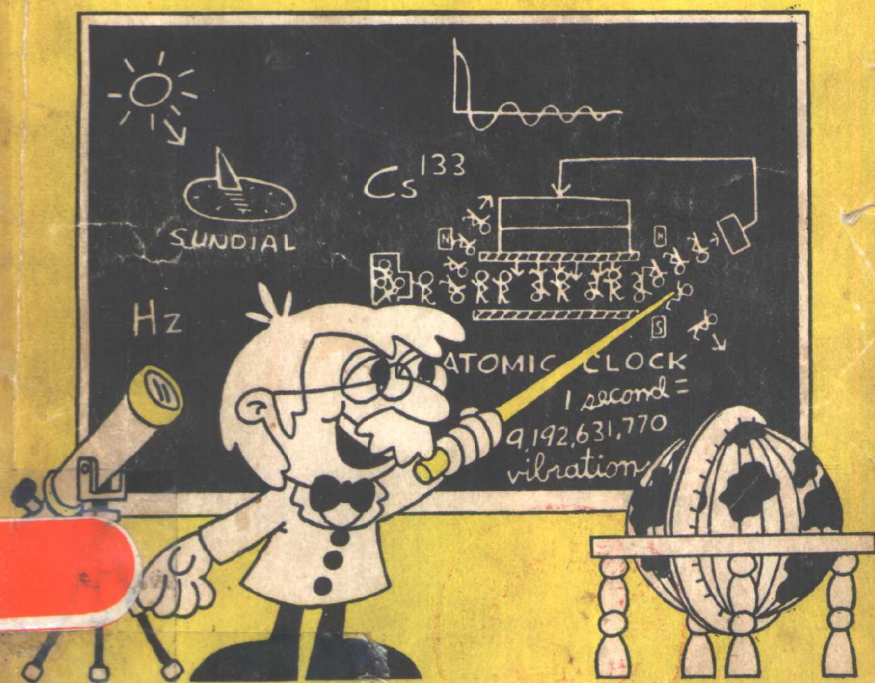


[美] 詹姆斯·杰斯帕森 简·菲茨-伦道夫

曹稳盛 译
郭裕民 邵文浩 校

时间之谜

——从日规到原子钟



时间之谜
从日规到原子钟

计量出版社

16766

P19
4444

时间之谜—— 从日规到原子钟

〔美〕 詹姆斯·杰斯珀森 著
简·菲茨-伦道夫

曾稳盛 译

郑裕民、邵文浩 校

计 量 出 版 社

1984·北京

内 容 提 要

本书是揭示时间之谜、介绍时间这门学科全貌的普及读物。书中叙述了从日规到原子钟的计时技术发展史，阐明了时间、频率在日常生活中的和在通讯、导航、空中防撞、大地测量、科学研究等方面的重要应用，同时也阐明了计时技术与科学技术发展的相互关系。内容十分广泛，事例通俗，叙述简明而有趣味性。可供从事时间频率计量的专业人员和卫星观测、通讯导航以及大地测量、地震测报、科学研究工作者阅读。也可供科技管理干部、大中学校师生以及科普工作者阅读。

FROM SUNDIALS TO ATOMIC CLOCKS

Understanding Time and Frequency

by James Jespersen and Jane Fitz-Randolph

U.S. GOVERNMENT PRINTING OFFICE: 1978

时间之谜——从日规到原子钟

〔美〕詹姆斯·杰斯珀森 简·菲茨-伦道夫 著

曾稳盛 译

郑裕民 邵文浩 校

责任编辑 倪伟清

—

计量出版社出版

(北京和平里11区7号)

北京计量印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

—

开本 787×1092 1/32 印张 6 3/8

字数 140千字 印数 1—7,000

1984年4月第一版 1984年4月第一次印刷

统一书号 15210·312

定价 0.86 元

前 言

人们对时间和时间测量非常熟悉，同时又对它感到神秘莫测。一旦讲到钟点的时候，不知为什么大家总是联想到太阳的位置。然而，随着科学技术的发展，这种情况已发生了变化，时间的确定已由太阳的位置转移到一个非常复杂的系统，这个系统涉及到由一些天文学家、物理学家、电子学家和统计学家所作的贡献。因为时间的确定依赖于世界上各个国家积极而又密切的协作，所以它也与国际组织有关。各个国家之间广播的标准时刻，彼此之间的一致性要控制在千分之一秒以内；事实上，其中大多数时间服务部门，把报时准确度控制在几百万分之一秒以内。

美国国家标准局专门致力于时间频率标准的研制和保持工作，它采用先进的科学技术成就，有时甚至是很机密的。当然，在技术刊物上发表的文献，往往是有针对性的，阅读的对象大多数是要求采用先进技术的专业人员。

但是，有一个宿愿长期盘旋在我的脑海里，我希望能出版一本叙述时间的普及读物，供广大读者阅读。对这本书的要求主要有两个方面：第一，它是一本叙述简明而又富有趣味性的读物；第二，希望通过这本书能使非专业人员了解美国国家标准局从事的时间工作。现在，有幸出版这本书，实现了我多年的愿望，这是一本使广大读者了解时间这门学科全貌的普及读物。

美国国家标准局时间频率室主任
詹姆斯·埃·巴恩斯

1977年5月6日

ABL 47/09

目 录

一、时 间 之 谜

第一章 时间之谜	(1)
1. 时间的本质	(2)
2. 时间是什么?	(3)
3. 时刻、时间间隔和时间同步	(4)
4. 古代的守时钟	(5)
5. 自然界的钟	(6)
6. 观测太阳和月球的守时钟	(6)
7. 时间单位的大、小概念	(7)
第二章 万物在运转	(10)
1. 从频率求出时间	(13)
2. 钟是什么?	(14)
3. 地日钟	(15)
4. 测量时间的“尺”	(17)
5. 标准是什么?	(17)
6. 如何靠时间来确定我们所处的位置?	(18)
7. 制造不会迷失方向的钟	(21)

二、人 造 钟 与 表

第三章 早期的人造钟与表	(24)
1. 沙漏与滴漏	(25)
2. 机械钟	(26)
3. 摆钟	(27)
4. 摆轮钟	(28)
5. 钟的进一步改进	(28)

6. 探索更好的钟	(29)
第四章 品质因素“Q”	(31)
1. 谐振曲线	(32)
2. Q 的另一含义——能量积聚与谐振曲线	(33)
3. 谐振曲线与衰减时间	(35)
4. 准确度、稳定性和 Q	(36)
(1) 高 Q 与准确度	(37)
(2) 高 Q 与稳定性	(37)
(3) 待求出时间	(37)
5. Q 提高的极限	(38)
第五章 建造更好的钟	(40)
1. 石英钟—— $Q = 10^5 \sim 10^6$	(40)
2. 原子钟—— $Q = 10^5 \sim 10^9$	(42)
(1) 氦谐振器—— $Q = 10^5 \sim 10^6$	(44)
(2) 铯谐振器—— $Q = 10^7 \sim 10^8$	(46)
(3) 铷谐振器—— $Q = 10^7$	(50)
(4) 氢脉泽—— $Q = 10^9$	(51)
3. 建造更好的钟有限度吗?	(53)
第六章 保证人们活动的“正确时间”	(54)
1. 第一代手表	(54)
2. 现代机械表	(56)
3. 电气手表和电子手表	(58)
4. 石英晶体表	(58)
5. “时间”值多少钱?	(59)

三、时间的测定与守时

第七章 时标	(63)
1. 日历	(63)
(1) 太阳日	(65)
(2) 恒星日	(66)

(3) 地球的自转	(67)
2. 探索更均匀的时间——历书时	(70)
3. 一秒有多长?	(70)
(1) “橡皮”秒	(71)
(2) 原子时与原子秒	(72)
(3) 新的协调世界时与闰秒	(73)
4. 年的长度	(74)
5. 精密计时机构	(75)
(1) 美国的计时机构	(76)
(2) 国际时间局	(77)
第八章 钟后面的钟	(78)
1. 飞行钟	(79)
2. 用无线电波传播时间信号	(79)
(1) 准确度	(82)
(2) 覆盖范围	(83)
(3) 可靠性	(84)
(4) 其它方面的问题	(85)
3. 其它的无线电方案	(85)
第九章 时间信号的传播	(86)
1. 无线电频率的选择	(86)
(1) 甚低频——3~30千赫兹	(87)
(2) 低频——30~300千赫兹	(88)
(3) 中频——300千赫兹~3兆赫兹	(89)
(4) 高频——3~30兆赫兹	(89)
(5) 甚高频——30~300兆赫兹	(90)
(6) 300兆赫兹以上的频率	(91)
2. 噪声——加法噪声与乘法噪声	(91)
3. 三种时间信号	(93)

四、时间的使用

第十章 标准时间	(96)
1. 标准时区与夏令时间	(96)
2. 时间作为一个标准	(101)
3. 一秒是真正的一秒吗?	(103)
4. 谁对时间最重视?	(104)
第十一章 时间,伟大的组织者	(106)
1. 电力	(106)
2. 现代通讯系统	(109)
3. 运输	(112)
(1) 无线电信标导航	(113)
(2) 卫星导航	(115)
4. 时间、频率技术的一般与特殊应用	(116)

五、时间、科学与技术

第十二章 时间与数学	(121)
1. 分散与合并	(121)
2. 微积分——把过去和未来分开	(122)
(1) 条件与法则	(123)
(2) 用微分学掌握真理	(125)
(3) 微分机里是什么? ——微积分学的一个侧面	(128)
3. 牛顿的重力定律	(131)
第十三章 时间与物理学	(132)
1. 时间是相对的	(133)
2. 时间有方向	(136)
3. 时间测量的限制	(138)
4. 原子钟与重力钟	(141)
5. 时间的方向性与自然界的对称性	(143)
6. 保持对称性的斗争	(144)

第十四章 时间与天文学	(148)
1. 宇宙年龄的测量	(149)
(1) 膨胀的宇宙——时间等于距离	(149)
(2) 大爆炸还是静止状态?	(150)
2. 恒星钟	(151)
(1) 白矮星	(152)
(2) 中子星	(153)
(3) 黑洞——时间会停止	(154)
3. 时间、距离、射电星	(156)
第十五章 时钟机构与反馈	(160)
1. 开环系统	(160)
2. 闭环系统	(161)
(1) 响应时间	(162)
(2) 系统放大倍数或增益	(162)
(3) 信号的识别	(164)
(4) 傅里叶的“积木游戏”	(164)
(5) 信号的获得	(167)
3. 控制系统的选择	(169)
第十六章 时间信息	(170)
1. 再谈三种时间信息	(170)
2. 时间信息——短与长	(172)
3. 地质时间	(173)
4. 时间与位置信息的转换	(174)
5. 时间与信息贮存	(175)
6. 频率与时间信息的质量	(177)
第十七章 时间的未来	(179)
1. 用时间来增加空间	(179)
2. 时间与频率信息——批发与零售	(181)
(1) 时间发播	(182)
(2) 未来的钟——原子的内部节拍器	(184)

(3) 比光速还快的粒子	(186)
3. 未来的时标	(188)
(1) 标号问题——一秒就是一秒	(189)
(2) 时间究竟是什么?	(189)

一、时间之谜

第一章 时间之谜

它无处不有，但不占有空间。（三维空间）

它可以计量，但看不见、摸不着。人们既离不开它，又逮不住它。

人人都了解它，天天使用它，但都解释不了它。

有人珍惜地度过它，有人却漫不经心地浪费它，但谁也不能消灭它，改变它。它永远不会多也不会少。

人们就是这样形容时间的，怪不得象牛顿、笛卡儿、爱因斯坦这样一些伟大的科学家花了那么多时间，那么大的精



力来研究、思考，论证并试图给时间下个确切的定义，却一直得不到满意的答案。今天的科学家也没有取得更好的进展。时间之谜继续向人们提出了挑战，继续使人迷惑不解。连最讲究实效的物理学家，只要他一寻求这些使人难以捉摸

的时间概念，就会不自觉地陷入学究式的，甚至是形而上学的困境。

对于已有的许多时间论述，要么是带有学究气的，要么是带有哲学性质的，但时间在我们日常生活中充满着活力和实用的价值。本书将从实用的角度来探讨时间的概念。

1. 时间的本质

时间是许多数学公式和物理函数中的一个不可缺少的成分。它是导出大多数物理单位制的几个基本量之一，其它几个基本量是长度、温度和质量。然而，时间在某些方面与长度、质量或温度又有所不同。例如：

我们能辨别距离，感觉到重量和温度，但是人体的任何感官都不能感知时间。我们见不到它，听不到它，嗅不到它，也尝不到它，而只能通过意识，或者通过观测它的效应来理解它。

时间在“流逝”，它只能以一个方向运动。我们可以从纽约旅行到旧金山，或者从旧金山到纽约，两个方向都可以进行。我们也可以在称量地里的谷物时，从任何一点开始，再接着称量任何其它各点。但是当我们考虑时间的时候，即使是最笼统的方法也要按过去、现在和将来这样的顺序来考虑。我们现在不能做过去的事情，亦不能做未来的事情，只能做“现在”的事情。

“现在”总在变化着。我们可以买一把直尺、一个砝码、或者买一支温度计，将它放在抽屉里，或放在箱子里，什么时候想用它都可以取出来。如果忘记了，即使一天、一个星期，甚至搁置十年不用，再拿来使用，仍一样有效。但是一个“钟”，即一把测量时间的尺，只能在保持“走动”时才有效，如果把它放在抽屉里，把它忘记了，它停了，那么它

指示的时间就没有用处了，除非把它重新开动起来，而且还需要用别的钟所提供的信息来重新调整它。

我们可以写封信给朋友，问他的高尔夫球棍有多长，滚木球有多重？他也可以明确地回信答复你。但是如果我们写信问他现在是几点钟，他会感到很难办，显然，当他把时间写下来时，这信息已经不中用了，没有价值了。

时间的这种转瞬即逝不能固定的性质，使得对它的测量比测量长度、质量或温度更为复杂。

2. 时间是什么？

时间是一种能用机械钟、电钟或其它物理性质的钟来观察或测量的物理量。在有些辞典中，曾讲过时间的这些性质：

时间，是一个非空间的连续统一体。发生在这个连续统一体内的事件，从过去、现在到将来，明显地具有不可逆和连续的特性。要区分或识别发生在这个连续体内两个点的事件，从本质上说，只能依靠选择一些有规律的周期性事件，例如太阳的出没，即记录太阳在某一持续间隔内重复出现的次数。

——美国世袭辞典

时间，1. 是一个动作或一个过程等所持续时期的延续；是已经测量或可以测量的持续量，……7. 是用钟或日历来指示或决定的一个确定的时刻、小时、日或年。

——韦氏新大学生辞典

在关于时间的约定方面，至少要碰到某些困难，这是由于使用“时间”这样一个单词来表述两层不同的概念所造成的。第一个概念是事件出现的“时刻”或“时候”。第二个概念是“时间间隔”或两个事件间的时间“长度”。二者的

区别是重要的，是有关“时间测量”问题的基础，我们将对此作充分的论述。

3. 时刻、时间间隔和时间同步

以某个约定为起点，计算诸如象太阳在天空中出现，或地球环绕太阳旋转这样的周期运动的周期数或周期的分数，就能获得事件发生的时刻。例如，某事件可能出现在1976年2月13日14时35分37.27秒，而在24小时制中的14点即为下午2点钟。

在美国有关宇航、卫星跟踪和地质学的文献中，经常出现“时期”这个词汇，它有时与“时刻”具有相同的涵义。但是，“时期”这个词，有着比较模棱两可的涵义，因此我们宁可采用“时刻”一词。它的含义精确，既不模糊，又不会与别的意义相抵触。因此它是一个比较通用的词。

“时间间隔”一词与特定的时刻可能有关，也可能无关。例如，对赛马进行计时的人，他所关心的是马离开棚门的瞬间和到达终点的瞬间之间的分、秒和小数秒。只有当在某日某时必需有一匹专供比赛的马时，才对时刻关心。

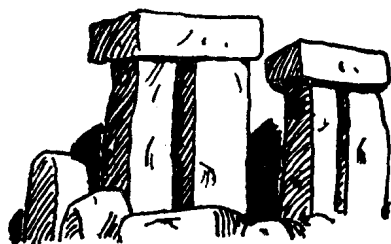
“时间同步”对时间间隔来说是极其重要的。时间同步按字面上的含义是“一起计时”。例如，有两队士兵，布置在相距几公里的地方，以相反的两个方向于同一瞬间奇袭夹击敌人。当两队士兵分手之时，对一下他们的手表。双方进行通讯联络的通讯员可能不会关心他们的通讯时刻，甚至也不关心他们的通信时间持续多久。然而，他们的通讯设备必须精密地保持同步，否则他们的信息就被搞乱。许多复杂的电子通讯系统、导航系统和飞行器防撞系统等对准确的时刻并不太关心，而是把生存寄托在极为准确的同步上。

为了使两个或几个时间测量装置保持同步，使它们能以

千分之一秒或百万分之一秒的精密程度同时准确地测量时间间隔，对电子技术不断地提出了新的挑战。

4. 古代的守时钟

在古代文化中，最迷人的遗产之一是古代人精心制作的守时装置。象英国南部斯通亨治的石碑建筑和有四千年历史的爱尔兰都柏林附近的约格兰治古墓，几个世纪以来一直吸引着人类学家和考古学家，现已证明它们是观测天体运动的天文台。整个地球上的原始人，早在有文化记载之前几个世纪，就创造了这些原始钟和原始日历。中美洲印地安族的玛雅人和墨西哥印地安族的阿兹台克人，创造了中美洲和北美洲的精巧的日历。甚至连今天的科学家都在寻找新的证据，力图证明排列在美国西部平原上的石碑，如美国北怀俄明州上的魔轮，实际上是一些巨大的钟，这些东西过去一直被认



为是为宗教所用。当然，它们亦有宗教方面的意义，例如自然界的周期现象——潮汐的涨落，季节的轮换。这些自然力紧紧地控制着古代人民的生活，也自然地引起人们对它的神秘、畏惧和崇拜之感。

古代人民处处关心天文与时间。它是如此地超越人们的影响和控制；它又是如此古老，比部落中最老的人所能记忆的事情都久；它是永恒的，差不多与人类所认识的客观事物一样永恒。

5. 自然界的钟

太阳、月亮和星星的运动是容易观察到的，只要人们有意识地进行观察。当然，在我们周围或者在我们内部还有数不清的循环运动和其它的有规律运动一直在进行着。生物学家、植物学家以及其它研究生命的科学家们，正在研究（但还没有完全清楚）调节基本生命过程的许许多多“内在”的钟。科学家们从动物的怀孕周期和谷物的成熟期到飞鸟的定期移栖和鱼群的回游；从心脏搏动的规律和呼吸的节奏到雌性动物受精周期的规律，讨论着“生物时间”，并著书立说。

地质学家也认识到地质上巨大的周期运动，每个周期有成千或成百万年，在他们的学术著作中，使用“地质时期”这一术语。科学家已能准确地确定各种元素的原子衰变率，譬如碳¹⁴的衰变率。因此他们就能可靠地说出含碳¹⁴的任何东西和年龄，包括古生物的年龄，例如一块木头，它可能是《圣经》上所说的挪亚方舟；一具古尸，它可能是一个皇帝，也可能是一个古代的美国农民的木乃伊。

6. 观测太阳和月球的守时钟

最早的守时钟——上面所讲的石碑建筑，显然是为了庆祝某个特定的日子而设立的，例如庆祝夏至（仲夏节）。夏至这一天白昼最长，出现在六月廿一或廿二日，到底哪一天，要取决于闰年还是平年。几千年来，地球和太阳所组成的“钟”有效地调节着每天的活动，古代的人民是在日出起床，开始工作，日落时结束一天的劳动，中午休息和吃饭，他们不需要比这更准确的时间。

然而，还有许多节日和有趣的纪念日。人们制定的许多

历法，就是在太阳、月球和季节的周期运动基础上创造出来的。

如果我们按事件有规律的重复周期来考虑时间，那么这种计时方法基本上是计周期数的方法。最简单、最清楚的计算单位是“日”，从一个日出到另一个日出，或者，更为有用的是从一个中午到另一个中午。因为从实用的角度来看，从中午到中午的“时间”总是相同的，而日出的时刻是随季节而变的。

人们可以用非常简单的工具来计算从正午到正午的时间，例如在沙土上插上一根棍棒，或者利用某根柱子或某一棵树，也可以利用你自己的身影。如果你站在北半球，当你的身影指向正北而身影也是最短时，那么这时的太阳就在天顶，正是中午的时候。利用一些永久性的或半永久性的自然物做标记，或者事先在路上放上一些石块或别的东西，你就能计数时间或计白天数。使用稍微复杂些的装置，就能计一个月或几个月，甚至计数地球绕太阳的公转数，即年数。

如果每一个周期都是整齐划一，那倒非常方便，但事实并非如此。地球绕太阳一周需 $365\frac{1}{4}$ 天，在364天中月球约绕地球13圈。这样就给早期的天文学家、数学家或历法家提出了一些需要解决的理论问题。

7. 时间单位的大、小概念

有些科学家，如地质学家和古人类学家，他们是按几千年或几百万年来考虑时间的。在他们的语言中，多几百年或少几百年是不重要的，因为这个数字太小了，小得无法辨认，无法测量。然而，对别的科学家例如设计复杂通讯系统和导航系统的工程师，如果在一年之中有一秒或两秒的变化那是绝不允许的，它会造成各种各样的问题。他们对于时间是按