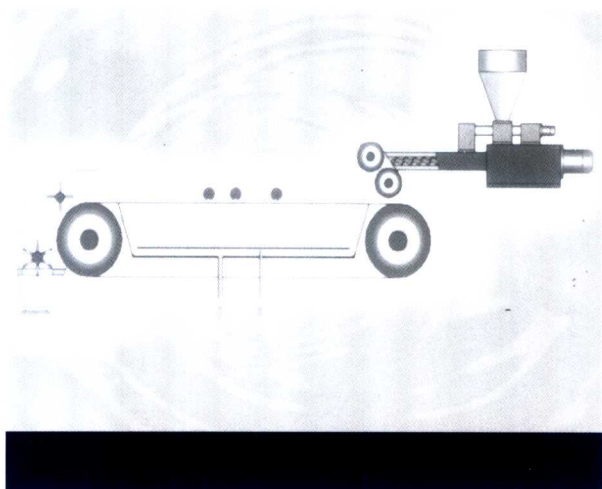


环保涂料丛书

粉末涂料

冯素兰 张昱斐 编著



Chemical Industry Press



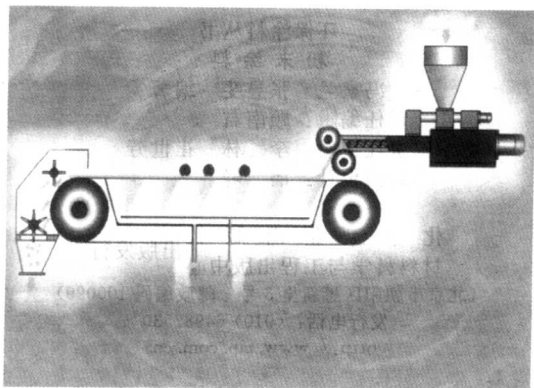
化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

环保涂料丛书

粉末涂料

冯素兰 张昱斐 编著



化学工业出版社

材料科学与工程出版中心

·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

粉末涂料/冯素兰, 张昱斐编著. —北京: 化学工业出版社, 2004. 7

(环保涂料丛书)

ISBN 7-5025-5879-9

I. 粉… II. ①冯… ②张… III. 粉末涂料-涂漆-技术 IV. TQ637

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 077799 号

环保涂料丛书

粉末涂料

冯素兰 张昱斐 编著

责任编辑: 顾南君

责任校对: 李 林 崔世芳

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社 出版发行
材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

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

*

新华书店北京发行所经销

北京市昌平振南印刷厂印刷

三河市宇新装订厂装订

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 13 $\frac{3}{4}$ 字数 369 千字

2004 年 9 月第 1 版 2004 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5879-9/X · 504

定 价: 30.00 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

出版者的话

随着科学技术和社会生产力的不断发展，人们的物质生活水平日益提高，与此同时，人类对生活环境也日益重视，环保问题已在全世界范围受到普遍关注。越来越多的国家、地区和城市发出“给我一片蓝天，还我一片绿地”的呼声。环境保护已是全人类的共同任务。

涂料工业是一个独特的原材料密集型制造行业，大多数有机涂料在生产过程中都使用了一些对人体和环境有害的原材料，在生产过程和施工过程中会排放出有害的废水和废气，甚至在施工后的一段时间内，还会释放出有害的气体。

20 世纪以来，世界各国纷纷制订了严厉的环保法规来限制工业废水、废气和废渣的排放，逐步淘汰一些对环境和人体有害的原材料已是势所必然。涂料工业已深切地感受到来自环境的压力。数十年来，一直占据主导地位的传统溶剂型涂料正面临极大的冲击，而高固体分涂料、无溶剂涂料、粉末涂料、水性涂料和光固化涂料已受到广大科技工作者的青睐，各国都投入大量人力、物力研制和开发环保型涂料。

我国涂料行业也在开发低污染和无污染的绿色产品，在减少有害原材料和消除有机溶剂的同时，尽最大可能降低能耗。但从环保涂料产品的种类、性能和发展速度来看，我们与发达国家尚存差距，为了促进我国环保涂料的研发，使之逐步与国际接轨，化学工业出版社组织并邀请有关专家编写了《环保涂料丛书》，希望能起到抛砖引玉的作用。

《环保涂料丛书》共有 5 个分册：《高固体分涂料》、《水性涂料》、《粉末涂料》、《光固化涂料》和《环保型无机涂料》。

前 言

粉末涂料始于 20 世纪 40 年代初,是以粉末粒子形态涂装并形成涂层。作为无溶剂涂料,粉末涂料在生产和涂装过程中没有溶剂释放,少污染,符合环境保护的要求;涂装过程中喷溢粉末可回收再利用,有利于节省资源;粉末涂装易实施自动化生产,可提高劳动生产率,效率高;在生产和施工中不使用有机溶剂,安全、卫生。符合国际上提出的“4E”(经济、高效、生态、能源)原则,因此得以高速发展。半个多世纪以来,涂料品种不断开发,涂装技术不断创新,应用领域不断拓展。从热塑性粉末涂料起步,到以热固性粉末涂料为主流;从厚涂层到可薄涂至 $30\mu\text{m}$;从以防腐为主到高装饰、高功能性,成为最具发展前途的涂料品种之一,在世界范围内每年以 10% 左右的速度发展。

我国粉末涂料与涂装技术的研究与应用始于 20 世纪 60 年代末,起步比较晚,起点也比较低。但进入 90 年代后,伴随我国工业的迅速发展,特别是家电工业的发展,其发展极为迅猛,至 2002 年,产量已达 16 万吨,成为仅次于美国的第二大粉末涂料生产国。这期间,研究、引进国外技术,进一步消化、吸收、完善和提高,无论在涂料的品种、制造工艺和生产设备上,还是在施工工艺和装备上都取得了长足的进步,为我国工业发展做出了应有的贡献。但是,由于我国粉末涂料生产厂家多为中小型企业,技术力量不足,开发能力不够。因此,与国外先进国家相比,还有相当的距离,尚需奋力追赶。

21 世纪,世界性的环保课题摆在我们面前,给粉末涂料工业的进一步发展带来新的机遇,应化学工业出版社之约,我们编写了《环保涂料丛书》中的《粉末涂料》分册,力争全面阐述国内外粉末涂料与涂装技术的新工艺、新设备、新技术,以利于粉末行业同

仁携手并进，努力进取，共同赶超世界先进水平，迎接粉末涂料新时代的到来。

粉末涂料和涂装技术在现代工业及环保要求的推动下发展迅速，每年都会有新的技术出现，由于时间仓促，资料收集有限，本书很难囊括所有内容。加之编者水平有限，难免有不足和不妥之处，请广大读者多加谅解，多提宝贵意见。

编 者

2004 年 3 月

内 容 提 要

粉末涂料与涂装是第二次世界大战后发展起来的一种塑料与涂料相结合的新产品、新工艺、新技术。具有“省资源、省能源、低污染、高效能”的特点。自 20 世纪 40 年代问世以来,受到世界各国的广泛重视,发展异常迅猛。

本书为《环保涂料丛书》中的一册,介绍粉末涂料的组成、品种、生产设备、制备工艺及其涂装工艺和设备装置,以及目前应用最多的粉末涂料品种和涂装方法。特别是近年来粉末涂料与涂装方面的新进展、新成就。

本书还详细介绍了粉末涂料与涂膜的检验方法和粉末涂料生产和施工中的安全与卫生。

附录介绍相关的国际、国内标准。

本书可供从事粉末涂料和涂装的科研、生产、检测和管理的技术人员和技术工人阅读,也可供大专院校相关专业师生阅读参考。

目 录

第一章 概述	1
第一节 粉末涂料的发展概况	1
一、粉末涂料的生产及市场	1
二、粉末涂料的生产设备	4
三、涂装技术的发展	5
第二节 我国粉末涂料的发展与现状	6
一、粉末涂料的生产	6
二、粉末涂料的应用	8
三、粉末涂料的生产设备	10
四、涂装技术的发展	11
第三节 粉末涂料的优缺点	11
一、粉末涂料的优点	12
二、粉末涂料的缺点	12
第四节 粉末涂料的发展趋势	12
一、新产品的开发	13
二、粉末涂料的制造新工艺	13
三、粉末施工工艺和涂装设备的发展	13
第二章 粉末涂料的组成	14
第一节 粉末涂料用树脂	14
一、环氧树脂	15
二、聚酯树脂	21
三、丙烯酸树脂	35
第二节 粉末涂料用助剂	46
一、固化剂和固化促进剂	46
二、流平剂	64
三、消光剂	77
四、其他助剂	89

第三节 粉末涂料用颜料	91
一、着色颜料	93
二、金属粉颜料	99
三、功能颜料	101
四、填料	102
第三章 粉末涂料的品种	104
第一节 热塑性粉末涂料	104
一、聚乙烯粉末涂料 (PE)	106
二、聚氯乙烯粉末涂料	108
三、聚酰胺粉末涂料	110
四、其他热塑性粉末涂料	113
第二节 热固性粉末涂料	114
一、环氧粉末涂料	115
二、环氧/聚酯粉末涂料	118
三、聚酯粉末涂料	122
四、聚氨酯粉末涂料	130
五、丙烯酸粉末涂料	134
六、氟树脂粉末涂料	141
第三节 特种粉末涂料	144
一、美术型粉末涂料	144
二、功能性粉末涂料	151
第四章 粉末涂料的生产	162
第一节 粉末涂料的生产方法	162
一、干混合法	162
二、蒸发法	162
三、喷雾干燥法	162
四、沉淀法	163
五、熔融混合法	163
第二节 热固性粉末涂料的生产	163
一、预混合工序	165
二、挤出工序	166
三、粉碎工序	174
第三节 热塑性粉末涂料的生产	180

第五章 粉末涂料的涂装与应用	182
第一节 表面处理	182
一、除油	183
二、除锈	184
三、磷化工序	184
四、磷化膜的应用	192
第二节 粉末涂料的涂装	192
一、流化床浸涂涂装工艺	193
二、静电流化床涂装工艺	203
三、高压静电喷涂工艺	205
四、摩擦静电喷涂工艺	214
五、电场云涂装法	218
第三节 粉末涂装设备	223
一、喷枪	223
二、送粉系统装置	232
三、新型摩擦带电式静电粉末涂装机“MTR”体系	235
四、喷粉房	238
五、粉末涂料的回收设备	239
六、反射型龙卷风加湿式除尘器的新体系	246
七、风机的选择设计	247
八、烘烤炉	250
第六章 检测与安全	253
第一节 粉末涂料及其涂膜的检测	253
一、概述	253
二、粉末涂料的性能测试方法	254
三、粉末涂料涂膜性能的测试方法	260
第二节 安全生产与环境保护	269
一、安全与卫生问题的提出	269
二、影响安全与卫生的因素	270
三、卫生安全与环保措施	273
第七章 粉末涂料与涂装新体系	275
第一节 紫外光固化粉末涂料	275
一、紫外光固化粉末涂料的组成	275

二、UV 固化粉末涂料的制备及施工工艺	285
三、UV 粉末涂料的应用	287
第二节 汽车 OEM 罩光粉末浆料	311
一、清漆浆料的生产及性能	312
二、清漆的应用	313
第三节 粉末涂料的复合化	314
一、复合涂层的形成过程	314
二、复合型粉末涂料的制备	315
三、复合粉末涂膜形成的要素	316
四、P/P 型粉末涂料	319
五、粉末涂料复合涂装的新方向	320
第四节 低温固化环氧粉末涂料包接技术	320
一、包接化合物	321
二、TEP 和环氧树脂固化催化剂的包接	322
三、利用包接催化剂的低温固化粉末涂料的特征	325
第五节 高性能聚氨酯粉末涂料	327
一、高光聚氨酯粉末色漆	327
二、聚氨酯粉末清漆	329
三、无光粉末涂料	330
四、耐候性聚氨酯粉末涂料	333
五、防涂画粉末涂料	336
六、高 NCO 含量的 U 固化剂	336
第六节 低温固化粉末涂料的进展	338
一、低温固化性	338
二、玻璃化温度	338
三、化学组分的精心组配	340
四、原材料配方	341
第七节 高速卷涂线用粉末涂料	342
一、卷材用粉末涂装的优势	342
二、卷材用粉末涂装的进展	343
三、应用领域的拓展	347
第八节 结晶聚酯树脂	348
一、液晶聚酯	348

二、半结晶聚酯	351
三、高光泽粉末涂料的配制	358
第九节 粉末涂料制造新技术	360
一、粉末涂料制造的最新技术进展	360
二、VAMP 技术生产汽车面漆	361
三、超声驻波雾化工艺	362
第十节 粉末涂装新技术	362
一、电磁刷涂装技术	362
二、近红外 (NIR) 辐射固化	365
三、粉末涂料感应加热固化	367
第十一节 设计独特的粉末喷房	368
一、无交叉污染的换色	368
二、最佳性能的精密工程系统	368
三、最新型的圆形喷房壁和房体	369
四、粉房控制选择范围广	369
五、供粉中心	369
六、粉末回收/再循环系统	370
七、自动喷枪清理	370
八、安全性能高	370
第十二节 全自动换色粉末涂装体系——“快速之王”	371
一、解决高成本的自动换色清扫体系	372
二、自动换色清扫体系的组合	373
附录一 HG/T 2006—91 电冰箱用粉末涂料	377
附录二 HG/T 2597—94 环氧/聚酯粉末涂料	382
附录三 GB 6554—86 电气绝缘涂覆粉末试验	386
附录四 ISO 8130—4 : 1992(E) 粉末涂料爆炸下限的计算	405
附录五 ISO 8130—8 : 1994(E) 热固性粉末贮存稳定性 的评定	408
附录六 ISO 8130—6 : 1992 热固性粉末涂料在给定温度下 胶化时间的测定	415
附录七 JIS K 5981—1992 合成树脂粉末涂层	419
参考文献	424

第一章 概述

粉末涂料和涂装技术是 20 世纪中期开发的一项新技术、新工艺，具有节省能源、减少污染、工艺简单，易实现工业自动化，涂层性能优异等特点。

半个多世纪以来，伴随其制造工艺和涂装技术的改进和发展，这项工业技术发展到现在年平均增长速度高达 8% 以上，长期以来得到各国的重视，尤其是进入 21 世纪以来，人类对环境的保护更加重视，对挥发性有机化合物（VOC）向大气排放量的限制日益严格，对有限资源如何节省等问题日益关注，致使涂料与涂装界对粉末涂料与涂装技术更加重视。

第一节 粉末涂料的发展概况

一、粉末涂料的生产及市场

粉末涂料是完全不含有机溶剂以粉体形态涂装并形成涂层的新型涂料。早期的粉末涂料实际上就是塑料粉末，用这种粉末来涂饰物体表面早在 20 世纪 40 年代中期在欧洲已开始研究使用。1950 年，聚乙烯粉末火焰喷涂试验的成功开始了粉末涂料的应用，1952 年，德国的盖特梅尔（Ercoin Gemmer）发明了流化床涂装（Fluidized Bed System）热塑性粉末工艺，保证了涂层的均匀性，从而使粉末涂料开始具备了实际应用价值。随后不久，聚氯乙烯和尼龙热塑性粉末涂料相继在美国问世。当时的粉末涂料是热塑性的，其主要成膜物质是聚乙烯、聚氯乙烯、聚酰胺等，它们只是以一种新型防腐蚀用塑料衬里的形式被应用，还没有用作装饰性涂层。

20 世纪 60 年代初，为保护本公司天然气和原油输送管道免于腐蚀，壳牌（Shell）公司开发了第一种热固性粉末涂料——环氧粉末涂料，并于 1964 年研究成功熔融挤出法连续生产粉末涂料的

完整工艺。几乎与此同时（1962年），法国萨迈斯（Sames）公司首先推出了粉末静电喷涂设备，实现了将粉末涂料直接涂于不预先加热的金属工件上，这就首先在欧洲奠定了热固性粉末涂料的生产和应用的基础。其后几经改进，到1966年逐步达到了工业化，作为一项新兴的工业发展起来，把塑料工业技术，涂料工业技术和它本身的技术三者结合起来，成为一种独特的，高效能的涂装技术。

从20世纪70年代起粉末涂料得到了快速的发展。1971年，荷兰SCADOBV公司成功地开发了具有极好装饰作用的聚酯环氧混合型粉末涂料和聚酯异氰脲酸三缩水甘油酯（TGIC）粉末涂料。1972年，德国VP-LANDSHUT公司开发成功具有极佳耐候性的聚氨酯粉末涂料，用以保护户外建筑铝材。几乎与此同时，德国的BAYER AG和BASF公司报道了热固性丙烯酸粉末涂料的问世。

70年代连续两次石油危机的出现使世界涂料的发展方向发生了根本的变化，提出了“4E”原则：经济、高效、生态、能源，就是说涂料工业的发展规划都要从这四项原则来加以考虑，以确保人类生存的环境安全和物质资源的长期使用。于是大力提倡发展所谓省资源、省能源、无公害和无污染的涂料。从这个角度来衡量粉末涂料，人们对它给予了较高的评价，致使世界各工业化国家的粉末涂料迅速发展，不仅先后研制出聚酯/环氧混合型、聚酯型、聚氨酯型、丙烯酸型等各类热固性粉末涂料，而且热塑性粉末涂料，如聚丙烯（PP）、聚氯乙烯（PVC）、聚酰胺（尼龙）、乙烯-乙酸乙烯（EVA）、聚苯硫醚（PPS）、氟树脂等也获得了一定的发展。粉末涂料的产量以每年10%~15%的速度增长，表1-1列出了1975~1990年粉末涂料占世界涂料市场的百分比。

表 1-1 粉末涂料占世界涂料市场的百分比（1975~1990年）

国家及地区	1975年	1980年	1982年	1985年	1990年
欧洲	0.9	2.1	2.9	3.9	5.3
美国	0.6	0.8	1.0	1.4	2.5
东亚地区	0.7	1.0	1.2	2.4	3.9
其他地区	0.6	0.2	0.2	0.3	0.4
全世界	0.6	1.1	1.3	1.8	3.0

80 年代以后由于工业的迅速发展,产生的废气、废水、废渣等对环境造成了严重污染,引起人们的关注。特别是工业发达的国家,将环境保护问题提到了重要的议事日程。欧美国家对挥发性有机化合物(VOC)的限制法规不断发布,例如美国的干净空气法令(Clean Air Act)、德国的干净空气规定(TA Luft Regulation)、英国的环境保护法令(Environmental Protection Act)等。同时,各国对 VOC 的控制标准也日益严格。特别在 1992 年,联合国环境和发展大会召开以后,环境保护成为世界性的重要问题。这些都积极地推动了以无溶剂、无公害等特点发展起来的粉末涂料技术的迅猛发展。1998 年,世界粉末涂料的产量达 52 万吨以上。表 1-2 给出了 1992~1998 年世界各地热固性粉末涂料的使用量。表 1-3 列出了 1995~2000 年世界各地整个涂料和粉末涂料的增长率对比。

表 1-2 1992~1998 年世界各地热固性粉末涂料的使用量/万吨

地 区	1992 年	1993 年	1994 年	1995 年	1996 年	1997 年	1998 年
欧洲	15.5	16.23	17.62	19.12	20.04	21.20	22.13
非洲和中东	1.31	1.43	1.57	1.98	2.06	2.18	2.24
北美	8.0	8.37	9.27	9.98	11.00	11.70	12.03
南美	0.91	1.09	1.33	1.53	1.90	2.22	2.24
亚太地区	7.18	8.08	9.11	10.29	11.60	13.1	14.06
全世界	32.9	35.20	38.9	42.9	46.60	50.40	52.7

表 1-3 1995~2000 年世界各地整个涂料和粉末涂料的增长率对比/%

涂料种类	西 欧	北美和南美	远东地区	其他地区	合 计
整个涂料	0~1.5	2.0	3.0~4.0	2.0~4.0	1.0~2.5
粉末涂料	5~7	12~14	15	12~20	8~12

2001 年全世界粉末涂料产量约 80 万吨,其中欧洲约 33 万吨,北美 18 万吨,亚洲约 20 万吨,其中中国约 16 万吨,日本约 2.5 万吨。

粉末涂料的应用早期主要是在容器、管道的防腐蚀方面和电绝缘方面,以热塑性粉末涂料和流化床浸涂涂装工艺为主。20 世纪 70 年代以后,随着这一新技术的快速发展,其新品种不断涌现,

性能也不断改进和提高,其用途就由防腐蚀涂装为主转向了装饰性涂装,应用领域也不断地得以拓宽,涉及各国国民经济的许多领域,诸如家用电器、建筑材料、交通器材、金属构件、汽车工业、农用机械、电讯设备、管道工业等等,世界各国、各地区的应用领域各不相同,表 1-4~表 1-6 分别列出了粉末涂料在欧洲、日本和美国的应用情况。

表 1-4 粉末涂料在欧洲的应用情况

应用领域	所占比例/%	应用领域	所占比例/%
汽车	18	建筑材料	9
办公家具	18	设备	9
农用机械	14	空调	9
金属构件	9	其他	14

表 1-5 粉末涂料在日本的应用情况

应用领域	所占比例/%	应用领域	所占比例/%
汽车	21.3	金属制品	7.4
电器和仪表	14.1	机器和工具	7.5
交通器材	8.6	电讯设备	6.2
管件	8.3	其他	26.6

表 1-6 粉末涂料在美国的应用情况

应用领域	所占比例/%	应用领域	所占比例/%
金属构件	50	庭园设施	8.5
家用电器	11	其他	21.5
建筑材料	9		

二、粉末涂料的生产设备

粉末涂料的生产主要采用熔融挤出混合工艺,此工艺包括 6 道操作工序:预混合→熔融挤出混合→冷却→粗粉碎→细粉碎→分级过筛。其中熔融挤出混合和细粉碎是关键步骤。熔融挤出混合使用阻尼式单螺杆挤出机或双螺杆挤出机,它们伴随着粉末涂料的发展不断改进,朝着高效、高能和自洁型发展。目前,瑞士 Buss 公司的 PCS-100 型阻尼式单螺杆挤出机的生产能力达 1200kg/h,PLK-800 型挤出机的生产能力为 800kg/h;英国 MP/125PC 型双螺杆挤

出机的生产能力高达 4000kg/h；德国 ESK 型双螺杆挤出机的生产能力为 800kg/h。它们都具有极好的自洁能力，易于清洗。细粉碎设备多数采用空气分级磨，即 ACM 粉碎机，其在应用中也不断得以改进，转子速度不断提高，目前可达 140m/s，机后采用双旋风分离器，以确保获得符合薄层涂装的较小粒度和较窄粒度分布的粉末涂料。

1995 年 10 月，美国 Ferro 公司开发出全新的粉末涂料制造方法，称之为 VAMP 技术，利用二氧化碳在高压下变成液态作为一种加工流体，起超临界流体作用，借助其有效地搅拌，将配方中的各个组分分散成均一的混合物，进而这种均一的混合物经极细的喷嘴排出使产品转化为粉末。

三、涂装技术的发展

粉末涂料涂装工艺和技术的发展是与粉末涂料的生产制造同步发展、相互促进的。

粉末涂料涂装工艺最初采用流化床浸涂法，20 世纪 60 年代，伴随熔融挤出法连续生产粉末涂料完整工艺的问世，粉末静电喷涂设备也由法国萨迈斯（Sames）公司研制成功。静电粉末涂装技术也由此诞生，不断发展成为目前粉末涂装的主要工艺技术。

粉末静电喷涂工艺的设备有：静电粉末喷枪，喷粉室，供粉装置和粉末回收装置。起初静电粉末喷枪采用高压电晕放电带电喷枪，80 年代中期开发了摩擦带电喷枪。目前静电粉末涂装仍以前者为主，近年来摩擦带电喷枪涂装也已得到了较快地发展，在带电效果和上粉率上有了较大的提高，相应的喷嘴结构不断的得以改进，匹配的商业化粉末涂料品种也在不断地增多。

喷粉系统各环节在应用中不断改进，目前喷粉室已可自动快速清扫，方便换色。供粉装置精度也不断在提高，粉末回收方面不断向高效率，小型化发展。整个系统微机控制做到了全自动化，可对不同形状的被涂物自动记忆，根据被涂物的形状自动控制喷料量，这为粉末涂料应用领域的不断拓展奠定了基础，提供了保证。近期，粉末涂料的金属板预涂（PCM）得到了重视，在家用电器用