



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高职高专电子信息专业系列教材

工厂电气控制技术 (第2版)

■ 熊幸明 主 编
■ 曹才开 刘湘澧 副主编



清华大学出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高职高专电子信息专业系列教材

工厂电气控制技术 (第2版)

■ 熊幸明 主 编
■ 曹才开 刘湘澧 副主编

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本书系统地介绍了工厂电气控制设备的电气控制原理、典型控制线路及设计方法、日本三菱 FX_{2N} 系列超小型可编程控制器的原理及应用。内容包括:常用低压电器、电气控制线路的基本环节、生产机械电气控制线路分析、电气控制线路的设计及元器件选择、可编程控制器的组成及工作原理、可编程控制器的指令、可编程控制器的应用、可编程控制器的通信。每章后附有适量的思考题和习题。

本书在内容处理上,既注意反映电气控制领域的最新技术,本书电气符号与电路图的绘制符合最新国家标准;又注意专科学生的知识和能力结构。强调理论联系实际,注重培养学生的动手能力、分析和解决实际问题的能力以及工程设计能力和创新意识。

本书是在作者多年从事本课程及相关课程的教学、教改及科研的基础上编写的,可作为高职高专的工业自动化、电气技术、机电一体化等相近专业的教材,也可供从事电气控制方面工作的工程技术人员和技术工人参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

工厂电气控制技术/熊幸明主编.—2版.—北京:清华大学出版社,2009.3

高职高专电子信息专业系列教材

ISBN 978-7-302-19117-9

I. 工… II. 熊… III. 工厂—电气控制—高等学校:技术学校—教材 IV. TM571.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 199893 号

责任编辑:束传政

责任校对:李梅

责任印制:何芊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:21.25 字 数:480千字

版 次:2009年3月第2版 印 次:2009年3月第1次印刷

印 数:1~5000

定 价:29.00元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:030915-01

第2版前言

工厂电气控制技术(第2版)

本书第1版出版后,承蒙各兄弟院校的支持和厚爱,已重印多次。

根据电气类专业的发展和技术的进步,本次修订在内容上作了较大更新,以反映电气控制领域的最新技术。如在电气控制部分,删除了现在使用较少的电动式时间继电器、突出电子式时间继电器介绍;由于欠电流继电器在直流电机控制中应用较多,补充了欠电流继电器的内容;删除了机械制动和电磁调速控制,增加变频调速知识的介绍;从提高学生读图、绘图能力出发,在第2章中专门编写了“电气控制系统图”一节内容;在电气控制线路设计方法中,加强了逻辑设计法的介绍等。在可编程控制器部分,前面3章均有不同程度的修改,如加强了步进指令和编程方法、可编程控制器应用实例的介绍。考虑到近年来PLC涉及通信的应用越来越多,对第8章进行了重写,突出PLC与PLC之间、PLC与计算机之间通信技术的介绍。

由于工作变动等原因,在征求第1版作者的意见后,对本书修订人员作了部分调整。由熊幸明担任主编,曹才开、刘湘澧担任副主编。参加本书修订工作的有:熊幸明(前言、绪论、第3、7章、附录等);曹才开(第1章);张丹、石成钢(第2章);刘湘澧、肖春艳(第4章);唐立伟、李和平(第5章);黄建科、刁一峰(第6章);刘湘澧、唐进(第8章)。

本书是湖南省教育科学“十一五”规划课题(编号:XJK06CGD014)成果。在本书编写以及修订过程中,得到了长沙学院(原长沙大学)的大力支持,在此表示衷心的感谢。同时感谢第1版作者对本次修订工作的支持。

由于编者水平有限,书中难免有缺点和错误之处,敬请读者批评指正。

编 者

2008年10月

前 言

工厂电气控制技术

本书是根据高职高专工业电气自动化专业《工厂电气控制技术》课程的教学大纲,并充分考虑到电气技术的实际应用和发展情况而编写的。

本书在内容处理上,既注意反映电气控制领域的最新技术,又注意专科学生的知识和能力结构,强调理论联系实际,注重学生动手能力、分析和解决实际问题的能力,以及工程设计能力和创新意识的培养。如精选传统电器及继电器-接触器控制内容,删除应用越来越少的电机放大机、磁放大器和顺序控制器的内容,增加继电器-接触器控制线路故障分析与检查等内容,并将加工业自动化三大支柱之一的可编程控制器单独列为1篇进行介绍。全书具有保证基础、体现先进、加强应用的特点。

全书分为2篇8章。第1篇共4章,主要介绍常用低压电器的结构、原理、用途,电气控制线路的基本环节,典型生产机械电气控制线路的分析,电气控制线路设计的一般原则与方法,以及元器件的选择。第2篇也分4章,以当今最新、最具特色、极有代表性的日本三菱FX_{2N}系列超小型可编程控制器作为目标机型,介绍了可编程控制器的组成及工作原理、指令系统(包括功能指令)、编程方法与技巧、可编程控制系统的设计及应用实例、可编程控制器的通信及网络。其中第8章采用“※”标记方式进行分类,教学时可根据实际情况灵活选取。每章末尾都附有适量的思考题和习题。

本书由熊幸明担任主编,陈有卿、曹才开(以姓氏笔画为序)担任副主编。其中前言、绪论、第3章、第7章、附录由熊幸明编写;第1章由曹才开编写;第2章由熊幸明、王新辉、盛旺编写;第4、6、8章由刘湘澧编写;第5章由陈有卿编写。张跃勤、张志钢、石成刚、邓居祁、殷科生、张文希、张明、雷敏、邓亚平等为本书编写提供了部分资料并参加资料整理工作,谭敏、熊一舟对一些电路、程序进行了调试验证。在本书编写过程中,得到了长沙学院(原长沙大学)的大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有缺点和错误之处,敬请读者批评指正。

作 者

2005年5月

目 录

工厂电气控制技术(第2版)

绪论	1
----	---

第1篇 电气控制

第1章 常用低压控制电器	5
1.1 主令电器	5
1.1.1 按钮	5
1.1.2 行程开关	7
1.1.3 凸轮控制器	9
1.1.4 主令控制器	10
1.2 低压开关类电器	11
1.2.1 刀开关	11
1.2.2 组合开关	13
1.2.3 自动开关	14
1.3 熔断器	17
1.3.1 插入式熔断器	17
1.3.2 螺旋式熔断器	18
1.4 接触器	19
1.4.1 交流接触器	20
1.4.2 直流接触器	24
1.5 继电器	26
1.5.1 热继电器	26
1.5.2 时间继电器	29
1.5.3 速度继电器	33
1.5.4 中间继电器	34
1.5.5 电流继电器	35
1.5.6 欠电压继电器	37
思考题	38
习题	38

第2章 电气控制线路的基本环节	40
2.1 电气控制系统图	40
2.1.1 常用电气图形、文字符号	40
2.1.2 电气原理图	43
2.1.3 电器元件布置图	44
2.1.4 电气安装接线图	44
2.2 三相异步电动机直接启动控制	45
2.3 三相笼型电动机降压启动控制	46
2.3.1 定子绕组串电阻降压启动	47
2.3.2 Y- Δ 降压启动	48
2.3.3 自耦变压器降压启动	50
2.3.4 延边三角形降压启动	50
2.4 三相绕线转子电动机启动控制	52
2.4.1 绕线转子电动机串电阻启动控制	52
2.4.2 绕线转子电动机串接频敏变阻器启动控制	53
2.5 三相异步电动机的正反转控制	55
2.5.1 电动机的正反转控制	55
2.5.2 正反转自动循环控制	56
2.6 三相异步电动机的制动控制	57
2.6.1 反接制动	57
2.6.2 能耗制动	60
2.6.3 回馈制动	64
2.7 三相异步电动机的调速控制	64
2.7.1 变极调速控制	64
2.7.2 变更转子外串电阻的调速控制	67
2.7.3 变频调速控制	68
2.8 其他基本环节	74
思考题	77
习题	77
第3章 生产机械电气控制线路分析	80
3.1 C650型卧式车床电气控制系统	80
3.1.1 机床结构及控制特点	80
3.1.2 电路工作原理	82
3.2 Z3040型摇臂钻床电气控制系统	84
3.2.1 机床结构及控制特点	84
3.2.2 电路工作原理	87
3.3 X62W型万能铣床电气控制系统	89
3.3.1 机床结构及控制特点	89

3.3.2	电路工作原理	93
3.4	M7120 型磨床电气控制系统	96
3.4.1	机床结构及控制特点	96
3.4.2	电路工作原理	99
3.4.3	电磁吸盘充、退磁电路的改进	100
3.5	组合机床电气控制系统	102
3.5.1	机械动力滑台控制线路	102
3.5.2	液压动力滑台控制线路	103
3.5.3	组合机床控制线路举例	106
3.6	30t/5t 桥式起重机电气控制系统	108
3.6.1	桥式起重机结构及控制特点	108
3.6.2	30t/5t 桥式起重机电路工作原理	109
3.7	继电器—接触器控制线路故障分析与检查	117
3.7.1	电压测量法	117
3.7.2	电阻测量法	118
3.7.3	短接法	119
	思考题	120
	习题	120
第 4 章	电气控制线路的设计及元器件选择	122
4.1	电气控制线路设计的主要内容	122
4.2	电气控制线路的设计	123
4.2.1	电气控制线路设计的原则	123
4.2.2	电气控制线路设计的程序	130
4.2.3	电气控制线路设计的步骤与方法	131
4.3	常用电器元件的选择	146
4.3.1	按钮、开关类电器的选择	147
4.3.2	熔断器的选择	149
4.3.3	交流接触器的选择	150
4.3.4	继电器的选择	152
4.3.5	控制变压器的选择	152
4.3.6	笼型异步电动机有关电阻的计算	153
	思考题	154
	习题	154

第 2 篇 可编程控制器

第 5 章	可编程控制器的组成及工作原理	159
5.1	概述	159

5.2	可编程控制器的组成	162
5.2.1	可编程控制器的硬件组成	162
5.2.2	可编程控制器的软件组成	167
5.3	可编程控制器的工作原理	170
5.3.1	扫描的概念	170
5.3.2	可编程控制器的工作过程	170
5.3.3	可编程控制器的元件	171
5.4	可编程控制器的主要性能指标	179
5.4.1	描述 PLC 性能的几个术语	179
5.4.2	PLC 的主要性能指标	179
	思考题	180
	习题	180
第 6 章	可编程控制器的指令	181
6.1	概述	181
6.2	基本逻辑指令	183
6.2.1	逻辑取指令和输出指令	183
6.2.2	触点串联指令	184
6.2.3	触点并联指令	185
6.2.4	串联电路块并联指令	186
6.2.5	并联电路块串联指令	187
6.2.6	多重输出电路指令	188
6.2.7	主控触点指令	189
6.2.8	自保持与解除指令	191
6.2.9	定时器、计数器指令	191
6.2.10	脉冲输出指令	192
6.2.11	脉冲式触点指令	193
6.2.12	逻辑运算结果取反指令	194
6.2.13	空操作指令	194
6.2.14	程序结束指令	195
6.3	步进指令与编程方法	196
6.3.1	状态转移图	196
6.3.2	步进指令与编程	202
6.3.3	状态转移图与梯形图的转换	207
6.3.4	多流程步进控制的编程方法	209
6.4	功能指令与编程方法	214
6.4.1	功能指令的表示方法与数据结构	214
6.4.2	程序流控制指令	216
6.4.3	传送、比较指令	219

6.4.4 循环移位、移位指令	222
6.4.5 数据处理指令	223
第 6 章附表 功能指令简表	225
思考题	228
习题	229
第 7 章 可编程控制器的应用	234
7.1 可编程控制器应用系统设计	234
7.1.1 设计的内容和步骤	234
7.1.2 系统硬件设计	236
7.1.3 系统软件设计	240
7.2 可编程控制器应用实例	241
7.2.1 典型控制线路的 PLC 控制	241
7.2.2 抢答显示系统的 PLC 控制	248
7.2.3 机械手运动的 PLC 控制	250
7.2.4 两工位组合机床的 PLC 控制	259
思考题	265
习题	266
第 8 章 可编程序控制器的通信	269
8.1 PLC 与 PLC 之间的通信	269
8.1.1 FX _{2N} 系列 PLC 的通信设备	269
8.1.2 N : N 网络	272
8.1.3 并行连接	282
8.2 PLC 与计算机之间的通信	288
8.2.1 FX _{2N} 系列 PLC 与计算机的通信设备	289
8.2.2 计算机连接的系统配置、接线和规格	291
8.2.3 FX _{2N} 系列 PLC 与计算机之间的通信协议	295
8.2.4 计算机连接的专用协议指令	301
8.2.5 故障诊断	315
第 8 章附表 ASCII 代码表	317
思考题	317
附录 A Y 系列三相异步电动机的型号及技术数据	318
附录 B FX_{2N} 系列可编程控制器的特殊软元件	321
参考文献	326

0.1 电气控制技术的发展概况

电气控制技术是以各类电动机为动力的传动装置与系统为对象,以实现生产过程自动化的控制技术。电气控制系统是其中的主干部分,在国民经济各行业中的许多部门得到广泛应用,是实现工业生产自动化的重要技术手段。

随着科学技术的不断发展、生产工艺的不断改进,特别是计算机技术的应用,新型控制策略的出现,不断改变着电气控制技术的面貌。在控制方法上,从手动控制发展到自动控制;在控制功能上,从简单控制发展到智能化控制;在操作上,从笨重繁琐的手工操作发展到信息化处理;在控制原理上,从单一的有触头硬接线继电器逻辑控制系统发展到以微处理器或微计算机为中心的网络化自动控制系统。现代电气控制技术综合应用了计算机技术、微电子技术、检测技术、自动控制技术、智能技术、通信技术、网络技术等先进的科学技术成果。

作为生产机械动力的电机拖动,经历了漫长的发展过程。20世纪初,电动机直接取代蒸汽机。开始是成组拖动,用一台电动机通过中间机构(天轴)实现能量分配与传递,拖动多台生产机械。这种拖动方式电气控制线路简单,但机构复杂,能量损耗大,生产灵活性也差,不适应现代化生产的需要。20世纪20年代,出现了单电机拖动,即由一台电动机拖动一台生产机械。相对成组拖动,机械设备的结构简化,传动效率提高,灵活性增大。这种拖动方式在一些机床中至今仍在使用。随着生产发展及自动化程度的提高,又出现了多台电动机分别拖动各运动机构的多电机拖动方式,进一步简化了机械结构,提高了传动效率,而且使机械的各运动部分能够选择最合理的运动速度,缩短了工时,也便于分别控制。

继电器—接触器控制系统至今仍是许多生产机械设备广泛采用的基本电气控制形式,也是学习更先进电气控制系统的基础。它主要由继电器、接触器、按钮、行程开关等组成,由于其控制方式是断续的,故称为断续控制系统。它具有控制简单、方便实用、价格低廉、易于维护、抗干扰能力强等优点。但由于其接线方式固定,灵活性差,难以适应复杂和程序可变的控制对象的需要,且工作频率低,触点易损坏,可靠性差。

以软件手段实现各种控制功能、以微处理器为核心的可编程控制器(Programmable Logic Controller, PLC),是20世纪60年代诞生并开始发展起来的一种新型工业控制装

置。它具有通用性强、可靠性高、能适应恶劣的工业环境,指令系统简单、编程简便易学、易于掌握、体积小、维修工作少、现场连接安装方便等一系列优点,正逐步取代传统的继电器控制系统,广泛应用于冶金、采矿、建材、机械制造、石油、化工、汽车、电力、造纸、纺织、环保等各个行业的控制中。

在自动化领域,可编程控制器与 CAD/CAM、工业机器人并称为工业自动化的三大支柱,其应用日益广泛。可编程控制器技术是以硬接线的继电器—接触器控制为基础,逐步发展为既有逻辑控制、计时、计数功能,又有运算、数据处理、模拟量调节、联网通信等功能的控制装置。它可通过数字量或者模拟量的输入、输出满足各种类型机械控制的需要。可编程控制器及有关外部设备,均按既易于与工业控制系统联成一个整体,又易于扩充其功能的原则设计。可编程控制器已成为生产机械设备中开关量控制的主要电气控制装置。

0.2 本课程的性质和任务

《工厂电气控制技术》是工业自动化、电气技术等专业的实践性很强的专业课。由于电气控制技术的应用领域很广,本课程主要介绍机械制造过程中所用生产设备的电气控制原理、线路、设计方法,以及可编程控制器的原理、指令、编程方法、系统设计、在生产机械中的应用等有关知识。现代机械设备所用控制方法很多,有电气、液压、气动、机械等,也有几种方法的综合应用,电气控制技术往往起着中枢连接作用,应用最为广泛。

通过本门课程的学习,学生应达到下列基本要求:

- (1) 熟悉常用控制电器的结构、工作原理、用途、型号,并能正确选用。
- (2) 熟悉电气控制线路的基本环节,对一般电气控制线路具有独立分析能力。
- (3) 初步具有对不太复杂的电气控制系统进行改造和设计的能力。
- (4) 初步具有对一般继电器—接触器控制线路的故障分析与检查能力。
- (5) 初步掌握可编程控制器的基本工作原理、指令系统、编程方法和技巧,能根据生产工艺过程和控制要求正确选用 PLC 和编制用户程序,经调试应用于生产过程控制。

第 1 篇

电气控制

- 第 1 章 常用低压控制电器
- 第 2 章 电气控制线路的基本环节
- 第 3 章 生产机械电气控制线路分析
- 第 4 章 电气控制线路的设计及元器件选择

常用低压控制电器

工作在交流 1000V、直流 1200V 电压及以下的电器,称为低压电器,其用途是对供电、用电系统进行开关、控制、保护和调节。根据其控制对象的不同,低压电器分为配电电器和控制电器两大类。前者主要用于低压配电系统和动力回路,常用的有刀开关、转换开关、熔断器、自动开关等;后者主要用于电力传输系统和电气自动控制系统中,常用的有主令电器、接触器、继电器、启动器、控制器、电阻器、变阻器、电磁铁等。本章主要介绍常用的主令电器、低压开关类电器、熔断器、接触器、继电器等低压控制电器的结构和工作原理。

1.1 主令电器

主令电器是用于自动控制系统中发出指令的操作电器,利用它控制接触器、继电器或其他电器,使电路接通和分断来实现对生产机械的自动控制。常用的主令电器有按钮、行程开关、万能转换开关、凸轮控制器、主令控制器等。

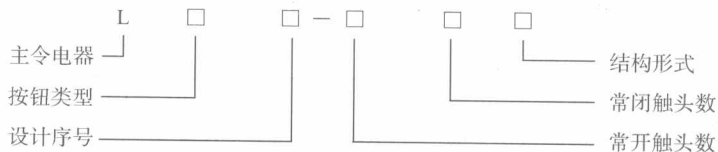
1.1.1 按钮

按钮是一种用来短时接通或分断小电流电路的手动控制电器。在控制电路中,通过它发出“指令”控制接触器、继电器等电器,再由它们去控制主电路的通断。

按钮的外形和结构如图 1-1 所示,主要由按钮帽、复位弹簧、常开触点、常闭触点、接线柱、外壳等组成。它的图形符号和文字符号如图 1-2 所示。

按钮的种类很多,生产机械上常用的有 LA2、LA10、LA18、LA19、LA20 等系列。其中 LA18 系列按钮是积木式结构,触点数目可按需要拼装;结构形式有掀按式、紧急式、钥匙式和旋钮式。LA19 系列在按钮内装有信号灯,除作为控制电路的主令电器使用外,还可兼作信号指示灯使用。LA 系列按钮的主要技术数据见表 1-1。

按钮的型号含义如下:



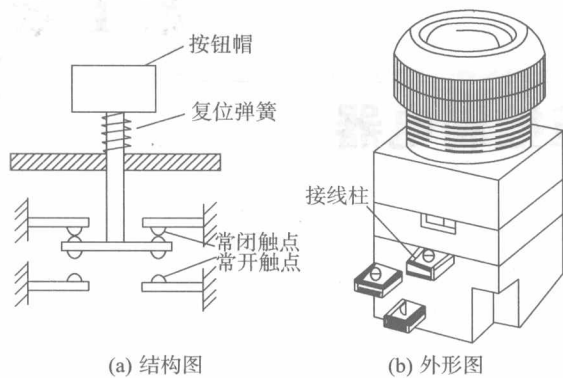


图 1-1 LA19 系列按钮结构及外形图

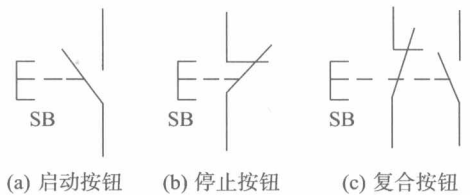


图 1-2 按钮的图形、文字符号

表 1-1 LA 系列按钮主要技术数据

型 号	规格	结 构 形 式	触点 对 数		按 钮	
			常 开	常 闭	钮 数	颜 色
LA18—22	500V 5A	元件	2	2	1	红或绿或黑或白
LA18—44		元件	4	4	1	红或绿或黑或白
LA18—66		元件	6	6	1	红或绿或黑或白
LA18—22J		元件(紧急式)	2	2	1	红
LA18—44J		元件(紧急式)	4	4	1	红
LA18—66J		元件(紧急式)	6	6	1	红
LA18—22Y		元件(钥匙式)	2	2	1	黑
LA18—44Y		元件(钥匙式)	4	4	1	黑
LA18—22X		元件(旋钮式)	2	2	1	黑
LA18—44X		元件(旋钮式)	4	4	1	黑
LA18—66X		元件(旋钮式)	6	6	1	黑
LA19—11		元件	1	1	1	红或绿或黄或蓝或白
LA19—11J		元件(紧急式)	1	1	1	红
LA19—11D		元件(带指示灯)	1	1	1	红或绿或黄或蓝或白
LA19—11DJ	元件(紧急式带指示灯)	1	1	1	红	
LA20—11D	元件(带指示灯)	1	1	1	红或绿或黄或蓝或白	
LA20—22D	元件(带指示灯)	2	2	1	红或绿或黄或蓝或白	

不同结构形式的按钮,分别用不同的字母表示:如 A—按钮;K—开启式;S—防水式;H—保护式;F—防腐式;J—紧急式;X—旋钮式;Y—钥匙式;D—带指示灯式;

DJ—紧急式带指示灯。

选用按钮应根据使用场合、被控电路所需触点数目及钮帽的颜色等综合考虑。使用前,应检查按钮动作是否自如,弹性是否正常,触点接触是否良好可靠。由于按钮触点之间距离较小,应注意保持触点及导电部分的清洁,防止触点间短路或漏电。

1.1.2 行程开关

行程开关又称限位开关或位置开关,其作用与按钮相同,只是其触点的动作不是靠手动操作,而是利用生产机械运动部件的碰撞使其触点动作来接通或分断电路,从而限制机械运动的行程、位置或改变其运动状态,达到自动控制的目的。

为了适应生产机械对行程开关的碰撞,行程开关有多种构造形式,常用的有直动式(按钮式)、滚轮式(旋转式)。其中滚轮式又有单滚轮式和双滚轮式两种。直动式和滚轮式行程开关

的外形分别如图 1-3 和图 1-4 所示,图形符号和文字符号如图 1-5 所示。

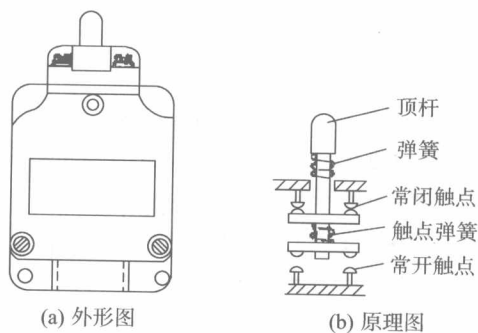


图 1-3 直动式行程开关

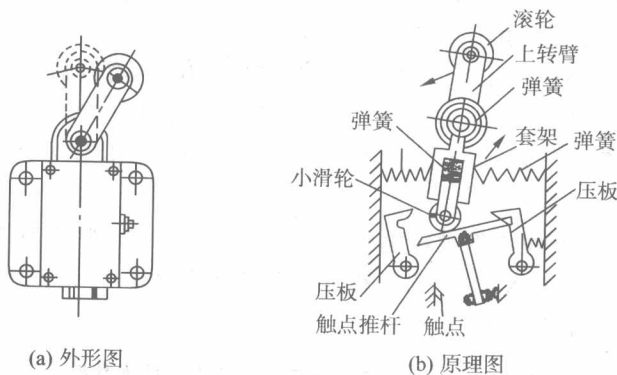


图 1-4 滚轮式行程开关

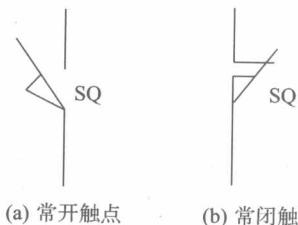


图 1-5 行程开关的图形、文字符号