

第 55 篇 自动控制基础理论

(试 用 本)

机械工程手册
电机工程手册 编辑委员会



机械工业出版社

TH-62
3
3=55

机械工程手册

第55篇 自动控制基础理论

(试 用 本)

机械工程手册
电机工程手册
编辑委员会



机械工业出版社



A746400

240000Z

本篇阐述了关于自动控制基本概念、系统组成、理论分析方法，并结合实例说明系统设计原则。内容包括有顺序控制系统、反馈控制系统、线性系统、非线性系统、连续控制系统及断续控制系统。

第55篇 自动控制基础理论

(试 用 本)

哈尔滨工业大学 主编

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

建筑工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 · 新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $11 \frac{1}{4}$ · 字数 316 千字

1980 年 8 月北京第一版 · 1980 年 8 月北京第一次印刷

印数 00,001—28,700 · 定价 0.85 元

*

统一书号: 15033 · 4658

编辑说明

(一) 我国自建国以来, 机械工业在毛主席的革命路线指引下, 贯彻“独立自主、自力更生”和“洋为中用”的方针, 取得了巨大的成就。为了总结广大群众在生产和科学研究方面的经验, 同时采用国外先进技术, 加强机械工业科学技术的基础建设, 适应实现“四个现代化”的需要, 我们组织编写了《机械工程手册》和《电机工程手册》。

(二) 这两部手册主要供广大机电工人、工程技术人员和干部在设计、制造和技术革新中查阅使用, 也可供数学及其他有关人员参考。

(三) 这两部手册是综合性技术工具书, 着重介绍各专业的理论基础, 常用计算公式, 数据、资料, 关键问题以及发展趋向。在编写中, 力求做到立足全局, 勾划概貌, 反映共性, 突出重点。在内容和表达方式上, 力求做到深入浅出, 简明扼要, 直观易懂, 归类便查。读者在综合研究和处理技术问题, 《手册》可起备查、提示和启发的作用。它与各类专业技术手册相辅相成, 构成一套比较完整的技术工具书。《机械工程手册》包括基础理论、机械工程材料、机械设计、机械制造工艺、机械制造过程的机械化与自动化、机械产品六个部分, 共七十九篇; 《电机工程手册》包括基础理论、电工材料、电力系统与电源、电机、输变电设备、工业电气设备、仪器仪表与自动化七个部分, 共五十篇。

(四) 参加这两部手册编写工作的, 有全国许多地区和部门的工厂、科研单位、大专院校等五百多个单位、两千多人。提供资料和参加审定稿件的单位和人员, 更为广泛。许多地区

的科技交流部门，为审定稿件做了大量的工作。各篇在编写、协调、审查、定稿各个环节中，广泛征求意见，发挥了广大群众的智慧和力量。

（五）为了使手册早日与读者见面，广泛征求意见，先分篇出版试用本。由于我们缺乏编辑出版综合性技术工具书的经验，试用本在内容和形式方面，一定会存在不少遗漏、缺点和错误。我们热忱希望读者在试用中进一步审查、验证，提出批评和建议，以便今后出版合订本时加以修订。

（六）本篇是《机械工程手册》第55篇，由哈尔滨工业大学编写。许多有关单位对编审工作给予大力支持和帮助，在此一并致谢。

机械工程手册
电机工程手册 编辑委员会编辑组

目 录

编辑说明

第1章 概 论

- 1 机械化和自动化的意义.....55-1
- 2 机械化和自动化在机械制造上的应用.....55-1
 - 2.1 热处理过程的温度自动控制.....55-1
 - 2.2 加工机床的自动控制.....55-2
 - 2.3 焊接生产过程中的自动控制.....55-3
 - 2.4 铸锻生产中的自动控制.....55-4
 - 2.5 机械手.....55-4
- 3 自动控制系统分类.....55-6
 - 3.1 顺序控制系统.....55-6
 - 3.2 反馈控制系统.....55-6

第2章 顺序控制系统

- 1 顺序控制系统的组成.....55-7
- 2 顺序控制系统的逻辑运算.....55-8
 - 2.1 逻辑乘法.....55-8
 - 2.2 逻辑加法.....55-8
 - 2.3 逻辑非运算.....55-8
- 3 真值表.....55-10
- 4 真值图.....55-11
- 5 逻辑电路.....55-12
 - 5.1 继电器逻辑电路.....55-12
 - 5.2 晶体管逻辑电路.....55-13
 - 5.3 矩阵逻辑电路.....55-14
- 6 顺序控制系统.....55-16
 - 6.1 时间顺序控制系统.....55-16
 - 6.2 逻辑顺序控制系统.....55-16
 - 6.3 条件顺序控制系统.....55-17
- 7 顺序控制系统的设计原则及应用举例.....55-17
 - 7.1 顺序控制系统设计.....55-17
 - 7.2 顺序控制系统实例.....55-19

第3章 线性反馈控制系统

- 1 反馈控制系统的组成.....55-22
- 2 反馈控制系统的分类.....55-23
- 3 反馈控制系统的微分方程式.....55-24
 - 3.1 控制系统微分方程式的列写.....55-24
 - 3.2 相对值微分方程式.....55-25
 - 3.3 控制系统的线性化.....55-27
- 4 矢量矩阵微分方程.....55-28
- 5 线性反馈控制系统时间特性.....55-30
 - 5.1 单位脉冲函数及单位阶跃函数.....55-30
 - 5.2 脉冲过渡(权)函数及过渡函数.....55-31
- 6 拉氏变换与线性反馈控制系统的转移函数.....55-33
 - 6.1 拉氏变换.....55-33
 - 6.2 转移函数.....55-35
- 7 控制系统方框图及变换.....55-36
 - 7.1 方框图.....55-36
 - 7.2 方框图的变换.....55-36
- 8 信号流通图.....55-39
- 9 单元环节的频率特性.....55-41
- 10 控制系统的静差.....55-43
- 11 线性反馈系统典型环节及控制元件.....55-45
- 12 积分环节.....55-46
- 13 非周期环节.....55-47
- 14 振荡环节.....55-51
- 15 比例环节.....55-56
- 16 微分环节.....55-56
 - 16.1 理想微分环节.....55-56
 - 16.2 实际微分环节.....55-57
 - 16.3 理想一阶微分环节.....55-58
 - 16.4 实际一阶微分环节.....55-59
- 17 滞后环节.....55-60
- 18 控制系统的频率特性.....55-61

18.1 由典型环节串联组成的开环控制系统的频率特性	55-61	4 控制系统的动态计算	55-104
18.2 闭环控制系统的频率特性	55-61	5 控制系统的校正	55-106
第4章 线性反馈控制系统分析		6 校正装置的确定	55-107
1 控制系统的稳定概念及定义	55-66	7 预期特性的绘制	55-115
2 控制系统的稳定性	55-67	8 仿型铣床控制系统的预期特性及校正装置的确定	55-117
3 代数判据	55-68	9 振荡度与系统动态特性间关系	55-119
3.1 赫尔维茨判据	55-68	10 复合控制系统的设计	55-120
3.2 劳斯判据	55-69	11 用根轨迹法设计控制系统	55-121
4 乃氏判据	55-70	12 极限系统设计	55-121
4.1 关于有静差控制系统的乃氏判据	55-70	第6章 断续控制系统	
4.2 关于无静差控制系统的乃氏判据	55-72	1 断续控制系统	55-123
4.3 利用对数频率特性判别控制系统的稳定性	55-73	2 采样装置	55-124
5 稳定裕度	55-74	3 Z -变换	55-125
6 带有滞后环节控制系统的稳定性	55-75	3.1 Z -变换定义	55-125
7 关于结构稳定问题	55-76	3.2 Z -变换公式	55-125
8 线性反馈控制系统质量的提法	55-77	3.3 Z -反变换	55-125
9 直接法	55-77	4 断续控制系统脉冲转移函数	55-127
10 根轨迹法	55-77	4.1 断续控制系统脉冲转移函数	55-127
11 利用频率特性绘制系统时间特性	55-83	4.2 开环断续控制系统脉冲转移函数	55-127
12 按闭环系统实频特性 $P(\omega)$ 形状估价系统质量	55-84	4.3 闭环断续控制系统脉冲转移函数	55-128
13 按开环系统频率特性估价系统的质量	55-87	5 断续控制系统时间特性	55-128
14 按开环系统对数频率特性估价系统质量	55-89	5.1 脉冲过渡函数	55-128
15 根据转移函数零极点分布情况估价系统质量	55-95	5.2 过渡函数	55-130
16 利用积分法估价系统质量	55-95	6 断续控制系统频率特性	55-130
第5章 线性反馈控制系统设计		7 断续控制系统稳定性	55-131
1 控制系统设计的一般步骤	55-96	7.1 关于断续控制系统的稳定概念	55-131
2 方案选择	55-96	7.2 断续控制系统稳定判据	55-131
3 静态计算	55-97	8 断续控制系统静差	55-132
3.1 执行元件的选择	55-97	9 断续控制系统过渡过程	55-133
3.2 测量元件的选择	55-101	10 断续控制系统设计	55-134
3.3 放大元件选择	55-102	10.1 断续控制系统的预期特性	55-134
3.4 控制系统放大系数的确定	55-102	10.2 断续控制系统校正装置的确定	55-136
第7章 非线性自动控制系统			
1 非线性自动控制系统概述	55-139		
1.1 非线性系统的特点	55-139		
1.2 几种典型非线性环节的静特性	55-139		
2 相平面法	55-140		

2.1 相平面的概念	55-140	2 静态实验	55-159
2.2 相轨迹的特征点	55-141	3 动态实验	55-159
2.3 非线性系统相平面分析	55-143	3.1 开环控制系统频率特性的测定	55-159
3 谐波平衡法	55-146	3.2 闭环控制系统频率特性的测定	55-160
3.1 非线性元件的复放大系数	55-146	3.3 间接求取系统频率特性方法	55-160
3.2 非线性系统的稳定性分析	55-150	4 模拟实验	55-162
3.3 非线性特性对系统稳定性的影响	55-151	4.1 模拟计算机	55-162
4 几种特殊非线性系统的设计问题	55-152	4.2 控制系统的模拟	55-164
4.1 快速系统	55-153	4.3 比例尺选择	55-165
4.2 极限系统	55-154	5 举例	55-166
4.3 滑动状态线性化继电器系统	55-155	参考文献	55-167
4.4 振荡状态线性化继电器系统	55-156	索引	55-168
第8章 自动控制系统实验		标题首字检字表	55-170
1 自动控制系统实验内容	55-158	标题首字笔划与汉语拼音对照表	55-170

第1章 概 论

1 机械化与自动化的意义

随着我国科学技术的进步与工业的发展,必将对于机械化自动化提出更高要求。

如机械加工工业中,由于加工复杂工件的需要,一般机床已不能满足要求,因而出现了自动控制机床及数字控制机床,用以加工复杂型面和形状的工件。目前在车床、刨床、铣床和镗床操作中广泛应用了自动控制及数字控制。

在有害工作环境情况下,就要求用机械手代替人工操作,以改善工作条件。

在铸造、锻造生产过程中,为摆脱繁重的体力劳动,提高产品质量,机械化自动化是一个关键性措施。

其它如运输、上下料、检查作业中,实现机械化自动化都是十分重要的。

由于机械化自动化技术的广泛应用,使生产过程提高了产品质量,降低了成本,增加了产量,改善了劳动条件,减轻了劳动强度。

很明显,机械化自动化技术的广泛应用,必将从根本上改变工农业生产的面貌,必将进一步推动我国社会主义革命和社会主义建设的发展。

2 机械化与自动化在机械制造上的应用

2.1 热处理过程的温度自动控制

为了减轻工人的劳动强度、消除人为的误差,提高质量,目前热处理生产过程中广泛采用了自动控制温度的方法。

加热炉的温度,人工操作控制时,是人工测量炉温并和工艺规程中规定值比较,如果低于规定值接通炉子的热源或加大热源能量;如果高于规定值时,就断开热源或减小热源能量。这样,就必须随时进行测量、监视、操纵,劳动强度大,而且随着个人操作熟练程度不同会带来一定操作误差。如果自动地测量炉温,并自动地和规定值比较,将比较得出的误差 ΔT 送给一个自动装置,自动装置根据

误差信号 ΔT 的正负、大小控制加热炉的热源,即实现了自动控制。这样,就消除了上述缺点。这种自动装置一般称为自动调节器。

例如,热处理电阻炉的炉温控制,多采用断开或接通能源的方法。这种控制方法一般称为位式控制,由于设备结构简单,操作容易,在热处理生产中,对于控制精度要求不高的情况下得到了普遍应用。

图 55·1-1 是 GC 型电炉温度控制线路原理图。手动时,将开关 K 拨至“手动”位置, J_2 、 J_4 接通,中间继电器 J 通电,常闭触点 J'' 断开,自动指示灯熄灭,常开触点 J' 接通,手动指示灯亮,同时接通交流接触器 C,其常开触点 C' 接通。使加热炉全速升温。当开关 K 拨至断开位置时, J_2 、 J_4 断开,中间继电器 J 断电,其常开触点 J' 断开,使交流接触器 C 断电,其触点 C' 断开,切断电源使炉子降温。这样,炉子加温或降温,由人工拨动转换开关 K 实现。

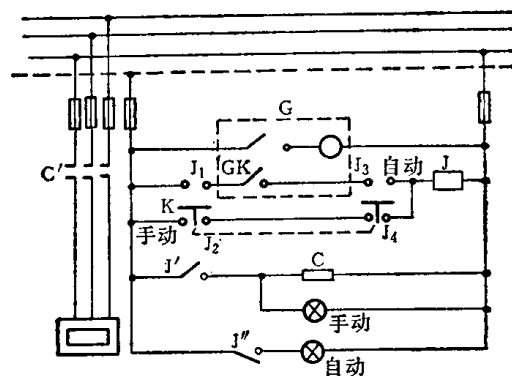


图 55·1-1 GC型电炉控制线路原理图

G—自动调节器 J—中间继电器 C—交流接触器

自动时,将转换开关 K 拨至“自动”位置, J_1 、 J_3 接通,此时中间继电器 J 是否通电,由调节器 G 的控制开关 GK 是否接通控制:当炉温低于规定值时, G 使开关 GK 接通,中间继电器 J 通电,其常开触点 J' 接通,使交流接触器 C 通电,接通其常开触点 C' ,炉温升高;当炉温高于规定值时, G 使开关 GK 断开, J 断电, J' 断开,使 C 断电,

C' 断开, 炉温下降。

最简单的自动调节器 G 是用双金属片继电器实现。双金属片由不同膨胀系数的两片金属压成, 随着温度高低, 它向两个方向弯曲变形, 若在其两侧设两个微动开关, 则通过两侧微动开关的关或开, 即可控制开关 GK。

这种双位式炉温控制系统, 控制精度较低, 炉温波动较大。但因为这种控制设备简单, 故在热处理生产用的电阻电炉及其他要求炉温度控制精度不高的电炉中, 普遍应用此法控制温度。

为了提高温度控制精度, 可以采用连续控制热源能量的方法, 即根据温度误差信号的大小, 成比例地控制热源能量, 以消除误差, 使温度达到要求值。这种根据误差信号 ΔT 的大小来进行控制的方法, 叫做比例控制 (或比例调节)。直接参与改变加热炉热源能量的信号, 叫做控制作用, 并以 y 表示时, 则比例控制的控制作用 y 与误差信号 ΔT 的关系是:

$$y = K\Delta T \quad (55.1-1)$$

式中 K 是比例系数, 其值直接影响控制质量

这个表示控制作用与误差信号之间的关系叫做控制规律。如果控制作用 y 不仅根据误差信号 ΔT 的大小确定, 而且还根据误差信号的积分 $\int \Delta T dt$ 来确定, 这种控制方法叫做按比例—积分控制 (或按比例—积分调节), 其关系式为:

$$y = K_1\Delta T + K_2 \int \Delta T dt \quad (55.1-2)$$

式中 K_1 、 K_2 ——比例系数

K_1 、 K_2 的大小, 将直接影响控制质量。这种控制方法明显地提高了控制精度。

考虑到加热炉的热惯性, 为提高温度控制质量, 还可以在控制作用 y 中引入一个与误差信号 ΔT 微分有关的量, 即

$$y = K_1\Delta T + K_2 \int \Delta T dt + K_3 \frac{d\Delta T}{dt} \quad (55.1-3)$$

式中 K_1 、 K_2 、 K_3 ——比例系数

这种控制方法为比例—积分—微分控制。设计时应适当选择 K_1 、 K_2 、 K_3 三者的比例关系。引入误差信号 ΔT 的微分量, 相当于引入一个超前信号。对于改善具有热惯性加热炉的控制质量, 将会起到明显作用。

在不同的控制系统中, K_2 可为零或 K_3 可为零,

可根据具体要求确定之。

2.2 加工机床的自动控制

机床是用来切削加工金属毛坯, 从而得到具有一定形状、尺寸、精度和光洁度的工件。在普通的机床上, 为得到要求的工作所进行的操作, 必须由操作者手动来完成。而自动控制技术以不同形式运用到机床上时, 即可自动完成。

图 55.1-2 是一个车床的液压仿型装置。流入

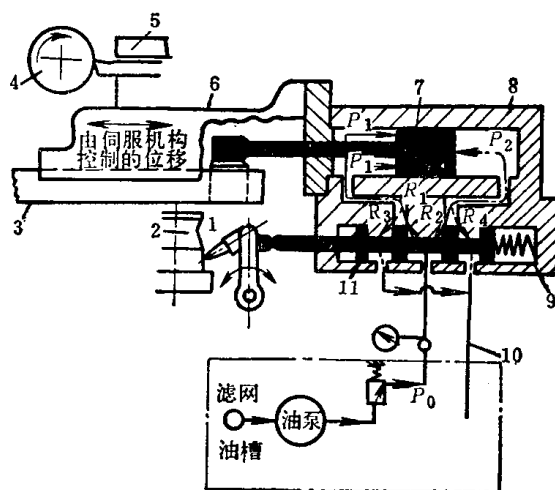


图 55.1-2 车床的液压仿型装置

1—指销 2—模板 3—车床的横溜板 4—工件 5—后刀架 6—液压溜板 7—活塞 8—油缸 9—滑阀套 10—排油管 11—滑阀 P_0 —进油压力

油缸的液体流量, 受滑阀和滑阀套上进出口之间相对位置控制。滑阀通过指销保持与模板的关系, 并通过压弹簧保证接触 (为了看得清楚, 在图 55.1-2 中, 模板已经转动了 90° 。实际上, 零件和模板的轴线是在两个相互平行的平面上)。当系统供油时, 油缸、溜板、滑阀套和指销都移动, 直到指销触及模板和滑阀偏移为零位上。在这个位置上, 滑阀上的两个环带正好封盖在油缸的两个油口上, 液压油塞两侧的供油切断。这时, 刀具径向位移停止。以后, 如果机床横溜板继续沿床身横移, 刀具就会加工出表面平行的零件来。

由于流入油缸的液体流量, 决定于滑阀的位置, 故溜板的位移速度, 将与滑阀至零点的距离成正比。这个特性, 可用图 55.1-3 所示曲线表示。曲线表示滑阀 (和指销) 偏移量和通过油口 R_1 或 R_2 进入油缸油量的关系, 也是和溜板速度的关系。改变滑阀设计, 对于一给定的滑阀位移量, 可以使流

入油缸的液体流量大些或小些。这样,即改变了图 55·1-3 直线段的斜率。

可见,上述液压仿型装置,是按误差信号进行控制的,零件与模板间的尺寸形状误差,表现为滑阀(和指销)至零点的距离。若系统工作在

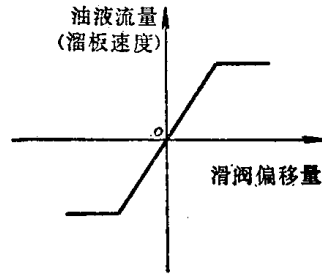


图 55·1-3 滑阀流量特性

图 55·1-3 所示的线性段时,则该系统是比例控制系统。(55·1-1) 式中的比例系数 K 即该直线段的斜率。图 55·1-3 的饱和段为非线性部分。

溜板的位移和定位,还可以用数字控制,如图 55·1-4 表示控制机床溜板位移的闭环控制系统方框图。

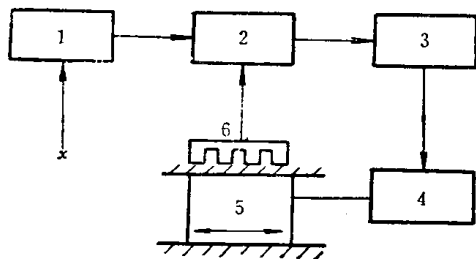


图 55·1-4 机床溜板位移的闭环控制

1—穿孔带读出器 2—比较器 3—放大及信号处理部分 4—控制部分(如液压头) 5—机床溜板 6—检测装置 x —指令信号,如穿孔带上的数据

在数控机床中,控制溜板位移的指令信号,一般表示为与被加工零件有关的一个尺寸,或是一长串连续的尺寸,这种信号一般是通过纸带(上面穿有表示指令的孔)输入给机床的输入装置。从检测装置来的信号,与输入的指令信号作比较,比较所得的误差信号,经过变换放大及处理后去控制执行机构(如液压头),推动溜板移动,直到与要求的位置相等为止。这个控制系统,从输入端到输出端,再经过检测装置将输出信号引回至输入端,形成闭合回路。这种闭环系统可使溜板的位移或位置控制达到相当高的精度。

有的数控机床,使用开环系统控制溜板的位移,如图 55·1-5 所示。此时不需要对控制的溜板使用检测装置,不需要比较器,而是根据输入指令信号,经过放大变换后直接驱动执行机构(如电液脉

冲马达)以改变溜板位置到要求的位置。开环系统控制溜板的精度要比相应的闭环系统控制精度低一些。但设备简单,价格低,所以在许多情况下,这种系统是适用的。

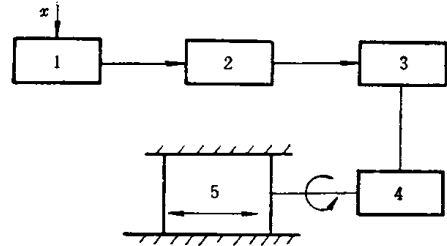


图 55·1-5 控制机床溜板位移器

x —穿孔带输入 1—穿孔带读出器 2—放大变换器 3—驱动马达 4—齿轮箱 5—机床溜板

2.3 焊接生产过程中的自动控制

焊接过程中,往往分成几个阶段:起焊阶段,焊接阶段及结束阶段。各个阶段又有几道工序。如电弧焊结束阶段,各道工序如图 55·1-6 所示。

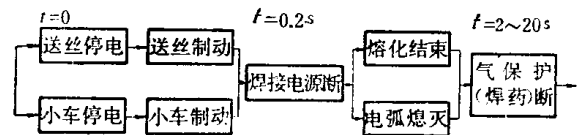


图 55·1-6 电焊结束阶段工序图

这些工序的操作可由程序控制方法实现。

在焊接方法中,已采用仿形焊接和跟踪焊接。仿形焊接与切削加工中的仿形车(铣)床类似。预先给出要求的焊缝轨迹,将其变换成为相应的指令送给电焊机控制系统,经检测后的实际焊缝信号与指令信号在比较器中比较得出误差信号。用误差信号控制焊接点能源(电弧电极)按规定形状运动,以消除误差。这类控制系统属于闭环控制系统。在要求精度不高的情况下,也可以不必将上述信号进行比较,而直接按给定指令信号控制焊接点能源运动,这类控制系统属于开环控制系统。

跟踪焊接与仿形焊接类似,只是指令信号不是按事先给定形状确定。而是随时测定实际焊缝轨迹给出的。这类控制系统在自动控制技术中称为随动系统。

图 55·1-7 表示一简单跟踪焊接闭环控制系统的方框图。测量元件测出相对于坡口的位置误差,当

传感器位于坡口上时无信号输出；当偏离坡口时，根据偏左偏右及偏离大小给出幅值不同或正或负的信号。这个信号经变换放大后控制驱动装置，驱动机头。传感器与机头固连，装在机头前方。直至机头移至坡口上，即传感器移至坡口上，误差信号为零，机头才停止移动，这个移动是垂直焊接方向的。

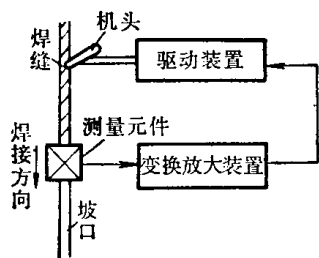


图55-1-7 跟踪焊接系统方框图

在焊接过程中，为了保证质量，工艺参数必须保持稳定不变，因为这些参数都是预先通过试验确定的最佳参数。因此除焊接方法要进行自动控制，焊接过程中的一些工艺参数也必须进行自动控制，保证其恒定不变或按一定规律变化。

焊接过程中需要进行控制的主要参数是：焊接电流、电弧电压、焊接速度等。其中电弧电压有时表现为电弧长度。在非熔化极焊时，电弧长度也经常是一个独立的焊接参数。

2.4 铸锻生产中的自动控制

铸造生产过程，可分为熔化、造型、浇注、清理等过程。各生产过程都在逐步采用和不断完善机械化自动化设备。

熔化过程中，冲天炉配料和加料自动化，可按预定的程序自动算出配料比、自动称量、自动送入冲天炉。

为了得到一定量的铁水，有时要将冲天炉几次出炉的铁水先存放在贮存炉中，然后一次使用。这时要对贮存炉的温度进行控制，以保证铁水温度、成分。

图55-1-8为自动浇注系统方框图。在冒口处做成一弯曲部AB。测量装置可采用光电式或热电式测量装置。当铁水流至A处以前，测量装置无信号输出。根据这个零信号控制驱动机构，打开浇注塞，使铁水注入浇口。当铁水流至B处，光（热）电测量装置有信号输出。该信号控制浇注塞关闭，停止浇注。

砂处理的混碾过程。将用过的旧砂回收混碾器，加入适当的水和粘结剂，使其再生为具有一定

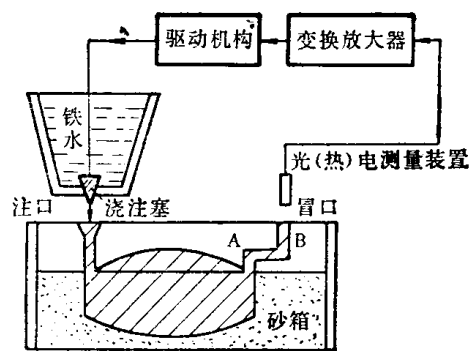


图55-1-8 自动浇注系统方框图

湿度、抗压力的再生砂，以备再用。这个过程可以采用自动测量装置随时测定表征砂特性的参数，如抗压力、相对湿度、温度等。根据测定的参数自动地调整应加入的水及粘结剂材料，以使再生砂性能满足要求。其计算分析过程可采用简单计算机完成。

造型过程，已向造型自动线方向发展。

锻造生产包括原材料下料（取材）、装出炉、锻造成型及运输等工序。自动化机械化是指上述各道工序的自动化。即应用锯床、剪床或压力机自动锯料或加热剁料；自动运输；自动控制加热炉工作；自动装、出料；自动控制锻造操作机械。

其中锻造操作机的机械化是实现锻造生产过程自动化的主要组成部分。锻造操作机一般都应该实现几个基本动作：钳口启闭；钳杆回转；钳杆平行提升；钳杆倾斜；大车行走；机车回转；钳杆伸缩和钳杆侧移等。这些动作应自动进行，各基本动作还应该按一定程序进行。锻造操作机属于自动机的一种。

2.5 机械手

机械手是自动机的一种。自动机大致可分为三种。

a. 智能自动机 它能认识对象，基于它的认识通过“思维”决定所采取的动作。

b. 操作自动机 是按操纵者操纵进行各种作业的自动机。用于铸锻生产中搬运、操作及代替对人体有害环境中人工操作等。电动假肢就属于这种自动机。

c. 重复自动机 是一种简单的、能记忆各种规定的动作、自动重复实现这些动作的自动机。这种自动机广泛用于工业生产中。根据用途不同，其动作程序可以比较灵活地变动、组合。

用于工业生产中的自动机,通常叫做工业机械手,或机械手,进行搬运、装卸及上、下料等工作。

现在已经实际应用的工业机械手种类较多,性能范围很广,大体情况是:

- (1) 运动自由度 3~6;
- (2) 可搬运最大重量 20~150kg 左右;
- (3) 搬运速度 1m/s 左右;
- (4) 工作半径: 半径 1.5m 左右, 高度 1.5m 左右;
- (5) 定位精度 0.5~3mm 左右;
- (6) 定位点数 200 点左右(连续轨迹除外)

工业机械手一般都具有教示、记忆、再现以及操作等过程。教示过程和操作过程共用一套控制系统。

教示过程,可由操纵杆教示,或按程序给定应重复的动作用的信号。这时,机械手跟踪操纵杆动作,或按给定程序信号动作。机械手的运动一般是分解为各轴方向动作进行的。

记忆过程,是将反应机械手各轴运动的(数字或模拟)信息记录在存贮器中。

再现,即是上述教示信号再生。

操作过程,是机械手以再生信号作为输入信号,操纵机械手重复教示过程规定的各个动作。

教示和记忆过程是同时进行的,再现和操作过程也是同时进行的。

图 55·1-9 为工业机械手教示、记忆过程控制系统原理图。操纵杆动作时,操纵杆与机械手动作

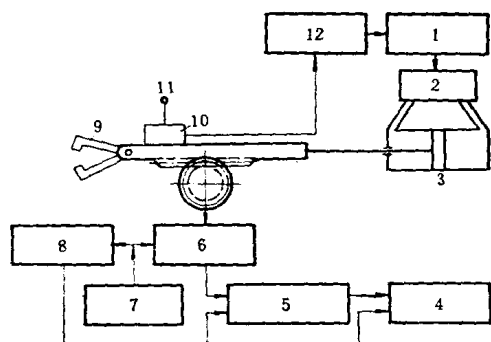


图 55·1-9 机械手教示记忆过程原理图

1—电液转换器 2—控制阀 3—执行滑阀 4—存贮器 5—调幅脉冲装置 6—测量元件 7—振荡器 8—基准信号发生器 9—机械手 10—差动变压器 11—操纵杆 12—变换放大器

之差,由差动变压器测量并给出信号,此信号经变换放大后,操纵推动滑阀控制机械手动作。消除两者误差。

机械手动作时,由测量装置测量,并给出一个相位与机械手动作(如位移)成比例的交流信号。这个信号与基准信号发生器给出的基准信号相比较(相位)后输给调幅脉冲变换器,变换器输出幅度与输入信号相位差成比例的脉冲信号。将此信号送至存贮器记忆存贮。基准信号同时变换为长方形脉冲,由存贮器记下。

图 55·1-10 为机械手再现、操作过程的控制系统原理图。图中控制系统仍用教示时所用控制系统。

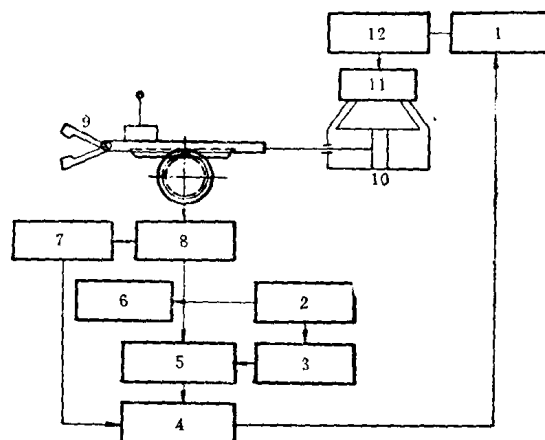


图 55·1-10 再现操作过程控制补充原理图

1—变换放大器 2—存贮器 3—脉冲整形器 4—控制信号形成器 5—误差信号形成器 6—振荡器 7—基准信号发生器 8—测量装置 9—机械手 10—执行滑阀 11—控制阀 12—电液转换器

再生信号有基准信号和操纵机械手的控制信号,同时由存贮器取出。基准信号用来使振荡器同步,以控制基准信号与测量装置输出的交流信号和教示信号同步。测量装置与教示时工作情况相同,给出相位与机械手动作成比例的交流信号。教示时记忆下的与机械手应重复动作成比例的调幅脉冲信号经脉冲整形后,送至误差信号形成器。误差信号形成器比较测量装置给出的信号和脉冲整形器给出的信号,形成误差信号。误差信号为交流信号。控制信号形成器根据误差信号和基准信号,给出控制机械手的控制信号,后者经变换放大后操纵执行滑阀控制机械手动作。

在材料运输、工件固定情况下。只对到达目的地有要求，而对所走的路线并不严格要求，机械手的控制，可采用“点到点”的顺序控制方式。

3 自动控制系统分类

所谓自动控制，是指不要人参与、自动地使其物理量（或过程）保持在规定值或按指定规律变化。如前所述温度控制、自动仿型加工、焊接过程参数控制等等。

实现自动控制的方法，可分为两大类：顺序控制系统和反馈控制系统。

3.1 顺序控制系统

顺序控制系统，是在发出工作指令后，控制系统自动地、顺序地完成一系列操作，以达到控制目的。

相对于反馈控制系统来说，顺序控制系统有时也称为开环控制系统。

例如图 55·1-11 为一用电炉熔化铁水的温度顺序控制系统。为了控制温度达到一定要求，工作开始后，即开关 K 合闸后，控制系统应自动地、顺序地完成下列操作：（1）合上开关 ZK，使电炉通电加热；（2）保持一定时间，使电炉加热；（3）经过一定时间（温度达到要求）后，断开开关 ZK，使电炉断电。这些操作是由控制指令决定的。

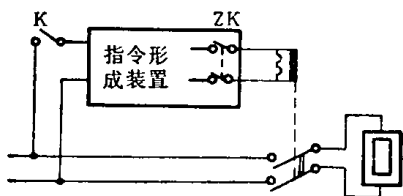


图55·1-11 温度顺序控制系统

由工作指令（即开关 K 合闸）到自动地形成控制指令的过程，称为指令形成过程，是由指令形成装置完成的。

根据控制指令的排列顺序不同，顺序控制系统又可分为：

a. 时间顺序控制系统 其控制指令是按时间程序排列的，且每段控制指令的执行时间是严格不变的。

b. 逻辑顺序控制系统 控制指令也是按程序排列的，但不是按时间顺序排列的，而是按逻辑关

系排列的。即每段控制指令的执行时间是可变的，是自动变化的。

c. 条件顺序控制系统 不是按固定程序执行控制指令的，而是根据一定条件选择执行的。

时间顺序控制系统和逻辑顺序控制系统有时又称为程序控制系统。

3.2 反馈控制系统

反馈控制系统，是随时测量被控制的物理量，并与给定值比较，根据比较所得的误差信号，经变换放大后驱动执行机构，以消灭误差，即保持被控制量为给定值。

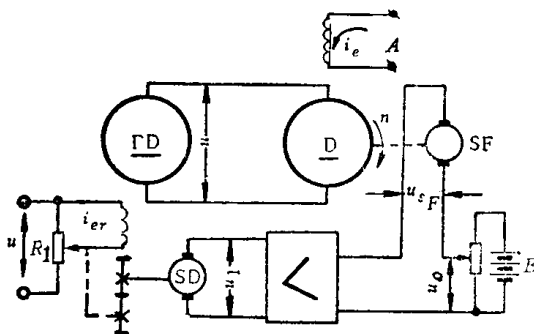


图55·1-12 速度反馈控制系统

图 55·1-12 是驱动传送带的电动机转速反馈控制系统。被控制对象是电动机 D，被控制量是转速，执行机构是伺服电动机 SD。这里用一个测速发电机 SF 测量电动机的转速，其关系式为：

$$u_{SF} = k_{SF} n \quad (55 \cdot 1 - 4)$$

式中 u_{SF} 为测速发电机的端电压； k_{SF} 为比例系数

测速发电机测出的电压 u_{SF} 直接反映了电动机的转速。完成被控制量测量任务的元件或装置称为测量元件或测量装置。把测量得到的电压 u_{SF} 与标准电压 u_0 进行比较，比较所得的误差值为 Δu ：

$$\Delta u = u_0 - u_{SF} \quad (55 \cdot 1 - 5)$$

式中 u_0 —— 对应于给定转速的标准电压

如果 $\Delta u \neq 0$ ，即说明转速偏离了给定值。从而需要进行控制，以使电动机转速尽可能达到给定值，即 $\Delta u = 0$ 。一般 Δu 很小，需要放大。放大后的电压 u_1 控制伺服电动机 SD 转动，再通过减速器移动分压器 R_1 的蜗杆。由分压器 R_1 上取得所需要的激磁电压、激磁电流，改变供电发电机的激磁，以使电动机的转速达到要求。

伺服电动机 SD 起着执行控制任务的作用，称

为执行元件或执行机构。

将被控制对象的输出信号, 如上述电动机的转速, 送到输入端, 再作用到本身的过程, 叫反馈。取输出信号 (全部或部分) 的负值, 再作用于自身时, 则称为负反馈。被取作反馈用的信号称为反馈信号。

反馈控制系统的特点是有反馈过程。反馈信号的引入, 使控制系统从输入端到输出端, 又从输出端回到输入端, 形成一个闭环回路。如图 55-1-13 是与图 55-1-12 对应的控制系统方框图。它由反馈信号闭合形成一闭环回路。

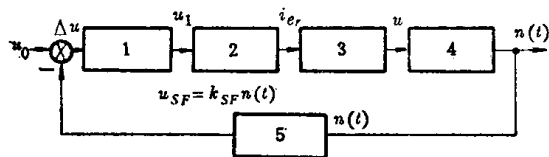


图55-1-13 转速反馈控制系统方框图

1—放大器 2—伺服机 3—发电机 4—电动机
(被控对象) 5—测速发电机

相对于顺序控制系统, 反馈控制系统亦可称为闭环控制系统。

对于任何一个控制系统, 至少有一个物理量,

它的变化规律在生产过程中要求严格控制, 使它保持恒定或者按预先规定的程序变化, 或者跟随某个外加信号变化。这个物理量, 称为被控制量 (有时亦称为被调节量), 被控制量有时又称为控制系统的输出信号。

具有被控制量的装置称为控制对象。如图 55-1-12 中, 被控制量转速是在直流电动机中变化的, 直流电动机即为控制对象。又如控制高炉炉温时, 高炉便是控制对象。

用于决定被控制量变化规律的外加信号叫输入信号。如图 55-1-12 中的 u_0 。有时输入信号称为控制系统的给定值或控制信号。

促使被控制量偏离一定要求的外界因素称为干扰。如上述电动机转速控制系统中负载的波动、激磁绕组的电压变化、带动发电机的原动机转速波动等都是影响被控制量转速变化的外界干扰。

有时将输入信号和干扰统称为外作用。

输入信号 (给定值) 与输出信号 (被控制量) 之差为控制系统的误差信号。

在顺序控制系统中, 使控制系统完成某一操作的信号, 称作控制指令。

第2章 顺序控制系统

1 顺序控制系统的组成

顺序控制系统, 一般由控制对象、测量元件、执行机构、指令形成装置及变换放大器组成, 如图 55-2-1 示, $\Rightarrow$ 表示信号流通方向, 信号线可以是一条或多条。

指令形成装置就是一个计算机, 可较简单, 亦可较复杂, 它根据要求的操作指令及控制对象的状态信息, 进行信息处理, 形成必须的控制指令。如

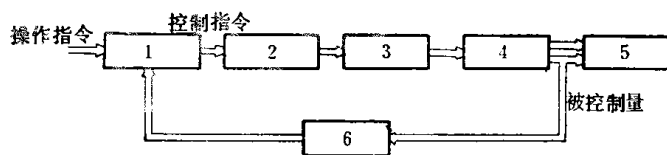


图55-2-1 顺序控制系统方框图

1—指令形成装置 2—变换放大器 3—执行机构 4—控制对象 5—指示器 6—测量元件

控制指令可以直接驱动执行机构, 则可不要放大器。

如图 55-1-11 所示简单温度控制系统, 根据要求的铁水熔化温度和炉温初始状态, 形成三个控制指令: (1) 合上开关 ZK 使炉子接通热源; (2) 保持一段时间, 使炉子加温; (3) 一定时间后, 即炉温达到要求时, 断开开关 ZK。

更复杂一点的例子, 如电梯控制。只考虑控制其升、降及停止三个动作时, 其控制是根据下列信息进行的:

(1) 操作指令 为预先给定的操作指令即电梯开往哪一层楼;

(2) 外部信息 为外部要求操作指令即哪一层楼发生呼唤指令;

(3) 控制对象的状态信息 为电梯现在的位置。

状态信息由测量元件给出；控制对象是电梯。

指令形成装置根据（1）、（2）、（3）进行信息处理并形成控制指令，控制执行机构。驱动电梯的电动机是执行机构。

2 顺序控制系统的逻辑运算

顺序控制系统所使用的信息，是二值信息，即有或无。根据一些二值信息推出一个结论作为控制指令叫做逻辑运算。指令形成装置的信息处理即指其接收、记忆外来信息并进行逻辑运算。

2.1 逻辑乘法

例如电梯控制系统，从第二层楼发出了呼唤指令，当它升降到达第二层楼时，根据这两个信息，应该给出停止的指令。

以A表示第二层楼呼唤指令的信息；电梯到达第二层楼的信息以B表示；使电梯停止的指令信息以C表示。其信息值以“0”或“1”表示。各信息的信息意义如表 55.2-1 所示。

表 55.2-1

信息	信息内容	信息值	信息值意义
A	二层楼是否发生呼唤	1	发生呼唤指令
		0	没有发生呼唤指令
B	电梯是否到达二层楼	1	到达二楼
		0	没有到达二楼
C	是否应该停止	1	停止
		0	不停止

如以A、B作为指令形成装置的输入信息，C为输出的控制指令。A、B、C间的关系如表 55.2-2 所示。即只有A=1，B=1时，才给出控制指令C=1。其数学关系如下：

$A \cdot B = C$ (55.2-1)

(55.2-1) 式所表示的关系为逻辑乘积。表 55.2-2 表示A、B、C所有组合关系，叫真值表。实现逻辑运算的电气线路叫逻辑电路或门电路。也可以用气动、液动回路实现逻辑运算。

实现逻辑乘法运算的电路叫“与”电路或“与”门。

表 55.2-2

输入信息		输出的控制指令
A	B	C
1	1	1
1	0	0
0	1	0
0	0	0

2.2 逻辑加法

例如电梯不仅在二层楼有呼唤指令，而且在一层楼也有呼唤指令。如以C表示停止在二层楼的信息，D表示停止在一层楼的信息，T表示使电梯停止的信息，C、D、T间的组合关系如真值表55.2-3 所示。

表 55.2-3

输入信息		输出的控制指令
C	D	T
1	1	1
1	0	1
0	1	1
0	0	0

输入输出信息间的关系如表 55.2-3 表示的话，则T是C和D的逻辑和。以下式表示

$T = C + D$ (55.2-2)

实现逻辑和的运算电路叫“或”电路或“或”门。

2.3 逻辑非运算

如以T表示电梯停止信息，Q表示起动信息。其代表的意义如表 55.2-4 所示。表示T、Q间关系的真值表如表 55.2-5。则称T的非（否定）是Q。其关系式为：

$\overline{T} = Q$ (55.2-3)

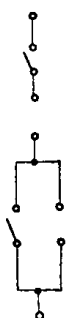
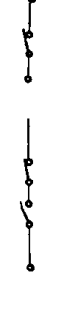
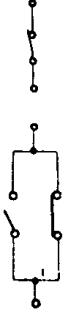
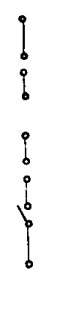
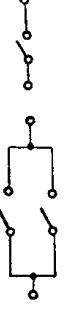
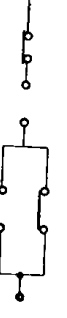
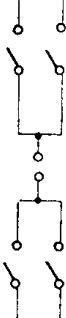
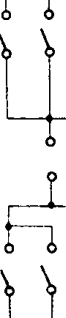
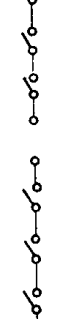
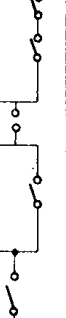
表 55.2-4

信息的意义	信息值的意义	
T 停止	1	停止
	0	不停止
Q 起动	1	起动
	0	不起动

表 55.2-5

T	Q
1	0

表 55·2-6

序号	关系式	等效电路	序号	关系式	等效电路
1 a	$X + 0 = X$		1 b	$X \cdot 1 = X$	
2 a	$X + 1 = 1$		2 b	$X \cdot 0 = 0$	
3 a	$X + X = X$		3 b	$X \cdot X = X$	
4 a	$\overline{X} + X = 1$		4 b	$\overline{X} \cdot X = 0$	
5 a	$\overline{\overline{X}} = X$	相当于常开触点闭合以后又打开			
6 a	$X + Y = Y + X$		6 b	$X \cdot Y = Y \cdot X$	
7 a	$(X + Y) + Z = X + (Y + Z)$		7 b	$(X \cdot Y) Z = X(Y \cdot Z)$	
8 a	$X + XY = X$		8 b	$X(X + Y) = X$	
9 a	$X(Y + Z) = XY + XZ$		9 b	$X + YZ = (X + Y)(X + Z)$	
10 a	$X\overline{Y} + Y = X + Y$		10 b	$(X + \overline{Y})Y = XY$	
11 a	$\overline{X + Y} = \overline{X} \cdot \overline{Y}$		11 b	$\overline{X \cdot Y} = \overline{X} + \overline{Y}$	

表中 a 与 b 是对偶关系。a 式中的加号 (+) 换成乘号 (·), 1 换成 0, 0 换成 1, 即得出 b 式。这个关系称为对偶关系。b 为 a 的对偶式。