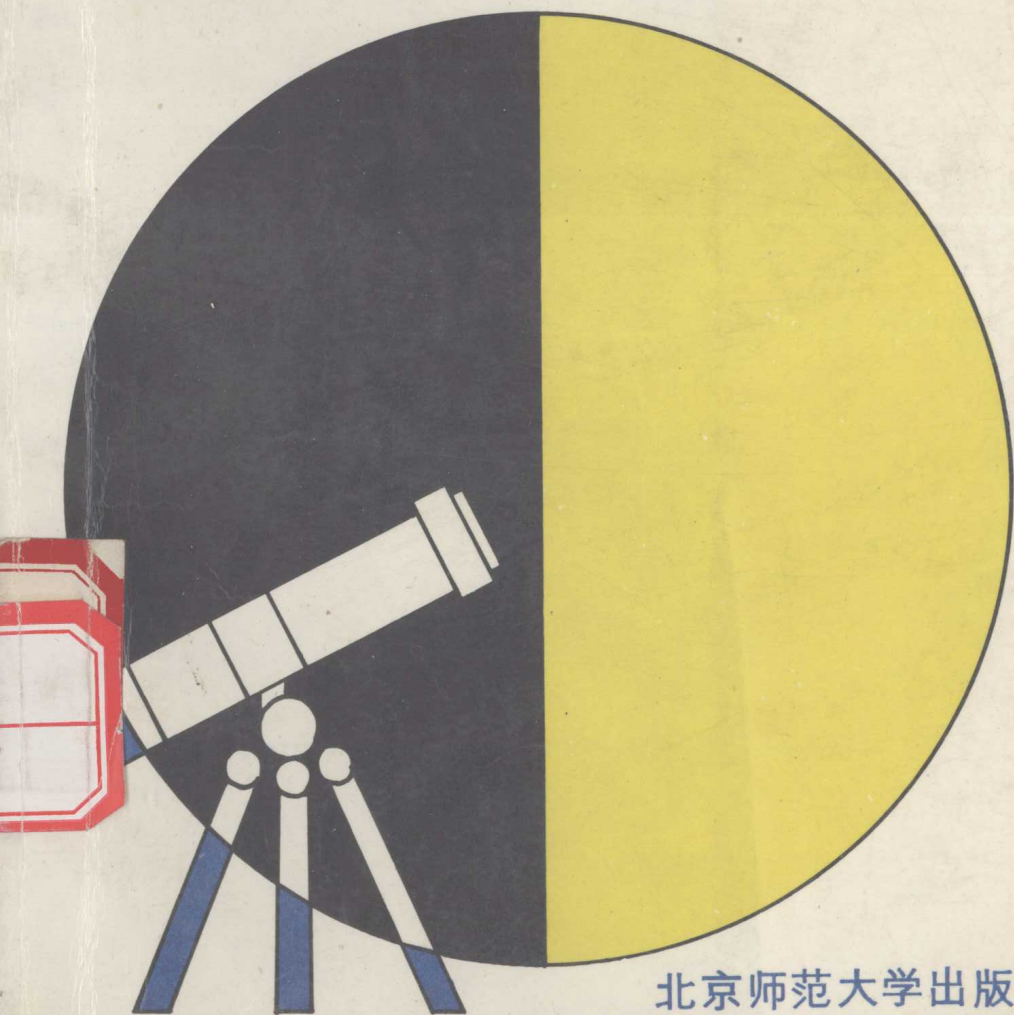


球面天文学

马文章



北京师范大学出版社

球面天文学

马文章 编著

北京师范大学出版社

球面天文学

马文章 编著

北京师范大学出版社出版发行

(100875 北京新街口外大街 19 号)

北京师范大学印刷厂印刷 全国新华书店经销

开本:850×1168 1/32 印张:9.25 字数:224 千

1995 年 11 月北京第 1 版 1995 年 11 月北京第 1 次印刷

印数:1—1 000 册

定价:9.75 元

内容提要

本书是根据编著者在北京师范大学天文系授课时的讲义改编而成的,全书共10章,系统地介绍了球面天文学的基本原理和方法、影响天体位置的诸种因素和改正公式,书中采用矢量运算、坐标转换等方法并引进了相对论时空观及有关公式。

本书可作为高等学校天文系教材,也可供天文大地测量学、天文导航学、天文学各分支学科的师生和科技工作者参考。

前 言

本书是根据编著者在北京师范大学为天文系学生讲授《球面天文学》的讲义改编而成的。它系统地介绍了引起天体位置变化的诸种因素及其归算方法。比较全面地介绍了球面天文学的基本内容、原理和方法。

球面天文学是天文学和相关学科的基础理论。根据球面天文学理论所导出的天体位置计算方法在天文学、天文导航学、测地学等方面具有实用价值。

国际天文学协会(IAU)决定:从1984.0年开始采用新的恒星参考系FK5(Fifth Fundamental Catalogue)和IAU1976年天文常数系统以及新的章动序列[IAU1980年章动序列和新的时间尺度等]。这些新规定要求基础天文学、天体测量学、天体力学以及测地学等与此有关内容将进行重大修正。球面天文学作为天文学及相关学科的基础理论也必需适应这种变化的需要。本书在编写过程中,对内容进行了删改,引进了矢量计算和天体位置的相对论效应。读者可通过本书了解到球面天文学比较新的内容和资料处理方法。

由于科学在不断进步,国际天文学会的一些新的决定在不断的推出,由于编著者水平有限,恳请读者指出不足之处,以便不断地改进和完善。

感谢北京师范大学天文系使用过《球面天文学》讲义的师生,对本书所提的改进意见。感谢北京师范大学出版社对出版本书的热情

和编辑同志给予的指导和帮助.感谢李志安副教授在百忙中审阅了全部书稿并提出了宝贵意见.

作者

1991.8

目 录

前言	(1)
第一章 天球及天球坐标系	(1)
§ 1.1 天球的基本概念	(1)
§ 1.2 天球坐标系	(4)
§ 1.3 空间直角坐标系	(11)
§ 1.4 天球坐标系的转换	(15)
§ 1.5 空间直角坐标系间的转换	(19)
§ 1.6 坐标转换实例	(27)
第二章 天体的周日视运动	(36)
§ 2.1 纬度 φ 处观测者所见天体周日视运动	(36)
§ 2.2 天体出没的时刻和方位角	(38)
§ 2.3 天体的中天和天体过卯酉圈	(40)
§ 2.4 天体大距	(42)
§ 2.5 天体的天顶距和方位角随时间的变化	(43)
第三章 时间的计量系统	(46)
§ 3.1 引言	(46)
§ 3.2 世界时系统(UT)	(48)
§ 3.3 历书时系统(ET)	(65)
§ 3.4 原子时系统(TAI)	(69)
§ 3.5 质心力学时(TDB)和地球力学时(TDT)	(70)
第四章 大气折射	(73)
§ 4.1 基本概念	(73)
§ 4.2 大气折射 ρ 值的计算	(76)
§ 4.3 大气折射实际用表	(81)
§ 4.4 大气折射较差	(83)

§ 4.5	大气扰动与反常折射	(85)
§ 4.6	大气内的天体大气折射效应	(87)
§ 4.7	大气折射对天体周日视运动的影响	(89)
第五章	视差	(93)
§ 5.1	视差的基本概念	(93)
§ 5.2	台站距地心的距离	(96)
§ 5.3	周日视差及其对天体坐标的影响	(101)
§ 5.4	周年视差及其对天体赤道坐标的影响	(110)
§ 5.5	视差的测定	(116)
第六章	光行差	(121)
§ 6.1	光行差的基本概念	(121)
§ 6.2	恒星周日光行差及其对天体坐标的影响	(124)
§ 6.3	地球绕日运动速度和向点	(127)
§ 6.4	恒星周年光行差对天体赤道坐标的影响	(130)
§ 6.5	利用贝塞尔日数 C, D 计算	(132)
§ 6.6	光行差常数 K	(136)
§ 6.7	光行差改正的相对论效应	(140)
§ 6.8	光行差 e 项改正的计算	(144)
§ 6.9	光经引力弯曲效应	(146)
§ 6.10	行星光行差	(149)
第七章	岁差和章动	(153)
§ 7.1	岁差和章动基本概念	(153)
§ 7.2	日月岁差、行星岁差、总岁差	(156)
§ 7.3	岁差对天体赤道坐标的影响	(163)
§ 7.4	章动的基本概念	(173)
§ 7.5	章动对天体赤道坐标的影响	(178)
§ 7.6	岁差常数及其测定方法	(184)
§ 7.7	章动常数及其测定方法	(193)
第八章	恒星自行	(197)
§ 8.1	恒星自行及其对天体坐标的影响	(197)

§ 8.2	恒星自行 μ 的变化引起 μ_α μ_δ 的重新分布	(202)
§ 8.3	岁差对自行分量的影响	(205)
§ 8.4	恒星平位置和恒星自行	(207)
§ 8.5	恒星自行的测定	(209)
第九章	恒星位置的计算	(215)
§ 9.1	恒星的视位置、真位置和平位置	(215)
§ 9.2	由星表历元平位置计算年首平位置	(217)
§ 9.3	根据年首平位置计算视位置	(219)
§ 9.4	利用空间直角坐标计算恒星视位置	(221)
第十章	天球惯性参考系	(227)
§ 10.1	建立天球惯性参考系的意义	(227)
§ 10.2	天球参考系建立的基本方法	(229)
§ 10.3	天球参考系的实现	(231)
§ 10.4	天球参考系的现状与未来	(232)
§ 10.5	地球参考系	(238)
§ 10.6	基本星表	(242)
§ 10.7	天文常数系统	(247)
附录		(262)
一	球面三角基本公式	(262)
二	矢量运算和狭义相对论有关公式	(263)
三	儒略日和儒略历元	(268)
四	IAU 1976 年天文常数系统	(270)
五	IAU 1980 年章动序列	(272)
六	天体测量星表目录	(277)
	参考文献	(286)

第一章 天球及天球坐标系

§ 1.1 天球的基本概念

天文学研究的对象是天体. 这里所说的天体包括自然天体和人造天体. 像星系、星云、星团、恒星、行星、太阳、月亮等都是自然天体; 而人造卫星、宇宙火箭等则是人造天体. 研究天体主要是研究天体各种形式的运动、化学组成及演化规律. 研究天体的运动, 就得需要知道天体在某一瞬间的位置. 描述天体在某一瞬间位置的问题, 总是和一定的坐标系联系在一起. 建立坐标系确定天体的位置, 是球面天文学的基本任务.

如何建立坐标系呢? 天文学中引进了一个辅助工具——天球. 天球是这样假想的一个球, 它是以任意点为球心(观测者的眼睛、望远镜焦平面、地心、日心……)任意长为半径的球. 在这个天球上规定各种基本点、圈建立天球坐标系. 将天体都投影到天球上(不管它们距离球心的远近), 讨论天体在天球上位置. 这样所建立起来的天球(例如以观测者为球心的天球)和人们的直观感觉是一样的. 天空好像一个巨大的半球复盖着大地, 太阳、月亮、星星等天体都好像分布在半球体的表面上. 看起来离观测者一样远. 在天球上描述天体的位置实际上仅仅反映天体的方向, 而不能代表天体距天球中心的距离, 天体距球心的距离需要用其它方法专门测定, 测定天体的距离也是天文学中基本课题. 因为知道天体距离就可以建立空间惯性参考系; 就可以研究太阳系、银河系……等的大小. 这部分内容将在后面有关章节介绍.

天球上基本点、圈是这样规定的:(图 1-1)

(1) 天极和天赤道:通过天球的中心 O (即球心)作一条与地球自转轴平行的直线 POP' , 称这条直线为天轴. 天轴与天球相交二点 P 和 P' , 和地球上北极对应的那点为北天极 P ; 和地球上南极对应的那点 P' 为南天极. 天轴是一条假想的直线. 由于地球自转的原因, 造成天球绕着这条假想的直线, 即天轴作周日旋转. 由于天球周日旋转, 天体才有东升西落现象, 这是我们常见的自然景象, 称为天体的周日视运动. 在天球的周日旋转中, 天球上的天极 P 和 P' 是天球上的不动点.

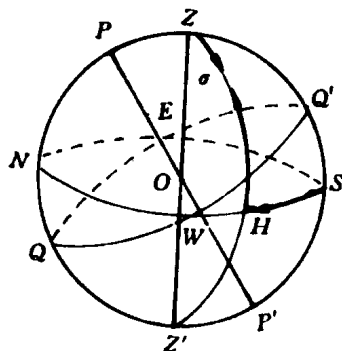


图 1-1

通过天球中心 O 作一平面和天轴 POP' 相垂直, 这一平面就称做天球赤道面. 天球赤道面和天球相交所截出的大圆 QQ' 就叫做天赤道. 根据天极和天赤道的定义, 显然天赤道面平行于地球赤道面. 由于天球周日旋转, 天赤道在原地转动.

由于天球绕天轴 POP' 转动, 天球上每个天体随着天球绕天轴周日视运动轨迹都和天赤道平行. 在天极 P 和 P' 处的天体其周日视运动轨迹退化为一点, 即不随天球周日旋转. 处在天赤道上的天体, 其周日视运动轨迹和天赤道重合; 处于二者之间的为平行天赤道的小圆. 我们称天体随天球周日旋转所描绘出来的周日视运动轨迹为周日平行圈. 所有天体周日平行圈都和天赤道平行.

(2) 天顶和真地平: 观测者所在地点的铅垂线方向延长线与天球相交二点 Z 和 Z' , 在观测者头顶方向的交点 Z 称为天顶. 另一点称为天底 Z' , 即观测者脚底方向. 过天球中心 O 作一平面和 ZZ' 连

线垂直,这一平面叫做天球地平面,它在天球上截出的大圆 $ESWN$ 叫做真地平(图 1-1).

(3) 天子午圈、四方点和卯酉圈:在天球上通过北天极 P 和天顶 Z 的大圆 $PZSN$ 就称为天子午圈. 天子午圈与真地平相交于 S 和 N 点. 靠近北天极 P 的那点 N 为北点,和它相对的那点 S 称为南点. 若面向北点 N ,则观测者右方距南北两点各为 90° 地方叫做东点,用 E 表示. 和东点 E 相对称为西点,用 W 表示. E 、 N 、 W 、 S 合称为四方点. 通过天顶 Z 和东点 E 和西点 W 的大圆叫做卯酉圈.

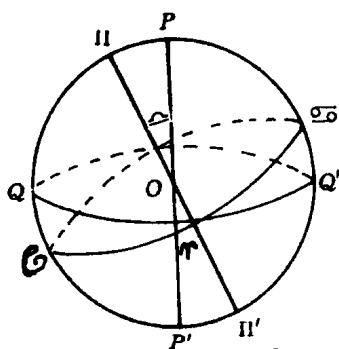


图 1-2

天球的周日旋转对于观测者所在地的天顶 Z 和真地平没有影响,即天顶和真地平不随天球周日视运动,天子午圈、四方点和卯酉圈也不随天球的周日视运动,但是,由于地面上不同观测地点的铅垂线方向是不同的,各地点都有自己的天顶.因此,各地都有自己的真地平,天子午圈、四方点、卯酉圈,即天顶、天子午圈、真地平、四方点、卯酉圈具有地方性.

(4) 黄道和黄极:参看图 1-2,通过天球中心 O 作一平面和地球公转轨道面平行,这一平面称为黄道面. 黄道面在天球上所截得大圆 $T\sigma\omega\tau$ 叫做黄道. 过天球中心 O 作垂直于黄道面的直线交于天球二点,靠近北天极 P 的那点称为北黄极用“ Π ”表示. 靠近南天极的那点“ Π' ”称为南黄极. 黄道面和赤道面之间夹角称为黄赤交角,用这字母“ ϵ ”表示. 黄赤交角是个变值,平均等于 23.5° . 由于天球周日旋转,黄极绕天极 P 也有周日视运动,天球周日旋转使得黄道面在天球上也不断地摆动.

(5) 二分点和二至点: 太阳是太阳系的中心天体, 地球是太阳系中的一个天体, 太阳系天体都环绕着太阳运动. 由于地球绕太阳公转, 地球上观测者见到的是太阳在一年内沿着黄道自西向东(从北黄极 Π 看逆时针方向) 旋转一周, 我们称太阳的这一运动为周年视运动, 太阳周年视运动轨迹在天球上投影也可用来定义黄道. 太阳沿着黄道周年视运动. 由赤道以南穿过赤道所经过的黄道与赤道交点叫做春分点用符号 Υ 表示, 而由赤道以北穿过赤道所经过的黄道与赤道的交点叫做秋分点, 用符号 $\cap$ 表示. 黄道上和春分点 Υ 相距 90° , 并在赤道以北的那点叫做夏至点, 用符号 φ 表示. 在黄道上与夏至点正相对一点叫做冬至点, 用符号 δ 表示.

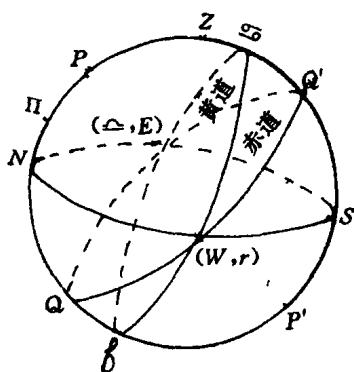


图 1-3

由于天球的周日旋转, 二分点和二至点像天体一样在天球上作周日视运动. 分点的周日平行圈是天赤道, 至点的周日平行圈距天赤道 23.5° .

春分点 Υ 的周日视运动, 在天文学的实际工作中有重要作用. 下面给出春分点 Υ 周日视运动两个特殊的位置: 一个是春分点 Υ 点和西点 W 重合的天球图(图 1-3), 一个是春分点和东点重合的天球图, 参看图 1-4. 请读者结

合这两个图分析黄极、二至点在天球上变化情况.

§ 1.2 天球坐标系

天球坐标系是在天球上用一对球面坐标(称为经角和纬角, 它相当于地理坐标中经度和纬度)来描述天体的位置, 天球坐标系给出的

天体位置只代表天体方向,而不考虑天体的实际距离。

在天球上根据天文工作的要求选取某一点作为基本极(或称第一极),以基本极为极的大圆作为基本圈.在基本圈上根据一定原则选取一点作为起算点:经角的零点.经角的度量是由起算点沿基本圈度量到天体所在经圈与基本圈的交点(经圈是过天体和基本极的大圆).纬角是天体与天球中心的连线同基本圈所在平面之间夹角,由基本圈沿天体所在

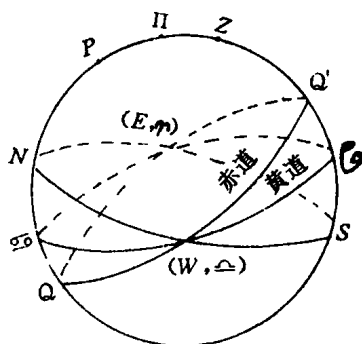


图 1-4

经圈向基本极量 $0^\circ-90^\circ$,向和基本极相对点(第二极)量 $0^\circ-90^\circ$ 。

下面给出常用的几种天球坐标系:

一、地平坐标系

取天顶 Z 为基本极,取真地平为基本圈,北点 N 为经角的起算点.所建立起来的天球坐标系为地平坐标系.天体在地平坐标系中位置用方位角(经角) A 和地平高度 h (纬角) 确定(图 1-5)。

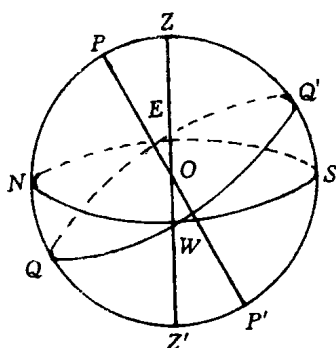


图 1-5

设有一天体 σ ,通过天顶 Z 和天体作 σ 大圆弧 $Z\sigma HZ'$,因天顶 Z 是真地平的极,所以 $Z\sigma HZ'$ 垂直于真地平. $Z\sigma HZ'$ 称天体 σ 的地平经圈,点 H 是天体所在地平经圈与真地平交点,方位角 A 是由北点 N 顺时针沿

真地平量至 H 点, 即 $\widehat{NH}$; 由 $0^\circ-360^\circ$ (也有规定从南点 S 顺时针量 $0^\circ-360^\circ$; 或者从南点分别向西 $0^\circ-180^\circ$, 向东 $0^\circ-180^\circ$) 天体 σ 的另一个坐标是大圆弧 $\widehat{H\sigma}$, 称为地平高度、用字母“ h ”表示。自真地平起沿天体地平经圈向天顶方向量为正 $0^\circ-90^\circ$; 向天底方向量为负 $0^\circ-90^\circ$ 。实际工作常使用大圆弧 $\widehat{z\sigma}$, 用 z 表示, 称为天体的天顶距, 由天顶起 $0^\circ-180^\circ$ 。天顶距 $z=90^\circ-h$ 。由于天体具有周日视运动, 所以天体的地平坐标随时间 t 不断地变化。又由于各地点不同, 地平坐标的基本点、圈也不一样, 因此地平坐标系具有地方性。天体的地平坐标和观测者在地面上位置有关。

二、时角坐标系

取天极 P 作为基本极、取天赤道作为基本圈; 基本圈和天子午圈靠近南点 S 的交点 Q' 为经角起算点 (赤道最高点)。这样所建立起来的坐标系为时角坐标系, 天体在时角坐标系中的位置是由时角 t 和赤纬 δ 确定。(图 1-6)

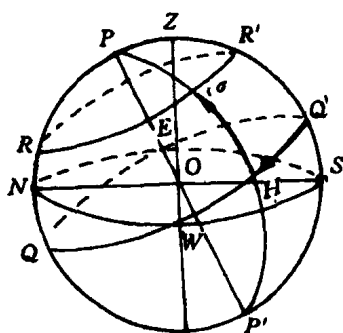


图 1-6

设有一天体 σ , 通过天极 p 和天体 σ 作大圆弧 $\widehat{P\sigma HP'}$, 因天极 P 是天赤道的极, 所以 $P\sigma HP'$ 垂直于天赤道。 $P\sigma HP'$ 称为天体的赤经圈。天体时角 t 是由天赤道和天子午圈交点 Q' 点起顺时针度量到 H 点即大圆弧 $\widehat{Q'H}$, 0^h-24^h (根据实际工作需要, 时角 t 也可以从 Q' 点沿天赤道向东、向西分别量 0^h-12^h)。天体 σ 另一个坐标是大圆弧 $\widehat{\sigma H}$, 称为天体的赤纬, 用字母 δ 表示。自天赤道起向北天极 P 方向量为正; 向南

天极方向量为负,取 $0^{\circ} \sim \pm 90^{\circ}$. 有时也用 $\widehat{P\sigma}$ 弧表示,称为天体的极距,极距 $P = 90 - \delta$.

当天体作周日视运动时,天体 σ 周日平行圈是平行赤道的小圆,因此天体的赤纬 δ 不随周日运动而变化. 但天体时角 t 将随周日运动变化,即时角 t 随时间变化.

天球时角坐标系,因选择天赤道与天子午圈交点为经角起算点,而各地天子午圈不一样,这样在同一瞬间,对于两个不同地理经度的观测者,得到的天体 σ 时角 t 是不同的,时角坐标系同地平坐标系一样具有地方性.

三、赤道坐标系

取天极 P 为基本极,取天赤道为基本圈,选择春分点 T 为经角的起算点,这样所建立起来的坐标系为赤道坐标系. 天体 σ 在赤道坐标系中的位置,由赤经 α 和赤纬 δ 确定(图 1-7).

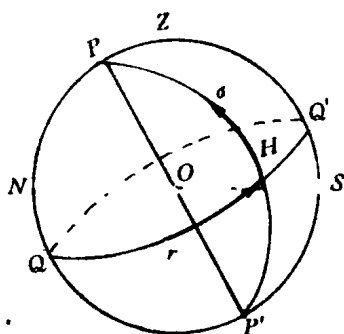


图 1-7

设有一天体 σ , 在赤道坐标系中的表示法. 过天体 σ 和天极 P 作大圆弧 $\widehat{P\sigma HP'}$. 天体 σ 的一个坐标赤经 α 为大圆弧 $\widehat{TH}$, H 是天体的赤经圈与天赤道交点. 赤经是由春分点 T 逆时针沿赤道量至 H 点(从北天极 P 看)由 $0^h - 24^h$. 天体 σ 的另一个坐标 δ 与时角坐标系中的相同,即天体的赤纬 δ .

由于春分点 T 和天体 σ 都随天球做周日视运动,所以春分点 T 和天体 σ 相对位置没有变化,天体赤经 α 不随时间变化,天体赤纬 δ 也不随时间变化(和时角坐标系分析同).

天球赤道坐标系的基本点、圈不因观测地点不同而变化,坐标的起算点春分点 Υ 也不随观测地点而不同,因此赤道坐标系不具有地方性。

四、黄道坐标系

取黄极 Π 为基本极,取黄道为基本圈,选择春分点 Υ 为经角的起算点,这样建立起来的天球坐标系为黄道坐标系。天体在黄道坐标系中的位置是黄经 λ 和黄纬 β 来确定的(图 1—8)。

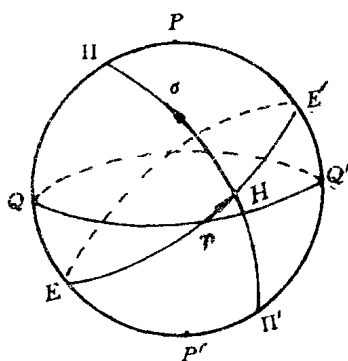


图 1-8

设有一天体 σ , 通过北黄极 Π 和天体 σ 作大圆弧 $\Pi\sigma H\Pi'$, 它垂直于黄道, 交一点 H 。大圆弧 $\Pi\sigma H\Pi'$ 称为天体的黄经圈。天体 σ 的一个坐标为大圆弧 ΥH , 叫做天体 σ 的黄经。黄经是由春分点 Υ 沿着黄道逆时针量, 由 $0^h \sim 24^h$ (从北黄极 Π 看), 天体的另一个坐标 β 是大圆弧 σH , 是天体的黄纬 β 。 β 自黄道向北黄极方向量为正, 向南黄极 Π' 方向量为负, 取

$0^\circ \sim 90^\circ$ 。

天体 σ 的黄道坐标值 (λ, β) 因黄极 Π 、春分点 Υ 、天体 σ 都随天体做周日视运动, 它们在天球上相对位置没有变化, 所以天体 σ 的坐标 (λ, β) 不随时间变化。

天球黄道坐标系所采用的基本点、圈及经角的起算点都不因观测者所在地不同而不同, 所以黄道坐标系不具有地方性。

以上这四种天球坐标系是天体力学和天体测量工作中常用的坐标系, 研究恒星往往采用天球银道坐标系。

根据上述给出的四种天球坐标系, 可以引出下面两个重要的关