

电气设计禁忌 500 例

李 辛
薛钦林 主编

机械工业出版社

电气设计禁忌是一个容易被忽视,实为非常重要的问题。有时由于忽视了细节问题,会造成质量事故,甚至造成重大的经济损失和人身伤亡事故。

本书以电气设计中遇到的主要问题,从12个方面介绍了500个最基础的禁忌问题。用正误对比、图文并茂的方式予以解答,深入浅出,力求达到形象化,通俗易懂,集知识性、趣味性于一体。本书新颖的表达方式,是科技图书的一次有益的探索。

书中内容是作者多年工作实践的总结,具有很强的现实性和实用性。对从事电器产品设计、工艺、试验、安装和使用人员,特别是年青的技术人员会有很大的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

电气设计禁忌 500例/李辛,薛钦林主编.
—北京:机械工业出版社,2001.12
ISBN 7-111-09531-6

.电... .李... 薛... .电气设备-设计
.TM02

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第078222号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
责任编辑:李振标 版式设计:冉晓华 责任校对:吴美英
封面设计:陈沛 责任印制:郭景龙
北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
2002年1月第1版·第1次印刷
850mm×1168mm^{1/32}·9.5印张·328千字
0 001—5 000册
定价:18.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

目 录

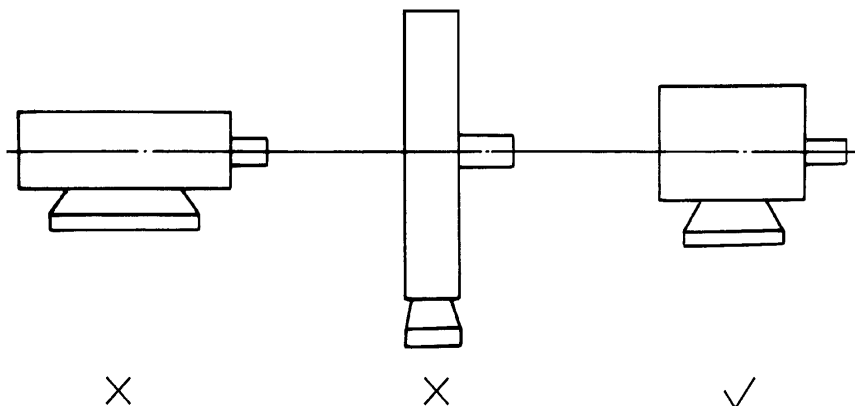
1	有关电机设计的问题	1
2	有关变压器设计的问题	69
3	有关高压开关设计的问题	77
4	有关低压电器的设计问题	92
5	有关整流器设计的问题	109
6	有关电气传动的 design 问题	121
7	有关工业控制机的应用问题	171
8	有关工厂供电中的问题	180
9	有关电气试验中的问题	219
10	有关电气安全设计的问题	226
11	有关电气产品标记、标志、铭牌的问题	237
12	有关电气产品的包装运输问题	260

1 有关电机设计的问题

电机的电磁设计

1.1 不要设计过于细长或扁平的电机

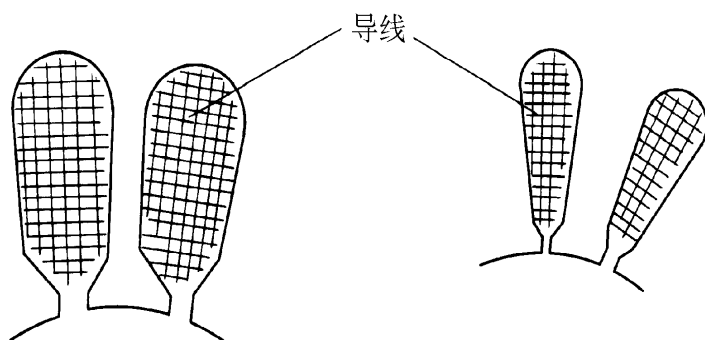
电机设计力求以最少的材料和成本获得最佳的性能。一般说来,扁平的电机有效材料用铁较少,用铜较多,结构材料较多。细长的电机有效材料用铁较多,用铜较少,结构材料较少,但结构的刚度较差。所以电机的直径和长度之比有一个最佳值,铁心内圆和长度之比为1:1左右。设计电机要根据电机各种性能要求及市场上有效材料、结构材料的价格进行优化设计,此外还要考虑系列化、零部件通用化以及结构的工艺性、工模具的成本等问题。



1.2 电机线圈的电流密度不宜过大或过小

电机线圈具有一定电阻,当电流通过线圈时就产生损耗,使电机效率降低,绕组温度升高。电机设计时希望减小电阻,以减少损耗,降低温升,提高效率。降低电流密度,增加导线截面积可以减小电阻,但会导致线圈材料用量增加;由于槽面积的加大,引起铁心磁密增加,使电机的励磁电流及铁损耗增加。所以电流密度的选择要全面考虑电机性能。

电流密度一般选用 $3 \sim 7 \text{ A/mm}^2$ 。对于大电机及封闭式电机取小值,对于小电机及开启式电机则取大值。

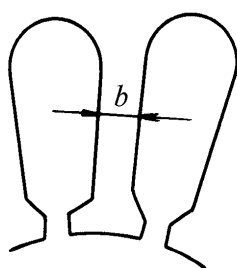


线圈电流密度低，导线截面大
铁心槽孔大，齿部窄

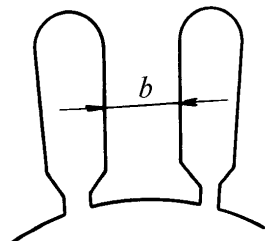
线圈电流密度高，导线截面小
铁心槽孔小，齿部宽

1.3 电机铁心的磁通密度不宜过高或过低

当铁心材料、频率及硅钢片厚度一定时，铁损耗决定于磁通密度的大小。磁通密度过高，使铁耗增加，电机效率降低，铁心发热使电机温升增高。并由于励磁安匝增加，电机功率因数降低。所以铁心的磁通密度不宜过高，尽量避免用在磁化曲线的过饱和段。小型电机一般不超过 155T。磁通密度过低则使电机材料用量增加，成本提高。



齿部窄，磁密高



齿部宽，磁密低

1.4 电机的槽满率不宜过高或过低

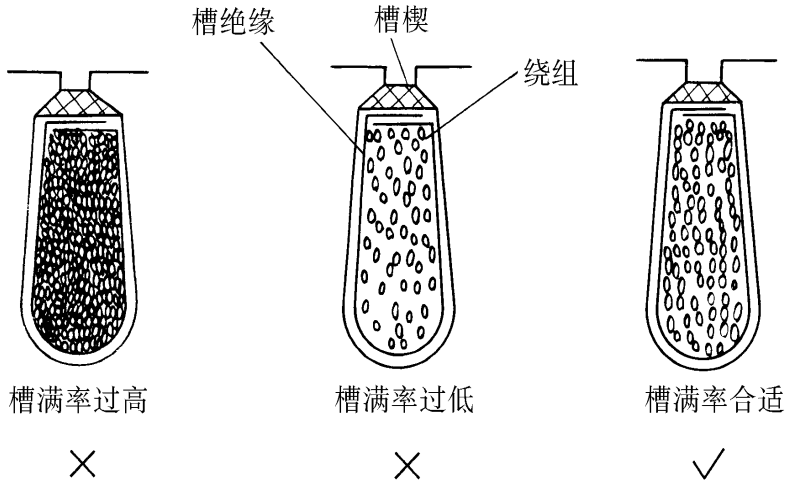
所谓槽满率是指槽内导线的面积和槽有效面积之比，即

$$s_f = \frac{Nzd^2}{S_e}$$

式中，N 为导线并绕根数；z 为每槽导体数；d 为导线绝缘后外径； S_e 为槽有效面积（为槽面积减去槽绝缘所占面积）。

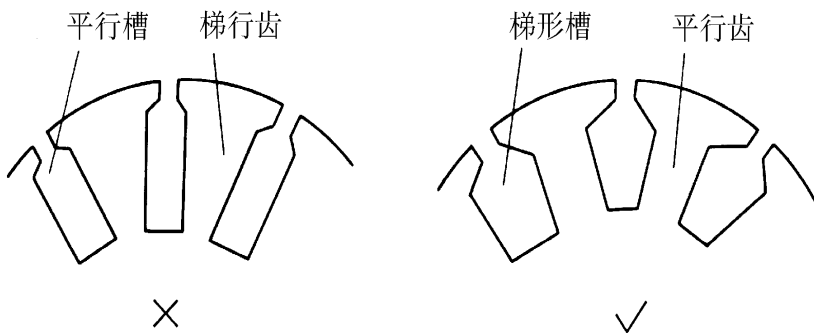
槽满率大，表示槽内填充紧密；槽满率小，表示槽内填充松散。就电机有效材料的充分利用和运行性能来说，槽满率高为好。但过高嵌线困难，劳动量及工时增加，容易损伤绝缘。槽满率低，电机运行时导线在槽内松动，易损坏绝缘。此外，槽内空隙多，由于空气导热差，影响线圈的散热，使电机温升增高。

槽满率一般取 75% ~ 78%，不大于 80%。

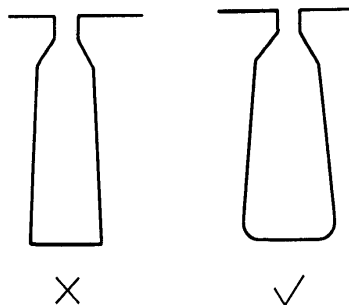


1.5 电机槽形的设计尽可能选用平行齿梯形槽

硅钢片工作在磁化曲线的饱和段，单位长度励磁消耗的安匝数随磁通密度的增加而大量增加。为了合理充分利用电机内部空间，电机设计时总是使硅钢片比较饱和。如果采用梯形齿，则齿的窄部由于磁通密度大，励磁安匝数大量增加，电机的功率因数降低。如果采用平行齿，则沿齿部长度内磁通密度均匀，励磁消耗的安匝数大为减少。



1.6 槽形边缘不要有尖角



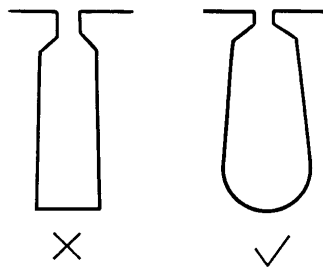
槽形的设计应考虑便于冲模的制造。冲模淬火时，凹槽尖角处常因应力集中而产生裂纹。圆角还有助于延长冲模寿命。槽形设计其边缘处应尽量采用圆

角，圆角半径应不小于 1mm。

1.7 尽量用圆底槽代替平底槽

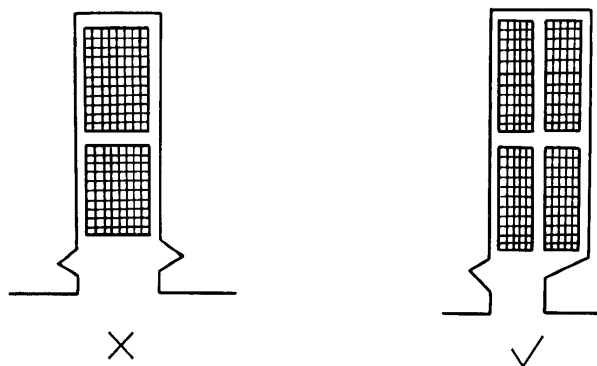
圆底槽的优点：

1. 圆底槽能改善导线的填充情况，槽绝缘不易损坏，在槽满率相同的情况下，圆底槽嵌线比平底槽容易。
2. 转子铸铝时，圆底槽比平底槽铝水填充情况好。
3. 圆底槽比平底槽便于模具制造。



1.8 电机铁心槽口宽度不宜过大

电机槽口太小，下线困难。电机槽口太大，使气隙磁通分布不均，齿谐波增大，附加损耗增加。半闭口槽的槽口宽度一般为 2~3 根导线的直径，约为 3.5mm。低压成型线圈采用槽内四个元件边的半开口槽结构，使其槽口宽度减少为槽宽的一半。

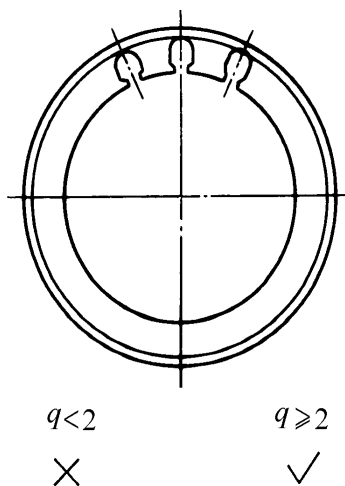


(低压成型线圈槽形)

1.9 定子槽数不要太多或太少

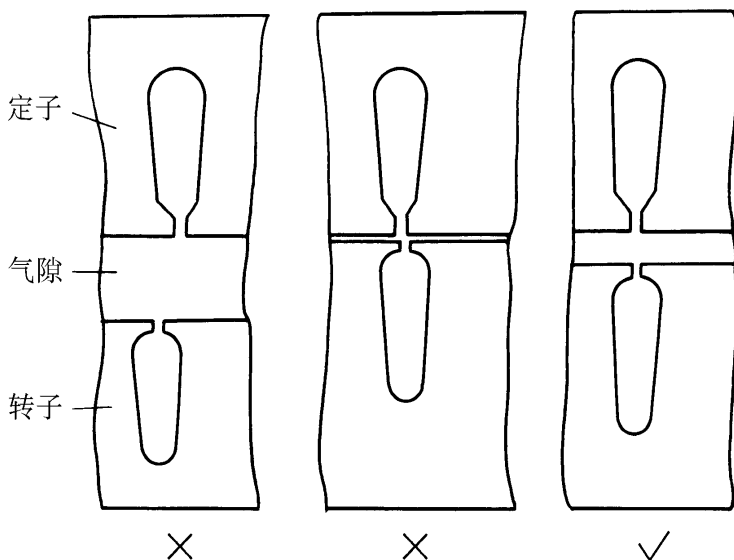
异步电动机定子槽数多，磁动势、电动势波形好，附加损耗小，电机效率高。槽数多，还使线圈和铁心的接触面积增加，线圈散热好，温升高。但槽数多，铁心齿部过窄，冲压变形大，工艺性差。槽数多还使模具制造成本增加，

线圈制造及下线工时增加。一般说来，定子槽数多，电机性能好，但成本高。一般异步电动机每极每相槽数 $q \geq 2$ 。



1.10 异步电动机避免选用过大或过小的气隙

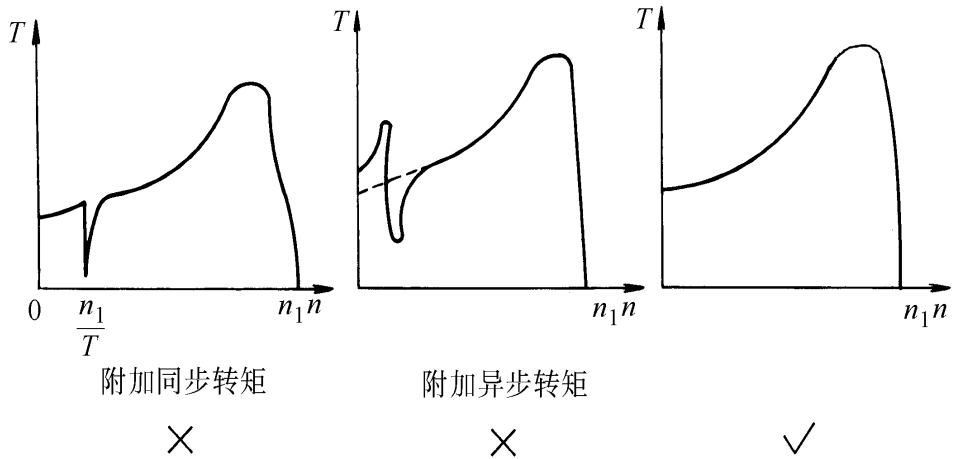
气隙是指电机定子和转子间的空隙。气隙大小对电机性能及制造工艺有很大的影响。气隙大，磁阻大，励磁安匝数多，使电机励磁电流增大，电机功率因数降低。但气隙大使谐波磁场减弱，电机的附加损耗降低。气隙大，对电机零部件的同轴度及装配精度的要求降低；气隙过小，则容易引起定转子扫膛，以及由于附加损耗增加而使电机效率降低。



1.11 避免选用不适合的定、转子槽配合

定、转子槽配合选择不当，可能使定、转子齿谐波磁动势的极数相同，则产生一系列的谐波转矩，该转矩使电机的起动转矩及最小转矩减小，损耗及噪

声、振动增加，甚至使电机卡在某一低转速下不能正常起动，引起电机烧毁。



设 Q_1 为定子槽数， Q_2 为转子槽数， p 为电机极对数。为避免或削弱齿谐波的作用，槽配合的选择应遵守以下规则：

1. 为削弱附加同步转矩

$$Q_1 \neq Q_2$$

$$Q_1 \neq Q_2 \pm p$$

2. 为削弱附加异步转矩，使定、转子槽数相近。

3. 为减少单向振动力

$$Q_1 - Q_2 \neq \pm 1$$

$$Q_1 - Q_2 \neq \pm p \pm 1$$

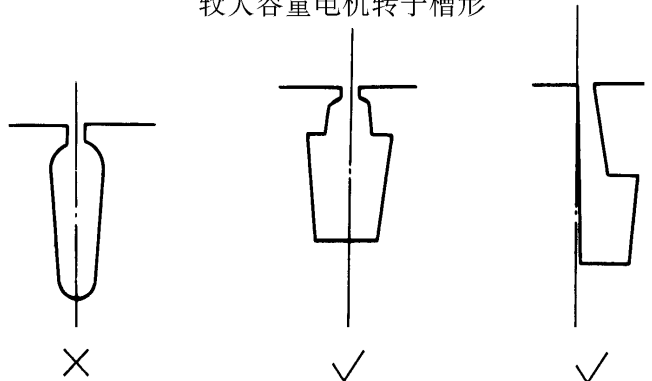
1.12 避免因转子槽形不好，使电机起动困难

对于笼型异步电动机要选择适合的槽形，使转子槽有足够的面积，以降低转子铜耗，保证电机效率及温升；使转子齿及轭部有足够的导磁面积，使电机起动电流小，起动转矩大。

一般小容量电机（10kW 以下）采用梯形槽；较大容量的电机为了改善起动性能，则采用凸形槽或大刀槽。其特点是

是利用起动时导条的挤流效应，使起动转子电阻大大高于运行转子电阻，以获得小起动电流、大起动转矩。

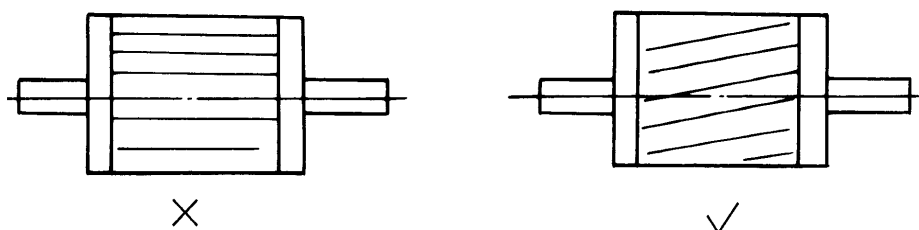
较大容量电机转子槽形



采用凸形槽或大刀槽，增加了模具制造及铸铝的困难，应注意解决。

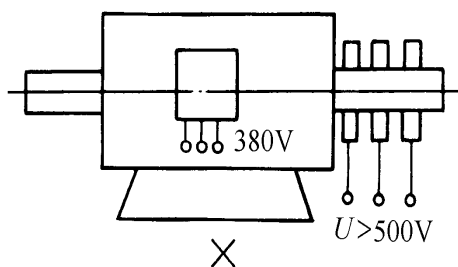
1.13 异步电动机转子要合理斜槽

转子合理斜槽可以使转子导条沿轴向的谐波电动势相位不同而被削弱，从而减少了附加同步转矩及附加异步转矩，降低电机附加损耗，提高效率，降低噪声、振动。可见转子合理斜槽对改善电机性能有重要作用。一般电机转子斜槽宽度为定子的一个齿节距。



1.14 异步电动机转子开路电压不要超过 500V

当绕线转子三相异步电动机定子加额定电压而转子不转时，绕线转子开路时的电压即空载转子电压，此电压不要超过 500V。这样转子绕组绝缘可以按低压绝缘来设计制造，电机的运行也安全可靠。空载转子电压超过 500V 时，其转子绝缘及有关电器设备需特殊考虑。

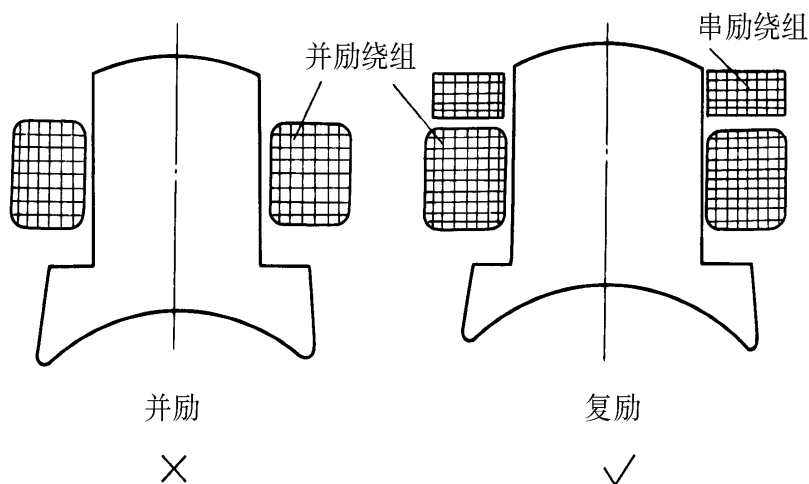


1.15 直流电机气隙不宜过大或过小

直流电机气隙大小影响电机换向性能及励磁容量。在电枢反应交轴磁动势的作用下，主极磁通分布不均匀，气隙磁密大的地方换向器片间电压高，换向性能变坏。在气隙小时，电枢反应的影响比较突出。气隙增大，可以使额定负载时最大片间电压低，有利于削弱换向火花。但使主极励磁安匝增加，励磁损耗及励磁绕组用铜量均增加。气隙的数值可按下式计算：

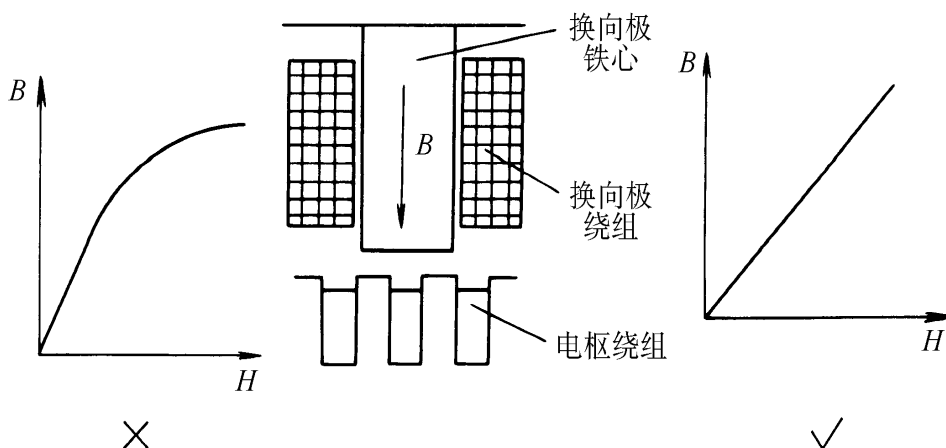
$$g = (0.37 \sim 0.4) \frac{A}{B_g \times 10^4}$$

式中， A 为线负荷； τ 为极距； B_g 为空载气隙磁密幅值。



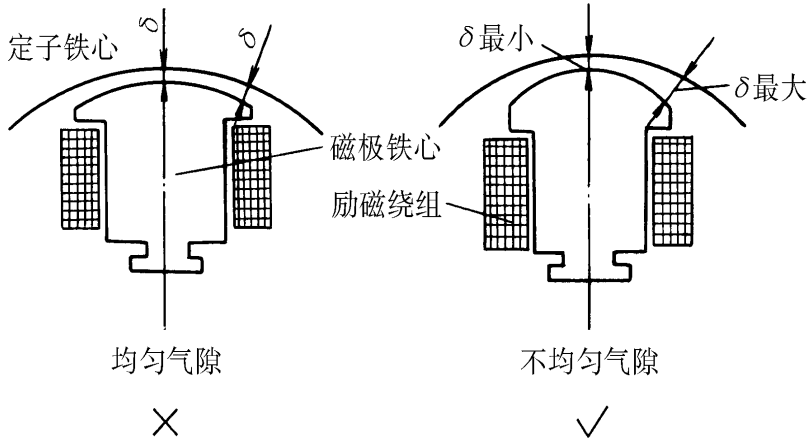
1.18 直流电机换向极磁路不要饱和

电枢电流流过换向极绕组在换向极铁心与电枢表面的气隙处产生磁通，换向元件切割该磁通产生换向电动势，该换向电动势和换向元件的自感、互感电动势相等时实现电阻换向，换向火花最小。换向极磁路不饱和时，不同负载下换向电动势均和自感、互感电动势平衡，使换向良好。换向极磁路饱和时，由于两种电动势不平衡，电机过载时为滞后换向，火花情况恶化。所以换向极磁路不要饱和。



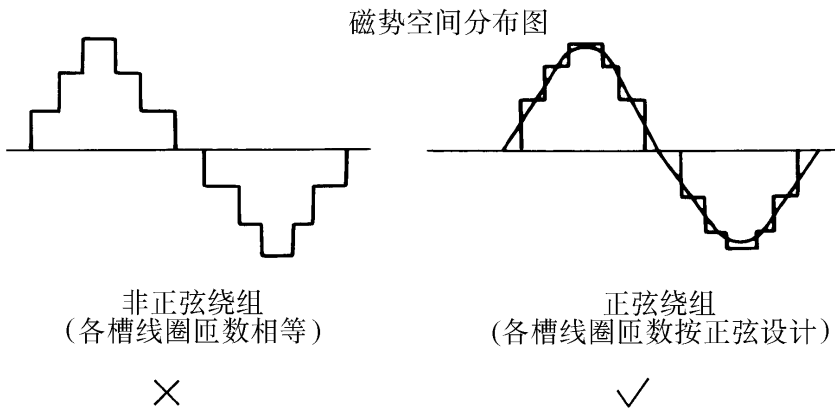
1.19 凸极同步电机不要用均匀的气隙

发电机设计时要求发电机电压为正弦波。凸极同步电机转子为集中励磁绕组，其磁动势分布为矩形波。为了使气隙磁密沿圆周方向正弦分布，凸极同步电机一般不做成均匀气隙。使磁极极尖处的最大气隙和磁极中心线处的最小气隙的比值为 1.5 ~ 1。这时气隙磁密波接近正弦波。



1.20 单相电机不要用非正弦绕组

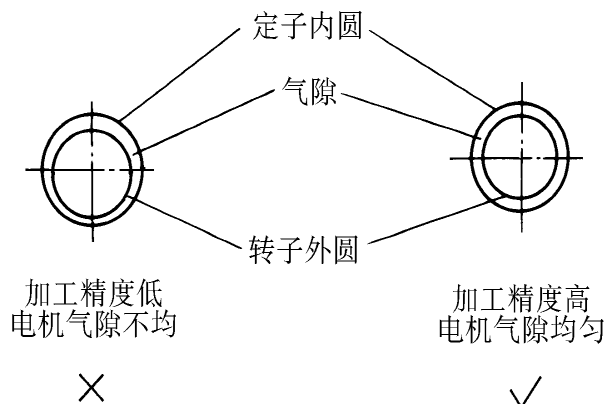
单相电机一般由两套绕组组成。一套为主绕组,另一套为接有电容器的副绕组。两套绕组所产生的脉振磁场合成旋转磁场使电机旋转。如果,主、副绕组为非正弦绕组,由于合成后的旋转磁场中的谐波磁场的影响,使电机各项性能很差。所以一般单相电机均采用各线圈匝数不相同的正弦绕组。



电机结构设计

1.21 结构件的机加工精度和粗糙度不要选择过高或过低

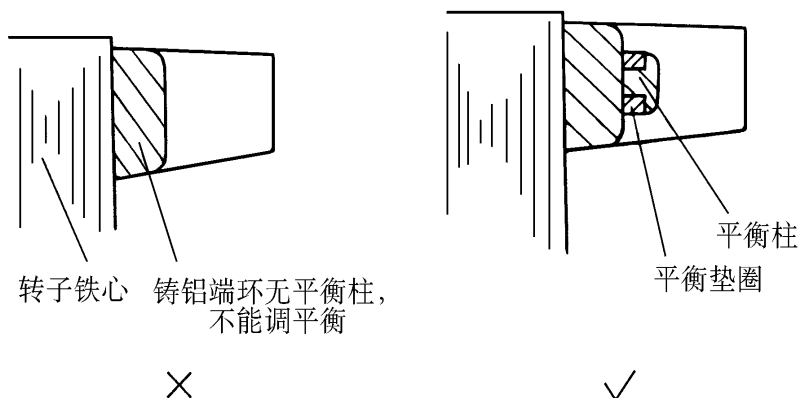
电机的定子与转子之间的空隙称为气隙。结构件的机加工精度过低,使电机气隙沿圆周方向不均匀,电机性能恶化,产生噪声、振动,严重时使定、转子相碰,电机烧毁。机加工精度过高,则使加工成本增加。表面粗糙度直接影响配合尺寸的精度和配合性质的稳定。所以要选择既达到了规定的精度和粗糙度又最经济的加工方法。



电机的装配设计

1.22 电机的转动零部件不要忽略增、减重部位的设计

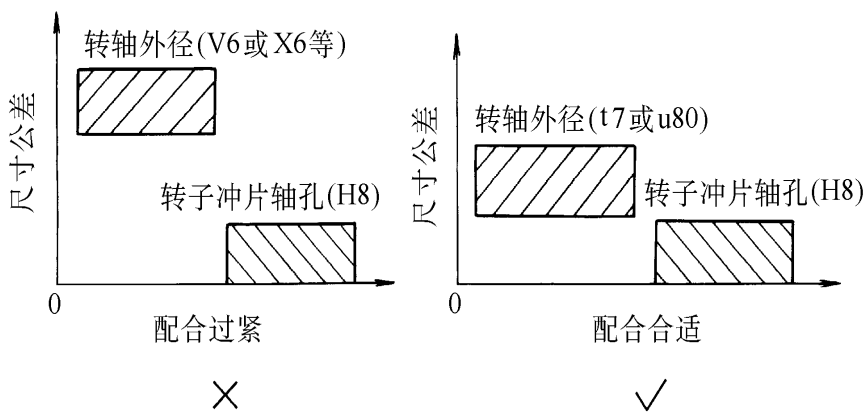
电机转子由于机加工同轴度的偏差，热加工（铸铝、焊接）的不均匀性，绕组端部和连接线分布不均匀，各部分挂漆量的不同以及结构设计的不对称（如单边有键槽）等原因造成转子重心不在其转动的轴线上，即所谓的转子不平衡。转子不平衡造成电机运行时的振动，影响电机及其拖动装置的工作，降低设备寿命。为了保证电机运行平稳，必须对转子采取平衡措施，即调平衡。调平衡的方法有加重法和去重法。加重法是利用螺钉连接、铆接、粘接等方法将重物按需要的重量加在转子缺少重量的部位。去重法就是将转子某部位多余的重量去除。无论是加重或去重，电机结构设计时一定要在转子上留有可供加重或去重的部位。该部位尽可能布置在离中心较远的位置，这样可以较小的平衡重，获得较好的平衡效果。平衡重必须固定牢靠，以免在电机运行时飞出造成事故。



1.23 转子避免用过紧的公差配合

转轴和铸铝转子铁心采用热套配合，具有结构简单，配合牢靠的优点。对

离心铸铝转子还可以利用铸铝时的余热，将轴装入铁心轴孔中，以节约能源。热套轴的铁心档一般采用 t7 或 u8。转子冲片轴孔一般采用 H8。热套时转子铁心温度一般控制在 250~400℃。在保证配合强度的前提下，尽量不要采用过紧的公差配合。因为过盈量增加，必然要求提高转子铁心的温度，这样既浪费能源也增加热套操作的困难。有时为了解决铁心轴孔不齐的问题，采用提高转子温度的办法。这样虽然可以套轴，但转子冷却后轴的弯曲变形增加。比较好的办法是由机加工（如铰孔或推刀、拉刀加工）去除轴孔的不齐部分，以保证用较低的转子铁心温度满足热套要求。



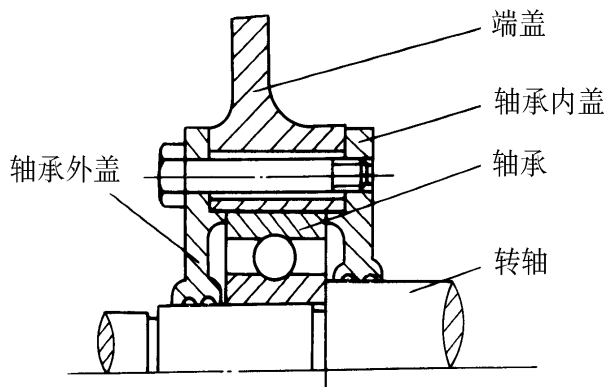
1.24 轴和端盖与轴承内、外圈的配合不要太紧或太松

轴承装配是电机正常运行的关键。轴是转动零件，要求轴和轴承间的配合比较牢固，不能出现间隙。但配合若有过大的过盈量，会使轴承内圈涨大，使轴承钢球和内、外圈间的间隙减少，引起轴承响声或发热。轴承外圈和端盖的配合过紧也会引起轴承响声或发热。而且装配和维修时不便于端盖的装卸。配合过松，电机运行时轴承外圈会在端盖内转动，导致配合松动，间隙增大。严重时发生“扫膛”，电机烧毁。

端盖轴承室与球轴承外圈的配合一般选用 J7/h6。实际上为了降低轴承噪声，在不使轴承外圈转动的情况下适当放大端盖轴承室的尺寸，不得不用非标准的公差：

(mm)

轴承室内径	轴承室公差	轴承室内径	轴承室公差
> 30 ~ 50	+ 0.020 - 0	> 80 ~ 120	+ 0.025 - 0
> 50 ~ 80	+ 0.022 - 0	> 180 ~ 160	+ 0.029 - 0

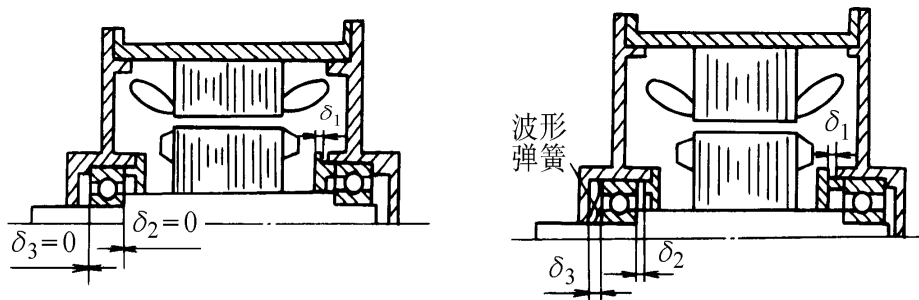


轴承装配

滚动轴承内径与轴承挡外径的配合一般用 $H7/k6$ 。在保证轴和轴承间连接牢固的前提下，保持轴的 $k6$ 下偏差不变，适当缩小公差带，使轴的外圆尺寸较小，以保证轴承钢球的合理间隙，降低轴承噪声。具体的公差带数值按设备的精度选定。

1.25 电机两端都用球轴承时轴向不要卡死

一般电机定子散热条件比转子好，机座、端盖的温升低于转子温升。电机运行时转轴的热膨胀要大于定子部件、机座、端盖的热膨胀。如果两端球轴承都卡死，转轴就不能自由膨胀。其结果一方面使球轴承承受较大的轴向力，增大轴承噪声及磨损，降低轴承寿命。另一方面使转轴产生弯曲变形，可能使定、转子相碰，即所谓“扫膛”，使电机不能正常工作，甚至烧毁。



X

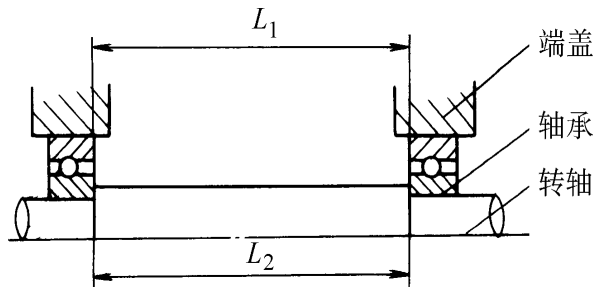
✓

电机结构设计要认真计算装配尺寸链，该装配尺寸链一定要使电机的非轴伸端轴承被轴承盖压紧，使轴伸端的轴承和轴承盖之间有一定的间隙。

当电机两端分别为球轴承和圆柱滚子轴承时，由于圆柱滚子轴承内、外圈之间允许有一定的轴向位移，而不影响轴承的正常运行。所以电机两端轴承都可以用轴承盖卡死。

1.26 不要使用两轴承挡间距不合适的电机轴

如果由电机各个零件如机座、端盖、轴、轴承、轴承盖等的相互轴向位置所组成的尺寸链与转轴两轴承挡间距不符合,就会使轴承承受附加的轴向力,增加轴承的噪声和磨损,降低其使用寿命。

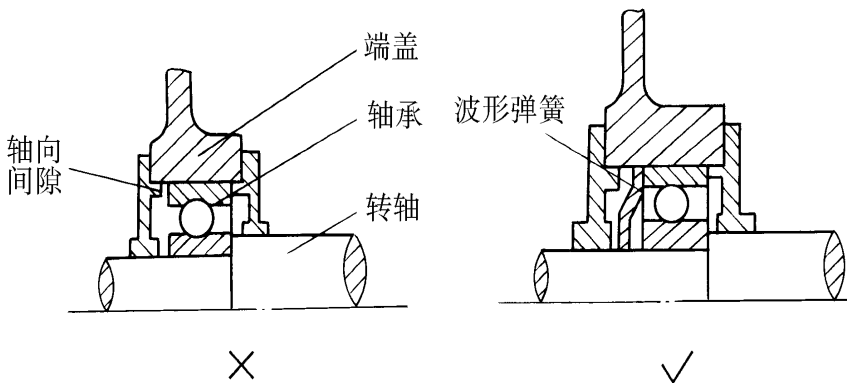


L_1 : 由定子端 (机座、端盖、轴承盖) 计算得出的轴承间距

L_2 : 转轴的轴承间距

L_1 、 L_2 应当相符合

1.27 不要使电机转子产生轴向窜动



电机转子轴向窜动现象表现如下:

1. 测试电机振动值时,经常发现各点振动值很低,唯有第1点(轴向)振动值超差。

2. 电机经过一段时间的运输后,拆机检查时发现轴承因转子窜动而损坏。

3. 有的电机用手握住轴伸端,并前后用力,即可看到转子轴向窜动。转子轴向窜动不但造成轴承的损坏,也影响所拖动的负载的正常运行。

造成转子轴向窜动的原因有: