

北京地区秋季大气 CO 柱总量的变化

吴宏议¹ 王普才¹ 王庚辰¹ 郑有飞² 孔琴心¹

1 中国科学院大气物理研究所中层大气与遥感理论和技术研究部, 北京 100029

2 南京气象学院, 南京 210044

摘要 利用中分辨率红外光谱仪于1999年秋采暖前后在北京进行了为期两个月的CO、水汽等大气微量成分柱总量的测量。测量结果表明, 采暖后北京市区CO柱总量较采暖前有所增加, 采暖前CO柱总量较小, 日均值为0.147 atm-cm, 而采暖后CO柱总量较大, 前7天的日均值为0.205 atm-cm, 相应地日变化也比较大。但是, 大气中的CO柱总量受到气象条件的重要影响, 影响CO柱总量逐日变化和日变化的气象因子主要有大气稳定度、风速和风向等。

关键词 CO柱总量 红外光谱仪

文章编号 1006-9585 (2005) 01-0072-08 **中图分类号** P402 **文献标识码** A

Variation of the Atmospheric CO Column Amount over Beijing Urban Area in the Fall

WU Hong-Yi¹, WANG Pu-Cai¹, WANG Geng-Chen¹,
ZHENG You-Fei², and KONG Qin-Xin¹

1 *Laboratory for Middle Atmosphere and Global Environmental Observation, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*

2 *Nanjing Meteorological College, Nanjing 210044*

Abstract CO, water vapor and other trace gases have been measured in Beijing during the transition period of heating in the fall of 1999, using an infrared grating spectrometer of moderate resolution. The measurements show that the CO column amount over Beijing urban area after heating is larger than that before heating. The CO column amount before heating is smaller, the daily average is 0.147 atm-cm, while that after heating is larger, the daily average of the first 7 days is 0.205 atm-cm, and the daily variation is larger as well. However, the variation of CO column amount is closely dependent on meteorological condition, mainly including atmospheric stability, wind speed and wind direction.

Key words CO, column amount, infrared spectrometer

1 引言

占地球大气99%的氮气和氧气浓度在过去几亿年中保持恒定。大气中其余组分是由许多微量气体构成的, 而这些气体的浓度正在受到人类活

动的显著影响。对流层中的二氧化碳(CO₂)具有化学惰性, 而甲烷(CH₄)、一氧化碳(CO)、氮和硫的氧化物以及臭氧(O₃)都具有化学活性。实际上非CO₂的痕量气体在很大程度上主导着大气中的化学成分平衡、辐射平衡以及化学物质的动态变化等, 从而直接或间接地影响大气环境和

收稿日期 2003-10-20 收到, 2005-02-04 收到修定稿

资助项目 国家自然科学基金资助项目 40175008 和国家自然科学基金委国际合作局中俄合作项目 40311120114

作者简介 吴宏议, 男, 1978年出生, 硕士, 助研, 主要从事地基红外遥感大气成分研究。E-mail: wu_hongyi@yahoo.com.cn

气候变化。近几年来，大气中 CO 浓度的变化已引起人们的广泛重视，主要原因在于：CO 是重要的大气污染物之一，人类活动每年要向大气中排放约 $(600\sim 800)\times 10^6$ t 的 CO，其与空气的体积比已增加到 10^{-6} 量级^[1]；CO 的光化学反应过程是对流层中温室气体 O₃ 增加的主要途径，也是产生城市光化学烟雾的重要途径^[2]；CO 能直接与羟基 OH 发生氧化反应，对流层大气中约有 60% 的 OH 是通过与 CO 的反应而失去的^[3]。因此 CO 浓度的增加，将消耗大量的 OH，减弱 OH 通过氧化而消耗对流层中其他化学物质的作用，其中包括 O₃、CH₄ 和一些碳氢化合物等。研究表明^[4]，人类活动排放到大气中的 CO 间接导致大气中 CH₄ 浓度增加约占 24%~37%，如果自然界 CO 排放量增加 1 倍，相应的对流层 CH₄ 浓度将增加 40%~50%，O₃ 浓度增加 12%。由此可见，大气对流层中 CO、OH、CH₄ 和 O₃ 等有着密切的内在联系，大气中 CO 浓度的变化对 OH 自由基的影响间接控制着对流层中化学反应平衡和物质平衡，从而影响许多微量气体成分的浓度分布及变化^[5,6]。

大气中 CO 的主要来源是化石燃料和生物质的燃烧，CH₄ 和非甲烷烃 (NMCH) 的光化学氧化也是大气中 CO 的重要来源，此外，火山爆发、海洋和陆地植物的腐烂也都是 CO 的产生源。然而城市空气中的 CO 大部分却是来自机动车所排放的尾气^[7~9] (见表 1)，如在采暖期则主要由采暖燃煤所产生。据 1990 年对锅炉供暖实际能耗量的调查，发达国家供暖耗煤量的指标为 $6.8\sim 10\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 标煤，而北京市供暖指标为 $24.4\text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ 标煤，其单位面积采暖能耗量为相近气候下发达国家的 3 倍左右。随着经济的飞速发展，北京市的燃煤量由 1990 年的 24×10^6 t 增

加到 1999 年的 28×10^6 t。北京已成为世界上燃煤最多的都市。北京的大气污染有明显的季节性，冬季是污染最严重的季节，由于集中燃煤采暖，月用煤量比非采暖期增加 1~2 倍，冬季大气中 SO₂、CO 浓度大大超过其他季节，呈现典型的煤烟型污染特征。

本文介绍了 1999 年秋季采暖前后利用中分辨率红外光谱仪，以太阳作为光信号源，在北京城区进行的垂直气柱中大气 CO 总量的测量，并对测量结果进行了详细分析。观测点位于北京市区北三环路和北四环中路之间的中国科学院大气物理研究所主楼的 11 层楼顶，测量的太阳直射光路径从早到晚正好穿过北京中心城区上空，所以测量结果能较好地代表北京城区的情况。本文在第 2 节介绍观测仪器和反演方法，第 3 节给出观测结果及其分析。

2 仪器和方法

2.1 观测仪器

图 1 为测量装置示意图，主要包括太阳跟踪系统、分光系统以及探测和数据采集处理系统。该系统由俄罗斯大气物理研究所研制，曾在俄罗斯、加拿大和保加利亚等一些东欧国家对大气微量成分 (主要有 CO、CH₄ 和 N₂O) 作过长期的观测，系统稳定可靠，取得了大量的宝贵资料^[10]。1999 年秋季在北京对 CO 进行两个月的观测，共获得 30 天的 513 条太阳光谱资料。

太阳红外光谱仪的观测波段范围为 $2.7\sim 5.3\text{ }\mu\text{m}$ ，光谱仪主镜焦距长度 $f=822\text{ mm}$ ，光栅尺寸 $150\text{ mm}\times 140\text{ mm}$ ，线密度 $d=300\text{ 线/mm}$ ，探测器采用半导体制冷的 PbSe，探测灵敏度为 $0.1\text{ }\mu\text{V}$ 。测量的光谱分辨率与狭缝宽度有关，在一定

表 1 北京市城区三环路内 CO 排放分担率

Table 1 The percentages of CO emission in inside the 3rd Ring Road Beijing urban area

%

污染源 Pollution Source	1989		1995 年年平均	1997 年年平均	1998 年年平均	1999 年采暖期
	非采暖期 Non heatingperiod	采暖期 Heating period	Yearly average of 1995	Yearly average of 1997	Yearly average of 1998	Heating period of 1999
汽车源 Car exhauston	60. 6	26. 1	76. 8	78	82. 7	39
固定源 Fixed emission	39. 4	73. 9	23. 2	22	17. 3	61

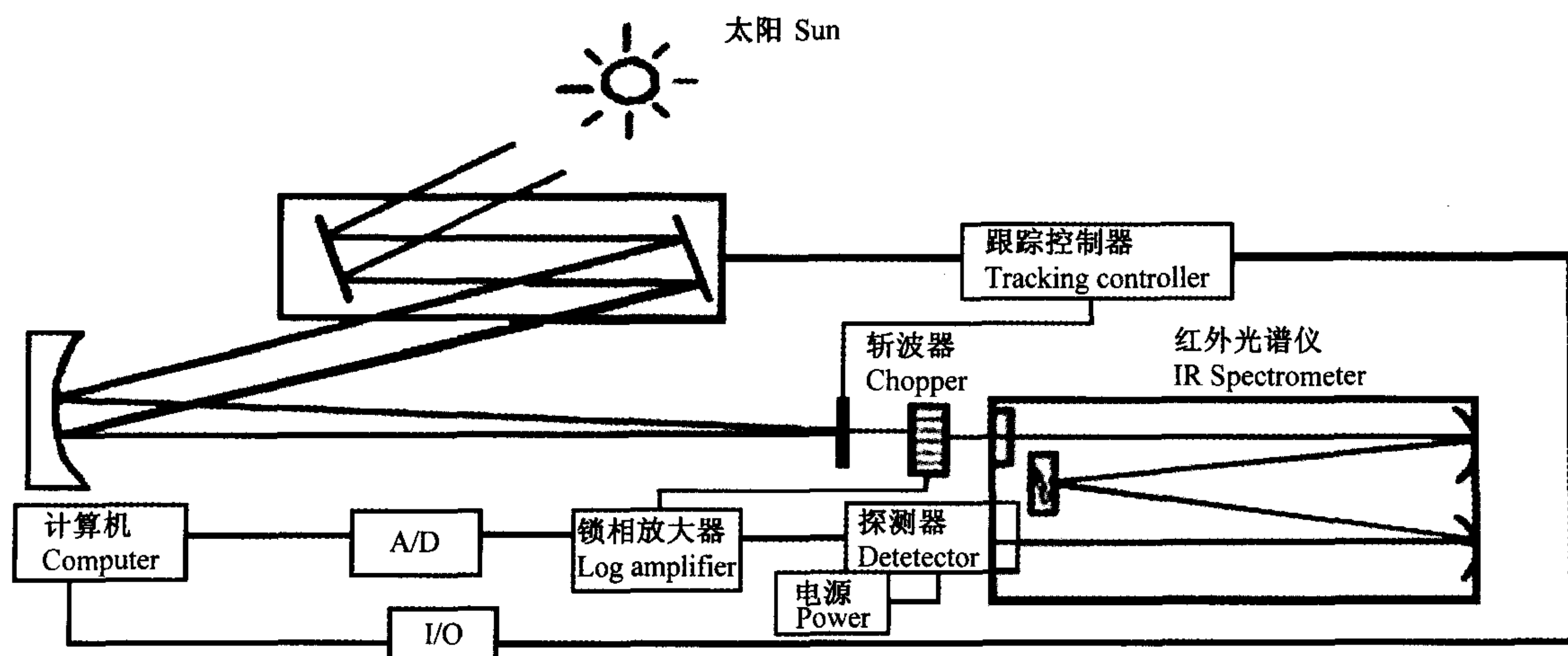


图1 太阳光谱测量系统示意图
Fig. 1 The measurement system of solar spectra

范围可调节，我们观测采用的光谱分辨率在 $3.3 \sim 4.7 \mu\text{m}$ ，波段为 $0.23 \sim 0.30 \text{ cm}^{-1}$ 。观测时每 0.2 s 记录一次太阳辐射值，得到有效测量范围内的一条太阳光谱约需 7 min 。

2.2 资料处理方法

通过分析光谱仪记录在设定波段范围内的大气吸收谱，可以计算一种微量气体的柱总量。为了确定柱总量，先要计算选定吸收线的总吸收，即等效宽度。对于 CO 柱总量的探测，所选择的谱线中心位置是 2158.3 cm^{-1} ($4.63 \mu\text{m}$)，即 CO 振-转基带 ν_1 的 R (3) 线。在这一波长上，除大气中的 CO 外，其他气体的吸收很弱。在 R (3) 线的两侧 2157.2 cm^{-1} 和 2159.05 cm^{-1} 的窄频带上不存在吸收，连接两个不吸收窄频带的直线可以认为是零吸收线。零吸收线和吸收光谱线所围成的三角形面积可以通过简单的关系换算成吸收谱线的等效宽度。另外，通过光谱模式计算，可以获得 CO 柱总量和等效宽度的经验关系式，进而获得 CO 柱总量和光谱图面积的经验关系式。本工作中，根据观测得到的 CO R (3) 线在光谱图上的面积与 CO 含量的定量关系来计算实际大气中 CO 的柱总量值。水汽的一条吸收线（中心波长是 2156.59 cm^{-1} ）叠加在 CO 吸收线系上，我们可以用同样的方法推算水汽柱总量并对 CO 的计算结果进行订正。图 2 是地基中分辨率红外光谱仪实际记录到的 $2154 \sim 2161 \text{ cm}^{-1}$ 范围内的一段太阳光谱，可以明显看到 CO R (2)、CO R (3)

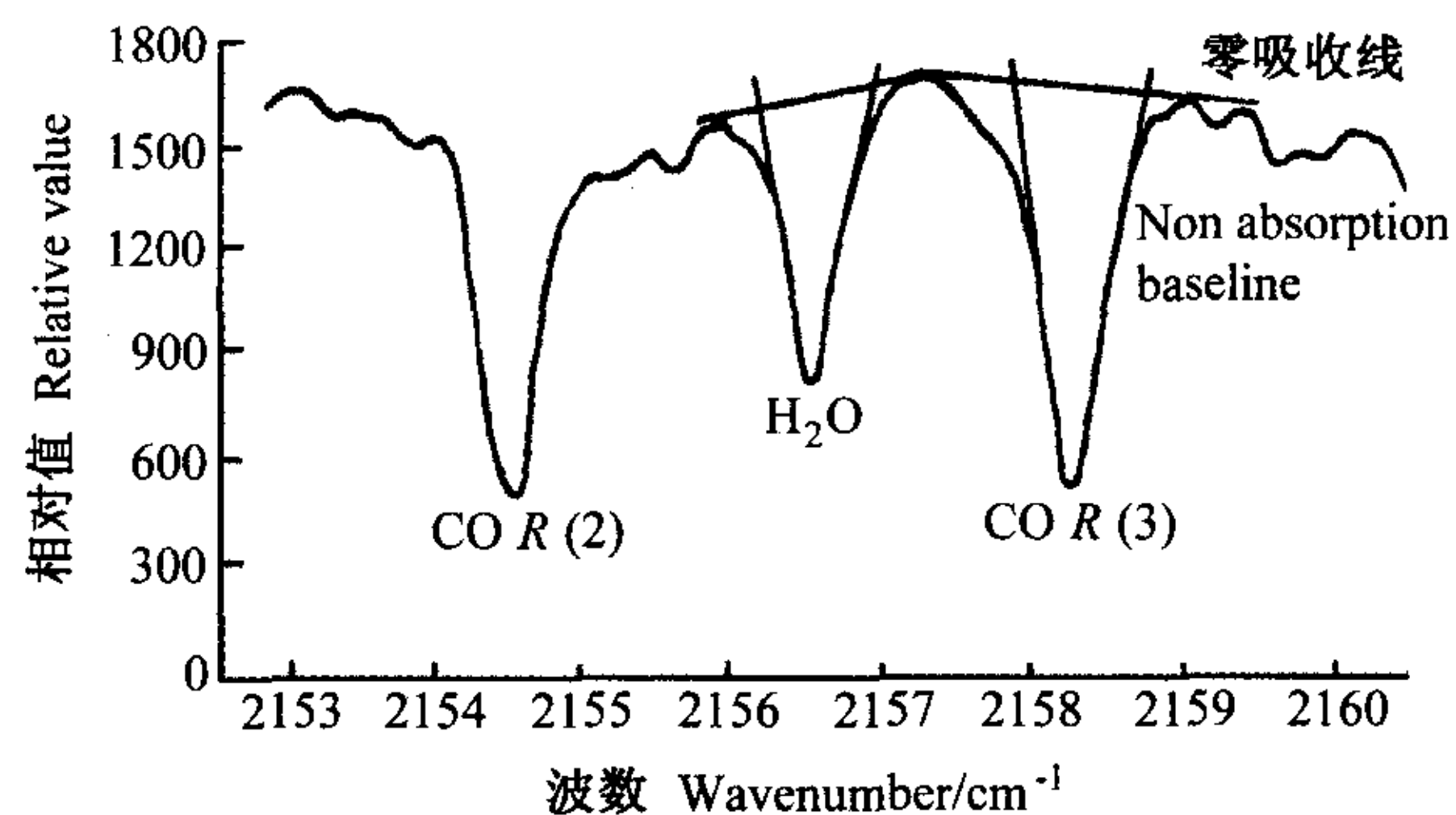


图2 太阳光谱中 CO 基带吸收光谱图实例
Fig. 2 The CO fundamental spectra of absorption in the solar spectra

和一条水汽吸收线的具体位置和相对变化特征。

利用地面太阳吸收光谱反演大气 CO 柱总量的误差来源主要有：谱线面积估算误差，气压起伏，放大器噪声，大气温度、湿度起伏等。误差分析表明，上述方法计算 CO 含量的误差为 $\pm (8\% \sim 10\%)$ 。

3 测量结果和讨论

3.1 观测实例

图 3 是 1999 年 11 月 29 日观测的 CO 柱总量的日变化，大气中 CO 含量在一天中的变化主要受局地 CO 排放源和大气输送扩散的影响，一天内可能有比较大的变化，且与风速风向和季节时间有关，考虑单次测量的精度和观测只能在日间

进行（北京时间 08~16 时），因此不能测量 CO 柱总量的夜间变化。图中还注明了 CO 柱总量和地面观测的 CO 浓度时均值，两者在一天中的变化基本一致。图 4 同时给出了 1999 年 10 月和 11 月 CO 柱总量和地面观测的 CO 浓度在观测日内的日均值，可以看出它们的变化趋势一致，高的地面 CO 浓度一般对应较高的 CO 柱总量值。所以用红外光谱仪观测的 CO 柱总量不仅可以反映整层大气 CO 总量，还可基本反映出近地面 CO 的污染状况。但也有些天出现了异常情况，这是因为地面观测的 CO 浓度和地基遥感的 CO 柱总量在一天中的观测时间段不同、观测时间长短不同所引起的。前者一般是一天 24 h 观测，而后者仅在晴朗白天观测，且在一天中的观测时间较短（大多数为每天 4~7 h，少数特好的晴天达 8~10 h）。

3.2 气象条件对 CO 柱总量的影响

CO 的寿命短，只有几个星期到几个月，其浓度除了易受局地排放源的影响外，与气象条件的关系也十分密切。影响大气 CO 柱总量的气象条件主要有大气稳定度、风速和风向等。例如，从中国科学院大气物理研究所气象塔（8~320 m）观测的温度层结可以看出，1999 年 11 月 18 日凌晨至 09 时低层大气出现逆温，处于稳定状态，其抑制了湍流的发展，限制了大气 CO 的扩散。此次逆温强度比较大，再加上近地面风速小，所以逆温持续时间较长，直到中午才完全破坏。所以，对应该日的 CO 柱总量出现高值，14 时前平均为 0.278 atm-cm，14 时后随着逆温层破坏，降至 0.157 atm-cm。而有一些天内，如 10 月 28 日，

大气不稳定，对流旺盛，由汽车等排放的 CO 不易在大气低层积累，所以对应的 CO 柱总量较小，接近北京 CO 的背景浓度，约为 0.08 atm-cm^[11, 12]。

风速大小对 CO 浓度的影响和大气稳定度的作用一样，风速大，大气输送就快，有利于 CO 的扩散，降低了 CO 浓度。图 5 为 1999 年秋季 CO 柱总量日均值与观测时段 8~320 m 平均风速的对应关系，从图中可以明显地看出，CO 柱总量高于 0.150 atm-cm 的时间内，平均风速均小于 4 m·s⁻¹，柱总量日均值高于 0.250 atm-cm 都是发生在平均风速小于 2 m·s⁻¹ 的天内；而当平均风速大于 6 m·s⁻¹ 时，北京 CO 柱总量就降低，接近背景浓度。风向对 CO 柱总量的影响主要是由排放源和观测点的方位关系造成的，下风区浓度高，上风区浓度低。北京 CO 排放源可看作是面源，主要在城区，越靠近市中心，人口越密集，车流量越大，CO 排放量就越大，浓度也就越高。本工作的观测地点位于北京市区的北三环和北四环中路之间，所以在理论上，不考虑其他因素影响，吹偏南风时在观测点测得的 CO 柱总量要比吹偏北风时高。图 6 中 1999 年秋季观测到的结果和前面的推测基本一致。图中横坐标风向是取受地面建筑影响较小的 102~320 m 高度平均风向，按顺时针排列，即 90°为东风，270°为西风。从图中可以看出高的 CO 柱总量对应的风向大都在 90°到 180°之间，即吹东南风易引起高浓度的 CO，而吹西北风时带来北边郊区干净大气，从而降低 CO 浓度。

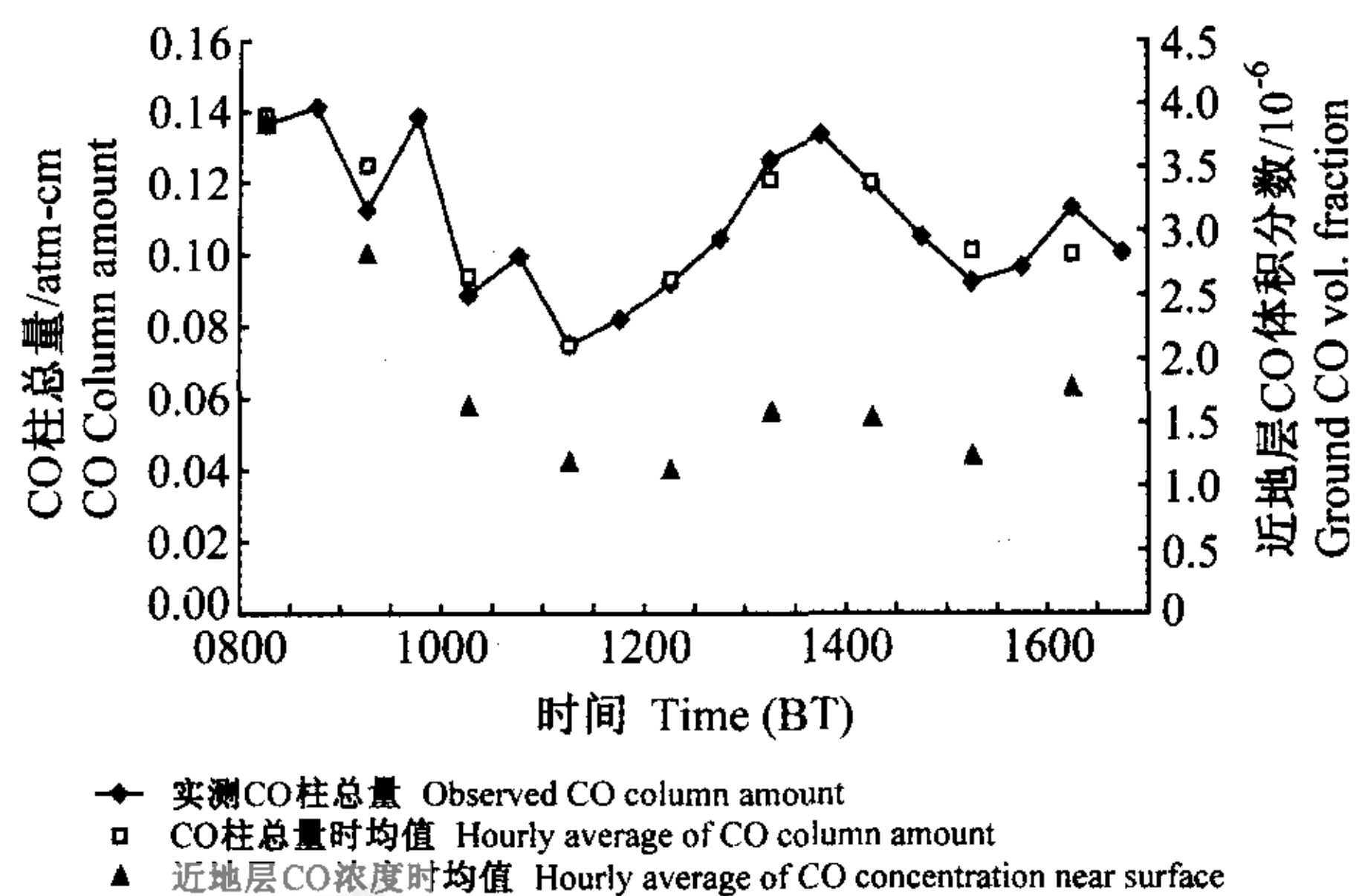


图 3 1999 年 11 月 29 日 CO 柱总量时均值日变化与地面资料的对比

Fig. 3 The comparison of the hourly average of CO column amount of 29 November 1999, with the surface measurement

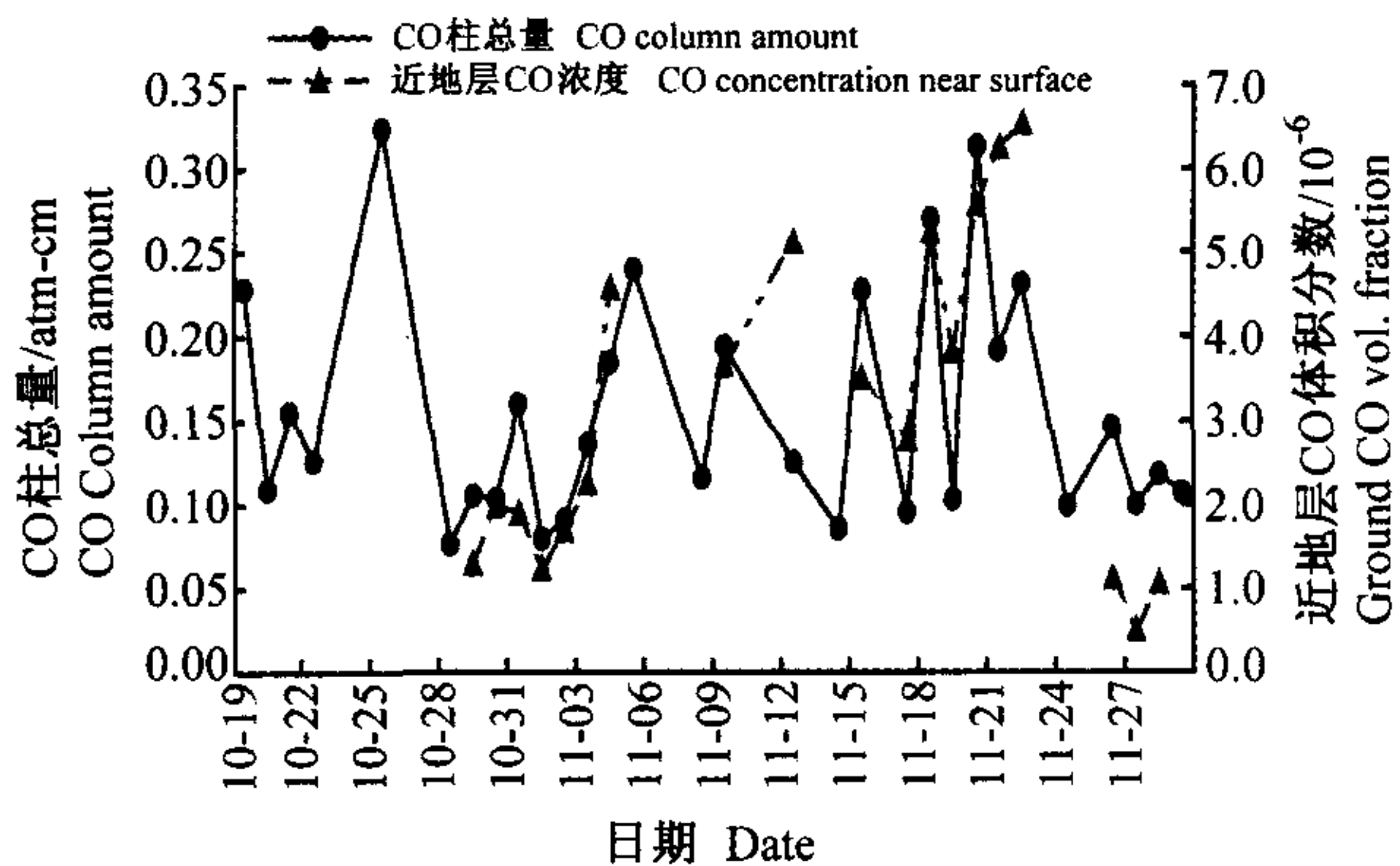


图 4 CO 柱总量日均值逐日变化与地面资料的对比（1999 年）
Fig. 4 The comparison of the daily average of CO column amount with the surface measurement in 1999

3.3 采暖前后 CO 的变化特征

图 7 和图 8 给出 1999 年 11 月采暖前和采暖后观测天内 CO 柱总量随时间的变化。1999 年北京市从 11 月 15 日开始正式采暖，采暖前（10 月 19 日~11 月 14 日的 18 个晴天）北京市 CO 平均柱总量为 0.147 atm-cm。供暖后（11 月 15 日~29 日的 12 个晴天）相应值为 0.167 atm-cm，尤其是前 7 天达 0.205 atm-cm，反映了人类燃烧活动对大气中 CO 浓度的影响。11 月 24 日后受西北气流影响，北京市区气温下降，风速加大，CO 柱总量有明显减小。从图中可以看出，非采暖期 CO 日平均浓度普遍较小，且日变化也小，个别天 14、15 时浓度出现峰值；进入采暖期后北京市区整层大气 CO 含量有较大的逐日变化。这是因为北京市区采暖前 CO 污染主要来自机动车的尾气排放（见表 1），而短期内市区日平均车流量变化不会太大，

一天内由汽车排放的 CO 总量也就变化不大，因此影响 CO 柱总量日间变化的主要因素为大气输送和对流。采暖后北京市 CO 来源除了机动车尾气排放外，主要来自采暖燃煤。据报道，北京市冬季仅供暖用煤就达 6×10^6 t 左右，而这 6×10^6 t 煤并不是平均分配到 4 个月采暖期的每一天来消耗，且一天中的不同时段燃烧的煤炭量也不一样，所以采暖后影响北京市 CO 柱总量的因素就变得较复杂，有大气输送和对流的影响，也有因为气温降落或回升引起供暖燃煤消耗增加或减少的影响。

3.4 污染日与洁净日 CO 柱总量的日变化

图 9 对 1999 年 10 月和 11 月全部观测资料进行统计，得到采暖前后不同范围 CO 柱总量观测结果出现的频率。观测结果范围被划分成几个子间隔，从 0.05 开始，子间隔宽度为 0.1，各子间隔以其中心值表示，如“0.15”表示介于 0.1~

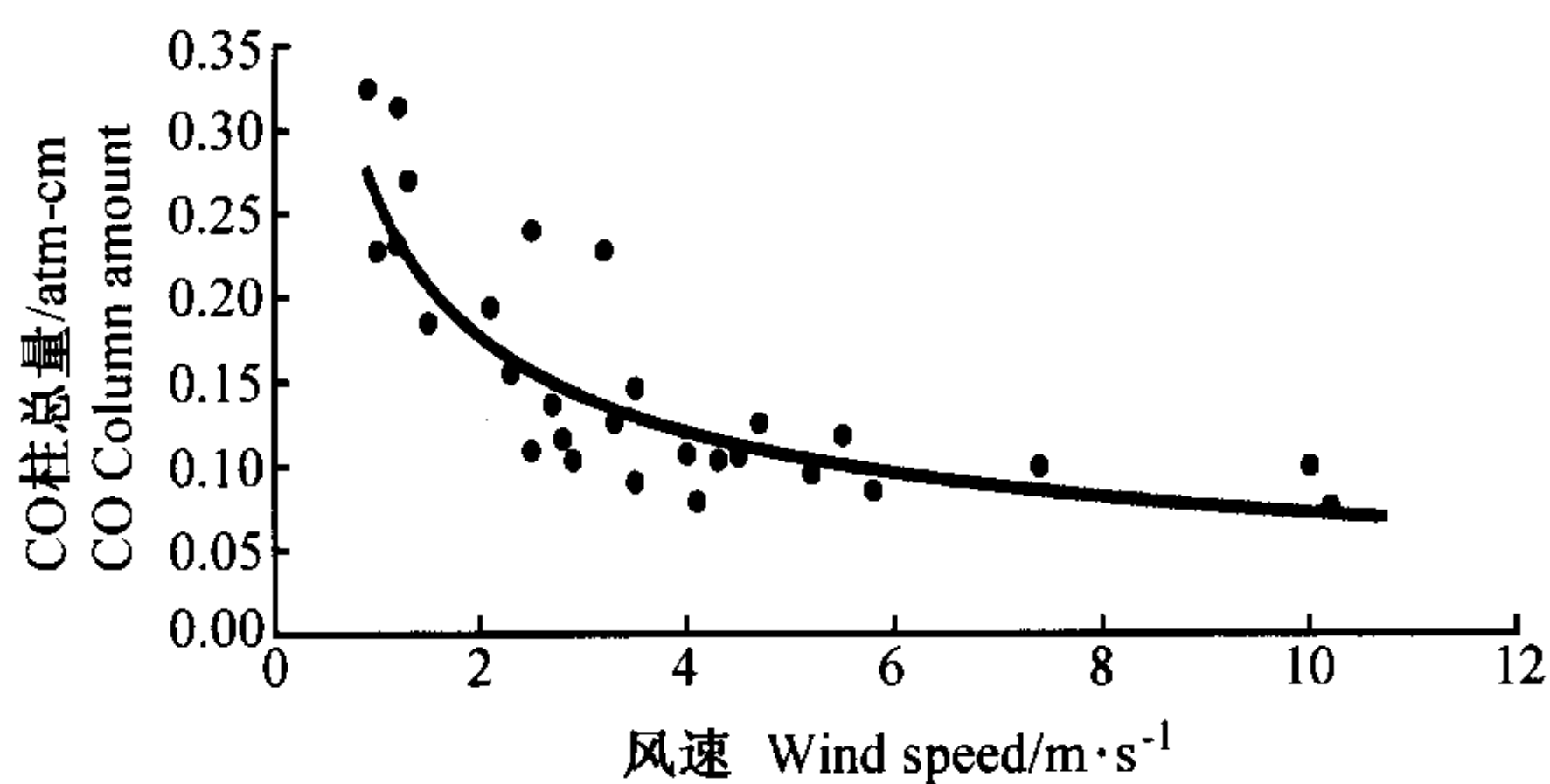


图 5 CO 柱总量与风速的关系

Fig. 5 The relationship between CO column amount and wind speed

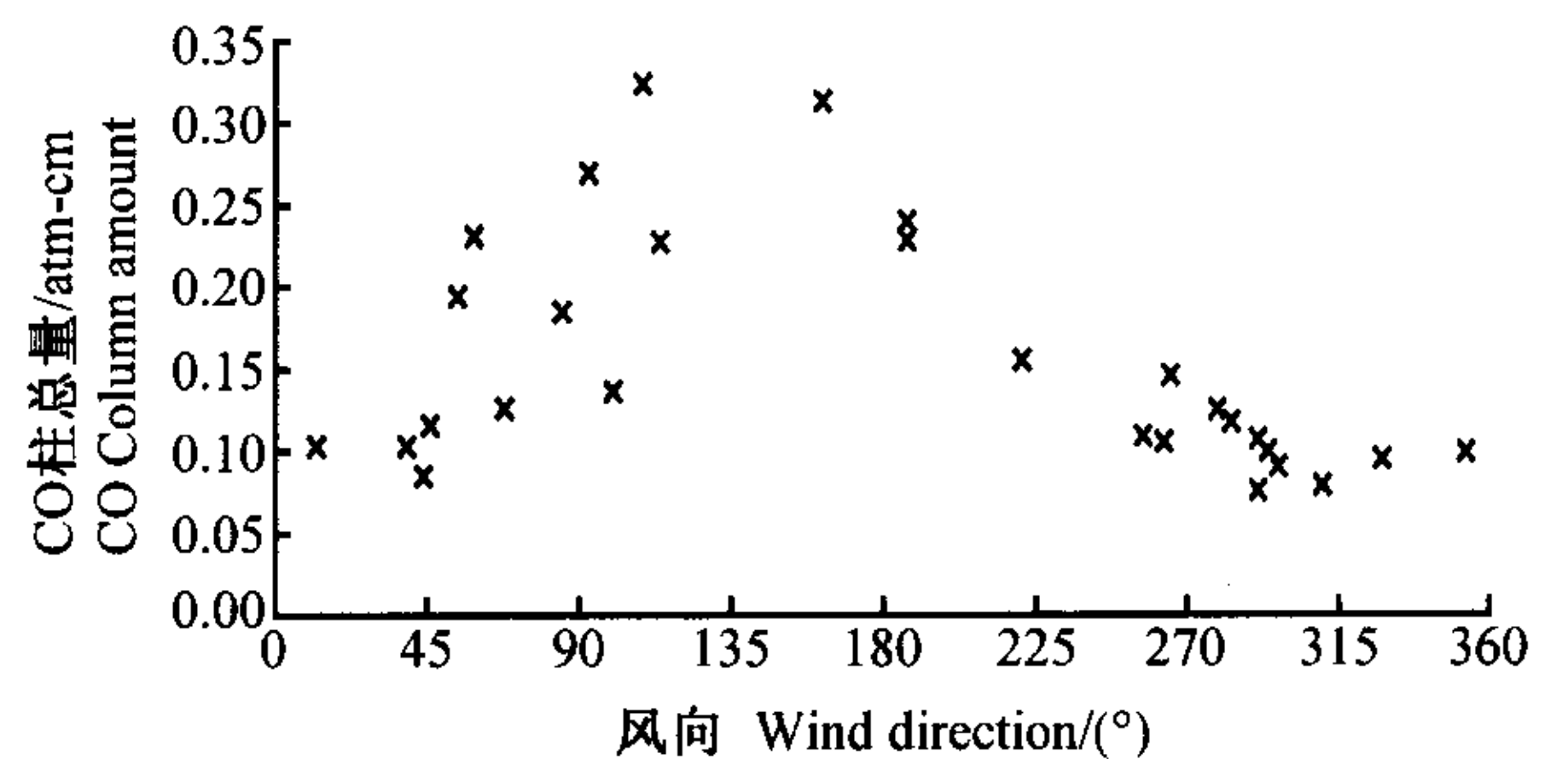


图 6 CO 柱总量随风向的变化

Fig. 6 The variation of CO column amount with wind direction

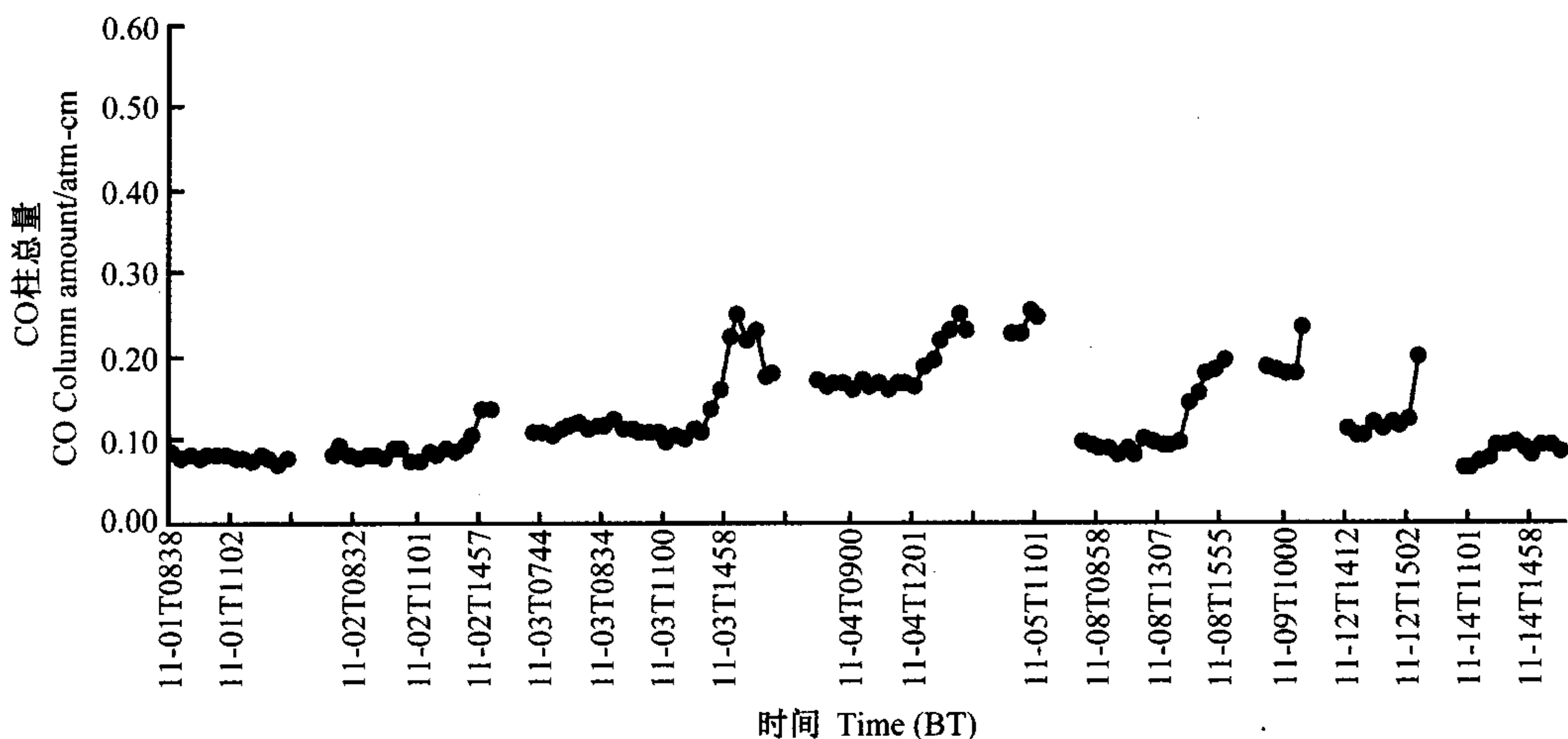


图 7 1999 年 11 月采暖前实测 CO 柱总量逐日变化

Fig. 7 The day by day variation of CO column amount, observed before the heating period of November of 1999

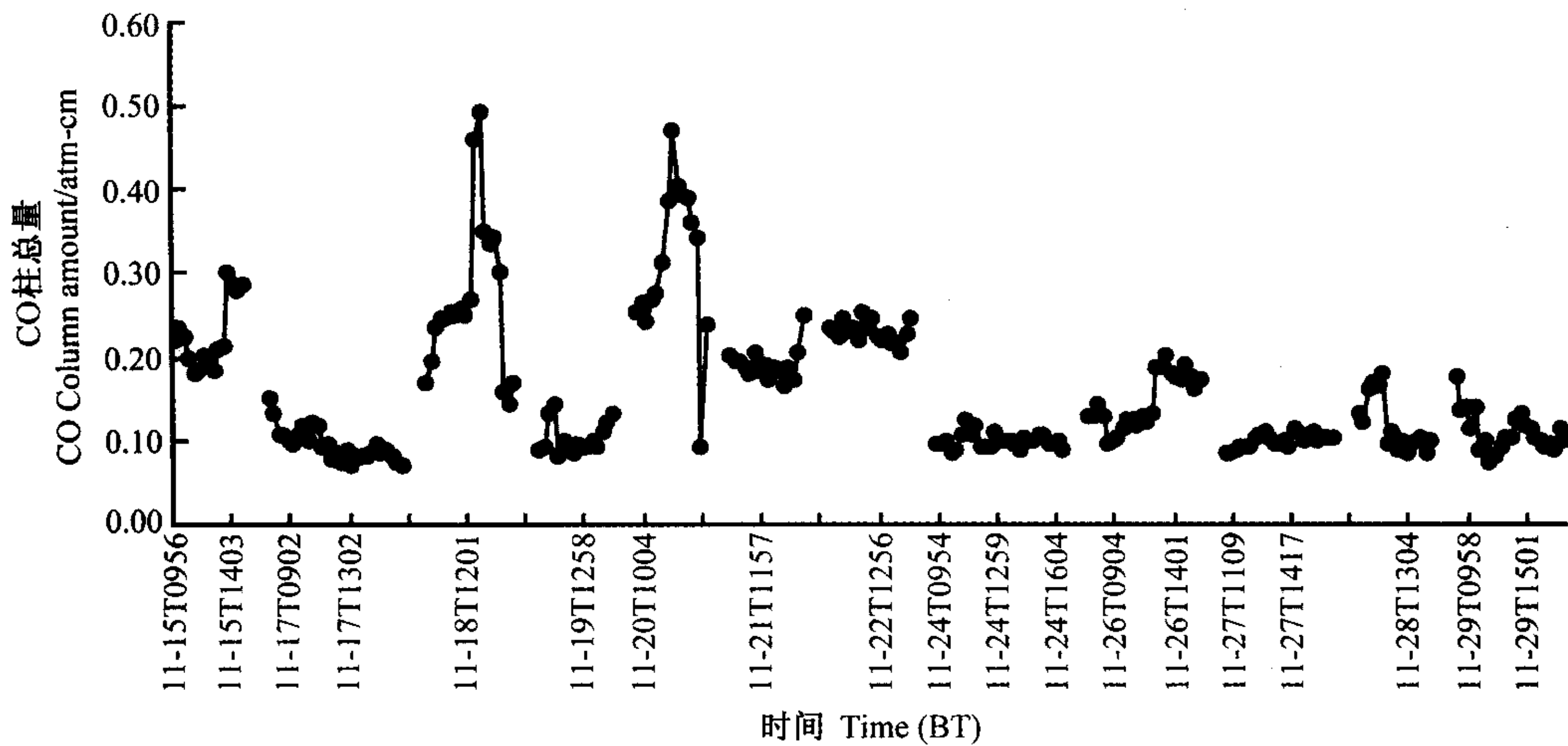


图 8 1999 年 11 月采暖后实测 CO 柱总量逐日变化
Fig. 8 The day by day variation of CO column amount, observed during the heating period of November of 1999

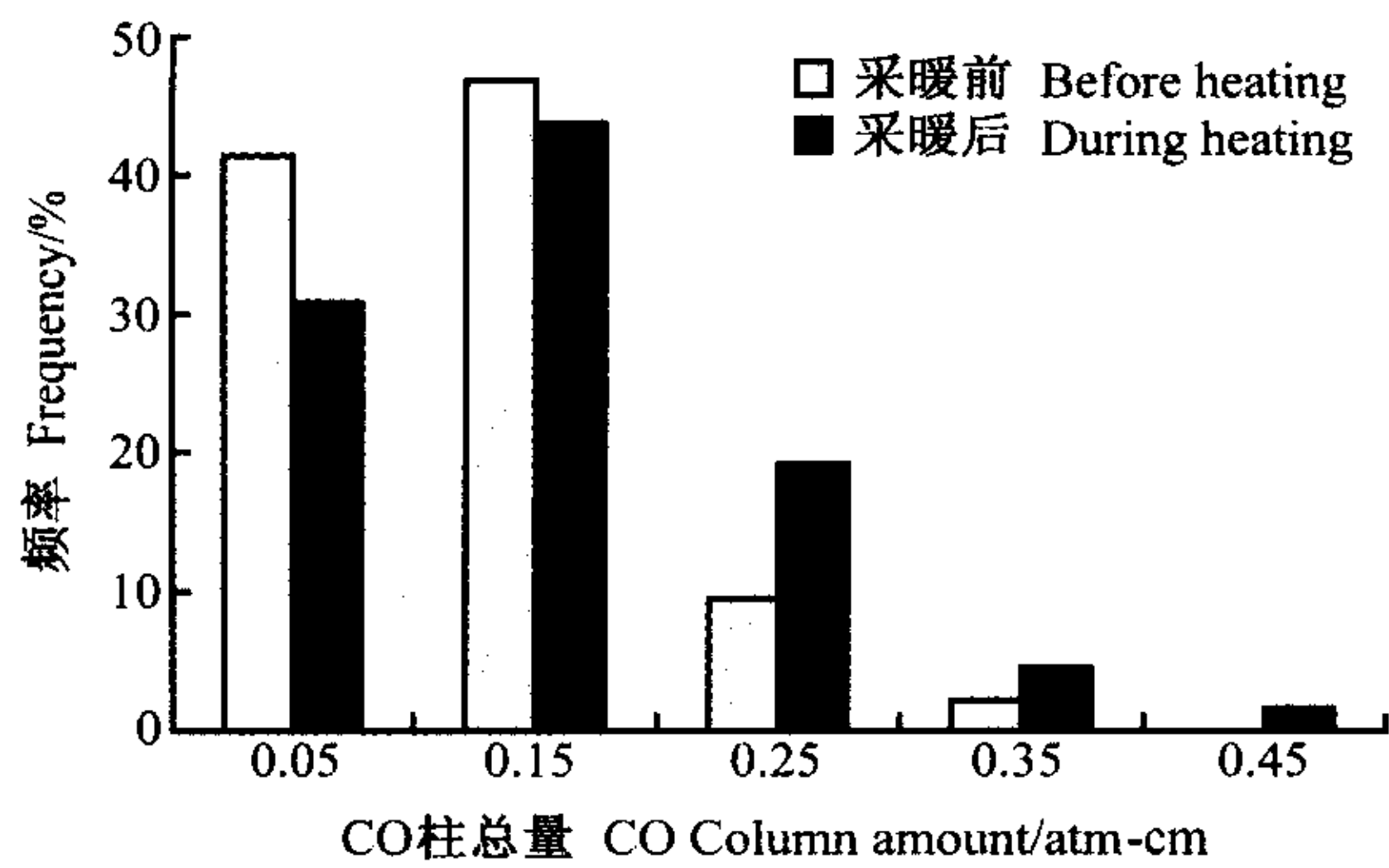


图 9 采暖前后不同 CO 柱总量的观测出现频率
Fig. 9 The occurrence frequency of CO column amount before and during the heating season

0.2 atm-cm 的子间隔。从图中可以看出，大部分观测结果小于 0.2 atm-cm。CO 柱总量大于 0.2 atm-cm 的观测结果中，采暖后的频率明显高于采暖前。采暖后还出现了高于 0.4 atm-cm 的值，对应严重污染的大气。这从一个侧面反映了采暖燃煤对 CO 柱总量的影响。

我们把 CO 柱总量日均值小于 0.1 atm-cm 看作是洁净日，大于 0.2 atm-cm 看作是污染日，污染日和洁净日的观测结果都由图 10 给出。可以看出，在污染日 CO 柱总量日变化特征明显，在中午出现峰值，而在洁净日 CO 柱总量日变化不

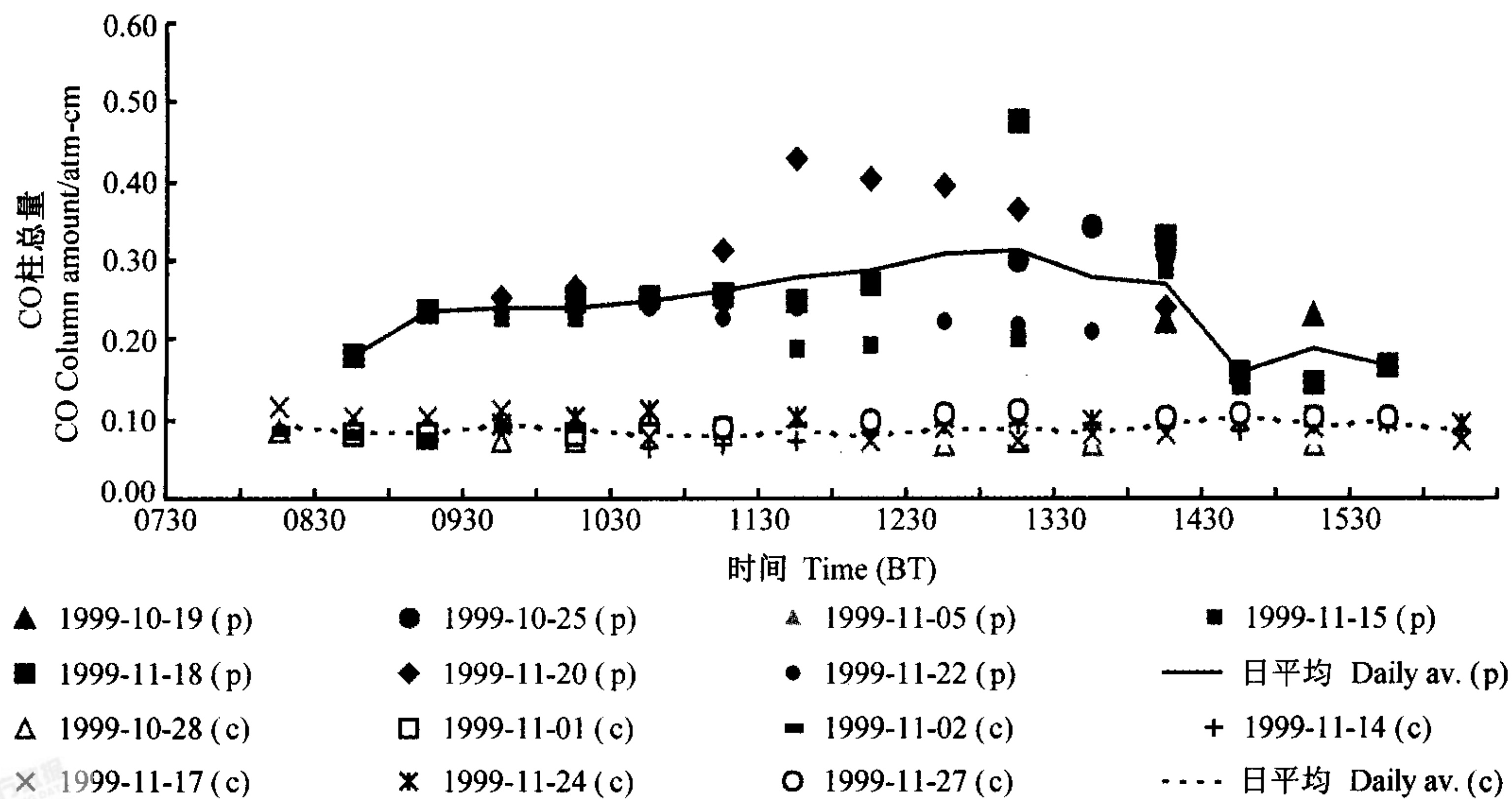


图 10 污染日和洁净日 CO 柱总量半小时平均日变化。括号内“p”表示污染日，“c”表示洁净日
Fig. 10 The daily variation of CO column amount for a polluted day (p) and a clean day (c), calculated from half hour average

明显。这与文献 [11, 13] 的研究结果一致, 也与前面分析的结果相符。在污染严重的情况下, 通常大气处于稳定状态, 从各个排放源排放出的 CO 容易在城市上空积累, 使 CO 柱总量变大, 而且容易受这些排放源的影响。汽车、锅炉等排放源在一天中不同时段的不同排放量就引起了 CO 柱总量在一天中的起伏变化。而在 CO 洁净日大气一般处于不稳定状态, 对流旺盛, 水平风速大, 这些天内市区 CO 浓度接近北京市大气中 CO 的背景浓度, 所以其柱总量日变化很小。从北京市环保局发布的空气质量播报也可看出这一点, 在 CO 柱总量日均值大于 0.2 atm-cm 的 7 天中有 3 天空气质量属于轻微污染, 2 天属于中度重污染和 1 天严重污染; 而 CO 柱总量日均值小于 0.1 atm-cm 的 7 天中有 5 天空气质量属于良。

4 结语

利用大气 CO 对太阳光谱在 $2\ 158.3 \text{ cm}^{-1}$ 波段的吸收谱特征, 可以较好地反演出大气 CO 的柱总量, 反演精度可达到 $8\% \sim 10\%$ 。通过对北京市区 1999 年 10~11 月整层大气 CO 测量数据的分析, 可以得到北京市秋季 CO 柱总量的一些变化特征:

(1) 对于 1999 年秋末冬初而言, 观测期间 CO 柱总量的平均值为 0.155 atm-cm , 其变化范围在 $0.076 \sim 0.324 \text{ atm-cm}$ 之间, 最大值与可以看作是本底的最小值相差 4 倍之多, 反映了北京地区 CO 柱总量不稳定, 影响因素较复杂。

(2) CO 浓度的变化和气象条件关系紧密, 影响 CO 柱总量逐日变化和日变化的气象因子主要有大气稳定性和风速、风向等。

(3) 平均而言, 非采暖期北京市区整层大气中 CO 柱总量较小, 日变化也小, 进入采暖期后 CO 柱总量有较大增加, 日变化也较大。采暖前 (10 月 19 日~11 月 14 日) CO 柱总量的日均值为 0.147 atm-cm , 而采暖后的前 7 天 (11 月 15~22 日) 达 0.205 atm-cm , 这说明, 由于人类活动引起的化石燃料消耗量的增加将使大气中 CO 的浓度明显增大。

参考文献

- [1] Seiler W, Giehl H. The seasonality of CO abundance in the Southern Hemisphere. *Tellus*, 1984, **36B**: 219~231
- [2] 刘小红, 洪钟祥, 李家伦, 李冰, 张玉林, 石立庆. 北京地区严重大气污染的气象和化学因子, 气候与环境研究, 1999, **4** (3): 231~236
Liu Xiaohong, Hong Zhongxiang, Li Jialun, Li Bing, Zhang Yulin, Shi Liqing. Meteorological and chemical parameters determining the photochemical air pollution in Beijing. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 1999, **4** (3): 231~236
- [3] Crutzen P J. On the role of CH_4 in atmospheric chemistry: sources, sinks and possible reductions in anthropogenic Sources. *Royal Swedish Academy of Sciences*, 1995, **24** (1): 52~55
- [4] 董云社, 彭公炳. 温带森林土壤消耗大气 CO 总量及影响因素研究. 气候与环境研究, 1997, **2** (1): 71~76
Dong Yunshe, Peng Gongbing. Annual carbon monoxide uptake by temperate forest soils. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 1997, **2** (1): 71~76
- [5] Nobelli P C, Masarie, K A, Lang, P M. Distribution and recent changes of CO in the lower troposphere. *J. Geophys. Res.*, 1998, **103** (D15): 19015~19033
- [6] Nobelli P C, Steel, L., Tans, P P. Mixing ratios of CO in the troposphere. *J. Geophys. Res.*, 1992, **97** (D18): 20731~20750
- [7] 韩志雄, 邢玉兰, 全宝玲, 李国香, 马桦. 北京市汽车污染分担率的研究. 环境科学, 1992, **13** (3): 40~42
Han Zhixiong, Xing Yulan, Quan Baoling, Li Guoxiang, Ma Hua. Motor vehicle source contributions to air pollutants in Beijing. *Environmental Science* (in Chinese), 1992, **13** (3): 40~42
- [8] 郝吉明, 吴烨, 傅立新, 贺克斌, 何东全. 北京市机动车污染分担率的研究. 环境科学, 2001, **22** (5): 1~6
Hao Jiming, Wu Ye, Fu Lixin, He Kebin, He Dongquan. Motor vehicle source contributions to air pollutants in Beijing. *Environmental Science* (in Chinese), 2001, **22** (5): 1~6
- [9] 傅立新, 郝吉明, 何东全, 贺克斌. 北京市机动车污染物排放特征. 环境科学, 2000, **21** (3): 68~70
Fu Lixin, Hao Jiming, He Dongquan, He Kebin. Characteristics of the air pollutants emission from motor vehicle in Beijing. *Environmental Science* (in Chinese), 2000, **21** (3): 68~70
- [10] Dianov-Klokov V I, Yurganov, L N, Grechko, E I, Dzhol, A V. Spectroscopic measurements of atmospheric carbon monoxide and methane. Part I: Latitudinal distribu-

- tion. *J. Atmos. Chem.*, 1989, **8**: 139~151
- [11] Wang Pucai, Wang Gengchen, Kong Qinxin, Liu Guangren. Measurement of carbon monoxide column content and other atmospheric trace gases from infrared spectra. *Acta Meteorologica Sinica*, 1998, **12** (4): 429~434
- [12] Wang Gengchen, Grechko E I, Emilenko A S, Dzhola A V, Kopeikin V M, Fokeeva E V. Results of simultaneous measurements of carbon monoxide in the atmosphere and submicron aerosol in the surface layer over Beijing. *Izvestiya Atmospheric and Oceanic Physics*, 2001, **37** (Supple. 1): S1~S9
- [13] Wang Gengchen, Kong Qinxin, Grechko E I, Fokeeva E V. Monitoring of total CO amount in the atmosphere using solar spectroscopy. *SPIE*, 1998, **3501**: 225~229

新书推荐：

大气辐射导论（第2版）

[美] 廖国男著；郭彩丽，周诗健译；周秀骥，张文建校；气象出版社出版
字数：69.5 万字；开本：异形 16 开；定价：120.00 元

《大气辐射导论》一书是美国工程院院士、UCLA 教授廖国男先生的重要专著，也是大气辐射学方面不可多得的优秀著作。该书于 1980 年首次出版后被译为多种文字，成为美国和其他许多国家大学大气辐射的教科书，并常为辐射传输和光散射领域的科学家所参考和引用。1985 年，本书的中译本由气象出版社出版，曾受到我国大气科学界师生和科技人员的广泛欢迎，成为大家常用的教材和参考书。从本书首版至今 20 余年来，大气辐射研究已取得很大进展，特别是近年来，和大气辐射有直接关联的全球变暖和遥感成为大气科学中的重要研究和发展领域。廖国男先生及时综合这些成果，于 2002 年又完成了本书的第二版，在原版的基础上增加了约 70% 的新内容，综合了从基础理论到实际应用的所有大气辐射有关专题，并详细论述了大气辐射与天气和气候系统之间的密切相关关系，同时也把大气辐射与遥感这个与其他许多科研领域相关的学科系统地结合起来。气象出版社及时引进版权，组织翻译。现在，新版的中译本终于面世。阅读新版，将帮助读者在掌握基本理论的基础上尽快步入现代大气辐射学的前沿。

内容特点：第二版基本遵循第一版的篇章结构，在原版基础上进行了大量的修改和补充，着重于基础理论研究、对物理过程的认识，以及利用辐射传输理论和来自地基、空基和天基的辐射仪观测资料，对太阳和地球辐射与行星大气中分子、气溶胶和云粒子之间相互作用的定量分析等方面。全书共 8 章：第 1 章，用于大气的辐射基本知识；第 2 章，大气顶的太阳辐射；第 3 章，太阳辐射在大气中的吸收和散射；第 4 章，大气中的热红外辐射传输；第 5 章，大气中粒子的光散射；第 6 章，行星大气的辐射传输原理；第 7 章，辐射传输对遥感探测的应用；第 8 章，辐射与气候。各章后设有习题，并列有推荐参考书目。书后附有名词索引，便于读者查阅相关内容。原版书的出版者美国学术出版社还出版了本书的习题答案，但只提供给大学里的任课老师。若有需求，我们气象出版社可帮助联系。同时，若大学或研究生院选用本书作为教材，还可直接向廖国男先生索取教案（邮箱：knliou@atmos.ucla.edu）。

读者对象：本书特别适合于学习大气科学的大学生和研究生，以及从事大气辐射、气候和卫星探测工作的科研人员。对于行星探测、电磁波散射和传播、光学、地球物理，以及生态学等学科的研究工作者也有相当的参考价值。

联系地址：北京中关村南大街 46 号气象出版社发行部金平同志 **邮编：**100081

电话：68406961 **传真：**62175925

网址：<http://cmp.cma.gov.cn> **Email：**qixiang_8043@263.net

（郭彩丽供稿）