

机械科学技术发展树枝图 与新兴技术

(电气传动、低压电器、变压器、电线电缆、
绝缘材料、电工产品环境技术分册)

《技术发展树枝图》编写组

机械工业部科学技术情报研究所



内 容 简 介

本书系统地、形象地介绍了电气传动、低压电器、变压器、电线电缆、电工绝缘材料、电工产品环境技术等电工产品与技术的历史发展沿革、发展动向及有关的新兴技术。文中附有12幅电工产品技术发展树枝图，形象地概括了各相应领域的技术发展过程，展示了未来的发展方向。

本书可供电工行业广大科技人员与各级领导部门作为编制科技发展规划及选择科研课题的重要基础材料。

机械科学技术发展树枝图与新兴技术
(电气传动、低压电器、变压器、电线电缆、
绝缘材料、电工产品环境技术分册)
《技术发展树枝图》编写组
(内部资料)

*

机械工业部科学技术情报研究所编辑出版
机械工业出版社印刷厂印刷
机械工业出版社发行·机械工业出版社经销

*

1985年9月北京
代号: 83-5 · 定价: 2.70元



出版说明

围绕经济建设需要，制订长远科技发展规划，是落实“经济建设要依靠科学技术，科技工作要面向经济建设”的重要保证。规划应以对未来的预测为基础，因此预测未来是重要的。但是，只有很好地了解事物的过去发展过程，从中找出事物的发展规律，才能科学地预测未来。为此，我们组织本部有关院所编写了一套《机械科学技术发展树枝图与新兴技术》，系统地、形象地介绍了机械工业各主要科学技术领域的发展过程和发展动向，作为编制科技发展规划和选择科研课题的重要基础材料。

这套资料按学科和专业出版。本书为电气传动、低压电器、变压器、电线电缆、绝缘材料、电工产品环境技术分册，参加编写的单位和人员是：电气传动部分由天津电气传动设计研究所丁绍曾等同志编写，低压电器部分由上海电器科学研究所赵文瑜等同志编写，变压器部分由沈阳变压器研究所宋铁章、赵育文、宋汝颖等同志编写，电线电缆部分由上海电缆研究所陆企成、应启良、范载云、过仁华等同志编写，电工绝缘材料部分由桂林电器科学研究所吴丙川同志编写，电工产品环境技术部分由广州电器科学研究所魏朱云、陈新珩同志编写。

机械工业部科学技术情报研究所

1983年8月

TG 2/19



0356356

D

目 录

第一篇 电气传动	1
一、电气传动自动化技术发展概况	1
二、重点技术介绍	3
三、电气传动自动化技术大事年表	8
附图：电气传动自动化技术发展树枝图（见书后）	
第二篇 低压电器	13
一、低压电器发展简况	13
二、低压电器的主要内容	15
三、低压电器大事年表	17
四、低压电器重点技术简介	23
五、低压电器名词解释	32
附图：低压电器技术发展树枝图（见书后）	
第三篇 变压器	34
一、变压器概述	34
二、变压器发展大事年表	38
三、重点技术简介	41
附图：变压器技术发展树枝图（见书后）	
第四篇 电线电缆	43
一、电线电缆技术发展简况	43
二、电线电缆大事年表	50
三、电线电缆重点技术简介	55
四、电线电缆名词解释	58
五、电线电缆技术发展树枝图名称	60
六、电线电缆子树枝图名称	64
附图：1. 电线电缆技术发展树枝图	77
2. 裸电线技术发展子树枝图	78
3. 电气装备电线电缆技术发展子树枝图	79
4. 电力电缆技术发展子树枝图	80
5. 通信电缆技术发展子树枝图	81
6. 工艺设备电缆技术发展子树枝图	82
7. 电磁线技术发展子树枝图	83
第五篇 电工绝缘材料	84
一、电工绝缘材料科学技术发展简况	84
二、绝缘材料科学技术大事年表	95
三、新技术新工艺	100
四、名词术语	102
附图：绝缘材料技术发展树枝图（见书后）	

第六篇 电工产品环境技术.....	107
一、环境技术的历史发展	107
二、环境技术内容概述	109
三、环境技术展望	114
四、电工产品环境技术大事年表	115
五、电工产品环境技术若干名词解释	118
附图：电工产品环境技术发展树枝图（见书后）	

第一篇 电气传动

一、电气传动自动化技术发展概况

电气传动自动化技术是一项综合性应用技术，主要是对以电动机作为执行机构和控制对象的生产过程实现自动化。执行电气传动自动化任务的产品称为电气传动自动化成套装置；包括传动用的电动机，控制用的电器、电子器件及控制设备，自动检测用的仪表及装置，以及自动化用的微型计算机、控制计算机及其软件等。

电气传动自动化技术的发展，以自动控制理论和控制器件传动电机的发展为基础，从而促进自动控制系统的发展，而自动控制系统的发展，又对自动控制理论和控制器件传动电机提出新的要求，从而达到相互促进协调发展的目的。

电气传动自动化技术的发展可以分为以下几个阶段：

1881~1940年为萌芽阶段。1860年直流电动机问世以后，到1881年出现城市有轨电车，这时电动机采用集中的不可调直流电源供电。到1891年发明电动发电机组，这是独立的可调直流电源，使直流电动机可以充分发挥优良的调速性能。1894年西德AEG公司在西格兰(Sieger land)矿井安装一套100千瓦卷扬机，采用电动发电机组供电，体现了当时直流传动技术水平。以后在轧机、吊车和机床上先后开始应用电气传动装置。随着价廉而结实的交流电动机出现，有些生产机械采用交流传动。这一阶段电气传动系统的技术特点是开环控制，手动方式，基本谈不上采用控制理论，仅仅是按钮起动，接触器合闸而已。

1941~1950年的第一阶段。1932年出现Nyquist的经典反馈控制理论，1940年出现Bode的对数频率特性计算，为经典控制理论进入实用阶段打好基础。在控制器件方面，1928年出现磁放大器，1935年制成电力扩大机。到四十年代末期将放大器用于电气传动反馈控制，使控制系统的性能得到很大提高，出现了精确控制的闭环调节，自动控制方式。但由于采用继电器接触器等有触点控制器件，维护工作量大，可靠性差，而且控制系统响应时间长，放大倍数低，因此精度较低。

这一阶段直流传动系统仍为电动发电机组供电，有些采用电力扩大机实现反馈控制。交流传动系统大部分为绕线型电动机，采用切换转了电阻的调速方式。

1950~1960年为第二阶段。这期间控制理论发展迅速，如1948年Evans的根轨迹法，补充了Nyquist的频率法应用，Shannon的采样控制，1950年Kochenburger的描述函数，已经考虑到实际控制系统中存在的非线性问题，但实际应用仍以线性系统经典理论为主。在控制器件方面，1928年可控热阴极水银整流器出现以后，用水银整流器取代电动发电机组开始于四十年代，但在大型生产机械上，如轧机等采用水银整流器供电，还是从五十年代开始的。由于水银整流器响应时间短，放大倍数高，使控制系统的性能得到进一步提高。另外由于半导体器件的发展，从1959年开始，在西门子公司等大型电器公司中出现所谓“控制单元”的标准化成套组件，使控制系统中继电器接触器等有触点器件有一部分实现无触点化，减少了维护工作，提高了可靠性。

这一阶段直流传动系统采用水银整流器供电的一般是大型生产机械，小功率的传动系统采用闸流管供电或磁放大器供电，但机组供电的也占相当一部分。交流传动系统除了传统的转子串电阻调速方式，有些采用饱和电抗器接在定子回路实现调压调速，有些采用硒整流器组成的串级调速装置，以及用电磁转差离合器组成调速装置，已在中小功率范围得到广泛应用，但用水银整流器组成的变频调速和串级调速系统尚未走出试验室。

1960~1970年为第三阶段。由于实际控制系统中存在多变量、非线性、随机过程等现象，为了解决这些问题，1954年Bellman发表了动态规划，1956年Понрягин发表最佳过程理论，1960年Kalman发表线性滤波和预测问题的新方法等，使控制理论从经典理论迈进到现代控制理论的范畴。

在电气传动控制系统中，虽然1961年已经利用现代控制理论进行试验，但具体应用仍以经典控制理论为主。

在控制器件方面，1957年美国GE公司发明可控硅，1958年美国Texas仪表公司发明集成电路，对电气传动系统产生很大的影响。由于可控硅本身是电力电子器件，响应时间很短，而输出功率很大，足以与水银整流器相比，而且维护简单，装置体积很小，到1964年已经有相当数量的标准化可控硅供电装置在工业上应用，一直到1967年以后完全取代了水银整流器。集成电路的出现，使控制系统中产生了无触点标准化控制单元，从第一代锗晶体管组件经过第二代硅晶体管组件，发展到第三代集成电路组件，体积大为缩小，而且功能完善，可靠性大为提高。

这一阶段的直流传动系统，无论是大功率或中小功率，大部分采用可控硅供电，但还有一部分仍用机组供电。交流传动系统采用可控硅以后，变频调速和串级调速均已在工业上应用，中小功率变频调速甚至和直流可控硅供电装置一样，形成系列产品。

1970年到现在为第四阶段。在控制器方面，由于1964年大规模集成电路研究成功，计算技术发展迅速，在1971年出现微型计算机。微型计算机与控制系统相结合，形成具有存储和计算功能的可编程序控制器，以后又研制成以微型机为核心具有相当大的存储容量和计算能力的控制装置，称作工厂设备控制器或者称为生产过程控制器。对于电气传动系统来说，一方面用存储式可编程序控制器或工厂设备控制器等来取代固定接线的有触点或无触点控制，使控制装置向软件化方面发展，大大提高了自动化程度，另一方面在比较复杂控制系统中采用多台这样的控制设备以后，上一级还要用计算机进行集中监控，形成了多级分散——集中控制系统，使电气传动自动化技术进入一个更新的阶段。与控制器件和系统的发展相适应控制理论方面，从1964年提出多级系统最优化的问题，1966年提出大系统的分解问题，1970年提出大系统理论，为热电厂实现包括计算机管理在内的多级计算机系统提供了理论基础。而这种多级计算机系统的最低级，是控制电气传动装置的微型机或可编程序控制器。这种微型机或可编程序控制器与电气传动系统密切结合成为控制系统的一个部分。另外，虽然控制系统复杂了，但由于计算机系统实行分散控制，而且有自诊断功能，反而提高了控制系统的可靠性。

这一阶段的直流和交流传动系统，与上一阶段在形式上无多大变化，大部分采用可控硅，但可控硅的容量和电压继续提高，使组成传动系统所需的元件数量比过去少，因此串并联数量减少了，提高了可靠性。1975年以后出现了大功率晶体管，用其组成传动系统时，比可控硅控制还要简便，但目前大功率晶体管在容量上尚不能与可控硅相比。

以上说明了这几个阶段电气传动自动化的技术特点，也说明了控制理论、控制器件和控制系统之间相互促进而又相互发展的关系。

从应用情况来看，五十年代及以前，各种生产机械基本上都是单机操作，对于生产线上用多台机械连续加工的生产机械如造纸机、热连轧机、冷连轧机等，要求多台电动机按一定速度比例协调运转，就不容易做到，因此或者用机械方式总轴传动，或者将速度降得很低，这也就是有触点控制系统所能达到的水平。以热连轧机为例，出口速度只能达到每秒10米以下，同时由于没有装备各种传感器和自动检测仪表，所以没有厚度自动控制等自动化项目，产品质量没有保证。

六十年代开始，在传动系统中用可控硅取代水银整流器和部分电动发电机组，大大提高了传动系统的快速性，因此可以提高速度，同时用无触点控制单元取代部分继电器接触器控制，再加上自动检测仪表和传感器的配合，故开始实现用计算机进行过程控制，使产品的产量和质量大为提高。以热连轧机为例，出口速度可以达到每秒20米左右，有厚度自动控制，张力自动控制等。但这时的计算机控制系统还是比较早期的，整个生产线或生产过程用计算机集中控制，可靠性不高。

六十年代末期以后，虽然传动系统变化不大，但自动化进展迅速，这时出现整个生产线或生产过程用3~4台小型计算机分区域实行集中控制，在这些计算机的上一级出现了监控计算机，再加上管理用离线计算机，形成多级递阶控制系统，所控制的范围已经不是单台生产机械或者一条生产线，而是整个车间或者工厂实现自动化。以热连轧机为例，如日本1971年投产的大钢厂热连轧机和车间就是这样的规模。由于各种生产工序前后配合严密，轧机出口速度达每秒27米。

1971年微型计算机出现以后，除了与自动化检测仪表结合，形成新一代自动化仪表外，还和传动系统结合，形成新一代具有特色的电气传动自动化控制设备，如工厂设备控制器、可编程控制器等。这种新型控制设备按照生产过程要求分别担当一部分最基本的控制功能，形成了多台多级按功能分散控制系统，以热连轧机为例，日本扇岛1979年投产的热连轧机车间，整个过程控制共用微型机为基础的设备控制器15台，实现了高度自动化。

从这里也可以看出技术发展使电气传动与自动化紧密结合在一起，密不可分。

二 重点技术介绍

1. 交流传动

由于交流电动机坚固耐用，维护简便，而且价格低廉，在现有使用电动机拖动的生产机械中，不需调速的机械基本上均采用交流电动机。其使用范围之广，数量之大，远远超过了直流电动机。从性能上进行对比，交流电动机还有以下优点：

(1) 大容量高电压——直流电动机由于整流电流的限制，最大容量只能做到单枢9000千瓦，最高电压目前只做到1200伏，而交流电动机可做到数万千瓦，最高电压很容易做到10千伏或更高。

(2) 高转速——直流电动机由于整流火花，最大线速度受到限制，转速不能过高，而交流电动机可以用提高频率的办法将转速提高到几万转/分以上。

(3) 防爆——直流电动机由于整流火花，不能用在防爆场合，而交流电动机不受这种

限制。

但是交流电动机最大的缺点是调速不方便。简易的调速方式，如转子切换电阻、定子用可控硅或饱和电抗器调压，以及电磁转差离合器等，调速性能不好，但成本比较便宜，适用于调速性能要求不高的场合，如吊车、起重机械等。还有几种调速方式，如串级调速、变频调速、无换向器电机调速等，性能优良，可以与直流调速方式相媲美，但成本高，系统一般比较复杂。为获得调速性能优良，成本便宜的交流调速系统，国外目前正不断进行新的探索和研究，如西德西门子提出矢量变换方式，以及较古老的变极调速方式等。现将几种常见的调速方式简介如下：

1) 转子切换电阻调速——利用接触器切换交流电动机转子回路附加电阻来改变转速，这是最古老的调速方式，多用于吊车以及大多数使用交流电动机并需要调速的场合。

2) 定子用可控硅或饱和电抗器调压调速——将可控硅或饱和电抗器串联到交流电动机的定子回路，改变可控硅的触发角度或饱和电抗器的激磁电流，来改变定子上施加的电压，即可调速，这种方式也多用于吊车或起重机械。

3) 电磁转差离合器调速——将电磁转差离合器与交流电动机的转子相结合，负载接在离合器上。当交流电动机以固定速度旋转时，改变电磁转差离合器的速度给定电压，即可调节负载的转速。这种方法多用于印染机械以及不严格要求同步的多电动机协调运转控制系统。

4) 串级调速——将交流电动机的转子电流通过整流变为直流后，再经可控硅逆变桥变为工频交流，通过变压器回送电网。改变可控硅逆变电路逆变角，即改变逆变电压可以调节电动机的转速。这种方式多用于大型水泵或风机之类负载，又可分为高于同步速度的超同步串级和低于同步速度的一般串级两类。

5) 变频调速——改变交流电动机供电电压的频率即可改变电动机的转速。改变频率的线路方式很多，主要分为交—交变频或交—直—交变频两大类，前者用于工频以下，后者用于工频上下。大功率的变频装置用于高速离心泵或极低转速的水泥转窑等。小功率的变频装置多用于高速纱锭或高速磨头等，已有系列产品。

6) 无换向器电机——从原理上看来相当于在同步电动机的基础上，用六只可控硅开关和转子位置检测器取代三个机械式换向片和电刷，兼有直流电机的优良性能和交流电机容易制造、便于维护的优点。这种方式可用于各种生产机械作精密调速，已有系列产品，但过载能力较低。

2. 直流传动

直流电动机具有优良的调速性能，在相当大的功率范围内，能满足各种生产机械的要求，因此在要求调速性能较高的场合，几乎都采用直流传动。但是直流电动机具有整流子和电刷，使用维护不便，直流电动机由于需要直流电源，而且直流电动机本身体积重量也大于同等功率的交流电动机，因此直流传动成本比交流高，使用范围也不如交流那样广泛。

直流传动发展从电源方式来看，共分为四个阶段：

第一阶段——由公用直流电源供电，使用时间约在1930年以前，是最古老的方式。

第二阶段——电动发电机组供电，使用时间约1930年至现在。系统响应时间较慢，效率85%，维护不便，但对电网无要求。

第三阶段——水银整流器供电，使用时间约1940~1965年。系统响应时间较快，效率95%，维护不够方便，要求电网容量大。

第四阶段——可控硅供电，使用时间约1965年至现在。系统响应时间较快，效率98%，维护方便，要求电网容量大。

从使用的放大器来看，共分为五代：

第一代开环控制，不用放大器，使用时间在1940年以前。

第二代为电力扩大机，使用时间约1940~1955年，噪声大，维护不便。

第三代为磁放大器，使用时间约1955~1965年，为静止器件，维护方便，但响应时间较长。

第四代晶体管放大器，使用时间约1960~1970年，为静止器件，响应时间快，但采用分立元件，体积稍大。

第五代集成电路放大器，使用时间约1970年至现在，为静止器件，响应时间快，采用集成电路。

从使用的控制器件来看，也经历了四代：

第一代继电器接触器，使用时间约1940年至现在，为有触点的控制器件。

第二代为锗晶体管组件，使用时间约1959~1965年，使用分立元件，温度漂移较大。

第三代为硅晶体管组件，使用时间约1964~1970年，使用分立元件，温度漂移比锗晶体管较小。

第四代集成电路组件，使用时间约1970年至现在，使用集成电路，体积小，温度漂移较小。

由上可知，直流传动使用历史悠久，不论从电源方式，放大器件和控制器件来看，都经历了几代的变化，提高了性能，缩小了体积，特别是可控硅和集成电路的出现，使直流传动产生了很大的变化。现在的电动发电机组供电方式由于放大器件和控制器件的改进，性能也有了极大的提高，但总的趋势是用可控硅供电逐步取代电动发电机组供电。

从成本考虑，目前国内电动发电机组比可控硅供电装置便宜得多，而国外却是可控硅供电装置比较便宜，而且控制性能优良，效率高，使用范围广。但是大功率可控硅装置使用时对电网造成公害，若加上补偿装置，则费用和电动发电机组相差无几。所以结合国内情况，大功率可控硅装置的成本就相当高了。

从使用情况来看，电动发电机组对电网无特殊要求，在电网容量有限时，若使用大功率可控硅供电装置则有很大困难，这是选择两种供电方式时必须考虑的问题。

3. 可控硅应用

可控硅是一种高效电力电子器件，在一定条件下，可以将交流电流整流成为直流电，也可将直流电流逆变成为交流电。在电气传动系统中，主要利用可控硅向电动机提供可控直流电压和可控交流频率和电压的电，或者利用可控硅换相，取代整流子和电刷。现将几种主要使用方式分别简单介绍如下：

单纯整流——利用可控硅提供可控直流电压，可控硅只作整流用，因此只有一组整流桥，一般用作直流不可逆调速。

整流逆变——一般作为直流正反向供电，必需用两组整流桥，正常工作时只用一组，但速度变动时有一组作整流，有一组作逆变。根据两组整流桥工作情况，从正向组向反向组切换时，有一种控制方式是在切换时两组同时触发，因此有环流存在，称为有环流方式；有一种控制方式是在切换时两组先后触发，因此无环流存在，称为无环流方式。

交—交变频——和直流可逆调速类似，利用在每相上的两组反并联整流桥，同时加上低频触发信号进行整流和逆变，结束直接从交流工频电源得到另一种低频的交流电流。这种交流直接变交流的方式称为交—交变频，但是输出频率最高只是工频的 $1/3$ 。

交—直—交变频——工频电源先经过整流成为直流，再逆变成交流，这时输出频率不受限制，可以达到数千赫。交—直—交变频的线路形式很多，主要有电压型和电流型两种。电压型的输出电压波形为矩形，电流型的输出电流波形为矩型。

以上这四种是基本方式，用于各种交直流传动系统。可控硅由于效率高（ $>95\%$ ），快速性好，体积小，调整维护比较简单，在可控硅元件质量过关，维护管理水平提高以后，可控硅装置可以做到无需维护，锁门运行，因此完全取代了水银整流器和电动发电机组。可控硅应用时主要问题是大功率可控硅装置在深控时对电网有影响，产生无功冲击和波形畸变，要采取补偿措施，这种技术国外已成熟。目前国内可控硅装置使用已很广泛。

4. 控制单元应用

在电气传动控制系统中，为了提高性能和标准化程度，在半导体器件出现以后，采用了大量半导体标准化功能组件，称为控制单元。控制系统通常采用两种类型的控制单元，一种是对电流或电压信号进行连续控制（幅值大小变化）的所谓模拟量控制，一种是以逻辑单元为基础对电流或电压信号进行断续控制（通断变化）的所谓数字量控制。模拟量控制单元主要包括：各种放大器、调节器、模拟量给定装置、电压电流检测装置等。数字量控制单元主要包括：各种逻辑元件、运算器、存储器、变换器等。这两种类型的控制单元，实际上可以包括电气传动控制系统的全部控制内容，满足生产工艺的各种要求（主回路部分除外）。因此，控制单元是电气传动控制装置的核心部分，在很大程度上决定了系统的指标和可靠性，但控制单元又依赖于整个控制系统的方案和所采用的调节理论。控制单元作为控制系统中标准化功能组件，对于控制装置设计和制造标准化有很大意义。

在工业发达的国家里，所有的大型电气设备制造厂家都有自己的控制单元系列，并随着元器件和控制技术的发展，不断进行改进和换代。控制单元从1959年出现，至少经历了三代：

第一代 锗晶体管组件，采用分立元件

第二代 硅晶体管组件，采用分立元件

第三代 集成电路组件。

如日本东艺公司现在使用的型号为Tosmol—Ⅷ，均为集成电路组件，改进了8次，约有数百种标准产品。

5. 计算技术应用

对电气传动系统而言，计算机进行过程控制时最初只相当于发布命令，并不影响传动系统本身。到六十年代末期，出现直接数字控制（DDC）方式，计算机发出指令，要求传动系统按照指令给出的数字量闭环控制，如预设定（APC）控制。但是这时用一台小型计算机执行很多DDC功能，与很多传动系统打交道，由于采用分区集中控制方式，计算机和传动系统不可能密切结合。七十年代以后出现了微型计算机，它体积小、价格低廉、功能专用，可作为传动系统的控制器件与系统密切结合，执行单一的DDC控制或程序控制。这种按功能分散控制的方式是七十年代末期控制系统的发展趋势。微型计算机在传动系统中除了执行规定任务外，由于其本身具有诊断功能，因此还可用作事故检测、预报等，提高了设备的可靠性。

在电气传动控制设备中，微型计算机往往以可编程序控制器或工厂设备控制器的形式出现。对于不同的生产机械，例如吊车和机床，虽然工艺要求不同，但主回路均为可逆形式，因此可用同样设备组成主回路，采用的控制柜可以不变，而控制部分也采用同样的工厂设备控制器，对应不同工艺要求，利用存储式可编程序编程，这样的程序采用只读存储器（ROM）可以固定下来（固化）。这样一来，控制设备的生产可以实现标准化，生产方便，使用也方便。变动的部分仅仅是编程不同，而这部分已经固化专用。这样的新型控制设备，硬件标准化，控制方式软件化，软件固化，生产简单，使用维护方便。这种新型的控制装置和控制系统，是计算技术在电气传动自动化中的具体应用，国外正在发展阶段，进展很快。

6. 控制理论的应用

控制理论与电路理论有密切的连系。经典控制理论在六十年代以前一直在控制系统中占主导地位。但经典控制理论只研究控制系统中输入输出呈线性变化的情况，而且是单输入单输出的情况，对于多变量和非线性等控制系统则无能为力。现代控制理论不但可以解决这些问题，而且利用高等数学作为有力工具，对于描述系统性能的微分方程组或状态变量进行了更深入的研究。

现代控制理论主要包括以下内容：

- （1）线性控制理论；
- （2）非线性控制理论；
- （3）概率和统计方法的应用；
- （4）最佳控制理论；
- （5）自适应自学习系统的理论；
- （6）系统辨识理论；
- （7）大系统理论；
- （8）模糊性理论；

利用现代控制理论，对于线性控制系统，可以解决多变量的问题。利用概率和统计方法可以解决随机性干扰，如排除噪音干扰。最佳控制理论可以用来寻求最佳化条件。自适应自学习系统可以在控制系统参数发生变化时能自动调整自身结构或参数，以保持满意的控制品质。大系统起源于多级系统，大系统理论现有的主要方法是把整个系统分解成为多层子系统，实现最佳化是中心问题。模糊性理论用相对概念取代绝对概念进行控制。但所有这些新型理论，都以复杂的高等数学为基础。这些理论的具体应用，也须以电子计算机作为求解高等数学的工具。随着六十年代计算技术的发展，现代控制理论也取得一系列成就，但在应用方面仍然存在一定困难。到目前为止，在电气传动控制系统中广泛使用的仍是经典的线性控制理论，仅在宇航工业等尖端技术中以及大型复杂的控制系统中，试作现代控制理论的应用研究。

三 电气传动自动化技术

大事年表

年 代	技 术 项 目	发 明 人 或 公 司
	— 基础器件	
	1 传动电机	
1830	确定电动机原理	Andre' Marie
1832	用水磁铁制造发电机	Pixh
1857	第一台电磁式电机问世	Werner Siemens
1860	直流电动机问世	
1880	发明感应电动机	Nikola Tesla
1895	发明直线感应电动机	Weaver Jacquard
1907	制成交流整流子电动机	AEG公司
1935	电机放大机出现	
30年代	三绕组发电机出现	
1957	发明步进电机	GE公司
1965	可控硅供电用直流电机600系列	美国
1957	单极直流电机最大9000kw	日本
1977	双极直流电机最大14000kw	苏联
1971	三极及四极直流电机最大12000kw	日本
1981	6相电机出现	日本东芝
	2 电器	
1880	继电器出现	
1889	第一台Y- Δ 起动器出现	AEG公司
1893	第一台自动开关出现(800A)	AEG公司
1920	热继电器出现(60~100A)	AEG公司
1925	第一台大容量断路器出现	AEG公司
1925	发明磁放大器	Н. Л. Пономарев
1930	高速开关出现(时间2~6ms)	AEG公司
1965	快速熔断器出现	
	3 电子	
1901	水银整流器(不可控)	Cooper Hewilt
1904	发明二级电子管	费来明
1906	发明三级电子管	De Forest Iec
1928	发明热阴极水银整流器(可控)	
1929	发明热阴极闸流管	赫尔
1930	硒整流器出现	
1933	半导体接触整流层	威尔逊
1948	点接触晶体管出现	肖克莱
1951	面结合晶体管出现	肖克莱
1952	场效应晶体管出现	
1958	硅整流器出现	AEG公司
1958	可控硅出现	GE公司
1958	集成电路出现	Texas公司
1965	大规模集成电路出现	
1970	超大规模集成电路出现	

(续)

年 代	技 术 项 目	发 明 人 或 公 司
	4 电子计算机	
1946	ENIAC 继电器电子管式计算机出现 (萌芽期)	Eckert Mauchly
1951	第一代电子管式计算机 UNIVAC-1 出现	Sperry Rand 公司
1959	RW-300 过程控制计算机出现 (第二代晶体管计算机)	Thomson Ramo Wooldrige 公司
1962	POP-5 小型计算机出现	DEC 公司
1970	System/370 中型计算机出现 (第三代集成电路计算机)	IBM 公司
1971	MC S4004, 8008 微型机出现 (第一代微型机 LSI)	Intel 公司
1974	M6800 微型机出现 (第二代微型机)	Motorola 公司
1976	Z-8000 微型机出现 (第三代微型机字长16位)	Zilog 公司
	5 检测仪代及装置	
40年代	测速发电机	
50年代	磁阻式脉冲发生器	
50年代	霍尔脉冲发生器	
60年代	光电脉冲发生器	
60年代	光栅脉冲发生器	
60年代	测宽仪	
60年代	磁性测压仪	
60年代	X射线测厚仪	
70年代	光电编码器	
	二 控制系统和装置	
	1 直流传动	
1891	发明电动发电机组方式	Ward Leonard
1894	卷扬机直流传动电动发电机组方式电动机100kw	AEG 公司
1926	带飞轮的电动发电机组 (Ilzner 机组) 出现	AEG 公司
1930	电动发电机组供电方式普遍使用 (直到现在)	
1940	水银整流器供电方式代替部分电动发电机组供电 (直到1965年)	
1940	电机放大机励磁的电动发电机组开始使用 (直到1960年)	
1940	三绕组发电机的电动发电机组开始使用 (直到1960年)	
1955	磁放大器励磁的电动发电机组开始使用 (直到1965年)	
1963	可控硅供电系统开始用于工业传动系统	AEG 公司
1965	可控硅励磁的电动发电机组开始使用 (直到现在)	
1965	美国9000kW厚板轧机主传动采用可控硅供电	
1967	日本热连轧机主传动采用可控硅供电取代电动发电机组和水银整流器供电	日立、东芝、三菱等公司
1968	罗马尼亚1300初轧机采用可控硅供电电动机 $2 \times 6780 \text{ kW}$	西门子公司
1978	日本厚板轧机采用可控硅供电电动机 $2 \times 8000 \text{ kW}$	西门子公司
	2 交流传动	
1900	转子切换电阻调速方式开始使用	
30年代	变频调速方式	
1904	机械式串级调速方式出现	Kramer
1958	用砂整流堆组成机械式串级调速方式出现	西屋公司
1965	用可控硅组成电气式和机械式串级调速方式	三菱公司
1971	可控硅超同步串级调速方式	三菱公司
1973	可控硅超同步串级调速系统最大功率50000kW (核电站)	AEG 公司
1977	可控硅串级调速系统最大功率12500kW (水泵)	西门子公司
1931	无换向器电机调速方式取得专利	AEG 公司

(续)

年 代	技 术 项 目	发明人或公司
1966	可控硅无换向器电机调速方式出现	三菱公司
1970	可控硅矢量变换 (Transvector) 调速方式出现	西门子公司
1977	可控硅无换向器电机调速系统最大功率6400kW (水泥泵)	
1938	变频调速理论出现	
1961	可控硅小功率变频传动系统出现	西屋公司
1976	可控硅交—交变频调速系统最大功率8000kW (水泥特鲁)	西门子公司
1925	提出电磁转差离合器调速理论	
1966	可控磁电磁转差离合器调速系统出现	安川公司
1956	饱和电抗器调压调速系统出现	西屋公司
1966	可控硅调压调速系统出现	三菱公司
	3 继电器接触控制	
1889	电控吊车出现	AEG公司
1900	继电器接触控制方式 (直到现在)	
50年代	频率控制	
60年代	数字—模拟复合控制	
60年代	PWM控制	
70年代	锁相环模拟复合控制	
	4 连续控制	
1940	电机放大机控制 (直到1960年)	
1955	磁放大器控制 (直到1965年)	
1960	半导体放大器控制 (直到1965年)	
1968	集成电路放大器控制 (直到现在)	
	5 断续控制	
1952	数控铣床出现	美国MIT
1956	热轧机用卡片程控 (顺序控制)	美国
1962	直接数字控制 (DDC) 方式出现	ICI Ferranti公司
1966	分时控制系统 (TSS) 出现	美国MIT
1969	可编程控制器控制汽车生产	美国
1980	微处理机全数字式直接控制在研制中	
	6 计算机控制	
1958	高炉上料首次用计算机控制	美国钢铁公司
1960	热连轧机首次用计算机控制	美国McClouth钢厂
1963	钢厂生产过程和管理首次用多台计算机整体管理	英国Spencer 钢厂
1965	造纸过程计算机控制	
1971	钢厂热轧机计算机多台多级按区域集中控制高速母线信号传输系统	日本大分厂 东芝公司
1979	钢厂热轧机计算机多台多级按功能分散控制数据大通信信号传输系统	日本扇岛厂 三菱公司
	7 控制装置	
	1) 交直流传动装置	
1900	交流传动用继电器接触器控制装置	
1930	电动发电机组供电用继电器接触器控制装置	
1940	水银整流器供电控制装置	
1955	磁放大器供电控制装置	
1961	可控硅变频装置出现 (7.5kVA)	西屋公司
1963	可控硅供电直流传动装置出现并系列化 (22~120kW)	AEG公司

(续)

年 代	技 术 项 目	发 明 人 或 公 司
1973	可控硅变频调速装置系列化交—交变频 最大功率1500kW 交—直—交变频最大功率420kVA	西门子、东芝、三菱等公司 AEG公司
1974	可控硅电磁转差离合器调速装置系列化最大2000kW	安川公司
1975	可控硅调压调速装置系列化最大220kW	安川公司
1976	可控硅串级调速装置系列化最大功率6500kW	东芝公司
1976	可控硅无换向器电机调速装置系列化最大375kW	东芝公司
1976	可控硅PWM变频调速装置系列化最大750kVA	AEG公司
1978	可控硅超同步串级调速装置系列最大1360kW	东芝公司
1978	可控硅供电直流调速装置系列最大15000kW	GE公司
	2) 程控装置	
1958	磁性逻辑程控装置	西屋公司
1960	半导体逻辑程控装置	西门子公司
60年代	顺序控制装置	
1969	可编程程序控制装置DPO-14	DEC公司
1977	生产过程自动控制装置(带微型机) MELPLAC-50	日立、东芝、三菱等公司
	3) 控制单元	
1959	数字量单元 SIMATICG (锗)	西门子公司
1964	数字量单元 SIMATIC N/NB (硅)	西门子公司
1973	数字量单元 SIMATIC C ₁ /C ₂ /C ₃ (集成电路)	西门子公司
1960	模拟量单元 TRANSIDYNA (锗)	西门子公司
1965	模拟量单元 TRANSIDYNB (硅)	西门子公司
1972	模拟量单元 TRANSIDYNC (集或)	西门子公司
1974	模拟量单元 SIMADYN	西门子公司
	三 控制理论	
	1 线性系统	
1812	拉氏变换	Laplace
1847	布尔代数	Boolean
1877	运动稳定性论	Routh
1892	稳定理论	Ляпунов
1911	稳定条件	Routh-Hurwitz
1932	稳定性判据	N. Nyquist
1940	反馈控制理论(频率特性)	H. W. Bode
1948	根轨迹法	Evans
1958	采样数据控制系统	Tagazzini Franklin
1964	线性系统状态观测	D. G Luenberger
1973	鲁棒控制器	Robust
	2 非线性及其他控制理论	
1940	相平面法	
1950	描述函数	Kochenburger
1954	动态规划理论	R. Bellman
1956	最佳过程理论	Л. С. Понтрягин
1961	自适应控制系统	Mishkin Brown
1960	线性滤波和预测方法	Kalman
1961	系统辨识	Kalman
1965	模糊性理论	Zadeh
1970	大系统理论	M. D Mesarovic

参 考 文 献

1. 《安川电机》，1961，95卷，94号。
 2. 《Revue Générale de l'électricité》，1980，№2。
 3. 《AEG Telefunken Progress》，1964，№3/4。
 4. 《AEG Telefunken Progress》，1976，№4。
 5. 《计测と制御》，1976，№8。
 6. “国外直流电气传动自动化的现状与发展趋势”，天水电传所编，1976，5。
 7. “自动电磁装置”，清华大学电器教研室编，1959，1。
 8. “电机放大机论文集”，浙江大学，一机部电器院编，1957。
 9. 《电子与自动化》，1978，№4。
 10. 《Siemens Review》，1974，№7。
 11. 《机械工业自动化》，1980，№3。
 12. 《电气学会杂志》，1979，99卷，2号。
 13. 《电气计算》，1978，№11。
 14. “多级系统最佳化”，System Research Center Case Institute of Technology Cleveland, Ohio SRE50-64-19。
 15. “大系统分解”，《SIAM Journal on Control》，1966，V4, №1。
 16. “大系统理论”，New York Academic 1970。
- 附图：（见书后）