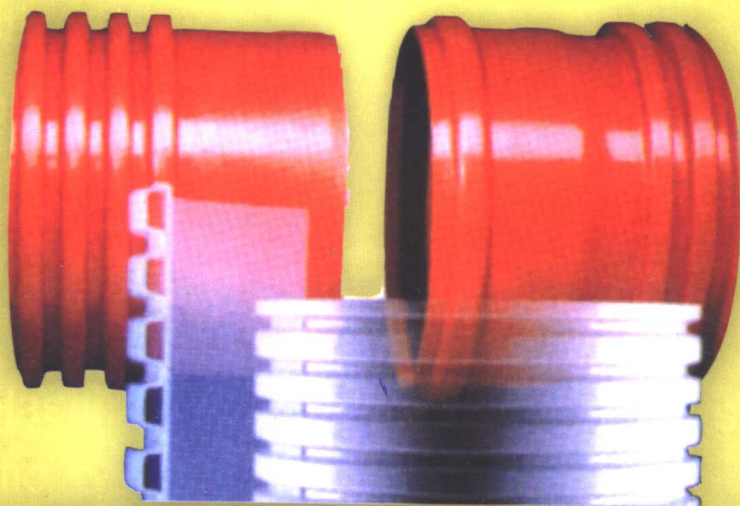


塑料制品加工实例丛书

塑料制品 挤出成型实例

主编 张玉龙



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



塑料制品加工实例丛书

塑料制品挤出成型实例

主 编 张玉龙

副主编 王喜梅 李长德 齐贵亮



机械工业出版社

CHINA MACHINE PRESS

本书用 133 个生产实例重点介绍了挤出成型塑料制品的选材、配方设计、成型设备、制备方法与工艺条件、制品性能与应用等。其中塑料管材 54 例,塑料板(片)材 34 例,型材、异型材与密封件 18 例,薄膜、带及革制品 22 例,其他制品 5 例。

本书可供从事塑料成型加工的技术人员、工人,教学人员等阅读,也可作为技工参考教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

塑料制品挤出成型实例/张玉龙主编. —北京:
机械工业出版社, 2005.3

(塑料制品加工实例丛书)

ISBN 7-111-16217-X

I. 塑... II. 张... III. 塑料成型: 挤出成型
IV. TQ320.66

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 015919 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:张秀恩 加工编辑:赵晓峰

封面设计:鞠 杨 责任印制:洪汉军

北京原创阳光印业有限公司·新华书店北京发行所发行

2005 年 4 月第 1 版·第 1 次印刷

890mm×1240mm A5·16.625 印张·508 千字

0 001—4 000 册

定价: 38.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68326294

[Http://www.machineinfo.gov.cn/book/](http://www.machineinfo.gov.cn/book/)

封面无防伪标均为盗版

塑料制品加工实例丛书

主 编：张玉龙

副主编：李长德 齐贵亮 王喜梅

编委(按姓氏笔画)：

王化银	王四清	王有存	王喜梅	王敏芳	王斯琴
王瑞君	邓 丽	艾克聪	付绍云	卢瑞乾	齐贵亮
齐晓声	刘志成	孙 亮	牟晋鹏	吴光宁	陈令森
陈瑞华	陈耀波	杜栓丽	李长德	李 军	李传清
李迎春	李 萍	李惠元	肖 冰	苏庆勋	杨艺竹
杨玉芬	杨理华	杨 耘	杨振强	宋志广	张玉龙
张旭东	张喜生	金川川	罗西友	庞丽萍	官周国
胡国胜	郝向阳	侯京陵	姬荣斌	赵中魁	贾兴华
秦绪浩	徐亚洲	康 勇	梁建培	程均漠	程映昭
韩 辉	董海斌	蔡江涛	蔡志勇	潘 辉	戴 新

前 言

随着国民经济的高速发展,我国的塑料成型加工技术得到了长足进步。塑料制品已成为工农业、文教卫生、国防建设和人们日常生活中不可缺少的制品。而且对塑料制品的需求越来越大,样式更新、质量完美、性能更佳、集观赏与实用价值更高的制品的不断涌现,反过来又影响了塑料成型技术的进步。

为满足塑料加工行业的发展需求,特别是满足中高级技术工人的迫切需求,推广塑料加工技术和普及塑料基础知识,我们组织编写了“塑料制品加工实例丛书”共六册。收集各种成型加工实例 769 例,其中《塑料制品注射成型实例》150 例、《塑料制品挤出成型实例》133 例、《橡塑制品压制成型实例》122 例、《塑料制品吹塑成型实例》112 例、《塑料制品低压成型实例》88 例和《塑料粒料制备实例》164 例。每一实例均按照:选材与配方设计、成型设备、制备方法与工艺条件、制品性能及应用的格式编写。

此丛书紧密围绕生产实例,以实例为中心,操作技术为导线,由浅入深加以介绍,增大可操作性及仿效性。全书通俗易懂、图文并茂、实用性强。主要适用对象是具有中等文化程度的读者,特别是技术工人,更为欣慰的是即使不具备塑料专业知识的读者亦可读懂。相信此丛书的出版可为进一步提高塑料制品的质量档次、改善生产工艺、开发新产品,进而增强企业经济效益起到积极的作用。

本丛书适用于从事塑料成型加工的技术人员、工人,教学人员阅读,亦可作为技工参考教材。

由于水平有限,书中错误在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2004 年 9 月

目 录

前言

第 1 章 管材	1
第 1 节 PVC 管材	1
例 1 红泥填充聚氯乙烯硬管	1
例 2 超白 PVC 硬管	3
例 3 交联聚氯乙烯黑色套管	4
例 4 用粉料直接生产硬质 PVC 管材	8
例 5 高效润滑剂改性 UPVC 管材	10
例 6 含有不同稳定剂的硬 PVC 管材的挤出加工	11
例 7 新型硬质 PVC 管材	15
例 8 R-PVC 扩口管材	20
例 9 硬 PVC 椭圆形截面管材	32
例 10 R-PVC 无毒饮水管材	35
例 11 UPVC 给水管材	43
例 12 建筑用聚氯乙烯冷弯穿线管	47
例 13 PVC 空气胶管	52
例 14 TRS 弹性增强胶管	58
例 15 煤矿用 PVC 抗静电塑料管材	65
例 16 抗静电阻燃 PVC 复合矿用管材	68
例 17 PVC 螺旋管	71
例 18 PVC/SBS 共混改性波纹套线管	73
例 19 PVC 双壁波纹管	77
例 20 改性硬质 PVC 波纹管	82
例 21 双机共挤芯层发泡 PVC 管材	86
例 22 PVC-U 芯层发泡管	92
例 23 硬 PVC 低发泡管材	96
例 24 结皮低发泡硬质 PVC 管材	98
例 25 聚氯乙烯结皮发泡棒材	101

例 26	PVC-U/蒙脱土纳米复合管材	107
例 27	PVC/CPVC 混合改性热收缩管	109
例 28	PVC-FRP 复合管	110
第 2 节	PE 管材	113
例 29	双机共挤 PE 双壁波纹管	113
例 30	硅烷交联高密度聚乙烯管材	118
例 31	大口径输送矿浆用聚乙烯管材	119
例 32	PE 扩口管材	122
例 33	单向拉伸流场中挤出双向自增强透明 HDPE 管材	125
例 34	HDPE 硅芯管	126
例 35	单螺杆挤出成型超高相对分子质量聚乙烯管材	129
例 36	高密度聚乙烯猎枪弹壳	134
例 37	HDPE 瓦斯抽放管	137
例 38	HDPE/LLDPE 共混管材	139
例 39	低密度聚乙烯热收缩管	139
例 40	多孔塑料管材挤出工艺	140
例 41	LDPE/LLDPE 共混改性矿用管	143
例 42	LDPE 再生料塑料管材	145
例 43	共挤一步法对接焊铝塑复合管	151
例 44	柔软阻燃热收缩套管	154
例 45	乙烯- α -烯烃共聚物热收缩管	156
例 46	过氧化物交联聚乙烯管	157
第 3 节	PP 管材	161
例 47	PP-R 管材	161
例 48	增韧增刚低膨胀 PPR 管材	165
例 49	改性聚丙烯给水管材	166
例 50	高抗冲聚丙烯喷灌管材	170
第 4 节	PS 类管材	172
例 51	橡塑低压输水管	172
例 52	(PS/SBS)/(SBS/PE)吸水管	178
例 53	AS 塑料透明管	182
第 5 节	尼龙管材	184
例 54	挤出生产尼龙 11 管材	184
第 2 章	板(片)材	189

第 1 节 PVC 板(片)材	189
例 55 PVC 工业板、透明板等的挤出成型	189
例 56 PVC 装饰板	192
例 57 改进型 PVC 装饰板	195
例 58 环保型难燃 PVC 工业壁板	198
例 59 PVC/ABS 复合板	200
例 60 PVC-U 塑料板	203
例 61 采用 CPE 改性的 R-PVC 低发泡板材	204
例 62 新型代木 PVC 发泡板	209
例 63 减振隔热用硬质 PVC 结皮发泡板材	214
例 64 硬 PVC 低密度自由发泡板材	218
例 65 PVC 低发泡建筑板材	229
例 66 PVC 硬质低发泡板材	232
例 67 PVC 透明硬片	235
例 68 PVC 复合木纹片材	239
例 69 可与有机玻璃相媲美的硬质 PVC 透明片材	244
例 70 PVC 透明软质片材	257
例 71 PVC 彩面复合地板砖	261
例 72 高填充 PVC 地板砖	264
例 73 高填充硬质 PVC 汽车用地板	266
例 74 硬 PVC 中空地板废旧料再生技术	274
例 75 阻燃 PVC 彩塑红泥波纹板	277
第 2 节 PE 板(片)材	281
例 76 自增强聚烯烃片材	281
例 77 钙塑中空格子板材	284
例 78 钙塑瓦楞纸板	287
例 79 纤维增强型辐射交联热收缩片材	290
第 3 节 PP 板(片)材	293
例 80 快餐盒用光-生物双降解聚丙烯片材	293
例 81 PP/乙烯-乙醇醇共聚物(EVOH)共挤出片材	295
例 82 高透明 PP 片材	302
例 83 汽车内顶用复合板材	302
第 4 节 PS 类板(片)材	308
例 84 PS 三层复合板材	308

例 85 加入废旧料的 ABS 板材	311
例 86 冰箱用 ABS 板材	318
第 5 节 其他板(片)材	325
例 87 高强度代钢铝塑复合板	325
例 88 PET 片材	327
第 3 章 型材、异型材及密封条	333
第 1 节 型材、异型材	333
例 89 三轨推拉 PVC 塑窗型材	333
例 90 改性 PVC 仿真木纹异型材	338
例 91 稀土氯化物改性 PVC 异型组合框架	341
例 92 采用稀土有机物热稳定体系的 PVC-U 塑料门窗异型材	343
例 93 R-PVC 门窗异型材	345
例 94 采用焊角强度改性剂的门窗用 PVC 塑料异型材	349
例 95 高效超低铅复合热稳定剂改性的 PVC 塑钢门窗异型材	354
例 96 玻璃纤维增强 PVC 窗框	357
例 97 门窗用新型环保异型材(绿可门窗用异型材)	360
例 98 PVC 辅助型材	363
例 99 防静电聚氯乙烯型材	364
例 100 PVC 钢塑共挤结皮发泡异型材	371
例 101 木纹结皮发泡 PVC 型材	375
例 102 采用 PA-60 发泡剂的 JFG 型材	381
例 103 发泡聚丙烯型材	383
第 2 节 密封条	390
例 104 高聚合度 PVC 树脂门窗密封条	390
例 105 采用 DOA 增塑剂的高相对分子质量聚氯乙烯密封条	393
例 106 电冰箱磁性塑料门条	397
第 4 章 薄膜、带及革制品	405
第 1 节 薄膜	405
例 107 聚乙烯花纹薄膜	405
例 108 流延聚乙烯薄膜	406
例 109 管膜法聚烯烃交叉复合薄膜	409
例 110 茶叶内包装 LDPE 薄膜	415
例 111 LLDPE/LDPE 农膜	419

例 112	缠绕薄膜共挤流延成型	422
例 113	易揭型封盖膜	426
例 114	多层共挤流延牧草缠绕膜	429
例 115	双轴拉伸聚丙烯薄膜	433
例 116	聚丙烯流延膜	438
例 117	三层共挤聚烯烃热收缩膜	441
例 118	CPP 真空镀铝薄膜	446
例 119	生鲜食品保鲜膜	449
例 120	防渗土工膜	455
例 121	PVC 仿布型面料薄膜	459
例 122	流延尼龙-6 薄膜	464
第 2 节	带及革制品	472
例 123	PP 打包带	472
例 124	废旧塑料打包带	478
例 125	铝塑布	480
例 126	聚氯乙烯防水卷材	482
例 127	橡塑防雨绸	486
例 128	PVC 压延发泡地板革	490
第 5 章	挤出成型其他制品	494
例 129	难燃硬质 PVC 彩色波纹瓦	494
例 130	聚乙烯硬质平网	497
例 131	密目式塑料安全网	503
例 132	PP/APP 扁丝生产的塑料仿藤席	505
例 133	PP/HDPE 共混发泡丝生产的塑料编织席	508
参考文献		514

第 1 章 管 材

第 1 节 PVC 管 材

例 1 红泥填充聚氯乙烯硬管

1. 选材与配方设计

(1) PVC 树脂型号的选择 在试制初期,使用国产 XS-3 型(即 SG-4 型)树脂,但其流动性欠佳、加工较困难。后又分别试用了 SG-6 型和 SG-5 型树脂,经试验,采用这两种型号的树脂都可以,它们的熔融流动性比 SG-4 型树脂都要好些。比较起来 SG-5 型树脂更合适些,因为它比 SG-6 型树脂的相对分子质量稍高,制成管材的物理力学性能总的说要好些。

(2) 试验基本配方 红泥填充的 PVC 电线硬管的生产基本配方,经过试验后确定如下,见表 1-1。

表 1-1 RM-PVC 电线硬管的基本配方(质量份)

PVC 树脂(SG-5、SG-6 型上海天原厂生产)	100
铅系稳定剂	6
金属皂类稳定剂	2
润滑剂	1
红泥(郑州铝厂)	10~15
ACR 加工助剂(上海珊瑚化工厂)	少量
CPE(含氯量 36%)	少量

2. 主要设备

(1) 型号 SJ-45B 挤出机,上海川沙机械厂制造。

(2) 长径比(L/D) 20:1。

(3) 压缩比(ϵ) 2.5:1。

3. 工艺流程

电线硬管的生产工艺流程如图 1-1。

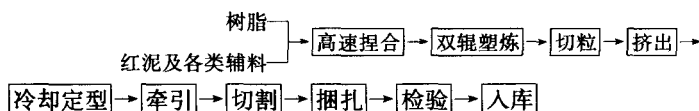


图 1-1 红泥填充 PVC 电线硬管的生产工艺流程

4. 产品技术要求

(1) 产品主要物理力学性能 见表 1-2。

(2) 电性能 见表 1-3。

表 1-2 主要物理力学性能

项 目	指 标
压缩强度(750N,1min)	外径变形率<10%
冲击强度(-5℃、500g、100min)	无痕迹和破裂
维卡软化温度/℃	≥75

表 1-3 电性能

项 目	指 标
耐电压性	400V、1min,不击穿
绝缘电阻	>500MΩ

(3) 阻燃性能 氧指数≥40。

5. 注意事项

1) 为进一步降低产品成本,在不影响产品重要性能指标的前提下,适当增加配方中的红泥组分量。

2) 红泥填充后的 PVC 电线硬管冲击性能有所下降、流动性变差、加工较困难,所以需采用少量的抗冲击改性剂和加工改性剂,来改善其加工性能和使用性能。

3) 加入 CPE 作为抗冲击改性剂能提高红泥填充 PVC 电线硬管的抗冲击性能,其用量应随配方中红泥组分配比的增大而增加。

例 2 超白 PVC 硬管

1. 选材与配方设计

(1) 原材料选择 众所周知,PVC 产品加工配方中,除选用适当牌号的 PVC 树脂外,必须有热稳定剂、加工助剂、润滑剂、抗冲改性剂,根据不同产品的加工及使用要求,还需加入增塑剂、抗氧剂、抗静电剂以及颜料等。

1) PVC 树脂。由于该产品对白度要求非常高,因此树脂本身的热稳定性很关键。因此应选用 K 值为 65 左右的树脂,通过做对照实验, S-65(台塑)、TK-1001(日本)、TL-1000(天津乐金)效果较好,能满足要求。由于该产品对颜色要求严格,不同厂家的树脂在批量生产前都要进行试生产,否则颜色不相符。

2) 热稳定剂。虽然该产品出口欧美市场,但由于对热稳定剂没有特别要求,因此选用铅系稳定剂作为生产用热稳定剂。热稳定剂的选择在生产中是非常关键的步骤,为此做了一系列实验。基本配方(质量份): 100 份 PVC, 0.4 份外润滑剂, 0.8 份内润滑剂。将该配方在 SJSZ-45 双螺杆挤出机上挤出,通过对多种热稳定剂的对比,选用 P-210D(国产)和 2.0 份三盐 + 2.0 份硬脂酸铅两种热稳定剂。

3) 润滑剂。润滑剂实际上也是稳定剂,特点是在聚氯乙烯加工时减弱机械应力的破坏作用,可以通过调节组分的流动性能,从而减少内摩擦和机械运转时放出的热量来达到。由于降低了加工温度,保证了聚氯乙烯物料或其制品的成型过程能均匀和迅速进行,特别是组分与金属接触时,由于防止组分粘附在加工设备的金属表面上,使 PVC 的降解得以减少。此外,它可使加入组分中的各种成分更易分布,制品的外观得以改善。由于润滑剂对该产品的重要性,对内、外润滑剂进行了仔细的选择。外润滑剂选择聚乙烯蜡,其化学性质稳定,电性能优良;内润滑剂选择硬脂酸丁酯,但其只是初期润滑效果优良,中期持续性润滑较差,需要加入硬脂酸并用(因硬脂酸在中、后期润滑性良好)。

4) 颜料。PVC 树脂塑化成型后为黄色,为了达到特白,则需加入

钛白粉,用国产锐钛型即可,一般用量为3.0份左右,但仅加入钛白粉还不够,还须加入适量增白剂。

5) 填料。一般加入轻质碳酸钙即可,用量约8份,过多易引起颜色变化,不易调整。

(2) 配方设计 根据上述配方原理,选定2种铅系稳定剂配方。

1) 配方1(质量份,下同): PVC,100份;复合稳定剂,4.0份;轻质碳酸钙,8.0份;聚乙烯蜡,0.2份;硬脂酸丁酯,2.0份;硬脂酸,0.4份;钛白粉,3.0份;增白剂适量。

2) 配方2: PVC,100份;三盐,2.0份;硬脂酸铅,2.0份;聚乙烯蜡,0.4份;轻质碳酸钙,8.0份;硬脂酸丁酯,2.0份;硬脂酸,0.4份;钛白粉,3.0份;增白剂适量。

2. 主要设备

SRL高、低速混合机,张家港轻工机械厂;SJSZ-45双螺杆挤出机。

3. 制备工艺

(1) 工艺流程 PVC+粉状助剂→高速混合机→低速混合机→挤出→冷却定型→切割→包装。

(2) 生产工艺

1) 将PVC和各种助剂按配方加入高速混合机捏合,捏合温度在95℃左右,捏合时间以10min为宜,然后在低速混合机中搅拌冷却,在45℃时出料。

2) 捏合好的物料可直接加入SJSZ-45挤出机中成型,各区操作温度依次为165℃、170℃、175℃、180℃、200℃。

3) 由于该产品需抗静电,因此从挤出机中出来经真空冷却定型后,用外涂法涂覆抗静电剂即可。

此外,在生产中对不同厂家的PVC树脂要进行试生产,否则颜色难以一致;热稳定剂对白度的影响是最关键的,应十分注意热稳定剂的选择。

例3 交联聚氯乙烯黑色套管

PVC虽然具有耐腐蚀、绝缘、易着色、有一定的力学强度、价廉、来源广等优点,但是由于其自身结构上的特点,它对热敏感,一般长期使

用温度仅 65℃ 左右,因此要满足波峰焊时的 250℃ 高温的苛刻条件,必须对 PVC 进行适当的改性。

对 PVC 改性的各种物理、化学方法中,采用交联技术对 PVC 改性是较理想的。PVC 交联,是使线型 PVC 分子变为三维网状结构,这种结构上的变化,显著地提高了 PVC 的热变形温度,降低了热收缩率,同时使其电绝缘、力学等性能也有较大的提高。因此研究和开发 PVC 交联技术及其产品很有意义。

PVC 属于降解型高聚物,辐照下的交联 G 值只有 0.2 左右,断链与交联机率的比值 (β/α) 为 0.35 左右。因此,如何提高 PVC 的交联 G 值,降低 β/α 比值,从而提高 PVC 的凝胶率,就成为研究 PVC 交联的重点和难点,也是研制交联 PVC 黑色套管的技术关键。

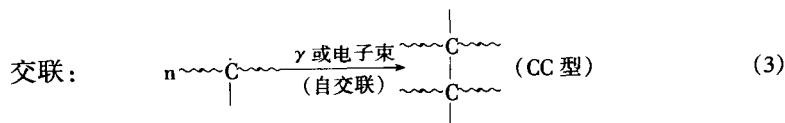
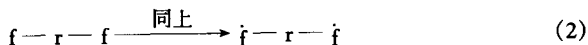
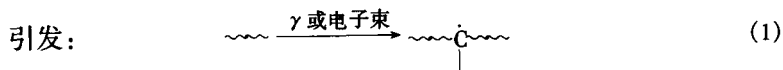
PVC 的交联工艺有化学、辐照两大类,化学交联工艺的交联度较低、流程长、能耗高,至今工业上尚未采用;辐照交联工艺具有交联度较高、交联键分布较匀、流程短、能耗低等优点。本例就是采用挤出成型和辐照交联技术,来研制交联 PVC 黑色套管(即 HT 套管)。

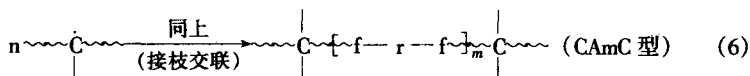
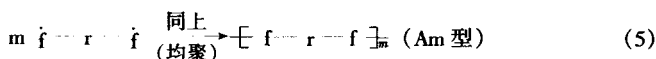
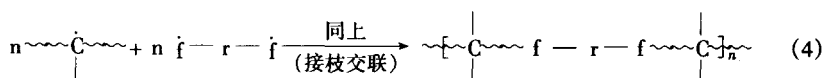
1. 原理

PVC 分子中氯含量约 56%,是一种不含不饱和基团、非对称性、具有极性的线性高分子化合物,它的成型温度与分解温度接近,一般很难交联。若在 PVC 中添加多官能团单体(如 T90)为敏化交联剂,在室温下,借助于高能射线(如 γ 射线)的辐照,便可以实现交联的目的。它的交联反应机理属于无规自由基型,其主要反应如下:

以 $\sim$ 代表 PVC 长链分子,用 C 表示。

以 $f-r-f$ 代表多官能团单体(即敏化交联剂),用 A 表示,其中 f 表示官能团。





首先,线型 PVC 和多官能团单体分子在高能射线(如 γ 射线)或高能电子束的辐照下,形成自由基如(1)、(2)式,然后这些自由基按(3)、(4)、(5)、(6)式反应,分别形成 CC 型、CAC 型、Am 型、CAmC 型等中间体,若继续反应,则形成不同类型的三维网状结构的热固性聚合物,从测试凝胶率结果可知,没有多官能团单体的(3)式,很难继续反应形成三维网状结构物(因为凝胶率很低)。形成三维网状结构物是在有多官能团单体存在下,主要通过(4)、(6)式继续反应实现的。

2. 原材料

- (1) PVC SG-PVC2,株化产。
- (2) 敏化交联剂 T90,国产。
- (3) 稳定剂 TLS、DLP、片 8301,国产。
- (4) 增塑剂 DBP、DP28、TCP、T3、DOP,国产。
- (5) 其他 色料等,国产。

3. 主要设备

- 1) 高速捏合机,30L。
- 2) 挤出机, $\phi 20\text{mm}$ 、 L/D 为 25:1,上海产。
- 3) 模头, $\phi 2\text{mm}$,浙江制。
- 4) 牵引装置。
- 5) 辐照源, ^{60}Co , γ ,湖南原子能农业应用研究所。

4. 工艺流程

计量 $\rightarrow$ 高速捏合 $\rightarrow$ 挤出成型 $\rightarrow$ 冷却 $\rightarrow$ 牵引 $\rightarrow$ 收卷 $\rightarrow$ 辐照 $\rightarrow$ 后处理 $\rightarrow$ HT 套管。

将生产的 HT 套管送入辐照室,用 γ 射线辐照到 60kGy(注意均匀性),将辐照后的 HT 套管放入恒温箱内,控制温度为 $(100 \pm 2)^{\circ}\text{C}$,热处理 2~3h 后,冷却至室温,即得到 HT 套管产品。

5. HT 套管主要性能

将试生产的 HT 套管、日本住友 Z5PE-ET20 套管在同等条件下的实测数据与合同规定的指标比较,如表 1-4 所示。

表 1-4 交联 PVC 黑色套管主要性能

项 目		本所 HT-20 (实测)	日本住友 Z5PEET-20 (实测)	合同指标	UL 标准
1	规格:内径/mm	0.90	0.83	0.8 ± 0.1	0.8 ± 0.1
	壁厚/mm	0.40	0.37	—	0.4 ± 0.07
2	拉伸强度/MPa	29.32	37.10	10.50	10.50
3	断裂伸长率(%)	77.2	30.33	100.0	100.0
4	柔软性(136 $^{\circ}\text{C}$, 168h)	无裂纹	无裂纹	无裂纹	无裂纹
5	热冲击(120 $^{\circ}\text{C}$, 1h)	无裂纹	无裂纹	无裂纹	无裂纹
6 热 老化 (136 $^{\circ}\text{C}$, 168h)	拉伸强度残留率 K1(%)	111.7	102.9	—	70%以上
	断裂伸长残留率 K2(%)	99.1	93.4	—	70%以上
	热失重率(%)	2.0	1.4	—	—
7	耐热性(360 $^{\circ}\text{C}$, 5s)	不熔融	不熔融	不熔融	不熔融
8	热收缩率(%) (260 $^{\circ}\text{C}$, 5s)	4.8	5.6	—	—
	(130 $^{\circ}\text{C}$, 168h)	2.4	4.7	—	—
	(100 $^{\circ}\text{C}$, 2h)	2.0	2.0	—	± 5.0
9	耐寒性(-20 $^{\circ}\text{C}$, 1000h)	无裂纹	无裂纹	无裂纹	无裂纹
10	耐电压性(5000V, 60s)	不击穿	不击穿	不击穿	不击穿
	击穿电压强度/kV $\cdot\text{mm}^{-1}$	19.7	19.1	—	—
11	体积电阻率/ $\Omega\cdot\text{cm}$	5.3×10^{13}	5.3×10^{13}	10^{10} 以上	10^{10} 以上