

·运动人体科学·

## 我国男子铅球优秀运动员背向滑步最后用力时 躯干动作的运动学分析

余章彪<sup>1</sup>, 郭宾<sup>2</sup>

(1.贵州大学 体育部, 贵州 贵阳 550025; 2.广州体育学院 研究生部, 广东 广州 510500)

**摘 要:** 用影像分析等方法对2名男子铅球优秀运动员背向滑步推铅球最后用力过程中躯干转动的动作结构、速度变化等特征进行研究。结果表明, 在最后用力阶段, 运动员右髋合速度总体趋势上升, 达到峰值速度后迅速下降, 肩、髋轴的转动幅度在此阶段要远远大于过渡阶段, 同时, 肩、髋轴的转动速度都迅速增加, 肩轴转动速度明显大于髋轴的转动速度, 但髋轴先于肩轴达到峰值速度; 躯干动作是一种在前振同时进行有序转动的复合运动, 右肩的合速度在  $t_1 \sim t_2$  阶段呈下降趋势; 人体重心速度的变化在过渡阶段受  $OY$  方向的速度影响较大, 而受  $OZ$  方向的速度影响不大; 至最后用力阶段,  $OY$  方向身体重心速度迅速下降,  $OZ$  方向的身体重心速度急剧上升, 而  $OX$  方向的人体重心速度对人体重心合速度影响最小。

**关键词:** 运动生物力学; 推铅球; 最后用力; 躯干动作; 运动学分析; 中国

**中图分类号:** G804.66 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-7116(2010)02-0108-07

### Kinetic analysis of the torso movement at final power explosion in the backward sliding move of excellent shot putters in China

YU Zhang-biao<sup>1</sup>, GUO Bin<sup>2</sup>

(1.Department of Physical Education, Guizhou University, Guiyang 550025, China;

2.Graduate Department, Guangzhou Sport University, Guangzhou 510500, china)

**Abstract:** By using methods such as video analysis, the authors studied the characteristics of movement structure and speed variation of the torso turning in the process of final shot putting power explosion in the backward sliding move of 2 excellent male shot putters in China, and revealed the following findings: at the final power explosion stage, the resultant velocity of the right hip of the putters was increasing generally, and decreasing quickly after the peak velocity was achieved; the turning amplitude of the shoulder and hip axes at this stage were much greater than the same at the transition stage; in the mean time, the turning velocity of the shoulder and hip axes were all increasing quickly, the turning velocity of the shoulder axis was significantly greater than the turning velocity of the hip axis, but the hip axis achieved the peak velocity prior to the shoulder axis; the torso movement was a kind of complex movement of orderly turning while the torso was dashing forward; the resultant velocity of the right shoulder tended to decrease at the  $t_1 \sim t_2$  stage; at the final power explosion stage, the velocity of the body center of gravity in the  $OY$  direction decreased quickly, the velocity of the body center of gravity in the  $OZ$  direction increased rapidly, while the velocity of the body center of gravity had the least effect on the resultant velocity of the body center of gravity.

**Key words:** sports biomechanics; shot putting; final power explosion; torso movement; kinetic analysis; China

目前关于推铅球技术的研究比较多, 主要涉及滑步与最后用力的衔接及最后用力左侧支撑等动作的分

析, 对躯干运动方面的研究成果主要有: 1998年, 张健、郑亚平<sup>[1]</sup>从运动生物力学的三维力学原理及运动解

收稿日期: 2009-05-19

作者简介: 余章彪(1967-), 男, 副教授, 硕士, 研究方向: 体质人类学。

剖学角度出发,并结合推铅球项目的技术特点,对背向推铅球最后用力过程中的躯干动作特征进行了分析和研究;李强等人<sup>[2]</sup>提出在投掷过程中积极的躯干上抬可以提高铅球出手速度,且躯干上抬的最大角速度出现在球离肩之前。前人对躯干的研究大多从整体上论述躯干在投掷过程中运动方式及作用,且大都是以定性,或是多采用单机定点、平面的分析。因此,对我国优秀铅球运动员最后用力阶段躯干转动的时空特征进行研究,可为广大教练员、运动员和教育科研工作者的教学、训练实践工作提供参考。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 研究对象

以参加2008年奥运达标赛(苏州)男子铅球决赛2名运动员王广甫、姚永光为研究对象,均为运动健将,且为右手持球,采用背向滑步推铅球技术,他们成绩及出手速度分别为18.61 m、12.10 m/s和18.54 m、12.16 m/s。

### 1.2 研究方法

1)使用2台索尼PD190常速摄像机在比赛现场同时进行拍摄,其中一台位于投掷方向右侧距离投掷圈圆心20 m处,另一台位于投掷方向的正后方距离投掷圈圆心20 m处,主光轴距地面1.3 m,拍摄频率为50幅/s,两机主光轴夹角约为 $85^\circ$ ,符合夹角大于 $60^\circ$ 小于 $120^\circ$ 的拍摄要求。在比赛后用三维标定框架对研究动作范围进行标定。对整个男子铅球决赛过程进行不停机的连续拍摄。

解析过程采用德国SIMI-motion录像解析系统。在解析过程中,确定 $OY$ 轴指向铅球投掷方向, $OX$ 轴指向投掷方向的右侧,与投掷方向成 $90^\circ$ , $OZ$ 轴垂直于地面向上。采用汉纳范(Hananvan)人体数学模型,按照模型关节点和附加点的方式进行图像采集和数据计算,通过做环节模型获得有关运动学的数据,并采用低通滤波法对原始数据进行平滑处理,截断频率为5 Hz。

2)对所收集的文献数据和解析数据运用Microsoft Office Excel 2003办公软件进行数据统计处理。

3)对运动员的运动学主要参数值进行对比分析,指标定义: $OY$ 轴,指向铅球投掷方向的轴; $OX$ 轴,指向投掷方向的右侧并与投掷方向成 $90^\circ$ ;  $OZ$ 轴,垂直于地面向上的轴, $O$ 为坐标原点。

肩轴转动角:指左、右肩关节连线所组成的轴与 $OY$ 轴所形成的角;髋轴转动角:指左、右髋关节连线所组成的轴与 $OY$ 轴所形成的角;躯干:肩轴和髋轴间的身体;躯干前振角:肩、髋轴中点连线(简称躯

干中心轴)与 $XOZ$ 面所形成的角。

为了便于研究,将推铅球的最后用力过程依据人体各环节的动作特征分为2个阶段、3个时相。

动作阶段:过渡阶段、最后用力阶段;时相:右脚着地瞬间(用 $t_1$ 表示)、左脚着地瞬间(用 $t_2$ 表示)、铅球出手瞬间(用 $t_3$ 表示)。

## 2 结果与分析

### 2.1 最后用力过程中躯干的转动变化

本文做出了2名优秀滑步推铅球运动员从右脚着地瞬间到铅球出手瞬间肩、髋轴与 $OY$ 轴之间部分运动学参数的变化曲线(图1、2),图1、2中各曲线上第一个黑点对应的时相为右脚着地瞬间(用 $t_1$ 表示),第2个黑点对应时相为左脚着地瞬间(用 $t_2$ 表示),第3个黑点的时相为铅球出手瞬间(用 $t_3$ 表示)。

#### 1)各时相右髋分、合速度变化

图1为王广甫与姚永光最后用力投掷过程中各时相右髋分、合速度变化曲线,从图1中可以看出, $t_1$ 时刻王广甫与姚永光的右髋合速度分别为1.76与1.88 m/s;王的右髋沿 $OX$ 、 $OY$ 与 $OZ$ 轴方向运动的分速度分别为0.28、1.74与0.05 m/s,姚与王相比较,主要表现为姚在 $t_1$ 时刻其右髋沿 $OX$ 与 $OZ$ 轴方向运动的分速度均小于王,而右髋沿 $OY$ 轴方向运动的分速度要比王的大;因此,在 $t_1$ 时刻,王今后要减小右髋沿 $OX$ 与 $OZ$ 轴方向运动的分速度,加大右髋沿 $OY$ 轴方向运动的分速度,以此来提高右髋的合速度。在 $t_2$ 时刻王与姚的右髋合速度分别为1.81与2.39 m/s;王的右髋沿 $OX$ 、 $OY$ 与 $OZ$ 轴方向运动的分速度分别为0.95、1.50与0.33 m/s,而姚在这3个方向上运动的分速度都要大于王。通过在 $t_2$ 时刻王与姚的比较发现,姚的右髋沿 $OX$ 轴方向运动的分速度较大,右髋沿 $OZ$ 轴方向运动的分速度较小;右髋沿 $OX$ 轴方向运动的分速度过大容易使人体总重心在投掷方向上向右偏离;右髋沿 $OZ$ 轴方向运动的分速度较小,则不利于它与右髋沿 $OY$ 轴方向运动的分速度所产生的合速度增大。在 $t_3$ 时刻王与姚的右髋合速度分别为1.04与0.59 m/s;王的右髋沿 $OX$ 、 $OY$ 与 $OZ$ 轴方向运动的分速度分别为0.09、0.80与0.67 m/s,而姚的右髋沿 $OX$ 、 $OY$ 与 $OZ$ 轴方向运动的分速度均小于王;通过分析表明,王的右髋沿 $OY$ 轴方向运动的分速度与姚比较,差别是非常大的,这容易使王在比赛中犯规。“右髋A”为合速度,从图1可知, $t_1 \sim t_3$ 阶段,2名运动员右髋合速度总体趋势是上升,达到峰值速度后迅速下降。相关研究表明,最后用力技术首先经过右髋向投掷方向转动,使充分拉长拉紧的腰背肌发挥更大的力量,以

加快铅球的运行速度。最后用力时的两腿蹬直,右臂的推球和抬头是同时进行的,在这个完整过程中,要充

分发挥身体的髋、肩、腕关节的力量,以获得最大的速度,从而使铅球在出手时获得最大的速度<sup>[3]</sup>。

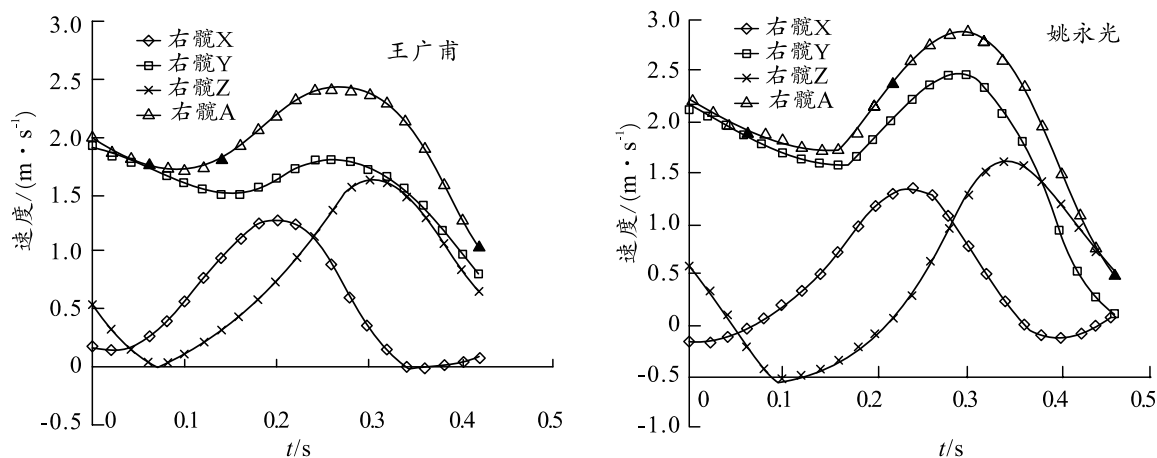


图1 王广甫、姚永亮右髋在各时相分、合速度变化情况

## 2)各时相右肩分、合速度变化。

图2为2名优秀滑步推铅球运动员投掷过程中各时相右肩分、合速度变化曲线,从图2中可以看出, $t_1$ 时刻王与姚的右肩合速度分别为2.89与2.23 m/s,王的右肩沿OZ、OX与OY轴方向运动的分速度分别为0.34、-0.50与2.83 m/s,从图2中可以知道姚的右肩沿OZ与OX方向运动的分速度与王基本一致,而沿OY轴方向运动的分速度则不及王的分速度大,这说明王在背向滑步阶段双腿进行左摆右蹬及全身协调配合的能力与腿部的爆发力要好于姚。 $t_2$ 时刻王与姚的右肩合速度分别为2.62与2.52 m/s;王的右肩沿OZ、OX与OY轴方向运动的分速度分别为0.67、-0.03与2.53 m/s,王的右肩合速度有所下降,而姚的右肩合速度则增大,其原因是王的右肩沿OY轴方向运动的分速度在下降,沿OZ与OX轴方向运动的分速度上升

较小有关;而姚的右肩除了沿OZ与OX轴方向运动的分速度上升与王基本一致外,沿OY轴方向运动的分速度在 $t_1 \sim t_2$ 阶段总体趋势是上升。在 $t_1 \sim t_2$ 阶段,从双腿处于双支撑技术效果来看,姚的技术要好于王。王志明研究表明,铅球运动员在最后用力时的髋关节速度 $v_1$ 、肩关节速度 $v_2$ 、腕速度 $v_3$ 、出手速度 $v_4$ 与成绩的相关系数分别达到0.865、0.969、0.935、0.956,速度节奏是影响铅球出手初速度并决定铅球运动成绩的根本因素<sup>[4]</sup>。右肩的合速度在 $t_1 \sim t_2$ 阶段下降,它不利于保持铅球预先所获得的速度。 $t_2$ 时刻王与姚的右肩合速度分别达到4.06与3.71 m/s;王的右肩沿OZ、OX与OY轴方向运动的分速度分别为-0.15、-1.10与3.90 m/s,而姚的右肩沿OZ、OX与OY轴方向运动的分速度都小于王;这说明 $t_2 \sim t_3$ 时刻姚的躯干复合前振运动的效果不及王。

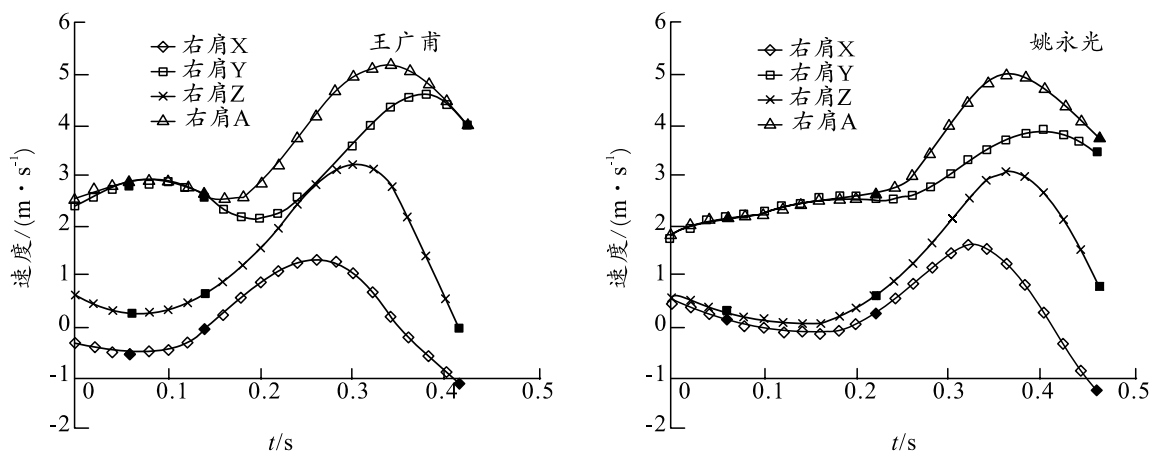


图2 王广甫、姚永光右肩在各时相分、合速度变化情况

3)肩、髋轴转动角度的变化。

图 3 为王、姚投掷过程中肩、髋轴转动角度  $\theta$  变化曲线，从图 3 中可以看出，王与姚的肩轴与髋轴转动角度变化曲线的总体趋势是不断上升的。 $t_1 \sim t_2$  阶段两条曲线基本保持平行，王、姚  $t_1$  时刻髋轴转动角分别为  $151.3^\circ$  和  $153.19^\circ$ ， $t_1$  时刻肩轴转动角分别为  $110.68^\circ$  和  $118.17^\circ$ ，即  $t_1$  时刻髋轴转动角大于肩轴转动角，说明王、姚的髋轴领先于肩轴；至  $t_2$  时刻，王、姚髋轴转动角分别为  $163.41^\circ$  和  $177.28^\circ$ ，肩轴转动角分别为  $116.41^\circ$  和  $137.95^\circ$ ，此刻髋轴依然领先于肩

轴；至  $t_3$  时刻，王、姚髋轴转动角分别为  $280.14^\circ$  和  $289.85^\circ$ ，肩轴转动角分别为  $301.03^\circ$  和  $298.64^\circ$ ，说明此阶段肩轴已领先于髋轴； $t_1 \sim t_2$  阶段，王、姚髋轴转动幅度分别为  $12.11^\circ$  和  $24.09^\circ$ ，肩轴转动幅度分别为  $5.73^\circ$  和  $19.78^\circ$ ； $t_2 \sim t_3$  阶段，其髋轴转动幅度分别为  $116.73^\circ$  和  $112.57^\circ$ ，肩轴转动幅度分别为  $184.62^\circ$  和  $160.69^\circ$ 。 $t_1 \sim t_3$  阶段，其髋轴转动幅度分别为  $128.84^\circ$  和  $136.66^\circ$ ，肩轴转动幅度为  $190.35^\circ$  和  $180.47^\circ$ （见表 1）。

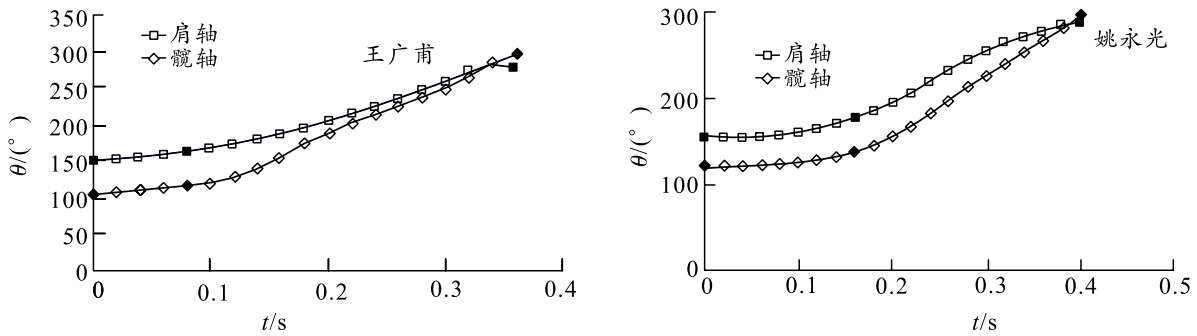


图 3 王广甫、姚永光肩、髋轴角度各时相变化曲线

表 1 右脚着地瞬间到铅球出手瞬间各时相肩、髋轴角度及幅度 (°)

姓名	环节	角度			幅度		
		$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_1 \sim t_2$	$t_2 \sim t_3$	$t_1 \sim t_3$
王广甫	肩轴	110.68	116.41	301.03	5.73	184.62	190.35
	髋轴	151.30	163.41	280.14	12.11	116.73	128.84
姚永光	肩轴	118.17	137.95	298.64	19.78	160.69	180.47
	髋轴	153.19	177.28	289.85	24.09	112.57	136.66

李林<sup>[5]</sup>指出：在最后用力阶段，其技术特征首先是右腿用力转蹬使髋部向前转送，然后髋部牵拉肩部再带动投掷臂利用全身的力量将球推出。有研究表明：在最后用力阶段，肩转动角度与髋转动角度差李梅菊小于张春景，说明在此阶段张春景比李梅菊的超越器械效果要好。

从总体来看，王、姚的肩、髋轴的转动幅度最后用力阶段要远远大于过渡阶段。最后用力阶段是铅球技术中最重要的阶段，铅球出手速度的 80% 左右在这个阶段获得<sup>[6]</sup>，此阶段是铅球增加力的作用距离的主要阶段，从而达到提高铅球出手速度的目的，因此最后用力阶段加大肩、髋轴的转动幅度，延长力的作用距离对铅球出手速度的增加和铅球成绩的提高起着非常重要的影响。

4)肩、髋轴转动角速度的变化

图 4 是王、姚的肩、髋轴转动角速度变化曲线图，

从图 4 中可以看到，从  $t_1$  时刻开始 2 人的肩、髋轴转动角速度都为正值，说明  $t_1$  时刻肩、髋轴已经开始转动，且肩、髋轴同时转动。

过渡阶段，王、姚的肩、髋轴转动角速度曲线在过渡阶段几乎重合且略有上升，肩、髋轴转动角速度相差不大。王在整个过渡阶段髋轴转动角速度大于肩轴转动速度，在进入过渡阶段之后姚的髋轴转动角速度超越肩轴的转动角速度；至  $t_2$  时刻王、姚的肩轴转动角速度分别为  $212.23$  和  $241.73$  ( $^\circ$ )/s，髋轴转动角速度分别为  $336.95$  和  $376.13$  ( $^\circ$ )/s，说明在过渡阶段两名运动员的髋轴已经开始积极向投掷方向转动。最后用力阶段，2 名运动员肩、髋轴的转动角速度都迅速增加，肩轴转动速度明显大于髋轴的转动角速度，但髋轴先于肩轴达到峰值角速度。此后，2 名运动员肩、髋轴转动角速度依次快速下降。

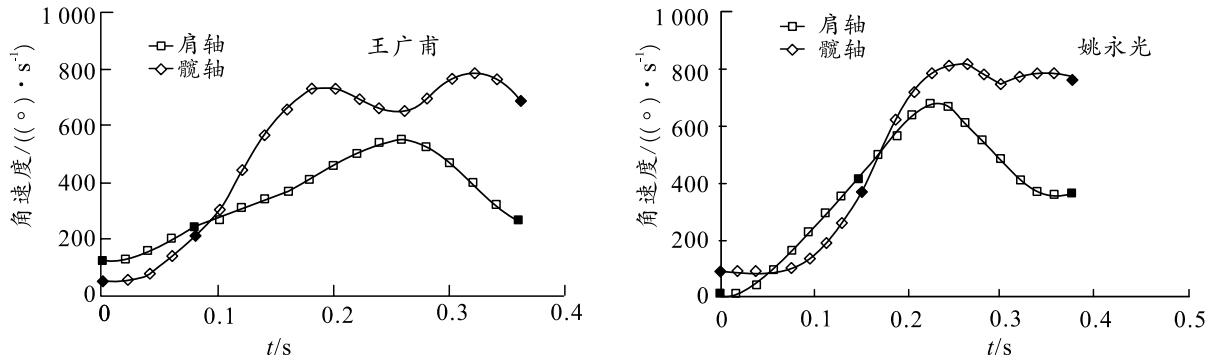


图 4 王广甫、姚永光肩、髋轴转动角速度

在峰值角速度方面,王、姚的肩轴转动的峰值角速度分别为  $787.15$  和  $738.01(^{\circ})/s$ ,髋轴转动的峰值角速度分别为  $549.93$  和  $616.72(^{\circ})/s$ 。可见王的肩轴转动的峰值速度比姚的肩轴转动的峰值角速度大,髋轴转动的峰值角速度则比姚小;从他们肩、髋轴到达峰值角速度的时间先后顺序上,髋轴要先于肩轴。

相关研究表明,最后用力阶段由下肢首先发力,左侧支撑腿积极主动快落且支撑制动,使人体助跑获得的动量传向躯干,与此同时躯干用力并产生加速运动,动量依次传递,直到传向铅球,提高铅球的出手速度<sup>[7]</sup>。因此王、姚的肩、髋轴转动技术较为合理;从动量传递效果看,两名运动员的髋轴转动速度达到峰值后又迅速下降,而肩轴转动速度不断增加,说明动量传递效果较好。

## 2.2 躯干前振角度及前振角速度的变化

### 1) 躯干前振角度的变化。

最后用力阶段,躯干绕额状轴和纵轴的角速度分量是构成躯干绕瞬时转动轴合角速度的主要成分,是提高投掷臂速度的关键<sup>[6]</sup>,因此有必要搞清楚躯干在最后用力过程中的前振角度及角速度的变化情况。

2 名运动员的躯干前振角不断增大直到铅球出手,躯干呈上升趋势,结合运动员最后用力时躯干在

不同阶段的前振角度可反映出在过渡阶段,2 名运动员躯干都有不同程度的前振,王、姚的躯干前振角度分别为  $13.02^{\circ}$  和  $23.61^{\circ}$ ;躯干前振程度姚明显大于王,与其在过渡阶段用时过长( $0.16$  s)有关。

最后用力阶段,躯干的前振程度明显增大,王、姚的躯干前振程度分别为  $64.21^{\circ}$  和  $55.49^{\circ}$ ,大于过渡阶段躯干前振程度。通过观察  $t_3$  时刻 2 名运动员的躯干前振角度可知,王的躯干前倾角为正值,说明躯干在铅球出手瞬间已经有一定程度的前倾;姚的躯干前倾角为负值,躯干基本保持垂直,说明其躯干在铅球出手瞬间有一定程度的后仰。在铅球出手时,躯干过于向前,导致出手点降低;过于后倾,仰身推球,不利于速度的传递,导致出手速度下降。

### 2) 躯干前振角速度的变化。

图 5 是 2 位运动员最后用力过程中躯干前振角速度的变化情况(图 5 中原点位置代表的时刻是滑步时右脚离地瞬间)。从图 5 中可以发现,在右脚离地瞬间,2 名男运动员的躯干前振角速度都为正值,王的躯干前振角速度最大为  $81.43 (^{\circ})/s$ ,姚的躯干前振角速度较小,其躯干角速度为  $47.65 (^{\circ})/s$ ,尽管前振角速度值各不相同,但可以说明在右脚离地瞬间 2 名运动员的躯干就开始前振,且前振角速度不断增大。

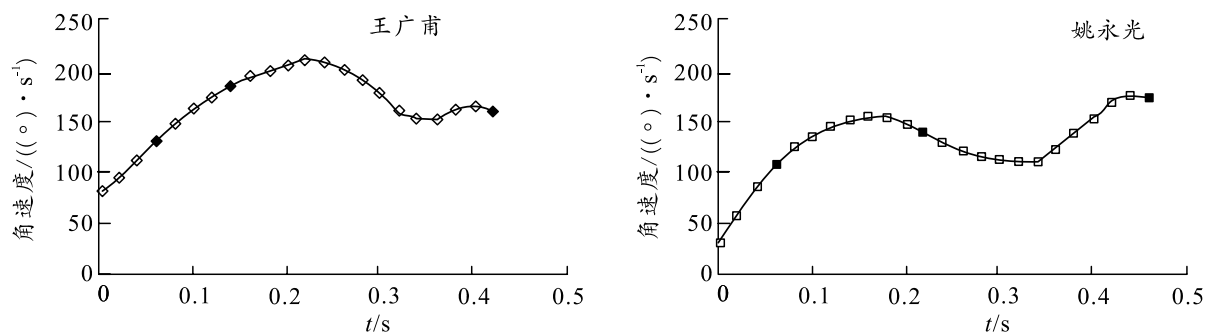


图 5 王广甫、姚永光躯干前振角速度

从2名运动员躯干前振角速度曲线可知,运动员的躯干前振角速度呈不断增加的趋势,在最后用力阶段达到峰值,虽然2名运动员的躯干前振角速度都在最后用力阶段达到峰值,但是达到峰值的时间又有所不同。王在最后用力阶段前半段达到躯干前振角速度的峰值,说明王的躯干前振效果要好于姚。

姚在过渡阶段躯干前振角速度先快速增加后不断下降至最后用力阶段前半段,此后躯干前振角速度迅速增加,铅球出手前0.41 s速度达到峰值。根据动量传递原理可知,躯干前振角速度先快速增大然后下降一段时间后再迅速增大,动能消耗大,动量的传递效果较差。

根据投掷技术原理,在过渡阶段躯干应该保持后倾姿势,躯干不要抬起,保持原有姿势快速进入最后用力。但通过分析以上运动员的躯干前振角度及角速度变化情况可知,过渡阶段运动员的躯干都有不同程度的前振。究其原因,运动员右脚着地后为了缩短过渡阶段的时间尽快进入最后用力,左腿必须迅速着地制动,形成牢固的左侧支撑,但左腿积极的着地势必造成躯干的前振,以利于尽快的进入最后用力,因此躯干在此阶段的适当前振是有利于左腿的积极着地,有利于铅球速度和整个身体重心速度的增加,进而缩短了过渡阶段进入最后用力的时间;在最后用力阶段,2名运动员因为躯干的过早前振或过渡时间过长未及时进入最后用力导致过渡阶段躯干前振角速度的先增加后下降,或是直接表现为下降。

通过以上分析发现,在此阶段2位运动员的躯干的前振角速度峰值分别为209.75和177.11( $^{\circ}$ /s),说明此阶段躯干的及时前振对投掷成绩有着非常重要的作

用。

### 2.3 各时相身体重心速度变化

图6是2位运动员最后用力过程中身体重心速度的变化情况。 $t_1 \sim t_2$ 阶段,2名运动员都表现出身体重心合速度曲线与OY方向速度曲线几乎重合,说明在过渡阶段OY方向身体重心分速度在身体重心合速度中起主要作用;王广甫的身体重心合速度稍有增加,而姚永光先略有下降后不断增大。从图6中发现身体重心合速度总是略微大于OY方向的身体重心速度。通过分析图6可知,除了起主要作用的OY方向身体重心分速度外,在OZ方向身体重心分速度的不断增加是身体重心合速度增大的另一个重要原因;OX方向身体重心分速度在 $t_1 \sim t_2$ 阶段相对稳定,且速度曲线在OX轴附近波动,因此,它在此阶段对身体重心速度变化影响不大。

$t_2 \sim t_3$ 阶段,运动员人体重心速度曲线和OY方向人体重心分速度曲线都近似于平行,且这两条曲线在后半段均呈现出急剧下降的趋势。王与姚的身体重心速度在左脚着地后迅速达到峰值,此阶段他们在沿OY方向身体重心速度迅速降低,但OZ方向的速度却迅速增加,说明当左脚着地时,身体水平向前的速度不断降低,而右腿积极蹬伸用力以及躯干迅速的前振,又使身体重心速度不断增加,因此身体重心合速度能够迅速达到峰值,且速度峰值依次为2.43、2.59 m/s。此后,由于水平方向身体重心分速度急剧下降,导致身体重心合速度也不断下降,而垂直方向速度的继续增加达到峰值后再迅速下降。相关研究表明,在最后用力阶段,人体重心速度下降过大,对铅球的最后加速是不利的<sup>[8]</sup>。

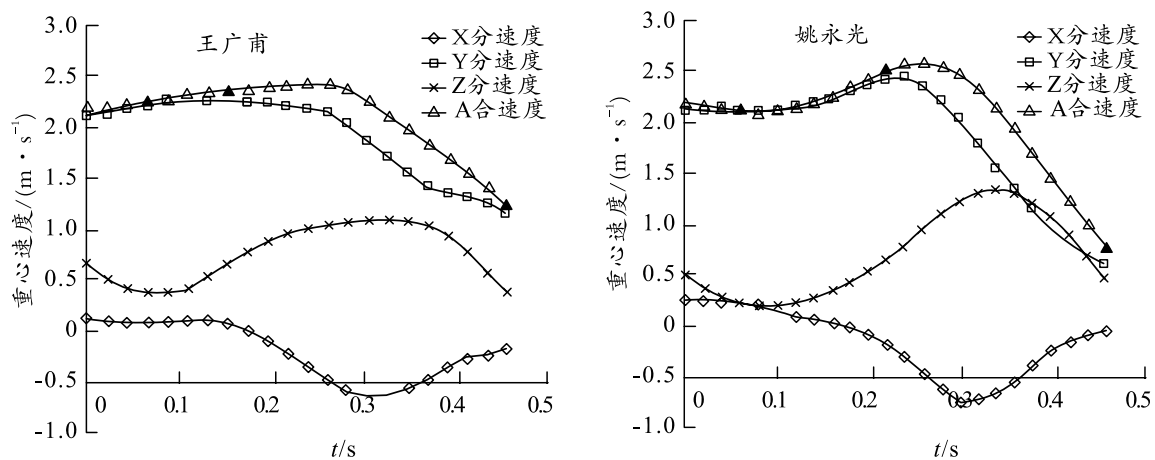


图6 王广甫、姚永光身体重心速度

分析以上2名运动员左脚着地后身体重心分、合

速度变化关系可知,水平方向身体重心速度迅速下降,

垂直方向的身体重心速度急剧上升,结合运动员图像分析可知前者主要是左腿支撑制动的结果,后者主要是右腿蹬伸用力以及躯干前振的结果。再通过以上几个曲线图发现,身体重心合速度方向与  $OY$  方向不是完全一致的,而是有一定的偏移,沿  $OX$  方向运动决定身体重心合速度的分速度在过渡阶段基本保持不变,而到最后用力阶段,2 名运动员身体重心沿  $OX$  方向运动的分速度前半段不断减小为负值,侧倾速度最小值变化范围大约在  $-0.4 \sim -0.8 \text{ m/s}$  之间,说明在最后用力投掷过程中身体重心在  $OY$  方向都有不同程度的偏移,主要原因可能为左脚着地时,运动员的左脚积极插向投掷方向中轴的左侧,以便于最后用力时身体的转动发力所致。

研究图 6 发现,身体重心合速度基本表现出人体重心速度曲线呈现出先上升至最大值然后不断下降这一变化趋势。从速度曲线图上还可以发现 2 名选手人体重心速度的最大值都出现在左脚着地后,且在左脚着地后人体重心水平速度出现快速下降趋势,而人体重心垂直速度出现快速上升趋势;进一步从图 6 三维空间内身体重心分、合速度变化可知,在过渡阶段人体重心速度曲线与重心水平速度曲线接近重合(速度接近相等),说明人体重心速度的变化在过渡阶段受水平速度影响较大,而受  $OZ$  方向的速度影响不大;至最后用力阶段, $OY$  方向身体重心速度迅速下降, $OZ$  方向的身体重心速度急剧上升,致使运动员在左脚着地后迅速达到最大速度,说明在最后用力阶段人体重心合速度的增长受垂直速度影响较大,而  $OX$  方向的人体重心速度对人体重心合速度影响最小,这就要求

运动员在过渡阶段应以快速增加重心水平速度为主,在最后用力阶段左脚积极着地后应快速提高重心垂直速度,使身体重心速度迅速达到最大值,从而提高铅球的运行速度。

#### 参考文献:

- [1] 张健,郑亚平. 对背向推铅球最后用力过程中躯干三维运动的生物力学研究[J]. 中国体育科技, 1998, 34(5): 38-41.
- [2] 李强,肖美痕. 21 届世界大学生运动会男子铅球技术的生物力学分析[Z]. 河北: 第十届全国运动生物力学学术交流大会, 2002.
- [3] 全国体育学院教材委员会审定. 田径运动高级教程[M]. 北京: 人民体育出版社, 1994: 496.
- [4] 肖林鹏. 我国优秀女子铅球运动员背向滑步推铅球技术动作速度节奏的特征与模式研究[J]. 天津体育学院学报, 2002, 17(1): 30-32.
- [5] 李林,赵焕彬,孙义. 对女子铅球运动员背向滑步推铅球技术的生物力学分析[J]. 山东体育学院学报, 2008, 24(1): 76-79.
- [6] 靳继成,李昕. 试论投掷运动中髋关节的功能与作用[J]. 首都体育学院学报, 2001, 13(3): 62-64.
- [7] 王保成,周志雄. 再论推铅球的最后用力[J]. 中国体育科技, 2000, 10(5): 29-31.
- [8] 冯玉蓉. 亚洲冠军李玲背向滑步推铅球技术下肢速度节奏特征分析[J]. 体育学刊, 2008, 15(5): 91-92.