

控制论与运动



KGZHLUN
YUNDONG

人民體育出版社



2 041 1950 5

控制论与运动

弗·弗·佩特罗夫斯基 著
张世杰 译



人民体育出版社





原文书名 Кибернетика и Спорт
作 者 В.В.Петровский
出版者 Издательство "Здоров'я"
出版时间 1973年

控制论与运动
弗·弗·佩特罗夫斯基 著
张世杰 译
人民体育出版社出版
新村印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

787×1092毫米32开 70千字 3.5印张
1982年7月第1版 1982年9月第1次印刷
印数：1—4,356册

统一书号：7015·2027 定价：0.45元
责任编辑：施季刚



内 容 简 介

为了提高体育教育、运动训练过程的效果和精确性，体育界的学者和实践者试图应用控制论的思想和方法来研究解决这些问题。控制论对运动科学中的应用已引起普遍重视。新的科学思想分支—运动控制论正在形成。运动控制论提出的思想和方法对体育教育和运动训练过程的传统概念给予了重大补充，它的研究内容：是研究健康人有机体适应机能活动的一般控制规律。

本书是介绍运动控制论的一本入门书，系统地介绍了控制论的研究和应用的基本概念和方法，及其在运动科学中的应用。书中的阐述没有涉及过多的数学知识，内容深入浅出，通俗易懂。可供体育院系师生、教练员、运动员、体育科研人员以及从事控制论研究人员参考。



译者的话

控制论一词源于古希腊文 κυβερνήτης，即“掌舵人”的意思，词意是很普通的，但历史上许多著名的科学家都曾对它发生过兴趣。古希腊的哲学家柏拉图曾把操纵船的技术叫做控制论，后来他又转意应用，把控制人的技术叫做控制论。法国物理学家安培的思想更加活跃，他把管理国家的技术叫做控制论。到了本世纪四十年代美国著名数学家维纳直接借用这个词，发表了闻名全球的《控制论》专著，他把控制论定义解释为“动物和机器中控制和通讯的科学”，从而为控制论这门新兴学科的产生奠定了基础。三十多年来，在控制论的发展历史中尽管也经历了曲折的过程，但是，这门年轻的学科以其强有力的生命挺立于科学丛林之中，它不仅牢固地确立了自己的地位，而且对现代科学的许多领域，诸如工程技术，经济管理，生物和生命现象，以至于哲学和社会现象等许多方面的研究都发生了巨大的影响，形成了工程控制论、生物控制论、经济控制论等许多新的分支。一些年来，由于各交叉学科科研人员的共同努力，在控制论各分支领域中都获得了一些极有意义的成果。例如，生物控制论，它是控制论的一个重要分支，是控制论理论和方法在生物学科中的应用，研究生物中信息传递、处理过程和控制规律的科学。由于生物控制论的发展促进了以静态、描述为主的生物医学科学向动态、定量的精密科学方向发展，解决了一些以传统生物学方法所不易解释的问题。已取得大量成果足已证明控制论研究所建立起的一些基本概念和方法可以为许多领域的

• 1 •



深入研究提供有力的工具。

近十几年来,控制论的影响又涉及到了另一门科学领域——运动科学。从本质上说,运动科学中的控制问题也属于生物控制论研究范畴,但由于体育运动的多样化与特殊性,从发展趋势来看,大有自成体系的倾向,运动控制论的诞生将是必然的结果。

为了使我国广大教练员、运动员学习和了解控制论的基本内容及其在运动科学中的应用,尽快掌握和应用先进的科学方法促进运动训练水平的提高,弗·弗·佩特洛夫斯基的这本书是一本较为合适的参考书。作者本人是一名田径教练,他在将控制论思想和方法运用于他的日常训练过程中,培养出了如鲍尔佐夫这样的奥运会冠军的运动员,获得了一定的成功。

深入地学习和掌握控制论确实需要一些专门的数学基础,但读者在阅读本书时可以发现,作为控制论思想和方法的初步应用并不需要高深的数学知识。根据我国的实际情况,在当前,正确理解和掌握控制论的基本概念和方法,可能更为重要。

在我国,控制论与运动科学的结合刚开始,还是一枝幼苗,相信在广大教练员、运动员、体育科研人员和控制论研究人员的共同精心培育下一定能茁壮成长。

本书译稿经清华大学卢谦同志和中国科学院自动化研究所潘华同志进行了认真的校阅,在此谨表示衷心的感谢。

由于译者水平所限,译文中难免有错误和不妥之处,欢迎广大读者批评指正。

张世杰

一九八一年十月



作 者 序

当前，体育界日益感到迫切需提高体育教育过程、特别是运动训练过程的效果和精确性。因此，体育界的学者和实践者为此目的而试图应用控制论的思想和方法——关于最佳控制一般规律的科学，以研究解决这些问题那是完全自然的。尤其令人神往的是，应用控制论方法已在人类活动的各个领域——工程技术、经济、军事、医学、生物学、教育学等方面取得了显著成绩。而且已有人结合运动训练的任务对控制论的个别问题进行了研究（阿·恩·伯恩斯坦、尔·夫·奇哈伊泽、夫·姆·佳奇科夫、恩·格·奥佐林、夫·姆·扎齐奥尔斯基、尔·夫·马特维耶夫等等）。

由上述研究引出的教法建议也已在运动实践中得到应用。新的科学思想分支——运动控制论正在逐渐形成之中。运动控制论提出的思想和方法对体育教育和运动训练过程的传统概念给予了重大补充。关于运动控制论的研究内容，初步可以这样规定：是研究健康人有机体适应机能活动的一般控制规律。

我们并不试图在本书对这一复杂课题作全面论述，而是想根据现有文献资料、实践经验和本人的研究，就运动控制论中正在建立的有关运动训练过程的观点体系作一分析探讨尝试，并就在运动训练中如何应用控制论的思想和方法的若干一般问题作一论述。



作者理解他所承担的这一任务的艰巨性，并且清楚地意识到，由于某些问题还没有得到相当充分的研究解决，所以在阐述这些问题时难免会出现不妥之处。因此，热诚欢迎读者多提批评意见和希望，以便对本书进行必要的修订。

目 录

第一章 控制论的基本概念	1
一、控制论研究什么?	1
二、控制	3
三、信息	14
四、模拟	17
五、系统	19
六、黑箱	27
七、算法	29
第二章 运动训练和控制	30
一、在运动训练中应用控制论思想和方法的若干前提	30
二、体内环境恒定和适应	37
三、教练员——运动员系统	47
第三章 机能状态模型	49
一、状态模型的描述	49
二、一般身体训练水平	52
三、专项身体训练水平	53
1. 有机体各系统机能状态模型	53
2. 专项身体训练水平模型	55
四、技术训练水平模型	59
第四章 作用系统	60
一、选择训练作用的若干前提	60



二、提高有机体能量潜力的原理	62
三、身体练习教学的若干问题	75
第五章 教育学检测系统	88
第六章 如何组织对运动训练过程的控制	89
一、总任务的提出	90
二、练习模型	91
三、机能状态模型	92
四、监测参数	92
五、实际状态和预定状态的比较	93
六、运动员行为程序(训练作用)的选择	94
七、训练过程曲线图	96
八、对训练过程的控制	97
结束语	99
参考文献	100

第一章 控制论的基本概念

一、控制论研究什么？

“控制论”这一术语来源于古希腊词“Κυβερνητης”，词意相当于“舵手”一词。值得指出的是，古希腊哲学家柏拉图在管理艺术的意义上就早已应用了控制论的概念。

一百多年前，法国的物理学家和数学家安德烈·马里·安培(1775—1836年)在其巨著《科学哲学概论》中，也在同样的意义上使用了“控制论”这个词，他曾试图通过自己的这一著作将人类的知识归纳成一个严整体系。他在该书83节专门介绍了他所设想的新科学〈控制论〉，并规定了它的任务是研究控制社会的各种方法。但是控制论作为一门科学，它的诞生年代通常认为是在一九四八年，这一年美国数学家诺伯特·维纳的《控制论，或关于在生物有机体和机器中控制和通信的科学》一书问世了。控制论的诞生是数学家、生理学家和物理学家共同进行研究的结果。从维纳的书名就可以看出，控制论就是研究在生物有机体中、机器中或是在其它复杂系统中进行控制的一般性问题。控制论没有代替其它学科。它只研究一切对象的一种特性——即这些对象的行为或在外界作用影响下对象状态的变化。

同时，控制论所追求达到一定的目的——怎样才能更好

• 1 •



地将对象引导到所需要的状态，怎样才能更好地实现对象状态的有目的的变化。

例如，怎样才能更好地和有成效地组织飞机由一地往另一地的飞行，怎样才能更好地把一个人从病态转变为健康状态；怎样才能更好地把运动员的有机体由一种状态转变到另外一种状态，以保证达到更高的运动成绩。

控制论是研究最佳控制过程的一门科学^①，不管这些过程是在哪些系统中进行。应该指出，远在维纳之前，就有不少科学家提出过具有显著共同点的工程和生物系统的控制原理。天才的俄国生理学家伊·姆·谢切诺夫一八八九年在莫斯科大学的首次演讲中^②，就把某些反射活动与瓦特蒸汽机调速器的作用进行了比较，并强调了它们活动的原则相似之处。一九三八年阿·阿·乌赫托姆斯基注意到了肌肉活动中的反馈作用。远在控制论第一批著作出版之前，普·克·阿诺欣（1935年）和恩·阿·伯恩斯坦（1928、1947年）就已提出了复杂系统机能活动 and 自我调节的原理。

控制论的发展曾经是不平衡的，这主要是因为过于强调了对个别问题的研究和细致分析。普·克·阿诺欣正确地指出，对控制论个别部分所作的这种过分细致分析，往往会使研究工作脱离整个中心课题的研究范围。

目前约有一百个控制论定义。其中的每一个定义只强调了控制论的某一个特点。例如，阿·恩·科尔莫戈罗夫院士认为，控制论是对接收、储存和加工信息的各种系统进行研究的一门科学。哲学博士恩·勃·诺维茨认为，控制乃是为了获

①按照最一般的说法，最佳控制过程只是控制论研究的一个方面。

——译注

②见《谢切诺夫选集》43页，人民卫生出版社1957年。——译注

得有效效应而使信息进行循环的一种过程。阿·伊·别尔格院士下的定义是，控制论是关于对各种复杂动态系统进行最佳、有目的控制的一门科学。

目前，控制论分成三个主要分支：理论控制论，工程控制论，研究控制技术手段的各种问题；应用控制论，研究如何将控制论的思想和方法用于人类活动各具体领域中的问题（经济学、医学、体育运动等等）。

将控制论的思想和方法应用于具体情况，是一个相当复杂的过程，并要求进行专门的研究。

目前控制论已达到了这样一种发展水平，即已经产生了特殊的控制论概念和特殊的控制论术语。

下面我们将分别介绍控制论的某些基本概念。

二、控制

控制在自然界起着重要的作用，而且是生物的显著特征之一。细胞的生活，有机体的发育成长，动物的行为——所有这些过程都包含着一定的控制因素。

我们试把坠落的物体或飘浮在水流中的物体的运动，与在同一水流中游动的鱼儿的运动或在高空飞翔的鸟儿的运动作一比较。坠落的物体或在水流中飘动的物体，它们的运动是被动的，是受各种外界扰动作用的支配。而在鱼儿和鸟儿的运动中，我们可以看到有其一定的目的性，它们的运动从属于一定的目的和任务。在第一种情况下，我们看到的是机械运动。在第二种情况下，可以区分出两种过程：运动过程和控制过程，这两种过程的实现有着不同的规律。

通过对外界(扰动)作用的反作用而独立地改变自己的运



动并达到预定目的的能力，这是一切控制系统的显著特点之一。在这里，运动不仅仅被看作是一种在空间内的移动。运动是指对象的状态相对于时间的任何变化。例如，体温的变化，脉搏频率的变化等。

控制过程可以通过各种例子来说明：汽车的驾驶，心脏活动的调节，肌肉运动的控制，生产的管理。在生物学中，对控制过程的分析，可以从分析生物控制系统和有机体生命活动的控制过程来进行研究。所有这些方法，对设计描述生命现象的数理模型，今后对我们都有帮助（阿·阿·利亚普诺夫）。

运动训练可以列入第二种情况——健康人有机体生命活动的控制过程。

在控制过程的各种例子中，可以找到它们某种共同的、近似的地方。控制的实现要有一定的条件。第一个条件——要有控制系统和被控制系统（例如，人——汽车，工厂管理人员——工厂，医生——病人，教练员——运动员（见图1）。第二个条件——要有前向通路，以便通过它传递要求执行机构完成的指令。第三个条件——要有由执行者回到控制系统的反馈，控制系统通过这一反馈将会收到关于被控装置工作状态的信息，收到关于被控装置在完成控制指令后，它处于什么状态的信息。

如果我们把汽车驾驶员的眼睛蒙起来，或者设法使他不能了解某些情况，例如，汽车的行驶速度、弯道等。在这种情况下，驾驶员虽然可以发出控制指令，但要驾驶汽车那是不可能的。汽车的不可控制的运动必将造成事故。通过这一例子，我们看到反馈在实现控制方面具有多么重大的意义。

第四个条件——必须使沿前向通路和反馈通路传送的信



息达到相当的频率。例如，在驾驶员——汽车系统中，对于车速、路面质量变化的情况，驾驶员应经常不断及时掌握，并作出正确判断，迅速得到行动的相应指令；出现弯道——相应转动方向盘和变速；出现障碍——刹车等等。

这种要求迅速控制指令的信息，我们把它叫作速控性信息。其它一些很重要的情况，例如，油箱中的汽油量，冷却系统中的水温，驾驶员就没有必要那么经常掌握。这种信息我们管它叫非速控性信息（亦可译为周期性信息——译注）。

驾驶员驾驶汽车在城市街道行驶，会得到大量的信息。其中有一部分信息，象汽车的行驶速度、道路状况、路标，这对汽车的最佳控制是必不可少的。另外一部分信息则是无益的，甚至妨碍和干扰着控制过程；人行道上的来往行人、商店橱窗、戏报等等。这种信息我们管它叫扰动信息。通过此例可以看出，为了实现控制，必须对信息进行分析 和 评价。

信息的分析——这是信息处理的第一个阶段，任务是排除扰动信息，分清主次，分出快速信息和周期性信息。信息评价的任务是对所得的数据作出比较，并制定出相应的行动指令。例如，比较船的实际航线和预定航线，比较汽车的实际速度和预定速度。

对任何一个控制系统，都可以抽象地把它描绘为带有两个输入箭头和两个输出箭头的方块（见图2），每个箭头都

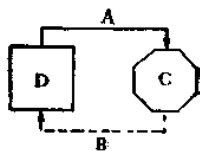


图 1 控制线路图

- A—前向通路
- B—反馈通路
- C—被控制部分
- D—控制部分

各与我们所欲研究的变量相对应(脉搏和呼吸频率等等)。此时一定的控制作用,例如,加速器 X_1 、 X_2 , 对应于一定的输出值(速度) V_1 , V_2 。

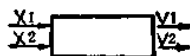


图 2

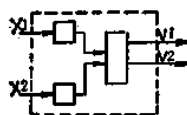


图 3

有时最好用多种互相作用的子系统来表示各控制系统, 这样更为方便(见图 3)。

各控制作用往往被称为输入变量或输入作用, 而把表述系统状态的该系统的元件和附加在这些元件上的输入作用, 称为系统输入。在各输入作用的影响下, 系统输入变换的结果, 称为输出变量或输出信号。可以把表述系统状态的任何变量看作是输入和输出信号, 如脉搏频率、体温等。

例如, 周围环境温度或压力的变化, 下达完成一定身体练习的命令等, 都可成为一种控制作用。

系统的运动(空间位置的改变或状态的变化), 可以看作是系统状态的一系列变换。系统由瞬间 t_1 的状态 a_1 过渡到瞬间 t_2 的状态 a_2 , 乃是 $a_1 t_1$ 向 $a_2 t_2$ 变换的结果。对象由一种状态过渡到另一种状态, 是通过操作者对对象施加控制作用而实现的。受作用的对象叫作被控对象, 而变换的结果叫作映象。这一变换过程可以描述为: 由于操作者对被控对象的作用, 使后者变换为映象(阿·亚·列尔涅尔)。把描述系统在不同期间所处状态的各量的值加以比较, 我们就能以相当的精度对系统的运动作出表述。描述系统状态, 有各种方法。在固定期间状态的相继变化, 可以用表或图的形式来表示。

被控系统的重要特性之一，就在于系统对解决所面临的问题所拥有多种方法（运动途径）。从其中选择和实现一个最佳方法，本身就是一项特定的控制操作。为了说明这一原理，我们试举一个问题来分析。有一旅游者甲某必须由城市的某一点(A)到达另一点(B)。他可以步行去，坐电车去或乘出租汽车去。可见，解这一问题的方法不是一个，而是多种的。这里自然要产生一个附加的问题：找出初始问题的最有利(最优)解法。在上述问题中，可以选择交通的费用或时间，作为判断“有利”的标准。如果旅游者要赶时间，而费用对他没有意义——那最好乘出租汽车去。如果把交通的费用作为判断“有利”的标准，而时间无重大意义，那就应该走着去。如果两者都有意义——最好乘电车去或者再找别的最佳方法去解决问题。再举一例：飞机应由A地飞往B地。在这里我们也面临着一个不肯定的问题：存在无限多的各种飞行路线。如果把飞行的高度选作标准（例如，超低空飞行）——那将会有有一个最佳路线。如果把飞行的时间作为判断有利的标准，那将会有另外一个最佳飞行路线。还可以举出其它例子，但是这些控制问题的特点是很清楚的，可以归纳如下：先是提出不是用一种而是用多种方法可能解决的某一问题。对这一不肯定问题的每一个解法，都对应有表示此解法有利程度的某一个数，为确定有利程度可以根据条件的不同，选择某一个最佳标准。但是并不是在任何时候都能将这类问题分为两部分。这些问题往往会联合为一个问题，并可大致表述为：在某种最佳标准情况下，从各种可能的解法中选取最有利的解法(弗·格·鲍尔强斯基)。

在网络规划理论，线性规划理论，博弈论，以及在现代数学中被称为最佳控制论中，对这类的课题进行了研究

