

军队“2110工程”三期建设教材

大地天文测量

|| 牛国华 郑晓龙 李雪瑞 等编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

军队“2110 工程”三期建设教材

大地天文测量

牛国华 郑晓龙 李雪瑞
何艳萍 杨晓云 赵久奋 朱 昱 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书主要讲述利用观测恒星确定测站点的天文经纬度和天文边的天文方位角。大地天文测量属于大地天文学的范畴,内容包括球面天文理论和实用天文测量两部分。球面天文理论主要讲述天文坐标(φ, λ)及天文方位角(α)与天体的天球坐标系的关系,两种坐标之间的关系是通过球面三角形联系起来的。实用天文测量主要讲述进行野外天文观测所使用的仪器和数据处理系统。本书结合国内现在使用的 ASCA-1 型天文测量系统,详细讲述了天文定位、定向的原理,观测方法和程序。本书内容深入浅出,可操作性强,理论联系实际紧密,可作为测绘导航专业技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

大地天文测量 / 牛国华等编著. —北京: 国防工业出版社, 2016. 4

ISBN 978-7-118-10781-4

I. ①大... II. ①牛... III. ①天文测量法 IV. ①P128

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 068094 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 11 $\frac{3}{4}$ 字数 268 千字

2016 年 4 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 36.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

大地天文测量是天体测量学的一个分支学科,它是为获取地面点天文经纬度和地面点间的天文方位角的值,利用观测天体并顾及各种因素的影响所进行的测量工作。大地天文测量是常规大地测量的重要组成部分,是椭球大地测量学理论解算的基础,也是导弹武器作战阵地建设的重要测绘保障之一。大地天文测量研究的主要内容包括球面天文理论和实用天文测量两部分。

本书是编者根据多年的教学和实践经验,结合当前测量装备与技术发展编写而成的。在编写过程中,力求内容翔实、理论联系实际、深入浅出、通俗易懂。

全书共分10章。第1章简单介绍了天文学知识及天文测量的任务和作用。第2~7章为球面天文理论部分,其中:第2章详细叙述了天球与天球坐标系及它们之间的关系和天文定位三角形;第3章主要介绍了天体的视运动;第4章全面介绍了天文测量中的时间计量系统;第5章全面介绍了影响天体观测方向的几种物理因素;第6章介绍了岁差、章动、恒星自行和地极移动的概念及它们对天体坐标的影响;第7章系统介绍了天体视位置的计算方法。第8~10章为实用天文测量部分,其中:第8章着重介绍了天文测量所使用的仪器装备;第9章详细介绍了天文定位测量的原理、观测方法及数据处理;第10章详细介绍了天文定向测量的原理、观测方法及数据处理。

本书主要供从事测绘导航专业的技术人员使用,也可作为高等院校相关专业的教学用书。

本书由牛国华、郑晓龙、李雪瑞、何艳萍、杨晓云、赵久奋、朱昱共同编写。在编写的过程中,征集了有关单位和专家的意见,在此一并致谢!

编者

2015年8月于西安

目录CONTENTS

第1章 绪论

1.1 天文学概述	1
1.1.1 天文学研究的对象和内容	1
1.1.2 天文学的分支学科	2
1.2 天文学与人类社会	5
1.2.1 天文学对基础学科的影响	5
1.2.2 天文学对技术科学的推动作用	6
1.2.3 天文学对工农业生产和军事领域的作用	6
1.2.4 天文学的哲学意义	7
1.3 大地天文测量的定义、任务与作用	7
1.3.1 大地天文测量的定义、任务与作用	7
1.3.2 大地天文测量研究的主要内容	8

第2章 天球坐标系

2.1 天球与天体	10
2.1.1 天球的概念	11
2.1.2 天球上的基本点、线、圈、面	12
2.1.3 天体	14
2.1.4 星座和恒星的辨认	16
2.2 天球坐标系	18
2.2.1 常用天球坐标系	18
2.2.2 天球直角坐标系	21
2.2.3 天文坐标系	22
2.3 坐标系间的关系	24
2.3.1 春分点的时角与天体的赤经和时角的关系	24
2.3.2 天文坐标与天球坐标间的关系	24
2.4 天文定位三角形	26
2.4.1 球面三角形常用运算公式	27
2.4.2 天文三角形解算	28
2.4.3 球面坐标的坐标变换	30

2.4.4 坐标变换的矩阵算法	31
-----------------------	----

第3章 天体的视运动

3.1 天体的视运动	35
3.1.1 不同纬度处的天体周日视运动现象	36
3.1.2 天体的特殊位置	38
3.1.3 天体的周日视运动引起天体地平坐标的变化	41
3.2 太阳的周年视运动	41
3.2.1 太阳周年视运动的不均匀性	42
3.2.2 视太阳的赤道坐标的变化	42
3.2.3 太阳的周年视运动在其周日视运动中的反映	43
3.3 地球的运动	45
3.3.1 地球的自转	45
3.3.2 地球自转速度的变化	46
3.3.3 地球的公转运动	47
3.4 月球的运动	47
3.4.1 月球概况	47
3.4.2 月球的运动	48

第4章 时间计量系统

4.1 时间的概念	51
4.1.1 时间的定义	51
4.1.2 时间系统的建立	51
4.1.3 时间系统在大地天文测量中的作用	52
4.2 恒星时与太阳时	52
4.2.1 恒星时	53
4.2.2 真太阳时	54
4.2.3 平太阳时	55
4.2.4 时差	56
4.2.5 区时和本初子午线	56
4.3 恒星时与平太阳时的换算	57
4.3.1 太阳时和恒星时	57
4.3.2 恒星时与平太阳时的时间段换算	58
4.3.3 恒星时刻与平太阳时刻的换算	60
4.4 年、月、历法	63
4.4.1 年	63
4.4.2 月	64
4.4.3 历法	65

4.4.4	儒略周期和儒略日	71
4.5	历书时和力学时	71
4.5.1	世界时的不均匀性	71
4.5.2	历书时	72
4.5.3	力学时	73
4.6	原子时系统与协调世界时	73
4.6.1	国际原子时	73
4.6.2	协调世界时	74
4.6.3	GPS 时	74

第5章 影响天体观测方向的物理因素

5.1	大气折射	76
5.1.1	大气折射现象	76
5.1.2	大气折射改正值的计算	77
5.1.3	大气折射表	78
5.2	视差	79
5.2.1	视差的基本概念	79
5.2.2	周日视差及其对天体坐标的影响	80
5.2.3	周年视差及其对天体坐标的影响	81
5.2.4	视差矢量描述	81
5.3	光行差	82
5.3.1	周日光行差及其对天体坐标的影响	84
5.3.2	周年光行差对天体坐标的影响	84
5.4	光线引力偏折	86

第6章 岁差、章动、恒星自行及地极移动

6.1	岁差	87
6.2	岁差对天体赤道坐标的影响	88
6.2.1	日月岁差、行星岁差及总岁差	88
6.2.2	岁差对天体赤道坐标的影响	88
6.2.3	利用转换矩阵计算岁差改正	90
6.3	章动及其对天体赤道坐标的影响	90
6.4	恒星自行	92
6.4.1	恒星自行的概念	92
6.4.2	恒星自行对天体赤道坐标的影响	92
6.5	地极移动	93
6.5.1	极移的产生和测定	93
6.5.2	极移对经纬度和方位角的影响	94

第7章 天体视位置的计算

7.1	天文历书系统	95
7.1.1	天球参考系	95
7.1.2	天文时间系统	95
7.1.3	天文常数系统	96
7.1.4	星历系统	98
7.2	天体视位置的计算	99
7.2.1	恒星位置	99
7.2.2	恒星视位置计算概述	101
7.2.3	恒星视位置计算	102

第8章 天文测量仪器

8.1	T_3 光学经纬仪	107
8.1.1	T_3 光学经纬仪结构性能	107
8.1.2	T_3 光学经纬仪的使用	108
8.1.3	T_3 光学经纬仪的调校	110
8.1.4	T_3 光学经纬仪的检验	112
8.1.5	T_3 光学经纬仪的维护和保养	113
8.2	全站仪	113
8.2.1	全站仪概述	114
8.2.2	全站仪的检验	115
8.2.3	仪器的维护与保养	116
8.3	时间测量	116
8.3.1	时间测量设备	116
8.3.2	测定时间的方法	117
8.3.3	常用时间比对方法	119
8.3.4	钟速、钟差和任意时刻的钟差	124
8.3.5	时号的收录要求	125

第9章 天文定位测量

9.1	天文定位的基本原理和选星条件	126
9.1.1	天文测量原理	126
9.1.2	测经度的原理和选星条件	127
9.1.3	测纬度的原理和选星条件	129
9.1.4	多星等高法同时测定经纬度的基本原理	130
9.2	多星等高法同时测定经纬度	131
9.2.1	60° 棱镜等高仪的结构及观测原理	131

9.2.2	60°棱镜等高仪多丝法的原理	133
9.2.3	60°棱镜等高仪的误差影响	134
9.2.4	测量方法	137
9.2.5	数据解算	140
9.3	多星测高法同时测定经纬度	143
9.3.1	多星测高法测量仪器组成及原理	143
9.3.2	多星测高法的误差影响	144
9.3.3	多星测高法的观测方法	144
9.3.4	多星测高法数据解算	146

第10章 天文定向测量

10.1	天文定向的基本原理	150
10.1.1	天文方位角和方位标及其相关术语	150
10.1.2	测定方位角的一般原理及最佳条件	151
10.2	精密天文定向	153
10.2.1	地面目标方位角的测定方法	154
10.2.2	观测结果的几项改正	157
10.2.3	地面目标方位角的解算	158
10.3	快速天文定向	160
10.3.1	北极星任意时角法一	160
10.3.2	北极星任意时角法二	161
10.3.3	利用恒星方位角定方位角	164
10.3.4	太阳时角法	166
10.3.5	太阳高度法	168
10.4	天文定向精度分析	170
10.4.1	已知坐标的误差	170
10.4.2	偶然误差	171
10.5	天文测量成果归算	172
10.5.1	经度和纬度归算至标石中心	173
10.5.2	方位角的测站点归心改正	174
10.5.3	纬度和方位角化至平均海水面	175
10.5.4	经纬度和方位角的极移改正	177
10.5.5	时号改正	177
10.5.6	人仪差改正	178

参考文献	180
------------	-----

在广阔的宇宙空间,存在许多按一定规律运动和发展的日月星辰等物体,它们统称为天体。天文学是随着人们逐渐认识天体而积累的知识的总结,所以天文学是最古老的科学。人类通过劳动积累了认识自然、了解自然的知识,翻开人类文明史的第一页,就可看到天文学占有的显著地位,巴比伦的泥碑、古埃及的金字塔都是历史的见证。在中国殷商时期留下的甲骨文里,也有着丰富的天文纪录,表明在黄河流域,天文学的起源可以追溯到殷商以前的远古时代。一位哲人说过,“人类最早想了解的知识有两个:一个是人类本身,即我们的身体;另一个就是我们生存的空间,即浩瀚的宇宙”。

天文学历史悠久,浩大博深。大家熟知的伟大的科学家亚里士多德、托勒密、哥白尼、牛顿、伽利略、哈勃、伽莫夫、爱因斯坦等也都是天文学家,科学家们用他们的学识把人类的视野从地球慢慢引入到深邃的宇宙,为人类揭开了宇宙的奥秘。古代的劳动人民通过生产活动,积累了大量的天文知识,为人类了解大自然、利用大自然、与大自然和睦相处做出了贡献。天文学是一门古老的学科,是一切科学的基础;天文学是实用的学科,时间、历法、太空翱翔都少不了天文观测;天文学是崭新的学科,宇宙大爆炸、广义相对论、脉冲星、黑洞引导着一代又一代的科学家去追求和探索;天文学更是哲学,人类对天、对地、对大自然、对人生的认识,哪一点都离不开天文学!

1.1 天文学概述

1.1.1 天文学研究的对象和内容

天文学是自然科学的基础学科,是人类认识宇宙的科学。人们通过观察天体的存在,测量它们的位置,反演它们内在的物理性质,从而研究它们的结构,探索它们的运动规律,扩展人类对广阔宇宙空间中物质世界的认识。

天文学是以宇宙和各种天体、天文现象为研究对象的科学,是自然科学中一门重要的基础科学,主要依靠观测是天文学研究方法的基本特点。它是以观察及解释天体的物质

状况及事件为主的学科,主要研究天体的分布、运动、位置、状态、结构、组成、性质及起源和演化。在古代,天文学还与历法的制定有不可分割的关系。天文学与其他自然科学的不同之处在于,天文学的实验方法是观测,通过观测来收集天体的各种信息,因而观测方法和观测手段是天文学家努力研究的一个方向。物理学和数学对天文学的影响非常大,它们是现代进行天文学研究不可或缺的理论辅助。

天文学研究的对象涉及宇宙空间的各种物体,大到月球、太阳、行星、恒星、银河系、河外星系以及整个宇宙,小到小行星、流星体以至分布在广袤宇宙空间中大大小小的尘埃粒子。天文学家把所有这些星星和物体统称为天体。从这个意义上讲,地球也应该是一个天体,不过天文学家只研究地球的总体性质而一般不讨论其细节。另外,人造卫星、宇宙飞船、空间站等人造飞行器的运动性质也属于天文学的研究范围,可以称为人造天体。

宇宙中的天体由近及远可分为几个层次:

(1) 太阳系天体。包括太阳、行星(包括地球)、行星的卫星(包括月球)、小行星、彗星、流星体及行星际介质等。

(2) 银河系中的各类恒星和恒星集团。包括变星、双星、聚星、星团、星云和星际介质。太阳是银河系中的一颗普通恒星。

(3) 河外星系(简称星系)。指位于银河系之外,与银河系相似的庞大的恒星系统,以及由星系组成的更大的天体集团,如双星系、多重星系、星系团、超星系团等。此外还有分布在星系与星系之间的星系介质。

1.1.2 天文学的分支学科

天文学的分支学科主要包括理论天文学与观测天文学两种。天文观测家常年观测天空,在将所得到的信息整理后,理论天文学家才可能发展出新理论、解释自然现象并对此进行预测。

天文学中习惯于按照研究方法和观测手段来分类。

1. 按研究方法分类

按照研究方法,天文学可分为天体测量学、天体力学、天体物理学三门分支学科。

1) 天体测量学

天体测量学是天文学中最早发展的一个分支学科,它的主要任务:研究和测定各类天体的位置和运动,建立天球基本参考坐标系;研究和确定天文常数;研究和测定地球表面点的坐标,测定精确的时间,研究地球的自转。天文测量获得的观测资料,不仅可以用于天体力学和天体物理学研究,而且具有应用价值,如确定地面点的位置等。

通过研究天体投影在天球上的坐标,可在天球上确定一个基本参考系,来测定天体的位置和运动,这种参考坐标系就是星表。在实际应用中,可用于大地测量、地面定位和导航。地球自转和地壳运动,会使天球和地球上的坐标系发生变化。为了修正这些变化,建立了时间和极移服务,进而可以研究天体测量学和地学的相互影响。

古代的天体测量手段比较落后,只能凭肉眼观测,因此天体测量的范围有限。随着时代的发展,发现了红外线、紫外线、X射线和 γ 射线等波段,天体测量范围从可见光观测发展到肉眼不可见的领域,可以观测到数量更多的、亮度更暗的恒星、星系、射电源和红外源。随着各种精密测量仪器的出现,测量的精度逐渐提高,并且从地面扩展到了空间,这

就是空间天体测量。

天体测量学主要的分支如下：

(1) 球面天文学——天球坐标的表示和修正；

(2) 实用天文学——时间计量、极移测量、天文大地测量、天文导航；

(3) 方位天文学——基本天体测量、照相天体测量、射电天体测量、空间天体测量、参考坐标系的建立、天体运动的研究；

(4) 天文地球动力学——地球自转、地壳运动等。

2) 天体力学

天体力学是天文学和力学之间的交叉学科,是天文学中较早形成的一个分支学科,主要应用力学规律来研究天体的相互作用、运动和形状,运动中包括天体的自转。

天体力学以往所涉及的天体主要是太阳系内的天体,20 世纪 50 年代以后也包括人造天体和一些成员不多(几个到几百个)的恒星系统,目前已扩展到恒星、星团和星系。牛顿万有引力定律和行星运动三定律的建立奠定了天体力学的基础,使研究工作从运动学发展到动力学。因此,可以说牛顿是天体力学的创始人。今天,人们可以准确地预报日食、月食等天象,和天体力学的发展是分不开的。

天体的力学运动是指天体质量中心在空间轨道的移动和绕质量中心的转动(自转)。对日月和行星则是要确定它们的轨道、编制星历表、计算质量并根据它们的自转确定天体的形状等。

天体力学以数学为主要研究手段,至于天体的形状,主要是根据流体或弹性体在内部引力和自转离心力作用下的平衡形状及其变化规律进行研究的。天体内部和天体相互之间的万有引力是决定天体运动和形状的主要因素,天体力学目前仍以万有引力定律为基础。虽然已发现万有引力定律与某些观测事实发生矛盾(如水星近日点进动问题),而用爱因斯坦的广义相对论却能对这些事实做出更好的解释,但对天体力学的绝大多数课题来说,相对论效应并不明显。因此,在天体力学中只是对于某些特殊问题才需要应用广义相对论和其他引力理论。

天体力学的主要分支:天体引力理论、 N 体问题、摄动理论;太阳系内各天体的运动理论、轨道计算;天体力学定性理论、天体运动和平衡问题;天体力学方法、现代天体力学、星际航行动力学等。

3) 天体物理学

天体物理学是天文学中最年轻的一门分支学科,它应用物理学的技术、方法和理论,研究天体的形态、结构、化学组成、物理状态和性质以及它们的演化规律。18 世纪英国天文学家威廉·赫歇尔(1738—1822)开创了恒星天文学,这一时期可称为天体物理学的孕育时期。19 世纪中叶,随着天文观测技术的发展,天体物理成为天文学一个独立的分支学科,并促使天文学观测和研究不断做出新发现和新成果。

天体物理学按照研究方法可分为实测天体物理学和理论天体物理学。

天体物理学按照研究对象可分为太阳物理学、太阳系物理学、恒星物理学、恒星天文学、星系天文学(又称河外天文学)、宇宙学、宇宙化学、天体演化学等分支学科。天体物理学涉及的边缘学科很多,主要有射电天体物理学、红外天体物理学、紫外天文学、X 射线天体物理学、 γ 射线天体物理学、天体化学、天体生物学等。

2. 按观测手段分类

按照观测手段,天文学可分为光学天文学、射电天文学、红外天文学、空间天文学等。

(1) 光学天文学。相对射电天文学而言,光学天文学利用光学望远镜观测和研究天体,人类认识宇宙主要是依靠来自天体的电磁辐射。电磁辐射中的光学波段范围为 $400 \sim 760\text{nm}$ 。

(2) 射电天文学。射电天文学是通过观测天体的无线电波来研究天文现象的一门学科。美国无线电工程师央斯基开创了射电天文学。

射电天文学以无线电接收技术为观测手段,观测的对象遍及所有天体:从近处的太阳系天体到银河系中的各种对象,直到极其遥远的银河系以外的目标。射电天文波段的无线电技术,到20世纪40年代才真正开始发展。20世纪60年代的四大天文发现——类星体、脉冲星、星际分子和微波背景辐射,都是用射电天文手段获得的。

由于地球大气的阻拦,从天体来的无线电波只有波长为 $1\text{mm} \sim 30\text{m}$ 的才能到达地面,迄今为止,绝大部分的射电天文研究都是在这个波段内进行的。

(3) 红外天文学。红外天文学是利用电磁波的红外波段研究天体的一门学科,波段范围为 $0.7 \sim 1000\mu\text{m}$ 。

(4) 空间天文学。地球大气对电磁波有严重的吸收,因此在地面上只能进行射电、可见光和部分红外波段的观测。随着空间技术的发展,在大气外进行观测已成为可能,所以就有了可以在大气外观测的空间望远镜。哈勃空间望远镜的升空标志着空间天文学进入了全面发展的阶段,是天文学发展的一次飞跃。

就观测波段而言,空间天文学可分成许多新的分支,如红外天文学、紫外天文学、X射线天文学等。从发射探空火箭和发送气球算起,空间天文研究始于20世纪40年代。空间科学技术的迅速发展,给空间天文研究开辟了十分广阔的前景。

空间天文学在外层空间开展的天文观测,突破了地球大气这个屏障,扩展了天文观测波段,使观测来自外层空间的整个电磁波谱成为可能。

由于大气中臭氧、氧、氮分子等能对紫外线进行强烈吸收,因此天体的紫外光谱在地面上无法进行观测;在红外波段,则由于水汽和二氧化碳分子等振动带、转动带能造成的强烈吸收,只留下为数很少的几个观测波段;在射电波段上,低层大气的水汽是短波的主要吸收因素,而电离层的折射效应则将长波辐射反射回空间;至于X、 γ 射线,更是难以到达地面;由于分子散射,因此地球大气还起着非选择性消光作用。而空间天文观测基本不受上述因素的影响。

另外,空间观测会减轻或免除地球大气湍流造成的光线抖动的影响,天象不会歪曲,这就大大提高了仪器的分辨本领。今天的空间技术力量已能直接获取观测客体的样品,开创了直接探索太阳系内天体的新时代。

现在已经能够直接取得行星际物质的粒子成分、月球表面物质的样品和行星表面的各种物理参量,并且取得了没有受到地球大气和磁场歪曲的各类粒子辐射的强度、能谱、空间分布和它们随时间变化的情况等。

现代空间科学技术是空间天文发展的基础,近30年来,它给空间天文观测提供了各种先进的运载工具。目前,空间天文观测广泛地使用高空飞机、平流层气球、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。特别是人造卫星和宇宙飞船,是空间天文进行长时期综合性考察的主要手段。

自 20 世纪 60 年代以来,世界各国发射了一系列轨道天文台以及许多小型天文卫星、行星探测器和行星际空间探测器。美国在 20 世纪 70 年代发射的天空实验室,是发展载人飞船的空间天文观测技术的一次尝试。今后的空间天文观测将主要依靠环绕地球轨道运行的永久性观测站来进行。

其他更细分的学科还有天文学史、业余天文学、宇宙学、星系天文学、超星系天文学、远红外天文学、 γ 射线天文学、高能天体天文学、无线电天文学、太阳系天文学、紫外天文学、X 射线天文学、天体地质学、等离子天体物理学、相对论天体物理学、中微子天体物理学、大地天文学、行星物理学、宇宙磁流体力学、宇宙化学、宇宙气体动力学、月面学、月质学、运动宇宙学、照相天体测量学、中微子天文学、方位天文学、航海天文学、航空天文学、河外天文学、恒星天文学、恒星物理学、后牛顿天体力学、基本天体测量学、考古天文学、空间天体测量学、历书天文学、球面天文学、射电天体测量学、射电天体物理学、实测天体物理学、实用天文学、太阳物理学、太阳系化学、星系动力学、星系天文学、天体生物学、天体演化学、天文地球动力学、天文动力学。

1.2 天文学与人类社会

人类的生活和工作离不开时间,而昼夜交替、四季变化的严格规律须由天文方法来确定,这就是时间和历法的问题。如果没有全世界统一的标准时间系统,没有完善的历法,人类的各種社会活动将无法有序进行,一切都会处在混乱状态之中。

人类已经进入空间时代。发射各种人造地球卫星、月球探测器或行星探测器,除了技术保障外,这些飞行器要按预定目标发射并取得成功,离不开它们运动轨道的计算和严格的时间表安排,而这些恰恰正是天文学在发挥着不可替代的作用。

太阳是离地球最近的一颗恒星,它的光和热在几十亿年的时间内哺育了地球上万物的成长,其中包括人类。太阳一旦发生剧烈活动,对地球上的气候、无线电通信以及宇航员的生活和工作等都将产生重大影响,天文学家责无旁贷的承担着对太阳活动的监测、预报工作。不仅如此,地球上发生的一些重大自然灾害,如地震、厄尔尼诺现象等,也被证明与太阳活动密切相关。天文学家正为之努力工作,为防灾、减灾做出贡献。

特殊天象的出现,如日食、月食、流星雨等,现代天文学已可以做出预报,有的已可以做长期、准确的预报。

1.2.1 天文学对基础学科的影响

天文学是自然科学的基础学科,和其他学科都有联系并且有相互促进的作用。

1. 数学

天体位置的确定、观测数据的处理都需要数学,所以天文学成为推动数学发展的动力。

2. 物理

经典力学体系的建立、万有引力定律的发现是研究太阳系内天体运动的需要;海王星的发现证实了万有引力定律;水星凌日、黑洞、日食的观测验证了广义相对论;物理学中极

端条件下物理规律的验证只能依赖天体环境。天体物理学已经成为天文学的主流学科。

3. 化学

氦(He)元素是天文学家在太阳光谱中首先发现的。同时研究宇宙中气体和尘埃的相互作用,可以揭晓元素形成的机制。天体化学已经是天文学中热门的新兴科学了。

4. 生物

天文学家通过研究不同天体环境中的生物分子,了解生命的起源、生物分子如何构成生命、生命如何与其诞生的环境互相影响,以及最终探研生命能否及如何扩展到其他行星之外。地外文明的探索,天文生物学、地外生物学等新学科的兴起,都说明了生物学与天文学的密切关系。

5. 气象

气象与天文学的联系是密切的,甚至有许多人搞不清天文学与气象学之间的区别。实际上,天文学研究的“天”和气象学研究的“天”是两个完全不同的概念。天文学上的“天”是指宇宙空间,气象学上的“天”是指地球大气层。天文学研究地球大气层以外各类天体的性质和天体上发生的各种现象——天象,气象学则研究地球大气层内发生的各种现象——气象。所以,预报日食、月食的发生和流星雨的出现是天文学家的事情,而预报台风、高温、寒流则是气象学家的职责。但天文学与气象学是联系最密切的学科。地球本身也是一个天体,地球大气影响天文观测,从某种意义上说天气决定了观测的成败(地面光学、红外)。例如:大气扰动影响成像质量,大气折射影响观测精度等。天文对气象的影响也是很明显的:地球绕太阳公转形成了地球上的四季,月球对地球的引力作用形成了海水每天的潮起潮落,地球上近年来对气候影响最大的厄尔尼诺现象就与地球的自转变化有关。

1.2.2 天文学对技术科学的推动作用

天文学是观测的科学,观测技术和观测水平的不断进步与提高对天文学的发展起着关键的作用。天文望远镜的发明就是光学技术的成果,而天文望远镜的发展更是推动了光学、机械和控制技术的发展。

现在的天文学家早已不再到望远镜后面去“看星星”了!他们把望远镜收集到的天文信息通过终端接收设备送入计算机。望远镜的终端接收设备从肉眼到照相底片,再到CCD,体现了人类观测手段的进步。终端接收设备技术的发展也推进了军事技术、航天工业、遥感技术等的发展。

1.2.3 天文学对工农业生产和军事领域的作用

天文学是一门古老的学科,是一门观测的学科,在历史上它就与人类的生产活动和日常生活密切相关,如季节的变化、潮水涨落、野外方向的确定等。

天文学对工农业生产和军事领域有很大的作用,主要体现在以下几点:

- (1) 时间计量——制定时间标准,应用于各科学领域;
- (2) 星表、年历的编制——服务于农业生产、航空、航天、航海;
- (3) 研究和预报太阳活动——飞船运行、卫星发射、通信保障等;
- (4) 精密定轨、测距——计算和控制卫星轨道、研究地月系演化;
- (5) 天文高灵敏度探测器——遥感和军事上的应用等。

1.2.4 天文学的哲学意义

天文学的哲学意义,从人类认识宇宙的几次大飞跃中就能够体现出来。

第一次大飞跃是人们认识到地球是球形的,日月星辰远近不同,它们的运动都有规律可循。观测它们的位置可以制成星表,利用它们运动的规律性可以制成历法。古时候人们往往凭主观猜测或幻想来看待天与地的各种问题,有些看法成了流传的神话故事,例如我国的“盘古开天地”“嫦娥奔月”等。然而,经过长期观测和思考,人类逐渐形成了科学认识。例如,从月食时地球投到月球上的圆弧影子等现象推断大地为球形,用三角测量法测定太阳和月球的距离和大小等。公元2世纪,集当时的天文学成就,托勒密在其名著《天文学大成》中阐述了宇宙地心体系(地心说),认为地球静止地位于宇宙中心,大行星和恒星在各自的轨道上每天绕地球一圈。他试图用数学的方法给天体以科学的描述,否认了上帝创造宇宙的传统理论,是人类哲学思想的飞跃。

第二次大飞跃是1543年哥白尼在名著《天体运行论》中提出宇宙日心体系(日心说),形成了太阳系的概念。他论证了地球和行星依次在各自轨道上绕太阳公转;月球是绕地球转动的卫星,同时随地球绕太阳公转;日月星辰每天东升西落现象是地球自转的反应;恒星比太阳距地球远得多……17世纪初,伽利略制成了天文望远镜看到了月面,发现了木星的卫星,观察到了太阳黑子,从而极大地支持了“日心说”,开创了近代天文学。

第三次大飞跃是万有引力定律和天体力学的建立。开普勒分析第谷留下的行星观测资料,发现了行星运动三定律;牛顿的名著《自然哲学的数学原理》给出了万有引力定律,奠定了天体力学的基础。哈雷对彗星的研究,勒威耶和亚当斯海王星的发现,都说明了人类的哲学思想和自然科学研究的共鸣。

第四次大飞跃是认识到太阳系有其产生到衰亡的演化史。在牛顿时代,人们认为自然界只是存在往复的机械运动,绝对不变的自然观占主导地位。打破僵化的自然观的人物是德国的哲学家康德和法国的数学家拉普拉斯,他们分别独立提出了太阳系起源的星云假说,阐述了科学的宇宙思想。

第五次大飞跃是银河系和星系概念的建立。美国国家科学院沙普利-柯蒂斯大争论:星云是河外的还是河内的天体?是不是星系?哈勃测定M31星系的距离,开创了河外星系天文学。这些都大大扩展了人类的视野和宇宙观。

第六次大飞跃是天文物理学的兴起。19世纪中叶以后,照相术、光谱分析和光度测量技术相机应用于天文测量,促使了天体物理学的兴起。对恒星的化学组成以及恒星内部的物理结构的认识,使人类的哲学思想进一步深化,认识宇宙的科学幻想得到了实现。

第七次大飞跃是时空观的革命。20世纪初期,爱因斯坦创立了相对论,把时间、空间与物质及其运动紧密联系起来,打破了经典物理学的“绝对时空观”。他阐述了“引力弯曲”“时间延长”“多维时空”等超出人类普通哲学思想的科学观念,完成了自然科学的彻底革命。

1.3 大地天文测量的定义、任务与作用

1.3.1 大地天文测量的定义、任务与作用

为了研究地面上天文测量的方法,把球面天文学和实用天文学的有关内容合为一门

学科,称为大地天文测量(或大地天文学)。它是天文学的一个小分支,也是大地测量的一个重要组成部分。它的主要任务,是用天文方法观测天体的位置来确定地面点的位置(天文经度和天文纬度)和某一方向的方位角,以供大地测量和其他有关的科学技术部门使用。

在军事应用上,大地天文测量是弹道导弹武器发射时的重要测绘保障。在导弹武器发射区域内,利用天文测量仪器和方法通过观测天体的位置确定地面点的地理位置与该点到目标点的方位,并按一定方法联测天文位置点、传递天文方向、标定地理子午线等。导弹武器发射的天文测量的主要工作:一是精确测定发射点的天文经纬度和基准方位边的天文方位角,为导弹武器发射惯性制导系统初始对准提供定位参数和方位基准;二是为武器惯性仪表测试提供位置基准和为标定惯性仪表测试台地理子午线提供方位基准;三是为建立垂线偏差格网数值模型、布设基础大地控制网提供精确的垂线偏差和拉普拉斯方位角。

随着大地测量型 GPS 接收机的应用,综合利用 GPS 测量、导线测量和三角高程测量的方法已成为布设基础大地控制网普遍采用的方案。在这一布设方案中大地天文测量仍起着十分重要的作用。具体地讲,主要有以下几个方面。

1. 为 GPS 天文水准提供垂线偏差

众所周知,GPS 测量测得的 GPS 控制点间的高差为大地高差,而三角高程测量测得的高差是近似正常高的高差。如何将这两种不同性质的高差统一起来,是采用 GPS 测量和三角高程测量必须解决的问题。根据基础大地控制网布设的精度要求,大多采用天文水准的方法解决。即按天文测量的方法测定各 GPS 点的天文经纬度,根据 GPS 点的垂线偏差按天文水准的方法求取 GPS 点间的高程异常,进而求得正常高高差。

2. 建立垂线偏差内插计算模型

建立垂线偏差内插计算模型的作用:一方面是为导线测量测得的地面水平方向值归算至参考椭球面提供垂线偏差数据(尤其是在垂线偏差较大的山区,这是保证导线测量精度的重要内容);另一方面是为战时快速求取发射阵地垂线偏差奠定基础。垂线偏差内差计算模型通常是根据各 GPS 点的垂线偏差和部分导线点的垂线偏差进行拟合建立的,这就要求在这些点上进行精确的天文测量,以获得这些点的天文大地垂线偏差。

3. 测定导线边的天文方位角

测定部分导线边的天文方位角,提高基础大地控制网的精度和可靠性。

1.3.2 大地天文测量研究的主要内容

由天文测量的任务可知,它是研究在一定区域内的地面上,如何精确测定地面点的天文经纬度和地面点间天文方位角的一门技术科学。研究的主要内容可概括为球面天文和实用天文两部分。

1. 球面天文

人们都有一个直观的感觉,就是天空好像是一个巨大的半球罩着大地,所有日月星辰都分布在这个球面上。而且不管走到哪里,都觉得自己正好站在球心,这个直观的假象球称为天球。天文学就是利用这个直观而实际不存在的天球作为研究问题的辅助工具的。

球面天文的主要内容,是研究如何利用球面坐标确定天体投影在天球上的视位置,并