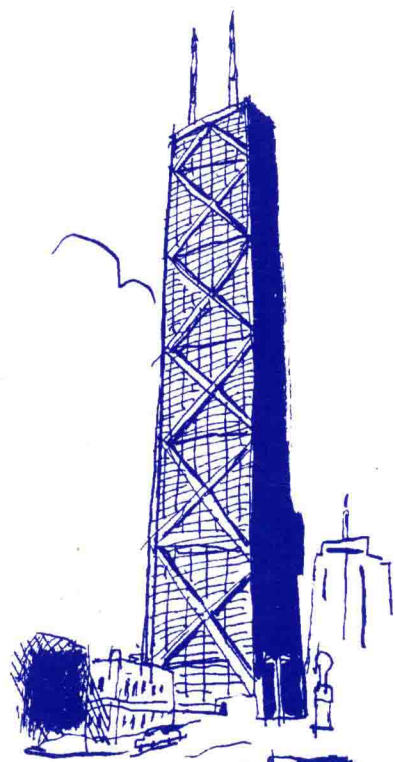
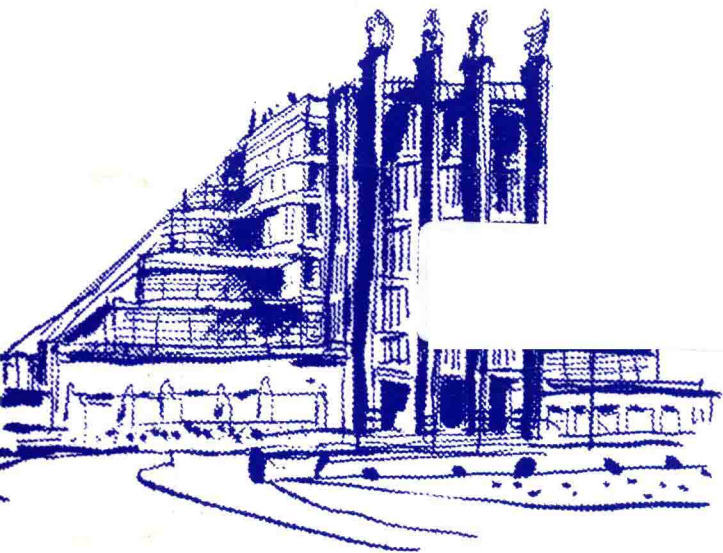


手绘 世界经典建筑之旅

告诉你有趣的建筑结构和建筑力学

[比] 米歇尔·普罗沃斯特 (Michel Provost) / 著

[比] 菲利普·德肯米特 (Philippe de Kemmeter) / 绘 李展 张鸿曜 / 译



北京日报出版社

手绘世界经典建筑之旅

告诉你有趣的建筑结构和建筑力学

〔比〕米歇尔·普罗沃斯特 (Michel Provost) / 著

〔比〕菲利普·德肯米特 (Philippe de Kemmeter) / 绘

李展 张鸿曜 / 译

北京日报出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

手绘世界经典建筑之旅：告诉你有趣的建筑结构和建筑力学 / (比) 普罗沃斯特著；(比) 德肯米特绘；李展，张鸿曜译. — 北京：北京日报出版社，2016.5

ISBN 978-7-5477-2063-9

I. ①手… II. ①普… ②德… ③李… ④张… III. ①建筑物—建筑结构—世界—图集 IV. ① TU22-6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 093255 号

Comment tout ça tient ? by Michel Provost & Philippe de Kemmeter

Copyright © 2011 Alice Éditions

Current Chinese translation rights arranged through Divas International, Paris
巴黎迪法国际版权代理 (www.divas-books.com)

著作权合同登记号 图字：01-2014-4546 号

手绘世界经典建筑之旅：告诉你有趣的建筑结构和建筑力学

出版发行：北京日报出版社

地 址：北京市东城区东单三条8-16号 东方广场东配楼四层

邮 编：100005

电 话：发行部：(010) 65255876

总编室：(010) 65252135

印 刷：保定金石印刷有限责任公司

经 销：各地新华书店

版 次：2016年5月第1版 2016年5月河北第1次印刷

开 本：787毫米×1092毫米 1/20

印 张：4.8

字 数：150千字

定 价：32.00元

版权所有，侵权必究，未经许可，不得转载

目 录

邀请函	4
第 01 章 初识结构	6
第 02 章 关于平衡的问题	12
第 03 章 来搭一座桥	20
第 04 章 神奇的折板	30
第 05 章 力的传递路径	32
第 06 章 拱、拱顶和穹顶的世界	38
第 07 章 桁架，彼此相连	56
第 08 章 建筑物的抗侧力斜撑	64
第 09 章 从吊床到金门大桥	68
第 10 章 索桁架，不可承受之轻	74
第 11 章 从张弦梁到预应力混凝土	80
第 12 章 从缆索屋顶到建筑纤维屋顶	84
从现在开始.....	88

手绘世界经典建筑之旅

告诉你有趣的建筑结构和建筑力学

〔比〕米歇尔·普罗沃斯特 (Michel Provost) / 著

〔比〕菲利普·德肯米特 (Philippe de Kemmeter) / 绘

李展 张鸿曜 / 译

北京日报出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

手绘世界经典建筑之旅：告诉你有趣的建筑结构和建筑力学 / (比) 普罗沃斯特著；(比) 德肯米特绘；李展，张鸿曜译. — 北京：北京日报出版社，2016.5

ISBN 978-7-5477-2063-9

I. ①手… II. ①普… ②德… ③李… ④张… III. ①建筑物—建筑结构—世界—图集 IV. ①TU22-6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 093255 号

Comment tout ça tient ? by Michel Provost & Philippe de Kemmeter

Copyright © 2011 Alice Éditions

Current Chinese translation rights arranged through Divas International, Paris
巴黎迪法国际版权代理 (www.divas-books.com)

著作权合同登记号 图字：01-2014-4546 号

手绘世界经典建筑之旅：告诉你有趣的建筑结构和建筑力学

出版发行：北京日报出版社

地 址：北京市东城区东单三条8-16号 东方广场东配楼四层

邮 编：100005

电 话：发行部：(010) 65255876

总编室：(010) 65252135

印 刷：保定金石印刷有限责任公司

经 销：各地新华书店

版 次：2016年5月第1版 2016年5月河北第1次印刷

开 本：787毫米×1092毫米 1/20

印 张：4.8

字 数：150千字

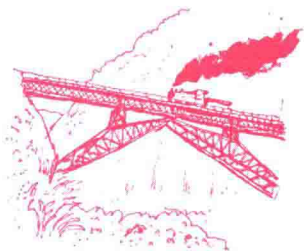
定 价：32.00元

版权所有，侵权必究，未经许可，不得转载

目 录

邀请函	4
第 01 章 初识结构	6
第 02 章 关于平衡的问题	12
第 03 章 来搭一座桥	20
第 04 章 神奇的折板	30
第 05 章 力的传递路径	32
第 06 章 拱、拱顶和穹顶的世界	38
第 07 章 桁架，彼此相连	56
第 08 章 建筑物的抗侧力斜撑	64
第 09 章 从吊床到金门大桥	68
第 10 章 索桁架，不可承受之轻	74
第 11 章 从张弦梁到预应力混凝土	80
第 12 章 从缆索屋顶到建筑纤维屋顶	84
从现在开始.....	88

邀请函



房屋、高塔、桥梁、教堂……各种大小不同、形态各异的建筑是我们日常生活中的一部分。它们出现在任何风景中——乡村、城市……新闻、电影乃至文学中，这些建筑无处不在。对于它们的存在，我们已经熟视无睹，更不会透过建筑的外形或轮廓去了解它们是如何修建的，以及这些建筑物屹立不倒的背后原因。

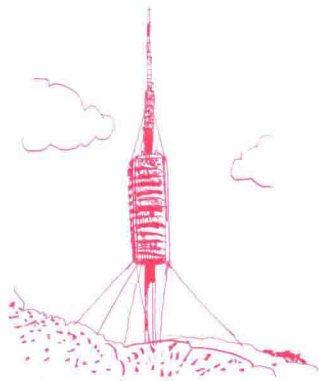
由于我们每天都和大小不一的各种物件，如桌子、椅子、秋千、吊床等打交道；我们身边的树、办公楼、天桥、大桥、铁塔等都能屹立不倒，所以我们自然而然地拥有一种“结构的直觉”，

在无意间对什么“立得住”和什么“立不住”有了相当清楚的认识。

想象你在森林里散步，看见一棵树根很细，越往上长越粗的树，你肯定马上会说，这不对劲，不正常，树长反了！我们对结构都有不错的直觉，但这种直觉是基于我们已经见到过的事物，而不是基于对结构原理，更不是对本书内容的认识。

为了让你更了解本书，我们邀请你在接下来的章节里来一次“建筑结构”之旅。

在这里我们将会一起超越对结构的直觉。通过这次旅行，你将会对结构有全新的认识，理解结构的原理，



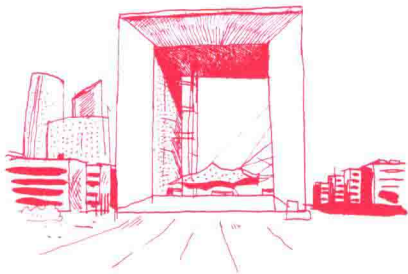
知道如何欣赏它，而不仅仅是赞叹它美丽的外观。

旅程开始时，我们会先介绍作用力、反作用力、力偶、力矩及力的平衡规律，然后开始接触一些运用这些规律建立起来的物件。我们会发现一张凳子、一张桌子其实也可以视为一座桥的桥面或是一栋大楼的屋顶，甚至一个纸飞机都能为我们探索结构世界提供帮助。我们会追踪力的传递路径。在悬吊和柱系统中，力向上或向下，但它们最终都通过基础“传递”到地面。我们会看



到梯凳其实和拱、桁架有着相同的起源，它们的结构原理有很多相似之处。仔细观察吊床，你或许会联想到巨大的悬索桥，就像那座梦幻般的金门大桥。

在历史演进中，结构会发生变化，但它们所遵循的法则是不会变的。构成建筑物的要素如同语言中的单词，把它们聚集并组合在一起的方法就是语法。这样的语言让我们能造出从最简单的到最复杂的各种物件。简单的物体就如同日常使用的口语对话——像凳子、桥梁……复杂的则如一部文学作品——像双曲抛物面屋顶、悬索桥……



让我们一起尽情地享受这趟环球之旅，一个你目前只知道从表面欣赏，而不知其中奥妙的世界。



第01章 初识结构

本章主要介绍作用力与反作用力、力偶与力矩的概念。
我们以小凳子为例初步认识结构是什么。

所有的建筑都有一个框架，工程师称之为结构。框架不仅存在于桥梁和建筑中，几乎所有“物件”都有框架。其中我们最熟悉的就是我们的身体，其结构就是我们的骨骼。

那为什么我们的身体及各种物件必须要有结构呢？

我们生活在地球上，所有物体都受到来自地心的引力，也就是重力的作用。



图 1-1

我们的骨骼支撑身体的各个部位并把我們塑造成人的形状。没有骨骼，身体就不过是一摊软而无形的组织、肌肉和器官。

任何物体，如果没有支撑，就会在重力的作用下尽可

能停留在靠近地心的地方。

一个放在手上的小球受两个力的影响：地心对小球施加的作用力（从上到下），以及手对小球的约束反作用力（从下到上，可简称为反作用力）【图 1-1】。这两个力相互抵消，小球因此保持稳定。如果把手抽离，其中一个力消失，平衡被打破，那么小球就会掉落、滚动，直至找到新的平衡点，也就是地势最低的地方【图 1-2】。

总之，不论是在手上还是在地上，达到平衡的小球都受到两个大小相等、方向相反且作用在同一条直线上的力的作用。

大小相等、方向相反都好理解，但“作用在同一条直线上”该怎么理解呢？

放在桌子上的石板受到的作用力等于反作用力，没问题吧【图 1-3】！

当一个物体受到周围物体的限制（或阻挡）时，它就成了一个不能自由运动的物体，而这些事先对物体所加的限制就称为约束。

但把石板移到桌子边缘，它会失去平衡掉下去。此时石板所受重力和反作用力就不在一条直线上了！这就引出了力矩和力偶的概念【图 1-4】。

力矩和力偶矩？

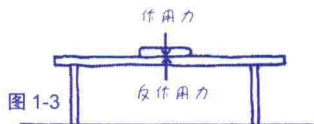


图 1-3

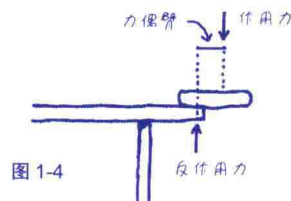


图 1-4

所谓力矩就是力使物体发生转动的趋势，其大小等于力和力臂的乘积，按照转动方向不同，力矩可以有正负。而力臂就是支点（转动轴）和力

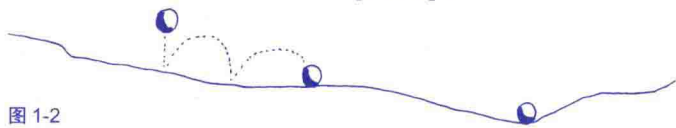


图 1-2



的作用线之间的距离。力偶矩实际上是特殊的力矩。当两个大小相等、方向相反的力不作用在同一条直线上时，就形成了力偶。力偶的大小用力偶矩来衡量，等于力的大小乘以两力之间的距离（力偶臂）。为了避免跌落，必须使石板所作用力和反作用力保持平衡，但这里讨论的不是这种情况。

为了理解力矩的概念，我们来看一下跷跷板和两个小孩的情况。假设这两个小孩体重相同，且距离跷跷板中间的支点距离相等，那他们产生的力矩相等但方向相反，跷跷板保持平衡【图 1-5】！

但是如果把其中的一个小孩换成大人，力矩便不再等值，跷跷板失去平衡。等体重较重的一方落到地面，它才会达到新的平衡【图 1-6】。

如果我没有理解错的话，只要两个力矩等值，两个人的重量不同也可以平衡。

完全正确！

如果大人距离跷跷板中心较近，而小孩子距离中心较远，跷跷板可以平衡吗？

当然可以！只要力矩等值。假如大人的体重是小孩子的 2 倍，他到中心的距离是孩子的 1/2，那么这两个力矩等值，跷跷板保持平衡【图 1-7】。

再想想，还有什么例子呢？对，杠杆，它可以举起重物的？

正是！杠杆可以产生很大的力，使我们可以移动重物。

像重力、风力、水压力这样能主动引起物体运动或产生运动趋势的力称为主动力或作用力，也叫荷载。由约束给予被约束物体的力叫约束反作用力或反作用力。

这种“省力工具”的原理是什么呢？

想象有一对大小相等、方向相反的力矩：其中一边是大石块，重量很大但力臂很短，另一边是人，力臂很长但力量却很小……

图 1-5



图 1-6



图 1-7



还是亲身体验一下吧，这样体会更深。

我们握住杠杆，例如铁质的撬杠【图 1-8】，将它的一端插入需要抬起的石头下面，然后向下压另一端。假设人这边的撬杠长度是石头那边的 4 倍，那么人抬起石头所需要的力将只有直接抬起时所需的 1/4【图 1-9】。

这样说我就明白了。

好极了！以后我们还会遇到很多不同类型的力矩和力偶，我们会逐渐熟悉的。

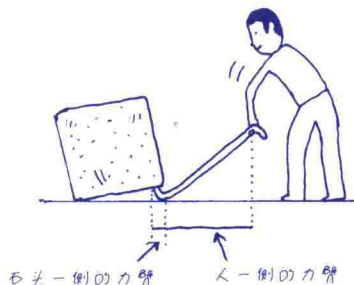
OK，作用力、反作用力和力矩我算基本理解了，但它和建筑结构有什么关系呢？

我们可以具体来看一下一张小凳子的结构，让我们靠近观察它【图 1-10】。当我坐在凳子上时，我的体重通过凳腿“转移”到地面。我们可以

将这个凳子视为一座桥，或者想象自己是一只猫，它就是一个可以从底下穿过或逗留的屋顶。凳腿就像柱子，凳面就是一块楼板。凳子承受了自身的

要承受其他不同的作用力！例如火车刹车时对桥产生的作用力，还有一些力则与其所处的环境有关：比如风、雪、地震的作用力……除此之外还有

图 1-9



重量和施加在凳子上的外部重力。桥和楼房则还要承受很多不同类型的力，特别是承受组成建筑物的各个构件的自身的重量（或称为自重、净重），或者是与建筑物使用相关的力。这些力统称为作用力。

那就是说，一座铁路桥既要永久承受其自身的重量、铁轨的重量，以及通过的火车通过时施加的力？【图 1-11】

是这样！同时这座桥还

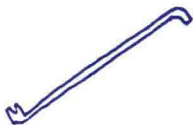
一些不可忽略的偶然出现的作用力（例如火车脱轨或者一辆货车撞到桥墩时产生的力……）。

OK。我踢一脚凳子也属于偶然出现的作用力吧？但你看，我踢的这一脚并不会破坏凳子的结构……

图 1-10



图 1-8

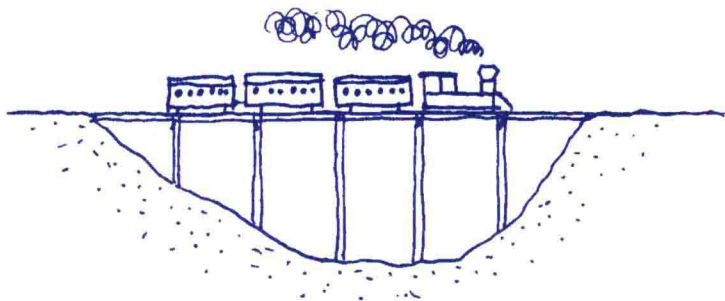


是的！凳子仅是失去了平衡，而且很快又找到了新的平衡：倾倒在地面上【图 1-12】。为了进行结构设计，我们应该全面考虑建筑物的平衡及结构的承受能力问题。

建筑物需要承受的荷载

- 自重（建筑物本身的重量）
- 与其使用相关的永久荷载（如铁路的道床及铁轨……）
- 与其使用相关的可变荷载（如火车经过时产生的作用力）
- 因气候环境产生的自然荷载（如风等因素）
- 偶然出现的偶然荷载

图 1-11



在我踢倒凳子以前，它用三条腿稳稳地站立着。那么它是否可以用两条腿站立呢？

也不是不行【图 1-13】，只是我们必须用自己的腿来代

替凳子的第三条腿，使它维持平衡。所以实际上还是需要三条凳腿才行！

那如果有四条腿呢？

四条就过多了！四条腿

的小凳子总会有凳腿长短不同的问题。例如，其中一条腿太短时，往往通过垫起一定厚度的纸板来增加腿长。如果不这样的话，凳子会出现两种平衡状态，每种状态都只用到其中的三条腿，凳子会在两个平衡状态之间来回摇摆。三条腿的凳子是静定结构，四条腿的凳子是超静定结构，而如果只有两条腿则是非静定结构，也就

图 1-12



图 1-13



图 1-14



是一种不稳定的结构。

但是我确实见过一条腿的凳子！

的确如此，然而一条腿的凳子常常需要将凳腿底部加大以防止其倾倒，同时确保它的稳定性【图 1-14】。

因此，想要制作一张凳子，只需一个凳面还有三条凳腿……

但这种随意搭成的凳子是不会稳定的【图 1-15】。

可是人受到的重力是垂直向下的，小凳的腿是垂直的，还有什么问题吗？

施加在凳子上的作用力并不是完全垂直的，同时还存

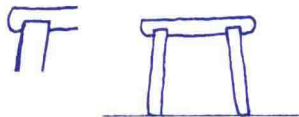
只存在一个使其达到平衡状态的约束的结构（如三条腿的凳子）称为静定结构；存在两个以上可以达到平衡状态的约束的结构（如四条腿的凳子）称为超静定结构（也叫静不定结构）。不存在这种外部约束的结构是非静定结构，它是不稳定的。

在着一些水平方向的侧力“干扰”，为了承受这些侧力，凳腿与凳面必须紧密结合在一起。这就是我们在建筑中所说的斜撑，也就是斜向支撑。

抗侧力斜撑？

抗侧力斜撑的目的是防止风力、地震力和其他所有水平力的“干扰”。对小凳子而言，我们只需将凳腿牢固地嵌入凳面就行了【图 1-16】。这样就可以避免凳子的倒塌。

图 1-16



OK，我重新总结一下：要想要制作一张凳子，需要一个凳面，三条凳腿（既不能多，也不能少），然后将凳腿嵌入凳面就搞定了！

完全正确。一张凳子的结构必须确保下面三项功能：

- 搭建：将凳面搭在（或覆盖在）凳子底部的空间上；
- 支撑：通过凳腿（柱）将垂直方向的荷载转移至地面；
- 斜撑：凳腿与凳面严密嵌固以确保凳子的水平稳定性，也就是使凳子具有“抗侧力”的能力【图 1-17】。

那么，只要确保以上三种结构性功能，我就可以放心

图 1-15



所有的建筑物体都是不同构件的组合，它们必须确保一项或三项结构性功能：搭建、支撑、斜撑。

地坐在上面了吗？我可不会这样放心，例如我不敢坐在玻璃制作的凳子上，总感觉凳面或凳腿可能会碎裂！

的确是这样！我们必须遵守的不仅是外在的规则并确保它的完全平衡，还应该顾及其内部组成材料、架构的承载力。就像我们身体的结构，它是平衡的同时又具有承载力（这要感谢我们坚硬又不易碎裂的骨骼和连接这些骨骼的韧带）。

我还不能完全理解这些内容……但尽管如此我还是明白了几个概念：

（1）作用力和反作用力；

（2）作用力和反作用力不

在一条直线上时会产生力偶；

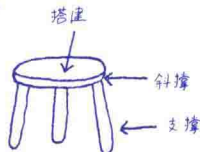
（3）施加在建筑上的荷载包括自重及其他不同原因产生的作用力；

（4）从外部构造和整体平衡的角度可以将结构分为超静定结构、静定结构和非静定结构；

（5）内部结构及三项结构性功能：搭建、支撑和斜撑。

下面，让我们来了解有关平衡的问题……

图 1-17



第02章 关于平衡的问题

本章以公交车、水族箱为例讨论如何使建筑保持平衡。我们将游览巴黎和布鲁塞尔，途经瑞士的阿尔卑斯山。

理解平衡概念的最好方式难道不是将平衡应用在我们自身的结构，也就是我们自己的身体上吗？我觉得如果要用一只脚站立，最好让自己的身体成一条直线【图2-1】！

没错，为了使身体保持平衡，通过身体重心的作用力（即身体的重力）与（来自地面的）反作用力必须在一条直线上，如若不然……

我会摔倒，或者只好放下第二只脚！改用两条腿站立，这样比较容易【图2-2】！

其实，用两条腿站立时，我们可以在不失去平衡的条件下侧身倾斜。当我们倾斜时，身体的重量被不均等地分担在两只脚上。只要身体的重心停留在两脚之间，就不会有问题，否则就会摔一个跟头……

此时我们可以通过将重心迅速转移到两腿正中间的安全区域来避免摔倒！通过让双腿更大幅度地叉开，可以使平衡区域变得更大。由此我便可

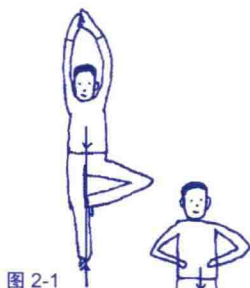


图 2-1



图 2-2



图 2-3



图 2-4



图 2-5

当经过重心的垂直线落到支撑面的外部时，物体的平衡状态会被破坏。支撑面是由支撑点组成的平面，即由最外侧的支撑点连线围成的平面。



以在确保安全的情况下更大幅度地倾斜身体【图2-3】。

的确如此，加大支撑面的面积有助于维持平衡。因此，凳腿间距比较大的凳子更容易平衡。下面我们来探讨更复杂的情况：如果给身体施加一个水平方向的推力将会怎样，比如公交车上的乘客要承受的与加速和刹车相关的推力。

如果公交车开得不是太快并且我又开双腿，即使不扶着扶手，我也能保持平衡！为什么我不会摔倒呢？

虽然公交车加速或刹车产生的水平推力和你的双脚与地面间的摩擦力达到了平衡，但是这两个力形成了力偶，力偶臂等于重心与地面之间的距离。这个力



为了让身体能保持平衡，施加在身体上的所有作用力和力矩必须保持平衡。

偶使人向前轻微倾斜。由于身体发生了倾斜，身体所受的重力和支撑力就不保持在同一条直线上了，也形成了一个力偶。这两个力偶可以相互抵消，从而使身体保持平衡，不会摔倒。分开双脚则加大了支撑面的面积，可以使你更容易保持平衡【图2-4】。

也就是说，两个站在公交车上的人，如果体重相同，那么个子矮而敦实的人比个子高身体修长的人站得更稳？

真是绝妙的联想！矮而敦实的人的人身体重心更接近地面，力偶臂较短，失去平衡的概率更低。

但如果公交车快到一定程度，我就要扶住扶手，这样刹车时才能站稳！

是的。这是因为当汽车刹车产生的推力过大时，你与地面的摩擦力已经不足以将其抵消，还需要再施加一个水平力与之抗衡。

这个力就是当我扶住扶手的时候手臂承受的力【图

2-5】！如果这两个力不能相互抵消的话，我就会……咔嚓！

没错，你的身体会一直摇晃，直到找到一个新的平衡。

我现在想到了另一个例子——火箭！

真是个有趣的例子！在这个例子中，发动机产生的推力应该大于火箭的所受的重力，这样火箭才能发射出去。但是这两个力必须严格保持在一条直线上，否则由此产生的力矩会使火箭发生翻滚。

OK，让我们回到身体的平衡上来吧。保持平衡的游戏很有趣，就像马戏团演的把戏，但它能帮助我们了解建筑吗？

不仅如此！人们建造一座建筑的目的，有时是为了展现一场浩大的平衡以吸引眼球，体现建筑之美。因此，在1889年的巴黎，建筑师埃菲尔提议并建造了以其名字命名的铁塔。这座铁塔让许多人惊叹，它的外观比其实用性博得了更多赞美。埃菲尔铁塔为了增强自身的平衡能力而“张开四脚”，稳定了其平衡。同时，这个稳固的支撑面也可以抵抗风力的作用【图2-6】。

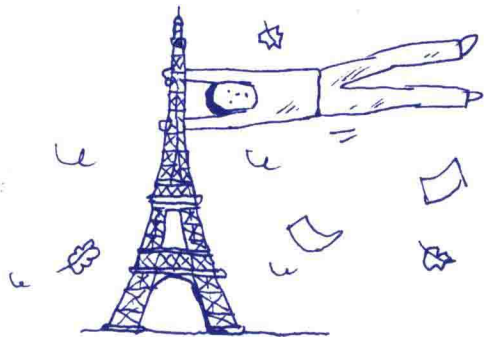


图 2-6