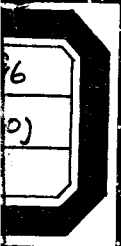


(美) 威廉·S·考夫曼著



相对论和黑洞的奇迹

(美)威廉·J·考夫曼著

卞毓麟 邹振隆
林盛然 蔡贤德 合译

4343638

87-6-19

相对论和黑洞的奇迹

(美)威廉·J·考夫曼著

卞毓麟 邹振隆 合译
林盛然 蔡贤德

知识出版社出版

(北京安定门外外馆东街甲1号)

新华书店北京发行所发行 北京燕山印刷厂印刷

开本787×1092 1/32 印张10.5 字数224千字

1987年1月第1版 1987年1月第1次印刷

印数: 1—2050

书号: 13214·26 定价: 2.30元

内 容 提 要

本书是美国著名天文学科普作家威廉·J·考夫曼继一系列著名天文著作的又一力作，原名《广义相对论的宇宙学前沿》。其特点是作者不避艰深，用非常浅显而又生动的文字引导读者去了解当代天文学和物理学中最神奇的王国之一——黑洞。作者从广义相对论出发，如此深入浅出地介绍各种黑洞，不但在国内绝无仅有，在国际书林中也极少见。本书适合科学工作者和广大知识青年阅读。

译者前言

本书作者威廉·J·考夫曼(William J. Kaufmann, II)是美国著名的天文学科普作家。1968年,他在印第安纳大学取得哲学博士学位。后来曾任格利菲斯天文台台长、圣地亚哥州立大学物理副教授等职。他以巨大的热情投身于普及天文科学的种种活动——著书撰文、作报告和举行系列讲座,深受社会公众的欢迎。

威廉·J·考夫曼的重要著作有《黑洞和弯曲的时空》、《相对论和宇宙论》、《天文学:宇宙的结构》、《太阳系探索》以及那套很受推崇的三部曲:《恒星和星云》、《行星和卫星》、《星系和类星体》等。

本书更是考夫曼的主要著作之一,原名为《广义相对论的宇宙学前沿》。许多人认为这是一部难得的科普杰作,其最可贵之处乃是不避艰深,用非常浅显生动的语言,为读者提供了到当代天文学和物理学中最神奇的王国之一——黑洞——去探险的指南。从广义相对论出发,如此深入地介绍各种黑洞的通俗读物,国内还从未出版过;即使在国际书林中,也可谓寥若晨星。出版考夫曼这部佳作的中译本,想必是会受广大读者欢迎的。

本书各章译者如下:第1至5章,林盛然;第6、7、15章,蔡贤德;第9、10、11章,邹振隆;第8、12、13、14、16、17章,卞毓麟。最后由卞毓麟统一全稿。

译海无涯,译者水平有限,不当之处在所难免,敬祈读者不吝赐正。

译者 1982年11月

目 录

译者前言

1. 时空概述	(1)
2. 时空与狭义相对论	(17)
3. 狭义相对论的结论	(33)
4. 引力与广义相对论	(52)
5. 广义相对论的检验	(74)
6. 恒星和恒星演化	(92)
7. 白矮星、脉冲星和中子星	(109)
8. 黑洞	(125)
9. 史瓦西解的几何性质	(145)
10. 带荷黑洞	(172)
11. 旋转黑洞	(194)
12. 克尔解的几何性质	(214)
13. 黑洞的观测	(251)
14. 白洞和粒子创生	(269)
15. 引力波和引力透视	(282)
16. 爆发星系和大质量黑洞	(298)
17. 原始黑洞	(312)
关于原始黑洞的最新理论进展	(327)

1. 时 空 概 述

数千年来，人们注视着繁星密布的夜空并产生一种神秘和奇妙的感觉。甚至在无文字记载的远古时代，人们对天体有规律的运行就已称奇不已。太阳的东升西落、月亮的盈亏圆缺、日月食的壮观以及行星在黄道星座中的运动都吸引着我们的祖先去研究天文学。

回顾过去，许多古代文化反映出来的古人那种深邃的知识和求知精神是很令人叹服的。金字塔和巨石阵（图1-1）的建筑师们显然都很精通他们的业务，他们掌握着只有通过多年或世世代代的观测才能获得的天文知识。从这些观测的广度和深度，我们只能得出这样的结论：古人对天文学的兴趣远远超过生活在所谓宇航时代的今人。的确，从某种意义上说，五千年前建成的巨石阵，比十多年前完成的登月飞行是一项给人类留下更深刻印象的伟大成就。当我们考虑到今天用于空间研究的费用是何其有限，考虑到空间研究同我们生活的联系，上述的结论就更明显了。即使是在执行阿波罗计划的高峰时期，每年用于这方面的开支也只不过是美国人每年用于养狗的费用，或相当于美国人吸烟费用的三分之一或饮酒费用的七分之一。而古代呢？从在中美洲发现的那些数千年前的古城市建筑中可以看出，古人已完全能够用天文知

识来规划他们的城市了。如果我们认真考虑一下人类早期文化在天文学方面的杰出成就和这些成就如何渗透到生活的各个领域，包括从墓碑和庙宇的建筑到城市街道的布局，那



图1-1 巨石阵

这座几乎是在五千年前建成的天文建筑物，是古人具有高度才智和渊博学识的明证。

么，我们对今天在帕洛马山或在天空实验室所进行的研究工作就会有不同的看法了。几乎可以这样说，我们同我们的祖先是根本不同的观点来看待宇宙的。

不管人们的观点或倾向性如何，一切有关宇宙的知识都必须来源于观测。但人们又不只是满足于无穷无尽的观测。单靠夜复一夜地外出观天，记下恒星和行星的位置或拍下无数的照片是不够的。我们还需要从某些方面去了解事物的真相，比方从某些方面去了解行星为什么会运动和如何运动，或星系为什么会具有某种体积和形状。多年以来，人们总是在不同程度上感到宇宙间存在着某种规律性。太阳年复一年

的东升西落，月亮每隔四周又有相同的位相，所有这些都说明宇宙并非杂乱无章，而是具有一定的规律性。正是因为存在着这种表观的规律性，才使人们产生一种要探其究竟的愿望。

表达对宇宙的这种认识、并用来解释天文观测的思想体系或假设称为宇宙学。历史上出现的每一种文化和宗教，在其学说或教义的核心都包含着宇宙学。宇宙学的实质和内容同产生这种学说的文化有紧密的联系。在最古老的文化中，宇宙学说据说是由上帝通过祭司或僧侣传到人间的。后来，从希腊人开始，人们才比较依赖于对天体的直接观测。如果考虑到获得宇宙知识的方法很多，我们对于在不同社会中流行的形形色色而且往往又互相对立的宇宙学说就不会感到惊奇了。在这些学说中，有的充斥着各种神话和传说，我们从中所看到的与其说是宇宙的自然本质，不如说是一种文化的精神状态；而另一些学说，充其量也只是一些今天我们称之为“科学方法”的简单应用而已。当然，我们自己也说不好，再过几千年后，人们是否也会把二十世纪的天文学和天体物理学都看成是幻想或神话。

诚然，宇宙学有赖于正确的观测。当新观测结果出现时，任何聪明的天文学家都不会拒绝修改甚至放弃他们原先的学说。但是，从更深远的意义上说，宇宙学又为许多往往无法证明或被大家公认的所谓公理和假设所左右。例如，现代心理学就断言，小孩学会处理通过感官所得来的信息并形成概念和思想的方法就形成了他自己对世界的看法。因此，人类总是在有意识地根据早先的心理条件来吸收或排除某些信息或数据。那些振振有词地宣称他们的科学是如何“客观”的现代科学家，实际上同当年迫害伽利略的神父们一样地怀

有偏见。那些神父们之所以不接受伽里略的邀请，拒绝用他的望远镜去观测月亮、金星和木星，说穿了只是因为这种做法同当时公认的能够认识上帝创造宇宙的美妙与和谐的方法不相符合。同样，今天的科学家们用“水手号”宇宙飞船来探测火星或金星，而把那种想用“超感官知觉”(ESP)来发现这些行星上某些情况的做法看成即使不是发疯，也是极其荒谬可笑的。我并不要为超感官知觉辩护，而只是想说，如果我们能用一种根据经验证明确实存在的方法来认识事物或从事理论研究，我们就能够从一个新的角度来认识科学。对于今天的天文学家来说，那种宣称他们的“客观的”科学已能揭示自然界的真实本质就如同宣称地球是位于宇宙中心一样的自负和狂妄。

我们发觉，我们很容易为现代科学所诱惑。因为它毕竟能解决许多问题。例如，天文学家能算出明天的太阳将在何时升起，而到那时，耀眼的日轮就会果如预言那样，从东方无云的地平线升起。“先驱者10号”飞船按要求发回许多木星的照片；阿波罗宇航员按预定的地点在月球上着陆并安全返回地球。所有这些都说明了现代科学的威力。

现代科学显然是“机械”的，当然不是象齿轮和杠杆这种原始意义上的机械，而是就其所涉及的内容来说的。在自然界中，只有那些能用机械进行测量和记录的部分才被现代科学看成是真正重要的。使用象望远镜、分光镜、气压计和照相底片等机械设备，显然对于该吸收或排斥整个外界感受中的哪些部分会有影响。那种认为只有用机械设备记录下来的东西才能反映自然界真正本质的看法，未免把现代科学家降低成为一些只具有“一只眼睛”或患有“色盲症”的人。

现代所有工业国家的经济都立足于以科学为基础的技术之上。如果考虑到现代科学所提供的方法，我们对于人类目前似乎面临的各种危机就不会感到奇怪了。在这些危机中，首先是环境的质量和有关生态学方面的问题，而这些都是由于我们把地球看成一个封闭系统造成的。我们正生活在一个微妙的、充满着矛盾的“技术世界”里，一方面据说它能给我们创造财富和带来繁荣，而另一方面，它实际上又使地球的大部分地区不断遭到破坏和变得更加贫瘠。

如果我们还想在这个行星上作为一个有生命力的种属继续存活下去，就必须研究出一整套能使工业历史阶段以后的科学继续向前发展的新方法。这些新的科学发展方向不仅必须具有我们已经熟知的准确性和预见性，而且还必须具有能洞察自然与我们之间、微观与宏观之间相互关系的能力。在一个已处于工业历史阶段以后的社会中，我们不能再对科学发展的动向漠不关心了。一般公众也不能对此不闻不问而听任专业科学家的摆弄。相反，专业科学家应该意识到自己有道义上的责任，把情况告诉公众，以免大家面临着咄咄逼人的发达技术，在处理纯科学研究所带来的一些说不清的“利益”或一些考虑不周的应用问题上感到束手无策。

在天文学中，我们也许能够比在其他任何自然科学中有更好的机会来发展这种对未来的洞察力。许多世纪以来，自然科学的许多最重要和最根本的发现都是从研究宇宙中获得的。科学家从研究行星运动中发现了力学的基本规律就是一例。因为在行星运动中，力学定律能以最纯粹和最简单的形式表现出来，而不象在实验室中会遇到摩擦力和风力的阻碍。所以，牛顿能从研究太阳系行星运动的原理中为经典力学打

下基础是不足为怪的。因此，通过研究现代天文学的前沿阵地，我们或许能更好地获得洞察未来科学发展动向的能力。

尽管天文观测的历史已很悠久，尽管天文学也堪称是一门“最古老的科学”，但是，有关宇宙本质的许多理论和学说却直到晚近才逐步建立起来。的确，写在任何一本现代天文学书中的大多数学说，其历史都不满一百年；至于专业天文学家通常讨论的许多课题，在一、二十年前更是无人知晓。例如，直到上世纪中叶，天文学家还不能确切知道恒星在太空中的准确位置。当然，恒星视位置早在数千年前就已知道了。历史上的每种文化几乎都绘有各种星图和地图；据说还有证据表明：克罗马依人曾想在南欧的洞穴顶上绘制星图。但是，恒星实际距离的直接测定则一直拖到上世纪中叶才解决。天文学家深知，如果恒星也象太阳一样明亮，那么，它们在夜空中看起来都很暗弱就说明它们距离我们必定十分遥远。要测定这些大得惊人的距离，无疑会碰到许多观测上的困难。

在许多世纪以前，人们就已经知道一种测量近距恒星距离的方法。这种与恒星视差有关的方法是以日常经验为依据的。观测近处一件物体，比方观测一根电线杆相对于遥远背景的位置，当观测地点改变时，电线杆相对于遥远背景就好象有了移动（图1-2）。这就是通常所说的视差效应。这种效应也可直接应用于恒星。假如天文学家在相隔数月的两个晚上对同一天区的恒星进行拍照，那么，由于地球是绕太阳运动的，天文学家实际上是在相距很远的两个地点对恒星进行拍照。如果视场中恰好有一颗距离较近的恒星，该星便会相对于遥远的背景恒星产生了移动（图1-3）。移动的大小与恒星的距

离成反比。距离越大，移动越小。通过测量这种移动，天文学家就能直接计算出恒星的距离。

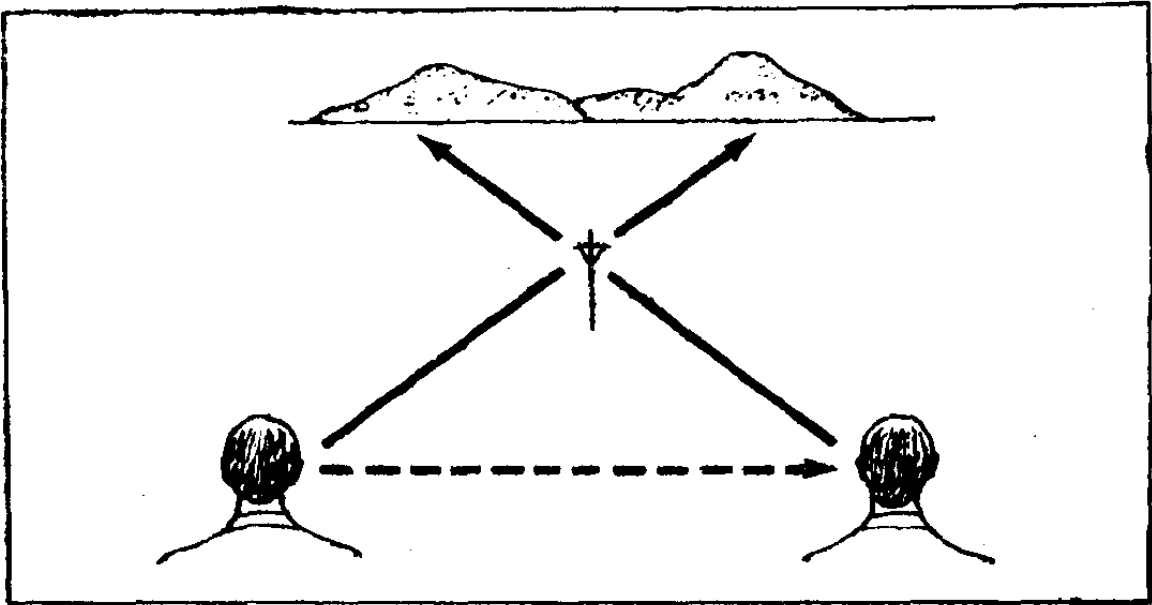


图1-2 视差与常识

近处物体(电线杆)相对于遥远背景的视位置，随观察者位置的变化而变化。

视差法在天文学上起着重要的作用。它是能够直接测定恒星距离的少数几种方法之一。因此，视差法成为我们跨出

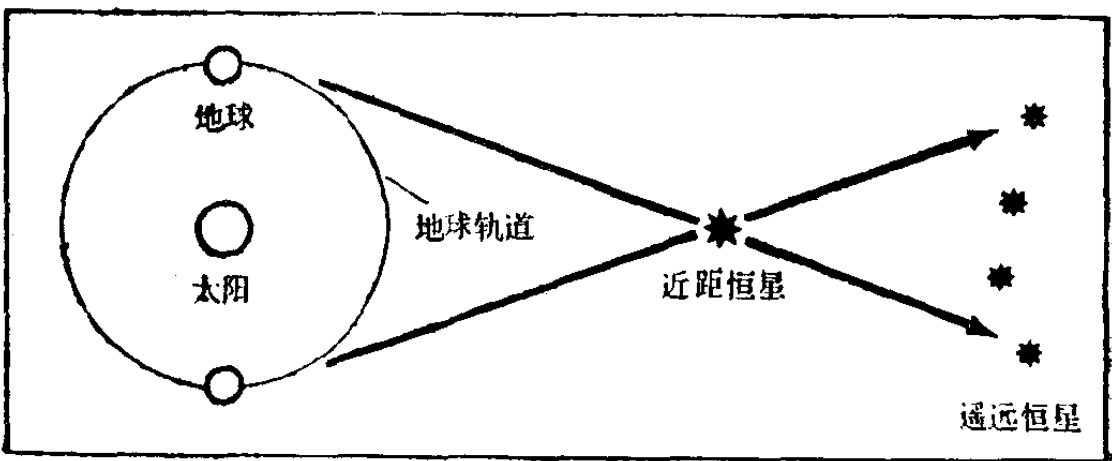


图1-3 视差与恒星

由于地球绕太阳运动，近距恒星看起来就会相对于遥远的背景恒星来回摆动。

太阳系的第一级阶梯，而随后的各级阶梯都或多或少地以这一阶梯作为依据。此外，另一些测定距离的方法多属间接法，而且还牵涉到某些可能有问题的假设。至于视差法，唯一可能成问题的只是观测的精度。

运用这种方法的困难主要在于，恒星距离我们实在太远，从而使准确测定视差往往非常困难。直到1838年，科学家才总算有了能达到所需精度的观测仪器。当时，德国的贝塞耳(Friedrich Bessel)测量了天鹅座61星的视差。此后不久，亨德森(Thomas Henderson)在好望角，斯特鲁维(Friedrich Struve)在俄国也分别测出了半人马座 α 星和织女星的视差。

如果有人问你：“从纽约乘飞机到洛杉矶有多远？”对此你可以有多种正确的回答。比方你可以回答说：“394,443,000厘米”。这一回答当然十分精确，但是，如果你不是有意逗笑，那旁人就一定会笑话你了。因为厘米并不是表示地球上城市之间距离的一种合适的单位。更合适的单位是公里。对于从纽约到洛杉矶有多远的问题，更合适的回答应是“3944公里”。

在测出恒星距离以后，人们发觉有必要引入某些新的量度单位。用公里表示恒星之间的距离就好象用厘米或毫米表示地球上城市之间的距离一样可笑。在符合这一要求的许多最方便的单位中，有一种是“光年”。所谓一光年是指速度为每秒300,000公里的光在一年中走过的距离。所以一光年大约等于9.5万亿公里。

用光年做单位，恒星的距离便可以表为非常方便的数字。例如，最近的恒星——半人马座 α 星——的距离约为4光年。夜空中最亮的恒星——天狼星的距离为9光年。猎户

座中那颗明亮的红星参宿四为590光年，而同一星座中的蓝亮星参宿七则为880光年。

虽然光年给我们提供了一种表示恒星距离的方便单位，但是，我们还想到：大自然是否还想告诉我们一些更重要的东西呢？例如，金牛座中的那颗红星毕宿五距离我们68光年。这就是说，当我们注视这颗星时，射入我们眼帘的星光实际上在68年前就离开毕宿五了。因此，我们看到的并不是该星现在的情况，而是68年前，即第一次世界大战前的情况。同样的，如果我们观看更遥远的恒星，我们所看到的就是它们更早期的情况。如果天文学家拍下一个距离我们9千万光年的星系的照片，则使底片感光的光在地球上还遍布恐龙



图1-4 星 系

这是波江座中一个星系的照片，它是用帕洛马山天文台5米望远镜拍摄的。使底片感光的光线在数百万年前就离开该星系了。

的时代就已从该星系发出了(图1-4)。由此我们得出结论：抬头仰望夜空，实际上等于回顾过去；遥望太空的深处等于回顾早先的时代。这一事实必然又使我们得出如下的结论：时间和空间彼此是密切相关的。为了能够认识客观世界，我们首先必须理解时间和空间的结合，而成为所谓的“时空”连续统。说到这里，我们总算懂得了，当我们象许多先辈们那样观测星空的时候，我们的视线不仅贯穿着三维的空间，而且也贯穿着第四维的时间。

但时空究竟是什么呢？还在幼年的时候，我们就已经从直觉中很容易地建立起空间和时间的观念。我们知道空间有三维，即前后、左右和上下。做为三维的动物生活在三维的空间之中，我们可以随意地朝各个方向运动；而随着岁月的流逝，我们也经历着各种不同的时间。但做为三维的动物，我们却不能在第四维的时间中随意前后移动。我们出生、成长乃至最后死亡；根本无法让时间倒转或加速(图1-5)。

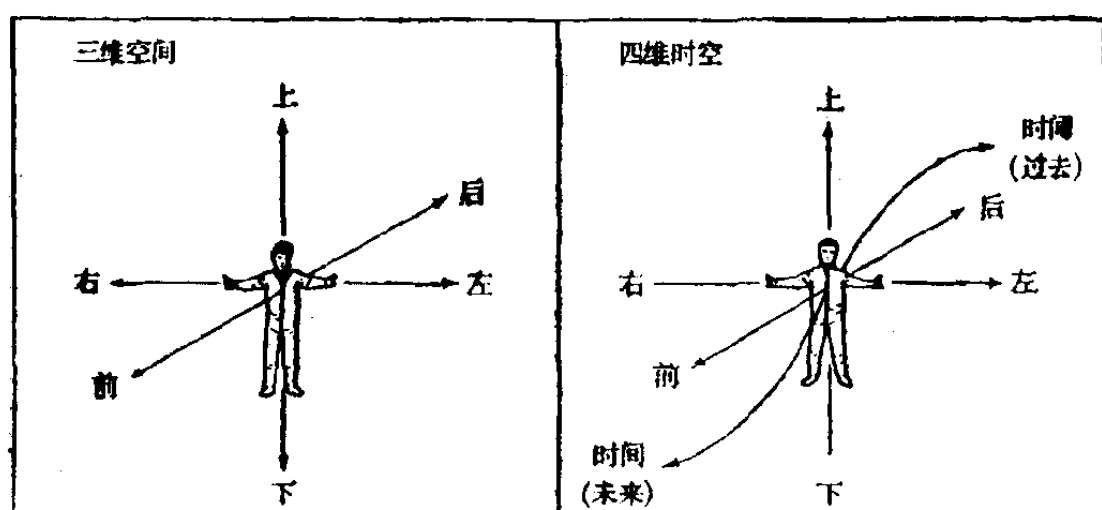


图1-5 空间与 时空

随着我们的出生、成长和死亡，我们这种三维的动物便在四维时空中运动着。

用一个简单的例子来说明时空的意义可能最为合适。设想你乘飞机从洛杉矶飞往西雅图，中间在旧金山停留一小时。你可以用如图 1-6 所示的一张航线图来表示这次飞行。

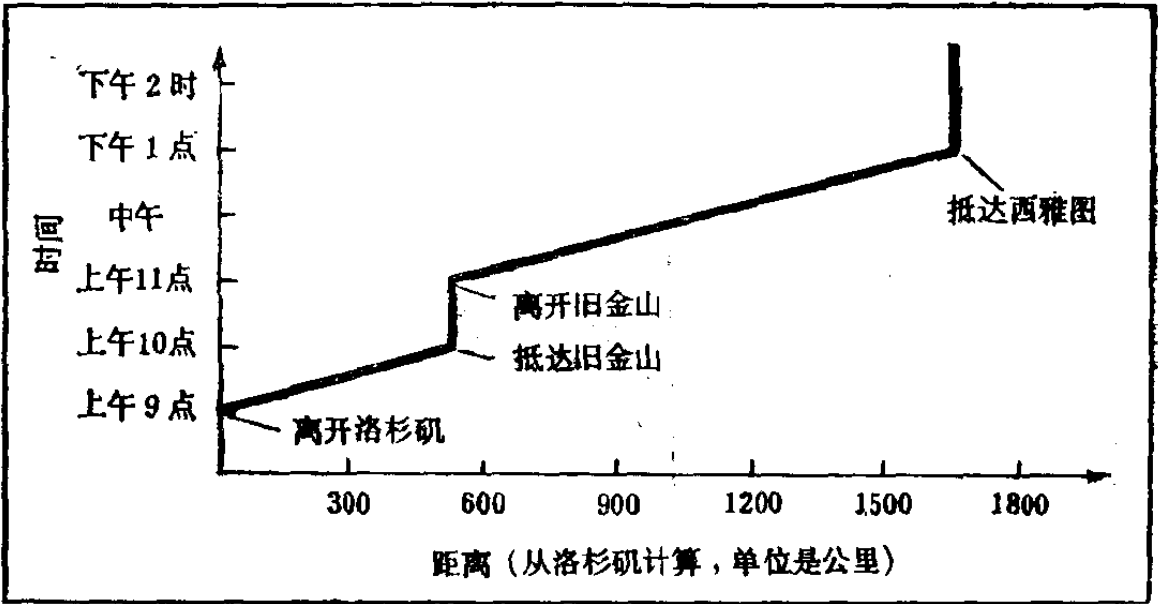


图1-6 时 空 一 例

用二维时空图来描述从洛杉矶到西雅图的飞行，中间在旧金山停留一小时。

图上的横坐标记录你飞行的距离，纵坐标记录你手表的时刻。离开洛杉矶是上午 9 点，10 点抵达旧金山，停留一小时后继续飞往西雅图，下午 1 点抵达目的地。只要知道这些城市的距离，就能很容易地画出这张图。

在两维的时空图中，标着“距离”的坐标轴告诉你位于空间的何处，而标着“时间”的坐标轴则告诉你处于时间的何时。在这种时空图中，你的路径便如图 1-6 所示。如果你停止不动，那么，由于你的空间位置保持不变而时间不断流逝，你的路径在图中便垂直上升。如果你有运动，那么，由于你离开洛杉矶的距离随时间的变化越来越大，你的路径便以一定的角度朝右上方上升。