

非膨胀型改性海泡石纤维防火涂料的制备及其防火性能

薛永刚¹, 高金宝², 刘奕岑³, 方云超⁴, 李 严⁵

(1. 河北辰翔实业股份有限公司, 石家庄 050500; 2. 河北工业职业技术大学计算机技术学院, 石家庄 050091;
3. 中国地质大学(北京)材料科学与工程学院, 北京 100083; 4. 北京工业大学材料科学与工程学院, 北京 100124;
5. 北京金隅涂料有限责任公司, 北京 100096)

摘 要:近年来,对于钢结构防火涂料中非膨胀型防火涂料的研究主要关注于新型隔热填料的开发。开发具有更低导热系数的隔热填料,形成更加稳定的隔热防火涂层成为目前研究的重点。本工作通过添加水镁石纤维和氧化硅纤维及一些高分子改性剂,制备得到改性海泡石纤维,并将其应用于非膨胀型防火涂料当中,使其具有更慢的升温速率,抗裂性能更高。在防火涂料中添加 20% 改性海泡石纤维时,其有效防火时间可达 185 min,同时具有 0.042 MPa 的粘结强度和 0.461 MPa 的抗压强度,与其他防火材料相比,表现出更加出色的防火隔热性能。本工作为非膨胀型防火材料的新型隔热填料提供了新的方案,具有较高的市场应用价值及发展前景。

关键词:海泡石纤维; 水镁石纤维; 氧化硅纤维; 非膨胀型防火涂料; 钢结构

中图分类号: TU545 文献标志码: A 文章编号: 0454-5648(2025)03-0666-09

网络出版时间: 2024-12-30



钢结构建筑属于目前现代社会发展中的一种优良建筑形式,其具有质量轻、强度高、绿色环保等优点,逐渐得到了广泛的应用^[1-2]。为了保证钢结构在建筑物和其他众多基础设施中的广泛安全应用,首先要确保其具有出色的防火性能,因此,在钢结构表面涂覆一层防火涂料是非常必要的。目前,国内众多项目着重要求使用非膨胀型防火材料而非膨胀型防火材料,主要原因在于:膨胀型防火材料防火性能差,质量参差不齐,工程上难以检测品质,能否真正起到防火作用难以把控;而非膨胀型防火材料防火效果显著,对钢材能够起到高效的防火隔热保护作用^[3-6]。目前,国内对非膨胀型防火涂料的研究相对较少,缺少对于非膨胀型防火材料的改性创新。

海泡石是以一种富含镁、硅等元素的天然矿物,这些卤元素本身就是极好的阻燃元素,海泡石来源广泛,无毒无害,这使得海泡石在阻燃研究中成为一种潜在的环境友好型阻燃剂或阻燃协效剂,将其应用于阻燃中可能会达到良好的阻燃抑烟效果^[7-8],

此外,海泡石具有良好的热稳定性,在燃烧过程中能保持骨架稳定,较大的比表面积和多孔结构使其具有良好的吸附功能以及抑烟效果^[9-11]。同时,由于孔道中空气导热系数远小于固体导热系数,使得海泡石具有良好的阻热效果,将海泡石用作防火涂料或防火板的填料可以有效提高防火涂料或防火板的耐火性能^[12-13]。目前,海泡石作为常规的防火填料广泛的应用于防火涂料和防火板行业当中。海泡石具有良好的吸附性、流变性和催化性^[14-17],海泡石矿物纤维在水和其他高极性溶液中,纤维束易解散形成不规则的纤维网络,可在低浓度下形成高黏度的稳定悬浮液,这一特性使其能够与其他填料一同分散改性,加入到防火涂料或防火板浆料中。由此,可以通过对海泡石纤维进行改性,解决目前海泡石纤维防火涂料或防火板浆料中存在的许多问题。

国内对于海泡石纤维的研究工作主要集中在膨胀型防火材料以及阻燃剂材料的研究当中,缺少海泡石纤维在非膨胀型防火涂料当中的应用,对于海泡石纤维处理加工的工艺仍需要进一步的探索。本

收稿日期: 2024-08-11。 修订日期: 2024-09-02。

第一作者: 薛永刚(1982—),男,学士,高级工程师。

通信作者: 高金宝(1979—),男,硕士,副教授。

Received date: 2024-08-11. Revised date: 2024-09-02.

First author: XUE Yonggang (1982—), male, Bachelor, Senior Engineer.

E-mail: 48245097@qq.com

Correspondent author: GAO Jinbao (1979—), male, Master, Associate Professor.

E-mail: 675034539@qq.com

工作重点研究了以海泡石纤维为主要原材料的改性纤维添加到防火涂料中, 用来提高非膨胀防火涂料的防火性能。此改性纤维是通过高速搅拌将海泡石纤维、水镁石纤维、氧化硅纤维打散混合, 并添加高分子改性剂制备的一种改性纤维。本试验通过添加不同比例的改性纤维, 同时减少高岭土的添加量, 保证总质量不变, 测试成品的理化性能和防火性能, 得到最佳改性纤维的添加比例, 较大的提高了防火涂料的防火性能, 为海泡石纤维的改性应用提供了新的方案和思路, 有效提高了海泡石纤维用于非膨胀防火材料的防火性能, 进一步提高了海泡石纤维在防火材料中的实际应用价值与应用前景。

1 实验

1.1 原料

包括硅酸盐水泥 P·O42.5(灵寿县冀东水泥有限责任公司); 高岭土(河北光辉实业有限公司); 改性海泡石纤维(河北辰翔实业有限公司); 膨胀蛭石(河北辰翔实业有限公司); 防火助剂: 氢氧化镁和氢氧化铝混合物(北京科胜世纪环保科技有限公司); 乙酸乙烯酯-乙烯共聚乳液 BJ-707(中国石油化工股份有限公司北京燕山分公司), 高分子吸水树脂 SAP(任丘市明启化工有限公司); 艾维贝 301 淀粉醚 CMS(河北燕兴化工有限公司); 羟丙基甲基纤维素醚 HPMC(山东天盛纤维素股份有限公司), 以上原料均为工业级。

1.2 改性海泡石纤维的制备

首先将 5~70 mm 的水镁石纤维用粉碎机进行粉碎, 直至纤维长度达到 5 mm 以下。随后选用 1~5 mm 的海泡石纤维、3~6 mm 的氧化硅纤维, 按表 1 中各组分的质量配比, 将所有原料添加至干粉搅拌机进行搅拌, 搅拌 30 min, 直至物料混合均匀, 得到改性海泡石纤维。

表 1 改性海泡石纤维各组分分配比

Table 1 Ratio of modified seafoam fibers to each component w/%

Sepiolite fiber	Brucite fiber	Silicon oxide fiber	Organobentonite	SAP	CMS	HPMC
50	30	8	5	1	1	5

w—Mass fraction. SAP—super absorbent polymer. CMS—Carboxymethyl starch. HPMC—Hydroxypropyl methyl cellulose ether.

1.3 防火涂料的制备

按照质量配比将水泥、高岭土、改性纤维、防火助剂混合添加到干粉搅拌机内搅拌 300 s, 充分混

合均匀后, 再将膨胀蛭石添加到搅拌机中混合搅拌 120 s, 最终得到 6 组样品, 各组样品中各组分的质量配比见表 2。将使用未改性纤维, 按照水泥、高岭土、膨胀蛭石、未改性纤维、防火助剂质量比为 350:105:330:200:15 制备防火涂料, 记为样品 M-0。

表 2 改性海泡石纤维防火涂料原料配比

Table 2 Ratio of raw materials for modified seafoam fiber fireproofing coatings m/kg

Sample No.	Cement	Kaolinite	Vermiculite	Modified fiber	Fireproof additive
M-1	350	205	330	100	15
M-2	350	180	330	125	15
M-3	350	155	330	150	15
M-4	350	130	330	175	15
M-5	350	105	330	200	15
M-6	350	80	330	225	15

m is mass.

1.4 样品表征

用 XP64000L 型电子天平, 将防火涂料样品按照防火涂料 707 乳液与水质量比为 1.0:0.2:0.8, 在水泥胶砂搅拌机中慢速搅拌混合 5 min, 使其混合均匀用于样品测试。

采用 D8 advance 型号 X 射线衍射仪分别对样品的物相组成进行分析, 扫描速率为 5 (°)/min, 扫描角度为 5°~80°。采用 Spectrum GX 型 Fourier 红外光谱仪, 扫描范围为 400~4000 cm⁻¹, 对样品内存在的化学键进行分析。采用 GeminiSEM 500 型场发射扫描电子显微镜对样品的显微形貌和微观结构进行了测试表征。采用 TGA 550 型热重分析仪在空气气氛下, 升温速率为 10 °C/min, 测样品在 20~600 °C 之间的热稳定性。

将混合好的浆料均匀涂覆于 180 mm×180 mm×2 mm 的钢板上, 涂覆厚度为(28±1) mm, 按照水泥砂浆标准养护 28 d。采用如图 1 所展示的自制简易钢结构防火涂料耐火性能测试炉(专利号: ZL202220638564.8), 测试不同样品涂覆的钢板背面温度从室温升至 538 °C 所需要的时间, 即为涂料有效耐火时间, 用于反应样品的防火隔热性能。将混合好的浆料均匀涂覆于 70 mm×70 mm×6 mm 的钢板上, 涂覆厚度为(15±2) mm, 按照水泥砂浆标准养护 28 d。参照 GB14907—2018《钢结构防火涂料》国家标准, 利用万能试验机(Tinius Olsen SL 型号, 天氏欧森)测试得到不同样品的粘

结强度, 再将混合好的浆料制成 $70.7\text{ mm} \times 70.7\text{ mm} \times 70.7\text{ mm}$ 的试块, 按照水泥砂浆标准养护 28 d, 测试得到不同样品的抗压强度。按照 GB14907—2018, 防火涂层的粘结强度应不低于 0.04 MPa、抗压强度应不低于 0.3 MPa。



图 1 自制防火涂料耐火性能测试炉

Fig. 1 Self-made Fireproof Coating Fire Resistance Performance Testing Furnace

2 结果与讨论

2.1 改性海泡石纤维防火涂料耐火性能分析

表 3 为样品 M-1~样品 M-6 背板达到 $538\text{ }^{\circ}\text{C}$ 所用的时间。图 2 为样品 M-1 至样品 M-6 背温—时间曲线。由图 2 可见, 所有样品钢板背面温度先快速上升, 随后稳定在 $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右, 这可归因于改性海泡石纤维防火涂料中水分的蒸发吸热, 随后钢板背面温度再次迅速升高, 直至温度达到 $538\text{ }^{\circ}\text{C}$ 停止。测试结果表明, 随着改性海泡石纤维添加量的增加, 防火涂层的升温速率逐渐变缓, 温度升高到 $538\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的时间也越来越长, 表明改性海泡石纤维对于防火涂料防火隔热性能的提升, 其防火隔热性能随着掺杂改性海泡石纤维的增加而增强, 证明改性海泡石纤维在防火涂料中的关键作用。

表 3 样品 M-1~样品 M-6 背板达到 $538\text{ }^{\circ}\text{C}$ 所用的时间
Table 3 Time required for the backside of samples M-1 to M-6 to reach $538\text{ }^{\circ}\text{C}$

Sample No.	Back temperature/ $^{\circ}\text{C}$	Time/min
M-1	538.5	133
M-2	538.0	147
M-3	538.5	163
M-4	539.5	172
M-5	538.5	185
M-6	537.7	210

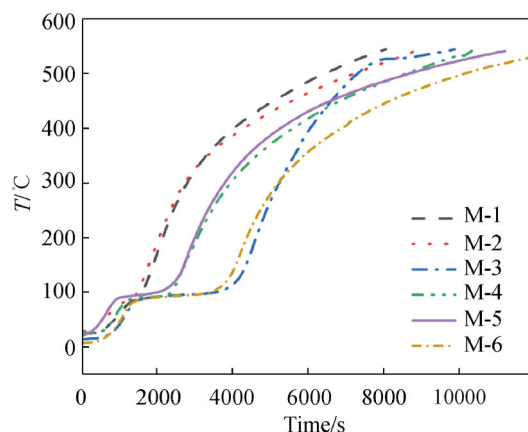


图 2 样品 M-1 至样品 M-6 背温—时间曲线

Fig. 2 Back temperature-time curve of specimens from samples M-1 to M-6

图 3 为样品 M-1 至样品 M-6 粘结强度和抗压强度。由图 3 可以看出, 随着改性海泡石纤维掺杂量的提高, 防火涂层的粘结强度和抗压强度均会不同程度的下降, 当改性海泡石纤维添加量为 225 kg 时即样品 M-6, 其粘结强度已经降至 0.034 MPa , 低于 GB14907—2018 国家标准。结合图 2 和图 3 中的数据, 可知当添加更多的改性海泡石纤维后, 其防火隔热性能明显提高, 但与此同时, 涂层的粘结强度和抗压强度下降, 难以满足 GB14907—2018 国家标准, 在发生火灾时, 涂层容易脱落损坏, 防火保护的效果大幅降低, 带来安全隐患, 因此, 综合防火性能、粘结强度和抗压强度 3 项指标, 在保证涂层拥有最好的防火隔热性能的基础上, 同时又能满足 GB14907—2018 国家标准的粘结强度和抗压强度, 样品 M-5 的改性海泡石纤维添加量为最优方案, 此时样品 M-5 的粘结强度为 0.042 MPa , 抗压强度为 0.461 MPa 。

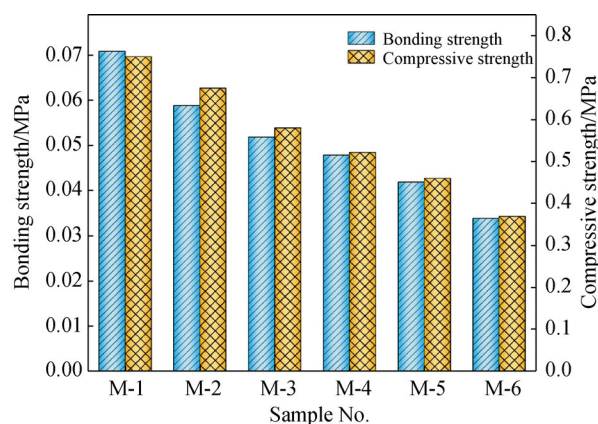


图 3 样品 M-1 至 M-6 粘结强度和抗压强度

Fig. 3 Bond strength and compressive strength of specimens from samples M-1 to M-6

图 4 为样品 M-0 和样品 M-5 背温—时间曲线。由图 4 可见, 样品 M-5 具有更长的有效防火时间, 改性后的海泡石纤维对比未改性的海泡石纤维表现出更出色的防火隔热性能。

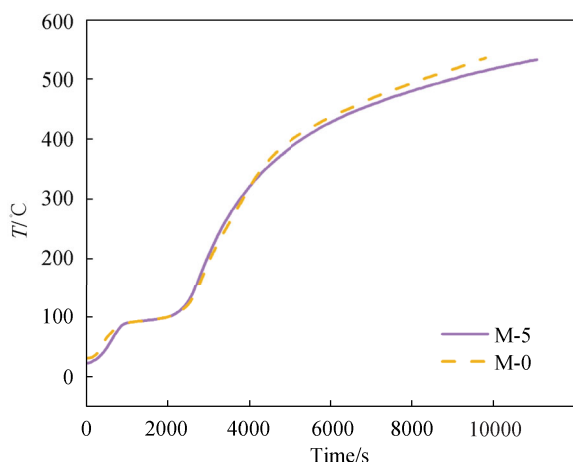


图 4 样品 M-0 和 M-5 背温—时间曲线

Fig. 4 Back temperature-time curve of specimens samples M-0 and M-5

图 5 为样品 M-5 和商业化防火涂料防火性能曲线。由图 5 可见, 样品 M-5 的钢板背面温度达到 538 °C 所需的时间为 185 min, 明显高于对比样 C-1 和 C-2 的 154 min 和 143 min, 在升温区间内, 样品 M-5 的升温速率逐渐趋缓, 防火隔热的时间更长, 表明其出色的防火隔热效果。综合分析, 样品 M-5 防火涂料具有相比于商业化防火涂料更加优异的防火隔热性能。

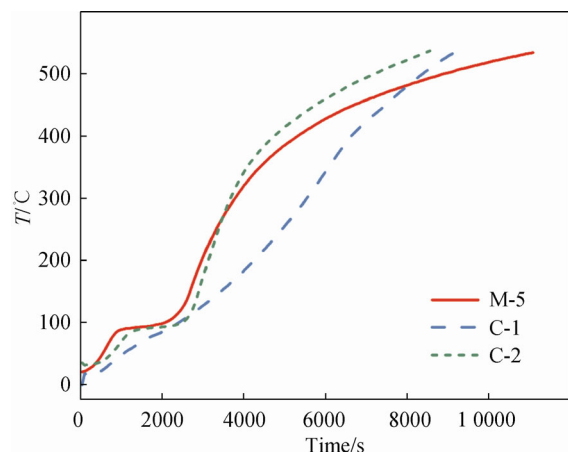


图 5 样品 M-5 与商业化防火涂料的防火性能曲线

Fig. 5 Curves of fire performance between sample M-5 and commercial fireproofing coatings

2.2 改性海泡石纤维物相表征分析

图 6 为海泡石纤维和添加水镁石纤维改性后得到的改性海泡石纤维的 XRD 谱。由图 6 可见, 在

9.5°、12.3°、24.5°、28.7°处存在明显衍射峰, 分别对应于海泡石纤维中不同的晶面。在水镁石改性海泡石纤维的 XRD 谱中, 同样能够观察到属于海泡石纤维对应的特征峰, 并且在 18.7°处观察到属于水镁石成分中 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 的特征衍射峰, 这表明在改性海泡石纤维中成功掺杂了水镁石纤维。

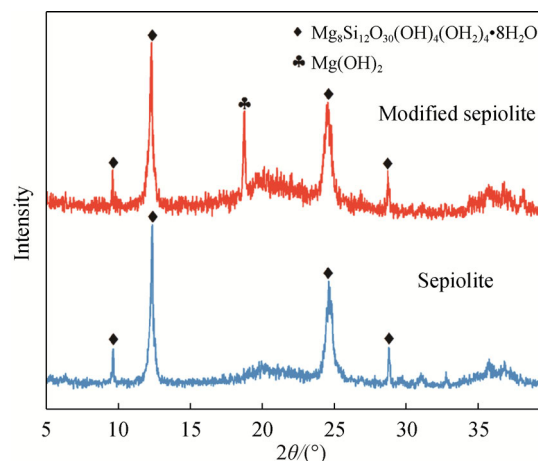


图 6 海泡石纤维与改性海泡石纤维 XRD 谱

Fig. 6 XRD patterns of seafoam fiber and modified seafoam fiber

图 7 为海泡石纤维和改性海泡石纤维的红外光谱曲线。由图 7 可见, 改性前后的海泡石纤维呈现出相似的伸缩振动峰, 均在 951 cm^{-1} 处存在明显的 Si—O—Si 的伸缩振动峰, 对应海泡石纤维中海泡石的硅氧四面体结构单元, 由于其本身存在的大量 Si—O—Si 键。海泡石纤维在水和其它高、中等极性溶液中, 导致 Si—O—Si 键易破裂而产生 Si—OH 离子团, 这些 Si—OH 离子团能够与海泡石外表吸附的分子相互作用, 使其与其他有机试剂结合, 从而对海泡石纤维进行改性。

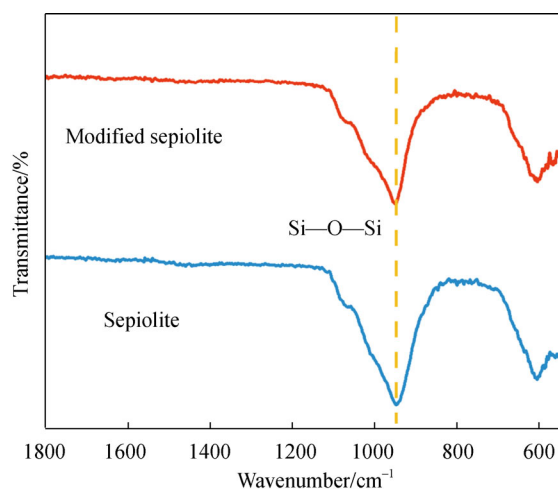


图 7 海泡石纤维与改性海泡石纤维的红外光谱

Fig. 7 Infrared spectra of seafoam fiber and modified seafoam fiber

图 8 为改性前后海泡石纤维的 SEM 照片。相比图 8b, 改性后(见图 8a)海泡石纤维具有更密集的纤维, 更多的纤维应来自于原料中的水镁石纤维、海泡石纤维及氧化硅纤维, 这些纤维材料除了能够提供良好的防火阻燃性能, 同时还能有效防止防火材料开裂, 提高材料的抗裂性能^[18], 为防火材料能够稳定有效防火提供保证。

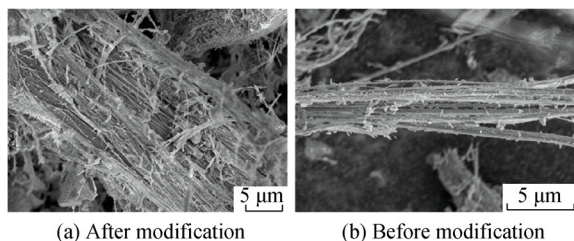


图 8 改性前后海泡石纤维的 SEM 照片

Fig. 8 SEM images of sepiolite fibers before and after modification

2.3 改性海泡石纤维防火机理分析

图 9 为海泡石纤维与改性海泡石纤维的 TG 和 DTG 曲线。由图 9a 可见, 在室温到 200 °C 范围区间内, 由改性海泡石纤维制备的样品质量损失为 1.2%, 相比之下, 未改性海泡石纤维只有 0.7%, 这部分质量损失主要来自于样品内部水分的蒸发, 由此推断, 改性海泡石纤维能够吸收更多的水分, 在发生火灾时, 其内部水分受热挥发, 能够吸收大量热量, 从而使其具有更好的防火效果。由图 9b 可见, 改性海泡石纤维制备的样品在 297 °C 时, 其材料内部水镁石纤维的主要成分 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 受热分解, 生成 MgO , MgO 为优良的耐火绝缘材料^[19], 从而进一步降低了材料的导热系数, 提高了材料的防火性能。

图 10 为样品 M-1 至样品 M-6 燃烧前后照片。由图 10 可见, 6 组样品在燃烧后均没有发生明显的

开裂, 能够保障在发生火灾时, 涂层材料表面结构的稳定, 能够有效提供防火阻燃效果。改性海泡石纤维中添加氧化硅纤维的目的和作用就是为改性纤维提供良好的抗裂性能, 使得防火涂层在遇到火灾及持续燃烧过程中不易开裂, 能够保持完整状态, 有效防止因涂层开裂而导致火焰直接烧到内部钢结构, 造成钢结构的破坏受损。

图 11 为样品 M-1~样品 M-6 燃烧前的 SEM 照片。由图 11 可见, 随着样品 M-1 至样品 M-6 中改性海泡石纤维添加量的增加, 能明显观察到更多的纤维结构, 这些纤维结构能够为材料提供更好的防火隔热性能。

图 12 为 6 组样品在燃烧后的微观形貌结构照片。由图 12 可见, 相比于燃烧前, 燃烧后的改性海泡石纤维结构和蛭石片状结构并未遭到明显破坏, 仍能够保持原有形貌结构, 表明样品在遭受火灾时, 其内部结构仍能保持稳定, 能够持续提供优异的防火隔热性能。

图 13 为未改性海泡石纤维样品 M-0 和样品 M-5 燃烧前后的宏观及微观照片。由图 13 可见, 样品 M-5 具有更好的纤维与片层复合结构, 同时样品 M-5 仍能保持原有的形貌结构, 而样品 M-0 的 SEM 照片中则观察到其内部形貌结构遭到破坏, 从而进一步说明改性后的海泡石纤维具有比之前更好的防火隔热性能。

综合以上分析, 通过向海泡石纤维中添加水镁石纤维和氧化硅纤维成功制备得到了改性海泡石纤维。海泡石纤维中含有丰富的镁、硅等元素, 其本身就是极好的阻燃材料, 同时海泡石自身能够耐 1300 °C 以上的高温, 具备良好的热稳定性, 其自身就是良好的防火保温材料。在此基础上, 通过试验

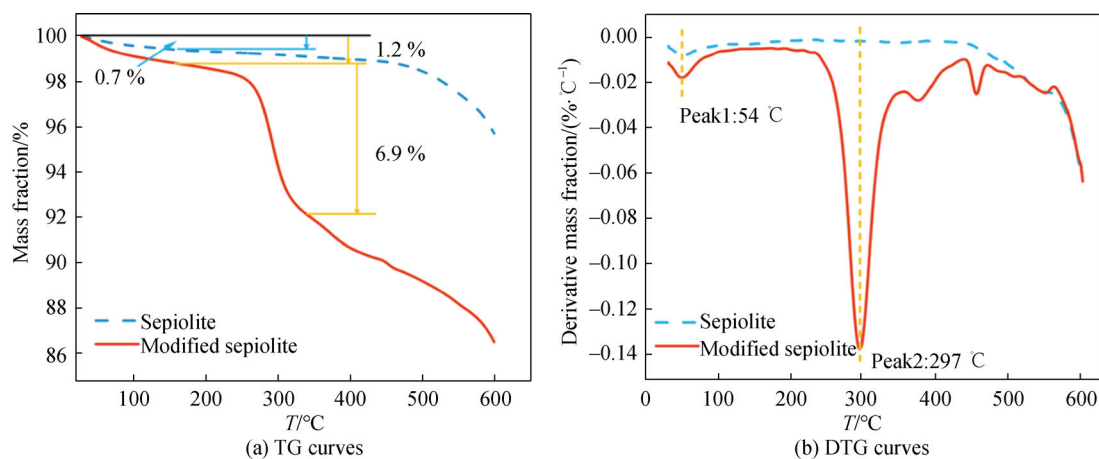


图 9 海泡石纤维与改性海泡石纤维的 TG 和 DTG 曲线

Fig. 9 TG and DTG curves of seafoam fiber and modified seafoam fiber

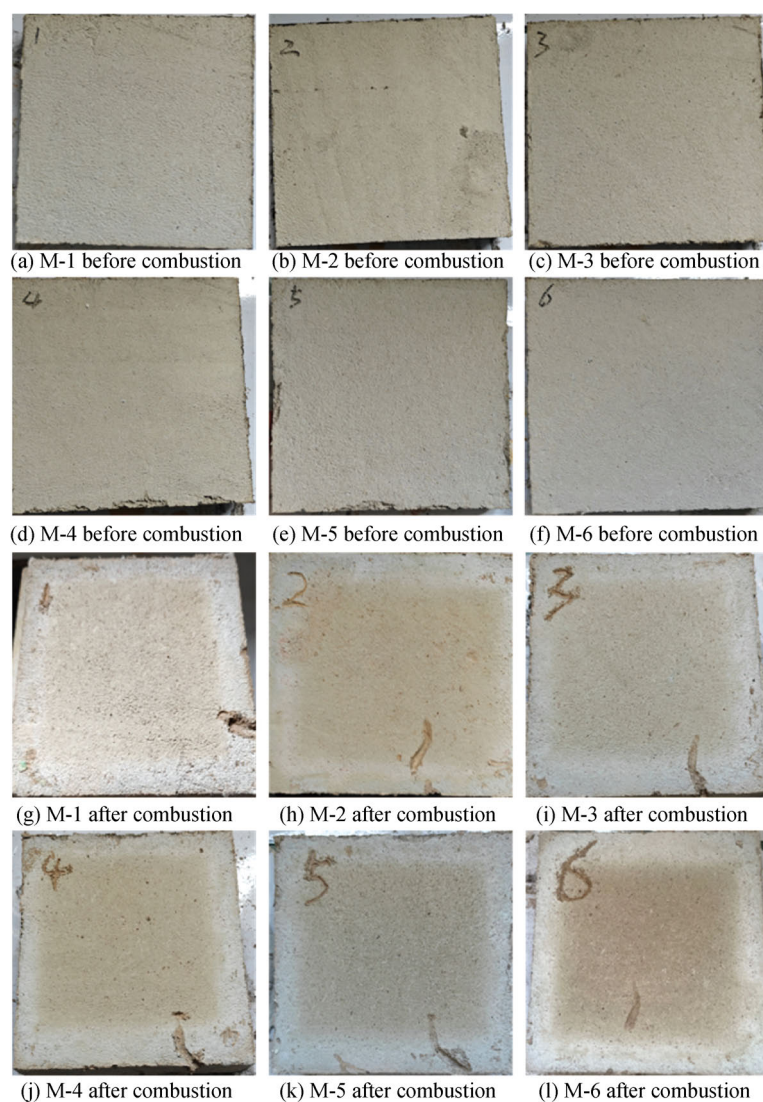


图 10 样品 M-1 至 M-6 燃烧前后照片

Fig. 10 Photographs of specimens from samples M-1 to M-6 before and after burning

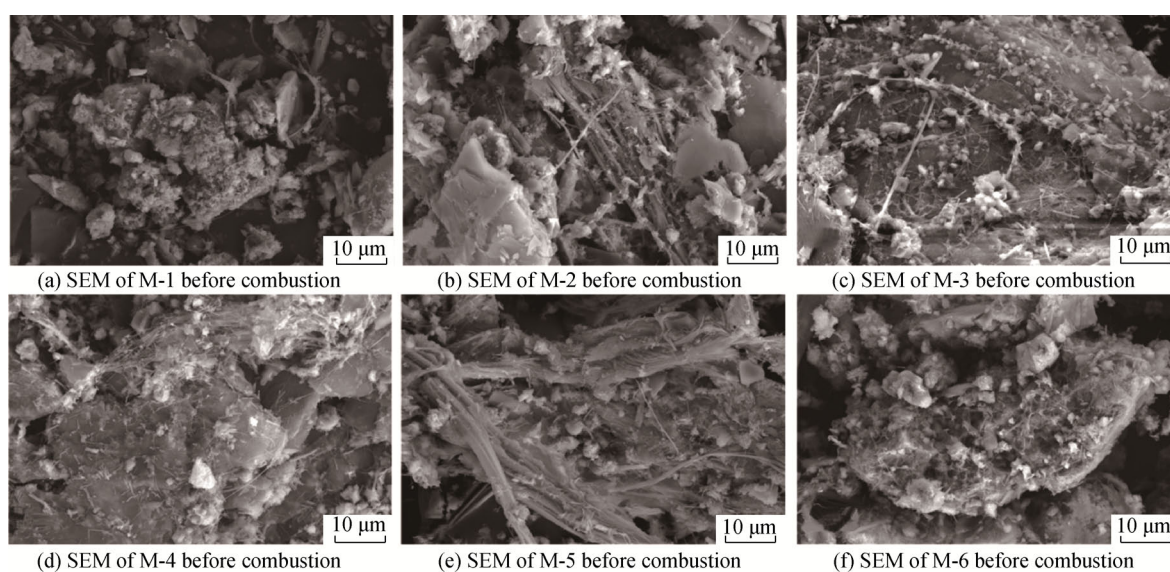


图 11 样品 M-1 至 M-6 燃烧前 SEM 照片

Fig. 11 SEM images of samples from M-1 to M-6 before combustion

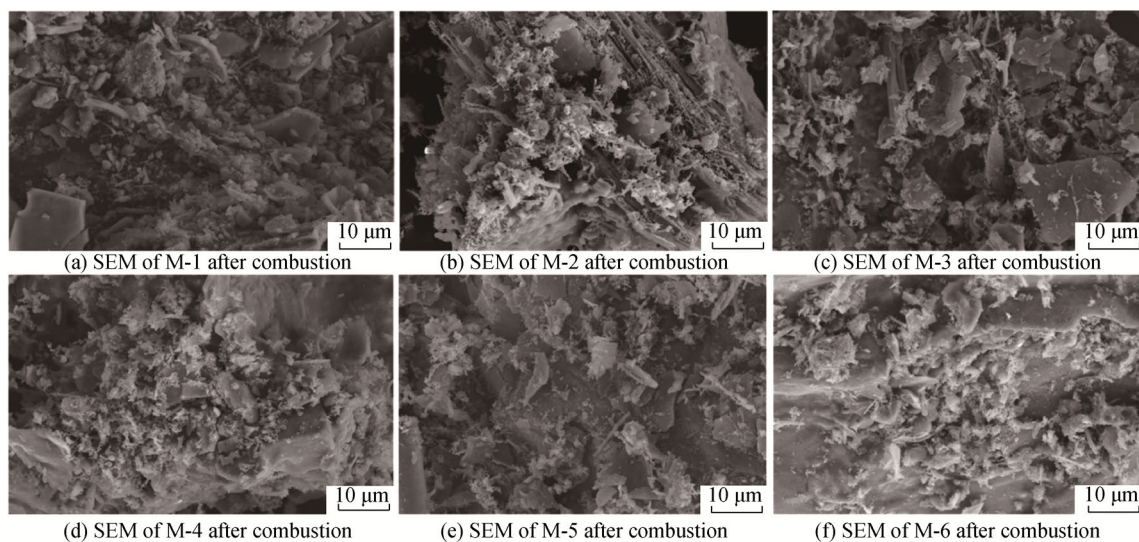


图 12 样品 M-1 至 M-6 燃烧后 SEM 照片

Fig. 12 SEM images of samples from M-1 to M-6 after combustion

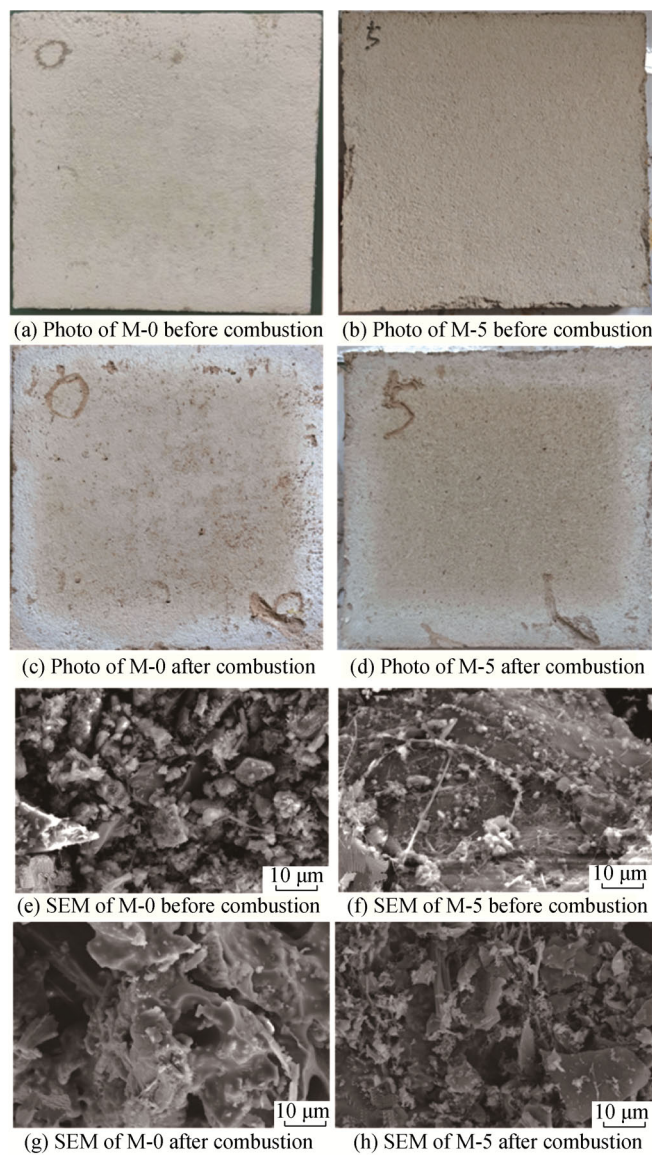


图 13 未改性海泡石纤维样品 M-0 和样品 M-5 燃烧前后的宏观及微观照片

Fig. 13 Macroscopic and microscopic images of unmodified sepiolite fiber samples M-0 and sample M-5 before and after combustion

改性, 添加了含有 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 的水镁石纤维, 其在高温条件下受热分解产生 MgO , 进一步降低材料的导热系数, 其耐火性能能进一步提高。添加氧化硅纤维能增加改性纤维的抗裂性能, 保证防火材料实现有效的防火效果。此外, 在改性过程中, 添加 SAP 是为了能够增加纤维自身的保水性能, 使改性纤维遇到火灾时, 缓慢释放水蒸气, 从而进一步降低防火涂层的导热系数, 增加防火涂层的耐火时间, 添加有机膨润土、CMS、HPMC 是为了能使改性纤维具有增稠、抗流挂、触变等性能。

因此, 在发生火灾时, 改性海泡石纤维防火涂层自身具有低导热系数, 同时能够吸收大量热量产生水蒸气, 并挥发到空气中, 挥发到空气中的水蒸气还起到一定的灭火作用, 这就大大降低了防火涂层的导热效果, 使热量不能快速传入到钢结构表面, 大大延长了涂层防火隔热时间。同时, 改性海泡石纤维自身较强的抗裂性能, 使得防火涂层在遇到火灾时不开裂, 能够保持完整状态, 防止涂层开裂火焰直接烧到钢梁。

3 结论

通过将海泡石纤维、水镁石纤维和氧化硅纤维及一些高分子改性剂按一定比例混合, 成功制备得到改性海泡石纤维, 经改性后的海泡石纤维具有更出色的防火隔热性能, 水镁石纤维能够进一步降低材料导热系数, 氧化硅纤维能够保证防火涂层不易开裂。在能够满足国家标准的粘结强度和抗压强度的基础上, 在防火涂料中添加 20% 的改性海泡石纤维其防火隔热性能最佳, 有效防火时间可达到 185 min, 同时具有 0.042 MPa 的粘结强度和 0.461 MPa 的抗压强度, 相比于目前市面上的某些其他商业防火材料, 具有更加出色的防火效果, 具有一定的应用前景和市场价值。

参考文献:

- [1] 韩林海, 徐蕾. 带保护层方钢管混凝土柱耐火极限的试验研究[J]. 土木工程学报, 2000, 33(6): 63–69.
HAN Linhai, XU Lei. China Civ Eng J, 2000, 33(6): 63–69.
- [2] 弓晓芸. 轻钢结构建筑的应用及发展[J]. 工业建筑, 2000, 30(5): 53–57.
GONG Xiaoyun. Ind Constr, 2000, 30(5): 53–57.
- [3] 赵文君. 不同防火涂料的应用探究[J]. 冶金与材料, 2022, 42(4): 187–189.
ZHAO Wenjun. Metall Mater, 2022, 42(4): 187–189.
- [4] 蔡建中. 国内外钢结构防火涂料的技术发展与研究[J]. 绿色建筑, 2014, 6(4): 39–42.
CAI Jianzhong. Green Build, 2014, 6(4): 39–42.
- [5] 翟嘉栋. 浅谈钢结构防火涂料的现状与发展[J]. 消防界(电子版), 2018, 4 (4): 108–109.
ZHAI Jiali. Fire Protection Industry: Electronic Version, 2018, 4 (4): 108–109.
- [6] 汪超, 李亚伟, 徐小峰等. 普通烧结镁砂骨料中杂质相对镁碳耐火材料抗热震性和高温断裂行为的影响[J]. 硅酸盐学报, 2024, 52(6): 2094–2106.
Wang Chao, Li Yawei, Xu Xiaofeng, et al. J Chin Ceram Soc, 2024, 52(6): 2094–2106.
- [7] QIAN D, XU T, ZHONG Y, et al. Preparation of sepiolite-based hybrid silica Sol and its application in polyester/cotton fabric flame retardant finishing[J]. Appl Clay Sci, 2023, 239: 106954.
- [8] ALBAYRAK HACIOGLU O, TASDELEN M A. Synergistic effect of organically modified sepiolite clay in intumescent flame retardant polyolefin elastomer-based cable outer sheath compounds[J]. Iran Polym J, 2023, 32(1): 93–102.
- [9] XU Z S, LIU D L, YAN L, et al. Synergistic effect of sepiolite and polyphosphate ester on the fire protection and smoke suppression properties of an amino transparent fire-retardant coating[J]. Prog Org Coat, 2020, 141: 105572.
- [10] DE JUAN S, ZHANG J H, ACUÑA P, et al. An efficient approach to improving fire retardancy and smoke suppression for intumescent flame-retardant polypropylene composites via incorporating organo-modified sepiolite[J]. Fire Mater, 2019, 43(8): 961–970.
- [11] 于生慧, 张元诏, 王艳等. 酸处理海泡石负载 Fe_3O_4 复合粉体增强对 Sb(V) 的吸附性能[J]. 硅酸盐学报, 2024, 52(1): 143–153.
Yu Shenghui, Zhang Yuanzhao, Wang Yan, et al. J Chin Ceram Soc, 2024, 52(1): 143–153.
- [12] 王长远, 王功勋, 陶涛, 等. 海泡石功能化绿色建材研究进展与应用现状[J]. 硅酸盐通报, 2017, 36(10): 3285–3291.
WANG Changyuan, WANG Gongxun, TAO Tao, et al. Bull Chin Ceram Soc, 2017, 36(10): 3285–3291.
- [13] 郭振刚, 吴颖捷, 赵璧, 等. 轻质隔热材料的现状与应用[J]. 消防科学与技术, 2007, 26(4): 433–435.
GUO Zhengang, WU Yingjie, ZHAO Bi, et al. Fire Sci Technol, 2007, 26(4): 433–435.
- [14] WANG S, ZHAO C S, WANG D Q, et al. The application of sepiolite in aluminium silicate fiber paper[J]. Adv Mater Res, 2012, 550/553: 3347–3351.
- [15] AYDIN E M, KARA B, BUNDUR Z B, et al. A comparative evaluation of sepiolite and nano-montmorillonite on the rheology of cementitious materials for 3D printing[J]. Constr Build Mater, 2022, 350: 128935.
- [16] TULER F E, PORTELA R, ÁVILA P, et al. Structured catalysts based on sepiolite with tailored porosity to remove diesel soot[J]. Appl Catal A Gen, 2015, 498: 41–53.
- [17] 彭倩, 邢佳杰, 钟婉菱等. 氧化铜/海泡石催化过滤膜的制备及其过硫酸盐活化性能[J]. 硅酸盐学报, 2024, 52(10): 3180–3191.
Peng Qian, Xing Jiajie, Zhong Wanling, et al. J Chin Ceram Soc, 2024, 52(10): 3180–3191.
- [18] 阳知乾, 刘建忠, 刘加平. 纳米 SiO_2 改性纤维在水泥基材料中的应用[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2010, 40(S2): 49–55.
YANG Zhiqian, LIU Jianzhong, LIU Jiaping. J Southeast Univ: Nat Sci Ed, 2010, 40(S2): 49–55.
- [19] 景宏君, 崔世富, 艾涛, 等. 隧道表层抗污耐水型防火涂料的特性[J]. 交通运输工程学报, 2017, 17(5): 50–60.
JING Hongjun, CUI Shifu, AI Tao, et al. J Traffic Transp Eng, 2017, 17(5): 50–60.

Modified Seafoam Fibers for Improving Fire Performance of Non-Intumescent Fire Coatings

XUE Yonggang¹, GAO Jinbao², LIU Yicen³, FANG Yunchao⁴, LI Yan⁵

(1. Hebei Chenxiang Industry Co., Ltd., Shijiazhuang 050500, China;

2. School of Computer Technology, Hebei Vocational University of Industry and Technology, Shijiazhuang 050091, China;

3. Materials Science and Engineering, China University of Geosciences Beijing, Beijing 100083, China;

4. Materials Science and Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China;

5. BBMG Coatings Co., Ltd., Beijing 100096, China)

Extend Abstract

Introduction Steel building is a form of construction. Non-intumescent fireproofing materials have superior fireproofing effects and can provide effective fireproofing and thermal insulation protection for steel structures. However, the modification and innovation of non-intumescent fireproofing materials are insufficient in China at present. Seafoam has a good thermal stability and a low thermal conductivity, having a thermal insulation effect, which can be used as a filler for fireproof coating or fireproof board. Seafoam can effectively improve the fire resistance of fireproof coating or fireproof board. Seafoam mineral fibers dispersed in a low concentration solution can form a stable high-viscosity suspension, so they can be dispersed and modified with other fillers and added to fireproof coating or fireproof board slurry. Therefore, the fire performance of seafoam fiber fireproofing materials can be improved. In this work, a modified seafoam fiber was added to fireproof coatings for improving the fire performance of non-intumescent fireproof coatings. This modified fiber as a kind of modified fiber was prepared *via* mixing seafoam fiber, magnesium hydroxide fiber and silicon oxide fiber under high-speed mixing and adding polymer modifier. In addition, the physical and chemical properties and fire performance of the finished product were also analyzed.

Methods In this work, 5–70 mm hydromagnesite fibers were ground in a mill to obtain the fibers with the lengths of < 5 mm. Subsequently, 1–5 mm seafoam fibers and 3–6 mm silicon oxide fibers were selected, and 50% seafoam fibers, 30% hydromagnesite fibers, 8% silicon oxide fibers, 5% organic bentonite, 1% polymer water-absorbent resins, 1% starch ether, 5% hydroxypropyl methyl cellulose ether were mixed as raw materials in a dry mixer for 30 min to obtain the modified seafoam fibers. The modified seafoam fibers were analyzed based on the physical phase characterization. Cement, kaolin, modified fiber, and fire protection additives in different weight ratios were added to the dry mixer and stirred for 300 s, and then an expanded vermiculite was added to the mixer and stirred for 120 s, and six groups of fireproofing coating samples were obtained. Afterwards, the samples were then stirred slowly in a cement sand mixer according to a mass ratio of fireproofing coating:707 emulsion: water of 1.0:0.2:0.8 and mixed for 5 min to make the mixture homogeneous. After mixing, the fire resistance, bond strength and compressive strength of the samples were characterized.

Results and discussion Based on the fire resistance test analysis of fireproofing materials doped with six different contents of modified seafoam fibers (*i.e.*, 10%, 12.5%, 15%, 17.5%, 20% and 22.5%), the fireproofing and thermal insulation properties of fireproofing coatings are gradually improved with the increase in the addition of modified seafoam fibers. Their fireproofing and thermal insulation properties enhance with the increase in the doping of modified seafoam fibers, indicating that modified seafoam fibers play a key role in the fireproofing coatings. Seafoam fibers play a key role in fireproof coatings. The fireproof performance is obviously better than that of two commercial fireproof materials. The analysis by X-ray diffraction patterns shows that $\text{Mg}(\text{OH})_2$ is added to the modified seafoam fiber. According to the TG-DTG analysis, $\text{Mg}(\text{OH})_2$ decomposes into MgO during the heat process, and MgO is a kind of superior heat-insulating and insulating material, indicating that the modified seafoam fibers greatly improve the fire-insulating and heat-insulating performance. The FTIR analysis shows that there are a large number of Si—O—Si bonds in the sample, and that there is a large number of Si—O—Si bonds in the sample. There are a lot of Si—O—Si bonds in the sample, so that the modified seafoam fibers maintain its original adsorption and rheological properties. The appearance and morphology of the fireproof coating after combustion show that the silicon oxide fibers improve the crack resistance of the fireproof coating.

Conclusions In this paper, the modified seafoam fiber was prepared *via* mixing seafoam fiber, magnesite fiber, silicon oxide fiber and some polymer modifiers in a certain proportion. The modified seafoam fiber had a better fireproofing and thermal insulation performance, the magnesite fiber could further reduce the thermal conductivity of the material, and the silicon oxide fiber could ensure that the fireproofing coating was not easy to crack. To meet the national standards of bonding strength and compressive strength of the basis, the fireproof coating with 20% of the modified seafoam fibers had the optimum fire insulation performance. At the effective fire prevention time of 185 min, the coating had a bonding strength of 0.042 MPa and a compressive strength of 0.461 MPa. Compared with some other commercial fireproofing materials, the coating had a fireproofing effect and some application prospects.

Keywords seafoam fibers; magnesite fibers; silicon oxide fibers; non-intumescent fireproofing coatings; steel structures