
异步电动机运行节能



水利电力出版社

内 容 提 要

本书较全面系统地叙述了异步电动机运行节能技术的原理、方法和实际经验。全书包括异步电动机的正确选用、高效异步电动机的生产和应用、异步电动机调速节能、异步电动机的经济运行和维护及检修中的节能改造等五方面内容。

本书可供从事异步电动机运行、维修的技术人员和工人参考。

异步电动机运行节能

盛昌达 张国权 赵家礼 周明宝 陈尔隆 编

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 7.625印张 168千字

1989年6月第一版 1989年6月北京第一次印刷

印数0001—6450册 定价4.30元

ISBN 7-120-00691-6/TM·190

前 言

异步电动机被极广泛地使用着,据不完整的统计,1985年全国异步电动机消耗的电能约占当年发电量 3484亿kW·h的70%以上。如果根据不同的使用条件,综合采用本书中介绍的各种节能措施,节能1%的效果是十分容易做到的。这就是说全国每年可以通过对异步电动机的节能运行、维修和改进,节电约30亿kW·h。节省下来的电力相当于增加了1个40万kW的发电厂所发出的电力。由此可见异步电动机运行节能的潜力之大和意义的重要了。

目前,在我国工业企业中已有很多异步电动机节能的成功经验,本书的目的在于总结这些经验,并指出每种方式方法的优缺点,便于广大从事电动机运行的技术人员和工人根据使用条件广为选用,促使电动机运行节能工作的进一步开展。

本书由盛昌达主编,分五章叙述,其中第一章由张国权编写,第二章由陈尔隆编写,第三章由周明宝编写,第四、五章由赵家礼编写。全书经林启荣审阅。

由于编者水平有限,书中错误之处望读者指正。

编 者

1988年1月

目 录

前 言

第一章 异步电动机的正确选用	1
第一节 三相异步电动机的分类和适用范围	1
第二节 连续工作负载的异步电动机容量选择	15
第三节 短时工作负载的异步电动机容量选择	25
第四节 断续工作负载的异步电动机容量选择	30
第五节 异步电动机额定电压和额定转速的选择	34
第二章 高效异步电动机的生产和应用	37
第一节 高效异步电动机的发展概况	37
第二节 异步电动机损耗分析	40
第三节 提高异步电动机效率的措施	45
第四节 高效异步电动机的种类和主要性能	54
第五节 采用高效异步电动机的经济性	65
第三章 异步电动机调速节能	71
第一节 异步电动机调速节能概述	73
第二节 变频调速	91
第三节 变极调速	100
第四节 电磁调速电动机	111
第五节 液力耦合器调速	119
第六节 定子调压调速	123
第七节 转子外串电阻调速	127
第八节 串级调速	132
第四章 异步电动机的经济运行和维护	139
第一节 异步电动机运行经济性的分析计算	135
第二节 电源质量对异步电动机运行的影响	159

第三节 改变绕组接线的节能措施	161
第五章 异步电动机检修中的节能改造	173
第一节 采用检修新工艺和新材料 ^[23]	173
第二节 定子绕组匝数的分析计算	183
第三节 改变极数和容量 ^[23]	188
第四节 采用磁性槽楔	212
参考文献	237

第一章 异步电动机的正确选用

根据所带负载的性质、负载功率的大小、负载的工作方式（连续、短时或断续）及电动机的工作环境和安装条件，本着安全经济的原则选用异步电动机，是实现节能运行的首要环节。

本章将对异步电动机的分类及其适用范围、不同工作定额电动机容量的确定、电动机额定电压和额定转速的选择等方面作比较详细的介绍。

选用或换用高效电动机和对应用于变化的流体负载（风机、泵类）的电动机采用变速运行方式，可取得十分明显的经济效益。有关这两方面的内容将在第二章和第三章中专门介绍。

第一节 三相异步电动机的分类和适用范围

为适应各种机械配套的要求，异步电动机的系列、品种、规格十分繁多。对其中产量最大、使用最广的基本系列三相异步电动机，可按转子绕组型式、电动机尺寸、防护型式、通风冷却方式、安装结构型式、绝缘等级和工作定额等进行分类，如表1-1。对为适应传动系统和环境条件的某些要求，在基本系列的基础上，作部分改变而导出的派生系列三相异步电动机，以及为适应某些机械配套的特殊需要而设计制造的具有特殊结构的专用系列三相异步电动机，则应按工作环境、传动特性或特殊性能要求分类，如表1-2。

在一般用途的场合，即可参照表 1-1 和下述的说明，选用基本系列内的电动机。而在为满足某些要求和特殊需要的场合，则可参照表 1-2 的适用范围选用派生或专用系列内的某种电动机。

为便于选用基本系列电动机，现对其类别具体说明如下。

(1) 笼型转子电动机有较高的效率和较好的工作特性，其转子绕组自成闭合回路，整个转子形成一坚实整体，结构简单牢固，维护十分方便，价格比较便宜，所以应该优先选用。随着设计、制造水平的提高，基本系列大中型笼型转子电动机的起动转矩和最大转矩可分别达到额定转矩的0.7~1.0和1.8~2.0倍，小型的还可再高些（见表 1-3），因而基本系列的笼型转子电动机不仅广泛应用于传动起动阻力转矩较小、阻力转矩与转速平方成正比的通风型（如风机、鼓风机）

表 1-1 基本系列三相异步电动机的主要分类^[1]

分 类 方 式	类 别
转 子 绕 组 型 式	笼型；绕线型
电 机 尺 寸 中 心 高 (mm) 定子铁芯外径(mm)	大 型 中 型 小 型 >630 355~630 80~315 >1000 500~1000 120~500
防 护 型 式	开启式；防护式；封闭式
通 风 冷 却 方 式	自冷式；自扇冷式；他扇冷式；管道通风式
安 装 结 构 型 式	卧式；立式 带底脚；带凸缘
绝 缘 等 级	E 级；B 级；F 级；H 级
工 作 定 额	连续；短时；断续

表 1-2 主要派生系列和专用系列三相异步电动机的性能、
结构特点和适用范围^[1]

序号	产品名称 产品代号	性能和结构特点	适用范围
1	防爆安全型 异步电动机 YA ^① (JA) ^②	在正常运行时不产生火花 ^③ 、电弧或危险温度的电动机上,采取适当措施,如降低各部分的温升限度,增强绝缘,提高导体连接可靠性,以及提高对固体异物与水的防护等级等,以提高防爆的安全性	适用于Q-2(仅在不正常情况下才能形成爆炸性混合物 ^④)和Q-3(即使在不正常情况下,形成爆炸性混合物的可能性也较小)级爆炸性危险的场所
2	隔爆型异步电动机 YB(JBO)	封闭自扇冷式,增强外壳的机械强度,并保证组成外壳的各零部件之间的各接合面上具有一定的间隙参数,一旦电机内部爆炸,亦不致引起周围环境的爆炸性混合物爆炸	适用于Q-1(正常情况下即能形成爆炸性混合物)级爆炸性危险的场所,如石油、化工、煤矿井下有爆炸危险的场所
3	防爆通风 充气型异步电动机 YF	电机与通风装置组合为一整体,在包括电机本身在内的整个系统内,连续通以不含有爆炸性混合物的新鲜空气或充以惰性(不燃性)气体,内部保持有一定的正压,以阻止爆炸性混合物从外部进入电机	适用于Q-1(正常情况下即能形成爆炸性混合物)级爆炸性危险的场所,如石油、化工、煤矿井下有爆炸危险的场所
4	起重及冶金用 异步电动机 YZ(JZ)	断续定额,封闭自扇冷式;采用高电阻铝合金压铸的笼型转子;起动转矩大,能频繁起动,过载能力大,转差率较高	适用于冶金和一般起重设备
5	起重及冶金用 绕线转子异步电动机 YZR(JZR)	转子为绕线型,其余和YZ相同	适用于冶金和一般起重设备

续表

序号	产品名称 产品代号	性能和结构特点	适用范围
6	辊道异步 电动机 YG(JG)	外表面有环形散热筋, 自然冷却, 定子绕组绝缘为H级, 耐高温, 采用高电阻铝合金转子导条, 起动转矩大	适用于传动轧钢辊道
7	立式深井泵 用异步电动机 YLB(JLB)	立式, 自扇冷, 空芯轴, 泵轴穿过电机的空芯轴在顶端以键相联, 带有止逆装置, 不允许逆转	专用于与长轴深井泵配套, 组成深井电泵, 供工农业灌溉提水用
8	井用潜水异步 电动机(充水) YQS(JQS)	电机外径因受井径限制, 其外形细长, 内腔充满清水, 密封, 下部有压力调节装置, 轴伸端有防砂密封装置	专用于与潜水泵配套, 组成潜水电泵, 潜入井下供灌溉提水之用
9	井用潜水异步 电动机(充油) YQSY(JQSY)	电机结构基本上与YQS相同, 但内腔充以绝缘油, 另有保护装置, 以调节、平衡电机内腔与外部压力, 并作为贫油保护之用	专用于与潜水泵配套, 组成潜水电泵, 潜入井下供灌溉提水之用
10	河流泵用异步 电动机 (QY)	电机密封, 内腔充油	与河流泵配套组装成一体, 潜入0.5~3m浅水中提水, 广泛应用于农田、城建等
11	井用潜油异步 电动机 YQY(JQY)	电机特别细长; 内腔充油密封; 定子、转子铁芯分为若干段, 定子各段之间用非导磁材料作为轴承支承面; 绕组绝缘整体密封, 机座为无缝钢管, 电机与泵间有独立保护装置	专用于与深井油泵配套组成潜油电泵, 潜入石油井中直接提油

续表

序号	产品名称 产品代号	性能和结构特点	适用范围
12	钻井用异步 电动机 YTZ(JTZ)	按用途不同分为外通水、内通水、引流管等结构型式,电机通过减速器、防震器与钻头相接,电机的外形、定子和转子铁芯、轴承以及绝缘结构与潜油电机相似,内部亦充油保压,电机过载能力大	作为钻井动力直接传动钻头克取岩芯,适用于陆海各种地层勘探
13	屏蔽异步 电动机 YP	电机较细长,定子转子分别用屏蔽套保护,机座与接线盒间相互密封隔开,轴承为滑动式,一般用石墨制成,并以被输液的一部分作为冷却和润滑用。电机与泵组合成为一密封整体,能在一定的压力和温度下保证无泄漏地输送液体	适用于原子能、化工、石油等部门,传送不含有颗粒的剧毒、易燃、放射性、腐蚀性液体
14	高转差率异步 电动机 YH(JH)	结构和外形尺寸与基本系列相同,转子采用高电阻铝合金浇铸	适用于惯性矩较大且具有冲击性负载机械的传动,如剪床、压力机、锻压机及小型起重机等
15	高起动转矩 异步电动机 YQ(JQ)	结构和外形尺寸与基本系列相同,转子采用双笼或深槽,起动转矩大	适用于静止负载或惯性矩较大的机械,如压缩机、柱塞式水泵、粉碎机等
16	力矩异步 电动机 YLJ(JLJ)	机械特性很软,能在堵转到接近同步转速的范围内稳定运行,转子导条采用高电阻黄铜条,一般装有独立的鼓风机	适用于恒张力恒线速(卷绕)传动和恒转矩(导辊)传动

续表

序号	产品名称 产品代号	性能和结构特点	适用范围
17	电磁调速异步 电动机 YCT(JZT)	由异步电动机和电磁转差离合器组合而成。通过控制器控制离合器的励磁电流来调节转速	适用于恒转矩和风机类设备的无级调速
18	变极多速异步 电动机 YD(JD)	改变定子绕组的接线方法以改变极对数,得到多种转速。结构和外形尺寸与基本系列相同,但引出线数为6~12根	适用于机床、印染机、印刷机等需要变速的设备
19	换向器变速异步电动机 YHT(JZS)	相当于反装的绕线型异步电动机。转子上有换向器、调节绕组和放电绕组,并有特殊的移刷机构。装有独立的鼓风机	可作恒转矩无级调速,调速范围较广,适用于印刷机、印染机以及试验设备
20	齿轮减速异步电动机 YCJ(JTC)	由通用的异步电动机与两级圆柱齿轮减速箱合成一整体	适用于矿山、轧钢、造纸、化工等部门中需要低速、大转矩的各种机械设备。电机可用联轴器或正齿轮与传动机构联接
21	摆线针轮减速异步电动机 YXJ(JXJ)	由通用的异步电动机与摆线针轮减速器直接合成一体,结构紧凑,体积小,重量轻,速比大,一级减速比有9种,范围为11~87	适用于矿山、轧钢、造纸、化工等部门需要低速、大转矩的各种机械设备,电机可用联轴器或正齿轮与传动机构联接
22	傍磁制动异步电动机 YEP(JZD)	带有断电制动的机构;通电时,转子端部的分磁块吸合导磁环压缩弹簧,打开制动装置	用于单梁吊车或机床进给系统

续表

序号	产品名称 产品代号	性能和结构特点	适用范围
23	杠杆制动异步 电动机 YEG(JZD)	带有断电制动的机构；通电时，定子吸合其内圆处的衔铁，通过杠杆压缩弹簧，打开制动装置	用于单梁吊车或机床进给系统
24	锥形转子制动 异步电动机 YEZ(JZZ)	带有断电制动的机构；定子内圆、转子外圆都呈锥形，有单速单机式和双速双机组组合式。通电时，定子、转子间的轴向吸力压缩弹簧，打开制动装置	用于单梁吊车或机床进给系统
25	精密机床异步 电动机 YJ(JJ)	振动小，对转动部分要求精密平衡，采用低噪声轴承，提高轴承室精度，用噪声较低的槽配合，以降低噪声	适用于精密机床
26	木工异步 电动机 YM(JM)	电动机较细长，转动惯量较小；机座用钢板或铝壳制成。轴伸有多种形状和尺寸以适应配套需要。电机的过载能力大	与各种木工机械配套使用
27	电动阀门异步 电动机 YDF	短时工作制；机座无散热筋，无外风扇及端面出线结构，转子较细长，具有高起动转矩，低转动惯量。电机与阀门组合为一整体	适用于电站、石油、化工等部门作为自动开闭输油输汽管线上阀门用，以调节管道内介质流量
28	震捣器异步 电动机 YUD	封闭式结构，无轴伸，转子两端加偏心块，机壳较厚，结构坚固	混凝土震捣用

续表

序号	产品名称 产品代号	性能和结构特点	适用范围
29	电 梯 异 步 电 动 机 YTD(JTD)	短时工作制；开启式，双转速（一般为6/24极）；笼型转子导条采用高电阻合金，起动电流较低，起动转矩较高，转差率高。为了降低噪声，采用滑动轴承、合适的槽配合及较大气隙，无外风扇	用于电梯作为升降动力

- ① 代表产品的新代号，以下类同。
- ② 括号内代表产品的老代号，以下类同。
- ③ 局部可能产生火花（例如集电环与电刷间），但已将该局部装置于隔爆外壳中的电动机，仍可作为防爆安全型电动机。
- ④ 爆炸性混合物系指在爆炸极限范围内的可燃性气体与空气的混合物、易燃液体的蒸汽与空气的混合物、闪点低于或等于场所环境温度的可燃液体蒸汽与空气的混合物、悬浮状可燃粉尘与空气的混合物、悬浮状可燃纤维与空气的混合物。

和阻力转矩与转速的高次方成正比的高静压力型离心泵（如电厂高压锅炉的给水泵）等机械上，而且对于传动具有较大惯性矩和恒定阻力转矩的钢球式磨煤机也是完全适用的。

笼型转子电动机不能通过转子回路进行调速，因而限制了它在需要调速场合中的应用。然而，随着变极、变频等调速技术的发展，笼型转子电动机已经在需要调速的生产机械上应用，它的应用范围将进一步扩大。

由于笼型转子电动机直接起动时的起动电流高达额定电流的5.5~7倍，对供电母线电压的影响较大，在某些容量较小的馈电网络中，较大容量电动机的起动，甚至可使母线电压降到不能允许的数值，此时应该采用Y-△转换，自耦变压器，定子回路串联电抗、电阻或晶闸管等降压起动措施。

表 1-3 基本系列异步电动机的主要技术数据^[1]

产品代号 ^①	功 率 (kW)	电 压 (V)	效 率 (%)	功率因数	起 动 电 流		起 动 转 矩		极 数
					额定电流		额定转矩	最大转矩	
YR	400~3200	6000	89.5~94.0	0.68~0.86				1.8	6~24
Y	400~2000	6000	90.5~94.0	0.72~0.86	6.5		0.7	1.8	6~16
YK	1000~3000	6000	93.0~95.0	0.84~0.86	7.0		0.7	1.8	2
JS2 JSL2	60~320	380	89.5~93.5	0.80~0.91	5.5~6.5		1.0	1.8~2.0	4~10
JR2 JRL2	60~320	380	87.5~93.5	0.79~0.91				1.8~2.0	4~10
JS	45~280	380	89~94.5	0.80~0.91	5.5~6.5		0.9	1.6	4~12
	200~780	6000							
JR	45~300	380	88.0~94.5	0.76~0.90				1.8	4~12
	200~1050	6000							
J2 JO2	0.6~125	380	74~92.5	0.68~0.90	5.5~6.5		1.0~2.2	1.8~2.2	2~10

① 表中各产品代号(括号内为产品的老代号)的产品名称为: YR(JR)——绕线转子电动机; Y(J, JO, JS)——笼型转子电动机; YK(JK)——大型高速笼型转子电动机; YL(JSL)——笼型转子立式电动机(大中型); YRL(JRL)——绕线转子立式电动机(大中型)。数字表示设计序号。

绕线转子电动机的转子绕组，通常用铜线绕制。转子回路通过集电环和电刷接入外加电阻，可大大限制起动电流，并改善起动性能，甚至可使电动机的起动转矩等于其最大转矩。必要时，还可用改变转子外加电阻的方法，实现无级调速。但由于有了转子绕组、集电环和电刷等部件，将增加运行维护的工作量；可靠性不如笼型转子电动机高。它虽然可通过改变转子外加电阻来调速，但因转子回路损耗与电动机转差率成正比变化，例如在 $\frac{1}{2}$ 同步转速时，转子回路的损耗可与电动机的轴功率相当，所以电动机效率大为降低，这是该种调速方法的最大缺点。因此，如不采取串级调速，而单靠改变转子回路外接电阻的方法来实现调速，其应用范围比较有限（详见第三章）。

一般说来，只有在采用笼型转子电动机不能适应负载要求时，才考虑采用绕线转子电动机。目前，从限制起动电流与提高起动转矩的要求出发，绕线转子电动机多用于起重机及矿井提升机等生产机械上。可以预料，随着串级调速技术的发展，绕线转子电动机的应用范围将得到扩大。

应该指出，有时在缺乏负载机械的起始阻力转矩数据的条件下，盲目选用绕线转子电动机的作法，是需要注意防止的。

（2）表1-1中的防护型式，表示电动机外壳对防止异物进入电机内部，防止人体触及电机内部的带电或运转部分，以及防止水进入内部的不同防护等级。对于需要满足防爆、潜水、潜油或户外等特殊要求的电动机，应在派生和专用系列中选用（见表1-2）。以下简单介绍各种防护型式的内容和选用条件。

1) 开启式: 能防止直径大于50mm的固体异物进入机壳内; 能防止人体的某一大面积(如手), 偶然或意外地触及壳内带电或运转部分, 但不能防止有意识地接近这些部分; 垂直的滴水应不能直接进入机壳内部。开启式适用于干燥、清洁且保证无溅水、油污及其它外物进入电动机内部的户内场所, 如电业系统的主控制室、配电装置室或各类工业的金工车间等。

2) 防护式: 能防止直径大于12mm的固体异物进入机壳内; 能防止手指触及机壳内带电或运转部分; 与铅垂线成 15° 或 60° 角的滴水应不能直接进入机壳内部。防护式适用于灰尘不多、没有腐蚀性和爆炸性气体的环境, 如发电厂的汽机房底层、水处理室等。

3) 封闭式: 能防止直径大于1mm的固体异物进入机壳内; 能防止厚度(或直径)大于1mm的工具、金属线等触及机壳内带电或运转部分; 任何方向的溅水对电动机应无有害的影响。

封闭式电动机分为表面冷却封闭式和闭路循环气体冷却封闭式两种。JO笼型转子电动机即为自扇冷式表面冷却封闭式电动机, 这种电动机产生的热量全部通过机壳和端盖的外表面散逸; 为加强冷却作用, 通常在非轴伸侧的端盖外装设一外风扇来冷却机壳。电动机内部的风叶只用来加速电机内部的空气循环, 使温度分布均匀和热量更易于传送到机壳和端盖。表面冷却封闭式电动机的散热能力较差, 不能满足大中型电动机冷却的要求, 为此常加装气-水冷却器来冷却空气, 并使它与电动机形成冷却空气的闭路循环, 以提高封闭式电动机的冷却效果, 这种冷却方式称为闭路循环空气冷却封闭式。

封闭式电动机适用于潮湿、多灰尘、易受风雨侵蚀等环境，如发电厂中的灰浆泵房、锅炉运转层及制粉间、引风机室、锅炉出灰间、输煤皮带及碎煤机室等。

(3) 表1-1中的通风冷却方式，表示电机冷却空气循环回路的布置方式和冷却空气循环所需动力的提供方式。有以下四种通风冷却方式。

1) 自冷式：电机仅依靠表面的辐射和空气的自然流动获得冷却，不装设任何专门的冷却装置。一般仅用于功率为几十到几百瓦的小型电动机上。

2) 自扇冷式：电机由本身驱动的风扇供给冷却空气，以冷却发热部件。这是一种最常用的通风冷却方式。

3) 他扇冷式：电机的冷却空气由独立驱动的风扇或鼓风机供给，因此又称为强迫通风式。其特点是可根据负载大小来调节风扇或鼓风机的转速，从而控制供给电机的冷却风量和风扇的能耗。

4) 管道通风式：电机的冷却空气不是直接由电机外部进入和由电机内部排出，而是经过管道引入和排出电机。管道通风式可以是自扇冷或他扇冷。在特别潮湿、尘土飞扬、有爆炸、腐蚀性气体或环境温度特别高的场所，可采用这种方式。

(4) 电机厂设计和制造了各种工作定额的电动机，供不同工作方式的负载选用。

1) 连续工作定额：是制造厂对电动机所规定的作连续工作方式运行的定额。所谓连续工作方式是指电动机长久不停地工作；它的负载可能是恒定的，也可能是忽高忽低的；其温升 τ 可达到稳定值 τ_{∞} 或在一稳定的变化范围内波动。属于连续工作的生产机械有通风机、水泵、造纸机、机床主轴