

石墨在半金属摩擦材料中的作用及其对摩擦性能的影响

吕亚非¹ 马玉宁¹ 韩翎¹ 李伟著² 赵玉娟² 张忠波²

(1. 北京化工大学 新型高分子材料的制备与加工北京市重点实验室, 北京 100029;
2. 辽宁九鼎摩擦材料有限公司, 辽宁 鞍山 114005)

摘要: 研究了石墨在半金属摩擦材料中的粘着和润滑作用和不同含量人造石墨对摩擦性能包括摩擦系数、摩擦稳定性(摩擦系数随温度变化的稳定性)和体积磨损率的影响并与天然石墨进行了比较。由于石墨的粘着特征,石墨可以在一定摩擦温度范围内提高摩擦系数。作为润滑剂,石墨可以通过减弱摩擦材料和摩擦盘表面的粗糙峰之间的直接摩擦而有效降低磨损率。应用模糊综合评价原理,提出并验证了一个定量描述摩擦稳定性的新方法。

关键词: 摩擦材料; 摩擦性能; 石墨; 模糊综合评价

中图分类号: TB39; TQ127.11

摩擦材料对汽车的安全行驶和保护人类生命起着重要作用。汽车摩擦材料是多组分、多相复合材料,由纤维、填料和树脂黏合剂组成。工业用摩擦材料配方一般有 7~20 个原材料组分。原材料的筛选和评价是摩擦材料研究的一个重要内容。笔者已发展了组合摩擦材料研究方法^[1-4],提出原材料选择的判据和原材料摩擦性能谱的概念,并筛选和评价了约 40 种原材料。Jang 等采用两组分变量或混合物设计方法,评价了数种常用的原材料^[5-7]。但原材料还具有多样性,即存在不同类型、不同形状和尺寸、不同晶型、不同生产工艺制备的原材料,这些因素都会影响摩擦材料的摩擦性能。除了原材料的影响,在摩擦过程中,金属相(主要是铁)、碳相和硫酸钡相和摩擦化学反应产物能在摩擦表面形成摩擦层而影响摩擦性能,其中碳相可由石墨和炭黑等碳物质组成或由酚醛树脂、芳纶和橡胶等有机物在摩擦过程的炭化产物组成。石墨是摩擦材料中常用的润滑剂,具有层状晶体结构。石墨商品有天然和人造石墨以及不同形状和尺寸之分,不同类型和不同形状和尺寸的石墨都对摩擦性能有很大影响。本文采用天然和人造石墨,用两组分变量法分别制备了半

金属摩擦材料,研究了不同类型和尺寸的石墨在摩擦材料中所起的作用及其对摩擦性能包括摩擦系数(μ)、摩擦系数随温度变化的稳定性(简称为摩擦稳定性)和磨损率的影响。摩擦稳定性是表征摩擦材料性能的一个重要指标,但未见定量描述摩擦稳定性的报道。针对国家摩擦材料性能测试标准(GB5763-1998)规定的质量检测方法,本文应用模糊综合评价原理^[8],提出并验证了一个定量描述摩擦稳定性的新方法。

1 实验部分

1.1 原材料和摩擦材料配方

所用 10 种原材料的规格和生产商见表 1。由于硫酸钡在半金属摩擦材料中主要起填充体积空间和降低成本的作用,因此,以石墨和硫酸钡为变量即石墨含量提高相应于硫酸钡含量减少能够体现出石墨的作用而设计的摩擦材料配方见表 2。

1.2 摩擦材料制备和热处理

所有原材料用伊莱克斯 EBR100 高速搅拌机搅拌 2 min。混合物用吉林旺达机械有限公司 JF60 热压机成型,温度为 175 ,压力为 25 MPa,时间为 8 min。摩擦材料在烘箱中进行热处理,条件为 170 处理 3 h。

1.3 摩擦性能测定

摩擦性能用吉林省旺达机械有限公司制造的 JF151 型定速摩擦试验机、按 GB5763-1998 中第 4

收稿日期: 2006-03-10

基金项目: 国家自然科学基金(50373002)

第一作者: 男,1955 年生,研究员,博士

E-mail: ylu623 @gmail. com

类盘式制动器用衬片规定的摩擦性能测试方法测定。摩擦材料样品的尺寸为 25 mm × 25 mm × 6 mm, 所受压力为 0.98 MPa。摩擦圆盘材质为铸铁, 转速恒定在 480 r/min。测试温度分别为 100、150、200、250、300 和 350, 在每个温度点摩擦圆盘转动 5000 转测定摩擦材料的摩擦系数(升温摩擦系数用 μ_f 表示)和体积磨损率(单位为 cm^3/Nm), 然后从 300 分别降温至 250、200、150 和 100, 在每个温度点摩擦圆盘转动 1500 转测定摩擦材料的降温摩擦系数(用 μ_r 表示)。

表 1 原材料名称及规格

Table 1 Raw materials used

原材料	规格	生产厂家
钢棉	01-80	黑龙江安庆钢铁股份公司
还原铁粉	HFY(100 目)	莱芜钢铁厂
锆英石(ZrSiO_4)	100 目	营口阿斯创化工有限公司
人造石墨(颗粒)	Mg-20(60 目)	常州市武进华东特种纤维制造有限公司
天然石墨(鳞片)	- 195(160 目)	黄石鑫溢矿产有限公司
炭黑	150 目	常州宏泰摩擦材料有限公司
硫酸钡	80 %	枣阳市五联实业有限公司
氧化镁	325 目	营口博实有限公司
丁腈胶粉	P650	广州亚洲摩擦材料厂
酚醛树脂	6818	济南圣泉波斯化工有限公司

60、100、150、160 和 325 目分别对应为 0.280、0.154、0.100、0.090 和 0.044 mm

表 2 半金属摩擦材料配方

Table 2 Formulations of semi-metallic friction materials

原材料				
钢棉	0.15	0.15	0.15	0.15
铁粉	0.048	0.048	0.048	0.048
锆英石	0.048	0.048	0.048	0.048
石墨(颗粒)	0.301	0.251	0.201	-
天然石墨(鳞片)	-	-	-	0.251
炭黑	0.075	0.075	0.075	0.075
硫酸钡	0.015	0.065	0.115	0.065
氧化镁	0.024	0.024	0.024	0.024
丁腈胶粉	0.103	0.103	0.103	0.103
酚醛树脂	0.236	0.236	0.236	0.236

2 结果与讨论

2.1 人造石墨含量和摩擦温度对摩擦性能的影响

不同含量的人造石墨(配方 -)对 μ_f 和 μ_r 的影响见图 1。 μ_f 在人造石墨体积含量为 0.251 时

为最小(平均为 0.318), 0.201(平均为 0.352)和 0.301(平均为 0.356)时均比 0.251 的高。摩擦温度(低温区 100~150、中温区 200 和高温区 250~350)对 μ_f 也有较大影响。在 100 时, μ_f 最小。随温度增加, μ_f 增加。但当温度为 350 时, μ_f 又稍有下降。石墨是软的柔性材料, 在摩擦过程中由于磨损产生的磨屑会聚集在摩擦材料表面形成碳相(摩擦层)和向摩擦盘转移而表现出粘着特性。因此, 在一定温度范围内, 石墨可以提高摩擦系数。但温度过高, 石墨经历热氧化和分解, 降低摩擦系数。人造石墨含量和摩擦温度对 μ_r 的影响不大。

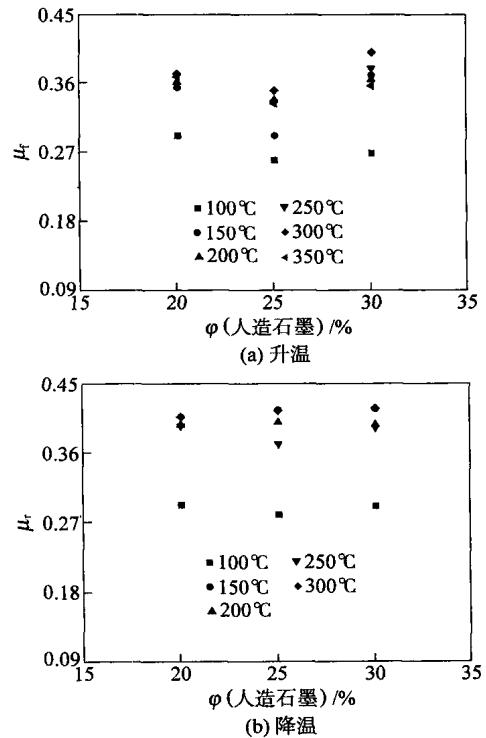


图 1 人造石墨含量对(a) μ_f 和(b) μ_r 的影响

Fig. 1 Effects of content of man-made graphite on (a) μ_f and (b) μ_r

摩擦稳定性是判断摩擦材料性能优劣的一个重要指标, 本文应用模糊综合评价方法提出一个定量表征摩擦稳定性的方法。摩擦稳定性的表征分两个层次:(A) 不同摩擦温度下测定的摩擦系数距离最佳摩擦系数的程度, 用权重 N_i 表示, N_i 越大越好;(B) 在同一摩擦温度时, μ_f 和 μ_r 的差别程度, 用升温 and 降温过程的摩擦系数差的绝对值 $\mu(T)$ 表示, $\mu(T)$ 越小越好。为使 N_i 和 $\mu(T)$ 的表达都向越大越好的趋势发展, 需要对 $\mu(T)$ 进行归一化处理得到 $\mu(T)$ 。为使每个配方只有一个评价结

果,需要对不同摩擦温度的评价结果取平均值来判断摩擦稳定性的好坏。因此,摩擦稳定性的计算分五步进行。第一步,计算 $\mu(T)$:

$$\mu(T) = |\mu_f(T) - \mu_r(T)| \quad (1)$$

式中 T 为摩擦温度。第二步,计算 $\mu(T)$ 值:

$$\mu(T) = 1 - \frac{\mu(T) - \mu(T)_{\min}}{\mu(T)_{\max} - \mu(T)_{\min}} \quad (2)$$

式中 $\mu(T)_{\max}$ 为 $\mu(T)$ 的最大值, $\mu(T)_{\min}$ 是 $\mu(T)$ 的最小值。因此, $\mu(T)_{\min} = 0$, $\mu(T)_{\max} = 1$, 其他 $\mu(T)$ 值在 $0 \sim 1$ 之间。第三步,计算 $\mu^*(T)$ 值:

$$\mu^*(T) = N_i \cdot \mu(T) \quad (3)$$

式中 $\mu^*(T)$ 为摩擦稳定性的评价成绩, N_i 为权重,规定 $\mu_f = 0.40 \sim 0.50$ 时的 $N = 1$, $\mu_f = 0.35 \sim < 0.40$ 和 $\mu_f > 0.50 \sim 0.55$ 时的 $N = 0.75$, $\mu_f = 0.30 \sim < 0.35$ 和 $\mu_f > 0.55 \sim 0.60$ 时的 $N = 0.50$, $\mu_f = 0.25 \sim < 0.30$ 和 $\mu_f > 0.60 \sim 0.70$ 时的 $N = 0.25$, $\mu_f < 0.25$ 和 $\mu_f > 0.70$ 的 $N = 0$ (在 GB5763-1998 中规定的范围是 $0.25 \sim 0.70$)。对于 350 的 μ_f ,直接用上述定义给出它的 N_i 值。第四步,计算 μ_s :

$$\mu_s = \mu^*(T) / n \quad (4)$$

式中 $n = 6$ (6 个摩擦温度), μ_s 是 $\mu^*(T)$ 的平均值, μ_s 越大,说明摩擦稳定性越好。第五步,规定 $\mu_s = 1 \sim 0.75$ 为优, $\mu_s < 0.75 \sim 0.5$ 为良, $\mu_s = 0.5 \sim 0.25$ 为中, $\mu_s < 0.25$ 为差,则可根据 μ_s 判断摩擦稳定性的好坏。不同含量人造石墨的摩擦稳定性计算结果(表 3)表明,不同含量人造石墨的摩擦稳定性均属于中,主要原因是在低温区的 μ_f 和 μ_r 偏低。不同含量的人造石墨对体积磨损率的影响见图 2。人造石墨可以有效改善摩擦材料的磨损

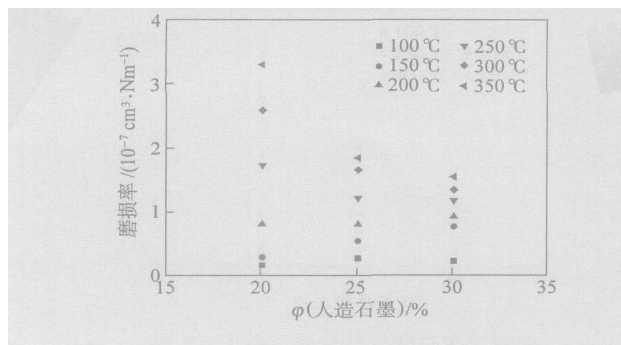


图 2 人造石墨含量对磨损率的影响

Fig. 2 Effect of content of man-made graphite on wear

率。随人造石墨含量增加,摩擦材料的磨损率降低。摩擦温度对磨损率的影响是在低和中温区,摩擦材料的磨损率有提高的趋势,但在高温区,磨损率有降低的趋势。根据石墨的润滑摩擦机理,由于石墨可以减弱摩擦材料和摩擦盘表面的粗糙峰之间的直接摩擦,因而可以降低磨损率。

2.2 天然和人造石墨对摩擦性能影响的比较

天然和人造石墨对摩擦性能(配方和,石墨体积分数为 0.251)的影响见图 3 和 4。与人造石墨比较,天然石墨(鳞片状,尺寸小)能提高摩擦材料的

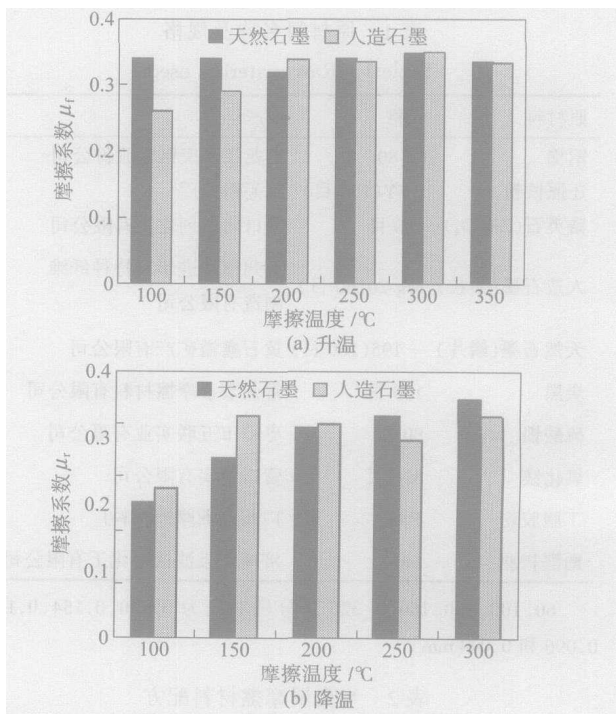


图 3 天然和人造石墨对 (a) μ_f 和 (b) μ_r 的影响

Fig. 3 Effect of natural and man-made graphite on (a) μ_f and (b) μ_r

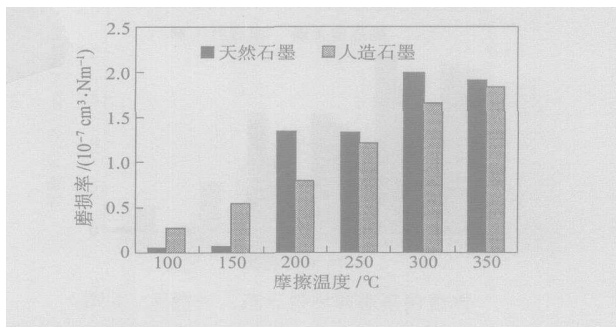


图 4 天然和人造石墨对磨损率的影响

Fig. 4 Effect of natural and man-made graphite on wear

μ_f ,尤其是在低温区的 μ_f ,这是有利的。但对 μ_r ,天然石墨在低和中温区比人造石墨的要低,而在高温

区比人造石墨的要大。天然石墨对摩擦稳定性的影响也见表 3。与人造石墨(配方)比较,摩擦稳定性更差。原因是天然石墨 μ_r 在高温区比人造石墨的高,在降温过程的粘着效应更强。天然石墨在低温区对磨损率的改善比人造石墨的效果好,但人造石墨在中和高温区比天然石墨的效果好。

表 3 石墨对摩擦稳定性的影响

Table 3 Effect of graphite on friction stability

配方	μ_s	评价结果
	0.479	中
	0.320	中
	0.328	中
	0.220	差

3 结论

通过测定半金属摩擦材料的摩擦性能比较了天然和不同含量的人造石墨在摩擦材料中的作用及其对摩擦性能的影响。实验结果证明,天然和人造石墨对摩擦性能的影响主要反映在摩擦温度上。天然石墨在低温区(100 ~ 150)的升温摩擦系数和体积磨损率较人造石墨好,而人造石墨的摩擦稳定性在中(200)和高温区(250 ~ 350)的升温摩擦系数和磨损率较天然石墨好。但天然和人造石墨在低温区的降温摩擦系数都不好。由于石墨的粘着特征,可以在一定温度范围内(200 ~ 300)提高摩擦系数。石墨在半金属摩擦材料中主要起润滑剂的作用,可以通过减弱摩擦材料和摩擦盘表面的粗糙峰

之间的直接摩擦而有效降低磨损率。验证了本文提出的定量描述摩擦稳定性的新方法。

参 考 文 献

- [1] 吕亚非. 组合摩擦材料研究[J]. 世界科技研究与发展, 2004, 26(3): 22 - 26.
- [2] Lu Y. A combinatorial approach for automotive friction materials: effects of ingredients on friction performance [J]. Compos Sci Tech, 2006, 66(3/4): 591 - 598.
- [3] Lu Y. A combinatorial approach for automotive friction materials: combined effects of ingredients on friction performance[J]. Polym Compos, 2002, 23(5): 814 - 822.
- [4] Tang C F, Lu Y. Combinatorial screening of ingredients used in steel wool based semimetallic and aramid pulp based nonasbestos organic brake materials [J]. J Reinf Plast Compos, 2004, 23(1): 51 - 63.
- [5] Jang H, Ko K, Kim S J, et al. The effect of metal fibers on the friction performance of automotive brake friction materials [J]. Wear, 2004, 256(3/4): 406 - 414.
- [6] Kim S J, Cho M H, Basch R H, et al. Tribological properties of polymer composites containing barite (BaSO₄) or potassium titanate (K₂O₆(TiO₂)) [J]. Trib Lett, 2004, 17(3): 655 - 661.
- [7] Jang H, Lee J S, Fash J W. Compositional effects of the brake friction material on creep groan phenomena [J]. Wear, 2001, 251(1 - 12): 1477 - 1483.
- [8] 曹献坤, 杨晓燕. 新型摩擦材料配方设计及优化[J]. 非金属矿, 2004, 27(4): 50 - 54.

Role of graphite in semi-metallic friction materials and its effects on friction performance

LU Ya-fei¹ MA Yu-ning¹ HAN Ling¹ LI Wei-zhu² ZHAO Yu-juan² ZHANG Zhong-bo²

(1. The Key Laboratory of Beijing City for Preparation and Processing of Novel Polymer Materials,

Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029; 2. Liaoning Jiuding Friction Materials Co Ltd, Liaoning Anshan 114005, China)

Abstract: The adhesion and lubrication roles of graphite in semi-metallic friction materials together with the effects of varying contents of natural and man-made graphite on the friction coefficient (μ), friction stability (μ as a function of friction temperature), and volume wear have been investigated. As an adhesive, graphite increases μ in a certain range of friction temperatures and as a lubricant, graphite significantly decreases wear by weakening the friction between the rough surfaces of both friction material and rotor. Based on the principles of fuzzy comprehensive evaluation, a new method to describe quantitatively the friction stability of friction materials was proposed and its validity was confirmed.

Key words: friction materials; friction performance; graphite; fuzzy comprehensive evaluation