

# 二步法硅烷交联电缆的投资价值分析

杨俊家, 刘焕新, 和进明

(山东鲁能泰山电缆股份有限公司, 山东 新泰 271200)

摘要: 本文重点分析了硅烷交联的工艺、设备特点及技术经济性, 从不同的角度分析了投资硅烷交联生产线的可行性。

关键词: 交联聚乙烯绝缘电力电缆; 硅烷交联; 二步法; 水解; 技术经济的比较

中图分类号: TM 247. 1

文献标识码: A

文章编号: 31-1392(2003)01-0023-03

## Value analysis of investment on cables made by the two step silane cross-linking method

YANG Jun-jia et al

(Luneng Taishan Electric Cable Co. Ltd., Shandong, Xintai 271200, Shandong Province, China)

Abstract: This paper presents the manufacturing process, facilities and technical-economic aspect of the silane cross-linking method. It analyses the feasibility of investment on silane cross-linking XLPE cable production line from a variety of aspects.

Key words: XLPE power cable; silane cross-linking; two step method; hydrolysis; technical-economic comparison

## 1 引言

与聚氯乙烯(PVC)绝缘电缆相比交联聚乙烯(XLPE)绝缘电缆具有优异的性能(见表1), 因此XLPE绝缘电力电缆已在我国线缆行业中得到推广和普及。在欧洲, 大部分的中低压PVC绝缘电缆已被XLPE绝缘电缆所取代, 甚至在有些国家中低压PVC绝缘电缆已被取消。国内一些较大的供电局如上海、北京、天津等供电局已明文规定不再在配电网中采用PVC塑力缆。对于低压XLPE电缆, 其交联方法大多采用硅烷交联, 只有一小部分采用辐照交联或其他干法化学交联, 因此, 硅烷交联电缆的生产有许多不可替代的优势, 在我国也正逐步加大硅烷交联电缆的生产。根据上海电缆研究所“九五”规划预测, 到2010年, 硅烷交联电缆年需求为26万km, 特别是城网、农网的改造工程和西部大开发等, 为交联电缆提供了更加广阔的市场。

## 2 硅烷交联的工艺、设备的特点

硅烷交联属于化学交联的一种, 其原理是把有机硅化合物如乙烯基三甲氧基硅烷(VTM S)接枝到聚乙烯主链上, 在过氧化物DCP的触发下, 利用硅烷水解而实现交联。硅烷水解是在温水或水蒸气中

进行的。在此过程中, 水仅仅作为一种媒介。交联时, 水分子通过聚合物分子间隙与接枝在聚合物链上的硅烷发生置换反应, 形成-Si-O-Si-交叉链。其化学反应过程大致如下。

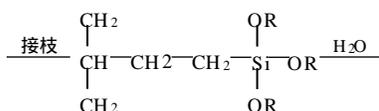
表1 PVC绝缘电力电缆与硅烷交联绝缘电力电缆的比较

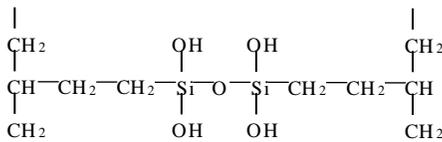
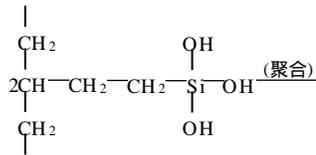
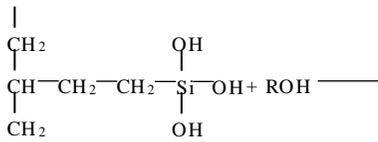
项目	PVC 塑力缆	硅烷交联电缆
导体最大使用温度/℃	70	90
短时过载温度/℃	110	130
线芯最大短路温度/℃	160	250
同规格电缆载流量	$I_0$	$1.3I_0$
热稳定性	热塑性	热固性
绝缘燃烧特性	释放出含有氯化氢的有毒气体和烟雾, 从而妨碍救火和人员疏散, 腐蚀仪器和设备	减缓火焰蔓延速度, 发烟量极小, 不产生有毒气体和烟雾, 便于消防救火、人员疏散等
使用寿命/a	10~20	40
同规格电缆重量	重	轻
发展趋势	不能满足现代工程技术要求, 欧美、日本等国家禁用, 其它国家限用, 产量逐年减少。	能适应现代工程技术要求, 大量代替PVC电缆

收稿日期: 2002-04-01

作者简介: 杨俊家(1969-), 男, 山东新泰人, 工程师

作者地址: 山东新泰市全斗路99号[271200]





硅烷交联是吸水后进行反应的,但是由于聚乙烯是典型的非极性材料,而水分子是典型的极性材料,所以它们之间的相容性极差,硅烷交联聚乙烯绝缘层中的含水量仅 0.01% ~ 0.02%,与干法交联聚乙烯中含水量没有多大差别。绝缘品质也和中低压干法交联电缆完全相同。

硅烷交联工艺最常用的方法有二步法和一步法两种。下面就二步法与一步法以及硅烷交联生产线与 CCV 悬链式交联生产线作一比较,见表 2、表 3。

表 2 二步法与一步法的比较

项 目	二步法	一步法
材料	由塑料厂提供的接枝料(A料)与含催化剂的B料在电缆厂按一定比例混合	液态硅烷由计量泵自动计量和输送到挤出系统与聚乙烯共混共熔
储存期/a	0.5	1~2
挤出机	普通挤出机	带液体硅烷注入装置
设备成本	低	高
螺杆长径比	24:1 或 25:1	30:1
螺杆压缩比	3~3.5	2.5~3
成型温度/℃	180~200	210~230
加料系统要求	一般	严格
制品冷却	分段温水冷却	分段温水冷却
操作工艺要求	容易	难
废品处理	容易	难
生产方式	间断或连续生产	连续生产

从以上比较中不难看出,二步法工艺投资少,成本低,可用一般挤出机加工,而且从国外的最新资料表明,随着挤出工艺、挤出模具的不断改进,以及较高等级硅烷交联料的研制,硅烷交联电缆的电压等级也在逐渐提高,可达到 35 kV。而在我国众多的硅烷交联电缆生产线中,能生产 10 kV 交联聚乙烯绝缘电缆的却很少,绝大部分只能生产 1 kV 低压等

表 3 硅烷交联生产线与 CCV 生产线的比较

项 目	硅烷交联生产线	CCV 生产线
设备投资	较小,约为 CCV 生产线的 1/3	巨大
生产线速度	较高,为 CCV 生产线的 2~3 倍	较低
生产成本	较低	较高,要消耗大量的水、电、气等
电缆废品率	较低	较高,需要 200 m 左右的引线
生产适应性	适合于大长度、短段电缆的生产,可以根据客户的需求灵活掌握	仅适合于大长度电缆的生产,而且需要大量的引线
基建投资	较低,一般厂房即可	很高,需要专门生产车间
设备维修成本	成本较低,约为 CCV 生产线的 1/3	成本很高

XLPE 电缆。据介绍,在欧洲生产 10 kV 硅烷交联生产线和 CCV 生产线的比例约为 1:10,而我国却远远低于这个水平。因此,在国内建立若干条 10 kV 硅烷交联生产线是势在必行。

### 3 技术经济性评价

根据我公司 XLPE 电缆的生产实际及生产设备的制造经验,认为二步法硅烷交联电缆的生产可以充分利用原有的生产设备,只需少量的投资即可进行硅烷交联电缆的生产,而不象其他化学交联和辐照交联那样需要昂贵的专用设备,生产企业可根据订货的需要生产 PVC 电缆或硅烷交联电缆,设备的通用性良好。从理论上讲,低压塑力缆的生产能力都可以通过设备的简单改进,转化为二步法硅烷交联电缆的生产能力。但由于生产厂家并没有认识到这种生产能力的转化,或并没有认识到硅烷交联电缆在今后实际生活中的广阔使用范围,因此,很多电缆厂用作生产二步法硅烷交联电缆的生产能力还微乎其微。

硅烷交联电缆发展的关键在于硅烷交联电缆料的生产。目前国内采用的硅烷交联电缆料有国产料和进口料。据 1998 年在兰州召开的电缆料行业会议上对硅烷绝缘料的需求进行预测,估计年需求硅烷绝缘料达 1.6 万 t。随着国际国内技术的不断开发,二步法温水交联料的价格也越来越低,进口料每吨价格在 2 万元以下,国产料每吨价格也不超过 1.5 万元。我公司曾对 1 kV PVC 及 XLPE 电缆绝缘成本作过统计,结果见表 4。

表4 1 kV PVC 与 XLPE 电缆绝缘成本的对比

导体截面/mm <sup>2</sup>		16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
PVC 绝缘	绝缘厚度/mm	1.0	1.2	1.2	1.4	1.4	1.6	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4
	PVC 用量/(kg/km)	28.6	40.6	46.1	63.6	74.7	98.1	108.5	137.2	169.2	211.8	257.9
	成本/(元/km)	200.2	284.2	322.7	445.2	522.9	686.7	759.5	960.4	1184.4	1482.6	1805.3
	平均成本/(元/km)	786.7										
XLPE 绝缘	绝缘厚度/mm	0.7	0.9	0.9	1.0	1.1	1.1	1.2	1.4	1.6	1.7	1.8
	XLPE 用量/(kg/km)	12.7	19.4	22.2	29.0	38.0	43.1	52.6	69.3	88.1	106.3	125.4
	成本/(元/km)	177.8	271.6	310.8	406	532	603.4	736.4	970.2	1233.4	1488.2	1755.3
	平均成本/(元/km)	771.4										

注:表中,PVC 绝缘料价格为 0.7 万元/t,密度为 1.38 g/cm<sup>3</sup>;XLPE 绝缘料价格为 1.5 万元/t,密度为 0.92 g/cm<sup>3</sup>,均按标准电缆结构进行设计计算。

从表 4 可以看出,在同一规格电缆中,由于 PVC 绝缘比 XLPE 绝缘厚,虽然 PVC 绝缘料价格远远低于 XLPE 绝缘料价格,但是总体上 PVC 和 XLPE 电缆绝缘的平均成本大体相同,而 XLPE 绝缘电缆的市场售价却要比 PVC 绝缘电缆高许多。硅烷交联聚乙烯料的商品化,加上较低的固定资产投资及较高的利润率,这些都将会促使众多电缆生产厂家蜂拥上马。

最近我国在吸收国内外先进技术的基础上与国内有关院所协同开发了 10 kV 硅烷交联电缆生产线,该生产线包括 3 台挤出机、1 个三层共挤机头和 2 台牵引装置等。分别挤制导体屏蔽、绝缘和绝缘屏蔽,这对于品种规格变化较多和电缆长度较短的批量生产而言,采用 10 kV 硅烷交联电缆生产线更为经济。

通过实际的生产运行,我公司所生产的产品从结构、机械物理性能、电气性能及外观上均符合国家

标准,已在国内多家知名企业中使用并获得一致的好评。

#### 4 结束语

二步法硅烷交联是集投资少、适应性强、工艺简便和经济效益好于一体的交联方法,不仅适用于低压电缆的生产,也适用于中压电缆的生产,并且生产速度、引线废品、能耗等方面都优于其他交联方法,尤其适合中小企业的产品开发。

#### 参考文献:

- [1] 余云龙 电线电缆专用设备十年回顾和展望[R]. 电线电缆网, 2000
- [2] 蒋佩南 电力电缆十年回顾与展望[R]. 电线电缆网, 2000
- [3] 蒋佩南 电力电缆的品种开发以及对电缆材料的要求[N]. 电线电缆报, 1998(增版).
- [4] 陈宝盛 交联电缆发展状况和硅烷交联的生产工艺[J]. 电线电缆, 1997(2): 17-22

(上接第 22 页)

$$\eta = 95/S_{\text{圆}}$$

当  $\eta$  与  $\eta$  相差在 1% 以内,模具设计正确。

也可采用实践证明可行的方法,即用称重法计算得出导体实际截面,验证是否接近标称截面。还可测量导体直流电阻验证是否符合 GB/T 3956-1997 标准规定。

#### 5 结束语

文中提到的 3 芯 4 芯 3+1 芯扇形,5 芯 4+1 芯瓦形,这些模具的设计步骤为与上述相似,即确定导体填充系数;计算模具面积;确定扇形或瓦形的角度;计算扇形或瓦形绝缘线芯的标称绝缘面积;计算成缆半径;计算模具(上下压模)的几何尺寸;验证模

具。由于这些导体的扇形或瓦形角度能直接确定,免去了象 3+2 结构的瓦形角度需重复计算的步骤,用本文介绍的方法能计算模具的几何尺寸。

本文介绍的方法看起来步骤比较复杂,但只要理解其原理,有些数据可作为常用的基础数据,计算起来也是比较快,而且较准确的。

#### 参考文献:

- [1] 电线电缆手册编写组 电线电缆手册第二册[M]. 北京:机械工业出版社, 1980
- [2] GB 12706-1991, 额定电压 35 kV 及以下铜芯、铝芯塑料绝缘电力电缆[S]
- [3] GB 12527-1990, 额定电压 1 kV 及以下架空绝缘电缆[S]
- [4] GB/T 3956-1997, 电缆的导体[S]