

一颗与众不同的脉冲星 Geminga

程 凌 翔 李 惕 碚

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

摘 要

最近, 一个困扰人们达十几年之久的 γ 射线源 Geminga 被证认为 X、 γ 射线脉冲星, 其光学对应体也被确定为一颗光谱偏蓝的 25 等星。对 Geminga 脉冲星的确证说明存在着—类没有射电辐射的脉冲单星。与以往的评述文章不同, 作者从观测和数据分析角度介绍了人们对 Geminga 的认识过程以及有关的高能天体物理中时间分析的基本方法。

关键词 脉冲星: Geminga—X 射线源: 恒星 — γ 射线源: 观测

1 早期工作

早在对美国 SAS-2(Small Astronomy Satellite 2) 卫星的观测资料进行分析时, Fichtel 等人就指出: [1] 在反银心区域, 除去著名的 γ 源 Crab 以外, 还有一个银经介于 185° 和 200° 之间, 银纬略大于零的 γ 源。接着 SAS-2 组又报告了可能的 59s 周期调制 [2]。

欧洲空间局 γ 射线卫星 COS-B 上天, Geminga 被以 CG195+4 的名字列入 COS-B 源表 [3]。人们发现它的能谱非常硬, 在 100MeV 以上超过蟹状星云脉冲星而成为天空中第二强 γ 源。由于它是位于双子座 (Gemini) 的 γ 源, 科学家们把 Gemini 和 gamma 两个词组合在一起, 给它起名为 Geminga, 这个词在米兰方言中的意思是“不存在” [4]。这个名字多少反映了科学家们在弄清 Geminga 本质过程中的茫然心情。

SAS-2 组报告的 59s 周期调制, 后来先被 COS-B 结果所证实 [5], 又遭到后续 COS-B 观测的否定 [6], 因而曾经成为一个悬案。

随着 Geminga 发现之后而来的是大量的探索性工作, 人们在所有波段上对 Geminga 区域作细致的观测, 积累了一批有用的观测资料, 在其位置误差范围内有一个较强的 X 射线源 1E0630+178, Einstein 天文台上的高分辨成像探测器 HRI(High Resolution Imager) 将 1E0630+178 的位置定在 $3''.2$ 误差以内, 但由于统计量不够而无法确定其能谱是否为热辐射 [4,7,8]; 尽管在 Geminga 区域的射电源有十几个, 却没有一个落在 1E0630+178 的位置上 [9-11]; 光学观测则在 1E0630 +178 的位置误差范围内找到了代号为 G, G' 及 G'' 的三颗星, 其星等分别为 21, 24.5 和 25.5mag。G 由于被确证为一个冷白矮星而受到排

除^[12-13], 而 G'' 由于其光谱偏蓝而受到格外重视, 被认为最有可能是 Geminga 的光学对应体, 实际上这时连 1E0630+178 与 Geminga 之间的对应关系还未确定。

COS-B 数据把 Geminga 的位置准确到了 $0^{\circ}.4$ ^[3], 在 COS-B 及随后的 CGRO 数据所成的像中, 都明显地看到了 Geminga 的能谱比 Crab 更硬——在低能端几乎看不到 Geminga, 而在高能端则正好相反^[14-15]。在 Einstein 及 EXOSAT 卫星数据中都看到了 1E0630+178 可能的 59s 周期现象, 这似乎是 1E0630+178 与 Geminga 之间对应关系的一个佐证。将 SAS-2, COS-B, Einstein 及 EXOSAT 数据结合起来, 人们得到了一颗可能是 59s 周期调制, 且周期变率很大的脉冲星, 因而有人把 Geminga 与中国古代的一颗超新星 AD437 相联系^[16]。这些在当时是一个令人鼓舞的进步。

在观测者们积极工作的同时, 理论家们并没有沉默。为了解释 Geminga 的种种现象, 提出了形形色色的模型, 例如密近双星系统模型^[17]和白矮星绕黑洞旋转模型^[18]。其中以 Cheng 和 Ruderman 等人在中子星外间隙 (outer gap) 模型基础上提出的中子星演化规律对 Geminga 的解释较为引人注目^[19-21]。他们认为在中子星磁层中, 远离中子星的地方, 存在着一个外间隙以加速带电粒子, 从而给出高能辐射。更进一步, 他们认为中子星在演化过程中, 其周期会越来越长, 最后在周期达到 0.13s 附近熄灭掉, 不再有任何辐射。在他们的理论中, 蟹状星云脉冲星、船帆座脉冲星和 Geminga 分别代表着中子星演化的初期、中期及晚期, 所以 Geminga 应是周期在 0.13s 附近的中子星。

Geminga 吸引着众多的科学家。软 X 射线天文卫星 ROSAT 开始定点观测后即对它进行了观测。ROSAT 上的主探测器 (PSPC) 的探测能区低于 Einstein IPC, 但它的面积远远超过后者。ROSAT/PSPC 在三天的观测中共接收到 7000 多个来自 Geminga 的 X 射线光子, 这些事例使人们对 Geminga 的认识产生了一次飞跃。突破首先是从时间分析开始的。

2 高能天体物理中时间分析的基本方法

为了便于理解后来关于 Geminga 的一系列工作, 有必要先介绍一下时间分析中的一些基本方法。这里着重讲一下光子到达时间的太阳系质心修正和脉冲星的搜寻。

由于卫星绕地球、地球绕太阳的轨道运动, 卫星记录到的一系列来自某个天体的光子到达时间, 除了带有天体的时变信息以外, 还加上了上述两种运动的调制——周期信号将不再显示出周期性, 它们被畸变了。周期越短, 观测时间越长, 这种畸变越厉害。人们利用与太阳系质心相连的惯性系以消除卫星及地球运动的影响。从图 1 中可以看到: 将卫星记录到的事例时刻转化为光子到达太阳系质心的时刻只需进行如下计算:

$$t_c = t_s + \frac{\mathbf{r} \cdot \mathbf{s}}{c}$$

t_s 为光子到达卫星的时刻, t_c 为修正到太阳系质心的时间, \mathbf{r} 是源方向的单位矢径, \mathbf{s} 是从太阳系质心指向卫星的矢径。如果要求准到毫秒的时间精度, 上式右边还需加上一项广义相对论的修正。这项修正源于地面时钟的非惯性运动——我们不可能把时钟放到太阳系质心上。这项修正表现为如下形式:

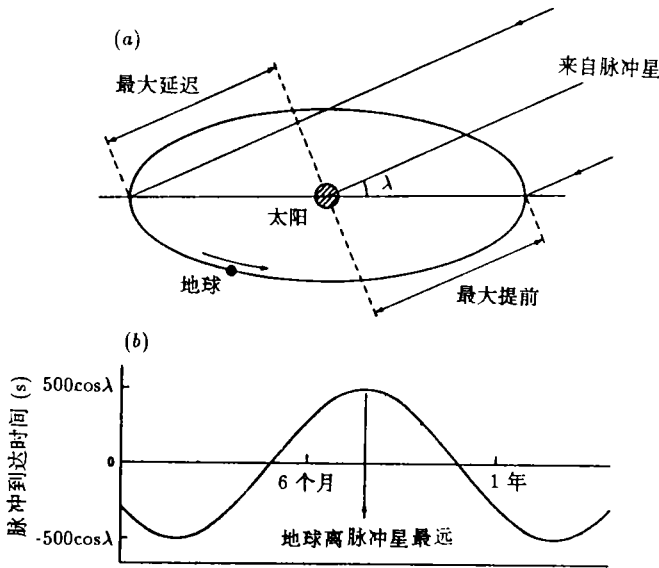


图 1 脉冲到达时间的太阳系质心修正
 从中可以看出所需的修正值呈现出以年为周期的变化^[40]

$$\Delta t_r = 0.001661 \sin l + 0.000028 \sin 2l \quad (\text{s})$$

l 表示观测时间在一年中什么时刻。从 1 月 1 日算起 (0°)，到年终 12 月 31 日为 360° 。修正中第二项最大为 $28\mu\text{s}$ 。这对于高能天体物理研究一般是不需要的。

作完上述修正后，就可以对修正后的光子到达时间进行周期分析。在 X、 γ 射线天文学中，寻找脉冲星实质上是频域中的参数搜索问题，主要有傅立叶分析和位相折叠搜索两种方法。两者从本质上是一样的，我们以折叠分析为例来说明。

设以 t_0 为时间零点，到达时间为 t_i 的光子的位相应是：

$$\varphi = f(t_i - t_0) + \frac{1}{2}(t_i - t_0)^2 + \frac{1}{6}(t_i - t_0)^3 \ddot{f}$$

其中守时参数 f ， \dot{f} 和 \ddot{f} 分别是脉冲星的自转频率及其对时间的一阶、二阶导数。从上式可以看出，对一次持续时间为 T 的观测，如果取 t_0 为观测起始时刻，那么当 f 或 \dot{f} 或 \ddot{f} 偏离真正的参数值 $1/T$ ， $2/T^2$ 或 $6/T^3$ 时，在观测始末点到达的两个同位相的光子其计算出的位相值差 1，这样脉冲星的位相结构就完全被打乱了。一般把 $1/T$ ， $2/T^2$ ， $6/T^3$ 称为对应于这次观测的 f, \dot{f}, \ddot{f} 的分辨率。

实际搜索中，在一定的范围内调整 f, \dot{f}, \ddot{f} 。对每一套参数统计各光子的位相值，并采用统计方法 (χ^2 检验、 Z^2 检验等) 判断这样的位相分布由本底涨落产生的可能性有多

大。如果有足够强的周期信号，则会在真实的守时参数值附近得到显著的位相分布。因为多次搜索之间是相互独立的，上面得到的涨落可能性必须乘以搜索步数，才是该脉冲信号的统计可靠性。

γ 射线的事例远比 X 射线稀少，为了搜集足够的光子必须观测很长时间 ($T \geq 10^6\text{s}$)。这给时间分析带来了很大麻烦，至少在两个方面是如此：

(1) 由于观测时间 T 长，各守时参数的分辨率均很小，搜索同样的参数范围所需的步数要多得多。

(2) 长时间的观测使 \dot{f} 及 \ddot{f} 的影响开始显现，对它们的搜索会大大增加搜索步数，因为各参数的搜索是互相独立的，它们的搜索步数必须相乘以构成总搜索步数。大量的搜索不但很费时，而且即使发现存在周期信号的迹象，其统计可靠性也会被大大降低。

这些原因使 γ 射线脉冲星的寻找从来都是以别的波段为指导的，包括射电与 X 射线。

3 近期工作

1992 年，Halpern 和 Holt 分析了 ROSAT 卫星记录到的 7000 多个来自 1E0630+178 的 0.07—1.5keV X 射线事例，在 237ms 周期附近发现强烈的调制现象。图 2 是他们得到的位相图，呈现出类正弦的调制形状，而且调制深度随能量的增加而减小。能谱分析则比较粗糙，他们发现无法用单一的幂律谱或黑体谱来拟合观测数据。另外，没有任何迹象表明存在着 60s 附近的周期。由于观测时间持续较短，只能给出周期变率 \dot{P} 的上限为 $2 \times 10^{-12}\text{s}\cdot\text{s}^{-1}$ [22]。

在 Halpern 与 Holt 发表他们的结果之前，CGRO 卫星已搜集了大量来自 Geminga 的 γ 光子，由于第 2 节中所述原因，无法作时间分析。

Halpern 和 Holt 的结果出来之后，拥有 CGRO、COS-B 甚至更早的 SAS-2 卫星数据的科学家们立即行动起来，因为他们早就相信 1E0630+178 就是 Geminga。CGRO 和 COS-B 的分析结果与 Halpern 和 Holt 的结果发表在同一期 Nature 杂志上 [23,24]。这两颗卫星的数据中都显示了极强的周期调制信号，尤其是在 CGRO/EGRET 数据中 (图 3)。同时由于观测时间足够长，分别都测出了其观测期间的周期变率 \dot{P} ，从而估算出 Geminga 的年龄为 $3.2 \times 10^5\text{yr}$ ，其表面磁场为 $1.6 \times 10^{12}\text{G}$ [24]。在长达 6.5yr 之久的 COS-B 观测期间，Geminga 像一颗普通的射电脉冲星一样，自旋减速非常稳定，似乎没有星

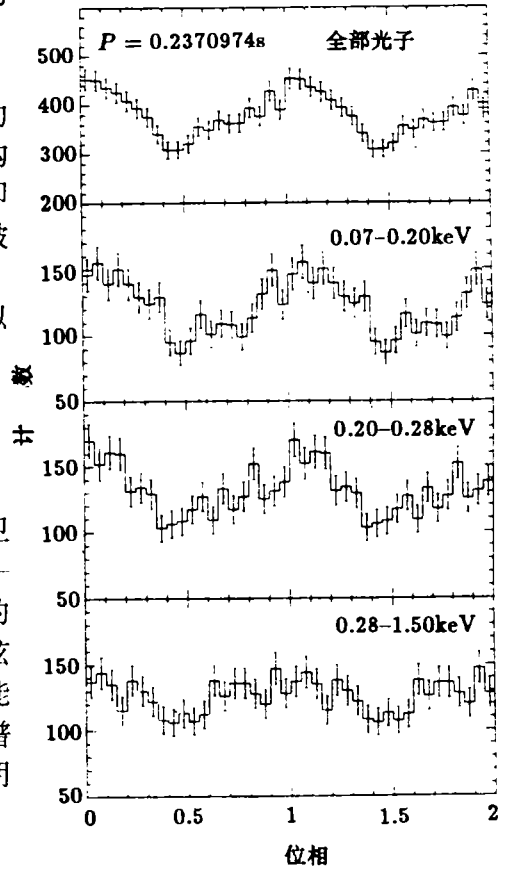


图 2 ROSAT/PSPC 得到的不同能段的 Geminga 的位相图 [22]

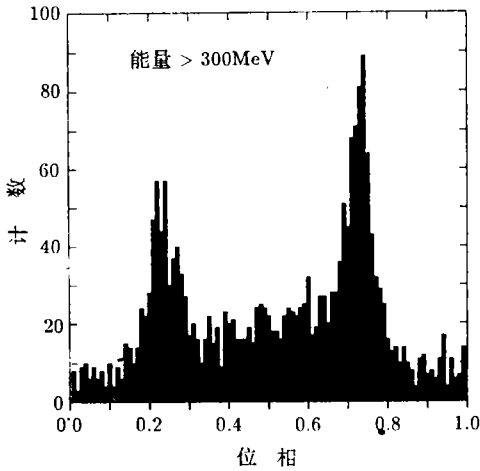


图3 CGRO/EGRET 数据中能量大于 300MeV 的来自 Geminga 的 γ 射线光子呈现的位相分布^[24]

震发生^[23,24]。人们对 Geminga 的守时性进行了更为细致的研究,结果出人意料:分布在 6.5yr 时间长度上的 5 次 COS-B 卫星观测数据,竟然可以用同一套参数进行折叠,各次观测之间位相差别小于 5ms^[25]。这对蟹状星云脉冲星和船帆座脉冲星是不可能的。后面还要提到,在进行了更仔细的分析以后,5ms 的位相差别还会减小,CGRO(1991—1992)跨度一年的数据也被进一步分析,结果发现 Geminga 的 \dot{f}/f 与 COS-B (1975—1982) 观测时的值没有什么变化,因此 CGRO 组的科学家认为,在 1975—1992 年之间 Geminga 自转变化十分稳定,没有星震发生^[26]。这与蟹状星云脉冲星和船帆座脉冲星的频繁星震形成对照。

毫无疑问,在 1975—1992 年之间 Geminga 的一系列发现促使着人们在别的波段又一次深入研究。尽管在射电波段没有什么大的作为,在光学波段却收获颇丰:1E0630+178 的可能的光学对应体 G'' 被发现具有每年 0''.17 的自行^[27]。从 X 射线和 γ 射线的数据可以将 Geminga 的距离确定在 150—400pc 范围内,这么大的自行非常引人注目。除了假定 G'' 是中子星,用超新星非对称爆发来解释以外,别的可能性都与观测结果有矛盾,这就间接地证明了 G'' 是一个中子星,它只能是 Geminga^[27]。

既然 Geminga 的 X、 γ 射线都有脉冲,尝试两者绝对相位比较当然是很有意义的。在 Einstein 卫星的数据中,曾看到来自 Geminga 的 0.03—0.16keV 的光子在预期频率点有单峰位相结构,但比 ROSAT 观测中的峰要窄。Einstein 卫星的观测在时间上正好位于 COS-B 观测之间,故可与 COS-B 数据作绝对位相比较。但由于 Einstein 卫星的绝对时间可能与 UTC 有 2.272s 的差别而使比较结果不确定^[28]。ROSAT 卫星与 CGRO 的比较,显示出软 X 位相的谷对应 γ 位相中桥区前的峰,而软 X 位相中的峰则对应于 γ 位相中桥区后的峰^[29](图 4)。

前面提到过 COS-B 6.5yr 中各观测的位相差异小于 5ms。这种差异很可能是由于对 Geminga 的位置知道得不够准确引起的。如果这种想法正确,则可以利用各次观测中绝对相位的比较来更精确地测定其位置^[30]。

COS-B 卫星对 Geminga 区域的观测主要有 5 次,在观测时地球都运行到春分点或秋分点附近。这种情况是为了保证卫星上太阳能电池的需要,但也提供了测量 Geminga 位置的可能性。计算表明,在质心修正中使用的赤经值与真实值之间 1'' 的差别,会导致春、秋分点附近的观测之间绝对位相相差约 4ms(假设真实的绝对位相在春分点与秋分点完全一致)。这使人想起了 COS-B 观测中的 5ms 绝对位相稳定度。我们使用了全部 5 次观测数据,导出了 Geminga 的平均赤经,误差为 0''.5^[30],这已经远高于 Einstein HRI

的结果。在这一结果鼓舞下，又进行了用 γ 数据测定 Geminga 赤经方向自行的工作。我们将春分点的诸观测与秋分点诸观测两两组合，测出许多不同时间 Geminga 的位置，通过线性拟合便得出了 Geminga 赤经自行分量为 $0''.22 \pm 0''.18 \text{yr}^{-1}$ ，这与通过拟合不同时间 G'' 的位置所得出的 G'' 赤经方向自行 $0''.17 \pm 0''.06 \text{yr}^{-1}$ 相一致，从而提供了 G'' 作为 Geminga 光学对应体的直接证据 [31]。

γ 脉冲星的模型工作仍在继续。现今最流行的 γ 脉冲星模型可分为极冠模型与外间隙模型两类。这两类模型的共同点在于都认为中子星的磁层中存在一个加速电子的间隙，电子受到加速后经过逆康普顿作用、曲率辐射以及同步辐射等一系列复杂的高能过程，最终给出所观测到的辐射。两者的区别主要是极冠模型认为电子的加速及辐射区均在在中子星表面或离表面不远的地方 [32]，而外间隙模型则认为所有的作用均发生在光速圆柱附近，与中子星的距离远大于中子星的半径 [19-21]。

在解释 Geminga 脉冲星的 γ 辐射时极冠模型遇到了困难。Geminga 的 γ 辐射一直延伸到 5GeV，这么高能的 γ 射线在穿过 $B \geq 2 \times 10^8 \text{G}$ 的磁场时会被吸收。而 Geminga 的表面磁场为 $1.6 \times 10^{12} \text{G}$ ，意味着 γ 射线产生区域至少应距中子星表面 20 倍于中子星半径 [34]。前面已经提到，外间隙模型已经预言了 Geminga 是 $P \sim 130 \text{ms}$ 的脉冲星，曾有人以 Geminga 的实际周期为 237ms 来反驳外间隙模型，但在天体物理理论中，这样的预言可以算是相当准确了。

Halpern 和 Ruderman [33] 认为 Geminga 是一颗磁轴与自转轴夹角为 65° 的脉冲星，其 X 射线辐射来自被高能粒子加速的极冠以及冷却的中子星表面。他们注意到 Geminga 的软 X 射线成份可以用 $T_1 \sim 100 \text{eV}$ 和 $T_2 \sim 500 \text{eV}$ 的两个黑体谱来拟合，而且两个黑体成份的发射区面积之比 $A_1/A_2 \sim 3 \times 10^4$ ，这和中子星表面积与极冠区面积之比 $\sim 10^4$ 相

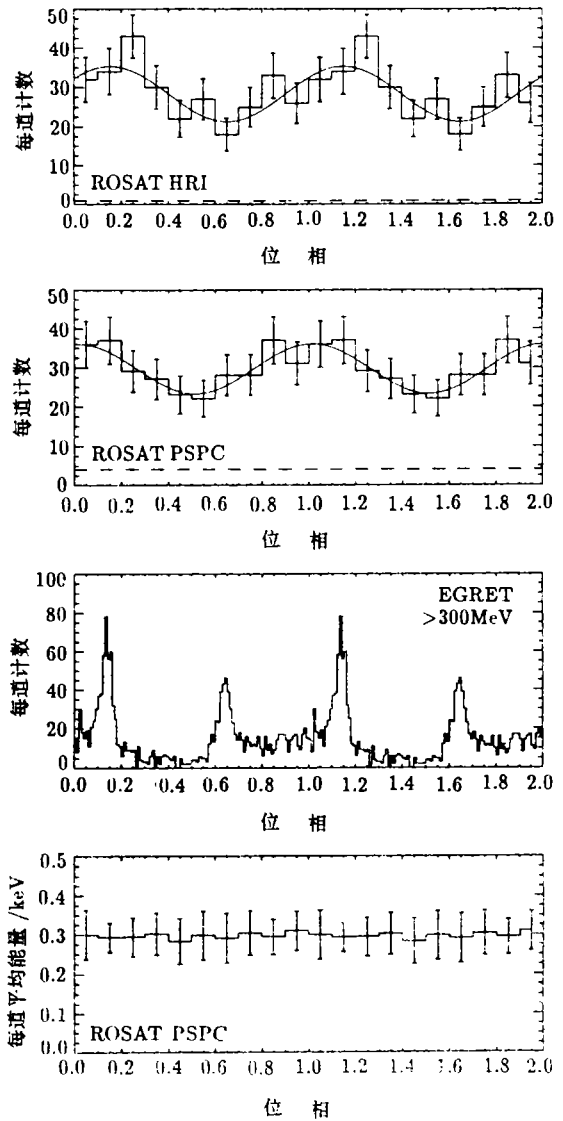


图 4 ROSAT 卫星与 CGRD 卫星的位相比较 [29]

仿。细致的谱分析给出的两个黑体成份的发射面积，分别与中子星总面积和极冠区面积相吻合。他们据此认为 T_1 成份来自冷却的中子星表面辐射，而 T_2 成份则来自于被加热的极冠。理论计算给出的两成份温度也与观测一致^[34]。

4 讨 论

Geminga 是由 X 射线数据引导用 γ 射线波段去寻找而找到脉冲星的第一个例子，在此以前所有的 γ 射线脉冲星都是在射电资料指导下发现的。现在还不清楚为什么 Geminga 没有射电辐射，但天空中可能会有第二颗、第三颗等类似 Geminga 的没有射电辐射的 γ 脉冲星，有的甚至可能连 X 射线辐射都没有。在 COS-B 源表中，除了 Geminga 外还有不少未知的 γ 射线点源，这些源中会有多少是脉冲星呢？现有的资料还无法回答这个问题，但 Geminga 的发现无疑是对科学家的鼓舞和启示。

Geminga 的光学对应体 G'' 显然是下一步研究的重点，由于它太弱，现在除了位置和光谱之外，人们对其了解还不多。就像船帆座脉冲星^[34]、蟹状星云脉冲星^[35]和 PSR0540-69^[36] 的光学对应体一样， G'' 应该也有光学脉冲。前面说过，Geminga 比蟹状星云脉冲星、船帆座脉冲星还要老，而蟹状星云脉冲星的光学脉冲与 γ 脉冲完全一致，船帆座脉冲星的光学脉冲的双峰比 γ 脉冲中的双峰靠得近一些，那么 G'' 又会是什么样呢？观测结果无疑将会促进人们对脉冲星辐射机制的认识。

既然 Geminga 与蟹状星云及船帆座脉冲星类似，只是年龄老一些，那么是否也能像这两者一样，找到产生 Geminga 的超新星爆发的遗迹呢？当然，由于自行较大，爆发地距现在 Geminga 的位置相当远。有理论认为 Geminga 的爆发是 local bubble 的起源，也就是其产生地应在 local bubble 的中心，按自行作线性反推似乎表明这是可能的^[37]。但有一点被忽略了：从 X 射线的吸收情况来看，Geminga 距地球至少有 270pc，而 local bubble 的中心距我们只有约 50pc，这就意味着如果 Geminga 是 local bubble 的起源，其径向距离从其诞生以来有了很多倍的变化，在刚诞生时由于径向距离短，自行比现在大得多。如果考虑了这个因素，Geminga 的爆发点不可能在 local bubble 的中心。

在脉冲星的观测及理论中，制动系数是一个很重要的参数，它是按如下公式计算的：

$$n = 2 - \frac{p\ddot{p}}{\dot{p}}$$

若假定脉冲星的辐射是偶极辐射，那么从理论上讲 $n=3$ ，目前已对三颗脉冲星进行了制动系数测量，它们是蟹状星云脉冲星 ($n=2.515\pm 0.02$)^[38]，PSR1509-58 ($n=2.8\pm 0.2$)^[39] 和 PSR0540-69 ($n=2.01\pm 0.02$)^[40]。测到的 n 值有些比 3 小，表明脉冲星的辐射不是偶极辐射，这很容易用脉冲星部分转动动能损耗是由带电粒子带离中子星远来解释^[40]。对于 Geminga，得到 $n \simeq 30-50$ ，这么大的 n 值被许多人认为只能是由于时间噪声造成的。但实际上 $n=3$ 的结论是在脉冲星表面磁场不衰减并且磁倾角不变的假定下得出的。目前尚没有很好的观测能判明中子星的磁场是否衰减，但许多科学家倾向于同意中子星磁场确实在减弱。关于磁倾角，有一些文章已经对此作过讨论并得出结论认为它是变化的。中子星衰减的磁场和变化的磁倾角都可能导致制动系数过大^[41,42]。

无论是外间隙还是内间隙模型，都必须有一个机制补充磁层中 e^\pm 对。这两种间隙是可以互相消灭的。郑广生等人曾指出对于特殊形状的表面磁场，外间隙会被内间隙消灭掉，因而不存在外间隙的 γ 辐射。同样，外间隙可以消灭内间隙，Halpern 和 Ruderman 指出一个 γ 束在穿过磁层时会被磁场吸收而转换为 e^\pm 对，这些 e^\pm 对会沿磁力线向极冠运动，同时它们由于同步辐射发出次级 γ 射线，次级 γ 又会被磁场吸收而转化为 e^\pm 对。这种级联过程会产生大量的 e^\pm 对。Halpern 和 Ruderman 计算了对于 Geminga 的情况，他们认为来自外间隙的 e^\pm 对足以消灭掉内间隙。如果内间隙被消灭，脉冲星就不会有射电辐射，Geminga 很可能就是这种情况^[33]。

COS-B 卫星曾发现了多个 γ 射线源，由于定位误差很大，至今其中很多还未弄清本质。CGRO 上天后，发现了更多的未知 γ 源。人们对这些源一直怀有浓厚的兴趣。Geminga 的发现给了人们一个启示：未知 γ 源中可能有不少是类 Geminga 的没有射电辐射的脉冲星。这个想法是否正确，有待 ROSAT 卫星对 γ 源区域的更多观测之后才能知道。

参 考 文 献

- [1] Fichtel C E *et al.* *Ap. J.*, 1975, 198: 163
- [2] Thompson D J *et al.* *Ap. J.*, 1977, 213: 252
- [3] Swanenburg B N *et al.* *Ap. J.*, 1981, 243: L69
- [4] Bignami G F, Caraveo P A, Lamb R C. *Ap. J.*, 1983, 272: L9
- [5] Bignami G F, Caraveo P A, Paul J A, Satotti L, Vigroux L. *Ap. J.*, 1987, 319: 358
- [6] Masnou J L *et al.* *Proc 12th ESLAB Symp.*, Frascati, 1977, ESA SP-124, 1977: 33
- [7] Masnou J L *et al.* 17th ICRC, Paris, 1981, 1: 177
- [8] Halpern J P, Tytler D. *Ap. J.*, 1988, 330: 201
- [9] Sieber W, Schlickeiser R. *Astron. Astrophys.*, 1982, 113: 314
- [10] Speltra T A, Hermsen W. *Astron. Astrophys.*, 1984, 135: 135
- [11] Caraveo P A *et al.* *Adv. Space Res.*, 1984, 3: 77
- [12] Sol H *et al.* *Astron. Astrophys.*, 1985, 144: 109
- [13] Halpern J P *et al.* *Ap. J.*, 1985, 296: 190
- [14] Mayer-Hasselwander H A *et al.* *Astron. Astrophys.*, 1982, 105: 164
- [15] Mayer-Hasselwander H A, Simpson G. *Adv. Space Res.*, 1982, 1: 89
- [16] Bignami G F *et al.* *Nature*, 1984, 310: 464
- [17] Nulsen P E J, Fabian A C. *Nature*, 1984, 312: 48
- [18] Bisnovatyi-Kogan G S. *Nature*, 1985, 315: 355
- [19] Cheng K S, Ho C, Ruderman M. *Ap. J.*, 1986, 300: 500
- [20] Ruderman M, Cheng K S. *Ap. J.*, 1986, 335: 306
- [21] Cheng K S, Ho C, Ruderman M. *Ap. J.*, 1986, 300: 522
- [22] Halpern J P, Holt S S. *Nature*, 1992, 357: 222
- [23] Bignami G F, Caraveo P A. *Nature*, 1992, 357: 287
- [24] Bertsch D L *et al.* *Nature*, 1992, 357: 306
- [25] Hermsen W. *IAU Cir.*, 1992, No. 5541
- [26] Mattox J R *et al.* *IAU Cir.*, 1992, No. 5583
- [27] Bignami G F, Caraveo P A, Mereghetti S. *Nature*, 1993, 361: 704
- [28] Cheng Lingxiang *et al.* *Acta Astronomical Sinica*, 1993, 34: 439
- [29] Becker W *et al.* *Astron. Astrophys.*, 1993, 273: 421

- [30] Cheng Lingxiang, *et al.* *Astron. Astrophys.*, 1993, 277: L13
[31] Cheng Lingxiang, Sun X J, Li Tipei. *Astron. Astrophys.*, submitted
[32] Daugherty J K, Harding A. *Ap. J.*, 1987, 300: 500
[33] Halpern J P, Ruderman M. *Ap. J.*, 1993, 415: 286
[34] Cocke W J *et al.* *Nature*, 1969, 221: 525
[35] Manchester R N *et al.* *M.N.R.A.S.*, 1980, 190:9p
[36] Middleditch J *et al.* *Ap. J.*, 1987, 315: 142
[37] Gehrels N, Chen W. *Nature*, 1993, 361: 706
[38] Lyne, A G *et al.* *M.N.R.A.S.*, 1988, 233: 667
[39] Manchester R N *et al.* *Nature*, 1985, 313: 374
[40] Lyne A G, Graham-Smith F. *Pulsar astronomy*. Cambridge: Cambridge Univ Press. 1990. 180
[41] Kuzmin A D, Wu Xinji. *Astrophys. Space. Sci.*, 1992, 190: 209
[42] Xu Wen, Wu Xinji. *Ap. J.*, 1991, 380: 550

(责任编辑 刘金铭)

A Strange Pulsar Geminga

Cheng Lingxiang Li Tipei

(*Institute of High Energy Physics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039*)

Abstract

Recently, a gamma-ray source Geminga, which has been mysterious for more than ten years, was identified to be an X and Gamma-ray pulsar. It's optical counterpart was also argued to be a star of magnitude 25 with blue spectrum. The existence of Geminga indicates that there exists a kind of single pulsars which have no radio emission. This paper introduces the improvement process of the knowledge about Geminga and the related fundamental method of time analysis in High Energy Astrophysics.

Key words pulsar:Geminga--X-rays: stars--Gamma rays: observation