

1998 年 11 月 17 日狮子座流星雨的 次声观测 *

苏 昉

苏 晓

(石油大学(北京)基础科学系 北京 102200) (北京信息工程学院计算机科学与技术系 北京 100101)
1999 年 11 月 11 日收到

摘要 采用三台 CSH-1 型次声接收器,在北京昌平区布置了一个次声测量三点阵,并观测到 1998 年 11 月 17 日狮子座流星雨产生的次声波 P-t 曲线和波速波向图。借助快速富立叶变换,分析 P-t 曲线的波形得到次声的三维动态谱。频谱分析结果表明:(1)各流星产生的次声波大都很短暂,持续时间在 1-5 分钟内;(2)流星次声波的周期大都在 40-408 秒内,少数在 1-480 秒内;(3)在 11 月 17 日 19:21-20:41 期间流星次声波仍很密集,20:41 后它们才变得越来越稀疏,恰与肉眼观测相符合;(4)流星次声波的振幅彼此相差很大,较弱的在 5-10 Pa 以下,中等的在 10-20 Pa 之间,较强的在 20-40 Pa 以内(如 11 月 17 日 19:20-20:41 以及 11 月 18 日 1:06、2:45、3:59、5:41、6:11、6:20 左右),最强的两个在 11 月 17 日 19:31 和 20:07 前后分别达到 75 Pa 和 50 Pa。并对此结果给出了解释。本文为流星天文学研究提供一种新方法和有用的科学数据。

关键词 次声波,三点阵,三维动态谱,狮子座流星雨

Infrasonic observation of meteor shower from Leo on November 17, 1998

Su Fang¹ Su Xiao²

¹(Department of Basic Sciences, University of Petroleum (Beijing), Beijing 102200)

²(Department of Computer Science and Technology, Beijing Information Technology Institute, Beijing 100101)

Abstract A tripartite array for infrasonic measurement in Changping county, Beijing was arranged, using three CSH-1 infrasonic receivers. The infrasonic signals (P-t curve and wave vector) produced by the meteor shower from Leo on November 17, 1998 were observed. With fast Fourier transform, the waveforms of P-t curve were analyzed and corresponding dynamic three-dimensional spectra were obtained. The analytic results show: (1) Infrasonic waves produced by meteor are mostly very short, lasting one to five minutes; (2) Periods of the infrasonic waves range mostly from 40 to 408 seconds with a few from 1 to 480 seconds; (3) During 7:21 p.m. to 8:41 p.m. (Beijing time) on Nov. 17,

* 石油大学(北京)科研基金资助项目,批准号: 99-I-02

the infrasonic waves were much denser. After 8:41 p.m. waves became more and more sparse; the phenomenon conformed with observation with naked eyes; (4) Amplitudes of infrasonic waves from individual meteors differ significantly from each other—weaker ones below 5–10 Pa, medium ones within 10–20 Pa, and stronger ones within 20–40 Pa (during 7:20 p.m. to 8:41 p.m. on Nov. 17 and around 1:06, 2:45, 3:59, 5:41, 6:11, 6:20 a.m. on Nov.18). Two of the strongest ones reach 75 Pa and 50 Pa around 7:31 p.m., 8:07 p.m. on Nov. 17. An explanation of the above results was given. This observation will provide a new method and useful scientific data for research in meteor astronomy.

Key words Infrasonic wave, Tripartite array, Dynamic three-dimensional spectra, Meteor shower from Leo

1 引言

流星雨是珍贵的天象奇观。狮子座流星雨曾在 1833.11 及 1866.11.12 爆发,但在 1899 年和 1933 年却没露面。(可能坦普尔·塔特尔彗星受土星或木星吸引而偏离轨道)。1966 年它在北美和中美中西部再现 14 万颗 / 小时,堪称“流星暴”。它时隐时现,引人深思。根据天文学家的计算,狮子座流星雨将在 1998 年 11 月 18 日凌晨 2–4 时出现。但在那时在北京郊区有数千人冒着 -8°C 的寒冷天气用肉眼仅仅看到数十颗。此外,各流星出现的位置亦相对分散,所以他们只能被称作“零星小雨”。

根据互联网上的消息,在 1998 年 11 月 17 日 12 时(北京时间),狮子座流星雨的最大值已被捷克当地的雷达测到——它达到每小时约 2000 颗。流星雨已比预报提前 14 小时降临,但此刻在北京恰是正午,天空太明亮以至无法用肉眼观察流星雨。此外,白天刮大风,它可能产生风次声干扰。为避免干扰,我们在 11 月 17 日 19 时(北京时间)风停息后才开始次声测量,虽然错过了这场流星雨的最大值,但仍测到后半过程,得到比肉眼观测更多更准确的信息。本文为流星天文学研究提供一种新方法和一些有用的科学数据。

2 实验装置与方法

测量仪器采用 CSH-1 型电容式次声接收

器。它由中国科学院声学研究所制造。它的特性曲线示于图 1。所测的频率范围从 0.001 Hz 到 1 Hz。

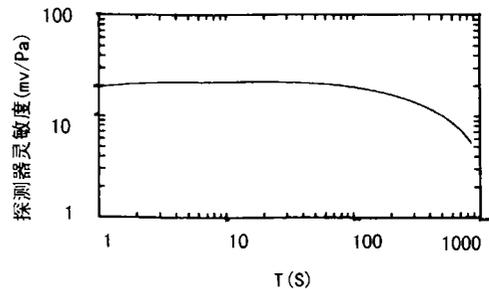


图 1 CSH-1 型次声接收器的频率响应曲线

我们布置了三台接收器用作次声测量的三点阵,如图 2 中所画。次声接收器 A 被放在松园宿舍——昌平区内石油大学(北京)校园的东北角。次声接收器 B 被放在后勤楼——校园的东南角。次声接收器 O 被放在基础馆——校园的西边。OA=984.5 m。OA 与正北方向的夹角 $\alpha=27.626^{\circ}$ 。OB=500.3m。OB 与正北方向的夹角 $\beta=138.017^{\circ}$ 。AB=1251m。我们的次声测量三点阵尺度与北京中关村次声接收三点阵^[1]大小相当。

A、B、O 三点探测到的信号都通过校园电话线同时输送给 586 计算机的 A/D 转换卡。次声接收器将次声波的声压转变为信号电压。A/D 卡完成模-数转换并给出脉冲信号电压。我们将其乘以探测器的灵敏度(本实验

中为 0.050 Pa/mV), 就得到 P-t 曲线— 次声压随时间的变化。采样周期选择每秒 1 次。借助计算机我们能每天 24 小时测量和记录 P-t 曲线。接收器 A、B、O 在同一时间测到的 P-t 曲线的不同波形能被一起展示在计算机屏幕上, 如图 3 所示。图中绿线、白线和红线分别对应接收器 O、A 和 B 的波形。

因为同一源发出的次声波到达接收器 A、B 和 O 有先有后, 我们可利用此接收时间差并计算出次声波的传播方向和速度, 每分钟给出一个波速波向图, 如图 4 所示。经核实, 本三点阵测到的波向与 18 日凌晨 2-4 时用肉眼观察到流星落下的方位互相符合。由此有力地证明了所测次声波就是流星产生的次声波。

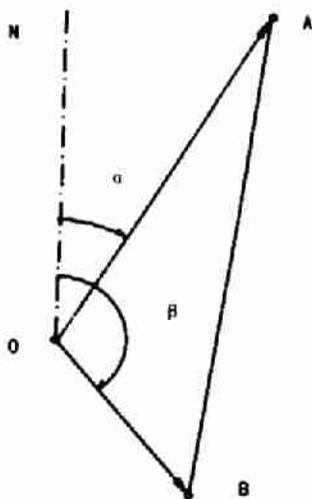


图 2 次声测量的三点阵

3 结果与讨论

让计算机对 P-t 曲线的波形做快速富里叶变换, 得到每一种频率对应的能量值, 即相应的次声波三维动态谱, 如图 5 所示。图中横坐标代表时间, (时间间隔: 60 分钟), 纵坐标表示测到的次声波周期 (单位: 分)。深浅不同的颜色代表测到的次声波振幅范围 (单位:

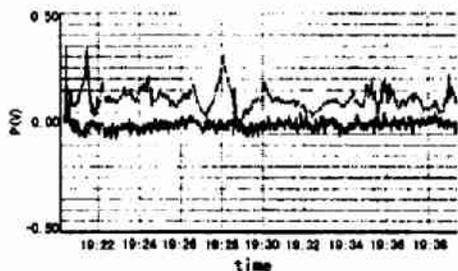


图 3 1998 年 11 月 17 日 19:20-19:40 期间从三点阵测到的次声 P-t 曲线

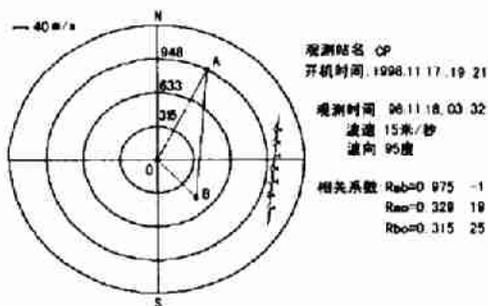


图 4 1998 年 11 月 18 日 3:32 从三点阵测到的次声波波速和波向

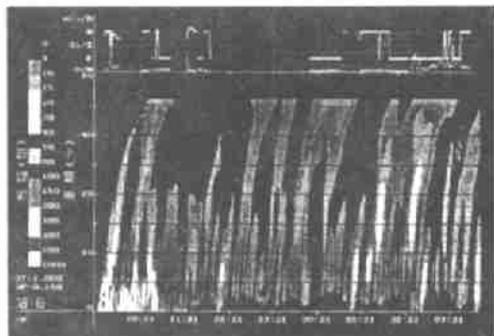


图 5 1998.11.17. 19:30 至 18 日 4:00 期间流星次声波的三维动态谱

Pa)。*(淡兰色: 5-10Pa, 湖绿色: 10-15Pa, 白色: 15-20Pa, 粉红色: 20-30Pa, 黄色: 30-40Pa, 深棕色: 40-50 Pa, 豆沙色: 50-80Pa, 紫色: 80-100Pa, 浅咖啡: 100-150Pa, 草绿色: 150-200Pa, 银灰色: 200-300Pa), 从图 5 发现: 振幅较强的流星次声波大都是周期较短, 集中在 5 至 10 分钟以下。

* 因经费所限, 未印彩色图谱, 如需看彩图, 请与作者联系, 可通过互联网传输彩图。

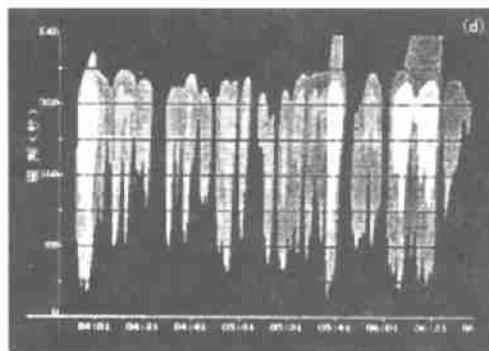
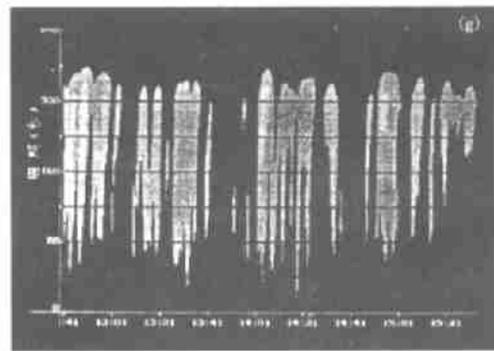
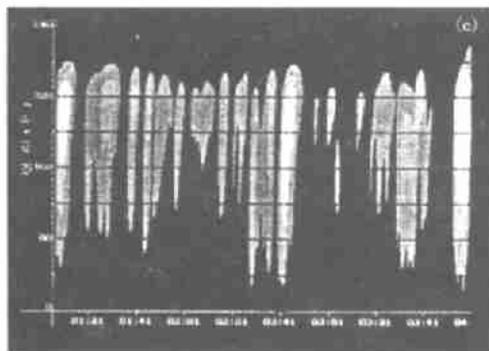
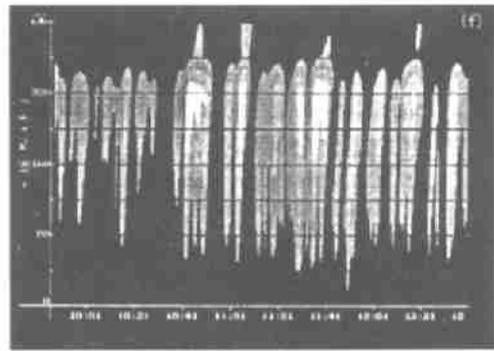
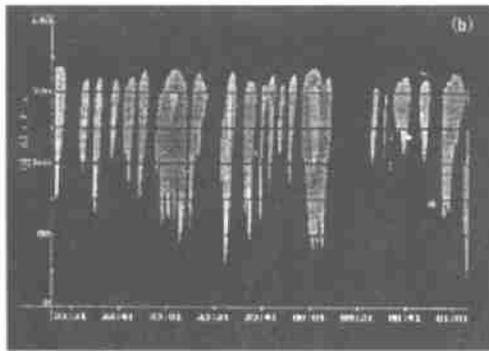
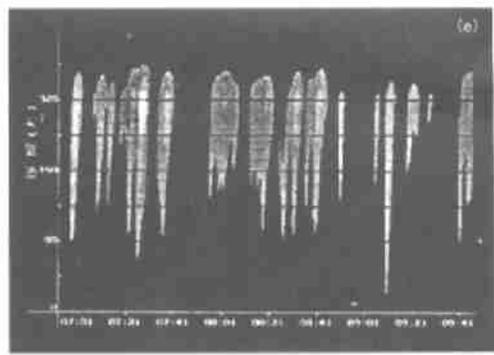
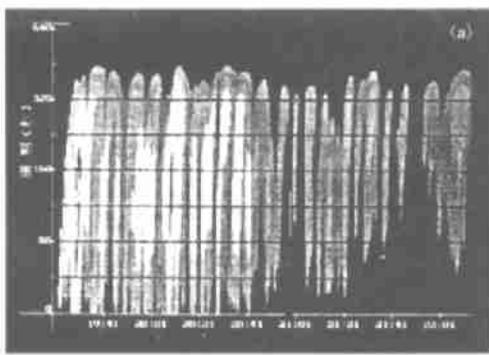


图 6 1998 年 11 月 17 日狮子座流星雨次声波的三维动态谱

- | | |
|------------------------|-----------------------|
| (a) 19:21-22:11 | (b) 22:11-1:10(11.18) |
| (c) 1:10-4:01(11.18) | (d) 3:50-6:01(11.18) |
| (e) 6:50-9:51(11.18) | (f) 9:51-12:41(11.18) |
| (g) 12:41-15:41(11.18) | |

轴上的时间间隔从每格 60 分变为 20 分, 并把纵坐标轴上的周期范围从 65 分缩小到 640 秒。经过傅立叶变换得到流星雨次声波的三维动态谱, 画于图 6(a-g)。(图 6 的振幅范围表示法与图 5 相同)

频谱分析图 6 表明, 流星雨次声波有以下四个特点:

为了更仔细地研究流星次声波的特征, 重新选择横纵坐标范围进行计算。这次将横坐标

(1) 各流星产生的次声波大都是持续时间很短的, 在 1-5 分钟内。更长的持续时间可明显看出是由于两、三个流星次声波的重迭而形成。它们大大不同于气象次声所产生的、长达十几分至几十分、仿佛一片云的那些谱^[2]。次声波持续时间短反映出以下事实: 当流星穿过大气层时它们很快烧光了。流星产生的次声波亦随之消失, 故而很短暂。细长条谱形进一步证实测到的确是流星的次声波。

(2) 流星次声波的周期绝大部分在 40-408 秒内 (见图 6.b-g), 在 19:21-20:41 有少数在 1-480 秒内 (见图 6.a)。此结果亦不同于 Las Alamos 国家实验室关于 1996 年 10 月 4 日火流星的次声观测报告^[3]。D.O.Revelle 等人观测到占优势的信号周期 $T=1.25-5$ 秒。流星冲击波的发展严格依赖于火流星插入大气层的深度。这反过来又取决于火流星的组成、进入角度、大小、速度和磨削速率等。我们知道至少五种不同的独特的组成, 它们的拉伸和压缩强度范围从非常强 (镍铁材料) 到极弱的易碎的彗星材料 (冰水物质)^[4]。当地球穿过坦普尔·塔特尔彗星轨道时宇宙尘以每小时约 70km 的高速冲入大气层形成流星雨。测到比 1.25-5 秒更长的周期很可能与极弱的彗星材料组成有关。

(3) 在 11 月 17 日 19:21-20:41 期间流星雨的次声波仍挺密集。20:41 后次声波才变得越来越稀疏。而在 11 月 18 日凌晨 2:00-4:00 期间, 一共约 30 个波。因为同时落下的几颗流星有可能生成同一个次声波, 故此数目与顺义县、兴隆县和昌平区的肉眼观察报道 (2-4 时划过天空的流星仅有数十颗) 相符合。此外, 经长达 21 小时测量, 测到次声波个数由密变疏, 振幅由强变弱, 两者都很符合最高峰后逐步衰减的过程。这些再一次充分证实所测到的确是流星雨的次声波。

(4) 各流星次声波的振幅彼此相差甚大。较弱的在 5-10 Pa 以下 (用浅蓝色表示), 中等的在 10-20 Pa 之间 (用绿、白色表示), 较强的在 20-40 Pa 以内 (用粉红、黄色表示, 如 11 月

17 日 19:21-20:41 及 11 月 18 日 1:06、2:45、3:59、5:41、6:11、6:20 左右), 我们测到最强的两个在 11 月 17 日 19:31 和 20:07 前后分别达到 75 Pa (豆沙色) 和 50 Pa (深棕色)。

流星次声波振幅为何相差如此大? 可解释如下: 首先, 流星的能量越大, 则流星产生的次声波振幅越强。因此振幅的强弱直接与流星不同的质量大小 (m)、飞行速度 (v) 等动能因素有关。其次如 (2) 所述, 流星产生的冲击波还受进入大气层的角度、流星的组成材料及磨削速率等因素影响。已知在上千公里厚的大气层中, 由于气温随高度增加而出现两个温度极小值, 从而形成两个次声通道^[5]。大气下声道离地面约 18km, 在对流层与平流层之间。大气上声道离地面约 85km, 在中间层与热层之间。一般流星在 87km 左右烧蚀。流星产生的次声波均能进入大气上声道, 沿大气的声波导传播得很快, 能量损失最小, 故地面能收到振幅中等的流星次声波。若个别流星体很大, 或组成材料耐高温, 磨削速率小, 离地面 20km 才烧光, 则此流星次声波就会进入大气下声道传播。地面上收到它的振幅将会格外加强了。

4 结论

(1) 根据: (a) 测到次声波的波向与流星落下的方位一致; (b) 测到次声波持续时间均很短, 与流星很快烧光相符合; (c) 测到次声波个数由密变疏, 与雷达及肉眼观测相吻合, 由此确认观测结果是狮子座流星雨的次声波。

(2) 次声波测量, 白天黑夜 24 小时皆可进行。次声方法可克服白天无法用肉眼观测流星雨的缺点。若加改进, 增添抗干扰措施, 次声测量可望发展成为流星天文学观测的重要手段之一。

(3) 1998 年 11 月 17 日狮子座流星雨, 既没有象 1899 年和 1933 年悄悄失踪, 又没有象 1966 年形成极密的“流星暴”。看来, 地球轨道与坦普尔·塔特尔彗星轨道可能仍有某种

偏离。也可能宇宙尘在彗星轨道上不按圆柱形分布,而是按麻花状分布,边缘稠密而中央稀疏,即可造成流星雨提前。预报不准,说明认识不足,有待今后更多的研究。

(4) 流星雨次声波具有上述 4 条特征,为今后每年 11 月继续观察提供了参考数据。

参 考 文 献

- 1 谢金来, 谢照华. 声学学报, 1996. 21(1): 56-61.
- 2 李启泰, 谢金来, 杨训仁. 气象学报, 1993. 51(3): 361-368.
- 3 ReVelle D O, Whitaker R W, Armstong W T. "Infrasonic Observation of bolides on October 4,1996", Proceedings of International Infrasound workshop for CTBT Monitoring, Santa Fe, New Mexico, U.S.A, August 25-28, 1997. 1-12.
- 4 ReVelet D O. "Bolides as Explosive Infrasonic Sources: CTBT Implications", Proceedings of International Infrasound Workshop for CTBT Monitoring, LA-UR-98-56, France, March 12-15, 1998. 581-624.
- 5 屠焰, 赵树卿. 奇异的次声. 北京: 科学出版社, 1979. 46-50.

征文通知

Day on Diffraction' 2000
一年一度的国际学术研讨会

由圣彼得堡大学, Steklov 数学学院圣彼得堡分会和欧拉国际数学学会, 联合佛罗伦萨大学与密歇根大学共同主办。

时间地点: 2000 年 5 月 29 日—6 月 1 日. 圣彼得堡, 俄罗斯.

指导委员会

V.M. Babich, Steklov Math. Inst., St. Petersburg
V.S. Buldyrev, St. Petersburg Univ., St. Petersburg
G. Pelosi, Univ. of Florence, Florence, Italy
J.L. Volakis, Univ. of Michigan, Ann Arbor, USA

本地组委会

I.V. Andronov(发布)
V.E. Grikurov(秘书)
A.P. Kiselev, M.A. Lyalinov,
E.V. Novikova(签证办理)

报告内容

波传播的数学方面	V.M. Babich, S.Yu. Dobrokhotov(俄罗斯)
渐近技术中的新方向	G. Manara(意大利), V.S. Buldyrev(俄罗斯)
典型的衍射问题	V.P. Smyshlyaev(英国), G. Pelosi(意大利)
非平滑障碍物上的衍射	Giraud(法国), A.H. Serbest(土耳其), J.M. Bernard(法国)
电磁波分析技术	R. Tibrio(意大利)
水声学	G. Makrakis(希腊), N.S. Grigor'eva(俄罗斯)
流体力学	N.G. Kuxnetsov(俄罗斯), J.R. Ockedon(英国)
弹性波与地震	A.P. Kiselev(俄罗斯)
板、壳与振动	P.E. Tovstik(俄罗斯)
非线性现象	A.M. Samsonov(俄罗斯)
非稳态现象	V.V. Borisov(俄罗斯)
其它	V.E. Grikurov(俄罗斯)

为了及时办理签证手续, 有必要尽早注册. 鼓励交注册费, 但现阶段不要求.

(本刊讯)