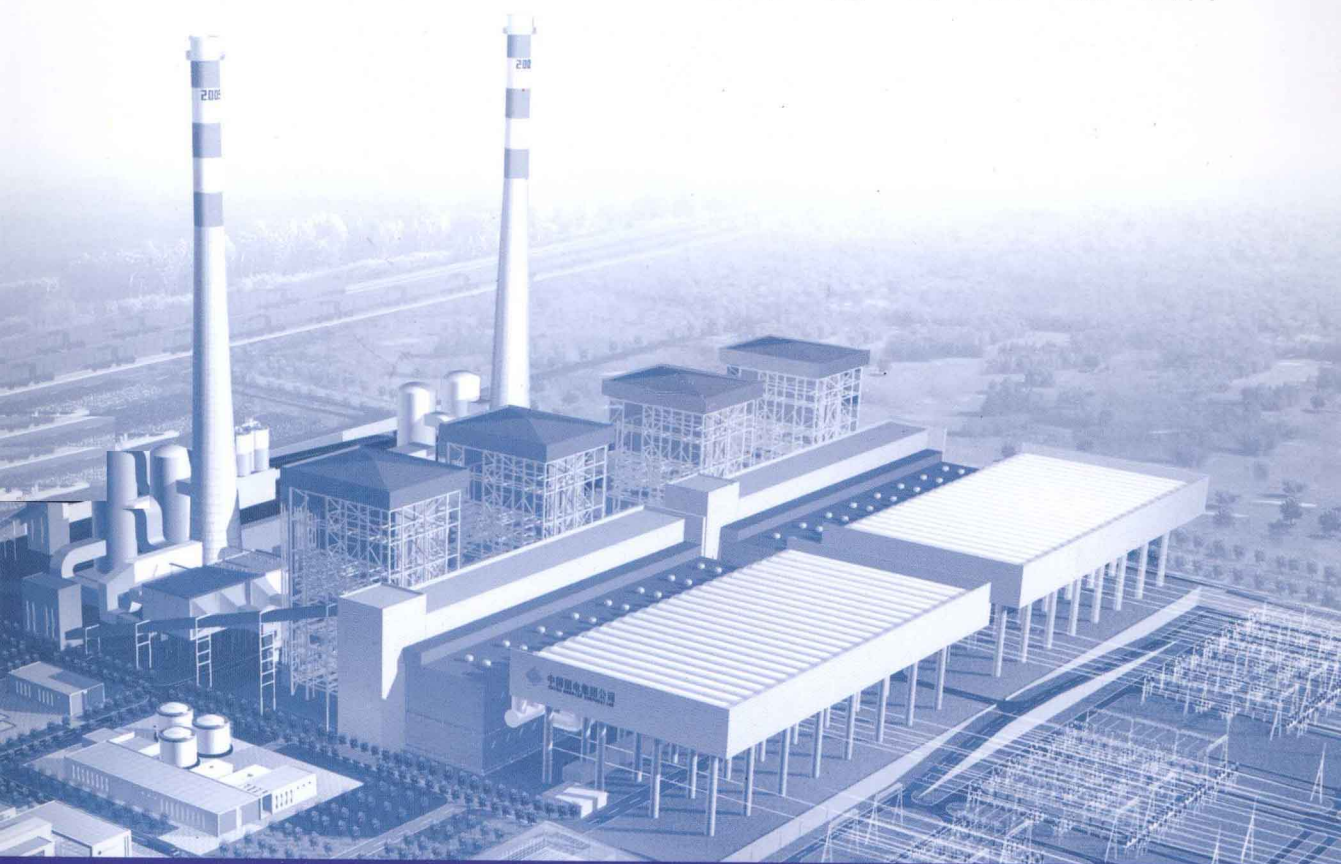


超（超）临界机组自动化技术丛书

开关量控制系统 及应用

王苏华 万 晖 潘 钢 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

超（超）临界机组自动化技术丛书

开关量控制系统 及应用

王苏华 万 晖 潘 钢 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书是《超(超)临界自动化技术丛书》分册之一。全书分三大部分:开关量控制系统的基础、火力发电厂主控系统和火力发电厂辅控系统。

在第一部分开关量控制系统的基础中,第一章介绍开关量控制系统的历史、逻辑代数基本知识、火电厂常用术语等;第二章介绍计算机开关量控制系统的基础知识,内容包括计算机控制系统的基本结构、类型和组态语言;第三章介绍开关量控制系统的设计,控制系统的结构和模块化设计思想,并详细列举了典型逻辑图的设计思路。

在第二部分火力发电厂主控系统中,第四章介绍火力发电厂生产过程,主控系统的配置方案和机组自启停控制系统(APS);第五章介绍炉膛安全监控系统(FSSS);第六章介绍汽轮机紧急跳闸系统(ETS);第七章介绍顺序控制系统(SCS);第八章介绍电气控制系统(ECS)。

在第三部分火力发电厂的辅控系统中,第九章介绍火电厂辅控车间一体化设计思想;第十章介绍水处理系统,包括化学水系统,凝结水精处理系统和废水系统;第十一章介绍输煤程控;第十二章介绍除灰除渣系统;第十三章介绍脱硫系统;第十四章介绍空冷系统;第十五章介绍脱硝系统。

本书语言简洁,实例丰富、实践性强。适用于电力行业从事自动控制、热工过程自动化、热能动力、集控运行、计算机等专业从事科学研究与工程技术应用的人员参考,也可作为高等院校相关专业师生的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

开关量控制系统及应用/王苏华,万晖,潘钢编著. —北京:
中国电力出版社, 2013. 11

(超(超)临界机组自动化技术丛书)

ISBN 978-7-5123-4632-1

I. ①开… II. ①王…②万…③潘… III. ①火力发电-发电
机-机组-控制系统 IV. ①TM621.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 143542 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 11 月第一版 2013 年 11 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 21.75 印张 529 千字

印数 0001—3000 册 定价 60.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

编 委 会

主 任 朱永芾

副 主 任 钟鲁文 关晓春 潘 钢

委 员 邱忠昌 夏 明 陈 勇 周希平

主 编 潘 钢

副 主 编 叶 敏

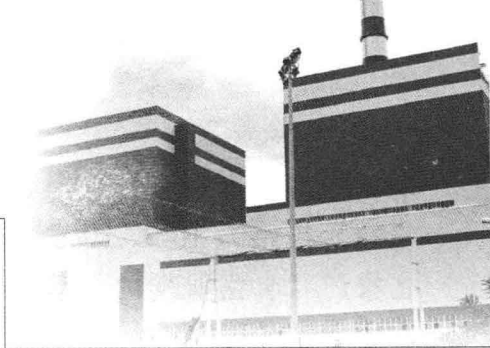
主 审 夏 明

主要参编人员 (按姓氏拼音排序)

陈 峰 黄焕袍 李亚群 李岳峰 吕大军

曲 云 田雨聪 万 晖 王苏华 王 疆

周海东 张 智 朱镜灵



序

我国富煤、贫油、少气的能源结构决定了现阶段及今后相当长一段时期，发电生产仍然是以燃煤火力发电为主的格局。因此，提高燃煤机组效率、降低污染物排放量是火力发电技术的必然发展趋势。

改革开放以来，随着国民经济快速发展，我国电力行业也进入了历史性的高速发展时期，尤其是 2002 年电力体制改革之后，电力装机容量在不到十年的时间内实现了从 5 亿到 10 亿 kW 的历史性突破。陆续建设投产了一批高效节能、清洁燃烧的超（超）临界发电机组，“十一五”期间，我国火电供电煤耗降到 333g 标准煤/kWh，接近国际先进水平 330g 标准煤/kWh。

近年来，中国国电集团公司着力以发展新能源引领企业转型升级，以建设创新型企业推动发展方式转变，不断寻求传统电力能源企业的新突破。调整火电结构、加强传统能源高效清洁利用、有机延伸发电产业链、大力发展相关产业，已成为中国国电集团公司转变发展方式、调整产业结构的重要举措。

科技产业是中国国电集团公司的优势和特色。集团公司组建时，继承了原国家电力公司的一批科技企业，经过几年悉心培育，自主创新能力不断增强，科技创新体系更加完善，在新能源、节能、环保、自动化和信息化等高端装备制造领域已达到世界先进水平，成为集团公司的核心竞争优势和转型发展的重要支撑。

随着火电机组装机容量的增大，生产过程越来越复杂，经济环保运行要求越来越高，火电厂自动化控制系统已经成为大型火力发电机组的核心技术和重要装备之一。火电厂自动化控制系统技术发展快、难度大，长期以来一直被国外著名厂商垄断。近年来，通过国内相关企业和科研单位持续不懈的努力，在重大技术装备高端自动化领域取得了重大突破。其中，北京国电智深控制技术有限公司在国家发改委、科技部、能源局、工信部等国家部委，以及中国国电集团公司和国家电网公司等单位的大力支持下，通过实施国家发改委产业化专项、科技部 863 计划重点项目等一批国家级项目，以及中国国电集团公司、国家电网公司科技创新项目，在国内

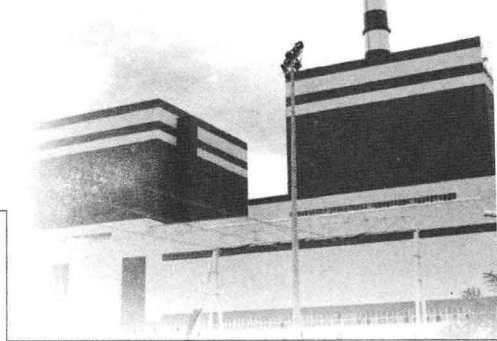
率先完成了大型自动化成套控制系统在 600MW 亚临界空冷机组、600MW 超临界机组和 1000MW 超超临界机组等的首台套应用，并成功实现了产业化推广，自主研发的自动化控制系统技术达到国际领先水平，大大促进了行业的技术进步。

在多年积累的自动化控制领域科研开发和工程实践的经验基础上，北京国电智深控制技术有限公司组织编写了《超（超）临界机组自动化技术丛书》，对该专业的技术发展和所取得的应用成果进行了系统和深入的总结。相信会对我国自动化技术的发展以及大型火力发电机组的优化运行和节能增效起到积极推动作用。

衷心期望北京国电智深控制技术有限公司能够继续发扬自主创新、勇攀高峰的精神，不断取得更加辉煌的成绩，更好地服务于中国电力事业。

朱永亮

二〇一二年十二月



前 言

在我国国民经济高速发展以及对电力工业要求越来越高的今天,选择大容量、高参数、低能耗且节能环保的大型火电机组投入电网,是电力工业持续发展的必由之路。大型大容量火电机组是技术密集的重大技术装备,其发电过程涉及一千台以上的设备,需监控的参数多达一万个点以上,工艺流程十分复杂。如果电厂监控全部由运行人员手动操作,是难以完成的,不仅工作强度大,而且也容易误操作。

热工自动化装置可以监测和控制整个工艺流程,包括热工检测、自动调节、程序控制和热工保护,其中后面两项属于开关量控制系统的范畴。许多从事热工控制专业的人员迫切需要了解这方面的新趋势、新技术以及典型应用实例,作者特意编写了此书。

作者利用业余时间收集资料,包括计算机控制、逻辑控制等基本理论,锅炉汽轮机以及各辅机厂家资料,并结合十多年的工程经验、最新技术和最新成果编写完成本书,内容涵盖了电厂主控和辅控的各个方面。

本书分三大部分:开关量控制系统的基础、火力发电厂主控系统和火力发电厂的辅控系统。

在第一部分开关量控制系统的基础中,第一章介绍开关量控制系统的历史、逻辑代数基本知识、火电厂常用术语等;第二章介绍计算机开关量控制系统的基础知识,内容包括计算机控制系统的基本结构、类型和组态语言;第三章介绍开关量控制系统的设计,控制系统的结构和模块化设计思想,并详细列举了典型逻辑图的设计思路。

在第二部分火力发电厂主控系统中,第四章介绍火力发电厂生产过程,主控系统的配置方案和机组自启停控制系统(APS);第五章介绍炉膛安全监控系统(FSSS);第六章介绍汽轮机紧急跳闸系统(ETS);第七章介绍顺序控制系统(SCS),并附以典型600MW、1000MW超(超)临界机组SCS功能说明书;第八章介绍电气控制系统(ECS)。

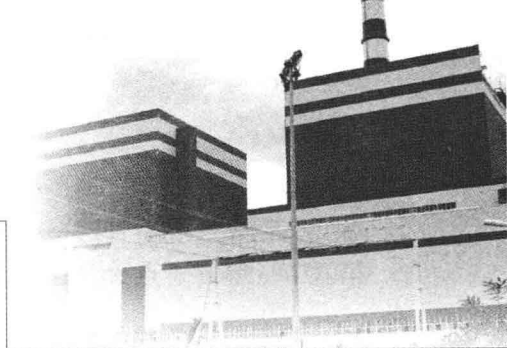
在第三部分火力发电厂的辅控部分中,第九章介绍火电厂辅控车间一体化设计思想;第十章介绍水处理系统,包括化学水系统,凝结水精处理系统和废水系统;第十一章介绍输煤程控;第十二章介绍除灰除渣系统;第十三章介绍脱硫系统;第十四章介绍空冷系统;第十五章介绍脱硝系统。

在本书的写作过程中,国电科学技术研究院万晖编写了第一、二、三章;北京国电智深控制技术有限公司齐永霞编写了第十五章和第七章第三节,潘钢编写了第四和第九章,王苏华编写了其余章节并进行了整书的统稿。另外,还要感谢北京国电智深控制技术有限公司的同事王中胜、王疆、孙瑜、陈思远、安平等的帮助。同时,也感谢国电环境科学研究院脱硫研究所张承武给予的帮助。

限于编者水平,难免出现不足之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2013年9月



目 录

序
前言

第一部分 开关量控制系统的基础

第一章 绪论	3
第一节 开关量控制系统的历史	3
第二节 逻辑代数基础	5
第三节 开关量控制系统在火电厂的重要作用	8
第四节 火电厂开关量控制系统的常用术语介绍	9
第二章 计算机开关量控制系统	12
第一节 计算机开关量控制系统的结构	12
第二节 开关量控制系统的计算机平台	13
第三节 计算机开关量控制系统的组态语言	18
第三章 开关量控制系统的设计	24
第一节 模块化设计思想和方法	24
第二节 典型逻辑	25
第三节 典型逻辑图的应用	37

第二部分 火力发电厂主控系统

第四章 火力发电厂简介	45
第一节 概述	45
第二节 DCS 在火力发电厂主控系统的配置方案	48
第三节 机组自启停控制系统 (APS)	50
第五章 炉膛安全监控系统	55
第一节 概述	55
第二节 锅炉点火前的准备	56
第三节 锅炉安全灭火 (MFT 和 OFT)	60

第四节	油燃烧器管理	65
第五节	煤燃烧器管理	68
第六节	等离子点火及其他设备	74
第六章	汽轮机紧急跳闸系统	77
第一节	概述	77
第二节	ETS 逻辑	78
第七章	顺序控制系统	83
第一节	概述	83
第二节	SCS 联锁关系的归类	85
第三节	辅机单列机组重要信号逻辑	88
第四节	典型 600MW 超临界机组锅炉 SCS 功能说明	90
第五节	典型 600MW 超临界机组汽轮机 SCS 功能说明	100
第六节	典型 1000MW 超超临界机组锅炉 SCS 功能说明	124
第七节	典型 1000MW 超超临界机组汽轮机 SCS 功能说明	144
第八章	电气控制系统	174
第一节	概述	174
第二节	发变组及其励磁系统	176
第三节	厂用电系统	180
第四节	断路器电气二次回路原理	189

第三部分 火力发电厂的辅控部分

第九章	火电厂辅控车间一体化	195
第一节	概述	195
第二节	辅助车间一体化控制系统选型	196
第十章	水处理系统	200
第一节	化学水系统简介	200
第二节	化学水系统功能说明	203
第三节	凝结水精处理系统功能说明	214
第四节	废水处理系统功能说明	222
第十一章	输煤程控	233
第一节	输煤系统简介	233
第二节	输煤程控功能说明	236
第十二章	除灰除渣系统	257
第一节	除灰系统	257
第二节	除渣系统	262

第十三章 脱硫系统	267
第一节 脱硫系统简介	267
第二节 湿法脱硫功能说明	272
第十四章 空冷系统	296
第一节 空冷系统简介	296
第二节 空冷系统功能说明	297
第十五章 脱硝系统	304
第一节 脱硝系统简介	304
第二节 脱硝功能说明	311
附录 A DCS 的开关量算法块	319
附录 B 二十五项反措之防止分散控制系统失灵、热工保护拒动事故	334
参考文献	336



第一部分



开关量控制系统的基础

第一章

绪 论

第一节 开关量控制系统的历史

一、概述

开关量控制是有别于模拟量控制的一种以逻辑代数为基础发展起来的逻辑控制技术。它包括顺序控制、自动保护以及设备的自动启停或开关操作。在 DL/T701—1999《火力发电厂热工自动化术语》是这么定义开关量控制系统的：“实现机、炉、电及其辅助设备启、停或开、关的操作的总称及对某一工艺系统或主要辅机按一定规律进行控制的控制系统，包括顺序控制系统。”其英文名称为“on-off control system”，简称 OCS。

传统的开关量控制是通过以继电器为主体构成的控制回路实现上述功能的，通过固定配线方式实现动作的过程执行，现在我们通常称为硬（接线）回路。随着计算机技术的发展，新型控制器和控制系统的诞生，如可编程控制器和分布式控制系统，把逻辑回路的实现步骤记忆在存储器中，我们通常称为软（逻辑）回路。因为计算机控制器中的逻辑修改非常方便，硬件的构成不再依赖特定的过程或顺序，所以这样的控制器可以批量生产，在机械、冶金、化工、电力、轻纺等领域得到广泛的运用，极大地推动了社会生产力的进步。

二、开关量控制技术的历史

早在 18 世纪就已经有了自动纺织机（1741 年）和传送带式自动磨粉机（1791 年），而模拟量控制通常被认为起源于 1784 年 Watt 的离心式调速机的发明，所以说开关量控制技术和模拟量控制技术一样具有悠久的历史。

1824 年 Sturgeon 制成了电磁石，在此基础上，1836 年 Henry 发明了电磁继电器。1847 年英国布尔（Boole）提出了作为开关量控制基础理论的逻辑代数。但直到 20 世纪 30 年代，才在上述理论和技术的基础上开发出了开关量控制系统，形成操作者↔控制柜↔控制对象这样的系统连接模式。当时的开关量顺序控制器，大多采用由各种继电器和接触器组成的控制柜，也是目前在工厂中仍然大量应用的开关量控制装置。

1948 年，控制论的创始人维纳（Wiener）在他的《控制论——关于动物体和机器的控制与联系的科学》一书中，就阐述了怎么把机械元件与电气元件组合成稳定的，并且具有特定性能的系统，在这期间首次提出了信息、决策和控制的概念。

20 世纪 50 年代随着远程监视技术的引入，开关量控制系统又分为控制动作回路和控制操作监视两个功能，形成了操作者↔操作台↔控制柜↔控制对象的系统连接模式，完成状态控制与监视操作的功能。

20 世纪 60 年代初,随着电子技术的发展,晶体管构成的无节点继电器逐步取代传统的电磁继电器,半导体逻辑元件由晶体管、硅可控整流元件、电阻器、电容器等组成,形成各种基本电路,包括逻辑门(与、或、非)、触发器、振荡器以及开关放大器、延时元件、停电记忆元件、电平检测器、接近开关、交流可控硅开关等,这些元件和电路形成某些特定功能单元,如果按照需要组合起来就构成了开关量顺序控制器。控制装置向电子化、小型化进一步发展,可靠性也得到进一步提高。

20 世纪 60 年代后期,集成电路化的微型计算机芯片的出现使得控制器可以在线使用,1969 年美国 DEC 公司研制出世界上第一台可编程逻辑控制器(Programmable Logic Controller),简称 PLC,用在 General Motors 公司生产线上获得成功。

PLC 的特点如下:

- (1) 继电控制系统设计周期短,更改容易,接线简单,成本低。
- (2) 能把计算机的许多功能和继电控制结合,编程又比计算机简单易学,操作方便。
- (3) 系统通用性强。
- (4) 系统可靠性更高。

作为一种先进而又成熟的技术,目前 PLC 被广泛地应用在机械、冶金、化工、电力、轻纺等领域,提高了劳动生产率和自动化程度,而且也推动了工业技术革命的历程。

1975 年美国最大的仪表公司之一 Honeywell 公司首次向全世界推出它的分布式计算机控制系统(Distributed Control System, DCS) TDC-2000,该系统由回路仪表控制系统发展而来。所谓分布式计算机控制系统,就是在生产过程的各个局部范围内配置以微型计算机为核心的数字式局部控制器,称为分布处理单元(Distributed Process Unit, DPU),实现就地控制。一条高速数据通道将所有的系统处理单元连接起来,完成处理单元之间或处理单元与上位机之间的数据通信,用以彩色屏幕显示器(CRT)为中心的人机接口来实现对整个生产过程的监督控制。全系统的信息综合管理和现场控制相分离,这是分布式控制系统的重要标志。这样,不但提高了控制速度,还避免了采用集中控制时,一旦主机出现故障,就会导致所有控制失灵的危险。

分布式计算机控制系统是集计算机(Computer)技术、控制(Control)技术、通信(Communication)技术和图形显示(CRT)技术所谓 4C 技术于一体的计算机系统。它一经问世,就受到工业界的瞩目,为实现高水平的自动化提供了强有力的技术工具,给生产过程自动化的发展带来深远影响。从此计算机在工业生产过程控制方面的应用进入了一个新的发展阶段,即分布式计算机控制系统的新时代。

到目前为止,可编程逻辑控制器 PLC 和分布式控制系统 DCS 的发展越来越接近。在工程应用的开关量逻辑控制领域,几乎凡是用 PLC 的场合都可由 DCS 来代替,而用 DCS 的场合也可以用 PLC。两类装置的选择在于设计者根据具体工程目标的要求由装置的价格性能比所决定。

随着现场设备的智能化,现场设备和控制系统的接线方式由传统电缆发展为通信电缆,现场总线概念应运而生。目前现场总线已经开始应用在工业过程控制,并推动了以现场设备为基础形成的网络集成式分布控制系统(Fieldbus Control System, FCS)的出现、发展和广泛应用。由于现场总线技术的出现,推动了现场智能设备和智能仪表的发展,促进了传统 DCS 和 PLC 的融合,将为实现真正数字化工厂创造条件。

第二节 逻辑代数基础

逻辑代数的基本概念是布尔 (Boole) 在 1847 年提出的, 提出用符号来表达语言和思维的逻辑性。到了 20 世纪 30 年代, 自动控制技术使用了开关电路, 需要新的数学工具来处理开关电路系统中日益复杂的逻辑问题, 于是逻辑代数得到广泛的重视。本节介绍逻辑代数的基本概念和基本性质, 更详细的内容可参考“离散数学”的相关教材。

一、逻辑变量

大家都熟悉电路中的开关, 如电灯的拉线开关、闸刀开关等手动开关, 又如二极管、三极管组成的快速、无触电开关。这些开关都有一个共同点, 即都具有接通和断开两种状态。这种具有通或断两种状态的电路, 我们称为开关电路。输入/输出信号具有两种使用状态的电路也是一种开关电路, 如逻辑门电路、双稳态触发器等 (电位的高低、脉冲的正负等), 而计算机本身就是由许多这种开关电路按一定规律组合而成的。

我们将这两种状态分别用“1”和“0”来表示。一般在开关电路里, “0”代表断, 而“1”代表通。在研究一个命题的真假时, “0”代表假, “1”代表真。

当一个变量的取值只能是“0”或“1”时, 我们称为逻辑变量。

逻辑代数就是以取值“0”或“1”的逻辑变量为研究对象的。

二、逻辑运算

逻辑代数的基本运算有三种: 与、或和非, 其含义和普通代数运算不同, 运算的基本性质也和普通代数完全不同。下面分别介绍三种基本逻辑运算的含义及其运算的基本性质。

(一) 基本逻辑运算

1. 与运算 (逻辑乘法)

与运算逻辑关系见表 1-1, 记为 $\cap$ 。

用数学语言来说就是: 当且仅当 $A=1$, $B=1$ 时, $A \cap B=1$ 。与运算好比开关串联电路, 只有当两个开关同时接通, 电灯才会亮。

与运算有如下基本性质:

表 1-1 与 运算 真 值 表

A	B	OUT= $A \cap B$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$$A \cap B = B \cap A \quad (\text{乘法交换律}) \quad (1-1)$$

$$A \cap (B \cap C) = (A \cap B) \cap C \quad (\text{乘法结合律}) \quad (1-2)$$

$$A \cap 0 = 0 \quad (1-3)$$

$$A \cap 1 = A \quad (1-4)$$

$$A \cap A = A \quad (\text{乘法重复律}) \quad (1-5)$$

以上公式可以用真值表来证明, 在此就不一一证明了, 读者可以自行证明。

式 (1-1) ~ 式 (1-4) 所表示的性质在形式上类同于普通代数的乘法性质, 所以与运算又叫逻辑乘法。

而式 (1-5) 表示在逻辑代数里, 是没有指数的, 与普通代数的乘法 $A \times A = A^2$ 不同。



表 1-2 或 运 算 真 值 表

A	B	OUT=A∪B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

2. 或运算(逻辑加法)

或运算逻辑关系见表 1-2, 记为 $\cup$ 。

用数学语言来说就是: 只要 A、B 中至少有一个为 1, 就有 $A \cup B = 1$ 。或运算好比开关并联电路, 只要当两个开关至少有 1 个接通或 2 个同时接通, 电灯都会亮。

或运算有如下基本性质:

$$A \cup B = B \cup A \quad (\text{加法交换律}) \quad (1-6)$$

$$A \cup (B \cup C) = (A \cup B) \cup C \quad (\text{加法结合律}) \quad (1-7)$$

$$A \cup 0 = A \quad (1-8)$$

$$A \cup 1 = 1 \quad (1-9)$$

$$A \cup A = A \quad (\text{加法重复律}) \quad (1-10)$$

以上公式可以用真值表来证明, 在此就不一一证明了, 读者可以自行证明。

式(1-6)~式(1-8)所表示的性质在形式上类同于普通代数的加法性质, 所以或运算又叫逻辑加法。

而式(1-9)和式(1-10)是在普通代数里没有的, 式(1-10)表示在逻辑代数里, 是没有系数的, 与普通代数的加法 $A + A = 2A$ 不同。

对于与运算和或运算, 普通代数的分配律也成立, 即

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C) \quad (\text{乘对加的分配律}) \quad (1-11)$$

但在逻辑代数里还有另外的分配律

$$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C) \quad (\text{加对乘的分配律}) \quad (1-12)$$

此外, 逻辑代数还有下面两条特殊的性质

$$A \cap (A \cup B) = A \quad (\text{吸收律}) \quad (1-13)$$

$$A \cup (A \cap B) = A \quad (\text{吸收律}) \quad (1-14)$$

3. 非运算

非运算逻辑关系见表 1-3, 记为 $\sim$ 。

非运算有如下基本性质:

$$A \cap (\sim A) = 0 \quad (1-15)$$

$$A \cup (\sim A) = 1 \quad (1-16)$$

$$\sim(\sim A) = A \quad (\text{双重否定律}) \quad (1-17)$$

反演律(德摩根公式)

$$\sim(A \cap B) = (\sim A) \cup (\sim B) \quad (1-18)$$

$$\sim(A \cup B) = (\sim A) \cap (\sim B) \quad (1-19)$$

对合律

$$(A \cup B) \cap (A \cup (\sim B)) = A \quad (1-20)$$

$$(A \cap B) \cup (A \cap (\sim B)) = A \quad (1-21)$$

以上公式可以用真值表来证明, 在此就不一一证明了, 读者可以自行证明。

表 1-3 非 运 算 真 值 表

A	OUT= $\sim A$
0	1
1	0

(二) 逻辑代数

由逻辑常数（0 或者 1）、逻辑变量（只允许取值 0 或 1）以及与逻辑 $\cap$ 、或逻辑 $\cup$ 和非逻辑 $\sim$ 等组成的代数系统，称为逻辑代数。

含有有限个逻辑变量的表达式，称为逻辑函数。

从逻辑代数的基本性质中可以发现，逻辑代数有一个特性——对偶性。我们把逻辑代数的基本性质集中列于表 1-4 中。

在表 1-4 里关系式都是成对出现，在每对关系式中，只要将“0”和“1”互换，“ $\cap$ ”和“ $\cup$ ”互换，就可以从一个公式变成另一个公式。

例如，把式（1-4）的“0”换成“1”，“ $\cap$ ”换成“ $\cup$ ”，就可以变成式（1-9）。

表 1-4 逻辑代数的基本性质

序 号	名 称	公 式	编 号
1a 1b 2a 2b 3a 3b	变量和常量的关系	$A \cap (\sim A) = 0$	式 (1-15)
		$A \cup (\sim A) = 1$	式 (1-16)
		$A \cap 0 = 0$	式 (1-3)
		$A \cup 1 = 1$	式 (1-8)
		$A \cap 1 = A$	式 (1-4)
		$A \cup 0 = A$	式 (1-9)
4a 4b	重复律	$A \cap A = A$	式 (1-5)
		$A \cup A = A$	式 (1-10)
5a 5b	交换律	$A \cap B = B \cap A$	式 (1-1)
		$A \cup B = B \cup A$	式 (1-6)
6a 6b	结合律	$A \cap (B \cap C) = (A \cap B) \cap C$	式 (1-2)
		$A \cup (B \cup C) = (A \cup B) \cup C$	式 (1-7)
7a 7b	分配律	$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$	式 (1-11)
		$A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C)$	式 (1-12)
8a 8b	吸收律	$A \cap (A \cup B) = A$	式 (1-13)
		$A \cup (A \cap B) = A$	式 (1-14)
9	双重否定律	$\sim(\sim A) = A$	式 (1-17)
10a 10b	反演律（德摩根公式）	$\sim(A \cap B) = (\sim A) \cup (\sim B)$	式 (1-18)
		$\sim(A \cup B) = (\sim A) \cap (\sim B)$	式 (1-19)
11a 11b	对合律	$(A \cup B) \cap (A \cup (\sim B)) = A$	式 (1-20)
		$(A \cap B) \cup (A \cap (\sim B)) = A$	式 (1-21)

(三) 复合逻辑运算

另外，由与逻辑 $\cap$ 、或逻辑 $\cup$ 和非逻辑 $\sim$ 可以组成复合的逻辑运算，比如异或逻辑。

异或逻辑的定义是： $A \oplus B = (A \cap (\sim B)) \cup ((\sim A) \cap B)$ ，记为 $\oplus$ 。

异或运算逻辑关系见表 1-5。

用数学语言来说就是：只要 A、B 不相同，就有 $A \oplus B = 1$ 。

表 1-5 异或运算真值表

A	B	OUT = $A \oplus B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0