

Mechatronics 网络的形成与发展

FORMATION AND DEVELOPMENT OF MECHATRONICS NETWORK

张 问 骅

1971年日刊《机械设计》副刊特集上,刊载出了“Mechatronics 入门”(Mechatronics = Mechanism (机械机构) + Electronics (电子装置))一文,1976年 Mechatronics——机电仪一体化一词才为日本各界所接受。今天,我想根据机、电、仪的相互影响和发展史,来谈谈“机电仪一体化”。

翻开工程技术发展的历史,大家就会看到,技术的进步来自于材料、能源、工艺、控制这些要素之间矛盾的运动。火的发明,引起了制陶和青铜器的出现人们用青铜器代替石器。烧制黑陶的实践,人们发现木炭比木材具有更高的燃烧温度。高温能源的获得,为炼铁创造了条件。铁器的利用,导致农业和手工业的发展以及商业、城市的形成。1735年焦炭炼铁法的发明,大幅度地提高了生铁的产量,为产业革命和机床业的发展奠定了基础。珍妮纺车、自动织布机的发明,促使轻工业由手工向机器生产过渡,人力、风力、水力作为动力的状况很难与之适应,于是1774年瓦特发明了蒸汽机,解决了动力上的矛盾。当然,瓦特这位格拉斯哥大学的机械师改造纽克门蒸汽机也不是一帆风顺的。开始用导热性差的木头作材料,结果不成。后来又造了一台模型机,也因工艺不过关,四处漏气而失败。1769年他用锡制的汽缸,又因铸造得不好,活塞跑气而报废。后来还是采用铁材料,请了约翰·威尔金森发明的炮筒镗床的工艺专家帮助,解决了汽缸的精密加工,于1774年获得成功。为了解决蒸汽机的生产,就要解决怎样用机器来制造蒸汽机的问题,这就促使冶金—材料问题和工作母机—机床诞生。土机床问世后,1797年英国机械师莫利滋发明了“移动刀架”,到十九世纪三十年代前后,精密加工的车、铣、镗、刨床均已出现。只是以蒸汽机作动力,其传输、分配和控制都很落后。如以飞轮、天轴等皮带传动作

动力源,即使到十九世纪,其效率才达到10~15%。所以随着十九世纪七十年代的到来,资本逐渐由轻工业转向重工业,能源的功率、传输、分配、控制又成了亟待解决的课题。1831年法拉弟提出电磁感应定律。1832年法国的皮克希造出了永磁直流发电机。1845年英国人惠斯顿造出了他激发电机。1867年法国人西门子又制成了直流串激的自激发电机。直到1873年阿尔特涅克发明鼓形转子,发电机才进入实用阶段。随着汽轮机、水轮机的研制成功,法国人德普勒进行了远距离直流输电的试验,1881年在美国纽约建起了第一个直流电站,才揭开了电力应用的序幕。可是直流系统不能解决输电与用电之间的矛盾。因为输电要用高压而用电则希望用低压,怎样解决这个矛盾呢?这就促使交流系统诞生。俄国人多里伏·多希罗伏里斯基于1889年发明了三相同步发电机、三相异步电动机和三相变压器,并于1891年第一次实现了三相交流输配电。三相交流系统的建立,才真正开辟了电气化的新时代。从蒸汽机到电机,从发电机到电动机,从直流系统到三相制交流系统的建立,在能源上是一次大的跃进。从此,机床、运输上纷纷采用电力拖动,化工、冶金、电镀、电焊、通讯、广播,处处闪耀着电力的火花。电站的出现,引出电压、电流的检测和调节问题,电解、电镀的出现,都对电量的测量提出了要求,所以动圈式电流表在十九世纪八十年代就诞生了,又开始了仪表的发展史。1897年德国工程师狄塞尔研制成了内燃机,由于它的传热效率可达27~32%,所以推动了汽车、轮船的发展。1903年美国的赖特兄弟驾驶着以8马力的汽油机为动力的飞机完成了它的处女航。从此,汽车、轮船、飞机的发展对石油的需求量大增,石油炼制过程的连续化、自动化,又对仪器仪表提出越来越高的要求,促进了仪器仪表的突飞猛进。1904年弗来明

张问骅(Zhang Wen hua) 中国甘肃大学自动控制系主任, 中国甘肃省电子计算机办公室副主任。

发明了真空二极管。1906年德法莱斯特发明了三极管。1927年勃莱克发明了负反馈放大器。1932年乃魁斯特发明了振荡器并创立了乃氏稳定判据。机床电气传动的发展史说明了机电之间的辩证关系。十八世纪以前,机床全用人力、畜力为动力。十九世纪的最初20年里,机床开始以蒸汽机为动力。直到二十世纪二十年代才开始用一台电动机来传动一台机床,我们称之为单独拖动,来代替过去天轴、皮带的成组拖动。二十世纪三十年代,机床开始由每台电动机传动多个工作机构,我们称它为多电机拖动。那时,机电调速之间的斗争,促使交直流传动之间的矛盾发展。在二十世纪三十年代国外出现了直流发电机—电动机组,继而出现了以电机放大机作为放大元件的调速系统。由于有着宽广的调速范围与一定的稳速功能,大大简化了机床的结构。1921年制造了第一只离子器件——汞弧整流器。1929年造出了闸流管。1932年又造出引燃管。1948年晶体三极管问世。1955年开始生产硅整流器。1957年第一只晶闸管问世。自四十年代开始,出现了以汞弧整流器作为开关元件的串级调速装置。五十年代开始进行以闸流管作三相逆变器供电的异步机调速试验。晶闸管的使用,六十年代后期基本上解决了交流调速的关键问题。七十年代微型机出现以后,晶闸管交流调速系统才走上系列化生产的阶段。近年来,交流传动有逐渐取代直流传动的趋势。四十年代出现了磁放大器控制。五十年代出现晶体管放大器。六十年代集成运算放大器问世,制成各种高精度的仿型机床。二次世界大战中,武器的进化,雷达跟踪,火炮控制,迫切需要伺服系统。汽车、飞机的频繁改型,促使机械加工发生质的飞跃。

本世纪初,为了发展单一品种的大批量生产,出现了简单的流水作业方式。福特汽车厂用流水线安装T型汽车,使产量从1911—1912年的78,000辆增加到1916—1917年的780,000辆,增加了10倍。这种作业方式直到五十年代中期发展到了高峰。

二次大战后,随着汽车、飞机等日新月异地改型的需要,社会要求生产批量不大而品种繁多的制品。据美国统计,有75%的机械零件是批量小于50件的。所以传统的车、铣、刨、磨、镗、钻等机床较难适应这种多变的加工,于是1952年美国MIT制成了三座标的数字控制(NC)铣床。更换穿孔纸带,NC机床就可更改加工尺寸和程序,在一台床子上可作灵活的加工。众所周知,战争的需要,如原子弹中的许多问题和炮弹的弹道计算问题推动了电子计算机的出现和发展。(1930年电子PID调节器问世,1931年出现了模拟计算机。)1945年电子数字计算机ENIAC问世。电子计算机的出现,不仅能完成快速而精确的计算,而且能对信息进行处理。将计算机与NC相结合,就构成计算机控制的数控机床CNC。它可以通过软件的编制来改变加工程序,比NC有更大的灵活性和更为完善的插补。当然,CNC也只有性能/价格比较高的微型机出

现以后才大幅度地发展起来,亦即到七十年代中期,CNC才走上普及与迅速发展的道路。

为了提高生产率,缩短零件的搬运、停放、装夹、定位的时间,1985年刀具库问世。在CNC的基础上加上刀库,构成“加工中心”。工件只需装夹一次,就能通过自动换刀来完成多种加工。我在瑞士已见到有90把刀的加工中心。此外如:

“车削中心”——除车削外,还可铣、钻,一头车好后可自动调头车另一头。

“磨削中心”——能自动更换磨杆和磨头,进行外磨、不同孔径的内磨、平磨等。

“电加工中心”——可自动更换电极,可以将形状简单的和通用的电极组合起来,加工复杂的模具。

“加工中心”的出现,相当于过去多台传统机床连成的自动线。可是由于减少了零件的装夹次数,提高了加工效率与精度,有着准确的加工时间,所以有利于管理自动化。“加工中心”要求准确的定位与在线检测和显示,对传感器和智能仪表提出很高的要求。“加工中心”改变了传统机床的结构布局,冲破了传统机床分类的概念,是一次革命性的“综合”。我国南京微分电机厂定点生产的“机床微机控制装置”连续加工的误差为0.1~0.2毫米。陕西兴平新征机械厂用TP—801对仿奥地利海得公司的NCP—250插销板进行改造制成的MNC—250控制系统,数控车床可自动变速、自动换刀(12把),作到重复定位精度为0.005毫米,定位精度为0.01毫米。

六十年代末、七十年代初国外着手研究具有高度适应能力的柔性加工技术,出现了FMS柔性制造系统。目前世界上约有200个FMS系统。联邦德国慕尼黑工业大学的工业机器人实验室里的FMS系统正用六座标机器人在做汽车组装工作。在另一条柔性加工系统中,用机械手从立体仓库取料,用无人驾驶小车联络于各“加工中心”之间,小车沿着预定的轨迹行走,误差不大于3毫米。机电仪一体化已形成一个紧密结合的新网络,其中的关键技术是机床、驱动技术、传感技术、检测技术、计算机与接口技术等等。

仪器仪表的发展,即使从动圈式电流表问世算起,也有100多年的历史了。电子管的出现,自十九世纪中叶开始的电信事业的发展,给仪表的发展带来很大的动力。以电压表的发展为例,1915年美国的海逊开始制出第一只电子管电压表。五十年代晶体管电压表出现。六十年代末集成电路电子电压表问世。1952年已出现数字电压表,其精度已达0.1%。到七十年代末,普通数字电压表的精度已在0.01%上下,而直流高精度数字电压表误差已达0.0001% (百万分之一)。可是模拟电子电压表的精度才千分之几。但是在交流电压的测量上,数字电压表尚未取得突破,所以在高频、超高频领域,模拟电子电压表仍占主导地位。大规模集成电路的发展,使各国在八十年代初,能制出手表

型的数字电压表。七十年代末,数字电压表的最高显示位数已达7位;直流准确度达0.0001%,交流达0.01%;直流灵敏度电压达1纳伏,交流达1微伏;测量速度最高可达20000次/秒。目前,显示位数正朝8位发展,用约瑟夫逊器件作为传感器,其灵敏度甚高,预计可感测低于 10^{-12} 伏的电压。七十年代末已出现微型机与数字电压表相结合的智能电压表,它有记忆、计算、判断和控制的功能。电压表正从模拟向数字化发展;从一般检测向智能化发展;从离线测量向在线化发展。

电工仪器仪表是在对电磁现象及其变化规律进行定量研究和应用电能后不断发展的。

电测量已包括电流、电压、功率、电能、相位差、频率、R、L、C以及时间常数和 $\text{tg}\delta$ 等内容。

磁测量则主要以测量磁场及物质在磁场作用下的各种磁特性为主。如磁势、磁通、磁感应强度、磁场强度、导磁率和磁滞、涡流损耗等等,特别是测量磁性材料在直流、交流及脉冲磁场磁化下的磁特性,是研究物质的磁结构和各种磁现象的基础。

近20年来,随着宇航及自动控制系统的发展,仪表正朝着下面几个方向发展着:

1. 采用新原理、新技术来提高准确度和稳定性。

以磁测量为例,不仅有古典的力和力矩法,较常用的电磁感应法(发电机原理和电动机原理),还有利用物质特性的方法(如半导体磁效应[磁阻效应、霍尔效应],量子状态变化[核磁共振、塞曼效应],约瑟夫逊效应和强磁性体磁化效应)和能量损耗法等等。用约瑟夫逊效应法制成的超导量子磁强计对极弱磁场进行测量,其分辨力竟达 10^{-8} 安/米,是目前最灵敏的磁强计。

2. 提高灵敏度与分辨力,扩大测量范围。

生物学的研究需要量测灵敏度在 10^{-10} 安以上的电流,超高压送电要求能量测 10^6 伏级的电压(我国已达50万伏级,1985年美国已用120万伏超高压输电,苏联下一个五年计划将建造150万伏几千公里的直流输电线路),在这些要求下,今天仪器仪表已达到下列水平:

(1) 检流计的电流常数 K_I 已作到 10^{-10} 安/毫米,电压常数 K_V 已作到 10^6 伏/毫米;

(2) 用动态电容调制的放大器,即动电容放大器可以最高灵敏度为 10^{-10} 安/毫米来测量;

(3) 用电流比较仪式电桥测量电阻时,测量误差可达0.0001%;

(4) 阻抗比率臂电桥能同时测出元件的有功、无功分量,误差最小为 $\pm 0.005\%$,用变压器电桥测电容时,最高测量误差也可达0.0001%;

(5) 用数字电容电桥测量电容时,最少的平衡时间仅需100微秒。

在测量范围上:

直流电流 $10^{-17} \sim 10^6$ 安

直流电压 $10^0 \sim 10^6$ 伏

电阻 $10^0 \sim 10^{10}$ 欧

电感 $10^4 \sim 10^9$ 亨

电容 $10^{-18} \sim 10^6$ 法

3. 通过高速的A/D、D/A转换和高速的采样测量,与计算机合用实现快速、多路、自动化。在线检测的发展,为计算机控制系统的建立创造了条件。

为了适应快变过程的测量,要求作每秒几十万次的测量,有时不仅要定周期采样,还要求变周期采样。美国发射的“先驱者10号”宇宙探测器,在长途跋涉11年之后,于1983年第一次飞出太阳系,去探索其它星系。这样遥远的信号,不仅微弱,而且有着较大的噪声背景,在这种状况下,除了要有灵敏的接收仪器,而且要用卡尔曼的滤波理论来进行信息处理,才能“去伪存真”地检出有用的信息。

在轧钢方面,如果在每秒8米下轧制,可用人工来控制板厚公差,还可保证规定的成品率。当轧速提高到18米/秒时,人工检测和控制已不适应,必须用自动控制了。如今轧速已超过30米/秒,非请计算机与在线检测帮助不可了,因为这已是人力所不能及了,故而测量自动化是迫在眉睫的问题。

瑞士的Maag公司将计算机用在激光测量上,其位置精度可达0.075微米;用计算机作为补偿器的自动测量装置,测试过程中能自动保持25g测量力。

联邦德国汉堡高工在数控铣床上,用石英晶体量测出 10^{-10} 的库仑力,在93毫秒内输给计算仪器2060个数据,即可统计出新的计算公式。

联邦德国阿亨工科大学用hp5451C Fourier Analyzer(富里哀级数分析仪),从机床受力的大小、部位、响应、传递函数阵直到振型分析,全部反映到计算机的CRT上。

机电仪一体化当前最高水平为FMS柔性制造系统,它实质上是一种对“物流”和“信息流”以在线、实时的方式进行自动控制的自动化生产系统。如当代最高水平的日本法纳克公司富士工厂的FMS就是由29个自动加工单元(CNC机床或加工中心)、三辆无人小车和二一个自动仓库(一个毛坯库和一个零件库)组成的。全厂人数不到100人,但24小时连续生产,白班19人巡视机床运行、63人在装配车间工作、夜间仅1人在中控室通过监视系统了解所有加工工位的状况。可见对仪器仪表提出多高的要求!

4. 测量理论的发展。

如信息论、卡尔曼滤波理论等等,前以述及。

5. 传感器的发展。

机电仪一体化对传感器提出越来越高的要求。联邦德国慕尼黑大学里叫机器人安装汽车玻璃,关键之一是要解决压力传感器的精度问题,加适当的力,让玻璃压入槽内而又不致损坏。FMS系统目前在加工上已趋成熟,可是装配上跟不上,关键是传感器。机器人技术中,对人的眼耳鼻舌身感官要用传感器来反映,目前味觉传感器尚未出现,所以在物理、化学、仿生领域正在大力开展研究。在自动控制理论尤其是现代控

基因体系的新研究

NEW STUDIES OF GENE SYSTEM

巴尔的摩Carnegie协会的唐纳德·D·布朗博士最近在国家健康学会上报告说,基因活跃还是静止,有赖于含蛋白质的脱氧核糖核酸(DNA)进入其有特色的“染色质”结构,以及个别蛋白质对基因中心某个点的稳定粘合。布朗和他的同事对非洲有爪蟾Xenopus laevis的两个基因科进行了研究。每个基因代表一个小核糖核酸(RNA)分子,称为5S核糖体RNA,基因的这些分子叫做卵母细胞(蛋白质)基因和体细胞基因。这两个科在组成各个基因的120个核苷酸中,大约有六个位置不同。在蟾的卵母细胞中,5S核糖体RNA全都很活跃,但因为卵母细胞基因有二万个,而体细胞基因只有四百个,因而5S核糖体RNA的卵母细胞形式居支配地位。相对而言,蟾的体细胞中,体细胞基因比卵母细胞基因活跃一千倍。

某种双层排列体系控制卵母细胞基因的活动。上层含染色质, DNA聚有蛋白质的自然染色体结构,称为histone。布朗小组发明了一种测量染色质活动的新试验,而不是单纯测量DNA的活动。当来自体细胞的染色质浸入一种含各种所需成份的溶液中时,体细胞基因就显示出来了,而卵母细胞基因仍受到约束,就如同在完整的细胞中。布朗和其它科学家们接着破坏染色质结构,分离histone HI中的DNA。结果使5S核糖体RNA的卵母细胞形式大量合成。布朗总结说,这种基因和其它基因的受抑制状态,由于DNA和histone HI之间的相互作用

而继续维持。基因控制的第二层排列依赖三种蛋白质,布朗称之为A、B、C遗传因子。这些蛋白质必须粘合到基因中心,在叫做聚合酶III的酶开始生产新核糖核酸(RNA)之前,就形成一“遗传染色体组”。对这种遗传染色体组的惊人发现,是它的稳定性。RNA合成经过多次循环,它还在原位(它还保持原样)。

布朗和他的同事同时也证实,遗传染色体组的存在构成了卵母细胞基因具体活动的基础。在这些因子受约束的区域内,由于五十个核苷酸中有三个不同,而区分了卵母细胞及体细胞基因。他们发现,与卵母细胞基因相比,A因子更受体细胞基因的约束。这种差别,在因子很有限的情况下是最明显不过了。在卵母细胞中,一个5S核糖体RNA就有一千万个A因子分子,但在体细胞中,这些基因每五个只有一个A因子分子。

因此,迷惑人的问题是,遗传染色体组是不是把这种基因的活动状态从这一代细胞维持到下一代的“存贮器”。如果是的话,它就可能成为各细胞家族表示其不同形式的基因活动的基础。这就对癌研究的许多领域提供了帮助。

要了解上述研究的详细情况,可直接写信给马里兰,巴尔的摩, Carnegie协会的唐纳德·D·布朗,或者给科学新闻的朱利叶·安·米勒,地址:美国华盛顿D. C. 20036, N. W. 1717N street。

(汤维娜译)

制理论突飞猛进的今天,有的地方在用传感器来获得信号,有时也用状态观测器将状态重新构造出来,即用系统的输入和输出来观察出状态,我们称之为状态观测器。这就是理论在检测上的应用了。

今天的科学技术,是综合性的。机电仪一体化的发展趋势就是明证。在机电仪一体化的网络中,机械结构只是个驱体,仪器仪表则是它的感官,电机与电子计算机则是它的手足(执行机构)与大脑,是机电仪一体化的灵魂!机床随着能源的更替(如蒸汽机→电气传动),能源的传输、分配与控制(继电器接触器控制→电机放大器→磁放大器→晶体管PID调节器→集成运算放大器→计算机控制,大功率能源变换上的发电机—电动机系统→汞弧整流器供电→闸流管供电→引燃管供电→晶闸管变流器供电的系统)仪器仪表的进步(从模拟→数字化→智能化*)经历了五代

的变化:单元数控机床、加工中心、柔性加工单元,以机器人、数控机床和计算机组成的全自动生产加工的FMS系统和完全由计算机控制的CAD、CAM、CAT的加工工厂,朝着工业生产的全盘自动化迈进。

机电仪一体化的潮流,正如源头活水,一泻千里,正以高屋建瓴之势,突飞猛进!

主要参考文献

- 1.《新技术革命和机械工业自动化》 蔡福元, 1984.12.
- 2.《电机工程手册——电磁测量》 哈尔滨电工仪表研究所, 1979.
- 3.《自然辩证法讲义(一)》 华中工学院, 1979.12.
- 4.《电子电压表》 王基正 韩叶豹编著, 1983.11.
- 5.《瑞士联邦德国的科研、教育与生活》 张问群 《自动化》1985.2期

* 智能化仪表由于有计算机,能自选量程、自动校准、自动调零和自动测量;根据测量环境的变化能自动修正;根据按论编好的程序能算出误差;能根据测得的数据画出曲线,列出表格;有了故障能自动修复等等。