

# 改性聚甲醛三层复合材料的应用研究

黄 丽 张文芝 徐定宇 徐从鹏

(北京化工大学材料科学与工程学院, 北京 100029)

**摘 要:** 介绍了以钢为基座, 青铜粉为过渡层, 改性聚甲醛为塑料层的三层复合材料应用于水工闸门滑道支承材料的制备、性能以及模拟试验的结果。结果表明, 以改性聚甲醛为塑料层的三层复合材料具有低的动摩擦系数 ( $f_d < 0.13$ ), 高的承载能力 ( $q > 100 \text{ kN/cm}$ ) 及良好的耐老化性能, 能够满足闸门滑道支承材料的要求。

**关键词:** 改性聚甲醛; 三层复合材料; 摩擦与老化特性; 闸门滑道支承材料

**中图分类号:** TQ 326.51

## 引 言

聚甲醛 (POM) 是一种综合性能优异的材料, 在机械、电子电器等领域广泛用于制造各种具有自润滑、减摩性能的零部件。以金属-聚甲醛为主的复合材料是一种新型的无油润滑复合材料, 通常由钢基、青铜粉、聚甲醛复合而成, 是一种既具有润滑作用又具有高承载强度的工程材料。钢基作为基体或骨架, 保证材料具有高强度和高承载力, 青铜粉孔层可起到导热和容纳聚甲醛的作用, 聚甲醛表面层起润滑作用。这种由金属-聚甲醛复合而成的复合材料既克服了单纯聚甲醛强度低的特点, 赋予它良好的热传导性能, 较小的线膨胀系数及较长的磨损寿命, 又保持了聚甲醛的自润滑性能。虽然聚甲醛有较好的综合性能, 但是真正作为耐磨材料用于工程方面, 还必须进行改性。本文将改性聚甲醛为表面层的三层复合材料应用于水工闸门滑道支撑材料, 与国内以往使用的真空渗入聚四氟乙烯的胶木、油尼龙、聚醚醚酮、改性聚酰亚胺等作表面层相比, 性能上有较大的提高。

## 1 实验部分

### 1.1 原材料

改性聚甲醛, 清华大学化工系研制; 球形青铜粉,  $190 \sim 250 \mu\text{m}$  (60 ~ 80 目), 北京粉末研究所; 钢板, 45# 钢。

### 1.2 制备

**1.2.1 多孔铜层与钢板的烧结** 将铜粉松散地铺撒在镀铜的钢板基体上, 放入到高温烧结炉中烧结, 使金属颗粒之间、颗粒与基体之间局部烧结, 形成多孔骨架。采用氢、氮混合气作为保护气体。烧结温度为  $900^\circ\text{C}$ , 烧结时间为  $0.5 \sim 1.5 \text{ h}$ 。

**1.2.2 钢板-铜粉-改性聚甲醛三层复合材料的压制** 将改性聚甲醛粒料与多孔铜层复合钢板放入到模具型腔中, 并将模具放入热压机中加热升温, 当温度达到  $130 \pm 2^\circ\text{C}$  以上时, 加压、卸压多次, 以便排气, 提高制品的均一性和致密性。当模温升到改性聚甲醛熔点以上时, 加压至一定的压力。在保压降温  $50^\circ\text{C}$  左右时取出, 并将改性聚甲醛层加工至所需的厚度。

**1.2.3 试验设备及方法** 样品、测试仪器及测试方法参见文献[1, 2]。

## 2 结果与讨论

### 2.1 三层复合材料的减摩层

三层复合材料应用于水工闸门支承滑道时要承受较大的水压力, 而且由于高速水流引起的闸门振动以及安装的误差, 使闸门在运行过程中还要受到冲击、卡阻等工况条件影响。所以, 三层复合材料必须具有较高的承载能力和尽可能小的摩擦系数, 还需具备较高的抗冲击性能、耐水性和载荷下的耐磨性。表 1 列出了用于水工闸门滑道支承材料减摩层各种材料的测试性能。

由表 1 结果可以认为改性聚甲醛作为三层复合材料的减摩层是比较合适的。

收稿日期: 1999-09-04

基金项目: 国家八五科技攻关项目 (85-308-07-08)

第一作者: 女, 1958 年生, 副教授

表 1 各种减摩层材料的物理机械性能

Table 1 Physical mechanical properties of different antifriction materials

材料	布氏硬度/MPa	$f_d$	抗压强度/MPa	吸水率/%
改性聚甲醛	15.52	0.13	839	0.11
改性聚酰亚胺	17.1	0.26	359	0.95
布基酚醛	14.36	0.20	1 670	0.83
改性聚醚醚酮	10.9	0.27	760	0.74
油尼龙	12.7	0.18	718	0.63

### 2.2 三层复合材料的摩擦特性

闸门滑道支承材料的实际工作条件如图 1 所示。

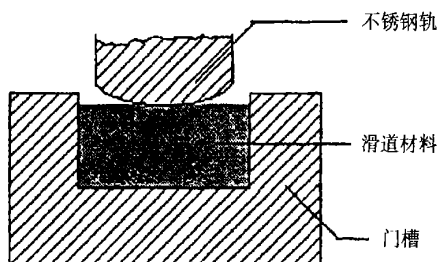


图 1 滑道支承材料工作示意图

Fig. 1 Working diagrammatic sketch of bearing builder materials

在闸门开启过程中,滑道支承材料要与不锈钢轨之间产生相对运动,而其受力主要是与钢轨弧面接触时所受的压强,滑道承载力是衡量滑道承受载荷的重要指标。对平面滑动的钢闸门,与之接触的大坝埋件为不锈钢的弧面轨道,国内使用的弧面半径有  $R = 150\text{ mm}, 270\text{ mm}$  和  $300\text{ mm}$  等,因此布置在闸门上的滑块与不锈钢轨的接触是平面与柱面的接触。通常用单位长度上的载荷,即线压强  $q$  来表示滑道的承载能力。线压强越高,说明滑块支承材料的承载能力越强。

改性聚甲醛三层复合材料的承载能力及摩擦试验是在滑道模拟试验机上进行的<sup>[1]</sup>。在干摩擦状态下,测定静、动摩擦系数 ( $f_s, f_d$ ) 与承载力  $q$  之间的关系(如图 2 所示)。

从图 2 可以看到,静、动摩擦系数随线压强的增大而减小,最后趋于稳定。这是由于正压力对摩擦系数影响主要取决于接触特性。对于均质的圆柱面与平面接触,开始时平面微凸体接近随机分布,接触接近于塑性变形,摩擦表面的真实接触部分在单位

压力的作用下,表面凸峰相互压入啮合。同时,相互接触的表面分子也有吸引力,因此摩擦过程也就是克服亚微观表面凸峰机械啮合的表面分子吸引力的过程。根据摩擦二项定律<sup>[3]</sup>可知,摩擦系数的大小是与真实接触面积成正比,与正压力成反比,而对于此摩擦表面来说,真实接触面积随正压力增加是比较缓慢的,因此摩擦系数随正压力的增加而减小。

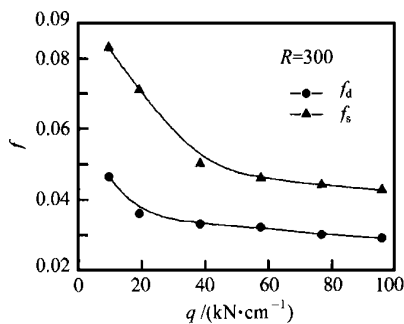


图 2 改性聚甲醛的  $f$  与  $q$  关系

Fig. 2 Relation between  $f$  and  $q$  of modified POM

从图 2 中还可以看到改性聚甲醛三层复合材料可以承受比较高的载荷,在线压强达到  $70\text{ kN/cm}$  以上时,仍然可以保持平稳的摩擦系数。

### 2.3 静摩擦系数与载荷作用时间的关系

改性聚甲醛的摩擦系数随静止承压时间的变化如图 3 所示。结果表明,承压时间经过十几小时后,摩擦系数已经趋于稳定。在不同载荷的情况下 ( $q = 30, 60\text{ kN/cm}$ ),最大值分别为  $0.0673$  和  $0.0620$ ,比加压后立即测试的数值增大了约  $40\%$  和  $80\%$ 。这是因为在载荷的作用下,由于面层材料的蠕变特性,承压时间越长,真实接触面积越大,从而引起材料的摩擦系数随承压时间的延长而变大。

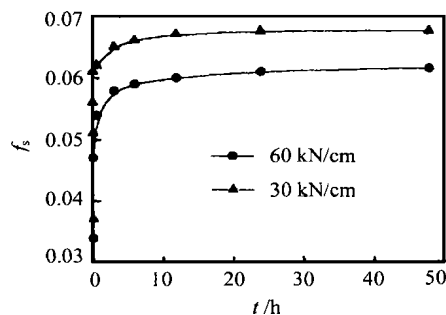


图 3 静摩擦系数随承载时间的变化

Fig. 3 Change of static frictional coefficient with load-bearing time

2.4 老化对复合材料性能的影响

水工闸门滑道支承材料在使用过程中必然要在阳光下曝晒、在水中浸泡,若改性聚甲醛的耐老化性能不好,将会影响三层复合材料的摩擦性能以及使用性能。本文对改性聚甲醛按照实际的工况条件进行了曝晒和水泡实验,并研究其抗老化性能。

2.4.1 老化对静摩擦系数的影响(图 4、5) 从图 4、5 中可以看出,未加防老剂试样的静摩擦系数随老化时间的延长而有较明显的增大,而加入防老剂试样的静摩擦系数则随老化时间变化不大。这是因为聚甲醛长期在阳光下曝晒,表面温度很高,加上空气中有氧气存在,使聚甲醛发生热氧化分解。未加防老剂试样由于不含防老剂,分解较快,有小分子物析出,造成分子量下降,表面硬度变小,从而使摩擦系数变大。加入防老剂试样由于含有防老剂,基本未发生分解,故摩擦系数变化不大。

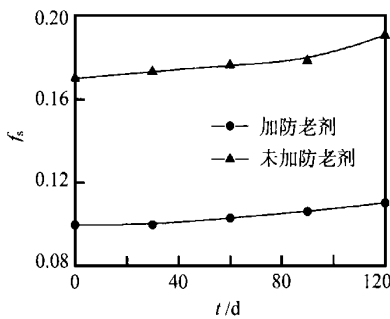


图 4 改性聚甲醛曝晒后静摩擦系数与老化时间关系

Fig. 4 The  $f_s \sim t$  curve of modified POM after exposure

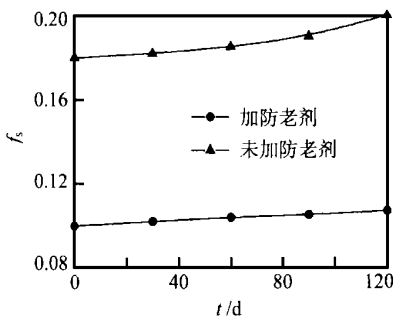


图 5 改性聚甲醛水泡后静摩擦系数与老化时间关系

Fig. 5 The  $f_s \sim t$  curve of modified POM after bladder

2.4.2 老化对硬度的影响(图 6) 从图 6 中可以看到,改性聚甲醛的表面硬度都随老化时间的延长

而降低,水泡试样的变化幅度大于曝晒的试样。

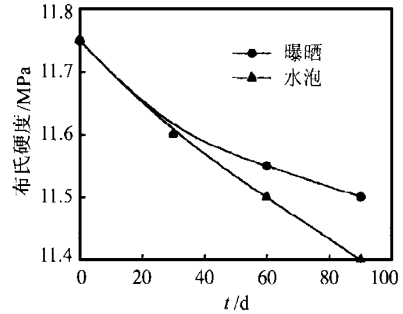


图 6 改性聚甲醛的硬度与老化时间关系图

Fig. 6 Relation between hardness and aging time of modified POM

2.4.3 老化对拉伸强度的影响 表 2 列出了改性聚甲醛随老化时间的增加,其拉伸强度的变化。

表 2 改性聚甲醛拉伸强度随老化时间的变化

Table 2 Change of tensile strength with the aging time

改性聚甲醛	老化方式	拉伸强度/MPa	
		3月	6月
不含防老剂	水泡	56.5	56.0
	曝晒	56.3	55.7
含防老剂	水泡	56.0	55.8
	曝晒	56.2	56.0

从表 2 可以看出,不含防老剂试样的拉伸强度随时间变化较大,而含防老剂试样的变化较为缓慢。

3 结束语

从综合试验的结果来看,改性聚甲醛的摩擦系数、磨损率、吸水率等指标都低于闸门滑道现用的其它材料,而表面硬度等较高,因此选择改性聚甲醛作为钢基铜塑复合材料的塑料层是较为合适的。另外,从改性聚甲醛的耐老化性能以及模拟闸门滑道支承材料试验的结果来看,以改性聚甲醛为塑料层的三层复合材料完全能够适用于高载荷情况下的闸门滑道支承材料。

参 考 文 献

[1] 向定汉,李贵谋,陈胜宏. 钉板—塑料复合滑道的初步试验研究. 水利发电学报,1997(4):78~84  
 [2] 徐从鹏. 高强低磨滑道材料的研究:[学位论文]. 北京:北京化工大学,1998  
 [3] 王承鹤. 塑料摩擦学. 北京:机械工业出版社,1994. 168~189

表 4  $F_0 = 25 \text{ N}$  时滑动率的实验值与计算值Table 4 Experimental value and calculated value of the sliding rate under  $F_0 = 25 \text{ N}$ 

$F_e/\text{N}$	(计算)/%	(实验)/%	/%
6.88	0.179 9	0.141 8	- 21.18
9.44	0.251 0	0.239 0	- 4.781
12.16	0.329 0	0.288 7	- 12.25
14.96	0.412 2	0.387 0	- 6.114
17.60	0.493 5	0.533 3	8.065
20.80	0.595 8	1.121	88.15
22.96	打滑	3.080	-
25.33	打滑	16.25	-

注:  $\delta = (\text{实验} - \text{计算}) / \text{计算}$ 。

率实验结果的相对误差( )显著增加也正好说明

了这个问题。

## 4 结 论

(1) 当有效拉力增加时,弹性滑动率增加。

(2) 对于同样的有效拉力  $F_e$ ,当初拉力  $F_0$  增加时,弹性滑动率有所减小。

(3) 进行了带传动滑动率实验,当有效拉力小于临界有效拉力时,实验结果与计算结果比较吻合。

## 参 考 文 献

- [1] 濮良贵,纪名刚. 机械设计. 第六版. 北京:高等教育出版社,1996. 144~167
- [2] 吴宗泽. 机械设计实用手册. 北京:化学工业出版社,1999. 899~958

## Research on elastic sliding rate in belt driving

ZHANG Your-cheng<sup>1)</sup> MA Ping<sup>2)</sup> ZHANG Mei-lin<sup>1)</sup> ZHANG Li-yan<sup>1)</sup>

(1) College of Mechanical Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029;

2) Beijing Institute of Coal Design and Research, Beijing 100011, China)

**Abstract:** On the basis of Euler's formula of flexible bodies friction and the deformation formula, formulas for calculating elastic sliding rate of the belt driving have been derived. The relationship of elastic sliding rate versus initial tension and effective tension has been found out. The sliding rate test was carried out. The experimental results tally with calculated results.

**Key words:** belt driving; sliding rate; deformation

(上接第 41 页)

## Application research of modified POM three layers composite

HUANG Li ZHANG Wen-zhi XU Ding-yu XU Cong-peng

(College of Materials Science and Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

**Abstract:** Manufacturing methods, properties and simulating experiment results of the three layers composite are reported in this paper. This composite which is made by modified POM as the plastic layer is used as the slideway materials of gates of hydraulic dam. The result indicates that the modified POM with three layers composite has quite low friction coefficient, high load-ability and good aging-resistant property. It can meet the demand of the leaving slideway material for hydraulic dam.

**Key words:** modified POM; the three layers composite; friction and aging-resistant property; supporting material of building in anchor gate