

73-2437
SWB

263076

宋 文 榜

异步电动机绕组 重绕的简易计算



电力工业出版社



异步电动机绕组 重绕的简易计算

宋 文 榜

电 力 工 业 出 版 社

异步电动机绕组重绕的简易计算

宋 文 榜

*

电力工业出版社出版

(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 2 印张 41 千字

1980年7月第一版 1980年7月北京第一次印刷

印数 00001 — 38150 册 定价 0.20 元

书号 15036·4085

前 言

异步电动机是生产中应用最广的一种动力机械，电动机在使用中由于种种原因可能损坏，因此需要修理。对于有线圈的电动机，只要拆去旧线圈重绕和重新下线就可以修复。而有些电动机却只有空壳铁芯，那末就要重新确定电动机的容量、极数、每槽导线数和线径。如果有铭牌，根据铭牌上的技术数据，再查对异步电动机铁芯和线圈的数据就可以方便地确定以上所要求的参数。万一铭牌遗失，就需要从铁芯尺寸进行计算，求出线圈的匝数和线径，本书以简易的计算来确定上述参数，力求通俗易懂，便于掌握，具有初中文化程度的读者可以学懂学会。

由于作者学识有限，缺点或不妥之处在所难免。希望广大读者提出宝贵意见，加以指正。

作 者

一九七九年十月

目 录

前 言

第一章	单相异步电动机定子绕组重绕的计算	1
第二章	三相异步电动机定子绕组重绕的 算法 (一)	9
第三章	三相异步电动机定子绕组重绕的 算法 (二)	19
第四章	三相异步电动机定子绕组重绕的 算法 (三)	27
第五章	三相异步电动机定子绕组重绕的 算法 (四)	33
第六章	导线直径选择和槽满率及节距的计算	39
第七章	单相和三相异步电动机改接的计算	44
附表 1	电机绝缘的等级标准	54
附表 2	三相异步电动机的标准容量等级(千瓦)	54
附表 3	三相异步电动机的空载电流标准	54
附表 4	交流电动机局部更换线圈后的绝 缘耐压试验要求	55
附表 5	圆铜线的规格	55

第一章

单相异步电动机定子绕组 重绕的计算

一、单相异步电动机的定子绕组

单相异步电动机的定子绕组和三相异步电动机类似。但是，由于单相异步电动机没有一定的旋转方向这一特点，因而必须要有一套起动绕组（或者叫辅助绕组）帮助起动，并固定电动机的转动方向。所以在单相异步电动机的定子铁芯上一般放有两套绕组，即工作绕组（或者叫运行绕组、主绕组）和起动绕组。起动绕组有的在电动机起动后就与电网断开（利用电动机轴上的离心开关），有的则在电动机起动后仍然接在电网上。

工作绕组和起动绕组的型式有单层同心和单层叠绕两种。采用单层同心式绕组的电动机，其起动绕组一般就嵌在工作绕组的表面（上层绕组）。采用单层叠绕式绕组的电动机，其工作绕组占有定子槽数的 $2/3$ （如定子槽数 $Q_1 = 24$ 槽，工作绕组要占 $\frac{2}{3} \times 24 = 16$ 槽），而起动绕组只占定子槽数的 $\frac{1}{3}$ （ $\frac{1}{3} \times 24 = 8$ 槽）。绕组的节距则都是全节距。

单相异步电动机常见的故障有绕组短路、断线、线圈接地、起动绕组损坏等。这些故障均比较容易处理。如果电动机铭牌上字迹不清或铭牌遗失，且没有原来的线圈，而只有一只空壳铁芯时，就必须重新进行计算，才能把电动机修复。

二、从定子铁芯尺寸计算定子绕组

单相异步电动机定子绕组重算时必须掌握以下的数据：

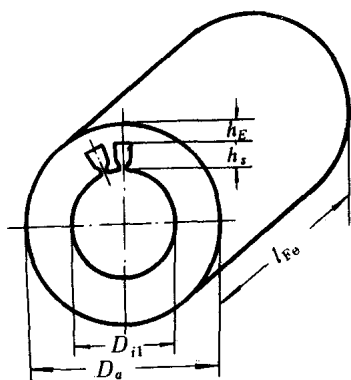


图 1-1 单相异步电动机定子铁芯示意图

(1) 电动机运行时的电源电压及频率 (如: 220伏, 50赫)。

(2) 电动机的极数或转速, 若无铭牌, 无法查找时, 可按下式决定:

$$2p = 0.5 \frac{D_{i1}}{h_E}, \quad (1-1)$$

式中 $2p$ ——电动机的最少极数;

D_{i1} ——定子铁芯的内直径(厘米);

h_E ——定子磁轭高度(厘米)。

(3) 电动机的容量, 若无铭牌数据, 可以先假定为 $\frac{1}{4}$ 马力、 $\frac{1}{2}$ 马力等进行试算。然后在安排绕组时再校验。

(4) 电动机的绕组型式。

(5) 测量定子铁芯的以下各项尺寸 (参见图 1-1):

D_a : 铁芯的外直径 (厘米);

D_{i1} : 铁芯的内直径 (厘米);

L_{Fe} : 铁芯的净长度 (厘米);

Q_1 : 定子的槽数;

b_t : 定子齿的宽度 (最窄处) (厘米);

h_E : 定子轭的高度 (厘米)。

并量出定子槽形的尺寸。测量定子槽形时, 可用质软而较厚的白纸, 贴住定子的槽口, 用手指在纸上向定子槽口压印一下, 白纸上立即留下槽形的痕迹, 而后从纸上测量槽形的尺寸。

(6) 工作绕组匝数的计算

对于工作电压为220伏的工作绕组的每相串联匝数 Z_ϕ 可从下式求出:

$$Z_\phi = \frac{30 \times 10^3}{Q_K} \text{ (匝/相)}, \quad (1-2)$$

式中 Q_K ——沿空气隙的定子铁芯极距面积。

$$Q_K = \frac{\pi D_{i1} l_{Fe}}{2 p} \text{ (厘米}^2\text{)}. \quad (1-3)$$

根据所求得的 Z_ϕ , 可以校验定子磁轭和定子齿部的磁感应强度。

在电源电压为220伏, 频率为50赫时, 定子磁轭的磁感应强度 B_c 为:

$$B_c = \frac{0.5 \times 10^8}{Q_c \times Z_\phi} \text{ (高斯)}, \quad (1-4)$$

式中 Q_c ——定子磁轭的截面积。

$$Q_c = K_c h_E l_{Fe} \text{ (厘米}^2\text{)}, \quad (1-5)$$

式中 K_c ——铁芯叠压系数 ($K_c = 0.93$)。

定子齿的磁感应强度 B_z 为:

$$B_z = \frac{1.57 \times 10^8}{Q_z \times Z_\phi} \text{ (高斯)}, \quad (1-6)$$

式中 Q_z ——定子齿的截面积。

$$Q_z = \frac{Q_1}{2p} l_{Fe} \times b_t \times K_c \text{ (厘米}^2\text{)}。 \quad (1-7)$$

按式 (1-4)、(1-6) 计算的 B_c 、 B_z 的数值应不超出表 1-1 所列的允许值, 否则必须重新计算 (如重新选定极数并重新计算相匝数等)。若 B_c 、 B_z 的数值与表 1-1 相差不大时, 也可以调整 Z_ϕ 的数值。例如调整 $Z_{\phi 1}$ 。 $Z_{\phi 1}$ 的数值要比 Z_ϕ 稍大, 这样就能使 B_c 、 B_z 达到允许的范围, 其计算方法为:

$$Z_{\phi 1} = Z_\phi \times \frac{B_c}{B_{c1}}。 \quad (1-8)$$

上式 B_{c1} 可从附表 1-1 中选定。则 $Z_{\phi 1}$ 就是新选定的每相匝数。

例如, 有一台四极单相异步电动机, 经上述计算结果: 当 $Z_\phi = 743$ 匝/相时, $B_c = 1.4 \times 10^4$ 高斯, 已超出表 1-1 的允许范围。现在选 $B_{c1} = 1.3 \times 10^4$ 高斯, 那末

$$Z_{\phi 1} = Z_\phi \times \frac{B_c}{B_{c1}} = 743 \times \frac{1.4 \times 10^4}{1.3 \times 10^4} = 800 \text{ 匝/相。}$$

表 1-1 小功率单相异步电动机的磁感应强度值 ($f = 50$ 赫)

铁 芯 部 位	磁 感 应 强 度 的 允 许 值 (高 斯)	
	极 数 $2p = 2$	极 数 $2p = 4, 6$
定子磁轭 B_c	$(1.1 \sim 1.4) \times 10^4$	$(1.0 \sim 1.3) \times 10^4$
定子齿部 B_z	$(1.3 \sim 1.7) \times 10^4$	$(1.3 \sim 1.7) \times 10^4$

B_c 、 B_z 值为什么不能超出表 1-1 的数值呢? 这是由于国产硅钢片的性能和电动机生产工艺水平所决定的。如果 B_c 、 B_z 值超出表 1-1 的范围, 电动机的空载电流会增加, 铁芯的损耗也增大, 甚至严重发热, 影响电动机的性能, 或造成电动

机不能使用。

(7) 每槽导线数的决定

工作绕组占有 $\frac{2}{3}$ 的定子槽数, 因而, 每槽中的有效导线数 Z 为:

$$Z = \frac{2 Z_{\phi}}{\frac{2}{3} Q_1} = \frac{3 Z_{\phi}}{Q_1} \text{ (匝/槽)}. \quad (1-9)$$

起动绕组占有 $\frac{1}{3}$ 的定子槽数。但其匝数与工作绕组相同。所以每槽中的有效导线数 Z_q 为:

$$Z_q = \frac{2 Z_{\phi}}{\frac{1}{3} Q_1} = \frac{6 Z_{\phi}}{Q_1} = 2 Z \text{ (匝/槽)}. \quad (1-10)$$

(8) 导线直径的计算

当已知电动机的容量 P_e 时, 可求得电动机的额定电流 I_e ,

$$I_e = \frac{P_e \times 10^3}{U_e \times \eta \times \cos \varphi} \text{ (安)}, \quad (1-11)$$

式中 P_e ——电动机的额定功率 (千瓦);

η ——电动机的效率 (%);

$\cos \varphi$ ——电动机的功率因数。

当 $U_e = 220$ 伏, 试算时可取 $\eta = 80\%$, $\cos \varphi = 0.82$, 则

$$I_e = \frac{P_e \times 10^3}{220 \times 0.80 \times 0.82} = 7 P_e \text{ (安)}. \quad (1-12)$$

一般小功率 (小于 1 千瓦) 的单相异步电动机定子绕组的电流密度 $J = 4.5 \sim 5.5$ 安/毫米², 所以导线的截面积:

$$S_e = \frac{I_e}{J} \text{ (毫米}^2\text{)}. \quad (1-13)$$

导线的直径:

$$d = 1.13 \sqrt{S} \text{ (毫米)}. \quad (1-14)$$

试算时取 $I_e = 7 P_e$ (安), $J = 5$ (安/毫米²), 则导线

的直径:

$$d = 1.34 \sqrt{P_e} \text{ 或 } d = 0.5 \sqrt{I_e} \quad (1-15)$$

起动绕组的每槽导线数 $Z_q = 2Z$ 。为了保证在 $\frac{1}{3} Q_1$ 槽中能容纳 Z_q 的匝数, 起动绕组的导线截面积应减少一半, 即:

$$S_q = 0.5 S \text{ (毫米}^2\text{)} \text{ 或 } d_q = 0.71 d \text{ (毫米)}. \quad (1-16)$$

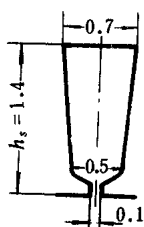
在确定了每槽导线数和导线直径后, 还必须计算绕组的结构尺寸(宽度与长度), 并校核定子槽中是否能放下所计算的匝数。关于这部分的计算, 请参看本书第六章的有关内容。

例如, 有一台单相封闭式结构的异步电动机, 从铭牌上可以看出:

额定功率 $P_e = 0.5$ 马力 (0.5×736 瓦);

额定电压 $U_e = 220$ 伏。

测得定子铁芯的数据是:



$D_a = 14$ 厘米; $D_{i1} = 9$ 厘米, $l_{Fe} = 5.3$ 厘米, $Q_1 = 36$ 槽。定子槽深 $h_s = 1.4$ 厘米, 定子齿宽 $b_t = 0.3$ 厘米。定子轭的高度 (见图 1-2):

$$h_E = \frac{D_a - D_{i1}}{2} - h_s$$

$$= \frac{14 - 9}{2} - 1.4 = 1.1 \text{ 厘米}。$$

图 1-2 定子铁芯
槽形及尺寸图

电动机的极数:

$$2p = 0.5 \times \frac{D_{i1}}{h_E} = 0.5 \times \frac{9}{1.1} = 4.1, \quad \text{取 } 2p = 4。$$

极距截面积:

$$Q_K = \frac{\pi D_{i1} l_{Fe}}{2p} = \frac{3.14 \times 9 \times 5.3}{4} = 37.7 \text{ 厘米}^2。$$

工作绕组每相串联匝数:

$$Z_{\phi} = \frac{30 \times 10^3}{Q_K} = \frac{30 \times 10^3}{37.7} = 796 \text{ 匝/相}.$$

工作绕组每槽导线数:

$$Z = \frac{3Z_{\phi}}{Q_1} = \frac{3 \times 796}{36} = 66.5 \text{ 匝/槽}, \text{ 取 } Z = 66 \text{ 匝/槽}.$$

起动绕组每槽导线数:

$$Z_q = 2Z = 2 \times 66 = 132 \text{ 匝/槽}.$$

磁轭截面积:

$$Q_c = K_c h_E l_{Fe} = 0.93 \times 1.1 \times 5.3 = 5.42 \text{ 厘米}^2.$$

定子轭的磁感应强度:

$$B_c = \frac{0.5 \times 10^8}{Q_c \times Z_{\phi}} = \frac{0.5 \times 10^8}{5.42 \times 792} = 11650 \text{ 高斯},$$

式中 $Z_{\phi} = 66 \times 12 = 792 \text{ 匝/相}.$

定子齿的截面积:

$$\begin{aligned} Q_z &= \frac{Q_1}{2p} l_{Fe} \times b_l \times K_c = \frac{36}{4} \times 5.3 \times 0.3 \times 0.93 \\ &= 13.3 \text{ 厘米}^2. \end{aligned}$$

定子齿的磁感应强度:

$$B_z = \frac{1.57 \times 10^8}{Q_z \times Z_{\phi}} = \frac{1.57 \times 10^8}{13.3 \times 792} = 14900 \text{ 高斯}.$$

B_c 、 B_z 的数值都在表 1-1 的允许值范围内,因此计算结果是正确的。

电动机的额定电流:

$$I_e = 7P_e = 7 \times 0.5 \times 0.736 = 2.58 \text{ 安}.$$

工作绕组的线径:

$$d = 0.5 \sqrt{I_e} = 0.5 \sqrt{2.58} = 0.8 \text{ 毫米}.$$

起动绕组的线径:

$$d_q = 0.71 d = 0.71 \times 0.8 = 0.57 \text{ 毫米。}$$

绕组的节距(跨距): $y = 1 - 10$ 。

绕组的展开图, 见图 1-3。

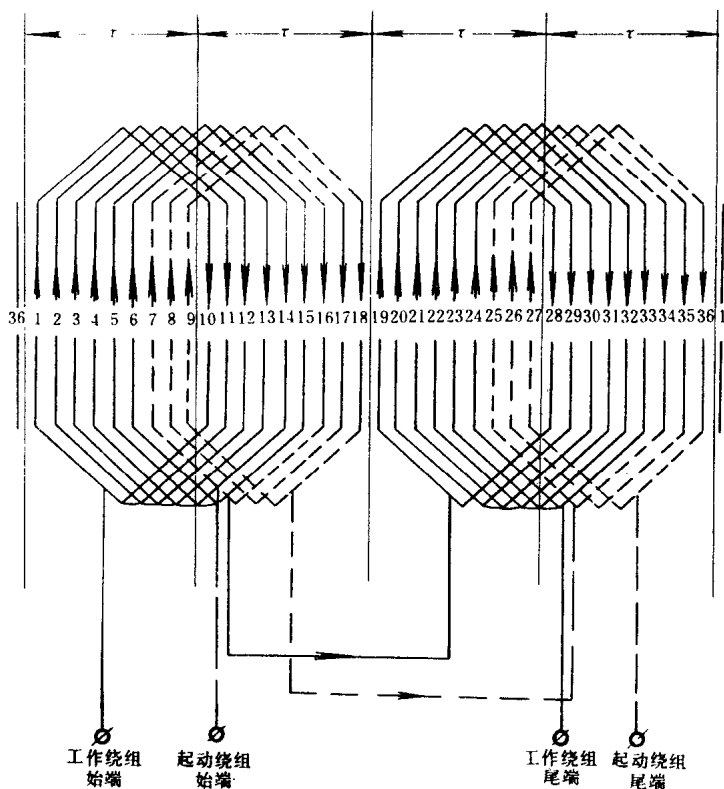


图 1-3 单相异步电动机定子绕组展开图

$$Q_1 = 36; 2p = 4; y = 1 - 10$$

第二章

三相异步电动机定子绕组

重绕的计算法 (一)

三相绕线式或鼠笼式异步电动机只有铁芯而没有定子绕组的数据时,或是铭牌遗失,电动机的型号规格不明时,可以从下面叙述的经验公式的计算中,迅速、准确地确定绕组的槽线数与线径。

一、每相串联的匝数

$$Z_{\phi} = \frac{(22.4 \sim 24) \times 10^3}{Q_K} \quad (\text{匝/相}), \quad (2-1)$$

式中 Q_K ——沿空气隙的极距面积 (厘米²),

$$Q_K = \frac{\pi D_{i1} l_{Fe}}{2p} \quad (\text{厘米}^2)。 \quad (2-2)$$

从 (2-1) 式求出的 Z_{ϕ} 值应取能被 $\frac{Q_1}{6}$ 整除的整数。当不能为 $\frac{Q_1}{6}$ 所整除时,可以稍微增加或减少 Z_{ϕ} 值,使 Z_{ϕ} 值成为比计算值 Z_{ϕ} 大 ΔZ_{ϕ} 或小 ΔZ_{ϕ} 的 Z_{ϕ}' ,而 Z_{ϕ}' 可以被 $\frac{Q_1}{6}$ 整除。

已知 Z_{ϕ} 就可以求出每槽导线数:

$$Z = \frac{Z_{\phi} \times a}{p \times q} \quad (\text{匝/槽}), \quad (2-3)$$

式中 q ——每极每相槽数;

$$q = \frac{Q_1}{2p \times m}, \quad m \text{ 为相数 } (m = 3)$$

或
$$Z = \frac{6 Z_{\phi} a}{Q_1} \quad (\text{匝/槽}). \quad (2-4)$$

(2-1)式中的常数 $(22.4 \sim 24) \times 10^3$ 是一个统计的经验数。

(1) 对于老系列 (如 J, JO 型) 电动机, 用大的数据; 新系列 (如 JO2 型) 电动机, 用小数据。

(2) 对于容量大于 10 千瓦的电动机, 用小数据 (误差较小); 容量小于 10 千瓦的电动机, 用大数据。

(3) 因为计算的最后还必须校核磁感应强度 B_q 、 B_c 。所以 Z_ϕ 的选取有时并非一次就可以准确选定。在有了一定的计算经验后就能熟练地应用这个公式。

为了保证被修理的电动机的性能, 必须根据已选定的 Z_ϕ 、 Z 校验定子气隙和定子磁轭中的磁感应强度。并且只有在这两处的磁感应强度在允许范围之内时, Z_ϕ 、 Z 的计算才可以认为合适。

二、空气隙磁感应强度的校验

空气隙磁感应强度, 需按下式进行校验:

$$B_q = \frac{1.57 \times 10^8}{Q_K \times Z_\phi} \quad (\text{高斯})。 \quad (2-5)$$

公式的推导:

$$\begin{aligned} B_q &= \frac{\Phi}{\alpha_\delta \tau_p l_{Fe}} = \frac{K_E U_\phi \times 10^8}{4 K_B f Z_\phi K_W \alpha_\delta \tau_p l_{Fe}} \\ &= \frac{K_E U_\phi \times 10^8}{4 K_B K_W f Z_\phi \alpha_\delta \frac{\pi D_{i1}}{2p} l_{Fe}} \\ &= \frac{K_E U_\phi \times 10^8}{4 K_B K_W f Z_\phi Q_K \alpha_\delta} \\ &= \frac{0.96 \times 220 \times 10^8}{4 \times 1.09 \times 0.96 \times 50 \times Z_\phi \times Q_K \times 0.64} \end{aligned}$$

$$= \frac{1.57 \times 10^8}{Q_K \times Z_\phi},$$

式中 $K_B = 1.09$ (波形系数);

$\alpha_\delta = 0.64$ (极弧系数);

$K_E = 0.96$, K_E 是与异步电动机极数有关的系数;

$K_W = 0.96$ (绕组系数);

$U_\phi = 220$ 伏 (绕组的相电压);

Φ —— 磁通量 (麦);

f —— 频率 (赫)。

三、定子磁轭中的磁感应强度的校验

定子磁轭中的磁感应强度, 需按下式进行校验:

$$B_c = \frac{0.5 \times 10^8}{Q_c \times Z_\phi} \text{ (高斯)}. \quad (2-6)$$

公式的推导:

$$\begin{aligned} B_c &= \frac{\Phi}{2 h_E l_{Fe} K_c} = \frac{K_E U_\phi \times 10^8}{4 K_B K_W f \times 2 Q_c \times Z_\phi} \\ &= \frac{0.96 \times 220 \times 10^8}{4 \times 1.09 \times 0.96 \times 50 \times 2 Q_c Z_\phi} = \frac{0.5 \times 10^8}{Q_c \times Z_\phi}. \end{aligned}$$

表 2-1 三相异步电动机的磁感应强度值 ($f = 50$ 赫)

铁芯的部位	磁感应强度的允许值 (高斯)	
	磁极数 $2p = 2$	$2p = 4, 6, 8$
定子磁轭 B_c	$(1.2 \sim 1.7) \times 10^4$	$(1.0 \sim 1.5) \times 10^4$
空气隙 B_g	$(0.6 \sim 0.7) \times 10^4$	$(0.65 \sim 0.8) \times 10^4$

从式(2-5)、(2-6)所计算得出的 B_g 、 B_c 的数值如果超出表 2-1 的允许值, 就必须重新选取 Z_ϕ 。如新选定的

是 $Z_{\phi 1}$ ，且能为 $\frac{Q_1}{6}$ 所整除，则

$$B_{c1} = B_c \frac{Z_{\phi}}{Z_{\phi 1}} \quad (\text{高斯})。 \quad (2-7)$$

B_{c1} 为对应于 $Z_{\phi 1}$ 的新的磁轭中的磁感应强度值。显然 $Z_{\phi 1}$ 是比 Z_{ϕ} 大的数值。对于 B_{c1} 的试算，有时需要耐心地试算几次，进行比较，确定满意的结果。

当电动机的容量大于10千瓦时，必须校验空气隙中的磁感应强度值。因为空气隙及磁轭中的磁感应强度的正常数值，在某种程度上决定了其余磁路部分（如齿和转子等）的磁感应强度的允许值。

由于国产交流三相异步电动机常用的电源是380伏，50赫的电源，所以公式（2-5）、（2-6）都适用于Y接380伏和频率为50赫的电动机。对于 Δ 接380伏的电动机，每相导线数需乘以 $\sqrt{3}$ 。

从（2-1）式计算得出的 Z_{ϕ}' 对于单层和双层全节距的绕组是正确的；对于双层短距绕组还应除以系数0.92。

当电动机的极数比较多时，随着电动机极数的增加，定子铁芯磁轭中的磁感应强度 B_c 要减少，但空气隙的磁感应强度 B_g 却要增加。这样，有时会发现当 B_g 刚好满足表2-1的允许值，但 B_c 要比表2-1规定的数值小许多。这时电动机的磁性材料的利用率太低，最好按少极数的电动机进行重新计算，以得到合理的结果。

【例1】 有一台三相电动机无铭牌，量得定子铁芯的数据是：外直径 $D_a = 24.5$ 厘米，内直径 $D_{i1} = 14.5$ 厘米，净长度 $l_{Fe} = 11.5$ 厘米，磁轭高 $h_e = 3.61$ 厘米，定子槽数 $Q_1 = 24$ 槽。试计算定子线圈的每槽导线数。

解：（1）电动机的极数