轧钢厂大型电机的振动测量及其减振措施

力学所十二室振动组

一、前言

1966年哈尔滨电机厂为轧钢厂生产四台大型交直流发电机组，转速为500转/分，分别安装在各个钢铁公司的轧钢厂。运行到现在，在小负荷轧钢时，这四台机组运行正常，但当负荷加大时，直流发电机定子壳体发生较大的径向振动，每轧一次钢，振动持续2至4秒钟，电刷打火严重，轧钢负荷电流不得不因此而下降，例如在某钢厂的轧钢负荷电流从12000安培下降到9000安培，严重影响了轧钢产量，因此有必要消除或减小这种振动。

二、大型电机定子壳体的振动及减振措施

为了解决这个问题，我们深入现场，和工人师傅，技术人员一道进行测试工作。现将测试结果列于表一。

在不轧钢时，机壳的振幅很小，属于正常情况，当轧钢负荷加大到一定程度时，定子壳体发生强烈振动，振动波形较纯，频率为33赫芝左右，轧钢负荷越大，振动也越大。

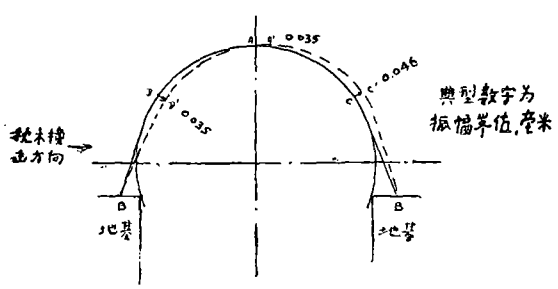


图1　发电机定子壳体振型

发电机定子壳体分上下两半，下半部振动不大，上半部振幅较大（见表一）其振型见图一，上半部定子壳体以横向振动为主，顶部A点以切向振动为主，底部B点基本不动，最大振幅出现在45°处C和D点的位置上。

表一　大型电机定子壳体的振动

电机产地	哈尔滨电机Ⅰ	哈尔滨电机Ⅱ	哈尔滨电机Ⅲ	上海电机
无负荷时最大振幅（峰值毫米）	0.004	0.005	0.003	0.006
频率成分（赫芝）	以8.3为主叠加33	49	25	以8.3为主叠加33
轧钢时负荷电流（安培）	12000	6000		
最大振幅（峰值毫米）	0.066	0.046	0.030	0.012
频率（赫芝）	33	33	33	33
上半部定子壳体的固有频率（赫芝）	35.6（加固后）	35.2—36.0	33.3	36.6
定子壳体厚度（毫米）		38	36	

用枕木从水平方向撞击定子壳，由记录下来的自由衰减振动曲线，可算出壳体的固有频率。

由于电机定子壳体强烈振动的频率保持不变，并已测出其振型，故有可能采用动力吸振器来抵消一部分干扰力，以减小壳体的振动。

三、动力吸振器的原理及其结构

我们可以把定子壳体的振动情况抽象为一个单自由度体系，用刚度K和质量M来表示，如图二所示。设干扰力为$P=P_0\sin\omega t$，其中$\omega=2\pi f$，若f与定子壳体的固有频率f_{n1}接近或相等，如果壳体阻尼很小，则系统将产生33赫芝的振动，这就是我们观察到

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的振动现象。

如果在定子壳体上加上动力吸振器，即加一弹簧k，和一质量m，那么这种情况就成为二个自由度体系的振动，如图三所示。该体系的运动方程为：

图2　定子壳体振动的模型

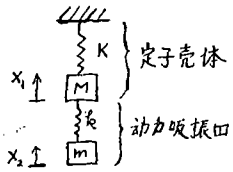


图3　动力吸振器

$$\left.\begin{aligned} M\ddot{x}_1 + Kx_1 + k(x_1 - x_2) &= P_0 \sin \omega t \\ m\ddot{x}_2 + k(x_2 - x_1) &= 0 \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

设$x_1 = X_1 \sin \omega t$　　$x_2 = X_2 \sin \omega t$　代入（1）解出得：

$$\frac{X_1}{X_0} = \frac{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_{n2}}\right)^2}{\left[1 + \frac{k}{K} - \left(\frac{\omega}{\omega_{n1}}\right)^2\right]\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_{n2}}\right)^2\right] - \frac{k}{K}} \quad (2)$$

$$\frac{X_2}{X_0} = \frac{1}{\left[1 + \frac{h}{K} - \left(\frac{\omega}{\omega_{n1}}\right)^2\right]\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_{n2}}\right)^2\right] - \frac{h}{K}}$$

其中　$X_0 = P_0/K$（静挠度）

$$\omega_{n1}^2 = \frac{K}{M} = (2\pi f_{n1})^2$$

（f_{n1}为定子壳体的固有频率）

$$\omega_{n2}^2 = \frac{k}{m} = (2\pi f_{n2})^2$$

（f_{n2}为动力吸振器的固有频率）

也可用图四和图五表示X_1和X_2。

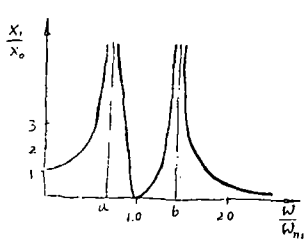


图4　主质量M的振幅

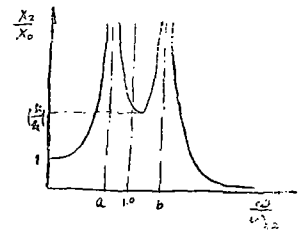


图5　动力吸振器质量m的振幅

从以上分析可以看出，当动力吸振器的固有频率和干扰力的频率一致时　即$\frac{\omega}{\omega_{n2}} = 1$，$X_1 = 0$

主质量M就不振了。此时动力吸振器质量m的振幅由公式（3）给出

$$\frac{X_2}{X_0} = -\frac{K}{k}$$

代入 $X_0 = \frac{P_0}{K}$ 可得

$$P_0 = -kX_2$$

即动力吸振器的弹簧力刚好与干扰力相等但方向相反。

在实际结构中，由于存在着阻尼，定子壳体加上动力吸振器后，振幅不会等于零。动力吸振器的阻尼愈小，定子壳体的减振效果愈好。

当公式（2）或（3）的分母项为零时可求得两个固有频率值a和b，见图四或图五。若$\omega_{n1} = \omega_{n2}$

$\frac{k}{m} = \frac{K}{M}$。分母项可简化得

$$\left(\frac{\omega}{\omega_{n1}}\right)^2 = \left(1 + \frac{\mu}{2}\right) \pm \sqrt{\mu + \frac{\mu^2}{4}} \quad (4)$$

其中 $\mu = \frac{m}{M}$ 即动力吸振器的质量m与主质量M之比。公式（4）可以图六表示。

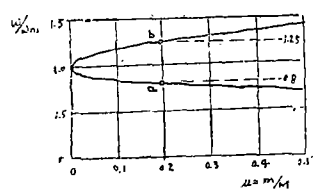


图6　动力吸振器质量m的影响

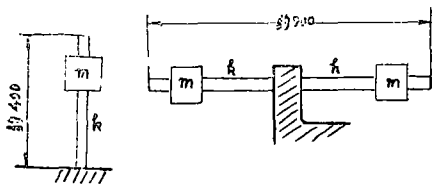
（a，b为有动力吸振器后的二个固有频率）

当m很小时，图四中a和b很靠近，动力吸振器起

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

减振作用的有效频带很窄。当m较大时，a和b相距较大，有效带宽可大些，因此，即使是干扰力频率略有微小波动，动力吸振器仍能起减振作用。

安装在包钢初轧厂的动力吸振器的结构是由一条M30螺杆和一块重30公斤的质量所组成，螺杆的一端固定在定子壳的压板上，有二种形式，见图七。



定子壳　　定子壳
单臂式　　双臂式

图7　包钢动力吸振器

k为M30螺杆（钢）

m各重30公斤

螺杆相当于动力吸振器的小弹簧k，30公斤的重块相当于质量m，调整重块m在螺杆上的位置，使动力吸振器的固有频率为33赫芝，这样就可收到减振的效果。

在包钢发电机定子壳体顶部A点（见图一）装1至2个单臂式动力吸振器，在C或D点安装1至2个双臂式动力吸振器。理论和实践都说明：当m加大后，减振效果较好。从表二中可看出：采用三个动力吸振器，即顶部安装一个单臂的，C和D点各装一个双臂式的，总重量为150公斤，定子壳体各点振幅下降1至2倍。如采用六个动力吸振器，即各点都装上两个，共重300公斤，此时定子壳体各点振幅下降2至4倍，其值小于0.015毫米，基本上满足了电机运行的要求。

表二　动力吸振器的减振效果

测量位置 \ 工作情况 振幅峰值（毫米）	未加吸振器	安装三个吸振器	安装六个吸振器
A切向	0.032	0.018	0.010
C径向	0.046	0.028	0.009
D径向	0.035	0.020	0.015

四　大型电机振动现象的分析

应用动力吸振器，取得了较好的减振效果，使振幅下降2至4倍，基本上满足了大电机运行的要求。可推广应用于同类型号的大电机上。但由于这是一种比较复杂的振动现象，电机与轧钢机电动机联结一起，组成一个机组振动，反映到发电机上振动很突出，对于33赫芝的振源还不清楚，为此我们将在几个钢厂的测试情况和观察到的主要现象提出来，这可能对今后更进一步解决这种振动有所帮助。

1.有两部电机转子中固定矽钢片的键，曾多处发生松动，这说明转子亦存在振动。

2.负载电流在轧钢机咬钢后，0.2--0.4秒钟内上升到规定电流值，但定子壳体要在咬钢后0.5～1秒钟后才出现33赫芝的振动，再过0.5～1秒钟后才达到较大的稳定振幅，当截断电流后，33赫芝振动开始衰减，这种现象说明振动并非由于咬钢时的冲击所引起的。

3.为了分析33赫芝振动和电机转速之间的关系，测试了电机轴承的振动，其频率为8.3赫芝，这正好是电机的转速，即8.3×60＝490转/分。而8.3×4＝33.2这正是机壳的振动频率。当截断电流，电机转速下降到停止。我们记录了定子壳体振动全过程。记录表明：当转速下降时，定子壳体的振动波形不变，而频率随转速下降而变小。因此有一种看法，认为振源是转子的机械振动引起的。

4.在首钢同类型的电机上，采取其他措施，如加固定子壳体，更换电刷，更换轧辊大轴等，也消除了剧烈振动。在不轧钢时，定子壳体的振动波形不再出现33赫芝的叠加波形，即使在大负荷电流下，偶尔出现这种波形，但振幅较小，不影响电机运行。

5.当定子壳体按装了动力吸振器后，振幅下降2～4倍，这说明电机内存在一个频率为33赫芝的干扰力，动力吸振器抵消了一部分干扰力，因此振幅下降。

本报告是根据下面四份工作报告编写而成的。

1.包钢4930瓩发电机测振结果，1974年7月，冶金部大电机调查组等。

2.包钢初轧厂1F发电机减振试验小结1975年1月，包钢等。

3.轧钢厂大型直流发电机的减振试验，1975年4月，力学所振动组。

4.轧钢厂大电机定子壳体的振动，1975年7月，力学所振动组。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net