

有机硅橡胶在电力电缆附件上的应用

柯德刚 永锦电力器材有限公司 浙江台州 318050

近十年来我国电力工业一直呈现大幅度增长的态势。2001 年全国投产发电装机容量为 1713kW，全国发电装机容量达到 33800 万 kW，发电量完成 14780 亿 kWh，比 2000 年又增长 8%，保持世界第二的地位。而输电系统，城乡电网建设相对滞后。

随着我国历史性的加入 WTO，伴随着国民生活质量的提高，世界加工制造中心逐步向我国转移，对电能的需求也越来越大，对供电可靠率的要求越来越高。为提高供电可靠率，国家近三年来投入了大量资金用于城乡电网的建设与改造。仅 2001 年电网改造投资达 1033 亿，电网建设投资达 1070 亿元。城乡电网改造的过程也是一个电缆普及的过程，是一个用地下电力电缆输配电网代替蜘蛛网状架空配电网的过程。由表一可看出近年来，我国电力电缆应用正成倍增长。

表一 我国电力电缆应用统计表（2000 年）

	35kV 及以下	110kV 及以上
1995 年	20000 公里	300 公里
2000 年	64000 公里	1300 公里 (仅上海、北京、广州三城市即达 635 公里)
增长幅度	320%	430%

电力电缆附件是连接电缆本体及使电缆与架空输电线，与各变电站内设备相连接实现电能传输的必需装置。近十年来伴随着电力工业的发展和电力电缆的普及，电缆附件的用量大幅上升，新产品不断涌现，产品质量、产品的适用性能不断提高。在这个过程中有机硅橡胶的应用至关重要。

一、早期在热收缩型电缆附件中的应用

硅橡胶应用于电缆附件产品起源于 1985~1986 年间。当时为了推出一种重量轻、施工方便的热收缩型电缆附件，武汉高压研究所，吉林辐射化学研究所、长春应用化学研究所、武汉电缆附件厂等单位协同攻关。为了改善户外用产品的抗露电起痕能力，提

高其憎水性，将乙烯-醋酸乙烯共聚物 EVA 与 PDMVS（甲基乙烯硅橡胶）及其它原料共混，形成一种多相聚合物。发现当 PDMVS 含量占体系 30%左右时，会产生相倒转现象，并总结出 PDMVS 含量对产品凝胶含量的影响规律、对制品成型工艺的影响及对辐照交联的影响。这种材料制成的电缆附件产品相继通过了国家有关部委的鉴定，并迅速推向市场，应用于全国电力、石化、铁道、油田、矿山等系统。此举也开创了将有机硅橡胶应用于电缆附件的历程。但总的来讲，这一阶段硅橡胶的用量是比较少的。

二、在预制型电缆附件中的大量应用

随着电力工业的发展及科技的进步，人们发现热收缩电缆附件存在一些质量隐患，八十年代末一种全新的、完全采用硅橡胶制造的预制型电缆附件在欧洲问世。这种产品由于完全采用特种硅橡胶制造，具有多种优良的特性，能提高电缆网的安全运行水平，深受用户的欢迎。

1992 年我国广东电缆附件厂率先从西门子公司引进了全套设备、模具、技术及原材料，生产硅橡胶预制型电缆附件。

紧随其后，长沙、武汉等地也逐步使用硅橡胶制造电缆附件。硅橡胶制造电缆附件的产品质量比热收缩电缆附件的产品质量有了较大幅度的提高，它具有几种独特的性能：

1. 抗露电起痕能力强，采用进口特种硅橡胶，抗露电起痕可达到 1A4.5 级。
2. 适用温度范围广：在-50~200℃情况下都可使用。
3. 具有耐幅射、耐 x 射线、耐 y 射线的特殊性能。
4. 憎水性能大幅提高，淋雨状态下可自动迁移污物。
5. 安装后与电缆本体贴合为一体，对电缆主绝缘施加恒定的压力与电缆同呼吸，能有效降低电缆终端的放电量。

这些性能都是热缩附件无法实现的。由于硅橡胶制电缆附件性能优异、质量可靠，很快就得到了用户的肯定，国家电力公司有关管理部门也要求推广使用这种产品，这也使得硅橡胶开始大量应用于电缆附件行业，这时电缆附件行业采用的硅橡胶的品种及相关参数见（表二）。

表二 作预制式电缆附件的硅橡胶基本参数

产地	品种	牌号	加工方法	硬度 (邵氏 A)	抗拉强度	断裂伸长率 %	抗撕强度 N/mm	抗爬电性	体积电阻率 $\Omega \cdot \text{cm}$
德国 WACKER	HTV	350	压缩注射	45	7N/mm ²	500	20	3.5	10 ¹⁶
晨光 化工院	HTV	SC-6144	同上	40	7Mpa	400	20	/	10 ¹⁵
WACKER	LSR	740	带混合及计量的注射控制	35	8N/mm ²	600	20	3.5	10 ¹⁶

三、在冷收缩电缆附件中的应用

预制型电缆附件质量可靠、寿命长，能提高电缆网的安全运行水平，但是一些固有的缺点也制约了其大幅度地推广。原因在于：其一，安装比较困难，尤其是安装三芯地下中接头时，这一问题更加突出。我国目前 10kV 电压等级的电缆线路 95% 以上为三芯电缆，而欧美等国则为单芯电缆，单芯电缆安装显然要容易得多。其二，各种规格的电缆都要对应库存一种产品，使用户库存增加，费用增加，管理难度增加。其三，我国部分电力电缆生产企业加工的产品主要电气性能合格，但几何尺寸偏差较大，造成预制型附件不适用。其四，多数预制型电缆附件仍与热缩附件配合应用，没有完全去掉安装时用电用火、用喷灯的麻烦。

如何解决上述这些问题。充分发挥硅橡胶制造电缆附件的应用？美国 3M 公司率先解决了此问题，开发出了硅橡胶冷收缩电缆附件，受到了全球普遍的欢迎，仅在我国该产品的年销售额也在两亿元以上。

受 3M 公司创意的启发，现在世界上最大的电线电缆制造公司意大利比瑞利公司，世界电线电缆销售量排名第二的阿克森公司也推出了新型冷收缩电缆附件，发明热收缩电缆附件的美国瑞侃公司也研制出一种结构新颖的硅橡胶冷缩附件。我国电缆附件行业也纷纷上马研制这种产品，其中浙江永锦电力器材有限公司后来居上，该公司研制的硅橡胶冷收缩附件已于 2001 年 10 月通过国家电力公司科技成果鉴定。

制造冷收缩电缆附件，对硅橡胶的品种、性能，提出了更高的要求：

1. 综合的机械物理性能高:

管状制品扩张至原来的叁倍左右, 仍保持其基本性能; 柔软、耐高低温、抗露电痕等。

2. 要求具有高抗撕性能: (在硬度不增加的条件下) 扩张过程中不能破裂, 安装时铜屏蔽层不会轻易划破。

3. 持久的回弹性能: 扩张叁倍后, 存放 1~5 年, 去掉支撑物时制品可以还原。

4. 电应力控制管的参数控制要求高: 制造过程中, 扩张之后, 参数稳定。

这些要求使世界上知名的专业硅橡胶材料供应商也感到比较困难。为解决前叁个问题: 目前德国 WACKER 公司、美国 GE 公司、美国道康宁公司都相应推出了一些用于冷收缩产品的硅橡胶, 其性能简介见 (表三)。

表三 目前冷收缩电缆附件用硅橡胶基本参数简介

产地	品种	牌号	加工方法	硬度 (邵氏 A)	抗拉强度	抗撕强度 N/mm	断裂伸长率 %	抗爬电性	体积电阻率 $\Omega \cdot \text{cm}$
德国 WACKER	HTV	351	压缩注射	45	10N/mm ²	30	500	3.5	10 ¹⁶
德国 WACKER	LSR	740	带混合及计量的注射	43	9.8N/mm ²	38	700	3.5	10 ¹⁶
美国道康宁	LSR	1510/40	同上	40	10Mpa	45	550	4.5	5×10 ¹⁵
美国 GE	LSR	242-2 TP3750	同上	36	7.5N/mm ²	27	720	4.5	5×10 ¹⁵
美国 GE	HTV	260/40	压缩注射	40	9.1Mpa	39	880		5×10 ¹⁵
深圳精化	HTV	SP-2421	压缩注射	40	8Mpa	35	700		10 ¹⁵

针对上述第 4 个问题, WACKER 专门研制了一种 HTV 硅橡胶, 其性能简介见 (表四)。

表四 电应力控制用硅橡胶基本参数

品 种	硬度 (邵氏 A)	抗拉强度 N/mm ²	断裂伸长率 %	抗撕强度 N/mm	介电常数 ϵ	体积电阻率 $\Omega \cdot \text{cm}$
WACKER	38	≥ 2.5	500	20	15	10^{12}
永锦公司	41	≥ 5	550	25	25	10^{10}

表三、表四介绍的硅橡胶的综合性能是比较好的，但有些指标还需要进一步提高，要根据冷收缩电缆附件的特点来进行针对性的改进。例如：WACKER 电应力，硅橡胶应用于其它产品时电应力控制效果是比较好的，但是制成冷缩电应力控制管时却不能有效进行电应力控制，无法通过相关的电性能试验。

结合冷收缩制品的特点，永锦公司混炼的电应力控制硅橡胶，实际使用效果比较好（其参数见表四）。

四、结论

1. 硅橡胶以其特有的性能，逐步占据了电力电缆附件的主导地位，需求逐年上升，同时随着电力工业的发展，电缆附件产品质量的提高，对硅橡胶的特性要求也愈来愈高。很多品种国内尚无工业化产品供应市场（如 LSR 液体硅橡胶）。

2. 冷收缩电缆附件产品用硅橡胶的技术规范有待制定。目前预制式电缆附件用硅橡胶在 JB/T 8503-96 中有规定，但满足此规定的硅橡胶不能满足冷收缩电缆附件产品的要求见（表五）。

表五 预制式与冷收缩式硅橡胶绝缘材料主要性能要求对照表

序 号	项 目	单 位	预制式 8503 规定	冷收缩式要求(拟)
1	抗张强度 不小于	Pa	4.0	9
2	断裂伸长率 不小于	%	300	600
3	硬度(邵氏 A) 不大于		50	45
4	抗撕裂强度 不小于	N/mm	10	30
5	拉伸永久变形 不大于	%		3
6	扩张还原率 不小于	%		96
7	持久的回弹性	360 天		95

3. 硅橡胶应用于冷收缩电缆附件这个新的领域已经初见成效，但为了进一步提高产品的适用性，硅橡胶的改性研究还有大量工作要做。目前 WACKER、GE、晨光化工院、深圳精化、上海有机硅中心都在进行这方面的研究。我们希望该领域的专家、学者能积极关注参与此项工作，以尽快提高我国硅橡胶冷收缩电缆附件的制造水平。

参考文献：

1. 卓金玉《电力电缆设计原理》；
2. 葛光明主编《电力电缆附件标准集》；中国电器工业协会 1997
3. 周宁琳《有机硅聚合物导论》北京：科学出版社 2000
4. 晨光化工研究院《有机硅单体及聚合物》。北京：化学工业出版社 1986
5. 崔江流、罗俊华：城乡电网改造中电力电缆的应用及问题《电线电缆》2001.2
6. Wacker、GE、DOW CORNING 公司资料：2002

现代高压交联电缆附件技术

王佩龙 上海电缆研究所 200093

摘 要：本文综述当代 110kV 及以上电压等级 XLPE 电缆附件技术，对当今国内、外市场上常见高压电缆附件的结构特点及生产、安装和使用中应注意的问题进行扼要的分析，并对国内电缆附件的发展方向提出建议。

关键词：电缆附件 选型 终端 中间接头 预制型 设计 制造 安装

当今国内、外市场上 XLPE 电缆附件品种很多，结构也不尽相同，各有所长。电缆附件的选型不仅影响电缆工程安装的易难程度和投资大小，也直接影响电缆系统的安