

近 20 年来狮子座流星雨预报进展

吴 光 节

(中国科学院云南天文台 昆明 650011)

(中国科学院国家天文台 北京 100012)

摘 要

对近 20 年来狮子座流星雨的预报工作,进行了系统的阐述和分析。1998 年 Tempel-Tuttle 彗星的回归,再度带来了狮子座流星雨的观测热,也大大促进了对狮子座流星雨预报工作的研究与验证。有的研究在时间预报准确度方面已显示出其模型的优越性,有的在流星雨的强度方面显示出一定的准确度。指出了两大类不同的方法实际上是在三维空间强调了不同的方面。将不同方法的优势结合起来,可能会使流星雨的预报更加成熟。

关键词 流星雨:狮子座 — 流星雨:预报 — 流星雨:观测

分类号: P185.8

1 引 言

狮子座流星雨是历史最有名的流星雨。其观测记录最早可追溯到公元 902 年。在 1833 年的大爆发中,壮观的景象惊扰了建国不久的美国东北部的居民,每小时的流星计数高达 5 万以上;也是这次流星暴雨,使天文学家第一次注意到流星雨的辐射点现象^[1]。虽然这个“11 月流星雨”现象每年都要发生,但是通过 Newton^[2] 和 Adams^[3] 的工作,确定了狮子座流星雨有 33.25 yr 的周期性大爆发。据此 Newton 第一次成功地预报了 1866 年狮子座流星雨的再度爆发。随着 1865 年底和 1866 年初 Tempel-Tuttle 彗星的发现, Peters^[4] 等人发现了它就是造成狮子座流星雨现象的母彗星。这不仅仅使 Tempel-Tuttle 彗星成为继哈雷彗星之后、第二颗可预报回归的周期性彗星,并且也第一次建立了彗星与流星雨之间的联系。1966 年,狮子座流星雨发生了每小时流星计数高达 15 万的特大爆发,创下了最强的流星暴的记录。

狮子座流星雨的预报也出现过不少失误。1899 年和 1932 年,预报了的狮子座流星

本文曾在中国天文学会首届学术大会(2000 年 9 月,上海)太阳和太阳系大组会议上报告

国家自然科学基金(19653001)资助课题 中国科学院创新工程基金资助课题

2000-10-30 收到

暴并未出现,人们甚至怀疑 Tempel-Tuttle 彗星是否已经消失。1965年,虽然 Schubart 再次发现了该彗星^[5],但是天文学家并没有组织有效的流星雨观测。1998年,狮子座流星雨的峰值时刻比预报提前了16h,使不少观测者大失所望。的确,流星雨的预报还远不如人意。其原因有:①观测机会不多。狮子座流星雨尽管每年出现,但100yr内仅可能有3次爆发。②观测手段十分落后。在1799年以前,仅仅有文学性的描述。至今,目视观测仍旧是流星雨观测的主要手段。它直接记录的,一般只有时间、数量和星等。资料的欠缺导致无法作出准确的预报。③用于轨道计算的双站照相观测资料难以获得。至今,只得到几十颗狮子座流星的轨道参数。对 Tempel-Tuttle 彗星,也只有1866年、1966年和1988年3次回归的观测资料。④从彗星的喷发到与地球相遇,中间有许多物理过程还未被完全了解。⑤流星雨研究的意义并未被完全理解,因此在人力、物力的投入方面还不够。

仅仅根据33.25 yr的周期,认为“只要彗星回归,就会带来流星暴”的预报,在1899和1932年已被证明是不正确的。近20年来,特别是在1998年 Tempel-Tuttle 彗星再度回归的前后,流星雨的预报有了再发展和接受实践检验的机会。狮子座流星雨的预报工作长时间使用着对观测资料进行统计分析的图示方法。把彗星产生的流星群看作一个含糊的整体。力学计算,常常只用于对统计图进行定性的分析。直到1999年,才试图将力学计算与统计分析更加定量地结合起来。并且,将流星体与木星的共振引入了狮子座流星雨模型。含糊的狮子座流星群成为可以与喷发年代联系起来的单个彗星尾迹(trail)。发展了一套基于力学计算的新的预报方法。这套方法,起码在对于流星雨峰值时刻的预报上,获得了很大的成功。

2 Yeomans1981年的工作

著名天体力学专家 Yeomans(1981)^[6]使用了1865/1866年 Tempel-Tuttle 彗星回归时的51次观测资料,以及1965年的4次观测资料,在不考虑彗星非引力效应情况下,进行了轨道计算,平均残差仅有4.4";不过,反推至1699年的一次观测,结果峰值时刻相差了+7.3d。在去掉了5次观测质量较差的资料,并且考虑了非引力效应之后,使得1699年的峰值时刻相差最小。这样的轨道解进一步反推到1366年时,尽管轨道平均残差增加到15.4",其计算的近日点时刻与观测相差仅-0.34d。按照这样一个轨道解,他计算给出了公元902~1999年的地球过彗星轨道面时刻、该时刻超前或滞后彗星过降交点时刻的时间差 ΔT 、地球过彗星轨道面的结点至彗星降交点的距离($P-E$)等;并且归纳给出了历次彗星回归时流星雨的峰值时刻和目视观测强度。根据这些资料,绘出了以 ΔT 为横坐标、($P-E$)为纵坐标的二维分布图,他称之为尘埃粒子围绕母彗星的分布图(参见图6和图8)。结论是,较大(每小时计数 ≥ 100)的流星雨发生时间为 ΔT 不超过 ± 2500 d(7yr),而($P-E$)在-0.025 AU至+0.010 AU。发生流星雨的年份的点主要分布在第二象限,即从母体彗星向外向后的位置。这一结果与按照 McIntosh 公式^[7]

$$\frac{\Delta a}{a} = \frac{1}{1-e} \left[\beta \frac{1+e^2+2e\cos\nu}{1+e} + \frac{2ev_r}{V_q} \sin\nu + \frac{v_b}{V_q} (1+e\cos\nu) \right] \quad (1)$$

$$\frac{\Delta q}{q} = \beta \frac{(1 - \cos \nu)}{1 + e} - \frac{v_r}{V_q} \sin \nu + \frac{v_b}{V_q} \frac{(1 - \cos \nu)(2 + e + e \cos \nu)}{1 + e \cos \nu} \quad (2)$$

的结果定性一致。说明在粒子的动力学演化中, 太阳辐射压和行星的摄动的影响, 比抛射更加重要。由此他认为对小尘埃粒子 (辐射压与太阳引力之比即辐射压效率因子 $\beta \geq 10^{-3}$), 比较小的抛射速度 (5 ~ 20m/s) 是合理的。

至于对未来流星雨的预报, 他同意 McIntosh 的看法, 产生流星雨的粒子从彗星分离后, 大约只经历了 5 ~ 6 次回归。而 1998~1999 年的狮子座流星雨, 会有很好的、重要的显示 (significant display), 但仍不很确定。他认为地球过彗星轨道面的时刻大体上就是流星雨最强的时刻。

3 Wu(吴紫电) 和 Williams(1996) 的工作

伦敦大学的 Wu 和 Williams(1996)^[8] 根据 Tempel-Tuttle 彗星在 1965、1932、1899 和 1866 年的四次回归, 认为彗星 - 地球之间的最近距离并不是与流星雨大小有关的量, 而彗星降交点与地球轨道的距离 (即 Yeomans 的 $P-E$ 和本文使用的 $CEOS$) 可能是有用的预报参量。

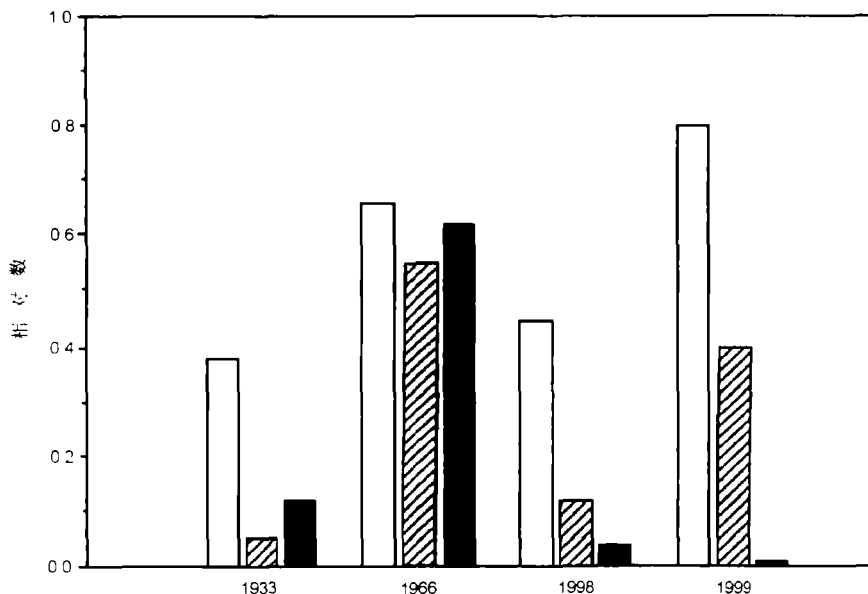


图 1 Wu 和 Williams 模拟流星体到达地球附近的相对数目^[8]

白框 — 粒子降交点离地球轨道距离小于 0.005 AU; 斜线框 — 粒子降交点离地球轨道距离小于 0.002AU; 黑框 — 粒子离地球最近的距离小于 0.005 AU

他们认为, 流星体的轨道半长轴和偏心率的改变主要是由彗星的喷发速度决定的 (这与 Yeomans 不一样), 在两体近似下并且不考虑太阳辐射压, 从活力公式可以推出

$$2v_{\text{comet}}v_b = \frac{887.14(a_m - a_c)}{a_m a_c} \quad (3)$$

由此计算得出狮子座流星群粒子抛射速度沿彗星运动方向的分量 v_b 的极大值为 0.83 km/s, 并在该文对 1965 年彗星回归的模拟计算中, 将粒子抛射速度的极大值采用了这一量级 (0.6km/s)。他们计算了彗星过近日点时随机抛射出 100 个方向呈高斯分布 (平均值沿彗星运动方向, 标准差 30°) 的粒子, 在不考虑非引力项的情况下证明了 1966 年狮子座流星雨的粒子不是当次回归抛射的。

类似的模拟计算结果给出图 1。对于每年与地球相遇的粒子, 仅考虑此前两次彗星回归中抛射的。由图可以说明, 对 1966 年, 这些粒子多数离地球很近。但是对 1998/1999 的预报是: 1998 年, 非常类似于 1933 年, 不过还稍差一点; 而 1999 年, 实际上没有任何试验流星体进入地球 0.005 AU 距离, 因此几乎什么也看不到 (few will be seen)。

4 Yeomans 等人 (1996) 的工作

Yeomans 在 1981 年文章^[6]的基础上又与 Yau、Weissman 合作重新进行了研究^[9]。他们再剔除了几次观测记录, 仅使用了 1865/1866 年的 48 次观测和 1965 年的 3 次观测记录, 并增加了 1699 年的一次观测, 这就使观测历元的跨度加长了。他们改进了计算程序, 使 1366 年的过近日点时刻的计算误差仅为 0.14d。新的计算提供了彗星公元 604~2530 年轨道解。因为 1866 年拍摄的光谱只有连续辐射和 C2 Swan 带, 而 1965 年的回归根本就没有进行光谱以及其它物理观测, 所以难以推断出比较好的尘埃产生率。根据计算, 从历次回归的近地点距离以及对星等的估计, 对历史记录进行了考证, 他们认为, 1366 年中国可能对该彗星进行过目视观测, 但更早的记录难以确定。

从历次回归的 *CEOS* 值来看 (实际上该文只强调了 *CEOS*), 在公元 8 世纪以前, 彗星的降交点远在地球轨道之外, 不可能观测到狮子座流星雨。 *CEOS* 值也被用于对 1998/1999 的预报: 本次回归的 *CEOS* 值十分接近于 1866 年和 1931 年的值 (还稍远), 而那两次流星雨的峰值强度分别为 5000/h 和 200/h, 据此推测这一次不会超出这一上下值范围。但 Wu 和 Williams 的预报 (几乎什么也看不到)^[7] 可能性也不能完全排除, 故他们在文章中仍然谨慎地使用了“期待有重要的表现 (Significant display should be looked for in both years)”和“给人印象深刻的表现 (hold the most promise for an impressive Leonid meteor display)”等用词。该文明确提出流星雨的峰值时间是在地球通过彗星轨道面时刻附近, 但是可能会相差几个小时 (Jenniskens 1996 年^[10] 认为比过近日点时刻要晚得多)。

5 Brown 1999 年的工作

加拿大的流星雨专家 Brown(1999)^[11] 首先仔细检查了 1799~1997 年狮子座流星雨的原始记录, 对每一次可能的流星暴发生的年份进行了认真的讨论, 确定了其极大值时刻及对应的日心经度、峰值强度和流星雨延续时间等。发现对于 1799~1966 年的 5 次大爆发, 其流星雨峰值时刻的日心经度总比彗星降交点日心经度大 (约 0.5~2 h)。但是在一般年份, 则相反的情况更多。他认为新的证据说明了最强的流星暴是非常年轻的。

他绘出了与 Yeomans(1981) 采用同样坐标的图^[6], 不过将坐标轴作了 180° 旋转, 绘制的范围也重点在于 1998~2000 年的点所经过的区域, 每年的强度值也是他重新确定的, 并且每个数据点标记流星雨的强度, 由此画出了复杂的等强度线(见图 2)。

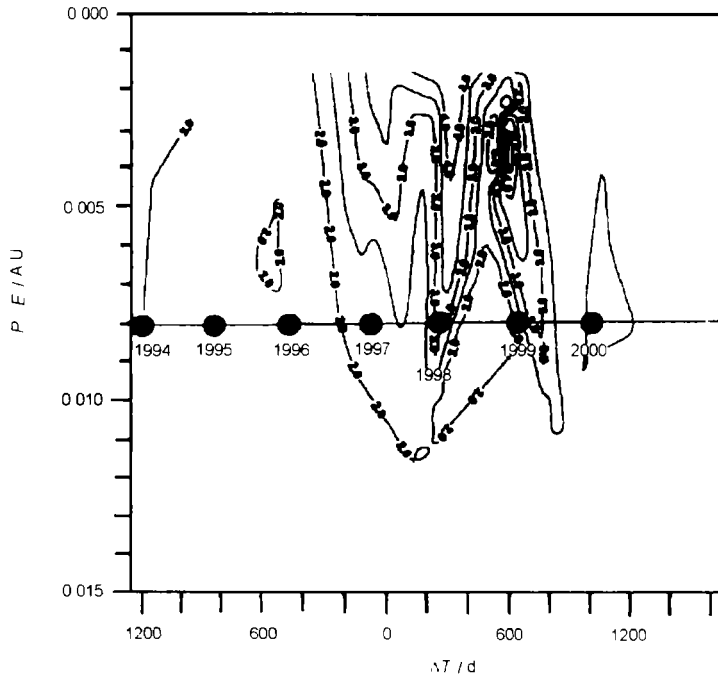


图 2 Brown 给出的与 Yeomans(1981) 类似的、表示尘埃围绕彗星的等强度图^[11]

等强度线上的数字是 ZHR 的对数值, 横坐标 ΔT 为流星雨峰值时刻与彗星过降交点时刻之差

根据这个图, 考虑本次回归彗星降交点至地球过彗星轨道面结点的距离(即 $P-E$, 由纵坐标给出)以及观测日期距彗星过降交点的时间(由横坐标给出), 由对应点处在等强度线图上的位置, 他对 1998/2000 年狮子座流星雨的预报是: 不会有像 1966 年那样强的流星暴, 但中等强度(modest)的流星暴可能会发生。具体地说, 1998 年的 ZHR(天顶每小时标准计数)峰值将达到 1000 的量级, 1999 年或许会稍微低一些。

6 Ferrin(1999) 的工作

委内瑞拉安第斯大学理论天体物理中心的 Ferrin 教授也根据历史的资料画出了等强度线图^[12], 见图 3。他的图看起来远没有 Brown 的那么复杂, 显得更有简单的规律性。其原始数据取自 Yeomans、Rao、Mason 和 Arlt 的文章。要从 1799~1998 年总共 23 个数据点来得到这样一张等强度图, 的确是不容易的。他认为最有意义的结果是发现存在一个强度上的“山脊”(图中虚线所示), 在此“山脊”带 ZHR 值可以达到 150 000/h。他并没有考虑强度在这条脊上随着 $P-E$ 的增大有什么减弱, 流星体的密度只随着离开这条脊的横向距离而衰减。

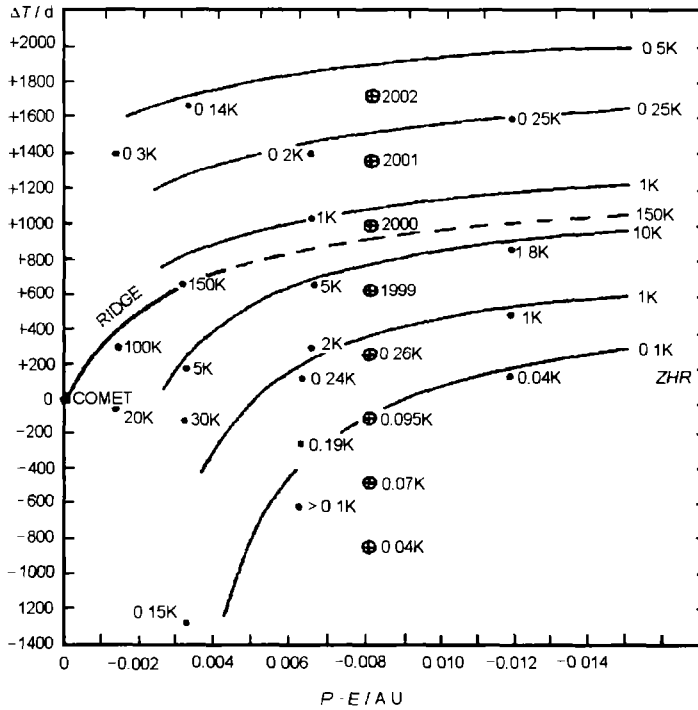


图 3 Ferrin 给出的与 Brown(1999) 类似的、表示尘埃围绕彗星的等强度图^[12]

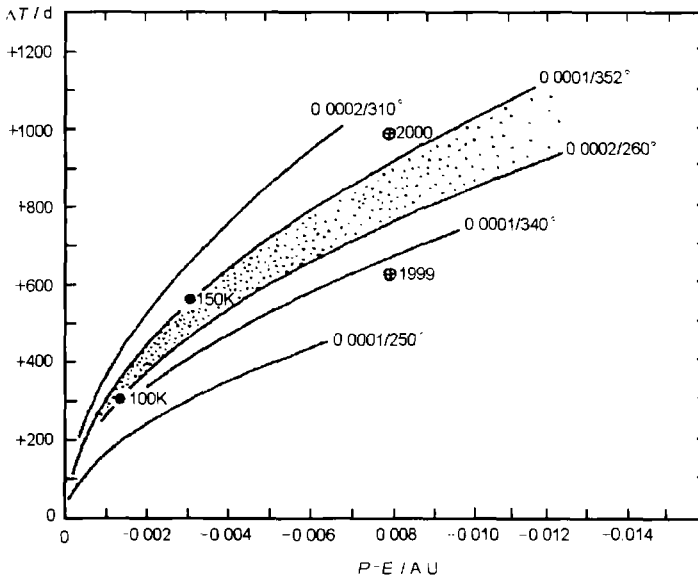


图 4 Ferrin 对图 3 的模拟计算结果，“山脊”（阴影区）的存在限定了 β 值^[12]
 每条曲线上标注的是粒子抛射时的“ β 值 / 近点角”

Ferrin 认为, 既然 McIntosh 的公式 (即本文公式 1 和 2) 给出了粒子的轨道参量, 也就可以确定粒子在任何时刻的位置。在他的模型里, 计算了不同大小的粒子的轨道改变。他选择了 Mukai 等人在哈雷彗星观测中得到的尘埃抛射的径向速度 $v_r = -4\text{m/s}$ ^[13]。并采用切向速度 $v_{\perp} = -1\text{m/s}$ 。这样小的抛射速度也与 Sykes 等人从 7 颗周期彗星得到的相符^[14]。计算表明, 由 1833 和 1966 年流星暴所形成的“山脊”限定了辐射压效率因子 β 应为 $0.0001 \sim 0.0002$ (见图 4 阴影区边界), 即相当于粒子直径 $1.1 \sim 0.57\text{cm}$ 。

尽管 Ferrin 使用的图与 Yeomans^[6] 类似, 但其等强度线简单明了, 可将力学计算定量地与强度“山脊”结合起来。他的计算给出了图 4。细致的计算和分析对本次流星雨的预报是: 1999 年, ZHR 值可能高达 $(3.5 \pm 1)\text{k}$ 。不过 2000 年将更强, 这是从彗星抛出的、经历了 12 次回归的粒子, 它使得 ZHR 值将达到 $(5 \sim 20)\text{k}$, 而且, 以亮流星居多。2001 年, 流星雨的 ZHR 值仍将有 400 ± 100 。至于峰值时刻, 他采用了从以前出现过的峰值的日心经度来外推的办法。

7 Asher 等人 (1999) 的工作

有关 1998 年的狮子座流星雨峰值时刻, 有的人认为预报是准确的。但无论如何, 最强的时刻的确比预报提前了 16 h。北爱尔兰 Armagh 天文台的年轻天文学家 Asher 等人 (1999) 的研究^[15] 表明, 这一群流星体是彗星在 1333 年 (即前 20 次回归) 喷发出来的物质。在他们的模型里, 抛射出来的粒子与木星处于 $5/14$ 的平均运动共振。计算表明, 彗星大约从公元 7 世纪起就进入了共振状态。抛射出的粒子群在共振作用下没有明显的弥散, 任一时刻均集中于平近点角约 10° 的范围内, 形成一个尘埃尾迹 (trail), 而彗星靠近其前端 (leading edge)。因此, 粒子群的密度可以与彗星在近期回归中喷发的粒子密度接近。由于彗星轨道运动与共振粒子群轨道间的较差进动, 使流星群的结构比较复杂。对 1333 年, 他们计算了在过近日点时刻抛出的 40 个大的尘埃粒子。发现, 如果粒子对彗星原有初始轨道半长轴改变 $\Delta a \approx -0.024\text{AU}$, 这一粒子群就将在 1998 年与地球相遇。这一改变量相应于粒子的抛射速度的切向分量 $v_{\perp} = -2.4\text{m/s}$ 。在 1998 年, 地球正好穿过 Tempel-Tuttle 彗星在 1333 年形成的尘埃尾迹的中心偏后一点。

关于木星与小天体的共振, 自 20 世纪 70 年代起, Marsden、Franklin 等人就已经就此对彗星进行了研究。90 年代, 已经有 Emel'yanenko、Asher 和 Jenniskens 等人对天琴座、金牛座、英仙座流星群的共振研究。这次, Asher 等人第一次将它应用于狮子座, 很好解释了“预报提前”的问题。他们曾预报: 1999 年的 11 月 18.1 日和 2000 年的 11 月 18.3 日, 将是狮子座流星雨的峰值时刻, 主要是 1932、1899 和 1866 年的彗星喷发物。1999 年流星雨的火球比例应属正常, 即不会象 1998 年那样多。

8 McNaught 和 Asher (1999) 的工作

澳大利亚国立大学的 McNaught 教授是从 1998 年 10 月才开始研究流星雨现象的。他

与 Asher 的研究 (1999)^[16], 依然从流星体粒子与木星的平均运动共振出发。他们认为, 过去在流星雨预报中的不确定性问题, 多在于对彗星的降交点位置 (经度和距离) 计算的准确度不够。他们在不考虑太阳辐射压的情况下, 仅考虑粒子在过近日点处被抛出, 并受到九大行星的摄动影响和与木星共振, 计算给出了 1798~2042 年地球与前 1~6 次彗星回归时的抛射粒子的交会条件。在他们的模型中, 各向同性的粒子抛射速度取为 $25 \cdot r^{-1}$ m/s (r 表示喷发粒子时彗星 - 太阳的距离, 以 AU 为单位), 因此粒子轨道半长轴的改变量 Δa_0 的分布近似于高斯分布。如果考虑粒子受到辐射压的影响, 将需要有比上述计算更小的半长轴, 粒子才可能与地球交会。比如, 对于 $\beta = 0.001$ 的粒子, a_0 需要再减少 0.2 AU。他们计算的峰值时刻与历史的记录符合得非常好, 与 Brown 给出的极大时刻最多仅差 7 min。在流星雨的观测强度上, 他们也采用了 Brown 的值^[11]。

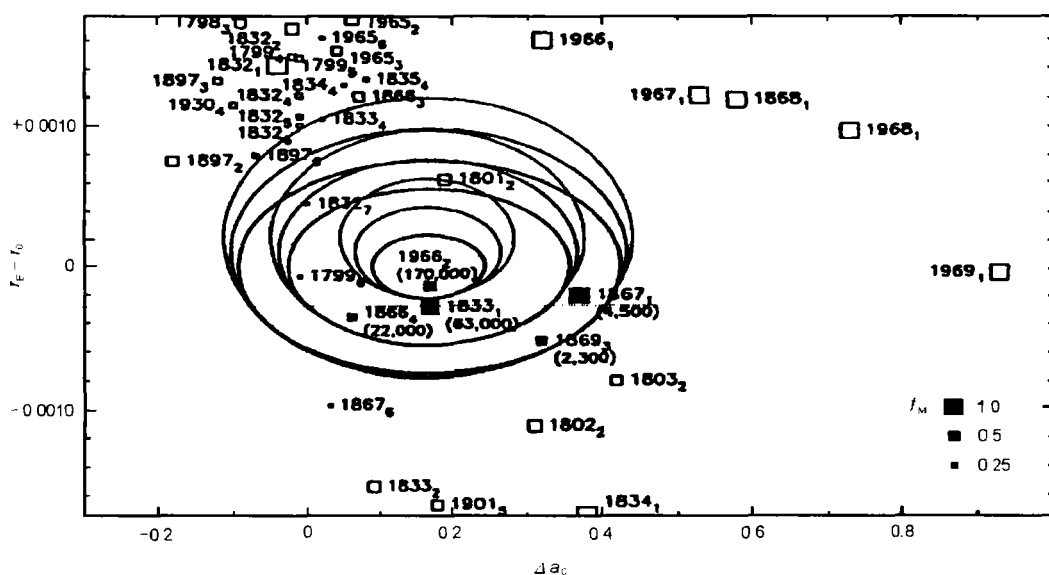


图 5 McNaught 和 Asher 给出的富有新意的图^[16]

由模型的计算结果, 绘出了图 5。这里主要给出模型计算结果的分布, 部分观测结果 (已归一化, 列在括号中) 以及对观测的模型拟合。横坐标表示抛射出的尘埃粒子与彗星两者的轨道半长轴的初始差值, 具有此 Δa_0 的粒子, 在所考虑的观测时间才会与地球相遇。纵坐标则表示这些粒子与地球相遇时, 地球的日心距与尘埃尾迹 (trail) 中心的日心距之差。各个计算的数据点以 (空心) 方框表示。其中 5 个实心框, 表示与此计算有观测到的对应的流星暴, 它们的归一化 (ZHR/f_M) 值列在括号中。 f_M 是引入的“平均近点角因子”, 它描述了尘埃尾迹动力学演化的弥散程度。因为尾迹会随着时间的推移变得弥散, 因此与越年轻的尾迹相遇, 暴的强度会更高。图 5 中, 无论对空心还是实心方框, 均采用三种大小表示 f_M 的不同值。经使用二维高斯轮廓对这 5 个观测数据点进行最小二乘拟合, 图中的三组圈分别代表假定高斯中心位于 r_0 、 $r_0 + 0.0001$ AU 和 $r_0 + 0.0002$ AU 所做的拟合 (r_0 为彗星的尘埃尾迹中心的日心距), 而每一组中的三个等强度线椭圆分别代表 (ZHR/f_M) = 10^3 、 10^4 和 10^5 。

将未来年份的点根据计算的二维坐标值绘入图中, 也就可以根据这些等强度线进行预报了。他们给出的预报见表 1。

表 1 McNaught 和 Asher 对于未来狮子座流星雨的预报^[16]

时间 (UT)	ZHR 估计	何年喷发物	月龄	最佳观测地区
1999-11-18 02:08	1 500	1899	10	欧洲, 中东, 非洲
2000-11-18 03:44	100 ~ 5 000?	1733	22	欧洲及非洲西部, 南美东北部
2000-11-18 07:51	100 ~ 5 000	1866	22	美国和加拿大东部, 大西洋
2001-11-18 10:01	2 500?	1767	3	美洲
2001-11-18 18:19	10 000 ~ 35 000	1866	3	亚洲东部, 西太平洋, 澳洲
2002-11-19 10:36	25 000	1866	15	美洲
2006-11-19 04:45	150	1932	28	西欧, 非洲西部

9 吴光节等人的工作

1998 年, 吴光节和张周生对狮子座流星雨进行了观测研究^[17], 在研究了 1981 年 Yeomans 的预报之后, 觉得不应满足于确定了流星暴主要发生在第二象限, 于是提出了一个范围更小的倾斜方框(图 6)区域作为流星暴的集中分布区^[18]。不过, 要从历来不良莠不一的观测资料中得到很好的等强度线图, 笔者认为比较困难, 且不一定可靠(如图 2, 很复杂)。当然, 我们也可以像 Brown^[11]那样, 将每个点标记上强度观测值, 并将这

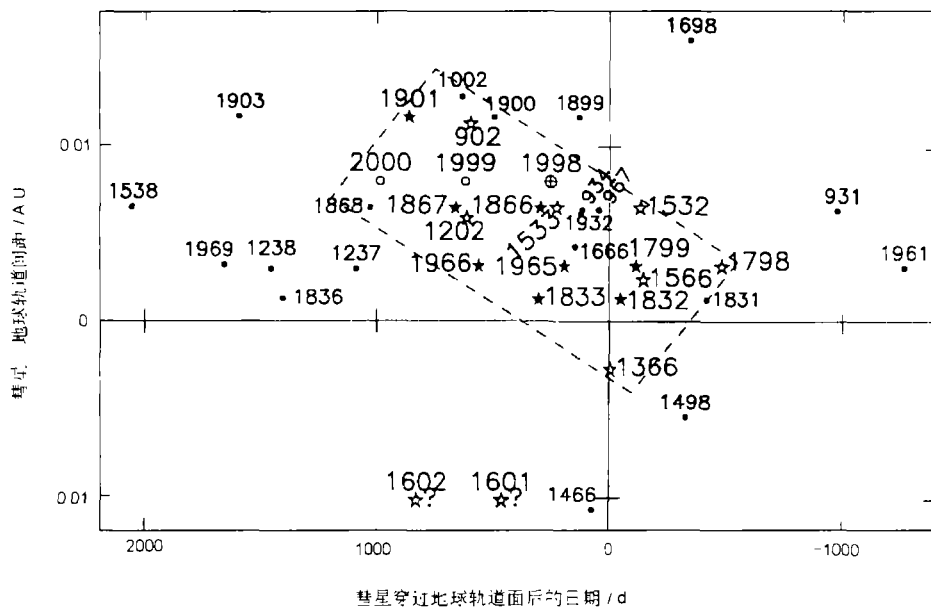


图 6 类似于 Yeomans 的狮子座流星雨分布图^[18]

增加画出了流星暴集中的—个倾斜方框区域

一区域分成若干个更小的区域, 仔细地进行分析^[26]。图6所示的方框的宽度大约为4 yr, 这正说明一次彗星回归期中, 一般来说, 强流星雨出现的时间不超过4 yr^[6]。方框左右边界的斜率大约为15 m/s。这说明要产生强流星雨, 不仅需要距离 *CEOS* 满足一定的值, 也不仅需要时间差 ΔT 满足一定的值, 而且需要 *CEOS* 和 ΔT 满足一定的正比关系。流星体粒子正是以这样一个平均速度从彗星到达地球进行交会的。这样一个速度相当于流星体半径 $r = 0.635 \text{ cm}$ 到 $r = 2.440 \text{ cm}$, 即 -1 到 -8 mag 的狮子座流星。根据这些流星雨的观测强度值的分布, 考虑各个观测数据点与周围点之间的关系, 吴光节认为1999年会观测到流星暴雨, 其 *ZHR* 值将为2000~5000。而2000年可能会有800~1500的强度^[18]。

10 讨 论

McNaught 和 Asher 的新类型的图(下称图类2)似乎比长期使用着的如 Yeomans、Brown 等的统计图(下称图类1)有更大的优越性。它一问世, 就以5 min 的误差精确地预报了1999年狮子座流星雨的峰值时刻^[19~21]。但是不好解释的是: 由图5, 1801年在西欧应当观测到 *ZHR* 可能达2500或15000甚至50000的流星暴雨。当晚在历史上也有过天文观测, 但却没有流星雨的记录。如果说1801年的事情否定了预报中的高限, 那么表1中未来几年也就只有预报的最低限了。McNaught 和 Asher 也注意到, 他们的文章在抛射机制和太阳辐射压两个方面仍有不确定性^[16,22]。何况, 他们有关1999年狮子座流星雨的强度预报仍旧与实际($ZHR = 3700$)^[20]相差较远。事实上, 在刚刚结束对1999年流星雨的观测时, 国际流星组织曾经报道过 $ZHR = 5400$ 的更高记录^[21]。以色列和瑞典的观测者都报道过长时间(可能长达45 min)、每秒钟看到2~3颗流星。Schneider 估计他在15 min 内观测到每小时计数率达4000~5000^[19]。因此, Ferrin^[12] 和吴光节^[18] 给出的预报值要准确得多。图类2的长处就是通过模型计算, 可以给出历次彗星回归形成的遗迹与地球交会的位置图。从这里, 既可知道流星雨发生的时刻, 又可大致估计它的强度。

那么, 图类1是否可以用于与模型计算的对比呢? 事实上, Ferrin 已经做过这样的工作。按照他的计算, 经历了12次回归的彗星喷发物将形成2000年的强流星雨^[12]。只不过, Ferrin 没有考虑到随着 *CEOS* 的增加, 粒子的密度, 也就是流星雨的强度应当有所减少。而且, 无论图类1还是图类2, 在采用了较小的彗星喷发速度(2~25 m/s)时^[6,12,15,16,18], 都能得出比较好的预报。而采用比较大的速度(几百 m/s)时^[8], 预报的结果就不那么准确了。

以前多认为强的流星暴粒子一定非常年轻, 一般最多经历了5、6次回归^[6,8,11]。现在尽管依旧认为流星群的粒子密度会随着时间的推移而减弱, 但计算表明, 在与木星共振的作用下, 这种减弱是缓慢的。即使没有明显考虑共振作用, Ferrin 对2000年的预报也指出是近400 yr 前的彗星喷发物。反之, Wu 和 Williams 有关当次回归的彗星喷发物不能形成流星雨的证明^[8] 却存在一些问题: ①认为在流星体粒子轨道改变中, 喷发速度的作用大于辐射压, 这只对很大的粒子才是正确的, 它与观测事实不符^[6]。②采用的

喷发速度看来太大。③喷发方向的平均值沿着彗星运动方向, 看来也有问题。

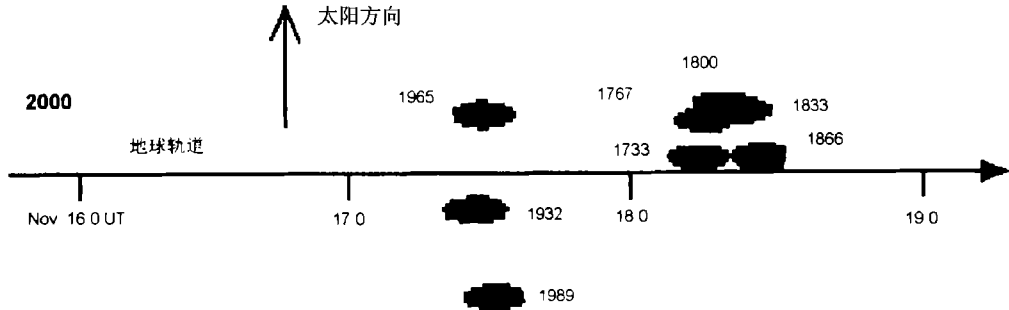


图 7 Asher 给出的形成狮子座流星体的彗星尾迹在地球轨道附近的分布^[19]

但是, 两类图考虑的粒子大小及其在彗星周围的空间分布形态可能是不同的。根据 Ferrin 的计算, 围绕彗星(坐标原点)的粒子空间分布形态就像是一个尘埃彗尾(见图 4)。Sekanina 和 Yeomans 新绘出的图(见图 8, 原图没有坐标标度数字)^[23], 其用微小的点表示的尘埃的分布区域, 看来与图 6 所示的倾斜方框十分相似, 而图 7 所示的则完全不同, 一条条互不靠在一起的彗星尘埃尾迹被地球轨道面切出大致相同的椭圆。国际流星组织的 Arlt 特别指出, 不要将地球与彗星尘埃尾迹(dust trail)的相遇与由小得多的粒子组成的彗尾(tail)混为一谈。尘埃尾迹是抛射的粒子近似地沿着彗星轨道的一个又细又长的尾迹, 它主要是由 1 mm 和更大的流星体组成^[14,23]。在 McNaught 和 Asher 的计算中, 主要考虑的是 $\beta = 0.001$ 的粒子与木星的共振作用, 而在计算中暂时忽略了太阳辐射压的作用。Yeomans 从观测与理论对比中得到的是 $\beta \geq 10^{-3}$ ^[6]。至于 Ferrin, 得到的是小一个量级的、 β 应等于 0.0001 ~ 0.0002 的粒子, 因此可能更接近于观测到的流星雨小粒子——它们也可能更象彗尾(tail)。

在流星雨模型计算中现在还没有考虑的一个因素是流星体的碎裂。在流星体从彗星喷发出来以后飞向地球的过程中, 直到到达地球的上层大气以后, 流星体都在不断地碎裂^[24]。最近对 C/1999 Linear S4 彗星所作的观测是难以想象的: 大山一样的彗星, 突然就碎裂成直径只有几 m 或几十 m 的若干小彗星, 或许这正是我们寻找的“彗星子”^[25]?

显然, 流星雨的预报仍有待时间的检验。在预报中, 使用比较科学的 ZHR 值已经逐渐替代了仅仅是文字的描述。何况究竟多强才算“暴雨”, 不少人只说“thousands”, 是一千还是二千呢? 未来几年给了我们进一步发展的机会。按照预报的最强值, 2000 年的 ZHR 值可能达到 20000^[12], 2001 年的 ZHR 值可能达到 30000 多, 2002 年的 ZHR 值也可能达到 20000 多……^[16], 观测结果肯定会进一步优化我们的模型。也许, 不同方法的综合, 在不远的将来, 就会给出很好的预报。

注: 此文定稿于 2001 年 1 月, 对于 2000 年的狮子座流星雨, 再次证明 McNaught 和 Asher 的时间预报^[16]是最好的。尽管对主峰的预报相差 40min 左右, 但 2000 年出现的 3 个峰值均在预报之中。不过对于强度, $ZHR \approx 420 \sim 450$ 的初步结果, 证明笔者“中等的”、“比 1998 稍强”^[18]的预报是最好的。

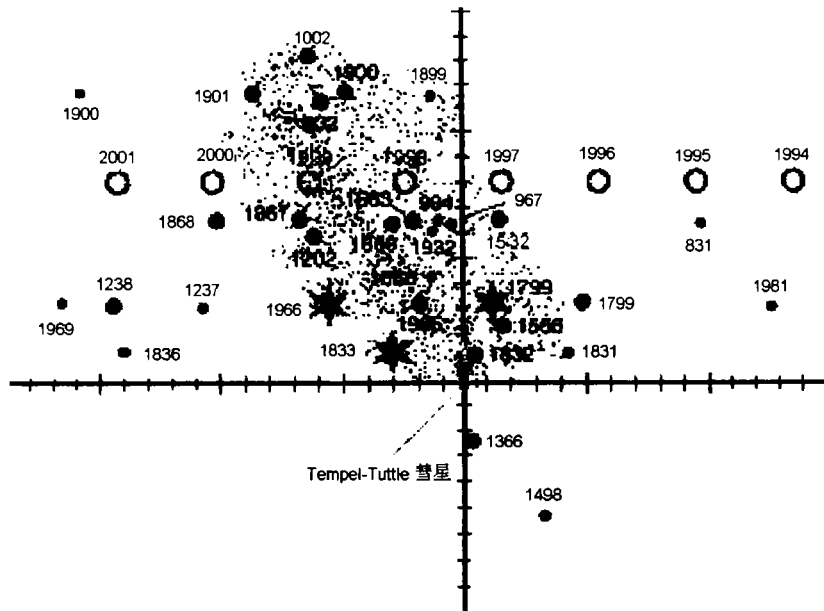


图 8 NASA 的科学网站引用的 Sekanina 和 Yeomans 新绘出的流星体粒子在彗星周围的分布图^[23]
其集中区域很像图 6 给出的方框

参 考 文 献

- 1 Olmsted D. Amer. J. Sci. Arts, 1834, 26: 132
- 2 Newton H A. Amer. J. Science (2nd series), 1864, 38: 53
- 3 Adams J C. M.N.R.A.S., 1866, 27: 247
- 4 Peters C F W. Astron. Nachr., 1867, 68: 287
- 5 Schubart J. IAU Circ, 1965, No. 1907
- 6 Yeomans D K. Icarus, 1981, 47: 492
- 7 McIntosh B A. NASA SP-319, 1973, 193
- 8 Wu Z, Williams I P. M.N.R.A.S., 1996, 280: 1210
- 9 Yeomans D K, Yau K K, Weissman P R. Icarus, 1996, 124: 407
- 10 Jenniskens P. Meteorit. Planet. Sci., 1996, 31: 177
- 11 Brown P. Icarus, 1999, 138: 287
- 12 Ferrin I. Astron. Astrophys., 1999, 348: 295
- 13 Mukai T, Mukai S, Fechtig H et al. Adv. Space Res., 1985, 5: 339
- 14 Sykes M V, Lien D J, Walker R G. Icarus, 1990, 86: 236
- 15 Asher D J, Bailey M E, Emel'yanenko V V. M.N.R.A.S., 1999, 304: L53
- 16 McNaught R H, Asher D J. WGN, 1999, 27(2): 85
- 17 Wu G J, Zhang Z S. Earth, Moon and Planets, 1998 (published in 2000), 81: 193
- 18 Wu G J. Chin. Astron. Astrophys. (Letters), 1999, 23: 268
- 19 Rao J. Sky and Telescope, 2000, Jun: 30
- 20 Arlt R. WGN, 1999, 27(6): 286
- 21 Gyssens M. <http://www.imo.net/leo99/leo99index.html>, November 18-20, 1999

- 22 Fischer D. *Sky and Telescope*, 2000, Jun: 38
23 Phillips T. http://science.nasa.gov/newhome/headlines/ast17nov99_2.htm, 1999
24 Phillips T. http://science.nasa.gov/newhome/headlines/ast16jul99_1.htm, 1999
25 Phillips T. http://science.nasa.gov/newhome/headlines/ast07aug00_1.htm, 2000
26 吴光节. 天文学报, 2001, 42: 125

Progress of Predicting in the Leonid Meteor Shower

Wu Guangjie

(*Yunnan Observatory, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650011*)

(*National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100012*)

Abstract

The predicting of the Leonid meteor shower in history, especially during recent 20 years, has been expatiated and analyzed systematically, including the contribution of the author. The recent return of Comet 55P/Tempel-Tuttle in 1998 has push not only observational activities on the Leonid meteor shower, but also the research and verification about its prediction. Up to now, some predictions about maximum time of showers have shown very high veracity, and some predictions apparently have made mighty advantages in intensity of the shower. It seems these two kinds of method accentuate different aspects of the meteor swarm in 3-dimentional space. The combination of their success of different methods will make the predictions more maturate.

Key words Meteor shower—Leonids—prediction—observation