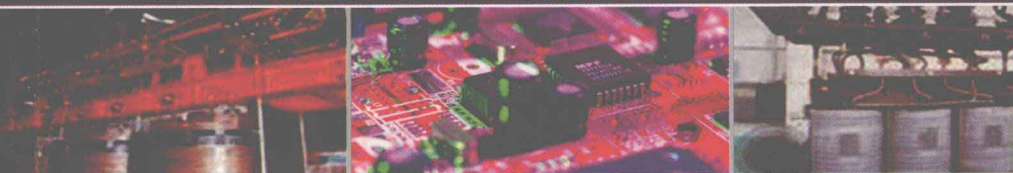


冶金动力职业技能培训系列教材

常用电气设备的维修



河北钢铁股份有限公司邯郸分公司动力厂 编
张 卫 主编

CHANGYONG DIANQI SHEBEI DE WENXU



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

冶金动力职业技能培训系列教材

常用电气设备的维修

河北钢铁股份有限公司邯郸分公司动力厂 编

主编 张 卫

参编 孙伟亮 脱子林 马卫东 韩建生 高丽平
李凯军 杨国旺 魏 华 李 江

机械工业出版社

本书为《冶金动力职业技能培训系列教材》中的一本,主要介绍冶金企业辅助动力系统中常用电气设备的维护与修理。内容包括:小型可编程序控制器的原理和应用,常用电器设备的调试与维修,电机、变压器的修理与维护,高压电动机的控制系统和软起动器,电力电缆的运行维护与检修。每一章节均结合学习内容编写了实际案例,供读者更深刻地理解学习内容,并在工作实践中参考。

本书主要作为冶金企业辅助动力系统的电气维护人员岗前培训教材,可供具有高中及以上文化,具备初级电气基本理论和电气实践工作经验的技工使用,也可以作为系统内专业技术人员的技术参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

常用电气设备的维修/张卫主编. —北京:机械工业出版社, 2011.2

冶金动力职业技能培训系列教材

ISBN 978-7-111-33049-3

I. ①常… II. ①张… III. ①电气设备—维修—技术培训—教材 IV. ①TM07

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 008530 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:吕德齐 责任编辑:吕德齐 郑 铨

版式设计:霍永明 责任校对:申春香

封面设计:陈 沛 责任印制:杨 曦

北京四季青印刷厂印刷 (三河市杨庄镇环伟装订厂装订)

2011 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

140mm×203mm·8.875 印张·1 插页·234 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-33049-3

定价:25.00 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

策划编辑 (010) 88379772

社 服 务 中 心:(010)88361066

网络服务

销 售 一 部:(010)68326294

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销 售 二 部:(010)88379649

教材网: <http://www.cmpedu.com>

读者购书热线:(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

丛 书 序

河北钢铁集团邯郸分公司（原邯钢）始建于1958年，分公司动力厂长期从事氧气、氮气、氩气、氢气和压缩空气的生产输送工作，以及高炉煤气余压发电，220kV、110kV、35kV输变电、继电保护试验，电机、变压器的修理试验等工作。长期的工作实践，使动力厂积累了雄厚的技术力量和丰富的实践经验。

近年来，伴随着分公司的产业结构调整、生产规模扩大、装备更新换代，动力厂以实现企业的可持续发展为目标，一手抓装备的更新改造，一手抓员工素质的提高。2002年以来，动力厂始终把员工职业技能培训和提高作为本单位最重要的工作之一，常抓不懈。本套培训教材就是动力厂70多位工程技术人员和老技师自己编写的，并在动力厂作为长期使用的操作岗位员工职业技能培训专用教材。

本套教材以操作岗位员工为对象，以提高员工的操作技能、安全生产能力和应急处理能力为重点。全套丛书共有10册，分别是《气体压缩机运行与维护》、《气体深冷分离操作指南》、《气体吸附制取操作指南》、《制氧站辅助系统运行与维护》、《气体生产系统安全》、《余压发电站运行与维护》、《变电站运行与维护》、《常用电气设备的维修》、《实用电气试验技术》、《电气运行维检安全》。

衷心希望本套培训教材能够给同行们提供一定的帮助和借鉴，共同为冶金动力事业做出贡献。

穆 卫

前 言

随着冶金企业的不断发展，冶金企业辅助动力系统的电气设备呈现设备容量大型化、控制系统现代化与集成化的趋势。这些设备中，新型设备和进口设备的大面积应用对职工的知识结构和技术水平提出了新的要求。

广大职工是企业稳定、快速发展最主要的源泉。广大职工坚实的基础理论知识、宝贵的工作经验与现代电气技术相结合，可以使大型化、现代化的电气设备产能倍增。所以重视职工的岗前培训，特别是面向现代化、大型化电气设备的岗位技术培训对于企业和职工都非常重要。

本书是《冶金动力职业技能培训系列教材》中的一本，主要讲述及冶金企业辅助动力系统中常用电气设备的维护与修理。其主要作者都是来自一线岗位的工程技术人员，他们在实践中积累了丰富的经验。这些工程技术人员查阅大量工程技术资料，通过他们对新技术、新装备的技术消化、吸收和对本职工作的观察、反思、审视、总结，形成了这本书的主要内容。

本书由张卫主编，由孙伟亮负责统稿，参加编写人员有：孙伟亮、脱子林、马卫东、韩建生、高丽平、李凯军、杨国旺、魏华、李江。

由于我们的技术视野和技术积累有限，编写技术教材的经验不足，我们的这些总结可能比较浅近，内容可能有所疏漏，欢迎读者朋友探讨、指正；也希望广大学员能够本着扬弃的态度，学习教材、认真实践，提高技术水平，适应岗位技术要求。

编 者

目 录

丛书序

前言

第一章 小型可编程序控制器的原理与应用	1
第一节 可编程序控制器概论	1
第二节 可编程序控制器的编程语言	6
第三节 基本指令及应用	18
第四节 编程规则	33
第五节 可编程序控制器系统的设计	39
第六节 编程实例	46
第二章 常用电器设备的调试与维修	51
第一节 常用低压电器设备的调试与维修	51
第二节 高压断路器的修理与维护	76
第三节 低压变频器的修理与维护	103
第三章 电机、变压器的修理与维护	120
第一节 电机的基本知识	120
第二节 三相低压电动机的检修与维护	123
第三节 高压电动机的检修与维护	134
第四节 变压器的检修与维护	141
第四章 高压电动机的控制系统与软起动器	155
第一节 大型电动机控制系统的控制功能	155
第二节 进口电动机控制系统的功能与特点	171
第三节 进口电动机控制系统常见故障的处理	180
第四节 进口大型同步电动机的变频软起动器	208
第五节 西门子变频软起动器 (SIMOVERT S) 系统的操作	225

第六节	西门子 SIMOVERT S 变频软起动器故障 的处理案例	230
第五章	电力电缆的运行维护与检修	235
第一节	电力电缆的运行维护	235
第二节	电力电缆的检修与施工	243
第三节	电力电缆附件与金具	255
第四节	电力电缆故障的处理	264
第五节	电缆防火	270

第一章 小型可编程序控制器的原理与应用

第一节 可编程序控制器概论

本章主要以三菱 FX1S-30MR 可编程序控制器 (PLC) 为例, 对小型可编程序控制器做一简单介绍。本着注重现场实际应用的原则, 对功能指令和步进指令的编写没有进行叙述, 读者欲了解有关知识可参考其他资料。

一、小型可编程序控制器的结构及组成

小型可编程序控制器是整体形式的, 是由中央处理单元 (CPU)、存储器、输入/输出单元、电源、通信端口、I/O 扩展端口等组成, 在一个箱体内构成主机。较为典型的如: 三菱的 FX1S、欧姆龙的 CPM1A、西门子的 S7-200 等。

(一) 中央处理单元 (CPU)

如图 1-1 所示, CPU 是可编程序控制器的核心部位。它是 PLC 运行的指挥中心, 按照预先编好的系统程序完成各种任务。

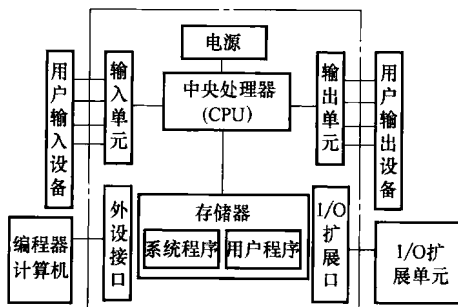


图 1-1 中央处理单元 (CPU)

其作用如下：

1) 接收、存储由编程工具输入的用户程序并显示出程序的内容和存储地址。

2) 检查、校验用户程序。

3) 接收和调用现场动作的信息。将接收到的现场输入的数据或信号保存起来，在需要该数据的时候将其调出。

4) 执行用户程序。当 PLC 进入运行状态后，CPU 根据用户程序的先后顺序逐条读取、解释和执行程序，完成用户程序中规定的各种动作要求，并将程序执行的最终结果送至输出端口。

5) 故障诊断、电源诊断、PLC 内部电路的故障提示与显示信息等。

(二) 存储器

存储器可以分为以下 3 类。

1) 系统程序存储器。系统程序是厂家根据其选用的 PLC 的指令系统编写的，用户不能调用更改其内容。

2) 用户程序存储器。用户根据控制要求而编制的应用程序称为用户程序。用户程序存储器是可读、可写（改）的，一般用电池进行掉电保护，以防止掉电后丢失程序。

3) 工作数据存储器。

(三) 输入部分

1. 开关量直流输入

输入端是 PLC 与外部设备相互连接的窗口，输入端接收现场设备元件所提供的信号，例如：按钮、限位开关、继电器触头等开关量信号。

输入的开关量信号经过输入电路的滤波、光电隔离、电平转换等，变成 CPU 能够接收和处理的信号内容。输入电源的类型一般分为两种，一种是直流输入单元，另一种是交流输入单元。

如图 1-2 所示为直流输入的工作原理图。图中点画线框内是 PLC 内部的输入电路，框外为外部用户接线。外接的直流电源极性可以任意。

光耦合器 VLC 的发光二极管与光敏晶体管封装在一个壳中，二极管中有电流时发光。此时光敏晶体管才导通。

工作原理：当外部的 SB1 按钮接通时，光耦合器 VLC 导通且 LED 点亮，表示输入的开关量 SB1 处于接通状态。当 CPU 访问该路信号时，将该输入点对应的输入影像寄存器状态置 1。当 SB1 断时光耦合器不导通，LED 不亮，表示输入开关处于断电状态。当 CPU 访问该路信号时，将信号输入点对应的输入映像寄存器状态置 0。

FX1S 可编程序控制器内部已提供了 24V 的直流电源，无须外接电源。

2. 开关量交流输入

如图 1-3 所示为交流输入的工作原理图。

光耦合器是两个反相并联的发光二极管，任一个发光可以使光敏晶体管导通。用于显示的两个发光二极管 VL 也是反相并联的。该电路可以接收外部的交流输入电压，与直流输入电路基本相同。

3. PLC 输入电路的接线形式

根据上面介绍的输入端的原理可知，一般 PLC 输入单元有如下形式：

(1) 共点式 输入单元

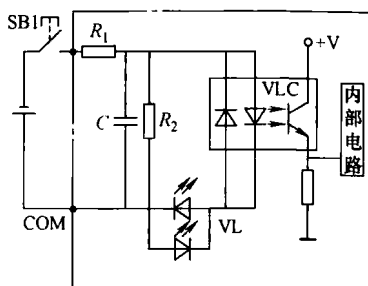


图 1-2 直流输入的工作原理
VLC—光耦合器 R_1 —限流电阻
 R_2 、 C —构成滤波电路
VL—LED，输入点的状态指示

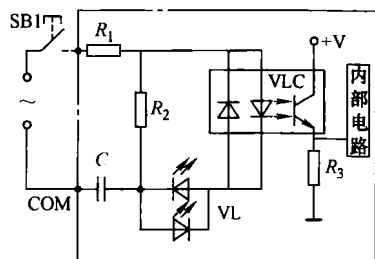


图 1-3 交流输入的工作原理
 C —隔直电容，对交流短路
 R_1 、 R_2 —构成分压电路
其余同图 1-2

具有一个公共端子 (COM) 的称为共点式; 外部各输入元件都有一个端子与 COM 相接。

(2) 分组式 将输入端子分为若干组, 每组共用一个公共端子。

(四) 开关量输出

1. 晶体管输出单元

晶体管输出单元如图 1-4 所示。

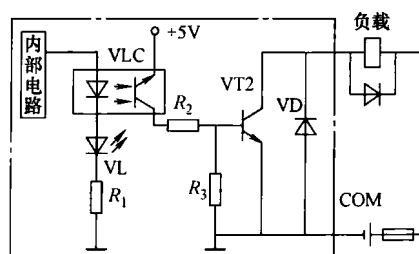


图 1-4 晶体管输出单元

VLC—光耦合器 VL—输出点状态指示 VT2—输出的晶体管 VD—保护二极管

(1) 工作原理 当光耦合器 VLC 的输入状态为 1 时, 通过内部电路使光耦合器 VLC 导通, 从而使晶体管 VT2 饱和导通, 负载线圈得电吸合。所以 CPU 使对应的输出为高电平, 而使 LED 点亮, 表示输出状态为 1。如果对应于内部电路的状态为 0 时, 光耦合器 VLC 不导通, 负载失电。

(2) 特点 晶体管为无触点开关, 所以晶体管输出单元有使用寿命长、响应速度快等优点。

2. 光控双向晶闸管输出单元

光控双向晶闸管输出单元如图 1-5 所示。它采用的输出电路开关器件是光控双向晶闸管。

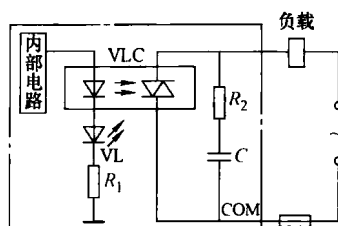


图 1-5 光控双向晶闸管输出单元

VLC—光控双向晶闸管

VL—输出点状态指示

R2、C—阻容吸收保护电路

框外为外部用户接线。

工作原理：对应于 VLC 的内部电路的状态为 1 时，发光二极管导通发光。光控双向晶闸管触发导通，负载线圈得电动作，同时输出指示灯 LED 亮，表示输出点接通。

同理，当 VLC 的内部电路的状态为 0 时，光控双向晶闸管关断，负载失电，指示灯 LED 熄灭。光控双向晶闸管输出型 PLC 的负载电路可以根据负载的需要选用直流电源或交流电源。

3. 继电器输出

继电器输出单元如图 1-6 所示。

(1) 工作原理 当对应于 K 的内部电路状态为 1 时（高电平），K 得电吸合，其常开触头闭合，负载得电，LED 发光，表示该输出点接通。当对应于 K 的内部电路状态为 0 时（低电平），K 线圈失电，其常开触头断开，负载失电，LED

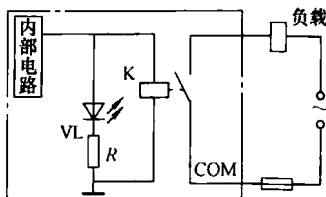


图 1-6 继电器输出单元
LED—输出点状态显示器 K—继电器

熄灭，表示该输出点断开。因此，继电器输出型 PLC 的负载电源可以根据需要选用直流电源或交流电源。

(2) 输出电路的形式 输出电路的形式有：共点式、分组式、隔离式。

二、PLC 电源部分

小型的 PLC 一般都配置内部电源为电路供电。它的输入电压范围宽、体积小、重量轻、效率高、抗干扰性能好。有的 PLC 向外部提供 24V 直流电源，可以给输入单元所连接的外部开关供电。

三、编程工具

编程工具是应用、检查、维护 PLC 以及监控系统运行不可缺少的外部设备。编程工具的主要作用是编辑程序、调试程序和监控程序的执行。

1) 专用的编程器是各个生产厂家提供的与本公司 PLC 配套的编程工具, 一般为手持编程器。它不能输入梯形图语言, 仅能输入指令语句程序。

2) 计算机辅助编程。各个厂家根据自己的 PLC 产品, 设计了自己专用的计算机辅助编程软件进行编程。例如: 三菱公司开发的 GX Developer 编程软件。

第二节 可编程序控制器的编程语言

可编程序控制器 (PLC) 是通过程序对系统进行控制的, 所以不同机型的 PLC 都有自己的编程语言。其基本的应用是相同的。编程语言有梯形图编程语言、语句表编程语言、逻辑功能图。

在实际应用中, 常用的有梯形图编程语言和语句表编程语言两种。下面主要介绍这两种语言的应用方法和概念。

一、梯形图语言的概念

梯形图语言是一种较为形象的图形符号, 类似于接触器-继电器控制中的符号, 因此非常容易被电气维护人员接受和掌握。但不同的厂家各有自己的一套图形符号的表示方式。表 1-1 为梯形图符号与物理接触器-继电器控制符号的比较。

表 1-1 梯形图符号与物理接触器-继电器控制符号的比较

项 目 \ 名 称		物理接触器-继电器	梯形图符号
线圈			
触头	常开		
	常闭		

图 1-7a 所示是用接触器-继电器控制的电动机直接起动、停止和保持控制的典型电路 (简称起-保-停电路)。图 1-7b 所示是用 PLC 控制的起-保-停电路梯形图。可见它们很相似。其实只是在表达方式上的相似, 实质上却存在着本质的区别。

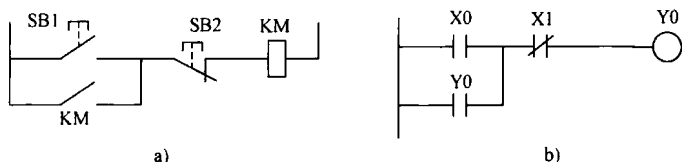


图 1-7 起-保-停电路的不同表现

a) 接触器-继电器控制的电路 b) PLC 控制的电路

1) 接触-继电器控制电路中，所使用的继电器都是物理继电器，而继电器与控制电器是通过导线根据不同的控制连接来完成的；而 PLC 的继电器不是物理的继电器，它是 PLC 内部的寄存器位，常称之为“软继电器”。PLC 梯形图的接线被称为“软接线”。这种接线是通过 PLC 指令来实现各种控制的。

2) PLC 的每一个继电器对应内部一个位（寄存器位），因此在编制用户程序时，它的常开、常闭触头，可以无限制地使用；而物理继电器的常开触头、常闭触头是有限的。如果所需触头不够，则还需增加继电器来扩大触头的数量。

二、梯形图形成及 PLC 等效工作电路

用等效电路的方法来进行进一步理解可程序控制器是有一定的帮助的。PLC 控制系统的等效工作电路可分为三个部分，即输入部分、内部控制电路梯形图、输出部分。下面以简单的电动机起-保-停电路（图 1-8）为例予以说明。

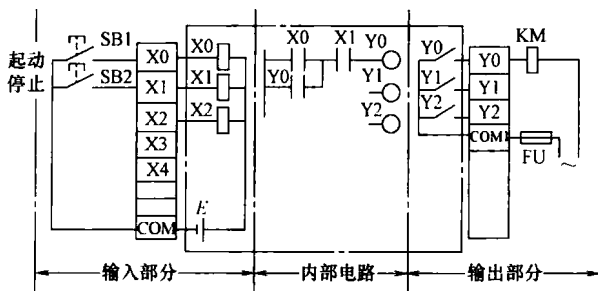


图 1-8 电动机起-保-停电路的控制电路

（一）输入部分

输入部分由外部输入电路元件、PLC 接线端子、输入继电器组成（称为软继电器）。

工作原理：当外部输入设备或元件处于动作状态时，（常开触头闭合、常闭触头断开）则对应的输入继电器线圈动作（等效线圈），其相应的触头供 PLC 内部控制电路编程所用。

（二）内部电路

所谓内部电路是由用户程序形成的用“软继电器”来代替物理继电器的一种逻辑电路。它是按照用户程序规定的逻辑关系，对输入信号和输出信号的状态进行判断、运算和处理，然后得到相应的输出结果。

（三）输出部分

输出部分是由在 PLC 内部与内部控制电路隔离的输出继电器的外部常开触头、输出接线端子和外部驱动电路组成，用来驱动外部负载。外部负载电路必须由外部电源供电。图 1-9 所示是 PLC 信号传递过程的示意图。

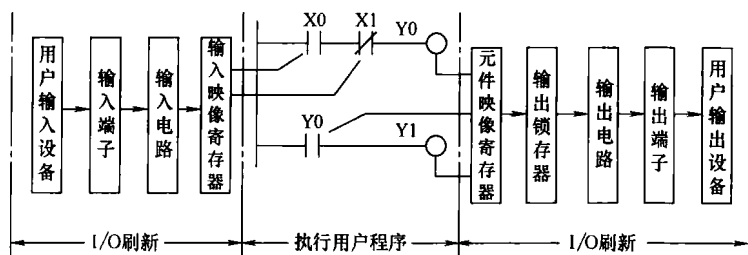


图 1-9 PLC 信号传递过程的示意图

这是某一个扫描周期里执行用户程序的具体过程：执行第一梯级时，CPU 从输入映像寄存器中读出 X0 号输入继电器的状态，设其为 1；再读出 X1 输入继电器的状态，设其为 0；由 X0 和 X1 的状态算出 Y0 当前的状态是 1。在此之前当 Y0 的状态是 0 时，则 CPU 用当前的 1 去改写元件映像寄存器中对应的 Y0 的位。

下一步在执行第二个梯级时, 先从元件映像寄存器中读出 Y0 号继电器的状态 (即前一步存入的), 算出 Y1 继电器的状态是 1。(若此前 Y1 状态是 0, 则 CPU 用当前的 1 去改写元件映像寄存器中 Y1 对应的位) 本次扫描 I/O 刷新的结果是: Y0 为 1; Y1 为 1。从以上分析可得出, 执行用户程序的扫描阶段其特点是:

1) 在执行用户程序的过程中, 输入映像寄存器的状态不变。

2) 元件映像寄存器的内容随程序的执行在改变, 前一步的计算结果随即作为下一步的计算条件, 这一点与输入映像寄存器完全不同。

3) 程序的进行是由上而下进行的, 所以各梯级中的继电器不可能同时改变状态。

4) 执行用户程序的结果要保持到下一个扫描周期的用户执行阶段。

三、FX1S 系列可编程序控制器的构成

可编程序控制器种类较多, 其基本结构大体是相同的。以下是 FX1S 系列可编程序控制器的硬件、软件配置情况。

(一) FX1S 的型号规格 (图 1-10) 及出线端子 (图 1-11)

FX1S-□□M□				
输入/输出 合计点数	型号		输出形式	
	输入/输出点数		基本单元类型	
	输入点	输出点	DC 输入 继电器输出	DC 输入 晶体管输出
10	6	4	FX1S-10MR	FX1S-10MT
14	8	6	FX1S-14MR	FX1S-14MT
20	12	8	FX1S-20MR	FX1S-20MT
30	14	14	FX1S-30MR	FX1S-30MT

图 1-10 FX1S 的型号规格

输出形式: R 系列为继电器输出 (有触头, 交流/直流负载两用)。T 系列为晶体管输出 (无触头, 直流负载用)。

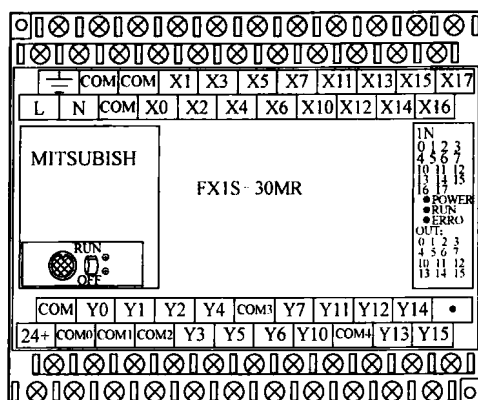


图 1-11 出线端子

(二) 电源

FX1S 可编程序控制器电源规格及电源连接形式如图 1-12 所示。

型 号	FX1S-10M	FX1S-14M	FX1S-20M	FX1S-30M
额定电压/V	AC100~240			
电压允许范围/V	AC85~264			
额定频率/Hz	50/60			
允许瞬间断电时间	10ms 以下瞬间停电，能继续工作			
电源熔丝	250V, 1A, $\phi 5\text{mm} \times 20\text{mm}$			
冲击电流	最大 15A, 5ms 以下, AC100V 最大 25A, 5ms 以下, AC200V			
耗电/W	19	19	20	21
传感器电源	DC24V, 400mA			

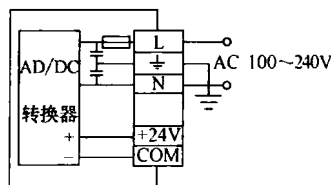


图 1-12 FX1S 可编程序控制器电源规格及电源连接形式