

帆板流体动力性能 与最佳航线的研究

柏开祥 著

Fanban liutidongli xingneng
yu zuijiahangxian de yanjiu



中国地质大学出版社

帆板流体动力性能 与最佳航线的研究

Fanban liutidongli xingneng

Yu zuijiahangxian de yanjiu

柏开祥 著



中国地质大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

帆板流体动力性能与最佳航线的研究/柏开祥著. —武汉:中国地质大学出版社,2007.8

ISBN 978-7-5625-2178-5

I. 帆…

II. 柏…

III. 帆板运动-研究

IV. G861.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 109095 号

帆板流体动力性能与最佳航线的研究

柏开祥 著

责任编辑:王文生

责任校对:戴莹

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)

邮政编码:430074

电话:(027)67883511 传真:67883580 E-mail:cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

<http://www.cugp.cn>

开本:690 毫米×990 毫米 1/16

字数:240 千字 印张:14.25

版次:2007 年 8 月第 1 版

印次:2007 年 8 月第 1 次印刷

印刷:武汉市教文印刷厂

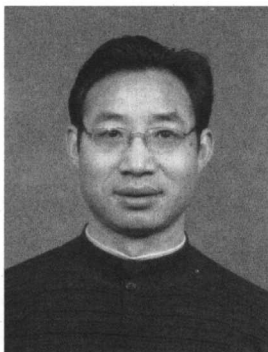
印数:1—800 册

ISBN 978-7-5625-2178-5

定价:33.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

作者简介



柏开祥,男,1967年8月出生,工学博士,湖北钟祥人。现任武汉体育学院运动生物力学专业副教授,硕士研究生导师,中国体育科学学会会员。

1985年考入北京体育大学(原北京体育学院)运动人体科学系(原体育生物科学系)本科学习,1989年毕业分配进入武汉体育学院运动生物力学教研室任教。1997年考入武汉体育学院研究生部,师从张昌亨教授,2000年获得教育学硕士学位。同年考入武汉理工大学研究生院,在武汉理工大学王德恂教授、武汉体育学院韩久瑞教授的指导下攻读流体力学博士学位,2006年6月获得工学博士学位。近年来,已在国内外学术刊物上发表论文20余篇,出版著作1部,主编教材1部,承担和参与课题10余项。

序

帆船帆板运动是集娱乐性、观赏性、探险性、竞技性于一体的体育项目,它是借助风帆推动帆船帆板在规定距离内竞速的一项水上运动,目前已经成为世界沿海国家和地区最为普及的体育活动之一,越来越受到人们的喜爱。帆板运动搏击风浪,磨炼人的意志品质,使人的体力、耐力、平衡性与灵敏性得以全面发展。

1984年洛杉矶奥运会第一次把帆板列为正式比赛项目。现在所有大型综合性运动会如奥运会、亚运会、全运会都有帆板比赛,每年世界各地还举行经常性的职业选手系列赛。

近十几年来,我国运动员在帆板运动项目上的水平上升很快,基本上确立了在亚洲的霸主地位,特别是近几届奥运会和世界帆板锦标赛我国运动员在个别级别比赛中均有不俗的表现。在2008奥运争光计划和“奥运119”工程中,国家体育总局又明确提出了在帆板运动项目上至少拿到一块金牌的战略目标。本书紧紧围绕国家帆板队备战奥运会亟待解决的问题,将流体力学的知识与帆板运动实践有机结合起来,以作者博士论文的基础、2008年奥运科技攻关课题为依托,系统地开展了帆翼的空气动力学、板体的水动力学、航速预测(VPP)与最佳航线的设计等几个方面的研究,构建了一套帆板流体力学的研究方法,这在国内实属开创性研究工作。

本书作者经过多年的研究,取得了一些创新性成果,主要体现在以下几个方面:

(一)利用商业软件FLUENT与自编涡环栅格计算程序对于帆翼在均匀来风、梯度风并考虑到海平面固壁影响下的空气动力性能进行了数值模拟;

(二)运用数学的方法确定了各个航向角下的最大推力系数以及所对应的帆攻角与操帆角;

(三)在帆翼风洞试验和板体水动力试验数据基础上创立了四种VPP算法,并对最大推力、最小阻力等进行了较为全面的对比计算分析,为最佳

航线的设计奠定了基础;

(四)建立了最佳航线设计目标函数与计算模型,并运用了数学计算的方法对于帆板最佳航线进行了计算。

希望本书的出版能对帆板运动的理论研究和训练实践提供一定的帮助。



2007年8月

前 言

近年来,世界各国都十分重视水上运动项目流体力学的研究。随着水上运动竞争的加剧,各国教练员、运动员与科研人员正在密切配合试图通过改进流体动力性能促使运动员的运动成绩有所提高与突破。为实现我国亚运、奥运双突破的梦想,在帆板训练中,我们必须加大科研的力度,以科研促训练,全面提高帆板运动训练水平和帆板运动成绩。

帆板运动是运动员通过娴熟的操帆驾板技术使帆板处于最佳的受力状态,即获得最大的空气推力从而得到最大的船速。因此,在给定器材的情况下如何获得最佳的流体动力性能以创造最佳的运动成绩,这是帆板运动项目必须面对的问题。流体力学的研究是解决这一问题的基础和金钥匙,本书针对帆板运动实践亟需解决的几个问题展开了研究。

本书研究的整体思路为:利用风洞试验和数值模拟(FLUENT与涡环栅格法)建立帆翼的空气动力学模型;利用水池拖曳试验建立板体的水动力学模型;根据力与力矩的平衡条件建立船速、横倾角与偏航角的方程组,联立求解得到各条航线上的最大船速(VPP航速预测);最后运用VPP计算结果进行最佳航线的设计。

本书研究的主要目标:通过对风洞试验测试数据的分析,寻找升力系数、阻力系数、最大推力系数、力矩系数及压力作用中心的变化规律和回归公式,以指导运动员实际调帆;通过FLUENT与涡环栅格法对于风帆的数值计算,探讨一种数值计算的方法;通过船池试验寻求板体在纵倾与横倾状态下的阻力、横向力的变化规律,以指导运动员在实际比赛时能将板调整到最佳倾斜状态;通过经验公式计算出各种状态下船体阻力的大小,确定各种船速下的阻力成分比例,以帮助运动员采取积极有效的措施减小阻力;通过四种VPP算法预测航速,讨论各种算法计算结果的准确性,为运动员准确选择航线奠定基础;运用VPP设计逆风段帆板运动的最佳航线。

本书研究内容主要集中体现在以下四个方面:

(一) 帆翼的空气动力学性能研究

主要对于帆翼的空气动力学性能试验的数据进行分析与回归,风洞试验分别开展了三项测试内容:帆翼不同拱度下增升试验、帆翼旋转 360° 攻角的空气动力性能以及帆翼前倾和后倾、内扣和外扣组合试验。

对于试验测试结果利用三次多项式回归分别得到了 $C_L-\alpha$ 关系式、 $C_D-\alpha$ 关系式及 C_L-C_D 关系式;绘制 $C_L-\alpha$ 曲线、 $C_D-\alpha$ 曲线, C_L-C_D 、 $C_{Tmax}-\theta$ 曲线等几种曲线图;通过导数求函数极值的方法计算出各个航向角下的最大推力系数,并进一步通过多项式回归得到 $C_{Tmax}-\theta$ 的关系式,以便于运动员实际操帆时使用。

在数值计算方面,运用了 FLUENT 和涡环栅格法对于平板、圆弧帆、三角帆以及梯型帆在各种不同攻角下时升力与诱导阻力进行了计算,两种计算方法共计算了 179 种算例,并将计算结果与试验研究的结果进行了对比分析。

(二) 板体水动力性能研究

在板体性能试验中,对两种板体(澳大利亚 Laser 圆底板和 M 式平底板)在自由状态下板体水阻力与横向力随船速、纵倾角、横倾角的变化规律进行了实船水池测试,并对板体各种倾斜状态下的阻力、横向力与船速的关系进行了多项式回归,为 VPP 计算奠定基础;运用 ITTC-57 经验公式计算板体的粘性阻力,并依据船舶性能原理,探讨了各种船速时的阻力类型与比例,为帆板运动员实际运动中有效地减小板的阻力提供理论依据。

(三) VPP 的结构与实现

在广泛查阅了国外帆船 VPP 计算的基础上,运用其“最大推力产生最大船速”与“最小阻力产生最大船速”原理独创了四种 VPP 计算方法,并改进了 Van Oossanen(1993)计算方法;比较详细综述了目前国外帆船 VPP 研究的模式、计算的过程及各项水阻力、横向力的计算方法以及帆翼空气动力计算方法,为今后进一步开展 VPP 的研究提供了良好的借鉴作用。

(四) 最佳航线的分析

航线选择一直是困惑运动员的一个重大问题,在逆风航段航行中,运动员选择不同航线航行,其运动成绩有较大的差别,最佳航线的设计对于帆板

的运动实践具有十分重要的意义。本书建立了最佳航线设计目标函数与计算模型,并运用了数学计算的方法对于帆板最佳航线进行了计算。

本书运用了多种数值计算方法:多项式回归、线性方程组的求解、非线性方程组的求解、牛顿迭代法、二分法等。各种计算方法的运用在相应章节的附录中均加以说明。

为了增进人们对于帆板运动的了解,本书在简要介绍帆板规则的基础上,对于帆板运动进行了力学分析。

本书的出版旨在建立帆板运动完整的、系统的流体力学理论,以填补目前国内在帆板流体力学方面研究的空白,书中也指明了帆板运动的研究需要进一步改进与深入的方向。

本书是在武汉理工大学王德恂教授、武汉体育学院韩久瑞教授的悉心指导下完成的。从选题、研究方法的遴选、试验数据的分析到最后定稿都倾注了两位导师的巨大心血。本书是在武汉体育学院博士学位论文基金的资助下得以出版发行,在此表示深深的谢意。同时也感谢武汉体育学院郑伟涛博士,华中科技大学邱磊博士,武汉理工大学王献孚教授,山东体育学院叶国雄教授、葛新发教授给予本书的指导!感谢国家体育总局水上运动中心、武汉理工大学交通学院对本书提供的帮助与支持!

由于笔者能力所限,时间也较仓促,书中难免存在许多不够完善的地方,恳请广大读者批评指正。

柏开祥

2007年8月(武汉)

目 录

第一章 绪 论	(1)
1.1 帆板运动与流体力学的研究价值	(1)
1.2 帆板运动研究现状及存在的主要问题	(6)
1.2.1 训练与比赛测试器材的研究	(6)
1.2.2 帆板运动的流体动力性能的研究	(7)
第二章 帆板运动简介	(17)
2.1 帆板运动的格局	(17)
2.2 帆板的结构	(18)
2.2.1 帆板的分类	(18)
2.2.2 我国开展的主要板型介绍	(18)
2.2.3 帆板器材各部件的功用	(20)
2.3 帆板的竞赛规则简介	(21)
2.4 帆板运动的力学分析	(22)
2.4.1 作用于帆板上的力与力矩的分析	(22)
2.4.2 帆板运动的基本条件	(23)
2.4.3 帆翼推进力产生的空气动力学原理	(24)
2.4.4 帆板运动的推进力学	(25)
第三章 帆翼空气动力性能的试验研究	(27)
3.1 帆翼的空气动力学概述	(27)
3.2 帆翼的空气动力学试验内容	(27)
3.3 试验结果的分析与说明	(29)
3.3.1 拱度对于风帆空气动力学影响的试验结果	(29)
3.3.2 风向角 $\theta=0\sim 360^\circ$ 间空气动力特性试验	(31)
3.3.3 前倾、后倾、正扣、反扣等七种组合的对比试验	(35)
3.4 今后仍需进一步改进的方面	(38)

附录 3A 一般多项式回归	(39)
第四章 帆翼空气动力学的数值计算	(42)
4.1 FLUENT 对于帆翼空气动力性能的数值计算	(44)
4.1.1 N-S 方程数值模拟粘性流场的基本理论	(44)
4.1.2 FLUENT 的概述	(48)
4.1.3 FLUENT 求解 N-S 方程的过程	(50)
4.2 涡环栅格法对于帆翼升力与诱导阻力的理论计算	(54)
4.2.1 涡环栅格模型	(54)
4.2.2 定常涡环栅格法基本方程组	(54)
4.2.3 边界条件	(55)
4.2.4 马蹄涡影响系数的计算	(56)
4.2.5 帆翼三维曲面的构建及网格生成	(57)
4.2.6 梯度风的计算	(57)
4.2.7 高斯消元求解基元马蹄涡强的过程	(57)
4.2.8 帆翼的升力、诱导阻力的计算	(58)
4.2.9 物面上压力分布的计算	(58)
4.2.10 计算模块说明	(59)
4.3 FLUENT 与涡环栅格法的计算结果与讨论	(60)
4.3.1 $\lambda=1$ 平板矩形帆翼计算结果	(60)
4.3.2 $\lambda=4$ 平板矩形帆翼计算结果	(61)
4.3.3 $\lambda=1$ 圆弧形帆翼计算结果	(61)
4.3.4 $\lambda=2$ 圆弧形帆翼计算结果	(63)
4.3.5 三角形帆翼计算结果	(65)
4.3.6 均匀风与梯度风梯形帆翼计算结果	(66)
4.4 本章小结及今后仍需进一步改进的方面	(67)
附录 4A FLUENT 计算结果	(69)
第五章 板体水动力性能的研究	(73)
5.1 水动力学试验	(74)
5.1.1 试验介绍	(74)
5.1.2 试验结果	(77)
5.2 试验结果分析	(80)
5.2.1 阻力分析	(80)

5.2.2 横向力的分析.....	(84)
5.2.3 实际航行纵倾角随静态纵倾角、船速与横倾角变化规律	(85)
5.2.4 船体升沉值随静态纵倾角、船速与横倾角的变化规律 ..	(86)
5.3 经验计算公式计算验证.....	(86)
5.3.1 粘性阻力计算经验公式.....	(86)
5.3.2 板体与附体湿面积的计算.....	(87)
5.3.3 粘性阻力的计算.....	(90)
5.3.4 兴波阻力计算.....	(90)
5.3.5 随着船速的变化粘性阻力与兴波阻力的比例.....	(91)
5.3.6 计算结果的分析.....	(92)
5.4 本章小结及今后需进一步改进的方面.....	(93)
附录 5A 梯形法求曲线面积	(93)
附录 5B 辛浦逊法求曲线面积	(94)
第六章 VPP 的结构与实现	(96)
6.1 VPP 结构模式	(96)
6.1.1 帆板运动的平衡方程式.....	(97)
6.1.2 四种 VPP 计算模式概述	(98)
6.1.3 帆翼空气动力模型和板体的水动力模型的建立	(100)
6.1.4 最大推力系数和横向力系数的计算与回归	(102)
6.2 VPP 四种计算方法的建立与实现	(104)
6.2.1 最小阻力分析法计算模型的建立与实现过程	(105)
6.2.2 最大推力分析法计算模型的建立与实现过程	(108)
6.2.3 泛函数分析法计算模型的建立与实现过程	(111)
6.2.4 角度分析法预测航速	(117)
6.2.5 四种 VPP 模型计算结果的对比分析.....	(122)
6.3 本章小结以及需进一步开展的工作	(123)
附录 6A VPP 综述	(123)
附录 6B 非线性方程组求解方法	(132)
附录 6C 牛顿迭代法	(133)
附录 6D 二分法的基本原理	(134)
附录 6E 不同 k 值下泛函数分析法船速的计算	(134)

第七章 最佳航线的分析	(137)
7.1 帆船、帆板航行时间	(137)
7.2 逆风航行的航线计算	(138)
7.2.1 等腰三角形走法的讨论	(138)
7.2.2 直角三角形走法的讨论	(142)
7.2.3 任意三角形最佳航线的计算	(146)
7.2.4 等腰、直角与任意三角形计算结果的对比分析	(150)
7.3 左弦风、右弦风走法的对比分析	(151)
7.4 水流对于航线影响的定性分析说明	(152)
7.5 本章小结以及今后仍需进一步开展的研究工作	(155)
第八章 帆板实际航行中运动学参数的测定	(157)
8.1 帆板测定的主要运动学参数	(157)
8.2 运动学测试手段	(158)
8.2.1 测角仪	(158)
8.2.2 速度仪	(158)
8.2.3 光电运动检测分析系统	(160)
8.2.4 影像解析系统	(161)
8.3 运动学测试手段在帆板运动中的应用	(162)
8.3.1 运用三维影像解析系统的可行性与难度分析	(162)
8.3.2 运动学测试参数在流体动力性能分析中的应用	(163)
8.4 本章小结	(163)
第九章 误差分析	(164)
9.1 误差理论	(164)
9.1.1 误差的概念	(164)
9.1.2 常见误差分析处理的方法	(166)
9.1.3 风洞实验与水池实验的误差来源	(168)
9.2 计算结果误差分析	(169)
9.2.1 升力、阻力关于攻角的回归结果分析	(169)
9.2.2 最大推力系数的误差分析	(172)
9.2.3 板体阻力—船速回归结果的误差分析	(175)
9.2.4 VPP 计算结果的误差分析	(176)

9.2.5 最佳航线计算结果的误差分析	(178)
9.2.6 基于 FLUENT 最佳航线计算结果分析	(183)
附件 9A Van Oossanen(1993)VPP 数据	(187)
第十章 结论与建议	(188)
10.1 帆翼试验的主要结论	(188)
10.1.1 五种拱度的对比试验	(188)
10.1.2 帆翼 0~360°空气动力性能试验	(188)
10.1.3 七种前后倾、正反扣组合试验	(189)
10.2 帆翼数值计算结果与主要结论	(190)
10.3 板体水动力学试验研究的主要结论	(191)
10.3.1 板体阻力的分析	(191)
10.3.2 横向力的分析	(191)
10.3.3 纵倾角随静态纵倾角、船速与横倾角的变化规律	(192)
10.3.4 船体升沉值随静态纵倾角、船速与横倾角的变化规律	(192)
10.3.5 阻力成分的计算	(192)
10.4 VPP 研究的主要结论	(193)
10.5 最佳航线计算的主要结论	(194)
10.6 帆板运动研究需要进一步改进的地方	(195)
附录 10A 帆板流体动力性能与最佳航线研究的主要程序	(197)
参考文献	(204)

第一章 绪 论

1.1 帆板运动与流体力学的研究价值

从某种程度上来说,现代体育的竞争俨然是一场科技的竞争。由于现代科技的介入及其在体育运动中的广泛应用,人体机能的潜力得到最大限度的发挥和充分的挖掘。现代科技更新了体育科学研究和训练的面貌,借助于现代科技手段从事科学的运动训练,对于短时间内改善运动员的运动技术、提高各专项运动训练水平、提高运动训练的效果、创造优异的运动成绩产生了极为深刻的影响。奥运赛场已经成为各国展示其科技成果和实力的一个橱窗,透过这个窗口,我们可以很清楚地看到,现代物理学、生物学、医学等其他学科的科技手段已经渗透到体育运动的各个角落,并对体育运动的发展产生了极大的促进作用。特别值得注意的是,近年来,美国、俄罗斯、德国、澳大利亚、日本等国加强了对流体力学研究的投入,他们力争在田径、游泳和水上运动项目三个金牌大户上一决雌雄。随着竞争的加剧、运动水平的提高和流体动力性能的改进,将会使得他们在这些项目上的优势更加明显,世界其他国家也只能望尘莫及。因此,对于世界各国来说,尽快增加对流体力学研究的投入,努力缩小在这些项目上与世界强国的差距是一件迫在眉睫的课题。

近十几年来,我国运动员在帆板运动项目上的水平上升很快,基本上确立了在亚洲的霸主地位,1992年第二十五届巴塞罗那奥运会中国运动员张小冬获得米斯特拉级女子帆板亚军、1996年第二十六届亚特兰大奥运会中国香港运动员李丽珊获得米斯特拉级女子帆板冠军、2004年希腊奥运会中国运动员殷剑又获得米斯特拉级女子帆板亚军。随着2008年奥运会的日益临近,国家体育总局制定了“奥运争光计划”和“奥运119工程”,提出了在帆板运动项目上至少拿到一块金牌的战略目标,这无疑对我们帆板运动训练提出了更高的要求。为了实现亚运、奥运双突破的梦想,在帆板训练中,必须加大科研的力度,以科研促训练,全面提高帆板运动训练水平和帆板运动成绩。

帆板运动是一项集体能、技能与智能于一体的运动项目,相对于其他的

运动项目来说,该项目对于技能与智能的要求更高,良好的智能是运动员感知和认知流体动力性能的基础,而对于帆板流体动力性能的认识与把握又是运动员能较为准确地操帆驾板的基础。由于帆板的运动是通过运动员娴熟的操帆驾板技术使帆板处于最佳的受力状态,即获得最大的空气推力从而获得最大的船速。因此,船速上的差异主要体现在运动员对帆板的操作技能上,运动员的操作技术对于帆板运动成绩起主导作用。当然,体能对于该项目的运动成绩也有一定的影响,由于帆板每一轮比赛的时间比较长,一般每天要安排3~5轮的比赛,如果没有良好的耐力素质是不行的。若在大风环境下,帆板保持稳定将依赖于人体拉力产生的力矩与风作用于帆翼上的力矩相平衡,因此帆板对于运动员的力量素质也提出了一定的要求。但总体来说,体能对于帆板运动成绩的影响处于次要的位置。通过对中华人民共和国第九届全运会和第五届城运会帆板比赛的调研,我们发现在帆板运动项目中,有许多取得较好成绩的运动员,从专项身体素质条件来说并不是特别理想,甚至较一般运动员的身体条件还要差;许多教练员和运动员对于流体力学的知识知之甚少。我们进一步分析还发现,中国的许多运动员和教练员从事帆板运动在很大程度上是靠感觉和经验来调节帆和板,在帆板比赛中取得较好成绩的运动员往往是从事运动训练时间比较长、经验比较丰富的运动员,他们对比赛环境、海况的感悟比较强,而这种感悟是建立在平时训练与比赛中对于海况和调帆经验一点一滴积累的基础之上的,当然这种感悟是具有很大盲目性的,缺乏理性的成分。由于它需要运动员花费大量时间作为代价来建立对于帆板运动的感悟能力,因此在很长的一段时间内运动员的运动技能无法得到十分显著的提高,这对于该项目的发展和运动技术水平的提高是极为不利的;反过来说,如果运动员在训练的初期能够得到有关流体力学以及相关知识的补充,对于加速提高运动员的感悟能力自然是有较大裨益的。

从帆板运动的科学性来讲,帆板运动里有许多有待于探讨的问题,概括地说主要有以下一些问题:

- (1)板在排水状态、过度状态、滑行状态的最佳攻角。
- (2)稳向板的功能及其水动力性能。
- (3)尾鳍的功能及其表面形状对板体行进中的作用。
- (4)板在迎风行驶时,风向角在不同风速、水流、迎浪、体重等因素影响下的变化规律和最佳风向角。
- (5)帆的剖面形状、深弦比及其最大深度的位置在多大范围内变化、变化的规律是什么。

(6)帆在迎风、横风、顺风行驶时的空气动力学特点及其最佳迎角与操帆角。

(7)迎风行驶,在不同的风速情况下,空气流进帆翼整个过程中的变化规律?运动员如何更好地了解帆翼内外缘空气流动变化。

(8)不同的帆的形状、不同的帆的面积、拱度,对于帆的空气动力学的影响。

(9)桅杆弯曲度对空气动力的影响。

(10)帆内缘最大深位置产生旋涡的原因及对空气动力的影响。

(11)帆板垂直于波浪、逆浪、顺浪行驶时浪对板体将产生什么影响?运动员应该如何调整自身的重心进行有效越浪。

(12)在海面上不同高度风速梯度的变化规律及如何由此引起的感觉风速与风向的变化、如何调整帆的形状。

(13)帆板航行中横倾、纵倾分别对于阻力、横向力如何影响?随着船速的增大,帆板航行的横倾角、纵倾角如何变化。

(14)帆在前倾、后倾、内扣、外扣的情况下,空气动力性能增加了多少。

(15)摇帆的频率、幅度以及对于推力及推进效率有何影响。

(16)在起航、绕标、迎风、横风、尾风航行时,运动员应该采取什么战略。

(17)运动员根据规则的规定,如何选择航线对自己比较有利。

(18)帆板运动员需要具备哪些身体特异素质?身体素质最有效的练习方法、训练的强度如何安排。

(19)如何研制与改进帆板训练的辅助练习器以帮助运动员尽快地形成动作技能。

这些问题都蕴涵着比较深奥的流体力学知识,从流体力学的角度分析,上述提到的问题是在给定帆型、船型的情况下探讨流体动力的性能,属于流体力学的正问题;反之,在已知流体动力性能的前提下如何设计较好的帆型,属于流体力学的反问题。

作为从事帆板运动的运动员、教练员以及科研人员,目前应该着力解决的问题是在给定器材的情况下,如何获得最佳的流体动力性能以创造最佳的运动成绩,也就是需要我们从流体力学正问题的研究。由于比赛器材是由运动会统一规定,并指定使用同一种器材,再加上赛前对于每位选手运用的器材需要进行严格的丈量,为此在器材的性能方面我们能够控制与调整的余地较小。换句话说,即使我们设计出一个非常好的帆型与板型,也不会得到大会的允许使用,因此,目前我们进行帆型与板型的设计研究,其意义不大。