

高摩擦系数合成闸瓦的研制

裴顶峰 党 佳 陈国生 汪志洋

(铁道部科学研究院金属及化学研究所,北京 100081)

张思勇 魏儒东 杜津生

(兰州铁路局客车公司,兰州 730000)

摘要 在充分剖析目前国内外高摩擦系数合成闸瓦性能的基础上,以酚醛树脂、丁腈橡胶粉、石墨、钾长石粉、铝矾土、硫酸钡等为主要原材料,采用干法工艺,围绕降低成本、简化工艺、提高并稳定产品性能等方面开展研究。结果表明,所研制的高摩擦系数合成闸瓦的物理力学性能和摩擦性能达到部颁标准要求,产品综合性能优异。

关键词 高摩擦系数 合成闸瓦 机车车辆 制动

高摩擦系数合成闸瓦研究工作开展最早的有英国、美国和前苏联。英国在 1907 年由飞洛多公司用棉毛混纺条层压制合成闸瓦,当时用在伦敦地下铁道上,后来逐渐改进,至 20 世纪 50 年代已改用以石棉等为增强材料、酚醛树脂为粘合剂的合成闸瓦。目前,为了适应新技术的发展,高摩擦系数合成闸瓦也出现了许多牌号。美国早在 1924 年就开始研制以层压木作为非金属摩擦材料,应用于铁路机车车辆制动上,作为商品形式开始在铁路上大量使用是在 1954 年以后,以“Cobra”牌号出售,其摩擦系数在 140 km/h 速度时为 0.26,耐磨性为铸铁闸瓦的 5 倍。前苏联对合成闸瓦的研究开始也很早,在地下铁道中早就有层压木增强的塑料闸瓦,不过新的合成闸瓦的材质研究是从 1956 年开始的,并已广泛应用于快速旅客列车上。我国于 1958 年开始研制高摩擦系数合成闸瓦,在 1958~1967 年,研制了一系列高摩擦系数合成闸瓦配方,其摩擦系数为 0.25~0.30,基本上能满足时速 120 km 的制动要求,但由于耐磨性差等一系列原因,未能推广应用。其后,又分别研制了 TK-81、407G 等型号的高摩擦系数的合成闸瓦,以及引进了美国的“虎牌”高摩擦闸瓦,这些闸瓦基本上适合于在目前行驶的各种机车车辆上使用。从国内的高摩擦系数合成闸瓦生产厂家来看,其产品品种单一,对如何消除在 100 km/h 速度下应用时偶有出现的不良影响缺乏理论研究,对现有的合成闸瓦能否在 120 km/h 速度下广泛使用信心不足^[1,2]。为此,笔者进行了高摩擦系数合成闸瓦的研制。

1 实验部分

1.1 摩擦材料的制备

1.1.1 原材料

热塑性酚醛树脂:2123,沈阳密封摩擦材料厂;

丁腈橡胶粉:交联型,兰州化学工业公司;

石墨:-185,含碳量 $\geq 85\%$,青岛市天和石墨有限公司;

铝矾土:氧化铝含量 $\geq 70\%$,粒径 106 μm 以下,山西阳泉圣火炉料有限公司;

钾长石粉:含钾量 $> 7\%$,粒径 150 μm 以下,山东新泰长石矿;

沉淀硫酸钡:粒径 150 μm ,河北辛集化工原料工业公司;

其它辅料:市售。

1.1.2 成型工艺

将以上主要成分经配料、混料及热压成型制成橡胶改性树脂基复合材料,成型工艺流程如图 1 所示。

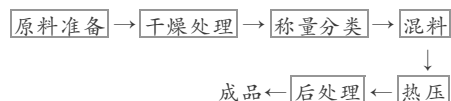


图 1 成型工艺流程图

1.2 设备及仪器

高速混合机:GH-10,北京塑料机械二厂;

冲击试验机:XCJ3923,承德试验机厂;

电子万能试验机:CSS-1110C,长春试验机研究所;

电光分析天平:上海光学仪器厂;

1.1 制动动力试验台:铁道部科学研究院机车车辆研究所;

1.3 制动动力试验台:自制。

1.3 物理力学性能测试

压缩强度:按 GB/T 1041-1992 测试;

压缩弹性模量:按压缩强度值的 5%~20% 段取值测定其压缩弹性模量;

冲击强度:按 GB/T 1043-1993 测试;

吸水率:按 GB/T 1034-1998 测试;

密度:按 GB/T 1033-1986 测试。

1.4 制动性能测试

按技术条件的要求,分别在 1:1 及 1:3 制动力试验台上模拟货车惯量、高摩擦系数合成闸瓦的压力及速度参数,对高摩擦系数合成闸瓦进行制动特性试验,确定闸瓦的瞬时摩擦系数 μ 、制动距离、制动时间、制动温度、平均摩擦系数等制动性能参数。

2 结果与讨论

2.1 原材料的选择

高摩擦系数合成闸瓦就其本身的材质而言,是采用粘合剂将增强材料和填料粘结在一起,各自发挥在制动时的作用,直接与对偶件相互作用产生摩擦力。国内外的高摩擦系数合成闸瓦所用的粘合剂主要有酚醛树脂及其改性物、天然及人工合成橡胶等。所用的增强材料主要有石棉、钢纤维、铸铁纤维、合成纤维、矿物纤维、天然纤维等。填料种类很多,大部分无机化合物都能作为填料使用,在粘合剂/增强材料体系中发挥稳定摩擦系数-温度(速度)的作用,以保证行车安全。

2.1.1 粘合剂体系

粘合剂是制备高摩擦系数合成闸瓦的关键材料,其性能的好坏,直接影响到合成闸瓦的各种性能^[3]。据文献报道,国外高摩擦系数合成闸瓦用的粘合剂是以热塑性酚醛树脂和橡胶弹性体并用制得,但树脂与橡胶的比例调整的范围很大。国内高摩擦系数合成闸瓦采用的粘合剂体系如下:热塑性酚醛树脂和丁苯橡胶共混;热固性酚醛树脂和丁苯橡胶共混;腰果壳油树脂和丁腈橡胶共混。综合各方面的优缺点,笔者仍选用溶解度参数较为接近的热塑性酚醛树脂和丁腈橡胶进行共混改性。因其相容性好,易共混,并可得到互为补强的体系,在采用橡胶的形态上,做了相应的改变,以利于简化工艺和稳定并提高产品性能。

2.1.2 填料体系

填料能使摩擦系数在各种使用情况下稳定且耐磨,特别是摩擦系数-温度曲线、摩擦系数-速度曲线的平稳就不能单纯依靠粘合剂及增强纤维的二元组成,通常是靠加入各种填料解决的。国内常用的填料有:炭黑、石墨、长石、硫酸钡、氧化铁、氧化锌、铝矾土、矿渣、石英粉、滑石粉等^[4]。综合分析各种材质,参照材料的稳定性和硬度等对摩擦系数有显著影响的参数,同时充分考虑其成本和原料的来源,

优化选用了几种填料。如采用石墨等为固体润滑剂,铝矾土和还原铁粉等为摩擦性能调节剂,考虑到合成闸瓦的力学性能并降低成本,也选用了其它的粉状填料。

2.1.3 耐热补强体系

为了保证合成闸瓦的强度,在配方中必须加入纤维,以起到耐热补强的作用。目前,可作为摩擦材料用的纤维主要有以下几种:矿物纤维、高强度纤维和金属纤维。分析国内外多年实践,要在现有纤维中寻求一种能全面取代石棉纤维作为耐热补强的纤维是非常困难的。而多种矿物纤维的组合可能是取代石棉比较好的途径,且制品的综合技术经济指标又能超过石棉制品。为此,笔者参考国外在摩擦制品中采用多种纤维组合的经验,结合我国非金属矿物纤维和其它纤维的资源情况,充分考虑到工艺可行性和价格因素采用金属纤维和矿物纤维为主的复合纤维体系。

2.2 配方的优化

2.2.1 树脂与橡胶的比例

过去应用合成闸瓦易使车轮产生过热裂纹、热斑及热剥离等严重的问题,尤其以车轮踏面的热裂纹令人关注。其原因已经研究清楚,皆由合成闸瓦的压缩弹性模量过高,造成闸瓦与车轮踏面的点接触,产生局部表面瞬时高温造成的。添加橡胶弹性体、进行树脂与橡胶并用,以降低摩擦体的压缩弹性模量,能解决闸瓦对车轮的热影响,为此在配方优化过程中,须充分重视这一问题^[5]。

图2、图3分别是橡胶共混增韧酚醛树脂的冲击强度、压缩强度与橡胶、树脂含量的关系。

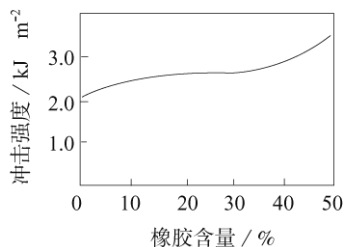


图2 橡胶含量对共混物冲击强度的影响

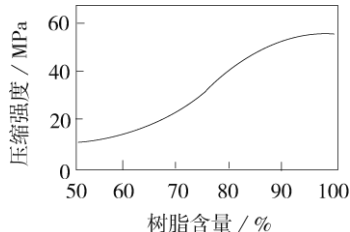


图3 树脂含量对共混物压缩强度的影响

由图 2、图 3 可以看出, 橡胶含量增加, 冲击强度提高; 树脂含量增加, 压缩强度提高。为此, 笔者又选用了树脂与橡胶的 4 种比例进行了研究, 表 1 是树脂与橡胶不同比例时的压缩强度和压缩弹性模量。

表 1 树脂与橡胶不同比例时的压缩强度和压缩弹性模量

树脂与橡胶的比例	压缩强度/MPa	压缩弹性模量/GPa
4∶1	46.7	2.2
3∶1	39.9	1.8
2∶1	33.6	1.1
1∶1	31.1	0.8

从表 1 可以看出, 其性能都达到了技术条件的要求, 综合考虑实际使用时对车轮的热损害程度和金属镶嵌的问题, 笔者采取了在满足压缩弹性模量的前提下, 采用树脂与橡胶配比适中的比例。

表 2 硬软质点不同配比的制动性能数据

配方	硬软质点配比	120 km/h		100 km/h		80 km/h		60 km/h		40 km/h	
		时间/h	μ	时间/h	μ	时间/h	μ	时间/h	μ	时间/h	μ
13 [#]	15∶5	36.04	0.284	30.00	0.276	23.22	0.288	18.50	0.265	12.40	0.301
18 [#]	10∶10	36.66	0.301	28.76	0.317	23.21	0.306	16.85	0.303	12.05	0.284
20 [#]	5∶5	34.51	0.311	27.30	0.324	22.41	0.318	17.17	0.295	11.96	0.294
22 [#]	5∶15	35.20	0.311	29.92	0.311	24.00	0.295	18.13	0.285	13.20	0.256
25 [#]	5∶18	35.36	0.321	29.44	0.325	23.31	0.312	17.65	0.310	12.55	0.276

从表 2 看出, 该体系摩擦系数的规律性并不是硬质点的材质越多, 其摩擦系数越高, 而是软硬材质有一个较合理的比例范围。从摩擦系数来考虑, 22[#]和 25[#]配方的摩擦系数较为合适且也较为稳定。22[#]和 25[#]配方都能在满足制动性能的基础上, 合理地分布着尽可能多的软质点材质, 其使用性能也会相当优异。

2.3 成型工艺的确定

2.3.1 压制成型温度和压力

研究表明, 成型工艺对高分子材料性能影响较大, 按酚醛树脂固化和橡胶硫化条件, 基本确定温度为(160±5)℃; 根据干法工艺的特殊性, 为提高效率和降低成本, 将压制压力调整到 35 MPa, 显示效果良好。

2.3.2 后处理工艺

传统的合成闸瓦的后处理工艺, 基本采用阶梯式升温, 最高处理温度为压制温度。根据酚醛树脂的固化机理, 在 180℃ 以上时, 还要发生进一步反应^[5], 笔者将后处理温度进一步提高, 结果表明, 闸

2.2.2 填料的配比

从国内外高摩擦系数合成闸瓦的应用情况来看, 发生金属镶嵌是很难避免的, 只是金属镶嵌的程度及对车轮磨损影响不同。国际铁路联盟曾在报告中指出“金属镶嵌对车轮的恶性磨损是影响合成闸瓦应用的技术关键”。

大量研究表明, 硬质点的成分较多, 造成剪力大, 被剪断的极小的金属粒子多, 配方中润滑成分少, 使这些金属粒子粉易于积聚成金属粉, 在制动压力作用下, 硬度较低的合成闸瓦镶嵌金属粉末的可能性增加, 在表面镶嵌后, 闸瓦的摩擦界面又不能更新, 造成了金属之间的对磨及堆积形成金属块。因而, 硬软质点的配比对合成闸瓦的金属镶嵌影响显著。典型的硬软质点的不同配比配方及其制动性能数据见表 2。

瓦的压缩强度得到提高, 由 33.5 MPa 提高到 37.3 MPa; 压缩弹性模量也提高, 由 0.7 GPa 提高到 0.9 GPa, 说明材料固化度提高。但其摩擦性能却变化非常大, 图 4、图 5 分别是后处理前后的制动曲线。

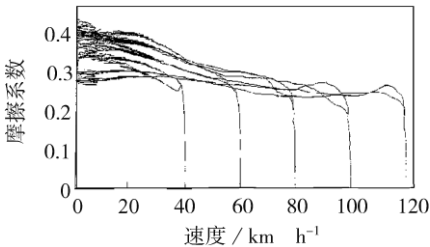


图 4 后处理前摩擦材料的 13 试验台制动曲线

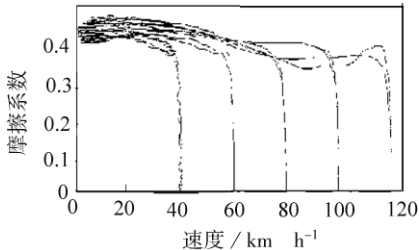


图 5 经后处理的摩擦材料的 13 试验台制动曲线
经过高温后处理, 同样的一块摩擦片的摩擦系

数会发生如此大的变化,其摩擦机理仍需进一步研究。

2.4 高摩擦系数合成闸瓦的性能

2.4.1 力学性能

表3是高摩擦系数合成闸瓦的物理力学性能。

表3 高摩擦系数合成闸瓦的物理力学性能

项目	性能	标准要求
冲击强度 / $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$	4.8	>2.0
压缩强度 /MPa	37.5	>25
压缩弹性模量 /GPa	0.8	<1.8
密度 / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	2.5	不超过给定值的 5%
吸油率 /%	0.5	<1.5
吸水率 /%	0.2	<1.5

从表3可以看出,合成闸瓦的各项性能完全符合技术标准(TB/T 2403 – 93) 的要求,尤其是压缩弹性模量为0.8 GPa,比标准要求的低,对车轮的热影响会比较小;冲击强度为 4.8 kJ/m^2 ,基本接近于目前所能测到的国外工业发达国家合成闸瓦的冲击强度水平。

2.4.2 摩擦性能

表4是高摩擦系数合成闸瓦的1:1试验台制动摩擦性能数据。

从表4可以看出,其制动摩擦性能基本符合技术标准(TB/T 2403 – 93) 的要求。同时,这种合成闸瓦制动时踏面最高温度都比较低,从制动的能量

表4 高摩擦系数合成闸瓦的1:1试验台制动摩擦性能数据¹⁾

项 目	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
制动初速度 / $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$	95	75	55	35	35	55	75	95	105	125
制动距离 /m	592	348	184	71	71	181	339	573	755	1238
制动时间 /s	41	31	22	13	13	21	30	40	49	67
距离平均摩擦系数	0.32	0.34	0.34	0.36	0.36	0.35	0.34	0.33	0.30	0.26
踏面初始温度 / $^{\circ}\text{C}$	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50	<50
踏面最高温度 / $^{\circ}\text{C}$	112	98	77	80	79	95	129	136	171	220

注:1) 车轮直径840 mm;轴重20.8 t;闸瓦制动力19.6 kN;一次停车制动(干摩擦)。

转换角度来看,材料的干摩擦生热较少,大部分转化为合成闸瓦中树脂的分解能和填料的离解能,这样对车轮的保护非常有好处。此外,摩擦系数的变化幅度不大,说明该类高摩擦系数合成闸瓦耐速性能非常优异,保证了实际使用过程中的制动平稳性。

3 结论

(1) 研制的高摩擦系数合成闸瓦的各项性能达到铁道部标准要求。

(2) 由于配方体系中添加橡胶类增韧组分,使其压缩弹性模量非常低,制动时踏面最高温度比较低,对车轮的保护非常有益。

(3) 合理使用硬软质材料,使摩擦系数高而变化幅度又不大,这种合成闸瓦对车轮损伤较小,耐速性能优异,保证了实际使用过程中的制动平稳性。

参 考 文 献

1 裴顶峰. 合成闸瓦综述. 铁道知识, 2001(1): 23

2 孙国平. 国外旅客车辆的发展成果及发展趋势. 国外机车车辆工艺, 1998(2): 1

3 汪志洋. 高摩合成闸瓦金属镶嵌机理研究. 中国铁道科学, 1998, 19(4): 69

4 裴顶峰. 开环聚合酚醛树脂制动材料的研制. 中国铁道科学, 1998, 19(2): 89

5 殷荣忠. 酚醛树脂及其应用. 北京: 化学工业出版社, 1994.

DEVELOPMENT OF THE SYNTHETIC BRAKE SHOE WITH HIGH FRICTION FACTOR

Pei Dingfeng, Dang Jia, Chen Guosheng, Wang Zhiyang

(Metals and Chemistry Research Institute, China Academy of Railway Sciences, Beijing 100081, China)

Zhang Siyong, Wei Rudong, Du Jinsheng

(Passenger Train Company, Lanzhou Railway Bureau, Lanzhou 730000, China)

ABSTRACT Study has been carried out to reduce cost, simplify process and improve and stabilize the product property according to sufficient analysis of the property of the current synthetic brake shoes with high friction factor both at home and abroad. Phenolic resin, butadiene nitrile rubber powder, graphite, sylvine feldspar, alumine, BaSO₄ are used as main materials and dry process is employed in the study. The test result shows that the synthetic brake shoe with high friction factor developed has excellent physical and mechanical properties and can meet the requirement of the railway standard of China.

KEYWORDS high friction factor, synthetic brake shoe, rolling stock, brake