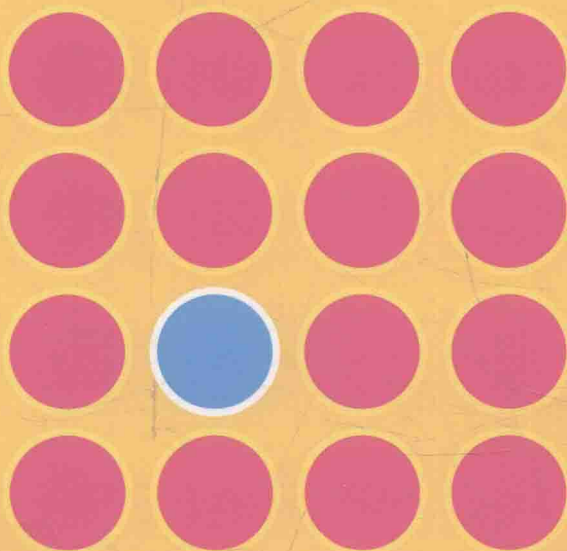


中国体育博士文丛

盐城工学院学术专著出版基金资助项目

竞技能力非线性系统 理论与方法

仇乃民 著



北京体育大学出版社

盐城工学院学术专著出版基金资助项目

中国体育博士文丛

竞技能力非线性系统 理论与方法

仇乃民 著

北京体育大学出版社

策划编辑 秦德斌
责任编辑 秦德斌
审稿编辑 苏丽敏
责任校对 成昱臻
版式设计 博文宏图

图书在版编目 (CIP) 数据

竞技能力非线性系统理论与方法/仇乃民著. - 北京: 北京体育大学出版社, 2016. 4
ISBN 978 - 7 - 5644 - 2234 - 9

I. ①竞… II. ①仇… III. ①运动员 - 运动训练 - 研究
IV. ①G808.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 069873 号

竞技能力非线性系统理论与方法 仇乃民 著

出 版	北京体育大学出版社
地 址	北京海淀区信息路 48 号
邮 编	100084
邮 购 部	北京体育大学出版社读者服务部 010 - 62989432
发 行 部	010 - 62989320
网 址	http://cbs.bsu.edu.cn
印 刷	北京京华虎彩印刷有限公司
开 本	787 × 1092 毫米 1/16
成品尺寸	235 × 157 毫米
印 张	16
字 数	280 千字

2016 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

定 价 39.00 元

(本书因装订质量不合格本社发行部负责调换)

摘 要

运动员竞技能力系统是复杂的、非线性动态系统,非线性是其本质属性。竞技能力系统的结构、功能及其行为表现与特征都具有非线性。竞技能力系统的演化是一种非线性自组织过程,非线性现象在其演化过程中具有普遍性。对于竞技能力非线性系统的控制必须遵循非线性问题处理的原则与方法。在竞技能力系统的训练过程中应该运用非线性思维与方法模式,即运动训练的选材、周期的安排、运动训练的评价与预测等都应具有非线性。因此,本文基于运动员竞技能力具有非线性的理论命题,以系统科学为研究方法论,着重运用非线性科学理论与方法对竞技能力的非线性问题与现象进行了揭示,由此形成了竞技能力非线性系统的理论与方法。具体的研究内容与成果如下:

1. 竞技能力系统是复杂的非线性动态系统。它是由环境、边界、结构、功能和状态等构成。非线性是竞技能力系统本质属性,各要素之间相互作用、相互影响互为关联。线性只是竞技能力非线性关系的特殊化或者简化。

2. 竞技能力非线性系统在环境中表现出各种各样的非线性行为,其主要表现为饱和型、指数型、U型、S型、间隙型、不灵敏区型和时滞型等七种非线性行为模式。同时,表现出非加和性、波动性特征、对初始条件敏感性、临界效应、分叉及多样性、突变性和协同性等七个基本非线性特征。

3. 竞技能力非线性系统的演化是非线性自组织。竞技能力系统是一种稳态,竞技能力系统的演化过程就是从稳态——不稳定状态——

新的稳定状态——新的不稳定状态……如此循环往复的过程。在其演化过程中遵循非平衡稳态原理、约束原理、波动原理和非线性协同原理等。

4. 竞技能力非线性系统的控制是非线性控制。其主要控制方法有：①改变系统的初态条件；②改变系统的终态条件；③改变系统的边界条件；④改变系统时间、空间结构；⑤应用系统的波动特征；⑥应用系统的临界性特征；⑦改变系统的恢复与阻尼因素等。同时，在其控制的过程中必须遵循整体控制与局部控制相结合的原则、非线性控制与线性控制相结合的原则、定量控制与定性控制相结合原则和自组织控制原则等四大原则。

5. 运动员竞技能力系统是复杂的、非线性动态系统。竞技能力非线性系统理论与方法是竞技能力系统在运动训练实践中的现实规律性体现和反映。它对整个竞技能力系统形成和发展的过程具有重要的实践意义，它要求竞技能力系统训练的选材是非线性，运动训练周期的安排、训练内容的设计和训练过程的评价与成绩预测等都应具有非线性特征，即竞技能力系统训练的模式应是非线性模式。

6. 通过对优秀游泳运动员杨雨整个运动生涯的竞技能力系统训练与演化过程的考察与分析，发现杨雨竞技能力系统在运动训练及其演化过程中充满了非线性特性，主要表现为竞技能力非线性系统演化的非平衡性、对初始条件的敏感性、波动性、突变性与饱和性等。杨雨竞技能力系统训练实际模式是多因素的、非线性训练模式。即从杨雨运动训练的准备期一开始，就力求以不同比例、形式组合安排各种竞技训练能力，而且这些能力之间不是仅仅的简单加和训练，而是注重各种能力之间相互作用、相互联系、相互影响成为一个整体的训练结果。

关键词：竞技能力；非线性系统；非线性行为；非线性演化；非线性控制

Abstract

Athletic ability of the system is complex, nonlinear dynamic systems. System between the different elements of the nonlinear mechanism is its essential attribute, non – linear phenomenon in its evolution is universal. But in order to deal with the problem of convenience, competitive capacity of the system over the past many nonlinear problems are approximately as a linear problem to be addressed. This approach is indeed done in some cases, a convenient, without losing its legitimacy. However, in many conditions, this linear approximation is difficult to explain many complex phenomena, then it must be non – linear way. under the scientific theory of nonlinear systems, this paper studied nonlinear systems of competitive ability on the theory and methods. Contents of the study and the results are as follows:

1. The system of athletic ability is complex, nonlinear dynamic systems. It is composition of its environment, boundaries, structure, function and status. Competitive ability of the system is essentially non – linear properties, linear but non – linear relationship between competitive ability specialization or simplification.

2. The system of competitive ability is non – linear evolution of self – organization. Evolution of competitive ability of the system is from the steady – state – unstable – a new steady state – the new instability. , iterative process. In the evolution of the system it follows the principle of non – equilibrium steady state, constraint, fluctuation and nonlinear synergy and so on.

3. In the environment, nonlinear system of competitive ability shows a wide variety of nonlinear behaviors. They are mainly saturated, exponential, U

- shaped, S - type, space - based, insensitive zone and time - delay seven kinds of forms. At the same time, they show does not meet the principle of superposition, with characteristics of stability and instability, the sensitivity to initial conditions, critical effects, bifurcation and diversity, catastrophe and synergy seven basic non - linear characteristics.

4. The control of competitive ability system is non - linear. Its main control methods are: (1) changing the initial state of the system conditions; (2) changing the way the system final state conditions; (3) changing the boundaries of the system condition; (4) changing the system time and space structure; (5) method of application of wave characteristics; (6) the critical characteristics of application systems approach; (7) changing the system of recovery and damping factor. Meanwhile, in the control process we must follow the four principle of overall and local control, nonlinear and linear control, combining quantitative and qualitative control, self - organization.

5. Athletes competitive ability system is a complex and nonlinear dynamic system. Theory and Method of athletic ability nonlinear system is athletic ability system in practice of sports training practical laws embody and reflect, which has important practical significance in the process of its formation and development. it requires requires athletic ability system training material is nonlinear, the arrangement of the training period, training contents of the design and the process of training evaluation and performance prediction should have the characteristics of nonlinear, athletic ability system training mode should be are nonlinear models.

6. Through the observation and analysis of elite swimmers Yangyu entire career athletic ability system training and evolution process, Yang Yu athletic ability system in sports training and evolution process of the full nonlinear characteristics, mainly for the competitive ability of nonlinear system evolution of non balance, to the initial condition sensitivity, volatility, mutation and saturation etc. Yang Yu athletic ability training system is a multi factor, nonlin-

ear training mode. Namely from Yang rain movement training to start, strive to different proportion, in the form of a combination of arrangements for a variety of athletic training ability and between these abilities is not only simple and and training, but pay attention to all kinds of ability between interacting, interrelated, mutual influence as a whole the training results.

Key Words: Competitive Ability; Nonlinear System; Nonlinear Evolution;
Nonlinear Control; Theory and Method

目 录

1	前 言	(1)
1.1	研究背景	(1)
1.2	问题提出	(4)
1.3	研究目的和意义	(6)
2	研究综述	(7)
2.1	竞技能力相关研究	(7)
2.2	非线性相关研究	(30)
2.3	本研究的研究空间	(41)
3	研究对象与方法	(43)
3.1	研究对象	(43)
3.2	研究方法	(43)
3.3	研究技术路线	(45)
4	分析与讨论	(47)
4.1	竞技能力非线性系统观	(47)
4.2	竞技能力非线性系统行为及其特征	(78)

4.3	竞技能力非线性系统的演化	(115)
4.4	竞技能力非线性系统控制及方法	(150)
4.5	竞技能力非线性系统训练模式	(170)
4.6	竞技能力非线性系统理论与方法实证	(199)
5	结论与展望	(223)
5.1	研究结论	(223)
5.2	研究创新	(224)
5.3	研究展望	(225)
6	致 谢	(226)
7	参考文献	(227)
8	附 录	(239)
	附录 A: 专家访谈提纲	(239)
	附录 B: 访谈专家简况	(241)
	附录 C: 实地调查记录表	(242)
	附录 D: 杨雨三周训练计划	(243)
9	近几年发表的相关论文与研究成果	(246)

1 前 言

1.1 研究背景

1.1.1 世界的本质是非线性的

古希腊人认为我们生活的世界是简单世界，是一个线性世界。如古希腊哲学家泰勒斯有句名言：“水是万物之源”；赫拉克利特认为，世界是一团不断燃烧永不熄灭的火；德漠克利特认为，原子的虚空是世界的根本。我国古代也有“五行说”，认为世界是由水、木、金、火、土演化而来的；而“阴阳学说”则认为世界是在阴阳二气作用的推动下孳生、发展和变化。近代自然科学泰斗牛顿以机械运动规律的单一性、对称性、可逆性和严格决定性将数的和谐简单性思想表现得淋漓尽致。20 世纪最伟大的科学家爱因斯坦甚至把追求简单性作为他一生的最高目标。莱布尼茨则认为，上帝是以实现最大限度的“简单性”和“完美性”的方式来统治宇宙的。奥卡姆认为，不要不必要地增多实体。然而，减少实体就能使对象简单化，即那些多余的、无用的东西毫不留情地统统剃掉，这就是著名的“奥卡姆剃刀”。也就是说，世界是充满稳定性、规则性、和谐性、有序性、因果性、本质简单性、周期性、对称性……的世界。

然而，我们所处的客观世界却是一个充满非平衡、非稳定、非均匀、非确定、非可逆、非连续、非周期、非对称……复杂的非线性世

界。即从自然界飞舞的雪花、涌动的气流、飘扬的烟雾、划过长空的霹雳闪电，到起伏的土地、曲折的海岸、分杈的树枝、缠结纷乱的湍流等等……大自然的千姿百态无不呈现出一种非线性复杂的现象。从人类社会的风云变幻，思维现象的扑朔迷离，到波动起伏的股票市场等，人类社会这一切的一切都是非线性相互作用所引起的复杂性结果。因此，非线性是世界本质属性。无论是自然界还是人类社会，无论是宏观还是微观，无论是无机界还是有机界，无论是物质世界还是精神世界，非线性是一切现实世界所固有的属性，也是一切物质运动的普遍规律。恩格斯说“相互作用是事物的真正的终极原因。我们不能追溯到比这个相互作用的认识更远的地方，因为正是在它背后没有什么要认识了。”^{〔1〕}事实正是如此，现代科学越来越清楚地证明，相互作用，特别是非线性相互作用的确是系统形成和演化的终极原因。贝塔朗非认为非线性关系是系统的本质，他说：“我们面对着整体，有组织化、多因素和多过程的相互作用，各种系统（随便你选用哪种词句来表达）等情况。它们在本质上是非加法的。”^{〔2〕}

1.1.2 竞技能力训练的线性模式并非是其提高全部机制

运动员的竞技能力是决定运动成绩的最核心的要素，提高运动员的竞技能力水平是运动训练的直接目的。因此，有关运动员竞技能力的理论与方法的研究一直以来是国内外运动训练研究的核心和热点问题。但是长期以来，受到现代运动训练科学线性范式的影响（现代运动训练科学研究的范式是线性范式）^{〔3〕}，现代运动训练理论与实践常常把运动员看成由意识和机体叠加，而机体则是许多机械部分（肌肉、骨骼、神经等）组成的机器。把运动看成静止，把高级运动还原成低级运动，把整体还原成局部，把复杂还原成简单。于是把竞技能

〔1〕 马克思恩格斯全集〔M〕·人民出版社，1979年（20）：574。

〔2〕 贝塔朗非·开放系统的模型：超出分子生物学〔J〕·自然科学哲学问题丛刊，1981（3）。

〔3〕 仇乃民，李少丹，等·非线性范式—运动训练科学研究的新范式〔J〕·体育学刊，2011，18（6）：108-112。

力则分解为体能、技能、心理、战术和智能等多个成分,竞技能力则是这些子能力(体能、技能、心理、战术和智能等)的简单加和。因此,产生了“训练需要理论”思想,即需要什么练什么,这种理论把人体比喻为一只水桶,运动成绩如同桶内的水,水的容量决定于最低的一块桶板,因此要“取长补短”,身体素质差就补身体素质,技术技能弱就加强技术训练。由此采用研究方法主要是分析还原模式,它按照人的解剖部位、生理机能、生化过程、技术结构、身体素质把人体及其运动形式分开来,用分析的方法加以研究,所研究的范围常常是局部的,使用的各项生理、生化、生物力学、心理和社会指标也只能反映某一项或几项能力。采用“影响运动员的各种训练方法和手段也常常是分解的、局部的,或防守技术,或进攻技术,或上肢,或下肢,或力量,或速度。各种研究和训练所采用的指标就越来越多,分解得越来越细,从器官到组织,从组织到细胞,从细胞到分子,从分子到基因等等。^[1]”因此,运动训练学界总体上形成了以机械、还原、线性的竞技能力理论模型与方法作为基础,追求一种简单明了的因果关系,并以此来说明运动员竞技能力形成的确定性规律并预测运动成绩的变化和发展。20世纪以来,这种训练思想确立,对训练实践的影响、运动成绩的提高、国际竞技运动的发展起到了巨大的作用。

然而,随着国际竞技体育的迅猛发展、竞技运动的竞争日趋激烈和运动训练实践的不断深化。在运动实践的过程中,我们发现有很多难以用传统的竞技能力的训练理论与方法解释的现象。如在运动训练过程中,不再是“练哪儿,长哪儿;练什么,长什么”,而“种进去的是龙,长出来的跳蚤”,或是“种的是西瓜,收的却是芝麻”,预期得到“超量恢复”,却造成了过度疲劳;预料收获成绩,却换回了严重的伤病;^[2]如期执行的训练计划,训练很投入,但成绩不理想,过去行之有效的方法,现在失灵了。同时我们发现,各种局部的研究和训练能否能达到如期的整体的提高,常常是有疑问。因为局部是合理,看

[1] 卢元镇. 训练科学、科学训练与训练科学化 [J]. 体育科研, 1996, (2): 1-7.

[2] 卢元镇. 训练科学、科学训练与训练科学化 [J]. 体育科研, 1996, (2): 1-7.

似科学的,但在整体上未必会出现训练效果。事实上所采用的指标越多,就分解得越精确,然而离整体就可能越远。于是,当我们对一个个成分基本了解时,却仍然不敢说了解了某个人或项目竞技能力。对运动中的“克拉克”现象、“Choking”现象、“流畅或高峰体验”“黑马”现象等等我们束手无策。我们也同样无法真正理解训练中“平台”现象、“竞技状态不稳定现象”、过度疲劳、运动成绩难以预测问题。我们无法清楚解释人体是怎样控制运动中大量运动自由度的问题(Bernstein, N. A., 1967)^[1]、理想动作模型和个性化动作多样性问题,同时也无法清楚解释动作的灵活性、适应性和创新性等问题。这些都是我们运动训练中常常遇到的困惑。

1.2 问题提出

传统竞技能力训练理论与方法的不足和困惑隐含着我们对训练实践规律认识的缺失,而对困惑问题产生根源的追寻则是极其重要。我们发现很多问题的缘起于传统的竞技能力训练理念。传统竞技能力系统的理论与方法是线性理论与方法。这种理论与方法只是在简单系统中是有效的,只适用于一定范围内。因为线性理论在处理线性问题上完善的,即输入与输出的比例关系不变的情况,也就是系统整体作用等于各部分作用之和。但是,这种情况多是自然现象中的一种特例,而多数情况下输入与输出之间不存在固定的比例关系,系统整体作用不等于各部分作用之和。因为我们面对现实的世界不是简单的、机械的线性世界,而是复杂的、非线性的动态世界。非线性是世界的本质属性,是一切物质运动的普遍规律。^[2] 人体也不是一台机器,不是一个简单的机械系统,而是一个复杂的非线性的动态系统。作为人体系

[1] Bernstein, N. A. The coordination and Regulation of Movements. New York: Pergamon Press, 1967.

[2] 武杰,李宏芳.非线性是自然界的本质吗?[J].科学技术与辩证法,2000,17(2):1-5.

统的一部分, 竞技能力系统同样是这样一个系统。因此, 非线性也是竞技能力系统其本质属性。但是由于为了处理问题的方便, 过去人们往往将竞技能力系统行为中的许多非线性问题近似地作为线性问题加以处理。这种近似的处理在某些情况下的确作到了既方便, 又不失其合理性。

如在竞技运动训练的初级阶段, 由于运动竞技能力之间性状间矛盾不明显, 用线性理论处理问题, 只要改善或提高竞技能力的某个或某些主导或关键(核心)竞技能力因素, 就会使运动员竞技能力的水平有较大的提高。然而随着运动水平的不断提高和接近, 许多优秀运动员竞技能力中主导因素之间水平已相差无几, 而决定运动员的成绩往往已经不是竞技能力系统中那些主导或核心因素, 而是那些被认为是非主导因素或支撑因素。同时, 非主导因素或支撑因素及其之间与主导因素之间矛盾趋于尖锐。这时竞技能力水平的提高更多地赖于各主要竞技能力间的协调共进, 线性理论就显得力不从心。此时仅用传统的竞技能力线性理论与方法处理实际问题已经满足不了需要。作为复杂的动态的非线性人体系统一部分的竞技能力系统, 在运动实践过程中已不断涌现出许多不确定性、不稳定性、突变性、多样性、偶然性、难以预测性等复杂性问题。非线性问题已经成为竞技能力系统在运动训练过程中不可忽视和回避的现实问题。

面对竞技能力系统在运动实践过程中不断涌现出非线性特性, 我们在很多情况下难以再用这种传统的确定性的竞技能力线性理论与方法来加以描述。因为从竞技能力运动实践中来看, 我们发现这些非线性的相互作用在多元素、动态的复杂竞技能力系统中具有普遍性, 非线性机制在竞技能力系统中几乎无处不在。竞技能力系统的各要素间存在着非线性相干作用; 竞技能力系统与环境的相互联系具有非线性的; 竞技能力系统的结构、边界、功能与系统行为都具有非线性特征; 非线性也是竞技能力系统自组织适应的根本机制; 竞技能力系统的训练过程充满了非线性; 评价和优化竞技能力系统过程是非线性的, 等等。这些竞技能力非线性问题需要进行非线性的处理。因为只有这样才能

真正地有效地反映竞技能力训练实践中客观真实世界。对这些竞技能力系统的非线性问题的研究就是竞技能力非线性的理论与方法。竞技能力非线性的理论与方法涉及到以下问题：竞技能力的非线性有何特征？它是怎样促使竞技能力发生变化的？竞技能力形成非线性现象是否有重要的机制？运动训练中又应怎样利用竞技能力的非线性？等等。

1.3 研究目的和意义

1.3.1 本研究的立意力图通过对竞技能力的非线性现象、特征、表现形式、存在与变化的规律以及产生作用的机理等诸多问题的非线性问题进行探讨，试图为竞技能力提高提供新的方法论理论支点，形成竞技能力非线性理论与方法，为进一步完善和丰富运动训练理论和方法体系而作出有益的贡献。

1.3.2 探索和研究非线性因素在竞技能力系统中作用，不能认为是对线性分析理论的精炼，因而只有学术性的意义。这种探索和研究有很大的实践意义，使理论更接近真实情况，让我们看到运动训练中更深刻、更本质的规律。从而能理解、解释和描述那些在线性假定下不解、误解甚至望而却步的许多现象。从而有助于排解运动训练专家与教练员在竞技能力发展与提高过程中的理论与实践困惑。

1.3.3 本研究通过对运动竞技能力系统的非线性机制、特征和对非线性控制方法的探讨和研究，希望能够对运动训练实践产生有益的引导激励与规范作用，有助于解决竞技能力形成过程中所面临的日益复杂的问题。为运动训练专家与教练员探寻竞技能力提高过程中的新路径、新方法从而优化运动训练过程。

2 研究综述

2.1 竞技能力相关研究

关于运动员竞技能力的研究一直是运动训练学研究的核心和热点问题，也是教练员和运动员极为关注的领域。长期以来，围绕此领域的诸多问题争论激烈。按照研究视角的不同，可分为竞技能力语义研究、竞技能力结构研究、竞技状态研究、竞技能力演化和特征研究等。

2.1.1 “竞技能力”语义的研究

竞技能力是运动训练理论中的核心概念之一，运动训练和竞赛的内容主要是围绕着运动员竞技能力的挖掘、发展和表现而展开。然而在国内外的体育界和有关书籍中，竞技能力又是一个模糊的概念（英文“content ability”“sports ability”“sportscapability”“competitive ability”“performance ability”“athleticsability”），尽管讨论的很多，但对它的认识和研究还不尽完善，竞技能力的定义长期以来一直存在分歧。

就我国而言，在我国运动训练学理论发展早期阶段，往往用“训练水平”“运动员所达到的竞技水平”“教练员组织训练工作水平”“运动员所具有的运动能力”等替代“竞技能力”用来描述运动员参加训练和比赛的本领。因此，存在着一定“用词”混乱的现象。1984年，田麦久博士首次提出并系统地阐明了竞技能力的科学含义，即“竞技能力”是运动员参加训练和比赛所必须具备的本领，是运动员技