

福州市 CO 时空分布特征与影响因素

王宏^{1*}, 郑秋萍¹, 余华², 陈彬彬¹, 蒋冬升³

1. 福建省气象科学研究所, 福建 福州 350001; 2. 福州市环境监测站, 福建 福州 350011; 3. 福建省环境监测中心站, 福建 福州 350008

摘要: 国家环境保护部 2012 年修订的“环境空气质量标准”将 CO 列入环境空气污染物基本项目, 因预报业务迫切要求构建福建省重点城市福州 CO 的预报概念模型。利用 2011—2013 年福州市 6 个环境空气国控点 CO 小时质量浓度观测资料, 结合 NO₂、O₃ 等污染物浓度、气象常规观测资料以及通过聚类分析法将天气进行环流分型, 分析 CO 的时空分布规律, 与其它污染物浓度的相关性以及天气形势、气象要素等对 CO 质量浓度变化的影响。结果表明, 福州 CO 年平均质量浓度的高值出现在工业源较多、交通源密集的监测点; 市区浓度高于郊区和高山站点, 24 h 平均质量浓度没有出现超标现象。冬季平均质量浓度最高, 其次是春季、秋季, 夏季最低是冬季的 0.68 倍; 峰值出现在 1 月和 4 月, 冬半年 CO 质量浓度整体高于夏半年。日分布高峰出现在 7:00—10:00 和 17:00—20:00, 低谷出现在 13:00—16:00, 白天浓度值波动大, 夜间稳定处于低值区。CO 与 NO₂ 质量浓度呈现显著的正相关性, 秋季最高相关系数 0.658; 与 O₃ 质量浓度呈现反相关性 (夏季除外)。CO 质量浓度出现相对高值的天气型依次是锋前暖区>高压后部>切变、高空槽>地面倒槽; 出现相对低值的天气型依次是副热带高压<台风 (热带辐合带) 外围<台风 (热带辐合带) <副热带高压边缘<高压脊<高压底部。大气扩散条件的好坏、光化学作用是否明显以及风速的大小是决定 CO 质量浓度高低的主要因素, 与降水量关系不大。

关键词: CO; 时空分布; 天气形势; 潜势预报

DOI: 10.16258/j.cnki.1674-5906.2015.07.017

中图分类号: X16; P42

文献标志码: A

文章编号: 1674-5906 (2015) 07-1191-06

引用格式: 王宏, 郑秋萍, 余华, 陈彬彬, 蒋冬升. 福州市 CO 时空分布特征与影响因素[J]. 生态环境学报, 2015, 24(7): 1191-1196.

WANG Hong, ZHENG Qiuping, YU Hua, CHEN Binbin, JIANG Dongsheng. Temporal and Spatial Variation Characteristics and the Impact Factors of CO in Fuzhou [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2015, 24(7): 1191-1196.

一氧化碳 (CO) 是大气环境中一种非常重要的反应性气体, 是 OH 自由基主要的汇, 是对流层臭氧 (O₃) 的重要前提物, 是引发光化学污染事件重要的反应性气体。CO 无色无嗅, 不易被人察觉, 当浓度超过 400 mg·m⁻³ 时, 会导致 CO 急性中毒, 又称煤气中毒。近年来, 国内许多学者针对北方冬季发生的 CO 中毒事件, 开展了 CO 中毒事件与气象条件关系的研究 (路屹雄等, 2008; 王晓明等, 2007), 研发 CO 的潜势预报、预警系统 (薛奕波等, 2002; 梁寒等, 2009)。由于北方冬季多以烧煤自供暖的方式采暖, 如果建筑物通风不好, 容易导致室内 CO 浓度处于较高水平, 引发 CO 中毒, 此类事件也被称作为“非职业性”CO 中毒事件 (张晓云等, 2007; 张德山等, 2009), 普查文献资料, 福建历史上没有发生过非职业性 CO 中毒事件, 这类事件的高发区在东北、华北地区, 高发时段在 12 月—翌年 2 月。2006 年 2 月 13—14 日吉林延边州发生了一起史无前例的大面积居民 CO 中毒事件,

中毒人数高达 291 人, 死亡 16 人, 产生了非常严重的社会影响, 分析认为这是一次典型的“高影响天气”事件 (王元等, 2007; 谢静芳等, 2006), 并采用天气学分析方法, 探讨了造成大面积一氧化碳中毒的不利的气象因素, 根据大气流体力学原理对烟囱内流场的变化进行了数值模拟。目前在建立 CO 中毒预报中 (刘燕等, 2013) 利用北京冬半年逐日 CO 中毒人次与北京观象台气象要素等资料, 采用准多元回归指数概率分级技术, 建立了 CO 中毒指数 (4 级) 预报及相应风险水平评估模式。有研究分析了一氧化碳中毒事件发生日的地面天气形势和局地气象条件特征 (李明香等, 2006), 归纳出弱高压、低压和均压是 CO 中毒事件的高发天气形势; 气压梯度小, 风速小, 气温变化小等不利于污染物扩散的气象条件是引发 CO 中毒的主要天气原因。还有利用全国 CO 中毒病例资料 (陈辉等, 2011), 对 CO 中毒的气象条件进行了分析研究, 利用阈值加权平均的方法, 初步建立了区域性

基金项目: 福建省科技厅重点项目 (2012Y0009)

作者简介: 王宏 (1976 年生), 女, 高级工程师, 主要从事空气质量预报技术研究。E-mail: wh1575@163.com

收稿日期: 2015-03-08

CO中毒气象潜势预报模型。

5~10年前,福建省环境气象研究领域的主要对象是SO₂、NO₂、PM₁₀及API;近3~4年研究的重点转向了PM_{2.5}、O₃、灰霾天气和光化学烟雾事件,而由于CO监测资料比较缺乏,对CO的研究甚少。近地层大气中CO的主要来源是工厂废气和汽车尾气,是含碳物质不充分燃烧时产生的,如堵车时燃油的不充分燃烧以及化石燃料煤,石油,烷烃之类的不完全燃烧等。国家环境保护部2012年修订的“环境空气质量标准”将CO列入环境空气污染物基本项目,成为空气质量预报的要素之一。目前因预报业务的需求,迫切开展CO的源与汇特性,时空分布规律,与其它污染物浓度,特别是NO₂、O₃等反应性气体浓度的相关关系,以及与天气形势、气象要素等关系的研究,初步构建CO的预报概念模型,解决CO业务预报科技支撑不足的问题。本文分析福州市CO的时空分布规律和探讨CO的预报技术,以期为提高CO的预报准确率提供技术支持。

1 资料与方法

CO质量浓度资料为2011—2013年福州市6个环境空气国控点位(鼓山、快安、师大、五四北路、杨桥西路和紫阳,其中鼓山为高山对照点)逐时观测资料,剔除无效值后计算得到日平均(00:00—23:00)质量浓度。根据《环境空气质量标准》(GB 3095—2012)和《环境空气质量指数(AQI)技术规范(试行)》(HJ 633—2012)的有关规定,CO 24 h平均限值为4 mg·m⁻³,大于4 mg·m⁻³时III级超标,轻度污染;1 h平均限值超过10 mg·m⁻³时III级超标,轻度污染,其他级别(参见HJ 633—2012)。SO₂、NO₂、O₃、PM₁₀、PM_{2.5}质量浓度资料为市区各点位(00:00—23:00)的日平均浓度值。

地面和高空天气形势是利用8:00或20:00东亚地面天气图以及850、500 hPa高空图,通过聚类分析法将天气进行环流分型(王宏等,2008a,2008b)。气象常规观测资料为温度、降水、相对湿度、风向、风速等逐时观测资料。

天气形势分型说明:选取20°~35°N、110°~125°E为关键区,以850 hPa高空图为主,根据厦门、福州、邵武、南昌、赣州、大陈、衢州、汕头、台北和花莲10个探空站的气压位势什米、风向进行划分,将天气形势分为高压脊、高压底部、高压后部、锋前暖区、切变(高空槽)、地面倒槽、副热带高压及其边缘(500 hPa)、台风(热带辐合带)及其外围10种。

2 结果与分析

2.1 空间分布规律

对比市区5个监测点以及鼓山(对照点)的CO

年平均质量浓度,最高值出现在工业源较多的紫阳监测点(0.929 mg·m⁻³),次高值出现在交通源密集的五四北路监测点(0.826 mg·m⁻³),最低的是快安0.743 mg·m⁻³较鼓山(对照点)的年平均质量浓度(0.756 mg·m⁻³)还低,可能的原因是快安离市中心距离较远,靠近海边,风速大,可能是CO质量浓度低的原因。总体上,市区CO年平均质量浓度高于鼓山11.8%。

快安、师大、五四北路、杨桥西路、紫阳、鼓山6个监测点CO小时最大质量浓度分别为:5.1、28.1、5.1、4.8、5.2、3.0 mg·m⁻³。小时最大质量浓度的最高值出现在师大监测点,高达28.1 mg·m⁻³(出现时间:2013年4月17日10:00),较其他站点明显高出许多,而且师大监测点共出现过3次小时平均质量浓度超标(>10 mg·m⁻³)事件,均发生在2013年4月,其它监测点均没有出现小时平均质量浓度超标现象,鼓山小时最大质量浓度值最低,其它站点相近。

2.2 时间分布规律

2.2.1 年分布

2011—2013年福州市CO年平均质量浓度呈现逐年下降的趋势。

福州CO 24 h平均质量浓度没有出现过超标现象(>4 mg·m⁻³),也没有出现过24 h平均质量浓度>2 mg·m⁻³(II级)的个例,空气质量分指数(IAQI)全部为I级;最大值出现在2011年5月7日,质量浓度为1.962 mg·m⁻³(受锋前暖区天气形势影响,福州温高湿重,大气扩散条件较差,有利于CO聚集,浓度升高);最小值出现在2012年7月21日,质量浓度为0.395 mg·m⁻³(受台风外围天气形势影响,风速大,有利于CO稀释、扩散,浓度降低)。

CO 1 h平均质量浓度只有师大监测点在2013年4月7日5:00(13.3 mg·m⁻³)、4月17日5:00(15.9 mg·m⁻³)、4月17日10:00(28.1 mg·m⁻³),共3次出现III级超标,轻度污染,其他监测点均无超标现象。

2.2.2 季节分布

由图1可见,福州CO浓度的季节分布规律是冬季最高,其次是春季和秋季,夏季最低。冬季CO的平均质量浓度是夏季的1.47倍,这一方面与夏季热力条件好,大气湍流运动活跃,水平输送和垂直扩散条件好于冬季有关;另一方面与夏季太阳辐射强、气温高,大气光化学反应效率高有关,作为光化学前提物的CO,经过光化学反应后浓度下降。

CO质量浓度季节排序为冬季>春季>秋季>夏季,与PM₁₀和NO₂的季节排序规律一致,原因是CO与PM₁₀、NO₂质量浓度的高低根本上取决于大气的稀释、扩散和清除能力,冬季空气污染扩散条

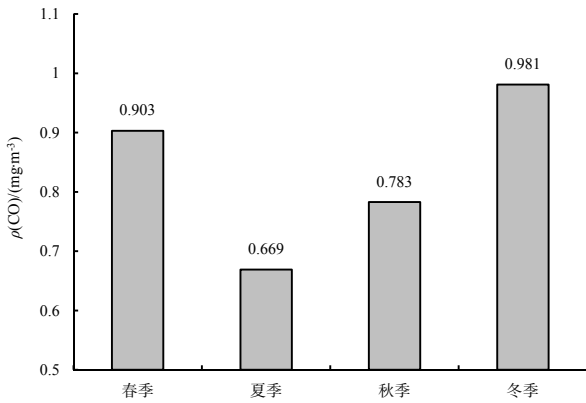


图1 CO质量浓度季节分布图

Fig. 1 The seasonal variation of the mass concentration of CO

件较差，平均扩散能力为四季中最弱的，其次是春季和秋季，夏季空气污染扩散条件较好，平均扩散能力最强。

但 CO 与 O₃ 质量浓度的季节排序规律（秋季>夏季>春季>冬季）近似相反（王宏等，2012），这与 O₃ 质量浓度的高低根本上取决于与太阳辐射强度、日照时间、气温高低、光化学反应速率等，O₃ 浓度升高会消耗反应一部分 CO，二者存在反相关性，所以季节分布规律近似相反。

2.2.3 月分布

由图2可见，市区 CO 质量浓度的月分布规律明显，呈现“双峰型”，峰值出现在1月和4月，11月—翌年5月是 CO 月平均质量浓度的高值区，浓度在

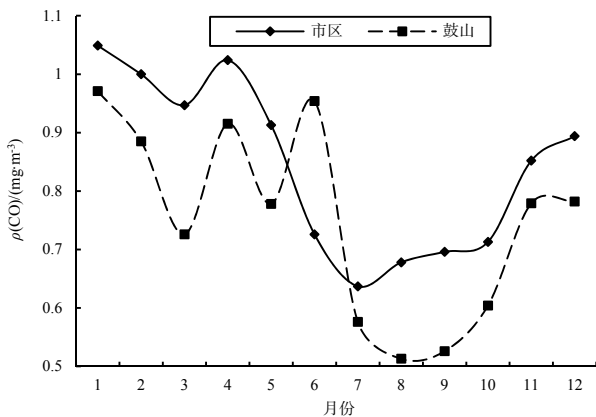


图2 市区与鼓山监测点CO质量浓度月分布图

Fig. 2 The monthly variation of the mass concentration of CO in urban monitoring points and Gushan

0.850~1.050 mg·m⁻³之间，5月之后月平均质量浓度出现明显下降，7月降至最低，6—10月是 CO 月平均质量浓度的低值区，浓度在0.630~0.730 mg·m⁻³之间，10月之后月平均质量浓度出现明显上升。

鼓山 CO 质量浓度的月分布规律呈现“多峰型”，峰值出现在1月、4月和6月，上半年 CO 月

平均质量浓度波动很大，6月之后平均质量浓度出现明显下降，8月降至最低，比市区滞后一个月，7—10月是 CO 月平均质量浓度的低值区，浓度在0.510~0.610 mg·m⁻³之间，10月之后月平均质量浓度出现明显上升。

2.2.4 日分布

由图3可见，福州6个监测点 CO 日分布规律基本一致，除了快安和鼓山站日分布呈现“单峰型”外，其他站点均呈现“双峰型”，最高峰出现在上午7:00—10:00，次高峰出现在傍晚17:00—20:00，即上下班交通高峰期和工业生产废气排放时段，汽车尾气和石燃不完全燃烧的排放是导致 CO 质量浓度升高的主要原因。

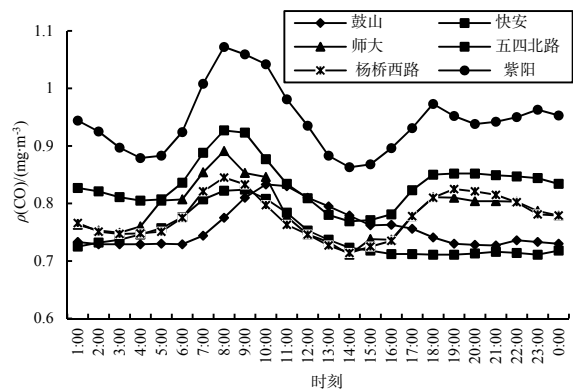


图3 不同监测点 CO 质量浓度日分布图

Fig. 3 The daily variation of the mass concentration of CO in different monitoring points

一天中 CO 质量浓度的低谷时段出现在 13:00—16:00，即一天中光化学作用较强的午后，CO 经过与 NO₂、OH 等气体光化学反应后浓度下降；CO 小时质量浓度值日分布的低谷时段正是 O₃ 小时质量浓度的高峰时段（王宏等，2012）。

白天时段（6:00—20:00）CO 的质量浓度值波动较大，高值与低值之比为 1.25 倍左右。夜间至凌晨时段（21:00—翌日 5:00）CO 质量浓度值相对稳定地维持在低值区，6:00 开始出现明显上升，这与夜间 CO 的排放量少，光化学反应基本停止有关，所以 CO 的质量浓度值在夜间波动不大，而且处于一天中的低值区。

2.3 与污染物浓度的相关性

由表1分析可见，不同季节 CO 与 NO₂ 质量浓

表1 不同季节 CO 与 NO₂、O₃ 质量浓度的相关系数

Table 1 The correlation coefficients between the mass concentration of CO and NO₂, O₃ in different seasons

污染物	春季	夏季	秋季	冬季
NO ₂	0.618	0.448	0.658	0.561
O ₃	-0.330	0.239	-0.314	-0.295

度呈现显著的正相关性,因为二者的来源主要都是汽车尾气和石化燃料燃烧排放,前者是含碳物质不完全燃烧时产生的,后者是空气在高温下燃烧时产生的,二者都是形成光化学烟雾的重要物质,是形成 O₃ 的前提物,经过光化学反应后浓度下降,其中秋季二者的相关性最高 0.658,夏季最低 0.448。

春季、秋季和冬季 CO 与 O₃ 质量浓度呈现负相关性,相关系数在 (-0.295~-0.330) 之间,通过 $\alpha=0.001$ 信度检验(下同)。CO 是形成光化学烟雾的重要物质,是生成 O₃ 的前提物,所以二者浓度呈现反相关关系。但 CO 与 O₃ 质量浓度在夏季却呈现正相关性,相关系数 0.239。原因是虽然夏季太阳辐射最强,大气的光化学反应效率最高,但 CO 和 NO_x 等 O₃ 前提物浓度因大气扩散条件好,本身浓度就较低,光化学反应生成 O₃, O₃ 也因扩散条件好容易被扩散、稀释掉,处于低浓度状态,有研究表明,我国东部地区 O₃ 质量浓度普遍在 6—8 月处于低值区(Wang et al., 2001; Xu et al., 2008),所以夏季不易产生高浓度的 CO 和 O₃。综合多种原因分析,夏季 CO 与 O₃ 质量浓度处于相对低值区,因此二者本真的反相关性没有表现出来,反而呈现正相关关系。

CO 与 SO₂ 质量浓度的相关性为 0.329,与 PM_{2.5} 质量浓度的相关性 0.244,与 PM₁₀ 质量浓度的相关性 0.381,均为正相关关系,可能的原因是 CO 生成后,其聚集、扩散、清除等机制与这几种污染物类似。CO 为反应性气体,与气溶胶颗粒物,如 PM_{2.5}、PM₁₀ 之间应该存在一定联系,因此在预报 CO 浓度时,应注意不同季节 CO 与不同污染物浓度变化趋势的判断。

2.4 与天气形势的关系

表 2 是不同天气形势下 CO 质量浓度的分布情况,由表 2 分析可得:

2011—2013 年福州 CO 年平均质量浓度为 0.844 mg·m⁻³,在 4 种天气形势影响下,CO 平均质量浓度高于或接近年平均值,从高到低排序依次

是:锋前暖区>高压后部>切变、高空槽>地面倒槽。另外 6 种天气形势影响下,CO 平均质量浓度低于年平均值,从低到高排序依次是:副热带高压<台风(热带辐合带)外围<台风(热带辐合带)<副热带高压边缘<高压脊<高压底部。

由表 2 可见,相同天气形势影响下 CO 质量浓度最大值与最小值之间跨度很大,因此以下描述的是不同天气形势影响下 CO 质量浓度值高、低分布的大概率情况,即在相同天气形势下,不同气象要素场,如风向、风速、降水量、相对湿度等的变化与配置对 CO 质量浓度变化起到了重要作用(另文分析)。

2.4.1 CO 质量浓度出现相对高值的天气型

在锋前暖区天气形势下 CO 平均质量浓度值最高,原因是该系统位于冷空气前部,气压场较弱,受暖气团控制地面气温回升、风速小,西南暖湿气流使低层湿度加大,大气层结稳定,持续 12 h 以上的锋前暖区属于超静稳天气型,也是最不利于扩散的天气型(李明香等,2006),因此在锋前暖区天气形势下 CO 质量浓度值高的原因是大气扩散条件较差引起的。若天气形势维持时间短,暖区系统较弱,CO 质量浓度不高。

高压后部系统影响较锋前暖区不同的是气压高,风速梯度大,类似的地方是气温回升、湿度增加,受其影响,天气以多云为主,云层厚时太阳辐射弱,大气扩散条件一般,光化学反应效率低,因此 CO 质量浓度值较高。当系统强大而稳定,不会随着其东移入海而明显减弱,天气多晴朗,太阳辐射强烈,升温明显,大气光化学作用强,湍流交换剧烈时 CO 质量浓度会出现低值。

切变和高空槽系统属于降水系统,受其影响 CO 的平均质量浓度值 0.925 mg·m⁻³,仅次于锋前暖区和高压后部系统。通常来说降水系统,除了暖区辐合弱降水(通常 24 降水量小于 5 mm,受东南、西南暖湿气流影响)不利于污染物的稀释和清除外,其他类型的降水,如低涡锋面系统引发的冷性

表 2 不同天气形势下 CO 质量浓度分布情况

Table 2 The mass concentration of CO in different synoptic situations

天气形势	平均值/(mg·m ⁻³)	最小值/(mg·m ⁻³)	最大值/(mg·m ⁻³)	主要出现月份	排序
高压脊	0.772	0.479	1.195	11—2 月	6
高压底部	0.794	0.513	1.547	10—6 月	5
高压后部	1.027	0.666	1.564	10—6 月	2
锋前暖区	1.049	0.757	1.962	1—4 月	1
切变、高空槽	0.925	0.523	1.701	全年	3
地面倒槽	0.841	0.466	1.346	5—8 月	4
副热带高压	0.618	0.467	0.768	7—9 月	10
副热带高压边缘	0.685	0.494	0.962	6—10 月	7
台风(热带辐合带)	0.664	0.395	0.963	7—9 月	8
台风(热带辐合带)外围	0.651	0.427	0.955	6—10 月	9
平均/极值	0.844	0.395	1.962	/	/

降水, 短时强降水、阵雨或雷阵雨等对流天气, 暖式切变、副热带高压边缘、高空槽过境引发的降水等对污染物的稀释、清除和湿沉降都有很好的作用。但分析发现, 多数降水对降低反应性气体 CO 的质量浓度来说作用不大, 降水量与 CO 质量浓度变化的相关系数很小-0.083, 发生降水时, 光化学反应基本没有, CO 水溶性较差, 以及没有被反应消耗是导致 CO 质量浓度高的可能原因; 降水时, 2 min 平均风速超过 $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, CO 会出现低值, 风速与 CO 浓度显著负相关, 相关系数-0.558。从降水样本与全部样本统计发现(表3), CO 质量浓度越低, 对应的平均风速值越大; CO 质量浓度特别低或特别高时小时降水量小, 随着雨量的增大 CO 质量浓度呈现增加的趋势, 既使出现 30 mm 以上的短历时强降水, CO 质量浓度值也不低; 可见风速大对降低 CO 质量浓度的作用明显, 而降水的稀释、清除作用不明显, 这在后面分析台风、热带辐合带及其外围天气系统影响下 CO 质量浓度值低, 风速大起到了决定性作用, 理由相似。

地面倒槽系统影响下气压场均匀, 西南气流加强, 明显增温、增湿, 类似于锋前暖区系统, 属于不利于污染物扩散的静稳天气型, 在该系统控制下 CO 质量浓度值高的原因是大气扩散条件较差引起的。

2.4.2 CO 质量浓度出现相对低值的天气型

副热带高压及其边缘影响下 CO 质量浓度值较低, 其中副热带高压控制下 CO 平均质量浓度值是所有系统中最低的。副热带高压及其边缘系统主要出现在夏季, 导致 CO 质量浓度低的原因有二, 一是大气热力条件和动力条件较好, 大气层结不稳定, 垂直湍流交换明显, 大气扩散条件非常有利于污染物的垂直输送和水平扩散, 所以 CO 质量浓度较低; 二是由于白天太阳辐射强烈, 日照时间长, 气温高, 大气光化学反应效率高, CO 参加光化学反应后质量浓度降低。

台风(热带辐合带)及其外围系统主要出现在夏季, 受其影响下 CO 质量浓度低的原因有二, 一是台风(热带辐合带)及其外围引发的大风, 导致 CO 被清除、稀释, 所以浓度值低; 二是在降水没有发生之前, 台风(热带辐合带)外围强烈的干热、下沉气流和显著的光化学作用影响, 使 CO 质量浓

度迅速降低。研究表明, 台风(热带辐合带)及其外围系统影响下 O_3 平均质量浓度是所有天气系统影响值中最高的(王宏等, 2011)。

高压脊又称强冷高压系统, 主要出现在秋末和冬季, 即一年中最冷的时候, 属于有利于扩散的天气型, 且受高压脊控制时一般天气晴好, 阳光充裕, 所以 CO 质量浓度值低的主要原因是这两点。特例是, 受北方外来污染物输送的影响, CO 质量浓度可能出现高值; 或汽车尾气或工业排放源强突然增加, 导致 CO 质量浓度升高。

高压底部是介于高压脊和高压后部系统的中间过程, 受高压底部系统影响时主导风向为偏东气流, 一般云层厚, 大气扩散条件一般, 光化学作用弱, CO 质量浓度值较高; 但在高压东移过程中, 风速增大, 有时增强为东风急流时, CO 质量浓度会明显降低。

3 结论与讨论

3.1 结论

(1) 福州 CO 年均质量浓度最高值出现在紫阳监测点, 次高值出现在五四北路监测点, 最低值出现在快安; 市区 CO 年平均质量浓度高于鼓山对照点。

(2) CO 年平均质量浓度呈现下降趋势。季节分布规律是冬季最高, 夏季最低, 比值 1.47; 月分布规律呈现“双峰型”, 峰值出现在 1 月和 4 月, 11—翌年 5 月是 CO 月平均质量浓度的高值区, 6—10 月处低值区; 日分布小时质量浓度高峰出现在上午 7:00—10:00, 次高峰出现在傍晚 17:00—20:00, 低谷时段为 13:00—16:00 正是 O_3 小时质量浓度的高峰时段。

(3) CO 与 NO_2 质量浓度呈现明显的正相关性, 与 O_3 质量浓度呈现负相关性(夏季除外), 与 SO_2 、 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 质量浓度均呈现正相关性。

(4) 在锋前暖区天气形势下 CO 平均质量浓度值最高, 其次是高压后部和切变、高空槽等降水系统; 副热带高压控制下 CO 平均质量浓度值是所有系统中最低的; CO 质量浓度与风速的大小有密切关系, 风速越大, CO 质量浓度值越低, 与降水量的关系不大。

(5) 综合分析 CO 质量浓度的高、低取决于大气扩散条件的好坏、大气光化学反应效率的高低以

表 3 不同 CO 小时质量浓度区间对应平均风速值以及小时降水量分布情况

Table 3 Mean wind speed and hour precipitation with different mass concentration ranges of CO

小时质量浓度区间/($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	2 min 平均风速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) ¹⁾	小时降水量区间/mm	2 min 平均风速/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) ²⁾
0.30~0.50	3.10	0.1~5.0	3.14
0.51~1.00	2.12	0.1~43.0	2.33
1.01~1.50	1.67	0.1~20.7	1.89
1.51~2.00	1.51	0.1~14.1	1.55
>2.01	1.25	0.1~3.3	1.27

1) 降水样本; 2) 全部样本

及风速的大小。

3.2 讨论

本文对福建省省会城市福州 CO 的天气学概念模型做了初步研究,是 CO 潜势-统计预报的一部分,下一步将建立 CO 的多元回归预报公式,将 2014 年 CO 的预报与实况值进行对比分析,检验预报准确率,对开展 2015 年的 CO 预报工作有较好的参考作用,值得推广到全省其他城市。

参考文献:

- WANG T, CHENG T F, LI Y S. 2001. Ozone and related gaseous pollutants in the boundary layer of eastern China: Overview of the recent measurements at a rural site [J]. *Geophys Res Lett*, 28: 2373-2376.
- XU X, LIN W, WANG T, et al. 2008. Long-term trend of surface ozone at a regional background station in eastern China 1991—2006: Enhanced variability [J]. *Atmos Chem Phys*, 8: 2595-2607.
- 陈辉, 吴昊, 赵琳娜, 等. 2011. CO 中毒的环境气象因子分析及预测方法研究[J]. *中国环境科学*, 31(4): 584-590.
- 李明香, 何晓东, 郭兆丽, 等. 2006. 营口市一氧化碳中毒事件发生日气象条件分析[J]. *气象与环境学报*, 23(4): 25-28.
- 梁寒, 陈宇, 刘凤辉, 等. 2009. 辽宁省非职业性一氧化碳中毒气象预报

- 方法[J]. *气象与环境学报*, 25(6): 39-43.
- 刘燕, 王虎, 朱江华, 等. 2013. 北京地区非职业性 CO 中毒模型及气象指数[J]. *气象科技*, 41(2): 384-388.
- 路屹雄, 王元. 2008. 一次高影响天气事件——延边 2.13 一氧化碳中毒事件分析[J]. *南京大学学报(自然科学)*, 44(3): 258-262.
- 王宏, 陈晓秋, 林长城, 等. 2012. 福州近地层臭氧分布及与天气条件的关系研究[J]. *自然灾害学报*, 21(4): 175-181.
- 王宏, 林长城, 蔡义勇, 等. 2008a. 福州市空气质量状况时空变化及其与天气系统关系[J]. *气象科技*, 36(4): 480-484.
- 王宏, 林长城, 陈晓秋, 等. 2011. 天气条件对福州近地层臭氧分布的影响[J]. *生态与环境学报*, 20(8-9): 1320-1325.
- 王宏, 林长城, 隋平, 等. 2008b. 福州天气形势分型与大气污染物相关性分析[J]. *气象与环境学报*, 24(6): 7-11.
- 王晓明, 孙力, 刘海峰, 等. 2007. 一次大范围一氧化碳中毒事件的气象条件[J]. *气象*, 33(2): 102-106.
- 王元, 路屹雄. 2007. 延边“2.13”一氧化碳中毒高影响天气事件分析[J]. *海峡两岸气象科学技术研讨会论文集*: 1-3.
- 谢静芳, 李磊, 刘海峰, 等. 2006. 延吉市 CO 中毒事件成因及气象条件分析[J]. *气象*, 32(12): 107-112.
- 薛奕波, 曲海涛. 2002. 烟台市区煤气中毒气象要素分析及等级预报[J]. *气象科技*, 30(6): 362-368.
- 张德山, 宋广生, 丁谊, 等. 2009. 北京非职业性一氧化碳中毒气象条件分析[J]. *气象科技*, 37(6): 705-708.
- 张晓云, 解以扬, 张忠琴, 等. 2007. 气象因素对某非职业性一氧化碳中毒事件的影响[J]. *环境与健康杂志*, 24(12): 979-981.

Temporal and Spatial Variation Characteristics and the Impact Factors of CO in Fuzhou

WANG Hong¹, ZHENG Qiuping¹, YU Hua², CHEN Binbin¹, JIANG Dongsheng³

1. Fujian Institute of Meteorological Science, Fuzhou 350001, China; 2. Fuzhou Environmental Monitoring Station, Fuzhou 350011, China;

3. Fujian Environmental Monitoring Central Station, Fuzhou 350008, China

Abstract: CO was listed in basic ambient air pollution items in “ambient air quality standards” revised by Ministry of Environmental protection of the People’s Republic of China in 2012. For forecast operation, there’s a pressing need to establish the forecast conceptual model of CO for Fuzhou, which is the key city in Fujian. The temporal and spatial variation characteristics of CO, the relationship between CO and other pollutants, and the effect of synoptic situations and meteorological factors on CO were analyzed using observation data in Fuzhou. The pollutant parameters observed from 2011 to 2013 included mass concentrations of CO, NO₂ and O₃ from 6 environmental monitoring points, and conventional meteorological observation data and synoptic situations recorded by cluster analysis method. The results showed that high annual average mass concentration of CO was in the environmental monitoring point where had more industrial and traffic sources. Mass concentration was higher in urban monitoring points than that in suburb and mountain. The 24-hour average mass concentration didn’t exceed standard. Quarterly average mass concentration was highest in winter, and then in spring and autumn, lowest in summer, which was 0.68 times that in winter. The highest mass concentration was in January and April, and it was higher in winter half year than that in summer half year. The highest mass concentration in a day appeared at 7:00—10:00 and 17:00—20:00, while lowest at 13:00—16:00. The mass concentration fluctuated in the daytime, while kept low and steady-going in the night. There was a significant positive correlation between the mass concentration of CO and NO₂, and the correlation coefficient was highest in autumn 0.658, and there was a negative correlation between the mass concentration of CO and O₃ (except in summer). Higher mass concentration of CO was in the pre frontal warm sector, posterior of high pressure, shear and upper trough, ground inverse trough, successively. Lower mass concentration of CO was in the subtropical high, outside of typhoon (intertropical convergence zone), typhoon (intertropical convergence zone), near the subtropical high, pressure ridge, bottom of high pressure, successively. Atmospheric diffusion conditions, photochemical effect, and wind speed were the major factors of the mass concentration of CO, while rainfall wasn’t an important factor.

Key words: CO; temporal and spatial variation; synoptic situation; potential prediction