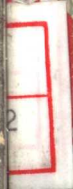


张元民 著

石棉摩擦材料的结构与性能

中国建筑工业出版社



TQ 176
2 32

石棉摩擦材料的 结构与性能

张元民 著

207858
中国建筑工业出版社

本书从分析国内外石棉摩擦材料现实情况及发展趋势开始,按照石棉摩擦材料的结构与性能的关系,联系生产和应用上的问题从理论上讨论了石棉及其作用、树脂及其改性、共混、填料、界面及偶联剂和研究方法等有关问题。本书可供从事摩擦材料生产及科研人员参考,也可作为高等学校有关材料专业的教学参考书。

石棉摩擦材料的结构与性能

张元民 著

*

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

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 9³/₄ 字数: 219 千字

1982年1月第一版 1982年1月第一次印刷

印数: 1—1,800 册 定价: 1.00元

统一书号: 15040·4145

序

石棉摩擦材料作为一种高摩擦系数的复合材料，在现代机械运动工件的传动及控制中(包括制动、转向、调速、控制张力等)是必不可少的材料。各国在发展国防工业及国民经济的同时都大力发展这种材料。作为一种与工件运行及安全密切相关的消耗性材料，各国对其质量控制及延长使用寿命都十分注意，集中人员长期从事这方面的研究，并逐步开展研究其基础理论。1973年第一届欧洲摩擦会议上有二篇关于制动器、离合器摩擦表面的温度和摩擦材料的论文，1977年第二次会议上有二篇关于石棉摩擦材料及二篇摩擦机理的文章。除石棉摩擦材料外，近年来还发展了特殊用途的金属陶瓷摩擦材料、碳纤维摩擦材料、这三种材料中二种的混合结构摩擦材料以及特种纤维(如钛酸钾晶须等)的摩擦材料。但当前无论从产量或应用方面来看，都以石棉摩擦材料占绝大多数。

我国解放以前基本上不生产石棉摩擦材料。仅在上海及杭州生产少量石棉织物增强的汽车制动片及离合器片，抗美援朝期间有所发展，但一般生产规模很小。

随着国民经济第一个五年计划的实现，配合汽车厂、拖拉机厂的建设及国防工业的发展，国家在1956年开始投资建设一些工厂，生产规模有较大发展，出现了以石棉纤维增强的汽车、拖拉机及飞机的制动摩擦材料。

六十年代开始，在建材工业部统一领导下，对发展规

划、短石棉利用、标准制订、质量攻关、检验手段的建立和统一以及科研工作的开展等方面进行了一系列的工作，建立了全国分区配套的生产。到1964~1966年间，不但满足了国内的需要，有些产品还远销国外，并积极开展新技术（如树脂改性、干法工艺、连续成型、自动加工等）、新品种（如火车闸瓦等）的研制推广，使生产技术水平逐步接近国外先进水平。但在以后的十来年文化大革命期间生产及科研都遭到不同程度的停顿，拉大了我们与工业发达国家的差距。

近二、三年来国家大力组织制品质量攻关及新产品试制，在发展生产技术的同时引进部分国外技术，大力开展摩擦磨损方面的学术活动以加快现代化的步伐。回顾我国解放以后石棉摩擦材料工业发展的历史，可以看到目前我们与国外在产品品种和质量上都还有一定的差距，在研究工作上的差距则更大。但是近三十年来我们已经建立了相当规模的生产，在不少工业部门、研究部门及工厂都在这方面有了专业研究人员，现在的基础远比六十年代初期为强，我们已有发展摩擦材料各方面必要的经验，具备研究摩擦材料的基本手段，完全可以在较短时期内迎头赶上世界先进水平。作者抱着尽自己一份微薄力量的心情，在本书中企图以分析国内外发展情况开始，结合过去自己在这方面的一些想法及经验以及最近进行的一些工作，从材料结构这个角度出发，在生产、应用的一些理论问题上进行讨论。作者虽然一直从事这方面的工作，但是一些想法也未系统研究过，有些工作尚在进行中，错误不妥之处请读者指正。

引 言

按照序中所述本书意图，全书内容由：第一章绪论提出石棉摩擦材料的有关问题，从第二章开始逐一进行讨论。

有关石棉摩擦材料的生产工艺和三废治理等在1977年1月中国建筑工程出版社出版的《石棉摩擦材料》一书中已扼要叙述，本书不予重复。有关这方面的问题，可参阅该书。

七十年代以来，由于国防工业及机械工业等部门的飞速发展，对石棉摩擦材料的要求愈来愈高。飞机的着陆速度已达300公里/小时以上，汽车已达200公里/小时以上，制动器结构普遍向盘式发展，摩擦材料单位面积的吸收功率比五十年代（0.5~0.8 马力/厘米²）提高近10倍，并且还在发展中，各种其它机械装置对摩擦材料的要求也是如此。本书就是按照这样的发展情况来讨论有关问题。

石棉摩擦材料的研究工作特别是应用机理的研究是一个急需加强的问题，本书概述有关研究方法的情况以供参考。

本书不按照摩擦材料的应用分类叙述讨论，而是以材料的结构与性能为内容，将一些共性问题试图从原理上进行讨论，而在结合实践举例时分别提到它们在这些方面的应用。

目 录

序

引言

第一章 绪论	1
第一节 石棉摩擦材料概述	1
第二节 摩擦机理概述	11
第三节 工艺路线概述	22
第四节 石棉摩擦材料的展望	25
主要参考文献	41
第二章 石棉及其作用	42
第一节 概述	42
第二节 石棉的结构及一般性能	50
第三节 石棉的热性能	51
第四节 石棉的表面性能	56
第五节 石棉的增强作用	61
第六节 石棉的摩擦作用	70
第七节 石棉的代用	73
主要参考文献	77
第三章 树脂及其改性	79
第一节 对树脂的要求	79
第二节 现用树脂概述	84
第三节 树脂的耐热性及热分解性	89
第四节 酚醛树脂反应机理及结构	111
第五节 酚醛树脂的改性	137
第六节 其它热固性树脂	153

第七节 热塑性树脂	162
主要参考文献	168
第四章 共混	170
第一节 概述	170
第二节 共混组成物的选择及相容性	175
第三节 溶度参数的测定及计算	182
第四节 共混方法	188
主要参考文献	193
第五章 填料	194
第一节 概述	194
第二节 填料的增强机理	197
第三节 填料摩擦性能的有关原理	202
第四节 减摩填料	220
第五节 摩阻填料	223
第六节 有机摩擦粉	227
主要参考文献	230
第六章 界面及偶联剂	231
第一节 引言	231
第二节 纤维的表面状况	233
第三节 粘附现象	234
第四节 石棉摩擦材料中的粘附现象	241
第五节 偶联现象及偶联剂	243
第六节 树脂-纤维界面的偶联作用	248
第七节 树脂-填料界面的偶联作用	250
主要参考文献	258
第七章 研究方法	259
第一节 摩擦试验	259
第二节 石棉摩擦材料结构组成的确定	269
第三节 热性能研究方法	276
第四节 界面的研究方法	299
主要参考文献	305

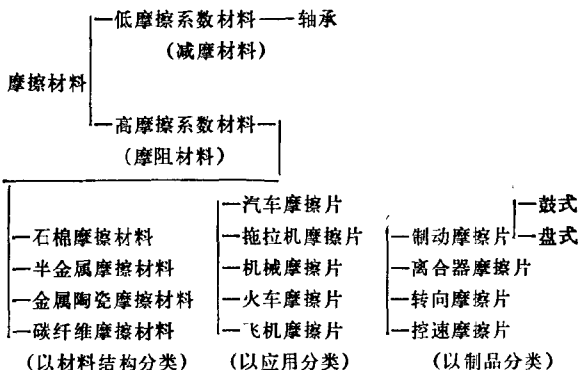
第一章 绪 论

本章概述摩擦材料、摩擦机理和国内外石棉摩擦材料发展情况等有关问题。

第一节 石棉摩擦材料概述

一、摩擦材料的分类

摩擦材料按照其摩擦特性分为低摩擦系数材料（减摩擦材料）及高摩擦系数材料（摩阻材料）如下列两大类。本书后面所述摩擦材料都是指高摩擦系数材料。



国内外生产科研及文献所述，石棉摩擦材料分为五大类：

(一) 通用石棉摩擦材料 可在 205°C 以下使用。含有机物较多（50~60%容积），比重1.6~1.8，由有机高分子

化合物、石棉纤维及填料（包括有机摩擦粉）等制成。

此类石棉摩擦材料的特点是摩擦系数较高，一般情况下使用寿命较长，强度较高，而且一般硬度较低、可压缩性大（特别是受热时），所以只限于较低温度使用。

很明显，这类石棉摩擦材料只能用于低负载的场合，如通常使用的机械设备、运转工件、一般的交通运输工具、拖拉机、舰船的摩擦制动传动场合中。

（二）高温石棉摩擦材料 这是目前使用最广的一类石棉摩擦材料。这类材料也是由有机高分子物质、石棉等增强纤维及填料（包括摩擦粉）等所制成。但是有机高分子物质用量较前一种大为减少，采用更多种类的摩擦性能调节剂，比重2.2~2.8。这种材料可在高温下使用（540℃），如在重型卡车、频繁制动及传动的场合、高速汽车、比赛汽车。类似的材料在含多量金属时用于飞机的一般鼓式制动器或一些盘式制动器中（如米格-17、米格-19的鼓式制动器，F-86、U-2、B-57、伊尔-18的盘式制动器）。这类材料比较容易产生噪音，对偶金属材料磨损较大，在材料结构上应注意防止。

（三）金属陶瓷摩擦材料 采用粉末冶金方法制成的铁基、铜基金属陶瓷材料可用于更高的使用温度，但是价格高、噪音大、脆、低温效率低、对偶磨损大、工艺较复杂，因此限制了它的应用。但有其特殊应用，如用于一些高速飞机（如米格-21、伊尔-18、子爵号等）、特殊机械结构中（如湿式离合器、柴油机等）也有用于一般制动场合中的。配方中有的也加少量的石棉。

（四）半金属摩擦材料 用于260~540℃。是介于一般石棉摩擦材料与金属陶瓷摩擦材料之间的材料，一般采用高

组分的铁及石墨（典型配方中用量高至一半以上）。它比一般石棉摩擦材料有更多组分的金属，但不象金属陶瓷摩擦材料那样以粉末冶金工艺烧结在一起，而是依靠有机高分子物质粘结在一起的。国外有的专利是将烧结的金属陶瓷材料的粉碎颗粒（30~45%）与粘合剂和填料（占55~70%）热压制成，据说既能改进一般石棉摩擦材料的耐高温及高速适应性，又可避免金属陶瓷摩擦材料的噪音、边角脆裂等缺点，这就更能说明这是一种介于二者之间的材料。不少国家都有这方面的产品生产，用于较高负荷的场合，特别用于对制动力需要十分平稳的火车闸瓦中，有高速列车用的高摩擦系数闸瓦及一般列车用的低摩擦系数闸瓦（代替铸铁闸瓦）二种。它的热传导性好，可压缩性较差。

（五）碳纤维摩擦材料 碳纤维的高模量，热传导性及高耐热性使碳纤维增强摩擦材料成为当代摩擦材料中性能最好的一种，特别由于其单位面积的吸收功率高及比重轻，近年来在高速飞机盘式制动器上的应用效果很好，有的报导说可用3000次起落，有的报导说由于制动器效率提高、体积减小而使飞机的重量减轻544公斤。最近在美国的某些小汽车中也在试用。飞机的制动摩擦材料还有采用硼纤维、钼制动盘的，这里就不包括它们在内了。

碳纤维增强摩擦材料因为除了碳外，还用石墨、碳的化合物，所用的粘合剂往往最后也经碳化处理，所以一般也称碳-碳摩擦材料或碳基摩擦材料，我们这里称之为碳纤维摩擦材料主要是和石棉摩擦材料对应而言。

碳纤维摩擦材料是一种比较理想的摩擦材料，但是当前由于碳纤维价格很贵、产量少，限制了它的应用。

上面所述五类材料中，（一）、（二）、（四）三类都

是以石棉为主要增强材料的，是本书要讨论的主要内容，特别是第（二）类是近年来国内外普遍集中进行工作的一类。

二、石棉摩擦材料的结构组成

从上面所述，可见摩擦材料中目前通用的是石棉摩擦材料。这是以石棉等为增强材料、以有机高分子化合物为粘合剂、以填料（包括有机摩擦粉等）为摩擦性能调节剂组成的三元复合材料，往往还加有一些其它配合剂如润滑剂、橡胶配合剂等。多年来摩擦材料的发展过程逐步形成了这样一个材料结构体系，今后发展趋势仍然如此。近几年来英、美、日本、苏联等国大量生产的摩擦制品，见到的都是这个体系。近年来国外文献特别是专利上提到用无机粘合剂、其它无机纤维、部分热塑性树脂、少用或不用石棉纤维、并发展了多种新型有机摩擦粉，但尚未见大量应用。因此在本书讨论有关问题中还是以前提的三元组成基本体系为主结合一些发展情况来考虑。除了石棉摩擦材料以外，其它已经工业化的摩擦材料有金属陶瓷型、半金属型、碳纤维增强型等。

下面举一些国外近年来公开发表的典型配方的例子。

一、石棉	37份
树脂	15份
氧化钡	33份
硅酸钠	11份
氯化钙粉	4份

注：所用树脂为90%芳烷基醚及酚醛树脂和10%六亚甲基四胺构成的混合物。

二、石棉	100克
水	4500克
硬脂酸钠	30克

十二烷基苯磺酸盐	3 克
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	4 克
橡胶乳胶	4 克
酚醛树脂	140克

注：此配方系湿法化学开松石棉，用 16 米/分 传送速度在沉淀池内固化以生产摩擦带。

三、石棉	25~45%
苯胺改性酚醛树脂	12~16%
丁腈橡胶	2~5%
填料	23~38%
BaO	0.1~3%

注：该专利认为加入 BaO 可提高耐磨性。

四、石棉	30份
酚醛树脂	27份
填料	18份
有机摩擦粉	11份
木质素磺酸钠	14份

注：该配方品摩擦系数 0.50(340°C)。

五、石棉	60份
酚醛树脂	12份
聚酰亚胺	8 份
填料	20份

注：此配方中酚醛树脂用量很少，采用耐高温的高聚物聚酰亚胺。

六、石棉	50份
酚醛树脂	20份
腰果油酯	10份
重晶石	20份

注：此配方除酚醛树脂外，还加腰果油酯。

七、(一)石棉	25份
硼酚醛或其它热固性树脂	8份
镍粉	15份
硫	6份
黄铜粉	10份
石墨	6份
重晶石	24份
(二)石棉	20%
镍粉	45%
硫化锑	30%
重晶石	5%

注：上述配方主要针对改善热衰退性而设计。第(二)配方无树脂。镍粉及硫化锑在 250~300℃ 开始化合成碳化镍，600℃ 化合完成。这是在配方上对摩擦表面温度的利用。

八、石棉	40%
苯胺改性酚醛	13%
丁腈橡胶	3%
氧化钡	17.5%
三氧化二铝	10%
铜粉	10%
青铜屑	5%
石墨	1%
聚乙基硅氧烷	0.5%

九、石棉	32份
三聚氰胺改性酚醛	22份
重晶石	13份
磨粉板岩	5份

铁红	5份
青铜粉	20份
碳黑	2或2.7份
石墨	1或0.3份

注：制品20~550°C时摩擦系数0.35~0.45。

十、火车合成闸瓦配方一般组成为：铸铁粉（高摩擦系数时10~15%，低摩擦系数时5~25%），石墨（3~5%及25~60%），树脂（10~25%及10~25%），铅粉（2~10%及2~15%）和少量的石棉、铜粉、铝粉、橡胶、氧化铅、氧化锌、摩擦控制剂等。

十一、短切玻璃纤维	40份
酚醛树脂	15份
橡胶	4份
二氧化钛(金红石)	15份
铜粉	7份
石墨	4份
硫化铅	10份
氢氧化钙	5份

注：1. 酚醛树脂可用苯酚甲醛类(甲酸接触剂)、甲酚、二甲酚或芳烷基取代酚、间苯二酚类、酚糠醛、苯胺-甲醛、酚-氨基-甲醛类(氨基组分由三聚氰胺、双氰胺、尿素或硫脲提供)。2. 538°C摩擦试验认为性能优良。

十二、火车合成闸瓦配方：

石棉	8.8份
酚醛树脂(线型)	24份
铸铁粒(+120目)	17.5份
石墨(-60, +325目)	21份
摩擦性能调节剂(重晶石或铝矾土, 95% - 325目, 焦碳,	

—20目)

29份

注：采用冷压后常压加热成型。

十三、火车合成闸瓦配方（低摩擦系数）：

石棉	8~17份
酚醛（线型）	14~24份
铸铁粒	12~30份
石墨粒	20~55份
摩擦性能调节剂（重晶石、 刚玉、粉状焦碳）	0~30份

十四、石棉

酚醛树脂	5~12份
丁腈橡胶	3~8份
石墨	5~10份
重晶石	0~5份
黄铜屑	5~25份
橡胶硫化剂	4~11.5份
硫化铜	7.5~20份

注：据认为加入硫化铜对恢复性有效。

十五、石棉

酚醛树脂	38.5%
丙烯腈橡胶	13.8%
二酚甲烷二异氰酸酯	2.5%
摩擦性能调节剂	7.7%
润滑剂	3.5%
	2.5%

十六、石棉

甲酚甲醛树脂	37%
丁苯橡胶	17%
	6%

有机填充剂	20%
摩擦性能调节剂	20.2%
十七、石棉	25%
酚醛树脂	17.5%
丁腈橡胶	3.5%
铁砂	30%
氟化钙	7%
碘化亚铜	3%
腰果油粉末	14%
十八、石棉	65%
腰果油改性酚醛树脂	20%
石墨	2%
碳酸钙	3%
填料(腰果油树脂加硫酸钡, 1:1)	10%
十九、石棉	67.8份
酚醛树脂	12.2份
硫酸钡	9.8份
有机摩擦粉	12.2份

注：有机摩擦粉为硼、腰果油改性酚醛树脂的固化物粉末。

二十、不饱和聚酯树脂	
(加苯乙烯40%)	19.0份
沉淀碳酸钙	41.3份
水合氧化铝	6份
氧化锑	4份
短切玻璃纤维(1/4英寸)	15份
石墨粉	5份
聚丙二醇己二酸酯	