

船用蒸汽锅炉的 自动控制

Б. И. 魯包契金 著

梦 芝 譯

人民交通出版社

船用蒸汽锅炉的 自动控制

Б. И. 魯包契金 著

梦 芝 译

人民交通出版社

內 容 提 要

本书是輪机人員学习用的参考书。它包括自动控制的基本概念和定义,闡明各种調节器的結構、动作原理,同时介紹一些海船上所采用的自动控制系统。

本书适用于受过中等技术教育和熟悉船用蒸汽鍋爐操作的工作人員,亦可供海运学校学生学习“船用蒸汽动力装置自动控制”課程之用。

船用蒸汽鍋爐的自动控制

Б. И. ЛУБОЧКИН

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СУДОВЫХ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

*Допущено УУЗ в качестве учебного пособия для мореходных училищ
и курсов повышения квалификации механиков морского флота*

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МОРСКОЙ ТРАНСПОРТ»
Москва - 1956

本書根据苏联海运出版社1956年莫斯科俄文版本譯出

夢 芝 譯

人 民 交 通 出 版 社 出 版

(北京安定門外和平里)

北京市書刊出版業營業許可証出字第〇〇六號

新华书店科技发行所发行 全国新华书店經售

人 民 交 通 出 版 社 印 刷 厂 印 刷

1960年10月北京第一版 1960年10月北京第一次印刷

开本: 787×1092 1/32 印張: 3 1/2張

全書: 104,000字 印数: 1—2,356册

統一書号: 15044·6198

定价(10): 0.50元

目 录

前 言	1
緒 論	2
第一章 自动控制的理論要素	8
第二章 自动調节器的結構	24
§ 1 直接作用式調节器	25
§ 2 間接作用式液压調节器	29
§-3 間接作用式气力調节器	43
§ 4 电机和电力調节器	48
第三章 船用蒸汽鍋炉的自动控制	53
第四章 燃燒的自动控制	64
§ 5 “阿斯卡尼”型燃燒自动控制系统	64
§ 6 燃燒的气力自动控制系统	78
§ 7 中央鍋炉透平研究所式及其他燃燒自动控制系统	95
第五章 过热蒸汽温度的自动控制	101
第六章 蒸汽鍋炉給水的自动控制	103
§ 8 給水調节器的主要性能	103
§ 9 給水調节器的結構	106

前 言

近几年来，苏联船队已拥有很多用最完善的动力装置装备起来的新船只。在船上已广泛地使部分工作过程或全部装置的工作自动化。这是造船业中技术进步的结果。因此，掌握新技术、保证装置正常工作，以及技术上熟练的操作使用是目前海运船队工作人员的主要任务。

正如技术操作经验所表明，轮机人员对海船上的新自动设备及系统了解不够及不正确的维护，会使这些设备与系统损坏，以致迫使改为人工操作，因而会过多的消耗燃料，甚至有时这是造成机械事故的原因。因此，为了保证现代船舶动力装置可靠而经济地运行，船员们熟悉控制系统上的各种零件，并掌握其基本作用原理是非常重要的。

在固定式动力装置中，特别是发电站，已广泛地采用蒸汽锅炉自动控制了。由中央锅炉透平研究所和全苏热工研究所所设计的固定式蒸汽锅炉的自动控制系统已在技术书刊中有了详细阐述。但是阐述船用锅炉自动控制的书籍却几乎没有。因此，本书特阐明自动控制理论的各种基本概念。同时，在有限的篇幅中不可能介绍过多的调节器构造与自动控制系统，因此，本书所阐述最详细的是国内外船队普遍采用的控制系统和调节器。

为了扩大读者的视野，书中也介绍一些可能在不久的将来将在海船上采用的调节器。

本书是这一门技术的首批著作之一，作者由衷地愿意接受读者的一切意见，以便今后改正本书中的缺点。

緒 論

根据苏联共产党第二十次代表大会关于苏联发展国民经济的第六个五年计划的決議，到1960年苏联的海运貨物周轉量应提高一倍以上。而貨物周轉量的提高不但有賴于船只的增多，而且也有賴于提高航行速度和船上动力装置运行的經濟性。

海船吨位的增加主要依靠排水量較大的油輪和載重量达一万吨或一万吨以上的干貨船。

应该指出，在战后几年里，船舶航行速度也有迅速提高。例如，在其他国家排水量为2.6万吨~4万吨的現代油輪的航行速度已超过16~18节。为了保証这样的航行速度，要求从質量上改变船舶动力装置：必須用生产率高的水管鍋炉和馬力大的汽輪机来代替燃煤的回烟式火管鍋炉和往复式蒸汽机。

降低運輸成本是商船的主要任务。例如，到1960年苏联海运成本要比1955年降低26%。这样显著的降低運輸成本将依靠减少影响海运成本开支中的主要項目——服务人員的开支和燃料消耗才能达到。

这里不涉及直接节省燃料的方法，因而也不談節約燃料开支的方法，只指出在海船上广泛使用自动化，其中也包括船用蒸汽鍋炉的自动控制，俾能使服务人員的开支大大縮減。

此外，船用蒸汽鍋炉的自动控制可使生火人員减少为原来数量的若干分之一，达到最小限度（仅須1~2人在鍋炉艙内值班）。

自动控制不独能縮減船舶輪机人員的数目，而且能保証动力装置在最有利的工况下进行工作，对節約燃料有很大的帮助。

最后，自动控制还能提高船舶动力装置运行的安全性。

船用蒸汽鍋炉要达到自动控制，就必須在鍋炉装置中的热力系統上使用按預定規律来控制热力过程的自动調節器。

第一个自动控制设备是1763~1765年間由俄国И. И. 波尔朱諾夫所

创造的鍋炉給水浮子調節器，它具有很大的实际意义，这种調節器曾使用在波尔朱諾夫所制造的鍋炉上。

图1所示为这种調節器的原理示意图。它的工作情况如下：当鍋炉水位升高时，与閘板2連着的浮子1便把它向上提起，使管3的給水量减少；当水位降低时，調節器則起相反的作用。

过了几年，即1784年，英国人詹姆斯·瓦特又創造了离心式蒸汽机轉速調節器（图2），当轉速增大时，重物1便向外张开，經拉杆和連杆的传动作用把閘汽閥2盖住。这样蒸汽机的蒸汽供給量便减少，使轉速降低。

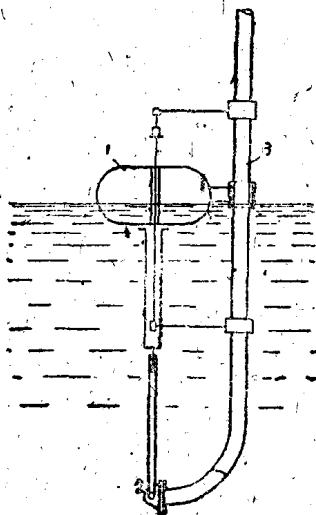


图1 И.И.波尔朱諾夫式給水浮子調節器原理图

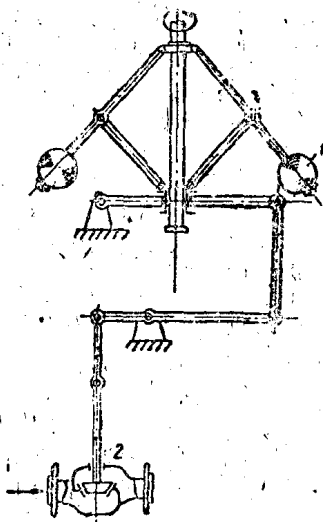


图2 Д.瓦特式离心轉速調節器原理图

如果轉速降低，两重物則互相接近，那末調節器对蒸汽机又加大了蒸汽供給量。

船用鍋炉设备有可能实现不同程度的自动化，这里可以想象到的有下列措施：

1) 热工控制；

2) 信号设备及通信装置;

3) 热力防护及闭塞装置;

4) 远距离操纵装置;

5) 自动控制装置;

6) 自动操纵装置;

热工控制是用各种热工控制仪表来实现的, 它分为普通热工控制和记录式热工控制两种。

普通热工控制是在锅炉舱内有额定的控制测量仪表(温度表、压力表等等), 这些仪表只测定使用当时某些参数的大小。

记录式控制是在锅炉舱内装有综合仪表和计算器, 以计算一定时间内(一班、一昼夜、一个航次)某一参数的变化。这些仪表为自动记录的压力表、流量表、气体分析器等。

用记录式控制可以比较各班间的工作, 发现优秀班, 以便把它的工作经验推广到其他班里去。例如, 根据从压力表自动记录器上取下的昼夜记录可以确定保持蒸汽压力的优秀班, 根据自动记录气体分析器的指示数可以判断锅炉运行的经济性等等。

由于热工控制能更加正确地操纵锅炉运转, 因而可使锅炉装置的效率提高。而没有热工控制仪表时, 只能大概地估计锅炉中所进行的过程, 致使燃料过多的消耗, 因为根据烟及火焰的颜色来确定燃料燃烧的质量是无法与气体分析器的读数相比拟的。

很遗憾, 许多海船上不仅没有自动记录式仪表, 甚至连主要的控制测量仪表, 如温差电偶、压差计、风压表等都没有。这往往不仅使锅炉效率降低, 而且常引起事故, 例如, 由于没有风压表, 有些“顿巴斯”型蒸汽机船的炉膛内的风压较大, 结果成了砖墙迅速破坏的原因之一。再如 M. 巴薩爾斯基号輪上沒有低水位表, 结果成了鍋炉由于缺水而引起严重事故的原因之一。

每条船上在锅炉舱内生火最显目的地方, 必须装置热工控制仪表板(每台锅炉一块板或两台锅炉共有一块装着两套仪表的板)。在值班轮机员的开关板上, 必须复设一部分这类仪表。

图 3 是热工控制仪表在开关板上典型的排列法。

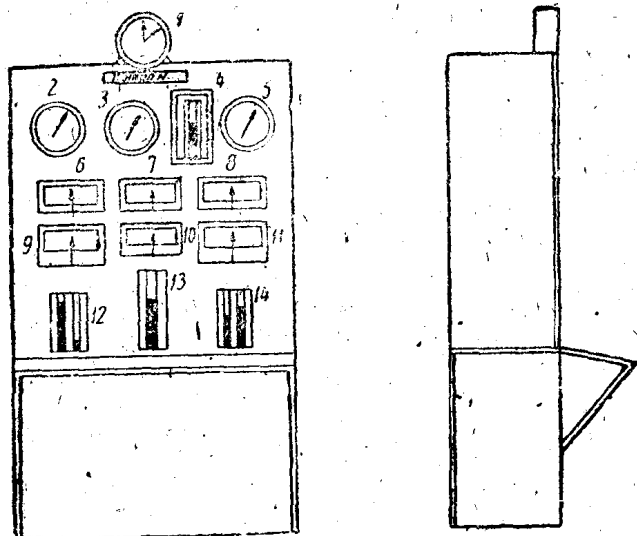


图3 开关板上热工控制仪表的排列

1-钟表; 2-指示主机前的蒸汽压力的压力表; 3-转速计; 4-锅炉低水位表; 5-锅炉蒸汽压力表; 6-指示主机前的蒸汽温度的高温计; 7-指示蒸汽过热器以后的蒸汽温度的高温计; 8-指示空气预热器以后的空气温度的高温计; 9-排出烟气中的CO₂记录器; 10-排出烟气中的CO+H₂的记录器; 11-排出烟气温度记录器; 12-指示喷油器前的空气压力的压差计; 13-指示鼓风机后的空气压力的压差计; 14-指示炉膛压力(负压)的压差计

信号设备一般是自动控制和操纵的组成部分。信号设备分为控制、警告和事故三种。

控制信号设备用来自锅炉操纵台确定一些阀、小闸及其他设备的开启位置,而一些重要阀门、挡板设备的开启位置的远距离指示器则装在热工控制板上。

警告信号设备用来报告锅炉工况发生的危险变化(水位过低、过热蒸汽温度超过规定数字等等)。例如,在“彼得宫”蒸汽机船上,当锅炉水位降低到最低水位线时,警报就会响起来,如再过30秒钟锅炉给水没有增加,水位没有提高,就能自动停止燃烧。

事故信号设备用来报告某一机组(鼓风机、给水泵或循环泵等)在

运行中发生的故障。

信号设备是通过光（指示灯）或声音（鸣音器、号笛）来表示。船上最好同时使用音声和光的信号设备，因为这样能增加它的可靠性。

通信设备是信号设备和操纵上所必需的设备，也用来把各种仪表、自动机械与热工控制板联系起来。船上一般采用下列通讯设备：电话筒、气动或液动通信设备、电话及电讯设备。

热力保护设备用来预告由于服务人员的疏忽而可能引起的事故。热力保护设备的任务是在锅炉或其设备处于危险情况下（如缺水、气体爆炸、机件在燃烧的煤层中塞住等等），关闭喷油器，停止鼓风等。

在复杂的锅炉设备中（莱蒙得及维洛克斯锅炉）以及当服务人员很少时，特别需要热力保护设备；服务人员少是具有自动控制的锅炉装置的特点。热力保护设备在任何时候均不应与其他控制或操纵设备联系起来，而应该完全独立，即它的动作不应依赖其他自动系统和设备的工作。

闭锁装置一般是任何自动控制系统所必要的附属设备。它分为事故闭锁装置和违规闭锁装置。

当运转中的机械或装置之一发生事故时，事故闭锁装置便顺次（按运动过程）将它们关闭。例如，当燃料泵发生故障时，便关闭燃料预热器、鼓风机及排风机。

违规闭锁装置用来防止工作人员不正确的操纵动作。例如，它能防止同时发送来自自动调节器的和手动的命令。

通过各种放大器（电动、气动、液动的传动装置）在一段距离外来操纵机械、闸、阀等，称为远距离操纵。只简单地把闸和闸上的传动拉杆或链条伸长，不能叫做远距离操纵。远距离操纵可大大减轻锅炉的管理工作，并能很快进行必要的转换。

自动控制的基本目的是不需要人直接管理而能自动地在有一定误差的条件下，保持所调节参数的规定数值。

如果被控制的参数不需保持在一定的数字上，而应按照预先规定的、一定规律改变，那末这样的控制称为预定式控制。

每一个控制机构的运动如果是由单独的调节器来控制，而且此调节

器只反应某一个调节量的变化时（例如，当管路内压力变化时改变阀门开启程度等），则称此控制为独立控制。

在联合控制中，一个控制机构的动作是在一系列数值（压力、流量、温度）变化下产生的。

在单独控制中，一部分数值的控制过程不应引起其他被控制数值的改变。例如，在改变锅炉蒸汽产生量时，应相应地改变燃料和空气的消耗量，但是要尽可能使空气过量系数、炉膛压力等数值不变。

控制某一过程所必需的设备及其相互间的联件的综合体称为自动控制系统。

现代自动控制系统包括下列设备：

1. 传感器——记录控制对象的被控制数值变化的仪器。传感器把被调节值的变化用某种方法传达给调节器，作为整个控制系统开始工作的脉冲。

2. 调节器——作用是把传感器所发出的脉冲传给放大器，再由放大器产生足以改变执行机件位置的力量。

3. 执行机件（调节机件）——是作用在控制对象（阀、闸阀、变阻器等等）的设备，以便使被控制值向所需要的方向变化。

4. 截断器——当被控制值达到所需值时停止执行机构的动作。

5. 均衡器——是一种预防过控制的装置，过控制可能由调节系统的惯性引起。均衡器的任务是将被控制值保持在规定的水平上。

6. 控制系统各部分间的联系。这种联系方法可能是机械的、电动的、气动的、液动的或是联合式的（电动机械的或气动机械的等等）。

锅炉机组的自动操纵，是使其启动、运行和停止的所有必要操纵动作完全机械化。自动操纵系统，按其功用应该具有专门的锅炉启动、运行和停止的自动设备，而不用人力。船用蒸汽锅炉的自动操纵是即将面临的一项新任务。

第一章 自动控制的理論要素

分析各种不同类型的和结构的调节器以后，可以得出一些共同的规律性，这是所有调节器所固有的。不管其结构怎样，研究这些规律性就成了自动控制理论的对象。

在锅炉装置中必须常常控制液体和气体的流动，以及任何容器内的液面或管路中的压力，这种控制过程由图4可以看出。

如果液体或气体的流出量 Q_c （立方米/小时，吨/小时等）改变时，调节器的传感器1则将根据压力、水位或流量的变化发出相应的脉冲，控制系统即按所受脉冲量的作用，通过阀2使液体供给量 Q_n （立方米/小时）

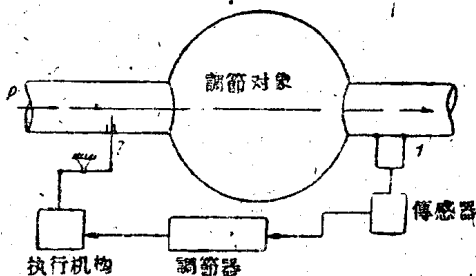


图4 自动控制简图

向所需的一面起变化（减少或增加）。敞开盖的水箱，例如热水箱中的水位调节是自动控制的最简单的一种情况，如图5所示。

假定必须自动保持热水箱中的不变水位 H_0 ，同时其排水量 Q_c 吨/小时由离心水泵1的转速来决定，而进水量 Q_n 吨/小时由凝水泵排水管上的阀2来控制。浮子3和接触杆4刚性地相连接，接触杆以上下接头5的转换改变可逆电动机6的迴转方向，电动机则开启或关闭阀2。我们假定这样的系统是理想的，即在它的联接处没有摩擦与松动，而且水位改变后接触头立即迅速相接，电动机没有惯性现象，且能立即改变控制阀的位置等等，也就是系统中的每一元件在完成动作时均不发生迟滞现象。

当进水量和排水量相等时，即 $Q_n = Q_c$ ，整个系统处于平衡状态。

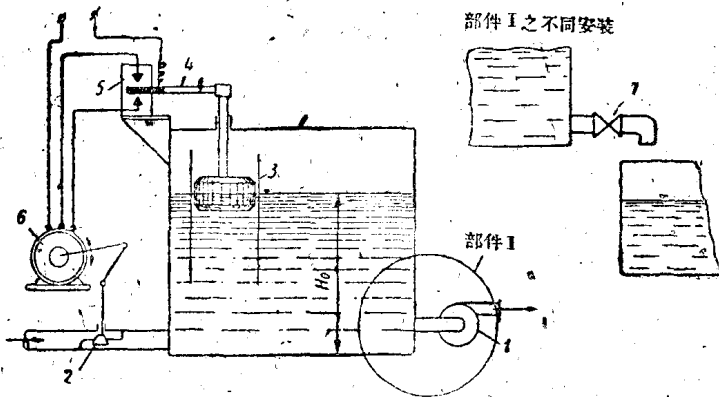


图6 热水箱内水位自动控制示意图

假定某一瞬间内水泵转速减小，则排水量 Q_c 就小于 Q_n 。这一瞬间 τ_0 称为系统扰动的开始。

Q_n 和 Q_c ， H 和 τ 诸值之间的关系示于图6。

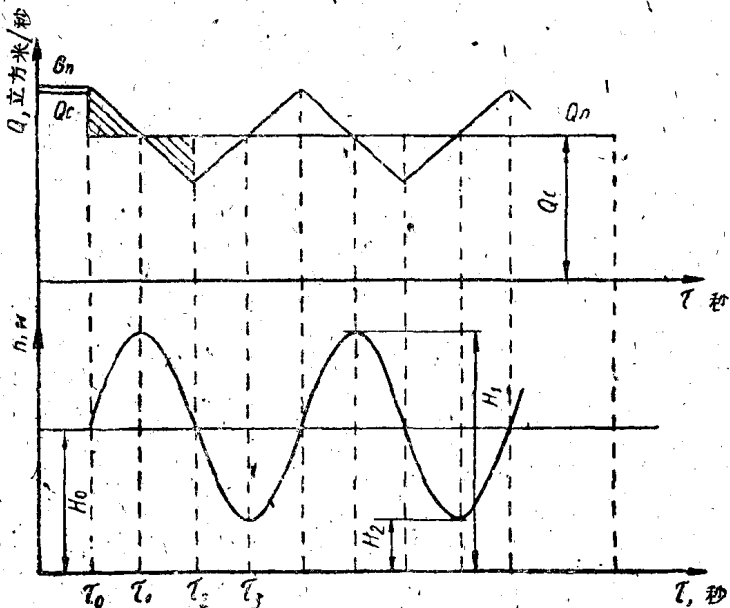


图6 进水量与排水量及热水箱中的水位变化曲线图

当排水量减小时，热水箱中的水位便开始升高，浮子3（见图5）与开关5的上接触头相连接，电动机将阀2关闭，减小进水量 Q_n 。假定在某一瞬间 τ_1 进水量与排水量相等，也就是 $Q_n=Q_c$ ，但是电动机6将继续使阀2关闭，因为由于水位超过所需要的值 H_0 时，开关5的上接触头仍将接通。这样，在某一瞬间 τ_2 降到正常水位，而触头均不接触。然而在 τ_2 瞬间进水量显然小于排水量，即 $Q_n < Q_c$ 。这使水位降低到 H_0 以下，这时浮子与开关5的下接触头接通，而电动机6便开始打开调节阀，使进水量增加。

此后这种情况将永远象图5中所示的那样反复进行，亦即在任何时候水位都不在所需值上，而在理想情况下，在 $H_1 > H_0$ 到 $H_2 < H_0$ 间波动。在这种控制方式中，甚至在理想的条件下，调节量也总是在连续地波动。

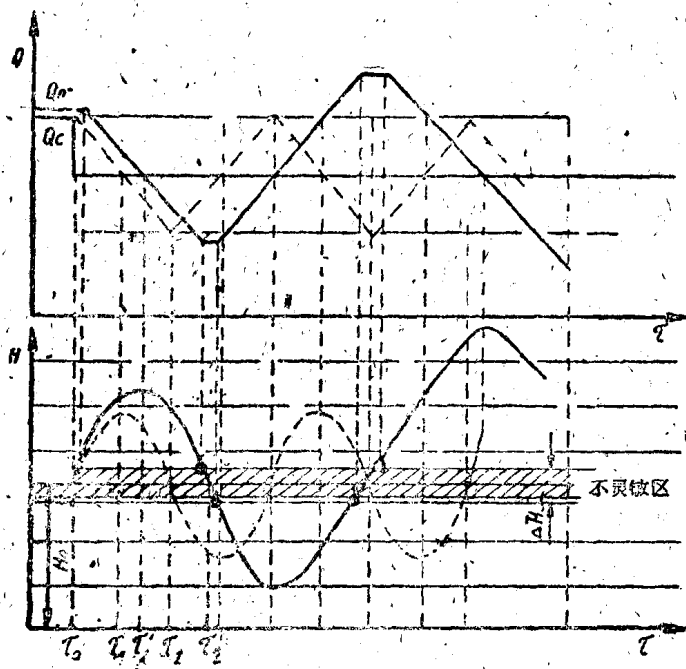


图7 带有不灵敏区的自动控制曲线图

如果系统工作的理想条件破坏了，这一过程变成逐渐扩散的，而水位的变化将愈来愈频繁，即在热水箱中自动保持额定的水位便不可能了。

实际上在連續接杆 4 与触头 5 之間有一定的距离，机械連接件的联結处經常有一定的松动，发动机不可能瞬間开动起来，因此，总有某一不灵敏区 $\pm \Delta H$ 。

图 7 所示为系统中存在的不灵敏区和停滞現象的自动控制曲线图，从图中可以看出，調节过程是渐渐扩张的，而水位不可避免地提高了。

由于控制系统中突然的瞬間搅动而发生的被控制量的改变过程叫做加速过程。

这一过程如图 8 所示。在这种情况下，一般叫做控制对象失去自动均衡；亦即其特性是不使被控制量的变化趋向于收敛，在此情况下，外流量的改变不影响热水箱的水位，反之亦然。但是如果用普通閘 7（見图 5 中的放大图 I）来代替离心水泵 1，那末控制情况将显著地改变。在通过閘門排水的情况下，排水将决定于水位高度，水位越高，排水量越大。在此情况下，控制过程本身将均衡地进行。一般說来，自动均衡可能在进水时有，也可能在两方面同时存在，但不因此而改变控制情况。

如果排水方面有自动均衡，閉小閘 7 将使排水量 Q_c 减少，但水位提高到 H_1 ，重新使排水量增加到原值 $Q_0 = Q_m$ 。图 9 是这一控制过程的曲线图，从图中可以看出，执行机构完成动作的瞬間 τ' 在瞬間 τ 之前，以致引起被控制量（水位）振蕩的减弱。

但是必須指出下列几点：

1. 調节器的不完善性（有較大的不灵敏区），甚至在控制对象具有自动均衡性質时，亦可能使控制过程渐渐扩散。

2. 自动均衡的存在可以促使被控制量振蕩减弱，但只有在允許的一

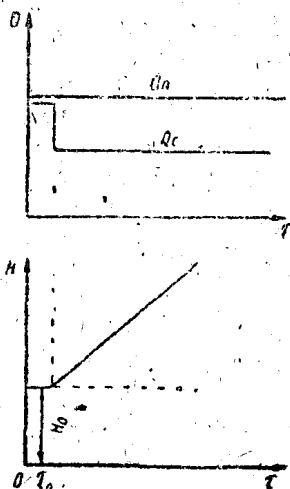


图8 加速过程

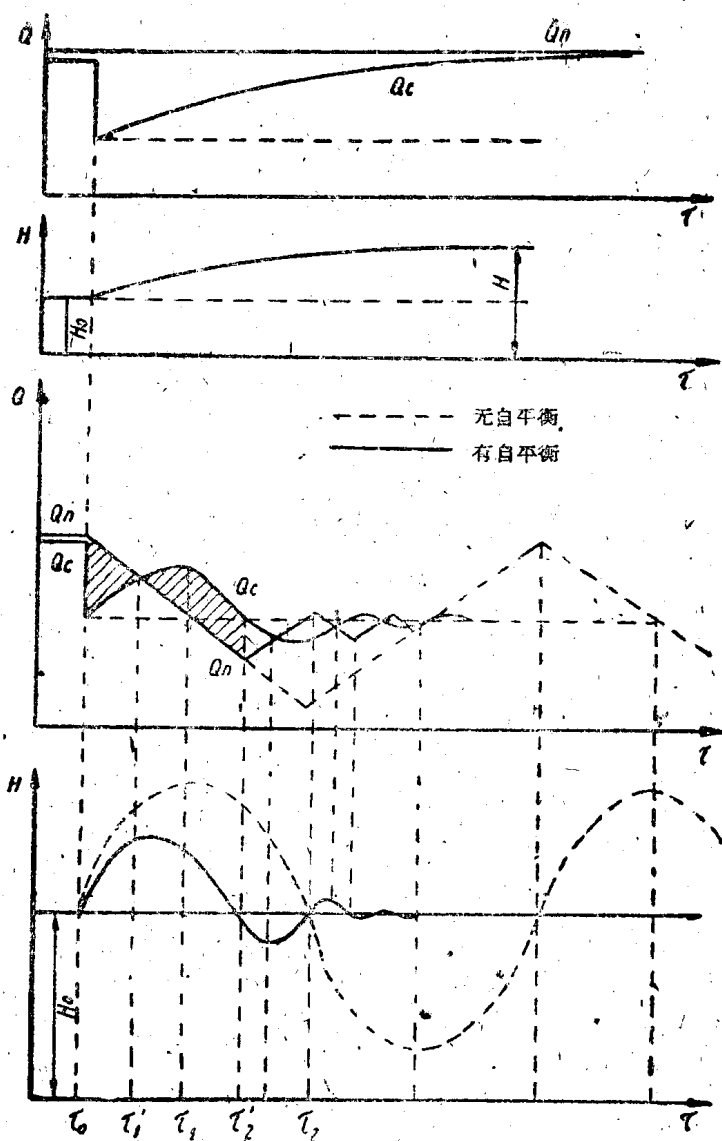


图9 有自动均衡的自动控制曲线图

定的誤差範圍內才能滿足控制條件。的確，當閥門開得很大或閉得很小時，熱水箱中水位的变化可能不足以補償液體經常進入量。在這種情況下，熱水箱中的水或是過滿，或是相反，水從箱中流走。

為改善控制系統，應在其中列入剛性反饋聯繫。

反饋是一種傳給調節器的訊號，報告有關執行機構的情況或控制對象的情況。反饋可以改善控制性能，提高規定數值的被控制量的收斂性，因為訊號是更精確而全面的。通常採用報告執行機構位置的反饋，因為執行機構的位置在一定程度上總是與被控制量聯繫着的。

反饋按作用的原理分為正反饋和負反饋。在熱工中多使用負反饋，這樣，當接到關於被控制量增大的訊號（壓力、耗量）後，調節器就減小閥門和閥等的開啟度。相反，在正反饋的作用下，調節器進一步擴大被控制量。

反饋聯繫可以有剛性的和彈性的。在剛性反饋中，執行機構的每一位置與調節器的一定位置相適應。

圖5所示的例子中可裝成剛性反饋，而把閥2的連接杆與開關觸頭5相連（圖10）。甚至在排水時沒有自動均衡的情況下，也就是在用離心水泵1代替閥門7的情況下（見圖5中的放大圖I），有了剛性反饋就會使水位的振蕩逐漸減弱，一般在此情況下，水位移動速度甚至將大於在系統中有摩擦和慣性時閥門的移動速度。觸頭5對水位的反應有某些滯緩，這樣使觸頭斷開比由調節器按圖5所示方式作用而斷開觸頭來得早。在此情況下，執行機構超前完成動作使調節情況類似有自均衡的控制（見圖9）。

這樣，剛性反饋設備可以保證對失去自均衡的控制對象有良好的調節，但是這在控制上有一定的不均勻性，而且控制對象的每一位置與被控制量的一定值相適應。在我們所談的例子中，熱水箱中較高的水位與較大的耗水量相適應，反之亦然。

上述例子說明，控制系統的特性和調節器本身的特性都影響控制質量。在實際中採用各種設備和措施，借以保證控制過程的衰微。凡能使控制過程衰微的設備總稱為穩定設備。

關於控制過程更加明晰的概念可從這一過程的數學分析中得到。