

辐照交联技术在电气装备用 电线电缆中的应用展望

严永昌

上海电缆研究所

1 概况

辐射交联电线电缆的是电气装备用电线电缆的主要品种，规格多，品种广，技术要求复杂。用电子加速器生产交联电线是电气装备用电线电缆生产中的重要手段，因此，电气装备用电线电缆市场与辐射交联工艺的发展有密切的关系。目前，大多数拥有加速器的电缆厂，用于本厂产品生产的利用率不到50%，其原因是对辐照交联电缆市场了解不够。一些大电缆厂往往注重于动力电缆的生产，对电气装备用电线电缆技术和市场一无所知，而且电缆的工艺装备上也存在不足，因此了解电气装备用电缆的特点和市场势必是我们所关心的。

2 电缆工业中电子辐照交联技术

2.1 高分子交联的几种方法

- 化学交联
- 硅烷交联
- 辐照交联
- 紫外光交联
- 微波交联

(1) 不管是哪一种交联方式，大分子之间都发生了化学变化——把线性的
大分子通过外界的能量形成互相连接的三维网状结构，称其高分子材料的交联。

(2) 高分子材料经过交联改性后一般都能提高材料的使用温度、机械强度、
耐磨性和耐各种溶剂的能力。

(3) 电缆工业中应用交联技术提高电缆的载流温度、电缆使用的环境温度、
提高电缆抗热变形的能力。提高耐烙铁焊接性。

(4) 高分子材料经过交联改性后具有记忆效应。

2.2 电子辐照交联电线工艺的优点

- 辐照交联是生产小线和薄壁绝缘的电线的最佳选择，这是化学交联无法取代的。
- 辐照交联电线质量好，电线生产中无焦烧、无气泡；交联均匀性佳，绝缘层不粘导体，容易剥离。

- 可以交联化学法无法做到的材料，如 PVC、氟塑料等。
- 电子交联速度快，能耗低。交联过程能量转换率高（50%以上），无污染。
- 品极低，电子束流与生产线速同步，交联均匀。
- 辐照交联生产成本低。
- 特别适合做小线。

2.3 辐照交联与化学交联生产费用的比较

比较如表 1。

表 1 辐照交联与化学交联生产费用的比较

项 目	辐 照 交 联		化学交联
产量 (KM/月)	10000	5000	3000
投资费用	2.0	1.4	1
总运行费用	3.0	1.9	1
能源费用)	(0.7)	(0.4)	(1)
单位长度总运行费	0.6	0.7	1
设备占地面积 m ²	740	540	1300

* 以化学交联费用为 1时进行比较。

**辐照交联参数为 500KiVolt

2.4 电线电缆用辐照源

- 用于电线电缆辐照交联的电子加速器主要有三种类型：

机构特征	代表产品
高频高压型	美国 RDI Dynamitron
变压器型	日本日新 EPS
高频脉冲型	俄罗斯西伯利亚原子能研究院

- 加速器的主要参数：

加速器的电压	决定电子束对材料的穿透深度
加速器束流	决定生产效率
扫描的宽度	决定辐照面积
加速管的寿命	影响加工成本

3 电线电缆行业的状况

3.1 电线电缆是国民经济中的重要支柱产业之一

2006 年全国电线电缆行业的总产值为 4060 亿元以上，占国民经济总产值 (209450 亿元) 2 %。

2007 年全国电线电缆行业的总产值约为 5000 亿以上。

电线电缆行业与国民经济的发展密切相关，它的增长速度比国民经济 GDP 的增长速度略高 2%为 12%左右。

2008 年全国 85 家电线电缆企业接受调查完成的工业总产值 1404.6 亿，与上年同期相比增长幅度为 10.7%（表 2）。

表 2 85家电线电缆企业产值情况

经济类型	数量	比例	产值（亿）
国有及国有控股	15	17.6	10.6
民营企业	50	58.8	100
三资企业	5	5.8	7.4
其他经济类型	15	17.6	21.8

全国电线电缆行业中有 7000 余家制造企业。

3.2 电线电缆行业原材料消耗情况

据统计 2006 年我国电线电缆行业主要原材料消耗情况：

材料名称	铜(万吨)	电工用铝(万吨)	光纤(万纤 KM)	电缆料(万吨)
电线电缆中耗量	354	107	1800	200
全国总消耗量	530	935		
占全国总消耗量的%	70	11		
世界中地位	居世界第一		占世界用量的 25%	

上述数据表明电线电缆行业是我国国民经济中的重要产业，影响很大。我国电线电缆的制造业在过去的几年间取得了惊人的生产能力，产量已连续超过了日本、美国，现居世界第一。

3.3 电线电缆的分类

电线电缆产品按其用途分成 5 大类（表 3）：

表 3 电线电缆产品分类

类别	我国的生产量 (价值量) %	美国的%
裸电线	18	10
绕组线	19	10
电气装备用电线电缆	22	49
电力电缆	31	13
通信电缆（包括光缆）	10	18

表中数据表明：

(1) 现阶段我国电线电缆的产品比较落后，技术含量低的产品比重过大，技术含量高产品比重过小。

(2) 低水平重复建设项目多，电线电缆行业对产品结构的调整重视不够。

(3) 产品结构矛盾突出，高水平产品不能满足市场需求。

引起高端产品缺乏的原因:

- (1) 生产技术和设备落后, 缺乏必要技术和人才。
- (2) 没有生产高端产品所必须原材料。
- (3) 产品不能得到国际相关机构的认可。

目前的市场需求趋向: 主要为电力、通信、铁路、航天航空、轨道城市交通、船舶、汽车、石油化工、建筑、家电等领域的电线电缆。

3.4 电气装备用电线电缆的特点

- 电气装备用电线电缆使用环境复杂, 性能要求千变万化, 品种繁多。
- 电气装备用电线电缆使用材料比较复杂, 根据电缆的不同要求选用合适材料, 有市售的, 有自己研究开发的。
 - 绝缘材料以交联型为主, 交联产品约占 70%。
 - 电气装备用电线电缆需要得到相关国内外标准的认可。电缆的综合性能要求高。
 - 交联型电气装备用电线电缆的生产大多采用电子辐射交联工艺。
 - 电子辐射交联电线电缆是电气装备用电线电缆的重要产品。

4 电气装备用电线电缆的市场动态

电气装备用电线电缆是专为各类电器和电气设备配套的产品, 在整个电气装备中所占的比例不大, 但所起的作用却至关重要。由于电气装备涉及国民经济的各个领域, 其范围之广, 数量之多是惊人的, 它占电线电缆市场总需求的 40—50% (销量价值), 所以是绝对不能忽视的市场。国内的大多数电缆制造企业只习惯生产普通的常规电缆, 对特种电线电缆需求及生产该类电缆的技术了解甚少。有很多工厂即使接到了订单也无从下手, 其原因是不言而喻的。

电气装备用电线电缆主要的品种有以下几方面:

- 船用电缆
- 机车车辆用电缆
- 航天航空用电缆
- 城市轨道交通用电缆
- 核电站用电缆
- 汽车电线电缆
- 智能化大楼宽频带、局域网电缆
- 石油工业用电缆
- 高阻燃低烟无卤电缆
- 电厂、冶金、化工等用的特种电缆
- 风力和太阳能发电用电缆
- 火灾报警系统电缆
- 医疗器械用电缆
- 家用电器和办公器械系统电缆

- 文广传媒系统用电缆
- 电视、电影、摄像系统和配套设备用电缆
- 移动通信

当然上面这些电缆是广义的，其实每一个领域中还有许多不同要求的产品，技术的信息量是很大的。

电气装备用电缆与普通电线电缆不同的原因是因为不同电器装备对电缆要求是完全不同的，例如：

表 4 几种电气装备用电缆性能要求

类型	性能要求	选用材料
航空航天用电线电缆	耐高温 200—250℃ 化学惰性、耐航空煤油和机油 机械强度高、耐磨 电性能好、绝缘强度高	氟塑料
城市轨道交通用电缆	耐温 125℃ 绿色环保、高阻燃、发生火灾燃烧时低烟、低酸气	辐照交联低烟无卤阻燃聚烯烃
汽车用电线	耐温 105℃ 绿色环保、高阻燃、不含重金属满足 RoHS指令、高强度、薄壁和高速挤出	无铅 PVC

同样，对于同一领域中的所使用的电缆也是品种繁多的。如石油工业中用电缆，典型电缆品种有：

- 油井测井电缆
- 油井加热电缆
- 潜油泵电缆
- 恒功率加热电缆
- 自控温加热电缆
- 射孔电缆
- 超声波采油电缆

这些电缆由于使用的特性不一样，在制造中所选择的材料和生产工艺是完全不同的。其中的高端产品目前国内还无法生产。

4.1 石油工业用电缆

我国的石油工业发展突飞猛进，石油工业用的特种电缆持续走俏。目前

(1) 射孔电缆广受市场关注，它是一种安全、高速的射孔方法，已在全国各大油田推广应用。

(2) 加热电缆的使用方兴未艾，加热电缆的市场容量很大需求量可观。

加热电缆主要用于含蜡量高油井。有些地区的油井含蜡量高，会堵住油管，必须对其加热，才能取得出油的好效果。目前，在高粘度的油井中，为了改善油的流动性而大量使用加热电缆。电缆温度等级由 90℃ 发展到 120—130℃。

(3) 自控温加热电缆，是石油输送管道用的加热电缆。目前高端产品国内还不能生产。

(4) 超声波采油电缆市场前景广阔

石油工业采油工艺主要是处理油、气、水的流动和地层地关系，老的工艺采用加热和化学方法进行处理，其缺点是投资大，工艺复杂，效率低。而超声波比电磁波有更大的穿透性、容易进入电磁波无法穿透的油、水和地层等物质。声波会明显影响液体的物态，改善井底的流通条件和渗透性，从而增加油井的产量。

(5) 海上石油勘探平台用电缆

我国的海岸线很长，沿海大陆架储藏丰富的石油，因此需要建设大量的石油勘探和开采平台，会需要各种要求的配套电缆。

油井用的电缆大部分属于短期使用产品，主要考虑因素是地温梯度、井底压力和井中介质等。石油工业用特种电缆具有三大特点：

- 使用条件苛刻，损坏量大，更换周期短。
- 使用环境高温、高压，甚至还有 H_2S 存在的环境。
- 在油田勘探、开采和输送的各个时期都要大量使用。

因此此类的电缆需用量很大，市场前景很好。

4.2 钢铁工业用电缆

钢铁工业中，高温区域多，阻燃要求高，氟塑料作为电缆的绝缘和护套材料的首选，电缆品种主要有：

- 氟塑料绝缘电力电缆
- 氟塑料绝缘控制电缆
- 计算机控制电缆
- 热电偶补偿电缆

由于这类电缆在钢铁厂里是属于消耗品，经常需要更换。一个有一定规模的钢铁厂，一次定货上千万或几千万的合同是常有的。

耐高温和高阻燃同时兼顾的材料是氟塑料的最大特点。

4.3 航天航空工业用电缆

航天航空事业的发展使航空导线的用量急剧增加：

(1) 飞机的大型化和航空电子工程的发展（表 5）

表 5 大型客机电线用量情况

年代	飞机型号	线缆长度 km
1948	子爵号	30.6
1963	波音 727	80
1969	波音 747	250
1969	协和号	240
目前	空客 A380	1500

从上述数据表明,随着飞机的大型化和航空电子工程的发展,大型客机的电线用量大幅度上升。

(2)我国的航空航天工业目前正值发展的大好时机,飞机制造业中,战斗机从60年代的歼6到如今的歼10和轻型战斗“枭龙”号,无论从性能上和数量上都有了很大的飞跃。大型民航客机的制造已落户上海,民航客机的国内外市场需求很大,无疑对航空电线电缆的市场带来更大的机遇。

(3)在航天领域,我国的卫星已经批量化生产,市场从国内走到国外。

所有这一切都促使我国的航空领域里高科技电线电缆生产的快速发展。

4.4 船用电缆

船用电缆是船舶电气设备的配套部件,其性能要求高,项目多,制造高端产品的难度大。主要品种:

- 船用电力电缆
- 船用控制电缆
- 船用通信电缆和射频电缆
- 船用一般仪表、控制和通信电缆
- 船用控制回路用多芯电缆

船用电缆是一个老产品,我国已有几十年的发展历史,具备船用电缆制造能力的企业也有几十家。我国造船总吨位已进入世界第二位,但是我国船用电缆进口局面仍然相当严重,使国内船用电缆制造企业陷入困境。耐克森正在以先进的生产技术,稳定的产品质量和优质的服务,在中国高附加值船用电缆市场处于领导地位,占有中国船用电缆市场的50%以上。我国电缆行业已经在制造高端船用电缆领域里做出了努力,也取得了许多成果,但要使船用电缆国产化还需要船用电缆制造商不断努力,制造出高质量的产品以满足船用的需要,材料和工艺是关键。

4.5 公路车辆用低压电线电缆

公路车辆用低压电线电缆也是目前电器装备电缆的一个主要产品,一辆中档轿车的平均用线量为1500m,而一辆高级轿车的平均用线量为2500m,我国有将近30多条高级轿车生产线,如果每条生产线的年产量为20万辆,每年可生产600多万辆,实际上,2006年中国汽车全年产销已突破700万辆。中国已超过德国成为世界第三大汽车生产国。2007年汽车销售总量已接近800万辆。可以推算2007年所需的电线为1000万Km。

目前汽车电线绝缘材料仍以聚氯乙烯为主,但交联聚烯烃、硅橡胶、乙丙橡胶和氟塑料等绝缘的电线的数量已不少。随着高级轿车的发展,对电线要求越来越高,要求重量轻,体积小,薄壁绝缘,阻燃好,耐磨性好,耐油,温度等级达到125—150℃等,所以新型绝缘材料应用会日益扩大,电线的需求量会更多。

我国的汽车电线的生产,从国内现有技术水平来看,已经完全有能力全部国产化。当然存在的问题也是很多的,需要各方面的努力。

4.6 核电站用电缆

核电工业的大发展为核电站用电缆生产和技术发展带来机遇

我国的核电站建设预计到2020年以前，将新建30座左右的百万千瓦级的核电机组，也就是说，从2004年起的16年中新增核发电装机容量将达到3000万千瓦左右，据有关的经济专家预测，如此大规模的核电工程建设的投资至少在400亿美金以上。根据中国核工业集团公司的要求，新建核电站的平均国产化率应在60%以上，相当于240亿美金。虽然核电站建设中所需的电线电缆占整个核电站建设的总投资的比例不会很高，估计在5%左右，数据还是可观的。有人作过统计，平均每新建100万千瓦核电站将带来1亿元人民币产值的核电站用电线电缆产品的需求。

核电站电缆的制造主要的难点是什么？核电站电缆主要分布在核岛、常规岛和BOP部分，用于电力传输、控制、计算机、仪表等。从用途来说，它和火力发电厂相同，但两者的差别是使用环境不一样，因此对材料和试验项目有很大的差别，核电站电缆必须考虑到核辐射对电缆材料寿命的影响，对阻燃、低烟、无卤、低毒等都有严格的要求。核电站用电线电缆主要的发展在于使用性能更高和安全性更可靠的材料，满足核电站用电缆50年的寿命要求。

所以我国目前只能生产核岛外区域用电缆，要达到1E级和K1类的电缆国内还无法生产，仍有法国的耐克森公司生产。耐克森在中国的核电站用电缆占有80%—90%的份额。

从上面的讨论可以得出如下的结论：

- (1) 电气装备用电缆是电缆中量大面广的产品，应用到国民经济中各个领域，也与人们的生活息息相关。
- (2) 由于各类电气装备用电缆的使用特性不同，电缆的结构和使用的材料是完全不同的。
- (3) 电气装备用电线电缆对材料要求是非常严肃的，材料的范围广，很大一部分材料还没有市场化，而电缆的生产工艺也是生产这种电缆的关键。
- (4) 到目前为止，仍然有一定数量的产品靠进口。

5 辐照交联电气装备用电线电缆的材料

电气装备用电线电缆的使用领域十分广泛，使用特性要求千差万别。所以这类电缆所需的材料是一个品种繁多、技术含量高的领域，也是辐照交联特种电缆市场竞争的关键。目前市场上的辐照交联电缆料都是通用型的材料，大多数并不适合于电气装备用电线电缆的要求，特种材料的研究和开发仅靠电缆材料厂的努力是远远不够的，作为电缆材料厂他不能了解各种电缆的需求和材料的要求，甚至无法沟通。这就是我国的电缆行业中，特种电缆的生产与国外相比有较大的差距重要原因。

那么如何选择材料，当然是根据电缆使用要求来考虑，使电缆的性能要求能得到综合平衡：

- 电缆工程实际需要，完全符合标准和附加补充要求；
- 电缆制造工艺可能性；

- 技术特性综合考虑
- 必要的使用寿命
- 环境对电缆的影响(包括整个生命周期)
- 成本

在电线电缆行业中所用原材料很广，归纳起来大致有以下几方面：

- PVC
- 聚烯烃
- 氟塑料
- EPDM
- CPE
- 氯丁橡胶

聚烯烃是一个广义名字，它的出现为电缆材料增加了丰富的内容和品种。

辐照交联技术是提高电缆特性的重量级武器，它为电气装备用电线电缆使用提高到一个新的水平。

6 今后的任务

(1) 辐射交联作为一种交联工艺在电气装备用电缆的制造中是不可缺少的，许多产品是唯一的选择。如何更好发挥电子加速器的优势和利用率是我们今后的重要任务。

(2) 拥有高能电子加速器的电线电缆生产厂商，应该注重电子辐射交联电线的开发，使这种交联工艺在特种电缆制造中发挥更大的作用。

(3) 电缆材料的开发使用，必须坚持绿色环保、循环经济与安全理念的原则，生态又环保的电缆材料是当今电缆材料创新主题，它会引导绿色电缆的健康发展。

(4) 电线电缆制造、电缆料的生产 and 基础原材料的开发应紧密联合起来，使国内电线电缆行业不断地增强企业的自主创新和自主研发能力，为电器装备电线电缆的发展做出贡献。