

# 常见电线电缆绝缘材料优缺点分析

深圳琦富瑞电子电线电缆研究所  
张万涛

## 摘要

绝缘材料性能的优劣直接影响电线电缆的质量、加工效率、应用范围。结合多年电线电缆设计开发与生产经验，笔者将对常用电线电缆绝缘材料性能之优缺点作简要分析，旨在与业界共同探讨，并逐步缩短与国际线缆方面的差距。

鉴于现行的国际标准众多，本文将重点从 UL 标准角度作集中描述，权当抛砖引玉，不周之处，请业界同仁不吝赐教。

关键词：电子线、高温特种线

对于 UL758 系列的电子线及高温特种线，其主要绝缘材料为聚氯乙烯、交联聚烯烃、硅橡胶和氟塑料等。由于不同绝缘材料之间的差异，在电线电缆生产和线材加工方面呈现各自不同的特点，充分认识这些特点，将有利于材料的选型和产品质量的控制。

## 一) PVC 聚氯乙烯电线电缆绝缘

PVC 聚氯乙烯（以下简称 PVC）绝缘材料是在 PVC 粉中添加稳定剂、增塑剂、阻燃剂、润滑剂及其它助剂的混合物。针对电线电缆不同应用与不同的特性需求,其配方做相应的调整。经过几十年的生产和使用，目前 PVC 制造及加工技术已经非常成熟。PVC 绝缘材质在电线电缆领域有着非常广泛的应用，并有着显著的自身特点：

1)制造技术成熟、易成型和加工制造。相比其它类的线缆绝缘材料，不仅成本低廉，在线材表面色差、光哑度、印字、加工效率、软硬度、导体的附着力、线材本身的机械物理性能和电性能方面均可作有效控制。

2)具有非常良好的阻燃性能，故 PVC 绝缘电线极易达到各类标准规定的阻燃等级。

3)在耐温方面,通过对材料配方优化改进,目前常用的 PVC 绝缘类型主

# 常见电线电缆绝缘材料优缺点分析

深圳琦富瑞电子电线电缆研究所  
张万涛

要有以下三类:

表 I

材料类别	额定温度(最高)	应用	使用特性
普通型	105℃	绝缘, 护套绝缘	可根据需求使用不同硬度,一般比较柔软,易成型和加工。
半硬质 (SR-PVC)	同上	线芯绝缘	比普通型硬度高,硬度 Shore 90A 以上。同普通型相比提高了绝缘机械强度,更优良的热稳定性。缺点是柔软度不好,使用范围受到影响。
交联 PVC (XLPVC)	同上	线芯绝缘	一般是通过辐照方式交联,使普通型热塑性 PVC 转变成不溶的热固性塑料,分子结构更加稳定,提高了绝缘机械强度,短路温度可达到 250℃。

4)在额定电压方面,一般使用于额定 1000V AC 及其以下电压等级,可广泛应用于家用电器、仪器仪表、照明、网络通讯等行业。

5)琦富瑞塑胶事业部成功开发的无毒无味 PVC 绝缘线,广泛使用于空调,冰箱等电器配线。

PVC 也有一些自身缺点,限制了其使用:

1) 由于含有大量氯元素,燃烧时会散发出大量浓烟会让人窒息,影响能见度,并产生一些致癌物质和 HCl 气体,对环境造成严重危害。随着低烟无卤绝缘材料制造技术的发展,逐步取代 PVC 绝缘已成为线缆发展的必然趋势。目前一些有影响力及社会责任感较强的企业,在公司技术标准中明确提出了替代 PVC 材料的时间表。

# 常见电线电缆绝缘材料优缺点分析

深圳琦富瑞电子电线电缆研究所  
张万涛

2) 普通 PVC 绝缘耐酸碱,耐热油,耐有机溶剂性能较差,根据相似相溶的化学原理, PVC 线材极易在所述特定环境中出现破损和开裂。

但是,凭借其优良的加工性能和低廉的成本。PVC 线缆在家用电器,照明灯饰,机械装备,仪器仪表,网络通讯,楼宇布线等领域仍得到广泛的使用。

## 二) 交联聚乙烯电线电缆绝缘

交联聚乙烯(Cross-link PE,以下简称 XLPE)是聚乙烯受到高能射线或交联剂的作用,在一定条件下能从线型分子结构转变成体型三维结构。同时由热塑性塑料转变成不溶的热固性塑料。目前在电线电缆绝缘运用中,主要交联方法有三种:

1) 过氧化物交联。是先用聚乙烯树脂配合适当的交联剂和抗氧剂,根据需要添加其它成份,制成可交联的聚乙烯混合物颗粒。挤出过程中,通过热蒸汽交联管道产生交联。

2) 硅烷交联(温水交联)。也是一种化学交联的方法,其主要机理是将有机硅氧烷和聚乙烯在特定的条件下产生交联,交联度一般能达到 60%左右。

3) 辐照交联是利用高能射线如  $\gamma$  射线,  $\alpha$  射线,电子射线等能量,使聚乙烯大分子中的碳原子激发活性而交联,电线电缆常用的高能射线为电子加速器产生的电子射线,因该交联是依靠物理能量进行的,故属物理交联。

以上三种不同的交联方式,具有不同的特点和应用(见表 II):

# 常见电线电缆绝缘材料优缺点分析

深圳琦富瑞电子电线电缆研究所  
张万涛

表 II

交联类别	特 点	应 用
过氧化物交联	交联过程中要严格控制温度,通过热蒸汽交联管道,产生交联.	适用于生产高电压、大长度、大截面电缆,生产小规格浪费多.
硅烷交联	硅烷交联可采用通用的设备,挤出不受温度限制,接触水分即开始交联,温度越高交联速度越快.	适用于小尺寸、小规格、低电压的电缆。交联反应要在有水或潮气的条件下才会完成,适用于低压电缆的生产.
辐照交联	因辐射源能量的关系,用于不太厚绝缘,绝缘太厚时,易存在照射不均匀现象.	适用于绝缘厚度不太厚,耐高温阻燃电缆.

**XLPE 绝缘与热塑性聚乙烯比较,有以下优点:**

1) 提高了耐热变形性,改善了高温下的力学性能,改进了耐环境应力龟裂与耐热老化的性能.

2) 增强了耐化学稳定性和耐溶剂性,减少了冷流性,基本保持了原来的电气性能,长期工作温度可达 125℃和 150℃,交联聚乙烯绝缘的电线电缆,也提高了短路的承受能力,其短时承受温度可达 250℃,同样厚度的电线电缆,交联聚乙烯的载流量就大得多.

3) **XLPE 绝缘电线电缆**有优良的机械、防水及耐辐射性能所以应用领域广泛。如: 电器内部连接线、电机引线、灯饰引线、汽车低压信号控制线、机车电线、地铁用电线电缆、矿用环保电缆、船用电缆、核电铺设电缆、TV 高压线、X-RAY 击发高压线,以及功率传输电线电缆等行业。

**XLPE 绝缘电线电缆**有着显著的优点,但也有一些自身的缺点,限制了

# 常见电线电缆绝缘材料优缺点分析

深圳琦富瑞电子电线电缆研究所  
张万涛

其使用:

1) 耐热粘连性能较差。在超过电线额定温度情况下加工使用电线, 容易造成电线之间相互粘连情况, 严重可导致绝缘破皮形成短路.

2) 耐热切通性能较差。在超过 200℃ 的温度下, 电线绝缘变的异常柔软, 受外力挤压碰撞容易导致电线切通短路.

3) 批次之间色差难控制。加工过程易刮花发白, 印字脱落等问题

4) 耐温等级 150℃ XLPE 绝缘, 做到完全不含卤素并且能通过 UL1581 规范的 VW-1 燃烧实验, 并保持优良的机械电气性能, 在制造技术上还存在一定瓶颈, 成本高昂。

5) 该类材料绝缘线材在电子电器连接线方面, 尚无国家相关标准。

## 三) 硅橡胶 (Silicone rubber) 电线电缆绝缘

硅橡胶**亦聚物**分子是由 Si-O (硅-氧) 键连成的链状结构。Si-O 键是 443.5KJ/MOL, 比 C-C 键能 (355KJ/MOL) 高得多。硅橡胶电线电缆大部分采用冷挤和高温硫化工艺, 在众多的合成橡胶电线电缆中, 因其独特分子结构, 使得硅橡胶比其他普通橡胶具有更优良的性能:

1) 非常柔软, 良好的弹性, 无味无毒, 不怕高温和抵御严寒的特点。

使用温度范围在 -90~300℃。硅橡胶比普通橡胶具有好得多的耐热性, 可在 200℃ 下连续使用, 在 350 度下亦可使用一段时间。

2) 优良的耐候性能。长时间在紫外线和其他气候条件下, 其物性也仅有微小变化。

# 常见电线电缆绝缘材料优缺点分析

深圳琦富瑞电子电线电缆研究所  
张万涛

3)硅橡胶具有很高的电阻率且在很宽的温度和频率范围内其阻值保持稳定。同时硅橡胶对高压电晕放电和电弧放电具有很好的抵抗性。

硅橡胶绝缘电线电缆具有以上一系列优点,在电视机高压装置线、微波炉耐高温用线、电磁炉用线、咖啡壶用线、灯具引线、UV 设备、卤素灯具、烤炉和风扇内部连接线等特别是小家电领域有着广泛的应用,但自身一些缺点也限制更广泛的运用。如

1)抗撕裂能力差。加工或使用过程中受外力挤压,刮磨易破损,造成短路。目前的防护措施是在硅胶绝缘外加上玻璃纤维或者高温聚酯纤维编织层,但加工过程中仍需尽可能避免外力挤压所致的伤害。

2)硫化成型添加的硫化剂目前主要使用双二四。该硫化剂含有氯元素,完全无卤素的硫化剂(如铂金硫化)对生产环境温度要求严格,而且成本高昂。

所以线束加工时应注意:压轮压力不可过大,最好使用胶材质,防止生产过程中压裂导致耐压不良。同时需注意:玻璃纤维纱在生产过程中需采取必要的防护措施,防止吸入肺部,影响员工健康。

## 四) 交联三元乙丙烯橡胶(XLEPDM) 电线绝缘

交联三元乙丙烯橡胶,是由乙烯、丙烯以及非共轭二烯烃的三元共聚物,通过化学或者辐照方式交联。交联三元乙丙橡胶绝缘电线综合聚烯烃绝缘电线和普通橡胶绝缘电线两种电线的优点:

1)柔软、曲挠、弹性、高温不粘连、长期的耐老化性、耐恶劣的气

# 常见电线电缆绝缘材料优缺点分析

深圳琦富瑞电子电线电缆研究所  
张万涛

候（-60~125℃）。

2)耐臭氧、耐紫外线、耐电气绝缘性能、耐化学腐蚀性。

3)耐油和耐溶剂性能与通用型氯丁橡胶绝缘不相上下，普通热挤出的加工设备进行加工，采用辐照交联，加工简便、成本低廉。

交联三元乙丙橡胶绝缘电线有上述诸多优点,在制冷压缩机引线，防水电机引线，变压器引线，矿山移动电缆，钻探，汽车，医疗器械，船舶以及一般的电器内部布线等领域都有运用。

**XLEPDM** 电线主要缺点是：

1)同 **XLPE** 和 **PVC** 电线,抗撕裂能力较差。

2)粘合性和自粘性较差,影响后续加工性。

## 五) 氟塑料（**Fluoroplastic**）电线电缆绝缘

相对于常见的聚乙烯、聚氯乙烯电缆而言，氟塑料电缆有着如下突出特点：

### 1)耐高温

氟塑料有着超乎寻常的热稳定性，使得氟塑料电缆能适应 **150~250℃** 的高温环境。在同等截面导体的条件下，氟塑料电缆可以传输更大的许用电流，从而大大提高了该类绝缘线材的使用范围。由于这种独特的性能，氟塑料电缆常用于飞机、舰艇、高温炉以及电子设备的内部布线、引接线等。

### 2)阻燃性好

氟塑料的氧指数高，燃烧时火焰扩散范围小，产生的烟雾量少。用其制

# 常见电线电缆绝缘材料优缺点分析

深圳琦富瑞电子电线电缆研究所  
张万涛

作的线材适合对阻燃性要求严格的工具和场所。例如：计算机网络、地铁、车辆、高层建筑等公共场合等。一旦发生火灾，人们可以有一定的时间疏离，而不被浓烟熏倒，争取到宝贵的救援时间。

### 3)电气性能优异

相对于聚乙烯而言，氟塑料的介电常数更低。因此，与类似结构的同轴电缆比较，氟塑料电缆的衰减更小，更适合于高频信号传输。当今电缆的使用频率越来越高已经成为潮流，同时又由于氟塑料能耐高温，所以常用作传输通信设备的内部接线、无线发射馈线与发射机之间的跳线和视频音频线。此外，氟塑料电缆的介电强度、绝缘电阻好，适合作重要仪表仪器的控制电缆。

### 4)机械化学性能完美

氟塑料的化学键能高，具有高度的稳定性，几乎不受温度变化的影响，有着优良的耐气候老化性能和机械强度；而且不受各种酸、碱和有机溶剂影响。因此适用于环境气候变化大、有腐蚀性场合，如石化、炼油、油井仪器控制等。

### 5)利于焊接连线

在电子仪器中，有不少接线是采用焊接方法进行连接，由于一般塑料的熔融温度低，在高温时易融化，需要熟练的焊接技术，而有些焊点必须要有一定的焊接时间，这也成为氟塑料电缆受到欢迎的原因。如通信设备和电子仪器的内部接线。

氟塑料系列绝缘材料在电线电缆领域有着广泛运用，参考 UL1581、UL758 规定，电线电缆中常使用的氟塑料绝缘（见表 III）：



# 常见电线电缆绝缘材料优缺点分析

深圳琦富瑞电子电线电缆研究所  
张万涛

表 III

名称	额定温度(最大)	特性及其应用
PTFE	250℃	燃烧后无残留,热温度性好,军事上有广泛应用,连续加工困难,接头多,效率低
PFA	250℃	热稳定性好,相对 PTFE 易加工,主要应用高温导线,成本较高.
FEP	200℃	可长期在 200℃环境下工作,相对 PTFE 易加工,在电子连接线领域使用最为广泛
(XL)ETFE	150℃	柔韧性优良,可以超薄壁绝缘电线生产, XLETFE 可长期在 200℃环境下工作,优良耐腐蚀和机械性能,在航空和航天领域使用广泛.
PVDF	150℃	柔韧性良好,超薄绝缘,替代漆包线使用

此外氟塑料还有一些缺点限制了使用:

- 1)原材料的价格高,目前国内生产还主要依赖进口(日本大金和美国杜邦公司),国产氟塑料虽然最近几年发展迅速,但生产品种还是单一,材料在热稳定性及其它综合性能上同进口材料相比还有一定差距。
- 2)生产工艺相比其他绝缘材料较困难,生产效率低,印字易脱落,耗损大等问题,使生产成本较高。

总之,上述各种类别的绝缘材料,特别是耐温在 105℃以上高温特种绝缘材料的应用方面,在国内仍属转型期。无论是线材生产,还是线束加工,不仅有一个成熟的过程,对该类线材要有一个对其优缺点作理性认识的过程。

在环保法规控制方面,琦富瑞生产的各类绝缘线材完全可以达到普遍关注的不含 6P,不含多环芳香烃(PAHS)、邻苯二甲酸盐类(Phthalates)、全氟辛烷磺酸盐(PFOS)等禁止有害物质及完全符合欧盟 RoHS 及 REACH 法规关

# 常见电线电缆绝缘材料优缺点分析

深圳琦富瑞电子电线电缆研究所  
张万涛

于 15 项 SVHC 物质控制要求。

名词:

- 1) UL: Underwriters' Laboratories (美国) 保险商实验所。
- 2) RoHS: Restriction of Hazardous Substances 欧盟《关于限制在电子电器设备中使用某些有害成分的指令》。
- 3) REACH: Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals 欧盟《化学品注册、评估、授权和限制制度》。
- 4) SVHC: Substances of Very High Concern 高度关注物质。

参考文献:

- 1) UL1581、UL758
- 2) Appliance Wiring Material Style pages
- 3) 欧盟《关于限制在电子电器设备中使用某些有害成分的指令》
- 4) 欧盟《化学品注册、评估、授权和限制制度》