

·竞赛与训练·

## 汪雪儿仰泳途中游技术的运动学特征分析

汪雪儿<sup>1</sup>, 张芷欣<sup>2</sup>, 黄东香<sup>3</sup>, 唐宝杰<sup>1</sup>, 高天意<sup>1</sup>,  
吴鑫源<sup>1</sup>, 史一帆<sup>1</sup>, 张一凡<sup>1</sup>, 黄波<sup>1</sup>

(1.华南师范大学 体育科学学院, 广东 广州 510006; 2.佛山大学 体育教学部, 广东 佛山 528000;  
3.韶关学院 体育学院, 广东 韶关 512005)

**摘要:** 仰泳作为竞技游泳的重要项目, 但关于高水平仰泳运动员个体化运动学特征的研究仍较为缺乏。通过使用 Qualisys(Oqus700+)三维运动捕捉系统, 对我国高水平仰泳运动员汪雪儿的途中游技术进行分析, 旨在揭示其途中游技术运动学特征与动作优化方向。研究表明: 汪雪儿的仰泳途中游运动学特征: (1)因臂部技术不稳定导致头部稳定性不足, 肩、髋转动不对称, 以及髋关节转动不稳定; (2)右利手, 存在较强的右侧依赖性, 左侧臂部动作存在肩转角度大、肘关节角度小、划水深度浅、划水宽度不稳定的问题; (3)臂腿节奏配合良好, 打腿幅度稍大; (4)以划幅为主的划幅主导型选手。研究建议, 从头部姿态控制、肩髋协同机制优化及两侧力量均衡训练等方面入手, 进一步提升其专项竞技水平。

**关键词:** 运动学特征; 仰泳; 途中游技术; 三维运动捕捉; 汪雪儿

中图分类号: G808 文献标志码: A 文章编号: 1006-7116(2026)03-0131-08

### Analysis of kinematic characteristics with the mid-swim technique during the backstroke of Wang Xueer

WANG Xueer<sup>1</sup>, ZHANG Zhixin<sup>2</sup>, HUANG Dongxiang<sup>3</sup>, TANG Baojie<sup>1</sup>, GAO Tianyi<sup>1</sup>,  
WU Xinyuan<sup>1</sup>, SHI Yifan<sup>1</sup>, ZHANG Yifan<sup>1</sup>, HUANG Bo<sup>1</sup>

(1.School of Physical Education, South China Normal University, Guangzhou 510006, China; 2.Department of Physical Education, Foshan University, Foshan 528000, China; 3.School of Physical Education, Shaoguan University, Shaoguan 512005, China)

**Abstract:** Backstroke, as a key event in competitive swimming, yet related studies focusing on the individualized kinematic characteristics of elite backstroke athletes remain limited. This study employs the Qualisys (Oqus700) 3D motion capture system to analyze the backstroke technique of elite Chinese swimmer Wang Xueer during the mid-swim phase, with the aim of revealing the kinematic characteristics of her technique during the mid-swim phase and providing directions for technique optimization. The results indicate that the kinematic characteristics of Wang Xueer's backstroke during the mid-swim: (1) insufficient head stability due to unstable arm technique, asymmetry in shoulder and hip rotation, and also instability rotation in hip joint; (2) being right-handed, exhibiting a strong reliance on the right side, while the left arm existing the following issues such as an excessive shoulder rotation angle, a reduced elbow joint angle, shallow pulling depth, and unstable pulling width; (3) showing a good coordination between arm and leg rhythms, with a slightly excessive kicking amplitude; (4) being a stroke-dominant swimming player. Based on these findings above, it is suggested that improvements would be made in head posture control, shoulder-hip coordination mechanism optimization, and the balance training of force between both sides to

收稿日期: 2025-10-13

基金项目: 国家体育总局科技创新项目“基于多模态数据融合的游泳动作技术分析模型与应用”(25KJCX022); 广东省体育局2024—2025年科技创新和体育文化发展科研项目“我国优秀仰泳运动员汪雪儿仰泳技术动作分析与诊断”(GDSS2024M001)。

作者简介: 汪雪儿(1998-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 游泳表现分析。E-mail: 215684743@qq.com 通信作者: 黄波

further enhance her competitive performance in swim.

**Keywords:** kinematic characteristics; backstroke; mid-swim technique; three-dimensional motion capture; Wang Xueer

仰泳作为竞技游泳的泳姿之一,其途中游阶段在比赛中所占时间最长、耗时最多,是决定整体竞技表现的重要环节之一。该阶段直接影响推进效率与速度保持能力,已成为仰泳专项训练与研究的核心内容之一<sup>[1]</sup>。近年来,国内外学者对仰泳技术进行了广泛研究,国外研究主要聚焦于身体转动节律、划水效率与打腿技术优化等方面<sup>[2]</sup>,国内研究侧重于专项技术动作的定量分析与动作协调性的探讨<sup>[3]</sup>。在竞技游泳技术的发展中,对技术细节的把握、减阻理念的应用以及与划频、划幅的最佳配合是取得优异成绩的关键<sup>[4]</sup>。

尽管已有研究在群体数据分析方面取得一定成果<sup>[5-9]</sup>,但对我国高水平仰泳运动员的个体化运动学特征,尤其是途中游阶段的运动学参数分析仍显不足。个案研究可为理解高水平运动员的技术策略提供更深入的参考,有助于指导后备人才的专项训练。汪雪儿是现役国家队女子仰泳主力,曾多次在国内外重要赛事中取得优异成绩。她的 100 m 仰泳最佳成绩为 58.99 s,接近亚洲纪录,50 m 仰泳以 27.35 s 夺得 2023 年杭州亚运会冠军,因此,其技术动作在仰泳领域具有较高的参考价值。为此,本研究选取汪雪儿为研究对象,利用三维动作捕捉系统深入分析其途中游阶段的关键运动学参数,旨在揭示其运动学特征并为我国仰泳训练的个体化发展提供理论依据和实证支持。

## 1 研究设计

### 1.1 研究对象

本研究对象为中国仰泳队现役运动员汪雪儿,女,身高 178 cm,体重 65 kg,拥有优异的专项技术和身体素质,具有较强的典型性和代表性,适合用于研究高水平运动员途中游的运动学特征。

### 1.2 指标与测试

#### 1)测试法。

为获取汪雪儿仰泳技术的运动学参数,本研究采用 Qualisys(Oqus700+)三维运动捕捉系统<sup>[10]</sup>,对其仰泳途中游的技术动作进行量化测试,具体测试方案如下。

测试仪器及工具:使用 Qualisys(Oqus700+)三维运动捕捉系统,该系统包含 19 台摄像机,其中 3 台为高清视频相机、8 台为水上数据捕捉摄像机、8 台为水下数据捕捉摄像机,数据捕捉频率为 100 Hz。所有仪器均在测试前完成 X、Y、Z 三轴单、双系统标定,确保数据采集的精准性。每完成一次动作数据采集之后,实验人员需要检查所采集的数据。

测试前,工作人员提前到场,完成仪器调试。受试对象完成 40 min 陆上与水中热身。热身完成后休息 30 min,并由工作人员在其全身各关节处粘贴反光标志点。

从测试可靠性的角度来看,多次重复测量是评估个体表现稳定性的基础。研究表明,在精英运动员群体中,许多功能性测试具备良好的重测信度,支持其作为动态姿势控制评估工具的一致性<sup>[11]</sup>。本研究对象为高水平仰泳运动员,具备较高个体运动表现稳定性。因此,采集 3 次测试数据用于评估该运动员的技术表现。

每次测试后,工作人员即时确认拍摄画面清晰度及反光标记点的动态有效性,确保测试成绩与个人最佳成绩的差异不超过 10%。若未达标,测试对象将在充分休息后补测。每次拍摄间隙测试对象可进行水中放松,待心率恢复后进入下一轮测试。符合以下条件的数据视为采集成功:一是测试成绩与个人最佳成绩的差异不超过 10%;二是反光标记点未掉落,数据采集完整。采集完成后,选取其中质量最佳的 3 次动作的运动学数据进行研究。

#### 2)具体指标。

本研究结合仰泳技术的动作特征,分阶段选取核心运动学参数,具体如下:

(1)途中游平均速度(m/s):游进过程中髌关节在 X 轴的水平移动速度。(2)途中游身体位置(m):头部及髌关节在水面 Z 轴方向的上下移动幅度。(3)关节转动时间(s):肩、髌关节绕躯干左右纵向转动从最低点至最高点的用时。(4)关节转动角度(°):肩、髌关节左右两侧点与水平面 X、Y 轴的夹角。(5)划水游进速度(m/s):左、右侧划水过程中髌关节在 X 轴的水平移动速度。(6)划水加速度(m/s<sup>2</sup>):左、右侧手掌自入水至推水结束时腕关节的加速度。(7)划水深度(m):手掌入水至出水前腕关节在 Z 轴的位移幅度。(8)划水宽度(m):手掌入水至出水前腕关节在 Y 轴与肩关节的最大距离。(9)划水游进距离(m):左右侧手臂划水周期内髌关节在 X 轴的水平位移距离。(10)划水肘关节角度(°):拉水至肩侧时上臂与前臂的夹角。(11)途中游打腿幅度(m):上踢幅度:周期内,Z 轴水面上的高度;下打幅度:周期内,Z 轴水面下的深度。(12)划水周期时间(s):同侧手从入水至下一次入水的总用时。(13)途中游划频(次/min):单位时间内的划水动作次数(公式:60 ÷ 划水周期时间)。(14)途中游划幅(m):一个完整动作周期的水平游进距离(公式:平均游速 × 划水周期时间)。

## 2 结果与分析

### 2.1 仰泳途中游运动学特征分析

仰泳是4种泳姿中唯一以仰卧姿势游进的泳姿。途中游作为比赛中用时和距离最长的阶段,是仰泳过程中至关重要的环节,运动员需通过自身肢体动作与水的相互作用实现水中前进。仰泳途中游技术由身体姿势、上肢手臂动作、下肢打腿动作和四肢协调配合4个部分组成。

### 2.2 仰泳途中游身体姿势运动学分析

由于仰泳划水动作在身体两侧进行,运动员需通过身体转动帮助手臂适当弯曲并迅速抓水,以实现高效划水。同时,身体转动还需保证在空中移臂时手臂至肩部的部位能够完全出水,从而使整个移臂过程更加流畅自如<sup>[12-13]</sup>。仰泳的动作应由肩关节至髋关节,再到腿部,完成一个完整的转动。此过程的复杂性在于,运动员需在高速前进的状态下迅速完成身体从一侧到另一侧的转换,并循环重复这一转换以配合手臂划水的节奏<sup>[2]</sup>。

#### 1) 身体位置。

在游进过程中尽量保持头部、上肢、髋部以及下肢处在一个水平面上可以减少阻力,但身体位置尽可能贴近水面的同时头部稍高、髋部稍低可以更好结合上下肢发力。汪雪儿在3次测试中的身体位置Z轴上下移动幅度数据基本相似。游进时头部位置距离水面平均值分别为0.13 m、0.14 m和0.14 m,上下移动最大幅度分别为0.18 m、0.19 m和0.16 m,最小幅度分别为0.07 m、0.05 m和0.08 m。髋关节位置距离水面的平均值均为-0.11 m,上下移动最大幅度分别为-0.17 m、-0.18 m和-0.18 m,最小幅度分别为-0.06 m、-0.06 m和-0.08 m。

汪雪儿在游进过程中的头部Z轴移动曲线显示,在某些特定技术动作阶段存在明显的头部起伏。头部的3个峰值分别对应左手推水结束和右手入水结束的2个动作周期,而低谷时段则出现在左手推水阶段以及右手移臂至最高点时。在这些动作转变节点,汪雪儿出现头部下沉问题,所以会破坏身体在水中的流线型,增加不必要的阻力,特别是当右手从最高点向下入水时,若整个三角肌至肩关节部分都陷入水中则进一步加大水阻、降低推进效率,还会影响到左手推水环节的发力。由于身体位置和姿态的改变,左手在推水阶段可能无法充分发挥力量,造成推进力减弱。髋关节在游泳过程中起到连接上下肢的重要作用,需要灵活转动以带动下肢的打腿动作。汪雪儿的髋关节在水面上下的浮动幅度适中,这对于保证大腿既不会过于贴近水面而影响向上打腿的发力,也不会因下沉过多导致下肢位置过低,进而影响全身姿态和加重上肢负

担。可见,汪雪儿在身体姿势运动特征中的主要表现为右手移臂、左手推水时头部位置下沉的不稳定现象。

#### 2) 肩、髋关节转动时间。

上肢作为游进过程中的主要推进力来源,在保持头部位置稳定的基础上,肩转的时机以及幅度对于持续向前进方向移动是至关重要的。由于髋关节位于人体躯干核心的位置,髋转可以带动打腿的节奏产生推进力,也会直接影响侧向打腿的幅度,而好的打腿节奏不仅可以帮助下肢的发力,也可以节省上肢的消耗<sup>[2]</sup>。

如表1所示,3次测试中汪雪儿的肩关节右侧转动时间较左侧更长,髋关节除了在第2次测试中出现左边转动时间小于右边的现象外,其余2次测试均为右侧转动时间较左侧长,证明其髋关节转动存在不稳定的情况。其在往年赛事中曾出现过忽然偏离泳道中线的情况,可能与其髋关节转动不稳定有所关联。由于仰泳的特殊仰卧姿势不需要考虑左右换气所带来的动作差异,因此这个现象可能是由于右利手的力量优势导致的。从数据上看,右侧转动的相对于左侧更长,尤其是在肩部从最低点转至最高点的过程中,对侧的手臂正在进行水下动作,右侧较长的转动时间暗示在左侧手臂进行水下划水阶段时,划水动作的形成和路线可能相对较慢,而左侧较短的转动时间则意味着右侧在水下动作的执行上更为迅速。这种两侧转动发力的不对称性,容易导致躯干在游进过程中向一侧倾斜,产生类似“跳跃”式的游泳动作,也就是游泳时身体上下或左右摇摆不稳定。这种偏离X轴直线前进方向的发力方式不仅会增加游进的实际距离、消耗更多的体力,而且并不能有效提高推进力,反而可能对当前游泳速度产生负面影响。由此可见,汪雪儿的肩、髋转动时间特征为髋部左右两侧转动时间不稳定,以及因两臂水下划水技术导致肩部左右转动时间出现不对称性。

表1 汪雪儿途中游肩、髋关节转动时间 s

指标	次数	左转时间	右转时间	左转时间	右转时间
肩关节转动时间	1	0.38	0.57		
	2	0.29	0.50	0.35±0.04	0.52±0.03
	3	0.37	0.50		
髋关节转动时间	1	0.53	0.78		
	2	0.58	0.41	0.57±0.03	0.65±0.17
	3	0.59	0.76		

#### 3) 肩、髋关节转动角度。

身体转动的主要目的是为了配合手臂动作,能够以最佳的抓水深度进行划水动作,转动角度过小会导致划水时手臂离水面太近或过度伸直不利于发力,角

度过大也不能使另一侧身体露出水面更多达到减阻目的,反而会影响两侧转动的频率,如今世界顶尖仰泳运动员转肩角度在  $20^{\circ}\sim 40^{\circ}$  之间<sup>[2]</sup>。

从表 2 可见,汪雪儿右肩的转动角度比较适宜,但通过 3 次测试的肩关节转动角度对比,证明其左右两侧肩部的转动角度存在差异,这反映其上肢力量和动作平衡性有待提高。在游进过程中发现,尽管髋关节左右转动的幅度不大,却出现髋关节下沉并向内屈曲的现象。正常情况下,运动员在手部推水时髋关节应该通过适当的转动来辅助上肢发力,以提高推水效率和整体推进力。然而,汪雪儿在推水时髋部出现下沉的动作模式,这是一种不正确的发力方式,会导致在游泳过程中身体上下浮动程度增大,无法维持稳定的前进速度,影响整体游进效率和速度的连续性。可见,汪雪儿的肩、髋部转动角度运动学特征为左右侧肩部转动角度不对称、左侧肩部转动角度过大、以及髋关节下沉。

表 2 汪雪儿途中游肩、髋关节转动角度 ( $^{\circ}$ )

指标	次数	左转动角度	右转动角度	左转动角度	右转动角度
肩关节转动角度	1	41.38	37.52		
	2	45.05	36.87	45.79±3.94	36.21±1.42
	3	50.94	34.24		
髋关节转动角度	1	27.24	22.90		
	2	29.49	21.81	27.2±1.88	22.54±0.52
	3	24.88	22.92		

### 2.3 仰泳途中游手臂动作运动学分析

手臂动作作为仰泳主要推进力来源,其动作原理却是较为简单。将身体看作一个时钟,运动员手臂动作应从 11 点以及 1 点的位置开始入水,将水沿直线轨迹推向脚的方向,以确保身体向前进方向移动。在划水时移动的方向显得尤为重要,手掌一直保持朝着脚的方向划水可以产生足够的推进力,手掌过多朝上或朝下则会导致身体上下波动。

#### 1) 划水加速度。

汪雪儿在游泳过程中,左手的划水加速度相比右手高出  $0.51 \text{ m/s}^2$ ,这表明在左手划水时单位时间内速度的增加量更大,也就是说左手在水下产生的推动力更强。然而,左手的游进速度却比右手低  $0.01 \text{ m/s}$  且游进距离也少  $0.05 \text{ m}$ (见表 3),说明尽管左手发力速度快、加速度大,但是在实际游进效果上并未转化为更高的速度和更远的距离。结合左侧肩转角度大、划水肘关节角度小以及划水深度浅的特征,可以推测汪雪儿在左手划水时虽然拥有较快的加速能力,但可能由于划水动作的技术细节不够理想,比如划水路线不合

理、推进效率不高,导致尽管在短时间内产生较大的加速度,却没有充分利用这种加速度来提高游进速度和距离。

表 3 汪雪儿仰泳途中游手臂划水速度、游进距离

指标	次数	左侧	右侧	左侧	右侧
划水加速度 ( $\text{m/s}^2$ )	1	25.99	22.52		
	2	26.12	28.97	26.05±0.05	25.54±2.65
	3	26.03	25.13		
游进速度 ( $\text{m/s}$ )	1	1.49	1.49		
	2	1.53	1.57	1.51±0.02	1.52±0.03
	3	1.50	1.51		
游进距离(m)	1	1.17	1.22		
	2	1.12	1.15	1.16±0.03	1.21±0.04
	3	1.20	1.25		

#### 2) 划水幅度。

途中游划水幅度选取划水深度和划水宽度这 2 点参数做分析。

汪雪儿途中游划水时最大深度出现在推水结束阶段,左右腕关节划水周期内与肩关节产生最大宽度时的技术动作均为抱水动作结束,腕、肘、肩 3 个关节基本处在同一直线时。从左右手的划水深度、宽度对比可知(见表 4),左手划水深度较右手浅、划水宽度不稳定的特征,再次验证前文所提及的左手虽快,但划水效果不及右手的情况。

表 4 汪雪儿仰泳途中游划水最大深度、划水平均深度 m

指标	次数	左手	右手	左手	右手
划水最大深度	1	0.29	0.34		
	2	0.29	0.35	0.29±0.00	0.34±0.00
	3	0.29	0.34		
划水平均深度	1	0.18	0.19		
	2	0.17	0.20	0.17±0.00	0.19±0.00
	3	0.17	0.19		
划水宽度	1	0.28	0.46		
	2	0.36	0.40	0.36±0.07	0.42±0.03
	3	0.44	0.40		

仰泳手臂划水深度入水结束时应在  $10\sim 15 \text{ cm}$ ,划水过程中应在  $30 \text{ cm}$  上下,推水结束时应在  $35\sim 45 \text{ cm}$ <sup>[4]</sup>。肩关节转动角度对划水幅度的影响显著,若肩转角度过大而划水幅度保持不变,就需要上肢具备更强的力量支持,以克服更大的阻力和完成有效的划水动作。汪雪儿作为女性运动员,其左侧肩关节转动角度较大,但上肢力量可能不足以支撑在如此大的转动角度下,以恰当的肘关节角度、足够的划水深度和合适的划水宽度完成水下划水动作。结合数据来看,汪雪儿左侧的

肩转角度大、肘关节角度小、划水深度浅、划水宽度小,这4个技术环节彼此关联、互为影响,共同反映出汪雪儿在仰泳时右侧的划水动作相对于左侧而言,在技术合理性上有一定的优势。

### 3)肘关节角度及划水游进距离。

肘关节角度的大小直接影响划水效果。若角度过小,手掌离水面过近,会影响拉水的效果;角度过大,则增加力矩,导致无法充分调动手臂及同侧躯干的肌肉力量。合理的肘关节角度应在 $90^{\circ}\sim 110^{\circ}$ 之间<sup>[7]</sup>。汪雪儿右侧肘关节角度较为合适,但左侧与右侧存在较大差距。通过肩关节转动角度的分析可得,肩部转动角度直接影响拉水时肘关节的角度。单从这一点来看,汪雪儿右手的拉水效果优于左手。掌握合适的肘关节角度有助于增加前臂对水的接触面积,进而对推水阶段起到关键作用,然而两侧的显著不平衡仍需引起重视。

上肢动作是仰泳的主要推进力来源,运动员的游进速度和游进距离是检验上肢手臂技术合理性的直接指标。汪雪儿左手划水游进距离较短,主要由于左手划水路线及发力方式整体效果不佳。仰泳是双手交替进行的动作,虽然右利手在肌肉力量上具有一定优势,但在技术动作方面仍可进一步提升。左右两侧的差距可能导致游进过程中身体偏移,进而增加不必要的游进距离,同时也消耗更多体力。汪雪儿手臂动作运动学特征主要为右利手,其左手存在肘关节角度小、划水深度浅、划水宽度不稳定等。

## 2.4 仰泳途中游腿部动作运动学分析

仰泳打腿是两腿交替进行的上下鞭状打腿动作。由于下肢距离心脏较远,快速打腿时会大量消耗体内氧分,导致体力迅速下降,同时打腿的速度和推进力远不如上肢动作所提供的多。国内外大部分优秀仰泳运动员具备较强的打腿能力,且多数采用2次手臂动作配合6次腿部打腿的技术。

### 1)打腿幅度。

仰泳打腿上踢动作由髋关节开始驱动带动大腿前侧主动发力向上,再到小腿前侧直到脚背最后到脚趾上踢至水面作为上打部分的结束。该部分作为主要推进力,而下打部分则是将大腿后侧直到脚跟位置做向下压水动作,腿部尽量伸直,膝盖可不固定,下打结束时脚的位置应低于臀部。下打的推进力不及上踢,但快速有力的下打是进行高效上踢动作的基础。汪雪儿途中游打腿幅度中,左右脚上踢均出水面,右脚较左脚稍高;左右脚下打中左脚较右脚稍深。整体而言,左右两侧数据相差较少,两侧上踢和下打总和的打腿幅度分别为左侧0.56 m、0.57 m、0.52 m,右侧0.56 m、0.55 m、0.56 m,可见两侧打腿幅度较为平衡。

汪雪儿在游进过程中的髋关节两侧转动角度差异较小,因此对左右交替打腿动作的影响有限。合理的仰泳打腿动作要求水下打的幅度大约在45 cm<sup>[15]</sup>,由于水的阻力大于空气,所以打腿上踢时无需过分强调让腿部伸出水面。汪雪儿左右两侧的打腿动作较为均衡,但下打深度较深,在左腿进行下打动作时存在轻微的屈膝现象。虽然打腿动作产生的推进力不如上肢划水大,但屈膝动作说明在打腿时大腿与髋关节的联动可能不够充分。这会导致在打腿时,由于小腿接触水面面积的增加进而增大水阻力,而不是有效利用力量产生向前的推进力。

### 2)打腿频率。

汪雪儿途中游打腿周期时间3次测试分别为0.44 s、0.43 s和0.42 s,打腿频率分别为136.36次/min、139.53次/min和142.86次/min。结合下文中的划水周期时间数据进行分析可知,其划手和打腿的周期时间以及频率的比值基本符合1:3,说明汪雪儿将2次手6次腿的配合技术运用的相对较好。打腿虽没有上肢贡献的推进力大,但却是一个持续产生动力的过程,好的打腿技术以及与上肢配合更为协调的节奏都可以减轻上肢的消耗,且两侧连贯的交替打腿动作可以帮助维持身体位置及身体转动。总体而言,汪雪儿的打腿频率良好,但打腿幅度较大且大于合理的45 cm。

## 2.5 仰泳途中游完整配合运动学分析

仰泳技术虽被拆分成较多的板块,但一般来说仰泳配合动作不是一侧结束另一侧开始,而是每次动作之间无缝衔接,整体是流畅的;而运动员之间存在个体差异,所表现出的技术风格会有所不同,需找到最适合自身的身体转动幅度、划频划幅、合理配合时机,以此来达到个人最佳水平。

### 1)划水周期时间。

汪雪儿左手划水周期时间分别为1.31 s、1.26 s和1.26 s,右手为1.30 s、1.25 s和1.25 s,两侧划水周期时间基本无差距。划频划幅是一个相互配合的过程,如划水时间过长、划频降低不利于短距离选手的加速冲刺,划水周期过短、划频太快导致划水过程不充分划幅减少,所以划水周期时间是直接影响划频划幅效率的关键。结合臂腿的运动学特征要素进行分析可知,划水周期时间和打腿周期时间比值基本符合1:3,可再次证明汪雪儿具备2次手6次腿的良好臂腿协调能力。

### 2)平均划频、划幅。

划频划幅之间存在的差异,部分来自于运动员身材以及个人能力的体现,部分源于比赛距离上的项目特点,多数短距离运动员会呈现出划频快划幅短的划水技术,而长距离运动员则会呈现划频相对较慢但划

幅较长的划水技术。

汪雪儿 3 次技术测试与 2023—2025 年的 100 m 比赛成绩及划频、划幅的趋势进行结合分析(见表 5), 可见其近年来在划频、划幅的配合上采取增加划频、降低划幅的策略。该策略帮助其在 2023 年全国游泳冠军赛决赛中取得佳绩。然而后期继续执行该策略时, 其划幅开始出现下降, 成绩下滑。基于这种变化, 通过跟踪汪雪儿近年来完整配合运动学特征要素中的划频、划幅可知, 其是一名以划幅主导的运动员, 应该继续发挥其高效划水的优势, 且在保持划幅不变的前提下提高划频, 而非牺牲划幅提高划频。

表 5 汪雪儿划频、划幅、游速对比

数据来源	平均划频 (次/min)	平均划幅 (m)	平均游速 (m/s)	比赛成绩 (s)
技术测试	47.00	2.01	1.57	
2023 年全国游泳冠军赛决赛	48.17	2.01	1.61	58.99
2023 年杭州亚运会决赛	48.05	1.99	1.59	59.52
2024 年全国游泳冠军赛决赛	48.79	1.96	1.59	59.61
2025 年全国运动会决赛	48.65	1.94	1.57	59.99

### 2.6 仰泳途中游周期速度变化特征

运动员的划幅和划频对其在水中的前进速度起决定性作用, 但由于个体差异性, 不同的运动员所表现出的技术风格也存在差异, 但越优秀的运动员在游程

中保持最佳速度的能力一定是较为突出的。

#### 1) 平均速度。

图 1 为汪雪儿出水后途中游游进过程中前 3 个完整动作周期髌关节在 X 轴上的水平移动速度以及途中游平均游速。可以看到在 3 个完整的划水周期内, 尽管整体速度呈现出下降趋势, 但前半段的速度波动较大且多数时候超过平均速度, 因为是出水后的第一个划水周期, 肌肉爆发力得到充分利用, 速度峰值表现得相对明显且快速。进入到后半程时虽然不再出现显著的高速峰值, 但速度曲线整体趋于平稳, 没有大幅度的波动。在这个阶段, 汪雪儿在速度保持方面做得相对不错, 在速度的波谷时期, 即一只手臂正在抱水而另一只手臂正处于移臂的过程中, 速度的下滑也相对可控。数据显示, 左手在抱水与移臂切换期间速度的降幅较右手更为明显, 这一现象可能源于技术动作的细微差异或者左右力量分配的不同。

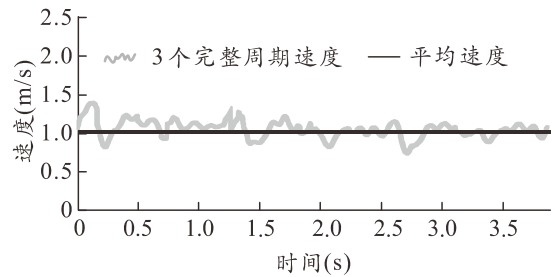


图 1 汪雪儿途中游游进速度曲线

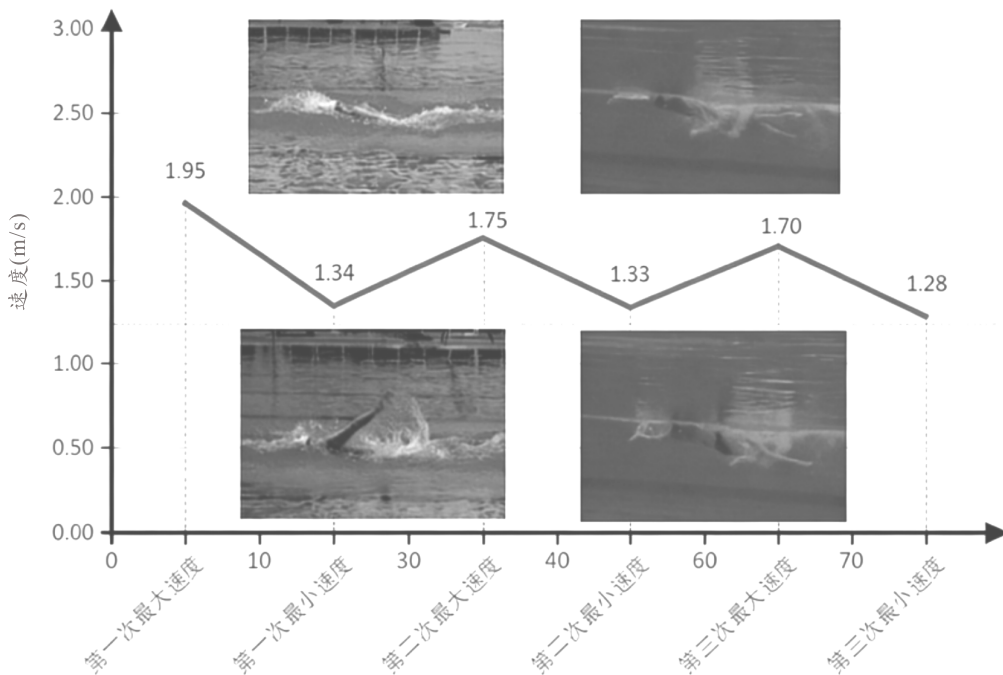


图 2 汪雪儿途中游最大、最小速度曲线

## 2)最大、最小速度变化。

在3次测试中,选取出水后前3个完整周期内汪雪儿途中游最大速度以及最小速度,均值分别为1.95 m/s和1.28 m/s。图2中最大速度时的技术动作皆为左手入水右手准备结束推水,而最小速度时的技术动作为左手进行抱水动作右手进行空中移臂。

游进过程是为了增加推进力产生速度,但是速度表现则会稍晚于当下动作。结合技术动作和速度变化,可以解释为汪雪儿右手在推水最后阶段产生最大速度,而在右手出水后,左手拉水以及抱水这个环节中效果不佳,没有产生较大的推进力使得最大速度得以延续,所以此时的速度下降明显。但这两点在对侧手做动作时并没有产生类似的速度变化,即左手划水推水效果不及右手产生速度大,而右手拉水抱水动作则较好没有较多失速。

## 3 讨论

汪雪儿是以划幅为主导的运动员,继续发挥其优势的前提下,进一步提高划频能帮助其提高竞技成绩,通过对其仰泳途中游技术进行全面的分析可知其技术动作中仍存在改进空间。左右侧划水技术发展的不平衡是造成速度波动的一个重要因素,左侧划水力量利用效率偏低,导致左侧肩部转动需作出更大的转动进行代偿。意味着汪雪儿在划水过程中可能存在两侧肌肉力量或协调性差异,需要通过针对性训练来提升左侧划水的力量输出和技术水平,以达到两侧划水力量平衡,从而增强推进效果和游速稳定性。汪雪儿的打腿环节虽展现出良好的基础素质,但因下打幅度偏大增加了水阻。这意味着她在腿部动作方面应适度调整打腿幅度,确保打腿动作既能够提供有效推进力又避免不必要的阻力增加,这样可以帮助她在水中更高效地前进。

优化汪雪儿仰泳途中游的技术动作应包括:继续优化改进其仰泳技术,在保证划幅的前提下提高其划频,探索适合个人特点的合理比例;强化躯干核心力量及提高肩髋转动同步性,确保左右侧划水力量均匀分布,减少因不对称造成的不稳定现象;细化并控制打腿动作幅度,使之既能产生足够推进力又能减小阻力。通过对这些关键技术环节的改进,有望显著提升汪雪儿在比赛中的游速和耐力表现,并最终提高其整体仰泳成绩。

可通过以下方法提高汪雪儿仰泳途中游技术:(1)在日常训练中加入使用如划水掌、水瓶等辅助器材进行专项练习<sup>[16]</sup>,以保持头部始终处于一个较低且利于减少阻力的位置;强化静态核心肌群的力量和稳定性

训练,这对于改善肩髋转动不对称以及维持身体在水中良好的流线型至关重要<sup>[17-18]</sup>。(2)进行细致的体能测试与技术分析,找出两侧力量差距的原因并制定针对性的体能训练计划,包括但不限于单侧划水练习、抗阻训练及核心稳定性训练等,确保两侧肩部转动幅度一致,从而提高游进时的身体平衡性和整体推进效率<sup>[19]</sup>。(3)细化左侧手臂划水动作的技术训练,通过分解动作练习和重复性训练来增强劣势侧肌肉力量<sup>[20]</sup>,改进技术动作的合理性,力求实现左右手臂在划水过程中的完美配合,进一步提升划水效率和速度表现。

汪雪儿是划幅主导型运动员,但依然存在速度波动较大的问题,进一步优化技术细节能帮助其继续发挥划幅优势。总体而言,其仰泳途中游运动学特征包括以下几点:(1)因两臂不对称性导致头部稳定性不足;(2)右利手,存在较强的右侧依赖性,左侧臂部动作存在肩转角度大、肘关节角度小、划水深度浅、划水宽度不稳定的问题;(3)臂腿节奏配合良好,打腿幅度稍大;(4)以划幅为主导。

## 参考文献:

- [1] SANDERS R H, TAKAGI H, VILAS-BOAS J P. How technique modifications in elite 100m swimmers might improve front crawl performances to podium levels: Swimming chariots of fire[J]. Sports Biomechanics, 2023, 22(12): 1532-1551.
- [2] 斯科特·里瓦尔德,斯科特·罗德奥. 游得更快的科学原理: 优异运动表现的技术和训练研究进展[M]. 温宇红,译. 北京: 科学出版社, 2021.
- [3] SMITH H K, MONTPETI, R R, PERRAULT H. The aerobic demand of backstroke swimming, and its relation to body size, stroke technique, and performance[J]. European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 1988, 58(1): 182-188.
- [4] 高捷,陶旻,袁绍婷. 新世纪我国竞技游泳运动的发展[J]. 体育学刊, 2007, 14(1): 96-96.
- [5] CHOLLET D, SEIFERT L M, CARTER M. Arm coordination in elite backstroke swimmers[J]. Journal of Sports Sciences, 2008, 26(7): 675-682.
- [6] LERDA R, CARDELLI C. Analysis of stroke organization in the backstroke as a function of skill[J]. Research Quarterly for Exercise and Sport, 2003, 74(2): 215-219.
- [7] CORTESI M, FANTOZZI S, GATTA G. Effects of distance specialization on the backstroke swimming kinematics[J]. Journal of Sports Science & Medicine,

2012, 11(3): 526.

[8] ALVES F, CARDOSO L, SILVA A, et al. Body roll and stroke kinematical changes during a race-pace swim in backstroke[C]. ISBS-Conference Proceedings Archive, 2004.

[9] SILVA A F, FIGUEIREDO P, SEIFERT L, et al. Backstroke technical characterization of 11-13 year-old swimmers[J]. Journal of Sports Science and Medicine, 2013, 12(4): 687-693.

[10] GANGULY A, RASHIDI G, MOMBAUR K. Comparison of the performance of the leap motion controller™ with a standard marker-based motion capture system[J]. Sensors, 2021, 21(5): 1750.

[11] GONJO T, FERNANDES R J, VILAS-BOAS J P, et al. Body roll amplitude and timing in backstroke swimming and their differences from front crawl at the same swimming intensities[J]. Scientific Reports, 2021, 11(1): 100.

[12] TELLES T, BARROSO R, FIGUEIREDO P, et al. Effect of hand paddles and parachute on backstroke coordination and stroke parameters[J]. Journal of Sports Sciences, 2017, 35(9): 891-898.

[13] GONJO T, FERNANDES R J, VILAS-BOAS J P, et al. Upper body kinematic differences between maximum front crawl and backstroke swimming[J]. Journal of Biomechanics, 2020, 98: 109452.

[14] 朱丹, 孙雪梅. 仰泳运动员划水路线和出水技术的初步分析[J]. 辽宁体育科技, 2007, 29(1): 96-96.

[15] 玛格丽索. 游得最快: 游泳技术、训练及计划设计宝典[M]. 温宇红, 译. 北京: 北京体育大学出版社, 2016.

[16] SATO D, SUITO H, YAMASHITA N, et al. Effect of backstroke ledge on backstroke start technique for water entry[J]. Sports Biomechanics, 2023, 23(12): 3235-3245.

[17] MAYDAY, OZDAL M, BILGIÇ M, et al. The chronic effect of core training on different swimming skills performance in youth swimmers[J]. European Journal of Physical Education and Sport Science, 2024, 12(1): 31-46.

[18] ABO A M, AL-ZEFTAWI N. The effect of training program using core stability exercises on some physical variables and skill performance level in backstroke swimming[J]. Journal of Theories and Applications of Physical Education Sport Sciences, 2024, 10(1): 17-32.

[19] ZEMKOVÁ E, ZAPLETALOVÁ L. The role of neuromuscular control of postural and core stability in functional movement and athlete performance[J]. Frontiers in Physiology, 2022, 13: 649850.

[20] ĐUROVIĆ M, ILIĆ P, GRAČANIN I, et al. Effect of dry-land strength training on swimming performance: A systematic review[J]. Physical Education and Sport Through the Centuries, 2024, 11(2): 69-85.

