电工电子名家畅销书系

图解变频器技术问答

咸庆信　编著

- 将设备应用、电路原理分析、检修指导三者有机结合
- 以资料性、实用性为宗旨
- 以图文对照、一问一答的形式答疑解惑



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

需要全本请访问 www.ertongbook.com

电工电子名家畅销书系

图解变频器技术问答

咸庆信　编著

机械工业出版社

在工、农业生产广大的电力拖动领域以内，出于调速控制和节能改造的需要，变频器的应用已很普及。一般相关的技术书籍，对其基本原理、基础应用和电路原理分析及故障检修的分析与论述是“脱节”的，本书试着将此三者做了一个有机的“整合”，由此可以看出变频器的技术发展脉络，及整机构成的“全貌”，并展示其“具象”的“可以触及”的电子电路。

本书以较有代表性的科姆龙、中达机型（配有整机电路电路图）为主线，从基本原理分析、操作应用和电路原理解析与故障检修三个方面，揭示了变频器应用和维修层次的普遍性的方法和意义。对实际应用和检修具有积极的释疑、指导和启发作用。

本书作为工具书、参考书，适合广大电工，从事电气自动化工程、电力电子、电气传动专业的技术工程人员和设计人员阅读。

图书在版编目（CIP）数据

图解变频器技术问答/咸庆信编著. —北京：机械工业出版社，2013.12
（电工电子名家畅销书系）
ISBN 978-7-111-44500-5

Ⅰ.①图… Ⅱ.①咸… Ⅲ.①变频器—图解 Ⅳ.①TN773-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 249229 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：朱 林 责任编辑：朱 林
版式设计：常天培 责任校对：佟瑞鑫
封面设计：路恩中 责任印制：张 楠
涿州市京南印刷厂印刷
2014 年 1 月第 1 版第 1 次印刷
184mm × 260mm · 16.75 印张 · 410 千字
0001—4000 册
标准书号：ISBN 978-7-111-44500-5
定价：47.00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	
社 服 务 中 心：	（010）88361066	教 材 网：	http://www.cmpedu.com
销 售 一 部：	（010）68326294	机工官网：	http://www.cmpbook.com
销 售 二 部：	（010）88379649	机工官博：	http://weibo.com/cmp1952
读者购书热线：	（010）88379203	**封面无防伪标均为盗版**	

出 版 说 明

我国经济与科技的飞速发展，国家战略性新兴产业的稳步推进，对我国科技的创新发展和人才素质提出了更高的要求。同时，我国目前正处在工业转型升级的重要战略机遇期，推进我国工业转型升级，促进工业化与信息化的深度融合，是我们应对国际金融危机、确保工业经济平稳较快发展的重要组成部分，而这同样对我们的人才素质与数量提出了更高的要求。

目前，人们日常生产生活的电气化、自动化、信息化程度越来越高，电工电子技术正广泛而深入地渗透到经济社会的各个行业，促进了众多的人口就业。但不可否认的客观现实是，很多初入行业的电工电子技术人员，基础知识相对薄弱，实践经验不够丰富，操作技能有待提高。党的十八大报告中明确提出“加强职业技能培训，提升劳动者就业创业能力，增强就业稳定性”。人力资源和社会保障部近期的统计监测却表明，目前我国很多地方的技术工人都处于严重短缺的状态，其中仅制造业高级技工的人才缺口就高达400 多万人。

秉承机械工业出版社“服务国家经济社会和科技全面进步”的出版宗旨，60 多年来我们在电工电子技术领域积累了大量的优秀作者资源，出版了大量的优秀畅销图书，受到广大读者的一致认可与欢迎。本着“提技能、促就业、惠民生”的出版理念，经过与领域内知名的优秀作者充分研讨，我们打造了“电工电子名家畅销书系”，涉及内容包括电工电子基础知识、电工技能入门与提高、电子技术入门与提高、自动化技术入门与提高、常用仪器仪表的使用以及家电维修实用技能等。

整合了强大的策划团队与作者团队资源，本丛书特色鲜明：①涵盖了电工、电子、家电、自动化入门等细分方向，适合多行业多领域的电工电子技术人员学习；②作者精挑细选，所有作者都是行业名家，编写的都是其最擅长的领域方向图书；③内容注重实用，讲解清晰透彻，表现形式丰富新颖；④以就业为导向，以技能为目标，很多内容都是作者多年亲身实践的看家本领；⑤由资深策划团队精心打磨并集中出版，通过多种方式宣传推广，便于读者及时了解图书信息，方便读者选购。

本丛书的出版得益于业内最顶尖的优秀作者的大力支持，大家经常为了图书的内容、表达等反复深入地沟通，并系统地查阅了大量的最新资料和标准，更新制作了大量的操作现场实景素材，在此也对各位电工电子名家的辛勤的劳动付出和卓有成效的工作表示感谢。同时，我们衷心希望本丛书的出版，能为广大电工电子技术领域的读者学习知识、开阔视野、提高技能、促进就业，提供切实有益的帮助。

作为电工电子图书出版领域的领跑者，我们深知对社会、对读者的重大责任，所以我们

一直在努力。同时，我们衷心欢迎广大读者提出您的宝贵意见和建议，及时与我们联系沟通，以便为大家提供更多高品质的好书，联系信箱为 zlhfc1980@163.com。

机械工业出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

前　言

已出版的有关变频器的技术书籍，或偏重于基础原理的公式性的推导与分析；或重点从应用上着笔，以应用工程案例为主介绍其应用方法；或以故障实例为主（缺乏深入的电路原理解析），仅仅给出表层故障实例的罗列，对实际电路涉及甚少，未结合具体电路讲解维修。

本书试图做出上述三方面的整合，将变频器的基本工作原理、操作应用、电路原理解析和故障检修三方面的内容融于一体，以期使读者得以见出变频器的技术发展脉络、整机构成的“全貌”和“具象”的“可以触及”的电子电路。

本书以师徒对话、有问有答的方式，用活泼有致的文字语言，以科姆龙、中达变频器实物（作者测绘的实际电路）为主线，讲述其基本工作原理、操作应用和电路原理解析与故障检修，以期使读者能达到对变频器应用和维修在“系统层面上”的认识和把握。本书会给读者朋友耳目一新的感觉。

变频器的生产和应用，已有二十余年的历史。其应用和普及，一是拓宽了电工和电气自动化的概念，对于变频器的调试和应用，成为该领域的一大重要内容；二是因较大的维修量的形成乃至形成了一个特有的变频器维修行业。

变频器电路是弱电和强电的有机结合，是软件和硬件的有机结合。它强大的功能，各种完善的检测和保护电路，控制上的智能化和灵活多变，它的微电子技术和电力半导体器件的结合应用，它的电路元器件的非通用性和特殊要求，说明这类机器的智能化电气设备的特点，因而其应用操作和检修思路也有其独特性。

作者在生产一线，从事变频器的安装、调试、（应用）系统设计和故障维修，长达十几年，手头积累了较为丰富的实际案例，成为本书的写作源泉。本书引用电路图，皆为据实物测绘所得，并结合作者十几年来变频器的检修心得，给出电路原理解析，检修思路和检修方法。

需要指出的是，书中电路图均为实绘电路图，由于变频器生产厂商的电路图形符号与文字符号未完全统一，不同厂商电路标识也未能完全统一或国际化，请读者以实物为主，并给予谅解。

在此向促成本书问世的我的朋友们、我的家人、机械工业出版社的编辑、印刷厂工友们，表示由衷的感谢！

测绘电路和在测绘电路基础上的电路解析，有着难以避免的纰漏，再加上限于作者的学识水平、时间和精力，书中可能存在疏忽和谬误之处，恳请广大读者及时指正，作者深表感谢！

成庆信

目　录

出版说明

前言

第 1 章　初识变频器 …… 1

1-1　变频器是个什么样的电气设备？ …… 1
1-2　如何控制交流电动机的转速？ …… 4
1-3　变频器的发展经历了哪些过程？ …… 5
1-4　变频器的基本工作原理是什么？ …… 11
1-5　异步电动机变频调速的控制方式有几种？ …… 16
1-6　*U/f* 恒定控制是怎么回事儿？ …… 16
1-7　什么是矢量控制方式？ …… 19
1-8　如何根据电动机的负载特性来选配变频器？ …… 24
1-9　变频传动与工频传动的负载特性有何不同？ …… 24
1-10　电动机的转矩特性是怎样的？ …… 27
1-11　负载的转矩特性是怎样的？由转矩特性的不同，可划分为几种负载？ …… 28
1-12　电动机（与负载）运行中产生噪声、振动的原因有哪些？ …… 31
1-13　不同种类的电动机配套变频器时要注意什么？ …… 33

第 2 章　如何控制变频器 …… 43

2-1　变频器的一般控制方法有哪些？ …… 43
2-2　变频器的主电路配线和控制端子配线需注意什么？有何特点？ …… 43
2-3　如何实现对变频器的运行控制（具体的操作）？ …… 50
2-4　一拖二恒压供水系统，用变频器控制是如何实现的？ …… 60
2-5　如何设计一拖二恒压供水系统？ …… 60
2-6　恒压供水变频一拖二系统由哪些电路构成？ …… 62
2-7　恒压供水变频一拖二系统的控制思路和注意要点是什么？ …… 63
2-8　怎样编写系统控制（PLC）程序？ …… 65

2-9　恒压供水变频一拖二系统调试时要注意什么？有何具体内容？ …… 69

第 3 章　变频器整机电路构成 …… 72

3-1　变频器的硬件电路由哪几部分构成？ …… 72
3-2　KV1900 型 11kW 变频器有几块电路板？每块电路板上分别有哪些电路？ …… 78
3-3　KV1900 型 11kW 变频器整机电路的工作原理是什么？ …… 79
3-4　VFD-B 型 22kW 变频器的整机电路是什么样子的？ …… 87
3-5　VFD-B 型 22kW 变频器由几块电路板构成？每块电路板上有哪些电路？ …… 87
3-6　VFD-B 型 22kW 变频器的电路工作原理是怎样的？ …… 89

第 4 章　变频器主电路原理解析与故障检修 …… 102

4-1　变频器的主电路是由哪几个环节组成的？ …… 102
4-2　如何判断主电路元器件的好坏？这些元器件损坏后各有什么故障表现？ …… 103
4-3　KV1900 型 11kW 变频器主电路构成和工作原理是什么？ …… 113
4-4　如何检修 KV1900 型 11kW 变频器主电路及辅助电路的故障？ …… 115
4-5　上电检修变频器主电路的措施（或方法）是怎样的？ …… 119
4-6　VFD-B 型 22kW 变频器主电路的结构及工作原理是怎样的？ …… 124
4-7　晶闸管器件原理是什么？其测试方法有哪些？ …… 125
4-8　晶闸管整流电路的故障检修方法和步骤有哪些？ …… 128

第 5 章　变频器开关电源原理解析与故障检修 …… 131

5-1　开关电源的工作原理是什么？ …… 131
5-2　UC3842 专用振荡芯系的电路原理与检测方法是什么？ …… 132
5-3　开关电源电路的其他关键元器件的工作原理和检测方法是什么？ …… 136
5-4　如何检修开关电源的电路故障？ …… 138
5-5　在维修中如何为开关电源电路供电？ …… 142
5-6　KV1900 型 11kW 变频器开关电源是如何工作的？ …… 142
5-7　怎样检修 KV1900 型 11kW 变频器开关电源的故障？ …… 145
5-8　VFD-B 型 22kW 变频器开关电源与其他机型有何不同？ …… 146
5-9　如何分析 VFD-B 型 22kW 变频器开关电源的工作原理？ …… 148
5-10　VFD-B 型 22kW 变频器开关电源的故障检修思路是什么？ …… 149
5-11　VFD-B 型 22kW 变频器开关电源的实际故障检修中，应该注意什么？ …… 154

第 6 章　变频器驱动电路原理解析与故障检修 …… 158

6-1　驱动电路的供电方式有什么特点？ …… 158
6-2　驱动电路常用哪几种驱动 IC？ …… 161
6-3　TLP250 等驱动 IC 的工作原理是什么？ …… 162
6-4　驱动 IC 的检测方法有哪些？ …… 162

6-5 PC929 驱动 IC 的工作原理及检测方法是什么？ …… 163
6-6 如何检修 KV1900 型 11kW 变频器的驱动电路？ …… 165
6-7 KV1900 型 11kW 变频器驱动电路的工作原理是什么？ …… 165
6-8 KV1900 型 11kW 变频器驱动电路的故障检修应该怎样进行？ …… 166
6-9 变频器的制动电路应该如何着手进行检修？ …… 171
6-10 VFD-B 型 22kW 变频器驱动电路的工作原理是什么？ …… 173
6-11 如何检修 VFD-B 型 22kW 变频器驱动电路的故障？ …… 177
6-12 IGBT 栅极电阻、旁路电阻的重要作用是什么？ …… 179
6-13 屏蔽 OC 故障的方法有哪些？ …… 181
6-14 驱动电路的故障特性有哪些？ …… 183
6-15 实际检修中如何分析故障现象？ …… 187

第 7 章 变频器故障检测电路原理解析与故障检修 …… 189

7-1 哪些不利因素会危及 IGBT 功率模块的安全呢？ …… 189
7-2 电流检测与保护电路的类型有哪些？其作用是什么？ …… 190
7-3 KV1900 型 11kW 变频器电流检测电路有几个部分？ …… 193
7-4 电子式电流互感器电路原理与检修思路是什么？ …… 193
7-5 电流检测电路有几种？ …… 195
7-6 直流电压检测电路的电路形式及工作原理是什么？ …… 197
7-7 保护电路的末级电路是如何处理报警信号的？ …… 198
7-8 如何检修 KV1900 型 11kW 变频器电流、电压检测电路的故障？ …… 199
7-9 保护电路的实际检修工作中，一般采用什么样的检测步骤？ …… 202
7-10 VFD-B 型 22kW 变频器的故障检测电路的特点是什么？ …… 203
7-11 VFD-B 型 22kW 变频器电流检测与保护电路是如何工作的？
如何进行故障检测？ …… 203
7-12 VFD-B 型 22kW 变频器的电压检测电路的工作原理是什么？
如何进行检修？ …… 210
7-13 变频器的过热报警是怎么回事？怎样检修？ …… 212

第 8 章 变频器 MCU 主板电路原理解析和故障检修 …… 216

8-1 检修 MCU 主板需要掌握哪些基本知识？ …… 216
8-2 MCU 芯片的结构与性能是怎样的？ …… 216
8-3 变频器电路中用到哪些型号的 MCU 芯片？主要引脚功能是什么？
外围基本电路有哪些？ …… 217
8-4 除工作三要素以外，MCU 芯片还有其他的重要工作条件吗？ …… 226
8-5 MCU 外部存储器电路的原理及检修要点是什么？ …… 227
8-6 微控制器芯片及 MCU 主板是否工作的检修要点是什么？ …… 230
8-7 操作显示面板电路的工作原理是怎样的？如何进行故障检修？ …… 234

8-8　主板 MCU 基本电路是由哪些具体的电路构成的？ …… 236
8-9　MCU 主板的控制端子电路具有什么特点？ …… 240
8-10　VFD-B 型 15kW 变频器操作显示面板电路是怎样工作的？ …… 244
8-11　如何检修 VFD-B 型 15kW 变频器的 MCU 主板电路的 MCU 基本电路？ …… 246
8-12　如何检修 VFD-B 型 15kW 变频器控制端子电路？ …… 249
8-13　VFD-B 型 15kW 变频器的 6 路 PWM 脉冲传输电路是怎样工作的？有哪些故障现象？ …… 251
8-14　VFD-B 型 15kW 变频器 MCU 主板常见故障现象有哪些？ …… 253

参考文献 …… 256

需要全本请访问 www.ertongbook.com

第 1 章
初识变频器

1-1 变频器是个什么样的电气设备?

小李是某电器厂的一名维修电工，开始主要是干外线（所谓强电检修）。但近几年，随着变频器设备应用增多，好学上进的小李开始“恶补”电子电路的相关知识，并且一有空儿，就到技术部“粘上”从事变频器安装和维修的咸工，学习变频器的应用和故障检修，时间长了，有时也能帮咸工的忙了。

咸工觉得，小李是一名好学的好电工，随着小李提问的深入，将变频器技术一股脑儿地“掏”了出来。

小李：作为电气设备，与接触器相比，变频器有什么特点？或者说，与工频电源相比，变频电源是怎么回事儿？

咸工：如果将变频器看做是交流接触器一样的部件，都是输入三相工频电源，再输出三相电源。后者是一个三相电源的通、断控制开关，前者是一个电源设备，或者说是一个逆变电源设备。输入工频电源，输出为频率/电压可变的三相电源。机器正中有操作显示面板（见图 1-1），底部或上部安装有散热风机（或称风扇）。打开防护盖板，可看到主接线端子



图 1-1　中达 VFD-B 型变频器实物图

和控制电路板上的控制端子排。从控制方面看，变频器具有更为复杂和高度智能化的控制功能，能和 PLC、DCS 等设备相结合，构成完善的自动化控制系统。

相对于工频电源（电压三相交流 380V，50Hz 是固定不变的）来说，变频器是一个变频电源，其工作方式被称为 VVVF 工作方式。事实上，为保证任意速度下的恒转矩特性，要求主磁通为一恒定值（避免产生磁饱和现象），在频率改变的同时，需要同步改变输出电压。因而变频器是一个既变频又变压的设备。其输出频率与电压基本上也成一个对应的线性关系，如输出频率 0 ~ 50Hz，输出线性电压也为 0 ~ 380V。当频率为 25Hz 时，输出电压为 190V 左右。变频器的 *U/f* 输出特性可据负载特性进行设置，为保证低速时的转矩能力，变频器通常还有转矩提升功能。

用变频器来控制电动机，首先是利用是其平滑无级（宽范围）的调速性能，同时带来了两个“副产品”：

1）节能运行。基频 50Hz 以下运行时，运行电压（电流）减小，有功率降低，节能效果明显；

2）优良的软起动性能。比之传统的星/三角减压起动、自耦变压器减压起动、晶闸管减压起动方式，变频起动可称为理想的“终极性”起动模式，前者仅仅是减压起动，起动期间由于巨大转差率的存在，仍会形成数倍于电动机额定电流的起动电流；后者不仅降压，而且降频，起动期间电动机的转差率也能较好地维持在 5% 以内，能真正地将满载起动电流值限制于额定电流以内。

一般厂家的变频器产品，通常分为两大系列，即风机/水泵专用型（定义为 P 型机）、通用型（定义为 G 型机）。风机/水泵专用型变频器适用于二次方递减转矩型负载，抗过载能力稍差；通用型适用于恒转矩负载，有较强的抗过载能力。两种机型，从维修的角度看，控制电路的硬件电路结构上其实是一样的，只是区别于软件控制和过载能力的大小上。通用机型在选用功率输出模块（逆变模块）上要大一个功率级别，如 5. 5kW 通用机型，其实又是 7. 5kW 风机/水泵专用机型。

变频器基本结构如图 1-2 所示，包含主电路和控制电路两大部分。

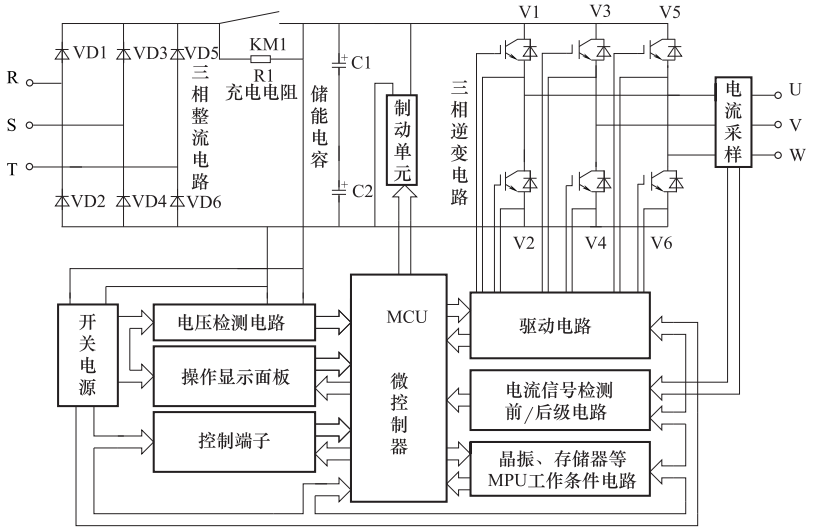


图 1-2　变频器基本结构框图

1. 变频器主电路

图 1-2 中的上部分电路即为变频器的主电路部分。变频器的主电路包括三相整流电路、电容储能（滤波）电路和 IGBT 功率模块（或由 6 只 IGBT 组成）构成，在整流电路和储能电容之间，还增设一个由电阻 R1、KM1 接触器主触点的预充电（或称为充电限流）电路，在上电期间先由 R1 对储能电容 C1、C2 进行限流充电，充电完成后，KM1 动作，短接 R1，使变频器进入待机工作状态。有些机型将整流二极管 VD1、VD3、VD5 换成单向晶闸管器件，控制晶闸管在电容充电过程结束后导通，由此可省去接触器 KM1（具体电路见后文所述）。逆变功率电路由 V1～V6 等 6 只 IGBT（功率模块）组成，每只 IGBT 的集电极和发射极之间并联有反向连接的二极管，是与 IGBT 密切结合在一起的，不是外接的，提供 IGBT 的反向电流通路，消除反向电压对 IGBT 的“威胁”，在负载电动机因超速产生发电时，提供电动机的发电电能向直流回路的回馈通路。

这类以储能电容为逆变电路提供能量供应的电路形式称为电压型变频器，是最为常见的主电路形式。

小功率机型，机器内部往往内置制动开关管和制动电阻，对负载电动机回馈的反发电能量进行消耗，以保障储能电容和逆变功率电路的安全。大、中功率机型，制动单元和制动电阻必须经主电路引出端子外接。

2. 变频器的控制电路

变频器的控制电路是以 MCU（单片机或称微控制器）为核心的，包括工作电源（开关电源电路）、电压、电流等检测（故障报警、保护）电路、IGBT 驱动电路和操作控制电路、MCU 基本电路等五大部分。

1）开关电源电路。一般是从主电路的直流回路（C1、C2 两端）取得 530V 直流供电，经 DC-AC-DC 变换，取得 +5V、+15V、−15V、24V 等几路稳定直流电压，供控制电路的工作电源。IGBT 驱动电路所需的 4 路或 6 路驱动电源也由开关电源供给。

2）驱动电路。MCU 引脚输出的 6 路脉冲信号由缓冲电路输入至驱动电路，经光电转换和隔离、功率放大后，用于驱动 IGBT，使之按一定规律导通和截止，将 DC530V 电源逆变成三相交流电压输出。

3）电流、电压、功率模块温度、OC 故障等检测电路。从主电路的直流回路取得电压检测信号，用于直流电压值显示以及过电压、欠电压报警和停机保护等；从 U、V、W 输出端串接电流互感器（霍尔元件及电路），对输出电流进行检测，用于运行电流显示、输出控制、过载报警与停机保护等；温度传感器安装于散热片上，检测逆变功率模块的温度变化，异常时实施超温报警和停机保护，并控制散热风扇的运转；驱动电路一般有 IGBT 的故障检测功能，逆变功率电路工作异常时，产生 OC 信号，用于报警和停机保护。

4）操作控制电路。变频器的控制端子内部电路（包括辅助电源、数字/模拟输入/输出电路）、操作显示面板等电路，对变频器完成起、停、通信等控制功能。面板并且有运行状态监控功能。

5）MCU 基本电路。以上 3）、4）电路的检测信号和控制信号，最后都输入 MCU，进行软件程序处理后，输出 6 路脉冲信号和相关控制信号。MCU 器件作为“指挥中心”，对整机的正常工作进行有序的协调，集中处理输入、输出信号。+5V 工作电源、复位电路、晶振电路、外挂存储器电路等形成 MCU 工作的基本条件，故称为 MCU 基本电路。从维修角度考

虑，MCU 的接口电路、操作显示电路等也并入其基本电路的范畴之内。故障检修中，确定该部分电路正常，是检修其他故障电路的前提。

变频器产品是电力电子（高电压、大电流）器件和微电子（微控制器）技术成熟后密切结合的产物，在一定程度上体现了当今的电子科技水平，是弱电和强电、软件和硬件的有机结合。它强大的功能，各种完善的检测和保护电路，控制上的智能化和灵活多变，它的微电子技术和电力半导体器件的结合应用，它的电路元器件的非通用性和特殊要求，说明这类机器智能化电气设备的特点，因而应用维护、故障检修思路和方法也有其独特性。

1-2 如何控制交流电动机的转速？

小李：交流电动机的调速已有多种方式，像我所知道的转差电动机的调速控制，也很好用啊。采用变频器调速的基本原理是什么，有何优点呢？

成工：在工农业生产领域，唱主角的是交流三相电动机，为生产过程提供源源不断的强大动力。电动机的转速取决于电动机定子绕组的连接方式（定子磁极对数）和电源频率，公式为

$$n_1 = 60f_1/p \tag{1-1}$$

式中，n_1 是同步转速（r/min）；f_1 是电源频率（Hz）；p 是电动机绕组的极对数。

异步电动机要产生转矩，同步转速 n_1 与异步转速 n_2 必须有一定范围内的差别，转速差与同步速度的比值，称为转差率 s，可用式（1-2）表示：

$$s = (n_1 - n_2)/n_1 \tag{1-2}$$

由式（1-1）和式（1-2）可以得出式（1-3），即交流异步电动机的转速公式：

$$n = 60f_1(1 - s)/p = n_1(1 - s) \tag{1-3}$$

交流电动机（外形见图 1-3）包含交流同步电动机和交流异步电动机两大类，前者的转子速度与定子磁场速度相同，无转差率。后者的转子速度因滞后于定子磁场速度，所以称为异步电动机，又可分为绕线转子异步电动机和笼型异步电动机两种，后者结构简单牢固、易于维护、价格低廉、使用寿命长，在电力拖动领域的应用极为广泛，约占工农业生产机械中电动机总量的 80% 以上。



图 1-3 三相交流电动机外形图

交流异步电动机在额定工频下运转时，对应额定转矩的转差率范围为 1% ~5%，我国工频电源的频率 50Hz，电压是三相 380V。在电动机的定子磁极对数固定不变的情况下，电动机运转的速度被电源频率“束缚”住，只能有一个固定转速。从式（1-1）可知，要改变异步电动机的转速，可以采用 3 种方案，即改变极对数 p、改变转差率 s 或改变定子电压供电频率 f_1。

若改变转差率和极对数，调速范围很窄，而且极对数是有级差调节，很不方便；改变电动机的电源频率（即改变式（1-1）中的 f_1）可调节电动机的转速，调速方便，其范围也宽。

在变频器出现以前，若实现对电动机的调速运行，所采用的方法不外乎从电动机和机械两方面采取相关措施：

1）用传动带传输转矩的装置，用更换电动机轴端的主动轮和负载端从动轮轮径的方法来改变转速，负载只能运行于某一固定速度。

2）与此相仿，用变速器（调整传动比）实现机械有级调速，有数个速度挡位。

3）能实现平滑无级调速的是转差调速控制方式（见图 1-4），通过调整原动机与从动机的电磁转矩实现无级调速。但缺点是存在较大的转矩传递损失，效率偏低。以上都是从电动机以外采用措施调速的方法。

4）利用改变电动机的极对数，即改变电动机的绕组接法，来实现有级调速。这是从电动机本身做文章，电动机的结构较为特殊，需要较多的引出线，需与外部控制电路配合，完成极对数切换，切换级数受限，外接控制设备复杂。

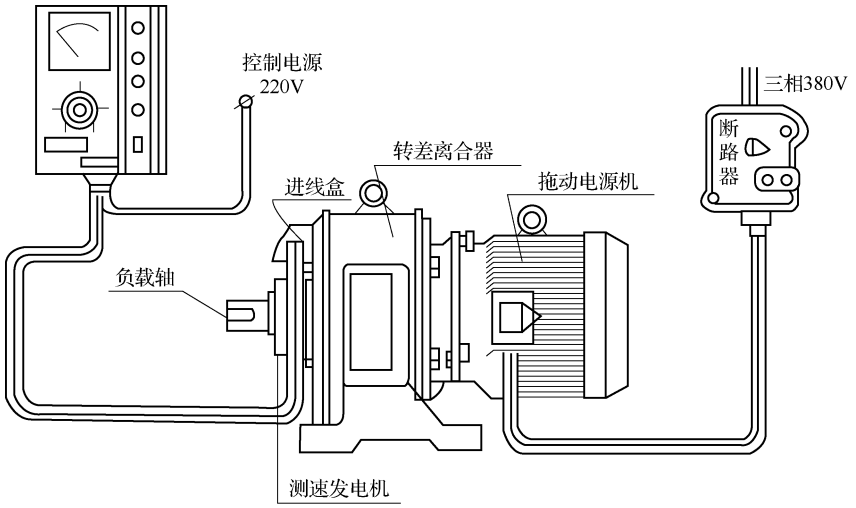


图 1-4　转差电动机控制系统构成示意图

应该说，是调速的需要导致了变频器的出现，如果电动机的供电电源，其频率是可以变化的，并且变化范围足够大，那么电动机的转速限制将被解除，只要是机械特性允许，可使电动机“自由运转”于任意速度下，有人说，是变频器“解放”了电动机的运行速度。用变频器控制交流异步电动机是比较理想的一种调速方式。图 1-5 为由变频器及自控设备构成的卷曲驱动系统。

由变频器构成的电力拖动系统，广泛应用于工、农业生产的各个领域，不但提升了自动化控制程度和产品质量、节省人力资源，而且比原有控制模式节电效果显著。

1-3　变频器的发展经历了哪些过程？

小李：噢，原来采用变频器实施调速控制，还有那么多好处啊。这一下子激发出我学习的兴趣了，嗨，干脆麻烦咸工从零开始，说说变频器的发展历程吧。

咸工：说到变频器的发展历程，需从电动机控制经历的 3 个阶段谈起。可以说，电动机的控制历史和控制技术，与变频器的发展历程是息息相关的。

1. 电动机控制经历的 3 个阶段

各种工业生产工艺复杂，技术装备先进，一直是电动机应用最广、技术要求最多的生产

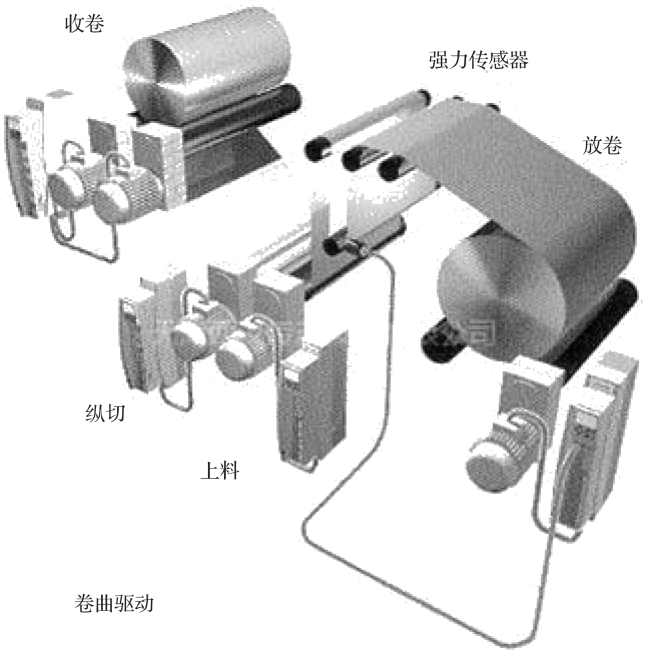


图 1-5　由变频器及自控设备构成的卷曲驱动系统

行业。由于各企业条件不同，在技术装备上差距极大，从我国工业看，电动机控制经历了 3 个阶段。

1）以异步电动机为主的电动机手控阶段。这个阶段自从有了交流电就存在，至今为止，许多中小型工厂仍处于用接触器对异步电动机进行开环控制（仅控制电动机电源的通、断）的应用时代，这是运行控制的初级阶段，很难满足现代化生产高效低耗的要求。

2）以直流电动机为主的电气传动自动控制阶段。其技术特点是有了电机放大机，能够进行功率放大，为传动系统的闭环控制提供了物质基础。但因直流电动机的电刷易磨损、换向器易烧蚀所带来的维修工作量成为其应用瓶颈。随着工业设备向大容量、高精度和高可靠性方面发展，直流电气传动的弱点一一暴露出来，成为工业高速发展的一个制约条件。

3）以交流电动机代替直流电动机为主的运行控制阶段。微电子技术进入电气传动领域，使得人们获得了巨大的信息处理能力，能够采取先进的控制方法，完成对交流电动机的运行控制。如今，通用变频器采用 32 位微机控制，硬件电路简洁，能用软件方法适应各种生产机械的控制要求。

电子电力技术进入电气传动领域，使得人们可以在 150μs（或更短时间）内对巨大电流进行闭环控制，几乎可以不受限制地为电动机提供它所需要的任何波形的电流，于是电气传动进入了一个更新换代的高速发展期。传统的结构和模式一再被突破，人们将新一代电气传动叫做运行控制，其内涵远大于旧的电气传动，是工业现代化的重要技术基础，并以惊人的速度向前发展。

需要全本请访问 www.ertongbook.com