

## 利用“抛物线与三角形”增进投篮动作之初探

宋方珺, 熊海金, 林宜甲\*, 熊祎阳

南宁师范大学 广西南宁

**【摘要】**近年, 全民健康素养与健康促进成为人们研究的主题之一。篮球运动对健康促进具有积极作用, 规范的投篮动作可以促进篮球运动的发展。因此, 规范的投篮动作值得深入探究。本研究在篮球轨迹“抛物线”模型的基础上, 以数理分析法与函数分析法建立投篮动作三角形模型, 对“单手”肩上投篮动作的“投球”和“举球”两个要点进行初步探索, 得出投篮距离与球员的手臂长度有相关, 投篮高度与球员肩部高度和手臂长度有相关; 发力角与球员的前臂与上臂长度有相关, 发力角在前臂与上臂构成直角三角形中的投篮效果优于锐角三角形和钝角三角形等结论, 为投篮动作提供了科学的数理依据, 对健康促进, 全民素养的提升具有现实意义。

**【关键词】**抛物线; 三角形; 投篮动作; 健康促进; 数学建模

### A Preliminary Study on Using “Parabola and Triangle” to Improve Shooting Action

Fangjun Song, Haijin Xiong, Yijia Lin\*, Yiyang Xiong

Nanning Normal University

**【Abstract】** In recent years, national health literacy and health promotion have become one of the research topics. Basketball has a positive effect on health promotion, and the standardized shooting action can promote the development of basketball. Therefore, the standard shooting action is worth exploring. Trajectory parabolic model on the basis of this study on the basketball, with mathematical analysis and function analysis shooting triangle model is established, on the one hand shoulder shot action of pitch and the ball preliminary exploration, two points are concluded shooting distance is related with the player's arm length, shoot height and shoulder height and arm length with related; Power Angle is related to the length of the forearm and upper arm of the player, and the shooting effect of power Angle in the right triangle formed by the forearm and upper arm is better than acute Angle triangle and obtuse triangle, which provides a scientific mathematical basis for shooting action, and has practical significance for health promotion and the improvement of national literacy.

**【Keywords】** Parabola; Triangle; Shooting action; Health promotion; Mathematical modeling

#### 1 绪论

近年来, 全民素质稳步提升, 健康素养与健康促进已经成为全民关注的焦点。篮球是促进健康素养提升的体育运动, 自传入中国以来, 已经发展到全国各地, 并深受各年龄段的人们喜爱。有学者指出, 经常参加篮球运动能够促进人体生理和心理的协同发展, 篮球运动独特的趣味性和可操作性是实现运动参与者健身功能的基本动因<sup>[1]</sup>。投篮技术作为篮球运动的重要技术, 每一步都推动着整个篮球运动的发展<sup>[2]</sup>。球员的投篮技术动作、情绪波动与自信是影响投篮命中率的因素, 投篮技术的规范性也会影响球员的情绪与自

作者简介: 宋方珺 (1969-) 女, 汉族, 台湾台南, 博士, 副教授, 研究方向: 教育政策, 心理学研究。

熊海金 (1999-) 男, 苗族, 云南曲靖, 硕士, 研究方向: 数学教育教学, 数学建模。

林宜甲 (1967-) 男, 汉族, 台湾高雄, 博士, 副教授, 研究方向: 休闲运动, 管理学研究。

熊祎阳 (1997-) 女, 汉族, 江西南昌, 硕士, 研究方向: 数学教育教学, 数学建模。

信。因此,探索投篮动作的规范性是人们一直以来广泛讨论的话题<sup>[3]</sup>。虽然生活中不乏标准或规范的投篮动作教学,比如篮球俱乐部或训练营,中小学与高校教师都有开设篮球教学课程,但大多数人由于经济条件、工作繁忙、所学非篮球专业等因素,几乎难以接触到现实的专业教学。随着互联网的传播,网络中也有许多投篮课程,但网络教学视屏存在不同的教学理论,几乎没有统一的标准,容易混乱。由此,研究规范的投篮动作对篮球运动的发展与促进全民健康素养提升具有现实意义。

生活中,篮球得分的唯一方式是把篮球投入篮筐,而得分的投篮方法手段有很多种,最为人熟知和常用的就是“单肩投篮”,其正常的得分顺序是球员“持球→举球→投球→进球→得分”。而研究者试图从篮球的运动轨迹→投篮动作进行逆向研究,试建立本研究的模型关系如图1所示:

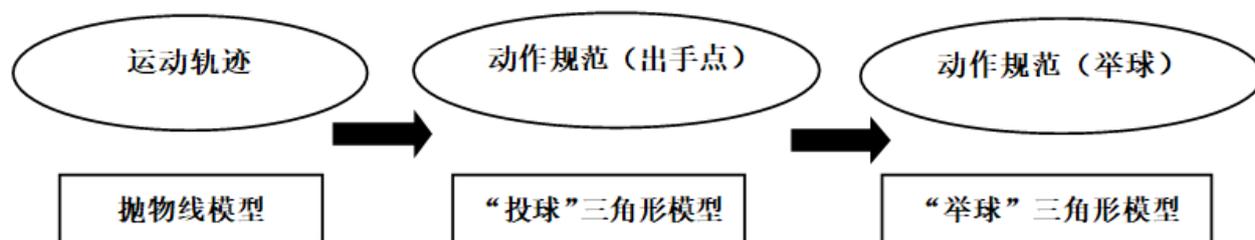


图1 本研究模型关系图

综上所述,研究者尝试使用简单的数理知识建立投篮动作模型,为规范的投篮动作提供科学的数理支撑,方便广大篮球爱好者理解投篮动作要点,进而促进篮球运动的发展,提升全民健康素养。

## 2 文献综述

数学建模是一种模拟,是用数学符号、数学公式、程序、图形等对实际问题本质属性的抽象,能为某一现象的发展提供某种意义下的最优策略<sup>[4]</sup>。投篮是运动员为将球从篮圈上投进篮筐而采用的各种专门动作的总称<sup>[5]</sup>。近年来,关于投篮的研究非常丰富,其中,单肩投篮的研究较为突出,特别是数学建模应用于篮球运动中,学者们都在不同程度上进行了讨论。

自篮球传入中国以来,在目前查阅到的文献中,数学建模与篮球的关联最早出现在上世纪八九十年代,1984年,籍传翔是首个以“抛物线曲线方程”模型对运动轨迹进行分析的学者,并认为出手速度与投篮高度、投篮距离相关,出手角度的范围在45度左右<sup>[6]</sup>。1990年,王培勇教授等人借助投篮曲线分析仪将摄像信息输入给电子计算机,通过数字图像处理,解析篮球投篮曲线,计算篮球的运动中的任意时刻速度、高度、进篮角等参数,并比较了数学计算,实际录像结果,和用录像初始条件计算出的结果三者之间的差异<sup>[7]</sup>。这是国内最早使用现代化技术对篮球轨迹进行建模的研究。进入21世纪以后,曹军计算了给定点的空心中框概率、最佳投篮速度、最佳投篮角度和截止投篮速度。丁荣利<sup>[8]</sup>建立外围投篮命中率的模型,分析了外围投篮击中篮板中央的正方形小方块进球的概率在24.2%左右<sup>[9]</sup>。于是,投篮命中率的研究进一步深入。段然在前人的研究基础上建立了后旋球的伯努利方程,认为利用球的高速后旋,可提高球在空中飞行的弧度,增大入射角,扩大篮筐的暴露面,提高球的命中率。此后,诸如王浩羽、李霏雯与张鹤扬<sup>[10]</sup>等不少学者对投篮角度,抛物线,篮球入射的角度,后旋球投篮以及命中率等问题进行了研究,虽然取得了一定的研究成果,但是研究跨度时间较长,而且较为散乱。直到2018年,董晓红通过投篮运动的普遍规律,建立抛物线的数学模型,利用Matlab软件进行验证取得了较为系统的结论

(1) 当投篮高度、水平距离、投篮角度保持不变,投篮速度不同时,速度越大,投篮命中率越高。

(2) 速度一定时,投篮高度越大,投篮角度应越大,但随着速度的增加,高度对角度的影响变小,这种情形在1度左右;投篮高度一定时,速度越大,投篮角度也应越大,速度的影响在7~9度左右;

(3) 出手高度达到2.6~2.9米时各种距离的出手角度趋向稳定。2021年,在前人的研究基础上,刘旭光、赵汝卿、张雅男<sup>[11]</sup>考虑篮球受到的重力、空气阻力和玛格努斯力建立“三力”模型,利用仿真求

解篮球的飞行轨迹, 通过命中率得到投篮时的最佳出手状态。至此, 刘旭光<sup>[12]</sup>等人的研究将篮球投篮轨迹的研究开始联系到投篮动作的研究。

对于投篮动作的研究, 以体育教师为主的学者均是从“生物力学角度”进行投篮的动作规范教学或研究, 就目前搜集到的文献来看, 最早出现在上世纪八十年代, 总体而言, 从生物力学角度对动作把握主要体现在“持球动作、举球动作、投球动作”以及“腰部与腿部”的动力来源, 其中最具代表性的是李晟堂的研究综述与单勃的研究, 李晟堂指出投篮过程中, 下肢所测肌肉最先发力, 力量自下而上向上传递, 上肢肱三头肌最后发力, 完成整个投篮动作过程。单勃<sup>[13]</sup>研究指出在整个投篮过程中, 关节角度变化幅度最大的是肘关节为  $61.76^\circ$ , 最小的是髋关节为  $15.13^\circ$ 。平均角速度最大的是肘关节为  $172.2$  度每秒, 最小的是髋关节  $14.5$  度每秒, 关节伸展时间最长短的是肘关节为  $0.36$  秒<sup>[14]</sup>。

国外方面, 最为著名的是普·吉·布兰卡奥对出手角度分析得出篮球进入篮筐的角度(进入角)与允许误差的范围, 误差最大为  $10.54\text{cm}$ , 此时进入角为  $90^\circ$ , 这是人类所不能达到的, 通常误差均在  $3$  至  $4\text{cm}$  左右, 投篮角度为  $32$  度  $48$  分误差为  $0$ , 但弧度过低导致球与筐平行<sup>[15]</sup>。结合其他文献分析, 数学建模早已渗透到了篮球轨迹的研究中, 但是关于投篮动作的研究几乎空白。投篮动作更多的是从“生物力学角度”进行投篮的动作规范教学或研究, 效果也的确显著, 但对于绝大多数人而言, 由于所学非篮球专业等条件受限, 基本接触不到专业的指导。三角形是生活中较为熟知的图形, 其应用广泛, 便于理解。因此, 本文站在前人的研究基础上, 利用简单的数理知识优化抛物线模型, 通过抛物线模型逆向建立规范的投篮三角模型。

### 3 研究方法

本研究中主要采用数理分析法与函数分析法进行研究。

#### 3.1 模型的操作性定义

本研究视篮球的运动轨迹和篮筐在同一平面内, 忽略空气中的阻力和篮球的重力, 不考虑打篮板投篮的方式进行投篮, 不考虑篮板背面负角度投篮, 不考虑防守球员的干扰, 球员的投篮动作作为“单肩投篮动作”球员如果采用起跳的方式投篮, 认为垂直起跳, 最后垂直落地, 或者默认为球员原地投篮。

#### 3.2 篮球运动轨迹分析与出手点模型

籍传翔等人的“抛物线模型”(以下称为“早期模型”), 缺陷是认为出手点距离篮筐和投篮距离相等(如图 2, 3 所示), 实际则不然, 本研究将加以完善。

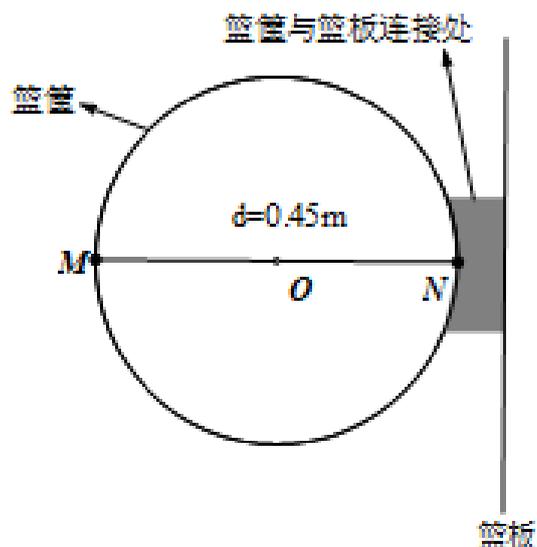


图2 “早期”模型中篮筐平面图(重制)

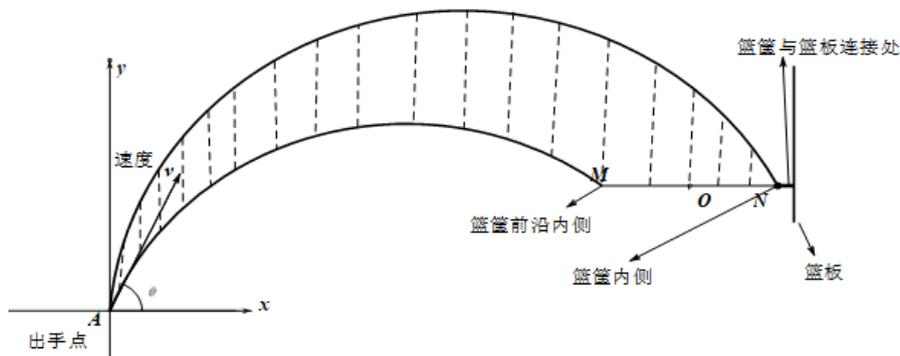


图3 “早期”模型中篮球运动轨迹平面图(重制)

利用物理学中的平抛运动原理可解得, 早期的模型方程:

$$y = x \tan \theta - \frac{g}{2v^2 \cos^2 \theta} x^2 \quad (0 < \theta < \frac{\pi}{2}) \tag{1}$$

设弧  $\widehat{AM}$  的曲线方程为:  $y = x \tan \theta - \frac{g}{2v^2 \cos^2 \theta} x^2$ , 弧  $\widehat{AM}$  经过点  $M(z, h - H_0)$ , 带入曲线方程得:

$$\frac{g}{2v^2 \cos^2 \theta} = \frac{\tan \theta * Z - (h - H_0)}{Z^2}, \text{ 整理得:}$$

$\widehat{AM}$  的方程:

$$y = x \tan \theta - \frac{\tan \theta * Z - (h - H_0)}{Z^2} x^2 \tag{2}$$

同理,  $\widehat{AN}$  的方程:

$$y = x \tan \theta - \frac{\tan \theta * (Z + d) - (h - H_0)}{(Z + d)^2} x^2 \tag{3}$$

$AM$ 与 $AN$  的直线方程:

$$\begin{cases} y = \frac{h - H_0}{Z} x \\ y = \frac{h - H_0}{Z + d} x \end{cases} \tag{4}$$

事实, 出手点 A 与篮筐中心之间的距离并不等于投篮距离, 因为出手时, 投篮手的动作如图 4 所示(手臂向伸向前方), 即出手距离比球员与篮筐之间的距离还要短。

本研究将对“早期”模型进行如下优化: 以球员手臂为斜边建立“投球”三角模型, 如图 5 所示。

结合“早期”抛物线模型, 球员完成投篮动作至篮球飞出后与篮筐接触的整体模型如图 6 所示。

表 1 本研究中模型使用的符号说明表

符号说明			
$H_0$	出手点与地面的垂直距离	$v$	投篮的速度(篮球的投出的速度)
$\theta$	篮球速度方向与地面的夹角	$h$	篮筐与地面的垂直距离
$d$	篮筐的直径	$Z$	出手点距离篮筐的水平距离

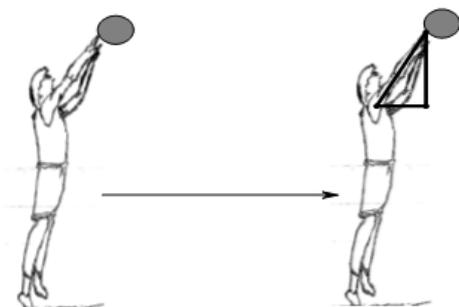


图4 本研究中球员投篮时“投球”动作图

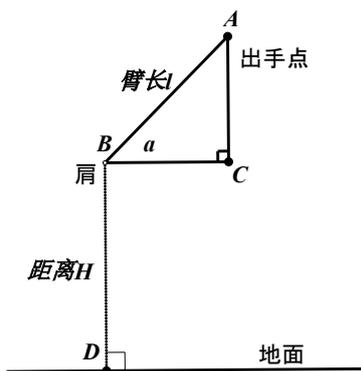


图5 本研究中的“投球”动作三角形模型图

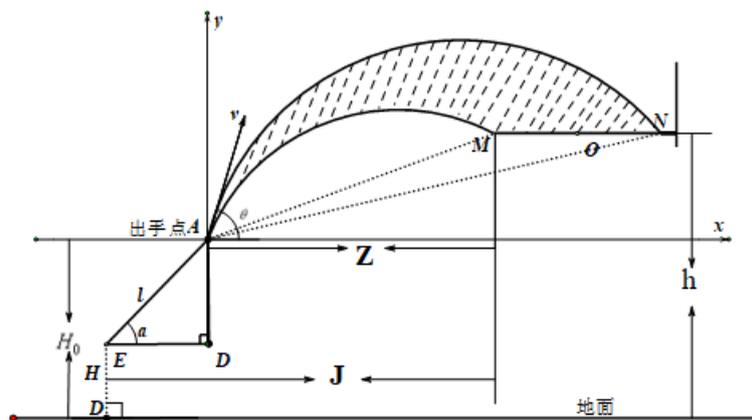


图6 本研究中“投球”动作三角形模型与篮球“抛物线”轨迹整体模型

模型改进后, 相比于“早期模型”, 本模型中的投篮距离  $Z$  和投篮出手点  $H_0$  更加精确, 并且考虑了球员的肩高  $H$ , 即:

$$\begin{cases} Z = J - l \cos \vartheta \\ H_0 = H + l \sin \vartheta \end{cases} \quad (5)$$

在考虑了球员的肩高  $H$  与精确了  $Z$  和  $H_0$  之后, 本研究参照“早期模型”求解方法求得阴影部分的面积:

$$S(\theta) = S_{ANA} - S_{AMA} - S_{AMN} = \frac{1}{3}(J - l \cos \vartheta) d * \tan \theta - \frac{2}{3} d [h - (H + l \sin \vartheta)] \quad (6)$$

$\theta$  的取值范围:

$$\arcsin \left[ \frac{h-(H+l \sin \vartheta)}{J-l \cos \vartheta+d} + \sqrt{\left( \frac{h-(H+l \sin \vartheta)}{J-l \cos \vartheta+d} \right)^2 + 1} \right] < \theta < \arcsin \left[ \frac{h-(H+l \sin \vartheta)}{J-l \cos \vartheta} + \sqrt{\left( \frac{h-(H+l \sin \vartheta)}{J-l \cos \vartheta} \right)^2 + 1} \right] \quad (7)$$

出手速度  $v$  范围:

$$\sqrt{g \left( h-(H+l \sin \vartheta) + \sqrt{\left( h-(H+l \sin \vartheta) \right)^2 + \left( J-l \cos \vartheta \right)^2} \right)} \leq v \leq \sqrt{g \left( h-(H+l \sin \vartheta) + \sqrt{\left( h-(H+l \sin \vartheta) \right)^2 + \left( J-l \cos \vartheta+d \right)^2} \right)} \quad (8)$$

表 2 本研究中模型使用的符号说明表

符号说明			
$J$	投篮点距离篮筐之间水平的距离	$l$	球员的手臂长度
$\alpha$	“投球动作”手臂与地面夹角	$z_1$	球员的前臂长度
$z_2$	球员的上臂长度	$H$	球员的肩部与地面的垂直距离

(资料来源: 研究者自行定义)

### 3.3 投篮“举球”动作模型

魏丽认为单手肩上投篮动作是指“双脚原地开立, 右脚稍前, 身体重心落在两脚中间, 屈肘, 手腕后仰, 掌心向上, 五指自然张开, 持球于右眼前上方, 左手扶球侧, 两膝微屈, 上体放松并稍向前倾, 眼视瞄篮点。投篮时下肢蹬伸, 同时顺势伸腰展腹, 抬肘上伸前臂, 手腕前屈, 以指端拨球, 最后通过食、中指柔和用力将球投出, 球离手后右臂应有自然跟进动作<sup>[16]</sup>。”由此可知“举球”动作是完成投篮的关键步骤, “举球”动作的规范性直接影响到“投球”动作的规范。

研究者从篮球的运动轨迹“抛物线”模型, 再到“举球”动作三角形模型, 属于逆向研究。这里同样采用逆向思维, 即: 篮球运动轨迹(抛物线)→投球动作(球员手臂伸直)→举球动作(前臂和手臂呈 90 度), 其中“举球”动作如图 7 所示。

进行“举球”动作时, 上臂与前臂呈 90 度, 球员目光注视篮筐内圈后沿部位, 本研究以“前臂和上臂”为两直角边建立“举球”三角形模型如图 8 所示。

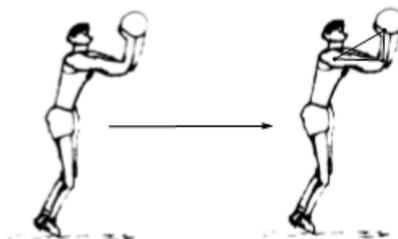


图 7 本研究中球员投篮时“举球”动作图

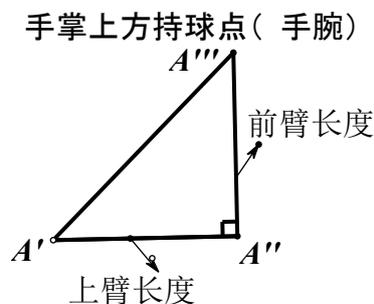


图 8 本研究中的“举球”动作三角形模型图

(资料来源: 研究者自行绘制)

在图 8 中角  $\beta$  的定义, 查阅现有文献, 现实生活中并没有相关概念, 研究者在现实生活中虽然没有相关概念, 但  $\beta$  关乎球员的出手力度, 球员的出手力度在一定程度上受到臂的影响, 因此研究者试叫做投篮的发力角, 即发力角与手臂的关系如下:

$$\tan \beta = \frac{z_1}{z_2} \quad (9)$$

#### 4 研究讨论与结果

本研究模型中, 关于球员的肩高、前臂与上臂数据, 研究者在全国标准信息公共服务平台查阅了起草于 2019 年, 2021 年修改的项目编号为 20200842-T-469, 名为 GB/T10000—××××《中国成年人人体尺寸》(征求意见稿), 以下称为(意见稿)。研究者发现, (意见稿)中人体尺寸用百分位数表示时, 称为人体尺寸百分位数, 并分别给出了人体基础尺寸数据的 7 个百分位数统计值, 分别为: P1、P5、P10、P50、P90、P95、P99。研究者采用取中位数的方法选择了(意见稿)中的百分位数 P50 数据如下表所示<sup>[17]</sup>:

表 3 中国成年人各年龄段人体尺寸表(节选)

中国成年人各年龄段人体尺寸表(百分位数 P50 节选) 单位: mm															
性别	年龄	手臂	分组	男				性别	年龄	手臂	分组				
				肩高	上臂	前臂	身高					肩高	上臂	前臂	身高
	18 至 25 岁			1389	318	479	1720		18 至 25 岁			1292	293	444	1599
	26 至 35 岁			1384	318	472	1706		26 至 35 岁			1286	292	441	1588
	36 至 60 岁			1363	318	464	1670		36 至 60 岁			1273	292	440	1564
	61 至 70 岁			1351	315	463	1648		61 至 70 岁			1251	289	437	1541

(资料来源: 全国标准信息公共服务平台, 《中国成年人人体尺寸》(征求意见稿))

由表中数据, 结合篮球运动轨迹的“抛物线”模型与“投球”动作三角形模型的整体模型, 研究者假定一个成年男子在 18 至 25 岁之间, 则其身高为 172cm、肩高 138.9cm、臂长 797mm, 若该男子进行中远距离投篮, 实际测量其投篮出手点为  $H_0 = 185\text{cm}$ 。可求得  $\sin \delta \approx 0.58354$ ,  $\cos \delta \approx 0.65953$ , 反解得  $\alpha \approx 0.62308$ , 将其转化为角度制为  $\alpha \approx 35.69^\circ$ ; 当该男子进行中距离(三秒区外三分线内)投篮, 即  $2.5\text{m} \leq J < 6.75\text{m}$  之间, 当  $J = 2.75\text{m}$  时, 投篮角度的范围  $60.67^\circ < \theta < 61.97^\circ$  便可以进球, 此时投篮速度范围是:  $5.85\text{m/s} < v < 5.87\text{m/s}$ , 当  $J = 6.75\text{m}$  时,  $52.09^\circ < \theta \leq 54.18^\circ$  便可进球, 此时投篮速度范围是:  $8.15\text{m/s} < v < 8.96\text{m/s}$ ; 由篮球轨迹的“抛物线”方程可知, 进球的最佳情况是篮球落入篮筐正中心, 当该男子进行中距离(三秒区外三分线内)投篮, 即  $2.5\text{m} \leq J < 6.75\text{m}$  之间, 则该球员的中距离由远到近的最佳投篮角度为:  $53.87^\circ < \theta < 61.32^\circ$ ; 最佳出手速度由近到远的范围是:  $5.86\text{m/s} < v < 8.72\text{m/s}$ 。结合“投球”动作模型, “投球”动作结束时, 手臂与水平面的夹角  $\alpha$  与出手后篮球获得的初速度方向与水平面的夹角  $\theta$  不相等, 当投篮高度  $H_0$  一定时, 在同一个球员进行投篮的状态下, 球员的手臂长度不变, 手臂伸直与水平面的夹角也不变,  $\theta$  受到最直接因素是投篮距离;  $\theta \neq \delta$  可能是因为最后的手指拨球动作使得球变成旋转球而导致的; 若  $\theta = \delta$ , 则篮球不会旋转, 轨迹将会是一条直线, 不会形成抛物线轨迹。

由表中数据, 中国人在成年以后的手臂变化结合“举球”模型方程可知, 成年男子 18 至 25 岁(保留 5 位有效小数):  $\tan \beta = 1.50629$ ; 26 至 35 岁:  $\tan \beta = 1.48427$ ; 36 至 60 岁:  $\tan \beta = 1.45912$ , 61 至 70 岁:  $\tan \beta = 1.46984$ 。成年女子 18 至 25 岁:  $\tan \beta = 1.51536$ ; 26 至 35 岁  $\tan \beta = 1.51028$ ; 36 至 60 岁:  $\tan \beta = 1.50685$ 。61 至 70 岁:  $\tan \beta = 1.51211$ 。“举球”模型中的发力角与球员的前臂与上臂长度相关, 由于人的手臂在成年以后受到年龄的变化较小, 因此“举球”模型中要求球员的发力角在前臂与上臂构成直角三角形中投篮较为舒适。发力角若处在锐角三角形中, 由函数  $\tan \beta$  性质可知,  $\beta$  在变大, 等于缩短了上臂

$z_2$ 和前臂 $z_1$ 的长度( $\Delta z_1 < \Delta z_2$ ),虽然增加了投篮速度与投篮角度和投篮命中率,但是在实战中增加了投篮出手时间,增加了防守球员盖帽的机会;反之发力角若处在顿角三角形中,由函数 $\tan \beta$ 性质可知, $\beta$ 在变小,等于增加了上臂 $z_2$ 和前臂 $z_1$ 的长度( $\Delta z_1 > \Delta z_2$ ),在实战中虽然减少了投篮时间,但导致“投篮”动作中的投篮速度和投篮夹角不够,命中率过低,实战中,拉近了与防守球员的距离,增加了防守球员盖帽的机会。

研究者透过以上模型推论发现结果如下:

第一,投篮距离不等于球员与篮筐的距离,投篮距离与球员的手臂长度有相关,球员的身高不等于投篮的高度,投篮高度与球员肩部高度和手臂长度有相关;

第二,“投球”动作结束时,手臂与水平面的夹角 $\alpha$ 与出手后篮球获得的初速度方向与水平面的夹角 $\theta$ 不相等,当投篮高度 $H_0$ 一定时,球员的手臂长度不变,手臂伸直与水平面的夹角也不变, $\theta$ 受到最直接因素是投篮距离;

第三,肩高138.9cm、手臂长为79.7cm的成年男子进行中远距离投篮时,投篮角度变化越来越小,投篮速度是越来越大,其中,投篮的角度最佳的范围是 $53.87^\circ < \theta < 61.32^\circ$ ,投篮速度的最佳范围是 $5.86m/s < v < 8.72m/s$ ;

第四,中国成年人会随着年龄的增长,肩上单手投篮动作中的“举球动作”会受到年龄带来手臂变化的影响,成年男子的影响范围在0.0107~0.0472之间,成年女子的影响范围在0.00183~0.00851之间,相比之下,成年男子受到年龄的影响范围略大于女子,但总体而言影响较小;

第五,“举球”模型中的发力角 $\beta$ 与球员的前臂与上臂长度有相关,发力角 $\beta$ 在前臂与上臂构成直角三角形中的投篮效果优于锐角三角形和钝角三角形。

投篮是一个全身连续动作的结果,本研究结合篮球运动轨迹仅对投篮动作中的2个要点进行初步探究,对于整个投篮动作的探究还比较有限,接下来关于肩、腰、腿部等其他机体部位的建模以及丰富测量数据提高模型的精确性是研究者今后的工作。

## 参考文献

- [1] 张哲.篮球运动促进身心健康发展的价值研究[J].文体用品与科技,2021(01):61-62.
- [2] 李舒.投篮方式演变对篮球运动的影响[J].才智,2018,(29):109.
- [3] 顾国攀.影响篮球比赛投篮命中率的心理因素研究[J].青少年体育,2019,(03):88-89.
- [4] 马志宏,穆志民.数学建模[M].北京:中国农业出版社,2020.8
- [5] 陈华东,郭鼎文.篮球技战术全攻略[M].北京:北京体育大学出版社,2009.
- [6] 籍传翔.投篮模型[J].数学的实践与认识,1984(01):60-62.
- [7] 黄先春,钟添发,王培勇.篮球投篮曲线的数学模型研究[J].武汉体育学院学报,1990(03):41-44+96.
- [8] 曹军.投篮概率的蒙特卡罗数值计算分析[J].大学物理,2007(10):12-15.
- [9] 丁利荣.提高篮球外围投篮命中率的数学模型设计与可行性分析[J].焦作大学
- [10] 段然.篮球投篮运动轨迹与命中率的物理模型[J].科技创新导报,2009,(20):242-243.
- [11] 董晓红.投篮运动的最优方案数学模型[J].科技风,2018(27):71-73.DOI:10.19392/j.cnki.1671-7341.201827061.
- [12] 刘旭光,赵汝卿,张雅男.“三力”模型下篮球投篮最佳角度的实验研究[J].四川体育科学,2021,40(05):57-61.
- [13] 李晟堂.篮球投篮技术运动生物力学研究综述[J].体育风尚,2018(09):16.
- [14] 单勃.篮球原地单手肩上投篮技术动作的生物力学特征分析[D].西安体育学院,2017.
- [15] 胡满香.空心投篮抛物线的生物力学分析[J].岳阳师范学院学报(自然科学版),2001(04):87-89.
- [16] 魏丽.篮球单手肩上投篮技术理论的中美对比分析[J].内江科技,2021,42(11):101-102.
- [17] 20200842-T-469 中国成年人人体尺寸(征求意见稿)[S].国家标准信息公共服务平台(<http://std.samr.gov.cn/gb>)

**收稿日期:** 2022年5月05日

**出刊日期:** 2022年6月28日

**引用本文:** 宋方珺, 熊海金, 林宜甲, 熊祎阳, 利用“抛物线与三角形”增进投篮动作之初探[J]. 国际应用数学进展, 2022, 4(1): 16-24.

DOI: 10.12208/j.aam.20220003

**检索信息:** RCCSE 权威核心学术期刊数据库、中国知网 (CNKI Scholar)、万方数据 (WANFANG DATA)、Google Scholar 等数据库收录期刊

**版权声明:** ©2022 作者与开放获取期刊研究中心 (OAJRC) 所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。 <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



**OPEN ACCESS**