

文章编号:1004-8227(2010)11-1345-05

# 重庆市主城区空气污染天气特征研究

周国兵<sup>1,2</sup>, 王式功<sup>1</sup>

(1. 兰州大学大气科学学院, 甘肃 兰州 730000; 2. 重庆市气象台, 重庆 401147)

**摘要:** 利用 2003~2008 年重庆市主城区大气污染监测资料, 分析了轻度污染以上天气的变化特征。结果表明重庆主城区的主要污染物为 PM<sub>10</sub>, PM<sub>10</sub> 浓度具有独特的“双峰双谷”日变化特征; 污染天气具有明显的季节特征, 主要污染期为秋末到初春; 污染天气具有连续性特征, 污染天气持续时间尺度主要集中在 2~7 d; 污染天气过程具有典型的大气环流和天气特征, 本地地面天气类型主要以低压或均压场为主, 中高纬度高空以纬向环流或西北气流为主, 天气以阴天或阴晴相间为主; 污染天气过程中本地气象要素变化呈现规律性, 地面 24 h 气压变化总趋势为负变压, 24 h 变温为正变温, 平均相对湿度维持在 72%~85%, 风速的变化趋势不大, 基本维持在 1~2 m/s, 低层逆温明显。污染天气过程结束时气压明显回升, 温度显著下降, 相对湿度显著增加。

**关键词:** PM<sub>10</sub>; 空气污染指数; 天气特征; 重庆

**文献标识码:** A

随着社会经济的发展和人们生活水平的提高, 城市空气污染问题也越来越受到人们的关注。研究表明, 空气污染既与污染排放有关又与大气对污染物的稀释和扩散能力有关。近年来, 国内外专家学对空气污染与气象条件的关系做了大量的研究, 国内一些专家针对各自城市的污染特点统计分析了有利和不利于大气污染扩散的各种天气类型。杨德保等<sup>[1]</sup>通过分析兰州大气污染与天气类型的关系, 提出地面高压南部型、高压后部型、高空暖平流型和过度型是造成兰州市空气污染的主要天气类型。王式功等<sup>[2]</sup>通过对冷锋天气过程的研究表明冷锋过境对兰州市区污染的净化作用最大。孟燕军等<sup>[3]</sup>通过对影响北京大气污染物变化的地面天气形势分析表明, 不利于污染物扩散类地面天气形势主要有高压后部型、高压底部型、低压带、均压场等天气形势。李琼等<sup>[4]</sup>通过分析珠江三角洲地区主要城市的污染浓度与天气的关系, 发现大气中的污染物浓度不仅与当天的天气类型有着密切的关系, 而且与前几天的天气类型的持续时间、地面气压场等天气因素有关。李国翠等<sup>[5]</sup>通过对石家庄市污染日特征分析研究发现典型污染日的出现具有相对连续性特点。综合分析这些不同城市不利于大气污染物扩散的天气形势都有一些共同的特点: 地面气压场较弱, 地面和

低空风速较小, 多静风, 常伴有较强的辐射逆温或低空逆温, 低层大气层结构稳定。

重庆市主城区地处丘陵低山地带, 城区东有铜锣山, 南有真武山, 西有中梁山, 长江、嘉陵江穿城而过(图 1)。三山环抱, 两江交汇, 形成独特的小盆地, 地形复杂, 年平均相对湿度大, 平均风速小, 静风频率高, 混合层较低, 逆温频率高, 这些特殊的地形和气象条件不利于大气污染物的扩散。因此, 重庆也就成为我国空气污染较为严重的城市之一, 严重的空气污染不仅给当地居民的健康带来众多不利影响, 也影响了重庆市的城市投资环境和竞争力。鉴于此, 重庆市政府于 2005 年起着手实施主城“蓝天行动”计划, 并制定了“十一五”期间各年度空气质量(以空气污染指数 API——Air Pollution Index 评价)达二级标准的最少天数。重庆属于南方城市, 冬季没有燃煤取暖, 从污染排放源情况看一年之中变化不显著。已有研究显示, 在污染物排放相对固定的条件下, 气象条件是影响空气中污染物浓度的主要因素, 这造成了 API 分布呈现一定的季节变化规律<sup>[6]</sup>, 空气污染事件往往呈现出一种持续性的污染特征<sup>[7]</sup>, 污染持续时间有时可长达 10 d 以上, 对全年 API 超标天数贡献非常明显。深入研究和分析重庆市主城区空气污染的天气特征, 了解其变

收稿日期: 2009-10-29; 修回日期: 2009-12-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(40675077); 国家科技支撑计划(2007BAC03A10)

作者简介: 周国兵(1973~ ), 男, 重庆人, 高级工程师, 博士研究生, 主要从事天气预报技术研究. Email: zhou-gb@163.com

化规律,可以为重庆实施“蓝天行动”计划和开展空气污染潜势预报提供重要参考。

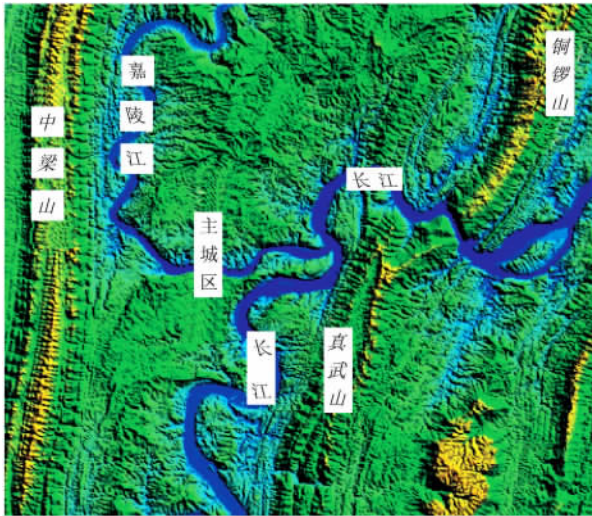


图 1 重庆主城区地形示意图

Fig. 1 Topographic Map of Chongqing

## 1 资料及处理方法

研究中使用的资料主要为污染物资料和气象资料。污染物资料来源于重庆市环境监测中心 2003 年 1 月~2008 年 12 月重庆市主城区空气质量监测站逐日污染物( $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{PM}_{10}$ )日平均浓度资料及空气污染指数(API)。气象资料为相应时段的高空、地面天气图资料、主城区沙坪坝气象站地面温度、气压、湿度、风等常规资料及 L 波段雷达探空资料。

在资料处理过程中,由于污染资料为前一天的 13:00 至当天的 12:00 的日平均值,为了将气象资料和污染资料统一起来,在计算气象要素平均值时也与污染资料时段相对应。污染天气过程按照 2003~2008 年期间主城区空气污染指数  $\text{API}>100$  的连续出现日数分类。

## 2 重庆市主城区空气污染主要特征

### 2.1 主要空气污染物

重庆市主城区共设置空气质量自动监测点 11 个,监测的项目有  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{PM}_{10}$ 、 $\text{O}_3$  等。2003~2008 年,空气污染指数  $\text{API}>100$  (轻度污染以上,以下简称污染天气)的天数中  $\text{PM}_{10}$  占 98.7%,为首要污染物。根据重庆环境监测中心 2006 年春季

$\text{PM}_{10}$  源解析结果表明,重庆主城区  $\text{PM}_{10}$  的主要来源是道路扬尘(37.4%)、机动车尾气(19.2%)、二次离子(17.4%,主要是硫酸盐和硝酸盐,其中硫酸盐占绝大部分,而硫酸根离子主要来源于燃煤设施排放二氧化硫的转换,有重庆主城大气流域内形成的,也有远距离输送来的)、建筑尘(10.8%)、煤烟尘(5.2%)、钢铁尘(4.4%)和其它(5.6%)。

### 2.2 重庆空气污染的季节特征

从季节上看(图 2),重庆主城区的主要污染期为秋末到初春(11~4月),每月平均污染日数在 9 d 以上,占全年污染日数的 74.2%,尤其以 12 月最严重,平均污染日数超过 15 d。5~9 月份污染天数比例较小,其中 7、8 月份最少,平均只有 1 d 左右,一般很难出现污染天气。根据文献,我国部分北方重污染城市(兰州、太原等)的主要污染季节也是冬季,北方城市空气污染的主要原因是冬季燃煤采暖造成污染源的显著增强,而重庆与其它北方城市不同,冬季一般不需要燃煤采暖,因此,从总体情况看重庆主城首要污染物  $\text{PM}_{10}$  的来源在一年四季中变化趋势不大,那么这种冬季污染加重的趋势就应该主要与气象条件有关了。

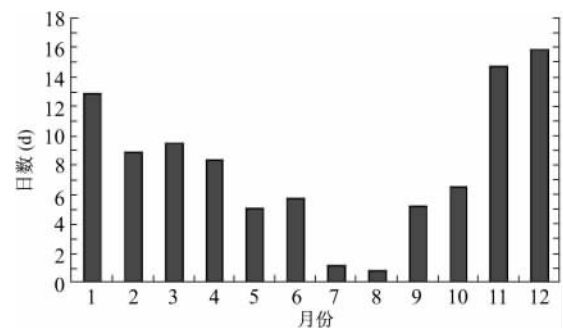


图 2 重庆主城区空气污染( $\text{API}>100$ )月平均日数

Fig. 2 Average Days of Air Pollution in Chongqing

### 2.3 主要污染物的日变化特征

重庆主城区空气中主要污染物为  $\text{PM}_{10}$ ,从  $\text{PM}_{10}$  逐时浓度值(2003~2005 年 3 年平均值)(图 3)可以明显看出, $\text{PM}_{10}$  浓度的日变化特征呈明显的“双峰双谷”特征。 $\text{PM}_{10}$  浓度峰值期主要出现在中午(11~12 h)前后和午夜(23 h)前后。午夜后  $\text{PM}_{10}$  高浓度逐渐下降,在 6~7 h 达到全天的第一个低值区,之后随着白天人类活动增加,道路扬尘、汽车尾气、工厂排放等使得  $\text{PM}_{10}$  污染源增强,从而在 11~12 h 达到第一个峰值,随后随着气温的升高大气湍流增强,混合层高度增高,大气环境对污染物扩散能力增强, $\text{PM}_{10}$  浓度又逐渐下降,在 17~18 h 达

到全天的第二个低值区,傍晚以后由于大气湍流减弱,混合层降低导致  $PM_{10}$  逐渐堆积,在 22~23 h 达到全天的第二峰值区,之后又因污染源减弱, $PM_{10}$  浓度再次下降。如此循环, $PM_{10}$  浓度日变化便形成了“双峰双谷”特征。

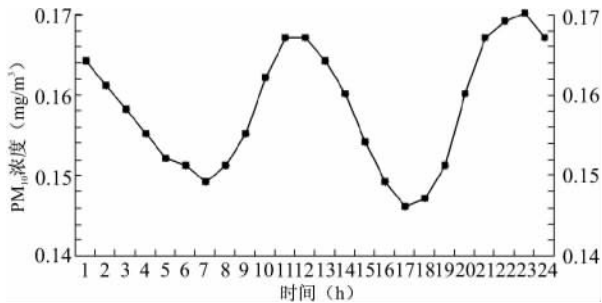


图 3 主城区主要空气污染物  $PM_{10}$  浓度逐时变化

Fig. 3 Hourly Concentrations of Main Air Pollutants  $PM_{10}$  in Chongqing

### 3 空气污染的天气过程特征

#### 3.1 污染天气过程

在 2005 年 1 月~2008 年 12 月 2 193 d 中,API >100 的污染日数共 566 d,占 25.8%,其中单日污染为 69 d(即前后日均为  $API \leq 100$ ),仅占总污染日数的 12%,按连续几天出现  $API > 100$  为一次污染天气过程计算,共出现 114 个天气过程(表 1),其中 2 d 过程 30 个占 26.3%,3 d 过程 30 个占 26.3%,4 d 过程 20 个占 17.6%,5 d 过程 9 个占 7.9%,6 d 过程 7 个占 6.1%,7 d 过程 5 个占 4.4%,8 d 以上 13 个占 11.4%,最长一次过程持续 19 d。主要的污染天气过程出现在 2~7 d 以内,占 88.6%,8~19 d 的污染天气个例较少本文未做详细研究。

表 1 污染天气过程统计表

Tab. 1 Pollution Weather Process

天数	2 d	3 d	4 d	5 d	6 d	7 d	8 d 以上
天气过程数	30	30	20	9	7	5	13
比例	26.3%	26.3%	17.6%	7.9%	6.1%	4.4%	11.4%

#### 3.2 污染天气过程类型及其主要特征

研究表明,在重庆市主城区出现的污染天气过程中,夏半年的污染天气过程较少,持续时间也很短,一般不会超过 4 d,4 d 以上的天气过程几乎都出现在冬半年。对 2~4 d 短污染天气过程,主要天气特征是地面为低压或均压场,高空中高纬度盛行西北气流,无明显低槽活动,天气以阴天或阴晴相间

为主。4 d 以上的污染天气过程与冬半年冷暖空气交替活动有密切关系,地面天气系统特征主要表现为重庆地区地面处于蒙古高压南部、华北高压后部低压区或均压场控制区,中国境内高空中高纬度主要为弱的纬向环流,随着北方冷空气的不断堆积,在高空槽的引导下,冷空气将逐渐南下,地面冷高压中心逐渐从蒙古中部、东部向南或向东南部移动,随着冷锋过境后冷空气逐渐从北部进入四川盆地或从重庆东部回流造成升压降温降雨天气,地面由低压转为冷高压控制,高空形势完成一次环流调整,相应污染天气也完成一次调整过程。污染天气维持时间与北方冷高压的维持到爆发(即冷空气在北方的堆积到大规模南下影响本地)的时间长短有关。污染天气过程中主要的天气特征表现为天气以阴晴相间为主,即使有降雨也以零星小雨为主,地面平均风速小,夜间辐射降温强的情况下还容易出现雾,气压变化幅度不大,污染前期以负变压为主,后期有弱的升压,基本上都会出现逆温,污染后期主要由阴天向小雨天气转变。

### 4 污染天气过程中本地气象要素的变化特征

统计分析表明,在所有的污染天气过程中,每一次污染天气过程的集中时段主要在 2~7 d 内,占所有污染天气过程的 88.6%,8 d 以上的个例相对较少,一般就只有 1 个例。因此,下面分析污染期本地气象要素变化特征时主要以 2~7 d 天气过程为主。

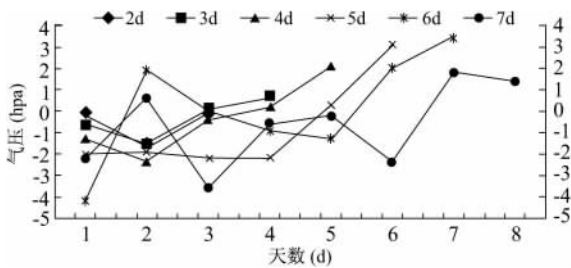
#### 4.1 污染天气过程中的逆温特征

由于污染资料时段为前日 13 时到当日 12 时逐时污染平均值,为了便于气象资料与污染资料时段对应,我们取前一日 19 时和当日 07 时 L 波段雷达探空资料来计算分析。结果表明,无论是污染当日 07 时还是前日 19 时逆温频率都非常高,其中污染当日 07 时逆温频率为 97.7%,贴地逆温占 67.4%,污染前日 19 时逆温频率为 97.3%,贴地逆温占 73.1%。由此可以认为逆温天气条件是有利于产生污染天气过程的。

#### 4.2 污染天气过程中气压场的变化特征

许多有关污染与天气系统的关系研究都表明,低气压是不利于大气污染物扩散的。然而在众多的污染天气过程中,很难将污染天气类型清晰地归类。通过比较分析污染天气过程中日平均气压变化趋势可以发现,在一次连续污染天气过程中日平均气压

呈下降趋势(图 4),即 24 h 变压表现为负变压,在污染天气过程结束期间有明显的升压趋势,即 24 h 变压表现为较强的正变压。在不同时间长度的污染天气过程中日平均气压的降幅是不一致的,一般来讲 3 d 以内的短期天气过程气压降幅相对较小,主要表现为均压场。4~7 d 的中期天气过程地面气压降幅相对较大,可以反映出高气压向低气压转化,最终转化为主要受低气压控制。对于 7 d 以上(图略)的天气过程中其气压变化总趋势仍然表现 24 h 变压为负变压,只是由于时间跨度大,中间会出现正负变压交替现象。



(图 4~7 中分别表示  $n$  天污染过程中均有  $n+1$  个值,其中第  $n+1$  表示污染结束日,如 2 d 中有 3 个值,前两个值表示污染日,第 3 个值表示污染结束日,以此类推)

图 4 污染天气过程中 24 h 地面平均气压变化

Fig. 4 24-hour Change of Average Surface Pressure During Pollution Weather Process

### 4.3 污染天气过程中地面温度变化特征

在污染天气过程中,无论是 2~7 d 还是 7 d 以上的污染天气过程,其日平均温度变化总体趋势是在污染期温度呈逐渐上升趋势,污染日的结束期温度有显著下降的趋势,24 h 变温更能够清楚表现为污染期为正变温(图 5),且在污染初期变温幅度较大,主要为 1~2℃,污染中后期变温幅度较小,主要为 0~1℃,尤其在 4 d 以后污染过程天气中正变温更弱,污染结束日普遍是由于冷空气活动造成明显

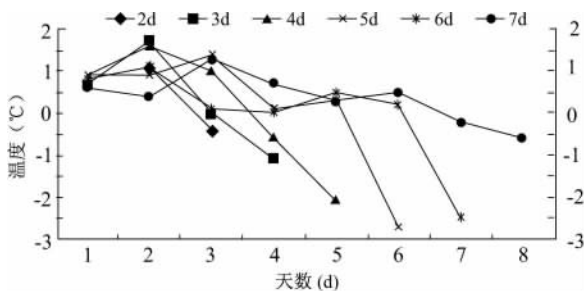


图 5 污染天气过程中 24 h 地面平均温度变化

Fig. 5 24-hour Change of Average Surface Temperature During Pollution Weather Process

的负变温,变温幅度为-3~0℃。因此,冷暖空气的交替活动是污染天气过程形成和结束的重要影响因素。

### 4.4 污染天气过程中相对湿度的变化特征

相对湿度的变化反映出大气中水汽状况与污染物的关系(图 6),污染物能够在大气中悬浮与水汽有一定的关系,太干的空气不利于颗粒物的悬浮,从主城区污染天气过程中平均相对湿度看主要集中在 72%~85%,变化趋势主要表现为湿度先降低,污染结束的后期湿度有显著增大趋势,而且在污染结束日呈陡增趋势,表现为天气由阴晴向雨天转化。污染天气过程越长,水汽在后期的陡增变化趋势越强。

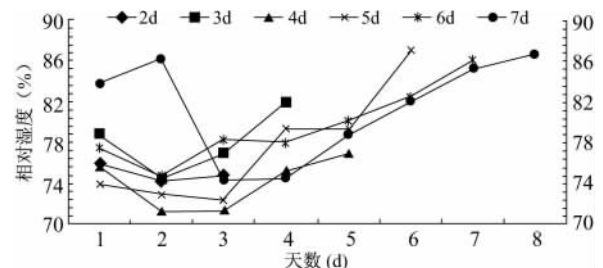


图 6 污染天气过程中 24 h 地面平均相对湿度变化

Fig. 6 24-hour Change of Average Surface Relative Humidity During Pollution Weather Process

### 4.5 污染天气过程中风速的变化特征

风速是影响污染物扩散的重要气象要素,由于重庆特殊的地理位置造成重庆地面风速小,多静风。在污染天气过程中风速的变化趋势不大,基本维持在 1~1.5 m/s(图 7),污染物水平扩散能力较弱。在污染结束期风速有明显增大的趋势,使得污染物水平扩散变得更加有利,从而污染物浓度呈现下降趋势。此外,L 波段雷达探空资料也表明,在污染期间近地层风垂直变化也很小,100 m 以下多静风,100~300 m 平均风速在 1~2 m/s,污染物的垂直扩散能力较弱。

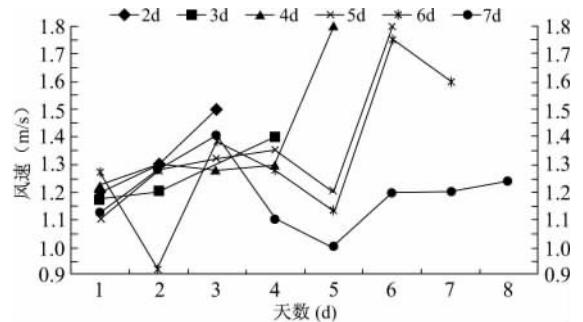


图 7 污染天气过程中 24 h 地面平均风速变化

Fig. 7 24-hour Change of Average Surface Wind Speed During Pollution Weather Process

## 5 结论与讨论

综合分析重庆主城区污染天气特征主要表现为,污染天气呈现明显的季节特征,主要污染期为秋末到初春,污染天气有连续性特征,污染天气持续时间尺度主要集中在 2~7 d。在持续性污染天气过程中,天气类型主要为地面受低气压或均压场控制,中高纬度高空以纬向环流或西北气流为主,天气以阴天或阴晴相间为主。污染天气过程中本地气象要素的主要变化特征为 24 h 气压为负变压,气温呈上升趋势,相对湿度变化不大,风速维持低值,低层逆温明显。污染天气过程结束后气压明显回升,温度显著下降,相对湿度也呈显著增加趋势。因此,我们如果了解了大气污染的季节特征、持续性特征和气象要素变化特征,在开展大气污染潜势预报中只要能够抓住未来一段时期内天气过程的变化特征就可以较好地预测未来大气污染趋势。此外,由于重庆特殊地形造成的局地大气环流对重庆城区的空气污染也会有一定的影响,将在以后的工作中作进一步深

入研究。

## 参考文献:

- [1] 杨德保,尚可政,王式功,等.兰州城市空气污染的天气分型与统计分析[M]//祁斌,尚可政,王式功,等编.城市空气污染预报研究.兰州:兰州大学出版社,2002:191~198.
- [2] 王式功,杨德保,李腊平,等.兰州城区冬半年冷锋活动及其对空气污染的影响[M]//祁斌,尚可政,王式功,等编.城市空气污染预报研究.兰州:兰州大学出版社,2002:165~171.
- [3] 孟燕军,程丛兰.影响北京大气污染物变化的地面天气形势分析[J].气象,2002,28(4):42~47.
- [4] 李琼,李福娇,叶燕翔,等.珠江三角洲地区天气类型与污染潜势及污染浓度的关系[J].热带气象学报,1999,15(4):363~369.
- [5] 李国翠,连志鸾,郭卫红,等.石家庄市污染日特征及其天气背景分析[J].气象科技,2006,34(6):674~678.
- [6] 唐燕秋,陈佳,熊强,等.重庆市多年空气污染指数分析及大气污染控制对策[J].四川环境,2005,24(6):80~82.
- [7] 周慧,王自发,安俊岭,等.城市空气污染持续维持机制研究 I——2002 年西安市空气污染持续维持过程分析及其气象成因[J].气候与环境研究,2005,10(1):124~131.
- [8] 叶堤.重庆市空气污染持续过程特征及其气象成因分析[J].江苏环境科技,2007,20(4):57~60.

## RESEARCH ON WEATHER CHARACTERISTICS OF AIR POLLUTION IN CHONGQING

ZHOU Guo-bing<sup>1,2</sup>, WANG Shi-gong<sup>2</sup>

(1. College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;

2. Chongqing Meteorological Observatory, Chongqing 401147, China)

**Abstract:** According to the air pollution monitoring data in Chongqing city during 2003~2008, we analyzed the weather characteristics of the changes of pollution events. The results showed that the major pollutant was PM<sub>10</sub> in Chongqing. The consistency of PM<sub>10</sub> had a diurnal fluctuations called “Dual Peaks and Dual Valley”. The pollution weather had obvious seasonal and continuity characteristics that these pollution events mainly occurred from late-autumn to next early spring with continuing period for 2~7 d. The process of the pollution weather had the typical characteristics of atmospheric circulation and weather. Local atmospheric circulations were equipped with low or mean pressure in the lower troposphere and zonal or northwest flows in the upper troposphere, resulting in overcast sky or rain-sunshine. In the process of the pollution weather, local meteorological elements had regular changes, such as in 24 h the ground air pressure changed in negative, temperature changed in plus, average relative humidity was between 72% and 85%, the wind speed changed little and kept 1~2 m/s, low-level inversion was evident. When the pollution weather was over, air pressure would pick up obviously, temperature would drop, and the relative humidity would increase.

**Key words:** PM<sub>10</sub>; air pollution index; weather characteristics; Chongqing