过程及其控制进行了介绍。



按配方分别称取环氧树脂、沉淀硫酸钡、超细碳酸钙、助剂，加入高速混合机中混合均匀。

### (2) 熔融混炼

加热熔融釜，在搅拌下将混合好的物料放入釜中，同时滴加计量好的液体流平剂，使其与熔融的物料充分混合均匀，趁热出料，放入冷却盘中。

### (3) 陈化、粉碎和包装

待物料凝固、冷却后将其倒入陈放场地，陈放 24h 以上，使其中填料充分吸收液体流平剂。然后用粉碎机粉碎，包装。

生产过程的主要工艺条件：

熔融温度不超过 120℃，投料完搅拌时间 1h，陈放时间 24h 以上。

## 2.9 本章小结

本章在实验室和生产性试验的基础上对拟设计的粉末涂料流平剂进行了论证和选择。经论证确定以丙烯酸酯类单体配合具有提高粉末涂料光泽的功能性丙烯酸，采用以异丙醇为聚合溶液，BPO 为引发剂，连续滴加单体和引发剂混合溶液的方法进行溶液聚合合成液体流平剂。然后以沉淀硫酸钡为主要分散介质，添加液体流平剂采用熔融法生产商品固体流平剂的方法。最后还论述了所选用工艺的特点，以及对生产过程及其控制进行了介绍。

## 第3章 物料衡算与热量衡算

为了进行设计的工艺衡算，根据生产规模，生产装置年产 1000t 粉末涂料固体流平剂，按年工作日 300 天，每日三班工作制，每天生产 3.33t，在工艺衡算中以生产 1t 产量为计算基准，衡算主要参考资料为[49-55]。

### 3.1 流平剂生产物料衡算

#### 3.1.1 液体流平剂生产物料衡算

液体流平剂年设计生产能力按 150t 计算，年工作日按 300 天计算，三班 24 小时工作制。本反应为游离基引发共聚反应，根据基本反应方程式及所使用原料纯度和有关技术数据，经过小试、中试及生产性试验，生产实际收率为 95.3%。衡算结果如下：

##### (1) 吨产品输入物料

丙烯酸丁酯 (BA)	896.1kg
甲基丙烯酸丁酯 (NBMA)	106.26kg
功能性单体	28.35kg
过氧化苯甲酰 (BPO)	31.0kg
异丙醇 (按吨产品 1.5 的质量投料)	1500kg

##### (2) 输出物料

液体流平剂	1000 kg
异丙醇	1425 kg

##### (3) 吨产品原料损耗

反应物损耗	50.24kg
CO <sub>2</sub> (BPO 分解)	11.47 kg
溶剂	75kg (按 5% 的损耗)

实际生产收率为 95.3% 损失的部分可能主要是液流产品粘反应釜，抽真空时单体也可能损失。溶剂异丙醇的损失主要在减压蒸馏工序，如能采用液温低的冷却水（井水）可使其损失大大降低。

### 3.1.2 固体流平剂生产物料衡算

对于固体流平剂，每釜产出：400 kg，每批总生产时间 2.5h，四班三运转 24h/日工作制，每天生产 9 釜计，则：每天产出  $400 \times 24 / 9 = 3600(\text{kg})$ ，年工作日按 300 天计，则年产出： $3600 \times 300 = 1080 (\text{t})$ 。达到固体流平剂设计生产能力。实际生产过程产品的损耗极少，可以忽略不计。衡算结果如下：

#### (1) 吨产品实际原料消耗

液流	150kg
树脂 E-20	640kg
填充剂	185kg
添加剂	25kg

#### (2) 混炼熔融工序物衡（每釜）

液流	60kg
树脂 E-20	256kg
填充剂	74kg
添加剂	10kg
合计	400kg

#### (3) 破碎工序物衡

投入：	400kg
产出：	400kg

#### (4) 计量包装工序物衡

投入：	400kg
产出：	400kg

## 3.2 流平剂生产能量衡算

流平剂的生产过程包括液体流平剂生产和固体流平剂的生产，以下分别进行其生产过程的能量衡算。

### 3.2.1 液体流平剂生产能量衡算

在实际生产过程中液体流平剂的生产过程可分为溶剂平衡过程、聚合反应过

### 3.1.2 固体流平剂生产物料衡算

对于固体流平剂，每釜产出：400 kg，每批总生产时间 2.5h，四班三运转 24h/日工作制，每天生产 9 釜计，则：每天产出  $400 \times 24 / 9 = 3600(\text{kg})$ ，年工作日按 300 天计，则年产出： $3600 \times 300 = 1080 (\text{t})$ 。达到固体流平剂设计生产能力。实际生产过程产品的损耗极少，可以忽略不计。衡算结果如下：

#### (1) 吨产品实际原料消耗

液流	150kg
树脂 E-20	640kg
填充剂	185kg
添加剂	25kg

#### (2) 混炼熔融工序物衡（每釜）

液流	60kg
树脂 E-20	256kg
填充剂	74kg
添加剂	10kg
合计	400kg

#### (3) 破碎工序物衡

投入：	400kg
产出：	400kg

#### (4) 计量包装工序物衡

投入：	400kg
产出：	400kg

## 3.2 流平剂生产能量衡算

流平剂的生产过程包括液体流平剂生产和固体流平剂的生产，以下分别进行其生产过程的能量衡算。

### 3.2.1 液体流平剂生产能量衡算

在实际生产过程中液体流平剂的生产过程可分为溶剂平衡过程、聚合反应过

程、常压减压蒸馏过程。以下按各过程进行能量衡算。

### (1) 溶剂平衡过程

釜内温度 70℃，平衡时间为 1.5h，则温升及回流所需要的热量供给为：

#### 1) 升温热

$$Q_1 = C_p \Delta t \times m$$

$$= 149.6 \times (70 - 25) \times 2526.25 \times 1.5 \times 1000 / (60 \times 2.5) = 1.7 \times 10^8 \text{ kcal} = 7.1 \times 10^8 \text{ J}$$

#### 2) 回流热，据经验取共 5% 的回流值

则吨产品的溶剂回流量为：1515.75 × 0.05 = 75.8kg，在 70℃ 时异丙醇的蒸发潜热约为 175kcal/kg；所需要的能耗为：175 × 75.8 = 13265kcal = 5.56 × 10<sup>7</sup>J

### (2) 聚合反应过程

聚合反应过程的热量由基团贡献法求得(大约估计空间效应以及共轭效应的影响，在基团的基础上略加变动)，由理论值知道烯类单体聚合时一个 π 键转为两个 σ 键的键能总和的变化就是聚合热。

$$\Delta H_p = 2E_{\sigma} - E_{\pi} = 2 \times (-351.7) - (-609.2) = -94.2 \text{ kJ} \cdot \text{mol}$$

考虑空间效应以及共轭效应的影响。由查表得甲基丙烯酸甲酯的聚合热为 55.3KJ/mol，丙烯酸甲酯的聚合热为 83.7kJ/mol，则估算甲基丙烯酸丁酯的聚合热为 50.0KJ/mol，丙烯酸丁酯的聚合热为 80.0kJ/mol。

故计算反应聚合热如下：

$$\text{聚合热 } Q_2 = \sum \Delta H_p \cdot M$$

$$= (818.5 \times 1000 / 128) \times 80 + (31.5 \times 1000 / 100) \times 55.3 + (117 \times 1000 / 142) \times 50$$

$$= 1.36 \times 10^6 \text{ kcal} = 5.7 \times 10^8 \text{ J}$$

聚合反应的温升所需要的热量供给为：

釜内的温度为 100~120℃，取 110℃ 计算，反应时间是 3h。

#### 1) 升温热

$$Q_3 = \sum C_p \Delta t m$$

$$= 149.6 \times (110 - 70) \times 1515.75 \times 1000 / 60 + 241.1 \times (110 - 25) \times 818.5 \times 1000 / 128.2 + 305.7 \times (110 - 25) \times 117 \times 1000 / 100.1 + 169.1 \times (110 - 25) \times 31.5 \times 1000 / 142 + 401.5 \times (110 - 25) \times 43.5 \times 1000 / 242$$

$$= 2.25 \times 10^5 \text{ kcal} = 9.424 \times 10^8 \text{ J}$$

(也可以用平均热容来计算)

- 2) 反应回流热, 据经验取  $9 \text{ kg/min}$  釜的回流值, 则生产一吨产品有  $9 \times 3 \times 60 \times 2.5 = 4050 \text{ kg}$  的异丙醇冷凝回流, 其中消耗热为相变热:

$$\begin{aligned} Q_4 &= \Delta H_p \\ &= H_m \times M \end{aligned}$$

查资料得异丙醇在  $70^\circ\text{C}$  时的相变热约为  $175 \text{ kcal/kg}$ , 故相变热为:

$$\begin{aligned} Q_4 &= 175 \times 1000 \times 4.19 \times 4050 \\ &= 7.1 \times 10^9 \text{ kcal} = 2.97 \times 10^9 \text{ J} \end{aligned}$$

### (3) 常减压蒸馏过程

溶剂的蒸馏过程分为常压蒸馏和减压蒸馏, 在常减压蒸馏过程中消耗热量为常压蒸馏两个小时蒸掉 80% 的溶剂异丙醇及减压蒸馏一个小时蒸馏到 99.4% 异丙醇蒸出的能耗, 即蒸发异丙醇过程所需要的能量。

#### 1) 常压蒸馏

$$\begin{aligned} Q_5 &= C_p \cdot M \\ &= 149.6 \times 1515.75 \times 0.8 \times 1000 / 60 \\ &= 3.0 \times 10^6 \text{ J} \end{aligned}$$

#### 2) 减压蒸馏

由基本条件可知道减压蒸馏在  $0.09 \text{ MPa}$  下进行, 所以根据  $PV = nRT$ , 并且当  $P$  为一大气压时  $T$  为  $82^\circ\text{C}$ 。故  $P$  为  $0.09 \text{ MPa}$  时  $T$  为  $74^\circ\text{C}$ , 即  $74^\circ\text{C}$  时异丙醇就可以沸腾, 但这里也只要计算蒸发的消耗热以及真空机的电能消耗:

蒸发热为:

$$Q_6 = 1515.75 \times 0.2 \times 149.6 / 60 = 7.5 \times 10^5 \text{ J}$$

而真空泵的额定消耗为  $5 \text{ kwh} \cdot \text{釜}$ , 则一吨产品所消耗的能量为:

$$5 \times 2.5 \times 1 = 12.5 \text{ kw} = 4.5 \times 10^7 \text{ J}$$

则液流部分的能量消耗为:

$$\begin{aligned} Q &= \Sigma H \\ &= 297 \times 10^9 + 9424 \times 10^8 + 1.7 \times 10^8 + 556 \times 10^7 + 45 \times 10^7 + 75 \times 10^5 + 30 \times 10^5 + 5.7 \times 10^8 \\ &= 3.62 \times 10^9 \text{ J} \end{aligned}$$

## (3) 折合为电能

因为一度电为  $1\text{kwh}$ ,  $1\text{w}$  为  $3600\text{J}$ , 则:

$$3.62 \times 10^9 / (1000 \times 3600) = 1006 \text{ kwh}$$

即液流部分的电能消耗约为  $1006 \text{ kwh}$ 。电能利用率按  $\eta = 70\%$  计算, 则实际电耗为:

$$1006 \text{ kwh} / 0.70 = 1437 \text{ kwh}$$

## 3.2.2 固体流平剂生产能量衡算

固流主要的能耗在于物料的熔融热及系统升温热。由于缺少相关参数, 衡算可根据实际生产情况进行估算。实际生产中每一釜可生产固体流平剂  $400 \text{ kg}$ , 固流反应器夹套内导热油量为  $220\text{kg}$ , 电加热棒功率为:

$$6\text{kw} \times 4 = 24 \text{ kw}$$

## 3.2.2.1 物料的熔融热及系统升温热估算

## (1) 固流物料升温热估算

固流生产过程工艺要求混合物料温度为  $155 \sim 160^\circ\text{C}$ , 即  $t_1 = 25^\circ\text{C}$ ;  $t_2 = 160^\circ\text{C}$ 。经验估算混合物料恒压热熔约为  $C_p = 2.2 \text{ kcal/k} \cdot ^\circ\text{C}$ ; 每釜物料净重  $m = 400\text{kg}$ 。则, 其每釜物料升温热为:

$$Q_{\text{升温}} = m C_p (t_2 - t_1) = 400 \times 2.2 (160 - 25) = 1.19 \times 10^5 \text{ kcal} = 4.97 \times 10^8 \text{ J}$$

每吨物料总升温热为:

$$Q_{\text{吨升温}} = 1.19 \times 10^5 \text{ kcal} = 4.97 \times 10^8 \text{ J}$$

## (2) 固流物料熔融热估算

固流生产主要熔融物质为环氧树脂, 熔融是生产时主要的耗能过程。

1) 环氧树脂的软化点约为  $90^\circ\text{C}$ , 其分子量约为  $2050$ 。

根据经验公式, 其熔融热为:

选择  $K_1$  为  $15$ , 吨固流产品中环氧树脂的质量按  $640\text{kg}$  计算, 则

$$\Delta H_u = T_u \cdot K_1 / M$$

$$= (90 + 273.15) \times 13 \times 640 / 2050 = 1473.8 \text{ kcal} = 6.17 \times 10^7 \text{ J}$$

## (3) 折合为电能

因为一度电为  $1\text{kw/h}$ ,  $1\text{w}$  为  $3600\text{J}$ , 则:

$$3.62 \times 10^9 / (1000 \times 3600) = 1006 \text{ kwh}$$

即液流部分的电能消耗约为  $1006 \text{ kwh}$ 。电能利用率按  $\eta = 70\%$  计算, 则实际电耗为:

$$1006 \text{ kwh} / 0.70 = 1437 \text{ kwh}$$

## 3.2.2 固体流平剂生产能量衡算

固流主要的能耗在于物料的熔融热及系统升温热。由于缺少相关参数, 衡算可根据实际生产情况进行估算。实际生产中每一釜可生产固体流平剂  $400 \text{ kg}$ , 固流反应器夹套内导热油量为  $220\text{kg}$ , 电加热棒功率为:

$$6\text{kw} \times 4 = 24 \text{ kw}$$

## 3.2.2.1 物料的熔融热及系统升温热估算

## (1) 固流物料升温热估算

固流生产过程工艺要求混合物料温度为  $155 \sim 160^\circ\text{C}$ , 即  $t_1 = 25^\circ\text{C}$ ;  $t_2 = 160^\circ\text{C}$ 。经验估算混合物料恒压热熔约为  $C_p = 2.2 \text{ kcal/k} \cdot ^\circ\text{C}$ ; 每釜物料净重  $m = 400\text{kg}$ 。则, 其每釜物料升温热为:

$$Q_{\text{升温}} = m C_p (t_2 - t_1) = 400 \times 2.2 (160 - 25) = 1.19 \times 10^5 \text{ kcal} = 4.97 \times 10^8 \text{ J}$$

每吨物料总升温热为:

$$Q_{\text{吨升温}} = 1.19 \times 10^5 \text{ kcal} = 4.97 \times 10^8 \text{ J}$$

## (2) 固流物料熔融热估算

固流生产主要熔融物质为环氧树脂, 熔融是生产时主要的耗能过程。

1) 环氧树脂的软化点约为  $90^\circ\text{C}$ , 其分子量约为  $2050$ 。

根据经验公式, 其熔融热为:

选择  $K_1$  为  $15$ , 吨固流产品中环氧树脂的质量按  $640\text{kg}$  计算, 则

$$\Delta H_u = T_u \cdot K_1 / M$$

$$= (90 + 273.15) \times 13 \times 640 / 2050 = 1473.8 \text{ kcal} = 6.17 \times 10^7 \text{ J}$$



式中:

$\Delta H_M$ -----熔融热 kcal/kg

M-----分子量

$T_M$ -----熔点 K

即, 吨固流产品物料熔融所需热量约为:

$$Q_{\text{吨熔融}} = 1473.8\text{kcal} = 6.17 \times 10^7 \text{J}$$

(3) 固流生产工序总的能耗约为:

$$\Sigma Q_{\text{吨总}} = Q_{\text{吨升温}} + Q_{\text{吨熔融}} = 4.97 \times 10^8 + 6.17 \times 10^7 = 5.59 \times 10^8 \text{J}$$

(4) 折合为电能

$5.59 \times 10^8 / (3600 \times 1000) = 155.2(\text{kwh})$ , 电能利用率按  $\eta = 70\%$  计算, 则每生产一吨固流产品的实际电耗约为:

$$155.2 / 0.70 = 222\text{kwh}$$

### 3.3 原料主要技术规格及消耗定额

- (1) 丙烯酸丁酯: 工业级, 含量99.5%, 年需求量134.42t;
- (2) 甲基丙烯酸丁酯: 工业级, 含量大于99.5%, 年需求量15.94t;
- (3) 功能性单体: 工业级, 含量大于98%, 年需求量4.26t;
- (4) 引发剂: 工业级, 含量大于98%, 年需求量4.65t;
- (5) 异丙醇: 工业级, 年需求量11.25t;
- (6) 环氧树脂: 聚合级, 年需求量640t;
- (7) 填充剂和添加剂: 工业级, 200t。

### 3.4 本章小结

本章主要对液体流平剂和固体流平剂生产过程进行物料和热量衡算, 以便为项目的设计提供依据。并列出了原材料的技术规格及年消耗定额。

式中:

$\Delta H_M$ -----熔融热 kcal/kg

M-----分子量

$T_M$ -----熔点 K

即, 吨固流产品物料熔融所需热量约为:

$$Q_{\text{吨熔融}} = 1473.8\text{kcal} = 6.17 \times 10^7 \text{J}$$

(3) 固流生产工序总的能耗约为:

$$\Sigma Q_{\text{吨总}} = Q_{\text{吨升温}} + Q_{\text{吨熔融}} = 4.97 \times 10^8 + 6.17 \times 10^7 = 5.59 \times 10^8 \text{J}$$

(4) 折合为电能

$5.59 \times 10^8 / (3600 \times 1000) = 155.2(\text{kwh})$ , 电能利用率按  $\eta = 70\%$  计算, 则每生产一吨固流产品的实际电耗约为:

$$155.2 / 0.70 = 222\text{kwh}$$

### 3.3 原料主要技术规格及消耗定额

- (1) 丙烯酸丁酯: 工业级, 含量99.5%, 年需求量134.42t;
- (2) 甲基丙烯酸丁酯: 工业级, 含量大于99.5%, 年需求量15.94t;
- (3) 功能性单体: 工业级, 含量大于98%, 年需求量4.26t;
- (4) 引发剂: 工业级, 含量大于98%, 年需求量4.65t;
- (5) 异丙醇: 工业级, 年需求量11.25t;
- (6) 环氧树脂: 聚合级, 年需求量640t;
- (7) 填充剂和添加剂: 工业级, 200t。

### 3.4 本章小结

本章主要对液体流平剂和固体流平剂生产过程进行物料和热量衡算, 以便为项目的设计提供依据。并列出了原材料的技术规格及年消耗定额。

## 第4章 生产设备的计算与选择

本章根据前述衡算结果对生产的主要设备工艺尺寸进行计算并对涉及的生产设备选型。同时对生产所用原料要求、消耗定额以及车间编制提出要求。

### 4.1 部分数据及其经验计算依据

表 4-1 为涉及计算的有关数据。

表 4-1 主要计算数据一览表

Tab. 4-1 Primary calculating data

物质名称	热容 J/mol · K	生成热 k J/mol	密度	粘度	传热系数
异丙醇	149.6	-310.9	0.7849	2.4	0.3683
丙烯酸丁酯	241.1	-254.5	0.8986	0.8	0.2782
甲基丙烯酸丁酯	305.7	-270.8	0.8936	0.889	0.3053
功能性单体	169.1	210.2	0.9440	0.632	0.2439
过氧化苯甲酰	401.5	14805	1.007	0.575	0.231
环氧树脂 E-12			1.2		

以上数据，部分由工具书查得，部分由各种经验公式求得。

#### (1) 热容的经验公式求得

固体化合物的热容：

$$C=1/M \cdot (\sum nC_p)$$

式中  $n$ —分子中  $I$  原子的原子数；

$C$ — $i$  子的固态原子热容量，kcal/(g 原子 · °C)，见表 5；

$C$ —化合物的热容量，kcal/(kg · °C)；

$M$ —分子量。

热容经验公式计算依据见表 4-2

甲基丙烯酸丁酯的热容经验公式计算示例：

甲基丙烯酸甲酯中有 8 个 C，14 个 H，2 个 O。其分子量约为 142，所以

## 第4章 生产设备的计算与选择

本章根据前述衡算结果对生产的主要设备工艺尺寸进行计算并对涉及的生产设备选型。同时对生产所用原料要求、消耗定额以及车间编制提出要求。

### 4.1 部分数据及其经验计算依据

表 4-1 为涉及计算的有关数据。

表 4-1 主要计算数据一览表

Tab. 4-1 Primary calculating data

物质名称	热容 J/mol · K	生成热 k J/mol	密度	粘度	传热系数
异丙醇	149.6	-310.9	0.7849	2.4	0.3683
丙烯酸丁酯	241.1	-254.5	0.8986	0.8	0.2782
甲基丙烯酸丁酯	305.7	-270.8	0.8936	0.889	0.3053
功能性单体	169.1	210.2	0.9440	0.632	0.2439
过氧化苯甲酰	401.5	14805	1.007	0.575	0.231
环氧树脂 E-12			1.2		

以上数据，部分由工具书查得，部分由各种经验公式求得。

#### (1) 热容的经验公式求得

固体化合物的热容：

$$C=1/M \cdot (\sum nC_p)$$

式中  $n$ —分子中  $I$  原子的原子数；

$C$ — $i$  子的固态原子热容量，kcal/(g 原子 · °C)，见表 5；

$C$ —化合物的热容量，kcal/(kg · °C)；

$M$ —分子量。

热容经验公式计算依据见表 4-2

甲基丙烯酸丁酯的热容经验公式计算示例：

甲基丙烯酸甲酯中有 8 个 C，14 个 H，2 个 O。其分子量约为 142，所以

$$\begin{aligned}
 C_p &= 1/M \cdot (\sum n C_p) \\
 &= (8 \times 2.8 + 14 \times 4.3 + 2 \times 6.0) / 142 \\
 &= 0.6662 \text{ kcal}/(\text{kg} \cdot \text{K}) = 395.8 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})
 \end{aligned}$$

表 4-2 原子热容量(kcal/kg 原子 · °C)

Tab. 4-2 Atomic hot capability (kcal/kg atom · °C)

原子	固态	原子	固态
C	1.8	F	5.0
H	2.3	P	5.4
B	2.7	S	5.5
SI	3.8	CL	6.2
O	4.0	其他	6.2

同理计算得到表 4-2 的部分热容数据。

### (2) 生成热经验公式的计算

基本依据是用基团贡献法计算，用原子化焓减去键能来估算，25°C 时的标准原子化焓见表 4-3。

表 4-3 25°C 时的标准原子化焓(部分) kJ/mol

元素	$\Delta H$ 原子化	元素	$\Delta H$ 原子化
O	59.159	Ca	46.04
H	52.089	Ba	39.2
C	171.698	Ti	112
S	52.35		

上表列的数据是从相应分子生成游离的气态原子的标准焓变，这些数值是根据光谱数据，离解焓和汽化焓得来的，25°C 时的键能数据见表 4-4。

键能也就是某种键在各种化合物中的平均离解能，所以，上表的列值为许多化合物求得平均值。根据上表列值可以估算化合物的生成热。示例如下：

用经验计算法求甲基丙烯酸丁酯的生成热：

甲基丙烯酸丁酯的分子量式是： $C_8H_{14}O_2$ 。其中含八个碳，十四个氢，二个

氧，有一个碳氧双键，一个碳碳双键，两个碳氧单键，五个碳碳单键和十四个碳氢单键，其分子量为 142。

表 4-4 25℃时的键能 (kJ/mol)

Tab. 4-4 Band energy on 25°C (kJ/mol)

键	键能 $\xi$	键	键能 $\xi$
H-H	104.2	C-O	82.3
C-C	81.8	C-S	60.1
O-O	33.2	Si-O	104.0
Si-H	77.8	O-H	110.5
C=C	146.6	C=O	173
C-H	99.5	S-H	81.1
C-Si	143.2		

故根据经验方法得：

$$\begin{aligned} \Delta H_f &= 8 \cdot \Delta H_c + 14 \cdot \Delta H_H + 2\Delta H_O - \xi_{C=O} - \xi_{C=C} - 2\xi_{C-O} - 5\xi_{C-C} - 14\xi_{C-H} \\ &= 8 \times 171.689 + 14 \times 52.089 + 2 \times 59.159 - 173 - 146.6 - 2 \times 82.3 - 5 \times 81.8 - 14 \times 99.5 \\ &= -270.8 \text{ kJ/mol} \end{aligned}$$

表 4-4 中得生成热数据部分由手册查得，部分由本法计算得到，但键能得测定不是总是按平均可以精确计算得到的，总会有一点偏差。所以，若要求更精确的生成热数据则可以用量热法，光谱法或电子碰撞法测定。但即便如此，上面所示的方法可以较广泛的应用于工业的设计计算的。

### (3) 导热系数的经验计算方法

基本依据是韦伯(Weber)等人提出的一种纯液体的导热系数计算方法是，由一个简单方程导出的，其形式如下：

$$k = (3.59 \cdot 10^{-3} C_p \cdot \rho^{4/3}) / M^{1/3}$$

式中  $C_p$  --- 液体的比热, 卡/克\*度

$M$  --- 分子量

$\rho$  --- 密度, 克/立方厘米

$k$ ---导热系数,卡/秒·厘米·度

但表 5.4 中的物质的传热系数大多可以从手册中查得到,所以应用查得的数据而尽量不用计算的导热系数。

#### (4) 粘度的经验计算方法

基本依据是考虑温度对液体粘度有显著的影响,通常是温度升高而导致液体的粘度下降。已知某一温度下的粘度就可以求得另一温度下的粘度,这种方法的优点是直观,缺点是还必须要知道一个温度下的粘度。

$$\phi(10\mu) \cdot at = k$$

式中  $\mu$  ---温度  $t$  度时的粘度,厘泊;

$k$ ---物质常数;

$a$ ---常数( $=0.0036$ );

$$\phi(10\mu) \text{---} \log \log(10\mu)。$$

使用该方法的时候还需要用到工艺算图,所以具体的计算步骤可以参考化学工业出版社的(化工工艺算图)第二册 P209 的图表。

## 4.2 聚合反应设备选型

对于本工艺的聚合反应控制是整个生产过程的关键,在聚合反应中反应热的移走,溶剂的回流、蒸馏等都是通过换热器来实现的,因此在设备的设计中回流冷凝器是设计的关键。

### 4.2.1 溶剂平衡及聚合反应回流冷凝器选型

(1) 溶剂平衡工序的计算依据:采用列管换热器,冷凝水走管内,入口温度为 25℃,出口温度为 35℃;水在 25~35℃时的平均热容为 4.18kJ/(kg·℃),平均导热系数为 2.221kJ/m·h·℃。

计算热负荷及冷却水流量

根据前部分溶剂的能量衡算,则热负荷为:

$$55580\text{kJ}/1.5=37503\text{kJ}/(\text{h} \times \text{t})$$

则一釜的热负荷为:

$$37503/2.5=15001\text{kJ}/(\text{h} \cdot \text{釜})=4167\text{J}/(\text{s} \cdot \text{釜}):$$

$$Q = W_c C_{ph} (T_1 - T_2)$$

$k$ ---导热系数,卡/秒·厘米·度

但表 5.4 中的物质的传热系数大多可以从手册中查得到,所以应用查得的数据而尽量不用计算的导热系数。

#### (4) 粘度的经验计算方法

基本依据是考虑温度对液体粘度有显著的影响,通常是温度升高而导致液体的粘度下降。已知某一温度下的粘度就可以求得另一温度下的粘度,这种方法的优点是直观,缺点是还必须要知道一个温度下的粘度。

$$\phi(10\mu) \cdot at = k$$

式中  $\mu$  ---温度  $t$  度时的粘度,厘泊;

$k$ ---物质常数;

$a$ ---常数( $=0.0036$ );

$$\phi(10\mu) \text{---} \log \log(10\mu)。$$

使用该方法的时候还需要用到工艺算图,所以具体的计算步骤可以参考化学工业出版社的(化工工艺算图)第二册 P209 的图表。

## 4.2 聚合反应设备选型

对于本工艺的聚合反应控制是整个生产过程的关键,在聚合反应中反应热的移走,溶剂的回流、蒸馏等都是通过换热器来实现的,因此在设备的设计中回流冷凝器是设计的关键。

### 4.2.1 溶剂平衡及聚合反应回流冷凝器选型

(1) 溶剂平衡工序的计算依据:采用列管换热器,冷凝水走管内,入口温度为  $25^{\circ}\text{C}$ ,出口温度为  $35^{\circ}\text{C}$ ;水在  $25\sim 35^{\circ}\text{C}$  时的平均热容为  $4.18\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$ ,平均导热系数为  $2.221\text{kJ}/\text{m}\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C}$ 。

计算热负荷及冷却水流量

根据前部分溶剂的能量衡算,则热负荷为:

$$55580\text{kJ}/1.5 = 37503\text{kJ}/(\text{h}\times\text{t})$$

则一釜的热负荷为:

$$37503/2.5 = 15001\text{kJ}/(\text{h}\cdot\text{釜}) = 4167\text{J}/(\text{s}\cdot\text{釜}):$$

$$Q = W_c C_{ph} (T_1 - T_2)$$



$k$ ---导热系数,卡/秒·厘米·度

但表 5.4 中的物质的传热系数大多可以从手册中查得到,所以应用查得的数据而尽量不用计算的导热系数。

#### (4) 粘度的经验计算方法

基本依据是考虑温度对液体粘度有显著的影响,通常是温度升高而导致液体的粘度下降。已知某一温度下的粘度就可以求得另一温度下的粘度,这种方法的优点是直观,缺点是还必须要知道一个温度下的粘度。

$$\phi(10\mu) \cdot at = k$$

式中  $\mu$  ---温度  $t$  度时的粘度,厘泊;

$k$ ---物质常数;

$a$ ---常数( $=0.0036$ );

$$\phi(10\mu) \text{---} \log \log(10\mu)。$$

使用该方法的时候还需要用到工艺算图,所以具体的计算步骤可以参考化学工业出版社的(化工工艺算图)第二册 P209 的图表。

## 4.2 聚合反应设备选型

对于本工艺的聚合反应控制是整个生产过程的关键,在聚合反应中反应热的移走,溶剂的回流、蒸馏等都是通过换热器来实现的,因此在设备的设计中回流冷凝器是设计的关键。

### 4.2.1 溶剂平衡及聚合反应回流冷凝器选型

(1) 溶剂平衡工序的计算依据:采用列管换热器,冷凝水走管内,入口温度为 25℃,出口温度为 35℃;水在 25~35℃时的平均热容为 4.18kJ/(kg·℃),平均导热系数为 2.221kJ/m·h·℃。

计算热负荷及冷却水流量

根据前部分溶剂的能量衡算,则热负荷为:

$$55580\text{kJ}/1.5=37503\text{kJ}/(\text{h} \times \text{t})$$

则一釜的热负荷为:

$$37503/2.5=15001\text{kJ}/(\text{h} \cdot \text{釜})=4167\text{J}/(\text{s} \cdot \text{釜}):$$

$$Q = W_c C_{ph} (T_1 - T_2)$$

$$\begin{aligned} \text{-----} W_c &= Q / (C_{ph}(T_1 - T_2)) = 3.7503 \times 10^7 / (4181(35 - 25)) \\ &= 897.0 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

计算和初选换热器规格:

### 1) 计算热负荷及冷却水流量

根据聚合反应的物料、能量衡算可知: 聚合反应的热负荷为溶剂的蒸发潜热及显热之和, 其值为  $2.97 \times 10^9 \text{ J} = 825000 \text{ W}$

$$\begin{aligned} W_c &= Q / (P_{pc}(t_1 - t_2)) \\ &= 2.97 \times 10^9 / (4.19 \times 1000 \times (35 - 25)) \\ &= 71000 \text{ kg/t} \end{aligned}$$

所以每釜每小时的冷却水的流量为:

$$71000 / (2.5 \times 3) = 9500 \text{ kg}$$

### 2) 计算两流体的平均温度差, 暂按单壳程, 单管程计算

$$T: 110 \quad 110$$

$$t: 25 \quad 35$$

$$\begin{aligned} \Delta t_m &= (\Delta t_2 - \Delta t_1) / \ln(\Delta t_2 / \Delta t_1) \\ &= ((110 - 25) - (110 - 35)) / \ln((110 - 25) / (110 - 35)) \\ &= 80^\circ \text{C} \end{aligned}$$

### 3) 初选换热器规格

根据两流体的情况, 假设  $K = 1000 \text{ W}/(\text{m}^2 \times ^\circ \text{C})$

$$\text{则 } S = Q / (K \times \Delta t_m) = 825000 / (1000 \times 80) = 1.7 \text{ m}^2$$

由换热器的规格系列标准(参见泵型工具书)中选定 G-具体的数据见表 4-5。

表 4-5 换热器设计规格

Tab.4-5 Spec of heat-exchange equipment

壳径 mm	159	管子尺寸, mm	$\Phi 25 \times 2.5$
公称压强, at	2450 kpa	管长, m	3
公称面积, $\text{m}^2$	3	管子总数	13
管程数	1	管子排列方法	$\Delta$

$$\text{实际传热面积 } S_0 = n \pi dL = 13 \times 3.14 \times 0.025(3-1) = 2.04 \text{ m}^2$$

若采用此面积的换热器，则要求过程的总传热系数为

$$1000\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

### 3) 核算总传热系数

#### a 管程对流传热系数:

管程流通面积

$$A_i = (\pi/4)d_i^2 \times (n \cdot N_p) = (3.14/4) \times 0.022^2 \times (13/1) = 2.04\text{m}^2$$

$$u_i = V_s / A_i$$

$$= 9500 / (3600 \times 994 \times 0.04) = 0.664\text{m/s}$$

$$\text{Re}_i = (d_i u_i \rho) / \mu = (0.02 \times 0.664 \times 994) / 0.000727 = 18157 (\text{传流})$$

$$\text{Pr}_i = (C_p \mu) / \lambda = (41870 \times 0.000727) / 0.626 = 4.86$$

$$\alpha_i = 0.023 \times (\lambda / d_i) \text{Re}_i^{0.8} \text{Pr}_i^{0.4}$$

$$= 0.023 \times (0.626 / 0.02) \times (18157)^{0.8} (4.86)^{0.4} = 3460\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

#### b. 壳程对流传热系数 $\alpha_o$

因为过热蒸气冷凝放热极快，传热系数很大，故不是影响总的传热系数的主要因素，根据生产经验可取 $\alpha_o = 8000\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ 。

#### c. 污垢热阻 参考工具书管内、外则污垢热阻分别取为

$$R_{si} = 0.0002 (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}$$

$$R_{so} = 0.00015 (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}$$

#### d. 总的传热系数 $K_o$

管壁热阻忽略时，总的传热系数  $K_o$  为

$$\begin{aligned} K_o &= 1 / ((1/\alpha_o) + R_{so} + R_{si} \cdot (d_o/d_i) + d_o / (\alpha_i \cdot d_i)) \\ &= 1 / ((1/8000) + 0.00015 + 0.0002(0.025/0.02) + 0.025 / (0.02 \times 3460)) \\ &= 1 / 0.00088 = 1140 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

由前面的计算可知，选用该型号的换热器时要求过程的传热系数为  $1000\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ 。在规定的流动条件下，计算初的  $K_o$  为  $1140\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ，故选用的换热器时合适的。

安全系数为  $((1140-1000)/1000) = 14\%$

## 4.2.2 聚合反应釜选型

聚合反应釜容积确定

若采用此面积的换热器，则要求过程的总传热系数为

$$1000\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

### 3) 核算总传热系数

#### a 管程对流传热系数:

管程流通面积

$$A_i = (\pi/4)d_i^2 \times (n \cdot N_p) = (3.14/4) \times 0.022^2 \times (13/1) = 2.04\text{m}^2$$

$$u_i = V_s / A_i$$

$$= 9500 / (3600 \times 994 \times 0.04) = 0.664\text{m/s}$$

$$\text{Re}_i = (d_i u_i \rho) / \mu = (0.02 \times 0.664 \times 994) / 0.000727 = 18157 (\text{传流})$$

$$\text{Pr}_i = (C_p \mu) / \lambda = (41870 \times 0.000727) / 0.626 = 4.86$$

$$\alpha_i = 0.023 \times (\lambda / d_i) \text{Re}_i^{0.8} \text{Pr}_i^{0.4}$$

$$= 0.023 \times (0.626 / 0.02) \times (18157)^{0.8} (4.86)^{0.4} = 3460\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

#### b. 壳程对流传热系数 $\alpha_o$

因为过热蒸气冷凝放热极快，传热系数很大，故不是影响总的传热系数的主要因素，根据生产经验可取 $\alpha_o = 8000\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ 。

#### c. 污垢热阻 参考工具书管内、外则污垢热阻分别取为

$$R_{si} = 0.0002 (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}$$

$$R_{so} = 0.00015 (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{W}$$

#### d. 总的传热系数 $K_o$

管壁热阻忽略时，总的传热系数  $K_o$  为

$$\begin{aligned} K_o &= 1 / ((1/\alpha_o) + R_{so} + R_{si} \cdot (d_o/d_i) + d_o / (\alpha_i \cdot d_i)) \\ &= 1 / ((1/8000) + 0.00015 + 0.0002(0.025/0.02) + 0.025 / (0.02 \times 3460)) \\ &= 1 / 0.00088 = 1140 \text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \end{aligned}$$

由前面的计算可知，选用该型号的换热器时要求过程的传热系数为  $1000\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ 。在规定的流动条件下，计算初的  $K_o$  为  $1140\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ，故选用的换热器时合适的。

安全系数为  $((1140-1000)/1000) = 14\%$

## 4.2.2 聚合反应釜选型

聚合反应釜容积确定

(1) 吨产品反应物料投入总体积计算:

$$\text{异丙醇} = 1.5\text{t}/(0.785\text{t}/\text{m}^3) = 1.911 \text{ m}^3$$

$$\text{丙烯酸丁酯} = 0.896\text{t}/(0.898\text{t}/\text{m}^3) = 0.998 \text{ m}^3$$

$$\text{甲基丙烯酸丁酯} = 0.106\text{t}/(0.894\text{t}/\text{m}^3) = 0.190 \text{ m}^3$$

$$\text{功能性单体} = 0.028\text{t}/(0.944\text{t}/\text{m}^3)$$

$$\text{吨产品反应物料投入总体积} = 3.127 \text{ m}^3$$

(2) 按工艺设计要求, 年产 1000 吨粉末涂料固体流平剂所需液体流平剂量为:

$$1000 \times 0.145 = 145 \text{ (t/y)}$$

(3) 按工艺设计要求, 年工作日按 300 天计算, 则每天需产出液体流平剂量为:

$$145 / 300 = 0.483 \text{ (t/d)}$$

(4) 每天反应物料投入总体积为:

$$0.483 \times 3.127 = 1.51 \text{ (m}^3/\text{d)}$$

聚合反应釜有效容量及数量确定

(1) 按工艺设计要求, 聚合反应釜装料系数确定为 75%。则每天反应物料投入总体积为:

$$1.51 / 0.75 = 2.01 \text{ (m}^3), \text{ 完整为 } 2 \text{ m}^3$$

(2) 按工艺设计要求, 每釜液体流平剂生产周期为 8 小时。日工作制为 24 小时工作制(四班三运转)。则, 每日生产釜数为 3 釜。每釜有效容积为:  $2/3 = 0.667 \text{ (m}^3)$  完整为:  $1 \text{ m}^3$ 。考虑到生产过程的操作可靠性和稳定性, 确定采用有效容积为  $0.5 \text{ m}^3$  的聚合反应釜 2 台套。

聚合反应釜材质确定

根据工艺设计要求, 由于本生产工艺所采用的原料为有机溶剂及丙烯酸酯类单体, 反应体系中不存在酸、碱腐蚀问题。由于本生产工艺要求反应器械不能对反应过程、产品纯度、产品色度等带来负面影响, 故选择工业用不锈钢(1Cr18Ni9Ti)材质作为反应釜用材质。

聚合反应釜选型

根据工艺设计要求, 液体流平剂反应过程物料最高反应温度为  $110^\circ\text{C}$ , 反应釜夹套最高温度为  $180^\circ\text{C}$ 。故可选用夹套导热油(325号)电加热的形式。由于液体流平剂生产过程使用了有机溶剂及丙烯酸酯类单体, 故生产设备必须具备防爆灭

弧装置。

综合上述各因素，现确定选择  $0.5 \text{ m}^3$  全不锈钢导热油电加热防爆型 K 式标准反应釜。搅拌形式：浆式双层搅拌器；转速：60 rpm；电机功率：4kw。

### 4.2.3 固流反应器选型

在生产中固流反应器有效容积可选为  $0.55 \text{ m}^3$ ，每釜可生产固体流平剂 400 kg，固流反应器夹套采用 325 号导热油作为加热介质，电加热棒功率为  $6\text{kw} \times 4 = 24\text{kw}$ ，

按工艺设计要求，年工作日按 300 天计算，日工作制为 24 小时工作制（四班三运转）。则需日产固流量为： $1000/300 = 3.33$ ，需日产固流釜数为： $3.33/0.4 = 8.33$  釜。

由能量衡算可知，每生产一吨固流产品的实际电耗约为  $155.2/0.70 = 222\text{kwh}$ ，每釜固流耗电量为  $222 \times 400/1000 = 88.8 \text{ kwh}$ 。

若加热功率为  $6\text{kw} \times 4 = 24\text{kw}$ ，则每釜固流需时为  $88.8/24 = 3.7\text{h}$ 。每日单釜生产釜数为  $24/3.7 = 6.48$  釜，由此，可采用两台固流反应器。

固流生产过程无易燃易爆原料；除产生少量水蒸气外，无挥发性物质产生，故可采用常规开口式不锈钢反应釜。搅拌形式采用 45 度角浆式三层搅拌浆，转速为 45rpm，电机功率为 4kw。

其它流平剂有关生产设备见表 4-6。液体流平剂带控制点的工艺流程图和设备的平立面布置图见附录。

工厂装机总容量约 25kw，工厂生产装置设备投资约 25 万元。

## 4.3 本章小结

本章在前章工艺衡算的基础上，对粉末涂料流平剂生产所用的主要设备工艺尺寸进行计算，并对涉及的生产设备的材质和型号进行了选择。

弧装置。

综合上述各因素，现确定选择  $0.5 \text{ m}^3$  全不锈钢导热油电加热防爆型 K 式标准反应釜。搅拌形式：浆式双层搅拌器；转速：60 rpm；电机功率：4kw。

### 4.2.3 固流反应器选型

在生产中固流反应器有效容积可选为  $0.55 \text{ m}^3$ ，每釜可生产固体流平剂 400 kg，固流反应器夹套采用 325 号导热油作为加热介质，电加热棒功率为  $6 \text{ kw} \times 4 = 24 \text{ kw}$ ，

按工艺设计要求，年工作日按 300 天计算，日工作制为 24 小时工作制（四班三运转）。则需日产固流量为： $1000 / 300 = 3.33$ ，需日产固流釜数为： $3.33 / 0.4 = 8.33$  釜。

由能量衡算可知，每生产一吨固流产品的实际电耗约为  $155.2 / 0.70 = 222 \text{ kwh}$ ，每釜固流耗电量为  $222 \times 400 / 1000 = 88.8 \text{ kwh}$ 。

若加热功率为  $6 \text{ kw} \times 4 = 24 \text{ kw}$ ，则每釜固流需时为  $88.8 / 24 = 3.7 \text{ h}$ 。每日单釜生产釜数为  $24 / 3.7 = 6.48$  釜，由此，可采用两台固流反应器。

固流生产过程无易燃易爆原料；除产生少量水蒸气外，无挥发性物质产生，故可采用常规开口式不锈钢反应釜。搅拌形式采用 45 度角浆式三层搅拌浆，转速为 45rpm，电机功率为 4kw。

其它流平剂有关生产设备见表 4-6。液体流平剂带控制点的工艺流程图和设备的平立面布置图见附录。

工厂装机总容量约 25kw，工厂生产装置设备投资约 25 万元。

## 4.3 本章小结

本章在前章工艺衡算的基础上，对粉末涂料流平剂生产所用的主要设备工艺尺寸进行计算，并对涉及的生产设备的材质和型号进行了选择。

表 4-6 主要生产设备明细表

Tab. 4-6 Table of primary equipments

设备名称	规格	数量	备注
反应釜	0.5m <sup>3</sup> 不锈钢	2	防爆型
配料釜	0.5m <sup>3</sup> 不锈钢	1	带搅拌装置
高位计量槽	0.6m <sup>3</sup> 不锈钢	2	
溶剂受槽	0.6m <sup>3</sup> 不锈钢	1	
缓冲罐	0.1 m <sup>3</sup> A <sub>3</sub> 钢	1	
导热油槽	0.5 m <sup>3</sup> A <sub>3</sub> 钢	1	
列管换热器	3m <sup>2</sup> 不锈钢	1	
冷却水泵	8 m <sup>3</sup> /h	1	
耐蚀泵	4 m <sup>3</sup> /h	1	
离心泵	50 m <sup>3</sup> /h	1	
喷射泵	100L/h 玻璃钢	1	
齿轮泵	5 m <sup>3</sup> /h	1	
转子流量计	25~250L/h F <sub>4</sub>	2	
固流反应器	0.55 m <sup>3</sup> 不锈钢	2	
粉碎机	FFC-23	1	
计量及监控仪表		若干	
运输机械		若干	
操作平台	4*5*2.2 钢结构	1	
电控系统		1	
构架耗材		若干	
保温防腐		若干	
化验检测		一批	



## 第 5 章 建设工程及公用、辅助工程说明

本设计主要着重在生产工艺方面，本章就建设项目的相关工程建设、生产车间布置，给水、排水系统，电力与燃料供应，原料和产品的贮运等作出说明。并从工艺和生产方面对环境保护、劳动安全与工业卫生提出要求以供设计和生产时参考。

### 5.1 建设工程说明

该生产线拟建在广美化工有限公司新建的一层标准厂房内，车间的总建筑面积约 300m<sup>2</sup>。该车间的设计和面积基本能满足本生产线的要求，特别在物料流向上，很适用于本生产线的流程。

### 5.2 生产车间布置

工厂车间布置涉及的对象是生产过程中使用的设备、各种物料及从事生产的操作人员。如何合理安排生产过程中各个设备的空间位置及人流、物流的流动路线是车间布置的关键所在。粉末涂料流平剂生产车间的布置，从原料经中间产品到产品的各个工序，均按生产流程排列，公用设施和仓库尽量靠近相关工序，尽量缩短物料运送距离，避免运输线上发生阻碍。原料库的丙烯酸酯、引发剂和碳酸氢铵应分开放置，原料和产品库房要保持阴凉、干燥和通风。运输线要靠近原料和成品库布置，便于车辆进出方便。

### 5.3 给水、排水系统

粉末涂料流平剂的生产用水主要为液体流平剂生产的回流冷却水和少量的生产冲洗用水。生产线日用水量约 60 吨左右。本生产线冷却水和生产用水由公司新打井的地下水供应，该水源日供水量在 200m<sup>3</sup> 以上，可完全满足工厂用水。所用地下水温度低作冷却水冷却效果好，循环率高。

给水系统包括新鲜水输水管、管网、输水管道的两条分支，一支专门用于生产冷却和生产清洗供水，另一支为消防用水管网。室内给水系统由入户管、主管、

## 第 5 章 建设工程及公用、辅助工程说明

本设计主要着重在生产工艺方面，本章就建设项目的相关工程建设、生产车间布置，给水、排水系统，电力与燃料供应，原料和产品的贮运等作出说明。并从工艺和生产方面对环境保护、劳动安全与工业卫生提出要求以供设计和生产时参考。

### 5.1 建设工程说明

该生产线拟建在广美化工有限公司新建的一层标准厂房内，车间的总建筑面积约 300m<sup>2</sup>。该车间的设计和面积基本能满足本生产线的要求，特别在物料流向上，很适用于本生产线的流程。

### 5.2 生产车间布置

工厂车间布置涉及的对象是生产过程中使用的设备、各种物料及从事生产的操作人员。如何合理安排生产过程中各个设备的空间位置及人流、物流的流动路线是车间布置的关键所在。粉末涂料流平剂生产车间的布置，从原料经中间产品到产品的各个工序，均按生产流程排列，公用设施和仓库尽量靠近相关工序，尽量缩短物料运送距离，避免运输线上发生阻碍。原料库的丙烯酸酯、引发剂和碳酸氢铵应分开放置，原料和产品库房要保持阴凉、干燥和通风。运输线要靠近原料和成品库布置，便于车辆进出方便。

### 5.3 给水、排水系统

粉末涂料流平剂的生产用水主要为液体流平剂生产的回流冷却水和少量的生产冲洗用水。生产线日用水量约 60 吨左右。本生产线冷却水和生产用水由公司新打井的地下水源供应，该水源日供水量在 200m<sup>3</sup> 以上，可完全满足工厂用水。所用地下水温度低作冷却水冷却效果好，循环率高。

给水系统包括新鲜水输水管、管网、输水管道的两条分支，一支专门为生产冷却和生产清洗供水，另一支为消防用水管网。室内给水系统由入户管、主管、

支管配水头（或用水设备）等组成。给水的水平干管敷设在建筑物的下部，由下至上供水。

生产用水中的冷却水经凉水塔冷却后循环使用。

## 5.4 电力供应及生产控制

### （1）电力供应

本项目电源惠州市供电公司供应，满负荷生产时，本生产线年耗电约 23 万 kwh/a。

### （2）贮运

原料、产品应根据其特性按不同要求进行贮运，以满足生产需要。需原料库房面积 80m<sup>2</sup>，产品库房面积 100m<sup>2</sup>。库房应阴凉、通风、防水、防潮、远离火种、热源，原料中易燃、易爆物品，原料、产品应隔离存放。

原料和产品运输可以由汽车提供运输能力。

### （3）分析检验室、维修室

进出工厂的原料、产品由公司化验室提供分析，包括丙烯酸酯、异丙醇、引发剂、环氧树脂等原料和流平剂产品。

生产过程检验由生产线配备的分析检验工，在生产线装置的分析室进行。

公司已具有一定规模的机修装备与能力，生产线只负责设计范围内的小维修。

## 5.5 环境保护

### （1）该项目涉及环保方面的设计应依据和标准

- A. 《化工建设项目环境保护设计规定》 EGJ6-86
- B. 《化工企业环境保护检测站设计规定》 EG20501-91
- C. 《工业企业噪声控制设计标准》 GBJ87-85
- D. 《污水综合排放标准》 GB8978-88

### （2）排放污染物成分、排放量及治理方案

生产用水主要是冷却水，可以循环使用，即使排放也属无污染水。生产性清洗水排放量为不大，水中主要含有少量悬浮物。由总排水管送至污水站统一处理。

支管配水头（或用水设备）等组成。给水的水平干管敷设在建筑物的下部，由下至上供水。

生产用水中的冷却水经凉水塔冷却后循环使用。

## 5.4 电力供应及生产控制

### （1）电力供应

本项目电源惠州市供电公司供应，满负荷生产时，本生产线年耗电约 23 万 kwh/a。

### （2）贮运

原料、产品应根据其特性按不同要求进行贮运，以满足生产需要。需原料库房面积 80m<sup>2</sup>，产品库房面积 100m<sup>2</sup>。库房应阴凉、通风、防水、防潮、远离火种、热源，原料中易燃、易爆物品，原料、产品应隔离存放。

原料和产品运输可以由汽车提供运输能力。

### （3）分析检验室、维修室

进出工厂的原料、产品由公司化验室提供分析，包括丙烯酸酯、异丙醇、引发剂、环氧树脂等原料和流平剂产品。

生产过程检验由生产线配备的分析检验工，在生产线装置的分析室进行。

公司已具有一定规模的机修装备与能力，生产线只负责设计范围内的小维修。

## 5.5 环境保护

（1）该项目涉及环保方面的设计应依据的依据和标准

- A. 《化工建设项目环境保护设计规定》 EGJ6-86
- B. 《化工企业环境保护检测站设计规定》 EG20501-91
- C. 《工业企业噪声控制设计标准》 GBJ87-85
- D. 《污水综合排放标准》 GB8978-88

（2）排放污染物成分、排放量及治理方案

生产用水主要是冷却水，可以循环使用，即使排放也属无污染水。生产性清洗水排放量为不大，水中主要含有少量悬浮物。由总排水管送至污水站统一处理。

支管配水头（或用水设备）等组成。给水的水平干管敷设在建筑物的下部，由下至上供水。

生产用水中的冷却水经凉水塔冷却后循环使用。

## 5.4 电力供应及生产控制

### (1) 电力供应

本项目电源惠州市供电公司供应，满负荷生产时，本生产线年耗电约 23 万 kwh/a。

### (2) 贮运

原料、产品应根据其特性按不同要求进行贮运，以满足生产需要。需原料库房面积 80m<sup>2</sup>，产品库房面积 100m<sup>2</sup>。库房应阴凉、通风、防水、防潮、远离火种、热源，原料中易燃、易爆物品，原料、产品应隔离存放。

原料和产品运输可以由汽车提供运输能力。

### (3) 分析检验室、维修室

进出工厂的原料、产品由公司化验室提供分析，包括丙烯酸酯、异丙醇、引发剂、环氧树脂等原料和流平剂产品。

生产过程检验由生产线配备的分析检验工，在生产线装置的分析室进行。

公司已具有一定规模的机修装备与能力，生产线只负责设计范围内的小维修。

## 5.5 环境保护

### (1) 该项目涉及环保方面的设计应依据和标准

- A. 《化工建设项目环境保护设计规定》 EGJ6-86
- B. 《化工企业环境保护检测站设计规定》 EG20501-91
- C. 《工业企业噪声控制设计标准》 GBJ87-85
- D. 《污水综合排放标准》 GB8978-88

### (2) 排放污染物成分、排放量及治理方案

生产用水主要是冷却水，可以循环使用，即使排放也属无污染水。生产性清洗水排放量为不大，水中主要含有少量悬浮物。由总排水管送至污水站统一处理。

其他工艺过程基本无“三废”产生。

本项目实施后基本无噪声污染。

## 5.6 劳动安全、工业卫生与消防

### (1) 编制依据

A. 《建筑设计防火规范》GBJ16-87

B. 《工业企业设计卫生标准》TJ36-79

### (2) 不安全因素及职业危害

主要原料：丙烯酸酯类性质基本相近，属乙类易燃品，异丙醇也属乙类易燃品，均按《建筑设计防火规范》要求设置库房、存放和使用；引发剂过氧化苯甲酰商品形式为含水 30% 的物品，属无危险品，干品属于甲类易燃品密封贮存于阴凉、避光、通风处，避免阳光直射，远离热源、火种、爆炸物、酸、碱和金属盐，严禁与有毒有害物品混贮。采用专车运输方式，防止倒立、碰击和受热，以免发生爆炸危险。含水晶在使用前根据使用量于阴凉处晾干后使用；环氧树脂为无毒物品，产品为无毒、无害、无危险品，但由于玻璃化温度低，不宜大量贮存。其他原料均为无毒、无害、无危险品。

原料和产品的存放应当根据种类和性质按防火要求专门设定存放区，不同原料要分区存放，以防混乱。

粉碎、筛分操作岗位有少量产品粉尘产生。

### (3) 安全及措施

#### A. 生产车间及仓库通风换气

由于生产所用原料丙烯酸酯和溶剂异丙醇属挥发性液体，所以生产、贮存时要求空气保持流动，即要加强通风。液流生产车间实际空间为  $11 \times 9 \times 6 \text{m} = 594 \text{m}^3$ ，要求每小时整体换气次数不小于 5 次的原则，即  $2970 \text{m}^3/\text{h}$  选用通风装置，现选用通风量为  $1650 \text{m}^3/\text{h}$  轴流通风机两台进行强制通风，可有效达到规定通风要求。生产原料仓库实际空间为  $9 \times 9 \times 6 = 486 \text{m}^3$ ，要求每小时整体换气次数不小于 5 次的原则，即  $2430 \text{m}^3/\text{h}$  选用通风装置，现选用通风量为  $1350 \text{m}^3/\text{h}$  轴流通风机两台进行强制通风，可有效达到规定通风要求。

其他工艺过程基本无“三废”产生。

本项目实施后基本无噪声污染。

## 5.6 劳动安全、工业卫生与消防

### (1) 编制依据

A. 《建筑设计防火规范》GBJ16-87

B. 《工业企业设计卫生标准》TJ36-79

### (2) 不安全因素及职业危害

主要原料：丙烯酸酯类性质基本相近，属乙类易燃品，异丙醇也属乙类易燃品，均按《建筑设计防火规范》要求设置库房、存放和使用；引发剂过氧化苯甲酰商品形式为含水 30% 的物品，属无危险品，干品属于甲类易燃品密封贮存于阴凉、避光、通风处，避免阳光直射，远离热源、火种、爆炸物、酸、碱和金属盐，严禁与有毒有害物品混贮。采用专车运输方式，防止倒立、碰击和受热，以免发生爆炸危险。含水晶在使用前根据使用量于阴凉处晾干后使用；环氧树脂为无毒物品，产品为无毒、无害、无危险品，但由于玻璃化温度低，不宜大量贮存。其他原料均为无毒、无害、无危险品。

原料和产品的存放应当根据种类和性质按防火要求专门设定存放区，不同原料要分区存放，以防混乱。

粉碎、筛分操作岗位有少量产品粉尘产生。

### (3) 安全及措施

#### A. 生产车间及仓库通风换气

由于生产所用原料丙烯酸酯和溶剂异丙醇属挥发性液体，所以生产、贮存时要求空气保持流动，即要加强通风。液流生产车间实际空间为  $11 \times 9 \times 6 \text{m} = 594 \text{m}^3$ ，要求每小时整体换气次数不小于 5 次的原则，即  $2970 \text{m}^3/\text{h}$  选用通风装置，现选用通风量为  $1650 \text{m}^3/\text{h}$  轴流通风机两台进行强制通风，可有效达到规定通风要求。生产原料仓库实际空间为  $9 \times 9 \times 6 = 486 \text{m}^3$ ，要求每小时整体换气次数不小于 5 次的原则，即  $2430 \text{m}^3/\text{h}$  选用通风装置，现选用通风量为  $1350 \text{m}^3/\text{h}$  轴流通风机两台进行强制通风，可有效达到规定通风要求。

### B. 生产车间及仓库消防安全

按照国家防火规范及其有关规定,结合流平剂生产的特点,选用了化学泡沫灭火剂作为灭火介质,工厂建立了 $50\text{m}^3$ 化学泡沫/水两用消防池,配备 $80\text{m}^3/\text{h}$ 离心式高压泵两台做为工厂总体消防装置,消防管路端口全部引至生产车间、仓库、化验室门口位置。作为车间、仓库内等]消防安全措施,根据流平剂生产的特点,全部动力设备、通风装置、照明灯具均采用了甲类防爆型。根据国家防火规范及其有关规定,液流生产车间装备化学泡沫灭火器数量为 $99\text{m}^2/20=5$ (个),生产原料仓库装备化学泡沫灭火器数量为 $80\text{m}^2/25=4$ (个),化验室装备化学泡沫灭火器数量为 $40\text{m}^2/20=2$ (个)。

C. 丙烯酸酯类和过氧化苯甲酰等物品操作时应戴橡胶手套,小心操作。

D. 所有设备、管道应密封好,防止跑、冒、滴、漏现象产生。

## 5.7 本章小结

本章主要对与生产线的相关工程建设、生产车间布置,给水、排水系统,电力与燃料供应,原料和产品的贮运等作出说明。并从工艺和生产方面对环境保护、劳动安全与工业卫生提出要求以供设计和生产时参考。



#### B. 生产车间及仓库消防安全

按照国家防火规范及其有关规定,结合流平剂生产的特点,选用了化学泡沫灭火剂作为灭火介质,工厂建立了 $50\text{m}^3$ 化学泡沫/水两用消防池,配备 $80\text{m}^3/\text{h}$ 离心式高压泵两台做为工厂总体消防装置,消防管路端口全部引至生产车间、仓库、化验室门口位置。作为车间、仓库内等]消防安全措施,根据流平剂生产的特点,全部动力设备、通风装置、照明灯具均采用了甲类防爆型。根据国家防火规范及其有关规定,液流生产车间装备化学泡沫灭火器数量为 $99\text{m}^2/20=5$ (个),生产原料仓库装备化学泡沫灭火器数量为 $80\text{m}^2/25=4$ (个),化验室装备化学泡沫灭火器数量为 $40\text{m}^2/20=2$ (个)。

C. 丙烯酸酯类和过氧化苯甲酰等物品操作时应戴橡胶手套,小心操作。

D. 所有设备、管道应密封好,防止跑、冒、滴、漏现象产生。

### 5.7 本章小结

本章主要对与生产线的相关工程建设、生产车间布置,给水、排水系统,电力与燃料供应,原料和产品的贮运等作出说明。并从工艺和生产方面对环境保护、劳动安全与工业卫生提出要求以供设计和生产时参考。

## 第 6 章 经济效益分析

一个建设项目是否具有开发价值，不但要考虑其技术上的可行性，还必须考虑建设成功后是否为企业带来经济效益。所以有必要对建设项目的投入和产出情况和经济效益有所了解，本章对项目的基本投资，生产成本和建成后所能产生的经济效益进行初步估算和评价。

### 6.1 项目投资估算

项目的投资估算依据

- (1) 根据年产 1000 吨粉末涂料流平剂生产线编制；
- (2) 设备均参照 1999 年现行价确定；
- (3) 其他费用按现行价确定；
- (4) 设备安装参照 1995 年价；
- (5) 建筑工程采用《广东省建筑工程预算定额》工程指标确定。

投资估算情况见表 6-1。

表 6-1 投资估算表

Tab. 6-1 List of investment estimation

序号	项目名称	数量	金额 (万元)
1	厂房		30
2	设备	见上述设备表	25
3	配套及公用设备	配套	10
4	电力设备	变压器等	10
6	环保消防		15
7	流动资金		100
8	不可预见		20
合计			210

可见除流动资金外固定资产投资约为 110 万元。

## 6.2 产品成本分析

### 6.2.1 成本分析依据

成本分析依据如下：

- (1) 生产所需原料、动力价格参照现行价格确定。
- (2) 设备综合折旧按 10 年采用直线法计；
- (3) 根据工艺设计确定的各项单耗指标计算产品的单位成本；
- (4) 工资按 500 元/人·月计；
- (5) 管理费按销售收入的 1% 计；
- (6) 增值税以 17% 计；
- (7) 销售费用以销售收入的 1.8% 计。

### 6.2.2 吨产品原料消耗定额及成本

本工艺建立年产 1000t 液平剂（固流）生产厂，工厂占地面积约 300m<sup>2</sup>，吨产品原料、能量消耗定额，产品单位成本和生产成本见表 6-2、表 6-3、表 6-4、表 6-5、表 6-6、表 6-7。

表 6-2 液流原材料消耗定额表（一吨产品计）

Tab. 6-2 Quota of raw materials of liquid modaf flow (per ton product)

序号	名称	单耗(kg)	单价(元)	金额(元)
1	丙烯酸丁酯	896.1	12	10753.2
2	甲基丙烯酸丁酯	106.26	15	1593.9
3	功能性单体	28.35	10	283.5
4	引发剂	31	14	434
5	异丙醇	75	6.0	450
合计				13514.6

表 6-3 固流原材料消耗定额表（一吨产品计）

Tab. 6-3 Quota of raw materials of solid modaf flow (per ton product)

序号	名称	单耗(kg)	单价(元)	金额(元)
1	液流	150	15.455	2318.25
2	树脂 E-20	640	10	6400
3	填充剂	185	1.3	240.5
4	添加剂	25	15	375
合计				9333.75

表 6-4 液流吨产品能量消耗定额表

Tab.6-4 Quota of liquid modaflow energy (per ton product)

名称	吨耗	单价	金额(元)
电	1437 kwh	0.7	1005.9
水(冷却水)	57m <sup>3</sup>	0.5	28.5
合计			1034.4

表 6-5 固流吨产品能量消耗定额表

Tab.6-5 Quota of solid modaflow energy consumption (per ton product)

名称	吨耗	单价	金额(元)
电	222 kwh	0.7	155.4

表 6-6 液流产品吨生产成本估算

Tab.6-6 Cost of product for liquid modaflow (per ton product)

序号	项目	金额(万元)
1	原料消耗	1.3514
2	能耗	0.1034
4	工资	0.018
5	维修折旧	0.015
6	其它(销售管理等)	0.05
7	合计	1.5378

表 6-7 固流产品吨生产成本估算

Tab.6-7 cost of product for solid modaflow (per ton product)

序号	项目	金额(万元)
1	原料消耗	0.9333
2	能耗	0.0155
3	工资	0.008
4	包装	0.008
5	维修折旧	0.003
6	其它(销售管理等)	0.05
7	合计	1.0178

## 6.3 经济分析，效益估算

### 6.3.1 经济效益估算

目前粉末涂料市场上固体流平剂（固流）销售价约 1.4~1.5 万元/t，若每吨固流产品出厂价按 1.3 万元计，按年产 1000t/y 固体流平剂计，则：

$$\text{年总产值} = 1000 \times 1.3 = 1300 \text{ (万元)}$$

$$\text{年利税为: } 1000(1.3 - 1.0178) = 282.2 \text{ (万元)}$$

### 6.3.2 投资回收期估算

$$\text{资回收期} = \text{工厂总投资} / \text{年利税} = 110 / 282.2 = 0.39 \text{ (年)}$$

即工厂投产正常后，约 5 个月内即可收回工厂投资。

用本工艺建立一间 1000t/y 流平剂生产厂，工厂设备投资在 25 万元左右，可年创产值 1300 万元左右，年利税 282.2 万元，工厂投产后，短时间内即可收回全部投资，具有投资小、经济效益显著的特点。

## 6.4 本章小结

本章主要对建设项目的投资、生产成本和建成后所能产生的经济效益和社会效益进行初步估算和评价。分析结果表明该项目建成达产后具有显著的经济效益。

## 第七章 结 论

本工艺采用以丙烯酸丁酯、甲基丙烯酸丁酯和功能性单体为原料，过氧化苯甲酰为引发剂，异丙醇溶液聚合法的生产工艺，制备出液体流平剂。然后用熔融法制备固体流平剂。并进行了 1000t/a 粉末涂料流平剂生产先的工艺设计，新工艺具有以下特点：

(1) 在粉末涂料流平剂配方中引入功能性单体，显著地提高了粉末涂料的流平性和光泽度；

(2) 采用连续滴加单体的加料方式，使反应过程平稳，聚合产物分子量均匀，产品流平性能提高；

(3) 采用异丙醇为聚合溶剂，提高了分子量的均匀性，避免了使用苯类溶剂的毒性，有利于环保；

(4) 本设计的工艺还具有技术、生产可行性好，生产操作稳定等特点，所生产的粉末涂料流平剂产品质量稳定，使用性能达到了国内同类产品的水平。

(5) 用本工艺建立一条 1000t/y 流平剂生产厂，工厂设备投资在 25 万元左右，可年创产值 1250 万元左右，年利税 154.5 万元，工厂投产后，短时间内即可收回全部投资，经济效益显著。

## 参 考 文 献

- [1] 张昱斐.粉末涂料在汽车工业中的应用.粉末涂料,2000,(4):30~34
- [2] 陈湘南.建筑用粉末涂料的开发动向.中国涂料,2000(2):35~38
- [3] 孙先良.粉末涂料的新发展.化工新型材料,2000(10):1~3
- [4] 于灏浩.粉末静电喷涂在冰箱涂装中的应用.现代涂料与涂装,2002,(5):31~34
- [5] 詹巍.环氧粉末涂料在配电柜涂装中的应用.现代涂料与涂装,2001(6):25~27
- [6] 丁一.建筑用粉末涂料的开发动向.建材工业信息,2002,(7):48
- [7] A.T. Daly et al. Continuous Processing for Powder Coating Production. U.S.Patent, 5766522 (1998)
- [8] J.R Shutic. Vehicle . Powder Coating System. U.S.Patent, 5743958(1998)
- [9] Hester C I, Nicholson R I, Cassidy M A. Powder coating Technology. USA Noyes Data Corporation, 1999;23~26
- [10] Zeno W, Wicks Jr, Frank N, Jone, and S. Peter Pappas, J. Coatings Technology. Powder coatings: 41~43
- [11] Kronberger K, Hammerton D A, Wood K A, and Stodeman M, Journal oil color Chemists Assoc. ,1991,74:405~415
- [12] Edward J, Mars. Phenolic Curing Agents for Exoxy Resins.U.S Co. 8G59162. 4. 167. 832. 1988
- [13] Ikedanaka-machi, Neyagawa. Powder Coatings Division, Progress in Organic Coatings 34 (1998) :193~199
- [14] Richard J, Mignaud C, Sartre A. Stability and compatibility in blends of silicone and vinylalry8cpolymer emulsions. poly.int.,1993,31(4):357-375
- [15] J.Howard.Chemistry & Industry,1996,25(4):799
- [16] Frost & Sullivan . European Powder Coating Market Congress,Humberg,2001
- [17] 王正岩.国内外粉末涂料的市场应用及发展趋势.中国涂料,2003,(4):1~5
- [18] 曲颖.国外热固性粉末涂料的现状和发展方向.中国涂料,1998,(6):40~

- [19] 夏清. 热固性聚酯—环氧型粉末涂料用聚酯树脂的研制. 辽宁化工, 1994, (6): 50~53
- [20] 蒋洪寿. 溶液聚合法合成热固性丙烯酸粉末涂料用树脂. 天津大学学报, 1994, (1): 13~17
- [21] 饶桐华, 金戈. 粉末涂料用聚酯树脂的合成. 热固性树脂, 1994, (2): 44~47
- [22] 曾东林, 李胜国. 饱和羟基聚酯及聚氨酯粉末涂料. 涂料工业, 1996, (1): 12~16
- [23] 陈红, 雍自勤. 珠光粉末涂料的研制. 涂料工业, 1997, (2): 22~24
- [24] 车兆华, 王笃诚. 李晓明环氧聚酯美术型粉末涂料及其防腐性能试验研究. 电子工艺技术, 1999, 20 (3): 109~113
- [25] 周诗彪. 耐候性粉末涂料专用聚酯树脂 ZS95-1 的研究. 常德师范学院学报 (自然科学版) 2000 年 04 期
- [26] 王正岩. 我国粉末涂料市场现状及发展趋势. 现代化工, 2003, 23 (8): 54~56
- [27] 张华东, 金林峰, 陆燕峰. 中国粉末涂料发展浅谈. 中国涂料, 2003, (5): 8~11
- [28] 王保金, 周家华, 刘永等. 粉末涂料及其发展趋势. 广州化工, 2003, 31 (1) 7~11
- [29] 中国化工学会涂料与涂装专业委员会. 粉末涂料与涂装论文选编. 上海: 上海科技文献出版社, 1991, 20~21
- [30] 张兴义. 粉末涂料的特性和用途. 环境技术, 1994, (5): 26~28
- [31] 杨立群, 田志斌. 粉末涂料及其发展. 电镀与涂饰, 1995, (5): 43~47
- [32] 张秀梅. 第七章, 流平剂. 涂料工业, 1992, (4): 49~53
- [33] 王继英. 粉末涂料用聚物流平剂. 涂料与应用, 1997, 27(3). 35~44
- [34] 王建中. 助剂——涂料和涂膜状态调节剂. 塑料工业, 1996, (3): 33~34
- [35] 陈义芳. 热固性丙烯酸粉末涂料流变性研究. 涂料工业, 1990, (5): 5~9
- [36] 廖列文, 崔英德, 康正. 粉末涂料流平剂的合成. 涂料工业, 2001, (8): 18~



- [37] 梁亮, 康正, 廖列文, 等. GL951 流平剂生产新工艺研究. 现代化工, 1997, (3): 28~30
- [38] 周艺峰, 沙鸿飞, 聂王焰. 粉末涂料用丙烯酸酯类流平剂的研制. 安徽大学学报 (自然科学版), 1993, (4): 50~54
- [39] 孙先良. 液体固体粉末涂料流平剂和增光剂. 粉末涂料与涂装, 1999, 19 (3): 9~14
- [40] 刘亚康, 金关泰, 周晖. 聚丙烯酸酯流平剂的合成与研究. 丙烯酸化工, 1997, 10 (2): 28~31
- [41] 赵大庆, 刘亚康. 丙烯酸粉末涂料: III. 聚丙烯酸异辛酯流平剂的合成. 石油化工, 1989, 18(4): 259~262
- [42] 王刚, 李秀玲. 有机基改性聚硅氧烷流平剂应用研究. 涂料与应用, 1994, 24 (3): 22~24
- [43] 王同华, 童乃斌, 王申生. 酰胺改性多功能流平剂 SA505F. 安徽化工, 1997, (3): 15~17
- [44] 胡宁先, 陈光明. GLP 系列流平剂的新进展. 粉末涂料与涂装, 1994, (2): 47~49
- [45] 胡宁先, 陈光明. 消光固化流平剂的制造与应用. 粉末涂料与涂装, 1992, (3): 20~23
- [46] 刘亚康, 陈松, 鲁建民, 等. 含环氧官能团的聚丙烯酸酯流平剂研制. 涂料工业, 2002, (11): 7~9
- [47] 公开特许报, 昭 55—45759
- [48] Henkel . US 5047259, (91)
- [49] 李应麟, 尹其光. 化工过程的物料衡算和能量衡算. 第一版. 北京: 高等教育出版社. 1987. 88~107
- [50] 郭铨, 刘淑娟. 流程计算-化学平衡、物料和热量平衡. 第一版. 北京: 科学出版社. 1985. 5~10
- [51] 刘道德. 化工厂的设计与改造—典型例选及其解析. 第一版. 湖南: 中南工业大学出版社. 1995. 270~276
- [52] 穆赫列诺夫(苏). 化学工艺过程计算. 第一版. 大连工学院化工系译. 北

京：化学工业出版社，1985，79~93

- [53] 大森英三（日），功能性丙烯酸树脂，第一版，张育川，朱传荣，余尚先等译，北京：化学工业出版社，1993，13~15
- [54] 国家医药管理局上海医药设计院，化工工艺设计手册（下册），第一版，北京：化学工业出版社，1986638
- [55] 上海医药管理局上海医药设计院，化工工艺设计手册（下册），第一版，北京：化学工业出版社，1986，733~737

## 攻读学位期间发表论文

- [1] 涂料流平剂的应用研究进展. 广州化工, 2002,30(4): 18~20 (第一作者)  
《广州化工》刊号: ISSN1001-9677, CN44-1288/TQ

## 致 谢

本文是在导师西北工业大学李铁虎教授指导下完成的，在论文完成之际，谨向李老师表示衷心的感谢和崇高的敬意。

本文在研究过程中，还受到广东工业大学崔英德教授，廖列文老师，康正老师，尹国强老师的指点，在此表示衷心的感谢！

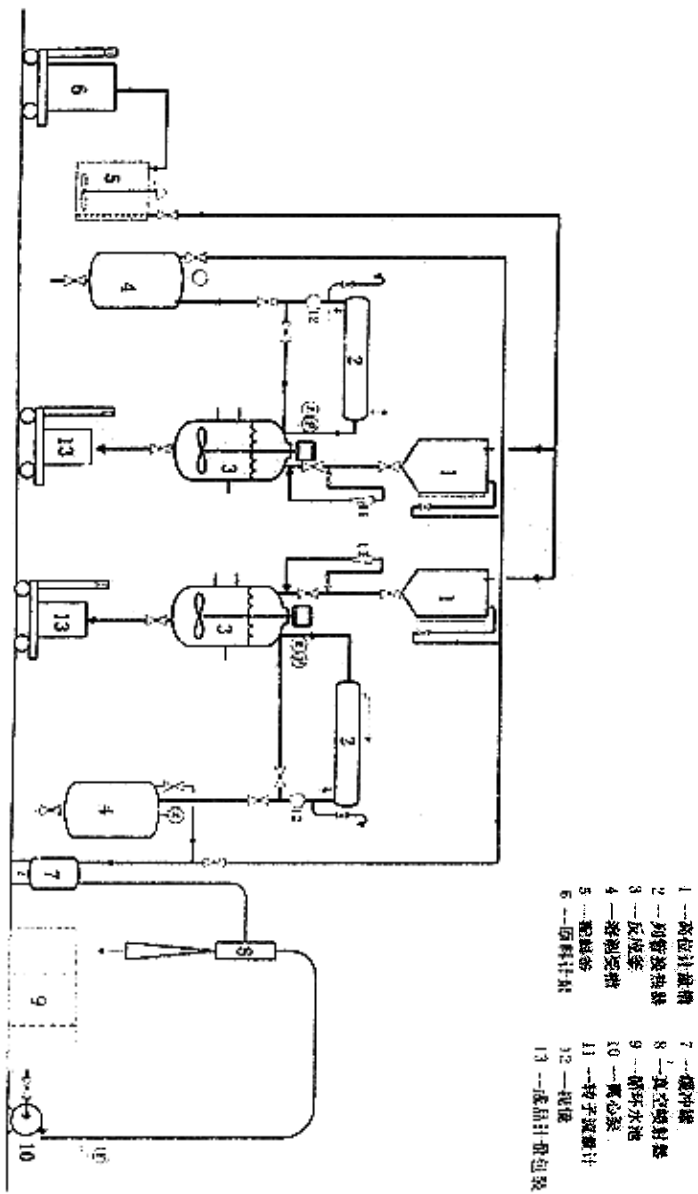
感谢所有教过我课的老师以及所有关心、帮助过我的老师！

感谢同窗学友们三年来对我学习和实验中的关心和帮助！

梁博科

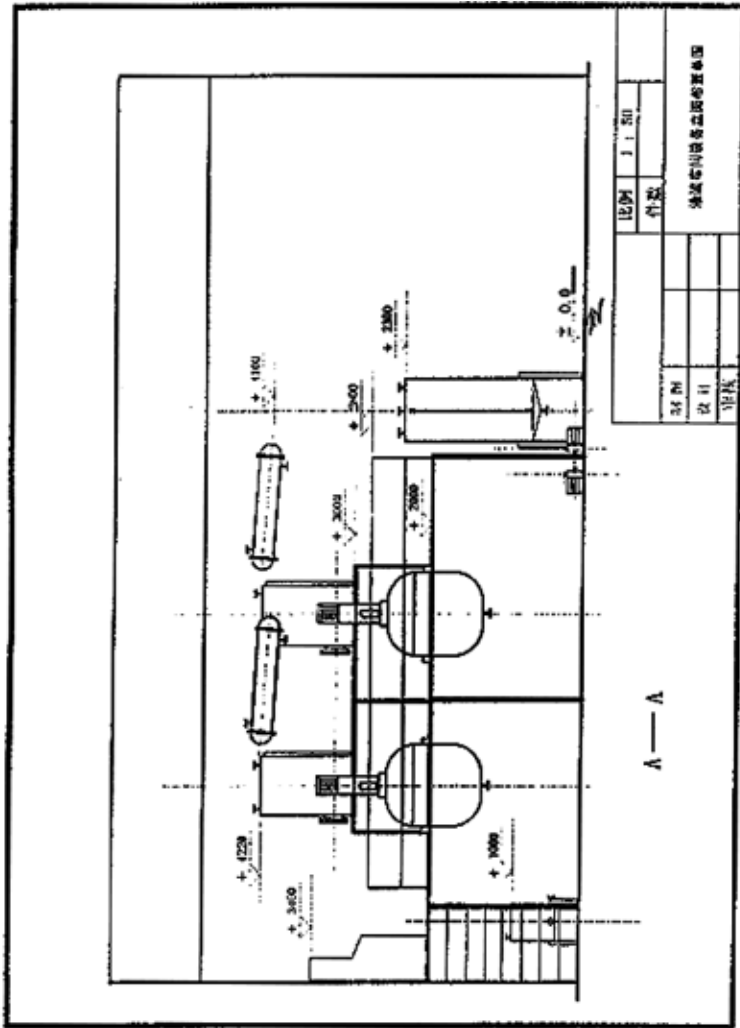
2004年三月

# 附录 1 液流车间带控制点工艺流程图

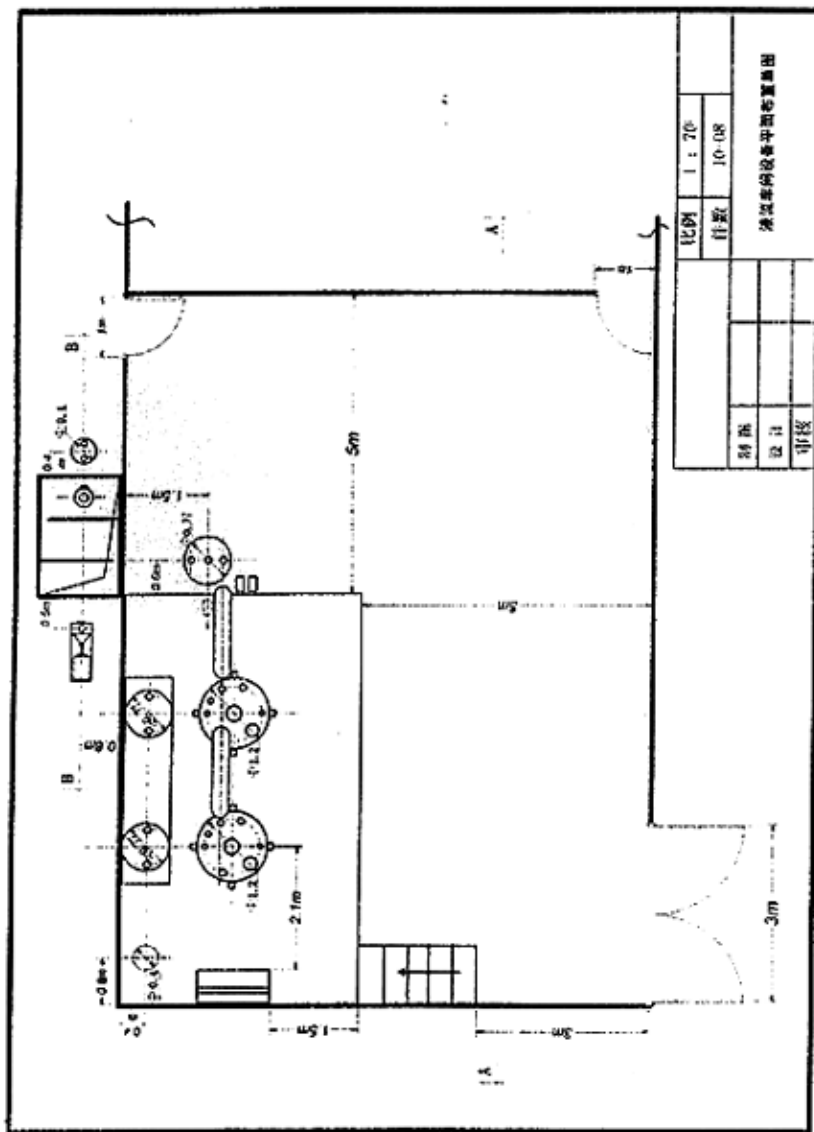


液流车间带控制点工艺流程图

附录2 液流车间设备立面布置草图



附录 3 液流车间设备平面布置草图



# 西北工业大学

## 学位论文知识产权声明书

本人完全了解学校有关保护知识产权的规定，即：研究生在校攻读学位期间论文工作的知识产权单位属于西北工业大学。学校有权保留并向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版。本人允许论文被查阅和借阅。学校可以将本学位论文的全部或部分内 容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。同时本人保证，毕业后结合学位论文研究课题再撰写的文章一律注明作者单位为西北工业大学。

保密论文待解密后适用本声明。

学位论文作者签名：

涂博利

2004年4月6日

指导教师签名：

李永红

2004年4月29日

---

# 西北工业大学

## 学位论文原创性声明

秉承学校严谨的学风和优良的科学道德，本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下进行研究工作所取得的成果。尽我所知，除文中已经注明引用的内容和致谢的地方外，本论文不包含任何其他个人或集体已经公开发表或撰写过的研究成果，不包含本人或他人已申请学位或其它用途使用过的成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。

本人学位论文与资料若有不实，愿意承担一切相关的法律责任。

学位论文作者签名：

涂博利

2004年4月6日