

504
8144b4

447200

成都工学院图书馆
技术部

中小型三相异步电动机

电磁计算程序



第一机械工业部上海电器科学研究所

1971

504
8144b4

最高指示

一个正确的认识，往往需要经过由物质到精神，
由精神到物质，即由实践到认识，由认识到实践这样
多次的反复，才能够完成。

《人的正确思想是从那里来的？》

再 版 说 明

这份公式自一九六七年铅印出版以来已经三年，由于印数有限，不能满足需要。现将这份公式继续印刷出版，以适应电机工业的发展和各单位的需要。

再版前，曾书面征求有关单位的意见，不少单位提出了许多宝贵建议，在再版中作了部分修改：如修改了起动时漏抗饱和曲线，重新计算了各种漏磁导曲线，对凸形槽漏磁导计算公式作了简化，增加了三相 120° 相带的有关部分，舍去了转子谐波漏抗的阻尼因数，对重复的部分作了删节。

这份公式仍需进一步完善，请各单位在实践中积累数据，提出改进意见。限于我们的水平，再版中漏误之处在所难免，请予批评指正。

本程序采用主要符号表

A	线负载	I	电流(绝对值)	Q	槽数
AT_T	齿部安匝	I_{KW}	功电流	Q_P	每极槽数
AT_C	轭部安匝	I_{m0}	空载磁化电流	q	每极每相槽数 (120° 相带时为每对极每相槽数)
AT_g	空气隙安匝	I_{st}	起动电流(绝对值)	R	电阻(绝对值)
a	并联路数	$\bar{i}$	电流	$\bar{r}$	电阻
B_T	齿部磁密	$\bar{i}_m$	磁化电流	$\bar{r}_{(st)}$	起动电阻
B_C	轭部磁密	$\bar{i}_P$	电流有功部分	S	每根导线截面积
B_g	空气隙磁密	$\bar{i}_s$	电抗电流	S_T	每极齿面积
b_K	径向通风道宽	$\bar{i}_R$	电流无功部分	S_C	每极轭面积
b_s	定子槽宽	i_{st}	起动电流	S_g	每极空气隙面积
b_R	转子槽宽	K_C	卡氏系数	S_f	槽满率
b_T	齿宽	K_d	绕组分布系数	S_n	转差率
b_{SK}	转子斜槽宽	K_p	绕组短距系数	T_M	最大转矩
D_1	定子外径	K_{dp}	绕组系数	T_{st}	起动转矩
D_{i1}	定子内径	l	铁心长	t	齿距
D_2	转子外径	l_{Fe}	铁心净长	U_1	相电压
D_{i2}	转子内径	l_{eff}	铁心有效长	$\bar{x}$	漏抗
d_K	轴向通风孔直径	$l_{C'}$	轭部磁路计算长度	$\bar{x}_{(st)}$	起动漏抗
E	感应电势	l_z	线圈半匝平均长	y	节距(以槽数计)
F_T	饱和系数	l_s	线圈端部平均长	Z	每槽导体数
F_s	波幅系数	m	相数	Z_ϕ	每相串联导体数
f	频率	N	导线并绕根数	$\bar{z}_{(st)}$	起动阻抗
G_{Al}, G_{Cu}	每台定子导线重	n	额定转速	β	短距比
G_{Fe}	每台硅钢片重	n_K	径向通风道数	δ	电流密度
g	空气隙长	P_1	输入功率	τ_P	极距
g_e	有效空气隙长	P_2	输出功率	Φ	每极磁通
h_s	定子槽高	P_{Al}, P_{Cu}	铝、铜损耗	η	效率
h_R	转子槽高	P_{Fe}	铁损耗	$\cos\varphi$	功率因数
h_T'	齿部磁路计算长度	P_{fw}	机械损耗	$1-\varepsilon_0$	空载电势
h_C	轭部高	P_s	杂散损耗	$1-\varepsilon_L$	满载电势
$h_{C'}$	轭部磁路计算高度	p	极数		

说明:

1. 除特别注明者外, 电机所有尺寸以厘米 (cm) 为单位, 面积以平方厘米 (cm²) 为单位。
2. 凡符号上有 “-” 者为标么值, 各量之基值: 功率为 P_2 、电压为 U_1 、电流为 I_{KW} 、阻抗为 U_1/I_{KW} 。
3. 凡符号上有 “'” 号者为计算 (理论) 值或假定值。
4. 所有电压、电流及阻抗为相值。
5. 转子各参数均已换算到定子侧。

目 录

本程序采用主要符号表

一、单鼠笼异步电动机的计算程序	(1)
(一)额定数据及主要尺寸	(1)
(二)磁路计算	(3)
(三)参数计算	(5)
(四)起动计算	(10)
二、双鼠笼异步电动机的计算程序	(11)
三、绕线转子异步电动机的计算程序	(13)
附表 1 分布系数	(14)
2 短距系数	(14)
3 三相 60° 相带常用节距漏抗系数	(15)
4 三相 60° 相带谐波单位漏磁导	(15)
5 鼠笼转子谐波单位漏磁导	(15)
附图 1 各种槽形单位漏磁导计算	(16)
2 铁心长度计算中径向通风道损失宽度	(21)
3 波幅系数	(22)
4 轭部磁路校正系数(2 极)	(23)
5 轭部磁路校正系数(4 极)	(24)
6 轭部磁路校正系数(6 极及以上)	(25)
7 平底槽下部单位漏磁导	(26)
8 圆底槽下部单位漏磁导	(27)
9 梨形槽下部单位漏磁导	(28)
10 凸形槽下部单位漏磁导系数	(29)
11 转子闭口槽上部单位漏磁导	(30)
12 节距漏抗系数	(31)
13 槽漏抗计算中径向通风道损失宽度	(32)
14 三相 60° 相带谐波单位漏磁导 (整数槽)	(33)
15 三相 60° 相带谐波单位漏磁导 (分数槽)	(34)
16 三相 120° 相带谐波单位漏磁导	(35)
17 鼠笼转子谐波单位漏磁导	(36)
18 起动时漏抗饱和系数	(37)
19 转子挤流效应系数 ($\frac{b_1}{b_2} \geq 1$)	(38)

20	转子挤流效应系数 ($\frac{b_1}{b_2} \leq 1$)	(39)
21	凸形槽截面宽度突变修正系数	(40)
四、	线圈计算程序	(41)
(一)	定子硬绕组计算	(41)
(二)	插入式转子线圈计算	(47)
附录 I	常用圆铝、铜线规格表	(51)
II	各种圆电磁线绝缘厚度	(51)
III	铝、铜扁线的标称尺寸及计算截面	(52)
IV	铝、铜带的标称尺寸及计算截面	(54)
V	各种扁线绝缘厚度	(55)
VI	电工硅钢薄板电磁性能	(57)
1.	热轧硅钢薄板电磁性能	(57)
2.	冷轧硅钢薄板电磁性能	(58)
3.	50赫, 0.5毫米典型磁化曲线和损耗曲线	(58)
(1)	$B_{25} = 14800$ 高斯 磁化曲线	(58)
(2)	$B_{25} = 15400$ 高斯 磁化曲线	(59)
(3)	$B_{25} = 15700$ 高斯 磁化曲线	(59)
(4)	$P_{10/50} = 2.5$ 瓦/公斤 损耗曲线	(60)
(5)	$P_{10/50} = 2.1$ 瓦/公斤 损耗曲线	(60)

中小型三相异步电动机电磁计算程序

一、单鼠笼异步电动机的计算程序

(一) 额定数据及主要尺寸

1. 输出功率 P_2 (千瓦)

2. 外施相电压 U_1 (伏) Y接法 $U_1 = \frac{\text{线电压}}{\sqrt{3}}$

Δ 接法 $U_1 = \text{线电压}$

3. 功电流 $I_{KW} = \frac{P_2 \cdot 10^3}{m_1 \cdot U_1}$ (安或A)

4. 效率 η' 按照设计任务的规定。

5. 功率因数 $\cos\varphi'$ 按照设计任务的规定。

6. 极数 p

7. 定、转子槽数 Q_1 、 Q_2

8. 定、转子每极槽数 $Q_{P1} = \frac{Q_1}{p}$ $Q_{P2} = \frac{Q_2}{p}$

9. 定、转子冲片尺寸见图 1—2。

10. 极距 $\tau_p = \frac{\pi \cdot D_{i1}}{p}$

11. 定子齿距 $t_1 = \frac{\pi \cdot D_{i1}}{Q_1}$

12. 转子齿距 $t_2 = \frac{\pi \cdot D_2}{Q_2}$

13. 节距 y ——以槽数计。

14. 转子斜槽宽 b_{SK} (一般取一个定子齿距 t_1 , 也可按需要设计。)

15. 每槽导体数 双层线圈 $Z_1 = 2 \times \text{每圈匝数}$

单层线圈 $Z_1 = \text{每圈匝数}$

16. 每相串联导体数 $Z_{\phi 1} = \frac{Q_1 \cdot Z_1}{m_1 \cdot a_1}$

式中: a_1 ——并联路数。

17. 绕组线规(估算) $N_1' \cdot S_1' = \frac{I_1'}{a_1 \cdot d_1'}$

式中: $N_1' \cdot S_1'$ ——导线并绕根数·导线截面积(毫米²)。

I_1' (定子电流初步估计值) $= \frac{I_{KW}}{\eta' \cdot \cos\varphi'}$ (安)

d_1' ——定子电流密度(安/毫米²), 按经验选用。

根据 $N_1' \cdot S_1'$ 参照附录 I、Ⅲ、Ⅳ选定铝、铜线规格和根数。

18. 槽满率 (见图 1—1)

(1) 槽面积
$$S_s = \frac{2R + b_{s1}}{2} (h_s' - h) + \frac{\pi R^2}{2}$$

(2) 槽绝缘占面积 双层 $S_i = C_i (2h_s' + \pi R + 2R + b_{s1})$

单层 $S_i = C_i (2h_s' + \pi R)$

(3) 槽有效面积
$$S_e = S_s - S_i$$

(4) 槽满率
$$Sf = \frac{N_1 \cdot Z_1 \cdot d^2}{S_e}$$

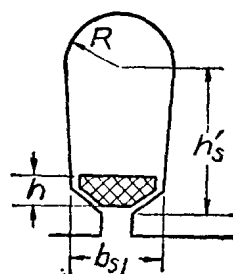


图1—1

式中: C_i ——绝缘厚度, 按实际厚度选用。

d ——导线绝缘后外径。

h ——槽楔厚度, 按实际厚度选用。

19. 铁心长 l

铁心有效长 无径向通风道

$$l_{eff} = l + 2g$$

有定、转子径向通风道, 两者不交错 $l_{eff} = l - n_{K1} \cdot b_{K1}'$

有定、转子径向通风道, 两者交错 $l_{eff} = l - (n_{K1} \cdot b_{K1}' + n_{K2} \cdot b_{K2}')$

式中: n_K ——通风道数。

b_K' ——通风道损失宽度, 查附图 2。

净铁心长 无径向通风道

$$l_{Fe} = K_{Fe} \cdot l$$

有径向通风道

$$l_{Fe} = K_{Fe} (l - n_K \cdot b_K)$$

式中: b_K ——每一通风道宽。

K_{Fe} ——铁心压装系数, 一般取 0.95 (不涂漆)、0.92 (涂漆), 或按经验选用。

20. 绕组系数

$$K_{dp1} = K_{d1} \cdot K_{p1}$$

(1) 分布系数
$$K_{d1} = \frac{\sin\left(\frac{\alpha}{2} \cdot q_1\right)}{q_1 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}} \quad \text{或查附表 1.}$$

式中:

$$q_1 = \frac{Q_1}{m_1 \cdot p} \quad 60^\circ \text{相带}$$

$$q_1 = \frac{Q_1}{m_1 \cdot (p/2)} \quad 120^\circ \text{相带}$$

$$\alpha = \frac{p\pi}{Q_1}$$

注: 分数槽绕组的分布系数, 应将 q_1 化为假分数后将其分子代入上式求得。

(2) 短距系数

$$K_{p1} = \sin(\beta \cdot 90^\circ) \quad \text{或查附表 2.}$$

式中:

$$\beta = \frac{y}{Q_{p1}}$$

21. 每相有效串联导体数

$$Z_{\phi 1} K_{dp1} = Z_{\phi 1} \cdot K_{dp1}$$

(二) 磁路计算

22. 每极磁通

$$\Phi = \frac{E_1 \cdot 10^8}{2.22f \cdot Z_{\phi 1} K_{d\phi 1}} \quad (\text{韦})$$

式中:

$$E_1 = (1 - \varepsilon_L') U_1 \quad (\text{伏})$$

注: 满载电势 $(1 - \varepsilon_L')$ 之值, 最初可假定为 $0.85 \sim 0.95$ (功率大者和极数少者用较大值)。

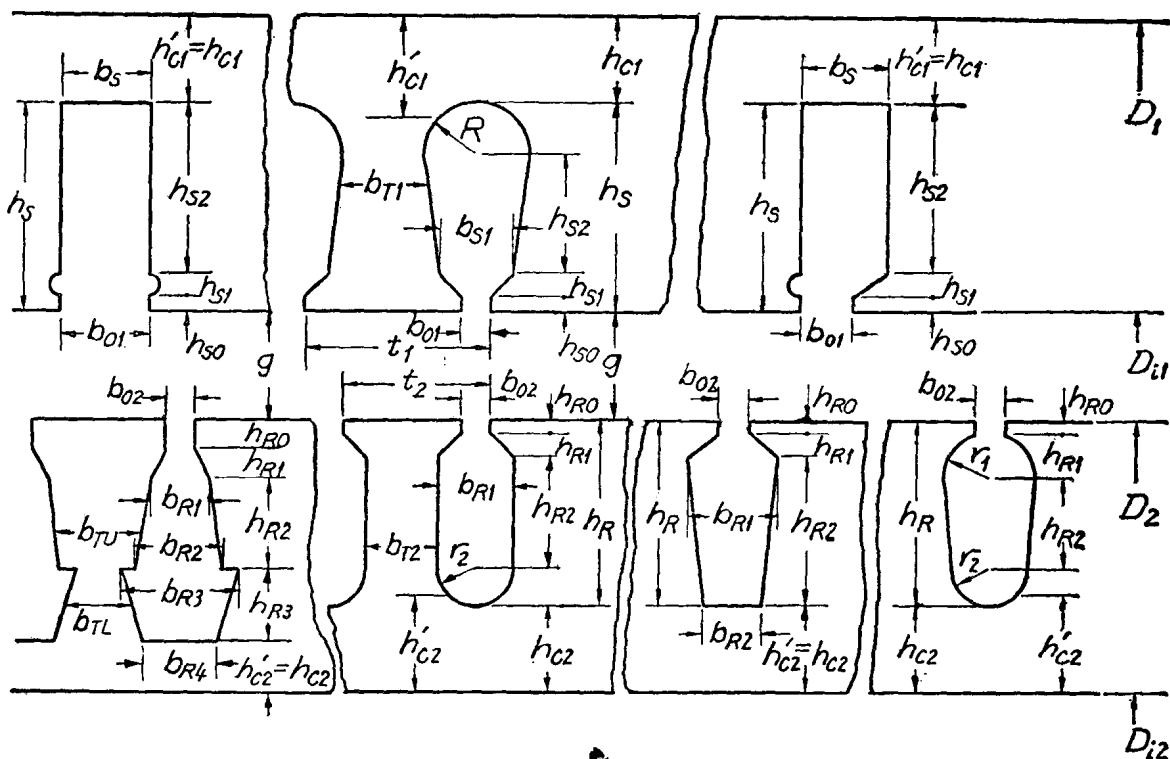


图1-2

23. 齿部截面积

定子

$$S_{T1} = b_{T1} \cdot l_{Fe} \cdot Q_{P1}$$

转子

$$S_{T2} = b_{T2} \cdot l_{Fe} \cdot Q_{P2}$$

注: 齿宽 b_{T1} 、 b_{T2} 对非平行齿取靠近最狭的 $1/3$ 处。

24. 轭部截面积

定子

$$S_{C1} = h_{C1}' \cdot l_{Fe}$$

式中: h_{C1}' 定子轭部磁路计算高度

$$\text{圆底槽 } h_{C1}' = \frac{D_1 - D_{i1}}{2} - h_s + \frac{1}{3}R$$

$$\text{平底槽 } h_{C1}' = \frac{D_1 - D_{i1}}{2} - h_s$$

转子

$$S_{C2} = h_{C2}' \cdot l_{Fe}$$

式中: h_{C2}' 转子轭部磁路计算高度

$$\text{圆底槽 } h_{C2}' = \frac{D_2 - D_{i2}}{2} - h_R + \frac{1}{3}r_2 - \frac{2}{3}d_{K2}$$

$$\text{平底槽 } h_{C2}' = \frac{D_2 - D_{i2}}{2} - h_R - \frac{2}{3}d_{K2}$$

式中: d_{K2} ——转子轴向通风孔的直径。如无通风孔, 则 $d_{K2} = 0$ 。

注: ①有数排轴向通风孔时, 在公式中要用所有各排通风孔直径的总和作为通风孔直径。

②转子直接套在轴上的2极电机应以 $\frac{1}{3}D_{i2}$ 代替 D_{i2} 。

25. 空气隙面积

$$S_g = \tau_p \cdot l_{eff}$$

26. 波幅系数

$$F_s = \frac{\text{最大 } \Phi}{\text{平均 } \Phi}$$

注：先假定饱和系数 F_T' ，从附图 3 中查出 F_s 。对铁心不饱和电机 $F_s = \frac{\pi}{2}$ 。

27. 定子齿磁密

$$B_{T1} = F_s \frac{\Phi}{S_{T1}}$$

28. 转子齿磁密

$$B_{T2} = F_s \frac{\Phi}{S_{T2}}$$

29. 定子轭磁密

$$B_{C1} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Phi}{S_{C1}}$$

30. 转子轭磁密

$$B_{C2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Phi}{S_{C2}}$$

31. 空气隙磁密

$$B_g = F_s \frac{\Phi}{S_g}$$

32. 各部分磁路每厘米长所需安匝数 at_{T1} 、 at_{T2} 、 at_{C1} 、 at_{C2} 分别根据 B_{T1} 、 B_{T2} 、 B_{C1} 、 B_{C2} 。查附录 VI，或按实际采用硅钢片的磁化曲线查出。

33. 齿部磁路计算长度

定子	圆底槽	$h_{T1}' = h_{S1} + h_{S2} + \frac{1}{3}R$
----	-----	--

	半开口平底槽	$h_{T1}' = h_{S1} + h_{S2}$
--	--------	-----------------------------

	开口平底槽	$h_{T1}' = h_S$
--	-------	-----------------

转子	圆底槽	$h_{T2}' = h_{R1} + h_{R2} + \frac{1}{3}r_2$
----	-----	--

	平底槽	$h_{T2}' = h_{R1} + h_{R2}$
--	-----	-----------------------------

34. 轭部磁路计算长度

定子	$l_{C1}' = \frac{\pi(D_1 - h_{C1}')}{2p}$
----	---

转子	$l_{C2}' = \frac{\pi(D_{i2} + h_{C2}')}{2p}$
----	--

35. 有效气隙长度

$$g_e = g \cdot K_{C1} \cdot K_{C2}$$

式中： K_{C1} 、 K_{C2} 为定、转子卡氏系数。

$$\text{半闭口槽和半开口槽 } K_C = \frac{t(4.4g + 0.75b_o)}{t(4.4g + 0.75b_o) - b_o^2}$$

$$\text{开口槽 } K_C = \frac{t(5g + b_o)}{t(5g + b_o) - b_o^2}$$

式中： t —— 齿距。

b_o —— 槽口宽。

36. 齿部所需安匝数

定子

$$AT_{T1} = at_{T1} \cdot h_{T1}'$$

转子

$$AT_{T2} = at_{T2} \cdot h_{T2}'$$

注：当采用凸形槽时，转子齿磁路按两部分计算，将转子齿两部分安匝相加求得 AT_{T2} 。

37. 轭部所需安匝数

定子

$$AT_{C1} = C_1 \cdot at_{C1} \cdot l_{C1}'$$

转子

$$AT_{C2} = C_2 \cdot at_{C2} \cdot l_{C2}'$$

式中： C_1 、 C_2 为轭部磁路长度校正系数，查附图4、5、6，最大取0.7。

38. 空气隙所需安匝数

$$AT_g = 0.8 B_g \cdot g_e$$

39. 饱和系数

$$F_T = \frac{AT_{T1} + AT_{T2} + AT_g}{AT_g}$$

注：此值应与26项假定值相符合，否则需重算26~39项中的有关项。

40. 总安匝

$$AT = AT_{T1} + AT_{T2} + AT_{C1} + AT_{C2} + AT_g$$

41. 满载磁化电流

$$I_m = \frac{2.22 AT \cdot p}{m_1 \cdot Z_{\phi 1} K_{d\phi 1}} \quad (\text{安})$$

42. 满载磁化电流标么值

$$\bar{i}_m = \frac{I_m}{I_{KW}}$$

43. 激磁电抗

$$\bar{x}_m = \frac{1}{\bar{i}_m}$$

(三) 参 数 计 算

44. 线圈平均半匝长(估算) 见图1—2及图1—3

单层线圈

$$l_z = L_B + K_s \cdot \tau_y$$

双层线圈

$$l_z = L_B + 2C_s$$

式中： L_B (直线部分长) = $l + 2d_1$

K_s 为经验值，2极取1.16；4、6极取1.2；

8极取1.25。或选其他经验值。

$$C_s = \frac{\tau_y}{2 \cos \alpha}$$

$$\tau_y = \frac{\pi [D_{i1} + 2(h_{s0} + h_{s1}) + h_{s2} + R]}{p} \beta$$

注：对单层同心式或交叉式线圈 β 取平均值。

式中： d_1 ——线圈直线部分伸出铁心长，取10~30(毫米)，机座大、极数少者取较大值。

$$\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}$$

$$\sin \alpha = \frac{b_{s1} + 2R}{b_{s1} + 2R + 2b_{\tau 1}}$$

45. 双层线圈端部轴向投影长

$$f_a = C_s \cdot \sin \alpha$$

46. 单层线圈端部平均长

$$l_s = 2d_1 + K_s \cdot \tau_y$$

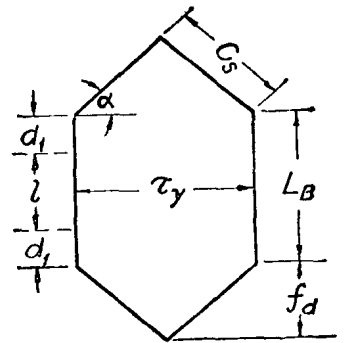


图1—3

47. 漏抗系数
$$C_x = \frac{2.63f \cdot P_2 \cdot l_{eff} (Z_{\phi 1} K_{dp1})^2}{p \cdot U_1^2 \cdot 10^5}$$

48. 定子槽单位漏磁导
$$\lambda_{S1} = K_{U1} \cdot \lambda_{U1} + K_{L1} \cdot \lambda_{L1}$$

 式中: K_{U1} 、 K_{L1} 为节距漏抗系数, 查附图12或附表3。
 λ_{U1} 、 λ_{L1} 按槽形查附图1。

49. 定子槽漏抗
$$\bar{x}_{S1} = \frac{l_1 \cdot m_1 \cdot p \cdot \lambda_{S1}}{l_{eff} \cdot K_{dp1}^2 \cdot Q_1} C_x$$

式中: 无径向通风道时 $l_1 = l$

有径向通风道时 $l_1 = l - n_{K1} \cdot b_{K1}''$

b_{K1}'' ——通风道损失宽度, 查附图13。

50. 定子谐波漏抗
$$\bar{x}_{d1} = \left(\frac{m_1 \cdot \tau_p}{\pi^2 \cdot g_e} \right) \frac{\Sigma S}{K_{dp1}^2 \cdot F_T} C_x$$

式中: ΣS 查附图14、15或16。

51. 定子端部漏抗

双层迭绕组
$$\bar{x}_{e1} = \frac{1.2(d_1 + 0.5f_d)}{l_{eff}} C_x$$

单层同心式(二平面)
$$\bar{x}_{e1} = 0.67 \left(\frac{l_s - 0.64\tau_y}{l_{eff} \cdot K_{dp1}^2} \right) C_x$$

单层同心式(三平面)、交叉式
$$\bar{x}_{e1} = 0.47 \left(\frac{l_s - 0.64\tau_y}{l_{eff} \cdot K_{dp1}^2} \right) C_x$$

单层链形绕组
$$\bar{x}_{e1} = 0.2 \left(\frac{l_s}{l_{eff} \cdot K_{dp1}^2} \right) C_x$$

52. 定子漏抗
$$\bar{x}_1 = \bar{x}_{S1} + \bar{x}_{d1} + \bar{x}_{e1}$$

53. 转子槽单位漏磁导
$$\lambda_{S2} = \lambda_{U2} + \lambda_{L2}$$

式中: λ_{U2} 、 λ_{L2} 按槽形查附图1。

54. 转子槽漏抗
$$\bar{x}_{S2} = \frac{l_2 \cdot m_1 \cdot p \cdot \lambda_{S2}}{l_{eff} \cdot Q_2} C_x$$

式中: 无径向通风道时 $l_2 = l$

有径向通风道时 $l_2 = l - n_{K2} \cdot b_{K2}''$

b_{K2}'' ——通风道损失宽度, 查附图13。

55. 转子谐波漏抗
$$\bar{x}_{d2} = \left(\frac{m_1 \cdot \tau_p}{\pi^2 \cdot g_e} \right) \frac{\Sigma R}{F_T} C_x$$

式中: ΣR 查附图17或附表5。

56. 转子端部漏抗(见图1—4)

$$\bar{x}_{e2} = \frac{0.757}{l_{eff}} \left(\frac{l_B - l}{1.13} + \frac{D_R}{p} \right) C_x$$

式中: l_B ——转子导条长度。

D_R ——端环平均直径。

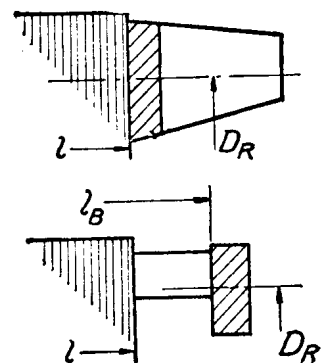


图1—4

57. 转子斜槽漏抗 $\bar{x}_{SK} = 0.5 \left(\frac{b_{SK}}{t_2} \right)^2 \bar{x}_{d2}$

58. 转子漏抗 $\bar{x}_2 = \bar{x}_{S2} + \bar{x}_{d2} + \bar{x}_{e2} + \bar{x}_{SK}$

59. 总漏抗 $\bar{x} = \bar{x}_1 + \bar{x}_2$

60. 定子相电阻 $R_1 = \frac{\rho \cdot l_z \cdot Z_{\phi 1}}{a_1 \cdot S_1 \cdot N_1 \cdot 100}$ (欧)

式中: ρ ——导线电阻系数(欧·毫米²/米)。

对 A、E、B 级绝缘(75°C) 铝为 0.0346, 铜为 0.0217。

对 F、H 级绝缘(115°C) 铝为 0.0392, 铜为 0.0245。

S_1 ——每根导线截面积(毫米²)。

61. 定子相电阻标么值 $\bar{r}_1 = R_1 \frac{I_{KW}}{U_1}$

62. 有效材料

每台定子导线重 $G_{Al}, G_{Cu} = C \cdot l_z \cdot Z_1 \cdot Q_1 \cdot S_1 \cdot N_1 \cdot \gamma \cdot 10^{-5}$ (公斤)

式中: C ——考虑导线绝缘和引线重量的系数, 对漆包圆铝线取 1.1, 漆包圆铜线取 1.05。

γ ——导线比重(克/厘米³), 铝为 2.7, 铜为 8.9。

S_1 ——每根导线截面积(毫米²)。

每台硅钢片重 $G_{Fe} = K_{Fe} \cdot l \cdot (D_1 + \delta)^2 \cdot 7.8 \cdot 10^{-3}$ (公斤)

式中: K_{Fe} ——铁心压装系数。

δ ——冲剪余量。

63. 转子电阻

导条电阻

$$R_B = K \left(\frac{K_B \cdot l_R \cdot \rho_R}{S_B \cdot Q_2} \right)$$

端环电阻

$$R_R = K \left(\frac{2D_R \cdot \rho_R}{\pi \cdot p^2 \cdot S_R} \right)$$

式中: $K = \frac{m_1 (Z_{\phi 1} K_{d\tau 1})^2}{10^4}$

铸铝转子时 $K_B = 1.04$, 铜条转子时 $K_B = 1$ 。

S_B ——转子导条面积。

S_R ——端环截面积。

ρ_B, ρ_R ——转子导条或端环的电阻系数(欧·毫米²/米), 按下表选用。

绝缘等级 \ 材料	紫 铜	黄 铜	硬紫铜杆	铸 铝	硅 铝
A、E、B	0.0217	0.0804	0.0278	0.0434	0.062~0.0723
F、H	0.0245	0.0908	0.0314	0.0491	0.07 ~ 0.0816

导条电阻标么值

$$\bar{r}_B = R_B \frac{I_{KW}}{U_1}$$

端环电阻标么值

$$\bar{r}_R = R_R \frac{I_{KW}}{U_1}$$

转子电阻标么值

$$\bar{r}_2 = \bar{r}_B + \bar{r}_R$$

64. 满载电流有功部分

$$\bar{i}_P = \frac{1}{\eta'}$$

65. 满载电抗电流

$$\bar{i}_x = K_m \cdot \bar{x} \cdot (\bar{i}_P)^2 [1 + (K_m \cdot \bar{x} \cdot \bar{i}_P)^2]$$

式中:

$$K_m = 1 + \bar{i}_m \cdot \bar{x}_1$$

66. 满载电流无功部分 $\bar{i}_R = \bar{i}_m + \bar{i}_x$
67. 满载电势 $1 - \varepsilon_L = 1 - (\bar{i}_P \cdot \bar{r}_1 + \bar{i}_R \cdot \bar{x}_1)$
注: 此值应与22项假定值相符, 否则应重算22~67项中的有关项。
68. 空载电势 $1 - \varepsilon_0 = 1 - \bar{i}_m \cdot \bar{x}_1$
69. 空载定子齿磁密 $B_{T10} = \frac{1 - \varepsilon_0}{1 - \varepsilon_L} B_{T1}$
70. 空载转子齿磁密 $B_{T20} = \frac{1 - \varepsilon_0}{1 - \varepsilon_L} B_{T2}$
71. 空载定子轭磁密 $B_{C10} = \frac{1 - \varepsilon_0}{1 - \varepsilon_L} B_{C1}$
72. 空载转子轭磁密 $B_{C20} = \frac{1 - \varepsilon_0}{1 - \varepsilon_L} B_{C2}$
73. 空载气隙磁密 $B_{g0} = \frac{1 - \varepsilon_0}{1 - \varepsilon_L} B_g$
74. 空载定子齿安匝 $AT_{T10} = at_{T10} \cdot h_{T1}'$
75. 空载转子齿安匝 $AT_{T20} = at_{T20} \cdot h_{T2}'$
76. 空载定子轭安匝 $AT_{C10} = C_1 \cdot at_{C10} \cdot l_{C1}'$
77. 空载转子轭安匝 $AT_{C20} = C_2 \cdot at_{C20} \cdot l_{C2}'$
78. 空载空气隙安匝 $AT_{g0} = 0.8 g_e \cdot B_{g0}$
79. 空载总安匝 $AT_0 = AT_{T10} + AT_{T20} + AT_{C10} + AT_{C20} + AT_{g0}$
80. 空载磁化电流 $I_{m0} = \frac{2.22 AT_0 \cdot p}{m_1 \cdot Z_{\phi 1} K_{dp1}} \quad (\text{安})$
81. 定子电流 $\bar{i}_1 = \sqrt{\bar{i}_P^2 + \bar{i}_R^2}$
 $I_1 = \bar{i}_1 \cdot I_{KW} \quad (\text{安})$
82. 定子电流密度 $A_1 = \frac{I_1}{a_1 \cdot N_1 \cdot S_1} \quad (\text{安/毫米}^2)$
83. 线负荷 $A_1 = \frac{m_1 \cdot Z_{\phi 1} \cdot I_1}{\pi \cdot D_{i1}} \quad (\text{安/厘米})$
84. 转子电流 导条电流 $\bar{i}_2 = \sqrt{\bar{i}_P^2 + \bar{i}_x^2}$
 $I_2 = \bar{i}_2 \cdot I_{KW} \frac{m_1 \cdot Z_{\phi 1} K_{dp1}}{Q_2} \quad (\text{安})$
- 端环电流 $I_R = I_2 \frac{Q_2}{\pi \cdot p} \quad (\text{安})$
85. 转子电流密度 导条电密 $A_B = \frac{I_2}{S_B} \quad (\text{安/毫米}^2)$
- 端环电密 $A_R = \frac{I_R}{S_R} \quad (\text{安/毫米}^2)$
86. 定子铝损耗 $\bar{P}_{A11} = \bar{i}_1^2 \cdot \bar{r}_1$
 $P_{A11} = \bar{P}_{A11} \cdot P_2 \cdot 10^3 \quad (\text{瓦})$
87. 转子铝损耗 $\bar{P}_{A12} = \bar{i}_2^2 \cdot \bar{r}_2$
 $P_{A12} = \bar{P}_{A12} \cdot P_2 \cdot 10^3 \quad (\text{瓦})$

88. 杂散损耗 对铸铝转子 $\bar{P}_s = 0.01 \sim 0.03$ (极数少者取较大值)
对铜条转子 $\bar{P}_s = 0.005$

注: 该值与设计及工艺有关, 可参考相近规格实测值估算。

$$P_s = \bar{P}_s \cdot P_2 \cdot 10^3 \quad (\text{瓦})$$

89. 机械损耗 可参考实际试验值确定或按下列公式估算:

2极防护式 $P_{fw} = 5.5 \left(\frac{6}{p} \right)^2 \left(\frac{D_2}{10} \right)^3 \quad (\text{瓦})$

4极及以上防护式 $P_{fw} = 6.5 \left(\frac{6}{p} \right)^2 \left(\frac{D_2}{10} \right)^3 \quad (\text{瓦})$

2极封闭型自扇冷式 $P_{fw} = 1.3 \left(1 - \frac{D_1}{100} \right) \left(\frac{6}{p} \right)^2 \left(\frac{D_1}{10} \right)^4 \quad (\text{瓦})$

4极及以上封闭型自扇冷式 $P_{fw} = \left(\frac{6}{p} \right)^2 \left(\frac{D_1}{10} \right)^4 \quad (\text{瓦})$

$$\bar{P}_{fw} = \frac{P_{fw}}{P_2 \cdot 10^3}$$

90. 铁耗

- (1) 定子齿体积

$$V_{T1} = p \cdot S_{T1} \cdot h_{T1}'$$

- (2) 定子轭体积

$$V_{C1} = 2p \cdot S_{C1} \cdot l_{C1}'$$

- (3) 单位铁耗

p_{T1} 、 p_{C1} 根据 B_{T10} 、 B_{C10} 查附录 VI, 或按实际采用硅钢片的损耗曲线查出。

- (4) 定子齿损耗

$$P_{T1} = p_{T1} \cdot V_{T1} \quad (\text{瓦})$$

- (5) 定子轭损耗

$$P_{C1} = p_{C1} \cdot V_{C1} \quad (\text{瓦})$$

- (6) 总铁耗

$$P_{Fe} = k_1 \cdot P_{T1} + k_2 \cdot P_{C1} \quad (\text{瓦})$$

式中: k_1 、 k_2 为铁耗校正系数。

半闭口槽取 $k_1 = 2.5$ 、 $k_2 = 2$;

开口槽 取 $k_1 = 3.0$ 、 $k_2 = 2.5$, 或选其他经验值。

$$\bar{P}_{Fe} = \frac{P_{Fe}}{P_2 \cdot 10^3}$$

91. 总损耗

$$\Sigma \bar{P} = \bar{P}_{Al1} + \bar{P}_{Al2} + \bar{P}_{Fe} + \bar{P}_s + \bar{P}_{fw}$$

92. 输入功率

$$\bar{P}_1 = 1 + \Sigma \bar{P}$$

93. 总损耗比

$$\Sigma \bar{P} = \frac{\Sigma \bar{P}}{\bar{P}_1}$$

94. 效率

$$\eta = 1 - \Sigma \bar{P}$$

注: 此值应与64项预先假定值相符, 否则应重行计算64~94项中的有关项。

95. 功率因数

$$\cos \varphi = \frac{1}{i_1 \cdot \eta}$$

96. 转差率

$$S_n = \frac{\bar{P}_{Al2}}{1 + \bar{P}_{Al2} + \text{旋转铁耗} + \bar{P}_s + \bar{P}_{fw}}$$

注: 旋转铁耗 = $\bar{P}_{Fe} - (\bar{P}_{T1} + \bar{P}_{C1})$

97. 转速

$$n = \frac{120f(1 - S_n)}{p} \quad (\text{转/分})$$

98. 最大转矩

$$T_M = \frac{1 - S_n}{2(r_1 + \sqrt{r_1^2 + x^2})} \quad (\text{倍})$$

(四) 起 动 计 算

99. 起动电流开始假定值 $I_{st}' = (2.5 \sim 3.5) T_M \cdot I_{KW}$ (安)

100. 起动时漏磁路饱和引起漏抗变化的系数 K_Z 查附图18。

曲线中: B_L 为空气隙中漏磁场的虚构磁密

$$B_L = \frac{AT_{(st)}}{1.6g \cdot \beta_c}$$

$$\text{式中: } AT_{(st)} = I_{st}' \cdot \frac{Z_1}{a_1} \cdot 0.707 \left[K_{U1} + (K_{d1})^2 \cdot K_{p1} \cdot \frac{Q_1}{Q_2} \right] \sqrt{1 - \epsilon_0}$$

$$\beta_c = 0.64 + 2.5 \sqrt{\frac{g}{t_1 + t_2}}$$

101. 齿顶漏磁饱和引起定子齿顶宽度的减少

$$C_{S1} = (t_1 - b_{o1})(1 - K_Z)$$

102. 齿顶漏磁饱和引起转子齿顶宽度的减少

$$C_{S2} = (t_2 - b_{o2})(1 - K_Z)$$

103. 起动时定子槽单位漏磁导 $\lambda_{S1(st)} = K_{U1}(\lambda_{U1} - \Delta\lambda_{U1}) + K_{L1} \cdot \lambda_{L1}$

式中: $\Delta\lambda_{U1}$ 按槽形查附图1。

104. 起动时定子槽漏抗 $\bar{x}_{S1(st)} = \frac{\lambda_{S1(st)}}{\lambda_{S1}} \bar{x}_{S1}$

105. 起动时定子谐波漏抗 $\bar{x}_{d1(st)} = K_Z \cdot \bar{x}_{d1}$

106. 定子起动漏抗 $\bar{x}_1(st) = \bar{x}_{S1(st)} + \bar{x}_{d1(st)} + \bar{x}_{e1}$

107. 考虑到挤流效应的转子导条相对高度

$$\xi = 0.1987 h_B \sqrt{\frac{b_B \cdot f}{b_R \cdot \rho_B}}$$

式中: h_B ——转子导条高, 对铸铝转子不包括槽口高 h_{RO} 。

$\frac{b_B}{b_R}$ ——转子导条宽对槽宽之比值, 对铸铝转子 $\frac{b_B}{b_R} \approx 1$ 。

ρ_B ——导条电阻系数。

对A、E、B级绝缘 铝为4.34(浇铸); 铜为2.17。

对F、H级绝缘 铝为4.91(浇铸); 铜为2.45。

108. 转子挤流效应系数 $\frac{r_{\sim}}{r_0}$ 、 $\frac{x_{\sim}}{x_0}$ 查附图19、20。

109. 起动时转子槽单位漏磁导 $\lambda_{S2(st)} = \lambda_{U2(st)} + \lambda_{L2(st)}$

式中: $\lambda_{U2(st)} = \lambda_{U2} - \Delta\lambda_{U2}$

$\Delta\lambda_{U2}$ 按槽形查附图1。

$$\lambda_{L2(st)} = \frac{x_{\sim}}{x_0} \cdot \lambda_{L2}$$

注: 当采用凸形槽时, $\lambda_{L2(st)}$ 、 $\frac{r_{\sim}}{r_0}$ 应按附图1计算。

110. 起动时转子槽漏抗 $\bar{x}_{S2(st)} = \frac{\lambda_{S2(st)}}{\lambda_{S2}} \bar{x}_{S2}$

111. 起动时转子谐波漏抗 $\bar{x}_{d2(st)} = K_Z \cdot \bar{x}_{d2}$

112. 起动时转子斜槽漏抗 $\bar{x}_{SK(s)} = K_Z \cdot \bar{x}_{SK}$
113. 转子起动漏抗 $\bar{x}_{2(s)} = \bar{x}_{S2(s)} + \bar{x}_{d2(s)} + \bar{x}_{e2} + \bar{x}_{SK(s)}$
114. 起动总漏抗 $\bar{x}_{(s)} = \bar{x}_{1(s)} + \bar{x}_{2(s)}$
115. 转子起动电阻 $\bar{r}_{2(s)} = \left[\frac{r}{r_0} \left(\frac{l}{l_B} \right) + \frac{l_B - l}{l_B} \right] \bar{r}_B + \bar{r}_R$
116. 起动总电阻 $\bar{r}_{(s)} = \bar{r}_1 + \bar{r}_{2(s)}$
117. 起动总阻抗 $\bar{z}_{(s)} = \sqrt{\bar{r}_{(s)}^2 + \bar{x}_{(s)}^2}$
118. 起动电流 $I_{st} = \frac{I_{KW}}{\bar{z}_{(s)}} \quad (\text{安}) \quad i_{st} = \frac{I_{st}}{I_1} \quad (\text{倍})$

注: I_{st} 值应与99项假定值相符, 否则重算99~118项。

119. 起动转矩 $T_{st} = \frac{\bar{r}_{2(s)}}{\bar{z}_{(s)}^2} (1 - S_n) \quad (\text{倍})$

二、双鼠笼异步电动机的计算程序

除了下述各部计算外, 其余部分的计算均与单鼠笼相同。

1. 转子齿磁路计算 (见图2—1)

(1) 简略计算

a. 上笼齿截面 $S_{TV} = \frac{Q_2}{p} b_{TV} \cdot l_{Fe}$

式中: $b_{TV} = \frac{(D_2 - 2h_{R0} - d_1)\pi}{Q_2} - d_1$

b. 上笼齿磁通密度 $B_{TV} = F_s \frac{\Phi}{S_{TV}}$

c. 上笼齿所需安匝数 $AT_{TV} = 0.4at_{TV} \cdot d_1$

式中: at_{TV} 按 B_{TV} 查附录 VI, 或按实际采用硅钢片的磁化曲线查出。

d. 下笼齿所需安匝数 AT_{TL} 与单笼求法相同。

e. 转子齿所需安匝数 $AT_{T2} = AT_{TV} + AT_{TL}$

(2) 精确计算 (辛浦森法)

a. 上笼齿截面积: 将上笼直径均分为四等分求得 b_{TV1} 、 b_{TV2} 、 b_{TV3} 、 b_{TV4} 和 b_{TV5} , 即可求得相应的截面积 S_{TV1} 、 S_{TV2} 、 S_{TV3} 、 S_{TV4} 和 S_{TV5} 。

b. 上笼齿磁通密度 $B_{TV1} = F_s \frac{\Phi}{S_{TV1}}$

$$B_{TV2} = F_s \frac{\Phi}{S_{TV2}}$$

$$B_{TV3} = F_s \frac{\Phi}{S_{TV3}}$$

$$B_{TV4} = F_s \frac{\Phi}{S_{TV4}}$$

$$B_{TV5} = F_s \frac{\Phi}{S_{TV5}}$$

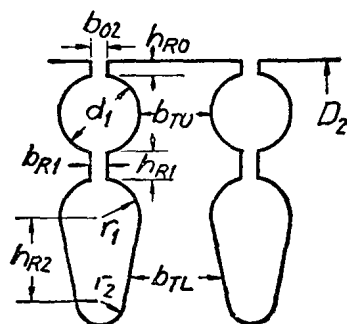


图2—1

- c. 上笼磁路每厘米所需安匝数 at_{TU1} 、 at_{TU2} 、 at_{TU3} 、 at_{TU4} 、 at_{TU5} 根据 B_{TU1} 、 B_{TU2} 、 B_{TU3} 、 B_{TU4} 、 B_{TU5} 查附录 VI，或按实际采用硅钢片的磁化曲线查出：

$$at_{TU} = \frac{at_{TU1} + 4at_{TU2} + 2at_{TU3} + 4at_{TU4} + at_{TU5}}{12}$$

- d. 上笼齿所需安匝数 $AT_{TU} = at_{TU} \cdot d_1$

2. 转子漏抗和电阻的计算：

(1) 运转时转子漏抗

- a. 转子互感和下笼自感单位漏磁导 λ_M 、 λ_{L2} 按槽形查附图 1。

b. 互感槽漏抗 $\bar{x}_M = \frac{l_2 \cdot m_1 \cdot p \cdot \lambda_M}{l_{eff} \cdot Q_2} C_x$

c. 下笼槽漏抗 $\bar{x}_{2L} = \frac{l_2 \cdot m_1 \cdot p \cdot \lambda_{L2}}{l_{eff} \cdot Q_2} C_x$

- d. 谐波漏抗、端部漏抗和斜槽漏抗计算与单鼠笼计算相同。

- e. 并联线路等值漏抗

$$\bar{x}_0 = \left(\frac{\bar{r}_{2U}}{\bar{r}_{2U} + \bar{r}_{2L}} \right)^2 \bar{x}_{2L}$$

- f. 运转时总漏抗

$$\Sigma \bar{x} = \bar{x}_{S1} + \bar{x}_{d1} + \bar{x}_{e1} + \bar{x}_0 + \bar{x}_M + \bar{x}_{d2} + \bar{x}_{e2} + \bar{x}_{SK}$$

(2) 运转时电阻

a. 转子导条上笼电阻 $R_{2U} = K \frac{K_B \cdot l_{BU} \cdot \rho_{BU}}{S_{BU} \cdot Q_2}$ (欧) $\bar{r}_{2U} = R_{2U} \frac{I_{KW}}{U_1}$

b. 转子导条下笼电阻 $R_{2L} = K \frac{K_B \cdot l_{BL} \cdot \rho_{BL}}{S_{BL} \cdot Q_2}$ (欧) $\bar{r}_{2L} = R_{2L} \frac{I_{KW}}{U_1}$

式中： S_{BU} 、 S_{BL} ——转子上、下笼导条面积。

ρ_{BU} 、 ρ_{BL} ——转子上、下笼导条电阻系数。

c. 并联后合成电阻 $\bar{r}_2 = \bar{r}_B + \bar{r}_R$

式中： $\bar{r}_B = \frac{\bar{r}_{2U} \cdot \bar{r}_{2L}}{\bar{r}_{2U} + \bar{r}_{2L}}$

(3) 起动时转子漏抗

a. 互感槽漏抗 $\bar{x}_{M(st)} = \frac{\lambda_{M(st)}}{\lambda_M} \bar{x}_M$

式中： $\lambda_{M(st)} = \lambda_M - \Delta \lambda_M$

- b. 并联线路等值漏抗

$$\bar{x}_{0(st)} = \frac{\bar{r}_{2U}^2 \cdot \bar{x}_{2L}}{(\bar{r}_{2L} + \bar{r}_{2U})^2 + \bar{x}_{2L}^2} \quad (\text{设 } \bar{x}_{2U} = 0)$$

(4) 起动时漏抗的总和

$$\Sigma \bar{x}_{st} = \bar{x}_{S1(st)} + \bar{x}_{e1} + K_Z \cdot \bar{x}_{d1} + \bar{x}_{0(st)} + \bar{x}_{M(st)} + \bar{x}_{e2} + K_Z \cdot \bar{x}_{SK} + K_Z \bar{x}_{d2}$$

(5) 起动时转子电阻 $\bar{r}_{2(st)} = \bar{r}_B(st) + \bar{r}_R$

式中： $\bar{r}_B(st) = \frac{\bar{r}_{2U} [\bar{r}_{2L} (\bar{r}_{2L} + \bar{r}_{2U}) + \bar{x}_{2L}^2]}{(\bar{r}_{2L} + \bar{r}_{2U})^2 + \bar{x}_{2L}^2}$