

第 1 章

电机设计基础理论

1.1 电机的主要参数之间的关系

1.1.1 主要尺寸

由电机学知识可知,电机的电磁过程主要是在气隙中进行的,也就是说其能量形式的转换是通过气隙主磁通进行的,因此,主要尺寸就必定与气隙有着密切的关系。实践证明,靠近气隙的电枢直径(D)与铁芯有效长度(l_{ef})是电机的主要尺寸,而气隙可以说是第三个主要尺寸。对于直流电机而言,电枢直径是指转子外径;对于交流电机而言,电枢直径是指定子内径。从几何角度看,这些尺寸一经确定,其他尺寸就大体上确定了,而且电机的重量、价格、工作性能和运行可靠性等,也就基本上确定了。

1. 计算功率

电机将电能(机械能)转换成机械能(电能)时,该能量均以电磁能的形式通过定、转子间的气隙进行传递,与之相对应的功率称为电磁功率。在电机设计中,电磁功率通常用计算功率 P' 表示。不同类型电机的计算功率,可由给定的额定功率 P_N 来决定,其方法如下:

(1) 对于异步电机

$$P' = mE_1 I \quad (1-1)$$

式中, m ——电枢绕组相数;

E_1 ——电枢绕组相电势, V;

I ——电枢绕组相电流, A。

输入功率为

$$P_1 = mU_{\phi N} I_1 \cos\varphi_N$$

式中, $U_{\phi N}$ ——额定相电压。

额定功率为

$$P_N = P_1 \eta_N = mU_{\phi N} I_1 \cos\varphi_N \eta_N$$

由此可得

$$P' = \frac{E_1}{U_{\phi N}} \cdot \frac{1}{\eta_N \cos\varphi_N} P_N = \frac{K_E}{\eta_N \cos\varphi_N} P_N \quad (1-2)$$

式中, η_N 、 $\cos\varphi_N$ ——额定负载时的效率和功率因数;

K_E ——满载电势标么值,即额定负载时,感应电势与端电压的比值。

由图 1-1 所示的异步电动机的相量图可知

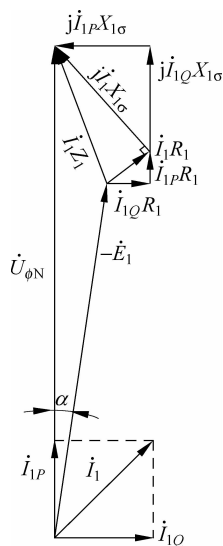


图 1-1 异步电动机的相量图

$$K_E = \frac{E_1}{U_{\phi N}} = 1 - \frac{I_{1P}R_1 + I_{1Q}X_{1\sigma}}{U_{\phi N}} = 1 - (i_{1P}^*R_1^* + i_{1Q}^*X_{1\sigma}^*) = 1 - \epsilon_L \quad (1-3)$$

式中, I_{1P} 、 I_{1Q} ——定子电流的有功分量和无功分量;

i_{1P}^* 、 i_{1Q}^* ——定子电流有功分量标么值和无功分量标么值;

ϵ_L ——定子绕组阻抗压降的标么值, $\epsilon_L = i_{1P}^*R_1^* + i_{1Q}^*X_{1\sigma}^*$ 。

(2) 对于同步电动机

$$P' = \frac{K_E}{\eta_N \cos \varphi_N} P_N \quad (1-4)$$

(3) 对于同步发电机

$$P' = \frac{K_E}{\cos \varphi_N} P_N \quad (1-5)$$

输出功率为

$$P_N = m U_{\phi N} I_1 \cos \varphi_N$$

(4) 对于同步调相机

$$\begin{cases} P' = K_E P_N \\ P_N = m U_{\phi N} I \end{cases} \quad (1-6)$$

(5) 对于并励直流发电机

$$P' = K_g P_N \quad (1-7)$$

式中, K_g ——考虑发电机电枢压降和绕组电流而引入的系数。

(6) 对于并励直流电动机

$$P' = \frac{K_m P_N}{\eta_N} \quad (1-8)$$

式中, K_m ——考虑电动机电枢压降和绕组电流而引入的系数。

电机设计时, η_N 、 $\cos \varphi_N$ 可由设计任务书或技术条件查得, K_E 可先假设得到, 然后可通过给定的额定功率 P_N 得到计算功率 P' 。

2. 电机常数和利用系数

1) 电机常数

电机常数 C_A 表示产生单位计算转矩所耗用的有效材料(铜、铝或电工钢)的体积, 并在一定程度上反映了结构材料的耗用量。其表达式为

$$C_A = \frac{D^2 l_{ef}}{P'/n} = \frac{60 D^2 l_{ef}}{2\pi T'} \quad (1-9)$$

式中, T' ——计算转矩, 其表达式为 $T' = \frac{P'}{\Omega} = \frac{60 P'}{2\pi n}$;

$D^2 l_{ef}$ ——近似地表示转子有效部分的体积, 定子有效部分的体积也与它有关。

对交流电机,

$$P' = mEI$$

其中, 电势表达式为

$$E = 4K_{Nm} K_{dp} f N \Phi$$

式中, K_{Nm} ——气隙磁场波形系数, 当气隙磁场正弦分布时 $K_{Nm} = 1.11$;

f ——电流频率, Hz;

N ——电枢绕组的每相串联匝数；

K_{dp} ——电枢绕组系数；

Φ ——每极磁通，Wb。

每极磁通 Φ 为

$$\Phi = B_{\delta av} \tau l_{ef} = B_{\delta} \alpha'_p \tau l_{ef}$$

式中， B_{δ} ——气隙磁通密度的最大值，T；

$B_{\delta av}$ ——气隙磁通密度的平均值，T；

α'_p ——计算极弧系数， $\alpha'_p = \frac{B_{\delta av}}{B_{\delta}} = 0.63 \sim 0.72$ ；

l_{ef} ——铁芯有效长度，m；

τ ——极距， $\tau = \frac{\pi D}{2p}$ ，m。

线负荷为

$$A = \frac{2mNI}{\pi D}$$

式中， D ——电枢直径，m。

把上面各关系代入式(1-9)可得

$$C_A = \frac{D^2 l_{ef} n}{P'} = \frac{6.1}{\alpha'_p K_{Nm} K_{dp} A B_{\delta}} \quad (1-10)$$

对直流电机，

$$P' = E_a I_a$$

其中电势为

$$E_a = \frac{p N_a}{60a} n \Phi$$

式中， N_a ——电枢绕组的总导体数；

a ——电枢绕组的并联支路对数。

每极磁通为

$$\Phi = B_{\delta av} \tau l_{ef} = B_{\delta} \alpha'_p \tau l_{ef}$$

线负荷为

$$A = \frac{I_a N_a}{2a \pi D}$$

把上面各关系代入式(1-9)可得

$$C_A = \frac{D^2 l_{ef} n}{P'} = \frac{6.1}{\alpha'_p A B_{\delta}} \quad (1-11)$$

比较式(1-10)与式(1-11)可知，对于交流电机和直流电机，其电机常数 C_A 的表达式相似，均可表示为

$$C_A = \frac{D^2 l_{ef}}{P'/n} = \frac{60 D^2 l_{ef}}{2 \pi T'} = \frac{6.1}{\alpha'_p K_{Nm} K_{dp} A B_{\delta}} \quad (1-12)$$

只不过对于直流电机，其 $K_{Nm} K_{dp} = 1$ 。

由于在一定功率和转速范围内的电机， B_{δ} 、 A 变动范围不大，且 α'_p 、 K_{Nm} 和 K_{dp} 变化范围更小，故称 C_A 为电机常数。

分析式(1-12)可以得出以下重要结论:

(1) 电机的主要尺寸决定于计算功率 P' 与转速 n 之比或计算转矩 T' 。由式(1-11)可知,在其他条件相同时,计算转矩相近的电机所消耗的有效材料相近,功率大、转速高与功率小、转速低的电机相比,若其 P'/n 相近,则电机体积接近,二者可采用相同的电枢直径与某些其他尺寸。

(2) 在一定转速范围内电磁负荷 A 、 B_δ 不变。功率一定时,转速高的电机尺寸较小;尺寸相同时,转速高的电机功率较大。可通过提高转速来减小电机的体积和重量。

(3) 转速和直径一定时,若采用不同长度可得不同功率的电机。

(4) α'_p 、 K_{Nm} 和 K_{dp} 一般变化不大,电磁负荷 A 、 B_δ 值直接影响电机的主要尺寸和有效材料用量, A 、 B_δ 选得越高,电机的尺寸就越小,耗用的材料越少。

2) 利用系数

利用系数 K_A 为电机常数 C_A 的倒数,其表达式为

$$K_A = \frac{1}{C_A} = \frac{P'/n}{D^2 l_{ef}} = \frac{2\pi T'}{60 D^2 l_{ef}} \quad (1-13)$$

利用系数 K_A 为单位体积有效材料及单位同步速(或额定转速)所能产生的视在功率,也表示单位体积的有效材料所能产生的计算转矩,反映了电机有效材料的利用程度。在设计方案比较时, K_A 往往是一项很好的比较指标,随着电机冷却技术的改善、制造工艺的提高及材料质量的改进, K_A 将不断增大。

1.1.2 电磁负荷的选择

电磁负荷 A 、 B_δ 值决定了利用系数,直接影响电机的有效材料的耗用量,更为重要的是 A 、 B_δ 值与电机运行参数、性能和可靠性有密切关系。

电磁负荷的选择要考虑的因素很多,应综合考虑电机的技术和经济指标,其选择要点如下:

(1) 当输出功率一定时,提高电磁负荷 A 、 B_δ ,电机的尺寸和体积将减小,可节省有效材料,但其需要较好的冷却条件和绝缘材料。

(2) 选取较高的 A ,绕组用铜(铝)量将增加。由于电机的尺寸减小了,若 B_δ 不变,每极磁通将减小,为得到一定的感应电势,绕组匝数必将增多。

(3) 选择较高的 A 或导体电流密度 J ,绕组电阻将增加,使绕组温升增高。对直流电机, A 过高,电抗电势将增加,使换向恶化。

(4) 选择较高的 B_δ ,电机基本铁耗增加。由于电枢铁芯中的磁通密度与 B_δ 有一定比例关系,而铁的比损耗(单位重量铁芯中的损耗)与铁磁材料内磁通密度的平方成正比关系,故随着 B_δ 的提高,比损耗的增加速度比铁芯重量减少的速度更快。因此导致电枢铁耗增加、效率降低及在冷却条件不变时温度将升高。

(5) A 与 B_δ 应选择恰当的比值。由于励磁电流标么值 $I_m^* \propto \frac{B_\delta}{A}$,选取较高的 B_δ 或较低的 A ,励磁电流将增大,使异步电机的功率因数降低。而漏抗的标么值 $X_s^* \propto \frac{A}{B_\delta}$,故 B_δ 较高或 A 较低时,漏抗减小,其堵转转矩及过载能力将提高,但其堵转电流也将增大。

总的来说,电磁负荷的选择要考虑的因素很多,很难单纯从理论上来确定。通常主要参

考电机工业长期积累的经验数据,并分析对比设计电机与已有电机之间在使用材料、结构、技术条件和要求等方面的异同后进行选取。随着材料性能提高、冷却条件改善、电机结构不断改进, A 、 B_s 的数值和电机利用系数正在逐步提高,从而在保证电机性能的同时,使其体积和重量不断减小。

1.1.3 系列电机及电机的几何相似定律

1. 系列电机

电机产品通常按系列生产,以便能利用已有的工艺装备,降低成本和缩短生产周期。所谓系列电机就是在应用范围、结构形式、性能水平和生产工艺等方面有共同性,功率按一定比例系数递增,并成批生产的一系列电机。我国目前生产的几个主要系列如下:

(1) 基本系列,是使用面广、生产量大、一般用途的系列。例如直流电机的 Z_2 系列(小型直流电机)、ZF 系列(中型直流发电机)和 ZD 系列(中型直流电动机);异步电机的 J_2 、 JO_2 系列(三相鼠笼式异步电动机)和 Y 系列(新型三相异步电机);同步电机的 T_2 系列(三相同步发电机)、TD 系列(同步电动机)和 TT 系列(同步补偿机)。

(2) 派生系列,是为满足不同的使用要求,将基本系列进行部分改动而派生出来的系列,它与基本系列有较多的通用性。例如, ZJD 大型轧钢及卷扬机用直流电动机,由 ZD 系列派生而来; JZ₂ 冶金及起重用三相感应电动机,由 J_2 系列派生而来; JDO₂ 三相多速异步电动机,由 JO_2 系列派生而来。

(3) 专用系列,是适用某种特殊条件或使用面很窄的系列。例如 GD 系列辊道电动机,用于冶金工业中工作辊道和传送辊道,其有堵转转矩大、堵转电流小、堵转时间长、变频调速宽的特点,能够在频繁起动、制动、反转的条件下运行。

系列电机设计有如下特点:

(1) 同一系列中,功率按一定规律递增。

通常,系列中相邻两功率等级的比值,称为功率递增系数或容量递增系数 K'_p ,其数值直接影响到整个功率等级数目的确定。功率等级的确定要根据用户的要求、选用的方便和经济性等多方面全面综合分析来确定。

(2) 安装尺寸的确定必须综合考虑其具体情况。

电机的安装尺寸是指电机与配套机械进行安装时的有关尺寸,系列电机的安装尺寸一般按轴中心高分级,它的确定必须综合考虑配套机械和电机本身的具体情况,原则上是按优先系数递增。

对端盖式轴承的电机,确定功率等级与安装尺寸的对应关系时,主要是确定功率等级与轴中心高的对应关系。功率等级确定后,选取轴中心高等级,必须全面考虑工艺装备、用户要求、电磁设计和材料利用等因素。

(3) 交流电机系列定子冲片外径的确定应与规定的轴中心高数值一致。

此外,还应考虑硅钢片利用的经济合理性,并考虑在条件允许的情况下,尽量充分利用已有的工艺装备。

2. 电机的几何相似定律

所谓几何相似,是指电机对应的尺寸具有相同的比值。如, A 、 B 两台电机若是几何相似,则其对应尺寸成比例,即

$$\frac{D_A}{D_B} = \frac{l_A}{l_B} = \frac{h_{sA}}{h_{sB}} = \frac{b_{sA}}{b_{sB}} = \dots$$

式中, h_s 、 b_s ——槽高和槽宽。

通常所谓的几何相似定律是指: 在电流密度、磁感应强度、转速和频率保持不变时, 对一系列功率递增、几何相似的电机, 每单位功率所需有效材料的质量 $M(G)$ 、成本 C_{ef} 及产生的损耗 $\sum p$ 与功率 P' 的 $1/4$ 次方成反比, 即

$$\frac{G}{P'} \propto \frac{C_{ef}}{P'} \propto \frac{\sum p}{P'} \propto \frac{P'^{\frac{3}{4}}}{P'} = \frac{1}{P'^{\frac{1}{4}}}$$

证明如下:

条件: J 、 B 、 n 、 f 保持不变。

(1) 长度 l 与功率 P' 之间的关系

由于

$$E \propto N\Phi, \quad \Phi = BS_{Fe}$$

式中, S_{Fe} ——铁芯净截面。则

$$E \propto NBS_{Fe}$$

且 $I = JS_C$ (J 为电流密度, S_C 为导体截面积), 代入 $P' \propto EI$, 则

$$P' \propto NBS_{Fe}JS_C \quad (B, J \text{ 保持不变}, S_{Cu} = NS_C)$$

可得

$$P' \propto S_{Fe}S_{Cu}$$

式中, S_{Cu} ——绕组净截面。

已知

$$S_{Fe} \propto l^2, \quad S_{Cu} \propto l^2$$

故

$$P' \propto l^4 \quad \text{或} \quad l \propto P'^{\frac{1}{4}}$$

(2) G 、 C_{ef} 和 $\sum p$ 与 P' 的关系

有效材料重量与体积成正比, 即与长度 l 的立方成正比; 而有效材料的成本 C_{ef} 和损耗 $\sum p$ 均与 $M(G)$ 成正比, 故可得

$$G \propto l^3 \quad \text{即} \quad G \propto P'^{\frac{3}{4}}$$

$$C_{ef} \propto G \quad \text{即} \quad C_{ef} \propto P'^{\frac{3}{4}}$$

$$\sum p \propto G \quad \text{即} \quad \sum p \propto P'^{\frac{3}{4}}$$

(3) 单位功率所需有效材料的质量 $M(G)$ 、成本 C_{ef} 及产生的损耗 $\sum p$ 与功率 P' 的关系

$$\frac{G}{P'} \propto \frac{C_{ef}}{P'} \propto \frac{\sum p}{P'} \propto \frac{P'^{\frac{3}{4}}}{P'} = \frac{1}{P'^{\frac{1}{4}}}$$

从几何相似定律可以看出, 随着单机容量增加, 其有效材料的重量 G 和成本 C_{ef} 的增加比容量的增加要慢, 故其有效材料的利用率提高了; 损耗 $\sum p$ 的增加比容量增加也慢, 故效率得以提高。因此, 在可能的情况下, 近代电气设备通常尽可能采用大功率电机来代替总

功率相等的数台小功率电机。此外还可以看出,电机损耗与长度 l 的立方成正比,而冷却表面却与长度成正比,随着电机功率的增加,其长度也将增加,但电机损耗的增加速度大于冷却表面的增加速度,电机温升将增加,因此就必须设法改变冷却系统或冷却方式。故冷却问题对大功率电机比对小功率电机更显得重要,甚至放弃它们的几何形状相似。

1.1.4 电机的主要尺寸比及主要尺寸的确定

1. 电机的主要尺寸比

在已知电机的计算功率和转速情况下,适当地选取电磁负荷,借助电机常数或利用系数的表达式,可初步确定电机的 $D^2 l_{ef}$ 。但 $D^2 l_{ef}$ 相同的电机,可以有不同的外形。为了反映电机的几何形状,引入一新的概念——主要尺寸比 λ ,且

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{\tau} \quad (1-14)$$

当有效体积不变时, λ 值较大的电机外形较细长,反之则粗短。

选择 λ 值时,通常主要考虑电机参数与温升、节约用铜(铝)、转子的机械强度和转动惯量等方面的限制和要求,其选择的具体要点如下:

(1) 在合理范围内适当选择较大的 λ 值。

l_{ef} 较大而 D 较小,电机较细长,此时端部较短,可减少绕组端部用铜和端部各部件(端盖、轴承、刷架和换向器等)的尺寸,可使得电机端部漏抗减小、重量和成本降低及效率得以提高。

(2) 高速大型电机的 λ 值一般选择得较大。

由于电机细长,转子的转动惯量较小,将 λ 值选得较大可以满足转子材料强度限制。

(3) λ 值不宜选择得过大。

λ 值过大时,风路便增长,冷却条件变差,此时必须采取措施来加强冷却,对于无径向通风道的开启式或防护式的电机,为充分利用绕组端部散热,其 λ 值应选择的较小。此外由于铁芯细长,还将增加冲片数量,增加叠压和嵌线工时。

(4) 同步电机一般选择较大的 λ 值。

对于异步电机,若为中小型电机,通常取 $\lambda=0.4\sim1.5$;若为大型电机,通常取 $\lambda=1\sim3.5$,极数较多时取较大值。对于同步电机,若为凸极电机,一般取 $\lambda=0.4\sim1.5$,并随着极数的增加而增大;高速或大型同步电机,由于材料机械强度的限制,故 λ 值选择得较大,可达 $3\sim4$ 。若为汽轮机,转速高,离心力大,为使转子机械应力不超过允许值,在加强冷却的条件下,电机的 λ 值随功率的增加而增大。对于直流电机,若为中小型电机,通常取 $\lambda=0.6\sim1.2$;若为大型电机,通常取 $\lambda=1.25\sim2.5$ 。 λ 值越大,电枢越细长,换向条件变差,故直流电机采用较小 λ 值。若是要求转动惯量较小(例如轧钢机)或是大型高速的直流电机, λ 值也应取得大些。

2. 主要尺寸的确定

确定电机主要尺寸一般可采用两种方法,即计算法和类比法。

1) 计算法

在采用计算法确定电机主要尺寸时,可根据其本身特点而采用不同的步骤,甚至将主要尺寸的关系式写成其他形式。其一般步骤如下。

(1) 由电机额定功率 P_N ,根据式(1-2)~式(1-7)求得计算功率 P' ;

(2) 利用推荐的数据或曲线选取电磁负荷 A 、 B_δ ;

(3) 由 P' 、 n (交流机 $n = n_0$, 直流机 $n = n_N$)、 A 和 B_δ , 根据式 (1-12) 或式 (1-13) 求得 $D^2 l_{ef}$;

(4) 参考推荐的数据选用适当的 λ ;

(5) 由 $\lambda = \frac{l_{ef}}{\tau}$ 及已算得的 $D^2 l_{ef}$, 分别求得主要尺寸 l_{ef} 和 D ;

(6) 确定交流电机定子外径 D_1 、直流电机电枢外径 D_a 。

对于交流电机, 计算得到定子内径 D_{i1} 后, 参照定子内外径比的经验值可估算定子外径 D_1 。算得 D_1 (或 D_a) 后, 参照表 1-1 和表 1-2 选取标准直径, 然后对 D_{i1} 和 l_{ef} 进行必要的调整。

表 1-1 交流电机定子的标准外径

mm

机座号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
D_1	12	14.5	16.7	21	24.5	28	32.7	36.8	42.3	56	56
机座号	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
D_1	65	74	85	99	118	143	173	215	260	325	425

表 1-2 直流电机电枢的标准外径

mm

机座号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
D_a	8.3	10.6	12	13.8	16.2	19.5	21	24.5	29.4	32.7	36.8
机座号	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
D_a	42.3	49.3	56	65	74	85	99	120	150	180	215

2) 类比法

在实际生产中, 很多时候不采用计算法, 而是采用类比法, 即根据所设计电机的具体条件 (结构、材料、技术经济指标和工艺等), 参照已生产过的同类型相似规格电机的设计和试验数据, 直接初选主要尺寸及其他数据。

1.2 磁路计算

1.2.1 概述

电机的绕组中通过电流时, 就会在电机内建立起相应的磁场, 通常将电机内的磁场分为主磁场和漏磁场。进行磁路计算的目的是, 就在于确定电机中感应一定电势所对应的主磁场所必需的磁化力或励磁磁动势, 进而计算励磁电流及电机的空载特性, 校核电机各部分磁通密度选择得是否合适, 并确定有关尺寸。

1. 全电流定律

全电流定律 (也称安培环路定律) 为电机设计中进行磁路计算所依据的基本原理。表述为: 磁场强度 $\mathbf{H}$ 沿闭合路径的线积分等于该回路所包围的全电流, 即

$$\oint_l \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \sum i \quad (1-15)$$

若积分路径沿着磁场强度矢量取向 (即沿磁力线), 则有 $\oint_l H dl = \sum i$ 。

式(1-15)左边为磁场强度 H 在 $d\mathbf{l}$ 方向上的线积分,在电机的磁路计算中,所选择的闭合回路一般通过一对磁极的中心线;而式(1-15)右边为回路所包围的全电流,即为每对极的励磁磁动势。

2. 磁路计算的一般步骤

为简化计算,通常将电机各部分磁场分成等值的各段磁路。所谓等值的磁路是指各段磁路上的磁压降等于磁场内对应点之间的磁压降,并认为各段中磁通沿截面均匀分布,磁场强度保持为恒值,则有

$$H_1 L_1 + H_2 L_2 + \cdots + H_n L_n = F_0 \quad (1-16)$$

进行磁路计算时,可将电机分成若干扇形段,每个扇形段包含一对磁极。由于各扇形段的磁场分布都是相同的,故只需研究一个扇形段范围内的磁场便可。

一般说来,各类旋转电机的磁路可分为如下各段:空气隙、定子齿(或磁极)、转子齿(或磁极)、定子轭及转子轭。图 1-2 所示为一凸极同步发电机的磁路示意图。图中示出了其中的一条典型磁路,这条闭合磁路包括空气隙、定子齿、定子轭、转子磁极和转子轭五个部分,分别如图中的 1~5 所示。由于一对极磁路中两个极的磁路情况是相似的,可以只对一个极(半条回路)(图 1-2 中虚线所示的回线的左半部分)进行磁路计算。这半条磁路(即一个极)所需磁动势等于各段磁路所需磁动势之和,即

$$F_0 = F_1 + F_2 + \cdots + F_n = H_1 L_1 + H_2 L_2 + \cdots + H_n L_n \quad (1-17)$$

式中, F_n ——第 n 段磁路上的磁动势, $F_n = H_n L_n$;

F_0 ——每极所需的励磁磁动势。

因此,励磁磁动势的计算可归结为计算每极磁路上各段的磁压降。

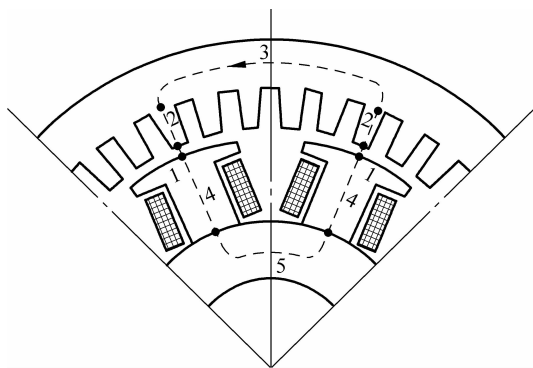


图 1-2 凸极同步发电机的磁路

由于磁路各段的截面积大小和材料不同,各段的磁通密度和磁阻也就不同,求取整个磁路所需磁动势时,必须对每段分别计算。一般可按以下具体步骤进行磁路计算:

- (1) 根据定子每相电势 E_1 求出每极磁通 Φ ;
- (2) 确定通过各段磁路的磁通 Φ_x ;
- (3) 根据电机的尺寸确定各段磁路的截面积 A_x 和磁通密度 B_x ;
- (4) 根据 B_x 值,从所用材料的磁化特性曲线上查得各磁路的磁场强度 H_x ;
- (5) 确定各段磁路长度 L_x ;

(6) 求出各段所需磁压降 $F_x = H_x L_x$, 再将各段所需磁压降相加就可以得出一个极所需的总磁动势 F_0 。若电机绕组的匝数已知, 便可以求出磁化电流的大小。

以下将分别介绍各段磁路磁压降的具体计算方法。

1.2.2 空气隙磁压降的计算

由于空气的磁阻比硅钢片的磁阻大得多, 在电机的各段磁路里, 空气隙所需磁动势最大, 通常占总磁动势的 60% 以上; 而且有关空气隙及其磁场计算的数据, 对电机的许多运行性能都有十分重要的影响, 因此, 准确地计算空气隙磁压降是很重要的。

1. 每极磁通的计算

电机的每极磁通可根据给定的绕组感应电势确定。

对于直流电机, 每极磁通

$$\Phi = \frac{E_a}{\frac{pn}{60} \cdot \frac{N_a}{a}} \quad (1-18)$$

对于交流电机, 每极磁通

$$\Phi = \frac{E}{4K_{Nm} K_{dp} fN} \quad (1-19)$$

2. 气隙磁通密度的计算

要计算气隙磁通密度, 需按下式求出空气隙每极截面积 A_δ :

$$A_\delta = \tau_p l_{ef} \quad (1-20)$$

式中, τ_p ——电机的极距;

l_{ef} ——电机的铁芯有效长度。

假定每极磁通在一个极距范围内均匀分布, 则空气隙中的平均磁通密度 $B_{\delta av}$ 为

$$B_{\delta av} = \frac{\Phi}{A_\delta} \quad (1-21)$$

实际上, 电机内气隙磁场的空间分布是不均匀的。由于磁路计算路径是沿最大气隙磁通密度所在的磁极中心线处, 所以在磁路计算中选用最大磁通密度 B_δ , 且

$$B_\delta = \frac{B_{\delta av}}{\alpha_p'} \quad (1-22)$$

式中, α_p' ——计算极弧系数, 为气隙磁通密度平均值 $B_{\delta av}$ 与最大值 B_δ 之比; 其倒数称为波幅系数, 用 F_s 表示。

3. 计算极弧系数 α_p' 的确定

直流电机的气隙磁通密度在一个极距范围内的分布 $B(x)$ 如图 1-3 中的实线所示, 每极磁通为

$$\Phi = l_{ef} \int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} B(x) dx = B_\delta \alpha_p' \tau l_{ef} \quad (1-23)$$

假想每极计算磁通集中在极弧计算长度 b_p' 范围内并均匀分布, 其磁通密度大小等于最大值 B_δ , 则

$$\alpha_p' = \frac{b_p'}{\tau} \quad (1-24)$$