

EVA 电缆料低烟无卤阻燃技术研究进展

张 新

(无锡工艺职业技术学院, 江苏 宜兴 214206)

摘 要: 本文从低烟无卤阻燃电缆料最常用的基体材料性能和特点入手,介绍了乙烯-醋酸乙烯共聚物(EVA)作为基体的优点和不足,并重点对无卤阻燃剂的种类和阻燃机理进行了综述。最后,对低烟无卤阻燃电缆料的发展方向进行了展望。

关键词: 乙烯-醋酸乙烯共聚物;低烟无卤阻燃;阻燃机理;电缆料

中图分类号: TM215 DOI:10.16790/j.cnki.1009-9239.im.2023.04.002

Research progress in low-smoke halogen free flame retardant technology of EVA cable material

ZHANG Xin

(Wuxi Vocational of Arts & Technology, Yixing 214206, China)

Abstract: In this paper, the performance and characteristics of low smoke halogen-free flame retardant cable material was reviewed. The advantage and disadvantage of ethylene-vinyl acetate copolymer (EVA) as the base material was introduced. The types and flame retardant mechanism of halogen-free flame retardant were reviewed. Finally, the development direction of low smoke halogen-free flame retardant cable material was prospected.

Key words: ethylene-vinyl acetate copolymer (EVA); low-smoke halogen free flame retardant; flame retardant mechanism; cable material

0 引言

含卤阻燃电缆料以其阻燃效率高、加工性能好、价格低廉等优点,一直占据电缆料的主导地位。但含有卤素的电缆,燃烧时会产生有毒有害气体,火灾中很多人员是由烟雾和毒性气体造成窒息,从而导致死亡;燃烧产生的卤化氢气体也会对电子设备造成损坏。2003年欧盟通过RoHS指令,明确规定了卤族元素中的“溴”在电子电气设备中最高限量值,从此含卤电缆用量逐年减少。低烟无卤阻燃电缆逐渐成为电缆市场的主力军,众多电缆料生产厂家和科研院所都加大对低烟无卤阻燃电缆料的研发投入。目前无卤阻燃电缆料每年的市场需求量约为200 kt,预计未来3~5年内,无卤阻燃电缆料的需求量将以10%左右的速度递增,到2025年,无卤阻燃电缆料年需求量将达到350 kt左右^[1]。

低烟无卤电缆料最重要的基体材料为乙烯-醋酸乙烯共聚物(EVA),其熔融温度低、流动性好、有极性又不含卤素,可与多种聚合物和无卤阻燃剂相容,广泛应用于低烟无卤阻燃电缆料中。但EVA极限氧指数值只有17%~19%,属于易燃物,严重制约

了EVA在阻燃电缆中的应用与发展,所以对EVA进行阻燃改性,提高EVA的使用范围变得极为重要^[2]。

1 阻燃基体(EVA)材料选择

低烟无卤基料通常有EVA、聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)、乙丙橡胶(EPR)等,除了EVA含有极性基团外,其他为非极性材料或者极性很小的材料。作为基材,PE、PP、EPR有两个天然的缺陷:①与极性较强的无卤阻燃剂相容性较差,导致阻燃剂在基材中分散不均匀,大量无卤阻燃剂加入后会使得材料的力学性能严重受损;②3种材料本身耐油和耐非极性溶液较差,很难满足电缆在复杂环境中的应用。

EVA由乙烯单体和醋酸乙烯单体共聚而成,其合成过程如图1所示。由于醋酸乙烯基团(VA)的引入,打乱了聚乙烯分子的规整性,导致整个分子的结晶度下降,极性增加,使EVA的耐环境应力开裂性、与填料的相容性、辐照交联性、耐油性、反复弯曲性能都得到提高;但是EVA的拉伸强度、硬度、熔点和电绝缘性能则随之下降,同时耐空气和水蒸气的渗透性变差。当VA质量分数大于40%时,整个分子呈现无序排列的橡胶弹性状态,通常

叫乙华平(EVM)橡胶;当VA质量分数为5%~40%时,含有少量结晶,一般称之为EVA塑料。

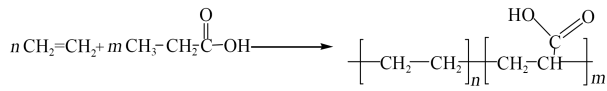


图1 EVA合成示意图

Fig.1 Schematic diagram of EVA

引入极性基团,EVA的电气性能和拉伸强度有不同程度的降低,一般情况EVA树脂只能作为低压线缆绝缘使用,作为低烟无卤护套时,为了弥补其拉伸强度的不足,通常和PE、PP、乙烯-辛烯共聚物(POE)并用。共混物既可生产热塑型塑料电缆,也可生产热固型橡胶电缆,耐高温等级包括70、90、105、125、150、175℃;配方设计者可以根据用户(或标准)的要求,以EVA/EVM为基材,做出性能符合要求的低烟无卤阻燃电缆料^[3]。雷果等^[4]用EVM、乙烯-丙烯酸酯共聚(EAA)、乙烯-乙炔-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物(SEBS)为基体材料,氢氧化镁(MH)、水菱镁石和氢氧化铝(ATH)为阻燃剂,硼酸锌、水滑石和纳米蒙脱土为协效阻燃剂,制备了耐低温耐油耐扭转低烟无卤阻燃风能电缆护套料,生产的风能电缆极限氧指数为35%,透光率为89%,并通过耐矿物油(IRM902#油)实验,成品电缆老化后抗张强度变化率为-9.8%,断裂伸长变化率为-17.7%,并能够经受常温20 000次和低温(-55℃)2 000次的扭转实验,且加工性能良好。徐刚等^[5]用100份Levapren EVM 500(VA质量分数为50%)橡胶、165份ATH、3.5份硼酸锌、20份碳酸镁,制备了低烟无卤电缆护套料用于船用阻燃电缆,成品电缆可通过相关标准规定的A类燃烧,透光率达到了94%,高于标准要求的60%,其中水溶液pH值为5.9,电导率为7.03 μS/mm,氯化氢质量分数为0.3%,均达到低烟无卤阻燃电缆标准要求。夏明慧等^[6]用100份EVM500、80份ATH、80份MH,制成了低烟无卤阻燃护套料,其极限氧指数高达36%,各项指标均能满足EN 50264-2008中EM104的要求。EVA作为无卤料的基材具有良好的低烟和阻燃性能:一方面是由于EVA分子主链不含双键、苯环、酰基、胺基等燃烧时易发烟的基团;另一方面无卤料中一般会添加大量的金属氢氧化物阻燃剂,降低了基料的占比,同时金属氢氧化物阻燃剂本身具有无毒和抑烟功能。

金楷皓等^[7]用EVA为主基料,线性低密度聚乙烯(LLDPE)和POE为补充材料,金属氢氧化物为阻燃剂制备电缆料,当ATH和MH的质量比为126:12

时,获得最佳复配比,此时制得的低烟无卤阻燃聚烯烃电缆料极限氧指数最高为38%,残炭量高达42.74%。

鉴于EVA和无卤阻燃剂有着良好的相容性及挤出性能,电缆行业用EVA作为基料,制备高阻燃的隔氧层(通常指极限氧指数在40%以上)^[3]。周日生^[8]以EVA为基料制备极限氧指数为48%的隔氧层,电缆的阻燃等级从C类提高到A类;由于隔氧层的阻燃性能优越,电缆外护套可以采用极限氧指数偏低的低烟无卤料,进而降低电缆价格,提高市场竞争力。

2 EVA 电缆料用低烟无卤阻燃剂

EVA电缆料常用的无卤阻燃剂包括金属氢氧化物、膨胀型、硼系、硅系等阻燃剂,不同的阻燃剂其阻燃机理也各不相同。

2.1 EVA 电缆料用金属氢氧化物阻燃剂

ATH和MH作为无卤阻燃剂,具备阻燃、消烟、填充三重功能,并且来源广泛、价格低廉,在无卤阻燃剂中占据主导地位。金属氢氧化物受热分解成金属氧化物和水蒸气,水蒸气不仅可以带走热量,同时还可以稀释空气中的氧气浓度,金属氧化物则起到隔绝氧气和阻止热量散发的作用。

但金属氢氧化物阻燃剂的效率相对较低,和含卤阻燃剂相比,要达到相同的阻燃效果添加量是含卤阻燃剂的几倍乃至十几倍,同时金属氢氧化物阻燃剂和聚烯烃相容性较差,需通过对其表面进行改性,降低粉体的表面能来增加阻燃剂的填充量,提高复合材料的力学性能。张前程等^[9]用高速分散机将聚硅氧烷低聚物(FPSO)均匀喷洒在ATH、MH和二氧化硅(SiO₂)表面,使它们表面具有较多的活性基团,然后和EVA进行熔融共混,制备出高填充的无卤阻燃料,其拉伸强度达到了9.0 MPa,断裂伸长率为195%,极限氧指数为39%,耐油老化后的拉伸强度损失率仅为9%,实现了高填充EVA电缆材料阻燃、耐油和力学性能的同时提高。高晓慧等^[10]用ATH、MH、硅烷偶联剂(A-172)和EVA、乙烯-醋酸乙烯-羰基三元共聚物(EVA-CO)、高密度聚乙烯(HDPE)制得低烟无卤阻燃耐泥浆电缆料,其阻燃、耐油、耐泥浆性能均满足NEK606海上平台用无卤/防泥浆电缆标准要求。

金属氢氧化物的细微化,可以增加粉体和聚烯烃的接触面积,进而可以缓解由于大量阻燃剂导致力学性能下降的情况,从而提高阻燃效率。朱应宝^[11]用超细氢氧化铝作为阻燃剂填充EVA,当氢氧

化铝用量为 170 份时,制得的低烟无卤阻燃电缆料抗张强度为 13.7 MPa,断裂伸长率为 175%,极限氧指数为 34.8%,达到阻燃电缆料标准要求。

用 ATH 和 MH 进行复配,添加到 EVA 中,充分利用 ATH(200℃)和 MH(330℃)不同的分解温度,从而达到 EVA 电缆料燃烧时不同分解温度的梯度阻燃效果。兰乔波等^[12]用 ATH 和 MH 作阻燃剂,低 VA 含量(14%~28%)的 EVA 和高 VA 含量(35%~50%)的 EVA 并用作基料,用硅烷偶联剂改善粉体和聚烯烃的相容性,制备的无卤阻燃电缆料极限氧指数高达 45%,垂直阻燃达到 FV-0 级,抗张强度达到了 13.62 MPa,断裂伸长率为 270%,能同时满足电缆耐矿物油和燃料油的要求,并且能通过 -60℃ 的低温冲击脆化测试。

另外还有研究者用相容剂来提高阻燃剂在聚烯烃中的占比,相容剂能缓解因阻燃剂的加入引起力学性能减小的情况,其只需在电缆料混合时加入相容剂,不增加额外工序,且效果十分明显。费楚然等^[13]用 EVM、聚烯烃热塑性弹性体、乙烯基聚合物接枝聚醚多元醇为基料,用马来酸酐接枝无定形聚烯烃为相容剂,ATH 作为阻燃剂,制备的无卤阻燃护套料抗张强度和断裂伸长率均得到显著改善,同时阻燃性能大幅提高,并且热释放速率、烟释放速率明显降低。

2.2 EVA 电缆料用膨胀型阻燃剂

膨胀型阻燃剂(IFR)的组成主要以磷、氮为主,磷系物质受热分解生成酸促使聚合物碳化,形成碳隔离层;氮系物质受热后分解生成的气体使碳隔离层具有蜂窝状形态。蜂窝状的炭层可以起到隔氧、隔热的作用,同时又能防止熔滴^[14-15]。但是膨胀型阻燃剂和金属氢氧化物相比,价格昂贵,普通膨胀型阻燃剂价格是金属氢氧化物的 3~5 倍。膨胀型阻燃剂主要用于附加值较高的特种电缆料中,用量相对较少,开发价格相对低廉的膨胀型阻燃剂是未来发展方向之一。相较于金属氢氧化物阻燃剂,膨胀型阻燃剂燃烧时会产生较多的烟雾,在无卤阻燃电缆料中一般会 and 金属氢氧化物阻燃剂进行复配使用,一方面膨胀型阻燃剂的阻燃效率相对较高,可以减少金属氢氧化物的用量;另一方面金属氢氧化物具有很好的抑烟效果;两种阻燃剂复配使用能达到较好低烟无卤阻燃的效果。

李碧英等^[16]通过改变 IFR 和 PP/EVA 两种阻燃剂的比例制得的膨胀型无卤阻燃电缆料,其燃烧性能和力学性能优异。宋刚等^[17]用聚磷酸胺(APP)、季戊四醇(PT)、三聚氰胺(MF)和 MH 复配作为阻

燃剂,EVA 和 POE 作为基料,制备的无卤电缆料阻燃等级达到 FV-0 级,拉伸强度为 14.49 MPa,断裂伸长率为 550%,且密度较小。胡婧慧等^[18]用 EVA、PE、PP、马来酸酐接枝茂金属聚乙烯树脂作为基料,磷氮类膨胀型阻燃剂和阻燃协效剂进行复配,制备的低烟无卤阻燃聚烯烃电缆料极限氧指数高达 42%,并通过烟气毒性 ZA2 级等各项测试。张立群等^[19]用 EVA 和苯乙烯-乙烯-丁烯-苯乙烯嵌段共聚物(SEBS)等聚烯烃为基料,用聚磷酸铵 II 型、PT、MF 作为膨胀型阻燃剂,制备的低烟无卤阻燃电缆料极限氧指数可达到 33%,拉伸强度和断裂伸长率分别为 14.3 MPa 和 505%;用其生产阻燃要求较高的美标(UL758)电子线,成品可以通过 VW-1 燃烧测试,产品的耐温等级为 105℃,且遇水无析出。

除此之外,膨胀型阻燃剂还包括可膨胀石墨(EG),单独使用这种阻燃剂效率较低,但它却很容易与其他阻燃剂复配使用^[20]。张立群等^[21]采用 EVA、POE、低密度聚乙烯(LDPE)的混合物为基体树脂,采用氢氧化镁为阻燃剂,以可膨胀石墨和有机蒙脱土为阻燃协效剂组成电缆护套料。用该配方制备的电缆料具有优异的力学性能和阻燃性能,其中拉伸强度可达到 14 MPa,断裂伸长率达到了 350%,垂直燃烧实验可以达到 FV-0 等级,极限氧指数达到 29% 以上。

2.3 EVA 电缆料用硼系阻燃剂

硼系阻燃剂在燃烧时能形成类似玻璃态的保护层,保护聚烯烃成碳层不被破坏,并防止挥发的可燃物逸出^[22-23]。其中含水硼酸锌受热时可以释放水分子,带走热量,进而降低燃烧的着火点,起到阻燃效果。

周和平等^[24]用 EVA、PE 为基料,硼酸锌包覆红磷、ATH、MH 为阻燃剂制备了低烟无卤阻燃辐照交联电缆料,用此配方生产的电线经过辐照交联后,拉伸强度为 15.7 MPa,断裂伸长率为 385%,阻燃满足美标电线规定的 VW-1 燃烧要求。

廖小军等^[25]用 EVA、LLDPE 为基体材料,以氢氧化铝为阻燃剂,以氢氧化镁为“核”,用纳米硼酸锌为“壳”的复合阻燃剂,同时添加纳米黏土作为协效阻燃剂制备了新型低烟无卤阻燃电缆料,其极限氧指数为 38%,热释放速度、烟释放速率较普通低烟无卤阻燃电缆料明显降低。

2.4 EVA 电缆料用硅系阻燃剂

硅系阻燃剂是一种绿色环保阻燃剂,具有低毒、防熔滴和无烟等特点^[26]。有机硅在燃烧时,硅残留在凝聚相中,形成玻璃态的无机碳化层,起到隔

热和阻氧的作用,从而达到协同阻燃增效的作用^[27]。

周玉梅等^[28]以 EVA 和茂金属线性低密度聚乙烯为基料,用纳米蒙脱土(含水硅铝酸盐黏土)、硅系阻燃增效剂(聚二甲基硅氧烷和硅酮母粒)、金属氢氧化物作为复配阻燃剂制备了低烟无卤阻燃护套料。此体系充分利用了纳米硅系阻燃剂和聚合物界面间存在基材与无机填料间的化学结合,使得阻燃剂和聚烯烃之间具有相似的膨胀系数,用此电缆料生产的电缆具有阻燃效果好、热释放量低的优异性能。

可瓷化耐火阻燃材料(含硅阻燃剂在高温条件下生成坚硬陶瓷状壳体)在成瓷剂的作用下,电缆燃烧时能够自动瓷化,形成坚硬的外壳,起到隔热、隔绝氧气的作用。一般着火温度越高,成瓷壳体越坚硬,表面越致密,耐火效果越好。将可瓷化耐火材料和其他阻燃剂复配使用,能够达到高效阻燃耐火的效应。目前可瓷化阻燃聚烯烃和可瓷化硅胶电缆,已经广泛应用于高层楼宇、轨道交通、舰船等各大重要工程项目中,是目前阻燃耐火电缆重要的发展方向。

崔永岩等^[29]以 EVA 和 LLDPE 为基料,硅橡胶/白炭黑为成瓷剂,将成瓷填料、高温裂解催化剂和相关阻燃剂作为协效耐火阻燃剂制备可瓷化 EVA 无卤阻燃电缆料,其阻燃、耐火和抑烟效果显著,高温燃烧时形成坚硬的瓷化层,且瓷化层具有一定的硬度和支撑能力。电缆在高温条件下仍能保持完整的形态,添加高温裂解催化剂能促进 EVA 炭层裂解从而使瓷化层保持良好的绝缘性能,在火灾中仍能保证电力的正常输送。

王春锋等^[30]以乙烯-醋酸乙烯酯共聚物、热塑性聚氨酯、乙烯丙烯酸甲酯、乙烯丙烯酸乙酯、乙烯-丙烯酸丁酯和乙烯丙烯酸共聚物中的 1 种或其中几种的组合作为基体材料,用陶瓷前驱体聚合物料赋予无机阻燃剂的可瓷化特性,用 MH、ATH、硼酸锌和红磷作为复配阻燃剂,制得可瓷化无卤阻燃聚烯烃复合材料,其极限氧指数最高可达到 48%,垂直燃烧通过 FV-0 级。

3 结束语

GB/T 19666—2019《阻燃和耐火电线电缆或光缆通则》标准中增加了低烟无卤阻燃电缆的低毒性能要求,对氧化氮($\text{NO}_x < 90 \text{ mg/m}^3$)和氰化氢($\text{HCN} < 55 \text{ mg/m}^3$)的浓度也进行了规定,对低烟无卤阻燃电缆料提出了更高的要求,因此,未来低烟无卤阻燃电缆为可以从以下 3 方面进行开展:

(1) EVA 和无卤阻燃剂有着较好的相容性,同时也具备良好的加工性能,已经成为低烟无卤电缆料最重要的阻燃基体材料。EVA 由于极性基团的引入,降低了其拉伸强度和绝缘性能,制备低烟无卤护套时,需要并用拉伸强度较高的 PE、PP 等高聚物,才能达到线缆标准要求。EVA 的绝缘性能相对较低,限制了其作为中高压电缆的使用范围,如何提高 EVA 基低烟无卤阻燃电缆料的绝缘性能,是低烟无卤阻燃电缆料一个重要的发展方向。

(2) 金属氢氧化物作为 EVA 基低烟无卤阻燃电缆料最重要的阻燃剂之一,表面改性和粒径超细化是其发展趋势,我国中低端的无机阻燃剂改性可以满足常规无卤阻燃电缆料的要求,且价格便宜;高端金属氢氧化物阻燃剂还是依赖进口为主,期待国产高端阻燃剂改性技术早日突破,为我国低烟无卤阻燃电缆料高质量全面发展助力。

(3) 阻燃剂复配使用是无卤阻燃电缆料阻燃剂使用的基本思路,但是设计配方时需要考虑低烟无卤电缆的最新毒性要求。膨胀型阻燃剂用量一定要控制在合理范围内,否则,即使阻燃性能合格,但低烟和低毒性能不一定满足标准要求,这是新版低烟无卤阻燃电缆标准实施后广大科研工作者必须面对的课题。

参考文献:

- [1] 电线电缆市场发展分析[J]. 电器工业,2020(12):39-47.
- [2] 程博,李定华,吴凡,等. 不同蒙脱土对 $\text{Al}(\text{OH})_3$ /乙烯-醋酸乙酯复合材料力学性能和阻燃性能的影响[J]. 复合材料学报,2017,34(12):2715-2721.
- [3] 金标义,吴长顺. EVA 在电缆行业的应用和发展前景[J]. 电线电缆,2015(2):34-36.
- [4] 雷果,宋刚,李滨耀,等. 一种耐低温耐油耐扭转低烟无卤阻燃风能电缆护套料及其制备方法及其用途:CN109651691A[P]. 2019-04-19.
- [5] 徐刚,姚春. EVM 橡胶在低烟无卤阻燃船用电缆上的应用[J]. 特种橡胶制品,2000,21(6):32-34.
- [6] 夏明慧,冷静,王超,等. 耐双油耐超低温低烟无卤橡胶护套料的研制[J]. 电线电缆,2020(5):32-46.
- [7] 金楷皓,王新古,赵健军,等. 阻燃剂对低烟无卤聚烯烃电缆料性能的影响[J]. 绝缘材料,2020,53(3):1-6.
- [8] 周日生. 新型无卤阻燃电缆[J]. 电线电缆,2001(6):28-32.
- [9] 张前程,胡金平,王平等. 高填充量耐油乙烯-醋酸乙酯共聚物电缆材料的制备及性能[J]. 高分子材料科学与工程,2020,36(7):54-59.
- [10] 高晓慧,曾光新. 耐油耐泥浆辐照交联阻燃电缆材料:CN107236182B[P]. 2020-03-24.
- [11] 朱应宝. 超细氢氧化铝在热塑性低烟无卤阻燃电缆中的性能研究[J]. 世界有色金属,2019(24):171-172.
- [12] 兰乔波,宋刚. 一种耐油耐寒高阻燃低烟无卤电缆料及制备方

- 法:CN104262773A[P].2015-01-07.
- [13] 费楚然,黄玉龙.一种低热释放速率的无卤阻燃护套料:CN106589750A[P].2017-04-26.
- [14] XU B, SHAO L S, WANG J Y, et al. Enhancement of the intumescent flame retardant efficiency in polypropylene by synergistic charring effect of a hypophosphite/cyclotetrasiloxane bi-group compound[J]. Polymer Degradation and Stability, 2020, 181:109281.
- [15] CUI M J, LI J, QIN D B, et al. Intumescent flame retardant behavior of triazine group and ammonium polyphosphate in waterborne polyurethane[J]. Polymer Degradation and Stability, 2021, 183:109439.
- [16] 李碧英,卢国建,张帆,等.膨胀型无卤阻燃PP/EVA 电缆料的研制[J].塑料科技,2009(5):49-53.
- [17] 宋刚,侯海良,翁文彪.一种密度极低阻燃无卤电缆料及制备方法:CN102492211A[P].2012-06-13.
- [18] 侯海良,曾新光.一种低烟无卤阻燃聚烯烃电缆料及其制法:CN1445793A[P].2003-10-01.
- [19] 张立群,李红霞,王炎祥,等.一种高阻燃高耐热无卤膨胀型阻燃电缆料及其制备方法:CN101735546A[P].2010-06-16.
- [20] CHEN L, WANG Y Z. A review on flame retardant technology in China Part I: Development of flame retardants[J]. Polymers for Advance Technologies, 2010, 21(1):1-26.
- [21] 张立群,李红霞,黄宏海,等.一种无卤阻燃电缆护套料:CN101012326A[P].2007-08-08.
- [22] CHENG X W, WU Y X, HUANG Y T, et al. Synthesis of a reactive boron-based flame retardant to enhance the flame retardancy of silk[J]. Reactive and Functional Polymers, 2020, 156: 104731.
- [23] CHEN S S, AI L H, ZHANG T, et al. Synthesis and application of a triazine derivative containing boron as flame retardant in epoxy resins[J]. Arabian Journal of Chemistry, 2018, 13(1): 2981-2994.
- [24] 周和平,王志勇,肖扬华,等.无卤阻燃辐射交联电线及其制备方法:CN1758385A[P].2006-04-12.
- [25] 廖小军,黄玉龙,苏忠兴.纳米改性低热释放速率低烟无卤阻燃电缆料及其制备方法:CN106832554B[P].2019-12-13.
- [26] 王红霞,何文娣,曹东东.新型硅-氮协同阻燃剂的合成与应用研究[J].化工新型材料,2020,11(48):272-275.
- [27] 高喜平,李小童,王博,等.EVA 无卤阻燃改性的研究进展[J].化工新型材料,2019,47(11):40-45.
- [28] 周玉梅,邓之俊,袁宝,等.一种紫外光交联黑色低烟无卤电缆护套材料及制备方法:CN110527178A[P].2019-10-08.
- [29] 崔永岩,段盛元,杨瀚,等.一种可瓷化EVA 无卤阻燃电缆料及其制备方法:CN108164805A[P].2017-12-25.
- [30] 王春锋,侯鹏程,王永亮,等.一种相调控可陶瓷化无卤阻燃聚烯烃复合材料及其制备方法:CN113388182A[P].2021-09-14.

收稿日期:2022-04-01 修回日期:2022-07-10

作者简介:张新(1979-),男(汉族),安徽六安人,高级工程师,主要从事电线电缆材料配方设计的研究。