

超新星 1987A 二十年

李宗伟[†]

(北京师范大学天文系 北京 100875)

摘要 400年来最亮的超新星 1987A (SN 1987A) 发现已 20 年. 国际上在 2007 年举行了多次学术会议. 美国宇航局 (NASA) 发布了哈勃空间望远镜 (HST) 拍摄的漂亮照片. 美国还为此发行了纪念邮票. 文章介绍了 SN1987A 的发现过程和它的最初的光度, 阐明了它的光谱观测以及它的前身星的特性, 综述了哈勃空间望远镜长期监测获得的丰富资料 (特别是它的三环结构) 以及钱德拉 X 射线天文台取得的一系列新结果, 指出了至今仍未发现它的中心致密天体, 还有许多谜团未解开. 最后对未来的研究作了展望.

关键词 超新星 1987A, 大麦哲伦云, 哈勃空间望远镜, 钱德拉 X 射线天文台, 中心致密天体

Supernova 1987A : 20 years later

LI Zong-Wei[†]

(Department of Astronomy, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract It is 20 years since supernova 1987A, the brightest supernova in more than 400 years, was discovered. Several international symposiums were held in 2007, NASA released a special and beautiful SN1987A color photograph taken by the Hubble space telescope, and commemorative stamps were issued by the USA, all for celebrating SN1987A. We present an overview of its discovery, the spectra and character of its progenitor, the rich data accumulated over long term observations by the Hubble telescope, especially the three-ring structure, and the results of the Chandra X-ray observatory. Although SN1987A has been observed continuously, its central compact object has still not been discovered and certain mysteries remain unexplained. Finally, we look into the future.

Keywords supernova 1987A, large Magellanic cloud, Hubble space telescope, Chandra X-ray observatory, central compact object

2006 年 12 月, 美国宇航局 (NASA) 发布了超新星 1987A (SN1987A) 所在天区非常清晰漂亮的图像 (图 1). 此图的主要性质是 3 个光环的内环中有一串亮点. 1997 年, 天文学家首次观测到跨度为一光年的内光环中一个亮点. 现在则有 20 多个亮点. 发光的环预期可照亮它的整个周围环境. 到时可提供恒星爆发前如何抛出物质的信息. 环的中心云状物是超新星爆发留下的碎片残骸. 碎片残骸将发光几十年. 发红的两个暗外环的起源还是一个谜. 图中类似汽车前灯的两个亮天体是大麦哲伦星系的一对恒星.

2007 年 2 月至 5 月, 先后召开了多次国际学术会议. 纪念超新星 1987A 发现 20 周年, 美国还发行了以图 1 为标记的纪念邮票. 为什么国际上如此重视超新星 1987A 呢? “它的发现推动着现代天体物

理学进入空前的活跃阶段. 自那时起, SN1987A 不仅占据了现代天文学的独特地位, 而且也是太阳系外研究最详尽的天体. 人们利用地基、地下和空间 (气球、飞机和火箭) 的天文仪器进行观测, 包括南极洲在内的南半球大陆全部天文望远镜都对准了它. 观测研究覆盖了由射电到 γ 射线的全部电磁波段,^[1]

“独特的 SN1987A 使得现代天体物理繁荣兴旺. 它提供了许多观测的‘第一’: SN1987A 是首次探测到中微子的太阳系外唯一天体, 从此, 太阳系外中微子天文学诞生了! 在丰富的照相底片中首次找

2008-03-27 收到

[†] Email: lizw625@sina.com

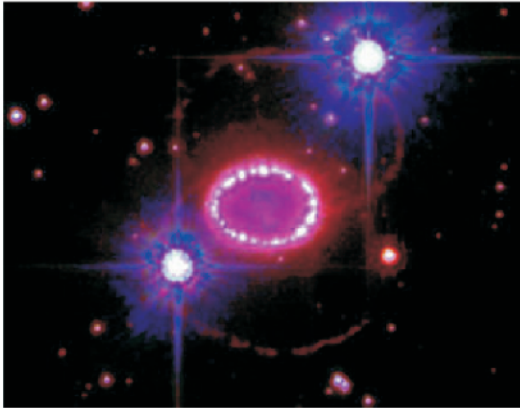


图 1 哈勃空间望远镜 2006 年 12 月 拍摄的超新星 1987A 的清晰照片(NASA)

到了它的前身星,它的爆发是非球形,抛射物质是混合的;直接观测到超新星的核合成,包括精确的 ^{56}Ni , ^{57}Ni , ^{44}Ti 的质量;观测到超新星产生的尘埃;观测到拱星物质和星际物质。”^[2]

20 年来,SN1987A 的新现象、新结果层出不穷,大大地改变了天文学和物理学家对大质量恒星演化的认识,但目前它仍有许多神秘面纱未揭开,例如:

在超新星残骸碎片中新合成的元素的组成是什么?它们是如何分布的?

在超新星中心的致密天体的性质如何?为什么直到现在尚未观测到它?

它的三个环是如何形成的?三环之外的拱星物质是什么物理过程?

内环中的亮热点形成的原因是什么?

对应射电辐射的相对论性粒子是如何被加速的?等等。^[5]

本文第一节先概述超新星的分类,从第二节开始对 SN1987A 20 年来的主要研究成就做一简介。

1 超新星 (supernovae, SN) 命名和分类

超新星是某些恒星演化到末期时灾变性的爆发。爆发时光度为 $\sim 10^{10}$ 太阳光度(相当于整个星系的光度)释放能量 $\sim 10^{53}$ 尔格,光变幅超过 17 个星等,即增亮千万倍至上亿倍。这是恒星世界中已知的最激烈的爆发现象之一。它抛射的质量范围为 1—10 太阳质量,抛射物质的速度为几千至几万 km/s;爆发时典型的动能为 10^{51} 尔格。爆发结果或是将恒星物质完全抛散,成为超新星遗迹,或是抛射掉大部

分质量,核心遗留下的物质坍缩为中子星或黑洞。超新星爆发后形成强的射电源、X 射线源和宇宙线源。超新星爆发标示了一颗恒星壮烈的死亡,但是也触发了新一代的恒星诞生,它与恒星的生与死密切相关,因此超新星成了众多天文学和天体物理学分支研究的课题,它处于许多不同天文学研究分支的交汇处。超新星作为许多种恒星生命的最后归宿,可用于检验当前的恒星演化理论。在爆炸瞬间以及在爆炸后观测到的现象涉及各种物理机制,例如中微子和引力波发射、燃烧传播及爆炸核合成、放射性衰变及激波同星周物质的作用等。而爆炸的遗迹如中子星或黑洞、膨胀气体云起到加热星际介质的作用。超新星在产生宇宙中的重元素方面扮演着重要角色。宇宙大爆炸只产生了氢、氦以及少量的锂。红巨星阶段的核聚变产生了各种中等质量元素(重于碳但轻于铁)。而重于铁的元素几乎都是在超新星爆炸时合成的,它们以很高的速度被抛向星际空间。此外,超新星还是星系化学演化的主要“代言人”。在早期星系演化中,超新星起了重要的反馈作用。星系物质丢失以及恒星形成等可能与超新星密切相关。由于超新星非常亮,它被用来确定距离。将距离同超新星寄主星系的膨胀速度结合起来,就可以确定哈勃常数以及宇宙的年龄。Ia 型超新星(见超新星分类)已被证明是强有力的距离指示器。最初是通过标准烛光的假定,后来是利用光变曲线形状等参数来标定峰值光度。作为室女团以外最好的距离指示器,其校准后的峰值光度弥散仅为 8%,并且能延伸到 500 兆秒差距的遥远距离处。Ia 超新星的哈勃图(星等-红移关系)现在成为研究宇宙膨胀历史的最强有力的工具;其线性部分用于确定哈勃常数,弯曲部分可以研究宇宙膨胀的演化。高红移 Ia 超新星的光变曲线还可用于检验宇宙膨胀理论。理论预计由于宇宙膨胀而引起的时间膨胀效应将会表现在高红移超新星光变曲线上。观测数据表明,红移 z 处的 Ia 超新星光变曲线宽度为 $z=0$ 处的 $(1+z)$ 倍,这为膨胀宇宙理论提供了又一个有力的支持。某些 II 型超新星也可用于确定距离。IIP 型超新星在平台阶段抛射物的膨胀速度与它们的热光度存在相关,这也可用来进行距离测定。经相关改正后,原来 IIP 型超新星 V 波段的 ~ 1 星等的弥散可降到 ~ 0.3 星等的水平,这提供了另一种独立于 SN Ia 的测定距离的手段。

1.1 超新星命名

如今,随着观测技术和仪器的飞速发展,天文学家每年发现的超新星逐年增多,近几年每年都发现300多颗,截至2007年底已发现4500多颗。为方便研究,国际天文联合会(IAU)决定超新星命名规则,用发现时的年份加上英文字母来表示该星,一年中发现的前26颗超新星用年份加大写英文字母表示,如SN1987A表示1987年发现的第一颗超新星;从第27颗超新星开始,则用两位小写英文字母表示,如SN2007aa表示2007年发现的第27颗超新星,SN2007ba表示2007年发现的第53颗超新星,第54、...78颗则用bb、...bz表示,依次类推。2007年底是SN2007uz(第572颗)。

1.2 超新星类型和特征

20世纪50年代,以光变曲线作为主要判据,将超新星分为I、II、III、IV、V五类。20世纪70年代,通过光谱研究,认为分成I型和II型两类较为适当。

I型超新星的光变曲线的特点是亮度陡增和初降较陡,随后缓慢地减光,平均每年下降6个星等;平均绝对星等M可达-19.5等。II型超新星有类似I型的增光达到极大亮度之后约50天,光变曲线上出现驼峰,随后再继续减光。目前对超新星的认识主要来自光学波段,根据超新星亮度在极大时期的光谱可以分为I和II型超新星(图2)。I型超新星的光谱中没有宇宙中最丰富的氢的谱线,而II型则主要是氢的谱线,后来发现I型超新星又可以细分,其中一部分光谱以电离硅的615.0nm的吸收线为主要特征,这类被称为Ia型,而对于没有这一条硅吸收线特征而有氢线特征的则称为Ib型。至于氢谱线也没有的则称为Ic型。Ia型超新星爆发的总能量约为 10^{53} erg,而II型则在 $(4-10) \times 10^{51}$ erg之间,主要是以中微子的形式释放。由于从1604年以来,银河系内没有记录过超新星爆发,所以1987年在离我们最近的星系——大麦哲伦星云(LMC)中出现的超新星SN1987A,遂成为用现代天文仪器研究超新星的极好机会。那时日本神冈和美国的IMB的中微子探测器都记录下中微子暴,一共得到27个中微子记录。这是首次记录到的来自太阳以外的中微子,开创了宇宙中微子的观测历史,验证了超新星爆发的理论。超新星的爆发是在约一秒钟之内完成的。由于高能辐射与爆炸抛射出来的恒星大气相互作用,使得超新星也可能有X射线等辐射。例如SN1987A在爆炸后100多天才被Ginga卫星探测到它的X射线。而光学波段的突然增亮,首先是由膨胀大气引起

的,后来则由 Ni^{56} 等同位素的衰变提供能量,使得光度下降较为缓慢。图3给出了典型的超新星光变曲线。图4是各类超新星的特征光谱。超新星爆发的高速抛射物与周围介质相互作用形成的激波引发出电波辐射,而对星周尘埃的加热则可以产生红外辐射。但这些只有在周围有稠密的星际物质的II型或Ib、Ic型超新星中才能观测到。

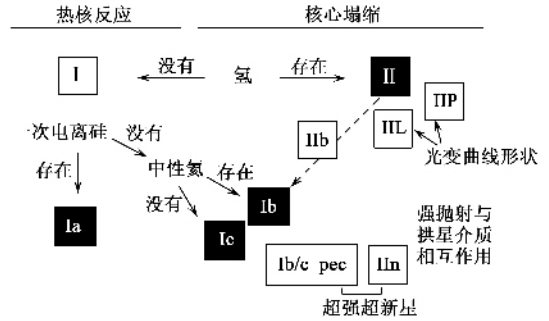


图2 超新星分类示意图

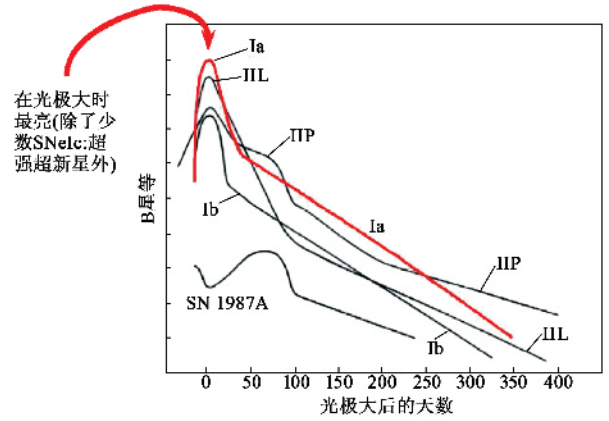


图3 各类超新星光变曲线(纵坐标中的B为B波段,是蓝光波段)

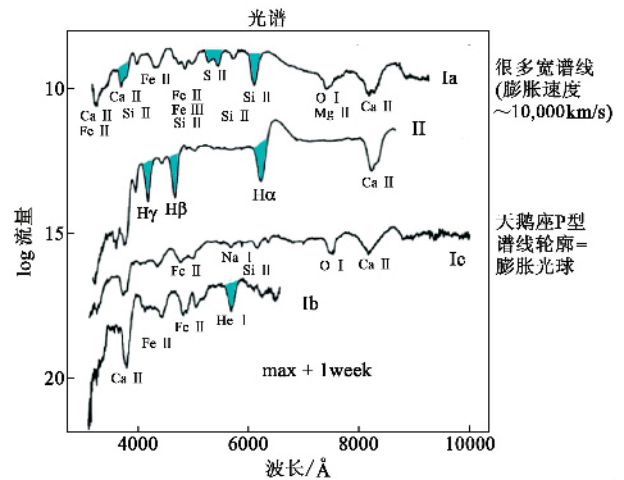


图4 各类超新星的光谱特征

2 SN1987A 的发现

1987 年 2 月 23.316 日 UT(世界时), 383 年来最亮的超新星的光和中微子抵达地球, 天体物理学家激动得欣喜若狂, 这就是超新星 1987A (SN1987A)。它描绘出一直在演化并且呈现最完整的生长和死亡情景的大质量星的一幅画卷。SN1987A 几乎是研究超新星最理想的对象。它的前身星的性质是作为 20 多年辛勤研究的大麦哲伦星系 (LMC) 的一颗已知恒星, LMC 在天空的位置对观测来说极好。SN1987A 爆发的距离远好于大部分星系的距离精度, 有了距离可以将观测爆发时的流量转换为光度(单位时间辐射的能量)。由于 LMC 距离 (16.7 万光年) 较近, 且尘埃产生的消光不严重, SN1987A 是观测的好机会。因此, 天文学家有相当完整的观测记录。SN1987A 的精确的天体测量位置是赤经 $R. A = 5^h 35^m 49.992^s$, 赤纬 $dec = -69^\circ 17' 50'' .08$ 。这个位置与 Sanduleak 星表的 -69 度赤纬带的 202 号星相吻合, 为了方便, 我们称其为 SK-69 202, 尽管以前它曾称为 CPD-69 202。

1987 年 2 月 24.213UT, 加拿大多伦多大学天文系研究生 I. 谢尔顿 (I. Shelton) 在智利拉斯坎帕纳斯 (Las Campanas) 天文台用 25cm 的天体照相机对大麦哲伦云拍照, 露光 3 小时, 当冲洗出底片与之前拍的相片相比较时, 发现在蜘蛛星云西南区突然出现一颗 5 等星的星, 他马上意识到这是一种奇异的天象。他立即走到室外, 仰望天空, 果然有一颗明亮的超新星在天空。于是他立即与天文台 1m 望远镜的观测者们讨论, O. Duhalde 在相同的位置上也进行观测, 时间是 2 月 24.23UT。他们立即报告给国际天文联合会 (IAU) 电报中心, IAU 迅速向全世界天文台发出电报和电传, 并命名该超新星为 SN 1987A, 这是天文史上的重大事件。稍后不久, 新西兰的业余天文爱好者 A. 琼斯 (Albert Jones) 在 2 月 24.37UT 报告, 他对 LMC 用粗糙的监视器看到 SN 1987A 的亮度约为 7.5 星等, 但在前夜 23.39UT 时没有看见。而另一位天文观察者 R. M. McNaught 在 23.443UT 报告, 得到 LMC 的照片表明该星近似为 6.5 星等。这次爆发的超新星来自大麦哲伦云 (LMC), 只能在南半球能看到, 故智利、澳大利亚和南非等国家的天文台的望远镜都投入使用。LMC 是银河系的伴星系, 离银河系仅 16.7 万光年。因为是近邻, SN1987A 的亮度在银河系内肉眼可见, 这是

自 1604 年开普勒超新星发现以来肉眼能见到的第一颗超新星, 它释放出了 5×10^{53} erg 的巨大能量, 这个能量如果分配给当今世界上 50 多亿人的话, 每个人可获得 10^{18} 个 10^6 t 氢弹爆炸的能量。故是一件令人十分兴奋和激动的天文大事。更重要的是, 首次在地球上测到了由超新星爆发所发射的中微子信号, 这是一件了不起的天文事件, 从此诞生了河外中微子天文学。为此, 2002 年诺贝尔物理学奖授予美国的雷蒙德·戴维斯 (R. Davis) 和日本的小柴昌俊 (Masatoshi Koshiba), 表彰他们在“探测宇宙中微子”领域内做出的先驱性贡献。

3 可见光和紫外线观测

IAU (Circular 4316) 发出公告后, 国际紫外探测器 (IUE) 马上投入观测并获得 SN1987A 的紫外光谱, 从 1987 年 2 月 24 日开始观测宽带流量。这些光学、紫外和中微子的观测结果总结在图 5 中。SN1987A 迅速变亮 (3 个小时内增亮 100 倍), 不像其他 II 型超新星增亮需更多小时, 这表明该超新星的大气比产生正常 II 型超新星的红超巨星的大气更致密。

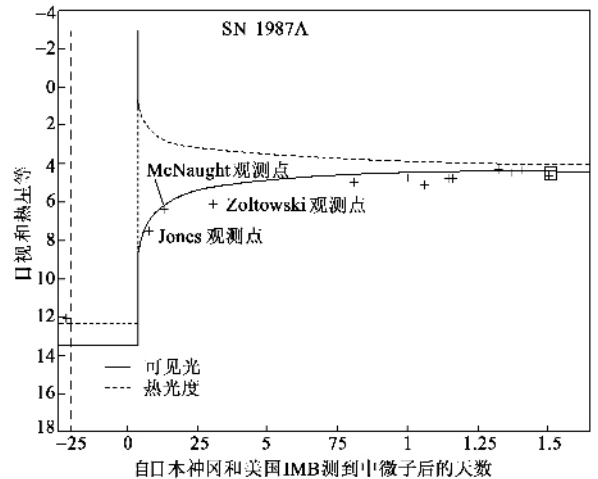


图 5 SN1987A 头两天 V 星等的光变曲线。核心塌缩的时间由 IMB 和神冈所测中微子信号确定 (1987 年 2 月 23.316UT)^[1]

南非和智利的天文台于 1987 年 2 月 25 日观测 SN1987A 的光谱, 显示出巴尔末线系宽而浅的吸收性质, SN1987A 爆发时喷射物质的膨胀速度为 $0.1c$ (c 为光速)。氢谱线的存在表明它为 II 型超新星, 但如此高的膨胀速度说明它不同于其他正常 II 型超新星 (典型速度为 $15\ 000\text{km/s}$), 另外不同处是它的紫外辐射流下降非常快, 分光光度观测表明它

的颜色变化也很快,这表明它连续冷却,温度由2月25日的14 000K下降到观测的第20天的5500K.

通过仔细的数据分析,SN1987A的前身星为B3I蓝超巨星,V波段的星等 $V = 12.4$, ($M_v = -15.5$),色指数 $B - V = +0.04$.最令人惊奇的是它的前身星是蓝超巨星而不是通常理论认为的红超巨星,从观测初期就对传统的理论提出了挑战.

SN1987A显示出与其他II型超新星的差异是明显的,它的光谱变化很快,大约是正常II型超新星的10倍.它的紫外辐射流猛然下跌,这相当于大气的激发下降,同时谱线形成区的膨胀速度下降.光谱头几个月的迅速变化如图6所示.

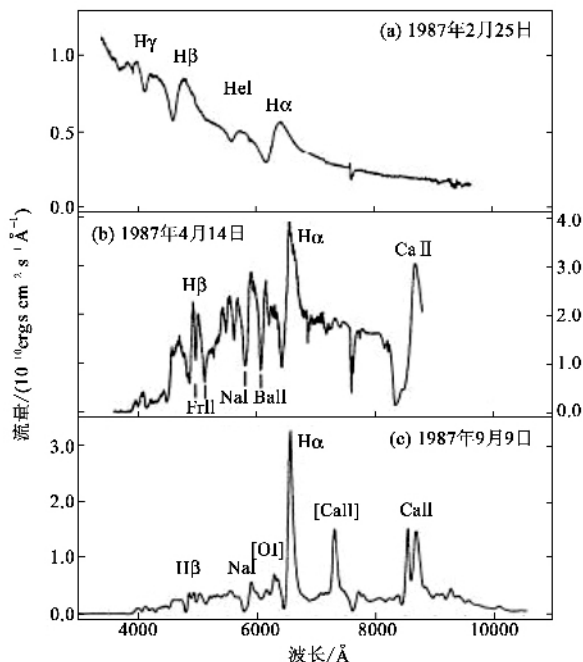


图6 SN1987A的3个日期的光谱 (a)1987年2月25日,核心塌缩后仅40个小时,应指出氢和氦的宽线轮廓以及天鹅P型轮廓的吸收部分有很大的蓝移 (b)1987年4月14日,核心塌缩后仅50天,这时的光谱以低电离元素的谱线为主,注意614.2 nm处的较强的钡线 (c)1987年9月9日,热光曲线极大后100多天,星云线出现,有很强的氢、氧、钙和钠的发射线^[1]

4 哈勃空间望远镜(HST)的观测

20年来,地面和空间的许多大望远镜,包括NASA的哈勃空间望远镜在内,都对超新星1987A进行过观测.这些观测结果已经大大改变了天文学家对大质量恒星死亡方式的认知,其中最重要的一些线索,应当归功于HST的敏锐视力.“HST拍摄的清晰照片,不仅提出了许多有关超新星1987A的新问题,还帮助我们找到了答案,”美国哈佛-史密

松天体物理中心的罗伯特·科什纳(Robert Kirshner)说.“事实上,如果没有哈勃,我们甚至不知道应该从哪些问题入手展开研究.”科什纳领导着一个国际合作小组,对这颗死亡的恒星展开了深入的研究.研究类似SN1987A的超新星非常重要,因为这些爆炸的恒星会产生碳和铁之类的重元素,这是形成新恒星、星系,乃至人类的重要原料.例如,我们血液之中的铁,就是由超新星爆发产生的.SN1987A抛出的放射性铁元素质量相当于20000个地球.事实上,它是在公元前161000年左右爆发的,但它的光直到1987年才抵达地球.“HST的观测帮助我们改写了有关超新星的教科书.我们发现,真实世界的复杂和有趣远远超过任何人最大胆的想象”.科什纳解释说,在SN1987A出现之前,天文学家已经有了一套简单的、理想化的超新星模型.“我们当时简单地认为恒星的爆炸是球对称的,而且没有考虑爆炸之前的数千年里恒星喷出的气体.SN1987A的爆炸碎片残骸其实是椭圆形的,并非球形;飞速喷溅的碎片正在撞入数千年前形成的气体环中.这些都是我们之前无法想象的”.天文学家最初发现SN1987A时,HST还没有上天.3年后,HST成功升空,天文学家马上将它瞄准了这颗爆炸的恒星.HST对SN1987A的观测始于1990年,至今已经拍摄了数百张照片.从这些照片可以清楚地看到冲击波撞入气体环的过程.被冲击波加热的气体团块,使发光气体环变成了一串珍珠项链.

预计在2013年发射升空的詹姆斯·韦布望远镜,将拥有比HST更加敏锐的视力;届时,气体环也将变得更加明亮,天文学家将拥有更好的机会,深入剖析这颗爆炸恒星的内部过程.

HST对SN1987A的观测和研究可归结如下:

(1)直径大约1光年的发光环围绕着SN1987A,该光环在超新星爆发前至少20000年就已存在.来自超新星爆发能量传给环内的气体,使它发射X射线已经20年.

(2)存在两个外环,但地基望远镜还未证认出来(图7).

(3)中心哑铃结构现在增长到十分之一光年长,超新星中心的两遗迹瓣彼此以每秒9km的速度分离(图8).

(4)超新星爆发时的激波猛烈地撞击并加热围绕已经死去的恒星的狭窄内环.

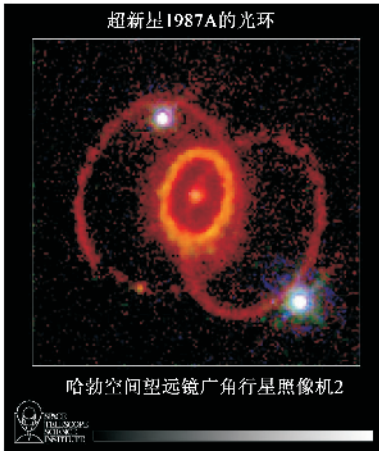


图7 哈勃望远镜观测超新星 1987A 的 3 个光环^[5]

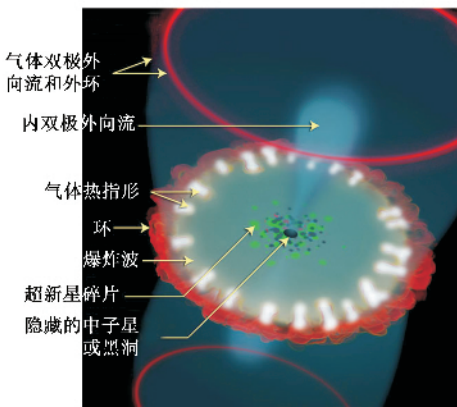


图8 超新星 1987A 的残骸综合图^[5]

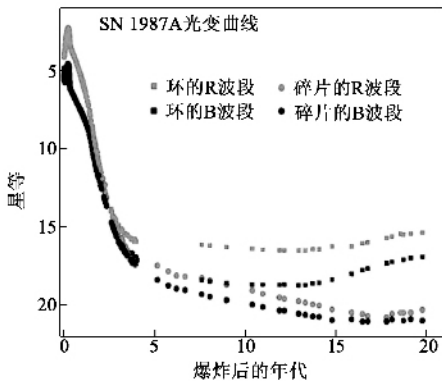


图9 SN 1987A 20 年的光变曲线^[5]

5 X 射线观测

钱德拉 (Chandra) X 射线天文台最近所做的观测,已经揭露了超新星 1987A 周围火焰环的新细节. 这些数据为这颗厄运之星在爆炸之前的最后几年内的行为提供了新的认识,并且暗示,该恒星亮环的预期显著增亮已经开始了. 光学、紫外和 X 射线观测已经使得天文学家们拼凑出了这样一幅 SK-69 202 的演化场景:大约一千万年前,这颗恒星诞生于

一片黑暗致密的尘埃气体云中,大概一百万年前,这颗恒星在缓慢移动的星风之中损失了它外层的绝大部分质量,在周围形成了巨大的气体云. 在恒星爆炸之前,它的炽热表面吹出的高速星风在周围的寒冷气体云中推开了一个空洞. 来自于超新星的强烈紫外闪光照亮了空洞的边缘,形成了哈勃空间望远镜所看见的明亮圆环. 与此同时,超新星爆发也产生了一个激波,在空洞中呼啸着向外推进. 1999 年,钱德拉拍摄到了这个激波,天文学家们已经在热切地等待着这个激波撞上空洞的边缘. 在那里,它将会遭遇到致密得多的气体,这是由恒星在红超巨星阶段吹出的星风物质堆积而成的. 这样的遭遇会使得 X 射线辐射产生戏剧性的增长. 来自于钱德拉和哈勃太空望远镜的最新数据暗示,这个深受期待的事件已经开始了. 光学热斑正环绕在亮环上,就像一串灿烂夺目的钻石项链. 钱德拉的图片则揭露了出现在光学热斑位置上的、数百万度的炽热气体. 黄色的激波在向外传播的过程中,遭遇到外围致密气体向内侧突起的气体团块(白色). 它们之间的碰撞将气体团块加热,释放出可见光和 X 射线辐射. 激波后侧的气体和激波外围的气体温度都还不高,不足以发出 X 射线. 钱德拉获得的 X 射线光谱提供了证据,表明光学热斑和产生 X 射线的气体都是由于激波和气体的碰撞而产生的,前者是不断向外推进的超新星激波,而后者则是环绕在恒星的气体环中,向内侧突出的寒冷气体团块(见图 8 的模型示意图). 这些团块是很久以前的高速星风与环绕恒星的致密气体云相互作用的结果. 这些致密的团块和可见的亮环仅仅是一个巨大得多的物质包层的内侧边缘,其中包含的物质总量尚不清楚,它们都是很久以前被 SK-69 202 抛射出来的. 随着激波继续闯入这片致密的气体云,激波产生的紫外线和 X 射线辐射将会加热更多的环绕在恒星周围的气体. 钱德拉在不同时间拍摄到的亮环的变化过程. 图 9 是可见光图像与 X 射线图像合并的结果. 正如一位参与了这项 Chandra 研究的 R. 麦格雷 (Richard McCray) 所指出的:“超新星 1987A 将照亮它自己的过去.”^[5]

最近文献 [6] 分析了由红外、可见光、X 射线和射电多波段的观测,发现 SN1987A 在这些波段的位形(图 9)发生着迅速变化. 南双子座望远镜用中红外波段获得的 SN1987A 的像,已确定红外发射起源于赤道环内尘埃. 赤道环是超新星爆炸波扫集星周物质而成. Spitzer 空间红外望远镜也提供了重要补充信息,指出超新星爆炸波与赤道环的相互作用以及发射

X 射线气体内尘埃的特性,概括如下:在 SN1987A 爆发后第 6190 天,Spitzer 光谱观测揭示它的尘埃由硅酸盐尘埃颗粒组成,其平衡温度 $T = 180 \pm 20\text{K}$;但在爆发后第 7137 天观测时,红外辐射流增加到两倍,而尘埃组成和辐射温度维持不变,尘埃的大小可由 X 射线电离时标加以限定,大约为 $\sim 0.023\text{--}0.22\mu\text{m}$,原初较小的尘埃已被超新星发出的紫外线闪烁破坏。观测到的 IR/X(红外和 X 射线辐射流之比)与大麦哲伦云的化学组成相一致,IR/X 的演化代表了尘埃与气体质量比的变化,这是尘埃颗粒遭到破坏的结果。

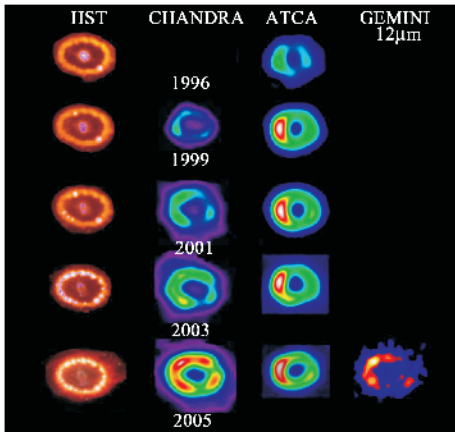


图 10 超新星 1987A 的多波段观测,ATCA 进行射电观测^[5](HST 为哈勃空间望远镜;CHANDRA 为钱德拉 X 射线天文台;ATCA 为澳大利亚大天线阵;GEMINI 是双子座望远镜,其观测波长为 $12\mu\text{m}$)

6 问题和展望

(1) 寻找暂无结果的中心致密天体

日本神冈和美国 Ohio 州的地下中微子探测器探测到光学爆发前几小时的中微子暴,推论出的能量为 $\sim 3 \times 10^{53}$ ergs,温度约为 $\sim 4\text{MeV}$,爆发的衰减时间 $\sim 4\text{s}$,这些数据正符合大质量星通过核心塌缩产生中子星的预言。

但是,直至今在尽管使用各种波段搜寻,在 1987A 的中心未看到致密天体,事实上 HST 的图像(图 1)表明在 1987A 发光残骸中心有一暗点,它可能是在致密天体前正发生的一不透明的尘埃云。虽然红外波段的光学深度比可见光的光深小得多,但现在的观测也排除红外点源存在的可能性。超新星的残骸对 X 射线在 3keV 处是透明的,我们期望在不久的将来观测到如此的致密天体。

(2) 未来 20 年^[5]

SN1987A 近 10 年(1997 年后)又有很大的变

化,我们将进行更有意义的广泛的研究。

首先,可以很有把握地预言,在射电、红外、可见光和 X 射线多波段,今后 10 年将有更丰富的观测结果。它将变得更亮,光环上的亮点将互相合并,由光环上发出的 X 射线和可见光比现在的亮度要高 10 倍。由内部坍塌的电离辐射将照亮它膨胀中的残骸碎片,我们可以观测到这些残骸碎片继续变亮,这时我们可以观测到它们的空间分布和元素的组成。SN1987A 的观测最激励人的也许是大毫米波阵(ALMA),它在毫米波段有比 HST 还要好的角分辨本领,用 ALMA 可以观测到超新星更深处的致密天体,能够观测到它的非热辐射,即能观测到真实发生的相对论性粒子的加速。

不过还有许多未解之谜有待研究。我们仍然不知道恒星爆炸之前的演化过程,也不清楚 3 个气体环的形成机制。天文学家还在继续寻找死亡恒星的残骸——黑洞或中子星的下落,大质量恒星的死亡通常会产这种致密天体。大部分天文学家认为 20 年前爆发的这个超新星已经产生了一颗中子星,不过目前仍然没有找到它存在的线索。这颗中子星可能被尘埃掩盖了,也有可能形成的是黑洞,而不是中子星。

到 2027 年,该超新星中心的晶体球将出现少许云状化,正如麦克雷^[5]指出的:崩塌将会继续,光学和 X 射线的光变曲线到那时将会降低但不会消失;在内部残骸中新合成的元素将跨过反弹激波,在 X 射线和可见光的光谱能看到巨大的变化,因此我们可以定量地测量超新星的元素核合成。

SN1987A 在过去 20 年已经产生了大量有趣的信息,无疑它将继续提供新的激励,不仅影响现在的中老年天文学家,而且更有利于年轻的天文学家。让我们积极地观测和研究它吧!

参考文献

- [1] Arnett W D *et al.*. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, 1989, 27: 629
- [2] Fransson C *et al.*. *ESO Report 2007: Twenty Years of Supernova 1987A*
- [3] Park S *et al.*. *Chandra Observations of Supernova 1987A*, astro-ph 0704.0209v1, 2007
- [4] Aschenbach B. *X-ray Evolution of SN 1987A*, astro-ph 0705.3406v1, 2007
- [5] McCray R. *Supernova 1987A at Age 20*. In: *AIP Conf. Proceeding*, 2007, 937: 3—14
- [6] Dwek E *et al.*. *Infrared and X-ray Evidence for Circumstellar Grain Destruction by blast wave of SN 1987A*, Astro-ph 0712.2759, ApJ 2007-12-17