

尤焕苓, 刘伟东, 谭江瑞. 北京地区平均最大混合层厚度的时间变化特征[J]. 气象, 2010, 36(5): 51-55.

# 北京地区平均最大混合层厚度的时间变化特征<sup>\* 1</sup>

尤焕苓<sup>1</sup> 刘伟东<sup>2</sup> 谭江瑞<sup>3</sup>

1 北京市气象科技服务中心, 北京 100089

2 中国气象局北京城市气象研究所, 北京 100089

3 山西省运城市气象局, 运城 044000

**提 要:** 大气混合层厚度是大气环境质量影响预测中所需的重要参数。应用 Holzworth 干绝热法计算最大混合层厚度的基本原理, 采用王式功等提出的逐步逼近法计算了北京观象台站 1970—2007 年的最大混合层厚度, 分析了最大混合层厚度 38 年的变化和月平均值的年变化特征, 同时应用 2004—2007 年同期的北京地区空气质量等级与同期大气混合层厚度逐月分布频率进行比较。结果表明, 北京观象台的平均最大混合层厚度自 1970—1998 年有逐年减小趋势, 1998 年达到最小值, 而从 1998—2007 年有逐年增加趋势, 年平均最大混合层厚度与年降水日数有较为明显的负相关关系。最大混合层厚度的年变化表现出冬季低和夏季高的特征, 且在夏季的 7 月和 8 月出现一个相对的低谷。空气质量等级与同期大气混合层厚度逐月分布频率表明, 较高的最大混合层厚度出现频率较大的月, 空气质量等级为 1 级和 2 级出现的频率高, 而较低的最大混合层厚度出现频率较大的月, 其空气质量等级为 3 级和 4 级出现的频率高。

**关键词:** 最大混合层厚度, 大气污染, 变化特征

## Temporal Characteristics of Atmospheric Maximum Mixing Depth of Beijing

YOU Huanling<sup>1</sup> LIU Weidong<sup>2</sup> TAN Jiangrui<sup>3</sup>

1 Beijing Weather Information Service, Beijing 100089

2 Beijing Institute of Urban Meteorology, CMA, Beijing 100089

3 Yuncheng Meteorological Office of Shanxi Province, Yuncheng 044000

**Abstract:** Atmospheric mixing depth is one of most important parameters in air quality potential forecasting. Based on Holzworth's fundamental and Wang's stepwise approach, by using daily meteorological data from Beijing Observatory during 1970—2007, the maximum mixing depths (MMD) in Beijing Area were calculated and their variation characteristics with time were analyzed. The results showed that, from 1970 to 1998 the annual mean MMD had a decrease trend and got a minimum value in 1998, then from 1998 to 2007, the annual MMD turned into an increase trend. The seasonal variation showed the mean MMD being low in winter and high in summer. And the air quality and MMD frequency distribution revealed there is a remarkable negative correlation between them.

**Key words:** maximum mixing depth (MMD), air pollution, characteristic analysis

## 引 言

大气混合层是大气边界层中混合较强的层次,

在此层次以上表现为湍流特征不连续, 多为稳定的温度层结或逆温。混合层厚度表征了污染物在垂直方向被热力湍流、对流与动力湍流输送所能达到的高度, 混合层越厚, 稀释和扩散污染物的能力越强,

\* “北京市优秀人才项目 20061D0200800060”资助

2009 年 2 月 10 日收稿; 2010 年 1 月 3 日收修定稿

第一作者: 尤焕苓, 主要从事专业气象服务研究. Email: you\_hl@sohu.com

反之越小。最大混合层厚度是指日间混合层厚度的最大值,是日最高地面气温沿干绝热线上升与早晨探空曲线相交点对应的高度。它表征污染物在铅直方向稀释、扩散的最大范围,是污染预测的指标之一,也是空气污染潜势预报的重要参数。在我国,混合层厚度已广泛用于大气污染等的监测和预报中<sup>[1-4]</sup>。

我国对混合层厚度的计算方法及其变化特征研究工作较多。安顺清等<sup>[5]</sup>通过干绝热法计算了北京地区的最大混合层厚度,分析了北京地区 1 月的最大混合层厚度的特征,发现北京地区最大混合层厚度约在 1000~1750 m 之间,其中晴天的混合层厚度较阴天的大。彭贤安等<sup>[6]</sup>使用珠江三角洲地区部分测站低空温度资料,利用温差法计算混合层厚度,并分析了该地区边界层内冬、夏季混合层的高度、厚度变化特征,发现该地区混合层厚度偏低并具有多层分布的特点,且混合层厚度早晚较小而中午较大。张文煜等<sup>[7]</sup>利用声雷达法、综合评定法和温度廓线法分析了兰州市区的混合层厚度,发现声雷达法、综合评定法和位温梯度法确定的混合层厚度基本一致,而国标推荐法确定的混合层厚度为前三种方法确定的混合层厚度的两倍。孟庆珍等<sup>[8]</sup>用国标方法计算了成都 1980—1991 年的混合层厚度,并用干绝热法和罗氏法计算了成都 1988 年的大气混合层厚度,结果表明,成都大气混合层厚度逐年变化不大,混合层厚度有明显的季节变化和日变化。吴祖常等<sup>[9]</sup>用我国 125 个探空站的资料,计算了全国各地最大混合层厚度,发现我国混合层厚度值的分布呈西高东低,大部分地区的最低值出现在冬季,最高值出现在夏季。王式功等<sup>[10]</sup>根据 Holzworth 干绝热曲线法求最大混合层厚度,计算并分析了 1988—1992 年兰州市最大混合层厚度的变化特征,发现最大混合层厚度月平均值的年变化呈单周期型,12 月最低,5 月最高。袁仁民等<sup>[11]</sup>利用无线电探空仪获取了合肥市西郊温度和湿度探空资料,发现覆盖逆温层底的高度具有明显季节变化趋势,与太阳直接辐射的时间积分有较好的相关。贺千山等<sup>[12]</sup>利用北京大学的微脉冲激光雷达(MPL)观测的偏南气流条件下的混合层厚度和夹卷层厚度探测资料,分析了简单天气条件下城市混合层的发展机制。叶堤等<sup>[13-14]</sup>根据 2000—2005 年逐日 4 个时次的常规气象资料,分析了重庆主城区大气混合层厚度的频率分布、时间变化等基本特征,发现混合层厚度的季节

变化和日变化特征明显。混合层厚度的观测与变化特征也是国外大气环境研究的热点,如 Eresmaa 等<sup>[15]</sup>2006 年通过云高计确定混合层厚度,发现在晴空条件下,基于测量气溶胶廓线的云高仪与由探空数据计算的混合层厚度关系较好。Mazzeo 等<sup>[16]</sup>对月平均最大混合层厚度进行了分析,发现最小值出现在比较温暖的 7 月,最大值出现在比较冷的 1 月。Seibert 等<sup>[17]</sup>回顾和比较了现在业务中使用的混合层厚度计算方法,分析了各个方法的优缺点并提出了未来展望。

近年来,一些文献对北京地区混合层厚度特征进行了分析,但对北京地区混合层厚度年际和季节变化规律的研究还很少。因此,本文应用 Holzworth<sup>[18]</sup>干绝热法计算最大混合层厚度的基本原理,采用王式功等<sup>[10]</sup>提出的逐步逼近法计算北京观象台 1970—2007 年的最大混合层厚度,分析北京地区最大混合层厚度 38 年的变化情况和月平均值的年变化情况,比较 2004—2007 年北京地区空气质量等级与同期大气混合层厚度逐月分布频率,试图得到年平均最大混合层厚度随时间的长期变化特征和最大混合层厚度季节变化特征,探讨最大混合层厚度与空气质量等级间频率分布的关系,结果对于比较分析不同地区混合层厚度长期变化规律有一定的意义。

## 1 资料与计算方法

本文所采用的数据来自北京观象台站,该站是参加 WMO 的观测站,也是北京地区唯一的探空站。1970—1980 年,北京观象台站位于北京市旧宫附近(现南五环附近),周边环境属于远郊区,1981—1996 年该站搬迁至北京西三环附近的北洼路,周围环境为城郊,1997—2007 年该站又重新搬迁到北京市旧宫附近。本文应用了北京观象台 1970—2007 年的逐日地面最高气温和 08 时标准气压层的探空数据,同时采用了该站 1970—2006 年的逐日降水数据,所有数据均经过北京市气候中心的初步质量控制。2004—2007 年的空气污染指数数据来源于北京市环保局的环境公报。最大混合层厚度采用国际上较为流行使用的干绝热曲线法原理,该方法是 Holzworth<sup>[13]</sup>在研究美国一些地区的平均最大混合层厚度时所采用的一种方法,利用每天 08 时的探空资料与地面最高气温资料,由午后的干绝热线与该廓线相交,交点以下的厚度即可称为日最大混合层

厚度。在有探空资料的地区应用方便,可作当天的污染潜势预报。王式功等<sup>[10]</sup>通过逐步逼近法采用Holzworth提出的原理方法对最大混合层厚度进行了计算,该方法具有计算结果准确且速度较快优点。因此,本文根据王式功等的算法计算北京地区的最大混合层厚度,并分析其时间变化特征。

## 2 北京地区最大混合层厚度的变化特征

### 2.1 最大混合层厚度的年变化特征

图1为北京观象台1970—2007年38年的年平均最大混合层厚度随时间变化曲线。38年来,北京年平均最大混合层厚度平均为1168 m,其年平均值变化于1050~1266 m之间,最小值出现在1998年,最大值出现在1975年。从1970—1989年的20年最大混合层厚度均较大,平均为1216 m,最大与最小差值为94 m,1990年,混合层厚度明显下降,与1989年相比小133 m,随后有所增加,在1998年出现一低谷。影响大气混合层厚度的因素很多,如大气稳定度、风速、气温、温度露点差、太阳辐射、天气系统、下垫面条件、人工热源、热岛效应和城市烟雾云的辐射效应等。图2为北京观象台站1970—2006年年降水日数的分布,可以看出,北京地区在1973、1990和1998年等年降水日较多的年份,最大混合层厚度明显地减小,降水日数与最大混合层厚度之间存在较为显著的年度尺度上的负相关关系,这表明降水天气系统对最大混合层厚度影响很大,这可能是因为:(1)对流活动和降水的发生,使大气中的能量迅速释放,混合层厚度减弱甚至消失;(2)降水的发生往往为云量较多的阴天,导致地表接收太阳辐射减少,风速减小,湍流减弱,混合层厚度变小。同时,通过分析1971—2006年的最大混合层厚度与1970—2005年降水日数之间的相关性,发现二者之间具有较为明显的滞后相关性,具体原因有待于进一步研究。1990—2007年北京混合层厚度始终低于1970—1989年,这可能与1990—2007年北京地区的城市规模和工业活动的显著增强有关,而从1998年至今混合层厚度逐渐增加,则可能与近年来北京地区大气环境治理力度不断加大有关,由于大气透明度的增加,使地面接受的辐射增加,湍流活动增强,混合层厚度增加。

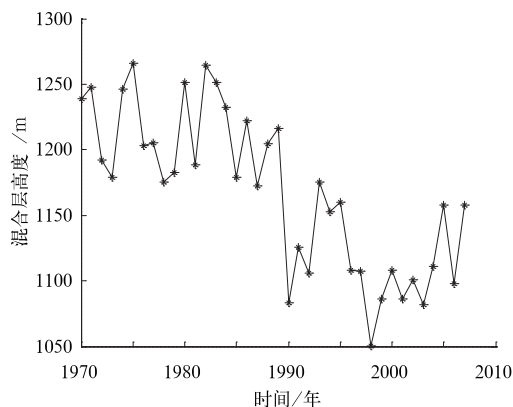


图1 北京观象台1970—2007年年平均最大混合层厚度随时间变化

Fig. 1 Variation of annual maximum mixing depth at Beijing Observatory from 1970 to 2007

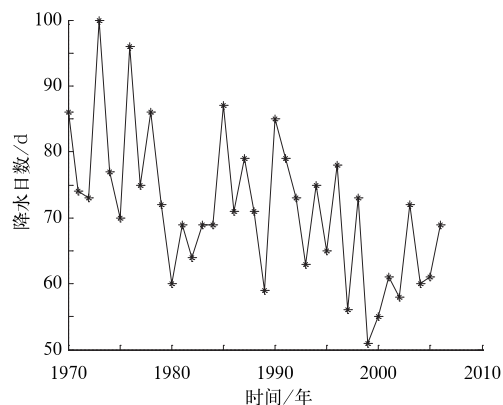


图2 北京观象台1970—2006年年降水日数随时间变化

Fig. 2 Variation of annual rain days at Beijing Observatory from 1970 to 2006

### 2.2 最大混合层的季节变化特征

图3为北京地区各月的多年平均最大混合层厚度变化曲线。可以看出,最大混合层厚度值有明显的季节变化,以6月和9月为最高,冬季11月、12月和1月为最低,夏季有一小的低谷,各月平均值为1177 m,最大值出现在9月,为1307 m,最小值出现在12月,为967 m。这种混合层厚度的季节变化与湍流强弱的季节变化基本一致。冬季,太阳辐射减弱,相应地湍流减弱,混合层厚度减小。而春季、秋季北京地区大气能见度好,辐射较强,导致湍流活动旺盛,混合层厚度增大。而夏季是北京多雨的季节,多为低压辐合天气系统控制,存在较多云层覆盖,抑制了太阳辐射的接收,导致由于热力湍流活动的减弱,同时,对流活动和降水的发生,使大气中的能量

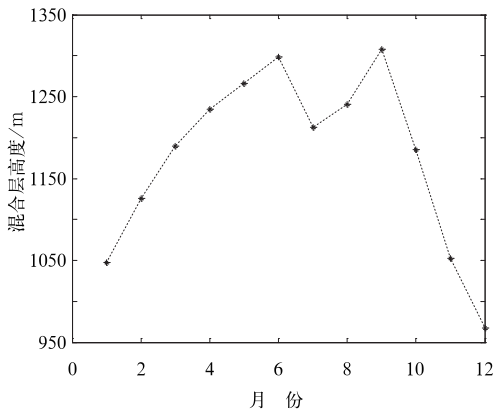


图3 北京观象台 1970—2007 年逐月平均最大混合层厚度随时间变化

Fig. 3 Variation of monthly maximum mixing depth at Beijing Observatory from 1970 to 2007

迅速释放,混合层厚度减弱甚至消失,这可能是 7 月和 8 月出现小低谷的原因之一。

### 2.3 最大混合层厚度和空气质量等级的频率分布

图 4 是 2004—2007 年北京观象台逐月最大混合层厚度出现频率的分布情况。最大混合层厚度的频率即通过将最大混合层厚度按等间隔分组,然后计算出的每个小组的频数与数据总数的比值。可以看出,从 1—12 月,1500 m 左右的混合层厚度出现频率最多,而每个月 1500 m 高度出现频率各不相同,5、6、8 和 9 月平均最大混合层厚度 1500 m 频率均超过 40% 以上,而其在最大混合层厚度小于 1000 m 所占的频率很低,1、11 和 12 月 1500 m 所占的频率均小于 30%,而小于 1000 m 频率较大。图 5 是

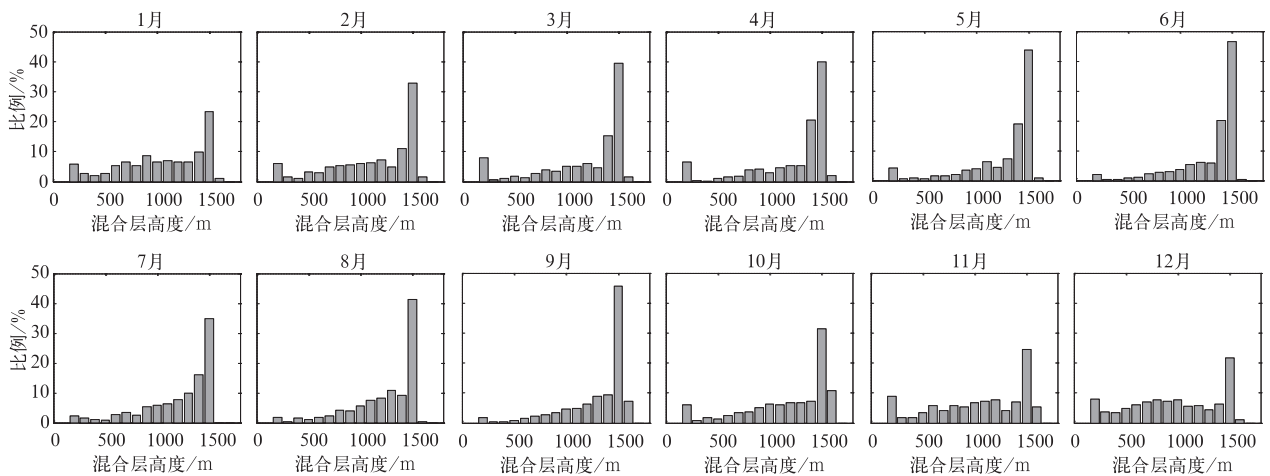


图 4 北京观象台 2004—2007 年逐月最大混合层厚度频数分布

Fig. 4 Frequency distribution of monthly maximum mixing depth at Beijing Observatory from 2004 to 2007

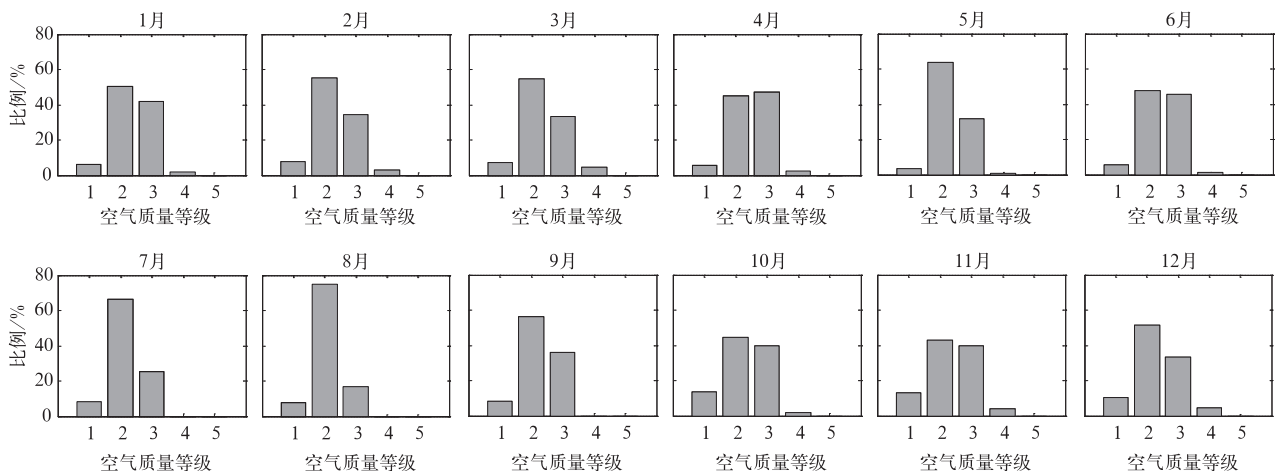


图 5 北京市区 2004—2007 年逐月空气质量等级频数分布

Fig. 5 Frequency distribution of monthly air quality in Beijing urban area from 2004 to 2007

相对应的空气质量等级的频率分布,可以看出,与最大混合层厚度频率分布相反,最大混合层厚度较高的5、6、7、8和9月,空气质量等级为1级和2级的频率较高,而大于4级的频率非常小,而1、11和12月,空气质量等级为3级、4级的频率较高,空气质量等级为1级和2级所占的频率较小。

### 3 结 论

本文应用 Holzworth 干绝热计算最大混合层厚度的基本原理,采用王式功等提出的逐步逼近法计算了北京观象台站 1970—2007 年的最大混合层厚度,分析了最大混合层厚度 30 多年的变化情况和月平均值的年变化情况,同时应用 2004—2007 年同期的北京地区空气质量等级与同期大气混合层厚度的逐月分布频率进行比较。得出以下结论:

(1) 1970—2007 年,北京观象台的年平均最大混合层厚度 1970—1998 年逐年减小,1998 年达到最小值,而 1998—2007 年逐年增加,表现出明显的上升趋势,年平均最大混合层厚度与年降水日数有较为密切的关系,年降水日数多的年份,年平均最大混合层厚度较小,而年降水日数少的年份,年平均最大混合层厚度较大。

(2) 最大混合层厚度的年变化则表现出冬季低而夏季高的特征,且在夏季的 7、8 月出现一个相对的低谷,这可能与北京地区的雨季有关。

(3) 从 2004—2007 年同期的北京地区空气质量等级与同期大气混合层厚度逐月频率分布看,较高的最大混合层厚度出现频率较大的月,其空气质量等级为 1 级和 2 级出现的频率高,而较低的最大混合层厚度出现频率较大的月,其较高空气质量等级为 3 级和 4 级出现的频率则高,最大混合层厚度与空气质量关系密切。

### 参考文献

- [1] 魏生生, 俎铁林, 林学范. 辐射熏烟浓度预测研究[J]. 气象, 1999, 25(4): 15-19.
- [2] 何晓红, 次仁德吉, 林志强. 拉萨一次浮尘天气过程分析[J]. 气象, 2007, 33(9): 69-73.
- [3] 孙玫玲, 穆怀斌, 吴丹朱, 等. 天津城区秋季 PM<sub>2.5</sub> 质量浓度垂直分布特征研究[J]. 气象, 2008, 34(10): 60-66.
- [4] 黄海燕, 郑国光. 北京地区春季气溶胶分布特征的个案分析[J]. 气象, 2009, 35(7): 3-9.
- [5] 安顺清, 陆业传. 最大混合层厚度的一种计算方法及北京的某些统计结果[J]. 气象, 1983, (1): 24-26.
- [6] 彭贤安, 梁汉明. 珠江三角洲地区大气混合层特征分析[J]. 气象, 1992, 18(7): 7-11.
- [7] 张文煜, 冯广泓, 袁九毅. 复杂地形上确定大气混合层厚度方法的探讨[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 1995, 31(3): 151-152.
- [8] 孟庆珍, 冯艺. 成都大气混合层厚度的计算和分析[J]. 成都气象学院学报, 1996, 11(1): 73-81.
- [9] 吴祖常, 董保群. 我国陆域大气最大混合层厚度的地理分布与季节变化[J]. 科技通报, 1998, 14(3): 158-163.
- [10] 王式功, 姜大膀, 杨德保, 等. 兰州市区最大混合层厚度变化特征分析[J]. 高原气象, 2000, 19(3): 363-370.
- [11] 袁仁民, 马成胜, 范爱媛. 混合层顶覆盖逆温层变化规律研究[J]. 中国科学技术大学学报, 2003, 33(2): 247-252.
- [12] 贺千山, 毛节泰, 陈家宜, 等. 基于激光雷达遥感和参数化模式研究城市混合层的发展机制[J]. 大气科学, 2006, 30(2): 293-306.
- [13] 叶堤, 王飞, 陈德蓉. 重庆市多年大气混合层厚度变化特征及其对空气质量的影响分析[J]. 气象与环境学报, 2008, 24(4): 41-44.
- [14] 洪盛茂, 焦荔, 何曦, 等. 杭州市区空气污染物变化特征及其与气象条件的关系[J]. 气象, 2010, 36(2): 93-101.
- [15] Eresmaa N, Karppinen A, Joffre S M, et al. Mixing height determination by ceilometer[J]. Atmos Chem Phys, 2006, 6(6): 1485-1493.
- [16] Mazzeo N, Gassmann M. Mixing heights and wind direction analysis for urban and suburban areas of Buenos Aires city[J]. Energy Buildings, 1990, 15-16: 333-337.
- [17] Seibert P, Beyrich F, Gryning S, et al. Review and inter-comparison of operational methods for the determination of the mixing height[J]. Atmospheric Environment, 2000, 34: 1001-1027.
- [18] Holzworth G C. Estimates of mean maximum mixing depths in the Contiguous United States[J]. Mon Wea Rev, 1964, 92(5): 235-242.