

低烟无卤阻燃特种电缆护套的研究

陈彦¹ 苏俊夫²

1.湖南华菱线缆股份有限公司 湖南 湘潭 411104

2.中南大学 湖南 长沙 410017

【摘要】：针对特殊环境下的电缆，本文采用正交设计试验的方法，设计了 EVM/EPDM 橡胶护套配方实验，通过 5 因素 4 水平的正交实验设计，得出五种变量对 EVM/EPDM 橡胶护套的拉伸强度和阻燃性能的影响规律，通过优化，得到成本低廉、拉伸强度和阻燃性能等综合性能优良的低烟无卤阻燃橡胶护套配方，达到 MT818-2009 标准要求。

【关键词】：电缆；护套；低烟无卤；阻燃

Study on Low Smoke Halogen Free Flame Retardant Special Cable Sheath

Yan Chen¹, Junfu Su²

1.Hunan Valin Cable Co., Ltd. Hunan Xiangtan 411104

2.Central South University Hunan Changsha 410017

Abstract: Aiming at cables under special circumstances, this paper adopts the method of orthogonal design test to design the formula experiment of EVM/EPDM rubber sheath. Through the orthogonal experiment design of 5 factors and 4 levels, the influence law of five variables on the tensile strength and flame retardant performance of EVM/EPDM rubber sheath is obtained. The formulation of low smoke halogen free flame retardant rubber sheath with good comprehensive performance such as low cost, tensile strength and flame retardant performance was obtained, which reached the requirements of MT818-2009 standard.

Keywords: Cable; Sheath; Low smoke no halogen; Flame retardant

前言

矿山、密闭空间、公共场所的消防安全要求越来越高，对供电系统自身安全及对工作环境安全保障的要求越来越高，火灾往往是因为电缆损坏短路造成，特别是频繁移动、工况环境恶劣的状态下，对电缆本身的质量是一个非常大的挑战，对电缆护套的质量要求非常高，既要保证电缆自身的完好，又要自身环保。欧盟废弃电子电器设备指令，以及电子电器设备中禁用有害物质指令的颁布，卤系等阻燃体系面临了极大的挑战。矿用电缆的护套均为阻燃橡胶，但国内之前绝大多数采用的是卤系阻燃体系，卤素阻燃体系的材料阻燃效果比较好，但在发生火灾时，会产生大量的烟雾和卤化氢气体，造成对人体和设备的二次危害。随着科学技术的进步，人们的环保意识也日益增强，低烟无卤阻燃橡胶技术将成为橡胶行业技术竞争的核心。EVM（乙烯乙酸乙烯酯）橡胶自身不含卤素，且不使用卤素阻燃剂亦能达到高阻燃的要求，而且具有燃烧时低烟，以及优异的耐高温、耐油性，是实现这一技术的首选材料之一。本文将作为电缆护套材料使用的 EVM 橡胶配方进行试验分析，达到既满足低烟无卤，又能满足矿用电缆阻燃性能、机械性能的要求。

1 现状分析

目前，常用的 XH-03A 型矿用电缆护套胶料大部分采用氯化聚乙烯材料，而低烟无卤阻燃橡胶使用甚少。我国电缆护套

所用橡胶的第一代主要采用 NR（天然橡胶）+SBR（丁苯橡胶），第二代主要采用 CR（氯丁橡胶）和 EPDM（三元乙丙橡胶），第三代主要采用的是低成本、高性能（高阻燃，抗老化）的 CPE（氯化聚乙烯）电缆护套，几乎替代了 CR，第四代技术将是 EVM（乙烯-乙酸乙烯酯橡胶）为代表的环保电缆护套（低发烟量、无卤低毒、高阻燃橡胶）。

EVM 橡胶具有优良的物理机械性能、耐高温、耐油性及优异的阻燃性，是新型低烟无卤阻燃矿用电缆、特种电缆的首选的护套材料。EVM 橡胶本身具备十分优异的阻燃性，该材料不需要使用卤素阻燃体系也能达到高标准的阻燃要求，氧指数大于 34，其他橡胶要达到高阻燃的要求，须在胶料配方中增添卤素阻燃剂（如十溴苯醚，氯化石蜡等）。

乙丙橡胶与乙华平橡胶并用可以改善乙丙橡胶的耐高温性、耐油性、阻燃性及粘合性。增加乙丙橡胶的用量，EVM/EPDM 混炼胶的物理性能变化并不明显，但其耐低温性能将会得到更好的改善。

提高高分子材料阻燃性能的方法都很多种，主要分为两种，一种是在聚合时，在单体中引入阻燃基团，实现“本质阻燃”。这种方法能使材料的阻燃性能得到持久的保持，但该法工艺复杂，成本较高，因此应用受到限制。另外一种添加阻燃剂，所谓阻燃剂是指能保护材料不能着火或使火焰难以蔓延的配合剂。通常在材料加工过程中，通过机械混合法将阻燃剂

添加到材料中，赋予材料一定的阻燃性能。该法实用价值最大且容易实现工业化，但阻燃剂增大后，通常会劣化胶料的加工性能及力学性能，本文将主要对物理机械进行研究。

2 实验部分

2.1 实验原料、试验仪器

实验原料采用市场上常见的、常用的原材料。

试验所用常规仪器包括：开炼机、平板硫化机、拉力机、割胶刀、剪刀、卷尺、隔热手套、不锈钢盆（大、小）、药匙、滴管等。

2.2 胶料配方试验

2.2.1 基础配方

基础配方是根据所做的大量实验并参考了大量的文献和之前的配方设计总结得出。基础配方见表 2-1。

表 2-1 基础配方

名称	用途	用量/份
EVM 橡胶 500	原胶	80
EPDM 橡胶 4770	原胶	20
硬脂酸	热稳定剂	1
RD	防老剂	1
MB	防老剂	1
莱茵散	分散剂	2
PCD-50	抗水解剂	3
氢氧化铝	阻燃剂	90
氢氧化镁	阻燃剂	5
硼酸锌	阻燃剂	15
炭黑 550	补强剂	40
偶联剂 A-172	偶联剂	2
DOP	增塑剂	3
DCP	硫化剂	3
TAIC	助硫化剂	2

2.2.2 正交设计

根据前期试验经验，选取5个因素为试验变量，选用L16(4⁵)正交表安排试验，每个变量取4个水平，第1、2列安排EVM/EPDM为第一个变量，第3、4列安排氢氧化镁/氢氧化铝为第二个变量，第5列安排炭黑为第三个，第6列安排DCP为第四个变量（同时试验中为了保证准确性，保持了硫化剂

DCP和助硫化剂TAIC的比例不变）第7列安排DOP，正交试验配方见表2-2。

表 2-2 正交试验配方

序号	EVM/份	EPDM/份	氢氧化铝/份	氢氧化镁/份	炭黑/份	DCP/份	DOP/份
配方 1	90	10	90	10	40	3.5	5
配方 2	90	10	80	20	35	3	4
配方 3	90	10	70	30	30	2.5	3
配方 4	90	10	60	40	25	2	2
配方 5	80	20	90	10	35	2.5	2
配方 6	80	20	80	20	40	2	3
配方 7	80	20	70	30	25	3.5	4
配方 8	80	20	60	40	30	3	5
配方 9	70	30	90	10	30	2	4
配方 10	70	30	80	20	25	2.5	5
配方 11	70	30	70	30	40	3	2
配方 12	70	30	60	40	35	3.5	3
配方 13	60	40	90	10	25	3	3
配方 14	60	40	80	20	30	3.5	2
配方 15	60	40	70	30	35	2	5
配方 16	60	40	60	40	40	2.5	4

阻燃橡胶橡胶护套配方的5因素4水平见表2-3。

表 2-3 低烟无卤阻燃橡胶护套配方的4因素5水平

	因素	水平 1/份	水平 2/份	水平 3/份	水平 4/份
因素 1	EVM	90	80	70	60
	EPDM	10	20	30	40
因素 2	氢氧化铝	90	80	70	60
	氢氧化镁	10	20	30	40
因素 3	炭黑	40	35	30	25
因素 4	DCP	3.5	3	2.5	2
因素 5	DOP	5	4	3	2

2.3 实验方法

2.3.1 样片准备

按照常用的橡胶混炼方法和平板硫化方法制作样片。

2.4 性能测试

2.4.1 硫化曲线的测试

用无转子硫化仪进行硫化曲线的测绘。硫化温度 180℃，硫化时间 600s。记录 MH、ML、tc5、tc10、tc90 的数值以待后续数据分析。

2.4.2 拉伸强度和伸长率的测试

按照 GB/T1040-1992 进行测试，利用 XLL-50 拉伸试验机测试试样的拉伸强度，拉力试验机的测试速率是 500mm/min，取三次测试结果的中间值。用冲片机压出 3 片哑铃型胶片，哑铃片最窄宽度为 6mm，对胶片编号。用测厚计分别测出它们的厚度 δ （最薄点的数值）并记录，然后在窄的部分画两条 25mm 的直线（两条线之间包含最薄点）。接着用拉力试验机测出试样的拉断力 F 和拉伸长度 L，最后计算拉伸强度和断裂伸长率。

2.4.3 极限氧指数的测试

阻燃性能有两个指标可以进行表征：一是自熄性，自熄时间越短，阻燃性能越好。二是极限氧指数（LOI），即材料维持平稳燃烧所需的最低氧气的体积百分含量。LOI 越大，阻燃性能越好。

LOI 的测定是按照 GB2406-2008 氧指数试验法中的方法，先将硫化过的胶料制成长 80-100mm，宽 3.5mm，厚 3.0 ± 0.5 mm 的试样，在试样在距点火源 50mm 处划一条刻度线以做标线，将试样用试样夹垂直夹持于透明燃烧筒内，其中有按一定比例混合的向上流动的氧氮气流。点着试样的上端，观察随后的燃烧现象，记录持续燃烧时间和燃烧过的距离，若试样燃烧时间超过 3min，或火焰前沿超过 50mm 标线，应降低氧气浓度再进行试验，反之则应增加氧气浓度，直至测定出极限氧指数。

3 结果分析与讨论

3.1 拉伸强度的实验结果分析

3.1.1 拉伸强度分析

直观分析法是通过每一因素的极差来分析数据，极差是该因素下均值最大值减去均值最小值的差值，极差越大，对结果影响就越大。

试验制得的 EVM/EPDM 橡胶混炼胶的拉伸强度直观分析见表 3-1。（注：表中 1、2、3、4 分别为水平 1、水平 2、水平 3、水平 4）

表 3-1 正交试验配方（拉伸强度）

序号	配方 1	配方 2	配方 3	配方 4	配方 5	配方 6	配方 7	配方 8
拉伸强度 (MPa)	9.83	7.53	7.22	4.49	7.91	7.71	6.7	6.03

序号	配方 9	配方 10	配方 11	配方 12	配方 13	配方 14	配方 15	配方 16
拉伸强度 (MPa)	6.93	6.18	7.8	7.41	6	6.32	7.21	8.59
序号	EVM/份	EPDM/份	氢氧化铝/份	氢氧化镁/份	炭黑/份	DCP/份	DOP/份	
1-4 均值 1	7.268		7.668		8.482	7.565	7.313	
5-8 均值 2	7.088		6.935		7.515	6.84	7.438	
9-12 均值 3	7.08		7.232		6.625	7.475	7.085	
13-16 均值 4	7.03		6.63		5.843	6.585	6.63	
极差	0.238		1.038		2.639	0.98	0.808	

从表 3-1 可以得出结论：

（1）炭黑的极差最大，可知炭黑对 EVM/EPDM 橡胶的拉伸强度的影响最大。对比极差值可知，EVM/EPDM、氢氧化铝/氢氧化镁、炭黑、DCP 及 DOP 对 EVM/EPDM 低烟无卤阻燃橡胶拉伸强度的影响大小顺序为：炭黑 > 氢氧化铝/氢氧化镁 > DCP > DOP > EVM/EPDM。

（2）炭黑因素，在 4 水平即炭黑用量为 40 份时 EVM/EPDM 橡胶的拉伸强度最大；氢氧化铝/氢氧化镁因素，在 1 水平即氢氧化铝/氢氧化镁共轭比为用量为 90:10 时 EVM/EPDM 橡胶拉伸强度最大；DCP 因素，在 1 水平即 DCP 的用量为 3.5 份时拉伸强度最好；DOP 因素，在 2 水平即 DOP 用量为 4 份时拉伸强度最好；EVM/EPDM 因素，在 1 水平即 EVM/EPDM 共轭比为 90:10 时候拉伸强度达到最大值。

3.1.2 拉伸强度的效应曲线

拉伸强度的效应曲线如图 3-1 所示。

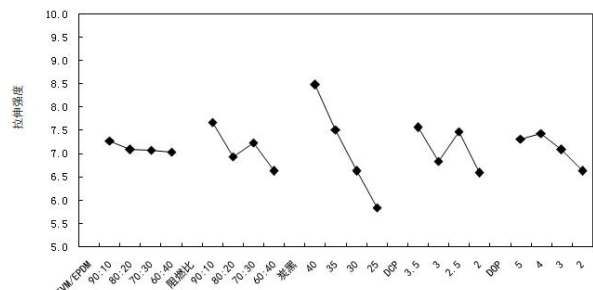


图 3-1 拉伸强度效应曲线

由图 3-1 可以看出：

EVM/EPDM 橡胶的拉伸强度随着炭黑的量的减少而呈直

线下降。当炭黑的用量是 40 份时，橡胶的拉伸强度最大。炭黑的极差为 2.639，对拉伸强度影响最大。

EVM/EPDM 橡胶的拉伸强度随阻燃比氢氧化铝/氢氧化镁的比例下降，拉伸强度有下降的趋势，其中拉伸强度 90:10>70:30>80:20>60:40。当氢氧化铝/氢氧化镁的比例是 90:10 时，橡胶的拉伸强度最大。

EVM/EPDM 橡胶的拉伸强度随着 DCP 的量的变化呈现出无规律变化，DCP 的极差为 0.323，因为 DCP 的用量变化比较小，强度随 DCP 浮动变化比较小。

随着 DOP 用量的减小 EVM/EPDM 橡胶的拉伸强度，先增大后减小，其中在 DOP 用量为 4 份时拉伸强度达到最大值。

EVM/EPDM 橡胶的拉伸强度随着 EVM/EPDM 的比例的下降变化不大在，然而还是在缓步减小，拉伸强度逐渐降低，极差仅为 0.238，其对 EVM/EPDM 橡胶的拉伸强度影响最小。

3.2 氧指数的实验结果分析

试验制得的 EVM/EPDM 低烟无卤阻燃橡胶混炼胶的氧指数直观分析见表 3-2。（注：表中 1、2、3、4 分别为水平 1、水平 2、水平 3、水平 4）

表 3-2 正交试验配方（氧指数）

序号	配方 1	配方 2	配方 3	配方 4	配方 5	配方 6	配方 7	配方 8
氧指数	36	34	34	36	36	36	36	35
序号	配方 9	配方 10	配方 11	配方 12	配方 13	配方 14	配方 15	配方 16
氧指数	36	33	36	35	35	36	34	35
序号	EVM/份	EPD M/份	氢氧化铝/份	氢氧化镁/份	炭黑/份	DCP/份	DOP/份	
1-4 均值 1	34.25		35		35	35	33.75	
5-8 均值 2	35.75		34.75		34.75	35	35.25	
9-12 均值 3	35		35		35.25	34.5	35	
13-16 均值 4	35		35.25		35	35.5	36	
极差	1.5		0.5		0.5	1	2.25	

从表 3-2 可以得出结论：

氧指数方面测试结果变化不大从数字上分析得出结论并没有什么太大的探究价值这里暂不做过多的分析。

3.3 EVM/EPDM 橡胶胶料硫化曲线的分析

如图 3-2，为配方 1 的硫化曲线图。

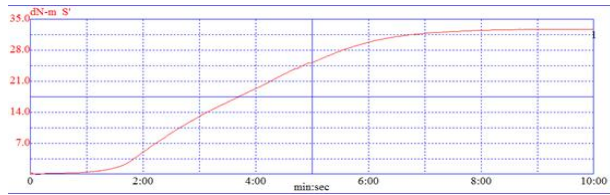


图 3-2 配方 1 的硫化曲线图

表 3-3 配方 1 的硫化数据

No.	测试温度 ℃	测试时间 m:s	MH dN-m	ML dN-m	tc5 m:s	tc10 m:s	tc90 m:s
1	180	10:00	32.70	0.20	1:36	1:50	5:55

配方 1 的 ML 值为 0.20 很小，胶料的流动性很好。焦烧时间大于 1min，操作安全性较好。正硫化时间为 5min5s，小于 6min，实验硫化时间为 10min，胶料足够完成硫化。

3.4 伸长率的实验结果分析

表 3-4 正交试验配方（伸长率）

序号	配方 1	配方 2	配方 3	配方 4	配方 5	配方 6	配方 7	配方 8
伸长率/份	1.72	1.88	2.28	2.64	2.52	3.24	2.24	2.2
序号	配方 9	配方 10	配方 11	配方 12	配方 13	配方 14	配方 15	配方 16
伸长率/份	3.4	3.04	2.12	2.2	2.52	2.24	3.04	2.56
序号	EVM/份	EPD M/份	氢氧化铝/份	氢氧化镁/份	炭黑/份	DCP/份	DOP/份	
1-4 均值 1	213%		254%		239.50%	210%	250%	
5-8 均值 2	255%		260%		241%	218%	250.50%	
9-12 均值 3	269%		242%		253%	258.50%	256%	
13-16 均值 4	257.50%		238.50%		261%	308%	238%	
极差	56%		21.50%		21.50%	98%	18%	

3.4.1 伸长率的分析

从表 3-4 可以得出结论：

（1）DCP 的极差最大，可知 DCP 对 EVM/EPDM 橡胶的伸长率的影响最大。对比极差值可知，EVM/EPDM、氢氧化铝/氢氧化镁、炭黑、DCP 及 DOP 对 EVM/EPDM 低烟无卤阻燃橡胶伸长率的影响大小顺序为：DCP>EVM/EPDM>氢氧化铝/氢氧化镁=炭黑>DOP。

(2) 炭黑因素, 在 4 水平即炭黑用量为 25 份时 EVM/EPDM 橡胶的伸长率最大; 氢氧化铝/氢氧化镁因素, 在 2 水平即氢氧化铝/氢氧化镁共轭比为用量为 80:20 时 EVM/EPDM 橡胶伸长率最大; DCP 因素, 在 4 水平即 DCP 的用量为 2 份时伸长率最大; DOP 因素, 在 3 水平即 DOP 用量为 3 份时伸长率最好; EVM/EPDM 因素, 在 3 水平即 EVM/EPDM 共轭比为 70:30 时候伸长率达到最大值。

3.4.2 伸长率的效应曲线

伸长率的效应曲线如图 3-3 所示。

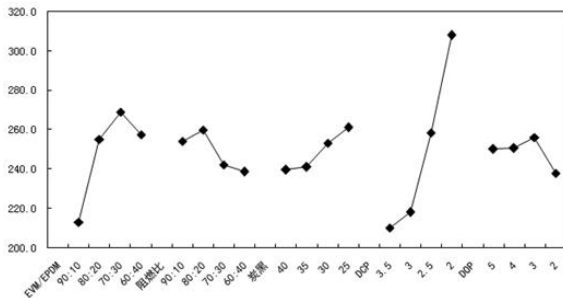


图 3-3 伸长率的效应曲线

由图可以看出:

EVM/EPDM 橡胶的伸长率随着炭黑的量的减少而呈上升趋势。当炭黑的用量是 10 份时, EVM/EPDM 橡胶的伸长率最大。

EVM/EPDM 橡胶的伸长率随阻燃比氢氧化铝/氢氧化镁的比例下降, 伸长率的趋势有先增大后减小的趋势, 其中伸长率 80:20>90:10>70:30>60:40。当氢氧化铝/氢氧化镁的比例是 80:20 时, 橡胶的伸长率最大。

EVM/EPDM 橡胶的伸长率随着 DCP 的量的减小呈现出直线上升, DCP 的极差为 98, 对伸长率的影响最大。

随着 DOP 用量的减小 EVM/EPDM 橡胶的伸长率, 先缓慢增大后减小, 其中在 DOP 用量为 3 份时拉伸强度达到最大值。DOP 的极差最小对 EVM/EPDM 橡胶伸长率影响不大。

EVM/EPDM 橡胶的伸长率随着 EVM/EPDM 的比例的下降而先直线上升后下降, 其中 EVM/EPDM 比例为 70:30 时伸长率最好。

3.5 优化配方

通过综合分析以上配方试验的氧指数、拉伸强度、硫化曲线, 保证含胶量在 35%—40%, 并且用炭黑 N330 替换了炭黑 N550 (炭黑 N330 对橡胶的补强作用更显著), 得到优化配方如下表 3-5 所示。

表 3-5 优化配方

名称	用途	用量/份
----	----	------

EVM 橡胶 500	原胶	90
EPDM 橡胶 4770	原胶	10
硬脂酸	热稳定剂	1
RD	防老剂	1
MB	防老剂	1
莱茵散	分散剂	2
PCD-50	抗水解剂	3
氢氧化铝	阻燃剂	90
氢氧化镁	阻燃剂	10
硼酸锌	阻燃剂	15
炭黑 330	补强剂	40
偶联剂 A-172	偶联剂	2
DOP	增塑剂	5
DCP	硫化剂	3.5
TAIC	助硫化剂	2.3

优化配方的拉伸强度、氧指数如下表 3-6 所示。

表 3-6 优化配方的测试数据

	拉伸强度 (MPa)	氧指数 (100%)	伸长率 (100%)
实验室混炼胶	9.83	35	174

优化配方的硫化数据如表 3-7 所示。

表 3-7 优化配方的硫化数据

	ML (dN·m)	MH (dN·m)	tc5	tc10	tc90
实验室混炼胶	0.20	32.70	1:36	1:50	5:55

优化配方硫化曲线如图 3-4 所示。

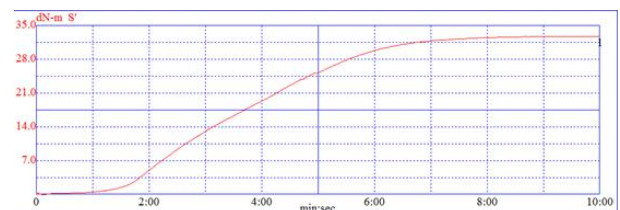


图 3-4 优化配方的硫化曲线

由上可以得出:

(1) 炭黑因素对 EVM/EPDM 橡胶的拉伸强度影响显著, 在只考虑 EVM/EPDM 橡胶的拉伸强度的情况下设计配方, EVM 选择 90 份效果较好, EPDM 选择 10 份效果较好, 炭黑选择 40 份效果较好, 氢氧化铝选择 90 份效果较好, 氢氧化镁选择 10 份效果较好, DOP 选择 5 份效果较好, DCP 选择 3.5

份效果较好。

(2) 在只考虑 EVM/EPDM 橡胶氧指数的情况下设计配方, 氢氧化铝选择 90 份效果较好, 氢氧化镁选择 10 份效果较好。氢氧化铝的阻燃性强于氢氧化镁。

(3) 在只考虑 EVM/EPDM 伸长率的情况下设计配方, EVM 选择 70 份效果较好, EPDM 选择 30 份效果较好, 炭黑选择 30 份效果较好, 氢氧化铝选择 90 份效果较好, 氢氧化镁选择 10 份效果较好, DOP 选择 4 份效果较好, DCP 选择 2 份效果较好。

(4) 最终优化后的配方组成为: EVM500 橡胶 90 份、EPDM4770 橡胶 10 份、硬脂酸 1 份、RD1 份、MB1 份、莱茵散 2 份、PCD-50 3 份、氢氧化铝 90 份、氢氧化镁 5 份、硼酸锌 15 份、炭黑 N330 40 份、A-172 2 份、DOP5 份、DCP3.5 份、TAIC2.3 份。

4 结论

通过综合分析以上低烟无卤阻燃橡胶配方试验的氧指数、拉伸强度及硫化曲线, 得到以下结论:

(1) EVM/EPDM、氢氧化铝/氢氧化镁、炭黑、DCP 及 DOP 对 EVM/EPDM 低烟无卤阻燃橡胶拉伸强度的影响大小顺序为: 炭黑>氢氧化铝/氢氧化镁>DCP>DOP>EVM/EPDM。

(2) 炭黑作为补强剂对 EVM/EPDM 橡胶的拉伸强度、影响较大, 补强效果明显。

(3) 在一定范围内, EVM/EPDM 橡胶的拉伸强度随着炭黑的量的减少而呈直线下降。EVM/EPDM 橡胶的拉伸强度随阻燃比氢氧化铝/氢氧化镁的比例下降, 拉伸强度有下降的趋势, 其中拉伸强度 90:10>70:30>80:20>60:40。当氢氧化铝/氢氧化镁的比例是 90:10 时, 橡胶的拉伸强度最大。EVM/EPDM 橡胶的拉伸强度随着 DCP 的量的变化呈现出无规律变化, 随着 DOP 用量的减小 EVM/EPDM 橡胶的拉伸强度, 先增大后减小, EVM/EPDM 橡胶的拉伸强度随着 EVM/EPDM 的比例的下降变化不大, 然而还是在逐步减小, 拉伸强度逐渐降低。氢氧化铝、氢氧化镁、硼酸锌作为阻燃剂, 在一定用量范围内, EVM/EPDM 橡胶氧指数随其量的增大而增大; 炭黑难燃, EVM/EPDM 橡胶氧指数随其量的增大亦呈现出增大的趋势;

EVM/EPDM 橡胶的氧指数随着 DCP 的量的变化呈无规律变化。

(4) 氢氧化铝与氢氧化镁的比例对阻燃效果影响较大。

(5) DCP 对 EVM/EPDM 橡胶的伸长率的影响最大。EVM/EPDM、氢氧化铝/氢氧化镁、炭黑、DCP 及 DOP 对 EVM/EPDM 低烟无卤阻燃橡胶伸长率的影响大小顺序为: DCP>EVM/EPDM>氢氧化铝/氢氧化镁=炭黑>DOP。

(6) EVM/EPDM 橡胶的伸长率随着炭黑的量的减少而呈上升趋势。EVM/EPDM 橡胶的伸长率随阻燃比氢氧化铝/氢氧化镁的比例下降, 伸长率有先增大后减小的趋势, 其中伸长率 80:20>90:10>70:30>60:40。当氢氧化铝/氢氧化镁的比例是 80:20 时, 橡胶的伸长率最大。EVM/EPDM 橡胶的伸长率随着 DCP 的量的减小呈现出直线上升, 对伸长率的影响最大。随着 DOP 用量的减小 EVM/EPDM 橡胶的伸长率, 先缓慢增大后减小, 其中在 DOP 用量为 3 份时拉伸强度达到最大值。DOP 对 EVM/EPDM 橡胶伸长率影响不大。EVM/EPDM 橡胶的伸长率随着 EVM/EPDM 的比例的下降而先直线上升后下降, 其中 EVM/EPDM 比例为 70:30 时伸长率最好。

(7) 在比较最优配方后, 有 1 组和 16 组抉择, 两组的橡胶比例, 阻燃剂比例差的都很大, 但是在最后成品的性能上却差不多。有几点原因: ①在 14/15/16 组中氢氧化铝的材料因为厂里确实, 所以本人自己去购买的是分析纯的氢氧化铝, 和之前使用的工业级的氢氧化铝有一定的误差。②因为实验是在一定范围内的, 所以实验的结论无法肯定的确定, 还需要以后的继续研究, 可能是在范围之外会有最高值。③通过查阅资料考虑了氢氧化铝的阻燃性能比氢氧化镁好一些, 忽略受潮的可能因素, 所以最后还是选择了 1 号配方。

(8) 最终优化后的配方组成为: EVM500 橡胶 90 份、EPDM4770 橡胶 10 份、硬脂酸 1 份、RD1 份、MB1 份、莱茵散 2 份、PCD-50 3 份、氢氧化铝 90 份、氢氧化镁 5 份、硼酸锌 15 份、炭黑 N330 40 份、A-172 2 份、DOP5 份、DCP3.5 份、TAIC2.3 份。

基于 EVM/EPDM 的电缆, 目前已经在矿山、地铁等供电系统中逐步应用, 在阻燃、防止火灾等方面, 提高了电力系统的安全性。

参考文献:

- [1] 张庆虎.乙华平(EVM)橡胶的特性及应用[J].特种橡胶制品,2001,22(2):18-22.
- [2] 朱永康.EVM 共聚合物:被遗忘的橡胶[J].橡塑技术与装备,2007,33(9).
- [3] 杨清芝.实用橡胶工艺学[M].北京:化学工业出版社,2006,76,203-207.