

# 基于运动学、动力学参数的皮艇专项竞技能力评估方法研究

曹景伟<sup>1</sup>, 马祖长<sup>2,3</sup>, 刘爱杰<sup>1</sup>, 袁守龙<sup>1</sup>, 孙怡宁<sup>2</sup>, 梅涛<sup>2</sup>

(1. 国家体育总局水上运动管理中心, 北京 100061; 2. 中科院合肥智能机械研究所, 安徽 合肥 230031;

3. 中国科学技术大学精密仪器与精密机械系, 安徽 合肥 230026)

**摘要:**皮艇专项竞技能力的测试评定对于教练员从技术特性上进行训练控制具有重要意义, 是科学训练所亟待解决的问题。在总结目前国内外研究现状的基础上, 提出了一种基于运动学、动力学参数的专项竞技能力评估方法。结合国家女子皮艇队某一位优秀运动员的测试数据, 说明了方法的内在含义。根据评估结果, 对该运动员的训练提出了相应的建议。

**关键词:**皮艇; 运动学; 动力学; 竞技能力

**中图分类号:** G861.43 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-3612(2007)08-1122-04

## Research on the Evaluation Methods of Kayak Event Skills Based on Kinetic and Kinematical Parameters

CAO Jing-wei<sup>3</sup>, MA Zu-chang<sup>2,3</sup>, LIU Ai-jie<sup>1</sup>, YUAN Shou-long<sup>1</sup>, SUN Yi-ning<sup>2</sup>, MEI Tao<sup>2</sup>

(1. Administration Center of Aquatic Sports, General Administration of Sport of China, Beijing 100061, China;

2. Hefei Institute of Intelligent Machines, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, Anhui, China;

3. Department of Precision Machinery and Instrumentation, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, Anhui, China)

**Abstract:** Measuring and evaluating kayak event skills is valuable for coaches, which can make training plan based on the technical characters. It is the foundation of scientific training. On the basis of reviewing the former research works, we propose a new skill evaluation method based on the kinetic and kinematical parameters. Combined with the test results of one excellent athlete of national kayak team, the connotation of our methods is introduced in details.

**Key words:** kayak; kinetics; kinematics; competitive capability

## 1 实船测试系统

实船测试系统的核心是多功能中央处理器, 完成船体三轴加速度测量、多维桨力信号采集、多种信号的测量时序同步、信号本地存储、USB 数据通信等功能, 采用密封防水处理, 便于船载安装。测试系统总重量小于 0.6 kg, 结构紧凑, 对运动员的训练感觉影响很小。其硬件结构如图 1 所示。

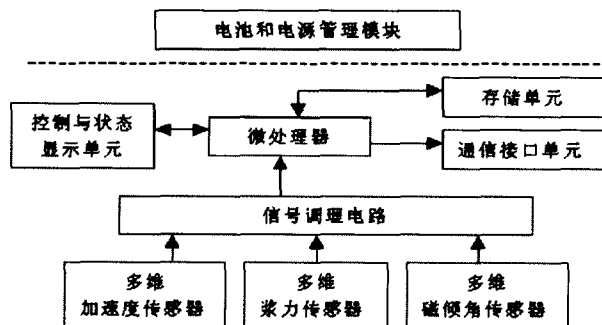


图1 实船测试系统结构示意图

**1.1 桨力传感器** 常见的工业传感器, 要求应变计紧密粘贴在弹性材料表面。专业的皮艇桨杆采用高强度碳纤维制成, 在桨力作用下会产生应变, 因此桨杆可以看作工业传感器中的弹性材料。

遗憾的是, 不论从技术角度, 还是从实际操作可行性角度, 都不可能在每个桨杆表面贴上应变计。因此我们采用传动机构, 将桨杆的应变传递至另外一个弹性材料(应变梁)。在应变梁上贴电阻应变计检测梁的应变, 从而获得对桨力的间接测量。桨力传感器实物照片如图 2 所示。

这种偏置型桨力传感器不需要破坏桨体结构, 可快速安装到桨杆上, 实现了在多个桨杆之间的轮换使用。整个传感器重量低于 80 g, 结构紧凑, 对运动员正常训练的感觉影响很小。目前, 国家皮艇队的实船测试系统均装备了偏置型传感器, 经过长期实船测试, 其测力原理的有效性和可靠性得到了验证。



图2 桨力传感器实物照片

投稿日期: 2006-10-30

基金项目: 国家体育总局奥运科技攻关项目、中科院奥运科技项目的资助。

作者简介: 曹景伟(1968-), 男, 山东人, 副教授, 博士, 研究方向运动训练学。

**1.2 艇速测量** 在测试系统中,加速度传感器除了反映船体加速度信息外,更为重要的是需要利用加速度的时域积分,获得船体速度。

目前皮艇速度的测量主要可分为接触式和非接触式两种,其中接触式测速装置检测船体相对于水流的速度,由于传感器只能置于船体的某一个部位,因此实际上测定的是流速场某点的流速,所以传感器在水中的深度、离艇的距离和安装在艇上的位置都影响速度的测量精度。非接触式测速装置多采用 GPS(Global positioning system)或者高速摄影方法。高精度差分 GPS 定位误差可控制在 10 cm 以内,但是其数据刷新频率较低,只能反映一段时间内的宏观速度,无法测量每一时刻的实时速度。高速摄影方法受摄像机视野的限制,只能测量出很短距离艇的运动速度,而且需要大量的事后处理工作<sup>[8]</sup>。

利用加速度信号的时域积分计算速度是一个非常直观的思路,可避免上述接触式、非接触式速度测量存在的问题。但传统的加速度测量中,动态加速度信号和重力加速度信号交叉干扰,容易产生较大的测量误差。针对这一问题,我们利用磁倾角输出作为补偿数据源,取得了理想的测量精度,并在实际测量应用中得到成功验证。

**1.3 测试指标** 测试系统可以提供任何时刻的船体加速度、桨力信息、船体姿态信息,在此基础上,可以导出的参数主要包括:1) 动力学信息:每桨最大力量,每桨平均力量,每桨冲量,每桨做功,每桨功率,以及上述参数在任意时间或距离内的统计信息。2) 运动学信息:船速,船体加速度,位移,桨频,拉桨时间,有效拉桨时间,回桨时间,单桨位移,单桨最大最小和平均船速,以及上述参数在任意时间或距离内的统计信息。3) 船体姿态信息:船体上下颠簸、左右摇摆的速度和幅度,以及上述参数在任意时间或距离内的统计信息。

有了这些基础数据,可以从运动学和动力学角度出发,对运动员专项竞技能力进行分析和评估。

**1.4 分析方法** 反映运动员竞技能力的最直接指标是测试成绩,因此我们以船速为因变量,以测试所得的 30 余项动力学、运动学指标为自变量,采用多因素逐步回归分析法,初步筛选出能够有效反映运动员专项技能的主要因素。需要说明的是,限于篇幅本文没有涉及船体姿态信息。

**2 专项竞技能力评估方法**

下面以我国某优秀女子运动员在 GAⅢ 强度下,单人皮艇 500 m 的测试数据为例,从运动学和动力学角度出发,进行竞技能力评估和分析。我们将该运动员关键的动力学、运动学信息每 50 m 做一次平均,显示在表 1 中,表 2 简单介绍了各参数的基本含义。

表 1 WK1-500 m 运动学、动力学参数

Time s	S m	V, B m/s	VDF m/s	SF 1/s	SVL N	SVR N	FML N	FMR N	FNL N	FNR N	FSL N	FSR N	TTL s	TRR s	TTPL s	TTPR s	TL s	TR s
012.8	0080	1.86	5.10	110.8	2.05	2.15	274	240	153	152	063	080	0.388	0.385	71.2	72.7	0.546	0.540
022.2	0180	4.86	0.96	165.9	2.51	2.57	220	236	137	144	046	051	0.330	0.357	65.5	67.5	0.578	0.526
033.5	0280	4.68	0.68	114.2	2.96	2.98	220	218	131	136	044	048	0.341	0.354	63.0	67.1	0.525	0.526
043.9	0380	4.85	0.95	112.8	2.58	2.63	220	218	129	134	043	048	0.338	0.362	63.6	66.9	0.531	0.541
054.2	0480	4.77	0.69	115.1	2.64	2.67	218	203	119	123	041	048	0.346	0.368	64.8	67.3	0.534	0.547
064.9	0580	4.68	0.98	111.4	2.51	2.52	217	214	116	123	041	048	0.352	0.363	63.4	67.4	0.538	0.538
075.8	0680	4.81	0.54	110.1	2.50	2.32	212	191	127	127	042	048	0.347	0.378	63.8	68.8	0.540	0.547
086.8	0780	4.45	0.64	110.8	2.41	2.46	205	198	108	121	038	048	0.346	0.365	64.2	67.8	0.538	0.546
098.5	0880	4.32	0.54	113.2	2.28	2.31	194	204	107	130	038	047	0.339	0.361	64.4	67.8	0.538	0.534
110.8	0980	4.11	0.88	113.7	2.16	2.18	186	187	102	123	035	045	0.340	0.364	64.5	68.7	0.527	0.538
Mean		4.54	0.84	112.2	2.41	2.45	220	212	123	135	043	043	0.348	0.365	65.2	68.1	0.538	0.538

表 2 运动学、动力学参数含义

指标	含义	指标	含义
S	距离	Time	时间
V, B	船速	SF	桨频
SVL	左侧动作周期中船体前进距离	SVR	右侧动作周期中船体前进距离
FML	左侧最大桨力	FMR	右侧最大桨力
FNL	左侧拉桨过程中平均桨力	FNR	右侧拉桨过程中平均桨力
FSL	左侧每桨桨力冲量	FSR	右侧每桨桨力冲量
TTL	左侧拉桨时间	TTR	右侧拉桨时间
TL	左侧动作周期(自右侧桨叶出水至左侧桨叶出水)	TR	右侧动作周期(自左侧桨叶出水至右侧桨叶出水)
TTPL	左侧拉桨时间/左侧动作周期	TTPR	右侧拉桨时间/右侧动作周期
VDF	每一个动作周期中,最高船速与最低船速之差		

**2.1 桨力信号特征分析**

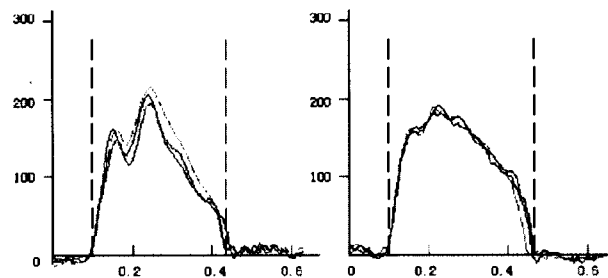


图 3 桨力信号曲线图

图 3 显示的是在 GAⅢ 训练强度下,500 m 测试过程中随机抽取三次划桨的桨力信号对比,结合表 1 和图 3 可以得到以下结论:

- 1) 高水平运动员技术动作定性,桨力信号具有很好的重复性。
- 2) 左侧拉桨时间占左侧动作周期的比例约为 65%,右侧拉桨时间占右侧动作周期的比例约为 68%,上述比例不随桨频的变化而产生明显的差异,说明高桨频并未牺牲拉桨时间。
- 3) 右侧桨叶入水产生的瞬时力量峰值较左手小,说明右侧入水更加柔和,桨叶包水效果更好。
- 4) 左右侧桨力曲线前坡均很陡峭,说明桨叶推进力作用迅速;左右侧桨力曲线后坡均很陡峭,说明桨叶出水快速,无带水现象<sup>[9]</sup>。
- 5) 左侧桨力曲线达到顶峰后,衰减很快;相比较而言,右侧桨力曲线则平坦、饱满。
- 6) 总的来说,该运动员右手技术动作好于左手,这一点与教练员的判断是一致的。

**2.2 专项身体素质分析**

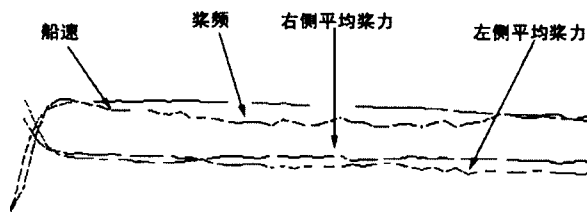


图 4 全程速度、桨力、桨频走势图

图 4 显示的是 500 m 全程中,船速、桨频和左右侧平均桨力的变化趋势。结合表 1 和图 4,可以得到下面的结论。

- 1) 左侧最大桨力平均为 220 N,右侧最大桨力平均为 212 N,说明与左侧拉桨动作有关的肌群最大力量、最大速度力量优于右侧。

2) 训练过程中,左侧最大力量衰减 32.5%,右侧最大力量衰减 19.6%;左侧平均力量衰减 37.4%,右侧平均力量衰减 19.1%。说明与右侧拉桨动作有关的肌群速度耐力优于左侧。

3) 在国家女子皮艇队中,该运动员左侧拉桨最大力量居第 3 位,右侧拉桨最大力量居第 4 位,左侧拉桨平均力量居第 2 位,右侧拉桨平均力量居第 6 位。

4) 该运动员左侧拉桨动作相关肌群的速度耐力是相对薄弱环节,在日常训练中应加以重视。

### 2.3 竞速结构分析

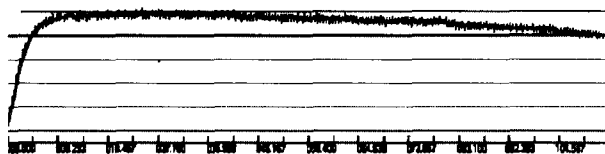


图 5 全程速度图

图 5 显示的是 500 m 全程速度图,其中蓝色线条反映了船速的动态变化过程,结合图 4、图 5 和表 1 可以得到以下结论:

1) 起航后,经过 5.9 s 时间、17.3 m 距离,一个动作周期的平均船速即达到全程平均船速;起航阶段共计 9 桨,起航平均桨频为 99.3。说明该运动员的起航是成功的。

2) 21 m 处,桨频达到最高峰 120;此后桨频呈马鞍型分布,21~150 m 区间内桨频逐步下降,150~380 m 区间内桨频保持在 112 左右,380~500 m 区间内桨频上升至 114 左右。根据张沪等人的研究,国际大赛中优秀运动员绝大多数采用这种桨频结构<sup>[10]</sup>。

3) 起航后,经过 10.5 s 时间、38 m 的距离,船速达到高峰;船速高峰稳定维持至 35.6 s、160 m;自此以后,船速稳步下降。

4) 该运动员在后 120 m 提高了桨频进行冲刺,但是由于桨力的稳步衰减,尤其是左侧桨力衰减严重,导致冲刺阶段速度无法得到提升,反而呈现稳步下降的趋势。

**2.4 动力保护问题** 流畅一直是水上运动所追求的目标,所谓不流畅,指运动员完成划船动作时,表现为划得紧、动作僵、不连贯,给人感觉好像总是断断续续,流畅性不够,实效性差<sup>[2]</sup>。这是基于多年现场工作经验的一种很通俗的描述形式,从另外一个角度看,不流畅也就是每一个划桨周期中,船速的波动大,给人的视觉造成了一种断断续续的感觉。

根据国内外对细长型船体阻力的研究成果,单人艇所受总阻力与船速的平方成正比,阻力做功与船速的立方成正比<sup>[11]</sup>。我们假设一只船以两种不同的方式通过 50 m 的距离:第一种,船速恒定为 5 m/s;第二种,前 25 m 速度为 4.5 m/s,后 25 m 速度为 5.5 m/s,则船体阻力做功分别为

$$W_1 = C_1 \times 5^3 \times 50 = 6\,250 \cdot C_1 \quad (1)$$

$$W_2 = C_2 \times 4.5^3 \times 25 + C_2 \times 5.5^3 \times 25 = 6\,437.5 \cdot C_2 \quad (2)$$

其中,  $C_1$ 、 $C_2$  为总阻力系数,由于两种假设均针对同一船艇,因此  $C_1 = C_2$ ,比较式(1)、(2)可知,船速差越小、船速越恒定,则阻力做功越小,这也是通常所说的动力保护的核心内容。

单桨周期内船速差(最高船速 - 最低船速)是衡量一个运动员动力保护能力的重要指标,用  $VDF$  表示。可以想象,船体的平均船速也会影响该指标,平均船速越高,则  $VDF$  相应

越大。因此更为合理的指标应该是  $VDF/V.B$ ,其中  $V.B$  表示平均船速。

在研究  $VDF$  和  $VDF/V.B$  的时候,需要排除起航阶段,因为这时候船体自静止开始加速,每一桨速度差不能反映真实的动力保护水平。

通过比较,该运动员的  $VDF$  数值在国家女子皮艇队中处于倒数第三位, $VDF/V.B$  数值处于倒数第一位,这说明该运动员动力保护做得好。

**2.5 桨力效率评估** 水流对桨叶的作用力(桨力)大部分成为推进船体的动力,少部分则用于维持船体的平衡。因此,我们定义桨力效率为:运动员桨力有多大程度转化为对船体的有效推力。

基于上述分析,可以提出一种基于能量守恒定律的桨力效率评估方法,考察自至时间段内,人船桨系统在阻力和桨力共同作用下的能量转换情况:

$$k \cdot W_o = W_R + \frac{1}{2} m v_1^2 - \frac{1}{2} m v_0^2 \quad (3)$$

其中,  $m$  为人船桨系统总质量,  $v_0$  为  $t_0$  时刻人船桨系统速度,  $v_1$  为  $t_1$  时刻人船桨系统速度,  $W_R$  表示阻力所作的总功,  $W_o$  表示桨力所作的总功。  $k$  表示桨力效率,为无量纲因子。

基于能量守恒定律的划船效率的物理学含义是:桨力所作的总功中,有多大比例转化为推动人船桨系统前进的有效做功。上面的式中

$$W_o = \int_0^1 f_o(t) v_o(t) dt \quad (4)$$

其中,  $f_o(t)$  为瞬时桨力,  $v_o(t)$  为桨叶的瞬时速度。划船过程中,皮艇运动员的手相对于船体的运行轨迹呈现蝴蝶翅膀形,桨叶的运行轨迹则更为复杂<sup>[9]</sup>,难于精确求得桨叶的瞬时运行速度。因此虽然基于能量守恒定律的桨力效率评估方法物理学含义非常明确,但是其计算存在困难。

基于上述分析,提出了一种基于动量守恒原理的桨力效率评估方法:

$$k \cdot p_o = p_R + m v_1 - m v_0 \quad (5)$$

其中,  $m$  为人船桨系统总质量,  $v_0$  为  $t_0$  时刻人船桨系统速度,  $v_1$  为  $t_1$  时刻人船桨系统速度,  $p_R$  表示阻力在该时间段内的冲量,  $p_o$  表示桨力在该时间段内的冲量。  $k$  表示桨力效率,为无量纲因子。

基于动量守恒定律的桨力效率的物理学含义是:桨力在该时间段内的冲量,有多大比例转化为推动人船桨系统前进的有效冲量。根据物理学知识可得:

$$p_o = \int_0^1 f_o(t) dt \quad (6)$$

$$p_R = \int_0^1 f_R(t) dt \quad (7)$$

其中,  $f_o(t)$  为瞬时桨力,  $f_R(t)$  为人船桨系统所受到的瞬时阻力。船体所受阻力的 87%~90% 左右来自于粘性阻力(包括摩擦阻力和粘压阻力),因此,可近似认为粘性阻力的大小与船速的平方成正比。另外,粘性阻力正比于艇的浸没面积,浸没面积正比于船体重量的 2/3 次方<sup>[12]</sup>,因此,艇总阻力为:

$$f_R \propto A \cdot v^2 = C \cdot m^{2/3} \cdot v^2 \quad (8)$$

其中,  $f_R$  为总阻力,  $A$  为浸没面积,  $m$  为人船桨系统总质量,  $v$  为船速,  $C$  是一个与船型(艇长度/艇宽度)、船体表面材

料、水密度等有关的参数。

综合式(5)、(6)、(7)、(8),可得

$$k \cdot \int_0^1 f_0(t) dt = \int_0^1 C \cdot m^{2/3} \cdot v^2(t) dt + mv_1 - mv_0 \quad (9)$$

通常情况下,静水竞速皮艇具有相似的外形,不同的皮艇可采用相同的 C 进行阻力计算。如果需要精确确定阻力系数,则需通过拖动试验,获得固定负载下,阻力与速度、负载重量的关系。本文所提到的所有船艇的 C 取值相同;而且根据显示的方便性确定 C 值,而不是真实的摩擦阻力系数。表 3 给出了该运动员 500 m 比赛过程中,桨力效率的变化情况。

表 3 500 m 全程桨频、桨力效率对比

距离	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	平均
桨频	110.0	115.9	114.2	112.0	111.1	111.4	110.1	110.8	113.2	113.2	113.7
效率	5.553	5.495	5.507	5.636	5.659	5.673	5.754	5.727	5.203	5.045	5.579

通过对桨力效率的分析,可以得到以下结论:

- 1) 该运动员在 150~400 m 之间的桨力效率很高,证明其途中划在控制桨频的同时,更加注重桨力效率;
- 2) 在冲刺阶段,由于力量衰减很大,导致技术动作有所变形,桨力效率下降得较为明显;
- 3) 该运动员的平均桨力效率在国家女子皮艇队中居于第一位,说明其技术动作合理。

总的来说,划船效率是运动员专项技术动作完善程度的体现,与桨力特征、动力保护能力、身体柔韧性、协调性等因素有关系。比赛过程中,桨力效率的变化主要取决于桨频的高低、力量衰减的程度,通过对大量测试数据的分析,我们发现当运动员力量衰减不明显的时候,桨力效率与桨频呈现近似反比关系。

武汉体院许志娟教练在 2005 年曾对国家女子皮艇队运动员的运动素质进行了测量和评价<sup>[13]</sup>,在公布了测试结果的女子运动员中,目前还有 5 人在国家队。将许志娟测试的“速度与灵敏协调能力”(指标 1)和我们所测试的“桨力效率”(指标 2)列在表 4 中。

表 4 速度与灵敏协调能力与桨力效率对比

姓名	ZHY	YYL	ZJM	HJ	XYP
指标 1	1.46	1.168	1.095	0.876	0
指标 2	5.579	5.242	5.191	4.910	4.485

从这几个有限的样本来看,不同运动员之间,速度与灵敏协调能力指标与桨力效率指标具有相似的变化趋势。

**2.6 划船效果评估** 桨力效率所表达的是一桨力量中转化为有效推力的比例有多高,因此桨力效率可用于评估特定运动员在不同桨频下的划船效果。但是由于船体阻力与重量有关,例如,假设运动员 A 体重 65 kg,运动员 B 体重 75 kg,他们都使用 12 kg 的艇,且他们的桨力效率相同,那么运动员 B 与运动员 A 具有相同成绩的前提是:

$$F_B = F_A \left( \frac{m_B + m_{boat}}{m_A + m_{boat}} \right)^{2/3} = 1.085 F_A \quad (10)$$

其中,  $F_A$ 、 $F_B$  分别为两个运动员的平均桨力,  $m_A$ 、 $m_B$  分别为两个运动员的体重,  $m_{boat}$  为艇重量。

因此,仅依靠桨力效率尚不能全面评估运动员的竞技能力,需要引入划船效果的概念。划船效果的含义是:一段时间

内,单位桨力作用下,人船桨系统所能维持的平均运行速度。划船效果可表达为:

$$k_1 \cdot \int_0^1 f_0(t) dt = \int_0^1 C \cdot v^2(t) dt + m^{1/3} v_1 - m^{1/3} v_0 \quad (11)$$

其中,  $F_A$ 、 $F_B$  表示划船效果因子,  $k_1 = k/m^{2/3}$ 。

划船效果将动力学信息(桨力)和运动学信息(船速)直接联系起来,不仅表达了运动员技术动作的完善程度,也表征了某个运动员是否适合皮艇项目。换句话说,体重大、力量大的运动员成绩往往并不优于体重轻、力量弱的运动员。

### 3 结 论

皮艇项目对于力量和技术都有很高的要求,结合实船运动学动力学信息,对运动员竞技能力进行综合分析评估,可发现运动员的薄弱环节,对于教练员制定科学训练计划具有重要意义。本文从桨力信号特征分析、专项身体素质分析、竞速结构分析、动力保护问题、桨力效率评估、划船效果评估等几个方面,介绍了皮艇竞技能力评估的基本思路和方法。所述的技术指标和评估方法,对于划艇项目和赛艇项目也具有参考价值。

在将来的工作中,拟综合采用多种统计分析方法,对动力学、运动学和船体姿态等指标进行分析,确定各代表性指标及其权重,试图建立皮艇专项竞技能力的评价标准体系,为日常训练和运动员选材提供科学依据。

### 参考文献:

- [1] 王卫星. 2004 年中国皮划艇运动员的体能训练特点与实践[J]. 山东体育学院学报, 2005, 21(2): 5-8.
- [2] 崔大林. 皮划艇项目科学化训练的探索[J]. 北京体育大学学报, 2004, 27(12): 1585-1591.
- [3] 刘爱杰. 雅典奥运会我国皮划艇实现历史性突破的核心启迪[J]. 山东体育学院学报, 2005, 21(2): 1-4.
- [4] 曹景伟, 刘爱杰, 袁守龙, 等. 皮划艇项目短期内实现奥运金牌突破的系统思考[J]. 天津体育学院学报, 2005, 20(2): 1-10.
- [5] 曹景伟. 面向 2008 年奥运会我国优秀皮划艇(静水)运动员科学选材的理论与实证研究[D]. 北京体育大学博士学位论文, 2004.
- [6] 周学军, 薛冰. 我国皮划艇专项力量训练存在的误区和思考[J]. 武汉体育学院学报, 2001, 35(2): 104-106.
- [7] 葛新发. 赛艇水动力性能和运动员机能的评定研究[D]. 武汉理工大学博士学位论文, 2004.
- [8] 艾康伟, 何申杰. 赛艇、皮划艇 GPS 测速仪的研制[J]. 体育科学, 1999, 2(2): 12-15.
- [9] 叶国雄, 等. 划船运动概论[M]. 北京: 人民体育出版社, 2000: 179-183.
- [10] 张沪, 王亚华, 曹晓霞. 优秀皮划艇运动员的比赛策略研究[J]. 武汉体育学院学报, 2005, 39(7): 74-79.
- [11] A. Dudhia. Basic Physics of Rowing. <http://www.atm.ox.ac.uk/rowing/physics/>.
- [12] Leo Lazauskas, John Winters. Hydrodynamic drag of some small sprint kayaks. <http://www.greenval.com/jwinters.html>.
- [13] 许志娟. 我国女子皮艇奥运集训队员运动素质评价体系的研究[J]. 武汉体育学院学报, 2005, 39(11): 82-85.