

39-42

提高异步电机质量的关键环节

佳木斯防爆电机研究所(154002) 杨万青

TM343.02

摘要 分别就提高产品质量的3个主要方面——管理、设计及制造展开论述,并举出实例。

叙词 管理 设计 制造 电机 质量

异步电机 产品质量 设计

随着自动化连续作业及文明生产程度的提高,异步电动机(本文简称“电机”)的用户对其质量的要求也越来越高。有些连续生产、效益高的企业,如石油化工厂,若因电机故障停产,即便是半个小时,其损失就超过电机本身价格的几倍到几十倍!

为了赢得用户的信誉,提高市场竞争中的筹码,电机生产厂家也认识到提高产品质量的重要性,但有的厂家由于抓不到关键环节上,其产品质量很难得到用户的认可。

以下将电机的质量问题按其对其使用的影响由轻到重分为5类,见表1。

表1

质量问题分类	质量问题的典型实例	对使用的影响
1	散热片碰掉几根或局部露底漆	可以使用
2	效率或功率因数吃容差较多	勉强可以使用
3	起动性能或最大转矩吃容差较多	有时可以勉强使用,有的岗位不宜用
4	温升或噪声偏高	带病运行,不宜长久使用
5	振动不合格	不能用

显然,用户最看重的是3、4、5,特别是5。因此,电机制造厂对以上5类问题的重视程度也不应等同。否则,费很大气力,将外观修饰得很漂亮,电机有点“发烧”或振动有点大,用户是不满意的。

因“质量”是个老题目,本文不拟繁缛俱细,而侧重于关键环节介绍,尤其是一些影响大,又容易被察觉的环节(如槽形选择、并联路数、机座时效等)。以下按确保产品质量的3个主要方面——管理、设计及制造,分别论述这些关键环节。

一、管理

健全的质量保证体系固然必不可少,但关键是

领导重视。比如振动下限值是2.8mm/s时,当有2.9mm/s的产品出现,若领导认为仅超差0.1,再找个测试误差的借口,就批准出厂,这是一种态度;反之,出现2.7mm/s时,因接近边缘就大声疾呼,这又是一种态度。这两种态度对生产工人及工厂的质量监督人员的影响显然是不一样的,它将潜移默化地影响着产品质量。

二、设计

1. 槽形

本文列举6种定、转子槽形(见图1)。上面3种与下面3种在电磁设计中可以得到完全相同的性能指标。但由于上面3种尖角多,在冲槽时容易产生应力集中,并因此而破坏磁畴分布,即破坏磁场分布,使铁耗的试验值无缘地增加。下面3种则缓解了这一弊病,并可提高模具寿命。对于图中的两个铸铝转子槽形,桥拱 h_{R0} 不宜过小,应大于0.4~0.6mm;且不宜有尖角(如图1)。否则,会使冲片产生“波浪”,叠装成转子铁心后易产生菱形,影响动平衡精度; h_{R1} 也不宜小于2.5mm,若铁心长又扭斜,应大于3.5~5mm。否则,易产生细、断条。

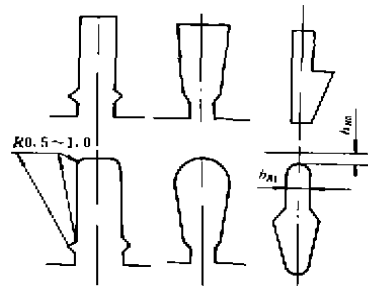


图1

2. 绕组的并联路数与线圈的接法

在三相电机中,若磁场不对称,则容易产生额外的电磁噪声。这也是目前无法借助电磁计算而能暴露的另一个影响电机质量的隐患。为解决这一隐患,采取增加并联路数及线圈间加均压线的措施。表1是一台4极电机在采用2路、4路联接,有无均压线时相对于1路无均压线时电磁噪声的降低值。

与1路相比噪声的降低值 /dB	频率 /Hz	1000	1100	1200	1300	1400
		并联路数, 有无均压线				
2路, 有均压线		9.0	10.7	8.3	9.5	10.9
2路, 无均压线		6.7	2.5	5.3	2.8	2.1
4路, 无均压线		10.5	14.8	16.9	13.1	12.6

佳木斯电机厂在YZR起重冶金用电机上,为使磁路均衡在15kW8极及22kW8极上采用跨极相连的措施也获得了降低噪声的效果^[8]。

3. 定、转子槽配合

异步电机定、转子槽配合对电机性能的影响已有较多的文献可查。因为噪声计算目前尚未在制造厂全面纳入电机设计之中,或者说没有进入定量分析的阶段,设计时也难诊断出它的隐患所在。有时槽配合不当使电磁噪声变得很大,因此也应视为影响质量的重要环节。据文献[3]介绍,一台国外的75kW6极的绕线型电机,采用54/45槽配合时噪声曾达到90dB(A),改为54/36之后降到75dB(A)。槽配合对温升也有较大影响,设计时务必多参考一些资料。

4. 槽扭斜

槽扭斜对改善工作特性、起动性能可从文献及计算中得到预见,但对噪声的影响尚未引起更多厂家的关注。据文献[4]介绍,对于异步电机,转子槽扭斜后均能使电磁噪声降低。表2列出4极、6极笼型转子异步电机在对应不同的定、转子槽配合 Z_1/Z_2 、转子扭斜 $b_{sk}=0.5t_{s1} \sim 1.0t_{s1}$ 时电磁噪声的降低值。

5. 定、转子电密的匹配

以前的电机设计教科书,在笼型异步电机的温升计算公式中未纳入转子电密。转子的铜损耗对电机性能的影响又不是很大,转子电密的取值也就容易被忽略。佳木斯电机厂在低压200kW2极、高压450kW2极电机上试验,在维持硅钢片、铜线用量不变的情况下,将转子导条、端环电密作了调整,电机的起动性能仍保持不变,使温升分别降低19.5

~22.6K和11~16K^[4]。对于高、低压、IP44、转子铸纯铝的异步电机,经分析、验证,对定子(为铜线)电密 J_1 、转子导条电密 J_R 、转子端环电密 J_R 按以下的匹配关系,可以使温度场的分布趋于合理,在不增加铜线、硅钢片用量的前提下获得较低的温升。

$$J_1 : J_R : J_R \approx 4 : 2 : 1$$

表 2 槽配合及斜槽对电动机噪声级的影响

		dB(A)										
$2p=4$	Z_2		11	14	15	17	19	20	22	23	25	26
	$Z_1=24$	$b_{sk}=0$	69	71	61		80	68	69	74	80	73
		$b_{sk}=t_{e1}$	57	55	59		60	64	60	60	60	57
	$Z_1=18$	$b_{sk}=0$	62	57	59	70	79	57	62	62	63	61
		$b_{sk}=0.75t_{e1}$	47	42	48	46	43	49	47	45	45	44
	$Z_1=12$	$b_{sk}=0$			53	64	75	58	59	72	75	
		$b_{sk}=0.5t_{e1}$			49	54	59	54	46	49	54	
	$2p=6$	Z_2		19	21	23	26	32	33	44		
$Z_1=36$		$b_{sk}=0$	71		78	65	74	61	67			
		$b_{sk}=t_{s1}$	63		64	62	62	59	57			
$Z_1=18$		$b_{sk}=0$		74		72	73					
		$b_{sk}=0.5t_{s1}$		63		65	66					

注: b_{sk} 为转子斜槽距离, t_{s1} 为定子齿距

6. 绕组的选择

对于三相交流电机,若从改善电机性能,特别是为了降低电磁噪声考虑,应优先采用双层绕组及正弦绕组。双层绕组及正弦绕组的双层部分,其节距均应选在 $5/6 \sim 4/5$,以削弱气隙磁场中的5次、7次谐波。但因单层绕组有节省铜线、绝缘材料及散热好、嵌线效率高的优点,设计时就要权衡利弊。若用户对产品性能要求较高,应选前者。如果采用单层,应采取有效的补救措施。如德国西门子公司纽伦堡电机厂,为了采用单层绕组,而又不使气隙磁场的波形有较大的畸变,采用了“人字扭斜”的铸铝转子。

7. 磁密的选择

选取磁密时,设计者对“可见”指标——空载电流、功率因数、铁损耗照顾得多些,而对其背后隐藏的指标——电磁噪声则考虑得少。文献[4]介绍,当气隙磁密由 B_{s1} 降至 B_{s2} 时,电磁噪声将按下式降低 ΔL 分贝:

$$\Delta L = 40 \lg \left(\frac{B_{s1}}{B_{s2}} \right) [\text{dB(A)}]$$

因此,在改型设计时,不宜轻易地“挖潜”将铁心缩短,提高磁密。过于饱和的磁场是电磁噪声的

最大隐患。

对于多极电机,因从常规的计算上定子轭部磁密不吃紧,而往往将轭部选得很窄,使定子刚度下降,有时也会引起噪声增大。文献[1]介绍,若轭部高由 h_{j11} 增至 h_{j12} 时,可使噪声近似降低 ΔL 分贝:

$$\Delta L = 60 \lg \left(\frac{h_{j12}}{h_{j11}} \right) [\text{dB(A)}]$$

8. 气隙 δ

与磁密类似, δ 小可以使空载电流减小、功率因数提高,但也会使噪声增大。文献[1]介绍:当 δ 由 δ_1 增至 δ_2 时,噪声降低 ΔL 分贝:

$$\Delta L = 40 \lg \left(\frac{\delta_2}{\delta_1} \right) [\text{dB(A)}]$$

以上 3 个公式与频率等其他因素也有关,但至少可以近似定量地找出降低电磁噪声的途径。

9. 温升裕度

温升裕度是设计者在拟就通风散热方案、选择电磁负荷的主要依据。对于新设计,国内厂家一般均留 10K 裕度——5K 考虑工艺波动,5K 考虑材料波动。因为电机的使用场所、维护状况千差万别,10K 只供参考。这就要求设计者了解电机的使用情况。比如在港口、车站、建筑工地等处使用的吊车电机,因网络容量小,电压降较大,温升裕度就要多留点。佳木斯电机厂生产的 250kW 2 极高压电机^[4],在额定状态下测得的温升是 66K,若电压下降 5%,即由 6000V 降到 5700V,转矩将与电压成平方的比率下降,要保持输出功率不变,即转矩不变,电流就要呈平方的关系增加。扣除因电压下降,磁通亦随之下降,使励磁电流下降而引起铭牌电流的下降部分,电流要由 29.6A 上升到 32A,温升要由 66K 增加到 77.1K,升高 11K。实际上,上述这些场所的电压降常常要超过 5%。而大型的石油化工企业,因网络容量大,情况就好些。

10. 绝缘导线

在使用现场比较潮湿、有轻微腐蚀的场所,应选玻璃丝漆包线,浸漆时它能“挂”上较多的绝缘漆。

11. 通风散热路径要考究

(1)风路的设置应考虑便于清理污垢。

(2)成型绕组的端部,不要因省铜设计得过短。在北京燕山石化的炼油厂用的意大利高压 200kW 2 极防爆电机,线圈伸出铁心的直线部分有 60mm 长,是国产同类产品的 1.5 倍。这样,线圈的弹性可以提高,以免嵌线时受损伤;另外通风散热路径也

宽绰了,若端部喇叭口也随之放大,则冷却效果就更佳。

(3)电机的最热部位,通常在气隙附近,定、转子槽口处留出空隙对散热十分有利,尤其是带有内循环通风的电机。

(4)轴承应尽量远离定、转子绕组端部;电机内部空腔越大越好。

(5)由 IP23 派生的 IP44 笼型转子电机,当冷却方式为 IC0141 时转子端环上的风叶应减短,对于中小型电机其长度在 10~35mm 的范围内选取即可。否则,会适得其反。

12. 轴承的选用及轴承室的设计

(1)轴承的选用

选用滚动轴承的电机,应能保证在转子热胀冷缩时能轻松地伸缩而不使轴承承受较大的轴向力,因此,对于一般用途的电机宜选用一个单列向心球轴承、一个向心短圆柱滚子轴承。若用两个球轴承,在转子伸缩时,因轴承外套很难在轴承室中滑动,必然导致滚珠承受额外的轴向力,对于轴承距稍大的电机,轴承就容易损坏。若短圆柱滚子轴承极限转速低、噪声较大,可以选择轻系列、低噪声、精度较高的短圆柱轴承予以补救。

(2)轴承室

轴承室与轴承外套的配合不要出现过盈,公差应在 $\begin{smallmatrix} +0.025 \\ +0.005 \end{smallmatrix}$ 到 $\begin{smallmatrix} +0.045 \\ +0.005 \end{smallmatrix}$ 的范围内随轴承号大小而选取相应的值^[4]。

滑动轴承不存在这些问题,故不赘述。

总之,以上 12 点是针对影响电机质量的硬指标——温升、噪声、振动及使用寿命所提的,这些硬指标在计算上反映不出来,因而容易被设计者所忽略。为了防止它们在电机质量上留下隐患,除设计者应做到“精心”、“尽心”外,在设计方案审查时严格把关也是决不可少的。

三、制造

针对以上 4 个硬指标,在制造上应把握好以下 7 个关键环节。

1. 3 个关键零部件的同轴度及加工精度

3 个关键零部件是机座、端盖、转子。同轴度影响轴承的使用寿命,其次是气隙不均匀度,及由此而产生的振动、噪声。为了提高同轴度,佳木斯电机厂对较大的机座也采用将止口、铁心处一次车成的加工工艺;精度的焦点在端盖(有时是“轴承套”)的

轴承室处,该处尺寸的公差带很小,但还必须保证。随着数控机床的推广,这样的公差带早已不是加工中的难点。

2. 浸漆

绕组的浸漆质量对电机的使用寿命至关重要。佳木斯电机厂自从80年代引入德国真空加压浸漆(VPI)设备后,在高压防爆电机上投入使用十来年,从未发生绕组破压事故。漆若浸的透,除了使绕组提高电气、机械强度,并耐潮、耐蚀外,还有利于绕组的散热。

3. 冲片及铁心的加工

冲片毛刺要小,自不必说。加工精度、加工后的变形量均影响铁心的质量。作为先进工艺——冲片加工后进行“氧化”处理,一是氧化处理加温时可以消除一部分因冲槽时潜伏下来的内应力,也“烧”掉一些毛刺;二是氧化的绝缘膜很薄,提高铁心的装压系数。为保证冲片的各向均匀,冲槽时可将方料依次变90°,如400mm长的铁心,每摞100mm长。

铁心的质量与电机的效率、功率因数、振动、噪声、温升及绕组寿命(也可以说电机寿命)均有直接影响。

铁心装压若不紧、毛刺也大,则因铁耗增加,空载电流增大,效率、功率因数均要降低,温升则因电流增加而升高;毛刺对绝缘也有损伤,损伤绕组寿命;铁心装压疏松,也容易产生电磁噪声;转子铁心菱形、影响动平衡精度。

4. 动平衡

动平衡精度直接影响电机的振动值,这是用户关注的第一指标,应该精益求精,不要满足于标准的限度。电机振动大,除损伤轴承寿命外,也影响所拖动的设备。

5. 转子

由于转子既承受机械力、电磁力、热应力,又要经受温度的考验,因此在电机全部故障中,就其频度而言,仅次于轴承部位,列第二位。

对于铸铝转子,要防止细条及减小菱形度;

对于鼠笼式铜条转子,与端环的焊接质量则是减少事故的关键;

对于绕线型转子,端部焊接及绑扎则是保证电机质量的重要一环。

整体转子的装配质量也不可忽视:转子铁心与轴,或转子铁心(或铸铝转子)与转子支架的配合处也是事故的多发处。此处采用热套或者过盈,尽管在制造中费点事,但对保障电机质量还是大有益处

的。

6. 大的金属件时效

大件,如较大的焊接机座,如果不时效或时效质量不好,在加工、装配中,若生产周期短,在制造厂很难发现因变形使形位公差超差,但在使用过程中,其变形就会逐渐地显示出来。常常因变形破坏同轴度,使轴承损坏、产生振动,或者损伤被拖动的设备。在北京燕山石化的炼油厂也曾出现过因焊接机座变形,将电机底脚在外隔板处被拉断。

7. 检测

质保体系对检测有详尽的规定,本文只强调一点:检测必须在零部件上下功夫才能真正确保电机质量。比如铁心,如果不把住冲片的质量关,装压成铁心槽形就不齐,这时再靠“锉槽”补救,费很大气力效果还不好,到装成电机时很可能出现功率因数不合格等质量问题,此时再无挽救余地。

本文虽以异步电机为例,但以上所谈的大部分内容均属于各类电机的共性问题。异步电机耗掉全国总发电量的60%以上,其质量应倍受关注。

参考文献

- 1 Yang S. Low-noise electrical motors. Oxford University Press, 1981.
- 2 谢笑林. 出厂前降低 YZR、YZ 电机噪声的补助措施. 起重冶金电机, 1997(2).
- 3 陈永校等. 电机噪声的分析和控制. 浙江大学出版社, 1987.
- 4 杨万青, 刘建忠. 实用异步电动机设计、安装与维修. 机械工业出版社, 1996.
- 5 杨万青. 提高电机质量的若干技术环节. 防爆电机, 1991(3).

收稿日期: 1998-05-18

· 书讯 ·

《电动机修理手册》(第2版)

手册对各种异步电动机、直流电动机、同步电动机以及特殊用途电动机(包括牵引电动机、直线电动机、力矩电动机、潜水电动机、变速电动机、伺服电动机、防爆电动机、滑差电动机等)的工作原理、故障分析和查找方法、修理工艺、修理计算以及试验方法和标准作了详细叙述,同时还介绍了许多国内、外先进修理实例。为了便于读者查阅,书中附有多种电动机的电磁技术数据和有关技术资料。本书叙述翔实,内容丰富多采,实用性强,每册58元。

需要者请邮寄汇款至:(200063)上海市武宁路505号《中小型电机》编辑部,联系人:王彩英(邮费按15%计)。