

设计师锦囊系列

塑料之美

——造型·结构·质感

陈根 编著

英國 STUFF
美國 I.D.

两大国际顶尖设计媒体资深专家
联袂推荐



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

设计师锦囊系列

塑料之美——造型·结构·质感

陈 根 编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

设计师通过对塑料材料的运用、设计,制造出了满足现代生活需要的各类产品。掌握塑料的特性及其应用与成型工艺,是设计师成功设计的基础。本书以塑料产品的必备知识为主线,侧重于向读者介绍关于塑料材料在设计中的应用,通俗、形象地向读者阐述了塑料材料的特性、应用领域、成型工艺、结构设计、表面处理工艺、塑料成型缺陷处理等问题。

本书可作为高校工业设计专业师生的教材和教学参考书,也可作为从事工业设计、产品与产品结构设计的专业技术人员的培训教材和参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

塑料之美:造型·结构·质感 / 陈根编著. —北京:电子工业出版社, 2010.10
ISBN 978-7-121-12032-9

I. ①塑… II. ①陈… III. ①塑料—应用—工业设计 IV. ①TB47②TQ32

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第202626号

责任编辑:朱清江

印 刷:北京东光印刷厂

装 订:三河市皇庄路通装订厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×1092 1/16 印张:15 字数:350千字

印 次:2010年10月第1次印刷

定 价:36.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

鸣 谢

感谢我的老师 国家发改委宏观经济研究院原副院长 专家、教授、博士生导师 刘福垣

感谢我的老师 英国剑桥大学商学院副院长 Lawrence S. Abeln

感谢我的老师 中国社会科学院专家、教授、博士生导师 李海舰

感谢我的老师 中国工程院院士、教授、博士生导师 李京文

感谢华东理工大学 程建新院长的支持与关怀

感谢广州大学 汤重熹院长的支持与关怀

感谢江南大学 李世国院长的支持与关怀

感谢东南大学 崔天剑院长的支持与关怀

感谢南京理工大学 李亚军院长的支持与关怀

感谢周长跃、南君美、卢德建等人的支持与关怀

前 言

塑料，这是个大家都不陌生的名词，塑料制品每天都在影响着我们的生活。自1907年以煤焦油为原料的酚醛塑料问世以来，塑料在经历了百余年发展之后，达到了今天无处不在的普及程度，塑料与我们的生活紧密地联系在一起。在21世纪的今天，我们还在不断地进行塑料材料的创新和发展，这主要得益于塑料材料本身所具备的轻质、高强、价廉、可塑和再利用等诸多优点。在国民经济中，塑料与钢铁、木材、水泥一起并称为四大基础材料，被认为是推动社会生产力发展的新型材料，在很多领域成功取代了金属、玻璃和木料。

塑料将会成为21世纪应用最为广泛的材料，是未来设计师们产品设计的首选材料。对于追求个性消费的时代，塑料材料的可塑性强、成型形式多样，成为满足不同消费需求的表现工具。材料的发展与创新，影响与改变着我们的生活，设计师们所设计的民用产品中，80%都与塑料有着密切的关系。对于设计师而言，掌握塑料材料的属性、加工工艺、成型技术、结构技术、缺陷解决方法，是成功设计的基础。

本书共分为8章。第1章重点介绍了关于塑料材料的历史与现状；第2章重点介绍了塑料材料的应用领域；第3章重点介绍了设计师们最常用的20种塑料材料及其特性；第4章重点介绍了塑料材料的现代成型技术与工艺；第5章重点介绍了塑料产品设计中所存在的结构设计问题，以及结构设计后的优化设计方法；第6章重点介绍了塑料材料的表面处理工艺，以及现代表面处理技术在产品中的应用；第7章重点介绍了塑料注塑成型中常见的缺陷及其原因与解决方式；第8章重点介绍了热塑性塑料材料的焊接工艺及其成型特性。本书的附录部分，介绍了塑料产品设计常用表（塑料产品设计公差数值表、常用塑料材料用途查询表、常用塑料材料的成型参考温度、常用塑料材料最佳成型温度）和塑料产品结构设计的禁用材质等设计师们常用的基础工具和知识。

本书以理论与实践相结合的方式提高设计师的设计能力、技术与知识水平，这对于读者从理论设计转换为职业设计师有着深远的帮助，同时对于职业设计师以及工程师们也有着极高的指导意义。

由于自身知识与写作时间所限，书中难免有疏漏之处，敬请广大学者、专家、读者斧正，交流邮箱 chengenxm@163.com。

陈 根

目 录

第 1 章 塑料材料的历史与现状.....	1
1.1 塑料材料的历史	2
1.2 塑料材料的现状	10
第 2 章 塑料材料的应用领域.....	14
2.1 包装材料	15
2.2 建筑材料	16
2.3 家用电器	17
2.4 信息技术及仪器仪表.....	18
2.5 汽车工业	19
2.6 医疗设备	20
第 3 章 塑料产品设计的材料选择与常用材料特性	22
3.1 塑料产品设计的材料选择.....	23
3.2 塑料产品设计常用材料特性.....	28
第 4 章 塑料成型技术与工艺	43
4.1 塑料成型常见种类.....	46
4.2 普通注塑成型	48
4.3 双色注塑成型	62
4.4 透明注塑成型	65
4.5 注塑成型新工艺	70
第 5 章 塑料产品结构设计与优化	79
5.1 结构优化实例分析.....	80
5.2 塑料产品结构优化.....	133
第 6 章 现代塑料表面处理工艺	145
6.1 印刷	146
6.2 喷涂	165
6.3 电镀	175
6.4 表面处理工艺在产品中的应用实例	188
第 7 章 注塑成型缺陷原因与对策	192
7.1 充填不足	193
7.2 溢料飞边	194
7.3 缩水	195
7.4 流痕	196
7.5 喷痕	197

7.6 银条	198
7.7 表面模糊状	199
7.8 熔接痕	200
7.9 气泡	201
7.10 黑条与烧焦	202
7.11 裂痕与破裂	203
7.12 翘曲变形	204
7.13 顶白	205
7.14 颤纹	206
7.15 表面剥离	206
第8章 热塑性材料的焊接	208
附录A 塑料产品设计常用表	222
附录B 塑料产品结构设计的禁用材质	228

第 1 章

塑料材料的历史与现状



1.1 塑料材料的历史

塑料，这是个大家都不陌生的名词，塑料制品每天都在影响着我们的生活。在国民经济中与钢铁、木材、水泥一起并称为四大基础材料，被认为是推动社会生产力发展的新型材料。从儿童玩具到各类仪器容器，从计算机外壳到汽车部件，塑料制品在我们的生活中随处可见。我们所涉及的民用产品中 80% 都跟塑料有着密切的关系，但是就是每天在生活中面对与应用的塑料也许很少有人知道，究竟什么样的材料才叫塑料？塑料涵盖着哪些品种？塑料最早是什么时候由谁发明的？塑料工业是怎么发展到今天这种繁荣景象的？这就是整个塑料的发展历史。

塑料的英文名称“plastic”来自希腊语“plastikos”，意思是“成型”，“可成型”或者“具有可塑性”，作为形容词经常被使用，就产生了“塑料”一词。“塑”的汉字本义是指“用泥土捏成人物形象”，“塑性”引申为“能自由成型”之意，“塑料”也就是具有可塑性的材料。

从字面上理解，塑料指所有可以塑造的材料。但我们所论述的塑料，单指人工合成的塑料（又称合成树脂），是用人工方法合成的高分子物质。1926 年 3 月，美国《塑料》杂志对塑料所做的定义为“一种能塑造成各种形状的材料，不像非塑性物质那样需要切削”。比较严格意义上的定义，塑料一般指以树脂为主要成分，加入（或不加）增塑剂、填充剂、润滑剂，着色剂等添加剂，在一定温度和压力下塑造成一定形状，并在常温下能保持既定形状的有机高分子材料。其中树脂是指加工成塑料制品前的有机聚合物（通常是指人工合成的高分子），在常温下为固体或液体。树脂约占塑料总质量的 40%~100%，其本性决定了塑料的基本性能，通过添加剂可以调整其性能。有些塑料基本上是由合成树脂组成，不含或含少量添加剂，如有机玻璃、聚苯乙烯、聚碳酸酯等。塑料与高分子树脂两者之间的关系就如同米饭与大米，在没进行蒸煮之前是大米，在进行了蒸煮之后就成了米饭。同样塑料在未进行加工之前的主要成分就是高分子树脂，加工之后就称之为塑料。

塑料在历经了百年发展之后，以其性能、价格等多方面的因素，渗透于我们生活的方方面面。在 21 世纪的今天，塑料材料还在不断地创新，不断地发展，这主要得益于塑料材料本身所具备的轻质、高强、廉价、可塑和再利用等诸多优点。目前，塑料材料已经由过去的单一材料发展到了 60 多个大类 300 多个品种，应用于各个领域，并在很多领域成功取代金属、玻璃和木料。

1907 年，以煤焦油为原料的酚醛塑料面世，标志着塑料时代的正式开始，其标志性人物为美籍比利时人列奥·贝克兰（Leo Baekeland）。此后随着电气时代的到来，电能的发展驱动了市场对绝缘材料的强烈需求，于是推动塑料工业的不断发展，石油炼制工业的兴起和石油化工的兴起将塑料材料带入了高速发展轨道上。塑料从此开始影响和改变我们的生活，如尼龙丝袜的发明就给人类的生活方式带来了

观念性的改变。直到第二次世界大战后以石油产品为原料的树脂合成材料迅速取代了煤化工在工业原料中的主体地位，各种新型塑料产品如雨后春笋般涌现。塑料的普及给人们生活带来了方便，同时也带来了环境的危害。环境保护问题使一些发达国家开始对塑料的使用加以限制，但随着塑料科技的不断进步，可降解塑料材料的出现将会使塑料和生态趋于一种和谐的关系，塑料材料在产品中的应用也进入全新的时代。

塑料时代的开始

以合成塑料、酚醛塑料（PF）的出现为标志。在19世纪以前，人们就已经开始使用沥青、松香、琥珀、虫胶等天然树脂。1868年，将天然纤维素硝化，用樟脑作为增塑剂制成了世界上第一个塑料品种——赛璐珞，从此开始了人类使用塑料的历史。然而市场驱动是技术与产业发展的必然要素，塑料也不例外。促使第一种完全合成酚醛塑料的出现与19世纪后期一种天然的绝缘材料——虫胶这种天然树脂有着直接的关系。当时处于萌芽发展期的电力工业蕴藏着巨大的绝缘材料市场，但产自东南亚的虫胶由于供不应求而导致原材料的价格一路攀升。当时有些化学家已经开始认识到很多可用做涂料、黏合剂和织物的天然树脂和纤维都是聚合物，即结构重复的大分子，并开始寻找能合成聚合物的成分和方法。在诸多的研究者中，贝克兰经过多年努力终于取得了成功。如果说爱迪生因发明了灯泡而将人类带入了光明的时代，那么贝克兰则是通过发明塑料将人类带入了一个多彩的世界。

从1904年开始，贝克兰开始研究苯酚和甲醛的反应。尽管早在1872年，德国化学家拜尔就发现了这个反应能产生一些黏稠状的东西，但拜尔的兴趣在合成染料上，并没有对这一化学反应进行深入研究。后来的科学家也对这种化学反应进行过研究，但因为无法精确控制化学反应而未能找到它的利用价值。然而贝克兰解决了这个问题。他发明了一种名叫贝克利（Bakelizer）的试验装置，可以精确调节加热温度和压力，能有效控制化学反应。贝克兰用这种装置成功地得到了酚醛树脂，将其模压后得到半透明的硬塑料，这种塑料不易燃烧，成型后不再熔化，也不能溶解到溶剂甚至是酸性液体中去。

于是他就用自己的名字给这种新材料命名为贝克利特（Bakelite），并于1907年7月14日注册了贝克利特的专利。从这一天起，第一种合成塑料——酚醛塑料贝克利特诞生了。贝克利只比他的英国同行詹姆斯·斯温伯恩爵士早一天递交专利申请，否则英文里酚醛塑料可能要改叫“斯温伯莱特”了。酚醛树脂以煤焦油为原料合成，是世界上第一种人工合成的树脂，向粉状的酚醛树脂中添加木屑混合均匀后在高温高压下模压成型就得到了酚醛塑料。毫无疑问，它是人类所制造的第一种全合成材料，它的诞生标志着人类社会正式进入了塑料时代。酚醛塑料具有绝缘、稳定、耐热、耐腐蚀、不可燃等性能，之后被应用于迅速发展的汽车、无线电和电力工业中，其被制成插头、插座、收音机、电话外壳、螺旋桨、阀门、齿轮、管道

等各种产品。在家庭中，它出现在台球、把手、按钮、刀柄、桌面、烟斗、保温瓶、电热水瓶、钢笔和人造珠宝上。当然，酚醛塑料也有缺点，它受热会变暗，只有深褐、黑或暗绿 3 种颜色，而且容易摔碎。但酚醛塑料的发明被认为是 20 世纪的炼金术，它的发明人贝克利于 1924 年被选为美国化学学会会长，被《时代》周刊称为“塑料之父”。

1910 年，贝克利创办了通用酚醛塑料公司，在美国新泽西的工厂开始生产。由于酚醛塑料的出现大大降低了生产成本，于是就有大批的仿制者跟进，直到 1926 年专利保护到期，大批同类产品鉴于专利保护到期的情况下大批涌入市场。1939 年，贝克利决定退出公司经营，而他的儿子、继承人乔治·华盛顿·贝克兰却对商业不感兴趣，于是就将公司以 1650 万美元（相当于今天 2 亿美元）出售给当时的联碳公司。由于市场需求的不断扩大，于是就促使了新技术的出现，在酚醛塑料工业化后不久就出现的第一个无色塑料——脲醛塑料，它是由奥地利化学家约翰在 1918 年研制，20 世纪 20 年代曾在欧洲被用于玻璃的替代材料，后来常用于压制一般电工材料和生活日用品。

1920 年又一种新型的塑料合成材料苯胺-甲醛塑料诞生。这种塑料具有良好的耐水性、耐油性和高介电性能，适用于制造绝缘材料。直到 20 世纪 30 年代，又出现了以尿素为基础原料的三聚氰胺-甲醛树脂，这种树脂制成的塑料比脲醛塑料硬度更高，并有更好的耐水、耐热、耐电弧性，可作为耐电弧绝缘材料。脲醛塑料、苯胺-甲醛塑料、三聚氰胺-甲醛树脂这三种塑料被统称氨基塑料，它们具有质地坚硬、耐刮痕、无色、半透明等优点，加入颜料可制成彩色鲜艳的制品，俗称电玉。电玉和电木因其卓越的电绝缘性能，为推动当时电气工业和仪器制造业的发展起了积极作用，直到今天欧洲仍然有部分国家的电气工业产品在使用电玉材料。

酚醛塑料和氨基塑料都有着一个共同的特点，就是都具有热固性。即指材料在受热固化成型后不能再重复加热软化冷却硬化的加工过程，塑料制品只能一次成型使用，不能反复塑造，这样的塑料被称为热固性塑料。这类塑料虽然不可循环使用，但由于价格低廉，又具有良好的绝缘性能且结实耐用、耐腐蚀，因此延用至今。另外环氧树脂、不饱和聚酯也属于这类塑料，即热固性塑料。

塑料时代的里程碑

以聚酰胺（PA）的出现为标志。20 世纪前半叶的两次世界大战，给人类社会带来沉重的灾难，但同时也为塑料材料带来了革命性的发展。第一次世界大战后，伴随着高分子化学理论的逐步完善和煤化学工业的日趋成熟，以及石油化工的方兴未艾，塑料工业飞速发展，目前，最常用的 60 余种塑料中有将近 20 个品种在第一次世界大战后的这段时期实现了工业化，在这段时期的塑料材料伟大革命就在于出现了一类与热固性塑料截然不同的塑料品种，即热塑性塑料材料。

热塑性塑料就是可以经历多次加热软化冷却硬化加工过程的塑料。此类塑料制品经一次成型使用废弃后还能反复塑造再加以利用，因此，也被为可再生塑料。一次成型的热塑性塑料废弃回收后的废料称为再生料或者回料。再生塑料不能再用做食品包装，但可在工业上广泛应用，我们日常生活中使用的大部分塑料都属于这类再生塑料。

20 世纪 30~40 年代，热塑性塑料品种和产量急剧增加，聚苯乙烯（PS）、聚氯乙烯（PVC）、聚甲基丙烯酸甲酯（PMMA，俗称有机玻璃）、聚酰胺（PA，尼龙）、高压聚乙烯（LDPE）、氟塑料、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物（ABS）、有机硅树脂等塑料材料相继工业化生产，并迅速广泛应用于机电、航空、汽车、建筑、农业等领域及日常生活中。在这些塑料新星中，最耀眼的莫过于聚酰胺，也就是诞生于杜邦公司的尼龙。

20 世纪初，生产企业从事基础科学研究在当时被认为是不可思议的事情，然而重视新产品研发的杜邦公司已认识到科研能够促进和推动工业生产。于是在 1926 年，当时杜邦公司的研究主管查尔斯·斯泰恩建议开展相关基础研究；1927 年，杜邦公司决定每年支付 25 万美元作为研究费用，并开始聘请专业化学品研究人员。1928 年又成立了基础化学研究所，年仅 32 岁的华莱士·卡罗瑟斯博士（Wallace Carrothers）受聘担任该所有机化学部的负责人。受聘到杜邦公司后，卡罗瑟斯以施陶丁格的高分子学说为理论基础，主持了一系列用聚合方法获得高分子量物质的研究。当时的主管斯泰恩的要求是“只探求有关各种物质特质与性能的客观现象，不在乎发现的现象有什么具体用途”。

1930 年，卡罗瑟斯的助手发现用乙二醇和癸二酸缩合制取的聚酯能像棉花糖一样抽出丝来，而且抽出的丝即使冷却后也不会变硬或断裂，长度可达原来的几倍，强度和弹性也大大增加。随后的研究中，得出从这种聚酯得到纤维只具有理论上的意义，因为它在 100℃ 以下即熔化，而且特别易溶于各种有机溶剂，只是在水中还稍稳定些，因此不适合用于纺织。事实上后来英国的温费尔德（T.R. Whinfield）在汲取这些研究成果的基础上，改用对苯二甲酸与二元醇进行缩聚反应，1940 年，成功合成了聚酯纤维（即涤纶），这对于卡罗瑟斯不能不说是一件很遗憾的事情。

美国经济在进入了大萧条时期给卡罗瑟斯的实验室带来了更大的挑战，他们必须研究出一种适销的合成纤维，代替已显过时的人造丝。当时的新任研究主管埃尔默·博尔顿开玩笑说道，“这其中没有一项能让他听到现金出纳机的叮当声”。后来，卡罗瑟斯把研究重点转向了聚酰胺，并于 1931 年申请了第一项聚酰胺专利（USP2130948）。1935 年初，他用戊二胺和癸二酸合成出的 PA，其纤维强度和弹性超过了蚕丝，而且不易吸水，很难溶解，只是熔点较低，原料昂贵。同年的 2 月 28 日，卡罗瑟斯又用各含 6 个碳原子的己二胺和己二酸合成出 PA66，其中第一个 6 表示二胺中的碳原子数，第二个 6 表示二酸中的碳原子数，这种聚合物控制的纤维外观和光泽不亚于天然丝，耐磨性和强度超过当时任何一种纤维，杜邦公司决定

进行商品生产开发。但是要将实验室的成果变成商品，首先要解决原料的工业来源；其次要进行熔体纺丝过程中的输送、计量、卷绕等生产技术及设备的开发。此时生产 PA66 所需的原料——己二酸和己二胺当时仅供实验室做试剂用，必须设法生产大批量、价格适宜的己二酸和己二胺，于是杜邦公司选择丰富的苯酚进行开发实验。到 1936 年，终于研究出一种新的催化技术，可以用廉价的苯酚大量生产出己二酸，随后又发明了用己二酸生产己二胺的新工艺，解决了 PA66 的原料来源问题。

与此同时杜邦公司还首创了熔体纺丝新技术，1938 年 7 月，杜邦公司完成试制，首次生产出 PA66 纤维。同月，以 PA66 做刷毛的牙刷投放市场，还取了一个不同凡响的名字——“奇迹丛”。同年 10 月，杜邦公司正式宣布世界上第一种合成纤维诞生，并将 PA66 命名为尼龙 Nylon，我国称为锦纶。尼龙后来在英语中成了“从煤、空气、水或其他物质合成的，具有耐磨性和柔韧性、类似蛋白质化学结构的所有聚酰胺的总称”。

杜邦制造的第一双尼龙丝袜参加了当年的纽约世界博览会。人们形容这种神奇的人造丝袜“像蛛丝一样细，像钢丝一样强，像绢丝一样美”。1939 年 10 月 24 日，杜邦公司在总部所在地的百货商店首次推出尼龙丝袜，要求每人限购 3 双，还要提供当地住址，为此来自全国的时尚女性将城内旅馆预订一空。到 1940 年 5 月，尼龙纤维织品开始遍及美国各地。两年后太平洋战争爆发，尼龙立刻从民用市场消失，主要用于生产降落伞、军用帐篷、飞机轮胎帘子布、军服等军工产品。战后尼龙刚回到民用市场的时候，爱美的姑娘们甚至迫不及待地地在商店门口的台阶上就把刚买到的尼龙丝袜套在腿上。

杜邦公司从没有明确目的的基础研究开始，到改变人们生活面貌的尼龙诞生，11 年时间、2200 万美元投资以及 230 名科学家的努力，奠定了合成纤维工业的基础。尼龙的发明也成为企业投入基础科学研究非常成功的典型。它使人们认识到：“与技术相比科学要走在前面，与生产相比技术要走在前面；没有科学研究，没有技术成果，新产品的开发是不可能的”。此后，企业从事或资助的基础科研在世界范围内如雨后春笋般出现，使相关科研的成果得以更迅速地转化为生产力。

1941 年，杜邦公司首先开发出聚酰胺模塑料，并加工成了齿轮、轴承和电线电缆等，到 1948 年，杜邦生产的模塑制品和挤出制品已经达 6 种 12 个牌号。聚酰胺以其优异的耐磨性和耐腐蚀性拓展了广阔的应用空间，用于代替金属在机械、化工、仪表、汽车等工业中制造轴承、齿轮、泵叶及其他零件成为重要的工程塑料。在第一次世界大战后、第二次世界大战前的几十年里，塑料原料逐渐从煤转向了石油。人们能从廉价的石油中合成出成千上万种新的工业品，人们的生活从此变得多姿多彩，天然原料也得以多层次利用，创造出更高的经济价值。除了以尼龙纤维闻名于世的 PA 塑料，还有很多塑料品种在此期间进入工业化。其中比较著名的还有以下几种至今仍然产量很大的热塑性塑料：

(1) PS: 1930 年，德国法本公司解决了 1911 年就被英国人发现的聚苯乙烯工

艺复杂、树脂老化等问题，在路德维希港开始用本体聚合法开始进行工业生产。

(2) PMMA: 1931 年，德国的罗姆—哈斯公司首先建厂生产 PMMA，取代了赛璐珞用于飞机座舱罩和汽车挡风玻璃等。

(3) PVC: 在 1912 年，德国化学家科莱特 (Fritz Klatte) 发明 PVC 并申请了专利，但直到 1925 年专利过期，科莱特和他所在的 Greisheim Electron 公司也没能想出 PVC 有什么用途。然而就在一年后，即 1926 年，远在大洋彼岸的美国化学家西蒙 (Waldo Semon) 独立发明了 PVC，并且发现这种材料具有优良的隔水性能，非常适合做浴帘。于是西蒙和他所在的 B.F. Goodrich 公司将 PVC 在美国申请了专利，随后出现了 PVC 的工业化大生产。

1931 年，德国法本公司采用乳液聚合法实现 PVC 的工业化生产。

1933 年，西蒙又发现用高沸点溶剂和磷酸三甲酚酯与 PVC 加热混合，可加工成软 PVC 制品，这才使 PVC 的实用化有了真正的突破。1936 年，英国卜内门化学公司 (帝国化学公司)、美国联碳公司及固特里奇化学公司几乎同时开发出氯乙烯的悬浮聚合及 PVC 的加工应用技术。从此，PVC 就成为了重要的塑料品种。

(4) LDPE: 1933 年，英国卜内门化学公司在进行乙烯与苯甲醛高压下反应试验时，发现聚合釜壁上有蜡质固体存在，从而发明了聚乙烯 (PE)；1935 年，该公司又发明了可控 LDPE 合成方法，并于 1939 年开始用高压气相本体法生产 LDPE。

(5) PTFE: 称为塑料之王，又称为泰富隆或氟塑料，在 1943 年开始由美国杜邦公司首先推向市场。

这一时期塑料开始出现了多样化的品种，并且工业化规模不断扩大，产量大幅度增加，应用领域不断延伸。世界塑料总产量从 1904 年的 1 万吨，猛增至 1944 年的 60 万吨。

塑料时代的大发展

以 PE 和 PP 高分子合成材料为标志。第二次世界大战期间由于战争对合成橡胶的强烈需求极大地推动了石油化工和高分子材料研究的进展。高分子材料主要是指以合成树脂为原料的合成纤维、塑料以及合成橡胶，其中 80% 的合成树脂用来生产塑料。第二次世界大战后的 1946 年至 1950 年的 5 年间，平均每年在中东所发现的石油资源就高达 270 亿桶，仅中东的产量就达到了当时世界石油年产量的 9 倍。由于石油的大规模量产带来了塑料工业化规模不断扩大，于是就形成了 20 世纪 50~60 年代的“四大件”，即汽车、电视机、电冰箱、洗衣机的购买热潮。汽车工业与电器工业的发展也离不开以合成树脂为基础以塑料为代表的合成材料的应用与创新。在这期间最著名的就是齐格勒—纳塔催化剂的发明，使聚烯烃的 PE 和 PP 成为了世界上产量最大的塑料，也使制造业从此能够按照市场与企业产品的需求来设计高分子的结构，从而优化产品性能。齐格勒和纳塔也由于这项特殊的成就获得

了 1963 年的诺贝尔化学奖。

齐格勒是德国化学家，他在 1953 年发现用烷基铝和四氯化钛作为催化剂，可以生成一种不同于之前工业化的聚乙烯。1939 年，工业化的 LDPE 由于在高压下制成，分子结构错综复杂，排列不整齐，导致材料的密度低、质地软、熔点低，只适合做食品包装袋、软管等。齐格勒发现的这种 PE 分子结构像细线一样没有分叉，分子能有序地进行排列，并且还能结晶，因此，密度高、熔点高、强度高，能够制造桶、瓶、管、棒等需要硬度高的产品，也就是今天的 HDPE。齐格勒本人在当时尚未认识到此发明所具有的重大意义，因此，在当时只申请了乙烯聚合的专利。

齐格勒的工作引起意大利化学家纳塔的极大兴趣，纳塔改进了齐格勒所用的催化剂，使之能适用于丙烯的聚合，并且得到了高产、高结晶度、能耐 150℃ 高温的 PP，纳塔所研究的这种新材料就被称做为定向 PP。纳塔还是 X 射线衍射结构分析方面的专家，他在这方面的的工作使人们得以深入了解聚合物的结构与性质间的关系，正是由于他的背景知识成就了他的研究成果。从此，人们就可以根据需求，有目的地设计高分子结构以满足预期要求。合成材料的品种更加多样化，尤其是聚烯烃类塑料，到 20 世纪 70 年代，已经形成了世界上产量最大的塑料品种，至今仍然在各塑料品种的产量中名列榜首，约占全部塑料产量的三分之一。

塑料技术的突破带来了产业革命

20 世纪 40 年代，两大塑料材料尼龙和涤纶的问世使人造纤维的产量很快就超越了当时的羊毛产量。第二次世界大战后尤其在 1958—1973 年，塑料工业在丰富廉价的石油化工产品推动下飞速发展，直到 1970 年时产量就已经高达 3000 万吨。除了塑料材料产量增加之外，塑料品种还呈现出百花齐放的特点。

(1) 由单一的大品种通过共聚或共混改性，发展成系列品种。如 PVC 除生产多种牌号外，还发展了氯化聚氯乙烯、氯乙烯—醋酸乙烯共聚物、氯乙烯—偏二氯乙烯共聚物、共混或接枝共聚改性的抗冲击聚氯乙烯等。

(2) 开发了一系列高性能的工程塑料新品种。如聚甲醛(POM)、聚碳酸酯(PC)、(ABS)树脂、聚苯醚(PPE)、聚酰亚胺(PI)等。

(3) 广泛采用增强、复合与共混等新技术，赋予塑料更优异的综合性能，扩大了应用范围。

塑料的出现因其廉价、质轻、绝缘、不腐、不锈、易塑、多样等诸多优点，以每年 12%~15% 的速度增加，进而逐步影响与替代着金属、木材与水泥等传统结构材料。塑料材料的产量在 20 世纪 50 年代就已经超过了铝，随后又超过了铜和锌，70 年代已接近木材和水泥的产量，80 年代初在体积上已经超过了工业时代的代表——钢铁的产量。1991 年，世界塑料原料(树脂)产量首次突破 1 亿吨；到 2003 年，已经突破 2 亿吨。

塑料制品的发明,不仅提高了人类现代生活的质量,也推动了人类社会文明的进步与技术创新。塑料在丰富人们生活的同时也给人们带来了方便和实惠,成为人们日常生活不可缺少的一部分,可以说凡是有人群的地方就可见到塑料产品。根据统计,世界塑料的人均年消费量 1970 年为 8kg,1980 年为 13.4kg,1995 年已达 22.5kg,而工业发达国家已经超过 50kg。人均塑料消费量最多的国家是美国、比利时和德国,2001 年已超过 150kg,以中国的人口规模和从业发展速度,相信在不久的将来会超越这些国家。

自古以来,服装面料主要来源于棉麻丝毛等天然纤维,但随着全球人口暴涨,资源减少,环境恶化,以及对面料色彩、质感等方面的需求,天然纤维生产速度已远远落后于社会需求。合成纤维的出现使人们发现煤和石油中的物质竟然可以通过化学反应造出和天然纤维相媲美的衣服,因此,合成纤维逐渐取代天然纤维,合成纤维又称为化纤。化纤和塑料都是以合成树脂为原料加工成的不同形态的制品。美国的尼龙袜革命在使尼龙广为人知的同时促使更多的化纤和塑料产品推向市场,最常见的用做服装材料的除了尼龙纤维(锦纶);还有以“的确良”而家喻户晓的涤纶——聚酯纤维;俗称人造毛的腈纶——聚丙烯腈纤维;亲油疏水又结实耐用的丙纶——聚丙烯(PP)纤维;吸水性好有合成棉花之称的维纶——聚乙烯醇(PVA)纤维;以及弹性好以莱卡闻名的氨纶——聚氨基甲酸乙酯纤维等。这些合成纤维和天然织物混纺后既能保持天然织物的优点又能克服其缺点,根据有关统计表明,1996 年世界合成纤维产量已经同世界棉花总量持平,达到 1900 万吨。另外还有一些有特殊性能的合成纤维,如美国杜邦公司推出的聚酰胺纤维 Kevlar 能用于制造战场用的头盔和盔甲,以及警察防弹背心等防护用品。

各种鞋底材料也大量采用塑料制成,生活中经常接触的耐磨鞋底就有聚氨酯(PU)塑料和苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物(SBS)塑料等。另外,结实明艳、式样繁多的用 PVC、PE、PU 制成的塑料凉鞋、拖鞋、雨鞋、矿工鞋。生活中方便的塑料购物袋随处可见,塑料首饰因其价廉而又漂亮现在被广泛用在服装服饰上。女士们钟爱的头花大也都是由丙烯酸酯塑料(亚克利)或者不饱和聚酯塑料制成。1999 年,瑞典人成功地把一种具有优异阻隔性能和抗紫外线辐射性能的聚萘二甲酸乙二酯(PEN)塑料啤酒瓶推向市场就在北欧市场上站稳阵脚。有了这种不易碎的啤酒瓶,人们就可以通过它把啤酒带进体育场、电影院等人员密集的地方而不用担心酒瓶伤人事件的发生。

除了用于食品包装之外,塑料因其密度小(约为天然石材密度的 $1/3 \sim 1/2$,约为混凝土密度的 $1/2 \sim 2/3$,仅为钢材密度的 $1/8 \sim 1/4$)、且强度高(玻璃纤维增强塑料复合材料比强度超过钢材和木材)、导热性低(泡沫塑料的导热系数接近于空气)、耐酸碱盐腐蚀、绝缘、装饰性好等优点,在建筑材料和装修材料中也大展身手。在家居装修中最常见的有塑料门窗、管材、扶手、扣板、地面卷材、地砖地板、卫生洁具和泡沫塑料等。PVC 也成为了塑料建材的主力军,建筑装修中

常用的塑料门窗、管材、扶手、扣板、地面卷材、地砖地板和泡沫塑料等。生活饮用水常用的管材就是无毒的 PE 和 PP, 如 PPR 水管等。

历史的发展证明, 任何一种新材料的出现, 都会给人类的生活带来翻天覆地的变化, 都促进了人类文明的巨大飞跃。从石器时代到青铜时代再到铁器时代, 都是以新材料的出现和使用为标志的。20 世纪以来, 以塑料为代表的高分子合成材料的出现, 使几千年来的无机材料和金属材料在它面前都显得暗淡无光, 任何一种材料都无法像塑料那样, 短短百年间就活跃在普通大众的日常生活各个领域。正如伦敦科学博物馆馆长苏珊·莫斯曼所说“塑料的故事是过去百年材料世界的核心线索之一。有了塑料, 才有了消费革命, 收音机、电视、计算机、合成纤维、一次性用具才得以大量生产”。但也正因如此, 人们已经不再反复使用塑料, 塑料成为用过即丢弃的消费品, 即使是大型成型件, 最后也会随着产品的损坏被丢弃。

人类的这种严重浪费资源的做法给我们赖以生存的地球环境带来了严重的破坏也给人们自身的健康带来了潜在的危害。“白色污染”最为典型的的就是“白色家电”所发的一系列污染问题。这就引发我们产品设计师的全面思考, 了解塑料的性质及性能, 如果在设计的过程中做到产品的材料合理化与可回收性, 避免由于这些塑料制品难以降解处理, 造成的城市环境污染, 减少和避免环境的恶化。

1.2 塑料材料的现状

外国塑料材料的现状

美国塑料(原料)的产量多年来一直雄居各国之首。早在 20 世纪 80 年代前期, 美国塑料产量就已达 2000 万吨, 1986 年增至 2310 万吨, 占全球总产量 8100 万吨的 28.5%, 此后美国塑料产量继续呈现稳定增长之势, 1988 年、1990 年、1992 年、1994 年、1996 年和 1998 年, 分别增加到 2710 万吨、2810 万吨、3010 万吨、3410 万吨、4000 万吨和 4360 万吨, 占世界总产量的比例从 1996 年起提高到 30% 以上。2001 年, 美国塑料产量为 4170 万吨, 其中以聚乙烯为最多, 达 1500 多万吨。

其次分别是氯乙烯 650 万吨、聚丙烯 720 万吨、聚苯乙烯对酞酸脂 320 万吨、聚苯乙烯 280 万吨。国内塑料消费量(产量+进口量-出口量), 美国也是全球最多的, 美国的全部塑料消费量 2001 年为 4280 万吨。美国人均塑料消费量也是很高的, 2000 年为 159kg, 2001 年略减为 155kg, 居全球第三位。美国现有各种从事塑料行业的企业 1 万多家, 其中职工人数少于 50 人的占总数的 53%, 50~100 人的占 21%, 100~500 人的占 23%, 超过 500 人的占近 4%。职工总数近 90 万人。在美国塑料制品加工业的就职人数达 110 万, 2001 年的产值为 2150 亿美元, 人均产值为 195 美元。