
第六章 三相交流电动机——高压电动机

第一节 故障及检修

高压电动机的故障和检修方法与低压电动机基本相同，但也有它自己的特殊地方。

在一般情况下可分为局部修理和大修理两种。局部修理系指绝缘的局部补修和机械、电气零部件的修理与更换；大修理系指定子与转子的绕组重绕和机械、电气部分的大修理与更换。

一、定、转子绝缘老化的检查

判断一台故障电动机的绕组是否需要重绕，主要是正确地检查其绕组绝缘的老化程度。一般现场检查绝缘的老化程度，常用检查与试验的方法。

(一) 外观检查

用目测、手按和小木锤轻敲等方法，仔细检查绝缘是否变色、松脆而失去弹性，槽口及槽口附近（退出槽楔）是否有裂纹和机械损伤，通风沟处绝缘是否鼓胀，云母是否有分层等现象。如线圈的鼻部已损坏了，也可在此处解剖线圈绝缘，观察其内部结构有无老化（如分层、脱壳及胶合剂碳化等）现象，绝缘的机械强度是否降低。

(二) 电气试验

用交、直流耐压试验来直接衡量绝缘的电气强度，是现场经常使用的办法，对判定绝缘老化程度，比较有效。测量单个线圈的介质损失角正切值随电压变化的曲线，是判定线圈有否分层、脱壳、在线圈内部是否发生电晕的有效措施。

(三) 老化鉴定

通过以上检查与试验，对结果要进行综合分析：绝缘颜色无明显变化且有弹性，机械强度较高，并粘结成为一个整体，没有裂纹、破损、鼓胀、分层以及电腐蚀痕迹；在交、直流耐压试验时不被击穿，表面电晕部位无电腐蚀痕迹；直流耐压试验时的各级电压泄漏电流应不随电压的增高而急剧增大，并有明显的吸收与无放电现象；介质损失角正切值及其增量与本章第五节的试验标准相比增加不大，即介质损失角正切值随电压变化的曲线上升不显著，而且上升曲线与下降曲线相重合。这样，可以认为绝缘良好，反之绕组应该重绕。

二、定子的故障及检修

(一) 定子绕组接地、短路及断路的检修

高压电动机绕组的接地、短路和断路故障的检查方法与低压电动机完全相同。如果只有个别绕组发生接地、短路及断路故障，而其它绕组绝缘仍然完好时，往往采取局部修理

的方法。

1. 局部修补

绕组上层边发生接地、短路或断路故障时，可将电动机送入干燥室整体加热，或对故障线圈单独通电加热。退出槽楔，将故障线圈上层边抬出槽外，拆掉绝缘，按原绝缘结构重新包扎新绝缘，嵌入槽内，打入槽楔，并浇入绝缘漆，干燥后进行喷漆。

2. 替换法

将故障线圈取出，再嵌入一个相同的新的整线圈；或将故障线圈经过修理包扎新绝缘再嵌入槽内，并经浸漆、烘干。

在取出故障线圈与嵌入新线圈时，必须把一个跨距内的线圈全部吊把。所以要求旧线圈的端部有一定的柔软性（如为复合绝缘结构），吊把前线圈要加热，吊把中绝缘要保护好，线圈嵌完后对全部线圈应作工频耐压试验，以检查吊把线圈的绝缘是否受损伤。所以替换法一般只适用于故障发生在下层边绝缘状态比较好或者新制绕组在出厂试验时被击穿的电动机。

3. 跳接法

将故障线圈的引线断开，再将相邻线圈跳接起来，同时将线圈端部的A点截断，如图6-1-1所示，截断处要包扎绝缘。在绕组为多路并联或角形接线时，为了使三相电流与磁势平衡可将无故障的两相同时跳接相应的线圈。一般跳接的故障线圈不应超过每相串联线圈数的10%，经过跳接处理的电动机应降低容量使用，并应及时安排大修。

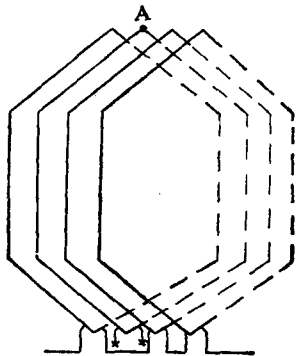


图 6-1-1 故障线圈跳接示意图

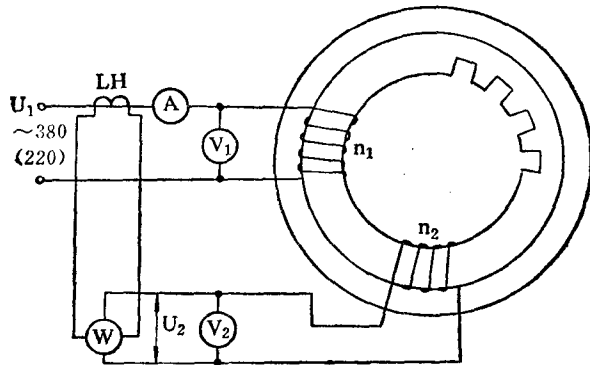


图 6-1-2 定子铁芯损耗和温升试验接线示意图

(二) 定子铁芯片间绝缘的鉴定

1. 测试方法

在检查定子铁芯片间绝缘状况时，一般采用铁芯损耗测试法，其原理与涡流干燥法相同，如图6-1-2所示。

测量以前需要计算激磁线圈的匝数 N_1 和测量线圈的匝数 N_2 。当电源频率为 50 赫，定子铁芯轭部的磁感应强度为 10000 高斯时，则线圈内的感应电势为：

$$E = 222NA_{j1} \times 10^{-4} \text{ (V)}$$

所以

$$N_1 = \frac{45U_1}{(1.05 \sim 1.3)A_{j1}} \text{匝}$$

$$N_2 = \frac{45U_2}{A_{j1}} \text{匝}$$

式中 U_1 ——电源电压，一般为380伏或220伏；

U_2 ——测量电压，考虑仪表的需要，一般取100伏；

1.05~1.3——系数，因为感应电势 E_1 等于 U_1 与激磁电流的电阻压降和漏抗压降之差，故一般感应电势与外加电压相差1.05~1.3倍；

A_{j1} ——定子轭部截面积，厘米²。等于轭高与铁芯长度减去通风槽宽乘以硅钢片迭压系数(0.5毫米涂漆硅钢片取0.93~0.94，0.35毫米涂漆硅钢片取0.9)的乘积。

计算出线圈的匝数后，应选择激磁线圈的线径，先估算激磁电流的大小。因为激磁绕组的安匝数，等于10000高斯磁感应强度所需的磁场强度(一般为2.2~3安匝/厘米)与磁路平均长度的乘积。所以

$$L_m = (2.2 \sim 3) \frac{\pi(D_1 - h_{j1})}{N_1}$$

式中 D_1 ——定子外径，厘米；

h_{j1} ——定子轭高，厘米。

根据电流大小选择线径。在测量时，对计算出来的 N_1 还可作适当的调节，使 U_2 达到或接近计算数值。这时记录各表的读数。所测得的铁芯损耗 P_{Fe} 则为：

$$P_{Fe} = \frac{N_1}{N_2} K_1 W \text{ (W)}$$

式中 K_1 ——电流互感器的变流比；

W ——瓦特表的读数，瓦。瓦特表应使用低功率因数表。

被测铁芯不应卧放在铸铁平台上，附近不要放置铁磁性物质。

采用这种测量方法，铁耗 P_{Fe} 中不包括激磁电流的电阻损失，同时还能换算出轭部磁感应强度为10000高斯时的准确铁耗值。

2. 考核标准

1) 频率为50赫、磁感应强度为10000高斯时，铁芯的单位损耗不超过硅钢片单位损耗 $P_{Fe10/50}$ 保证值的1.3倍，见表6-1-1。

表 6-1-1 0.5毫米厚热轧硅钢片的主要性能

型 号	$P_{Fe10/50}$ ① W/kg	$B_{2.0}$ ② G	密度 ρ g/cm ³	型 号	$P_{Fe10/50}$ ① W/kg	$B_{2.0}$ ② G	密度 ρ g/cm ³
$D_{1.1}$	5.20	15300	7.8	$D_{3.1}$	2.00	14600	7.65
$D_{1.2}$	5.28	15000		$D_{3.2}$	1.80	15000	
$D_{2.1}$	2.50	14800	7.75	$D_{4.1}$	1.60	14500	7.55
$D_{2.2}$	2.20	15100		$D_{4.2}$	1.35	14500	
$D_{2.3}$	2.10	15400		$D_{4.3}$	1.20	14400	
$D_{2.4}$	2.10	15700		$D_{4.4}$	1.10	14400	

① 频率为50赫、磁感应强度为10000高斯时的比损耗保证值(最大容许值)。

② 频率为50赫、磁场强度为25安匝/厘米时的磁感应强度保证值(最低容许值)。

当测量线圈的实际电压与计算值有差别时，铁芯的磁感应强度就不是 10000 高斯，损耗的数值需要修正，则

$$p_{Fe} = \frac{p'_{Fe}}{G_{Fe}} \left(\frac{U_2}{U_2'} \right)^2 \leq 1.3 p_{Fe10\%}$$

式中 p'_{Fe} ——铁耗实测值，瓦；
 U_2' ——测量线圈的实际电压，伏；
 U_2 ——测量线圈电压的计算值，伏；
 G_{Fe} ——铁芯净重， $G_{Fe} = \pi(D_1 - h_{j1})S\rho \times 10^{-3}$ ，公斤；
 ρ ——硅钢片密度，克/厘米³，见表6-1-1。

2) 铁芯各槽齿的最大温差小于 30℃，最高温升小于 45℃（良好铁芯，一般最大温差低于 10℃，最高温升低于 25℃）。无片间松动引起的电磁噪声。

3. 定子铁芯的修理

铁芯试验合格后一般不要作锉磨处理。若铁芯内圆锉磨过多、碰伤或片间绝缘不良，引起局部涡流损耗过大和温升增加，或因线圈短路、接地使铁芯局部烧毁，可以将硅钢片拆开、涂漆、烘干、倒片后重新叠装。但如需冲压补片者一般不再修理。

三、转子的故障及检修

(一) 转子绕组的故障及检修

鼠笼型转子故障的检修方法与低压电动机相同。检查绕线型电动机的转子绕组故障，首先应了解运行情况，当转子绕组为一回路接法时，若发生一相断路，即使滑环已经短接，电动机仍表现为单相运行状态；若为相间短路故障，则当滑环处于开路状态，仍可产生起动转矩。转子绕组的断路故障，多数是由于并头套开焊或虚焊而产生；短路故障多是由于滑环间绝缘受损伤、引出线在轴孔端部擦伤，或并头套端部相间绝缘受损伤所引起。其检查方法是测量绕组对地的绝缘电阻、三相直流电阻、转子绕组的开路电压，或送入 15% 的额定转子电压，测量转子三相电流等。在检查焊接点时可将额定电流的 2~3 倍的大电流送入转子绕组，当绕组达到额定温升后，减小电流至额定值，持续五分钟，检查有无局部高温、熔化等现象，或电动机在额定电压下，进行三次起动与空转，检查有无崩开或甩焊锡等现象。

关于转子绕线的修理方法见本章有关内容。

(二) 转子端部绑扎的检修

在运转时绕线转子的端部，将产生很大的离心力，为加强端部的机械强度，用无纬带或钢丝，对端部进行绑扎，以防止由离心力所产生的线圈变形、位移或甩脱等现象。绑线张力 F' 与离心力 F 之间的关系为

$$F' = \frac{F}{2\pi}$$

1. 端部绑扎的检查

对解体后的电动机，都应检查钢丝箍有无擦伤、位移、松动，线夹有无开焊、张开，无纬带绑扎的要检查有无松动、擦伤、起层、断裂等现象。如发现上述现象，应进行修理。或作超速试验确定是否要重缠。若发现无纬带或钢丝已甩出、脱落、烧伤或成喇叭形则必

须进行重缠

2. 缠绕无纬带

用无纬带绑扎可以取消衬垫绝缘层，因为它不导电、不导磁、不发热，抗腐蚀、氧化，不需要线夹和固定夹。所以聚脂和环氧玻璃丝无纬绑带已代替了钢丝绑扎。主要缺点是伸长率较大、弹性模数小和储存期短。

1) 无纬带的性能 常用的有树脂浸渍后并半固化的玻璃纤维无纬带，其主要性能如表6-1-2。

表 6-1-2 无纬带物理性能表

名 称	含胶量 %	抗拉强度 kg/cm ²			绝 缘 等 级	贮 存 期		规 格
		常 温	130℃	180℃		室 温	0℃	
聚酯型	27±3	8000	60~65%		B	3月		0.17毫米厚
环氧B型	25±2	9000	60~65%		F		0.5月	10~50毫米宽
环氧H型	25±2	8000		60~65%	F		1月	常用0.17×25
聚芳烷基醚酚型	27			6000	H	6月		
聚胺-酰亚胺型	32	6000		10分钟 后为5000	H	1月		

注：由于制造时的分散性，在计算超速旋转时应取4~5倍的安全系数，因此绑扎带许用应力通常取1300公斤/厘米²。

2) 绑箍截面的计算

无纬带绑箍的截面可按下列式粗略计算：

$$A_n \geq \frac{0.89GDn^2}{1300} \times 10^{-2}$$

$$A_n = t \cdot b$$

- 式中 A_n ——绑箍截面积，厘米²；
 t ——绑箍的厚度，厘米；
 b ——绑箍的宽度，厘米；
 G ——绕组端部重量，公斤；
 D ——绕组端部平均直径，厘米；
 n ——电动机的转速，转/分。

无纬带绑扎强度的计算步骤如表6-1-3所列和图6-1-3所示。

表 6-1-3 绕组端部无纬带绑箍强度计算公式表

名 称	公 式	符 号 注 释
超速转速	$n_p = K \cdot n_N$	n_N —电动机额定转速
端部重量	$G_1 = \text{线圈端部长度} \times \text{单位重量}$ kg	K —超速系数，一般异步电动机可取1.2，牵引电动机按制造厂规定
端部离心力	$F_1 = 5.6G_1 D_1 n_p^2 \times 10^{-6}$ kg	D_1, D_2, D_3, b 的单位为厘米
箍自重	$G_2 = 2.83D_2 b(D_2 - D_1) \times 10^{-3}$ kg	
箍离心力	$F_2 = 5.6G_2 D_1 n_p^2 \times 10^{-6}$ kg	
箍切向应力	$\sigma = \frac{F_1 + F_2}{\pi b(D_2 - D_1)}$ kg/cm ²	
许用应力	$[\sigma] = 1300$ kg/cm ²	
验证	$\sigma < [\sigma]$	

〔例〕如图 6-1-3 所示。\$D_1 = 60\$ 厘米，\$D_2 = 64\$ 厘米，\$D_3 = 55.4\$ 厘米，\$b = 26.5\$ 厘米，\$n_p = 3000\$ 转/分，\$G_1 = 105\$ 公斤

解：\$F_1 = 5.6G_1D_3n_p^2 \times 10^{-6} = 5.6 \times 105 \times 55.4 \times 3000^2 \times 10^{-6} = 293176\$ 公斤

\$G_2 = 2.83D_2b(D_2 - D_1) \times 10^{-3} = 2.83 \times 64 \times 26.5(64 - 60) \times 10^{-3} = 19.2\$ 公斤

\$F_2 = 5.6G_2D_1n_p^2 \times 10^{-6} = 5.6 \times 19.2 \times 60 \times 3000^2 \times 10^{-6} = 58060\$ 公斤

$$\sigma = \frac{F_1 + F_2}{\pi b(D_2 - D_1)} = \frac{293176 + 58060}{\pi \times 26.5(64 - 60)} = 1054 \text{ 公斤/厘米}^2$$

\$[\sigma] = 1300\$ 公斤/厘米\$^2\$

\$\sigma < [\sigma]\$，满足要求。

这样计算有时可能仅需几匝或匝数很少，但箍又较宽，这时应增加匝数，保证任何点都有 6~7 层。

3) 无纬带绑扎工艺

较大直径或高速电动机有必要采用夹箍（如钢带）预先夹紧需要绑扎的端部，其位置在不缠绕无纬带之处。在无纬带固化后可拆除。其绑扎工艺如下：

(1) 转子可按表 6-1-4 所列的温度进行预热，在热态下绑扎，其目的是使无纬带中树脂熔融呈半透明状，初步粘合。使箍环致密一致，强度较高。

(2) 缠绕无纬带可在缠钢丝的设备上进行，见图 6-1-4。牵拉无纬带的卡具除导向轮外，需加摩擦轮 见图 6-1-4。缠绕转速可在 12~30 转/分内选择。

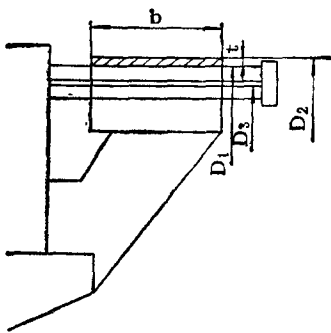


图 6-1-3 转子绕组端部绑扎示意图

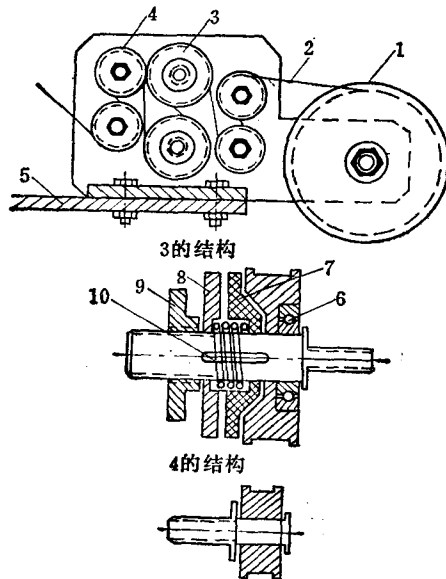


图 6-1-4 无纬带的拉紧装置

1—无纬带夹盘；2—无纬带；3—摩擦闸轮；4—导向轮；5—支架；6—轴承；7—胶木摩擦轮；8—弹簧挡盘；9—调整螺母；10—弹簧

(3) 由于预应力和缠绕时绑带的拉力有关，因此缠绕时需要有足够的拉力，见表 6-1-4，对 \$0.17 \times 25\$ 聚酯或环氧无纬带缠绕拉力可采用 20~25 公斤，根据绕组端部的弹性回弹力大小而定，保证端部平整坚实，线圈不被移动位置。缠绕张力过大，树脂大量被挤出，使玻璃丝间粘结不好，箍环抗拉强度下降；拉力过小则缠不紧。

(4) 一般尽可能绑扎到鼻部和并头套处，层数最少不低于 6~7 层。

(5) 整盘玻璃丝带装在支架上,使它和拉力装置及被绑扎的转子在一个平面上,且它仅受微小拉力处于自由状态。无纬带的拉力只能加在它经过的导轮上,不可加在卷盘上,以免损坏整盘无纬带。

(6) 缠绕方式一般用半迭绕、隔一层交叉半迭绕或平绕。尾端必须粘结可靠。如无纬带自粘力不够,可涂环氧树脂类胶粘剂或1032绝缘漆粘住,也可将尾端平整地压在前一匝的下面。

(7) 无纬带绑箍的外径不得高于电枢铁芯。

4) 无纬带的固化

无纬带绑扎完毕,应送入烘房内按表6-1-4所列的工艺进行固化和浸漆处理。

表 6-1-4 各种无纬带绑箍固化工艺参考

项 目	聚 酯 型	环 氧 B 型	环 氧 H 型	聚 芳 烷 基 醚 酚 型	聚 胺 - 酰 亚 胺 型
转子预热温度℃	80~100	60~80	60~80		70~80
0.17×25mm 无纬带缠绕拉力 kg	20~50	20~50	20~50		
固化程序	80~90℃ 2小时 110~120℃ 2小时 135±5℃ 17~20小时	80~90℃ 2小时 110~120℃ 2小时 135±5℃ 15~17小时	80~90℃ 2小时 110~120℃ 2小时 160℃ 6小时 180℃ 17~20小时 (或200℃ 6小时)	80℃ 2小时 100℃ 2小时 120℃ 2小时 160℃ 2小时 180℃ 14~15小时	80℃ 2小时 120℃ 2小时 140℃ 2小时 160℃ 2小时 180℃ 2小时 200℃ 2小时
备 注	冷却至60℃以下再浸漆	冷却至80℃以下再浸漆			

5) 无纬带的失效鉴定

无纬带贮存期很短,当可溶性树脂少于85%时,就不能保证转子绑箍的质量,因此在使用前需测定可溶性树脂的含量,测定方法如下:

将被测的无纬带剪取约30厘米长,称出重量为 g_1 ,放入有500毫升工业用丙酮溶剂的烧杯中浸洗2~3次(逐次更换新溶剂),每次不少于5分钟,取出放在 $105 \pm 5^\circ$ 干燥箱内烘干30分钟以上,再放在装有干燥剂的干燥器中冷却30分钟(干燥剂可用氯化钙),称重为 g_2 (应准确至0.001克)。则可溶性树脂的含量为:

$$S_3 = \frac{g_1 - g_2 - S_1 g_1}{S_2 g_1} \times 100\%$$

式中 S_3 ——无纬带中可溶性树脂的含量, %;

S_2 ——无纬带中的含胶量, %, 厂家数据;

g_1 ——无纬带的重量, 克;

g_2 ——可溶性树脂溶解后无纬带的重量, 克;

S_1 ——无纬带的挥发份, %, 厂家数据。

共作五次测定,取其算术平均值,要精确到0.1%。

3. 缠绕钢丝

交、直流的大、中型电动机的转子也可以用钢丝绑箍。绑箍有单层、双层及三层箍之分。

1) 绑箍用的钢丝有磁性(碳素钢丝)和非磁性钢丝(冷拉的奥氏体钢丝)。前者涡流损耗大,容易过热,钢丝伸长使扎箍松动,因此重要电动机最好用非磁性钢丝,两种钢丝都应是经过镀锡的优等钢丝,其机械性能见表6-1-5。

表 6-1-5 钢丝的机械性能

材 料	直 径 mm	抗拉强度/ 弹性极限 kg/mm ²	缠绕许用拉应力 kg/mm ²	缠绕许用拉力 kg	电动机外径 mm	
					≥1500rpm	<1500rpm
热镀锡钢丝	1	180/155	90	70	<180	<500
	1.5			160	180~500	500~1000
	2			280	>500	>1000
非磁性镀锡钢丝	1.5	140/120	70	120	≥150	
	2			220	≥250	

2) 缠绕钢丝可在普通支架上,也可在机床上进行,见图6-1-5。

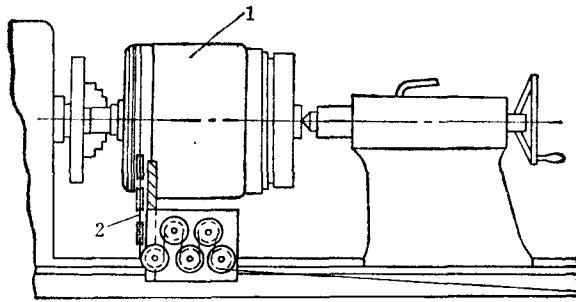


图 6-1-5 在机床上扎钢丝
1—转子; 2—钢丝

绑扎钢丝前转子应预热至70℃左右。

右。

3) 开始绑箍时,将钢丝拉紧并将端头固定,如放在硅钢片缝隙间或铁芯的楔块处。端头固定后,在拉力小的情况下绕几圈,再调节好拉力开始正式缠绕。

4) 钢丝许可的拉应力,可根据电动机的大小和转速高、低分别选用其抗拉强度的25~50%;这是考虑电动机超速运行时,绑线将产生较高的应力。

5) 钢丝的缠绕拉力过小,绑箍容易脱落,过大则绕组绝缘会损坏,拉力可按表6-1-6所列数字选用。如是多层钢丝,在缠后一层时拉力应比前一层减少10%,否则离心力将全部由最后一层承担。

表 6-1-6 缠绕磁性镀锡钢丝箍拉力表, kg

常用钢丝直径 mm	第 一 层	第 二 层	第 三 层
0.8	40~50	35~45	30~40
1.0	60~80	55~75	50~65
1.2	90~110	80~100	70~90
1.5	135~165	120~150	105~135
2.0	240~300	220~270	200~245

6) 钢丝箍每段的配置如图6-1-6所示,两端留空的长度A,对两层者每100伏约为1

毫米，但最小为5毫米；对三层者留空8毫米。每段宽度B根据钢丝直径确定，直径为1毫米的B为25毫米；直径为1.5毫米的B为40毫米；直径为2毫米的B为60毫米。缠绕前，先在转子绕组上垫电工纸板或石棉板。为了减小涡流，在各层钢丝间用玻璃漆布或DMD作绝缘层。

7) 为了紧固钢丝的首末端和防止钢丝间位移，沿钢丝箍轴向用线夹予以固定。各层线夹不能重迭，按一定规律分布。

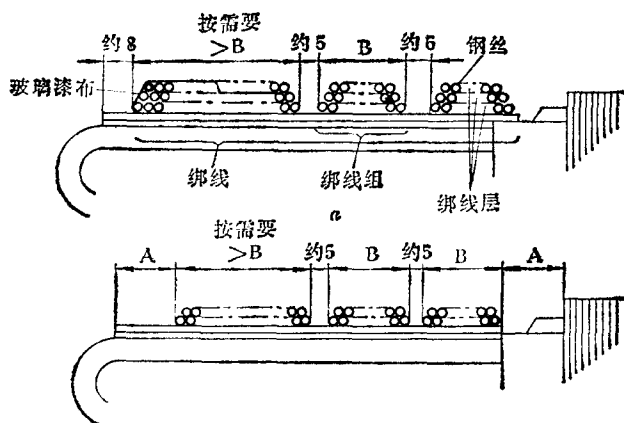


图 6-1-6 钢丝箍的配置

8) 每一个钢丝箍中间不得有接头。

9) 钢丝箍外径不得大于电枢外径。相邻两根钢丝高低不得大于钢丝直径的三分之一，表面不平度见表 6-1-7 的规定。为防止运转时绑箍向外脱出，要求绑箍的外端直径稍大，内端直径稍小，形成一个外高内低的倾斜度，见表 6-1-7。

表 6-1-7 钢丝绑箍斜交和不平度

钢丝箍宽度 mm	不平度 mm	倾斜度
50以下	1.0	40:1
50~80	1.0	50:1
80以上	1.5	60:1

四、机械部分的故障及检修

(一) 机械振动的检查与校平衡

1. 振动的允许范围

电动机的振动常由转子不平衡引起的，转子的不平衡分为静不平衡和动不平衡。一般六极以上的电动机只校静平衡，二、四极电动机校完精密静平衡后，如振动仍超过允许值，则应校动平衡。电动机的允许振动值规定如表 6-1-8 所列。

2. 校平衡的方法

校平衡的实质在于找出不平衡重量的大小及其位置，从而降低转子转动时的振动。

表 6-1-8 电动机的允许振动值

额定转速, rpm	3000	1500	1000	750	600	500
容许振动值, mm	0.05	0.08	0.10	0.12	0.16	0.20

1) 校静平衡

把转子放在两个平行导轨上, 如图 6-1-7 所示, 令其自由转动, 如转动时转子上某一点一直停止在最下面位置, 则在其相反方向试加平衡重量, 逐步调整其大小, 直到转子滚动时可以停止在任何位置为止。这种静平衡的方法, 由于转轴和导轨间存在摩擦, 误差较大, 因此要求轨道表面光洁度不低于 $\nabla 9$, 硬度为 $R_c 62 \sim 65$, 轨面应清洁。长度 $L = (8 \sim 10) D$, D 为转轴轴颈直径, 宽度见表 6-1-9。两根导轨间的高低差应不超过每米 $1 \sim 1.5$ 毫米, 导轨的水平误差应小于 $0.05/1000$ 。

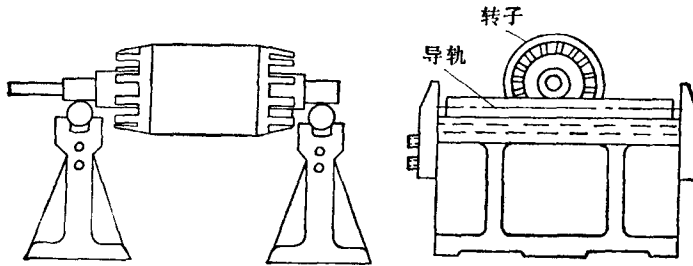


图 6-1-7 平行导轨上校静平衡

表 6-1-9 转子重量与轨宽

转子重量, kg	10~50	50~500	2000~10000
轨 宽, cm	3.0	5~7	10~15

校平衡前, 应将导轨距离调整到相当于转子两端轴承的距离, 轴颈要擦干净。如果转子两端轴颈大小不等, 则须用垫铁垫在导轨下面, 把转子轴调到水平位置。校平衡时转子本身的附属零件如风扇、螺栓等都要装配齐全。

先令转子反时针方向转动, 假设不平衡重量 M 在图 6-1-8 所示的位置, 由于摩擦阻力的原因, M 点不能停止在最低点, 而停止在最低点 1 的左方; 然后令转子顺时针方向滚动, 同样 M 点也不是在最低点 2, 而是在其右方。显然这 1 和 2 两个点的中间位置是 M 点, 它就是不平衡重量的方位。平衡重量应该加在 M 点相反的方向上。

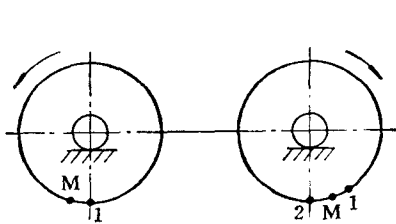


图 6-1-8 决定不平衡重量位置

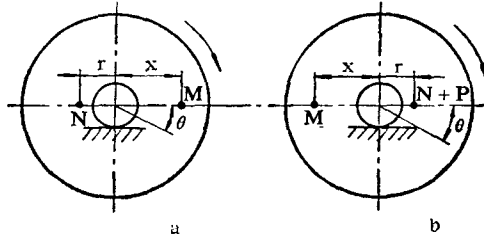


图 6-1-9 静平衡校验

如图6-1-9 a 所示, 先把转子转到M点处于水平位置, 并在其相反方向距中心为 r 处放一个较轻的重量 N , 使转子沿箭头方向滚动一个角度 θ 。这时转子停止转动的条件是 M 所产生的转矩 $M \cdot x \cdot \cos\theta$ 平衡了 N 产生的转矩 $N \cdot r \cdot \cos\theta$ 与摩擦力矩 T 之和, 即

$$M \cdot x \cdot \cos\theta = T + N \cdot r \cdot \cos\theta$$

$$\therefore T = M \cdot x \cdot \cos\theta - N \cdot r \cdot \cos\theta = (M \cdot x - N \cdot r) \cos\theta$$

然后把转子转到M点处于另一侧的水平位置如图 6-1-9 b 所示, 并在放置 N 重物的地方再添加另一重量 P , P 的大小需经反复试验, 以其能使转子按原来方向转动同一角度 θ 为合适。这时,

$$(N + P) r \cos\theta = T + M \cdot x \cdot \cos\theta$$

$$T = [(N + P) r - M \cdot x] \cos\theta$$

所以

$$M \cdot x - N \cdot r = (N + P) r - M \cdot x$$

$$M \cdot x = \left(\frac{2N + P}{2} \right) r$$

这样, 在半径 r 处加一个 $\left(\frac{2N + P}{2} \right)$ 的重量, 就可以完全平衡 $M \cdot x$ 的不平衡转矩, 使转子达到静平衡。

2) 校精密静平衡

将转子沿圆周分为6、8、10或12等分, 并用数字标明如图6-1-10所示。将各点顺次转至水平位置 (因为转子已经作过初步平衡校验, 能在任何位置不产生自转), 并在该点上试加平衡重量 P , 重量务必逐渐增加至使转子开始转动为止, 并将所加重量与测点标号用直角坐标表示出来。按同样方法使转子反转, 所得各点平衡重量同样用直角坐标标出。如各点正、反转所加重量不等, 可反复多作几次, 直至两值相等或接近为止。应加的平衡重量为:

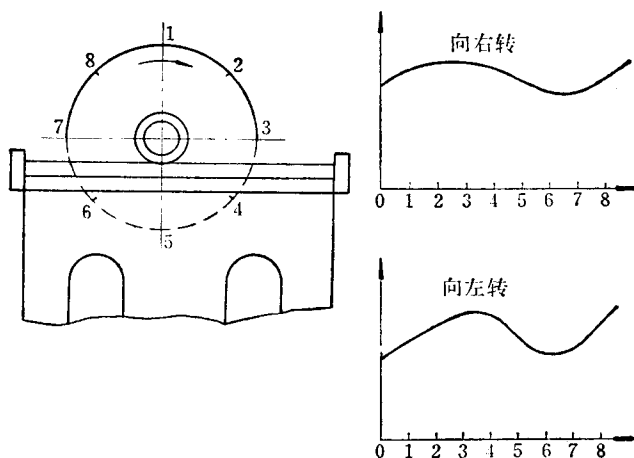


图 6-1-10 精密静平衡划分测点及座标示意图

$$N = \frac{P_1 - P_2}{2}$$

式中 P_1 、 P_2 ——分别为所加的最重和最轻重量, 克。

将一块与固定螺栓总重为N克的平衡块，焊牢在转子附加重量最重点处，焊前要用石棉布包住绝缘部分，以免损坏绝缘。

3) 校动平衡

(1) 试凑法 将转子轴的伸出部分擦拭干净，并均匀地涂上白粉笔。将电动机起动，待达到正常转速时用红铅笔指在涂白粉笔的轴上划线，笔尖应顺着转子运转方向，刚接触白粉表面为宜，多作几次。由于振动，划痕将集中到转轴的一面，并表现深浅不一样。同时用振动测试表测出振动值。停机检查划痕最深处的方向，并查明所对应之转子部位。此部位即为不平衡重量所在位置，但由于惯性关系，振动中心与不平衡重量位置存在一个角度误差，这个误差与转速有关。

当转速在750转/分以下位移角为15~20°；转速在1000转/分位移角为20~30°；转速在1500转/分及以上位移角为30~45°。

从振动中心（即划痕最深处）向逆转方向找位移角度，再转180°即为需加重的点。根据振动测试表所测得的值，每振动0.01毫米加平衡重量45克左右，牢固地焊在需加重的点上。然后再次起动电动机，重复进行上述步骤，调整需加重点的方位和增减附加重量，直至转子振动幅值符合要求为止。

(2) 一点试加重量法 按上述方法确定转子振动方向和振动值，并将振动值按一定比例作图Oa，如图6-1-11所示，使a点对应振动中心，从a点沿转子转动方向转90°取G点，在G点试加一个重量，试加重量的大小可见表6-1-10。加装办法可用点焊或既牢固又易拆除的办法。再次起动电动机，按前述的方法测出新的振动方位和振动值。用相同的比例和方法作Ob，ab即为由试加重量所引起之振动方向和大小。自圆心O引OB平行于ab，并交圆周于B点。自Oa 逆转方向画OX使∠aOX = ∠BOG并交圆周于X点，则OX为原有转子不平衡重量方向所在，附加平衡重量应在与OX成180°的OW方向上（应将试加重量卸掉），应加重量为：

$$W = \frac{G}{ab} \cdot Oa$$

式中 G —— 试加重量，克。

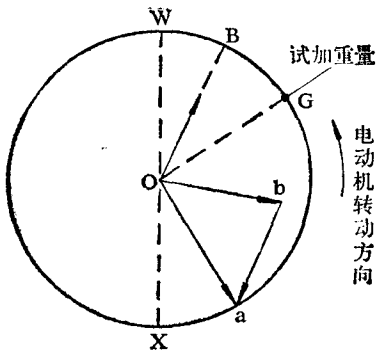


图 6-1-11 动平衡一点试加重量法图解

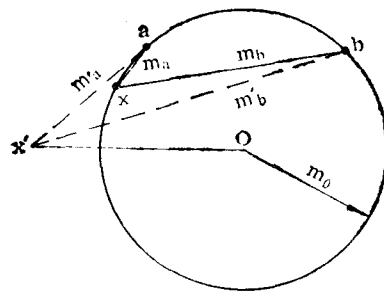


图 6-1-12 动平衡两点试加重量法

(3) 两点试加重量法 将转子起动到额定转速，测得其振动值，按一定比例用m。

表示之。以 m_0 为半径画一个圆见图6-1-12。由表6-1-10中选取一个试加重量加于转子圆周任意点a处。再起电动机，测其振动值为 m_a ，然后停机，将此重量移到与a点距离 90° （顺或逆运转方向都可以）的b点，重复起动测得新的振动值 m_b 。按相同比例，以 m_a 和 m_b 的长度为半径，以a和b为中心画弧相交于一点，此点恰好落在或十分接近圆周上，如图6-1-12所示的x点，该点即为转子不平衡之较轻点，将试加重量焊在相应于x点的转子部位上。如果试加重量选择不当， m_a 和 m_b 的交点有可能落在圆的里边或外边，如图中的x'点。这时试加重量应按下式加以修正。

表 6-1-10 动平衡试验试加重量选择表 g

转数, rpm	转子重量, kg 试加重量半径, m	500~600	600~700	700~800	800~1000	1000~1200
		500	0.4 30~60	35~70	40~80	50~100
	0.5 25~45	30~55	30~65	40~80	50~100	
	0.6 20~40	25~50	25~55	30~65	40~80	
	0.7 20~35	20~40	20~45	20~55	35~70	
1000	0.4 65~130	80~155	90~180	110~220	135~270	
	0.5 50~100	60~120	70~140	90~180	105~210	
	0.6 45~90	50~100	60~120	75~150	90~180	
	0.7 40~80	45~90	50~100	60~120	75~150	
750	0.4		135~270	155~310	220~390	230~470
	0.5		110~220	120~250	155~310	185~370
	0.6		90~180	105~210	130~260	155~340
	0.7		75~150	90~180	110~220	135~270

$$G' = \frac{G}{Ox} \cdot ma$$

式中 G——第一次试加重量；

G'——修正后的试加重量。

再重复以上试验，一直到x点落在圆周上。

精确动平衡的振动值的允许范围：当转速在1000~1500转/分转子振动值不得超过0.04~0.06毫米；在1000转/分以下者不得超过0.05~0.08毫米。

4) 动平衡机

检修量大的修理厂，可采用动平衡机来校正转子动平衡。通用型动平衡机的主要技术规格见表6-1-11，这种设备由床身、支架与支承、驱动装置以及测量指示系统等组成。

(二) 滑环的故障及检修

异步电动机的滑环可分为固定刷架滑环和带短路、举刷装置的滑环，前者电刷与滑环在运行中一直保持接触，增加了损失，降低了寿命；后者在起动完了滑环被短路，电刷被抬起，但结构较复杂。

按滑环在轴上固定的方法，可分为滑环和套筒过盈配合固定、用塑料压制使滑环固定、用螺杆把滑环固定在套筒上三种。异步电机大多采用过盈配合的固定方式。

1. 滑环或电刷烧伤

表 6-1-11 动平衡机的主要技术规格

型 号	主 要 技 术 规 格			特 点
	受试转子重量范围 kg	平衡转动 rpm	平衡精度 μm	
DS-100	5~100	1700~2000	1.0	用闪光灯确定不平衡位置, 电表指示不平衡量, 配置解算装置
DS-500	10~500	700	3.0	
DD-1000	100~1000	600、1000	3.0	测量方式为电子门式
DD-3000	3000			

在滑环或电刷表面出现烧伤痕迹和凹凸不平形状时, 可在低转速下用细油石打光, 或在车床上车削, 表面光洁度要求达到 $\nabla 7$ 。如果磨损过限, 则必须更换新滑环。

2. 滑环的主绝缘和相间绝缘损坏

可将滑环与套筒自轴上卸下。拆除套筒上的旧绝缘, 先在套筒面上涂一层虫胶或酚醛胶, 再将刷了胶并加温后的塑性云母板卷包在套筒上, 最外层包两层玻璃纸(脱模用), 在 $160\sim 180^{\circ}\text{C}$ 下模压固化成形。也可在套筒面上用无纬带缠绕, 加热后刷1032漆, 再加温固化成形(见无纬带绑扎)。套筒与滑环是采取过盈配合的, 先将套筒上的绝缘车削到过盈量为 $0.2\sim 0.4$ 毫米的尺寸, 然后将预热到 $200\sim 250^{\circ}\text{C}$ 的滑环热装到套筒上去。

(三) 电动机的噪声

电动机的噪声主要是由通风、电磁、机械等引起的。

1. 通风噪声

风扇的鼓风声、风道进出口气流摩擦的呼啸声和各部件与空气发生冲击摩擦的声音等。对2~4极和风扇直径大于200毫米的电动机, 通风噪声常是噪声的主要部分。通风噪声的大小比较稳定, 与转速有关, 与振动无关, 人为地堵塞电动机进风口后, 噪声就显著减弱, 在风扇附近这种噪声特强。

表 6-1-12 异常噪声的特征及成因

	特 征	频 率, Hz	成 因	处 理 方 法
电 磁 噪 声	断续笨油嗡嗡声	$2f$	定子单向运行, 绕组不对称或匝间短路	
	断续笨油嗡嗡声	$2sf$	转子断线或断条	
	起动停电瞬间轴瓦根部金属撞击声。断续笨油嗡嗡声	$\frac{f}{p}$ 或 $\frac{sf}{2p}$ (或其倍频) ~ 高频	定子变形、转子偏心或气隙不均匀较严重, 低频由旋转力波产生, 高频由气隙磁势磁导变化产生	加强机壳刚度, 校平衡或调气隙
	有规律的强烈噪声		电磁噪声与附近机械共振	调整两者之间的距离或安装隔音装置
	营营声夹有吱吱声	正常磁噪声的频率夹有磁单音	迭片松弛	紧固迭片
	刺耳叫啸声	$700\sim 4000$	改极后槽配合不当	调整设计
	吱吱放电声		绕组局部绝缘缺陷	处理绝缘
	电刷摩擦声、跳动声和火花放电声		电刷太硬, 刷压过高或滑环表面光滑不够, 电刷与刷盒间隙过大或集电环偏心	调整处理

续表

	特 征	频 率, Hz	成 因	处理方法
通 风 噪 声	尖锐的汽笛声	其频率为风扇叶片或风道沟障碍片数的乘积	定、转子突出零件与高速空气撞击和摩擦	处理突出部分
	涡流声较大	频率分布很宽	风扇选型不好风扇与挡风板间距离太小	更换噪声较小的风扇, 如流线型式。加大风扇与挡风板间距离。或在进风口加消音罩
机 械 噪 声	明显低频共振	300~900	机壳端盖、风罩等零部件受转子不平衡力、电磁振动、轴承振动等影响而振动	
	剧烈低频共振	300~900	底脚松动、端盖螺钉未紧固	加固
	较高频金属撞击辗轧声		滚动轴承间隙过大	减小间隙, 考虑轴尺寸精度, 适当选择配合
	伤损声、嚓嚓敲击声或沙沙嘶哑声		轴承内有铁屑、砂粒或滚动体不圆滚动体或内外圈滚道有裂痕或锈蚀	洗清更换
	较大的嗡嗡声	1500~5000	滚动轴承间隙过小, 内圈与轴配合过盈, 外圈与端盖配合过盈	适当调整间隙配合, 加油
	啸叫声		轴承内、外圈不同心, 轴承内、外圈滚道偏斜, 端盖轴承椭圆度过大、缺油	

2. 电磁噪声

主要是定、转子气隙磁通力波作用在定子上, 使定子铁芯变形, 叠片发生径向振动。电磁噪声在断电瞬间即消失, 随外加电压提高及负载增大而增强, 在起动过程中特大。

3. 机械噪声

主要是由于轴承等零部件缺陷; 转子不平衡; 轴的刚性不足等引起, 如轴承的振动和摩擦声, 端盖轴向振动等。仅与转速有关。

4. 异常噪声如表6-1-12所列。

五、同步电动机的故障及检修

(一) 磁极绕组的故障及修理

同步电动机定子的故障及检修, 与异步电动机相同, 同步电动机的转子上有励磁绕组和鼠笼绕组。鼠笼绕组是由截面很大的导条镶嵌在磁极表面槽内, 两端与分段的铜板连接在一起。铜板用螺钉紧固起来, 作短路环之用。当鼠笼绕组有断条或连接铜板松动时, 将降低起动转矩和阻尼力矩。激磁绕组故障有断路、短路或接地等, 当激磁绕组需要修理对地或匝间绝缘时, 见本章第三节有关内容。同步电动机转子磁极铁芯是用燕尾槽和斜键与转子轭部固定的, 在长期运行中容易松动, 检修时应予以紧固。

(二) 轴电流的检查与处理

当同步电动机的定、转子线圈内发生匝间短路, 定、转子间隙不均, 定子分瓣铁芯外

壳接缝出现高磁阻时，将影响电动机磁场不对称，出现部分包围电动机轴的磁通，并随着定、转子相对位置的变化而变化，成为交变磁通。这一交变磁通将在由电动机轴、两端轴承及机壳所形成的闭合回路内产生感应电势。当轴承中的油膜绝缘不足以隔绝这一电势时，将产生很大的轴电流。

轴电流的存在对轴颈和轴瓦有腐蚀作用，在其表面上可观察到有麻点或斑痕。用0~5伏高内阻的电压表测量时，可发现轴与机座间有电位差。为了避免轴电流，每个轴承均应与机壳绝缘，以切断电流回路；也可以用装设在轴上的滑动接地电刷，使电流流出。

六、机座变形及其处理

苏联AT系列及我国JRZ（仿AT）系列交流异步电动机，其机座采用钢板焊接结构，抗弯刚度常不够。曾多次发生机座变形故障，严重时达到定、转子相擦，电动机无法运行的程度。电动机的机座变形，一般情况是不好处理的。在此介绍阜新矿务局处理机座变形的经验。

机座变形及处理实例

有一合用于主井5米提升机的苏联AT系列电动机（550千瓦，6千伏，20极），经运行16年后，机座产生如下变形。变形后定子内径的测量位置见图6-1-13。其实测数据见表6-1-13、6-1-14。根据这两个表中的数据可以得到定子变形形状，见图6-1-14、6-1-15。

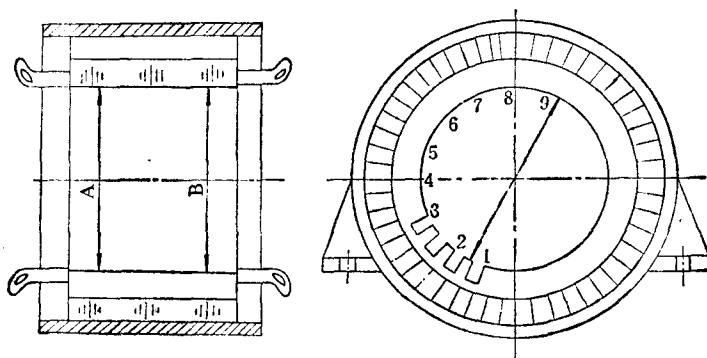


图 6-1-13 测量位置分布图

表 6-1-13 冷态下测得定子内径各点变形相对值
(室温16℃)，毫米

端头位置 \ 测量位置	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A 端	5.85	5.6	5.25	5.75	5.65	5.7	5.85	5.3	5.9
B 端	5.85	5.45	5.3	5.6	5.9	5.5	4.8	4.4	5.19

注：千分表基数取6.0毫米。

测量方法：用一千分表头接在自制的一根基准棒上，任取一点作为基准值，在此点测