

高等学校教学用书

自动调整理论

苏联 K. B. 叶格洛夫著

水利电力出版社



統一書号：15143·692

定价 2.00 元

高等學校教學用書

自動調整理論

蘇聯 K. B. 叶格洛夫著

謝緒愷譯

蘇聯高等教育部申定
作為電工和動力院系的教学參考書

水利電力出版社

內 容 提 要

本書包括下列主要内容：自动調整系統的建造原理；自动調整器的組成元件的典型結構及其基本特性；在各种实际情况下所使用的富有代表性的电气量調整系統和非电量調整系統；綫性調整系統中的过渡过程的計算原理和稳定性及系統品質指标等問題的研究；計算方法以及为說明計算方法而举出的大量例題。

本書是为从事于自动学問題的大專学生和工程技术人员而写的。

К. В. ЕГОРОВ

ОСНОВЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МОСКВА

1955

自 动 調 整 理 論

根据苏联国立动力出版社1955年莫斯科版翻譯

謝 緒 愷譯

*

812D300

水利电力出版社出版(北京西郊科学路二里書)

北京市書刊出版業營業證可証出字第105号

北京市印刷一厂排印

新华書店發行

*

787×1092 $\frac{1}{16}$ 开本 * 155印張 * 347千字 * 定价(第10类)2.00元

1958年5月北京第1版

1958年5月北京第1次印刷(0001—2,800册)

原 序

本書專門討論关于一个参数的綫性自动調整系統，是作者多年来在榮獲列宁勳章的莫斯科动力学院，榮獲列宁勳章的、以 M.B. 罗蒙諾索夫命名的莫斯科大学以及莫斯科工程物理学院执教时所用的“自动調整”教程的講义之一。

必須指出：这一科学和技术領域在当前的發展是极为蓬勃的。許多理論原則需要在實踐中接受時間的考驗。但是，自动学的基础知識及其最重要的形式——自动調整目前業已变为各种专业的工程师所一致需要的知識。

这本教程是根据高等工业学校的教学大綱編写的，是以普通在高等工业学校所講授的高等教学知識，理論电工基础，电气測量和非电測量，电机及部份有关自动和远动元件的知識为基础的。

因为必須运用某些在高等工业学校所未講授的数学原理，这就是本書之所以对这部份数学原理作簡要介紹的理由。

本書所采用的名詞术语是以其他許多作者所采用的定义为基础的。

本書广泛地涉及到各个方面的問題，缺点在所难免。指出这些缺点就能帮助作者今后提高本書的質量，为此，作者謹向讀者預先致以謝意。

本書受篇幅限制，許多內容不得不大事縮減，某些問題甚至隻字未提。

作者謹向Д.И.瑪揚諾夫斯基，A.A. 沃龙諾夫及B.B. 索罗陀夫尼可夫致謝，他們曾對本書原稿提供了不少有益的意見。

目 录

原序

第一章 自动装置的用途.....	(5)
1-1 自动学的作用.....	(5)
1-2 自动学对社会主义經濟的意义.....	(6)
第二章 自动控制系统和自动調整系統的基本特性	(7)
2-1 自动化的各种形式.....	(7)
2-2 自动調整系統的主要特性.....	(11)
2-3 閉环自动調整系統的主要特性.....	(17)
2-4 关于調整系統底机能元件和基本动态环节的概念.....	(20)
2-5 方程的算子形式.....	(22)
2-6 有差和无差調整.....	(24)
2-7 自动調整系統的机能图.....	(26)
第三章 自动調整器的典型机能元件.....	(33)
3-1 在自动調整系統的設計过程中的靜力学和动力学問題.....	(33)
3-2 概論調整器結構图型的建造和机能元件的选择.....	(35)
3-3 系統元件的方程的綫性化.....	(36)
3-4 敏感元件.....	(39)
3-5 放大元件.....	(65)
3-6 动力元件 (伺服发动机, 执行元件)	(88)
3-7 調整元件.....	(101)
3-8 鎮定元件.....	(106)
第四章 自动調整器	(119)
4-1 恆定参数調整器, 程序調整器和随踪調整器.....	(119)
4-2 調整器按被調整参数的形态的分类.....	(122)
4-3 各种形式的輔助能量的特性.....	(122)
4-4 断續和連續作用調整器.....	(124)

4-5 一些典型的調整器.....	(126)
第五章 自動調整系統的初等典型動態環節及其微分方程，	
算子，頻率特性和結構綫路	(143)
5-1 微分方程，算子（傳動函數）和頻率特性.....	(143)
5-2 關於單向作用的主要典型動態環節.....	(148)
5-3 編寫調整系統元件方程的例子.....	(163)
5-4 當環節按各種不同的方式連接時系統的算子.....	(170)
5-5 複數的基本運算方法.....	(172)
5-6 開環和閉環系統的方程.....	(173)
5-7 閉環和開環系統的算子之間的聯繫.....	(175)
5-8 調整的差率.....	(176)
5-9 自動調整系統的動態結構綫路的構成.....	(176)
第六章 論自動調整系統的穩定性	(184)
6-1 有系統穩定性的概念	(184)
6-2 過渡過程的最簡單的形式.....	(188)
6-3 穩定判據.....	(195)
6-4 委氏判據.....	(196)
6-5 茹斯判據.....	(199)
6-6 古爾維茨判據.....	(201)
6-7 乃闊斯特判據.....	(206)
6-8 米哈依洛夫判據.....	(213)
6-9 對數穩定判據.....	(217)
6-10 穩定儲備度的概念.....	(221)
6-11 穩定區域的劃分.....	(222)
6-12 在特徵方程的係數空間里的D域分劃的概念.....	(225)
6-13 單複數參數的平面的D域分劃.....	(228)
6-14 雙參數平面的D域分劃.....	(233)
6-15 方程的係數存在非綫性關係時按雙參數的D域分劃.....	(239)
6-16 多環系統的穩定性的研究.....	(240)
第七章 自動調整系統的過渡過程品質的研究	(241)
7-1 過渡過程品質的指標.....	(241)
7-2 簡化調整系統的微分方程的問題.....	(242)

7-3	初具条件的決定.....	(243)
7-4	研究調整过程品質的运算法 (拉氏变换)	(244)
7-5	根据特征方程的根的分佈研究調整过程的品質 (根分佈法)	(252)
7-6	根据积分特性研究調整过程的品質.....	(256)
7-7	根据頻率特性研究調整过程的品質.....	(258)
第八章	論建造自动調整系統的某些問題.....	(282)
8-1	調整系統的結構稳定性.....	(283)
8-2	根据各环节的特性曲綫用几何方法繪制系統的幅相特性曲綫, 各环节的特性曲綫对系統幅相特性曲綫形状的影响.....	(286)
8-3	決定单环調整系統的放大系数的極限值.....	(288)
8-4	論某些改善調整系統的动态性質的方法.....	(294)
8-5	自动調整系統的綜合原理.....	(298)
8-6	利用D域分划进行系統的綜合.....	(311)
第九章	自动調整系統的實驗研究基础.....	(314)
9-1	相似原理.....	(315)
9-2	幅相分析器.....	(319)
9-3	代数方程分析器.....	(323)
9-4	微分方程分析器.....	(329)
第十章	自动調整系統的計算举例.....	(337)
10-1	溫度調整器的計算.....	(337)
10-2	电动机轉速調整器的計算.....	(341)
10-3	小型随踪系統的計算.....	(352)
10-4	压力調整器的計算.....	(355)
10-5	电压調整器的計算.....	(364)
10-6	利用双参数D域分划的方法来决定調整系統中 某些参数所允許变化的范围.....	(368)
10-7	随踪系統的計算.....	(371)
10-8	校正裝置的綜合举例.....	(380)
附录		(383)
参考文献		(387)
譯名对照表		(390)

第一章 自动裝置的用途

1-1. 自动学的作用

将人类从工艺过程的直接参与中逐渐解放出来可以說是現代技术的一切发展方向的特征。

我們知道，人类为了滿足自己的需要在相当早的时候就曾使用两类机器：机器工具机和机器发动机。現在，第三类机器——机器控制机——日漸开始使上述两类机器在工作中建立有机的联系。

自动学作为一門科学，担負了一項光榮而又艰鉅的任务，它要創立理論和实践的先决条件，以期建造和发展較新类型的机器——机器控制机。这些机器能够協調上述两类机器的动作，也能够某种程度上为人类完成一些形态复杂的、对机器进行控制的活动（建造反射自动机）。因此，自动学及其最发达的形式——自动調整和自动控制裝置——在現代人类的生活中所起的作用是难以計量的。

我們之所以建造自动調整系統，目的在于：使各式各样裝設有这种自动机的技术对象能自动保持所需的工作状态，而无須人們直接的参与。自动調整系統能够使一个乃至若干个物理量保持恒定，或者按所給定的規律进行变化，这些物理量正是表征着在自动調整系統的服务对象中所发生的过程的。

自动調整器是自动裝置的一种基本而又最重要的形式，借助于它就可以显著提高工艺过程的效率，可以創造使用超高和超低参数（电压，电流，速度，压力，溫度，頻率等等）的条件，可以把工作人員从繁重的体力工作中解放出来，把工作人員的数量減少，可以提高产品的质量，保証工艺过程的高度精确，末了还可以在人所不能适应的条件下或人所不能到达的地区使所需的过程具有发生的可能。

举例來說，在苏联的許多动力系統中就有好多小型和中型水电站是沒有一个站內工作人員而自行运轉的，只有值班的基层电站負責照顧一組这样的电站。在这些电站里，各个发电机的启动停車，轉速調整，电压調整以及許多其他的操作全部是自动化的。

就热电站而論，其中像鍋炉里的燃燒过程和透平发电机的工作状态等等最复杂的工艺过程都是自动調整的。把一个功率为 5 万千瓦的热电站自动化就能每年节省 10 000 吨理想燃料，並且大大减少工作人員的数量。

連續冷軋机在自动化之后，其軋制速度可以高到 1600 米/分，而在手动控制时其軋制速度仅为 600 米/分。

在許多生产中，諸如制造电子器件，在光学透鏡上敷鍍金屬，制造盘尼西林，定性和定量分析气体等等經常需要不仅造成而且自动調整像 10^{-4} — 10^{-8} 毫米水銀柱这样极低的气压(高度真空)。这些設備，要求其中进行的过程有很高的精确度，是只能利用自动調整器才能做成的。

关于供和平利用的原子生产的工艺問題，大家知道，也是只能应用自动学的方法才能获得解决的。

1-2. 自动学对社会主义經濟的意义

計划性是實現社会主义經濟的基础之一，而自动化就能在国民經济按計划實現时产生最好的效果。

在社会主义經濟中运用自动学就会促进国家公共福利的增长，因而提高勞動者的物質待遇。借助自动学方法能够把工作人員从繁重的体力工作中解放出来。

要控制各式各样的自动机，工作人員就必須具有很熟練的技术。

由此可見，自动学为消灭体力勞動和脑力勞動間的本質差別創造了现实的条件，这正是一个加速建設共产主义社会的前提。

因此，无怪乎在苏联每一次发展国民經济的計划中老是对自动学問題給以无上的注意。关于这一点，在苏联共产党第十九次代表大会的決議中曾經指出：

“加紧进行冶金过程的强化，冶金机組和黑色冶金企业中的繁重工作的自动化和机械化。”

“在电站的生产过程中广泛采用自动化。完成区域水电站的全部自动化，以及进而在动力系統中推行远动技术。”

“在五年中提高……控制和檢示儀器，自動和遠動儀器的產量約2.7倍。”

“大大擴充現有的並動用新的關於……精確測量儀器和工藝過程的自動控制儀器的生產能力。”

“在生產食品和工業品的生產過程中廣泛採用自動化和機械化。”

從蘇聯共產黨第十九次代表大會的指令中摘錄的這段引文以及各主管機關的其他相繼的決議，令人信服地說明了我國（指蘇聯，以下同——譯者）在各種國民經濟部門中發展自動化的工作是一日千里的。

目前，在已有的生產規模和科學水平的基礎上，從事於自動學工作的工人和專家所面臨的迫切任務乃在於更廣泛地推行關於一個車間或整個企業的全部生產過程的綜合自動化。

生產的全盤自動化必須規定自己的主要目標在於提高勞動生產率，在於減少參加工藝過程的工人的數目。因此，綜合自動化將在生產最繁重的部門和對於國民經濟有決定意義的企業中優先發展，換句話說，主要是在重工業中優先發展。

第二章 自動控制系統和自動調整系統的基本特性

2-1. 自動化的各種形式

從各種技術部門摘引出來的實際例子一概表明，採用自動化具有許多最重要的優點。其中的主要優點有如下述：

1. 能夠從自動化後的對象得到較高的生產率並提高其經濟性。
2. 能夠保證工藝過程的正常進行和產品的優良質量。
3. 能夠完全避免工作人員直接參與工藝過程。

現代自動學的技术工具武庫真是包羅萬象，它是長時期來為了滿足人類最不同的需要而豐富起來的。

圖2-1所示，是關於自動化主要形式的總括圖。

圖2-1,a所示，是直接（當地的）自動管理被控對象底參數狀態的總括圖。在這些裝置中，所謂管理可以泛指記錄、訊號、分類等

等。作为这类管理装置的例子，可以举出：炉温变化的自动化記写装置，过程的正常运轉遭受破坏时的自动訊号設備，以及諸如此类。

图 2-1, Б 所示乃为针对被控对象的工艺过程进行直接（当地的）自动控制的总括图。在这种情况下，人們只对自动装置底主控元件施加作用，自动装置則通过动力元件对被控对象发生作用。在这种自动化控制方式下，人們在控制过程上花费的气力真是微不足道。

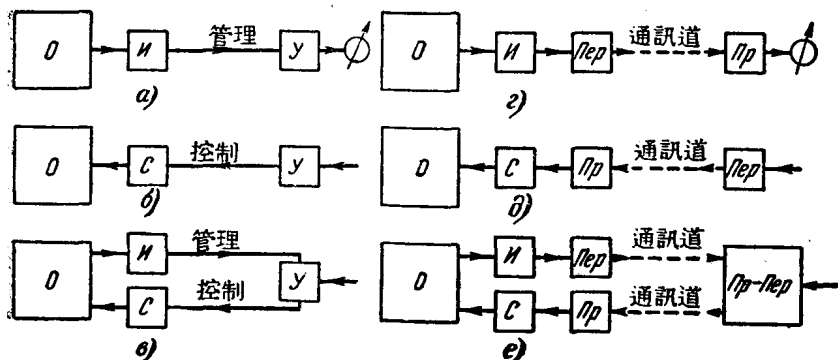


图 2-1 自动化的主要形式的总括图

О—被控对象；H—测量元件；Y—主控元件；C—动力元件；
ПП—接收器；Пеп—发送器。

作为这种自动控制装置的例子，不难举出：工作人員在控制台控制透平发电机或者蒸汽鍋炉的工作，控制热炉或者軋机的状态以及控制飞机的飞行等等。

图 2-1, в 是自动調整的总括图，自动調整兼有管理元件和控制元件，实为自动化最完善的形式。在此情形下，把工艺过程保持在给定水平上完全是自动实现的。

作为这种装置的例子，可以举出：发电机电压的自动調整器，液体容器內液面的自动調整器，飞机的空間坐标位置的自动調整器等等。这些調整器不論被調整参数底大小发生变化的原因何在，都能保持被調整参数恒定不变。有时，調整器能使若干在工艺上互有联系的参数同时保持各自所需的数值，但是，調整器只使一个参数保持註定的（Автономный）给定数值卻是屢見不鮮的情况。

在这类自动装置里也包括所謂的“跟踪系統”，它所保持的参数

多半是被控对象的机械位移。这时，所需保持的参数底大小可以随許多条件而发生变化。

用来控制船舵的装置可以看做是随踪系统的例子。在此情况下，舵手只需要把輕便灵活的駕駛盘轉到所需的方向。駕駛盘的位置一有变化，那个異常笨重的船舵就被迫向着适当方向移动，好像在“随踪”駕駛盘一样。

自动調整是一門新的、蓬勃发展的技术部門，它在所有各方面应用的远景是难以預計的。

如果管理对象、控制对象或者調整对象跟被管理量的传送地方（或者发佈控制命令的地方）相距很远，那末为了征服距离就必须使用特殊的技术工具。这类问题是属于运动学的范畴的。

保护自动机（极限值管理自动机）可以视为自动控制机的特款，其用途不外是在由它保护的装备一旦发生故障时，把該装备即时切除，而当对象在正常工作时，此自动机是並不动作的。

各种繼电器和各种只在被保护对象过载时或发生其他故障时才开始动作的器具都是保护自动机的例子。像最大电流繼电器和离心繼电器等就可作为这类自动学装置的代表。前者在电路过载时能把对象按时切除，后者在透平轉子的轉速超过允許值时能使透平按时停轉。

图 2-1, 1 所示为参数的遙测的总括图，該参数表征着被管理对象的状态。在这种装置中，被管理参数是用跟对象相距甚远的儀表进行测量的。这时往往把測量結果交換为便于用通訊道来传送的形式，最常见的是把被管理量变为电量（电流，电压，頻率）的形式。完成这种直接变换所用的装置称为发送器。訊号到达通訊道（在需要通訊道的情形下）的接收端时可能再变换为便于测量和記錄的形式。完成这种反变换所用的装置称为接收器。

下面是这类装置的一个例子，即关于測量动力系统里許多电站內的电压，頻率和其他参数的装置，这些电站跟接收儀表所在之处是相距很远的。此間的联系即可借助特殊导綫求其实现，也可利用高压輸电綫求其实现。

我們还可以列举另外一些关于这类装置的例子，如擇取某些对象

的溫度、壓力、稀薄度、水平綫、消耗量以及其他参数的測量示數並把这些示數傳送給化學工業，石油工業或其他工業的中心管理站。在這些場合下的通訊道可能是電綫，也可能是非電通訊綫。

目前，以無線電作為通訊道的系統已日漸開始應用，這就是所謂的無線電遙測裝置。

關於無線電遙測裝置的例子可以舉出一些如下：把大氣狀態（壓力、溫度等）的示數傳送給地上接收站所用的無線電探測器，把試飛飛機狀態参数沿無線電波道傳送給地上接收站所用的裝置等等。

圖 2-1, a 所示，是對被控對象中所發生過程實行遙控的總括圖。被控對象跟控制台相距遠到几百公里。這時是人們（調度員）直接對遙控系統施加作用而對過程進行控制的。

以下是一些關於這類裝置的例子。譬如，為開閉城市街道照明設備而用的遠動系統；為控制和原子生產有關的過程而用的系統；用無線電對機器實行遙控的系統；用於水中和大氣中的裝置等等。這類裝置有個共同特點，都是用一兩根導綫（通訊道）控制好幾個對象。

圖 2-1, b 所示為既能遙測又能遙控的遠動裝置的總圖。這種裝置比單是遙控的系統更為常見。因為人們在控制任何過程時，如不能檢視過程情態，那照例是有困難的。為了說明這類裝置，舉一些例子如下：動力系統中工藝過程的遙控裝置，供氣和供水系統中工藝過程的遙控裝置，以及諸如此類。

表 2-1 滿可以說明各種儀表製造部門最富有特色的發展趨勢。

表 2-1

儀 表 類 型	儀表的生产量和銷售量, %				
	1923年	1935年	1945年	1950年	
指示儀表	28.6	21.7	20	17	
記錄儀表	63.7	45.1	35	35	
自動調整儀表	7.7	33.2	45	48	
	100	100	100	100	

這張表上轉載的數據對於許多技術先進的國家來說，是有代表性的。

2-2. 自動調整系統的主要特性

a) 關於調整系統的概念

某種工藝設備（如機器或發動機）中發生的任何物理過程，或者換句話說，在各式各樣的控制對象中所發生的任何物理過程，它們總是可為一個或者幾個參數所表征的。至於這些參數，它們不過是種種的物理量而已。舉例來說，像發電機的端電壓，電動機的電流，爐內的溫度，容器里的液面，機器軸的轉速，飛機的坐標，瓦斯管路中的氣壓等等。這些參數根據具體條件或者必須按某種規律而變化，或者相反，它們不受外界條件和工作狀態變動的影響而永遠保持恆定的數值。這些參數通稱為被調整參數，含有被調整參數的對象叫做調整對象。

自動調整器是這樣的裝置，它或者使各種調整對象中的被調整參數自動保持恆定的數值，不受任何形式的、能引起被調整參數發生變化的擾動的影響，或者使被調整參數按一定的規律而變化不息。

調整對象同自動調整器的組合就稱為自動調整系統。任何調整系統都可以分解成若干的結構元件。這些元件，如其輸入量的變化能引起輸出量的變化，而輸出量的變化反過來卻不能引起輸入量的變化，那就稱為單向元件或檢波元件。電子管就是這種元件的例子，其柵極的輸入訊號會影響陽極電流的大小，而方向相反的影響卻是沒有的。檢波原件的另一個例子是他激發電機，它的輸入參數理應為激磁電流，輸出參數理應為輸出端上的電壓。

一個調整系統，即使只包含一個檢波元件，也稱為單向動作的系統。嗣後，我們將只限於討論這些單向動作的調整系統。

6) 閉路調整器和開路調整器

單向動作的自動調整系統可以根據調整器和調整對象之間的相互作用的性質而進行分類。

1. 帶開環作用回路而工作的調整裝置（開環系統）。在所論情況

下，調整器的作用可以加于調整對象。但調整對象加于調整器的反向作用卻是沒有的。

2. 帶閉環作用回路而工作的調整裝置，不難從討論中（例如，討論圖 2-1）意識到，這是在實用方面比較完善的裝置。在所論情況下，調整器和調整對象之間有互相作用存在。

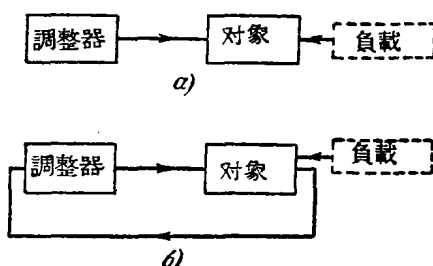


圖 2-2 具有開環回路 a) 和閉環回路 b) 的調整器原理圖

帶開環作用回路和閉環作用回路而工作的自動調整系統的原理圖分別如圖 2-2, a 和 b 所示。一個具有開環作用回路的調整系統（開環系統）所能有的連接圖，如圖 2-3 所示。

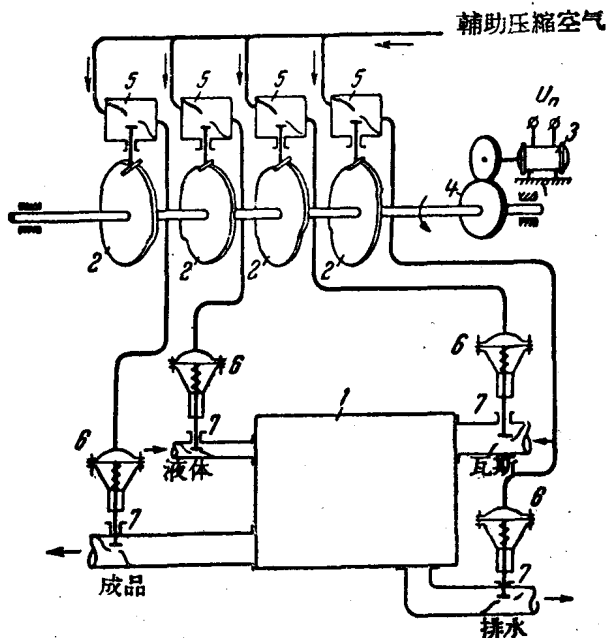


圖 2-3 具有開環作用回路的調整器

這個調整器的任務在於，使調整對象 1 的幾個參數隨時間而變，

或者保持恆定，以达到保証工艺过程能够正常进行的目的。

所需的調整参数随時間而变的特性是由工艺过程的給定形式决定的，由有适当形状的凸凹盘 2 予以保証的。凸凹盘 2 固定在公共軸上，由同步电动机 3 經过減速器 4 带着旋轉，減速器 4 能够保証輸出軸有所需的轉速。凸凹盘的每个位置各对应于气門 5 的一个完全肯定的位置，而气門 5 的位置又决定着通向膜片 6 的备用空气的压力。空气在作用于相应膜片 6 的同时，使后者发生一定程度的弯曲，各个膜片分别是跟各个閥門 7 紧紧相連的，各个閥門 7 时开时閉，从而按照为凸凹盘 2 所預定的程序而对工艺过程的特性产生适当的影响。

依靠这些装置就可以控制象化学，冶金，紡織，石油加工，食品等工业部門以及其他工业部門中的复杂工艺过程。

不难看出，在这种情况下所进行的調整是属于开环作用回路的。而一个最簡單的具有閉环作用回路的調整系統（閉环系統）則如图 2-4 所示。

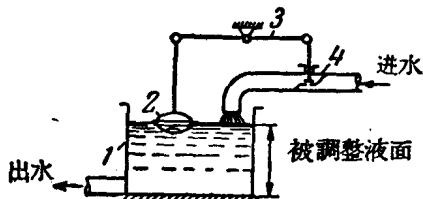


图 2-4 具有閉环作用回路的調整器

在此一情形下，調整器所面临的任務就在于不管扰动如何而永远保持水槽 1 內的液面恆定不变。最常見的扰动是負載的变化，亦即出水量的变化。液面的变化由浮子 2 和鉸連拉桿 3 传递給水門 4，水門 4 跟着改变开度，使水槽的进水量发生变化，从而使被調整液面相当于給定的数值。

不难看出，在系統中，决定着調整对象底状态（就所論情况說是液面的变化）的輸出量是在調整器底輸入端上发生作用的。應該把浮子的位置視作調整器的輸入，把調整水門的位置視作調整器的輸出。十分明显，調整器的輸出是在調整对象的輸入端上发生作用的，因为水門使調整对象的进水量所产生的變化实际就是后者的輸入量。

應該把調整对象的出水量变化看成是引起过渡調整过程的外界扰动因素（負載）。