

中国游泳运动协会指定

——游泳教练员、运动员必读

# 游泳技术指南

[美国]欧内斯特 W·马格利索著

迟爱光译



19  
2

中国游泳运动协会指定  
——游泳教练员、运动员必读

# 游泳技术指南

[美国]欧内斯特 W·马格利索 著  
迟爱光 译

编 委 李 桦 薛 立 张秋平  
俞 丽 梁石泓 张 梅

执行编辑 刘幼琼

广州体育学院《游泳季刊》编辑部

2001年6月

# 编者的话

本书是根据国家游泳队部分教练员的要求编辑出版的，可供游泳教练员、运动员、体育院校游泳专选学生及研究生使用。

该书译自 1993 年版《Swimming Even Faster》一书的第二部分，该书的另两部分内容分别是游泳训练法和游泳竞赛指南、陆上训练、营养。这部著作是 1984 年版《Swimming Faster》一书的扩版。这两部著作有力地促进了各国游泳运动水平的提高。

本书作者是美国亚利桑那州立大学游泳教练欧内斯特 W·马格利索。除作为一名成功的游泳教练员之外，欧内斯特 W·马格利索的著作颇丰。他在竞技游泳运动领域中的生理学、生物力学方面的知识享誉全球。

该书的出版首先应感谢旅居境外的熊开发、刘佐新先生及潘静娴女士，他们先后将《Swimming Even Faster》一书赠与我刊。

此外，该书的出版得到国家体育总局游泳运动管理中心有关部门领导的支持，在此，本刊向给予我刊工作大力支持的有关同志表示谢意。

本书编辑出版时间仓促，加之水平有限，缺点错误难免，读者对本书有何批评意见，即请函知以下通信地址：

邮编：510075

地址：广州市广州大道北 458 号广州体育学院《游泳季刊》编辑部

2001 年 5 月

竞技游泳是种特殊的运动项目。在水中比赛，运动员不能后推固体，只能后推液体使身体前游。与赛跑运动员蹬地获得的反作用力相比，水对运动员的反作用力不大，因此，产生的推力也不大，然而，水对运动员前游造成的阻力则大得多。因此，或因其他一些原因，一般的运动定律不见得适合游泳项目。这对如何运用物理学定律，使运动员更快地游进遇到了困难。本书集中讨论运动员如何获得推力，怎样减少阻力。

第一章讨论运动员减少阻力的方法。水力学中的阻力（Resistance）称为阻力（drag）。第一章将探讨运动员受到的各种阻力。

人们对游泳推力已进行过多年探讨，要彻底揭示游泳推力的奥秘尚需多年努力。多年来，专家们提出许多理论，每次新假说的提出，都使我们对游泳推力有进一步的认识。第二章扼要介绍了游泳推力理论研究的历史，对游泳推力的各要素，例如对手脚的划水（打水、蹬水）方向、攻角和划速进行探讨。第三章着重介绍如何运用游泳推力的各种要素，同时介绍对各种泳式技术普遍实用的物理学原理。可以指望，这两章内容将提高读者依据推力特征分析技术，改进技术的能力。

第四章至第七章分别介绍各种泳式技术。各章标题分别为爬泳、蝶泳、仰泳和蛙泳。第八章，本书的最后一章，介绍出发和转身技术。

## 相对运动

运动员游进时，须用力划水，使其前游。运动员的一部分力量可推进身体前游，但他付出的一部分力量，也会阻碍其前游。虽说运动员在破水前游，然而人们在分析运动员用力情况时，往往把身体看作是静止的，而把水当作是流动的。用这种方法分析运动员的游进，人们称之为相对运动法。

在游泳力学中，人们广泛运用相对运动概念。这是因为相对运动概念容易使人们了解运动员划水用力情况，也容易了解水对运动员产生的反作用力。相对运动法是分析运动员用力和受力情况的一种十分精确的方法。因为运动员前游速度，和运动员身体表面的水流后流速度是完全相同的。由于运动员的游动和水的流动是相对的，所以，对这两种运动规律可等同看待。科研人员通过在风洞或水槽中进行的比例模型试验，在空气动力学和流体动力学研究中已取得许多重大突破。这实际上就是怀特兄弟在研究机翼模型对飞行的潜在力时，使用的研究方法。

# 目 录

第 1 章	阻力	1
	水流的特性	1
	层流与湍流	1
	涡流	2
	运动员身体特征对阻力的影响	2
	身体的形状和倾斜程度的作用	2
	速度的作用	4
	阻力类型	4
	形阻	4
	波阻	6
	摩阻	7
第 2 章	游泳的推进力	9
	游泳推力理论	9
	推进阻力理论	9
	推进升力理论	10
	升力的另一种解释	13
	方向、攻角和划速	15
	方向	15
	攻角	17
	划速	23
第 3 章	推进力的基础知识	25
	划水：不同的术语	25
	游泳中的四类划水动作	25
	抓水动作最重要	26
	慢性肩痛	28
	摇橹式划水技术教学	28
	腿在游泳推力中的作用	30
	腿部动作的四种形式	31
	身体在游泳推力中的作用	32
	游泳推力参考指南	33
第 4 章	爬泳	34
	臂部动作	34
	打腿	41
	臂、腿动作的配合	44
	身体姿势	48
	划速与游速分析	50
	易犯错误	54
	技术练习	58
	配合动作练习	59
	测验游练习	60

	呼吸方式 .....	60
<b>第 5 章</b>	<b>蝶泳</b> .....	62
	臂部动作 .....	62
	海豚式打腿 .....	68
	身体姿势和呼吸 .....	71
	划速与游速分析 .....	72
	蝶泳技术易犯错误 .....	75
	蝶泳技术练习 .....	78
<b>第 6 章</b>	<b>仰泳</b> .....	79
	划水路线 .....	79
	臂部动作 .....	81
	打腿 .....	88
	臂、腿动作的配合 .....	89
	身体姿势和呼吸 .....	90
	划速与游速分析 .....	91
	仰泳易犯错误 .....	93
	仰泳技术练习 .....	98
<b>第 7 章</b>	<b>蛙泳</b> .....	102
	平式与波式蛙泳比较 .....	102
	臂部动作 .....	105
	蛙泳腿部动作 .....	111
	臂、腿动作的配合 .....	116
	身体姿势和呼吸 .....	117
	划速、蹬速与游速分析 .....	119
	蛙泳出发、转身后的长划臂技术 .....	121
	蛙泳易犯错误 .....	124
	蛙泳技术练习 .....	128
<b>第 8 章</b>	<b>出发、转身和终点触壁</b> .....	130
	出发台出发技术 .....	130
	蹲踞式出发技术 .....	134
	接力比赛中的接跳技术 .....	136
	仰泳出发技术 .....	138
	自由泳转身技术 .....	140
	仰泳转身技术 .....	143
	蝶泳、蛙泳转身技术 .....	145
	个人混合泳项目中的泳式转换转身技术 .....	149
	自由泳终点触壁技术 .....	154
	蝶泳终点触壁技术 .....	155
	蛙泳终点触壁技术 .....	156
	仰泳终点触壁技术 .....	156
	终点触壁前的呼吸 .....	156

# 第一章

## 阻 力

教练员和运动员往往将其注意力集中在划水动作上,却忽略了阻碍其游进的阻力。这是不幸的,因为通过减少水的阻力,同样可大幅度地提高运动成绩。

对在水中运动的物体而言,水对其产生很大的阻力。水比空气的密度大1000倍,所以,人体在水中前游时,会遭遇到水的向后的推力。阻碍运动员向前游进的力,称为阻力。阻力方向总是与运动员前进方向相反。运动员前游时,水相对后流,阻碍其前游。

下例可看到减小阻力的重要性。假设一个运动员游进时每次划臂动作平均产生15公斤的推力。再假设他身体平均受到的阻力为10公斤。那么,这位选手每次划臂动作获得的净推力应为5公斤。要游得更快,他需加大净推力。为此,可加大推力,或减少阻力。可通过下述计算说明这一问题。从下述算式中可看到,推力增加2公斤,阻力减少2公斤,或者推力增加1公斤,阻力减少1公斤,均可使净推力增加2公斤。

要增加推力需改进技术,并进行增大划水力量的训练。这一过程可能要花几个星期。而改进身体部分环节姿势,也许只需几分钟就可使阻力降下来。要了解减少阻力的方法,首先要了解水流特点方面的知识。

### 增加推力和减少阻力对净推力的影响

推力 = 15 公斤

阻力 = 10 公斤

净推力 = 5 公斤

可通过下述三种方法增大净推力:

#### 1、加大推力

推力 17 公斤 - 阻力 10 公斤 = 7 公斤 (净推力)

#### 2、减少阻力

推力 15 公斤 - 阻力 8 公斤 = 7 公斤 (净推力)

#### 3、加大推力、减少阻力

推力 16 公斤 - 阻力 9 公斤 = 7 公斤 (净推力)

## 水流的特性

### 层流与湍流

水分子由氢氧组成,水的流动是平稳的,除非受到固体的阻碍,否则水流不会被打乱。由于平稳流动的水流分层排列,所以将其称为层流。一旦平稳流动的水流被阻断,则会形成湍流。这时摆

脱层流的水分子无方向地随意弹跳。形成湍流的水分子闯入其它层流，会产生更大面积的湍流。在净水中，从水面可看清湍流形成情况。

流动中的层流间阻力极小，因为所有水分子都按同一方向，同一速度流动。然而湍流间的阻力极大，因为运动方向失控的水分子会使压力大增。

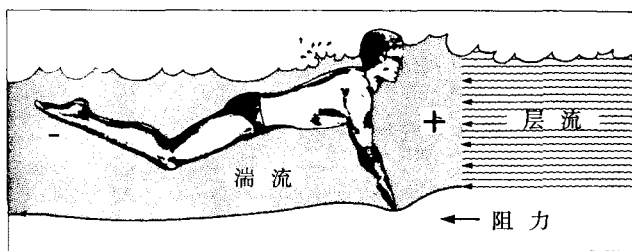


图1 因运动员身体进入层流而产生的湍流

层流和湍流如图1。直线区代表层流，点区表示湍流。运动员前游时，他的身体好像在水中破“洞”而入。因而，当他的身体冲击水分子的层流时，这部分层流会变成湍流。湍流中失控的水分子或上、或下、或后“弹”跳，另一些水分子由于水与身体间的摩擦作用，会短时与运动员一起前游，游经一段距离之后，湍流消失，水趋平稳，再次形成层流。

湍流对运动员前方、侧方的压力较对运动员体后的压力大，此时体后仍没形成层流（在图1中用“+”号表示运动员前方的高压区，用“-”号表示体后的低压区）。这种压力差使运动员的游速减慢。

运动员受到的阻力与其制造的湍流区的大小成正比。波及的层流少，产生的湍流也小。湍流大，产生的压力差也大，同时，人体受到的阻力也大。

### 涡流

如前所述，游泳运动员破“洞”而入之后，该“洞”口不会立即关闭。运动员身后会形成半真空区，该区域少量失控的水分子在旋荡。人们将在此处旋荡的水分子称为涡流(eddy currents)。图1运动员腿后旋荡的水即为涡流。由于运动员体后的水分子数量较少，使该处的水骚动不安，水压也不高。由于运动员前方压力较大，后方压力较小，使前、后压差加大，从而影响游进速度。实际上运动员前部的高压区阻挡运动员前游，其后部的低压区也阻碍其向前游进。

如湍流区大，涡流区也大，涡流消失的时间也慢，因而，对运动员游速的影响也大。相反，如果湍流区小，对运动员游速的影响也小。这是因为涡流区小，涡流消失得快。

训练和比赛过程中，一个运动员尾随另一运动员游进时，尾随者好像在领先者身后形成的涡流“袋”中游进。与尾随者相比，领先者受到的阻力较大，因要付出一定吸力带动后者前游。因此，尾随者无须付很多体力就可保持一定游速。

训练时，尾随在同泳道队员的后面游进可节省体力。贴近泳线游进同样可节省体力，这时邻道前游的选手可拖带尾随的选手游进。

## 运动员身体特征对阻力的影响

影响运动员身体产生湍流大小的三要素是：1、身体形状；2、身体在水中的倾斜程度；3、游进速度。

### 身体形状和倾斜程度的作用

说到形状，与方型和回旋状型的物体相比，锥形物体受到的阻力较小。这点的说明如图2。图中两物体表面状态完全相同，但其中一个两端是锥形的，而另一个是长方形的。图2，a所示物体受



阻较小。该物体在水中前进时,锥状的头部使水分子的运动方向逐渐改变。因此,逐渐改变方向的水分子只对邻近数量不多的水流造成影响,产生的湍流

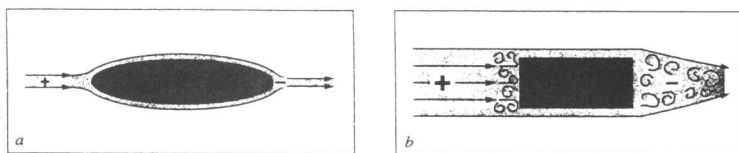


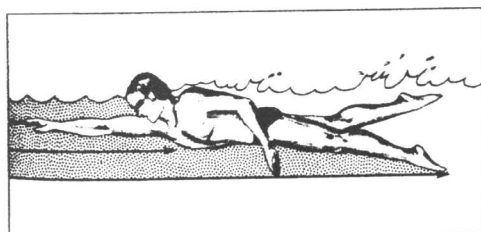
图2 形状对阻力的影响

不多,锥状物体的尾部使水分子在其通过后马上复原,使有限的涡流区立即消散。

图2,b上的物体前迎水面是平面,该物体同时受到多股水流的阻碍,所以会遇到相当大的阻力。由于该物体头部是平的,水分子无法在该物体周围顺利后移,在其前面被挡回的水分子将与其他流层的分子碰撞。这种碰撞的结果,形成大股湍流。这股湍流在该物体前方产生很大压力,减慢了该物体前进速度。

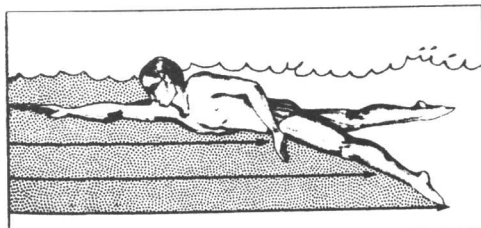
该物体方正的尾部,在其通过这一区域很长一段时间之后,才会使各层水分子复原。于是在其后部形成一涡流低压区。该低压区同样会加大该物体前后压差,再度减缓了该物体的前进速度。

从图2可清晰地看出,子弹(或鱼)形物体受阻最小。多年来,人们尽力模仿子弹(或鱼)的形状,建造船艇、汽车、飞机和在空气、水中航行的其他运载工具,以尽量减少其在空气和水中受到的阻力。可惜,与鱼相比,人体皮肤面积过大,也不够光滑。另外,人在水中游进时,很难总保持像子弹那种静态姿势。运动员在游进过程中,需不断变换姿势。因此,优秀运动员在游进的各阶段,总能保持最佳的流线型姿势,而一般运动员往往却做不到这一点。



a

谈到身体在水中的倾斜度可知,当运动员身体在水中无法保持水平姿势,或身体在水中左、右摆动幅度过大时,阻力一般会加大。其原因是身体在水中占据较大空间,扰乱了较多水流。



b

运动员身体在水中占据的空间既有上下的,也有左右的。上下空间指身体在水中的深度。左、右空间指身体在水中运动的宽度。

图3 身体在水中占据的空间与受到的阻力间的关系

图3,a比图3,b上的运动员占据的空间小,因为图3,a上的运动员身体几乎接近水平姿势。与图3,b相比,图3,a上的运动员游进时触动的水流较少,因为前者身体在水中的倾斜度大。图3,b上的运动员游进时,头、肩部过高,因此,打腿较深,从而造成身体的倾斜度过大,扰乱了较多的水流。他游进时身体挡水面大,所以受阻也大。除极个别情况之外,运动员游进时,身体应尽可能保持水平姿势。

然而,为增大推力,运动员不一定总要保持良好的水平姿势。在每一动作周期内,身体姿势应不断变化。为获得更大的推力,自由泳和仰泳运动员身体应不停地左右转动,蛙泳和蝶泳运动员

为同一目的,身体应不断做上下起伏动作。虽说这些动作会增大阻力,然而却更有助于增大推力。为了游得更快,运动员必须在保持身体水平姿势与加大推力之间进行权衡。做到两全其美是不可能的。运动员既可加大转动动作,以增大推力;也可尽量保持身体的水平姿势,以减少阻力。具体如何处理阻力与推力之间的关系,请看各泳式技术部分(第四至第七章)。

### 速度的作用

游速越快,摩擦力越大、涡流增强,阻力随之加大。速度增至2倍时,阻力将增至4倍。

速度对阻力的作用只能进行理论上的探讨,因为一个选手为减小阻力、放慢游速而输掉比赛是愚蠢的。然而,合理安排前、后程游速是明智的。比赛前程比对手游得慢些,在克服阻力方面付出力量较小。如果运动员们水平不相上下,比赛前程会控制游速的运动员,往往在比赛的最后阶段会超过已显疲劳的运动员。

### 阻力类型

运动员需克服三类阻力。这三类阻力是形阻、波阻和摩阻,其成因如下:

形阻——因水中游进运动员身材的大小和身体形状造成的

波阻——由运动员造成的波浪产生的

摩阻——因运动员皮肤与靠近皮肤的水分子间的摩擦造成的

#### 形阻(Form Drag)

形阻是水中游进运动员身体形状的产物。正确地讲,形阻是可变的,因为如前所述,在每一动作周期中,身体形状是不断变化的。

对世界水平游泳运动员的观察发现,一些身材的运动员形阻较小。像肩宽、髋窄的选手在这方面更具优势。然而,身材属其他类型的选手不要失望,通过控制身体姿势,同样可减少形阻。1979年,克拉里斯发现,体型与游进中测量的阻力没有什么关系。

**水平姿势** 减少形状阻力,就是说不减少推力的情况下,尽量使身体保持水平,保持流线型姿势。运动员需权衡的是,为推进身体前进,打(蹬)腿应有一定深度,但又应避免打(蹬)腿动作过深,以免增大身体在水中占据的位置。蝶泳

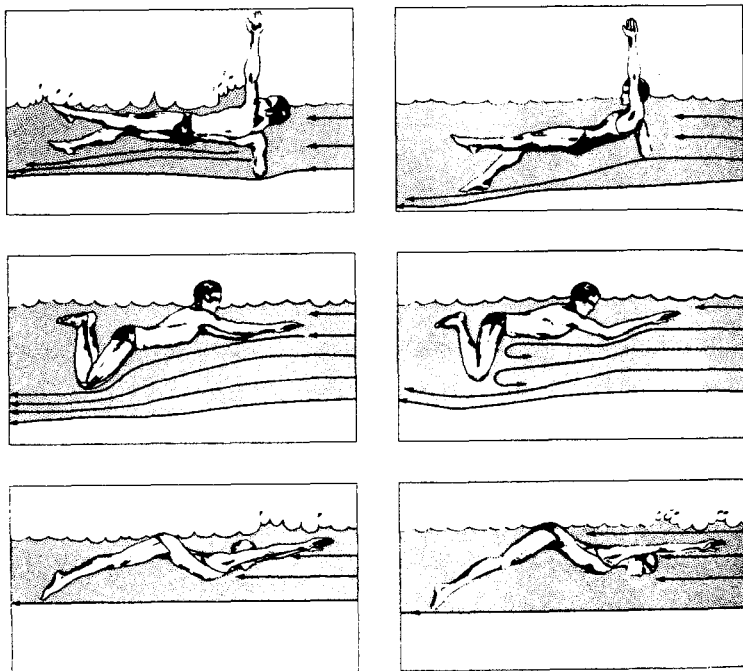


图4 仰泳、蛙泳、蝶泳时,正确与错误身体姿势比较。左面运动员身体水平姿势较好,右面身体姿势较差。

和蛙泳时,运动员既要避免身体起伏动作过大,又要适当做上、下起伏动作,以便进行准确的划水和吸气动作。

三种泳式身体正确与错误水平姿势比较如图4(爬泳身体水平姿势正误比较如图3)。

打腿动作过深、蹬腿蹬得太深会增大阻力。图5,a表示蝶泳时,腿打得太深;图5,b表示蛙泳腿蹬得太深。图5,c表示仰泳蹬腿打水,上打时,大腿出现挡水动作。两腿这种快速交替挡水动作影响流速。

**正直姿势** 身体过分侧摆会增大阻力。爬泳和仰泳时,身体的正直姿势往往遭到破坏。因为在这两种泳式中,臂、腿的交替动作往往使身体在水中产生左右摆动动作。保持正直姿势和不能保持正直姿势游进的爬泳选手俯视图如图6。图6,a上的运动员身体保持较好的流线型,而图6,b上的运动员身体侧摆幅度过大。这种侧摆动动作使图6,b上的运动员与图6,a上的运动员相比,在水中占据较大的空间。另外,这名选手的侧摆动动作使她在前游过程中产生挡水动作。上述两项因素使其受到的阻力急剧增大。

图7是身体能否保持正直姿势的两位仰泳选手的仰视图。图7,b上的选手手在对侧肩前入水,所以身体无法保持良好的正直姿势,因而,身体出现较大的侧摆动动作,涡流增多,阻力增大。图7,a上的运动员借助身体的左右转动动作,使身体保持较好的正直姿势。

**身体的转动** 过去,人们对水中俯卧,侧卧运动员进行的牵引试验发现,俯卧姿势受到的形状阻力较少(康西尔曼,1955)。这使很多教练员认为,爬泳和仰泳时,运动员应尽量平卧在水中。然而,运动员无法做到这一点。爬泳、仰泳选手无法在转动和平卧游进之间进行选择。他们只能选择转动游进或左右侧摆游进,原因是这两种泳式游进时,一臂水下划水时,另一臂总是在水上做移臂动作,因为运动员身体是漂浮在

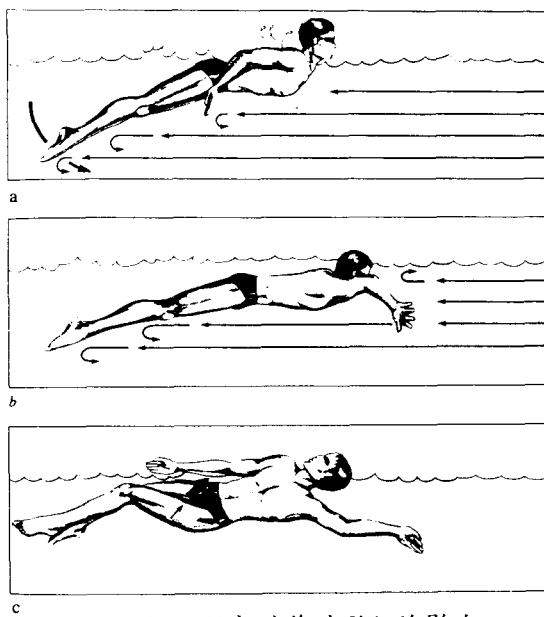


图5 腿部动作对形阻的影响

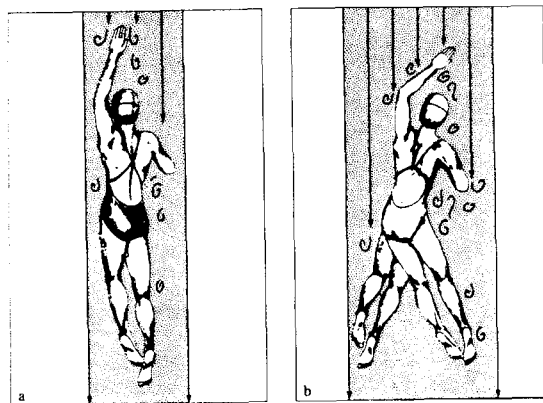


图6 爬泳时,身体侧摆动动作过大对形阻的影响

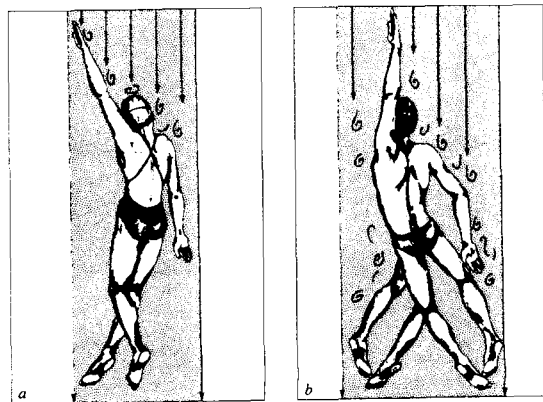


图7 仰泳时,身体侧摆动动作过大对形阻的影响

水中的，臂的动作自然会使身体侧摆。试图使身体在水中保持平卧姿势，并避免身体做自然转动动作，必然加大身体的侧摆动作。

爬泳、仰泳时，运动员身体的最大转动角度如图8。如图所见，此时侧转角度接近 $45^\circ$ 。另一臂划水时，身体向另一侧转动角度与此类似。

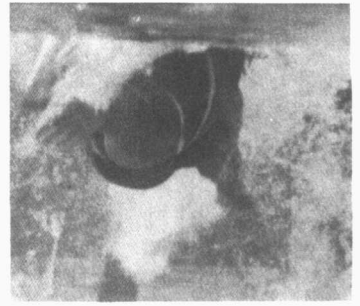
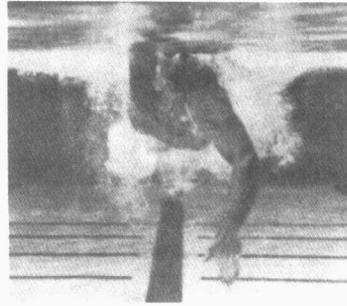


图8 爬泳(a)、仰泳(b)时，身体转动的最大角度

身体转动有助于加快游进速度的原因是：

- 1、可使臂部保持发力的最佳姿势。
- 2、通过斜向打腿，使上体保持稳定的姿势。
- 3、避免上体及腿部出现过分的侧摆动作。

### 波阻(Wave Drag)

波阻是水面湍流引起的。众所周知，因游泳池的结构，水线等原因，有些泳池的浪较大，有些浪较小。运动员将浪大的泳池称为“慢池”。在这种泳池比赛很难游出好成绩。这类波浪的生成是运动员无法控制的，所以比赛时可忽略不计，因为所有参赛选手同样受影响。然而运动员应对自己动作造成的波浪进行控制。

最常见的波阻来自头前浪。头前浪阻碍运动员游进，影响游速。运动员向前游进，向侧摆动，头部和身体上下起伏都可造成头前浪。仰泳运动员的头前浪如图9。

波阻与形阻一样，与游速关系很大。随着游速的加快，运动员头前水体增高，头前浪也随之增大。因游速与阻力的平方成正比，所以波浪对游速有很大阻碍作用。

运动员臂腿前伸或身体挡水、侧移时，波阻加大。臂前伸入水或拍水入水

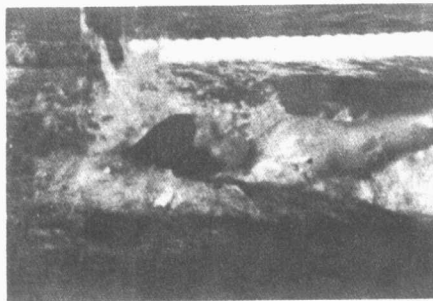


图9 仰泳选手的头前浪

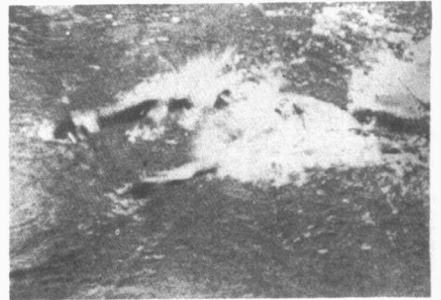


图10 蝶泳选手入水动作产生的波阻

时，搅起的湍流增多，波增大，并影响游速。水下伸臂和收腿时，由于迎水面加大，阻力将增大。甚至产生推力的斜向划水划动的水流不全后流的话，也影响游速。

移臂增大阻力方式之一如图10。这位蝶泳选手移臂入水时，双臂动作产生很大阻力。采用这种方式入水前伸的运动员，该刻游速将减慢30%，即每次入水游速减慢 $\frac{1}{16}$ 秒。将每次入水动作减慢的时间乘以比赛全程的划水次数时，会发现入水动作对比赛成绩有很大影响。

仰泳和爬泳运动员手入水时，手背挡水往往产生很大的波阻。然而掌侧先入水情况要好得

多。如此入水可减少手掌入水时的挡水面。

### 摩阻 (Frictional Drag)

运动员前游时, 由于皮肤与水的摩擦作用, 会使水分子与其一同前游。这些水分子前移时, 由于与其相邻层流的摩擦作用, 这层水流也与运动员一同前游。这种状况在层层水流之间持续不断, 直到距离运动员身体一定距离之后, 这种摩擦作用约束力消失为止。

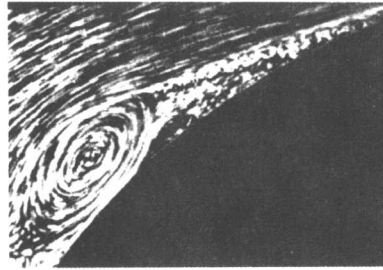
紧贴运动员皮肤, 并与其一同游进的水流称为边界层。边界层形成湍流的过程如下: 边界层的水分子与随其游进的身体的摩擦作用, 使边界层上向后流动的水分子回流。回流的水分子会与其前方的水分子碰撞。由于这些水分子接连不断碰撞并进入相邻的层流, 产生湍流。湍流产生的同时, 边界层被分离。湍流的生成, 使被分离的边界层处阻力增大。

边界层与摩擦力的作用情况如图11, a和b。图11, a描绘的是水流经球面的实际运动情况。请注意右侧的湍流。边界层在此处被分离。分离过程如图11, b。图中可见球面上摩擦作用情况。这种摩擦作用使边界层回流, 并随球面一同前进。可看到边界层上水分子碰撞产生的湍流, 并最终使边界层与球面分离。

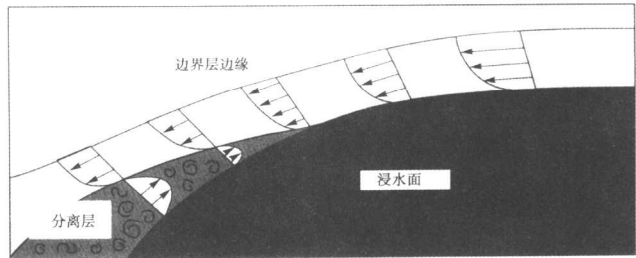
一些专家认为, 对运动员身体而言, 摩阻是微不足道的, 因为人与水栖哺乳动物相比, 流线型极差, 水流一流经身体, 波阻和形阻马上会使边界层分离(克拉里斯, 1979)。然而, 1989年海与塞耶进行的研究对上述看法提出异议。他们将许多塑料条的一端贴在运动员身上, 借此研究运动员身体周围水流状况。对游进中的运动员摄像, 观察塑料条的飘动状况可了解边界层水流方向。

他们断定, 运动员水中前游时, 身体不同区域边界层水流情况不同。蝶泳时, 塑料条飘动状况如图12。躯干周围的塑料条向后飘动, 两腿下打时, 腿部周围的塑料条向上飘动, 说明身体这两部分周围的水流是层流。没向躯干及四肢移动反方向飘动的塑料条所处区域的水流是湍流。

影响体表摩阻大小的主要因素有: 1、体表面积; 2、人体运动速度; 3、体表的光滑程度。运动员无法控制体表面积。然而, 合理安排比赛分段速度, 运动员可对游速进行控制。而最好控制的摩阻因素是体表的光滑程度。



a



b

图11 边界层对摩阻的作用

a: 浸面外水流实际运动情况

b: 湍流产生的原因

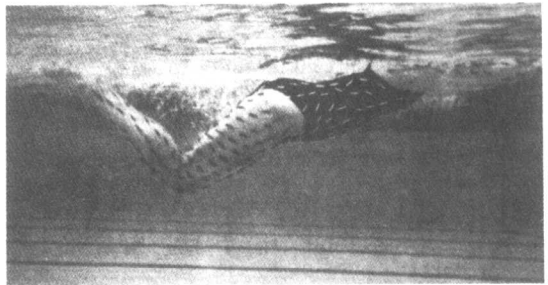


图12 身贴塑料条游进的运动员(海、塞耶复制, 1989)

显而易见,光面比糙面摩阻小。运动员着光滑泳衣参赛,重大比赛前刮除体毛可使运动员提高比赛成绩的原因即在于此。然而,并不是每个人都认为运动员如此提高成绩同摩阻减少有关。一些人认为,刮除体毛犹如举行盛大宗教仪式,这一“活动”有助运动员表现好成绩。表现好成绩与刮毛本身无关。另一种普遍的看法是刮毛可改变动觉的灵敏度,动觉灵敏度的改善可提高运动员的动作效率。

1989年,夏普与科斯蒂尔证实,刮毛可减少摩阻。他们对刮毛前后的一组运动员机能和技术指标进行了测试。测试时要求运动员以极限下强度,以同一游速游进。两次测试时间间隔9天。测验结果表明,刮除体毛时的运动员血乳酸值明显下降,划步增加,说明他们刮毛之后游进较省力。血乳酸平均值从刮毛前的8.48mmol/升减少至刮毛后的6.74mmol/升。划步从刮毛前的2.07米提高到刮毛后的2.31米。而没刮毛时这两项指标无变化。

另外,让试验组和对照组运动员分别做拖拽游测验,通过测量耗氧量评定耗能状况。进行几次逐次加速游试验。试验目的是研究刮除体毛后潜在动觉效应对游泳成绩的影响。拖拽游时,摩阻微乎其微,因为测验时运动员身体几乎没有位移。假如刮毛后在拖拽游测验中能提高成绩,多半要归功于动觉的改善。

试验组运动员刮除体毛后进行拖拽游测验时,没发现存在省力这种情况,从而排除了原先测验时认为的省力的原因是动觉改善的推测。因此,刮毛后摩阻的减少,致使血乳酸值下降,使划步加长是合乎逻辑的。

1989年,夏普和科斯蒂尔在这项研究过程中,还对刮毛前后蹬边滑行时的速度状况进行过测试。为此目的,他们采用了一种被称为速度测试仪的特殊设备(如图13,a)。该速度测试仪可测量游进时的直线速度。运动员游进时,颈圈上的细金属丝会牵拉发电机。发电机的电压输出控制分压器,通过模拟数字变频器测量运动员游进的直线速度。

测试时,运动员戴好颈圈蹬壁滑行,滑速降至1米/秒以下为止。测量2米/秒~1米/秒间速度降低情况。运动员比赛时游速大致在这一范围之内变化。刮毛后滑行速度减慢程度明显减缓,专家们推测,这是摩阻减小的缘故。

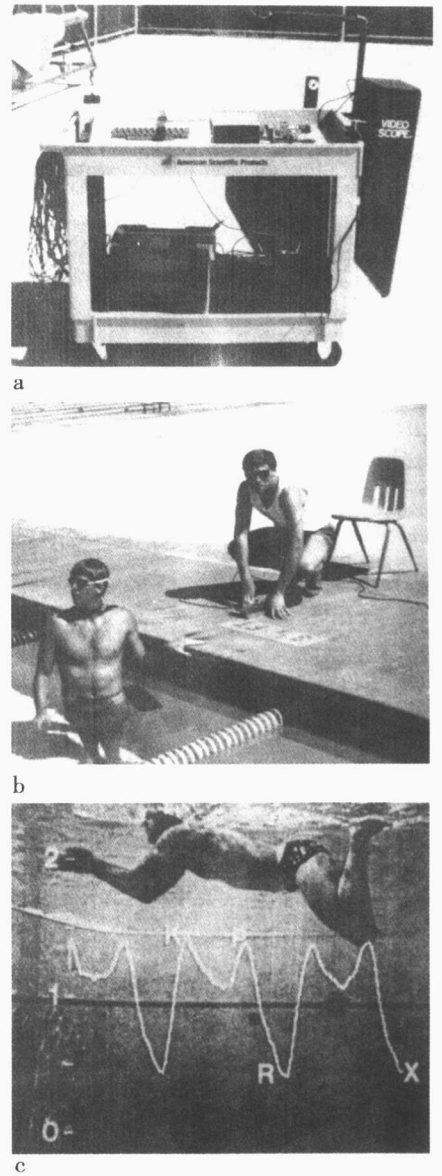


图13 科斯蒂尔和加里·李在印第安纳州曼西市的鲍尔国立大学人体运动实验室研制的速度测试仪。该测试仪创意源于罗彻斯特大学的克雷格博士。电脑、录像机和教练员观察仪如图a。图b表明赫德教练在池旁控制卷轴。游泳选手格雷夫斯颈部套有颈圈。蛙泳时,录像上显示的速度曲线如图c。

# 第二章

## 游泳的推进力

现在,我们探讨影响游泳推力的定律。本章的第一部分我们将分析这些定律。本章的第二部分,我们将探讨影响臂、腿推力的三要素——动作方向、攻角和划速。

### 游泳推力理论

从前,人们描述运动员划水动作时,把手臂形容为桨,或轮船推进器上的叶片。图1就是当时人们告诉运动员爬泳时的划水路线。人们告诉运动员,应直臂,沿图1所示的路线划水,也就是说,爬泳划水动作像轮船推进器上的叶片划水动作一样。然而,水下观察表明,运动员在4种泳式游进过程中,实际都在做屈臂划水动作。这类观察使人们开始利用科学原理去解释游泳推力问题。下面介绍几种推力的阻力理论。

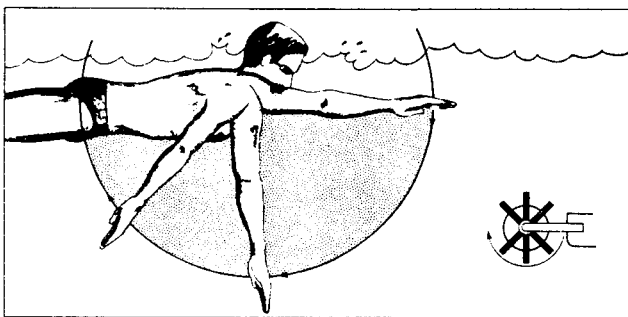


图1 轮船推进器叶片推进理论

### 推进阻力理论

**直线后推前游理论** 康西尔曼于1968年,西尔维亚于1970年分别撰文介绍了推力的这一理论。他们当时认为牛顿的运动第三定律是运动员推进自身游进的主要物理学定律。该定律指出,每一个动作都可产生一个大小相等、方向相反的反作用力(For every action there is an equal and opposite reaction)。具体地说,向后推水时,水会产生一个与运动员用力大小相等,推动其身体前游的力。

康西尔曼和西尔维亚均注意到运动员在划臂过程中,两臂轮流做屈伸动作。他们认为,如此动作的原因在于可把水直接后推较远的距离,只有把水向后推较远距离,才能使身体游得更快,游得更远。根据这种理论,手的作用与后划的船桨相似。他们确信,划水动作的前三分之一,通过逐渐屈肘,直接后划;在划水动作的后三分之一,通过逐渐伸肘,继续直接后划。同时,这一理论的支持者们当时提出,臂如果偏离后划方向,将改变身体的游进方向,会增大游进阻力,并使推力下降。根据众所周知的推进阻力理论绘制的划水路线如图2。当时人们将水下划水动作的前程称为抱水(pull),后程称为推水(push)。

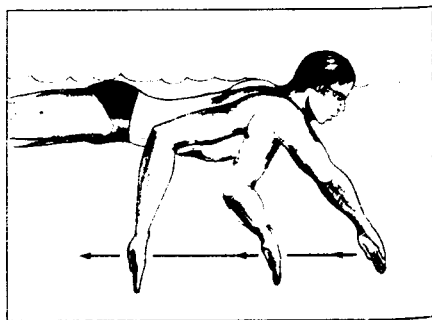


图2 推进阻力理论

**曲线后划理论** 人们广泛认同康西尔曼和西尔维亚



的这一理论。这一理论多年之内对世界各国游泳技术教学产生深远影响。然而后来,康西尔曼采用水下摄影术发觉,手掌在体下并不是做直线后划动作,而是做曲线后划动作。康西尔曼认为,运动员如此划水的目的是在向后的较短距离内可划到大量的水,可避免在向后的较长距离内只划到少量的水。这一研究结果导致人们对原先的推力阻力理论做了修正,开始建议手掌按S型的路线在体下和体侧划水。图3是根据阻力推力曲线后划理论绘制的自由泳划水路线仰视图。

抛弃直线后划,转而采用S型划水动作的理论基础是与划静水或划流速较慢的水相比,划后流较快水需用更大的力。这是因为运动员划动的这一抱水一旦获得向后流动的动量,除非划速超过这抱水后流速度,否则再用原来的力量划水,这抱水不可能再加速后流。然而,通过改变手掌的划水方向,技术高超的选手可在划过上一抱水之后,再找到“新水”或静水后划。由于运动员仅需付出较小的肌力,获得较大的推力,还由于加长了划水路线,从而会节省能量。由此可见,曲线划水的优点是:

- 1、省力。
- 2、延长了划水路线。

**推进升力理论** 虽说康西尔曼的这一理论得到世界绝大多数教练员的肯定,但他并不满足他发现的这一游泳推力自然规律的真理。他继续研究他的流体动力学理论。1971年,他与布朗发表又一重大研究成果,从而使游泳技术教学产生革命性的变化。

康西尔曼和布朗在黑暗的游泳池内,拍摄手掌戴有光源的运动员的技术。通过用频闪观测器录在胶片上的闪光点分析四种泳式的划水路线。值得注意的是如此摄制的划水路线,与以往手掌相对于身体的划水路线不同,这是手掌相对于水的划水路线。布朗和康西尔曼指出,运动员手臂划水动作多半是左右和上下划水,后划动作并不明显。看来,手臂在体下不是靠直接后推,或者曲线后推使身体前游,而是靠手臂的内外,上下划动使身体前游。

康西尔曼和布朗首次发表他们的研究成果之后,又有几位学者证实运动员的确是靠摇橹状的划水动作,推动身体前游的(巴塞里斯、艾德里安,1974;普拉泽霍夫,1971;施莱豪夫,1974,1978)。人们认为,康西尔曼和布朗的论文是七十年代最重要的生物力学研究著作,特别是康西尔曼,对当代竞技游泳理论作出重大贡献。

手掌相对于水的典型自由泳划水路线侧视图如图4。图4可见,运动员右手出水点实际位于入水点之前;与下划和上划动作相比,右手后划幅度很小。

与某些人的意见相左,这一研究结论并不赞成曲线后划理论。如果曲线后划理论是正确的,那么臂的动作应主要向后,同时伴以上下、左右划水动作,以寻找静水向后划动。对划水路线进行

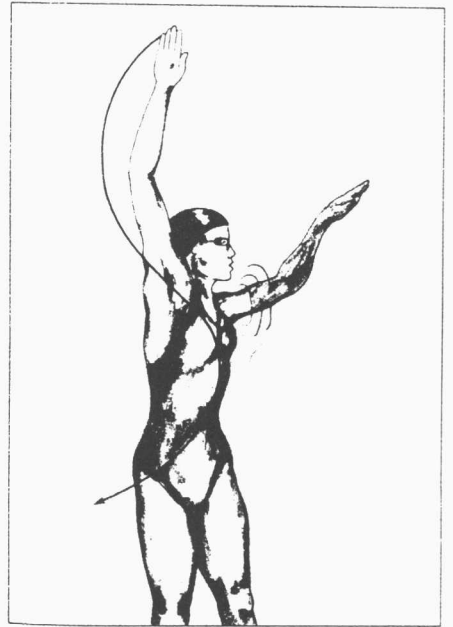


图3 根据推力曲线后划理论绘制的自由泳S型划水路线仰视图



的反复研究表明,各种泳式的划水路线均以摇橹状的划水动作为主(巴塞尔斯、艾德里安,1974;贝洛科夫斯库、伊凡琴科,1975;布朗、康西尔曼,1971;查班斯基、科斯齐斯基科,1979;欣里克斯,1986;利德基,1986;马格利索,1986;普莱吉霍夫,1971;赖克尔,1979;施莱豪夫,1978、1984)。与运动员手臂上下、左右划动幅度相比,后划幅度很小。所以,曲线后划理论无法解释游泳的推力。然而,不断寻找“静”水后划这种想法也有可取之处。运动员即使后划幅度不大,也应不断变换划水方向,以便找到静水后划。如果对此还不理解,请继续往下读。本章的下一部分,我们将更详细地介绍游泳推力的本质。

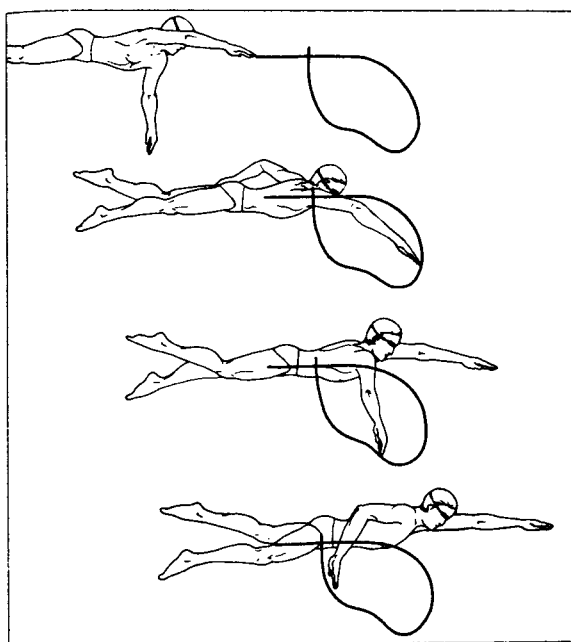


图4 以泳池池壁为定点绘制的自由泳划水路线

**伯努利原理** 1971年,布朗和康西尔曼提出运动员摇橹状划水动作会产生推力,因为摇橹状划水可产生升力。瑞士学者伯努利是世界上第一位确定流体流速与压力之间呈反比关系的人。换言之,流体流速越快,压力越低;流速越慢,压力越高。人们开始运用伯努利原理解释升力是如何产生的。

通过解释飞机机翼升力的产生,可清楚理解伯努利原理。为此,请看图5。飞机前飞时,气流立即从机翼前方向后方流动,在飞机前进的反方向上产生了阻力。气流经机翼分流。因此,机翼上下方均有气流经过。机翼上下气流运动情况如图5箭头所示。

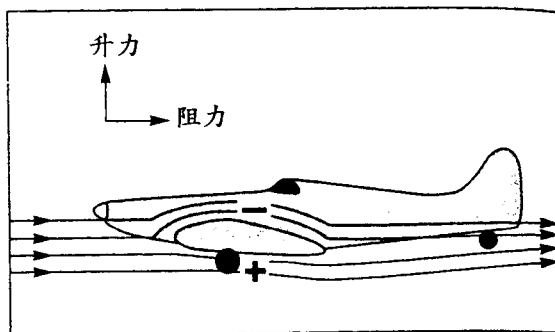


图5 升力生成原理之一

机翼的特殊形状使流经机翼上部气流流速快于流经机翼下部气流的流速。由于机翼上表面形状是弧形的,所以与下表面相比,上表面的长度较长。上表面上的气流必须加快移动速度,才能在同一时间,与下表面气流同时到达机翼的另一侧。由于流速的加快,使机翼上部受到的压力小于机翼下部受到的压力。由于物体倾向于从高压区向低压区移动,这种压差推动飞机不断上移。人们将压差形成的向上的力称为升力(Lift),如图所见,升力的方向总是垂直于阻力(drag)方向。

康西尔曼与布朗建议,划水时手掌尽量与机翼的形状保持一致,以便像机翼那样,产生升力。伯努利原理认为,游泳时推力产生原理如图6所示。图6是蝶泳运动员游进的仰视图,此时双手在体下向后内方向划水。内后划水动作产生的阻力方向是相反的,即阻力方向朝向外的。阻力矢量如图6。

因为双手向内划动,水流通过手掌从大拇指侧向外,向小指侧流动。根据伯努利原理可知,运