

# 辐照交联聚乙烯绝缘电力电缆的性能

滕人瑞 周才辉 周智明 刘振灏 罗超华  
孙秀华 杨庚成 贾少晋 颌秉鹏 张叔鸣 孙 炜

(中国科学院近代物理研究所, 兰州 730000)

梁天强 黄汉卿 王 卓

(天水铁路电缆厂, 天水 741000)

**摘要** 研究了聚乙烯绝缘材料的辐射交联加工工艺。该材料可应用于电力电缆。它的各项性能均达到 IEC—502(1983)标准的要求。

**关键词** 辐照交联, 聚乙烯, 性能, 电力电缆

辐射交联技术始于本世纪40年代, 50年代初由于辐照源出现, A. Charlesby 和 Arno Brasch 用电子束辐照聚乙烯材料, 使其交联获得成功, 并首次用于电线电缆。60年代大功率电子加速器的出现使辐射交联电线电缆技术得以迅速发展。现在世界上用于辐射加工的600台电子加速器中有1/3用于线缆行业。我国在辐射交联电线电缆方面起步较晚。由于辐照交联产品具有低能耗、易控制、无污染、设备占地面积小、材料损失少、性能优良等特点, 更适合中低压薄壁线缆交联, 因而近几年引起人们广泛地注意。天水铁路电缆厂从苏联引进 ELV-8 绝缘芯变压器型电子加速器用于生产辐射交联聚乙烯绝缘电力电缆和架空线。除了硬件生产线的开发以外, 软件配方研制工作十分重要, 若从国外引进一种配方需耗资50~100万美元。中科院近代物理所研制和开发了辐射交联聚乙烯电力电缆材料配方, 经国内权威单位检测, 各项性能达到 IEC-502(1983)标准, 通过了部级鉴定, 并申报国家发明专利, 目前生产已超过600 km 辐照交联聚乙烯绝缘电力电缆。常规聚氯乙烯全塑电力电缆, 存在介质损耗高、载流量低、工作温度低、耐环境开裂差等缺点。若用辐照交联聚乙烯代替, 即可克服上述缺点, 并使其耐温等级从70℃提高到105℃, 且改善耐老化性能, 而不破坏聚乙烯本身良好的电绝缘性能。

## 1 试 验

### 1.1 仪器设备和原材料

1.1.1 仪器设备 XSM 1/20-80 橡塑试验密炼机; SK-160 B 双辊筒炼塑机; 25吨平板硫化机; JL-200 B 切粒机; XG-C<sub>3</sub> 型热老化试验箱; XL-50 A 拉力试验机; CDR-1 差热分析仪; XRZ 400 熔融指数测试仪; ZC 36 型  $10^{17}\Omega$  超高电阻测试仪等。

1.1.2 原料 聚乙烯树脂和各种添加剂, 从国内有关化工厂购得。

### 1.2 试验条件

1.2.1 密炼、开炼、压片工艺 密炼温度  $135 \pm 3^\circ\text{C}$ , 螺杆转速 30~50 r/min, 混炼 10 min。开

收稿日期: 初稿 1995-04-12, 修改稿 1995-06-19

炼前辊温度为 100℃, 后辊 90℃, 2~3 min 后出片。压片的电加热平板硫化机温度 135±3℃, 预热 10 min, 在 30~50 kg/cm<sup>2</sup> 压力下热压 5 min 后, 冷压 3 min。

1.2.2 挤塑工艺 天水铁路电缆厂 φ120 挤出机, 挤管式模具, 挤出机温度 140~180℃ 在各段的分布如下:

机 身					机 脖	机 头			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
140	142	150	160	170	175	175	178	180	

走线速度 18 m/min, 螺杆转速 15 r/min。

### 1.3 试片辐照

辐照用四川大学 720 研究所国产电子加速器, 能量 1.5 MeV, 束流强度 50 μA。用上海计量研究所提供的薄膜剂量片进行测定剂量, 性能测试方法按 IEC-540(1983)。

电缆辐照用天水铁路电缆厂苏联 ELV-8 型电子加速器, 能量 2 MeV, 束流强度 20 mA。采用“变形 8 字”双向辐照方法辐照。测量热延伸决定走线速度。

## 2 结果和讨论

测量方法按 IEC-540, 测量标准按 IEC-502(1983), 对配方材料的试片和用此材料挤包成的电缆性能测量结果如表 1 所示。机械电子工业部电线电缆检测中心测量电缆性能的结果见表 2。

Tab 1. Results of properties of formulation material specimen and wire extruded with the same material

Items	IEC-502 standard	Specimen	Wire
1 Tensile strength/N mm <sup>-2</sup>	≥12.5	18.6	14.8
2 Elongation at break/%	≥200	430	342
3 After aging (150℃×168 h)			
Tensile strength/N mm <sup>-2</sup>		17.9	15.3
Elongation at break/%		396	332
Variation of tensile strength/%	-25~+25	-3.8	+3.4
Variation of elongation at break/%	-25~+25	-7.9	-2.9
4 Hot set test (200℃ for 15 min)			
Elongation under load of 20 N/cm <sup>-2</sup> /%	≤175	87	52
Permanent elongation after			
5 min cooling/%	≤15	0	0
5 Shrinkable test/%	≤4	1	1
6 Water absorption test/mg cm <sup>-2</sup>	≤1	0.11	0.17
7 3 U <sub>0</sub> voltage endurance for 4 h	no breakdown	pass	pass

从两方面评定耐温性能: 热老化法。因 IEC 标准中没规定耐温 105℃ 材料的老化温度, 但规定耐温 90℃ 材料在 135℃ 老化 168 h, 比等级温度提高 45℃。那么耐温 105℃, 必须在 105℃ 老化箱中老化 168 h。对两种配方的试片配方做了评定, 结果如表 3。

耐温曲线法。按 IEC-216-3(1980) 高分子材料老化符合 Arrhenius 定律, 即材料性质恶化所需时间的对数与老化温度成反比。可用增加温度加速材料老化的方法, 作时间对数对温度曲线, 然后外推到 2×10<sup>4</sup>h, 对应的温度, 即是此种高分子材料的耐温等级。以 2-100 配方为测试样品,

**Tab 2. Experimental report for insulation of NWR-1 0.6/1 kV cable determined by Test Center of Electric Wire and Cable Product, Ministry of Machinery and Electronics Industry according to IEC-502 standard**

Items	Test demands	Test value
1 Shrinkable test/%	$\leq 4$	1
2 Water absorption test/mg cm <sup>-2</sup>	$\leq 1$	0.17
3 Hot set test		
Deformation under load/%	$\leq 175$	20
Deformation after cooling/%	$\leq 15$	5
4 Tensile strength/N mm <sup>-2</sup>	$\geq 12.5$	12.7
5 Elongation at break/%	$\geq 200$	320
6 After aging of 150°C × 168 h		
Tensile strength/N mm <sup>-2</sup>		13.8
Elongation at break/%		330
Variation of tensile strength/%	- 25 ~ + 25	+ 8.7
Variation of elongation at break/%	- 25 ~ + 25	+ 3.1
7 3 U <sub>0</sub> voltage endurance for 4 h	no breakdown	pass
8 Volume resistivity at 20°C/Ω·cm		2.22 × 10 <sup>16</sup>
9 Resistance constant at 20°C/MΩ·km		8.15 × 10 <sup>4</sup>
10 Volume resistivity at 90°C/Ω·cm	$\geq 10^{12}$	5.16 × 10 <sup>14</sup>
11 Resistance constant at 90°C/MΩ·km	$\geq 3.67$	1.89 × 10 <sup>3</sup>

note, IEC-502 standard demands aging temperature of 135°C, test above aging of 150°C

**Tab 3. Specimen of "2-100" and "2-1500" formulation material aging test of 150°C × 168 h**

Items	IEC-502 standard	"2-100" specimen	"2-1500" specimen
<b>Before aging</b>			
Tensile strength/N mm <sup>-2</sup>	$\geq 12.5$	16.2	16.0
Elongation at break/%	$\geq 200$	362	328
<b>After aging</b>			
Tensile strength/N mm <sup>-2</sup>		17.8	19.0
Variation of tensile strength/%	- 25 ~ + 25	+ 9.9	+ 18.8
Elongation at break/%		365	397
Variation of elongation at break/%	- 25 ~ + 25	+ 0.8	+ 21.0

老化温度为 150°C、170°C 和 190°C, 先作不同老化温度下抗张强度或断裂伸长率随时间变化的曲线, 然后作性质恶化所需时间随温度变化曲线  $\lg t-T$  图 (如图 1),  $2 \times 10^4$  h 外推温度为 116°C, 按耐温等级 105°C 使用还有较大余量。

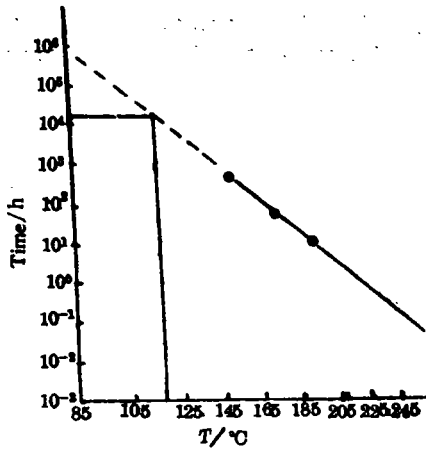


Fig 1. Thermal endurance curve of "2-100" specimen

### 3 结 论

(1) 配方所用树脂和各种添加剂均为国产,可大大降低原材料成本。价格只相当进口电缆母料的一半。

(2) 按 IEC-502 (1983) 标准要求,共 11 项指标全部达到要求。其中热延伸和热老化性能(150°C × 168 h)也符合标准要求。体积电阻率超过标准二个数量级。

(3) 已按本文工艺生产了几百千米辐照交联聚乙烯绝缘电力电缆。各项性能指标均达到国际电工委员会规定的标准。

### 参 考 文 献

- 1 Waldron R W et al. Radiat. Phys. Chem., 1985, 25(4~6): 843
- 2 Bly J H et al. Radiat. Phys. Chem., 1981, 18 (5~6): 1331
- 3 Studer H R et al. Radiat. Phys. Chem., 1979, 14: 809
- 4 Abramyar E A et al. Radiat. Phys. Chem., 1979, 14: 911
- 5 Sasaki T et al. Radiat. Phys. Chem., 1981, 18(5~6): 847
- 6 Kammel G et al. Radiat. Phys. Chem., 1981, 18 (5~6): 1217
- 7 International Electrotechnical Commission, IEC-502, 1983
- 8 International Electrotechnical Commission, IEC-540, 1982
- 9 International Electrotechnical Commission, IEC-216-3, 1980
- 10 Teng Renrui et al. Proceedings of 5th China-Japan Bilateral Symposium on Radiation Chemistry, Oct. 14-18, 1991, Beijing
- 11 Teng Renrui et al. Institute of Modern Physics, Annual Report, p 97, 1990

## PROPERTIES OF RADIATION CROSSLINKED POLYETHYLENE FOR POWER CABLE INSULATION

Teng Renrui    Zhou Caihui    Zhou Zhiming    Liu Zhenhao    Luo Chaohua  
 Shun Xiuhua    Yang Gengcheng    Jia Shaojin    Xie Bingpeng  
 Zhang Shuming    Sun Wei

(Institute of Modern Physics, Academia Sinica, Lanzhou 730000)

Liang Tianqiang    Huang Hanqing    Wang Zhuo  
 (Tianshui Railway Cable Works, Tianshui 741000)

**ABSTRACT** Radiation processing technology of crosslinking polyethylene of insulation material has been investigated. This material can be used for power cable insulation. The properties of this cable comply with the requirements of IEC-502 (1983).

**KEYWORDS** Radiation crosslinking, Polyethylene, Property, Power cable