

电气自动化通用设备应用系列

富士变频器 入门与典型应用

王建 徐洪亮 主编



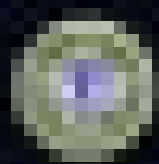
中国电力出版社
www.cepp.com.cn

电气自动化应用设备应用系列

富士变频器

入门与典型应用

王 强 王 强 王 强



中国电力出版社
CHINA ELECTRICITY PRESS

电气自动化通用设备应用系列

富士变频器 入门与典型应用

主 编 王 建 徐洪亮
副主编 张 宏 张 霓 邵正春 黄勇军
参 编 李迎波 吴 婧 孙京红 孙 胜 赵晨霞
主 审 李 伟



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

变频器是近年来广泛流行的被国外称为“新近国家三大支柱”之一的工业自动化理想控制装置,现已广泛应用于自动化的各个领域。

本书以日本富士系列变频器为例,系统地介绍了变频器的基本使用方法及操作技能,并介绍了十余种典型应用线路。全书分3章:第1章介绍变频器的基础知识,主要讲述了变频器的选用、安装与维护,参数的基本操作等;第2章介绍通用变频器的基本应用,主要讲述了变频器的点动控制、正反转控制、外接两地控制、多段速控制,以及程序操作和PID控制运行操作;第3章介绍通用变频器与PLC在典型控制系统中的应用,包括恒压供水系统、电梯控制系统、中央空调控制系统、龙门刨床控制系统等。本书章节内容按照“基础知识”、“实战演练”、“自我训练”模块划分,对理论知识点到为止,适当简化对“是什么”的陈述,尽量压缩对“为什么”的解释,在有限的篇幅内充分放大对“怎么办”的具体说明,以提升技能操作为目的。

本书可作为工矿企业电气技术人员,中、高级电工,设备操作人员的读物,也可供专业院校高技能人才培养和相关人员自学使用。



图书在版编目(CIP)数据

富士变频器入门与典型应用 / 王建, 徐洪亮主编. —北京:
中国电力出版社, 2008
(电气自动化通用设备应用系列)
ISBN 978 - 7 - 5083 - 6783 - 5

I. 富… II. ①王…②徐… III. 变频器 - 基本知识
IV. TN773

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 024093 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)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2008年7月第一版 2008年7月北京第一次印刷

710毫米×980毫米 16开本 13印张 237千字

印数0001—4000册 定价23.00元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言

PREFACE

国家《高技能人才培养体系建设“十一五”规划纲要》(简称《纲要》)要求,在“十一五”期间,要完善高技能型人才培养体系建设,加快培养一大批结构合理、素质优良的技术技能型、复合技能型和知识建设技能型高技能人才。《纲要》是加快推进人才强国战略,提升产业工人队伍整体素质,增强我国核心竞争力和自主创新能力的重要举措。

为加快培养一大批数量充足、结构合理、素质优良的技术技能型、复合技能型和知识技能型高技能人才,我们组织有关专家、学者和高级技师编写了一套《电气自动化通用设备应用系列》丛书。在本丛书的编写过程中,贯彻了“简明实用,突出重点”的原则,把编写重点放在以下几个方面:

第一,内容上突出新知识、新技术、新工艺和新材料,力求反映电气自动化的四新技术。涵盖了可编程控制器、变频器、单片机、触摸屏、传感器以及工控组态等现代工业支柱的内容。

第二,坚持以能力为本,编写形式上采用了理论和技能全面兼顾的模式,力求使本丛书在编写形式上有所创新,以任务驱动型为主线,使本丛书更实用。

第三,从推广综合应用的角度出发,突出了各项技术的综合和典型应用,服务于生产实际。

但愿本丛书为广大电气工作人员所乐用,使本丛书成为您的良师益友!

由于时间和编者的水平有限,书中难免存在缺点错误,敬请广大读者对本丛书提出宝贵的意见。

编者

2008年5月

目 录

CONTENTS

前言

第 1 章 变频器基础知识	1
1.1 变频器的常识	1
1.2 变频器的选用、安装与维护	16
1.3 变频器参数的基本操作	38
第 2 章 通用变频器的基本应用	60
2.1 变频器的点动控制	60
2.2 变频器的正、反转控制	71
2.3 变频器的外接两地控制	78
2.4 变频器的多段速控制	81
2.5 变频器的程序运行操作	88
2.6 变频器的 PID 控制运行操作	96
第 3 章 通用变频器与 PLC 在典型控制系统中的应用	105
3.1 恒压供水系统	105
3.2 电梯控制系统	123
3.3 医疗废物焚烧控制系统	132
3.4 工业洗衣机控制系统	140
3.5 中央空调控制系统	148
3.6 龙门刨床控制系统	160
3.7 物料传送分拣控制系统	171
附录 I FRENIC 5000G11S/P11S-4CX 变频器参数表	189
附录 II 变频器保护功能动作表	202
参考书目	204

第 1 章 变频器基础知识

学习目标



1. 掌握变频器的基础知识。
2. 掌握变频器面板的操作技能。

1.1 变频器的常识

学习目的



1. 熟悉变频器的种类及应用。
2. 掌握变频器的工作原理。

● [基础知识]

变频器是将固定频率的交流电变换为频率连续可调的交流电的装置。变频器技术随着微电子学、电力电子技术、计算机技术和自动控制理论等的不断发展而发展,应用越来越普遍。变频器的外观如图 1-1 所示。

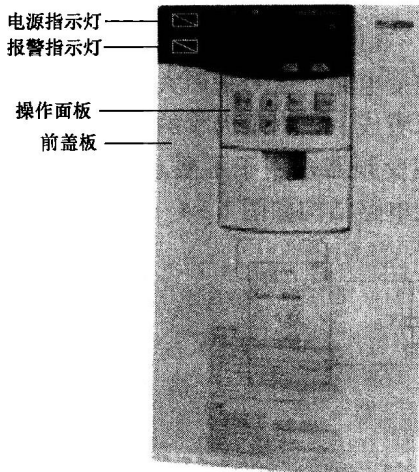


图 1-1 变频器的外观图

1.1.1 变频器的种类

1. 按变频的原理分类

(1) 交-交变频器。单相交-交变频器的原理框图如图 1-2 所示。它只用一个变换环节就可以把恒压恒频 (CVCF) 的交流电源转换为变压变频 (VVVF) 的电源, 因此称为直接变频器, 或称为交-交变频器。

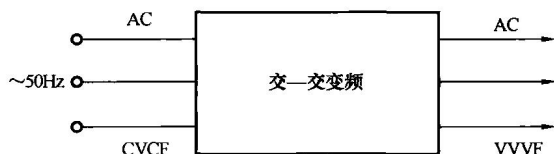


图 1-2 交-交变频器的原理框图

(2) 交-直-交变频器。交-直-交变频器又称为间接变频器。其基本组成电路有整流电路和逆变电路两部分, 整流电路将工频交流电整流成直流电, 逆变电路再将直流电逆变成频率可调节的交流电。根据变频电源的性质, 交-直-交变频器可分为电压型变频器和电流型变频器。交-直-交变频器的原理框图如图 1-3 所示。

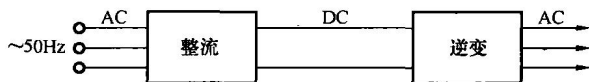


图 1-3 交-直-交变频器的原理框图

1) 电压型变频器。在电压型变频器中, 整流电路产生的直流电压, 通过电容进行滤波后供给逆变电路。由于采用大电容滤波, 故输出电压波形比较平直, 在理想情况下可以看成是一个内阻为零的电压源, 逆变电路输出的电压为矩形波或阶梯波。电压型变频器多用于不要求正反转或快速加减速的通用变频器。电压型变频器的主电路结构如图 1-4 (a) 所示。

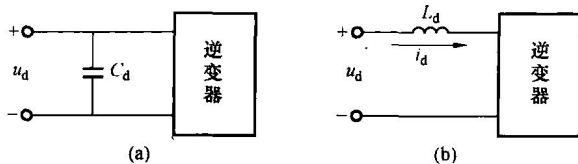


图 1-4 电压型和电流型变频器的主电路结构

(a) 电压型变频器; (b) 电流型变频器

2) 电流型变频器。当交-直-交变频器的中间直流环节采用大电感滤波时, 直流电流波形比较平直, 因而电源内阻很大, 对负载来说基本上是一个电流源, 逆变电路输出的电流为矩形波。电流型变频器多用于频繁可逆运转的变频器和容量的变频器。电流型变频器的主电路结构如图 1-4 (b) 所示。

(3) 交-交变频器和交-直-交变频器的主要特点可用表格的形式加以对比, 见表 1-1。

表 1-1 交-直-交变频器与交-交变频器主要特点比较表

类别 比较项目	交-直-交变频器	交-交变频器
换能形式	两次换能, 效率略低	一次换能, 效率较高
换流方式	强迫换流或负载谐振换流	电源电压换流
装置元器件数量	元器件数量较少	元器件数量较多
调频范围	频率调节范围宽	一般情况下, 输出最高频率为电网频率的 $1/3 \sim 1/2$
电网功率因数	用可控整流调压时, 功率因数在低压时较低; 用斩波器或 PWM 方式调压时, 功率因数较高	较低
适用场合	可用于各种电力拖动装置、稳频稳压电源和不停电电源	特别适用于低速大功率拖动

(4) 根据调压方式的不同, 交-直-交变频器又分为脉幅调制和脉宽调制两种。

1) 脉幅调制 (PAM)。它是改变电压源的电压 E_d 或电流源的电流 I_d 的幅值进行输出控制的方式。因此, 逆变器部分只控制频率, 整流器部分只控制电压或电流。

2) 脉宽调制 (PWM)。脉宽调制方式中, 变频器输出电压的大小是通过改变输出脉冲的占空比来实现的。目前使用最多的是占空比按正弦规律变化的正弦波脉宽调制方式, 即 SPWM 方式。

2. 按变频的控制方式分类

按控制方式不同, 变频器可以分为 U/f 控制变频器、转差频率控制变频器和矢量控制变频器三种类型。

(1) U/f 控制变频器。 U/f 控制即压频比控制。它的基本特点是对变频器输出的电压和频率同时进行控制, 通过保持 U/f 恒定使电动机获得所需的转矩

特性。基频以下可以实现恒转矩调速，基频以上则可以实现恒功率调速。这种方式的控制电路成本低，多用于精度要求不高的通用变频器。

(2) SF 控制变频器。SF 控制即转差频率控制，是在 U/f 控制基础上的一种改进方式。在 U/f 控制方式下，如果负载变化，转速也会随之变化，转速的变化量与转差率成正比。 U/f 控制方式的静态调速精度较差，可采用转差频率控制方式来提高调速精度。转差频率控制方式下，变频器通过电动机、速度传感器构成速度反馈闭环调速系统。变频器的输出频率由电动机的实际转速与转差频率之和来自动设定，从而达到在调速控制的同时也使输出转矩得到控制。该方式是闭环控制，故与 U/f 控制相比，调速精度与转矩特性较优。但是由于这种控制方式需要在电动机轴上安装速度传感器，并需依据电动机特性调节转差，故通用性较差。

(3) VC 变频器。VC 即矢量控制，是 20 世纪 70 年代提出来的对交流电动机的一种新的控制思想和控制技术，也是异步电动机的一种理想调速方法。 U/f 控制方式和 SF 控制方式的控制思想都建立在异步电动机的静态数学模型上，因此动态性能指标不高。采用 VC 方式可提高变频调速的动态性能。VC 的基本思想是将异步电动机的定子电流分解为产生磁场的电流分量（励磁电流）和与其相垂直的产生转矩的电流分量（转矩电流），并分别加以控制，即模仿直流电动机的控制方式对电动机的磁场和转矩分别进行控制，可获得类似于直流调速系统的动态性能。由于在这种控制方式中必须同时控制异步电动机定子电流的幅值和相位，即控制定子电流矢量，故这种控制方式被称为 VC。

VC 方式使异步电动机的高性能成为可能。VC 变频器不仅在调速范围上可以与直流电动机相匹敌，而且可以直接控制异步电动机转矩的变化，因此已经在许多需要精密或快速控制的领域得到应用。

(4) 变频器三种控制方式比较。变频器三种控制方式的特性比较见表 1-2。

表 1-2

变频器三种控制方式的特性比较

类别 比较项目	U/f 控制	SF 控制	VC
加、减速特性	加、减速控制有限度，4 个象限运转时在零速度附近有空载时间，过电流抑制能力小	加、减速控制有限度（比 U/f 控制有提高），4 个象限运转时通常在零速度附近有空载时间，过电流抑制能力中	加、减速时的控制无限度，可以进行连续 4 个象限运转，过电流抑制能力大

续表

类别 比较项目		U/f 控制	SF 控制	VC
速度控制	范围	1:10	1:20	1:100 以上
	响应		5 ~ 10rad/s	30 ~ 100rad/s
	控制精度	根据负载条件转差频率发生变动	与速度检出精度、控制运算精度有关	模拟最大值的 0.5%, 数字最大值的 0.05%
转矩控制		原理上不可能	除车辆调速等外, 一般不适用	适用, 可以控制静止转矩
通用性		基本上不需要因电动机特性差异进行调整	需要根据电动机特性给定转差频率	按电动机不同的特性需要给定磁场电流、转矩电流、转差频率等多个控制量
控制构成		最简单	较简单	稍复杂

3. 通用变频器

通用变频器的特点是其具有通用性。随着变频技术的发展和市场需要的不断扩大, 通用变频器也在朝着两个方向发展: 一是低成本的简易型通用变频器; 二是高性能的多功能通用变频器。它们分别具有以下特点:

简易型通用变频器是一种以节能为主要目的而简化了一些系统功能的通用变频器。它主要应用于水泵、风扇、鼓风机等对于系统调速性能要求不高的场合, 并具有体积小、价格低等方面的优势。

高性能的多功能通用变频器在设计过程中充分考虑了在变频器应用中可能出现的各种需要, 并为满足这些需要在系统软件和硬件方面都做了相应的准备。在使用时, 用户可以根据负载特性选择算法并对变频器的各种参数进行设定, 也可以根据系统的需要选择厂家所提供的各种备用选件来满足系统的特殊需要。高性能的多功能通用变频器除了可以应用于简易型变频器的所有应用场合之外, 还可以广泛应用于电梯、数控机床、电动车辆等对调速系统的性能有较高要求的场合。

4. 专用变频器

(1) 高性能专用变频器。随着控制理论、交流调速理论和电力电子技术的发展, 异步电动机的 VC 得到发展, VC 变频器及其专用电动机构成的交流伺服系统已经达到并超过了直流伺服系统。此外, 由于异步电动机还具有环境适应性强、维护简单等许多直流伺服电动机所不具备的优点, 因此在要求高

速、高精度的控制中，这种高性能交流伺服变频器正在逐步代替直流伺服系统。

(2) 高频变频器。在超精密机械加工中常要用高速电动机，为了满足其驱动的需要，出现了采用 PAM 控制的高频变频器，其输出主频可达 3kHz，驱动两极异步电动机时的最高转速为 180000r/min。

(3) 高压变频器。高压变频器一般是大容量的变频器，最高功率可达到 5000kW，电压等级为 3、6、10kV。

1.1.2 变频器的结构

交-直-交电压型通用变频器由主电路和控制电路组成，其基本结构如图 1-5 所示。其主电路包括整流器、中间直流环节和逆变器。其控制电路由运算电路、检测电路、控制信号的输入/输出电路和驱动电路组成。

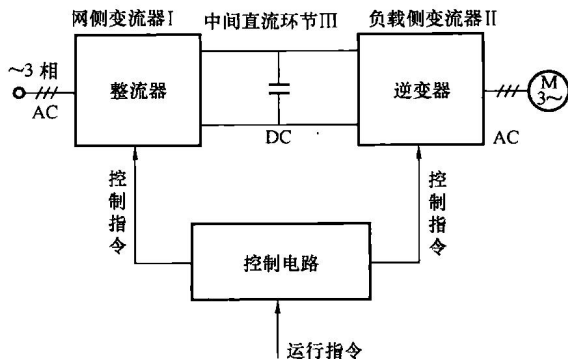


图 1-5 交-直-交电压型通用变频器的基本结构

1. 主电路

(1) 整流电路。整流电路的主要作用是把三相（或单相）交流电转变成直流电，为逆变电路提供所需的直流电源，在电压型变频器中，整流电路的作用相当于一个直流电压源。在中小容量变频器中，一般整流电路采用整流二极管或整流模块，如图 1-6 中的 VD1 ~ VD6。

(2) 滤波及限流电路。滤波电路通常由若干个电解电容并联成一组，如图 1-6 中 C1 和 C2。由于 C1、C2 两个电容的电容量在实际工作中存在不对称，可能使各电容承受的电压不相等，为了解决电容 C1 和 C2 均压问题，在两电容旁各并联一个阻值相等的均压电阻 R1 和 R2。

在图 1-6 中，串接在整流桥和滤波电容之间的限流电阻 R3 和短路开关 KS（虚线所划开关）组成了限流电路。当变频器接入电源的瞬间，将有一个



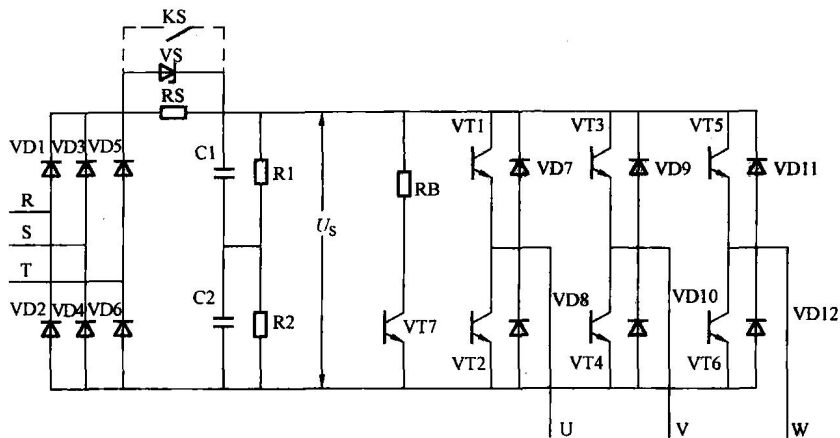


图 1-6 交-直-交电压型变频器主电路

很大的冲击电流经整流桥流向滤波电容，整流桥可能因电流过大而在接入电源的瞬间受到损坏，限流电阻 R_3 可以削弱该冲击电流，起到保护整流桥的作用，在许多变频器中 R_3 已经由晶闸管 VS 替代。

(3) 直流中间电路。整流电路可以将电网的交流电源整流成直流电压或直流电流，但这种电压或电流含有电压或电流纹波，将影响直流电压或电流的质量。为了减小这种电压或电流的波动，需要加电容器或电感器作为直流中间环节。

对电压型变频器来说，直流中间电路通过大容量的电容对输出电压进行滤波。

(4) 逆变电路。逆变电路是变频器最主要的部分之一，它的功能是在控制电路的控制下，将直流中间电路输出的直流电压转换为电压、频率均可调的交流电压，实现对异步电动机的变频调速控制。

在中小容量的变频器中多采用 PWM 开关方式的逆变电路，换流器件为大功率晶体管 (GTR)、绝缘栅双极晶体管 (IGBT) 或功率场效应晶体管 (P-MOSFET)。随着可关断晶闸管 (GTO) 容量和可靠性的提高，在中、大容量变频器中采用 PWM 开关方式的 GTO 晶闸管逆变电路逐渐成为主流。

在图 1-6 中，由开关管器件 $VT_1 \sim VT_6$ 构成的电路称为逆变桥，由 $VD_7 \sim VD_{12}$ 构成的电路称为续流电路。续流电路的作用如下：

- 1) 为电动机绕组的无功电流返回直流电路提供通路。
- 2) 当频率下降使同步转速下降时，为电动机的再生电能反馈至直流电路

提供通路。

3) 为电路的寄生电感在逆变过程中释放能量提供通路。

(5) 能耗制动电路。在变频调速中,电动机的减速和停机是通过减小变频器的输出频率,从而降低电动机的同步转速的方法来实现的。当电动机减速时,在频率刚减小的瞬间,电动机的同步转速随之降低,由于机械惯性,电动机转子转速未变,使同步转速低于电动机的实际转速,电动机处于发电制动运行状态,负载机械和电动机所具有的机械能量被回馈给电动机,并在电动机中产生制动力矩,使电动机的转速迅速下降。

电动机再生的电能经过图 1-6 中的续流二极管 VD7 ~ VD12 全波整流后,反馈到直流电路,由于直流电路的电能无法回馈给电网,在 C1 和 C2 上将产生短时间的电荷堆积,形成“泵生电压”,使直流电压升高,当直流电压过高时,可能损坏换流器件。变频器的检测单元检测到直流回路电压 U_s 超过规定值时,控制功率管 VT7 导通,接通能耗制动电路,使直流回路通过电阻 RT7 释放电能。

2. 控制电路

为变频器的主电路提供通断控制信号的电路,称为控制电路。其主要任务是完成对逆变器开关管器件的开关控制和提供多种保护功能。其控制方式有模拟控制和数字控制两种。目前已广泛采用了以微处理器为核心的全数字控制技术,主要靠软件完成各种控制功能,以充分发挥微处理器计算能力强和软件控制灵活性高的特点,完成许多模拟控制方式难以实现的功能。控制电路主要由以下部分组成:

(1) 运算电路。运算电路的主要作用是将外部的速度、转矩等指令信号同检测电路的电流、电压信号进行比较运算,决定变频器的输出频率和电压。

(2) 信号检测电路。信号检测电路的作用是将变频器和电动机的工作状态反馈至微处理器,并由微处理器按事先确定的算法进行处理后为各部分电路提供所需的控制或保护信号。

(3) 驱动电路。驱动电路的作用是为变频器中逆变电路的换流器件提供驱动信号。当逆变电路的换流器件为晶体管时,称为基极驱动电路;当逆变电路的换流器件为可控硅(SCR)、IGBT 或 GTO 时,称为门极驱动电路。

(4) 保护电路。保护电路的主要作用是对检测电路得到的各种信号进行运算处理,以判断变频器本身或系统是否出现异常。当检测到出现异常时,保护电路进行各种必要的处理,如使变频器停止工作或抑制电压、电流值等。



● [技能实操]

1.1.3 变频器的面板介绍

变频器上端盖如图 1-7 所示。变频器的数字操作显示面板如图 1-8 所示。

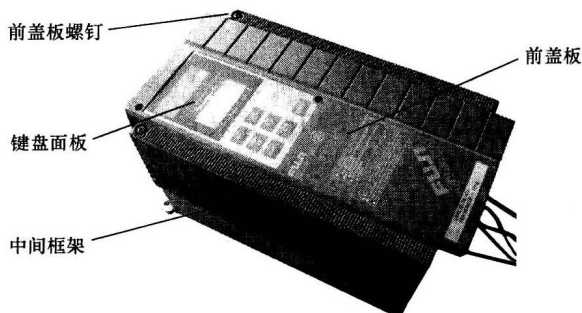


图 1-7 变频器上端盖

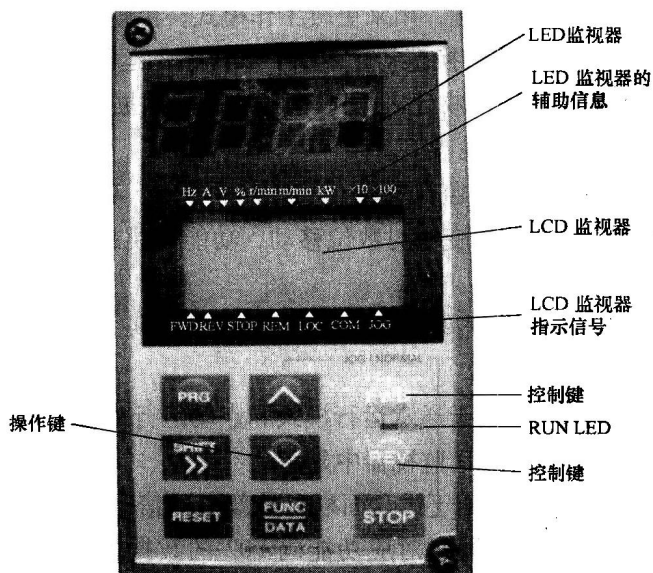


图 1-8 变频器的数字操作显示面板

1. LED 监视器

LED 监视器由 7 段 LED, 4 位显示。显示设定频率、输出频率等各种监视数据以及报警代码等。

2. LCD 监视器

LCD 监视器显示从运行状态到功能数据等各种信息。LCD 最低行以轮换方式显示操作指导信息。

3. LCD 监视器指示信号

LCD 监视器指示信号主要有两种功能:

(1) 显示下列运行状态之一: FWD, 正转运行; REV, 反转运行; STOP, 停止。

(2) 显示选择的运行模式: REM, 端子台; LOC, 键盘面板; COM, 通信端子; JOG, 点动模式。另外, 符号 ▼ 表示后面还有其他画面。

4. RUN LED

RUN LED 仅键盘面板操作时有效。按 **FWD** 和 **REV** 键输入运行命令时点亮。

5. 操作键

操作键用于更换画面、变更数据和设定频率等。

(1) **PRG** 键: 模式转换键, 用来更改工作模式, 由现行画面转换为菜单画面, 或者由运行/跳闸模式转换至初始画面。如显示、运行及程序设定模式等。

(2) **▲**、**▼** 键: 增、减键, 用于增加或减小数据, 加速数据更改, 游标上下移动 (选择), 画面轮换。

(3) **FUNC DATA** 键: 用于 LED 监视更换, 设定频率存入, 功能代码数据存入。

(4) **SHIFT >** 键: 用于数据变更时数位移动, 功能组跳越 (同时按此键和增、减键)。

(5) **RESET** 键: 用于数据变更取消, 显示画面转换, 报警复位 (仅在报警初始画面显示时有效)。

(6) **STOP** + **▲** 键: 用于通常运行模式和点动运行模式可相互切换 (模式相互切换)。所选模式在 LCD 监视器中显示。

(7) **STOP** + **RESET** 键: 用于键盘面板和外部端子信号运行方法的切换 (设定数据保护时无法切换)。同时对应功能码 F02 的数据也相互在 1 和 0 切换。所选模式显示于 LCD 监视器。

6. 控制键

(1) **FWD** 键: 正转运行。

(2) **REV** 键: 反转运行。



(3) **STOP** 键：停止运行。

1.1.4 键盘面板操作体系

1. 正常运行

正常运行时，键盘面板操作体系的基本结构如图 1-9 所示。

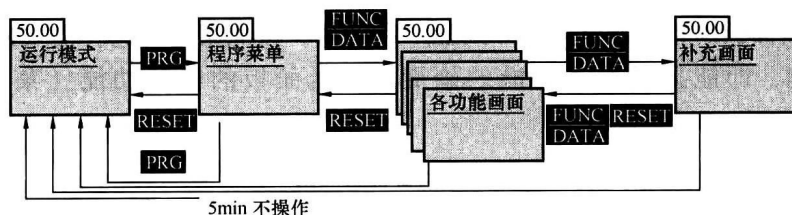


图 1-9 键盘面板操作体系

若 5min 不操作，会自动转入运行模式。

2. 报警发生

报警发生时，保护功能动作，即发生报警时，键盘面板操作体系将由正常运行时的操作体系自动转换为报警时的操作体系。报警发生时出现的报警模式画面显示各种报警信息。

此时程序菜单、各种功能画面及补充画面仍和正常运行时的一样，但是由程序菜单转换为报警模式只能通过 **PRG** 键实现。此外，若 5min 不操作，会自动进入报警模式。

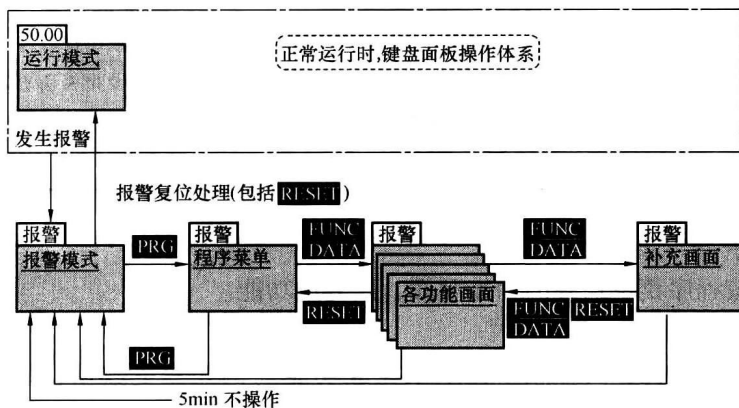


图 1-10 报警模式