

高等学校教学用书

选矿自动化

冶金工业出版社

高等学校教学用书

选矿自动化

中南矿冶学院 苏 震 编

冶金工业出版社

高等学校教学用书

选矿自动化

中南矿冶学院 苏 震 编

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街嵩祝院北巷39号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

787×1092 1/16 印张 13 3/4 字数325千字

1985年11月第一版 1985年11月第一次印刷

印数00,001~5,050册

统一书号: 15062·4326 定价2.65元

前 言

本书是根据冶金部(1984~1988年)高等院校教材编写出版规划编写的。

随着选矿事业的迅速发展,新技术、新工艺、新设备、新方法不断涌现。本世纪五十年代开始发展起来的选矿自动化技术,是当代选矿事业发展的重大进展,必将从根本上改变传统选矿技术的落后面貌。按传统的选矿工艺,工人凭经验进行手动调节,对生产过程的控制,既不及时,又不准确,所以较难获得好的生产指标,同时劳动条件也差。自动检测能够及时准确地指示选矿过程各参数的变化;自动调节能够及时地根据所测结果,准确地对有关变量进行调节。这两项自动化技术的应用提高了选矿指标,节约了能耗,改善了劳动条件。近年来发展起来的最新选矿自动化技术——选矿过程最优控制,能综合考虑选矿过程中的各项影响因素,随着入选矿石性质的变化而自动改变对各变量的控制,使选矿指标达到最佳值。选矿实现自动化是一项具有重要意义的工作。

国际上选矿自动化的发展是迅速的。五十年代初期,主要是对选矿工艺过程某些变量进行单项检测。五十年代末,开始了选矿过程的模拟仪表控制。六十年代末,随着计算机广泛用于工业控制,在选矿领域也开始研究用计算机进行直接数字控制。到七十年代又开始了选矿过程最优化控制的研究和实验,从静态最优化开始,目前已发展到动态最优化控制的探索。

我国的选矿自动化工作,五十年代主要是进行矿石中金属块的自动探测和矿石的自动计量。从七十年代才开始对选矿作业作单变量控制的研究。目前一般还处于模拟仪表控制的研究和试用阶段,并开始进行选矿过程计算机直接数字控制和最优化的研究。

随着四个现代化建设高潮的到来,我国选矿自动化必然要迅速发展。目前我国许多工厂、学校和研究单位都已拥有计算机。国产计算机及仪表的发展,尤其是廉价的微型机的大量生产,为我国选矿自动化技术的普遍推广提供了良好的物质基础。这些都是发展我国选矿自动化的有利条件。选矿过程自动化工作的开展需要多学科技术力量合作,需要仪表、自动控制、数学、计算机及选矿等专业技术人员的互相配合。其中具有一定自动化技术知识的选矿专业人员是非常重要的、不可缺少的力量。本书正是为选矿专业大学生学习选矿自动化理论和技术知识而编写的。

全书共分两篇十一章。第一篇从经典控制理论出发,介绍模拟仪表自动调节的基本原理及选矿过程常用的调节方法和调节系统。第二篇从现代控制理论出发,介绍计算机控制的(着重于与选矿过程控制相关的)基本原理及方法。限于篇幅,本书对仪表、硬件及详细的控制理论推导从略。

全书由苏震编写,胡为柏教授曾主持并参加了本书大纲的制定,还审阅过初稿。本书在编写过程中得到王鸿歌副教授和张泰山老师的热情帮助;昆明工学院、北京钢铁学院、武汉建材学院、江西冶金学院和中南矿冶学院的专家们对本稿提出了不少的宝贵意见;凤凰山铜矿选矿自动化小组的同志们也给予了有益的帮助,编者谨在此表示衷心的感谢。限于

篇幅和条件，书中引用的资料有些未能列入文献，特在此向有关著者表示歉意。由于编者水平有限，错误和不当之处难免，希望广大读者给予批评指正。

本书除供选矿专业大学生使用外，也可供选矿工程技术人员及从事选矿自动化的同志参考。

编者

一九八四年十月

目 录

第一篇 选矿过程模拟仪表控制及自动调节系统

第一章 自动调节概念.....	1
第一节 选矿自动化的一般概念	1
第二节 自动调节系统的组成单元及分类	2
第三节 自动调节系统的调节质量标准	7
第二章 选矿过程控制常用传感器原理	10
第一节 利用辐射线的检测装置	11
第二节 利用超声波的检测装置	16
第三节 电阻式传感器	19
第四节 电容式传感器	23
第五节 感应式(磁电式)传感器	25
第六节 电涡流式传感器	26
第七节 静压差传感器	28
第八节 液体中剩余离子的测量	28
第三章 执行机构	31
第一节 电动伺服机构	31
第二节 调节阀的特性	33
第四章 调节对象的特性	37
第一节 调节对象的容量、自衡和滞后时间	37
第二节 调节对象的静、动态特性	40
第三节 对象容量系数、自衡率与对象静、动态特性的关系	40
第五章 调节规律及调节器结构原理	44
第一节 调节规律	44
第二节 电子 <i>PID</i> 调节器结构原理.....	53
第六章 选矿过程简单调节系统举例	57
第七章 环节和系统的动态特性描述方法	62
第一节 环节的微分方程描述	62
第二节 传递函数描述及典型环节	66
第三节 反应曲线法	69
第四节 系统动态特性框图及环节等效变换	75
第五节 调节系统的描述	78
第八章 选矿过程复杂调节系统	83
第一节 比值调节系统	83
第二节 前馈调节系统	84
第三节 串级调节系统	88
第九章 调节系统稳定性判断.....	102

第一节	微分方程分析法	162
第二节	特征根判断法	103
第三节	乃奎斯特频率判据	104

第二篇 选矿过程的计算机控制

第十章	计算机直接数字控制 (DDC)	113
第一节	工业控制机的输入、输出通道	114
第二节	直接数字控制过程	116
第三节	DDC系统中的各种基本调节规律	123
第四节	选矿过程DDC系统举例	130
第五节	大滞后补偿控制	133
第六节	选矿多变量解耦控制	141
第十一章	监督控制	149
第一节	数学模型	149
第二节	静态最优控制	163
第三节	动态最优控制	171
第四节	监督控制系统的结构	180
第五节	选矿过程SCC系统举例	181

附 录

附录 I	拉普拉斯变换	187
附录 II	Z-变换	197
附录 III	调节器参数的工程整定	205

第一篇 选矿过程模拟仪表控制及自动调节系统

第一章 自动调节概念

第一节 选矿自动化的一般概念

一、人工控制与自动调节

在选矿生产过程中，经常需要使一些物理量，在受到外界干扰时仍保持某一给定的值。例如，分级机溢流浓度或细度要恒定在某一值，才能保证矿石既单体解离，又不过粉碎；浮选精矿品位要求保持在某一值，才能既保证精矿达到所要求的品质，又能保证获得较好的回收率等。在实际生产过程中，经常有随机干扰，使得需要保持恒定的物理量偏离给定的值。例如，分级机补加水压及磨机处理量的变化，使分级机溢流浓度发生波动；矿石性质的改变或充气量的变化，使浮选精矿品位发生改变等。这时就需要对补加水阀门及浮选槽闸门或浮选药剂添加量等进行调节，使溢流浓度及精矿品位恢复到规定的值。这种调节作用可以用人工进行，也可以由一系列的仪表、机械或计算机来进行。

凡是由人工使某些参数（一般是物理量）达到给定值的操作，称为人工控制。而采用自动化仪表和装置，在没有人直接参预下使这些参数达到给定值的操作称为自动调节。

人工控制分级机溢流浓度时，人承担四方面工作：（1）测量浓度值；（2）将所测得的浓度值与给定值（规定要保持在的浓度值）进行比较，得出偏差值；（3）根据偏差值的性质（浓度偏高，还是偏低）及大小，确定给水阀门的改变量；（4）执行补加水量的调节，以消除被调量与给定值之间的偏差，达到保持分级机溢流浓度恒定的目的。

如果不用人工调节，而采用一系列仪表、设备进行自动调节时，这些仪表、设备也必须具备上述功能。图1-1是分级机溢流浓度自动调节系统结构原理框图，其控制过程如下：

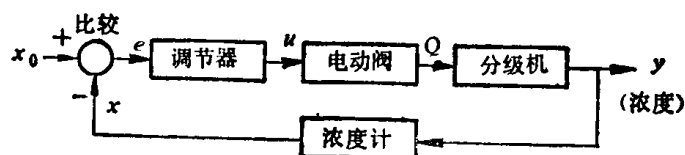


图 1-1 自动调节系统结构框图

（1） γ 射线浓度计（传感器）不断对分级机溢流的矿浆浓度进行测量，并以 0~10mA 的电流值来表示所测得的浓度值。（2）把由浓度计所测得的浓度值输入比较机构，在比较机构中与给定值进行比较，并将偏差信号输入自动调节器。（3）自动调节器根据偏差信号的性质（正或负）及大小等特性，输出一个按预定规律变化的信号给电动调节阀（执行机构）。（4）执行机构根据调节器发出的信号，将供水阀按对应的规律开大或关小，使

调节量（补加水量）有规律地变化，以便及时地克服干扰的影响，消除偏差，力图使浓度值保持在给定值。当测量信号和给定值之差达到零（或小于允许的误差）时，执行机构就不再动作，该系统暂时保持稳定状态。当新的扰动又出现时，该自动调节系统又如上述过程进行自动调节。这是用偏差值进行调节的自动调节系统的简单例子。在这个自动调节系统中，浓度计、比较机构、自动调节器及执行机构代替了人进行测量、比较、决策及执行调节的职能。

二、几个术语概念

为了便于讨论，先介绍一些有关自动调节的术语：

调节对象 在其中进行调节作用的设备称调节对象。例如对分级机的溢流浓度所进行的自动调节，是在分级机中进行的，所以调节对象是分级机。

给定值 生产中要求达到的工艺参数值。例如要求达到的分级机溢流浓度值，浮选产品精矿要求达到的品位等。一般以标准信号形式给出，常用 x_0 表示。

被调量 在生产过程中要求保持在给定值的那个物理量叫被调量。例如溢流浓度、精矿品位、磨机处理量，常用 y 表示。

测量值 由传感器测出的，与被调量相对应的信号值称测量值，常用 z 或 x 表示。

偏差值 给定值与测量值之差称偏差值，常用 e 表示， $x_0 - z = e$ 或 $x_0 - x = e$ 。

干扰作用 引起被调量波动的因素称干扰作用，常用 f 表示。例如分级机补加水水压变化，原矿品位变化等。

调节变量（控制变量） 为完成调节任务而需直接予以调节的物理量称作调节变量。例如补加水量、药剂添加量等。

调节作用 受调节器控制，引起调节变量变化的动作称调节作用。例如调节阀阀芯移位等，常用 u 表示。

调节系统的输入量 泛指输入到自动调节系统的信号，包括给定值和干扰作用。

调节系统的输出量 泛指从调节系统输出的信号，一般指被调量。

反馈 将输出量的全部或一部分信号返回到输入端称反馈。反馈的结果若是有利于加强输入信号，则称正反馈。反之称为负反馈。在自动调节系统中，主要应用负反馈。

第二节 自动调节系统的组成单元及分类

为了自动调节的目的而组合起来的仪表设备系统，加上调节对象就构成了自动调节系统。以下简称调节系统或系统。

一、自动调节系统的组成单元

图1-2是简单自动调节系统的较完整的组成单元框图。它由调节对象、敏感元件、变送单元、计算单元、定值单元、执行单元、调节单元及转换单元等组成，现分别说明各单元的作用：

（1）敏感元件 敏感元件在自动调节系统中起着眼睛的作用，能感受各物理量的变化。例如，压差式浓度计的差压管，pH计的玻璃电极及甘汞电极等。矿浆浓度的变化，会引起差压管内液体压力的变化；而矿浆酸碱度的改变，会引起玻璃电极与甘汞电极间电位差的改变。敏感元件一般与变送器配合使用。

（2）变送单元（变送器） 各种不同形式的变送器对敏感元件所感受到的各种形式的

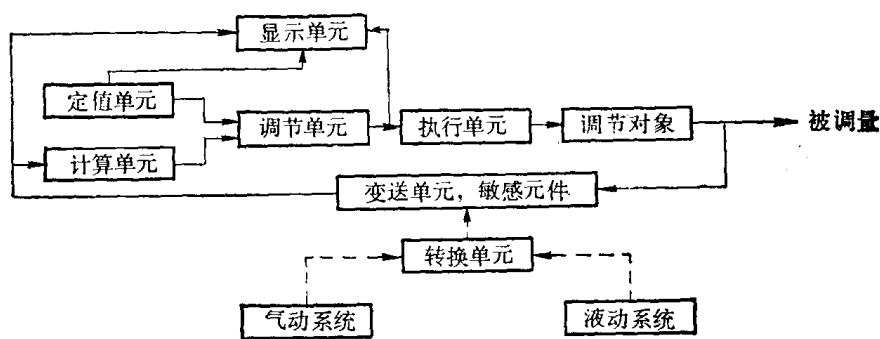


图 1-2 调节系统组成单元框图

信号,进行测量并转换为统一的信号(电动变送器是把各种信号变换为 $0\sim 10\text{mA}$ 或 $4\sim 20\text{mA}$ 的直流电流信号或直流电压信号。气动变送器则把各种信号变换为 $20\sim 100\text{kPa}$ 的气压信号等。)转送给显示、计算、调节等单元。因敏感元件与变送器一般都是配合使用的,在有些情况下,二者是不可分割的,为简便起见,常合称传感器。

(3) 调节单元(各种调节器) 调节器是计算调节规律的单元。一般有位置调节器,前馈调节器,比值调节器,比例、积分、微分调节器等。调节器的作用,是根据输入信号(例如由传感器送来的信号与给定值进行比较所得的偏差值等)的性质和大小,输出一个按所选调节器的规律变化的信号给执行机构,或作为另一控制环的输入。

(4) 定值单元(定值器) 把规定要达到的被调量数值,用一个统一的、恒定的信号加以输出的装置(在电动单元组合仪表中是输出 $0\sim 10\text{mA}$ 或 $4\sim 20\text{mA}$ 的直流信号等)。例如,浓度的规定值是固体含量 20% 时,可用 5mA 的直流电流表示 20% 的浓度,把 5mA 的信号输入调节器中与测量信号进行比较。

(5) 执行单元(各种执行机构) 是对调节器的输出作出反应,改变操作量的装置。由两部分组成:1)一个驱动装置,把调节器输出信号转变为具有足够功率的动作,例如伺服机构,放大机构等;2)执行元件,用来控制调节介质的活动,是具体调整操作量的装置,例如阀门、泵等。上述两部分一般统称执行机构。

(6) 计算单元 在有些情况下,需对调节系统某环节的信号进行简单的计算,就要加入计算单元。计算单元可根据需要实现加、减、乘、除及开方、平方等功能。

(7) 显示单元 起着各种有关变量和信号的指示作用。

(8) 转换单元 将各种其它形式的信号通过相应的转换器转换为统一信号。例如可将气动、液动信号转换成统一的 $0\sim 10\text{mA}$ 、 $4\sim 20\text{mA}$ 、 $0\sim 5\text{V}$ 或 $0\sim 10\text{V}$ 的直流电信号或将一种电信号转换成另一种电信号。亦可由电信号转换成 $20\sim 100\text{kPa}$ 的气压信号等。

在上述单元中,对调节质量有影响的主要是传感器、调节器、执行机构等。

二、自动调节仪表的类型

各种单元的自动调节仪表(见图1-2),按动力来源与动力性质的不同分电动仪表、气动仪表和液动仪表等。

1. 气动单元组合仪表

气动调节装置的动力是有压力的气体。我国已制造出具有我国自己独特风格的系列配套产品。把气动调节装置制成单元组合型式,即每个单元仪表在控制系统中起独立作用,

并采用统一的标准联络信号（20—100kPa气压）。在使用时根据生产过程的不同要求和不同对象，可以把这些标准仪表单元组成各种结构的自动调节系统。它们还可通过转换器与电动、液动等调节装置联合工作。

气动单元组合仪表简称为QDZ仪表。它的优点是连续工作性能好，工作可靠，寿命长，结构简单，维修方便。特别适合于在防火、防爆场合工作。缺点是需要压缩空气及气体净化装置，仪表的滞后比电动调节装置大。

2. 电动单元组合仪表

电动调节仪表的动力是电能，有成套产品供应。电动调节仪表制成单元组合型式称电动单元组合仪表，简称为DDZ仪表，每个单元仪表在控制系统中起独立的作用，各仪表之间采用标准信号0—10mA直流电流(DDZⅠ型)或4—20mA直流电流信号(DDZⅡ型)进行联系。在使用时根据生产过程的特点和对调节质量的要求，可把这些标准的仪表单元组成各种结构形式的自动调节系统。通过相应的转换器，电动调节仪表还能与气动、液动调节装置联合工作。

电动单元组合仪表分DDZⅠ型（电子管型，现已逐渐淘汰），DDZⅡ型(晶体管型)和DDZⅢ型（集成电路型）。DDZ仪表的优点是，传送距离远，几乎无滞后。缺点是价格较高。选厂大都使用电动单元组合仪表。

3. 液动单元组合仪表

液动单元组合仪表的动力是具有一定压力的液体（压力油或压力水等），这种仪表也是单元组合形式的，目前已成系列生产。其特点是结构简单紧凑，操作维护方便，主要用在热工自动调节方面。

三、自动调节系统框图的构成

为了便于研究、分析，常用结构框图（如图1-1所示）和动态框图（如图1-3所示）

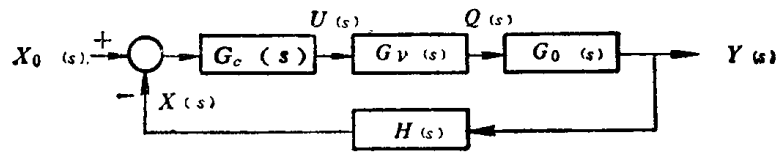


图 1-3 调节系统动态特性框图

描述调节系统。前者表示系统的结构和原理，后者描述系统及环节的动态特性。

组成调节系统框图的基本单元有：

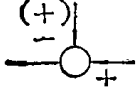
信号线 是带有箭头的直线，箭头表示信号的传递方向，线上注以相应的信号联系符号。在系统结构框图上用信号名称标注，例如 x 、 y 等；在系统动态框图上，则用相应信号的拉氏变换式标注，例如 $X(s)$ 、 $Y(s)$ 等。

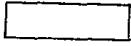
信号引出点（分支点）



表示信号引出或测量点的所在位置。从同一

位置引出的信号，在数值和性质方面完全相同。

比较点（加法点）  对两个以上的信号进行代数运算，“+”表示相加，“-”表示相减。

方框：  通常称为环节。每个方框表示一个元件，一个设备或几个设

备的组合物，也可以表示一个局部生产过程。在结构框图的方框中，注明该框所表示部分的名称或功能，如图 1-1 所示。在动态框图的方框中，注明该框所表示部分的传递函数，如图 1-3 所示。

四、自动调节系统的类型

在实际生产过程中，自动调节系统的种类是多种多样的。可从不同的角度给以不同的分类。

1. 按给定值不同分类

(1) 定值调节系统 也称稳定化调节系统，该系统能自动地使被调量保持恒定或基本恒定。在选矿自动控制中也经常采用定值调节，例如前面所讲的浓度自动调节，就是定值调节。对球磨机的自动调节，也常采用恒定给矿量的定值调节。定值调节系统，能使调节对象（例如分级机、球磨机等）在受到允许范围内的干扰作用（补加水水压变化，矿石处理量变化等）时，自动地调整调节变量（例如补加水量、给矿量等），克服干扰作用的影响，使被调量保持在规定的指标上，并且所规定的指标一般不变化。

(2) 随动调节系统 随动调节系统与定值调节系统的差别在于，后者的给定值是固定不变的，而前者的给定值是随其他条件不断变化的。不是已知的时间函数。例如球磨机工作的一个重要指标是磨矿效率，在其它条件不变的前提下，主要是通过调节处理量来保持最好的磨矿效率。对于可磨性不同的矿石，相对于最高磨矿效率的矿石处理量（即最佳处理量）是不同的。如果该矿所处理的矿石性质差别大，配矿也不理想，对磨机进行磨矿效率最佳化自动调节时，就要根据矿石可磨性的变化不断改变磨机处理量的给定值。这就是一种随动自动调节系统。在这类系统中，给定值是随机变化量。

(3) 程序自动调节系统 程序自动调节系统的给定值也是经常改变的，但它与随动调节系统的差别在于，程序调节系统的给定值是已知的时间函数关系，程序调节是严格按程序来进行的。例如某些化学选矿作业，在不同的时刻要求不同温度的自动调节等。

2. 按调节系统的结构分类

(1) 开环调节系统 是指调节系统的输出量对系统的调节作用没有影响的系统。如

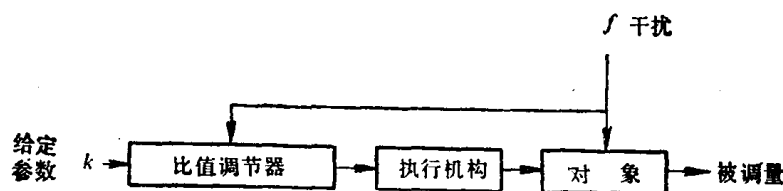


图 1-4 开环调节系统方框图

图1-4所示, 这个调节系统没有闭合的信号传递回路, 亦即被调量的变化不进行反馈。调节器只按给定参数 k 的变化和干扰作用 f 发布调节指令, 指挥执行机构对调节变量进行调整, 以补偿干扰作用对被调量的影响。开环调节系统对调节的结果是否符合所期望的数值, 既不能自动检查, 也无法予以纠正, 所以调节精度一般不高, 只适用于对被调量没有严格要求的场合。

(2) 闭环调节系统 是指调节系统的输出量对系统的调节作用有直接影响的系统, 所以闭环调节系统必然是反馈调节系统。这种调节系统的特点, 是利用输出量与给定值的偏差来进行调节, 使系统的输出量趋于所希望的数值。图1-5为闭环调节系统方框图, 被调

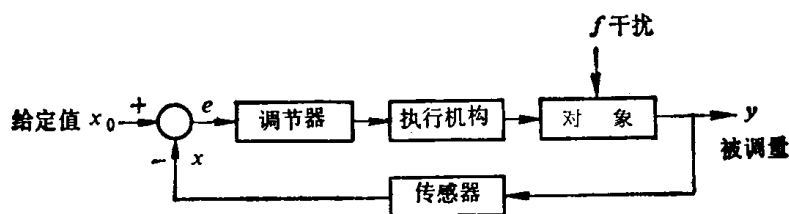


图 1-5 闭环调节系统方框图

量变化信号以反馈方式送到调节器的输入端, 并与给定值信号 x_0 进行比较而产生偏差信号, 这个偏差信号即作为调节的依据。只要被调量不等于给定值, 调节作用就一直进行下去, 直到该偏差值小到允许范围。所以闭环调节系统的调节精度较高。其缺点是当调节系统受到扰动作用时, 不能立即动作, 只有在被调量与给定值出现偏差后才开始调节, 这样, 对有较大滞后的调节对象来说, 被调量会出现较大的动态偏差。

3. 按调节系统闭环回路的数目分类

(1) 简单调节系统 只有一个被调量反馈到调节器输入端形成的一个闭合回路的调节系统, 亦称单回路调节系统。

(2) 多回路调节系统 除有一个被调量反馈到调节器输入端外, 还有另外的辅助被调量, 间接或直接地反馈到调节器输入端, 形成两个以上的闭合回路的调节系统。这种系统中, 调节器与对象之间只有一个执行机构(参见第八章第三节串级调节系统)。

4. 按调节系统的动态特性分类

(1) 线性调节系统 是指动态特性可用线性微分方程描述的调节系统。这种系统动态特性的各个参数是恒定的, 或在系统工作条件下可近似看作是恒定的。线性调节系统的一个重要性质是在几个扰动同时作用于系统时, 其总效果等于每个扰动单独作用时的效果之和, 这就是线性调节系统的叠加原理。本书将着重介绍线性调节系统。

(2) 非线性调节系统 动态特性参数中至少有一个不能保持恒定, 需随着系统的被调量的变化而变化的调节系统。这种系统的动态特性只能用非线性微分方程来描述。非线性调节系统是不适用叠加原理的, 故较难研究。

实际生产过程中, 绝大多数调节对象和调节设备, 多少都含有一些非线性因素, 如不同负荷下对象特性的偏移, 调节器的不灵敏区, 执行机构的滞后等等。在研究分析调节系统时, 如果这些非线性因素影响较小, 则可忽略不计, 而近似视为线性系统。

5. 按调节动作和时间关系分类

(1) 连续调节系统 系统各个环节的输出是其输入的连续函数的调节系统。目前广

泛应用的DDZ型电动单元组合仪表就属于连续调节仪表,仪表在工作中始终有输出信号,用这种调节仪表组成的系统即是连续调节系统。

(2) 断续调节系统 即采样控制系统。其特点是系统的某一部分的信号传递,不是以连续模拟量形式进行,而是以脉冲或数字序列形式进行的。用控制计算机或直接数字控制仪组成的采样、调节系统就属断续调节系统。

(3) 适应式调节系统 是指系统本身对参数和环境的变化具有一定适应能力的调节系统。即系统本身随着环境条件或结构的不可预计的变化,能自行调整或修改系统的可调变量(通常是调节器参数)。具有适应能力的调节系统,能连续自动地测量对象的动态特性,并与希望的动态特性进行比较,利用其差值来改变调节器的参数或产生一个调节信号,从而保证:不论环境如何变化。系统的性能都处于最佳的状态。

上述各类调节系统中,最基本的、目前生产中应用最广的是线性、闭环、定值调节系统。本课程主要讲述这类调节系统。

第三节 自动调节系统的调节质量标准

调节系统过渡过程(亦称调节过程)是指在扰动变化下(或给定值变化下)被调量偏离给定值后,在自动调节作用下又恢复到给定值(或跟随到新的给定值)的变化过程。简而言之,过渡过程是指被调量从一个平衡状态过渡到另一个平衡状态的过程。

一个调节系统的好坏,可通过对调节过程的质量分析来评价。衡量自动调节系统质量的标准有静态和动态两个方面。

(1) 调节系统的动态 调节系统从扰动的发生,经过调节,到系统重新建立平衡的这段时间中,整个系统的各个环节和有关参数、变量都处于变动状态之中,这种状态就称动态。自动调节系统的动态质量标准是指调节过程的稳定性和过渡过程的品质,可用衰减度、超调量、过渡过程时间(调节时间)等来衡量。

(2) 调节系统的静态 自动调节系统的静态,是指生产过程处于稳定时(没有外界干扰或干扰影响已被克服时)的状态,此时因被调量不发生变化,所以自动调节系统中各仪表设备的信号也保持常数不变。所以静态是指各参数、变量(或信号)的变化率为零时的状态。系统的静态质量标准用过渡过程的余差来表示。

调节系统的稳定性及质量标准如下:

(1) 调节系统的稳定性 干扰影响被克服后,系统能恢复到原来平衡状态(或新的平衡状态),则此系统是稳定的。否则是不稳定的。当系统受到突变的、恒定的干扰(称阶跃干扰)后,被调量在调节(过渡)过程中可能有下述几种变化情况。

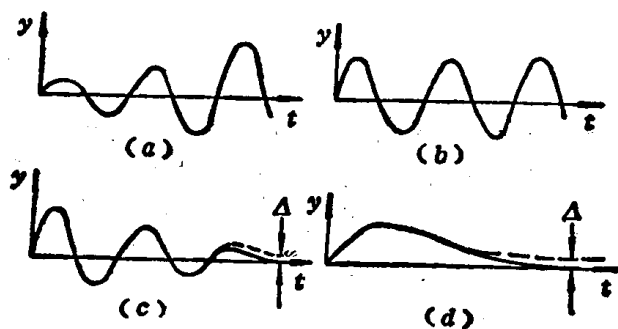


图 1-6 各种过渡过程曲线

1) 当扰动消除后, 被调量偏离给定值越来越大, 过渡过程曲线呈发散状态, 如图1-6(a)所示。这种系统最后以出事故告终, 是不稳定系统。

2) 扰动消除后, 被调量围绕给定值做等幅振荡, 如图1-6(b)所示。这也是不稳定系统, 通常不采用。这种等幅振荡系统只在工艺过程允许被调量在小范围内振荡时, 才可采用。

3) 被调量在一开始偏离给定值比较大, 经过二、三个周期振荡后, 就稳定在给定值, 如图1-6(c)所示。这是稳定系统的过渡过程。

4) 被调量没有反复的振荡, 但要经过较长的时间后才稳定到给定值。这是非振荡的过渡过程, 如图1-6(d)所示。一般不希望有这种过程, 但如工艺过程不允许被调量作振荡时, 也可采用这种系统。

5) 如图1-6(c)、(d)虚线所示, 过程被调量最后不回到给定值, 而是稳定在一个与给定值有一定偏差的值上, 这是有余差的系统, 也是稳定系统。当生产过程允许存在一定余差时, 可采用这种系统。

(2) 过渡过程的质量指标 以上介绍的是五种典型的调节(过渡)过程。为判断实际过程调节质量的好坏, 还要借助于过渡过程的动态和静态质量标准。

1) 过渡过程时间 t_s 指系统的输入阶跃变化后, 被调量从原平衡状态到新的平衡状态所经历的时间, 即过渡过程的持续时间(见图1-7(a)、(b))。一般当过渡过程的被调量

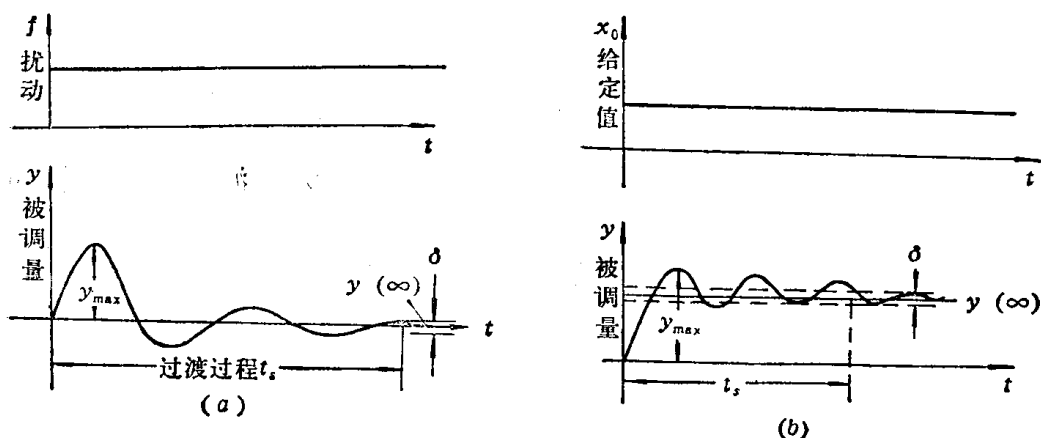


图 1-7 阶跃作用下的过渡过程

$y(t)$ 与其稳态值 $y(\infty)$ 之差达到允许的调节误差 δ , 且再也不超过 δ 时, 即认为过渡过程结束。过渡过程时间, 就是满足下列不等式的最短时间

$$|y(t) - y(\infty)| \leq \delta$$

一般取 $\delta = 2-5\% y(\infty)$ 。

t_s 描述调节系统调节过程的快速性, 即系统恢复原值或跟随给定值的速度。

2) 超调量 σ 是在阶跃给定信号作用下, 被调量最大偏差值 $y_{\max} - y(\infty)$ 与稳态值 $y(\infty)$ 之比, 一般用百分比表示

$$\sigma = \frac{y_{\max} - y(\infty)}{y(\infty)} \times 100\%$$

超调量 σ 表示系统产生过调现象的严重程度。

3) 衰减度 ψ 用于描述过渡过程振荡衰减的速度, 其定义为

$$\psi = \frac{y_{\max} - y_1}{y_{\max}}$$

y_1 为出现 $y_{\max}$ 一个周期后, 被调量 $y(t)$ 的数值。显然若 $y_1 \ll y_{\max}$, 则表示衰减快, ψ 相当于经过一个周期后衰减的百分比, 它反应了系统稳定性能的好坏, 一般要求 $\psi = 0.9$ 或 0.75 , 即 $y_1/y_{\max} = 1/10$ 或 $1/4$ 。

4) 余差 (静差) Δ 是指过渡过程结束后, 所剩余的偏差。对于定值调节系统来说, 余差是指在扰动作用下, 在过渡过程终了时, 被调量偏离给定值的量 (见图1-6(c)和(d))。对随动调节系统来说, 余差是指在改变给定值后, 在过渡过程终了时, 被调量偏离新给定值的量。余差表示调节系统的精确度 (静态准确度)。

第二章 选矿过程控制常用传感器原理

在自动控制中,对被调量,控制变量等有关参数的测量是非常重要的,参数的检测是自动调节系统的眼睛。如第一章所述,对有关参数的测量往往是由电动传感器来完成的,传感器由敏感元件和变送器组成,前者的作用是把各种非电量的信号变为电信号,后者的作用是把非标准的电信号变为标准的电信号。相对而言,前者的种类繁多,后者种类较少。本章着重介绍前者。

选矿过程自动调节系统中的被调量及调节变量有:矿仓的料位,矿浆、液体的液位,固体物料的流通量,矿浆、液体的流量,矿石的块度,矿浆中矿砂的粒度,矿浆密度,矿石中金属的含量,矿浆pH值,矿浆中有关离子的成分,压力,温度,原矿及滤饼的水分,充气量,真空度等。

目前用于物位测量的方法有浮力法、静压法、电容法、放射性同位素法、超声法、激光法及微波法等。

对于固体物料重量的测量,过去用得较多的是仿苏LT型机械皮带称。近几年来电子皮带称的使用愈来愈广泛。根据压头的不同,电子皮带称分压电式、压磁式、位移式及应变电阻式等。我国目前用得较多的是应变电阻式电子皮带称。

流量的测量方法有容积式法、流体动压能法和静压能法、流体动压法、流体面积改变法、流体离心力法、电磁感应法及超声法等。

目前国内外对矿浆流量的检测,大都采用电磁流量计,在某些场合,也使用堰式流量计。对液体流量的测量常用差压式流量计、靶式流量计、超声流量计、冲击式流量计等。对气体流量的测量,可用浮子流量计、压差式流量计等。

关于粒度的测量,目前国际上用于在线控制的粒度分析装置有超声粒度分析仪,激光粒度分析仪, γ 射线粒度分析仪等。其中美国制造的PSM型超声粒度仪得到较广泛的应用。

在选矿生产过程中,矿浆密度的测量方法有浮力法、差压法、液体静压法、称重法、同位素法等。

选矿过程矿浆成分的在线分析很重要,目前世界上用得较多的是X射线荧光波长色散法和能量色散法。

pH值测量在浮选过程也很重要,在某些场合还是个关键性参数。在pH值1~10的范围内,可用玻璃电极作指示电极。只有特殊玻璃电极才能准确地测定11~12的pH值。在pH值大于10时,可采用铈电极作指示电极,但铈电极往往受一些干扰离子的影响,需预先找出干扰规律,采取克服措施。

浮选矿浆中,有关剩余离子浓度的测量和控制也是目前浮选过程控制研究中的一个课题,常用电位法、光电比色法和分光光度法进行测量。

对原矿及滤饼水分的测量,可采用中子测水仪和红外线测湿仪两种方法来测量。

选矿厂温度的测量和控制主要是在加温浮选、干燥窑控温及马达温度监督等方面,常使用热膨胀温度计、热电阻温度计及热电效应温度计等。