

DIANQI KONGZHI YU S7-300 PLC YINGYONGJISHU

电气控制 与S7-300 PLC应用技术

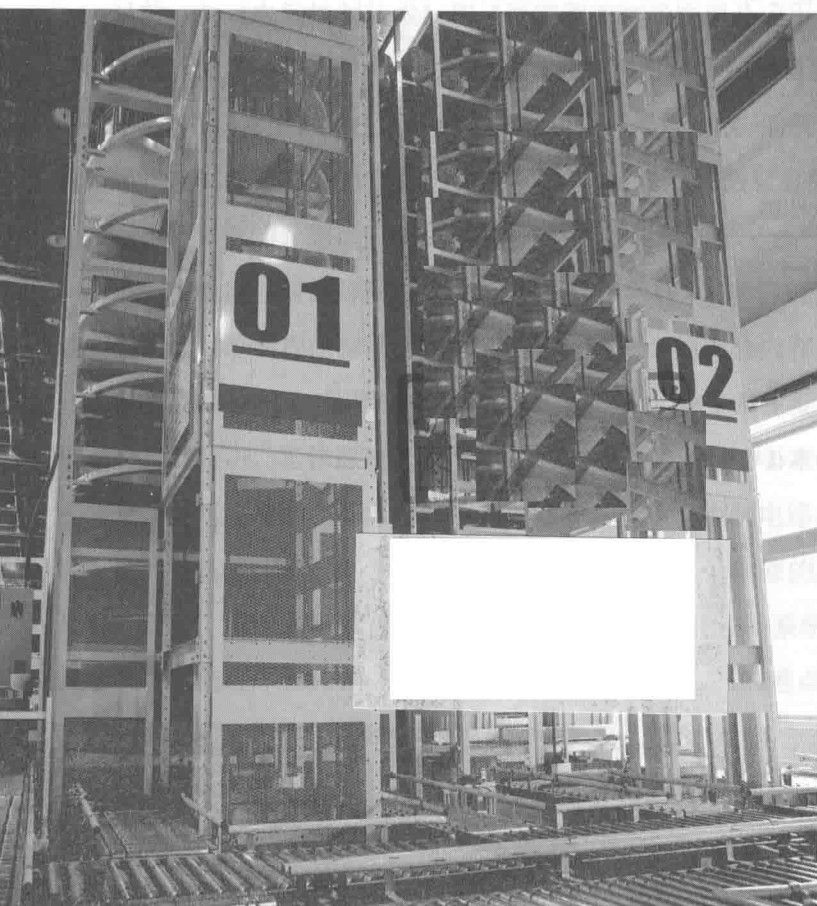
徐凌桦 / 编著



贵州大学出版社
Guizhou University Press

电气控制 与S7-300 PLC应用技术

徐凌桦 / 编著



贵州大学出版社
Guizhou University Press

图书在版编目 (CIP) 数据

电气控制与 S7-300 PLC 应用技术 / 徐凌桦编著. — 贵阳: 贵州大学出版社, 2017.9

ISBN 978-7-5691-0033-4

I. ①电… II. ①徐… III. ①电气控制—高等学校—教材 ②PLC 技术—高等学校—教材 IV. ①TM571

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 185997 号

电气控制与 S7-300 PLC 应用技术

作 者: 徐凌桦

出 版 人: 闵 军

责任编辑: 但明天

装帧设计: 陈 艺 但明天

出版发行: 贵州大学出版社

印 刷: 贵阳精彩数字印刷有限公司

成品尺寸: 185 毫米×260 毫米

印 张: 19.5

字 数: 515 千字

版 次: 2017 年 9 月 第 1 版

印 次: 2017 年 9 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5691-0033-4

定 价: 52.00 元

版权所有 违权必究

本书若出现印装质量问题, 请与本社联系调换。

电话: 0851-85981027

前 言

随着高校教育改革的逐渐深入，中国高等教育由专门化、精英化阶段步入多样化、大众化阶段。高校对人才培养模式的转变，各类本科专业的专业课学时数都已进行了相应的调整。《电气控制技术》和《可编程控制器原理及应用》作为高等院校自动化、机电一体化、计算机控制、电气工程及其自动化等相关专业重要的专业基础课程，在合并成一门《电气控制与可编程控制器技术》课程的同时，学时数也有不同程度的减少。

伴随着计算机技术的发展，作为工业自动化三大支柱之一的可编程控制器（PLC），在功能、可靠性、性能等方面都有大幅度的提升，而体积和成本却在不断下降；随着远程 I/O、现场总线、网络通信、数据处理等技术在可编程控制器上的应用，可编程控制器在工业生产及民用领域的应用日益广泛。

目前，与《电气控制技术》和《可编程控制器原理及应用》相关的高校教材尚未完全适应上述变化。主要表现为，大多数电气控制及可编程控制器教材，在 PLC 部分的教学仍然以小型 PLC 为主，无法系统地、全面地介绍当前 PLC 的所有特点及功能。这类教材只能满足与控制专业相关的专业作为选修课教材，而大多数较好的 S7-300 教材，虽然对 PLC 的知识做了详细的介绍，但缺少电气部分的内容。

本教材根据当前高等院校专业课学时少的特点，从实际应用和教学需求出发，系统而较为全面地对可编程控制器应用技术以及以上缺少的部分内容做了详尽的讲解。全书总体分为电气控制和 PLC 应用技术两个部分，共 9 章。第 1 章主要介绍电气控制系统中，低压电器的基础知识、工作原理、选用和接线方法等内容；第 2 章以三相异步电动机为对象，主要介绍电气原理图、基本电气控制电路和一些典型控制电路，以及对电气控制电路的分析、设计方法等知识；第 3 和第 4 章主要介绍可编程控制器的产生、基本组成、工作原理及发展概况，重点讲解了西门子公司 SIMATIC 自动化控制系统组成、STEP 7 基本操作，PLC 控制系统程序设计方法和步骤；第 5~第 7 章是本书的难点，重点介绍了西门子 S7-300

PLC 的硬件系统、梯形图编程指令及其应用实例、程序调试和用户程序结构；第 8 和第 9 章仍以 S7-300 PLC 为例，其中第 8 章简要介绍了 PLC 的网络通信技术、西门子 PROFIBUS 现场总线、工业以太网等知识，第 9 章简要介绍了 PLC 在闭环控制应用中的基础知识、软件 PID 控制的基本功能及使用。

由于西门子公司的 S7-300 系列中型可编程控制器是国内应用范围最为广泛，市场占有率最高的可编程序控制器产品，这也是本书选用 S7-300 PLC 为讲解可编程控制器的重要依据。另外，为方便教学和自学，本书每章最后均安排了数量及难度适中的习题和思考题，供学生课后练习。同时，读者还可以登录 www.gzuauto.cn（在建）网站获取相关资料。

本书注重少学时、强调应用，可作为高等院校自动化、电气工程及其自动化、计算机应用技术、机电一体化等本科专业的教材，也可供工程技术人员自学和作为社会培训班教材使用，而且对 S7-300 PLC 的用户也有一定的参考价值。

本书由徐凌桦编写，曹敏参编。本书的出版得到了贵州大学的资助，在此深表感谢。

感谢贵州大学电气工程学院各位领导、同事的支持和关心。感谢自动化专业纪佳希同学为本书的所有电气原理图的绘制工作。

由于编写者水平有限，书中的偏颇、谬误之处在所难免，恳请广大读者和同行批评、指正。

编者

目 录

第1章 常用低压控制电器	1
1.1 概述	1
1.1.1 电器的定义及分类	1
1.1.2 电器的基础知识	4
1.1.3 低压电器的产品型号规定	12
1.1.4 低压控制电器的发展概况	13
1.2 接触器	15
1.2.1 交流接触器	15
1.2.2 直流接触器	16
1.2.3 技术参数、选型与接线	17
1.3 继电器	18
1.3.1 电磁式继电器	19
1.3.2 时间继电器	23
1.3.3 热继电器	27
1.3.4 速度继电器	30
1.4 熔断器	31
1.5 低压开关和低压断路器	33
1.5.1 刀开关	33
1.5.2 低压断路器	35
1.6 主令电器	37
1.6.1 按钮	37
1.6.2 行程开关及接近开关	38
1.6.3 万能转换开关	40
习题及思考题	41

第 2 章 电气控制基础	43
2.1 电气控制线路的绘制原则	44
2.1.1 电气控制图常用的图形、文字符号	44
2.1.2 电气原理图	46
2.1.3 电气组件布置图	48
2.1.4 电气安装接线图	49
2.2 三相异步电动机的基本控制	49
2.2.1 三相笼形电动机直接启动控制	49
2.2.2 三相笼形电动机正反转控制	52
2.2.3 三相笼形电动机减压启动控制	54
2.3 三相异步电动机的制动控制	57
2.4 三相异步电动机的调速控制	58
2.5 电气控制线路的设计方法	61
2.5.1 经验设计法及基本原则	61
2.5.2 逻辑设计法	65
2.5.3 电气控制线路中的保护环节	67
习题及思考题	69
第 3 章 可编程控制器概述	71
3.1 概述	71
3.1.1 可编程控制器的产生及定义	72
3.1.2 可编程控制器的功能和特点	73
3.1.3 可编程控制器的分类和应用	74
3.2 可编程控制器的组成	79
3.2.1 中央处理器单元	80
3.2.2 存储器单元	80
3.2.3 输入 / 输出单元	81
3.2.4 电源单元	84
3.2.5 接口单元	84
3.2.6 智能模块	85
3.2.7 其他外部设备	85
3.3 可编程控制器的工作原理及工作过程	85
3.3.1 可编程控制器的工作原理	86

3.3.2	可编程控制器的工作过程.....	87
3.3.3	可编程控制器 IO 响应滞后问题	88
3.4	可编程控制器的发展趋势.....	90
	习题及思考题	92
第 4 章	西门子 PLC 简介及 STEP 7 软件使用.....	93
4.1	SIMATIC 自动控制系统简介.....	93
4.1.1	SIMATIC 自动化控制系统的组成.....	93
4.1.2	全集成自动化	97
4.1.3	S7-300 组成部件	98
4.1.4	S7-300 系统结构.....	99
4.2	STEP 7 软件的安装.....	101
4.2.1	STEP 7 的安装.....	102
4.2.2	STEP 7 与 PLC 通信连接的组态	105
4.3	STEP 7 的使用	107
4.3.1	创建项目	109
4.3.2	硬件组态	110
4.3.3	符号表	115
4.3.4	设计和下载用户程序.....	117
4.3.5	S7-PLCSIM 仿真软件在程序调试中的应用.....	121
	习题及思考题	126
第 5 章	S7-300 硬件系统及内部资源.....	127
5.1	机架与电源模块.....	127
5.1.1	机架	127
5.1.2	电源模块	128
5.2	CPU 模块与接口模块	129
5.2.1	CPU 模块的技术规范.....	129
5.2.2	CPU 控制和显示组件.....	132
5.2.3	CPU 存储器.....	135
5.2.4	CPU 模块的参数设置.....	136
5.2.5	接口模块	141
5.3	输入 / 输出模块.....	142
5.3.1	数字量输入模块.....	143

5.3.2	数字量输出模块.....	145
5.3.3	模拟量输入模块.....	147
5.3.4	模拟量输出模块.....	152
5.3.5	其他信号模块与前连接器.....	155
5.3.6	ET200 分布式 I/O	156
5.4	功能模块.....	157
5.4.1	计数模块	157
5.4.2	位置控制与位置检测模块.....	158
5.4.3	闭环控制模块	158
5.4.4	称重模块	158
5.5	通信模块.....	159
5.6	模块的地址分配及 PLC 的内部资源	159
	习题及思考题	161
第 6 章	S7-300 编程基础	163
6.1	PLC 编程语言	163
6.1.1	PLC 编程语言的国际标准	163
6.1.2	STEP 7 编程语言	164
6.2	S7-300 系统存储器及寄存器	166
6.2.1	系统存储器	166
6.2.2	CPU 中的寄存器.....	168
6.2.3	寻址方式	170
6.3	S7-300 的数据类型.....	171
6.3.1	数制与编码	171
6.3.2	基本数据类型	172
6.4	S7-300 的基本指令.....	174
6.4.1	位逻辑指令	174
6.4.2	定时器指令	179
6.4.3	计数器指令	184
6.4.4	逻辑控制指令	187
6.5	S7-300 的数据处理指令	188
6.5.1	比较指令	188
6.5.2	数据转换指令	189

6.5.3 移位与循环移位指令.....	192
6.6 数学运算指令.....	193
6.6.1 整数数学运算指令.....	194
6.6.2 浮点数数学运算指令.....	195
6.6.3 字逻辑运算指令.....	196
6.7 其他指令.....	197
6.7.1 过程控制指令.....	197
6.7.2 状态位和数据块指令.....	198
6.8 梯形图的编写规则和优化.....	198
习题及思考题.....	200
第7章 S7-300 程序调试及用户程序结构.....	201
7.1 STEP 7 在调试中的应用.....	201
7.1.1 STEP 7 的在线操作.....	202
7.1.2 用变量表监控程序.....	203
7.1.3 显示参考数据.....	206
7.2 故障诊断.....	208
7.2.1 故障诊断基础知识.....	208
7.2.2 故障诊断方法.....	208
7.2.3 LED 诊断故障.....	209
7.3 STEP 7 故障诊断.....	211
7.3.1 诊断符号.....	211
7.3.2 模块信息.....	212
7.3.3 监视/修改.....	214
7.3.4 参考数据.....	214
7.4 用户程序.....	215
7.4.1 用户程序的基本结构.....	215
7.4.2 用户程序使用的堆栈.....	218
7.4.3 数据块.....	220
7.5 功能和功能块的生成与调用.....	221
7.5.1 功能块及背景数据的生成.....	222
7.5.2 功能的生成.....	224
7.5.3 功能与功能块的调用.....	225

7.6	多重背景.....	228
7.7	组织块与中断处理.....	229
7.7.1	组织块与中断的基本概念.....	229
7.7.2	启动组织块和循环处理组织块.....	231
7.7.3	定期执行组织块.....	231
7.7.4	硬件中断组织块.....	232
7.7.5	异步错误组织块和同步错误组织块.....	233
7.7.6	背景组织块.....	235
7.7.7	其他组织块.....	235
	习题及思考题.....	236
第 8 章	PROFIBUS-DP 网络通信.....	237
8.1	串行通信与并行通信.....	237
8.1.1	串行通信基础知识.....	237
8.1.2	现场总线及其国际标准.....	240
8.2	SIMATIC 通信网络与通信服务.....	243
8.3	PROFIBUS 简介.....	246
8.3.1	PROFIBUS 的物理层.....	248
8.3.2	PROFIBUS 的通信服务.....	249
8.3.3	PROFIBUS-DP 诊断协议.....	252
8.3.4	PROFIBUS-DP 通信组态.....	255
8.4	S7-300 的其他通信方式.....	257
8.4.1	工业以太网.....	257
8.4.2	MPI 网络通信.....	258
8.4.3	点对点通信.....	260
8.4.4	OPC 通信服务.....	261
	习题及思考题.....	262
第 9 章	S7-300 在模拟量闭环控制中的应用.....	263
9.1	模拟量闭环控制基础.....	263
9.1.1	模拟量闭环控制系统的组成.....	263
9.1.2	闭环控制的主要性能指标.....	265
9.2	数字 PID 控制器.....	266
9.2.1	PID 控制器的概述.....	266

9.2.2	PID 控制器数字化	267
9.2.3	S7-300 闭环控制的实现方法	267
9.3	连续 PID 控制器 FB 41	270
9.3.1	设定值和过程变量的处理	270
9.3.2	PID 控制算法	272
9.3.3	控制器输出值的处理	273
9.3.4	FB41 的参数	273
9.4	步进 PI 控制器 FB 42	276
9.4.1	步进控制器的结构	276
9.4.2	步进控制器的功能分析	277
9.5	脉冲发生器 FB 43	279
9.5.1	脉冲发生器的工作原理	279
9.5.2	三级控制器与二级控制器	281
9.6	PID 参数整定	283
9.6.1	PID 参数与系统性能的关系	283
9.6.2	PID 参数的整定方法	284
	习题及思考题	286
附录 A	.....	287
附录 B	.....	289
附录 C	.....	293
附录 D	.....	295
参考文献	.....	297

第 1 章

常用低压控制电器

学习目标

- 理解低压电器的定义及分类;
- 理解低压电器的相关知识;
- 理解灭弧装置选用原则;
- 理解电磁机构、吸力特性及选用原则;
- 了解火花电弧;
- 理解各种常用低压电器的分类、归属、用途等相关知识。



1.1 概 述

18 世纪第一次工业革命,从棉纺织业开始,开创了大机器工业,让人类进入蒸汽时代;19 世纪中后期,人类开始第二次工业革命,1801 年戴维发明白炽灯,1862 年爱迪生发明直流电,1866 年西门子发明直流发电机,1876 年贝尔发明电话,1882 年特斯拉发明交流电,1888 年特斯拉发明交流发电机,电力的应用日益广泛,人类历史进入了电气时代。

1.1.1 电器的定义及分类

1. 电器的定义

电器是一种根据外界传入的信号(机械力、电动力和其他物理量),自动或手动接通和断开电路,从而断续或连续地改变电路参数或状态,实现对电路、电气设备或非电对象的

切换、检测、调节、控制、保护等作用的电工设备和组件。

电气定义*: 电能的生产、传输、分配、使用和电工装备制造等学科或工程领域的统称。

2. 电器的分类及常用低压电器

电器的用途广泛、功能多样、种类繁多、构造各异,其分类方法很多,下面介绍几种常用的分类方法。

(1) 按工作电压等级分类

- 高压电器: 用于交流额定电压 1200V、直流额定电压 1500V 以上电路中的电器;
- 低压电器: 用于交流 50HZ 或 60HZ 额定电压 1200V 以下, 直流额定电压 1500V 以下电路中的电器。

(2) 按动作原理分类

- 手动电器: 人工操作发出动作指令的电器;
- 自动电器: 产生电磁力而自动完成动作指令的电器。

(3) 按工作原理分类

- 电磁式电器: 利用电磁感应原理来工作的电器;
- 非电量式电器: 依靠外力或非电量信号(如温度、压力、速度等)的变化而动作的电器。

(4) 按用途分类

- 控制电器: 用于各种控制电路和控制系统的电器;
- 配电电器: 用于低压配电系统中, 实现电能的输送和分配的电器;
- 主令电器: 用于自动控制系统中发送动作指令的电器;
- 保护电器: 用于保护电路及用电设备的电器;
- 执行电器: 用于完成某种动作和传动功能的电器。

(5) 常用低压电器

电气控制系统中常用的低压电器涉及五大类十九种设备如表 1-1 所示。

为了阅读方便, 本教材所提“电器”, 在没有特殊说明的情况下, 均指“低压电器”。

3. 低压电器主要技术参数

在实际应用中, 根据工作电压等级、电流等级、通断频率、负载性质的不同, 对低压电器也有不同的技术要求, 具体表现为低压电器长期正常工作的各项额定参数值, 这些技术要求称为主要技术参数。以下对低压电器的主要技术参数进行简要介绍。

(1) 使用类别

使用类别用于确定电器的用途, 应由有关产品标准规定。

根据《低压开关设备和控制设备》(GB 14048.1—2006) 及相关标准规定, 低压电器的标准使用类别及典型用途见表 1-2。

表 1-1 常用的低压电器

接触器	直流接触器	
	交流接触器	
继电器	电磁式继电器	电压继电器
		电流继电器
		中间继电器
	热继电器	
	时间继电器	直流电磁式
		空气阻尼式
		电动式
		晶体管式
		数字式
	速度继电器	
固态继电器		
其他继电器		
熔断器	瓷插式	
	螺旋式	
	无填料密封管式	
	有填料密封管式	
	自复式	
开关电器	刀开关	
	低压断路器	
开关电器	按钮	
	行程开关	
	万能转换开关	
	主令控制器	

(2) 额定工作电压

额定工作电压是指在规定条件下,能保证电器正常工作的电压值。一般指触点的额定电压,电磁式电器还有电磁线圈的额定工作电压。

(3) 额定工作电流

额定工作电流是根据电器的具体使用条件确定的电流值,即在额定工作电压、额定频率和额定工作制下允许通过的电流。

(4) 通断能力

通断能力是指在规定的条件下,能在给定的电压下接通和分断的预期电流值,以控制规定的非正常负载时所能接通和断开的电流值来衡量,分为接通能力和断开能力。接通能力是指开关闭合电路不会造成触点熔焊的能力,断开能力是指开关断开时电路能可靠灭弧

的能力。

表 1-2 低压电器的使用类别及典型应用

触点	电流种类	使用类别	典型用途举例
主触点	交流	AC-1	无感或微感负载、电阻炉
		AC-2	绕线转子异步电动机的启动、分段
		AC-3	笼型异步电动机的启动、运转中分断
		AC-4	笼型异步电动机的启动、反接制动、反向、点动
	直流	DC-1	无感或微感负载、电阻炉
		DC-3	并励电动机的启动、点动与反接制动
DC-5		串励电动机的启动、点动与反接制动	
辅助触点	交流	AC-11	控制交流电磁铁
		AC-14	控制容量 $\leq 72\text{VA}$ 的电磁铁负载
		AC-15	控制容量 $>72\text{VA}$ 的电磁铁负载
	直流	DC-11	控制直流电磁铁
		DC-13	控制直流电磁铁，即电感与电阻的混合负载
		DC-14	控制电路中有经济电阻的直流电磁铁负载

(5) 寿命

电器的寿命包括机械寿命和电气寿命。机械寿命是指电器在无电流通过的情况下能够操作的次数，电气寿命是指电器在规定的工作条件下不需要修理和更换组件所能够操作的次数。

1.1.2 电器的基础知识

1. 触点及相关知识

(1) 触点系统

① 触点的定义

触点是低压电器的执行机构，它在机械机构的带动下通过两部分导体相互接触，起到接通和分断电路的作用。为了保证触点系统导电、导热性能良好，触点通常用铜或银质材料制成。铜的表面容易氧化生成一层氧化铜，使触点的接触电阻增大，损耗增大，温度上升，影响电器的使用寿命。因此，对于小电流电器（如接触器、继电器等），其触点常采用银质材料。

② 触点的分类

触点按接触形式分为：点接触、线接触和面接触，如图 1-1 所示。点接触是指两个导体只在一点或者很小的面积上发生接触的触点。具有单位压力大、接触电阻小、散热条件差、机械强度较弱等特点，常用于小电流（10A 以下）的电器中。

面接触是指两个导体有较广的表面发生接触，其接触面积和触点压力均较大。触点在开闭过程中无相对滑移，不能有效清除氧化膜等高电阻物质，所以在触点接触表面上镶有

合金，常用于大电流、接触压力大的场合，如固定母线接触、大容量的接触器和断路器的主触点。

线接触是指两个导体沿着线或较窄的面积发生的接触（如圆柱对圆柱、圆柱对平面）。在相同压力条件下，线接触的接触电阻比点接触和面接触的低。如图 1-1(b)所示，开始接通时，静、动触点在 A 点接触，靠弹簧压力经 B 点滚动到 C 点，断开时做相反运动。可以自动清除触点表面的氧化物，触点长期正常工作的位置在 C 点，而不是在易灼烧的 A 点，从而保证触点的良好接触，具有制造、调整、装配方便的特点，得到了广泛的应用。常用于几十安至几百安电流的中等容量的电器，如接触器、自动开关及高压开关电器的主触点。

触点按结构形式可分为桥式触点和指形触点等（图 1-2），桥式触点多为面接触，它允许通过较大的电流。指形触点的接触形式为线接触，可缓冲触点闭合时的撞击，消除触点表面的氧化膜等，改善触点的电气特性，适用于通断次数多、电流大的场合。

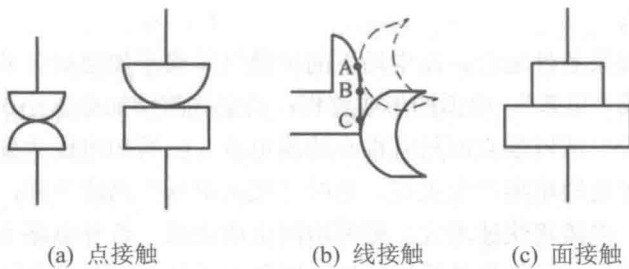


图 1-1 触点的接触形式

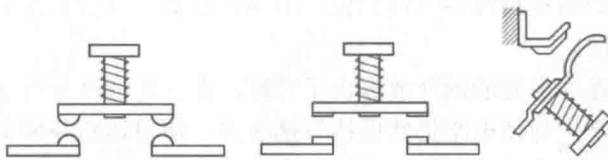


图 1-2 触点的结构形式

触点按其所控制的电路可分为主触点和辅助触点。主触点用于接通或断开主电路，允许通过较大的电流；辅助触点用于接通或断开控制电路，只能通过较小的电流。

触点按其原始状态又可分为常开触点和常闭触点。原始状态时（无外力作用或断电），触点间保持断开状态，当外力作用或通电时，触点保持闭合状态，称为常开触点（即动合触点），反之称为常闭触点（即动断触点）。

③ 接触电阻

A. 接触电阻

当构成触点的两个导体相互接触时，导体间呈现的电阻叫作接触电阻。接触电阻是由触点接通后，金属导体内电力线收缩形成的“收缩电阻”和触点表面在空气中形成薄膜构成的“膜电阻”以及金属导体自身的“导体电阻”组成。因此，可通过改变触点材料和触点接触形式来改变接触电阻。