

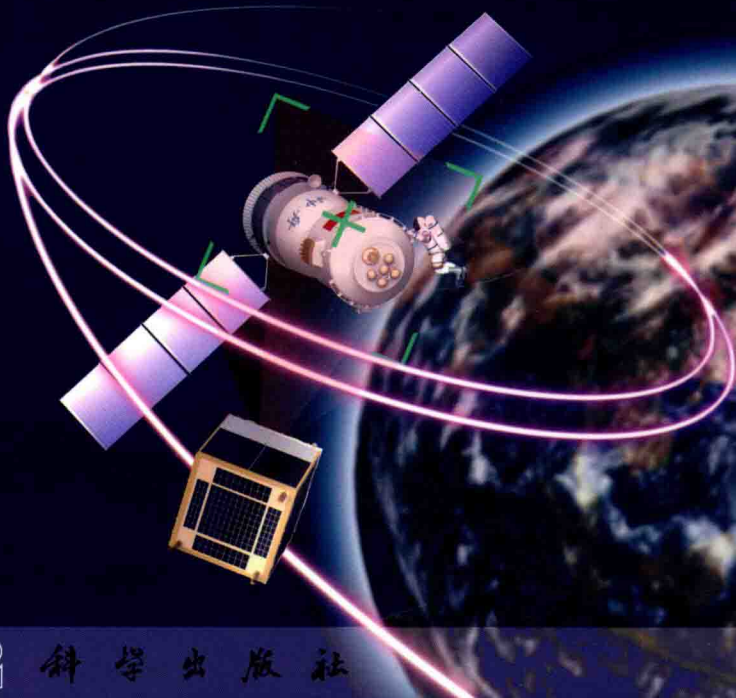
· 空间技术与应用学术著作丛书 ·

微小卫星 轨道工程应用与STK仿真



陈宏宇 吴会英 周美江 齐金玲 著

ORBIT ENGINEERING APPLICATION
AND STK SIMULATION FOR MICROSATELLITE



科学出版社

空间技术与应用学术著作丛书

微小卫星轨道工程应用与 STK 仿真

陈宏宇 吴会英 周美江 齐金玲 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书为卫星轨道设计相关专著,突出理论知识的工程应用,根据作者科研团队多年航天工作经验,从工程实用的角度系统总结了航天任务中常用的轨道知识、设计方法、控制策略及 STK 软件辅助仿真设计的使用细节,并给出大量航天任务实例。本书主要内容包括时间系统、空间系统、卫星绝对轨道运动、星上自主轨道改进与预报、常用轨道类型、轨道设计的工程方法、相对轨道控制相关内容,以及 STK 软件在仿真应用中的大量实例。

本书适合参与航天工程总体设计、轨道设计、导航制导与控制的科研人员,航天器轨道动力学和运动学专业的在读研究生阅读使用。另外,对工程思维方式感兴趣的读者也有很好的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

微小卫星轨道工程应用与 STK 仿真/ 陈宏宇等著. —
北京: 科学出版社, 2016. 7
(空间技术与应用学术著作丛书)
ISBN 978-7-03-049299-9

I. ①微… II. ①陈… III. ①卫星轨道—计算机仿真
IV. ①V412.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 153476 号

责任编辑: 王艳丽
责任印制: 谭宏宇 / 封面设计: 殷 靓

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

南京展望文化发展有限公司排版

苏州越洋印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 7 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2016 年 7 月第一次印刷 印张: 23 1/2 插页: 2

字数: 526 000

定价: 115.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

航天器轨道是人类离开地球这一“摇篮”，探索更远太空的必经之路。航天器轨道动力学与运动学早在牛顿时代就已奠定了理论基础，今天它们依然充满活力，不断产生新的应用需求——空间复杂编队、拉格朗日平衡点、深空借力飞行等，挑战着工程师的聪明才智和创造激情。近年来，随着小型化、智能化、廉价化的微小卫星的涌现，航天任务规模从单星发展为编队，星群，甚至星座。深入研究卫星轨道特性及工程实现方法，特别是研究微小卫星的编队协同轨道控制，成为完成更复杂的航天任务、开发更智能的航天系统的基础和关键，也必将促进航天技术的跨越式发展。

本书的基础研究均来自笔者科研团队十五年来参加的航天科研项目和工程实践，既包括中国载人航天和北斗导航卫星等重大专项工程——“神舟七号伴随卫星”“天宫二号伴随卫星”“中国第二代北斗导航 IGSO/MEO 试验卫星”等，也包括中国科学院知识创新工程、先导项目工程和空间科学预先研究项目——“暗物质粒子探测卫星平台总体设计”“大气-电离层微纳卫星星座方案设计”“磁力测量卫星”“稀薄大气科学实验卫星”等。得益于航天工程的需求牵引，我们能够有一支卫星轨道设计和工程实践的专业科研团队，并将相关研究不断推进深入。参与上述项目研究的同志大都已成为国家多个重要卫星型号的总设计师、主任设计师及科研骨干，为国家航天工程作出了重要贡献。

在多年的工作中我们发现：航天器轨道领域的大部分书籍偏重理论，对工程应用的指导意义不大，个别概念定义的不统一也影响了世界同行间的深入交流；另外，用来辅助仿真验证的 STK 软件的帮助文档不够详尽，没有参数设置的详细解释，非专业人士很难将细分的轨道概念在软件中对号入座，容易发生偏差。为了促进轨道学者和航天爱好者的深入交流，促进航天器轨道学科的工程化应用，我们在参考多家专业书籍的基础上，决心将多年的工程经验以及对该软件的使用心得付诸公开。

本书针对典型的卫星空间任务，深入分析了卫星轨道特性，攻克了轨道设计以及轨道控制的关键技术，给出了卫星轨道设计优化思路和轨控策略的解决途径，并附以仿真方法和结果。作为卫星轨道设计的工程性书籍，本书着力突出工程应用，以具体卫星任务实例为牵引，以复杂理论在工程中合理简化为目的，讲解轨道理论的工程应用方法，

并给出卫星在轨的遥测结果作为佐证。

本书共有 9 章。第 1~2 章简要介绍时间、空间系统的基础概念；第 3~4 章讲述卫星的轨道运动及星上轨道预报方法；第 5~6 章阐述常见轨道类型及卫星轨道设计的工程方法；第 7~9 章从航天器间的相对运动角度阐述相对轨道控制。在大多数章节的最后，会介绍本章部分相关内容的 STK 软件仿真应用，并介绍作者实际工作中的相关经验。

本书第 1、2、7 章由陈宏宇、吴会英编写，第 3 章由吴会英、齐金玲编写，第 4 章由齐金玲、吴会英编写，第 5、6、8、9 章由周美江、吴会英编写。全书由陈宏宇拟定提纲，并通稿整理。

相比国内外研究航天器轨道多年、功底深厚的专家们，笔者的科研团队尚才疏学浅，我们旨在将前辈们在知识大海边拾起的贝壳擦拭鲜亮，并带着我们思考和实践的温度，来装扮更加美好的航天科技家园。书中不妥之处，希望同行专家和读者提出宝贵意见，我们将不胜感激！

本书在写作过程中得到了诸多专家的热心帮助。中国科学院紫金山天文台吴连大老师对文稿提出了诸多修改建议，并对相关知识作了仔细核对；中国科学院上海技术物理研究所的陈桂林院士、上海航天技术研究院的戎鹏志老师以他们多年的航天工作经历，对本书的写作思路作了指导；上海微小卫星工程中心的白艳萍、姜兴龙、斯朝铭，南京航空航天大学 的姬聪云，对书稿的校对工作提供了无私的帮助，笔者在此一并深表谢意。此外，感谢科学出版社为本书提供了出版的机会，感谢出版社王艳丽老师在写作思路、版面规范等方面的专业指导。最后，感谢上海微小卫星工程中心给笔者创造了良好的工作环境，感谢微纳卫星研究所的同事给予的无私帮助。

作 者

2016.5

前言

第 1 章 时间系统	1
1.1 如何定义时间	1
1.2 天文基本概念	3
1.3 世界时系统	4
1.3.1 恒星时	4
1.3.2 太阳时	4
1.3.3 恒星时和平时之间的转换	6
1.3.4 地方时、世界时和区时	6
1.4 历书时	8
1.5 原子时	8
1.6 力学时	9
1.7 时间系统小结	10
1.8 年、历元以及儒略日	12
1.8.1 年的长度	12
1.8.2 历元	13
1.8.3 儒略日与简约儒略日	13
1.9 星上时间系统	13
1.10 STK 软件的时间系统	14
第 2 章 空间系统	16
2.1 大地测量相关坐标系	16
2.1.1 天文坐标系	16
2.1.2 大地椭球坐标系	17
2.1.3 地心直角坐标系	18
2.2 岁差、章动与极移	20

2.2.1	岁差和章动的物理解释	20
2.2.2	岁差和章动的计算过程	22
2.2.3	极移物理解释及其量级	23
2.2.4	极移与岁差章动的区别	24
2.2.5	STK 软件内的岁差、章动、极移	24
2.3	坐标系的转换关系	26
2.3.1	历元平赤道地心系与瞬时平赤道地心系的转换	27
2.3.2	瞬时平赤道地心系与瞬时真赤道地心系的转换	27
2.3.3	瞬时真赤道地心系与瞬时地固坐标系的转换	27
2.3.4	瞬时地固坐标系与地固坐标系的转换	28
2.3.5	轨道坐标系与历元平赤道地心系、地固坐标系之间的转换	28
2.3.6	STK 软件内的坐标系	30
2.4	工程应用实例	31
2.4.1	常用绝对轨道坐标系	31
2.4.2	格林尼治恒星时角	32
2.4.3	惯性与非惯性系转换	34
2.4.4	理论轨道中的地球自转角	36
2.4.5	发惯系到 J2000 系转换	36
第 3 章	绝对轨道运动	45
3.1	二体运动	45
3.1.1	面积积分	45
3.1.2	轨道积分	47
3.1.3	活力积分	50
3.2	轨道根数	51
3.2.1	轨道根数基本定义	51
3.2.2	瞬时根数与平根数	57
3.2.3	TLE 两行根数	60
3.3	轨道摄动分析	63
3.3.1	地球非球形引力	63
3.3.2	大气阻力	67
3.3.3	日月引力	68
3.3.4	潮汐摄动	69
3.3.5	太阳光压	70

3.3.6 摄动小结	71
3.4 根数摄动解	71
3.5 STK 的轨道外推模型	74
3.5.1 轨道外推模型介绍	74
3.5.2 HPOP/Maneuver 模块	79
第4章 星上轨道预报	82
4.1 注入轨道平根数预报	82
4.1.1 注入轨道格式	82
4.1.2 外推方案简化设计	83
4.1.3 仿真与在轨测试结果	88
4.2 星上 GPS 定位轨道预报	94
4.2.1 分析方法轨道预报	94
4.2.2 数值方法轨道预报	101
4.3 定轨和外推误差的分析	114
4.3.1 理论分析	114
4.3.2 实测数据分析	116
第5章 常见轨道类型	121
5.1 地球静止轨道	121
5.1.1 基本定义	121
5.1.2 轨道根数受到的摄动影响	122
5.1.3 轨道根数偏差对星下点轨迹影响	129
5.1.4 位置保持	136
5.2 太阳同步轨道	139
5.2.1 基本定义	139
5.2.2 降交点地方时的漂移和修正	142
5.3 回归轨道	144
5.3.1 基本定义	144
5.3.2 回归轨道的衰减和保持	146
5.4 卫星星座	151
5.4.1 基本定义	151
5.4.2 覆盖性能	152
5.4.3 基本星座介绍	157



5.4.4	STK 中的相关参数	160
第 6 章	卫星轨道设计	182
6.1	轨道设计思路	182
6.1.1	一般方法	182
6.1.2	单星	183
6.1.3	星座	184
6.2	轨道设计实例	186
6.2.1	对地观测卫星轨道设计	186
6.2.2	地磁场测量卫星轨道设计	195
6.2.3	SAR 卫星轨道设计	206
第 7 章	相对轨道运动	229
7.1	相对轨道坐标系	229
7.2	基于运动学的相对运动方程	231
7.2.1	参考航天器为圆轨道	232
7.2.2	参考航天器为椭圆轨道	236
7.3	基于动力学的相对运动方程	237
7.3.1	参考航天器为圆轨道	239
7.3.2	参考航天器为椭圆轨道	243
7.4	相对运动与绝对运动的关系	243
7.4.1	相对与绝对物理参数对应关系	243
7.4.2	相对运动与绝对运动仿真分析	245
7.4.3	初始相对状态对轨道的影响	247
7.4.4	导航和控制误差对轨道的影响	254
7.5	相距较远两航天器的相对运动	262
7.5.1	相距较远两航天器 C-W 方程误差分析	262
7.5.2	相距较远两航天器相对运动模型修正	266
第 8 章	编队构型设计与控制	274
8.1	常用编队构型	274
8.2	编队构型设计	276
8.3	编队构型控制	278
8.3.1	椭圆中心径向位置	279

8.3.2 椭圆中心横向位置	279
8.3.3 相对运动椭圆短半轴	280
8.3.4 相对运动椭圆相位	290
8.3.5 多目标耦合控制优先级	304
第9章 编队构型控制工程实例	308
9.1 任务简介	308
9.2 任务分析	310
9.2.1 远距接近任务目标	311
9.2.2 虚拟伴飞任务目标	314
9.2.3 构型平移任务目标	315
9.2.4 构型保持任务目标	316
9.3 控制过程	316
9.3.1 远距接近控制策略	316
9.3.2 虚拟伴飞控制策略	318
9.3.3 构型平移控制策略	329
9.3.4 构型保持控制策略	334
参考文献	338
附录A 缩略语	340
附录B 天文常数	341
附录C 格林尼治恒星时的推导过程	342
附录D 三阶正交矩阵的分配律	345
D.1 定义和基本性质	345
D.2 三阶正交矩阵的分配律	346
附录E 相对运动椭圆中上下点的寻找方法	348
E.1 原理介绍	348
E.2 仿真结果	350
附录F SAR 卫星采用的 2018 年大气模型参数	353
附录G 回归轨道设计结果	355
附录H 回归轨道与覆盖性	360
彩图	365

自然界的一切物质都是在运动的,从数学的角度讲,描述物体的运动规律离不开其运动状态所对应的时间。正所谓“失之毫厘,谬以千里”,对于在轨道上运动的航天器,1秒钟的差异就会导致几千米的轨道误差。为了准确描述航天器的运动规律,本章首先介绍各种时间系统及其应用,其次介绍卫星工程中常用的时间系统。

本章及第2章涉及大量概念,看似枯燥,但准确的概念是精准地描述这个世界的开始,也是在专业领域“登堂入室”的阶梯。

1.1 如何定义时间

时间的描述需要两个要素:时间起点和时间间隔。凡是周期性运动的现象都可以作为记录时间间隔的计时工具。

古代有以一日内日影长短或方向变化测定时间的“圭表”(图 1.1)和“日晷”

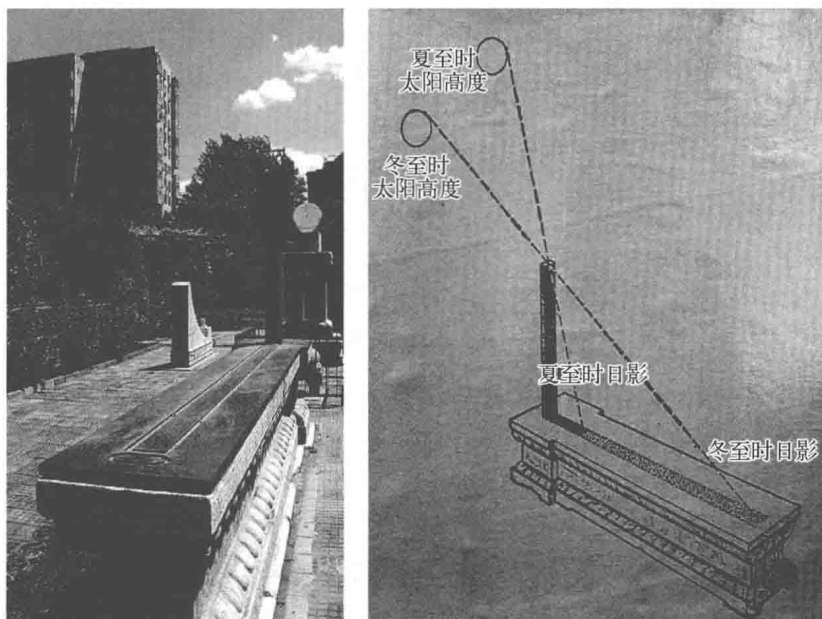


图 1.1 圭表

(图 1.2),也有利用流体力学计时的“铜壶漏刻”或者“沙漏”(图 1.3),甚至还有用燃香计算时间的“火钟”,这些都是周期性运动的现象。

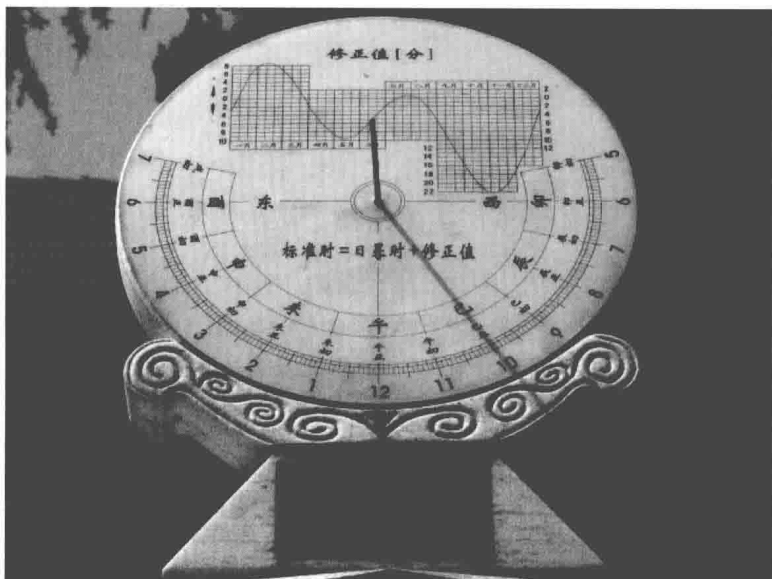


图 1.2 日晷

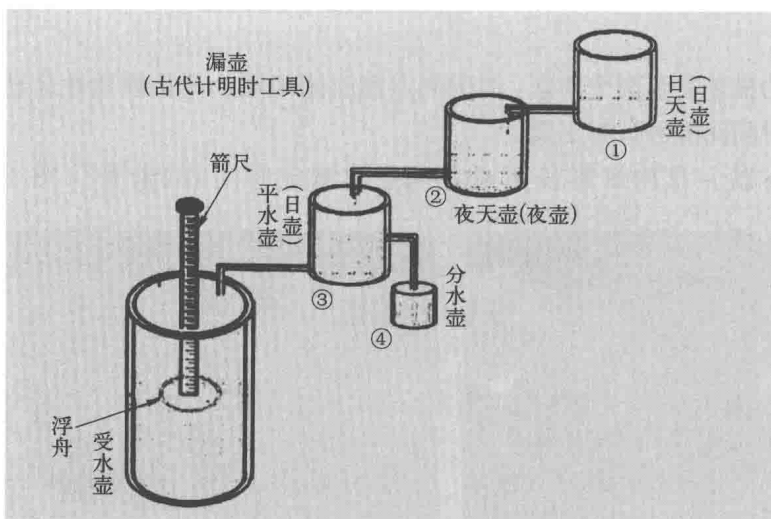


图 1.3 漏刻

近代,人们除了日常生活中使用钟表计时外,科学领域使用了更加准确的计时系统,依据物质运动的不同主要分为四大类:

- (1) 以地球自转为依据的世界时系统;
- (2) 以地球公转为依据的历书时系统;
- (3) 以原子内部电子能级跃迁时电磁波的振荡频率为依据的国际原子时系统;
- (4) 以天体动力学为依据的力学时系统。

本章将对上述四种时间系统以及所需的基本天文概念作简单介绍。

1.2 天文基本概念

人类认知世界是通过人的感知器官,眼睛是人类重要的感知器官之一。最早的地心说即与人类感觉自己在宇宙的中心有关。人通过眼睛观察世界,认为日月星辰以及一切的空间物体都在以观测者自身为中心的球的内壁上,好像是“天球”。

尽管这种“感觉”从客观上说是人的错误认识,但由于运动的相对性,为了描述的方便,在研究空间物体的运动时我们保留了这一视角。

本书用到的基于天球的天文基本概念参考图见图 1.4。

(1) 天球。以空间任意点为中心,以任意长为半径(或把半径看成数学上的无穷大)的圆球称为天球。需要说明的是,下文以观测者眼睛为中心建立天球,在此基础上讨论其他天文基本概念。而实际工程应用时,需要以某一“被围绕天体”的质心(如研究卫星绕地球运动时,选地球质心)为中心建立天球,读者需要自行转换相应的天文知识。

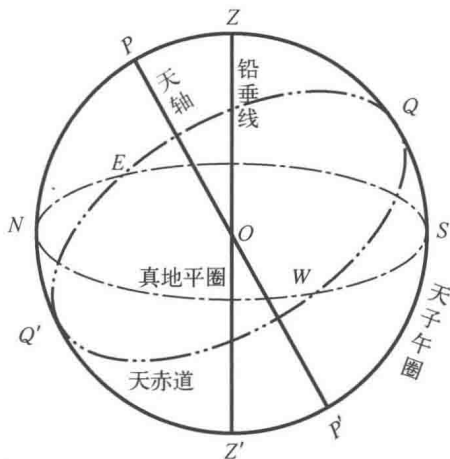


图 1.4 天球上的基本点以及基本圈

(2) 球面上的圆。平面截球面所得的接口为圆,当圆过球心时为大圆,否则为小圆。

(3) 天顶和天底。过天球中心 O (观测者眼睛) 作铅垂线(观测者眼睛所在位置的重力方向,在精度要求不高的情况下,可以认为与参考椭球体法线方向相反,可参见 2.1.3 节,垂线与法线的偏差为垂线偏差,在 $60''$ 量级内),延长线与天球相交于两点天顶 Z (zenith) 与天底 Z' (nadir)。天顶 Z 位于观测者头顶的方向,天底 Z' 位于观测者脚下的方向。

(4) 真地平圈。过天球中心 O 作与直线 ZOZ' 相垂直的平面,与天球相交的大圆为真地平圈,与其垂直的大圆称为地平经圈(垂直圈),与其平行的小圆称为地平纬圈(等高圈)。

(5) 天极和天赤道。过天球中心 O 作与地球自转轴平行的直线 POP' ,称为天轴。天轴与天球相交于北天极 P 和南天极 P' 。过天球中心 O 作与天轴垂直的平面 QOQ' ,称为天赤道平面,实为地球赤道面的延伸。与天赤道垂直的大圆称为赤经圈,也称时圈;与天赤道平行的小圆称为赤纬圈。

(6) 天子午圈、四方点和天卯酉圈。过天顶 Z 、天底 Z' 以及北天极 P 的大圆称为天子午圈 ZPZ' ,天子午圈与真地平圈相交于南点 S 和北点 N 。天赤道 QOQ' 与真地平圈相交于东点 E 和西点 W , E 、 W 、 N 、 S 合称为四方点,即观测者的四个方向点。过天顶 Z 、天底 Z' 以及东点 E 的大圆称为天卯酉圈 ZEZ' 。真地平圈、天子午圈、天卯酉圈两两垂直。

(7) 周日视运动。人们从直观上总觉得所有天体都有东升西落的运动。由于这种运动每天都有规律地重复出现,故称为天体的“周日视运动”。

(8) 中天。天体周日视运动经过测站子午圈的瞬间称为天体的中天。测站子午圈与天

体的周日平行圈(天体在天球上一天的运行轨迹)有两个交点。当天体到达最高位置交点时,称为上中天;当天体到达最低位置交点时,称为下中天。

(9) 黄道和黄极。过天球中心 O 作与地球公转轨道面平行的平面称为黄道面,其与天球的交线称为黄道,过天球中心 O 作垂直于黄道面的直线与天球的交点称为黄极。

(10) 二分与二至。黄道面相对赤道面的升交点称为春分点,黄道上与春分点相距 90° 、 180° 、 270° 的点分别为夏至、秋分以及冬至点。春分点与秋分点称为二分点,夏至点与冬至点称为二至点。

1.3 世界时系统

时间系统以日、时(小时)、分、秒为计量单位,1 日为 24 小时,时、分、秒之间为 60 进制,即 1 小时为 60 分,1 分为 60 秒。此为时间的通用计量单位,并不拘泥于任何时间系统。

1.3.1 恒星时

恒星时为由春分点的周日视运动所确定的时间,将春分点连续两次上中天的时间间隔定义为一个恒星日。恒星时起点为春分点上中天的时刻。恒星时的主要特点为:

(1) 任何瞬间的恒星时正好等于该瞬时上中天恒星的赤经,此时恒星时以角度量表示,在原来以时间为单位的基础上乘以 15。即 1 时秒对应 15 角秒,1 分钟对应 15 角分,1 小时对应 15° 。

(2) 春分点在惯性空间中随岁差和章动不断移动,对应于真春分点的恒星时为真恒星时,对应于平春分点的恒星时为平恒星时(参见第 2.2 节)。

恒星时以角度为单位即恒星时角,主要用于解算世界时以及地固系与惯性系之间的转换,这里不详细展开。

1.3.2 太阳时

1. 真太阳时

太阳视圆面中心称为真太阳。

真太阳时为由真太阳的周日视运动所确定的时间,简称真时或视时。真太阳连续两次上中天的时间间隔定义为一个真太阳日。但为了照顾生活的习惯,实际上把真太阳时的起点定义为真太阳下中天的时刻。

真太阳日长短不一,原因有以下两个方面:

(1) 太阳在黄道上运行速度不均匀。在近地点(冬至前后)运行最快,一个真太阳日较长;在远地点(夏至前后)运行最慢,一个真太阳日较短。

(2) 太阳在黄道上并非赤道上运行。真太阳时角是沿着天赤道的弧长度量的,由于黄

赤交角,即使太阳在黄道上匀速运行,反映在天赤道上的角变化也是不均匀的,如图 1.5 所示。由图 1.5 可见,由于不同纬度圈半径不同, $Bc_1 < bc$, $Cd_1 < cd$, 若取 $Ab = bc = cd$, 由于黄道与任意纬度圈的二面角都为黄赤交角,所以 $AB > BC > CD$ 。依此类推,若 $AB = BC = CD$, 则有 $Ab < bc < cd$, 即真太阳日二分短,二至长。观测表明最长和最短的真太阳日相差 51 s 之多。

综上两个原因,真太阳日是一种包含地球自转和公转的计时系统,但由于其长短不一,不宜作为计时单位。

2. 平太阳时

先引入一个在黄道上匀速运行的假想点 1, 它的运行速度等于太阳周年视运动的平均速度, 这样它与真太阳同时经过近地点和远地点; 再引入一个在赤道上匀速运行的假想点 2, 它的运行速度与假想点 1 相同, 并同时通过春分点。假想点 2 即平太阳, 平太阳在天赤道上的周日视运动是均匀的。

平太阳时为平太阳的周日视运动所确定的时间, 简称平时。平太阳连续两次下中天的时间间隔定义为一个平太阳日。平太阳时的起点为平太阳下中天的时刻。

平太阳时即日常生活中使用的时间(民用时), 本书若不特别说明都是平太阳时系统, “日”和“天”都是“平太阳日”的概念。但平太阳是假想点, 无法直接观测, 必须先通过观测得到恒星时, 再换算成平太阳时。

3. 时差

真太阳是一个在黄道上不均匀运行的真实点, 而平太阳则是一个在赤道上均匀运行的假想点。真太阳确定的真太阳时与平太阳确定的平太阳时之间的差为时差(equation of time, STK 软件中的名称为 EqnOfTime, 详见表 2.5)。时差的变化范围为 -14 分 24 秒 ~ 16 分 21 秒, 一年之中 4 次为 0。用 STK 生成一年的时差曲线如图 1.6 所示。

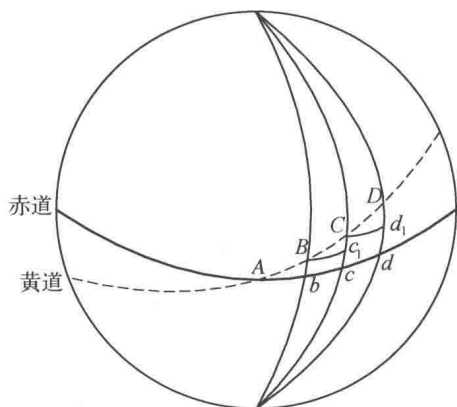


图 1.5 黄道赤道角变化示意图

A 点即为春分点

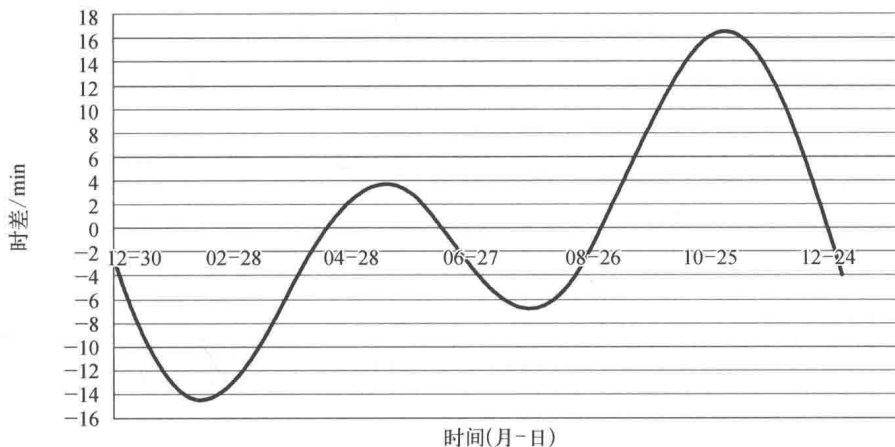


图 1.6 1 Jan 2000 12:00:00.000 UTCG~1 Jan 2001 12:00:00.000 UTCG 时差变化曲线

1.3.3 恒星时和平时之间的转换

恒星时与平时系统的区别在于,恒星时的时间单位为恒星日,平时的时间单位为平太阳日,且二者的时间起算点不同。

平太阳沿赤道作周年运动,连续两次过平春分点的时间间隔为一个回归年。长期观测表明:一个回归年的长度约等于 365.242 2(精确值为 365.242 198 778)平太阳日,366.242 2 恒星日,即在一个回归年内,平太阳上中天 n 次,则平春分点上中天 $n+1$ 次。则有

$$1 \text{ 平太阳日} = \frac{366.242\ 2}{365.242\ 2} \text{ 恒星日} = \left(1 + \frac{1}{365.242\ 2}\right) \text{ 恒星日} = (1 + \mu) \text{ 恒星日} \quad (1.1)$$

其中

$$\mu = \frac{1}{365.242\ 2} = 0.002\ 737\ 909\ 3 \quad (1.2)$$

此外还有

$$\begin{cases} 1 \text{ 恒星日} = 23^{\text{h}}56^{\text{m}}4^{\text{s}}.090\ 53(\text{平时单位}) = 86\ 164.090\ 536\ \text{s}(\text{平时单位}) \\ 1 \text{ 平太阳日} = 24^{\text{h}}3^{\text{m}}56^{\text{s}}.555\ 36(\text{恒星时单位}) = 86\ 636.555\ 36\ \text{s}(\text{恒星时单位}) \end{cases} \quad (1.3)$$

1.3.4 地方时、世界时和区时

1. 地方时

恒星时、真太阳时、平太阳时都是从测站当地子午圈起算的时角,所以不同测站得到的恒星时、真太阳时、平太阳时都不一样,具有地方性,称为地方恒星时、地方真太阳时、地方平太阳时。

同一瞬间两测站的地方时角之差在数值上等于两测站的天文经度(参见 2.1.1 节)之差。

地方时与当地的天文经度直接相关,在研究对地观测卫星的阳照条件时应用广泛,尤其是对于太阳同步轨道的降交点地方时设计(参见 6.2 节)。

2. 世界时

格林尼治(Greenwich)平太阳时(格林尼治地方平时),称为世界时(UT)。通过天文观测直接测定的世界时为 UT0,考虑极移修正的世界时为 UT1,再考虑地球自转速度所引起的季节性变化修正的为 UT2。UT0、UT1 和 UT2 之间的关系见公式(1.4)。

$$\begin{cases} \text{UT1} = \text{UT0} + \Delta\lambda \\ \text{UT2} = \text{UT1} + \Delta T_{\text{s}} = \text{UT0} + \Delta\lambda + \Delta T_{\text{s}} \end{cases} \quad (1.4)$$

近代天文观测发现地球自转存在长期慢变化(由潮汐摩擦造成平太阳日的长度平均每百年增长 0.001 6 s)和季节性变化及一些无法预测的不规则变化,UT2 系统未消除这些影响,仍然是不均匀的。

由于 ΔT_s 较小,而 UT1 又直接与地球瞬时位置相联系,所以对于一般的精度要求用 UT1 作为时间系统即可,而对于高精度的要求,即使 UT2 也不能满足,必须寻求更均匀的时间尺度。

世界时是民用时中重要的一种,对于任意天文经度的地方,地方平时为世界时与当地天文经度(平时单位)的和。

3. 区时

随着人类社会的进步,活动范围越来越广,各地均采用当地的地方时给生活带来诸多不便,因此需要对全世界按照天文经度分区,建立区时。

以格林尼治子午线为中心,从西经 7.5°到东经 7.5°为零时区,从零时区的边界线分别向东和向西每隔经度 15°为一个时区,东十二区与西十二区相重合,全球共划出 24 个时区,各时区都采用中央子午线的地方平时为本区的区时,如图 1.7 所示。

我国均采用东八区的区时,对应东经 120°经线,虽然东八区区时称为北京时间,但并非北京的地方平时(北京的经度为 116°21′30″),东八区区时更接近于杭州的地方时(杭州的经度为 120°9′32.4″)。

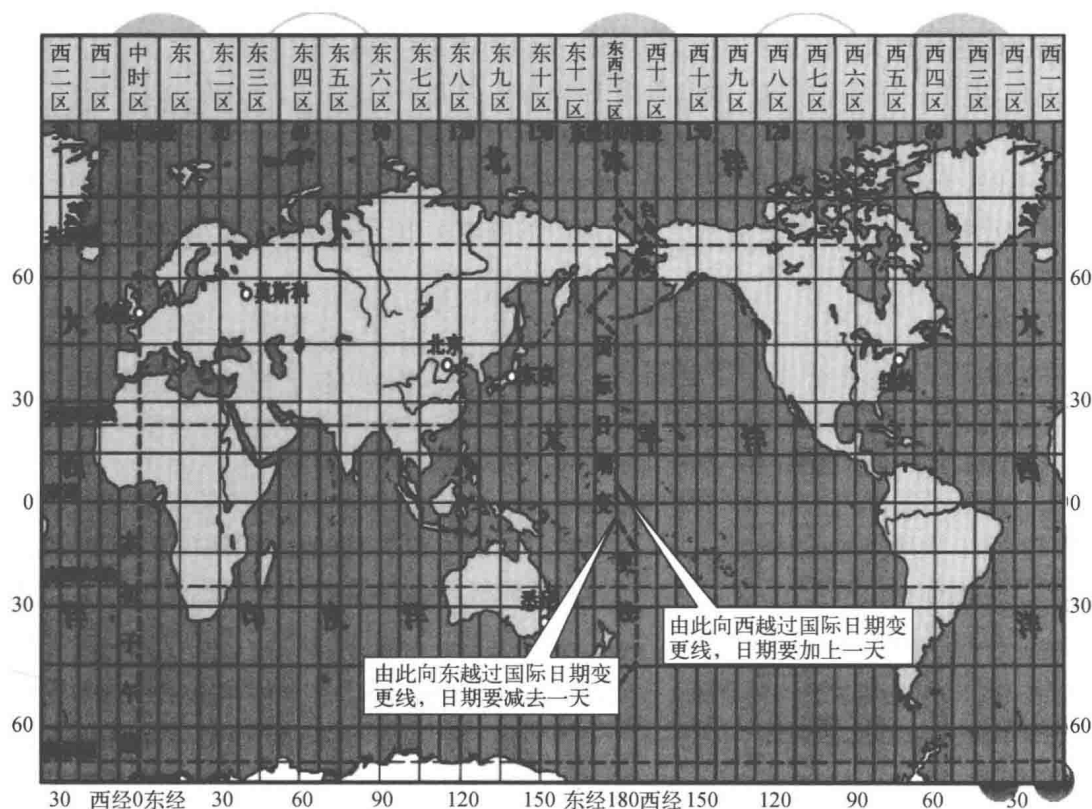


图 1.7 世界区时和国际日期变更线图