

电气运行工人技术问答

电 动 机

32

水利电力出版社

内 容 提 要

本书以问答的形式,介绍了发电厂中除同步发电机外各类旋转电机的运行知识。书中对电气运行工人在操作、巡视、维护、处理事故等工作中所遇到的有关各类旋转电机的实际问题,着重从物理概念上作了解答。全书分三相感应电动机、直流电机、其它电机三部分。

本书可供电力系统及其它部门中具有一定电气运行实践经验的电气运行工人自学时使用,也可供其他从事电气工作的人员参考。

电气运行工人技术问答

电 动 机

杨 传 箭

*

水利电力出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 8印张 174千字

1983年9月第一版 1983年9月北京第一次印刷

印数00001—58120册 定价0.66元

书号 15143·5180

前 言

为了满足广大电气运行工人不断提高技术水平的需要，特编写了“电气运行工人技术问答”一套书。书中对电气运行工人在监盘、操作、巡视、维护、处理事故等工作中所遇到的问题，以及学习规程时可能碰到的疑难，着重从物理概念上作了解答。书中选题尽量做到针对性和实用，解答力求深入浅出，在保持科学性的同时，注意了通俗性。读者可借此为“桥梁”，如有需要，进而查阅更深的读物。

《电气运行工人技术问答》分若干分册出版，它们既可独立，又有联系。《同步发电机》、《变压器》分册均已出版，本书是《电动机》分册。

《电动机》分册的题目范围，几乎包括发电厂中除同步发电机外的所有其它旋转电机，但以三相感应电动机和直流电机为重点，而对其它旋转电机则主要介绍其工作原理和特点。本册初稿承上海闸北发电厂罗光华、曹洪发同志审阅，他们提的不少宝贵意见，已大都采纳，在此对他们表示衷心的感谢。

由于本人水平所限，书中错误在所难免，敬请读者批评指正。

杨传箭

1982.12.

目 录

前 言

三相感应电动机	1
1. 感应电动机是怎么转起来的?	1
2. 怎样看感应电动机的铭牌?	6
3. 感应电动机的转速和极数有什么关系?	12
4. 怎样看感应电动机的三相绕组图?	13
5. 怎样辨别感应电动机三相绕组的首、尾?	20
6. 为什么任意 倒换两 相的 线首, 电动机就 改变旋转方 向?	22
7. 感应电动机内的风路是怎样的?	24
8. 感应电动机的定子绕组和定子铁芯的允许温升 是根据 什么定出来的?	26
9. 为什么处于备用中的电动机应定期测量绕组的绝缘电 阻?	29
10. 感应电动机起 动时为什么电流大?	30
11. 感应电动机起动电流大 为什么 起动力矩并不大?	31
12. 起动电流大有无危险? 为什么有的 感应电动机需用 起动 设备?	33
13. 为什么绕线式电动机转子 回路中加起 动电阻可以改 善起 动 特性?	35
14. 绕线式感应电 动机的调 速原理怎样?	36
15. 为什么规程规定允许鼠笼式感应 电动机在 冷状态下 可连续起 动 2~3 次, 而在热 状态下只 许起 动 1 次?	37
16. 保证感应电动机 起 动并升 到额 定 转速的条件 是什	

么? 起动时间的长短与什么因素有关?	40
17.为什么大电动机采用双鼠笼或深槽式的转子? 二者 原理如何?	42
18.为什么有的鼠笼式感应电动机转子采用斜槽?	46
19.三相绕组一相首、尾反接, 电动机起动时有何现 象? 如何检查?	50
20.感应电动机定子绕组一相断电为什么起动不起来? 原来运转着的又为什么转速变慢?	53
21.鼠笼式感应电动机在起动时出风口冒火星是怎回 事?	57
22.感应电动机起动不起来可能是什么原因?	58
23.什么叫电动机的自起动? 自起动的物理过程怎样? 有哪些问题需要考虑?	59
24.对运行中的电动机应注意哪些问题?	64
25.电压变动对感应电动机的运行有什么影响?	65
26.感应电动机的定子绕组由三角形接法改成星形接法 时, 对运行有哪些影响?	68
27.规程规定电动机的运行电压可以偏离额定值-5%或 +10%而不变其额定出力, 为什么电压偏高的允许 范围较大?	70
28.为什么规程规定电动机的三相电压不对称度不许超 过5%?	71
29.频率变动对感应电动机的运行有什么影响?	75
30.鼠笼式感应电动机运行中转子断条有什么现象?	78
31.感应电动机定子绕组单相接地有什么现象和后果? 接地可能是什么原因引起的?	83
32.定子绕组短路有什么现象和后果?	87
33.感应电动机的振动和噪音都是什么原因引起的?	88
34.当供电给感应电动机的系统中发生短路时, 电动机 为什么还能向短路点送电流?	89

35.感应电动机在什么情况下会出现过电压?	91
直流电机	92
36.直流发电机的工作原理怎样?	92
37.怎样看懂直流电机的电枢绕组图?	95
38.为什么大型直流电机采用蛙式绕组?	103
39.换向极(中间极)有什么用?	104
40.补偿绕组起什么作用?	109
41.按激磁方式,直流电机可分几类?	111
42.并激直流发电机是怎样建立电压的? 升不起电压是, 什么原因?	113
43.为什么有的直流发电机主磁极极芯中有气隙?	116
44.为什么用复激直流发电机作为给粉直流电源, 而不 采用并激直流发电机?	117
45.直流发电机并列运行的条件是什么? 为什么两台给 粉直流发电机之间要加均压刀闸?	121
46.并激直流发电机突然短路后有时发现极性变反, 是 什么原因?	124
47.直流发电机在空载时电压低是什么原因?	130
48.直流电动机是怎么转起来的? 直流电动机和直流发 电机有何不同?	133
49.电厂中为什么有些地方用直流电动机?	136
50.直流电动机的起动电流为什么大?	136
51.直流电动机加电阻起动时的物理过程怎样? 为什么 直流润滑油泵电动机的起动电阻逐级退出?	137
52.为什么并激直流电动机磁场电阻增大时转速就 升高?	142
53.怎样改变直流电动机的旋转方向?	144
54.直流电动机的激磁回路并接电阻有什么用?	147
55.有的直流电动机出线端并接一个电容, 这是为什 么?	148

56.直流电机的电枢绕组短路或断路时有哪些现象?为什么?	150
57.直流电动机在运行中发生振荡是怎么回事?	153
58.并在直流母线上运行的浮充电机变为电动机运行的物理过程怎样?	155
59.逆电力继电器的动作原理怎样?	158
60.调节浮充电机的磁场可变电阻时,蓄电池出口熔断器突然熔断,且事后浮充电机升不起电压来,何故?	159
61.炭刷在运行中有哪些异常现象?这些现象有什么危害性?是什么原因造成?	161
62.炭刷和换向器(或滑环)接触电流是怎样传导的?	163
63.炭刷和换向器(或滑环)间的磨损,是有电流时大还是无电流时大?是正极大还是负极大?	165
64.运行中炭刷过热的原因是什么?怎样解决?	167
65.换向器、滑环上炭刷运行良好的标志是什么?	169
66.对换向器、滑环、炭刷的运行维护有哪些需要特别注意的地方?	172
67.炭刷下的火花分几个等级?一般火花应限制在什么程度?	174
68.无火花区试验是怎么回事?	175
其它电机	180
69.单相感应电动机的工作原理如何?	180
70.单相感应电动机有几种类型?每种类型的起动方法怎样?	182
71.三相单绕组多速电动机原理怎样?	186
72.滑差电动机的结构、调速原理怎样?它有什么优点?	192
73.三相感应整流子电动机的调速原理怎样?	195
74.防爆电机与普通的感应电动机有什么不同?对防爆电机,在运行维护中要注意哪些问题?	202

75.移相器的原理如何?	206
76.感应调压器的原理如何?	207
77.感应电动机也能改成发电机吗? 异步发电机的原理 怎样?	210
78.自整角机的结构和原理如何?	214
79.单相串激整流子电动机原理如何? 有何特点?	219
80.普通电动机为什么既可用于直流,也可用于交流? 它有什么优点?	221
81.伺服电动机有什么特点?	222
82.测速发电机的原理如何?	225
83.小型同步电动机的原理怎样?	228
84.为什么大型同步发电机的励磁系统采用交流励磁 机? 交流励磁机有什么特点?	235
85.感应子发电机的原理如何?	236
86.永磁发电机的结构原理有什么特点?	239
87.步进电动机的原理怎样?	244

三相感应电动机

1. 感应电动机是怎么转起来的？

简单地说，感应电动机的转动原理是这样的：当三相定子绕组通进三相对称的交流电流时，产生一个旋转磁场。这个旋转磁场在定子内腔转动，其磁力线切割转子上的导线，在转子导线中感应起电流。由于定子磁场与转子电流相互作用产生电磁力矩，于是，定子旋转磁场就拖着具有载流导线的转子转动起来。

下面分别详细介绍：定子旋转磁场是怎么产生的？转子导体是怎么感应起电流的？转子转动方向是怎么确定的？

（1）定子旋转磁场是怎么产生的（以两极电动机为例）

图 1-1 为三相感应电动机的原理示意图。定子的三相绕组分别安置在空间相隔 120° 的定子铁芯槽中。为了看得清楚

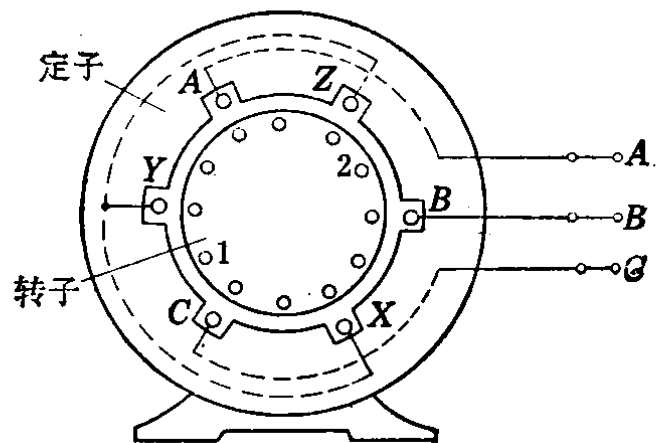


图 1-1 三相电动机原理示意图

起见，每相线圈用一匝代表。标有A、B、C字样的为线圈的首，X、Y、Z为其尾。X、Y、Z连在一起构成星形接法的三相绕组。

当三相定子绕组通入对称的三相交流电时，根据“电生磁”的道理，每相线圈都产生磁场，这些磁场迭加在一起便会形成一个合成旋转磁场。下面谈谈三相对称绕组通入三相对称的交流电流产生旋转磁场的道理。

通入定子三相绕组的三相电流随时间变化的波形如图1-2所示。我们假定：电流从相首进去为正，从相尾进去为负（符号“ $\otimes$ ”表示进去、“ $\odot$ ”表示出来）。取几个瞬时状态看看电动机里磁场变化的情况。

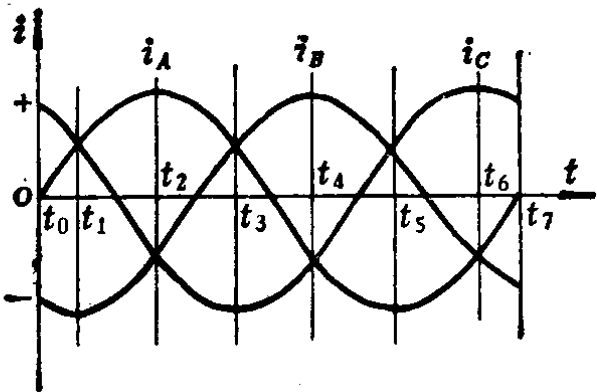


图 1-2 三相电流波形

图1-3示出了八个瞬时（从 $t_0 \sim t_7$ ）三相合成磁场的变化规律。

$t=t_0$ 时， $i_A=0$ 、 $i_B<0$ 、 $i_C>0$ 。从图1-3(a)看，此时A相线圈A—X中无电流；B相线圈B—Y中，电流的方向应是从Y进去，从B出来；C相线圈C—Z中，电流方向为C进Z出。它们产生的合成磁场用磁通表达，如虚线所示。图中箭头指向定子的S极，并代表磁场的轴线及其方向。需要说明，本来应该一相一相确定磁场方向，然后求其合成磁场的

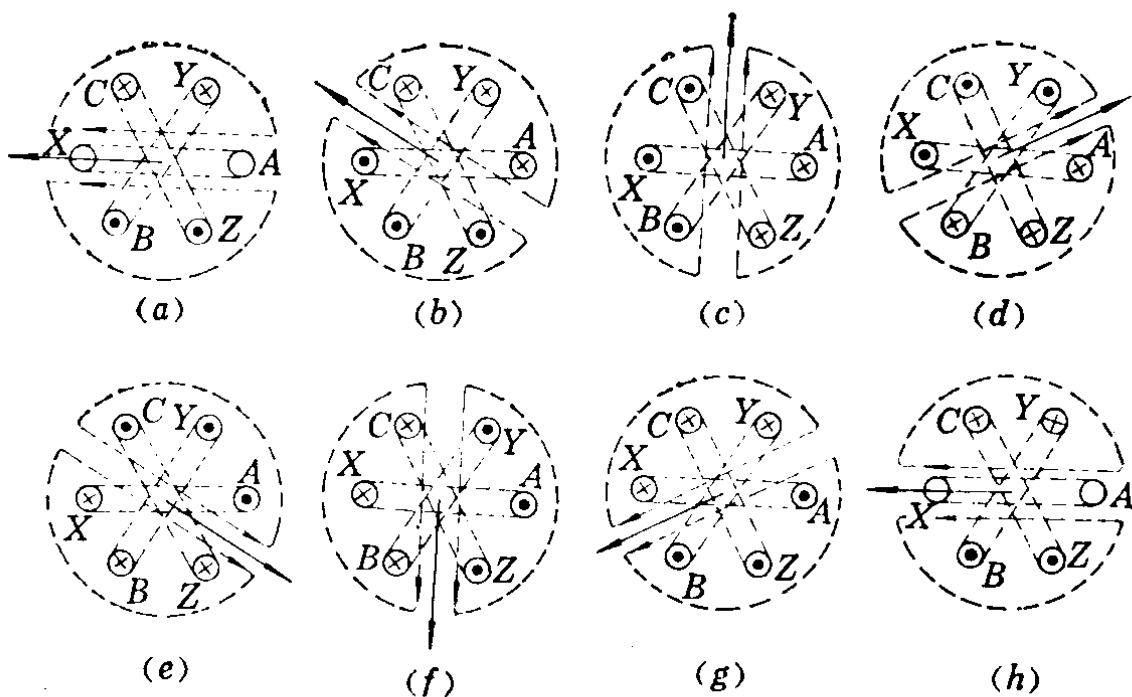


图 1-3 旋转磁场

(a) $t=t_0$, $i_A=0$, $i_B<0$, $i_C>0$; (b) $t=t_1$, $i_A>0$, $i_B<0$, $i_C>0$;
(c) $t=t_2$, $i_A>0$, $i_B<0$, $i_C<0$; (d) $t=t_3$, $i_A>0$, $i_B>0$, $i_C<0$;
(e) $t=t_4$, $i_A<0$, $i_B>0$, $i_C<0$; (f) $t=t_5$, $i_A<0$, $i_B>0$, $i_C>0$;
(g) $t=t_6$, $i_A<0$, $i_B<0$, $i_C>0$; (h) $t=t_7$, $i_A=0$, $i_B<0$, $i_C>0$

方向。但也可打破相别界线,把相邻的电流方向相同的导线,看成是一个线圈,然后用右手螺旋定则确定合成磁场的方向。

再看 $t=t_1$, $i_A>0$ 、 $i_B<0$ 、 $i_C>0$ 。此时A—X中,电流从A进, X出;在B—Y中,电流从Y进, B出;在C—Z中,电流从C进, Z出。对三个线圈一起用右手螺旋定则,可得合成磁场的轴线,如图1-3(b)中箭头所示。

比较 t_1 和 t_0 瞬时,合成磁场轴线已按顺时针方向转过了一个角度。

按上面的分析方法类推,再分析 $t_2\sim t_7$ 各瞬时,就可以画出图1-3(c)~(h)来。顺序观察各图示的箭头方向,不难发现,三相的合成磁场是旋转的,并且,还有下述特点:

1) 旋转方向与三相电流的相序有关。电流相序是A—

$B-C$ ，旋转方向也是从 A 到 B ，再到 C 。

2) 哪一相线圈的电流达到最大值，旋转磁场的轴线就恰好重合在该相线圈的轴线上。

3) 旋转速度与定子电流的周波(频率)有关。在极数固定的电动机中，转速与周波成正比，其关系符合下述公式：

$$n_1 = \frac{60f}{p}$$

式中 n_1 ——同步转速(转/分)；

f ——定子电流的周波(赫)；

p ——电动机极对数。

多极电动机的旋转磁场原理与上述一样，只是在两极电动机中，当电流变化一个周波时，磁场沿空间转过一圈；而多极(极对数 p 大于 1 的)电动机中，当电流变化一个周波时，磁场沿空间转过两个极距(极距即 N 极中心线和其相邻 S 极中心线间的距离)，即转过 $1/p$ 圈。

(2) 转子导体是怎么感应起电流的

根据“磁生电”的道理，当导体切割磁力线时，就会在导体中感应起电势来。在三相感应电动机里，当定子产生旋转磁场后，这个磁场的磁力线是通过气隙、转子铁芯成回路的。当转子上的导体(这里指鼠笼条)切割旋转磁场的磁力线时，就会在转子导体里感应起电势。鼠笼条经端环而成回路。在感应电势作用下，转子导体里就流过交变电流。

这个感应电流有下面几个特点：

- 1) 切割的速度愈大，感应电流愈大。反之，愈小；
- 2) 旋转磁场愈强，感应电流也愈大；
- 3) 感应电流的方向用右手定则判定。

如图1-1所示的电动机中，若旋转磁场按前面所说的是

顺时针旋转的话，当该磁场转到与A—X线圈的轴线正向重合瞬间（即磁场的轴线穿过转子导体2和1，转子导体2处在N极下，1处在S极下），则转子导体1和2中感应电势的方向如图1-4中的符号“ $\otimes$ ”“ $\odot$ ”所示，在2中是向外的（指向读者），在1中是向里的（离开读者）。因这两个导体两端经端环相连形成回路，就使导体中流过与感应电势同方向的感应电流（假设鼠笼构成的电路是阻性的）。

（3）转子转动方向是怎么确定的

我们知道，流有电流的导体在磁场中是会受到力的作用的。当电动机的转子鼠笼条中有了感应电流之后，就和旋转磁场相互作用。旋转磁场旋转时，转子导体受到电磁力的作用，旋转磁场就会带着转子转动起来。力的方向按左手定则确定。在图1-4所示的定子磁场旋转方向及转子导体电流方向的情况下，力的方向如图1-5中箭头 F_1 和 F_2 所示。在 F_1 和 F_2 所形成的力矩的作用下，转子就会沿箭头 n 所标的方向转动起来。由图可见，转子转动方向和定子磁场旋转方向(n_1)是一致的。

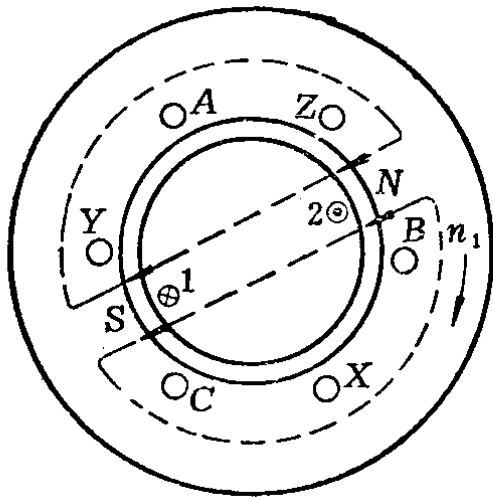


图 1-4 转子导体感应电势方向
 n_1 —定子旋转磁场旋转方向的箭头标号

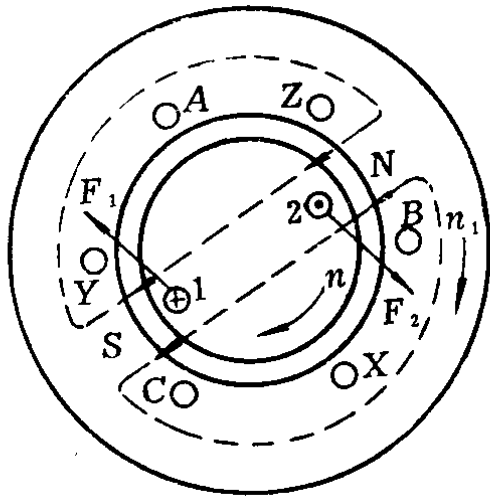


图 1-5 转子旋转方向

使转子转动的电磁力的大小，与磁场强弱有关，也与转子导体中电流的大小（即与转子导体切割磁场的速度）有关。磁场愈强，切割速度愈大，电磁力愈大。

感应电动机的特点是，转子的转速永远要小于旋转磁场的转速，否则，转子和旋转磁场没有切割作用（没有相对运动），转子导体中就没有感应电流，也就不可能受力旋转。所以，这种电动机的额定转速总是小于由定子电流周波决定的旋转磁场的速度——同步转速。因为转子转速总是与定子旋转磁场转速不一致，所以这种电动机又叫异步电动机。

2. 怎样看感应电动机的铭牌？

三相感应电动机的铭牌上，按规定应标有下列各项：

- 1) 电机名称；
- 2) 电机型号；
- 3) 额定功率；
- 4) 额定电压；
- 5) 额定电流；
- 6) 相数；
- 7) 频率；
- 8) 接线法；
- 9) 额定转数；
- 10) 绝缘等级；
- 11) 工作方式（定额）；
- 12) 允许温升；
- 13) 功率因数；
- 14) 重量；
- 15) 转子额定电压（绕线式的有此项）；

- 16) 转子额定电流 (绕线式的有此项);
- 17) 标准编号;
- 18) 产品编号;
- 19) 出产年月;
- 20) 制造厂名称。

不过,一般电动机的铭牌上,项目不一定标得这么全。这些项目中,有的一看就明白其意义,这里就不介绍了。下面择主要的项目分别介绍其意义。

(1) 型号

电动机的型号和其它设备的型号一样,是概括说明该电机的特点的。电动机的机座外形、转子类型、主要尺寸和转子转速(极数)是用电机型号来表达的。实际上,型号就是该类电动机的名字。下面举几种型号的例子来说明组成型号的含义。如:

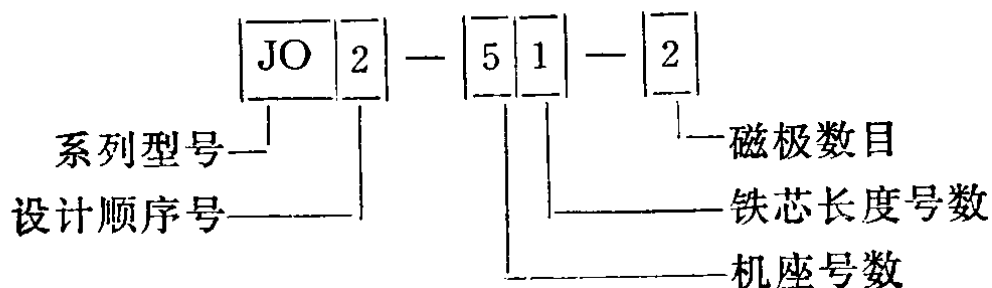
JO2-51-2

JO2是系列型号。其中J(交流)O(封闭式)是表示封闭式交流电动机。这里的“2”是国家统一设计顺序号,它区别于JO,意思说,这种电动机在JO的基础上,新设计有了改进,给标上个“2”,以示和前者有区别(改型)。

横线后的第二段数字“51”也是有实际意义的。“5”是机座号,制造厂根据国家标准,不同大小的电机机座按顺序编成好多机座号,如1、2、3、4、5……,每种机座号有对应的铁芯外径、内径尺寸。“1”是铁芯长度号。同一个机座号的电动机,就可能有两种不同的铁芯长度,一种叫“1”号,一种叫“2”号,“2”号的铁芯比“1”号的长。

第三段数字“2”是极数,表示是2极电机。

为了看得清楚,见下面的注解:



YL116/63-4

这是大型三相交流鼠笼转子异步电动机

Y——异步电动机；

L——鼠笼转子；

数字部分：分子116——定子铁芯外径（厘米）；分母63——铁芯长度（厘米）；横线后数字4——极数。

JKZ-1000

这是三相高速鼠笼型异步电动机

J——异步电动机；

K——高速鼠笼型，同步转速为3000转/分；

Z——座式轴承；

横线后数字1000表示电动机的功率（千瓦）。

（2）额定功率

电动机的额定功率（额定容量）指的是在额定情况下工作时，转轴上所能输出的机械功率。如100千瓦的电动机，能带100千瓦的泵或风机。这个额定功率不是从电源吸取的总功率，与总功率差一个电动机本身的损耗，所以额定功率与额定电流、电压的关系应是

$$P_e = \sqrt{3} U_e I_e \cos\varphi \cdot \eta$$

式中 P_e ——额定功率（瓦）；

U_e ——额定线电压（伏）；

I_e ——额定线电流（安）；

$\cos\varphi$ ——功率因数；

η ——电动机效率。

(3) 额定电压、额定电流、接线法

额定电压指的是额定工作方式时的线电压（即电网加到定子绕组上的线电压），额定电流指的是电机定子绕组允许长期通过的最大线电流。额定电压和电流还与接线有关。一般低压电动机往往允许有两种接线方式，即 Δ 和 Y ，因此它们的额定电压和额定电流也各标两个。如JO2-31-4型电动机，接线： Δ/Y ；电压：220伏/380伏；电流：8.5安/4.9安。上述分子和分子对应，分母和分母对应，即当电动机三相线圈 Δ 接时，应接于220伏电源，额定电流是8.5安；而当电动机三相线圈 Y 接时，应接于380伏电源，额定电流是4.9安。高压电动机有时制成每一相的两组线圈可串联或并联，故也可用于两个电压。如YL143/24-16型电动机，电压：6000伏/3000伏；电流：37安/74安。这说明当各相的两组线圈串联时，可用于6000伏系统，额定电流为37安；当各相的两组线圈并联时，可用于3000伏系统，额定电流为74安。

(4) 额定转速

额定转速是指电动机在额定电压、额定频率下，带额定负载时的转速。它比相应的同步转速（即旋转磁场转速）低一些，一般约是同步转速的95~98%。如JO2-11-4型电动机，同步转速为1500转/分，额定转速为1380转/分。

(5) 绝缘等级

绝缘等级系由该电动机所用的绝缘材料所决定，它是决定线圈允许温度的。按耐热程度，绝缘材料分七个绝缘等级，即Y、A、E、B、F、H、C。早期制造的电动机，采用纱包线、青壳纸之类，属A级绝缘，最高允许温度为