

GAIBIAN
SHIJIELISHI [主编:堵军]
DE
ZHONGYAO
WENXIAN

改变世界历史的 重要文献

吉林文史出版社
吉林音像出版社

改变世界历史的 重要文献

主编·堵军

〈五〉

吉林文史出版社
吉林音像出版社

目 录

控 制 论

第四章	反馈和振荡·····	(723)
第五章	计算机和神经系统·····	(744)
第六章	完形和普遍观念·····	(761)
第七章	控制论和精神病理学·····	(772)
第八章	信息、语言和社会·····	(783)
附 注	·····	(793)
第二部分	补充的几章·····	(795)
第九章	关于学习和自生殖机·····	(796)
第十章	脑电波与自行组织系统·····	(808)

一 般 系 统 论

第一章	导 论·····	(831)
第二章	一般系统论的含义·····	(858)
第三章	系统的若干概念及其初步的数学描述·····	(879)

第四章

反馈和振荡

一个病人到神经病院来临诊，他并没有瘫痪，当他接到命令时还能移动下肢。然而，他苦于严重的病废，他在步行时呈现特殊的不准确的步态，两眼朝下，看着地面和足部。他每走一步腿都抬得很高，而且迈足过度，上身则落在后面，如果遮住他的两眼，他就要站立不住而踉跄倒地，这是怎么回事呢？

另一个病人也来临诊，当他安静地坐在椅中时，好像没有什么毛病。但是，如果给他一支香烟，在他企图接取这支烟时，他的手会摇摆不定而抓不到它。接着他的手又在另一侧作同样无益的摇摆，随后，第三次又摇摆回来，他的手一直就这样进行着无益而激烈的振荡。如果给他一杯水，当他把这杯水端到口边以前就会由于这些摇摆而泼空了。这又是怎么回事呢？

这两个病人都是苦于这种或那种形式的所谓运动失调。他们的肌肉是强壮的，而且很健康，但是不能调节自己的动作。第一个病人患的是脊髓痨，由于梅毒后遗症，他的通常用来传导各种感觉的脊髓后索等部位，遭到了损伤或破坏。他对外来消息的应答变得迟钝了，即使这些消息不是完全不起作用。他的关节、腱、肌肉和足底中的各个感受器，这些通常报告他下肢运动的位置和状态的器官，不能向中枢神经系统传送什么消息了，他对于有关其姿势的信息，不得不依靠两眼和内耳平衡器官。用生理学家的术语说，他丧失了本体感觉或运动神经感觉的重要部分。

第二个病人并没有丧失本体感觉。他受伤的部位是另外一

个地方——小脑。他患的病叫小脑性震颤或目的性震颤。看来，小脑可能具有一种调节肌肉对本体感觉输入应答的机能，这种调节机能一旦发生障碍，其结果之一就是震颤。

由此可见，为了能对外界产生有效的动作，重要的不仅是我们必须具有良好的效应器，而且必须把效应器的动作情况恰当地回报给中枢神经系统，而这些报告的内容必须适当地和其他来自感官的信息组合起来，以便对效应器产生一个适当的调节输出。有些机械系统的情形与此十分相似。例如，让我们来考虑铁路上信号塔的情形。信号手控制着一组杠杆，它们能使信号机开发信号或停发信号，并调整转辙装置。可是，信号手不能盲目认为信号机和转辙器是服从他的命令的，说不定转辙器被牢牢冻住了，或者由于雪的负重使信号机臂弯曲了，这时，转辙器和信号机——信号手的效应器——的实际状态并不和他发出的命令相适应。为了避免这个偶发事件中所蕴藏的危险，每一个效应器，即转辙器或信号机，都必须附装一个向信号塔回报的自动回报器，把这些效应器的实际状态和动作情况报告给信号手。这和海军中的复述命令是机械地相当的；按照惯例，下级在接受命令时必须把命令对上级复述一遍，说明他已经听到了并了解了它，信号手就必须根据这种复述的命令动作。

我们注意，在上述系统中，信息传递和返回的过程（今后我们把它叫作反馈过程）是有人参与的。当然，信号手也不能完全自由行动；转辙器和信号机相互连结着，这种连结可以是机械的也可以是电的；此外，信号手没有选择某种危险组合的自由。但是，也有一些反馈过程没有人的因素参与。用来调节室温的普通恒温器，其调节过程就是这样一种反馈过程。有一种能使室温达到预定温度指标的装置；如果室内实际温度低于这个指标，恒温器就开动起来，使风门打开或使柴油的流量增加，把室温提高到预定的指标。反之，如果室温超过预定的指标，风门就关上，或者柴油的流量减少或中断。这样，室温将

近似地保持在固定指标附近。要注意，这指标保持稳定的程度与恒温器设计的好坏有关，一个设计得不好的恒温器会使室温发生剧烈的震荡，如同患了小脑性震颤的人的运动一样。

另一个纯机械反馈系统的例子是蒸汽机的调速器，它能调节蒸汽机在负荷条件有改变时的速度，这种装置最初是由麦克士威尔加以研究的。在瓦特设计的原始形式的调速器中，包括两个连结在两根摆杆上的球，它们可以在旋转轴的两侧摆动。由于球本身的重量或由于弹簧力，这两个球有往下摆的趋势；而由于和转轴角速度有关的离心作用，它们要往上摆。因此，我们可以假定它们有一个平衡位置，这个位置也和角速度有关。球的位置的改变，经过另外的一些连接杆传递到转轴上的一个套筒，套筒位置的改变能使一个机件按照如下的方式动作；当蒸汽机速度降低而球下落时，它就打开气缸入口处的活阀；当蒸汽机的速度增加而球上升时，活阀就关上。我们注意，这个反馈倾向于反抗系统正在进行的动作，因此是负反馈。

我们已经有了稳定温度的负反馈例子，也有了稳定速度的负反馈例子。此外还有稳定位置的负反馈，例如船舶上操舵机的情形。由于舵轮的位置和舵的位置之间有一角度差，操舵机的动作总是要使舵的位置和舵轮的位置一致起来。随意动作中的反馈就是这种性质的反馈。当我们进行随意动作时，我们没有使某些肌肉运动的明确意图。为了完成特定的动作，譬如说当我们接取一支香烟的时候，我们并不特别命令某一些肌肉来运动。而且实际上，我们一般也不知道要经过哪些肌肉的运动才能完成那个特定的动作。我们是根据某种表示动作尚未完成的量的大小来调节我们的动作的。

反馈到控制中心的信息，具有反抗被控制的量偏离控制指标的趋势，但是，这种反抗趋势可以按照不同方式依赖于偏离的大小。最简单的控制系统是线性控制系统，在这种控制系统中，效应器的输出和输入呈线性关系，当输入增加时，输出也

成比例地增加。输出的读数用某种线性的装置来记录。这个读数简单地就是输入读数的分数。我们将在下面建立一个严格的理论，来描述这种装置的运转情形，特别是，来描述它的反常行为和和在过载时发生振荡的情形。

在本书中，我们尽量避免去运用许多数学符号和数学技巧，但在个别地方还不免要运用到，特别在上一章。同样，在这一章的以后部分中，对我们要严格处理的那些材料说，数学符号则是合适的语言；否则就要用啰嗦的长篇大论来代替，这对于外行的人不见得更容易理解，只有对熟悉数学符号的读者才容易理解，因为他能把它们翻译成数学符号。当然，最好的折衷办法就是使用数学符号再加以充分的口头说明。

令 $f(t)$ 是一个时间 t 的函数， t 从负无穷跑到无穷。这就是说， $f(t)$ 是一个对每一时刻，都有数值的量。在任一时刻 t ，当 s 小于或等于 t 时， $f(s)$ 的值是可以求得的，但当 s 大于 t 时则不能求得。有些电的和机械的装置，其输出延迟一固定时间，就是说，对于输入 $f(t)$ ，我们得到的输出是 $f(t-\tau)$ ，这里，是固定的延迟时间。

我们可以用几部这样的装置组合起来，得到输出 $f(t-\tau_1)$ ， $f(t-\tau_2)$ ， \dots ， $f(t-\tau_n)$ 。对其中每个输出，我们都能乘上一个固定的正的或负的量。例如，我们可以用分压器使电压乘上一个小于 1 的固定正数，我们也不难设计一种自动平衡装置和放大器，使电压乘上一个负的或大于 1 的量。我们同样不难设计一种简单的电路，把各个电压连续相加起来，借助于这些，我们可以得到输出

$$\sum_1^n a_k f(t-\tau_k). \quad (4.01)$$

随着延迟 τ_k 的数目的增加，并适当选择系数 a_k ，这个输出可以无限接近于下列形式的输出

$$\int_0^\infty a(\tau) f(t-\tau) d\tau. \quad (4.02)$$

在这个表示式中，应当注意积分限是从 0 到 ∞ 而不是从 $-\infty$

到 ∞ ，这一点很重要。否则，我们就用各种实际装置进行操作而得到 $f(t+\sigma)$ ，这里，是正数。但这就涉及到关于 $f(t)$ 的未来的知识； $f(t)$ 就可以是一个不由它的过去所决定的量，正像一架电车的坐标（由于转辙器可以使这条或那条轨道开断），不由他的过去所决定一样，当一个物理过程看来像运算子

$$\int_{-\infty}^{\infty} a(\tau) f(t-\tau) d\tau \quad (4.03)$$

时，式中 $a(\tau)$ 对 τ 的负值不全为零，这意味对 $f(t)$ 不再有一个真正的唯一依赖于它的过去的运算子。有一些物理现象就是这种情形。例如，一个没有输入的动力学系统可能产生振幅不定的永久性振荡，甚至这个振荡的振幅可以增加至无限大。在这情形下，系统的未来不依赖于它的过去，而且，形式上我们可以求出一个依赖于系统的未来的运算子表示式。

从 $f(t)$ 得到(4.02)的运算，具有两个重要的性质：

(1) 它与时间原点的推移无关；(2) 它是线性的。第一个性质可表述为：若

$$g(t) = \int_0^{\infty} a(\tau) f(t-\tau) d\tau, \quad (4.04)$$

则有

$$g(t+\sigma) = \int_0^{\infty} a(\tau) f(t+\sigma-\tau) d\tau. \quad (4.05)$$

第二个性质可表述为：若

$$g(t) = Af_1(t) + Bf_2(t), \quad (4.06)$$

则有

$$\begin{aligned} \int_0^{\infty} a(\tau) g(t-\tau) d\tau &= A \int_0^{\infty} a(\tau) f_1(t-\tau) d\tau \\ &+ B \int_0^{\infty} a(\tau) f_2(t-\tau) d\tau. \end{aligned} \quad (4.07)$$

可以证明：在适当意义上说，每个作用于 $f(t)$ 的过去的运算子，如果它是线性的而且在时间原点推移下不变，它就具有(4.02)的形式，或者是这种形式的运算子的一个序列

的极限。例如，一个具有这些性质的运算符运算于 $f(t)$ 的结果为 $f'(t)$ ，而

$$f'(t) = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \int_0^{\infty} \frac{1}{\epsilon^2} a\left(\frac{\tau}{\epsilon}\right) f(t-\tau) d\tau, \quad (4.08)$$

式中

$$a(X) = \begin{cases} 1(0 \leq X < 1); \\ -1(1 \leq X < 2); \\ 0(2 \leq X) \end{cases} \quad (4.09)$$

如我们在前面所看出的，由函数 a 组成的函数 $f(t)$ 的集合，对于运算符 (4.02) 说来是特别重要的，因为

$$e^{Z(t-\tau)} = e^{Zt} \cdot e^{-Z\tau}, \quad (4.10)$$

那么延迟运算符就变成一个仅仅依赖于 Z 的乘子，于是，(4.02) 变为

$$e^{Zt} \int_0^{\infty} a(\tau) e^{-Z\tau} d\tau \quad (4.11)$$

它也是一个仅仅依赖于 Z 的倍加运算符。表示式

$$\int_0^{\infty} a(\tau) e^{-Z\tau} d\tau = A(Z) \quad (4.12)$$

叫作运算符 (4.02) 的频率函数表示式。如果取 Z 为复数 $x + iy$ ，这里 x 和 y 都是实数，则这个表示式变为

$$\int_0^{\infty} a(\tau) e^{-x\tau} e^{-iy\tau} d\tau, \quad (4.13)$$

因此，由著名的西瓦尔 (Schwarz) 积分不等式，若 $y > 0$ ，且

$$\int_0^{\infty} |a(\tau)|^2 d\tau < \infty, \quad (4.14)$$

我们就有

$$\begin{aligned} |A(x+iy)| &\leq \left\{ \int_0^{\infty} |a(\tau)|^2 d\tau \int_0^{\infty} e^{-2x\tau} d\tau \right\}^{\frac{1}{2}} \\ &= \left\{ \frac{1}{2x} \int_0^{\infty} |a(\tau)|^2 d\tau \right\}^{\frac{1}{2}} \end{aligned} \quad (4.15)$$

这就是说， $A(x+iy)$ 是每个半平面 $x \geq \epsilon > 0$ 上复变数 $x + iy$ 的有界全纯函数，而 $A(iy)$ 在某种确定意义上则表示这

个函数的边界值。

令

$$u + iv = A(x + iy), \quad (4.16)$$

式中 u 和 v 是实数。这时, $x + iy$ 将作为 $u + iv$ 的函数而被决定 (不一定是单值的)。除了与使 $\frac{\partial A(Z)}{\partial Z} = 0$ 的点 $z = x + iy$ 相对应的那些点 $u + iv$ 外, 这个函数是解析函数, 但是半纯的。边界 $x=0$ 是一曲线, 其参数方程为

$$u + iv = A(iy) \quad (y \text{ 为实数}). \quad (4.17)$$

这个曲线自身可以相交任意多次。但一般说它使平面分为两个区域。让我们从 y 由 $-\infty$ 逐渐跑到 ∞ 的方向来考虑曲线 (4.17) 的情形。这时, 如果我们越出曲线 (4.17), 沿着一不再与 (4.17) 相交的连续曲线向右前进, 我们就得到一个点集。不属于这个点集也不在 (4.17) 上的点, 叫作外点, 曲线 (4.17) 中包括外点的极限点的那一部分, 叫作有效边界。所有其它的点都叫作内点。例如, 在下一图中, 箭头所画的表示边界, 阴影区域是内点, 有效边界用粗线表示。

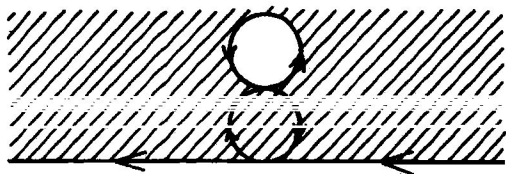


图 1

因此, A 在任意一个右半平面内有界的条件, 将是无穷远点不能为内点。它可以是边界点, 但是对于这种边界点的类型必须加以十分严格的限制。这些限制和内点集离无穷远点的“厚度”有关。

现在, 我们来研究线性反馈的数学表示问题。假定系统控制过程的示意图 (不是线路图) 如图 2:

这里, 马达运算器的输入为 y , 它是初始输入 X 与乘法运

算器输出之差，乘法器对马达动力输出的倍加因子为 λ 。即

$$Y = X - \lambda AY \quad (4.18)$$

或

$$Y = \frac{X}{1 + \lambda A}; \quad (4.19)$$

因而马达的输出为

$$AY = \frac{Ax}{1 + \lambda A}. \quad (4.20)$$

因此，相应于整个反馈机构的运算子为 $A/(1 + \lambda A)$ 。这个运算子当且仅当 $A = -1/\lambda$ 时才等于无穷大。对于这新的运算子，(4.17) 为

$$u + iv = \frac{A(iy)}{1 + \lambda A(iy)}; \quad (4.21)$$

当且仅当 $-\frac{1}{\lambda}$ 是 (4.17) 的内点时，无穷远点才是内点。

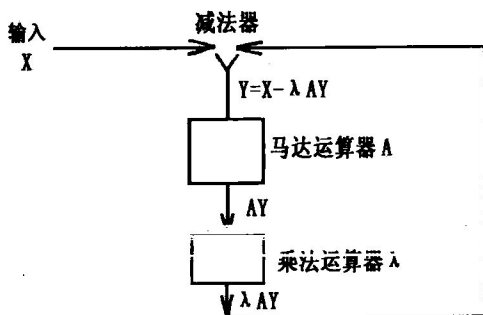


图 2

如果 $-\frac{1}{\lambda}$ 是内点，一个倍加因子为 λ 的反馈一定会引起许多麻烦，事实上，这些麻烦就是系统这时要陷于无终止的愈来愈强的振荡。反之，如果 $-\frac{1}{\lambda}$ 是外点，我们可以证明这个困难不会发生，这时反馈是稳定的。如果点 $-\frac{1}{\lambda}$ 在有效边界上，就需要比较复杂的讨论。在大多数场合，系统都会发生振幅并不

增大的振荡。

考虑几个运算符 A 的例子和它们许可的反馈范围，也许是值得做的一件事，我们不仅要考虑 (4. 02) 形式的运算符，而且也要考虑它们的极限，假如以上的论证同样可以适用于它们的话。

如果取运算符 A 为微分运算符 $A(z) = z$ ，则当 y 从 $-\infty$ 到 ∞ 时， $A(z)$ 同样从 $-i\infty$ 到 $i\infty$ ，内点是右半平面的内点。 $-\frac{1}{\lambda}$ 永远是外点，所以任意等级的反馈都是可能的。若取运算符为

$$A(z) = \frac{1}{1+kz}, \quad (4.22)$$

则曲线 (4. 17) 为

$$u + iv = \frac{1}{1+kiy}, \quad (4.23)$$

或

$$u = \frac{1}{1+k^2y^2}; \quad v = \frac{-ky}{1+k^2y^2}, \quad (4.24)$$

它可以写成

$$u^2 + v^2 = u. \quad (4.25)$$

这是一个半径为 $1/2$ ，中心在 $(1/2, 0)$ 的圆。它的旋转方向是顺时针方向，内点是通常认为内点的那些点。在这情形下，当 $-\frac{1}{\lambda}$ 永远在圆外时，许可的反馈范围也是没有限制的。与这运算符对应的 $a(\tau)$ 为

$$a(\tau) = \frac{e^{-\tau/k}}{k}. \quad (4.26)$$

又，假设

$$A(z) = \left(\frac{1}{1+kz}\right)^2. \quad (4.27)$$

于是 (4. 17) 为

$$u + iv = \left(\frac{1}{1+kiy}\right)^2 = \frac{(1-kiy)^2}{(1+k^2y^2)^2} \quad (4.28)$$

即

$$u = \frac{1 - k^2 y^2}{(1 + k^2 y^2)^2}; \quad v = \frac{-2ky}{(1 + k^2 y^2)^2} \quad (4.29)$$

我们得到

$$u^2 + v^2 = \frac{1}{(1 + k^2 y^2)^2}, \quad (4.30)$$

或

$$y = \frac{-v}{(u^2 + v^2)2k} * \quad (4.31).$$

于是

$$u = (u^2 + v^2) \left(1 - \frac{k^2 v^2}{4k^2 (u^2 + v^2)^2} \right) = (u^2 + v^2) - \frac{v^2}{4(u^2 + v^2)}. \quad (4.32)$$

在极坐标中, $u = \rho \cos \varphi$, $v = \rho \sin \varphi$, 上式变为

$$\rho \cos \varphi = \rho^2 - \frac{\sin^2 \varphi}{4} = \rho^2 - \frac{1}{4} + \frac{\cos^2 \varphi}{4}, \quad (4.33)$$

或

$$\rho - \frac{\cos \varphi}{2} = \pm \frac{1}{2}, \quad (4.34)$$

即

$$\rho^{\frac{1}{2}} = -\sin \varphi / 2; \rho^{\frac{1}{2}} = \cos \varphi / 2. \quad (4.35)$$

能够证明, 这两个方程仅仅表示一条曲线。它是顶点为原点而歧点在右边的心脏线。这个曲线的内点不包含负实轴上的点; 和上面情形一样, 许可的放大率也是没有限制的。这时运算符 $a(\tau)$ 为

$$a(\tau) = \frac{\tau}{k^2} e^{-\tau/k}. \quad (4.36)$$

假设

$$A(z) = \left(\frac{1}{1 + kz} \right)^3. \quad (4.37)$$

并假设 ρ 和 φ 的定义和上一情形中的一样。于是,

$$\rho^{\frac{1}{3}} \cos \frac{\varphi}{3} + i \rho^{\frac{1}{3}} \sin \frac{\varphi}{3} = \frac{1}{1 + ki y}. \quad (4.38)$$

和第一个例子中一样，我们可推得

$$\rho^{\frac{1}{3}} \cos^2 \frac{\varphi}{3} + i \rho^{\frac{2}{3}} \sin^2 \frac{\varphi}{3} = \rho \frac{1}{3} \cos \frac{\varphi}{3}. \quad (4.39)$$

即

$$\rho \frac{1}{3} = \cos \frac{\varphi}{3}, \quad (4.40)$$

它是如下形状的曲线（见图 3）。阴影区域表示内点区域。所有系数超过 8 的反馈都是不可能的。相应的 $a(\tau)$ 为

$$a(\tau) = \frac{\tau^2}{2k^3} e^{-\tau/k}. \quad (4.41)$$

最后，假设运算符 A 是一个简、单的延迟 T 单位时间的运算符，即

$$A(z) = e^{-Tz}. \quad (4.42)$$

我们得到

$$u + iv = e^{-Ty} = \cos Ty - i \sin Ty. \quad (4.43)$$

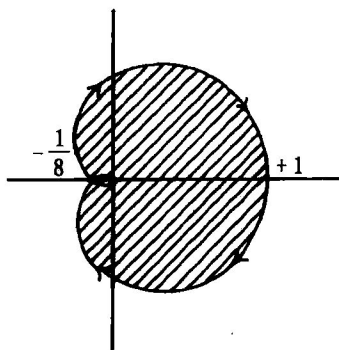


图 3

曲线 (4.17) 是以单位速度和顺时针方向绕原点旋转的单位圆。这个曲线的内部是通常意义下的内部，反馈的极限强度为 1。

由此可以作出一个很重要的结论：用任意强度的反馈来补偿运算符 $1/(1+kz)$ 都是可能的，对于任意宽的频带，它都可以使 $A/(1+\lambda A)$ 无限接近于 1。因此，用三次，甚至只用两

次的逐次反馈就可以补偿三个这种逐次作用的运算子。但是，我们不可能用单次反馈来无限补偿运算子 $1/(1+kz)^3$ ，因为这个运算子是三个运算子 $1/(1+kz)$ 级联起来的合成结果。运算子 $1/(1+kz)^3$ 也可以写成

$$\frac{1}{2k^2} \frac{d^2}{dz^2} \frac{1}{1+kz}; \quad (4.44)$$

可以把它看成三个具有一次式分母的运算子的加法合成的极限。因此，它是这样三个不同运算子的和，其中每一个都可以用单次反馈来任意补偿，但它们的和却不能用单次反馈来补偿。

在麦考尔的重要著作中，我们可以看到复杂系统的例子，它能够用两次反馈来稳定，但不能用一次反馈来稳定。使用回转罗盘驾驶船舶时就遇到这种情形。舵手预定的航向和罗盘仪上指示的航向之间的角度，本身表现为舵的转动，这个转动在船前进方向上产生一个转矩以改变船的航向，使得预定航向和实际航向间的差异减小。如果这个过程地完成，是由于直接打开某一舵机的活阀并关上另一舵机的活阀而使舵的转动速度和船的偏航度成比例的话，那末，舵的角位置就大致和船的转矩成比例，也就是和它的角加速度成比例。因此，船转动的大小和偏航度的三次微商的负值成比例，而我们必须依靠回转罗盘的反馈来稳定的操作是 kz^3 ，这里 k 是正的。这时曲线 (4.17) 为

$$u + iv = -kiy^3, \quad (4.45)$$

因为左半平面是内点区域，所以用任何伺服机构都不可能稳定这个系统。

在以上的考虑中，我们对驾驶的问题有点过于简单化了。实际上是有一定摩擦力存在的，船的加速度不仅仅由使船转动的力决定。因此，如果 θ 是船的角位置而 φ 是舵相对于船的角位置，我们有

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = c_1\varphi - c_2 \frac{d\theta}{dt} \quad (4.46)$$

和

$$u + iv = -k_1 iy^3 - k_2 y^2. \quad (4.47)$$

这个曲线可以写成

$$v^2 = -k_3 u^3, \quad (4.48)$$

它仍然不能用任何反馈来稳定。当 y 从 $-\infty$ 跑到 ∞ 时, v 从 ∞ 跑到 $-\infty$, 曲线的左侧是内部。

但是, 如果舵的位置和偏航度成比例, 那么用反馈来稳定的运算子为 $k_1 z^2 + k_2 z$, 而 (4.17) 变为

$$u + iv = -k_1 y^2 + k_2 iy. \quad (4.49)$$

这个曲线可以写成

$$v^2 = -k_3 u, \quad (4.50)$$

但在这场合下, 当 y 从跑到 $-\infty$ 时, v 也从 $-\infty$ 跑到 ∞ , 曲线的图形是从 $y = -\infty$ 到 $y = \infty$ 来描画的。这时曲线的左侧是外部, 因此无限大的放大率都是可能的。

为了达到这个目的, 我们可以使用更高级的反馈。如果我们不是用实际航向与预定航向间的偏离, 而是用这个量与舵角位置间的差别来调节舵机活阀位置的话, 舵的角位置就非常精确地和船的偏航度成比例, 不过需要足够强度的反馈——即需要将活阀打开得足够宽。这种双重的反馈控制系统, 事实上就是我们用回转罗盘自动驾驶船舶时通常采用的。

在人的躯体中, 手的运动或手指的运动都是一个包括很多关节的系统的运动。整个输出是所有这些关节的输出的矢量和。我们前面看到, 一般说, 像这种复杂的加法系统不能用单次的反馈来稳定。因此, 通过对于表示运动尚未完成的量的观察来调节一个动作的随意反馈, 还需要其它形式的反馈来帮助。我们把这些反馈叫作姿势反馈 (postural feed back), 它们和肌肉系统紧张力的一般维持有关。随意反馈在小脑受伤的场合具有衰退或紊乱的倾向, 这时如果病人不企图完成一个随意动作, 就不会出现震颤。如果病人不能够做到端起一杯水而不倾覆它, 这是目的振颤, 它的性质和巴金森震颤 (tremor of