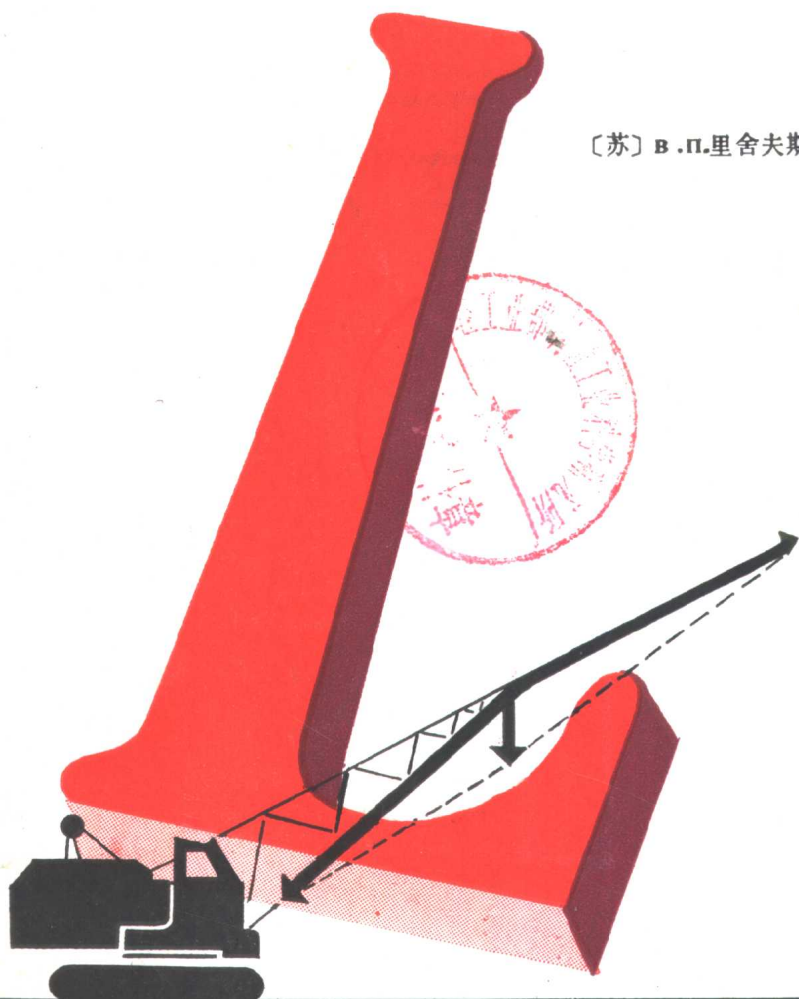


# 通俗力学

〔苏〕В.П.里舍夫斯基 著



TONGSULIXUE 科学普及出版社

# 通俗力学

〔苏〕 B·П·里舍夫斯基 著  
郭奇格 译  
高林生 校

科学普及出版社

## 内 容 提 要

本书通过日常生活中常见的一些现象向读者普及运动学、动力学、静力学的基本定律,讲述怎样解题,为进一步学习理论力学打下基础。本书的叙述深入浅出,富有趣味性;适合自学青年阅读,并可供中学物理教师参考。

## 通 俗 力 学

〔苏〕B.И.里舍夫斯基 著

郭 奇 格 译

高 林 生 校

责任编辑:纪 思

封面设计:窦桂芳

\*

科学普及出版社出版(北京海淀区白石桥路32号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京四季青印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092毫米1/32 印张: 3 1/4 字数: 68 千字

1984年8月第1版 1984年8月第1次印刷

印数: 1—23,830册 定价: 0.38元

统一书号: 13051·1368 本社书号: 0743

## 前 言

我们到处都可以碰见力学现象，但并不是每一个人都能够解释：为什么从水龙头里出来的水流会进一步分成单个的水滴？为什么没有一条绳索能够拉得绝对的“直”？为什么在小船上顺着一个方向走动，小船就会向相反的方向移动？等等。

力学是物理学中最有趣的篇章之一。力学家们研究各种机械和宇宙飞行的控制问题，计算各式各样工程建筑的稳定性，编制气流同大洋表面的相互作用方程，研究等离子体和稀薄气体的理论。医生和生物学家、汽车运动员和铁路员工、石油专家和无线电技师都要向他们求教。力学既是一门最古老的科学，又是一门永葆青春的科学。它发源于远古时期，但在我们的时代——科学技术革命的时代——仍然成功地为人们服务着。

就解决课题的性质而言，力学分为三个部分：运动学（它从几何观点研究运动）、动力学（它研究物体在力的作用下的运动）和静力学（平衡理论）。

本书讲述的是日常生活中的力学。例如，只有手表，怎样测出井深；罗斯坦喜剧的主人公西拉诺·贝尔热拉克所提出的遨游月球的方法有什么缺点；为什么帆船能够顶风航行；怎样刹车更好些：是用滑行的方法好呢？还是使车轮稍微转动的方法好些呢？

所有这些课题和许多其他课题，读者在本书中都可以找

到答案，当然，并不是都那么详尽。

理论力学这门科学是哪一年产生的，这可说不准。远在古代希腊和古埃及，就已经有了相当复杂的机械和机器；没有基本的力学知识，要想建造它们，是不可能的。这说明，力学同很多现代科学学科一样，可追溯到古代科学家的研究。

一般认为阿基米德（公元前287——212年）是“力学之父”。他首先发现了作为简单机器工作原理的定律，其中包括杠杆定律；而杠杆在建筑中的使用，比阿基米德还要早好几千年呢。

这位希腊叙拉古城的天才的数学家和机械专家，不仅是伟大的科学家，而且是出色的工程师。我们在波里比（公元前201——120年）所写的《通史》一书中可以看到对阿基米德的某些军械的描述。

波里比写道：“阿基米德建造了能够把炮弹投掷到特定距离的机器。例如，假定敌人从远方乘船驶来，阿基米德就用远程投石机射出重型炮弹或箭支……假如炮弹开始在敌人头顶飞过去，阿基米德就使用较小的机器，每次都在校正距离。他使罗马人胆战心惊，不敢前来进犯或乘舰艇接近城池。

“……有些机器可以投掷重量在10塔兰（1塔兰 $\approx$ 26公斤）以上的石块，另一些机器可以发射出成堆的铅弹。每当攻城飞桥（一种战士爬城用的攻击机器）刚要接近的时候，阿基米德的炮口就随同支架一起，根据需要向右或向左转动，并利用弩机把石头投掷到敌人的掩体里去”。

关于阿基米德的其他一些防御机器的作用，波里比是这样描写的：“……从机器上垂下一根链条，上面固定着一个铁爪。操纵机器的人用这个铁爪钩住船头的某个部位，把船吊起来，然后把它扔到海里。结果是，一些船只侧躺在那

里，另一些船只底朝天，大多数船只由于船头从很高的高处落下，沉入海里，灌满了水，完全毁掉。”

普鲁塔尔赫（大约公元46——126年）也作过同样的叙述：“沉重的爪和喙钩住船只，把它们提到空中，然后使船尾朝下沉入水中。有时船只在空中旋转，翻转过来，撞在岩石上。结果是，罗马人惊恐万分，只要一看见城墙上方有绳头或圆木，扭头就跑，并大声喊道：‘阿基米德又冲着我们使用什么机器啦！’”

古代人懂得很多力学道理，例如，在真空中一切物体以相同速度下落。迪特·鲁克列齐·卡尔（公元前1世纪）在他的优秀长诗《论物体的本性》（大约公元前60年）中写道：

任何物体往下落，  
空中水里相仿佛；  
自身重量忙催促，  
重的急速轻的情。

柔弱之水轻盈气，  
对待落体并不一；  
极重物体忙相让，  
较轻物体有所欺。

真空生性最懦弱，  
轻重物体一样躲；  
逆来顺受成天性，  
任凭物体同时落。

就我们所知，这个结论后来被伽利略的实验所证实。

在中世纪，力学的发展同所有科学的发展一样，缓慢

了。在文艺复兴时期，建筑业、军事艺术、商业开始有了进展，这种进展促进了力学的发展，而且科学家们时时以自己的知识为社会服务。仅仅举一个例子。当敌人威胁到伟大的意大利科学家尼珂罗·塔尔塔里亚（1499——1557年）的故乡威尼斯城的时候，他给城市行政长官写了一封信：“我不能沉默！我知道，箭的最远射程是在仰射角为 $45^\circ$ 时。”

伽利里奥·伽利略为力学的发展作出了许多贡献。他于1564年2月15日生于比萨市。他的父亲（一位著名的音乐家和音乐史学家）对孩子才能的形成和发展有很大的影响。1581年，伽利略上了比萨大学，在这里他开始学医，但由于他对力学发生了兴趣，便离开大学，回到佛罗伦萨，当时他住在那里。伽利略研究了四年数学。他攻读耶夫克利德、阿基米德、维特鲁威以及其他一些希腊和罗马作者的著作，写了一些早期的科学著作，这些著作使他出了名。1589年，伽利略在比萨教授数学，1592年又在帕多瓦教授数学。在这里他居住了十八年，这是伽利略最富有创作成果的时期。从1610年起，这位科学家居住在佛罗伦萨。在这里，于1632年出版了著名的《关于两个极其主要的世界体系的对话》，他的这本书遭到禁止，作者本人也于1633年2月受到宗教裁判所的审判。当伽利略放弃了哥白尼学说之后，在他生前的最后九年，被软禁在佛罗伦萨城郊的他自己的阿尔切特利别墅里。不准他写作，不准他同朋友会面。伽利略的第二部主要著作《关于两个新科学部门的谈话和数学证明》于1638年在荷兰出版。伽利略死于1642年1月8日。

伽利略在力学和天文学上取得了重要成果。他第一个提出了运动相对性的思想，建立了自由落体定律和物体沿斜面运动的定律，指出钟摆的摆动周期与质量和振幅无关，发现

了木星的卫星、金星的盈亏相、太阳的自转和它上面的黑子。

关于每门学科的历史和对这一知识领域的发展作出贡献的科学家的传记，最好是同基本材料的叙述同时进行。在本书中就是这样做的。现在我们就来直接介绍力学这门学科，至于力学史，我们将根据需要顺便提及。

这本书并不是力学教科书。书中只是谈一谈某些力学概念，说明他们怎样解决各种力学问题。

如果您想进一步学习力学，可以阅读本书末尾所推荐的参考书。



# 目 录

## 前言

|               |    |
|---------------|----|
| 一、运动学         | 1  |
| 1. 质点运动学      | 1  |
| 2. 物体的平动      | 7  |
| 3. 转动         | 8  |
| 4. 平面运动       | 12 |
| 二、动力学         | 16 |
| 1. 牛顿定律       | 16 |
| 2. 质点动力学的基本定理 | 22 |
| 3. 功和功率       | 25 |
| 4. 达朗贝尔原理     | 30 |
| 5. 系统动力学      | 37 |
| 6. 刚体动力学      | 44 |
| 7. 杂技场上的力学    | 47 |
| 8. 机械和自然界     | 51 |
| 9. 气体力学       | 56 |
| 三、静力学         | 65 |
| 1. 力和它们的表现    | 65 |
| 2. 摩擦         | 74 |
| 3. 平衡问题       | 83 |
| 4. 空间静力学      | 92 |
| 5. 重心         | 94 |
| 参考书           | 96 |

# 一、运 动 学

## 1. 质 点 运 动 学

力学中的运动指的是物体在空间中随时间发生的任何移动。机械运动永远是相对的：我们看一个物体的移动，总是以某个别的物体为依据，在这种情况下把后一物体作为参考物体，用以来衡量该物体的位置。

在运动学中，只从几何学的观点来研究运动：我们注意的是，某物质客体怎样、以什么样的速度、以什么样的加速度在运动，并不注意引起、保持或改变这个运动的那些物理原因。

运动学分为两大部分：质点运动学和刚体运动学。因为任何物体都可以看成是某些微小粒子（质点）的总和，所以在研究物体的运动之前，当然要先研究质点的运动。

质点运动时在空间画出的线叫做轨道。根据轨道形状的不同，运动可以是直线的，也可以是曲线的。在这里，我们只研究质点的直线运动，而且是用例子来说明。

据说有一个中学应届毕业生在参加高等学校入学考试时，碰上了这样一个问题：“您有一块手表和一个安培计。您能不能借助这两个物理仪表判断出峡谷的深度？”

考生如果知道另一个已知习题的题解，那他就能够毫不费力地解答所提出的问题。

**【题1】** 一块石头没有初速，向矿井坠落。在它开始

下落后 5 秒,听到它和井底的撞击声。设声速等于 330 米/秒,求矿井的深度。

让我们来解这道题。

设  $t_1$  —— 石头下落的时间,  $t_2$  —— 声音传播的时间,  $h$  —— 矿井的深度,  $c = 330$  米/秒 —— 声速,  $\tau = 5$  秒。

石头以等加速度向矿井坠落。对于这种运动,下面的公式是正确的:

$$S = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

式中  $S$  —— 路程,  $v$  —— 速度,  $a$  —— 加速度,  $t$  —— 时间。因为石头的初速等于零,而加速度等于自由落体的加速度,所以我们可以写成  $h = \frac{1}{2} g t_1^2$ 。

声音作匀速传播。对于匀速运动适用公式  $s = vt$ , 因此,从另一方面讲,我们可以写成  $h = ct_2$ 。

我们得到二元联立方程式:  $t_1 + t_2 = \tau$  和  $\frac{1}{2} g t_1^2 = c t_2$ ,

先求出  $t_1$  或  $t_2$ , 然后再求出  $h$ 。矿井深度约等于 100 米。

如果那位中学毕业生知道这个题解,那就应当这样来回答:“把安培计扔进峡谷,并测量从开始下落到安培计撞击谷底声返回时之间的时间。然后建立方程式,并加以解算。”

上述的中学毕业生所遇到的这件事,显然是一个笑话,但是如果您有一块石头、一块带秒针的表、铅笔和纸,您的确随时可以确定水井、矿井、峡谷的深度。

**【题2】** 水滴从竖直的水管孔一滴滴地流出,滴与滴之间的时间间隔是 0.1 秒,并以  $g = 9.8$  米/秒<sup>2</sup> 的自由落体加

速度下落。在第一滴水流出后一秒钟，第一滴水和第二滴水之间的距离为多长？

水滴自由下落所经过的路程可以根据公式  $S = \frac{1}{2} g t^2$

( $v_0 = 0$ ) 算出。在 1 秒钟内水滴经过的路程  $S_1 = 4.9 \times 1^2$  米，而在 0.9 秒钟内  $S_2 = 4.9 \times 0.9^2$  米，即第一滴水流出后一秒钟，第一滴水和第二滴水之间的距离将等于

$$S_1 - S_2 = 4.9 \times (1^2 - 0.9^2) = 0.935 \text{ 米。}$$

我们再来计算一下，当第一滴水降落 0.1 秒钟，而第二滴水刚刚流出水管时，两滴水之间的距离是多长。显然，在这种情况下，第一滴水和第二滴水之间的距离将等于第一滴水在 0.1 秒内所走过的距离，即  $S = 4.9 \times 0.1^2$  米 = 4.9 厘米。我们看到，如果起初两滴水之间的距离约为 5 厘米，那末一秒钟以后它们之间的距离就要加大到 19 倍。

这说明了在日常生活中司空见惯的一种现象：如果水以一股细流从管内流出，那末它在水管跟前还是完全连续的，可是落到泄水盆时就成了了一滴滴的水珠了。发生这种现象的原因是，随着液体粒子的向下运动，粒子之间的距离在加大。因而水流越变越细，而且表面张力使它分离成一滴滴的水珠。

**【题3】** 能不能根据车轮的撞击声来判断火车的速度？

可以的。为了做到这一点就必需计算出 45 秒钟内车轮在钢轨接缝处的撞击次数。它等于用千米/时表示的火车速度值。

问题在于，通常每根钢轨的长度为 12.5 米。如果在 45 秒钟内您听到  $n$  次响声，这就是说，在这段时间内，火车走了

12.5 $n$  米的距离。而在 1 小时内，它将走过  $\frac{3600}{45} \times 12.5 n$

$= 1000n$ 米，或 $n$ 千米。

在某些铁道干线上铺设的钢轨长度为25米。在这样的路段，根据车轮撞击接缝处的声音变稀，就很容易判断出来，要想知道火车的速度，就必需把45秒内的撞击次数乘以2。

还可以借助电线杆来判断火车跑得有多快。它们的平均距离是50米。请记住在车窗视野中一根电线杆变成另一根电线杆所需的时间。

$v = l/t$ ，式中 $l$ ——电线杆之间的距离， $t$ ——火车从一根电线杆“跑到”另一根电线杆所用的时间。如果经过 $n$ 秒，那末 $v = 50/n$ 米/秒；因为1米 $= 10^{-3}$ 千米，而1秒 $= 1/3600$ 小时，所以 $v = \frac{50 \times 10^{-3} \times 3600}{n} = \frac{180}{n}$ 千米/小时。设 $n = 3$ 秒，这时 $v = 60$ 千米/小时。

刚才所谈的根据电线杆判断火车速度的方法是十分概略的，因为电线杆之间的距离并不是永远恰恰等于50米。它要取决于地形、气候条件和许多其他原因。里程标之间的距离则是准确的和不变的。如果火车在 $n$ 秒内“跑完”这段距离，

那末根据公式 $v = \frac{3600}{n}$ 千米/小时就可以求出火车的速度。

**【题4】** 一辆汽车以72千米/小时的速度沿水平道路行驶，垂直落下来的雨痕留在汽车的侧面玻璃上，雨滴痕迹与垂直线形成 $40^\circ$ 的夹角。让我们根据这些数据来计算出雨滴的下落速度。

同一质点的运动可以根据不同的参考物同时加以观察，这些参考物体本身相互间可以作相对运动。假定我们已经知道质点相对于某一参考物体的速度为 $v_{\text{相对}}$ （相对速度），而这个运动质点的参考物体相对于另一个我们认为静止的物

体的速度为 $v_{\text{相关}}$ （相关速度）。这时求出质点相对于静止参考物体的速度是很简便的。为了做到这一点，必需把相对速度和相关速度作向量相加。

比方说，您沿着地下铁道的升降梯往下跑，而升降梯也在向下移动。这时您相对于静止的地道墙壁的速度 $v_{\text{绝对}}$ 是由相对速度 $v_{\text{相对}}$ （您相对于移动着的升降梯的跑动速度）和相关速度 $v_{\text{相关}}$ （升降梯的移动速度）合成的。假若您只是站在升降梯上，那末它载着您往下移动，您的绝对速度就等于升降梯的速度；可是您自己也在沿着梯子往下跑，因此您的绝对速度就加大了。在这种情况下，它等于相对速度和相关速度这两个速度的和。

同样，雨滴相对于地面的速度也是由两个速度合成的，即由相对速度（雨滴相对于行进中的汽车玻璃的速度）和相关速度（汽车的移动速度）合成的。图1可以帮助我们算出雨滴的下落速度：

$$v = v_{\text{相关}} \operatorname{ctg} 40^\circ = 20 \text{ 米/秒} \times 1.192 = 23.8 \text{ 米/秒}。$$

假定，您需要渡过一条湍急的河流，到达它的对岸。十分明显，如果您垂直于河岸往对岸划，小船就会被冲走，您将会在下游很远的地方靠岸。要想到达您所面对的那个点，就必需同水流成某一角度逆流划去。怎样求这个角？我们将用解算具体例题的办法来说明。

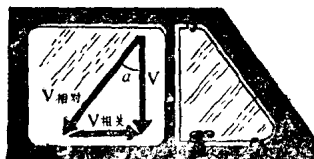


图 1 雨滴沿行进中的汽车侧面玻璃运动，留下倾斜的痕迹。

**【题5】** 河的两岸平行。小船从点A出发（图2），并同河岸保持垂直方向，在出发后经过 $t_1 = 10$ 分到达对岸。这

时,它到达点C,这个点位于河的下游离点A的距离为 $l = 120$ 米处。

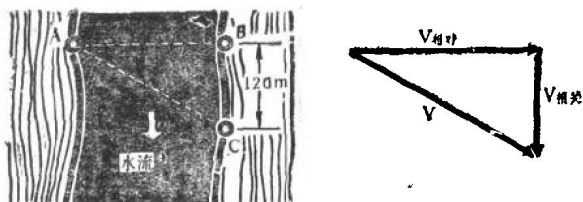


图 2 小船在渡河时被水流冲往下游

要想从点A到达垂直于河岸的直线AB上的点B,小船的方向必需与直线AB成某一角度,逆流行驶。在这种情况下,小船经过 $t_2 = 12.5$ 分到达对岸。求河宽 $d$ 、小船对水的相对速度 $V_1$ 和水的流速(相关速度) $V_2$ 。

因为我们已知,在10分钟内小船被水流下冲120米,所以可以求出河水的流速: $v_2 = 120/10 = 12$ 米/分。此外,河宽AB应等于相对速度 $v_1$ 乘以在第一种情况下渡河所需的时间 $t_1$ ,即 $d = v_1 t_1$ 。

现在我们研究第二种情况。为了到达点B,就必需朝着某个点D(图3)划去。作速度合成三角形: $v = v_{\text{相对}} + v_{\text{相关}}$

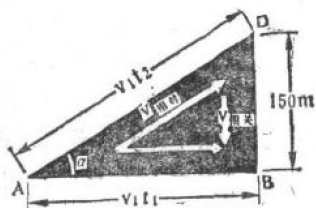


图 3 若要垂直河岸横渡过去,就必需成某一角度逆流划船

式中 $V_{\text{相关}}$ ——就是 $v_2$ 。如果将所有的速度乘以第二种情况下的渡河时间,那末就会得出直角三角形ABD,其中BD边已知( $BD = v_2 t_2 = 12 \times 12.5 = 150$ 米),而AB边和AD边可通过船对河水的相对速度 $v_1$

表示。自三角形ABD写出勾股弦定理，求出小船对河水的速度：

$$(v_1 t_2)^2 - (v_1 t_1)^2 = BD^2.$$

得出， $v_1 = 20$ 米/分。再求出河宽： $d = 200$ 米。

小船划到点B所需的角 $\alpha$ ，则可以用各种方法计算出来。例如：

$$\cos \alpha = \frac{v_1 t_1}{v_1 t_2} = \frac{t_1}{t_2} = \frac{10}{12.5} = 0.8,$$

因而， $\alpha \approx 37^\circ$ 。由此可知，在第一种情况下和在第二种情况下，小船相对于河岸的速度是不同的。

## 2. 物体的平动

运动学分为两大部分——质点运动学和刚体运动学。质点运动学和刚体运动学的原则区别是什么呢？知道质点的运动，这意味着知道该质点在每一瞬间沿什么样的轨道和以什么样的速度在运动。知道物体的运动，这意味着知道物体的每一点在沿什么样的轨道和以什么样的速度在运动。因为物体是由无数多的质点组成，所以乍一看来，问题似乎无限多倍地复杂化了。然而事实上并不是这样。

刚体（即在任何条件下物体内各点之间的距离不变的物体）可以做各种不同的运动。物体的直线运动是平动。所谓平动，就是在运动时同物体保持刚性联系的任何一条直线，在整个运动期间永远保持自身平行。

不难举出许多平动的例子。在水平道路上行驶的自行车的车架、汽车车身、火车车厢、游艺“瞭望轮”的座



舱●等等，都是这样运动的。

在做平动时，物体上所有的点都画出相同的轨道，而且在每一瞬间都具有相同的速度。因而，如果我们已知物体上一个点怎样运动，那末我们就知道这个物体所有各点是怎样运动。从而，物体平动运动学可以简化为质点运动学。所以在解决质点运动学和物体平动运动学课题时，使用相同的公式、方式和方法等等。

在确定平动时，“任何直线”这个词十分重要。请您设想有一个转动的轴，在它的上面用粉笔画着一条与轴线平行的直线。在运动时直线仍保持自身平行，但在这里我们所遇到的就是转动，而不是平动了。

### 3. 转 动

转动也是常见的机械运动的一种形式。飞机和轮船的螺旋桨、水轮机的叶片和电动机的转子、电话机的拨码盘和雷达的天线，都在转动。同步稳相加速器内的质子、驯马者的绳套、坐在旋转木马上的人，都是沿圆周轨道在运动。表针、汽车车轮等等也是在转动。

在运动学中怎样研究转动呢？

假设某个物体绕固定轴在转动。我们通过这个轴作两个平面，使其中一个平面固定不动，使另一平面同物体保持刚性联结。这两个平面之间的夹角叫做转角，用希腊字母 $\phi$ 来表示（图4）。当物体转动时，转角在变化。表示转角随时间

- 
- 公园里所设的一种游艺器械，为一水平轴大圆轮，轮缘上设有座舱，轮子转动时，座舱保持水平，人随轮子转动至最高点，可以看到远处的风景。

——译者注