

时间的计量

翟建成 编著



上海科技教育出版社

时间的计量

程造成 编

上海科技教育出版社出版发行

(上海冠生园路393号)

各地新华书店经销 上海市印刷四厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 7.25 字数 158,000

1991年4月第1版 1991年4月第1次印刷

印数 1—1,000

ISBN 7-5428-0440-5

G·441

定价: 2.35元

前 言

时间是大家所熟悉的。但是，并非所有的人都懂得我们的钟表读数总是与太阳的位置有关。随着科学和技术的进步，时间与多学科息息相关，比如天文学、物理学、电子学以及统计学。同时也对时间的测量精度提出了更高的要求。时间工作要求各国积极的、严密的协作。今天许多国家每天发布的标准时间彼此间最多相差千分之一秒，而大多数时间服务的准确性可高达百万分之几秒！

我国的时间工作具有悠久的历史。早在1963年我国的世界时综合时号改正数就已跃居世界先进水平；1958年起，我国开始研制原子钟，先后制成各种实用的原子频标，并建立了以原子钟为基础的原子时尺度，参加了国际合作。

时间工作是比较复杂和深奥的。尽管已有一些关于时间的科学专著和普及读物，但它们只是介绍时间的某一方面的特征。编者认为能有一本兼顾专业工作者和广大爱好者的书，来对时间和频率、时间与各学科之间的关系、时间服务以及时间应用等方面作广泛的叙述是很有必要的。当然，这本书主要是对“外行人”写的，它对时间、守时以及时间信息的应用，特别是在科学和技术领域内的应用作了介绍。讨论时间和守时而不涉及它的历史和哲学方面是不可能的，本书也涉及到一些这样的内容。

因为时间涉及许多领域，因而编者在描述定义和术语的语言上可能不够“科学”，专业工作者会看到有些用语对他们

的专门领域来说可能有点“陌生”。但是这种折中在一本面向一般读者的书中也许是必要的。

本书是以 J. Jespersen 和 J. Fitz-Randolph 所著的 *From Sundials to Atomic Clocks* 为主要参考编写而成的，编者保留了该书中比较好的部分，同时更改和补充了某些新的内容。编写这本书仅是一种尝试，希望读者，特别是不熟悉这方面内容的读者能从中得到自己所需要的知识。由于编者水平有限，错误和不妥之处难免，恳请读者指正。

本书在编写过程中，得到上海天文台赵君亮同志的具体帮助与支持，对本书提出了宝贵的意见，在此表示感谢。

编者

1989. 12

目 录

第一章 时间之谜	1
第一节 时间之谜	1
一、时间的本质	2
二、时间是什么	3
三、时刻, 时间间隔和时间同步	4
四、古代的“钟表”	5
五、自然界的钟	5
六、跟踪太阳和月亮	6
七、有关时间的大数和小数	7
第二节 一切都在转动或振动	10
一、由频率得到时间	13
二、什么是钟	15
三、地球—太阳钟	16
四、计量时间的标准	18
五、时间如何指示我们在地球上的位置	19
六、制造一台不会“晕船”的钟	22
第二章 人造钟表	25
第一节 早期的人造钟	25
一、最古老的计时器——圭表	25
二、日晷	26
三、水钟和砂钟	27
四、从水钟到机械钟	28
五、机械钟	32
(一) 摆 钟	33

(二) 平衡轮钟	34
(三) 精益求精	35
六、探索更好的钟	35
第二节 表征质量好坏的“Q”值	37
一、共振曲线	39
二、能量积累和共振曲线	40
三、共振曲线和“衰减”时间	43
四、准确度, 稳定度和Q值	44
(一) 高Q值和准确度	45
(二) 高Q值和稳定度	45
(三) 过一段时间后来确定时间	45
五、把Q值提高到极限	47
第三节 制造更好的钟	48
一、石英钟	49
二、原子钟	52
(一) 态选择	54
(二) 原子的探测	56
(三) 原子钟的构成	56
第四节 实用的原子钟	57
一、氨分子钟	57
二、铯原子钟	60
(一) 40万年误差一秒钟	63
(二) 秒的原子定义	63
三、铷原子钟	64
四、氢原子脉泽钟	65
五、我们能否不断地造出越来越好的钟呢	67
第五节 街上行人使用的“正确时间”	68
一、最早的表	69
二、现代的机械表	71

三、电子表	72
四、石英表	73
五、时间的价格	74
第三章 测时和守时	78
第一节 时间标度	78
一、日历	78
(一) 太阳日	81
(二) 恒星日	82
(三) 地球自转	83
二、更均匀的时间——历书时	86
三、一秒钟有多长	87
(一) “弹性”秒	87
(二) 原子时和原子秒	89
(三) 新的 UTC 系统和闰秒	91
四、年的长度	93
五、守时机构	94
(一) 中国的守时机构	95
(二) 国际时间局 (BIH)	96
第二节 钟后面有钟	97
一、准确度	99
二、覆盖面	102
三、可靠性	102
四、其他的一些因素	103
第三节 时间信号的传播	104
一、无线电频段及发播特征	105
(一) 甚低频 (VLF)——3~30 kHz	105
(二) 低频 (LF) ——30~300 kHz	106
(三) 中频 (MF) ——300 kHz~3 MHz	107
(四) 高频 (HF) ——3.0~30 MHz	107

(五) 甚高频(VHF)——30~300 MHz	108
(六) 300 MHz 以上的频率	109
二、时间的传递和同步技术	109
(一) 地面时、频传递系统	110
(二) 卫星定时	113
(三) 空间定时实验的新技术	114
三、一种新的授时技术	117
四、噪声	119
第四章 时间的应用	122
第一节 标准时间	122
一、时区和日界线	122
二、夏令时	126
三、作为标准用的时间	128
四、谁关心时间	129
第二节 时间——伟大的组织者	131
一、电力	131
二、现代通讯系统	134
三、运输	137
(一) 无线电信标导航	138
(二) 卫星导航	140
四、时间和频率技术的应用	142
第五章 时间与科学技术	145
第一节 时间与数学	145
一、分析与综合	145
二、把过去和将来分成若干段——微积分学	146
(一) 条件与定则	146
(二) 用微分学得到真理	148
三、牛顿万有引力定律	151
第二节 时间和物理学	153

一、时间是相对的	154
二、时间有方向	157
三、时间测量受到限制	160
四、原子时和引力钟	163
五、时间的方向和自然界的对称性	166
六、维持对称性的斗争	166
第三节 时间和天文学	170
一、测量宇宙的年龄	170
二、膨胀的宇宙——时间等于距离	170
三、大爆炸还是稳恒态	172
四、恒星钟	172
五、白矮星	174
六、中子星	174
七、黑洞——时间终于停止	176
八、时间、距离和射电星	177
第四节 钟表机制与反馈系统	181
一、开路系统	181
二、闭路系统	182
(一) 响应时间	183
(二) 系统的放大倍数或增益	183
(三) 识别信号	185
(四) 傅立叶的“结构玩具”	185
(五) 发现信号	188
三、选择控制系统	190
第五节 作为信息的时间	191
一、三种时间信息	192
二、时间信息的长和短	194
三、地质学时间	195
四、时间和位置信息相互变换	197

五、时间作为储存信息	197
六、频率和时间信息的质量	199
第六节 时间的未来	201
一、利用时间增加空间	202
二、时间和频率信息的批发和零售	204
（一）时间的传播	204
（二）未来的钟——原子的内部节拍器	207
（三）比光更快的粒子	210
三、未来的时间标度	212
（一）标记问题	212
（二）各个历史时期的时间概念	212
四、时间倒底是什么	213

第一章 时间之谜

第一节 时间之谜

它到处存在，但不占空间。

我们能够测量它，但看不见它，摸不着它，也不能把它放在任何容器里。

每个人都知道它是什么，并且每天都在使用它，但从来没有人能够定义它。

我们能够花费它、节省它、浪费它或消磨它，但是我们不能消灭它或改变它；并且它从不多一点或少一点。

它永远流逝，执拗向前。



图 1-1

上述这些都是关于时间的叙述。那么，时间究竟是什么

么？

一、时间的本质

时间在许多数学公式和物理函数中是一个必要的参量。它与长度、温度、质量一起，共同成为四个基本物理量。不过，时间与质量、温度、长度有所不同，例如：

(a) 我们能够用眼来估计物体的距离，我们也能够用手来比较物体的轻与重、冷与暖，但是不可能由任何感觉器官来领悟时间。我们看不见时间，感觉不到时间，摸不着时间，也嗅不到或尝不出时间。我们只能通过意识，或通过观测它的效应来知道时间。

(b) 时间“在走”，并且它只沿一个方向运动。我们能够从北京到上海或从上海到北京沿任何一个方向运动。我们也能够称一称一亩地产多少粮食，可以从任何一点开始，并随着下一次测量而知道增加多少。但是，我们在考虑时间时，我们想的总是“现在”，“现在”以前或“现在”以后，而不可能站在过去或将来的立场上来做现在要做的事。见图 1-2。

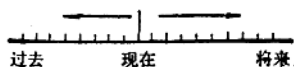


图 1-2

(c) “现在”是不断变化的。我们可以买一把尺子，或重为一克的一个物体，或一支温度表，可以把它收藏在抽屉里或柜里，什么时间

想用它，即可拿出来用。我们可以在使用它们以后一天或一星期，甚至几年，不再管它，而当我们拿出它来时，就像我们当初收藏它时一样有用。但是，一台钟——时间的“计量器”，只有当它保持“运转”时才有用。如果我们把它收藏在抽屉里不管它，它就会停下来，成为无用之物。除非你再启动它并用其他的钟“重新加以校对”。

(d) 我们可以写一张明信片给朋友，问问他的高尔夫球棒有多长，或者他的棒球有多重。而他送回的明信片会给我们有用的信息。但是如果我们写信问他是什么时间，他肯定会感到束手无策。很明显，把它写在明信片上之前，他的信息已经不再有用。见图 1-3。

时间的这种转瞬即逝和不稳定的性质，使得时间的测量比起长度、温度或质量的测量来要复杂得多。

二、时间是什么

时间是一个能够用机械钟、电钟或其他物理性质的钟来加以观察和测量的物理量。至于它的定义，各词典的说法不尽相同。

• 时间——一种非空间连续性，其中从过去到现在再到将来一个接着一个事件的发生显然是不可逆的。为了量度这个连续性上分开的两点的间隔，必须选择一种有规律的重复出现的事件，比如日出，然后再计算在这个间隔中事件重复出现的次数。

——美国通用词典

• 时间——①周期，在这期间，一个动作或过程是连续的；测得的或可以测量的一段时间……。②由钟或日历指定或固定的某一确定瞬间，小时，日或年。

——Webster 高级字典

• 时间——①物质存在的一种客观形式，由过去、现在、将来构成的连续不断的系统。是物质的运动、变化的持续性的表现。②有起点和终点的一段期间：地球自转一周的时间

亲爱的朋友：

回答您的问题

1. 我们高尔夫球棒长102厘米
2. 我的棒球重 6 公斤
3. 时间下午 2 点 34 分

图 1-3

是二十四小时。③时间里的某一点：现在的时间是三点十五分。

——现代汉语词典

上面使用的同一个单词“时间”，实际上表示了两个有区别的概念。第一个是，一个事件发生的时刻或什么时候发生。第二个是两个事件之间的时间间隔或时间“长度”。这种区别是很重要的，它是时间计量中所涉及的一些问题的基础。我们将用大量的篇幅来对它进行讨论。

三、时刻，时间间隔和时间同步

确定某个事件发生的时刻，我们所用的方法是，由某个公认的起点开始，记录周期性事件（比如太阳出现在天空，或地球绕着太阳运动）的周期数，加上不到一个周期的小数部分。一个事件的时刻可能是1987年2月15日14时35分26.32秒；在一个24小时为周期的钟上，第22个小时是晚上10点钟。

时间间隔可能与特定的时刻有关，也可能不是这样。例如，一个人在给比赛跑道上的赛马计时，他所关心的是马离开闸门和它到达终点线之间的分钟数、秒数以及秒的小数部分。而时刻则是指某事件发生的特定瞬间，例如，马离开闸门的一瞬间或到达终点线的一瞬间。

时间间隔对于同步是至关重要的。它在文字上的意义是“一起定时”。分开几公里的两支军队打算在不同方向同时给敌人以出其不意的攻击，因此，在分开之前，两支军队的指挥员要事先使他们的手表同步。两个想彼此通讯的人可能对他们通讯的时刻，甚至对他们的通讯持续多久并不特别感兴趣，但是，如果他们的设备不精确同步，他们的信息就会混淆。许多先进的电子通讯系统、导航系统以及建设中的飞机防碰系

统可能与精确的时刻关系不大，但是它们必须特别准确地同步。

使两个或多个时间计量设备同步，使它们一起准确地测量时间间隔，并使精度达到1毫秒或1微秒的问题，对电子技术提出了有力的挑战。见图1-4。



图 1-4



图 1-5

四、古代的“钟表”

在许多古代文明的遗迹中，最引人入胜的便是计时设备。巨石建筑物，比如英国南部的巨石阵(图1-5)，以及爱尔兰首都都柏林附近有4000年历史的古墓地，一直吸引着人类学家和考古学家。它们已被证实是观测天体运动的一些观象台，原始的钟表。

五、自然界的钟

太阳、月亮和星星的运动是容易观测到的，并且这种运动已是众所周知。当然任何时候在我们周围（甚至我们自己体内）还存在着无数种其他有规律的周期性运动。生物学家、植物学家以及其他生命科学家研究了许多“天然”钟，这种钟调

节着生命的基本过程——动物妊娠,粮食的成熟周期,鸟类和鱼类的定期移栖,心脏跳动和呼吸的节律,雌性动物的生育周期。有关这些“生物时间”,科学家已写出了许多著作。但这些基本过程人们还没有完全弄清楚。

地质学家知道某些很长的地质时期,周期可长达几千年至百万年,他们称这种周期为“地质时间”。而物理学家已经很准确地证实了各种原子,例如碳14的衰变率,他们可以很有把握地说出任何包含有碳14的物质的年龄大小。这包括任何从前曾一度生机勃勃的东西,比如一位国王的木乃伊,或在哥伦布时代之前农民的一具尸体。见图1-6。

六、跟踪太阳和月亮

几千年来,由地球和太阳所构成的“钟”每日都在调节人类的日常活动、原始人类的“日出而作,日落而息”就是按照这个钟的安排进行的。当然,那时人们在中午前后休息,吃饭,而无

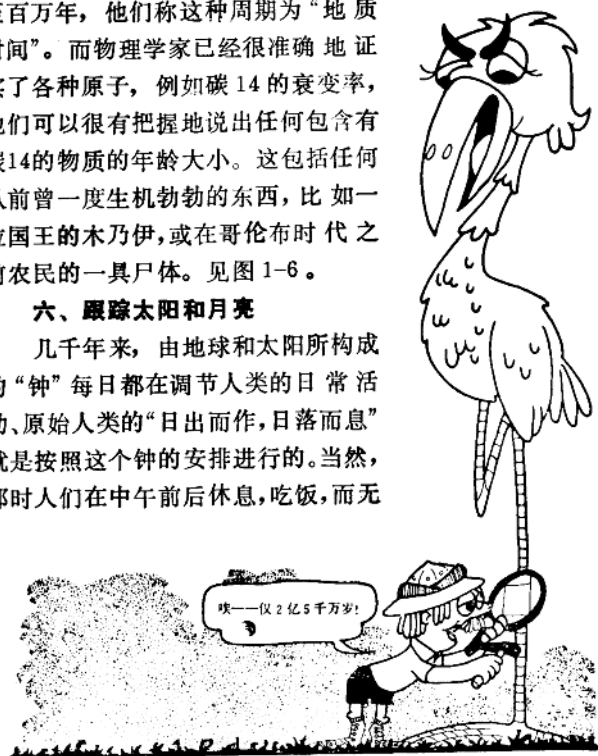


图 1-6

需知道比这更准确的时间。

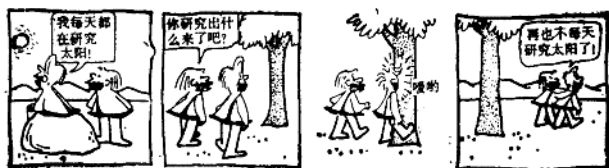


图 1-7

如果我们用重复出现的事件的周期来表示时间，那么守时就是对这些周期进行计数的一种方式。首先，最简单和最容易想到的是一天。一天，就是从一次日出到下一次日出；或者是从这个中午到下一个中午。然而，从中午到中午的“时间”总是相同的，而两次日出时刻的变化则随季节的变化要明显得多。

我们可以用很简单的装置，比如插在沙石中的一根棍子，甚至人自己的影子来记录时间。当影子指向正北时（如果是在北半球），也就是当影子最短时，太阳位于最高点，这时就是正午。做一些永久性的或半永久性的标记，就可以不断地记录天数。使用再先进一点的设备还可以计算满月数（月份数），以及地球绕太阳的公转数，也就是年数。

假如这些周期互相能整除的话，那就方便多了，但情况并非如此。地球绕太阳要用 $365\frac{1}{4}$ 天才能完成它的一整圈的旅程；而月亮在 364 天内绕地球转 13 圈。这种情况给早期的天文学家、数学家和日历编制者的工作带来了许多令人烦恼的问题。

七、有关时间的大数和小数

有些科学家，比如地质学家和古生物学家，是用几千年和