

利用对流层污染测量仪研究 2002 年 东亚地区 CO 总量分布特征

方 圆 圆¹ 赵 春 生¹ 李 成 才^{1, 2}

¹ 北京大学物理学院大气科学系, 北京 100871

² 香港科技大学海岸与大气研究中心, 香港九龙

摘 要 利用 TERRA 卫星上搭载的对流层污染测量仪(MOPITT)在 2002 年 1~12 月的探测数据, 分析了 2002 年全球大气 CO 的时空分布特征, 并着重对东亚地区上空的 CO 柱总量月平均分布及其年变化做了研究, 验证和得出了一些关于 CO 时空分布的重要结论: CO 柱总量在北半球分布高于南半球, 在 1 月份高于 7 月份, 南半球春季低纬有几个高值中心; 东亚地区 CO 柱总量高值区分布在中国东部沿海以及东南亚、日本列岛之间, 位置和强度都逐月变化, 这一点与气象场的季节变化有关; 对多个站点的讨论表明, CO 浓度在一年中随季节变化。

关键词 对流层污染测量仪 CO 柱总量 月平均分布 年变化

文章编号 1006-9895(2005)03-0363-09

中图分类号 P402

文献标识码 A

Distribution Characteristics of Carbon Monoxide Concentration in 2002 Using MOPITT Data

FANG Yuan-Yuan¹, ZHAO Chun-Sheng¹, and LI Cheng-Cai^{1, 2}

¹ Department of Atmospheric Science, School of Physics, Peking University, Beijing 100871

² Research Center of Ocean and Atmosphere, Hong Kong University of Science and Technology, Kowloon, Hong Kong

Abstract The spatial-temporal distribution of the global carbon monoxide concentration in 2002 is analyzed by using MOPITT (the Measurement of Pollution in the Troposphere) data sets. The results show that CO is considerably abundant in the Northern Hemisphere and reaches its maximum in January, and that there are three centers of high CO concentration between 0 and 20°S in the Southern Hemisphere during the Southern spring. It is found that the regions with high CO concentration over East Asia are those from Indonesia, through the eastern coast of China, to Japan. An obvious seasonal variation of CO column concentration is also found in different locations.

Key words MOPITT, CO column concentration, monthly variation, East Asia

1 引言

CO 的大气本底含量为 $0.04 \times 10^{-6} \sim 0.20 \times 10^{-6}$, 是大气中含碳量第三的成分, 仅次于 CO_2 (约 340×10^{-6}) 和 CH_4 ($1.6 \times 10^{-6} \sim 1.7 \times 10^{-6}$)^[1], 是全球碳循环中一种重要的气体。CO 是

OH 自由基主要的汇, 在对流层中消耗大约 60% 的 OH 自由基; 同时, 由于它消耗 OH 自由基减弱了大气的氧化性, 阻碍 CH_4 等还原气体的氧化, 间接影响了大气中 CH_4 含量; 并且, 它还是对流层 O_3 的重要前体物。因此, 它是大气化学中一种非常重要并且值得关注的气体。

收稿日期 2003-11-12, 2004-03-16 收到修定稿

资助项目 国家自然科学基金资助项目 40318001

作者简介 方圆圆, 女, 1980 年出生, 硕士研究生, 目前从事大气化学方面的研究。E-mail: fy@pku.edu.cn

20 世纪 60 年代后期,人们开始研究对流层 CO 各种源和汇。Robins 等^[2]以及 Seiler^[3]第一次做了全球 CO 分布的分析。Seiler 和 Fishman^[4]利用飞机航测首次同时对 CO 和 O₃的资料进行了垂直和纬向的分布研究,证实这些气体在北半球的浓度高于南半球,CO 浓度在两个半球都随季节变化,但是在北半球随高度变化显著而在南半球则基本无变化。20 世纪 90 年代初,Novelli 等^[5]在阿拉斯加、科罗拉多、夏威夷等地选择了 8 个站点采样,观测 CO 在对流层大气的混合比,得出 CO 混合比的最大值是在北半球的高纬度处,向南逐渐减小,混合比随季节变化的振幅也是由北向南减小等重要结论。另外,在 20 世纪 90 年代中期在日本鹿儿岛也进行了 CO 及其它气体的地面测量^[6]。

鉴于采样及观测资料连续性和完整性的欠缺,过去的二三十年内全球大气化学模式^[7]被广泛用来研究大气化学的组成及全球收支。国内也有相关的模式研究,张仁健和王明星^[8]利用已经建立的全球二维大气模式考虑排放源的纬度、时间的变化,模拟出 CO 的全球分布及其长期变化。

要获得连续完整的 CO 资料,有必要在这一领域使用卫星工具。搭载在 TERRA 卫星上的对流层污染探测仪(Measurement of Pollution in the Troposphere,简称 MOPITT)正是用来测量 CO 和 CH₄的全球分布,记录它们是如何发生、发展、输运和沉积的。它使得人类第一次能够获得完整连续的 CO 和 CH₄分布资料,帮助人们了解不同的因素对大气对流层的影响。这些因素包括一些自然

现象,如森林生长、稻田排放等,还有一些灾害现象,比如火灾,此外还涉及到人类生活生产排放等等。

本文所做的工作就是利用 2002 年全年的 MOPITT 资料来对全球以及东亚地区 CO 时空分布进行分析和研究,得出其随时间和空间变化的规律,并对此进行相应的分析和解释。

2 仪器和数据

对流层污染测量仪(MOPITT)由加拿大空间局提供,1999 年 12 月随着美国宇航局(NASA)的 TERRA 卫星的发射而升空工作。它利用气体相关光谱学方法,将扫描辐射仪和气象摄谱仪相结合,测量 CO 和 CH₄在三个吸收带的向上反射和发射的红外辐射率。在仪器内部,通过改变光学路径上气体样品的压力和长度,对样品的密度进行调制,从而测得大气路径上的气体密度。

MOPITT 仪器采用 8 通道的相关光谱仪,在穿轨道方向步进扫描,仪器视场 1.8°(相当于地面分辨率 22 km),每一扫描线 28 步,递增 1.8°,最大扫描角为 25.2°,地面刈幅 640 km,进入压力调制室的三个辐射波长为 2.3 μm(CH₄)、2.4 μm(CO)和 4.7 μm(CO)。采用压力调制元件或者长度调制元件获取每千米层上 CO 浓度和 CH₄的体积。

MOPITT 离地高度 705 km,每天经过两极环绕地球 16 次,大约 16 天覆盖整个地球。它的各通道特性和主要用途^[9]如表 1 所示。

表 1 MOPITT 仪器特性和主要用途
Table 1 Characteristics of MOPITT CO and CH₄ channels

通道 Channel	探测气体 Gas	中心波长 Center wave length/mm	滤波宽度 Filter width/mm	单元压强 Cell pressure/kPa	用途 Primary purpose
1	CO	4.617	0.111	20	CO 廓线 CO profile
2	CO	2.334	0.022	20	CO 柱总量 CO column concentration
3	CO	4.617	0.111	7.5	CO 廓线 CO profile
4	CH ₄	2.258	0.071	80	CH ₄ 柱总量 CH ₄ column concentration
5	CO	4.617	0.111	80	CO 廓线 CO profile
6	CO	2.334	0.022	80	CO 柱总量 CO column concentration
7	CO	4.617	0.111	3.8	CO 廓线 CO profile
8	CH ₄	2.258	0.071	80	CH ₄ 柱总量 CH ₄ column concentration

MOPITT 数据包括 CO 和 CH₄ 的柱总量以及 850 hPa、700 hPa、500 hPa、350 hPa、250 hPa、150 hPa 等 6 层上 CO 的混合比浓度。CO 浓度数据的水平分辨率为 22 km, 垂直分辨率为 3 km, 精度优于 10%; CH₄ 浓度的水平分辨率为 22 km, 精度优于 1%。

本文利用 MOPITT 在 2002 年获得的 LEVEL 2 VERSION 3 版本的 CO 数据(<http://www.eos.ucar.edu/mopitt/data/index.html>), 来分析 CO 的时空分布特征。这一版本的数据具体反演机制可以参看文献[10], 它经过校准和验证, 剔除了云污染和天气影响, 可用于进一步科研处理。数据包括 MOPITT 扫描的星下点经纬度、该点相应 CO 柱总量及其上空六层的 CO 混合比浓度等。由于 CO 的生命时间较长, 在一天之内变化较小, 所以在研究其月平均变化时忽略掉 CO 柱总量的日变化, 把卫星扫描获得的数据进行插值处理获得有规则的格点数据, 同时选择区域进行叠加和平均获得不同区域的月平均数据集。研究全球分布时选取的地域范围在(60°S, 60°N)和(180°W, 180°E)之间, 而研究东亚地区的 CO 分布时选择的范围在(10°S, 60°N)及(70°E, 140°E)之间。

3 2002 年全球 CO 的分布特征

图 1(见彩图)是我们利用 MOPITT 数据得到的 2002 年全球范围(60°S~60°N, 180°W~180°E) CO 柱总量在 1 月和 7 月的分布图。从图 1 可以得到如下结论: 在空间分布上, 南半球的 CO 柱总量明显低于北半球; 在时间分布上, 7 月份全球平均 CO 柱总量值低于 1 月份的全球平均值。这一现象可以推广到其它年份^[2, 4, 5, 11]。

出现这一现象的原因有以下几点: 北半球陆地面积大, 人口和工农业都比南半球密集, CO 的排放量大于南半球, 2001 年的 IPCC 报告^[11]指出, 北半球的排放量差不多相当于南半球的两倍, 另外 CO 在大气中的生命时间约为 90 天, 而南北两半球间大气充分混合的时间大于 1 年, 所以北半球排放的 CO 不能够在全球混合均匀, 从而在图 1 中明显地反映出 CO 在北半球的浓度高于南半球。从 CO 源的角度来考虑, CH₄ 的氧化是 CO 一个重要的来源, 而 CH₄ 的浓度在夏季处于最小值^[12], 所以相应地减少了它向 CO 的转化, 而 CO 在大气中的汇主

要是它与 OH 自由基的反应, OH 自由基主要来自于 O₃ 的光解并伴随着 H₂O 的参与, 7 月份北半球夏季高温、高湿和较强的日照适于 OH 自由基的生成, 一定程度上也会导致此时 CO 消耗量大。

图 2(见彩图)给出的是 2002 年 1~12 月中 CO 柱总量随纬度的变化曲线, 可以明显地看出 CO 浓度随纬度的变化趋势: 除了 9~11 月份以外, 其余各月 CO 柱总量随纬度变化曲线的走向大致相同——从南极往北 CO 柱总量逐渐增大, 到北半球中纬度达到极值, 此后又有所降低。这个趋势和 CDML/NOAA 监测结果以及张仁健等^[8]在 2001 年通过模式模拟得到的结果类似。2002 年, 全球 CO 柱总量纬度带最高值出现在 4 月份 40°N 附近一带。从我们讨论的范围来看, 60°S 附近的 CO 柱总量最低。这种空间分布特征主要是由于 CO 源的空间分布所决定的。CO 的人为源主要集中在北半球中纬度大陆上, 并且从转化来看, 大气中 CH₄ 的浓度在北半球中高纬度较高, CH₄ 的氧化转化在北半球中高纬度也应该产生较多的 CO。至于两半球高纬度附近 CO 柱总量相对低值的出现除了与这一地区人为影响较小有关以外, 还要归功于该纬度带地区常年主导的下沉气流带来的上层清洁大气。

特别值得注意的是, 图 2 中 9~11 月份的 CO 柱总量随纬度的变化与其他各月有明显不同。在这三个月, 除了在北半球中高纬度(大约 40°N)附近有一个极大值外, 在南半球的中低纬度(大约 20°S)附近, 也存在一个极值。

为了研究 2002 年出现的这一现象, 我们以 2002 年 10 月为例, 给出了全球范围 CO 柱总量的分布图[图 3(见彩图)]。可以看到, 这一年 10 月份在 20°S 和赤道之间, 存在着三个大面积的 CO 柱总量的高值区, 分别分布在南美中部、非洲南部和印度尼西亚群岛一带, 其中尤以印度尼西亚一带的 CO 柱总量为最大。可以相信这一分布正是造成 10 月份在南半球出现 CO 浓度峰值的原因所在。2001 年的 IPCC 报告指出生物质燃烧产生的 CO 大约为每年 700 Tg, 是 CO 源的重要组成部分之一。考虑到此时正是南半球的春季, 而南美中部恰好是大片的农业区, 当地农民习惯在农耕季节(8 月、9 月)“烧荒”, 所以这个地区 CO 柱总量峰值的出现很可能是由大面积生物质燃烧而造成的; 而印度尼西亚一带的高值中心的出现, 则与当地 8 月份发生的大面

积森林火灾有着密切的联系。

4 2002 年东亚地区 CO 分布特征

图 4(见彩图)给出了用 MOPITT 数据得出的 2002 年东亚地区(10°S~60°N, 70°E~140°E)CO 柱总量的年平均。红色表示 CO 柱总量的高值区,蓝色表示 CO 柱总量的低值区。我们选取的色标范围是 $1.4 \times 10^{18} \sim 3.0 \times 10^{18} \text{ mol} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。从图 4 中可以看到:CO 浓度的高值区分布在中国东部沿海,东南亚以及日本列岛之间。赤道以南的海区 CO 柱总量较低,而内陆则是中国西北和西南地区、蒙古相对较低。图 5(见彩图)是这一地区 CO 柱总量各月的平均分布图。

从图 5 可以看到,2002 年东亚地区 CO 平均浓度也呈现出在夏季较低的现象。把我们得到的数据整理得出表 2,结合图表可以看出这样一个趋势:东亚区域 CO 的月平均柱总量从 1 月开始到 4 月一直增加,此后减小直至 7 月降至最低,此后又开始增加,在 10 月份达到一个高值后又减小。

表 2 2002 年东亚地区不同季节 CO 柱总量比较表
(单位: $10^{18} \text{ mol} \cdot \text{cm}^{-2}$)

Table 2 Comparison of CO column concentration in East Asia in 2002 (units: $10^{18} \text{ mol} \cdot \text{cm}^{-2}$)

月份	区域平均值	区域最大值	最大值位置
Month	Average	Maximum	Location of the maximum
1 月	2.0265	3.0197	(21°N, 110°E)
January			
4 月	2.2039	3.4319	(18°N, 103°E)
April			
7 月	1.7031	2.4119	(35°N, 115°E)
July			
10 月	2.3724	3.6848	(3°S, 112°E)
October			

图 5 还反映 2002 年 CO 浓度高值区分布的规律性,大致沿东北—西南走向呈带状分布,从中南半岛开始,经中国东部地区,一直延伸至日本列岛。这个带状区域的位置和强度都随季节有规律地变化,从 1 月到 7 月有明显减弱和向东北方向移动的趋势,7 月份之后这个带状区又重新回退和加强。考虑到 CO 在大气中的生命时间,这个中心明显地随季节移动的现象应该是与气象风场以及输送有重要关系的。夏季,东南亚地区盛行夏季风,包括东南季风和西南季风,其中东南季风的势力更

强、控制范围更广,它们带来了南部海上的清洁空气,同时也把污染气体向北方推进;而其它季节这一地区东部盛行的风多为东北风,它又使污染气体向西南退回。CO 分布和气象场具体的相关性有待更进一步地研究。

另外,2002 年除了东亚地区这个带状中心以外,从 8 月开始,印度尼西亚一带出现一个呈环形的 CO 柱总量高值中心,它逐渐加强发展在 10 月份达到极盛,此后消亡。这个中心的位置基本不变,维持时间 3 个月左右,而 CO 的生命时间大约是 3 个月,所以应该是与在这一地区发生的突发性排放事件有关。印度尼西亚是一个森林资源丰富的国家,但是它的火灾之多也是世界闻名的。据东盟秘书处发布的报告,印度尼西亚自 90 年代以来几乎年年旱季(8、9 月份)都发生严重火灾,2002 年更是突出。另据印度尼西亚国家通讯社安塔拉 2002 年 8 月 22 日的报道,自 8 月初以来,印度尼西亚许多地区发生森林大火,其中苏门答腊和加里曼丹岛尤为严重,在苏门答腊岛上的廖内省已经发现了明火 1 万多处,在西加里曼丹省发现了 5000 处,中加里曼丹省 4000 多处。这种大面积的火灾造成了空气污染以及 CO 浓度的剧增,从而在 2002 年产生以印度尼西亚为中心的 CO 高值区。

5 2002 年东亚地区不同站点 CO 年变化分析

为了进一步研究 2002 年 CO 柱总量随时间的变化趋势,我们根据图 4 中表现出来的高低值区域的分布,在不同地区选择了一些站点资料进行分析。我们选择了如下 7 个地点:北京(39.8°N, 116.5°E),乌鲁木齐(43.78°N, 87.65°E),重庆(29.5°N, 106.5°E),上海(31.2°N, 121.5°E),香港(22.31°N, 114.17°E),日本的鹿儿岛(31.55°N, 130.55°E),马来西亚的吉隆坡(3.2°N, 101.7°E)。图 6(见彩图)是这 7 个站点 CO 柱总量的全年变化,CO 柱总量是随季节变化的。图 6 中 7 条曲线表明,CO 柱总量年变化呈“两峰型”。年变化的谷区出现在夏季(6~8 月),而两个峰区基本上出现在春季(3~5 月)以及秋冬季节(10~12 月)。

站点的位置不同,2002 年的年变化趋势也有所差别:乌鲁木齐在这 7 个站点中变化最为平缓,CO 柱总量一直保持低的水平;而吉隆坡在这些点

中变化最剧烈，最低值相对最小，最高值相对最大；其次是香港，变化也较大。

我们还选择了一些地点的 CO 柱总量数据，按照纬度从高到低排列(表 3)。拉萨在各站点中年平均 CO 柱总量最低，是 $1.8537 \times 10^{18} \text{ mol} \cdot \text{cm}^{-2}$ ；其次是乌鲁木齐，为 $1.8762 \times 10^{18} \text{ mol} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。这两点位于西北和西南内陆，是比较典型的清洁地区，人为排放 CO 量很小，CO 柱总量低。而年平均 CO 柱总量最高点在上海，达到 $2.5130 \times 10^{18} \text{ mol} \cdot \text{cm}^{-2}$ ，其次是日本的鹿儿岛，CO 年平均柱总量为 $2.4866 \times 10^{18} \text{ mol} \cdot \text{cm}^{-2}$ ，接着是香港和海口，然后是北京。这几点都位于东亚 CO 分布东北-西南走向的带状高值区里。

表 3 2002 年不同站点 CO 柱总量年平均值
Table 3 CO column concentration in different locations in 2002

地点 Location	经度 Longitude	纬度 Latitude	CO 柱总量年平均值 Annual average of CO
			column concentration / $10^{18} \text{ mol} \cdot \text{cm}^{-2}$
乌鲁木齐 Urumqi	87°36'E	43°48'N	1.8762
北京 Beijing	116°28'E	39°54'N	2.2949
西宁 Xining	101°45'E	36°38'N	1.9457
鹿儿岛(日本) Kagoshima	130°33'E	31°33'N	2.4866
上海 Shanghai	121°29'E	31°14'N	2.5130
拉萨 Lhasa	91°10'E	29°40'N	1.8537
重庆 Chongqing	106°32'E	29°32'N	2.2772
香港 Hong Kong	114°10'E	22°18'N	2.4796
海口 Haikou	110°20'E	20°02'N	2.4023
马尼拉(菲律宾) Manila	121°00'E	14°30'N	1.8860
雅加达(印度尼西亚) Jakarta	106°49'E	6°10'N	1.9911
吉隆坡(马来西亚) Kuala Lumpur	101°41'E	3°09'N	2.0502

6 结论

本文利用 2002 年 MOPITT 探测的 CO 数据作了分析，得出关于这一年 CO 分布特征的如下结论：

7 月全球 CO 平均浓度在全年最低，1 月则较高。这是由于 7 月处于北半球夏季，温度湿度较大，有利于 OH 自由基的生成，而 OH 自由基与 CO 反应是 CO 的一个重要的汇，导致 CO 浓度在夏季显著降低。

南半球 CO 平均浓度低于北半球。这是由于 CO 的生命时间小于南北两半球间大气充分混合的时间，而北半球的 CO 排放远大于南半球的缘故。

CO 浓度随纬度的变化趋势是：从南极到赤道 CO 逐渐增大，赤道向北纬也是逐渐增大，直至北半球中高纬达到最大，此后，向高纬和极地逐渐减小。

东亚地区的 CO 浓度高值区主要分布在中国东部沿海人口密集和工业发达的地区，CO 浓度的高值区呈现东北-西南走向的带状分布，并且随着季节的不同，这一带状的高值区的位置会有变动，强度也有变化。这是与气象场的季节变化有关的。

此外，这一年，在所研究的东亚区域里，印度尼西亚和菲律宾群岛一带，从 8 月开始，逐渐形成了一个新的高值中心，到 10 月份这个中心发展最盛，11 月之后消亡，这个高值中心的出现是当地的森林火灾引起的。

选择单一站点的数据做 CO 浓度年变化曲线时，发现 CO 浓度在这一年中变化是有规律的，基本上呈现“两峰型”，分别是在春季(3~5 月)以及秋冬季(10~12 月左右)，而在夏季(6~8 月)，则出现全年的 CO 浓度谷值区。

致谢 本研究工作得到北京大学暴雨和旱涝灾害教育部重点实验室的支持，所使用的 MOPITT 数据来自美国 NASA 大气科学数据中心，在此一并表示感谢。

参考文献

[1] 秦瑜, 赵春生. 大气化学基础. 北京: 气象出版社, 2003. 168~170
Qin Yu, Zhao Chunsheng. *The Fundamental of Atmospheric Chemistry* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2003. 168~170

[2] Robbins R C, Borg K M, Robinson E. Carbon monoxide in the atmosphere. *J. Air Pollut. Contr. Assoc.*, 1968, **18**: 106~109

[3] Seiler W. The cycle of atmospheric CO. *Tellus*, 1974, **26**: 116~135

[4] Seiler W, Fishman J. The distribution of carbon monoxide and ozone in the free troposphere. *J. Geophys. Res.*, 1981,

- 86**(C8): 7255~7265
- [5] Novelli P C, Steele L P, Tans P P. Mixing ratios of carbon monoxide in the troposphere. *J. Geophys. Res.*, 1992, **97**: 20731~20750
- [6] Kajii Y, Akimoto H, Komazaki Y, et al. Long-range transport of ozone, carbon monoxide, and acidic trace gases at Oki Island, Japan, during PEM-WEST B campaign. *J. Geophys. Res.*, 1997, **102**(D23): 28637~28649
- [7] Mauzerall D L, Narita D, Akimoto H, et al. Seasonal characteristics of tropospheric ozone production and mixing ratios over East Asia: A global three-dimensional chemical transport model analysis. *J. Geophys. Res.*, 2000, **105**(D14): 17985~17910
- [8] 张仁健, 王明星. 大气中一氧化碳变化的模拟研究. *大气科学*, 2001, **25**(6): 847~855
Zhang Renjian, Wang Mingxing. The simulation of carbon monoxide variation in the atmosphere. *Chinese Journal of Atmospheric Science* (in Chinese), 2001, **25**(6): 847~855
- [9] Drummond J R, Mand G S. The Measurement of Pollution in the Troposphere (MOPITT) instrument: Overall performance and calibration performance. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 1996, **13**: 312~320
- [10] Deeter M N, Emmons L K, Francis G L, et al. Operational carbon monoxide retrieval algorithm and selected results for the MOPITT instrument. *J. Geophys. Res.*, 2003, **108**: doi: 10.1029/2002JD003186
- [11] Houghton J T, Ding Y, Griggs D J, et al. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Working Group I Third Assessment Report. New York: Cambridge University Press, 2001
- [12] 王明星. 大气化学(第2版). 北京: 气象出版社, 1999, 101~124
Wang Mingxing. *Atmospheric Chemistry* (in Chinese). 2nd ed. Beijing: China Meteorological Press, 1999, 101~124

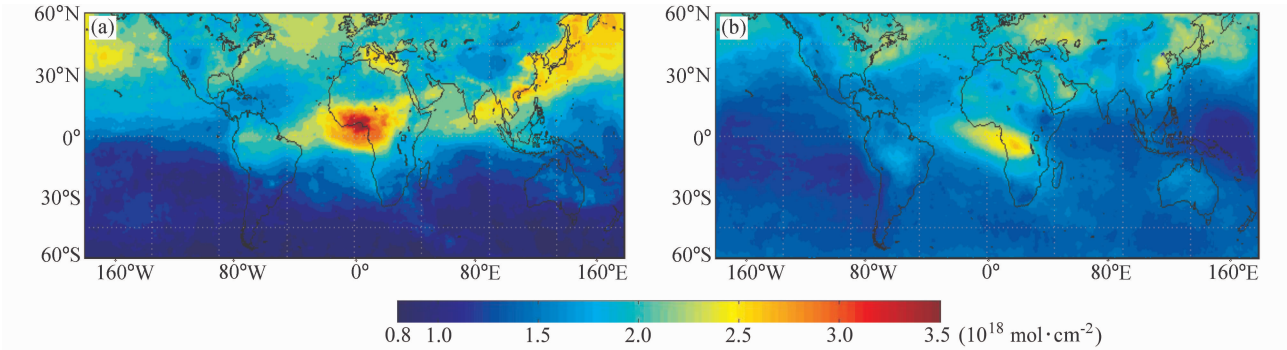


图 1 2002 年 1 月 (a) 和 7 月 (b) CO 柱总量全球分布图
Fig. 1 Global distribution of CO column concentration in January (a) and July (b) 2002

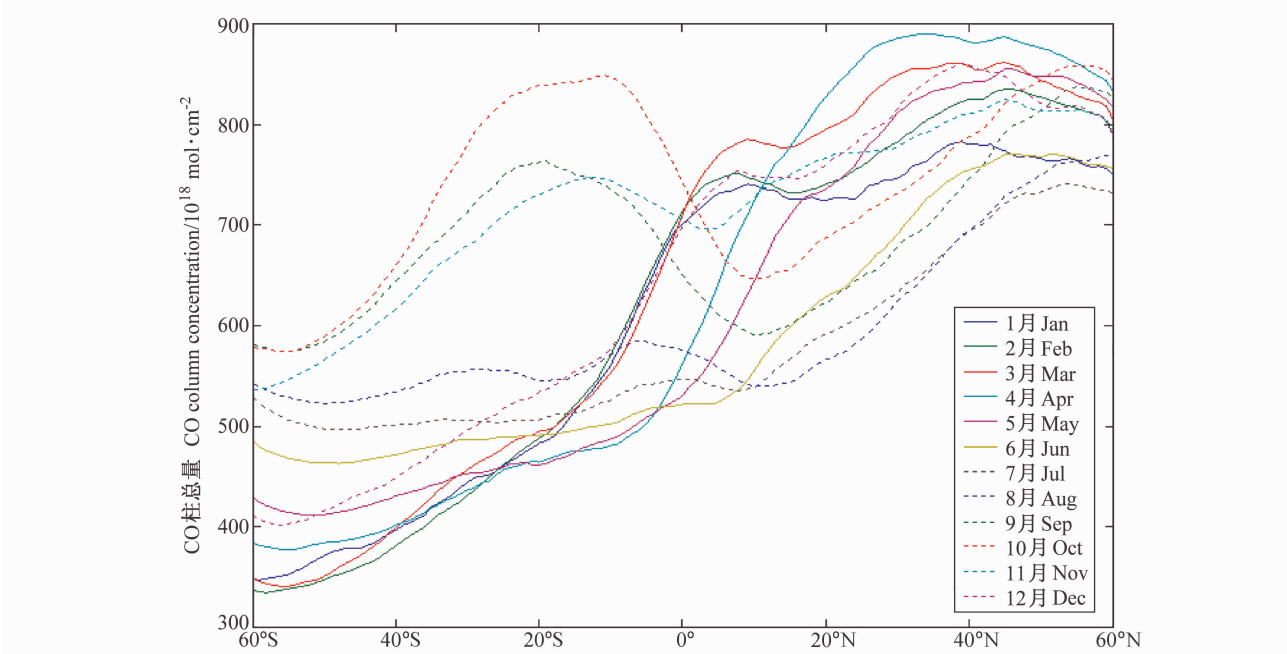


图 2 2002 年各月 CO 柱总量随纬度的变化
Fig. 2 Latitudinal variation of CO column concentration in 2002

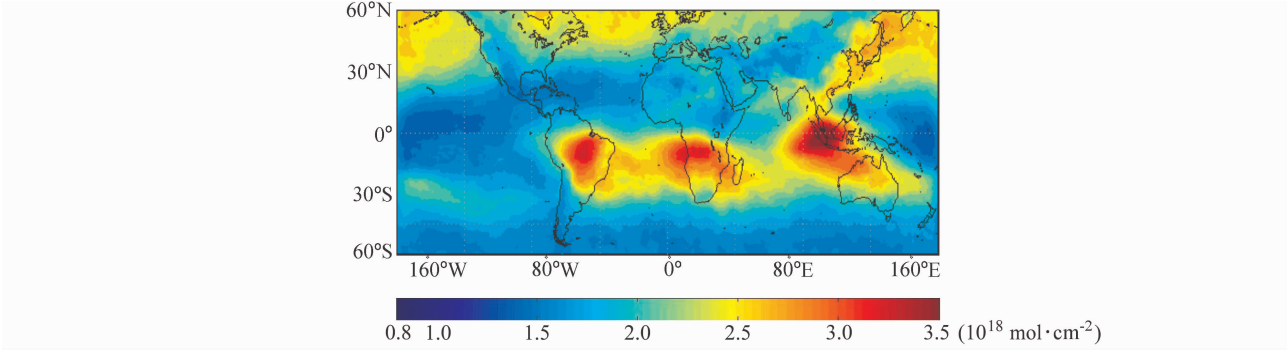


图 3 2002 年 10 月份 CO 柱总量全球分布图
Fig. 3 Global distribution of CO column concentration in October 2002

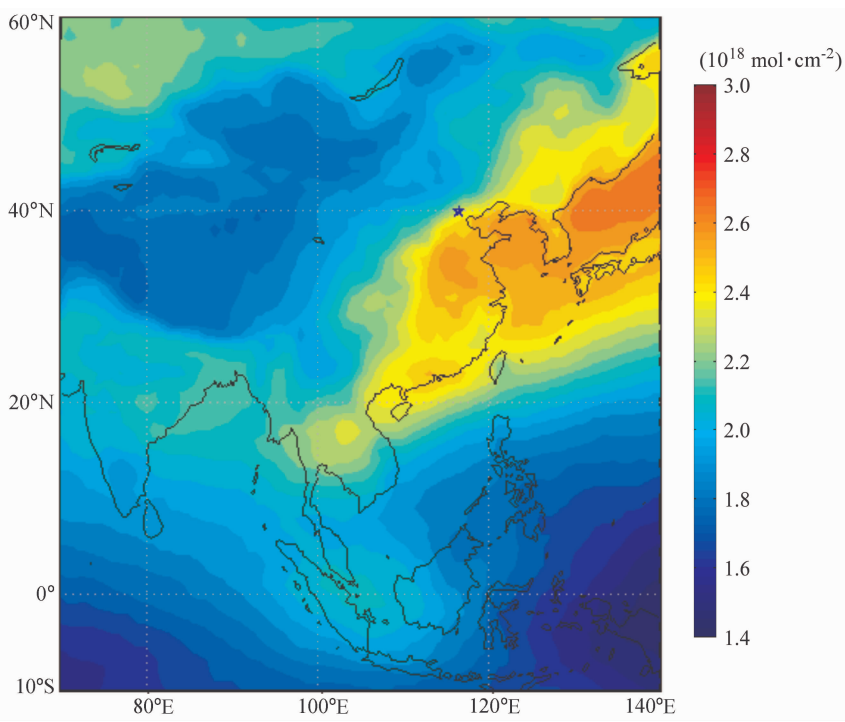


图 4 2002 年东亚地区 CO 柱总量年平均分布图
Fig. 4 Distribution of CO column concentration in East Asia in 2002

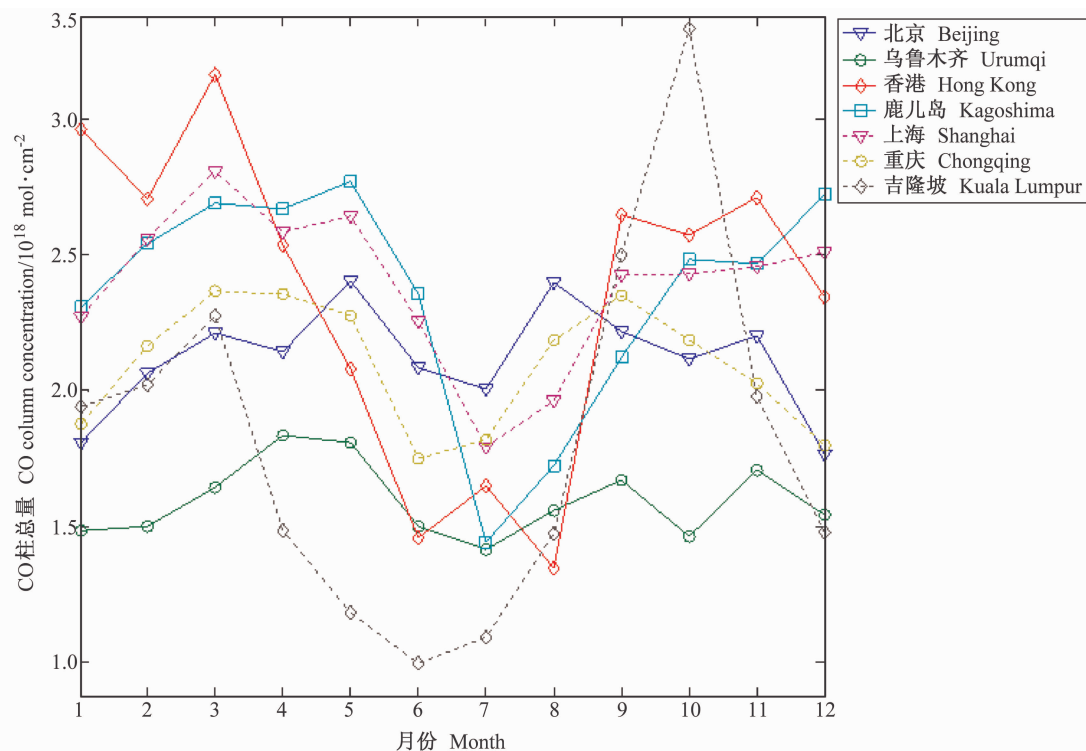


图 6 7 个站点 CO 柱总量年变化曲线
Fig. 6 Monthly variation of CO column concentration in different locations in 2002

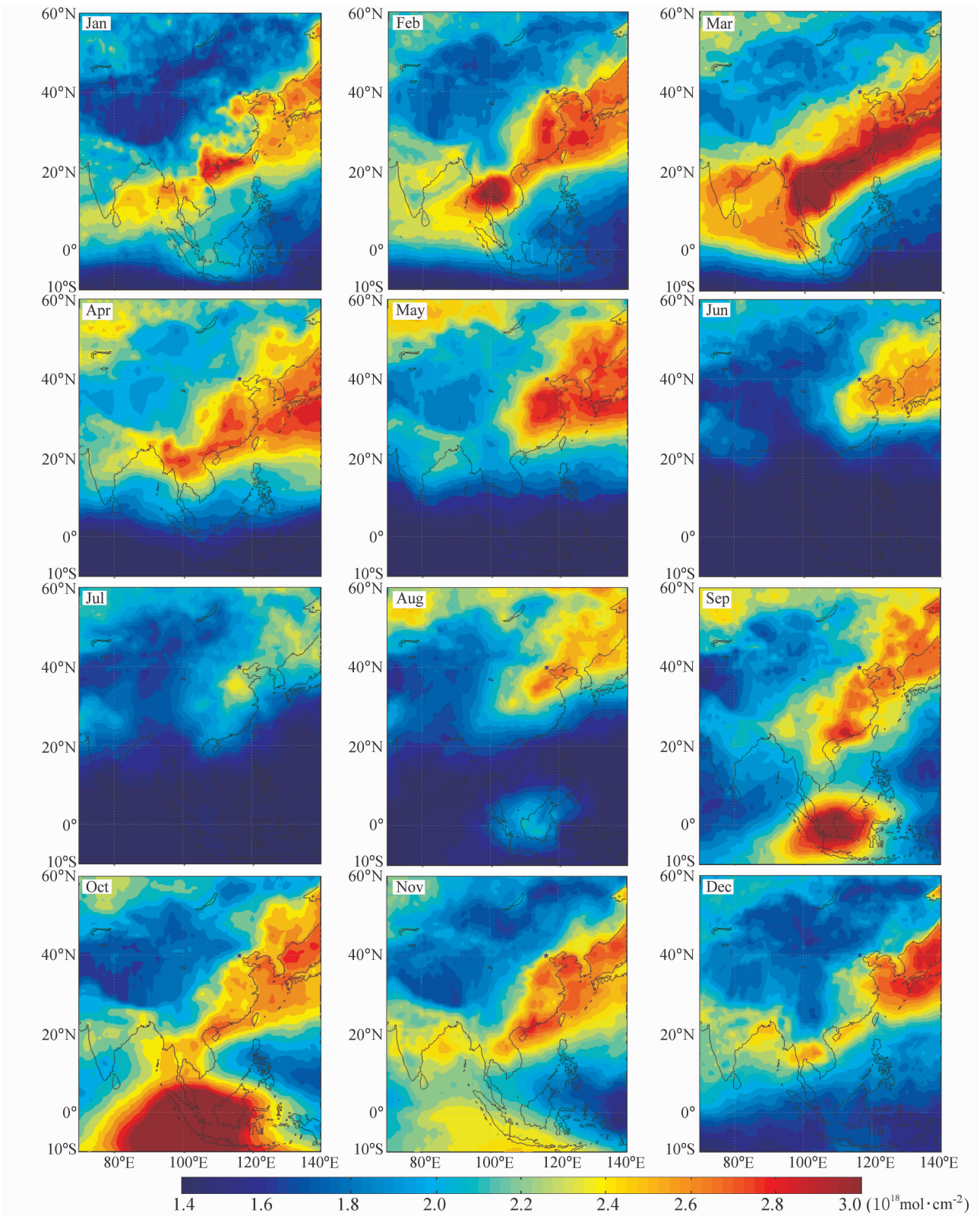


图 5 2002 年 1~12 月东亚地区 CO 柱总量分布图

Fig. 5 Distribution of CO column concentration in East Asia from January to December 2002