

■ 可编程序控制系统应用案例系列丛书

# 可编程序控制器模拟量 及PID算法应用案例

霍昱 曹辉 编著



高等教育出版社  
HIGHER EDUCATION PRESS

TM571. 6/83

2008

■ 可编程序控制应用案例丛书

# 可编程序控制器模拟量 及PID算法应用案例

霍昱 曹辉 编著



高等教育出版社  
HIGHER EDUCATION PRESS

## 内容提要

本书以 OMRON 公司生产的 CP1H、CJ1H 型可编程序控制器 (PLC) 为基本机型, 结合编者的教学与工程实践经验, 引用典型实例详细介绍了 PLC 模拟量输入/输出单元的基本原理和使用方法, 数字滤波、量程变换和 PID 算法的编程方法。借助此书, 读者将循序渐进地掌握处理模拟量的典型方法, 举一反三, 触类旁通。

本书的知识结构严谨, 强调实用性, 可作为高等院校工业自动化、电气技术、机电一体化以及相关专业的教学用书, 也可作为高职高专以及“可编程序控制系统设计师”职业资格的培训教材或自学用书, 还可供有关工程技术人员参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

可编程序控制器模拟量及 PID 算法应用案例 / 霍昱, 曹辉编著. —北京: 高等教育出版社, 2008.3

(可编程序控制系统应用案例系列丛书/林育兹主编)

ISBN 978-7-04-023344-5

I. 可… II. ①霍… ②曹… III. 可编程序控制器  
IV. TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 015496 号

策划编辑 韩颖 责任编辑 孙薇 封面设计 张申申 责任绘图 尹莉  
版式设计 马敬茹 责任校对 胡晓琪 责任印制 宋克学

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街 4 号  
邮政编码 100011  
总 机 010-58581000  
经 销 蓝色畅想图书发行有限公司  
印 刷 北京新华印刷厂

购书热线 010-58581118  
免费咨询 800-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landraco.com>  
<http://www.landraco.com.cn>  
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开 本 787×960 1/16  
印 张 9.75  
字 数 170 000

版 次 2008 年 3 月第 1 版  
印 次 2008 年 3 月第 1 次印刷  
定 价 15.80 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 23344-00

# 可编程序控制系统应用案例系列丛书

## 编审委员会

- 总指导 市川畅男 欧姆龙自动化(中国)统辖集团
- 总策划 冯身媛 中国电工技术学会工业自动化高技能人才培训部主任
- 主 审 欧阳沪群 欧姆龙自动化(中国)统辖集团

### 编审委员会成员

- |     |                |
|-----|----------------|
| 林育兹 | 厦门大学           |
| 曹 辉 | 北京联合大学         |
| 戴一平 | 浙江机电职业技术学院     |
| 韩 颖 | 高等教育出版社        |
| 欧阳舟 | 高等教育出版社        |
| 彭 涛 | 欧姆龙自动化(中国)统辖集团 |
| 朱妙其 | 欧姆龙自动化(中国)统辖集团 |
| 周丽韵 | 欧姆龙自动化(中国)统辖集团 |

编审委员会联系方式: [PLCPX@126.com](mailto:PLCPX@126.com)  
021-50372222 转 1841

# 序

“可编程序控制系统应用案例系列丛书”，是在 2006 年“可编程序控制器原理及应用系列丛书”的基础上，应广大读者和用户要求，由多所高等院校教师、长期从事可编程序控制系统应用研究人员和本丛书编审委员会的通力合作，精心编撰完成的最新丛书。该系列丛书还得到欧姆龙自动化（中国）统辖集团总裁办市川畅男先生的亲自指导和学术交流部的策划，为该丛书的出版提供了有力保障。

全套丛书共 6 分册，读者可按实际需要选用下列不同分册。

PLC 逻辑控制案例

PLC 模拟量及 PID 算法应用案例

PLC 网络系统应用案例

变频器应用案例

可编程终端应用案例

PLC 位置控制应用案例

本套丛书有以下特色：

1. 机型新颖。丛书中涉及的 PLC 等设备，均以 OMRON 公司的 CP1H 型、CJ1 型和 CS1 型等主导产品和新产品为例，并兼顾不同用户对不同产品的需要。
2. 内容全面。系列丛书既包括应用最广泛的逻辑控制、过程控制和位置控制，还涵盖了变频器调速、可编程终端、通信和网络系统等方面的应用，信息量丰富，基本涵盖了“可编程序控制系统设计师”的职业需求内容和相关知识。
3. 案例典型实用。本系列丛书结合工程实践的需要，以实际应用案例为主线。各分册既可以独立使用，又可以交叉融合，形成联系紧密的完整应用体系。
4. 打破传统模式。本系列丛书力求打破从结构、原理到应用的纵向编写模式，力图从学习者的认知角度，采用横纵结合的编写方法，以典型案例为主线，将相关概念和原理等知识贯穿其中，使读者循序渐进地将理论与实践相结合。
5. 重视技能培养。丛书内容以职业技能训练需求为依据，以达到“可编程

序控制系统设计师”为培养目标，层次分明，使读者学有所得，练有提高。在 <http://edu.omron.com.cn/>网站中，还列举了培训单位和联系方式，并提供各分册主编的电子邮箱，建议读者或用户通过以上方式进行联系，选择参加相应内容的职业技术培训，以收到更好效果。

丛书编审委员会

2007年3月

# 前 言

可编程序控制器 (PLC) 是综合了计算机技术、自动化控制技术和通信技术的一种新型的、通用的自动控制装置。它具有功能强、可靠性高、操作灵活、编程简便以及适合于工业环境等一系列优点, 在工业自动化、过程控制、机电一体化、传统产业技术改造等方面的应用越来越广泛, 已成为现代工业控制的三大支柱之一。

本书编者是 2005 年北京市级精品课程“可编程序控制器”的主讲教师, 是中国劳动和社会保障部聘请的《可编程序控制系统设计师国家职业标准》的起草专家组成员, 曾主持天津一汽丰田汽车厂空调控制系统程序设计等多项实际项目, 主编的《可编程序控制器系统原理及应用》一书被评为 2006 年北京市高等教育精品教材。

本书以 OMRON (欧姆龙) 公司生产的 CP1H 型和 CJ1H 型 PLC 为典型机型, 从案例出发, 讲述 PLC 模拟量输入/输出单元的基本原理和使用方法, 数字滤波、量程变换和 PID 算法的编程方法。本书在案例讨论时, 采用 CP1H 和 CJ1H 型 PLC 的地址编写梯形图, 读者可视使用的 PLC 机型稍作调整, 或在培训教师的指导下完成。

全书共分 3 个案例。案例 1 模拟量输入数据采集, 介绍 PLC 的模拟量输入单元工作原理、使用方法及软件设置, 量程变换与数字滤波的编程方法等内容, 由霍昱、曹辉编写; 案例 2 模拟量输出数据处理, 介绍模拟量输出单元工作原理、使用方法及软件设置, 量程逆变换与锯齿波发生器的编程实例, 由霍昱编写; 案例 3 PLC 温度控制系统设计, 以某汽车厂装配车间空调系统为例, 综合介绍控制系统的硬件构成, 模拟量输入/输出配置, 量程变换及 PID 算法等实际应用内容, 并兼顾 CP1H 与 CJ1H 型 PLC 的基础知识, 由霍昱编写。全书由霍昱统稿, 参加编写的还有樊晓兵、杭和平、解晗、罗维、高雪飞、李志娟、谢飞、杨玉稚。书中所有程序均已通过调试, 便于读者对照使用。

在本书编写中, 欧姆龙自动化(中国)统辖集团、高等教育出版社给予了大力的支持和帮助; 浙江机电职业技术学院戴一平老师提供了案例资料; 厦门大学林育兹老师审阅了全书, 提出了许多宝贵意见。同时, 编者还参考和引用

了参考文献中有关编者的部分资料。在此，本书编者一并向他们深表谢意。

由于编者水平有限，时间较仓促，书中难免有错漏和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

E-mail: [cobnhuo@126.com](mailto:cobnhuo@126.com), Tel: 010-52072082。

编者

2007年10月



# 目 录

案例 1 模拟量输入数据采集	1
1.1 模拟量输入单元的配置	1
1.1.1 CJ1W-AD081-V1 单元的工作原理	1
1.1.2 CJ1W-AD081-V1 单元的使用方法	3
1.2 量程变换	16
1.2.1 标度指令 SCL (194) 的工作原理	17
1.2.2 标度指令 SCL (194) 的应用实例	18
1.2.3 标度 2 指令 SCL2 (486) 的工作原理	18
1.2.4 标度 2 指令 SCL2 (486) 的应用实例	20
1.3 数字滤波	21
1.3.1 限幅滤波的原理	22
1.3.2 限幅滤波的应用实例	23
1.3.3 限幅滤波编程指令的使用方法	23
1.3.4 算术平均值滤波的原理	26
1.3.5 算术平均值滤波的应用实例	26
1.3.6 算术平均值滤波编程指令的使用方法	29
1.3.7 加权平均值滤波的原理	31
1.3.8 滑动平均值滤波的原理	31
1.3.9 滑动平均值滤波的应用实例	32
1.3.10 字移位指令 WSFT (016) 的工作原理	34
1.4 CJ 系列 PLC 综述	34
1.4.1 CJ 系列 PLC 的系统特点与功能	34
1.4.2 CJ 系列 PLC 的基本结构与配置	35
1.4.3 CJ 系列 PLC 的 I/O 扩展	40
1.4.4 CJ 系列 PLC 的基本 I/O 单元	41
1.4.5 CJ 系列 PLC 的特殊 I/O 单元	43
1.4.6 CJ 系列 PLC 的存储器	44
思考与练习	46
案例 2 模拟量输出数据处理	47
2.1 模拟量输出单元的配置	47

2.1.1	CJ1W-DA041 单元的工作原理	47
2.1.2	CJ1W-DA041 单元的使用方法	48
2.2	量程逆变换	56
2.2.1	标度 3 指令 SCL3 (487) 的工作原理	56
2.2.2	标度 3 指令 SCL3 (487) 的应用实例	58
2.3	锯齿波发生器的程序设计	60
2.3.1	PLC 设计锯齿电压波发生器的步骤	60
2.3.2	锯齿电压波发生器的编程实例	62
2.3.3	锯齿电压波发生器编程指令的使用方法	64
	思考与练习	69
<b>案例 3</b>	<b>PLC 温度控制系统设计</b>	<b>70</b>
3.1	PLC 回路控制方案概述	70
3.2	空调系统流程及控制要求	72
3.3	控制系统配置及 I/O 分配	75
3.3.1	系统硬件配置	75
3.3.2	I/O 分配	76
3.4	CP1H PLC 模拟量输入/输出单元	77
3.4.1	CP1H 模拟量输入单元功能	77
3.4.2	CP1H 模拟量输入单元的工作原理	79
3.4.3	CP1H 模拟量输出单元功能	82
3.4.4	CP1H 模拟量输出单元的工作原理	83
3.5	控制系统程序设计	85
3.5.1	控制系统程序设计流程	85
3.5.2	模拟量单元的软件设置	85
3.5.3	量程换算	87
3.5.4	PID 算法	92
3.5.5	PID 算法编程实例	97
3.5.6	自整定 PID 控制算法	103
3.5.7	量程标度的标准化	108
3.5.8	报警程序实例	110
3.6	CP1H 系列 PLC 综述	115
3.6.1	CP1H PLC 的基本结构与系统特点	115
3.6.2	CPU 单元	117
3.6.3	CP1H PLC 的输入/输出单元	128
3.6.4	CP1H PLC 的存储器	131

3.6.5 CP1H PLC 的 I/O 扩展单元.....	134
思考与练习.....	135
附录一 CP1H 的开关量输入/输出规格 (XA/X 型) .....	136
附录二 CP1H 扩展单元.....	138
参考文献.....	142

# 案例 1

## 模拟量输入数据采集

在工业测控系统中,模拟量是指连续变化的物理量,如温度、压力、流量、电流、电压等,但是工控机如可编程序控制器(以下简称 PLC)的中央处理器(以下简称 CPU)只能处理数字量,当 PLC 处理模拟量时,通常是先将模拟量转换为数字量后,再由 PLC 的 CPU 进行运算处理,最终将运算的数字量结果再转换为模拟量,因此就出现了旨在辅助 PLC 处理模拟量的各种模拟量接口单元。

本案例将以压力数据采集方法为例,介绍模拟量输入单元的硬件连接与设定、量程变换及数字滤波处理的编程方法等。本例以欧姆龙公司的 CJ1 PLC 及其配套的模拟量输入单元 CJ1W-AD081-V1 为硬件平台,学习本例的前提是读者已掌握了欧姆龙公司 PLC 的基本指令和编程软件 CX-Programmer 的使用方法。

### 1.1 模拟量输入单元的配置

模拟量输入单元属于特殊功能 I/O 单元,它的应用方法远比开关量型 I/O 单元复杂,由于每个单元占用的数据存储量大,所以一个 PLC 控制系统中配置的特殊 I/O 单元数量是很有限的,根据 PLC 的 CPU 型号可配置数量不等的特殊单元。工程技术人员掌握模拟量输入单元的实际应用需从以下五点入手:

- ① 了解模拟量输入单元的类型和基本工作原理。
- ② 详细了解模拟量输入单元的主要功能及技术指标,掌握选型技巧。
- ③ 掌握模拟量输入单元的硬件配置,特别是单元号、量程的设置及配线等。
- ④ 掌握模拟量输入单元的存储区域设置及标志位的调用。
- ⑤ 会编写梯形图程序调用模拟量输入单元处理的数据。

下面以欧姆龙公司的模拟量输入单元 CJ1W-AD081-V1 为例,详细说明其应用方法及技巧。

#### 1.1.1 CJ1W-AD081-V1 单元的工作原理

模拟量输入单元是将模拟量输入信号(标准量程的电压或电流信号)转换成数字量后送入 PLC 中相应存储区的单元。CJ1W-AD081-V1 单元的主要技术

指标见表 1-1。

表 1-1 CJ1W-AD081-V1 单元主要技术指标表

项 目		电 压 输 入	电 流 输 入
模拟量输入信号路数		8 路	
输入信号范围 <sup>①</sup>		1~5 V    0~5 V 0~10 V   -10~10 V	4~20 mA
输入信号最大值 <sup>②</sup>		±15 V	±30 mA
输入阻抗		1 MΩ 以上	250 Ω (额定值)
分辨率		满量程的 4 000 (或 8 000 <sup>③</sup> )	
转换输出数据		16 位二进制数	
精度 <sup>④</sup>	23±2 ℃	满量程的±0.2%	满量程的±0.4%
	0~55 ℃	满量程的±0.4%	满量程的±0.6%
A/D 转换时间 <sup>⑤</sup>		最大 1.0 ms/点 (或 250 μs/点)	
功率消耗		在 5 V DC, 420 mA 以下	
隔离措施 <sup>⑥</sup>		在输入端子与 PLC 间采用光电耦合器 (在单独的 I/O 信号之间无隔离)	
对 CPU 循环时间的影响		0.2 ms	
单元的最大数量 <sup>⑦</sup>		每个机架 4 ~10 个	
与 CPU 单元交换数据		CIO 区 (CIO2000~CIO2959) 的特殊 I/O 单元区: 每个单元占 10 个字 DM 区 (D20000~D29599) 的特殊 I/O 单元区: 每个单元占 100 个字	
安装位置		CJ 系列 CPU 机架或 CJ 系列扩展机架	
输入功能	平均值处理	在缓冲器中存储最后“n”个数据, 求取的平均值存储到相应通道中, 缓冲号 n=2, 4, 8, 16, 32, 64	
	峰值保持	当峰值保持位为“ON”时, 存储最大的转换值	
	输入断线检测	检测断线并将断线检测标志置为“ON” <sup>⑧</sup>	

注: ① 对每路输入信号可单独设置范围。

② 确保信号在规定量程内操作, 否则将损坏单元。

③ 对于 V1 版本的模拟量输入单元, 可以在 DM 区的 m+18 字内设置分辨率为 8 000, 转换时间可以设置为 250 μs, 两者必须同时设置生效或同时取消。

④ 精度按满量程计算, 如±0.2%的精度将会导致的最大误差为±8 (BCD 码)。缺省设置值的电压输入可以调整, 如果是电流输入, 则相应调整偏置和增益值。

⑤ A/D 转换时间是指一个模拟信号经输入单元转换后并以数字量形式存储到存储器中所耗费的时间。CPU 单元读取转换数据前至少延迟一个扫描周期。

⑥ 高于 600 V 的电压接入单元会损坏内部元件。

⑦ 能安装到一个机架上的最大模拟量输入单元数量取决于安装在机架上的供电单元。

⑧ 仅当量程设置为 1~5 V 或 4~20 mA 时, 才支持断线检测。当量程设置为 1~5 V 或 4~20 mA 时, 无输入信号, 断线标志位为“ON”。

CJ1W-AD081-V1 的工作原理是在单元硬件设置正确的前提下,当 AD081 单元上电或 CJ1 PLC 的辅助区 (A 区) 中与该单元对应的重新启动位激活时, CPU 将用户预置在 DM 区中的相关参数通过 I/O 总线传送给存储器,并根据用户编写的梯形图程序控制 A/D 转换器完成模拟量到数字量的转换,最后将转换后的数字量传送到 PLC 指定的存储字中。工作原理如图 1-1 所示。

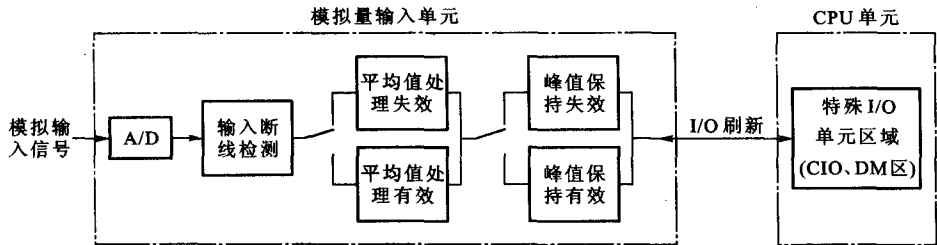


图 1-1 模拟量输入单元工作原理图

### 1.1.2 CJ1W-AD081-V1 单元的使用方法

**例 1.1** 将生产现场的某压力变送器连接到 CJ1W-AD081-V1 单元上,该压力变送器的输出信号为 1~5 V 的模拟电压信号,对应于实际工程值为 200~800 kPa,要求将 A/D 转换后的数值存储在 W100 通道中。

设置 CJ1W-AD081-V1 单元的操作步骤如下:

#### 1. 设置单元号

CJ1W-AD081-V1 单元如图 1-2 所示。

单元面板上有两个旋转拨码盘用来设置单元号。可以用螺丝刀设置 0~95 任意一个数,但是不能与 PLC 正在使用的其他特殊 I/O 单元的单元号重复。假设本例中将 CJ1W-AD081-V1 的单元号设置为 1,按以下公式计算该单元占用的 CIO 区首通道  $n$  与 DM 区首通道  $m$ 。

$$n = \text{CIO}2000 + 10 \times \text{单元号} = \text{CIO}2000 + 10 \times 1 = \text{CIO}2010$$

$$m = \text{D}20000 + 100 \times \text{单元号} = \text{D}20000 + 100 \times 1 = \text{D}20100$$

因此,该单元占用 CIO 区的 CIO2010~CIO2019 共 10 个通道,占用 DM 区的 D20100~D20199 共 100 个通道。当设置其他单元号时,CIO 区及 DM 区通道分配参照表 1-2。由于 CJ1 PLC 的 CPU 单元与 AD081 是通过 CIO 区和 DM 区进行 A/D 数据转换及参数设置的,所以在系统上电前,必须设置好单元号,且在 PLC 运行过程中绝不允许带电更换单元或更改单元号。

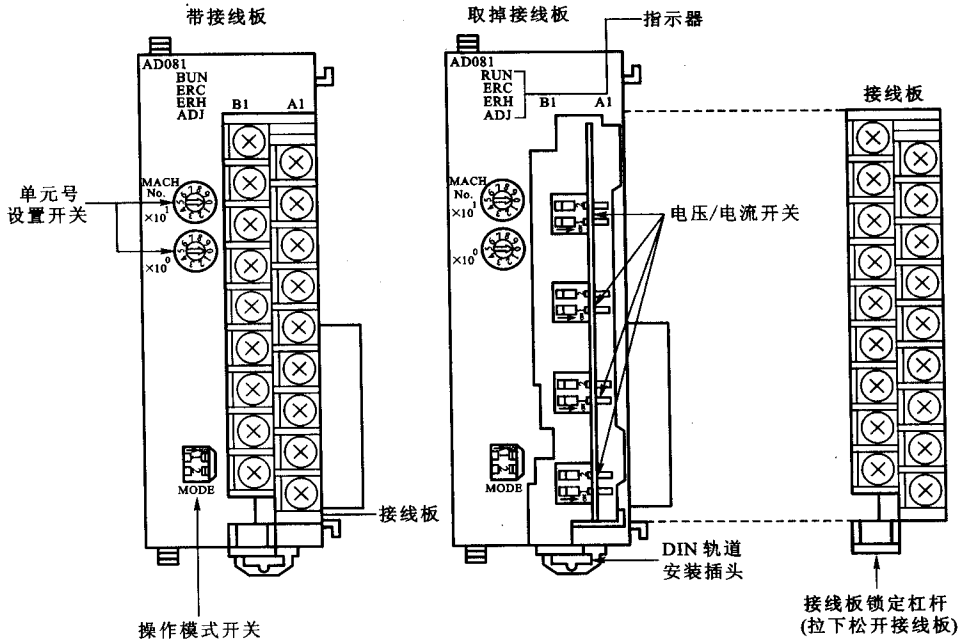


图 1-2 CJ1W-AD081-V1 单元示意图

表 1-2 单元号与 CIO、DM 区通道对应关系表

MACH No. $\times 10^1$	开关 位置	单元号	CIO 首通 道号 $n$	CIO 区通道	DM 首通 道号 $m$	DM 区通道
		#0	2000	CIO2000~CIO2009	20000	D20000~D20099
		#1	2010	CIO2010~CIO2019	20100	D20100~D20199
		#2	2020	CIO2020~CIO2029	20200	D20200~D20299
		#3	2030	CIO2030~CIO2039	20300	D20300~D20399
		#4	2040	CIO2040~CIO2049	20400	D20400~D20499
		#5	2050	CIO2050~CIO2059	20500	D20500~D20599
		#6	2060	CIO2060~CIO2069	20600	D20600~D20699
		#7	2070	CIO2070~CIO2079	20700	D20700~D20799
		#8	2080	CIO2080~CIO2089	20800	D20800~D20899
		#9	2090	CIO2090~CIO2099	20900	D20900~D20999
		#95	2950	CIO2950~CIO2959	29500	D29500~D29599

注：两个或两个以上特殊 I/O 单元设置相同的单元号时，将导致错误“UNIT No. DPL ERR”（单元号重复错误）产生（可由手编器检索），同时标志位 A40113 置位为“ON”，PLC 停止运行。

## 2. 设置单元 DIP 开关

需设置的 DIP 开关有两种，即操作模式开关和输入信号类型开关。

① 在单元面板下部的操作模式开关用于选择普通模式或调整模式，具体设置参见表 1-3。调整模式用于调整每一路模拟输入信号的偏置和增益量，调整数值存储在 CJ1W-AD081-V1 内置的 E<sup>2</sup>PROM 中。普通模式则用于正常的 A/D 转换操作。因此，本例中应将 SW1、SW2 均置于“OFF”，即 CJ1W-AD081-V1 单元处于普通模式。



表 1-3 操作模式设置表

开关号		模式
SW1	SW2	
OFF	OFF	普通模式
ON	OFF	调整模式

② 某一路模拟量输入信号的类型可以通过设置接线端子排下的输入信号类型开关实现电压或电流输入信号的切换。首先需卸下接线端子排，方法是向下扳接线端子排下方的杠杆，如图 1-3 所示，拔起端子排，露出下面的电压/电

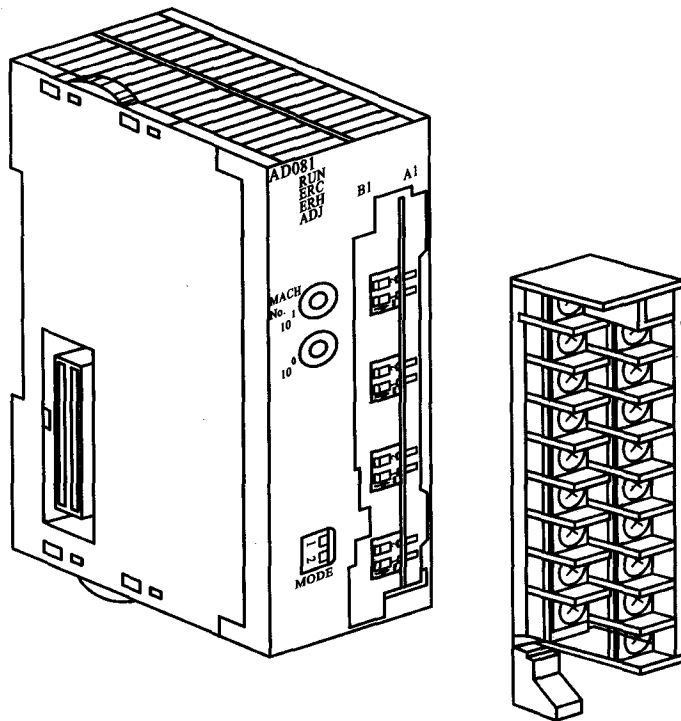


图 1-3 卸下端子排示意图



流开关，如图 1-4 所示，“ON”为电流输入，“OFF”为电压输入。假定本例中准备将压力变送器接在单元的第 1 路，就把“输入 1”对应的 SW1 置为“OFF”，确保该路模拟输入信号为电压信号。设置完成后，重新安装好接线端子排。

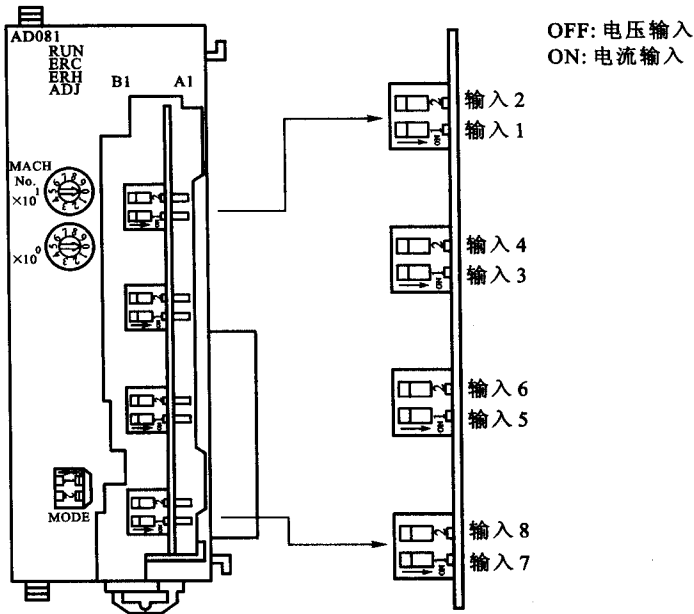


图 1-4 电压/电流开关示意图

注意：安装或拆卸接线端子排前必须关闭 PLC 电源。

### 3. 单元配线

单元输入信号的接线端子如图 1-5 所示，每一路输入信号由正、负极构成，AG 端连接到单元内部的模拟地，与屏蔽线连接可以有效地降低系统的噪声干扰。

由于本例中只使用了第 1 路输入，因此参照图 1-6 用导线分别连接压力变送器的正、负极到 A1、A2 端子上，将屏蔽线连接到 A5 端子上。需注意的是，在配线时端子连接必须用压接端子。当其他 7 路输入信号空闲时，将输入端子的正、负极短接，否则断线标志位将置“ON”，面板“ERC”指示灯报警。也可以在 DM 区参数设置时将空闲输入设为“0”（未使用）。

### 4. 创建 I/O 表

将完成硬件配置的 CJ1W-AD081-V1 单元插在 CJ1 PLC 的 CPU 机架上，接着需对数据区进行参数设置。如果该单元是第一次在 PLC 上使用，当系统上电后，应首先用手持编程器或上位机的梯形图开发工具 CX-Programmer 创建 I/O 表，这是 CJ1 PLC 系统要求必须做的，否则 CPU 报警。使用 CX-Programmer