

SHANGGANG
QINGSONGXUE

上岗轻松学

图解

变频器技术

快速入门

双色印刷

数码维修工程师鉴定指导中心 组织编写
韩雪涛 主编

超值赠送
50积分
学习卡

全程技能图解

维修要点难点一目了然

专家亲身讲授

教练式手把手现场演练

知识全面覆盖

各类故障及排除技巧尽在其中

超值跟踪服务

操作视频、技术答疑一网打尽



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



上岗轻松学

数码维修工程师鉴定指导中心 组织编写

图解

变频器技术

快速入门

主 编 韩雪涛
副主编 吴 瑛 韩广兴



机械工业出版社

本书完全遵循国家职业技能标准和电工领域的实际岗位需求,在内容编排上充分考虑变频器技术特点和技能应用,按照学习习惯和难易程度将变频器实用技能划分为8个章节,即:变频器的功能应用和结构特点、变频电路中的主要部件、变频电路的结构形式和工作原理、变频器的安装与连接训练、变频器的操作与调试训练、变频器的检测与代换训练、变频电路在制冷设备中的应用、变频电路在工业设备中的应用。

学习者可以看着学、看着做、跟着练,通过“图文互动”的全新模式,轻松、快速地掌握变频技术应用技能。

书中大量的演示图解、操作案例以及实用数据可以供学习者在日后的工作中方便、快捷地查询使用。另外,本书还附赠面值为50积分的学习卡,读者可以凭此卡登录数码维修工程师的官方网站获得超值服务。

本书是电工的必备用书,还可供从事电工电子行业生产、调试、维修的技术人员和业余爱好者学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

图解变频器技术快速入门/韩雪涛主编;数码维修工程师鉴定指导中心组织编写. — 北京:机械工业出版社,2016.6

(上岗轻松学)

ISBN 978-7-111-53755-7

I. ①图… II. ①韩… ②数… III. ①变频器—图解 IV. ①TN773-64

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第103823号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:陈玉芝 责任编辑:王振国

责任校对:张晓蓉 责任印制:李洋

保定市中华美凯印刷有限公司印刷

2016年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm·13.75印张·260千字

0001—4000册

标准书号:ISBN 978-7-111-53755-7

定价:39.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网:www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com



编委会

主 编 韩雪涛

副主编 吴 瑛 韩广兴

参 编 梁 明 宋明芳 周文静 安 颖

张丽梅 唐秀鸯 张湘萍 吴 玮

高瑞征 周 洋 吴鹏飞 吴惠英

韩雪冬 王露君 高冬冬 王 丹

前言

变频器实用技能是电工电子领域必不可少的一项专项、专业、基础、实用技能。该项技能的岗位需求非常广泛。随着技术的飞速发展以及市场竞争的日益加剧，越来越多的人认识到掌握变频器实用技能的重要性，学习者更加注重掌握变频器的技术特点，变频控制电路的设计应用及变频器安装、调试、维护等实用操作技能。然而，目前市场上很多相关的图书仍延续传统的编写模式，不仅严重影响学习的时效性，而且在实用性上也大打折扣。

针对这种情况，为使电工快速掌握变频技术及应用，以应对岗位发展的需求，本书对变频器的结构原理、功能应用及实用变频控制电路进行了全新的梳理和整合，结合岗位培训的特色，根据国家职业技能标准要求组织编写构架，力求打造出具有全新学习理念的变频器技术入门图书。

在编写理念方面

本书将国家职业技能标准与行业培训特色相融合，以市场需求为导向，以直接指导就业作为图书编写的目标，注重实用性和知识性的融合，将学习技能作为本书的核心理念。书中的知识内容完全为技能服务，知识内容以实用、够用为主。全书突出操作，强化训练，让学习者阅读图书时不是在单纯地学习内容，而是在练习技能。

在编写形式方面

本书突破传统图书的编排和表述方式，引入了多媒体表现手法，采用双色图解的方式向学习者演示变频器实用技能，将传统意义上的以“读”为主变成以“看”为主，力求用生动的图例演示取代枯燥的文字叙述，使学习者通过二维平面图、三维结构图、演示操作图、实物效果图等多种图解方式直观地获取实用技能中的关键环节和知识要点。本书力求在最大程度上丰富纸质载体的表现力，充分调动学习者的学习兴趣，达到最佳的学习效果。

在内容结构方面

本书在结构的编排上，充分考虑当前市场的需求和读者的情况，结合实际岗位培训的经验对变频器实用技能进行全新的章节设置；内容的选取以实用为原则，案例的选择严格按照上岗从业的需求展开，确保内容符合实际工作的需要；知识性内容在注重系统性的同时以够用为原则，明确知识为技能服务，确保图书的内容符合市场需要，具备很强的实用性。

在专业能力方面

本书编委会由行业专家、高级技师、资深多媒体工程师和一线教师组成，编委会成员除具备丰富的专业知识外，还具备丰富的教学实践经验和图书编写经验。

为确保图书的行业导向和专业品质，特聘请原信息产业部职业技能鉴定指导中心资深专家韩广兴担任顾问，亲自指导，使本书充分以市场需求和社会就业需求为导向，确保图书内容符合职业技能鉴定标准，达到规范性就业的目的。

在增值服务方面

为了更好地满足读者的需求,达到最佳的学习效果,本书得到了数码维修工程师鉴定指导中心的大力支持,除提供免费的专业技术咨询外,还附赠面值为50积分的数码维修工程师远程培训基金(培训基金以“学习卡”的形式提供)。读者可凭借学习卡登录数码维修工程师的官方网站(www.chinadse.org)获得超值技术服务。该网站提供最新的行业信息,大量的视频教学资源、图样、技术手册等学习资料以及技术论坛。用户凭借学习卡可随时了解最新的数码维修工程师考核培训信息,知晓电子、电气领域的业界动态,实现远程在线视频学习,下载需要的图样、技术手册等学习资料。此外,读者还可通过该网站的技术交流平台进行技术与咨询。

TAO TAO
面值:50积分

学习卡

- ◆ 网络远程培训
- ◆ 教学资料下载
- ◆ 最新资讯阅读
- ◆ 技术问题交流
- ◆ 资格考核认证
- ◆ 职业导师指导

登录官方网站: www.chinadse.org

数码维修工程师?

职业资格认证 + 专业教学辅导 + 全面技术服务...

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

数码维修工程师鉴定指导中心
Digital Service Engineer Examination Center

卡号:
密码:

TAO TAO
面值:50积分

登录官方网站: www.chinadse.org

使用说明:

- ◆ 首次登陆数码维修工程师官方网站www.chinadse.org;
- ◆ 点击【会员中心】免费注册, 注册成为网站会员;
- ◆ 登录成功后, 点击页面左上方的【个人中心】;
- ◆ 点击【个人档案管理】; 点击左侧菜单栏的【我的充值】选项;
- ◆ 填写学习卡卡密区域的卡号、密码, 输入购买卡号, 点击【充值】按钮;
- ◆ 积分充值成功后, 就可以在题库里做题和资料。

【咨询电话: 022-83718162/83715667/13114807267 E-Mail: chinadse@126.com】

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

数码维修工程师鉴定指导中心
Digital Service Engineer Examination Center

本书由韩雪涛任主编,吴瑛、韩广兴任副主编,梁明、宋明芳、周文静、安颖、张丽梅、唐秀鸯、王露君、张湘萍、吴鹏飞、韩雪冬、吴玮、高瑞征、吴惠英、王丹、周洋、高冬冬参加编写。

读者通过学习与实践还可参加相关资质的国家职业资格或工程师资格认证,可获得相应等级的国家职业资格证书或数码维修工程师资格证书。如果读者在学习和考核认证方面有什么问题,可通过以下方式与我们联系。

数码维修工程师鉴定指导中心

网址: <http://www.chinadse.org>

联系电话: 022-83718162/83715667/13114807267

E-mail: chinadse@163.com

地址: 天津市南开区榕苑路4号天发科技园8-1-401

邮编: 300384

希望本书的出版能够帮助读者快速掌握变频器技术,同时欢迎广大读者给我们提出宝贵建议!如书中存在问题,可发邮件至cyztian@126.com与编辑联系!

编者

目 录

前言

第1章 变频器的功能应用和结构特点	1
1.1 变频器的功能应用	1
1.1.1 变频器的功能特点	2
1.1.2 变频器的实际应用	7
1.2 变频器的分类和结构	9
1.2.1 变频器的分类	9
1.2.2 变频器的结构	14
第2章 变频电路中的主要部件	22
2.1 变频电路中的晶闸管	22
2.1.1 单向晶闸管	22
2.1.2 双向晶闸管	24
2.1.3 门极关断晶闸管	26
2.1.4 MOS控制晶闸管	27
2.2 变频电路中的场效应晶体管	28
2.2.1 结型场效应晶体管	28
2.2.2 绝缘栅型场效应晶体管	30
2.3 变频电路中的其他功率器件	32
2.3.1 绝缘栅双极型晶体管	32
2.3.2 功率模块	34
第3章 变频电路的结构形式和工作原理	36
3.1 变频电路的结构形式	36
3.1.1 由智能变频功率模块构成的变频电路	36
3.1.2 由变频控制电路和功率模块构成的变频电路	37
3.1.3 由功率晶体管构成的变频电路	37
3.2 变频电路的工作特点	38
3.2.1 定频控制与变频控制	38
3.2.2 变频电路的控制过程	40
3.3 变频器中的电路组成与工作原理	43
3.3.1 变频器中的整流电路	43
3.3.2 变频器中的中间电路	52
3.3.3 变频器中的逆变电路	54
3.3.4 变频器中的转速控制电路	61
第4章 变频器的安装与连接训练	64
4.1 变频器的安装	64
4.1.1 变频器的安装环境	64
4.1.2 变频器的通风环境	67
4.1.3 变频器的避雷措施	70
4.1.4 变频器的安装空间	70
4.1.5 变频器的安装方向	71
4.1.6 两台变频器的安装排列方式	71
4.1.7 变频器的安装固定	72
4.2 变频器的连接训练	74
4.2.1 变频器的布线	74

4.2.2	变频器导线的连接标准	75
4.2.3	变频器导线的接地操作	75
4.2.4	变频器接线前的准备	78
4.2.5	变频器主电路的连接操作	86
4.2.6	变频器控制电路的连接操作	90

第5章 变频器的操作与调试训练92

5.1	三菱变频器的基本操作与调试训练	92
5.1.1	三菱变频器的操作说明	92
5.1.2	设定参数的操作训练	94
5.1.3	设定控制模式的操作训练	95
5.1.4	参数清除的操作训练	96
5.1.5	参数复制与核对的操作训练	98
5.1.6	报警历史确认的操作训练	100
5.1.7	变频器运行调试的操作训练	101
5.2	安川变频器的基本操作与调试训练	104
5.2.1	安川变频器的操作说明	104
5.2.2	设定参数的操作训练	106
5.2.3	用途选择设定的操作训练	107
5.2.4	设定控制模式的操作训练	108
5.2.5	电动机自动调谐的操作训练	109
5.2.6	变频器运行调试的操作训练	111
5.3	艾默生变频器的基本操作与调试训练	115
5.3.1	艾默生变频器的操作说明	115
5.3.2	设定参数的操作训练	121
5.3.3	状态参数切换显示的操作训练	122
5.3.4	参数复制的操作训练	124
5.3.5	设置密码的操作训练	125
5.3.6	电动机自动调谐的操作训练	126
5.3.7	变频器运行调试的操作训练	127

第6章 变频器的检测与代换训练132

6.1	变频器的故障特点	132
6.1.1	软故障特点	132
6.1.2	硬故障特点	135
6.2	变频器的故障诊断	138
6.2.1	常用变频器的故障代码	138
6.2.2	变频器的基本测量方法	145
6.3	变频器的检测训练	148
6.3.1	冷却风扇的检测训练	148
6.3.2	逆变电路的检测训练	149
6.3.3	三相桥式整流堆的检测训练	152
6.3.4	平滑滤波电容的检测训练	154
6.3.5	变频器绝缘性能的检测训练	156
6.4	变频器的代换训练	157
6.4.1	变频器中冷却风扇的代换训练	157
6.4.2	变频器中平滑滤波电容的代换训练	158
6.4.3	变频器中逆变电路的代换训练	159
6.4.4	变频器整机的代换训练	161

第7章 变频电路在制冷设备中的应用162

7.1	典型制冷设备中的变频电路	162
7.1.1	变频电路与制冷设备的关系	162
7.1.2	制冷设备中变频电路的功能特点	164
7.2	制冷设备中的变频控制原理	167
7.2.1	空调器变频电路的结构原理	167
7.2.2	电冰箱变频电路的结构原理	171
7.3	制冷设备中变频电路的应用案例	173
7.3.1	海信KFR—4539(5039)LW/BP型变频空调器中的变频电路	173
7.3.2	海信KFR—25GW/06BP型变频空调器中的变频电路	176
7.3.3	长虹KFR—28GW/BC3型变频空调器中的变频电路	178
7.3.4	海信KFR—35GW型变频空调器中的变频电路	179
7.3.5	海信KFR—5001LW/BP型变频空调器中的变频电路	180
7.3.6	中央空调器中的变频电路	182
7.3.7	海尔BCD—248WBSV型变频电冰箱中的变频电路	186

第8章 变频电路在工业设备中的应用187

8.1	典型工业设备中的变频电路	187
8.1.1	变频电路与工业设备的关系	187
8.1.2	工业设备中变频电路的控制方式	189
8.1.3	工业设备中变频电路的控制过程	190
8.2	工业设备中变频电路的应用案例	193
8.2.1	变频电路在恒压供气系统中的应用	193
8.2.2	变频电路在单水泵恒压供水变频电路中的应用	198
8.2.3	变频电路在数控机床中的应用	204
8.2.4	变频电路在物料传输中的应用	207

第1章 变频器的功能应用和结构特点



1.1 变频器的功能应用

第1章

变频器是一种利用逆变电路的方式将工频电源（恒频恒压电源）变成频率和电压可变的变频电源，进而对电动机进行调速控制的电器装置。

目前，大多节能型智能化数控系统中都采用变频器作为重要的起动和控制设备，与相关电气部件按控制要求安装在系统硬件控制箱（柜）中。

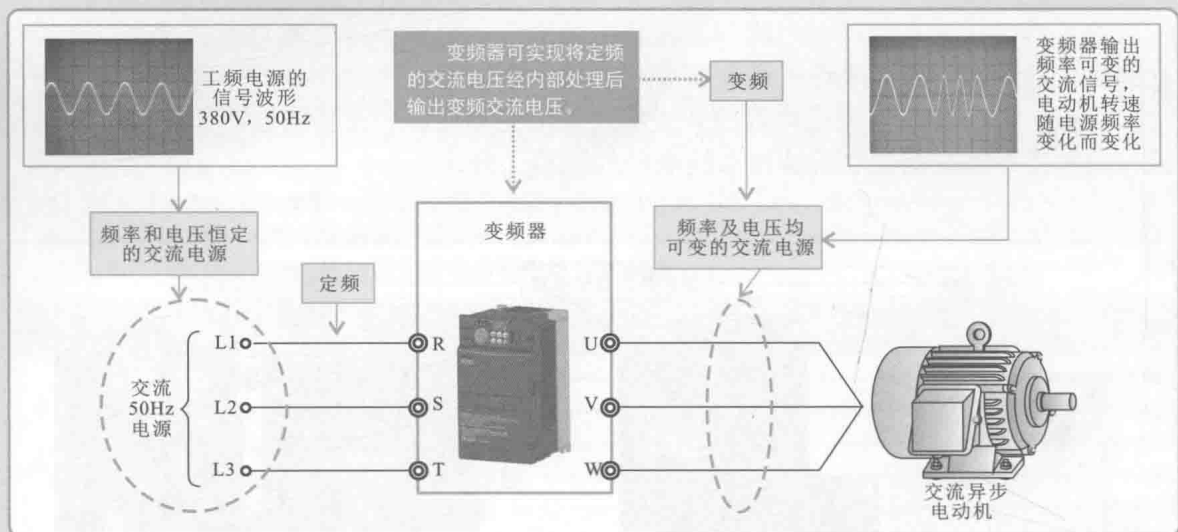
【变频器及变频控制箱（柜）】



1.1.1 变频器的功能特点

变频器主要用于需要调整转速的设备中，既可以改变输出电压，又可以改变频率（即可改变电动机的转速）。

【变频器的功能应用】

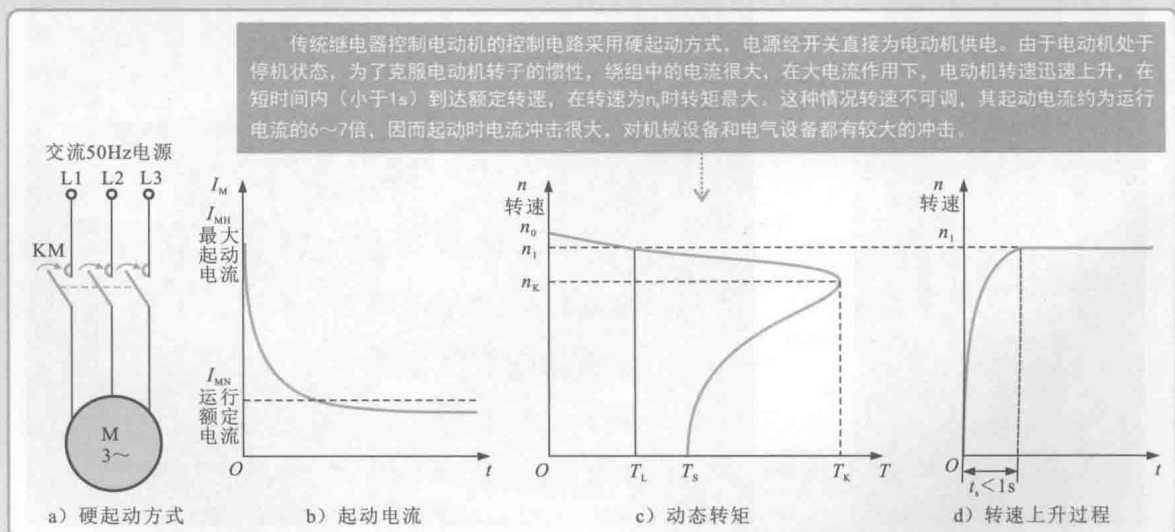


变频器是一种集起停控制、变频调速、显示及按键设置功能、保护功能等于一体的电动机控制装置。

1. 变频器的软起动功能

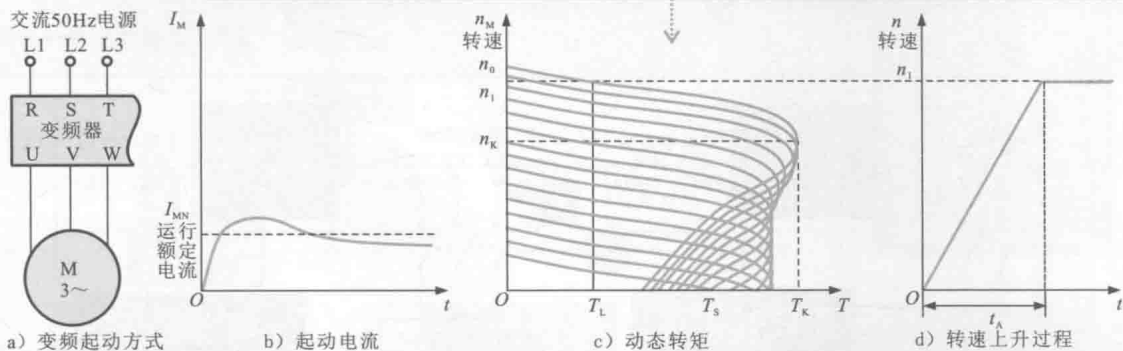
变频器具备最基本的软起动功能，可实现被控负载电动机的起动电流从零开始，最大值也不超过额定电流的150%，减轻了对电网的冲击和对供电容量的要求。

【电动机在硬起动、变频器起动两种起动方式中其起动电流、转速上升状态的比较】



【电动机在硬起动、变频器起动两种起动方式中其起动电流、转速上升状态的比较（续）】

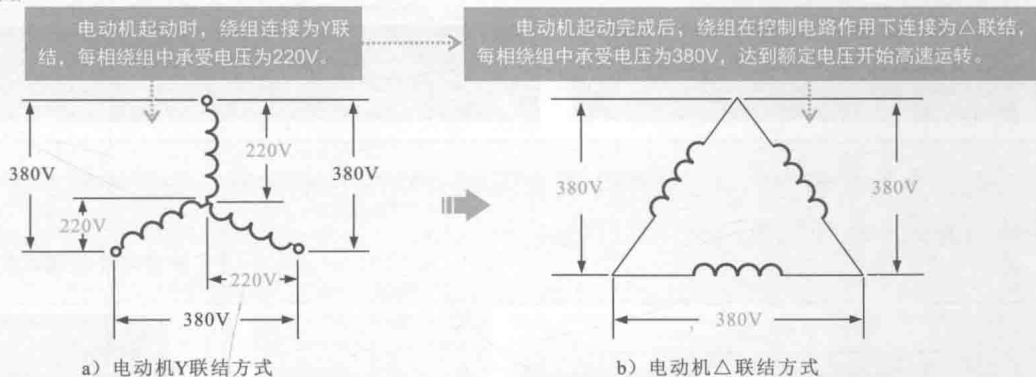
在变频器起动方式中，由于采用的是减压和降频的起动方式，使电动机起动的过程为线性上升过程，因而起动电流只有额定电流的1.2~1.5倍，对电气设备几乎无冲击作用，进入运行状态后，会随负载的变化改变频率和电压，从而使转矩随之变化，达到节省能源的最佳效果，这也是变频驱动方式的优势。



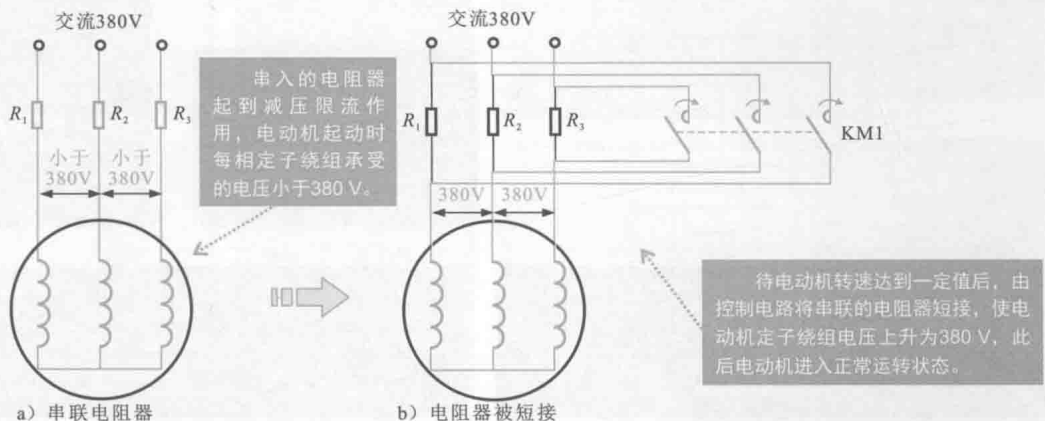
特别提醒

电动机硬起动会对电网造成严重的冲击，而且还会对电网容量要求过高，起动产生的大电流和振动时对相关零部件（挡板和阀门）的损害极大，对设备、管路的使用寿命极为不利。而使用变频节能装置后，利用变频器的软起动功能将使起动电流从零开始，最大值也不超过额定电流，减轻了对电网的冲击和对供电容量的要求，延长了设备（阀门）的使用寿命，节省了设备的维护费用。

传统的大中型电动机的硬起动方式通有Y-Δ减压起动、电阻器减压起动、自耦减压起动等多种方式。其中常见的电动机Y-Δ减压起动是指先由电路控制电动机定子绕组连接成Y联结方式进入减压运行状态，待电动机转速达到一定值后，再由电路控制定子绕组切换成Δ联结。



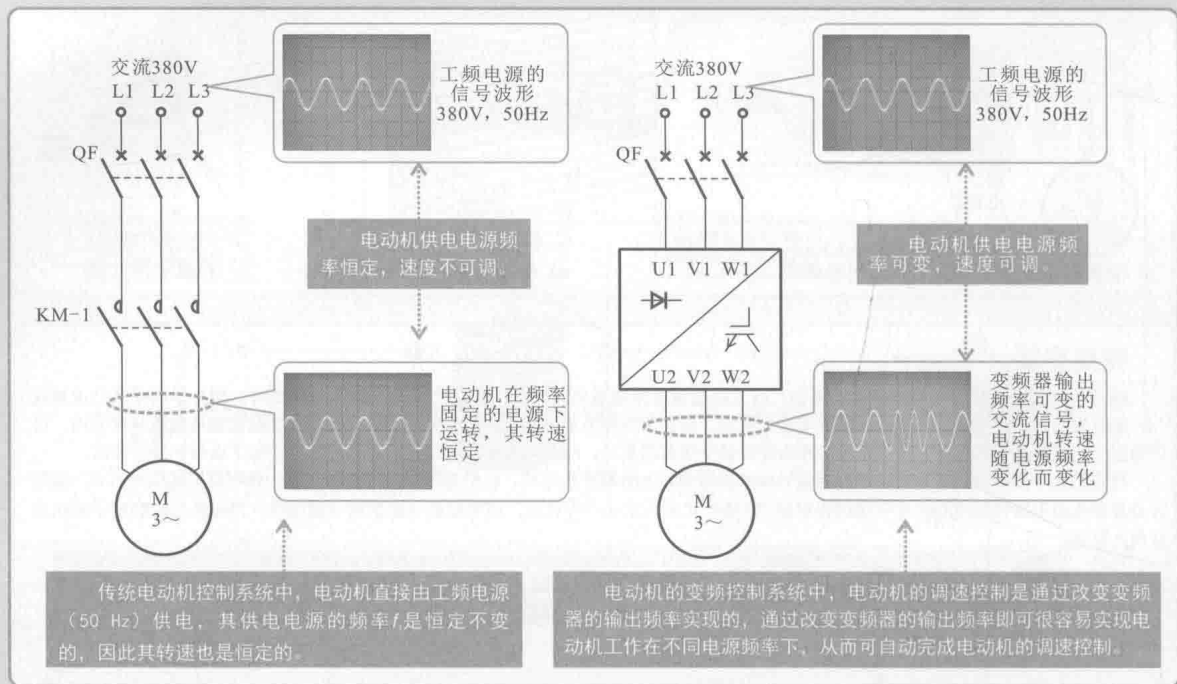
电动机电阻器减压起动时各相绕组所承受的电压值见下图。这种传统的减压起动方式可以减小电动机起动时的起动电流，但当电动机转为额定电压下运转时，即电动机绕组上的电压由较低电压上升到全电压，电动机的转矩会有一个跳跃，不平滑，因此电动机的每次起动或停机控制都会对电网以及机械设备有一定的冲击。



2. 变频器具有突出的变频调速功能

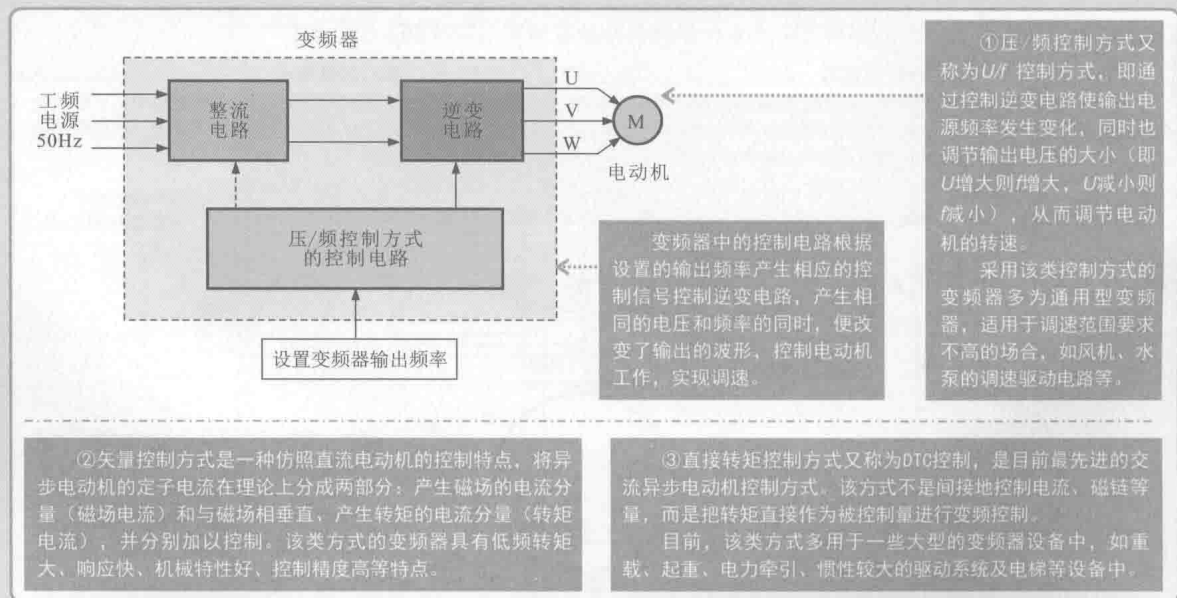
变频器具有调速控制功能。在由变频器控制的电动机电路中，变频器可以将工频电源通过一系列的转换使其输出频率可变，自动完成电动机的调速控制。

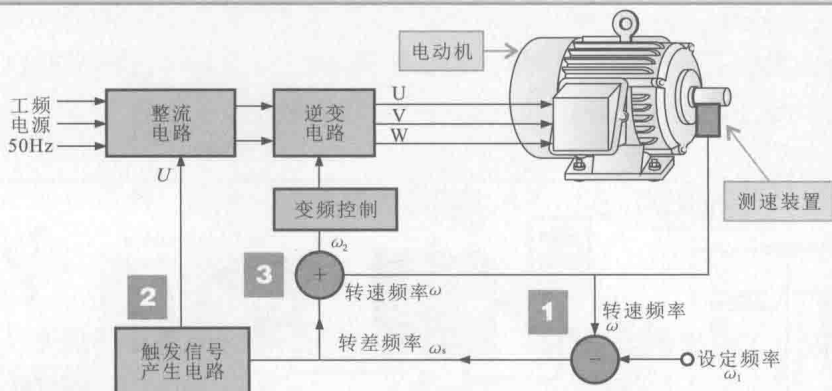
【变频器的变频调速功能】



目前，多数变频器的调速控制主要有压/频（ U/f ）控制方式、矢量控制方式、直接转矩控制方式和转差频率控制方式四种。

【变频器的变频调速控制方式】





转差频率控制方式又称为SF控制方式，采用测速装置检测电动机的旋转速度，与设定转速频率比较，根据转差频率控制逆变电路。
采用该类控制方式的变频器需要测速装置检出电动机转速，因此多为一台变频器控制一台电动机形式，通用性较差，适用于自动控制系统中。

1 测速装置检测出转子的转速频率 ω ，与用户初始设定的频率 ω_1 相减，得到转差频率 ω_e 。

2 一路经触发信号产生电路后，形成触发电压 U ，控制整流电路的输出电压。

3 另一路 ω_e 与测定的转速频率 ω 相加，得到变频器设定频率 ω_2 ，经变频控制电路后，输出控制信号，使逆变电路输出与设定频率相同的交流电压。

特别提醒

交流电动机转速的计算公式为

$$n = \frac{60f}{p}$$

其中， n 为电动机转速， f 为电源频率、 p 为电动机磁极对数（由电动机内部结构决定），可以看到，电动机的转速与电源频率成正比。

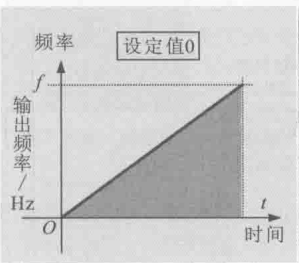
在普通电动机供电及控制电路中，电动机直接由工频电源（50Hz）供电，即其供电电源的频率 f 是恒定不变的，例如，若当交流电动机磁极对数 $p=2$ 时，可知其在工频电源下的转速为

$$n = \frac{60f}{p} = \frac{60 \times 50\text{Hz}}{2} = 1500\text{r/min}$$

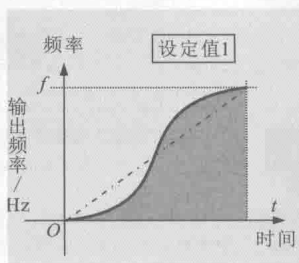
由变频器控制的电动机电路中，变频器可以将工频电源通过一系列的转换使输出频率可变，从而可自动完成电动机的调速控制。

在使用变频器对电动机进行调速控制时，变频器输出的频率和电压可从低频低压加速至额定的频率和额定的电压，或从额定的频率和额定的电压减速至低频低压，而加/减时的快慢可以由用户选择加/减速方式进行设定，即改变上升或下降频率，其基本原则是，在电动机的起动电流允许的条件下，尽可能缩短加/减速时间。

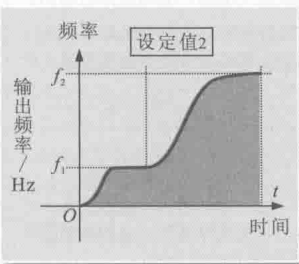
例如，三菱FR-A700通用型变频器的加/减速方式有直线加/减速、S曲线加/减速A、S曲线加/减速B和齿隙补偿四种。



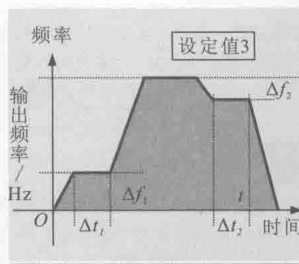
直线加/减速是指频率与时间按一定比例变化（该变频器中的设定值为“0”）。在变频器运行模式下，改变频率时，为使电动机及变频器突然加/减速，使其输出频率按线性变化，达到设定频率。



S曲线加/减速A方式（该变频器中其设定值为“1”）一般用于需要在基准频率以上的高速范围内短时间加/减速的场合。
比较常见如工作机械主轴电动机的驱动系统。



S曲线加/减速B方式从 f_1 （当前频率）到 f_2 （目标频率）提供一个S形加/减曲线，具有缓和加/减速时的振动效果，可防止负载冲击力过大，适用运输机械等，如传送运输类负载设备中，避免货物在运送过程滑动。

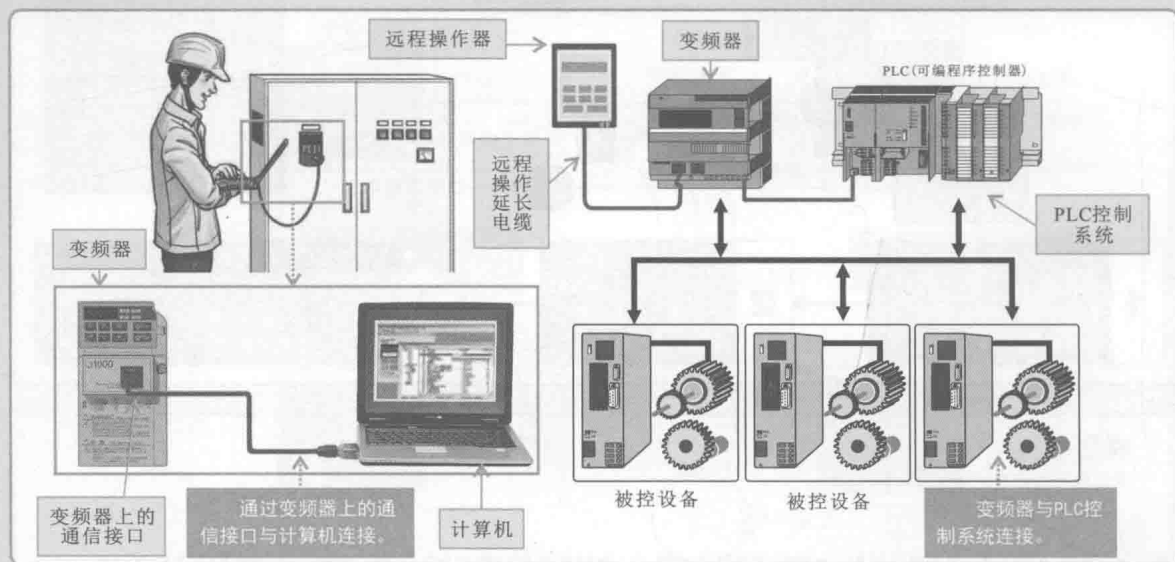


齿隙补偿方式（该变频器中的设定值为“3”）是指为了避免齿隙，在加/减速时暂时中断加/减速的方式。
齿隙是指电动机在切换旋转方向时或从走速运行转换为减速运行时，驱动齿轮所产生的齿隙。

3. 变频器具有通信功能

为了便于通信以及人机交互，变频器上通常设有不同的通信接口，可用于与PLC自动控制系统以及远程操作器、通信模块、计算机等进行通信连接。

【变频器的通信功能】



4. 变频器的其他功能

变频器除了基本的软起动、调速和通信功能外，在制动停机、安全保护、监控和故障诊断方面也具有突出的优势。

【变频器的其他功能】

可受控的停机及制动功能

▶▶ 在变频器控制中，停车及制动方式可以受控，而且一般变频器都具有多种停机方式及制动方式进行设定或选择，如减速停机、自由停机、减速停机+制动等。该功能可减少对机械部件和电动机的冲击，从而使整个系统更加可靠。

安全保护功能

变频器内部设有保护电路，可实现对其自身及负载电动机的各种异常保护功能，其中主要包括过热（过载）保护和防失速保护。

▶▶ 过热（过载）保护功能

变频器的过热（过载）保护即过电流保护或过热保护。在所有的变频器中都配置了电子热保护功能或采用热继电器进行保护。过热（过载）保护功能是通过监测负载电动机及变频器本身温度，当变频器所控制的负载惯性过大或因负载过大引起电动机堵转时，其输出电流超过额定值或交流电动机过热时，保护电路动作，使电动机停转，防止变频器及负载电动机损坏。

▶▶ 防失速保护

失速是指当给定的加速时间过短，电动机加速变化远远跟不上变频器的输出频率变化时，变频器将因电流过大而跳闸，运转停止。为了防止上述失速现象使电动机正常运转，变频器内部设有防失速保护电路，该电路可检出电流的大小进行频率控制。当加速电流过大时适当放慢加速速率，减速电流过大时也适当放慢减速速率，以防出现失速情况。

监控和故障诊断功能

▶▶ 变频器显示屏、状态指示灯及操作按键，可用于对变频器各项参数进行设定以及对设定值、运行状态等进行监控显示。且大多变频器内部设有故障诊断功能，该功能可对系统构成、硬件状态、指令的正确性等进行诊断，当发现异常时，会控制报警系统发出报警提示声，同时显示错误信息；故障严重时甚至会发出控制指令停止运行，从而提高变频器控制系统的安全性。

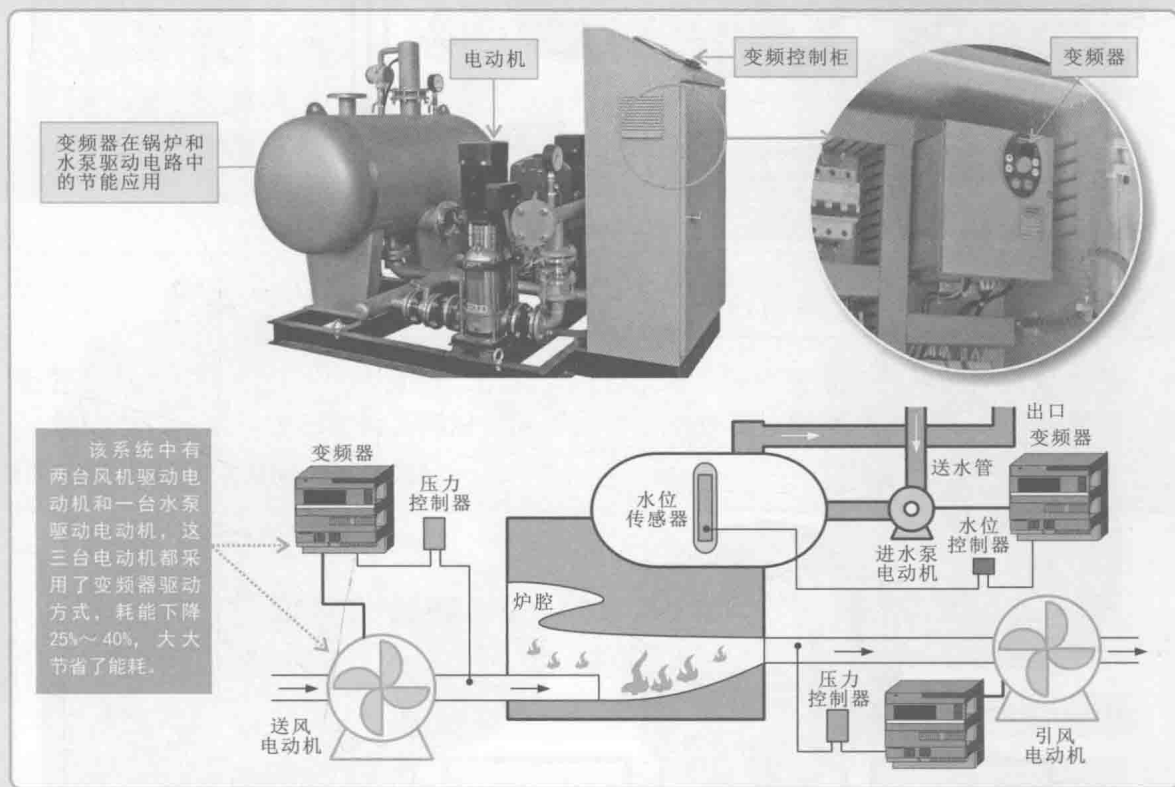
1.1.2 变频器的实际应用

变频器是一种依托于变频技术开发的新型智能型驱动和控制装置，各种突出的功能使其在节能、提高产品质量或生产效率、改造传统产业使其实现机电一体化、提升工厂自动化水平和改善环境等方面得到了广泛的应用，所涉及的行业领域也越来越广泛。简单来说，只要是使用到交流电动机的地方，几乎都可以应用变频器。

1. 变频器在节能方面的应用

变频器在节能方面的应用主要体现在风机、泵类等作为负载设备的领域中，一般可实现20%~60%的节电率。

【变频器在节能方面的应用】



特别提醒

由流体力学可知，风机、泵类负载的实际消耗功率 P （功率）= Q （流量） $\times H$ （压力），其中流量 Q 与电动机转速 n 的一次方成正比，压力 H 与转速 n 的二次方成正比，由此可知，该类负载的实际消耗功率 P 与转速 n 的三次方成正比。

对于传统风机、泵类负载采用调节挡板、阀门进行流量调节的节能方式，当用户需要较小流量时，其可实现对流量的调节，但由于其电动机转速不变（电源频率不变：转速 $n=60 \times \text{电源频率}f/\text{电动机磁极对数}p$ ），其节能效果并不明显，耗电功率下降较小。

而对于采用变频器进行调速方式（电源频率可变）控制时，当要求调节流量下降时，转速 N 可成比例的下降，而此时实际消耗功率 P 成三次方关系下降。即水泵电动机的耗电功率与转速近似成三次方关系。所以当所要求的流量 Q 减少时，可调节变频器输出频率使电动机转速 n 按比例降低。此时电动机的功率 P 将按三次方关系大幅降低，比调节挡板、阀门节能40%~50%，从而达到节电的目的。

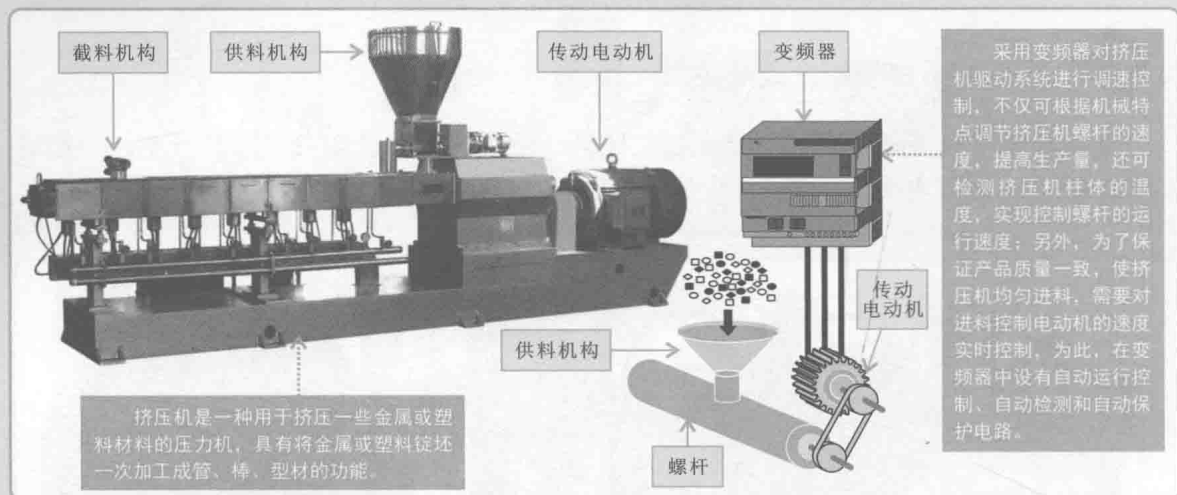
例如，若将系统中的一台功率为55kW水泵采用变频器调速控制时，当其转速下降到原转速的4/5时，其耗电量以与转速三次方的比例关系大幅度降低，即

$$\text{实际耗电量} = 55 \times \left(\frac{4}{5}\right)^3 \text{ kW} = 28.16 \text{ kW}, \text{ 省电} 48.8\%.$$

2. 变频器在提高产品质量或生产效率方面的应用

变频器的控制性能使其在提高产品质量或生产效率方面得到广泛应用，如传送带、起重机、挤压、注塑机、机床、纸/膜/钢板加工、印制板开孔机等机械设备控制领域。

【变频器在典型挤压机驱动系统中的应用】



3. 变频器在改造传统产业、实现机电一体化方面的应用

近年来，变频器在工业生产领域得到了广泛应用，特别在一些传统产业的改造建设中，使其从功能、性能及结构上都有一个质的提高，以满足国家节能减排的基本要求。

【变频器在纺织设备升级改造中的应用】

