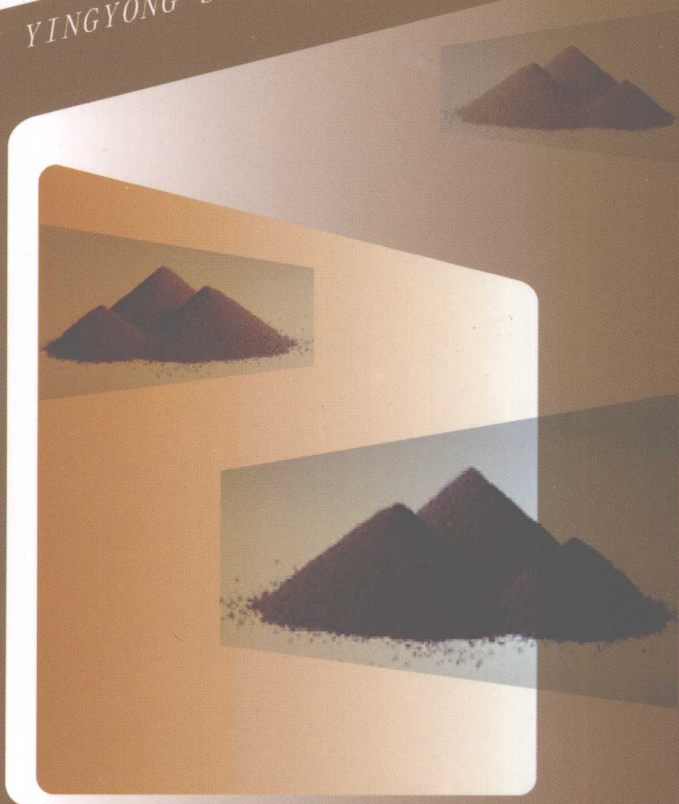




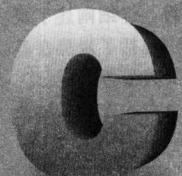
● 吴立峰 丁丽萍 主编

# 炭黑应用手册

TANHEI YINGYONG SHOUCE



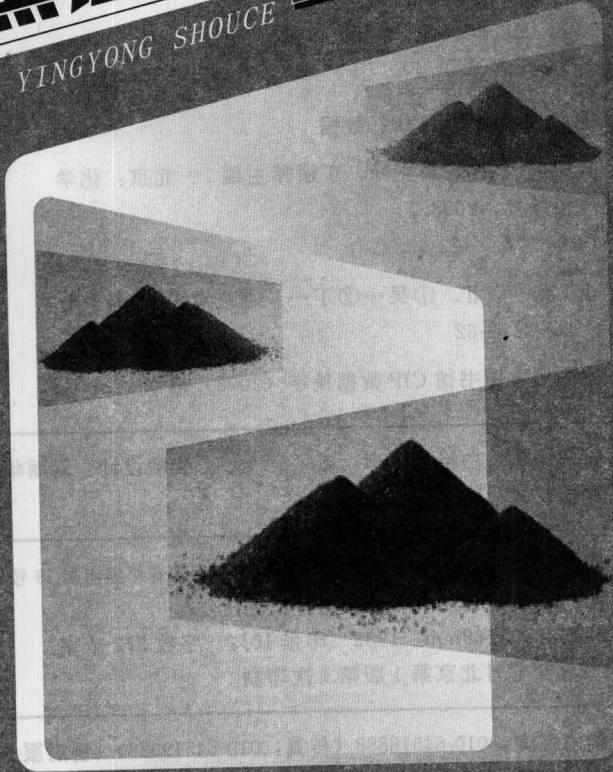
化学工业出版社



● 吴立峰 丁丽萍 主编

# 炭黑应用手册

TANHEI YINGYONG SHOUCHE



化学工业出版社

· 北京 ·

本书介绍了炭黑的行业发展趋势、炭黑的生产工艺及性质等内容，详细阐述了炭黑在橡胶、塑料、涂料、化纤、油墨以及造纸等行业中的应用，其中包括了炭黑在各种制品中的作用、各个行业如何选择炭黑、应用实例、可选用的主要牌号等内容。

本书侧重于炭黑的应用技术，实用性强，对炭黑生产以及应用企业的技术人员及销售人员有一定的指导作用。

#### 图书在版编目 (CIP) 数据

炭黑应用手册/吴立峰, 丁丽萍主编. —北京: 化学工业出版社, 2008. 7

ISBN 978-7-122-03272-0

I. 炭… II. ①吴…②丁… III. 炭黑-技术手册  
IV. TQ621.2-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 099732 号

责任编辑: 白艳云 李胤  
责任校对: 陶燕华

装帧设计: 刘丽华

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

印 装: 北京市彩桥印刷有限责任公司

850mm×1168mm 1/32 印张 10 $\frac{1}{4}$  字数 272 千字

2008 年 9 月北京第 1 版第 1 次印刷

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

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 29.00 元

版权所有 违者必究

## 编写人员名单

主    编：吴立峰    丁丽萍  
编写人员：范汝新    于庆津    李炳炎  
          赵  平    王定友    吴立峰  
          郭鸿霖    陈尔凡    郭隽奎  
          于宝林    刘海明    丁丽萍  
          何福辉    王其杰    李嘉耀  
          彭建军  
审    核：郭隽奎

# 前 言

炭黑是一种具有广泛用途的化工原材料，其主要成分是碳，除需求量很少的热裂法炭黑外，其基本粒子尺寸均在 10~100nm 之间，是人类最早开发和应用的纳米材料。炭黑具有优良的橡胶补强、着色、导电或抗静电以及紫外线吸收功能。炭黑主要用作橡胶补强填充剂，是仅次于生胶的第二位橡胶原材料。炭黑也作为着色剂、紫外光屏蔽剂、抗静电剂或导电剂，广泛用于塑料、化纤、油墨（包括复印机墨粉、喷墨打印墨水等）、涂料、电子元器件、皮革化工和干电池等很多行业的制品中。炭黑作为高纯碳材料还可用于冶金及碳素材料行业中。

我国的炭黑工业是在建国以后开始建立和发展的。改革开放以来，随着国民经济的飞速发展，我国炭黑工业也迅速成长壮大。近十年来，我国炭黑产量平均增长速率达到 16%。2007 年全国炭黑消费量和产量已达到 230 万吨，居世界第一位。今后 10~20 年我国炭黑工业仍将随着我国国民经济，特别是汽车和轮胎工业的发展而继续快速发展。

炭黑产品品种繁多、性能多样。在不同行业、不同的最终制品中，需要采用不同的配方和加工工艺，才能取得最佳的应用效果，为促进炭黑的应用开发，需要相关行业的共同努力。炭黑生产企业也应加强新品种开发、新工艺研究和应用性能研究，以更好地为各行业服务。

关于炭黑，国内曾先后出版过几本专著，但均侧重论述炭黑的性质和生产技术，对应用技术介绍不够。为使广大炭黑用户能够更好地应用炭黑，得到最佳的制品性能，获得较好的经济效益和社会效益。中国橡胶工业协会炭黑分会和中国染料工业协会色母粒专业委员会特邀请有关专家共同编写了这本手册，以服务于相关企业的需求。希望它能成为有关读者喜欢和实用的手册。

范汝新

2008 年 6 月 16 日



# 目 录

## 第一章 绪 论

第一节 炭黑简介 .....	1
一、概述 .....	1
二、炭黑的制造方法和命名分类 .....	2
第二节 炭黑发展简史 .....	6
第三节 国外炭黑现状和趋势 .....	10
一、世界炭黑市场现状和发展预测 .....	10
二、国外炭黑生产技术和品种进展 .....	12
第四节 国内炭黑行业现状和发展趋势 .....	19
一、“十五”期间的主要进展 .....	19
二、国内炭黑市场趋势预测 .....	24
三、存在的主要问题 .....	26
四、努力方向 .....	27

## 第二章 炭黑的生产工艺与性质

第一节 炭黑的生产工艺 .....	29
一、生产工艺简介 .....	29
二、油炉法炭黑的生产工艺和设备 .....	37
第二节 炭黑的性质 .....	44
一、微观结构和形态 .....	44
二、炭黑形态与聚集体 .....	51
三、炭黑的基本性质 .....	57
四、其他性质 .....	92
五、炭黑的杂质 .....	97
六、粒状炭黑特性 .....	100
第三节 炭黑的产品标准 .....	101
一、橡胶用炭黑 .....	102

二、色素炭黑标准 .....	111
三、乙炔炭黑标准 .....	114

### 第三章 炭黑在轮胎中的应用

第一节 轮胎概述 .....	117
一、轮胎的概念、分类、组成与标识 .....	117
二、轮胎的作用及要求 .....	121
三、国内外轮胎工业的发展现状及趋势 .....	122
第二节 炭黑在轮胎中的作用 .....	125
第三节 炭黑对轮胎性能的影响 .....	128
一、胶料工艺性能 .....	129
二、硫化胶性能 .....	132
第四节 轮胎用炭黑 .....	138
第五节 炭黑在轮胎中的应用举例 .....	140
一、炭黑在半钢子午胎中的应用 .....	140
二、炭黑在全钢载重子午胎中的应用 .....	148
三、炭黑在斜交轮胎中的应用 .....	153
四、其他配方 .....	160

### 第四章 炭黑在橡胶制品中的应用

第一节 简介 .....	162
一、概述 .....	162
二、橡胶制品用炭黑发展趋势 .....	163
第二节 炭黑在橡胶制品中的作用及功能 .....	165
一、炭黑的补强作用 .....	165
二、炭黑的填充(增容)作用 .....	171
三、炭黑的稳定化作用 .....	173
四、炭黑的导电功能 .....	174
五、炭黑的其他功能或作用 .....	175
第三节 炭黑在橡胶制品中的应用 .....	175
一、胶管 .....	175
二、胶带 .....	182
三、橡胶减震(阻尼)制品 .....	186

四、密封制品 .....	193
五、胶辊 .....	201
六、导电及防静电橡胶制品 .....	203
七、胶鞋 .....	205
八、其他制品 .....	208

## 第五章 炭黑在塑料中的应用

第一节 炭黑在塑料中的着色作用 .....	209
一、影响塑料性质的炭黑特性 .....	210
二、炭黑母粒技术 .....	212
三、炭黑在色母粒中分散应注意的问题 .....	226
第二节 炭黑在塑料中的紫外线防护作用 .....	230
一、紫外线防护作用 .....	230
二、防止紫外线老化的机理 .....	233
三、紫外线防护用炭黑的选择 .....	234
第三节 炭黑在塑料中的导电作用 .....	234
一、导电作用 .....	234
二、导电机理 .....	235
三、炭黑在电力电缆中的应用 .....	237
四、炭黑在抗静电塑料制品中的应用 .....	238
第四节 塑料用炭黑品种和牌号 .....	240

## 第六章 炭黑在涂料工业中的应用

第一节 涂料基础知识 .....	249
一、涂料的概念 .....	249
二、涂料的分类和组成 .....	249
三、涂料的作用和特点 .....	251
四、涂料用着色剂简介 .....	253
第二节 炭黑在涂料中的作用及种类 .....	253
一、炭黑在涂料中的作用 .....	253
二、涂料用炭黑的种类 .....	254
第三节 炭黑的基本性能与涂料应用的关系 .....	255
一、炭黑的基本性能 .....	255



二、炭黑性能与涂料应用的关系 .....	256
第四节 炭黑在涂料中的应用及用量 .....	264
一、色素炭黑的特性及适用范围 .....	264
二、炭黑与主要树脂的混溶性 .....	266
三、炭黑与常用颜料的配伍禁忌 .....	266
四、色素炭黑的用法与用量 .....	266
第五节 涂料用炭黑的分散 .....	269
一、分散过程 .....	269
二、分散设备 .....	269
三、分散及分散稳定性机理 .....	270
第六节 炭黑在涂料中的应用实例 .....	271
一、炭黑在飞机蒙皮涂料中的应用 .....	271
二、炭黑在汽车涂料中的应用 .....	272
三、炭黑在船舶涂料中的应用 .....	276
四、炭黑在铁路车辆涂料中的应用 .....	278
五、炭黑在建筑涂料中的应用 .....	279
六、炭黑在防腐涂料中的应用 .....	281
七、炭黑在木器家具涂料中的应用 .....	283
八、炭黑在地坪涂料中的应用 .....	285
九、炭黑在其他涂料中的应用 .....	286

## 第七章 炭黑在化纤中的应用

第一节 化纤行业概况及发展趋势 .....	287
一、概述 .....	287
二、炭黑在化学纤维中的应用情况 .....	288
第二节 化纤用炭黑的质量要求 .....	289
一、抗静电、导电纤维用炭黑的质量要求 .....	290
二、纤维染色用炭黑的质量要求 .....	291
第三节 炭黑在化纤中的应用 .....	292
一、炭黑在抗静电纤维中的应用 .....	292
二、炭黑在导电纤维中的应用 .....	293
三、炭黑在纤维着色中的应用 .....	297
第四节 化纤用炭黑的主要品牌及应用 .....	298

一、卡博特纤维用炭黑 .....	298
二、哥伦比亚纤维用炭黑 .....	299
三、德固赛纤维用炭黑 .....	299
四、国内炭黑厂家及纤维用炭黑性能指标 .....	300

## 第八章 炭黑在油墨和造纸中的应用

第一节 炭黑在油墨中的应用 .....	302
一、油墨的分类及主要成分 .....	302
二、炭黑的性质对油墨的影响 .....	303
三、油墨的品种不同对炭黑的要求也不同 .....	306
四、油墨用炭黑今后的发展方向 .....	307
第二节 炭黑在造纸中的应用 .....	307

## 参考文献

## 第一节 炭黑简介

## 一、概述

炭黑的主要成分是碳，其基本粒子尺寸在 10~100nm 之间，因此具有优良的橡胶补强、着色、导电或抗静电以及紫外线吸收功能，是人类最早开发和应用的纳米材料。炭黑作为一种功能材料，能够赋予其他材料或制品一些特殊的使用性能，在许多领域中有着不可替代的作用。炭黑是橡胶补强填充剂，是仅次于生胶的第二位橡胶原材料。炭黑也作为着色剂、紫外光屏蔽剂、抗静电剂或导电剂，广泛用于塑料、化纤、油墨（包括复印机墨粉、喷墨打印墨水等）、涂料、电子元器件、皮革化工和干电池等很多行业的制品中。炭黑还可用于冶金及碳素材料行业中，作为高纯碳材料。

根据世界范围的统计，橡胶用炭黑的消费量约占炭黑总量的 89.5%，其中轮胎用占 67.5%，汽车橡胶制品用占 9.5%，其他橡胶制品用占 12.5%。非橡胶用炭黑（亦称专用炭黑或特种炭黑）约占 10.5%，其中塑料用占 4.5%，油墨用占 3.8%，涂料用占 0.9%，其他制品用占 1.3%。

炭黑是我国最先制造和应用的，早在 3000 年前，就已掌握了烧烟制墨的技术，但长期停留在手工业生产方式的阶段。1872 年在美国首先实现了槽法炭黑的工业化生产，20 世纪初，在英国首先发现了炭黑在橡胶中的补强作用。随着世界汽车和轮胎工业的发展，炭黑工业也随之发展，2006 年全球炭黑的年消费量为 886 万吨，并仍在较快发展。

我国的炭黑工业是在建国以后开始建立和发展的，改革开放以

来，特别是近十年来发展很快，2006年产量达到185.2万吨，已超过美国居世界第一位。今后10~20年仍将随着我国汽车和轮胎工业的发展而快速发展。

## 二、炭黑的制造方法和命名分类

### (一) 制造方法

炭黑是由烃类化合物(液态或气态)经不完全燃烧或热裂解生成的，主要由碳元素组成，以近似于球体的胶体粒子及具有胶体大小的聚集体形式存在。炭黑的外观为黑色粉末，橡胶行业为了减少飞扬和污染，一般采用直径约1~2mm的粒状产品，而塑料、油墨和涂料行业为了便于分散，常常采用粉末状态的产品。

“炭黑”一词，实际上是包含着许多种不同制造方法、不同性能和用途的炭黑产品的总称。每一个炭黑品种都有其特定的物理化学性质，这种性质与所采用的原料、制造方法和生产工艺紧密相关。

炭黑制造方法可分为两大类，即不完全燃烧法和热裂解法。不完全燃烧法是在有氧参与的条件下，将烃类化合物进行热裂解的，这种方法是主要的制造方法。热裂解法是在无氧的条件下进行的，采用这种方法生产的炭黑产量仅占炭黑总产量的1/100左右。

不完全燃烧法又可以再分为在密闭的湍流系统中和在开放的扩散火焰系统中生成炭黑两类，然后再细分为若干小类，见表1-1。

表 1-1 炭黑按制造方法分类

化工过程	制造方法	主要原料
热氧化裂解		
密闭的湍流系统	油炉法	芳烃重油(催化裂化澄清油、乙烯焦油、煤焦油馏出物)
	气炉法	天然气、煤层气
	灯烟法	芳烃重油
开放的扩散火焰系统	槽法	天然气
	滚筒法	芳烃重油、载体气(焦炉煤气等)
	混气法	芳烃重油、载体气(焦炉煤气等)
热裂解		
不连续	热裂法	天然气
连续	乙炔法	乙炔
连续(研究开发中)	等离子体法	烃类化合物(固、液、气均可)
废轮胎热裂解炭黑	热裂解法	废轮胎

在表 1-1 列出的制造方法中,油炉法是最主要的方法,其需求量和产量均占总量的 90% 以上,因此在介绍制造方法时着重介绍油炉法,其他方法仅做简略介绍。

不同制造方法的炭黑产品,按用途可分为两大类,即橡胶用炭黑和非橡胶用炭黑。

## (二) 橡胶用炭黑的分类命名

### 1. 硬质炭黑和软质炭黑

根据填充炭黑胶料的补强性能,可将炭黑分为硬质炭黑 (hard black) 和软质炭黑 (soft black) 两大类。

硬质炭黑对橡胶补强作用较大,填充硬质炭黑的胶料,硬度较高、强伸性能和耐磨性能较好,主要用于轮胎的胎面,故亦称为胎面炭黑 (tread black)。

软质炭黑对橡胶补强作用较小,填充软质炭黑的胶料,硬度较低、弹性较好、生热较低、强伸性能和耐磨性能不如硬质炭黑,主要用于轮胎的胎体和各种橡胶制品,故亦称为胎体炭黑 (carcass black)。

### 2. 炭黑品种的传统命名

炭黑品种的传统命名是和炭黑各个品种的基本性质、在橡胶中的补强和加工性能,以及品种的发展过程相联系的。

槽法炭黑是最先工业化的炭黑产品,其基本粒子越小,补强性能越好,但是混炼困难,反之亦然,故曾被分为难混炭黑 (HPC)、可混炭黑 (MPC) 和易混炭黑 (EPC) 等品种。

气炉法炭黑是在槽法炭黑之后生产的产品,其基本粒子较大、补强性能不如槽法炭黑,故被称为半补强炉法炭黑 (SRF)。以后又曾经生产基本粒子较小、补强性能较好的高定伸炉法炭黑 (HMF) 和细粒子炉法炭黑 (FF) 等品种。

油炉法炭黑最初生产的产品品种,因其耐磨性能比槽法炭黑好,故被称为高耐磨炉法炭黑 (HAF)。随后又生产出基本粒子很小、耐磨性能更好的超耐磨炉法炭黑 (SAF),以及基本粒子大小在 HAF 和 SAF 之间的中超耐磨炉法炭黑 (MAF)。然后又生产出



基本粒子较大、加工性能较好的快压出炉法炭黑（FEF）、通用炉法炭黑（GPF）和油炉法半补强炭黑等。

炭黑的结构是和基本粒子大小同样重要的基本性质，它表征炭黑聚集体的不规则性和偏离球体状态的一种形态特征。炭黑的结构高，即聚集体的不规则性高。填充高结构炭黑的胶料，黏度较大、较易分散，硬度较高、耐磨性较好。但是在 20 世纪 50 年代以前，人们还不能控制炉法炭黑的结构，生产的品种都是后来被称为标准结构的品种。以后发现了可以降低结构的添加剂，并开发出被称为低结构的品种。

直到 20 世纪 70 年代初，开发出“新工艺炭黑反应炉”以后，采用新工艺炭黑反应炉不仅可以生产出多种聚集体大小分布窄的、结构高的“新工艺炭黑”品种，同时还可以生产原来就有的油炉法炭黑各个品种。因此人们在原有品种的名字上加上“高结构”（HS）、“低结构”（LS）或者“新工艺”（new technology 或 improved）等前缀或后缀来命名这些新增加的品种。

由于油炉法炭黑的品种越来越多，采用上述命名方法的品种名称越来越繁琐，而且不容易区分。例如，现在不论是在名称上加了“新工艺”的品种，还是没有加的品种，都是在“新工艺炭黑反应炉”上生产出来的。因此人们曾经提出多种改进的命名方案。目前世界各国已普遍采用了美国试验与材料协会标准 ASTM D 1765《橡胶用炭黑分类命名系统》。

### 3. ASTM 的橡胶用炭黑分类命名系统

ASTM D 1765 采用了一个拉丁字母加上三个数字的分类命名法。

字母 N 或 S 代表填充这种炭黑胶料的硫化速度，其中 N 表示正常的硫化速度，S 表示缓慢的硫化速度。槽法、滚筒法和混气法制造的炭黑，其表面被烟气中含有的氧氧化，呈酸性，硫化速度缓慢，属于 S 系列。在现行的 ASTM D 1765 列出的 42 个品种中属于 S 系列的只有两个品种，而且都是油炉法炭黑经过氧化后处理的品种。油炉法、气炉法和热裂法制造的炭黑，除经过氧化后处理的

品种以外，都有正常的胶料硫化速度，属于 N 系列。

三个数字的第一个数字表示比表面积（1996 年前为粒径）范围，划分成 0~9 等十个组，见表 1-2。第二、第三个数字可以任意选定。

表 1-2 ASTM D 1765 橡胶用炭黑分类命名系统的分组

组序	平均氮吸附 表面积/(m <sup>2</sup> /g)	平均粒径/nm	炭黑品种	英文缩写符号
0	>150	1~10	—	—
1	121~150	11~19	超耐磨炭黑	SAF
2	100~120	20~25	中超耐磨炭黑	ISAF
3	70~99	26~30	高耐磨炭黑	HAF
4	50~69	31~39	细粒子炭黑	FF
5	40~49	40~48	快压出炭黑	FEF
6	33~39	49~60	通用炭黑	GPF
7	21~32	61~100	半补强炭黑	SRF
8	11~20	101~200	细粒子热裂炭黑	FT
9	0~10	201~500	中粒子热裂炭黑	MT

在 ASTM D 1765 中虽然规定第二、第三个数字可以任意选定，但是也存在着大体上的规律性。例如 N110、N220、N330、N550、N660 等，第一、第二个数字相同的都是标准结构的品种，第二、第三个数字小于以上数字的如 N219、N326、N539 都是低结构的品种，第二、第三个数字大于以上数字的如 N234、N339、N347、N375 和 N582 都是高结构的品种。

在 ASTM D 1765 列出的 42 个品种中，约有一半是橡胶行业常用的品种，其中 N100~N300 为硬质炭黑，N500~N700 为油炉法软质炭黑，N800~N900 为热裂法炭黑。

近年来，由于轮胎和橡胶制品的发展，对炭黑性能的新要求不断增加，因此炭黑生产厂商开发生产了不同功能、不同用途的专用炭黑品种。例如能够降低轮胎滚动阻力的低滞后炭黑，适用于高性能轮胎的高性能炭黑，能够提高气密性的气密层专用炭黑，适用于工业橡胶制品的专用炭黑，以及能够改善制品表面光洁度的高纯净

炭黑等品种。这些品种大多数都由生产厂商自行命名，没有申请纳入 ASTM 标准。

### (三) 非橡胶用炭黑的命名

非橡胶用炭黑（或称特种炭黑、专用炭黑），主要按其性能或用途进行分类，包括色素炭黑、导电炭黑、塑料用炭黑以及各种专用炭黑等。

#### 1. 色素炭黑

色素炭黑主要用作涂料、油墨、塑料、化纤和皮革化工的着色剂，常按其黑度和制造方法分为：高色素槽黑（HCC）、高色素炉黑（HCF）、中色素槽黑（MCC）、中色素炉黑（MCF）、普通色素槽黑（RCC）、普通色素炉黑（RCF）和低色素炉黑（LCF）。

#### 2. 导电炭黑

导电炭黑具有较低的电阻率，能够使橡胶或塑料具有一定的导电性能，用于不同的导电或抗静电制品，如抗静电或导电橡胶、塑料制品、电缆料；还可以做干电池的原材料。

导电炭黑常按其导电性能和制造方法分类：如导电炉法炭黑（CF）、超导电炉法炭黑（SCF）、特导电炉法炭黑（XCF）等。乙炔炭黑也是导电性能很好的炭黑，但是其视比容较大，胶料加工性能不好，故在橡胶行业的应用已较少，目前主要用做干电池的原材料。

#### 3. 塑料用炭黑

炭黑在塑料制品中作为着色剂、紫外光屏蔽剂和抗静电剂。常按其用途进行分类，如色母料专用炭黑、护套料专用炭黑、屏蔽料专用炭黑等。

## 第二节 炭黑发展简史

炭黑是人们最早知道的石油化工原料之一。我国是世界上生产炭黑最早的国家。距今 3000 年前，我们的祖先就掌握了烧烟制墨的技术。炭黑的生产、发展，与我国古代文字的产生、纸和印刷术的发明，有着密切联系。我国古代称炭黑为“炁”或“烟炁”。由

于古代的炭黑是用松枝作原料烧制而成的，故又称为“松烟”。这些名称一直沿用到19世纪末，自从1892年近代炭黑工业出现以后，才逐渐被“炭黑”这一名词所取代。

炭黑的早期应用是制造墨汁和黑色颜料。我国殷代的甲骨文就是利用烟炱制墨记载的文字。古代有数量庞大的竹简和木简，仅《史记》就有130卷，计526550字，都是用墨写成的。汉代，我国出版了一本字典《说文解字》，其中“墨”字的解释为“从黑从土，黑者烟煤所成，土之类也”。

我国古代炭黑的制造历史源远流长。魏代的韦诞（公元176~257年）是制造炭黑、用以制墨的能手。三国时魏国的曹植（公元192~232年）就写有“墨出青松之烟”的记载。到了公元三世纪的晋代，松烟炭黑的应用已十分普及。这说明我国烧松制烟的手工业生产已相当发达。公元十世纪唐代时，我国开始用桐油及其他动植物油，在空气不足的情况下点燃，使油不完全燃烧，烟炱沉积在陶质的碗下，加以收集，以此制取优质炭黑。

我国古代学者贾思勰、沈括、晁贯之、宋应星等，在他们的著作中总结了古代炭黑在不同时期的生产实践经验。公元六世纪后魏贾思勰撰写的《齐民要术》一书，是世界上最早记载炭黑性质、用途的科学史料。他在该书对炭黑的性质作了如下的描述：“此物至轻微，不宜露筛，喜失飞去，不可不慎。”这与近代科学技术认为，炭黑具有高度分散性、粒子尺寸属于胶体范畴的结论相吻合。北宋学者沈括在《梦溪笔谈》著作中，首先提出了从石油中制取炭黑的方法，因为他发现民间把石油作为燃料燃烧时，产生大量炭黑。他在书中写到“烟甚浓，所沾帷幕皆黑”。他还亲自作试验，证实这种炭黑比松枝、桐油所制取的炭黑质量更好，以其制墨“黑光如漆，松烟不及也”。而且他还科学地预测，用石油制取炭黑，前景广阔。他提出“此物后必大行于世”。这一科学论断，已被现代油炉法炭黑的大量发展所证实。宋代晁贯之著有《墨经》一书，他对制造松烟的方法有详细的叙述，而且把生产技术作了概括的总结。明末学者宋应星所著的《天工开物》曾系统总结了炭黑生产的