

王忠茂 编著

常用 调速设备 技术手册



机械工业出版社

常用调速设备技术手册

王忠茂 编著



机械工业出版社

(京) 新登字 054 号

本书面对调速传动逐渐成为主流的现实,系统地汇集了目前全国 100 多家生产单位的电气和机械两大类各种调速设备,包括变极多速调速电机、电磁调速电机、串级调速(含内反馈)、变频调速器和变频调速专用电机(含变频供水设备、变频器应用实例)、直流调速电机、调速液力耦合器、调速离合器、开关磁阻电机、换向器电机、微型电子调速电机、力矩电机等。内容包括调速原理、结构特点、用途、使用条件和场合、机械特性、型号意义、技术参数、外形安装尺寸,参考价格,生产厂家、选用须知、作用维护等方面。并对各种类型调速设备作必要的比较,为合理、经济地选择不同调速范围的调速设备提供了可靠翔实、实用、全面的技术资料。

本书对国家工矿企业节约能源的工作有十分重要的意义,可帮助用户选择最优良最经济的调速设备。

本书可作为广大从事节能调速和工艺、试验调速以及自动控制的产品设计、选型、订货和使用人员的技术工作指南,也可供大专院校有关师生参考。

常用调速设备技术手册

王忠茂 编著

*

责任编辑:李 奇 版式设计:冉晓华

封面设计:姚 毅 责任校对:陈立耘

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码:100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

河北三河市宏达印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16·印张 38.75·字数 967 千字

1994 年 11 月北京第 1 版·1994 年 11 月北京第 1 次印刷

印数 00 001—4000 定价:42.00 元

*

ISBN 7-111-04277-8/TM·535 (G)

前 言

随着改革开放的不断深入，我国工业生产迅速发展，电力工业虽然有了长足的进展，但能源的浪费也是相当惊人的，许多风机、水泵、压缩机的拖动电动机，处于恒速运转状态，而在生产中的风（流）量不时需要增加和减少，要求处于变工况运行；还有许多工厂、矿山、油田的设计考虑发展的需要，选型时一般选择容量较大，系统匹配不够合理，往往是“大马拉小车”。对此，普遍采用阀门、挡板节流调节，造成很大的电能浪费。

《关于国民经济和社会发展十年规划和第八个五年计划纲要的报告》中指出：我国能源工业要“坚持开发与节约并重的方针，把节约放在突出位置”，用转速控制调节流量将产生显著的节能效果，一般节电约为20%~35%。

另外，许多生产加工机械，为改善加工工艺特性（如玻璃生产中，厚、薄玻璃的生产工艺设备），提高产品质量、产品档次、产量和劳动生产率，对生产过程进行良好的控制，都需对设备进行调速。

运转设备和电机的调速，以前只是一小部分被采用。随着节能工作的深入和生产工艺高、精、尖的要求，以及电力电子、微电子技术的进步，调速传动已成为主流。在发达国家，调速电机的比重高达70%，我国仅占30%，因此实现电机运行调速的发展前景十分广阔。

为沟通调速设备产、需间的信息，使用户了解各种调速设备的特点和适用范围，方便广大用户进行技术经济的综合比较，合理选择产品，以及反映和介绍我国目前调速设备的新水平和新面貌，推动相关技术的发展，为国家节约能源作出贡献，特编写本书。

按调速性能分，调速设备可分为普通型和高性能调速型；按大类分为机械调速和电气调速。电气调速又分为直流调速和交流调速。

书中介绍了目前国内生产的电气和机械两大类的各种调速设备：变极调速电机、电磁调速电机及其调速装置、串级调速、变频调速装置和变频调速电机、直流调速装置和直流调速电机、调速液力偶合器、调速离合器、开关磁阻电机、微型电子调速电机、力矩电机等常用的大、小、微型、防爆、宽调速等各类产品。

机械无级变速器部分，作者已编进本手册的姐妹篇——《减速器实用技术手册》一书，读者如有需要可参阅该书。

本手册自始至终贯彻方便读者选型和使用的宗旨，系统地介绍了产品的基本原理、结构、特点、使用条件，对选型必需的技术参数、外形安装图及尺寸也都作了介绍。并对各类调速设备作了必要的比较，对安装、使用维护等技术和必须注意的事项也进行了阐述，特别是与选型相关的部分。对设备的订货须知，内容较为复杂的也编进手册。

很多用户反映，在产品选型设计做概算及筹资时，亟需了解产品价格（或者大概价格），为此，我们尽力收集并列出参考价格。但对两个以上生产厂生产同一型号规格产品的，只能列出其中之一的参考价格。而且，此价格随着时间、市场的变化而不断变化，因此不能作为向厂方订货和结算的依据，仅供概算时参考，设计时可根据当时市场情况或者乘上适当的系数。为便于读者查找制造厂家，在外形安装尺寸表后列出了该产品的生产厂家（特殊情况列

在技术参数表内);对生产厂家较多的产品,则另列单项。

本书收集了全国生产调速设备的主要骨干企业,生产有代表性、有特色的调速设备的生产企业 100 余家,集其资料,取其精华。因此可以说本书是调速设备技术资料大全。

本书在编写过程中得到许多生产厂和马福祥、裘良华、尚晓光、李树璋、顾忠仁、陈嘉华、王向楹等同志的有益支持,在此表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促和编者水平所限,手册中难免存在遗漏和不当之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 电力拖动调速基础知识 1

- 一、概论 1
- 二、电动机的机械特性 1
- 三、生产机械的负载转矩特性 2
- 四、电动机和负载的稳定运行条件 3
- 五、拖动过渡过程 5
- 六、电动机转速的选择 7
- 七、调速设备选择示例 8
- 八、电机的结构和安装型式及其代号 9
- 九、电机的外壳防护等级及其代号 11
- 十、电机的冷却方法及其代号 12
- 十一、电机的定额和工作制 14

第二章 变极调速 18

- 一、概论 18
- 二、变极调速原理 18
- 三、变极电动机绕组的联结 19
- 四、变极调速的机械特性 21
- 五、变极调压调速 26
- 六、YD 系列变极多速异步电动机 27
- 七、YD400-8/6/4 型三速三相异步电动机 44
- 八、YDTF 系列风机、泵类负载用变极多速异步电动机 45
- 九、YDT 系列风机、泵类负载用变极多速三相异步电动机 48
- 十、YBD 系列隔爆变极多速异步电动机 52
- 十一、YBD310-16/8/4 型三速隔爆笼型异步电动机 63
- 十二、YBYD 系列运输机用隔爆型变速三相异步电动机 65
- 十三、YZRDW 系列起重用多速涡流

制动三相异步电动机 68

十四、YBZS 系列起重用隔爆型双速三相异步电动机、YZD 系列起重用双速三相异步电动机 70

十五、YSD 系列小功率双速三相异步电动机 73

十六、YSD 系列小功率多速三相异步电动机 76

十七、JDM12-4/2 型双速三相异步电动机 81

十八、TG1 系列多速电机控制柜 82

第三章 电磁调速电动机 87

- 一、概论 87
- 二、电磁转差离合器的结构 87
- 三、电磁转差离合器的工作原理 88
- 四、电磁调速电动机的机械特性 88
- 五、传递效率 89
- 六、电磁转差离合器在风机类负载下的节能 90
- 七、电磁调速电动机的变极节电运转 91
- 八、电磁调速电动机适用负载 93
- 九、功率及转速变化率 94
- 十、产品状况 94
- 十一、YCT 系列电磁调速电动机 94
- 十二、YCTL 系列立式电磁调速电动机 102
- 十三、YCTD 系列低电阻端环电磁调速电动机 104
- 十四、YCTJ 系列低转速电磁调速电动机 109
- 十五、YCTF 系列风机、泵专用新型高效电磁调速电动机 115
- 十六、YCTE 系列制动型调速

电动机	119	一、概论	223
十七、YCTG 系列感应子电磁调速		二、恒转矩特性的控制	224
电动机	123	三、恒功率特性的控制	225
十八、YCT-F 系列防腐型电磁调速		四、平方转矩特性的控制	227
电动机	125	五、转矩提升特性	227
十九、YDCT 系列多速电磁调速		六、加、减速特性	228
电动机	128	七、制动特性和过载特性	229
二十、YMCT 系列带摩擦制动器电磁		八、配用变频器后电动机转矩特性	230
调速电动机	133	九、变频调速节能情况	230
二十一、YBCT 系列隔爆型电磁调速		十、电压型和电流型变频器	231
电动机	136	十一、变频调速装置电动机容量	
二十二、YCTZ 系列机电一体化小功率		的选择	233
电磁调速电动机	139	十二、变频器容量的选择	235
二十三、CT 系列电磁调速离合器	141	十三、变频器的保护功能	237
二十四、JD1 系列电磁调速电动机		十四、使用变频器时应注意事项	238
控制器	143	十五、变频器应用实例	238
二十五、JD1 I 系列电磁调速电动机		十六、PI89 系列变频器	253
控制器	154	十七、JPS 系列交流电动机变频调速器	
二十六、TKZ-4 系列电磁调速电动机调速		(北京凯奇新技术开发总公司	
控制组合装置	156	生产)	259
二十七、JDL 系列回零控制器	164	十八、JPS 系列变频调速装置(瑞安电气	
第四章 转子串电阻调速与串级		控制设备厂生产)	264
调速	167	十九、JBT 系列变频调速装置	269
一、概论	167	二十、BPTS 系列变频调速器	271
二、转子串电阻调速	167	二十一、JP2C 系列变频调速装置	273
三、串级调速系统	169	二十二、JP5C-K、JP5C-D 系列变频调	
四、串级调速系统的机械特性	172	速器	277
五、串级调速系统电动机容量的		二十三、TP 系列交流变频器	280
选择	174	二十四、LP1C 系列交流变频调速	
六、KJZ 系列绕线转子异步电动机晶		装置	285
闸管斩波调速装置	175	二十五、BHG 系列全自动变频调速恒压	
七、TJC 系列串级调速装置(上海整流		供水设备	288
器总厂生产)	176	二十六、SWJ 系列微机控制自动调速给水	
八、TJC 系列晶闸管串级调速装置(上海		设备	298
电器成套厂生产)	181	二十七、WB-2 系列全自动变频调速恒压供	
九、KJDC 系列多台交流电动机共用		水设备	304
晶闸管串级调速装置	185	二十八、YVP 系列变频调速三相异步电动	
十、JC 系列低同步晶闸管串级调速		机	310
装置	187	二十九、YTPS 系列交流变频调速三相异步	
十一、YET 系列内反馈交流调速		电动机	317
装置	195	三十、YSPA 系列变频调速三相异步电动	
第五章 变频调速	223	机	323
		三十一、TYB 系列三相变频调速永磁同步	

电动机	330	三、液力耦合器的特性参数	442
三十二、BW 系列变频调速外转子永磁同		四、液力耦合器的特性曲线	444
步电动机(摩擦辊电动机)	332	五、调速型液力耦合器的分类	445
第六章 直流电动机调速	336	六、不同类型负载的调速范围	446
一、概论	336	七、调速型液力耦合器的调速方式	447
二、基本调速方式	337	八、调速型液力耦合器运行的经济性	447
三、改变电枢电路串联电阻调速	337	九、液力耦合器的发热	449
四、改变电枢电压调速	338	十、调速型液力耦合器选用实例	450
五、改变励磁电流(主磁通)调速	340	十一、调速型液力耦合器的选型须知	453
六、三种调速方式的比较	341	十二、液力耦合器调速传动方案	454
七、调速方式的选择	342	十三、调速型液力耦合器的使用维护	458
八、伺服电动机	343	十四、YOTC 系列调速型液力耦合器(上海	
九、MZD 系列直流电动机脉宽无级		交通大学附属工厂生产)	462
调速装置	344	十五、YOTC 系列调速型液力耦合器(北京	
十、GPS 系列脉宽直流调速装置	345	起重运输机械研究所生产)	464
十一、GZ 系列宽调速小惯量直流无槽		十六、YOTC 系列调速型液力耦合器(安徽	
电动机	348	电力修造厂生产)	466
十二、ZYN 系列钕铁硼永磁直流		十七、YOTGC 系列调速型液力耦合	
电动机	352	器	468
十三、ZJT 系列机电一体化直流调速		十八、YOTCS 系列调速型液力耦合	
电动机	368	器	477
十四、ZLT 系列直流电磁式调速		十九、YOT 系列调速型液力耦合器	480
电动机	373	二十、YOTJ 系列调速型液力耦合器(上海	
十五、SZK 系列宽调速直流伺服		交通大学附属工厂生产)	483
电动机	375	二十一、YOTJ 系列调速型液力耦合器	
十六、SY-5 系列宽调速永磁直流伺服		(韶关冶金机械厂生产)	485
电动机	380	二十二、YOTW 系列调速型液力偶	
十七、SYK 系列直流永磁宽调速伺服		合器	488
调速机组	386	二十三、YOTCK 系列调速型液力偶	
十八、SZJ 系列微型直流伺服齿轮减速		合器	490
电动机	388	二十四、YOTZ 系列调速型液力耦合	
十九、A 系列变流装置	397	器	495
二十、K 系列晶闸管直流电气传动控制		二十五、CO46 型调速型液力耦合器	497
设备	402	二十六、YOCH 系列调速型液力耦合	
二十一、KGS 系列直流电动机晶闸管		器	499
调速设备	408	二十七、YOTL 系列立式调速型液力偶	
二十二、KS 系列直流电动机调速装置	426	合器	501
二十三、TML-50A、TML-100 型晶闸		第八章 离合器调速	503
管直流无级调速装置	428	一、概论	503
二十四、ZC1 系列晶闸管直流传动装置	433	二、TL 系列调速离合器	503
第七章 液力耦合器调速	439	三、YT 系列液粘调速离合器	512
一、概论	439	四、NT 系列液体粘性调速器	519
二、液力耦合器工作原理	440	第九章 其他调速设备	525

一、概论	525
二、YLJ 系列三相力矩异步电动机	525
三、YLJT 系列三相力矩异步电动机	542
四、DJ、AJ、AJC 系列微型交流力矩电动机	543
五、YLJC 系列三相齿轮减速力矩电动机	547
六、LTS 系列 (KTS 系列) 节能型力矩电动机控制器	549
七、ZLY、ZLYW 系列永磁直流力矩电动机	551
八、YYDT 系列单相电子调速电容运转异步电动机	555
九、YCJT 系列齿轮减速电子调速电动机	558
十、YTCJ 系列齿轮减速单相调速电动机	578

电动机	578
十一、YCJFK 系列齿轮减速、测速反馈、调速单相电容运转电动机	582
十二、YZRW 系列涡流制动三相异步电动机	588
十三、JZS2 系列三相换向器电动机	590
十四、KC 系列开关磁阻电动机调速装置	594
十五、YWT 系列笼型交流无级调速电动机	598
十六、E1-F、E2-F 型电子调速器	603
附 录	606
附录 A 常用机械负载要求的堵转转矩、最大转矩	606
附录 B 生产厂家名录	607
参考文献	610

第一章 电力拖动调速基础知识

一、概 论

在现代工业企业中，绝大多数工作机械的运行是由电动机拖动的。据统计，在电网的总负载中动力负载约占 60%。在这种电力拖动的系统中，根据执行任务的不同，提出各种各样的要求。例如频繁起动的起重机械、电厂锅炉的给水泵。具有一定加减速度要求的电车、停车准确的电梯、往返运行的龙门刨床、多台电动机拖动的热轧机、高精度调速的某些车床、造纸机和纺织机等，都是通过电力拖动控制系统来实现的。本书介绍拖动系统调速的基础知识和目前国内调速设备的生产现状，目的是帮助读者加深对电力拖动调速系统的了解和合理选用调速设备。

我们知道，生产工作机械常用转矩来标志其负载的大小。在电力拖动系统中存在着两个转矩，一个是电动机的电磁转矩 T_M ，另一个是生产机械的负载转矩 T_L 。从电动机和生产机械本身来说，其转矩和转速存在着一定的关系，这种关系分别叫做电动机的机械特性和生产机械的负载特性。由于电动机与生产机械是紧密相联系的，它们的机械特性与负载特性必须适当配合才能得到经济合理的工作状态。因此，了解各种生产机械的负载特性，以及掌握各种电机及传动机械的特性，实为设计和生产实际之需。

二、电动机的机械特性

电动机拖动工作机械是将从电网吸收的电能为机械能，除了在传送中损耗一部分能量外，全部提供给工作机械做功。转速通常是随着电磁转矩的改变而发生变化的。

电动机的电磁转矩与转速之间的关系称为电动机的机械特性，又称为电动机的固有机机械特性。各种不同类型的电动机具有各种不同的机械特性曲线，如图 1-1 所示。

交流异步电动机的机械特性形状较其他电机的机械特性形状要复杂，且较常使用（异步电动机约占总动力负载的 85%），故我们进一步阐述其特性曲线。

图 1-2 表示异步电动机的负载特性，它是表示异步电动机性能的重要特性曲线，并是研究某一负载应选用什么样电动机的基本要素。

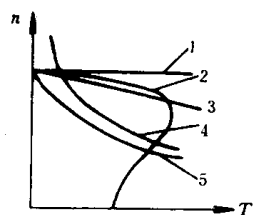


图 1-1 常用各种电动机的机械特性

- 1—交流同步电动机
- 2—交流异步电动机
- 3—直流他励电动机
- 4—直流串励电动机
- 5—直流复励电动机

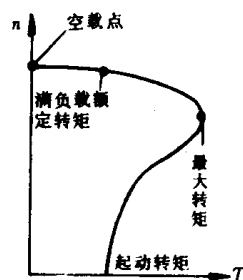


图 1-2 交流异步电动机的机械特性（转速—转矩特性）

转速为零时的转矩，也就是静止的电动机在接通电源开关的瞬间所产生的转矩，叫做启动转矩。输出额定功率时的转矩叫做额定转矩。此时的转速叫做额定转速。

转矩的最大值叫做最大转矩。对于异步电动机而言，当负载转矩大于这个转矩时，就会使电动机的运行进入不稳定区域而停止转动。

三、生产机械的负载转矩特性

需要调速的生产机械是很多的，对调速的有各种各样要求（如有的以节能为目的，有的以满足生产工艺提高产品质量档次为目的），对调速范围的要求也不同，工作机械产生的转速与转矩的关系称为负载转矩特性（简称负载特性）。各种不同类型的工作机械，具有各种不同的负载转矩特性曲线。

1. 恒转矩负载

在任何转速下，负载转矩 T_L 恒定，负载功率 ($P_L = KT_L n$) 与转速成正比。这里根据负载转矩是否随运动方向而变又分为两类。

(1) 反抗性的恒转矩负载 又称摩擦性负载，由负载产生的阻转矩大小与负载的转速高低无关，但阻转矩的方向是随转速的方向而变的，负载转矩总是反抗运动的。例如机床的平移机构、金属的压延机、电车、起重机的平移运动均属此类。其负载特性如图 1-3 所示。

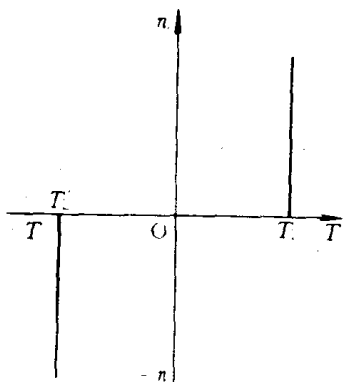


图 1-3 反抗性恒转矩负载特性

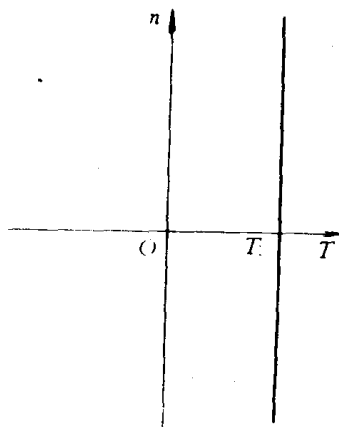


图 1-4 位能性恒转矩负载特性

(2) 位能性恒转矩负载 又称起重性负载，由负载产生的恒阻转矩不随旋转方向改变。例如起重机构、电梯等。其负载特性如图 1-4 所示。

2. 恒功率负载

即在调速范围内的各种速度下，负载功率 P_L 恒定，而负载转矩 T_L 与转速成反比。其负载特性如图 1-5 所示。

恒功率负载的实例如下：

(1) 金属切削机床，如车床的主轴，无论被加工件的直径大小如何而使用相同的切削速度加工时，如果刀具的切线方向的力相同，那么被加工件的直径小时转矩较小，可用高转速；当直径大时转矩较大，使用低转速；也可以说

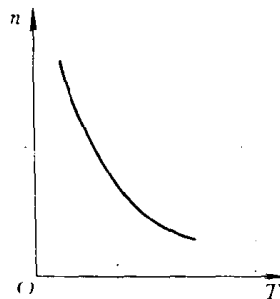


图 1-5 恒功率负载特性

在粗加工时, 切削量大, 阻转矩也大, 采用低速; 而精加工时, 切削量小, 阻转矩小, 采用高速。负载转矩 T_L 与转速 n 成反比, 形成恒功率负载。

(2) 在卷扬机上使用同样的速度提升同一重物时及收卷机卷绕电缆时, 开始, 卷筒的直径小, 所需的转矩也不大, 可用较高转速。继续进行卷绕后, 卷筒的直径增大, 转矩也增大, 卷筒的转速就需降低。

(3) 使用搬运机械时, 如果在运输重的物品时使速度慢一些, 运送轻的物品时速度快一些, 那么它们所需要的功率是相同的。

(4) 在同一台轧钢机上, 轧制小工件时使用高速度, 轧制大工件时使用较低的速度。但是低速时轧制余量大, 需要大转矩。

用来驱动这些机械的电动机, 高速时额定转矩小, 低速时额定转矩大。也就是说, 进行转速控制时, 需要使用额定输出功率不变的电动机。这样的特性叫转速控制的恒功率特性。

还有一些生产机械, 如可逆轧钢机, 在其整个调速过程中, 一部分要求恒功率调速, 一部分要求恒转矩调速, 这类调速系统称之为混合调速系统。

3. 平方转矩负载

风扇、通风机、水泵、油泵等类负载, 其空气、水、油对机器叶片的阻力产生的阻转矩基本上与其转速平方成正比, 即 $T_L = Kn^2$, 此类负载又称为风机类负载。其负载特性如图 1-6 所示。

对平方转矩负载可以用恒转矩电动机控制运行, 见图 1-7, 图中 T_{L1} 、 T_{L2} 、 T_{L3} 表示对风机调节风门大小, 绘出不同平方转矩负载特性曲线, T_{M1} 、 T_{M2} 是经转速控制后的电动机的转速—转矩特性曲线。从图可见, 对具有平方转矩特性的负载 (风机、泵类), 完全可以使用恒转矩转速控制的电动机, 因为减速时电动机的转矩还有裕量。

如果把自冷式恒转矩转速控制的电动机使用于恒转矩负载上, 在减速时就会引起冷却不良, 不能长时间使用。如果使用于平方转矩负载, 由于减速时电流减少, 发热也少, 所以能连续使用。

4. 线性负载

线性负载又称发电机负载, 由负载产生的阻转矩与转速成正比, 特性如图 1-6 中 2 所示。

图 1-3~图 1-7 的负载正向转矩相对于电动机正向电磁转矩是负的。为讨论方便, 一般在坐标系中将与电磁转矩反向的负载转矩绘制在同一方向上。

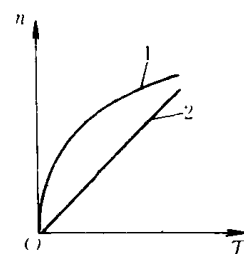


图 1-6 风机类和线性负载特性
1—风机负载特性 2—线性负载特性

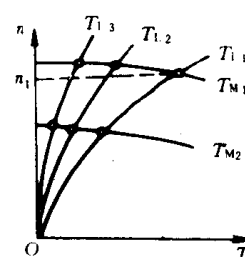


图 1-7 用恒转矩电动机控制平方转矩特性的负载

四、电动机和负载的稳定运行条件

根据电动机和负载的转速-转矩特性曲线虽然画出了交点, 但电动机工作在此交点也不一

定能够稳定运行。

电动机带负载的运行点为电机的机械特性 $n=f(T_M)$ 与被驱动的生产机械（负载）的阻转矩特性 $n=f(T_L)$ 的交点。此交点是电力拖动系统稳定运行的必要条件。稳定运行的充分条件是这两条特性曲线要配合得当，如果拖动系统原在交点处稳定运行，当出现某种干扰（如电网电压的波动、负载阻转矩的微小变化等），使原来转矩与负载转矩失去平衡，电动机转速亦会有所变化，而在干扰消除后，拖动系统必须有能力使转速恢复到原来交点处。电力系统如能满足这样的特性配合条件，则系统是稳定的，否则是不稳定的。

图 1-8 中所表示的是电动机稳定运行与不稳定运行。图 1-8a 中，当外界条件变化使电动机转速从两特性交点 $P(n_P, T_P)$ 开始沿着 $n=f(T_M)$ 曲线增加转速时，由于电动机转矩 T_M 小于负载转矩 T_L （交点 P 的右半部），则迫使电动机减速并返回 P 点而稳定运行。若因某种原因转速下降，由于 T_M 比 T_L 大（交点 P 的左半部），所以电动机增速并返回 P 点。这样的 P 点是稳定的运行点。

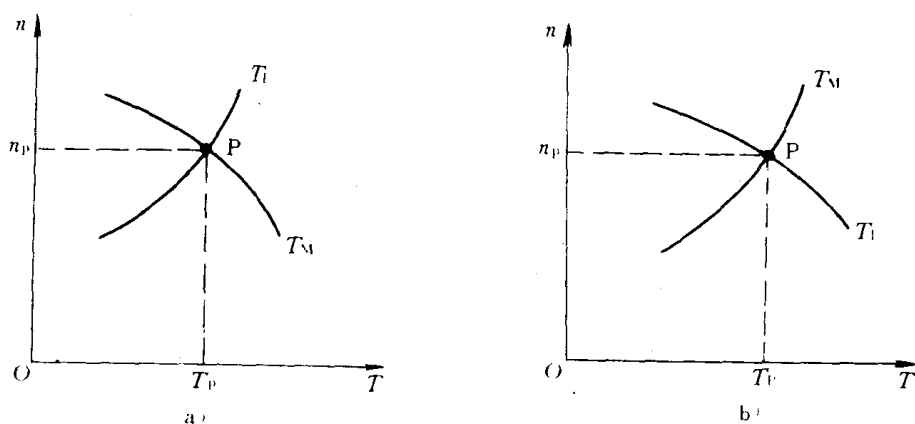


图 1-8 电动机稳定运行和不稳定运行

a) 稳定运行 b) 不稳定运行

在图 1-8b 中，因某种原因使转速上升后，由于 T_M 比 T_L 大，电动机转矩将迫使电动机转速继续上升，因而再不能返回 P 点运行，所以是不稳定运行。

从以上不难看出，若电动机的转速随转矩的增加而增大时（俗称上翘特性，如图 1-8b 所示），电动机运行是不稳定的。

交流电动机的机械特性与负载有两个交点 A、B，（见图 1-9），从以上分析得知，只有 A 点是稳定工作点。

当拖动系统在电动机电磁转矩与负载转矩相等的 A 点稳定运行时，假如因某种外因扰动使转速发生变化，由 n_A 提高到 n_{A1} 。当扰动消失后，由于惯性作用，电动机仍以转速 n_{A1} 转动，相应 n_{A1} 的电磁转矩比相应 n_A 的电磁转矩为

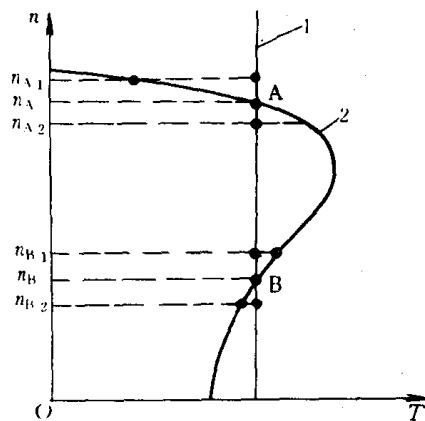


图 1-9 交流异步电动机与负载特性的配合

1—负载特性 2—交流异步电动机机械特性

小,而负载转矩不变,这样帮助运动的电动机转矩小于阻碍运动的负载转矩,电动机会减速,最后由 n_{A1} 回到 n_A 。同样,如果转速变为低于 n_A 的 n_{A2} 时,电动机的转矩增大了,而负载转矩不变,这样推动运动的电动机转矩大于阻碍运动的负载转矩,电动机加速,由 n_{A2} 回到 n_A ,说明 A 点是稳定工作点。

再看在交点 B 的情况,虽然也是电动机转矩等于负载转矩,但当系统受外界干扰而使转速增大到 n_{B1} ,而后外界干扰消失,电动机转矩大于负载转矩,使电动机转速继续上升,一直到 n_A 运行。如电动机转速受干扰而有所下降(如 n_{B2}),使电动机的转矩小于负载转矩,转速不断下降,一直到 $n=0$ 时为止。因此 B 点是不稳定运行工作点。

因此在选用电动机时,要使负载转矩和电动机转矩有适当配合,电动机才能运行在稳定工作区域。

五、拖动过渡过程

电动机在起动、制动产生加速、减速,因而产生过渡过程。

$$T - T_L = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} \quad (1-1)$$

从式中可以看出

- 1) 当电动机转矩 T 大于负载转矩 T_L 时, $dn/dt > 0$ 时,电动机处于加速状态;
- 2) 当电动机转矩 T 小于负载转矩 T_L 时, $dn/dt < 0$ 时,电动机处于减速状态;
- 3) 当电动机转矩 T 等于负载转矩 T_L 时,电动机处于稳定状态,作匀速运动。

在起动、制动过程中,运动方程式中各个量变化很复杂。过渡过程的时间也较复杂,下面就两种简单情况进行分析。

1. 电动机转矩和负载转矩均为常数的起动、制动过渡过程时间的计算

$$dt = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{T - T_L}$$

当转速由 n_1 过渡到 n_2 所需的时间为

$$t_{12} = \int_{n_1}^{n_2} \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{T - T_L} = \frac{GD^2}{375} \frac{(n_2 - n_1)}{(T - T_L)} \quad (1-2)$$

在笼型异步电动机中,平均起动转矩 T_{QP} 可近似认为

$$T_{QP} = \frac{T_{\max} + T_Q}{2}$$

式中 $T_{\max}$ ——电动机最大转矩;

T_Q ——电动机起动转矩。

电动机由静止 ($n=0$) 起动到稳定转速 n_w 所需的时间为

$$t_Q = \frac{GD^2 n_w}{375 (T_{QP} - T_L)} \quad (1-3)$$

由上式可以看出:

- 1) 起动时间与传动系统的飞轮力矩 GD^2 成正比,欲减小起动时间,应该设法减小 GD^2 ,如有的龙门刨床采用双电动机传动就是为了缩短过渡过程。因为两台同定额半容量电动机的

合成 GD^2 小于单台全容量的 GD^2 。

2) 起动时间与加速转矩 ($T_{QP} - T_L$) 成反比, 为了减少起动时间, 应使加速转矩在起动过程中均处于最大值, 所以绕线转子异步电动机起动过程中采用分段电阻逐级切除, 以始终获得大的加速转矩。

3) 起动时间与稳定工作转速 n_w 成正比, 故经常起、制动的生产机械, 可以选择额定转速较低的电动机, 但同时应考虑在输出功率一定情况下, 额定转速降低后电动机的飞轮力矩 GD^2 将增大的影响。

在制动停车时, $n_1 = n_w$, $n_2 = 0$, 若负载为反抗性负载, 在制动过程中, 负载转矩仍为 T_L , 采用自由停车 $T = 0$, 则制动时间为

$$t_{ZD} = \frac{GD^2 n_w}{375 T_L} \quad (1-4)$$

当采用电气制动时, 设其制动转矩为 T_{ZD} (要注意的是负载转矩和制动转矩相加才是实际工作的制动转矩), 则制动时间为

$$t_{ZD} = \frac{GD^2 n_w}{375 (T_{ZD} + T_L)} \quad (1-5)$$

从式 (1-4) 和式 (1-5) 可以看出, 制动时间与制动过程中制动转矩成反比, 与传动系统的飞轮力矩 GD^2 和稳定工作转速 n_w 成正比。欲缩短制动时间, 应增大制动转矩, 所以在机床等电气控制中, 应采取电气制动来加速停车。

2. 电动机转矩和负载转矩不为常数的起动、制动过渡过程时间的计算

异步电动机带动刀架负载的起动就是电动机转矩和负载转矩都不为常数的起动。在这种情况下, 可将起动过程近似看成许多段 T 和 T_L 都为常数的过渡过程所组成。将转速由零到 n_0 分成许多等分的 Δn 小段。每小段中电动机转矩和负载转矩取其平均转矩, 取时应使正面积相等, 如图 1-10a 所示。

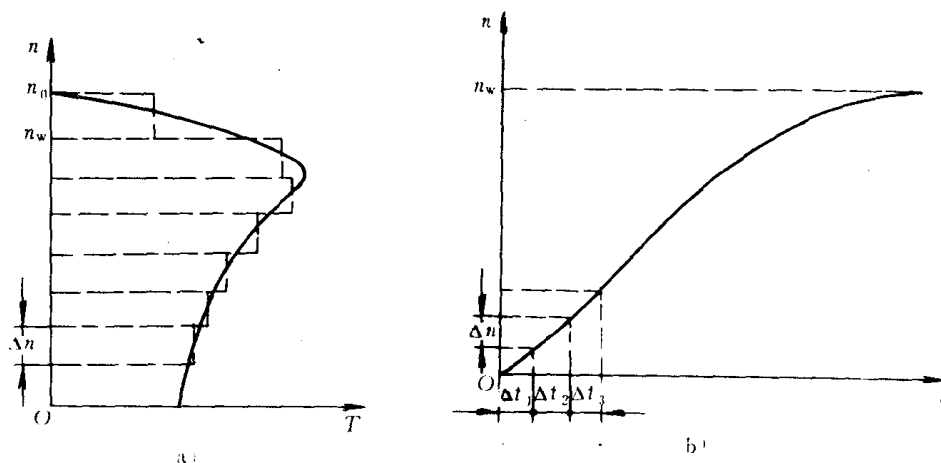


图 1-10 过渡过程的计算

a) 过渡过程时间计算 b) 转速的过渡过程曲线

由于采用这一方法, 每一小段过渡过程时间可根据式 (1-2) 计算, 即

$$\Delta t = \frac{GD^2 \Delta n}{375 (T - T_L)} \quad (1-6)$$

总的起动时间

$$t_q = \frac{GD^2 \Delta n}{375} \sum \frac{1}{T_i - T_{Li}} \quad (1-7)$$

式中 T_i 、 T_{Li} ——每段的电动机和负载的平均转矩，分段愈多，计算结果将愈精确。

若为制动，则制动时间为

$$t_z = \frac{GD^2 \Delta n}{375} \sum \frac{1}{T_{Li} + T_{ZD}} \quad (1-8)$$

式中 T_{Li} 、 T_{ZD} ——每段的负载和制动转矩的平均值。

采用精确计算法，也可以作出转速的过渡过程曲线 $n=f(t)$ 。每次增加 Δn ，即得到相应的 Δt_1 、 $\Delta t_2 \dots$ ，连接各点，就能得到过渡过程曲线，如图 1-10b 所示。

值得指出的是，以上拖动系统的计算，在具有中间传动装置，即负载不是直接加在电动机轴上时，各方程式中的 GD^2 应将各根传动轴上的飞轮力矩折算到电动机轴上，负载转矩亦应相应折算到电动机轴上。

六、电动机转速的选择

电动机额定转速是根据生产机械的要求选定的。在确定电动机额定转速时，必须考虑机械减速机构的传动比值，两者相互配合，经过技术和经济全面比较才能确定。

通常，电动机转速不低于 500r/min，因为当容量一定时，电动机的同步转速愈低，则电机尺寸愈大，价格愈贵，且效率也较低；另一方面，若选用高速电动机，虽然电动机功率提高了，但势必加大机械减速机构的传动比，致使机械传动部分结构变得复杂。

对于不需要调速的低转速机械，如球磨机、水泥旋窑及某些轧机，一般选用适当转速的电动机通过减速器来传动。但是，对于大功率的传动应使电动机的转速不宜过高，要考虑大功率减速器（特别是大传动比的减速器）的加工制造及维修不便等因素。

对于某些低速重复短时工作的机械，如果有合适转速的电机，宜采用无减速器直接传动。这样对于提高生产机械的生产率，提高传动系统的动态性能（减小机械传动系统的飞轮力矩，缩短正、反转过渡过程时间），提高效率节省能量的消耗，减少机械制造的困难及维修费用，减少初期投资及运行的噪声等方面是有利的。因此像某些轧机的主传动和辅助传动、矿山卷扬机传动、电梯传动等机械多趋向于采用无减速器的直接传动。

对于一些不需调速的高、中速机械，可选用相应转速的电动机而不经机械减速机构直接传动。需要调速的机械，生产机械最高转速要与电动机最高转速相适应。若采用改变励磁的直流电动机变速时，为充分利用电动机功率，应选用调磁调速的基速。对于一些工作速度较低，经常处于频繁正、反转运行状态的生产机械，为缩短正、反转过渡时间，提高生产效率，降低消耗，并减小噪声，节省投资，选择适当的低速电动机，采用无减速机构的直接传动更为合理。

要求快速频繁起、制动以及正、反转的机械，通常认为电动机转子的转动惯量与额定转速的平方的乘积（即 $J_M n_c^2$ 值）最小时，能获得起、制动最快的效果。在空载（或负载很小，可以忽略）情况下起、制动时，为达到快速的目的，按下式考虑最为合理：

$$J_M n_c^2 = J_{mL} n_{mL}^2 \quad (1-9)$$

则所谓最佳传动比 i_{op} 为

$$i_{op} \approx \sqrt{\frac{J_{mL}}{J_M}} \quad (1-10)$$

式中 J_M ——电动机转子的转动惯量 ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$);
 n_e ——电动机额定转速 (r/min);
 J_{mL} ——生产机械在机械轴上的转动惯量 ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$);
 n_{mL} ——机械轴上转速 (r/min)。

电动机的同步转速正比于电源频率的变化。虽然目前电源频率十分接近额定值,但有时也会发生偏离。当电压为额定值,频率与额定值偏差 $\pm 5\%$ 时,对异步电动机性能的影响见表 1-1。

表 1-1 频率变化 (95%、100%、105%) 时对异步电动机性能的影响

额定频率变化率	同步转速	转差率	堵转电流	堵转转矩	最大转矩	效率	功率因数	温升
105%	+5%	+5%	-(4~5)%	-(14~16)%	-(8~10)%	+	+	-
函数关系	$\propto f$	$\propto f$	$\propto 1/f$	$\propto 1/f^3$	$\propto 1/f^2$			
95%	-5%	-5%	+(4~5)%	+(12~14)%	+(8~10)%	-	-	+

注:1.“+”号为增加,“-”号为减少。

2. f 为频率值。

七、调速设备选择示例

各种主要调速设备的适用范围及节能效果,见表 1-2

表 1-2 三相异步电动机各种调速方式适用范围、节能效果

调速方式 比较项目	定子调压 调 速	VVVF 变频调速	电磁离合器 调 速	液力偶合器 调 速	变极调速	串级调速 (绕线转子电动机)	转子串电阻调速 (绕线转子电动机)
调速范围	80%~100%	5%~100%	10%~100%	50%~100%	4/6, 6/8...	65%~100%	65%~100%
调速精度 (%)	± 2	± 0.5	± 2	± 1	—	± 1	± 2
优 点	1. 结构简单 2. 可无级调速 3. 可“软启动” 4. 快速性好	1. 调速范围大 2. 容易在现有设备上改制 3. 可以群控,再生制动容易	1. 结构简单 2. 可无级调速		结构简单	1. 可无级调速 2. 在调速范围内效率高	1. 可靠性高 2. 投资少 3. 维护简单 4. 功率因数高
缺 点	随转速下调, η 、 $\cos\phi$ 下降	全范围调速, 逆变器容量大, 低速区 $\cos\phi$ 下降	1. 适于小型电机 2. 效率随转速下调而降低	转速下调, 效率随之降低	1. 不能无级调速 2. 不能频繁变速	若调速范围大, 则变换器容量大, 价贵	转速下调, 效率随之降低