

# 旋转推铅球技术的时空特征分析

## ——以我国2名铅球运动员推铅球技术动作为例

文世林<sup>1</sup>, 李建臣<sup>2</sup>

(1. 湖南工业大学 体育学院, 湖南 株洲 412008; 2. 首都体育学院, 北京 100088)

**摘要:** 采用美国 Ariel 运动生物力学运动录像快速反馈分析系统, 对2名运动员的旋转推铅球技术动作进行研究, 通过对2人最好试投成绩进行图像剪辑、图像解析、数据处理和对比分析, 得出了2名运动员旋转推铅球过程中各时空点的运动学参数。

**关键词:** 旋转推铅球; 时空特征; 艾利尔系统

**中图分类号:** G824.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9833(2009)06-0089-05

## The Temporal and Spatial Characteristics of Rotational Shot Put

### ——The Two Elite Chinese Athletes' Rotational Shot Put Technique

Wen Shilin<sup>1</sup>, Li Jianchen<sup>2</sup>

(1. Physical Education College, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412008, China;  
2. Capital Institute of Physical Education, Beijing 100088, China)

**Abstract:** Studies the two elite athletes' rotational shot put technique by American Ariel biomechanics sports video analysis system for rapid feedback. Makes image editing, image analysis, data processing and comparative analysis of the athletes' best shot performances. Obtains kinematic parameters of all space-time points during the two athletes' rotational shot put.

**Keywords:** rotational shot put technique; space-time; the arial three-dimensional analysis system

## 0 引言

到目前为止, 我国仅有3名运动员采用了旋转推铅球技术, 他们在十运会上分获了第7、9、12名的成绩。有关专家和业内人士多次呼吁, 若要尽快提高我国铅球项目的技术水平和成绩, 应尽快在国内高水平运动队里推广旋转推铅球技术。要推广旋转推铅球技术, 首先要让运动员和教练员理解旋转推铅球技术的运动学特征和技术要点。与背向滑步推铅球技术相比, 旋转推铅球运动技术环节更为复杂, 这就需要研究人员采用先进的运动学分析手段来深入研究运动员的技术特征。因此, 采用先进运动学分析手段来研究

旋转推铅球技术运动学特征对推广该项技术的普及非常有意义。

## 1 研究对象

本文以2008年10月石家庄全国田径大奖赛2名男子铅球运动员(张骏、赵中军)的旋转推铅球技术动作作为研究对象。目前, 这2名运动员运动水平均达健将级, 右手掷球, 报名最好成绩为18 m以上。因此, 本文研究对象代表了我国男子铅球运动员旋转推铅球技术最高水平。运动员基本情况和比赛拍摄情况见表1、2。

收稿日期: 2009-09-07

作者简介: 文世林(1980-), 男, 湖南益阳人, 湖南工业大学讲师, 硕士, 主要研究方向为体育教学与训练,

E-mail: [wenshilin520@163.com](mailto:wenshilin520@163.com)

表1 研究对象情况表

Table 1 Information of the subject investigated

姓名	名次	身高/m	体质量/kg	单位	成绩/m	等级	技术类型
张骏	5	1.86	95	上海	18.34	健将	旋转
赵中军	9	1.93	100	解放军	17.78	健将	旋转

表2 运动员各投成绩

Table 2 Results of the athletes' each shot put

姓名	投 掷 成 绩					
	第1投	第2投	第3投	第4投	第5投	第6投
张骏	17.90	17.71*	18.34	18.33*	18.30*	18.09*
赵中军	17.06	17.78*	17.41*			

注：\*表示拍摄成功。

## 2 研究方法

本研究采用录像检测分析法，即采用高速摄影机进行实地拍摄，然后对影片进行数字化处理后，进一步做出分析。这是一种非接触式的测试，不妨碍人体的正常运动，因此，其测试结果能较真实地反映运动的情况<sup>[1]</sup>。该方法包括三维录像拍摄、录像解析和图像数字化3个步骤。

### 2.1 三维摄影法

拍摄所用的2台SONY300摄像机分别置于投掷圈中线的延长线上和投掷区扇形区的左侧，2摄像机机高1.2 m，主光轴约成90°，对运动员比赛进行定点拍

摄，拍摄频率为50 Hz，并用有25个标志点的美国PACK立体辐射框架坐标进行三维数据转换。

### 2.2 录像解析法

录像解析是采用美国Ariel运动生物力学运动录像快速反馈系统来完成的。解析过程中手工标记旋转推铅球运动员全身17个标志（包括身体双侧的腕、肘、肩、髋、膝、踝、脚尖和头部），人体模型为俄罗斯扎齐奥尔斯基模型，采用DLT运动图像测量分析系统（HBMDLTA）进行图像采用和数据计算，用低通数字滤波法对原始数据进行平滑处理，平滑系数为10。

## 3 结果与讨论

### 3.1 旋转推铅球不同空间点的时间分布

按照经典力学的时空理论<sup>[2-3]</sup>，运动员技术过程可以看成无数个连续时刻的空间画面。摄像机拍摄频率为50 Hz，前后2帧画面的时间间隔为0.02 s，即得出的数据是反映运动员每0.02 s的空间情况。

通过Ariel运动生物力学运动录像快速反馈分析系统，把张骏、赵中军旋转推铅球技术动作中相邻空间点（ $P_i \sim P_{i+1}$ ）之间的时间间隔（ $t_i$ ）和该时间间隔占整个技术动作所花时间的百分比作了统计和分析，其结果如表3所示，各时空点运动技术参数分布的情况如表4所示。

表3 技术动作中相邻空间点之间的时间分布表

Table 3 The time distribution of adjacent space points in technical movements

运动员姓名	相邻空间点之间的时间间隔和百分比										$t$
	$t_1$	$t_1/t$	$t_2$	$t_2/t$	$t_3$	$t_3/t$	$t_4$	$t_4/t$	$t_5$	$t_5/t$	
张骏	0.62 s	43.06 %	0.36 s	25.00 %	0.06 s	4.17 %	0.16 s	11.11 %	0.24 s	16.67 %	1.14 s
赵中军	0.38 s	29.23 %	0.40 s	30.77 %	0.04 s	3.07 %	0.26 s	20.00 %	0.22 s	16.92 %	1.30 s

表4 各时空点运动技术参数分布情况

Table 4 The sports technical parameters of each designated space-time

时空点	运动员姓名	运动技术参数										
		肩髋夹角 / $^{\circ}$	出手角度 / $^{\circ}$	两脚距离 /m	重心高度 /m	出手高度 /m	球速 / $(m \cdot s^{-1})$	重心速度 / $(m \cdot s^{-1})$	左髋速度 / $(m \cdot s^{-1})$	右髋速度 / $(m \cdot s^{-1})$	左肩速度 / $(m \cdot s^{-1})$	右肩速度 / $(m \cdot s^{-1})$
$P_1$	张骏	31		0.7	1.0		0.4	1.0	0.5	1.5	2.1	0.1
	赵中军	28		0.5	1.0		0.7	0.4	0.5	1.4	3.0	1.3
$P_2$	张骏	27		0.8	0.9		1.7	1.9	1.8	1.2	4.6	0.5
	赵中军	7		0.7	1.1		1.1	0.9	1.2	3.6	2.1	1.4
$P_3$	张骏	19		1.6	1.1		5.1	4.7	5.4	8.8	1.0	-1.4
	赵中军	16		1.4	1.1		1.9	5.1	5.1	11.3	1.4	5.2
$P_4$	张骏	23		0.9	1.2		4.2	3.5	4.3	5.4	3.4	0.1
	赵中军	11		0.6	1.2		2.2	3.3	2.4	9.9	1.0	0.6
$P_5$	张骏	108		0.8	1.2		3.8	5.0	7.0	1.7	9.6	-0.9
	赵中军	100		0.6	1.2		0.8	4.0	5.5	1.5	8.8	0.4
$P_6$	张骏	10	34.8	0.4	1.2	2.2	13.5	1.0	3.5	2.8	4.0	-2.3
	赵中军	15	35.1	0.3	1.1	2.3	12.2	1.7	1.3	2.3	3.0	4.4

### 3.2 旋转推铅球时空点分析

根据运动学的特征, 本研究将旋转推铅球技术动作划分为6个时空点, 并运用 Ariel 运动生物力学运动录像快速反馈分析系统, 得出了每个时空点的棍图和相关运动学参数。为了避免重复出现2名运动员的棍图, 本研究取张骏的时空棍图为例。

#### 3.2.1 预摆肩髋最大夹角时空点的基本特征

预摆加速阶段包括2个动作过程: 第1个动作过程是从运动员预备姿势到最大肩髋夹角时的过程, 见图1。此时运动员的身体重心落在右脚上, 这个阶段为预摆加速的准备阶段, 这个过程中运动员身体往右侧扭转, 拉紧肌肉, 为预摆加速积蓄力量。

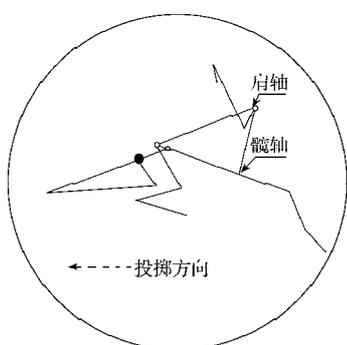


图1 张骏预摆最大肩髋角时空俯视图  
Fig. 1 Space-time top view of Zhang Jun's biggest shoulders-hips angle

第2个动作过程是运动员从最大肩髋夹角到右脚离地时的过程, 见图2。此时运动员的身体重心落在左脚上, 第2个动作过程中运动员对重心和器械进行了加速(本文称为预摆加速阶段)。

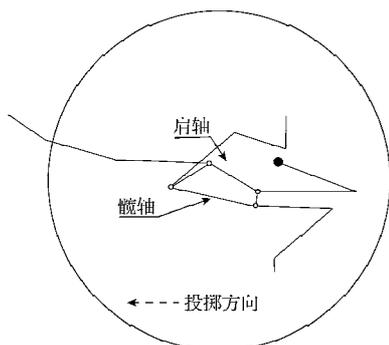


图2 张骏右脚离地时空俯视图  
Fig. 2 Space-time top view of Zhang Jun's right foot take-off

表4显示,  $P_1$ 时刻张骏的重心速度由1.0 m/s增加至1.9 m/s, 赵中军重心速度由0.4 m/s增加至0.9 m/s; 张骏的铅球速度从0.4 m/s增加至1.7 m/s, 赵中军的铅球速度从0.7 m/s增加至1.1 m/s。由此可见, 通过预摆加速阶段过程, 运动员的重心和球速都有所增加。运动员预摆加速至 $P_2$ 的过程是整个推铅球过程中速度最慢耗时最长的环节, 这个环节中张骏用时0.6 s, 占整个动作时间的43%。此环节动作的主要任务是为运动员

摆脱静止状态, 快速进入旋转阶段提供初速度<sup>[4-5]</sup>。

#### 3.2.2 右脚离地时空点的基本特征

$P_2$ 时空点是预摆加速阶段的结束, 又是运动员身体旋转阶段的开始。旋转阶段共分为2部分, 第1部分从右脚离地到左脚离地阶段, 即 $P_2 \sim P_3$ 的过程, 本文把这部分称为外摆画弧动作; 第2部分为左脚离地到右脚着地阶段, 即 $P_3 \sim P_4$ 的过程, 也就是腾空阶段。运动员右脚离地后, 髋部带动身体重心左移, 左腿压紧左转, 加之右腿蹬伸, 使上体由投掷圈的左侧向右侧方移动。在 $P_2$ 时空点上, 运动员重心、器械、肩部和髋部都有明显的加速(见表4)。在其它速度指标增加的情况下, 张骏的右髋速度反而有所下降。通过录像分析, 对于优秀运动员, 当右脚离地瞬间, 有大小腿折叠收拢、短时间滞留的动作(约0.06 s, 见表4)。

据显示, 这时张骏的右膝角为 $96^\circ$ , 与后4帧右膝角平均值的 $105^\circ$ 相比, 减少了将近 $10^\circ$ 之多(见表5)。运动员右侧大小腿的折叠滞留动作为右脚外摆画弧动作做准备。

表5 张骏在 $P_2$ 时空点后4帧的左膝角

Table 5 Zhang Jun's left knee-angle of 4 continuous frames after  $P_2$  space-time

姓名	张骏在 $P_2$ 时空点后4帧的左膝角/ $^\circ$				
	$P_2$ 时空点	后1帧	后2帧	后3帧	后4帧
张 骏	96	98	102	108	113

#### 3.2.3 左脚离地时空点的基本特征

左脚离地时空点 $P_3$ 是右腿外摆画弧动作的结束, 又是腾空阶段的开始。此时, 运动员上体基本面对投掷方向, 两脚的距离达到最大值, 张骏的两脚距离为1.6 m, 赵中军为1.4 m, 见表4。

在腾空阶段, 运动员两脚都已离地, 除受重力影响外, 其它外力为0(空气阻力忽略不计)。运动员腾空阶段的时间较短, 张骏为0.06 s, 赵中军为0.04 s。 $P_3$ 时空点时, 张骏和赵中军2人的肩髋角分别为 $19^\circ$ 和 $16^\circ$ (见表4), 与其它5个时空点相比, 左脚离地时空点的肩髋夹角相对较小, 说明此时运动员在腾空阶段上体扭转状态有所降低, 保持一个比较放松的姿势完成腾空动作(见图3)。

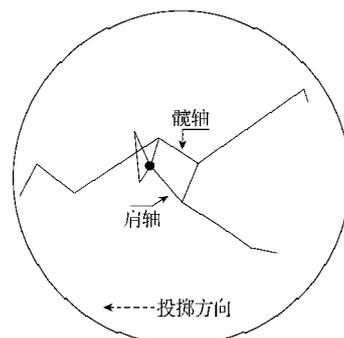


图3 张骏左脚离地时空俯视图  
Fig. 3 Space-time top view of Zhang Jun's left foot take-off

### 3.2.4 右脚着地时空点的基本特征

$P_4$  时空点是旋转阶段的结束,也是过渡阶段的开始。过渡阶段是右脚着地到左脚着地形成双支撑的过程。李建臣教授(2007)称这一阶段为最后用力的准备阶段(或叫蓄力阶段)<sup>[6-7]</sup>。所以,这一阶段是推铅球技术最重要的环节之一。过渡阶段使运动员迅速完成好侧弓形动作,获得适合他自己力量与技术的最后用力前的理想速度、良好的助跑节奏和形成适宜的用力姿势,为最后用力动作做好准备。 $P_4$  时空点时,张骏、赵中军2人的肩髋角分别为 $23^\circ$ 和 $11^\circ$ ,从图4可看出,张骏的髋横轴侧对投掷方向,上体面向投掷方向的左侧。过渡阶段结束时,运动员左脚着地,身体已完成1周的旋转。

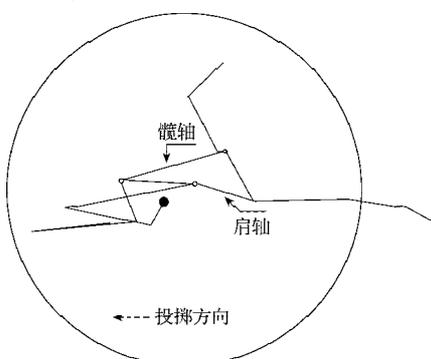


图4 张骏右脚着地时空俯视图

Fig. 4 Space-time top view of Zhang Jun's right foot touchdown

### 3.2.5 左脚着地时空点的基本特征

$P_5$  时空点是过渡阶段的结束,最后用力阶段的开始。王保成教授(2000)通过采用肌力测试的手段对滑步推铅球技术进行了研究,他指出:推铅球最后用力阶段应是从滑步结束后右脚着地积极蹬伸产生向前水平支撑反力时开始到铅球离手的过程,他认为运动员左脚着地前瞬间就已经开始最后用力了<sup>[8]</sup>。在运动学分析里仍然坚持李建臣教授(1988)的观点:左脚着地到铅球出手这段过程称之为最后用力阶段<sup>[7]</sup>。

最后用力开始时(见图5),张骏肩横轴与投掷方向几乎垂直,说明 $P_5$  时空点张骏上体已背对投掷方向,为最后用力做准备。张骏肩髋夹角为 $108^\circ$ ,赵中军为 $100^\circ$ ,说明此时上体保持较大程度的扭转状态。

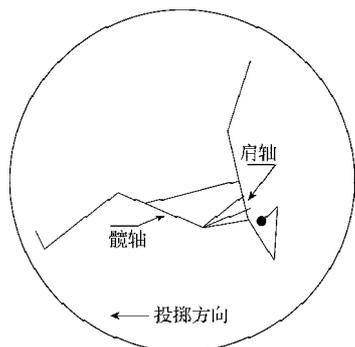


图5 张骏双支撑时空俯视图

Fig. 5 Space-time top view of Zhang Jun's double-support

### 3.2.6 最后出手时空的基本特征

投掷运动一般包含一条开发的运动链:拥有自由末端的链,即使没有近端环节的任何肌肉活动,远端环节仍可能产生转动<sup>[6]</sup>。在最后用力阶段之前,上体的旋转、腰髋转动、右脚积极蹬伸等身体环节所产生的动量通过左腿的撑蹬用力形成一个近肢的固定,使得动量沿着运动链传递至远端的手臂。最后用力时刻,运动员左脚支撑地面、髋部微屈、腰胸部挺直,形成了牢固的左侧支撑动作和良好的最后用力姿势。

这个阶段张骏的肩髋角为 $10^\circ$ ,赵中军的为 $15^\circ$ ,最后出手时空点是旋转推铅球6个时空点中肩髋角最小的一个,如图6。

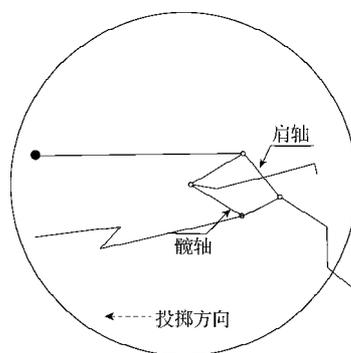


图6 张骏最后用力时空俯视图

Fig. 6 Space-time top view of Zhang Jun's delivery phase

张骏上体的扭转状态已恢复自然状态,其肩横轴和髋横轴几乎平行,且面向投掷方向。此时,张骏、赵中军的出手角度分别为 $34.8^\circ$ 和 $35.1^\circ$ ,出手速度分别为 $13.5\text{ m/s}$ 和 $12.2\text{ m/s}$ ,出手高度分别为 $2.2\text{ m}$ 和 $2.3\text{ m}$ ,见表4。

## 4 结论

1) 本文将旋转推铅球技术划分为6个时空点,时空点之间构成不同的运动阶段。不同的运动阶段占整个投掷时间的比例不同,其中预摆加速阶段时间较长,张骏的这个阶段占了整个投掷时间的 $43.06\%$ ,赵中军占了整个投掷时间的 $29.23\%$ ;腾空阶段时间最短,张俊为 $4.17\%$ ,赵中军为 $3.07\%$ 。

2) 本文从6个时空点的划分研究分析了我国2名采用旋转推铅球技术运动员的三维运动学特征,构建了旋转推铅球过程中出手高度、出手角度、出手速度、肩髋夹角、膝角、球速、重心速度等运动学指标。

### 参考文献:

- [1] 郑秀媛,高云峰,贾书慧,等.现代运动生物力学[M].北京:国防工业出版社,2006.

Zheng Xiuyuan, Gao Yunfeng, Jia Shuhui, et al. Modern

- Sports Biomechanics[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2006.
- [2] 哈尔滨工业大学理论力学教研组编. 理论力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- The Theoretical Mechanics Teaching and Research Section of Harbin University of Science and Technology. Theoretical Mechanics[M]. Beijing: Higher Education Press, 2002.
- [3] 郑庆璋, 翠世治. 相对论与时空[M]. 太原: 山西科学技术出版社, 2001.
- Zheng Qingzhang, Cui Shizhi. Relativity Theory and Space-Time[M]. Taiyuan: Shanxi Science and Technology Publishing House, 2001.
- [4] 申伟华, 饶平, 刘亚云, 等. 田径运动双语教程[M]. 湘潭: 湘潭大学出版社, 2007.
- Shen Weihua, Rao Ping, Liu Yayun, et al. Track and Field: A Course Book in English-Chinese[M]. Xiangtan: Xiangtan University Press, 2007.
- [5] 全国体育学院教材委员会. 田径运动高级教程[M]. 北京: 人民体育出版社, 2002.
- The National Institute of Physical Education Textbook Committee. Advanced Tutorial of Track and Field[M]. Beijing: People's Sports Publishing House, 2002.
- [6] 弗拉基米尔 M 扎奇奥斯基. 运动生物力学[M]. 北京: 人民体育出版社, 2000.
- Vladimir M Zatsiorsky. Biomechanics in Sports[M]. Beijing: People's Sports Publishing House, 2000.
- [7] 李建臣, 阚福林. 现代推铅球运动[M]. 北京: 北京体育大学出版社, 2007.
- Li Jianchen, Kan Fulin. Modern Shot Put[M]. Beijing: Beijing Sports University Press, 2007.
- [8] 王保成, 周志雄. 再论铅球的最后用力[J]. 北京: 中国体育科技, 2000, 36(5): 29-31.
- Wang Baocheng, Zhou Zhixiong. Rethinking on the Final Exerted Throwing of Shot Put[J]. China Sport Science and Tecnology, 2000, 36(5): 29-31.

(责任编辑: 张亦静)

(上接第68页)

## 参考文献:

- [1] Kyriacou C, Sutcliffe J. Teacher Stress: Prevalence, Sources and Symptoms[J]. British Journal of Educational Psychology, 1978, 48: 159-167.
- [2] 陈瑞惠. 私立高中教师价值观、工作压力与组织承诺之研究[D]. 彰化: 国立彰化师范大学, 2002.
- Chen Ruihui. The Study on Values, Job Stress and Organizational Commitment for Faculty at Private High School [D]. Changhua: National Changhua University of Education, 2002.
- [3] 刘勇陟. 略论员工的工作压力、满意度及组织承诺[J]. 商场现代化, 2005(3): 140.
- Liu Yongzhi. The Study of Employees' Job Stress, Satisfaction and Organizational Commitment[J]. Market Modernization, 2005 (3): 140.
- [4] 汪京. 企业员工工作压力与工作态度的关系研究[D]. 北京: 首都经济贸易大学, 2006.
- Wang Jing. The Relationship between the Job Stress and Job Attitude in Enterprise[D]. Beijing: Capital University of Economics and Business, 2006.
- [5] 舒晓兵, 廖建桥. 工作压力与工作效率理论研究述评[J]. 南开管理评论, 2002 (3): 20-23.
- Shu Xiaobing, Liao Jianqiao. A Review of Theories on the Relationship between WorkStress and Human Performance [J]. Nankai Business Review, 2002 (3): 20-23.
- [6] 颜爱民, 王维雅. 中小民营企业基层员工工作压力与工作满意度的实证研究[J]. 管理学报, 2007, 4(2): 222-229.
- Yan Aimin, Wang Weiya. An Empirical Study on Job Stress and Job Satisfaction of Firs-Line Employees in Medium-Small Private Enterprises in China[J]. Chinese Journal of Management, 2007, 4(2): 222-229.
- [7] Spielberger C D, Vagg P R. Manual for the Job Stress Survey (JSS): Research Edition[M]. Odessa F L: Psychological Assessment Resources, 1999.
- [8] Cooper C L, Sloan S J, Williams S. Occupational Stress Indicator Management Guide[M]. Windsor: NFER-. Nelson, 1988.
- [9] Mowday R T, Steers R M, Porter L W. The Measurement of Organizational Commitment[J]. Journal of Vocational Behavior, 1979(14): 223-247.
- [10] 刘小平, 王重鸣. 中西方文化背景下的组织承诺及其形成[J]. 外国经济与管理, 2002 (5): 17-21.
- Liu Xiaoping, Wang Zhongming. The Study of Organizational Commitment and Its Formation in the Context of China and the West[J]. Foreign Economies & Management, 2002 (5): 17-21.

(责任编辑: 张亦静)