

游泳流体力学原理与技能精进之道

摘要

本报告旨在深入剖析游泳运动中核心的流体力学原理，并为有志于精进游泳技能的实践者提供一条以科学为基础的学习路径。报告首先阐述了游泳者在水中面临的三种主要阻力：压阻、摩阻和波阻，强调了通过优化身体姿态来最小化这些阻力的重要性。接着，报告探讨了游泳推进力的生成机制，详细解析了手臂划水中的“升力与阻力”之争，并量化了不同泳姿中手臂和腿部的推进力贡献。最后，报告将这些理论知识转化为一套结构化的学习路线图，包括推荐的入门读物、专业教材、线上课程以及能够将抽象原理具象化的训练动作，旨在将游泳从单纯的体力活动提升为一种精确的、符合流体动力学的艺术。

第一章：水介质——游泳中的作用力与相互作用

1.1 首要挑战：理解与最小化阻力

游泳速度并非单纯依赖于肌肉力量，而是一种在与水介质的持续对抗中，通过最小化阻力并优化推进力的精妙平衡。游泳者在水中主要会遇到三种类型的阻力，理解并掌握如何应对它们是提升效率和速度的基础。

1.1.1 压阻 (Form Drag)

压阻，又称形状阻力，是流体力学中对游泳者影响最显著的阻力形式。它由游泳者身体迎水面与

背水面之间的压力差所造成。当身体在水中前进时，迎水面受到水的压力，而背水面则因水流分离而产生低压区，这种压力差形成一股向后拖曳的力。文献指出，保持水平、流线型的身体姿态是减少压阻的核心。头部的姿态在水中起着舵的作用，身体必须尽可能地保持直线，就像鱼雷或弹头一样，以最小化身体的横截面积¹。任何导致身体位置不当的动作，如头部过高或臀部下沉，都会显著增加迎水面积，从而急剧增加压阻³。

游泳者的腿部在水中通常比躯干和头部更重，如果不加以控制，很容易下沉。一旦腿部下沉，身体就不再处于水平状态，其迎水面积会显著增大，进而导致巨大的压阻。因此，游泳者的腿部打水并非主要为了提供向前的推进力，其更关键的作用在于维持身体的水平姿态。通过打水，游泳者能为下半身提供一个向上的力，使其与浮力、重力形成平衡，将身体调整到最有利于流体通过的流线型位置，从而高效地降低最主要的阻力来源⁵。这种打水维持姿态，从而减少压阻的机制，从根本上改变了许多人对腿部动作的认知。

1.1.2 摩阻 (Skin Friction)

摩阻是水流过游泳者身体表面时产生的粘性阻力，其大小取决于身体表面的光滑度和水流速度梯度。光滑度越高，摩阻越小。这一原理在竞技游泳中有着直接的应用。曾被禁用的“鲨鱼皮”泳衣，其设计就是模仿鲨鱼皮肤的微结构来减少摩擦阻力。如今，运动员通过刮除体毛来获得更光滑的皮肤表面，其目的正是为了最大限度地减小摩阻⁵。

1.1.3 波阻 (Wave Resistance)

波阻是游泳者在水面移动时因产生波浪而受到的阻力。水面，即自由表面，由于空气密度远小于水，因此比水下更容易产生波浪。波浪的形成需要能量，这部分能量消耗直接转化为向后的阻力。这一阻力在完全潜入水下时可以被完全消除，这也是潜泳被认为是速度最快泳姿的原因⁵。正是因为其速度优势，国际泳联(FINA)为了确保比赛的公平性和安全性，规定每次出发或转身后的潜泳距离不得超过15米。这一规则是流体力学原理在竞技体育中应用的最直接体现。

表1: 游泳中阻力类型对比

阻力类型	来源/原因	减阻技术策略
压阻	身体形状，迎水面积过大，迎水面与背水面压力差	保持流线型水平身体姿态，核心收紧，利用打腿抬高臀部和腿部以减少迎水面积。

摩阻	身体表面与水之间的摩擦力	穿着低摩擦泳衣, 刮除体毛, 保持身体光滑。
波阻	水面波浪的形成与传播	保持身体平稳, 减少不必要的上下起伏和晃动, 保持低头姿态, 在允许范围内利用潜泳。

1.2 浮力与重心

除了三种阻力, 游泳者还需在水中平衡另外两个关键垂直方向的力: 浮力与重力。浮力作用于人体的浮心, 即胸部和肺部, 而重力则作用于人体的质心, 通常在腹部附近⁵。由于这两个作用点并不重合, 人体在水中就像一个跷跷板, 以浮心为支点, 密度较大的下半身倾向于下沉²。

为了克服这种自然下沉的趋势, 游泳者需要不断地调整姿态, 以保持身体的水平。这就是为什么腿部打水不仅仅是提供向前推进的力, 更重要的是提供一个向上的力矩, 来对抗重力对下半身的力矩, 从而维持身体的流线型平衡。这种对力矩的平衡控制, 而非简单的力量平衡, 才是高效游泳技术的关键。

第二章: 运动的引擎——推进力的生成

在理解了如何减小阻力之后, 下一个关键问题是如何有效地产生推进力。

2.1 升力与阻力之争: 一种基于证据的观点

关于游泳推进力的生成机制, 运动科学界曾有过一场著名的争论: 推进力主要来自升力还是阻力? 早期的理论认为, 游泳者通过划水, 将手掌和前臂像机翼一样斜向水流, 产生类似于伯努利原理下的升力来推动身体前进。这种理论支持S形划水路径, 认为其能最大限度地利用升力⁹。

然而, 现代运动生物力学研究提供了相反的证据。多项研究表明, 优秀的游泳运动员在划水时, 手

掌和前臂的迎水角度更接近90度，而这个角度恰恰是产生最大阻力的角度。这意味着，在自由泳和仰泳中，阻力是产生推进力的主导力量。划水路径也并非过去所认为的夸张S形，而是更接近直线的路径，其目的是为了不断寻找“新”的水体来施加力量，而不是在已经加速的水体中移动⁹。

但这并不意味着升力毫无作用。现有研究表明，在划水的拉水阶段，阻力推进力显著高于推水阶段，而在推水阶段，升力对推进力的贡献则显著增加¹⁰。这揭示了一个更精细的“阻力与升力并存”的动态。划水路径中微妙的曲线，特别是手掌姿态的变化，可能是在利用升力来补充和优化整体的推进效果。因此，高效的划水不是简单地向后推水，而是在整个过程中持续对水施加力量，并根据手掌角度的变化，综合利用阻力与升力来维持稳定的向前推力。

2.2 手臂、腿部与身体转动的推进作用

手臂划水是游泳运动员获得推进力的主要方式。在短距离自由泳冲刺时，男运动员的手臂推进力贡献率约为70.3%，女运动员约为66.6%，而腿部推进力贡献率则分别为29.7%和33.4%¹⁰。这表明，手臂是大多数泳姿的“主引擎”¹¹。然而，不同泳姿中，手臂和腿部的推进作用存在显著差异。在蛙泳中，腿部的蹬夹水是核心动力，而手臂动作则更多地辅助换气¹²。在仰泳中，腿部的作用也比自由泳更具推进力¹³。

值得注意的是，研究发现自由泳运动员在划水时，左右两臂产生的推进力往往存在明显差异，最高可达246.5牛顿¹⁰。这种不对称性通常与呼吸动作有关。为了换气，游泳者需要转动身体，这会改变一侧手臂的划水路径，导致其推进效率低于另一侧。这种力量的不平衡不仅会降低速度，还可能导致身体失去平衡，引发剪刀腿等不当动作⁴。相比之下，仰泳由于没有呼吸导致的身体转动，其左右臂的划水推进力差异则不显著¹⁰。因此，通过改进技术、提高弱侧手臂力量来减少划水不对称性，是提升自由泳效率的关键。

表2: 不同泳姿的推进力贡献

泳姿	主要推进力来源	推进力贡献(近似值)
自由泳	手臂	手臂约70%，腿部约30%(冲刺状态)
仰泳	手臂与腿部共同作用	腿部的推进作用比自由泳更突出
蛙泳	腿部	腿部是核心动力，手臂主要辅助换气

蝶泳	手臂与腿部共同作用	腿部的鞭状打水提供强大推进力，手臂划水协同发力
----	-----------	-------------------------

2.3 超越游泳者：涡流与流体动力学

推进力并非仅仅是向后推水那么简单。流体动力学研究揭示，游泳者在划水时会在身体周围和尾迹中产生复杂的流体结构，即涡流¹⁴。某些生物，如水母，能巧妙地利用地面效应和涡流来高效推进，其收缩身体时产生的两对漩涡，能相互作用，提供额外的推动力¹⁴。这一现象为仿生学研究提供了灵感，未来工程师或许能借鉴水母的智慧设计水下航行器。

在游泳运动研究中，先进技术如高精度传感器、人工智能和深度学习也正在被用来更精确地分析游泳技术。通过计算流体力学(CFD)模拟和深度强化学习，研究人员能够探索和发现最有效的流体-结构相互作用，从而为优化人类游泳技术提供全新的路径¹⁶。这些前沿研究正将游泳技术的分析从简单的观察和测量，推向基于第一性原理的智能优化，预示着未来游泳训练可能不再局限于经验，而是由数据和算法驱动。

第三章：从理论到技术——泳姿生物力学指南

本章将流体力学原理应用于具体泳姿，提供一份从科学角度出发的技术指南。

3.1 自由泳：最快泳姿的物理学

自由泳是阻力系数最小的竞技泳姿，其速度优势主要来源于身体的流线型姿态和高效的推进力生成。自由泳的关键在于身体围绕纵轴的平稳转动，这不仅能帮助保持流线型，方便换气，还能使划水的手臂能够持续抓住“新”水体，提供更强的推进力¹⁸。手部动作是核心，入水时手臂应前伸，并在划水过程中保持高肘姿态，以形成高效的划水面。腿部的鞭状打水则主要用于稳定身体，防止下半身下沉，从而最大化地减少压阻。

3.2 仰泳：水上平衡的艺术

仰泳是唯一仰卧于水面的泳姿。其挑战在于如何在保持仰卧姿势的同时，维持流线型并有效推进。仰泳时，头部起着舵的作用，身体应平直地仰卧在水中，保持一个很小的迎角，以减少阻力¹⁹。仰泳的腿部打水是其主要推进力之一，作用比自由泳更突出¹³。手部划水路径呈S形，出水时小指先入水。仰泳的独特之处在于，由于没有呼吸的干扰，其左右臂的划水推进力可以做到高度对称¹⁰，这使得技术上的平衡更容易达成。

3.3 蛙泳与蝶泳：节奏与波浪的力量

蛙泳：蛙泳的推进力主要来自腿部的“收-翻-蹬-夹”动作¹²。特别是最后的“夹水”动作，能够提供强大的向前推力。手臂的划水动作相对较小，主要功能是辅助抬高身体进行换气，而非提供主要的推进力¹²。因此，许多游泳者将重点放在手臂，反而会打乱节奏，影响更重要的腿部推进。

蝶泳：蝶泳的技术特点是双臂和双腿同时发力，模仿海豚的鞭状动作²⁰。这种波浪状的身体动作从核心发力，通过躯干的起伏将力量传导到腿部。腿部的海豚腿打水是蝶泳的重要推进力来源，尤其是在水下出发和转身后，其速度优势非常明显²⁰。蝶泳对核心力量 and 身体协调性的要求极高，其鞭状动作旨在高效地利用水流，以较小的能量消耗实现更大的推进。

第四章：通往精通之路——流体力学学习路线图

对于有志于通过流体力学原理精进游泳技能的游泳者，以下是一条结构化的学习路径。

4.1 基础知识：先学什么

首先，应从建立对流体力学的感性认识开始。可以从通俗易懂的科普读物入手，例如**《世界第一简单流体力学》**，这本书以漫画形式深入浅出地讲解流体力学基本概念，包括流体性质、阻力与升力等，是物理学初学者的理想入门书²²。

建立概念框架后，可进一步学习运动生物力学领域的专业教材，例如由高等教育出版社出版的**

《运动生物力学(第三版/第四版)》**²³。这类教材将流体力学原理与人体运动相结合,帮助读者理解游泳技术中的具体力学问题。

当具备了高等数学和理论力学的基础知识后,可以尝试学习大学级别的专业课程,例如上海交通大学的线上课程**《流体力学》**²⁵。此类课程将提供严谨的理论框架和数学工具,帮助对流动问题进行更深入的机理分析和计算。

4.2 推荐学习资源

- 入门读物:
 - 《世界第一簡單流體力學》(作者:武居昌宏),世茂出版社。
 - 适用人群:对流体力学零基础或初次接触的读者。
- 专业教材:
 - 《运动生物力学》(第三版),赵焕彬等,高等教育出版社²³。
 - 《运动生物力学》(第四版),陆阿明等,高等教育出版社²⁴。
 - 适用人群:希望系统学习运动科学与力学结合的体育专业学生或教练。
- 线上课程:
 - 网易云课堂,上海交通大学《流体力学》²⁵。
 - 适用人群:具备高等数学和理论力学基础,希望获得严谨理论训练的学习者。
- 技术方法:
 - “鱼式游泳”(Total Immersion, TI)方法,由泰瑞·罗克林发明²。该方法虽然不直接教授流体力学理论,但其核心原则——平衡、流线化和减少阻力,正是对流体力学原理的完美应用。

4.3 实践应用:将理论转化为感觉

学习流体力学不应止于纸面,而应通过实践将理论转化为身体的“感觉”。以下是一些针对特定原理的训练建议。

- 流线型与平衡:
 - 训练:进行静止滑行练习和前交叉划臂技术练习。
 - 目的:感受身体在水中是否能够保持水平,臀部和腿部是否下沉。通过专注于将手臂和头部前伸,感觉身体像鱼雷一样穿过水面,以此来减少压阻和波阻²。
- 推进力与水感:
 - 训练:使用划水浮板或蛙鞋进行打腿练习,或进行单臂划水练习。
 - 目的:打腿练习可以帮助增强脚踝的柔韧性和打水效率,从而更好地维持身体平衡⁶。单

臂划水则能突出左右臂的力量和划水效率差异，帮助发现和纠正技术缺陷¹⁰。

- 划水路径：
 - 训练:进行高肘抱水练习。
 - 目的:在划水时，有意识地将手肘抬高，感受手掌和前臂是如何形成一个对水面积更大的“桨面”，从而产生更强的推进力²⁷。

表3: 流体力学学习路线图与应用训练

核心流体力学概念	相关理论/原理	推荐训练动作	目的与感受
减阻	压阻、波阻、浮力与重心平衡	静止滑行、浮板打腿、前交叉划臂	感受身体的水平平衡，体会如何将自己变成最细长的“鱼雷”，减少水阻。
增推	阻力推进、高肘抱水	单臂划水练习、划水桨辅助练习	感受手掌和前臂如何抓到“新”水体，提供持续向前的推力，并识别左右臂力量差异。
技术协同	身体转动、推进力贡献	完整划水节奏练习	将打腿的平衡力、划水提供的推力、以及身体转动的协同作用整合在一起，形成高效流畅的泳姿。

结论

综上所述，游泳是一项深刻融合流体力学原理的运动。精进游泳技能，不仅仅是提高肌肉力量，更是一场关于流体动力学的实践探索。通过理解并应用压阻、摩阻、波阻等阻力原理，以及浮力与重心的平衡，游泳者可以从被动地“对抗”水，转变为主动地“利用”水，使身体成为一个高效的流线型系统。

手臂和腿部的推进力并非相互独立，而是相辅相成。腿部的主要作用在于维持平衡和减少阻力，而手臂则是主要的推进引擎。现代研究表明，划水中的阻力是推进力的主要来源，而身体的转

动、手掌的微妙变化则协同增强效率。

掌握这些原理并将其融入日常训练，是通往更高水平游泳的必由之路。从理论学习到实践应用，每一次划水和打腿都应带有对流体运动的精确感知。一个拥有科学思维的游泳者，其最大的竞争优势在于，他们将游泳视为一项可以不断优化和创新的智力挑战，而不仅仅是体能的较量。

参考文献

⁵ 中科院力学所. (2023). 游泳流体力学原理.

https://imech.cas.cn/dj/ycwz/dysb/202304/t20230413_6738419.html

¹⁴ 科普中国. (2021). 游泳流体力学原理.

https://kepu.gmw.cn/2021-01/26/content_34570456.htm

¹⁰ 体育科学. (2021). 游泳如何利用升力获得推进力.

<http://tykx.xml-journal.net/cn/article/pdf/preview/10.16469/j.css.202108010.pdf>

⁵ 中科院力学所. (2023). 自由泳流体力学.

https://imech.cas.cn/dj/ycwz/dysb/202304/t20230413_6738419.html

²⁰ 客观日本. (2024). 蝶泳流体力学.

https://www.keguanjp.com/kgjp_keji/kgjp_kj_smkx/pt20240426000002.html

¹ 迪卡侬博客. (n.d.). 身体姿势如何影响水阻.

<https://blog.decathlon.tw/you-yong-shi-ge-jue-qiao-rang-ni-you-yong-bu-hui-lei>

³ 合肥市图书馆. (n.d.). 身体姿势如何影响水阻.

<https://www.hflib.org.cn/article/43367999-20250818.shtml>

¹¹ 台北大学体育系. (n.d.). 手部划水动作如何产生推进力.

https://web.ntpu.edu.tw/~jasonchen/sports_classroom/swimming_classroom/%B4%E5%AA%A7%DE%B3N%B1%DO%AB%C7.htm

²⁷ 国立中兴大学应用数学系. (n.d.). 手部划水动作如何产生推进力.

https://amath2.nchu.edu.tw/hcwang/Swimming_2.html

⁶ 迪卡侬博客. (n.d.). 打腿动作在游泳中的作用.

<https://blog.decathlon.tw/tou-guo-tui-bu-da-shui-jing-jin-you-yong-ji-qiao>

⁴ 武汉市体育局. (2021). 打腿动作在游泳中的作用.

https://tyj.wuhan.gov.cn/ggfwsx_14800/tyjs/202106/t20210621_1723536.html

²² 博客来. (n.d.). 游泳流体力学入门科普.

<https://www.books.com.tw/products/0010555881>

²³ 中国大学MOOC. (n.d.). 游泳生物力学书籍推荐.

https://www.icourses.cn/sCourse/course_2435.html

²⁴ 高等教育出版社. (n.d.). 游泳生物力学书籍推荐.

<https://www.hep.com.cn/book/show/22e8d97a-819c-4410-add1-4b8c95237c80>

²⁵ 中国大学MOOC. (n.d.). 游泳流体力学视频课程.

<https://www.icourse163.org/course/SJTU-1206313839>

⁵ 中科院力学所. (2023). 如何学习游泳流体力学.

https://imech.cas.cn/dj/ycwz/dysb/202304/t20230413_6738419.html

¹⁴ 科普中国. (2021). 如何学习游泳流体力学.

https://kepu.gmw.cn/2021-01/26/content_34570456.htm

¹⁶ 科技期刊开放平台. (2024). 游泳生物力学研究.

<https://pubs.cstam.org.cn/article/doi/10.16156/j.1004-7220.2024.04.002>

⁵ 中科院力学所. (2023). 游泳生物力学研究.

https://imech.cas.cn/dj/ycwz/dysb/202304/t20230413_6738419.html

¹⁷ The Moonlight. (n.d.). 水动力学在游泳中的应用论文.

<https://www.themoonlight.io/zh/review/learning-agile-swimming-an-end-to-end-approach-without-cpgs>

²⁶ 联经出版. (n.d.). 鱼式游泳自学教室.

<https://www.linkingbooks.com.tw/books/15210404>

²⁸ Wikipedia. (n.d.). 游泳阻力类型 身体姿态.

<https://zh.wikipedia.org/zh-cn/%E6%B8%B8%E6%B3%B3>

¹⁹ Wikipedia. (n.d.). 仰泳身体姿势流体力学.

<https://zh.wikipedia.org/zh-cn/backstroke>

¹⁸ Wikipedia. (n.d.). 爬泳.

<https://zh.wikipedia.org/zh-cn/%E7%88%AC%E6%B3%B3>

⁹ sportsci.org. (n.d.). swimming propulsion lift vs drag.

<https://www.sportsci.org/news/biomech/skeptic.html>

²⁹ Research VU. (n.d.). swimming propulsion lift vs drag.

https://research.vu.nl/files/280351807/Effective_propulsion_in_swimming.pdf

¹⁰ 体育科学. (2021). 游泳推进力升力与阻力贡献.

<http://tykx.xml-journal.net/cn/article/pdf/preview/10.16469/j.css.202108010.pdf>

¹⁵ encyclopedie-environnement.org. (n.d.). Drag suffered moving bodies.

<https://www.encyclopedie-environnement.org/zh/physique-zh/drag-suffered-moving-bodies/>

⁵ 中科院力学所. (2023). 自由泳技术 流体力学分析.

https://imech.cas.cn/dj/ycwz/dysb/202304/t20230413_6738419.html

³⁰ Wikipedia. (n.d.). 蛙泳.

<https://zh.wikipedia.org/zh-cn/%E8%9B%99%E6%B3%B3>

¹² Sable Optics. (n.d.). 蛙泳划水 推进力.

<https://www.sableoptics.com/blogs/%E9%81%94%E4%BA%BA%E6%8E%A8%E8%96%A6/104>

² Wikipedia. (n.d.). 鱼式游泳 流体力学.

<https://zh.wikipedia.org/zh-cn/%E9%AD%9A%E5%BC%8F%E6%B8%B8%E6%B3%B3?oldformat=true>

⁷ Wikipedia. (n.d.). 泰瑞·罗克林 游泳.

https://zh.wikipedia.org/zh-cn/Total_Immersion

⁸ Wikipedia. (n.d.). 泰瑞·罗克林 游泳.

https://zh.wikipedia.org/zh-tw/Total_Immersion

²⁰ 客观日本. (2024). 蝶泳技术 流体力学分析.

https://www.keguanjp.com/kgjp_keji/kgjp_kj_smkx/pt20240426000002.html

²⁰ 客观日本. (2024). 蝶泳腿部推进力 科学.

https://www.keguanjp.com/kgjp_keji/kgjp_kj_smkx/pt20240426000002.html

¹³ 中国体育科学网. (n.d.). 仰泳水下腿和身体不同位置技术动作的分析.

http://image.hanspub.org/Html/16-3081004_85395.htm

³¹ 上海外国语大学体育健康学院. (n.d.). 蝶泳身体姿势 阻力.

<https://ty.sisu.edu.cn/tyjkzs/8081f8d6f4214e2690abbb54add3a584.htm>

²¹ 新浪体育. (2012). 蝶泳身体姿势 阻力.

<http://2012.sina.com.cn/cn/aq/2012-07-30/134827313.shtml>

Works cited

1. 十個訣竅讓你游泳不會累！ - 迪卡儂運動誌, accessed September 19, 2025, <https://blog.decathlon.tw/you-yong-shi-ge-jue-qiao-rang-ni-you-yong-bu-hui-lei>
2. Total Immersion - 维基百科, 自由的百科全书, accessed September 19, 2025, <https://zh.wikipedia.org/zh-cn/%E9%AD%9A%E5%BC%8F%E6%B8%B8%E6%B3%B3?oldformat=true>
3. www.hflib.org.cn, accessed September 19, 2025, <https://www.hflib.org.cn/article/43367999-20250818.shtml>
4. 技巧| 自由泳游速慢？80%的人都是因为这个原因 - 武汉市体育局, accessed September 19, 2025,

- https://tyj.wuhan.gov.cn/ggfwsx_14800/tyjs/202106/t20210621_1723536.html
5. 下届奥运会游泳观赛指南(力学篇), accessed September 19, 2025, https://imech.cas.cn/dj/ycwz/dysb/202304/t20230413_6738419.html
 6. 透過腿部打水精進游泳技巧 - 迪卡儂運動誌, accessed September 19, 2025, <https://blog.decathlon.tw/tou-guo-tui-bu-da-shui-jing-jin-you-yong-ji-qiao>
 7. Total Immersion - 维基百科, 自由的百科全书, accessed September 19, 2025, https://zh.wikipedia.org/zh-cn/Total_Immersion
 8. Total Immersion - 维基百科, 自由的百科全书, accessed September 19, 2025, https://zh.wikipedia.org/zh-tw/Total_Immersion
 9. Lift or drag in freestyle swimming? - SportSci.org, accessed September 19, 2025, <https://www.sportsci.org/news/biomech/skeptic.html>
 10. 游泳减阻与推进力技术优化研究进展 - 体育科学, accessed September 19, 2025, <http://tykx.xml-journal.net/cn/article/pdf/preview/10.16469/j.css.202108010.pdf>
 11. 游泳技術教室, accessed September 19, 2025, https://web.ntpu.edu.tw/~jasonchen/sports_classroom/swimming_classroom/%B4%E5%AA%A7%DE%B3N%B1%D0%AB%C7.htm
 12. 蛙式換氣就下沉? 最詳盡蛙泳動作拆解攻略就在這! 看完游蛙式變超輕鬆 - SABLE 黑貂, accessed September 19, 2025, <https://www.sableoptics.com/blogs/%E9%81%94%E4%BA%BA%E6%8E%A8%E8%96%A6/104572>
 13. 仰泳中水下腿和身体不同位置的研究Study on Different Positions of Underwater Leg and Body in Backstroke - 汉斯出版社, accessed September 19, 2025, https://image.hanspub.org/Html/16-3081004_85395.htm
 14. 懂得流体力学, 它们身体构造简单, 却是游泳高手 - 光明科普云, accessed September 19, 2025, https://kepu.gmw.cn/2021-01/26/content_34570456.htm
 15. 运动物体受到的阻力- 环境百科全书, accessed September 19, 2025, <https://www.encyclopédie-environnement.org/zh/physique-zh/drag-suffered-moving-bodies/>
 16. 巴黎奥运周期竞技游泳运动生物力学研究进展 - 力学期刊网, accessed September 19, 2025, <https://pubs.cstam.org.cn/article/doi/10.16156/j.1004-7220.2024.04.002>
 17. [论文审查] Learning Agile Swimming: An End-to-End Approach without CPGs - Moonlight, accessed September 19, 2025, <https://www.themoonlight.io/zh/review/learning-agile-swimming-an-end-to-end-approach-without-cpgs>
 18. 爬泳- 维基百科, 自由的百科全书, accessed September 19, 2025, <https://zh.wikipedia.org/zh-cn/%E7%88%AC%E6%B3%B3>
 19. 仰泳- 维基百科, 自由的百科全书, accessed September 19, 2025, <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/backstroke>
 20. 科学研究- 筑波大学等发现“蝶泳腿”打水速度越快, 越能充分利用水流 - 客观日本, accessed September 19, 2025, https://www.keguanjp.com/kgjp_keji/kgjp_kj_smkx/pt20240426000002.html
 21. 各类泳姿揭秘: 蛙泳最慢主要练腿蝶泳最费力 - 奥运- 新浪, accessed September 19, 2025, <http://2012.sina.com.cn/cn/aq/2012-07-30/134827313.shtml>
 22. 博客來-世界第一簡單流體力學, accessed September 19, 2025, <https://www.books.com.tw/products/0010555881>

23. 运动生物力学 - 爱课程, accessed September 19, 2025,
https://www.icourses.cn/sCourse/course_2435.html
24. 运动生物力学(第四版)|图书产品 - 高等教育出版社, accessed September 19, 2025,
<https://www.hep.com.cn/book/show/22e8d97a-819c-4410-add1-4b8c95237c80>
25. 流体力学_上海交通大学_中国大学MOOC(慕课), accessed September 19, 2025,
<https://www.icourse163.org/course/SJTU-1206313839>
26. 魚式游泳自學教室:10堂課教你輕鬆持久的自由式(DVD) + 輕鬆有效的魚式游泳(書), accessed September 19, 2025,
<https://www.linkingbooks.com.tw/books/15210404>
27. 自由式雙手的平衡, accessed September 19, 2025,
https://amath2.nchu.edu.tw/hcwang/Swimming_2.html
28. 游泳- 维基百科, 自由的百科全书, accessed September 19, 2025,
<https://zh.wikipedia.org/zh-cn/%E6%B8%B8%E6%B3%B3>
29. Effective propulsion in swimming: Grasping the Hydrodynamics of Hand and Arm Movements - VU Research Portal, accessed September 19, 2025,
https://research.vu.nl/files/280351807/Effective_propulsion_in_swimming.pdf
30. 蛙泳- 维基百科, 自由的百科全书, accessed September 19, 2025,
<https://zh.wikipedia.org/zh-cn/%E8%9B%99%E6%B3%B3>
31. 游泳教学:仰、蛙、蝶、自 - 体育部, accessed September 19, 2025,
<https://ty.sisu.edu.cn/tyjkzs/8081f8d6f4214e2690abbb54add3a584.htm>