

# 水工閘門支承滑道采用填充 聚四氟乙烯复合材料的研充<sup>※</sup>

水利电力部成都勘测设计院 楊宗謙 王麟璠

水利水电工程中閘門支承结构型式的设计,直接影响到閘門运行的可靠性和启闭机容量的选择。尤以孔口尺寸较大和设计水头较高的閘門开启和关闭过程中,由于高速水流引起的閘門振动、冲击以及门槽埋件的安装误差所造成的卡阻等,若采用压合胶木作为支承滑道,其较高的摩阻力常需很大容量的启闭机械。鉴于近年来工程塑料的飞速发展,有可能选择承压力大和低摩擦性能的材料用于閘門的支承滑道,以简化支承结构,降低运行摩阻力,从而减小启闭机容量,达到降低工程造价的目的。

故此,我们选定填充聚四氟乙烯复合材料。该材料表层为填充聚四氟乙烯(以下简称填充F-4),底层为钢板,中间层为金属网,使填充F-4与钢板牢固结合的三层复合层。它的机械性能基本取决于钢板,而摩擦磨耗性能取决于表面填充F-4层。

试验研究的主要内容有:

- (一) 选择适合于水工閘門支承滑道要求的填充F-4的配方;
- (二) 测定不同复合工艺的试样的机械性能和摩擦系数;
- (三) 在设计条件下水工閘門的摩擦系数,以及影响它们的主要因素;
- (四) 閘門长期受荷后,支承材料的蠕变和摩擦系数变化规律;
- (五) 论证填充F-4复合材料作为閘門支承滑道的可能性和使用价值。

两年来测试的大量基本数据,可供设计时参考。由于该项试验研究工作较复杂,有些问题还待进一步探讨,并应通过原型试验来解决。

## 一、材 料 試 驗

聚四氟乙烯(F-4)以其优异性能而素有“塑料王”之称。F-4除具有优异的化学稳定性,优良的介电性能,宽阔的使用温度范围以及不吸水、突出的不粘性外,还具有已知固体材料中最低的摩擦系数,故应用广泛。但F-4因分子结构的影响,大分子间吸引力较小,所以表面硬度低,耐磨性和导热性差,一定负荷下则会出现冷流变形(即蠕变)。为弥补

※ 参加试验研究的人员还有化工部晨光化工研究院三分厂陈一途和水利电力部成都勘测设计院研究所王振兴等同志,在此表示感谢。

上述缺陷，六十年代初，研究以耐 380℃ 以上高温的无机物，金属粉及高分子化合物作填充剂，采用机械共混的方法，制取改性F-4——填充F-4，为F-4开拓了更广泛的应用前景。近年来，随应用研究、加工工艺的发展，除机械共混改性外，还从加工工艺上选配“组合”，也成为提高性能，扩大应用范围的途径。因此，考虑到闸门滑道低速、高荷等较为恶劣的运行条件，研制了填充F-4与金属网、钢板组成的三层复合材料，使之既具有填充F-4低的摩擦系数与导磨耗因子，和不损伤对磨偶件，又具有较高的承载能力，并且便于安装施工的优点。

为适应闸门滑道的应用要求，我们选取了多种填充剂（如石墨、二硫化钼，锡青铜粉、聚苯酯、聚酰亚胺等），为提高填充F-4的表面硬度、抗压强度、耐荷变形和摩擦性能，进行了多种配方筛选及工艺改进。现初步选定的材料，具有较高的表面硬度和抗压强度；较低的耐荷变形、摩擦系数和磨耗因子。综合性能较佳，取材方便经济（其性能见表1、表2）。

表1 填充 F-4 性能

序号	性能	单位	试验方法	指标值
1	比重		GB—1033—70	1.68
2	吸水率	%	GB—1034—70	0.078
3	压缩强度	公斤/厘米 <sup>2</sup>	GB—1041—70 (负荷垂直于成型压力方向) 25℃ 5%变形 破坏	514 567
4	冲击强度	公斤/厘米 <sup>2</sup>	GB—1043—70	1.61
5	布氏硬度	公斤/厘米 <sup>2</sup>	HG <sub>2</sub> —168—65	15.92
6	耐荷变形	%	280公斤/厘米 <sup>2</sup> 定荷 (负荷垂直于成型压力方向) 开始 5分 30小时 永久变形	1.25 1.36 1.41 0.91
7	摩擦系数		M200试验机 (P = 40公斤, T = 40分, V = 0.84米/秒)	0.23

(续前表)

8	磨耗量	克	M200试验机 (P = 40公斤, T = 40分, V = 0.84米/秒)	0.0027
9	磨耗因子	厘米 <sup>3</sup> 厘米 <sup>3</sup> /公斤 厘米 <sup>3</sup> /厘米 <sup>2</sup>	(米/秒/分) × 10 <sup>-8</sup>	0.0016 1.96

表2 填充F-4复合材料性能

序号	性能	单位	试验方法	指标值
1	布氏硬度	公斤/毫米 <sup>2</sup>	HG <sub>2</sub> -168-65 塑料层厚1毫米	15.02
			” ” 0.5毫米	11.8
2	抗压	公斤/厘米 <sup>2</sup>	60吨万能试验机, 匀速升压 负荷0~2200公斤/厘米 <sup>2</sup> 试样30毫米×30毫米 负荷下测定——瞬时变形 卸荷后24小时测定——永久变形	17.4 5.7

以上测试结果, 填充F-4材料有以下特点:

(一) 与未填充的F-4比较:

1. 表面硬度: 在常温下提高1~2倍。
2. 抗压强度: 在常温下, 变形量5%时, 提高1~2倍以上。
3. 耐磨耗性: 在常温下提高500~1000倍。
4. 摩擦系数: 低荷下稍高于F-4 (未填充) 但在高荷下 (2000公斤/厘米<sup>2</sup>左右) 仅0.03。
5. 耐荷变形、刚性, 导热性等均有不同程度的改善和提高。

(二) F-4与广泛采用的胶木滑道比较: (表3) 除布氏硬度略低补, 其它指标均优

表3 填充F-4与压合胶木比较

材料	项目	测试方法	指标
(即木材层积塑料)	摩擦系数	M-200试验机 (P = 23公斤/厘米 <sup>2</sup> , V = 0.39米/秒)	0.36
	磨耗量毫米 <sup>3</sup>	” ” ”	2.8
	布氏硬度	HG <sub>2</sub> -168-65	19

续前表

填充 F-4	摩擦系数	M-200试验机 ( $P = 40$ 公斤/厘米 <sup>2</sup> , $V = 0.84$ 米/秒)	0.23
	磨耗量毫米 <sup>3</sup>	” ” ”	1.6
	布氏硬度	HG <sub>2</sub> -163-65	15.9

于胶木。

## 二、条件试验和成果

为了获得F-4在设计条件下的实际使用性能,故进行了抗压强度(图1)和摩擦系数(图2、3)的试验。试样的抗压基本同金属的抗压试验方法;摩擦系数试验分以下几种情况:在不同的设计荷载下和不同的介质[空气、清水、混水(容重=1.05)]、不同偶件(平面轨和弧面轨)的摩擦系数试验。

试验时,施加水平推力,推动轨道在上下试块间滑动。其百分表开始转动瞬间(由电测记录)的推力值,即为静摩擦力。当轨道匀速地在试块间滑动的推力值,即为动摩擦力。

作清水或混水试验时,将试件置于储水槽内,槽内盛清水或混水。混水试验时,不断地通入压缩空气,将泥沙搅浑,其余仍按上述方法进行。

轨道在上下试块间滑动,故为两个摩擦面,摩擦系数计算公式如下:

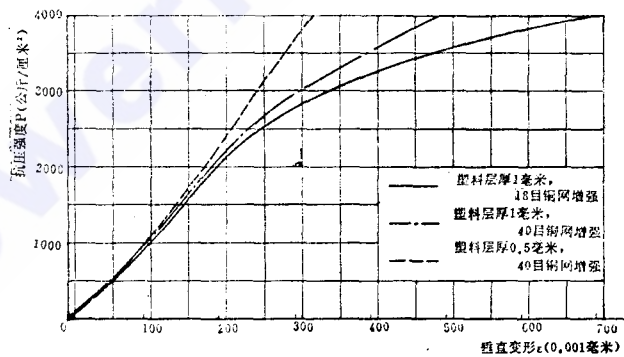


图1 填充F-4复合材料抗压强度与变形量关系曲线

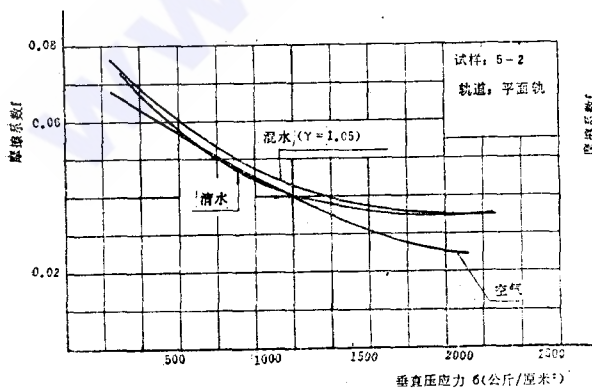


图2 垂直压应力与摩擦系数关系曲线

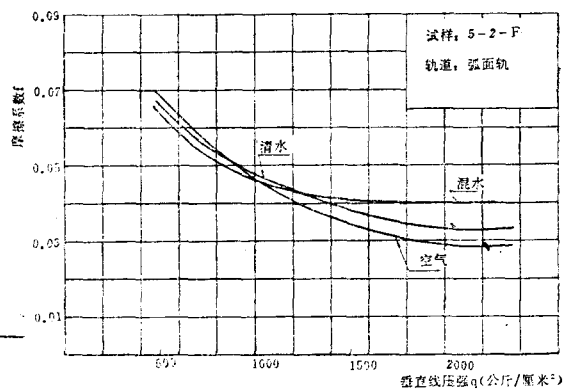


图3 垂直线压强与摩擦系数关系曲线

$$F(\text{摩擦阻力}) = \frac{T}{2}$$

式中: T——水平推力

$$f = \frac{F}{N} = \frac{T}{2N}$$

式中: N——垂直荷重

f——摩擦系数

### 三、成果分析

F-4 分子结构系由碳氟两种元素以共价结合而成。氟原子有效地复盖着碳原子,故F-4 内聚力较小,易于滚动或滑动,因此剪切强度极低。当F-4 与金属相接触摩擦时,F-4 分子迅速地粘附在对磨表面上,产生了F-4 分子向金属表面的转移,并填平了凹坑,此时形成了F-4 对F-4 的摩擦,所以摩擦系数仍然很低。从试验后的试件看出,吸附在钢轨上的薄膜是相当完整的。

填充F-4 复合材料还具有较高的抗压强度,其弹性极限高于纯F-4 的十倍,该值与塑料层厚度,增强金属网的目数有关。例如:塑料层都是1毫米厚的试样,当金属网为18目时,其弹性极限为1500公斤/厘米<sup>2</sup>;增强金属网为40目时,其弹性极限上升到2200公斤/厘米<sup>2</sup>。如果40目铜网增强的试样,当塑料层为0.5毫米厚时,弹性极限上升到2800公斤/厘米<sup>2</sup>(见图1)。

#### (一) 在长期荷载作用下摩擦系数的变化

长期荷载作用后,填充F-4 复合材料的摩擦系数将会增加(见图4)。

F-4 在一定的负荷(不管是拉伸或压缩)持续作用下,随着时间的延长变形会增大,最后趋于恒定(即材料的蠕变或称冷流),填充F-4 也不例外。

试验表明:试样的蠕变在加荷后4小时就基本趋于稳定;摩擦系数在加荷4小时达到极大值后趋于稳定。这比较清楚地说明了填充F-4 的蠕变和摩擦系数之间的关系。

#### (二) 轨道型式的合理选择

选择合适的轨道光洁度是非常重要的。滑块和轨道在低速高载荷的运动过程中,F-4 分子首先向对磨材料转移,若轨道表面光洁度在合适的范围内(试验时采用 $\nabla_6 \sim \nabla_7$ ),会在表面牢固地形成一层沿着滑动方向排列的分子薄膜,并填平了对磨面的凹坑,致密而牢固的转移膜起着润滑作用,使摩擦和磨损降至最低限度。当轨道表面光洁度太差时,刨削磨损后的磨屑使转移膜不能形成,此时摩擦系数和磨损速率均高。从已有资料介绍,过高的表面光洁度,也不能形成转移膜,因光滑如镜的

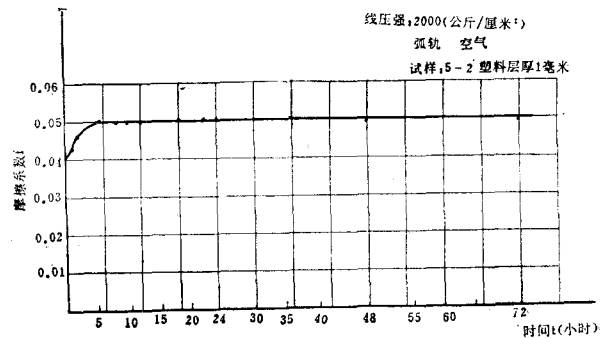


图4 长期负荷下f-t关系曲线



金属表面的粘附能密度大大降低。

关于轨头型式选择,同闸门设计原则一样,即大跨度闸门为适应门叶主梁的挠曲,宜选用弧面支承;小跨度闸门,可采用平面轨支承。但试验表明:若平面轨道的宽度小于滑道支承面的宽度时;在接触的边缘部份,由于应力集中,致使滑道表面破坏。因此,实际使用时,应注意使平面轨的宽度大于滑道的宽度。

### (三) 在空气、清水和混水中的摩擦系数

填充F-4滑块在空气和清水中的摩擦系数差别不大,这是由于F-4的自润滑性能所决定。有的情况下,由于垂直压力较小,接触面之间的水未全部排出,因此F-4转移膜不能形成,这时的摩擦系数反而比在空气中滑动时大。

反复在混水中试验后可以看出:混水对F-4摩擦系数的影响不大。含有泥砂的水,由于滑动时泥砂对摩擦面光洁度的破坏,其结果必然是增大摩擦系数,但由于F-4在滑动过程中不断复盖被破坏的摩擦面和泥砂颗粒,仍然起着润滑作用,故其摩擦系数还是较低。

### (四) 设计指标推荐如下:

1. 承压应力:考虑材料在弹性范围内工作再采用1.2~1.5的安全系数。建议弧面轨接触时,线压强可采用1500~2000公斤/厘米(不宜低于1000公斤/厘米)。平面轨接触时,垂直压应力可采用1000公斤/厘米<sup>2</sup>(不宜低于500公斤/厘米<sup>2</sup>)。以上数值适用于塑料层厚1毫米的填充F-4复合材料,塑料层为0.5毫米时,作用荷载可适当提高5~10%。

2. 在实际工程中,闸门轨道的光洁度往往达不到要求,加上安装误差及静止接触时间较长等因素,建议设计时,静摩擦系数考虑1.5的安全系数(见表4、5)。

表4 填充F-4复合材料平面轨摩擦系数

荷 载 材 料	500公斤/厘米 <sup>2</sup>		1000公斤/厘米 <sup>2</sup>		1500公斤/厘米 <sup>2</sup>		2000公斤/厘米 <sup>2</sup>	
	f <sub>静</sub>	f <sub>动</sub>	f <sub>静</sub>	f <sub>动</sub>	f <sub>静</sub>	f <sub>动</sub>	f <sub>静</sub>	f <sub>动</sub>
填充F-4	0.10	0.04	0.06	0.03	0.05	0.03	0.04	0.025

表5 填充F-4复合材料弧面轨摩擦系数

荷 载 材 料	500公斤/厘米 <sup>2</sup>		1000公斤/厘米 <sup>2</sup>		1500公斤/厘米 <sup>2</sup>		2000公斤/厘米 <sup>2</sup>	
	f <sub>静</sub>	f <sub>动</sub>	f <sub>静</sub>	f <sub>动</sub>	f <sub>静</sub>	f <sub>动</sub>	f <sub>静</sub>	f <sub>动</sub>
填充F-4	0.12	0.05	0.075	0.04	0.06	0.035	0.055	0.03

注:表4、表5中的静摩擦系数已包括安全系数,动摩擦系数可不考虑安全系数。

3. 轨道宜采用R=300毫米的不锈钢弧面轨。其表面光洁度可采用∇<sub>7</sub>。小跨度闸门可采用不锈钢平面轨,但轨面宽度应大于滑道的宽度。

## 結語

填充F-4复合材料：作为水工闸门支承滑道用在启闭次数不太频繁的中小型工作闸门和中低水头的事故闸门、施工导流闸门上是可行的，它具有较高的承载能力和较低的摩擦系数，对简化闸门支承结构，减小启闭机容量，降低工程造价具有较大的经济价值。

随着水利水电事业的发展，闸门的孔口尺寸和设计水头日趋增大，要求闸门支承滑道具有更高的承载能力和较低的摩擦系数。另外，由于高速水流引起的闸门振动和撞击，使滑道工作状况变得更为恶劣，填充F-4复合材料滑道在这种情况下工作磨损如何？塑料层会不会拉脱使铜丝网裸露？若加厚塑料层，又势必降低了材料的承载能力。这些都需要进一步研究，并在实际工程中不断积累资料，逐步扩大使用范围。

—◇◇—

—◇◇—

—◇◇—

—◇◇—

## { 簡訊 }

雅砻江二滩水电站可行性研究  
报告论证会在我省渡口市召开

本刊讯：水利电力部受国家计委委托，于1983年4月11日~24日在我省渡口市召开了“雅砻江二滩水电站可行性研究报告论证会”。参加会议的有：水电部及所属电管局、工程局、设计院，我省人民政府、计经委及有关厅局，渡口市和凉山自治州有关部门，国家科委，林业部，冶金部规划院，水利水电科学研究院，国家地震局地质所，中科院地球物理所、地质所，清华大学，天津大学，华东水利学院，攀枝花钢铁公司，东方电机厂，00300部队等49个单位的代表180余人。会上首先听取了水电部成都勘测设计院和00300部队关于二滩水电站可行性研究报告的汇报，查勘了坝址现场，并分专业组进一步听取了各专业的专题汇报和认真讨论。

会议认为水电部成都勘测设计院自1972年以来，在00300部队及全国各有关单位的支持和协作下，进行了大量的规划、勘测、设计及试验工作，所提出的二滩可行性研究报告和十四个技术专题报告，其内容的深度和广度都已满足或超过了可行性阶段的要求。基本资料较为充实，研究论证较为细致，重大问题已经明确或落实，结论是可信的。可行性研究报告说明，尽早兴建二滩水电站在技术上是可行的，经济上是合理的，布局上是迫切需要的，且指标优越。为了适应四川省“九五”期间大量增长的用电负荷的需要，迫切要求二滩水电站尽快安排兴建，以期在“八五”末期投产。

会议还认为，二滩规模虽大，但有了卅年来水电建设的实践，我国已基本具备了自已设计和兴建二滩工程的技术条件。并对下一步的工作——如施工准备、工程建设的组织领导、水泥定点供应、移民安置、木材过坝、大型水力发电机组研制和现场大型施工工艺试验等方面提出了宝贵的建议。