

电子图书



信息技术的结晶

人类文明的载体

网络的基本资源

内容简介

《地球概论》是高等师范院校地理系的一门先行的基础课程。它的内容是关于行星地球的基础知识。它与相关后续课程不同的是：《地球概论》讲述的是地球的整体；而其它课程所讲的是关于地球的某一圈层，如地球的大气圈、水圈、岩石圈和生物圈。

《地球概论》的内容分为两个方面，即地球的天文学和地球的物理学。前者主要讲述地球的运动（自转和公转）及其地理意义（四季五带、历法和时间），以及地球和月球的关系（日月食与天文潮汐），这是本课程的重点所在；后者简要讲述地球的形状大小，内外结构以及它的物理性质。

地球的天文学还包括地球的宇宙环境。从远到近，由大及小，这部分普通天文学知识，被概括为恒星和星系，太阳和太阳系，月球和地月系。此外，为了地理定位和表示天体——特别是太阳和月球的视运动，《地球概论》首先要讲述的是地理坐标和天球坐标。

地球概论

第一章 地理坐标与天球坐标

第一节 地理坐标

101 经线和纬线

§ 101—1 地球上的经线和纬线

大地是一个球体，称为地球。作为太阳系九大行星成员之一，地球环绕中心天体太阳运动，同时绕轴自转。地球的自转轴叫地轴。地轴通过地心，它同地面相交的两个端点，是地球的两极，分别叫北极和南极。

为了地理定位的需要，人们设置地理坐标系。我们知道，二直线相交于一点，点的位置可以用纵横两线相交来确定。举例来说，人们凭入场券上的几排几座，就能在剧场里找到自己的座位。根据这个道理，人们在地球上划分许多纵横交叉的线——经线和纬线。

按中文意思，纬线意即横线，经线则是竖线。平面上的直线，到了球面上就成了弧线。所以，纬线和经线都是地球上大大小小的圆。在几何上，任何圆都代表一定的平面，因此，球面上的圆，都可以看作一定的平面同球面的截割线。纬线与经线的差异，在于各自平面同地轴的关系：前者垂直于地轴，后者则通过地轴（图 1—1）。

图 1—1 纬线和经线

纬线平面垂直于地轴，经线平面都通过地轴。

一切垂直于地轴的平面同地面相割而成的圆，都是纬线。所有纬线互相平行（它的西名 *parallel*，意即平行线），大小不等。其中，垂直于地轴，且通过地心的平面同地面相割而成的圆，是纬线中的唯一大圆，名叫赤道¹。赤道分地球为南北两半球，是地理坐标系的横轴。

一切通过地轴（也必通过地心）的平面同地面相割而成的圆，都是经圈。所有经圈都是大圆，因而有同样的大小。它们都在南北两极相交，并被等分为二个半圆，这样的半圆叫经线。其中，通过英国伦敦格林尼治天文台的那条经线，被公认为本初子午线，即 0° 经线。它是地理坐标系的纵轴。

经线和纬线处处相交。每一条经线通过所有的纬线；每一条纬线也通过所有的经线，而且相互垂直。地球上每一地点，都可以看成特定的经线和纬线的交点，从而确定它们的地理位置。

§ 101—2 地球上的方向和距离

¹ 赤道是地球的大圆。它的西名 *Equator*，意为“等分者”，它把地球等分为南北两半球。世界上有两个以赤道命名的国家：一个是南美洲号称“赤道之国”的厄瓜多尔。这个名称是西班牙语“赤道”一词的音译。它的首府基多，地处赤道附近，有“世界中心”。另一个是西非的赤道几内亚。它的面积很小，事实上，赤道并不经过这个国家。

格林尼治原是英国首都伦敦东南郊泰晤士河畔的一个港口要塞。1884 年，在华盛顿举行的国际经度会议决定，以通过格林尼治天文台主要子午仪的那条经线为本初子午线。从此，格林尼治天文台成了经度和时间的基准。在此以前，许多国家都曾以通过各自首都的经线为本初子午线，而没有全球统一的本初子午线。格林尼治天文台是英国皇家天文台，建于 1675 年，后因城市工业发展，环境污染，给天文观测带来困难。格林尼治天文台于 1948 年迁出伦敦，移至 60 英里外的赫斯特象镇，原址被辟为博物馆。现在，格林尼治已没有皇家天文台，但那里仍然是经度和时间的基准点。

地球上的方向，通常是指地平方向。地平圈上的东南西北四正点，代表地平方向的东南西北四正向。我国古代用十二地支（子丑寅卯……戌亥）表示地平方向，其中的子午和卯酉，分别就是南北和东西向（图 1—2）。

在地球上，经线就是南北线（故经线也叫子午线）。所有经线都相交于南北两极，向北就是向北极，向南就是向南极。南北两极是世界的二个顶端，它们分别是南北方向的终点，同时又是二者的起点。北极是向南的起点，那里的四面八方都朝南，没有别的方向；南极则是向北的起点，与北极情形相反。因此，南北方向是有限方向，有其起始和终极。

东西线垂直于南北线，因而纬线（垂直于经线）的方向，就是东西方向。纬线都是整圆，没有起点和终点，因而东西方向是无限方向。一地如位于另一地的东方，它也必定位于该地的西方。当年哥伦布和麦哲伦等人都是向西航行，可他们的目的地却是东方！因为两地互为东西，所以，西行可以东达。但是，实际上人们总是采取二地之间的最短距离，即取圆的劣弧来定东西。任何地点不是位于另一地点的东方，就是位于它的西方，不能两者兼而有之。这样，两地之间，理论上是亦东亦西，实际上则是非东即西。

图 1 - 2 十二支表示地平方向。其中，子午表示南北；卯酉表示东西

我国中原地区位于北回归线以北，太阳上中天为南中，因此，我国古时把正南方定义为正午太阳所在的方向，而把日出和日没方向视为东西方向。由此看来，地球上的方向，是同它的自转相联系的。人们常说，地球向东自转；事实上，正是把地球自转的方向定为向东。旋转方向通常是按时针的方向来表述的。然而，在这样做的时候，观测者必须明确，他是立足在哪个半球来观测地球自转的。在北极上空看起来，地球是以逆时针方向自转的；而在南极上空看起来，则是顺时针方向自转（图 1—3）。这样的方向叫做向东，与此相反的方向便是向西。

图 1—3 地球自转方向——向东。在北半球看，呈逆时针方向；

在南半球看，则为顺时针方向

地球是一个球体。在球面上，两点间的最短距离，是通过它们的大圆弧线。因此，求地面上两点之间的最短距离，首先是它的角距离，然后把角距离换算为线距离。在这种情形下，为度量地面上两点之间的线距离，要求所采用的长度单位同角度单位之间，最好有一种简单的换算关系。这样的长度单位，在近代自然科学精确测定地球的形状和大小之后，相继出现了。

在远洋航行中，航海家们常用球面三角法推算两点间的角距离。为了由角距离换算为直线距离的方便，人们创造了一种新型的长度单位——海里（n mile）。是经线 1 分的弧长。这样，地面上两地间距离的弧分值，等于其长度的海里数。采用这样的单位，经线的全长为 $60 \text{ 海里} \times 180 = 10\,800 \text{ 海里}$ ；赤道周长为 $60 \text{ 海里} \times 360 = 21600 \text{ 海里}$ 。

公里（Km）本来也是这样的长度单位。按照法国人原来的设想，地球全周分 400° ，每度分成 $100'$ ，每分的弧长就是 $1\text{Km} (= 0.621\text{n mile})$ 。因此，地球的周长，论角度是 400° 或 $40\,000'$ ，论线距离是 $40\,000\text{Km}$ 。每

天体在周日视运动中，当它超过观测者子午圈的瞬间，叫中天。天体在一日内有二次中天，其中离天顶较近的一次叫上中天，这时，它的地平高度最大；离天顶较远的一次叫下中天。

度折合 100Km, 1Km 折合 $1'$, 是周长的 $1/40\,000$ 。这个办法也是十分完美的。后来, 分全周为 400° 的制度没能流传下来, 作为长度单位的公里, 却在全世界通行。这才形成经线 1° 为 $\frac{40,000}{360^\circ} = 111.1\text{Km}$ 的情况。这是一个有用且容易记住的数字。

我国的华里也属于同样的情形。1 华里是指经线 1° 之长的 $1/200$, 即地球周长的 $1/80000$ 。

总之, 所有这些单位的定义, 都把长度单位与角度单位直接联系起来, 因为地球是一个球体, 地面上两点间的距离首先是角距离。

102 经度和纬度

地球上有众多的经线和纬线, 需要给每一条经线和纬线命名, 以示互相区别。最简单的命名方式是编号。事实上, 只有极少数的经线和纬线具有专名。除本初子午线、赤道、南北回归线和南北极圈外, 其余所有的经线和纬线, 都是采用编号的方式命名; 而这种“编号”是按一个特定的角度大小为序, 故称经度和纬度。按通俗意义说, 本初子午线 (0° 经线) 就是头号经线 (它的西名 prime meridian 也含有这个意思); 北纬 30° 线, 就是赤道以北第 30 号那条纬线……余类推。

§ 102—1 经度和纬度

在立体几何上, 纬度是一种线面角, 即直线同平面的交角。其中的面指赤道面, 线指本地的法线。本地法线同赤道面的交角, 就是所在地的纬度。纬度在本地经线上度量, 赤道面是起始面, 所在地是终止点。由于赤道把地球分成南北两半球, 纬度向南北两个方向度量: 赤道以北叫北纬 (以字母 N 表示); 赤道以南叫南纬 (以字母 S 表示)。南、北纬各从 0° — 90° 。人们通常以南、北纬 30° 和 60° 为界, 把纬度分成低纬、中纬和高纬三段。但这种划分是相对的, 没有严格的地理意义。综合上述纬度的南北方向和角度大小的两个方面, 我们可以说, 一地的纬度, 就是这个地点相对于赤道面的南北方向和角距离, 体现这一量度的是从赤道到所在地的一段经线 (图 1—4)。

图 1—4 纬度和经度

纬度是线面角, 即本地法线同赤道平面的交角; 经度是两面角, 即本地子午面与本初子午面的夹角。

值得指出的是, 如果把地球当作一个正球体, 那么, 本地法线同时又是该地的地球半径, 纬度既是地面上经线的弧段, 又是地球的球心角。实际上, 地球是一个两极稍扁的扁球体, 地面法线与地球半径并不重合。地理上所强调的是地面法线和经线弧的度数, 而不是地球半径和它的球心角 (详见 § 602—3)。

经度是一种两面角: 一个是本地子午线平面, 另一个是本初子午线平面。两个平面的夹角, 即为本地经度。经度通常在赤道上度量 (也可以在所在地的纬线上度量), 起始面是本初子午面, 终止面是本地子午面。在赤道上度量经度是更为方便的, 因为赤道是纬线中的唯一大圆, 它使经度的度量不但有全球共同的起始面, 而且有全球共同的起始点。这个点就是赤道与本初子

午线的交点，即地理坐标系的原点。经度自原点起向东西两个方向度量：本初子午线以东叫东经（以字母 E 表示），本初子午线以西叫西经（以字母 W 表示），东西经各从 0° — 180° 。综合上述经度的东西方向和角度的大小，我们可以说，一地的经度，就是这个地点所在的子午面，相对于本初子午面的东西方向和角距离，体现这一量度的是这两个平面在赤道上截取的一段弧（图 1—4）。

经线都是大圆，所以，纬度的间隔大体上相同，每 1° 约为 111Km。同一经度的两地，根据它们的纬度差，就能估算它们之间的距离。纬线除赤道外，其余都是大小不等的小圆，因此，经度的间隔随纬度增高而减小（图 1 - 5）。具体地说，它与纬度的余弦成反比。例如，在南北纬 60° ，经度的间隔是赤道的一半（参见附录表一）。

图 1 - 5 经线的间隔随纬度增大而减小

§ 102—2 地理坐标

一地的纬度，表示该地相对于赤道的南北位置；一地的经度，则表示该地的子午面相对于本初子午面的东西位置。二者相结合，标志一个地点在地面上的特定位置，被叫做这个地点的地理坐标。度量全球各地的地理坐标，需要一个统一的制度，叫做地理坐标系。按照这样的制度，地面上同一个特定地点的地理坐标相联系的有三个大圆，它们就是赤道、本初子午线和本地子午线。赤道是纬度度量的自然起点所在，是地理坐标系的横轴；本初子午线是经度度量的人为起始所在，是地理坐标系的纵轴；二者的交点即为坐标系的原点。它们是坐标系的框架，都是一成不变的。本地子午线则随地点的不同，可以在本初子午线的东西两侧变动，而点在本子午线上的具体位置，则随地点的不同可以在赤道的南北两侧变动。通过这二种变动，同一坐标系可以用来表示地面上任何一个地点的地理位置。

地理上有一个约定俗成的规矩：在读取和书写地理坐标时，总是纬度在先，经度在后；数字在先，符号在后。例如，北京的地理坐标是： 40°N ， 116°E 。它表示，北京的地理位置在纬度 40° 的那条纬线与东经 116° 的那条经线的交会处。

用地理坐标系的纬度和经度来表示特定地点的地理位置，是一种科学的方法。它不但表示一个地点的位置，而且还表示各个地点之间的方向和距离。在大海上航行的船只和在天空中飞行的飞机，通过纬度和经度的测定，就可以确定它们在海上和空中的位置及航行的方向。

图 1—6 在墨卡托投影图上的经线和纬线。经线互相平行，纬线的间隔由赤道向两极增大，以致格陵兰岛比南美洲还大。如果把地面比作一座剧场，那么，北京便坐落在赤道以北第 40 排（ 40°N ）和本初子午线以东 116 座（ 116°E ）

复习与思考

● 什么是纬线和经线？什么是纬度和经度？它们有何区别与联系？为什么纬线是整圆，而经线是半圆？

● 为什么南北方向是有限方向，而东西方向是无限方向？怎样理解地面上两点间的东西方向既是理论上的“亦东亦西”，又是实际上的“非东即西”？

第二节 天球坐标

103 天球

§ 103—1 天球和天穹

天空呈球形，这是有目共睹的。众星列宿布满天空，对于这些极其遥远的天体，人眼无法分辨它们的相对远近，似乎是等距的。它们同观测者的关系，犹如球面上的点同球心的关系。既然天空看起来像个球面，人们就把广袤的宇宙当作球体看待，并把天体在天空中的视位置，当作它们的真实位置。这对于那些无需考虑距离因素，如对时间、纬度的测定来说，带来极大的方便。这样一个假想的球体，叫做天球。天空的昼夜旋转表明，天球不但存在于地平之上，而且还有一半隐入地平之下。人们所能直接观测到的地平之上的半个球形的天空，又被叫做天穹。

天文上在定义天球时，规定了两个条件：一，天球的球心是观测者或地心；第二，天球的半径是任意的。它包容一切，不论天体如何遥远，总可以在天球上有它的投影。这样，既承认天体事实上的距离悬殊；又可以利用天球上的视位置对于地球的等距性。概括地说，天球就是以地心为球心，以任意远为半径的一个假想的球体（图 1—7），天文学用作表示天体视运动的辅助工具。

图 1 - 7 天球示意图。天球的半径是任意的，所有天体，不论多远，都可以在天球上有它们的投影

以上所说是地心天球。在说明地球或行星公转的时候，人们也使用以太阳中心为球心的天球，叫日心天球。通常所说的天球，皆指地心天球。

§ 103— 2 天球的视运动

在地球上的观测者看起来，整个天球像是在围绕着我们旋转。这种视运动是地球自转的反映。地球绕地轴由西向东自转。这种运动是人类感官无法直接感觉到的，人们所感觉到的，却是地外的天空，包括全部日月星辰，概无例外地以相反的方向（向西）和相同的周期（1 日）运动。这种视运动被叫做天球周日运动。

在北半球看起来，天球的周日绕转中心是天北极。紧靠天北极有一颗较明亮的恒星，被称为北极星。

天体周日运动行经的路线叫周日圈。从图 1—8 中可以看出，天体愈近天极，其周日圈愈小；离极愈远，周日圈愈大。这里要先提请注意：天体的周日圈，就是它所在的那条赤纬圈。

地球在自转的同时，还绕太阳公转。地球公转的方向与其自转方向相同，都是向东。这种运动同样是不能被感觉到的。在地球上的观测者看来，倒是像太阳在绕地球运动。如图 1 - 9 所示，当地球在其轨道上由 E1 公转到 E2，从地球上看来，太阳在天球上的投影便从 S1 移到 S2。一年后，地球公转一周回到 E1，太阳则以相同的方向（向东）和周期（1 年），在众星间巡天一

天穹有别于天球。天球是整球，天穹是半球；天球是圆的，而天穹是扁的。“天似穹庐，笼盖四野”，我们日常所见的蔚蓝色的天空，其实是包围地球的大气层，沿地平方向，似乎距离很遥远；沿天顶方向，距离较近。

周。这叫太阳周年运动，其视行路线被叫做黄道。

图 1—8 天球周日运动。把摄像机镜头对准天北极，经长时间曝光摄成的照片。恒星都绕转天北极。距极愈近，周日圈愈小。亮星画出的弧线较粗，暗星的弧线较细，但所有弧段的弧度相等。北极星的周日圈最小（距极近）最粗（亮度大）

太阳周年运动的图解是十分明显的。但是，这种天象却是无法直接观测到的（在天象馆里能清楚地演示），因为太阳的眩目光辉掩蔽了星空背景。因此，古代天文学家从观测夜半中星的变化，间接地推出太阳的周年运动。我们知道，中星大多位于“天南”，夜半太阳沉入“地北”。夜半中星不断改变，证明太阳在恒星间不断移动。例如，北半球的观测者在每年春分（3 月 21 日）夜半，看到狮子座中天。这时，从地球的另一侧看来，太阳在天球上位于飞马座方向（图 1—10）。随着地球轨道位置的改变，夏至（6 月 22 日）、秋分（9 月 23 日）和冬至（12 月 22 日）的夜半中星，分别为天蝎座、飞马座和猎户座；这些日期的太阳，相应地位于猎户座、狮子座和天蝎座方向。

图 1 - 9 太阳周年运动，方向向东（与地球公转方向相同），其视行路线被叫做黄道

图 1—10 夜半中星随季节的变化，是地球公转的反映

这样，夜半中星的变化，反映了太阳在天球上从一个星座到另一个星座的巡天运动。历史上，人们就是根据太阳的周年运动，发现地球绕太阳公转的。

如此看来，天空中的太阳同时参与两种相反的运动：一种是由于地球自转，随同整个天球的运动，方向向西，日转一周；另一种是由于地球公转，表现为相对于恒星的运动，方向向东，每年巡天一周。这后一种运动使太阳周日运动的速度比恒星每日延缓约 1° ，周期延长约 4 分钟。如果说，昼夜（太阳日）以 24 小时交替，那么，星空便以 23 小时 56 分（恒星日）轮转。于是，造成星空形象的季节变化。

§ 103—3 天球上的圆和点

天球虽是假想的，但天空给予人们以球形的印象却是逼真的。因此，同地球一样，天球上也有相应的圆（圈）和点。这里，首先要说明与建立天球坐标系相关的三个基本大圆，它们是地平圈、天赤道和黄道，以及各个大圆的极点和它们彼此间的交点和远距点。

——地平圈是通过地心，且垂直于当地铅垂线的平面的无限扩大，同天

中星，指上中天的星宿；夜半中星，即夜半中天的星宿。文天祥《过零丁洋》：“辛苦遭逢起一经，干戈寥落四周星”，星即指中星。中星变化周期为 1 年，“四周星”即 4 年。

人们常会产生这样的问题：太阳的周日运动和周年运动，都是一种视运动，分别是地球自转和公转的反映，但前者的方向向西，与地球自转方向相反；而后者的方向向东，与地球公转方向相同，为什么？对于这样的问题，看下面的图解就会明白：对天球的周日运动来说，观测者同他所观测的天体，均位于转动中心（地心）的同侧；而对太阳的周年运动来说，观测者同他所观测的天体，分居于转动中心（太阳）的两侧。图 1—11 天球的视动左：地球公转和太阳周年运动，二者都向东。右：地球自转和天球周日运动，前者向东，后者向西。

球相割而成的天球大圆。它把天球分成可见和不可见两部分。地平圈的两极是天顶(Z)和天底(Z')。

——天赤道是地球赤道平面的无限扩大，同天球相割而成的天球大圆。天赤道分天球为南北两半球。它的两极叫天北极(P)和天南极(P')。

——黄道是地球公转的轨道平面的无限扩大，同天球相割而成的天球大圆。它就是太阳周年运动的视行路线。黄道的两极是黄北极(K)和黄南极(K')。

上述三个基本大圆中，天赤道和黄道是唯一的，地平圈则因地而异；还应该注意，地平圈是天球的大圆，它属于天球，而不属于地球。

球面上任意二个大圆相交，必互相等分。它们有二个交点，彼此各有一对远距点。交点与远距点的间隔为 90° 。

——天赤道与地平圈的两个交点是东点(E)和西点(W)。它们的交角大小因纬度而不同(等于当地余纬)。地平圈对于天赤道的二个远距点是南点(S)和北点(N)。上述的东点、南点、西点和北点，是地平圈上的四正点；在任何地方，它们分别是东方、南方、西方和北方的标志。天赤道对于地平圈的两个远距点，一个在地平之上，可称作上点(Q)；另一个在地平之下，故称为下点(Q')。(图1—12)。

图1—12 天球大圆的交点和远距点

左：地平圈与天赤道的交点(东点、西点)和远距点(南点、北点和上点、下点)

右：黄道与天赤道的交点(二分点)和远距点(二至点和无名点)。

——黄道与天赤道成 $23^\circ 26'$ 的交角(称黄赤交角)。它们的两个交点称为二分点。对北半球来说，按太阳周年运动方向，黄道对于天赤道的升交点为春分点(γ)，降交点为秋分点(ω)；黄道上的两个远距点称为二至点，北至点为夏至点($\odot$)，南至点为冬至点($\ominus$)。沿黄道作周年运动的太阳，分别于3月21日、6月22日、9月23日和12月22日，依次经过春分点、夏至点、秋分点和冬至点，它们分别就是北半球的春分日、夏至日、秋分日和冬至日。天赤道对于黄道的两个远距点，尚无正式定名，暂称为无名点。

§ 103—4 天球上的方向和距离

天球上的方向也是以地球自转为基础的。简单地说，它是地球上的方向的延伸。天轴和南北天极是地轴的延伸；天赤道则是地球赤道的扩大。在地球上，南北两极是南北方向的标志，向北就是向北极，向南就是向南极。天球上的南北方向也是有限方向。若某天体比另一天体更接近天北极，那么，该天体就在它的北方，反之亦然。在地球上，赤道和纬线方向都表示东西。在天球上，天赤道和赤纬圈方向也表示东西方向。天球周日运动的方向，就是向西；与此相反的方向，则为向东。值得注意的是，若在天外俯视天北极，天球周日运动(向西)是顺时针方向旋转；而在地球上仰视天北极，则天球周日运动(向西)呈逆时针方向旋转(图1—13)。

地球上的距离，有角距离和线距离。但在天球上，只有角距离而没有线距离，因为天球的大小是任意的。至于两天体间的实际距离，例如，牛郎星和织女星相距16.4光年，那是指空间的直线距离，而不是天球上的距离。天球上的任何一点，都只代表一个空间方向；任何两点间的弧长，实际上就是两个方向间的夹角。例如，牛郎星和织女星的角距离约为 35° (图1—14)。

图 1—13 天球上的方向

左：如在天球外俯视天球和地球，那么，天上和地上的东西方向一致，顺时针为向西。

右：在地球上仰望天极，那么，天上的东西方向同地上相反，逆时针为西。

图 1—14 天球上的距离

牛郎和织女在地心天球上相距 35° ，它们的空间距离 16.4 光年，无法在天球上反映出来。

104 天球坐标

§ 104— 1 球面坐标系概说

为了确定一个地点在地球上的位置，人们设置地理坐标系；同理，为了确定天体在天球上的位置，需要设置天球坐标系。地理坐标系和天球坐标系，都是球面坐标系。在天文学上，根据不同的需要，使用不同的天球坐标系。各种天球坐标系，有不同的特点。但是，它们都有球面坐标系的共同特点。这些特点是：

——球面坐标系都有一个基本大圆，称为基圈。例如，在地理坐标系中，赤道就是它的基圈。

——基圈上都有一个原点。原点的择取是以通过它的辅圈为标志的。辅圈就是通过基圈的两极、因而垂直于基圈的所有大圆。在地理坐标系中，它们就是经线。通过原点的辅圈，叫做始圈。例如，地理坐标系中的始圈，就是本初子午线。

——球面上任一点相对于基圈的方向和角距离，用纬度表示，是点的纵坐标。例如，地理坐标系的纵坐标叫地理纬度。

——球面上任一点所在的辅圈平面相对于始圈平面的方向和角距离，用经度表示，是点的横坐标。例如，地理坐标系的横坐标叫地理经度。

根据上述特点，人们可以归结球面坐标系的一般模式：对于特定的点来说，这个模式实际上是一个球面三角形（图 1—15）。构成这个三角形的三条边，分别属于三个大圆，即基圈、始圈和终圈（点所在的辅圈）。三角形的三个顶点是基圈的极点、原点和介点（终圈与基圈的交点）。三边中的基圈和始圈，分别是坐标系的横轴和纵轴，是固定的框架。终圈则是可变动的，体现这种变动的是点的经度；点在终圈上的位置也是可变动的，体现这一变动的是点的纬度。通过这两种变动，球面上任何一点的位置，都可以用一定的经度和纬度的结合来确定。前者是点的横坐标，后者是点的纵坐标。

在天文学上，常用的天球坐标系分两大类：右旋坐标系和左旋坐标系。前者与天球周日运动（地球自转）相联系，因天球周日运动方向向西（右旋），因此，经度向西度量，有地平坐标系和第一赤道坐标系。后者与太阳周年运动（地球公转）相联系，因太阳周年运动方向向东（左旋），因此，经度向东度量，有第二赤道坐标系和黄道坐标系。

图 1—15 球面坐标系的一般模式

它是一个由基圈、始圈和终圈构成的球面三角形。三角形的三顶点为极点、原点和介点。天体的纬度就是天体所在的球半径与基圈平面的交角；天

体的经度就是始圈与终圈平面的夹角。天球坐标系有右旋与左旋之别，本图为左旋模式。

§ 104—2 地平坐标系：高度和方位

(1) 用途：地平圈把天球分割成两部分，人们所见的天空，是地平圈以上的一半。随着天球的周日旋转，天体相对于地平线的升落和移动，是人们目睹的最直观的天象：旭日东升，夕阳西下，如日方中……，都是对太阳的方位和高度的描述。地平坐标系就是用来表示天体在天空中的方位和高度及其周日变化。

(2) 圆圈系统：地平坐标系同地平圈相联系。地平圈的两极，是当地的垂线向上下两个方向无限延伸，与天球相交的两个端点，叫天顶和天底。通过天顶、天底且垂直于地平圈的一切大圆，是地平经圈，或简称平经圈；一切与地平圈平行的圆，是地平纬圈（也叫等高线）。地平圈与天赤道相交于东点和西点；它对于天赤道的二个远距点是南点和北点。通过南点和北点（也必通过南北天极和上点、下点）的平经圈，被叫做子午圈，必要时以天顶、天底为界，分为子圈（北半圈）和午圈（南半圈）；通过东点和西点的平经圈，被称为卯酉圈，必要时以天顶、天底为界，分为卯圈（东半圈）和西圈（西半圈）。地平圈、子午圈和卯酉圈，是相互垂直且等分的三个天球大圆，它们把天球分成 8 个相等的球面三角形。

(3) 基本要点：有了上述的圆圈系统，我们就有条件来说明天球的地平坐标系。根据球面坐标系的一般模式，地平坐标系有如下要点：

——它的基圈是地平圈。

——它的原点通常是南点，始圈通常是午圈。

——地平纬度称高度 (h)，是天体相对于地平圈的方向和角距离。高度自地平圈起，沿天体所在的地平经圈向上（下）度量，自 0° — $\pm 90^\circ$ 。高度的余角为天顶距 (z)。

——地平经度称方位 (A)，是天体所在的地平经圈相对于午圈的方向和角距离。方位以南点为起点，沿地平圈向西度量，自 0° — 360° 。南点、西点、北点和东点的方位，分别为 0° ， 90° ， 180° 和 270° 。方位之所以要向西度量，是因为周日运动方向向西，使天体方位随时间递增，便于计量。

图 1—16 地平坐标系的圆圈系统

基圈为地平圈，引进天赤道，根据地平圈同它的关系，得到地平圈上四个相距 90° 的点，即东点、西点、南点和北点，从而得到子午圈（通过南、北二点的平经圈）和卯酉圈（通过东点和西点的平经圈）。

图 I—17 天体的地平坐标：高度和方位

§ 104—3 第一赤道坐标系：赤纬和时角

(1) 用途：第一赤道坐标系也称时角坐标系。顾名思义，这种坐标系的设置，是用于时间度量。

我们知道，时间的度量总是与事物的均匀运动过程相联系。在天地间，最理想的均匀运动，莫过于天球周日运动。“日出而作，日入而息”，钟表的设计，事实上就是太阳（严格地说应是平太阳）周日运动的翻版。

地平坐标系的原点和始圈，可以有不同的选择。一般地说，天文学通常以南点为原点，以午圈为始圈；而测量学多以北点为原点，以子圈为始圈。

天球周日运动本身是均匀的。但是，反映在地平坐标系中方位的变化是非均匀的。这是因为，天球的旋转轴——天轴通常并不垂直于地平圈。所以，地平坐标系不能用于度量时间。要使经度随时间而均匀变化，只需把天球坐标系的基圈，由地平圈改为天赤道即可（因为天轴垂直于天赤道）；与此同时，坐标系的原点也由地平圈上的南点，改为天赤道上的上点，保留始圈（午圈）不变。坐标系的名称随之改称赤道坐标系。

（2）圆圈系统：天赤道为基圈。它的两极是地轴向南北两个方向无限延伸与天球的两个交点，称天北极和天南极。通过南、北天极，垂直于天赤道的一切天球大圆，是天球的赤道经圈，简称赤经圈；一切与天赤道平行的圆，是天球的赤纬圈。天赤道与地平圈相交，从而得东点、西点（交点）和上点、下点（远距点）。通过上点和下点（也必通过天顶、天底和南点、北点）的赤经圈，就是前述的子午圈。所不同的是，赤道子午圈是以南、北天极来划分子圈和午圈。通过东点和西点的赤经圈，航海天文学上称为六时圈，必要时以南、北天极为界，分为东六时圈和西六时圈。天赤道、子午圈和六时圈，是相互垂直和等分的三个大圆，它们把天球分成 8 个相等的球面三角形。

图 1—18 第一赤道坐标系的圆圈系统基圈为天赤道，引进地平圈，根据天赤道同它的关系，得到天赤道上四个相距 90° 的点，即东点、西点、上点和下点，从而得到子午圈（通过上点和下点的赤经圈）和六时圈（通过东点和西点的赤经圈）。

（3）基本要点：有了以上的圆圈系统，我们就有条件来说明天球的第一赤道坐标系。根据球面坐标系的一般模式，第一赤道坐标系有如下要点：

——它的基圈是天赤道。

——它的原点是上点；始圈是午圈。

——第一赤道坐标系的纬度称赤纬（ δ ），是天体相对于天赤道的南北方向和角距离。赤纬自天赤道起沿天体所在的赤经圈向南北两个方向度量，自 0° — $\pm 90^\circ$ 。按北半球习惯，天赤道以北为正，天赤道以南为负。赤纬的余角叫极距（ p ）。

- - 第一赤道坐标系的经度称时角（ t ），是天体所在的赤经圈相对于午圈的方向和角距离。时角以上点为起点，沿天赤道向西度量，为的是使天体的时角“与时俱增”，用以度量时间。如春分点的时角表示恒星时；以太阳的时角推算太阳时。经度既称时角，赤经圈便改称时圈，并采用时间单位表示（每 15° 折合 1 时）。上点、西点、下点和东点的时角，分别为 0^h ， 6^h ， 12^h 和 18^h 。

图 1—19 天体的第一赤道坐标系：赤纬和时角

§ 104—4 第二赤道坐标系：赤纬和赤经

（1）用途：表示天体在天球上相对不变的位置，用于编制星表。

在地平坐标系中，天体的高度和方位，皆因时间和地点而变化；在第一赤道坐标系中，天体的赤纬不再变化，而它的时角仍随天球周日运动而“与时俱增”。二者都不能提供编制星表所需要的相对不变的位置。为适应这方

子午圈是一个十分重要的天球大圆。它既垂直于地平圈，又垂直于天赤道，是联系地平坐标系和赤道坐标系的纽带

面的需要，天文学上创立第二赤道坐标系。其法是，保留天赤道为基圈，摒弃属于地平系统（超然于天球周日运动）的午圈，在赤道系统另择原点和始圈。

（2）圆圈系统：第二赤道坐标系与第一赤道坐标系，有彼此不同小异的圆圈系统。二者的差异在于：第一赤道坐标系以天赤道与地平圈的相互关系为基础；第二赤道坐标系则以天赤道与黄道的相互关系为基础。如图 1—20 所示，天赤道与黄道相交于春分点和秋分点。通过二分点的时圈，称为二分圈，必要时以南北天极为界，分为春分圈和秋分圈。与二分圈垂直、通过无名点（也必通过黄道上的二至点）的时圈称为二至圈（夏至圈和冬至圈）。天赤道、二分圈和二至圈，是相互垂直且等分的三个天球大圆，把天球分成 8 个相等的球面三角形。

图 1—20 第二赤道坐标系的圆圈系统基圈为天赤道，引进黄道，根据天赤道同它的关系，得到天赤道上四个相距 90° 的点，即二分点和二个无名点，从而得到二分圈（通过二分点的时圈）和二至圈（通过无名点，同时也通过黄道上的二至点的时圈）

（3）基本要点：有了这样的圆圈系统，我们就有条件来说明第二赤道坐标系。根据球面坐标系的一般模式，第二赤道坐标系有如下要点：

——它的基圈是天赤道。

——它的原点是春分点；始圈是春分圈。

——第二赤道坐标系的纬度是赤纬，与第一赤道坐标系同。

——第二赤道坐标系的经度称赤经（ α ），是天体所在时圈相对于春分圈的方向和角距离。赤经以春分点为起点，沿天赤道向东度量，自 0^h — 24^h 。随着天球的向西运动，天体的中天时刻，要按其赤经的次序而定；且中天恒星的赤经，即为当时的恒星时。

从某种意义上说，第二赤道坐标系是地理坐标系的摹制品，都用于定位。地理坐标系以赤道为基圈，第二赤道坐标系则以天赤道为基圈。时圈相当于经圈。地理坐标系以通过格林尼治的经线（本初子午线）为始圈；第二赤道坐标系则以通过春分点的时圈（春分圈）为始圈。从这个意义上说，春分点好比“天上的格林尼治”。所不同的是，春分点是第二赤道坐标系的原点，而格林尼治并非地理坐标系的原点。此外，第二赤道坐标系与地理坐标系在度量经度和纬度的具体细节方面，也存在一些差异。

图 1—21 天体的第二赤道坐标赤纬和赤经

§ 104—5 黄道坐标系：黄纬和黄经

（1）用途：表示日月行星在星空间的位置和运动。

（2）圆圈系统：黄道坐标系同黄道相联系。黄道的两极叫黄北极和黄南极，它们是地球轨道面的垂线的无限延伸（黄轴）与天球的两个交点。通过南、北黄极，且垂直于黄道的一切大圆是黄道经圈，简称黄经圈；一切与黄道平行的圆是黄纬圈。黄道与天赤道相交，从而得到二分点和二至点。通过二分点的黄经圈尚无定名，暂称无名圈；通过二至点的黄经圈，即前述的二至圈。黄道、无名圈和二至圈，是相互垂直且等分的三个大圆，把天球分成

明确这个概念很重要。关于恒星时，详见 § 411-1。

8 个相等的球面三角形。

(3) 基本要点：根据上述的圆圈系统和球面坐标系的一般模式，黄道坐标系有如下要点：

——它的基圈是黄道。

——它的原点是春分点；始圈是无名圈（通过春分点的黄经圈）。

——黄道坐标系的纬度称黄纬（ β ），是天体相对于黄道的方向和角距离。黄纬自黄道起沿天体所在的黄经圈向南北两个方向度量，自 0° — $\pm 90^\circ$ 。黄道以北为正；黄道以南为负。

——黄道坐标系的经度称黄经（ λ ），是天体所在的黄经圈相对于春分点所在的黄经圈的方向和角距离。黄经以春分点为起点，沿黄道向东度量，自 0° - 360° 。太阳沿黄道周年运动，其黄纬始终为 0° ；黄经向东度量，使太阳黄经“与日俱增”（每日约增加 1° ）。春分、夏至、秋分和冬至的太阳黄经，分别为 0° ， 90° ， 180° 和 270° 。

图 1—22 黄道坐标系的圆圈系统

基圈为黄道，引进无赤道，根据黄道同它的关系，得出黄道上四个相距 90° 的点，即二分点和二至点，从而得到无名圈（通过二分点的黄经圈）和二至圈（通过二至点的黄经圈）

图 1—23 天体的黄道坐标：黄纬和黄经

§ 104— 6 各种天球坐标的区别

天球有各种不同的坐标系。因此，同一天体就有各种不同的坐标。不同的坐标系之间，既存在区别，又有相互联系。

(1) 地平坐标系与第一赤道坐标系

这两种坐标系都属于右旋坐标系，它们的经度（方位与时角）都是向西度量；而且，二者都以子午圈为始圈。但是，前者以地平圈为基圈，因而以南点为原点；后者以天赤道为基圈，因而以北点为原点。这样，天体的高度便不同于赤纬，方位也不同于时角（图 1 - 24）。它们之间的具体差异，与当地的纬度有关；纬度愈高，二者愈接近。在南北两极，天赤道与地平圈重合，天北极位于天顶。这时，高度就是赤纬，方位等于时角。

体现地平坐标系与第一赤道坐标系的联系，有如下关系式：

仰极高度 = 天顶赤纬 = 当地纬度

天球的南北两极，一个在地平以上，叫做仰极；另一个在地平以下，叫做俯极。对北半球来说，仰极就是天北极。如图 1—25 所示，图中的内圆表示地球，外圆是天球子午圈，显然，一地的纬度（ ϕ ）与当地天顶的赤纬属同一个角，它等于当地仰极的高度，二者都是天顶极距的余角。在我国历史上，仰极高度被称为北极高。人们正是根据这一原理来测定所在地的纬度。

图 1 - 24 地平坐标系与第一赤道坐标系

二者都属右旋坐标系，且有相同的始圈。但由于基圈不同，天体的高度不同于赤纬，方位不同于时角。二者之间的具体差异，与当地的纬度有关。

图 1—25 仰极高度和天顶赤纬，都等于当地纬度。它体现了地平坐标系与第一赤道坐标系的关系

在这个图中可以看出，子午圈被地平系统中的天顶（Z）、天底（Z'）、南点（S）和北点（N）所四等分；又被赤道系统中的南、北天极（P 和 P'）和上点（Q）、下点（Q'）所四等分。上述 8 个点中，相邻两点的间距，不是等于纬度（ ϕ ），便是等于余纬（ $90^\circ - \phi$ ）。

(2) 第二赤道坐标系与黄道坐标系

这两种坐标系都属于左旋坐标系，它们的经度（赤经和黄经）都是向东度量；而且，它们有共同的原点（春分点）。但是，前者以天赤道为基圈，因而以春分圈为始圈；后者以黄道为基圈，因而以无名圈为始圈。这样，天体的赤纬不同于黄纬，赤经不同于黄经（图 1-26）。与前述二种右旋坐标系一样，它们之间的具体差异，同黄赤交角有关。

由于轨道面和赤道面受日月行星摄动的影响，黄赤交角发生微小变化。近期，黄极向天极靠拢，黄赤交角每世纪减小约 $47''$ ，将延续约 15 000 年后转为增大。从 1984 年起，采用其约数为 $23^{\circ}26'$ 。

(3) 第一赤道坐标系与第二赤道坐标系

这两种坐标系都以天赤道为基圈，因而有共同的纬度（赤纬），所不同的是它们的经度。第一赤道坐标系以午圈为始圈，其经度（时角）自上点向西度量（属右旋系统）。第二赤道坐标系以春分圈为始圈，其经度（赤经）自春分点向东度量（属左旋系统）。所以，天体的时角不同于赤经；二者的具体差异，同当时的恒星时有关。

如图 1—27 所示，天体赤经（ a ）与天体当时的时角（ t ）之和，就是两坐标系原点的距离（ γQ ），即等于春分点时角（ t_r ）或上点赤经（ aQ ）。春分点时角被用于表示恒星时（ S ），即

$$S = t_r$$

对于任一恒星来说，在任何时刻，它的时角（ t ）与春分点时角（ t_r ）之间，总存在一个差值；这个时角差，就是二者的赤经差。又因春分点是赤经度量的起点，所以，这个赤经差就是该恒星赤经（ a ）本身。于是又有（如图 1—27 所示）：

$$S = t + a$$

而当恒星中天时， $t = 0$ ，便有：

$$S = a \quad (\text{中天})$$

这就是说，任何时刻的恒星时，等于当时中天恒星的赤经（也即上点赤经）。春分点（ γ ）在天球上没有标志，因而它的时角是无法实测的；而测定恒星中天则是“轻而易举”的。这为恒星时的测定提供极大的方便！

图 1—26 第二赤道坐标系与黄道坐标系二者都属左旋坐标系，日有相同的原点。但由于基圈的不同，天体的赤纬不同于黄纬，天体的赤经不同于黄经。

图 1—27 第一赤道坐标系与第二赤道坐标系二者都以天赤道为基圈，因而天体有相同的赤纬。但前者为右旋坐标系（时角自上点向西度量），后者为左旋坐标系（赤经自春分点向东度量），因而天体的时角不同于赤经。任何时候，天体的时角（ t ）与其赤经（ a ）之和，总是等于春分点时角，即为当时的恒星时： $t + a = t_r = S$

对初学者来说，天球坐标显得头绪纷繁，难以接受。这需要有一定的耐心。在本书的以后章节里，它们主要用来阐明与太阳相关的各种变化过程：如正午太阳高度；求半昼弧长的日没时太阳时角；造成真太阳日长度周年变化的太阳赤经差和黄经差；回归运动中太阳赤纬的周年变化；以及按太阳黄经划分二十四气等。太阳是人类最关注的天体！

兹将各种天球坐标列表比较如下：