

# 用卫星CH<sub>4</sub>通道监测地震前兆的可能性\*

赵高祥 汪宏七

(中国科学院大气物理所, 北京, 100029)

**摘要:** 通过辐射传输计算研究了大气CH<sub>4</sub>浓度增加与大气顶处于CH<sub>4</sub>吸收带通道中出射辐射的关系, 指出选用适当的CH<sub>4</sub>通道可在卫星上监测到地震前大气中CH<sub>4</sub>浓度的增加, 从而有可能作为一种地震前兆监测的手段, 用于预报地震.

**关键词:** 卫星, 甲烷, 地震前兆.

## 引言

地震前出现地面异常增温是带有普遍性的现象, 这种地面异常增温作为临震前兆指标对地震预报是十分有用的<sup>[1-3]</sup>.

在地震前另一个普遍观测到的现象是孕震区地球大量放气<sup>[1,4]</sup>, 其中包括CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>等气体的浓度有明显的增加. 表1给出了唐山, 滦县, 河间和渤海4次地震前, 北京地区大气中CH<sub>4</sub>浓度增加的测值. 由表1可见, CH<sub>4</sub>浓度在地震前显著超过大气中的正常

表1 唐山、滦县、河间和渤海地震前, 北京地区地面大气CH<sub>4</sub>浓度(ppmv)的变化  
Table 1 Variations of atmospheric CH<sub>4</sub> concentration near ground in Beijing before four earthquakes in Tangshan, Luanxian, Hejian and Bohai

地震		北京CH <sub>4</sub> 浓度测值								
唐山91年5月30日	日期(月.日)	5.21	5.29							
M5.1, Δ180 km	CH <sub>4</sub> (ppmv)	2.92	2.36							
滦县91年7月27日	日期(月.日)	7.9	7.10	7.11	7.16	7.19	7.23	7.24	7.25	7.26
M4.6, Δ200 km	CH <sub>4</sub> (ppmv)	5.4	6.2	3.1	9.3	4.5	5.6	3.0	3.16	2.6
河间91年8月10日	日期(月.日)	7.28	7.29	8.2	8.3	8.4	8.5	8.6	8.8	
M3.8, Δ158 km	CH <sub>4</sub> (ppmv)	4.5	3.59	4.43	3.28	3.2	2.7	3.7	3.9	
渤海91年9月2日	日期(月.日)	8.13	8.21	8.31						
M4.6, Δ400 km	CH <sub>4</sub> (ppmv)	3.6	3.2	3.65						

表中M代表震级; Δ代表震中离北京测站的距离.

本文1992年7月26日收到, 修改稿1993年4月10日收到.

\* 国家自然科学基金资助项目.

值(约 1.7 ppmv), 因此, 它有可能作为一种临震前兆指标进行地震预报, 并有可能在卫星上利用适当的通道对地震前  $\text{CH}_4$  浓度的增加进行监测和用于地震预报.

## 1 数值试验

为了考察大气  $\text{CH}_4$  浓度增加对通道出射辐射的影响, 利用 LOWTRAN7 方法<sup>[5]</sup>, 对  $\text{CH}_4$  3.3  $\mu\text{m}$  带的 2880~3225  $\text{cm}^{-1}$  和 7.66  $\mu\text{m}$  带的 1200~1380  $\text{cm}^{-1}$  范围, 计算了光谱宽度为 20  $\text{cm}^{-1}$  的通道, 在不同大气状况下大气顶的出射辐射强度, 结果表明, 在这 2 个吸收带中, 以 3015  $\text{cm}^{-1}$  和 1300  $\text{cm}^{-1}$  为中心的通道对  $\text{CH}_4$  浓度增加的响应最大. 在表 2 中给出了对 3 种模式大气和各层上温度系统增加或减少 2 K, 以及大气中水汽密度为各模式大气 0.7 和 1.2 倍时, 在这 2 个通道中垂直方向的出射辐射强度. 表 2 中 ATM 表示大气; TRO、MLS 和 MLW 分别为热带、中纬夏季和中纬冬季时的大气;  $\text{H}_2\text{O}$  为大气中水汽密度, 是模式大气水汽密度的倍数,  $DT$  为各层中温度与模式大气的温度差.  $I(3015)$  和  $I(1300)$  为以 3015  $\text{cm}^{-1}$  和 1300  $\text{cm}^{-1}$  为中心的通道的辐射强度, 单位为  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{cm}^{-1})$ ; a、b、c 和 d 分别表示正常  $\text{CH}_4$  浓度、整个大气中  $\text{CH}_4$  浓度加倍及 5 km 以下和 2 km 以下大气中  $\text{CH}_4$  浓度增加 2 倍时的情况. 括号内的数值为由于  $\text{CH}_4$  浓度增加引起的辐射强度相对于正常情况下减少的百分比. 表 1 的测量结果表明, 地震前  $\text{CH}_4$  浓度可成倍增加, 表 2 和表 3 表示利用在卫星上设置的中心在 3015  $\text{cm}^{-1}$  和 1300  $\text{cm}^{-1}$  通道进行辐射测量, 可清楚地反映出地震前  $\text{CH}_4$  浓度的增加, 尤其是 3015  $\text{cm}^{-1}$  通道的响应更为显著. 表 3 给出了热带大气 (TRO), 中纬夏季大气 (MLS), 中纬冬季大气 (MLW), 高纬夏季 (SAS)

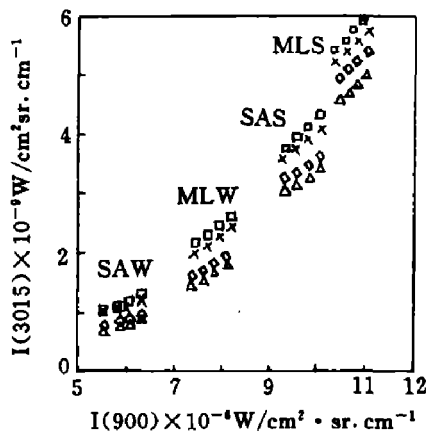


图 1 对 4 种模式大气在地面增温和  $\text{CH}_4$  浓度增加时, 辐射强度  $I(900)$  和  $I(3015)$  的变化

Fig. 1 Variations of radiances  $I(900)$  and  $I(3015)$  corresponding to increased surface temperatures and  $\text{CH}_4$  concentrations in four model atmospheres

和高纬冬季大气 (SAW) 中, 大气  $\text{CH}_4$  浓度变化引起的 3015  $\text{cm}^{-1}$  和 1300  $\text{cm}^{-1}$  通道亮温的变化, 表 3 中  $T_b$  为亮温,  $DT_b$  为 c 与 a 情况下的亮温差. 对 3015  $\text{cm}^{-1}$  通道, 亮温差一般都在 2 K 左右, 而 1300  $\text{cm}^{-1}$  通道则在 1 K 左右. 这种亮温差在现有的测量精度下是完全可以识别的.

## 2 讨论

在 NOAA 卫星上的 11  $\mu\text{m}$  窗区通道已被用来监测地震前地面异常增温, 进行临震预报<sup>[2,3]</sup>, 通过数值模拟结果可见,  $\text{CH}_4$  7.66  $\mu\text{m}$  带和 3.3  $\mu\text{m}$  带的 1300  $\text{cm}^{-1}$  和 3015  $\text{cm}^{-1}$  通道, 尤其是 3015  $\text{cm}^{-1}$  通道, 可对地震前大气  $\text{CH}_4$  浓度显著增加进行有效监测, 与窗区通道监测地面温度相比, 受天气系统干扰小, 在不同的晴空大气状况下, 都能明确反映出  $\text{CH}_4$  浓度的增加, 因而在卫星上设置这样的通

表 2 不同大气下的辐射强度  $I(900)$ ,  $I(1300)$  和  $I(3015)$   
 Table 2 Radiances  $I(900)$ ,  $I(1300)$  and  $I(3015)$  corresponding  
 to different atmospheric conditions

ATM			TRO						
H <sub>2</sub> O	DT (K)	$I(900) \times 10^{-2}$ W/(m <sup>2</sup> ·sr·cm <sup>-1</sup> )	$I(3015) \times 10^{-5}$ W/(m <sup>2</sup> ·sr·cm <sup>-1</sup> )				$I(1300) \times 10^{-2}$ W/(m <sup>2</sup> ·sr·cm <sup>-1</sup> )		
			a	b	c	d	a	b	c
1.0	0.0	11.0	6.16	5.21	5.55	5.89	2.35	2.15	2.29
				(15.4)	(9.9)	(4.4)		(8.5)	(2.6)
0.7	2.0	11.4	6.96	5.84	6.17	5.56	2.46	2.25	2.38
				(16.1)	(11.5)	(5.7)		(8.5)	(3.3)
1.2	2.0	10.9	5.95	5.04	5.37	5.69	2.29	2.11	2.24
				(15.3)	(9.8)	(4.4)		(7.9)	(2.2)
1.2	-2.0	10.6	5.75	4.89	5.23	5.54	2.29	2.11	2.24
				(15.0)	(9.0)	(3.7)		(7.9)	(2.2)
0.7	-2.0	11.0	6.58	5.55	5.91	6.28	2.44	2.24	2.37
				(15.7)	(10.2)	(4.6)		(8.2)	(2.9)
ATM			MLW						
H <sub>2</sub> O	DT (K)	$I(900) \times 10^{-2}$ W/(m <sup>2</sup> ·sr·cm <sup>-1</sup> )	$I(3015) \times 10^{-5}$ W/(m <sup>2</sup> ·sr·cm <sup>-1</sup> )				$I(1300) \times 10^{-2}$ W/(m <sup>2</sup> ·sr·cm <sup>-1</sup> )		
			a	b	c	d	a	b	c
1.0	0.0	7.42	2.14	1.82	1.90	2.02	1.61	1.49	1.55
				(15.0)	(11.2)	(5.6)		(7.5)	(3.7)
0.7	2.0	7.68	2.38	2.00	2.06	2.21	1.67	1.53	1.60
				(16.0)	(13.4)	(7.1)		(8.4)	(4.2)
1.2	2.0	7.65	2.22	1.88	1.94	2.07	1.61	1.49	1.55
				(15.3)	(12.6)	(6.8)		(7.5)	(3.7)
1.2	-2.0	7.17	1.98	1.70	1.78	1.90	1.58	1.46	1.53
				(14.1)	(10.1)	(4.0)		(7.6)	(3.2)
0.7	-2.0	7.19	2.09	1.78	1.87	1.99	1.62	1.50	1.56
				(14.8)	(10.5)	(4.9)		(7.4)	(3.7)
ATM			MLS						
H <sub>2</sub> O	DT (K)	$I(900) \times 10^{-2}$ W/(m <sup>2</sup> ·sr·cm <sup>-1</sup> )	$I(3015) \times 10^{-5}$ W/(m <sup>2</sup> ·sr·cm <sup>-1</sup> )				$I(1300) \times 10^{-2}$ W/(m <sup>2</sup> ·sr·cm <sup>-1</sup> )		
			a	b	c	d	a	b	c
1.0	0.0	10.4	5.45	4.63	4.99	5.31	2.30	2.12	2.23
				(15.0)	(8.4)	(2.6)		(7.8)	(3.0)
0.7	2.0	10.7	6.10	5.14	5.37	5.91	2.40	2.20	2.32
				(15.7)	(12.0)	(3.1)		(8.3)	(3.3)
1.2	2.0	10.5	5.35	4.54	4.79	5.19	2.26	2.09	2.20
				(15.1)	(10.5)	(3.0)		(7.5)	(2.7)
1.2	-2.0	10.6	5.22	4.44	4.70	4.99	2.25	2.08	2.19
				(14.9)	(10.0)	(4.4)		(7.6)	(2.7)
0.7	-2.0	10.5	5.88	4.97	5.23	5.57	2.39	2.20	2.31
				(15.7)	(11.1)	(5.3)		(7.9)	(3.3)

道, 有可能成为对地震进行监测预报的一个有力工具.

在表 2 中还给出了中心在  $900 \text{ cm}^{-1}$ , 宽度为  $20 \text{ cm}^{-1}$  的窗区通道的辐射强度, 它主要取决于地面温度, 而不受 CH<sub>4</sub> 浓度变化的影响, 若同时采用窗区通道和 CH<sub>4</sub> 通道, 则既可得到震前地面温度异常的信息, 又可得到 CH<sub>4</sub> 浓度增加的信息, 比单独利用其中一个通道在临震预报中可能会得到更好的效果. 在图 1 中给出中纬夏季 (MLS)、中纬冬季 (MLW)、高纬夏季 (SAS) 和高纬冬季 (SAW) 大气在地面增温和 CH<sub>4</sub> 浓度增加时的

表 3 不同大气下的亮温  $T_b(3015)$  和  $T_b(1300)$   
 Table 3 Brightness temperatures  $T_b(3015)$  and  $T_b(1300)$   
 under different atmospheric conditions

ATM		TRO					
H <sub>2</sub> O	DT (K)	$T_b(3015)$ (K)		$DT_b$ (K)	$T_b(1300)$ (K)		$DT_b$ (K)
		a	c		a	c	
1.0	0.0	280.21	278.34	-1.87	266.62	265.62	-1.00
0.7	2.0	282.44	280.24	-2.20	268.34	265.62	-1.26
1.2	2.0	279.59	277.75	-1.84	265.62	264.79	-0.83
1.2	-2.0	278.97	277.28	-1.69	265.62	264.79	-0.83
0.7	-2.0	281.41	279.47	-1.94	268.03	266.92	-1.31
ATM		MLS					
H <sub>2</sub> O	DT (K)	$T_b(3015)$ (K)		$DT_b$ (K)	$T_b(1300)$ (K)		$DT_b$ (K)
		a	c		a	c	
1.0	0.0	278.02	276.45	-1.57	265.78	264.62	-1.16
0.7	2.0	280.03	277.75	-2.28	267.40	266.11	-1.29
1.2	2.0	277.69	275.74	-1.95	265.12	264.12	-1.00
1.2	-2.0	277.25	275.40	-1.85	264.96	263.95	-1.01
0.7	-2.0	279.38	277.28	-2.10	267.24	265.95	-1.29
ATM		MLW					
H <sub>2</sub> O	DT (K)	$T_b(3015)$ (K)		$DT_b$ (K)	$T_b(1300)$ (K)		$DT_b$ (K)
		a	c		a	c	
1.0	0.0	262.30	260.43	-1.87	252.97	251.68	-1.29
0.7	2.0	264.00	261.70	-2.30	254.23	252.76	-1.47
1.2	2.0	262.89	260.76	-2.13	252.97	251.68	-1.29
1.2	-2.0	261.08	259.41	-1.67	252.33	251.24	-1.09
0.7	-2.0	261.93	260.18	-1.75	153.18	251.90	-1.28
ATM		SAS					
H <sub>2</sub> O	DT (K)	$T_b(3015)$ (K)		$DT_b$ (K)	$T_b(1300)$ (K)		$DT_b$ (K)
		a	c		a	c	
1.0	0.0	272.09	269.96	-2.13	261.15	259.88	-1.27
0.7	2.0	274.18	271.69	-2.49	262.74	261.15	-1.59
1.2	2.0	272.00	269.76	-2.24	260.43	259.33	-1.10
1.2	-2.0	270.73	268.84	-1.89	260.25	259.14	-1.11
0.7	-2.0	272.53	270.04	-2.09	262.04	260.79	-1.25
ATM		SAW					
H <sub>2</sub> O	DT (K)	$T_b(3015)$ (K)		$DT_b$ (K)	$T_b(1300)$ (K)		$DT_b$ (K)
		a	c		a	c	
1.0	0.0	251.20	250.03	-1.17	244.35	243.57	-0.78
0.7	2.0	252.55	251.06	-1.49	245.37	244.09	-1.28
1.2	2.0	252.16	250.62	-1.54	244.86	243.83	-1.03
1.2	-2.0	250.18	249.25	-0.93	243.83	243.04	-0.79
0.7	-2.0	250.48	249.41	-1.07	244.09	243.31	-0.78

辐射强度  $I(900)$  和  $I(3015)$ . 图 1 中的正方形表示正常 CH<sub>4</sub> 浓度时, 4 种模式大气在地面温度增加 0, 2, 4 和 6°C 时的情况,  $I(900)$  和  $I(3015)$  都随地面温度的增加而增加; 在地面温度增加的同时, CH<sub>4</sub> 浓度增加 1 倍、在 5 km 以下增加 2 倍和在 2 km 以下增加 2 倍的情况分别用 × 号, 菱形和三角形表示. CH<sub>4</sub> 浓度增加对  $I(900)$  没有影响, 但  $I(3015)$  的值比同样地面温度和正常 CH<sub>4</sub> 浓度时有明显减少, 表示 CH<sub>4</sub> 浓度增加的符号点明显处在正常 CH<sub>4</sub> 浓度时的下方. 这说明  $I(900)$  的增加可反映出地面温度的增加, 而  $I(3015)$  处在比正常 CH<sub>4</sub> 浓度低的区域则可反映出 CH<sub>4</sub> 浓度的增加. 因此, 用  $I(900)$  和  $I(3015)$  2 个通道, 可同时反映出震前地面增温和地球明显放气这 2 个地震前兆, 即使在地面温度不明显增加的情况下,  $I(3015)$  通道辐射值的减少仍可反映出 CH<sub>4</sub> 浓度的增加. 因此, 在卫星上设置 CH<sub>4</sub> 通道监测地震前地球放气造成的 CH<sub>4</sub> 浓度增加, 可能成为临震预报的一个新的途径, 如果它与窗区红外通道结合使用, 有可能使利用卫星资料进行临震预报更为有效.

**致谢:** 国家地震局地质研究所强祖基教授提供了 CH<sub>4</sub> 浓度测量资料, 在此谨致谢意.

### 参考文献

- 1 徐秀登, 强祖基, 赁常恭. 地震地质, 1990;12:243-250
- 2 徐秀登, 强祖基, 赁常恭. 科学通报, 1990;37:291-294
- 3 徐秀登, 强祖基, 赁常恭. 科学通报, 1990;36:1324-1327
- 4 国家地震局“一九七六年唐山地震”编辑组. 一九七六年唐山地震, 北京:地震出版社, 1982, 272~292
- 5 Kneizys F X et al. User's Guide to LOWTRAN 7, AFGL-TR-88-0177, 1988, pp137

## THE POSSIBILITY OF A KIND OF EARTHQUAKE PRECURSOR MONITORING USING SATELLITE CH<sub>4</sub> CHANNELS\*

ZHAO GAOXIANG, WANG HONGQI

*(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences  
Beijing 100029, China)*

**Abstract:** The relationship between the increase of CH<sub>4</sub> concentration in the atmosphere and the exit radiance in some channels in CH<sub>4</sub> absorption bands was investigated through radiative transfer calculations. It was found that with proper CH<sub>4</sub> channels on satellites the increase of CH<sub>4</sub> concentration in the atmosphere in seismic areas before earthquake can be monitored, hence it might become a useful means to monitor a kind of earthquake precursor and be used in earthquake prediction.

**Key words:** satellite, methane, earthquake precursor.

---

\*The project supported by the National Natural Science Foundation of China.