

# 不同仪器 GRB 观测数据的一致性分析\*

林一清<sup>†</sup>

(厦门理工学院数理系 厦门 361024)

**摘要** BATSE (Compton Gamma-Ray Observatory/Bursts and Transient Source Experiment)、Swift (Swift Gamma-ray Burst Explorer) 和 Fermi 卫星 (Fermi Gamma-ray Space Telescope) 提供了大量的 GRB 样本. 研究比较 3 种仪器观测的暴的特征, 发现虽然有红移暴的数目、所有暴中长暴的比例以及光子流量分布 ( $\lg N - \lg P$  分布) 等有显著差异, 但是暴的持续时间、伽玛辐射总流量、谱硬度比等均没有显著差异. 考虑 Swift 和 Fermi 暴的观测能段不同, 进行修正以后, 发现  $\lg N - \lg P$  分布的差异也基本消除. 有红移暴的数目、长暴占总暴数的比例是由仪器本身的灵敏度决定的, 即不同仪器决定不同 GRB 的观测特征, 但是它们的本质是一致的.

**关键词** 伽玛射线暴: 普通, 方法: 统计  
**中图分类号:** P 172; **文献标识码:** A

## 1 引言

伽玛射线暴 (Gamma-ray burst, 简称伽玛暴, 简写 GRB) 是至今为止人类所观测到的最强烈的爆发现象<sup>[1]</sup>, 有时候它的能量甚至可以超过  $10^{54}$  erg, 其持续时间在毫秒到千秒量级, 它的谱是非热谱, 能量主要集中在大约 10 keV 到几个 MeV 波段<sup>[2]</sup>.

伽玛暴的研究离不开观测仪器, 不同空间卫星的灵敏度决定了 GRB 不同的观测特征. 1991 年 4 月 5 日发射的 BATSE 可探测能段为 25 keV~2 MeV<sup>[3]</sup>. 在 1991~2000 年期间共探测到 2 704 个暴, 其惊人发现之一是观测到的伽玛暴角分布呈现非常好的各向同性<sup>[4]</sup>. 但仅靠 BATSE 的观测, 无法确定 GRB 究竟来自银河系还是来自宇宙深处<sup>[5-6]</sup>. 1996 年 4 月 30 日发射的 BeppoSAX (Satellite per Astronomia X, 其中 Beppo 是为了纪念天文学家 Giuseppe Occhialini 而后来加上去的) 是第 1 颗 X 射线卫星, 其观测能段主要在 0.1~200 keV<sup>[7]</sup>. 由于对 X 射线有较好的空间分辨本领, 使得接下来的光学和射电等长波段的余辉观测得以进行, 从而确认伽玛暴的宿主星系、红移等<sup>[8-9]</sup>. 2002 年 10 月 17 日发射的 INTEGRAL (International Gamma-Ray Astrophysics Laboratory) 在伽玛暴观测方面的贡献主要是探测到了低能量的暴 GRB031203<sup>[10]</sup>. 2004 年 11 月 20 日发射的 Swift 卫星是专门为伽玛暴研究设计的一个多波段小卫星<sup>[11]</sup>, 它比以往的卫星更加灵敏, 它以

2010-04-28 收到原稿, 2010-05-26 收到修改稿

\* 福建省青年人才创新项目 (2007F3105) 资助

<sup>†</sup> yqlin@xmut.edu.cn

其快速定位、多波段同时观测,取得了一些重要发现<sup>[12-13]</sup>. 它的科学目标有: 确定 GRB 起源; 对 GRB 进行分类; 分析暴与外部环境的作用; 用作高红移宇宙的探针<sup>[14]</sup>; 提供更多有红移的暴的样本, 从而对 GRB 光度函数给出一些新的限制<sup>[15]</sup>; 探测到伽玛暴早期的 X 射线余辉和光学辐射, 并快速定位引导其它望远镜观测. 虽然 Swift 卫星的观测, 使我们对短暴和 GRB 余辉的研究取得了重大的进展<sup>[13]</sup>, 但是由于 Swift/BAT 的波段太窄 (10~150 keV), 没法对谱性质给出一个限制, 因此我们没办法对暴的辐射机制做进一步的研究.

GRB 的辐射机制问题到现在为止仍然不清楚. 但是如果是光学薄的话, 一般认为是由于激波加速电子引起的同步辐射<sup>[16-17]</sup>. 尽管同步辐射模型可以解释一部分观测的谱, 但大量的谱与理论模型不符, 这大概是受仪器观测范围所限. 2008 年 6 月 11 日发射的 Fermi 卫星为我们研究暴的辐射机制提供了新的依据. 它的地面 GRB 监测器 (Gamma-ray Burst Monitor, 简称 GBM) 和大范围望远镜 (Large Area Telescope, 简称 LAT) 可以观测到很宽的能量波段的谱 (从 8 keV 到大于 300 GeV). 这些 GRB 的更高能数据, 可以为一些模型提供新的依据<sup>[18-19]</sup>, 并且它的 GBM 和 LAT 谱的接合可以用 Band 函数很好地拟合<sup>[20]</sup>. Amati 等<sup>[21]</sup> 用 Fermi/GBM 的数据 (具体的谱指数和截断频率) 验证了  $E_p - E_{iso}$  的关系与其它观测仪器得到的数据一致, 再次证明了  $E_p - E_{iso}$  关系没有因为仪器的门槛和有限的能量波段而受到影响.

Swift/BAT 能段太窄, 以前都是通过假设谱指数和峰值能量  $E_p$  来计算总的流量以及各个波段的流量. 本文根据 Fermi 卫星观测到 GRB 的具体的谱指数和截断频率归算出不同能量波段内的流量, 与 Swift/BAT 的数据作比较, 增加了可靠性. 同时进一步检验以前通过对 Swift/BAT 数据进行修正来计算总能量的可行性. 本文还对 Fermi、Swift 和 BATSE 3 种暴的持续时间、谱硬度比、 $\lg N - \lg P$  分布等进行比较.

## 2 样本

从 2008 年 6 月 Fermi 的发射到 2010 年 3 月, Fermi/GBM 共观测到 224 个暴, 其中长暴 190 个, 短暴 34 个, 所有的 Fermi 数据都是从 GCN 网站上收集的. 我们从这些数据中选取了其中具有完整的谱指数  $\alpha$ 、 $\beta$  (谱的数据一般可以用一个光滑的截断的 Band 函数来拟合, 其中  $\alpha$  和  $\beta$  分别表示低能段和高能段部分的指数) 和  $E_p$  的暴<sup>[21]</sup>, 而抛弃那些在 GeV 处有一个指数截断的幂律拟合的谱的数据, 因为这些谱的组成与在 keV~MeV 处有截断的谱可能不一致. 这样我们共获得 114 个暴, 其中长暴 101 个, 短暴 13 个, 它们的谱指数  $\alpha$ 、 $\beta$  和  $E_p$  在表 1 中列出. 在这些数据中, 我们发现只有 15 个暴也被 Swift/BAT 检测到, 8 个暴具有红移 (GRB090910、GRB090820、GRB090621c、GRB081221、GRB080925、GRB090107b、GRB081206、GRB090926). BATSE 暴的数据从网站 <http://www.batse.msfc.nasa.gov/batse/> 下载, 我们只选择那些具有确定持续时间  $T_{90}$  的暴, 这样总共有 1 599 个暴, 其中长暴 1 213 个、短暴 386, 即长暴占总暴数的比例为 0.76. Swift 暴是从 the first GRB Catalog 和 GCN 网站中收集的<sup>[22]</sup>, 包含从 2004 年 12 月 17 日到 2010 年 3 月共 425 个暴, 其中长暴 384 个、短暴 41 个, 长暴占总暴数

的比例为 0.9.

表 1 我们样本中 Fermi/GBM 暴的观测数据和光子流量

Table 1 Observational data and photon fluxes of Fermi/GBM bursts in our sample

GRB	$T_{90}$ (s)	$\alpha$	$\beta$	fluence ( $10^{-6}$ erg·cm $^{-2}$ )	$E_p$ (keV)	$n(\text{GBM})$ (photon·cm $^{-2}$ ·s $^{-1}$ )
GRB091128	97 ± 1.6	-0.99 ± 0.02	-3.9	37.6 ± 0.7	178.8 ± 5.6	9.3 ± 0.3
GRB090618	155	-1.26	-2.5	270 ± 6	155.5	73.4 ± 2
GRB090530b	194	-0.71 ± 0.06	-2.42	59 ± 4	67 ± 3	10.8 ± 2
GRB081207	153	-0.65 ± 0.03	-2.41	106.0 ± 20.0	639 ± 42	
GRB090829b	100	-0.7 ± 0.2	-2.4	6.4 ± 0.7	143 ± 30	3.2 ± 0.3
GRB081102	88	0.44 ± 0.58	-2.36	2.1 ± 0.05	72 ± 13	3.68
GRB090528b	102	-1.1 ± 0.4	-2.3	46.5 ± 1.5	172 ± 12	14.7 ± 1.3
GRB090922a	92 ± 3	-0.77 ± 0.05	-2.28	11.4 ± 0.2	139.3 ± 6.6	15.6 ± 0.04
GRB091030	160	-0.88 ± 0.02	-2.2	30.3 ± 0.43	507 ± 30	9.58 ± 0.23
GRB090817	220	-1.1 ± 0.3	-2.2	7.3 ± 0.1	115 ± 50	3.8 ± 0.3
GRB090621	294	-1.1 ± 0.2	-2.12	4.4 ± 1	56 ± 10.7	1.92 ± 0.06
GRB090828	100	-1.23 ± 0.05	-2.12	25.2 ± 0.8	136.5 ± 13.7	16.2 ± 0.5
GRB090829	85	-1.44 ± 0.04	-2.1	102 ± 2	183 ± 31	51.5 ± 0.9
GRB090621b	0.128	-0.13 ± 0.38	-1.57	0.371 ± 0.058	321.6 ± 129	6.4 ± 1.4
GRB080830	45	-0.59 ± 0.28	-1.69	4.6(50 - 300)	154 ± 57	
GRB091020	37	0.2 ± 0.4	-1.7	10 ± 2	47.9 ± 7.1	7.4 ± 0.5
GRB081126	56	-0.3 ± 0.5	-1.7	0.15 ± 0.06	176 ± 84	0.7 ± 0.3
GRB080927	25	-1.5 ± 0.1	-1.7	5.7 ± 0.2	40 ± 10	2.0 ± 0.1
GRB081006	7	-0.77 ± 0.24	-1.80	0.71	1135 ± 826	
GRB090516c	15	-0.44 ± 0.81	-1.81	4 ± 0.3	210 ± 68	7.7 ± 0.4
GRB081226b	0.35	-0.2 ± 0.3	-1.82	0.61 ± 0.05	300 ± 110	17.7 ± 1.5
GRB090411a	24.6	-0.88 ± 0.15	-1.82	8.6 ± 1.2	141 ± 35	3.25 ± 0.94
GRB081129	59	-0.5 ± 0.2	-1.84	20.0 ± 3.0	150 ± 30	14 ± 3
GRB090429d	11	-0.87 ± 0.27	-1.88	1.6 ± 0.3	223 ± 72.5	0.86 ± 0.16
GRB090305B	2	-0.5 ± 0.17	-1.9	2.7 ± 0.2	770 ± 230	11 ± 2
GRB090612	58	-0.6 ± 0.13	-1.9	2.37 ± 0.14	357 ± 59	1.63 ± 0.1
GRB090925	50	-0.6 ± 0.13	-1.91	9.46 ± 0.26	156	4.2 ± 0.3
GRB090301B	28	-1.03 ± 0.09	-1.93	2.69 ± 0.13	427 ± 147	4.4 ± 0.1
GRB090520c	4.9	-0.73 ± 0.09	-1.96	3.54 ± 0.25	204.2 ± 27.9	4.47 ± 0.32
GRB090831	69.1	-1.57 ± 0.03	-1.96	16.6 ± 0.5	399.6 ± 86.2	9.4 ± 0.4
GRB090108	0.9	-0.47 ± 0.2	-1.97	1.28 ± 0.24	104.8 ± 16.4	39.7 ± 3.9
GRB090626	70	-1.29 ± 0.02	-1.98	35 ± 1	175 ± 12	17.9 ± 1.4
GRB090426c	12	-1.31 ± 0.09	-1.98	3.1 ± 0.2	351 $^{+150}_{-81}$	6.8 ± 0.7
GRB090129	17.2	-1.39 ± 0.13	-1.98	5.6 ± 0.7	123.2 ± 44	8 ± 0.1
GRB090910	62	-0.9 ± 0.1	-2.0	9.2 ± 0.7	274.8 ± 56.1	2.3 ± 0.6
GRB081229	0.5	-0.27 ± 0.27	-2.00	0.87 ± 0.08	585 ± 188	10.7 ± 1.5
GRB090617	0.45	-0.45	-2.00	0.468 ± 0.02	684	10.0 ± 0.5
GRB081209	0.4	-0.5 ± 0.1	-2.00	0.59 ± 0.03	808 ± 163	7.8 ± 0.4
GRB100218A	30.8 ± 1.6	-0.5 ± 0.25	-2.00	2.58 ± 0.21	184.2	1.4 ± 0.2
GRB090529b	5.1	-0.7 ± 0.3	-2.00	0.34 ± 0.09	142 ± 56	4.1 ± 0.1

表 1 续

Table 1 (continued)

GRB	$T_{90}$ (s)	$\alpha$	$\beta$	fluence ( $10^{-6}$ erg·cm $^{-2}$ )	$E_p$ (keV)	$n(\text{GBM})$ (photon·cm $^{-2}$ ·s $^{-1}$ )
GRB090411b	18.7	$-0.8 \pm 0.1$	-2.00	$8 \pm 0.8$	$189 \pm 37$	$7.4 \pm 3$
GRB090625b	13.6	$-0.9 \pm 0.2$	-2.00	$1.04 \pm 0.13$	$165 \pm 28$	$1.87 \pm 0.09$
GRB090813	9	$-1.43 \pm 0.08$	-2.00	$3.5 \pm 0.2$	$161 \pm 26$	$14.4 \pm 0.5$
GRB090112a	65	$-0.94 \pm 0.2$	-2.01	$5.2 \pm 1.0$	$150 \pm 40$	$7 \pm 2$
GRB090809b	15	$-0.85 \pm 0.04$	-2.02	$22.6 \pm 0.3$	$198 \pm 13$	$23.6 \pm 0.5$
GRB081231	29	$-0.8 \pm 0.06$	-2.03	$12.0 \pm 5.9$	$152.3 \pm 11.9$	$1.53 \pm 0.08$
GRB090425	72	$-1.56 \pm 0.04$	-2.03	$13 \pm 2$	$142 \pm 13$	$14 \pm 0.3$
GRB090902	1.2	0.3	-2.05	$2.11 \pm 0.14$	388	$11.4 \pm 1.3$
GRB081025	45	$-0.35 \pm 0.13$	-2.05	$7.1 \pm 0.5$	$200 \pm 33$	$4.5 \pm 0.22$
GRB081215a	7.7	$-0.58 \pm 0.02$	-2.066	$3.54 \pm 0.05$	$304 \pm 11$	$68.9 \pm 1$
GRB080916c	66	$-0.91 \pm 0.02$	-2.08	190	$424 \pm 24$	
GRB080906b	5	$-0.07 \pm 0.09$	-2.1	$10.9 \pm 0.1$	$125.3 \pm 6.6$	$22 \pm 4$
GRB080824	28	$-0.4 \pm 0.2$	-2.1	2.3(50 - 300)	$100 \pm 16$	
GRB081222	30	$-0.55 \pm 0.07$	-2.1	$13.5 \pm 0.8$	$134 \pm 9$	$14.8 \pm 1.4$
GRB090518b	12	$-0.74 \pm 0.13$	-2.1	$2.2 \pm 0.2$	$86 \pm 15$	$5.6 \pm 0.6$
GRB090423	12	$-0.77 \pm 0.35$	-2.1	$1.1 \pm 0.3$	$82 \pm 15$	$3.3 \pm 0.5$
GRB090529c	10.4	$-0.84 \pm 0.05$	-2.10	$3.1 \pm 0.1$	$188 \pm 15$	$25 \pm 1$
GRB081118	20	$0.8 \pm 0.5$	-2.14	0.112	$41.2 \pm 3.9$	$0.67 \pm 0.37$
GRB100225A	$13 \pm 3$	$-0.8 \pm 0.08$	-2.15	$7.6 \pm 0.3$	527.3	$4.13 \pm 0.2$
GRB081216	0.96	$-0.7 \pm 0.09$	-2.17	$3.6 \pm 0.1$	$1235 \pm 264$	$55 \pm 3$
GRB090428b	30	$-1.86 \pm 0.07$	-2.17	$5.2 \pm 0.3$	$65 \pm 16$	$10.1 \pm 0.7$
GRB081120	12	$0.4 \pm 0.5$	-2.18	$2.7 \pm 0.9$	$44 \pm 5$	$5.1 \pm 1.6$
GRB090904b	71	$1.41 \pm 0.08$	-2.18	$24.4 \pm 1.5$	$106.3 \pm 24.6$	$9.8 \pm 0.7$
GRB081206	24	$-0.13 \pm 0.37$	-2.2	$4.0 \pm 0.6$	$151 \pm 29$	$2.4 \pm 0.3$
GRB091127	9	$-1.27 \pm 0.06$	-2.2	$18.7 \pm 0.2$	$36 \pm 2$	$46.9 \pm 0.9$
GRB100131A	6.2	$-0.63 \pm 0.05$	-2.21	$7.723 \pm 0.13$	$132.1 \pm 6.28$	$33.8 \pm 1.5$
GRB081122	26	$-0.63 \pm 0.15$	-2.24	$9.6 \pm 1.1$	$158.6 \pm 17.6$	$30 \pm 3$
GRB080925	29	$-0.53 \pm 0.05$	-2.26	9.7	$120 \pm 5$	
GRB090131	36.4	$-1.27 \pm 0.07$	-2.26	$22.3 \pm 1.7$	$58.4 \pm 3.9$	$47.9 \pm 10$
GRB090306C	38.8	$-0.58 \pm 0.29$	-2.28	$0.9 \pm 0.22$	$87 \pm 25$	$2.4 \pm 0.1$
GRB091221	32	$-0.69 \pm 0.07$	-2.3	$13.8 \pm 0.5$	207	$5.1 \pm 0.4$
GRB090623	72.2	$-0.73 \pm 0.04$	-2.3	$9.6 \pm 0.02$	$476 \pm 39$	$3.3 \pm 0.04$
GRB090524	72	$-1.00 \pm 0.08$	-2.3	$18.5 \pm 1.5$	$82.6 \pm 6.3$	$14.1 \pm 1.4$
GRB090630	5.1	$-1.5 \pm 0.1$	-2.3	$0.51 \pm 0.07$	$79 \pm 13$	$2.78 \pm 0.05$
GRB100122A	6.6	$-0.98 \pm 0.05$	-2.31	$10 \pm 0.1$	$45.6 \pm 1.5$	$10.44 \pm 0.07$
GRB091208b	15	$-1.48 \pm 0.05$	-2.32	$5.8 \pm 0.2$	144.2	$32.4 \pm 1.1$
GRB090717	70	$-0.88 \pm 0.04$	-2.33	$0.45 \pm 0.02$	$120 \pm 5$	$7.8 \pm 0.7$
GRB081125	15	$0.14 \pm 0.09$	-2.34	$49.1 \pm 1.6$	$221 \pm 16$	$27 \pm 2.7$
GRB091031	35	$0.91 \pm 0.04$	-2.34	$20.5 \pm 0.4$	503.1	$7.5 \pm 0.3$
GRB100206a	$0.13 \pm 0.05$	$-0.18 \pm 0.13$	-2.35	$0.93 \pm 0.04$	506	$31 \pm 2$
GRB081012	30	$-0.31 \pm 0.23$	-2.4	$3.8 \pm 0.4$	$360 \pm 70$	$2.0 \pm 0.2$

表 1 续  
Table 1 (continued)

GRB	$T_{90}$ (s)	$\alpha$	$\beta$	fluence ( $10^{-6}$ erg·cm $^{-2}$ )	$E_p$ (keV)	$n(\text{GBM})$ (photon·cm $^{-2}$ ·s $^{-1}$ )
GRB080825c	22	$-0.39 \pm 0.04$	-2.4	24	$155 \pm 5$	
GRB090802	0.128	-0.42	-2.4	$0.65 \pm 0.03$	283	$61.2 \pm 2.8$
GRB090112b	12	$-0.75 \pm 0.06$	-2.43	$5.4 \pm 0.3$	$139 \pm 9$	$14 \pm 1$
GRB090720b	20	$-1.01 \pm 0.05$	-2.43	$10.6 \pm 0.3$	$982 \pm 186$	$10.9 \pm 0.4$
GRB090620	16.5	$-0.4 \pm 0.04$	-2.44	$6.6 \pm 0.2$	$156 \pm 6$	$7.0 \pm 0.3$
GRB090531b	2	$-0.71 \pm 0.1$	-2.47	$0.62 \pm 0.018$	2166	$1.49 \pm 0.04$
GRB090328b	0.32	$-0.92 \pm 0.06$	-2.48	$0.961 \pm 0.031$	$1967 \pm 701$	$29.83 \pm 2.38$
GRB090117	21	$-0.4 \pm 0.5$	-2.5	$1.8 \pm 1.3$	$25 \pm 2$	$9.6 \pm 4.2$
GRB081024c	65	$-0.6 \pm 0.2$	-2.5	$4.0 \pm 0.9$	$65 \pm 7$	$1 \pm 0.1$
GRB090222	18	$-0.97 \pm 0.14$	-2.56	$2.19 \pm 0.19$	$147.9 \pm 2.71$	$1.1 \pm 0.14$
GRB090926a	21	$-0.693 \pm 0.009$	-2.59	$247 \pm 3$	$268 \pm 4$	
GRB090718b	28	$-1.21 \pm 0.02$	-2.59	$25.2 \pm 0.5$	$198 \pm 9$	$32.0 \pm 0.5$
GRB090820	60	$-0.69 \pm 0.01$	-2.61	$66 \pm 1$	$215 \pm 3$	58
GRB091003a	$21.1 \pm 0.5$	$-1.13 \pm 0.01$	-2.64	$37.6 \pm 0.4$	$486.2 \pm 23.6$	$31.8 \pm 0.4$
GRB090330	80	$-1.01 \pm 0.04$	-2.68	$11.4 \pm 0.3$	$261 \pm 18$	$6.8 \pm 0.3$
GRB090428	8	$-0.59 \pm 0.16$	-2.7	$0.99 \pm 0.14$	$97 \pm 7$	$12.3 \pm 1.9$
GRB081217	39	$-0.61 \pm 0.09$	-2.7	$10.0 \pm 0.7$	$167 \pm 11$	$4 \pm 0.3$
GRB090815b	30	$-1.89 \pm 0.12$	-2.7	$5.05 \pm 0.25$	$15.1 \pm 10.8$	$14.4 \pm 0.5$
GRB081021	25	$0.11 \pm 0.25$	-2.8	$5.3 \pm 0.6$	$117 \pm 11$	$4.2 \pm 0.9$
GRB081107	2.2	$0.25 \pm 0.17$	-2.8	$1.64 \pm 0.28$	$65 \pm 3$	$11 \pm 0.3$
GRB081124	35	$-0.6 \pm 0.2$	-2.83	$0.095 \pm 0.026$	$22.8 \pm 0.7$	$0.67 \pm 0.18$
GRB090217	32.8	$-0.85 \pm 0.02$	-2.86	$30.8 \pm 0.3$	$610 \pm 32$	$11.2 \pm 0.3$
GRB090327	24	$-0.5 \pm 0.12$	-2.9	$3.0 \pm 0.4$	$96.4 \pm 5.1$	$3.5 \pm 0.7$
GRB090424	52	$0.9 \pm 0.02$	-2.9	$52 \pm 1$	$177 \pm 3$	$137 \pm 5$
GRB081221	40	$-0.42 \pm 0.03$	-2.91	$37.0 \pm 1.0$	$77 \pm 1$	$33 \pm 9$
GRB090719	16	$-0.68 \pm 0.02$	-2.92	$48.3 \pm 0.4$	$254 \pm 6$	$37.8 \pm 0.5$
GRB090228	0.8	$-0.35 \pm 0.04$	-2.98	$6.1 \pm 0.09$	$849 \pm 44$	$133 \pm 8$
GRB091120	52	$-1.17 \pm 0.02$	-2.98	$30.2 \pm 0.4$	$124 \pm 4$	$21.3 \pm 0.4$
GRB090926	$20 \pm 2$	$-0.75 \pm 0.01$	-3.00	$145 \pm 4$	$314 \pm 4$	$80.8 \pm 0.4$
GRB090227B	0.9	$-0.53 \pm 0.02$	-3.04	$8.7 \pm 0.1$	$2255 \pm 116$	$34.6 \pm 0.3$
GRB090520d	12	$-0.99 \pm 0.28$	-3.25	$4.0 \pm 0.9$	$46.3 \pm 5.3$	$4.1 \pm 1$
GRB090227	50	$-0.91 \pm 0.06$	-3.6	$9.0 \pm 0.2$	$1355 \pm 259$	$4.57 \pm 0.13$
GRB090902b	21	$-0.696 \pm 0.012$	-3.85	$374 \pm 3$	$775 \pm 11$	$46.1 \pm 0.3$

### 3 持续时间

对于 BATSE 和 Swift 暴的持续时间, 在考虑了宇宙学效应以后, 它们的  $T_{90}$  分布几乎没有区别<sup>[23]</sup>. 因此在图 1 中, 我们只画出修正过的 Swift 和 Fermi 两种暴的  $T_{90}$  分布. 从图中我们可以看出, 这两种暴的分布几乎没有不同. 当然, 从数据样本中我们可以

看出, Swift 暴中长暴占的比例要比 Fermi 暴高, 我们认为这是由不同仪器的特性及其后续能力引起的.

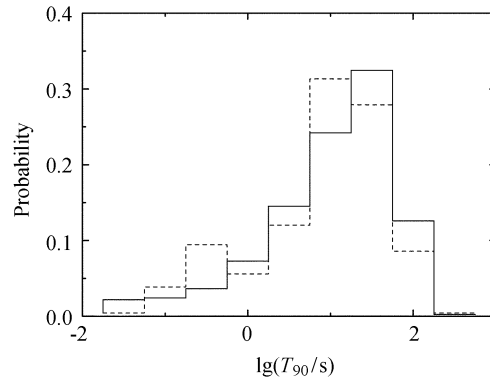


图 1 我们样本中 Swift 和 Fermi 暴的  $T_{90}$  分布. 虚线和实线分别表示 Swift 和 Fermi 暴的分布

Fig.1 Distribution of  $T_{90}$  for Swift and Fermi bursts in our sample. The dashed and solid lines represent the bursts detected by Swift and Fermi, respectively

跟以往 GRB 卫星相比, Swift/BAT 更灵敏, 它能够观测到更弱、更远的暴<sup>[24]</sup>, 提供了一个研究更高红移的暴的机会<sup>[25]</sup>. Le 等<sup>[26]</sup> 考虑不同仪器的触发性质, 用一个物理模型证明了 BAT 的灵敏度比较高, 这样 Swift/BAT 可以观测到更高红移的暴, 并且有更多的暴可以被很好地定位, 还有一些被 GBM 定位成短暴的, 其实应该属于长暴, 这样就使得 Swift 暴中, 长暴的比例要比其它观测卫星得到的长暴比例高些.

#### 4 谱硬度比

Band 等<sup>[27]</sup> 对谱给出了一个很好的唯象拟合, 实际上是在截断能量处平滑连接起来的两段幂律谱. 典型暴  $\nu f_\nu$  谱的  $E_p$  大约是 250 keV, 这个  $E_p$  已经超过了 Swift/BAT 的观测能段, BAT 观测到的只是典型暴谱中很小的一部分. 为了比较 3 种仪器观测的谱性质, 我们在图 2 中画出了 50~100 keV 波段流量和 25~50 keV 波段流量的关系图. 选择这样的两个波段的范围比较, 是因为 BATSE、Swift 和 Fermi 3 种卫星都包含了这两个能段的观测. 从图中不难看出不管是长暴还是短暴, 它们在这两个波段的谱硬度比几乎一致.

我们还计算了 100~300 keV 与 50~100 keV 的流量比, 定义为谱硬度比 HR, 在图 3 中作出了谱硬度比 HR 与持续时间  $T_{90}$  的关系图. 其中短暴的谱硬度比平均值为 9.4, 而长暴的为 4.5, 很明显短暴在这两个波段谱硬度比的平均值要比长暴高, 这个结果与 BATSE 的结果是一致的<sup>[28]</sup>.

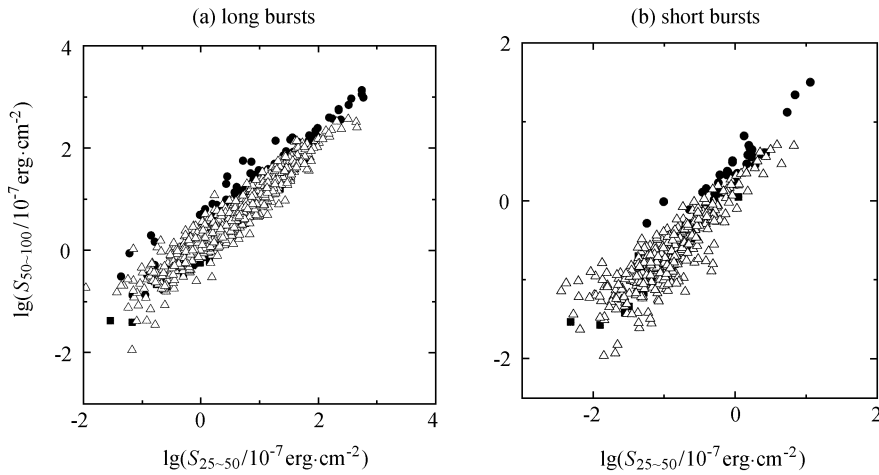


图 2 Fermi 和 Swift 暴 25~50 keV 波段和 50~100 keV 波段的伽玛射线流量关系图. 空心三角形为 BATSE 暴, 实心正方形为 Swift 暴, 实心圆形为 Fermi 暴

Fig. 2 Gamma-ray fluences in 25~50 keV versus fluences in 50~100 keV band. Open triangles, filled squares and circles represent the bursts detected by BATSE, Swift and Fermi, respectively

## 5 $\lg N$ - $\lg P$

对 BATSE 样本, 我们可以直接算出能量在  $1\sim 10^4$  keV 波段的流量. 但是, 对于 Swift/BAT 和 Fermi/GBM 样本, 我们必须用谱信息归算到同一个能量波段进行比较. 前面已经提到典型暴的  $E_p$  一般在 250 keV 左右, 超过了 Swift/BAT 的观测能段, 因此 BAT 谱可以用一个简单的幂律函数来拟合<sup>[28]</sup>, 根据谱指数  $\Gamma$  算出  $E_p$ , 即

$$\lg E_p = (2.76 \pm 0.07) - (3.61 \pm 0.26)\lg \Gamma. \quad (1)$$

通过这个经验公式, 我们得到所有 Swift 暴的  $E_p$ , 并通过  $k$  修正得到  $1\sim 10^4$  keV 能段的流量; Fermi 仪器的观测能段比较宽, 可以直接从数据中读出每个暴的峰值能量  $E_p$ . 虽然每个暴的  $E_p$  不都是 250 keV, 但是它们的平均值为 230 keV, 与 250 keV 很接近, 并且 Fermi 暴都有比较具体的谱指数, 可以准确地归算到同一能段进行比较. 在图 4 中画出了 3 种暴的  $\lg N$ - $\lg P$  分布. 为了比较, 我们同时把没有归算、直接用 Fermi 观测数据得到的光子流量分布也画出来. 从图 4 中可以看出, 直接用 Fermi 暴的数据画出的  $\lg N$ - $\lg P$  分布偏离 BATSE 和 Swift 暴的分布比较大. 这个差别可能是由于用不同能段的数据进行比较的结果, Fermi/GBM 的观测数据是在  $8\sim 1000$  keV 范围内, 而 BAT 和 BATSE 的光子流量已经归算到同一能段. 而考虑仪器选择效应, 用已知的谱指数把 Fermi 的能段归算后, 发现 3 种仪器的  $\lg N$ - $\lg P$  分布几乎没有差别.

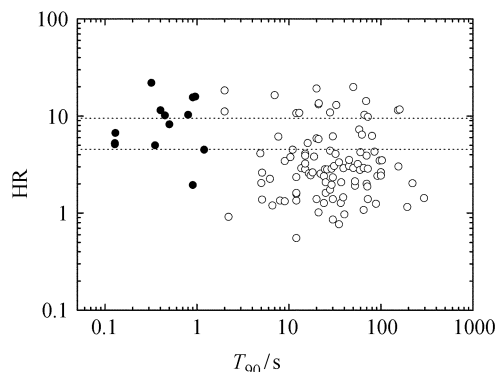


图 3 Fermi 暴的谱硬度比与持续时间  $T_{90}$  的关系图. 空心圆为长暴, 实心圆为短暴. 虚线表示两种暴谱硬度比的平均值

Fig. 3 Hardness ratio versus  $T_{90}$  for bursts detected by Fermi. Open circles and filled circles represent long bursts and short bursts, respectively. The dashed lines correspond to the mean hardness ratios of long bursts (lower) and short bursts (upper)

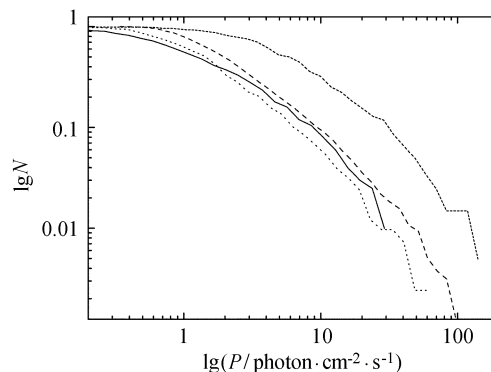


图 4 3 种暴的  $\lg N - \lg P$  分布图. 其中实线表示修正过的 Fermi 暴, 长虚线表示 BATSE 暴, 点线表示 Swift 暴, 短虚线表示修正前的 Fermi 暴

Fig. 4  $\lg N - \lg P$  distribution for the bursts detected by three satellites. Solid line, long-dashed line, dotted line and short-dashed line represent Fermi bursts after correction, BATSE bursts, Swift bursts and Fermi bursts, respectively

## 6 结论

通过对 BATSE、Swift 和 Fermi 3 种暴样本的系统性比较, 我们发现它们的持续时间分布、在 50~100 keV 与 25~50 keV 两个波段的谱硬度比几乎是一致的. 但是 Fermi 暴的  $\lg N - \lg P$  分布与 Swift 和 BATSE 暴的分布有一定的差别, 这是由于 Fermi/GBM 的观测能段范围要比 Swift/BAT 宽得多. 对 Fermi/GBM 数据进行修正, 归算到同一能段范围, 发现 3 种仪器观测到的  $\lg N - \lg P$  分布并没有差别. 这个结果表明, 虽然 3 种仪器各有自己的优缺点, 也得到不同的观测结果, 比如有红移暴的数目, Swift 观测到的要比 BATSE 和 Fermi 多; 长暴占总暴数的比例也不一致, Swift 长暴的数目占总暴数的比例要比 BATSE 和 Fermi 高. 但这些差距应该是由仪器的灵敏度和观测波段的不同引起的, 暴的性质应该是一样的.

## 参考文献

- [1] Cheng K S, Lu T. ChJAA, 2001, 1: 1
- [2] Waxman E. LNP, 2003, 598: 393
- [3] Pacias W S, Meegan C A, Pendleton G N, et al. ApJS, 1999, 122: 465
- [4] Briggs M S. Ap&SS, 1995, 231: 3

- [5] Lamb D Q. *PASP*, 1995, 107: 1152
- [6] Paczynski B. *PASP*, 1995, 107: 1167
- [7] Guidorzi C, Montanari E, Frontera F, et al. *ASPC*, 2004, 312: 39
- [8] van Paradijs J, Groot P J, Galama T, et al. *Natur*, 1997, 386: 686
- [9] Frail D A, Kulkarni S R, Nicastro L, et al. *Natur*, 1997, 389: 261
- [10] Gotz D, Mereghetti S, Bech M, et al. *GCN*, 2003, 2459: 1
- [11] Gehrels N, Chincarini G, Giommi P, et al. *ApJ*, 2004, 611: 1005
- [12] Meszaros P. *RPPH*, 2006, 69: 2259
- [13] Zhang B. *ChJAA*, 2007, 7: 1
- [14] Gehrels N, Sarazin C L, O'Brien P T, et al. *Natur*, 2005, 437: 851
- [15] Liang E W, Racusin J L, Zhang B, et al. *ApJ*, 2008, 675: 528
- [16] Ree M J, Meszaros P. *MNRAS*, 1992, 258: 41
- [17] Meszaros P, Rees M J. *ApJ*, 1993, 418: L59
- [18] Atwood W, Abdo A A, Ackermann M, et al. *ApJ*, 2009, 697: 1071
- [19] Band D L, Axelsson M, Baldini L, et al. *ApJ*, 2009, 701: 1673
- [20] Abdo A A, Ackermann M, Arimoto M, et al. *Sci*, 2009, 323: 1688
- [21] Amati L, Frontera F, Guidorzi C. *A&A*, 2009, 508: 173
- [22] Sakamoto T, Barthelmy S D, Barbier L, et al. *ApJS*, 2008, 175: 179
- [23] Lin Y Q. *RAA*, 2009, 9: 682
- [24] Berger E, Kulkarni S R, Fox D B, et al. *ApJ*, 2005, 634: 501
- [25] Barthelmy S D, Chincarini G, Burrows D N, et al. *Natur*, 2005, 438: 994
- [26] Le T, Dermer C D. *ApJ*, 2007, 661: 394
- [27] Band D, Matteson J, Ford L, et al. *ApJ*, 1993, 413: 281
- [28] Kouveliotou C, Meegan C A, Fishman G T, et al. *ApJ*, 1993, 413: L101

## The Consistency Analysis of GRB Observational Data for Different Satellites

LIN Yi-qing

(*Department of Mathematics and Physics, Xiamen University of Technology,  
Xiamen 361024*)

**ABSTRACT** Gamma-ray bursts (GRBs) are the most violent events in the universe. The GRB satellite BATSE (Compton Gamma-Ray Observatory/Bursts and Transient Source Experiment) detected more than 2700 GRBs due to its wide energy coverage ( $\sim 25$  keV to  $\sim 1$  MeV) and all-sky viewing. Swift (Swift Gamma-ray Burst Explorer), a multi-wavelength detector, has refreshed our understanding of the nature of GRBs. Another mission Fermi (Fermi Gamma-ray Space Telescope) can measure the spectra in a very wide energy band (from 8 keV to more than 300 GeV). It opens a new era of observational astronomy in the energetic gamma-ray band. These three satellites together provide us a lot of GRB samples. In order to investigate whether they show any statistical difference, a systematic study on the properties of GRBs detected by these three instruments is presented. Our Swift sample includes the bursts detected by Swift/BAT before March 2010, Fermi sample includes the bursts detected by Fermi/GBM between August 2008 and March 2010. It is shown that, apparently, the amount of bursts with redshifts, the proportion of long bursts in total GRBs and the distribution of photon flux ( $\lg N - \lg P$ ) are significantly different. However, there

are no significant differences in the time duration  $T_{90}$  and the spectral hardness ratio. All the data of Fermi GRBs are in the energy range 8~1000 keV, much broader than that of Swift/BAT, which is 15~150 keV. In order to make a comparison between the  $\lg N - \lg P$  distribution observed by Swift/BAT and Fermi/GBM, we correct the observed peak fluxes of Fermi GRBs to the same energy band with the spectral information presented in the article. The result shows that the corrected  $\lg N - \lg P$  distribution observed by Fermi/GBM is also consistent with those observed by BATSE and Swift/BAT. The differences in the amount of GRBs with redshifts and the proportion of long events in total GRBs are due to the sensitivity of the instruments, that is, different instruments lead to the different observational properties of GRBs, while the nature of these GRBs may be the same.

**Key words** Gamma-ray burst: general, methods: statistical