

我国水上运动器材流体动力性能研究进展

马勇, 郑伟涛

(武汉体育学院 体育工程研究所, 湖北 武汉 430079)

摘 要: 通过对国内有关水上运动项目器材流体动力性能研究方法、现状和取得成果的综述, 为我国的体育流体动力性能研究的发展提供借鉴。水上运动项目器材流体动力性能研究主要方法是试验研究和数值模拟。我国的水上运动器材的流体动力性能研究起步较早, 主要涉及到帆船、帆板、风帆的空气动力特性和船体水动力性能, 赛艇、皮划艇桨叶推进特性, 蹼泳板的推进性能等等。这些研究为设计高性能体育器材奠定了理论基础, 其研究结果为运动训练的科学化水平的提高提供了依据。

关 键 词: 水上运动器材; 流体动力学; 研究进展

中图分类号: G818.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-7116(2008)02-0078-04

Progress in researches on fluid dynamic performance of aquatic sports equipment in China

MA Yong, ZHENG Wei-tao

(Institute of Sports Engineering, Wuhan Institute of Physical Education, Wuhan 430079, China)

Abstract: The author gave an overview to the methods, current state and achievements made with respect to researches on fluid dynamic performance of aquatic sports equipment in China, so as to provide a reference for the development of researches on fluid dynamic performance of sports equipment in China. The main methods for researches on fluid dynamic performance of equipment for aquatic sports events are experimental study and numerical simulation. Researches on fluid dynamic performance of aquatic sports equipment in China were started early, mainly involving with the aerodynamic characteristics of sailboats, sailboards and wind sails, the propulsive characteristics of the propeller of racing boats and leather rowboats, the propulsive characteristics of swimming flaps, etc. These researches have built a theoretical foundation for designing high performance sports equipment, and their research results have provided criteria for the enhancement of scientific performance of sports training.

Key words: aquatic sports equipment; fluid dynamic; progress in researches

体育器材的流体动力性能研究是体育工程学研究的一个重要方向。从计算流体力学(CFD)在国内外体育界的应用情况来看, 体育器材的流体动力学研究涉及到 F1 汽车的气动布局的设计、美洲杯大帆船挑战赛帆与船体的设计、球的飞行问题、滑雪的姿势问题、雪橇的设计、自行车的阻力等^[1]。

我国体育器材的流体动力学性能研究较早, 研究领域涉及水上运动、田径、球类、游泳等项目, 特别是从 20 世纪 80 年代就开始了以水上运动项目器材为

主的研究, 取得了一批令人瞩目的成果^[2-3]。近 20 年来, 在国家自然科学基金委、国家体育总局、交通部等单位的资助下, 我国水上项目器材流体动力学性能的研究紧紧围绕提高运动训练科学化水平的目标开展工作。研究内容涉及到风帆的空气动力性能以及帆板、赛艇、皮划艇、蹼泳、滑水等项目器材的水动力性能。其成果在国家队备战奥运会、亚运会中得到成功应用, 为建立适合中国人身体特点的运动技术, 打破纪录夺取金牌做出了贡献, 同时也为设计高性能的体育器材

收稿日期: 2007-12-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10072045), 国家体育总局奥运科研攻关项目(07094), 湖北省自然科学基金(2005ABA280), 湖北省科技厅攻关项目(2006AA301C12), 湖北省教育厅重点科研项目(Q200733004)。

作者简介: 马勇(1978-), 男, 博士研究生, 研究方向: 流体力学, 体育工程学。

奠定了基础。

本文综述国内水上运动器材流体动力性能研究的进展,为我国体育器材流体动力学性能研究提供借鉴。

1 流体动力学性能研究的方法

从事水上运动器材流体动力性能研究的主要方法是试验研究和理论计算分析。在试验研究方面,我国目前开展的器材流体动力性能试验研究主要设备涉及到拖曳水池、循环水槽和风洞。拖曳水池通过拖车拖曳船模以一定速度航行,测定船艇阻力,进行船艇的阻力性能研究^[4]。循环水槽通过固定在一定速度下流动水流中的器材,测定器材的水动力性能^[5]。器材的气动性能试验研究主要是通过风洞进行。

在理论研究方面,我国目前开展的器材流体动力性能的理论研究主要是利用 CFD 技术进行数值模拟。在我国的 CFD 方法中主要是通过势流假定,采用面元法模拟器材的推进效率和兴波阻力。目前,也开始采用 NS 方程进行黏性计算、分析器材的阻力特性。

2 主要研究成果

2.1 风帆的空气动力性能

20 世纪 80 年代,我国就开始了风帆空气动力性能研究。当时由于能源危机,我国掀起了风能研究的热潮,在国家自然科学基金委、交通部、国家风能研究中心的资助下,以武汉水运工程学院为代表开展了大量的特种风帆的系列研究,其研究成果随之应用到了体育领域。郑伟涛^[6]综述了这方面当时的研究进展。

为备战巴塞罗那奥运会,在国家体育总局的资助下,开展了帆板和 470 项目的风帆空气动力性能研究。采用一定缩尺比的模型,在风洞中对风帆进行了气动性能试验研究。研究的主要内容为:风帆在不同的帆型参数(如:拱度大小、最大拱度的位置)对气动性能的影响以及不同帆失速角大小等。依据试验结果,通过帆的极图给出不同风速、风向和航向下的最佳操帆角。这些研究成果奠定了我国帆船帆板运动项目的理论基础。

风洞实验还进行了帆板的帆的攻角、扣角以及风帆与人体的相对位置之间的关系等多种参数对风帆气动性能的影响。同时,还研究了 470 帆船双帆相互的干扰情况,这些研究为风帆的调整提供科学依据。

与国际同行相比,国内风帆的研究还基本停留在试验研究阶段,同时也缺乏对竞技运动帆型进行基础性和系列性研究,对运动训练的指导作用还应进一步加强。

2.2 帆船帆板的水动力学试验

1988 年奥运会帆板比赛采用的是圆底板,其后采用的是 MISTRAL(简称“米氏”板),2008 年奥运会将采用 NEIL PRYDE RS:X(简称“NP”板)。根据国家帆板队的需要先后对它们进行了水动力性能试验,为运动员对板的操纵提供科学依据。

帆板的水动力性能试验研究在拖曳水池中进行,测试帆板在不同横倾、纵倾下的阻力,得出最佳的横倾和纵倾角度,同时,还要进行尾鳍和稳向板插入不同深度和角度对板体水动力性能影响的试验。

1988 年通过对圆底板的拖曳水池的水动力试验研究,结果发现圆底板横倾 25°左右阻力最小。分析其原因发现,横倾以后板体的面积减小,同时横倾以后尾鳍和稳向板可以提供额外的升力。这一实验结果,为运动员的倾板提供了科学依据,使得我国的倾板技术达到世界先进水平,为在巴塞罗那奥运会上夺取帆板历史上第一块奥运会的银牌做出了贡献。

1988 年奥运会以后改用“米氏”板,这是一种平底板。然而,由于未能及时对“米氏”板进行深入的研究,我国的倾板技术依然沿用圆底板的经验,一直在实践中摸索,虽然我国的男子运动员在 2000 年奥运会上夺取了第 4 名,但是一直未能有新的突破。为了备战 2004 年奥运会,进行了“米氏”板的平板试验(2004 年奥运会重点攻关项目《帆板最佳横倾角和最佳航线选择的研究》结题报告.武汉体育学院,2004 年)。分析认为“米氏”板与圆底板的水动力性能有很大差别,横倾的角度要大大减小,大约在 10°以内阻力达到最小,随着横倾角度的增加,阻力急剧增加。与此同时,纵倾角度要比圆底板有所增加。试验结果说明,“米氏”板的横倾目的不是为了减小阻力,而是控制板的横移,阻力的减小重点应该放在板的纵倾方面。这为运动员对器材的调整提供了科学依据,为在 2004 年雅典奥运会上再次夺取银牌做出了贡献。

2008 年奥运会将采用“NP”板,这种板型比“米氏”板更短更宽。在吸取以往的经验教训的基础上,首先开展了“NP”板的水动力性能研究。经过试验研究发现,该板几乎不需要进行横倾,板很容易进入滑行状态。虽然,2005 年运动员都在忙于参加全运会的比赛,没有时间进行“NP”板的适应训练,但是由于理论的指导,缩短了摸索的时间,中国女子帆板运动员在 2006 年 4 年一届的帆船运动会上夺取了中国帆船历史上第一个奥运级别的冠军,中国男子运动员在 2006 年青岛国际帆船赛上也夺取了金牌。

为备战 2008 年奥运会,目前,正在进行雷迪尔级别帆船的水动力性能试验研究。与国际同行相比,在帆船的水动力性能研究方面还有不小的差距。

2.3 赛艇、皮划艇桨叶推进的水动力性能

在国家自然科学基金委、霍英东教育基金委以及国家体育总局的资助下,从 1994 年起逐步开展了赛艇、皮划艇桨叶的水动力性能研究^[3]。其研究方法采用数值模拟和循环水槽试验^[6-8]。研究分析了攻角、浸水深度、斜角、桨频、幅度等各种参数对常用的“Big Blade”(大刀片)赛艇桨叶性能的影响。研究表明,影响桨叶性能的主要因素分别是频率、浸水深度、攻角。推进效率最高的区域位于桨杆与船艇垂直时的角度附近,即桨架前后 25°~30°左右。因而,对赛艇运动来讲幅度不是决定性因素,它必须服从于桨叶在水下的速度要求,即高速拉桨的要求;不要过分追求划桨幅度,以身体充分舒展为宜;更不能牺牲频率来服从幅度。这些研究改变了国内赛艇运动技术只强调动作幅度,忽视拉桨速度的倾向,为建立适合中国运动员身体特点的赛艇技术奠定了理论基础。在此基础上,研制了一种新型的柔性表面桨叶具有较好的流体动力性能,获得了国家实用新型专利。本研究获得了国家自然科学基金委的特别奖励,还分别获得了湖北省、国家体育总局科技进步奖。

皮划艇桨叶在空中没有固定的支撑点,运动轨迹不定,水动力特性更为复杂。易名农^[9]通过循环水槽的实验,研究了各种参数对皮划艇桨叶水动力性能的影响,特别是研究了桨叶与船边的距离对桨叶的干扰特性,为运动员正确的下桨提供了科学的依据。

但赛艇、皮划艇桨叶的水动力性能上有许多问题未能得到解决,例如,桨与桨之间的干扰、桨与艇之间的干扰等等。

2.4 赛艇、皮划艇船艇阻力特性

赛艇、皮划艇船艇的阻力特性是影响赛艇、皮划艇运动成绩的另一个重要因素。我国的赛艇、皮划艇的船艇制造基本上是仿制国外取得过好成绩的艇型,而国外每届奥运会都能够推出新的艇型。我国的赛艇、皮划艇艇型的研制与设计工作几乎是空白。

在国家自然科学基金委、国家体育总局的资助下,从 20 世纪 90 年代中期开始逐步开展了赛艇、皮划艇船艇阻力特性的研究。郑伟涛^[10]进行了两种 4 人皮划艇阻力特性的试验对比研究,结果发现:不同形状的皮肤艇的阻力和所需功率的差异可以达到 3%~5%,因此,对于 500 m 的比赛前 3 名的差异往往不到 1 s,而同样的运动员采用这两种不同的艇成绩相差可以达到 3 s 左右。由此可见,艇的阻力特性对皮划艇成绩具有重要的影响。在此基础上,开发研制了新的艇型,受到了教练员的好评。

葛新发^[4]开展了赛艇船艇的水动力性能研究,对不

同的赛艇艇型进行了试验研究并分析了赛艇阻力成分的构成。结果发现:赛艇的阻力随速度的变化规律是不相同的。因此,训练时应该充分考虑船速的影响。目前,国内外赛艇对于训练速度的选择都未充分考虑船速的影响,这对运动技术的完善是不利的。另外,赛艇的阻力特性与常规的船艇的阻力特性有很大的差别,虽然,赛艇的傅汝德数(运动流体的速度与微小重力波波速之比)达到了 0.5~0.7,但是兴波阻力只占总阻力的 8%~10%。同时,水深傅汝德数接近 1.0,但是也没有发现兴波阻力急剧增加的现象,试验中也未见到孤立波的现象。这表明细长体(>10 m)的赛艇的兴波阻力与常规艇有很大的差别。研究还发现不同艇的摩擦阻力差别不大,总阻力的差异主要体现在兴波阻力上,因此,加强赛艇的兴波阻力的研究非常必要。为了进一步研究赛艇的兴波阻力的规律,在湖北省自然科学基金委的资助下,开展了赛艇兴波阻力的数值模拟分析。文献[11-13]介绍研究的一些最新进展。

这些研究工作为我国赛艇、皮划艇艇型的设计研究工作奠定了理论基础,也为将来能够研制出适合中国运动员身体特点的赛艇、皮划艇打下了基础。

我国虽然在艇的水动力性能预报方面做了不少的工作,但在艇型的设计研究方面基本上还是空白。

2.5 蹼泳板的水动力学

蹼泳运动类似鱼类的摆动推进。鱼类的仿生推进有着很高的推进效率,是一个极为复杂的流体力学现象。仿生推进研究是国内外流体力学界的一个研究热点。在我国,仿生推进研究一直是国家自然科学基金委近年来的重点资助研究领域,其推进原理可以在将来广泛地应用到特种推进器、深海机器人等领域,有着广泛的工业应用前景。蹼泳板就是这种推进原理的一种应用,是一种新型的、已经用于实践的“仿生推进器”。

国内的蹼泳板的推进研究开始于 20 世纪 80 年代初期。当时,国内刚刚开展蹼泳运动,为了赶超世界先进水平,开展了蹼泳板的水动力性能研究^[4]。由于我国研制的蹼泳板水动力性能的不断改进,在世界位于领先地位,1986 年以来,平均每年都要夺得各种世界大赛 20 多枚金牌。目前,我国运动员仍保持着 24 个项目中的半数以上的世界纪录。

2000 年第 10 届世界锦标赛在西班牙举行,俄罗斯不仅涌现了一批优秀的年轻运动员,而且由于在脚蹼上的改进,成绩突飞猛进,夺得了 12 枚金牌,而中国队仅夺得了 9 枚金牌,10 年来俄罗斯首次战胜了中国队。2001 年在日本举行的世界运动会上的 10 项蹼泳比赛中,俄罗斯获得了 8 枚金牌,中国队仅获得了

1枚金牌。中国队落入历史的最低谷。

为了改变这一落后局面，我国重新开展了新型蹼泳板的研制工作^[15-16]。研制的新型蹼泳板在2002年6月全国体育大会上打破了3项世界纪录，同年9月在第11届世界蹼泳锦标赛上中国队一举夺得了13枚金牌、8枚银牌，并打破一项世界纪录。俄罗斯获得了9枚金牌。2004年在中国上海举行的世界蹼泳锦标赛上，夺得了13枚金牌，中国队再一次确立了自己的世界蹼泳霸主地位。

3 结语

运动器材的流体动力研究是体育工程学的一个重要方向。我国的水上运动器材的水动力性能研究起步较早，20多年来，与运动队密切配合，紧紧围绕提高训练科学化水平为目标，对帆船帆板、赛艇、皮划艇、蹼泳等器材的流体动力性能进行了较为广泛的长期研究，许多研究成果在训练实践中得到成功应用，为在世界大赛上夺取金牌打破世界纪录作出了贡献，同时也为设计高性能体育器材奠定了理论基础。

虽然，我国水上运动器材的流体动力性能研究取得了令人瞩目的成就，但是与国外同行相比，还存在较大的差距。其差距一方面表现在对帆船帆板、赛艇、皮划艇的艇型以及帆型的研究还是个别的，应用性的研究较多，缺乏基础性、系列性的研究，另一方面仅进行了器材的性能预报研究，对器材的设计研究几乎是空白。

参考文献：

[1] Ma Yong, Zheng Weitao, Han Jiurui. Sports applications for CFD analysis[C]//23rd International Symposium on biomechanics in Sports. Beijing, 2005 :143-146.
 [2] 郑伟涛, 何海峰, 马勇, 等. 国内外体育工程学的研究综述[J]. 武汉体育学院学报, 2006, 40(9) :73-80.
 [3] 郑伟涛. 划船桨叶水动力性能的数值模拟与试验研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2000.

[4] 葛新发. 赛艇水动力性能和运动员机能的评定研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2004.

[5] 郑伟涛. 现代小型风帆助航船[D]. 武汉: 武汉水运工程学院, 1985.

[6] 黄谦. 赛艇桨叶的水动力性能试验研究[D]. 武汉: 武汉体育学院, 1997.

[7] 郑伟涛, 韩久瑞. 柔性赛艇双桨桨叶水动力的试验研究[J]. 水动力研究与进展, 2000(6) : 163-168.

[8] 邹克宁, 郑伟涛. 赛艇运动中频率、浸水深度、幅度之间的关系[J]. 体育科学, 2001, 21(6) : 78-81.

[9] 易名农. 皮划艇桨叶的水动力性能研究[D]. 武汉: 武汉体育学院, 2000.

[10] 郑伟涛, 韩久瑞. 两种四人皮艇阻力性能的试验研究[J]. 体育科学, 1997, 17(4) : 64-67.

[11] 徐海洋, 邹早建, 郑伟涛. 赛艇斜航行波水动力数值计算[C]//周连弟等. 第五届全国水动力学会议暨第十五届全国水动力学研讨会文集. 北京: 海洋出版社, 2001(10) : 247-251.

[12] 葛新发, 马勇, 郑伟涛, 等. 赛艇兴波阻力的计算[J]. 武汉体育学院学报, 2004, 38(4) : 64-57.

[13] Zheng Wei-tao, Ma Yong, Han Jiu-ru, et al. Hydrodynamic performance of the Rowing Hull[C]//23rd International Symposium on Biomechanics in Sports. Beijing, 2005 : 913-916.

[14] 郑伟涛. 非定常升力面理论及在蹼泳板水动力性能研究中的应用[D]. 武汉: 武汉水运工程学院, 1990.

[15] 马勇. 蹼泳板水动力性能数值模拟与试验研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2004.

[16] 马勇, 郑伟涛, 邹早建. 蹼泳板水动力性能试验研究[C]//第十七届全国水动力学研讨会暨第六届全国水动力学学术会议论文集, 2003 : 838-845.

[编辑: 周威]