

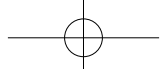
第一篇

动的世界

宇宙在膨胀、地球在自转、分子在运动、生物在演化，因此，我们处在一个动的世界之中。运动有形态，位置的更替、姿态的改变、速度的增减，谱写出动感的旋律。演化有节奏，数目的变动、大小的变化、范围的缩放，让大自然生生不息。

千变万化，却离不开自然规律的约束。简单、简约、简美，才是永恒的自然规律。物理学再复杂，也就七个基本物理量单位。简美的流线型物体，能顺利地避让挡路的空气和水，因此更能接近速度的极限。再复杂的演化现象，也会遵循省时、省力、省料甚至物极必反的原则。速度是一种能量，专业搏击手能击打出一千千克的打击力。直线运动如果无法及时释放能量，那么旋转就是不错的选择。雨滴休想消灭轻巧的蚊子，侧歪一下就躲掉了。

深奥的科学规律，当与我们的直觉能发生共鸣时，就成了我们理所当然的常识。于是，我们本能地会认为侧踹的足球会走弧线、带酒窝的高尔夫球飞得更远、旋转的陀螺能躲猫猫般地不倒、汉字的笔画不会太少也不会太多、速度高了会有限制。我们走进动的世界，探求隐喻在常识中的原因，会让我们的常识得到升华，会让我们发现更多的动感形态。

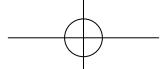


1.1 让形状和姿态疏通运动的路径

空中有小得看不见、多得数不清的空气分子，水中也是如此。空气和水也爱美。它们用事实告诉你，拥有顺从我的形状和姿态，就可以给你让道，甚至把你举起来，可以让你穿梭自如、风驰电掣。如果你不修边幅，长得像随便捡来的小石头一样，你将遭遇重重险阻。于是，高速列车、现代汽车和飞机乖乖地披上了流线型外衣。高尔夫球就不是流线型，只能用酒窝型凹槽把气流磕乱，磕得气流找不到方向，才能远走高飞。水与空气用同样的方式和穿梭的物体打交道，飞行的谜底居然从汉代发明的橹能找到答案。答案很简单：直接抬起你的头，或者带动空气旋转间接抬起你的头，看得高才能飞得远。抬头也不要过分，打水漂就有一个合适的迎水角。

1. 打水漂 魔幻迎水角

将一块扁平小石片贴水扔出去，让它在水面弹跳并激起一串串涟漪、一朵朵水花，这就是打水漂，作为民间活动历史悠久，作为国际赛事只有二十余载。边在空中飞行、边在“蜻蜓点水”，原理似乎深奥不可理解。它是怎么弹跳的？揭开其神秘面纱，既可掌握增加弹跳次数的技巧，也可启发水上和空中的一些应用。原来，在入水时，水漂在腹部制造一个冲浪，凭惯性做冲浪腾空，当然就能弹跳了。你得让水漂抬起一个角度入水，才能压出小冲浪，这个角度等于 20 度时你会像魔术师一样让水漂不停地弹跳。出手时让水漂旋转，它会飘得更直更稳。



水漂弹跳的秘密 冲浪腾空 (图 1.1)

在池塘边，捡起一块扁平的石块，朝水面尽量水平地甩出去，使石块击水后，在水面连续弹跳，这就是打水漂。你可以把水漂为何能弹跳想象得极其复杂，甚至去看深奥难懂的科学报道。可是，既然那么容易弹跳，道理就应该十分简单。

大海边波涛滚滚，冲浪爱好者踏着冲浪板，获得速度后，像有速度的汽车冲上山坡一样，沿着波浪的斜坡面向浪尖滑行，离开浪尖时凭惯性腾空，再落到水面去追逐另外一个波浪。这叫冲浪运动，道理却和水漂弹跳十分接近。

水漂抬起适当的角度撞击水面时，将本来平静如镜的水面推出了一个小浪。小浪在水漂的腹部，或者说水漂骑在小浪上。于是，水漂沿着像斜坡一样的小浪，凭惯性就可以滑向空中，接着在重力作用下再次击水，进入下一轮弹跳。

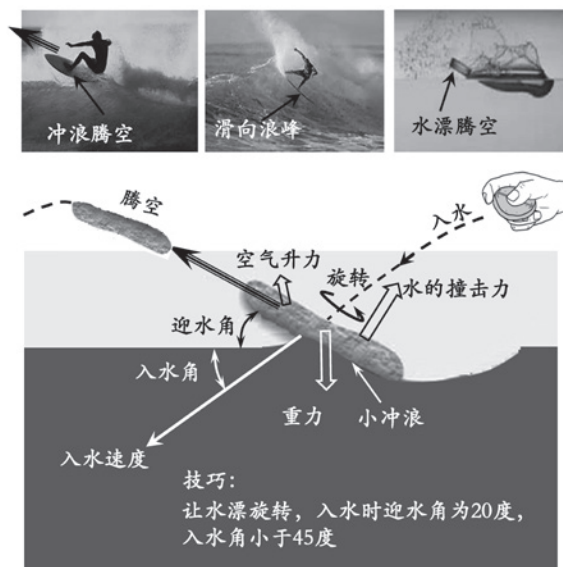
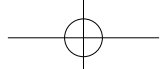


图 1.1 水漂击水挤出波浪，做冲浪腾空



运动的旋律 变化的世界

如此，不难理解，水漂不能平着击水，那样产生不了有斜坡水面的小波浪。也不能垂直下砸，那样就没了向前滑行的惯性。

说得更深一点，水漂压水时推挤出有斜坡的浪，同时被水的冲击力消化掉入水时向下运动的那个速度分量。当这个向下运动分量完全消失后，就凭依然存在的水平速度惯性，在水漂尾部水压以及水漂头部一定的空气升力辅助下，如同冲浪板，沿着小浪的斜坡向上爬，尾部到达浪尖后凭惯性腾空。

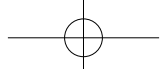
水平速度分量要求足够大，腾空惯性才够。垂直速度分量要合适，才能有效压出斜波浪且不会突然沉下去。这就要求迎水角和入水角大小适中，否则要么水平速度不够，要么垂直速度不够或太高。

入水那一刻，水漂底面与水平面的夹角是迎水角。入水那一刻，飞行速度方向与水平面的夹角是入水角。每个角太大太小都不行。你可以分别想象是 0 度或 90 度这种极端情况时，看看会导致什么不利。于是一定有更合适的值。

迎水角和入水角加起来，就是水漂的底面与飞行方向的夹角，在航空上称为迎角（也称为攻角或冲角）。这个迎角使水漂能获得空气给它的一点升力（以后会介绍原因）。这个升力使水漂飞行时，不会下落太快，从而在弹跳帮助下飘得更远。迎水角和入水角到底多大合适？这个吸引了科学家的研究。

2004 年，法国马赛大学的非平衡现象研究所的克拉尼特、赫森和伯克特三位科学家制作了一个带自动反射装置的打水漂机器，可以弹射出不同速度、转速、迎水角和入水角的水漂（铝制飞碟）。用高速摄像机拍摄水漂击水和弹跳过程，获得入水速度、迎水角、入水角和击水时间。一旦水漂碰水，可在水面停留 20 毫秒以上才弹起来，这个过程就在筑小冲浪并腾空。水漂入水速度不能太低，否则漂不起来。在他们的试验中，这个速度必须在每秒 2.5 米以上。

他们发现：入水角不能超过 45 度，如果超过 45 度，就会直接



入水，不会有弹跳；迎水角为 20 度时效果最好，即不管其他条件如何，如果迎水角是 20 度，那么弹跳次数最多。这一发现在 2004 年 1 月 1 日发表在英国著名科学杂志《自然》第 427 卷第 29 页上。从此以后，20 度这个迎水角，就被称为打水漂的魔幻角。

当然，还有一些其他技巧，可帮助弹跳次数更多。在此之前，先看看一些比赛结果以及比赛规则。只有在某种规则约束下，结果才有意义。

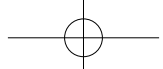
民间与正规打水漂 水漂鱼雷与打水漂飞行(图 1.2、图 1.3)



图 1.2 打水漂活动

以适当的方式扔向水面的石块，能在水面弹跳，普通老百姓偶尔也能发现存在这种现象。因此，民间一些人似乎从小就知道如何打水漂。

1989 年由科尔曼·麦吉成立了北美打水漂协会并组织打水漂世界锦标赛。该项赛事按弹跳次数记名次。2013 年 9 月诞生的一个记录是 88 次。1997 年出现了苏格兰世界打水漂锦标赛，赛事规则为按石块漂浮距离记名次。其他一些赛事包括威尔斯公开赛和英国公开锦标赛。曾有过漂浮 120 米的纪录。要知道，掷标枪的世界纪录也就 100 米左右，手榴弹能扔出去 40 米都很难。如果向空中扔



运动的旋律 变化的世界

一块石头要落到 120 米远的地方，哪怕不考虑空气阻力等，从离地 2 米的高度以 45 度这样的能使自由落体飞得最远的角度出手，初速度至少需要达到 34 米/秒。让手甩出这么高的初速度，难度极大。可见，水上漂可以轻易让物体跑得更远。

宾夕法尼亚州的“河道水漂节锦标赛”采用的比赛规则是：水漂选手自带一篓六个石片。石片必须是自然的，不能在石片上添加或剔除任何有助于产生推进的东西。比赛之前，赛事裁判将检查水漂石片是否满足规则。对于特殊情况的裁定，裁判可以咨询宾夕法尼亚州水漂最高委员会。最高委员会的裁定具有终审效力。

比赛开始前，由某选手掷漂，第二次出现漂亮的弹跳时，比赛即可开始。每位选手有 60 秒完成一次掷漂。裁判将弹跳次数依次记录。

有趣的是，水漂运动涉及一些专用术语。这些术语的英文单词目前在普通字典里很难找到。依据掷水漂的水平和发挥，水漂可能会出现弹漂、爬漂、沉漂、空漂和危漂等情况。

打水漂的原理也启发了一些应用。巴恩斯（Barnes Wallis）在“二战”时期发明了水漂炸弹，1943 年 5 月 16 日晚，英军用水漂炸弹空袭了德国鲁尔河上的三座大坝。炸弹在水面弹跳接近目标，降低了高空瞄准的要求。时速为 390 千米的轰炸机在距离大坝水平距

离 400 米和垂直距离 18 米左右的高空，投下旋转炸弹。水漂弹在水面弹跳的道理与普通水漂差不多。

普通飞机的飞行高度一般在 20 千米以下，利用稠密空气产生的升力飞行。卫星在 100 千米以上

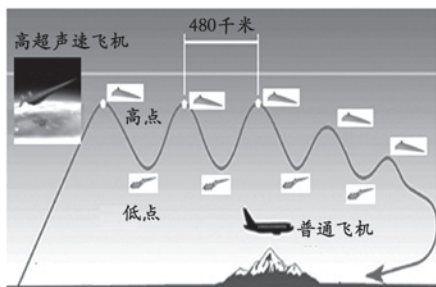
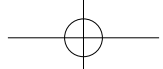


图 1.3 “水漂式”飞行轨迹



用轨道离心力飞行。在这两个高度范围的中间区域，两种飞行方式都不足以支撑有效飞行，但“水漂式”高超声速飞行可望解决问题，虽然“弹跳”方式和打水漂不完全一样。飞得低一点的时候，空气足够稠密从而发动机能点火产生推力，但长久平飞阻力很大；飞得高一点阻力小些，但空气很稀薄从而发动机无法点火。可以设想在35~60千米的高度以打水漂形式波浪式飞行。在“浪”底，由于空气稠密，可点燃发动机，产生的推力可使飞机爬飞到60千米高度。接近“浪”峰时，由于空气稀薄发动机只能熄火，但可凭爬升阶段获得的惯性在阻力较低的“浪”尖高度滑翔一段距离。这样波浪式飞行，一个波浪就将近飞500千米的距离。

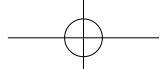
让水漂弹跳次数更多

我们希望弹跳次数越多越好，漂得越远越好。可是，我们普通人扔出去的漂，能弹跳10次就不错了。水漂在经历甩手、脱手、空中飞行、击水、弹跳和再入水的过程中，其实会涉及较为复杂的飞行原理以及与水的作用过程。史密斯就给出了一个打水漂方程式，来描述这些作用。

经过科学指导的打水漂则能将弹跳次数提高到数十次。例如，科尔曼·麦吉以12米/秒的速度和每秒14圈的转速扔出石块，弹跳次数达到了38次。

除了使迎水角接近20度、入水角尽量小、出手时让水漂旋转外，水漂的尺寸也有讲究。扁平石头厚度不超过6毫米，且直径在3~6厘米。石头的密度一般为每立方厘米2.5~3.3克，即每立方米2.5~3.3吨。如果取平均值，那么大致是2.9克/立方厘米。对于直径在5厘米，厚度为6毫米的石片，体积大致是12立方厘米，重量大致是34克，即不到1两的重量。

如果观看北美河道水漂节比赛视频，我们会发现，赛手在扔水



运动的旋律 ④ 变化的世界

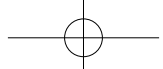
漂时，身体向后倾斜，手臂与身体呈 45 度左右。一般用大拇指与中指夹住石片，而用食指勾住石片外圆周。甩水漂时，出手高度离水面不要太高，以使入水角远小于 45 度；抬起石片，让其迎水角接近 20 度，同时尽量让石片高速旋转（在出手时，勾住外圆周的食指用力旋转）。

之所以要旋转，是因为石片飞出去后，姿态可能不平，可能是一侧先触水。这样，石片可能跑偏或者出现不必要的翻滚。如果高速旋转，就会产生旋转助稳效应（因为旋转也是一种惯性，稍微一点点扰动很难改变姿态），使飞行的石片保持基本稳定，使石片弹跳次数尽可能多。

如果弹跳次数多，漂行距离远，那么就可以欣赏到丰富的水面波动现象。在每个落水点，会产生一串串波纹，呈圆形向外扩展。这样一串串的由落水点发出的水波波纹，也称为涟漪。我们会发现一些奇妙的现象，虽然石片的形状不一定是圆的，但水面波纹是很圆的圆圈。前面时刻的落水点发出的圆圈扩散的速度比石片滑行速度慢，因此一系列落水点留下的涟漪，影响范围都在石片后面。但在末尾阶段，石片如果因减速出现爬漂，即慢慢地在水面漂，那么涟漪波纹可能跑得比石片快。这些水面现象，是极其丰富的水面波现象的一部分。

石片击水，一方面将水面击打出漏斗一样的压痕形成小冲浪，另一方面激发出水花。石片弹开后，周边的水回填，产生震荡，就激起了上面说的涟漪。水花中的水滴尺寸有大有小，小的近似呈球形。有种力量将小水珠包成圆球形，这个力量称为表面张力。

石片的飞行原理和旋转的稳定作用，水面波动现象，在后面会有更多的展示和讨论。



2. 不修边幅的飞石

如果你用形状一点儿也不扁平的石头打水漂，就没那么容易了。别说不能在水上漂，在空中也会惹恼空气遇到障碍。谁都知道，抛向空中的石头，在地球引力（也称为重力）作用下会加速下落。可是，除了重力，别忽略和小看那些看不见的空气分子。空气可不是那么好对付的。分子很小，可是它们多啊。它会挡在前面，你得推开它；它又在后面尾随，你得拖着它。就是不让你省力，它试图阻止小石头飞得更快、飞得更远。小石头目前还不了解空气的脾气与爱好，当然会遇阻啦。空气分子活蹦乱跳的，你在其中穿梭，不缠着你才怪，想想捅了马蜂窝是什么情况。

千奇百怪的下落与飞行现象（图 1.4）

还是说石头，肯定令人失望：石头有什么好说的，无非就是说它飞着飞着会下落，空气还会使坏，让它飞得慢。可是别急，也不

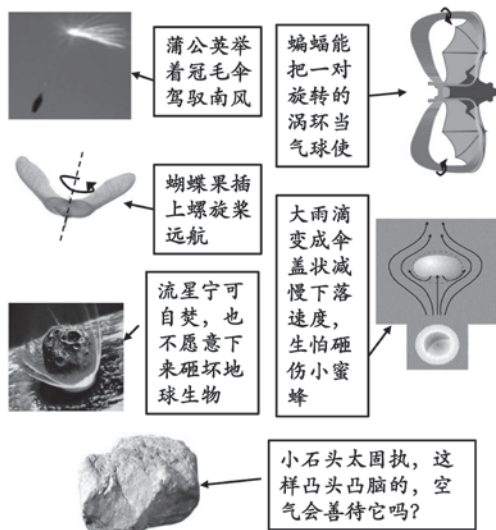
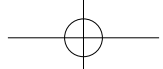


图 1.4 各种形状的物体在空中



运动的旋律 变化的世界

要下意识地对空气产生不好的印象。首先，即使这显得枯燥，那么能从枯燥中也看到乐趣，就不会在乐趣中看到枯燥。

这里之所以要说石头，是想说明这样一个道理：因为小石头不愿意了解空气的脾气，所以就会遇到困难。但不是所有东西都会像小石头这样不修边幅。就像人一样，修饰一下，别人可能对你更客气。空气不一定比人的境界高，难怪它也会以貌取人。蒲公英就知道举着华丽的冠毛伞，南风当然就成了它们的游乐场。大雨滴在空气中穿梭，会知趣地变成伞盖状，这样空气就会帮它减小地球引力的加速作用，使雨滴徐徐下落，从而不会砸伤小蜜蜂遭遇官司。小鸟和昆虫选择了精美的翅膀，空气气流会帮助它们自由飞翔。飞机模仿了鸟，插上一对形体优美的机翼，空气便友好地在机翼上表演上吸下举的绝技，让飞机轻巧地在空中远航。空气让急速降落的流星带着一团火球、让旋转的足球走弧线、让美丽的雪花轻轻飘落。

但现在我们看看不修边幅的小石头会如何惹恼空气。

被小石头推挤和拖拽的空气（图 1.5、图 1.6）

我们耳听过风吹树叶沙沙响，也见识过肥皂泡泡或小气球炸裂时飞溅的水珠或小碎片。于是，我们不难理解，空气并不空，一定有看不见的东西，且有一定的内压。确实，大气中的空气并不空，由多得数也数不清的、小得看也看不见的、可以近似看成球的空气粒子（也称为空气分子）组成。暂时，我们不去看这些分子有多小、有多少和是什么。这里，我们只需要知道，它们是数也数不清的悬在空中到处乱跑的小球球。

这种到处乱跑也称为分子热运动。每个分子跑的方向不一样，速度大小也不一样，各有各的自由。一不小心，一粒分子就会碰上另外一粒分子。正是这种热运动，我们才感知冷热，原来我们是被分子碰热的，否则将冻成冰块。正是这种相互碰撞，空气才有内压。