

# 工程控制

苏联Л. И. 克拉兹密尔著

仁平 高煜 译

人民邮电出版社



苏联  
业余无线电  
爱好者

Л. П. КРАЙЗМЕР  
ТЕХНИЧЕСКАЯ  
КИБЕРНЕТИКА  
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ 1958

內 容 提 要

在这本小册子中，通俗地叙述一般控制原理的科学——控制論——的基本概念，介紹信息論，自动調整和电子計算机的基礎知識，討論电子計算机可能完成的邏輯功能，并說明了在自动控制，計算和策划方面，以及在模拟生物机体中机能过程方面控制技术的許多实际应用。

这本小册子供有一定基礎的无綫电爱好者，以及熟悉无綫电电子学和对控制問題感兴趣的大多数讀者閱讀。理解本书內容只要有一般的中学水平就可以了。

工 程 控 制

著 者: 苏联 Л. П. 克 拉 茲 密 尔  
譯 者: 仁 平 高 煜  
出版者: 人 民 邮 电 出 版 社  
北 京 东 四 六 條 13 号  
(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇四八号)  
印刷者: 邮 电 部 北 京 邮 票 厂  
发行者: 新 华 书 店

開本 787×1092 1/32  
印張 2 12/32 頁數 38  
印刷字數 56,000 字

1959年11月北 京 第 一 版  
1959年11月北京第一次印刷  
印數 1—3,500 册

統一書号: 15045·总1100—无291

定 价: (10) 0.33 元

“……加強自动快速計算机（解决复杂的数学問題用）和計算机（生产过程管理的自动化用）的設計工作与生产工作”。

（摘自苏联共产党第二十次代表大会的指示）

## 引 言

我們这一代是科学和技术飞速发展的目睹者。以前看来还是不可能实现的那些最大胆的幻想，现在都实现了。在最近三百年内，人类走过了从最简单的蒸汽机发展到原子能发动机的里程，掌握了每小时达到数千公里的超音速飞行技术。人們使巨大的河流动力为自己服务，創造出巨人般的掘土机来代替几万掘土工人的劳动。苏联人造地球卫星的发射，是向宇宙空間大进軍的开端……。

已經制造出許多能够提高人类感觉敏銳度的仪器和设备。現代的光学显微鏡和电子显微鏡使我們可以日益深入地細察物質結構的祕密。巨大的光学望远鏡和无綫电望远鏡能給我們越来越新的关于宇宙构造的更加可靠的知識。各式各样的最新測量仪器給出了比仅用自己的感官时更加精确地認識周圍世界的可能性。我們可以听到和看到在遙远的距离以外、在水里、在黑暗中、在云后、以及深藏在金属和地壳内的东西。

人类在認識自然，征服自然中，創造着日新月異的机器来減輕和代替人的体力劳动，来大大加强人的双手的力量，使人們能以巨大的速度往来行动，把人类感官的敏銳性提高到难以估量的程度，在这些方面，人类的智力是无穷无尽的。

但是直到最近以前，几乎所有最現代化的机器和设备都是用来完成极其多种多样的，然而仅仅是执行的作用。在构成这

些機器和設備的時候，總是預先考慮到由人來進行或多或少的複雜的控制。人們估量外在的情況、外在的條件，觀察正在進行的各種過程，而對機器、對車船的行駛等等加以適當的控制。直到不久以前，人腦的智力活動和心理活動的範圍以及邏輯功能還似乎是絕不可能用機械來實現的。

許多幻想小說的作者描述未來社會的生活情景時，常常這樣說，將來一切工作都要由機器代替人來完成。人的作用將變得只是監視這些機器的工作，按按操縱台上与控制某一過程有關的按鈕。實際上也正是這樣，由許多無人管理的發電站所組成的動力系統，就是由調度員從中心站用自動學和遙控力學的方法來進行控制的。在裝有集中調度設備的路段上，鐵路調度員也是用這樣的方法來管理列車的行駛。

可是現代無線電電子學發展的水平，已經有可能讓科學家和工程師們提出和解決這樣的新問題，就是製造出“會按電鈕”的設備。這些設備可以把人從不可缺少的監視和控制生產過程的工作中解脫出來，也就是說用這些設備代替機務員和調度員。已經出現了一種新的機器——控制機。它能完成各式各樣的，而且常常是極其複雜的任務，例如控制生產過程，管理車船的行駛，領航，駕駛飛機等等。製造出控制機就可以使個別的車床、機組的自動化轉變為傳送帶、車間以及整個工廠的綜合自動化。而這又為以空前速度提高勞動生產率，擴大物質福利的生產以滿足人們——共產主義社會建設者——不斷增長的需要提供了可能性。

各種控制設備的理論，更确切些說，控制（就這二字的最廣義而言）的一般數學理論，在近十年中形成了一個新的獨立的科學方向，稱為控制論（Кибернетика）。Кибернетика 這個字起源於希臘字“Кибернетес”，它的意思是“舵手”，“操縱航行

的人”。恰好拉丁字“駕駛者”也起源于这个字根。*Кибернетика* 这个字是著名的法国科学家安培在一百多年以前想出来的。在1843年出版的一本书中，他企图給各門科学作一个总的分类。在他的分类里，他把当时还不存在的关于控制的科学称为控制論。

后来这个名称被遺忘了，直到近十年以前才又重新出現。經过許多国家的科学家，其中也有俄国和苏联的科学家 *И. А. 維施涅格拉特斯基*，*A. M. 李亚普諾夫*，*A. A. 安德罗諾夫*，*B. C. 庫列巴金*，*B. A. 卡切尔尼可夫*等人多年的巨大工作以后，才为建立有关控制的一般原理的綜合科学打下了基础。作为一个新的科学方向而具有現在这种面貌的控制論，那是由著名的美国科学家，哥倫比亞大学数学教授罗伯特·維納所創定的。在第二次世界大战的年代里，維納对高射理論、火箭彈的控制、电子计算机这些問題的数学研究发生了兴趣。維納在观察了各式各样的电子控制綫路以后得出結論說，在工程設備里进行的控制和傳遞信号的过程与在生物机体內进行的这些过程，这二者之間有着本質上的相似性。为了更深入的研究这些相似性，維納轉入墨西哥城生理学院去工作。在这里使他特別感兴趣的是高級神經活动生理学的問題。

把数学、无綫电电子学和生理学这些方面的知識綜合起来的結果，就是維納所研究出的控制的一般理論。他称它为控制論，并写了两本书加以闡述。第一本书发表于1948年，书名是“控制論，或称在生物机体与机器中的控制和联系理論”；第二本书是通俗性的，在1951年出版，书名是“人对人的本質的利用”。著者在这两本书中所发展的基本观念，就是在工程設備中的控制过程与生物机体中的控制过程之間有着很大的共同性。这种共同性的存在使我們有可能在許多情况下用同一組数学方程式

来描述这些本质上不同的过程。其所以必需对工程设备与生物机体中的控制过程进行综合研究，是由于越来越广泛地在使用控制机来代替人的工作。这就要求对人的机体以及它的运用的可能性和局限性加以周密的研究，使得所创制出的控制机能够担负机务员的日益复杂的任务，而且比人执行得更快更没有差错。

# 目 录

## 引 言

### 第一章 控制論的基本觀念

1. 控制的一般原理 ..... ( 1 )
2. 自动調整..... ( 8 )
3. 信息論..... ( 11 )
4. 二进計数制..... ( 19 )

### 第二章 电子計算机

1. 计算机的一般知識..... ( 25 )
2. 触发器和它在計算技术中的应用 ..... ( 28 )
3. 存貯信息的設備..... ( 36 )
4. 运算設備..... ( 45 )
5. 輸入設備和輸出設備..... ( 47 )
6. 电子数字计算机的类型及其发展前途..... ( 48 )
7. 计算机运算程序的編制原理..... ( 51 )

### 第三章 电子计算机的应用

1. 控制机..... ( 54 )
2. 公式形式的智力劳动机械化..... ( 62 )
3. “遊嬉”机..... ( 65 )
4. “馴服”机..... ( 67 )

## 結 論

# 第一章 控制論的基本观念

## 1. 控制的一般原理

正如在引言中所說的，控制論的特征就是对工程設備中以及生物机体中的控制过程进行綜合的研究。到底是什么使我們有权可以把本質上这样互相不同的两种系統中的控制过程加以比較呢？

为了确定这种类比的可能性，讓我們来研究几个属于各种系統的控制的一般方框图。图 1 所示是非自动地控制某一对象

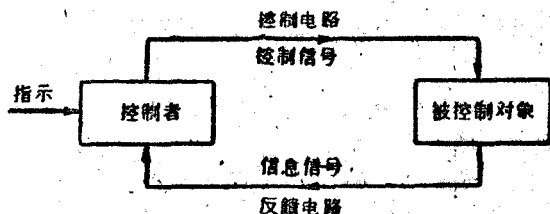


图 1. 非自动控制的方框图

(車床、傳送帶、車間、工厂、运输单位等等)的方框图，这种控制是由人(机务員、司机、調度員、車間主任——以后我們称这些人为控制者)来完成的。

控制者对控制对象的作用可以通过以下的方法来实现：机械方法，就是利用槓杆或柔性拉杆，以及水力或气力的傳动；电气方法，就是改变傳动电流和电压，或改变交流頻率，改变电脈冲組等；如果控制对象那里，例如車間、傳送帶或工厂里

有执行者，能够按照控制者的意图来控制各种机器，那末就可以通过电话或通过任何其他的路进行口头上的调度。所有以上列举的以及许多其他可能的传递控制信号的装置，形成了控制对象的线路，或者形成作用于控制对象上的直接线路。但是如果控制者不知道控制对象的情况，不能亲自或借助于仪器设备或通过执行者来定期地或不断地了解对象的实际情况和检查控制指令的执行情况，那就不可能对对象进行适当的控制，这是十分自然的。控制者应该要从所谓反馈通路里得到关于控制对象实际动态的信息，把它和所要求的工作状态进行比较，作出相应的决定，再从控制线路里发出相应的控制信号(信息)。

我们来研究几个具体的非自动控制的例子。

设机务员(控制者)的任务是使一个带动某种设备(对象)的直流电动机的转速保持恒定，如每分钟为1500转。根据说明书上的数据，只有在电源电压和励磁绕组的电流为一定值时才能得到这样的转速。

但是由于许多难以估计到的情况，例如负载的变化，轴承摩擦的变化，周围温度的变化以及由此而产生的绕组电阻的变化等等，实际的转速常常会不符合给定的数值。应该用任一种方法，例如用转速计，把这个转速测量出来，再把测出的数据告诉机务员。由仪表所测出的关于转速的数据通过反馈通路传递给机务员。这样，就知道了电动机的实际转速，例如说，是1480转/分，在脑子里拿它和给定的转速1500转/分一比较，机务员就根据操作指南和实际经验作出决定，用变阻器相应地改变励磁电流的数值。如果这样做的结果使电动机的转速超过了给定值，那末可以朝着相反的方向改变励磁电流来减低转速。

作为另一个较为复杂的例子。我们再来研究调度员(控制者)控制工厂(对象)的情况。调度员通过与他 and 车间相连接

的控制通路，向他手下的执行者发出控制的指令，同时又从反馈通路收到执行者关于車間情况、原料供应、成品出产等等的信息。調度員根据所得的信息采取某些决定，又发出各种指令（控制信号）。但是在这种間接（通过車間主任、机床、机组的操作者和其他的中間人）控制生产过程的情况下，一方面，控制信号被这些中間人誤解的可能性是增大了，但另一方面，由于中間人并不机械地完成調度員的指令，而能对它进行創造性的加工，对控制者的一般指令可以加以各种修正，因而生产过程会运行得更好一些。

图 2 所示是自动地控制某一对象的方框图。正如我們所看到的，它与前面的方框图并无区别，但是在这情况下，沒有人参加控制过程。关于被控制对象情况的信息，从被控制对象出发，利用图中未画出的测量仪器和变换装置沿着反馈綫路傳到

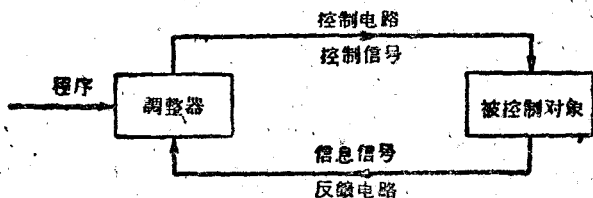


图 2. 自动控制的方框图

調整器上，再在調整器中經過整理，使調整器根据这些信息和預定程序发出控制信号，这些信号就从控制綫路傳到被控制对象上。調整的程序可能是由調整器本身結構所决定，或者如在下面第三章中将要講到的，在比較复杂的系統里，也可以从外面把調整程序引入調整器中。

我們来研究众所周知的，瓦特在1784年所发明的蒸汽机的

离心调速器（图3），作为自动调整的例子。这个系统按下面的方式工作。调速器的轴 $O_2$ 利用齿轮 $III_1$ 和 $III_2$ 与机轴 $O_1$ 相联。当

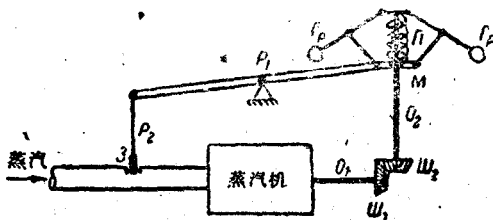


图3. 蒸汽机离心调速器的工作图

机器不转动时，调速器的杆套 $M$ 由于弹簧 $\Pi$ 的弹力而处在最低的位置。当机器的转速增大时，离心摆 $I_p$ 受离心力的作用而远离轴 $O_2$ ；弹簧 $\Pi$ 被压缩，而杆套 $M$ 上升。这时横杆 $P_1$ 和 $P_2$ 移动，阀门 $3$ 使进入汽缸的蒸汽减少，因此机器的转速就会降低。上述系统与自动控制的一般原理图（图2）完全相合，这里的被控制对象就是蒸汽机。把蒸汽机转速的信息传送给调整器的反馈通路是由系统轴 $O_1$ 、 $O_2$ 和齿轮 $III_1$ 、 $III_2$ 所组成，而控制通路则由横杆 $P_1$ 和 $P_2$ 所形成。

可见，上述系统中的两个通路纯粹是机械结构。

调整程序（给定的转速和它的偏离限度）决定于调整器本身的结构，即离心摆 $I_p$ 的重量和弹簧 $\Pi$ 的弹性，还决定于控制通路和反馈通路的特性，即横杆的力臂之比，齿轮离合器的传动比等等。在这一系统里调整器代替人完成了一个最简单的逻辑作用；这个作用可以表述如下：“如果机器的转速高了，就应该减少蒸汽的通入量；如果转速低了，就应该增大蒸汽的通入量”。

在更加复杂的现代化自动调整系统中，当被控制对象包括几个机组，或者并不是对一个参量，而是对几个参量（例如，速

度，温度，压力等等）进行控制时，照例是用电气线路来作通路的。采用电子计算机可以作为最完备的能够完成足够复杂而又多种多样的逻辑作用的调整器（参看第二、第三章）。

现在我们来研究在生物机体中起作用的控制系統。依据俄国偉大的生理学家И.П.巴甫洛夫的学說，“动物的机体这种系統，其所以能生存在周圍的自然界中，只是由于它能与外来的环境取得不断的平衡，也就是由于生物机体对外来的刺激能起一定的反应；对于較高級的生物來說，这主要是靠神經系統的反射作用来实现的，”①发生反射作用的通路在生理学中有一个名称，叫反射弧。反射弧的方框图如图4所示。組成反射弧的神

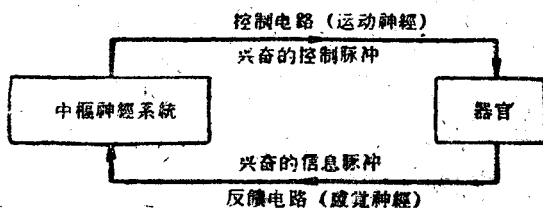


图4. 生物机体中反射弧的方框图

經路徑至少有两条：感觉神經和运动神經。这两条路徑把起調整作用的中樞神經系統（脊髓和脑髓）和生物的器官，即被控制对象联系起来。反射弧从分佈在被控器官里的感受器起始。感受器是接受感觉神經末梢的刺激。如果我们使用技术上的术语，那末感受器就是起測量仪器的作用。根据分佈的位置，感受器可分为外感受器和內感受器。外感受器分佈在皮肤、耳、眼等內，而內感受器則分佈在內脏、血管、肌肉內。感受器受

① И.П.巴甫洛夫全集，第三卷，第二册，苏联科学院1961年版，第323頁。

到各种刺激（光綫、声音、热等等）后便发生兴奋。这兴奋沿着反饋通路，也就是沿着感觉神經傳到中樞神經系統，这样就

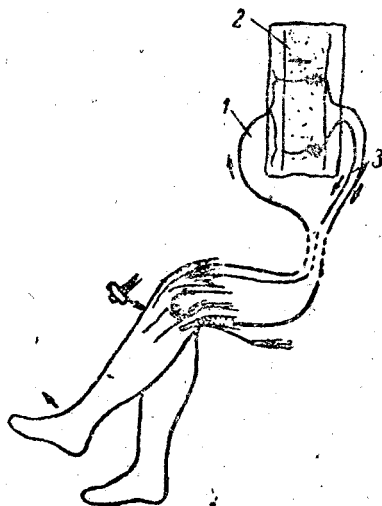


图 5. 膝蓋反射的反射弧图

1. 向心神經或感覺神經 2. 脊髓  
3. 离心神經或运动神經

把器官所受到刺激的信息傳遞給中樞神經系統。在中樞神經系統中把所收到的信息加以整理，在最簡單的情況下就是把它轉化為运动神經的兴奋。例如，在发生膝蓋的无条件反射时，也就是当我们用小錘往膝蓋骨上一敲而引起脚的上跳时（图 5），在脊髓中所发生的过程也是这样。至于在更复杂的情况下，当发生条件反射时，反射弧是通过在大脑半球皮层中形成的暂时

联系而接通的。兴奋过程从中樞神經系統沿着通路（运动神經）傳到工作器官（肌肉、腺体）而引起它們的活动。

現在我們把以上所討論的属于工程設備中非自动控制和自动控制以及生物机体中的控制的三个方框图（图 1、2 和 4）加以比較，就可以得出結論：这些方框图在結構上有着相似性，而且在不同系統中，各个类似元件之間的关系也是彼此符合的。

首先，所有以上所述的控制图的特征，就是存在一个由傳遞信号的（現在常常說为傳遞信息的）綫路所联通的閉合环路。一方面，信息以控制信号的形式从調整器經過控制綫路傳

到被控制对象，另一方面，载有关于被控制对象实际情况的信息的反馈信号，则从被控制对象经过传递线路而传到调整器。任何系统，只要它能传递信息都应该看作是传递信息的通路，如工程设备中机械的、气压的、电气的和其他通路，以及生物机体中的神经系统。

在非自动的控制系统中，控制者的作用就在于把所收到的关于被控制对象情况的信息予以整理，并研究这些信息，然后作出最好的和最恰当的对对象进行控制的决定。在自动控制的系统中，人的作用转交给调整器。调整器好像也应该根据所收到的信息采取适当的“决定”<sup>①</sup>。现在调整器应该代替人来完成一定的“逻辑”作用，这种作用可以用公式表示，“如果……，就……”（如果得到了某种信息，就应该对被控制对象施加某种作用）。生物机体的中枢神经系统器官也是起调整器的作用。

通过了对于以上列举的控制图的研究，我们可以得出如下的结论：控制论，作为控制（就这二字的广义而言）的数学理论，包括以下几个基本部分：

1. 自动调整系统的理论，而对控制论来说，就要十分注意到工程设备和生物机体中的反馈作用。

2. 信息理论，它研究在各种通路（包括生物机体的神经系统）中传递信息的问题，以及在调整器（其中有生物机体的中枢神经系统器官）中的信息交换问题。

3. 调整器的理论（就调整器能够完成一定的逻辑作用的观点而言）。实际上，现在采用快速电子计算机来作为最完善的能与人和生物机体的中枢神经系统器官的作用相比的调整

<sup>①</sup> 在这里以及在后面任何地方都应当记得，对于机器采用类似的拟人的术语，纯粹是假借，这是为了使叙述简化。实际上，就这些词的通常意义而言，当然，机器不会“采取决定”，不会“想”，也没有“记忆力”。

器。所以控制論所研究的就是电子計算机的理論，首先是电子計算机完成类似人的思維邏輯过程的理論。

控制論的数学工具是概率論、函数論和数理邏輯。

电子計算机的原理和运用将在第二和第三章中敘述。下面我們来介紹自动調整理論的初步知識和信息論的基本概念。

## 2. 自动調整

在前节中我們研究了最简单的自动調整系统的方框图。这种系統的特征在于存在一个傳遞信息的閉合环路。一般說来，在閉合环路中的自动控制就叫做自动調整。自动調整系統的功能是无需人的参与就能使各种机组或运输工具保持在給定的工作状态。这样一来，系統的控制完全能保証自动化，剩下給人的工作只是进行安装、作最初的調整和开动。甚至连开动也可以依隨一定的外在条件而自动地进行。

沿閉合环路的控制可以分为几种类型：稳定控制，随动控制和程序控制。稳定調整所应完成的任务是把过程的某一参量保持恆定。前面所述的蒸汽机离心調速器就是一个原始的稳定調整系統。稳定系統广泛地用来使速度、压力、温度、电压、电流等保持恆定。举例來說，在实际无綫电技术中，广泛地使用这样一些稳定裝置，如电源的各种穩流器和穩压器，当接收机的輸入电压有显著变化时，能使輸出电压保持相对稳定的自动增益控制，在調制設備中，当調制电压有相当大变化时，用来使調制系数保持相对稳定的壓縮器，穩頻裝置，以及其他等等。

在随动調整时，被調整参量的数值依隨其他某一参量而变化，而且这个参量或者是由外面引入的，或者是表征該过程本身所进行情况的。随动系統广泛地用来对各种对象进行远距离控制，例如，把手柄轉动某一角度就能使机軸或舵也轉动同一角

度；以及用来进行远距离测量，例如，被测对象的移动能引起测量仪表中指针的转动。其输入值和输出值是力学位移的这种随动系统，有时称为伺服机构。在实际无线电技术中使用随动系统的例子，有接收机的自动微调设备，跟踪飞机的雷达系统，以及其他等等。

程序调整是这样的系统，在这系统中，被调整参量的数值依照调整器里预先设下的程序，按时地自动进行变化。但是，即使在这种场合下，反馈的作用也未减低。因为，被控制对象对控制信号实际上起了什么反应，这仍然必须加以检查，因而就要根据调整程序和对象实际情况的信息，必需对控制信号加以修正。

在那些能代替人来控制最复杂的生产过程自动程序调整系统中，能够最有效地完成调整器的职能的是快速计算设备——

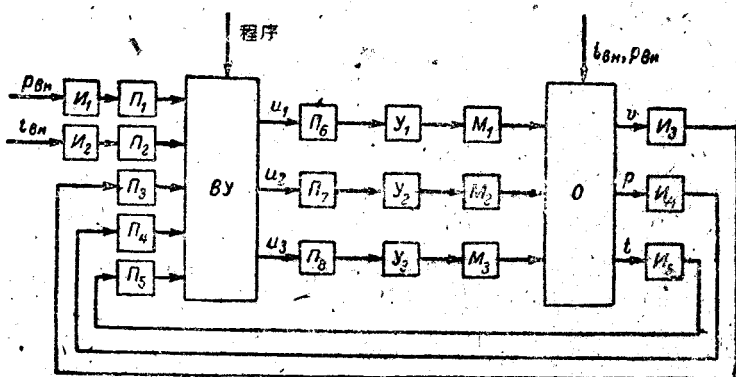


图 6. 应用计算设备的自动程序调整系统的展开方框图

电子计算机。它的作用在于计算出，应该发出什么样的控制信号，以保证过程进行得最好。以几个参量为其特征的生产过

程，其自动程序調整系統的展开方框图，如图 6 所示。

設被控制对象  $O$  的工作以下列参量为其特征：速度  $v$ ，且强  $p$  和温度  $t$ 。設这些参量由工作程序所給定的值是  $v_0$ ， $p_0$  和  $t_0$ 。最后，再設对工作过程起影响的有这些外加的数据：周围环境的温度  $t_{BH}$  和大气压强  $p_{BH}$ 。那末对该种生产过程能够完成最完善控制的邏輯作用的計算設備  $BY$  中，應該送入以下的信息。第一、應該引入由給定值  $v_0$ 、 $p_0$  和  $t_0$  所决定的工作程序。第二、在  $BY$  中还應該引入影响生产过程的外来因素  $p_{BH}$  和  $t_{BH}$  的信息。 $p_{BH}$  和  $t_{BH}$  的数值應該用測量儀器  $H_1$  和  $H_2$  測量出来，把这些讀数經過变换器  $\Pi_1$  和  $\Pi_2$  变换成适合于輸入的信号，再把它們引入到  $BY$  中。第三、在  $BY$  中还應該引入关于对象实际工作参量的数据  $v$ 、 $p$ 、 $t$ 。这些数据由測量儀器  $H_3$ 、 $H_4$  和  $H_5$  測量出来，再經過变换器  $\Pi_3$ 、 $\Pi_4$  和  $\Pi_5$  变换成适合于輸入的形式。在計算設備中对全部所收到的信息进行整理，同时把关于对象工作情况的实际数据  $v$ 、 $p$ 、 $t$  和給定值  $v_0$ 、 $p_0$ 、 $t_0$  加以比較，再考虑到外加因素  $p_{BH}$  和  $t_{BH}$ ，于是就作出控制信号  $U_1$ 、 $U_2$ 、 $U_3$ ；这些信号經過变换器  $\Pi_6$ 、 $\Pi_7$ 、 $\Pi_8$  变换成适合的形式，再由放大器  $Y_1$ 、 $Y_2$ 、 $Y_3$  加以放大，便进入到执行机构  $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$  中，执行机构便对控制对象  $O$  发生作用，这样就可使它的参量符合于給定值。

具有严格特性的上述自动調整系統比有人（机务員）参加的非自动系統有时工作的要差一些。人在必要时可以根据調整过程进行的情况改变控制的方法。

在制作电子計算机方面所取得的成就，使我們能够創制出所謂自动調整的自协调系統。在这种系統中，除了主要的控制設備以外，还有好象能对生产过程和对主要控制設備完成的自动調整作用进行“監視”的輔助控制設備。如果主要控制設備不