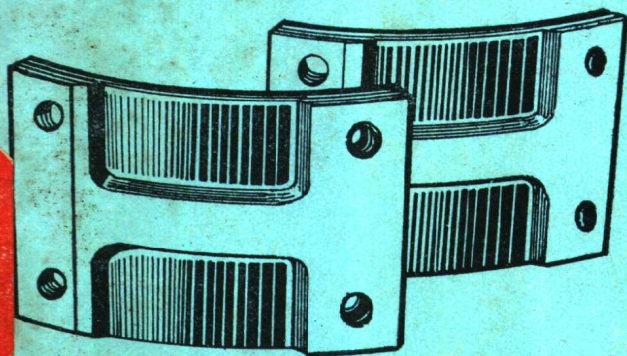


石棉摩擦材料 译文集

陈学龄 汤希庆 等译



中国建筑工业出版社

石棉摩擦材料译文集

陈学龄 汤希庆 等译

中国建筑工业出版社

本集系翻译日、美、英、俄等国七十年代发表的部分石棉摩擦材料专利说明及有关试验研究的文章而成。内容分五部分：一、摩擦材料的展望，二、摩擦材料性能改进的途径，着重介绍粘合剂改性、并用和采用不同类型的摩擦调节剂，三、多孔摩擦材料的制法，四、合成火车闸瓦，五、摩擦材料性能的试验研究。

本集供石棉摩擦材料生产人员阅读和有关科研工作者参考。

本集日语部分系陈学龄译；英语部分中，第二部分 I 之九~十一篇、II 之九~十五篇和第四部分之一~四篇为汤希庆译。其余为韩锦如译；俄语文章为李宏译。

石棉摩擦材料译文集

陈学龄 汤希庆 等译

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
河北省香河县印刷厂印刷

*

开本：787×1092 毫米 1/32 印张：9 字数：202 千字

1982年10月第一版 1982年10月第一次印刷

印数：1—1,300册 定价：0.95元

统一书号：15040·3948

目 录

第一部分 摩擦材料的展望

- 一、制动摩擦的研究动向····· 1
- 二、摩擦材料的展望及有关问题····· 16

第二部分 摩擦材料性能改进的途径

I. 粘合剂的改性和并用

- 一、酚醛树脂及其改性物····· 33
- 二、酚醛环氧树脂-硼酸酯-丁腈橡胶并用····· 46
- 三、烷基苯-甲醛树脂改性酚醛树脂····· 49
- 四、改性二甲苯-甲醛树脂····· 54
- 五、聚酰胺改性酚醛树脂····· 59
- 六、羟烷基化酚醛树脂与酚醛树脂并用····· 63
- 七、聚丁二烯作粘合剂····· 74
- 八、聚亚胺树脂与酚醛树脂并用····· 79
- 九、苯胺酚醛树脂-丁腈橡胶组分摩擦材料····· 82
- 十、热固性不饱和聚酯树脂基摩擦材料····· 85
- 十一、加硅酸钠的树脂粘合剂····· 90

II. 添加不同类型的摩擦调节剂

- 一、以磁铁矿粉为主要填料的摩擦材料····· 95
- 二、石墨-陶瓷粉-金属摩擦材料····· 104

三、含异氰酸酯的摩擦材料	108
四、含金属卤化物的摩擦材料	114
五、含沉淀硅酸盐的摩擦材料	126
六、含氟树脂的摩擦材料	131
七、硼改性摩擦粉摩擦材料	139
八、活性分子筛材料的摩擦材料	143
九、含非金属摩擦改性剂的制动片	150
十、含硫化铜组分的摩擦材料	153
十一、含分子筛材料的摩擦材料	160
十二、玻璃纤维基摩擦材料	170
十三、含烧结无机物的摩擦材料	175
十四、采用冶金粘接工艺的铜基摩擦材料	181
十五、硅浸渍碳纤维/碳组分摩擦材料	185

第三部分 多孔摩擦材料的制法

一、一般制法	190
二、模压法	197
三、造纸法	
(一)一般造纸法	201
(二)容器过滤造纸法	204
(三)造纸法生产干式、湿式用制品	207

第四部分 合成火车闸瓦

一、低含量氧化锌组分耐磨合成火车闸瓦	211
二、低摩擦系数合成铁路闸瓦	217
三、冲压-热处理两步法制造合成闸瓦	221
四、低磨损合成铁路闸瓦	227

第五部分 摩擦材料性能的试验研究

- 一、按“固定的蹄片-转动的圆柱体”方案试验时
石棉摩擦材料热状态和摩擦性能243
- 二、石棉摩擦材料的高温磨耗256
- 三、摩擦材料制动过程中聚合物的变化263
- 四、有机盘式摩擦片在制动中发生的物理和化学变化270

第一部分 摩擦材料的展望

一、制动摩擦的研究动向

前言

作者在《润滑》18卷、11号（1973）中发表一篇文章，对制动装置作过全面的论述。本文主要论述制动摩擦研究的最近进展情况。选择这个题目的原因有三个：第一，近来对制动器的要求越来越高且使用条件更加严酷。相比以前，制动时，摩擦面的温度升得更高。因此，汽车对制动摩擦材料的要求也更苛刻。实际上，当制动摩擦的温度升至高温范围时，往往造成摩擦材料的“衰退”和产生“异常磨耗”。例如，在通常的制动条件下，摩擦材料很容易达到200~300°C。应用惯性力矩试验，在速度为100公里/时的特定条件下，反复制动，温度可达到750~800°C；第二，从各国安全规范看，为确保制动装置在制动时的可靠性，则要求摩擦材料在任何制动条件下，保持稳定的摩擦系数。摩擦系数稳定，能使制动踏板的灵敏度提高，不会发出制动噪音并有利于驾驶员集中精力操作；第三，为了节约原材料，必须提高耐磨性。因此，研制新型的摩擦材料十分必要。现在，首先对现代汽车用摩擦材料的主要类型——有机摩擦材料加以论述。

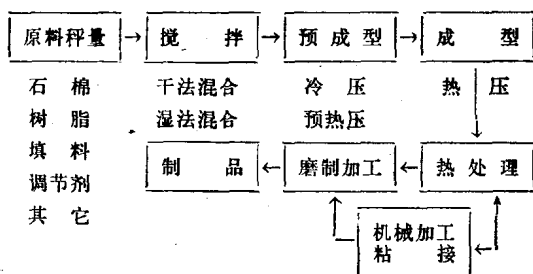
（一）有机摩擦材料

众所周知，在制动时，如果汽车的载重量、制动速度、

周围环境和制动次数等条件不同，通常都会对摩擦材料的摩擦系数和磨损等带来或多或少的影响。目前，能够适应这些制动条件的变化，且完全满足上述摩擦性能要求的摩擦材料是没有的。因此，必须根据实际的用途和方法来选择有机摩擦材料。下面是摩擦材料的分类。编织材料是以石棉和黄

		基 材	粘 合 剂	用 途	
有 机 摩 擦 材 料	编 织	普通编织	石棉布	热固性树脂	工程机械制动器
		软质编织	石棉布	热固性树脂	轻负荷机床
		特殊加工编织	石棉布	热固性树脂	汽车手刹车
	模 型	橡胶模塑	石棉绒	热固性树脂	轻负荷制动器
		半模塑	石棉绒或石棉布	热固性树脂	
		树脂模塑	石棉绒	热固性树脂	汽车常用制动器
半金属	模塑类	石棉绒	热固性树脂	重负荷制动器	
	纤维类	玻璃、金属纤维	热固性树脂	盘式摩擦片	

铜丝纺线织成的布为基材，将这种布用已混入下列成分的热固性树脂进行浸渍。这些成分是有有机填料、无机填料和摩擦调节剂。浸渍过树脂的基材再进行热压硬化成型，制得编织摩擦材料。模塑材料的基材和原材料与编织材料差不多。它的特点是组成均匀，产量大。并且可以按照要求的性能，比较方便地选择原材料配方。半金属材料与树脂模塑材料相比，耐热性有所提高。它分为两类：模塑类和纤维类。纤维类半金属材料是以金属纤维和玻璃纤维为基材的，但这类材料还存在一些问题。汽车上已广泛使用的树脂模塑材料和半金属材料的典型制造工艺流程如右图所示。有机摩擦材料的一般配方如表1所示。目前，摩擦材料的发展，着重于摩擦



树脂模塑材料和半金属材料典型制造工艺流程

有机摩擦材料配方 (重量%)

表 1

		编 织	模 塑	半 金 属
基材	石 棉	40~70	40~70	20~60
	金属(粉末)	(纤维) 5		10~40
粘 合 剂		10~30	10~30	5~15
有机填料		~10	5~20	5~20
无机填料		~10	5~20	5~30
摩擦调节剂		~10	5~20	5~20
其 它			~5	~5

调节剂和填料等辅助材料。下面就配方的组成加以论述。

1. 基材

最常用的石棉是温石棉绒，它的化学成分是含12~15%结晶水的硅酸镁，与蛇纹石相类似。一般情况下，还含有氧化铁 (FeO、Fe₂O₃) 及三氧化二铝 (Al₂O₃) 等。众所周知，结晶水对石棉的高温强度有很大的影响。石棉的DTA[●]、TGA[●]曲线如图1-1所示。在860°C左右，重量不变化的热

● DTA, 示差热分析。

● TGA, 热失重分析。

峰是石棉变态的结果。Gatrell作了如下的解释：

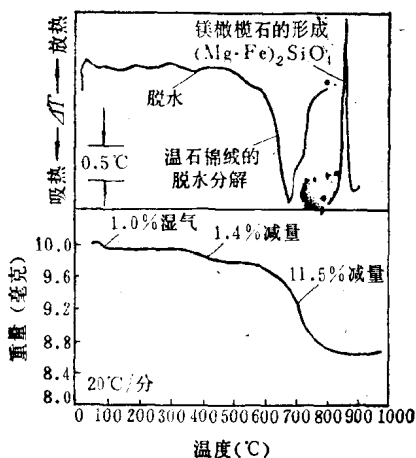
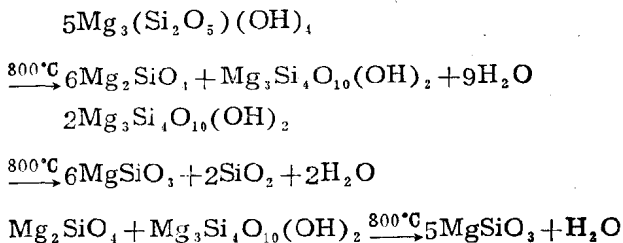


图 1-1 温石棉的DTA、DGA曲线

注：*处表示DTA曲线是连续的

分解后的石棉是很脆弱的。石棉按其纤维长度（通常为3~50毫米）分为1~7级，制动摩擦材料用的石棉是5~7级（1级最长）。石棉的抗拉强度在室温下为300公斤/毫米²，脱水分解后，强度显著降低，这一缺点还有待改进。

2. 粘合剂

在多数情况下，使用的粘合剂是热固性酚醛树脂或任一

改性酚醛树脂。作摩擦材料粘合剂用的酚醛树脂是由苯酚和甲醛在酸性催化剂存在下反应，制得热塑性（线型）酚醛树脂。加入六次甲基四胺或其它硬化剂，可制得适于成型用的、具有网状结构的缩聚型产物。但是，这种树脂的缺点是硬且脆。近来，在摩擦材料中使用的粘合剂，多数为富于柔软性的各种改性酚醛树脂。在干法混料时，用粉末状的树脂。在湿法混料时，用粘性的液体树脂。改性酚醛树脂的温度特性如图 1-2 所示。粘合剂的温度特性对有机摩擦材料的耐热性影响很大，所以其耐热性很重要。一般纯酚醛树脂耐热 250~300°C，若将其改性，耐热性有下降趋势。从图 1-2 可以看出，树脂的热分解温度可高达 450°C 左右，所以，提高它的耐热性是有可能的。在高温下，由于树脂氧化而造成

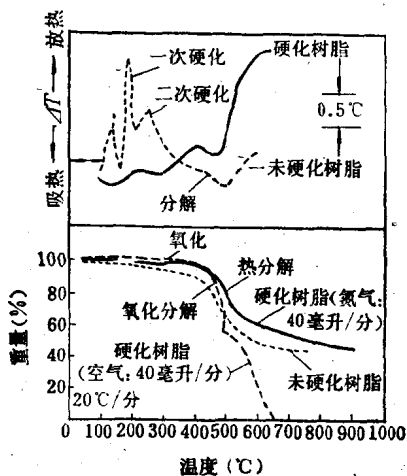


图 1-2 改性酚醛树脂的DTA、TGA曲线

裂解，所以即使用在摩擦材料中，也是有待解决的问题。

摩擦材料中，树脂的硬化程度对摩擦系数、磨损等摩擦

性能有相当大的影响。有人指出：摩擦材料中，树脂的硬化程度以及摩擦材料的磨损，两者都与PGC（热解气相色谱法）分析结果之间存在着一定的关系。

为了提高摩擦材料的耐热性，近来考虑使用热分解温度（500~600°C）高的耐热的高分子物质作粘合剂。但它和其它填料混合后，在成型性能上还存在问题，有待解决。

3. 摩擦调节剂

在低温范围内（100°C以下），能够提高摩擦系数的物质有有机物和无机物。有机物中，如腰果壳油树脂粉末、橡胶等。它们是颗粒状的混合物，粒度大于50目。无机物质有熔点低、质软的铅、锌之类。还有在低温范围内能提高耐磨性的有机物质；在高温范围内（150°C以上），能够提高摩擦系数的物质有铜、黄铜之类的粉末或小片。

为了降低摩擦材料的摩擦系数和防止发生噪音，可使用碳黑和石墨细粉末之类的物质。但加入石墨会妨碍粘合剂的硬化及引起机械强度下降，因而也有用其它物质加以补偿的办法。使用石墨等固体润滑剂还能在摩擦表面生成光亮层，因之加入量应予控制。

为了提高摩擦材料的高温耐磨性和摩擦系数，也常使用氧化铝（矾土、石英砂）、碳化硅、富铝红柱石等。因为它们本身的硬度高，有使对偶材料产生沟槽的可能。因此，加入量要少，且粒度应小于100目。由于这些物质在摩擦材料中起磨料的作用，加入适当的数量，能有效地除去对偶材料摩擦面上有害的薄膜。因为加入量少，它的分散性应予注意。

能进一步提高耐磨性的无机物质，在低温范围内使用的有硫酸钡等；在较高温度范围内使用的有铜、黄铜、锌等。加入硫酸钡能促进树脂硬化，并能有效地提高摩擦材料的机

械性能（抗压强度、硬度等）。

（二）摩擦材料的研制

摩擦材料应具备的主要性能如下。

1. 适当的摩擦系数，且在长期使用中保持稳定。
2. 耐磨性好又不损伤对偶材料。
3. 在受到外界因素（主要是水、灰尘和潮湿等）影响时，摩擦系数、磨耗等特性变化不大。
4. 不发生制动噪音和特殊恶臭。
5. 具有相当的强度，且不致因锈蚀而粘附在对偶材料上。
6. 制造方便，价格便宜。

研制就是按照所要求的性能进行试验，来决定选用配方的原材料、配料比例、制造方法及热处理的条件等。评价摩擦材料的性能应根据试样试验机、惯性力矩试验台及实际车道路试验的结果，并参照JIS、JASO、SAE、FMVSS、ECE^①及其它规范中有关规定进行的。图1-3所示三元图可作为研制摩擦材料的一个依据。最近，有关摩擦材料的配方，已有人使用电子计算机更合理地进行研究了。

（三）摩擦材料摩擦面附近层的成分

如果知道摩擦材料摩擦面及附近层的成分的变化情况，对于改进摩擦特性、研制摩擦材料是有益的。

Jacko等人研究了在特定条件下，进行惯性力矩试验后的和实车道路耐久性试验（用两种车型：一种在平原行走

① JIS, 日本工业标准;
JASO, 日本汽车标准组织;
SAE, 汽车工程师学会;
FMVSS, 联邦摩托车安全标准;
ECE, 欧洲经济委员会。

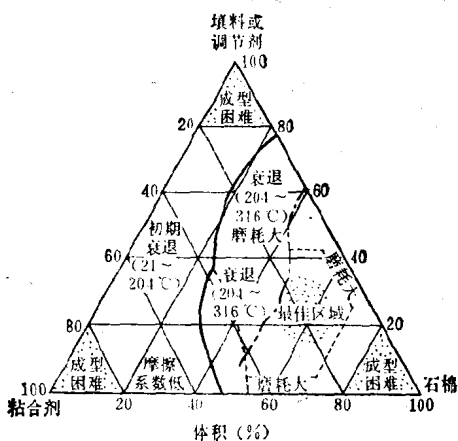


图 1-3 三元图

64,400公里；另一种在丘陵走 30107 公里后，继续行走5313公里）后的有机制动片。比较摩擦面附近层成分的变化情况，可以看出，惯性力矩试验后热影响层的状态几乎处于实车道路试验的两种车型之间。惯性力矩试验是根据鼓式制动（鼓径为245毫米）、模拟实车装置的制动片，厚度为0.89毫米。按以下条件进行：

1. 磨合 $V=64.4$ 公里/时 $a=3.05$ 米/秒²

$n=200$ $T=121^\circ$ 以下

2. 衰退试验 $V=96.6$ 公里/时 $a=4.58$ 米/秒²

$n=10$ 间隔35秒

3. 恢复试验 $V=48.3$ 公里/时 $a=3.05$ 米/秒² $n=12$

衰退试验的两分钟之后，间隔两分钟。

V 为制动初速度； a 为减速度； T 为制动前温度； n 为制动次数。

鼓表面粗糙度 R_a 为0.51~0.76微米

图1-4是制动后摩擦表面附近的第一至四层的TGA分析结果。图1-5是惯性力矩试验后，后侧制动片的分析结果。根据摩擦材料的TGA结果，物质的失重与温度的关系如下：

温度范围 °C	失重的物质
25~250	湿气（水分）蒸发或低分子物质（挥发物） 热分解
250~575	树脂粘合剂及其它有机物热分解
575~800	石棉脱水分解
800~1000	碳化物形成
1000~	残留无机物（在此温度以上重量不变）

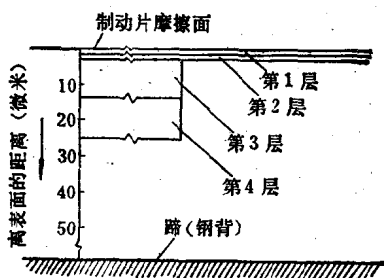


图 1-4 根据TGA法区分摩擦表面层的厚度

如图1-5所示，在摩擦表面层，石棉和树脂的分解显著，挥发物的成分和无机物的含量明显增加。关于石棉和树脂的分解产物对摩擦性能所造成的影响，在前述的有关制动装置的文章中，已谈到一部分。从图1-5的石棉残存量来看，应该注意到在制动片的深度上，摩擦热最多影响到第三层。树脂的分解到第二层最为显著。受摩擦热影响最显著的范围是

距摩擦表面大约5~10微米之内的薄层。这是由于摩擦材料的导热率比制动鼓低得很多($\frac{1}{400}$)，大部分摩擦热由制动鼓这一侧散发之故。用TGA法同样分析了实车摩擦材料热影响层的情况，得到同样的趋势。因此，在上述制动条件下，用惯性力矩试验能够模拟实车摩擦材料的热过程，这点是有重要意义的。

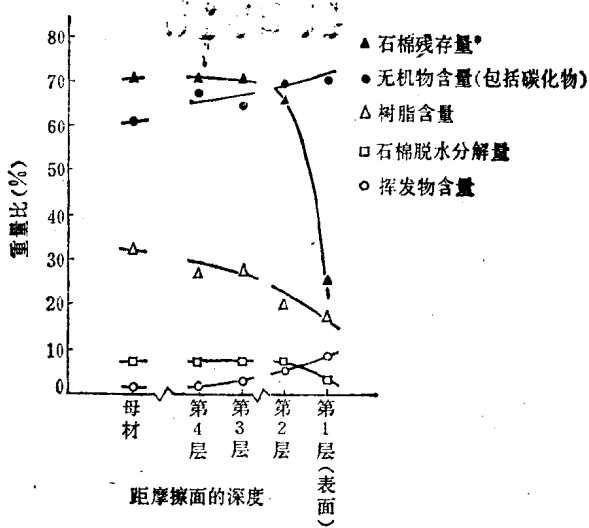


图 1-5 TGA的分析结果

* 假设石棉100%的脱水分解，减量为10%，根据TGA曲线得到的石棉脱水水量九倍的量，作为石棉的残存量

(四) 对偶材料的性质对摩擦特性的影响

1. 对偶材料(圆盘)的热特性

当摩擦面的温度升到高温时，与对偶材料积蓄热量有密切关系。就是说，为了降低摩擦面上的温度，必须提高对偶

材料的热容量和它向空气中散发热的速度。为此，制动器上使用由铸铁和铝合金（只在摩擦面表层）制成的鼓。在反复制动时，摩擦面的温度上升相当慢。

Rhee 等人比较过两种制动盘，一种是现在用得最多的灰铸铁制成的盘，另一种是大小和形状相同的铜合金制成的盘，后者的导热系数比前者约高六倍。它们的热特性与摩擦力矩或与耐磨性的关系分别见图1-6和1-7。图1-6是在2950公斤负荷下进行惯性力矩试验，按SAE J667规定的第一效率进行比较所得的图。结果是铜合金的制动盘性能优越，特别是在高速制动时两者的差别更为明显。图1-7是用车辆总重量为11123公斤的实车，行驶大约3200公里里程，反复进行36次制动后，比较两种制动盘的磨耗，结果仍然是铜合金制动盘的耐磨性好。且发现铸铁制动盘上出现热斑。以上结果表明：用导热率大的铜合金之类的材料制成的对偶材料能确保摩擦力矩和耐磨性能，并能有效地防止制动盘热裂。可以预

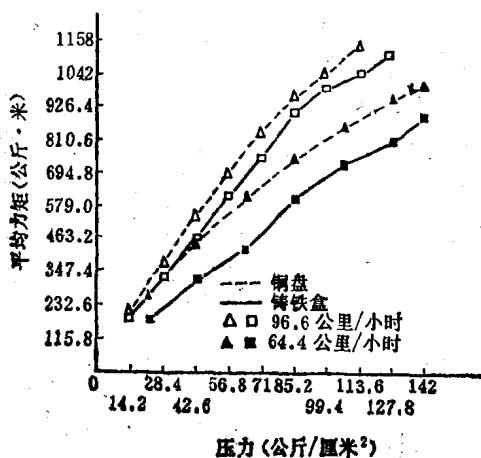


图 1-6 铜盘和铸铁盘摩擦力矩的比较