

女子1 000m 速度滑冰竞赛速度曲线特征研究

Study on the Characters for Speed Curve of 1 000m Female Speed Skaters

宋 璿¹, 庞 清², 刘 石¹

SONG Jin¹, PANG Qing², LIU Shi¹

摘 要:目的:通过对部分女子1 000m速滑运动员的关键或近期的世界级比赛进行运动学数据获取和几何模型建立,以期更准确地评价比赛中运动员的速度特征。方法:选取鲍维(Bowe)等十位世界优秀女子1 000m速滑运动员的关键或近期比赛视频录像,使用 Dart Fish 的视频分析(精度 0.1s)和同步计时软件(精度 0.01s)获得滑行各阶段的运动学数据,构建几何模型,编辑数据并进行差异性和相关性分析。结果呈现为描述速度的几何曲线和各分段间速度与成绩的相关性。结论:速度拟合曲线能够很好地描述世界优秀女子速度滑冰1 000m运动员比赛中的速度情况并评估运动状态。世界优秀女子速度滑冰1 000m运动员在比赛中第2、12、13、18、19、20段的平均速度水平、相对平稳滑行阶段的最小速度和最大速度是影响比赛成绩的关键因素,且最小速度更为重要。
关键词:女子1 000m速滑运动员;视频分析;几何模型;速度曲线特征

中图分类号:G808 文献标识码:A 文章编号:1008-2808(2021)06-0031-07

Abstract: Objective: The kinematics data and geometric model were acquired by video analysis and synchronous timing software for the key or recent world-class competitions of 1 000m female elite speed skaters in the world, so as to evaluate the speed characteristics of the athletes more accurately. Methods: Dart Fish video analysis (accuracy: 0.1s) and synchronization timing software (accuracy: 0.01s) were used to obtain kinematics data of each stage of sliding of key or recent competition video of ten 1 000m elite female speed skating athletes in the world, including Brittany Bowe. These data are used to build geometric models, edit the data, and perform difference and correlation analysis. The result is presented as a geometric curve describing the speed and the correlation between the speed and the performance of each segment. Conclusion: The speed fitting curve can describe the speed situation and evaluate the sports status of the world elite 1 000m female speed skating athletes. The average speed level of 1 000m female speed skaters in the 2nd, 12th, 13th, 18th, 19th and 20th stages, the minimum speed and maximum speed in the relatively smooth sliding stage are a key factor in the performance, and the minimum speed is more important.
Key words: Female 1 000m-speed skaters; Video analysis; Geometric model; Characteristics of speed curve

收稿日期:2021-01-26;修回日期:2021-06-15

作者简介:宋璿(1992-),男,在读博士研究生,研究方向为冬季奥林匹克理论与方法。

通信作者:刘石(1972-),女,教授,博士,博士生导师,研究方向为冬季奥林匹克理论与方法。

作者单位:1. 哈尔滨体育学院,黑龙江 哈尔滨 150008; 2. 国家体育总局冬季运动管理中心 大众滑雪部,北京 100044

速度滑冰是我国具有较大潜在优势的冰雪运动项目,2014 年索契冬奥会曾出现张虹这样奥运冠军级别的运动员,但后续发展阻滞,竞技水平整体下降。2016 年,七部委联合下发《全国冰雪场地设施建设规划((2016—2022 年)》,可见从国家层面,冰雪运动发展得到了前所未有的高度重视,“两个冰雪规划”的制定将成为我国冰雪运动发展的“指南针”,将推进我国冰雪运动发展进入新历程^[1]。根据速度滑冰的发展趋势选择合理的制度变迁路径,建立具有中国特色的速度滑冰运动发展体系,促进速度滑冰运动的全面发展^[2]。

其中,速度特征是速滑项目突破技术壁垒的研究重点,当然它在跳高、三级跳远、中长跑等项目也具有较高的研究价值。速度特征的研究包括步幅步频(动作速度特征)、能量分配、速度节奏(位移速度特征)等角度。国外有一些学者从能量分配视角进行速度特征的研究,国内学者则更多集中于步幅步频和速度节奏视角。

许世岩^[3]等人提出使用线解图的方法对竞走运动员训练和比赛时的步幅步频进行测量与研究,获得运动成绩和身体素质变化的信息,使教练员的指令有的放矢。谭明义^[4]等人研究发现我国优秀男子 100m 运动员的步频已经超过了世界优秀短跑运动员,而步幅的大小受力量因素影响最大,中国优秀运动员如要在现有基础上取得步幅上的突破,就必须大力发展力量素质。陈民盛^[5]等人发现由低速向高速滑行时,在步频与步速关系中,动态支撑方式遵循定点支撑方式的变化规律;但在步长与步速关系中,动态支撑方式却有与定点支撑方式相反的结果。Mattern^[6]等人证明在 800m 项目中运动员采用慢启节奏策略,认为会延迟疲劳出现的时间,加强无氧代谢储备便于终点阶段冲刺,有利于获得更好的成绩。Hettinga^[7]等人证明,不同的速度分配无氧代谢产生的总能量不变,但无氧代谢能量在比赛中的分配不同却会造成成绩的差异。Atkinson^[8]等人 在其研究中发现,阻力随速度的增加呈二次方指数倍增加,因此一些学者认为短距离项目启动阶段快速到达最大速度有利于克服空气阻力,从而减少无氧储备的消耗。黄达武^[9]等人认为竞速类项目优秀运动员的速度特征是由其比赛能力和战术选择共同决定的。吴新炎^[10]等人认为 1 000m 速滑项目主要制胜因素是绝对速度和速度耐力,两者同等重要,而不是一直认为的速度耐力。

基于之前优秀学者的研究,为了洞察 1 000m 速滑项目速度特征的更多细节,本文以世界优秀女子 1 000m 速滑运动员比赛的速度特征为研究对

象,从几何学视角入手,试图通过速度拟合曲线的几何特点来分析影响 1 000m 速滑项目的关键因素并评价运动员能力。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

选取 10 名女子 1 000m 速滑运动员(世界杯近期比赛排名位于前 20 名)的关键或近期比赛视频进行研究,其近期参赛情况见表 1。

表 1 10 名女子 1 000m 速滑运动员近期比赛排名

2019—2020 世界杯 五个分站赛	白俄罗 斯站	哈萨克 斯坦站	日本站	加拿 大站	荷兰站
鲍维	1	1	1	6	2
法特库琳娜	11	3	8	2	6
小平奈绪	6	4	4	1	7
卡恰诺娃	12	2	5	5	8
德容	5	7	未参加	8	4
莫尔斯	2	8	未参加	未参加	未参加
伊尔文	16	17	18	13	未参加
科泽万卡	13	13	12	16	10
李奇时	14	15	16	14	未参加
赵欣	15	11	15	15	12

注:数据来源于国际滑冰联盟(ISU)官方网站

选取鲍维 2019 年 3 月世界杯盐湖城站创造世界纪录(1'11"61)的比赛视频和张虹 2014 年索契冬奥会夺冠(1'14"02)的比赛视频作为试验模板;选取 2019 年 12 月世界杯哈萨克斯坦站中鲍维、伊尔文、法特库琳娜、卡恰诺娃、莫尔斯、小平奈绪、克泽万卡、德容、李奇时和赵欣 10 位选手的比赛视频进行对比分析。

1.2 研究流程

1.2.1 数据采集点选取 为了能够更为准确反映 1 000m 过程中每一段滑行距离的运动特征,研究将 400m 的跑道分为 8 段(大于 8 段时计时与距离估算的准确度会大幅度降低,小于 8 段时运动学细节特征会被忽略),共 8 个标记点。1 000m 全程共记录时间 20 次(其中包含 3 次赛事官方标记点 200m/600m/1 000m)。从 1 000m 起跑线开始标记,逆时针方向进行,直道与弯道连接处共 4 处,做 4 个标记点,弯道弧顶共 2 处,做 2 个标记点,1 000m 终点线做 1 个标记点。8 个标记点依次记为 A、B、C、D、E、F、G、H,见图 1。

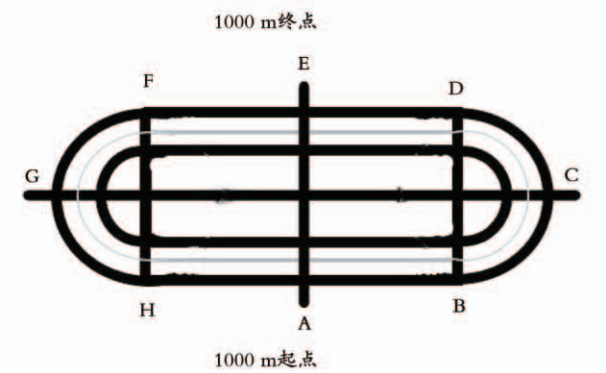


图 1 1 000m速滑赛道及模拟标注点

1.2.2 数据采集方法 通过 Dart Fish 软件中的标点和计时功能获得运动员到达每一个标记点的时刻(视频分析精度为 1 帧,即 0.1s)。为了保证计时精度,选择使用同步计时软件在视频中插入新的计时器(精度为 0.01s)同步计时并对视频计时进行纠偏。每场比赛视频都由 5 名记录人员各记录一次,5 次测量取均值后将 E 标记点的 3 个数据与官方计时比较并进行误差分析后计算得出纠正值。

1.2.3 数据处理 将整理好的时间数据按内外道起滑的不同进行分组。内道出发组其滑行过程中

各段模拟距离依次记录为 55、39.25、39.25、50、50、39.25、39.25、50、50、47.1、47.1、50、50、47.1、47.1、50、50、39.25、39.25、50(单位为 m)。外道出发组其滑行过程中各段模拟距离依次记录为 45、47.1、47.1、50、50、47.1、47.1、50、50、39.25、39.25、50、50、39.25、39.25、50、50、47.1、47.1、50(单位为 m)。

计算各段距离和滑行各段所需时间的比值(即分段平均速度)并整理到表格中,以便于将数据导入 SPSS 18.0 软件并使用图表构建程序进行速度曲线拟合。

1.2.4 数据分析 将数据整理好后录入 SPSS18.0 软件,进行差异性分析和相关性分析。差异性分析使用配对样本 t 检验,相关性使用皮尔森相关性分析。

2 研究结果

2.1 张虹和鲍维的关键比赛

张虹(内道出发)和鲍维(内道出发)这两场关键比赛的分段数据记录如表 2 和表 3。表 2 和表 3 数据的速度拟合曲线如图 2 和图 3。

表 2 2014 年索契冬奥会张虹1 000m夺冠比赛的分段数据

标记点	A	B	C	D	E	F	G	H
	0	7.64	11.32	14.11	17.94	21.78	24.54	27.52
计时点纠正值(s)	30.92	34.80	38.05	41.14	45.03	48.68	52.25	55.71
	59.53	63.62	66.63	69.71	74.02			
分段	1	2	3	4	5	6	7	8
第一圈平均速度(m/s)	7.20	10.67	14.07	13.06	13.02	14.22	13.17	14.71
第二圈平均速度(m/s)	12.89	14.49	15.24	12.85	13.70	13.20	13.61	13.09
第三圈平均速度(m/s)	12.22	13.04	12.75	11.60				

注:官方三个计时点与平均值对应计时点的误差依次为 -0.042、-0.03、-0.045,即为每一圈的修正误差

表 3 2019 年 3 月世界杯盐湖城分站赛鲍维创造世界纪录的比赛分段数据

标记点	A	B	C	D	E	F	G	H
	0	6.21	9.85	13.47	17.57	20.91	24.11	27.10
计时点纠正值(s)	30.81	34.38	37.25	40.01	43.87	47.27	50.08	53.13
	56.87	60.53	64.34	67.35	71.61			
分段	1	2	3	4	5	6	7	8
第一圈平均速度(m/s)	7.25	12.94	13.01	12.20	14.97	14.72	13.12	13.48
第二圈平均速度(m/s)	14.01	13.68	14.22	12.95	14.71	13.98	12.87	13.37
第三圈平均速度(m/s)	13.66	15.14	12.70	11.74				

注:官方三个计时点与平均值对应计时点的误差依次为 -0.032、-0.034、-0.038,即为每一圈的修正误差

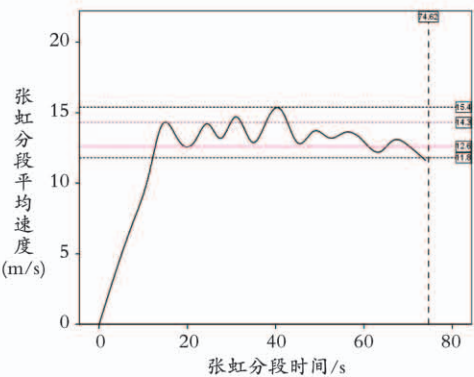


图2 张虹比赛的速度拟合曲线

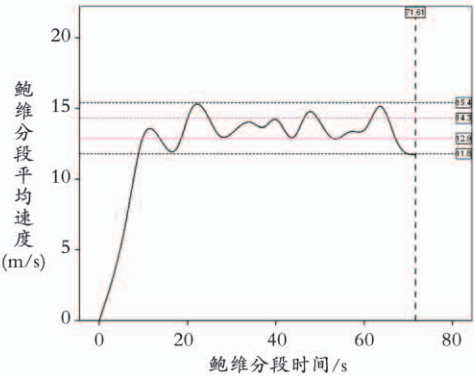


图3 鲍维比赛(世界纪录)的速度拟合曲线

依据拟合曲线数据,当进入相对平稳的滑行阶段后(两条水平方向的黑色虚线之间的状态),张虹比赛的最大速度为 15.4m/s,最小平均速度为 11.8m/s,全程中以平均速度 12.6m/s - 14.3m/s 滑行的时间最长(两条水平方向的红色虚线之间的状态)。鲍维比赛的最大速度为 15.4m/s,最小平均速度为 11.8m/s,全程中以平均速度 12.9m/s - 14.3m/s 滑行的时间最长。分析两曲线走势的差异,可以看出鲍维后 500m 的速度保持能力极强,甚至还能提升速度,而张虹的后 500m 是在努力控制降速,差距显而易见。我国短距离运动员大多只能在 500 m 上达到世界级水平,而在 1 000m 上则与世界同类型短距离选手的差距很大^[9]。

2.2 十位世界优秀女子1 000m速滑运动员的近期比赛

通过对所选十位运动员的分段时间数据进行配对样本 t 检验可以发现,样本间差异均不具有显著性,即可以证明十位运动员均属于现役世界优秀女子 1 000m 速滑运动员。

以下为 2019 年速滑世界杯哈萨克斯坦站中女子 1 000m 速滑项目比赛的十位运动员的速度拟合曲线,左侧为内道出发,右侧为外道出发,见图 4 - 13。

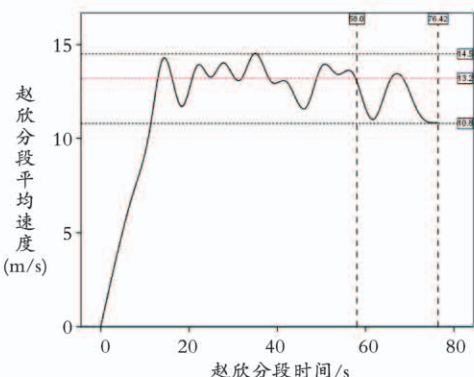


图4 赵欣的速度拟合曲线

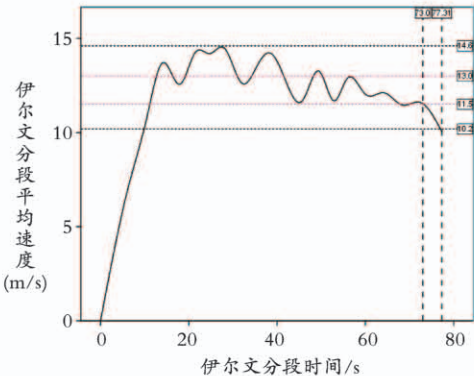


图5 伊尔文的速度拟合曲线

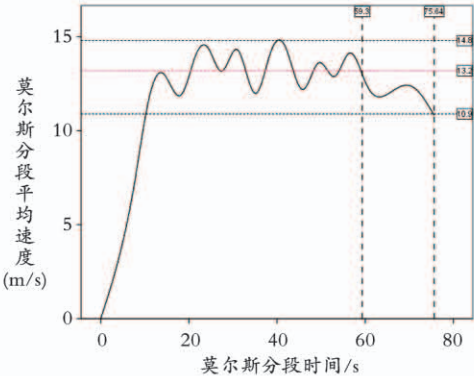


图6 莫尔斯的速度拟合曲线

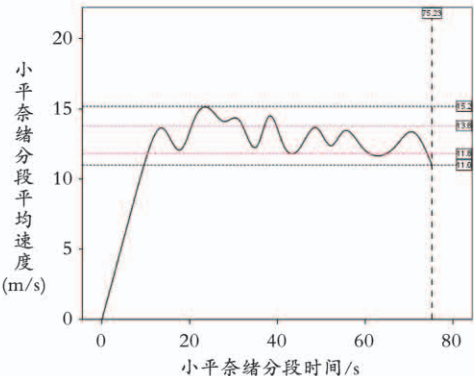


图7 小平奈绪的速度拟合曲线

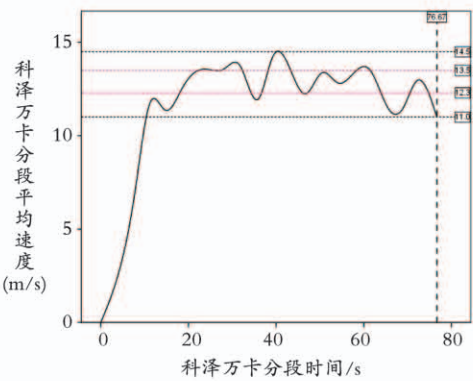


图8 科泽万卡的速度拟合曲线

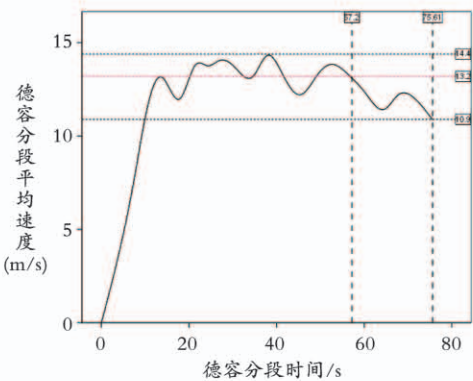


图12 德容的速度拟合曲线

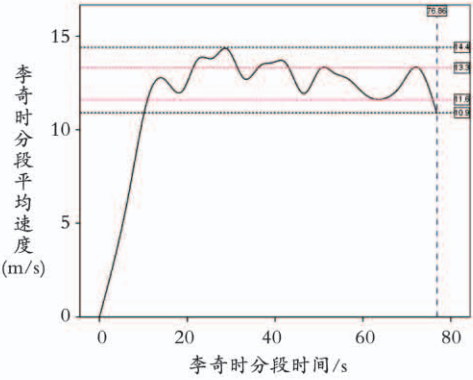


图9 李奇时的速度拟合曲线

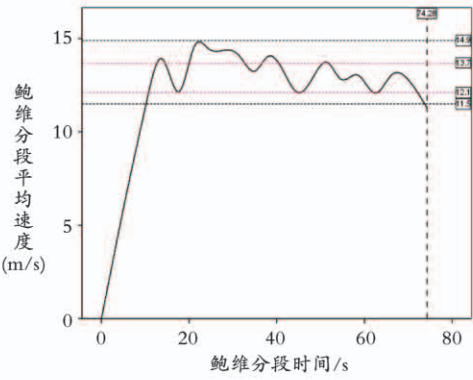


图13 鲍维的速度拟合曲线

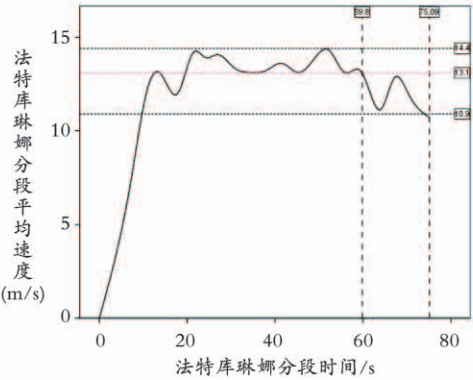


图10 法特库琳娜的速度拟合曲线

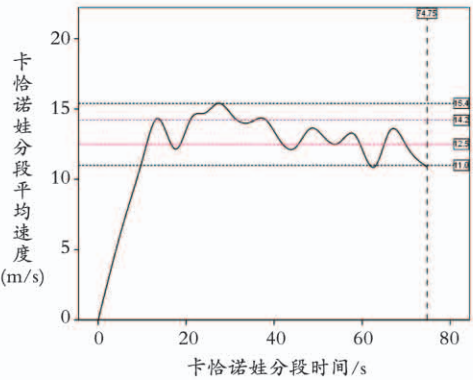


图11 卡恰诺娃的速度拟合曲线

图2-图13中的水平方向的黑色虚线(每张图中各2条)所对应值与比赛成绩的相关性分析结果如表4。

表4 速度拟合曲线中关键量与比赛成绩的相关性比较			
运动员	相对平稳滑行阶段的最小速度 (m/s)	相对平稳滑行阶段的最大速度 (m/s)	比赛成绩
张虹	11.8**	15.4**	74.62
鲍维 [#]	11.8**	15.4**	71.61
赵欣	10.8**	14.5**	76.42
伊尔文	10.2**	14.6**	77.31
莫尔斯	10.9**	14.8**	75.64
小平奈绪	11.0**	15.2**	75.23
科泽万卡	11.0**	14.5**	76.67
李奇时	10.9**	14.4**	76.86
法特库琳娜	10.9**	14.4**	75.09
卡恰诺娃	11.0**	15.4**	74.75
德容	10.9**	14.4**	75.61
鲍维	11.5**	14.9**	74.28

注:**表示在0.01水平上显著相关;[#]表示鲍维创造世界纪录的比赛

表4结果显示,相对平稳滑行阶段的最小速度值与比赛成绩高度负相关($r = -0.855, P < 0.01$),相对平稳滑行阶段的最大速度与比赛成绩高度负相关($r = -0.766, P < 0.01$)。

十位运动员比赛中各段的平均速度与比赛成绩的相关性呈中度相关以上的段如表5。

表5 与比赛成绩呈中度以上相关的各段平均速度				
	第2段 平均速度	第12、13段 平均速度	第16段 平均速度	第18-20段 平均速度
相关系数值	-0.581*	-0.706**	-0.586*	-0.846**

注:*表示在0.05水平上显著相关,**表示在0.01水平上显著相关

第18-20段平均速度与比赛成绩呈高度相关性($r = -0.846, P < 0.01$);第12、13段平均速度与比赛成绩呈高度相关性($r = -0.706, P < 0.01$);第16段平均速度与比赛成绩呈中度相关性($r = -0.586, P < 0.05$);第2段平均速度与比赛成绩呈中度相关性($r = -0.581, P < 0.05$)。其他段平均速度与比赛成绩也呈现出一定的相关性。

3 分析与讨论

3.1 引入速度拟合曲线的意义

3.1.1 几何曲线的直观性评价 研究通过对丰富点源数据的计算拟合得出了一条表征女子1 000m速滑运动员滑行过程中速度特征的几何曲线。结合几何曲线特征^[12]对比赛中运动员速度特征进行解析,需要说明的是所有速度数据均是在统一的内外道距离模型下计算得出,与实际速度值有一定偏差,但对于分析讨论运动员的速度变化规律和她们之间的相对水平没有影响。

解析几何是理解曲线特性、发现事实规律的有效数学方法^[13]。几何曲线切线斜率(该曲线模型中即为加速度)的应用对于整个滑行过程中运动员的短时间提速能力(爆发力)和控制降速能力的评价有指导意义。斜率的应用效果在起步阶段尤其显著,起步阶段对应曲线部分与时间轴的夹角 α 越大($0^\circ < \alpha < 90^\circ$),斜率就越大,就说明速度随时间的变化率越大(即运动员起步阶段能力强,爆发力优秀)。科泽万卡选手的起步阶段曲线切线斜率明显小于其他选手,短时间内速度并没有完全加起来,虽然她的中后程状态保持不错,但起步加速阶段的落后对比赛成绩造成了一定的影响。

中间部分曲线波动的区间和时长可以反映出运动员此阶段能够以多大的速度维持多长时间的

运动,即速度耐力水平的含义范畴。张虹2014年索契冬奥会夺冠比赛中她速度大于13.0m/s的时间占总时间的56.3%。鲍维在创造世界纪录的比赛中速度大于13.0m/s的时间占总时间的69.8%。一般地说,以较大速度范围滑行的时间越长比赛成绩会越好。本站比赛,小平奈绪速度大于13.0m/s的时间仅占总时间的40.5%。本站比赛,我国选手赵欣速度大于13.0m/s的时间占总时间的50.4%,此数据优于小平奈绪,但中段占比少和末段降速幅度过大导致赵欣的成绩比小平奈绪慢了1.19s。

末段曲线波浪的下降部分的斜率同理表示了运动员的降速程度,一定程度上也表征了其速度耐力水平,此阶段夹角 α 越大($90^\circ < \alpha < 180^\circ$),说明速度随时间的减小幅度越小(即运动员末段速度保持能力越强)。但是,单独斜率的应用只能表明运动员速度的变化率,并不能代表其绝对速度水平。德容和莫尔斯两位选手在前中段速度均在良好水平波动,60s左右开始速度大幅下降并且回升有限,说明其该速度范围的耐力水平已达到极限。而伊尔文选手出现末段降速的情况明显早于其他选手,过早的出现降速且无法回升意味着前半程体能消耗过大,即体能分配出现失误。

几何模型可以应用到任意一段比赛过程之中,对于不同运动员在任意一段距离的能力对比都可以实现。引入它到比赛和训练当中可以为教练员评价运动员表现提供了一种准确直观的手段。

3.1.2 速度模拟曲线中两个关键速度量的分析 表4的相关性分析显示在起步后进入相对稳定滑行阶段的最小速度与比赛成绩呈高度相关性($r = -0.855, P < 0.01$),相对稳定滑行阶段的最大速度与比赛成绩也呈高度相关性($r = -0.766, P < 0.01$),即很大程度上这两个速度值的大小就表征了比赛成绩的好坏。这两个参数可以用来辅助评价运动员的实力水平或状态水平。

从几何视角来看,被夹在两条黑色虚线之间的速度范围是运动员比赛中能够长时间保持的速度范围,即属于速度耐力素质的含义范畴。对于其范围大小的标定和其是否能够完全表征速度耐力水平的探讨将在后续长期的实践中继续。

3.2 各分段平均速度对比赛成绩的影响及与降速差的比较

吴新炎、陈月亮等^[7]学者认为女子1 000m速滑项目速度节奏特征的研究中最为关键的物理量为降速差和各分段成绩(共5段)。他们通过比较

各段的平均成绩和降速差与比赛成绩的相关性完整地分析了1 000m速滑项目中各段的速度节奏特点。

研究提出的将1 000m划分为20段的研究方法更加精准量化了滑行过程中的每一段过程。故对于世界优秀女子1 000m速滑运动员而言,第一个弯道的加速能力很重要,但前500m大多都可以保持较高的速度水平,后500m对于运动员维持较高速度的能力提出了很大考验,即在赛程中段(后500m的开始阶段)和末段的速度水平是取得优异比赛成绩的关键因素。结合12张速度模拟曲线图发现,鲍维创造世界纪录的比赛中滑行过程的中段呈现长时间稳定的速度波动且速度水平较高(12.9m/s-14.3m/s),末段的平均速度水平依然可以回升,而其他优秀选手基本都在维持或下降状态,说明鲍维的速度耐力和绝对速度潜力远高于其他选手。小平奈绪选手的后500m速度保持良好(11.8m/s-13.8m/s),末段降速控制良好,表明其整体竞技状态良好,近五站世界杯排名均在前八,加拿大站排名第一。伊尔文选手中段的速度保持也相对稳定,但速度水平较低(11.5m/s-13.0m/s),末段的平均速度仍出现了明显的下降,整体实力与其他优秀选手相比较差,仍需加强训练。我国选手赵欣的中段速度稳定性较差波动幅度大,末段的降速明显但有回升,整体速度耐力水平有待提高。我国选手李奇时中段的速度稳定性良好,但速度水平一般(11.6m/s-13.3m/s),末段有大幅度明显降速,说明李奇时最近的体能状态不佳导致速度耐力水平受限,近五站世界杯比赛与其最好成绩(1'13"94)相比有大幅度下降。

4 结 论

(1)几何曲线的引入通过曲线特征认知了速度特征,能够很好地描述世界优秀女子速度滑冰1 000m运动员比赛中的速度情况并评价运动表现,其中曲线参数相对平稳滑行阶段的最小速度和最大速度(速度拟合曲线中水平方向的黑色虚线所对应的参数)是影响比赛成绩的关键因素。

(2)将1 000m比赛过程划分成20段的研究方法有效地判别出世界优秀女子速度滑冰1 000m运动员在比赛中第2、第12、第13、第18、第19、第20段的平均速度水平是影响比赛成绩的关键因素。

(3)比赛过程的速度模拟曲线有望成为评价女子速度滑冰1 000m运动员实力排名的重要工具之一。

参考文献:

- [1] 朱志强. 深入理解与贯彻我国冰雪运动发展的“指南针”——“两个冰雪规划”的解读[J]. 哈尔滨体育学院学报,2017,35(1).
- [2] 王锦国. 制度变迁视域下我国速度滑冰运动的发展研究[J]. 哈尔滨体育学院学报,2018,36(1):19-24.
- [3] 许世岩,王强,汪锡福,等. 检查竞走运动员步频和步长的线解图的设计及其使用方法[J]. 中国体育科技,1992,28(3):13-18.
- [4] 谭明义,尹军,李立群. 中、外优秀男子短跑运动员步频、步幅的比较与分析[J]. 中国体育科技,2000,36(12):12-13.
- [5] 陈民盛,刘彤,邹晓峰,等. 从速度滑冰的支撑特点看支撑方式对频幅组合与步速关系的影响[J]. 天津体育学院学报,2006,21(1):12-14.
- [6] Mattern CO, Kenefick RW, Kertzer R, et al. Impact of starting strategy on cycling performance[J]. Int J Sports Med, 2001, 22(5):350-355.
- [7] Hettinga F J, De Koning J J, Meijer E, et al. Biodynamics Effect of pacing strategy on energy expenditure during a 1500-m cycling time trial[J]. Med Sci Sport Exe, 2007, 39(12):2212-2218.
- [8] Atkinson G, Peacock O, Passfield. Variable versus constant power strategies during cycling time-trials: prediction of time savings using an up-to-date mathematical model[J]. J Sport Sci, 2007, 25(9):1001-1009.
- [9] 黄达武,陈月亮,吴瑛. 体能类竞速项目速度节奏研究进展[J]. 天津体育学院学报,2012,27(2):154-157.
- [10] 吴新炎,陈月亮. 女子1000m速滑项目速度节奏特征与张虹索契备战策略[J]. 首都体育学院学报,2014,26(2):150-156.
- [11] 李博,李海鹏,黎涌明. 2018/2019赛季速度滑冰国际比赛成绩分析及训练建议[J]. 中国体育科技博士生论坛,2020,56(3):75,封三.
- [12] 梁友栋,叶修梓. 曲线几何连续性及应用[J]. 计算数学,1989(4):394-404.
- [13] 吴苏. 数学建模思想融入解析几何的实例应用探讨[J]. 科技风,2020(4):63.