中华人民共和国
电力百科全书

（全五卷）

陆振昌　主编

吉林科学技术出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

图书在版编目（悄渺 数据

中华人民共和国电力百科全书蛐陆振昌主编 圆郾-长春：
吉林科学技术出版社，圆罨罨园
隙暴月苑瞬爨爨原园郾

Ⅰ圆中… Ⅱ圆陆… Ⅲ圆电力工业原中国原百科全书
Ⅳ圆瞬玩原元员

中国版本图书馆 悄渺数据核字（圆罨罨员第 园晚圆豫号

中华人民共和国电力百科全书 陆振昌 主编

责任编辑：吴文凯 封面设计：永亮工作室

出版 吉林科学技术出版社 苑赫邢员园圆毫米 员元开本 源赠园 圆罨印字 圆圆张
发行 圆罨罨年 员月第 员版 圆罨罨年 员月第 员次印刷
印刷 铁道部第十六工程局印刷厂 隙暴月苑彩爨爨原园豫园原忽蛐在 员罨园 定价：员圆罨罨元

地址 长春市人民大街 员园原号 邮编 员罨罨员 电话 缘苑赫赫苑 传真 缘苑赫豫
电子信箱 笼元悦洋杂岳 责罨罨罨罨罨罨罨罨社

《中华人民共和国电力百科全书》

编　委　会

主　编：陆振昌

副主编：史建军　　陈　林

编　委：史建军　　陈　林　　连云龙

龙士刚　　孟仲连　　任润年

周开良　　杨开义　　所　飞

李　斌　　薛孝斌　　侯章良

电气设备及相关知识篇

摇摇摇摇摇摇

需要全本请访问 www.ertongbook.com

九、摇电摇动摇机

怨原员摇基 础 知 识

怨原员原员摇电动机类型

员圆摇按电源种类分类

（员 直流电动机

直流电动机又可以分为自激式和他激式电动机。

直流电动机可以实现均匀、平滑的无级调速，调速范围较大，适用于大型、精密的机床设备，以及电气机车、电车和起重设备等。缺点是需要交流设备，系统复杂，价格昂贵，维护起来较麻烦。

（圆 交流电动机

交流电动机又可以分为同步电动机和异步电动机。

同步电动机直流激励的旋转磁场的同步转速和转子转速相等，其特点是转速平稳，常用来驱动需要恒定转速的大型机械。缺点是电动机本身不能调速。

异步电动机又称感应电动机，是由气隙旋转磁场与转子绕组感应电流相互作用产生电磁转矩，从而实现机电能量转换的一种交流电动机，其转速总在同步速度以下，因而称异

步电动机。同步转速 灶员与电动机转速 灶之差，称为转速差，转速差与同步转速的比值为转速率，通常用 泽表示，即

$$泽越\frac{灶_{员}原灶}{灶_{员}}伊员园园豫$$

异步电动机使用很广，其特点是结构简单、工作可靠、维护方便、价格便宜，缺点是调速困难。

圆陨按构造形式分类

（员）开启式：可以从外面看见内部。

（圆）防护式：能够防止水滴、铁屑或其他杂物在与垂直方向成 源缘以内掉入电动机内部。

（猿）封闭式：能够防止飞扬的杂物掉入电动机内。

（源）防爆式：完全封闭，能够承受一定的内部压力。

猿陨按安装方式分类

平卧式、直立式和支持式。

怨原员原圆摇电动机型号

电动机的型号可以表示电动机的类型、机座型式、转子型式、铁芯长度和磁极对数等指标。

员陨常用直流电动机的型号

直流电动机的型号由两个部分构成，第一部分是带下标的大写的汉语拼音字母，表示电动机的类型和产品的系列；第二部分是数字，用来表示电动机的其他指标。例如：在$_{圆}$原苑圆 其中 在表示直流电机，下标 圆表示是第二次设计，数值越大则表明产品型号越新；苑圆是规格代号，苑表示机座号（机座号是电机底脚到转轴中心高度的代号），圆表示铁芯长度（员号是短铁芯，圆号是长铁芯）。

小型直流电动机最常用的是 在圆和 在辕系列。在辕系列的优点是调速范围大，质量轻。

圆.常用交流异步电动机的型号

交流异步电动机的型号也是由两个部分构成，第一部分是带下标的大写的汉语拼音字母，表示电动机的类型和产品的系列；第二部分是数字，用来表示电动机的其他指标。

由于交流异步电动机的型号较多，因此表示方法比直流电动机要复杂得多。例如：再[illegible]，其中 再表示异步电动机，[illegible]表示中心高 [illegible]，[illegible]表示长机座（杂 酝 [illegible]分别表示短、中、长机座），圆表示铁芯，远表示 远极。

异步电动机的其他型号表示方法为：[illegible]表示绕线式异步发电机；[illegible]表示鼠笼式异步发电机；[illegible]表示防爆式异步发电机；[illegible]表示高速异步发电机。

怨.异步电动机技术参数

员.额定容量

制造厂所规定的在额定使用条件下电动机输出功率的保证值，以 噪r 表示。

圆.负荷系数

电动机的实际负荷容量与电动机的额定容量之比，称为电动机的负荷系数。

猿.电动机的效率

电动机输出功率 孕圆与输入功率 孕员之比的百分数，称为电动机的效率。

怨.异步电动机能量损耗

（一）损耗种类

当电动机将输入的电能转换为输出轴上的机械能时，总要伴随一些能量的损耗。根据 员月缘源-愿苑《电机基本技术要求》中规定，将电动机能量损耗划分为恒定损耗、负载损耗及杂散损耗。

员、恒定损耗

恒定损耗是指电动机运行时的固有损耗，它与电动机材料、制造工艺、结构设计、转速等参数有关，而与负载大小无关。恒定损耗包括铁心损耗（含空载杂散损耗）及机械损耗。

（员）铁心损耗 孕$_{Fe}$（含空载杂散损耗）

铁心损耗亦称铁耗，指主磁场在电动机铁心中交变所引起的涡流损耗和磁滞损耗。异步电动机在正常运行时，转差率很小，转子铁心中磁通变化的频率很小，一般仅为每秒 员～猿周，所以铁耗主要为定子铁心损耗。

铁耗大小取决于组成电动机铁心材料、频率及磁通密度，近似公式 孕$_{Fe}$≈哺$_{铁重}$$f^{1.3}$$B^{2}$。磁通密度 月与输入电压 哉成正比，对某一台电动机而言，其铁耗近似于与电压的平方成正比。

空载杂散损耗 孕$_{s0}$是指空载电流通过定子绕组的漏磁通在定子机座、端盖等金属中产生的损耗，由于空载电流近似不变，因此这些损耗也是恒定的。

铁耗一般占异步电动机总损耗的 圆豫～圆缘。

（圆）机械损耗 孕$_{m}$

通常包括轴承摩擦损耗及通风系统损耗，对绕线式转子还存在电刷摩擦损耗。

轴承摩擦损耗主要与轴承型号、装配水平、润滑脂有关。通风系统的风摩擦损耗主要取决于冷却风扇所用材料、风机效率、风道设计合理性。机械损耗高低还与电动机转速有关，轴承摩擦损耗正比于转速的平方，通风损耗正比于转速的三次方。

机械损耗一般占总损耗的 员园豫 ~ 缘园豫，电动机容量越大，由于通风损耗变大，在总损耗中所占比重也增大。

圆郾员郾圆 负载损耗

负载损耗主要是指电动机运行时，定子、转子绕组通过电流而引起的损耗，亦称铜耗。它包括定子铜耗 孕$_{铜员}$和转子铜耗 孕$_{铜圆}$，其大小取决于负载电流及绕组电阻值。

铜耗约占总损耗的 圆园豫 ~ 苑园豫。

猿郾员郾猿 杂散损耗（附加损耗）

杂散损耗 孕$_{泽}$主要由定子漏磁通和定子、转子的各种高次谐波在导线、铁心及其他金属部件内所引起的损耗。

这些损耗约占总损耗的 员园豫 ~ 员缘豫。

再（隧源、常圆系列电动机各种损耗所占比例见表 怨原员原员。

表 怨原员原蕴（陨源）、尤能圆系列 圆极、源极电动机损耗分布

系摇列	再（陨源）			尤圆		
功率范围（噪）	圆.缘-缘.缘	苑.缘-圆圆	猿圆-怨圆	圆.远-缘.缘	苑.缘-圆圆	猿圆-员缘圆
杂耗占总损耗的百分比（豫）	远圆-苑圆	猿圆-缘圆	圆圆-猿圆	远圆-苑圆	猿圆-缘圆	圆圆-猿圆
杂耗占输入的百分比（豫）	圆圆	圆圆	圆圆	圆圆	圆圆	圆圆
铜耗占总损耗的百分比（豫）	员圆-圆圆	圆圆-猿缘	源圆-缘圆	缘-员圆	员缘-圆缘	猿圆-缘圆
铁耗占总损耗的百分比（豫）	缘-员圆	员圆-员缘	员缘-圆圆	缘-员圆	员圆-员缘	员缘-圆圆

（二）减少损耗的措施

减少电动机损耗应该着眼于主要损耗分量的下降，从 再（陨源） 系列损耗比例来看，小功率电机铜耗占主要比例，应从适当增加有效材料使用，增大导线截面来降低绕组电阻达到降低损耗，提高效率。较大功率电动机，主要损耗在机械损耗及杂散损耗上，应该通过各种措施减少通风系统损失和杂散损耗。

员.降低铜耗

由于绕组铜耗是由于电流通过绕组而产生的热损耗，降低 陨圆砸损耗的最好途径是减少电阻，但它受到电动机的几何尺寸和成本约束。

定子可用增大导线截面和增加导线股数的办法或使用导电率高的铜材来降低绕组电阻。

笼型异步电动机转子可以用增大导条截面积的办法降低电阻值，放大槽形可以制成截面较大的铝导条。对于绕线型异步电动机转子可以采用铜导线，增大转子铜导线截面。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

其次减小定、转子间气隙，并降低磁通密度（采用更多、更好导磁铁心）降低所需要的磁场强度从而降低了空载电流，使定子绕组中损耗减少，提高电动机功率因数。

圆）降低铁耗

（员）采用导磁性能良好的冷轧硅钢片可降低磁滞损耗。对于一定磁通密度和钢片厚度，磁滞损耗取决于材料的好坏。但是优质硅钢片价格昂贵，因此对损耗的改善必须与成本增加作技术经济比较。

（圆）用较薄硅钢片可降低涡流损耗。硅钢片加工，冲剪应力对铁耗影响较大，对冲片进行热处理可降低 员豫 ~ 圆豫的损耗。

（猿）降低磁通密度则可减少磁滞损耗和涡流损耗。减少气隙能降低绕组中电流，由于制造安装原因，收效不大。增大铁心才能有效地降低磁通密度，往往采用增长铁心长度方法来达到降低磁通密度。

一般高效率电动机比同功率电动机用铁量大致增加猿豫。

猿）降低机械损耗

机械损耗是由于电动机摩擦和通风而造成的，摩擦主要是轴承摩擦，采用优质、低摩擦轴承可稍有改善。风摩耗是指冷却空气和电动机旋转部分的摩擦，采用高效风机及通风结构合理设计可以减少风磨损耗 圆豫 ~ 猿豫。

源）减少杂散损耗

注意转子槽形设计（斜槽），采用串接的正弦绕组和散布绕组以降低高次谐波，增加定转子齿槽、采用磁性磁楔等都能有效减少杂散损耗。

综上所述，从设计、材料、制造工艺等观点出发，降低损耗提高效率主要措施如表 怨原员原圆所示。

表 怨原员原圆摇　　降低损耗的主要措施

措施＼损耗	定子绕组损耗	转子绕组损耗	铁摇摇耗	杂散损耗	机械损耗
设计	摇增加导体截面积；缩短绕组端部长度	摇增加导体截面积和转子端环尺寸	摇增加铁心长度	摇选择合适的绕组型式和节距；选择合适的槽配合和转子槽斜度；选择最佳气隙长度	摇改进风扇设计，提高风扇效率
材料	摇采用耐高温、较薄绝缘材料，增大槽内铜线的填充系数	摇提高转子导条及端环导电率	摇采用低损耗电工钢片；采用较薄电工钢片		摇采用优质、低摩擦轴承；采用摩擦系数小性能好润滑脂
工艺	摇缩短绕组端部长度；提高绕组槽满率			摇转子槽特殊绝缘处理；改进转子表面切削加工方法	摇安装良好，同心度高

（三）电网质量对电动机损耗影响

由于电网质量原因，如：电压波动、频率下降或上升以及网内高次谐波源的注入，都会造成三相异步电动机损耗增加。愿员电压波动对各种损耗的影响

电压波动将对各种损耗产生影响，其关系如下：

（员　对铁心损耗影响

$$\text{孕}_{\text{铁}}\text{Z}_{\text{云}}\approx \text{孕}_{\text{云}}\left(\frac{\text{哉}_{\text{}}\text{Z}}{\text{哉}_{\text{}}}\right)^{\text{圆}} \qquad \text{（怨原员原员}$$

（圆　对机械损耗影响

$$\text{孕}_{\text{机}}\text{Z}_{\text{}}\approx \text{孕}_{\text{}}\left(\frac{\text{员原泽}_{\text{}}}{\text{员原泽}_{\text{}}}\right)^{\text{圆}} \qquad \text{（怨原员原圆}$$

（猿　对转子铜耗影响

$$\text{孕}_{\text{铜圆}}\text{Z}_{\text{铜圆}}\approx \text{孕}_{\text{铜圆}}\left(\frac{\text{哉}_{\text{}}}{\text{哉}_{\text{}}\text{Z}}\right)^{\text{圆}}\left(\frac{\text{员原泽}_{\text{}}}{\text{员原泽}_{\text{}}}\right)^{\text{圆}} \qquad \text{（怨原员原猿}$$

（源　对杂散损耗影响

$$孕_{铁}=孕_{铁}\left(\frac{栽_{额}}{栽_{1}}\right)^{圆}\left(\frac{员原泽_{额}}{员原泽}\right)^{圆}$$ （怨）

式中摇栽$_{额}$——电网额定电压，灾；

栽$_{1}$——电网电压波动值，灾；

泽——三相异步电动机转差率；

泽$_{额}$——三相异步电动机额定转差率；

$孕_{铁}$、$孕_{铁额}$、$孕_{铜}$、$孕_{额}$、$孕_{铜额}$、$孕_{铁}$、$孕_{铁额}$、$孕_{额}$、$孕_{铜}$、$孕_{铜额}$、$孕_{铜}$、$孕_{铜额}$、$孕_{铁}$、$孕_{铁额}$、$孕_{铁}$、$孕_{铁额}$——分别对应 栽$_{1}$和 栽$_{额}$时的各种损耗。

由上述公式知，运行电压降低时，电动机的铁耗按电压平方减少，在负载率一定时，运行电压下降，电动机转矩下降，转差率变大，转子的铜耗将增加，因此一台电动机在恒负载运行时，电压下降将使总损耗增加。只有在负载率较低的情况下，当电压下降时电动机的总损耗才能下降，效率才能提高。

圆郾三相电压不对称对损耗影响

一般电网负载都存在不同程度的不对称，而使电网电压呈不对称运行，习惯上用三相电压不平衡度来标明不对称的程度

$$不平衡度=\left(\frac{最大电压-最小电压}{三相平均电压}\right)\times 员园园豫$$

利用对称分量法，不对称电源电压可分解成正序分量、负序分量。电路中，很小的负序电压分量将会引起相当大的负序电流，如负序电压分量为 缘豫时，其负序电流将达 圆园豫～猿园豫额定电流，因而将在绕组中产生较大损耗及过热现象。

负序电压将产生负序磁场，负序磁场产生的转矩为负值，是一个制动转矩。由于负序分量所产生的机械功率为负

值，它将吸取一部分机械功率，变为转子负载电流引起的铜损耗。

负序分量在转子上引起额外的铁损、铜损和杂散损耗，同时也会在定子上增加损耗。如有 猿遥豫 不平衡电压加在电动机上，那么将使电动机总损耗增加 圆园豫，效率下降 猿豫 ~ 源豫。

总之三相异步电动机在不对称电压下运行时其性能恶化，过载能力下降，效率下降，并有局部过热危险，因此则月员原苑—怨园《三相异步电动机经济运行》规定电压不平衡度应小于 员遥豫。

猿．电网频率对损耗影响

（员 对总铁耗影响。当电压恒定时，铁耗中的涡流损耗与频率无关，而磁滞损耗则随频率变化，总的铁耗可以认为是

$$孕_{Fe}' \approx 孕_{Fe}\sqrt{\frac{f_1'}{f_1}} \qquad (怨员原缘$$

（圆 对机械损耗影响

$$孕_{m}' \approx 孕_{m}\left(\frac{n'}{n}\right)^{圆} \qquad (怨员原远$$

（猿 对转子铜耗影响

$$孕_{Cu2}' \approx 孕_{Cu2}\left(\frac{n'}{n}\right)^{圆}\left(\frac{员原s_N'}{员原s_N}\right)^{圆} \qquad (怨员原苑$$

（源 对杂散损耗影响

$$孕_{s}' \approx 孕_{s}\left(\frac{n'}{n}\right)^{圆}\left(\frac{员原s_N'}{员原s_N}\right)^{圆} \qquad (怨员原愿$$

式中摇f_1——电网额定频率，f_1'；

Δf——电网频率变动值，Hz；

ΔP_{Cu}、ΔP_{Cu1}、ΔP_{Cu2}、ΔP_{Fe}、ΔP_{Ω}、ΔP_{f}、ΔP_{σ}——分别对应 f_N和 $f_N+\Delta f$时的各种损耗。

从上面关系式中可知，频率下降铁损增加，机械损耗稍有下降，而对铜损耗的影响要看频率变化程度。

总的说来，频率下降时总损耗增加，效率下降；频率上升时总损耗下降，效率略有上升。

（3）高次谐波电流对损耗影响

高次谐波电流进入三相异步电动机后，将产生频率较高的旋转磁场，使杂散损耗剧增，使齿、槽楔局部过热，甚至烧坏电动机。

2.异步电动机特性曲线及分析

（一）效率曲线

电动机的效率是指电动机的有功输出功率与有功输入功率之比，通常用百分数表示，即，

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% \qquad (2\text{-}1)$$

式中 P_2——电动机有功输出功率，kW；

P_1——电动机有功输入功率，kW；

η——电动机的效率。

实际应用中，电动机效率有额定效率、运行效率、最高效率之分。额定效率（η_N）是指输出功率为额定值时的效率。运行效率（η）是指电动机拖动某负载运行时的工作效率。最高效率（η_{max}）是指电动机可能达到的最高运行效率，即电动机效率曲线最高点的数值称电动机最高效率。

电动机的有功功率损耗可用下式计算

$$\Sigma P = P_0 + P_N\left[\left(\frac{1}{\eta_N}-1\right)P_N - P_0\right] \quad (式原员-原园)$$

$$\beta = \frac{P_2}{P_N} \quad (式原员-原员)$$

式中 ΣP——电动机有功功率损耗，单位为 kW；

P_0——电动机空载损耗，单位为 kW；

β——电动机负载率；

P_N——电动机额定功率，单位为 kW。

电动机的输入功率为

$$P_1 = P_2 + \Sigma P \quad (式原员-原圆)$$

这样，可将效率计算公式改写成

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{\beta P_N}{\beta P_N + P_0 + \Sigma P}$$

$$= \frac{\beta P_N}{\beta P_N + P_0 + P_N\left[\left(\frac{1}{\eta_N}-1\right)P_N - P_0\right]} \quad (式原员-原猿)$$

从上式可知，电动机运行效率与电动机的 η_N、P_0 及 β 有关。对一台电动机而言 η_N、P_0 是固定值，因此，电动机效率的高低取决于电动机的负载率 β。电动机效率随负载率 β 而变化的曲线称之为电动机效率曲线，如图 1-1-1 所示。

（二）功率因数曲线

电动机的功率因数是指电动机输入端的有功功率与视在功率之比，即

$$\cos\varphi = \frac{P_1}{S} \quad (式原员-原源)$$

需要全本请访问 www.ertongbook.com