

目 录

噪声和振动的物理表述

1. 术语与定义..... (1)
2. 图示与计算..... (3)

电机噪声的试验分析计算

3. 电动机的噪声分析..... (8)
4. 异步电动机电磁噪声的计算..... (21)
5. 低噪声异步电动机“赛连特来因”系列..... (33)
6. 异步电动机的电磁噪声分析..... (47)
7. 磁力引起的振动和噪声..... (57)
8. 三相异步电动机的噪声..... (64)
9. 中等功率高压电动机降低噪声的方法..... (74)
10. 低噪声异步电动机..... (78)
11. 小型外扇冷式电机的低噪声通风问题..... (86)
12. 三相鼠笼型异步电动机磁噪声的基本计算方法..... (93)
13. 电动机的轴承和润滑..... (101)

标 准

14. 国际标准化组织 (ISO) 推荐标准 R226—1961 (E)
自由声场条件下的标准纯音等响曲线和标准可闻阈..... (106)
15. 国际标准化组织 (ISO) 推荐标准 R495—1966 (E)
编制“测量机器噪声试验规程”的一般要求..... (111)
16. 国际标准化组织 (ISO) 推荐标准 R1680—1970 (E)
旋转电机气载噪声的测量规程..... (117)
17. 日本电机工业会 (JEM) 标准 R2066 (1972)
三相鼠笼型异步电动机 (一般用途) 的噪声级..... (130)
18. 美国电气与电子工程师学会 (IEEE) 标准 Std85—1973
旋转电机气载噪声测量的测试方法..... (132)

编者按:

本译文集中涉及到许多声学及振动术语和计算等,现将主要的按目前国内通用的解释汇编如下,供阅读时参考,可能有错谬之处,望读者指正。

噪声和振动的物理表述

一、术语与定义

术 语	代 号	定 义	单 位	
			名 称	代 号
声 速	C	声波在媒质中传播的速度。	米/秒	m/sec
频 率	f	周期性振动在单位时间内的周期数。	赫(周/秒)	Hz(c/s)
波 长	λ	相位相差一周的两个波阵面间的垂直距离。	米	m
声 强	I	一个与指定方向相垂直的单位面积上,平均每单位时间内传过的声能。	瓦/米 ²	w/m ²
声 压	P	有声波时,媒质中的压强超过静压力的值。使用中,一般以声压为有效声压的简称。	牛顿/米 ²	N/m ²
谐 波	—	一周期中频率等于基频的整倍数或整分数的正弦量。如频率等于基频 2 倍的波,称第二谐波,等于基频的一半的波,称第二分谐波。	—	—
次 声	—	是频率低于听觉音调低限的声音。这个低限一般选定为20Hz。	—	—
超 声	—	是频率超过听觉音调高限的声音。这个高限一般选定为20000Hz。	—	—
拍	—	是 2 个或 2 个以上同类但频率稍差的周期量相加后得到的幅值脉动(幅值作周期性变化)。	—	—
调 制	—	是一个波的某种特性按照另一波的瞬时值变化的过程。	—	—
声 功 率	W	声源在一单位时间内发射出的声能值。	瓦	W
声 强 级	L _I	声源声强与基准声强之比,取常用对数乘10。基准声强通常定为 10 ⁻¹² w/m ² 。	分贝	dB
噪 声 级	L _x	是在特定频率范围内,按特定频率计权和积分时间而加起的噪声总值。计权的目的是使频率响应更接近人耳听觉特性。用声级计测量的空气噪声级即噪声的声级,声级计的不同的计权特性,在仪器上以“A”“B”“C”“D”及线性“lin”表示。	分贝	dB(A) dB(B) dB(C) dB(D) dB(lin)
声 压 级	L _p	参阅本译文集中标准ISO R 1680—1970(E)中,术语与定义。	分贝	dB dB(lin)
声功率级	L _w	同上	分贝	dB

术 语	代 号	定 义	单 位	
			名 称	代 号
响 度	L	是听觉判断声音强弱的属性, 根据它可以把声音排成由轻到响的序列, 单位是噤。(频率为1000 Hz, 声压为听者闻阈上40分贝的一个纯音所产生的响度为 1sone。任何一个声音的响度被听者判断为1sone纯音响度的 n 倍, 其响度即为 n sone)。	噤	sone
响 度 级	L _L	等响的1000赫纯音的声压级(参阅ISO/R226—1961(E)等响曲线)。	分贝	phon
速 度 级	L _v	声音的质点速度与基准质点速度的比值的常用对数(底是10)乘以20, 基准质点速度要说明。	分贝	dB
吻合效应	—	当受迫弯曲波速度与自由弯曲波速度相吻合时的效应。此时, 其传声阻力近于零。	—	—
自由声场 (消声室)	—	声音可向任何方向无反射地自由传播的区域, 叫自由声场。在室内能具有这种条件的房间, 叫消声室(当然还要考虑到环境因素, 如隔声、隔振等条件)。在消声室内测定产品的声压级(或声级)、声指向性等。	—	—
混响声场 (混响室)	—	对稳态声能形成多次反射迭加的声场, 以混响时间表示。在室内能具有相当混响时间(包括对环境干扰声和环境振动的隔离等条件)的房间, 叫混响室。在混响室内测定产品的声功率级。	—	—
混响时间	T	稳态声停止后, 平均声能密度自原始值衰减至百万分之一(60dB)所需的时间。	秒	S
振 动	—	物体相对于某一基准位置的振荡现象。	—	—
稳态振动	—	系统中所有质点的运动参数是一个周期量的振动。	—	—
随机振动	—	在任何未来时刻, 瞬时值不能预定的持续振动。	—	—
平稳随机振动	—	统计测量特性与时间无关的随机振动。	—	—
共 振	—	干扰力频率和弹性系统固有频率相等时的振动。	—	—
固有频率	f	由系统本身质量和刚度所决定的频率。 n 自由度系统有 n 个频率。按大小次序排列, 最低的称为第一固有频率, 余类推。	赫(周/秒)	Hz(c/s)
临介转速	—	旋转系统共振的转速。	—	—
激 励	—	作用于系统, 激起系统出现某种响应的外力或其它输入。	—	—
响 应	—	系统对激励的反应。	—	—
频率响应	—	系统或测振仪表, 受到某一频率或某一定范围的频率的激励时所引起的反应, 即表示为输入信号频率之函数的输出信号, 常表示成增益曲线。	—	—
静 刚 度	—	产生单位位移所需的静作用力。	—	—
动 刚 度	—	在某特定变形速度下, 产生单位位移所需的动作用力。	—	—
振动强度	P _a	以公式表示: $P_a = 10 \log \frac{S}{S_0}$	哈	pal
振动衰减量	ΔL	以公式表示: $\Delta L = 20 \log \left(1 - \frac{f^2}{f_0^2} \right)$	分贝	dB
振动传递率	T	以公式表示: $T = \left(1 / \frac{f^2}{f_0^2} - 1 \right) \times 100$		%
振动减少率	A	以公式表示: $A = 100 - T$ 上式中: S —作用强度(kg/m ²) S_0 —感觉阈上强度, 等于0.312 kg/m ² f —干扰(或作用)频率(Hz或rpm) f_0 —机组自然频率(Hz或rpm) $f/f_0 = 3 \sim 5$, 工程上常用值		%

二、图示与计算

1. 表达电机噪声的物理量通常用噪声级、频带声压级或声功率级。表达环境噪声的物理量, 根据对象和需要, 通常用噪声级(或声压级)、响度级、语言干扰级、噪声评价数、感觉噪声级、清晰度……等。其相互关系, 可由测量得的噪声级、声压级换算比较而得。

上述均系对空气中噪声及对人耳听觉特性而言。

表达振动的物理量通常用振幅、速度或加速度。在某种情况下, 也可看成是噪声的描述量, 采用通常规定的基准量, 以分贝表示。

2. 声 谱

在一定宽度的频带内, 把声音的各部份幅值按频率连续排列组成的图, 叫连续声谱。是由各频率分立不连续的分波组成的叫线状声谱。一般电机声谱是连续的, 如图1所示。

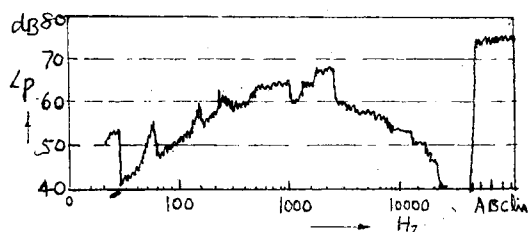


图1 JO2-52-2电动机空载运行时的声谱(采用滑动轴承、 $\phi 195\text{ mm}$ 叶片 8片均布带导风圈式等截面风扇)。

3. 计权曲线“A”“B”“C”及线性“lin”的相对频率特性

国产声级计的计权曲线“A”“B”“C”及线性“lin”的相对频率特性与国际电工委员会IEC标准基本一致, 如图2及表1所示。

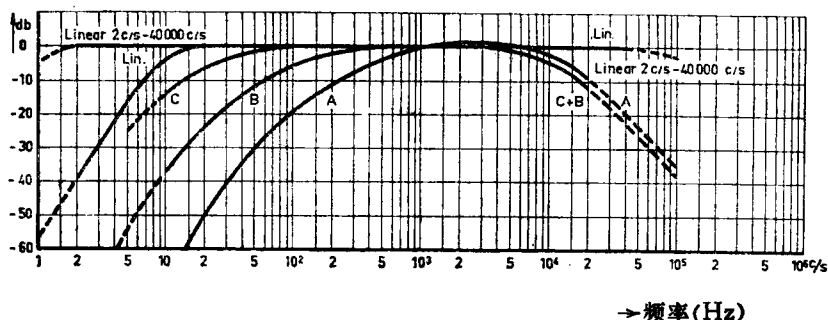


图2 IEC标准计权曲线“A”“B”“C”及“lin”(线性)的相对频率特性

表 1

频率 Hz(c/s)		10	20	40	80	160	315	630	1000	2000	4000	8000	12500	20000
曲线	A	-70.5	-50.4	-34.6	-22.4	-13.3	-6.6	-1.9	0	+1.2	+1.6	-1.1	-4.4	-9.2 dB
	B	-38.5	-24.4	-14.3	-7.4	-3.0	-0.9	-0.1	0	-0.1	-0.7	-2.9	-6.0	-11.0 dB
	C	-15.5	-6.3	-2.0	-0.5	-0.1	0	0	0	-0.2	-0.8	-3.0	-6.2	-11.1 dB
容差	精密声级计	+5 -∞	+5 -5	+3 -3	+2 -2	+1 -1	+1 -1	+1 -1	+1 -1	+1 -1	+1 -1	+1.5 -1.5	+3 -3	+3 -6 dB
	普通声级计	+5 -∞	+5 -∞	+4.5 -4.5	+3.5 -3.5	+3 -3	+3 -3	+3 -3	+2 -2	+3 -3	+5.5 -4	+6 -6	+6 -∞	+6 -∞ dB

4. 等响曲线

由典型的听者认为, 响度相同的纯音的自由场声压级与频率的关系曲线, 叫等响曲线。其基准频率为1000HZ, 基准声压为 $2 \times 10^{-5} \text{N/m}^2$ 时的声压级, 即为响度级, 单位为“昉”(Phon), 请参阅国际ISO/R226—1961/(E)标准

5. 主要公式计算及其图表

(1) 补充代号及说明:

I : 声强 ρ : 媒质密度 c : 声波在媒质中的速度
 I_{av} : 平均声强 ρc : 媒质特性阻抗 r : 距离声源的半径
 P_0 : 固定距离 r 和其特定方向上的有效声压
 P_{av} : 与 P_0 相同距离 r 处, 声源的所有方向的平均声压值
 L_0 : 对应于 P_0 的声压级 Q : 指向性因素
 L_{av} : 对应于 P_{av} 的声压级 G : 指向性增益
 u : 波的有效质点速度

(2) 计算公式图表:

现代噪声测量仪中的传声器, 大多是响应于声压的, 由测出的声压级, 可换算出多种数据。

假定是在自由声场条件中, 则:

$$I = uP \quad (W/m^2) \quad (1)$$

对平面声波和球面声波, P 以 N/m^2 为单位, 则:

$$\because u = P/\rho c \quad (m/s) \quad (2)$$

$$\therefore I = P^2/\rho c \quad (W/m^2) \quad (3.1)$$

当声压用微巴($1 \mu bar = 0.1 N/m^2$)作单位时, 上式为:

$$I = P^2/100\rho c \quad (W/m^2) \quad (3.2)$$

①. 在自由声场中, 对无指向性点声源:

$$I_{av} = W/4\pi r^2 \quad (W/m^2) \quad (3.3)$$

相应于 I_{av} 的平均平方声压为 P_{av}^2 , 则声功率为:

$$W = 4\pi r^2 P_{av}^2/\rho c \quad (W) \quad (4.1)$$

(4.1)式中, 用 cgs 制单位, 即 $W(erg/s)$ 、 $r(m)$ 、 $P_{av}(\mu bar)$ 、计算式仍然正确。若其它都用 mks 制, 只 P_{av} 用 μbar , 则为:

$$\begin{aligned} W &= 4\pi r^2 P_{av}^2/100\rho c \\ &= 30.9 \times 10^{-5} r^2 P_{av}^2 \quad (W) \end{aligned} \quad (4.2)$$

式中: $\rho c = 408 rayl$ (瑞利) 是假定在 $1bar$ 大气压和 $20^\circ C$ 温度下, 一般计算均采用此值, 在气压和温度变化较大时, 查图3可得。

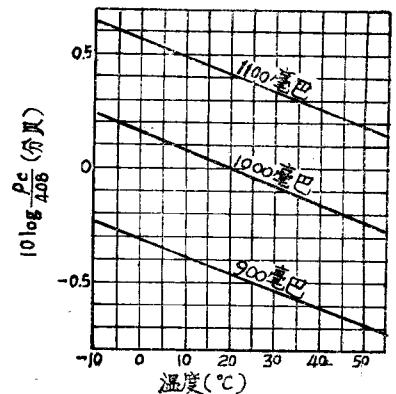


图3 不同的大气压下, $10 \log (\rho c / 408)$ 与温度的关系

对电机的噪声测试, 大多碰到的是在反射面上的自由声场环境中, 即电机安装在反射面(地板)上, 则相应公式:

$$I_{av} = W / 2 \pi r^2 \quad (W/m^2) \quad (5.1)$$

相应(4.2)式有:

$$W = 2 \pi r^2 P_{av}^2 / 100 \rho c \quad (W) \quad (5.2)$$

②. 在自由声场中, 对有指向性声源:

$$\therefore Q = P_Q^2 / P_{av}^2 \quad (6)$$

$$\therefore P_Q = \left(\frac{\rho c Q W}{4 \pi r^2} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (N/m^2) \quad (7.1)$$

若 P_Q 用 μbar 、 W 用 m 、 r 用 m 、取 $\rho c = 408 rayl$ 则:

$$P_Q = \frac{57(QW)^{\frac{1}{2}}}{r} \quad (\mu bar) \quad (7.2)$$

被试产品置于试验转台上, 利用能自动记录的声学仪器, 可以在以极座标(或其它形式)的记录纸上描绘出距离被试产品 r 处某平面的声幅射特性, 即指向性图案。

指向性增益为:

$$G = 10 \log Q \quad (dB) \quad (8.1)$$

$$\text{即:} \quad G = L_Q - L_{av} \quad (dB) \quad (8.2)$$

L_Q 与 P_Q 、 L_{av} 与 P_{av} 的关系, 可查图4得

在指向性增益为 G 的方向上, r 处的声压级为:

$$L_P = L_W + G - 20 \log \frac{r}{r_0} + 10 \log \frac{\rho c}{408} - 10.9 \quad (dB) \quad (9.1)$$

(9.1)式中, 若 $r_0 = 1m$ 、 $P_0 = 2 \times 10^{-5} N/m^2$ 、 $W_0 = 10^{-12} W$ 、 $10 \log \frac{\rho c}{408}$ 查图4, r 的单位用 m , 常数项即为10.9, 若用 cgs 制, 则常数项为+29.1。

若 L_P 是基于按所有方向的均方声压算出的声压级 $\bar{L}_P$, 则 $G=1$, 并且若 $\rho c = 408(mkgs) rayl$, r 单位用 m , 则(9.1)式为:

$$\bar{L}_P = L_W - 20 \log r - 10.9 \quad (dB) \quad (9.2)$$

$\bar{L}_P$ 的计算方法有二种: 平均平方法和级合成法。

级合成法见图5

上述(6)~(9.2)式是对自由声场而言, 若声源是在反射面(地板)上成半球面向外发射声的环境中, 对应于 L_W 的 $\bar{L}_P$ 或 L_P 就要增高3分贝。

倍频程带声压级计算响度的一个方法: 等响噪声法。

两频率之比 $f_2/f_1 = 2x$, f_2 为频带上限, f_1 为频带下限。

当 $x=1$ 时叫倍频程带

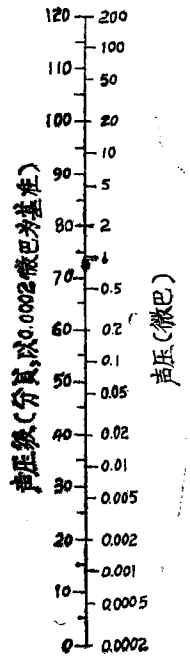


图4 声压与声压级的关系

$\alpha = \frac{1}{2}$ 时叫 $\frac{1}{2}$ 倍频程带

以下类推，计算方法见图6~7。

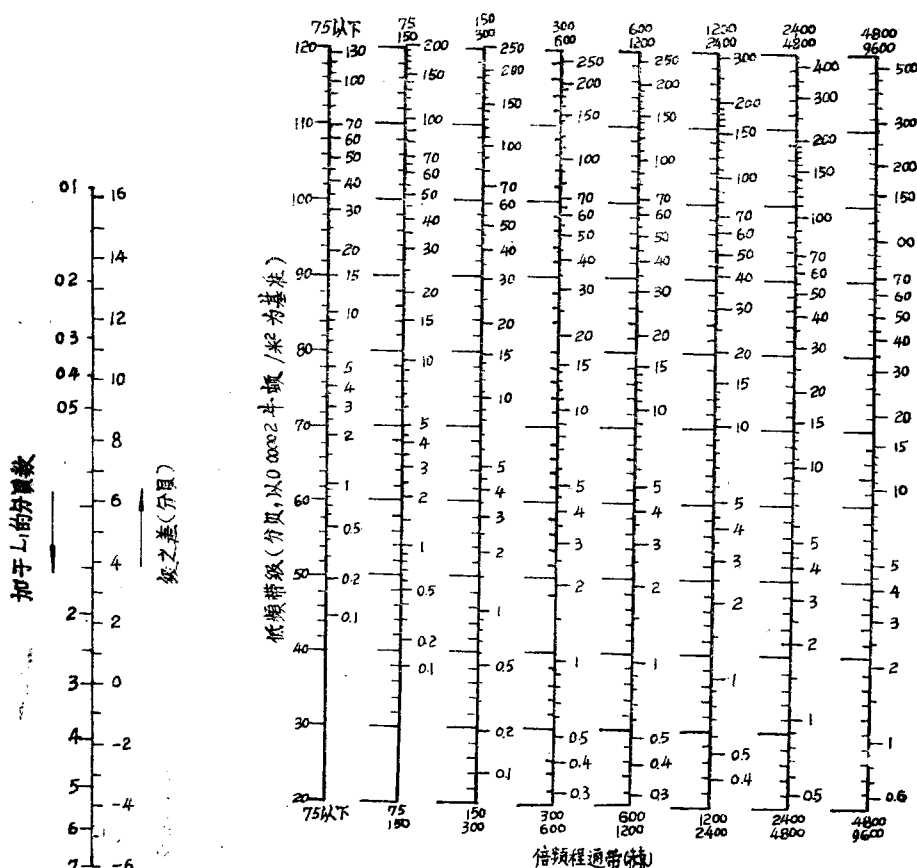


图5 计算合成声压级时用的图表(左边标度表示加在声压级 L_1 上的分贝数 A , 右边标度为 $L_1 - L_2$ 的算术差值, 由此差值对应求出的 A 值加在 L_1 上, 即得 L_1 和 L_2 合成的声压级)。

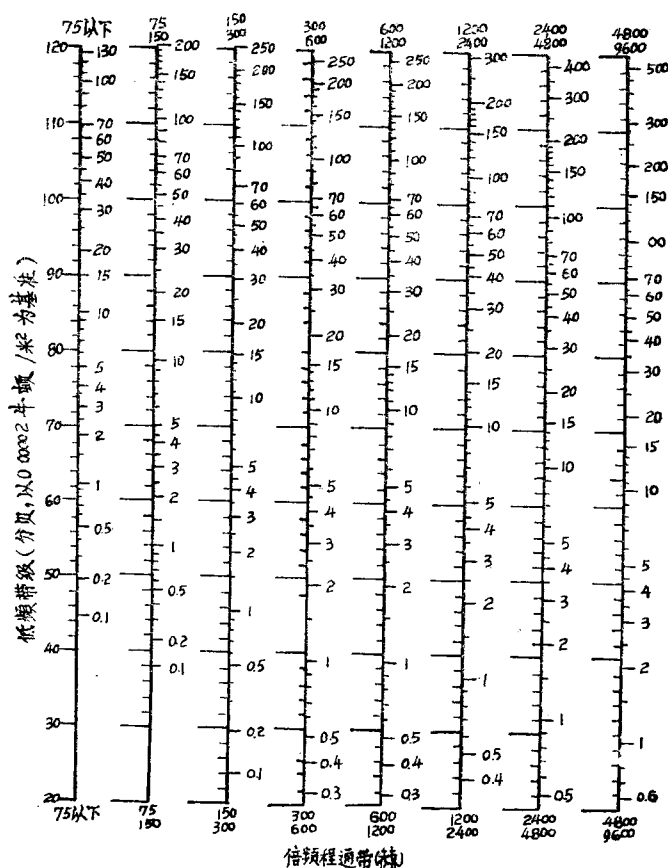


图6 用等响噪声法计算响度时用的列线图, 每一倍频带中的响度可由该相应的列线图决定, 除最响者外, 其他数值均乘以修正因数 0.3; 最响频带的响度值的修正因数是 1.0, 然后把乘过修正因数的各频带响度值相加, 即可算得总响度

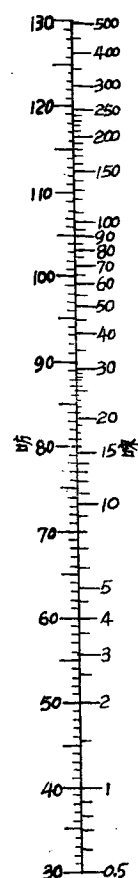


图7 按(10)式算出的响度(噪)和响度级(分)间对应关系的列线图

响度(L)与响度级(L_L)的关系式:

$$\log_{10} L = 0.03 L_L - 1.2 \quad (10)$$

波长是重要的声学参量, 在确定测试方法及噪声控制技术中常要考虑它, 其波长与频率的关系($\lambda = \frac{c}{f}$)可查图8。

典型的声压、声级的尺度概念, 如表2。

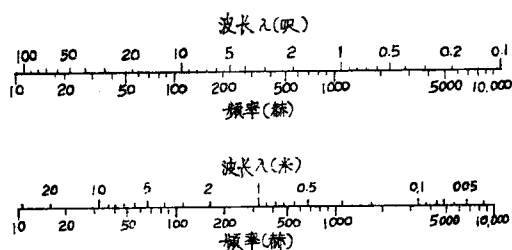


图 8 在普通条件下，空气中波长与频率的关系

表 2

声压 (μbar)	声级 (dB)	发 声 情 况
100	134	140 不能忍受的刺耳声，喷气式飞机 ($m = 5m$)
	114	130 汽笛声、低音鼓距离 1 米处 (峰值)
	94	120 响的汽车喇叭声 (在 1m 处)
10	74	110 飞机声 (DC ₆) 地下铁道特别快车站
1	54	100 普通发电站及通风机房内声，自动车床 (距 1m)
0.1	34	90 公共汽车内，汽车 64 公里/小时 (内部)
0.01	14	80 在一般交通情况下的街头上，一般工厂
0.001	0	70 对话 (1m)
0.002		60 大百货店、典型办公室内
		50 有收音机的住宅内
		40 图书馆内
		30 在夜间卧室内，无收音机的住宅
		20 广播室内
		10 开始可听见的极微声
		0

主要参考书：

噪声控制大全 (第一分册) C.M. 哈里斯编 吕如榆等人译

(张德兴编)

$$K: \frac{1}{\delta \pi \times 981} \times 10^{-3}$$

ϵ : 偏心率 (平均气隙 Δ 与 δ 之比)

O, O' : 定子及转子的中心

$P_1 \sim P_4$: 各极的中心

P : 距最小气隙 Δ_m 为 θ 之点

D : 气隙平均直径

L : 转子长度

M : 最小气隙点

图 3 为如此求得的动刚性特性曲线, 第一个谐振峰为 $M = 1$ 形式的振动, 若改变转子轴径, 其频率则随之改变, 和后述的转子固有振动频率的计算值基本一致等, 可知它是转子及支撑系的谐振点。第二个谐振峰为 $M = 2$ 形式的振动, 若改变定子刚性, 其频率则随之改变、和后述的固有振动频率计算值基本一致等, 可知它是定子及支撑系的谐振点。

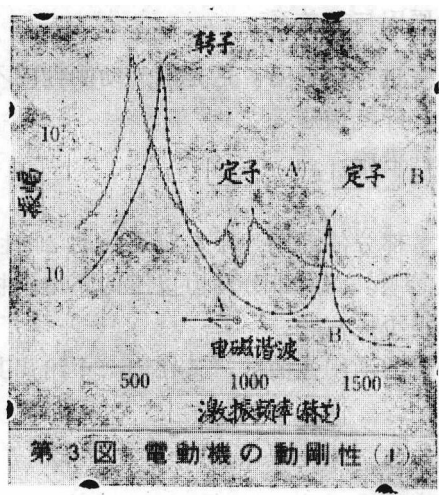


图 3 电动机的动刚性 (1)
注: 有⊙记号者占优态。

关于机械噪声端盖轴向的动刚性, 如图 4 所示, 在端盖的中心部份, 外加变频的激振力测其端盖的振动而求得。图 5 给出按此方法测得的三种端盖的轴向动刚性。

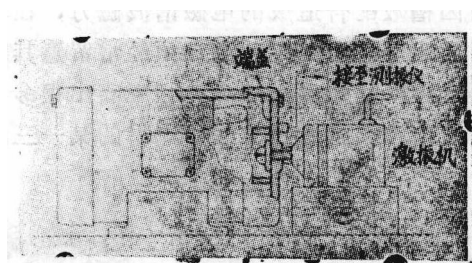


图 4 端盖的激振法

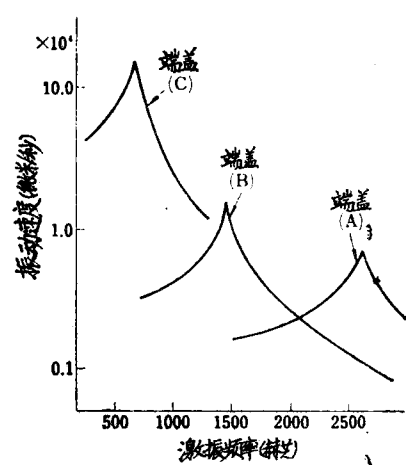


图 5 端盖的动刚性

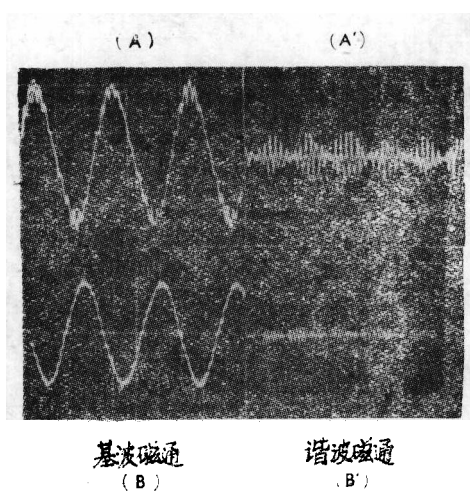


图 6 电磁谐波

2. 电磁谐波磁力的测试方法及激振力模数的计算

作用于上述电磁噪声振动系的激振源,是产生于气隙之间的电磁谐波磁力引起的。这一磁力如一般所知,因受到槽数组合,转子槽斜角以及槽形状等各种因素的影响,还不能正确计算。而本公司采取下述的实测方法和激振力的模数计算,对这一电磁谐波磁力进行了分析。

(1) 电磁谐波磁力的测试方法

在定子端部齿上装以霍尔元件,通以规定的控制电流测其输出,以分析电磁谐波磁力。图6给出测得的结果。(A)和(B)给出不同槽数组合的波谱,带'记号为电磁谐波波形,无'记号为基波磁通波形。

(2) 电磁谐波频率及激振力波次数

当分析电动机噪声激振源的电磁谐波磁力时,不仅要了解其频率,并且要研究其中占优势的因素,及其力波次数,才能判断使各部分的固有振动频率必须避开的最占优势的电磁谐波磁力。

二、各种电动机噪声的分析、及其抑制措施、原因与其关系

电动机按其品种、尺寸的不同,产生噪声的形态也有所不同。这是因为动刚性的不同所造成的,所以不同的品种有不同的噪声产生倾向及其降低措施。

1. 不同品种的电机噪声产生形式及具体的降低措施

(1) 定子的动刚性存在问题时

对因槽数配合造成的电磁谐波磁力,在电动机各部分的动刚性中,定子的动刚性最关键,对超出一马力的电动机必须经常留意其动刚性问题。而对于分马力以下的小电动机,其固有振动频率比电磁谐波磁力频率高出很多,所以很少成问题。

图3给出采用上述方法所测得的某一三相电动机的动刚性曲线,又在图7中给出其噪声分析。

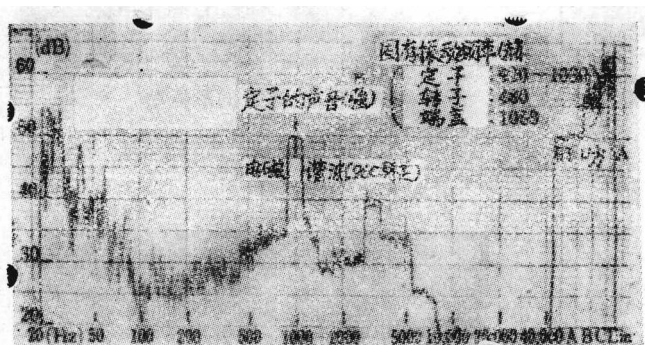


图7 噪声分析(1)

开启式3.7千瓦4极〔定子(A)槽配合(A)〕200伏60赫反出线端一侧1米

注:带记号*强者,为强迫振动频率成分

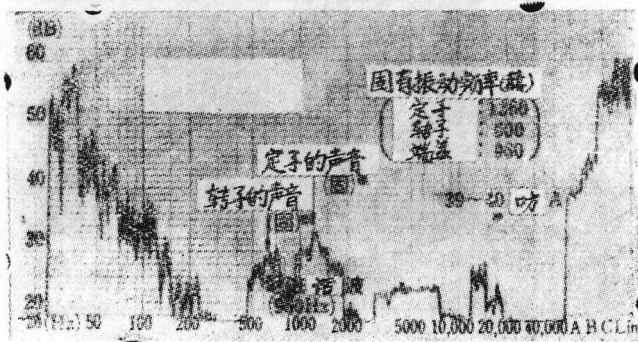


图8 噪声分析(2)

开启式3.7千瓦4极〔定子(B)槽配合(A)〕200伏60赫反出线端一侧1米

注:带记号*固者为固有振动频率成分

声压峰值是960赫电磁谐波磁力激振所造成的定子振动噪声。这一噪声较大,是因为定子的动刚性弱、其谐振点接近该电磁谐波磁力的缘故。所以降低噪声的措施,是装上增加动刚性的定子(B)来避开该电磁谐波磁力范围,或者定子不变,使其频率远离定子的谐振点,并且采取磁力较小的如图6所示的槽数配合(B)。

图8是采用前一方法的,图9是采用后一方法的,各给出降低噪声的频谱。

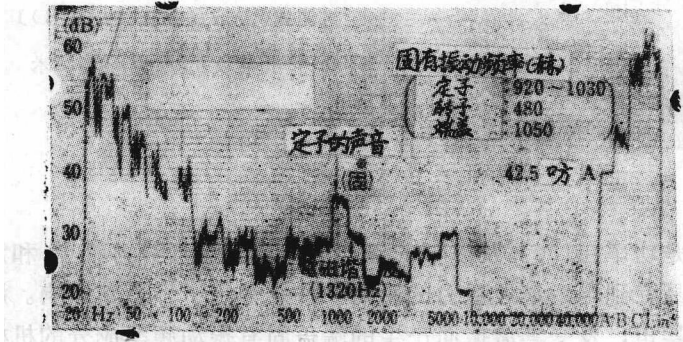


图9 噪声分析(3)
开启式3.7千瓦4极〔定子(A)槽配合(B)〕200伏60赫反出线端一侧1米
注:带记号*固者为固有振动频率成分

(2) 转子的动刚性存在问题时

对分马力的电动机,则转子的动刚性是噪声的关键因素。一般来讲,电动机尺寸规格愈小,其各部分的固有振动频率愈高,而分马力电动机的转子固有振动频率,往往达到由于槽配合造成的电磁谐波频率范围。因此,转子的电磁谐波成分就常常是噪声的主要成分。

一般来讲,定子的固有振动频率超出转子的固有振动频率二倍时,它超出一次电磁谐波频率范围,其电磁谐波成分较小,所以不影响噪声级。

下面给出转子的电磁谐波成分为噪声主要成分的示例。

图10给出装有转子(A)的某一分马力三相电动机的动刚性,其噪声分析在图11。540赫电磁谐波磁力占优势,因为和转子谐振点接近,所以转子的电磁谐波成分是噪声的主要成分。降低噪声的措施是增加转子曲向的动刚性来避开电磁谐波磁力范围,或者采取改变槽配合,变其斜角等等来减少电磁谐波磁力,图12即采取提高转子的刚性来大幅度降低噪声的测试结果。

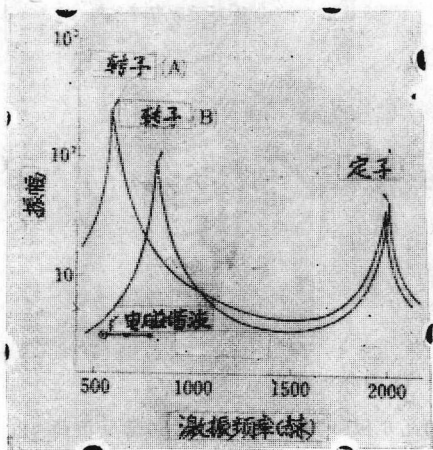


图10 电动机的动刚性(2)
注:有⊙记者号占优势

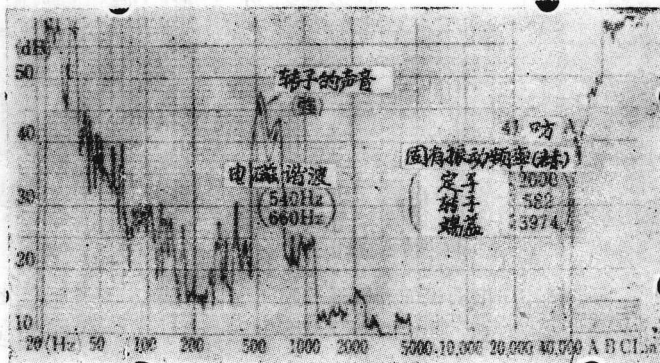


图11 噪声分析(4) 封闭式0.2千瓦8极〔转子(A)〕200伏60赫反出线端一侧0.5米

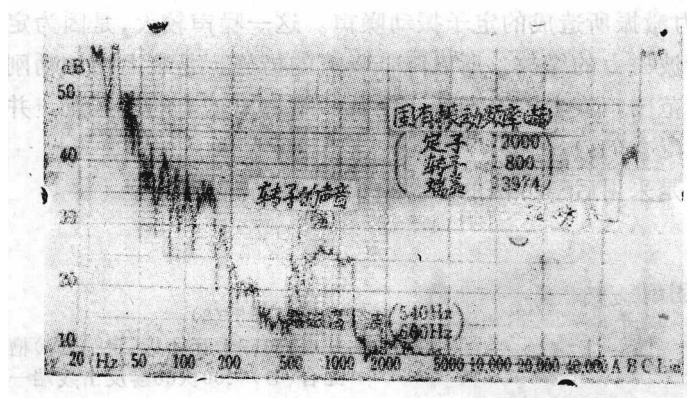


图12 噪声分析(5)

封闭式0.2千瓦 8极〔转子(B)〕
200伏60赫反出线端一侧0.5米

(3) 端盖的动刚性存在问题时

即使在分马力电动机中，特别是功率在100瓦及以下的电动机，由于电气势力较弱和定子及转子的固有频率更高等，就不易受到电磁谐波磁力的影响。特别是定子不受其影响。所以电磁噪声所占比例较小，而轴承噪声，及受其激振而产生的端盖固有振动频率成分的机械噪声，占主要成分。端盖的轴向动刚性，在这种噪声较显著的小型电动机上是个关键因素。

图13给出的动刚性曲线是在分马力小功率轴端伸出较长的单相电动机上取得的，其端盖是图5中中等刚性的端盖(B)，图14给出它的噪声分析。未产生电磁谐波成分，是因为如前所述的使电动机各部分的固有振动频率远离了电磁谐波磁力范围。特别是定子刚性较强，故与噪声无关。还稍含有由后述理由所产生的转子固有振动频率成分，但噪声的主要成分基本上是上述原因所产生的机械噪声，所以降低噪声的措施是增加端盖轴向的动刚性。

图15是装上图5内轴向刚性较强的端盖(A)的电动机上取得的，噪声大幅度降低了。而相反，图16是由装上图5内轴向动刚性特小的端盖(C)的电动机上取得的，轴承噪声显著增加。图5给出这些端盖的轴向动刚性特性曲线。可知其动刚性的谐振点和噪声级之间有密切关系。

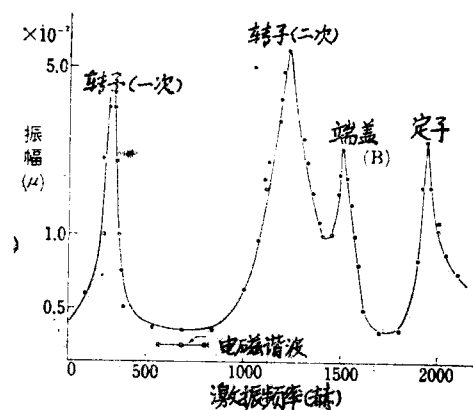


图13 电动机的动刚性(3)

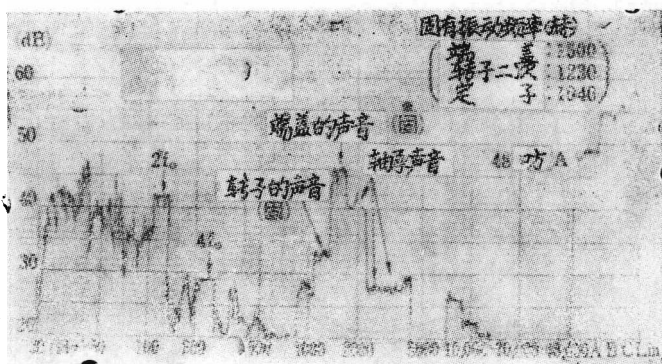


图14 噪声分析(6)

单相封闭式100瓦 6极〔端盖(B)〕100伏60赫反负荷
一侧0.1米

注：带记号*固者为固有振动频率成分

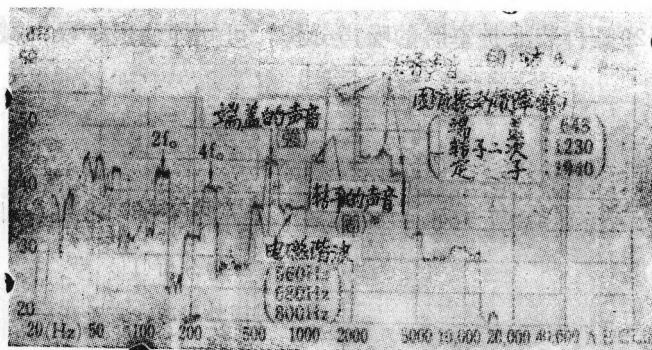


图15 噪声分析(7)

单相封闭式100瓦6极〔端盖(A)〕

100伏60赫反负荷一侧0.1米

注：带记号*固者为固有振动频率成分

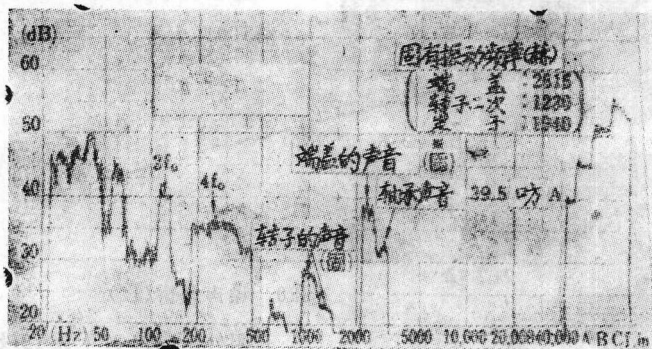


图16 噪声分析(8)

单相封闭式100瓦6极〔端盖(C)〕

100伏60赫反负荷一侧0.1米

注：带记号*固者为固有振动频率成分

(4) 罩盖之类受到定子激振时

电动机装有户外护罩和风扇罩时，它们受到激振就往往扩大了噪声。图17给出电动机无护罩及槽配合为(A)时的噪声分析，而装上户外护罩时，如图18给出，其噪声增加17分贝，这是受到定子振动的激振引起的。降低噪声的措施是增加护罩的动刚性，或者减小定子的振动。

图19给出由原(A)槽数配合现改为(B)槽配合，并将上述激振力的模数M从4改为

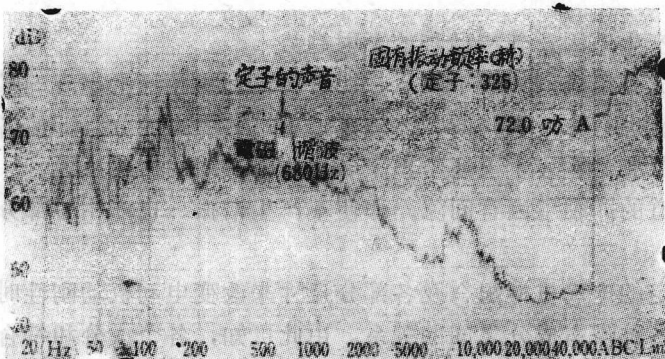


图17 噪声分析(9)

封闭外扇冷式37千瓦12极〔槽配合(A)〕(不装户外护罩)480伏60赫100% 1米

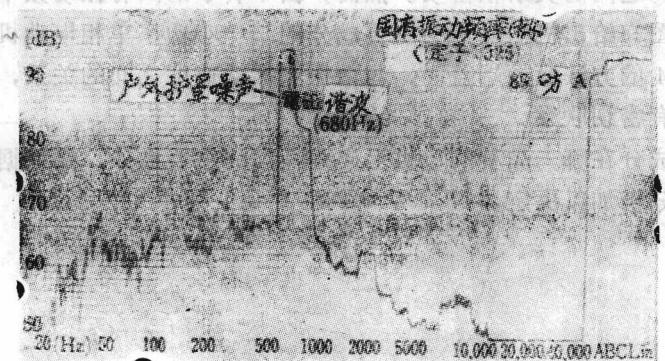


图18 噪声分析(10)

封闭外扇冷式37千瓦12极〔槽配合(A)〕(装户外护罩)480伏60赫100% 1米

6，这时定子的噪声稍有减少，图20是再装上护罩时的噪声分析，可知即使定子噪声减少不多，而护罩噪声减少显著。

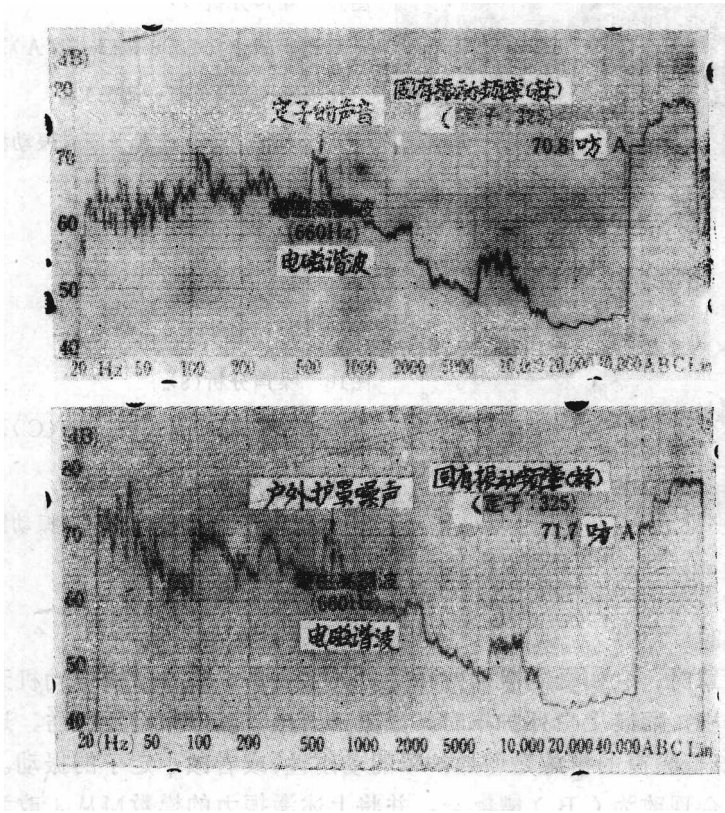


图19 噪声分析(11)
封闭外扇冷式37千瓦12极〔槽配合(B)〕(不装户外护罩)480伏60赫100% 1米

图20 噪声分析(12)
封闭外扇冷式 37千瓦 12极〔槽配合(B)〕(装户外护罩)480伏60赫100% 1米

2. 电动机各种噪声成分的产生原因及其按品种的不同趋势

电动机的噪声级由各种噪声成分组成。如表 1 所示，把各种电动机频谱上出现的噪声成分，按电磁谐波磁力及动刚性特性进行分析和判断，才确定了有这些噪声成分。即使各成分之间稍有噪声级之差任何电动机都有，在表 1 上还给出了各成分的不同的产生原因。

值得强调的是，一般所不知道的即轴承因有间隙，即使不产生谐振，也产生各部分的固有振动频率。

图21~23给出，改变某一特定的电动机槽配合及各部分尺寸来改变电动机动刚性时，与标准电动机相比的振动速度比与各种噪声成分之间的关系。由此可知，各个成分和符合表 1 示出的产生原因的振动速度与噪声之间的关系很密切。然而，由于转子的固有振动频率成分不稳定，未能获得良好的关系。图24给出机械噪声为主要成分的某一小功率单相电动机装上各种端盖时的轴向噪声，和按图 4 的方法激振端盖时，与谐振点振动速度之间的关系，由此可知端盖动刚性和机械噪声之间有密切联系。

从上述措施可知，那种噪声成分在哪一品种的电机上应是噪声的主要成分，要根据外来激振力和电动机固有的动刚性来分析加以决定。

表 1 电动机的噪声成分

类别	噪 声 成 分	产 生 原 因	按电机品种不同，其产生噪声的趋势
电 磁 噪 声	电磁谐波成分（按不同的槽配合）	定子、转子或偶而由端盖的固有振动频率接近电磁谐波频率时，受到激振而产生。	中等功率以上者：定子噪声；分马力以下者：转子噪声；端盖噪声是不易产生的，而轴向刚性特弱，并且接近谐波状态时也产生噪声。
	定子及转子的固有振动频率成分	因轴承间隙。主要是主磁通力波（ $2f_0$ ）冲击作用于转子。	特别是多极电机，因为主磁通较大，两者均经常产生。这种噪声成分大。
	影响转子的电源整数倍成分	因主磁通畸变，产生电源频率的整数倍频率电磁力波，使之激振。	功率较大的电机，因为转子固有振动频率低，进入 $6、10f_0$ 的范围就产生噪声。
机 械 噪 声	轴承噪声	因轴旋转，使轴承产生 $1 \sim 20$ 千赫广泛频率的噪声，再由端盖而放大。	100 瓦以下的电机，无论哪个品种都产生噪声，因电磁噪声小，所以轴承噪声就显得大。
	端盖的固有振动频率成分	受轴承激振而产生，端盖轴向刚性越小，此噪声越大。	100 瓦以下的电机，无论哪个品种都产生噪声，因电磁噪声小，所以端盖噪声就显得大。
	通风噪声	风扇旋转，使之产生空气的压力冲击，不一定是 $ZN/60$ 的频率。	小型 4 极电机噪声级较低，并不烦噪，即不成问题。外扇式 2 极电机大于 3.7 千瓦者、4 极电机大于 5.5 千瓦者、6 极电机大于 15 千瓦者、通风噪声就成问题。

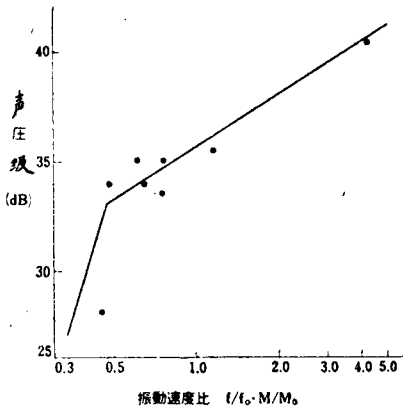


图21 定子的振动速度和噪声级
(电磁谐波成分)

f/f_0 ：电磁谐波磁力之比
 M/M_0 ：在电磁谐波频率下的迁移率之比
 $f_0、M_0$ ：标准电动机的数值

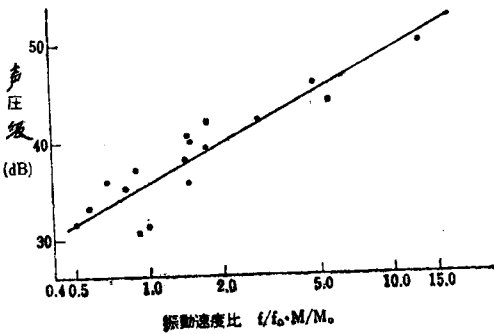


图22 转子的振动速度和噪声级
(电磁谐波成分)

f/f_0 ：电磁谐波磁力之比
 M/M_0 ：在电磁谐波频率下的迁移率之比
 $f_0、M_0$ ：标准电动机的数值

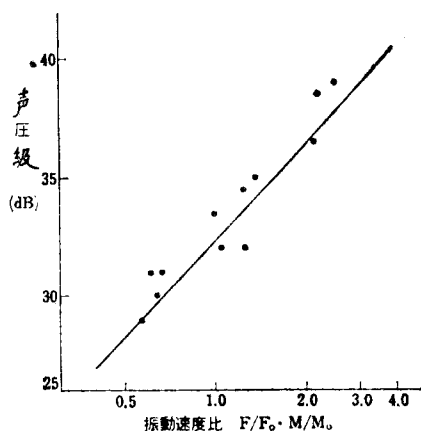


图23 定子的振动速度和噪声级
(固有振动频率成分)

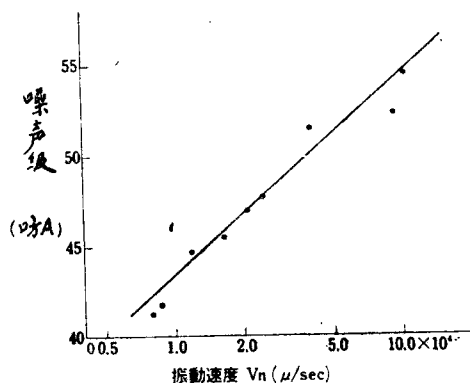


图24 端盖的振动速度和噪声级

F/F_0 : 主磁通量之比

M/M_0 : 在固有振动频率下的迁移率之比

F_0, M_0 : 标准电动机的数值

三、电动机各部分固有振动频率的计算

采用上述实测方法求得电动机的动刚性, 再用计算加以证实, 或者在设计阶段为了推测判断。重要的是以计算方法求得各个振动系的固有振动频率。

一般所知的公式, 是实际计算电动机各部分固有振动频率的基础公式, 而必须经过各种考虑求得修正的公式。下面叙述本公司采用的计算方法及公式。

1. 定子固有振动频率的计算方法

定子固有振动频率的基础公式, 是从拉古兰捷的运动方程求得轭部所构成的环面固有振动频率公式(11)。

$$f_v = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{M(M^2 - 1)}{\sqrt{M^2 + 1}} \cdot \sqrt{\frac{EI_g}{\delta A r_m^2}} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{M(M^2 - 1)}{\sqrt{M^2 + 1}} \cdot \sqrt{\frac{E_g}{12\delta}} \cdot \frac{h}{r_m^2} \quad (11)$$

式中: E : 材料的杨氏系数(公斤/厘米²)

I : 垂直于环面的主轴横截面惯性力矩(厘米⁴)

δ : 轭部的单位体积重量(公斤/厘米³)

A : 轭部环面的单位长度面积(厘米²)

M : 振动模数

h : 轭部厚度(厘米)

r_m : 轭部的平均半径(厘米)

装有线圈的定子铁芯固有振动频率 f_0 , 采用(12)式, 它是对(11)式做了齿部及导体重量部分的修正之后所得。

$$f_0 = f_v \cdot \sqrt{\frac{W_v}{W_v + W_t}} \quad (12)$$

式中: W_v : 轭部重量(公斤)

W_t : 齿部和导体重量的总合(公斤)