

电线电缆绝缘层的辐射交联

周 才 辉

一、前言

电线电缆绝缘层通过交联能改善其物理化学性能。仅十年来,聚乙烯绝缘材料的硫化(交联)已取得了重大进展。

日本前几年电线电缆生产情况(如表1所示),就铜和铝导线的重量而言,总产量达到一百万吨。表内列示的任一种有机绝缘材料的电线电缆,除裸铜电线和裸铜电缆之外,都能接受辐射交联。该表中的电力电缆,70%以上都是如表2所示的交联聚乙烯绝缘电缆(XLPE电缆)。目前,日本约有十二家电缆厂本身拥有生产电线电缆的辐照设备,而且大多数辐照设备都是进行大批量生产。美国的情况与日本差不多。至于其它国家,因为市场的需求不同,故境况可能有差异。不过,许多国家都已普遍认识到,辐射交联目前不止是一个化学或物理的研究开发问题,而是在用于特定产品时从经济的角度来研讨的问题了。

采用辐射加工电线电缆可分为两类:(1)电器、电子器件和设备布线所用薄绝缘电线;(2)较厚的绝缘且横截面积大的电力电缆。日本Furakawa电气公司约十年前将化学交联法变换成辐射加工。自此以来一直在制造薄壁电线⁽¹⁾。几年前,该公司又安装了一台备有高压电子加速器辐照装置的设备。他们已利用这套装置生产高压电力电缆。美国特种文献⁽²⁾表明,利用辐射交联电缆等级至少能达到35kV,可能到达69kV。只要能量足够,配方合宜,就能生产出高质量的电线电缆。

二、电子器件和设备的耐热电线

1. 电子器件和设备用线的选择

辐射加工在制造电子器件和设备用线方

面的应用,对于用户来说所需考虑的因素,与交联结果相关的最重要的因素就是耐热性,它分为1)长期耐热性,即长期使用温度的上限,和2)短期耐热性,即耐焊接热和承受过载电流的能力。Furakawa的许多电子器件和设备用线,以辐射交联的产品(“Beam-ex™”)为实例,它们的性能都能比得上其它橡胶绝缘的和化学交联塑料绝缘的电线。

对于各种电线的长期耐热性,辐射交联产品填补了在105~150℃温度范围内应用的空白,价格大大低于氟烃的和硅铜的电线。

与交联结果相关的另一个重要因素是机械强度。由辐射交联可以获得优等的机械性能。

其它有些性能也与上述一样重要,而且辐射交联胜过化学交联:1)剥皮性能优良,与导线连接时,薄绝缘的电线容易剥皮,化学交联使得导线和绝缘层彼此牢固地粘附在一起并会妨碍其机械剥皮,而用辐射交联就不这样。2)电性能优良,辐射法在避免绝缘层产生针孔方面极佳。

2. 薄壁绝缘材料的辐射交联

用化学交联生产薄壁聚乙烯电线,因聚乙烯和有机过氧化物混合物的低温挤出(这对电力电缆已是流行的方法)有许多严重的问题而难以提高生产速度,这或许是由于灼焦或熔断所致,所以只好采纳了特殊的二步法,以便在第一步聚乙烯挤出之后用有机过氧化物来浸渍薄壁绝缘层。即使采用挤出一—浸渍二步法,化学交联法与辐射法相比有其本身的技术问题,例如加工可能性差,质量稳定性低而且聚氯乙烯几乎不可能化学交联。辐射交联的特征归纳如下:1)能提高生产流水线的速度。由于不用化学交联剂,故能高速复盖(挤出),因使用低能大功率加

速器，可达到迅速固化；2)交联的均匀性极佳：通过选择合宜的机器，采纳最佳的电线供料设计就可实现均匀的交联；3)聚氯乙烯、阻燃性聚乙烯以及各种变性的聚乙烯都能交联。这类绝缘体系的辐射交联已取得了重大进展。

三、高压电力电缆

1. 电力电缆的交联

高压电力电缆绝缘层的交联有蒸汽硫化法，干硫化法和辐射交联法。蒸汽硫化生产电力电缆的大难题是水在高的蒸汽压下（一般约20kg/cm²）渗入聚乙烯层，造成许多“微隙”，在电缆使用时，它会引起树状的局部放

电故障。虽然这种现象很复杂，但这些“树”会生长并使得电缆的绝缘强度下降。从能量损耗的观点来看，蒸汽硫化的缺点：1)欲得高温，蒸汽压力必需高；2)电缆外部导热效率低；3)大量能量为电缆的导线所耗，以致热效低而交联反应的时间长；4)需要大容量的蒸汽锅炉和高大宽畅的建筑以供连续硫化管道所用。对于大尺寸导线和/或厚绝缘材料这些短处就变得明显了。例如采用横截面积100mm²的铜质导线电缆，聚乙烯于200℃挤出在导线上，完成其交联反应所需的能量估算如下：

600V电力电缆	约3千卡/米(电缆)
3.3kV电力电缆	约5千卡/米(电缆)
6.6kV电力电缆	约7千卡/米(电缆)

表1 日本电线电缆的产量

	财政年度	产 量	
		铜或铝的吨数(1000M/T)	产值(百万日元)
裸露的铜电线和电缆	1977	132	59449
	1978	131(铜)	52438
	1979	131	77223
磁铁绕组电线	1977	153	103421
	1978	174(铜)	108141
	1979	192	145155
通讯电缆	1977	145	201562
	1978	142(铜)	188607
	1979	112	170325
电力电缆	1977	106	98381
	1978	127(铜)	107897
	1979	150	138443
其它绝缘电线	1977	290	313228
	1978	332(铜)	350882
	1979	348	436261
铝电线电缆	1977	137	89636
	1978	140(铝)	89338
	1979	127	79315
总 计	1977	Cu826/Al 137	865677
	1978	Cu906/Al 140	897303
	1979	Cu933/Al 127	1046722

目前, 电缆制造厂已在开发干硫化法和辐射交联法, 这是供颇高和超高压电缆选择的硫化法。干硫化法是在氮气压中进行的。虽然干硫化法比电子束辐射交联投资要省2.6倍左右(如表4所示), 但干硫化法的生产能力比辐射法要低得多, 成本要比辐射法高一倍左右。同时还需要很长的悬链线。假如一年能保持4800小时运行, 干硫化法生产电缆约3500km/年, 大约需要 2×10^6 kg/年左右的绝缘材料。

辐射交联比化学法交联电缆具有更好的防腐蚀和防污染的能力, 因为前者是在室温下进行, 在工厂也不需要燃烧石油。从另一个角度来看, 虽然辐射交联一次性投资大(如表4所示), 但它的生产能力比干法要大得多,

假如它的情况等于干硫化法的情况, 辐照电缆约12000km/年, 大约需要 7×10^6 kg/年绝缘材料, 生产能力是有很大的差别。另外, 辐射法的生产成本要比干硫化法低一倍左右。辐射交联生产中等电压的电力电缆、绝缘层厚度与电压等级以及加速器能量之间的关系见图(略)。

2. 电力电缆的性能

电力电缆最大的允许电流取决于绝缘材料抵抗导线温升的长期耐热性, 表3中列了各种不同的最高许可温度。正常情况下, 最高许可的导线温度对非交联的聚乙烯电缆而言为75℃, 在同种聚合物分子内引入交联, 该温度可升到90℃, 当然, 设计电缆线、选择导线的尺寸方面, 由交联来提高许可温度,

表2 日本XLPE电力电缆的产量

财政年度	1977		1978		1979	
	100M/T	百万日元	1000M/T	百万日元	1000M/T	百万日元
低压XLPE电缆(600V)	45	32652	56	36905	69	51622
高压XLPE电缆($\geq 3kV$)	39	37045	46	42033	55	54163
总计	84	69697	102	78938	124	105785

表3 绝缘材料的长期耐热性和短期耐热性, 以及有关可允许短路电流的计算

绝缘材料	电缆类型	T_1 (℃)	T_2 (℃)	计算允许电流: I(安培)
聚乙烯	EV, EE	75	140	1) 在正常条件下(无空气) $I = n_0 \sqrt{\frac{1}{nr} \left(\frac{T_1 - T}{R_{th}} \right)}$ n_0 : 导线数 r : T_1 (Ω/cm)时的电阻 R_{th} : 热导的总阻抗(℃cm/w)
交联聚乙烯	CV, CE	90	230	
聚氯乙烯	VV, VE	60	120	2) 短路时(对铜导线) $I = 98 \frac{A}{\sqrt{t}}, \text{ 对于EV, EE}$ $I = 134 \frac{A}{\sqrt{t}}, \text{ 对于CV, CE}$ A : 导线的横截面积(mm ²) t : 短路持续时间(秒)
丁基橡胶	BN, BV	80	230	
天然橡胶	RN	60	150	
乙基-丙基橡胶	PN, PV	80	230	

T_1 : 绝缘材料长期耐热性等于短路前导线温度。

T_2 : 绝缘材料短期耐热性等于短路时的最高许可温度。

于电缆线的可靠性、经济都是有利的。

电力电缆遇到短路事故时，温度迅速上升到电路的保护装置开始工作为止。虽然这时间可能很短，但如果绝缘层在重力和应力之下变形厉害的话，电缆就会变得不能用了。绝缘材料的短期耐热性如表3所示。非交联聚乙烯电缆，短路时其最高容许温度为140℃，而引入交联它可提高到230℃。

四、结 论

通过几种方法的比较和用户的要求，辐

表4 电力电缆电子束辐照与干硫化法的比较

项 目	电子束辐照	干硫化法
运行速度，米/分	43.3	12
平均速度，km/小时	2.08	0.576
平均速度，kg/小时	1174	327
投资	\$ 4.5 × 10 ⁶	\$ 1.75 × 10 ⁶
平均成本/km	\$ 88.71	\$ 161.71
平均成本/kg	\$ 0.16	\$ 0.283

注：(1)电子束辐照成本包括电缆的挤出；
 (2)240mm²Cu，15-20kV电压等级；
 电子束辐照——两台3MeV，50mA电子加速器；
 干硫化法——150米长的悬链线，150mm绝缘挤压机。

射交联电线电缆绝缘材料技术上是可行的。耐热的电子器件和设备用线，辐射应用将会不断增加，对于电力电缆电压等级至少能达到35kV，可能到达69kV。只要能量足够，配方合宜，辐射交联就能生产出高质量的绝缘电线电缆。如果生产设备能使电子束体系不断地运转，即使开始投资高些，但经济效益将十分显著。

参考文献

- (1) E. Sasto, 1st International Meeting on Radiation Processing, Puerto Rico(1976)
- (2) "Specifications for Ethylene Propylene Rubber Insulated Power Cable Rated 5 through 69kV", 3rd Edition, Association of Electric Illuminating Companies Document No, 6-79 (1979)
- (3) An Efficient Irradiation Method for Wires and Cables. Radiat. Phys. Chem. 1983, V.22 (3-5) P363-368
- (4) E. Oda, Wire and Cable, Radiat. Phys. Chem. 1981, V.18 (1-2)
- (5) Electro Beam Processing of Power Cable Insulation. Radiat. Phys. Chem. 1981, V. 18 (5-6)
- (6) Present status of Radiation Processing in Japan. Brazil Symposium on Science and Technology V.4 (1981)