

· 空 · 中 · 旅 · 行 · 的 · 完 · 美 · 伴 · 侣

飞行中的科学

[英] 布莱恩·克雷格 [Brian Clegg] 著

杨洁羽 译



Inflight Science:
A Guide to the World from Your Airplane Window

飞行旅程中的每一刻都是一次体验科学的机会，

而本书则是最佳的向导。

每一页都会有新的东西让你感到意外。



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

· 空 · 中 · 旅 · 行 · 的 · 完 · 美 · 伴 · 侣

飞行中的科学

[英] 布莱恩·克雷格 [Brian Clegg] 著

杨洁羽 译



飞行旅程中的每一刻都是一次体验科学的机会，
而本书则是最佳的向导。
每一页都会有新的东西让你感到意外。



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

关于本书

版权信息

图书在版编目 (CIP) 数据

飞行中的科学/(英)克雷格著;杨洁羽译.—杭州:浙江大学出版社,2014.1

书名原文: Inflight Science: A Guide to the World from Your Airplane Window

ISBN 978-7-308-12671-7

I.①飞... II.①克... ②杨... III.①科学知识—普及读物 IV.①Z228

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第302634号

Copyright.2011 by Icon Books Ltd.

浙江省版权局著作权合同登记图字: 11-2013-126

飞行中的科学

[英] 克雷格 著 杨洁羽 译

责任编辑 王长刚

封面设计 杭州林智广告有限公司

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路148号 邮政编码: 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州林智广告有限公司

印 刷 浙江印刷集团有限公司

开 本 880mm×1230mm 1/32

印 张 6.75

字 数 119千

版 印 次 2014年1月第1版 2014年1月第1次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-12671-7

定 价 27.00元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部邮购电话(0571) 88925591

[关于本书](#)

[图书信息](#)

[第一章 在机场](#)

[航站楼里的无聊](#)

[一分为二的机场](#)

[行李过检](#)

[检测空气](#)

[探测器中的奥秘](#)

[人体扫描](#)

[你认为你是谁？](#)

[迷信的根源](#)

[第二章 进入天空](#)

[飞机的基本构成](#)

[给飞机加油](#)

[温室效应好的一面](#)

[绿色飞行](#)

[让飞机动起来](#)

[大雷达正注视着你呢](#)

[电磁空间](#)

[驾驶室中的卫星定位系统](#)

[全球通用的语言](#)

[最新式样的跑道](#)

[牛顿定律是怎样让你动起来的](#)

[成为喷气机一族](#)

[旋转和爬升](#)

[感受气压](#)

[机翼的工作原理](#)

[操控机翼表面](#)

[第三章 探索地形地貌](#)

[麦田之谜](#)

[纳斯卡线条的上空](#)

[白垩图腾](#)

[过去的踪迹](#)

[追随水路的足迹](#)

[有趣的分形](#)

[河湾的形成](#)

[你居住的城镇是如何发展起来的](#)

[绵延不断的海岸](#)

[无法抗拒的重力](#)

[从河流到海洋](#)

[水，到处都是水](#)

[不等人的时间和潮水](#)

[风口浪尖处](#)

[海是什么颜色的？](#)

[第四章 云端之上](#)

[进入云层](#)

[观云历险记](#)

[一路奔向9号云](#)

[彩虹的尽头没有一坛金子](#)

[飞越冰冻的海面](#)

[朝阳光飞去](#)

[飞往日心的旅程](#)

[为什么天空是蓝色的？](#)

[为什么太阳能一直发光发热](#)

[穿越量子隧道](#)

[穿过飞机航道](#)

[留在空中的足迹](#)

[机舱之外还有生命么](#)

[起身活动活动](#)

[在气流中颠簸](#)

[闪电](#)

[静电荷](#)

[制造闪电](#)

[移动中的电流](#)

[安全的金属盒子](#)

[尘埃造成的停飞](#)

[火山喷发](#)

[穿越辐射区](#)

[我们被自然辐射指数欺骗了](#)

[宇宙碰撞](#)

[第五章 机舱生活](#)

[血液供给的压力](#)

[扳回时差](#)

[穿越时间区](#)

[什么是（或不是）时差](#)

[克服时差](#)

[服用药物](#)

[从北向南的飞行也会引起时差么](#)

[移动的体验](#)

[有趣的对比](#)

[伽利略的天才想法](#)

[在急流中飞行](#)

[特别的发现](#)

[逆龄之旅](#)

[一杯好茶](#)

[听食物](#)

[第六章 飞行时的科技](#)

[在地图上追踪你的航线](#)

[投影地球](#)

[该死的科技前沿](#)

[让显示器变薄](#)

[巴托林的水晶奇景](#)

[一有光就旋转的液晶](#)

[带上你的高科技产品](#)

[驾驶舱外的景色](#)

[惯性的引导](#)

[追踪飞机在空中的位置](#)

[加速度对爱因斯坦的启发](#)

[微弱的力](#)

[陀螺仪](#)

[第七章 远处的风景和回到地面](#)

[观赏远处的山脉和山峰](#)

[像山一样古老](#)

[这些山头有点冷](#)

[山上结冰](#)

[在虹吸作用下转弯](#)

[真空来帮忙](#)

[在夜空中飞行](#)

[观赏金星](#)

[神奇的月球](#)

[月亮的阴晴圆缺](#)

[欢迎来到银河系](#)

[街灯狂想曲](#)

[神奇的眼睛](#)

[建构一张世界图像](#)

[视幅](#)

[与跑道的第一次接触](#)

[书后说明](#)

[结束语](#)

第一章 在机场

航站楼里的无聊

你坐在航站楼里面等待航班的起飞。各种情绪混杂在一起：有无聊、激动，也有恐惧，而无聊总是胜出。飞行确实可能是抵达较远目的地的最快方式，但也必须付出长时间的等待。

哪怕你是一个经常出门的人，飞行还是会带来一些特别的感受。停机坪的煤油气味，或是飞机引擎的轰鸣声往往会使得人们莫名兴奋。些许恐惧也是难以避免的——不管你多么喜欢飞行，停留在离地约八千米高的一个由金属、塑料制成的管状物中都是一件不自然的事情。只有科学和技术能够保证你的生命，让你存活。

假如你不爱飞行（我就不爱），一个小小的科学统计数据可能会让你安心一点。一年中，平均一亿二千五百万名乘客中只有一人丧生于空难。这比火车旅行要安全三倍——试想你可曾担心过坐火车会出事？而汽车事故，同等风险比率是一比一千万——约是飞行危险度的十二倍。比起在飞机上度过的六小时，你在上班场所的六小时所可能遭遇事故的风险要更大。总之，要让你宽心的统计数据也就如此了——不管怎样，飞行就是最安全的。

我们这本书的重点主要放在飞机飞行过程中的见闻、体验所涉及的科学，但在航站楼里确实会存在等待的无聊。你只能在免税商店逛逛或者喝个咖啡。所以，在起飞之前，我们还是简短说几句在地面你可能会遇到的一些科技现象吧。

第一章 在机场

一分为二的机场

机场对于陆侧（非航服务区）和空侧（航空服务区）的划分是很严格的。你从一个区域进入另一个区域，尤其是进行国际间飞行的时候，必须经过一个技术障碍，接受身份核查以及检查是否携带了危险物品。如果可以的话，他们还会在你经过的时候顺便测量你的体重（在航空的早期发展阶段就是这样做的）。这是因为飞机降落对于重量颇为敏感，航空公司需要根据平均体重来估算乘客们累积的总重量。

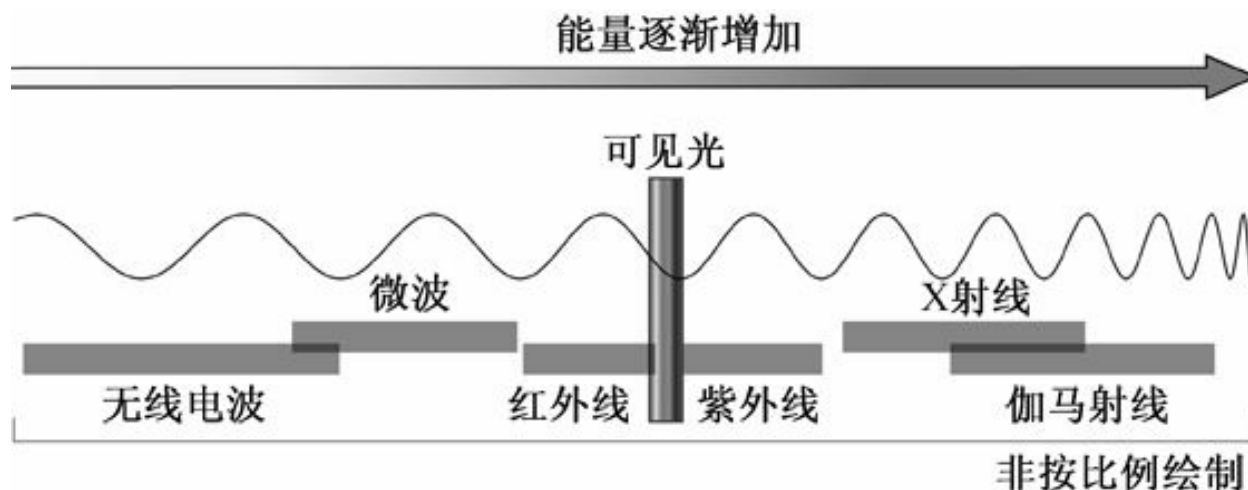
但靠平均重量做估计也会带来问题，至少曾经出现过一次这样的情况。一架飞机从德国某个机场起飞，脱离跑道的时候有些困难，最终才可谓“爬”上了天空。后来大家才意识到，之前这个城市举办了一场钱币展销会。这趟航班的很多乘客都是钱币商人，袋子里都塞满了新入手的硬币。他们之所以随身携带，是因为不想冒险，怕托运丢失掉新买的好东西。就是这些未曾预料的些许增重累计在一起使得乘客重量明显高过预期。加上飞机本身的重量，飞行员没能预料到飞行需要承受那么多的负重，所以才会出现起飞时的紧张场面。

第一章 在机场

行李过检

你遇到的第一个有趣的技术应该是安全扫描装置。你把随身行李放在传送带上，接受一个强大的X射线扫描仪检验。“X射线”这个科技名词并非来自于某个特别的科学现象，而仅仅是发现者威廉·伦琴（Wilhelm Roentgen）第一次意识到这种射线可以穿透实心的固体后觉得它神秘不可知而给它取的名字（伦琴的原话是X-Strahlen）。后来，它被官方定名为伦琴射线，可人们还是更喜欢伦琴之前给取的昵称，叫着叫着这个名字就保留下来了。

事实上，X射线并非什么神秘之物，它仅仅是一种光而已，只不过这种颜色的光远在人类肉眼可识别的光谱范围之外。光是一种电磁波，它是电和磁发生某种特殊作用后的产物，并以跨度范围很大的“色彩”的形式呈现。除了那些彩色的光之外，无线电波、微波、红外线、紫外线、X射线、伽马射线都属于电磁波的一种，它们有着各种不同的能量（见图1）。现在人们已经知道光是由光子这种微粒组成的（之后我们会谈到光子）。X射线中光子的能量远远高于其他可见光。如果我们把光想象成一种波的话，那么X射线的波长要短于可见光的波长（波长指相邻两个波峰或波谷之间的距离）。



当普通光照射在行李箱这样的物体上时，光束中的光子被吸收，使它不能完全穿透物体。这是因为光子中的能量被那些构成行李箱的粒子吸收了。我们身边的所有物体都是由原子组成的，而每个原子有一个非常小的核心部分——原子核，它占了原子质量的99%以上，环绕在原子核周围的是质量较小的电子。当光子遇上电子时，光子中的能量会被电子吸收。吸收了能量的电子将会更高效地运动。

电子吸收或释放光子能量的过程被称为量子跃迁（quantum leap），现在这个术语被用来形容重大的、突破性的改变，虽然真正的量子跃迁完全是一种细微的变化。

电子一旦吸收光子中的能量，就从低能级跳到高能级，就像跳台阶一样。不久之后，富余的能量又重新以新光子的形式被释放出来，电子失去能量后又回到低能级。我们不清楚光子会朝哪个方向被电子射出来，不过总有一些光子能被我们的眼睛捕捉到。正是因为有了这些被电子释放出来的光子，我们才能看见周围的物体。

X射线也是由光子组成的，与其他的光一样，它们的光速是每秒300000千米，不过X射线中光子的能量远远大于普通光线中的光子，这使它能够迅速突破物体原子中的电子层，减少与电子的相互作用。这意味着X射线可以穿透许多能阻挡普通光线的物体。

X射线穿透物体时会破坏其中的分子（原子聚合在一起形成分子）。人体细胞中含有大量的DNA分

子，它们携带着引导生命机能运作的指令。如果细胞中的DNA分子或是其他重要的化学物质被X射线损坏后，细胞就会病变，大大提高患癌症的风险。因此，需谨慎使用医用X射线，它通常都被控制在最小剂量。在20世纪60年代之前，人们并没有意识到X射线的危险，它甚至在鞋店里被使用，通过X射线装置，你能看见自己的脚趾在鞋子里扭动。

对于无生命的物体来说，这样的损害就显得无关紧要了（不过，X光会使胶卷产生灰雾），因此用于扫描行李的X射线的强度比大多数医用X射线要大得多。那些你在机场看到的巨大的扫描设备使用的都是宽幅X射线，其中某些X射线的穿透能力要比另一些强。X射线扫过你的行李及其中的物品后，它就会到达检测器，检测器的工作原理类似于相机。检测器中有前后两套传感器，由一块金属板隔开。强度较小的X射线被挡在金属板之外，只能被前面的传感器检测到，但是强度较大的X射线能够穿透金属板，因此，较强的X射线能被前后两个传感器一起发现。

由于使用两种强度不同的X射线，操作屏幕上会显示出两幅色彩不同的影像。因此，操作者能够分辨出植物、塑料或爆炸物之类的“软”物品，它们在屏幕上呈现出橘色，而那些较难穿透的物品（只有强度更大的X射线才能穿透）则显示为绿色。最后，图像被放大以显示物体的更多细节，使操作者在扫视间就能判断出行李中不同种类的物品。

第一章 在机场

检测空气

有时你的行李也会接受嗅探器的检测，嗅探器通过分辨气味来排查爆炸物。和许多物质一样，爆炸物容易挥发。爆炸物中的化学分子会在室温下挥发，飘浮在空气中。固体和液体中的分子总是处于不断运动中，有些分子能量大些，运动得更剧烈，最后会散逸出去。无论是玻璃杯里醉人的酒气还是烤面包令人垂涎的香味，都是通过这些摆脱了母体的分子让我们闻到了物体的气味。这也是为什么即使在室温下，一池水最终也会蒸发完。

有时这种嗅探器会是一只狗。可以说，狗是所有先进技术中最古老的一项，而且到目前它们也还在被人们使用。也许你觉得把狗称作“技术”是一种奇怪的说法，狗是一种活生生的动物。但是在人类有意识地培育下，狗成为了一个具有特定功能的独特品种，它们是最早的能行使自动化功能的“工具”。狗能自主完成各项任务，相比之下，与之同样古老的工具——斧子——还得借助人力才能开展工作。现在狗已经可以为人类提供多种服务，从导盲、放牧到通过它们灵敏的嗅觉排查爆炸物等。

当然，人类在最初研发这项了不起的“技术”时，并无意将它们培养成这样的“多面手”。这一切很可能起源于某个意外事件。那时，狼群还在人类聚居地附近游荡。狼虽不像我们印象中那样作恶多端——比如，实际上它们很少袭击人类——但是这些食腐的动物们会时不时光顾，偷走死去的猎物，于是，我们恼火的祖先决定想些办法阻止它们。

不难想象，最初是经历了怎样试探性的接触，我们的祖先才开始不再与狼为敌。也许是在某个寒冷的冬天，一只狼悄悄地靠近火堆取暖，突然，其他猎食者闯入人类的营地，它一跃而起，和人类并肩作战，作为奖励，它得到了一块肉。也许，从那一刻起，在自然选择的作用下，改变就开始了。时间流逝，狼的幼仔出生，幼仔温顺听话，更符合人们对“畜”的要求，它们也更愿意和人待在一起，被人喂养，受人关爱。几百年后，就有了狗。

这个自然过程就如同基因工程中的转基因作物一般。自然界中本没有狗。它们是人类开发出来的“工具”，就像桌子一样，它们的“自然”状态是大自然中的一块块木头。毫无疑问，狗是我们祖先创造的最了不起的东西之一。与狗相比，巨石阵简直不值一提，它就是一个大玩具。好吧，我们不否认巨石阵给某些人带来了天象讯息，而且也很壮观，但是，它总没有被人们一直使用好几千年吧。狗是一项石器时代的“技术”，比巨石阵早35000年，而且直到今天，它们还活跃在世界各地的机场中。

有时安保队也会使用电子嗅探器，它能通过一系列步骤分解空气中的化学物质，气相色谱分析是最常用的手段。空气随着某种气体进入试管，它们将流经许多物质，空气分子与物质发生反应。空气中不同的分子会附着在管内的不同物质上。气体中不同的成分被分离出来，因此，仪器很快就能列出一张清单，显示受测气体的成分。在图表上，不同的物质会以其独特的形态显现出来。

第一章 在机场

探测器中的奥秘

行李过检时，你也得穿过一道令人生畏的拱门，它总是会给你带来焦虑和犯罪感。这些拱门其实是金属探测仪，它们和田野里寻宝人手上拿的那个东西差不多，只不过机场的这些家伙们寻的是铁。虽然有不同的具体技术，但是这些拱门有着基本相同的工作原理——电磁感应。如果你的电动牙刷是通过插在一个无金属接头的塑料基座上充电的话，那么，你家里就已经有一个以电磁感应方式工作的装置了。

电磁感应是维多利亚时期的科学家迈克尔·法拉第（Michael Faraday）的一个重要发现。他发现将金属导线通电，或改变电流的大小，就会有磁场产生。同样的，移动或改变磁场，就会产生电。这就是电动机和发电机的工作原理。

在电动牙刷中，充电器中的线圈输送出变化的磁场，牙刷的线路内就会有电流产生。“电磁”指的是电的和/或磁的——电和磁是导致同一现象的两个部分。而这里的“场”指的不是一大片草场，而是力场。“场”这个概念是法拉第根据想象得出来的。他发现铁屑在一张放置了磁铁的纸上排列成一些曲线，这些曲线组成的图形类似于磁力作用下地图的形状。法拉第设想在磁铁周围的空间里有无数条这样的曲线。

在磁场里移动金属导线，它将与曲线发生切割，就像小孩用手拂过一片金属栅栏一样，这样的切割会将磁力转化为电力。在电线附近移动磁铁和用电线切割磁场，两者效果是一样的——它们都能使电线和磁场相互运动，从而导致电线中带电电子的流动。这就是所有发电机的工作原理。

在牙刷充电器中，没有东西被移动，但是电流的方向一直在改变（称之为交流电），导致磁力线一会儿被推出去一会儿又被拉回来。当金属导线的位置与磁力线相交时，磁力线被切割，就像发电机中运动的导线那样。充电器中的电线与牙刷中的电线并不是连接在一起的。而是变化中的电场产生的磁场将线圈中的能量输送给牙刷。与之类似的装置被称为变压器，人们用它来降低电压（如你家里的充电器，还有手机和一些电子产品的电源中都安装了变压器）。变压是通过大小不同的一些线圈来完成的，由于电磁感应，某个线圈中变化的电流能在另一个线圈中产生感应电流（参见124页了解电压的概念）。

金属探测拱门中有好几个线圈。线圈中的电流能使附近金属物体的周围产生磁场，而这个磁场反过来又会使检测线圈中产生感应电流。这些金属物品有可能是你口袋中的硬币、皮带扣，或是你夹克中的武器。近几年来，由于出现过把危险品放在鞋子里的案例，现在过检时，你会时常被要求脱下鞋子，接受X射线检查，因为探测器没法检测与地面齐高的物体。不过有些先进的探测器能够检测鞋子，这至少让整个安检过程不那么烦人。

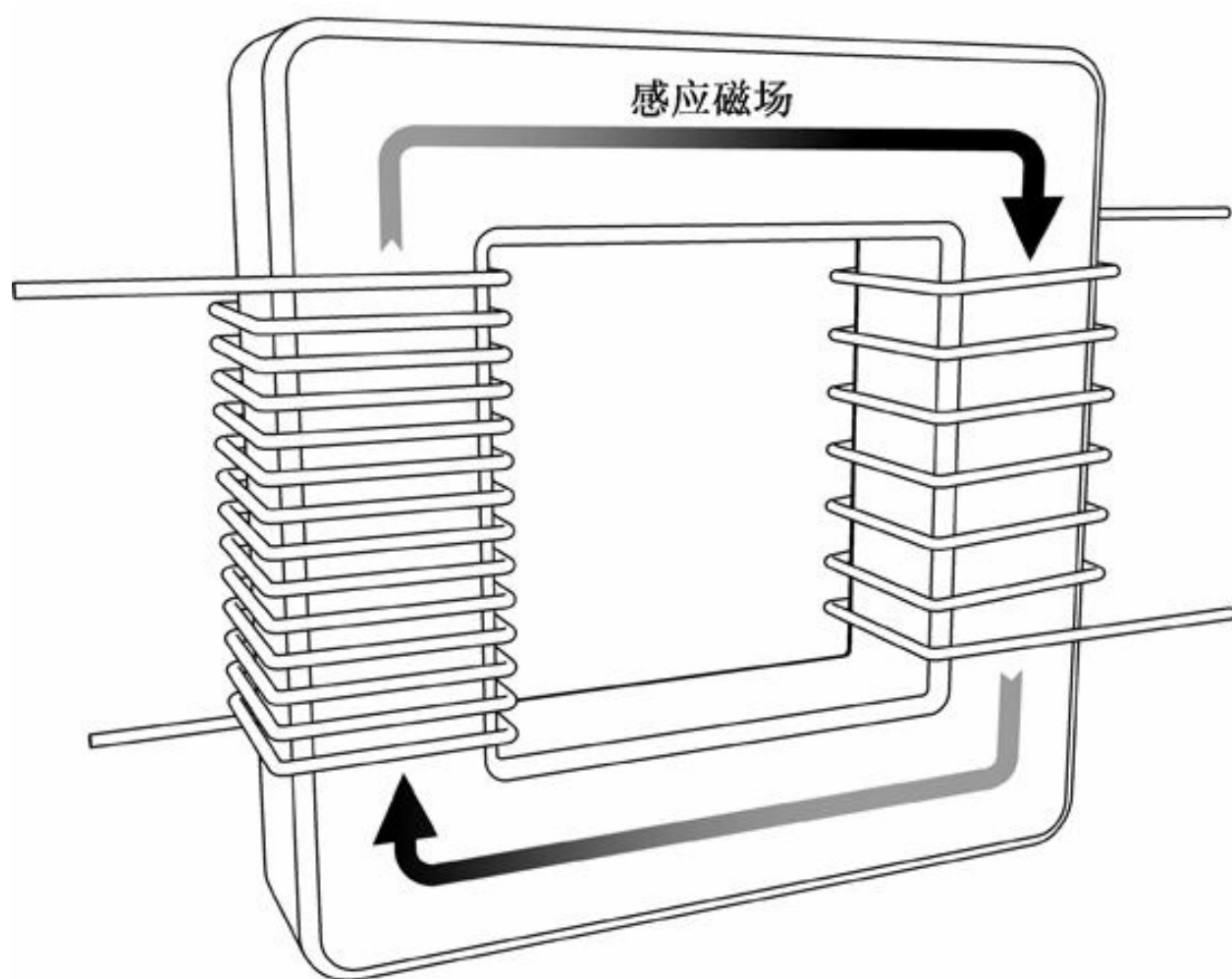


图2 变压器通过电磁感应改变电压

第一章 在机场

人体扫描

现在，越来越多的乘客会在机场遭遇人体扫描。这些扫描仪的功能类似于脱衣搜身，在扫描过程中，贴身或体内藏匿的任何物品都将一览无余，只是，人体扫描的时间更短，只需短短几秒，不会让人太过反感。有人质疑这种扫描会让受检者看起来就像光着身子，毫无隐私可言，但实际上，这样的说法有些夸张了。扫描的成像相对扭曲难辨——它更类似于人体图像的计算机模型，而不是逼真的裸体。

人体扫描仪可分为两大类，它们使用的都是不可见光。有些使用高能量（波长短）波，有些则为X射线。无论是哪类扫描仪，都有人担心它们是否会对健康不利。高能量波扫描仪的波长频率与微波类似，虽然没有证据显示该波会造成健康隐患，但是，还是有人担心扫描时体内产生的热量将对身体造成负面影响。

众所周知，X射线于健康不利，但是，人体扫描仪与传统医疗中使用的X射线的工作原理截然不同。人体扫描仪采用的是一种称为反向散射X射线（backscatter X—ray）的流程。在扫描时，X射线不会穿透你的身体，它穿透你的衣服却被你的身体反弹回来，到达环绕在你四周的探测器。这些X射线的辐射量极其小，相当于人们日常生活中每小时所遭受的辐射的五十分之一（在之后的章节中我们会谈到这种自然辐射）。总之，人体扫描的健康风险极小，并且，比起过于亲密、令人尴尬的搜身，它给人的感觉要好多了。

第一章 在机场

你认为你是谁？

现在，我们了解到你是安全的，但是我们并不能就此确认你的身份。在乘坐国际航班时，安检后，你会通过边境管制。在这里，越来越多涉及生物统计的技术被运用于个人身份的确认。很多护照内都含有一个小磁条来储存个人生物辨识数据。在旅行时，这些简单的检验方法会被用于验明护照上的是否就是你本人。

尽管从理论上来看，你身体的任何一个部位都可以用作生物数据辨识（如耳朵的大小），但在实际操作中，多数系统都会涉及面部、指纹和虹膜识别技术中的一项或几项。常见于侦探片中的视网膜扫描可以获取眼球内部的图像，不过，它却并不被用于机场安检，因为整个过程会让乘客感到害怕和唐突。估计只有相当少的一部分人愿意让激光刺激他们的眼睛吧。

最常见的身份识别还是指纹认证，尽管它带来的和犯罪有关的联系会让人尴尬和不适。最早使用指纹识别技术的人是威廉·赫歇尔（William Herschel），他与之同名的祖父是一位天文学家。19世纪50年代，赫歇尔先生在印度工作时用它来鉴别法律文件。到19世纪90年代，指纹识别技术开始用于刑侦办案，警察局也着手建立指纹档案馆并日益完善之，这样的指纹分类使罪犯鉴定变得更加容易。不过从一开始，指纹匹配便是一项单调沉闷的活儿，无论是在犯罪现场，还是在图书馆的入口。

指纹识别在生物数据辨识方面的运用则要简单得多，原因在于无需大量搜索数据库，而需要做的仅仅是将护照内所含的生物辨识数据与当时的检测数据进行比较。指纹识别技术运用一系列检测方法，从简单的扫描到利用人体电流感应进行工作的电容传感器（该技术也用于苹果手机触摸屏）来识别手指末端皮肤所形成的不同的凹凸纹路。指纹识别后的成像并不会保存下来——纹路中最重要的局部特征将得到识别并与数据库资料进行对比。

指纹识别有两个问题。第一个问题在于所采集到的成像根据受到手指按压力度和其在感应器上按压位置的影响，纹路形状会因不同的力度和位置发生变化。第二个问题是这项技术会给人带来和犯罪有关的联想。人们在接受指纹识别后通常会产生一种不适的犯罪联想。与之相反的是，虹膜识别就绝不会带来这样负面的联想了。

虹膜是分布在瞳孔周围的小色块，如果仔细观察，能看到精细的线条从中心发散开来，组成一个精致复杂的图形，类似于车轮的辐条。这个独一无二的图形能被摄像头捕捉，然后有效地与护照中的数据相匹配，整个采集过程不会受到类似眼镜这样透明物质的干扰。况且，它也不会让人直接联想到破案装置。

三种识别技术中，面部识别是最理想的，因为它可以进行远距离识别，并不需要受检者在监测点停下来按指纹或接受虹膜成像。不过，这项技术还没有达到足够可靠的程度而成为唯一的检测方法。面部识别适合在人流密集的地方使用（只是人们的脸部必须能分辨得出），且对于安检来说，它是最实用不过了，每当乘客们停下来与工作人员交谈时，它便开始工作，而乘客们却毫无察觉。

面部识别有很多种——识别面部主要特征的位置，给脸型来一个3D扫描，或是像指纹识别一样分析皮肤的肌理——不过任何过程都会受到可变因素的影响，比如，受检者新蓄了胡须，甚至是，表情有了明显的改变。面部识别还有待发展，不过它已经成为了一种得力的辅助检测方式，随着技术的完善，它很可能会成为最主要的身份识别方式。无论接受与否，你的脸道出了你的种种。

第一章 在机场

迷信的根源

当你知道了在几号登机口登机后，按照惯例，每个登机口都会以数字标明，而你也通常会发现13号登机口难觅其踪。尽管很少会有人真的患有13恐惧症（triskaidekaphobia）——一种对于数字13毫无原因的恐惧——但是航空公司和机场还是不遗余力地避免它的出现，因为直到现在，13还是被看成是一个不吉利的数字。

迷信的根源在于人类对于事物偶发性的认知，而我们的大脑结构不擅长处理概率。这一点，从人们对于一系列群发性事件的态度中便可窥知一二。设想一下，每天在各处发生的随机事件不计其数，大到传染病的爆发，小到有人跌倒。这些随机事件的分布如何？我们本能上以为它们是均匀分布的。但事实上，这大错特错。

试想你将一小罐钢珠打翻在光滑平整的地面上。当钢珠静止时，若发现它们均匀地分布在地面上，彼此之间距离相等时，你会作何感想呢？你一定会认为是外力或某些装置使其如此——肯定是地板下的磁铁或是其他的小伎俩在捣鬼。自然状态下钢珠的分布是：某些区域小钢珠分布会密集些，而某些区域则会稀疏些。这样的分布便称之为群聚（cluster）。



硬币群聚

你手头也许没有一小罐钢珠，即便有，如果你把钢珠滚得满地都是，警察就要找你麻烦了。不过，类似的实验效果可以通过一把硬币来实现，不过最好还是回家后再做这个实验吧。握一些硬币在手里，使它们与腰齐高，然后松开拳头，让硬币坠落。理论上来说，硬币会完美地平均散落，但是现实中，硬币群聚分布的可能性还是相当高的。

同样的原理也适用于现实世界任何事件的无序分布。如果某地许多村民家的牛都害了病，人们便会习惯性地假设一定是有什么原因导致牛集中发病的。在过去，当地的巫师有可能会成为被指责的对象。在今天，非传染性疾病的群发则往往归咎于手机信号发射塔或是核电站（附近很有可能也有酒吧和教堂，但是他们却很少会成为替罪羊）。

如果这些疾病来得莫名其妙，我们大致上认为它们就是一起群聚事件；但是，人们总是倾向于在身边找原因，尤其是当周围有某些引起人们焦虑的因素时，那么，它们则最容易成为替罪羊。不是所有的群聚现象都是毫无原因的——比方说，石棉工厂附近有一些人患上了石棉肺病。但是，我们也不能断言，石棉工厂就是使人致病的凶手。得通过有效的统计手段来验证两者的因果关系，才能下定论。

人们提出众多假说来解释对数字13的恐惧：最后的晚餐中出现的犹太人是耶稣的第13位门徒；黄道带中有12个星座，而12之后的数字便是13。但事实上，能让这些理论自圆其说的证据是少之又少。情况更可能是，数字13与一系列不祥之事间的联系是再平常不过的事了，并非有什么特殊的关联。情况也许是，某农夫家的母猪生了13只小猪，而其后，这位农夫的健康状况就每况愈下了。同样出于偶然，有人在某个月的13号去世了。随着这些巧合的积少成多，13也逐渐为人们所嫌憎。

虽然对于13的恐惧实属无稽之谈，但机场与航空公司也绝不会给它存在的机会，让乘客们不安，所以

通常都没有13号航班或13号登机口。希思罗机场的4号航站楼更是将这种避嫌做到了极致。有时，当13号登机口缺失时，人们就会倾向于认为14号登机口是不吉利的，因为毕竟它才是真正的13号登机口。为了避免这样的担忧，在4号航站楼中，12号登机口位于它的一端，而14号登机口则位于另一端。由于你根本无法看见这两个登机口并肩而列，所以13号登机口的缺失并不显眼，结果是，人人都放心地使用14号登机口了。

第二章 进入天空

飞机的基本构成

无论你被分配到哪个登机口，都会很快被送入机舱，在自己的位置坐下（但愿如此吧）。现在，你有机会好好地观察一下这个飞行器，了解一下它的各个细节了。我们见惯了飞机，常常忘了现代客机是多么了不起的一项科技成就。试想一下，若能回到1903年，你和莱特兄弟（Wright Brothers）一起乘坐着“小猫头鹰号”（Kitty Hawk）。那架小型的莱特飞行器，重量还不足300千克（和一台高性能摩托车的重量差不多），双翼由帆布蒙覆，翼展约为12米。相比之下，波音747重达约175吨（这还是在没有乘客和行李的情况下），翼展超过60米，约是莱特兄弟首次试飞用的飞行器37米翼展的2倍。

大体上来说，所有飞机的结构都差不多。有些是单层的，有些是双层的，通常有2~4个发动机，这些发动机本质上也大同小异。沿着几近椭圆形的管道（机身）往里是乘客们和货物待的地方，机身的头部是圆的，以减小风的阻力。协助飞机上升的机翼位于机身中段（之后会谈到），其某些部分可以活动以达到操控飞机的目的。飞机尾部的水平尾翼和垂直尾翼能确保飞机在飞行中保持平稳。尾翼的某些翼面是可以操控的，从而调整飞行的方向。

机身的下面是起落架——它由一些轮子组成，飞机不在空中飞行时它就派上用场了。

在飞行时，这些轮子收起，让机身线条更符合空气动力学。和普通的道路交通工具相比，飞机上轮子的数量就多得多了。以波音747为例，它的起落架有5组共18个轮子。不过，千万别忘了，当飞机满载时，这些轮胎的承重将高达400吨；在降落时，它们会以每小时150码左右（约每小时240千米）的速度接触地面。

第二章 进入天空

给飞机加油

无论是在机场的候机厅还是机舱里，你都可能看到有加油车在为飞机加油。航空燃料是煤油的一种，它的气味独特，登机后，很容易就能在机舱中闻到它的气味。和柴油或汽油一样，航空燃料也是一种碳氢化合物的混合物。这是一种从含有碳元素和氢元素的原油中提炼出来的烃类混合物，它的优点是能充分燃烧，其燃烧时所放出的热量相当可观。较之汽车使用的汽油或柴油，航空燃料的分子更大，也更不易挥发。

为了让你更好地感受我们正在讨论的这类化学物质，我们来认识一下辛烷（octane）。和所有的分子一样，辛烷由许许多多的原子构成，原子中的带电粒子相互作用使它们紧密地聚合在一起。如果你能亲眼看到一个辛烷分子，你会发现它的分子结构呈长条形：8个碳原子附着着18个氢原子。通常，我们对“辛烷”这个名字的了解来自于描述汽油等级的一个术语“高辛烷值”（high octane）。高辛烷值和燃料中辛烷的含量其实没有关系，它指的是与标准的含辛烷燃料相比，某燃料抗爆震（anti—knocking）的能力（爆震是指引擎燃烧过程中产生的异常燃烧现象）。

对于航空产业来说，燃料油的益处举不胜举。飞机操控的关键之一是重量，而单位重量的航空燃料可释放出巨大的能量。要了解这一点，只要看看航空燃料和电池有什么不同就好了。假设我们正在使用高技术含量的电脑电池，将近1吨这样的电池才能释放出和10千克航空燃料等值的热量。这也是为什么我们在短时间内不会看到有充电飞机。

航空燃料极好地压缩了能量，它每千克产生的能量是等量三硝基甲苯（TNT）爆炸时的15倍。这听起来似乎有些令人难以置信。TNT之所以可以成为一种炸药，并不是因为它贮存了巨大的能量，而是它能在极短时间内迅速燃烧。虽然一支TNT爆炸时产生的能量远远小于同等质量的航空燃料，但是这个过程却是在短短的一瞬间完成的。当TNT被引爆时，释放出大量的热能会同时产生高温高压气体，正是这些高温高压气体导致了爆炸性的破坏。

和道路交通运输或电力发电不同，飞机很难不依赖石油，转而采用一种更加环保的能源，即便是在将来可能也会如此。作为最简单的化学元素之一，氢提供了一种可能性。氢气本身并不能成为一种能源，因为在你使用它之前，必须得先把它制造出来。不过，氢能提供一种优于石油的能源转换新途径，因为当它燃烧时，唯一的排放物只有水蒸气。

在电能充足的条件下，只用水就可以制造出氢气。只要电能产自清洁能源，氢气自然就是绿色燃料了。比起航空燃料，每千克氢气储存的能量更多——差不多是航空燃料的3倍，这应该是这种简单气体最大的优点了吧。不过也有一个问题，氢气很占地方。它也许不如石油重，但是作为一种压缩气体，氢气所占的空间却要比石油高出6倍。对于一架已经塞得满满当当的飞机来说，要携带氢气是难上加难啊。

也许，当石油越来越少，人们会将之保留起来专门留作飞行之用，即使到了万不得已的地步，我们还掌握着费—托法（Fisher—Tropsch process），它能把煤转化成石油。这门技术是第二次世界大战时在德国发展起来的，当时的德军被切断了石油供给。这项技术十分重要，因为就拿美国来说，它拥有的煤还能用上几百年，如果石油出现短缺，煤就可以派上用场了。

到目前为止，这项技术还没有投入使用。部分原因是它会造成污染，还需要进一步完善以减少碳的排放量。另一个原因是，这样的工厂造价很高——虽然一旦建立起来，生产出的每桶石油价格仅为50美元左右，远远低于2005—2009年间石油的平均售价。

我们总是能听到关于飞行的负面说法，说它的碳排放是多么多么大。这是因为二氧化碳是温室气体，会导致全球变暖。但是别忘了，就碳本身而言，它并不是一种有害的物质。这个简单的物质组成了生命最基本的要素。碳非常容易与其他元素结合，组成长链条的分子——没有碳的这一性质，就没有蛋白质、DNA和其他复杂的分子，而正是它们让生命的诞生有了可能。没有碳，就没有人类。

不过就算这样，二氧化碳是温室气体的事实还是无法否认的。不过，温室效应难道就没有一丁点儿好处吗？真的是这样的吗？

第二章 进入天空

温室效应好的一面

总是有人告诉我们，温室效应是多么可怕。实际上，我们每天都会听到要减少二氧化碳排放的呼声，皆因二氧化碳是温室气体，会导致全球变暖。变暖是不假——如今的大气层中的确含有太多二氧化碳了——不过，我们也不能就此认定二氧化碳是个坏东西，是它让我们活着。

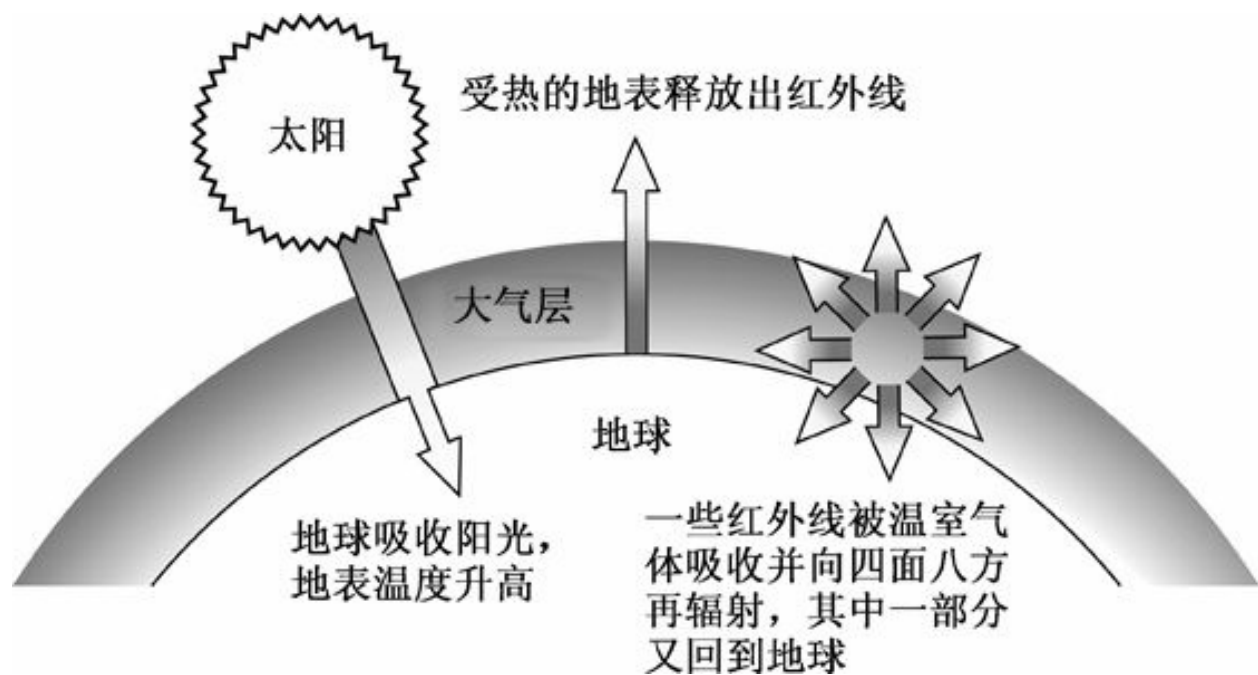


图3 温室效应:温室气体的作用类似于单向反射的镜面

在温室效应中，二氧化碳和水蒸气、甲烷这样的温室气体一道起到了单向反射镜的作用。大部分太阳的辐射都能到达地面，地表在接受了太阳能以后，以红外线的形式再向外辐射，红外线的能量低于来自太阳的可见光，向外辐射的能量一部分会被大气层中的二氧化碳分子吸收。几乎是在同时，二氧化碳分子重新释放出能量。这其中的一部分能量会回到宇宙中去，而剩下的则全部返回地面，使地表温度升高。

金星就是一个温室效应泛滥的星球，大气层中二氧化碳的含量高达97%。在这里，平均气温为480摄氏度，最高气温可以升至600摄氏度，这使金星成为太阳系中最热的星球。

在人类还没有开始大量地向大气层中排放二氧化碳之前，地球上的温室效应维持在一个正常的水平。如果离开了温室效应，地球上的平均气温很可能会跌至零下18摄氏度，比当前的实际气温低了30多度呢。地球将无比寒冷，而生命也将不复存在。如果离开了温室效应，地球上唯一有可能存在生命的地方也许只有海底的地热出口周围了。

第二章 进入天空

绿色飞行

我们无法逃避这样一个事实，在所有出行工具中，飞机的碳排放量最大——尽管温室气体也有益处，但我们实在不需要更多了。拿一趟从欧洲至美国的长途飞行来说，每位乘客将排放2.5吨左右的二氧化碳，这相当于一辆普通汽车行驶15000千米所产生的碳排放量。如果你乘坐的是商务舱，你的碳排放量会更大，将有4吨之多。对于头等舱的乘客来说，则能达到5吨（这是因为比起普通舱的乘客来说，他们的座位所占的空间更大）。

如果你想做点什么事来抵消飞行中释放的温室气体，那就来了解一下碳补偿计划吧。碳补偿计划涵盖了可再生能源的建设，如风力发电机、潮汐发电机，对于那些目前还在使用非清洁能源的地区来说，这是最需要不过的了。这远比植树来得更加有效。从保持生物多样性的角度来说，植树毫无疑问是十分有意义的，但实际上，树木吸收碳的过程十分缓慢——我们需要的是快速地减少碳，而不是花上一百年来等待它的效果——而且很遗憾的是，树木通常也会枯死，当它们死亡时，则开始释放二氧化碳，而不是吸收大气中的碳。

第二章 进入天空

让飞机动起来

在经历了看似漫长的等待之后，飞机终于要动了。飞机驶离停机位，然后滑行到了跑道的尽头。和汽车不同的是，飞机的轮子是没有动力的，需要靠飞机发动机产生的推力在地面上移动。当飞机还没上天之前，靠发动机来推动飞机似乎有些浪费而且效率也不高，尤其是在掉头时。所以，在飞机驶离航站楼时，需要飞机拖车（有时也叫牵引拖车）来帮忙。

通常，这些笨重的、低调的车辆是用来移动那些引擎处于关闭状态的飞机，但它们决没有你想象的那么厉害。波音747的拖车一般有200~300的马力（horsepower）——还比不上一辆高性能的汽车。只有谈到不同的交通工具时，我们才会对马力这个单位有更深的印象。马力是用来测量动力的，它是由苏格兰工程师詹姆斯·瓦特（James Watt）提出的。

人们习惯于互换地使用“动力”（power）和“能量”（energy）这两个词。如果我们说某人有很多能量（energy），我们指的是他很有能力，能够把事情做好；而当我们说某人很强大（powerful）的时候，他则具有让一切可能变为现实的能力。不过在科学领域，这两个词有更精准的含义。能量（energy）指的是做功的能力，它使物体开始工作。动力（power）指的是做功（或是提供能量）的速率——它意味着每秒做功的总量。

我们通常用瓦特（watts）来评估动力，它是以詹姆斯·瓦特的名字命名的——你也许有一个100瓦的灯泡，它每秒会消耗100单位的能量（焦耳），或是有一个2千瓦（2000瓦特）的烧水壶——马力仅仅只是一个替用的单位。最初当瓦特开始设想出马力时，他正试图找到一种方法，将蒸汽机功率以马干活的速率折算出来。他测算出矿厂每一次的轮班期间一匹马的平均工作量，然后主观地将这个工作量再加了一倍，就换算成了马力。1马力相当于750瓦，或是3/4千瓦。

所以，飞机拖车并没有令人吃惊的大功率（一辆大型的货车多半会有它两倍的马力），不过，它们很重，有将近50吨了。当这些笨重的家伙推动飞机轮子的时候，这意味着拖车能产生巨大的牵引力，而且转矩也很大，这样的扭转力让轮子转动，飞机就开始慢速移动了。总之，拖车能轻而易举地就使几百吨的飞机动起来。

理论上来说，飞机是可以利用反向推力驶离航站楼的。一个简单的手段就可以实现，将导流装置放置于飞机引擎后，这会产生强劲的气流推动飞机的前身。通常，反推力都用在飞机着陆时，以帮助其减速——当飞机触地时，你能听见引擎突然的喘振，这时，反推力就开始工作了。但是，当飞机距离航站楼很近时，这个方法就不适用了。引擎产生的强大气流很可能会卷起地面上的杂物，猛烈地撞击到建筑物的玻璃，这也是机场为什么会转而使用拖车的原因了。

你也许会问，既然与启动飞机引擎相比，飞机在滑行中的耗能要少得多，那为什么不用拖车将飞机直接拖到跑道的起点呢？2006年，维珍航空公司就想出了一个类似的主意。他们的想法是将飞机拖至跑道一端的“起步排位”（starting grid）处。这个举动极大地节省了燃料——据维珍估测，每趟航班减少的二氧化碳排放量将达到2吨，同时也减少了噪音，而航站楼周围的空气也会清洁许多。

不过很遗憾，这种做法虽然很环保，不过很快便被停止使用了。部分是因为机场不愿意提供起步排位的场地，机场方面认为拖车与飞机脱钩以及飞机起飞时的喷气会造成航班延误。不过，最重要的原因还是来自于飞机制造商的警告，他们提醒说，牵引量增加会给起落装置带来过大的压力，这意味需要更加频繁地更换连接轮子的支架。所以最后，飞机还是得发动引擎，滑行至跑道。

第二章 进入天空

大雷达正注视着你呢

有时，当你的飞机穿行在大机场迷宫一样错综复杂的滑行道上时，它的一举一动都在地面活动目标显示器或地面雷达的监视之中。整个航程中，它会遭遇许许多多的雷达，地面雷达则是头一个，而此时飞机正驶离地面控制区域，驶向控制塔方向和终端管制区，最后进入区域管制区。最后两个区域属于航空交通控制中心，一旦你的飞机起飞了，整个飞行过程都将由这里监视。在大部分机场，你至少能看到一个航空雷达在来回扫射地面。你乘坐的飞机上也有一个雷达系统，安装在机头内，以预警前方的暴风雨。

尽管早期，人们曾多次试图研制飞机侦察的装置，第一项能于肉眼之外发现飞机的可操作的技术是由英国人在第二次世界大战前夕研发出来的。它最初的名字是“范围和方位检测器”（range and direction finding），不过很快就被更名为“雷达”（radar）了，比起范围和方位检测器这个累赘的名字来说，按照美国称呼“radio detection and ranging”的首字母缩写改成“雷达”就简练多了。传言说雷达是由英国劳斯无线电研究所的科学家发明的。据说，当时美籍克罗地亚发明家尼古拉·特斯拉（Nikola Tesla）在电磁辐射的基础上设计出了一种能置人于死地的射线，英国的专家们因此接到指令，要求查明该说法是否属实。专家们发现这项试图将无线电改造为一种新型子弹的说法毫不可信，不过若能找到一种适合的无线电波束，就能有效地侦察到敌人的飞机了。

雷达最初在英国投入使用时，民间流传起这样的说法，多吃胡萝卜能提高视力，尤其是夜间的视力。其实，这是英国空军策划的一次成功的宣传，到处放出消息说空军飞行员正在接受含有大量胡萝卜的饮食以提高其视力，因而能准确地发现入侵的德军轰炸机。其实，一切都归功于雷达，是它帮助飞行员定位打击目标的，而宣传的目的是希望德国人能相信胡萝卜的故事。当时英国的各大报刊上，这样的宣传占据了大量的版面，于是，胡萝卜能提高夜间视力变成了一种广泛流传于民间的说法。

雷达的原理十分简单。它利用的是某种形态的光，在电磁波频谱上，此光位于收音机、电视机中使用的光波和微波炉中的光波的位置之间。我们在前几节曾提到，当某一物体遭遇可见光时，可见光中的光子从光源中散发出来——如太阳——然后到达该物体。此物体吸收光子，致使其表面电子的能量增加。很快，这些电子的能量就会回落，重新释放出新的光子，其中有一些光子会反射到眼睛中，这样我们就看见了这个物体。

雷达有着类似的工作原理，只不过，它既是光源——起到太阳的作用，同时也是接收器——类似于眼睛。它释放出成束的光子，然后感应由物体反射回来的光子。由于光子的能量低于可见光（如果我们把光也当成一种波的话，与光的波长相比，雷达波的波长更长，当它向外发射时，就像风吹水面生起的涟漪，向外层层扩展），光子很难描绘出物体的具体特征，通常都只能模糊地显示轮廓，远没有人眼看到的景象那样复杂而详尽。

第二章 进入天空

电磁空间

为了将你送到目的地，飞行员将使用众多的电磁辐射无线电设备，当然了，雷达只是其中的一种。除了利用可见光来分辨我们的去向，飞行员还广泛地使用无线电，这也是光的一种，它每个光子的能量比雷达还少（波长长于雷达波）。有些无线电是不需要人工操作的。导航灯塔就是这样的全自动的无线电波发射器，它不断地发射出信号，使飞行员明白何时该转向了。虽然，由于GPS（详见下节）的引入，它的作用不像从前那样显著了，但仍不失为一种有价值的导航装置。VOR，即甚高频全向信标（VHF Omnidirectional Radio Range），一架飞机一般会用到两台这样的装置来确认自己的位置。

机场内有些自动无线电发射装置更加精密，能提供ILS（仪表着陆系统）装置，可以精确定位跑道，提供飞机接近地面时的准确角度。有了ILS提供的信息，外加一些特殊雷达装置，一架装备精良的飞机能在可见度为零的情况下自动降落，无需飞行员手动操作，这样的系统被称为自动着陆系统（autoland）。

在以无线电为基础的精密导航和着陆系统运用之前，飞行员不得不依赖目视指示器来帮助他们飞回机场。为了能在空中定位跑道准备着陆，飞行员会利用地标，这些地标在空中就能识别。例如，从东面飞入伦敦希思罗机场的航线上就有这样一个标准的地标，它是一个巨型的储气罐。很不幸的是，在同一方位还有另外一个看上去差不多的储气罐，而它指向的则是诺霍特（Northolt）的英国皇家空军（RAF）基地。有一位隶属于美国航空（US Airline）的飞行员曾经驾驶着波音707路过此地，目的地为希思罗机场，结果，他认错了储气罐，最后降落在了诺霍特。这造成了非常巨大的麻烦。起飞时，飞机需要的跑道长度要比降落时的长。而对于一架波音707来说，诺霍特的跑道太短了，无法起飞。

最后，大家不得不把飞机上能拆的都拆了，从座椅到厨房，这样飞机才得以勉强起飞。当地的传说，人们在跑道附近办公区的屋顶上发现了轮胎的印记，从印记的形态来看，像是飞机费尽了周折才得以升空。在这次事件之后，为了区分两个储气罐，它们被刷上了不同的记号。就比如那个希思罗储气罐，人们给它刷上了字母LH——如果你坐火车经过伦敦西区的索撒尔（Southall），你依然能看见它。



在谷歌（Google）里着陆

如果你现在能上网的话，打开谷歌，你就能模拟利用储气罐找到正确航线的过程。输入网址 <http://maps.google.co.uk>，查找Southbridge Way, Southall。把那个“街景”（Street View）小人（就是那个尺标顶部橘色的小人）放在左手边Southbridge Way的尽头。当这个区域的画面出现后，转身让小人面向西方，你将会看到那个浅蓝色、顶部写着LH的储气罐，这就是希思罗储气罐，而不是诺霍特的那个。

第二章 进入天空

驾驶室中的卫星定位系统

如今，现代的航空导航装置是建立在无线电基础上的GPS（全球定位系统），也叫做卫星定位系统，这与汽车上的导航系统是一样的。它利用附近的24~30颗卫星来判断地球上任何一个GPS接收器所处的位置，这些卫星分布在地球周围（越来越多的卫星被送上天，让系统更加精确，所以卫星的数量一直在增加）。每颗卫星都携带着一只走时精准的计时器，并且不断地播报时间和卫星轨道的位置。通常，每只接收器需要至少4~6颗这样的卫星，以光速为单位，计算信号从卫星到达接收器所需的时间来确认自己的方位。

作为爱因斯坦的相对论在现实中的体现，GPS提供了一个鲜活的展示。爱因斯坦提出了两类相对论——狭义相对论（special relativity）和广义相对论（general relativity）。狭义相对论描述的是运动对时间和空间的影响，而广义相对论则论述了加速和重力的意义。在后面的章节里，我们还会仔细地聊聊相对论。不过，想了解相对论对于现实的意义，GPS倒是一个不错的例子。相对论并不是毫无根据的、空谈的理论，它对我们每天都在使用的卫星定位技术有着直接的影响。

狭义相对论提出，快速走动的钟表会比我们期望的走得慢些，并预测到，和地球上的时钟相比，GPS卫星上的计时器每天差不多晚点700万分之一秒，因为它们每小时行进8600英里（约13840千米）。广义相对论告诉我们，重力也会导致时钟变慢。卫星所承受的重力牵引要比我们在地球表面上的小得多，因此，卫星上的计时器每天将多走4500万分之一秒。总的来说，卫星上的计时器每天将多走3800万分之一秒——它们的确做到了。计时器这样的偏差看起来微不足道，但卫星导航系统正是依靠着极其精准的测量来获得准确定位的。如果没有相对论指导纠正偏差，GPS系统将一无是处，仅仅一天之内，GPS所提供的方位将可能偏差好几公里。

第二章 进入天空

全球通用的语言

是无线电将卫星与卫星连接了起来，同样也是无线电使飞机与飞机之间、飞机与地面操控人员之间的互相联络得以实现。在航空发展的早期，人们就意识到，如果外国的飞机不能听懂当地地面控制传达的指令，那后果将会是非常危险的。基于这个原因，所有商业性空中交通的交流语言都是英语——即便双方一个是中国的地面操控员，一个是中国的班机。

小型飞机是通过其注册编号认定身份的，与之不同的是商业飞机，其用于无线电联络的呼号是由航空公司代号加上飞机编号的数字部分组成的。有时，这些代号很明显，也推测得出来。比如，美国航空公司（American Airlines）的代号为AMERICAN，澳洲航空公司（Qantas）就是QANTAS。不过也有一些代号晦涩难懂。例如，英国航空公司（British Airways）的代号是SPEEDBIRD（这个名字来源于帝国航空公司（Imperial Airways）最早使用的徽标，这个徽标沿用至今，被印在机身的一侧），而有一家叫Special Scope的小型航空公司的代号就不那么好听了，叫做DOPE（笨蛋）。甚至还有航班叫做SANTA（圣诞老人）——这是由英国航空公司推出的圣诞旅行包机。

第二章 进入天空

最新式样的跑道

现在，你应该已经滑行到了跑道的起点。通常，一个大型的国际机场跑道的长度有3~5千米（约1.8~3英里）。大型机场一般会有多条平行的跑道和一些面朝不同方向的二级跑道，以提高机场的吞吐量。这是因为，飞机的起飞和降落都需要逆风进行。

当你开始加速的时候，也许你最不愿看到的是被风的阻力拖了后腿，不过事实上，这倒带来了一些便利。飞机为了获得相对于地面的一定速度，若在逆风的情况下起飞，能获得更快地通过机翼的气流——起飞时的速度相当于飞机的滑跑速度加上风的速度。

假设一架飞机需要达到时速150英里才能起飞。若起飞时，逆风时速为50英里，飞机在地面上的滑行时速只要达到100英里就可以了。但如果在相同风速的顺风情况下，气流通过机翼产生的上升力将会减小，这样一来，飞机的时速要达到200英里才能升空。

在现实情况下，机场跑道不可能顾及各个方位，所以它们的方向通常与当地盛行风的方向一致。每条跑道都以它们的磁方位角的缩写编号（在跑道的尽头你能看见巨大的数字）。如果某条跑道与磁北顺时针方向的夹角为10度以内，那它就被编为01号。夹角若为20度以内则为02号跑道，以此类推。由于飞机有可能从跑道任何一端着陆（这取决于风向），所以跑道的两端都被编了号，两个数字相减为18（两者相距180度）。

比方说，伦敦希思罗机场有两条平行的跑道，按照进入跑道的方向，分别被命名为27Left（左）和27Right（右），或是9Right（右）和9Left（左）。如果你从伦敦方向往西面飞，走的就是27号跑道；如果你往东飞，则是9号跑道。希思罗还有一条处于不同角度的第3条跑道——23号或5号跑道——由于太短导致大型飞机无法起飞，所以2005年就被关闭了。它现在被用作滑行道，从谷歌地图的航拍图上你就能看到，跑道尽头的编号已经被擦去了，不过印记还是清晰可见的。其他的机场跑道更多，比方说，雄伟的芝加哥奥海尔（O'Hare）机场就有7条跑道。

当飞机到达跑道起点时，飞行员会面临两种状况。他们最希望的是能立即起飞。在这种情况下，飞机马上就入跑道，紧接着，油门杆被推起，随后飞机便进入起飞前的滑行了。如果能这样，是最高效不过的了，因为发动机就不必再费力使飞机从静止变为运动状态了，而且，毫无疑问的是，这样一飞冲天的男子汉气概对大多数飞行员也充满了吸引力。不过现实中的情况是，大部分时候，你都不得不在跑道的起点等上几分钟。

通常，这种拖延是因为需要起飞的飞机很多。这并不仅仅只是排个队的问题，让前面的飞机先冲上跑道，这样后面的飞机就能远离它们喷射出的气流——这种等待远比排个队的时间要长得多，尤其是当前面的飞机比你那架飞机要大的时候。等待的原因是，起飞时，机翼前端使空气中产生旋转的涡流。设想一下水槽中的水是怎样打着转转流入排水孔的吧。这就是一个微型的涡流，机翼在空气中产生的涡流与之类似，只不过它们更不容易被肉眼发现，而且威力也要大得多。



漩涡之中

想在家中观察到漩涡，你得先把水槽的塞子塞上，装满水，然后小心地将塞子拔出，观察水是如何进入下水孔的（用浴缸代替水槽效果会更好，因为会有更多的时间让涡流成形）。你会在水面上看到一个小

小的漩涡，朝着排水孔的方向涌去。这就是涡流。

你也许听说过这些排水孔涡流受到地域的影响，南北半球水涡旋转方向各不相同。该现象可以用科氏力（Coriolis force）来阐释，它是由于地球自转而产生的。假设某人站在北极，不管他怎么走，他都在打转，事实上还都只停留在原地，这就是地球自转造成的。从两极向赤道方向前进，由于地球的自转，你的速度会随地球一起加快，因为在地球转速不变的情况下，离赤道越近，你要走的那个圈就越大。同理，如果你有一浴缸的水，离地球两极越近的这部分水的运动会缓慢些。最后的效果是，那些水如果不是被固定在地球表面的话，都会以顺时针方向旋转。

科氏力的影响也体现在某些天气现象上，它们在北半球以顺时针方向旋转的方式出现，在南半球则变为逆时针方向。不过，水槽或浴缸的面积还太小，不足以影响到水涡的方向。反而其他一些客观因素如排水孔的形状和塞子被拔出时的方法将影响其旋转的方向。这些因素的影响超过了科氏效应。

飞机翼尖产生的涡流需要2~3分钟才能平复。若有飞机驶入混乱的气流，它将变得难以操控，因此，飞机起飞需要间隔，留出足够的时间让气流恢复稳定。

第二章 进入天空

牛顿定律是怎样让你动起来的

无论是需要等待，还是能直接冲上跑道，起飞的那一刻最终都会到来。这时，油门杆被推起，而你也被猛地推向了座椅。此时，你有机会在现实中感受那个著名科学定律的奥妙了——此刻，你的一切都在牛顿运动定律掌握之中啦。这些定律都和力有关，从本质上来说，力是所有现象产生的基础。比如，若某物体突然开始运动，那一定有个施加于它的力。牛顿提出了三个不同的关于力的定律，当你冲上跑道的那刻起，牛顿的三个定律就开始起作用了。

牛顿第一定律中说到一个物体（比如你的身体）在没有受到力的作用时，总保持原有状态——运动或静止。这听起来似乎并没有什么了不起的，但是在牛顿之前，人们认为如果想让物体处于运动状态，就得不停地施之以力。如果停止施力，物体就会静止。（其实，过去的理念还是挺复杂的呢，因为那时人们认为物体（如地球）都受到重力，因而有一种向宇宙中心靠近的自然趋势，同时，其他物体（如空气）则有浮力，因而有一种远离宇宙中心的自然趋势，而对于除此之外的其他物体来说，不受力便静止。）然而，牛顿却意识到，一旦物体处于运动状态，必须对其施加一个外力（和它原有运动方向相反），它才能停下来。

飞机的发动机施力于飞机，正是这个力使飞机动了起来。而与此同时，你的身体还是处于静止状态。所以，座椅推了你一把。而你（因为你只从你的角度看问题，而非从椅子的角度）感受到的是身体靠到了椅背上，陷入椅子中，但是，不论从原因或效果而言，都是椅子推了你。这样，你就被施力了，开始运动。同样，如果你不动起来的话，当椅子开始向前运动的时候，你的身体将会被椅子击穿。

那么，这个力到底对你做了些什么呢？牛顿的第二定律告诉我们，推你的外力等于你的质量乘以你所经历的加速度。你所感受到的外力越大，你的加速度就越快。飞机在短短的半分钟内就从静止状态加速到时速150英里，这个加速度是重力加速度的1/4。因此，你所承受的g力（g—force）——相当于重力——大约是0.25g。

这个力看起来微小，比起一辆车时速从0到60英里加速过程中所受的g力，它的确算不了什么。例如，捷豹XJR从0加速到时速60英里仅需5秒，所受g力为0.6g。那么，为什么你在飞机上能明显地感觉到自己被推向座椅呢？当飞机油门加大时，你在瞬间承受了大部分的推力，而对于汽车来说，这种推力是逐渐增加的，所以通常都会被人们忽略（而且我们绝大多数人开的都不是高性能的好车）。

飞机在跑道上的加速过程很好地诠释了牛顿第三定律。通俗地说，这条定律告诉我们：两物体相互作用时，它们产生的相互作用力总是大小相等而方向相反。从表面上看，这和废话没什么两样。好像你根本就无法移动任何东西，因为当你试图推某物时，就会产生一个一模一样的反推力，最终的结果就是，那东西还是纹丝不动。但是，如果没有牛顿第三定律，飞机还是动不了。

牛顿第三定律之所以能让物体动起来，是因为作用力和反作用力的受力对象是不同的。当你推盒子时，盒子也以相同大小的力在推你。如果你跳伞，地球对你的吸引力和你对地球的吸引力是完全相等的。但是，我们不能忘了牛顿第二定律——外力等于质量乘以加速度。地球的质量远远在你的之上，所以即便你与地球相互作用的力相等，地球所承受的加速度等于外力除以它庞大的质量——不管怎样，地球都不会受到影响。

当椅子推你时，你也推了椅子。如果不是你推了椅子，你就不会带着加速度陷入椅子中，而会感觉被猛地推向前去。不过，牛顿第三定律的作用远远比这些要重要得多。飞机发动机之所以能使飞机运动，仰赖的就是它。

第二章 进入天空

成为喷气机一族

发动机熄火时，你能看见其前部的巨大的风叶，它们吸入并压缩空气。空气将与雾状燃料混合在一起，这些混合物会在燃烧室里被点燃。这将产生巨大的能量，部分能量将输送给涡轮机以保持压缩机叶片持续运转，但绝大多数能量将从引擎后部喷射出去，汇入压缩机叶片吸入的强劲的空气中。由于引擎对空气产生了一个巨大的向后推力，反过来，空气也会以相同的力量将发动机（飞机）推向前。飞机之所以能持续飞行，靠的就是牛顿第三定律。

飞机引擎能产生巨大的推力。一架四引擎的波音747能产生10万牛顿或100万牛顿的力。牛顿是力的单位（当然，它是以牛顿的名字命名的）。1牛顿的力相当于使质量为1千克的物体产生1米每二次方秒的加速度所需要的力。对于保时捷这种高性能的跑车来说，从0加速至60英里/小时只需要3秒。如果车的重量（在摩擦力的作用下）是200千克，那它产生的推力将达到1.8万牛。

大多数情况下，我们可以通过牛顿定律得出那些和物体运动有关的数据，但是严格来说，牛顿第二定律有一定的局限性，它只适用于那些运动速度比光速慢的物体。运动速度越快，它得出的数据就越不精确，有时，甚至在相对低速时，它得出的数据也是有误的，这也是为什么我们需要调节GPS卫星的计时器，因为它时常会产生偏差。之后我们会说到，如果要获得绝对的精确，或在物体运动速度极快的情况下，我们需要用相对论来替代牛顿第二定律。但是，对于日常生活中的那些运动来说，牛顿定律就够了。

第二章 进入天空

旋转和爬升

飞机开始加速了，飞行员会依次接到指令让飞机加速到V1，VR和V2，这是至关重要的三个空速。对于每一个型号的飞机来说，这三个速度都相对固定，以确保飞机安全起飞。飞机一旦接到“V1”的指令，就意味着它必须起飞，V1被称为决断速度。VR中的“R”代表“rotation”，当飞机达到这个速度时，飞行员会接到“Rotate”（抬轮）的指令。接着，飞行员向后轻拉操纵杆，变换水平尾翼舵面的角度，让机头抬头离地。这样的倾斜能使空气与机翼之间形成更小的角度，使飞机获得更多升力。此时，飞机虽然还没有完全离开地面，却一直处于加速中，当加速到V2（起飞速度）时，它就成功起飞了。

起飞后引擎的噪音会立刻变小，这会使第一次上机的飞行员感到有些担心。其实这并非故障，而是正常现象。引擎源源不断地输出能量，帮助飞机爬升和加速，只不过会稍稍减小油门，减小发动机噪声对机场附近居民的影响。

第二章 进入天空

感受气压

随着飞机爬高，你的耳朵内会有些异样的感觉，你会觉得不舒服，甚至可能感到阵阵刺痛。机舱中的压力低于标准大气压，由此产生耳朵不适的症状。一架民用飞机的巡航高度为35000~40000英尺（约为5英里或11千米）。之所以选择在这个高度上飞行，一方面是为了省油，因为这个高度上的空气阻力较小；另一方面是为了避开影响飞行安全的气流。在这个高度上，气压极低，使人无法呼吸，这里的氧气量只有地面上的1/4，所以，此时机舱内需要加压。

从理论上讲，人们可以将机舱中的压力调整至与海平面气压一致，但是随着压力增大，飞机的重量也会随之增加以确保机舱处于密封状态——因此需要在两者间找到一种平衡。人们认为海平面上6000~8000英尺的气压是机舱内最合适的气压，这实在是一个武断的决定。这个高度类似于墨西哥城的海拔，它是地球上海拔最高的城市。6000英尺处的气压相当于海平面气压的80%，这意味着你只能获得平时4/5的氧气量。而8000英尺高空的气压只有平时的3/4。

由于气压减小，你也许会感到呼吸不顺畅，或是容易疲乏，不过影响最大的还是你的耳朵。伴随着周围气压的减小，你体内无论什么气体都会膨胀。耳朵不适源自咽鼓管内空气膨胀。咽鼓管连接着你的鼻子和嘴，压力改变导致咽鼓管内空气膨胀，耳膜充血，造成耳朵不适。不过，你可以通过吞咽、打哈欠，或用瓦耳萨耳瓦氏手法（Valsalva maneuver）来平衡耳膜两侧的压力差，缓解不适。瓦耳萨耳瓦氏手法指的是用手指捏住鼻子，然后轻轻吹气。

第二章 进入天空

机翼的工作原理

引擎的动力还不足以使你离开地面，你还得感谢机翼。即便是高速运动也无法阻止你下坠的趋势。试想你站在地面上，一只手拿着一颗子弹，另一只手拿着枪，枪里也装着一颗一模一样的子弹。松手让子弹下坠，与此同时，扳动手枪，枪里的子弹水平射出去。哪颗子弹会先落地呢？我们本能的反应是手中的子弹先掉在地上，但事实上，两颗子弹会同时坠地，而且它们落地的速度也是一样的。

由此可见，光有速度是不够的。飞机还需要升力——它是一种向上的力，能对抗重力，使飞机腾空。机翼的存在就是为了获得这种升力。当鸟扇动翅膀在空中飞翔时，升力的来源显而易见。挥动的翅膀将空气向下推，获得向上的反作用力（见牛顿第三定律），就像飞机引擎那样。但是，当鸟处于滑行状态时，升力从何而来呢？或是就飞机而言，它的机翼是固定的，不能挥舞着来推动空气，怎样才能获得升力呢？实际原因有可能与你最初的直觉有所偏差。



给自己来点上升力

我们很容易就能模拟出飞机在空中受到的升力。撕一张纸。如果你用的是A4规格的打印纸或信纸的话，沿着最长的边将它对折，然后，沿着同一个方向再对折，现在，你的实验工具就完成了。把纸展开，拿住纸张的一端，使它自然下垂。现在，把嘴凑在纸被你握住的那头。最后，长长地吹一口气，让气流平稳地经过纸张表面。

下垂的纸被气流托起。你制造了一个升力，就像机翼给飞机制造了升力。正如我们看到的那样，空气以不同的方式在物体上方和下方扩散，产生了一个上升的力。在纸的实验中，空气只在纸张上方流动，下方则没有空气流动，不过，机翼和纸张还是有些不同的。

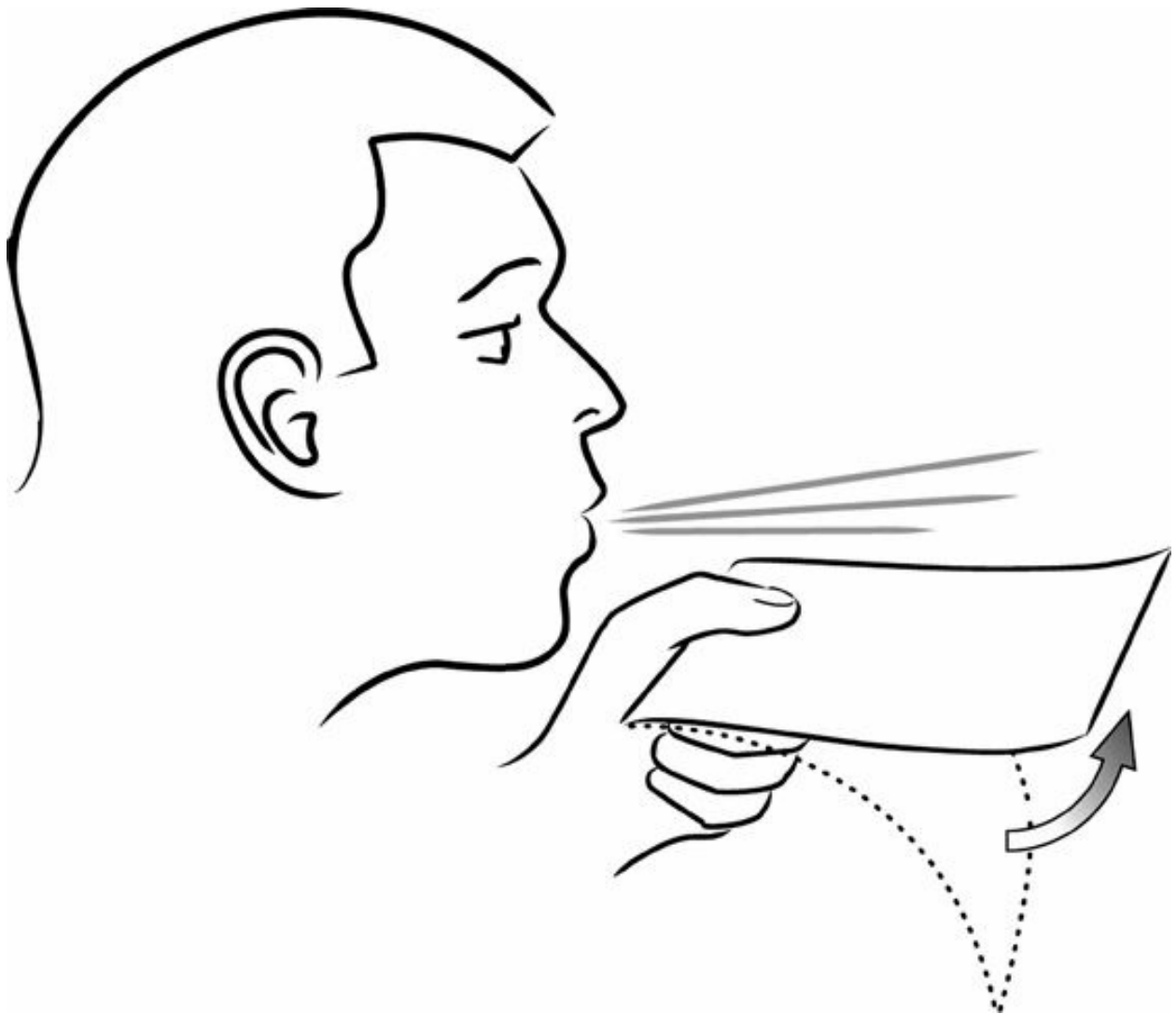


图4 使纸张获得升力

机翼顶部弯曲，而底部相对较平。就像实验中的纸片一样，当空气通过这些弯曲的表面时，升力就产生了，飞机被向前推动。机翼的形状被称为翼面（airfoil），它们能劈开空气，改变气流的方向。由于机翼施力于空气（你猜得没错，还是牛顿第三定律），它们也受到了空气的反作用力。我们马上就会向你展示这一切是如何发生的，不过令人尴尬的是，在很长一段时间内，那些用来解释飞机升力的最常见的说法都是错误的。

你也许听过这样的说法，机翼的形状很特别，空气从机翼上方通过的距离要大于从下方通过的距离。按照这个假设，为了追赶上下方的空气分子，上方的空气分子会加快运动速度，这样两者才能同时在机翼前端汇合，这样一来，机翼上方的空气就变稀薄了。由于空气变少，它在机翼上方产生的压力就会减少。这意味着，机翼获得了向上的升力。

如果机翼上方的空气运动得更快，飞机就能获得升力，这个说法并没有错。但是，这绝不是由于机翼上下两个平面不同的长度导致的。没有理由说，机翼上方的空气分子就一定要追赶上下方的空气分子。而事实是，通过机翼上方空气的速度远远超出了那个需要追赶的速度，导致该现象的原因也和机翼上下两面

的长度没有任何关系。真正的原因是流体（空气）复杂的运动方式。

为了让你能更好地理解这一切，让我们再来回顾一下牛顿的第二定律吧。牛顿告诉我们力等于质量乘以加速度。如果加速度存在，力就存在。但加速度又是什么呢？我们习惯于认为加速度就是发生了改变的速度。例如，在6秒钟内，从0加速到60英里/时。但事实上，加速度指的是速度（velocity）而非速率（speed）的改变。两者的区别在于速度涵盖了速率和方向。速度是一个矢量。所有发生了改变的速度都可以被当做加速度，哪怕它只改变了方向，而速率不变。当某物体以相同的速率转圈时，它就处于加速状态中，而加速度的产生必须以力的存在为前提。

想象一下空气正在通过机翼。弯曲的机翼表面使空气方向发生改变。这意味着空气被加速了，而当它沿着弯曲向下运动时，加速度的方向向下。机翼给空气施了一个向下的力，而机翼则受到空气向上的相等的反作用力。

第二章 进入天空

操控机翼表面

飞机通过机翼上的“一些可操控翼面”获得升力。它们是一些位于机翼和尾翼上的可移动平面，能够帮助飞机倾斜和转向。三个主要操控翼面的工作方法相同：副翼，它是安装在机翼翼梢后缘外侧的一小块可动翼面；方向舵是垂直尾翼中可操纵的翼面部分；最后是升降舵，它是水平尾翼中可操纵的翼面部分。飞机副翼是负责飞机在空中方向的装置，它们控制飞机的左右偏转。当飞机转弯倾斜飞行时，左、右副翼朝相反的方向摆动，右副翼上偏时，左副翼向下，而方向舵则用来控制飞机航向（飞机若向左飞行则方向舵向右转弯）。升降舵摆动的方向则与飞机方向一致，它们控制飞机在空中的俯仰运动。操控不同的翼面能使作用于飞机的力发生改变，它们都能帮助飞机获得升力。

如果你坐的位置能够看见机翼，你会发现在机翼后缘有一些可以伸缩的平面，飞机起飞后它们就会收起，而在降落前，它们又会向外延展。它们被称为襟翼。襟翼有双重作用：它们能够增加机翼面积，从而获得更多向上的推力。这样做能保证飞机在低速时也能平稳飞行，因此对于降落来说，襟翼至关重要，而起飞时，它们的作用也不容忽视。不过，襟翼将增加飞机的阻力。这是一种向后的力，它会影响飞机的飞行速度。在降落时，这样的阻力有助于减小空速，但是在常规飞行中它们就显得有些碍事儿了。因此，飞机一旦起飞，襟翼就会收起以减小阻力。如果你看得见机翼，你总是能看见那一溜沿着机翼排开的支杆（被称为襟翼导轨整流罩），它们控制着那些伸缩自如的襟翼。

如果能看得见机翼，你一定还会注意到机翼不是僵硬地一动不动，它们会随着飞机的飞行摆动。当然，飞机的机翼不可能像鸟儿的翅膀那样大幅度地扇动——飞机不是这样获得升力的——它们之所以会摆动是因为机身的上下颠簸会传导给机翼。在飞行中，大型飞机翼尖的摆动幅度能达到2~3米，虽然这看起来很吓人，但是和机翼的韧度比起来，这算不了什么。在波音787飞行前的测试中，它的机翼被弯曲了8米仍完好无损。如果机翼是僵直的，机翼和机身的连接处将承受无法负担的重荷——别忘了，一架满载的波音747重达400吨。高韧性的材料使机翼能承受这样的拉力。

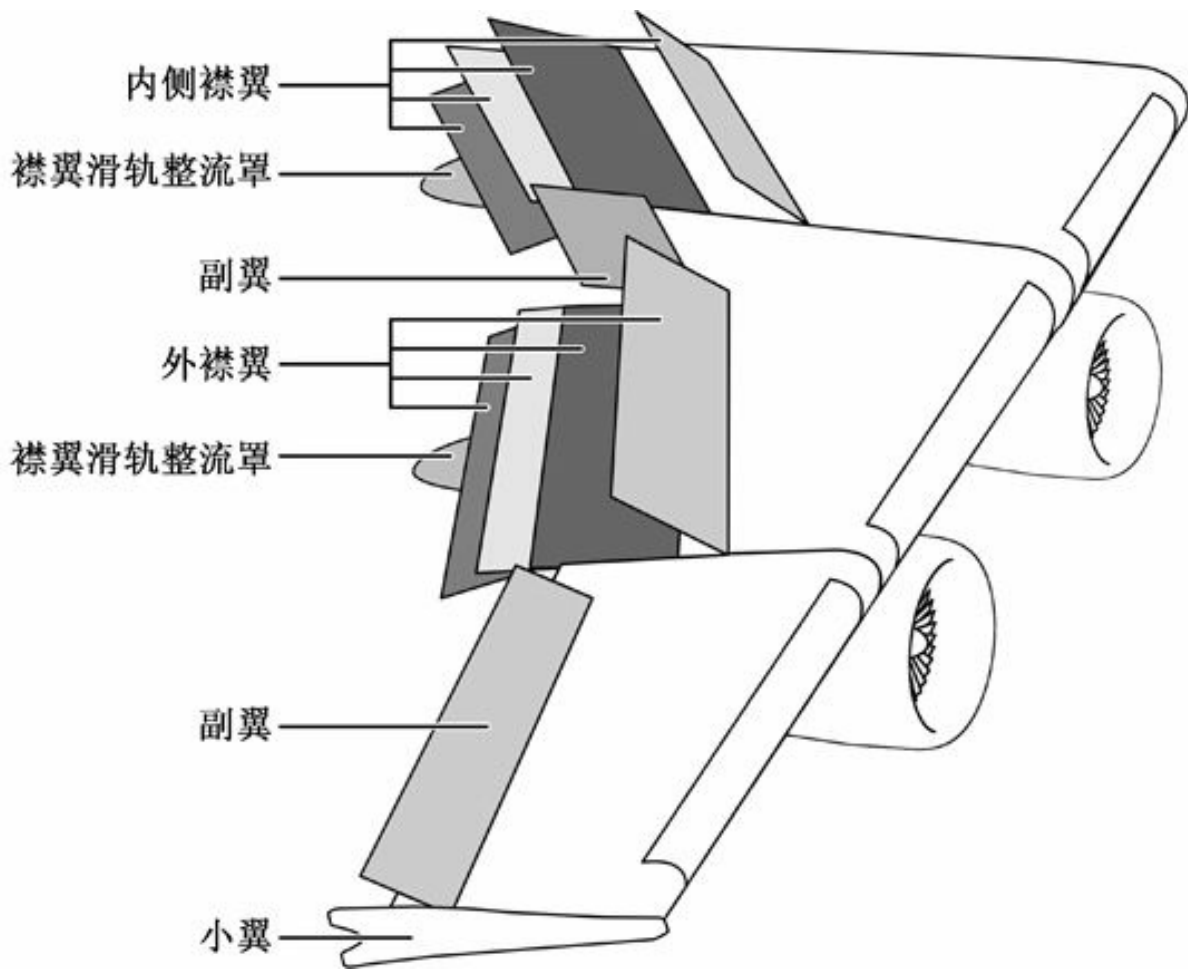


图5 机翼的各组成部分

在一架现代飞机上，你有可能会看到小翼——它被装在机翼翼梢处，很容易看见。

之所以称其“小”是相对于机翼的巨大而言的。它们直立在机翼表面上，有一人多高。小翼有双重作用。它能增加现有翼展的升力，减少阻力。这是因为翼尖产生的涡流容易在空气中形成破坏性的漩涡——两架飞机起飞之间之所以要有时间间隔，为的就是避免这样的空气漩涡。翼梢处的小翼能够截断漩涡，减小涡流的危害，降低阻力。有些飞机上没有安装明显的小翼，但是会在机翼外缘增加坡面的数量，这个方法同样能够防止涡流产生。



实验

飞机受到的力

当飞机在空中飞行时，它会受到五个力的影响，这些力以及其复杂的方式相互作用，推动飞机向前。这些力分别是：

- 重力——给飞机一个向下的力；
- 升力——向上托住机翼；
- 推力——在发动机的作用下推动飞机向前运动；
- 阻力——由于空气阻挡，向后拖住飞机的力，它的方向与推力和上升力相反；
- 湍流——当飞机遭遇不同气流时，受到各个方向来自气流的力。

如果你手边有三张A4或信纸大小的纸，你就可以模拟这些力的效果。你要做的是使每张纸飞得尽可能远（为了礼貌起见，最好还是回到地面上再做这个实验吧）。

将第一张纸片直接扔出去。把第二张纸捏成纸球后再扔出。用第三张纸折一架纸飞机，然后再扔。你会发现每一张纸都比前一张飞得远（除非你的纸飞机折得太糟糕）。对于三张纸来说，它们受到的重力和推力（你发出的）几乎都是一样的。只要这些纸没有碰到气流，空气对它们基本不会产生干扰。因此，造成三者飞行距离远近的只有上升力和阻力了。

第一张展开的纸片受到的阻力最大，因为它与空气接触的面积最大。空气分子与纸张发生撞击产生了牛顿定律中提到的阻力。与空气接触的面积越大，越多的空气分子就会与纸张发生撞击，产生的阻力也就越大。相比较而言，第二张被揉成纸团的纸受到的阻力就会小些，因为它与空气的接触面小，与之发生撞击的空气分子也就少了。

展开的纸片和纸团受到的上升力都较小，但是一架制作得当的纸飞机（它受到的阻力也许会比纸团大些）却能获得更多的上升力，因此，它能比前面两张纸飞得更远。

第三章 探索地形地貌

麦田之谜

当机场离你渐去渐远时，你就进入飞行中最引人入胜的环节了。此时，你离地面的距离还不算太远，你能清楚地看到地面上的各种景物，这给了一个宝贵的机会，让你能以鸟类的视角来观察自己平时生活的环境。如今，人人都可以在网络上看到静态的航拍图，但是此刻机窗外的一切是如此真实，视野是如此广阔，会让你对那些城镇村落的点点滴滴有全新的感悟。

夏季或是早秋时节，若经田野上空飞过，你也许能看到麦田怪圈，空中俯瞰是欣赏它们最佳的方式。在地面上很难看清麦田里究竟被画上了什么图案，但在空中，你能看到犹如艺术品一般的巨幅图形。理论上来说，在田野上画个圈并不是什么难事，但若要是能像这些图案一样有巧夺天工的设计，就没那么容易了。

自20世纪70年代后期的二十多年来，麦田怪圈的成因一直是一个谜。有人推测造成这一现象的也许是不寻常的天气，例如反常的龙卷风，甚至怪圈本身就是外星球造访者留下的记号，作为同伴间的信号，抑或是留给人类去破解的信息。农田中，图案本身之外的庄稼并没有受到半点损害，很多人坚信这一点绝不是人类所能做到的。然而，1991年，来自英格兰南部的道格·鲍尔（Doug Bower）和戴维·车利（Dave Chorley）宣布他们就是麦田怪圈的始作俑者。

他们向人们展示了如何通过一块或几块一端系有粗绳的木板压倒部分庄稼来制造怪圈。为了得到精准的线条，他们用一只穿了麻绳的旧帽子在地面上测量出各种角度。由于没有用到任何重型机械，仅仅是几个人靠步行完成的，因此，完全没有损坏到旁边的庄稼。其实，这些图案并没有我们看起来那样丝毫不差，不过，对于如此庞大的图案来说，人眼难免会有些误差，这也在情理之中的。

时至今日，更多的怪圈仍持续不断地出现在麦田中，且图形日益复杂。虽然有些麦圈被弄成了广告商标的样子，有些图像则更通俗易懂，不过，在所有出现的纹样中，几何图形还是最为常见的。除此之外，还有许多人坚持认为这些麦圈就是外星人的杰作。原则上这也不是不可能，正如原则上，街道尽头的超市也有可能是外星人造的一样，因为你从未看见是谁建造。不过实际上，这种可能性极其之小。不管怎样，麦田怪圈的来历并不能减损其出色的艺术价值，无论如何，它们都称得上是短暂的艺术品。这是一种以庄稼为媒介，以木板为工具制造出来的艺术品，尽管如此，它们也还是一种艺术。

第三章 探索地形地貌

纳斯卡线条的上空

那些从空中俯瞰才能欣赏到的艺术品般的建造物早已不是什么新鲜事了。这其中，令人印象最深刻的当属远在秘鲁沙漠中一片绵延几公里的纳斯卡线条了。这些图案的制作方法十分简单，地面褐色岩层的表面被刮去了数公分，露出下面的浅色岩层，就形成了眼前的坑道线条。这些线条的痕迹非常浅——有些只有10厘米，少数一些最深也不过30厘米，但是，沙漠少雨干燥的气候让这些线条和图形在历经1500年之后还清晰可见。

事实上，许多的纳斯卡线条仅仅就是些直线和简单的轮廓，不过也有一些呈现出抽象的动物图案，有的像猴子，也有的像蜂鸟。这些图形的轮廓巨大——最大图形从一边到另一边的长度有200~250米——而对于那些线条来说，它们则绵延至更远。和麦田怪圈一样，有人认为纳斯卡线条是外星人的杰作，或是那些和外星人接触过的人类留下的用于和外星人联络的信号。人们这样猜测是因为在根本看不到全貌的情况下，这样巨大的直线、弧线以及那些动物图案又是怎样被制造出来的呢？而当时的人们在没有任何飞行工具的条件下，又为什么要建造这些只能从空中才能看见的图形呢？建造这样大的工程似乎是那个相对落后的文明所无法企及的。



图6 纳斯卡线条的一部分（纳斯卡，秘鲁）

不过，这样的猜测忽略了两个事实。首先，当某物被赋予了精神意义时，人们趋向于把它们修建得宏大雄伟。比如说中世纪的教堂。13世纪建造的索尔兹伯里大教堂（Salisbury Cathedral），有着123米（404

英尺)的尖塔,这和同时期英国的其他建筑物形成了鲜明的对比。人们很容易产生这样的联想,中世纪时,落后的欧洲人还居住在简陋的小屋里,怎么会有能力建造出这样雄伟的建筑呢?不过,索尔兹伯里大教堂的宏大雄伟寄托着人们远离人寰、接近上帝的愿望。

即便不是出于精神寄托,人天生就喜欢大的东西,如果画布够大的话,我们自然希望上面的图案越大越好。看看那些在海滩上堆沙堡的人吧,有些沙堡大得令人惊讶。孩子们在沙滩上画出若干米长长的线条,他们这么做不是为了要给外星人发信号,仅仅是因为好玩罢了。无法飞到高空俯瞰全局并没有妨碍孩子们画出巨幅作品,他们这么做是因为他们可以这么做。这样一幅巨型的画布让人着迷,使人们不可避免开始追求宏大的效果。从某种意义上来说,纳斯卡线条和沙滩作画一样,只不过,荒漠是放大版的沙滩,它能让维持图案几百年不被磨灭,而不像沙画一样随时会被海浪冲刷得无影无踪。

第三章 探索地形地貌

白垩图腾

至于人类制造大型标识的第三个原因，让我们来看看英国的“白马”（white horses），当你飞过英国上空就会看见它们，这些规模相对较小的地标同样引人注目。这些白马的刻像（有些实际看起来并不像马）出现在表层覆有薄土的白垩地质区域。艺术家们通过冲刷移走岩层表层的草皮和泥土，让下面浅白色的白垩岩显露出来，再凿刻出恰当的形状，这样，某种生物的轮廓就被勾勒出来了，它可以是一匹马，也可以是一个人，或者，你也可以将整片的草皮都清除干净，让白色的图案整片裸露出来。

最为人广知的白垩岩刻像也许当属英国乌飞顿（Uffington）的白马了。现实中，它看上去不怎么像马，而更像一条龙（也有些人说像狗），无论如何，这个刻像还是让人印象深刻，哪怕它只是由一些抽象的线条组成的。从地面上很难看清这个刻像的全貌，只有在空中你才能感受到它的绝妙之处。不过即使在地面上，还是能隐约感觉它刻画了些什么，你可以将它当做一条充满仪式感的小径，沿着它的轮廓，绕着走走，与之交相感应——这一幕或许也曾在纳斯卡出现。建造这些图案的本意也许就是让人们能绕着走吧。



图7 乌飞顿白马（Uffington White Horse）

乌飞顿的白马已经有200多岁了。仅仅查看翻起的草皮无法掌握石刻的详细数据，不过，这些数据可以通过两种途径得到。第一种叫做光释光测年法(optical stimulated luminescence dating)，它通过研究矿物因自然辐射而发生变化的结构来进行年龄测定。这些结构的改变有序而稳步，因此，当物质被埋藏起来时，它

们的结构改变像计时器一样记录着埋藏时间。不过，一旦这些矿石暴露在光线之下，“计时器”就不再精准了。对比白马表层和其周围草皮之下的白垩岩，就能估算出石刻的年龄。同时，这种与众不同的白马形状出现在许多铁器时代（Iron Age）的钱币上，这意味着在2000多年前，该图案或与之类似的图形就已经存在了。

从某种意义上来说，白垩岩白马们犹如人的身体。每时每刻，人体内的细胞都在不停更替——骨头里的细胞也不例外——所以，多年之后，你原有的身体在这种交替中已经不复存在，虽然它仍然是你的。同样，随着表层植被的繁茂回侵，白马们也接受着自然的改造。人们得定时清理它们，一般十年一次，使之清晰如初。



实验

你飞了多高

这个方法常常被用来估测高空距离。我们将运用到几何学。如果两个三角形所有对应的角度都相等，其对应边也成一定的比例。如果其中一个三角形最短边的长度是另一个三角形最短边的两倍，那么前者另外两条边的长度也分别是后者两条对应边长度的两倍。

以此类推，握住某物伸至一臂之远，如果你知道臂长和物体的高度，我们可以使之与远处的物体进行对比。如果你知道这个物体的大致高度，那我们就可以估测出它与我们的距离。这个方法的可行之处在于我们能把手臂的长度和手中那个物体的高度看成是三角形的两条边。机窗外某物体的距离和它的高度则是另外一个三角形对应的两条边，这个三角形与手臂组成的三角形形状类似，但是却要大得多。

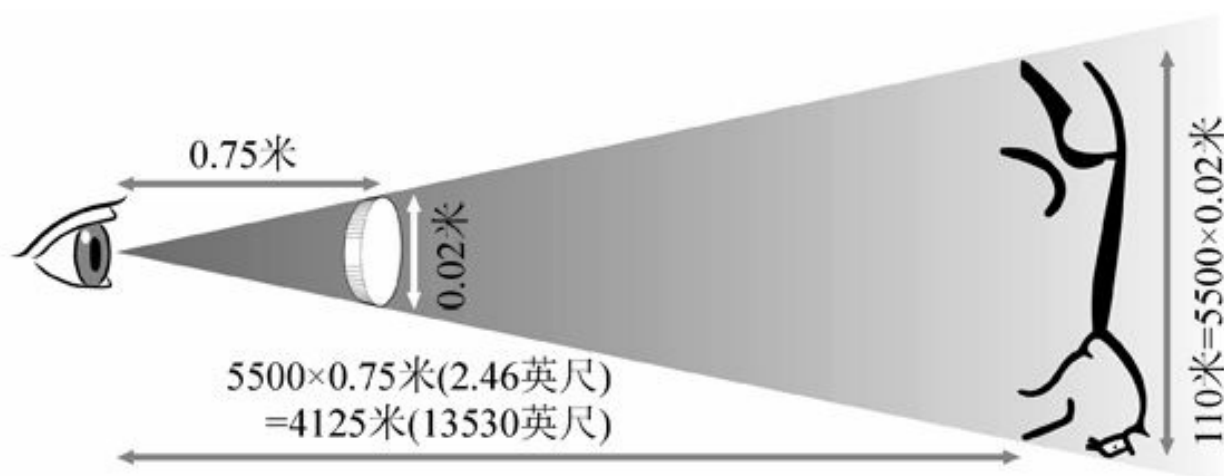


图8 通过一臂之外的物体来测算距离

测算距离的第一步是将手臂伸直，测出你的眼睛到指尖之间的距离。若下次有机会，你可以量量，不过，如果你手边暂时没有卷尺的话，那我告诉你，你的眼睛到指尖的距离差不多是0.75米（2.5英尺）。现在，你还需要一些物体作为参照物。

·圆珠笔笔尖的直径约为1毫米（1/1000米）——1米是它的1000倍。

·纸张打洞器打出的洞的直径约为5毫米——1米是它的200倍。

·一枚英国1便士的硬币的直径约为20毫米——1米是它的50倍。

测量一下你随身携带的一些硬币的直径，它们将成为下一步测算的参照数据。

现在，让我们来看看一些我们熟知的物体到底有多大。比方说，乌飞顿白马的长度为110米。你可以联想一下汽车大约长4米，一栋独立的住宅对角线长为10米，一座普通的工厂或是一座大型购物中心的占地直径则在100米至200米之间。

设想一下，当你看见乌飞顿白马时，它看起来和离你一臂之远的便士差不多大小。一米的长度是1便士硬币直径的50倍，而白马长110米，是1便士硬币直径的5500倍。

这意味着，你与白马之间的距离是你的眼睛到指尖距离的5500倍。所以，比较之后，你发现自己处于约1219米（4000英尺）的高空。

第三章 探索地形地貌

过去的踪迹

即便身处地面，你也不难发现乌飞顿白马或纳斯卡线条的踪迹。你或许不具备空中旅行者那样能看清图形全貌的视角——但是，当你经过遗迹附近时，依然会注意到它们的存在。人们用相同的方法观察某个大型遗址的地基，在地面上，它们似乎只是一些胡乱堆砌的墙壁，不过若从空中俯瞰，其精细的构造则一一呈现于眼前。而且，在飞机上，你能发现地面上一系列人类遗迹，身处地面时，你从未留意过它们，即使它们就在你旁边。

时光流转，许多昔日的繁华都市渐渐落寂，从私人建筑到整座城镇，无一例外。这可能是由于某片区域被一个文明所抛弃，成为被遗忘的角落，例如，铁器时代的人类居所或是罗马时期的住宅。也或许是由于附近矿产资源枯竭，或是土地荒废，而相应的工作机会也随之消失。起初，这些废弃的建筑还十分显眼，就如照片中的旧萨伦姆一样，但是，废墟上的建材常常会被取走用于别处。而这些相对不怎么结实的建筑物——通常它们都是木结构的——在时间的侵蚀下逐渐衰败。那些宏大的教堂和城堡，在被遗弃了几百年后仍能站立不倒，但是对于一些居民住宅来说，它们最终沦为地基而且很快就消失在土层之下。

通过一些合适的工具就能侦测出这些隐匿的历史考古遗址。通常，地基中建筑材料与周围土壤的密度不同，它们的含水量也不同，同时遗址还具有一些不寻常的特征，现代探测仪器都能将其一一发现。不过，还有一种更简便的方法来发现遗址，那就是使用低空飞行的飞行器。

如果有机会在拂晓或是黄昏时分起飞或降落，你可以试试这个方法，这是发现遗迹的最佳时间。此时，太阳斜垂于低空，阳光和地面形成了一个相对较小的角度。留意一下开阔的田野，尤其是村落周围的那些。比方说，那里曾经树立着一栋罗马时期的民宅，而如今只剩下一些埋藏于土下的残墙断壁了，即便有人途经，也很难注意到它的存在。若土层之下埋有一段残墙，其上植被的生长将受到抑制而显得稀疏，不如周围的植被那样繁茂。若土层掩盖的是一段沟渠，其上的植被则更高壮而丰茂。

这样的差别在地面上是不容易被注意到的。不过，当光线以较小角度射入时，长得高的植物将在地面投射下更为浓重的阴影。从空中看，这些阴影连同繁茂和稀疏植被之间微妙的色差将遗址大致的轮廓勾勒了出来。在一片开阔的田野中，这座隐藏的建筑地基会以阴影的形式展露出来。许多考古遗址就是这样被完整地发现的。如果足够幸运，你将通过这种途径发现一座隐秘的建筑，看见一座近千年来地面上都无人察觉的遗址，植被和斜阳交织的浓厚的阴影使之重现于世。仔细观察，别混淆了遗址的阴影和拖拉机在田野留下的痕迹。拖拉机留下的是开放式的线条，而不是闭合的形状，它们更加清晰易辨认，远不及光影交织这般微妙晦涩。

第三章 探索地形地貌

追随水路的足迹

在空中，除了能发现人类建筑的残迹，我们还能更加清楚地看见一些自然界中的现象是如何形成演变的。江河与溪流就是不错的例子。一条小溪最初的样子与一条成熟的河道有着天壤之别。由于水从高处往低处流，溪流最初的形态类似于树干和嫩枝（这种形态被称为树枝状（dendritic）），只不过小溪的生长方向和树相反，树是先发枝干，再生嫩条，而在溪流演变中，水滴聚集成水流，水流汇成更大的支流，最后流入主河道。

这些年轻溪流的形成过程给我们展示了两种十分有趣的科学现象：自主成形体系（self—patterning systems）和分形（fractals）。



自主成形体系（self—patterning systems）

这个实验在飞机上没法做，只好等你到家再操作吧。将蜡覆盖在一只小托盘中——最好是将蜡熔化，然后倒入托盘中。你可以将蜡置于碗中，将碗置于一锅沸腾的热水中使蜡熔化。尽量使蜡均匀地平铺在托盘中，接着，就等待着蜡凝固吧。

现在，端起托盘，把它斜放入水槽内形成一定角度，使水能顺着流下。在托盘顶端靠近中间的位置，将一小注热水浇在蜡层上，这样，热水就顺着斜坡下流。（小心别烫着自己!）起初，热水会在蜡层表面四处流动，但是，随着蜡层逐渐熔化，沟渠就在其表面出现了。一旦形成了沟渠，水就会通过三条路径流下去。这将熔化更多的蜡，而表面的沟渠也会变得越来越宽，越来越深了。沟渠越宽深，流经的水就越多。这个过程将周而复始。

蜡和热水构成的这种自主成形体系十分有趣，因为最开始并没有固定的模式。液体毫无次序地流经表层（如蜡上的水柱，溪流形成初期的水流），随着表层细微的起伏而波动。当液体流动起来时，它开始侵蚀表层。一旦形成了一道浅浅的沟渠，更多的水就会涌向这道浅沟，使之不断被拓宽。

大脑同样具备了自我成形的体系。大脑中负责储存信息的部分是由数百万个特殊的细胞组成的，我们称之为神经元（neuron）。每个神经元又通过一种被称为触突（dendrite）的丝状体与成百上千个神经元相连。正是这些连接行使了大脑的记忆和其他储存功能，不过在形成的初期，这些连接十分脆弱。连接一旦建立起来，只要反复使用，它们就会逐渐增强。这些经巩固的连接更易于使用，因此也更频繁地被人们使用。一旦这样的初始形态出现了，它们就会在反复使用中自我强化。

第三章 探索地形地貌

有趣的分形

溪流形成过程中第二种有趣的科学现象被称为分形（fractal），同样，它与溪流最初成形时混乱无序的方式有关。此混乱并非是编辑热衷的那种出现在报纸头条的混乱，他们笔下的混乱意为无序的骚乱。数学意义上的混沌说的是事物开始时的状态对其今后发展的影响。初始时十分微小的变化对其未来状态会造成极其巨大的差别。这种现象常被描述为“蝴蝶效应”，说的是某一大洲上龙卷风的起因也许是另一大洲上某蝴蝶扇动几下翅膀。尽管这种说法过于简单，却很好地诠释了这个概念。

分形是混沌几何形态的一种，它强调的是“自我相似”。如果你将某个形状看成是一个整体，取出整体中任意的一个片段，然后将其放大至与整体大小相同，会发现该片段有着与整体十分类似的结构。树是一种分形，而在孕育过程中树状结构的年轻溪流也是一种分形。地面上微小的变化对水流方向产生巨大的影响，由此，溪流在分形中不断壮大，这就是数学上经典的混沌法则。

第三章 探索地形地貌

河湾的形成

随着小溪或是河流的“主干”日渐宽阔，它们的形态开始变得蜿蜒曲折了。同样，这样的变化也是一次混沌事件，初始条件下极其微小的变化将导致未来状态的巨大差异。由于地表凹凸不平，当溪流形成时，它们不会笔直地朝一个方向流去。若是观察一下那些向左拐弯的河道就不难发现，通过河道左面水流流经的距离更短，而通过河道右面的水流流经的距离则更长。

水流在河道里流动时将呈现出两种情况。假想一下水流正在通过河道的转弯处，左手边河道内侧的河水流速较快，而河道外侧的流速则较慢。初看起来，这也许和你想象的情况正好相反。假设是一个固体物质绕过弯道，该物体所有部分都组合在一起不能分离，你大概会认识到，比起该物体的外侧来，其内侧通过的速度会慢些，因为在同样的时间内，内侧需要运动的距离比外侧要来得短。这也是汽车轮胎需要安装差速器的原因，因为汽车在转向过程中车体内侧的轮胎比外侧要转得慢。不过溪流并不是固体，而是流动的。和固态物体运动时齐头并进的状态不同，水流的各部分在运动时并不是同步的。

左手河岸内侧的水流加速是为了保持角动量守恒。想象一下张开双臂，在冰面上旋转的溜冰者。如果他们把手臂回缩收拢，旋转的速度将会加快。角动量是由与物体到原点的位移和其速度决定的。在不受外力作用下，角动量是守恒的——除非你施与外力，否则它将保持不变。当溜冰者将手臂收回时，半径减小了，因此，旋转的速度就会增加以保持角动量不变。

同理，当水流流经半径较小的左边的内侧河道时，其流动的速度会加快以保持角动量守恒。这样一来，外侧河岸所受的压力将略高于内侧河岸。（你可以想象成内侧河岸附近的水分子更稀疏，因为它们走得快，所以内侧的压力也小些）。

不同的压力造成了河水从河岸外侧至内侧的二次流动，并从外侧河岸带来沉积物。因此，泥沙从弯道的外侧被冲刷到了内侧，这使得河道愈来愈弯曲。河水流动的过程中，其流向的右侧往往向外凸出，形成凸岸，而其左侧则明显地凹了进去，形成凹岸。

水流转弯后回到主河道，接着转入右边，同样的一幕又上演了，于是右岸的河湾就逐渐形成了。最后河水流成了一条潦草的正弦曲线，先往一边拐，接着是另一边，不过，这些弯曲的弧度都不一样，这是由于这些水流在启程之初受到了各不相同的外界影响，即便这种影响极其细微。随着河水不断地迂回前进，一个个“点坝”（point bar）出现了。点坝指的是河曲带内侧的泥沙的沉积。河道外岸被不断地侵蚀，越来越多的泥沙被带到了河道内岸，这些沉积最后形成了小型的沙滩。

最终，其中的一个河曲越来越弯，形成了一个环形，河流遂截弯取直，由较笔直的新河道流走，留下一个与主河道平行的独立的半月形湖，湖形似于牛轭，称为牛轭湖（oxbow lakes）。如果站在河边，很难看清这些水流的演变过程——但是在飞机上看就方便多了，你能看见还处于树状的年轻溪流，迂回的河曲还有那些演变中的或是发育完成的牛轭湖。

世界上有很多的牛轭湖在形成没多久后便消失了，事实上，地球上已经少有不受人类影响、百分之百天然的景致了，这听上去还挺不可思议的吧。也有一些广袤的沙漠、森林、苔原和荒原还是未被开发的处女地，不过一旦有人类在附近定居下来，它们就会被开发利用，欧洲的发展过程就是一个最好的例子。即便是看起来充满自然气息的乡村，也是因放牧和其他一些农业活动的影响才变成了现在的样子。

虽然乡村景致有一些与生俱来的特征，不过在飞机上，我们更容易看出哪些样貌是浑然天成的，哪些是经过人类活动后改造的。你也许会看到不同的梯田，有些修建于中世纪或年代更加久远，先民们用梯田进行坡地耕作。或许，你还会看到两种风格迥异的田埂。那些陈旧、面积较小、不规则的围场通常出自大自然之手，而那些大型的、更加规整的农田则是现代农业的产物，为的是使农业机械发挥出最大的功效。

第三章 探索地形地貌

你居住的城镇是如何发展起来的

当你在低空飞过成片的住宅时，你可以看到街道大致的结构，观察一下那些规划成熟和那些正处于发展中的城镇，它们之间的区别十分有趣。历史悠久的城镇是由一些交错的小巷演变而来的，它们的排列遵循了自然界中物质生发的形态，呈现出发枝树木或树状溪流的样子。通常，人类依山傍水而居，江河提供了水源和沟通的媒介，而山脉则保障了安全，因此溪流江河或山脉的形态决定了一处人类定居点的雏形。从空中俯瞰，你所看到的街道结构会是许多的弧线，树枝一样的分叉和迷宫一般的图形。

随着时间的推移，土地逐步被改造规划以符合城镇发展的需要。在一张现代城镇的平面图上你会看到一些人工的河道，溪流江河穿越而过，你还会看到许多排列整齐对称的街道。在这方面，美国有些城市更加极致，它们看上去就像一排排整齐划一的方格坐标图，现代社区的街道也采用了同样工整对称的形态。若将一个乡镇看成一个整体，将那些街道看成是树叶的脉络，然后试着去领会它的形状。在你眼中，它更像自然之物，还是更像人为的设计成果呢？

一般来说，若从空中俯瞰，年代越久远的村落城镇就越呈现出贴近自然有机体的形态。当然，也有一些例外——比如说那些高档的城郊开发区，它们模仿了发展中乡镇的雏形，展现出更多的自然之态，不过即便如此，也无法抹去人为规划的痕迹，因为它们的排列和结构都太过完美了。混沌的分形在自然界中无处不在，建筑师们一直在极力模仿，却发现困难重重。

第三章 探索地形地貌



计算海岸线的长度

假如你从岛上起飞，比如英国，不久你将会经过海岸线。观察一下那些视野范围之内延伸的海岸。你觉得它有多长呢？现在，用一些我们熟知的物体就可以进行测量，如汽车、房子和工厂，这取决于你所在的高度。大致上，汽车长4米，一栋独立的住宅对角线约10米，一座普通的工厂或是一座大型购物中心的占地直径则在100米至200米之间。这是一个不错的机会来实践一下之前提到的估测距离法（第61页），将已知物体与处于一臂之远的参照物来比较一下吧。

沿着海岸线画一条虚拟的直线，测出直线的长度，你大概会用这种方法来估测机窗外海岸线的长度了吧，但是，这个方法真的可行么？如果要深入到每一个小海湾和小海岬，那又会有什么不同呢？这样一来，海岸线的长度将大大增加。

这是一个缩小版的“英国的海岸线到底有多长”的问题。你可以选择相应计量单位计算出英国海岸的最小周长，此时，小于该量规的海湾和海岬就会被忽略而不被计入在内，但是，所采用的量度越精密，海岸线显露出的细节就越多，而海岸线长度也将趋于无穷。理论上来说，至少是在数学上，海岸线可以是无限长的。



无穷无尽的海岸线

做这个实验，你得准备一支笔和一张纸。如果你的手不能保持稳定，那最好就用一下尺子。画一个大大的圆（你可以沿着盘子边缘画一个完美的圆，不过即使没有盘子，画得不圆，也不要紧）。在圆内画一个等边三角形——等边三角形的三条边长度相等，使三角形的三个顶点尽量接近但不碰到圆的外围。现在，以各边的中间长度为底边向外画出另外一个等边三角形，其边长是前者的 $\frac{1}{3}$ 。（要画出这样一个图形，你可以将大三角形的边平分成3段，然后，以中间那段为基础画出新的小三角形。）

接下来，以同样的方式在第二层小三角形向外的两条边上画出更小的三角形——它们是以第二层三角形两条边的中部为底的三角形，方向朝外，边长是前者的 $\frac{1}{3}$ 。重复相同的步骤继续画下去，想画多少就画多少。

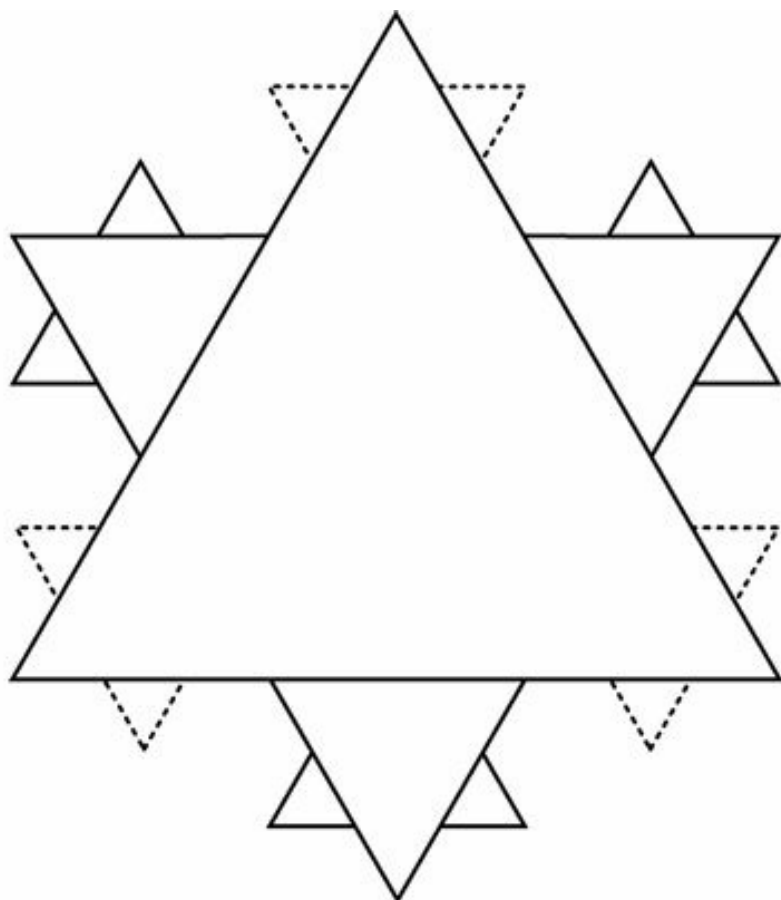


图9 科赫曲线（Koch curve）的雏形

为了达到最明显的效果，你需要以第一个三角形为基础，在其三条边画出向外的第二层三角形，然后再以第二层三角形向外的各边为基础，画出向外的第三层三角形，周而复始。

你所画出的这个图形被称为科赫曲线（Koch curve）。这种图形很有趣，因为它包围着有限的面积——它永远都在圆圈里面——但是，随着三角形的层层增加，科赫曲线的周长却不断变大直至无穷。

英国的周长和科赫曲线类似。第一个三角形的周长小于其外圆形的周长，但是随着褶皱部分的增加，它的长度将趋于无限。

和发育中树形的溪流江河一样，实验中画出的科赫曲线也是一种分形。观察一下你就会发现，这种曲线的每一个子集都与整体缩小后的形状类似，具有相同的结构。科赫曲线之所以能有无穷大的周长是因为它是一种抽象的数学图形。与科赫曲线相比，英国（或是任何岛屿）的海岸线还是有些不同的。尽管在测量岛屿周长时，随着测量单位变得无穷小，你能计入的迂回弯曲也越来越多，但是这毕竟是一个由原子组成的有形的物体。当最终达到以原子量级的尺度为单位时，测量就无法再进行下去了。因此，英国的海岸线的长度并非真正无穷无尽——不过，它还是能变得很长很长。

也许以上所述最有趣的地方在于我们不能用一个固定的数值来表达距离。我们实在很难说英国海岸线到底有多长。通常，我们总是习惯地认为科学能给我们一个明确的答案，不过就海岸线问题而言，在某一

范围内一系列的答案都是正确的，完全取决于你是怎么测量的。海岸线有多长？没有唯一正确的答案。

第三章 探索地形地貌

无法抗拒的重力

我们之前看到的江河溪流最终都会流入大海。孩子们（和一些早期的哲学家）以为河流总是会流向大海的……因为河流就是应该这样啊。这种想法显然是不对的——你能找到一条在海岸附近发源的河流，却朝着和大海相反方向的内陆流去。现实中，河流都只往低处流。它们只能往低处流——因为它们受到重力的操控。对重力的认识非常重要，这不仅能帮你理解河流的流经路径，而且你飞行体验的安全舒适也都仰赖于它。坦率地说，人们对各种各样力的认识总是有所偏差。



力场（force field）

在这个实验中，你需要将一只球抛入空中。如果你在飞机上，用纸球也行（不过别抛得太高了）。轻轻地把纸球抛向空中，它向上运动几英尺，然后下落，被接住。观察纸球的抛落过程。实验几次，试着找出纸球的抛落过程中的三个阶段——纸球在空中做上升运动，达到上升运动的顶点，然后落下回到手中。

思考一下纸球运动的每个阶段。纸球离开你的手飞向空中，然后达到飞行的顶点，最后中途折回下落，这三个阶段中，如果忽略空气阻力，纸球分别受到哪些方向的力呢？

每个运动阶段中，如果不计空气阻力，纸球都只受到唯一一种力的作用，这听起来有些不可思议。这就是竖直向下的重力。的确，你的手给纸球施加了一些向上的力，不过，从纸球离开手的那一刻起，唯一作用于它的力就只有向下的重力了。这意味着，在整个旅程中，纸球都在向下加速。从纸球被抛出的那一刻起，在加速度的作用下，它向上的运动速度就开始变慢了，而向下的速度则变快。

当纸球到达飞行的顶点时，它就停住了。不过此时没有平衡的力能使纸球一直保持静止状态。它依然受到使它向下加速的力。同样，在下落过程中，纸球依旧受到向下的力并且明显向下加速。

如果这不是你最初的设想，也不要感到困扰。在一份针对科学老师的问卷调查中就已经出现过这个问题（当然，他们大多不是物理学家），大部分老师的答案都是错的。任何物体当它开始运动时，比如你的飞机，我们都有必要了解一下其中所牵涉的关于力的知识。

在重力面前，我们毫无选择余地。重力永远都竖直向下（更精确地说是指向地心的方向）。因此，在重力的驱使下，水往低处流。一般情况下，海洋是本地大陆的最低处，这意味着，无论怎样河流终将入海。不过，也存在着这种情况：陆地上有一处地势很低。这样的话，水将会汇集于此。

如果仅仅只有一支小水流汇入此地势低处，而蒸发和渗透的水量又大于等于流入的水量，水流不断汇集于此形成湖泊。否则，水平面将不断上升，最后从周围地面的最低点满溢出来，形成了一条全新的自主形成的水流，朝着地势更低的下游流去。

第三章 探索地形地貌

从河流到海洋

河流入海时，许多河流会在河口形成三角洲。三角洲的形成是一个缓慢的过程，日复一日，河水挟带的泥沙在入海口沉积下来。三角洲的主要类型有扇形三角洲、鸟足形三角洲和尖形三角洲。河流注入海洋时，水流向四处扩散，动能显著减弱，流速也慢了下来。这意味着河水所挟带的泥沙分离并沉淀了下来，形成一片向海面伸出的平地，外形像英文字母V，日积月累，沉积平地不断向前推进，最终形成了三角洲。

不过，不是所有的河流都能形成三角洲。许多河流的入海口更加宽阔，与海洋的分界线也没有那么明显，入海口中某个区域的水介于海水与河水之间。在这种河口处通常会形成泥滩或是一些时而会被海水淹没的开阔的区域。

人们经常用盐水与淡水之间的区别来表述海水与河水的不同。的确，如果你尝一口海水，它给你留下大致的印象就是咸咸的味道。但是现实中，海水本身并不含盐。它的成分包括钠离子和氯离子（当然也含有一些其他的成分）。离子是指原子失去或得到一个或几个电子而达到的稳定结构。钠离子比钠原子少了一个电子，因此带正电，而氯离子比氯原子多了一个电子，因此带负电。

钠本身是一种不稳定的金属，遇水会发生爆炸反应。几乎所有的钠在自然界中都以化合物的形式存在。化合物是由不同种类的原子组成的分子。（分子可以由单一种类的原子组成，如氢气分子是由两个氢原子组合而成的。）海水中的钠离子来自于如硅酸钠之类的岩石（硅酸钠由钠、硅和氧三种元素组成）和碳酸钠（碳酸钠由钠、碳和氧三种元素组成）。河流入海的旅途中，沿途的碳酸钠溶解于河水中，被带入海洋。海水拍打岸边那些含钠的礁石，也会将钠带入海洋。

氯也是一种能产生剧烈反应的元素。它是一种绿色的气体，有剧毒，第一次世界大战中的化学毒气战中就出现过它的身影。（人们用氯化化合物给游泳池消毒，氯能使人中毒也能消灭大多数细菌。）海水中的氯离子大多来自海底火山和排气孔洞，它们向海水中喷射大量的化学物质。在普通的海水中，氯离子和钠离子漂散在水中，它们既不和海水中的其他离子发生反应，相互之间也不结合。但是，海水蒸发时，离子的密度变大，带正电的钠离子吸引带负电的氯离子，两者结合在一起，形成晶状的氯化钠，通常我们称之为盐。

第三章 探索地形地貌

水，到处都是水

假如是远距离飞行，你也许会在水面之上飞行很长一段时间。地球表面百分之七十几的面积都被水覆盖，这占到了地球表面的三分之二还要多。从太空中看，地球最显著的特征就是水。这玩意让整个星球看起来都是蓝色的。以整数计算，地球上的水有14000000立方千米之多。这个量太大了，你或许难以对此产生确切的概念。1立方千米相当于1000000000000公升的水。（你想象一个水做的立方体，它的每条边的长度都是1千米。）

那么，为什么我们总是不断听人谈到水资源短缺呢？为什么非洲的很多地区会因为缺水而造成农作物歉收呢？将地球上的水按人头来算，我们每人分到的水量是0.2立方千米。说得更精确点，人均得水量是212100000000升。

如果将你分到的水装进1公升的容器中，这些容器堆起来差不多有10000000千米——这个高度是地球与月球之间距离的26倍。按照每人每天消耗5公升水的合理标准来算，地球上的水能用116219178年。而且，这还是基于水消耗了就不会再回来的假定下。实际上，许多被我们“消耗”过的水很快就能循环回来，以后还能使用。

当然，现实情况远比我们刚才展示的要复杂得多。日常生活中，我们每天的用水量远不止5公升。一个普通的西方国家的居民每天会用5000至10000公升的水。我们用水洗澡——浇灌草坪或是冲厕所——不过现有最耗水的还是加工人类日常消费的商品和食物，它远远超过个人用水量。仅仅是生产1只汉堡的肉饼就要消耗3000公升水，而制造一罐一公斤咖啡的整个过程需用水20000公升。

尽管如此，即便每天人均用水10000公升，在没有任何形式水循环利用的前提下，我们拥有的水还是足够使用57000年。那么，水资源短缺又从何而来呢？虽然地球上水资源丰富，但是大部分的水很难为人类所用。有些水被冻结在冰川中或是蕴藏在地底，但是，到目前为止，大部分——占地球总储水量97%——的水都在海洋里，在你飞行的旅程中你将可能看到它们。

对于任何一个拥有海岸线的国家来说，获得海水并不难，不过想要利用它却是件很费钱的事。事实上，像英国这样的岛国宁愿花巨资修建水库收集淡水，却不用唾手可得、取之不尽的海水，这说明将海水转化为可饮用的淡水的海水淡化过程是多么昂贵。水资源短缺实际上就是能源短缺。如果有足够的廉价能源，我们就能将大量的水运送到适当的地方，用最少的成本将海水淡化。

当你飞越大西洋、太平洋或是类似的海洋时，你能直观地感受到地球的水资源是多么的丰富。飞机以每小时超过800千米（约500英里）的速度飞了一个又一个小时，而你目及之处都是海洋。不过海水并不是一成不变的。即便身处高空，你还是能看到白花花的浪头和海水变换丰富的色彩，从最明亮的蓝色过渡到绿色、灰色甚至黄色。大海无边无际，不过它们绝不是一片死气沉沉、单调无聊的水面。

第三章 探索地形地貌

不等人的时间和潮水

海洋对地球最大的影响之一就是潮汐。几千年以来，人们一直困惑于海平面一日两次的涨落，这究竟是什么原因造成的呢？受到地球绕着太阳转这种新鲜理念的启发，伽利略确信涨潮落潮是地球运动的产物。他认为在地球急速环绕轨道运动、同时自身也旋转的情况下，海水被推向一侧，就如同飞速行驶的汽车在转弯时，乘客也会被甩出去一样。伽利略将潮汐作为地球绕着太阳转的主要论据。不过这个论据也有一些小小的缺陷——按照伽利略的理论，每日只有一次潮水，而事实上却有两次。

一些与伽利略同时代的科学家猜测是月亮引发了潮汐，因为海水的涨落与天空中月亮的位置有着某种巧合。他们认为月光给水施加了某种神秘的影响。不过，有人提出在月亮被云层遮覆时，海水还是涨落如旧，因此，这种说法最终被淘汰了。如今，我们知道潮汐是由太阳和月亮的引力导致的。

受太阳的影响，地球上有了四季变换，不过这里我们先撇开太阳不说，月亮不知疲倦地影响着我们，地球上才出现了潮汐。试想一下，地球和月亮高悬于宇宙之中。地球的引力吸引着月亮，而月亮也同样牵扯着地球。离吸引你的物体越远，你所受到的引力就越微弱，因此，地球上靠近月亮近的地方受到月亮的引力就越强，反之，离月亮越远受到的引力则越弱。

这意味着，地球上面向月球的海水暴涨，朝天空中月亮的方向掀起高涌的潮头。而地球的另一侧，由于离月亮较远，海水受到月球的引力相对微弱，产生离心的趋势，因此在背向月球的海面也形成隆起的潮头。这些潮汐追随着天空中月亮的位置，横扫整个地球表面。

如果月亮表面也存在水的话，相应的，地球引力将使这些水迸发出惊人的威力，生成24小时一刻不停的海啸。地球的重量大约是月球的80倍，而重力的大小与物体的重量成正比。重量加倍，重力也随之加倍。所以，假设两个星球的水量一样，地球引力引发的月球潮汐的能量将是月球引力引发的地球潮汐的80倍。

假如你听说过月球表面的重力是地球表面的1/6（回想一下那些宇航员在月球表面弹跳着行走的画面），那么，80倍的说法听上去就似乎有些夸大了。地球的重力只有月球的6倍，那么，为什么地球的吸引力会是月球的80倍呢？

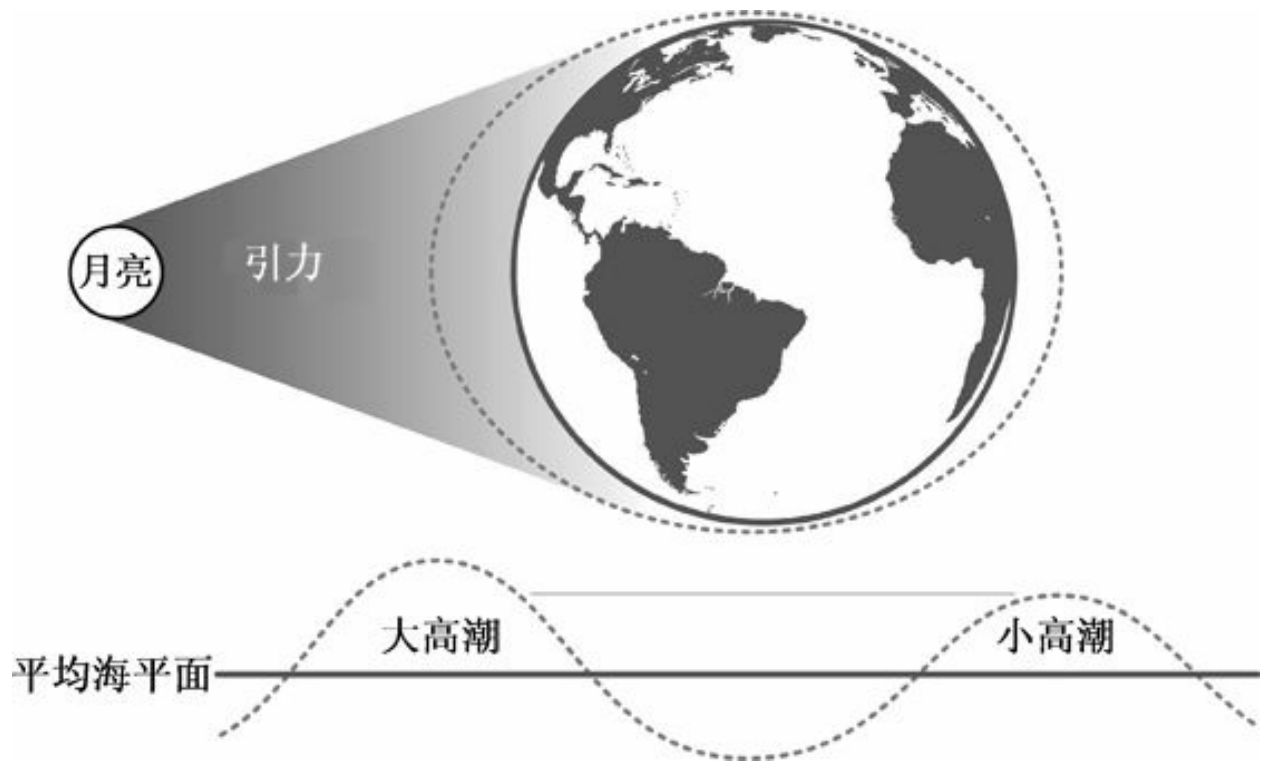


图10 月球引力产生的潮汐

这是因为，吸引你的物体的质量和你与物体中心之间距离的平方还决定了重力的大小。月球的质量是地球的 $\frac{1}{80}$ ，而它的半径比地球的小了3.6倍。因此，如果你站在月球表面，你与月球中心的距离要比地球上你与地心之间的距离小3.6倍。这意味着若两个星球质量相等，你在月球上受到的重力将会约是地球上的13倍（ 3.6×3.6 ）。加上月球只有地球 $\frac{1}{80}$ 的质量，你在月球上所受到的重力将会是 $\frac{13}{80}$ ——差不多是地球上所受重力的 $\frac{1}{6}$ 。

第三章 探索地形地貌

风口浪尖处

和潮汐不同，海面上波光粼粼的浪花并非出自月亮之手，而完全蒙太阳所赐。太阳的光和热导致了气候的形成与变迁，包括风，风又促成了浪。（海啸是个例外，它是由地震和山崩引起的，但是，绝大多数的浪都是在风吹拂海面时形成的。）



迷你浪花

在玻璃杯中注入3/4的水。猛摇玻璃杯（如果你在飞机上，小心别把水溅在邻座的身上）。杯中的浪和海啸的浪类似。剧烈摇晃促成了这种浪，如地震。这些浪夹杂携着大量海水，横扫海面。

接下来，把嘴凑近杯壁，朝水面轻轻地吹一口气。你将会看到水面上泛起微微涟漪。这些被称为风成波（wind wave），是一种海面上最常见的浪花。

留心观察一下海浪，你会觉得它们一直在向前涌去，其实这是一种错觉。如果这些常见的海浪真的像它们看起来那样一直向前运动的话，它们将向内陆行进得更远，就像海啸那样以摧枯拉朽之势，越过海岸线，横扫岸边的城市和村庄。那些岸边或是海面中央常见的海浪带动水流以环形的方式运动，水流翻滚着朝上涌去，形成浪尖，接着又冲入海面之下，四下迸溅开来，开始新一轮的循环。海浪似乎是在往前移动，水流则上下循环不息——但其实，大部分海水都还待在原来的位置。

许多浪头在海边看得清清楚楚，但若从机窗看下去，就不是那么明显了，这是因为海水几近透明，尽管它不停变幻出各种形态，但却叫人难以察觉。在空中，我们能看见的大多数浪被称为破碎浪（breaking wave），也叫做碎波（breaker）或是白浪（white horse）。这种浪在海岸边更为常见，因为随着水深变浅，水流更容易迸溅——不过在海面中央你也能看到白浪。

随着海浪不断涌向高处，它离迸溅的那一刻也就越近。海浪越高，与海面形成的角度就越陡峭，浪头涌到最高处最终开始翻转着盖压下来，这一刻水花四溅，整朵浪花瞬间崩裂了。这种现象时常发生在浅海，因为，当浪花奔向岸边时，没有足够的深度能让海面以下的水流顺畅回流。我们之前提到了波浪中的水流是以画圈的方式上下运动的，离岸近时，水深变浅，圆圈压缩变小，因此水流被推动着朝天空翻卷。

水的深度也会影响水流行进的方向。想想那些拍向岸边的海浪。为什么它们总是朝着岸边涌来，哪怕风向相反也还是逆风而来。水深变浅不仅改变着波浪的形状，还影响它们前进的方向，促使它们涌向大陆。

海浪迸溅不只发生在岸边，海面上很多区域都看得见，只要振幅（浪的高度）够大。在开阔海面上，若有劲风持续吹上一段时间，白浪也会出现在大海中央。在浪头坍塌的瞬间，水流从平缓状态转为湍流（我们之后会谈到湍流）。崩裂的浪头狠狠砸入海中，湍急的水流夹带着大量的空气直冲入海面之下，产生白沫，这就是我们把破碎浪叫成白浪花的原因吧。

第三章 探索地形地貌

海是什么颜色的？

大海的颜色变幻莫测。当我们把许多截然不同的物体都跟“海”这个词扯上关系时，你大概也不会觉得有什么不妥吧。正如我们用“陆地”一词来描述许多地方一样，喜马拉雅山脉是陆地的一部分，美国的大峡谷也是陆地的一部分。我们通常认为海是乏味单一的水平面——但是，海底世界比我们所熟悉的大陆更加丰富多彩。

例如，当我们说到山，海底就有数不胜数的山。世界上最长的山脉不是喜马拉雅山脉和/或是安第斯山脉——而是大洋中脊（the Mid—ocean Ridge），这条在水下绵延超过55000千米的山脉，途径大西洋，穿越印度洋，北上太平洋，接近美国西海岸。它比地球的周长还要长（它不是一条直线，而是由一系列海底山脉组成的）。说起山脉，夏威夷群岛上的莫纳克亚山（Mauna Kea）在海平面以上的高度是4200米，这个高度类似于阿尔卑斯山脉中的一些高山。但是，如果我们追随着莫纳克亚山潜入海底到达它的底部，它的高度将达到10200米，在莫纳克亚山面前，8800多米的珠穆朗玛峰也显得相形见绌了。

尽管由于它的水底部分，莫纳克亚山被冠以地球上最高山峰的称号，不过，这的确要看我们是如何定义山了——因为在海洋中，存在着许多更加雄伟高耸的山峰。位于菲律宾东侧的马里亚纳海沟（Mariana trench）是现今为止发现的海洋最深的区域，海沟最大深处为海平面下11000米。相比之下，1830米深的美国大峡谷就如同一道地表浅浅皱纹了。

从高空放眼海面，海底的高低错落将会导致海水颜色深浅不一。在浅海区域，海床的颜色会直接影响海水的明度——有时它们是闪耀的白沙，有时又是漆黑的火山碎片或是任何别的物质。岸边的海水呈现出明快的蓝色，虽然有时也掺杂了一些青绿色、绿色还有灰色。对现代人而言，我们所知道有关大海颜色最古老的描述来自于古希腊作家荷马笔下的“暗酒色”（wine dark）——这听上去似乎很笼统，因为古希腊人通常以亮或是暗来区分颜色，而没有按照光谱给每个颜色具体命名。他们的语言中没有“蓝色”这个词，因此，类似红酒的深色阴影就被用来描述海的颜色了。

有一个现象导致了所有的水看上去都是蓝色的，就连覆盖着白沙的海床也发出幽幽的蓝光。当光线射入水面时，其中的红光更容易被水分子吸收，这样一来，反射回我们眼中的光线就带上了一种蓝色调。大海也会反射天空的颜色——灰暗天空之下的大海也暗沉得叫人害怕。另外，水中的漂浮物也会影响海水的颜色。

不是所有的海洋都是清澈透明的。英国周边的海就呈现出暗沉的灰绿色，这主要是由于海水里夹杂着诸如海草和海藻之类的各式生物以及一些细碎的泥沙。英国周边的水域也不全是这样灰暗。当然也有海滩，外赫布里底群岛（Outer Hebrides）附近就有海滩，当你飞经其上空时，你会看到明媚如同热带海岛一般的色彩。

当飞越海洋时，你也有可能经过某些海域，其中海水的颜色打上了过多的人类烙印。太平洋中漂浮着全世界最大的垃圾场。在海水水流的作用下，漂浮的垃圾聚集起来，漂浮在夏威夷群岛不远的两侧海域，它们被称为西太平洋垃圾带（Western Pacific Garbage Patch）和东太平洋垃圾带（Eastern Pacific Garbage Patch）。漂浮在垃圾场（那些垃圾密集得都可以称得上岛了）中的物体，预计总重量在1000万吨之上，它们聚集在一起，形成了比德克萨斯州还要大的垃圾区。在北大西洋和印度洋中也存在类似的垃圾带，只是规模要稍小一些。

第四章 云端之上

进入云层

从起飞到现在，窗外的风景美不胜收。不过，航程中的某些时刻你可能会钻入云中，从飞机里向外看去好似一切都在云雾笼罩之中，但是你终将穿过云层，放眼望去，飞机已被壮丽奇妙的云景所环绕。白天，太阳在云端闪耀，天空总是那么的蔚蓝。飞机不远处，一团团鹅绒似白云绵延起伏，直到地平线的尽头，多么壮阔绮丽的景色啊。

在你穿越云层时，你也许会注意到一些不同种类的云，不过，在我们详细介绍它们之前，我们先来了解一下云到底是什么。空气中到处弥漫着水蒸气。我们通常认为水壶中喷出的那股蒸气就是水蒸气，但是这种想法是有误的。水蒸气是看不见的气体，是气态的水，就如同冰是固态的水一样。我们看见的那些所谓的蒸气是水蒸气凝结后重新变为液态的水，它们在空气中结成细小的水珠。

我们都知道100摄氏度下水会沸腾，所以，空气中无时无刻，甚至是在常温下都存在着水蒸气这样的说法让人觉得匪夷所思。想想看，常温情况下的大海是地球上水蒸气的主要来源。我们在这里所说的温度是以物质中分子运动的速度来测定的。温度越高，分子运动的速度就越快。不过，温度是一个统计学问题。这并不意味着在某一温度下，任何一个分子都以特定速度运动，而是就平均来说，分子的运动速度会与对应的温度相匹配。

自然界中，有些分子的运动速度较快，有些较慢。较之于海面之下的水分子，海面之上的水分子运动相对快速因而越发容易扩散到更远的地方。有些水分子更为活跃，它们挣脱大海中其他分子的电磁束缚，飘散到大气中。如果海洋中所有的分子都这么高速运动的话，海水将会沸腾。这如我们上面所说的那样，大海每时每刻都在丢失一些分子——蒸发是其中的一种途径——因而，广阔的海面将生成大量的水蒸气。

因此，水分子一刻不停地向空气中吐射水蒸气。同时，空气中的水分子会重新落回海洋。在任何情况下，水气蒸发和其凝结保持一种相应的平衡。我们通过测量空气的湿度来计算其中水蒸气的含量。

空气中的有些水分子会聚集在一起形成小水珠，有些水分子则升到高空，在低温的催化下凝结成微小的冰晶。温度变化会产生水珠，不过普遍来说，水珠的萌生离不开空气中那些飘浮的小颗粒，诸如沙粒、烟尘或是花粉，甚至细菌也不例外——空气中有数不清的细菌，它们也经常参与水蒸气的凝结过程。这些小水珠看上去就如水壶喷出的蒸气一样，无数这样悬浮的小水珠最终形成了云。

为什么云朵不会从天上掉下来呢？人们很容易产生这样的疑问，但很少有人来解答这个问题。毕竟，水比空气要重。当水溢出玻璃杯时，它们并不会飘浮在空气中。当然，天上的水会以雨滴的形式落下来，那么，为什么云不会像雨水那样一滩滩地从天上掉下来呢？

让人意想不到的是，云的确在下沉。云朵没有什么神奇法力——它们如万物一样逃脱不了地球重力的束缚。只不过它们下落的速度非常非常缓慢，这是因为组成云朵的小水珠小得让人难以置信——它们的直径大概只有一亿分之一米。当物体变得如此微小时，它们不以人们习惯的方式运动。尽管重力同样作用于那些看不见的小水珠与普通水珠，但是，重力对它们的影响却不同。

水珠的质量决定了其所受到重力的大小，水珠越轻，受力越小。同时，物体越小，受到空气的阻力就越大。云朵中小水珠比雨滴要小，而更接近于空气分子的大小，因而它们不断受到空气的影响。就云彩中的一粒小水珠来说，空气和它的关系就好比黏稠糖浆和其间的小滚珠。小水珠下降一米得花上一年时间。现实中，我们看不到云朵下落，因为即便我们有耐心等待，云朵也无法存在这么长时间。

云朵的颜色各不相同。我们通常都认为它们是白色的，因为它们反射掉大部分的光——但它们不如金属那般刺眼，而像冰块那样柔和，看起来毛茸茸的。稀薄的云层会染上天空的颜色，尤其是在日出和日落时分，你通常都能看见红彤彤的彩霞。另一些云则明显要灰暗许多，从灰色到黑色都有。

现实中的云最暗淡的也不过就是灰色，不过在眼睛和大脑的综合作用下，它们的颜色看上去要比实际灰暗得多。同样的事情发生在你注视一幅夜空的照片或是电视上的宇宙画面时，它们看上去都是黑漆漆的。

——只是，当你关掉电视时，屏幕的颜色是深灰色的，而节目里播放的太空的颜色怎么可能比屏幕的颜色还要深呢？这是你的大脑在捣鬼，它误导你屏幕是黑色的。

云层中，当许多小水滴开始聚集在一起形成更大的水珠时，云朵就开始变暗了。这意味着更少的光线被云层表面反射，有些甚至被云层吸收，使它看上去愈加灰暗。小水滴聚集在一起，数量越来越多，体积也越来越大，最终形成雨滴落了下来，所以，我们通常将乌云看成暴风雨的前兆。

第四章 云端之上

观云历险记

云可以分成不同的种类。这是由云朵所处的高度、形状以及它们的密度决定的。（理论上来说，云朵的种类和它们如何运动、变形有关，不过在我们粗略的介绍中这部分内容会省略。）不同种类的云能帮助人们进行气象预测，不过就算你不带任何目的观察它们，也会感到乐趣十足。准确来说，云的种类繁多——差不多有52种，不过为了方便理解，我们将它们简化为10种。最起初的分类系统将云分成三科。它们是卷云（cirrus）（来源于拉丁单词“头发”，接着演变成wispy，表示稀薄的云）、积云（cumulus）（很显然表达了“一堆堆”或是“堆积”的意思）和层云（stratus）（表示“一层层”或是“一大片”）。

这套早期的分类方法是由伦敦气象学家卢克·霍华德（Luke Howard）于1802年制定的，风景画家约翰·康斯特勃（John Constable）继续了卢克研究，开展了大量的有关云的探索。后来，在1896年，人们根据云的基本形态将它们划分为9种，并以数字1到9命名。后来，人们对这个分类进行了修改，加入了第10种云。不过再后来，负责对云编号的世界气象组织又以数字0到9对它们进行编号。

世界气象组织对之前编号的修改是出于一个令人意想不到的理由，它甚至带有几分浪漫色彩。分类中的第9号云（后来很短一段时期内被改为10号）曾经是积雨云（cumulonimbus）。尽管这种云由于底部离地面很近而被划分为低云，但是其云体浓而厚，高耸如山峰，积雨云云顶高耸，远高于其他的云。如果有机会能停留在积雨云的边缘，你会有一种站在世界之巅的感觉——“在9号云端”（on cloud nine）这个短语表达就由此而来。世界气象组织认识到，如果他们把9号云改成10号的话，那就太让人扫兴了，因此，他们撤销了原来的修改方案。

第四章 云端之上

一路奔向9号云

让我们来认识一下那些从机窗中就能看到并且容易辨认的云朵吧。离地面最近最近的云叫做层云。这些云看起来像一大片薄雾，也像一张灰压压的大毯子，在某一水平面上平铺开去（雾气能到达地面，而云不能）。层云中有一个分支叫做碎层云（stratus fractus），云体为不规则的碎片，它的底部比主体部分的层云更加接近地面。层云飘浮在离地面几百米的低空，飞机起飞后一会儿工夫就将穿越层云。

第二类低云是积云，它是地面观云者们的最爱。孩子们的拼贴画中，用一丛丛的白棉花拼贴出的简单图形就是这类云朵。阳光加热地面空气，导致暖气流上升，在离地面600米的空中形成了积云。上升的暖气流夹带着水蒸气、花粉和细菌，这些物质促成了云的形成。

积雨云在空中的高度与积云差不多，但是云顶垂直向上发展得更加旺盛（只有最高耸的云山才能被称为9号云，那些较小的只能被叫做3号云）。云顶能向上生长18千米，几乎是飞机巡航高度的2倍。积雨云的云顶不如云底来得浓厚，通常整朵云呈现出近似于铁砧的形状，这就是酝酿着暴风雨的“云砧”（thunderhead）。

最后一类低云被称为层积云（stratocumulus）。其中的一种层积云呈现出积云上升后平展而伸的形态，看上去好似团团的棉花被扯平了，中间还出现一道道的缝隙。最普遍的层积云云块也是所有种类云朵中最常见的，它们有的成片，有的成条，成群成行地排列成一大片，像薄薄延展开来的棉花絮，缝隙处可以看见蓝天。不过它们比棉花絮略厚一些，排列也更加均匀，与层云比起来它们质地更加厚实，在空中所处位置也更高。

当飞得更高些时，你会看见高层云（altostratus），它们和层云形态相似，薄薄的一大片，但却漫无定形，只是它们在空中出现的位置更高些。高层云很薄，透过它们，可以看到太阳或清晰或模糊的轮廓。也有些高层云较厚，颜色也是阴雨灰暗的，很明显，一场大雨正在酝酿。一般来说，高层云分布在1000~2000米的空中——只是飞机需要穿越的诸多云层中较低的那些。较厚的高层云还有另外一个名字，叫做雨层云（nimbostratus）——当高层云变成雨层云的时候，降雨就开始了。（雨通常都来自雨层云。）

有时，高层云与积云类似，只是位置略高些，不过从形态上来说，它们看起来与层积云更加相似，像一大片被撕成一条条的棉片。

最后，我们接近最高的云层了，它们将伴随着你升到高空（环顾四周，可以看到大片大片的积雨云的顶部）。此时，你已经身处20000英尺（约6000米）的高空了，这里的云不再是由小水滴组成的了，而几乎都是冰晶。从机窗向外望去，你时常能看到卷云——它们纤细似缕缕绢丝，一丝丝地划过大半个天空。有些卷云形似一个卷曲的逗号，通常，当云丝排列成长长的一缕缕时，就表示大风即将临近。这些像母马尾巴一样的小钩钩多半是风雨天气的前兆。

卷层云（cirrostratus）是另一种高空云，和卷云一样，它们形成于6000多米的高空。和卷云不同的是，卷层云像一张白色的云幔，云幔两端边缘清晰。卷层云的周围通常都会出现卷云，不过，卷层云如一张巨大的云幕，可以部分或全部遮蔽天穹。

最后，我们来认识一下卷积云。它们同样是一种高层云——有时会出现于14000米的高空——它们通常呈人字纹路，排列成行或成群。有的卷积云的云块很小，看上去像是高空版的层积云。

我们看到，这类云朵能够衍生出许许多多的子类，外加一些样子古怪的云——它们有的甚至像乳房——当出现强劲的下降气流时，层积云和雨积云底部会出现一些向下隆起的肿包。（不过，要把它们看成乳房还是需要相当丰富的想象力的，因为它们也可以被想象成其他的圆形物体。）

第四章 云端之上

彩虹的尽头没有一坛金子

尽管虚无缥缈，云朵的确真实地存在于自然界中，不过，在飞机上，你或许也能看见一些并不存在的幻象。如果能与彩虹邂逅相遇，那是极其幸运的一件事——因为彩虹是一种奇妙的景致。当强烈的太阳光射向空气中聚集的雨滴时，彩虹就出现了，因此，彩虹产生的前提是有雨，同时有阳光，当阳光从你背后射来，照射到你前方的雨滴时，彩虹就出现了。

接着，每颗雨滴都成了一面镜片或是棱镜，回忆一下，棱镜的工作原理是我们在中学科学课堂上就学过的。和棱镜的原理相同，雨滴表面的弧面会以不同的角度反射阳光——不同颜色的光，穿越水滴时弯曲的程度也不同，因此，白花花的太阳光就被分解成迷你彩虹了。当这束多彩的光线穿越水滴内部到达其后部时，有些光会折射入空气中，有些则被重新反射，到达雨滴前部，然后又被反射回来，当它再次到达雨滴尾部时，更多的光线折射进入空气中，形成了清晰可见的彩虹。

阳光只有从某一特定角度照射到雨滴上，才会产生清晰可见的彩虹——阳光会以不同角度入射水滴，在水滴内也是以不同的角度反射，当两者角度在42度左右时，反射最为强烈，此时，你将会看见一座清晰的七彩虹桥。雨滴能形成圆形的彩虹，不过，地平线会将它们一分为二。不过在飞机上，你就能看到完整的圆形彩虹了。只是，遇见42度角的几率并不大，因此，彩虹的颜色通常都会偏淡——不过你还是能看到圆形的彩虹。如果彩虹恰好横跨于云层之上，这种情况经常发生，你将在虹圈正中的云朵上看到飞机的影子，十分的奇妙。

彩虹并不存在——它源于光的投射，是无法触摸的，而彩虹也造就了一系列能在飞机上看到的景致，有些甚至被误认为是外星飞行物，这些你都能在飞机上看见。有一些彩虹的变体被称为晕，它们中间为阴影，四周环绕着一圈多彩的光环，只是，它们比彩虹小，出现的原因是阳光从各个角度照射水珠。通常，飞机机窗的多层玻璃会扭曲物体原本的样子，或是制造出一连串悬浮在空中的光斑，这是移动的机身在阳光下反射形成的。在机窗之外，还有许多虚无缥缈却真实存在的物质，它们制造着一幕幕绮丽的视觉盛宴。

第四章 云端之上

飞越冰冻的海面

我们了解到组成云的物质可以是小水滴，也可以是冰晶。但是，海面之下又是怎样一番景象呢？海水永远都是液态的么？大家都听说过冰山吧，冰川崩解，大块大块的淡水冰跌入海中，随着海水一路漂浮，对过往的船只造成巨大的危害。当海水的温度降至零下1.8摄氏度时海水本身也会结冰。尽管现实中，海水流动不息，避免了海水冻结，但在足够低的温度下，海水也是会结冰的。不过，地球两极海面上漂浮的冰块大都是由海水结成的。

美国科幻小说家库尔特·冯内古特（Kurt Vonnegut）的小说《猫的摇篮》（Cat's Cradle）中曾经出现过一种十分特殊的冰，9号冰（Ice Nine）。库尔特笔下的这个9号冰是冰晶的一种，它特性稳定，只有在114华氏度（45摄氏度）的温度下才会融化成水。如果水一旦变成9号冰晶的状态，常温下就会被永远冰冻起来。9号冰晶一旦被扔进大海或湖泊，哪怕只有一丁点儿，它们将不受控制地四处蔓延开来，将所有的水源都冻住，地球面临大难。

幸运的是，9号冰并不存在（虽然这个创意不错），不过，的确有一种在极低温度下生成的冰，人们给它取了个与9号冰类似的名字——4号冰（Ice IX）。只是，这种冰在常温下不稳定，而且对我们的水资源也不会造成任何的伤害。

第四章 云端之上

朝阳光飞去

现在，大海和地面被层层的白云遮盖，渐渐从你的视野中消失了。如果此时正处于白昼，放眼望去，机窗外尽是明媚的蓝天和夺目的阳光，不过，如果你正经过一大片形如铁砧的积雨云顶部的话，那就另当别论了。



绝对不要尝试的实验——砸碎机窗玻璃

在飞行过程中，有一些实验是你绝对不能尝试的。其中的一项就是看看砸碎机窗玻璃会有什么后果。你是否对电影中类似的场景深信不疑呢？那些没有系好安全带的人被强大的气流吸起，甩到窗边，毫无抵抗之力，而那些坐在窗边的倒霉鬼则飞出窗外，毙命于空中。

现实中的结局和电影很不一样（不过，即使这样也不能去砸窗子）。首先，想要砸坏机窗可没那么容易。虽然窗子的内层只是一层脆弱的塑料，但是它的外层却坚韧至极。就算你能成功地在窗上挖出一个小洞，机舱内的气压还是能保持相对稳定，绝不会在顷刻间爆炸，急速坠落。假设你不择手段将整个窗子都卸了下来，那么当然，飞机将瞬间失压。氧气面罩会弹出，飞行员会立即降低飞行高度（15000英尺左右）以确保乘客安全，不过在这个过程中，你一定不会感到舒适。体积较小的物体也许会被吸出窗外，不过，这种事情不太可能会发生在乘客身上。

不管怎样，我们还是要强调这点——千万别跟窗子过不去。弄坏机窗除了会给你带来不舒适的感官体验（更不用说要赔偿巨额的修理费，这可是一台价值连城的飞机啊），仅仅是破坏未遂的这个事实就能给你扣上恐怖袭击的指控，把你送进大牢。

这样看起来，一旦飞到云层之上我们貌似就没什么可看的了，不过，机窗外，无数奇妙的科学好戏正在开演。

第四章 云端之上

飞往日心的旅程

首先，我们正沐浴在日光之中。此刻，太阳与你之间的空气变得稀薄，太阳从未像现在这样清晰明了地展现在你眼前，不过浑浊的机窗也许会妨碍你看到这完美的景象。别直接用肉眼看太阳——人们通常不这么做是有一定原因的，因为这会对眼睛造成永久性的伤害。就算太阳部分被遮盖时，若直视，眼睛也会被迅速灼伤——每次发生日全食时，医院都会接收许多眼睛受伤的病人，有些人的视力再也无法恢复到从前了。

除了使人类摆脱永久的暗夜之外，阳光带来的远比这要多得多，虽然远离黑暗对我们来说也很重要。阳光需要花8分钟到达相邻的地球，它的热量使人类能够生存。它推动了气候系统的运转。它滋养着处于食物链低端的植物和藻类，它参与制造了供人类呼吸的氧气。如果没有太阳，地球上也许就不会有生命的萌发。

同样因为有了太阳，在它与空气的共同作用下，天空才会是蔚蓝的。如果你是一个20世纪的飞行者，你也许会有过这样的飞行经历：大白天飞行，外面的天空却几乎是黑色的，这也证明了天空的蓝色是阳光和空气共同作用的结果。协和式飞机飞行的高度能达到60000英尺，这个高度的空气十分稀薄，窗外的天空也比在普通飞机上看到的明显暗淡许多。如果有机会乘坐维珍银河号太空船（Virgin Galactic）来趟太空之旅，你会发现虽然太阳发出耀眼的强光，但四周的天空仍是一片漆黑。

既然提到协和式飞机，我们就附带地说下，对于那些确信科技将会以加速度发展的人来说，这种飞机的出现无疑是一个深刻的教训。

让我们回顾一下人类出行的历史。起初，人类受脚力之限，每小时只能走3~4英里，之后我们在马或是船的帮助下，提高了行驶速度。到了19世纪，火车的出现让时速最低50英里（约相当于80千米/小时）成为了出行的常态。接着进入20世纪，坐飞机出行使速度大增，我们以每小时500英里的速度（约800千米/小时）在空中穿梭。

对于除了飞行员之外的其他人来说——基本上，这就意味着我们所有的人，如果想体验20世纪最快的速度，那就试试协和式飞机吧，它的时速能达到1350英里（约2170千米/小时），是声速的2倍，相当惊人。不过，就目前来说，我们还是只能坐着时速不超过500英里的普通飞机出行。有时科技的发展会进入停滞期，至少在某一时间段内是这样的。也许未来还会出现超音速飞机——制造商们总是会有层出不穷的新点子——协和式飞机从一开始接到上百架的订单到最终被停飞，这样的事实说明了对速度真正的限制并不主要来自于科技，而是来自于政治意志。

第四章 云端之上

为什么天空是蓝色的？

假设你坐的不是维珍银河号太空船，白天飞行，望出机窗外你能看到蓝天。“为什么天空是蓝色的呢”这是孩子们在成长过程中最爱问的问题之一，而通常，他们得到的答案都和事实有所偏差。有人说天空反射了大海的颜色所以是蓝的，但其实不是。在维多利亚时期，人们认为是空气中的尘埃和颗粒使其染上了淡蓝的色调——不过事实上，把天空染成蓝色的物质更加微小，它是空气分子和阳光作用的结果。

可见光是由各种颜色混合而成的，查验彩虹的光谱时，我们可以看到它从红过渡到紫。艾萨克·牛顿（Isaac Newton）发现了彩虹中有七色（赤、橙、黄、绿、青、蓝、紫），不过它们之间的分界却很难界定。查看完整的光谱，你会觉得它要么是由上百万个差别甚微的色彩组成的，要么只包括了5~6个宽幅的色带——几乎没人能看出彩虹有7种颜色。

我们不清楚牛顿是怎么得出7这个数字的，这其中还包括了那些深浅不一的青和紫，不过许多人认为7这个数字和音乐有着一定的联系。乐谱中有A到G7个音符，当一个八度结束后，下一个八度又从音符A开始。有人猜测，牛顿受到乐谱的影响，认为可见光谱中也应该有7种颜色，于是他就发明了这套说法，而我们只能被迫接受了。令人惊讶的是，以这样的形式命名光谱是不可能的。牛顿出生几年之前人们才开始用“橙”这个词来表示颜色，在此之前，它只是一种水果的名字。

牛顿向人们展示了太阳光（彩虹也一样）包括了光谱中所有颜色的光（有一些是我们看不见的）。在牛顿生活的那个年代，人们相信彩虹斑斓的色彩是棱镜中的瑕疵造成的，因此，白光被染上了其他的颜色。但是，牛顿分离出单一的颜色，并把它射向第二个棱镜，它的颜色没有改变，这说明棱镜不是“罪魁祸首”。牛顿还发现将不同的光颜色组合在一起就能制造出白光。阳光中包含了所有的颜色。

阳光中不同的光子释放出不同的能量，当它们混合在一起穿过空气时，一些光子被空气分子中的电子吸收。很快，它们又被重新释放，朝各个方向发射出去。这样的“散射”意味着通过空气的光线会有一部分偏离原来的运动方向而离开了原来的光束，它们的光子在空中四处扩散。

不同能量的光子散射的程度也不同。能量较高的光子（光谱中位于蓝色末端）更容易发生散射。这意味着，除了太阳本身之外，经过空气分子散射后的光线都呈现出蓝色，所以天空就变成蓝的了。光谱中位于红色末端的光线散射能力较弱，夕阳西下时，由于斜照，光得经过很厚的大气层才能到达地球，这些红色的光线因为不像蓝光一样易于散射而损失最小，因此天空便被染成了红色——这就是为什么日出和日落时天空会挂满红霞。

第四章 云端之上

为什么太阳能一直发光发热

孩子们总是把太阳画成橘黄色，但是，如果阳光不与空气发生反应，它事实上是一种白光。但令人困惑的是太阳被认定为一种黄色的星球。这是因为虽然阳光涵盖了光谱中所有的色彩，牛顿的实验也已经证明了这个事实，但是其中黄色光的比重最大。牛顿曾尝试着使阳光穿过棱镜，而光束瞬间幻化成七色的彩带。

太阳表面5500摄氏度左右的高温导致了它现有的颜色。如果你觉得这个温度还不算高的话，那太阳中心的温度将达到1500万摄氏度左右。我们在这里谈论的太阳可是一个巨大无比的家伙——它的直径大约为1.4万千米，是地球直径的100多倍；而它的重量差不多有 2.0×10^{27} 吨，是地球重量的33万多倍。

是什么让太阳一直燃烧呢？在很长一段时间内，人们都对此感到困惑。维多利亚时期的科学家们曾经计算过与太阳体积相同的煤球能燃烧多久，他们认为太阳的燃烧时间只能持续几百万年，这远远小于地质学家估测的地球的存活时间。量子理论研究的是微观物质世界，如原子的基本规律。只有对量子理论有所了解，我们才能明白太阳的运行机制，弄清为什么它在活跃了45亿年后依然生命力旺盛——而45亿年只是太阳预测寿命的一半。

太阳的能量来源于其内部的核聚变。所有原子中最小的氢原子的原子核（原子的核心部分）发生核聚变，形成更大的氦原子。（古希腊语中，“helios”表示太阳，人类最先在太阳上发现了这种之后被人们用来吹气球的物质，于是将之命名为helium（氦），后来人们在地球上发现了氦，人如果吸入氦气，说话的声音就会变得又细又尖，十分滑稽。）在聚变的过程中，质量很小的物质将转化出巨大的能量。多亏了爱因斯坦将这个质量转化成能量的过程用一个简单的公式描述了出来： $E=mc^2$ 。这里的“c”指的是光的速度，它本身就是个天文数字，所以光速的平方意味着一丁点儿物质所转化的能量该有多么的巨大啊。仅仅1公斤物质产生的能量相当于一座大型发电站6年的发电量。

人类想尽一切办法来获取能源，但是在太阳面前，任何发电厂、核电站等统统都显得微不足道。每秒钟，太阳内部有将近400万吨的物质转化成能量——这是发电站运行240亿年才能输出的能量。或者这么说吧，这相当于756000万亿座发电站同时工作时产生的能量。如果我们将这756000万亿座发电站平铺在地球上（包括陆地和海洋），每座发电站的平均对角线长还不到1厘米。

太阳释放出来的大部分能量将进入太空，只有一小部分到达地球使我们生存下来。到达地球的能量仅为890亿兆瓦，还不到太阳释放总能量的十亿分之一——尽管如此，它仍然是现有地球消耗总能量的500倍。不过，当科学家们最初认识到太阳的工作机制并且进一步研究其持续发光发热的原因时，他们发现了一些奇怪的事情。就发生核聚变的条件来说，太阳内部本不该发生这种反应的。

这么说是因为太阳内部的那些氢原子核只有紧密地挤在一起时，聚变才能产生，且必须得聚集得非常非常紧密才行。而原子核是带正电荷的，带正电的原子核之间相互排斥，就像两块磁铁磁极相同的两端凑不到一块一样。而且，当两个原子核距离越近时，它们之间的排斥力就越大。就算是太阳中心的炽热与高温也无法促使氢原子核积压在一起以实现聚变。太阳本应该是枚“哑炮”。

第四章 云端之上

穿越量子隧道

太阳能够正常运转全都仰赖于古怪的量子物理。那些像原子一样微小的物质，它们的活动方式和我们所熟知的一般物体不同。比如，原子不像球或桌子一样，它们不会待在固定的地方。从一定的概率上来说，只要处于某个特定的范围中，它们就可以存在于宇宙的任何角落。离这个范围中心越远的粒子就越不容易被发现——不过，它们的确可以躲在任何地方。

这意味着，如果你把一个原子放在盒子里，之后你发现它已经跳出盒子出现在盒子另一侧，这个可能性虽然不大但是绝对存在的。这就好比你把车停在车库，第二天早晨却发现它已经自己翻过了车库的围墙，出现在车道上。（前提是，你的车是由量子粒子组成的，理论上来说，这样的量子车可以自己翻墙，不过现实中这种事情是不可能发生的，因为所有的原子在同一时间发出相同跳跃动作的几率是很小的，自从宇宙形成以来，这种情况从来没发生过，而且将来也不会发生。）

粒子穿越某一障碍，而出现在另一侧的过程被称为量子力学隧道效应（quantum mechanical tunnelling）。太阳中的大部分氢原子核都待在它们该待的地方，但是偶尔也会有那么一两个氢原子核穿越了那道使它们不能和其他氢原子聚合在一起的排斥力，来到与它们相邻近的氢原子附近，于是聚变就产生了。虽然这种情况发生的概率不大，但是太阳中的原子不计其数，还是有大量氢原子能够“翻墙”成功，保证了氢原子源源不断地摇身变成氦原子。

云层之上，太阳看起来比起地面上更加明亮闪耀，即便如此，我们还总是会低估它的威力。就如我们前面看到的那样，这座无时无刻不在发生核反应的大火炉高悬空中，滋养着生命万物。（事实上，没有太阳地球也不可能形成，因为太阳的牵引力在地球形成初期至关重要。）

太阳距离我们大约150000000千米。这意味着，阳光8分钟才能到达地球，一如重力，目前我们认为重力的能量是由引力子（graviton）作为载体将能量传递到无限远处，就像光以光子的形式传播一样。假设某一天太阳突然消失了，在最初的8分钟内，我们很难对此有所察觉。我们会觉得太阳依然在那儿，因为8分钟前的光子和引力子还是会穿过太空到达地球。而8分钟过后，地球上才会失重而且陷入无边的黑暗。

第四章 云端之上

穿过飞机航道

在空中某一时刻，你很有可能会看见其他的飞机。飞机在空中飞行须遵守严格的规则以便与其他飞机保持一定的距离，不过每架飞机都有特定的航线，这让航空交通管制轻松了许多，而你也可以在空中看见其他的飞机了。飞行高度和一些其他条件决定了飞机间需要保持的距离，有些飞机虽然看起来离得不远，不过在上升阶段，它们之间至少要保持300米（约1000英尺）的垂直距离，对于处于巡航高度的飞机来说，它们间的垂直距离至少要有600米（约2000英尺）。

如果两架飞机间的水平距离能达到3~5英里（约5~8千米）的话，以上的规则就不适用了。在这种距离下，飞机可以在同一水平面上飞行。



那架飞机离你有多远？

下一次如果与其他飞机相遇，你可以试试之前说过的估测距离的方法（见第61页）。一般来说，一架飞机的长度在30~70米之间。我们就假定它为50米吧。如果你通过手臂测量法得出，那架不远处的飞机为4个圆珠笔尖那么大——大约是4毫米。250个4毫米就是1米，12500个4毫米就是50米。因此，你与另一架飞机间的距离等于你眼睛到手臂的距离的12500倍。这相当于0.75米的12500倍——差不多是9000米。当然，这只是一个估测的距离——根据30~70米不同的飞机长度，那架飞机将会位于你的5600~13000米之外。

虽然严格的航道管制能使飞机间保持一定的距离，不过，现代飞机上都配备了防撞机系统来确保航道规则的实行。大部分飞机上都装有飞行警报和防撞机系统（TCAS）。TCAS会向其他也装配了相同系统的飞机发出信号来获得它们的位置。每架飞机都配备了一种叫做发射机应答器的装置，这是一种能发出无线电信号的全自动的信号发射器。因此，当发射器接收到其他飞机的请求时，应答器就自动开始工作，向对方播报自己的位置。这样一来，对方飞机就能知道附近有哪些飞机以及它们的位置了，一旦发现危险，就能第一时间通知飞行员，避免空难。

第四章 云端之上

留在空中的足迹

不论你是否邂逅另一架飞机——也许自离开机场后的整个航程中你都没有看到其他飞机——你还是有机会知道其实它们曾经打哪儿经过。如果你仰头看看天空，经常能看到一些笔直细长、犹如薄云的东西，它们跨越天穹，好似空中的通道。

这些是尾迹，是飞机排出的小水珠留下的痕迹。你乘坐的飞机或许就刚经过一条尾迹附近，或是横切着穿过了它，虽然你也不确定那架飞机到底朝哪个方向飞去了（除非你看见了它），但它的行踪已经一览无余了。尾迹会随着时间的推移变得越来越淡，这是视觉上判断飞机飞行方向的最佳线索。尾迹靠近飞机的那头较为浓厚，甚至可以看到好几条由不同的引擎喷射出尾迹，它们将最终交汇在一起。

尾迹实际上是术语“凝结尾迹”（condensation trail）的缩写，这是美国人的叫法，英国人则称之为“水汽尾迹”（vapour trails）。两种叫法之中，凝结尾迹这个名称更为准确。因为你看不见水蒸气，它们是气态的水，完完全全是透明的。只有尾迹幻化为小水滴或是冰晶时，我们才能发现它们的存在。简单来说，凝结尾迹是一种人为产生的、形态特殊的云带。

要弄明白尾迹的来历，我们得回过来了解下飞机引擎是怎么工作的。燃烧室内燃烧着航空燃料。暂且不说那些杂质，航空燃料是由碳氢化合物混合而成的。尽管碳氢化合物是大分子物质，不过它们终究只是由两种最基本的元素组成的——氢元素和碳元素（因此被称为碳氢化合物）。当这种碳氢化合物燃烧时，碳原子和氢原子与空气中的氧原子结合在一起。我们所谓的“燃烧”实际上是一种化学反应，是某物质与氧气结合，然后释放出热量的过程。碳原子与氧结合释放出温室气体二氧化碳，而氢原子也参与了进来，它们成双结对地与氧原子守在一起，形成了水（ H_2O ）。

在燃烧室里的高温下，水蒸发为气态，接着，它们从飞机的尾部被排了出去，与冷空气接触，水蒸气遇冷凝结成小水滴或是冰晶（如果气温足够低的话）。不过凝结尾迹的形成也会受到一些条件的限制。首先，水蒸气遇冷凝结成水珠需要一定的时间，因此，尾迹形成的位置会离开飞机尾部一段距离。其次，尾迹很少出现在10000英尺以下，因为越往高处，气温就越低，而只有在足够的低温环境中，水蒸气才能在消散前迅速地凝结。

理论上来说，每个引擎都能拖出一条长长的尾迹，如果你离那架飞机足够近的话，你就能看见它们。但是，不久之后它们就会交汇在一起，起先，每个机翼下方会出现两条尾迹，它们会合并成一条（如果这架飞机有四个引擎的话），接着这两条尾迹又会在飞机尾部汇合，形成一条长长的白云带，就像我们在地面上看到的那样。当飞机处于低空时——远远低于凝结尾迹形成的高度——你会看到机翼顶端出现薄薄的、浅淡的白烟。有时这些白烟会惊吓到机舱内的乘客，因为他们会以为飞机着火了。不过，你所看到的这些既不是着火时产生的烟雾，也不是我们之前说到的凝结尾迹。

这是机翼翼尖拉出空气漩涡形成的别样的视觉效果，这种螺旋状的气流尾迹是飞机的机翼产生的，这也是为什么飞机在降落过程中需要与其他飞机保持一定距离。这些涡旋状的尾迹和普通的尾迹不同，它们是由飞机机翼边缘的低压区导致周围空气冷凝而形成的。组成这种涡旋状白雾的不是飞机引擎排放的小水珠，而是空气中本身存在的水汽。在低空中，空气湿度较大，水汽也更多。

第四章 云端之上

机舱之外还有生命么

你也许会认为，机舱外唯一有生命存在的地方就是另一架飞机了，其实，机窗的另一侧，仍有另一些生命悄然存在。有一种生物我们接触的最多，那就是细菌。细菌不仅仅能作为凝结核，聚集起水汽，形成云雨，而且它们非常非常轻，能随气流飘散到几英里之外。人们在城市上空发现了多达1800种不同的细菌，而且，人们发现在20000米的高空中也有细菌存在，这是普通飞机巡航高度的2倍。

有少数昆虫也能攀爬到这样的高度。通常我们认为在昆虫界中，大黄蜂（bumblebee）就是这项爬高纪录的保持者。这种生物能生存在海拔18000英尺的喜马拉雅山脉上，现已证实在实验室条件下，它们的飞行高度将近30000英尺。尽管大黄蜂能应对飞机搅起的气流，但它们总是在山脉周围活动，所以你很难看到这些嗡嗡作响的家伙儿打窗口飞过。

在飞行中，你倒是能看到一些鸟儿。大部分鸣鸟的活动范围在2000英尺的高度，而水鸟则徘徊于4000英尺左右，有些鸟儿甚至飞得更高。人们通常认为，迁徙鸟类中斑头雁（bar-headed goose）飞得最高，靠着气流的推动，有些斑头雁一天就能飞行1000英里。不过，它们只有升到30000英尺的高空才能获得这样的速度。在如此稀薄的空气中飞行，斑头雁既具备了普通鸟类常规的呼吸系统，也衍化出了另一种独特的血红蛋白，前者能使空气在肺里循环两次以获取额外的氧气，而后者则能极其有效地抓住吸入的氧气。

大雁并不是唯一的高空飞行者。有人曾在27000英尺的高空中看到了机窗外的大天鹅（whooper swan），还有人在超过20000英尺的地方发现了飞行中的野鸭。鸟类世界中的飞高冠军非秃鹫莫属。鲁氏粗毛秃鹫（Ruppell's griffon）具有相当大的翼展，能达到3米。费了一番工夫后，人们曾在非洲象牙海岸（Ivory Coast）38000英尺的上空发现了一只鲁氏粗毛秃鹫。不过不幸的是，这只鸟儿被飞机引擎吸了进去，被发现的时候已经死了。

第四章 云端之上

起身活动活动

当飞机到达巡航高度时，机长就会熄灭“系好安全带”的指示灯，你也可以站起来在机舱里活动活动了。在长途飞行中，时常起身活动一下有益健康，这可以大大减少深部静脉血栓的形成（接下来我们会谈到）。空姐们时常推着装满食物或免税商品的推车来回于走道之间，因而你的活动也会受到一些限制。不过，还是得站起来走走，一方面是为了你的健康，另一方面也能有更多的机会去观察机舱中的各种设施。



绝对不要尝试的实验——通往灾难之门

如果在机舱内闲逛，你会看见一些门。当你站在门边，注视着那个能使门开启的把手，你会不会觉得它散发着一股邪恶却令人着迷的魔力呢？这是阻隔你和外面世界的唯一一道障碍。你难免会不由自主地冒出这样的念头：“如果我把门打开会发生什么呢？”

有些人认为这些门在起飞时就被锁住了，就像火车上的那样。通常，你能听到机长向乘务员发出命令“请再次确认自动门已处于自动状态”，这听起来好似门已经锁住了。事实上，这个指令指的是将可充气的逃生滑梯设置到自动状态，因此，应急逃离门一旦被打开，滑梯就会自动弹出。（“再次确认”确认的是对面的应急逃离门也被设置到自动状态。）似乎没有人知道为什么这些设置不能由机长统一控制。

事实上，飞机上的门并不需要锁住。如果你留意一下，会发现飞机舱门在开启时，会以一种很不寻常的方式来回摆动。这是因为机舱开启前，先要将门朝内推一下，才能将它滑开。飞机一旦起飞，机舱内外就会产生不同的气压，机舱内的气压将会升高，而机舱外的气压则急剧下降。内外不同的气压能将舱门固定在合适的位置。强行打开舱门则意味着要与大气压对抗，而这绝不是人力能够胜任的。

无论如何，千万别试图打开舱门。且不说如果别人把门打开了，而你白费了半天劲儿也没将它移动半分这样的情况是多么尴尬，飞行中任何试图破坏舱门的举动都会被认为是危险行为，至于下场么，就请参考试图击碎机窗玻璃的举动。你会被铐上塑料绳做的手铐，然后被监禁起来，乘务员会通知随时准备行动的警察，飞机一落地，他们就会立刻将你逮捕。所以，千万试不得啊。

即使有些时候空乘小姐的推车没有堵塞过道，不过那些“系好安全带”的指示灯总是在你刚要起身前就亮了起来，你还没站起来空姐就催促你坐下。这意味着飞机将穿过气流，即将开始主题公园中云霄飞车的现实版本。

第四章 云端之上

在气流中颠簸

现实中的气流比它的名字听起来要复杂得多。它指的是飞机四周空气运动的瞬间改变，气流会导致飞机颠簸。根据颠簸的程度，有时乘客们会觉得如同驱车行驶于崎岖小径，有时又好似瞬间坠入深渊，颠得让人五脏六腑都错了位，在身体里上蹿下跳。有几个原因会造成平稳飞行中这样的突然颠簸。空气温度的变化或是风的切变（风切变指的是水平和垂直方向的风的运动方向发生突然变化）都会引起飞机颠簸。天气晴朗时这种变化不易被察觉，而在风暴来临时，这种气流的改变又极为显而易见。如果飞机在飞行的过程中突然遭遇这样的空气变化，乘客就会感到颠簸或是吓人的垂直坠落。

乘客们在穿越气流时往往会感到不安，不过大家应该知道在现代航空史上，从来没有飞机是因为遇上气流而从天上掉下来的，气流不会导致坠机。有人因为气流的原因受伤甚至是死亡，不过那都是因为他们没有系好安全带导致头撞击到天花板，或是因为他们头顶的行李没有放好砸了下来。只要你认真地对待气流，它就不会是一个问题。所以，一定要坐在位置上，系好安全带，接下来就可以享受这段旅程了。

暴风雨引起的气流常常出现在飞机在上升或是下降回机场的航程中。飞机的巡航高度在大部分风暴云层之上（这也是为什么乘坐早期不加压飞机的乘客总会感到晕机，因为那时飞机飞不了这么高）。我们前几节中提到过，积雨云的雷暴云砧能够延伸至40000英尺（约12千米）的高空，它们层层堆积，高度甚至能超过飞机的巡航高度。不过，和晴空中的气流不同，这样的暴风雨云用肉眼就能看见，而且也会显示在飞机的雷达上，这样一来，飞行员就很容易就能绕开它们，避免灾难发生。

即便如此，有时我们也不得不穿越风暴云层，尤其是在飞机上升和下降的过程中，如果正巧碰上窗外还是电闪雷鸣的话，那的确叫人焦虑。闪电是一种自然现象，威力无比。不过当闪电撕扯着离你不远处天空，甚至是击向飞机时，你并不需要过分担心。令人宽心的消息是，闪电几乎不会对飞机构成威胁。不过，我们还是先来了解下打雷和闪电到底是什么吧。

第四章 云端之上

闪电

打雷和闪电不分家——闪电时发出的声音就是打雷。我们也许会认为打雷和闪电是两码事，因为通常我们都是先看到闪电，再听到雷声的。这直观地反映了光速比声速要快。假设在离我们10千米之外的地方，一场暴风雨正在发生。闪电的速度是300000千米/秒，1/300000秒后你就会看到它，事实上一开始闪电你就能看到它了。而雷声传来的速度则要慢得多，它们以每秒340米的速度隆隆地传播，29秒后我们才能听见。

很多人都听过这样的说法，通过计算看到闪电和听到隆隆的雷声之间的秒数来确定暴风雨发生的位置。有人告诉我雷声行进的速度是每英里3秒钟，不过事实上，它1秒只走0.21英里，所以它要花上5秒钟才能走完1英里（数3秒意味着暴风雨距我们1英里）。

闪电仅仅就是一种放电现象。虽然空气是很好的绝缘体（这意味着它能隔绝电流），但如果空气中的电压不断累积增高，电火花将最终打破这种阻力，击穿空气。大致上来说，在常规的湿度下，30000伏特的电压产生的电火花能击穿1厘米厚度的空气（湿润的空气比干燥的空气更容易发生放电）。常规情况下1米的放电需要空气中的电压达到300万伏特。

第四章 云端之上

静电荷

闪电到底是如何产生的？到现在为止，人们还不能完全了解其中所有的细节，不过，能够确定的是，闪电的发生与静电荷有关。



静电作用

静电是一种暂时停留在某物上的电荷。静电产生的原因是物体上负电荷的聚集或是丢失，从而使物体带上正电荷。

将你手边的塑料制品，如梳子或是笔，与你的头发摩擦后它们就带上了静电。将纸撕扯成小片（就像你的指甲盖的一半那么小），将它们洒在桌上或是你的膝盖上。拿一枚塑料做的东西在你头发里大力地摩擦10~20秒，然后，将塑料制品放在碎纸片上方，慢慢地靠近它们。在两者还未接触前，纸片就会弹起来，吸附在塑料制品上。这就是静电隐形的法力。

当塑料制品与头发发生摩擦时，它就获得了负电荷，这是一些悬浮在原子之外的微小颗粒。你的头发则带上了正电荷。这是一种非常直接的物理反应。摩擦中，头发上的电子脱落，被吸引到塑料物体的表面。接下来，当你用这个塑料物体去接近碎纸片时，物体上的负电荷使电子从纸片的表面转移到物体的表面，于是，纸片就带正电了。现在，你就有一块带负电的塑料，和一些带正电的纸片。正负两种电荷相互吸引，于是纸片就蹦了起来。任何大小的纸片都能发生静电反应，不过静电产生的吸引力并不是很强，因此，你得把纸撕成一小片一小片才能得到最佳效果。

通常两个物体发生摩擦时就能产生静电。这样产生的电被称为摩擦电（triboelectric），这是一个合成词，它是由希腊文中的摩擦（tribos）这个词和英语中的电（electricity）这个词组成的。世界上最著名的静电发电机——范德格拉夫起电机（Van der Graaf）——就是通过这个原理工作的。在这个装置中，一条橡胶带和驱动轮之间通过摩擦起电，产生的电荷被输送到顶部圆球的表面，不断堆积。这个装置能产生出数百万伏特的电，不过，人们更常用特斯拉线圈（Tesla coil）来获得高频电压，制造出炫目的“人工闪电”。这种线圈可以使普通电压上升，获得上百万伏的高频电压。

第四章 云端之上

制造闪电

虽然人们还无法完全确定为什么会形成闪电，但我们大致上知道是空气中水滴和冰晶摩擦产生了电荷，这些静电荷十分微小，不过却充斥在无数的水滴周围，聚集起巨大的能量，这些摩擦生成的电荷也许就是促成闪电的原因吧。形成闪电的另一个原因也许是地球自身的电场与运动中的水滴相互作用。雷雨云堆积如山，其庞大的体积意味着其中蕴含着无数水滴和环绕其周围的电荷，它们聚集在一起会产生能量大得惊人的高压电。

云层中这些威力十足的负电荷产生出的效果相当于带静电荷的塑料制品对碎纸片的作用。在这些满载负电荷云朵的作用下，周围的云朵和大地将带上正电荷。（闪电可以发生在云团与云团之间，也可以发生在云团与大地之间）。云朵中负电荷的斥力使地表或是周围云层中的电子转移，使它们带上正电。接下来，奇妙的闪电就产生了。

在带负电荷的雷雨云团和由其产生的正电荷的相互作用下，例如，云团和地面之间，另一种能量相对较小的放电发生了。空气在这种放电作用下发生电离。电离过程中原子中的外层电子摆脱原子核的束缚而脱离，原子成为带正电荷传导性更强的离子。第一次击闪开辟出了闪电通道，因此被称为先导。接下来，云中出現一根闪亮无比、携带巨大电流的光柱，这被称为回击。回击与第一次击闪的方向相反——第一次击闪中闪电由云层击向地面，而在回击发生时，电流则从地面驰向云底，和人们预想的方向相反。

第四章 云端之上

移动中的电流

电荷一旦运动起来，它就从静电变为了电流，电流就是运动中的电荷。也许，你曾经在学校学过这些有关电的基本术语（或许你已经把它们忘在脑后了）。伏特是电压的单位。你可以将它看成是作用于电子的一种“推力”。电子是一种带电微粒，它绕着原子核旋转。当这些电子开始运动时，电流就产生了，人们用安培（Amps）记做电流的单位。我们对“电流”这种称呼早已习以为常，导致人们往往容易忽视类似于“流”（current）和“流量”（flow）这类有关电的术语通常是用来描述水的。不过，电和水还是有些许不同之处的。（幸运的是，我们有电源插座可以防止漏电。）

当一堆有关电的术语被放在一起时，你或许会疑惑它们到底想表达什么。法拉第（Michael Faraday）和那些与他同时期的科学家们甚至都不知道原子的存在，就更不用说电子了。他们只知道，某些东西（实际上就是电流）是可以像水一样流动的，他们把电从正电极端子输送到负电极端子，然后大致地判断出电流的去向。事实上，当电子被发现后，人们才意识到自由电子移动的方向与电流标注的方向相反，不过这个发现来得太晚，很多事情已经来不及改变了。

有了电流也就有了功率。功率是描述做功快慢的物理量。它也指能量从一个地方被输送到另一个地方的速度。正如瓦特描述的是发动机的功率，电功率的单位也是瓦特，它等于电压（伏特）乘以电流（安培）——相当于作用于电子的“推力”乘以电流总量。我们短暂的电学术语介绍的最后一个名词就是焦耳（Joules）。上文中我们提到了许多关于能量的单位，它们有些是电能的单位，有些描述的是让汽车飞驰的能源，有些则与食物中蕴含的热量有关。我们往往用卡路里（Calories）来表达食品的热量，它是一个更早确立的热量单位（食品标注中，1大卡（kilocalorie）=1000小卡（calories），这样的转换总是会让消费者感到困惑），而焦耳则是一个标准热量单位。1焦耳相当于1瓦特功率1秒时间所做的功。因此，一只100瓦的灯泡每秒钟将消耗100焦耳的能量。

闪电释能放出惊人的能量。1安培的电流通过范德格拉夫起电机后能产生100万伏特的电压，因此，它产生的电能很小（瓦特×安培）。闪电电击有着超高的电压，而它产生的电流能达到30000安培，释放出高达5亿焦耳的能量——这相当于一座大规模发电站1秒钟发电量的总和。

当如此巨大的能量击穿空气时，空气分子就开始急速运动起来。空气中的温度将瞬间飙升至20000摄氏度，这甚至远远超过了太阳表面的温度。这种急剧的温度变化生成压力波，现实中，这种冲击波强大的威力与爆炸无异，在这种冲击波将空气撕裂的瞬间，我们耳边就传来了雷声。

第四章 云端之上

安全的金属盒子

闪电击中飞机这样的事件也不是不会发生（虽然飞行员也会尽可能地绕过暴风雨），但就算不幸被闪电击中，乘客们也不会被烤成肉饼。撇弃所有造价高昂的设施，飞机其实就是一只大金属盒子。在人类探索电能的早期，法拉第发现电荷无法穿过金属盒外层到达其内部（或是金属网——它的表面是有孔洞的，所以窗户也是一样的）。这种金属笼子被称为法拉第屏罩（Faraday Cage），即便大量的电流经过笼子的外侧，金属导电性也能中和笼子内侧的电流。结果是，笼子内是绝缘的。这也是为什么你经常能听到这样的说法（这么说一点儿也没错），打雷闪电时，躲在汽车里是最安全的了。同样的道理，飞机也相当安全。

不过，飞机自身还是需要一些保护设施的。虽然雷电击产生的强大电流会平顺地流过机身或机翼表皮，但它最大的危害莫过于使飞机上的电子设备受干扰，从而影响到操控。尽管电流本身并不会穿透飞机的外壳，但是，雷电会因为电磁效应而产生感应电流，那么有可能导致飞机电路电流过大，这和工作中的变压器的道理是一样的。因此，所有的飞机都装配了内置避雷电系统，遭遇雷电时亦可利用它来放电——这好比教堂顶端避雷针的升级版。

第四章 云端之上

尘埃造成的停飞

我们已经聊过了危害飞机安全的各类风险，不过，我们中的大多数人应该不会有机会亲身经历上述的种种险情吧。2010年，欧洲的大部分飞机都被迫停飞，到底是什么造成了这种状况呢？要怪就怪那座名不见经传的火山。它鲜有人知，事实上，都没几个人能用正确的发音读出它的名字——它就是位于冰岛的埃亚菲亚德拉火山（Eyjafjallaj kull）（你可以凑合着这么念ay-va-there-vtl）。

2010年4月15日到23日的这段时期内，整个北欧的所有的航班都被取消了，之后，间歇性的停飞一直持续到5月中旬。当时有关部门曾发出严重警告，说这样的情况有可能会持续数月。火山造成了大规模的交通中断。在这之前我们总认为，只要愿意，我们随时都能坐上飞机飞往任何一个想要的地方，但是在当时，数以百万的人发现他们国家的领空关闭了，他们不得不选择公路、铁路和水路——或是干脆哪儿也不去。不过，也有人对此表示欢迎。之前总是被飞机尾迹撕扯得四分五裂的天空突然变得清澈完整了。而那些住在机场附近的人也终于可以坐在花园里享受宁静的春光了。

第四章 云端之上

火山喷发

你绝不会经过任何活火山的上空，因此，你无法从天上看见它们，不过今后如果你遇上了航班取消或是改道这样的事，火山也许就是造成这种情况的罪魁祸首。毫无疑问，火山是一种不可忽视的自然界力量。火山一直与我们共存在地球上——每时每刻，大致有1500座的火山隐藏着各式各样潜在的灾难。不过许多火山对我们的威胁有限，它们带来的熔岩流和火山灰覆盖早已为人们所熟知，比如公元79年，意大利维苏威火山（Mount Vesuvius）喷发掩埋了庞培（Pompeii）和赫库兰尼姆（Herculaneum）。

不过也有一些火山会向天空中喷射一团团的细密火山灰。这些灰尘会落在你的车上，叫人头痛，除此之外，如果喷力足够大，灰也足够多的话，这些火山灰可以弥散到世界各地。1883年喀拉喀托火山（krakatoa）喷发，将近20立方千米的火山灰和火山岩块随着爆炸喷涌而出，这个量相当于一个边长20千米的立方体的容量。

喷发产生的冲击波使这些火山灰进入到80千米高的大气中，并将它送往世界各地，据估测，这些冲击波能整整绕地球7圈。这些灰黑色的尘埃悬浮在大气中，当它们遮挡住阳光时，地球的温度将会降低1摄氏度甚至更多，全球的气候系统在数年内都将受此影响。人们在世界各地都侦测到了火山灰的存在。

1883年，飞机出行还是天方夜谭的年代，但是在今天，这样规模的火山喷发将会使全球的航空系统陷入瘫痪，至少需要一年时间才能恢复。问题就出在那些非常细密的火山灰上。埃亚菲亚德拉火山带来的后果之所以如此糟糕，原因就在于它融合了冰岛的低温和炙热的火山这两种极端反差的因素。冰冷的海水，尤其是那些火山之上的冰川融水的不断拍打，使蒸腾的熔岩瞬间降温，产生出大量的熔岩碎片，那些玻璃状的碎片十分细小，它们很快就被喷发的爆破力冲入空中。

如此微小的尘埃颗粒并不会带来直接的危害，但是，如果大量的火山灰被吸入到飞机引擎内，它们就会熔化，附着在引擎上并重新凝结起来，这会带来一系列麻烦，最糟糕时会使引擎停止运转。1982年英国航空公司的第9号航班就是一个广为人知的例子。在穿过一团火山灰云后，这架波音747的四只引擎都失灵了。所幸的是，引擎稍稍冷却了一会儿后，附着在引擎上的火山灰开始自动脱落，引擎被重新发动了起来。不过，对于机上的乘客来说，这样的遭遇可谓惊心动魄，引擎熄火的12分钟内，飞机失去控制，在坠落25000英尺后才重新被飞行员拉回高空。

航空公司和监管部门吸取了这次事件的教训，通过2010年的停航事件，我们可以看到航空部门不光采取了各种预防措施以避免飞机进入火山灰云团，而且还密切监视火山的活动，以提前发布灾难预警。现在再也不会发生火山灰云“突袭”飞机的事情了。火山喷发造成的停航的确叫人恼火，监管部门在2010年采取的种种措施也的确显得过分小心，但是，我们也得对这样的自然事件表示谅解。毕竟火山是不为人力所控制的。

第四章 云端之上

穿越辐射区

火山在你的视线之外，暴风雨也远离你的飞行路径，现在，机舱外唯一能让你担心的就只剩下辐射了。辐射不会威胁到飞机，不过你却得小心它们，想想看人体扫描仪吧。人们很少提起飞行中辐射对人的危害，不过它的确存在。不过，辐射不会损害你的健康，这点你必须事先了解。单趟飞行并无大碍，但如果你飞行次数过于频繁，累积起来也许就会是一个问题了。

辐射是一个经常被用错的词。你也许听说过一些骇人听闻的故事，说的是关于手机信号发射塔和无线网络的辐射危害。辐射这个词用在这里和政治宣传无异。从技术上来说，发射塔和无线网络产生的辐射是一种电磁辐射（electromagnetic radiation），它与核能和原子弹完全扯不上任何关系。光是电磁辐射的另一个名字。我们已经介绍过雷达和X射线，光可以通过一张巨大的光谱来表示，光谱的中间区域分布着从红色到紫色这样一些常见的可见光，在它的两端则分布着另外一些不可见光。

有些颜色我们无法用肉眼看见，不同能量的光子显示出不同的颜色，不过它们也是电磁光谱的一部分。不同能量的光子组合在一起，呈现出不同颜色的光。手机和wifi在一定的无线电频谱范围内工作。和所有的电磁辐射一样，过度的辐射将危害健康，不过在照射适当的情况下则并无危害。与电离辐射（ionizing radiation）相比，电磁辐射的辐射形式有很大不同。电离辐射来源于放射性物质，它包括X射线以及更具杀伤力的伽马射线，一些电子和不稳定的原子核放射出的粒子也能产生电离辐射。

电离辐射对人体有害，因为它能穿透皮肤，破坏体内细胞组织的运行。人在接受中等剂量的辐射后，其患癌症的几率将会增加，而暴露在大量辐射中的人则会患上一系列的辐射病，过大的辐射量则会导致死亡。因此，我们不能小看辐射，但也用不着过于焦虑。不过，生活中辐射无处不在，我们无法避免。即便你待在一只镀铅的盒子中，呼吸着过滤的空气，你仍会接触到辐射。这是因为人体本身就具有放射性。这些射线来自于构成你身体的物质，它偶尔会对一些零星的细胞产生破坏——不过它带来的危害可以忽略不计。

同样的，在我们周围也存在着许多天然放射物质。有些地域的辐射会高于其他地方。比方说，分布有花岗岩的地区辐射较高，对人体的危害也相对会大些。花岗岩会释放出一种叫做氡的气体，当室内氡气的浓度增高到一定程度时，人们的健康将面临风险。有些地方如英国的康沃尔（Cornwall）和美国的丹佛（Denver），这里的人们面临的辐射风险比其他人更高，为了避免氡在室内堆积，当地居民采取各种措施，确保房屋能有效地通风。



绝对不能尝试的实验——一个需要耐心等待的实验

总有些时候，电脑会趁我们毫无防备之时出些小状况。这不是因为我们对电脑干了什么不该干的傻事，也不是软件问题，或是遭到病毒侵袭，你只是在使用一些常规的程序，这样的操作你已经做了无数遍了，但就是这样在毫无征兆的情况下，你的电脑突然就瘫痪了。虽然这极有可能是因为病毒，但自然辐射也能造成相同的后果。

出现这种状况是因为电脑芯片上的一些电子被放射性颗粒或是伽马射线击中了，使计算机的内存和中央处理器无法正常运行而导致瘫痪。遗憾的是，我们无法预测这样的情况会在什么时候出现。所以这个实验我们就不要做了吧，不然你也许得等上数年才能碰上这样的放射性颗粒呢。

第四章 云端之上

我们被自然辐射指数欺骗了

某些骇人听闻的故事往往出自于人们对自然辐射指数的误读。1979年美国的三哩岛核电站（Three Mile Island）发生了核事故，一些非专业人士用盖格计数器（用于测量放射性的装备）测出电站附近的辐射比美国的平均辐射高出了30%，这让他们感到恐慌。这个消息也震惊了全美，这个可怕的事实成为了当时美国的报纸头条。不过，那些测量者们得出的结论是有误的。即使没有三哩岛核电站，附近的辐射指数还是一样的，在宾夕法尼亚州所处的区域内，自然辐射的指数本来就相对较高。

在空中，你无法看出哪片区域的辐射较高，那么，这和你飞行又有什么关系呢？机舱是另一个辐射指数高于正常标准的地方。这和飞机本身没有多大关系，同样，这是自然界中的辐射在捣鬼。地面上，岩石释放的辐射会导致指数升高，而在空中，辐射指数升高则源自于宇宙射线。

第四章 云端之上

宇宙碰撞

所谓宇宙射线，指的是来自太空深处的带电粒子流，它们穿透地球表面的大气层，具有相当大的能量。有些射线来自太阳，而更多的则来自遥远的外太空，它们或许发源于某些遥远的星球或恒星爆炸，在太空中漫游了数百万年，行进了几十亿英里。这些粒子猛烈穿入地表大气层与空气分子发生剧烈碰撞，产生巨大的能量并生成新的粒子和高能量的射线。这些射线将投向地面。

在撞击生成的新的粒子中，有些很快就消失了。例如，有一种微粒叫做缈子（muons），它们的生命很短，从产生到消失还不到一秒钟。缈子的速度如此之快以至于我们能够看到狭义相对论中描述的现象。当物体高速运动时，时间就变慢了，GPS让我们了解到当物体高速运动时，时间就会慢下来。只有少数缈子能够到达地面，但是它们的速度极快，时间变慢了5倍，这样更多的缈子就能到达地面——这展示了现实中的相对论。不过让乘客们更担心的是那些撞击产生的高能量射线：X射线和那些威力更大的伽马射线。

在一趟飞越大西洋的航程中，你所承受的射线的量相当于做一次胸透的X线，是地面所遭受的辐射量的100倍左右。人们用微希伏（ μSv ）来描述辐射量。在英国或美国，人们经受的平均背景辐射量为每年2.5 μSv ，在康沃尔和丹佛这个数值会上升到7~8 μSv 。如果你每周飞行10小时，你经受的辐射量将再增加4 μSv ，因此，每周飞行10小时或是从伦敦搬去康沃尔都不会对你的健康造成危害。

不过，辐射暴露是一个累积的问题，所以如果你每周的飞行时间超过10小时，或长时间飞行加上居住在高背景辐射的地区，那你就得注意了，因为你的辐射暴露已经有可能危害到你的健康了。如果你想减少背景环境中的辐射量，甚至还打算离开高辐射地区，你也大可以将贝类海鲜从食谱中剔除，因为，食用贝类会使你每年的辐射暴露量增加0.5 μSv （贝类会过滤并吸收水中的放射性物质）。

另外，你还得留意太阳活动周期。太阳辐射的强弱处于变化之中，平均每11年为一个周期。太阳会在你每小时飞行所受的辐射量上增加0~1 μSv ，这取决于它位于周期的哪个时段。2011年，太阳的辐射曾达到最强，而2016年前后则最弱，下一轮辐射最强年份将会是2022年。单趟飞行中的辐射不会对身体产生负面影响，正如你也不用担心去康沃尔度假会有损健康，不过，如果你一周的飞行次数不止一次的话，那就有必要多了解一些辐射的危害了。

第五章 机舱生活

血液供给的压力

让我们回到机舱中来，在这儿，乘客们会为另外一些问题感到担心，这些问题常见于媒体报端，被广泛宣传。它们是深静脉血栓（DVT）和时差。每年，数百万人受到DVT的折磨，虽然他们中的大多数人最后都无大碍（而且大部分患者都不是在飞机上发病的）。深静脉血栓是由小血块引起的，在坐飞机时，由于长时间坐在位置上，椅子会对你产生持续的压迫，导致腿部形成血栓，而气压降低则会加剧血栓的形成。

如果是飞长途，稍稍起身活动一下就能有效地降低形成血栓的风险。每小时至少活动一次，如果做不到，弯曲一下膝盖或按摩你的腿部（事实上，不管你是否愿意散步，你都可以经常按摩腿部）。大量喝水也对你有益，同时远离酒精和咖啡等那些会使你脱水的物质。如果你对阿司匹林不过敏的话（和你的医生确认一下），对成人来说，半片这样的低剂量就能有效地降低血液的黏稠度。或者你也可以试试那种不怎么好看的护腿长袜，你可以用裤子把它们盖住，这样就不会引起别人的注意了。

第五章 机舱生活

扳回时差

时差似乎比那些危害健康的风险更让人恼火，不过，对于大多数跨时区飞行的乘客来说，时差是他们不可避免的经历。火车的出现改变了人们的时间观念，人们通过时差这一概念将地球分成了不同的时区。时区的划分是一个武断地决定。地球上原本可以只有一个时间的，17:00对于某些地方来说是早上，有些地方则是下午，而其他地方已是午夜。原本世界上任何一个地方的时间都是一致的，不过这样一来，一天中的某个部分就不能用特定的一个时间来指代了。不过，这于克服时差并无多大益处，因为我们还是会日出而作，日落而眠的，而世界各地的日出日落都不是同时发生的。

第五章 机舱生活

穿越时间区

在时间区划分之前，人们都按照当地时间作息，这个时间是以太阳活动为基础的。那时人们还没有相对统一的时间，这意味着，城市与城市之间的时间都不一样。纽约的中午12点与波士顿的中午12点不是同一个时间。伦敦时间也异于伯明翰时间。但是，火车的出现让人们意识到统一时间标准的必要性，以这个标准为基础，通过加减，确定火车在铁路沿线不同站点的到站时间。如果每列火车的到站和离站时间都是以太阳为基础的地方时间来计算的话，那就无法制定出列车时刻表了。我们目前使用的时间区大致是在19世纪晚期形成的。现在的美国时区则是在1883年确定下来的。

世界被划分为几个主要的时间区，在同一时刻，各区的时间却不同。例如美国时区是由四个大陆时区组成的（阿拉斯加除外），它起始于比格林尼治时间（GMT）晚5小时的东部标准时间区，止于比GMT晚8个小时的太平洋时区（世界上有些地方的时间不那么好计算，因为它们与格林尼治时间的差数就不是整小时数，而是以30分钟或45分钟计算，比方说，委内瑞拉比GMT晚4.5小时，而尼泊尔则早于GMT 5.75小时）。如果时区能被划分得像橘瓣那样均匀的话，那每个时区将跨15个经度，不过现实中，每个时区的分界线都不是平整的，它们歪歪扭扭地连接着两极，一会在这儿拐一下，一会又在那儿转了向。

有些时区的边界位于海上，而其中有一条特别的分界线就是日期分界线。它呈现出锯齿状，人们为了使其避开陆地才设定了这个形状。不过对于美国的四个时区来说，某些地方不可避免会出现这种情况，往前迈一步你就进入了一小时后的未来，而往后退一步则就回到一小时前的过去。比如站在亚拉巴马和佐治亚州的边界上，你就能穿梭于东部标准时和中部标准时之间。在中国就没有这种游戏，因为它幅员辽阔覆盖了5个时间区，不过，整个中国使用的时间只有一个，那就是标准的世界时间。

我们可以利用时区玩一把冻结时间的恶作剧。如果你以适当的速度飞行，你可以在一天之内度过岁末与新年。这个速度将由飞行的路径决定。如果是要经过赤道附近，那你就得飞得最快，24小时之内你差不多得飞行40000千米。这意味着时速1666千米（每小时超过1000英里）。这个速度对于现有的飞机来说有些太快了，但对于协和式飞机来说则小菜一碟。不过，若是在极点附近盘旋，速度就绝不是问题，因为地球上的纬线，由赤道到极点逐渐变短，而在地球的两极点上，转一圈就是24个时区。理论上来说，如果你的飞机能恰好降落在极点上，你将在同一时刻经历一天的24个小时。（现实中这是不可能的，所以南北极地区还是将格林尼治时间作为官方时间）。

第五章 机舱生活

什么是（或不是）时差

在单一的某个时间区内，时差不会对我们产生任何影响。时差的问题在于，一方面我们干着白天的工作，而另一方面就生物钟来说已经临近深夜，这种颠倒让人感到疲劳和困惑——昼夜轮班的工作者面临相同的问题。时差不适症不是疾病，它只是一种疲劳，休息后便可恢复，因此也不需要治疗。我们能将时差不适症降到最低或是忽略它，假装它不存在，但是，世界上找不到消除时差不适的神奇的药片。对付时差最好的办法就是找些刺激来提提神。

尽管时差反应不是病，但它能导致你精神不集中而无法做出正确的决定（疲劳也一样）。时差反应的最经典案例是关于美国前国务卿约翰·福斯特·杜勒斯（John Foster Dulles）的。在1956年苏伊士运河危机时期，杜勒斯撤销了对埃及阿斯旺水坝的贷款援助，而这个决定是他从中东回到华盛顿后迅速做出的。杜勒斯晚年时承认这是一个轻率的决定，他认为回国后没有得到休息导致的时差不适症是犯这次错误的主要原因。

如果时间充足，你可以对这种不适不予理睬，它自己会慢慢消失。每跨过一个时间区，你就需要一天的时间来恢复，假如你朝西面飞行，这种不适反应则会减轻些。日照超过24小时的飞行所产生的不适将远远低于全程夜间飞行。如果想尽快克服不适症的话，你可以从饮食着手来缓解时差。

第五章 机舱生活

克服时差

如果能在起飞前就着手调整日常饮食，将达到最理想的效果（如果看到这条建议的时候你已经坐上了飞机，那它的效用就不大了，不过下一次出行时它就能派上用场了）。飞行前确保充足的睡眠，在起飞前的24小时尽量摄取清淡的食物，适量饮水。（你也许听说过，补充水分效果最好的液体就是水，汽水或果汁补水的效果远不及水。这是胡说八道。不过尽量不要饮用例如咖啡、茶，尤其是酒之类的利尿饮品，这些饮料会加速身体脱水）。

登机后，你最好能马上将手表调整到目的地时间，然后尽可能地按照这个时间作息。如果飞机早上到达目的地，请确保降落前你至少睡了6个小时。如果抵达时将近黄昏，请在降落前的8个小时都保持清醒。严格按照目的地的作息时间表。如果目的地时间还没有到你打盹的时间，那别打。

这样作息的麻烦之处在于你也许会错过飞机上用餐的时间——不过请尽量按照目的地的用餐时间进食。如果这意味着你将无法享用到飞机上提供的食品，那就忍忍吧，不要想着大快朵颐。如果你坐的是经济舱，那么就算吃不到那些餐品也没有什么可惜的，如果你搭乘的是更贵的舱位，那就不需理会飞机上的分餐时刻表，乘务员会随时为你提供充足的食物。

老实来说，最好的方法是少在飞机上进食，另外最好全程不饮酒，酒精不但会让你脱水而且会加剧时差不适症。减少可乐、咖啡和茶的摄入量，因为咖啡因也是一种利尿剂。假如到达时天还亮着，那就去散会儿步吧，运动可以缓解时差带来的不适感。确保你按照当地时间吃饭，别再去理会出发地的时间作息了。

第五章 机舱生活

服用药物

有许多研究表明，服用褪黑激素能克服时差，你也许会在网上看到这类药物的广告。据说这种松果腺激素会使人昏昏欲睡从而减缓时差带来的不适。德国海德堡大学的研究显示，长时间飞行之后，人体内的褪黑激素水平会发生改变，而褪黑激素水平与睡眠有直接的联系。围绕着褪黑激素是否能作为时差不适症的“解药”，还有许多疑问。（记住，时差不适症不是病，不需吃药治疗。）以下这段话出自英国的医学杂志《柳叶刀》（The Lancet）。

褪黑激素之所以能显著地减缓时差不适症，是因为它与一种目前还不明确的精神活动有关，不过，褪黑激素对人体会产生一定的副作用.....褪黑激素有可能会抑制小白鼠的性腺发育和生殖机能。同时，它能影响人类的内分泌。对褪黑激素的使用应持谨慎态度.....

如果这种药物真有用，那你最好在起飞前后严格地按照剂量服用。作息时间混乱和服药不当将加重时差反应。不过更令人担心的是，与所有激素类药物一样，褪黑激素也会产生一些副作用。和调整吃饭睡觉时间这样一些非入侵性的措施比起来，服用褪黑激素这样的方法还存在一定的争议。

虽然褪黑激素有可能会产生比时差不适更糟糕的副作用，但还是有不少案例显示，它能缓解时差。而持相反观点的人认为克服时差的药物依靠的纯粹是人的心理作用。还有许多其他配方和奇怪的疗法。有些食疗法教人在起飞前一天空腹或饱餐一顿。还有一些则建议乘客们通过强光照射来调节生物钟。也许这么多方法中，芳香疗法和顺势疗法是为数不多值得尝试的。

芳香疗法和顺势疗法其实并不会过多地作用于你的身体。（这一点儿也不奇怪，比方说顺势疗剂中不含任何活性成分。）但是，它们却能有效地起到安慰剂效果。它使大脑认为我们正在接收一些有益的物质，向身体中释放一些天然的化学元素，从而改善人的生理状态。这样的安慰剂疗法可以作为睡眠和饮水改善的补充，而且，它们对于人体无害。任何一种能让你自然入睡的方法都有助于改善时差不适。

第五章 机舱生活

从北向南的飞行也会引起时差么

有人用一些古怪的观点来解释所谓的南北时差，有关这类问题的记录相对较少。常见的时差发生在跨区飞行中，白天的时间变长或缩短了。但是对于那种只在一个时间区内的、没有牵涉时差的长途飞行，比如从多伦多到利马，或从约翰内斯堡到赫尔辛基，那么，时差不适症还会发生么？如果这种不适只是单纯地由时差引起的，那么，这样从南飞到北或是从北飞到南是不是就没有时差反应了呢？答案是，不适反应依然存在。

一些撰写空中旅行书籍的作者认为是体内某股奇怪的力量导致了这种不适。他们指出从北向南的飞行与地球磁场方向相切。他们注意到水（我们身体的主要组成部分就是水）的运动方向因南北两半球而异，在北半球，水以顺时针方向流入下水口，而南半球的水则以逆时针方向下流。他们得出结论：你所处的半球对身体内的体液有直接影响。

遗憾的是，这些有趣的想法鲜有科学依据。科氏力（Coriolis force）决定了浴缸中水流进入下水口的旋转方向——我们在前几章已经提到过，这是一种由于地球自转而产生的偏转力（见第38页）。这种力十分微弱，而那些所谓的水流方向差异也还是一个谜。科氏力对人体的影响微乎其微，甚至小于飞机的运动对人的影响。就地球磁场而言，它的力量并不是那么强大，虽然有一些鸟类能通过侦测地球磁场变化完成迁徙，而且，地球磁场对人体健康没有明显的影响。

我们的确应该回到前面，去温习一下什么是时差，而不要在这里被伪科学弄昏了头脑。时差是一种疲劳，大部分轮班工作者都体验过，其他症状包括时间变化导致的无所适从，脱水和机舱中低气压带来的不适。即使只在某个时间区内飞行，你也可能经历除时间错乱外的其他所有不适。而在从南向北或从北向南的长途飞行中，那些所谓微弱的时差不适症压根也不是由什么神秘力量引发的。你的确用不着去找各种克服它们的偏方。如果你能遵照前面的建议行事，你就能很好地应对“南北时差”了。

第五章 机舱生活

移动的体验

我们已经聊了很多机舱内会发生的情况。现在，让我们再看看窗外。那些离我们很近的东西——比方说那朵云——它看上去正飞快地与我们擦身而过，而那些离我们有些距离的物体看上去却几乎一动不动。这是怎么回事呢？



视差游戏

伸出一根手指，把它举到面前，然后视线投向窗外。闭上右眼，再观察一下手指的位置。现在换一只眼睛，闭上你的左眼并睁开右眼。左右眼来回试几次。以机窗和窗外的景物为参照物，你会发现手指一会儿离你近一会儿又离你远。显然，你的手指是不会前后移动的，但是，手指出现的位置根据视角的变化有所调整。视角不同，手指在视觉上的位置也随之改变。

这种现象被称为视差，它能制造出更令人迷惑的视觉效果。如果你的下方有云朵或是一些显著的景观，将视线落在近景与远景的中间。盯住那个地方看上一会儿。若以视线聚集的中间点为参照物，那些远距离的云朵或景物是如何运动的呢？而那些近处的又是如何运动的？对比中间点来说，远处的物体似乎在向近处运动，而近处的物体似乎在向远处运动。

我们的眼睛通过两个不同的视角来观察世界，看到的物体具有三维立体感，如果闭上左眼或右眼，你看到的将会不同。当你变换视角时，物体离双眼越远，视差位移就越小，所以手指看上去在来回移动。想象一条直线连接着你的左眼和一个远处的物体。现在切换到你的右眼，再想象一下这条线将如何移动。远处的这个物体，以及你两眼形成了一个扇形，而当左右眼切换时，离双眼越近，这条直线扫过的弧线就越长，反之则越短。同样的，近处的云朵在相同时间内位移更大，因此一闪而过，而远处的物体看上去却几乎静止。

想象一条直线连接着你的某一只眼睛和远处的物体，在这条线的中间做个标记，随着你视角从左眼变换到右眼，物体与那条虚拟直线的位置也会发生改变。虽然以飞机为参照物，物体是向后移动的，但是和中间点比起来，物体向前移动了。而那些离中间点较近的物体则会随着视角的变换后移。事实上，若互为参照物时，这些物体的位置并没有改变。变换的视角导致了它们视觉上的移动。

第五章 机舱生活

有趣的对比

当与参照相比，某物发生了运动，就像相对于机窗外的景物来说（机翼那些固定在飞机上的东西除外），你也在运动那样，这种运动产生影响就叫做相对论。如果你搭乘的是廉价航空，现在差不多到了享用茶点的时候了，让我们趁机来感受一下所谓的“机舱相对论”吧。

爱因斯坦曾经说过一段非常著名的话来描述某种相对论。“男人与一位美丽的女士比肩而坐时，一小时就像一分钟那么短暂。但是如果让他在热腾腾的火炉上蹲上一分钟的话，这一分钟将比一小时还要漫长。这就是相对论。”如果你坐过飞机，就会有相同的感受吧。当你一边喝着饮料一边与邻座愉快地聊天时，时间仿佛过得飞快，而当你边上坐了一个闷罐子，时间就好像永远也过不完。

虽然爱因斯坦调侃地把这种现象也称为相对论，不过他是想通过这个玩笑来说明时间的主观性。指针匀速的滴答向前，时间在一丝不苟地流逝，它是客观、严谨、科学的，然而，人主观体验上的时间则完全又是另外一码事。俗话说，心急吃不了热豆腐，心越急，你反而会觉得等待的时间更长。不过，在飞机上，你看到的许多现象都能用相对论来阐释，当然，这个相对论是物理学意义上的相对论。

第五章 机舱生活

伽利略的天才想法

只要一提起相对论，我们会想到伟大的爱因斯坦，不过，这个概念不是他首创的。伽利略是相对论概念的奠基人，他在17世纪30年代提出的一些想法成为了相对论的重要基础，不过在当时，这些想法震惊了许多人。



破冰者

倒一杯饮料，在里面放一块冰。把杯子放在桌子上，然后观察那块冰。如果有可能的话，观察一下平稳飞行中冰的状态。再看一下当飞机遇上气流，或加速转弯时，冰又会发生什么变化。

在没有加速的平稳飞行中，冰一动不动地浮在杯面上，好似被放在了地上一样。在这种情况下，如果拉下遮光板，你会觉得自己根本就不在飞行中。你没法在机舱里捣鼓那些能证明你是在运动中的物理实验。这种平稳会让我们错以为自己在陆地上。这就是伽利略天才的想法。他通过一艘平稳行驶的船来说明了他的想法，道理是一样的。

当飞机经过气流或加速时（转向也是加速的一种），那种我们习以为常的平稳状态瞬间就被打破了。冰摇摆起来，我们开始上下颠簸，左右摇摆，这一切都提醒着我们，飞机正在运动。

伽利略认识到任何运动都是以其他参照物为前提的。如果两个物体以相同的速度运动，对于它们彼此来说，另一个物体都是相对静止的。如果你看见附近还有一架飞机，若它的飞行速度与你相同，而且也朝着同一方向飞去，在你看来，这架飞机就是静止的。不过，这不仅仅只是视觉上的问题——如果以你的飞机为参照物的话，这架飞机就是静止的。假设两架飞机能挨得足够近，你甚至能轻松地登上另一架飞机，完全察觉不出它们是处于运动状态的。

对于伽利略来说，这个认识非常重要，因为它有力地支持了哥白尼提出的太阳中心说（地球绕着太阳运动）。自古希腊起，人们就认为地球不会转动，它静止地悬挂在宇宙中心，而太阳（和其他所有的星球）则围绕着地球旋转。在伽利略的时代，人们否认地球是处于运动状态的，普遍的观点认为如果地球在动，那些没有被固定在地面上的物体肯定会被甩出地球。当然，这种观点是错误的，从我们的角度来说，地球的确是不动的。因为，我们所有人都随着地球旋转的速度与它一起运动着（除非，例如我们坐在飞机上）。



追赶

让我们来重现伽利略的那个实验，它曾使那些不了解相对论的人感到大为震惊。意大利皮耶迪卢科湖

上，某艘船上正在举行一场聚会，船在六个桨工的卖力划动中前行。伽利略询问他的朋友斯达路堤是否随身携带了一些较重的物体。斯达路堤拿出了一把很重的钥匙，显然，这是一把十分重要的而且无法复制的钥匙。伽利略用尽全力将这把钥匙笔直抛向空中，此举让朋友大吃一惊。斯达路堤觉得，船向前行进，钥匙一定会掉入湖中，他惶恐地不知所措，差一点就要跳进水里。

在拥挤的机舱内将钥匙抛过头顶不是一个好主意。你最好搓一团纸球来做这个实验——最好移步至开阔区域，远离其他乘客和空乘，并尽量将物体笔直上抛。如果伽利略的朋友在场，他一定认为纸球会向后落在地上，因为飞机被发动机推动向前，而纸球却没有。很显然，他的这种假设是不会发生的。

在伽利略所处的那个年代之前，人们觉得物体在推动下才会运动（或者在重力和浮力的作用下）。显然，球（或钥匙）被抛出之前它是与你同时运动的（钥匙是与伽利略一起的）。然而接下来，按照人们过去的认识，这种推力在抛出的瞬间消失了，因此物体就会落在后面。现实中，如果你垂直将球抛起，球一定能落回你手中，你与球之间没有相对运动，也不存在那个能使球发生相对于你位移的力。

我们想象一下就好了。试想你爬到了机翼上，手中还捏着那团纸，再一次笔直地将它上抛。这一次会发生什么呢？这一次，纸球会被甩在后面。不过这是因为相对于空气来说，飞机的速度很快。从你的角度来说，你坐在机翼上，飞机是静止的，而空气则高速向后运动。向后运动的空气会与纸球接触，上亿个高速运动的空气分子与纸球发生撞击，将纸球推向后方。为了避免这个问题，伽利略选择了一把很重的钥匙。

第五章 机舱生活

在急流中飞行

当飞机处于低空，透过窗子就能看到底下的大地，这能让你清楚地感受到自己正在前行，而参照物就是地球。或者，你引用伽利略的说法，你是静止的，向后运动的是地球。（爱因斯坦常常喜欢这么问：“车站什么时候才到。”不过，同样的玩笑开过几次就招人烦了。）但是，你飞行的速度到底是多少呢？

如果你坐的是一架波音747，它的巡航时速将达到每小时550~570英里（差不多是890千米/小时）。假设你从美国飞往英国时，地面上的观测者通过雷达测速仪发现了你，他一定会觉得你的速度比声音还快。可以这么说，一架普通的飞机能在乘客毫无知觉的情况下突破音障。

飞机的空速是其相对于周围空气的速度，而不是相对于地面的速度。550英里/小时的巡航速度是飞机相对于周围空气的速度。但是，如果空气本身也以200英里/小时的速度与你做相同方向的运动，那么，地面测速雷达上观测到飞机的时速将达到750英里。这将比740英里/小时的声速还要快。

虽然200英里/小时的风速有些极端，但是在强大的急流中，这样的风速也不是没有。急流是一种持续不断的气流，它自西向东运动，是地球自转的产物。急流是大气气温逆转造成的，它出现在飞机上升或下降过程中气温升高的区域。对于飞机来说，急流通常产生于30000~40000英尺的巡航高度。这个高度是大气下层（也叫对流层）与大气上层（也叫平流层）的分界线，对流层空气的主要成分为温室气体，而平流层则能吸收太阳辐射。并不是地球上所有地方都会产生急流，但会形成一股狭长的气流带，以每小时250英里的速度前行。若遇急流，向东飞行航班的速度将远远快于向西飞行的飞机（而且更省油），有时甚至堪比超音速飞机。

第五章 机舱生活

特别的发现

1905年，爱因斯坦宣布了一个了不起的发现，使相对论在伽利略的基础上又向前发展了一步。让我们回到大气急流，还记得空气的速度是如何为飞机加速，使之获得了一个更快的相对于地面的速度吗？同样，伽利略相对论也告诉我们：两架飞机迎面飞来，它们各自的速度分别为自身的速度加上对方的速度。或许，每架飞机相对于地面的时速为550英里，但对于朝它迎面飞来的另一架飞机来说，它的时速达到了惊人的1100英里。我们前面说过，如果两架飞机以同样的速度，朝同一个方向并排飞行的话，若以对方为参照物，它们是静止的。

当爱因斯坦得出这个结论的时候，他想的不是飞机，而是光（这个时间比莱特兄弟首次试航的1903年晚了两年，那时飞机才刚刚被发明出来不久）。试想一下你的飞机突然获得了一个不可思议的速度。你的飞行速度达到了每秒186000英里（约300000千米/秒）。这和光速相同，而你也能与阳光同行。根据伽利略的理论，在以你为参照物的情况下，阳光是静止的。但是爱因斯坦意识到这里有个大问题。

19世纪末，苏格兰科学家詹姆斯·克拉克·麦克斯韦（James Clark Maxwell）证实了光是以某一特定速度传播的。虽然光在不同的媒介中传播速度不同（例如真空中，它的传播速度要大于在玻璃中），但是在同一种媒介中，比如空气，它的速度是不变的。光、电、磁三者的关系密不可分。电流可以产生磁场，变化的磁场也能产生电流，如果能使电流以某一特定速度流动产生磁力，磁力再生成电力，就能这样无限循环下去。但是电流速度等于光速，而光只以某一特定速度传播，因此，现实中没有这样的无限循环。

因此，爱因斯坦意识到，如果参照物速度发生改变，光的相对速度也随之改变的话，那光就会消失。按照这种观念，你乘坐飞机一旦运动起来，环绕在它周围的光就开始分崩瓦解了。飞机只有在相对的静止状态下（那参照物又是什么呢？），你才能看到光瓦解的景象。现实中的情况并不是这样，因此这种说法是荒谬的。因此，爱因斯坦产生了一个大胆的想法，不管参照物的速度如何变化，光的速度是不变的。当你以时速550英里朝着太阳的方向飞行时，阳光传播的速度并不会因此加上550英里/小时，无论对于你来说，还是对于停在地面上的另一架飞机来说，阳光传播的速度都是一样的。

当爱因斯坦将这个想法带入牛顿的运动方程式时，他震惊了。为了使光速保持不变，其他一些我们认为的不可变量就要发生改变。按照爱因斯坦的新理论，如果某物开始运动，它的重量会增加，体积会减小，而时间也会因此变慢。但是，当运动的速度小于光速时，这些变化难以察觉，不过它的结果却不容忽视，就像我们之前提到的GPS卫星，如果没有人为校正，它们就不能精准地工作。

第五章 机舱生活

逆龄之旅

爱因斯坦将这个理论称为“狭义相对论”，因为它是建立在相对性原理和光速不变原理基础上的。由这个理论引申出了一个非常奇特的双生子悖论（twins paradox）。假设有一对双胞胎，其中的一位被送上宇宙飞船，并以光速飞行，而另一位则留在地球上。当宇宙飞船回到地球上后，飞船上的那位要比其地球上的兄弟更年轻，因为时间在宇宙飞船上流逝得更慢。这不是主观感觉，也不是我们听过的那种返老还童的传说——时间的确慢下来了。人们没有真的用一对双胞胎来做这个实验，而是用了两只一模一样的原子钟，那只以光速运动的原子钟比留在地球上的另一只运行得更慢。

按照这个理论，比起待在家里不出门，出门旅行能让你更年轻，因为在飞机上，时间要比地面上流逝得慢上那么一丁点儿。如果你有一个双胞胎兄妹，你现在就比他（她）年轻了一点点。不过，就飞机的速度来说，这样的逆龄微乎其微。如果想要达到明显的效果，飞行速度必须达到光速的某个百分比。就算比起光速，飞机的速度算不上什么，不过如果你每周都经历一次飞越大西洋的航行，40年后，你将年轻千分之一秒。我承认，抗衰老护肤品制造商们才不会把这么丁点儿时间逆转放在眼里。

第五章 机舱生活

一杯好茶

我们的相对论之旅始于一杯饮品，不过，飞机上提供的另一种饮品也许会叫你失望了——这不仅仅因为它们盛在塑料杯里。这就是茶。爱茶之人都喜欢用开水冲泡茶叶，这意味着要使用100摄氏度的水。可这在飞机上做不到。不是因为乘务员偷懒，而是在机舱内，水温无法达到100摄氏度。

大气压导致了这种状况。回想一下当水这类液体沸腾时的状态吧。水在沸腾时，水分子飞快地运动，离开液体表面窜入空气中，在没有空气的情况下，水分子能以任何速度运动然后离开液体表面。如果是在没有空气的外太空中，即便气温极低，水也能沸腾。通常，大气压使大部分水分子无法离开液体表面。试想一下无数的空气分子就像铺天盖地的小球，它们不停地将上窜的水分子击落回原地。气压减小意味着那些将水分子击落的空气分子的数量也减少了，因此，运动得不那么快的水分子也能够逃离液体表面。

机舱中的气压相当于海拔8000英尺之上的气压。在这样的气压下，水的沸点在90摄氏度左右，你在飞机上喝到最热的茶水差不多也就是这个温度。无论乘务员怎样给热水壶加热，它的温度都不会超过90摄氏度，除非所有的水都烧干。这是因为，当水处于沸腾时，任何多余的热量只能加速水的汽化，而不会改变水的温度。只有当这种从液体到气体的转化无法再进行的时候，温度才会升高。

假设你从飞机上的厨房里拿一只水壶，把它放在机翼上。用这些水泡的茶一定寡淡无味。在40000英尺的高空中，气压急剧下降，而水的沸点也降低到53摄氏度。

所以，如果你只喜欢喝100摄氏度的滚水泡出的茶，在飞机上你最好还是选择咖啡好了。

第五章 机舱生活

听食物

如果你觉得茶不够味，那飞机上的餐品也一定不能让你满意。相信大家都有同感吧，除非你坐的是商务舱或头一次坐飞机。飞机餐的口碑向来不好，提供这些淡而无味的食物并不是因为航空公司对食物不用心，一些物理效应也会影响食物的口感。机舱中的低气压、干燥的空气和食物反复加热都能削减食物的美味，不过你大概没有想到，机舱内的噪音也是原因之一吧。

虽然我们很快就能适应背景音并且迅速地忽视它，不过这些来自发动机和通风系统（更别提其他乘客）的噪音从来就没有消失过。如果你是在飞机上读到这段的，你会立刻意识到它们的存在。它们一直都在那儿。2010年发表的一篇研究说明了噪音是如何影响我们对食物的感知的。研究人员蒙住受试者的双眼，使他们分别置身于不同等级的噪音环境中，然后让他们对食物的喜恶进行排序。在噪音相对较大的环境中，人们对食物咸甜等味觉敏感程度降低，转而关注食物酥脆等质感。不过由于参与的受试者较少，仅有48名，这意味着，航空公司是否应该在用餐时配发耳机这样的决定还需要进一步论证。

第六章 飞行时的科技

在地图上追踪你的航线

不一会儿，机窗外的景色虽然壮观依旧，但略显单调。是时候在机舱内找些乐子了。你能看到一块说明航程的屏幕，上面有一张显示飞行路线的电子地图。这个路线看起来弯弯曲曲。如今油价居高不下，直线飞行似乎是最经济最合理的，而且，你在空中似乎也没看到任何妨碍飞行的障碍物。但是，航空公司却坚持曲线飞行。不能直线飞行的因素有三个。

地球上两点间最短的距离反映在地图上不一定是直线，这是最基本的一个原因。大致上可以将地球看成一个球体（自转导致它的中部两端向外凸出，不过在这里我们暂且忽略这个事实），在球面上两点间最短的距离是一条弧线，弧线两端延伸就形成一个大圆。这个圆圈将地球对半切开——它与地球有着相同的半径与周长。赤道就是这样一个大圆。

这个大圈能将处于不同纬度的两点连接起来（你所在的纬度是指你与地球球心的连线和地球赤道面所成的线面角），但是，对于北半球同一纬度上的两个点来说，大圈能将它们连接起来吗？比方说，在离北极点几百英里外的北纬上的两个点。在这种情况下，两点间的最短距离是沿着纬线，那个更小的圆圈上的一段弧线吗？答案是否定的。因为小圆的曲度大于那个以地心为原点的大圆，而两点间的距离也随之增加了。事实上，在这样的两点间飞行，航线会偏离小圆，向外凸出。

为了能使你的航程显示在屏幕（或飞行杂志）上，我们必须用平面的地图来表现现实中的弧形的线路。这个转换的过程被称为投影法，但这难免会有些失真。在这个过程中，立体地球上的种种标线与位置将转化到平面方格坐标上。在所有投影法中，麦卡托投影法（Mercator projection）最为经典，它出现于16世纪，是以比利时地理学家杰拉杜斯·麦卡托（Gerardus Mercator）的名字命名的。麦卡托将地球仪投影在假想的绕赤道一圈的圆柱筒上，再摊开成平面地图。和所有的投影法一样，麦卡托投影法也有一些局限性。有些投影法投影出来的地图能更精确地展示某个局部区域，而有些则更擅长于还原其在地球表面原本的形状。

第六章 飞行时的科技

投影地球

用麦卡托法绘制飞行投影图时，只有沿着赤道的飞行线路呈现出直线，所有其他的大航圈都显示为与“最短直线距离”发生偏差的曲线。所以，对于一条从伦敦飞往纽约的航线来说，它呈现出来的是一条朝北极方向凸起的曲线，而不是我们通常认为最短的直线，不过事实上，这条航线已经是最短的了。

然而，飞机在选择航线时，除了最短距离之外还会受到其他因素的影响。有时，因为政治或另外的实际原因，飞机不得不偏离大航圈。飞机会尽量避免飞入某一国家的领空，有时也会因为空中交通管制的需要飞经某一空中通道，这些都将限制飞行员按照最短线路飞行。

我们在前几节提到过的急流也是促使飞机改变航道的原因之一。当飞机由西向东飞行时，它们有可能会遭遇强风，这种急速的气流能使飞机相对于地面的速度大大增加。为了获得这种推力，东向西的飞机通常会改道成西向东，从而进入急流带，这将缩减飞行时间也能节省燃油，这些额外获得的速度会弥补增加的飞行距离。

第六章 飞行时的科技

该死的科技前沿

起初，屏幕上的那个小地图会让你觉得新鲜，不过，整个航程都盯着它看就显得无聊了。如今大部分飞机上都有一系列供乘客娱乐的装置。你会发现虽然飞机是高科技产物，但有些东西远不如你家里的来得高级，有些装置的技术水平甚至还不如你的手机，这是不是很奇怪呢？这是因为生产一架飞机耗时巨大，所有之前还是最前沿的科技在它出厂时就已经落后了。

在协和式飞机起飞前，见过它驾驶舱的人通常会因它的简陋而感到意外。在数字式座舱显示的年代，协和式飞机的调节器和读数都是手动操作的——因为它的设计年代是在信息技术革命之前的20世纪60年代早期。（“阿波罗号”发射时的计算机处理能力是另一个技术落后的例子。当时个人电脑时代还没有到来，飞船上计算机的科技水准远比不上最简单的现代手机，更不用说iPhone和其他一些最新型的装置了。阿波罗号的导航计算机只有差不多4000字节的内存）。

就算是那些远不如协和式飞机这么具有突破性的机型，在设计和制造上的技术都显得相对滞后，远不如家庭娱乐设施更新换代得那么迅速，即便是一架刚出炉的新飞机，它的娱乐设施有可能已经落后一年了。回想一下近几年中，手机技术经历了怎样的高速发展，而就同时期出厂的飞机而言，机舱内大部分的技术设施就显得有些停滞不前了。

第六章 飞行时的科技

让显示器变薄

到目前为止，有一项技术使机上娱乐发生了改变，这就是LCD屏幕。

在这项技术发明之前，人们无法在座椅背后安装显示器。而现在，LCD技术被广泛使用，你甚至很难再买到不是LCD的电视或计算机显示屏了。LCD无所不在，人往往会忽略这样一个事实：自20世纪90年代起，人们才将该技术广泛应用于显示器上。

在这之前，我们的电视和显示器都是CRT，或阴极射线管。这是维多利亚时期的发明。“电子枪”被放置于显像管后部，它朝着真空的显像管发射高速电子。这些电子光束将经过一系列控制它们偏转角度的电磁线圈，或高或低，或左或右，最后，它们像电子笔一样，在屏幕上画出了各种明暗不同的光点和图像。这些发光的小点其实是一种磷光物质，当它们被电子击中时就会发光。这些电子束飞快地扫射屏幕，由无数小点组成的图像就形成了。

显像管电视的局限性在于必须使电子枪与屏幕保持一定的距离，让线圈能够控制电子的偏转角度。这就是老式电视机笨重的原因所在，而你也无法将这个厚实的家伙装在飞机椅背上。不过，LCD改变了这一切。“LCD”是液晶显示（liquid crystal display）的缩写，这是一项十分精妙的技术，早在300年前人们就注意到光的这种特性。

第六章 飞行时的科技

巴托林的水晶奇景

1669年，丹麦物理学家E.巴托林（Erasmus Bartholin）发现透过一种叫做冰岛长石的物体看到的像是双像。如果你将一块方解石石晶放在写有一行字的纸上，你就能看到一模一样的两行字（方解石石晶是碳酸钙的晶体形式，它的主要成分是石灰岩、白垩岩和大理石）。巴托林猜想这种现象是由于存在着不同的两种光。从某种程度上来说，他的想法是对的。不过巴托林没有意识到光在折射时是部分偏振的，光波的振动方向对于传播方向的不对称性叫做偏振（polarization）。（后来的埃德温·兰德意识到了这个问题，他是宝丽来太阳镜的发明者。）

像太阳光这类的一般光是由不定向震动的光子组成的，而经过反射后，其中大部分光子的震动方向就一致了。兰德意识到如果能在太阳镜中加上一层过滤层来阻挡这种方向一致的有序光，就能消除路面或汽车挡风玻璃反射而产生的眩光。这个发明让兰德成为了大富豪，不过后来的液晶技术使偏振技术在滤镜中的应用相形见绌。



旋转测试偏振

做这个实验，你得先找出一副宝丽来太阳镜，最好是旧的，这样就算拆了它你也不会心疼。拆开镜框取出镜片，将其中一枚镜片举到眼前，看向窗外。如果镜片是有色的，透过镜片外面的景色会变暗。现在，将另一枚镜片叠加到之前的那枚镜片上，再次向窗外看去。这一次，窗外的景色不变，只是变得更暗了，因为，两枚有色镜片叠在了一起。

现在，保持一枚镜片不动，另一枚镜片绕着它慢慢旋转，使后者逐渐与前者成90度角。当镜片旋转时，看到的景色将变得越来越暗直至消失。当两者成90度时，除了一团漆黑，你什么也看不见。继续旋转镜片，景色又慢慢出现了。

宝丽来镜片到底做了什么才会导致这样的现象呢？想象一下每枚镜片中都有无数道缝隙，假设它们的方向都是从左向右与地平线平行好了，而光子（水平方向震动，左右延伸的）刚好能从这些缝隙里穿过，就像孩子们的形状分拣玩具一样，不同形状的积木只能从匹配的孔洞中穿过。那些垂直震动、上下延伸的光子无法通过缝隙，因此，它们就被挡在镜片之外。

当其中的一枚镜片慢慢旋转成90度的过程中，那些能够通过第一道镜片上的光子无法通过第二道镜片。镜片阻挡了水平和垂直方向偏振的光。这会导致穿过镜片的光线减少，看出去的景色就会变暗。

第六章 飞行时的科技

一有光就旋转的液晶

在制造液晶显示器前，我们还需要另一项技术，那就是液晶。液晶是一种奇特的物质，正如它的名字那样，它介于液体和固体之间。有些液晶的特性很有趣，当给它们施予一定电压时，液晶分子能旋转一定角度，这能改变光线原来的方向，横向的光线射入后，会旋转90度出来。现在，我们终于可以来试着造一台液晶显示器了。

现在就让一切旋转起来吧。想象一下将液晶放置在两片互为90度的宝丽来镜片之间。到目前为止，没有光通过镜片，因为它们被阻挡在镜片之外了。现在我们给液晶通电，光子的方向就会发生90度偏转，就像螺丝刀口那样旋转。如果光从后部射来，那些横向振动的光子会穿过后面的镜片，被旋转90度后再穿过前面的镜片。这样你的宝丽来镜片又可以透光了。

本质上，这就是LCD显示屏的工作原理。它背部有一块发光的背板，能源源不断地输送光子。光线从发光背板射入，先进入第一道偏光板，然后经过液晶层，偏转90度后，正好能进入第二道偏光板。在没通电的情况下，屏幕是黑的，通电后，屏幕就亮了。当然，现实中的情况比这个要复杂些。整个屏幕上的液晶没法同时工作，因此，屏幕被分割成无数个小点，称之为像素，这些小点组成了最终的画面。每个小点又被分成了红、蓝、绿三个部分，三原色混合才得到了我们想要的色彩。不过对于飞机椅背上的显示器、你的手机、电脑和电视机屏幕来说，我们这里介绍的只是LCD的最基本的运行方式。

第六章 飞行时的科技

带上你的高科技产品

你口袋中的手机很有可能是比椅背视屏更高科技的玩意儿。这个了不起的小东西将电脑、键盘或触屏，以及GPS、蓝牙、wifi、指南针甚至是更多的东西都统统打包，装进自己小小的身体里。哦对了，你也可以用它打电话。许多手机都有飞行模式，在这个模式下，SIM卡的信号收发装置被关闭，不过你还是可以把它当成掌上电脑使用。

飞机上哪种电子设备是可以使用的，哪种是不能的，这个问题时常让人困惑，并且航空公司提出这样的禁令又是否合理呢。没有统一的国际标准是造成人们这种困惑的原因之一。通常每个航空公司都有自己的要求。当你由于被限用电子设备而感到恼火不已时，还希望你能理解这样的谨慎。虽然没有绝对的证据显示飞机上不能使用电子设备，但是，在飞机起飞和降落的过程中，大概没有什么事情紧急到需要你置飞机的安全不顾而打开电脑和手机吧。

比起40年前的飞机来说，现在的飞机对敏感的电子设备依赖程度更高。从理论上来说，手机发出的信号，或是笔记本电脑这类设备造成的电波干扰的确会影响到飞机上那些电子设备的正常工作。不过就像加油站禁止使用手机这样的规定一样，并没有充分的案例显示这么做一定会发生危险。

在起飞和降落这些敏感的时段内，我们最好还是关闭所有电子设备。大部分航空公司允许乘客在其他时段内使用笔记本电脑、飞行模式下的手机、电子书等类似的电子设备，不过，在飞行过程中（机舱内的低气压会让你昏昏沉沉）你也可以找点别的乐子，不要总是捧着电脑或电话不放。

第六章 飞行时的科技

驾驶舱外的景色

曾经有那么一段时期，乘客们都喜欢去参观驾驶舱来打发空中时间（尤其是对带着孩子的乘客来说）。不过现在，大部分飞机的驾驶舱都已经不对乘客开放了，在那儿，你能看见许多和飞行有关的科学技术。从驾驶舱看出去，外面的景色也更引人入胜。和机舱内狭小的舷窗不同，在驾驶舱内你能看到全景，除此之外，驾驶室的窗户也没有安装防止乘客破坏的塑料保护内层。知道为什么你从座位上看出去的景色既模糊不清又毫无视觉冲击力吗？都是这层塑料造成的。从驾驶室看出去，外面的景色清晰得令人难以置信，而且通常十分壮观。

现在你目光所及之处皆是科技，到处都是电子设备、控制键和仪表盘。虽然它们中的多数都不能带你认识到科学中那些有趣的方面，但是，有一件东西一定能引起你的兴趣，它就是自动驾驶仪（autopilot），你在任何飞机的操作面板上都能发现它（法律规定长途飞行的飞机必须安装自动驾驶仪，以避免飞行员疲劳驾驶）。

现代的自动驾驶仪本质上是一台运作精确的计算机，它能根据仪表盘上显示的读数设定程序，引导飞机按照设定线路飞行，并制定出飞行线路中的转向、爬坡和下降等各种细节。大部分常见机型都能在自动驾驶仪的操控下完成飞行。曾经有一个在飞行界广为人知的笑话，它说的是在不久以后绝大多数机组人员都会下岗，取而代之的是一个飞行员和一只狗。只有当自动驾驶仪失常时，才轮到飞行员手动操纵，否则狗就会咬他。

现在许多飞行方位的信息都来自于GPS卫星，不过，自动驾驶仪也接收来自惯性制导系统（inertial navigation system）的指示。既然提到惯性制导系统，我们就不得不说说科学中的那些事儿。

第六章 飞行时的科技

惯性的引导

惯性制导系统能使飞机在没有GPS这类外部信息来源的情况下确定飞行的方位，而这里的关键词就是“惯性”。它与运动中的物理学有关，并时常给人带来困惑。想象一下溜冰场上有一个很重的东西，比方说大象。你穿了一双抓地力很强的靴子。虽然大象在冰面上受到的摩擦力远远小于在地面上的摩擦力，想要推动它，你还是得费一番工夫。而大象一旦开始滑动，光靠你的几根手指是无法拉住它的——似乎有某股力量推动大象不停地向前滑去，这股力量就来源于惯性。

有趣的是，决定物体惯性的是它的质量（mass），而不是它的重量（weight）。我们经常互换使用“质量”和“重量”这两个词，但是，它们是两个不同的概念。物体的质量是其与生俱来的一种属性，无论处于地球表面，还是月球表面，或是飘浮于宇宙中，它的质量不变。物体的质量决定它受力时的加速度。对不同物体施以同样大小的力，获得加速度大的物体质量小。

另外，重量代表了引力对物体的影响。因此，你在地球上的重量是月球上的6倍，而在太空中，你的重量则有可能为零。碰巧的是，在地球上物体的重量等于它的质量。其实，这不是巧合，这个现象反映了质量的单位的本质，在地球引力下，重量和质量是等值的，但是度量单位不同。

由于物体的惯性是由其质量决定的，因此，无论是在地球上还是宇宙中，同一物体的惯性不变。假设一辆卡车以时速59英里在太空中运动，同一辆车在没有动力的情况下以相同的速度在地球上运动，如果要使它停下来，在太空中所费的功夫和地球上的是一样的。事实上，从某种程度上来说，在太空中费的功夫还要更大些，因为从理论上来说，太空中的摩擦力可以忽略不计。因此，无论你对卡车施多大的力，它都停不下来。在没有摩擦力的太空中，就算超级英雄出场，他们也无法阻止撞向地球的流星或小行星。

惯性让人困惑的另一个原因在于它本身并非是某种力。牛顿第二定律告诉我们（见第41页）使某物加速或减速的力等于它的质量乘以你想要使它获得的加速度。在这样的外力作用下，惯性就产生了。惯性不是突然冒出来的神秘力量。

第六章 飞行时的科技

追踪飞机在空中的位置

那么，惯性又是怎样帮助导航系统追踪飞机的位置呢？首先，大多数惯性制导系统（INS）会通过GPS确认飞机当前的位置和速度。然后测出飞机加速和减速，以及角加速度（旋转加速度），这些数据能帮助人们追踪飞机从初始点开始的方位。INS的优点在于即便在无线电通讯中断，飞机无法和GPS或导航信标取得联络的情况下，它也能测量出飞机的运动参数。在通讯中断时，INS能够不间断地標示出飞机准确的位置。

人们通过不同的测量装置获得两种不同加速度的数值。加速度计是用于测量平移运动加速度的。加速度计在手机和游戏操作手柄中的应用使之为大众所熟知。游戏者只要手持Wii的手柄，就可以通过自己的动作控制屏幕上的游戏，iPhone手机的屏幕能随着你变换的姿势旋转，而这些都离不开加速度计。

加速度计的工作原理和引发爱因斯坦广义相对论的灵感是同一个东西。我们已经了解了狭义相对论，它告诉我们物体运动得越快，它就变得越重，体积缩小，而时间也会为它慢下来。广义相对论讨论的是重力和速度，GPS卫星上的时钟就是一个很好的体现（因为重力越大，时间就走得越慢，而卫星受到的重力远远小于我们在地球上受到的重力）。

第六章 飞行时的科技

加速度对爱因斯坦的启发

某天，爱因斯坦坐在他伯尔尼专利局的办公室里胡思乱想，一个想法突然闯入他脑海，这个想法后来成为了广义相对论的理论基础。爱因斯坦认识到，自由落体中的人是无法感受到自己的重量的。如果你看过“呕吐彗星”（vomit comet）的视频，你就会明白这一点。呕吐彗星是一架飞机，它冲上高空后急速下降，让舱内乘客体验瞬间失重飞行。如果你想了解更长时间的失重，就看看那些绕着天体轨道飞行的人们吧——比方说，国际空间站里的宇航员。他们飘浮在空中，仿佛轻如尘埃。

你也许认为这不是一个有说服力的例子，因为空间站是不会下落的。不过事实上，它也在下落。任何绕地球轨道飞行的物体都在下落，不过，它们总是与地球擦肩而过。国际空间站在离地球300千米~400千米之外的轨道中运行，在那儿，地球的引力很小，不过也绝不是零重力。（如果重力为零的话，那离地球更远的月球就会偏离现有的运动轨道了。）但是，像国际空间站这样的轨道卫星保持了一种微妙的平衡。它一边以自由落体的方式朝地球下坠，一边又以足够快的速度向侧面运动（与地球相切的方向），因此，它总是与地球擦肩而过。如果侧面运动的速度太快，空间站就会脱离轨道，飞入太空。如果速度太慢，则将坠回地球。不过，如果速度不快不慢，刚好达到轨道速度，那它将永远环绕着地球转动。



轨道模拟器

做这个实验，你需要一副耳机（如果没有，你也可以用一个不重的小物体来代替，将它与绳子一头绑在一起）。握住耳机线的另一头，使耳机位于离你两掌距离之外的地方，然后转动电线让耳机旋转起来。

这和空间站原理相同，只不过在上面那个实验中，耳机线充当了重力的角色，而重力本身是无形的。耳机（空间站）试图脱离电线的控制，如果没有电线，它将沿着与电线成90度角的直线飞出去。但是，一种从圆心沿着电线朝着耳机方向的力（重力）将它拉了回来，使它沿着特定轨道运动。注意，这里不存在一种向外拉的力（离心力）（centrifugal force）。而这种由耳机沿着电线指向圆心的向心力（centripetal force）阻止了耳机沿着与电线相切的方向飞出去。

爱因斯坦在办公室里思考着重力，他意识到物体的加速度（物体下坠的速度逐渐加快）等于它受到的重力的影响。这种“等效原则”是双向的。重力场与以适当加速度运动的参考系是等价的。等效原则是整个广义相对论的核心，这意味着光在引力作用下会发生弯曲偏折。试想一下一束光是怎么穿过加速中的太空飞船的。

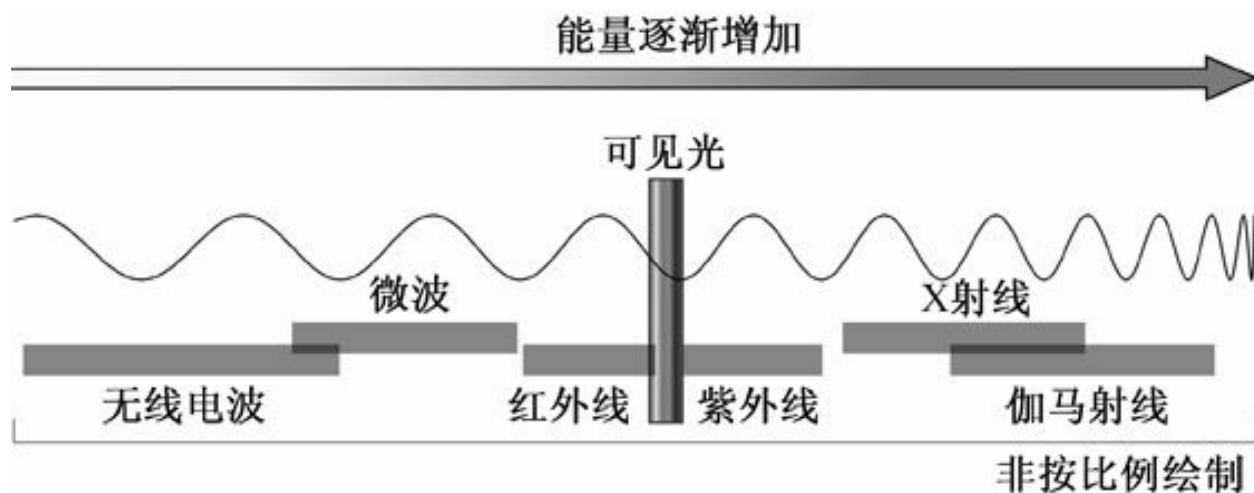


图12 穿过加速中的太空飞船的光束

当光束穿过飞船内部时，飞船的内壁也处于向上加速的运动中，因此，和静止不动的飞船比起来，当光线从加速中的飞船的另一侧穿出时，它会“向下”弯曲。在飞船内的人看来，光线发生了偏折。爱因斯坦认为，如果加速度能导致光线弯曲，那光在引力场中必然有相同的现象。

爱因斯坦认为光之所以会弯曲是因为重力会导致宇宙空间的扭曲。他推论，由于物质的存在，空间和时间会发生弯曲，而引力场实际上是一个弯曲的时空。就加速度计来说，等效原则意味着如果你测量到引力拉力的变化，那么，引起这个变化的很可能就是加速度。（如果太空中突然新生的一个和地球大小相同的星球，它很有可能会使引力发生变化，但更有可能受到影响的是加速度。）

最浅显易懂的方法是将加速度计想象成某个悬挂在弹簧上的物体。如果你突然将弹簧往上拉或往下推，它会向上缩回或向下拉伸，而感觉上，悬挂在另一头物体的重量似乎也有所变化。我们可以用弹簧的这种变化来测量加速度。当然，现实中的加速度计比弹簧更加精密复杂，在拉伸或弯曲时，加速度计上的某个装置会使其电性质发生改变。加速度计和弹簧有类似之处，但是它不会像弹簧那样来回震动，而是通过变化的电流来测量加速度。

第六章 飞行时的科技

微弱的力

在四种力的作用下，整个宇宙维系在了一起，而重力就是其中之一。弱和强两种核力（nuclear force）只作用于原子的内部，弱核力导致了核裂变，而强核力则使原子核聚合在一起。除重力之外的另一种力我们之前也提到过，那就是电磁力，我们见识了它是如何通过带静电的铅笔将小纸屑吸起来的。电磁力也是磁铁磁力的来源，它也可以用来解释一切物体间的相互作用，比如，当你坐在椅子上，椅子会将你托住。

我们总以为重力威力十足。毕竟在它的作用下，地球沿着环绕太阳的轨道运动，而且所有东西都被牢牢地固定在地面上。但是事实上，重力却十分微弱。就这么想吧：仅仅靠着腿部的肌肉，你就能克服重力跳起来。更有说服力的例子是用一只塑料笔或梳子上的静电荷通过电磁力将小纸片吸起来。一方面是巨大无比的地球想拖住小纸片，而另一方面是微小的电磁力想把纸片吸起来。但，重力还是败下阵来。

第六章 飞行时的科技

陀螺仪

加速度计是用于测量平移运动加速度的。人们使用陀螺仪测量角运动参数。这些有趣的装置时常出现在孩子们的玩具中，其主要部分是一个以极高角速度旋转的转子。最简单的陀螺仪就是一只旋转中的陀螺。当陀螺仪中的转子（或是玩具陀螺的主体）高速旋转时，它能产生巨大的角动量，这种动量能使它一直保持旋转的状态，竖直不倒而保持与地面垂直。只有在受到外力干扰的情况下，它才会停止转动。

我们已经了解了河水在通过弯道时这种角动量守恒是如何体现的。这种守恒也体现在旋转中的溜冰者身上，当他们缩回手臂，旋转速度就会加快，因为角动量的大小是由物体的质量和它到圆心的距离决定的。因此，缩回手臂使其到圆心距离减小，为了保证角动量守恒，溜冰者旋转的速度就会随之加快。

就陀螺仪而言，它转子的转速极其之快，获得巨大的角动量。陀螺仪一旦开始旋转，基于角动量守恒的理论，它能反抗任何改变转子轴向的力量。飞机上的陀螺装置的底座固连在飞机上，转子轴提供惯性空间的给定方向。则当飞机转弯时，仪表就相对转子轴转动，从而能给出转弯的角度和航向的指示。

第七章 远处的风景和回到地面

观赏远处的山脉和山峰

无论飞机是处于自动还是手动驾驶状态，从驾驶舱望出去，窗外的景色都美得叫人窒息。在这儿，你能欣赏到在任何地方都无法看到的壮阔美景，连绵不断地山脉就是其中之一。在19世纪之前，“自然之美”这个概念还没有形成，这叫人费解。那时人们眼中的山乡野岭是荒蛮的，等待着人类去驯服。很少有人意识到，自然界中有那么多美景是值得欣赏的。就算是现在，我们也很少能看到比山脉更动人心魄的美景了，它们在阳光下闪烁着耀眼的光芒，而且只有在空中，它们的巍峨壮丽才能一览无余地展现在你眼前。

究竟什么才能被称为山（与之相对的是丘陵）？这似乎没有准确的定义。山和丘陵在构成上并没有什么明显的差异，这时不时会引起一些争论，比如，是否可以将某个地方的旅游景点冠以“山”的名号。国际上对山的定义中有一些数据能帮助我们区分二者，这包括它的高度，它高出当地“地平面”多少米和它的坡度，通常人们都认为山要比丘陵来得陡峭。

按照这个标准，只有当露出地面的岩层至少高出当地海拔（比本地地平面高的区域）300米时，或至少高出海平面1000米，坡度大于5度时，或自身高度达到1500米，坡度大于2度……它们才能被称之为山。那些超过海平面2500米的，则统统被定义为山，它们的坡度和高出当地地平面的高度则可以忽略不计。在美国标准中，一座山至少要比周围的地面高出1000英尺（304.8米）；而在英国标准中，当地海拔被忽略不计，那些高出海平面2000英尺（609.6米）的统统被冠上山的称号。由此可见，全世界范围内，山的划分标准是多么的不统一。英国最高峰尼维斯山仅为1344米（约4409英尺），对于这样的数字，你得把标准放宽些。

虽然测量高度的手段越来越多，测定的结果也越来越精确，但是，时常还是会发生丘陵转为山，或山转为丘陵的案例。比如在2008年，为了配合影片《情比山高》（*The Englishman Who Went Up a Hill But Came Down a Mountain*）中的情节，人们用GPS重新测量了威尔士的Mynydd Graig Goch山，发现它的高度为2000英尺6英寸（约609.7米），而它原本被认为只有1998英尺，因此，它勉强挤入了山的行列。

第七章 远处的风景和回到地面

像山一样古老

火山活动会形成山丘，炙热的熔岩从地底喷发出来，在地面堆积，形成一种独特的锥形构造（日本的富士山就是一个典型的例子）。不过，大多数的山丘的形成源于地壳构造板块间的碰撞挤压。地球表面是由巨大的岩石板块组成的，它们漂浮在炙热的熔岩流层之上。这些板块缓慢地移动，当两个板块撞击在一起时，它们的表面就会向上隆起，山脉就这样形成了。

当你从阿尔卑斯山脉或其他更大型的山脉上空飞过时，你能看见冰雪覆盖的山峰，这些白雪终年不化，哪怕是在夏天。你也许会感到很奇怪，因为地球上的主要热量都来自于太阳，越接近山顶的地方离太阳越近，所以，你也许会想山顶上应该更热才对呀。的确，山顶上的太阳射线最强，这是毫无疑问的，在山顶，高指数的防晒霜必不可少，哪怕周围气温极低，被晒伤的可能仍然存在。那么，为什么山顶那么冷呢？这一切都是我们的老朋友——温室效应造成的。

第七章 远处的风景和回到地面

这些山头有点冷

我们已经介绍过温室效应的影响了。它像毯子一样，防止热量从地球表面散发。毫无疑问，大气层越厚，温室效应就越强。在12000英尺的高空中——这差不多是阿尔卑斯山脉的少女峰的高度——这里的空气比海平面上的要稀薄得多，呼吸也明显变得困难了。随着高度的增加，那块使地球保温的“空气毯”也越来越薄，这就是为什么有些山峰上的积雪终年不化的原因了。

在对流层，大致上，每升高1000米，温度就会下降5~6摄氏度。假设海平面上是舒适的20摄氏度，而向上升至3600米或12000英尺，温度就降为0摄氏度了。因此，云朵中通常都含有冰晶，这也就不足为奇了吧。如果你的飞行高度为30000英尺（约9000米），飞过区域的地面温度为20摄氏度，则机舱外的温度为零下30摄氏度。通常在这个高度上，气温就停止下降了，在这儿，气温发生逆转，这样的逆转也是高空急流的成因——不过对山脉来说，每升高1000米，降温5~6摄氏度这个法则还是不变的。

第七章 远处的风景和回到地面

山上结冰

山上积雪的区域中，在压力作用下，加上反复地融化结冰，层积的白雪转化成了冰川。这些庞大的冰块在自身重量的作用下，沿着山坡缓慢地向下移动。通常，在周围白雪的映衬下，冰川散发出幽幽的蓝色，十分惹眼。这不是因为冰川中的水和周围雪中的水有什么区别，而是由于冰川的透光性更好，因此，更多光线能穿透它们。和水一样，冰能吸收更多红光，于是，任何光线穿过冰后都带上了蓝蓝的色调。

位于末端的冰川有些会落入海中，崩解形成冰山，有些则融化，汇入山泉。对于某些亚洲国家来说，这些冰雪融水成为了当地居民最主要的淡水来源。如果不将空气中气态的水蒸气算在内的话，地球上最主要的淡水资源就蕴藏在冰川中。

我们总是认为山脉是远古遗留下来的产物，它们很早就存在于地球上了，不过有些山脉还很年轻。如果我们以70年作为个人存在于世界上的时间标尺，那么对于整个人类来说，这个时间则差不多是10万年，以这个角度来看，山脉的确是古老的。但是比起45亿岁高龄的地球，有些山脉还相当年轻，它们还在形成中。

以喜马拉雅山脉为例，它是地球上海平面以上的最高山脉。它的年纪仅为地球的1%。5000万年前，印度洋板块向欧亚板块下方俯冲，冲击形成了隆起，一个新的山脉就这样形成了，它不断地向上拔高，直到高出海平面2英里多。喜马拉雅山如此之高，它甚至能影响高空急流，使气候发生重大变化。

山脉能增加当地降雨，这些季节性的降雨会与空气中的二氧化碳发生反应。水和二氧化碳形成的酸性物质渗透地底，溶解岩石表面，置换出二氧化碳中的某些物质，形成稳定的碳化合物，但是它们不再回到大气中去。这个过程与全球变暖刚好相反，在它的作用下气温下降了。喜马拉雅山脉的形成引发了一系列使地球改头换面的冰川期。

第七章 远处的风景和回到地面

在虹吸作用下转弯

如果你参观完驾驶舱，或刚刚起身舒展了一下筋骨，你也许会顺路去趟厕所。通常，飞机上的厕所布局都很紧凑，里面设施的工作原理和你家里的厕所也很不一样。无论是哪里的厕所，它们都面临着一项挑战，将那些固态和液态的混合物冲进管道。家里的厕所马桶大多数是通过虹吸管来工作的。

虹吸管展示了和大气压有关的一些基本物理现象，它们看起来就像魔术一样不可思议。



虹吸管带来的惊喜

你最好回家再做这个实验。你需要两只玻璃杯和一支弯头吸管。将一只杯子注满水。现在，用吸管吸水，直到吸管中充满水为止。一边吸水，一边用手指盖住吸管的顶端。（干这活，手得巧。你可以用手指堵住吸管下端的口子，然后从顶部注水，再用手盖住顶部，最后放开堵住吸管底部的手指，这要简单得多。）现在，把吸管举到空中。尽管吸管底部的口子是打开的，但水还是会待在吸管里，除非你把封住顶端开口的手挪开，水才会流出来。

现在举起装满水的玻璃杯，将弯曲吸管短的那一端挂在装满水的玻璃杯边缘，让管口没入水中，另一端在杯沿自然垂下插入第二只玻璃杯。用嘴在管口吸水，直至充满水，然后松嘴。

那么第一只玻璃杯中的水就会不断从管子中流出，直到水无法将吸管短的那一端的管口浸没为止。这就是一个虹吸装置。

这个吸管实验中，有两个有趣的现象。第一个现象是，当吸管上端口子被封住时，水不会从下端开放的口子里流出来。第二个现象是，水向上流，在没有水泵的情况下，水源不断地从第一只杯子流入第二只杯子中。

第一个实验向我们展示了大气压的威力。我们很容易忽视周围的气压，因为它们一直都在那儿，不过气压可以做一些不寻常的事儿。平时提起运动，我们会想起牛顿定律，根据这些定律找出作用的几个力。在手指封住吸管顶部这个实验中，如果忽略有限的摩擦力，显著的力就只有两个——空气压力和重力。重力将水垂直向下拉，这不难理解吧。吸管的顶端几乎不存在空气压力，因为你的手指将空气阻挡在外。但吸管底部的口子是开放的，暴露在气压充分的作用中。

让我们做一些简单快速的计算，看看为什么大气压赢了。注满一支吸管大约需要3.3毫升的水，换算成重量就是3.3克，也就是0.0033千克。根据牛顿第二定律，力等于质量乘以加速度。现在，在重力作用下，吸管里的水受到一个约为9.81米/秒²的重力加速度。在这个重力加速度的影响下，吸管里的水受到了一个由其自身重量产生的，向下的0.0324千克·米/秒²的重力，说得通俗些，就是0.0324牛顿的重力（力的单位是以牛顿的名字命名的）。

大气压的方向向上。海平面上每平方米受到的气压约为101325牛顿，或是0.101325牛顿/毫米。对于吸管来说，它的横截面就是受压面。这个截面的半径约为3毫米，按照 πr^2 这个公式可以计算出它的受力面积（ r 指的是吸管横截面的半径）约为28.27平方毫米，水受到的力为 $28.27 \times 0.101325 = 2.86$ 牛顿。大气压赢了，它产生的托力约是重力的88倍——水乖乖地待在吸管里，因为大气压轻而易举地获胜了。

当你让水经过吸管从一个杯子跑到另一个杯子时，你就搭建了一套虹吸装置。这个装置改变了力的平衡。在之前的实验中，重力向下，而大气压通过吸管底端的开口对水施加了一个向上的力，但是在这个实验中，吸管顶端的口子也是打开的。这意味着上面那个杯子中的水受到大气压向下的压力，而这个压力也会传递给吸管中的水。

吸管中的水位开始下降。如果管中出现真空，那真空部分的压力就小于管口的大气压。

在重力和大气压的作用下，水自下而上地运动，通过吸管转弯处，接着再流回低位玻璃杯中。高位液体持续流入低位液体容器，直到高、低位液体的水平高度相同，液体停止流动。

传统家用抽水马桶的后部有一个S形的管道，它的工作原理和弯曲吸管是一样的。在排污时，当马桶内的水面超过S弯的高点时，由于大气压形成的虹吸现象，能够把水和污物一同抽走。不过这种方法不适合飞机上的厕所使用，其中一个原因是飞机不便携带这么多用于冲厕所的水，对于航空业来说，重量就是金钱。另一个原因是携带的液体越多，出现渗漏的风险也越大，而这会导致一系列机械故障。

第七章 远处的风景和回到地面

真空来帮忙

过去，飞机上的厕所和大型活动时使用的公厕类似，它们是通过化学剂来清理的。电子水泵会喷射出一小股蓝色的化学制剂。不过，在活动现场使用过这种厕所的人都知道，它们气味难闻，很容易堵住，而且那个装满化学液体的水箱有时难免会发生渗漏。所以，现代飞机上使用的都是真空厕所。当你按下冲刷按钮时，坐便器后边的真空泵就开始工作了。几秒钟后，你会听到一阵特殊的声音，连接坐便器和真空系统的控制阀就打开了，依靠与大气压之间的压差，将坐便器中的东西带走，这和吸尘器的原理差不多。

我们时不时会听到一些传闻，乘客在飞机上“方便”时，被吸在了真空马桶上。2002年BBC爆出了这样一则新闻，北欧航空公司（SAS）的跨大西洋航班上的一位美国乘客坐在马桶上按冲水按钮。结果，“让她惊恐万分的事情发生了”，BBC这样夸张地说道：“那位乘客感到了一股强大的吸力将她往后拽去。她被死死地钉在座便器上无法动弹，最后在飞机机修师的帮助下，她才被解救出来。”

据报道，这位乘客被困在波音767的厕所上长达2个多小时，直到飞机落地后，空姐叫来机修师，乘客才得以脱身。文章甚至引用了SAS发言人的话，表示他们将对乘客的遭遇负责并对她进行赔偿。“她被困在那儿好久”，发言人这样评论到。

后来，SAS对事情展开了调查，结果发现这一切都是虚构的。没有记载显示曾发生过类似的事件，不过在员工培训时，培训人员会用这个故事来提醒空姐不能忽略对厕所的检查以及如何检查。被厕所吸住这样的事情从未发生过。事实上，也不可能发生，因为冲水按钮通常位于马桶盖的后方，乘客起身以后才能按得到那个键。即便发生了，乘客也不会被困在马桶上这么久，因为几秒钟后，真空系统就停止工作了。不过，这很有可能会导致人体内伤，所以这样的事你最好不要尝试。

第七章 远处的风景和回到地面

在夜空中飞行

当你回到座位上时，也许天色正慢慢暗下来（或许你起飞时间就是晚上）。你也许会认为，黑暗中飞行让你与许多科学现象失之交臂，但其实，夜晚为我们展现了科学世界中另外一些不同的侧面。

云层之上夜空朗朗，不像夜晚的城市被笼罩在街灯的红光之中。只不过，糟糕的机窗让我们无法欣赏这美妙的夜色。黎明时分，晨光划破了夜空，地平线附近出现了一颗明亮的星，这是你此时唯一能看到的星星。那是金星，在很长一段时间内，人们都认为它是与地球最为相像的星球。

第七章 远处的风景和回到地面

观赏金星

金星的大小和地球相似，虽然比起地球来，金星离太阳要近得多，但它表层也存在大气，这让人们在很长一段时间内认为金星上也有生命存在的可能。当第一架探测仪到达金星时，它几乎毁于地表480℃的地狱般的高温，这着实让科学家们大吃了一惊。更糟糕的是，金星大气层的主要成分几乎全是二氧化碳，比地球上的大气层更厚，而它对地面的压力几乎是地球表面大气压的90倍。

我们只在黎明和黄昏时分才能看见金星，因此人们将它昵称为晚星或启明星。比起地球来，金星距太阳更近，因此，它总是出现在距离太阳较近的天空中。白天强烈的日光使我们无法看见金星（虽然你偶尔也会发现它），而当它随着太阳慢慢沉入地平线时，我们就能在空中看见它了。

和月亮一样，金星也具有周期性的圆缺变化（形成原因也和月球相似，下面会谈到），有时它是一只满圆，有时又如同一轮新月，虽然这些圆缺变化无法用肉眼看到，但我们可以借助最简单的双筒望远镜来观察。金星是所有行星中最亮的，次亮的是木星和火星，它们运行于地球轨道的外侧，因此它们出现在天空中的位置离太阳较远。如果你在天空中看见另外一颗明亮的星星，它也许就是木星或火星了，火星会发出荧荧的红光，很好辨认。

从视觉上来说，恒星和行星并没有什么太大的区别，忽明忽暗、一闪一闪的是恒星，而那些比恒星更亮的是行星。行星“不眨眼睛”，它们本身不会发光，而是反射恒星的光，且离地球较近，看起来是个“光面”（恒星则更像“光点”），这意味着行星不易受到大气层的干扰。绝对地说，行星不如恒星明亮。行星通过反射太阳光而发光，而恒星本身就是一个太阳——但是，它们离我们太远了，所以显得那么微弱。最近的恒星距离我们4光年（光年不是时间单位，而是距离单位，是指光一年通过的距离）。鉴于光每秒通过的距离是300000千米，那么，比邻星（Proxima Centauri）与地球的距离约为9.5万亿千米。

第七章 远处的风景和回到地面

神奇的月球

月亮毫无疑问是夜空中最明亮的东西。作为地球天然卫星的月球，它看上去与太阳同大，不过，这绝对是个巧合。虽然月球的实际大小只有太阳的 $1/400$ ，但是它与地球的距离也是太阳与地球间距离的 $1/400$ 。在日食发生时，月亮位于太阳和地球之间，此时，我们能清楚地感受到两者看起来几乎是一样大。地球与太阳间的距离会随着地球的公转发生改变，地球与太阳之间不同的距离会导致不同的景象，有时月亮会将太阳完全遮住，有时太阳的中心部分黑暗，边缘仍然明亮，形成了所谓的日环食。因此，在适当的距离下，月亮和太阳看起来显得一样大。

随着月球旋转轨道不断变大，视觉上月亮和太阳的大小将不再一样，月亮会逐渐变小。现实中，在月亮引力的作用下，地球旋转速度会变慢。由于角动量守恒（还记得那个溜冰者么，她一边加速旋转一边收拢双臂），随着月亮的角动量变大，地球的角动量就变小了。它虽然影响不大，但是还是会被我们察觉。月亮以每年4厘米的速度离我们远去。

我们很难轻易地估测出月亮的大小。我们有时会觉得某天的月亮要比平时大（虽然不像好莱坞电影中的月亮大得那么夸张）。这种现象很难用物理学来解释，因为这是一种心理作用。月亮的大小其实并没有改变，只不过人眼看到的世界是相当主观的，我们之后会谈到这一点。那么，为什么我们觉得月亮忽大忽小呢？最合理的解释是当月亮靠近某些我们熟悉的物体时，比如，当它悬于屋顶上方或挂在树梢之上时，就显得比平时更大了。大脑告诉我们房屋和树木离我们的距离都是可数的，所以，照此推论，月亮也就显得不那么遥远了。

人类总是热衷于在遥远的事物间建立起联系。当人们仰望星空时，他们将漫天的星斗划分成不同的星座，用线条将不同的恒星连接在一起，形成各种图形，但实际上，这种联系是不存在的。看看出现在南部天际的人马座（Centaurus），你就能明白。半人马座阿尔法星是人马座中距离地球最近最亮的恒星，它距离我们不过4光年。人马座中第二亮的是半人马座贝塔星（也叫Agena），它距地球190光年，是阿尔法星到地球距离的45倍还多。而我们却将这两个相距1797552000000000千米的星星联系在了一起，这多么容易让人误以为它们离得不那么远啊。

地球距半人马座阿尔法星更近，距贝塔星更远，但是，从来没有人想过将太阳和阿尔法星连在一起，组成某个图案。人们之所以将半人马座阿尔法星和贝塔星联系在一起，仅仅是因为它们所处的纬度差不多，就像休斯敦和开罗的位置一样。为了将天空中无数闪烁的光点划分成若干区域，我们在眼睛和大脑的“蒙蔽”下，将不同的恒星连接成图案。



月亮有多大

通过这个实验，你可以看看你的大脑是否误导了你对月亮大小的认知。如果现在月亮就在你面前，先不要去测量它的大小，猜猜看，如果将硬币举到离你一臂之远的地方，哪种规格的硬币和月亮大小相同。

如果你眼前悬挂着一轮满月，那试试看吧（如果不是，等到下次满月时再做这个实验）。

你会发现你看到的月亮比任何规格的硬币都小。在纸上戳一个洞，这个洞最接近视觉上月亮的大小。它真的只有那么一丁点儿，只是我们一直被大脑欺骗了。所以，有时你举起相机，想要记录下这美丽的夜空月色时，照片上的月亮总是会小得让你失望。照片不像大脑，它没有骗我们。

你可以通过测算距离的方法来验证月亮看起来是否只有这么点儿。月亮的直径是3500千米，它距离我们380000千米。眼睛距离手臂末端的距离是0.75米，我们先把月亮到地球的距离也转化成相同的单位——米。因为最后视觉上月亮的大小是以毫米计算的，我们先把月亮的直径从千米转化成毫米，再乘以0.75。所以，在距离眼睛一臂之远外的月亮的直径为 $0.75 \times 3500 \times 1000 \times 1000 / (380000 \times 1000) = 6.9$ 毫米。纸上戳出的洞的直径差不多是5毫米，因此，对于月亮视觉上的大小来说，它是一个恰当的参照物。

第七章 远处的风景和回到地面

月亮的阴晴圆缺

如果此时窗外有月亮，它很可能是弯弯的一轮。月缺是由月亮与太阳的相对位置引起的。首先，让我们来看看月亮和地球的关系。无论何时，地球上一半区域的人都能看到月亮，在白天我们通常都看不见月亮，因为和日光比起来，月光显得那么微弱（日光的强度是月光的300000倍）。

月亮完全靠反射太阳光而发光。月亮本身的反光性并不好，月光一般是深灰色的，只不过太阳光如此强烈，而夜空又是黑沉沉的，因此，月光被衬托得分外明亮。月球的反射性是造成它阴晴圆缺的原因。



实验

月相

我们可以通过一些物体的摆放来设想一下月亮的圆缺是如何产生的。暗室能够帮助你达到最好的实验效果。在暗室中，把电筒想象成太阳，把网球想象成月亮，而你就是地球，让网球绕着你旋转。虽然在飞机上没法这样操作，不过我们可以用其他三样东西代替，比如，杯子、瓶子和你面前的桌板。

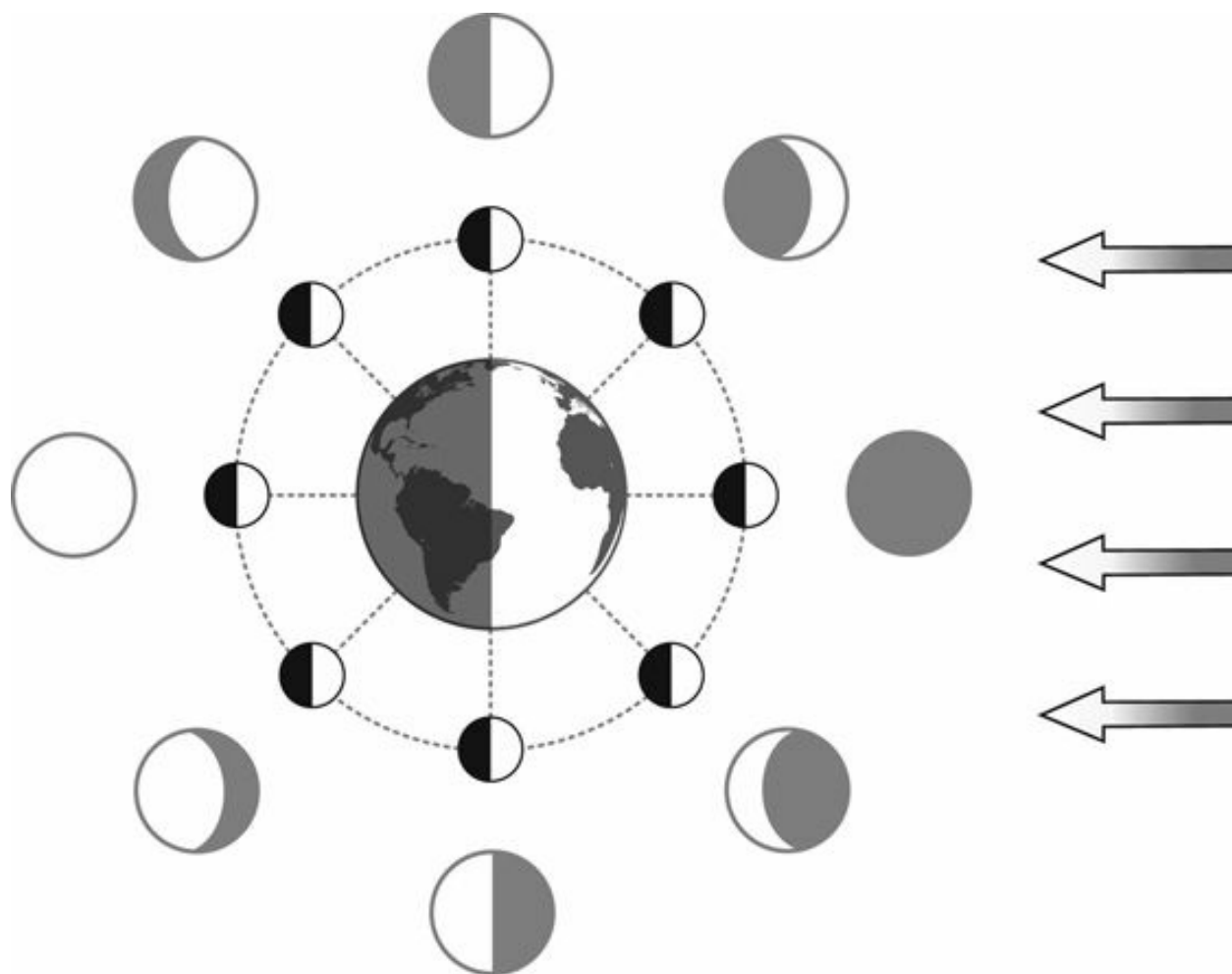


图13 月球环绕地球过程中发生的月相

把第一个物体放在桌板远离你的一侧，把它想象成太阳。把第二个物体放在桌板靠近你的那侧，把它想象成地球。接着，拿起第三个物体（想象成月亮），使它环绕着地球运动。想象一下，当月亮运动时，太阳光照射过来，从地球上看去，月球上的哪些区域将被照亮。当月亮位于太阳和地球之间时，从地球上看来，月球的背面被照亮了，而面向地球的那面却是暗的——这就是“新月”，只不过它看上去是漆黑的。

（半个月亮被照亮，只不过是在背面，所以我们将它称为“月球的黑暗面”这种叫法是不准确的。）随着旋转，月亮位置发生改变，它的边缘会先被照亮，接着被照亮的区域慢慢扩大，最后到达满月。接下来，被照亮的面积又会慢慢缩小，直至消失，由此为月相的一个周期。

你也许会问，为什么日食不在新月时发生，而为何月食却总发生在满月之时呢？（月食时，太阳到月球的光线被地球掩盖。）这是因为月亮绕着地球运动，它的运动轨迹和地球与太阳之间的连线是相交的。当月球位于地球的背日方向，即地日连线的延长线上时，月食才会发生，因此，满月是发生月食的必要条件。

人们看到月食的次数比日食多（因为，相对于月球的地影比相对于地球的月影更大）。月食发生时，地球的阴影投射到月球上。地球上有一半的区域内，处于夜晚的人们都可以看到月食。而日食则不同，地球上能够看到日食的区域很有限。而且，月食发生的频率更高，通常一年会发生两次。月食发生时，月亮不是全黑的，而是散发出明显的红光，这是因为阳光穿过地表大气层时发生折射，就像它穿过棱镜时产生的折射一样。红光波长比较长，受到散射的影响不大（而蓝光更容易被散射，所以天空是蓝色的），红光通过大气层穿透出去，折射到月球表面，“红月亮”就这样产生了。

第七章 远处的风景和回到地面

欢迎来到银河系

从机窗向外望去，我们也许会看见一些东西。闪烁的街灯已经使地面上的人们越来越难看见它们了，这就是银河。它是一条淡淡的拱形亮带，横跨在天际。银河所在的地方就是我们的家园——银河系。你可以将银河系想象成一只中间突出的圆盘，从太空俯视银河，它犹如一个漩涡。只是地球所处的位置让我们只能侧视银河系，而我们侧视时所看到的它布满恒星的圆面就是银河。

银河的长度约为100000光年，宽约1000光年，它由至少1000亿颗恒星组成，实际的数量有可能是它的2~3倍。（你可以想象，在如此广袤的区域内数星星是多么不切实际，所以我们只能通过推测得出星星的数量。）当我们认识到在人类可见的宇宙范围中，至少还存在着1500亿个星系，我们就会对宇宙肃然起敬（尤其是当你坐在飞机这样一个小小的灯岛向外望去时，这种感觉将更加强烈）。在我们未知的外太空中还有更多的星系，但是由于光速是有限的，而宇宙也有起源，人类目所能及之处仅仅是宇宙的一部分而已。

第七章 远处的风景和回到地面

街灯狂想曲

如果你在夜晚到达目的地，飞机降落时，最先迎接你的将是一片壮观的地面景色。对于观星者来说，街灯的存在也许会是一场灾难。如果撇开这个不说，从空中俯瞰，这些常见的街头一景在地面上构成了一片令人印象深刻的景致。



根据路灯数人头

按照粗略的统计，在发达国家的城镇中，平均每10~20人就拥有一盏街灯。当你从某个城市上空降落时，选取一小片正方形的区域，然后估计一下整片街灯照亮区域的面积是它的几倍。接着数一下那一小片正方形区域中大概有多少盏街灯，然后乘以10，就能得出这个地方最少有多少人了；或是乘以20，得出一个更大的人口数量。

打个比方，如果横向来看，整个城市的长相相当于15个这样小正方形区域连在一起，而纵向来看，它的宽相当于10个这样的正方形，那么这个城市的总面积就相当于150个小正方形面积的总和。我们假定小正方形区域中有50盏街灯，那么整个城市就是7500盏。因此，这个城市的人口数量大致在75000~150000人。

第七章 远处的风景和回到地面

神奇的眼睛

现在我们正在下降。如果此时天还亮着，你可以看到地面上一些独特的地貌和景色，我们在前面已经介绍过它们了。若已经进入夜晚，机舱中的灯光则会变暗。这么做为的是在突发情况下，如需乘客紧急撤离飞机，你的眼睛能适应低光的环境。人眼调节能力很强。在晴朗的夜晚，人眼能看见16千米（约10英里）外的烛火。透过干净的玻璃窗，从飞机巡航的高空往下看，在地面环境足够黑的情况下，你能毫不吃力地看见地面上的烛火。只要有5~6个光子进入瞳孔，眼睛就能察觉。不过遗憾的是，在充斥着大气污染和光污染的地球上，已经没有几个地方能让我们的眼睛一展身手了。

眼睛的工作机制十分奇妙。人眼具有4种不同的感知器，其中的一种（视杆细胞）专门负责分辨黑白。人眼中有将近700万个3种不同种类的视锥细胞，1.2亿个比锥细胞更敏感的视杆细胞。视杆细胞负责分辨黑白，视锥细胞负责分辨颜色。在弱光环境中，视锥细胞会停止工作，我们看到的一切都变成灰色的了。（如果不信，你可以在家试试，待在某个漆黑的房间中，然后点亮一个极小的光源，在这种情况下，你无法分辨出屋内物体的颜色。）

负责分辨色彩的锥细胞集中在视网膜的中央部分。在弱光下，用余光看东西比直接盯着它们看来得更清楚。这是因为远离视网膜中央区域的视杆细胞虽然不能分辨颜色，但能感受弱光，当你用余光看物体时，成像在远离视网膜中央的区域，视杆细胞较多，可以感受到弱光，反而看得更清楚。人们认为视杆细胞的存在是为了帮助人们在夜间发现向他们逼近的捕食者。

当视杆细胞和视锥细胞捕捉到足够的光子后，它们会分别发出一种微弱的信号。眼睛会对这些信号进行预加工——视神经连接着眼睛和大脑，视神经中的通道少于视杆细胞和视锥细胞中的通道。两种视细胞产生的信号结合在一起通过视神经刺激大脑的某些区域。大多数左眼发出的信号传递到右脑，右眼的信号传递到左脑，使大脑产生立体的3D图像，不过也有些信号不是这样交叉传递的。

第七章 远处的风景和回到地面

建构一张世界图像

事实上，大脑中有不同的模式负责分辨形状、锐度、阴影和物体其他方面的视觉特征。大脑根据这些天然数据处理器输送的信息，描绘出外部世界的主观图像。我们必须认识到的是，我们看到的一切都是大脑加工后的产物，并非主观事实。这也是为什么人会有幻觉。当你产生幻视时，大脑的成像机能被蒙蔽。照相机中传感器捕捉到的任何图像都会被真实地记录下来，而大脑和相机不同，在必要时，它会编造出那些不存在的东西。

如果大脑不这么做，我们就会碰上些麻烦了。由于视神经起始于视网膜后部，这导致人眼产生了一个盲点，物体的影像落在这个地方也不能引起视觉。而大脑训练有素的联想能力则填补了盲点的空白。同样，当眼球开始短暂快速地运动，对物体进行扫视时，你看到的却是稳定连续的图像，这也是种幻象，因为大脑已经对图像进行了编辑。（部分原因是大脑在试图填补眼睛的盲点。）

你之所以能通过飞机椅背上的屏幕观看电影，这和大脑对图像的编辑密不可分。电视和电影的工作原理是向屏幕上投射一幅幅静止的画面。在很长一段时间内，人们用“视觉暂留”（persistence of vision）来解释为什么人眼能将静止的画面转化为连续的视像（现在，你仍然能在许多书本和网站上看到这个说法）。但是，这是无稽之谈。眼睛的运行速度还不够快，不足以通过这种方式来获得图像，即便视像能在视网膜上做短暂停留，你看到的将会是一团乱糟糟的画面，而不是连续的运动。真实的原因是，我们被眼睛蒙蔽了，它们通过一系列模式制造出假象，让你认为这些静止的画面是在做连续运动。

第七章 远处的风景和回到地面

视幅

当机舱中的灯光暗下来时，眼睛将会做出调整，以适应低光环境。在眼睛的虹膜中（就是那些有颜色的部分）有两种肌肉。一种叫括约肌，其负责瞳孔的缩小，另一种叫开大肌，其负责瞳孔的扩大。两者一张一缩使瞳孔的口径缩小或放大，以控制进入瞳孔的光量。需要1~2秒钟，瞳孔口径才会放到最大。

与此同时，大脑中的处理层会做出调整，以适应变弱的光线。中和不同强度的光线是大脑欺骗我们的伎俩之一。如果你在黎明或黄昏时分来到户外，大脑中负责安全光线的传感器就启动了，哪怕当时的光线并没有那么暗——这是因为大脑和眼睛的共同作用进行补光，让你无法意识到现实中的光线原来那么暗。

同样，如果你从一个点着电灯的房间里走到明媚的阳光下，你并不会觉得外面有多么亮，也许只比房间里亮2~3倍而已。事实上，阳光的强度能比普通灯光强上100倍。这就是为什么当你手持摄像机从屋内到屋外时，在机器还没来得及调节好光线之前，你所看到的画面通常将会是白花花的一片曝光过度。在调节光线的能力上，照相机和摄影机远远比不上大脑和眼睛的组合。

别忘了，满月时月光的强度比日光要弱300000倍。如果周围很黑，眼睛需要花上一番工夫才能适应外面黑漆漆的环境，因此，将机舱内的灯光调暗，为的是在必要时尽快地帮助你完成适应。

第七章 远处的风景和回到地面

与跑道的第一次接触

飞机触地时，摩擦力使轮胎表面剥落，扬起一缕缕烟尘。

在物理运动中，摩擦力往往被我们忽略不计。不过在现实中，如果忽略摩擦力，你将承担一定的风险。设想一下如果没有摩擦力，你将无法拿住任何东西，因为它们都会从你手中滑走。想想那些最滑溜的肥皂吧，比起抓住这些肥皂来说，无摩擦力情况下抓东西还要难上好多倍。虽然从理论上来说，无摩擦力情况下在地面上推桌子会更容易些，但是你的脚却没法固定在地面上。牛顿的第三个定律提到了作用力和反作用力，当你试图将物体向前推时，你也会受到物体向后的反作用力。

当然，现实中不可能没有摩擦力。部分摩擦力是由于物理原因产生的。当某些表面不规则区域与另一些表面的隆起或凹槽接触时，摩擦就产生了，就像齿轮一样互相磨合。但是大部分摩擦力都是电磁相互作用引起的。我们知道，物体由原子组成，而原子又是由带正电的原子核和带负电的电子组成，电子在核外空间内做高速运动，在原子核外围形成了一个电荷层。一旦两个物体发生接触，这些电荷就开始相互作用。你之所以能在飞机的座位上坐下来，靠的就是这种作用。

设想一下，想象“固体”物体的内部几乎是空心的。它们是由间隔很大的原子组成的，而原子自身也几乎是空心的。和整个原子比起来，位于原子中心的原子核只是微乎其微的一丁点儿。原子核与原子比起来就好似阿尔伯特音乐厅里的一只苍蝇。原子的外层有一些电子，但是它们更小并且围绕着原子核不停地运动，我们可以把电子想象成是包裹在原子核外的云状物体。如果不是原子中那些电荷在起作用的话，你坐下去的时候椅子就不会把你托住。

当你坐下去时，椅子上方带负电的电子与你身体表层的电子之间相互排斥。事实上，你的身体没有和椅子发生接触，你漂浮在那一层电荷斥力互相作用的云状物上。

如果仅仅是这样，那你所受的摩擦力就为零了。事实上，某些原子外层的“电子云”更厚，威力更大，它会把对方原子周围的电子挤开，从而吸引更多正电荷。大多数摩擦力都是由于这样的电磁吸引产生的，就像在静电实验中我们看到的那样，铅笔或梳子将小纸片吸起。

为了克服摩擦力的“黏性”，我们得花力气才能移动那些我们想要移动的东西，而多数的“力气”都转化成了热量。当你使劲地搓手时，手掌就会发热。当飞机的轮子击打在跑道上时，轮子通过与地面的撞击和摩擦获得一定的能量。大部分能量最终转化成热能，使轮胎外层汽化，扬起一小股烟尘。

书后说明

结束语

我们的航程至此告一段落。希望这本书能帮你打发飞机上的时光，为你的旅程增添一些趣味。人们很容易将科学想象成“书呆子才会关心的东西”，但科学本该是妙趣横生的。它帮助我们认识宇宙，大到星座和星系，小到日常生活中的种种。

在生活中，我们很少有机会能看到这么多鲜活的科学，但是，从你登上飞机的那一刻起，它们的表演就开始了。当你将窗外的景色和舱内的感受结合起来时，量子物理、相对论、河流的形成以及眼睛的工作原理，这些有趣的现象将接二连三地展现在你眼前。

让科学成为你的向导吧，每一天，它都将带来新的发现。