

实用电工速查速算系列手册

电动机速查速算手册

方大千 等 编著

DIANDONGJI
SUCHA SUSUAN SHOUCE



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

实用电工速查速算系列手册

电动机速查速算手册

方大千 等 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书较详细而系统地介绍了电动机的计算公式和计算方法。内容包括:电动机基本计算和节电计算;传动电动机计算和电动机功率的选择;有关电动机运行及保护的计算;电动机起动、制动和调速的计算;软起动器和变频器的选用及计算;电动机绕组计算等六章。

本书公式准确、简明、实用,内容丰富。可供电气技术人员、电动机运行、维修电工,以及电动机控制设计人员使用,也可供大、中专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

电动机速查速算手册/方大千等编著. —北京:中国水利水电出版社, 2004

(实用电工速查速算系列手册)

ISBN 7-5084-1889-1

I. 电... II. 方... III. 电动机—技术手册
IV. TM32-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第124679号

书 名	实用电工速查速算系列手册 电动机速查速算手册
作 者	方大千 等 编著
出版发行	中国水利水电出版社(北京市三里河路6号 100044) 网址: www. waterpub. com. cn E-mail: sales@waterpub. com. cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心) 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
经 售	
排 版	北京密云红光印刷厂
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	850mm×1168mm 32开本 17.625印张 474千字
版 次	2004年3月第1版 2004年3月第1次印刷
印 数	0001—5100册
定 价	36.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

电气工作者经常涉及到电气的计算。电气计算公式和计算方法，见于各类设计手册、电工手册及电气书刊中。设计手册类的书籍中，由于计算公式繁杂、参数甚多，查找使用不便，对于非技术人员则更难使用；电工手册类以数据、表格、资料为主，计算公式不多；而各类书刊中的计算公式很分散，不易查找；加上公式、符号等又不统一。这些都给使用者带来诸多不便。为了提高工作效率、节省时间，以适应当今时代快节奏的工作要求，为此我们组织编写了实用电工速查速算系列手册。书中公式没有冗长的推导过程和繁多的参数，开门见山，拿来即可使用，旨在解决实际问题。参加系列手册编写工作的都是长期从事电气工作的工程技术人员，具有丰富的实践经验，因此本系列手册的实用性非常强。

《电动机速查速算手册》是一本实用的工具书。本书内容包括：电动机基本参数计算及测试；电动机负荷率、损耗及效率计算；电动机经济运行计算；传动电动机的选择及传动装置的计算；各类场合电动机功率的选择；有关电动机运行的计算；频率为 60Hz 与 50Hz 的电动机及不同额定电压的电动机使用分析；三相电动机改为单相使用的计算；电动机保护计算；电动机启动、制动和调速计算；软起动器、变频器的选用及计算；电动机绕组线模计算、电动机绕组重绕计算；电动机改速、改压、改频等计算。本书列有计算必须的和维修中经常用到的一些技术数据，为便于读者应用和掌握，还列举许多计算实例。

在本书的编写过程中，力求做到准确、简明、实用，并注意

内容的先进性和新颖性。计算所涉及的标准和规定，采用最新颁布的国家标准和规定，所涉及的电器产品尽量采用新系列产品，所用的数据也力求最新。全书采用法定计量单位和国家绘图标准。

全书由乐启昌、方大中高级工程师审校。参加编写工作的有鲍俏伟、郑鹏、方成、方立、朱征涛、姚志松、许纪秋、方亚平、姚磊和那罗丽等。全书插图由方欣、杨丽梅绘制。

限于编者的经验和水平，书中难免有错误和不妥之处，希望读者批评指正。

作者

2004年1月

目 录

前言

第一章 电动机基本计算和节电计算	1
第一节 基本原理及计算	1
一、异步电动机的基本公式及等值电路图	1
二、异步电动机的工作特性	10
三、Y系列三相异步电动机的技术数据	12
四、YR系列绕线型三相异步电动机的技术数据	12
五、绕线型异步电动机转子电阻的计算	18
六、直流电机的基本公式	19
七、Z2、Z4系列直流电动机的技术数据	25
八、无铭牌直流发电机额定电流的估算	35
九、滑差电动机的基本计算	36
十、绕组温升和绝缘电阻计算	40
第二节 电动机损耗计算及节电计算	48
一、异步电动机空载电流计算	48
二、异步电动机功率因数的计算	53
三、异步电动机转差率和空载、负载试验计算	59
四、异步电动机损耗及功率平衡计算	69
五、高速异步电动机损耗的计算	76
六、电动机输入功率、输出功率和效率的测算	78
七、异步电动机无功功率的计算	81
八、异步电动机最佳负荷率的计算	82
九、异步电动机等效功率和等效损耗的计算	83
十、同步电动机损耗、输出功率和效率的测算	87
十一、电动机通风风扇功耗及通风噪声的计算	89
十二、直流电动机损耗及效率的计算	90
十三、电风扇风叶的功率消耗计算	92

十四、电容运转电动机起动力矩的计算	93
十五、电动机节电更换的计算	94
十六、“大马拉小车”节电计算	100
十七、星—三角变换的节电计算	101
十八、交流电动机调速节电计算	107
十九、异步电动机同步化运行的计算	113
二十、提高电动机与被拖动机械连接效率的计算	115
第三节 电动机试验要求	117
一、交流电动机试验要求	117
二、直流电动机试验要求	120
第二章 传动电动机计算和电动机功率的选择	123
第一节 传动电动机的计算	123
一、传动电动机的选择程序	123
二、电动机过载能力及平均起动转矩计算	123
三、飞轮力矩计算	126
四、负载转矩和飞轮质量的计算	127
五、根据打滑条件允许的最大加速度计算	131
六、电动机功率的选择与校验	132
第二节 传动装置的计算	142
一、平皮带传动计算	142
二、三角皮带传动计算	147
三、直齿圆柱齿轮传动计算	151
四、传动轴直径的计算	154
五、摩擦力计算及传动效率	155
第三节 电动机功率选择的基本计算	161
一、电动机功率选择的基本原则和计算	161
二、在不同环境温度时电动机功率的计算	162
三、采用寿命期费用分析法选定电动机	163
第四节 各类电动机功率的选择	166
一、整流子电动机功率的选择	166
二、力矩电动机的选择	168
三、各种设备的电动机功率的选择	170

第三章 有关电动机运行及保护的计算	182
第一节 有关电动机运行的计算	182
一、异步电动机一般工作条件的规定和要求	182
二、电动机用润滑油和润滑脂的选择	183
三、电机用电刷的技术性能与电刷牌号的选择	184
四、电压变动对电动机性能的影响	187
五、频率为 60Hz (或 50Hz) 的电动机用于 50Hz (或 60Hz) 的电源上的影响分析	192
六、额定电压与电网电压不同的电动机使用分析	197
七、电动机寿命的预测	198
八、三相异步电动机改为单相使用时的计算	200
九、改变电动机绕组接线的简易计算	205
十、单相电容电动机电容量的简易估算	206
第二节 电动机保护计算	207
一、异步电动机保护方式及规定	207
二、异步电动机保护电器的选用及整定	210
三、异步电动机起动、保护设备及导线的选择	211
四、机床设备电源线及其保护的选择	216
五、热敏电阻电动机保护计算	218
六、异步电动机断相保护计算	221
七、热继电器电动机保护计算	225
八、电动机负序电压断相保护的计算	230
九、零序电压 (电流) 电动机保护的计算	231
十、电动机故障信号检测用电流互感器的设计	236
十一、直流电动机失磁及过流保护计算	236
第四章 电动机起动、制动和调速的计算	239
第一节 电动机起动的计算	239
一、异步电动机直接起动功率的确定	239
二、高压异步电动机直接起动功率的确定	242
三、异步电动机降压起动方式的选择	243
四、磁力起动器的选择	245
五、星—三角起动器的选择与计算	250
六、自耦减压起动器的选择与计算	257

七、延边三角形起动法的计算	266
八、Y 系列异步电动机降压起动设备的选择	269
九、异步电动机电阻降压起动的计算	270
十、异步电动机阻容复合降压起动的计算	273
十一、大容量电动机起动时, 电网电压降低后的有关计算	277
十二、无限容量系统电网供电的全压起动计算	281
十三、无限容量系统电网供电的降压起动计算	284
十四、有限容量系统电网供电的电动机起动计算	286
十五、绕线型异步电动机转子串接电阻起动的计算	288
十六、绕线型异步电动机转子串接频敏变阻器起动的计算	294
十七、水电阻起动器的计算	306
十八、同步电动机起动方式的选择及直接起动计算	307
十九、同步电动机电抗器降压起动计算	309
二十、同步电动机自耦变压器降压起动计算	310
二十一、直流电动机起动计算	312
第二节 电动机制动的计算	319
一、异步电动机常用制动方式的比较	319
二、异步电动机反接制动计算	320
三、异步电动机能耗制动计算	327
四、单相异步电动机能耗制动线路的元件选择	336
五、异步电动机自激能耗制动计算	338
六、同步电动机能耗制动计算	340
七、直流电动机反接制动计算	341
八、直流并励电动机能耗制动计算	343
九、直流串励电动机能耗制动计算	344
第三节 电动机调速的计算	345
一、异步电动机调速方法的选择	345
二、绕线型异步电动机调速方法的选择	348
三、绕线型异步电动机转子附加电阻调速的计算	348
四、绕线型异步电动机机械回馈式串级调速的计算	351
五、绕线型异步电动机采用辅助电源的无级调速的计算	353
六、直流电动机调速计算	356
七、小功率电动机无级调速器的性能及配置	362

第五章 软起动器和变频器的选用及计算	363
第一节 软起动器的选用	363
一、软起动器的特性	363
二、软起动器的正确应用	363
三、软起动器的性能数据	365
四、软起动器的接线	371
第二节 变频器的选用及计算	371
一、变频器的运行环境条件	371
二、变频器的选用	372
三、高压（中压）变频器的选用	380
四、变频器的技术数据	382
五、变频器的接线及使用注意事项	389
六、变频器对多台电动机进行速控的计算	396
七、变频器电抗器的选用	397
八、变频器通风计算	399
九、变频器主回路和控制回路电线的选择	401
第六章 电动机绕组计算	404
第一节 绕组线模的计算	404
一、绕组的基本概念及展开图	404
二、三相异步电动机定子绕组的计算	407
三、单层交叉式绕组线模的计算	425
四、单层链式绕组线模的计算	430
五、单层同心式绕组线模尺寸计算	431
六、单层交叉式、单层链式和单层同心式绕组线模的简易计算	433
七、双层迭绕式绕组线模的简易计算	435
第二节 电动机绕组重绕计算	436
一、单相异步电动机绕组重绕计算	436
二、三相异步电动机绕组重绕的简易计算	443
三、Y系列三相异步电动机铁心、绕组技术数据	452
四、YR系列绕线型异步电动机绕组技术数据	452
五、单相电动机改为三相电动机重绕计算	473
六、直流电动机电枢绕组重绕计算	475

七、直流电动机励磁绕组和换向极绕组重绕计算	478
八、Z2 系列直流电动机铁心、绕组的技术数据	483
九、罩极式电动机绕组重绕估算	492
十、分相电动机绕组重绕计算	495
十一、电容运转电动机绕组重绕计算	499
十二、分相电动机和电容运转电动机的电容器计算	500
十三、单相电容起动和分相起动电动机铁心、绕组技术数据	506
十四、电钻绕组重绕计算	506
十五、220V 电钻用单相通用电动机铁心、绕组技术数据	511
十六、电扇绕组重绕计算	511
十七、钻石牌电钟绕组计算	511
第三节 电动机改速、改压、改频等计算	517
一、单速电动机改为双速电动机的计算	517
二、导线代用、改压、改频、变更级数的计算	524
三、铸铝转子改为铜条转子的计算	543
四、直流电动机改压计算	544
五、串励直流电动机改为并励的计算	546
六、电机转子扎线修理的计算	549
参考文献	551

第一章 电动机基本计算和节电计算

第一节 基本原理及计算

一、异步电动机的基本公式及等值电路图

1. 定子绕组直流电阻

任意温度 t 下测得的定子每相绕组的直流电阻换算到 75°C 时的直流电阻, 可由下式公式计算:

$$\text{铜绕组} \quad R_{75\text{Cu}} = \frac{234.5 + 75}{234.5 + t} R_t = K_t R_t$$

$$\text{铝绕组} \quad R_{75\text{Al}} = \frac{225 + 75}{225 + t} R_t = K_t R_t$$

式中 t ——测试时定子绕组的温度 ($^{\circ}\text{C}$);

R_t —— $t^{\circ}\text{C}$ 时定子绕组的直流电阻 (Ω);

K_t ——换算系数, 铜绕组见表 1-1, 铝绕组见表 1-2。

以上公式是对于 A、E、B 级绝缘的电动机而言。对于 F、H 级绝缘的, 则应换算到 115°C , 只要将以上公式中的 75 改成 115 即可。

表 1-1 铜绕组直流电阻各种温度下的 K_t 值

$t (^{\circ}\text{C})$	K_t	$t (^{\circ}\text{C})$	K_t	$t (^{\circ}\text{C})$	K_t	$t (^{\circ}\text{C})$	K_t
-9	1.373	4	1.298	17	1.231	30	1.170
-8	1.366	5	1.292	18	1.226	31	1.166
-7	1.360	6	1.287	19	1.221	32	1.161
-6	1.354	7	1.282	20	1.216	33	1.158
-5	1.349	8	1.276	21	1.211	34	1.152
-4	1.343	9	1.271	22	1.207	35	1.148
-3	1.337	10	1.266	23	1.202	36	1.144
-2	1.331	11	1.261	24	1.197	37	1.140
-1	1.325	12	1.256	25	1.193	38	1.136
0	1.320	13	1.251	26	1.188	39	1.132
1	1.314	14	1.245	27	1.184	40	1.128
2	1.309	15	1.240	28	1.179		
3	1.303	16	1.236	29	1.175		

表 1-2 铝绕组直流电阻各种温度下的 K_t 值

t (°C)	K_t	t (°C)	K_t	t (°C)	K_t	t (°C)	K_t
-9	1.389	4	1.310	17	1.240	30	1.176
-8	1.382	5	1.304	18	1.235	31	1.172
-7	1.376	6	1.299	19	1.230	32	1.167
-6	1.370	7	1.293	20	1.224	33	1.163
-5	1.364	8	1.288	21	1.220	34	1.158
-4	1.357	9	1.282	22	1.215	35	1.154
-3	1.351	10	1.277	23	1.210	36	1.149
-2	1.345	11	1.271	24	1.205	37	1.145
-1	1.339	12	1.266	25	1.200	38	1.141
0	1.333	13	1.261	26	1.195	39	1.136
1	1.327	14	1.255	27	1.190	40	1.132
2	1.322	15	1.250	28	1.186		
3	1.316	16	1.245	29	1.181		

2. 转差率

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1}; n_1 = \frac{60f}{p}$$

式中 s ——转差率;

n_1 ——同步转速 (r/min);

n ——转子转速 (r/min);

f ——电源频率 (Hz);

p ——电动机极对数。

异步电动机转速与磁极的关系, 见表 1-3。

表 1-3 异步电动机转速与磁极的关系

极对数 p	1	2	3	4
同步转速 n_1 (r/min)	3000	1500	1000	750
转子转速 n (r/min)	2900 左右	1450 左右	960 左右	730 左右

3. 额定转差率

$$s_e = \frac{n_1 - n_e}{n_1}$$

式中 n_e ——电动机额定转速 (r/min)。

4. 临界转差率

$$s_{ij} = s_e(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) \approx 2s_e\lambda$$

式中 λ ——电动机过载系数, 异步电动机的过载系数一般在 1.8~2.5 之间, Y 系列电动机为 1.7~2.2; J₂ 和 JO₂ 系列为 1.8~2.2; JO₃ 系列为 2.0~2.2; 对于特殊用途的电动机, 如起重、冶金用异步电动机 (如 JZR 型), 可达 3.3~3.4 或更大, $\lambda = M_m/M_e$;

M_m ——电动机最大转矩 (N·m);

M_e ——电动机额定转矩 (N·m)。

5. 电动势方程

(1) 定子绕组产生的感应电动势:

$$E_1 = k_e U_1 = 4.44 k_{dp1} f_1 W_1 \Phi$$

$$\Phi = B_{pj} S$$

式中 E_1 ——定子绕组产生的感应电动势 (V);

k_e ——降压系数, 又称电动势系数, 小型电动机可取 0.86, 中型电动机可取 0.90, 大型电动机可取 0.91;

U_1 ——外加电源电压 (V);

k_{dp1} ——定子的绕组系数;

f_1 ——电源频率 (Hz);

W_1 ——定子绕组每相串联线圈匝数;

Φ ——每极磁通 (Wb);

B_{pj} ——气隙中平均磁通密度 (T), 它与气隙中最大磁通

密度 B_δ 的关系为 $B_{pj} = \frac{2}{\pi} B_\delta = 0.637 B_\delta$;

S ——每极下的气隙面积 (m²)。

最大磁通密度(气隙) B_g 可由表 1-4 中选取, 电机容量较大的取较大值; 容量较小的取较小值。Y 系列电动机为 0.57~0.86T; J、JO 型电动机的 B_g 值为 0.60~0.70T, J_2 、 JO_2 型电动机为 0.65~0.75T, 1kW 以下电动机为 0.40~0.60T。

表 1-4 三相异步电动机的气隙磁通密度 B_g (T)

型 式	极 数			
	2	4	6	8
开启式	0.60~0.75	0.70~0.80	0.70~0.80	0.70~0.80
封闭式	0.50~0.65	0.60~0.70	0.60~0.75	0.64~0.74
Y 系列	Y (IP44)			Y (IP23)
	H80~112	H132~160	H180 以上	
	0.60~0.73	0.59~0.75	0.75~0.80	0.73~0.86

定子轭部磁通密度 B_c 可由表 1-5 选取, 一般为 1.2~1.5T (如 2 极为 1.2~1.7T; 4、6、8 极为 1.0~1.5T), 改极时不应超过 1.7T。

齿部磁通密度 B_i 可由表 1-6 选取, 一般为 1.4~1.75T, 改极时不应超过 1.85T。

表 1-5 轭部磁通密度 B_c 范围 (T)

$\begin{matrix} 2p \\ \text{型式} \end{matrix}$	2	4	6	8
防护式	1.4~1.55	1.35~1.5	1.3~1.5	1.1~1.45
封闭式	1.25~1.4	1.35~1.45	1.3~1.4	1.1~1.35

表 1-6 齿部磁通密度 B_i 范围 (T)

$\begin{matrix} 2p \\ \text{型式} \end{matrix}$	2	4	6	8
防护式	1.55~1.7	1.47~1.67	1.5~1.65	
封闭式	1.4~1.55	1.45~1.6	1.45~1.55	

绕组系数 k_{dp1} 由分布系数 k_{d1} 和短距系数 k_{p1} 的乘积求得, 即

$$k_{dp1} = k_{d1} k_{p1}$$

k_{d1} 数值见表 1-7; k_{p1} 数值见表 1-8。

表 1-7

分布系数 k_{d1}

每极分相槽数 q	1	2	3	4	5	6	7 以上
分布系数 k_{d1}	1.0	0.966	0.960	0.958	0.957	0.956	0.956

表 1-8

短距系数 k_{p1}

节距 y	每 极 槽 数												
	24	18	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6
1~25	1.000												
1~24	0.998												
1~23	0.991												
1~22	0.981												
1~21	0.966												
1~20	0.947												
1~19	0.924	1.000											
1~18	0.897	0.996											
1~17	0.866	0.985	1.000										
1~16	0.832	0.966	0.955	1.000									
1~15	0.793	0.940	0.981	0.995	1.000								
1~14	0.752	0.906	0.956	0.978	0.994	1.000							
1~13	0.707	0.866	0.924	0.951	0.975	0.993	1.000						
1~12		0.819	0.882	0.914	0.944	0.971	0.991	1.000					
1~11		0.766	0.831	0.866	0.901	0.935	0.966	0.990	1.000				
1~10		0.707	0.773	0.809	0.847	0.884	0.924	0.960	0.988	1.000			
1~9			0.707	0.743	0.782	0.833	0.866	0.910	0.951	0.985	1.000		
1~8				0.669	0.707	0.749	0.793	0.841	0.891	0.940	0.981	1.000	
1~7						0.663	0.707	0.756	0.809	0.866	0.924	0.975	1.000
1~6								0.655	0.707	0.766	0.832	0.901	0.966
1~5										0.643	0.707	0.782	0.866
1~4												0.624	0.707

(2) 转子产生的感应电动势:

$$E_2 = sE_{20} = 4.44 k_{dp2} f W_2 \Phi$$

式中 E_2 ——转子每相绕组中产生的感应电动势 (V);

s ——转差率;

E_{20} ——电动机刚接通电源时, 转子由于惯性而尚未转动的瞬间 (转子转速 $n=0$, 转差率 $s=1$, 则 $f_2=f_1s=f_1$, 相当于静止变压器状态), 此时的转子电动势值 (V);

k_{dp2} ——转子的绕组系数, 由绕组结构决定;

f_2 ——转子电动势的频率 (Hz), $f_2=f_1s$;

W_2 ——转子绕组一相的匝数;

Φ ——同前。

6. 异步电动机转子的频率、阻抗、电流和功率因数

$$f_2 = sf_1$$

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + (sX_{20})^2}$$

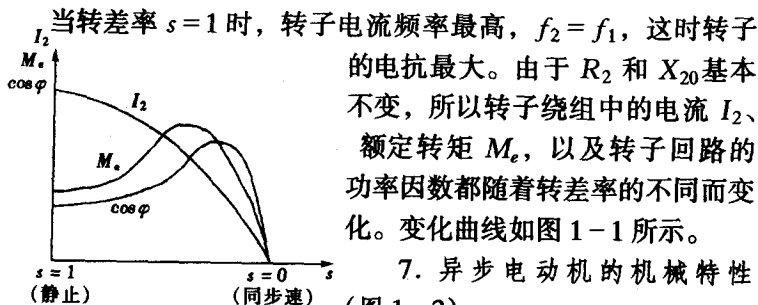
$$I_2 = \frac{E_2}{Z_2} = \frac{sE_{20}}{\sqrt{R_2^2 + (sX_{20})^2}}$$

$$\cos\varphi = \frac{R_2}{Z_2} = \frac{R_2}{\sqrt{R_2^2 + (sX_{20})^2}}$$

式中 Z_2 、 R_2 ——转子绕组的阻抗和电阻 (Ω);

X_{20} ——转差率 $s=1$ 时的转子电抗 (Ω);

其他符号同前。



7. 异步电动机的机械特性 (图 1-2)

(1) 异步电动机的机械特性可用下式近似地表示: