

基于气象条件的大气混合层高度模型研究

巩 坤

(重庆交通大学 机电与汽车工程学院,重庆 400074)

摘 要:根据 2011–2013 年重庆市沙坪坝地区的常规气象数据,运用 MATLAB 软件分析近 3 年大气混合层高度 mm 变化和特征,且与气象参数的相关性;结果表明:每天在 8:00–19:00,大气混合层高度与太阳辐射强度、温度、风速呈正相关性;与气压、相对湿度呈负相关性,与露点温度的相关性不明显;而在 20:00–7:00,大气混合层高度与太阳辐射强度和风速呈正相关,与其他参数的相关性不明显;同时,通过气象数据建立重庆市大气混合层高度的预测模型,并验证其准确性。

关键词:大气混合层高度;相关分析;预测模型

中图分类号:P401

文献标识码:A

文章编号:1672-058X(2015)06-0036-08

近几年,全国大气污染严重,空气污染和热岛效应一直影响生活,居民出行苦不堪言。而城市大气混合层决定地球表面与自由大气之间所有物质和能量的交换^[1],也是影响空气污染与热岛效应的主要气象因素^[2]。国内的研究者通常分析不同地区不同月份的平均大气混合层高度。孟庆珍等^[3]通过国标法对 1980–1990 年重庆市大气混合层高度对比分析,并得出大气稳定度是混合层厚度的主要决定因子。胡春梅^[4](2006)则通过罗氏(Nozaki)方法计算了 2000–2004 年重庆市大气混合层高度,并与污染物浓度进行相关分析。叶堤等^[5]2008 年曾分析 2000–2005 年重庆主城区大气混合层高度的变化特征,并得出大气混合层高度是影响城市质量的重要因素。但是通常计算大气混合层高度的方法是国标法、罗氏法、联合频率法及干绝热法^[6]。计算比较繁琐,所需的数据难以获得。鉴于此,充分分析大气混合层高度的影响因素,建立一个简单实用的模型,对以后研究空气质量和城市热岛效应的影响奠定基础。

1 资料与方法

采用资料:2011–2013 年重庆市沙坪坝地区逐日逐时的大气混合层高度和气象参数。大气混合层高度,用 HYSPLIT 模型计算获取;气象参数,从气象网站获取 <http://www.wundeground.com>。

2 重庆市大气混合层高度特征

2.1 概 况

图 1 给出了重庆市 1980–1990、2000–2005 及 2011–2013 年期间的年平均混合层高度的变化,其中 1980–1990、2000–2005 年的混合层高度分别来自文献[2,3],并且都是用国标法进行计算得出的结果。由图 1 可以看出,大气混合层高度总体上呈现上升的趋势,这表明大气在铅直方向上的平均稀释能力逐渐增强,这可能是因为近年来城市下垫面变粗,人为热排放增加的缘故。这些典型的特征的变化也会导致大气边界层内的热力湍流和动力湍流的加剧,从而使得大气混合层高度增加。

图 2 将 2011–2013 这 3 年间的大气混合层高度分为春夏秋冬四季进行描述性统计,可以看出,这 3 年的

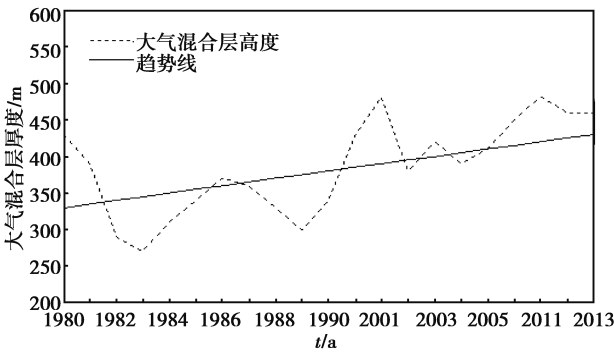


图 1 1980-1990、2000-2005、2011-2013 年平均大气混合层高度随时间变化

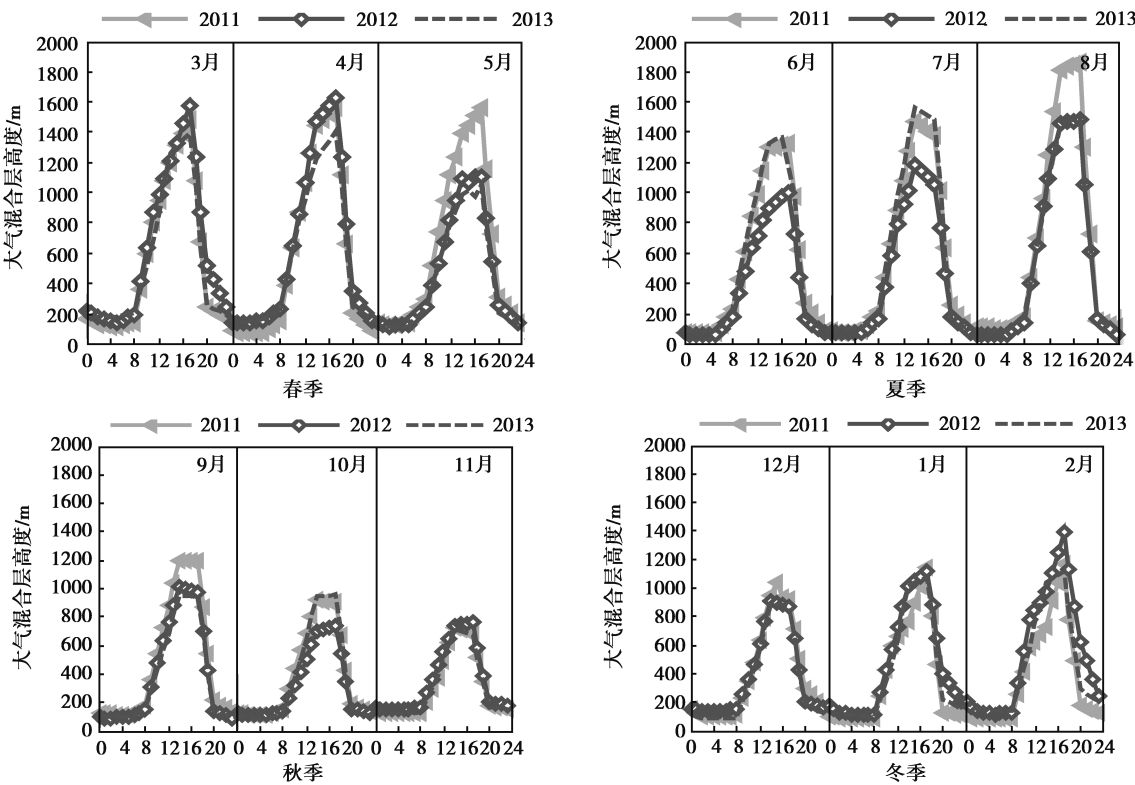


图 2 2011-2013 年每月平均大气混合层高度

大气混合层高度变化趋势明显,有显著的季节变化和日变化。

从表 1 可以看出,每年大气混合层高度有明显的季节变化,春夏季的平均混合层高度较高,而秋冬季节的混合层高度较低。这是因为夏季气温较高,热浮升力相应比较大,大气混合层高度就较大;而冬季的气温较低,其热浮升力也就相对较小。

表 1 每年各季平均混合层高度

年	春 季	夏 季	秋 季	冬 季
2011	560	555	388	374
2012	622	447	311	458
2013	548	586	370	407
2000-2005	470	475	389	372

图 2 显示每年平均每天在 8:00–19:00 之间,大气混合层高度有明显的先增大后减小的趋势,一般在 16:00 达到最大值。而在 20:00 以后,大气混合层高度变化不大,并维持这样的高度到第二天早上 6:00,开始新一轮循环,有明显的天变化特性。在不同月份,白天的混合层高度都明显高于晚上;且白天的变化剧烈,而晚上的变化则小很多;白天的混合层高度在春夏季节变化剧烈,尤其是 7、8 月份;在秋冬季节变化相对较小,特别是 11、12 月。白天混合层高度最大值在 8 月,平均为 978 m,而最小在 11 月,为 469 m。与图 1 显示的日变化规律一致。

这种季节变化和天变化与气象因素的变化具有一致性,对此分别进行相关性分析。

2.2 混合层高度和气象参数的相关分析

对 2011–2013 年每天 24 个数据的整合分析,得出大气混合层高度与太阳辐射强度、温度、气压、湿度、风速和露点温度参数的平均季节变化曲线。这些参数有明显的季节特征,但是仍有一些差别。

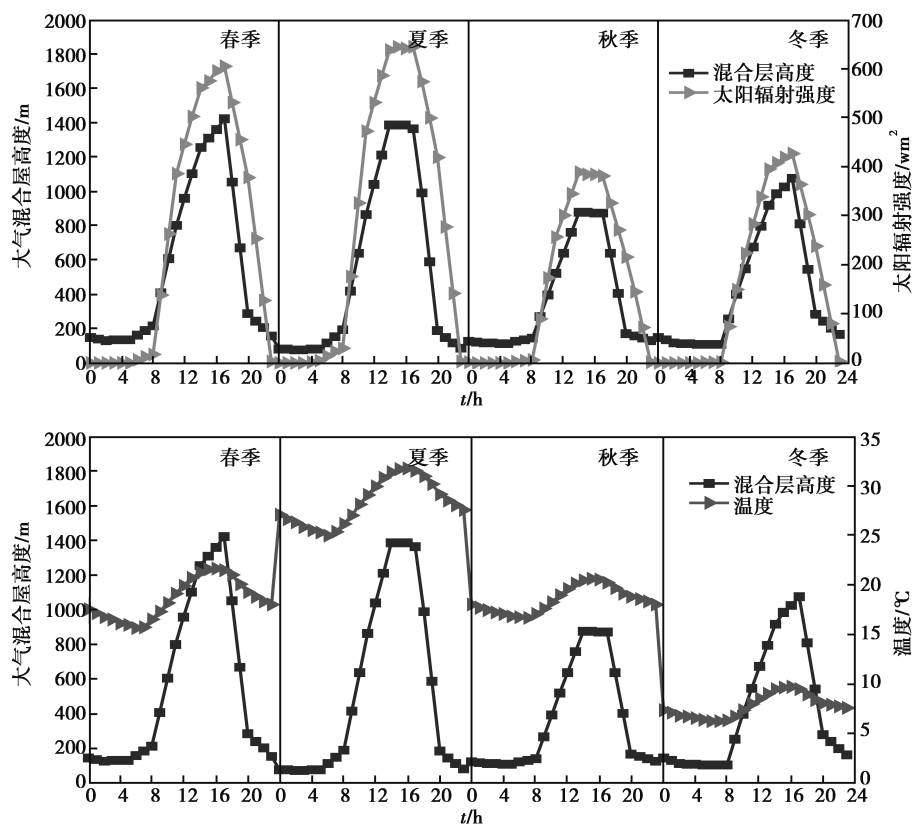


图 3 大气混合层高度与太阳辐射强度、温度的变化曲线

由图 3 可以看出,大气混合层高度与太阳辐射、温度的变化规律相似。春夏的大气混合层高度明显高于秋冬两季,太阳辐射强度也是如此,而温度四季有明显的差异性,夏季的温度明显大于春季,春秋相差不大,而冬季最低。在每天变化中,在 8:00–19:00 之间,混合层高度与太阳辐射强度、温度明显呈正相关性。随着时间先增大再减小,一般在 16:00 达到最大值。在 20:00–7:00 之间,大气混合层高度变化幅度很小,太阳辐射强度随着日落而逐渐减低为 0 并保持稳定,而在早上 6:00 左右,随着日出而逐渐增加;温度则是一直慢慢降低,随着日出开始升高。因此在晚上,大气混合层高度和太阳辐射强度及温度的相关性并不大。

由图 4 可知,全年湿度很高,平均季节湿度变化不大。因为重庆属于盆地天气,再加上背山面水,湿度大。而气压值明显冬季最大,秋季其次,夏季最小,与大气混合层高度的季节变化刚好相反。气压、湿度的日变化趋势明显,在 8:00–19:00 点之间,与混合层高度呈明显的负相关性,在 16:00 点气压值和湿度值是每天最低值。在晚上 20:00–上午 7:00 之间,气压值先增大后减小,而湿度是一直增加的,与大气混合层高

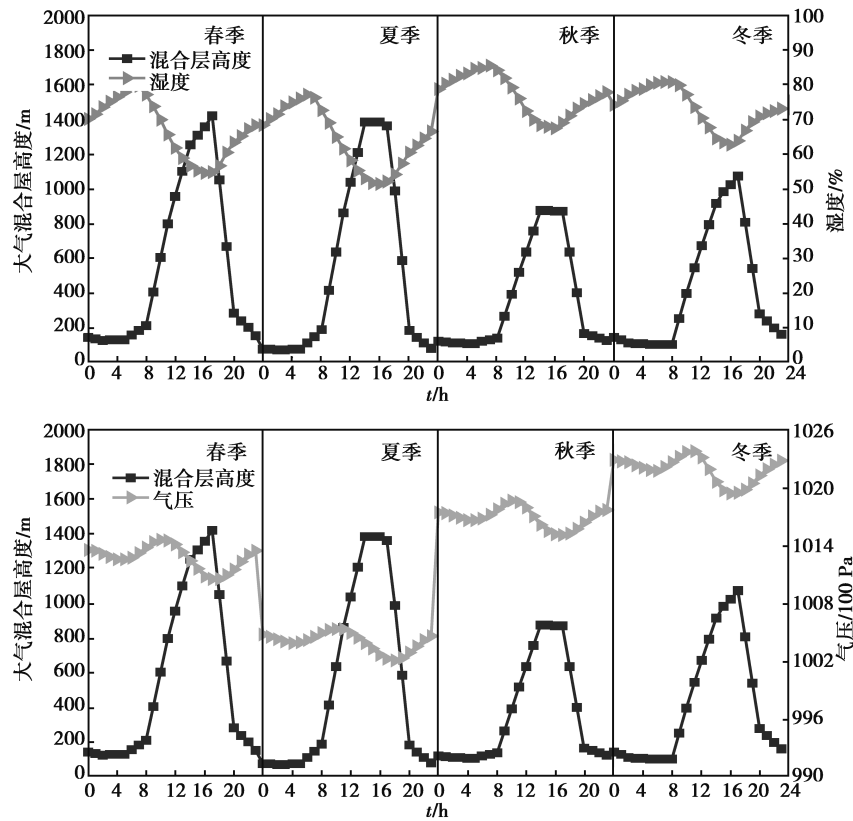


图4 大气混合层高度与湿度、气压的变化曲线

度的变化相关性不大。

图5是速度与大气混合层高度的季节变化关系,由于重庆受益地周围山脉的阻挡,且其独特的地形,平均风速相对较小,因此风速的变化曲线坡度较大,但速度和混合层高度的季节性特征有一定的一致性,天变化的趋势也有相似性。

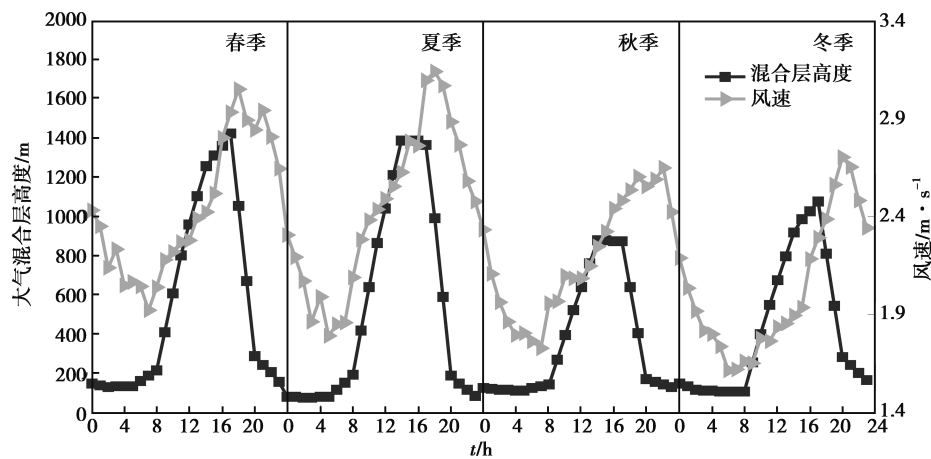


图5 大气混合层高度与风速的变化曲线

图6是露点温度与大气混合层高度的季节变化关系,露点温度有明显的季节变化,但是每天的变化不大。夏季的明显大于春秋季节,而冬季的露点温度最低。若是对每月的露点温度分析,6、7、8月的露点温度相差不大,1月到6月,露点温度依次增加,8月到次年1月,则是越来越低,一月为全年露点最低值。与大气混合层高度的季节变化和天变化的相关性不大。

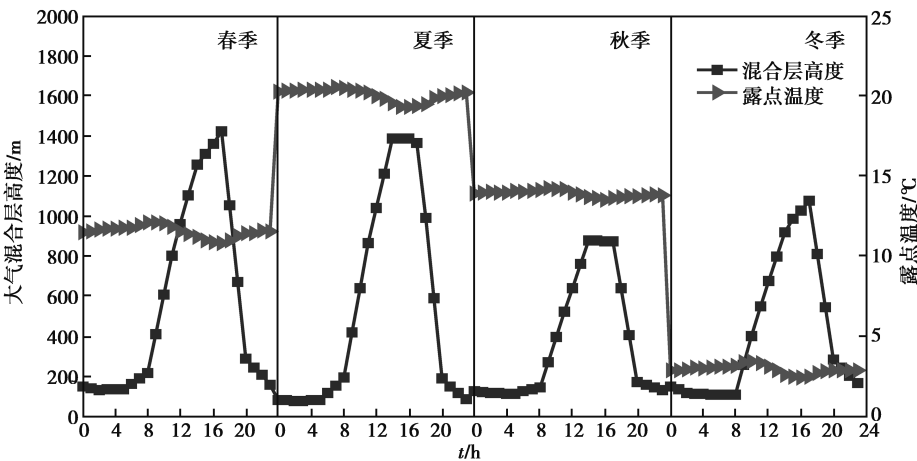


图 6 大气混合层高度与露点温度的变化曲线

3 建立大气混合层高度模型

3.1 模型的建立

由大气混合层高度与气象参数的变化曲线可以看出,白天和晚上的影响因素是不一致。为了更直观的描述混合层高度和气象参数的相关性,得出与其相关因数见表 2。

表 2 大气混合层高度与各气象参数的相关因数

	辐射	温度	气压	湿度	风速	露点
白天	0.9	0.44	-0.39	-0.74	0.28	0.12
晚上	0.39	-0.19	0.11	-0.07	0.39	-0.23

从相关性分析可以看出,发现白天和晚上,影响大气混合层高度的因素有很大差异,白天大气混合层高度与太阳辐射呈高度正相关性,与相对湿度呈显著负相关性;与温度正相关、气压负相关,与风速和露点温度的相关性则很小。而在晚上,大气混合层高度与大气辐射强度和风速有正相关性,而与其他气象参数的相关性很小。主要是因为大气混合层高度在白天主要受热浮升力影响,而在晚上主要受机械力影响的缘故^[7]。为此提出一个简单的大气混合层高度的预测模型。

模型 1,考虑所有气象参数对大气混合层高度的影响;模型 2,参考相关性分析的结果,采用太阳辐射强度、温度、湿度和气压来考虑白天的大气混合层高度,而晚上采用辐射强度和风速来考虑晚上大气混合层高度的影响;模型 3,采用黄柏良^[8](2011)建立的长沙大气混合层高度的预测模型,白天仅采用太阳辐射和相对湿度的影响,而晚上则仅用风速的影响。这 3 种模型的具体公式和复测定系数见表 3。由表 3 的复测定系数可以看出,明显模型 1 的预测结果最好,模型 2 其次,模型 3 相对较差。Leahey 和 Friend^[9](1971)曾用对流热动力学模型预测纽约市区的大气混合层高度,模型的 R^2 是 0.74;Swain^[10](2006)等人也用多元线性回归方程基于地面气象参数建立预测阿拉伯海的大气混合层高度模型,其 R^2 是 0.53;黄柏良运用长沙市气象参数建立了大气混合层高度的模型,其 R^2 为 0.755,研究建立的 3 种预测模型比上述地区的结果都大,说明研究具有一定的可靠性。

表 3 大气混合层高度与各气象参数的回归方程

模型	时间	多元线性回归	R^2
模型 1	白天	$MLH = -7\,040.03 + 1.75SR + 67.55T + 14.65RH + 5.69P - 74.17Td + 15.14V$	0.845
	晚上	$MLH = 383.98 + 0.3SR - 2.17T + 0.99RH - 0.35P - 1.24Td + 31.68V$	0.334

续表3

模型	时间	多元线性回归	R^2
模型 2	白天	$MLH = -6837.86 + 1.74SR + 0.59T - 4.75RH + 7.2P$	0.829
	晚上	$MLH = 65.39 + 0.23SR + 27.79V$	0.235
模型 3	白天	$MLH = 457.43 + 1.65SR - 4.03RH$	0.818
	晚上	$MLH = 58.51 + 36.5V$	0.154

MLH:混合层高度/m;SR:太阳辐射强度/(W/m²);T:温度/℃;RH:湿度/%;P:气压/100 Pa;Td:露点温度/℃;V:风速/m·s⁻¹。

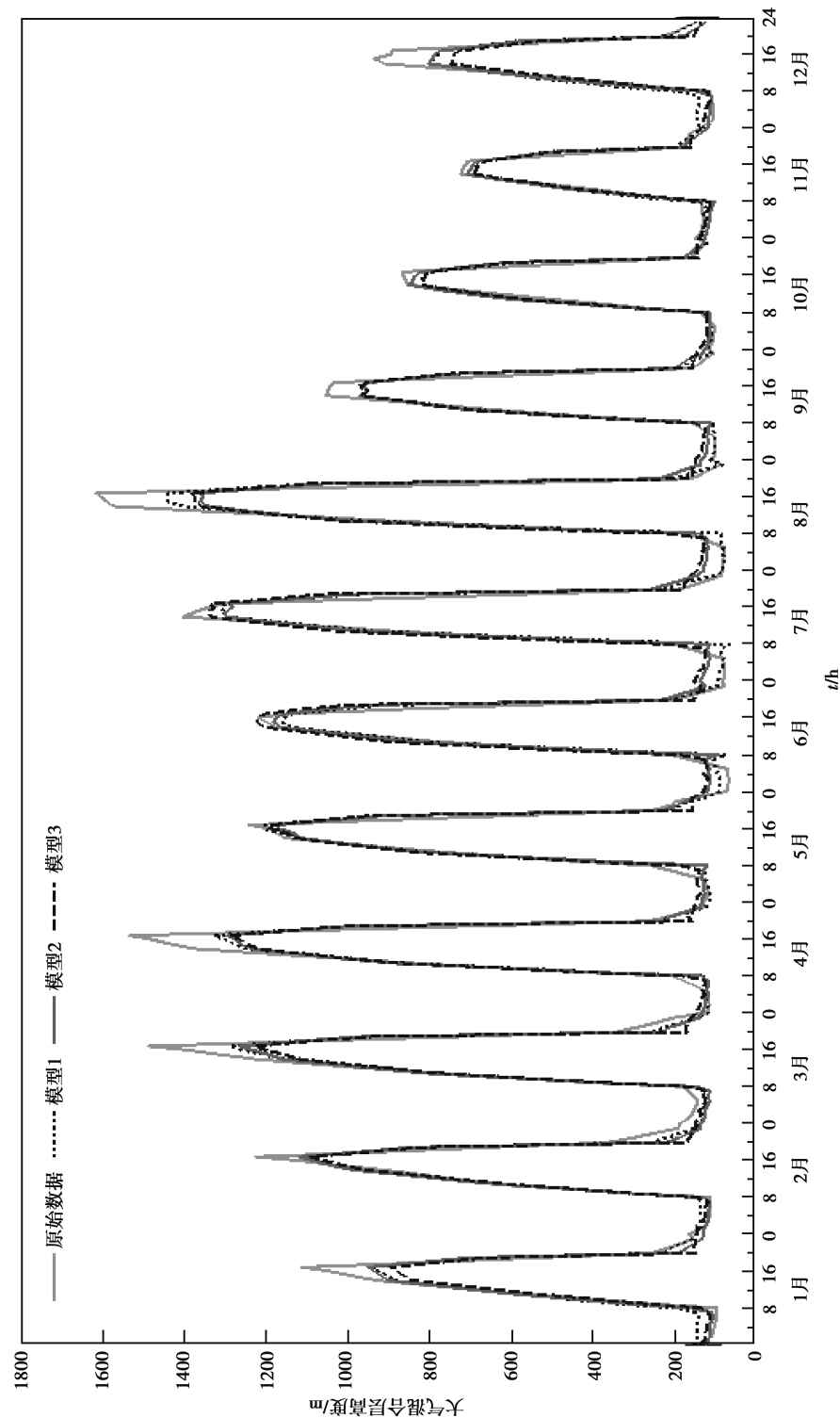


图7 重庆市大气混合层高度预测模型值和实际值的月平均变化情况

3.2 模型的检验

图 7 给出了重庆市大气混合层高度的 3 个模型值和实际值的月平均天变化情况。从图 7 中可以看出,模型值的变化曲线和实际值的曲线相差不大,仍保持 8 月份的值最大,其次 7、11 月份的值最小。每天在混合层高度值最大处,3 个模型值都偏小,但总体上还是都能估算出大气混合层 24 h 内的变化趋势,且模型值和实际值相差不大。对于模型 3,在 1-5 月份晚上 20:00-24:00,模型预测值明显小于实际值,而在 6-9 月份的 0:00-8:00 之间,模型预测值明显大于实际值,看来在晚上风速不是影响大气混合层的唯一决定因素,可见不同地区大气混合层高度的影响是不一致的。而模型 3 白天的预测值在 6、7 月份的结果最接近实际值。而模型 1 的预测值在 4、8 月份的白天,6-9 月份的晚上效果是优于模型 2 的。上述 3 个模型都可以预测重庆市在不同季节、不同月份、不同时刻的大气混合层高度,如果有太阳辐射强度、温度、湿度、露点温度、气压和风速这 6 个气象参数,模型 1 的预测性更为准确,如果气象参数不全面或者对数值的准确度要求不高,可以优先选用模型 2。

4 结 论

(1) 大气混合层高度随着年变化有着典型的上升趋势,且具有明显的季节变化和天变化特性。一般春夏季节的高度明显大于秋冬季节,白天的混合层高度变化波动比较大,而晚上的趋于稳定,保持在 100 m 左右。

(2) 大气混合层高度明显与近地面气象参数有关。在重庆地区,白天的大气混合层高度与太阳辐射、温度正相关,与湿度、气压负相关;晚上与辐射强度和风速正相关,而与其他气象参数的相关性则很小。

(3) 模型 1 和模型 2 能准确预测重庆市近几年不同季节、不同月份、不同时刻的大气混合层高度,对大气混合层高度的计算有十分理想的效果。

参考文献:

- [1] LAMMERT A, BOSENBERG J. Determination of the Convective Boundary-layer Height with Laser Remote Sensing[J]. Boundary-Layer Meteorology, 2006, 119(1): 159-170
- [2] THOMSON R, FINE I. Estimating Mixing Layer Depth from Oceanic Profile Data[J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2003, 20(20): 319-329
- [3] 孟庆珍, 林安民. 重庆市近 11 年大气混合层厚度研究[J]. 重庆环境科学, 1994, 16(4): 12-16
- [4] 胡春梅. 近 5 年重庆市大气混合层高度统计特征分析[A]. 中国气象学会 2006 年年会“大气成分与气候、环境变化”分会场论文集[C]. 2006
- [5] 叶堤, 王飞, 陈德容. 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
- [6] 孟庆珍, 冯艺. 成都大气混合层厚度的计算和分析. 成都气象学院学报, 1996, 11(1-2): 73-81
- [7] KHAN S, SIMPSON R. Modeling Mixing Height from Routinely Measured Surface and Upper Air Meteorological Data[J]. Environmental Modeling and Assessment, 1997, 2(3): 191-200
- [8] 黄柏良. 城市通风及其影响城市热岛效应与空气质量研究[D]. 长沙: 中南大学, 2011
- [9] LEAHEY D, FRIWEND J. A model for Predicting the Depth of the Mixing Layer Over an Urban Heat Island with Applications to New York City[J]. Journal of Applied meteorology, 1971, 10(6): 1162-1173
- [10] SWAIN D, ALI M, WELLER R. Estimation of Mixed-layer Depth from Surface Parameters[J]. Journal of Marine Research, 2006, 64(5): 745-758

(下转第 55 页)