

基础天文学教程

JICHU TIANWENXUE JIAOCHENG

邵华木 汪青 © 主编




安徽师范大学出版社

基础天文学教程

JICHU TIANWENXUE JIAOCHENG

邵华木 汪青 © 主编



 安徽师范大学出版社

· 芜湖 ·

图书在版编目(CIP)数据

基础天文学教程 / 邵华木, 汪青主编. — 芜湖: 安徽师范大学出版社, 2017.8
ISBN 978-7-5676-3122-9

I. ①基… II. ①邵… ②汪… III. ①天文学-教材 IV. ①P1

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第218149号

基础天文学教程

邵华木 汪 青 主编

责任编辑: 郭行洲 祝凤霞

装帧设计: 黄 洁

出版发行: 安徽师范大学出版社

芜湖市九华南路189号安徽师范大学花津校区 邮政编码: 241000

网 址: <http://www.ahnupress.com/>

发 行 部: 0553-3883578 5910327 5910310(传真) E-mail: asdcbsfxb@126.com

印 刷: 虎彩印艺股份有限公司

版 次: 2017年8月第1版

印 次: 2017年8月第1次印刷

规 格: 700 mm × 1000 mm 1/16

印 张: 15.25

字 数: 285千字

书 号: ISBN 978-7-5676-3122-9

定 价: 39.00元

前 言

随着我国经济迅速崛起,国家对素质教育愈来愈重视。1999年6月,党中央和国务院召开了改革开放以来第三次全国教育工作会议,颁布了一个纲领性文件——《关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》,把全面推进素质教育作为迎接新世纪教育工作的战略重点,把提高创新能力摆到了关系民族复兴和国家兴旺的重要位置。实施素质教育,就是全面贯彻党的教育方针,以提高国民素质为根本宗旨,以培养学生的创新精神和实践能力为重点,造就“有理想、有道德、有文化、有纪律”的德智体美等全面发展的社会主义事业建设者和接班人。随着素质教育的推进,在高校开设一系列选修课是全面提高大学生素质的重要措施之一。

天文学是六大自然基础学科之一,对其他相关自然科学的发展起着至关重要的作用,即使是一些社会学科,也需要天文学研究成果的支撑。因此,师范院校的学生掌握一些天文学基础知识,既是提高自身素质、培养和树立正确世界观的需要,也为今后走上中学讲坛、培养和提高中学生素质做一些知识积累。为此,我们编写了《基础天文学教程》,期望在学生素质教育和普及天文学基础知识方面做一点贡献。

本书特点:第一是普及性。针对大学生对天文知识普遍知之不多的现象,本书着重介绍一些基本的天文知识,注重由浅入深、由近及远、删繁就简,没有深奥的数学和物理公式,把一些难以理解的知识用浅显的语言化解并表达出来,便于学生掌握。第二是系统性。天文学是古老的科学,又是活跃的前沿科学之一,经过长期研究和发展,已形成较为系统的学科。本书在采取一些简化措施时,充分考虑和保持其系统性,在全书的结构上尽量体现出合理性,层次上体现出逻辑性。第三是时代性。天文学这一科学的发展是逐渐完善的,虽然有许多经典理论,但随着科学技术的进步,天文学探测手段不断进步和完善,天文学一些新理论和新的探测成果也应运而生,本书亦尽量反映这方面的最新资料。第四是适用性。目前,高等师范院校单科选修课的学时数普遍较少,本书考虑到这一因素,在保证系统性和科学性前提下,压缩篇幅,使之更便于在教学上应用。另外,本书还附有复习思考题和若干附录,便于学生课后思考和自学,

以巩固所学知识。

本书共分六章,第一章至第四章第四节由邵华木编写,第四章第五节至第六章及附录由汪青编写,全书部分图件由汪青制作。在编写过程中,参考和引用了许多同行前辈和专家专著中的图表和科研成果等内容资料,在此,我们表示衷心感谢。

本书主要面向高校特别是师范院校学生及广大对天文学感兴趣的一般社会读者。

目 录

第一章 天文观测基础知识	1
第一节 天球和天球坐标	1
一、天 球	1
二、天球上常用的圈和点	2
三、天球坐标系	4
四、主要天球坐标系的区别和联系	7
第二节 天体的视运动与四季星空	9
一、天体的周日视运动	10
二、太阳的周年视运动	11
三、视星等与绝对星等	12
四、四季星空	13
第三节 天文望远镜和空间探测器	14
一、光学望远镜	14
二、射电望远镜	18
三、空间望远镜与空间探测器	20
第四节 天文观测时间系统	21
一、恒星日和恒星时	21
二、太阳日和太阳时	21
三、地方时和世界时	22
四、时区、区时和法定时	22
五、国际日期变更线	23
六、原子时、世界时和协调世界时	23
七、历 法	24
第二章 地球和地月系	31
第一节 地 球	31
一、地球的物理特征与结构	31
二、地球的运动	36

第二节 月球	49
一、月地距离及月球大小	50
二、月球表面形态、物理状况与结构	50
三、探月历程	52
第三节 地月系	55
一、月球的公转和自转	55
二、月相	57
三、日食和月食	58
四、海洋天文潮汐	65
第三章 太阳和太阳系	74
第一节 太阳	74
一、太阳概况	74
二、太阳的结构	75
三、太阳距离、大小和质量的测算	77
四、太阳能量的来源	78
五、太阳活动	79
六、日地关系	81
第二节 太阳系	82
一、太阳系概况	82
二、开普勒行星运动三大定律	84
三、牛顿修正开普勒行星三定律	85
四、提丢斯-波得定则	86
五、行星的视运动	86
六、太阳系的起源和演化	91
第三节 行星分类与行星简介	93
一、行星的分类	94
二、太阳系行星的运动特征	96
三、八大行星	97
四、太阳系的卫星	110
第四节 太阳系的小天体	112
一、小行星	112
二、彗星	113
三、流星体	119

第四章 恒 星	123
第一节 恒星光谱、距离、大小和质量及其测定	123
一、恒星光谱及其测定	123
二、恒星距离的测定	127
三、恒星大小及其测定	129
四、恒星质量及其测定	131
第二节 恒星的运动	132
一、多普勒效应	133
二、恒星的视向速度和切向速度	133
三、恒星的自行	134
四、恒星的自转	134
第三节 恒星的内部结构与能源机制	135
一、恒星的内部结构	135
二、恒星的能源机制	135
第四节 恒星的多样性	136
一、单星、双星、聚星和星团	136
二、变星、新星和超新星	138
三、主序星、红巨星、白矮星、中子星和黑洞	140
第五节 恒星的形成和演化	142
一、恒星的形成阶段	143
二、恒星的主序阶段	146
三、恒星的晚期演化	147
第五章 银河系与河外星系	152
第一节 银河系	152
一、银河系的发现	153
二、银河系结构模型	155
三、银河系的质量和运动	159
四、银 心	161
五、银河系的星团	161
六、银河系的星云	164
七、星 族	169
第二节 河外星系	169
一、河外星系的发现	170
二、星系的分类	172

三、活动星系	175
四、星系的形成和演化	179
第三节 星系群、超星系团和总星系	183
一、星系群和星系团	183
二、超星系团	185
三、总星系	186
第六章 膨胀的宇宙与地外文明探索	188
第一节 宇宙学	188
一、宇宙学史	188
二、现代宇宙学	191
三、膨胀的宇宙	192
第二节 地外文明探索	197
一、地外文明存在的可能性	197
二、地外文明探索的艰巨性	200
三、太阳系内的地外生命探索	201
四、太阳系外的地外文明探索	204
主要参考文献	212
附 录	214
天文学常用数据	214
四季星图	216
中国古代星空划分	220
88星座表	225
最亮的21颗恒星	228
梅西耶天体表	229
主要流星群	232
我国主要城市经纬度	233
2018—2048年我国部分城市可见日食	234
2018—2048年合肥地区可见日食	235
2018—2048年我国可见月食	236

第一章 天文观测基础知识

本章是天文学知识的基础。要进行天文观测并描述或确定天体在天球上的视位置和视运动,必须掌握天球坐标系相关知识。本章还介绍由于地球的自转和公转而造成的两种基本的视运动:天体的周日运动和太阳的周年运动,及由这两种基本的视运动所造成的四季星空的变化。

第一节 天球和天球坐标

仰望天空,我们的直观感受是天空呈球面状,星星布满天空,而且所有的星星好像离我们都是同样远。有了这样的直观认识,我们就可以把人们能直接观测到的地平面之上的半个球形天空即天穹作为基础来定义天球,并把天体的视位置在天球上用天球坐标予以定位。

一、天 球

天球是天文学上为研究天体位置和运动的方便假想的以观测者或地心或日心为中心,以无穷远为半径的球。由于天球球心的不同,有观测者天球、地心天球和日心天球之分。其中,地心天球就是我们通常所说的天球,主要用于研究太阳系以外的天体的视位置和视运动;日心天球主要用于研究太阳系内天体的视位置和视运动。我们知道,地球半径和日地距离都是有限距离,相对于天球无穷远半径来说是可以忽略的。因此,上述各种天球只是由于研究问题的需要而人为确定的,实际上天球的球面可以看作是唯一的。

天球的一个重要作用是可以表示天体的视位置。如图 1-1 所示,天体的实际位置不仅方向不同,而且有远有近,但是我们所看到的天体,距离观测者好像都是一样远,这是这些天体在天球上投影的结果。我们把天体在

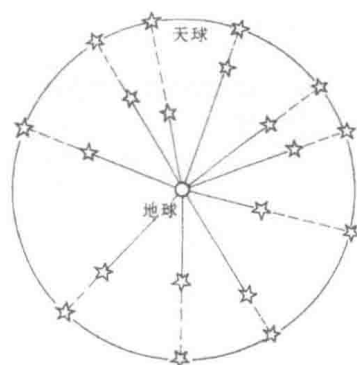


图 1-1 天球和天体的实际位置与视位置

天球上的投影叫做天体的视位置。

天球的另一个重要作用是可以表示天体的视运动。比如,由于地球绕地轴自西向东自转,在视觉无法直接观察到的情况下,我们所能看到的是天球的自东向西旋转(称为天球的周日视运动)。其直接的表现就是天体的东升西落(称为天体的周日视运动)。显然,两者都是地球自转的反映,是与地球自转相对运动的表现。再比如,地球自转的同时还自西向东绕太阳公转,这种运动的直观感觉是夜晚星空以一年为周期的有序变化。当然,在我们的视觉习惯中,倒认为太阳在天球上以相同的方向和周期作运动(图1-2),因而称为太阳周年(视)运动,其视运动轨迹称为黄道。

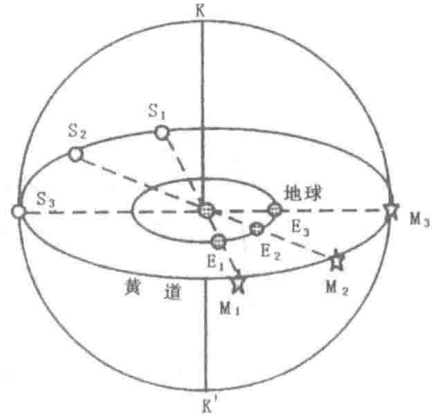


图1-2 地球绕太阳公转与太阳的周年视运动

二、天球上常用的圈和点

要在天球上确定天体的位置,必须建立坐标。坐标的要素是线及线相交的点,对球面而言,这些线就是圆或一段弧,这些点就是这些圆或弧的交点。

1. 天极和天赤道

地球自转轴无限延长即为天轴,天轴与天球的两个交点就是天极。如图1-3所示,与地球北极对应的称天北极(用P表示,也称“北天极”),与地球南极对应的称天南极(用P'表示,也有称“南天极”)。小熊座 α 星(中名勾陈一)位于天北极附近,因而被称为北极星。

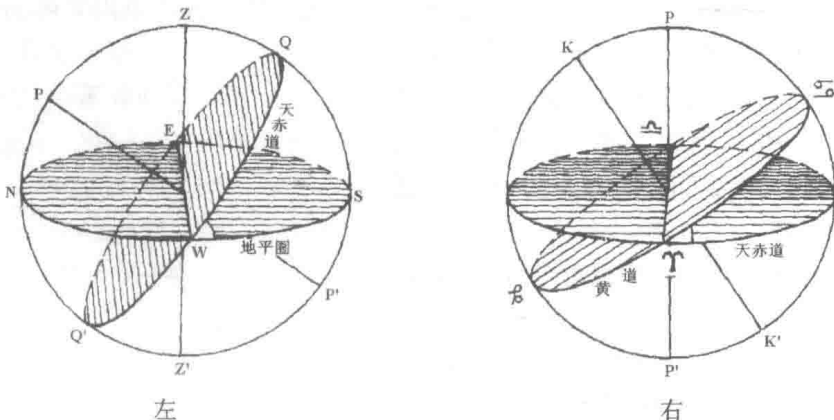


图1-3 天球上常用的圈和点

天赤道是过天球球心且垂直于天轴的平面与天球相割的大圆。由于地球赤道和天赤道在一个平面上,因而天赤道也可看作是地球赤道在天球上的投影。天赤道与两天极等距,并将天球分割成南、北相等的两部分。天赤道所在的平面称为天赤道面。

2. 天顶、天底和地平圈

观测者所在点的铅垂线无限延伸与天球有两个交点,其中,与观测者头顶相对应的交点称为天顶(用 Z 表示,图1-3左),天体到天顶之间的角距离称为天顶距(ZO);另一个交点即与观测者脚底所对应的交点称为天底(Z')。

地平圈是过天球球心且垂直于观测者所在地铅垂线的平面与天球相割的大圆,也可理解为天球上与天顶、天底等距离的大圆。地平圈将天球分成两半,地平圈之上的为可见半球,之下为不可见半球。天顶、天底是地平圈的两极。天球上所有与地平圈相平行的圆都叫地平纬圈。地平纬圈由地平圈向天顶、天底逐渐缩小。

3. 四方点与上点、下点

一般情况下,天赤道和地平圈都有两个交点,即东点(E)和西点(W)(图1-3左),地平圈上与东点、西点等距离的两点为北点(N)和南点(S),它们是子午圈和地平圈的两个交点,其中距天北极较近的那个交点是北点,距天南极较近的是南点。上述四点合称为四方点,其排列及顺序与实际方向一致。天赤道上与东点西点等距离的有两个点,一个在地平圈之上,称为上点(用 Q 表示,也是午圈与天赤道的交点),一个在地平圈之下,称为下点(用 Q' 表示,也是子圈与天赤道的交点)。

4. 黄道和黄极

前已叙及黄道是太阳周年视运动的轨迹,实际上是地球公转轨道所在平面与天球相交的大圆,这个平面就是黄道面。过天球球心且垂直于黄道面的直线称为黄轴,黄轴与天球的两个交点称为黄极,其中靠近天北极的为黄北极(用 K 表示,也称“北黄极”),靠近天南极的为黄南极(用 K' 表示,也称“南黄极”,图1-3右)。我们也可以这样来定义黄道:过天球球心和黄轴相垂直的平面与天球相割的大圆。它也是地球公转轨道在天球上的投影。所有过黄北极与黄南极的大圆都叫黄经圈。而天球上所有与黄道相平行的圆都叫黄纬圈,黄纬圈由黄道向黄南极、黄北极逐渐缩小。

5. 二分点和二至点

黄道与天赤道都是天球上的大圆,且不在同一平面上,因而有一定夹角,这个夹角称为黄赤交角,用 ε 表示,它是一个变量,现在使用的值是 $23^{\circ}26'21.448''$;黄道和天赤道在天球上有两个交点,即春分点(γ)和秋分点

(♋)(图1-3右),前者是太阳周年视运动由天赤道以南运行到天赤道以北所经过的那一点,后者是太阳周年视运动由天赤道以北运行到天赤道以南所经过的那一点。黄道上与春分点、秋分点等距离的两个点,即夏至点(♊)和冬至点(♋),位于天赤道以北、在黄道上最北点的是夏至点,位于天赤道以南、在黄道上最南点的是冬至点。太阳在每年的3月21日、6月22日、9月23日和12月22日前后依次经过春分点、夏至点、秋分点和冬至点,因此,太阳经过这四点的日期分别称为春分日、夏至日、秋分日和冬至日。

6. 地平经圈和子午圈、卯酉圈

所有通过天顶、天底的大圆都称为地平经圈,简称平经圈。过天北极和天南极的地平经圈称为子午圈,它经过南点和北点,必要时以天顶、天底为界分成两部分,南点所在的部分为午圈,北点所在部分为子圈。与子午圈相垂直的地平经圈称为卯酉圈,它不仅过天顶和天底,也过东点和西点,同样,必要时以天顶、天底为界分成两部分,东点所在的部分为卯圈,西点所在部分为酉圈。

7. 时圈、六时圈和赤纬圈

所有经过天北极和天南极的大圆都叫赤经圈或时圈,同时又过东点和西点的时圈称为六时圈,而过春分点的时圈叫春分圈;地球上与天赤道平行的圆称为赤纬圈,赤纬圈由天赤道到天极逐渐减小。

三、天球坐标系

和地球上的地点可以用地理坐标来表示一样,天体在天球上的视位置也可以用天球坐标来表示。天球坐标系中最基本的是基圈——球面坐标的“纬度”起算圈、始圈——球面坐标的“经度”起算圈及原点——基圈和始圈的交点,常用的天球坐标系有以下几种。

1. 地平坐标系

地平坐标系的基圈、始圈和原点分别是地平圈、午圈和南点,它的两个参量是高度(h)和方位(A)。其中,高度亦称地平纬度,是天体相对于地平圈的方向和角距离,是天体和天球球心的连线与地平面的夹角,显然是线面角,高度从地平圈开始,沿天体所在地平经圈分别向天顶、天底方向度量,各 $0^\circ \sim 90^\circ$ (图1-4),地平圈以上为正,以下为负。高度与天顶距(Z_0)互余,即 $Z_0 = 90^\circ - h$ 。方位亦称地平经度,是天体相对于午圈的方向和角距离,从午圈经过的

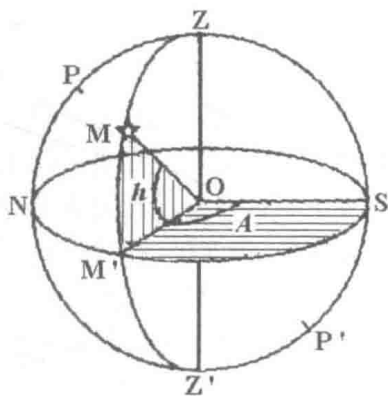


图1-4 地平坐标系

南点开始,沿地平圈按顺时针方向(即向西)度量,自 0° 到 360° 。南点、西点、北点和东点的方位分别是 0° 、 90° 、 180° 和 270° 。天体的方位也就是该天体所在的地平经圈平面与午圈平面的夹角。天体通过观测者子午圈时叫中天,天体每天有一次上中天,一次下中天。一般情况下,天体通过子午圈且高度最大时叫上中天,通过子午圈且高度最小时叫下中天;特殊情况下,如观测者位于地球两极时,天体没有所谓上中天和下中天的区别。

地平坐标系常用于航海、航空及大地测量等部门,在卫星定位系统(GPS)出现之前,它的“高度”应用之一是测北极星高度定地理纬度。知道北极星在天北极附近,如图1-5, $\angle P'$ 为北极星高度,故 $\phi = P'$ 。这就是仰极(地平圈以上的天极)的高度,等于当地的地理纬度。地平坐标的“高度”应用之二是描述一天中太阳高度的变化及一年中正午太阳高度的变化。

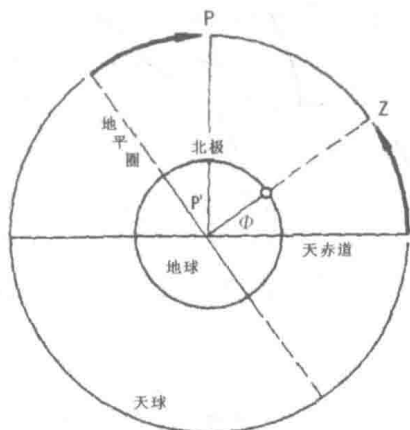


图1-5 仰极高度(等于当地地理纬度)

2. 第一赤道坐标系

第一赤道坐标系的基圈、始圈和原点分别是天赤道、午圈和上点,它的两个参量是赤纬(δ)和时角(t)。其中,赤纬是天体相对于天赤道的方向和角距离,亦即天体和天球球心的连线与天赤道面的夹角,这是一个线面角,它从天赤道开始,沿天体所在赤经圈分别向天北极和天南极方向度量,自 $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$,向天北极方向为正,向天南极方向为负(图1-6)。赤纬的余角称为极距(p),它是天体和天球球心的连线与仰极之间的夹角。时角则是天体所在的时圈相对

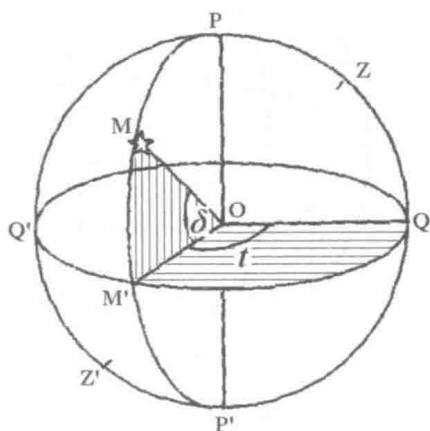


图1-6 第一赤道坐标系

于午圈的方向和角距离,从午圈经过的上点开始,在天赤道上向西度量,自 $0^h \sim 24^h$,一周 360° 合 24^h ,故 15° 为 1^h , $15'$ 为 1^m , $15''$ 为 1^s ,因而第一赤道坐标系又叫时角坐标系,上点、西点、下点、东点的时角分别 0^h 、 6^h 、 12^h 和 18^h 。

第一赤道坐标系主要用于时间的度量。

3. 第二赤道坐标系

第二赤道坐标系的基圈、始圈和原点分别是天赤道、春分圈和春分点,它的两个参量是赤纬(δ)和赤经(α)。赤纬与第一赤道坐标系完全相同;赤经是天体所在时圈相对于春分点的方向和角距离,从春分点开始在天赤道上向东度量,自 $0^h \sim 24^h$ (图1-7)。

第二赤道坐标系主要用于编制星表。

4. 黄道坐标系

黄道坐标系的基圈、始圈和原点分别是黄道、过春分点的黄经圈和春分点,它的两个参量是黄纬(β)和黄经(λ)。黄纬是天体相对于黄道的方向和角距离,亦即天体和天球球心的连线与黄道面的夹角,这也是一个线面角,黄纬从黄道开始,沿天体所在黄经圈分别向黄北极和黄南极度量,自 $0^\circ \sim 90^\circ$,向黄北极方向为正,向黄南极方向为负(图1-8)。黄经是天体所在黄经圈相对于春分点所在黄经圈的方向和角距离,从春分点开始在黄道上向东度量,自 $0^\circ \sim 360^\circ$ 。虽然其他天体都各有自己的黄纬和黄经,但太阳的黄纬是固定的,都为 0° (因为太阳在黄道上运行)。太阳的黄经,每天增加 $59'$,它过春分点、夏至点、秋分点和冬至点时的黄经分别为 0° 、 90° 、 180° 和 270° 。

黄道坐标系主要用于表示太阳系成员在星空间的视位置和视运动。

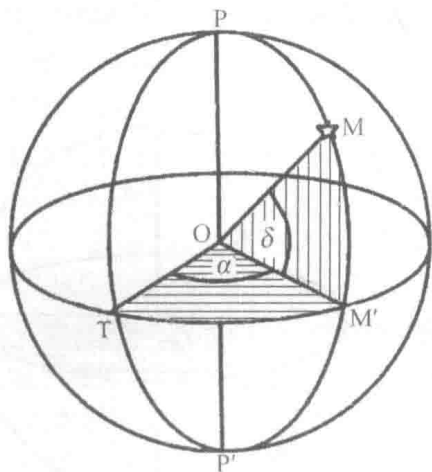


图1-7 第二赤道坐标系

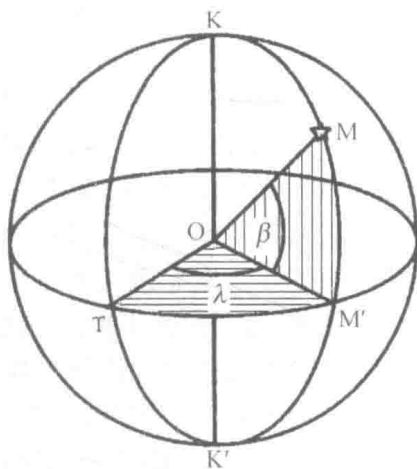


图1-8 黄道坐标系

5. 银道坐标系

银河系有一个银道面(将在第五章介绍),银道面与天球相交的大圆叫银道,过天球球心垂直于银道面的直线与天球的两个交点叫银极,其中与天北极接近的叫北银极,与天南极接近的叫南银极。所有经过银极的大圆都叫银经圈,而天球上所有与银道相平行的圆都叫银纬圈。银道与天赤道有两个交点(两者交角为 $63^{\circ}26'$),其中银道由天赤道之南进入天赤道以北的交点叫升交点。

银道坐标系的基圈、始圈和原点分别是银道、过升交点的银经圈和升交点,它的两个参量是银纬(b)和银经(L)。银纬是天体相对于银道的方向和角距离,从银道开始,沿银经圈分别向北银极和南银极方向度量,自 $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$,向北银极方向为正,向南银极方向为负;银经是天体相对于过升交点的银经圈的方向和角距离,从升交点开始,沿银道向东度量,自 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 。

银道坐标系主要用于对银河系的研究。

四、主要天球坐标系的区别和联系

不同天球坐标系有不同的基圈、始圈和原点,用途也各有差异,但它们之间有一定的联系。

1. 地平坐标系与第一赤道坐标系

地平坐标系的方位和第一赤道坐标系的时角都从午圈开始向西度量,但起点不同,前者是南点,后者是上点。另外,高度和赤纬起算的基本圈也不同,但是它们之间也有一定的联系。由图 1-9 可知,仰极(P)高度所对圆心角等于天顶(Z)的赤纬所对圆心角,同时还等于当地的地理纬度。

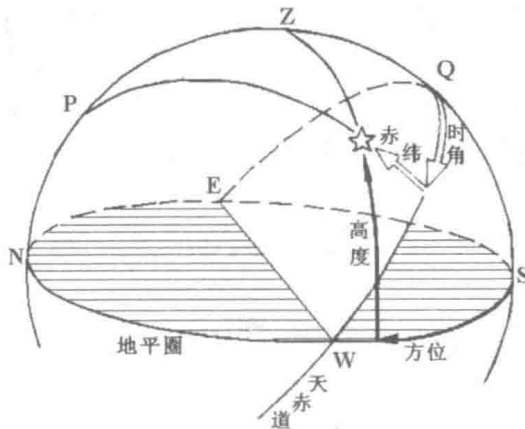


图 1-9 地平坐标系与第一赤道坐标系

2. 第二赤道坐标系与黄道坐标系

第二赤道坐标系的赤经和黄道坐标系的黄经都从春分点开始向东度量,但前者在天赤道上向东度量,后者在黄道上向东度量(图 1-10),另外前者的赤纬和后者黄纬起算的基圈不同。但是它们之间也有一定的联系,由于黄道和天赤道有 $23^{\circ}26'$ 的夹角,因此根据球面三角形,利用天体的已知条件如赤纬、赤经可求其黄纬、黄经,或由已知的黄纬、黄经可求其赤纬、赤经。如果这个天体是太阳,则随着其黄经的增加,其赤纬变化于 $\pm 23^{\circ}26'$ 之间。

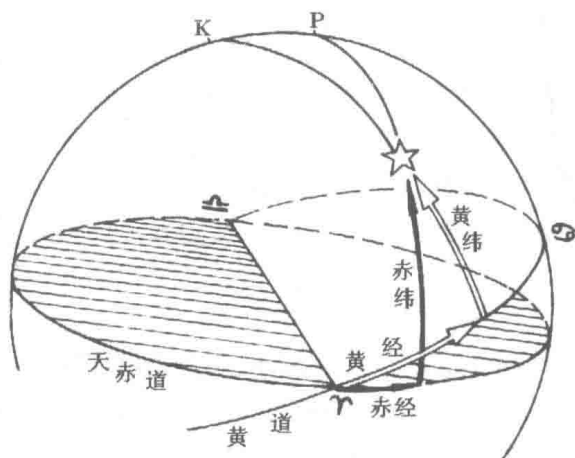


图 1-10 第二赤道坐标系与黄道坐标系

3. 第一赤道坐标系与第二赤道坐标系

两种坐标系具有相同的赤纬,且时角和赤经都在天赤道上度量;时角以午圈为始圈,自上点向西度量,而赤经以春分圈为始圈,自春分点向东度量。关于它们之间的联系,我们引入恒星时(S)这一概念,它被定义为春分点的时角,即 $S = t_0$,我们还知道春分点的赤经为 0^h ,因此很容易证明恒星时(S)与任一星体的赤经和时角的关系为: $S = t_0 + \alpha_0$ (图 1-11)。当恒星中天时, $t_0 = 0^h$,上式简化为 $S = \alpha$,即任何时刻的恒星时等于当时中天恒星的赤经(即上点的赤经),也等于春分点的时角。