

文章编号:1000-5862(2006)04-0339-03

# 竞技体育中的变加速运动及其概念规范

黄沛天<sup>1</sup>, 黄小棣<sup>2</sup>, 马善钧<sup>1</sup>, 徐学翔<sup>1</sup>, 贺梅英<sup>3</sup>

(1. 江西师范大学 物理与通信电子学院, 江西 南昌 330027; 2. 浙江医药高等专科学校 体育教研室, 浙江 宁波 315100;  
3. 宁波工程学院 基础部, 浙江 宁波 315016)

**摘要:** 研究了短跑的“收尾速度”模型. 在收尾速度模型中, 收尾速度  $v_m$  与过程特征参量  $k$  成反比, 而过程特征参量  $k$  不是个人参量. 在讨论变加速运动问题时, 我们建议使用科学的规范用语, 比如: 急动度, 力变率.

**关键词:** 变加速运动; 短跑; 收尾速度; 急动度; 力变率

**中图分类号:** O 313; G 804. 6 **文献标识码:** A

随着人类文明的进步和科学技术的发展, 传统牛顿力学中仅有的那些概念逐渐显得有些不够用了, 为此, 人们开始引入新的概念. 比如, 1928 年, P. Melchior 明确定义了急动度为加速度对时间的导数<sup>[1]</sup>; 1981 年, 黄沛天提出了力变率概念<sup>[2]</sup>; 1991 年, 梅凤翔等人给出了完整系统关于广义速度的 Lagrange 方程<sup>[3]</sup>; 1997 年, 吴大猷给出了猝量方程<sup>[4]</sup>; 2003 年, 黄沛天等人在导出加速度能定理之后, 提出了“变加速动力学”一说<sup>[5-6]</sup>. 而竞技体育也已经为变加速动力学概念的应用留下了特定的思考空间<sup>[7]</sup>. 目前, 变加速动力学还处在刚刚起步的阶段, 在有的文献中, 其概念的表述也尚欠统一规范. 本文想就文献[7]涉及的相关问题谈点我们的看法.

## 1 短跑的“收尾速度”动力学模型

文献[7]归纳出了运动员在短跑竞技运动中的两个速度时相: (1) 速度增大(起跑加速); (2) 速度相对稳定. 并且给出了速度方程

$$v(t) = v_m(1 - e^{-kt}). \quad (1)$$

尽管文献[7]认为, (1) 式中  $v_m$  的为速度的最大值, “ $k$  是表征起跑加速过程中加速度的个人参量.  $k$  值越大, 运动员达到自己的最大速度便越快.  $v_m$  值和  $k$  值并不相关.”等, 但却未给出必要的动力学模型予以说明, 这就难免会引起一些误解.

不难看出, (1) 式正是通常“收尾速度”动力学模型速度解的标准形式<sup>[8]</sup>, 而  $v_m$  则是“收尾速度”. 如果将 (1) 式对时间求导数, 便得加速度方程

$$a(t) = v_m k e^{-kt} = a_m e^{-kt}. \quad (2)$$

(2) 式表明, 运动是变加速的,  $k$  就是描写加速度衰减过程的重要参量,  $k$  值越大, 加速度衰减得越快. 当然, 从 (1) 式来说,  $k$  也是描写速度增长过程的重要参量, “ $k$  值越大, 运动员达到自己的最大速度便越快”. 因此, 人们可以把  $k$  视作同时描写加速度衰减和速度增长的过程特征参数, 但若把  $k$  说成是“个人参数”则似乎缺乏足够的理由. 下文还将看到, “ $v_m$  值和  $k$  值并不相关”这句话也与“收尾速度”动力学模型相悖.

为了说明相关的问题, 这里有必要认真考察一下 (1) 式应满足的“收尾速度”动力学模型. 如果不涉及求急动度, 我们依然可以只在牛顿力学框架内进行考察.

设地面以向前的静摩擦力  $f = \mu mg$  作用于人体脚底. 这里的  $mg$  为运动员的重量, 而比例系数  $\mu$  则与每

收稿日期: 2005-09-12

作者简介: 黄沛天(1940-), 男, 江西吉安人, 教授, 主要从事力学研究.

个运动员对地面的施力相关,且 $\mu$ 应小于静摩擦系数 $\mu_0$ (因为脚踏地不允许打滑)。此外,在收尾速度模型中,还须假定运动员所受的阻力 $R$ 与速度 $v$ 成正比,即 $R = kv$ , $k$ 为阻尼系数。于是我们可以写出动力学方程

$$m dv/dt = \mu mg - kv \quad (3)$$

由(3)式直接积分便可求得

$$v(t) = \frac{\mu mg}{k} (1 - e^{-(k/m)t}) \quad (4)$$

显然,若令 $v_m = \mu mg/k$ , $k = \lambda/m$ , (4)式便可简化为(1)式。

从 $v_m = \mu mg/k = \mu g/k$ 我们可以看出, $v_m$ 不仅与参量 $\mu$ 成正比,同时还与过程特征参量 $k$ 成反比。这里并非像文献[7]所说“ $v_m$ 值和 $k$ 值并不相关”。另外,从 $k = \lambda/m$ 可以看出,文献[7]把过程特征参量 $k$ 视作个人参量也是欠妥的。因为 $k$ 不仅与个体质量 $m$ 有关,还与阻尼 $\lambda$ 相关,应当说,过程特征( $k$ )是一个综合( $m$ 和 $\lambda$ )的特征。这里的阻尼 $\lambda$ 与外界环境相关,而人体质量 $m$ 也并不能用来作为严格区分每个运动员的特征,因此,与其把过程特征参量 $k$ 视作“个人参量”,还不如把 $k$ 视作“环境综合参量”更为合适。如果从(1)式注意到 $k$ 具有时间倒数的量纲,那么文献[7]下面的一段描述更是印证了过程特征参量 $k$ 的“非个人”特征。文献[7]写道:“实际上,最强的短跑运动员达到自己的最大跑速所花的时间同新手差不多,都大约是起跑后5~6s”。就是说,不管是“强手”还是“新手”,在某种条件下(阻尼 $\lambda$ 和人体质量 $m$ 都差不多的情况下),达到自己的最大跑速所花的时间取决于大致相同的过程特征参量 $k(= \lambda/m)$ ,而 $k$ 都大约为 $1.12 s^{-1}$ ,其倒数 $1/k = m/\lambda = 0.9 s$ ,则通常被称作速度增长过程的特征时间或弛豫时间<sup>[8]</sup>。若按文献[7]的原意,把上面这段描述理解为“ $v_m$ 值和 $k$ 值并不相关”,则显然是张冠李戴,文不对题。

## 2 急动度和力变率

如果说描写加速运动的主要运动学量和动力学量分别是加速度和力的话,那么描写变加速运动的主要运动学量和动力学量则分别是急动度和力变率。

### 2.1 急动度

文献[7]把位置坐标( $s$ )对时间的三阶导数( $\ddot{s}$ )称做“运动剧烈程度”。实际上,这个三阶导数也就是加速度对时间的导数。既然P. Melchior(1928年)早已把它定义为急动度,就不必另用“运动剧烈程度”称谓了。何况“运动剧烈程度”还可以有别的涵义,比如人们通常把气体分子的平均平动能(或温度)视作分子无规“运动剧烈程度”的标志<sup>[9]</sup>。因此,我们认为还是用急动度这个规范用语来称呼这个三阶导数( $\ddot{s}$ )更妥。当然,文献[10]用“加加速度”称谓也未尝不可。

### 2.2 力变率

由于文献[7]把力对时间的一阶导数 $dF/dt$ 称作力的梯度,以至文献[11]也跟随沿用了这一称谓,而文献[2]则把 $dF/dt$ 直接称做力的时间变率(简称力变率)。这里或许也须统一规范一下。

众所周知,梯度是个数学概念。它可以用来描写某个物理量的空间变化率,比如温度梯度,电势梯度,等等;但梯度不宜用来描写物理量的时间变化率。为此,我们认为,把 $dF/dt$ 称作力变率更符合科学规范,而应摒弃“力的梯度”一词。

## 3 结束语

尽管本文对文献[7]的一些相关表述提出了不同意见,但文献[7]率先使用 $\ddot{s}$ 和 $dF/dt$ 来讨论体育竞技中的问题却具有开创性意义,这一点不容贬低。

从理念上来说,变加速动力学仍然源自牛顿力学,它是对牛顿力学的一种补充。也正是由于实际应用的需要,人们才引入了急动度概念。它使人们对机械运动的认识和刻画更加深入、细致。在体育竞技中,变加速运动广泛存在,而且人们已经注意到,过大的急动度会引起不舒适感<sup>[10,12]</sup>。因此,研究各种剧烈竞技运动中的“急动度效应”对于运动生物力学来说,也许是一种有意义的工作。希望通过本文对相关问题的分析和讨论,能引起人们对竞技体育中各种变加速运动的进一步关注和研究,开拓变加速动力学应用的新天地。

**参考文献:**

- [1] Schot SH. Jerk: the time rate of change of acceleration[J]. Am J Phys, 1978, 46(11): 1090-1094.
- [2] 黄沛天. 一个描写机械运动的新概念——急动度[J]. 物理, 1981, 10(7): 394-397.
- [3] 梅凤翔, 刘端, 罗勇. 高等分析力学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1991: 251.
- [4] 沈惠川. 吴大猷先生点评《经典力学》[J]. 物理, 2000, 29(12): 743-746.
- [5] 黄沛天, 黄文, 胡利云. 变加速运动理论与实践意义初探[J]. 江西师范大学学报: 自然科学版, 2003, 27(1): 8-11.
- [6] 黄沛天, 黄文, 胡利云. 关于变加速动力学及其应用[J]. 力学与实践, 2004, 26(1): 67-68.
- [7] 顿斯柯依 DD, 扎齐奥尔斯基 BM. 生物力学[M]. 吴忠贵, 译. 北京: 人民体育出版社, 1982: 92-93, 140-143.
- [8] Sears FW, Zemansky MW, Young HD. 大学物理学(第一册)[M]. 郭泰运, 译. 北京: 人民教育出版社, 1979: 134.
- [9] 李椿, 章立源, 钱尚武. 热学[M]. 北京: 人民教育出版社, 1978: 55.
- [10] 谈开孚, 赵永凯, 郭小弟. 谈加速度[J]. 力学与实践, 1988, 10(5): 46-51.
- [11] 《运动生物力学》编写组. 运动生物力学[M]. 第二版. 北京: 高等教育出版社, 2002: 61-62.
- [12] 弗伦奇 AP. 牛顿力学(1)[M]. 郭敦仁, 何成钧, 译. 北京: 人民教育出版社, 1978: 172.

## The Varying Accelerated Motion in Competitive Sports and Its Normalized Concepts

HUANG Pei-tian<sup>1</sup>, HUANG Xiao-di<sup>2</sup>, MA Shan-jun<sup>1</sup>, XU Xue-xiang<sup>1</sup>, HE Mei-ying<sup>3</sup>

(1. College of Physics and Communication Electronics, Jiangxi Normal University, Nanchang 330027, China;

2. Physical Education Teaching and Research Office, Zhejiang Pharmaceutical College, Ningbo Zhejiang 315100, China;

3. Department of Base, Ningbo University Of Technology, Ningbo Zhejiang 315016, China)

**Abstract:** The terminal velocity model on short distance running is researched. The terminal velocity is inversely proportional to characteristic parameter on process in the terminal velocity model, but the characteristic parameter on process is not a parameter on individual character. When the questions on varying accelerated motion are discussed, we propose that the scientific normalized words such as jerk and time rate of force change are used.

**Key words:** varying acceleration motion; short distance running; terminal velocity; jerk; time rate of force change

(责任编辑:冉小晓)