

我国高摩擦系数合成闸瓦的性能研究

裴顶峰 张国文 党佳 贺春江

(中国铁道科学研究院金属及化学研究所,北京 100081)

摘要 在现场调研和抽样基础上,利用热重分析仪、万能材料试验机、1:3制动动力试验台等检测仪器及设备,对国内高摩擦系数合成闸瓦的热稳定性、常规物理力学性能、摩擦磨损性能等进行了综合测试。研究表明,我国各个厂家生产的合成闸瓦的热稳定性、物理力学性能、摩擦磨损性能差别比较大。高摩擦系数合成闸瓦的冲击强度在 $2.27\sim 14.23\text{ kJ/m}^2$,压缩弹性模量在 $0.3\sim 1.5\text{ GPa}$,摩擦系数范围在传统高摩擦系数合成闸瓦和新型高摩擦系数合成闸瓦之间,磨耗量在 $0.30\sim 4.22\text{ g}$ 。我国合成闸瓦的冲击强度、降低压缩模量和使用寿命有待提高。

关键词 热稳定性 物理力学性能 摩擦磨损 高摩擦系数 合成闸瓦

高摩擦系数合成闸瓦是以酚醛树脂为粘合剂、钢纤维、矿物纤维为增强体系,石墨、铁粉、硫酸钡等为填料,经高温($155\sim 165\text{ }^{\circ}\text{C}$)、高压(100 kg/cm^2)制造的复合材料。根据《铁路主要技术政策》及有关的技术发展规划,从2001年开始全路全面采用了新型高摩擦系数合成闸瓦,推广HGM-A和HGM-B两个型号闸瓦(由中国铁道科学研究院研制,材料、配方配比和成型工艺已有详细报道)^[1-2]。近几年的实际应用表明,基本能满足使用要求,但仍存在许多问题,主要集中在产生对车轮有害的金属镶嵌物、对车轮的异常磨耗、合成闸瓦的贯通裂纹、掉渣和掉块、合成闸瓦的使用寿命不同等几个方面^[3-5]。2007年在全路共查验了1786块合成闸瓦的使用情况,针对不同的使用状况收集了各个生产厂家的产品,涵盖了所有在铁路内使用的407G、TK-81、HGM-C等型号闸瓦。笔者利用热重分析仪、万能材料试验机、1:3制动动力试验台等检测仪器及设备,对国内高摩擦系数合成闸瓦的热稳定性、常规物理力学性能、摩擦磨损性能等进行了综合测试。结合现场调研使用状况,对我国合成闸瓦的现状有了比较充分的了解,为制定我国合成闸瓦的评价体系提供了依据,由于407G和TK-81型号闸瓦目前已停止使用,笔者未深入讨论。

1 实验部分

1.1 样品来源

笔者从锦州、西安、沈阳、上海、神池、贵阳、哈尔滨、郑州等车辆段共抽取了8个厂家生产的HGM-A型号闸瓦、5个厂家生产的HGM-B型号闸瓦、各1个厂家生产的HGM-C型号、407G型号、TK-81型号闸瓦。

1.2 性能测试标准及测试设备

热失重(TG)分析:采用DSC-2型热分析仪测试,空气气氛,升温速度 $20\text{ }^{\circ}\text{C/min}$;

压缩强度:GB/T1041-1992,速度 1 mm/min ,变形量为 2 mm 。

压缩模量:GB/T1041-1992,速度 1 mm/min ,取强度值的5%~20%范围内的压缩模量。

冲击强度:GB/T1043-1993,采用XCJ-3923/981MJ冲击仪测试;

洛氏硬度:GB/T 9342-1988,采用XHR-150塑料洛氏硬度计测试。

1.3 摩擦磨损性能测试

1:3制动动力试验台:模拟轴重为 33 t ;制动初速度分别为 $125, 95, 75, 55, 35, 35, 55, 75, 95, 125\text{ km/h}$;制动压力采用模拟的 2 t ;采集闸瓦的瞬时摩擦系数、制动距离等制动性能参数。磨耗量采用TG279c型单盘电光分析天平测量。

2 结果与讨论

2.1 高摩擦系数合成闸瓦的热稳定性

合成闸瓦的热稳定性数据反映合成闸瓦体系中的粘合剂耐热程度和合成闸瓦在高温下发生化学变化的信息。

图1是典型的HGM-A和HGM-B型号闸瓦的TG曲线,图2是HGM-C型号的TG曲线,表1同时列出国内典型高摩擦系数合成闸瓦的TG数据。

从图1曲线形状和表1数据可以看出,由于推广的HGM-A、HGM-B型号闸瓦采用典型的橡胶增韧酚醛树脂粘合剂体系,合成闸瓦从 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 开始

失重,可能是耐热性较差的橡胶开始热降解所致,400~550℃范围内出现大量失重现象,主要是酚醛树脂复杂碳化物开始进一步降解的结果,残碳率在80%~91%。最快失重温度和残碳率与厂家使用的原材料、配比和相关工艺有关。从图2曲线和表1的数据可以看出,采用橡胶粘合剂的HGM-C型号闸瓦,起始热失重比较低,大量分解温度也低于橡胶改性酚醛树脂的闸瓦,其残碳率为65.6%,说明其粘合剂含量在配方中占比例大,闸瓦的热稳定性差。

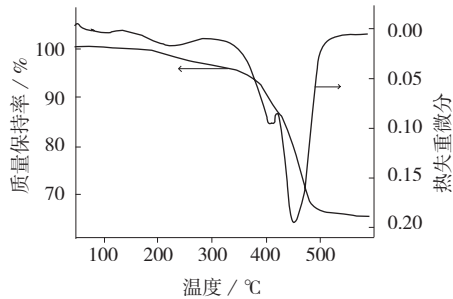


图1 HGM-A、HGM-B型号闸瓦的TG曲线

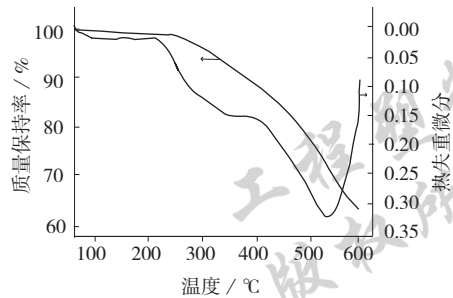


图2 HGM-C型号闸瓦的TG曲线

表1 国内典型高摩擦系数合成闸瓦的TG数据

闸瓦型号	不同失重状态下的温度/℃			残碳率/%
	5%	10%	30%	
HGM-A	403.1~446.3	442.3~552.6		80.5~89.1
HGM-B	416.4~426.4	479.2~489.5		87.7~91.2
HGM-C	356.3	411.9	483.9	67.1

2.2 高摩擦系数合成闸瓦的物理力学性能

大量实践和理论分析显示,合成闸瓦的使用特性同其物理力学性能密切相关^[6-9]。

(1) 高摩擦系数合成闸瓦的密度

合成闸瓦的密度是合成闸瓦材质、配方组成、成型工艺及参数的综合反映,测试合成闸瓦的密度可对其使用稳定性起到很好的监测作用。表2是对高摩擦系数合成闸瓦密度的测试结果。

表2 高摩擦系数合成闸瓦的密度

闸瓦型号	密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	闸瓦型号	密度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$
HGM-A	2.08~2.57	407G	2.21
HGM-B	2.24~2.66	TK-81	2.30
HGM-C	1.96		

从表2数据可见,HGM-A和HGM-B型号闸

瓦密度在2.08~2.66 g/cm^3 ,这主要是材料和工艺不同造成的。密度2.08 g/cm^3 的HGM-A型号闸瓦采用常温下冷压成型高温后处理的工艺,常温压制材料的流动性、浸渍性低,因此闸瓦密度小;HGM-B型号闸瓦中,原材料采用二次还原铁粉还是铸造铁粉、采用重晶石还是硫酸钡等也造成了2.24~2.66 g/cm^3 密度差别。HGM-C型号闸瓦密度低与它们的高有机含量相一致。

(2) 高摩擦系数合成闸瓦的硬度

合成闸瓦的硬度能反映闸瓦粘合剂组分中树脂的固化度程度和闸瓦同车轮的贴合状况等信息。表3是对高摩擦系数合成闸瓦洛氏硬度的测试数据。

表3 高摩擦系数合成闸瓦的洛氏硬度

闸瓦型号	洛氏硬度	闸瓦型号	洛氏硬度
HGM-A	-13~86	407G	83
HGM-B	16~81	TK-81	99
HGM-C	-25		

从表3数据可以看出,其硬度相差比较大,从负值到接近90,可见采用材料的种类、成型工艺参数对硬度影响比较大。硬度超过90的闸瓦同车轮贴合性差。

(3) 高摩擦系数合成闸瓦的冲击强度

合成闸瓦在使用过程中的“掉渣、掉块”现象同材料冲击韧性密切相关,材料冲击强度低,在制动力反复作用下,易出现脆性断裂。表5是国内外高摩擦系数合成闸瓦的冲击强度数据。

表4 高摩擦系数合成闸瓦的冲击强度

闸瓦型号	冲击强度/ $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$	闸瓦型号	冲击强度/ $\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2}$
HGM-A	2.27~14.23	407G	3.91
HGM-B	2.44~7.30	TK-81	2.34
HGM-C	11.46		

从表4数据可以看出,合成闸瓦冲击强度的差别是非常大的,高的达到了10 kJ/m^2 以上,低的在2.27 kJ/m^2 附近。结合现场调研情况,我国某些工厂生产的冲击强度在2.44 kJ/m^2 以下的合成闸瓦,现场掉块率接近30%(如图3所示)。我国合成闸瓦的冲击强度有待提高,体系中应加入增韧性物质。

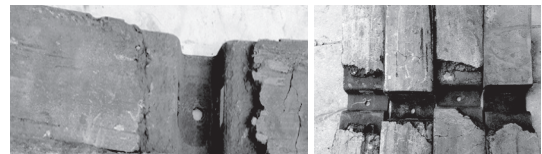


图3 低冲击强度合成闸瓦的使用效果

(4) 合成闸瓦的压缩强度和压缩弹性模量

表5和表6分别是高摩擦系数合成闸瓦的压

缩强度和压缩弹性模量数据。

表5 高摩擦系数合成闸瓦的压缩强度

闸瓦型号	压缩强度 / MPa	闸瓦型号	压缩强度 / MPa
HGM-A	20.1 ~ 30.5	407G	30.0
HGM-B	25.0 ~ 30.1	TK-81	33.2
HGM-C	14.9		

从表5数据可以看出, HGM-B型号闸瓦的压缩强度差别不大, 在25~30.1 MPa, HGM-A型号闸瓦因工艺原因稍有分散, HGM-C闸瓦为14.9 MPa。

通过对使用高摩擦系数合成闸瓦的制动系统压力计算, 紧急制动时的压力同合成闸瓦踏面面积的比值小于4.0 MPa。图4是压缩强度为14.9 MPa的合成闸瓦使用后的情况, 虽然其压缩强度小于铁标规定的25 MPa, 但是没有出现破损现象。由于国外合成闸瓦大量采用腰果壳油改性酚醛树脂做韧性粘合剂, 压缩强度较我国低, 但其使用性能也非常优异, 因此可适当降低压缩强度。



图4 14.9 MPa压缩强度的合成闸瓦使用后状态

表6 高摩擦系数合成闸瓦的压缩弹性模量

闸瓦型号	压缩弹性模量 / MPa	闸瓦型号	压缩弹性模量 / MPa
HGM-A	226 ~ 1446	407G	1379
HGM-B	740 ~ 1477	TK-81	490
HGM-C	640		

从表6数据可以看出, 国内合成闸瓦的压缩模量变化范围在0.6~1.5 GPa。压缩弹性模量大小表征制动时对偶件产生的热损伤程度。初期是热斑, 然后发展为热裂纹。研究显示, 热斑点温度同压缩弹性模量关系如式1。

$$Q = K \mu P^{1/4} V^{1/2} \quad (1)$$

式中: Q —热斑点温度;

P —闸瓦压力;

μ —平均摩擦系数;

V —速度;

K —与压缩模量有关的系数。

图5是合成闸瓦的压缩模量达到1.5~1.8 GPa时车轮制动产生的热斑。

根据铁道部相关技术规范要求, 在闸瓦制动压力、平均摩擦系数和制动速度不变的情况下, 要降低热斑点温度, 减少闸瓦对车轮的热损伤, 我国合成闸瓦应降低压缩模量。

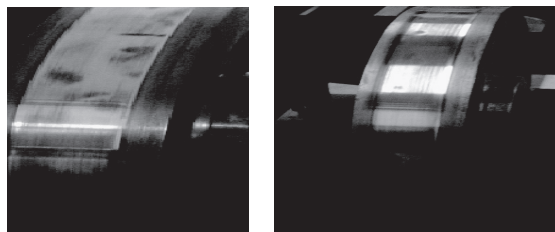


图5 高压压缩模量合成闸瓦造成的车轮热斑

2.3 高摩擦系数合成闸瓦的制动摩擦性能

合成闸瓦的典型制动数据列于表7。

表7 高摩擦系数合成闸瓦的制动摩擦性能

厂家代号	闸瓦型号	制动距离 / m					磨耗量 / g
		125 km/h	95 km/h	75 km/h	55 km/h	35 km/h	
1	HGM-A	1209	595	386	208	71	1.62
2	HGM-A	1799	941	490	215	86	0.30
3	HGM-A	1779	849	467	222	85	0.94
4	HGM-A	1614	774	442	225	94	0.33
5	HGM-A	1399	724	403	192	75	0.40
6	HGM-A	1587	763	457	221	85	0.43
7	HGM-A	1437	686	390	191	75	0.37
8	HGM-A	1487	706	420	201	85	0.47
9	HGM-B	1499	702	374	168	65	0.33
10	HGM-B	1683	837	537	278	91	0.45
11	HGM-B	1465	729	406	202	71	0.46
12	HGM-B	1258	578	359	197	76	4.22
13	HGM-B	1567	764	419	217	82	0.44
14	HGM-C	1496	729	463	237	89	0.42
15	407G	1826	990	543	245	97	0.62
16	TK-81	1889	956	562	236	78	0.91

在表7的制动数据中, 我们按摩擦系数将合成闸瓦分成四种。

(1) 以15、16为代表的传统高摩擦系数合成闸瓦;

(2) 以2、3、10为代表的摩擦系数偏低的合成闸瓦;

(3) 以4、6、7、8、9、10、11、14为代表的摩擦系数适中的合成闸瓦;

(4) 以1、12为代表的摩擦系数偏高的合成闸瓦。

不同合成闸瓦, 磨耗量差别也非常大。1和12的磨耗量比较大, 尤其是12已经达到了4.22 g, 这与其摩擦系数偏高有关系; 磨耗量其次的是15、16、3, 在0.62~0.94 g, 其它磨耗量在0.20~0.50 g。

3 结论

(1) HGM-A、HGM-B、HGM-C型号合成闸瓦均采用橡胶增韧酚醛树脂作为粘合剂。由于使用的原材料和工艺不同, 合成闸瓦的热稳定性差别很大。

(2) HGM-A、HGM-B型号合成闸瓦的残重率高达80%以上, HGM-C型号合成闸瓦的残重率高达67%。

(3)为保证合成闸瓦不发生“掉渣、掉块”现象,应提高国内合成闸瓦的冲击强度,降低其压缩强度。为保证不发生对车轮的热损伤,增加合成闸瓦同车轮的贴合性,应降低我国合成闸瓦的压缩模量,降低合成闸瓦的硬度。

(4)高摩擦系数合成闸瓦的摩擦系数和磨耗量有一定差别,应加强原材料、配方和成型工艺的管理,减少因此造成的车辆纵动和降低闸瓦更换频率。

参考文献

- [1] 裴顶峰,党佳,陈国生,等.高摩擦系数合成闸瓦的研制[J].工程塑料与应用,2003,31(10):38-42
- [2] 铁道科学研究院金属及化学研究所.新型高摩擦系数合成闸瓦及其制造技术:中国,CN151187[P].2004-07-14.
- [3] 裴顶峰.重载提速制动材料及其评价体系的研究[R].北京:中国铁道科学研究院金属及化学研究所,2009.
- [4] 裴顶峰.25吨及其以上轴重、120公里货车用高摩擦系数合成闸瓦的研制[R].北京:中国铁道科学研究院金属及化学研究所,2007.
- [5] 裴顶峰.我国铁路合成摩擦材料的现状和发展趋势[J].摩擦密封材料.2008(3):2-18.
- [6] 汪志洋,等.4~2W低摩擦系数合成闸瓦[R].北京:中国铁道科学研究院金属及化学研究所,1997.
- [7] 汪志洋,鞠传珍.TK—81型无石棉高摩擦系数合成闸瓦的研究[R].北京:中国铁道科学研究院金属及化学研究所,1986.
- [8] 王京波.提速货车120 Km/h可靠性试验第一阶段(环形线)试验总报告[R].北京:中国铁道科学研究院机车车辆研究所,2008.
- [9] 刘会英,张澎湃,等.大秦线25吨轴重货车用闸瓦试验报告[R].青岛:四方机车车辆研究所,2008.

STUDY ON THE PROPERTIES OF HIGH FRICTION COEFFICIENT COMPOSITED BRAKE SHOE IN CHINA

Pei Dingfeng, Zhang Guowen, Dang Jia, He Chunjiang

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

ABSTRACT thermal stability, conventional physical mechanical property, friction and wear properties of domestic composited brake shoe with high friction coefficient have been tested by TGA, universal testing machine, 1:3 dynamic brake test stand and other instruments and equipments according to the field investigation and sampling. The results show that the thermal stability, physical mechanical properties, friction and wear properties of composited brake shoe with different manufactures are wide difference. The impact strength is in $2.27 \sim 14.23 \text{ kJ/m}^2$, compression modulus between 0.3–1.5 GPa, the friction coefficient is in the range of traditional high friction brake shoe and new high friction coefficient composited brake shoe, also the amount of wear is between 0.30–4.22 g. The comments for Chinese composited brake shoe combined the data analysis of field survey: the impact strength should be improved, the compression modulus should be decreased, and then the life of composited brake shoe will be prolonged.

KEYWORDS thermal stability, physical mechanics properties, friction and wear, high friction coefficient, composited brake shoe

首个食品塑化剂行业标准出炉

国家认证认可监督管理委员会已审定通过由厦门检验检疫局起草制订的《食品中邻苯二甲酸酯的测定》行业标准。这是我国首个食品塑化剂行业标准,意味着解决类似近期以来由塑化剂引发的两岸食品安全问题终于有章可循。

邻苯二甲酸酯是最常见的食品塑化剂。《食品中邻苯二甲酸酯的测定》标准经专家组审定,并经过中国检验检疫科学院、广东检验检疫局、上海检验检疫局、江苏检验检疫局和厦门市质检院5家实验室验证,可一次性检测22种邻苯二甲酸酯,其中包括国际高度关注的邻苯二甲酸二异壬酯、邻苯二甲酸二异癸酯和间苯二甲酸二烯丙酯等,检出限值0.01~0.5 mg/kg,高于国家标准。

国家认监委认定,该标准技术先进性达到国际先进、国内领先水平。该标准制定并发布实施后,能够对食品中添加塑化剂进行更加全面的监测,规范食品生产企业的生产行为,为服务食品质量安全提供强大的技术支撑。

(工塑)

我国聚氨酯产能目标瞄准世界第一

《聚氨酯工业“十二五”发展规划建议》提出,我国聚氨酯工业发展的总体目标是:通过自主科技创新开发,使重要基本原料、助剂、主要类型产品的生产技术、产品质量达到或接近国际水平;加快产业结构调整,提高产品高端化水平,淘汰落后产能,初步形成布局趋于合理、绿色环保、低碳高效的聚氨酯材料工业体系;到“十二五”末,我国聚氨酯工业产能规模达到900万~1000万吨。

该规划建议明确了“十二五”期间聚氨酯行业重大关键技术需求,包括TDI大型液相光气化反应设备及工艺技术开发、新型气相光气法技术研究,脂肪族异氰酸酯气相光气法产业化成套技术开发,HPPO法环氧丙烷生产技术和装置开发,水性聚氨酯树脂生产技术开发,聚氨酯泡沫稳定剂、高效低毒阻燃剂等开发,可再生资源型生物基可降解聚氨酯原料开发,熔纺氨纶切片技术开发,替代进口的适用于汽车轮胎胎面的高性能CPUE材料技术开发,异氰酸酯生产过程中氯循环利用技术开发等。

(中化新网)