

γ 射线暴的研究进展 (IV): 特强 γ 射线暴和软 γ 重复暴

陆 建 隆

(南京师范大学物理系 南京 210097)

潘 善 龙

陆 焱

(浙江师范大学物理系 浙江 金华 321004) (南京大学天文系 南京 210093)

摘 要

最近 CGRO 上的仪器观测到了两个迄今为止发现的最强的 γ 暴 GB930131 和 GB940217, 其光子最高能量均达 GeV 量级; GB930131 的峰值计数率达 2×10^6 个光子 $\cdot s^{-1}$; 而 GB940217 的持续时间竟长达 90min。另外沉寂了多年的软重复暴源 SGR1900+14 和 SGR1806-20 的再次爆发也由 BATSE 发现。一系列的观测还发现这些软重复暴均与 X 射线源对应且与超新星遗迹成协。文中对特强暴和软重暴 (SGR) 的性质及研究进展作了较为详细的评述。

关键词 伽玛射线: 暴 — 伽玛射线: 观测 — 星际介质: 超新星遗迹 — 恒星: 中子星

1 引 言

γ 射线暴 (简称 γ 暴) 是一种短时标、突然爆发产生 γ 射线的宇宙高能现象。自 1973 年 Klebesadel 等人首次发表观测到的 16 个宇宙 γ 暴事件^[1]以来, 特别是 1991 年康普顿 γ 射线卫星天文台 (简称 CGRO(Compton Gamma-Ray Observatory)) 升空以来, 人们观测到了 1000 多个 γ 暴事件^[2]。这些暴明显地分成两类: 一类为经典暴 (classical bursts), 没有观测到同一源的重复爆发现象。另一类为软重暴 (soft repeaters), 至今只发现了 3 个, 其中之一已重爆了 100 多次^[3,4]。由于最近 CGRO 上的仪器 BATSE 又观测到已知的两颗重复暴源 SGR1900+14 和 SGR1806-20 再次重复爆发, 并获得了许多新的发现, 激起了人们特别的兴趣。这类暴的特点是: 持续时间很短, 通常短于 1s; 时间特征多为单峰结构; 能谱较软且不随时间变化。除 SGR0526-66 外, 均无特征线。

1994 年 2 月, 国际最重要的天体物理刊物 Ap. J. 同一期上破例连续刊登 4 篇文章^[5-8], 报道了 CGRO 上 BATSE(The Burst and Transient Source Experiment)、EGRET(Energetic

Gamma-Ray Experiment Telescope) 和 COMPTEL(Compton Telescope) 同时观测到的 γ 暴事件 GB930131。这是迄今发现的最强的一个 γ 暴。GB930131 的主要特征是: 其峰值计数率达到甚至超过 2×10^6 个光子 $\cdot s^{-1}$, 主要集中在短于 0.1s 的时间内, 在其爆发期内探测到大于 30MeV 的 γ 光子 16 个, 其中两个竟高达 GeV 量级; 另有两个光子在随后的近 70s 内又被探测到。最近, Hurley^[25] 等人利用 CGRO 上的仪器又发现了一个特强暴事件 GB940217, 其主要特点为: 在其爆发期内探测到大于 30MeV 的 γ 光子 28 个, 有 3 个高达 GeV 量级; 最大光子能量达 18GeV, 而爆发持续时间竟长达 90min。

γ 暴是一种十分重要的天体物理现象, 近年来进展也特别快。前些时候韦大明等人撰写了三篇评述文章^[2], 比较详细地介绍了前一段时间研究的进展。最近, 又出现了极其重要的进展, 特别是发现了前所未有的两个特强 γ 暴以及在三颗软重复暴上取得的重大突破, 我们不得不再写这第 4 篇评述文章。

2 特强 γ 射线暴

2.1 GB930131

BATSE 观测到这次暴的峰值计数率 $> 2 \times 10^6$ 光子 $\cdot s^{-1}$, 绝大部分流量是在极短的时间 ($< 0.1s$) 内辐射的。此外还有一个延续了 50s 的尾巴。BATSE 探测到的能量范围是 25—1900keV。CGRO 上的另一仪器 COMPTEL 在它的探测能量范围内 (1—30 MeV) 也记录到了这次暴, 暴的时间结构为 1s 内由两个分立的峰组成, 而第二个峰后的 30s 是一个低流量的尾巴。康普顿天文台上探测能量最高、覆盖能量最宽 (30—3000MeV) 的仪器设备 EGRET, 同样探测到了 GB930131。EGRET 在前 25s 内记录到 30MeV 以上的 16 个 γ 射线光子, 其中两个的能量分别高达 0.891GeV 和 1.235GeV。这两个光子的能量比以往所探测到的大了一个量级。在随后的近 70s 内又探测到 2 个大于 100MeV 的光子。这样, GB930131 就成了低能段流量最大、高能段单个光子能量最高的非常特殊的 γ 暴。另外, 从这次暴后 6.8h 开始, 全世界的许多仪器在射电、光学和紫外等多波段上对 GB930131 方向进行了长达数天的观测, 结果, 没有发现任何与 GB930131 有关的东西。

(1) 时间特征: CGRO 上的三台仪器 BATSE、COMPTEL 和 EGRET 都观测到了 GB930131。由于这次暴的主要流量在低能段, 加上 BATSE 具有极高 (微秒量级) 的时间分辨率, 所以, 在 25—1900keV 的探测能量范围内, BATSE 给出了 GB930131 一个分辨率很高的时间结构 (见图 1)。

图 1 逐级地给出了 GB930131 的时间结构。它用不同的时间分辨率对峰作了细致的考察。图 1(a) 给出了 GB930131 的全貌, 时间分辨率为 1.024s。探测的能量范围是 25—1900 keV, 峰值计数率达 2×10^6 光子 $\cdot s^{-1}$ 。我们将主峰切断是为了比较清楚地看出延续了 50s 的尾巴的状况。为了分析主峰的详细结构, 图 1(b) 取了暴开始的 2s 进行放大, 时间分辨率为 64ms, 发现主峰分裂成两个峰, 前一个峰高而窄, 后一个峰矮而宽。图 1(c) 和图 1(d) 分别对两个峰作了更细致的分析。图 1(c) 将前一个峰 0—0.10s 内的能量分成三段来看它的时间结构, 时间分辨率高达 1ms。从图上可以看出, 低能部分的轮廓相当平缓, 而高能部分则分解成至少两个亚脉冲的较尖锐结构。图 1(d) 则是将后一个峰 0.75—1.00 s 内的能量分成以 300 keV 为界的两段来考察它的时间结构, 时间分辨率为 8ms。图 1(d) 上的实线表示的是 300keV 以下的

记数率，而虚线则表示 300keV 以上的计数率。从图 1(d) 上可以看出，即使在较高的时间分辨率下，也看不出后一个峰在较高能量时的附加结构。

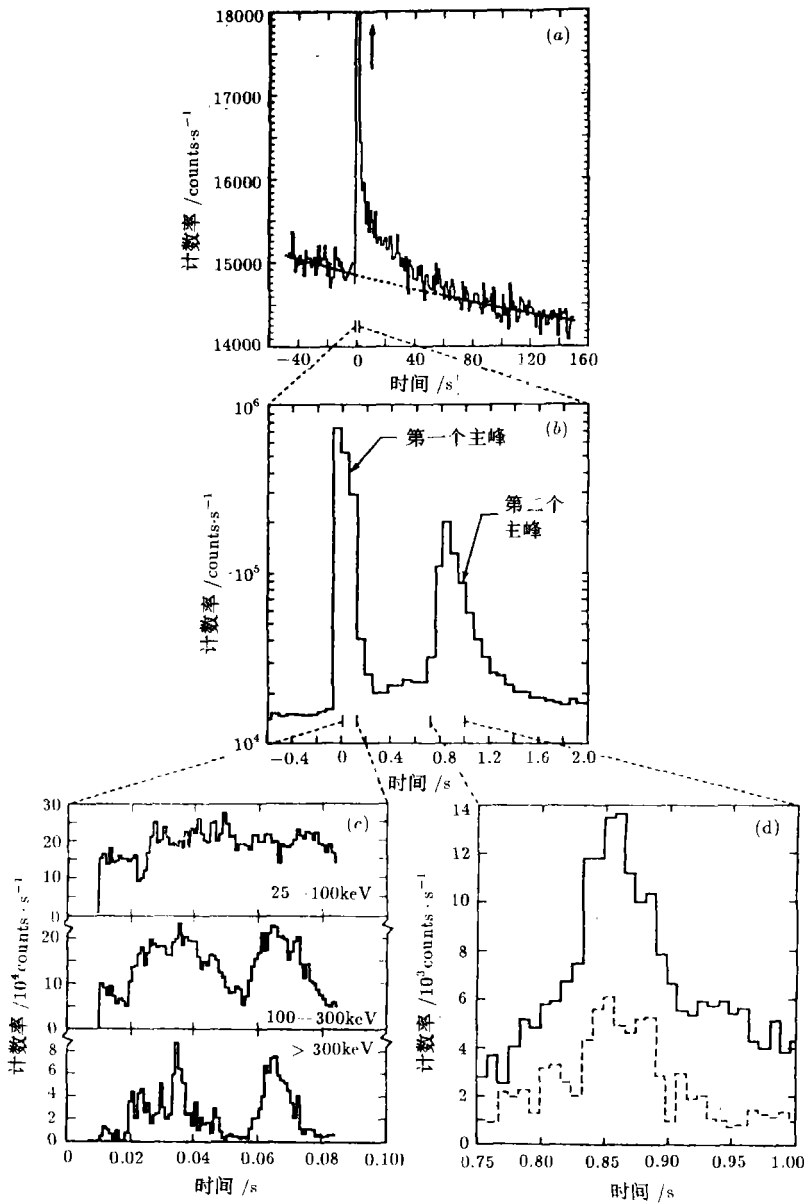


图 1 GB930131 的时间结构 [5]

CGRO 上的另一仪器 COMPTEL 适合于对中等能量 (1—30MeV) γ 射线的探测。这次 COMPTEL 对 GB930131 探测到的时间结构为开始 1s 内有两个彼此分开的峰，这一结果与

BATSE 的结果 (图 1(b)) 相符。

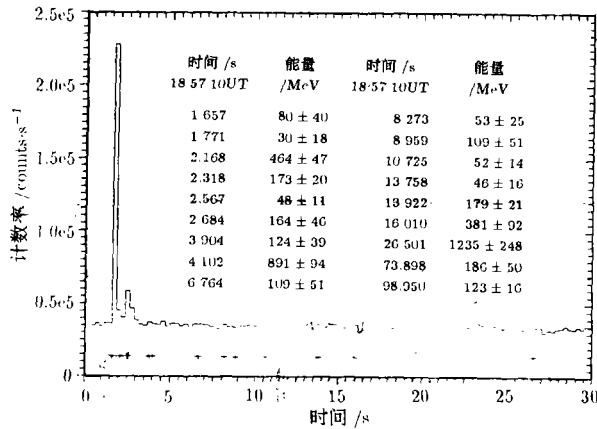


图 2 光变曲线和 γ 光子的时间、能量^[6]

图 2 给出的 GB930131 的光变曲线是反符合屏蔽计数率, 此时的能量较低 ($> 50\text{keV}$), 图上有一高的主脉冲, 还有一个很小的亚脉冲。图 2 还给出了能量大于 30MeV , 时间在暴开始后的 100s 内 EGRET 探测到的 18 个 γ 射线光子的能量和时刻。最后两个 γ 光子的时间已大于 30s , 但未必与 GB930131 有关。由于光子数太少, 大于 30MeV 的光变曲线很难作出。CGRO 上的 BATSE、COMPTEL 和 EGRET 仪器对 GB930131 的探测给出了一致的时间结构。由于 GB930131 在 $25\text{--}1900\text{keV}$ 的低能段具有最强的流量, 所以, BATSE 给出的时间结构最为精细, 也最具有代表性。

(2) 能谱特征: 根据 BATSE 上的大面积闪烁器 (LAD) 所记录的数据, 对时间从 0.099s 到 49.25s 的整个暴 (包括第二个主峰和一长长的尾巴) 的能谱进行分析, 发现它可以用分段的幂律谱来拟合。能量的间断点为 $E = 170 \pm 27\text{keV}$ 。较高能段的谱指数为 -1.9 ± 0.1 , 较低能段的谱指数为 -1.30 ± 0.05 。CGRO 上的中能探测器 COMPTEL 探测到了 $0.75\text{--}30\text{MeV}$ 范围的 γ 射线, 对这一范围的能谱作幂律谱拟合时的谱指数为 -1.8 ± 0.4 。对暴开始 30s 内 EGRET 探测到的 16 个光子作幂律谱拟合, 发现其谱指数为 -2.0 ± 0.4 。综上所述, CGRO 上的三台仪器测量到的能谱均可用幂律谱来拟合。能量大于 170keV 的能谱可以用统一的谱指数 -1.9 来拟合。这一近似为 -2 的谱指数或许隐含着丰富的内容。

(3) 方位: 根据 EGRET 在暴开始后 25s 内记录到的 16 个 γ 光子的方向, 应用最可几方法可以确定这次暴源的大概方位是 $\alpha = 12^{\text{h}}15^{\text{m}}.1, \delta = -10^{\circ}.2(\text{J2000})$ 。

2.2 GB940217

GB940217 被 COMPTEL、EGRET 和 Ulysses/BATSE 同时观测到^[25], Ulysses/BATSE ($25\text{--}150\text{keV}$) 观测到该暴持续时间为 180s , EGRET 除了在这同一时间探测到 10 个光子外, 在其后的约 90min 内又探测到 18 个光子, 图 3 给出了 EGRET、BATSE 和 Ulysses 探测到该暴的时间结构。图 3(a) 为 EGRET 记录到光子能量与到达时间的关系图, 中间水平线表示因地球遮挡没有记录到光子; 图 3(b) 为 Ulysses 探测到的该暴时间结构; 图 3(b) 右上方为 BATSE 得到的约 200s 爆发时间内的结构与 EGRET 探测到头 10 个光子的时间对比图。由图 3 知, EGRET 是在低能暴开始后约 20s 才探测到第一个高能光子的。表 1 给出了 EGRET 探测到光

子的到达时间及能量；表 1 中间与右边部分在 2 月 17 日 (UT)83380s 到 2 月 18 日 (UT)1200s 之间约 3700s 这段时间间隔由于该源受到地球遮掩没有探测到 γ 光子。在探测到的 28 个光

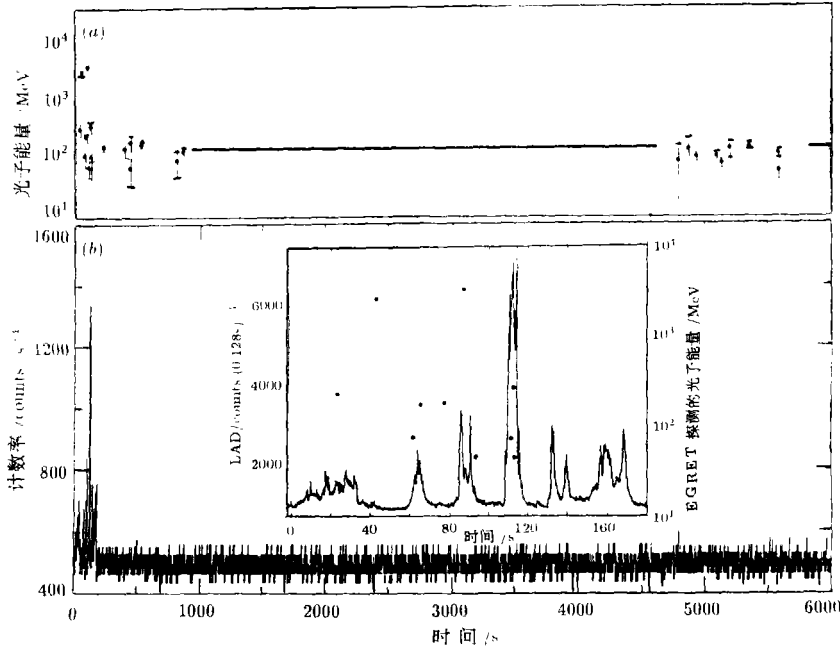


图 3 EGRET, Ulysses 和 BATSE 观测到的 GB940217 的时间结构 [25]

表 1 EGRET 的观测结果 [25]

到达时间 2 月 17 日 UT	能量 ± 误差 (MeV)	到达时间 2 月 17 日 UT	能量 ± 误差 (MeV)	到达时间 2 月 18 日 UT	能量 ± 误差 (MeV)
82985.7	231 59	83175.4	105 15	01318.3	18390 3860
83004.7	2665 315	83344.0	98 30	01335.9	56 50
83024.0	75 30	83388.0	43 23	01421.7	93 53
83027.7	174 20	83392.5	129 39	01482.4	65 13
83039.5	181 49	83476.7	118 16	01647.6	69 12
83049.3	3382 421	83483.0	137 17	01688.7	49 10
83056.1	45 16	83753.5	60 30	01753.7	94 34
83074.5	72 13	83808.0	89 13	01909.9	99 14
83075.5	262 65			02142.1	75 12
83076.6	44 17			02146.9	36 12

子中有三个达 GeV 量级，最大光子能量竟达 18GeV。这是 EGRET 继探测到 GB930131 后又一次探测到特强暴。BATSE 探测到该暴的总流量 ($> 20\text{keV}$) 是 $(6.6 \pm 2.7) \times 10^{-4} \text{erg} \cdot \text{cm}^{-2}$ ，是 BATSE 探测到的近 800 个 γ 暴中又一大流量的暴。在 EGRET 的观测中，由于地球的遮掩，在 90min 内约 3700s 没有计数，可是，由于在地球遮掩的前后，EGRET 计数率近似为一常数，因此，在低能暴后整个 90min 可认为是连续辐射的。所以 GB940217 不仅爆发的能

量极高, 而且持续的时间很长。EGRET 曾观测到来自太阳的 1GeV 高能辐射, 而时间则在一次太阳耀斑爆发后 1—4h 内^[26]。现在 BATSE 首先观测到该源的低能暴, 20s 后的极高能辐射又由 EGRET 探测到, EGRET 第一次观测到了来自 γ 暴源的爆后超高能辐射。

3 软 γ 射线重复暴 (SGR)

到目前为止, 软 γ 重复暴 (SGR) 源只有三个, 分别是 0526-66, 1806-20 及 1900+14。这 3 个源早在 1979 年就全部被观测到了。以后的观测仅发现了这些源的重复爆发。即使 CGRO 上天工作至今也没有发现别的新源。Norris 等人^[13]对 SGR 的性质作了较详细的评述, 它们具有如下共同特征: (1) SGR 的重复爆发是随机的, 两次爆发的时间间隔可以很短, 也可以很长。而 X 射线暴的重复爆发呈现非随机性; (2) 从 3 个源的所有软 γ 暴的时间结构看, 每次暴的持续时间集中在 100ms 附近; (3) 所有 SGR 在共同探测能区具有相同的谱型, 大于 15keV 的 SGR 谱与温度在 30keV 附近的光学薄热致辐射谱相似, 这与经典暴不同; (4) 对爆发时间较长的软 γ 重复暴没有观测到谱的变化, 相反经典暴呈现明显的谱软化, 而 X 射线暴则在整个爆发过程中, 谱一直是演化的。下面对这类软重暴作稍详细的讨论。

3.1 SGR0526-66

该源的首次爆发即为著名的 GB790305 事件^[14], 组成行星际 γ 射线暴探测网络的所有仪器及 4 个 Vela 卫星中的三个都探测到了这一事件。该暴有一些特殊的性质: 爆发上升时标不到 0.25ms; 爆发持续约 120ms; 爆后还有约 200s 的衰减期, 且是周期性振荡, 周期为 8s; 能谱中存在特征线。Venera 13 和 14 卫星上的 KONUS 于 1981 年 11 月开始观测 γ 暴。V13 观测同一位置误差不超过 0.01—1°, 可连续测量 16 个能谱, 而 V14 与以前一样只能测 8 个。

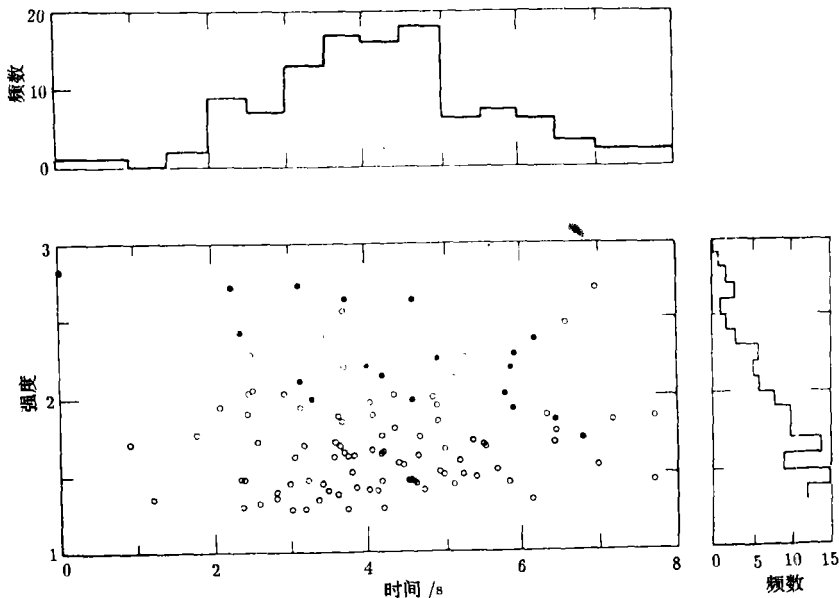


图 4 SGR1806-20 111 次爆发时间间隔的分布^[4]

GB790305 爆发后, KONUS 实验观测到了该源的 16 次重复爆发^[15], 但强度比该源首次爆发要弱得多, 且与 GB790305 位置很好一致。该源的 16 次重复爆发能谱形状相同且较软。以后 10 年没有发现该源再次爆发, 自 CGRO 于 1991 年上天至今, 该源仍处于宁静状态。

3.2 SGR1806-20

该源位置在银核方向附近, 首次爆发表现为一个软谱的短时标现象^[16,17], 被 IPN 上的仪器及 Venera 上的 KONUS 同时观测到, 命名为 GB790107。随后的 5 年中, ICE, SMM 等仪器共探测到该源的 111 次爆发。在这 111 次爆发中, 爆发的时间分布是极其不均匀的, 随机的。两次爆发的时间间隔相差很大, 从 1s 到 5×10^7 s 都有, 且其中有约一半的软重复暴是发生在 1983 年 11 月的前两周内, 图 4 给出了 111 个暴的时间分布。后来 Laros 等人在 ICE 数据资料中进行更为灵敏的搜寻, 又发现了 23 次弱爆发^[18]。文献 [22] 给出了 134 次 γ 爆发的时间及计数率。最近 CGRO 上的 BATSE 仪器在 1993 年 9 月 29 日的 14 小时内探测到了该源的 3 次爆发, 后又发现该源分别在 10 月 5 日、9 日和 10 日各爆发 1 次^[10]。

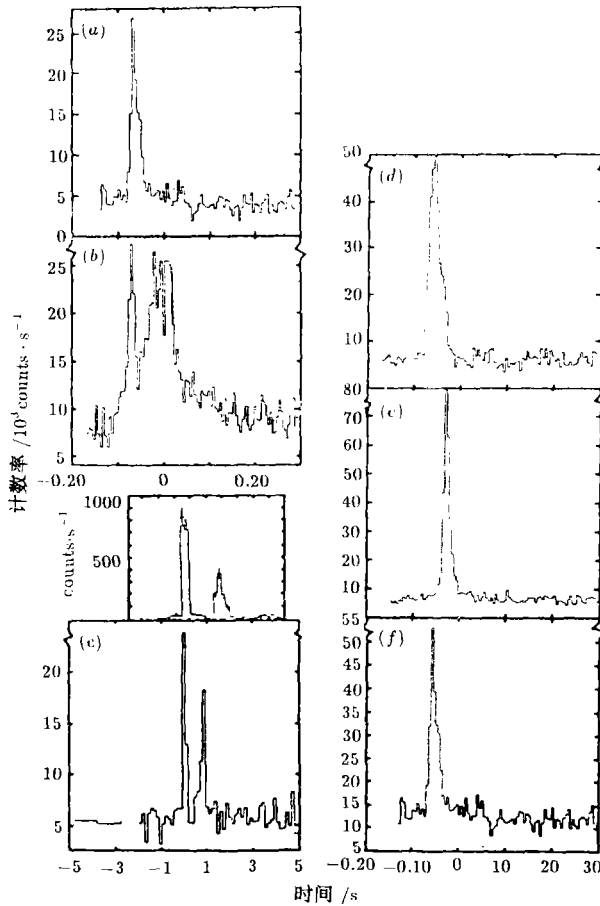


图 5 SGR1806-20 6 次爆发的光变曲线^[10]

BATSE 观测到该源的 6 次爆发光变曲线如图 5 所示。计入的光子其能量范围为 25—130

keV, 时间结构的分辨率仅 5ms。

从图 5 看出, 四个暴 (a,d,e,f) 的时间结构均为简单的单峰。第三个暴 (c) 的时间结构特别有趣, 图 5 给出了该暴与 1983 年 11 月由 SMM 观测到的同一源的软 γ 暴时间结构 (b') 的对比, 发现两者都有两个相隔 $\sim 1s$ 的脉冲组成。第一个脉冲较强, 持续约 0.25s, 第二个脉冲持续约 0.5s。峰值能流范围为 $(2-9) \times 10^6 \text{erg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 这些值比以前该源的 γ 暴峰值流量小 4-15 倍。

3.3 SGR1900+14

早在 CGRO 上天前的 1979 年, 该源就连续爆发了 3 次, 分别为 GB790324、GB790325a 及 GB790327。前后 3 天时间, 是由 Venera 11,12 上的 KONUS 发现的。这 3 次暴的持续时间大致相同, 为 50-200ms, 而暴的上升时间更短, $< 10\text{ms}$ 。另外, 这 3 个暴的强度很弱。经过长达十几年的沉寂后, BATSE 在 1992 年 6 月至 8 月的两个月时间内又观测到了该源 3 次爆发 [9]。

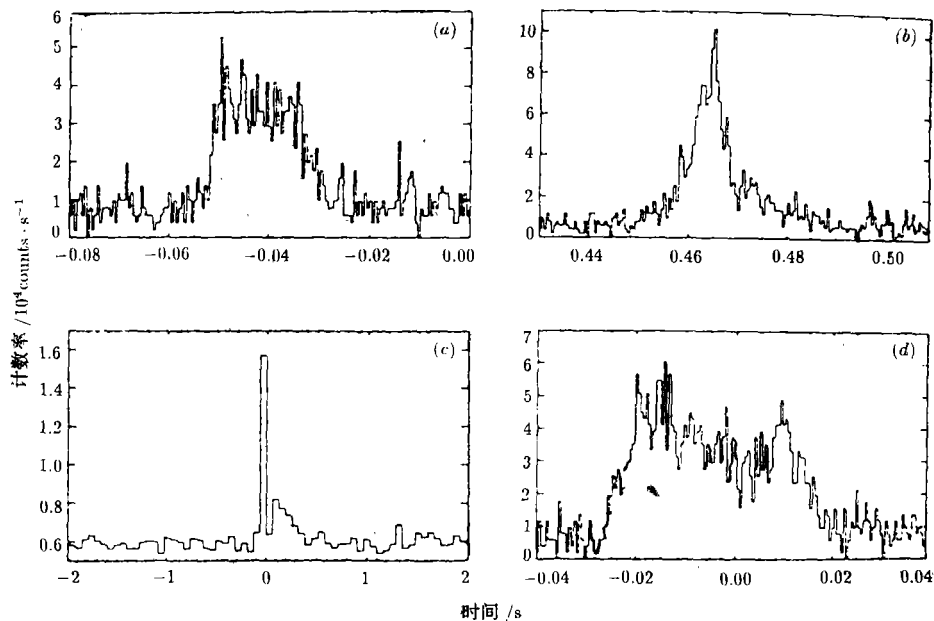


图 6 SGR1900+14 3 次爆发的光变曲线 [9]

这 3 个软 γ 暴的时间结构如图 6 所示。计入的光子其能量为 20-100keV, 分辨率为 0.512ms。第一个暴由相隔约 0.5s 的两个脉冲构成, 两个脉冲持续时间均为 40ms, 而时间结构, 前者为不规则四边形, 后者是单峰结构。在第一脉冲 (a) 中, 开始 10ms 缓慢上升, 接着突然跃到峰值, 时标仅 $\sim 0.5\text{ms}$, 再经 20ms 的平坦区后在 $\sim 5\text{ms}$ 内衰减到本底水平, 随后 30ms 是背景附近的弱辐射。这是目前得到的最细致的软 γ 暴的时间结构, 它们可能反映了真实物理过程的开始与结束, 还对辐射区的大小给出了上限。第二个脉冲 (b) 为三角形时间结构, 先在 15ms 内逐渐上升到最大值, 然后在 25ms 内逐渐下降到背景光度。第二个暴 (c) 持续约 800ms, 而绝大多数辐射集中在不到 64ms 的初始爆发中; 第三个暴 (d) 则持续约 80ms,

光变曲线形似梯形, 快速上升时标小于 5ms, 有约 36ms 的平稳期, 约 40 ms 的衰减期。对第一次暴的第二个脉冲用 OTTB(光学薄热韧致辐射) 函数拟合得到 $kT = (39 \pm 3)\text{keV}$, 而用幂律谱拟合得谱指数为 -3.0 ± 0.1 , 且对该脉冲的两个 16ms 时间段拟合没有发现谱指数的演化。图 6 中, 4 个脉冲的流量范围为 $(4.5-6.6) \times 10^{-8} \text{erg} \cdot \text{cm}^{-2}$, 这些值比该源以前的最弱爆发还小约 5 倍。

4 软重复暴 (SGR) 与超新星遗迹 (SNR) 成协

对于重复 γ 暴, 人们最有兴趣的是寻找该源的对应体。最新的观测发现, 它们均与超新星遗迹成协, 其中两个还找到了对应的 X 射线源。

4.1 SGR0526-66 与 N49 成协

SGR 052-6-66 的首次爆发 GB790305 同时被 9 个飞行器上 12 个探测器观测到, 其位置的误差范围仅 0.09 arcmin^2 。图 7 给出了该源 13 次重复爆发位置的误差盒。由此可见, 该源的位置误差很小, 正好在大麦哲仑云 (LMC) 中的超新星遗迹 N49 位置上, 遗迹的范围为 2 arcmin^2 。LMC 离我们距离约 55kpc。考虑 LMC 内外 SNR 密度, 发现这种刚好接近的随机几率在 10^{-6} 的量级。

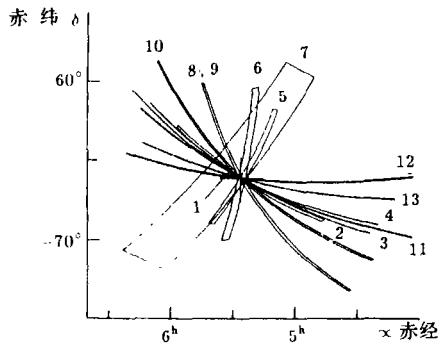


图 7 SGR0526-66 13 次重复爆发位置^[15]

是一个位于低银纬的具有非热谱的延展源, 可认为它是个超新星遗迹。由 $\sum -D$ (射电表面亮度与直径) 关系知其距离为 17kpc, 而其年龄为 $5 \times 10^3 \text{yr}$ 。进一步分析该遗迹的形状及延展情况, 知 G10.0-0.3 极可能是个无一定形状的、非热的、演化过的超新星遗迹。

4.3 SGR1900+14 与 SNR 的成协情况

既然 SGR0526-66 和 SGR1806-20 均与 SNR 成协, 人们自然要探讨 SGR1900+14 是否也与 SNR 成协。Vasisht 等人^[20]研究了这个问题。SGR1900+14 的误差盒是通过 1979 年由 KONUS 观测的 3 次该源重复爆发位置确定的。在 Green 编的 SNR 表中, 有两个 SNR 分别为 G43.9+1.6 和 G42.8+0.6, 位于这 KONUS 误差盒内。他们用 VLA 和 Palomar 60 英寸望远镜进行了观测, 发现 G43.9+1.6 是一个约 $35' \times 50'$ 大小、不太确定的暗源; 从其谱看, 谱指数 α 仅为 0.16 ± 0.5 , 属平谱。由 $\sum -D$ (射电表面亮度与直径) 关系, 得到遗迹距离 $d \sim 4\text{kpc}$ 。G42.8+0.6 在 VLA 的高质量像中是个典型的壳, 谱指数 α 仅为 0.5, 属于壳型 SNR。且发

4.2 SGR1806-20 与 G10.0-0.3 成协

Kulkarni 和 Frail 宣称, 在 Green 的超新星遗迹表中, SNR G10.0-0.3 与 SGR1806-20 成协^[19]。SGR1806-20 的定位仅次于 SGR0526-66, 范围为 450 arcmin^2 。而 G10.0-0.3 完全在这区域内。进一步分析表明 SGR1806-20 与 G10.0-0.3 偶然重合的几率为 3×10^{-3} 。G10.0-0.3 是一个 $6'$ 射电星云, 首先由 Molonglo(408MHz), Parkes(5GHz) 射电望远镜进行观测研究。若 $S_\nu \propto \nu^\alpha$, 得谱指数 $\alpha = -0.8$, 属于非热辐射。由 Molonglo 的观测结果估计其流量 $S \sim 3\text{Jy}$ 。由此得出 G10.0-0.3

现其辐射的线偏振度高达 22%(在 4750 MHz)。由 $\Sigma-D$ 关系得到遗迹距离 $d \sim 5\text{kpc}$ 。我们还注意到 KONUS 误差盒并不经过这 SNR 中心,若假定遗迹年龄为 10^4yr ,要求暴源相对于 SNR 的速度高达 $1000\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ 。Hurley 等人^[24]引入所谓网络合成方法,证实了 SGR1806-20 的位置。当把这种方法用到 SGR1900+14,得到该暴的位置可能就在 SNR G42.8+0.6 内或附近。

5 SGR 与 X 射线源的对应

Rothschild 等人^[32]利用 ROSAT X 射线卫星在 1992 年 3 月 17 日对 SGR0526-66 进行了 3.5d 的观测,得到了约 20000s 的观测资料,总计数 (0.1—2.4keV) 为 $(1.6 \pm 0.014) \times 10^4$, 平均计数率为 $(8.04 \pm 0.07) \times 10^{-1}$ 光子 $\cdot\text{s}^{-1}$ 。其 X 射线成像是—个类点源,亮点看得清楚,位于遗迹的北半部,这个图与 13 年前 Einstein 卫星得到的结果是一致的。

1993 年 9 月 29 日,在 BATSE 探测到 SGR1806-20 再次爆发后,日本 ASCA X 射线卫星从 10 月 9 日 16:05 UT 到 10 月 11 日 14:35UT 对 AX 1805.7-2025 进行了两天的观测。BATSE 探测到该源第 5 次爆发时,尽管持续时间仅 25ms, ASCA 还是幸运地探测到了这次爆发。ASCA 上有两类探测器: SIS(solid-state imaging spectrometer) 和 GIS(gas scintillation imaging spectrometer), 视场分别为 $20' \times 20'$ 和直径为 $50'$ 的圆域。GIS 观测结果显示从 \sim 每格 20 个计数的稳定辐射到峰值计数 \sim 每格 170 个计数 (0.5 s 为一格) 的尖锐上升,而 SIS 没有观测到辐射的明显变化。因此该暴源在 GIS 的视场内,但在 SIS 的视场外。另外在 γ 爆发的前后,源的 X 射线强度没有改变。这次观测还在源 SGR1806-20 的误差盒内新发现了一个 X 射线源,其位置: $\alpha = 18^{\text{h}}05^{\text{m}}41^{\text{s}}$, $\delta = 20^{\circ}25'07''$ (1950), 系统误差 $1'$; 其大小: 宽 $\sim 4'$, 长 $\sim 1^{\circ}20'$, 呈窄钻石形,命名为 AX 1805.7-2025。在以后的观测中, ASCA 上的 SIS 与 GIS 都又看到了该 X 射线源。X 射线谱呈幂律谱,谱指数: -2.2 ± 0.2 。在 2—10keV 范围,能流密度 $\sim 6 \times 10^{-12}\text{ erg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。而 HEAO-1 卫星于 1977 年 9 月和 1978 年 3 月及 GINGA 卫星于 1988 年 9 月都在该区域搜寻过,却没有发现该 X 射线源。

Vasisht 等人^[20]除了对 SNRs G43.9+1.6 及 G42.8+0.6 进行射电、光学和 X 射线研究外,还分析了 ROSAT 在 SGR 1900+14 区域巡天的资料。这次观测能量范围为 0.2—2.4keV,对 SNRs G43.9+1.6 及 G42.8+0.6 观测时间均为 500—630s。结果在这两个 SNR 处均没发现 X 射线。但在其附近发现了 7 个 X 射线源。其中几个被确认是来自亮星的冕辐射,但 RXJ1907+0919.3 位于离 Hurley 等人确定的 IPN 钻石型区域仅 $1'.5$ 处,而在 Palomar 天文台的巡天图上没有在此发现亮于 17mag 的光学天体,由该源 X 射线与光学光度之比的下限排除了它属于晚型星的冕辐射。从 RX J1907+0913.3 如此接近 IPN 钻石,知道它可能是 SNR1900+14 的宁静 X 射线源。

6 讨 论

EGRET 探测到了 GB930131 和 GB940217 中的 GeV 量级的 γ 光子,这一能量比以往所探测到的 γ 光子能量大了一个量级。如此高能量的光子为我们研究这类特强暴起源提供了重要线索。

目前关于宇宙学距离上的 γ 暴模型有两类:一类是 Paczynski 和 Goodman (1986)^[11,12] 考虑的光学厚模型。纯热辐射的火球(初始温度为几个 MeV)从光学厚膨胀到光学薄,火球的温度虽然下降,但由于是相对论膨胀,本体温度将蓝移至初始温度。这种火球辐射的谱是黑体谱。显然 GB930131 的观测事实排除了这种火球模型,因为该暴能谱是幂律型, γ 光子能量高达 GeV 量级;另一类火球模型考虑火球物质与外界物质有相互作用^[27,28]。这类模型中的原始火球不像是纯辐射的,它也许包含有重子。由于一定数量重子的存在,原始火球的大部分辐射能将转化为火球膨胀的动能,在光学薄的时候,少部分辐射能出来,这种暴因能量小而难于观测到。如果在此暴之后火球物质扫过并与足够多的外界物质作用,火球将减速,火球的动能又将转化为辐射能。这种暴能量大,可能被观测到,而且是非热谱的,因为被激波加速的电子在磁场中的辐射是同步辐射。如果火球的 Lorentz 因子很大(10^5),在火球减速的当初,同步辐射的光子可以达 GeV 量级(Katz 1994),但 Lorentz 因子大得难以想象。如果火球的重子是相对论的,并且外界的重子相当稠密,那么,高能重子与静止重子将相互作用产生 π^0 , π^0 衰变产生两个光子,这种光子是高能的。所以,即使火球的光子 Lorentz 因子不很大,我们也能得到 GeV 量级的光子。

至于 EGRET 探测到的 GB940217 的高能延时辐射, Meszaros, Rees^[27] 和 Katz^[28] 在 γ 暴的宇宙学起源模型中提出,高能延时辐射可能是在双中子星并合产生的膨胀碎片与其他物质碰撞的结果。因此这个观测结果将对暴源的宇宙学模型给出重要的检验。对于 GB930131,以前人们都没有涉及到 EGRET 观测到的最后两个光子,因为这两个光子是在 25s 暴后近 70s 时间内观测到的。现在看来,GB930131 的后面两个光子估计也是属于该暴的,是属于其高能延时辐射。

著名的 1979 年 3 月 5 日 γ 暴(即 SGR 0526-66 的首次爆发)后的辐射呈现了 8s 的周期性,持续时间约 200s。这个周期可解释为中子星的自转周期。Ulmer 等人^[22]对 SGR1806-20 各次爆发后的辐射进行了是否具有周期性的研究,他们选取其中 20 次最强爆发后的长约 400s 的辐射观测资料进行分析,结果发现具有 2.8s 的周期性,统计检验表明该周期性是偶然的几率为 1.3%。假定 SGR1806-20 爆发后的辐射如 3 月 5 日暴后一样简单,则脉冲幅度比相应 3 月 5 日暴后脉冲辐射要小 25 倍。另外,这些软重暴 SGR 均与超新星遗迹 SNR 成协,而 SNR 在射电波段消逝的时标为 $t_{\text{SNR}} \leq 10^4 \text{yr}$,如 N49 的年龄为 $5.4 \times 10^3 \text{yr}$ 。这些说明 SGR 一定与年轻的中子星相对应。

发现 γ 暴至今已 25 年了,而重复产生 γ 爆发的源仅 3 个,这作为独立的一类与为数众多的经典暴比较显得太不相称了。CGRO 得到的经典 γ 暴分布的各向同性对宇宙学起源 γ 暴模型有利。不过,在宇宙学起源模型的单个星系中发生 γ 暴属稀有事件,且 γ 爆发能量高达 10^{52}erg 是不大可能重复爆发的。在宇宙学上,若重复产生 γ 爆发,只可能是引力透镜事件,意思是说,并不是真正重复爆发,而是经引力透镜生成的不同像到达观测者的时间有先有后,被当成了重复爆发。但是,引力透镜的像不可能那么多,不可能导致上百次重复爆发。因此,软重暴 SGR 不可能是宇宙学起源的。事实上,与 SNR 成协的三个 SGR 已被确定为近距离源,两个属于河内,一个属于大麦哲伦云。

目前关于 γ 暴理论(包括 SGR)的模型不下 100 个,但至今还无一个令人满意的被大家接受的模型。即使对于 SGR,已基本认定它们为近距离(河内或邻近星系)中子星的过程,但也尚无成功的模型。最近的一些工作又激起了人们研究 SGR 的极大兴趣。Katz 等人^[29]

提出超新星爆发除了诞生一颗中子星外, 还可能留下一些行星, 这些行星的公转轨道互相交叉, 两行星碰撞的时标 $\sim 10^4$ yr, 行星相撞总角动量守恒, 但部分碎片的角动量为零或很小, 因而很快落到中子星上, 导致一次软 γ 爆发。另外 Ulmer^[30] 对 SGR 的超 Eddington 辐射转移; Melia 等人^[31] 对产生 SGR 的中子星磁层辐射物理等作了一定的讨论。

参 考 文 献

- [1] Klebesadel R W, Strong I B, Olson R A. *Ap. J. Lett.*, 1973, 182: L85
- [2] 韦大明, 陆垓, *天文学进展*, 1995, 13: 206 陆垓, *物理*, 1995, 24: 257
- [3] Higdon J C, Lingenfelter R E. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, 1990, 28: 401
- [4] Laros J G et al. *Ap. J.*, 1987, 320: L111
- [5] Kouveliotou C et al. *Ap. J.*, 1994, 422: L59
- [6] Sommer M et al. *Ap. J.*, 1994, 422: L63
- [7] Ryan J et al. *Ap. J.* 1994, 422: L67
- [8] Schaefer B E et al. *Ap. J.*, 1994, 422: L71
- [9] Kouveliotou C et al. *Nature*, 1993, 362: 728
- [10] Kouveliotou C et al. *Nature*, 1994, 368: 125
- [11] Paczynski B. *Ap. J.*, 1986, 308: L43
- [12] Goodman J. *Ap. J.*, 1986, 308: L47
- [13] Norris J P, Hertz P, Wood K S. *Ap. J.*, 1991, 366: 240
- [14] Cline T L et al. *Ap. J.*, 1980, 237: L1
- [15] Golenetskii S V et al. *Nature*, 1984, 307: 41
- [16] Laros J et al. *Nature*, 1986, 322: 154
- [17] Mazets E P et al. *Astrophys. Space Sci.*, 1981, 80: 3
- [18] Laros J G et al. 21st Internat. cosmic-ray conference, 1990, 1: 68
- [19] Kulkarni S R, Frail D A. *Nature*, 1994, 365: 33
- [20] Vasisht G, Kulkarni S R, Frail D A et al. *Ap. J.*, 1994, 431: L35
- [21] Murakami T et al. *Nature*, 1994, 368: 127
- [22] Ulmer A et al. *Ap. J.*, 1993, 418: 395
- [23] Cline T L et al. *Ap. J.*, 1982, 255: L45
- [24] Hurley K et al. *Ap. J.*, 1994, 431: L31
- [25] Hurley K et al. *Nature*, 1994, 372: 652
- [26] Kanbach G et al. *Astron. Astrophys. Suppl.*, 1993, 97: 349
- [27] Meszaros P, Rees M. *M.N.R.A.S.*, 1994, 269: 41p
- [28] Katz J I. *Ap. J.*, 1994, 432: L27
- [29] Katz J I, Toole H A, Unruh S H. *Ap. J.*, 1994, 437: 727
- [30] Ulmer A. *Ap. J.*, 1994, 437: L111
- [31] Melia F, Fatuzzo M. *Ap. J.*, 1995, 438: 904
- [32] Rothschild R E, Kulkarni S R, Lingenfelter R E. *Nature*, 1994, 368: 432

(责任编辑 刘金铭)

Progress in the Study of Gamma-ray Bursts (IV): Most Intense Gamma-ray Bursts and Soft Repeaters

Lu Jianlong

(Department of Physics, Nanjing Normal University, Nanjing 210097)

Pan Shanlong

(Department of Physics, Zhejiang Normal University, Jinhua, Zhejiang 321004)

Lu Tan

(Department of Astronomy, Nanjing University, Nanjing 210093)

Abstract

Two most intense gamma-ray bursts with photon energy up to the order of GeV, namely GB930131 and GB940217, were observed with the instruments on CGRO. The peak count rate of GB930131 is 2×10^6 counts per second. The duration of burst for GB940217 is as long as 90min.

After many years silence, the soft gamma-ray repeaters SGR1900+14 and SGR1806-20 were discovered to re-burst by BATSE. Many observations show that these soft gamma-ray repeaters are associated with X-ray sources and supernova remnants. In this paper, the characteristics of both most intense gamma-ray bursts and soft gamma-ray repeaters are reviewed.

Key words gamma rays: bursts--gamma rays: observations--ISM: supernova remnants--stars: neutron