



体育教育训练学

我国优秀男子撑竿跳高运动员杨雁盛最后两步助跑至插穴起跳技术的运动学跟踪研究^{*}

徐 政¹, 王亚妮²

(1. 西安体育学院 体育系, 西安 710068; 2. 西安泾河工业区中心学校, 西安 710201)

摘 要: 以我国优秀撑竿跳高运动员杨雁盛的技术为研究对象, 对其 2006-08—2007-08 份所参加的各次大赛技术进行跟踪研究, 运用文献资料法、专家访谈法、生物力学测量法、数理统计等方法, 对选取的主要指标进行运动学分析。研究结果表明杨雁盛最后两步助跑至起跳身体重心水平方向速度损失过大, 垂直方向速度增值过大, 从而造成起跳垂直分力过大, 致使腾起初速度减小, 但整体赛次起跳阶段重心腾起角度保持较好, 符合撑竿跳高对起跳腾起角的技术要求; 步幅和步频基本符合撑竿跳高最后两步步长变化的技术要求; 起跳离地瞬间摆动腿髋角偏小, 但大小腿折叠角度基本符合撑竿跳高技术要求; 起跳点位置偏近是起跳效果欠佳的主要原因。

关键词: 撑竿跳高; 最后两步助跑; 起跳; 运动学分析

文章编号: 1001-747X(2011)06-0739-07

文献标识码: A

中图分类号: G823.219

The Kinematics Follow-up Research on Final Two Steps to Take off Technique of Yangyansheng, one of the Elite Chinese Man Pole-vaulters

XU Zheng¹, WANG Ya-ni²

(1. PE Department of Xi'an Physical Education University, Xi'an 710068, China;

2. Jinghe Center School of Industrial Estate, Xi'an 710201, China)

Abstract: What was put under study in this paper is the pole vault technique of one of outstanding Chinese athletes - YangYanSheng when he participated in the contest during August 2006 till August 2007. His final two-step approach and take off characteristics were analyzed to expose the problems in the pole vault. It aims to provide scientific training for the days to come. Methods like literature consultation, expert interviews, biomechanical measurements and mathematical statistics and are employed to combine with kinematics analysis. The results show that during YangYanSheng's final two-step run-up till to take-off, the loss of speed of the center of gravity is substantial with the addment of vertical velocity to be too much. This directly results in decreases in initial speed. It is however found that during the overall take-off stage center of gravity flight angle was well-maintained, which meet the technical requirements of pole during take-off phase. It is particularly desirable to see that stride and cadence being in line with the basic pole vault at the last two-step by step, yet folding angle between upper and lower legs is desirably proper to meet pole-vault requirement. Hip angle of swinging leg at the moment take-off maintain rather small. Meanwhile, the basic point of collapse calf pole vault meet with high-tech requirements. It is obvious that with take-off position being too close to the bar, it is hard to realize efficient take-off.

Key words: pole vault; final two-step approach; takeoff; kinematic analysis

撑竿跳高助跑不同于其它跳跃类项目,最大的区别在于撑竿跳高需要持竿助跑,运动员不但要获得尽可能大的水平速度,还要使降竿与助跑协调配合,为插穴起跳做好前提准备。持竿助跑最后两步技术正是处于助跑向起跳的过渡阶段,它是助跑与起跳技术连接的“纽带”。

1 研究对象和方法

1.1 研究对象

以杨雁盛 2006-08—2007-08 间的 6 场比赛技术为研究对象。具体有: 全国田径锦标赛(石家庄); 北京世界青年锦标赛; 全国田径冠军赛暨大奖总决赛

* 收稿日期: 2011-05-24; 修回日期: 2011-07-11

基金项目: 国家体育总局 2008 年奥运科研攻关项目(07083)

作者简介: 徐 政(1961-), 男, 浙江平湖人, 副教授, 研究生导师, 研究方向为运动教学与训练; 王亚妮(1980-), 女, 陕西西安人, 硕士。

赛(长沙);全国田径大奖赛(苏州);全国田径大奖赛(武汉);全国田径锦标赛(石家庄)。

杨雁盛基本情况:1988-01-05 出生,身高 1.90 m,体重 77 kg,最好成绩 5.75 m,国际健将。2003 年由青岛体校入山东田径队练习撑竿跳高,2004 年最好成绩 5.10 m,2005 年最好成绩 5.45 m,2006 年最好成绩 5.54 m,2006 年入选国家田径队,2010 年最好成绩 5.75 m。

1.2 研究方法

1.2.1 生物力学测量方法

1.2.1.1 平面定点拍摄

采用松下(panasonic)AG-DVG180 摄影机,在比赛现场进行平面定点拍摄运动员在助跑最后两步至起跳技术的全过程,摄像机固定在跑道的右侧 20 m 处,主光轴垂直于运动平面正对起跳点的位置进行连续拍摄。机高为 1.2 m,拍摄速度为 50 幅/s,并在比赛前后拍摄置于运动平面处(起跳点)1 m 长的标志比例尺。拍摄现场如图 1 所示。

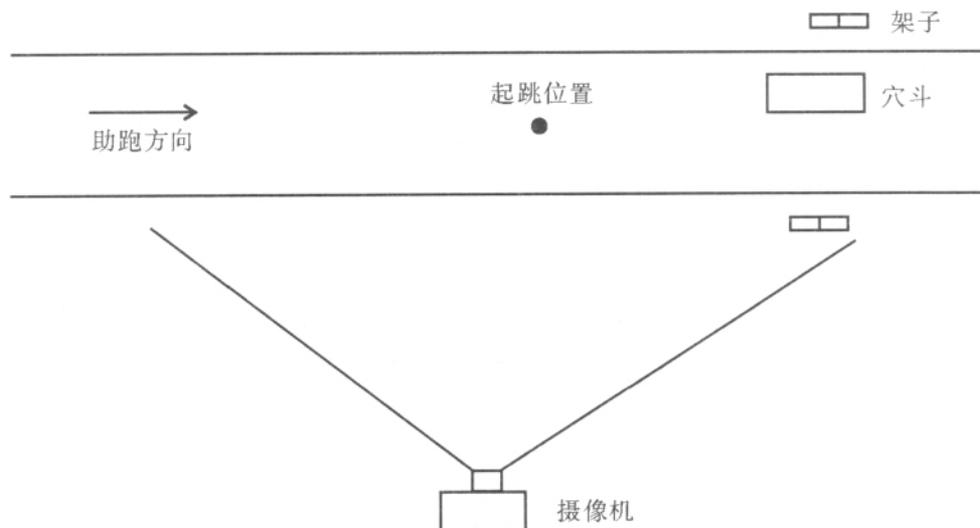


图 1 拍摄平面示意图

1.2.1.2 图像解析法

图像解析采用西安体育学院生物力学实验室 Ariel 公司研制的 APAS(Ariel Performance Analysis System) 解析软件系统,并根据人体模型的标准及研究的需要选取 21 个关节点,图像经过数字化解析,并采用低通数字滤波法对原始数据进行平滑处理,滤波频率 $f=8$,最终获得研究所需的运动学原始数据。共选取杨雁盛试跳大赛中 5.30~5.60 m 高度的比赛进行解析,共获取 22 次样本指标。

1.2.2 数理统计法

运用 spss10.0 软件对所得原始数据进行统计处理,通过对技术量化数据指标的分析最终得出对技术的定性分析与描述。

2 研究结果与分析

2.1 助跑最后两步各参量的变化分析

2.1.1 最后两步助跑身体重心速度变化特征分析

助跑速度是撑竿跳高的基础,是获得动能的主要阶段,也是取得成绩的必备前提。苏联波波夫的研究表明:助跑最后几步的速度在许多方面对腾起速度和运动成绩起决定性作用^[1]。杨雁盛在试跳不同高度

(5.30~5.60 m) 中失败和成功时倒数第 2 步身体重心水平速度均值分别为 (9.74 ± 0.99) m/s、 (9.57 ± 1.07) m/s,这和世界冠军布勃卡的 9.77 m/s 很接近,而倒数第 1 步的速度均值分别为 (9.62 ± 0.93) m/s (失败)、 (9.31 ± 1.25) m/s (成功)。由统计结果看出:倒数第 1 步中 $F=0.40$; $P=0.51 > 0.05$,因此可以得出杨雁盛最后一步助跑身体重心速度在试跳成功和失败时差异不具显著性。同理得出杨雁盛在倒数第 2 步试跳成功和失败时身体重心速度无显著性差异,这和布勃卡助跑倒数第 2 步的速度 10 m/s 比起来较接近。从两种统计数据对比中可得出杨雁盛最后两步身体重心水平速度基本接近世界优秀运动员的水平(见表 1)。

V_x 代表身体重心水平方向速度。

从速度损失率看,杨雁盛试跳不同高度最后两步速度损失率,失败时损失 1.18%,成功时损失 2.72%,且失败时比成功试跳速度损失率低,而布勃卡为 2.3%。从这一点上看杨雁盛与布勃卡还是有一定差距的,说明起跳技术上还不是很积极,有较大的制动起跳动作。从图 2 中可以看出杨雁盛在重大比赛上后两步的助跑速度都能表现出较好水平,也可以看出运动员在起跳技术上,特别是重大比赛

时表现技术的能力上有所提高。

缓慢上升趋势。说明杨雁盛最后两步助跑至起跳在

如图 2 所示, 2006 年杨雁盛倒数第 2 步、倒数第 1 步和起跳时的速度总体呈下降趋势, 2007 年呈

2006—2007 年处于逐步发展阶段中, 可以看出其最后两步助跑技术具有不稳定性。

表 1 最后两步助跑身体重心水平速度数据表 (n = 22)

比赛名称	比赛高度 / m	倒数第 2 步 / m · s ⁻¹		倒数第 1 步 / m · s ⁻¹	
		V _x		V _x	
2006 年全国田径锦标赛	5.30(1) R	10.80	10.87	10.87	10.87
	5.45(1) F	10.88	10.92	10.92	10.92
	5.45(2) F	10.76	10.86	10.86	10.86
	5.45(3) F	10.70	10.87	10.87	10.87
2006 年北京世界青年锦标赛	5.30(1) R	10.55	10.10	10.10	10.10
	5.42(1) F	10.52	10.29	10.29	10.29
	5.42(2) R	10.50	10.01	10.01	10.01
	5.54(1) F	10.35	10.16	10.16	10.16
2006 年全国田径冠军赛暨大奖总决赛(长沙)	5.54(2) F	10.56	10.13	10.13	10.13
	5.54(3) R	10.49	10.05	10.05	10.05
	5.30(1) R	8.66	7.11	7.11	7.11
	5.45(1) F	9.04	8.40	8.40	8.40
2007 年全国田径大奖赛(苏州)	5.45(3) F	8.85	8.76	8.76	8.76
	5.30(1) R	8.23	7.42	7.42	7.42
	5.45(2) F	9.38	8.10	8.10	8.10
2007 年全国田径大奖赛(武汉)	5.45(3) F	10.21	9.90	9.90	9.90
	5.30(1) F	8.30	8.75	8.75	8.75
	5.30(2) R	8.22	8.68	8.68	8.68
2007 年全国田径锦标赛	5.45(1) R	8.37	8.79	8.79	8.79
	5.60(1) F	8.26	8.68	8.68	8.68
	5.45(1) R	9.38	9.29	9.29	9.29
	5.60(1) R	9.34	9.20	9.20	9.20
$\bar{x} \pm s$		F: 9.74 ± 0.99 R: 9.57 ± 1.07	F: 9.62 ± 0.93 R: 9.31 ± 1.25		

注 1: 主要从试跳不同高度(5.30 ~ 5.60 m) 成功与失败技术指标上进行统计学的分析。

注 2: (1) 代表第一次试跳; (2) 代表第二次试跳; (3) 代表第三次试跳; R 代表成功; F 代表失败;

表 2 最后两步助跑的步长和步频变化数据表 (n = 22)

比赛名称	比赛高度 /m	倒 2 步步长 /m	倒 1 步步长 /m	变化值	步频 / (步 / s)
2006 年田径锦标赛	5.30(1) R	2.47	2.33	0.15	4.76
	5.45(1) F	2.61	2.25	0.36	4.76
	5.45(2) F	2.54	2.28	0.26	4.76
	5.45(3) F	2.51	2.34	0.16	4.76
2006 年世青赛	5.30(1) R	2.12	2.07	0.05	5.00
	5.42(1) F	2.38	2.02	0.36	4.76
	5.42(2) R	2.29	1.97	0.33	5.00
	5.54(1) F	2.35	2.17	0.17	4.76
2006 年冠军赛	5.54(2) F	2.35	1.98	0.36	4.76
	5.54(3) R	2.31	2.14	0.17	4.762
	5.30(1) R	2.08	1.82	0.26	4.76
	5.45(1) F	2.08	1.82	0.26	4.76
2007 年大奖赛苏州	5.45(3) F	2.00	1.97	0.03	4.76
	5.30(1) R	1.96	1.92	0.04	5.00
	5.45(2) F	2.10	1.99	0.11	4.55
2007 年大奖赛武汉	5.45(3) F	2.31	2.16	0.14	4.76
	5.30(1) F	1.98	1.90	0.09	4.55
	5.30(2) R	1.95	1.88	0.07	4.76
2007 年田径锦标赛	5.45(1) R	2.02	1.87	0.15	4.76
	5.60(1) F	2.02	1.90	0.25	4.55
	5.45(1) R	2.15	2.11	0.04	5.56
	5.60(1) R	2.10	2.07	0.03	5.56
$\bar{x} \pm s$		F: 2.25 ± 0.225 F: 2.04 ± 0.15	F: 0.21 ± 0.12 F: 4.7 ± 0.1	R: 2.18 ± 0.198 R: 2.05 ± 0.18	R: 0.13 ± 0.1 R: 4.97 ± 0.31

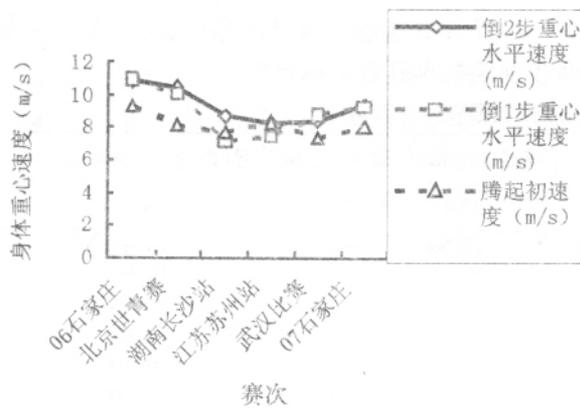


图 2 2006 - 2007 年度身体重心速度变化曲线图

2.1.2 最后两步助跑步长和步频的变化特征

从表 2 中各大赛的数据看,杨雁盛倒一步步长均值(成功: $2.05 \text{ m} \pm 0.18$, 失败: $2.04 \text{ m} \pm 0.15$)比倒二步(成功: $2.18 \text{ m} \pm 0.19$, 失败: $2.25 \text{ m} \pm 0.22$)在成功时缩短了 6.61% 失败时缩短了 9.21% 与世界优秀运动员步长变化规律很相似。杨雁盛每次比赛倒一步的步长均比倒二步的步长小,与现代撑竿跳高技术要求相符。他试跳北京世界青年锦标赛中 5.54 m 成功一次时,倒一步比倒二步步长小 0.173 m,步长变化基本不大,这说明杨雁盛能有效的控制步幅变化来增加助跑获得的能量。

从步频的数据中可看出,在试跳成功时步频均值为 (4.97 ± 0.31) 步/s; 失败时为 (4.7 ± 0.1) 步/s。统计学分析法得出 $F = 5.6$ $P = 0.03$, 此方差不齐; 取 $P = 0.02$ 值, 由于 $P = 0.02 < 0.05$, 得出杨雁盛在试跳不同高度中的步频在成功和失败时具有显著性相关。表中数据也显示出了杨雁盛在高步频下,成功率较高,这在 2007 年石家庄比赛中表现最为突出,如试跳 5.45 m 和 5.60 m 高度时步频竟达到 5.56 步/s。因此,适当的步长和适宜的步频是助跑速度得以维持和增加的两个即对立又统一的矛盾体。

2.2 起跳阶段手臂与起跳点等参量的变化分析

2.2.1 起跳阶段上握竿手臂肩关节角度与下握竿手臂肘关节角度变化特征分析

起跳阶段上握手臂肩角和下握手臂肘角可以代表运动员起跳过程中上手臂肩关节伸展程度和下手臂肘关节紧张用力程度。起跳过程两臂举竿动作是为起跳离地后进入支撑阶段作准备,现代撑竿跳高技术要求举竿后下手臂紧张用力支撑撑竿且保持较大的肘关节角度,使人体对撑竿形成一个牢固支撑,这样一方面防止身体重心过早越过竿弦而不利后面的摆体,另一方面又防止撑竿过早回弹使储存在撑竿上的能量受到损失而影响弯竿和竖竿。所以,适

宜肘关节角度能使人体对撑竿有一个稳定支撑,同时也有利于弯竿和竖竿,对上手臂的要求是上手臂充分伸直。

从表 3 的数据可以反映出杨雁盛下手臂对撑竿的支撑能力,成功试跳时着地时刻肘关节角度均值为 $160.31^\circ \pm 9.78^\circ$, 离地时刻肘关节角度均值为 $157.44^\circ \pm 10.16^\circ$, 且最大肘角为 $163.10^\circ \pm 9.32^\circ$, 最小肘角为 $141.451^\circ \pm 8.62^\circ$, 说明杨雁盛在起跳过程中下手臂紧张用力支撑撑竿符合现代撑竿跳高起跳技术中对下手臂的要求。从上手臂肩角的数据中可看出,着地时肩角为 $157.10^\circ \pm 5.65^\circ$, 离地时肩角为 $173.35^\circ \pm 5.02^\circ$, 最大的肩角为 $175.42^\circ \pm 2.89^\circ$, 最小肩角为 $156.64^\circ \pm 5.01^\circ$, 且所有成功试跳均比失败时的角度较大一些。从数据中还可看出,肩角最小值均出现在着地瞬间,从而得出,杨雁盛向上举竿不够积极,肩角尚未充分伸展。

纵观整体赛次,在起跳阶段上握手臂肩角变化差值最小值出现在湖南长沙站为 $16.13^\circ \pm 1.05^\circ$, (整体均值为 $17.37^\circ \pm 0.39^\circ$), 而下握手臂肘关节角度变化差值最小值也在此赛次上,为 $10.24^\circ \pm 2.25^\circ$ (整体均值为 $13.57^\circ \pm 2.07^\circ$)。

2.2.2 起跳离地瞬间上握竿手地面投影点与起跳点间距的大小

起跳位置为起跳离地瞬间起跳脚趾尖至穴斗前沿的距离,撑竿跳高技术要求运动员起跳点应在上手握点的正下方。现代撑竿跳高技术要求在起跳结束瞬间,起跳点、人体的重心、上握竿点同在一条垂直线上。这样一方面可以提高竿弦倾角和握竿高度,另一方面可以增加人体前肌群的伸展程度从而改善人体的用力条件,有利于人体水平动能向势能的合理转变^[2]。从力学的观点分析,起跳点过近,长摆的范围受到限制;起跳点过远,水平速度损失较大^[3]。近年来,撑竿跳高起跳技术变化产生了“自由起跳”,其概念就是:当起跳脚踏上起跳点时,人体有一个短暂的脱离撑竿约束的运动瞬间,从而尽量保持人体的运动速度。即运动员的撑竿未获得最终支撑时人体的起跳已经开始,感觉像是跳上撑竿一样^[4]。这种技术就要求运动员的起跳点在上握竿点地面投影点的正下方。

以人体运动方向为正,从表 4 中看出,杨雁盛几次大赛中上手握地面投影点与起跳点间距失败时均值为 (-0.23 ± 0.20) cm; 成功时为 (-0.29 ± 0.13) s, 从统计学中得出,两者无差异,且成功比失败均值大,说明成功比失败时起跳点靠前。纵观整体赛次,杨雁盛起跳点离穴斗前沿的距离相对较近,这与现代撑竿跳高技术的要求有较大偏差(见图 3 中的最

后两幅)。起跳点过近,撑竿就会对人体产生较大的约束,导致先弯竿后起跳的结果,从而损失人体的运动速度。这也是杨雁盛起跳不足之处。现代撑竿跳高技术还要求起跳时尽量加大竿弦与地面的夹角而提高撑竿向前转动的角速度。不过分追求弯竿量,其一,有利于竖竿;其二,又能改善身体摆动前的用力条件利于人体能量的发挥。起跳后,撑竿和人

体作为一个整体以穴斗为支点进行转动,简称“人竿转”,出现在悬垂阶段,从起跳脚离地到身体背弓最大止,它是起跳的延续,利用助跑起跳所获得的速度使躯干继续快速前移,并把起跳腿留在体后,使身体形成最大的背弓。一般的,“人竿转”半径越短,越有利于竖竿,而且充分快速拉长体前肌群,为摆体收缩创造有利的肌肉工作条件。

表 3 起跳阶段上握竿手臂肩关节角度与下握竿手臂肘关节角度变化情况一览表 (n = 22)

比赛名称	上握竿手臂肩关节角度 / (°)				下握竿手臂肘关节角度 / (°)			
	着地时刻	离地时刻	max	min	着地时刻	离地时刻	max	min
2006	161.90	177.38	178.30	161.90	161.97	161.43	161.97	150.02
锦	156.61	175.18	178.97	156.61	161.77	158.99	161.77	154.13
标	158.75	178.86	179.09	158.75	169.95	164.88	169.95	152.84
赛	156.94	178.39	178.89	156.94	165.55	172.59	172.59	160.15
	154.31	169.39	169.73	154.31	149.08	156.74	156.74	145.52
北京	157.54	171.12	175.31	157.54	146.39	137.81	146.39	128.59
世青	154.30	169.41	169.40	154.30	155.62	139.90	155.62	135.02
赛	154.38	176.27	176.53	154.38	142.00	147.57	147.57	132.97
	158.90	163.85	173.05	158.90	147.75	153.79	153.79	138.98
	156.24	168.81	168.81	156.24	153.44	143.82	153.44	133.39
长沙	162.55	166.83	176.46	162.55	159.93	166.47	166.47	159.93
站	155.11	172.57	172.57	155.12	152.40	153.27	155.45	145.93
	155.49	164.69	167.61	155.49	159.86	157.99	159.86	145.14
江苏	148.46	173.33	173.33	148.46	153.23	146.21	153.23	139.32
站	153.15	170.79	170.79	153.15	159.72	163.89	163.89	146.68
	157.82	168.00	168.00	157.82	159.86	154.52	159.86	144.75
	158.79	177.20	177.20	158.79	173.10	162.16	173.10	149.26
武汉	150.85	179.77	179.77	150.85	165.09	159.82	166.14	154.26
站	150.39	176.19	176.19	150.39	171.09	148.99	171.09	149.00
	154.96	178.33	178.33	154.96	171.62	157.75	171.62	151.22
2007								
石	166.60	175.68	175.68	162.25	172.58	161.12	173.33	159.65
家								
庄	159.67	174.88	174.88	158.97	170.77	166.85	172.31	162.58
-	F: 155.97	F: 172.74	F: 173.39	F: 155.97	F: 159.94	F: 154.98	F: 161.10	F: 140.61
x	R: 157.10	R: 173.35	R: 175.42	R: 156.64	R: 160.31	R: 157.44	R: 163.10	R: 141.45
s	F: 1.87	F: 4.74	F: 4.68	F: 1.87	F: 9.23	F: 8.20	F: 8.05	F: 5.81
	R: 5.65	R: 5.02	R: 2.89	R: 5.01	R: 9.78	R: 10.16	R: 9.32	R: 8.62

2.2.3 起跳离地时刻身体重心的腾起角与腾起初速度变化特征

人体离开地面,人体重心的速度方向与水平线之间的夹角,称为腾起角。可用水平速度和垂直速度求出: $\alpha = \arctg (V_y / V_x)$ 。因此,腾起角的大小与腾起时身体重心的水平速度和垂直速度的大小相关。在研究中发现:腾起角越小,撑竿的弯曲程度就越大。撑竿跳高总的起跳方向是向前上方,与跳远的起跳机制相同,起跳腾起角为 $19^\circ \sim 23^\circ$,优秀运

动员可达 $16^\circ \sim 18^\circ$ 。从表 5 统计数据可以看出,杨雁盛成功试跳时腾起角值为 $19.86^\circ \pm 2.31^\circ$,基本接近世界冠军布勃卡跳 6.15m 最高记录的腾起角 19.00° 。说明杨雁盛的起跳腾起角符合撑竿跳高合理的起跳腾起角。只是在湖南长沙站试跳 5.45m (失败)时起跳腾起角为 26.66° ,高于 $19 \sim 23^\circ$ 的范围,说明此起跳方向太向上,这样会造成起跳的垂直分力过大,不利于弯竿和竖竿。

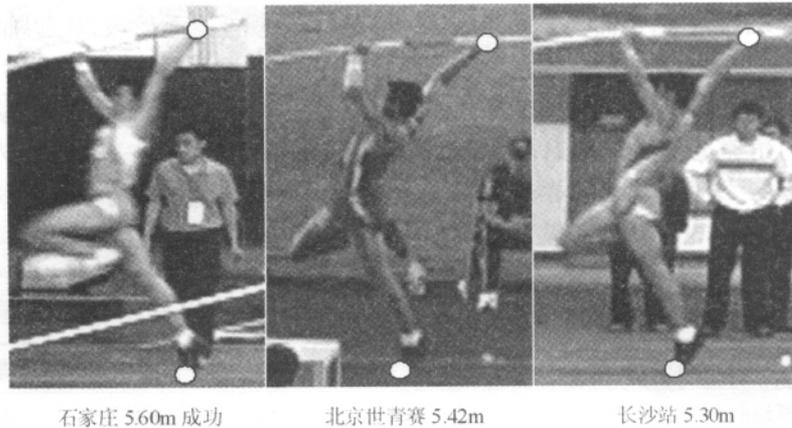


图 3 起跳离地瞬间上握手地面投影点与起跳点的间距及离地瞬间身体的整体姿势

表 4 起跳离地瞬间上握竿手地面投影点与起跳点的间距 (n = 22)

比赛名称	比赛高度/m	上握手地面投影点与起跳点的间距/cm
2006 年全国锦标赛	5.30(1) R	-0.26
	5.45(1) F	-0.36
	5.45(2) F	-0.26
	5.45(3) F	-0.27
2006 年北京世青赛	5.30(1) R	-0.38
	5.42(1) F	-0.29
	5.42(2) R	-0.48
	5.54(1) F	-0.29
	5.54(2) F	-0.36
	5.54(3) R	-0.41
	5.60(1) F	-0.22
2006 年全国冠军赛暨大奖赛总决赛	5.30(1) R	-0.43
	5.45(1) F	-0.26
	5.45(3) F	-0.32
2007 年大奖赛苏州站	5.30(1) R	-0.28
	5.45(2) F	-0.28
	5.45(3) F	-0.29
2007 年大奖赛武汉站	5.30(1) F	-0.22
	5.30(2) R	-0.26
	5.45(1) R	-0.29
	5.60(1) F	-0.22
2007 年全国锦标赛	5.45(1) R	-0.09
	5.60(1) R	-0.08
- x ± s		F: -0.23 ± 0.20 R: -0.29 ± 0.13

要素。重心腾起初速度越大,腾起角越小,快速有力的正确摆体技术,撑竿弯曲度就越大,且腾起初速度与运动成绩的相关系数 $r = 0.87$ ($P < 0.001$)。统计的数据表明,杨雁盛失败试跳腾起初速度均值为 $(8.17 \pm 0.63) \text{ m/s}$ < 成功时的 $(8.19 \pm 0.59) \text{ m/s}$ < 布勃卡 9.30 m/s 的腾起速度,说明杨雁盛水平速度损失率高,这也符合前边的起跳阶段速度变化特征的分析。

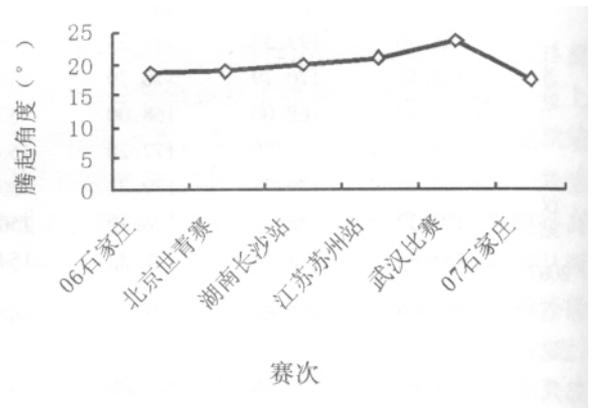


图 4 2006 年 - 2007 年各大赛的腾起角度变化图

纵观整个赛次,杨雁盛起跳腾起角最佳角度 $17 \sim 21^\circ$ 正是出现在创造 5.60 m 成绩的赛次中(见图 4),同时证明了腾起角的大小是由身体重心的水平速度和垂直分速度大小决定的。这也符合本次比赛中杨雁盛在离地瞬间水平速度损失较大是因为垂直分速度增加过大的因素。垂直分速度过大,但会使起跳腾起角减小,水平速度损失率较大。虽然杨雁盛此次比赛的腾起角度合理,但腾起初速度值为 $7.94 \sim 8.01 \text{ m/s}$ 与整体的均值 $8.19^\circ \pm 0.59^\circ$ 比起来还是偏低一些。

杨雁盛在成功试跳 5.60 m 时的重心速度均比失败时的重心合速度下降缓慢,速度损失率在成功时出现的晚而且慢,这也正好说明在速度较高的情况下,有可能跳过较高的高度。

腾起初速度是由助跑获得的水平速度和起跳所产生的垂直速度的合速度决定^[4]。而起跳后人体重心垂直腾起的速度是衡量运动员向上起跳程度最有力的指标。在撑竿跳中,它影响着人体与撑竿向前上方摆动的速度。一般地,助跑速度越快,起跳速度越快,腾起速度也就越大。研究表明,起跳后人体重心腾起初速度、腾起角、摆体是使撑竿弯曲的三个

表 5 起跳离地时刻身体重心的腾起角度与腾起初速度变化情况统计 ($n=22$)

比赛名称	比赛高度/m	腾起角/($^{\circ}$)	腾起初速度/(m/s)
2006 年全国锦标赛	5.30(1) R	18.42	9.19
	5.45(1) F	22.38	9.05
	5.45(2) F	20.07	8.89
	5.45(3) F	20.34	9.04
2006 年北京世青赛	5.30(1) R	16.76	8.34
	5.42(1) F	20.70	8.62
	5.42(2) R	18.53	8.63
	5.54(1) F	20.16	8.44
	5.54(2) F	20.99	8.60
2006 年冠军赛暨大奖赛总决赛	5.54(3) R	18.98	8.14
	5.30(1) R	20.02	7.62
	5.45(1) F	26.66	7.65
2007 年大奖赛苏州站	5.45(3) F	20.09	7.40
	5.30(1) R	20.92	8.25
	5.45(2) F	17.99	7.30
2007 年大奖赛武汉站	5.45(3) F	20.18	8.53
	5.30(1) F	19.79	7.70
	5.30(2) R	23.98	7.70
2007 年全国锦标赛	5.45(1) R	23.66	7.27
	5.60(1) F	23.43	7.68
	5.45(1) R	19.57	7.94
	5.60(1) R	17.33	8.00
$\bar{x} \pm s$		F: 21.13 \pm 2.31 R: 19.86 \pm 2.31	F: 8.17 \pm 0.63 R: 8.19 \pm 0.59

3 结 论

(1) 我国优秀运动员杨雁盛在最后两步助跑中, 身体重心水平速度保持良好。在起跳过程中水平方向速度损失过大, 垂直方向速度增值过大, 从而造成起跳垂直分力过大, 致使起跳效果欠佳。

(2) 我国优秀运动员杨雁盛最后两步步长变化符合撑竿跳高最后两步步长变化技术要求, 且在高频情况下, 成功率较高。

(3) 杨雁盛在起跳过程中下手臂紧张用力支撑撑竿符合现代撑竿跳高起跳技术对下手臂的要求, 只是在起跳过程中上手肩角角度较小, 举竿不够积极, 肩角尚未充分伸展。

(4) 起跳点偏近是导致杨雁盛起跳效果不好的主要原因。

参考文献:

- [1] 杜利军. 田径跳跃项目助跑问题文献研究[J]. 中国体育科技, 1987, 23(7): 5-13.
- [2] 陈光华. 我国男子撑竿跳高腾起高度的能量守恒定律分析[J]. 北京体育大学学报, 2006, 29(2): 271-273.
- [3] 闫松华, 刘学贞. 对我国优秀女子撑竿跳高运动员插穴起跳技术动作的生物力学分析[J]. 北京体育大学学报, 2004, 27(5): 633-635.
- [4] 文超. 田径运动高级教程[M]. 2版. 北京: 人民体育出版社, 2003: 463-471.
- [5] 张武纪, 王代才. 论现代撑竿跳高[J]. 成都体育学院学报, 1994, 20(4): 26-32.