

文章编号: 1005—8893 (2005) 03—0057—03

运动中体能的模型分析^{*}

蒋学东¹, 薛国新²

(1. 江苏工业学院 机械工程系, 江苏 常州 213016; 2. 江苏工业学院 计算机科学与工程系)

摘要: 利用数学模型探讨了运动员在比赛过程中的体能的变化过程, 建立了合理利用速度来控制比赛节奏, 提出了人体供能的表达式, 计算出了在不同速度下体能的消耗时间, 具有一定的参考价值, 以供运动员和教练员参考, 为全面认识运动员的体能特点进行科学化训练提供思路。

关键词: 体能; 数学模型; 人体供能

中图分类号: O 29

文献标识码: A

运动成绩是由人体的能力决定的, 体能对不同的运动项目所起的作用是不同的。体能类项目在当代奥运的奖牌配置比例高达 47%, 故进行以体能类项目优秀运动员体能建模操作中模型参数的优选方法为中心的体能模型理论研究具有重要的理论价值和实践意义。在项群训练理论的分类体系中, 按竞技能力的主导因素对运动项目进行分类是面向训练实践且操作性最强的一种分类方法。因为: “竞技能力是运动员具有的参加训练和比赛所需要的本领。由具有不同表现形式和不同作用的体能、技能、心理能力以及运动智能所构成, 在竞赛中综合地表现在专项比赛的过程之中。”田麦久认为, 体能类项目运动员“在熟练地掌握了合理的动作技术的基础上, 主要依靠不断发展体能水平, 以更大的力量, 更快的速度和更强的耐力促进竞技能力的不断提高。”^[1]因此, 体能在体能类项目运动员竞技能力的构成中居于主导和核心的地位, 致力发展运动员的体能是体能类项目训练的共同特征。

自美国著名应用数学家 T. B. Keller^[2~4]建立了一个训练运动员赛跑的数学模型, 用现代数学方法研究体育运动已成为提高和训练运动员的重要方法。现代体育已和现代科技结下了不解之缘, 在现代和未来的体育竞赛场上, 人海战术将不会显示很大的威力, 而科学的训练方法越来越显示其巨大的

作用。

1 数学模型

1.1 基本假设

①赛跑时的阻力不仅与速度成正比, 而且与速度的平方亦成正比; ②运动员能发挥的最大冲力已知; ③呼吸和循环系统在氧的代谢作用下单位时间提供的能量由实际供能系统进行拟合, 是时间的函数。初始时刻体内贮存的能量为 E_0 。

1.2 身体运动能量来源^[5, 6]

1.2.1 ATP 的供能途径

肌肉收缩的直接能源即直接做出机械功的能源来源: 三磷酸腺苷 (ATP)。体内 ATP 含量很少, 能使能量不断发放而 ATP 含量不见减少, 全靠它及时重新生成。APT 的供应途径很多, 除了 ATP—CP 磷酸原供能系统相互作用外, 大量依靠糖的无氧酵解、有氧氧化和其它物质参加的三羧酸循环等。磷酸原 (ATP、CP) 供能的输出功率最大, 所以由磷酸原供能时, 速度、力量是最大的。但供能特点是维持运动时间短, 输出功率在所有系统中是最大的。

* 收稿日期: 2005—07—01

作者简介: 蒋学东 (1966—), 男, 江苏常州人, 硕士。

1. 2. 2 能量供应的无氧和有氧过程

Margaria 曾计算体内能源物质的最大供能能力或总容量和功率 (即供能速率)^[5,6]

能源物质

$\left\{ \begin{array}{l} \text{无氧代谢} \\ \text{有氧代谢} \end{array} \right.$	ATP-CP: 最大供应量为每千克体重 418.6 J
	糖源-乳酸系统: 最大供应量为每千克体重 962.7 J
	糖源-有氧氧化: 糖源有氧氧化能力在能量供应上视为储量无限

供能速率或功率为: ①每千克体重为 54.5 J/s, 供能时间为 8~9 s; ②糖元-乳酸系统: 每千克体重为 29.2 J/s, 供能时间为 27~28 s; ③糖元有氧氧化: 每千克体重为 15.6 J/s。

根据供能速率或功率, 可以拟合呼吸和循环系统在氧的代谢作用下单位时间提供的能量:

$$\sigma = -0.001t^3 + 0.0164t^2 - 1.3415t + 52.0803 \quad (1)$$

1. 3 一般模型

1. 3. 1 短跑模型

运动员的速度受运动员的体力和赛跑时阻力的制约, 假定赛跑时来自体内外的阻力分别与速度及速度的平方成正比。

由牛顿第二定律:

$$\begin{cases} \frac{dv}{dt} = f(t) - av - bv^2 \\ v(0) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

冲力 $f(t)$ 是运动员自己控制的, a 、 b 是常数。

设 $f=F$ 是运动员发挥出来的最大冲力, 求解方程 (2) 可得:

$$v(t) = \frac{1}{2b} \left\{ -a + G \tanh \left[\frac{t}{2} G + \frac{1}{2} \ln \frac{G+a}{G-a} \right] \right\} = \frac{1}{2b} \frac{(G^2 - a^2) \tanh \frac{Gt}{2}}{G + a \tanh \frac{Gt}{2}}$$

其中 $G = (4Fb + a^2)^{\frac{1}{2}}$ 。速度变化见图 1。

记 $E(t)$ 为贮存于身体肌肉中的与氧量等价的能量, σ 为单位时间内提供的与氧量等价的能量, 由于单位时间内提供的能量 σ 与消耗的能量 fv 之差是贮存能量 $E(t)$ 的变化率, 有

$$\begin{cases} \frac{dE}{dt} = \sigma - fv \\ E(0) = E_0 \end{cases} \quad (3)$$

在短距离中, 运动员以最大冲力加速跑, 即令 $f(t) = F$, 可求得:

$$E(t) = -0.00025t^4 + 0.00547t^3 - 0.6708t^2 +$$

$$52.0803t + \frac{F}{2b} \{ at + \ln \{ \tanh [0.5tG + 0.5 \ln (G^2 - a^2)]^2 - 1 \} - \ln \left[\frac{a^2 - G^2}{G^2} \right] \} - 2E_0 = -0.00025t^4 + 0.00547t^3 - 0.6708t^2 + 52.0803t - F \left[\frac{1}{b} \ln \frac{(G+a)e^{\frac{Gt}{2}} + (G-a)}{2G} - \frac{G+a}{2b} t \right] - 2E_0$$

选择参数 $E_0 = 240.3.4 \text{ J/s}$, $a = 0.9$, $b = 0.01$ 。

能量消耗为零的时间为 34.435 s (见图 2)。

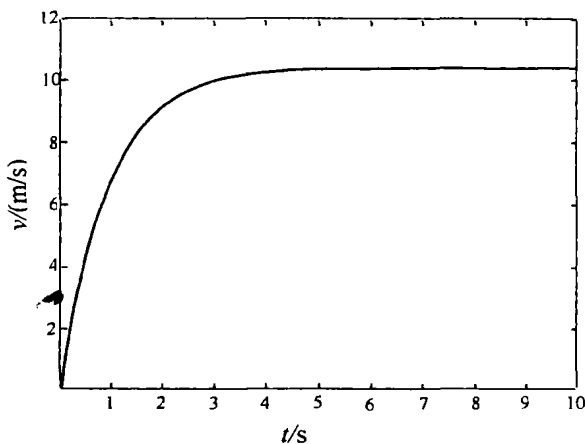


图 1 运动员速度图

Fig. 1 Velocity chart of the athlete

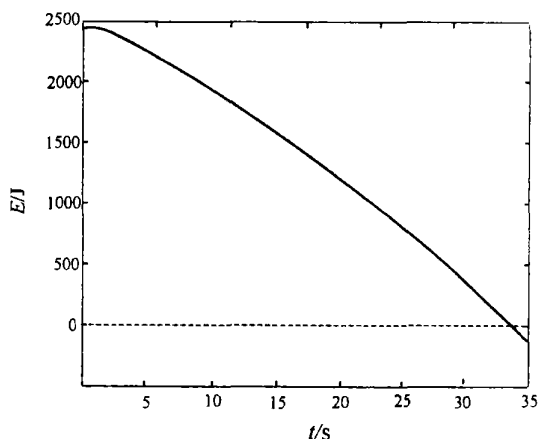


图 2 短跑中的能量计算

Fig. 2 The energy calculation of short run

同样可以估算出约翰逊的成绩, 见表 1。

表 1 约翰逊的百米成绩分布表

Table 1 Score distribute table of Johnson's 100 meter race

x/m	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
t/s	1.84	2.86	3.80	4.67	5.53	6.38	7.23	8.10	8.96	9.83

1. 3. 2 中长跑模型

根据文献 [2~4], 在初始阶段运动员以最大冲力获得高速度, 然后以匀速跑完中间阶段的路程是最佳的方法。

由公式 (2) 中, 再代入 (3) 式中

$$\begin{cases} \frac{dE}{dt} = \sigma - (av + bv^2) v \\ E(0) = E_0 \end{cases}$$

针对不同的速度计算^[7] 出能量变化图, 见图

3。

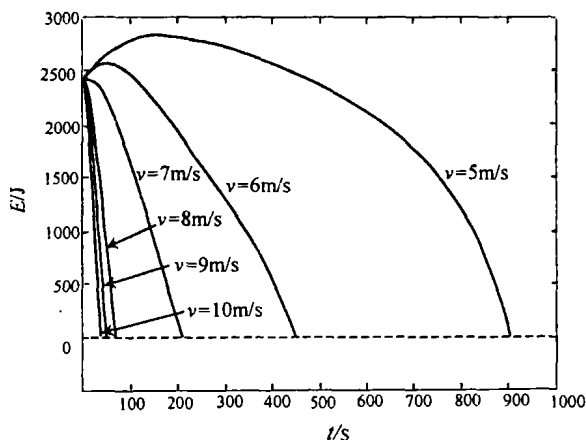


图3 各类速度的能量变化图

Fig. 3 Energies changes of all various velocities

1.3.3 一些结论

当运动员全速奔跑时, 体能在很短的时间内就将消耗完, 随着速度的下降, 人体的供能时间也将大为延长。当速度为最快速度的 50% 时, 理论上可以认为人体可以长时间进行运动。对于短距离的项目 (比赛时间在 35 s 左右可以完成) 要求运动员全速奔跑, 对于中距离的项目 (比赛时间在 450 s 左右可以完成), 适合于以全速的 70% 的速度进行, 而对于长距离项目则倾向于以全速的 50% 的速度进行安排。

例如运动员在 400 m 跑时的主要能量来源是乳酸能系统供能, 它占人体体能的比率约 75% 左右。人体在极限强度的运动状态下乳酸能系统供能只能维持 34 s 左右, 要全速跑完全程仍存在一定差距。因此进行合理的分配, 才能使运动员在 400 m 中基本进入无氧代谢区, 以达到最理想的成绩。

2 模型的讨论

该模型考虑了人体身体运动能量的实际来源, 还将人体的一些动能变化的量考虑在内, 比较符合实际情况。但同样的也存在一些不足: 该模型较适合短中跑的情况, 并且没有考虑空气阻力、海拔高度等因素的影响, 在短跑和中长跑中采用相同的参数, 这与实际情况还是有些不符。希望在以后的研究中得到一个满意的答案。

参考文献:

- [1] 钟添发, 田麦久, 王路德, 等. 运动员竞技能力结构模型及选材标准 [M]. 北京: 人民体育出版社, 1994.
- [2] Keller J B. Optional Velocity in a Race [J]. The American Mathematical Monthly, 1974, 81: 474.
- [3] 姜启源, 谢金星, 叶俊. 数学模型 [M]. 第三版. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [4] 陈义华. 数学模型 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1997.
- [5] 曲绵域, 高云秋, 浦钧宗, 等. 实用运动医学 [M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1996.
- [6] [英] 沃森 A W S. 身体素质与运动成绩 [M]. 北京: 人民体育出版社, 1999.
- [7] Duane Hanselman, Bruce Littlefield. 精通 MATLAB—综合辅导与指南 [M]. 李人厚, 张平安, 译. 西安: 西安交通大学出版社, 1999.

Analysis of the Capability Model in the Sport

JIANG Xue-dong¹, XUE Guo-xin²

(1. Department of Mechanical Engineering, Jiangsu Polytechnic University, Changzhou 213016, China)

Abstract: The article deals with players' physical capability using a mathematical model. It has established the reasonable speed to control the rhythm of game, put forward the expression of the human body's providing energy and computed the time of the depletion of capability in the different vectors. The results are useful to athletes and coaches. The results show that capability training should be combined with technical and tactical training in players.

Key words: capability; mathematical model; offering energy of body