



中国科学院出版社

塑料配合与加工

北京市电线总厂 编

5.1

《塑料配合与加工》为电线电缆技术丛书之一。本书比较全面系统地介绍了电线电缆工业常用的各种塑料及其性能数据；塑料配合剂、配方设计及多种实用配方；塑料成型加工的工艺原理、方法、主要机械设备及其参数、工艺流程、生产中常见的质量问题、解决方法和劳动保护以及塑料的电性能、机械性能、热性能、热老化寿命测试等。书末附录还汇编了常用塑料和增塑剂的缩写和英文名称。

本书可供电线电缆、塑料成型加工、化工、轻工企业及科研部门的工人、技术人员、管理干部阅读，也可供有关专业师生参考。

电线电缆技术丛书

塑料配合与加工

北京市电线总厂 编

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

重庆印制一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092 $\frac{1}{32}$ ·印张10 $\frac{3}{8}$ ·字数229千字

1983年1月重庆第一版·1983年1月重庆第一次印刷

印数 0,001—7,100 ·定价 1.10 元

*

统一书号：15033·5409

前 言

电线电缆工业是国民经济的重要组成部分之一。电线电缆产品广泛用于电力输配、电信、电工仪表以及日用电器等各方面，在我国社会主义建设中具有重大意义。

随着我国工农业的不断发展，对电线电缆生产提出了越来越高的要求。为了适应生产发展的需要，我们组织编写了电线电缆技术丛书。

这套丛书按电线电缆的产品类别及生产工艺，组织有关单位陆续编写，将分册出版。

本丛书在总结我国生产实践的基础上，参考国外的先进经验，按电线电缆的不同产品分别写成。在文字上力求深入浅出，通俗易懂；在内容上以介绍电线电缆生产工艺为主，对产品的结构和性能、生产设备及产品质量的检查和试验等也加以概括地叙述。本丛书的读者对象是从事电线电缆生产的工人，也可供技术人员和有关院校的师生参考。

本丛书在编审过程中，得到有关单位和同志们的大力支持和帮助，在此谨致谢意。由于我们缺乏编书经验，加之水平所限，书中定有不足以至错误之处，切望读者批评指正。

本丛书由鄭春芳同志执笔写成。

目 录

绪论	1
第一章 电线电缆用塑料	5
一、聚氯乙烯	5
二、聚乙烯	20
三、聚丙烯	40
四、聚酰胺	43
五、氟塑料	47
六、其他塑料	53
第二章 配合剂	65
一、增塑剂	65
二、防老剂	78
三、润滑剂	101
四、填充剂	103
五、着色剂	109
六、其他配合剂	115
第三章 配方	127
一、聚氯乙烯塑料配方	128
二、聚乙烯塑料配方	146
三、聚丙烯塑料配方	166
四、氯化聚醚塑料配方	168
第四章 塑料成型加工	170
一、塑料加工基础知识	170
二、原材料处理	182
三、捏合	199

四、塑化	209
五、造粒	241
六、成袋	253
七、塑料加工工艺流程	255
八、常见质量问题及解决方法	271
九、劳动保护和安全技术	277
第五章 塑料性能测试	282
一、电性能测试	283
二、机械性能测试	298
三、热性能测试	302
四、热老化性能测试	310
附录	320
附录 1 悬浮聚合聚氯乙烯树脂技术指标	320
附录 2 聚氯乙烯电缆料的主要技术性能要求	321
附录 3 常用塑料的缩写、中文和英文名称	322
附录 4 常用增塑剂的缩写、化学和英文名称	325

绪 论

塑料是可塑性材料的简称。在广义上，有许多材料具有可塑性，如陶土、玻璃、石膏、水泥甚至金属，但是，它们并不能称为塑料。

一般来说，塑料是指由天然的或人工合成的高分子化合物为基础组成的具有可塑性质的材料。在将它制成产品的某些生产步骤中，在一定的温度和压力下，呈可塑性和流动性，最后成为产品的形状，在大气压力和室温的平常条件下，仍能保持加工成型时所成的形状，不再具有流动性的物质，称为塑料。

十九世纪以前，可利用的天然树脂有沥青、松香、琥珀、达玛脂、虫胶等。十九世纪中叶以后，人们发现了加工改性天然高聚物的方法。如天然橡胶经过硫化，制成橡皮；硝酸纤维用樟脑作增塑剂，制成赛璐珞；乳酪蛋白质用甲醛塑性化，制成酪素塑料。这些用橡胶、蛋白质、纤维素等天然高聚物为基础的塑料，在十九世纪末，已经有了工业价值，但产量不大，性能不太理想。

1872年发现用苯酚和甲醛可以合成酚醛树脂。电气工业和仪器设备制造工业的发展，推动了酚醛树脂在二十世纪初投入工业生产，为塑料工业开辟了新道路。

二十世纪二十至三十年代，相继又出现了醇酸树脂、聚氯乙烯、丙烯酸酯类树脂、聚苯乙烯等。从四十年代至今，塑料工业因科学技术和工业的高度和石油资源的广泛开

发而获得极其迅速的发展，在品种方面出现了聚乙烯、聚丙烯、不饱和聚酯、聚硅醚树脂、氟塑料、环氧树脂、聚甲醛、聚碳酸酯、氯化聚醚、聚酰胺等。

按塑料在受热时出现的不同性能，可分成热固性塑料和热塑性塑料两类。电线电缆用塑料大都属于热塑性塑料。

热塑性塑料的特点是遇热软化或熔化，冷却后又变硬，这一过程可以反复。近来，这类塑料产品的品种不断增多、质量和产量都有很大提高。它的优点是成型工艺简便，具有相当高的物理机械性能。电线电缆常用的聚氯乙烯塑料就是在聚氯乙烯树脂中加入多种配合剂，经过捏合、塑化和造粒等工艺加工而制得的热塑性塑料。

电线电缆用塑料，除了聚氯乙烯塑料以外，还有聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、氯化聚醚、聚酰胺、氟塑料等许多塑料品种。各种不同的塑料具有多种多样的性能，如耐高温、耐辐射、高弹性、耐腐蚀、耐寒性、抗龟裂性、抗气候老化性及高介电性能等，并且加工简单，材料来源充足。因此，为各种类型的电线电缆产品提供了优良的绝缘材料和护层材料。其综合特点如下：

1) 介电性能高

几乎所有电线电缆用塑料都有优越的电绝缘性能。介电常数有的可低至 $2 \sim 3$ ；介质损耗角正切值有的可低至小数点后面第四位；体积电阻率有的可高达 10^{18} 欧·厘米以上；击穿强度有的可高达60千伏/毫米以上。所以，利用塑料优异的电气绝缘性能可作为制造电力电缆、通信电缆等绝缘层。

2) 比重小

一般电线电缆用塑料比重在 $0.90 \sim 2.20$ 左右，只有钢铁的 $1/8 \sim 1/4$ ，铝的 $1/2$ 左右。有些塑料象聚丙烯，比重只有

0.90~0.91，可以浮在水面上；就是以最重的聚四氟乙烯而论，也比铝轻得多。质轻这一特点，对于交通运输、飞机、舰艇、火箭、导弹、人造卫星和其他尖端技术用电线电缆显得特别重要。在电线电缆工业中，以塑料代替铅护层、橡皮、棉线、油浸纸等材料，能大大减少电缆的重量或体积。

3) 强度高

按单位重量计算强度，则有些塑料是现代机械中强度最高的材料。而作为电线电缆的绝缘层和保护层用塑料，虽然不要求象机械用工程塑料那么高的强度，但是也要求具有相当高的强度。一般电线电缆用塑料的抗张强度都可达 150 公斤/厘米² 以上，能够满足电线电缆加工、敷设和使用的需要。

4) 化学稳定性好

一般电线电缆用塑料对酸、碱等化学物质，均有良好的抗腐蚀能力。其中特别是聚四氟乙烯，除与熔融的碱金属能起作用外，差不多所有的化学物质都不能腐蚀它，甚至在黄金也要被溶解的王水中煮沸，重量及性能均无变化，所以它比黄金还要稳定。具有这样特性的塑料用于电线电缆工业，可制造化学工业用电线电缆、耐腐蚀性的特种电缆护层等。

5) 可调性好，易于成型加工

但是，电线电缆用塑料也有它的不足之处，例如耐热性比较低，一般塑料仅能在 100℃ 以下工作，少数可在 200℃ 以上工作；在日光、大气、长期机械应力或某些介质的作用下，会发生老化现象，表现为缓慢氧化、变色、开裂及机械强度下降等。电线电缆用塑料的这些缺点，或多或少地影响和限制了它的应用范围。通过对塑料性能的深入研究和反复实践，应能找出既充分发挥塑料优点，又克服或弥补它的缺点的方法。例如根据具体使用条件，加适量各种有机物质或无机材

料，以提高或改善塑料的物理机械性能、老化性能等；还有通过以不同化合物或单体共聚、接枝、化学镶嵌等新技术来改善塑料的某些特性，达到相互取长补短的目的。

塑料在电线电缆工业中应用数量大，使用范围广，成为许多电线电缆产品重要的结构材料，如普通绝缘层、高压绝缘层、高频绝缘层、耐热绝缘层、普通护层、耐寒护层、耐腐蚀护层、屏蔽用半导体层等。因此，塑料已成为电线电缆工业必不可少的原材料，它在电线电缆工业中占有重要地位。

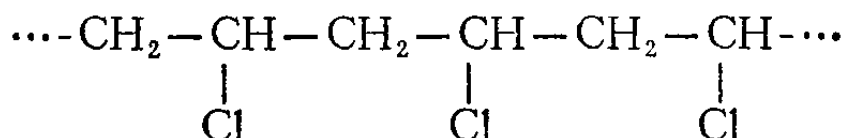
第一章 电线电缆用塑料

电线电缆应用的塑料品种繁多，用量很大。随着塑料工业飞速发展，新型塑料不断涌现，其中部分品种也为电线电缆工业所采用。

目前，电线电缆用塑料类别及其主要品种如表 1 所示。
本章介绍如下常用品种。

一、聚 氯 乙 烯

聚氯乙烯按游离基型机理进行聚合，其增长链上的分子，因极性关系，按头尾结构相互联接起来，在形成大分子中氯原子占 1、3 位置。



从分子结构上看，聚氯乙烯有几个基本特点：

(1) 以碳链为主链，分子结构呈线型，具有一般聚烯烃类聚合物的基本特点，具有典型的热塑性和大分子的柔软性。

(2) 分子结构中氯原子取代了一部分氢原子，使树脂具有非燃性和较好的耐化学稳定性。同时氯原子的引入，破坏了晶体结构，使树脂具有无定形聚合物的特性。

(3) 分子结构不对称，具有较大的极性。

聚氯乙烯这些结构因素决定了它的基本性能：具有较高的机械性能；较好的耐酸、耐碱、耐油性能；不延燃性；良

表 1 电线电缆用塑料类别及其主要品种

类 别	主 要 品 种
聚烯烃塑料	聚乙烯、交联聚乙烯、屏蔽用半导电聚乙烯、泡沫聚乙烯、可发性聚乙烯、氯化聚乙烯、氯磺化聚乙烯、可硫化高密度聚乙烯、乙烯-丁烯共聚物、乙烯-醋酸乙烯共聚物、乙烯-丙烯酸乙酯共聚物、乙烯-N-乙烯基吡唑共聚物 聚丙烯、氯化聚丙烯 乙丙塑料
聚卤代烯烃塑料	聚氯乙烯、超高聚合度聚氯乙烯、氯化聚氯乙烯、交联聚氯乙烯、氯乙烯-醋酸乙烯共聚物、氯乙烯-偏氯乙烯共聚物、氯乙烯-丙烯酸酯共聚物、氯乙烯-烯炔共聚物、氯乙烯-马来酸酯共聚物、乙烯-醋酸乙烯-氯乙烯接枝共聚物 聚氯乙烯-丁腈橡胶复合物、聚氯乙烯-氯化聚乙烯共混物 聚偏氯乙烯、聚三氟氯乙烯、聚四氟乙烯、四氟乙烯-六氟丙烯共聚物、偏氯乙烯-三氟氯乙烯共聚物、四氟乙烯-乙烯共聚物、三氟氯乙烯-乙烯共聚物
聚苯乙烯塑料	标准聚苯乙烯、耐冲击聚苯乙烯、苯乙烯-丙烯腈共聚物、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物、丙烯腈-苯乙烯-丙烯酸酯共聚物
聚醚塑料	聚苯醚、氯化聚醚
聚酯塑料	聚碳酸酯、聚对苯二甲酸乙二醇酯
聚酰胺塑料	尼龙-6、尼龙-66、尼龙-9、尼龙-1010、尼龙-11
纤维素塑料	苧基氰乙基纤维
环氧树脂	双酚-A 型环氧树脂、酚醛环氧树脂、脂环族环氧树脂
杂环聚合物及其它聚合物	聚酰亚胺、聚苯并噁嗪酮、聚苯并咪唑、聚砜、聚芳砜、聚苯、吡龙、聚酯-酰亚胺
热塑弹性体	热塑聚酯、聚烯烃热塑橡皮、热塑聚氨酯弹性体

好的工艺性能。但另一方面，分子结构也决定了聚氯乙烯有如下缺点：

- (1) 分子结构中有极性基团，电绝缘性能不够好。
- (2) 耐热低，热稳定性不够高。
- (3) 耐寒性差。

1. 聚氯乙烯树脂

聚氯乙烯树脂是一种使用较早，用量很大，有发展前途的合成树脂。它是聚氯乙烯电缆料最基本的原料。

聚氯乙烯由氯乙烯聚合而成。生产氯乙烯，原来以电石制成乙炔为原料，由乙炔与氯化氢制成氯乙烯单体，再由氯乙烯聚合成聚氯乙烯。随着石油化工工业迅速发展，目前由石油裂解中获得乙烯，由乙烯与氯化氢反应制得二氯乙烷，再经裂解得到氯乙烯和氯化氢，并且为了综合利用，又采用氧氯化法，即在制得氯乙烯的同时，使氯化氢通过空气氧氯化得到氯气，再使这份氯气与乙烯反应成氯乙烯。

由氯乙烯聚合成聚氯乙烯，聚合方法最早采用乳液法和溶液法，后来又创造了悬浮聚合法，现又研究成功两段本体聚合法。而用作电缆料的聚氯乙烯树脂基本上是采用悬浮法聚合成的，称为聚氯乙烯悬浮法树脂。

聚氯乙烯悬浮法树脂分为XJ型和XS型。X是悬(Xuan)注音字母的第一字，J是紧(Jin)注音字母第一字，S是疏(Shū)注音字母第一字。XJ即悬浮法紧密型聚氯乙烯树脂；XS即悬浮法疏松型聚氯乙烯树脂。

1) 粘度

粘度就是当液体的质点受外力影响而互相移动时，液体显示出对移动的一种阻力，这种阻力称为粘度或称内摩擦。

聚氯乙烯树脂的性能决定于它的分子量的大小，因而分

分子量是聚氯乙烯树脂的主要质量指标，聚氯乙烯树脂分子量的大小，虽然测试方法不同，但基本上利用粘度来间接表示，粘度愈高，则分子量愈大，所以测定树脂的粘度是必要的。

聚氯乙烯树脂分子量与它性能的关系：

- (1) 分子量愈大(但有一定限度)，机械性能愈高。
- (2) 分子量愈大，耐寒性愈强。
- (3) 分子量愈小，热稳定性愈低。
- (4) 分子量愈大，玻璃化温度愈高，热塑化成型加工温度愈高。
- (5) 分子量愈大，在溶剂中的溶解度愈小。

低分子量聚氯乙烯树脂，可溶于苯，分子量较高的可溶于丙酮；高分子量的仅溶于氯苯、环乙酮、二氯乙烷、硝基苯等。利用聚氯乙烯树脂在苯、丙酮、二氯乙烷三种溶剂中的溶解作用，可以分离出不同分子量范围的聚氯乙烯，可以表示它的分子量分布情况。而平均分子量又常以平均聚合度来表示。

电缆料一般采用XS-2型树脂，其绝对粘度为1.9~2.1，相应的 K 值在65~69之间。但是耐热较高的电线(如105℃)及电压级较高的电缆，宜采用XS-1型树脂，其绝对粘度在2.1以上， K 值在76以上。XS-3型树脂及以下不宜采用。

2) 水分及挥发物含量

树脂中挥发物通常是水和残余的单体，还有链转移剂和溶剂等。高挥发物含量过多会使制品中产生气泡和缺陷，高湿度也会使树脂干流动性变差。

3) 过筛率

树脂的容积计量取决于粒径大小和粒径分布，聚氯乙烯电缆料需要的是具有均匀而适当粒径的树脂。细粒树脂易造

成粉尘飞扬和容积计量的困难，也会产生捏合过程中树脂吸收增塑剂的不平衡性。粒径过粗，造成树脂包装、贮存困难，也使加工设备的生产效率降低。

4) 黑黄点

树脂按规定的配方、二辊机及工艺条件制成一定的薄膜，将其置于木箱玻璃片上，就可明显数出该试样的黑黄点。

5) 电导率

将10%树脂水液加热煮沸回流1小时，冷却后用滤纸将溶液过滤，测定其滤液的电导率(1/欧·厘米)。树脂电导率取决于树脂中抽出物的含量和种类。电导率越低越好，电导率大会使电缆料的体积电阻率下降。

6) 表观密度

单位容积树脂的重量称为表观密度。表观密度大的树脂可以减少粒子间的无效空间，因此可以提高捏合设备和其他加工过程设备的效率。但实践表明，电缆料采用悬浮法均聚疏松型聚氯乙烯树脂即XS-2型，其表观密度小于0.55克/毫升，更有利于满足成型加工工艺和电缆产品性能要求。

7) 树脂形态和大小

设用200倍的显微镜检视聚氯乙烯树脂外形，由于生产工艺不同，可有下列几种形状：

(1) 棉花球状树脂：组织松驰，表面毛糙，不规则，断面结构疏松，多孔呈网状，即XS型。

(2) 乒乓球状树脂：外形光滑如乒乓球，断面结构规则无孔、实心，即XJ型。

棉花球形树脂与乒乓球形树脂比较如表2所示。

由于棉花球树脂质地疏松，在加工过程中表现出许多优越性，如吸油性大，易于塑化，干流性好，便于计量，加工

表2 棉花球形树脂与乒乓球形树脂比较

项 目	棉 花 球 形	乒 乓 球 形
粒子直径	50~100微米	5~100微米
断面结构	疏松、多孔、呈网状	无孔实心
吸收增塑剂	快	慢
塑化性能	塑化速度快	塑化速度慢

操作控制方便，综合性能好，鱼眼也少，非常适合于电缆料使用，还特别适用于干粉料挤出。

8) 树脂的平均聚合度

常遇两批树脂粘度很相近，一批容易加工，一批难以操作。这往往与树脂的平均聚合度有关。测试一批树脂的粘度，所得结果为该批树脂的平均聚合度。若此批树脂中各高分子的聚合度与测试的聚合度（由粘度计算得来）很接近，则此批树脂就容易加工操作，否则就难。

9) 树脂的鱼眼问题

当聚氯乙烯树脂中有时产生极少数分子量特别高，组织坚实的树脂晶粒，由于它的坚硬和透明犹如鱼的眼珠，因此称为鱼眼。鱼眼可分两种：一种叫暂时性鱼眼，一种叫永久性鱼眼，前者还可解决，后者难以消失。

10) 塑化温度与分解温度

高分子化合物有三种物态，即玻璃态、高弹态、粘流态。成型加工温度是高弹态进入粘流态时的温度，称为塑化温度。塑化温度的范围很广，在捏合机中有塑化温度这是初塑；在成型机械上也有塑化温度，这是终塑。

成型加工所需要的是塑化温度，而绝不是分解温度。可是，聚氯乙烯的塑化温度与分解温度很接近，当它刚达到塑化温度时，也就是将到达分解温度，因此对它的加工温度要

严格控制，而不象其他塑料加工温度，有很大的幅度。

悬浮聚合聚氯乙烯树脂技术指标如附录 1 所示。

2. 聚氯乙烯塑料

为了充分利用聚氯乙烯的长处和改善、弥补、克服它的不足之处，就要采用各种配合剂，如加入增塑剂提高其柔软性，加入稳定剂提高其热稳定性，再经过一系列加工工艺过程，制成树脂和各种配合剂的混合物，这就是聚氯乙烯塑料。

由聚氯乙烯树脂配制而成的聚氯乙烯塑料有两种：硬聚氯乙烯塑料和软聚氯乙烯塑料。

电线电缆工业用的聚氯乙烯塑料是软聚氯乙烯塑料。软聚氯乙烯塑料是由于加入了大量的增塑剂。软聚氯乙烯塑料也具有玻璃、高弹及粘流三种状态，但是由于加入增塑剂而降低了聚氯乙烯塑料的玻璃化温度，以致在常温下呈高弹态，具有一定的柔软度和物理机械性能。

电线电缆工业用软聚氯乙烯塑料，简称电缆料。它是以聚氯乙烯树脂为基础，添加稳定剂、增塑剂、润滑剂、填充剂、着色剂等配合剂，经过捏合、塑化及造粒等工艺加工制成。

1) 电缆料的品种

电缆料的品种很多，常用的有以下几种：

绝缘级：一般用于通信、控制、信号及低压电缆和具有较高电性能要求的绝缘电线，长期使用温度为 65°C 。

普通绝缘级：适用于室内固定敷设电线、护套软线、500 伏农用电线绝缘以及仪表安装线等，长期使用温度为 65°C 。

普通护层级：适用于橡皮和塑料绝缘电缆护套等及其外护层，长期使用温度为 65°C 。

耐寒护层级：适用于户外及耐寒电线电缆的塑料护层。

柔软护层级：适用于耐寒柔软电线电缆的保护层。

此外，还有耐热 90℃ 电缆料、耐热 105℃ 电缆料、防霉电缆料及其他特殊用途的电缆料。

电缆料的颜色：绝缘级和普通绝缘级分为灰色、白色、黑色、蓝色(中蓝及浅蓝)、紫红、红色(粉红及大红)、橙色、棕色、黄色、绿色(浅绿及中绿)等。普通护层级和柔软护层级分为深蓝色、黑色、灰色、白色等。耐寒护层级为黑色。

电缆料的形状：电缆料一般为 $4 \times 4 \times 3$ 毫米左右方形粒状物，也可以是相当尺寸、大小均匀的其他形状的粒子。

电缆料的颜色和塑化要求均匀，不应有明显的生料及杂质，应能满足电线电缆表面质量的要求。电缆料的物理机械性能与电绝缘性能要求如附录 2 所示。

2) 电缆料的应用

(1) 用于固定敷设在交流 50 赫、额定电压 6 千伏及以下输配电路上的铜芯和铝芯聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套电力电缆；

(2) 用于各种交直流电气装置、电工仪器、仪表、电信设备、动力及照明线路固定敷设用聚氯乙烯绝缘电线电缆；

(3) 用于各种交直流移动电器、电工仪器、电信设备及自动化装置用的铜芯聚氯乙烯绝缘软线；

(4) 用于交流额定电压 250 伏及以下的电器、仪表、电信电子设备及自动化装置屏蔽线路用聚氯乙烯绝缘屏蔽电线等。

电缆料的主要缺点是由于聚氯乙烯的分子中有不对称的碳氯偶极键，因而在电、热性能等方面不够理想。另一个缺点是使用温度范围比较窄，不对称碳氯键的存在使它在温度 68℃ 时，就开始微量分解出氯化氢。其热稳定性差固然可以