

高等学校试用教材

实用天文测量学

姚坤一 王国海

测绘出版社

高等学校试用教材

实用天文测量学

姚 坤 一 王 国 海

测绘出版社

本教材适用于高等学校工程测量专业。

全书共有十二章及一个附录。本书系统性较好，从实际出发，尽量采用我国目前所使用的一些方法，并举有实例，叙述较详尽，便于自学。

高等学校试用教材

实用天文测量学

姚坤一 王国海

*

测绘出版社出版

测绘出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32·印张 10.75·插页 2·字数 276 千字

1985 年 11 月第一版·1985 年 11 月第一次印刷

印数 1—3,600 册·定价 2.30 元

统一书号：15039·新 398

前 言

本书初稿先后由同济大学、中国矿业学院及阜新矿业学院进行试用，根据教学实践的体会，对原稿进行了数次修改和补充而成。全书共有十二章及一个附录，东西星等高法测定表差及太尔各答法测定纬度仅作一般介绍，各种计算用表没有编入。

本书系统性较强，从实际需要出发，尽量采用我国目前所使用的一些方法，并举有实例，叙述详尽，便于自学。

本书教学时数约70~100学时，可供航空、航海、地形、交通、水利、地质勘探、军事工程等测量人员参考。

本书由武汉测绘学院张儒杰副教授主审。经国家测绘局教材编审委员会审定。

由于编者理论水平有限，实践不足，书中难免存在缺点和错误，请读者指正。

编 者

一九八三年十月

目 录

第一章 绪论	(1)
§ 1-1 天文学的定义、研究对象和发展简史	(1)
§ 1-2 天文学的分类	(4)
§ 1-3 实用天文测量学的任务和作用	(6)
第二章 基础知识	(8)
§ 2-1 宇宙	(8)
§ 2-2 恒星的星座、星名、星等及星图	(11)
§ 2-3 天球、开普勒定律、地球的运动	(14)
§ 2-4 月亮的运动	(20)
第三章 坐标系及各坐标系间的关系	(27)
§ 3-1 天球和天球上的基本圈点	(27)
§ 3-2 地理坐标系	(29)
§ 3-3 地平坐标系	(30)
§ 3-4 赤道坐标系	(32)
§ 3-5 黄道坐标系	(35)
§ 3-6 各种坐标系间的关系	(35)
第四章 天体的视运动	(46)
§ 4-1 太阳的周年视运动	(46)
§ 4-2 天体的周日视运动	(47)
§ 4-3 天体中天	(51)
§ 4-4 天体出没	(52)
§ 4-5 天体经过卯酉圈	(53)
§ 4-6 天体大距	(55)
第五章 时、时的各种系统及其换算	(58)
§ 5-1 时间及其量度的基本概念	(58)
§ 5-2 恒星日、恒星时系统	(59)

§ 5-3	太阳日、太阳时系统	(62)
§ 5-4	地方时与经度的关系, 区时、世界时	(67)
§ 5-5	国际上常用的几种时间系统	(72)
§ 5-6	天文年历与内插法	(77)
§ 5-7	地方平时、区时与世界时、力学时、视时的换算	(80)
§ 5-8	地方平时与恒星时的换算	(83)
§ 5-9	月、年、历法	(95)
第六章	蒙气差、光行差、视差	(103)
§ 6-1	蒙气差改正	(103)
§ 6-2	光行差、周日光行差、周年光行差	(110)
§ 6-3	视差、周日视差、周年视差与太阳半径改正	(116)
第七章	岁差、章动、恒星自行和极移	(123)
§ 7-1	岁差	(123)
§ 7-2	章动	(128)
§ 7-3	恒星自行	(130)
§ 7-4	极移	(132)
第八章	无线电时号、表差和表速	(136)
§ 8-1	无线电时号	(136)
§ 8-2	无线电时号的收录与归算	(144)
§ 8-3	开表、表差、表速	(152)
第九章	纬度的测定	(159)
§ 9-1	纬度测定的基本原理	(159)
§ 9-2	观测北极星的天顶距定纬度	(165)
§ 9-3	中天法测定纬度	(172)
§ 9-4	纬度测定的精度分析	(184)
§ 9-5	太尔各特法测定纬度的概念	(187)
第十章	经度的测定	(193)
§ 10-1	经度测定的基本原理	(193)
§ 10-2	恒星高度法测定表差	(197)
§ 10-3	太阳高度法测定表差	(209)
§ 10-4	经度测定的精度分析	(216)
§ 10-5	东西星等高法测定表差的概念	(218)

第十一章	方位角的测定	(225)
§ 11-1	测定方位角的基本原理	(225)
§ 11-2	北极星任意时角法测定方位角	(229)
§ 11-3	太阳高度法测定方位角	(235)
§ 11-4	方位角测定的精度分析	(246)
§ 11-5	恒星中天时角法测定方位角	(253)
§ 11-6	工程精密方位角的测定	(255)
第十二章	多星等高法同时测定经纬度	(265)
§ 12-1	多星等高法同时测定经纬度的基本原理	(265)
§ 12-2	60° 棱镜等高仪的构造原理及其校正	(268)
§ 12-3	多星等高观测星表的编制与选星	(278)
§ 12-4	多星等高的观测工作	(281)
§ 12-5	用解析法计算经纬度	(285)
§ 12-6	用图解法平差计算经纬度	(294)
§ 12-7	多星等高观测的实例	(305)
§ 12-8	多星等高观测的精度分析	(315)
附 录	球面三角的基本公式	(321)

第一章 绪 论

§1-1 天文学的定义、研究对象和发展简史

宇宙中的恒星、行星、卫星、彗星以及星云、星团等天文学上总称为天体。

天文学是研究天体和宇宙的结构与演化的科学。天文学是自然科学中的一个部门，它运用数学、物理学各个分支、力学、光学、无线电电子学、化学等来研究围绕我们的广阔无限的物质宇宙，研究存在于这个物质宇宙中的天体（包括地球在内）的位置、大小、物理结构、化学成份及其运动和发展演化的规律。

天文学是一门古老的科学。我们知道古代自然科学是应生产发展的需要而产生的，古代天文学就是由于游牧民族和农业民族定季节的需要而产生的，时间、年代的计算，地面位置的测定，陆地和海洋上旅行时的方向的确定等等，这些都是随着人类生产实践发展的实际问题。社会的需要促进了天文学的发展。

在世界各民族文化发展的过程中，天文学总是最发达的一门科学。古代天文学最发达的国家要算中国、埃及、巴比伦、印度和希腊。

我国古代天文学在历法上成就很大。在二十四史中有专门的记载，早在尧舜时代（公元前2357~2204年）已能确定一年的长度为366日。春秋中期（公元前600年）已知道十九年七闰月的方法。秦代（公元前246~207年）在全国颁行统一的历法——颛顼历，定一年长度为365.25日。秦汉之间一年二十四个节气已经完备，对于指导农业生产起很大的作用。元代，杰出的天文学家、数学家、水利专家和仪器制造家郭守敬（1231~1316年）系统地制造了多种天文仪器，并进行大规模的天体测量，用等间距三次差内插法进行计算日、月、五星的运动和位置，创立授时历，

定一年长度为 365.2425 日，这个值与目前世界上通用的公历值完全一致。

除历法外，我国古代天文学对恒星位置的测定作出很大的贡献，战国时代（公元前 403~221 年）齐人甘德著有《星占》八卷，魏人石申著有《天文》八卷。后人合称这两部著作作为“甘石星经”，它记载了 800 颗恒星的位置，是我国也是世界上最古的星表。三国（220~280 年）吴国陈卓把战国秦汉以来石氏、甘氏、巫咸三家所命名的星宫（相当于星座）总括成一个体系，共计 283 星宫，1464 颗星，并著录于图。唐朝高僧一行（本名张遂）和东汉时期的伟大天文学家张衡对恒星的位置作了较精确的测定。

我国是世界上天文学发展最早的国家之一，作出了不少贡献。但由于后期的封建帝王不重视科学的发展，并且为了巩固他们的统治，将一些天文现象与神鬼迷信结合起来，愚弄人民，长久以来，就把我国古代天文学辛勤劳动而得的成绩湮没了。这也是我国解放前近几百年来在天文学和其它科学方面没有显著进展的原因。

古代天文学家对宇宙的解释随着物质生产力的发展而逐渐完备起来。我国天文学家张衡创立浑天说。他认为天好象一个鸡蛋壳，地好比鸡蛋黄，天大地小；天地各乘气而立，载水而浮。公元前二世纪，希腊天文学家托勒密（Claudius Ptolemaeus）创立地心学说：认为地球是宇宙的中心，一切天体都围绕地球运行。这种地心学说的观点是唯心的，但是它支配人类的宇宙观达一千余年，并为宗教迷信所利用。

十五世纪中叶，波兰天文学家哥白尼（Nicolaus Copernicus）创立了日心地动说，写出了“自然科学的独立宣言”——《天体运行论》。他认为太阳居于宇宙的中心，静止不动，而包括地球在内的行星都绕太阳转动。否定了地心学说认为地球处于宇宙中心，以及宗教教义所宣传的那种地球是唯我独尊的唯心的看法，使天文学走上真正的科学的道路。这种在自然科学上和哲学

上具有革命性的学说受到教会的迫害。新学说的热烈捍卫者，意大利科学家和哲学家布鲁诺(Giordano Bruno)为宣传哥白尼太阳中心说和出版他的名著《论无限宇宙和世界》在罗马受火刑。意大利科学家伽利略(Galileo Galilei)也为了宣传和捍卫哥白尼的学说而受到教会的迫害。尽管代表黑暗与反动的教会势力对新生与进步的事业进行镇压，但仍然不能扭转历史发展的规律，科学和唯物主义哲学在斗争中成长。伽利略发明了望远镜，使天文学开始了一个新的时代——望远镜天文学时代。德国科学家开普勒(Johannes Kepler)创立了著名的行星运动定律，牛顿(Isaac Newton)在他的名著《自然哲学的数学原理》中创立了天体运动的万有引力定律，使哥白尼学说完全胜利，并给理论天文学和天体力学奠定了巩固的基础。

十七世纪末，为了航海及陆地和海洋制图工作的需要，各国相继建立了新型的天文台——英国的格林尼治天文台(1675年)、法国的巴黎天文台(1667年)和俄国的彼得堡天文台(1725年)，开始有系统地测定恒星的精确位置和研究月亮的运动。日益精确的天文测量引导了一系列天文学上的重大发现：如恒星的自行、光行差、地轴章动等，并在天文学范围内首先提出自然演化的观念，对整个自然科学的发展有重大的意义。

1846年德国柏林天文台的加勒(Galle)根据法国勒威耶(Leverrier)的计算，在他所指出来的星空发现了海王星，这是理论天文学和天体力学的胜利。

十九世纪末和二十世纪初，由于原子分裂现象的发现，无线电工业的发展及大型天文望远镜的制造成功，对于太阳和恒星的物理性质有了进一步的认识。天体物理学得到很大的发展。

由于人造地球卫星、宇宙火箭、载人宇宙飞船的发射为直接研究宇宙空间创造了有利条件。

建国以来，天文学和其它一切科学一样有了较大的发展。除原有的紫金山、上海天文台外，在我国首都、西北、西南等地先

后建立了天文台站，我国的授时精度已进入世界先进行列。1958年在南京建立了天文仪器厂。我国一些高校设有天文系为天文学培养人材，在实用天文方面，在全国范围内进行了一等天文测量，满足了大地测量控制的要求。

三十年来，我国从无到有地建立了射电天文学、理论和高能天体物理学以及空间天文学等学科，填补了天文年历编算，天文仪器制造等空白，组织起自己的时间服务系统，纬度和极移服务系统，在诸如世界时测定，光电等高仪制造、人造卫星轨道计算、恒星和太阳的观测与理论、某些理论和高能天体物理学的课题以及天文学史的研究等方面做出了不少重要的成果，在今后的建设事业与人类对物质宇宙的研究中，我国天文事业担负着巨大的任务，可以坚信随着社会的进展将作出更辉煌的成就。

§ 1-2 天文学的分类

在天文学的悠久历史中，随研究方法的发展，天文学不断扩大它的研究范围，先后发展成天体测量学，天体力学和天体物理学。随着观测手段的进步，又可分成光学天文学、射电天文学、空间天文学。按传统观念，学科分支应根据研究对象来区分。天文对象，按空间尺度的层次，可分为太阳系、太阳、恒星、银河系、河外星系和物理宇宙。

一、天体测量学

天体测量学是研究和测定天体的位置和运动，建立基本参考坐标系和确定地面点坐标。它包括球面天文学、方位天文学、实用天文学、天文地球动力学。

球面天文学是研究天体投影在天球上的坐标的表示方式、坐标之间的关系和各种坐标修正。方位天文学是研究天体位置和运

动的测定方法，实用天文学是以天体作为参考坐标研究测定地面点的坐标和两点之间的方位角，包括测量原理的研究，测量仪器及其使用，观测纲要的制定，测量数据处理及误差改正等。天文地球动力学是用天文手段研究地球各种运动状态及其力学机制的一门学科。

二、天体力学

天体力学主要研究天体的力学运动和形状。

三、天体物理学

天体物理学是应用物理学的技术、方法和理论，研究天体的形态、结构、化学组成、物理状态和演化规律的学科。

四、光学天文学

狭义地说是利用光学望远镜、光度测量仪器，分光仪器和偏振光测量仪器来观测和研究天体的形态、结构、化学组成和物理状态的一门学科，是实测天体物理学的重要组成部分。

五、射电天文学

射电天文学是通过接收天体的无线电波来研究天文现象的一门学科。

六、空间天文学

在高层大气和大气外层空间区域开展天文观测和研究的一门

学科。它分成许多新的分支，如红外天文学、紫外天文学、 x 射线天文学、 γ 射线天文学等。空间天文观测使用高空飞机、探空火箭、人造卫星、空间飞行器、航天飞机和空间实验室等作为运载工具，进行技术极为复杂的天文探测、探索和研究太阳、行星、行星际空间、银河辐射源以及一系列当代高能天体物理中的重大问题。

七、天体演化学

天体演化学是研究各种天体以及天体系统的起源和演化，也就是研究它们的产生、发展和衰亡的历史。

天文学各学科之间，有着密切的关系。

§ 1-3 实用天文测量学的任务和作用

实用天文测量学是一门实用的科学，在社会主义建设事业中有它应有的作用。

实用天文学和大地测量学、工程测量学、航空摄影测量学、地形测量学以及制图学都有密切的关系。因此对于我们测量工作者来讲，实用天文学是一种必须具备的知识和技能。

实用天文学的任务是：

授时天文台将正确的时刻通过一定形式的无线电信号发播出去为各种用户服务，这种工作称为时间服务或授时。时间是科学上三个基本单位（长度、重量、时间）之一。一切科学研究和日常生活都不能脱离时间，如交通运输、国防、邮政电讯、工厂、学校等都需要知道准确的时间。

编制天文年历 天文年历是天文台长期进行天文观测和计算编制而成的各种星历表。是天文科学的重要资料之一，供实用天文观测者使用。

测定经度、纬度和方位角 测定经、纬度的三角点称为天文

点。国家一、二等三角锁、网中都需要测定天文点。在尚无国家三角网的独立地区进行地形测量或城市测量时要测定天文点作为三角网的定位与定向。城市导线测量中有时要测定天文方位角作为坚强方向角控制。在独立地区进行十万分之一以及更小比例尺测图时，可以用天文点作为控制点。

在工程建设领域内，如铁路、公路、高压电线的修筑，江河水利的兴修，地质矿藏的勘探和地理调查等，都需要进行天文方位角与经纬度的测量。

航行与飞翔在茫茫无际的海洋与天空中的轮船与飞机亦可以用天文观测来定船位与机位以及航行的方向。在军事上，用天文方法定向。所以实用天文学运用是很广泛的。

根据任务和要求的不同，经度、纬度和方位角测量分为四个等级，其精度要求如下表(表 1-1)。

表 1-1

等级	中 误 差		
	经 度	纬 度	方 位 角
一	$\pm 0.02''$	$\pm 0.30''$	$\pm 0.50''$
二	± 0.05	± 0.50	± 1.00
三	± 0.10	± 1.00	± 5.00
四	± 0.50	± 5.00	± 10.00

习题与思考题

1. 我国在古代天文学方面有哪些成就？
2. 天文学有哪些分科，各自研究的对象是什么？
3. 试述实用天文学的任务和作用。

第二章 基础知识

§ 2-1 宇 宙

“宇宙”是广漠空间和其中存在的各种天体以及弥漫物质的总称。宇宙是物质世界，它处于不断的运动和发展中，在空间上无边无界，在时间上无始无终。宇宙是多样而又统一的，它的多样性在于物质的表现形态，它的统一性在于其物质性。《淮南子·原道训》一书中说：“四方上下曰宇，古往今来曰宙”。宇宙，一般当作天地万物的总称。人们对宇宙的认识，从太阳系到银河系，再扩展到银河系，再扩展到河外星系，星系团乃至总星系。人们的视野已达到一百多亿光年（光在一年时间所走过的路程，称为光年，一光年等于九万四千六百亿公里）的宇宙深处。随着科学技术的发展，人类将日益扩大、加深对无限宇宙的认识。

一、恒星、行星、卫星与彗星

在晴朗的夜晚，我们仰望天空，可以看到无数发光的星星。除了金星、木星、火星等用肉眼能够看到的行星外，其它都是恒星。恒星是由炽热气体组成，能自己发光的球状天体。离地球最近的恒星是太阳，其次，是半人马座比邻星，它离我们为日地距离的 27 万倍。由于它们离开我们实在遥远，不借助于特殊工具和特殊方法很难发现它们在天球上的位置变化，因此古代人们把它们叫做恒星。

行星是在偏心率不大的椭圆轨道上环绕太阳运行的、近似球形的天体。行星本身一般不发射可见光，它反射太阳光而发亮。它们的体积和质量比太阳小得多。太阳系有九大行星，依照离开太阳的距离自近而远来排列为水星、金星、地球、火星、木星、土

星、天王星、海王星和冥王星。

行星以椭圆形的轨道自西向东绕太阳运行，称为公转。同时又各自绕着行星自己的旋转轴旋转，称为自转。各行星的直径、与太阳的平均距离公转周期等数据列于表 2-1。

卫星是围绕行星公转的天体，它们由于反射太阳光而发亮。月亮就是地球的一个卫星，它的直径为 3473km，约为地球直径的四分之一，与地球的平均距离为 384000 km。九大行星的卫星个数列于表 2-1。

彗星是在扁长轨道上绕太阳运行的一种质量较小的天体，外貌呈云雾状。彗星的外貌和亮度随着它离太阳的远近而显著变化，它们常在接近太阳的时候产生出发亮的尾巴。

二、太阳系

太阳系是由太阳、行星及其卫星、小行星、彗星、流星体和行星际物质组成的天体系统。

太阳是太阳系的中心天体，是一个灼热的气态体，表面温度约 6000°C 以上，内部温度更高。太阳直径为地球直径的 109 倍。质量占太阳系总质量的 99.8%，太阳的引力控制着整个太阳系，使其它天体绕太阳公转。除太阳外，九大行星是太阳系的主要成员。太阳是有热核能源辐射的发光恒星。

地球距离太阳平均约一亿五千万公里，天文学上常把这个数值作为测量太阳系内各天体之间的距离的长度单位，称为一个天文单位。

太阳系内还有彗星和流星，彗星的轨道大都离开太阳和地球较远。只有运行到接近地球的时候才能看见。

表 2-1

九大行星表

1	2	3		4	5	6	7
		行星至太阳之平均距离					
星 名	平均直径 km	天文单位	km	周期回归年	轨道之偏心率	各轨道与地球 轨道面之交角	卫星数目 个
水星	4800	0.3871	57870000	0.21085	0.2056	2° 00' 13.3"	0
金星	12200	0.7233	108140000	0.61521	0.0068	3 23 38.6	0
地 球	12757	1.0000	149504000	1.00004	0.0167		1
	12714						
火星	6800	1.5237	227800000	1.88089	0.0934	1 51 00.2	2
木 星	142700	5.2028	777820000	11.86223	0.0484	1 18 22.7	13
	132200						
土 星	120800	9.5388	1426100000	29.45772	0.0557	2 29 26.2	18
	108100						
天王星	49700	19.1910	2869100000	84.01529	0.0472	0 46 22.6	5
海王星	53000	30.0707	4495600000	164.78829	0.0086	1 46 30.5	2
冥王星	12390	39.5967	5920000000	247.6968	0.2485	17 08 35.5	1