

977442

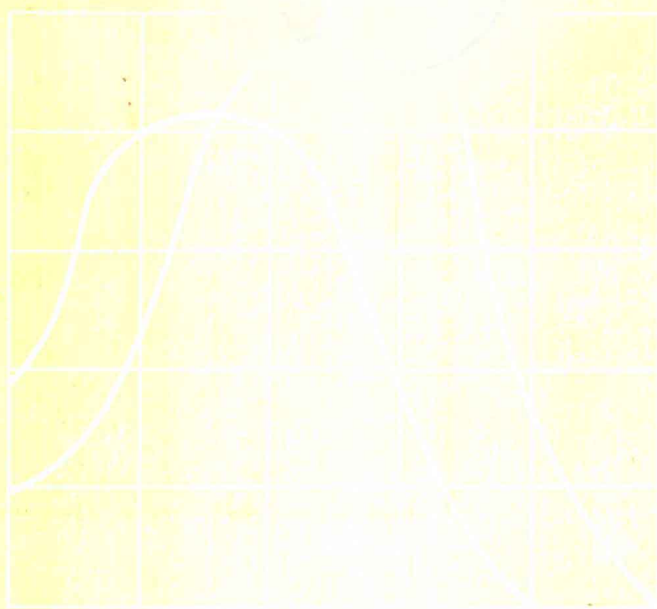
TM571.2

1011

京

高等院校教材

电气控制技术



TM571.2
011

8

学出版社

北京理工大学出版社

电 气 控 制 技 术

北京理工大学、华东工学院 合编
西安工业学院、太原机械学院

北京理工大学出版社

(京)新登字149号

内 容 简 介

本书较系统地介绍了机械设备电气控制原理、典型控制线路及其设计方法,主要内容包
括:机械设备的继电接触控制、顺序控制、数控技术基础和可控硅技术在调速系统中的应
用。书中还讲述了微型计算机顺序控制器和微型计算机数控系统的工作原理及基础知识,并
对用于绕线式异步电动机串级调速及异步电动机变频调速等的可控硅技术作了介绍。

本书可作为“机械制造工艺、设备及自动化”专业教材,以及“工业电气自动化”专业和电
大、夜大、职工大学有关专业的选修教材,也可供从事电气控制方面工作的工程技术人员和
工人参考。

本书由李仁主审,经兵器工业部第一教材编审委员会兵器自动控制编审小组于一九八五
年一月审定,同意作为教材出版。

电 气 控 制 技 术

北京理工大学 华东工学院
西安工业学院 太原机械学院 合编

*

北京理工大学出版社出版
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经营
清华大学印刷厂印刷

*

787×1092 毫米 16 开本 14.25 印张 354 千字

1985 年 8 月第一版 1991 年 6 月第 2 次印刷

ISBN7-81013-102-8/TH·17

印数:48001—54000册 定价:9.00元

前 言

本书是根据兵器工业部第一教材编委会兵器自动控制编审小组1983年12月批准的《电气控制技术》教材编写大纲编写的。

本书在内容上，着重阐述机械设备的电气控制原理、典型控制线路及其设计；在叙述上，力求通俗易懂，便于自学；在选材上，尽量选用先进的、典型的线路和实例，使读者能获得实用的知识。

本书共分九章。绪论由北京工业学院陆士毅编写，第一、二、三章由北京工业学院焦振学编写，第四章由太原机械学院安献民、郭辉明编写，第五、六章由华东工学院朱绍祥编写，第七章由华东工学院赵天伟编写，第八、九章由西安工业学院陈玲、武培达编写。全书由武培达、焦振学统编。

本书由合肥工业大学李仁副教授主审。参加审稿的还有王孝武、杨瑞山、董亚林同志。

本书在编写中，曾得到有关单位和个人的大力支持和热情帮助，在此表示衷心的感谢。

由于编写时间仓促，加之编者水平及能力有限，书中不妥和错误之处，敬请读者批评指正。

编 者

1984年7月

FA003/06

目 录

绪 论	1
-----	---

第一章 基本电气控制线路

第一节 逻辑代数与继电接触控制线路	(5)
一、用继电接触控制线路表示逻辑代数的基本运算和基本公式	(5)
二、逻辑表达式与继电接触控制线路图	(10)
第二节 三相异步电动机的起动控制线路	(11)
一、全电压直接起动控制线路	(11)
二、查线读图法	(12)
三、时间继电器	(13)
四、三相鼠笼式异步电动机降压起动线路	(14)
五、绕线式异步电动机起动控制线路	(19)
第三节 三相异步电动机的正反转控制线路	(20)
一、继电接触线路控制过程图示法	(20)
二、电动机可逆运行的手动控制线路	(21)
三、电动机可逆运行的自动控制线路	(22)
第四节 三相异步电动机的制动控制线路	(24)
一、电磁机械制动控制线路	(25)
二、速度继电器	(26)
三、电气制动控制线路	(27)
第五节 双速和三速鼠笼式异步电动机的变速控制线路	(32)
一、变更极对数原理	(32)
二、逻辑代数读图法	(33)
三、双速异步电动机的典型控制线路	(34)
四、三速异步电动机的典型控制线路	(36)
五、变极调速与再生发电制动状态	(39)
第六节 其它典型控制线路	(40)
一、多点控制线路	(40)
二、电动机顺序起停控制线路	(40)
三、步进控制线路	(41)
四、组合机床的基本控制线路	(41)
本章小结	(43)
思考题与习题	(45)
附录 1.1 电气控制线路原理图的绘制原则	(46)

附录 1.2	常用的电气控制线路图图形符号	(47)
附录 1.3	常用的电气控制线路图文字符号	(51)

第二章 典型电气控制系统

第一节	镗床的电气控制系统	(55)
一、	T68 卧式镗床电气控制线路原理	(56)
二、	T68 镗床电气控制线路的特点	(62)
第二节	组合机床的电气控制系统	(62)
一、	组合机床通用部件的控制线路	(63)
二、	组合机床单机的电气控制线路	(71)
第三节	起重机的电气控制系统	(72)
一、	概述	(72)
二、	15/3 吨桥式起重机的控制线路	(75)
第四节	工业机械手的电气控制系统	(81)
一、	机械手的电气控制概述	(81)
二、	镗深孔专用机床上、下料机械手电气控制线路	(82)
本章小结		(87)
思考题与习题		(87)

第三章 电气控制线路设计基础

第一节	机械设备电气设计的一般原则	(90)
一、	电气设计的内容	(90)
二、	电气设计的技术条件	(90)
三、	电气传动形式的选择	(91)
四、	控制方案的选择	(92)
第二节	电动机容量的选择	(93)
一、	恒定负载长期工作制电动机容量的选择	(94)
二、	变动负载长期工作制电动机容量的选择	(94)
三、	短时工作制电动机容量的选择	(95)
四、	重复短时工作制电动机容量的选择	(96)
第三节	电气控制线路的设计	(98)
一、	经验设计法	(98)
二、	逻辑设计法	(103)
三、	电气接线图的绘制	(104)
第四节	电气控制线路设计的主要计算及常用控制电器选择	(107)
一、	鼠笼式异步电动机有关电阻的计算	(107)
二、	鼠笼式异步电动机能耗制动的计算	(108)
三、	控制变压器容量的计算	(109)
四、	常用控制电器的选择	(110)

本章小结	(114)
思考题与习题	(115)

第四章 顺序控制器

第一节 基本逻辑型顺序控制器	(116)
一、 基本结构	(117)
二、 基本原理	(118)
三、 应用举例	(123)
第二节 条件步进型顺序控制器	(123)
一、 基本概念	(123)
二、 基本原理	(123)
三、 应用举例	(126)
第三节 时间步进型顺序控制器	(127)
一、 作用及组成	(127)
二、 基本原理	(127)
三、 应用举例	(129)
第四节 微型计算机顺序控制器	(131)
一、 硬件	(131)
二、 软件设计	(133)
本章小结	(139)
思考题与习题	(140)

第五章 数控技术基础

第一节 数控系统的构成及分类	(141)
一、 数控系统的组成	(141)
二、 数控系统的分类	(143)
三、 数控机床的特点	(144)
第二节 数控系统的基本工作原理	(145)
一、 数字脉冲相乘法插补器	(145)
二、 逐点比较法插补原理	(149)
三、 数字积分法插补原理	(159)
第三节 数控机床的伺服系统	(164)
一、 开环伺服系统	(164)
二、 闭环和半闭环伺服系统	(174)
第四节 数控系统的程序编制	(177)
一、 人工编制程序的一般步骤	(178)
二、 程序编制的有关规定	(178)
三、 程序编制中的工艺规划	(181)
四、 程序编制中的坐标计算	(182)

五、 程序编制举例	(183)
第五节 数控系统的发展趋势	(184)
本章小结	(187)
思考题与习题	(187)

第六章 可控硅技术在调速系统中的应用

第一节 调速系统概述	(189)
第二节 直流调速系统	(190)
一、 可控硅直流调速电路	(190)
二、 可控硅供电时电动机的机械特性	(193)
三、 各种反馈在自动调速系统中的应用	(194)
四、 可控硅——电动机直流调速系统举例	(198)
第三节 交流调速系统	(202)
一、 绕线式异步电动机串级调速系统	(203)
二、 变频调速	(205)
本章小结	(217)
思考题与习题	(218)
主要参考文献	(218)

绪 论

一、《电气控制技术》课程的内容与任务

《电气控制技术》的主要内容是介绍机械制造过程中，所用机械设备的电气控制原理、线路及设计等有关知识。机械制造中应用的机械设备种类虽然繁多，功能各异，但从所采用的电气控制技术来说，其所用的控制原理、线路和方法等方面均相类同。因此，本课程内容涉及面较广，不单纯局限于金属切削机床。

但是，机床是机械制造业中的主要加工设备，它的质量、自动化程度以及应用先进技术的状况，直接反映了机械工业的发展水平。机床自动化对提高生产率、改进产品质量和减轻体力劳动等都起着重要的作用。现代科学技术的发展，为机床与生产过程自动化的进一步发展创造了有利条件。控制技术、微电子技术和计算技术等领域中的一些最新研究成果，在机床控制设备中都得到了迅速的应用。从所采用的电控技术的先进性、复杂性来看，机床是机械制造业中各类机械设备最典型的代表。所以，本书在阐述电气控制系统的原理与应用时，还是以机床为主。

机械设备一般由四个基本部分组成：主机部分、驱动部分、控制部分、检测及显示部分。见图0—1。

主机系指工作机械本体，例如金属切削机床、机械手、锻压机、起重机或吊车等等。驱动部分，依所完成的功能不同，其结构相差很大。对于机床来说，驱动部分包含有原动机、传动机构等。原动机一般包括有电动机、液压装置、气压装置等。但最主要的动力设备为各类电动机。由电动机通过传动机构带动主机的工作机构进行工作时，这种拖动方式称为电力拖动。实际上，驱动部分是一个能量变换装置。在电力拖动中，它是将电能转变为机械能、热能或其它形式的能。检测与显示部分是近代机械设备上常用的装置。控制部分的作用在于使系统中驱动、主机、检测与显示各部分协调工作。

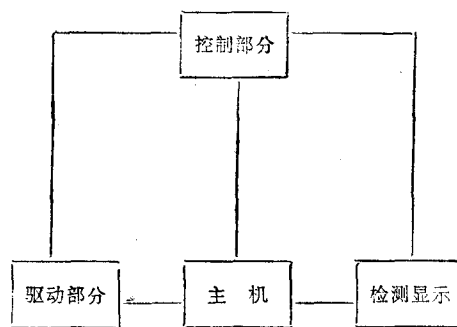


图 0—1 机械设备组成

机械设备控制系统所应用的控制方法很多，有电气的、液压的、气动的、机械的或综合配用的等。其中以电气控制应用最为普遍，因为它较其它控制方式有以下特点：

(1) 控制功能多，灵活性强。它可以借助各种电器，对液压、气动或机械装置实行自动及远距离控制；

(2) 设备制造周期短，易于维护，经济效益较高；

(3) 可以直接利用电能工作，对环境污染少；

(4) 控制装置结构紧凑，占用空间与工作面积小，操作方便；

(5) 各种物理量(如位移、速度、温度、压力等)都可通过专门的传感器变成电量作用于电气控制系统。

二、电气控制技术的发展概况

随着科学技术的不断发展,机械设备的电气控制装置亦不断更新。在控制方法上,其发展过程主要是从手动到自动;在控制功能上,则是从简单到复杂;而在操作上,是由笨重到轻巧。生产工艺上不断提出的要求,是促使电气控制技术发展的动力,而新型电器和电子器件的出现,又为电气控制技术的发展开拓了新的途径。

机床电气控制系统与机床拖动方式有着密切的关系。例如,在二十世纪初,由于原动机采用电动机,因而机床电气控制技术得到了进一步的改进和发展。

在采用电动机的初期,经常以一台电动机拖动若干台机床,并用皮带和天轴传动,称为成组拖动。此时,电气控制线路较单一,只需要考虑起动、停止、保护等少数几种功能即可。成组拖动虽然需要的原动机台数少,控制线路单一,但能量传递路径长,损耗大,操作不方便,而且不安全。为此,出现了一台电动机拖动一台机床的方式,称为**单独拖动**。

随着生产的发展,在机床功能增多及自动化程度提高的情况下,为了简化机械传动机构,又进一步出现了机床主运动、进给运动、辅助运动等分别由不同电动机拖动的方式,叫做**分立拖动**。此时,电气控制系统亦相应的进行了改进,除控制功能方面的基本要求外,还需要具有各电动机动作的配合、联锁、顺序、切换、协调、显示等性能,同时各种行程、时间、温度、压力、电流等基本控制线路已形成规范,而且机床电气控制技术本身也已形成了独立的体系。

机床和机械设备的速度调节是影响电气控制技术发展的另一个重要因素。直流电动机虽然不如交流电动机的结构简单、制造和维护方便、价格便宜等,但是它具有良好的起动、制动性能和调速性能,可以在很宽范围内平滑调速,所以仍然被广泛用于各类机械设备上。目前,由于电子集成技术的发展,以及微电子器件成本的降低,使交流电动机调速系统在机械传动方面展现了广阔的应用前景。

从机床所应用的电器与控制方法来看,最初是采用一些手动电器来控制执行电器。这类手动控制适用于一些容量小,操作单一的场所。以后发展为采用自动控制电器的继电器接触式控制系统。这种控制线路主要由一些继电器、接触器、按钮、行程开关等组成。继电器接触式控制系统的特点是结构简单,价格低廉、维护方便、抗干扰强,因此广泛应用于各类机床和机械设备上。采用它不仅可以方便地实现生产过程自动化,而且还可以实现集中控制和远距离控制。目前,继电器接触控制仍然是机床和其它机械设备最基本的电气控制型式之一。继电器接触控制线路的缺点是:由于是固定接线形式,故在进行程序控制时,改变控制程序不方便,灵活性差;采用有触点的开关动作,工作频率低,触点易损坏,可靠性差。

在实际生产中,由于大量存在一些以开关量控制的简单的中小型程序控制过程,而且生产工艺及流程经常变化,因而应用前述的继电器接触控制线路,就不能满足这种需要。利用电子计算机控制当然可以大大提高控制系统的灵活性和通用性,但又存在“大材小用”和不经济等问题。针对这些情况,在六十年代出现了一种能够根据生产需要,方便地改变控制程序,而又远比电子计算机结构简单、价格低廉的自动化装置——**顺序控制器**。

顺序控制器是通过组合逻辑元件插接或编程来实现继电器接触控制线路功能的装置。它可

以满足程序经常改变的控制要求,使机床和机械设备的控制系统具有较大的灵活性和通用性。它的主要特点是:通用性强,程序可变,编程容易,可靠性高和使用、维护方便。顺序控制器的类型较多。

目前,由于大规模集成电路的发展,以及微处理机的价格低廉,所以采用微处理机组成的可编程控制器已获得了广泛的应用。

为解决占机械总加工量 80% 左右的单件和小批生产中的自动化,五十年代,出现了数控机床。它是一种具有广泛通用性的高效率自动化机床,综合应用了电子技术、计算技术、自动控制、测试和机床结构设计等各个技术领域内的最新技术成就。

数控机床与一般自动化机床的区别在于:一般常用的自动机床、组合机床、专用机床等设备自动化程度虽然很高,但它们主要是依靠模板、凸轮、专用夹具和刀具、定程挡块等来实现顺序的加工动作和控制刀具相对于工件的移动距离的。由于专用模板、夹具、刀具、凸轮等辅件的生产,要求较高的制造技术和精密的加工设备,以及一定的生产准备时间。同时,生产成本高,机床的调整时间也长。因此,它只适合于大批量生产。一般自动化机床专用性比较强。对于数控机床来说,虽然同样是高效率的自动化机床,但具有广泛的通用性。数控机床在改变加工对象时,除重新选择相应刀具外,仅需要更换一下控制介质(如穿孔带、穿孔卡、磁带等),或改变一下控制介质的内容(如拨码盘、开关等),即可进行新的零件加工。

在一般数控机床的基础上,六十年代又出现了附带自动换刀、自适应等功能的数控系统,并获得实际应用。配置自动换刀数控系统的机床称为多工序自动换刀数控机床,又称为加工中心。它对工作的多道工序可以进行连续的自动加工,节省了夹具,缩短了装夹定位、对刀等辅助时间,大大地提高了加工效率,在生产中得到了广泛的应用。

普通数控机床在加工时,数控系统只是根据预先编定的程序指令给出控制机床各参数(包括位移量、转速、进给速度等)讯号;对于在加工过程中,由于刀具磨损、工件余量或材料性能的变化,以及切削温度的变化等引起的加工条件改变,数控系统并不能对此作出相应的调整,而且切削过程并非处于最合理的状态。为此,又发展了一种带有自适应功能的数控系统,此系统能根据检测到的加工过程的变化情况,经数控装置的分析 and 运算,自动校正某些输出参数,以适应各种加工过程的情况。目前,适应性控制系统除已用于车床、铣床、磨床、加工中心机床外,亦有助于钻床、齿轮加工机床、电加工机床以及焊接等其它加工设备。由于适应性控制系统能根据加工条件的变化而控制机床自动调整到最佳加工状态,因而可提高生产效率和刀具使用寿命,以及节省加工费用。

数控装置实质上是一台专用计算机,由固定的逻辑线路来实现专门的控制运算功能。不同的机械设备需设计制作不同的数控装置。然而从不同种类的数控装置可看出,其运控部分的功能均可由小型通用计算机来完成。七十年代初出现了这种计算机数字控制系统,简称为 CNC 系统。以小型通用计算机去控制某一特定对象时,要依靠事前存放在存储器内的系统程序,而 CNC 系统靠它来实现对具体机床的控制。对不同控制对象和不同的功能要求,只需改变 CNC 系统程序即可,也就是用软设备的方法来增加或改变控制系统的功能,因此具有很大的灵活性与“柔性”。这是一个明显的优点。其次,CNC 系统能将全部加工程序一次输入存储器,避免了过去在逐段阅读程序时易出差错的弊病,并能使程序编制简化,便于对已输入的加工程序进行修改校正。同时 CNC 系统易于设立各种诊断程序,进行故障预检

及自动检测。

CNC 系统的优点虽然较突出,但只有在价格上能进一步降低,才有足够的竞争能力。廉价的微处理机与微型机的出现,使 *CNC* 系统得到了进一步的发展。使用微型计算机的 *CNC* 系统,在有些文献中又称为 *MNC* 系统。目前大部分的数控装置产品均属于 *CNC* 与 *MNC* 系统。微处理机与微型计算机的广泛应用,使机床和机械设备的控制系统进入了一个新的发展阶段。

与 *CNC* 系统几乎同时出现的是计算机群控系统,又称计算机直接控制系统,即 *DNC* 系统。*DNC* 系统可简单地理解为一台计算机直接管理和控制一群数控机床的系统。在计算机群控系统中,各台机床的零件加工程序都由计算机统一储存与管理,并根据加工的要求适时地把加工程序分配给各台机床。另外,计算机还对机床群的加工情况进行管理与统计,并处理操作者的指令,以及对零件加工程序进行编辑、修改等。总之,计算机群控实现了机床群加工过程信息传递(信息流)的自动化。在实际应用中,由于 *DNC* 系统涉及面较广,系统较为复杂,在发展速度方面远没有 *CNC* 系统迅速。

将一群机床与工件、刀具、夹具及自动传输线相配合,并由计算机统一管理与控制,这就组成了计算机群控自动线,又称作柔性制造系统(*FMS*)。它可对几种同类型零件按适当的顺序同时进行加工。整个系统的加工效率很高,并具有较强的适应性。*FMS* 不仅实现了加工过程信息流的自动化,而且还实现了传递各种物理材料(物质流)的自动化。

机械制造自动化的高级阶段是走向设计、制造一体化,即 *CAD/CAM*。*CAD* 与 *CAM* 分别是计算机辅助设计与计算机辅助制造的简称。*CAD/CAM* 是 *CAD* 与 *CAM* 的结合,形成产品设计和制造过程的完整系统。这一系统具有计算机控制的自动化信息流与物质流,它对产品构思和设计直至最终的装配、试验这一全过程进行控制,使整个生产过程达到完全自动化。

第一章 基本电气控制线路

机床和机械设备在工作中,应具有根据工艺过程的要求,进行起动、制动、正反向、调速及保持一定工作状态的控制性能。机械设备大都以电动机作为动力,采用继电器接触式控制系统进行控制。而继电器接触式控制系统通常是由一些基本电气控制线路组成。

由于三相异步电动机具有结构简单、维护方便、价格低等优点,因而这种电动机已普遍地应用于机床和机械设备上。所以在本章中主要以异步电动机为例,介绍它广泛采用的基本电气控制线路。

一般对电气控制线路的基本要求(评价标准)是:

1. 能够满足机械设备的工艺条件,并且在操作上没有不合理的特殊要求。
2. 结构简单,工作可靠,这主要是指:
 - (1) 尽量减少不必要的电气元件和触点;
 - (2) 供电线路和电气设备有可靠的防护装置;
 - (3) 线路在正常工作中应避免中间继电器的线圈长期通电;
 - (4) 在不影响线路可靠性的前提下,允许线圈相互串联和并联;
 - (5) 在自动控制线路中,应同时设置相应的手动控制装置;
 - (6) 线路中任一元件,在其完成使命后应立即断开电路。在机械设备处于停机状态时,任何电气元件不能进行长期通电;
 - (7) 线路应具有可靠的联锁性能,以防止事故的发生;
 - (8) 合理选用电气元件。
3. 便于施工与维修。

第一节 逻辑代数与继电器接触控制线路

逻辑代数是一种解决逻辑问题的数学。它用字母表示变量,取值只有“1”、“0”两种;变量经逻辑运算后,其函数的取值也只有“1”、“0”两种。这里的“1”和“0”已不再表示具体的数量大小,而是表示两种不同的逻辑状态。例如开关的接通或断开,线圈的通电或断电,电位的高或低,以及脉冲的有、无等。这种“1”和“0”的双值代数称为逻辑代数,又称为开关代数或布尔代数。逻辑代数中的变量通常用一个文字符号表示,如 $A(\overline{A})$ 、 $B(\overline{B})$ 、 $C(\overline{C})$ 等。至于有特定含义的开关变量可用两个或两个以上字母来表示,如按钮开关用 $AN(\overline{AN})$ 表示常开(常闭)触点。显然, A 、 B 、 C 、 AN 取“0”时, $\overline{A}$ 、 $\overline{B}$ 、 $\overline{C}$ 、 $\overline{AN}$ 取“1”。

电子计算机、数控装置和继电器接触控制线路实际上是按一定逻辑关系组合起来的逻辑线路(或称开关线路)。因此,逻辑代数是阅读、分析和设计这些逻辑线路不可缺少的数学工具。

一、用继电器接触控制线路表示逻辑代数的基本运算和基本公式

(一) “或”、“与”、“非”运算

1. “或”运算(逻辑加)

逻辑代数中运算符号“+”读作“或”。“或”的运算定义列于表 1-1。表 1-1 左栏表示变量的各种可能取值，右栏表示变量经“或”运算之后所对应的函数值。这样的表格称为**真值表**。

表 1-1 “或”运算的真值表

A	B	A + B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

“或”运算规律及用字母表示的逻辑表达式是：

$$0 + 0 = 0$$

$$0 + 1 = 1 \quad F = A + B$$

$$1 + 1 = 1$$

由上式可看出，“或”是指在给定的两个（或两个以上）变量中，若其中任意一个取值为 1，则逻辑加的结果就是 1。也就是说，在决定一件事情的各种条件中，只要有一个或几个

条件得到满足，这件事就会发生。这种规律的因果关系称为**或逻辑关系**。

实现逻辑加运算的器件称为**或门**，它的逻辑符号见图 1-1(b)。下面以有触点的继电器控制线路为例作简要说明：“或”门表征触点的并联支路，见图 1-1(a)。若规定触点接通为“1”，触点断开为“0”，线圈通电为“1”，断电为“0”。则可写出 $J = A + B$ 。只要触点 A 或者 B 接通，或者 A、B 均接通，继电器的线圈 J 都可获得电流，因而使继电器 J 产生相同的吸合作用。从这个意义上就容易理解逻辑代数中 1 加 1 不等于 2 而是 1 的道理，也进一步说明了逻辑加没有数量累加作用，而只表示一种逻辑运算。

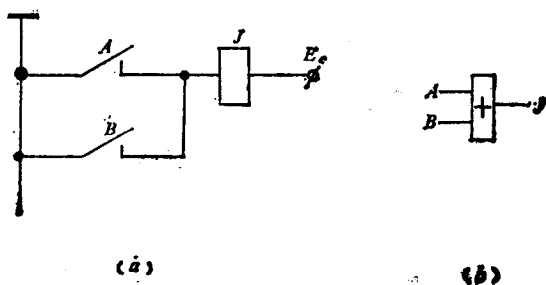


图 1-1 逻辑加的实例

表 1-2 “与”运算的真值表

A	B	A · B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

2. “与”运算（逻辑乘）

运算符号“×”或“·”读作“与”。“与”运算定义列于表 1-2。“与”运算的规律及两变量的逻辑乘可表示如下：

$$0 \times 0 = 0 \quad F = A \times B$$

$$0 \times 1 = 0 \quad = A \cdot B$$

$$1 \times 1 = 1 \quad = AB$$

由上式可看出，“×”可用“·”代替，或者把“·”省掉，读成 F 等于 A 与 B。“与”是指在给定的两个变量（或两个以上）都是 1 时，其逻辑乘的结果才是 1。也就是说，只有当决定一件事情的各种条件全具备之后，这件事才能产生。这种规律的因果关系称为**与逻辑关系**。

实现逻辑乘的器件叫做**与门**，它的逻辑符号如图 1-2(b) 所示。图 1-2(a) 示出了继电器控制线路中“与”运算的实例。“与”门表征触点的串联支路。

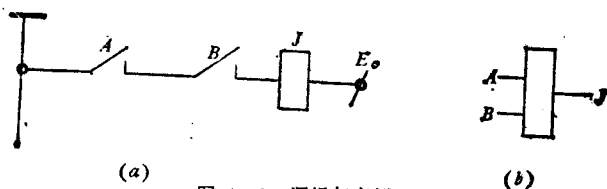


图 1-2 逻辑与实例

3. “非”运算（逻辑非或求反运算）

“非”运算定义如表1-3所示。逻辑非运算符号是用变量上面的短横线来表示，读作“非”。“非”运算规律及字母逻辑表达式为：

$$\begin{aligned} \overline{0} &= 1 & F &= \overline{A} \\ \overline{1} &= 0 \end{aligned}$$

上面右式读作 F 等于 A 非。由上式可看出：0 的非是 1，1 的非是 0，有否定的意义。也就是说，它表示了事物相互矛盾的两个对立面之间的关系，即具有相反的因果关系，称为逻辑否定。

逻辑非是逻辑代数所特有的一种运算形式，在逻辑代数中起着相当重要的作用。实现逻辑非的器件称作非门或反相器（倒相器），它的逻辑符号如图 1-3(b) 所示。图 1-3(a) 为继电控制线路中进行非运算的实例，通常将 A 称为原变量， $\overline{A}$ 称为反变量。 A 和 $\overline{A}$ 是一个变量的两种形式，如同一继电器的一对常开、常闭触点就可表示为 A 和 $\overline{A}$ ，它们的状态相补，而且在向各自相补的状态切换时同步动作。

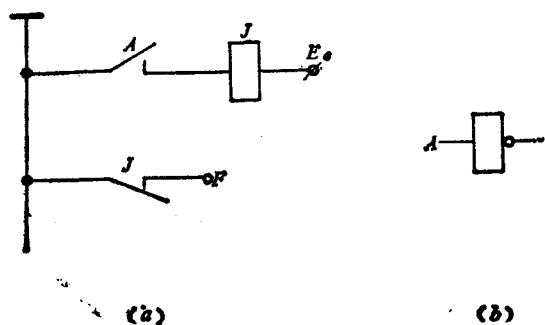


图1-3 逻辑非实例

表1-3 “非”运算的真值表

A	$\overline{A}$
0	1
1	0

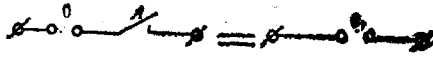
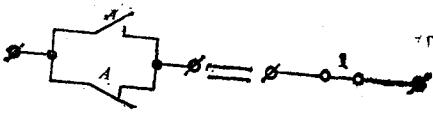
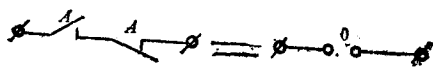
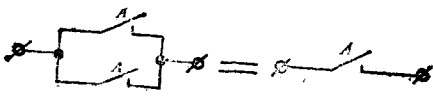
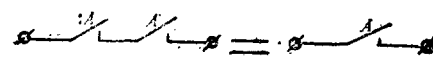
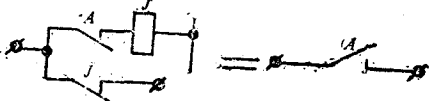
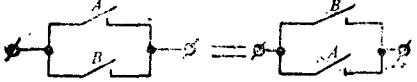
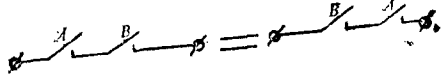
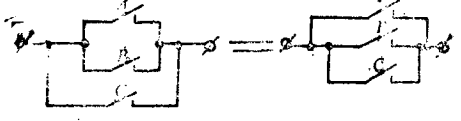
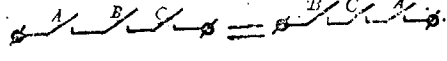
图 (a) 中， A 的状态(取值)与线圈 J 的状态(取值)恒同，而 F 与继电器的常闭触点 $\overline{J}$ 取值相同，故实现了非运算。也就是说， $J=A$ ，则 $F=\overline{J}=\overline{A}$ ，非运算在继电线路中表征串联常闭触点的结构。

有了与、或、非三种基本运算，就可以构成各种复合逻辑运算，如与非、或非、与或非等复合逻辑运算。

(二) 逻辑代数的基本公式

表1-4 逻辑代数的一些基本公式

序号	名称	恒等式	对应的继电控制线路
1	基本定律 0和1定则	$0 + A = A$	
1'		$1 \cdot A = A$	
2		$1 + A = 1$	

序 号	名 称	恒 等 式	对应的继电器控制线路
2'	基 本 定 律	0和1定则 $0 \cdot A = 0$	
3		互补定律 $A + \bar{A} = 1$	
3'		$A \cdot \bar{A} = 0$	
4		同一定律 $A + A = A$	
4'		$A \cdot A = A$	
5	交 换 律	反转定律 $\bar{\bar{A}} = A$	
6		$A + B = B + A$	
6'	结 合 律	$A \cdot B = B \cdot A$	
7		$(A + B) + C = A + (B + C)$	
7'		$(A \cdot B) \cdot C = A \cdot (B \cdot C)$	

序 号	名 称	恒 等 式	对应的继电控制线路
8	分 配 律	$A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$	
8'		$A + B \cdot C = (A + B) \cdot (A + C)$	
9	莫 根 定 理 (反演律)	$\overline{A+B} = \overline{A} \cdot \overline{B}$	
9'		$\overline{A \cdot B} = \overline{A} + \overline{B}$	
10	吸 收 律	$A + A \cdot B = A$	
10'		$A \cdot (A + B) = A$	
11		$A + \overline{A} \cdot B = A + B$	
11'		$A \cdot (\overline{A} + B) = A \cdot B$	
12		$A \cdot B + \overline{A} \cdot C + B \cdot C$ $= A \cdot B + \overline{A} \cdot C$	
12'		$(A+B)(\overline{A}+C)(B+C)$ $= (A+B)(\overline{A}+C)$	