

航空碳石墨密封材料试验方法的建立

汪 武 祥

由于碳石墨密封材料具有良好的摩擦磨损性能,因此在航空动密封材料中占有重要的位置。

六十年代中期,我们对美国J57、J75、J69、J79等发动机的各类结构碳石墨密封材料样件进行了全面分析,并同时开始了我们自己的航空用碳石墨密封材料的研制工作。所研制的材料通过模拟和装机试验,得到了若干个接近和达到国外样件水平的材料。目前,国内自行研制和生产的航空用碳石墨密封材料进入航标的牌号,基本满足了当前各机种的使用要求。

航空用碳石墨密封材料的工作条件(接触压力、环境介质、温度和线速度等)和性能要求,是一般机械用碳所难以满足的。所以要建立碳石墨密封材料的航标和满足航标性能测试要求的试验方法。

本文主要是论证航空用碳石墨密封材料试验方法建立的依据及其必要性和可行性。

一、试验方法建立的依据

大量实验结果表明^[1],动密封装置密封材料性能的好坏比结构设计的优劣要重要得多。为此,美国政府部门和像P&WA这样一些发动机公司都对碳石墨密封材料提出了专门要求,并拟定和开展了大量的研究工作^[2]。

动密封装置的摩擦介质、接触压力、滑动速度、温度和摩擦副的选择等因素,都会直接影响碳石墨密封材料的工作极限和寿命。

根据Archard^[1]等提出的粘附磨损理论以及Fuler^[3]的试验验证,密封装置中的软质材料(如碳石墨材料)的磨损值可由下式表示:

$$A = \frac{Z \cdot P_s \cdot V_s}{H} \quad (1)$$

式中 Z —碳石墨材料的磨损系数;

P_s —滑动压力;

V_s —滑动速度;

H —碳石墨材料的硬度。

P&WA公司的F.H.Mahler^[2]得出了密封材料如下的摩擦磨损率方程:

$$W_t = 144 C_s \cdot f_s \cdot V \quad (2)$$

式中 C_s —碳石墨材料的摩擦系数;

f_s —单位接触力;

V —表面速度;

W —磨损率。

(1)、(2)两式表明,碳石墨材料的磨损率主要影响因素是摩擦状态、接触压力、滑动速度和材料的力学性能。下面我们对这几个主要因素进行一些讨论。

1. 摩擦状态的影响

E. Mayer^[1]把自己的试验结合其同行几十篇研究报告的数据整理得到图1。从图1可以看出,干湿摩擦状态的变化,对摩擦系数和磨损量的影响是显著的。

以干摩擦方式在MM—200摩擦试验机上试验,即使接触压力和滑动速度增加,随时间变化,摩擦面的改善,摩擦系数趋于减小和平稳(图2)。这与Austin^[1]的研究结果是完全一致的。

2. 接触压力的影响

动密封摩擦副接触面随着接触压力的增大,温度升高,工况恶化,这必将导致密封材料磨损的加剧。图3是Johnson所做的浸酚醛

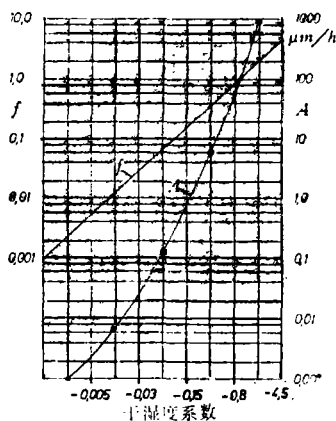


图1 干湿摩擦状态对碳石墨磨损量和摩擦系数的影响
(PV值 $\leq 50\text{MPa}\cdot\text{m/s}$)

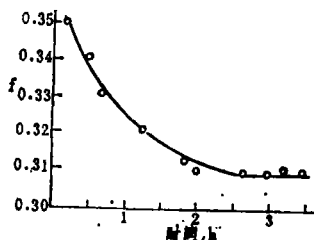


图2 SK碳石墨材料对12CrNi3A摩擦副摩擦系数与时间的关系
($P_g = 2.4\text{MPa}$)

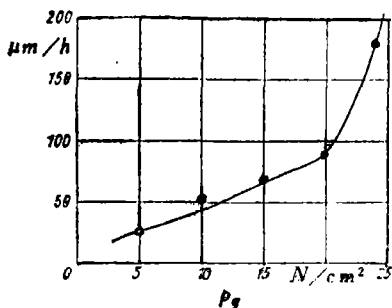


图3 接触压力对磨损量的影响
($1\text{N/cm}^2 = 0.01\text{MPa}$)

树脂碳石墨材料与对偶AISI374钢在 260°C 下、 $V_g = 50\text{m/s}$ 的试验结果, 从我们所做的试验结果(图4)表明, 接触压力的影响比环境温度对磨损量的影响要小得多。

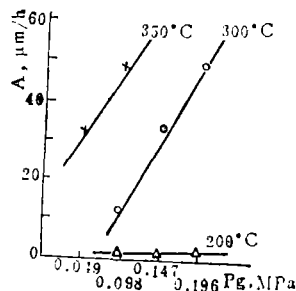


图4 环境温度对E-9碳石墨材料磨损量的影响 ($n = 9600\text{r/min}$)

3. 滑动速度的影响

R.R.Paxton和W.R.Shoberf^[3]测得的工程干摩擦状态下滑动速度对磨损量、摩擦系数和摩擦温度的影响与公式(1)是一致的(图5)。但公式(1)有其局限性。它没有考虑到实际工况下的附加流体动力效应。我们的23L

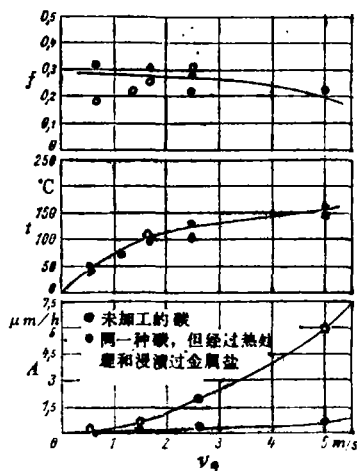


图5 滑动速度 V_g 对碳材料摩擦系数 f 、温度 t 、磨损量 A 的影响(对偶为灰口铸铁)(室温干磨, $P_g = 0.14\text{MPa}$)

碳石墨材料在A601试验器上以气腔温度 170°C 、油腔温度 150°C 、压差 $0.02 \sim 0.04\text{MPa}$ 进行模拟试验结果表明, 滑动速度增加, 磨损量的变化是不显著的(表1)。

另一方面, 因转速增加而出现的振动和温升也是值得注意的。

4. 温度的影响

温度包括环境温度和摩擦温升。由于温度

表1 碳石墨密封圈 ($\phi 78\text{mm}$) 不同滑动速度下的磨损量

零件号	7000r/min, 7h 8000r/min, 5h	9400r/min, 20h	1200r/min, 5h
1-1	0.006	0.005	0
	0.001	0.001	0
	0.013	0.001	0
1-2	0.004	0.001	0
	0.008	0	0
	0.007	0.003	0
1-3	0.01	0.002	0
	0.008	0.001	0
	0.006	0	0.001

增高, 将导致碳石墨材料力学性能、抗氧化性能降低, 摩擦状态的恶化, 浸渍树脂的分解, 以致密封的破坏。

L.R.Johnson等人^[1]所做的碳石墨材料与三种对偶钢组成的磨擦副, 当环境温度超过 200°C 后, 磨损量都出现明显增大(图6)。

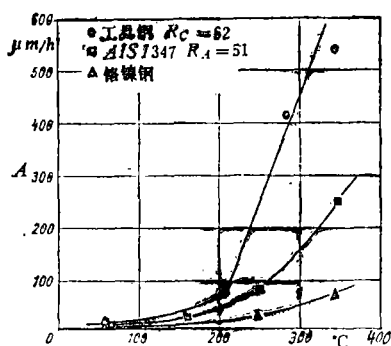


图6 温度对碳石墨磨损的影响 ($P_k = 0.15\text{MPa}$, $V_k = 50\text{ m/s}$)

从图4可以看出, E-9碳石墨材料在模拟试验中, 环境温度对磨损量的影响大大超过了滑动接触压力的影响。

此外, 在动密封装置产生机械过载或热过载时, 突变温升致使碳石墨材料产生热应力裂纹。Mayer^[1]综合大量试验结果得到如下关系, 在判断某一碳石墨材料热应力开裂时, 可以引入一个系数 B_1 :

$$B_1 = \Delta T \cdot \lambda$$

式中 ΔT ——材料正好能承受而又不会因热应力而造成损坏的最大允许温差;

λ ——材料的导热系数。

良好的导热系数将使材料具有优良的抗热应力系数 B_1 。

综上所述, 可以这样认为, 欲确立航空碳石墨密封材料性能的测试内容及方法, 要保证动密封装置的安全可靠性和碳石墨材料良好的密封性能, 必须把上述工况要素在试验方法中得到基本反映, 以期达到测定“代用特性”真正代表“质量特性”的目的。

二、测试内容与试验方法

按照本文第一部分所讨论的内容, 结合我们对国内外工程碳石墨密封材料性能测试内容和试验方法较为全面的调研结果, 确定了航空碳石墨密封材料的测试内容应由如下四部分组成:

- (1) 基本物理性能: 密度
开孔孔隙度
- (2) 热性能: 线膨胀系数
热导率
比热容
热氧化失重
- (3) 力学性能: 弯曲强度
压缩强度
动态弹性模量
硬度
- (4) 摩擦性能: 摩擦系数

根据如上内容, 制定了有11项试验方法的碳石墨密封材料的航标^[4,5]。航标试验方法是在原暂行方法的基础上参考ASTM、JCAS及英国的R.R.公司标准而编写的。

由于摩擦磨损性能是碳石墨材料的主要使用性能之一, 所以就其试验方法的可靠性特作如下讨论。

摩擦试验中对偶材料对碳石墨材料磨损量

的影响在图6中已有明显的反映。高性能的碳石墨材料只有与其匹配的对偶材料才能组成一套良好的动密封装置。许多学者都对摩擦接触面做过大量的实验研究,并创立了有关理论。其中包括对偶材料材质及其表面粗糙度对碳石墨材料磨损率的重要影响^[1]。

对偶材料确定后,在MM-200试验机上所进行的摩擦性能试验是否可靠?通过不同试验机的对比试验,结果是令人满意的。

(1) 数据基本可靠。我们对比了SK石墨材料和美国J75发动机碳石墨密封圈上截取的试样,在相同的试验条件下,完全反映出材料的水平(表2)。

(2) 结果重复性好(表3)。

(3) 与模拟试验关系基本对应。为探索实验室数据和模拟试验的对应规律,我们将经MM-200试验机筛选的四种碳石墨材料,通过J02(MM-1000)试验机试环摩擦试验和A601试验器的模拟结果进行了对比,其结果见表4。

由表4可以明显看出,实验室摩擦性能较好的34S材料在模拟试验中得到相应的结果。我们认为,MM-200试验机摩擦性能数据基本上能反映出碳石墨材料的摩擦磨损性能。

三、结 语

1. 通过上述讨论证实,航空用碳石墨密

表 2 不同质量碳石墨材料在MM-200试验机上性能对比

材 料	试 验 条 件			密 度 g/cm ³	开孔度 %	抗弯强度 MPa	抗压强度 MPa	摩擦系数	磨 损 量 μm/km
	压力 MPa	速度 m/s	状态						
SK碳石墨对偶12CrNi3A	2.4	0.4	干磨	1.70	20	19~45	45~85	0.30	12.0
美国样件对偶12CrNi3A	2.4	0.4	干磨	1.75	7.2	35~38	120	0.22	5.14

表 3 SK石墨在MM-200试验机上重复试验结果

试验序号	试 验 条 件			摩 擦 系 数	磨 损 量 μm/km
	压力, MPa	速度, m/s	摩 擦 状 态		
1	2.4	0.4	干	0.304	21
4	2.4	0.4	干	0.309	20.8
7	2.4	0.4	干	0.33	25

表 4 MM-1000机数据与模拟机结果比较

材料牌号	MM-1090试验机			A601试验器	
	试 验 条 件 P _s =0.5MPa 5000r/min	摩 擦 系 数	磨 损 量 μm/h	试 验 条 件 V _s =50~53m/s 150~170°C	磨 损 量 μm/h
23S	试环φ75mm 对偶18CrMoAl	0.11	42/0.5	密封圈φ78mm 对偶30CrMoAl	1.2/15
34S	干 磨 同上	0.09	38.5/0.5	0.06MPa油气压差 同上	0.5/15
23L	同上	0.13	65/0.5	同上	5.7/15
34L	同上	0.12	50/0.5	同上	

对十个新发布的铝、镁合金国家标准介绍

袁 成 祺

《航空材料》1983年第4期上介绍了14个变形铝合金标准目录。近二年来又发布了十个铝、镁合金国家标准。至此为止,铝、镁合金中除特殊性能要求外,基本齐全。

今将新发布的十个铝、镁合金国家标准列表如下:

标准编号	标准名称	代替标准**
GB5153-85	加工镁及镁合金的 牌号及化学成分	YB627-66
GB5154-85	镁合金板材	YB628-73
GB5155-85	镁合金热挤压棒	YB631-66
GB5156-85	镁合金热挤压型材	YB632-66
GBn250-85*	镁合金锻件和模锻件	YB633-66
GB4436-84	铝及铝合金管外形 尺寸及允许偏差	YB610-66
GB4437-84	铝及铝合金热挤压管	YB612-66
GBn221-84	铝及铝合金冷拉管	YB611-66
GBn222-84	铝及铝合金热挤压 型材	YB615-66
GBn223-84	铝合金锻件	YB622-66 YB623-66

* GBn为内部国家标准,不公开发行。

** 代替标准为航空部门采用的原冶金标准。

◁*▷

◁*▷

◁*▷

◁*▷

◁*▷

封材料测试内容和试验方法确立的依据是充分的和可靠的。

2. 以此试验方法进行的六种碳石墨密封材料的性能验证工作结果表明,试验方法是可行的。

3. 在试验工作中,我们发现碳石墨材料对4105航空滑油的影响问题(试验后滑油的酸值和粘度超过正常范围)。我们将进一步验证以确定是否需要补充该项测试内容和建立相应的试验方法。

这十个国家标准都是从冶标修订成国标的。修订中共同性的重要变更有如下几点:

1. 所有的力学性能指标(除硬度外)在小数点后加一位“0”的有效数。因为国标通用的力学性能试验方法是GB228—76《金属拉力试验法》,其中第37条规定:“按相应技术条件规定的所需位数化整,所需位数后的数字,按四舍六入五单双法处理”。所谓四舍六入五单双法处理即数字修约规则(见GB1.1-81《标准化工作导则—编写标准的一般规定》附录C)。从而避免了性能指标因国标可以修约而比冶标略微降低。

2. 关于“对力学性能的重复检验允许包括不合格者本身”,当抽查第一次力学性能试验有不合格时,大多原冶标规定另取双倍重复试验。而航空厂的验收是以批为单位,因此重复试验时,应允许包括第一次试验不合格料更合理。

3. 国标规定:力学性能和低倍重复试验不合格时,“该批材料作废或由供方逐个检验,合格者交货(锻件除外)”。这样规定保证了航空厂以批为验收依据的使用质量,而供方可以根据实际情况,重新组批交货。

另外,各个标准与原冶标的更改部分简述

参 考 文 献

- [1] Mayer(姚兆生译),机械密封,化学工业出版社,1977。
- [2] AD-739922,1971。
- [3] Paxton,R.R.,Electro-chemical-Technology,Vol5,No5~6,May-June,1967。
- [4] HB5366—86,航空用碳石墨密封材料标准。
- [5] HB5367.1—86~HB5367.11—86,航空用碳石墨密封材料试验方法标准。