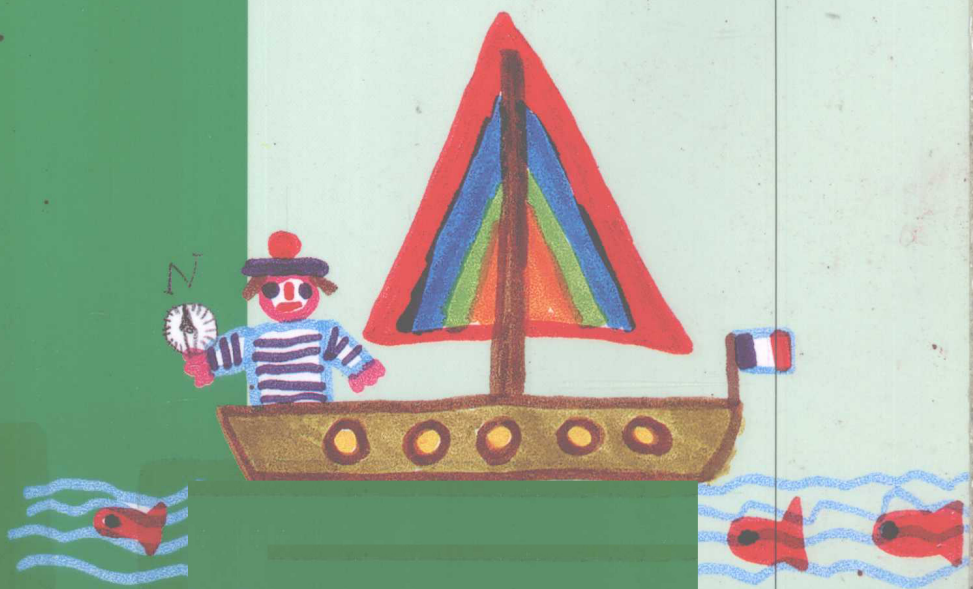


K 科学的种子 ④

exuedezhongzi

动手做



大卫·威尔让布斯 等 著
欧瑜 译

人民教育出版社

科学的种子 4

[法] 大卫·威尔让布斯 等著

欧瑜 译

人民教育出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

科学的种子. 4/(法)大卫·威尔让布斯等著; 欧瑜译. —北京:
人民教育出版社, 2010

(法国动手做丛书)

ISBN 978-7-107-22626-7

I. 科…

II. ①大…②欧…

III. 自然科学—普及读物

IV. N49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 017713 号

人民教育出版社出版发行

(北京市海淀区中关村南大街 17 号院 1 号楼 100081)

网址: <http://www.pep.com.cn>

人民教育出版社印刷厂印装 全国新华书店经销

2009 年 12 月第 1 版 2010 年 2 月第 1 次印刷

开本: 890 毫米×1 240 毫米 1/32 印张: 6

字数: 147 千字 印数: 0 001—2 000 册

ISBN 978-7-107-22626-7 定价: 20.90 元

序 言

科学的种子是什么？

《科学的种子》是“动手做”项目的系列丛书。该丛书并非是教科书，它面向的是儿童、“普通”的读者，以及那些被科学深深吸引却没有机会从事科学研究的人……总之，它是想把对科学好奇与渴求的种子传播给儿童和身边的读者，尤其是传播给学生的家长和小学教师们。播下科学的种子，期待着发芽，等待着开花结果。

本套丛书是这样诞生的。

从1998年10月起，“葡萄藤”基金会每年在普罗旺斯组织一次由八九位科学家和三十几位小学教师参加的座谈会。虽然参会者每年不同，但他们都一致认为有必要在学校尝试科学实验教育。科学家和教师各自代表着一个彼此尊重但却互不沟通的群体。通过“秋季大学”的举办，使大家更清楚地认识到各自在编写“动手做”系列丛书中的角色和作用。

本丛书的目的是向读者介绍一些基础性的科学知识。它的产生过程大致如下：首先，由小学生提出问题和猜想，并在教师的带领下做一些简单的实验；然后由学生作出判断，得出答案；最后他们把自己的科学方法和步骤记录在报告上。

与会的教师都有过这种经历和感受：在遥远的中学时代，那些日子平淡中略带有不幸，那时几乎没有什么科学教育，人们常常以为科学遥不可及……所有这些都使得他们中的许多人现在都没有勇气去“动手做”一些科学实验，认为科学实验难以成功，甚至有人

认为科学与他们毫不相干。这些教师的感受也代表着其他教师的心声。

每年举办的“秋季大学”力图消除教师们的这些偏见。在“秋季大学”的活动期间，主持人要推荐教师们的讲义，并给它们配上插图；科学家们表演“动手做”游戏；与会的教师往往会提出一些刁钻的问题，这时科学家们不得不另辟蹊径从科学原理上予以回答。于是科学家和教师之间便建立起一种默契。通过这些活动使教师们相信：科学活动和美一样也是可以分享的，科学家和科学爱好者之间同样也可以进行很好的思想交流。

“秋季大学”结束后，由科学家执笔，每人写出各自专业领域的章节内容，其中包括一些教师和儿童很容易做成功的小实验。每章写完后由小学教师先读，并对文字的可读性和实验的可操作性提出自己的建议。在这个阶段，此类交流要反复进行多次，它是整个计划中最富创意的部分。

本系列丛书每年都以轻快的脚步向广阔的科技领域迈进一步，将涉及科学的各个领域。尽管这套丛书的读者不只是儿童，但我们希望它能对儿童的智力培养起到一些间接作用。因为儿童往往比成年人更具有探索精神，他们总有一连串的问题。我们也希望儿童在读完这套丛书后能得到一些“为什么”和“怎么样”的答案。

探索在继续

在《科学的种子》第四册中，七位科学家将邀请您共同探索他们研究领域内的一些主题。请您带着好奇心，饱含探索的愉悦之情，动起手来做实验，一同追寻科学的脚步吧！

船只的航迹、涌潮、长浪、涌浪或是潮汐，它们都有一个共同点：呈现出水面上移动的波浪。马克·拉博为我们讲述了波浪的一生：从海面上悄无声息地产生，到岸边惊心动魄地消亡。

娜蒂尼·贝伊雷阿斯则通过追踪细胞的变化，向我们揭示了器

官是如何在胚胎中渐渐形成的。他告诉我们只要选择合适的实验模型，就可以一窥活体内胚胎发育的奥秘。

让-路易·杜弗洛斯内则通过解释地球大气中的各种现象，帮助我们了解大气的存在条件。其中还特别研究了云的形成和令天空中云朵能够为肉眼所见的光现象。

当人类正在制造越来越多的废物时，吉斯兰·德·马尔西里为我们敲响了警钟，提醒我们这股垃圾大潮与每个人都息息相关：废物的数量和管理将取决于我们的个人行为 and 整个社会的集体决定。

从伽利略到爱因斯坦，从电梯间到银河系中心的宇宙黑洞，皮埃尔·比纳特罗带着我们进行了一次时间和空间的奇异旅行，揭开造成苹果下落和影响宇宙的神秘力量——万有引力。

1870年，赛璐珞拉开了复合材料登场的序幕，开启了由一种或数种结构单元构成的大分子的故事。从1930年开始，复合材料的使用日益广泛。在经历了石器时代和铁器时代之后，我们人类是否已经进入了复合材料时代？贝尔纳·席隆让我们对这种无处不在的材料特性和用途有了进一步的了解。

生物是如何分类的，这个问题一直萦绕在我们的心头，同时它也是我们认识生命体的基础。纪约姆·勒古安特通过对林奈、达尔文和亨宁观点的阐述，为我们重现了生物分类学发展的几个重要时期，并展示了如何通过进化这个概念来理解动物之间的亲缘关系。其中，奈丽·巴卡拉、玛莉-劳尔·伯奈、克利斯朵夫·勒费吴尔、埃里克·尼古拉和安妮·皮沙旺还就小学三、四、五年级的生物分类教学为老师提供了若干可以开展的途径。

通过这七个主题，我们的小读者、科学教师，还有充满好奇心的父母们会发现，只要以通俗易懂的语言来表述，再辅之以简单易行的实验，科学并非像我们想象的那般晦涩难懂。

本书的作者也希望能够对“做中学”项目的推广作出贡献。1996年，乔奈·沙巴克与法国科学院共同发起了“动手做”项目。

旨在革新法国小学科学教育，激发儿童的创造力。该项目同时也得到了多位科学家的支持（如提供书籍、建立网站等）。2000年9月，在新学期伊始之际，小学正式开始推行科学教育革新计划（面向小学三、四、五年级）。此外，在2002年入学时，法国教育部开始执行新的科学教育计划：所有计划均与“动手做”项目密切相关。

为了让改革获得成效并最终取得成功，每项改革都需要自己的“改革实验区”。“动手做”项目就是要让实验、建议、创造和交流的星星之火在未来点燃整个法国，激发人们无限的创新精神。法兰西科学院和其工作小组倾其所能来支持和推动这项计划。法国科学院和教育部步调一致，在过去数年中与众多的合作伙伴，尤其是那些无私奉献、淡泊名利的科学工作者们一道，完成了前几册《科学的种子》的撰写。

目前“动手做”的教育理念已经跨出了国门。因为不论世界各国的经济发展如何，怎样使儿童和家长了解科学已成为一个世界性问题。在哥伦比亚、中国、埃及、摩洛哥、墨西哥、泰国、匈牙利、美国等都出现了“动手做”相关的实验和研究。今后，这些国家必将进一步加强合作，促进彼此在各个层面（班级、学校甚至教师）间的交流。《科学的种子4》将以它朴实的面貌、独特的思维在21世纪全球化的进程中留下自己的足迹。

出版部主任

2002年7月

目 录

序言.....	1
• 波浪.....	1
• 脊椎动物的发育	26
• 大气物理学	45
• 废物	70
• 引力	85
• 聚合物.....	108
• 生物的分类.....	129
词汇表.....	168

波 浪

马克·拉博

海面上翻滚的波浪与壁炉中跳跃的火焰一样令人心醉，看着它们往复不断地变化，总会使人无比惬意。什么波浪总让我们沉醉呢？眺望远处的波浪让我们感受到朦胧之美。它们缓慢而有规律地涌动能让我们心情平复，这些可能就是其中的原因吧。了解一些基础物理知识将令这些自然美景增色不少。本章将通过几个具体例子，如冲浪者期待的波列、雨点或小石子敲击水面形成的圆形波纹、鸭子或小船经过水面时留下的水痕等，展现波浪是如何产生、运动和消失的。

在丰富的海洋学词汇中，我们可以找到很多关于水波的用语：涌浪、浪花、波浪、风浪、卷浪、白帽浪、碎浪、细浪、三角浪，等等。对水手来说，每个词语描述的事实都不相同，读者可以在本章或书后的词汇表中找到相关词语的解释。至于物理学家，则更喜欢用“波”这个词。因为这个词不仅比其他词语常用，而且还可以用在其他的波动现象中，比如声波或光波。虽然它们与水波不完全相同，但也具有某些共性。

波 列

让我们舒舒服服地躺在阳光灿烂的海滩上，眺望着大海和那缓缓涌动的波涛。这种在水的表面朝着同一方向较为有规律的形态变化，就是我们所说的“波列”。波浪时不时地会有一排涌上海滩，然后很快消失殆尽。它们上下起伏着。我们把波浪完成一次振动的时间称为波的**周期**（或波期），用 T 来表示（以秒为单位）。当前一排波浪破碎在海滩上时，后一排波浪和海滩仍有一段距离。我们把这两列波浪的波峰（或波谷）之间的平行距离叫做**波长**，以米为计量的单位，用 L 表示。以这两个量为基础，波速 V 就很容易知道了，即波速为波浪在一个周期内所经过的距离。因此我们就可以得到这三个参数之间的关系： $L = V \times T$ ，即波长等于波速和周期的乘积。

下面我们以更宏观的视角观察一下引导船只停靠的浮标。当波浪涌来的时候，浮标爬上波峰然后跌到波谷。这一高一低、一起一落之间的距离叫做**波高**，或**振幅**，用 A 表示。

如果我们仔细观察，会发现波列并不是很有规律的，波长、周期和振幅也并非恒定不变，波浪实际上是无序的。值得庆幸的是，法国数学家约瑟夫·傅立叶（1768-1830）的研究让我们认识到，可以通过叠加若干有规律的波列来再造另外一个完全有规律的波列。这也是为什么物理学家更愿意在时空中研究理想状态下有规律波列的原因。图 1-1 所示的是一组理想状态下的波浪（称为正弦波列），它的运动速度和形状始终保持不变。

涌向沙滩的水波，其波长通常为几十米。而有的波，波长短的仅有几微米，长的却可达几百千米！波高（或振幅）可以小到几微米，也可以大到几十米。这个大的波幅相当于一栋五层楼房的高度。

现在让我们来看看码头边不断翻滚的波浪。波浪代表着水面的运动形变。当波浪涌来时，既有水面的垂直运动，也有平行运动。

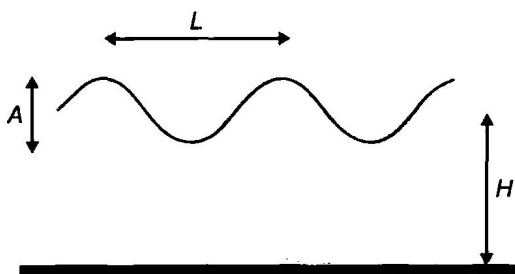


图 1-1 振幅为 A 、波长为 L 的正弦波列在深度为 H 的水中运动。

要明白其中的原理，首先要说的是这些垂直运动中的耦合振荡运动，下面以一个简单的机械模型为例。



一张耦合振荡网

要制作一个机械振荡器，也就是摆锤，只需将一个有一定重量的物体，比如螺母，悬挂在一根长度约为 20 厘米绳子的一端。如果我们将螺母拉离其垂直平衡位置，重力（详见“引力”一章）会迫使螺母回到原来的平衡位置，这种力叫做“回复力”。但螺母摆动的速度令它越过了平衡位置并且继续振荡运动。您可以用秒来计量振荡周期。现在如何让振荡进行传导呢？这就需要更多的振荡器。在一根长约 1 米的木棍上等距离地悬挂 20 个与第一个螺母等重的螺母。开始时，这些螺母各自独立的，为了让一个摆锤的振荡影响到其他摆锤，我们必须把这些摆锤“耦合”起来，用一根平行的细绳将垂直的绳索连起来即可。摆锤耦合好后，让第一个螺母进行与耦合细绳垂直的振荡运动，接着下一个螺母会跟着发生振荡，再下一个螺母紧跟着也产生振荡，以此类推。

从上向下观察连成一线的螺母，可以看到贯穿整个耦合振荡系统的波传播，传播速度为每秒 10~20 厘米。我们把它称为“横波”，因为它沿着与振荡器悬挂相垂直的方向运动。

如果耦合紧密（平行绳索绷得较紧），横波的传播速度就快；如果耦合疏松，传播速度就慢。片刻之后，波抵达序列中最后一个螺母并反射回来，产生新一轮波并朝反方向传播。如此反复，直到整个耦合振荡运动完全消失。

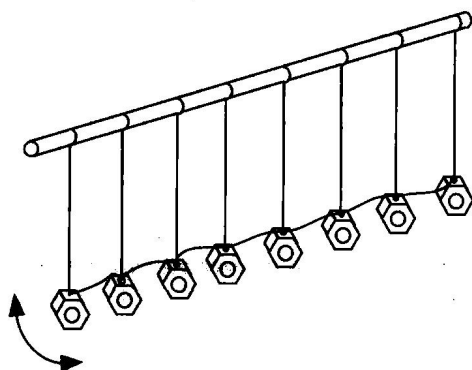


图 1-2

波如果要传播，必须同时存在振荡器以及将其相连的耦合系统。当水波涌来时，水波会暂时高于（或低于）其平衡位置（即水面的平均高度）。而重力会将这一部分水引向低处（或高处），所以这里重力就是回复力。而当波长小于 1 厘米时，除了重力，另一种回复力也会发生作用，它就是**表面张力**。这种力能够把空气和水之间的接触面增至最大。但水在垂直运动中会超出其平衡位置从而产生振荡。要明白耦合的原理，就必须提到“连通器现象”：水会流向并注满下一个波谷，只进行简单的垂直运动，就将能量传递给下一个振荡器（见图 1-3）。

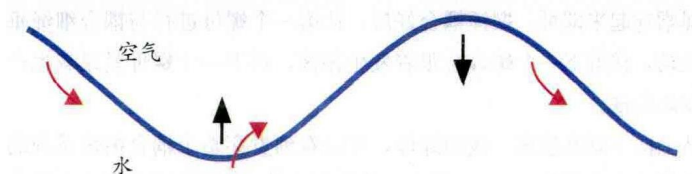


图 1-3

重力的作用将水体表面推向水平面，并引起水的流动。图中红色箭头所指的即为水的流动，波浪从左边传导至右边。

水在涌动的波浪中究竟是怎样运动的呢？要回答这个问题，让我们来看一下浮在水面上的海鸥，或飘在游泳池里的瓶塞。通常

来说，即使有波浪，这些漂浮物在原地仍然保持不动。波浪涌来时，漂浮物升起并稍稍向前移动，随后下降并退后跌入到下一个波谷中。波浪移动速度很快，一般来说，海鸥和瓶塞，甚至表面的水都会保持原地不动。这样就好了，因为如果波浪会把水带走的话，我们就不可能破浪前行，而只好随波逐流了。如果水足够深而且振幅较小，当波浪涌来时，漂浮物的垂直运动就会以相同的振幅进行往返运动。因而漂浮物就描绘出波浪顺时针方向的循环运动。另外，我们还可以通过漂浮在海浪中来亲身体会水的这种运动方式。需要指出的是，即使在波峰处存在与波浪方向一致的水流速度，但这个水流速度仍远远低于波速。这些水在波峰和波谷进行上下运动（见图 1-4），这也解释了小船被大浪卷起掀翻现象的原因。这种循环运动在水面之下也同样存在，但速度会迅速减缓以至根本无法与波长进行比较。正因为这样，只要水够深，潜水员到达水面以下就可以避开水面上的大浪。

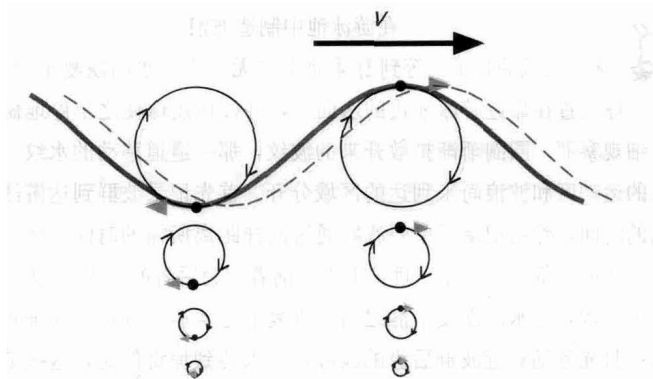


图 1-4

这张纵截面图显示了波从左向右运动（黑色箭头）时水的循环流动。蓝色曲线（实线或虚线）表示水面在相邻两个时间点的位置。黑色圆圈表示波沿着波长前进时黑点伴随的运行轨迹。红色箭头表示同一时间的运行速度。需注意，在到达水面以下时，水的循环流动会迅速减缓。

水的这种运动方式是导致晕船的根本原因。水运动速度的变化使船体波动的速度随之改变，从而使船上乘客不断感受到重力的变化（详见“引力”一章）。不习惯海上生活的人就会产生内耳不适，但这种不适通常在习惯风浪颠簸之后就会消失。

什么是波速？

此前我们已经对两种速度进行了区分：一种是波浪移动的速度，即波速或波的相速，用字母 V 表示；另一种是水流的速度，通常比波速要小得多，它是通过计算某部分水在单位时间内的位移而得到。现在我们要讲的是第三种速度，即波的群速，它是整列波的运动速度，我们称为“波群”或“波包”的移动速度。同时也是波浪所携带能量的移动速度。在深水区，群速等于波速的一半。接下来，我们将对这个波浪的显著特征加以说明。



在游泳池中制造波浪

选一无风的日子，等到游泳池中空无一人，水面恢复平静的时候，将一只皮球放置在靠近游泳池边的水面上，并按压皮球使之不停地做上下运动。仔细观察那一圈圈渐渐扩散开来的波纹，那一道道移动的水纹（波群），将波浪的运动区和波浪尚未到达的区域分开。首先记录波群到达游泳池另一边所用的时间，然后记录下单列波峰通过同样距离所需的时间。您会发现第一个速度要明显低于第二个（理论上讲，前者应为后者的一半）。为了更好地了解整个过程，待水面恢复平静之后，重复上述实验。现在，仔细观察波群的前缘，目光紧随靠近波群后缘的波峰。令人感到惊奇的是，这些波峰将与波群前缘的波峰会合并超越它们，并渐渐减弱直至消失。这说明波峰的速度要比波群的快，也就是说单个波峰的水平相速要远远高于群速。对这一现象所产生的其他效应，我们稍后将进行说明。

根据直线波（指振幅远远低于波长的波 $[A < L]$ ）理论，可把波分为毛细波（指回复力主要为表面张力的波）和重力波（受重力

影响的波)。毛细波的波长非常短 ($L < 2$ 厘米), 重力波的波长较长 ($L > 2$ 厘米)。有时候我们也将毛细波称作波纹, 而将重力波称作波浪。波纹传播的速度快, 消散得也快, 因而观察起来较为困难。接下来我们要谈到的主要是发生在水面的重力波。虽然我们在这里只对重力波进行探讨, 但所有波浪的波速通常都与水深和波长相关。我们将借助两个特定的例子, 使波现象的解释得以简化: 第一例中的水较深, 第二例中的水较浅。

深水中的例子 为什么南大西洋的长浪要比法国海滨城市基勃隆的短浪移动得要快呢? 通过实验我们已经看到, 可以通过对一个波长的观察来判断水的深度。当水的深度大于波长时 (即 $H > L$), 水的移动和波速就不会受到水深的影响。在这种情况下, 波的传播速度就只取决于波长。如果我们对波的变化周期有所了解, 那么就可以通过以下两种关系从数值上表示波长和波速: $V = 1.56T$, $L = 1.56T^2$, V 以米每秒为单位, T 以秒为单位, L 以米为单位, 数值 1.56 是通过水的密度和重力的加速度计算得来的。因此在咸水 (死海) 和高海拔淡水 (的的喀喀湖^①) 中, 这一数值会稍有不同。我们可以通过在游泳池边 (上述实验) 改变皮球的振动周期和测量波长来验证这一定律。波速取决于波长这个事实是一种非常重要而且十分常见的现象, 它是波的**散射**基础。鉴于这一现象, 如果波长不等的波浪在某一固定时刻和地点相互叠加, 就会以不同的速度前进, 也就会逐渐失去有序的队形, 波群也随之变形。从某种角度来说, 我们是无法看到波浪的, 波浪队列不会保持不变, 而在某一时刻, 由无数简单波列构成的复杂波列, 其形态是无法保持不变的: 波群会扩散开来。

^① Titicaca, 的的喀喀湖位于秘鲁和玻利维亚交界处, 为世界上海拔最高的淡水湖。——译者注

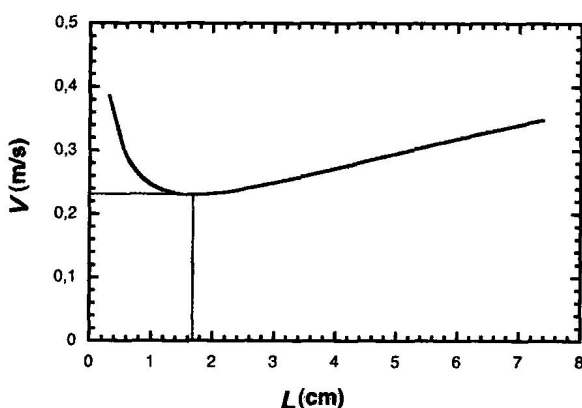


图 1-5

根据上图可以看出，如果我们知道波长，而且还知道水的深度大于波长，那么就可以知道波速。我们可以看出波长很短的波（如毛细波），传播的速度很快。当波长达到一定程度（如重力波），这一速度也会加快。在这两种波长中，存在一个最小速度的波长。对于水面上的波来说，这一最小速度为 24 厘米/秒，对应的波长为 1.7 厘米。其余的波，移动速度都要高于这一最小速度，而移动速度较慢的波则无法为肉眼所见（见图 1-6）。



池塘中的小石子

如果想自己制造并观察波浪，最简单的方法莫过于向池塘中丢一粒小石子了。选择一粒小石子或一件密实的物体（不要太小，直径 5 厘米左右），将其垂直丢进池塘中并观察激起的波纹。我们先是观察到波纹的高度随着水圈的扩大而减小，这是因为同等的能量分布在越来越长的周长之上。

垂直坠入池塘的石子激起层层波纹，其波长各有不同。波长最长的波，移动速度最快，因而应该对靠近圆形波纹外缘的部位进行观察。此外，与在游泳池中皮球激起的波纹一样，位于波群前缘的波峰，其前进速度是波群速度的两倍，因此这些波浪看起来不断消逝在波动区域的边缘。而速度最慢的波则位于波群的后缘界线处。这些速度较慢的波，正如图 1-5 弧线图中所介

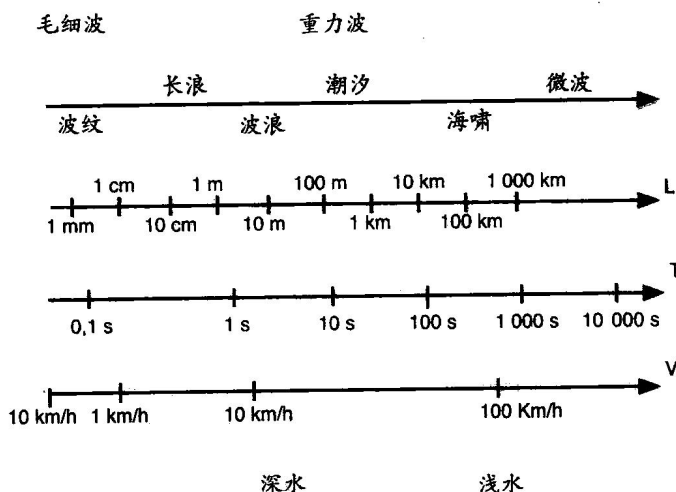


图 1-6

通过上图可以比较大洋表面不同类型的波浪波长 L 、周期 T 和波速 V 。根据波的周期，我们分别将其称为波纹 ($T < 0.2$ 秒)、微波 ($0.2 \text{ 秒} < T < 1 \text{ 秒}$)、波浪 ($1 \text{ 秒} < T < 15 \text{ 秒}$)、长浪 ($15 \text{ 秒} < T < 30 \text{ 秒}$)。海啸和潮汐同样都是波浪，但它们的周期要远远大于前面几种波的周期，在 1 千秒至 1 万秒之间。

绍的那样，以每秒 24 厘米的速度移动，我们可以观察到这些慢波的移动速度与波群后缘的速度一样。这些慢波的波峰相对于波群的后缘，其速度较为固定，由此可知对于这些慢波来说，波群的速度就等同于波速。



小水滴滴入平静的水中

再做一次相同的实验，这次将水滴或一枚钓鱼用的沉子投入平静的水中。因为水滴和沉子体积较小，因此激起的波纹为波长较小的毛细波。观察这些波纹渐渐散开，形成一圈圈的水纹。因为这些波的振幅较小，所以在侧光照射下，这一现象看起来会更为明显。你可以多次重复这个简单的实验，也可以用摄像机将实验过程录下再慢放，以便仔细观察。