

录音机用精密含油轴承 的研究进展

韩 风 麟

(北京粉末冶金公司)

〔摘要〕 介绍了烧结金属含油轴承运转时产生噪音的机理和测定滑动噪音的装置及方法,重点介绍了影响含油轴承运转时滑动噪音的主要因素。

1980年以来,录音机是我国发展最快的电子技术产品之一,1986年产量已高达1639万部。因此,录音机用精密含油轴承的生产供应就成了一个十分突出的问题。要解决这个问题,就必须弄清楚生产低噪音精密含油轴承的关键,和含油轴承与轴、润滑油之间的相互关系。作者希望这篇文章在这些方面对录音机生产厂和含油轴承生产者能有所裨益。

一、烧结金属含油轴承运转时产生噪音的机理

烧结金属含油轴承运转时的滑动噪音主要起源于局部金属接触。这是含油轴承的自润滑机理决定的。在这里起主要作用的是含油轴承内部的孔隙。

含油轴承运转时油的循环机理图解地示于图1。轴回转时,由于泵吸作用,油从轴承体上部的孔隙中渗出,向轴承的工作间隙中供油,从而在轴与含油轴承的滑动面上形成油膜。可是,在面压作用下,部分油膜通过滑动面下部的孔隙又泄漏到含油轴承体内。泄漏的这部分油,又通过含油轴承体内的孔隙,移向含油轴承上部的无负荷侧。这

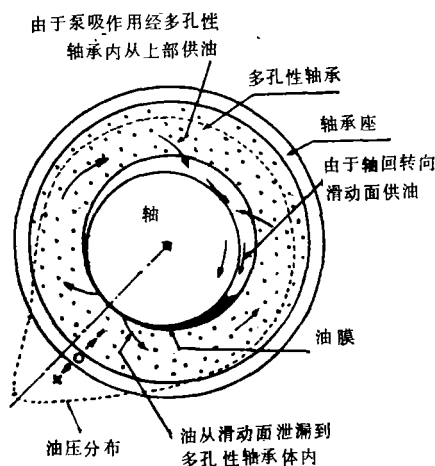


图1 含油轴承运转时油的循环机理图

就是含油轴承运转时油的循环机理。

含油轴承运转时,由于在滑动面上产生油泄漏,致使油膜减薄,易处于边界润滑状态。从而,在滑动面上,轴与含油轴承间金属接触的几率增大,结果噪音产生或增高。因此,减低含油轴承运转时滑动噪音的中心问题是,如何通过控制孔隙和各种相关因素来减少轴与含油轴承产生金属接触的几率。

二、测定滑动噪音的装置和测试方法

长坂裕介等60年代末就研究烧结金属含油轴承的滑动噪音〔1〕。渡边优尚等是1975年以后对之进行系统研究的。他们所用的噪音测定装置大体上相似。兹将渡边优尚等〔2〕用的噪音测定装置介绍如下。

噪音测定装置系由试验机、振动计及频率分析仪组成(图2)。试验机置于一隔音箱中。将含油轴承试件装于轴承座中后,用弹簧在垂直方向拉紧,使拉紧负荷在4.9—14.7N(压力0.17~0.51Mpa)范围内变化。轴对含油轴承回转时,轴的转数在300—400 r/min(周速6—75m/min)的范围内变化。用固定在轴承座上的振动拾音器捕捉滑动音;将滑动音转换成电信号,经振动计(电测V—115T),用具有一定倍频程的滤波器的频率分析仪(电测F—63U)测定声压级。

测定含油轴承的滑动噪音时,要先使含

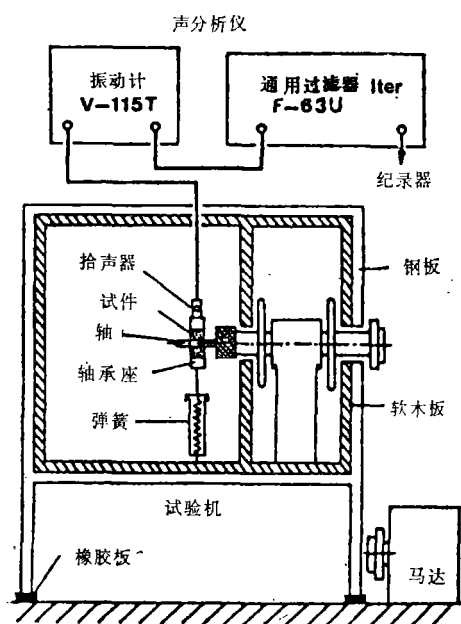


图2 测定含油轴承滑动噪音的装置〔2〕

油轴承磨合运转30—61min,待滑动噪音的确已达稳定状态之后,再在频率80—8000Hz之间进行1/3倍频程频率分析。依据分析结果,一般都是使含油轴承试件的滑动噪音声压级差带通能够比较清楚看出的频率400—1120Hz,然后,测定它们的声压级(dB)。

在下述的试验研究中,除特别说明者外,滑动噪音都是用图2之装置,按照上述方法测定的。

三、影响含油轴承运转时滑动噪音的主要因素

减低含油轴承运转时的滑动噪音,需要将含油轴承、轴及相关因素作为一个系统综合考虑。图3是含轴承在运转时产生噪音的因素图〔3〕。渡边优尚等对图3中的主要因素对含油轴承运转时的滑动噪音的影响进行了系统研究。这些试验研究的工作条件都是参照录音机、电唱机等实际工作条件拟定的。除特别说明者外,下述的各项研究成果都是在下列试验条件下完成的:

1. 含油轴承试件

- (1) 尺寸: $\phi 6 \times \phi 12 \times 5$ mm;
- (2) 青铜含油轴承: Cu—约8% Sn;
- (3) 合金组织: α 单相组织;
- (4) 透过性: $0.6-60 \times 10^{-3}$ darcy;
- (5) 有效孔隙度: 6、9、12、18、21

(容积)%;

- (6) 压溃强度: >150 Mpa。

2. 钢轴

- (1) 材质: 0.85C碳钢;
- (2) 热处理: 未进行;
- (3) 硬度: mHv300左右;
- (4) 表面粗糙度: $0.2 \mu\text{m}$ 左右。

3. 运转条件

- (1) 速度: 0.33 m/s (20m/min或1000r/min);
- (2) 压力: 0.17MPa或4.9N;
- (3) 工作间隙: 约0.015mm;

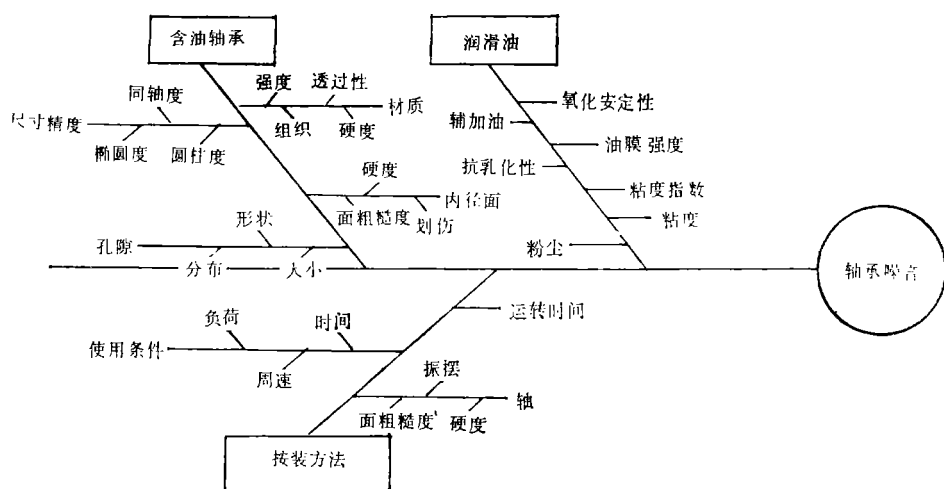


图3 含油轴承运转时产生噪音的因素图

(4) pv值: $0.056 \text{ MPa} \cdot \text{m/s}$ ($34 \text{ kgf/cm}^2 \cdot \text{m/min}$);

(5) 运转时间: 60min或2000h。

4. 润滑油: SAE30机油。

1. 青铜含油轴承自身情况对滑动噪音的影响

(1) 透过性与运转时滑动噪音的关系

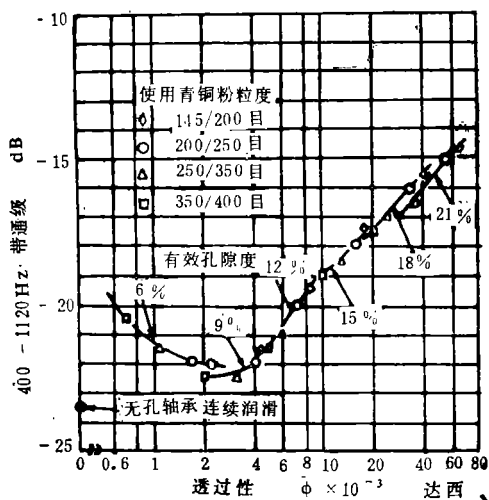
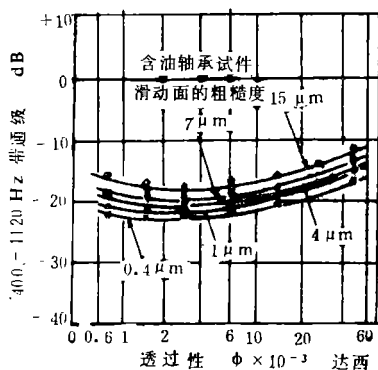
图4示青铜含油轴承的透过性与滑动噪音声压级的关系^[2]。由之可看出, 当透过性为 $(2 \sim 3) \times 10^{-3} \text{ darcy}$ 左右时, 滑动

噪音有一极小值。与这个透过性相当的有效孔隙度约为9%。当有效孔隙度进一步减小到6%(透过性约为 $1 \times 10^{-3} \text{ darcy}$) 时, 由于对滑动面供油量减小, 滑动噪音再次趋向于增高。

由图4还可看出, 有效孔隙度相同时, 青铜粉的粒度愈细, 透过性愈小, 含油轴承的透过性与孔隙大小成正比^[4], 透过性愈小就意味着连通孔隙的大小愈小, 这与长坂裕介等^[1]的试验结果是一致的。

(2) 滑动面的粗糙度对滑动噪音的影响

渡边悦尚等^[5]在上述试验条件下, 研究了含油轴承滑动面粗糙度为0.4、1、4、7

图4 青铜含油轴承的透过性与滑动噪音的关系^[2]图5 青铜含油轴承滑动面的粗糙度与透过性和滑动噪音的关系^[5]

及15 μm 时,它们与滑动噪音的关系。研究结果见图5。由之可看出,含油轴承滑动面的粗糙度增大时,滑动噪音略有增高。滑动面粗糙度为0.4 μm 与15 μm 时,滑动噪音相差只有5dB。青铜的硬度约为mHv60,这比钢轴的硬度mHv300低得多,因此,青铜含油轴承在运转期间,其滑动面粗糙度的凸出部分易产生变形和变平坦。这就是说,即使是青铜含油轴承滑动面的粗糙度较大,在运转中也是趋于减小的。因此,可认为青铜含油轴承滑动面的粗糙度对滑动噪音影响不大。

(3)合金组织中的 δ 相对滑动噪音的影响

日本的青铜含油轴承都是由铜—10锡混合粉制造的。因此,它们的显微组织不一定都能形成均一的 α 单相组织。若合金化不完全时,可能会形成硬且脆的、组成为 $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ 的 δ 相。 δ 相的硬度约为mHv550—660。渡边恍尚等〔6〕研究了 δ 相含量与青铜含油轴承滑动噪音的关系。研究结果见图6。由图6可看出,对于由添加有0、25、50及75(wt)% δ 相粉的预合金雾化Cu—8(wt)%Sn粉制

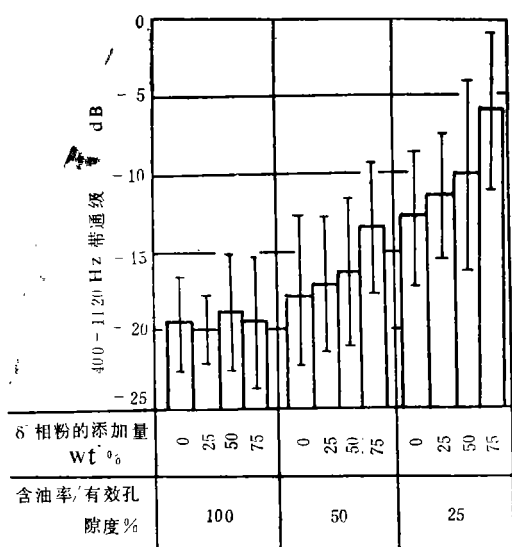


图6 含油量对添加 δ 相粉的青铜含油轴承的滑动噪音的影响〔6〕

造的烧结含油轴承,含油率/有效孔隙度的比值愈小,滑动噪音愈高。这就是说,当含油率/有效孔隙度的比值高和含油轴承体内含油量多时,由于通过轴承体上部的孔隙可顺利供油,在滑动面上形成的油膜安定和产生金属接触的几率小,故合金组织中的 δ 相对滑动噪音几乎没有影响。可是,当含油率/有效孔隙度的比值减小时,含油轴承体内的含油量减少,致使从轴承体上部不再能通过孔隙向滑动面充分供油;这时,在滑动面上形成的油膜将变得不稳定,和金属接触的几率增大。当形成这种摩擦状态时, δ 相有可能划伤硬度为mHv300左右的钢轴,致使钢轴表面的粗糙度增大,结果滑动噪音增高。

(4)含油量、运转时间与滑动噪音的关系

录音机等用的含油轴承,除了滑动噪音低外,还必须保证长时间运转时滑动噪音变化小。为此,研究了含油轴承的含油量、运转时间和滑动噪音的关系〔7〕。

①有效孔隙度与滑动噪音的关系

图7示青铜含油轴承的有效孔隙度、透过性与滑动噪音的关系〔7〕。由之可看出,短时间运转时,当含油轴承的透过性从40 \times

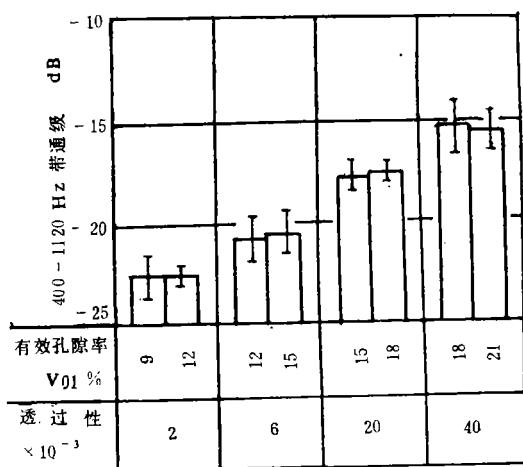


图7 青铜含油轴承的有效孔隙度、透过性与滑动噪音的关系〔7〕(运转时间约1h)

10^{-3} darcy减小到约 2×10^{-2} darcy 时, 滑动噪音明显减低。透过性相同, 而有效孔隙度不同时, 滑动噪音的特性曲线相差只有 1 dB。因此, 可认为透过性对滑动噪音影响大, 而有效孔隙度没有甚么影响。2000h 的长时间运转试验表明, 情况仍然是这样。

②含油率/有效孔隙度的比值、运转时间与滑动噪音的关系

图 7 示青铜含油轴承的含油率/有效孔隙度的比值、运转时间与滑动噪音的关系。由之可看出, 含油率/有效孔隙度的比值愈小, 滑动噪音就愈高, 滑动噪音达到稳定值所需之运转时间就愈长, 及处于稳定滑动噪音下运转的时间就愈短。比如, 含油率/有效孔隙度的比值约为 100% 或 75% 时, 运转 2000h 后, 它们的滑动噪音基本稳定; 相反地, 含油率/有效孔隙度的比值约为 50% 和 25% 时, 分别只运转到 300h 和 20h 左右, 滑动噪音就开始明显增高了。

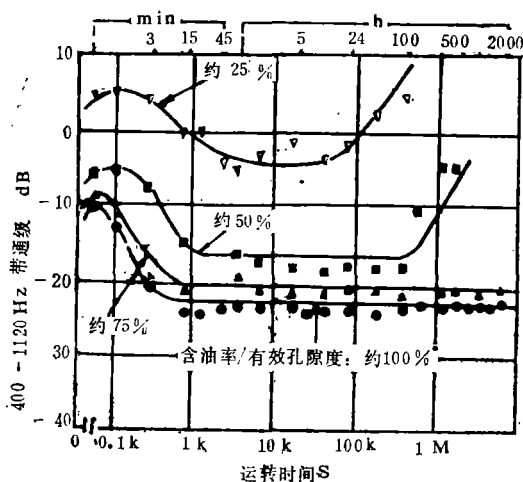


图8 青铜含油轴承的含油率/有效孔隙度的比值、运转时间与滑动噪音的关系〔7〕

(含油轴承试件的有效孔隙度约 12%(Vol), 透过性约 6×10^{-3} darcy)

这主要是由于含油率/有效孔隙度的比值减小时, 从运转一开始, 在滑动面上形成的油膜就薄且不稳定, 因此轴与含油轴承的摩擦趋于稳定所需之时间就较长。在这段时

间内, 钢轴可能划伤轴承内径表面, 从而使轴承内径表面的粗糙度增大, 和使金属接触的几率增大, 故于稳定滑动噪音下运转的时间缩短。

由上述不难看出, 为减低含油轴承运转时的滑动噪音, 必须将其透过性减小到某一值, 这时, 其有效孔隙度就不得不减少, 从而使含油量减少。在这种情况下, 重要的是, 必须使含油率/有效孔隙度的比值不小于 75%, 尽量使之接近 100%。

2. 钢轴的表面硬度和表面粗糙度与滑动噪音的关系

(1) 钢轴的表面硬度与滑动噪音的关系

用表面硬度约为 mHv100、200、300、680 及 750 和粗糙度为 $0.2\mu\text{m}$ 的钢轴与滑动面粗糙度为 $1\mu\text{m}$ 的青铜含油轴承试验的结果示于图 9。由图 9 可看出, 钢轴的硬度增高

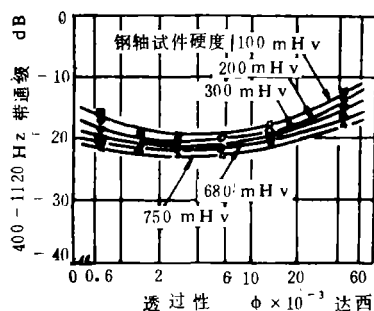


图9 钢轴硬度对青铜含油轴承滑动噪音的影响〔5〕

时, 滑动噪音略有减低。在钢轴硬度为 mHv 100—750 范围内, 滑动噪音的特性曲线仅相差 3 dB 左右。因此, 可认为在上述试验条件下, 钢轴的硬度对青铜含油轴承的滑动噪音影响不大。

(2) 钢轴表面粗糙度对滑动噪音的影响

渡边优尚等〔5〕用表面粗糙度为 0.2、0.6、2、7 及 $15\mu\text{m}$ 和硬度为 mHv300 左右的钢轴与滑动面粗糙度为 $1\mu\text{m}$ 的青铜含油轴承, 在上述试验条件下, 研究了钢轴的表面粗糙度与滑动噪音的关系。研究结果示于图 10。由图 10 可看出, 钢轴的表面粗糙度增大时,

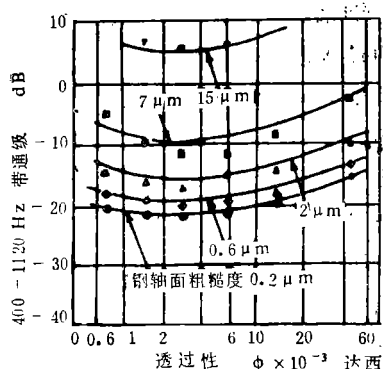


图10 钢轴的表面粗糙度对滑动噪音的影响〔5〕

滑动噪音显著增高。在钢轴的表面粗糙度为 $0.2\sim 15\mu\text{m}$ 的范围内,滑动噪音的特性曲线相差 25dB 左右。这是个非常大的值。这是由于钢轴的硬度比青铜含油轴承高得多,钢轴的表面粗糙度大时,它的凸出部在运转时经常突破在滑动面上形成的部分油膜,致使金属接触的几率大大增大,故滑动噪音显著增高。由此可见,钢轴表面的粗糙度是影响青铜含油轴承滑动噪音的一个重要因素。

3. 润滑油对含油轴承运转时滑动噪音的影响

依据清水辉夫等〔8〕的研究,青铜含油轴承的透过性、润滑油粘度与滑动噪音的关系示于图11。由之可看出,含浸以粘度不同的

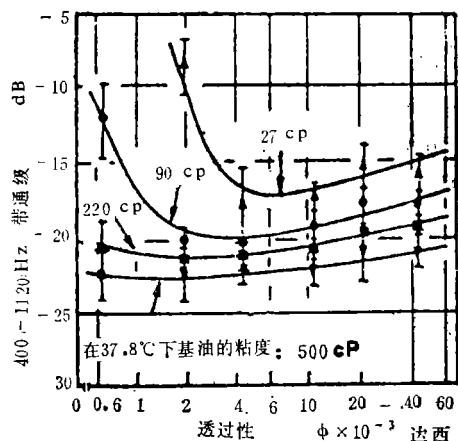


图11 青铜含油轴承的透过性、润滑油粘度与滑动噪音的关系〔8〕

润滑油的青铜含油轴承试件,其运转时的滑动噪音都是随着透过性从 $60\times 10^{-3}\text{darcy}$ 左右减小而徐徐减低,减低到最小值后,透过性再减小时,滑动噪音又趋于增高;这种倾向在润滑油粘度小时特别明显。同时,由图11还可看出,含浸以高粘度润滑油者,滑动噪音较小。这是由于润滑油的粘度愈高,滑动面上的油膜洩漏到孔隙中愈困难,致使油膜增厚,金属接触的几率减小,结果滑动噪音减低。

至于润滑油的品种,可认为它们对含油轴承运转时的滑动噪音没有太大影响。当然,在含油轴承长期运转中,由于产生氧化、乳化等,润滑油变质时,那就是另外一个问题了。

应说明的是,虽然使用高粘度润滑油,有利于减小含油轴承运转时的滑动噪音,但对烧结金属含油轴承来说,其使用的润滑油都是根据轴的周速来选择的。例如,轴的周速为 0.3m/s 左右时,应选用粘度为 $60\sim 200\text{cp}$ 左右的润滑油;在此范围内选用粘度为上限值 200cp 的润滑油较妥当。

4. 轴承的运转条件对滑动噪音的影响

青铜含油轴承的运转条件是指含油轴承运转时的压力、周速及工作间隙。

(1) 压力与滑动噪音的关系

青铜含油轴承在压力 $0.08, 0.17, 0.33,$

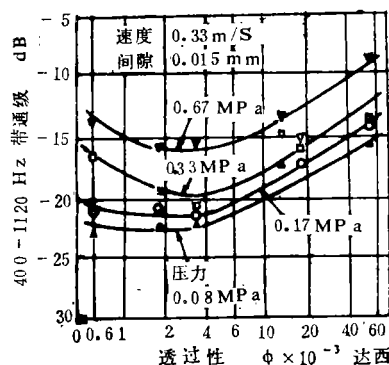


图12 青铜含油轴承运转时的压力与透过性和滑动噪音的关系〔9〕

0.67MPa下运转时,透过性、压力与滑动噪音的关系见图12〔9〕。由之可看出,压力增高时,滑动噪音趋于增高。这是由于压力增高时,从滑动面油膜向含油轴承体内洩漏的油增多,致使油膜减薄,轴与含油轴承金属接触的机率增大所致。

同时,由图12还可看出,透过性减小到某一值后,进一步减小时,压力愈高,滑动噪音增高的趋势就愈明显。

(2) 周速与滑动噪音的关系

用有效孔隙度约为12(容积)%、透过性约为 10×10^{-3} darcy的青铜含油轴承,研究了周速为0.08、0.17及0.33m/s(250、500及1000r/min)时,周速与透过性和滑动噪音的关系〔9〕,研究结果示于图13。由之可看出,周速愈高,滑动噪音也愈高。渡边优尚等认为〔9〕,烧结金属含油轴承运转时,其润滑状态只能是接近而不会形成完全流体润滑。这

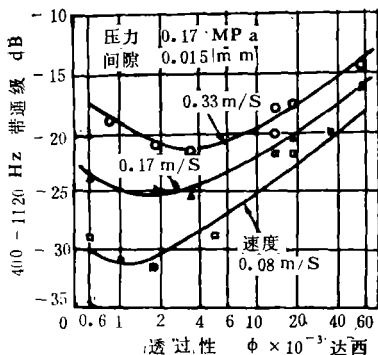


图13 青铜含油轴承运转时的周速与透过性和滑动噪音的关系〔9〕

就是说,周速愈高,虽滑动面形成的油膜可能增厚,但仍会有一定的金属接触存在。这时,由于发生金属接触而产生的噪音,其能量和运动能量以同样速度增高,结果,周速愈高,滑动噪音愈高。

另外,由图13还可看出,当透过性减小到某一值后再减小时,滑动噪音有增高的趋势。应注意的是,周速愈高,这个滑动噪音的最小值愈移向透过性大的一侧。这是由于

含油轴承运转时,通过含油轴承体上部的孔隙供给间隙中的油流量,随着透过性增大而增多,但它不会超过依据轴的周速在间隙内移向滑动面的油流量。因此,轴的周速愈高,这个最小透过性值就愈移向透过性大的一侧。

(3) 运转间隙与滑动噪音的关系

青铜含油轴承的运转间隙与滑动噪音的关系见图14〔9〕。由之可看出,滑动噪音与运转间隙关系不大。但是,当含油轴承的透过性非常小(譬如, 0.6×10^{-3} darcy)时,若运转间隙小于0.01mm(譬如,为0.005mm),则滑动噪音将急剧增高。这是由于运转间隙减小时,间隙内移向滑动面的油流量减小,从而油膜减薄,轴与含油轴承金属接触的机率增大。另外,透过性非常小时,轴与含油轴承发生金属接触机率也增大。因此,不仅透过性非常小,而且运转间隙也很小时,两者相乘的效果,使金属接触的几率大大增大,结果滑动噪音显著增高。

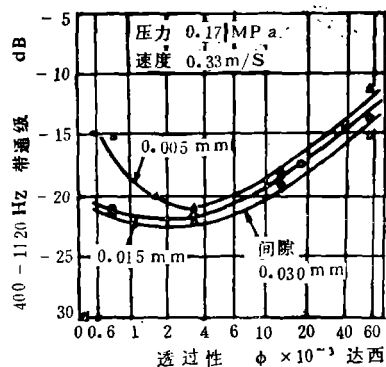


图14 青铜含油轴承的透过性、运转间隙与滑动噪音的关系〔9〕

四、结语

要减低录音机等用的精密含油轴承的噪音,延长其使用寿命,需要录音机制造厂与含油轴承生产厂密切合作,对含油轴承—轴—润滑油系统进行综合研究。

参 考 文 献

- [1] 长坂裕介、黑石農士和岩城勇夫, 住友电气, 102, 79—83, 1970
- [2] 渡辺尙尚、清水輝夫和遠藤弘之, 粉体および粉末冶金, 25(6), 202—206, 1978
- [3] 岩間正吉、菅野睦彦, 机械设计, 17(2), 35—42, 1973
- [4] 大淵貞孝、渡辺尙尚, 粉体および粉末冶金, 16(8), 351—355, 1970
- [5] 渡辺尙尚、清水輝夫, 铸研报告, 37, 38, 103—109, 1982
- [6] 渡辺尙尚、清水輝夫, 铸研报告, 39, 15—19, 1983
- [7] 渡辺尙尚、清水輝夫, 铸研报告, 39, 9—14, 1983
- [8] 清水輝夫、渡辺尙尚, 粉体および粉末冶金, 28(4), 131—135, 1981
- [9] 渡辺尙尚、清水輝夫, 铸研报告, 37, 38, 97—102, 1982

RESEARCH PROGRESS IN PRECISION SELF-OILING

BEARINGS FOR SOUND RECORDERS

Han Fenglin

(Peijing Industrial Company of P/M)

ABSTRACT Mechanism of noise during the running of sintered metal self-oiling bearings and the instrument and method for the determination of sliding noise have been described. The present paper gave emphasis on the main factors of influences on the sliding noise of self-oiling bearings during running.

• 消息 •

中国机械工程学会秘书长、总干事工作会议召开

中国机械工程学会1987年秘书长、总干事工作会议于8月28日至30日在新疆乌鲁木齐市召开。来自全国25个省市的机械工程学会和24个专业学会的90多名代表出席了会议。中国机械工程学会副理事长陆燕荪、孙大涌、许绍高, 秘书长程瑞全主持了会议。

陆燕荪在报告中介绍了我国机械工业当前的形势和任务。程瑞全作了一年来的工作回顾和下半年工作要点的报告, 全面总结了学会在学术活动、继续教育、编辑出版、国际交流和国际合作、咨询服务以及学会组织工作等方面所取得的成绩, 强调了下半年的工作重点是: 抓紧做好会籍管理工作、高级会员发展工作以及开好几个大型年会和学术会议, 其中包括第五届粉末冶金学术会议。

会议期间, 代表们讨论了学会工作总部拟定的三个工作条例, 即学会工作总部工作条例专业学会部分、工作条例地方学会部分以及会籍管理条例。会议期间还进行了学术报告、技术交流和经验介绍。

(任运级供稿)