

阻燃丁苯橡胶燃烧特性的主要影响因素

马晨¹,包志方²,张立群¹,吴建国²,田明^{1*}

(1.北京化工大学北京市新型高分子材料制备与加工重点实验室,北京 100029;2.无锡宝通带业股份有限公司,江苏 无锡 214112)

摘要:研究阻燃丁苯橡胶(SBR)配方中氯化石蜡/三氧化二锑并用比、炭黑和白炭黑对其燃烧特性和阴燃性能的影响。结果表明:氯化石蜡/三氧化二锑并用比为1:1时,阻燃SBR的阻燃性能最好;与未添加炭黑的阻燃SBR相比,添加炭黑的阻燃SBR的阻燃性能提高,但阴燃现象严重;与未添加白炭黑的阻燃SBR相比,添加白炭黑的阻燃SBR的阻燃性能提高,且未产生阴燃现象。

关键词:丁苯橡胶;燃烧特性;阻燃;阴燃

中图分类号:TQ333.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-890X(2013)05-0268-07

随着社会安全意识的提高,许多应用领域都对所使用的橡胶材料明确提出了阻燃性能的要求。通常使用含卤橡胶基体或在橡胶基体中添加卤素阻燃剂可以达到优良的阻燃效果,但是一个实际应用的阻燃橡胶产品除了添加阻燃剂外,往往还需要添加补强剂来提高强度或添加增塑剂来改善加工性能,这些组分势必影响阻燃橡胶的燃烧特性,或者可能产生阴燃,引起二次燃烧。李波等^[1-4]分别研究了红磷和硼酸锌、十溴二苯乙烷与其协效阻燃剂以及氢氧化铝、氢氧化镁和硼酸锌等配方组分对三元乙丙橡胶和硅橡胶阻燃性能的影响。

丁苯橡胶(SBR)具有优良的耐磨性能,且成本较低,在输送带行业中应用广泛,特别是煤采应用的阻燃SBR要求具有高强度和高阻燃性能,并且离火瞬间自熄,不阴燃,防止复燃。

为了能客观地评价真实火灾中材料的燃烧特性,锥形量热仪常用来表征在预置的入射热流强度下材料的燃烧行为和燃烧过程^[5]。本工作采用锥形量热仪并结合酒精喷灯燃烧试验,研究阻燃SBR配方中氯化石蜡/三氧化二锑并用比、炭黑和白炭黑用量等对阻燃SBR燃烧特性和阴燃性

能的影响,并对燃烧产物形貌进行分析,以揭示各影响因素在阻燃SBR燃烧过程中的作用。

1 实验

1.1 主要原材料

SBR,中国石油吉化集团公司产品;氯化石蜡,浙江富阳市精诚化工有限公司产品;三氧化二锑,湖南省安化县奎溪锑业有限公司产品;炭黑N330,重庆星博化工有限公司产品;白炭黑,无锡恒诚硅业有限公司产品。

1.2 试验配方

SBR 100,炭黑N330或白炭黑 0~100,氯化石蜡 50~100,三氧化二锑 5~50,氧化锌 4,硬脂酸 2,硫黄 2,促进剂NS 1.5,促进剂M 1.5。

1.3 主要设备和仪器

XK-160型开炼机,无锡第一机械厂产品;XLB-D350×350×2型平板硫化机,湖州东方机械有限公司产品;GT-M2000A型无转子硫化仪和TCS-2000-GDW型高低温电脑伺服控制拉力强度试验机,高铁检测仪器(东莞)有限公司产品;JF-3型氧指数测定仪,江宁县分析仪器厂产品;FTT0242型锥形量热仪,英国FTT公司产品;GJJPD-17型酒精喷灯试验台,上海煤研所产品;IXUS750型数码相机,佳能(中国)有限公司产品。

作者简介:马晨(1988—),女,安徽宿州人,现任职于国家知识产权局专利局审查协作江苏中心,硕士,从事阻燃橡胶的研究。

*通信联系人

1.4 试样制备

采用开炼机将生胶混炼均匀,将辊距调至 2 mm 以下,薄通 3 次,调大辊距至 3 mm 左右,包辊加料,按配方比例依次加入炭黑或白炭黑、阻燃剂、增塑剂、促进剂和硫化剂,辊温控制在 40~50 ℃,炼胶时间控制在 30 min 左右。采用平板硫化机进行硫化[硫化条件为 152 ℃/15 MPa×($t_{90}+2$ min),硫化过程中排气 4 次]制得阻燃 SBR。

1.5 性能测试

(1)阻燃性能采用 FTT0242 型锥形量热仪按 ASTM E 1354(1990)《用氧气消耗热量计测定材料和制品热及可见烟释放率的试验方法》进行测试。试样尺寸为 100 mm×100 mm×3 mm,辐射热通量为 50 kW·m⁻²。

(2)阴燃性能采用酒精喷灯试验台按 GB/T 3685—1996《输送带酒精喷灯燃烧性能规范和试验方法》进行测试。试样尺寸为任意长度×35 mm×2 mm。

(3)采用 IXUS750 型数码相机表征阻燃 SBR 燃烧物外表形貌。

(4)胶料的各项性能均按相应国家标准进行测试。

2 结果与讨论

2.1 氯化石蜡/三氧化二锑并用比的影响

2.1.1 燃烧特性

样品点燃时间是评价材料耐火性能的一个重要参数,它是指从材料表面受热到持续出现燃烧时所用的时间。总释放热是指材料从被点燃到火焰熄灭时所释放的热量总和。在预置的入射热流强度下,热释放速率是指材料被点燃后单位面积的热量释放速率,它是表征火灾强度的最重要性能参数,其最大值表征了材料燃烧时的最大热释放程度。毒性指数主要是指材料燃烧时所放出的气体中一氧化碳与二氧化碳的总质量比。火灾性能指数是火灾中材料发生轰燃的时间,是样品点燃时间与热释放速率最大值的比值,其值越高,表明人们逃生的时间越长。

卤素阻燃剂是目前应用量最大的一类传统阻燃剂,具有添加量小、阻燃效果显著的特点。卤素

阻燃剂一般与三氧化二锑并用。表 1 示出了氯化石蜡/三氧化二锑并用比对阻燃 SBR 燃烧特性的影响。

表 1 氯化石蜡/三氧化二锑并用比对阻燃 SBR 燃烧特性的影响

项 目	氯化石蜡/三氧化二锑并用比			
	1 : 1	2 : 1	3 : 1	4 : 1
样品点燃时间/s	24	20	20	19
总释放热/(MJ·m ⁻²)	26.9	36.2	38.7	34.9
热释放速率最大值/ (kW·m ⁻²)	206.6	257.4	279.1	287.9
烟雾总量	1 470	1 856	1 971	1 862
毒性指数	0.083	0.073	0.071	0.061
火灾性能指数/ [s·(kW·m ⁻²) ⁻¹]	0.116	0.078	0.072	0.066

注:白炭黑 25,三氧化二锑 10。

从表 1 可以看出,随着氯化石蜡/三氧化二锑并用比的增大,阻燃 SBR 燃烧时的样品点燃时间缩短,火灾性能指数和毒性指数减小,总释放热、热释放速率最大值和烟雾总量增大。样品点燃时间越长,意味着材料不易点燃。总释放热越小,意味燃烧总热量小,不易引起其他可燃物燃烧。烟雾总量越小,意味着烟雾量小,有利于逃生。烟雾是由聚合物不完全燃烧生成的碳微粒或有色气体(如氯化氢和硫化氢等)形成的。事实上,在火灾事故中许多人不是被直接烧死的,而是因毒性烟雾致昏迷而无法逃生。毒性指数越小,意味着燃烧释放的一氧化碳越少、二氧化碳越多。火灾性能指数越小,意味着逃生时间更长。热释放速率最大值越小,意味着瞬间燃烧热释放速度慢,不易引起剧烈燃烧。综合考虑,氯化石蜡/三氧化二锑并用比为 1 : 1,阻燃 SBR 的阻燃性能最好。

图 1 示出了氯化石蜡/三氧化二锑并用比对阻燃 SBR 燃烧时的热释放速率曲线的影响。

从图 1 可以看出,不同氯化石蜡/三氧化二锑并用比的阻燃 SBR 燃烧时的热释放速率曲线均有 2 个峰值。当氯化石蜡/三氧化二锑并用比为 1 : 1 时,因生成较多的三卤化锑能够较好地阻止燃烧气相中可燃性物质的形成,第 1 个热释放速率峰明显降低,材料燃烧不完全且在表面形成炭层,起到了延缓燃烧的作用;随着热能的继续辐射,炭层出现破坏,引发材料内层第 2 次燃烧,但

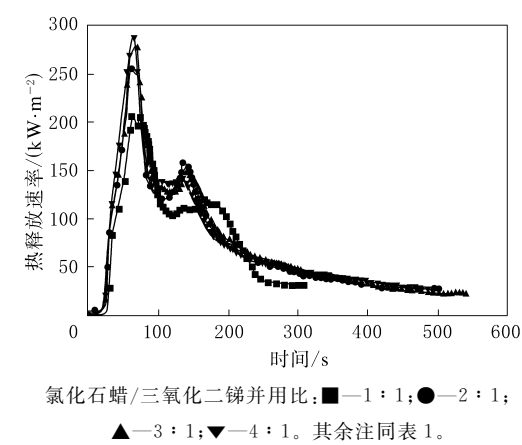


图 1 氯化石蜡/三氧化二锑并用比对阻燃 SBR 燃烧时的热释放速率曲线的影响

出现第 2 个热释放速率峰的时间明显后移,峰值也明显降低。随着氯化石蜡/三氧化二锑并用比的增大,阻燃 SBR 开始燃烧的时间明显提前,出现 2 个热释放速率峰的时间前移,峰值也提高。

材料燃烧过程必然伴随着烟雾的产生。图 2 示出了氯化石蜡/三氧化二锑并用比对阻燃 SBR 燃烧时的烟释放速率曲线的影响。

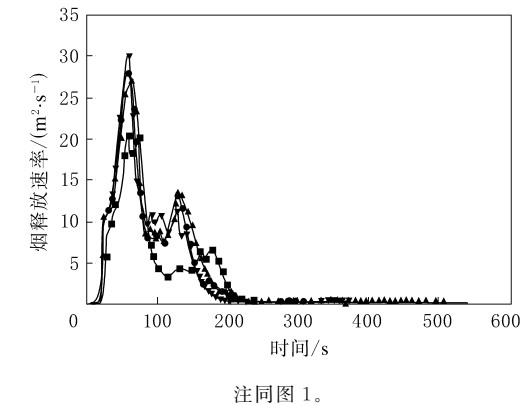
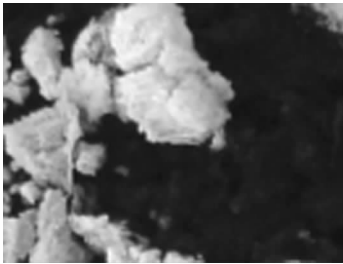


图 2 氯化石蜡/三氧化二锑并用比对阻燃 SBR 燃烧时的烟释放速率曲线的影响

从图 2 可以看出,氯化石蜡/三氧化二锑并用比对阻燃 SBR 燃烧时的烟释放速率曲线的影响与对热释放速率曲线的影响类似,热释放速率峰的出现与烟释放速率峰基本相对应,热释放速率越大,烟释放速率也越大。

图 3 示出了氯化石蜡/三氧化二锑并用比对阻燃 SBR 燃烧产物形貌的影响。从图 3 可以看出:当氯化石蜡/三氧化二锑并用比为 1 : 1 时,燃烧产物中黑色炭层形成较多,起到了延缓燃烧的



(a)氯化石蜡/三氧化二锑并用比为 1 : 1



(b)氯化石蜡/三氧化二锑并用比为 2 : 1



(c)氯化石蜡/三氧化二锑并用比为 3 : 1



(d)氯化石蜡/三氧化二锑并用比为 4 : 1

注同表 1。

图 3 氯化石蜡/三氧化二锑并用比对阻燃 SBR 燃烧产物形貌的影响

作用,同时避免了材料燃烧时大量烟灰的形成;随着氯化石蜡/三氧化二锑并用比的增大,燃烧产物形貌变化不大,氯化石蜡/三氧化二锑并用比对阻燃 SBR 燃烧的成炭性影响不大。

2.1.2 阴燃性能

表 2 示出了氯化石蜡/三氧化二锑并用比对阻燃 SBR 阴燃性能的影响。

从表 2 可以看出,随着氯化石蜡/三氧化二锑

表 2 氯化石蜡/三氧化二锑并用比对阻燃 SBR 阴燃性能的影响				
项 目	氯化石蜡/三氧化二锑并用比			
	1 : 1	2 : 1	3 : 1	4 : 1
酒精喷灯燃烧	离火后火焰 燃烧 1 s	离火即熄	离火即熄	离火即熄
阴燃现象	无阴燃	无阴燃	无阴燃	无阴燃

注:同表 1。

并用比的增大,阻燃 SBR 的阴燃性能变化很小。可见,阻燃 SBR 阴燃性能不受氯化石蜡/三氧化二锑并用比的影响。阴燃反应区通常是缺氧区域,阴燃的传播受氧气供给条件的控制,氧气通过扩散从外界向燃料层传送,在被传输到反应区的同时就被消耗掉。因此,这种低氧条件既限制了有焰燃烧的形成,也限制了阴燃传播。卤素的阻燃机理是气相阻燃机理,含卤素弹性体在燃烧受热状态下能够析出卤素游离基,卤素游离基可以捕捉燃烧分解出来的可燃性活泼羟基,也能够阻止或延缓弹性体的燃烧^[6]。另外,含卤化合物燃烧生成的氯化氢与三氧化二锑反应生成的三卤化锑也能阻止燃烧气相中可燃性物质的形成。氯化石蜡/三氧化二锑并用比增大,含卤化合物燃烧生成的氯化氢与三氧化二锑反应生成三卤化锑,阻止燃烧气相中可燃性物质的形成,阻燃效果提高,但此气相阻燃并未影响炭层下氧气的浓度以及炭层的形成,对阴燃性能无影响。

2.2 炭黑的影响

2.2.1 燃烧特性

表 3 示出了炭黑用量对阻燃 SBR 燃烧特性的影响。图 4 示出了炭黑用量对阻燃 SBR 燃烧时的热释放速率曲线的影响。

项 目	炭黑用量/份			
	0	25	50	75
样品点燃时间/s	17	22	23	30
总释放热/(MJ·m ⁻²)	37.4	35.2	34.0	35.5
热释放速率最大值/ (kW·m ⁻²)	708.0	602.9	409.2	323.5
烟雾总量	3 111	2 798	2 157	2 298
毒性指数	0.034	0.078	0.063	0.055
火灾性能指数/ [s·(kW·m ⁻²) ⁻¹]	0.024	0.036	0.056	0.093

注:氯化石蜡 20,三氧化二锑 5。

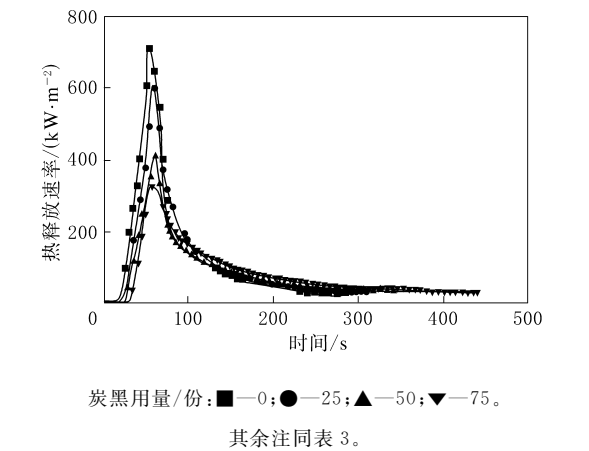
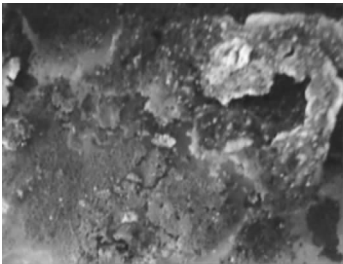


图 4 炭黑用量对阻燃 SBR 燃烧时的热释放速率曲线的影响

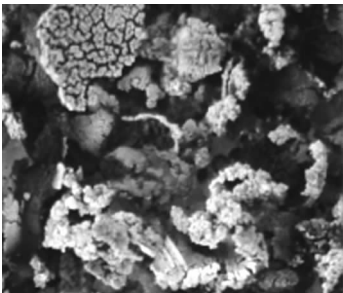
从表 3 和图 4 可以看出,与未添加炭黑的阻燃 SBR 相比,添加炭黑的阻燃 SBR 燃烧时的样品点燃时间延长,火灾性能指数明显增大,热释放速率最大值和烟雾总量明显减小,毒性指数增大,总释放热变化很小。炭黑属可燃物,燃点较高,因此,样品点燃时间随着炭黑用量的增大而延长。除了稀释作用外,炭黑与 SBR 分子有着强烈的物理吸附作用,且在橡胶基体中形成了具有一定骨架支撑作用的填料网络结构,提高了橡胶材料的硬度,有效地减缓了 SBR 燃烧时的滴落现象。炭黑与 SBR 分子燃烧后生成的水与环境中的水蒸气发生化学反应,如 $C+H_2O\rightarrow CO+H_2$ 与 $CO+H_2O\rightarrow CO_2+H_2$,增加了气体的浓度,稀释了固体小颗粒的浓度,起到了消烟作用;二氧化碳的浓度升高稀释了氧的浓度,增强了气相阻燃作用^[7]。

从图 4 还可以看出:添加和未添加炭黑的阻燃 SBR 燃烧时的热释放速率曲线均只有 1 个峰值,且热释放速率峰随着炭黑用量的增大而明显降低。分析认为:未添加炭黑的阻燃 SBR 燃烧表层无炭层形成,故呈现 1 个峰值;随着炭黑用量的增大,材料表面形成的炭层增多,热能继续辐照,炭层仍稳定,未遭受破坏,材料内层无法产生第 2 次燃烧。此外,添加炭黑后,可燃物浓度降低,相同气氛下燃烧可能不充分;炭黑也可能燃烧,造成一氧化碳生成量增多。

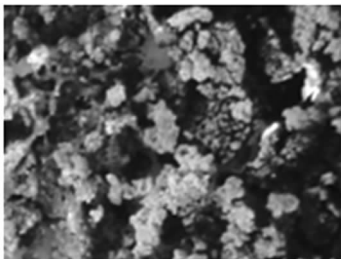
图 5 示出了炭黑用量对阻燃 SBR 燃烧产物形貌的影响。从图 5 可以看出,随着炭黑用量的



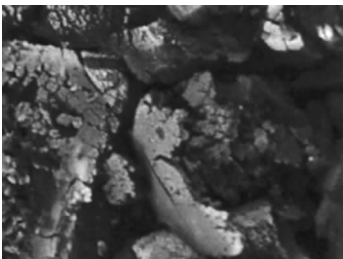
(a)未添加炭黑



(b)炭黑用量 25 份



(c)炭黑用量 50 份



(d)炭黑用量 75 份

注同表 3。

图 5 炭黑用量对阻燃 SBR 燃烧产物形貌的影响

增大,阻燃 SBR 燃烧后出现大量的黑色残余物,这说明填充炭黑有助于 SBR 燃烧时的成炭行为,增强了阻燃体系的阻隔性能,延缓了可燃物的挥发,提高了阻燃 SBR 的阻燃性能。

2.2.2 阴燃性能

表 4 示出了炭黑用量对阻燃 SBR 阴燃性能的影响。

从表 4 可以看出:未添加炭黑的阻燃 SBR 燃

表 4 炭黑用量对阻燃 SBR 阴燃性能的影响

项 目	炭黑用量/份			
	0	25	50	75
酒精喷灯	离火后火焰	离火后火焰	离火后火焰	离火后火焰
燃烧	燃烧 123 s	燃烧 176 s	燃烧 166 s	燃烧 3 s
阴燃现象	无阴燃	阴燃 129 s	阴燃 240 s	阴燃 300 s

注:同表 3。

烧后无阴燃现象;添加炭黑的阻燃 SBR 燃烧后有明显阴燃现象,且随着炭黑用量的增大,阴燃现象持续时间延长。炭黑的成分主要是元素碳,属于无定形碳,并含有少量氧、氢和硫等,当空气充足时,炭黑燃烧剧烈而呈红色,炭黑阴燃能自维持并向下发展。因此,添加炭黑的阻燃 SBR 燃烧后有明显的阴燃现象,且随着炭黑用量的增大,炭黑与空气反应燃烧剧烈而呈红色现象越明显,阴燃现象自维持并向下发展的时间延长。

2.3 白炭黑的影响

2.3.1 燃烧特性

表 5 示出了白炭黑用量对阻燃 SBR 燃烧性能的影响。图 6 示出了白炭黑用量对阻燃 SBR 燃烧时的热释放速率曲线的影响。

从表 5 可以看出,与未添加白炭黑的阻燃 SBR 相比,添加白炭黑的阻燃 SBR 燃烧时的样品点燃时间延长,火灾性能指数明显增大,热释放速率最大值和烟雾总量明显减小,毒性指数随着白炭黑用量的增大呈现先增大后减小的趋势,总释放热变化很小。白炭黑不能燃烧,能起到稀释作用,高温下也可能释放少量结晶水,降低阻燃 SBR 燃烧时的热释放速率最大值和烟雾总量,使燃烧过程变缓。

从图 6 可以看出,未添加白炭黑的阻燃 SBR

表 5 白炭黑用量对阻燃 SBR 燃烧性能的影响

项 目	白炭黑用量/份			
	0	25	50	75
样品点燃时间/s	17	21	22	22
总释放热/(MJ·m ⁻²)	37.4	35.9	37.4	35.7
热释放速率最大值/ (kW·m ⁻²)	708.0	512.2	313.1	257.0
烟雾总量	3 111	2 841	2 077	1 768
毒性指数	0.034	0.055	0.040	0.030
火灾性能指数/ [s·(kW·m ⁻²) ⁻¹]	0.024	0.041	0.070	0.086

注:同表 3。

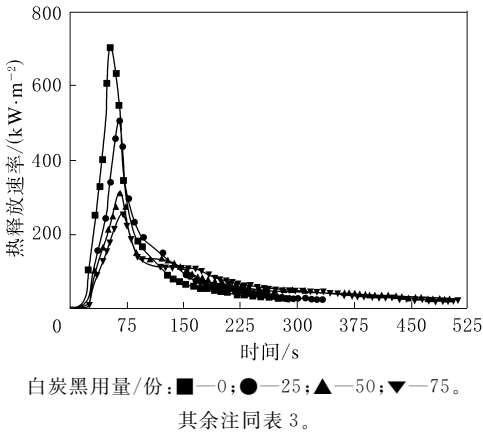


图6 白炭黑用量对阻燃SBR燃烧时的热释放速率曲线的影响

燃烧热释放速率曲线呈现1个峰值,这是由于材料燃烧时无二氧化硅覆盖其表层。随着白炭黑用量的增大,SBR表面形成的二氧化硅增多,随着热能的继续辐照,二氧化硅较稳定,仅遭受小面积破坏,材料内层第2次燃烧现象不明显,第2个峰值不明显。白炭黑用量越大,材料燃烧表层形成的二氧化硅越多越稳定,第2个峰值发生的时间略向后推移。

图7示出了白炭黑用量对阻燃SBR燃烧产物形貌的影响。

从图7可以看出,随着白炭黑用量的增大,阻燃SBR燃烧后出现大量的白色残余物。这进一步验证了材料燃烧时聚集的白炭黑在聚合物表面形成了绝热层和物理覆盖层,减缓了热量向纵深传递,从而减缓了聚合物熔体的汽化过程,起到隔热、隔质和隔氧的作用,减少了可燃气态产物的生成量,从而延缓了材料的燃烧。

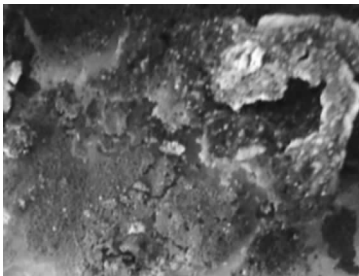
2.3.2 阴燃性能

表6示出了白炭黑用量对阻燃SBR阴燃性能的影响。

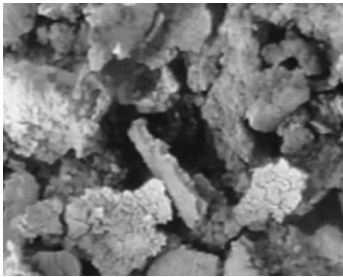
从表6可以看出,随着白炭黑用量的增大,阻

项 目	白炭黑用量/份			
	0	25	50	75
酒精喷灯	离火后火焰	离火后火焰	离火后火焰	离火后火焰
燃烧	燃烧 123 s	燃烧 26 s	燃烧 9 s	燃烧 2 s
阴燃现象	无阴燃	无阴燃	无阴燃	无阴燃

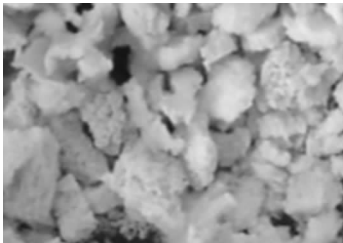
注:同表3。



(a)未添加白炭黑



(b)白炭黑用量 25 份



(c)白炭黑用量 50 份



(d)白炭黑用量 75 份

注同表3。

图7 白炭黑用量对阻燃SBR燃烧产物形貌的影响

燃SBR的阻燃性能提高,火焰燃烧时间缩短,且不同白炭黑用量的阻燃SBR均未发生阴燃现象。

3 结论

(1)氯化石蜡/三氧化二锑并用比为1:1时,阻燃SBR燃烧时的样品点燃时间最长,火灾性能指数和毒性指数最大,总释放热、热释放速率最大值和烟雾总量最小,阻燃性能最好。

(2)随着炭黑用量的增大,阻燃 SBR 燃烧时的样品点燃时间延长,火灾性能指数明显增大,热释放速率最大值和烟雾总量明显减小,毒性指数先增大后减小,总释放热变化很小,炭黑稀释和成炭效果都比较明显,阻燃 SBR 的阻燃性能提高,但阴燃现象严重。

(3)随着白炭黑用量的增大,阻燃 SBR 燃烧时的热释放速率最大值和烟雾总量明显减小,毒性指数先增大后减小,样品点燃时间和总释放热变化很小,白炭黑仅有稀释作用,阻燃 SBR 的阻燃性能提高,且未产生阴燃现象。

参考文献:

[1] 李波,田明,张立群.无卤阻燃三元乙丙橡胶燃烧性能的影响

因素[J].特种橡胶制品,2011,32(1):7-12.

[2] 朱新军,张胜,黄庆,等.溴阻燃体系阻燃三元乙丙橡胶的研究[A].2008年特种橡胶及热塑性弹性体市场及应用技术研讨会[C].北京:《中国化工信息》周刊和《化工新型材料》编辑部,2008:222-228.

[3] 盛旭敏,张卫勤,邹雄,等.硅橡胶阻燃材料的研究[J].特种橡胶制品,2004,25(4):9-11.

[4] 亢庆卫,罗权焜.以三氧化二锑为协效剂的复合阻燃剂对硫化胶阻燃性能的影响[J].橡胶工业,2004,51(11):651-654.

[5] 王庆国,张军,张峰.锥形量热仪的工作原理及应用[J].仪器技术与应用,2003(6):36-39.

[6] 田丽,杨晓丹.阴燃过程及其传播机理的分析与研究[J].火灾科学,2000,9(4):51-57.

[7] 王心蕊,胡平,成诞人.炭黑在超高分子量聚乙烯阻燃改性中的作用[J].现代化工,2001,21(6):38-40.

收稿日期:2012-11-14

Main Factors on Combustion Characteristics of Flame-retardant SBR

MA Chen¹,BAO Zhi-fang²,ZHANG Li-qun¹,WU Jian-guo²,TIAN Ming¹

(1. Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China; 2. Boton Conveyor Belt Co., Ltd., Wuxi 214112, China)

Abstract: The effects of the blending ratio of chlorinated paraffin/antimony trioxide, use of carbon black and silica on the combustion characteristics and smoldering property of flame-retardant SBR were investigated. The results showed that, when the blending ratio of chlorinated paraffin/antimony trioxide was 1 : 1, the flame-retardant property of flame-retardant SBR was the best. Compared to flame-retardant SBR without carbon black, the flame-retardant property of flame-retardant SBR with carbon black was better, but severe smolder occurred. Compared to flame-retardant SBR without silica, the flame-retardant property of flame-retardant SBR with silica was also better, and no smolder occurred.

Key words: SBR; combustion characteristics; flame-retardant; smoldering

轿车轮胎胎面胶用高岭土/丁苯橡胶 复合材料制备方法

中图分类号: TQ330.38+3; TQ333.1 文献标志码: D

由武汉理工大学和北海高岭科技有限公司申请的专利(公开号 CN 101935414A, 公开日期 2011-01-05)“轿车轮胎胎面胶用高岭土/丁苯橡胶复合材料制备方法”, 提供了一种轿车轮胎胎面胶用高岭土/丁苯橡胶(SBR)复合材料的制备方法, 包括高岭土表面改性、混炼工艺和硫化工艺等, 即: 将高岭土在高速混合机中高速搅拌, 在 60~80℃下依次加入活化剂、主改性剂、辅助改性剂和稀

释剂等, 反应 20 min 左右后制得改性高岭土; 再将改性高岭土填充至 SBR 中制得高岭土/SBR 复合材料(配方为 SBR 100, 改性高岭土 60~100, 氧化锌 5, 硬脂酸 2, 古马隆树脂 14, 防老剂 4010NA 1, 硫黄 2, 促进剂 DM 1.5, 促进剂 D 0.4, 促进剂 CZ 0.6)。该发明对高岭土改性效果好, 工序简单, 易于工业化生产, 得到的改性高岭土能够替代炭黑或白炭黑, 制备的高岭土/SBR 复合材料物理性能优良, 达到国家标准规定的轿车轮胎胎面胶要求, 且性价比高。

(本刊编辑部 赵敏)