

# 探索恒星世界

李 良

晴夜的天空繁星闪烁，非常迷人。星空常激起人们的想象力，引发人们去探索宇宙的奥秘。满天的繁星，除了几颗是行星之外，几乎全部是恒星，太阳就属于恒星世界成员之一。恒星是由炽热的气态物质组成的，是能自己发热、发光的球形或接近球形的天体（本期的中心彩色插页配有精彩的“恒星大世界”图片，请读者在阅读本文时参阅）。恒星的化学组成大同小异，质量大小差别很大：恒星最小的质量大约为太阳的百分之几，最大的为太阳的120倍。不同质量的恒星在自己的各个演化阶段中呈现出不同的颜色和光度。不同恒星的光度，以每秒钟发出的能量来看，可能相差很大。例如一些超巨星，光度可达太阳的几百万倍，而像白矮星那样的老年暗星，光度则只有太阳的几十万分之一。恒星的数目多如“恒河沙数”，而且种类繁多。我们银河系中就约有一两千亿颗恒星，它们比较稀疏地分布在尺度大约10万光年的空间范围。

河外星系指的是银河系之外的其他星系，星系可谓宇宙大厦的基本“砖块”。据估计，我们的宇宙（空间尺度约137光年）有上千亿数量级的星系。星系也和单个的恒星类似，常常三五成群或更多成员聚在一起，称为双星系或多重星系、星系群、星系团，以及超星系团等更大的天体系统结构。

## 一、观察斗转星移

当你闲暇时仰望星空，有没有注意到，天穹上的群星始终在缓慢地移动着；如果你是面对南方天空，你可看到东方地平线上的星随着时间像太阳那样慢慢地升起，并在南方天空升到最高位置后开始向西方地平线落下；如果你观察北方星空，会发现天空中的群星都是围绕着一颗星，即北极星在旋转着；旋转方向是逆时针的。如果留意观察北极星附近的恒星，它们相对北极星仿佛沿着一道道同心圆弧旋转，在一夜之间，它们永不沉入地平线。同时，你们还可以注意到，整个天穹上的星星始终呈现出整体性旋转，即星星之间的相对位置是不变的，古人正是根据这种情况称它们为“恒星”。

北部天空中有七颗引人注目的亮星，它们排列成一个勺子状，我国古代称其为北斗七星，常简称

为“斗”。“斗转星移”中的斗，指的就是著名的北斗七星。它属于国际通用的全天88个星座中大熊座的一部分。当你在星空找到北斗七星后，顺着勺口外侧 $\alpha$ 、 $\beta$ 两星的连线，向外延长约5倍勺口连线的距离，便可找到一颗比较明亮的星，这就是北极星，它属于小熊座，中国古星名“勾陈一”或“北辰”。因为它距离北天极（地球自转轴向天球的延长）的角度为 $48'$ ，即不到1度，所以叫做“北极星”，一般人们常用它代表地球的正北方。当你面对着北极星时，你的左方是西，右方是东，后面就是南。假如你外出旅行、野外考察、或夜间赶路，在既无指南针也没有其他定向仪器的情况下，可以利用北极星判定方向。这是一种既方便又准确可靠的方法，无论在草原上、山林里、海洋上及沙漠中都可以运用。

你通过连续观察后很容易发现，北极星周围所有的星星似乎都在以它为中心旋转，这种现象在天文上称为“恒星周日视运动”。喜欢摄影的朋友，不妨按照我们下面介绍的方法尝试拍摄一张星空照片，拍摄对象是北极星及其周围的星空，通过这个活动，你可获得许多有益的启示。你可使用一架普通镜头照相机（但不能用“傻瓜”型相机）、三脚架和普通的黑白或彩色胶卷。拍照时最好选在没有月亮或阴云的夜晚，地点应选在开阔的、无灯光干扰处。支好三脚架后把照相机对准北极星，焦距调到无穷远，用一块不透光的硬纸板遮住镜头，接着打开照相机快门的“B门”，然后拿开挡住镜头的硬纸板，开始让底片曝光，同时记下时刻。大约曝光一个小时后，再用硬纸板遮盖住镜头，关上“B门”，撤去硬纸板，拍摄工作就完成了。当你从照相馆取回或者自己冲洗照片，可见到在这种慢速曝光的照片上，呈现一圈一圈的同心弧线，这些弧线的中心位于北极星附近，北极星在一个看不见的中心点周围留下一条小小的弧线。星星的明显运动可由照片中弧状条纹描绘出来，就像夜晚街景照片所显示出来的过往汽车的灯光线条一样。

这种现象说明了什么呢？原来，由于我们居住的地球在一刻不停地自西向东自转，其自转轴方向

始终指向北极星附近，因此我们看到了星星“东升西落”的景象。其实，大约每隔 24 小时，太阳和星星都会相继在东方“升起”，然后越过天际在西方落下。照片上那个看不见的中心点好像是天穹的中心，所有的天体均围绕它运转，这个“点”在天文学上称为天球的“北天极”。由这张照片我们正好证明了北极星并非正好位于北天极，而是有略微的偏离，即它距离北天极不到 1 度。天文学家把北极星附近的，常年在地平线以上的恒星称为“拱极星”，而照片上的同心圆弧，正是拱极星的周日视运动的星光轨迹。孔子《论语-为政》中有“为政以德，譬如北辰，居其所而众星共之。”北辰即北极星，“共”即“拱”，意思是施以德政者好像众星环绕北极星运行。

对星空感兴趣的朋友，如果你长时间地坚持观测星空，就会发现恒星之间的相对位置确实总是不变的。如果今天晚上 9 点钟，你给猎户座或大熊座拍照片，第二天、第三天……一周以后，一个月之后晚上的同一时间连续拍照，把这些照片对比一下，你会发现星座的形状丝毫不变，只是猎户座一天比一天升的高，而北斗七星只是围绕着北极星旋转了一定的角度。

在我国中纬度以北的广大地区，几乎每天晚上都可以看到北斗七星。在古代，人们曾利用北斗七星指示季节，在我国古籍《鹖冠子》中写有：“斗柄东指，天下皆春，斗柄南指，天下皆夏，斗柄西指，天下皆秋，斗柄北指，天下皆冬。”这里说的是，在夜晚 8 点左右观察北斗七星出现的方位可以判断当时的季节。有时候北斗七星可能部分或全部落入地平线，因此看不见它们，那又怎样寻找北极星呢？这并不难，只要找到“W”状的仙后座就可以了。仙后座有五颗较明亮的星，它们构成的形状酷似英文字母“W”。当在秋季北斗七星的位置靠近地平线时，它高悬在北极星之上。顺着仙后座的亮星  $\alpha$ （中国星名王良四）和它附近的一颗暗亮的连线向下延伸看去，也可以找到北极星。仙后座位于北斗星的对面，当大熊座接近地平线或者落到地平线下边时，仙后座正好高高地挂在天穹，反过来也是这样。随着季节的更迭，有时候北斗七星和仙后座也会同时出现在天穹。

## 二、星座、星等和星名

自古以来，为了便于说明某天体在天空中的位

置，而把天空的恒星划分为若干区域，在我国春秋战国时代，把星空划分为三垣、四象和二十八宿。其中三垣是拱极区在北大极附近。它们是紫微垣、太微垣和天市垣。四象是在赤道和黄道区域，以春季黄昏所见各星方位来划分：东方为苍龙之象，南方为朱雀之象，西方为白虎之象，北方为玄武之象。每象分为七宿共二十八宿，按逆时针方向排列为：

东方苍龙：角、亢、氐、房、心、尾、箕；

北方玄武：斗、牛、女、虚、危、室、壁；

西方白虎：奎、娄、胃、昴、毕、觜、参；

南方朱雀：井、鬼、柳、星、张、翼、轸。

在西方，为了便于辨认恒星，巴比伦和古希腊人最早根据神话传说发挥想象力，把较亮的星划分成若干个星座，并以神话中的人物或动物为星座命名。经过长期的观察和探索，天文学家根据星星在天空中的位置绘制了各种各样的星图。就像地图一样，人们可以对照星图，从茫茫星空中辨认出要找的星。最初是由古巴比伦和古希腊把北部天空划分出星座，到托勒密时代已经有 45 个。后来随航海事业的发展，又陆续补充了南天的星座，到 18 世纪最后完成。1928 年按照国际天文学会决定，统一将整个天空划分为 88 个星座。它们可以分为三组，一是北天星座；二是黄道星座；三是南天星座。

北天星座共 29 个：小熊、天龙、仙王、仙后、鹿豹、大熊、猎犬、牧夫、北冕、武仙、天琴、天鹅、蝎虎、仙女、英仙、御夫、天猫、小狮、后发、巨蛇、蛇夫、盾牌、天鹰、天箭、狐狸、海豚、小马、飞马、三角。

黄道星座共 12 个：白羊、金牛、双子、巨蟹、狮子、室女、天秤、天蝎、人马、摩羯、宝瓶、双鱼。

南天星座共 47 个：鲸鱼、波江、猎户、麒麟、小犬、长蛇、六分仪、巨爵、乌鸦、豺狼、南冕、显微镜、天坛、望远镜、印第安、天鹤、凤凰、时钟、绘架、船帆、南十字、圆规、南三角、孔雀、南鱼、玉夫、天炉、雕具、天鸽、天兔、大犬、船尾、罗盘、唧筒、半人马、矩尺、杜鹃、网罟、剑鱼、飞鱼、船底、苍蝇、天燕、南极、水蛇、山案、蝮蜓。

星等是天文学上对星星亮暗程度的一种表示方法，常用  $m$  表示。恒星的亮度差别很大。事实上，由于绝大多数恒星太暗用肉眼是看不到的。为了表

示恒星的亮度，早在公元前 2 世纪，古希腊天文学家依巴谷就把肉眼能见的星星分成 6 个等级，最亮的星为 1 等，最暗的星为 6 等。这种星等划分在 19 世纪从数学上被严格化。一般规定，星等数越小，说明星越亮，星等数每相差 1，星的亮度大约相差 2.5 倍，即规定 1 等星比 6 等星亮 100 倍。同时，利用这一数学关系，把比 1 等星更亮的天体定为 0 等、-1 等、……，而把比六等星更暗的天体定为 7 等、8 等、……。例如，太阳的星等为 -27 等，满月时的月球为 -13 等。现在，天文学家用集光能力最大的天文望远镜观测到的最暗的天体，已经暗至 25 等，它们比一支离开观测者 63 千米的蜡烛光还暗。人们肉眼能够看到的最暗的星是 6 等星。天空中亮度在 6 等以上的星约有 6000 多颗。满月时月亮的亮度相当于 -12.6 等（在天文学上写作 -12.6 $m$ ）；太阳是我们看到的最亮的天体，它的亮度可达 -26.7 $m$ 。观测中人们还发现了“恒星的视亮度与它到观测者距离的平方成反比”这样一条规律。

这里说的星等指的是从地球上看到的天体的明暗程度，在天文学上称为“视星等”。太阳看上去比所有的星星都亮，它的视星等比所有的星星都小得多，这只是因为它离地球很近。更有甚者，例如月亮，自己根本不发光，只不过反射些太阳光，就俨然成了人们眼中第二亮的天体。

天文学上还有个反映天体实际发光本领的“绝对星等”概念。恒星的真亮度称为光度，表示其每秒钟辐射的能量，它代表了恒星的发光本领。而人们平时看到的星的亮度都是视亮度。恒星有明有暗，亮星未必一定比暗星的发光本领强，因为涉及恒星距离的因素。为了表示恒星的真亮度，必须把所有的星统统“移到”相同的距离处，才能对星的真亮度比出个高低来。比如说，若把太阳放到天狼星那么远时，它要比现在暗 3 千亿倍左右，天狼星的实际发光本领比太阳强 23 倍，换一句话说，如果把它们移到同一距离远处，太阳会比天狼星暗得多。天文学中，比较真亮度的标准距离规定为 10 秒差距，被“移到”这个距离上的一颗星的视星等就叫做这颗星的“绝对星等”。根据前面说的光源（如恒星）亮度与距离平方成反比的规律，由太阳和天狼星的视星等推算出它们的绝对星等是：天狼星是 1.3 等，太阳是 4.8 等。绝对星等的符号表示为  $M$ 。公式  $M = m + 5 - 5 \log r$  是天文学中的一个重要公式，它表述

了绝对星等  $M$ 、视星等  $m$  和恒星距离  $r$  三者之间的关系。只要得到其中任意两项的数值，就可以算出未知的那一项，天文学上常以太阳的光度作为衡量恒星光度的单位。如果知道一颗星的绝对星等，就可以从星等的定义算出来它的光度等于太阳光度的多少倍。

表 1 全天 21 颗亮星的星等和距离（按视亮度排列）

星名	视星等	绝对星等	距离（光年）
天狼星（大犬座 $\alpha$ ）	-1.46	1.43	8.65
老人星（船底座 $\alpha$ ）	-0.72	-4.7	200
南门二（半人马座 $\alpha$ ）	-0.27	4.38	4.35
大角星（牧夫座 $\alpha$ ）	-0.04	-0.23	35
织女星（天琴座 $\alpha$ ）	0.03	0.50	26.3
参宿四（猎户座 $\alpha$ ）	0.06	-6	600
五车二（御夫座 $\alpha$ ）	0.08	0.12	43
参宿七（猎户座 $\beta$ ）	0.12	-7.1	850
南河三（小犬座 $\alpha$ ）	0.38	2.65	11.4
水委一（波江座 $\alpha$ ）	0.46	-2.6	130
马腹一（半人马座 $\beta$ ）	0.61	-4.6	480
牛郎星（天鹰座 $\alpha$ ）	0.77	2.19	16
毕宿五（金牛座 $\alpha$ ）	0.78	-0.7	65
十字架二（南十字 $\alpha$ ）	0.85	-4	370
心宿二（天蝎座 $\alpha$ ）	0.86	-5.3	410
角宿一（室女座 $\alpha$ ）	0.98	-3.6	270
北河三（双子座 $\alpha$ ）	1.14	0.98	35
北落师门（南鱼座 $\alpha$ ）	1.16	2.03	22
十字架三（南十字 $\beta$ ）	1.25	-4.6	480
天津四（天鹅座 $\alpha$ ）	1.25	-7.5	1740
轩辕十四（狮子座 $\alpha$ ）	1.35	-0.6	84

恒星是遥远的“太阳”，其内部也进行着热核聚变反应，热核能量不断的向外层转移，最后从其表面射向太空。现代天文学家已发现了类似于太阳黑子、太阳风的“恒星黑子”、“恒星风”（简称星风）等天体物理现象。天文学家把每秒钟从恒星表面释放出来的光能量称为恒星的光度，用  $L$  表示；光度的国际单位是瓦，即焦耳/秒， $L = 4\pi R^2 \sigma T^4$ ，式中  $T$  是恒星表面温度， $R$  是恒星半径， $\sigma = 5.97 \times 10^5$ （尔格/秒·厘米<sup>2</sup>·度<sup>4</sup>）。由此式可见，恒星表面温度愈高、表面积（ $4\pi R^2$ ）愈大，其光度愈强。在恒星世界，星的光度相差非常悬殊，光度最大和最小的两个极端大约分别为太阳光度的 1 百万倍和 1/1000000，而太阳正好处于不大不小的中等位置上。

古时候人们用肉眼看见的恒星比较少，所以只对比较亮的恒星命名。例如我国古代的著名恒星有：天狼、北斗、北辰、大角、牛郎、织女、造父等，这些至今仍在许多文章中使用。目前国际统一的恒星命名方法是以星座中星的亮度排座次，即从最亮的星以希腊字母 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 等进行命名，例如大犬座最明亮的星叫做大犬座 $\alpha$ ，其次亮者叫做大犬座 $\beta$ ，依次类推；希腊字母总共只有 24 个，故每个星座只能给 24 颗星命名；在每个星座的希腊字母用完后，接着再用阿拉伯数字继续命名，如猎户座 6 星，猎户座 56 星，等等。这样，所有的恒星都有它们自己的名字。

### 三、天球与恒星视运动

为了研究天体，天文学家设立了“天球”概念。为了与人们的直观感觉相适应，特别是为了确定天体位置等方面的需要，天文学家把天空假想成一个巨大的球面，这便是天球。天球的中心是地球，它的半径设为无穷大。天球可谓一种理想的天体坐标模型。天文学上，确定天体位置的方法与地球表面非常相似，也是通过经度和纬度坐标来实现。最常用而且最重要的天球坐标系，就是赤道坐标系。地球赤道所在平面与天球的交线是一个大圆，这个大圆就称为“天赤道”，它就是赤道在天球上的投影；向南北两个方向无限延长地球自转轴所在的直线，与天球形成两个交点，分别叫做北天极和南天极。“天赤道”和“天极”是天球赤道坐标系的基准。

在天球的赤道坐标系中，天体的位置根据规定通常用经纬度来表示，一般称作赤经( $\alpha$ )和赤纬( $\delta$ )。天赤道和地球的公转轨道面也就是黄道是不重合的，二者间有  $23^\circ$  左右的夹角，天文学中称之为“黄赤交角”。这样，天赤道和黄道就有了两个交点，而这两个交点在天球上是固定不变的。黄道自西向东从赤道以南穿到赤道以北的那个交点，在天文学中称之为“春分点”，我们把通过这一点的经线定为天球赤道坐标系经线的  $0^\circ$ 。与地球经度不同的是，赤经不分东经、西经，它是从  $0^\circ$  开始自西向东到  $360^\circ$ 。而且，它的单位事实上也不是“度”，而是时间的单位时、分、秒，范围是 0 时-24 时。天球赤道坐标系的纬度规定与地球纬度类似，只是不称作“南纬”和“北纬”，天球赤纬以北纬为正，南纬为负。

太阳在天球上的视运动分为两种情形，即“周

日视运动”和“周年视运动”。“周日视运动”即太阳每天的东升西落现象，这实质上是由于地球自转引起的一种视觉效果；“周年视运动”指的是地球公转所引起的太阳在星座之间经过的现象。在古人眼里，太阳是一个金光闪耀的天体。《汉书·天文志》里说“日有中道，中道者黄道，一曰光道。”所谓黄道，是太阳周年视运动的轨迹，也就是地球公转轨道面在天球上的投影。黄道在天球上的位置基本上是固定的，太阳在天球上沿着黄道一年转一圈。为了确定太阳位置的方便，人们把黄道划分成了十二等份（每份相当于  $30^\circ$ ），每份用邻近的一个星座命名，这些星座就称为黄道十二宫。这样，相当于把一年划分成了十二段，在每段时间里太阳进入一个星座。

太阳经过的这 12 个星座分布在黄道南北各  $8^\circ$  的带内，太阳系各行星就在这个带里运行。我国古人很早就测定了黄道在天空的位置，并把黄道分为 12 段，称为“十二次”，即每月太阳移动“一次”，这相当于古巴比伦天文学中的黄道十二宫。在黄道上，从春分点(2000 多年前位于白羊座，现在位于双鱼座)起，太阳每月暂居一宫，黄道十二宫每宫的长度平均为  $30^\circ$ 。虽然人们在白天看不见太阳所在的星座（在发生日全食时，位于日食中心带的观测者可看到一些亮星），但在晚上可看到黄道带上与太阳遥遥相对的星座。例如春分日前后，太阳在双鱼座，晚上能见到秋季太阳所经过的星座，如狮子座、处女座等。在西方社会，一个人出生时太阳正处于黄道某个星座，就说此人是属于这个星座的。

细心的读者可注意观察，每过十来天，傍晚出现在天空西边的是不同的星座，为此，你可首先在某一天黄昏观察南方天空某一颗较亮的恒星。经过半个月，再在同一时间观察，就会发现原来那颗星已移到西方天空，而后，它终于沉没消失在落日的余辉中。正是由于太阳的光辉淹没了群星，人们不能直接看到太阳在星空背景上位置的变化。由于地球围绕太阳公转，在表观上，我们会看到太阳的周年视运动，即太阳每天在天球上由西向东移动。你如果每晚在同一时刻观察星空，则会发现星座每天提前约 4 分钟升起，逐日向西移动约  $1^\circ$  左右。

在观察中你还会发现这样的景象，若在某一天、某颗恒星在日落时准时从东方升起的话，那么几个星期后当太阳落山后不久，可以看到这颗星已处在东方地平线上很高的位置了。例如在冬季北纬度地

区居民常看到的猎户座中的三星，在仲冬时节，太阳刚落下它们就升起来，日出之前便又西落；但是到了三月份，日落时它们已高悬在天空，午夜时分就消失了。由这些观察来看，星星的运动比太阳要稍快一些；因为，太阳每天转一圈（实际上是地球在自转）的时间是 24 小时（平太阳时），而恒星转一圈却只用大约 23 小时 56 分就行了。

#### 四、恒星的光谱类型

恒星距离我们太遥远了，距离最近的恒星是半人马座的比邻星，距太阳约 4.3 光年。一般说来，最先进的天文望远镜也不能分辨出恒星的视面。恒星的光非常微弱，即使全天最明亮的恒星——天狼星发出的光，也仅仅是太阳光的一百亿分之一，用普通的天文望远镜不能分辨出恒星的视面，也不可能了解恒星内部的情况。因此对恒星的研究非常困难。1825 年，法国哲学家孔德说：“恒星的化学组成是人类绝对不能得到的知识。”他的话过于武断了，30 多年后，天体分光术和照相术的发明使得天文学有了重大突破。

在 19 世纪中叶，天体分光术和照相术的发明为天文学家解开恒星内部世界之谜，提供了强有力的工具。天文学家将天文望远镜收集到的星光经过分光镜分解成光谱，再把这光谱拍摄下来。在这些光谱中有众多的谱线，它们都由不同的元素产生；根据它们我们可以了解到恒星表面大气层的温度、压力、密度、化学元素的丰度、质量、体积、自转运动、距离和空间运动等一系列物理化学性质。这就导致了恒星物理化学、天体物理学的诞生。可以毫不夸张地说，迄今关于恒星本质的知识，几乎都是从光谱研究中获得的。到 20 世纪初，美国哈佛大学天文台已经对 50 万颗恒星进行了光谱研究，并对恒星光谱进行了分类。将恒星光谱分成主要七种类型（见表 2）。通过对恒星光谱的观测和分析研究，使人们

了解到恒星表面大气层的温度、压力、密度、化学元素的成分、质量、体积、自转运动、距离和空间运动等一系列物理化学性质。可以毫不夸张地说，迄今关于恒星本质的知识，几乎都是从光谱研究中获得的。

丹麦天文学家赫茨普龙和美国天文学家罗素，根据恒星光谱型和光度的关系，创建了著名的“光谱-光度图”，亦称“赫-罗图”。大部分恒星分布在从图的左上到右下的对角线上，叫主星序。其他还有巨星、超巨星、亚巨星、亚矮星和白矮星等类型。因此，赫-罗图不仅给出了各类恒星的位置特点，同时也充分显示出恒星的演化过程。赫-罗图成为研究恒星的重要手段之一。O、B、A 型称为“早型星”；F 和 G 型称“中间光谱型”；K 和 M 型称为“晚型星”。一条恒星光谱，一般只有几厘米到十几厘米长。为了拍摄一颗恒星的光谱，天文学家们要在天文望远镜旁等待曝光几小时到几个夜晚。20 世纪 90 年代末期，天文学家越过 M 型把恒星光谱分类扩展到温度更低的情况，先提出了新的 L 型，继而又提出了比 L 型温度更低的光谱分类 T 型。

通过观察发现，恒星的颜色很不一样，有红色、黄色、蓝色和白色等。恒星为什么有这么多种色彩呢？天文学家告诉我们，以烧炼的铁块来比喻，温度高的是蓝白色，温度低的是红色。恒星表面的温度不同，它们发出的光在不同波段的强度也是不一样的。从恒星光谱型知道，不同颜色代表不同的温度。一般说来，蓝色恒星表面温度在 25000K 以上，如参宿七、水委一、马腹一（甲星）、十字架二（甲星）和轩辕十四等。白色恒星表面温度在 11500—7700K，如天狼星、织女星、牛郎星、北落师门和天津四等。黄色恒星表面温度在 6000—5000K，如五车二和南门二等。红色恒星表面温度在 3600—2600K，如参宿四和心宿二等。

早在 1905 年，赫茨普龙就发现恒星有巨星和矮星之分。1913 年，赫-罗图问世后，按照光谱型和光度两个参量，得知除主序星外，还有超巨星、巨星、亚巨星、亚矮星和白矮星五个分支。1944 年，美国天文学家巴德通过仙女星系的观测，判定恒星可划分为星族 I 和星族 II 两种不同的星族；星族 I 是年轻而富金属的天体，分布在旋臂上，与星际物质成协。星族 II 是年老而贫金属的天体，没有向银道面集聚的趋向；1957 年，根据金属含量、年龄、空间分布和运动特征，进而将两个星族细分为中介

表 2 恒星光谱分类

光谱型	恒星表温度/K*	恒星颜色
O	40000~25000	蓝色星
B	25000~12000	蓝白色星
A	11500~7700	白色星
F	7600~6100	黄白色星
G	6000~5000	黄色星
K	4900~3700	红橙色星
M	3600~2600	红色星

\* (K 是热力学温度单位，0°C=273.15K)

星族 I、旋臂星族(极端星族 I)、盘星族、中介星族 II 和晕星族(极端星族 II)。

### 五、恒星的距离和物理特征

恒星距离地球非常遥远,看起来就像是一个个的小光点。古时候,人们误以为天上的恒星都位于相同的距离上。天文学家创造了一种利用视差(三角测量)来测量恒星距离的方法。为了理解恒星视差这一科学概念,我们不妨先了解什么叫视差?我们可以做一个简单的实验,伸出你的胳膊,在距离眼前约 50—60 厘米处,竖起你的拇指,闭上一只眼睛,用另一只眼睛顺着手指观看远方的一个目标;然后,在头部和拇指姿势保持不变的情况下,换另一只眼睛观看,你会发现拇指相对于刚才的观测目标移动了一定的角度。这种从不同角度观看同一物体而产生视线上的差异称为“视差”。

当地球每年在其轨道上绕太阳公转时,从地球上望去,一颗较近的恒星(近星)在春季观测时,它可能很靠近遥远的一颗恒星(远星),但是随着地球在轨道上运行,较近的恒星似乎会在空中变换位置,以致在秋季看到近星会离开那颗远星一个很小的角度。这就是恒星视差,也叫做恒星周年视差(常简称视差)。恒星离我们愈近,视差位移的角度愈大;反之,视差位移角度愈小。一般说来,对同一颗恒星根据相隔半年的两次位置的测定值(角度),利用三角学的方法,便可计算出近星的距离来。通常是用机械的方法来测量视差角,即天文学家只要拍摄两张相隔半年的所测恒星及背景恒星的图片,然后量度照相底片上星像的位置就可得出视差角。

恒星视差可以从哥白尼的日心地动学说理论中推导出来,但是当时没有任何天文学家观测到这种情形。哥白尼曾为自己的理论辩护说,人们观察不到恒星视差,是因为地球距离恒星实在是太遥远,导致视差的角度小到无法被观测。此后一代又一代的天文学家测量恒星视差的努力尝试均以失败告终。随着观测仪器的不断改进,19 世纪 30 年代人们终于在测量恒星视差方面有了突破性的进展。德国青年天文学家贝塞尔是最早测出恒星视差的天文学家之一。这位自学成才者在 20 岁时,因重新计算哈雷彗星轨道受到专家重视来到天文台工作,1810 年,普鲁士国王委派他主管柯尼斯堡天文台的建设(担任台长)。他工作勤恳,于 1818 年制成一份新的星表,其中包括 5 万颗恒星,20 年后,贝塞尔第

一个实现了天文学家的梦想——测定了一颗恒星的视差。他测出天鹅座 61 号星(这是颗暗星)的视差为  $0''.31$ ,由视差所算出的距离为 6 光年。从此,宇宙的大小在人们心目中大大地扩展了。

几乎与贝塞尔同时,英国天文学家亨德森测出半人马座  $\alpha$  星的视差为  $0''.91$ (角秒),约为天鹅座 61 星的 2.5 倍,因此半人马座  $\alpha$  星比天鹅座 61 星近得多。大约也在这个时期,俄籍德国天文学家斯特鲁维测出了织女星的视差为  $0''.26$ (尽管此值比今天公认的数值大一倍)。现今由视差所算出织女星的距离为 26.3 光年,是临近我们的恒星之一。

天文学家在测量恒星的距离时,以地球的轨道半径( $a$ )为基线,测出恒星的周年视差(用  $\pi$  来表示)。显然,恒星周年视差  $\pi$  与太阳到恒星的距离( $r$ )关系为:

$$\sin \pi = a/r.$$

由于事实上  $\pi$  都小于 1 角秒,故可用它的弧度数代替,即  $\pi = a/r$ (弧度),或  $r = a/\pi$ 。如果周年视差  $\pi$  以角秒表示,常记为  $\pi''$ 。于是便有  $\pi'' = 206265 \times a/r$ ,因为 1 弧度等于 206265 角秒。如果以天文单位作为长度单位(即  $r=1$ ),则恒星距离可表示为  $r = 206265$  天文单位。恒星距离我们实在是太遥远了,为了研究上的方便,天文学上常常使用“秒差距”和光年来量度恒星的距离。所谓光年,是光在真空中一年(约有 31536000 秒)所走的距离,它等于  $9.4605 \times 10^{12}$  千米。关于秒差距,天文学上规定,1 秒差距就是天体的周年视差为  $1''$  的恒星距离,它等于 3.2616 光年。 $1''$  读做 1 角秒,相当于从 5 千米外去看一枚五分硬币张的角度。秒差距(记为 pc)、光年(记作 l.y.)和天文单位有如下关系:

$$1 \text{ 秒差距} = 206265 \text{ 天文单位} = 3.2616 \text{ 光年} = 3.08568 \times 10^{13} \text{ 千米}.$$

$$1 \text{ 光年} = 0.307 \text{ 秒差距} = 6.324 \text{ 万天文单位} = 9.4605 \times 10^{12} \text{ 千米} \text{ (光速 } c = 299792.46 \text{ 千米/秒)}.$$

由测量知道,半人马座比邻星大约距离太阳 1.3 秒差距(即 4.3 光年),天上最亮的恒星——天狼星距离太阳约 2.66 秒差距(8.7 光年)。

由于恒星视差角度(非常小)的测量不仅非常困难,而且误差也很大,所以天文学家只能对较近的一些恒星才能用周年视差法测定距离。在实测过程中,为了精确些,往往需经历几年的时间,需拍摄数十张恒星底片进行测算。迄今人们仅测出约 8000 余

颗恒星的距离,其中只有最近的几百颗星的测量误差在 10%以下。三角法测量视差是有限度的,超过这个限度便无能为力了。该限度约为 100 秒差距,要确定远于 100 秒差距的恒星必须利用别的方法。

照相术在天文学中的应用使得恒星距离的观测方法变得简便,而且精度大大提高。自 20 世纪 20 年代以后,许多天文学家开展这方面的工作,到 20 世纪 90 年代初,已有 8000 多颗恒星的距离被用照相方法测定。在 20 世纪 90 年代中期,依靠“伊巴谷”卫星进行的空间天体测量获得成功,在大约三年的时间里,以非常高的准确度测定了 10 万多颗恒星的距离。

1. 恒星的大小 恒星大小差别很大,其差别范围由太阳直径的几百甚至一二千倍直到不及太阳直径的十分之一。一些演化末期死亡的恒星更小,只有地球般大小,甚至几十千米直径(例如中子星)。相对来说,恒星的质量差距要小得多,由太阳质量的 120 倍或更大一些,直到约 0.1 倍太阳质量。由此可知,大直径的恒星与小直径的恒星物质平均密度相差悬殊。天文学家是怎样测出恒星的大小的呢?一般采用干涉法和月掩星法等方法,可以测出恒星的角直径,从而可以求得恒星的真直径。天文学家根据双星的轨道资料也可以得到某些恒星的直径,也可以根据一些恒星的光度和温度来推算其直径。此外也还有其他测量方法。太阳在恒星中只是中等身材而已。有比太阳直径大千倍以上的恒星(如红超巨星仙王座  $\mu$ , 我国古星名称造父四,直径为太阳的 3700 倍),也有直径仅为太阳的百分之一甚至更小的恒星(如天狼伴星为白矮星,其直径与太阳直径之比只有 0.008)。

2. 恒星的颜色 对于一些较亮的恒星,很容易分辨,有的偏红,有的偏蓝。较暗的恒星颜色差别一样存在,只是我们的眼睛不易分辨。恒星不同的颜色,表明了不同的表面温度。蓝色的恒星,表面温度高,可达三四万摄氏度,而红色的恒星,表面温度要相对低很多,只有二三千度。

3. 恒星的发光强度 也称为光度,恒星光度有很大差别。与太阳相比,光度最大的恒星,可达太阳光度的 1 百万倍以上;而光度最小的恒星,约只有太阳光度的 1 百万分之一。在天文学中,把光度大的恒星,称为巨星;光度小的恒星,称为矮星。光度比通常的巨星还要大的恒星,则称为超巨星。我们以有名的织女星作为例子来说吧,它的星等为 0 等星,距离 26 光年,颜色为淡蓝白色,表面温度

约 1 万摄氏度,质量是太阳的 3 倍多,半径是太阳的 2.6 倍,平均密度只有太阳的 0.19 倍,光度是太阳的 40 倍。

4. 恒星的运动 随着天文学的发展,人们认识到,宇宙中天体的运动是绝对的,而“静止”永远是相对现象。大量观测表明,恒星并不是永恒固定不变的。一方面,它们自身随着能量消耗等,时时刻刻在发生变化;另一方面它们也在空间中运动,称之为恒星的“自行”。当然,恒星的运动如果与我们视线平行,我们仅用肉眼是看不出来的。所以,自行的真正定义应该是恒星运动垂直于视线的分量。一般来说,在人类的一生中,如果不借助特殊工具和特殊方法,根本不能发现它们在天球上的位置变化。恒星自行的绝对速度并不慢,往往比行星的运动速度快得多,只不过恒星离我们都太过遥远,它们跑得再快,从地球上看上去跟静止差不多。但经过上万年以后,恒星的位置变化就会较为明显。

全天恒星之中,包括那些肉眼看不见的很暗的恒星在内,自行最快的是巴纳德星,达到每年 10.31 角秒(1 角秒是圆周上 1 度的三千六百分之一)。一般的恒星,自行要小得多,绝大多数小于 1 角秒。恒星自行的大小并不能反映恒星真实运动速度的大小。同样的运动速度,距离远看上去就很慢,而距离近则看上去就很快。例如巴纳德星离开我们很近,不到 6 光年,所以真实的运动速度不过每秒 88 千米。

恒星的自行只反映了恒星在垂直于我们视线方向的运动,称为切向速度。恒星在沿我们视线方向也在运动,这一运动速度称为视向速度。巴纳德星的视向速度是每秒-108 千米。其中,负的视向速度表示向我们接近,而正的视向速度表示离我们而去。恒星在空间的有的速度,应是切向速度和视向速度的合成速度,对于巴纳德星,约等于每秒 139 千米。

上述恒星的运动,由三个部分组成。第一是恒星绕银河系中心的圆周运动,这是银河系自转的反映。第二是太阳参与银河系自转运动的反映。在扣除这两种运动的反映之后,才真正是恒星本身的运动,称为恒星的自动。

## 六、形形色色的恒星

1. 死亡的恒星 像太阳这样的单恒星不是很多的。早在 1844 年,德国天文学家贝塞尔在对全天最亮的恒星天狼星进行测量时,发现它的移动路径是波浪型的,他推断天狼星必定有一颗伴星。1862

年，美国天文学家克拉克用他自制的当时最大的天文望远镜看到了这颗伴星。后来人们把原来的天狼星称为天狼 A，而把其伴星称为天狼 B。天狼 B 的光度只有天狼 A 的万分之一，但是表面温度却达到 26000 摄氏度。观测计算表明，它的质量跟太阳差不多，体积却只有地球的一半。因此，它的平均物质密度，达每立方厘米 3.8 吨。这种由超密物质组成的恒星就叫做白矮星。

白矮星内部的核反应已经停止，所以实际上是死亡的恒星。它们在银河系内并不罕见。由于失去了核反应的巨大能量产生的辐射压力，其中的物质在内部引力作用下进一步收缩，依靠引力能转化为热能而继续发光。在白矮星内部的物质，原子外层的电子被剥离为自由电子，原子核之间的距离大为缩小，所以可以达到极高的密度。

质量比太阳大 8 倍以上的大质量恒星在死亡后，物质间的引力更大，其致密的程度，可使原子中外层的电子和核内的质子发生反应，变成中子。因为中子不带电荷，相互之间距离更加缩小，成为中子星。中子星的大小只有几十千米，其中物质的密度可达每立方厘米 1 亿吨！

2. 双星 用望远镜观测星空，常常可以看到一些恒星两两成双靠在一起。当然，这其中很多只是透视的结果，实际上两颗星相距很远，只是都在一个视线方向上罢了。双星一般指空间中视位置比较靠近的两颗星，对于那些因为彼此引力作用而沿轨道互相环绕运动的，称为物理双星，例如天狼星、南门二、五车二、北斗一、角宿一等著名亮星都是物理双星；远看彼此很靠近，实际上在空间相距很远，并不互相环绕运动的两颗星，称之为光学双星。组成双星的两颗恒星都称为双星的子星。其中较亮的一颗，称为主星；较暗的一颗，称为伴星。主星和伴星亮度有的相差不大，有的相差很大。

有许多双星，相互之间距离很近，即使用现代最大的望远镜，也不能把它们的两颗子星区分开。但是，天文学家用分光方法得到的光谱，可以发现它们是两颗恒星组成的。这样的双星，称为分光双星。于是，上面说的可以用望远镜把两颗子星分辨开来的双星，相应地就称为目视双星。有的双星在相互绕转时，会发生类似日食的现象，从而使这类双星的亮度周期性地变化。这样的双星称为食双星或食变星。食双星一般都是分光双星。还有的双星，

不但相互之间距离很近，而且有物质从一颗子星流向另一颗子星，这样的双星称为密近双星。有的密近双星，物质流动时会发出 X 射线，称为 X 射线双星。在银河系中单星很少，绝大部分是双星。所以说研究双星不但对于了解恒星形成和演化过程的多样性有重要的意义，而且对于了解银河系的形成和演化，也是不可或缺的。

3. 变星 变星是指亮度有起伏变化的恒星。引起恒星亮度变化的原因有几何的原因(如交食,屏蔽)和物理的原因(如脉动,爆发)以及两者都兼有(如交食加上两星间的质量交流)。有一种是双星的两颗子星相互掩食,称为食变星(即食双星)。食变星中一个最有名的例子是英仙座的大陵五变星,它的光变早在 300 多年前已经被发现,它距离我们 106 光年,光变周期等于 2.9 天。食变星的光变周期,也就是伴星绕主星转动的轨道周期。

一些恒星在光学波段的物理条件和光学波段以外的电磁辐射有变化,这种恒星现在也称变星。变星命名法由阿格兰德于 1844 年创立,每一星座内的变星,按发现的先后,在星座后用 R—Z 记名。由于最初人们对变星数量估计不足,故当初规定同一星座内的第一颗变星的名字以所在星座名后加 R,第二颗后加 S,以后依次序加 U, V, W, …… , Z。后来发现变星数量很多,便实行在星座内的第 10 颗以后的变星加两个字母的方法,如 RR, RS, RT, …… , 这样一直可命名 334 颗(QZ)变星。例如英仙座第 78 颗变星记为“英仙 AY”,宝瓶座第 325 颗变星则记为“宝瓶 QQ”,等等。对某星座内超过 334 颗变星的则在第 335 颗开始用 V 加数字,如金牛 V335、“人马 V4021”,等等。

按照亮度和光谱变化的不同,现在把变星分为几何变星、脉动变星和爆发变星三大类。在三个大类以下,又可再分为若干次型。

几何变星是由于几个天体间的几何位置发生变化,或者是由于天体自身的几何形状特殊,因而发生亮度变化的恒星。食变星是这类变星中最为人们熟悉的一种。它是由于两个恒星(两颗子星)互相绕转(组成双星),发生两子星相互掩食的现象,引起双星的亮度变化。食变星本身往往是一颗小而亮的星同一颗大而黯淡的星搭伴而成。两颗星体都能见到时,到达地球的光最亮;较小的星隐没到较大的星后面时,光最暗淡;较小的星运动到较大的星前面时,

遮住后者一点时，观测到光比最亮时略暗一些。因此，这种变星又叫交食双星，食双星，或称光度双星。另外，由于本身为椭球形，自转时观测者所见到的发光面积有所变化，引起其亮度变化，这种几何变星称为椭球变星。有些恒星位于星云之中，有些则位于星云之后，当星云移动时，这类恒星的亮度就随之变化，这种几何变星称之为星云变星。大部分几何变星是属于稳定恒星。但近几年来，发现有越来越多的食变星，不仅是几何变星，也是物理变星。它们也是研究恒星演化的重要对象。

脉动变星和爆发变星是物理变星，都属于不稳定恒星。物理变星是指由本身物理原因(例如，由于辐射出来的总能量发生了变化)而引起亮度变化的恒星，这类恒星是不稳定恒星。在已发现的两万多颗变星中，大部分都是物理变星。亮度的变化是这类变星的重要特征，这可能是由于存在周期性脉动，不规则性的迸发，或者是发生巨大的毁灭性的爆炸等原因引起的。因此，物理变星又可分为许多类型。其中大多数为脉动变星，爆发变星。由于这类变星对科学研究具有特别重要的意义，而且研究它们困难很大，因此格外引起天文学家们的重视。

脉动变星是指由脉动引起亮度变化的恒星。这些变星亮度的变化，可能是由于恒星体内(自身的大气层)时而膨胀、时而收缩这种周期性的变化而引起。恒星周期性地膨胀与收缩，必然引起恒星半径周期性地增大与减小，恒星的表面积也周期性地增加与减少，温度和总辐射能量都发生变化，因而光度也周期性地增大与减小，看起来它的亮度也周期性地变亮与变暗。另外，其颜色，光谱型和视向速度，有时还有磁场，也都随之发生变化。

脉动变星有很多类型，最典型的一类是造父变星，其代表是仙王星座中的 $\delta$ 星(中名“造父一”)。天文学家发现，造父一的直径是太阳的30倍，约4000万千米。它就像人体的心脏一样，总在不停地搏动——膨胀与收缩，直径前后相差达500万千米。膨胀时它的亮度就减弱，收缩时亮度就增加，搏动的周期也就是它亮度变化的周期。这颗变星的光变周期是5.4天，最亮时亮度为3.6等，最暗时亮度为4.3等。这类脉动变星的变光周期与它的亮度有严格的对应关系，如发现了一颗造父变星，只要测出它的光变周期，利用周光关系得到平均绝对星等，再由观测到的视星等，可以算出其距我们的距离。星

团星系中有造父变星，就可以利用它测出星团星系距离，所以造父变星有“量天尺”的美称。造父变星属于巨星、超巨星，一颗30天周期的造父变星比太阳亮4000倍，一天周期的也比太阳亮100倍。最近的造父变星是北极星，距离我们650光年。

在已发现的变星中，脉动变星占了一半以上，银河系中约有200万个。脉动变星的周期可以相差很大，短的在一小时以下，长至几百天甚而10年以上。星等变化从大于10到小于千分之几都有。根据亮度变化曲线的形状，脉动变星可分为规则的、半规则的和不规则的三种不同的类型。规则的，按亮度变化周期长短分为短周期造父变星(如天琴座RR变星)，长周期造父变星(如经典造父变星)；半规则的，亮度变化有一定规律但周期不定，或者平均亮度不变，如金牛座RV变星。脉动变星的密度和绝对光度都与脉动周期有一定的关系，这些为研究恒星的物理本质和宇宙尺度提供了重要的依据。

爆发变星是一种亮度突然激烈增强的变星。造成这类变星光度变化的原因是星体本身的爆发。爆发前，星体处于相对稳定(或缓慢变化)的状态，一旦爆发，星体的亮度可以迅速增加到原来的几千或几亿倍，有的甚至在白天都可见到，经过一段时期又逐渐暗弱下来。一部分爆发变星，有人又称之为灾变变星。爆发变星爆发的规模又大有小，亮度的变化也有大有小，有的星爆发还不止一次。

爆发变星按爆发规模从低到高可分为耀星、类新星、矮新星、新星和超新星等几类。下面分别简介。

**耀星** 是指几秒到几十秒内亮度突然增亮，经过十几分钟或几十分钟后慢慢复原的一类特殊的变星。它们的亮度在平时基本上不变，亮度增大时有的可增加到百倍以上。但这样的亮度只能维持十几到几十分钟，看起来好像是一次闪耀，所以取名耀星。

1924年发现船底座DH星有这样的现象。1924年发现鲸鱼座UV星亮度在三分钟内增强11倍。观测最多的是太阳附近的耀星。半人马座比邻星就是一颗耀星。在星团、星协中也发现了耀星；昴星团最多，有460多颗；猎户座大星云区次之，300多颗。绝大多数的耀星是极小又冷的红矮星，光度很低，耀亮的时间又短，因此，只有离太阳较近的耀星才能被我们认出来。不过，耀星的实际数目很多。如果用一架大型望远镜观测，平均每90分钟就可见到一次耀亮，据估计，银河系的恒星中，约80%—90%

可归入耀亮的范畴。耀星表面存在局部活动区，耀亮就发生在这些区域，并且在同一区域可发生多次，这一点与太阳耀斑活动相似，但耀亮时辐射能量要比太阳耀斑的能量大 100—1000 倍。

**类新星** 即类似新星的爆发变星。爆发的次数比较频繁，数年爆发一次。光变幅比新星和再发新星小，周期性不强。最突出的特点是光谱特殊。一部分类新星变星是爆发后的老新星，它们不时地爆发，抛射物质，形成气壳。例如，天鹅座 P 是 1600 年爆发的新星，近四百年来，星周形成二、三层气壳，是处在短暂的、极不稳定的演化阶段的超巨星。人马座 BS 是 1917 年爆发的新星，爆发后激变活动不止，光谱特殊。另一部分类新星变星具有共生光谱，也称为共生星，既有冷星的吸收特征，又有热星的连续发射，还有气壳的高激发发射线。已知的类新星变星虽然只有几十个，但彼此差异很大。

**矮新星** 是一类爆发规模较小、频次较高的爆发变星。矮新星在许多方面同新星和再发新星类似。矮新星准周期地爆发，光度陡然增亮，又慢慢变暗。不过光度变幅较小，一般不超过 6 个星等。爆发平均周期较短，约 10—200 天不等。有两类矮新星：一类称双子座 U 型星或天鹅座 SS 型星，目前已发现 250 个以上；另一称为鹿豹座 Z 型星，已发现 30 个以上，它们的变幅比双子座 U 型星小，平均 2—3 个星等，周期更短（10—20 天左右）。

**新星** 是一类能爆发的恒星，爆发时，光度能暂时上升到原来正常光度的数千乃至 10 万倍。在爆发后的几个小时内，新星的光度就能达到极大，并在数天内（有时在数周内）一直保持很亮，随后又缓慢地恢复到原来的亮度。能变成新星的恒星在爆发前一般都很暗，肉眼看不到。然而，光度的突增有时会使它们在夜空中很容易被看到，因而对观测者来说，这种天体就好像是新诞生的恒星。据认为，多数新星都存在于两颗子星彼此靠得很近并互相绕转的双星系统中。这种通常被称为密近双星的系统由两颗年龄不同的子星构成，一颗是红巨星，一颗是白矮星（一种临近恒星溶化终点的致密星）。在某些情况下，红巨星会膨胀到子星的引力范围以内。这样，引力场很强的白矮星就会把红巨星外层大气中的富含氢物质吸引到较小的星上。这种物质在白矮星表面积累到一定程度以后，就会发生核爆炸，导致相当于一万分之一太阳质量的表面热气体被抛出去。爆炸后，白矮星又恢

复平静，但引起的过程则一直重复下去。结果是再过若干年又会触发新的爆发。新星爆发以后，所产生的气壳被抛出。气壳不断膨胀，半径增大，密度减弱，最后消散在恒星际空间中。随着气壳的膨胀和消散，新星的亮度也就缓慢减弱了下去。

再发新星（recurrent nova）的恒星，是爆发变星的一种。大体上每隔 10—100 年爆发一次，已观测到 10 余颗。再发新星和经典新星的光变曲线很相似，只有当出现第二次或更多次爆发时才能确定为再发新星。可见光波段的亮度变幅为 7—9 等，每次爆发释放  $10^{36}$ — $10^{37}$  焦耳能量，约抛射出  $10^{-6}$  太阳质量的物质，都比经典新星小。有证据表明，所有经典新星都是再发新星。如果新星只爆发一次，以银河系每年出现 25 颗新星计算，银河系诞生以来大约应有  $2 \times 10^{11}$  颗恒星经历了新星爆发，这跟银河系恒星总数相当。但大多数恒星质量较小，演化缓慢，还不可能演变成新星，只有在每颗新星重新爆发很多次的情况下，才能与平均每年出现的新星数目相符。经典新星可能是爆发周期很长的再发新星，因此只观测到一次爆发。再发新星很难说有什么周期，而且各颗再发新星也都不一样。短的只有几年，如蛇夫座的 V1195 再发新星，曾在 1956 年和 1959 年两次爆发，但近几十年来却“沉默”了。猎户座的 V529 已是三度爆发了，时间分别是 1667 年、1740 年和 1894 年。目前已发现的再发新星共 12 颗，像著名的天蝎座 U 星和罗盘座的 T 星，都已爆发过四五次。

**超新星** 宇宙中的超新星爆发规模远远超过新星，是最为壮观的一类变星。下面专门介绍。

超新星爆发时光度为  $10^7$ — $10^{10}$  太阳光度（相当于整个星系的光度），释放能量  $10^{40}$ — $10^{45}$  焦耳，光度幅超过 17 个星等，即增亮千万倍至上亿倍。超新星是恒星所能经历的规模最大的灾难性爆发！估计抛出质量 1—10 太阳质量，留下的残核可能是中子星，也可能全部炸毁。超新星爆发时亮度的增幅为新星的数百至数千倍（相当于再增加 6 至 9 个星等），抛出的气壳速度可超过 1 万千米。这种最激烈的爆发结果是：或是将恒星物质完全抛散，成为星云遗迹，结束恒星的演化史；或是抛射掉大部分质量，遗留下的部分物质坍缩为白矮星、中子星或黑洞，从而进入恒星演化的晚期和终了阶段。超新星爆发后形成强的射电源、X 射线源和宇宙线源。超新星还是星际重元素的主要贡献者。

再简单概括来说，超新星的亮度会在很短期间内增大数亿倍，然后在数月到一、二年内变得非常暗弱，目前多数人认为，这是恒星演化到晚期的现象。超新星的外部壳层以每秒钟数千乃至上万千米的速度向外膨胀，形成一个逐渐扩大而稀薄的星云；内部则因极度压缩而形成密度非常大的中子星之类的天体。最著名的银河超新星是中国宋代（公元 1054 年）在金牛座发现的“天关客星”。现在可在该处看到著名的蟹状星云，其中心有一颗周期约 33 毫秒的脉冲星。一般认为，脉冲星就是快速自转的中子星。

早在 1934 年，美国天文学家兹威基和巴德分析了近距星系的观测资料，发现 M31(1885)、NGC5253(1895)、NGC2535(1901)、NGC4321(1901 和 1914) 等 13 个星系中有星体爆发，亮度比正常的新星现象大几千倍，是规模更大的爆发活动，遂定名为超新星。据统计，在 1885 年到 1979 年底的近百年期间，共发现河外星系超新星 501 个。每个平均亮星系每 290 年才出现一个超新星；每个亮星系团的成员星系每 240 年出现一个。

超新星爆发的形式主要有两种：I 型超新星和 II 型超新星。I 型超新星属于缺乏氢谱线的超新星爆发，可能是双星系统中白矮星和另一颗恒星合并而触发的超新星爆炸；这类超新星在旋涡星系和椭圆星系中都有发现，属于星族 II。其又可细分为 Ia, Ib, Ic 等三型，天文学家认为 Ia 型的最大亮度可能是常数值，所以 Ia 型超新星是重要的距离指标。有一种爆发机制认为，这类超新星要求有碳和氧组成的白矮星，并且是密近双星系统的一员；从伴星吸引过来的氢缓慢的积累在白矮星表面上，当外层的温度和密度达到一定限度时，聚变才发生，导致光度剧增，然后又缓慢的衰减。这个双星模型的一个变种假定是白矮星接近其 1.4 太阳质量的稳定极限；白矮星表面上气体的不断积累就会使其质量增加到超过这个危险的阈值；于是星体发生引力收缩，哪怕是微小的收缩也足以引起碳（白矮星的主要成分）反应并在瞬间转变为镍和铁，白矮星在爆发中崩溃瓦解，迅速膨胀的气体扩散到恒星际空间。

II 型超新星也称为核塌缩超新星，其绝对目视星等为 -12—-13.5 等，有氢谱、大质量、低速度（约 5000 千米/秒），发生在星系旋臂边缘，属于星族 I。超新星是一种罕见天象，估计银河系中 II 型超新星每

20—100 年出现一个，古书中关于历史超新星的记载具有十分重要的价值。现代中外天文学史专家认为，记录可靠的历史超新星有 7 颗，在中国历史文献中都能找到，而且最早的 185 年超新星和 393 年超新星，都只有中国的记载。对于银河系中的超新星，只能通过观测它们爆发后留下的遗迹加以研究。在已知的 150 余个超新星遗迹中，1054 年超新星和船帆座超新星留下了光学上膨胀的星云状物质、射电展源、X 射线展源和脉冲星 4 种遗迹，是最理想的样品。

II 型超新星是大质量恒星由内部塌缩引发剧烈爆炸的结果，在分类上是激变变星的一个分支。能造成内部塌缩的恒星，其质量至少是太阳质量的 9 倍。大质量恒星由核融合产生能量，与太阳不同的是，这些恒星的质量能够合成原子量比氢和氦更重的元素，恒星的演化供应和储存质量更大的核融合燃料，直到铁元素被制造出来。但是铁的核融合不能产生能量来支撑恒星，所以核心的质量改由电子简并压力来支撑。这种压力来自属于费米子的电子，在恒星被压缩时不能在原子核内拥有相同的能量状态。当铁核的质量大于 1.44 太阳质量（钱德拉塞卡极限），接着就会发生内爆。快速的收缩使核心被加热，导致快速的核反应形成大量的中子和中微子。塌缩被中子的短距力阻止，造成内爆转而向外。向外传递的震波有足够的能量将环绕在周围的物质推挤掉，形成超新星的爆炸。II 型超新星的爆炸有几种不同的类型，可以依据爆炸后的光度曲线——光度对爆炸后的时间变化图来分类。II-L 超新星显示出稳定的线性光度下降；而 II-P 超新星在一段正常的光度下降之后，呈现出平缓的下降（高原），才会再持续正常的下降曲线。通常这些塌缩超新星的光谱中也会出现氢的光谱，虽然 Ib 和 Ic 超新星也是将氢和氦（Ic 超新星）的壳层抛出的核心塌缩大质量恒星，但它们的光谱看起来却缺乏这些元素。

大质量的恒星，无论如何只要质量足够，就能在氢燃烧阶段结束后创造更高的温度和压力，让核心的碳成为燃料开始进一步的核融合。当更重的元素在这些大质量恒星的核心形成时，这些元素像洋葱一样一层层的堆积着，最外层的是氢元素，包围着的内层是由氢融合成的氦，氦又包围着更内层由 3 氦过程转换成的碳，越往内层是越重的元素。这些大质量恒星的演化不断进行重复的步骤：先是核心的燃烧停止，然后开始收缩使温度和压力升高，

直到能进行下一阶段的核融合，再点燃阻止核心的收缩。核塌缩超新星的核心塌缩过程的限制是经由核融合产生的总能量，这个能量与将这些核子约束在一起的束缚能有关，也与核子的数量有关，每一步骤都导致更重的元素产生，但释放出来的能量也越来越少。这个过程一直持续到镍-56的产生（会经由放射性衰变成为铁-56），因为铁和镍是所有元素中每单位核子束缚能最高的，不再能经由核融合释放出能量，而镍-铁核会持续成长。这个核心在重力的巨大压力下，当恒星未能够进一步提高温度和压力的核融合支撑时，它只能靠电子简并压力支撑着。在这种情况下，物质的密度是如此的高，将迫使电子占据相同的能阶，然而这违背了费米子（像是电子）必须遵守的泡利不相容原理。

当核心的大小超过了钱德拉塞卡极限时，简并压力将不足以支撑，灾难性的塌缩随即开始。核心的外围部分向核心塌缩的速度将高达 70,000 千米/秒（光速的 23%）快速的收缩使核心的温度上升，产生高能量的 $\gamma$ 射线将铁核衰变成氦和自由中子（光致蜕变）。当核心的密度增加，氦核变得精力充沛，有利于电子和质子经由电子的吸收（反 $\beta$ 衰变）成为中子和被称为中微子的基本粒子。因为中微子难于和一般物质作用，所以能够从核心逃逸，并且带走能量加速了核心的塌缩，这些都在毫秒的时标内进行。当核心与恒星的外壳分离时，有些中微子会被外层吸收，开始超新星的爆炸。

对 II 型超新星而言，塌缩终究会被中子与中子的短距交互作用斥力（以强作用力为媒介），也就是中子的简并压力阻挡住，而形成密度与原子核相似的核心。塌缩一旦停止，向核心掉落的物质将会反弹，造成像外传播的冲击波。来自震波的能量会使核心的重元素解离，使震波的能量减少，可能在外核之内造成使爆炸停顿的作用。核心塌缩阶段的高密度和充沛能量，仅有中微子能够逃离核心；质子和电子则经由电子捕获形成中子和电子中微子。一颗典型的 II 型超新星，新形成的中子核心的初始温度大约在一千亿 K。这些热能必须被发泄掉才能形成稳定的中子星（否则中子将会沸腾），这将经由中微子进一步的发射来完成。这些“热”中微子形成中微子-反中微子对的味，并且总数是电子捕获中微子的数倍。这两种中微子的产生机制将核心塌缩的重力位能转换成 10 秒钟的中微子爆炸，释放出  $10^{46}$

焦耳的能量。

虽然还不十分了解导致超新星爆炸的过程，但在超新星 1987A 的爆炸事件中，已实际的观测到由超新星爆炸引起的中微子事件，这使得主流的天文学家认为核心塌缩的情节基本上是正确的。当原始恒星的质量低于 20 太阳质量（根据爆炸的力量和反弹回的物质总量），核心崩溃后中心附近的物质留下来，变成一颗中子星。

## 七、星团和星云

1. 聚星和星团 由三颗到六七颗恒星在引力作用下聚集在一起，这样组成的恒星系统称为聚星。由三颗恒星组成的系统又可称为三合星，四颗恒星组成的系统称为四合星，如此类推。例如大熊座中的开阳星，就是一颗有名的聚星。最初发现，它是一颗肉眼可以分辨开的目视双星，主星大熊座  $\alpha$  星是 2 等星；伴星大熊座 80 号星中名辅星，是 4 等星，离开大熊座  $\alpha$  星 11 角分（1 角分是圆周上 1 度的六十分之一）。经多年观测表明这两颗恒星之间有力学联系。用望远镜观测大熊座  $\alpha$  星，可以发现它本身就是一颗目视双星，两子星相距 14 角秒（1 角秒是 1 角分的六十分之一），主星大熊座  $\alpha$  1 星 2.4 等，伴星大熊座  $\alpha$  2 星 4.0 等。大熊座  $\alpha$  1 星又是最早被发现的分光双星。大熊座  $\alpha$  1 星的伴星绕主星转动的周期是 20.5 天，离开主星的距离只有地球到太阳距离的三分之一左右。后来，又发现大熊座  $\alpha$  2 星和大熊座 80 号星也都是分光双星。所以说，大熊座开阳星是六合星。

星团是由于物理上的原因聚集在一起并受引力作用束缚的一群恒星，其成员星的空间密度显著高于周围的星场。星团按形态和成员星的数量等特征分为两类：疏散星团和球状星团。星团的命名，一般采用相应的星表中的号码。最常用的是梅西耶星表，简称为“M”。它只包括了较亮的星团。较完全的是“NGC”星表，有时还用“IC”星表。需要说明的是，这些星表中不仅仅包括星团，还有星云和星系。

球状星团呈球形或扁球形，与疏散星团相比，它们是紧密的恒星集团。这类星团包含 1 万到 1000 万颗恒星，成员星的平均质量比太阳略小。用望远镜观测，在星团的中央恒星非常密集，不能将它们分开。球状星团的直径在 15 至 300 多光年范围内，成员星平均空间密度比太阳附近恒星空间密度约大 50 倍，中心密度则大 1000 倍左右。球状星团中没

有年轻恒星，成员星的年龄一般都在 100 亿年以上，并据推测和观测结果，有较多死亡的恒星。

在银河系中已发现的球状星团有 150 多个。它们在空间上的分布颇为奇特，其中有三分之一就在人马星座附近仅占全天面积百分之几的范围内。天文学家最初正是根据这个现象领悟到太阳离开银河系中心相当远，而银河系的中心就在人马星座方向。跟疏散星团不同，球状星团并不向银道面集中，而是向银河系中心集中。它们离开银河系中心的距离绝大多数在 6 万光年以内，只有极少数分布在更远的地方。球状星团的光度大，在很远的地方也能看到，而且被浓密的星际尘埃云遮掩的可能性不大，因此未发现的球状星团数量大致不超过 100 个，总数比疏散星团少得多。

疏散星团形态不规则，包含几十至二三千颗恒星，成员星分布得较松散，用望远镜观测，容易将成员星一颗颗地分开。少数疏散星团用肉眼就可以看见，如金牛星座中的昴星团(M45)和毕星团、巨蟹星座中的鬼星团(M44)等等。在银河系中已发现的疏散星团有 1000 多个。它们高度集中在银道面的两旁，离开银道面的距离一般小于 600 光年左右。大多数已知道疏散星团离开太阳的距离在 1 万光年以内。更远的疏散星团无疑是存在的，它们或者处于密集的银河背景中不能辨认，或者受到星际尘埃云遮挡无法看见。据推测，银河系中疏散星团的总数有 1 万到 10 万个。疏散星团的直径大多数在 3 至 30 多光年范围内。有些疏散星团很年轻，与星云在一起（例如昴星团），甚至有的还在形成恒星。

2. 星际介质和星云 星际介质又称星际物质，是指恒星际空间中存在的各种物质，有种类繁多的原子、分子和尘埃。星云也属于星际物质。其实它们也是由这些物质组成，不过是物质密度较大的团块而已。研究表明，恒星就是在一些物质密度较大的分子云中产生的。有些分子云至今还在形成新的恒星。通常，质量非常大而浓密的分子云，会碎裂成一些较小的团块。这些团块的大小约等于恒星直径的几百万倍。这个云团因为来自内部物质的引力作用，开始迅速收缩，就如一幢高楼大厦在顷刻之间坍塌。在大约几十万年之后，在云团中心形成了一个高温、高压、高密度的气体球，并在其核心触发了由四个氢原子核聚变成一个氦原子核的反应，释放出大量的热和光，成为恒星。

3. 行星状星云 行星状星云呈圆形、扁圆形或环形，有些与大行星很相像，因而得名。这类星云与弥漫星云在性质上完全不同，它们是如太阳差不多质量的恒星演化到晚期，核反应停止后，走向死亡时的产物。这类星云的体积在膨胀之中，最后趋于消散。在行星状星云的中央，都有一颗高温恒星，称为行星状星云的中央星。这是正在演化成白矮星的恒星。

4. 弥漫星云 弥漫星云是星际介质集中在一颗或几颗亮星周围而造成的亮星云，这些亮星都是形成不久的年青恒星。弥漫星云呈现为不规则的形状，犹如天空中的云彩，但是它们一般都得使用望远镜才能观测到，很多只有用天体照相机作长时间曝光才能显示出它们的美貌。

5. 超新星遗迹 超新星遗迹也是一类与弥漫星云性质完全不同的星云，它们是超新星爆发后抛出的气体形成的。与行星状星云一样，这类星云的体积也在膨胀之中，最后也趋于消散。最有名超新星遗迹是金牛星座中的蟹状星云。它是由一颗在 1054 年爆发的银河系内的超新星留下的遗迹。在这个星云中央已发现有一颗中子星，但中子星体积非常小，用光学望远镜不能看到，而因为它有脉冲式的无线电波辐射才被发现的，并在理论上确定为中子星。

6. 暗星云 明亮的弥漫星云之所以明亮，是因为有一颗或几颗亮星的照耀。如果气体尘埃星云附近没有亮星，则星云将是黑暗的，即为暗星云。由于暗星云既不发光，也没有光供它反射，但是吸收和散射来自它后面的光线，因此可以在恒星密集的银河中以及明亮的弥漫星云的衬托下被发现，例如猎户座马头星云。

## 八、河外星系

在 17 世纪，人们陆续发现了一些朦胧的天体，于是称它们为“星云”。有的星云是气体的，有的则被认为像银河系一样，是由许许多多恒星组成的宇宙岛，由于距离地球太远，观测分辨不清那些由大量恒星构成的朦胧天体。直到 20 世纪 20 年代，美国天文学家哈勃在仙女座大星云中发现了一种叫做“造父变星”的天体，从而计算出星云的距离，终于肯定它是银河系以外的天体系统，称它们为“河外星系”，简称为星系；是位于银河系之外、由几十亿至几千亿颗恒星、星云和星际物质组成的天体系统。目前已发现大约数十亿个河外星系。估计我们的宇宙有河外星系数千亿个以上，星系犹如辽阔海

洋中星罗棋布的岛屿，故也被称为“宇宙岛”。群星璀璨的星系，也和恒星类似，常常三五成群地聚在一起。与双星、聚星和星团类似，一般称它们为“双重星系”、“星系群”和“星系团”以及超星系团等更庞大的天体系统结构。对于双重星系，一般把较大的叫做主星系，较小的称为伴星系。

本星系群是包括地球所处的银河系在内的一群星系。这组星系群包含大约超过 50 个星系，其重心位于银河系和仙女座星系中的某处。本星系群中的全部星系覆盖一块直径大约 1000 万光年的区域。本星系群中两个质量最大的成员是银河系与仙女座星系。这两个旋涡星系又都各自拥有一个自己的卫星星系系统。银河系的卫星星系系统包括人马座矮椭圆星系（人马座）、大麦哲伦星系、小麦哲伦星系、大犬座矮星系、小熊座矮星系、天龙座矮星系、船底座矮星系、六分仪座矮星系、玉夫座矮星系、天炉座矮星系、狮子座 I、狮子座 II 以及杜鹃座矮星系。仙女座星系的卫星星系系统包括 M32、M110、NGC 147、NGC 185、仙女座 I、仙女座 II、仙女座 III 以及仙女座 IV V。

据有关学者分析，M33 是本星系群中第三大的星系，它可能不属于仙女座星系的伴星系，编号为 LGS3 的星系可能是它的卫星星系。需要说明的是，本星系群的那些其他成员的质量都远远小于上述这几个大的子群。本星系群是一个典型的疏散群，没有向中心集聚的趋势；但其中的成员三、五聚合为次群，至少有以银河系和仙女星系为中心的两个次群。本星系群的总质量为 6500 亿倍，银河系和仙女星系二者质量之和占了绝大部分。近距离星系团的空间分布表明，有一个以室女星系团为中心的更高一级的星系成团现象，长径约为 30—75 百万秒差距，包括 50 个左右星系团和星系群，称为本超星系团，本星系群属于它的一个成员。

### 九、恒星的起源和演化

大多数天文学家认为，恒星是由低密度的星云物质凝聚而成的。星云物质在演化过程中，由于自身的引力而收缩，同时内部温度升高，质量小的云团形成单个恒星，质量大的云团可以形成恒星集团。根据弥漫说的理论，恒星形成可分为两个阶段，开始时先由极其稀薄的物质凝聚成星云并进一步收缩成原恒星，然后原恒星才发展成为恒星。一般把处于慢收缩阶段的天体称为原恒星。慢收缩开始后，中心区受

强烈压缩而升温并发出热辐射，直到最后中心温度升到约 800 至 1000 万度以上，由氢原子核聚变为氦原子核的热核反应提供足够的能量，使内部压力与引力处于相对平衡状态，一颗恒星就正式诞生了。

恒星形成一般可分为两个阶段：第一阶段是星云阶段，由极其稀薄的物质凝聚成星云并进一步收缩成原恒星。第二阶段是原恒星阶段，由原恒星逐渐发展成为恒星。一般把处于慢收缩阶段的天体称为原恒星。原恒星进一步形成恒星的收缩过程要持续几百万到几千万年。

当云团中心温度达到 2000K 时，中心形成内核，来自恒星内部的辐射压将周围物质驱散，恒星逐渐露出，恒星“婴儿”就诞生了。当中心温度达到 700 万度时，恒星内部最丰富的元素——氢骤变成氦的热核反应开始了。热核反应造成的滚滚热浪产生了巨大的向外的压力，与向内的恒星引力相抗衡，促使星球停止收缩。星球内部的熊熊烈火烧透球壳，整个星球便成为一个大火球。这时的恒星可以长期处于稳定状态，称为主序星。我们的太阳目前就处在主序星阶段，年龄已有 50 亿岁。

当恒星演化为主序星时，它的亮度大小将由恒星的质量所决定。例如质量为太阳 20 倍左右的恒星，在这个稳定的主序星阶段将成为亮度和温度很高的蓝巨星或蓝白巨星；质量为太阳数倍的恒星，将成为白星或黄白星；质量与太阳差不多的恒星便成为亮度和表面温度与太阳相仿的黄矮星；而质量小于太阳的恒星则成为亮度很小、表面温度很低的红矮星。

主序星阶段占恒星一生寿命的 90%，是恒星最稳定的阶段，类似于人类的中年时期。红巨星——随着核聚变的进行，恒星中心的氦核越来越大，氦核周围的氢越来越少，当氦核质量占到恒星质量的 12% 时，恒星结构出现重大变化，氦核收缩，而恒星外层膨胀，体积急剧增大，表面温度降低。于是恒星进入了老年期即红巨星阶段。恒星演化到后期，星体的变化愈来愈剧烈、愈来愈复杂。最后产生巨大的爆发，抛出大量物质；外部形成行星状星云，内部塌缩成一颗致密的天体——白矮星，这是一种低光度、高密度、高温度的恒星。因为它的颜色呈白色、体积比较矮小，因此被命名为白矮星。大质量的恒星可形成中子星或黑洞。当然，最后形成什么天体，完全决定于恒星本身质量的大小。

我们看到的大多数恒星都是主序星。质量大的

# 她用物理的情趣，引我们科苑揽胜； 她用知识的力量，助我们奋起攀登！

欢迎投稿，欢迎订阅

《现代物理知识》杂志隶属于中国物理学会，由中国科学院高能物理研究所主办，是我国物理学领域的中、高级科普性期刊。其前身是创刊于1976年的《高能物理》杂志。该刊以生动活泼的语言介绍现代物理知识、传递科技前沿动态，以深入浅出的形式做到科学性和趣味性并重。适合广大的科学工作者、教育工作者、科学管理干部、大学生、中学生以及其他物理学爱好者阅读。

为进一步提高《现代物理知识》刊物的学术水平，欢迎物理学界的各位专家、学者、教授以及研究生为本刊撰写更多优秀的科普文章。投稿时请将稿件的 Word 文档发送至本刊电子信箱 mp@mail.ihep.ac.cn。稿件正文用五号宋体字、单倍行距、不分栏，文内小标题最多一级，纸张类型 A4，页边距上下 2.5cm、左右 3cm；文中公式请用公式编辑器输入；文稿务必附上英文题目；插图须在文稿中的相应位置标上编号，插图及图表中的外文务必译成中文；外国人名和地名请尽可能译成中文，有必要保留外文名称时，则在文中首次出现处，将外文用括号标注在中译名后面；请注意语言规范，例如“其它”一律改为“其他”、“公里”改为“千米”、“公斤”改为“千克”、句号用圈“。”，数字和百分数尽量采用阿拉伯数字，书刊和一般文章的题目用书

恒星因燃烧剧烈，燃料消耗快，它的主序星阶段的时间就较短；但最短也有几百万年。质量较小的恒星，热核反应速度较慢，氢的消耗也较慢，因而它稳定在主序星阶段的时间就较长，最长的可达 10 万亿年。太阳正处于这个稳定阶段，它已经稳定地“燃烧”了足足 50 亿年了。据估计，太阳在主序星阶段的时间可长达 100 亿年。

在反映恒星演化的赫-罗图上可看到，从左上方（高温和强光度）到右下方（低温和弱光度）是一个狭窄的恒星密集区，被称为主星序，90%以上的恒星都集中在主星序内，太阳也在其中。主星序的右上方是巨星区，巨星区之上是超巨星区。图的左下方是白矮星区。不同质量的恒星在主星序上停留的时间长短也不一样：质量越大，停留的时间越短。

21 卷第 2 期 (总 122 期)

名号；投稿请将联系人姓名、详细地址、邮政编码，以及电话、电子信箱等联系方式附于文章末尾。

《现代物理知识》设有物理知识、物理前沿、科技经纬、教学参考、中学园地、科学源流、科学随笔和科苑快讯等栏目。2009 年《现代物理知识》增加了 8 面中心彩色插页，每期定价仍为 8 元，全年 6 期共 48 元，欢迎新老读者订阅。

邮局订阅 邮发代号：2-824。

汇款到编辑部 地址：北京 918 信箱《现代物理知识》编辑部；邮编：100049。

需要过去杂志的读者，请按下列价格汇款到编辑部。1992 年合订本，18 元；1993 年合订本，18 元；1994 年合订本，22 元；1994 年增刊，8 元；1994 年附加增刊合订本，36 元；1995 年合订本，22 元；1996 年合订本，26 元；1996 年增刊，15 元；1997 年合订本，30 元；2000 年附加增刊合订本，38 元；2000 年增刊，10 元；2001 年合订本，48 元；2002 年合订本，48 元；2003 年合订本，48 元；2004 年合订本，48 元；2006 年仅剩 4、5、6 期，每期 7 元；2007 年每期 8 元，2007 年合订本，50 元；2008 年每期 8 元，2008 年合订本，50 元。

以上所列，均含邮资或免邮资。

在核心当热核反应将氢用尽变为氦而氦的质量约占恒星质量的 12% 时，氦核收缩，恒星外层膨胀，体积急剧增大，表面温度降低。这时的恒星就步入红巨星阶段，此时氦聚变成为它的主要能源，相当于进入老年期。恒星的后期演化，十分剧烈复杂。恒星最后演化的途径，和恒星质量、恒星氦核演变有关。一般认为，大质量的恒星演化到后期要发生塌缩或大爆发，成为超新星，抛出大量物质，中心留下一个中子星或黑洞，而中小质量的恒星则比较平稳地抛出物质，形成行星状星云，中央残核留有一颗致密天体——白矮星。这就是一般太阳大小的恒星的一种归宿。一般来说，大于 8 个太阳质量的大质量恒星，往往以超新星爆炸的形式走向死亡。

(北京天文馆 100044)