

黑洞与 弯曲时空

W. J. 卡夫曼 著
科学出版社

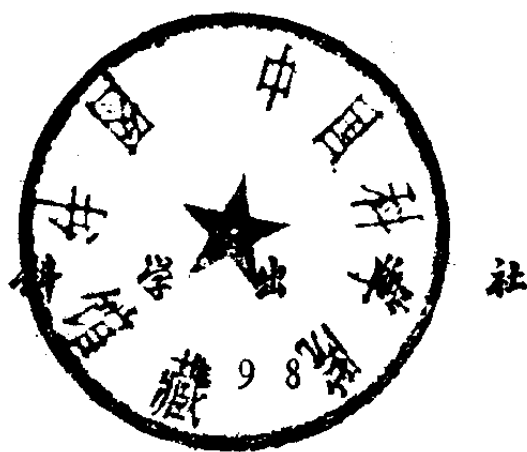
48

55.1
120
12

黑洞与弯曲时空

W. J. 卡夫曼 著

何妙福 车饱印 译



874203

内 容 简 介

黑洞是广义相对论所预言的一种特殊天体。本书以生动的语言和丰富的插图,介绍了黑洞和弯曲时空的理论研究和观测结果,以及恒星的演化过程。主要内容包括恒星演化,恒星死亡和白矮星,超新星和中子星,弯曲时空的含义,黑洞的结构和奇异特性,类星体和超大质量黑洞,宇宙学和终极黑洞,原生黑洞等。

本书可供广大天文爱好者阅读和参考。

W. J. Kaufmann, III
BLACK HOLES AND WARPED SPACETIME
W. H. Freeman and Company, 1979

黑洞与弯曲时空

W. J. 卡夫曼 著

何妙福 车抱印 译

责任编辑 赵卫江 夏墨英

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1987 年 9 月第 一 版 开本: 787×1092 1/32

1987 年 9 月第一次印刷 印张: 5 1/2 插页: 8

印数: 0001—1,800 字数: 123,000

统一书号: 13031·3621

本社书号: 5216·13—5

定价: 2.45 元

序 言

黑洞是现代科学所预言的最新奇事物之一。它是这样一个场所,在那里引力是如此强大,以致任何东西,甚至光也不能逃逸出去。它是这样一个场所,在那里引力是如此强大,以致洞被分裂成极端的时空结构。环绕这个敞开的深渊的是空间几何学里的“视界”,在视界上时间本身是静止的。而在这个洞的里面,超越视界,空间和时间的方向则相互交换了。

存在着通向其它宇宙的“蛀洞”,存在着“时间通道”和“时间机器”,它们会把你带回你离开之前出发的地方。洞的中心之外有反引力存在。而环绕洞,则还存在着这样一些区域;在这些区域里,为了停留在同一地方,你必须以光速旅行。

这看上去是不可相信的,然而我们如今正在天空中发现这些事物。我们发现它们正是大质量恒星的躯壳。而且我们也发现它们正处在爆发星系的中心:巨大的黑洞包含几十亿颗完全坍缩的太阳。

这一切中最不可思议的是,我们对宇宙诞生的了解使我们相信,当大爆炸以后的头几毫秒里,应该有大数量的十分微小的黑洞创生出来。不同于它们的大质量和超大质量的“兄弟”们,这些微小黑洞因随意地喷出粒子和辐射而蒸发和爆发。

二十世纪二十年代里,科学家们最终解决了在太阳中心的能量是怎样产生的问题。他们以热核反应最终回答了孩童似的提问:“为什么太阳会发光?”在一个评述这些核过程的新闻会议上,有人曾询问一位著名科学家,是否人类终究有可

能在地球上释放或者开发核能?。回答则是:“显然,这永远不可能!”在当时,这种可能性是归属于科学幻想范围的。可是这种情况没有维持多久。

在一个技术发达的社会里,公民们了解科学前沿的进展是带有决定性的事情。尤其在一个民众都是选民的民主社会里,这点更为正确。虽然关于黑洞物理学的许多论题仍属于科学幻想的范畴,但这不会为时过久的。

宇宙的知识赋予人们惊人的力量。了解原子和星系的秘密就像变成神灵一般。我们飞向月球,点燃恒星,或许有朝一日探测一个黑洞。至于我们是为了改善人类的境遇,还是为了破坏我们居住的行星去运用这些能力,那完全是我们自由选择的事。自然界的深刻的法则是无邪恶的,只有我们的企图和动机有时是含有恶意的。这就是为什么拥有见多识广的民众是多么重要的缘故。只有同有知识的选民在一起,我们才有希望作出明智的决定。

W.J. 卡夫曼

(William J. Kaufmann, III)

1979年8月

目 录

序言

第一章	恒星的演化.....	1
第二章	恒星的死亡与白矮星.....	17
第三章	超新星与中子星.....	32
第四章	弯曲时空的含义.....	51
第五章	黑洞的结构.....	64
第六章	黑洞的奇特性质.....	76
第七章	搜索黑洞.....	89
第八章	探测宇宙.....	102
第九章	类星体和超大质量黑洞.....	118
第十章	宇宙学和终极黑洞.....	139
第十一章	原生黑洞.....	154

第一章 恒星的演化

在我们的银河系里,远离几千光年的某个地方,一团巨大的星际气体和尘埃云寂静地穿越近于完全真空的空间.这个星际云的稀疏边缘向四周黑暗深处延伸几兆英里之遥,似乎要抵达远处的恒星.

就像散布在我们的银河系里的许多其它星际云一样,这个星际“幽灵”包含大量的物质.星际云大多数由氢和氦组成,它具有足够多的质量去创生出许许多多像我们的太阳那样的恒星.然而这里没有恒星发光.恒星诞生的过程尚待发生.

尽管它具有巨大质量,但星际云占有如此广漠的空间,所以原子在星际云的庞大体积里分布是很稀疏的.真的,倘若你旅游到即使这个星际云的极近中心处,你首先想到的是你仍然在几近真空的星际空间里.然而经仔细的观察,你将发现每立方厘米(一立方厘米大约等于一块方糖的大小)约有十个原子.呈鲜明对比的是,我们在地球上呼吸的空气里,每立方厘米含有三千亿亿个原子.

你将发现在这个透明的星际云里,大多数的原子是氢原子,它是宇宙间远为丰富得多的气体.对应于每十六个氢原子,你可找到一个氦原子,它是次丰富的元素.只有经过大量的搜索,你才能找到较重元素的原子,诸如碳、氮、氧和铁,这里就说出少数几种.

而且星际云是很冷的!只有绝对零度之上一百度,所以星际云里的原子悠闲地漫游着,几乎不会碰撞.这便是一个恒星胚胎的本质,在我们的银河系里一个僻静的地方不久将会有新生星闪烁.可是如今星际云正耐心地等待着一条旋臂

的到来,这要等上几百万年之久。

我们居住在一个旋涡星系里,它是气体、尘埃和上千亿恒星组成的一个巨大的旋转的集合体。为眺望我们的银河系,你必须在空间里旅行到很远,远让你在天空中能见到的最遥远的恒星之外。而当旅行了几十万光年之后,你可回过头来看看展开在你面前的我们的天体旋涡。

有数不清的旋涡星系散布在宇宙的深处。从远处看,我们的银河系可能十分像图 1-1 所示的被称为 M81 的星系。一个像我们自己的银河系那样典型的旋涡星系,其直径为十万光年。我们的恒星——太阳则位于从银河系中心到其边缘的 $\frac{2}{3}$ 处,且在两条拱形的旋臂之间。这些旋臂携带着能压缩星际物质的冲击波,庄严地绕银河系核心旋转。这种压缩便触发恒星的诞生。



图 1-1 旋涡星系 M81(也称为 NGC 3031)

如果你从远处眺望我们的银河系,它看上去可能像大熊星座里的这个星系。一个典型的旋涡星系,它的直径长 10 万光年且包含 2 千亿颗恒星。(基特峰国立天文台)

当旋臂扫过星际云时，相间很远的原子突然紧紧地拥挤在一起。星际云本来是透明的，但现在，由于原子靠近在一起，微弱的星光不再能穿透过。我们的星际云变成了暗星云。

暗星云难于找到。当暗星云靠着背景星场的烘托，它们显露得最清楚。在图 1-2 中可看到暗星云的一个范例，且照片 1 展示了著名马头星云的一张彩色照相。

因为暗星云是不透明的，从遥远恒星来的光不再能透过压缩的星云，以使它的气体加温。于是星云的温度向绝对零



图 1-2 蛇夫座里的暗星云

在这张蛇夫座里的一个十分丰富区域的照片中可以看到成千上万颗恒星。暗区是由冷气体和尘埃组成的前景星际云所造成的。这些广阔的星际云阻挡住了来自远处的星光。

(叶凯士天文台)

度直落。当温度下降时，原子比以前运动得更慢了，慢到个别原子间的微弱引力开始支配星云的内部结构。

正如所预料的，暗星云并不是完全平滑和均匀的。而是，幸亏是，有些地方含有比平均数稍多的原子数，又有其它地方含有比平均数略少的原子数。

一切物质都具有引力。在某一特定地方具有越多的物质，那么那个地方周围的引力便越强。因此，在暗星云内部，意外地具有稍多原子的地方，其所具有的引力场也稍强些。这些具有多余引力的地方容易把附近缓慢运动着的原子吸引过来。当原子数开始增长，这些地方的引力就不断增强，因此把更多的物质从周围的星云里吸引过来。就以这种方式，星云开始瓦解成团块或球状体。

在形成过程中，一个典型的球状体的直径可达几十亿英里*，且它包含有几倍太阳质量（太阳的质量几近二千亿亿亿吨）的物质。

图 1-3 里，可看到无数的球状体，它们在较明亮的背景星云上映出影子。球状体也出现在照片 2——鹰状星云的彩色照相里。

球状体是不稳定的。很简单，球状体无力支撑自己的重量。亿兆吨气体从四面八方内压挤，引起球状体收缩。在自身引力的无情作用下，球状体变得越来越小，同时把位于收缩球体中心的气体压挤得具有越来越高的压力和密度。

在自然界大多数情境里，压力和密度是携手并进的。因此，在收缩的球状体的核心处的压力升高之时，其温度也开始上升。随着温度增高，收缩的球状体内部深处的气体开始发光。辐射开始通过收缩的气体球向外渗出。你立刻注意到球

* 1 英里=1.609 公里。——译者注

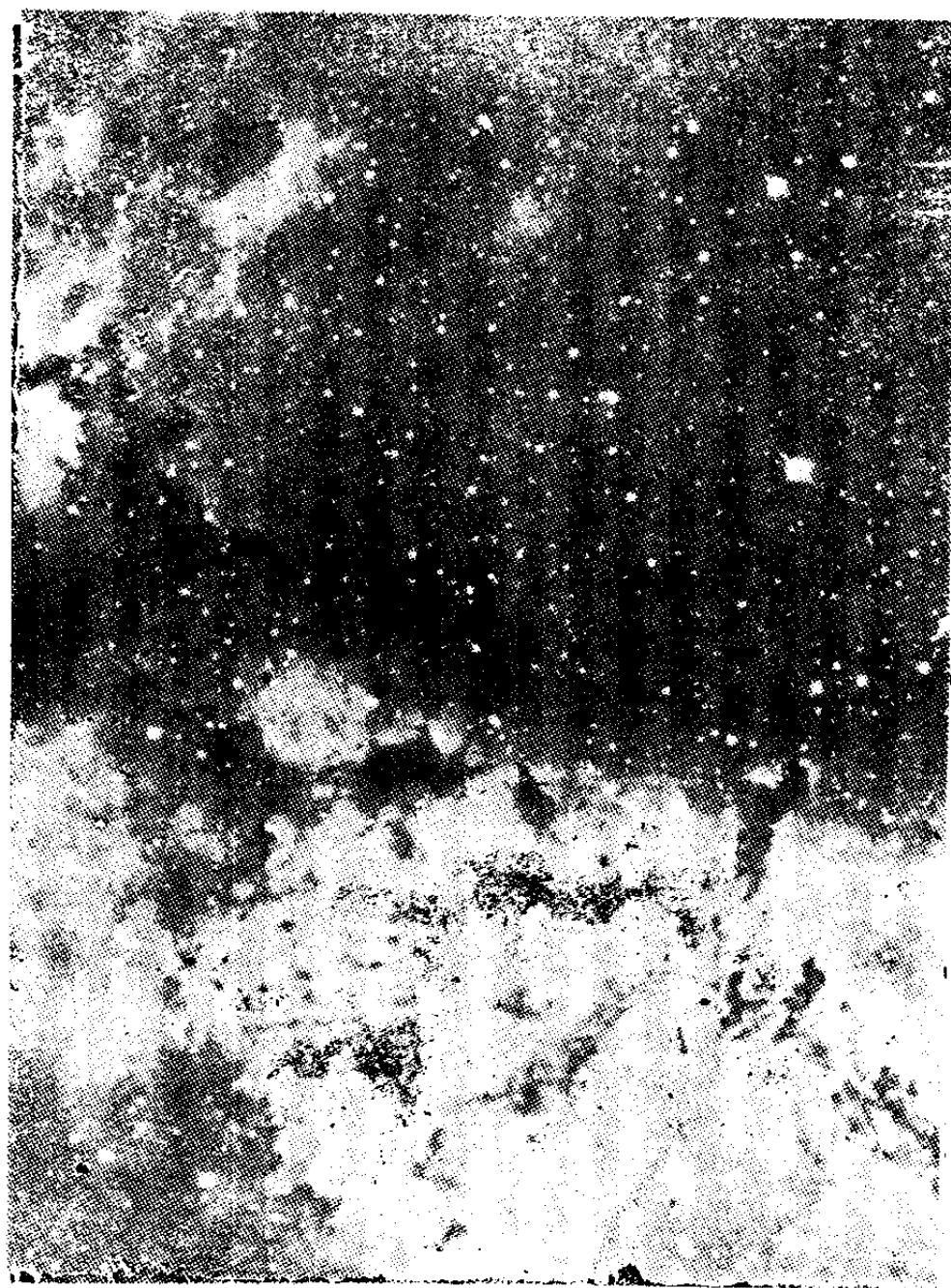


图 1-3 球状体

凭在较明亮的背景星云上映出的影子可看到无数的球状体。球状体象征恒星诞生的最早期阶段。仅隔几百万年之后，宇宙空间的这个区域将因灿烂明亮的新生星而闪耀发光。

(里克天文台)

状体不再是暗黑的了。射到你的眼睛里的第一束光是暗红色的，而气体就像壁炉里燃烧的余烬，微弱地闪光。球状体自身已转变为一颗原恒星。

然而原恒星在引力作用下也是不稳定的。这个气体球仍

然不能支撑它的外层的巨大的重量。所以，原恒星继续收缩，致使内部气体的温度和压力越来越高。

最后，当原恒星中心的温度达到一千万度时，氢燃烧点着了。在这个温度，氢原子核运动得如此飞快，以致当它们碰撞时，它们便永久粘合在一起。在这个著名的过程中，氢实际上转变为氦。每四个氢核在一起燃烧，创生一个氦核。但更重要的是，所产生的氦核比四个生成它的氢核要稍轻些。某些物质消失了。这些不见了的物质按爱因斯坦著名的方程 $E=mc^2$ 转换为纯粹能量。这个过程称为热核反应，它是自然界里发生的最有影响的过程之一。它是质量到能量的直接转换。伴随着氢燃烧所发生的能量的巨大释放，因而创造了原恒星最终能支撑它的外层重量的条件。收缩停止了。一颗恒星由此诞生了。

一颗新生星是最近才在它的中心点着氢燃烧的恒星。搜索天空，你可找到许多这种年轻恒星，它们散布在宇宙空间。因为它们通常仍嵌镶在产生它们的星际云的广大碎片之中，所以容易辨认出它们。来自年轻的大质量恒星的强紫外光引起星际气体发萤光，因此这些气体常常无比美丽地发亮。这些恒星的“养育所”的极好例子则包括图 1-4 里的著名猎户星云和图 1-5 里的礁湖星云。

当你朝天空一瞥，你所看到的几乎每一颗恒星乃是在它的核心消耗氢燃料的年轻恒星。我们的恒星——太阳即是个好例子，它只不过诞生于五十亿年前。每一秒钟，在太阳的中心有六亿吨氢转换为氦。这似乎是惊人的速率，可是太阳并不濒于短缺氢燃料的险境。太阳的质量是如此巨大，它具有充足的燃料可供氢燃烧再持续五十亿年。

虽然我们通常谈及氢“燃烧”，却并没有任何东西如烛焰或壁炉里的木头一般在通常意义下“燃烧”。而事实上，恒星



图 1-4 猎户星云(也称为 M42 或 NGC 1976)

几颗新生星深深地埋藏在这个星云里。来自这些恒星的强紫外光引起周围的气体发光。这个星云,作为猎户星座的“剑”里的中央“星”,用肉眼恰勉强可见。(里克天文台)

内部深处的热核反应把原子核熔合在一起。在这些热核炉里,轻元素在不可想像的温度和压力下转化为较重元素。

像太阳般的恒星在它们的核心燃烧氢达几十亿年之久。氢是燃料,而氦是灰烬。然而逐渐地,当这些恒星从青年期进入中年期时,在它们的中心,氦的数量增加,而氢的供应减少。最终,在一切恒星的生活史里一个关键的阶段,氢用完的时刻到来了。这便引起了一颗恒星的结构和外貌的较大改变,这



图 1-5 礁湖星云(也称为 M8 或 NGC6523)

球状体、原恒星和新生星并列地存在于人马座内这个美丽的星云中。如同猎户星云，来自年轻星的紫外光引起气体发荧光。然而，猎户星云只有一千五百光年远，但到礁湖星云的距离认为约六千五百光年。(基特峰国立天文台)

种改变比之于自从这恒星过去的诞生年代以来所知有关的任何事来，都深刻和引人注目得多。

想像这些成年星中的一颗，如太阳，它从现在起的五十亿年之中的发展。如同所有恒星，在这恒星中心产生的能量艰辛地前进到恒星的边缘，最后以星光形式逸出，这需花费一百万年左右。因此，虽然在恒星的核心正要发生显著的变化，但暂且你仍将注意不到任何异常。辐射转移到恒星的表面得花费一百万年。

当在恒星中心的所有氢用完时，氢燃烧便中断。由于不再有能量向外流出，恒星的核心部分在引力作用下变得不稳

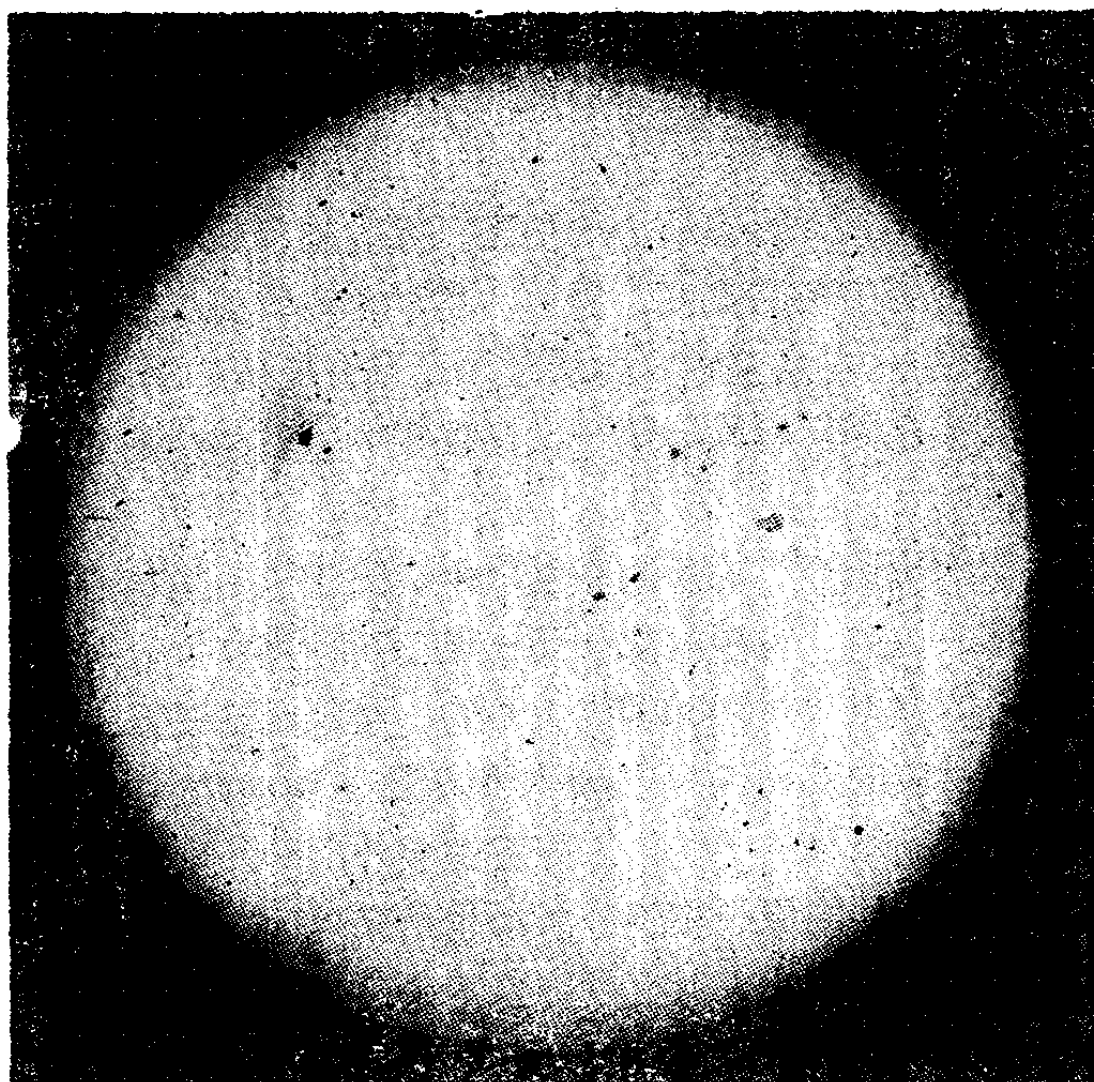


图 1-6 太阳

太阳是一颗年轻恒星,仅在五十亿年前形成。在太阳的中心,经过被称为“氢燃烧”的热核反应,使氢熔合成氦。在太阳的核心有足够的氢燃料可供氢燃烧再持续五十亿年。(卡夫曼工业公司)

定。无能力支撑住自己的重量,所以含有丰富的氢的恒星核心开始收缩。当这个核心越来越受压缩时,恒星内部深处的温度升到新的高度。虽然在恒星中心不再存留氢,但在核心和表面之间仍有充裕的活泼的氢燃料。最终,坍塌的核心周围的温度升高到足以点燃环绕核心的薄壳里的氢燃烧。

起初,从远处观察这种恒星变态,你注意不到有什么不平常的现象。但随着壳层氢燃烧的被点燃,恒星得到了能量的新来源和燃料的新供应。于是,恒星开始逐渐膨胀,这种现

象最初几乎觉察不到。当恒星重新适应于其核继续收缩的情况时，它的外层便慢慢地向外延伸，而此时核被一层氢燃烧薄壳包围着。

含氢丰富的恒星核心的引力压缩，迫使恒星中心的温度和压强升到空前的高度。最后，恒星中心的氢原子核在一亿度的高温下，以高速相互剧烈碰撞而熔合成碳和氧。于是，恒星在其演化的历程中，第一次出现了叫做氢燃烧的新的热核反应。

氢燃烧所产生的新的能量输出，阻止了恒星核心的进一步收缩。此时，恒星内部深处出现了两种热核反应过程：恒星中心的氢燃烧过程和围绕中心的一层氢燃烧过程。作为能源双重供应的戏剧性结果，是使恒星膨胀到如此巨大的体积，一直增长到原来的十亿倍。随着恒星外层向外延伸得越来越远，组成外层的原子相互分离得也越来越远。随着恒星外层的密度和压强减小，温度就降低下来。当你在安全距离以外观测它时，也会觉察到这个胀大的恒星表面变得又大又凉。

像太阳这样的恒星，表面温度为六千度，它的炽热气体以眩目的白光照耀着。在遥远的将来，当太阳膨胀成庞大的体积之后，表面温度将要降到三千度。那时，变凉的表面气体不再是那样白热，而将像壁炉中的炭火或铁匠炉中的马掌那样，以微红的颜色发光。这种类型的恒星被恰当地命名为红巨星。

五十亿年后，当我们的太阳演化成一颗红巨星时，被太阳灼烤着的水星将是第一个被气化的行星。随着水星被逼近的太阳表面吞噬掉，金星的由二氧化碳组成的厚厚的大气将被吹散，而那时地球上的海洋将要沸腾起来。金星和地球很快地也会遭到同水星一样的厄运，岩石熔化随后变成气体。太阳红巨星演变到最后阶段，其直径会膨胀到二亿英里，略大于地球轨道。即使我们的地球能幸免于难，也将被淹没在太阳

微红色的大气之中。

在天空中,你所看到的每颗颜色发红的恒星,几乎都是红巨星。毕宿五(在金牛座),心宿二(在天蝎座),大角(在牧夫座),以及参宿四(在猎户座),都是很好的例证。所有这些恒星都有既热又密的核心,并燃烧着氦和氢。所有这些恒星都有庞大的、模糊的、发着血红色光的膨胀大气。

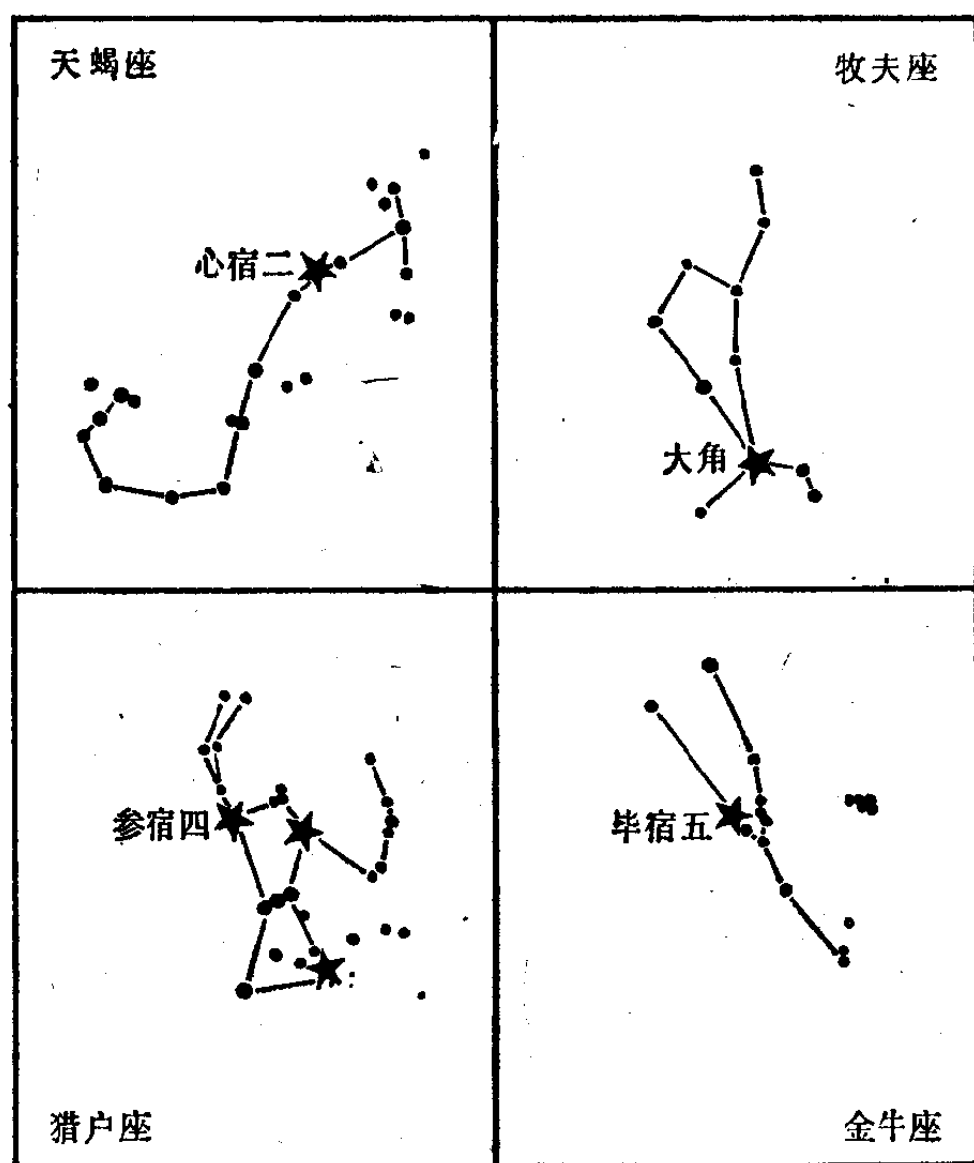


图 1-7 几颗熟知的红巨星

在天空中,你所看到的每颗颜色发红的恒星,几乎都是红巨星。这四张星图指明了,肉眼很容易看到的四颗著名红巨星的名字和它们所在的位置。五十亿年以后,太阳也将变成一颗红巨星。