

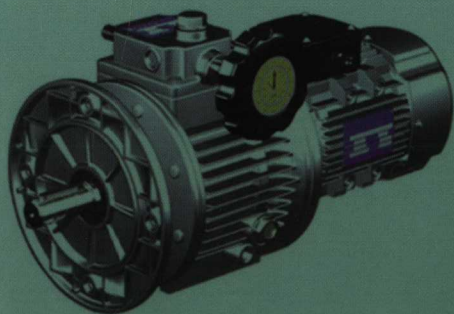
CHANGYONG GAODIYA
DIANQISHEBEI
XIANCHANG CAOZUO
YINANJIEDA

《电世界》杂志社 编

集资深专家多年经验
针对现场问题，为您指点迷津
围绕设备操作，为您解答疑惑

常用高低压电气设备 现场操作疑难解答

电机分册



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

常用高低压电气设备 现场操作疑难解答 电机分册

《电世界》杂志社 编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

在高低压电气设备的使用过程中会遇到许多问题,而《电世界》杂志“读者信箱”专栏就旨在解答读者工作实践中遇到的技术难题,内容涉及电气技术的各个领域。为满足广大读者的需要,现对2005年前该专栏的内容,按照高压电器、低压电器和电机进行分类,遴选精彩部分,编写一套《常用高低压电气设备现场操作疑难解答》,分为高压电器分册、低压电器分册和电机分册三册,以飨读者。

本书为《常用高低压电气设备现场操作疑难解答 电机分册》。全书共分六章,以电机、电工材料、电线电缆为主要内容,分别为标准与电机的基本概念、异步电机、同步电机、直流电机、单相异步电动机和特种电动机、电线电缆和电工材料等内容。

本书可供从事中小型电机生产、运行、检修等电工人员、技术人员使用,也可供相关专业的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

常用高低压电气设备现场操作疑难解答. 电机分册/
《电世界》杂志社编. —北京:中国电力出版社,2006
ISBN 7-5083-4041-8

I. 常... II. 电... III. ①高电压-电气设备-问答
②低电压-电气设备-问答③电机-问答 IV. TM-44

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第161273号

中国电力出版社出版、发行
(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)
利森达印刷厂印刷
各地新华书店经售

*

2006年4月第一版 2006年4月北京第一次印刷
850毫米×1168毫米 32开本 14印张 368千字
印数0001—4000册 定价26.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前言



《电世界》杂志创刊于 1946 年，是国内历史最悠久的电气技术月刊。《电世界》坚持“综合性、实用性、普及性”的办刊方针，内容贴近生产、贴近实际，深受广大从事电气工作的科技人员、技术人员和院校师生的喜爱。

长期以来，上海市电机工程学会编辑委员会在编辑出版《电世界》的同时，还出版了《电动机文辑》、《电世界信箱选集》、《大楼的电气照明工程安装》、《电气事故的分析与处理》、《电子实用线路》、《家用电冰箱原理与维修》、《工矿企业电气设备典型线路》、《电工测验 500 例》、《工厂实用电动机调速技术》、《电工作业安全技术》、《新编电工问答 2200 例》等《电世界》丛书，深受广大读者欢迎。

“读者信箱”专栏是《电世界》的特色栏目之一，旨在解答读者工作实践中遇到的技术难题，是《电世界》为读者构建的免费咨询服务平台。多年来，“读者信箱”专栏来信踊跃，内容涉及电气技术的各个领域，深受广大读者的欢迎。值此《电世界》创刊 60 周年之际，我们对 2005 年及以前该专栏的内容按专业进行分类，遴选精彩部分，汇编成《常用高低压电气设备现场操作疑难解答》，以飨读者。同时，也为《电世界》创刊 60 周年献礼。

本书《常用高低压电气设备现场操作疑难解答》共分高压电器分册、低压电器分册和电机分册三本。

本分册即为电机分册，以电机和电工材料、电线电缆为主要内

容这些内容既是读者工作实践中常见的技术难题，也得到了许多专家的支持，他们为“读者信箱”付出辛勤的劳动，在此谨向施凉奎、陆昌平、严惠忠、沈沾乘、葛良璞、刘汝慧、王显庭、崔伦元、汪镇国、邬烈钧、屠俊良、王常余、陈叔涛、仇启棠等同志表示感谢。

本分册由陆弘任主编，郑红华、郑伟明、冯维泰、朱仲卿同志参加编写。

《电世界》杂志社

2006年2月

目 录

前言

1	标准与电机的基本概念	1
1.1	标准与术语	1
1.1.1	标准	1
1.1.2	术语	2
1.1.3	环境温度、高海拔与电气设备性能的关系	5
1.1.4	工作制对电气设备的	
	影响	8
1.2	电机的基本概念	11
1.2.1	电机的温升	11
1.2.2	电机的绝缘电阻	15
1.2.3	电机的寿命	18
1.2.4	电机的保养	19
2	异步电机	23
2.1	异步电动机的基本原理和结构	23
2.1.1	电压、电流和功率的确定	23
2.1.2	效率和功率因数的确定	27
2.1.3	电压变化对电动机性能的影响	29
2.1.4	电动机的起动电流和起动次数	32
2.1.5	转速和转向	33
2.1.6	定、转子槽及配合	35
2.1.7	异步电动机的互换和替代	36
2.2	异步电动机的绕组结构连接	37
2.2.1	绕组的节距、相带和分数槽	37
2.2.2	绕组的嵌线	41
2.2.3	绕组形式	43
2.2.4	三相绕组的接线	46
2.2.5	Y接中性点引出线	52

2.2.6 电动机绕组首尾端的识别	53	2.5.5 转轴和轴承修理	107
2.2.7 双速和多速电动机绕组接线	56	2.5.6 绕线型转子钢丝箍扎线松断修理	108
2.3 异步电动机绕组的改接和改绕	60	2.6 异步电动机修理或改绕后的问题与对策	108
2.3.1 Δ 接改为Y接	60	2.6.1 不能起动	108
2.3.2 Y接或 Δ 接改为延边 Δ 接	62	2.6.2 空载电流过小或过大	109
2.3.3 双Y接及改接	64	2.6.3 绝缘电阻值过低	113
2.3.4 改变电压时绕组接线	65	2.6.4 带负载后再次发生故障	114
2.3.5 改变极数时绕组接线	66	2.6.5 绕组改绕后的故障	117
2.3.6 电动机绕组改绕	68	2.7 异步电动机的测试	121
2.3.7 空壳计算和重绕	71	2.7.1 定子绕组温升的测量	121
2.4 异步电动机的故障与分折	77	2.7.2 定子电流的测量	122
2.4.1 不能起动	77	2.7.3 负载测定	123
2.4.2 电流异常	78	2.7.4 气隙测量	124
2.4.3 绕组故障	79	2.7.5 转子断条的检查方法	125
2.4.4 中性点对地有电压	83	2.7.6 耐压试验和设备	125
2.4.5 定、转子铁心相擦	84	2.7.7 堵转试验和验收试验	127
2.4.6 噪声、振动、转轴窜动和轴承损坏	86	2.8 异步电机的特殊应用	130
2.4.7 绕线型异步电动机转子绕组及部件烧坏	89	2.8.1 异步发电机	130
2.5 异步电动机的修理	93	2.8.2 绕线型电动机的特殊应用	137
2.5.1 电动机的烘燥与浸漆烘干	93	2.8.3 60Hz电动机用于50Hz电源	140
2.5.2 定子绕组的拆除	97	2.8.4 卧式电动机改作立式	142
2.5.3 定子绕组的修理	98	2.8.5 两台电动机同轴运转	143
2.5.4 笼型转子断条修理	105	2.8.6 三相电动机改为单相电动机	143

3 同步电机 146

3.1 同步电机的结构和选	行	193
配		146
3.1.1 发电机出线端的鉴别和连接	3.4.1 并列运行的条件	193
3.1.2 绕组改接	3.4.2 并列运行的方法	198
3.1.3 转子阻尼装置	3.4.3 并列运行时的中性线电流	202
3.1.4 转速和转向	3.4.4 并列运行中的功率因数和无功电流调节	206
3.1.5 水轮发电机的型号和计算	3.4.5 并列运行时的其他问题	210
3.2 同步电机励磁系统	3.5 同步电动机的起动与运	152
3.2.1 励磁绕组的形式	行	212
3.2.2 励磁装置的形式	3.5.1 同步电动机的起动	212
3.2.3 励磁装置的运行	3.5.2 同步电动机的运行	215
3.2.4 剩磁和充磁	3.5.3 同步电动机的失压保护和灭磁系统	220
3.2.5 励磁机容量的配置	3.6 同步电机的故障和	223
3.2.6 励磁调节器	维修	223
3.2.7 磁场变阻器	3.6.1 输出电压、电流异常	223
3.2.8 励磁装置故障	3.6.2 发电机中性线故障	227
3.3 同步发电机的单机运	3.6.3 发电机的轴电压和轴电流	228
行	3.6.4 发热和维护	230
3.3.1 带动异步电动机或照明	3.6.5 绕组故障与处理	231
3.3.2 发电机的电压不稳定	3.6.6 换向器和集电环的磨损、发热	237
3.3.3 发电机的发热和温升测量	3.6.7 振动、窜轴、断轴和铁芯等故障	243
3.3.4 发电机三相不平衡运行	3.6.8 耐压试验和负载试验	245
3.3.5 发电机的中性线	3.6.9 柴油发电机组的特殊故障	247
3.3.6 发电机的停机操作		
3.4 同步发电机的并列运		

3.7 同步电机的特殊应用	248	3.7.3 同步调相机	252
3.7.1 60Hz 改成 50Hz 运行	248	3.7.4 中频发电机	253
3.7.2 同步发电机改为同步电动机		3.7.5 风力发电机	259

4 直流电机 260

4.1 直流电机的基本概念和结构	260	运行	273
4.1.1 主要参数	260	4.2.5 电车用直流电动机	274
4.1.2 绕组	262	4.3 直流电机的故障和维修	275
4.1.3 电刷	265	4.3.1 绕组的测试和维修	275
4.1.4 换向器	266	4.3.2 电刷和换向器的故障和维修	276
4.2 直流电机的运行	267	4.3.3 直流发电机的剩磁故障	279
4.2.1 运行的基本知识	267	4.3.4 励磁电路故障	281
4.2.2 改变电压和转速运行	269	4.3.5 转速异常故障	283
4.2.3 电枢绕组的改绕和接线	272	4.3.6 运行异常故障	284
4.2.4 发电机和电动机互换			

5 单相异步电动机和特种电动机 288

5.1 单相异步电动机	288	5.2.2 三相电钻	313
5.1.1 绕组和接线	288	5.2.3 交直流两用电钻	314
5.1.2 单相电容或电阻起动异步电动机	293	5.2.4 冲击钻	317
5.1.3 单相电容起动、运转异步电动机	300	5.2.5 电动工具的安全使用	317
5.1.4 单相异步电动机的故障和修理	302	5.2.6 电动工具绕组的绝缘和修理	318
5.1.5 单相异步电动机改绕为三相异步电动机	306	5.3 三相异步换向器电动机	321
5.2 电动工具	309	5.3.1 三相异步换向器电动机的原理和参数	321
5.2.1 单相电钻	309	5.3.2 三相异步换向器电动机的故障与维修	323

5.4 电磁调速异步电动机	329	5.5.3 起重及冶金用绕线转子异步电动机的故障与维修	346
5.4.1 电磁调速异步电动机的原理和参数	329	5.5.4 特种起重及冶金用异步电动机	350
5.4.2 电磁调速异步电动机的故障与维修	333	5.6 电风扇和吹风机电动机	352
5.4.3 配套测速发电机的故障与维修	339	5.6.1 绕组和接线	352
5.5 起重及冶金用异步电动机	339	5.6.2 电气故障与维修	359
5.5.1 起重及冶金用绕线转子异步电动机的原理和参数	339	5.6.3 机械故障与维修	362
5.5.2 起重及冶金用绕线转子异步电动机及其配套电阻器的代用	344	5.7 其他特种电动机	364
		5.7.1 防爆电动机	364
		5.7.2 潜水异步电动机	366
		5.7.3 单相串励电动机	370
		5.7.4 汽油单相发电机	374
		5.7.5 中频变频器	378
		5.7.6 直流伺服电动机	379
6 电线电缆和电工材料	381		
6.1 导线和铜排	381	查找	402
6.1.1 架空分裂导线	381	6.2.7 电缆试验	408
6.1.2 导线载流量和绝缘电阻	381	6.3 磁性材料	409
6.1.3 导线连接和安装	385	6.3.1 硅钢片	409
6.1.4 导线故障和检查	387	6.3.2 磁性槽泥	410
6.2 电缆	388	6.3.3 永磁材料	411
6.2.1 载流量和绝缘电阻	388	6.3.4 铁氧体磁心	412
6.2.2 涡流及磁滞损耗	391	6.4 变压器油	412
6.2.3 电缆的选用和代用	392	6.4.1 变压器油的性能和试验	412
6.2.4 电缆连接和安装	397	6.4.2 变压器油的混用	419
6.2.5 电缆头的制作与维护	401	6.4.3 变压器油的处理	421
6.2.6 电缆维修与故障点		6.5 其他电工材料	426

6.5.1 电刷	426	6.5.4 变色漆和示温蜡片	431
6.5.2 绝缘材料	427	6.5.5 润滑脂	433
6.5.3 脱漆剂和清洗剂	430	6.5.6 润滑脂的选用	434

① 标准与电机的基本概念

● 1.1 标准与术语

1.1.1 标准

【问】 在许多书籍中看到 IEC 和 ISO 标准，两者的中文全称是什么？这些标准的组织属哪一个国家？

【答】 国际标准泛指 IEC 和 ISO 两种标准。IEC 的全称是“International Electrotechnical Commission”，中文名为国际电工技术委员会。ISO 的全称是“International Organization of Standardization”，中文名为国际标准化委员会。IEC 成立于 1908 年 10 月的伦敦，开始时仅有 26 个国家参加；ISO 于 1947 年 2 月 23 日由其他组织改组而成。两标准并行不悖。至 1946 年 7 月的巴黎会议，IEC 与 ISO 进行协商由 IEC 分管电气标准。

IEC 下有技术委员会 TC、技术委员支会 SG 及工作委员会 WC 三个层次。现在 IEC 的 TC 有 80 余个，SG 有 120 余个，WC 约有 700 余个。两个标准组织均约定 10 月 14 日为世界标准日。

我国在对外开放后，于 1978 年 9 月再次参加了这些组织（过去也曾参加和发起过），并以 CAS 为我国分委员会命名。

【问】 电气新标准规定三相符号为 L1、L2 及 L3，是否和旧符号 A、B 及 C 相当？它们和相序有无关系？某厂生产的交流发电机组控制屏输出端的三相应用什么符号？

【答】 电气新标准的三相符号 L1、L2 及 L3，相当于旧符号的 A、B 及 C。它们一般代表正相序，在相量图上为逆时针方向。相序

只和交流发电机转子转动方向有关,故控制屏上发电机端子可取 L1、L2 及 L3,代表正相序的三相。

1.1.2 术语

【问】 请问什么是爬电距离?它与电气间距有什么不同?

【答】 绝缘材料在外电场作用下,材料本身就会呈现出绝缘介质的各种特性,如电压—时间特性、电导电流—电压特性、电流—温度特性、介质损耗 ($\tan\delta$) 特性等。这些特性完全与材料的介质有关。

当外电场的电场强度高达一定值后,将使绝缘材料击穿。发生绝缘击穿时的电场强度称为击穿场强,此时所施加的电压被称为击穿电压。它通常用来表示绝缘材料的电气强度。

在实际使用中,绝缘材料的电气强度还将受到其他各种因素的影响,比如电场的不均匀性、湿热、电介质的侵蚀等,这些都会造成绝缘材料实际的电气强度大大下降,首先在绝缘体的表面产生电晕或沿面放电(爬电)现象。

爬电距离是指在一定电场作用下,受电压作用的两端面之间的绝缘体表面不会产生沿面放电的最小长度。有时为了提高绝缘体表面的电气强度,将表面做成曲面,以增大爬电距离,如绝缘子的裙边。

电气间距通常指不同电位的导体之间的安全距离。根据不同的电压等级,有不同的电气间距。此间距还与导体间所使用的绝缘介质有关,如空气、导体表面所采用的绝缘材料等有关。

所以,电气间距与爬电距离不是一回事。

【问】 工作中接触到 E312A 型通用计数器,其主要技术性能:“从 A 通道输入,频率测量范围为 $1\text{Hz} \sim 10\text{MHz}$;输入电压范围,正弦波为 $30\text{mV}_{\text{rms}} \sim 1\text{V}_{\text{rms}}$,脉冲波为 $0.1\text{V}_{\text{P-P}} \sim 3\text{V}_{\text{P-P}}$ 。”请问:正弦波电压单位 V 的下标 rms 为何意?

【答】 rms 是英文 root mean square 的缩写,中文的意思是方均根值(以前也称均方根值的)。通常用作有效值的下标,如 I_{rms} 、 U_{rms} 。

交流有效值的概念：交流有效值（effective value）是根据电流的热效应来确定的。其定义是：若一个电阻（计量标准是热电偶的加热丝）分别通以直流电流 I 和交流电流 i ，如果相同的时间内该电阻消耗的电能（在标准热电偶产生相同的热电势）相等，则这两个电流的热效应是相同的，这时的直流电流 I 就称为交流电流 i 的有效值。

$$I = I_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt}$$

式中 I_{rms} ——交流电流的有效值，也称方均根值；

T ——交流电的周期；

t ——时间。

一般人们都用有效值来表示交流电，所以如无特殊要求，不一定用此下标，只用 I 或 U 表示。

对于计数器、频率仪，其输入通道的输入信号是有严格限制的，通常是限制其幅值大小。如对脉冲信号限制其峰—峰值，对交流信号由前面公式已知有效值、幅值有固定的比例关系，限制有效值即限制了峰—峰值（即幅值），故 E312A 计数器 A 通道限制最大电压的有效值不得大于 1V。

【问】 请问磁通和磁链的概念？

【答】 凡通电流的导体（或永磁体）周围环绕着磁场，这个磁场是物质存在的一种形式。磁场内的每一点磁感应强度可以通过流过电流的导体所受到的力的大小来衡量。磁感应强度 $B = \frac{F}{Il}$ （T）（ F 为力， I 为电流， l 为导体长度）。磁感应强度与磁场垂直方向的面积 S 的乘积称为磁通 $\Phi = BS$ （Wb）。

磁力线所形成的闭合回路称作磁路。按照法拉第电磁感应定律，在任意的闭合回路中，当有变化的磁通穿过时，就会在闭合回路中产生感应电动势。这个现象也可以用“与线圈的线匝相交链的磁通发生变化时，在线圈中产生了感应电动势”来描述，如变压器

就是基于这个原理。

当多个磁通与一个线匝交链，人们将与这个线匝交链的磁通的代数和称之为磁链，用字母 ψ 表示， $\psi = \Phi_1 + \Phi_2 + \cdots + \Phi_n$ (Wb)。如果一个线圈的每一个线匝与同一个磁通 Φ 相交链，则磁链就等于匝数 N 和与它相交链的磁通 Φ 的乘积，即 $\psi = N\Phi$ (Wb)。

【问】 请问什么是速比 i ?

【答】 速比，顾名思义就是速度的比值。

当采用机械减速器时，人们将电动机的额定转速 n_N (r/min) 与减速器输出轴的转速 n_L 的比值称为速比 i (亦称传动比)， $i = n_N/n_L$ 。

当电动机采用其他变速手段，如变频调速、转差调速等，人们常把电动机的最大速度与最小速度的比值称为速比，表示调速范围的大小。

【问】 什么是堵转电流?

【答】 电动机转矩 (或严格地说是电磁转矩) 的产生来自电动机定子和转子磁场与电流的相互作用。对异步电动机而言，当电压及电源频率不变时，电动机转矩 T 只随转速 n 或转差率 s 而变化，它的特性曲线如图 1-1 所示。所谓堵转转矩 T_{st} ，指 $s=1$ ，即转子转速 $n=0$ 时的电动机转矩，亦称起动转矩。堵转电流，则是指电动机在堵转 (转子不动) 下的定子电流。电动机的起动转矩应与被驱动机械的机械特性匹配才能顺利起动。在起动过程中起动电流很

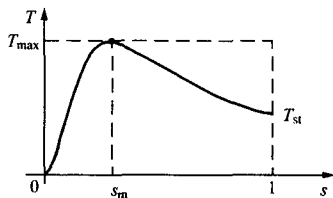


图 1-1 转矩与转差率特性曲线

大，全压起动时一般为额定电流的 5~7 倍。因此，电动机必须有足够大的起动转矩，以尽量缩短起动时间，避免电动机过热。在电动机起动转矩满足需要的条件下，采用减压起动的方法来降低

起动电流，这对减小因起动时所造成的电源电压下降有益，能避免影响其他设备的正常运行。

【问】 请问什么是力矩？力矩与转矩有何区别？转矩的大小对电动机有何影响？

【答】 力矩：把力 F 的作用线和转轴间的垂直距离称这个力的力臂 l ，而把 F 和 l 的乘积叫做这个力对于转轴的力矩，即 $T = Fl$ (Nm)。

转矩在物理概念上与力矩相同。对于做旋转运动的电动机来说，可在轴伸端上安装带钢套筒的角铁臂（力矩臂），见图 1-2。

在它的一端装上一个弹簧秤，电动机通电后，以角速度 ω 旋转，此时弹簧秤将受到力 F 的作用，可以用秤的读数（力的单位）和力矩臂的长度 l 的乘积来表示电动机旋转运动的转矩，以表征电动机在旋转中产生的作用力矩的大小。

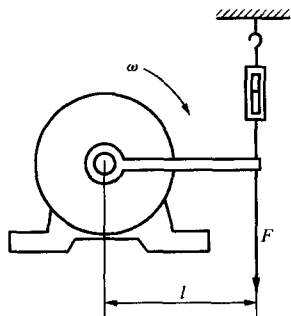


图 1-2 测试转矩的原理图

通常，电动机以输出轴功率来表示电动机的功率大小，相同转速下，功率越大，转矩越大；对交流电动机而言，转矩大小与电动机极数有关，相同功率及频率下电动机的极数越多，转矩越大。

1.1.3 环境温度、高海拔与电气设备性能的关系

【问】 在我国东北地区使用的电机应如何换算其极限容许温度？如果环境温度超过或低于原设计，电机输出功率如何进行换算？

【答】 根据我国 GB 755—2000《旋转电机 定额和性能》规定，电机的冷却介质温度不超过 40°C 。如果冷却介质温度超过 40°C ，则规定的极限容许温度应减去此超过值；如果超过值在 10°C

以上,则温升限度的降低值应由制造厂规定。如果冷却介质温度低于 40℃,则对 A 级和 E 级绝缘保持不变,对于耐热性更高的绝缘材料,温升限度可以提高,其提高的数值等于冷却介质温度与 40℃ 之差。对于一般电机超过值不得大于 10℃,制造厂应在产品使用说明书中规定与上述极限温升相适应的容许负载。

电机的输出功率可按如下公式进行换算

$$I_2 = \sqrt{\frac{\theta_2}{\theta_1}} I_1^2$$

式中 I_1 ——铭牌规定的额定电流, A;

I_2 ——根据温升换算的电流, A;

θ_1 ——对应于 I_1 的温升, K;

θ_2 ——对应于 I_2 的温升, K。

对于直流电机

$$P = UI$$

对于三相交流电机

$$P = \sqrt{3} UI \cos \varphi \quad (\text{当 } \cos \varphi \text{ 近似不变时})$$

根据上述公式,电流和功率成正比,就可以得到换算后的电机输出功率。

【问】 高海拔对高低压电机有什么影响,又怎样处理?

【答】 海拔高度对高低压电机的温升和输出功率有一定的影响,电机的温升随海拔升高而升高;输出功率随海拔升高而降低。海拔高度升高而造成电机温升增高的程度(即百分率)和输出功率降低的程度是因不同类别电机,功率、转速、型式、结构、通风方式等而有差异;与电机使用安装在室内还是室外也有一定差异。

根据 GB 755—2000《旋转电机 定额和性能》中规定说明:如果电机装置在海拔 1000m 以上高处(但不超过 4000m)而发热试验在 1000m 以下进行,不同绝缘的电机其最高允许温升限度就随着海拔的升高而降低。其降低率为在 1000m 的基础上每超过 100m,下降原有温升值的 1%。为了不致超过温升限度,电机的输出功率就应