

变频器构成的调速系统

【项目任务】

- 掌握通用变频器的特点及应用领域。
- 掌握通用变频器的主要功能及在生产过程中的应用。
- 了解变频器对生产机械的驱动特性。
- 掌握变频调速系统中的异步电动机选择的要求。
- 了解西门子公司最新型 SINAMICS 系列变频器。

【项目说明】

当前应用最多的仍是第二代高性能型 U/f 控制通用变频器。这类变频器的性能足以满足大多数生产机械调速控制的需要。值得注意的是，无速度传感器矢量控制通用变频器迅速崛起，价位也在逐步下降，例如西门子 MM440，这种后浪推前浪的势头非常鼓舞人心。本章就以通用型变频器为典型，论述由变频器构成的调速系统的相关知识。本项目最后介绍西门子公司最新型的 SINAMICS 系列变频器。

7.1 应用变频器的目的与效益

【知识目标】 了解变频器应用领域、应用特点。

了解应用变频器后产生的效益。

变频器和异步电动机相结合，实现对生产机械的调速传动控制，简称为变频器传动。变频器传动具有它固有的优势，应用到不同的生产机械或设备上可以体现出不同的功能，达到不同的目的，收到相应的效益。

使用变频器的目的和应用领域举例如表 7-1 所示。下面就表 7-1 所列的各种应用目的和应用领域举例作概要说明。

表 7-1 使用变频器的目的和应用领域举例

序号	变频器传动的效能	应 用 领 域	主要相关技术	适用变频器
1	节能	风扇、鼓风机、泵、提升机、挤压机、搅拌机、传送带、工业用洗衣机	为提高运行可靠性，台数控制和调速控制并用	通用变频器
2	提高生产率	提升机、起重机、机床、食品机械、挤压机和自动仓库中所需的传动	运行程序或加工工艺的最佳速度，原有设备的增速运行，运转可靠性提高	通用变频器、专门用途的通用变频器



续表

序号	变频器传动的效能	应 用 领 域	主要相关技术	适用变频器
3	产品质量的提高	风扇、鼓风机、泵、机床、食品机械、造纸机、薄膜生产线、钢板加工生产线、印制电路板基板钻孔机、高速刻纹机	平滑加/减速，加工对象所需最佳速度选定，高精度转矩控制，高精度定位停止，无转矩脉动，高速传动	通用变频器、系统用矢量控制式通用变频器、高速通用变频器
4	设备合理化 少维护 低成本 机械的标准化 机械的简单化 全自动化（FA化）	搬送机械、金属加工机械、纤维机械、造纸生产线、薄膜生产线、钢板加工生产线	原有设备的增速运行，高精度转矩控制，多台电动机联动运行，多台电动机联动比例运行，提高运转可靠性，传送控制	通用变频器、通用矢量控制变频器、系统用矢量控制变频器
5	改善或适应环境	空调机、风扇、鼓风机、压缩机、电梯	静音化，平滑加/减速，使用防爆电动机、安全性等技术	通用变频器、专用型通用变频器

7.1.1 节能应用

利用变频器实现调速节能运行，是变频器应用的一个最典型的例子，其中以风机和泵类机械的节能效果最为显著。另外，传送带、搅拌机一类恒转矩负载的机械，若能在较低速下运行，也可以获得一定的节能效果。

一般情况下，在不影响正常生产的前提下，生产设备的节能可以通过削减其输入功率或缩短其运行时间（也可两者兼用）来实现。以风机、泵类为例，采用变频器调速可以减小输入功率；在生产工艺允许的情况下，使之间歇运转则可以缩短其运行时间。对于某些大容量设备，受电网容量限制，一般不允许频繁启停。若利用变频器实现调频软启动，则可以减小启动电流，频繁启动并不影响电网供电，也可能实现间歇运转了。

1. 风机的节能

在风扇、鼓风机类的负载中，通常调节风量和压力的方法有两种：

- ① 控制输出或输入端的风门。
- ② 控制旋转速度。

采用第①种方法虽然控制简单，设备的初投资也比较少，但在调节风量时（减少风量）并不能减小电动机的输入功率（即电源提供的功率），而且还增大了通风管道壁的压力，因而现在较少采用，尤其是输出端风门控制，已基本上不采用。采用变频器驱动风机运行，实际上采用的是第②种方法——控制旋转速度。图 7-1 所示为两种控制方式下风机运行的特性。其中 r 表示原有的管道阻抗 R 加上调节风门后新增的节流阻抗，而各图中的（pu）均表示标幺值（又称相对单位值）。

图 7-2 所示为采用不同的调节方法时电动机的输入功率、轴输出功率（即风机轴功率）与风量的关系曲线。从图中可以看出采用不同的调节方法，电动机的输入功率也不同。1 为输出端风门控制时电动机的输入功率曲线，2 为输入端风门控制时电动机的输入功率曲线，3 为转



差功率调速控制时电动机的输入功率曲线，4 为变频器调速控制时电动机的输入功率曲线。

图 7-3 表示输出端风门控制、电磁转差调速电动机控制以及变频调速控制方式下将风量调节到 0.5 (pu) 时的节电情况。图中画斜线部分的面积表示风量调节到 0.5 (pu) 时的节电量，在变频调速的情况下，所需电源功率仅为全风量的 12.5%。三个图均是在理想条件下所得到的结果。

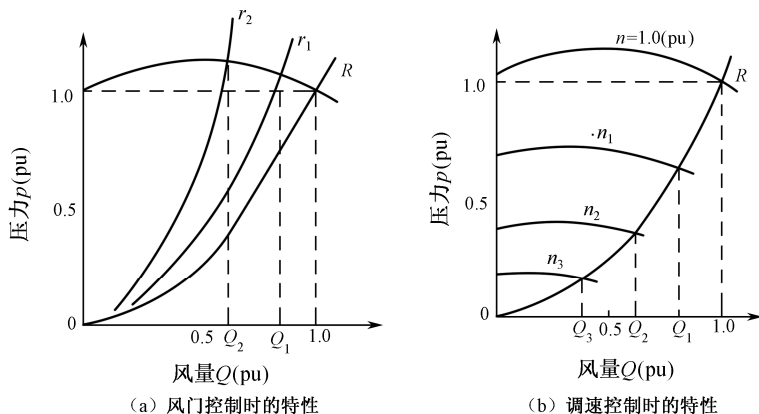


图 7-1 两种控制方式下风机运行的特性

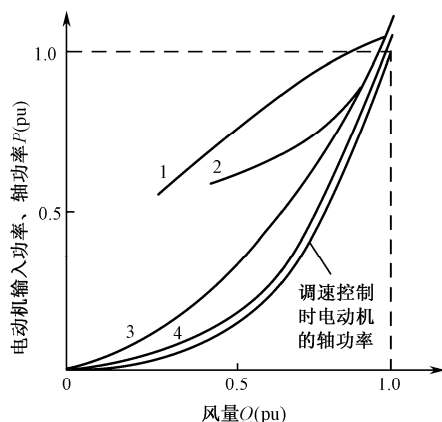


图 7-2 电动机的输入功率、轴功率—风量特性曲线

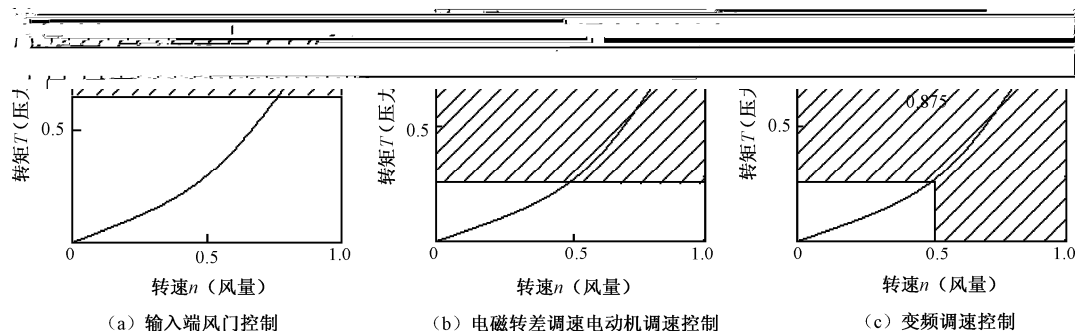


图 7-3 风量为 50% 时可节约的电能



2. 泵类的节能

泵类所输送的是液态物质，例如水泵装置中存在一个由吸入侧和排出侧之间液位差所造成的固定的管路阻抗分量，即实际扬程。泵装置模型如图 7-4 所示，其管路阻抗曲线不再通过原点，如图 7-5 所示的全扬程—流量特性管路阻抗曲线。

全扬程 H 表示为

$$H=H_a+H_L \quad (7-1)$$

式中 H_a ——实际扬程 (m)；

H_L ——损失扬程 (m)。

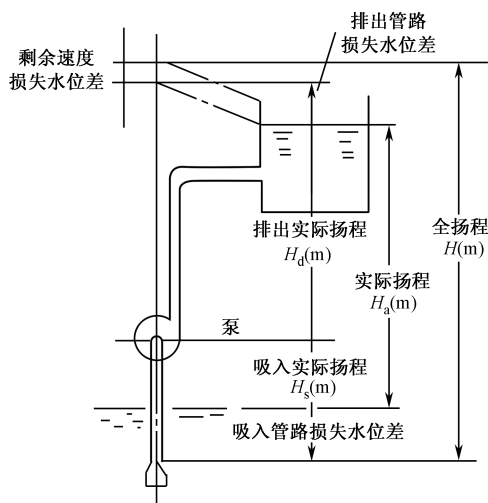


图 7-4 泵装置模型

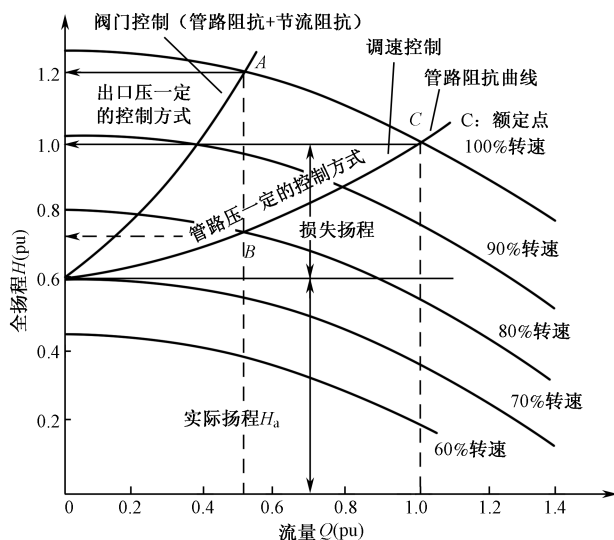


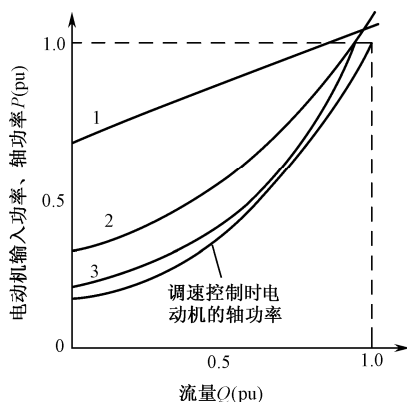
图 7-5 水泵的全扬程—流量特性曲线（以实际扬程 $H_a=0.6$ (pu) 为例）

损失扬程中包括吸入管路损失水位差、排出管路损失水位差和剩余速度损失水位差三部分，如图 7-4 所示。

图 7-5 所示为 50% 流量情况的特性曲线。排出管路阀门控制的情况下工作点为 A，转速控制情况下工作点为 B（采用管端压一定的控制方式）。与全流量（工作点 C）情况相比较，当采用 50% 流量时，工作点 A 及 B 所需轴功率都减小了，但工作点 B（调速控制）所需轴功率更小。可见采用调速的方式节能效果更大。

图 7-6 所示为采用不同的调节方式时，电动机输入功率（即电源提供的功率）与轴输出功率（泵的轴功率）与流量之间的函数关系曲线。1 为排出管路阀门控制时电动机的输入功率曲线，2 为转差功率调速控制时电动机的输入功率曲线，3 为变频器调速控制时电动机的输入功率曲线。由图可见，变频调速控制时，节能效果最好。

风机、泵是一种减转矩负载，随着转速的降低，负载转矩与转速的平方成正比地减小。



1—排出管路阀门控制时电动机的输入功率曲线；2—转差功率调速控制（采用转差电动机、液力耦合器）时电动机的输入功率曲线；3—变频器调速控制时电动机的输入功率曲线

图 7-6 电动机输入功率、轴功率—流量特性曲线

对于这种节能调速运行，通用变频器的 U/f 曲线的图形（模式）应采用图 7-7 所示的专用模式。这种模式与恒转矩负载所采用的模式有所不同，这是因为电动机在低速时负载转矩更小，采用这种模式有利于节能。采用不同 U/f 模式时变频器和电动机总效率的差别如图 7-8 所示。

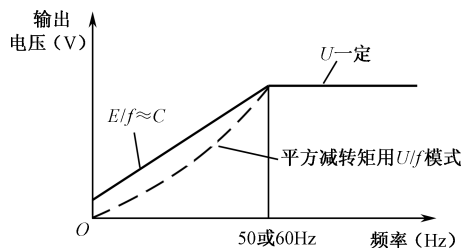


图 7-7 风机、泵类节能用 U/f 模式

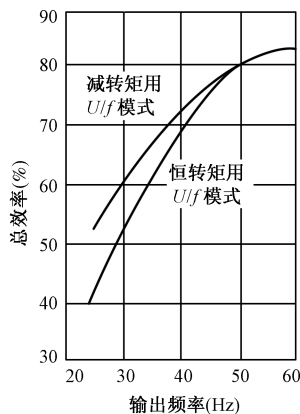


图 7-8 采用不同 U/f 模式时总效率的差别（对于风机负载）

7.1.2 提高生产率

提高生产率是变频器传动的另一个重要目的。提高生产率的措施有很多种，利用通用变频器可以实现这些措施。

1. 保证加工工艺中的最佳转速

恰当地选择食品加工机械、金属加工机械、工业洗衣机等在工艺过程中的转速，可以收到缩短运行时间，稳定产品质量的效果。加工工艺过程对具体的加工机械而言，往往具有它固有的一种或几种工作模式，利用变频器可以方便地设定这些工作模式。



2. 适应负载不同工作情况的最佳转速

提升机和传送带货物搬运车等运载工具的最恰当运行速度的确定，往往遇到快速搬运和准确停车之间的矛盾，采用变频器调速，可以采用两段或多段速度运行。高速运行可以缩短搬运时间；低速运行虽慢，但有利于精确定位停车。

例如，自动仓库中货物存取的输送过程，行走机构典型的速度图如图 7-9 所示。货物存入的输送速度较低，而空车返回时的速度则较高，因空车惯量小，加速度较大。货物取出的过程恰与上述情况相反。

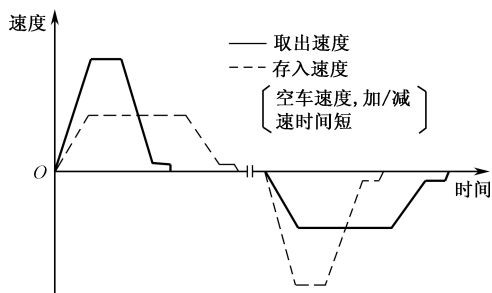


图 7-9 自动仓库货物存取的行走机构典型速度图

3. 原有设备的增速运转

许多原来不调速的机械设备，其机械结构常由主机和传动机构（如皮带传动、齿轮传动）两部分组成。动力机械多数采用异步电动机，其最大速度被异步电动机的额定转速所限制。大多数工业机械设备不可能总是工作在额定状态下，保持着最大生产能力。机械设备轻载运行是一种常见的情况。例如，当传送带用恒速电动机传动时，电动机容量由搬运的材料的最大重量决定。当搬运的材料重量较轻，或者原设计的电动机容量有余量时，采用变频器传动，适当提高转速（超过电网频率），则很容易提高生产率。有资料表明：无论恒转矩负载、恒功率负载，还是风机泵类的平方律负载，当负荷率没有达到 100%时，均可以适当增速。例如，河南焦作坚固水泥有限公司的连斗输送机，安装了日本安川 CIMR-G5A4015 型变频器进行调速，在负荷 50%时运行频率 60Hz，增速 20%，电动机运行良好，绕组温度没有增加^①。

原来恒速运行的设备适当增速是可行的，但要考虑增速后机械上的种种问题，例如考虑电动机轴承等的耐高速程度及其负载能力是否允许。电动机增速后可能出现的问题及其对策可参见表 7-2，若出现表中后两种现象，则表明电动机不适应增速。

表 7-2 异步电动机增速时的异常原因及对策

现 象	原 因	对 策
振动增加	因速度增加，转动部分的不平衡加剧	修正转动部分的不平衡
共振声音异常	运行频率与电动机的结构件及安装部位的固有振动频率接近	增加安装部位强度
轴承寿命下降；烧坏	轴承受热增加；润滑油流出 冷却劣化；振动增加	换轴承，使用耐热润滑油
噪声增加	冷却风扇噪声、轴承噪声增加	改小风扇直径
电动机过热	风阻损耗、机械损耗、铁损耗增加	
冷却风扇等旋转部件损坏	转速增加，离心力增加，共振	

^① 注：李焦明“通用电动机变频提速探讨”，电气传动 2003-2



4. 高精度准确停车

提升机和自动仓库等在生产过程中间歇时间的缩短, 对提高生产率起到很大的作用。在预定位置的准确停车, 对减小间歇时间来说十分必要。

水平方向运转的机械, 像图 7-9 所示那样采用两段速度运行, 即在到达预定停车位置之前, 以低速爬行一小段时间, 再采用直流制动, 则可保证精确地停止在预定位置上。

提升机和自动仓库的升降机构的传动位能性负载的情况与上述类似, 也可以采用两段速度控制, 但是停车时应配以机械制动器, 以免重物自由滑落。

7.1.3 提高产品质量

引入变频器传动, 适应生产工艺的多方面要求, 以提高产品质量的例子很多, 列举如下。

1. 加工对象的最佳速度

车床、铣床等加工机械, 大致分成工件旋转式和刀具旋转式两大类。不论哪一类, 控制工件和刀具的相对速度对工件的质量都起关键作用。根据工件的加工精度及光洁度的要求, 精细地控制工件和刀具的相对速度, 可以使质量大幅度提高。现在许多数控机床均有变频器, 尤其是通过在数控机械加工中心应用变频器来提高产品质量和提高加工效率的例子很多。

另外, 印制电路板的基板钻孔机和木工机械中的高速刻纹机, 其主轴的转速要足够高才能满足加工质量的要求。利用高速变频器调高速度即可满足这种要求。

2. 高精度转矩控制

造纸、塑料薄膜、冷轧带钢等高性能的调速控制装置, 对速度精度、转矩精度、动态响应等有较高的要求。为了保证产品质量, 以往这些领域都是直流电动机调速控制系统的天下。目前, 由西门子、ABB 以及三菱等世界知名大公司生产的高性能矢量控制型通用变频器的性能指标, 已经赶上和超过了直流调速装置。由于采用笼形异步电动机, 成本低, 不用维护, 所以有很大的竞争力, 已经开始取代直流调速系统。

7.1.4 设备的合理化

如前所述, 高性能的调速系统实现交流化, 逐渐取代直流电动机, 以克服直流电动机因电刷、换向器的原因而难以维护的困难, 这是设备合理化的一个侧面。另一个侧面, 则是充分利用通用变频器的功能, 改造传统的恒速运行的异步电动机传动的生产机械, 使一大部分生产机械的功能得以升级。

1. 设备的自动化

通用变频器的使用, 可以把诸如传送带、给料机、干燥机风扇、泵等多种机械, 根据生产工艺的内在联系适当地组合起来, 协调运行实现自动化控制。某些生产过程已经实现了多机联动的自动化控制, 生产设备实现了合理化, 生产力大幅度提高。

图 7-10 所示是一种多原料配料输送装置, 由几台振动给料机和一条传送带组成。该装置由多台变频器协调传动, 各变频器之间的关系由可编程序控制器 (PLC) 来协调, 它可以完成



原料配比的自动调整和输送速度与给料量之间的自动协调。这种给料装置是熔炼炉的矿石配料输送系统或家畜饲料生产设备中不可缺少的环节。天津市津酒集团的一条灌装生产线，其控制系统与前述系统相似，将刷瓶、灌装、压盖几道工序分别由多台变频器协调传动，极大地提高了生产率。

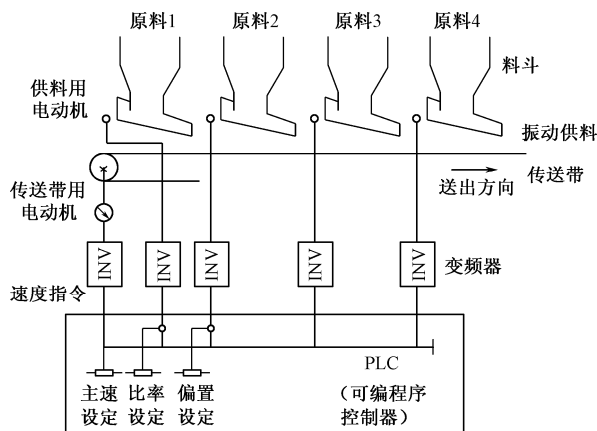


图 7-10 一种多原料配料输送装置

用一台变频器同时控制多台电动机，是 U/f 控制型通用变频器的一大特长。例如，轧钢厂中钢坯或成品的输送车轱道就是用一台变频器传动多台异步电动机，而化纤厂中的计量泵，则是用一台变频器传动多台同步电动机同步旋转的例子。

2. 机械装置的简单化、标准化

以传统的工业洗衣机为例，原来的洗涤、清洗和脱水等不同工艺环节，由于转速差别较大，同一台洗衣机常需要 2~3 台电动机按时间顺序切换运行。如果改用变频器传动，由于转速调节范围很宽，用一台电动机就够了，机械结构可以相应地得到简化。

另外，我国电网的频率与世界上一些国家（如日本、美国）电网频率不同，我国工业电网频率为 50Hz，而日本的电网频率为 60Hz，在电动机的选用和机械装置的设计上都有所区别。如果采用变频传动，在新引进这些国家的某些生产线时，不必改变机械设备的结构和电动机型号，即在不同的电网频率下，也可以实现可靠的调速传动运行。

3. 运行可靠性的提高

交流变频调速较之直流电动机调速可靠性大大提高，目前的通用变频器，由于软件功能的充实，保护功能特别完善。对于电源瞬时停电和因噪声干扰引起的一次性异常，变频器可以自动诊断故障的来源，同时利用故障后再启动功能在不停车的情况下进行再启动。再启动成功后，故障的原因存储在内部存储器中，随时调出，可以显示故障原因以供分析和处理。

这些具有的智能化功能使运转可靠性大大提高，可以保证生产的连续性，甚至可以实现夜间无人运转。



7.1.5 适应或改善环境

对环境的适应性强,并且对环境引起的公害小,是变频器传动的又一特点。

1. 对环境的适应性

某些有易爆危险性气体和可燃性溶剂的生产设备,其传动应采用防爆电动机,其他易燃、易爆场合的传动也应如此。在这些场合选用笼形异步电动机制成防爆结构,再配以变频器构成交流变频器调速系统,形状结构简单,价格便宜,宽范围平滑调速,运行可靠,这是任何直流调速系统都不可比拟的。

另外,有腐蚀性气体的场合、户外、极度潮湿的场合或者潜水电机的调速传动,一般都采用各种特殊型号的笼形异步电动机,调速传动时变频器也大有用武之地。

2. 静音化

新一代的通用 PWM 式变频器,其逆变电路的开关器件已由 IGBT (或 MOSFET) 取代了老式的 GTR,将载波频率提高到 10~15kHz,极大地降低了噪声,电动机的运行声音已经接近于接在工频电网上运行的情况,即变频器传动实现了“静音化”。

当前,在自动化领域中,“现场总线控制技术”已成为最热点之一,而由变频器控制的交流电动机是总线控制系统中的一个基本“执行单元”(节点),现在通用变频器中均有 RS-485 或 RS-232 通信接口,无论哪种类型的总线结构,变频器与之相配合的异步电动机,总是这些总线中不可缺少的一部分,变频器为满足总线的要求,也正在朝智能化方向发展。可以说变频器的应用,为控制系统向网络化方向发展提供了坚实的基础。

7.2 应用变频器的技术优势

【知识目标】 了解应用变频器传动的技术优势。

了解变频器传动产生的应用效能。

在工业生产中应用变频器控制电动机运行,其技术优势是传统的任何控制方式(如继电器—接触器控制、电磁离合器控制等)不可比拟的。变频器的应用效能及技术内容可以从以下几个方面体现。

1. 原有恒速运行的异步电动机的调速控制

应用变频器可以方便地改变异步电动机的频率和电压,实现调速运行。节能用途是这种情况的典型例子。需要注意的是:对标准型电动机,低速时散热能力变差,这是由于电动机轴上起冷却作用的风扇转速变慢所致,这就需要应用变频器所具有的电子热保护功能,以便切实地对电动机实行保护。

2. 实现软启动、软停机并且可实现频繁启停

笼形异步电动机在工频条件下,启动电流是额定电流的 5~7 倍,电动机的容量越大,启动时对电网的影响越大。利用变频器采用变频启动或停车,可以预先设定加、减速时间



(0.1~6 000s), 并且可以在较小的电流条件下实现软启动, 从而减小对电网的影响并降低电动机发热。需要注意的是: 加、减速时的动态转矩不足, 为了顺利而可靠地完成启动程序, 变频器均具有自动转矩提升功能和加、减速过程中的防失速功能。

3. 不用接触器方便地实现正、反转控制

在变频器中利用逆变电路中电力电子器件 (IGBT) 的开关功能, 实现电动机正、反转的切换控制是很容易的, 避免了使用主电路接触器进行机械切换的弊端, 可以可靠地实现正、反转之间的联锁。

特别是起重机、小型提升机的应用场合, 由于有的变频器已经把“起重机专用软件”存在其软件库中了, 因而起重机的程序控制用开关器件均可以省掉, 得到一种可靠性高而廉价的传动装置。

4. 可方便地实现电气制动

变频器传动时很容易实现电动机的电气制动。在很多情况下, 例如水平传送带、风机、起重机和斜面传送带的应用中, 为产生静止时的保持转矩, 变频器应与机械式制动器配合使用。

电气制动包括动力制动、电源再生制动和直流制动三种制动方式。当变频器的输出频率为零时, 电动机就处于直流的能耗制动状态。一般情况下, 某些机床、大型起重机、高速电梯等为了有效地利用再生电能常采用电源再生制动方式, 小型升降机等则采用电路结构相对简单的动力制动 (采用制动电阻) 方式。制动频繁度很低的一类生产机械, 当仅要求停车时, 也可以采用全范围直流制动方式。

5. 可实现恶劣环境下电动机的调速运行

电磁转差调速电动机和直流电动机一般难以用到环境恶劣的场合。这项功能使得用防爆电动机在技术上的复杂性大大降低。在一般情况下可采用通用笼形异步电动机, 特殊情况下可以选用防爆型、防水型、户外型等特殊类型电动机。需要注意的是: 防爆型电动机与变频器配合时, 禁止采用非变频器专用的防爆电动机 (用于工频的普通防爆电动机, 不经认证不能用于变频传动)。

6. 实现高频电动机的高速运行

在超精密加工和高性能机械区域中常常要用高速电动机, 为了满足高速电动机驱动的需要, 出现了采用 PAM 控制方式的高速电动机驱动用变频器。这类变频器的输出频率可以达到 3kHz, 驱动两极异步电动机时, 电动机的最高速可以达到 180 000r/min。

在高速电动机由高频变频器驱动的场所, 变频器的压频关系应该按高速电动机固有的 U/f 关系来决定。如果将通用异步电动机升速运行, 有必要校核电动机的机械强度。

7. 单台变频器的多电动机调速运行

变频器的多电动机传动方式, 是用一台变频器同时为多台电动机供电, 多用于轧钢的辊道和纤维机械中的卷筒等的传动。电动机可以采用异步电动机, 也可以采用同步电动机。各台电动机



的容量不必相同,但电动机的容量之和不得超过变频器的额定容量。如果采用异步电动机,各电动机的转速可能因为转差率不同而略有差异;而采用同步电动机时,各电动机的转速则完全相同。

多台同步电动机传动方式中,如果在运行中有一台电动机突然接入,则必须考虑新接入的电动机启动时和接近同步时的过大电流对运行中的其他电动机的冲击。

8. 电网的功率因数可以保持较高的值

变频器中的整流电路,采用三相全波整流将交流电变换成直流电,电流的相位基本没有滞后,较之电动机直接接到电网上,电网的功率因数要高得多,基本上接近 1。变频器的电源侧功率因数在低速时有所减小。图 7-11 所示为采用二极管整流器的 PWM 变频器的输入功率因数特性。图 7-12 所示为采用晶闸管整流器的 PWM 变频器的输入功率因数特性。

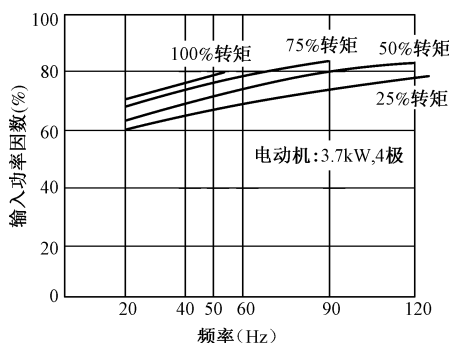


图 7-11 采用二极管整流器的 PWM 变频器的输入功率因数特性

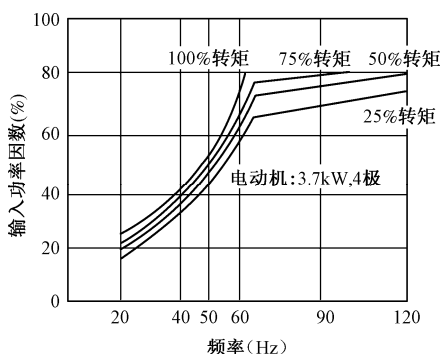


图 7-12 采用晶闸管整流器的 PWM 变频器的输入功率因数特性

应该注意的是:电动机的输入侧(变频器的输出端)不能接改善功率因数用电容器,因为电容器可流入过大的高次谐波电流,并因此而损坏。

7.3 通用变频器的主要功能

【知识目标】 了解通用变频器控制系统的功能。

掌握变频器中的频率设定功能。

掌握变频器与运行方式有关的功能。

了解变频器与状态监测有关的功能及其他功能。

经历了近 20 年的发展历程,变频器的功能不断丰富,性能不断提高。在本节中将以通用型变频器为例,按其用途将变频器的主要功能进行分类并加以简单说明。

7.3.1 系统所具有的功能

为了构成系统,变频器必须具有以下功能。

1. 全区域自动转矩补偿功能

由于电动机转子绕组中阻抗的作用,当采用 U/f 控制方式时,在电动机的低速区域将出现



转矩不足的情况。因此，为了在电动机进行低速运行时对其输出转矩进行补偿，在变频器中采取了在低频区域提高 U/f 值的方法。这种方法称为变频器的转矩补偿功能或转矩增强功能。

所谓全区域全自动转矩补偿功能，指的是变频器在电动机的加速、减速和稳定恒速运行的所有区域中，可以根据负载情况自动调节 U/f 值，对电动机的输出转矩进行必要的补偿。

2. 防失速功能

变频器的防失速功能包括加速过程中的防失速功能、恒速运行过程中的防失速功能和减速过程中的防失速功能 3 种。

加速过程和恒速运行过程中的防失速功能的基本作用是：当由于电动机加速过快或负载过大等原因出现过电流现象时，变频器将自动降低变频器的输出频率，以避免变频器因为电动机过电流而出现保护电路动作和停止工作的情况。

对于电压型变频器来说，由于在电动机的减速过程中回馈能量将使变频器直流中间电路的电压上升，并有可能出现因保护电路动作带来的变频器停止工作的情况。减速过程中防失速功能的基本作用是：在电压保护电路未动作之前暂时停止降低变频器的输出频率或减小输出频率的降低速率，从而达到防止失速的目的。

对于具有上述防失速功能的变频器来说，即使在变频器的加速或减速时间设置过短的场合也不会出现过电流、失速或者变频器跳闸的现象，所以可以充分保证变频器驱动能力的发挥。

3. 过转矩限定运行

过转矩限定运行功能的作用是对机械设备进行保护和保证运行的连续性。利用该功能可以对电动机的输出转矩极限值进行设定，使得当电动机的输出转矩达到该设定值时，变频器停止工作并给出报警信号。

4. 无速度传感器简易速度控制功能

无速度传感器简易速度控制功能的作用是为了提高通用变频器的速度控制精度。当选用该功能时，变频器将通过检测电动机电流而得到负载转矩，并根据负载转矩进行必要的转差补偿，从而达到提高速度控制精度的目的。利用该功能通常可以使速度变动率得到 $1/5 \sim 1/3$ 的改善。在利用该功能时，为了能够正确地进行转差补偿，必须将电动机的空载电流和额定转差等参数事先输入变频器。因此，必须对每台电动机分别进行设定。

5. 带励磁释放型制动器电动机的运行

带励磁释放型制动器电动机的运行功能的作用是为了使变频器能够对带励磁释放型制动器的电动机进行可靠驱动和调速控制。对于起重机、自动仓库等负载来说，为了达到防止滑落和进行稳定可靠的停止的目的，需要使用带励磁释放制动器的电动机。为了与这种电动机进行有效配合，在变频器低频区提高输出电压的同时，设定一个防止电动机长时间流过饱和电流的区域，以保证在使用这种电动机时

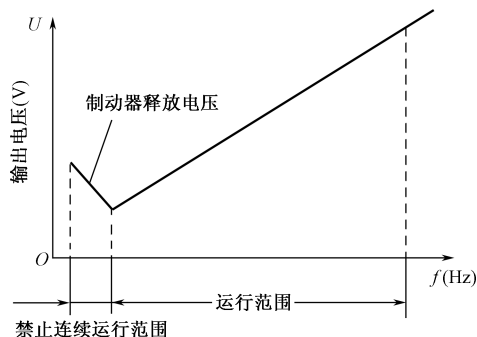


图 7-13 带励磁释放型制动器电动机的运行



制动器能够被可靠释放，如图 7-13 所示。

6. 减少机械振动，降低冲击的动能

减少机械振动，降低冲击的动能主要用于机床、传送带和起重机等，其作用是为了达到减少机械振动，降低冲击，保护机械设备和提高产品质量的目的。这些功能包括对 U/f 和转矩补偿值进行调节，选择 S 形加/减速模式，选择停止方式，对载频进行调节，对电动机参数设定值进行调节，设定跳跃频率等。

表 7-3 所示为通用变频器减轻冲击和减少机械振动的方法。

表 7-3 通用变频器减轻冲击和减少机械振动的方法

目 的	作 用	变频器操作
减轻 冲击	降低产生的转矩	对 U/f 进行调节、切换
	增加产生的转矩	调节转矩
	减轻加速时的冲击	选择 S 形加/减速模式，并适当设定加速时间
	减轻减速时的冲击	选择 S 形加/减速模式，并适当设定减速时间
减少 振动	调节输出频率	调节速度上、下限和增益
	调节速度控制增益	改变电动机参数设定值
	避免产生共振	合理设置跳跃频率

7. 运行状态检测显示

运行状态检测显示功能主要用于检测变频器的工作状态，根据工作状态设定机械运行的互锁，对机械进行保护并使操作者及时了解变频器的工作状态。

表 7-4 所示为这类功能的名称和内容。

表 7-4 运行状态检测显示

名 称	内 容
运行中信号	在电动机运行时为“闭合”状态，可以作为与停止状态进行互锁的信号
零速信号	当输出变频器在最低频率以下时可为“闭合”状态，可以作为机床的送刀、反转信号
速度一致信号	当频率指令（速度指令）和输出频率一致时为“闭合”状态，可以作为切削等用途时的互锁信号
任意速度一致信号	仅在和任意速度一致时才成为“闭合”状态
输出频率检测（1）	输出频率高于设定频率时成为“闭合”状态
输出频率检测（2）	输出频率低于设定频率时成为“闭合”状态
过转矩信号	当电动机产生的转矩超过设定的过转矩检测值时成为“闭合”状态，用于检测机床刀具磨损和过载检测，主要用作机械保护的互锁信号
低电压信号	当变频器检测出电压过低，并切断输出时成为“闭合”状态，当外部采用了停电对策时，可以作为停电检测继电器使用
基极遮断信号	当变频器的输出被切断时处于“闭合”状态
频率指令急变检测	当检测出频率指令发生设定值的 10% 以上的急变时成为“闭合”状态，主要用于检测上位 PLC 异常



8. 出现异常后的再启动功能

变频器的这项功能的作用是：当变频器检测到某些系统异常时将进行自我诊断和再试，并在这些异常消失后自动进行复位操作和启动，重新进入运行状态。具有这项功能的变频器在系统发生某些轻微异常时无须使系统本身停止工作，所以可以达到增加系统可靠性和提高系统运行效率的目的。

由于在进行自我诊断的过程中变频器处于停止输出的状态，在此过程中电动机的转速将会有一定程度的降低。对于这种速度降低，变频器将通过自己的自寻速功能对电动机的实际转速进行检测后输出相应的频率，直至电动机恢复原有的速度。

通常用户可以根据需要设定 10s 以内的再试次数。

9. 通过外部信号对变频器进行启/停控制

变频器通常都还具有通过外部信号强制性地使变频器停止工作的功能，这类功能包括：

① 外部基极遮断信号接点。通过外部基极遮断信号接点的外部信号可以强制性地关断变频器逆变电路的基极（门极）信号，使变频器停止工作。在这种情况下，电动机将自由减速停止。

② 外部异常停止信号接点。当被驱动的机械设备出现异常时，也可以利用外部异常停止信号接点的外部信号强制性地使变频器停止工作。在这种情况下可以将电动机的停止模式选为控制频率减速停止模式或自由减速停止模式。

7.3.2 频率设定功能

变频器中与频率设定有关的功能主要有以下内容。

1. 多级转速设定功能

多级转速设定功能又称多段速度运行设定功能，可以使电动机以预定的速度按一定的程序运行。用户可以通过对多功能端子的组合选择记忆在内存中的频率指令，其速度图如图 7-14 所示。与用模拟信号设定输入频率相比，采用此种控制方式时，可以达到对频率进行精确设定和避免噪声影响的目的。此外，该功能还为和 PLC 进行连接提供了方便的条件，并可以通过极限开关（行程开关或限位开关）实现简易位置控制。

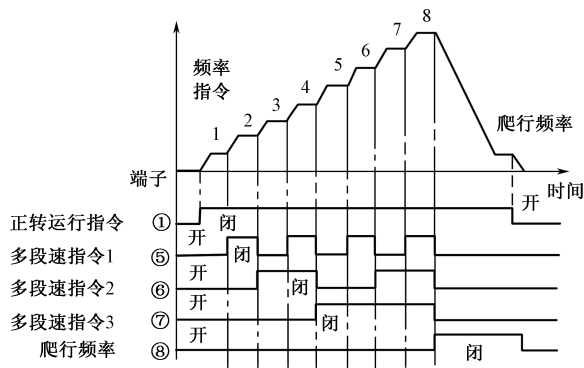


图 7-14 频率设定的速度图



2. 频率上、下限设定功能

频率上、下限设定功能是为了限制电动机的转速，从而达到保护机械设备的目的而设置的。它设置频率指令的上、下限，并规定了相对于频率设定值的偏置量和增益，如图 7-15 所示。

3. 特定频率设定禁止功能（频率跳跃功能）

由于在进行调速控制的过程中，机械设备在某些频率上可能因与系统的固有频率形成共振而造成较大振动，应该避开这些共振频率，以防止机械系统发生共振。特定频率设定禁止功能的工作状态如图 7-16 所示。

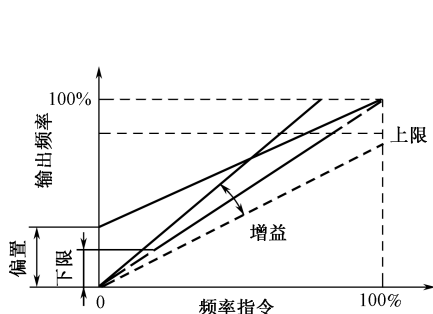


图 7-15 频率指令上、下限及信号偏置、增益设定功能

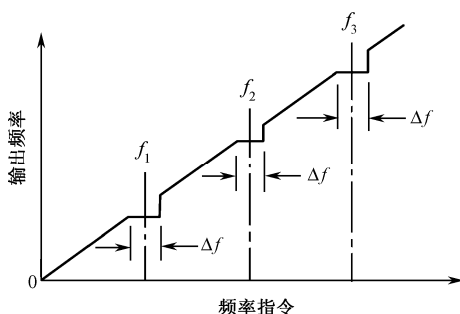


图 7-16 特定频率设定禁止功能的工作状态

4. 指令丢失时的自动运行功能

指令丢失时的自动运行功能的作用是：当模拟频率指令由于系统故障等原因急剧减少时，可以使变频器按照原设定频率 80% 的频率继续运行，以保证整个系统正常工作。

5. 频率指令特性反转功能

为了和检测仪器等配合使用，某些变频器中还设置了将输入频率特性进行反转的功能，如图 7-17 所示。

6. 禁止加/减速功能

为了提高变频器的可操作性，在加/减速过程中，可以通过外部信号使频率的上升/下降在短时间内暂时保持不变，如图 7-18 所示。

7. 加/减速时间切换

加/减速时间切换功能的作用是利用外部信号对变频器的加/减速时间进行切换，变频器的加/减速时间通常可以分别设为两种，并通过外部信号进行选择。该功能主要用于机械设备的紧急停止，用一台变频器控制两台不同用途的电动机，或在调速控制过程中对加/减速速率进行切换等，如图 7-19 所示。

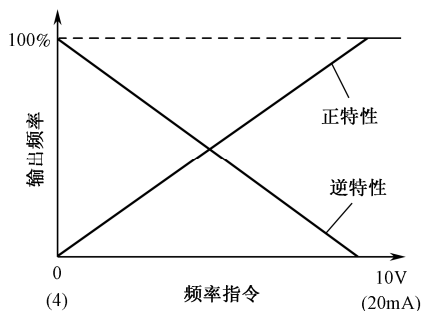


图 7-17 输入频率特性反转功能

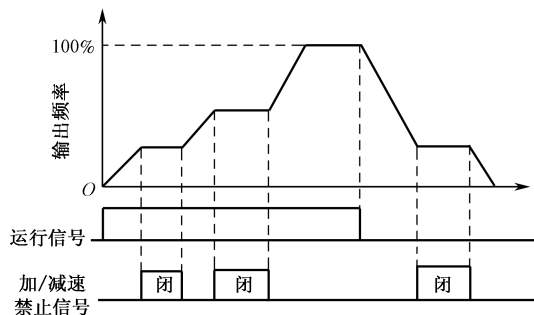


图 7-18 禁止加/减速功能

8. S 形加/减速功能

S 形加/减速功能的作用是为了使被驱动的机械设备能够进行无冲击的启/停和加/减速运行。在选择该功能时，变频器在接收到控制指令后，可以在加/减速的起点和终点使频率输出的变化成为弧形，从而达到减轻冲击的目的，如图 7-20 所示。

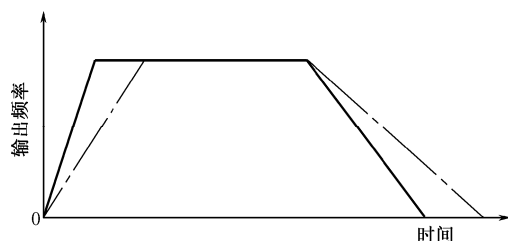


图 7-19 加/减速时间切换

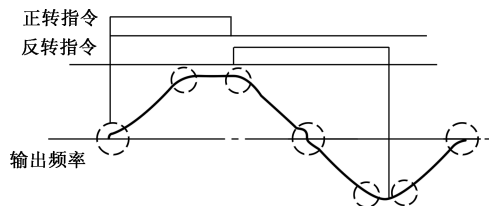


图 7-20 S 形加/减速功能

7.3.3 与运行方式有关的功能

与运行方式有关的功能包括以下内容。

1. 直流制动（DC 制动）停机

该功能的作用是不用机械制动器实现制动和准确停车。在变频器通过降低输出频率使电动机减速过程中，当频率减小到设定的 DC 制动起始频率时，电动机定子绕组通入直流电流，实现直流制动停机，其中 DC 制动电流 I_{DB} 、DC 制动时间 t_{DB} 、DC 制动起始频率 f_{DB} 都可以在控制面板上通过功能码人为设定。图 7-21 所示为直流制动停机特性。

2. 无制动电阻的直流制动快速停机

该功能的作用是：对于诸如高速刻纹机一类的高速轻载机械，不用制动电阻和机械闸实现快速停机。通常的做法是：通直流电的制动在高速时进行，其制动量（用暂载率 ED 表示）常小于 5%，此时制动力矩可达到 50%~70%。

3. 运行前的直流制动

对于泵、风机等机械设备来说，由于电动机本身有时处于在外力的作用下进行自由运行



的状态,其旋转方向不定。该功能能使此类电动机在启动前通过直流制动使其迅速停转,然后开始正常的调速控制。图 7-22 所示为运行前的直流制动特性。其中, f_{DB} 为启动频率, t_{DB} 为制动时间, I_{DB} 为制动电流。

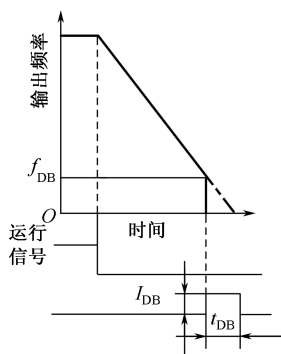


图 7-21 直流制动(DC 制动)停机特性

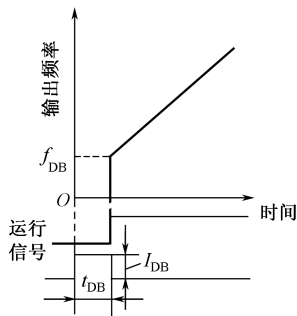


图 7-22 运行前的直流制动特性

4. 自寻速跟踪功能

此种功能又称为滑行再启动功能。对于风机、绕线机等惯性负载来说,当由于某种原因使变频器暂时停止输出时,电动机处于滑行状态,变频器可以在没有速度传感器的情况下,通过检测其残余电动势的频率,自动寻找电动机的实际转速,使变频器的输出频率自动与之适应,并且自动地按设定的加速时间加速到设定的转速,而无须等到电动机停止后再进行驱动。此种自寻速跟踪功能,使得瞬时停电再启动、故障后再启动的功能得到保证。

5. 瞬时停电后自动再启动功能

发生瞬时停电时,变频器仍然能够根据原定工作条件自动进入运行状态,从而避免进行复位、再启动等复杂操作,保证整个系统的连续运行。

该功能的具体实现是在发生瞬时停电时利用变频器的自寻速跟踪功能,使电动机自动返回预先设定的速度。一般通用变频器,当电源瞬时停电时间不大于 2s 时,可以保证不出现停机情况,而连续运行。

6. 电网电源/变频器切换运行功能

在用变频器进行调速控制时,变频器内部总是会有一些功率损失,所以在需要以电网电源频率进行较长时间的恒速驱动时,有必要将电动机由变频器驱动改为由电网电源直接驱动,从而达到节能的目的。与此相反,当需要对电动机进行调速驱动时,又需要将电动机由电网电源直接驱动改为由变频器驱动。而变频器的电网电源/变频器切换运行功能就是为了满足上述目的而设置的。

在需要将电动机由电网电源直接驱动改为由变频器驱动时要用到变频器的自寻速跟踪功能,以避免电流的冲击。



7. 节能运行

该功能主要用于冲压机械和精密机床，其目的是为了节能和降低振动。在利用该功能时，变频器在电动机的加速过程中将以最大输出功率运行，而在电动机进行恒速运行的过程中，则自动将功率降至设定值。图 7-23 所示为节能运行时的输出电压特性。

该功能对于实现精密机床的低振动化也很有效。

8. 多 U/f 选择功能

该功能的作用是用一台变频器分别驱动几台特性各异的电动机或者用变频器驱动变极电动机以得到较宽的调速范围。利用变频器的这个功能，可以根据电动机的不同特性设定不同的 U/f 值，然后通过功能输入端子进行选择驱动。该功能可以用于机床的驱动等。

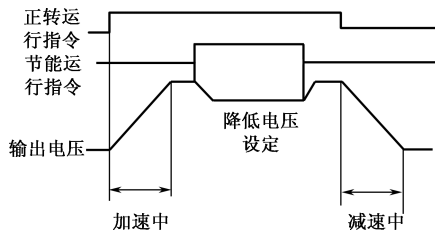


图 7-23 节能运行时的输出电压特性

7.3.4 与状态监测有关的功能

与状态监测有关的功能包括以下内容。

1. 显示负载速度

变频器的 LCD 显示窗（数字操作盒）除了可以显示变频器的输出频率外，还可以显示电动机的转速（r/min）、负载机械的转速（r/min）、线速度（m/min）和流量（m³/min）等内容。

2. 脉冲监测功能

变频器可以与数字计数器配合，准确地显示出变频器的输出频率。可能的显示方式为 1、6、10、12、36 倍的输出频率（由用户设定）。

3. 频率/电流计的刻度校正

该功能的作用是：当需要对接在模拟量监测端子上的输出频率计和输出电流计进行刻度校正时，可以不专门接入刻度校正用电阻，而只通过调节输出增益来达到进行刻度校正的目的。

4. LCD 显示窗（数字操作盒）的监测功能

通过 LCD 显示窗不但可以监测变频器的输出频率和电流，还可以检测输出电压、直流电压、输出功率、输入/输出端子的开闭状态、电动机电流及故障内容等。此外，利用 LCD 显示还可以很容易地检测机械设备的运行状态。即使在断电的情况下，LCD 显示窗仍可以通过记忆功能保持已发生异常的内容和顺序。变频器的检测功能使操作者可以很容易地掌握变频器和系统的运行状态，并在系统发生故障时，容易查找故障的原因并及时排除故障。



7.3.5 其他功能

变频器的其他功能包括以下内容。

1. 载波频率设定功能

该功能的作用主要是通过适当地调节逆变器 PWM 的载波频率,降低电动机和机械装置的运行噪声,避免共振现象。如图 7-24 所示,载波频率和输出频率的关系可以通过调整最低频率和增益来实现。

2. 高载波频率运行

变频器中主开关器件采用 IGBT 及其他高频率开关器件时,可以提高载波频率,实现“静音”控制。如图 7-25 所示为富士变频器中采用功率晶体管与采用 IGBT 作为开关器件时产生噪声的比较图。

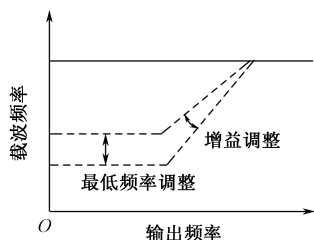


图 7-24 载波频率和输出频率的调整

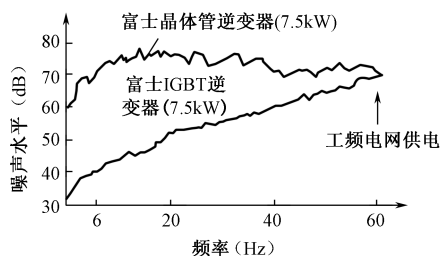


图 7-25 噪声比较图

3. 平滑运行

在新型变频器中,通过提高载频等方法,使变频器的输出电流更趋近正弦波,尤其在低速状态下,使电动机的转矩脉动减轻,达到平滑运行的目的。在不同载波频率下电动机旋转平稳性比较如图 7-26 所示。

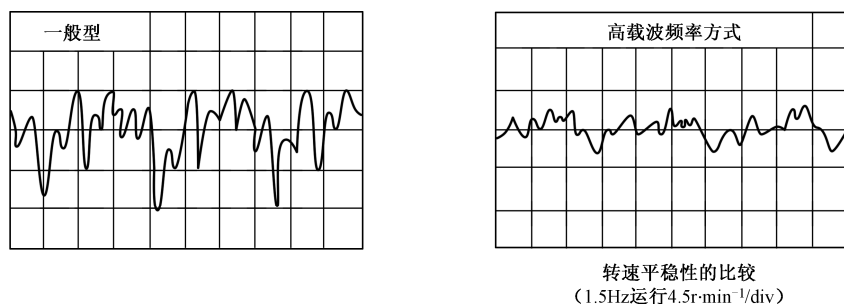


图 7-26 电动机旋转平稳性比较

4. 全封闭结构

为了使变频器能够在恶劣的环境下使用,某些变频器采用了将散热片移至变频器箱体之

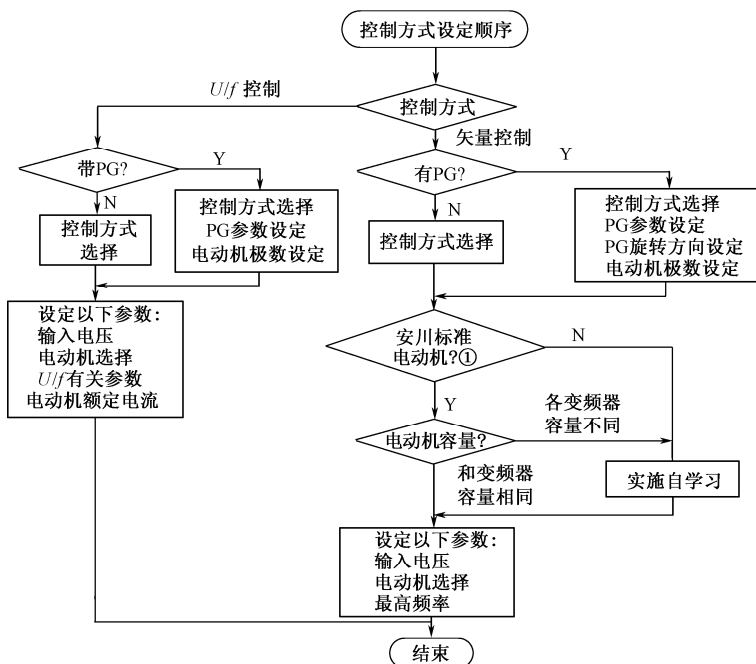


外安装的全封闭结构，以保证变频器内部不受外部环境的影响。

*7.3.6 多控制方式

近两年，通用变频器产品出现了一种“多控制方式”的趋势。西门子公司的 SIMOVERT MASTERDRIVES-6SE70 系列、安川公司的 VS-616G5 系列等都属于“多控制方式”通用变频器。在这里以 VS-616G5 为背景，从总体概念上介绍此类变频器的功能。

它有四种控制方式可供选用：无 PG（速度传感器） U/f 控制方式；有 PG U/f 控制方式；无 PG 矢量控制方式；有 PG 矢量控制方式。这是全数字控制技术不断发展而获得的硕果。四种控制方式的性能与应用见表 7-5，由表中可知，这种“多控制方式”通用变频器的性能可以满足多数工业传动装置的需要。变频器出厂时，厂家将其控制方式设定在无 PG 矢量控制方式下。用户根据自己的需要，可以改变这种设置。投入使用之前，可以按图 7-27 所示的顺序，设定变频器的控制方式和电动机的有关参数。



注：①安川标准（普通）电动机是指无PG全封闭外扇FEF、FEQ型4极电动机

图 7-27 控制方式设定顺序

表 7-5 四种控制方式的性能与应用

控制方式	无 PG U/f 控制	有 PG U/f 控制	无 PG 矢量控制	有 PG 矢量控制
基本控制	电压/频率控制	带速度补偿电压/频率控制	无 PG 电流矢量控制	有 PG 电流矢量控制
速度检测器	不要	要（编码器）	不要	要（编码器）
速度检测用可选件	不要	PG-A2 或 PG-D2	不要	PG-B2 或 PG-X2
速度控制范围	1:40	1:40	1:100	1:1 000
启动转矩	150%/3Hz	150%/3Hz	150%/1Hz	150%/0Hz