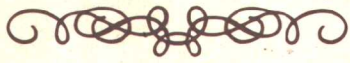




国家自然科学基金研究专著
NATIONAL NATURAL SCIENCE FOUNDATION OF CHINA



机械系统的振动同步 与控制同步

闻邦椿 赵春雨 苏东海 熊万里 著

2

**Engineering
Material**

科学出版社

国家自然科学基金



机械系统的振动同步 与控制同步

闻邦椿 赵春雨 苏东海 熊万里 著

科学出版社

内 容 简 介

本书是在完成“关于机械系统控制同步理论及其应用的研究”、“多机机械系统广义同步与定速比传动智能控制的理论及其应用的研究”等国家自然科学基金委员会资助项目及其他相关科研项目的基础上撰写的一部专著。书中以机械系统的非线性动力学理论和现代控制理论及智能控制理论为基础,研究了双机或多机机械系统的振动同步、控制同步和复合同步,机械系统定速比控制问题以及多液压缸系统的控制同步问题。书中较详细地研究了实现振动同步、控制同步和复合同步的基本理论、基本方法及具体措施,介绍了作者长期从事这一课题研究的工程实践经验,在讲述理论与方法的过程中,列举了若干工程应用实例。

本书可供大专院校师生阅读与参考,还可供从事机械工程、控制工程、动力学研究与设计的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械系统的振动同步与控制同步/闻邦椿等著. —北京:科学出版社,2003
ISBN 7-03-010953-8

I. 机… II. 闻… III. 机械系统-振动控制 IV. TH113.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 088565 号

责任编辑:王 利 马长芳/责任校对:宋玲玲

责任印制:刘秀平/封面设计:王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003年1月第一版 开本:85(720×1000)

2003年1月第一次印刷 印张:14 1/2 插页:2

印数:1—2 000 字数:285 000

定价:30.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

前 言

同步现象是自然界和人类生活及生产活动中客观存在的一种运动形式，这一运动形式有相当一部分是在自然界和人类社会的发展过程中自然地形成的。而在工程技术领域，则往往人为地要求产生和获得这一生活和生产所必需的运动形式。同步运动在多数情况下是有用的，而有时则是有害的。例如，对于人造同步卫星来说，通常要求它们在同步轨道上相对于地球实现同步运行；再如人们常常通过收音机来听取各种信息，为了能接收到电台发出的信息，这就要求将收音机的接收频率调节到与发射台发出的频率接近相同，即所谓实现同步。而在另一些场合，人们并不希望出现这种“同步”运动形式，因为它有可能引发有害的结果。例如，当许多士兵在铁索桥上经过时，一定要避免齐步（同步）行走，否则将有可能使桥梁发生共振，进而引发灾难性的后果。

同步的概念可以向更广泛的意义上扩展，我们称之为广义同步。例如，两个或两个以上事物运动形态的相似性，机械系统两个或两个以上物件以一定比例的速度或相似的轨迹运动等，都可以归属于广义同步的范畴。

在自然界与工程技术部门，同步现象和同步问题随处可见。

在自然界中，同一类花卉常常在同一时间开放；葵花总是随着太阳位置的变化而改变它们的方向；海潮总是随月亮位置的变化周而复始地涨落；夏天的夜晚人们可以看到许多萤火虫以同一频率同时同步闪亮；海豚依靠彼此之间的密切联系完成精彩的同步表演；宇宙星系中的许多星球在同步运行。

在工程技术领域，各种形式的同步现象和同步问题随处可见。例如，人们常常要求时钟及其他计量设备和装置的计量参数与标准的仪器设备的计量参数接近相同或相等。在机械行业，常常要求机械设备中的两个或两个以上的工作部件，如转轴、机构、杆件、油缸活塞等具有相同的速度、位移、加速度、相位或作用力等，即要求它们在同步状态下运行，进而完成所需的工作过程。还有许许多多的机器，如双电机驱动或多电机驱动的振动给料机、振动输送机、振动筛、振动干燥机、振动冷却机、振动打桩机、同步轧机、拉伸式矫直机、双滚筒驱动的带式输送机、辊式破碎机、造纸机、煤球机、桥式与龙门起重机、液压顶升机、飞剪机以及水坝和船坞的闸门等，都要求其中两个或两个以上的部件实现同步运转。再如长江三峡的升船机，由于功率过大，须采用多个电机同时驱动，要求在工作时每个电机所带动的钢绳具有接近相同的速度和相同的负荷。诸如此类的工程实例，不胜枚举。

为了实现同步，必须在所研究的多个对象间加上某种约束或实现某种联系。最常见的约束方法是机械的方法、动力学的方法或控制的方法等。

随着科学技术的发展，实现机械系统同步的方法不断得到发展，其发展过程大致可分为以下三个阶段：

第一代同步方式：利用刚性传动（如齿轮传动）或柔性传动（如链或带传动）实现同步；

第二代同步方式：振动同步（对于双激振器式振动机）或电轴同步（对于一般机械）；

第三代同步方式：控制同步或控制同步与振动同步相结合的复合同步。

为了保证这类机械有效和安全可靠地运行，有必要对同步理论、方法和技术进行详细的研究，以揭示同步运转的机理。这不仅在学术上有重要价值，而且具有重大的实用意义。

20世纪60年代，苏联的Blehman博士首先研究了双激振器振动机的同步理论。这一理论的应用，使机器的结构大为简化，维护也变得简单，工作可靠性大大提高，因此，这种技术得到了广泛的应用，目前数以万计的基于振动同步原理的振动机正被工业的各部门使用，创造了显著的经济效益和社会效益。

本书是作者结合生产中遇到的问题对同步理论进行研究的总结。在二十多年的研究中，作者发展了振动同步的理论，提出了平面运动与空间运动自同步振动机的同步理论、激振器偏转式振动机的同步理论、近共振自同步振动机的同步理论、振动同步传动的理论与方法等，并将它们应用于工程中，取得了显著的经济效益和社会效益。

80年代以来，控制理论和方法发展迅速。采用现代控制的理论和方法实现同步，不仅在技术上已成为可能，而且还可获得良好的控制效果，既能获得满意的精度，又能获得良好的工作稳定性。采用这一先进技术，可以使机器在最佳的工况下工作，进而获得较高的工作效率和工艺指标。采用控制同步的方法，还可以简化机器结构，提高机器使用的方便性和可靠性，进而获得较高的经济效益和社会效益。采用多液压缸的同步顶升技术，可以高质量地完成用其他方法难以完成的大型结构件的顶升与安装任务，这一技术在工程中使用十分普遍。

迄今为止，在国内外有关文献中，未见有全面和系统论述“机械系统的振动同步与控制同步”的专门著作。为此，本书着重总结作者长期从事这一方面理论研究和试验研究所取得的成果，同时，还吸取了国内外有关科技工作者在这一领域的最新研究成果。

应该特别指出的是，本书相当一部分内容取自作者所完成的国家自然科学基金委员会资助的两个项目“关于机械系统控制同步理论及其应用的研究”和“多机机械系统广义同步与定速比传动智能控制的理论及其应用的研究”成果，在此

谨向国家自然科学基金委员会表示衷心的感谢。

本书共分 10 章。第 1 章总体介绍振动同步与控制理论与技术的发展；第 2 章至第 5 章依次介绍了平面运动自同步振动机的振动同步，空间运动自同步振动机的振动同步，振动同步传动及其应用，机电耦合情况下双电机与多电机的振动同步；第 6、7 章讨论多机机械系统传统方法的控制同步和多机传动机械系统的智能控制同步；第 8 章研究多机趋动振动机的复合同步问题；第 9 章介绍双电机驱动机械系统的定速比控制问题；第 10 章研究液压系统的控制同步问题。参加本书编写的有闻邦椿、范俭、赵春雨、苏东海和熊万里等同志；关立章教授、张天侠教授和宋占伟教授等为本书的编写提供了一些十分有用的资料；此外，在本书编写过程中还得到刘长利、李振平、姚红良、张晓伟、杨伟建等研究生的热情帮助，在此一并致以深切的谢意。本书难免存在差错与疏漏之处，欢迎广大读者批评指正。

闻邦椿
2002 年 6 月

目 录

前言

第 1 章 振动同步与控制同步理论与技术的发展	1
1.1 自然界及工程技术领域中的同步现象和同步问题	1
1.2 振动同步的理论与技术的发展	3
1.3 控制同步理论与技术的发展	4
1.4 复合同步的理论与技术的发展	7
1.5 定速比控制理论与技术的发展	8
1.6 多液压缸控制同步理论与技术的发展	9
1.7 展望	10
第 2 章 平面运动自同步振动机的振动同步	11
2.1 概述	11
2.2 平面运动单质体自同步振动机的同步理论	12
2.3 平面运动双质体自同步振动机的同步理论	27
2.4 激振器偏转式自同步振动机的同步理论	38
2.5 非线性自同步振动机的倍频同步	49
2.6 几点结论	60
第 3 章 空间运动自同步振动机的振动同步	61
3.1 概述	61
3.2 空间单质体自同步振动机的同步性条件与同步状态的稳定性条件	61
3.3 空间双质体自同步振动机的同步性条件与同步状态的稳定性条件	71
3.4 试验结果及其分析	77
第 4 章 振动同步传动及其应用	80
4.1 概述	80
4.2 双激振电机自同步振动机的运动方程式及其稳态响应	80
4.3 实现振动同步传动的同步性判据及同步状态的稳定性判据	84
4.4 特殊条件下实现“振动同步传动”的同步性判据及稳定性判据	90
4.5 试验结果及分析	95
4.6 几点结论	97
第 5 章 机电耦合情况下双电机与多电机的振动同步	98

5.1	双轴惯性式振动机的机电耦合数学模型·····	98
5.2	双轴惯性式振动机的机电耦合自同步特性·····	101
5.3	用机电耦合模型定量再现振动同步传动过渡过程·····	105
5.4	弹性连杆式振动机的机电耦合自同步特性·····	106
5.5	双振头电振机振动同步运动的机电耦合分析·····	110
第 6 章	多机机械系统传统方法的控制同步 ·····	114
6.1	概述·····	114
6.2	多机机械系统电机转子速度与相位的检测方法·····	116
6.3	多机机械系统同步的 PID 控制·····	119
6.4	滑模变结构控制·····	125
6.5	模型参考自适应控制·····	127
6.6	多机传动机械系统同步的无速度传感器磁场定向控制·····	130
6.7	几点结论·····	151
第 7 章	多机传动机械系统的智能控制同步 ·····	153
7.1	概述·····	153
7.2	多机传动机械系统自组织与自学习模糊控制·····	156
7.3	同向回转双机传动振动系统相位差的模糊监督控制·····	168
7.4	两点结论·····	176
第 8 章	多机驱动振动机的复合同步 ·····	177
8.1	四电机驱动振动系统的力学模型·····	177
8.2	相位差模糊控制器·····	183
8.3	计算机模拟结果·····	187
8.4	几点结论·····	190
第 9 章	双电机驱动机械系统的定速比控制 ·····	191
9.1	定速比跟踪控制系统模型·····	191
9.2	定速比变结构复合控制器的设计·····	193
9.3	定速比微机控制系统的总体结构设计·····	196
9.4	转子的转速检测·····	198
9.5	定速比控制系统的软件设计·····	200
9.6	仿真及试验·····	204
第 10 章	液压系统的控制同步 ·····	207
10.1	液压同步控制系统分类及特点·····	207
10.2	典型液压同步控制回路·····	212
10.3	液压同步控制系统应用举例·····	215
参考文献	·····	223

钢绳具有接近相同的速度和相同的负荷,即要求实现同步运转。

同步的概念还可以进一步扩展。几年前作者在申请国家自然科学基金时曾提出了广义同步的概念。

模拟和仿真过程,甚至是学习过程,本身就是对同步性和相似性的一种追求,例如机器人模仿人的动作或按照事先设计好的运动规律实现所要求的运动,也是一种特殊形式的同步。

平衡现象也是同步现象的一种特殊形式。平衡现象或同步现象在很多情况下是有益的,但在一些情况下则是不必要的,甚至是有害的。事物的发展始终处在相对平衡与不平衡相互转化的过程中,打破原有的平衡进而建立一种新的平衡,事物才能得到发展。科学技术的发展首先是要掌握与继承以往所取得的科学技术成就,即实现所谓的暂时平衡。但为了求得不断的发展,必须在已有成就的基础上,用创新的成果取代已有的成果,打破原有的平衡,使事物得到进一步的发展。

所有这些同步现象能遵循同步规律,依赖于它们之间内在的或外部的物理(如机械、力学、电学、磁学、光学、声学等)联系。随着科学技术的发展,通过控制技术实现同步不仅已成为可能,而且可获得良好的控制效果。实现同步最常用的方法有机械的方法、动力学的方法、控制的方法,此外,还有化学或生物方法等。

机械系统同步的实现方式随着科学技术的进步而不断发展,其过程大致可分为以下三个阶段:

第一代同步方式:利用刚性传动(如齿轮传动)或柔性传动(如链或带传动)实现同步;

第二代同步方式:振动同步(对于双激振器式振动机)或电轴同步(对于一般机械);

第三代同步方式:传统的控制同步和智能控制同步。

研究同步的理论和方法对保证这类机械同步运行,进而使该类机械有效和可靠地运转,无疑会起到重要的作用。

20世纪60年代,苏联的Blehman博士提出了双激振器振动机的同步理论。应用这一理论,可使机器结构大为简化。目前在许多工业部门,数以万计的利用振动同步原理的自同步振动机获得了应用,并已创造了重大的经济效益和社会效益。

80年代以来,控制理论和方法得到了迅速发展。因此,利用控制的技术和方法实现同步不仅已成为现实,而且可获得良好的控制效果,即获得满意的精度和工作稳定性。因此,实现同步的方法已逐渐由第一代、第二代向传统的或智能的控制同步方法过渡。

1.2 振动同步的理论与技术的发展

最早发现机械系统的振动同步现象或自同步现象的是 Huygens (1629 ~ 1695), 他曾做过这样的试验, 当两台挂钟同时挂在可摆动的薄板上, 并满足一定的条件时, 可以观察到这两台挂钟的摆实现同步摆动, 而将它们挂于墙壁上时, 它们则会失去同步。

从 1894 至 1922 年, 同步现象在非线性电路中也被许多科学家, 如 Rayleigh, Vincent, Moller, Appletont, van der Pol 所发现, 并称这种现象为“频率俘获”。在非线性系统中, 当系统接近共振工作时, 其固有频率 ω 常常被强迫振动频率 ν 所俘获, 此时系统只能出现频率为 ν 的振动; 而在线性系统中, 当系统接近共振工作时, 强迫频率 ν 与固有频率 ω 两种频率的振动同时都会产生, 因而线性系统会出现所谓的“拍振”。因此, “频率俘获”, 或称为“同步”, 是非线性振动系统的特有现象。

20 世纪 60 年代, 苏联的 Blehman 博士提出了双激振器振动机的同步理论。即在一个振动体上, 安装两台感应电动机分别驱动的两个惯性激振器, 在具备一定条件时, 两惯性激振器可以实现同步运转, 在振动机中就可以取消齿轮同步器。采用由两台感应电动机分别驱动的两个惯性激振器激励, 可使机器实现所要求的直线振动、圆周运动或其他形式的运动。

1980 年, 日本学者 Inoue 和 Araki 等^[3]研究了双电机驱动的平面振动机的 3 倍频同步; 我国学者也指出^[101], 在某些非线性系统中, 不仅可以实现 3 倍频同步, 而且可以实现各次谐波的倍频同步, 即 2 倍频、3 倍频和 n 倍频同步, 同时还可以获得次谐波的降频同步。

分别由两台感应电动机驱动的双激振器激励的振动机械, 即目前得到广泛使用的各种形式的振动机, 由于应用了振动同步理论, 机器结构大为简化。目前在工业部门中, 数以万计的利用振动同步原理的自同步振动机在物料供给、输送、筛分、冷却、干燥、破碎、粉磨、脱水、成型和铸件落砂等方面得到了推广应用, 这类机器有振动给料机、振动输送机、振动筛、概率筛、振动上料机、振动烘干机、振动冷却机、振动球磨机、振动破碎机、振动离心脱水机、振动成型机和振动落砂机等, 它们在生产中已创造了重大的经济效益和社会效益。

采用振动同步原理, 有以下一些优点:

① 利用自同步原理代替了强制同步式振动机中的齿轮传动, 使其传动部的结构相当简单。

② 由于取消了齿轮传动, 使机器的润滑、维护和检修等大为简化。

③ 可以减小启动停车通过共振区时垂直方向与水平方向的振幅(但在一些自

同步振动机中通过共振区时的摇摆振动的振幅有时会显著增大,这是该种振动机的不足)。

④ 双机驱动自同步振动机虽然增加了一台电动机,但目前工业中应用的自同步振动机中有不少是采用激振电机直接驱动,这使它的构造较为简单,成本降低,而且便于安装。

⑤ 自同步振动机激振器两根主轴可以在较大距离条件下进行安装。

⑥ 该类振动机便于实现系列化、通用化与标准化。

为了使这种新技术得到推广使用,近十几年来,我国有关部门已相继研究成功了自同步概率筛、自同步振动冷却机、自同步振动给料机、自同步振动输送机、自同步直线振动筛与热矿振动筛等。

在这些自同步振动机中,有作平面运动的和作空间运动的,有单质体的和双质体的,有非共振和近共振工作的,有线性的和非线性的,等等。除此以外,还研究了2倍频同步和3倍频同步的自同步振动机。

在进行振动同步问题的研究中,作者对下列问题进行了详细的研究^[57~67]:

① 除了研究平面运动单质体振动机的同步理论外,还研究了平面运动双质体近共振振动机的同步理论,提出了该类振动机的同步性判据与同步状态的稳定性判据。

② 研究了空间运动单质体和双质体自同步振动机的同步理论,提出了该类振动机的同步性判据与同步状态的稳定性判据。

③ 研究了激振器偏转式平面运动自同步振动机的同步理论,提出了该类振动机的同步性判据与同步状态的稳定性判据。

④ 研究了非线性振动机的倍频同步等有关理论问题。

⑤ 研究了振动同步传动的理论,即在两台驱动电机中有一台电机停止供电的情况下的同步运动。

⑥ 研究了两对弹性连杆同时驱动的振动机的同步和两个电磁激振器同时驱动的电磁式振动机的同步。

⑦ 研究了两台液压马达分别驱动的双激振器自同步振动机的同步理论。

与此同时,进行了大量的试验研究,并将研究成果应用于工程技术的各个部门中。

1.3 控制同步理论与技术的发展

工程中的许多机械,例如大型同步轧机、三峡工程中使用的升船机、辊式破碎机、煤球机、大型闸门、纺织工厂中的纱锭、冶金工厂中的多轴辊道、拉伸式矫直机、双滚筒或多滚筒驱动的带式输送机、造纸机、桥式或龙门起重机、飞剪机等机械设

备,都要求它们的回转轴有接近相同的速度或有相同的相位,即所谓“同步”。这就需要采用适当的方法来满足它们的工作要求,目前最常用的方法是采用控制的方法,即应用“控制同步”的方法。

机械系统的控制同步是一门新兴的跨学科的综合性的科学技术,是机械技术、电力电子技术和信息技术的有机结合。它的发展和其他相关技术的发展密切联系在一起,控制同步的主要对象是电动机(在液压系统中是油缸和活塞),主要控制参数是位移、速度和相位。目前控制参数除一般控制参数(如转速和相位)以外,还包括其他一些参数,如作用力和变形等。

20世纪80年代以来,传统的控制理论与智能控制理论都得到了迅速的发展,并在工程实际中得到了广泛地应用,解决了许多工程中实际问题,获得了巨大的经济效益和社会效益。因此,目前用控制的方法实现同步不仅已成为现实,而且可获得良好的控制效果,即能获得满意的精度和工作稳定性。

为了使两轴实现同步运转,必须对某一转轴的驱动电动机的转速进行调节。在该轴的转速落后的情况下,通过调节来增加它的转速;而在超前的情况下,应通过调节,减小其转速,直到它们的转速达到相同为止。目前最常采用的连续调节交流电机转速的方法有两种:

- ① 通过增减外负荷来调节轴的转速;
- ② 利用变频调速技术来调节电动机的转速。

第一种调速方法是较早采用的方法,一般需要在系统中对每个工作电机增加一个直流发电机,通过调节发电机回路的电阻,来调节工作电机上的负荷,其结构比较庞大,成本高,调速范围小,而且很不经济。这是最古老的调速方式,目前在工程中已不再使用。

第二种变频调速技术是20世纪70到80年代发展起来的,是交流电机材料与结构、控制理论及方法、电子技术发展的结果。控制理论与技术的发展,使交流调速系统的性能大大提高,并有逐渐取代直流伺服调速系统的趋势,至今已被广泛地应用于生产实际中。因此,本书主要研究利用变频调速技术实现多机机械系统同步控制的方法。

用变频调速技术实现多机传动机械系统的同步控制有两种方法:第一种是利用现有的变频器,配以适当的控制算法,实现多电机同步控制;第二种是针对多机传动机械系统的特点,开发新型的变频器,将多机传动同步控制的算法直接装于变频器的内部程序中。具体实现多机同步的控制方案有两种:一是对等控制方式,即要求多个电机的转子跟踪同一个指令性指标,如速度、相位等;二是主从控制方式,即选择系统中的一个电机为主电机,而其余电机为从动电机,控制各从动电机的转速来跟踪主电机。无论采用哪种控制方法和选择哪种同步策略,都应能有效地抑制系统中的各种扰动,以达到系统所需的同步性能指标。

在多机传动系统中,由于机械结构本身的复杂性,影响系统同步的因素较多。从机械系统方面考虑,由于机械系统加到各电机的负载不均,这会导致各电机不同步。这一情况由两方面引起:一方面,机械系统的耦合作用使各电机的负载按一定规律变化,如双电机驱动的振动同步系统,电机负载随两个偏心转子的相位差不同而不同,这会使各电机的转速发生差异;另一方面,机械系统工作介质的质量和特性的变化、介质分配的不均匀等,会引起各电机外负载转矩的重新分配,导致电机的不同步。从电机方面看,电源的波动、电机参数随环境湿度和温度的差异而改变,都将会引起同一机械系统中多个电机的不同步。因此,要保证同一机械系统中的多个电机同步运行,必须选择正确的控制策略,克服系统中种种干扰和影响,使系统按要求的同步性指标运行。

在多机机械系统同步控制的研究中,传统控制和智能控制等各种主要控制方法均得到了采用,如PID控制、变结构自适应控制、模糊控制、神经网络控制等。

传统的控制策略如PID反馈控制、解耦控制、自适应控制、变结构控制等,在交流电机控制中已得到了广泛应用。其中PID控制算法蕴涵了动态控制过程中过去、现在和将来的信息,具有较强的鲁棒性,与其他新型控制思想结合,形成了许多有价值的控制策略,在工程中得到了广泛的应用。在交流拖动系统中存在着多个电磁变量和机械变量,而且各变量之间存在较强的耦合作用。磁场定向控制方法,使定子电流分解成励磁电流和转矩电流两个独立的分量,实现了交流电机如直流电动机相同的调速方法,提高了控制系统的性能。

在对象模型确定、不变且为线性,以及操作条件、运行环境确定不变的条件下,采取传统的控制策略是简单有效的。但在多机传动机械系统中,必须考虑到系统结构与参数的变化、各种非线性的影响、运行环境的改变和环境干扰的时变等不确定性因素,以及电机本身参数随环境条件的时变等等,才能获得满意的控制效果。因此模型参考自适应控制近年来交流感应电动机控制中被用来在线辨识电机参数,解决电机参数随运行环境条件的时变问题。而变结构控制则是一类特殊的非线性控制,其非线性表现为控制的不连续性。由于滑动模态可以设计,且与控制参数及扰动无关,这就使得变结构控制具有快速响应、对参数扰动变化不敏感、无需在线辨识与设计等优点,所以变结构控制在交流电机的控制中也得到了成功的应用。

最近二十多年来,智能控制(模糊控制和神经网络控制等)得到迅速的发展和应用,在同步控制过程中可以获得满意的效果。智能控制是针对系统的复杂性、非线性、不确定性而提出的。它适合在环境与性能变化、不可测干扰、元件故障、复杂的信息模式等条件下使用。智能控制的应用领域包括智能机器人控制、智能过程控制、智能调度与规划、专家控制系统、语音控制、康复控制和智能仪器等。从本质上来讲,智能控制的研究对象具有模型的不确定性、高度非线性和控制任务的复杂

性等特点。智能控制的关键是系统控制规则的获取。智能控制规则的获取一般有两种方法:即领域专家的语言描述法和通过在线获得的实际系统运行的动力学特性测试数据法。第一种方法受到专家经验和语言描述的不完备性等限制,很难得到完善的系统智能控制规则;第二种方法则受到实际测试数据不一定能够覆盖系统运行的所有工况的限制,所获得的智能控制规则也不会全面反映系统的所有工作状态。所以针对多机传动系统的特点,本书提出了根据机械系统动力学特性分析获取智能控制规则的第三种方法,并以双机驱动平面运动振动机零相位差的控制为例,证明了这一智能控制规则获取方法的有效性,进而得出将机械系统动力学与控制理论结合起来是解决多机传动机械系统同步控制问题有效手段的结论。

近几年来,各国学者都致力于感应电动机的无速度传感器控制系统的研究,利用检测定子电压、电流等容易测量的物理量进行速度估计以取代速度传感器,其关键在于在线获取速度信息,在保证较高控制精度的同时,满足实时控制的要求。转子速度估计的方法,除根据数学模型计算电动机转速外,目前应用较多的有模型参考自适应法和卡尔曼滤波法。无速度传感器控制不需要检测硬件,也免去了传感器对环境的适应性、安装维护的麻烦,降低了成本,提高了系统的可靠性。本书根据模型参考自适应理论,利用波波夫超稳定性定理建立了全维转子状态估计器和感应电动机的转子速度、定子和转子电阻的自适应模型。在理论上,证明了该自适应辨识模型的稳定性,并进行了计算机模拟试验。利用全维转子状态估计器研究了感应电动机的无速度传感器磁场定向控制和感应电动机磁场定向控制过程中的外负载辨识,为新型变频器的开发奠定了基础。对于感应电动机的无速度传感器控制,进行了高、中、低速四象限运行的计算机模拟试验。对于感应电动机的外负载辨识,进行了外负载突变和外负载按正弦规律变化的计算机模拟。

1.4 复合同步的理论与技术的发展

在工业部门中广泛使用多轴惯性振动机,如四轴振动给料机和四轴惯性振动摇床就是典型的多机驱动的振动机械。对于这些由四台激振电机分别驱动的振动机械,既要求这些激振电机实现同步,还要求振动机能获得所要求的运动轨迹。为此,本书作者在研究中提出了复合同步的方案,即振动同步与控制同步相结合的同步方案^[63]。

对于四轴振动给料机单纯采用自同步原理,难以获得所要求的运动轨迹。这类机械不仅要求四个偏心块同步旋转,而且要求它们的方向两两相反,即两个顺时针、两个逆时针地回转。四轴振动给料机由四个感应电动机分别驱动,依靠振动同步原理,难以保证四个偏心转子有相同的速度和所要求的相位,而采用齿轮同步器使机器的结构复杂,润滑、维护和检修等经常性的工作增加。因此研究四电机传动

的振动系统采用振动同步与控制同步相结合的同步方案以满足同步性和运动轨迹的要求,即所谓复合同步。对于四轴惯性振动摇床,同样必须采用复合同步方案才能获得所要求的运动形式。上述复合同步方案对于指导该类机械的设计具有重要的意义。

对于四轴振动给料机,首先在每对激振器间实现控制同步,建立了偏心转子的零相位差跟踪模糊控制方案,使每对激振器实现控制同步。然后根据双机传动直线振动机的自同步理论,提出了四机驱动直线振动机每对激振器振动同步的同步性判据,依据这一判据使两对激振器实现振动同步。这是一种控制同步与振动同步相结合的方案,我们称它为“先实现控制同步而后采用振动同步的‘复合同步’”。

对于四轴弹簧惯性振动摇床,由于它要求有两种不同的速度,即高速与低速两种,其速比为2。因此与前一种四轴振动给料机不同的是,它首先要求两对速度相同的激振器实现振动同步,然后再在两对速度不同的激振器间实现速比为2的定速比广义控制同步。这也是一种振动同步与控制同步相结合的复合同步方案,我们称它为“先实现振动同步而后采用控制同步的‘复合同步’”。

1.5 定速比控制理论与技术的发展

定速比控制是控制同步理论与技术的进一步发展。在工业生产中,要求具有一定速比的传动的机械系统种类繁多,应用极为广泛,如异步轧机、造纸机、染色印花机和机床等的两根转轴要求以一定速比运转。在以往较长的时期,强制定速比传动通常采用传统的机械方式,即采用刚性的齿轮传动或柔性带式传动和链式传动等。由于这些传动存在结构复杂、安装维修不便、工作时噪声大以及灵活性差等缺点。随着科学技术的发展,在许多领域已经逐渐被定速比控制方法所取代。由于定速比控制的传动系统具有诸多优点,如结构简单,调节方便,无噪声等,因此,定速比控制的传动系统已逐渐在工业部门中获得推广使用,其应用前景非常广阔。

定速比控制传动的研究及应用早先主要集中于直流电动机驱动系统,这是由于过去交流异步电动机的速度调节问题一直没有得到很好地解决。最近十多年来,控制理论与技术得到了飞速的发展,对交流电动机的转速进行控制已无任何困难,直流电动机调速已逐渐被交流调速所取代。

但目前有许多机械中,如工程机械的定速比传动至今仍然以机械式定速比传动为主。近十年来,交流调速的发展已到了能与直流调速系统相抗争的地位,因此,研究更简单的和更有效的交流定速比控制传动系统不仅具有重要的工程实际意义,而且具有广阔的发展前景。

作者对定速比控制传动进行了理论和试验研究,提出了定速比跟踪控制的策

略和变结构前馈复合控制方法,介绍了定速比控制系统的构成。仿真和试验结果表明,控制方法具有鲁棒性和快速跟踪性,控制系统抗干扰能力强、可靠性好,对机械设备的定速比传动具有普遍的适用性和应用价值。

定速比控制的理论与技术将会随着时代的步伐与科学技术的发展得到进一步的发展,其应用范围将会不断扩大,并将带来巨大的经济效益和社会效益。

1.6 多液压缸控制同步理论与技术的发展

液压执行机构的同步在很多机器的构成中占主要位置。例如:装载机、推土机、矿用自卸车的工作装置都是采用双液压缸同步驱动;大型部件、超大型部件的整体安装与搬移采用多液压缸同步驱动实现。

第一代控制方式是采用液压同步回路,多缸、多点同步控制则采用自整角机来完成。作为液压力源的液压泵是同步控制的主要对象,对其通常采用负荷传感控制,这种控制方式比较简单和实用,并可达到一般工业要求,因此在工业部门中得到了较广泛的应用。

第二代同步控制方式是采用电子控制——液压先导控制——液压驱动执行的方案。近些年来,随着科学技术的不断发展,对生产加工及施工精度的要求不断提高,原有的同步控制方法已不能完全满足要求,在这种控制方式中引入了局部参数反馈,如速度反馈、位置反馈、负荷反馈等,通过电子调节单元与预置量进行比较,产生控制输出,调节液压先导阀,结合液压控制回路,实现液压执行机构的精确同步。

第三代控制方式是以微处理器为主要控制单元的、具备网络传输与管理的、并有完备协调能力的同步控制。由于对产品质量和工程质量、进度的要求进一步提高,结合控制的不断完善,因而产生了这种控制同步方式。其特点是充分利用网络能力,对分散的控制驱动单元上的控制参数进行协调管理,并据此构成整体同步控制模型,在此基础上采用各种控制算法,针对不同的控制要求,实施同步控制(速度同步、位置同步、压力同步、复合同步等)。例如,大型构件的无模成型,需要同步驱动各执行液压缸,首先按速度同步进行预成型,然后再按位置同步进行第二次成型处理,最后再按压力同步进行定型处理,从而构成压力分布均匀的成型准确的大型部件。

可以预计,多液压缸的同步技术将逐渐向智能化方向过渡,并将在工业各部门中得到更广泛的应用。

1.7 展 望

随着科学技术的发展,机械系统的振动同步、控制同步及同步控制和定速比控制将在工业部门得到愈来愈广泛的应用。目前,振动同步与控制同步的研究工作,已扩展到振动同步和控制同步的复合系统、多电机驱动的机械系统的控制同步、多液压缸系统和多液压马达的同步控制。研究多机传动机械系统的同步控制将具有广泛的应用前景。

① 双激振器与多激振器振动机的振动同步已得到广泛的应用,并已取得了重大的经济效益与社会效益。今后的发展方向是进一步研究提高振动机的同步性与同步状态的稳定性,进一步扩大振动同步的使用范围,研究出更多型式利用振动同步原理的振动机。

② 研究其他驱动形式,如液压马达等驱动的多机机械系统的振动同步理论。

③ 为了消除噪声的环境污染,通过对噪声强度和相位的分析,利用声发生器发出与环境噪声频率、强度和相位适当的声,削减原有的环境噪声,以达到控制噪声的目的。

④ 由多个电机驱动的大型提升机,如升船机通过刚性连接实现同步,使得机械系统的维修和保养比较复杂,工作量较大。研究多个电机的力矩同步和相位同步控制系统对于简化驱动系统的结构将具有重要的实际意义。

⑤ 开发复杂系统控制的人工智能系统,将神经网络的学习能力和模糊逻辑控制器可利用专家语言信息的能力结合起来。开发平行工程或交替工作的智能控制系统,以使控制系统更为经济。

⑥ 同步理论的研究和应用,可进一步扩展到其他领域,如混沌同步应用于保密系统,基因和转基因的研究也可以应用同步理论与同步原理,并将它直接应用于医疗及生物工程领域。

⑦ 直到现在,人们对自然界、人类社会和科学技术的各个领域中的同步现象和同步问题研究得还很不充分。随着科学技术的不断发展,以及工程技术领域对同步理论与技术的需求不断增加,同步理论与技术将有可能逐步发展成为具有重要学术价值与重大实际意义的科学技术的一个新分支,并有可能发展成为一门新兴的学科。