

〔苏联〕B.Γ.薩瓦斯捷耶夫 著

楊 仲 平 譯

矿山自动学及远动学

中国工业出版社

矿山自动学及远动学

〔苏联〕B.Γ.薩瓦斯捷耶夫 著

楊 仲 平 譯

中国工业出版社

书中叙述了自动及远动系统的基本概念、定义及元件，线性自动调节系统及有迟滞系统的理论，非线性系统稳定性分析方法和过渡过程。此外，还简要地叙述了远动学，为煤矿设计的远动系统，应用放射线的远距离监督，矿井提升、挖掘机、排水及通风设备自动学，列举了计算矿井自动系统的大量例题。

本书供矿业高等院校机电专业的学生、采矿工业的机电工程技术人員使用。

В. Г. Савастеев

РУДНИЧНАЯ АВТОМАТИКА И ТЕЛЕМЕХАНИКА

УГЛЕТЕХИЗДАТ Москва 1958

* * *
矿山自动学及远动学
楊 仲 平 譯

煤炭工业部书刊編輯室編輯 (北京长安街煤炭工业部大楼)

中国工业出版社出版 (北京后门大街10号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第111号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*
开本 $850 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $13^{1/8}$ ·插頁4·字数323,000

1965年6月北京第一版·1965年6月北京第一次印刷

印数0001—1,860·定价(科五)1.70元

*
統一书号: 15165·3851(煤炭-278)

前 言

本书是根据矿业学院机电专业课程“矿山自动学及远动学”教学大纲而编写的。

采煤及掘进机械的自动学以及工艺监督上所用的主要器械，均在有关课程中叙述，所以本书就没有包括这些内容。

本书的基础是作者在莫斯科矿业学院多次讲授过的讲课提纲，以及对“国立煤矿自动化”设计院工程师们所作的讲授稿。

在编写本书时，作者遵循的方针是，任何自动系统的工作质量，不仅决定于原理图的设计质量和器械工作的可靠性，而且也 and 系统参量的正确选择有关。

前九章讲述自动学和远动学一般问题，后三章直接研究矿山设备自动学。但在前九章中，几乎每章都有相当数量的矿山自动学实际例题。

第二章及第十一章是由技术科学副博士、M.C.捷尔-穆希塔罗夫副教授在作者指导下写成的。

在叙述材料时，作者使用了文献中最通用的术语。

作者将感激地接受读者所提出的使本书改善的一切意见。

作者向对手稿提出一系列宝贵意见的 C.A.阿拉托采夫教授，B.И.貝契可夫，A.E.馬克西莫夫，Г.И.波克罗夫斯基及 H.A.菲利莫諾夫副教授等，以及在手稿整理上给予极大帮助的 H.Г.薩瓦斯捷也娃致謝。

目 录

前 言

第 一 章	自动学与远动学的基本概念和定义	1
§ 1	自动装置的任务	1
§ 2	自动调节系统的概念	1
§ 3	作用的分类	3
§ 4	开环和闭环自动控制系统	4
§ 5	自动调节系统基本元件的分类	7
§ 6	自动调节系统的各种类型	8
§ 7	远动学概念及定义	9
第 二 章	自动及远动系统的元件	12
§ 1	发送器	12
§ 2	放大器和伺服电机	21
§ 3	锁定器	31
§ 4	分配器	33
§ 5	脉冲发生器	34
第 三 章	自动调节系统的主要调节作用和环节	40
§ 1	自动调节系统的主要调节作用	40
§ 2	拉氏变换基础	44
§ 3	自动调节系统的典型环节及其过渡过程, 传递函数 与频率特性	62
第 四 章	主要的自动调节系统及微分方程的建立	85
§ 1	主要的自动调节系统及其结构图	85
§ 2	自动调节系统微分方程式的建立	94
§ 3	有静差自动调节系统微分方程式的建立	100
§ 4	自动调节系统的传递函数	106
§ 5	结构图的变换	111
第 五 章	线性自动调节系统的稳定性	113
§ 1	稳定性一般概念、定义及条件	113
§ 2	饒斯-霍維茨稳定判据	118

§ 3	A. B. 米哈依洛夫稳定判据	124
§ 4	奈魁斯特-米哈依洛夫频率稳定判据	131
§ 5	按倒幅相特性分析稳定性	144
§ 6	按对数或一般比例尺繪制的幅相特性稳定性分析	145
§ 7	用 Π 域划分法分析稳定性	150
§ 8	有时滞的系统稳定性分析	155
§ 9	系统的临界传递系数	159
§ 10	结构稳定系统及结构不稳定系统	161
第 六 章	校正装置	164
§ 1	并联校正装置	164
§ 2	串联校正装置	175
§ 3	并联和串联校正装置的比較	182
第 七 章	调节过程的品质	185
§ 1	一般概念	185
§ 2	调节品质分析方法及其比較	186
§ 3	过渡过程和闭环系统频率特性间的关系	190
§ 4	闭环系统的传递函数及频率特性	192
§ 5	过渡函数与过渡过程误差频率特性的关系	201
§ 6	按实频特性 $R(\omega)$ 形状评价调节过程品质的近似法	204
§ 7	按实频特性 $R(\omega)$ 近似繪制过渡过程曲线 $x(t)$ 的方法	208
第 八 章	非綫性自动调节系统	215
§ 1	一般概念及定义	215
§ 2	非线性元件的复传递系数	217
§ 3	带非线性元件的调节系统方程式	223
§ 4	非线性自动调节系统自持振荡的稳定性	224
§ 5	繪制线性及非线性系统过渡过程的 Π, A . 巴什基洛夫 图解分析法	226
第 九 章	远动学	240
§ 1	一般概念	240
§ 2	遙測原理	244
§ 3	多通路远动系统	248
§ 4	单通路远动系统	251
§ 5	电气通訊导线	252
§ 6	为煤矿設計的調度遙訊系統例子	255

VI

第十章 矿井提升设备自动学	270
§ 1 一般概念	270
§ 2 直流电动机提升自动系统线路图说明 (带交轴磁场 ΘMY 的 Γ - Π 系统)	272
§ 3 带交轴磁场 ΘMY 的系统之静特性计算	278
§ 4 系统参数的确定	287
§ 5 稳定性分析	290
§ 6 带交轴磁场 ΘMY 的 Γ - Π 系统调节过程质量分析	295
§ 7 提升自动系统线路图一些设计方案 (带交轴磁场 ΘMY 的 Γ - Π 系统)	303
§ 8 带临界自激 ΘMY 的 Γ - Π 提升自动系统线路图	306
§ 9 带离子整流器的矿井提升自动系统	308
§ 10 带交流感应电动机的提升自动系统	313
§ 11 闭环系统计算	329
第十一章 单斗挖掘机的自动学	345
§ 1 一般概念	345
§ 2 单斗挖掘机的交流拖动控制系统	346
§ 3 带三绕组发电机的 Γ - Π 系统	348
§ 4 带交轴磁场电机放大机的 Γ - Π 系统	349
§ 5 动态方程式的建立及系统稳定性分析	357
§ 6 应用磁放大器的挖掘机自动系统	361
第十二章 矿井排水及通风设备自动学	364
矿井排水自动学	364
§ 1 一般概念	364
§ 2 水泵机组的起动	364
§ 3 自动化机组的充水	365
§ 4 自动排水设备 ABH-1	366
§ 5 自动排水设备 ABB-3	373
§ 6 自动排水设备 ABB-36	384
矿井主通风设备自动学	387
§ 7 一般概念	387
§ 8 远距离监督负压、流量及轴承温度	388
§ 9 反风绞车的控制	391
§ 10 换风绞车、通风机拖动装置的控制及通风机事故停车的监督	392

§ 11 通风机事故停車之監督	395
§ 12 同步电动机的控制	396
附录 1 模拟原理	398
附录 2 梯形用 h 函数表	405
参考文献	409

第一章 自动学与远动学的基本概念和定义

§ 1. 自动装置的任务

长期以来，在用机械代替手工劳动的过程中，两类机械（工具机和原动机）得到了发展。这时人需要进行控制这些机械的复杂而疲劳的操作。

技术发展的下一阶段是创造第三类机械——控制机，用来自动控制工具机和原动机组，而把人从操作任务中解放出来，这时人的作用只在于观察自动装置的动作状况。

被自动控制的工作机械或原动机称为控制对象。控制机和控制对象一起被称为自动控制系统或自动系统。

§ 2. 自动调节系统的概念

一切物理过程均可由某些量加以描述，例如转动速度、移动速度、轴上力矩、温度、发电机端点电压等等。根据具体条件，这些量或者保持常数，或者随着某种和外界条件无关的规律而改变。这些量称为被调量，而具有一个或数个须调节的量的对象称为调节对象。

以给定的准确度自动维持被调量不变或令其按某种规律改变的装置，称为自动调节器。

某些选矿工艺过程需要保持溶液中碱离子数量不变，汽轮机和水轮机当轴上阻力矩在容许范围内摆动时需以一定准确度维持转速不变等等。电动机、汽轮机和水轮机的转速由于外界负荷摆动而引起与给定值之间有偏差，在没有调节器时，往往是由于调节对象的自然机械特性相对过软。例如，直流他激电动机的机械特性形式为：

$$n = n_0 - \frac{I_a R}{c_e \Phi}$$

式中 n ——轉速；

n_0 ——临界轉速；

$\frac{I_a R}{c_e \Phi}$ ——負荷引起的与速度給定值之間的偏差。

某些調节对象具有自平衡的性质。

不依賴調节器的帮助，电动机当負載在容許範圍內自由变动时具有运行于新稳定状态的能力，这种能力称为自平衡作用。

自平衡的措施之一是提高調节对象机械特性的硬度^①。

具有很“軟”的机械特性的調节对象（蒸汽机，直流串激电动机等）实际上沒有自平衡能力，如果沒有調节器，則在負荷变动时不能保証轉速不变。在稳定状态下調节器的任务是提高調节对象静态机械特性的硬度，并按給定准确度保持被調量不变。

調节器和調节对象总和体称为自动調节系統（俄文簡写 САП）。

当輸入量不变时，保持被調量为恒定（按給定准确度）的自动調节系統称为鎮定系統。例如，自动保持汽輪机、水輪机、柴油机等机軸轉速恒定的系統均为鎮定系統。

有时調节对象的工作状态要求某些量按照一定規律改变数值。例如，矿井提升机的工作状态要求速度以時間或行程为函数按梯形或較复杂規律变化。

如果輸入量按給定規律变化，則調节器的任务归結于保証对象之被調量（以給定的准确度）也按輸入量变化規律变化，并与外界干扰作用无关。

輸入量按一定的（已知的）規律变化的自动調节系統称为程序控制系統。

如果輸入量的变化規律事先不确定（未知），被調量追随輸

① 原文无“提高”二字——譯注。

入量而变化的自动调节系统称为随动系统。

例如，在系统正常工作状态下（见图2）， $U_y = \text{const}$ ，系统的任务是保持电动机端点上电压不变，则为镇定系统。如果 U_y 按事先给定规律变化，则为程序控制系统。如果 U_y 的变化规律不由系统本身过程决定，事先未知且为任意的，则为随动系统。

§ 3. 作用的分类

被调量是许多变量的函数，这些变量称为作用。例如，直流他激电动机的转速依赖于外施电压的数值及符号、激磁绕组激磁力的数值及符号、磁路饱和程度、电动机轴上负载力矩数值及符号、电枢回路电阻及其他等等。

作用可分类为控制作用、扰动作用和调节作用。

由外部向系统输入端施加的作用，借助这种作用实现对自动调节系统的控制的，称为控制作用。

在生产过程进行中自动调节系统工作时变化之作用，破坏了控制作用和被调变量间的函数关系，称为扰动作用。

扰动作用也可再分为基本扰动作用及干扰。

对被调量的变化影响很大并很易测量的扰动作用称为基本扰动作用[26]。属于这一类的首先是静负载，直接作用于调节对象。

很难加以测量并对被调量变化影响比较弱的各种扰动作用称为干扰。属于干扰的有：在联轴节、减速器、轴及其他元件处的活动间隙和弹性变形；由于导电部分温度摆动以及系统某些元件的非线性而引起系统参数（时间常数）的某些变化；漏水或漏气等等。

设有一直流他激电动机调速系统（见图64）。该系统的扰动作用为电动机轴上阻力矩。阻力矩增加将引起电流的增加并使被调量——转速降低。在此系统中发电机的电势为调节作用。当调节器断开时，调节作用保持不变，但原先转速值不能恢复了。当接入调节器后，调节器使调节作用提高到对象之被调量（电动机

轉速) 恢复为原先值时为止。

控制作用和扰动作用都是外部的。

調節作用是由系統內部產生的。

在控制作用和扰动作用間有本质上的区别, 自动調節系統應該按不同方式对待它們; 控制作用應該決定被調量的变化; 相反, 应使扰动作用尽可能少地影响被調量的变化。

此外, 控制作用 $f(t)$ 常常施加在系統輸入端的比較元件上; 相反扰动可能施加于系統的任何一点。

§ 4. 开环和閉环自动控制系统

現有开环和閉环两种自动控制系统。开环自动控制系统如图 1 所示。假定控制电位器 r 的滑鍵是自动移动的, 例如可以利用提升机的突块装置来带动, 以便得到电动机計算負荷 (扰动作用) 下的給定轉速变化規律。

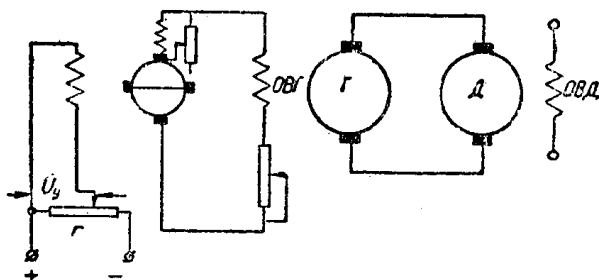


图 1 开环自动控制系统

当扰动作用变化时, 由于靜态机械特性相对“軟”, 实际速度偏离了給定值, 而且只要扰动作用不等于計算值, 就不能自动回到給定值上来。

在开环系統中, 系統輸出端和輸入端間沒有联系。因此它不屬於自动調節系統。

补偿仅由发电机电枢电流引起的电压降的綫路 (見图43, a 及 b), 只对发电机电枢电流的变化有反应, 而对其他种类的扰动沒有反应。这种系統称为补偿系統或补偿型平衡器。系統是按閉

回路工作的，但被調量和系統輸入端并无联系。

在閉环自动控制系统中，輸出量是和它的輸入端有联系的（图 2）。

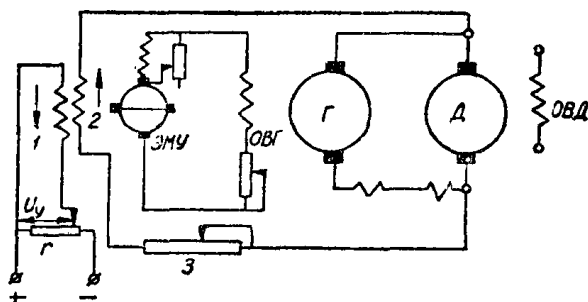


图 2 閉环自动控制系统

这一系統的輸入量是控制作用（控制电压） U_v ，电压加在放大机 ГМУ 的控制繞組 1 上，借助电位計 r 可加改变。系統輸出量（被調量）为电动机端点电压。輸出量也加到系統的輸入端，即加到与 ГМУ 控制繞組 1 对接的控制繞組 2 上。扰动作用的增加引起对象（电动机）所需电流的增加以及被調量（电动机端点电压）的降低，这是因为 Γ - Π 主回路电压損失增加，結果也降低了轉速。随着被調量的减小，繞組 2 端点电压、电流及其激磁力均降低。当控制繞組 1 的激磁力数值不变时，总激磁力（安匝）增大，于是发电机的 ГМУ 的电势又增加，趋使被調量返回給定值。因此閉环系統是自动調節系統。然而由于存在扰动，被調量实际值往往不同于給定值。被調量給定值和实际值之間的差值称为誤差。

在指定瞬間被調量值和选取作为計算起点的某固定值之間的差值称为被調量的偏差（例如可取开始研究过程时 $t = 0$ 之值作为計算起点）。在任一时刻被調量給定值完全决定于（在一定比例尺时）控制作用。图 3 表示以時間为函数的控制作用 $f(t)$ ，被調量实际值 $x(t)$ 以及誤差 $\varepsilon(t)$ [62]。

由图 3 可見，当 $f(t)$ 无限增长时，偏差 $x(t)$ 也无限增长，而同时誤差 $\varepsilon(t)$ 在一切可滿意工作的系統內維持有限值。

檢波性质是閉环自动調节系統的基础。它的意义是，系統輸入端所得到的控制信号和誤差信号只能沿調节回路单方向通过：

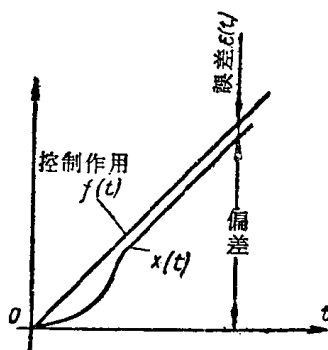


图 3 誤差和偏差

比較元件——放大器——执行机构（在其中轉換为調节作用）——調节对象。作为系統比較元件的可认为繞組 1 及 2（见图 2）；放大器是 ΘMY ，执行机构是发电机，調节对象是电动机。

放大器对比較元件（繞組 1 及 2）的反作用以及发电机对其激磁繞組的反作用被化为烏有，因为 ΘMY 和发电机均有补偿繞

組。

自动調节系統在过渡过程中起作用，因为它们对控制作用或扰动作用有反应。系統由某一稳定状态过渡到另一稳定状态的过程称为过渡过程或动态过程。可用綫性微分方程描述的系統称为綫性系統，而用非綫性微分方程描述的系統称为非綫性系統。

如果所有参量均为常数，則称系統为带常参量的綫性系統。

如果某些参量是時間的給定函数，則称系統为带变参量的綫性系統。

所有綫性系統的一个重要性质是：如果同时有数个作用施加于系統，則其总效果等于每一作用引起效果之和。这个由不同作用引起个别效果相加的原則称为迭加原理。

系統中只有一个参量不保持恒值，而是随表示系統行为变量的变化而改变，則称为非綫性系統。

这样一来，人們把有方向性作用的閉环动态系統称为自动調节系統。

§ 5. 自动调节系统基本元件的分类

通常自动调节系统是由下列基本元件组成的（图 4）：

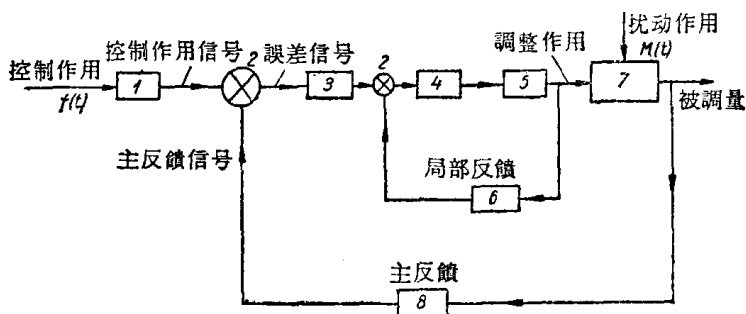


图 4 自动调节系统的基本元件

- 1) 控制元件或称给定元件 1，作用是产生有用的输入信号（控制量）；
- 2) 主反馈元件 8，产生之信号与被调变量成比例；
- 3) 比较元件 2，它在比较输入信号和主反馈信号的基础上，发出原始控制信号或称误差信号；
- 4) 串联变换元件或称校正元件 3，用来把原始控制信号加以适当变换，使系统具有所需动态性质；
- 5) 放大元件 4，它可将串联校正装置输出端所产生的控制信号加以放大；
- 6) 执行元件 5，产生调节作用，加到调节对象上；
- 7) 并联校正元件 6，用于使系统具有所需动态性质；
- 8) 调节对象 7。

为了说明调节系统基本元件上述分类法，我们研究图 2 所示的系统。其中控制元件为电位计 r ，它产生的输入信号是由电位计上引出的电压。

电阻 3 为主反馈元件。调速时此处加入了测量元件，例如测速发电机。在所研究的线路中，绕组 1 及 2 起比较元件的作用。没有串联变换元件或称校正元件。放大元件是 θMY ，供电给发电

机激磁繞組 *OBΓ*。发电机可认为是执行机构，它所产生的調节作用是发电机电枢回路电压。系統中沒有并联校正元件，調节对象是电动机。

§ 6. 自动調节系統的各种类型

A. 連續、斷續、脉冲与继电調节系統

連續調节系統 如果在調节过程中，每一元件的輸入量与輸出量之間存在着連續的函数关系，并且所有元件的結構和关系保持不变，則称此系統为連續調节系統。因此，每一元件輸出量为其輸入量及時間的連續函数。图 2 的綫路可以作为連續作用系統的例子。

斷續調节系統 如果在調节过程中，經過間断的时间，結構产生突变的，則称此系統为斷續調节系統（通常回路的断开及閉合即是）。

斷續調节的原理一般采用于緩慢进行的过程中（工业用炉的溫度，汽鍋中溫度及压力，等等）。

脉冲系統 是一种自动調节系統，其中某一元件的輸出量为一串脉冲，它們的幅值、历时长短或重复頻率决定于該元件在某一时刻（間断的）的輸入量的值。

继电自动調节系統 某一元件的輸出量保持不变，不随輸入量的数值变化，但它的符号决定于輸入量的符号。調节液面的无差系統（見图 65）可作为继电系統的例子。

B. 直接作用与間接作用系統

按照綫路中有无放大器，自动調节系統可分为直接作用式和間接作用式。

直接作用式調节系統 不含放大器的系統。这种系統測量元件的功率直接用来轉換执行机构。直接作用系統不需輔助能源，但其特点是調节准确度小。离心式速度調节器屬於此类。

間接作用式調節系統 包含由外部能源供給的放大器的系統。此處測量元件的功率可能相當小，而調節則較準確。間接作用的例子見圖 2 系統。

B. 單環和多環的自動調節系統[13, 62]

一切自動調節系統總至少有一個反饋，用來比被調量的實際值與給定值。這種反饋稱為主反饋。

具有一個被調量的自動調節系統，僅有一個主反饋而沒有並聯反饋的，稱為單環系統（見圖 64, 6）。

除了一個主反饋外，還有一個或多個主反饋或局部反饋的系統，稱為多環系統（見圖 4）。

§ 7. 運動學概念及定義

A. 遠程控制的概念

所謂遠程控制，是指控制機構和被控對象相互隔開一定距離的一種控制方式。

遠程控制可以再分為遠距離控制（400~1000 米）和遙控（達數百公里）兩種。

近代自動系統常常是很複雜的，需要控制或監督不僅一個而是數個不同信號，這些信號往往必須同時傳送。

如果傳送每一信號都使用單獨的通路，則系統將是複雜而昂貴的。因此在近代工程中採用了允許在一條通路上传送大量信號的裝置。

連絡通路可以採用實線通路及無線通路，即無線電通路。

B. 遠距離控制及監督的概念

進行遠距離控制時，每個控制機構均沿單獨的通路对被控對象發生作用（圖 5, α ）。對於每一被控對象必須有單獨的控制機構。