

# 陕西省混合层高度变化规律研究

陈建文, 胡琳, 王娟敏, 张文静, 毛明策, 吴素良, 王琦

(陕西省气候中心, 西安 710014)

**摘 要:**根据陕西省 99 个气象台站 2006—2011 年逐时气象观测资料,统计计算了各站四季及年平均混合层高度,并利用 GIS 系统绘制等值线分布图,分析了混合层高度的区域分布特征、四季和全年日变化特征。分析表明:(1) 全年和四季平均混合层高度均以关中最高、陕北其次、陕南最低,其中陕北区域北部高、中部低,关中和陕南均为东北部高、西南部低;(2) 各区域混合层高度均以春季最高,夏季其次,冬季最低,大致以冬季 12 月或 1 月最低,随后快速升高,4—5 月达到最高,以后逐渐降低;(3) 日变化均呈单峰型,日出后开始迅速升高,13:00 前后达到最高,16:00 开始迅速降低,日落后至次日日出前持续较低,春、夏季峰值持续时间较长,秋、冬季较短;(4) 四季陕北和关中全天平均混合层高度差异不大,大部分时间关中略高于陕北;陕南春、夏季白天、秋季 9:00—16:00、冬季 10:00—15:00 明显低于陕北和关中,而秋季 18:00 至次日 7:00、冬季 17:00 至次日 7:00 大多高于陕北和关中。

**关键词:**陕西省; 大气稳定度; 混合层高度; 分布特征

**中图分类号:**X16

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2014)05-0322-05

## Distribution Characteristics of the Mixed Layer Height in Shaanxi Province

CHEN Jian-wen, HU Lin, WANG Juan-min, ZHANG Wen-jing, MAO Ming-ce, WU Su-liang, WANG Qi

(Shaanxi Provincial Climate Center, Xi'an 710014, China)

**Abstract:** This paper calculated the mixed layer height according to hourly observation data of the 99 meteorological stations in Shaanxi Province from 2006 to 2011, analyzed the characteristics of regional distribution, the four seasons and the daily variation of the mixed layer height by using GIS system. The results show that: ① for area distribution of annual and seasonal, the highest mixed layer height is in Guanzhong, followed by the northern Shaanxi, it is the lowest in southern Shaanxi. Among them, it is lower in northern Shaanxi area and higher in the middle area, it is higher in the northeast and lower in southwest in the other areas; ② regional mixing layer height is the highest in spring, followed the summer, minimum is in the winter. It is the lowest in December or January, then increased rapidly, it reached the highest in April or May, then gradually decreased; ③ daily variation presented unimodal, began to rise rapidly after sunrise, reached the highest at 13:00 PM, began to decrease rapidly at 16:00 PM, continued to be low after sunset until the next sunrise, the peak duration is longer in spring and summer peak duration, is shorter in autumn and winter; ④ the difference of average mixing layer height is not big, most of the time in the Guanzhong is slightly higher than that of northern Shaanxi; the daytime in spring and summer, 9:00 AM to 16:00 PM in autumn, 10:00 AM to 15:00 PM in winter of southern Shaanxi is significantly lower than that of northern Shaanxi and the Guanzhong, but 18:00 PM to 7:00 AM next day in autumn, 17:00 PM to 7:00 AM next day in winter of southern Shaanxi is mostly higher than that of northern Shaanxi and the Guanzhong.

**Key words:** Shaanxi Province; atmospheric stability; the mixed layer height; distribution characteristics

近年来,随着我国经济的快速发展和工业化水平的显著提高,大气污染状况日益严重,大气污染环境

污染问题已经引起各国政府的高度重视,并且越来越受到气象和环保工作者的普遍关注,成为当前最迫切

收稿日期:2013-05-22

修回日期:2013-11-08

资助项目:陕西省自然科学基金基础研究计划资助项目“基于相似理论的渭河致洪秋雨短期气候预测方法研究”(2012JM5012);陕西省科技厅社会发展攻关项目(2012K12-01-03);干旱气象科学研究基金项目(IAM201106)

作者简介:陈建文(1967—),男,陕西省南郑县人,高级工程师,主要从事环境影响评价、气候分析与应用、环境气象研究等工作。E-mail: chenjianween@126.com

需要解决的环境问题之一。大气的扩散能力是影响空气质量的主要影响因子之一,众多研究人员开展了大量的研究工作,考察风速、降水、稳定度等气象因子对大气污染的影响<sup>[1-11]</sup>,但大多立足于单站风速、稳定度、混合层高度等大气扩散因子的特征分析,关于区域混合层高度分布特征的研究尚不多见。混合层高度是反映大气污染物在垂直方向扩散的重要参数,是大气边界层内发生湍流混合大气扩散能力的重要气象因子之一。大气边界层内产生强烈的动力和热量交换的这一层大气称之为混合层,污染气象学定义混合层为湍流特征不连续界面以下湍流较充分发展的大气层,湍流特征不连续界面的高度就是混合层高度<sup>[6]</sup>,它表征了大气污染物在垂直方向上被热力湍流稀释的范围,混合层厚度与大气稳定度和风速有着密切的关系。风和湍流是影响大气扩散能力的主要动力因子,而大气稳定度则是决定大气扩散能力的主要热力因子<sup>[6-7]</sup>。大气混合层厚度越大,就越有利于污染物的扩散和稀释<sup>[1]</sup>,混合层内污染物浓度越低,反之则越高。位温、比湿、风速梯度等气象要素和物理要素在混合层内和层顶表现为明显的不连续。混合层顶像盖子一样限制了大气污染物的垂直向上扩散,在混合层顶形成高浓度,其上下两侧的污染物浓度往往相差 5~10 倍,混合层高度越小大气污染物浓度差值就越大,此时,混合层顶以上风速梯度趋近于零。

本文研究陕西省 2006—2011 年月、季和年不同稳定度层结下的混合层高度变化规律,宏观分析大气边界层内不同区域大气扩散能力和污染物可能堆积区域,是研究区域大气扩散和大气污染特征分析的需要,也是大气环境污染预测评价的需要,并对区域大气环境容量起着主要控制作用,可以为大气环境规划

和环境治理提供宏观重要的科学依据。

# 1 资料来源与方法

## 1.1 资料来源

本文选取陕西省 10 个地市 99 个地面气象观测站,2006—2011 年具有完整的自动气象站观测记录,且均无迁站或站址变化的每日逐时气象资料进行计算分析。基本站和一般站云量仅有 8:00,14:00,20:00 三次观测记录,其他时次云量采用直线内插法补全。

## 1.2 计算方法

1.2.1 稳定度计算分类 利用陕西省 99 个气象台站 2006—2011 年气象观测资料,采用帕斯奎尔(Pasquill)及其修订的分类法对每日逐时大气稳定度计算分类<sup>[3]</sup>。根据云量、云状、太阳辐射状况和地面风速等常规气象资料用 A,B,C,D,E,F 六个稳定度级别来表示大气对污染物的扩散能力,从 A→F 表示大气扩散能力逐渐减弱<sup>[4-11]</sup>。具体分类步骤如下:

(1) 太阳高度角的计算:

$$h_0=\arcsin[\sin\varphi\sin\sigma+\cos\varphi\cos\sigma\cos(15t+\lambda-300)]$$

(1)

式中:φ——当地纬度;λ——当地经度;σ——太阳倾角。

$$\sigma=\frac{180}{\pi}(0.006918-0.39912\cos\theta+0.070257\sin\theta-0.006758\cos2\theta+0.000907\sin2\theta-0.002697\cos3\theta+0.001480\sin3\theta)$$

(2)

式中:θ=360365d<sub>n</sub>,d<sub>n</sub> 为一年中日期序数(0,1,2,⋯,364);t 为观测时北京时间。

(2) 太阳辐射等级的确定:太阳辐射等级利用某时刻的总云量、低云量和太阳高度角由表 1 确定。

表 1 太阳辐射等级

总云量/低云量 (1~10)	混合层高度取值范围				
	$h_0\leq 0^\circ$	$0^\circ<h_0\leq 15^\circ$	$15^\circ<h_0\leq 35^\circ$	$35^\circ<h_0\leq 65^\circ$	$h_0>65^\circ$
$\leq 4/\leq 4$	-2	-1	+1	+2	+3
$5\sim 7/\leq 4$	-1	0	+1	+2	+3
$\geq 8/\leq 4$	-1	0	0	+1	+1
$\geq 5/5\sim 7$	0	0	0	0	+1
$\geq 8/\geq 8$	0	0	0	0	0

(3) 大气稳定度分类。大气稳定度利用的某时刻的太阳辐射等级和地面 10 m 高度平均风速根据表 2 进行分类,“A—B”表示介于 A、B 类之间,与 A、B 类相差半级(表 2)。

1.2.2 混合层高度计算 根据大气边界层(或混合

层)高度参数化计算方程,计算各类稳定度下的混合层高度:

(1) 当大气稳定度为 A,B,C 和 D 时:

$$H=\frac{a_s u_{10}}{f}$$

(3)

(2) 当大气稳定度为 E 和 F 时:

$$H=b_s\sqrt{\frac{u_{10}}{f}} \tag{4}$$

式中,地转参数  $f=2\Omega\sin\varphi$ ;  $\Omega=7.29\times10^{-5}$  rad/s 为地转角速度;  $H$  为混合层高度;  $U_{10}$  为 10 m 高度处平均风速,大于 6 m/s 时取为 6 m/s; 边界层参数  $a_s, b_s$  取值见表 3。

表 3 大气边界层参数

边界层参数		$a_s$				$b_s$	
	稳定度	A	B	C	D	E	F
有风时	秦岭以北	0.073	0.060	0.041	0.019	1.66	0.70
	秦岭以南	0.073	0.048	0.031	0.022		
静风时		0.90	0.067	0.041	0.031		

2 混合层高度区域分布特征

根据逐时各类稳定度下的混合层高度,统计陕西各站 2006—2011 年四季及全年平均混合层高度,利用 GIS 系统,采用反距离加权法插值,绘制混合层高度等值线分布图,分析其区域分布特征。

2.1 近 6 年平均混合层高度区域分布特征

从图 1 看出,近 6 年平均混合层高度 330~930 m,整体表现为关中最高、陕北其次、陕南最低的分布特征,全省高值中心在关中东北部的合阳,低值中心在关中南部秦岭北麓的户县和周至。其中:陕北年平均混合层高度 563.2 m,为 399~732 m,高值中心在定边,低值中心在陕北中部的甘泉和延川,大致呈北部高中部低的分布特征;关中平均 569.6 m,为 329~930 m,高值中心在合阳,最高值在华山,低值中心在户县和周至,呈东北部高西南部低的分布特征;陕南年平均 479.5 m,为 376~617 m,高值中心在商州市区,低值中心在汉中盆地的城固,亦呈东北部高西南部低的分布特征。

2.2 近 6 年四季平均混合层高度区域分布特征

从图 2 看出,与全年一样,四季平均混合层高度均呈关中高、陕北其次、陕南最低的分布特征,其中陕北区域北部高、中部低,关中和陕南均为东北部高、西南部低。全省高值中心在合阳,低值中心在户县和周至。春季陕北平均混合层高度 605~713 m,高值中心在定边,低值中心在延安市区、延川和延长;关中为 431~1 069 m,高值中心在合阳和富平,低值中心在户县、周至和长安;陕南在 555~719 m 之间,高值中心在商州市区,低值中心在汉中盆地的南郑。夏季陕北平均混合层高度 576~883 m,高值中心在定边,低值中心在延安市区、延川和延长;关中在 396~956 m 之间,高值中心在合阳和富平,低值中心在户县、周至

表 2 大气稳定度等级

地面 10 m 高度 平均风速/(m·s <sup>-1</sup> )	太阳辐射等级数					
	+3	+2	+1	0	-1	-2
≤1.9	A	A—B	B	D	E	F
2~2.9	A—B	B	C	D	E	F
3~4.9	B	B—C	C	D	D	E
5~5.9	C	C—D	D	D	D	D
≥6	D	D	D	D	D	D

和长安;陕南在 419~645 m 之间,高值中心在商州市区,低值中心在汉江谷地的宁陕。秋季陕北平均混合层高度在 329~638 m 之间,高值中心在定边,低值中心在黄陵;关中在 247~868 m 之间,高值中心在合阳和富平,低值中心在户县、周至和长安;陕南在 247~600 m 之间,高值中心在商州市区,低值中心在汉中盆地的城固。冬季陕北平均混合层高度在 325~543 m 之间,高值中心在定边,低值中心在甘泉;关中在 241~923 m 之间,高值中心在合阳,低值中心在户县和周至;陕南在 270~560 m 之间,高值中心在商州市区,低值中心在汉中盆地的南郑。

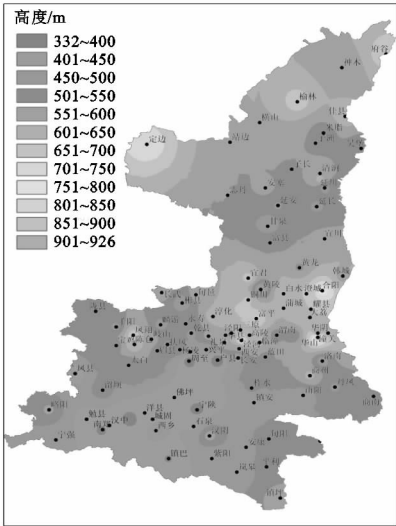


图 1 年平均混合层高度分布特征

3 混合层高度时间变化特征

按照陕北、关中和陕南三个气候区,分别统计四季和年、年内各月以及四季和年的逐时平均混合层高度,分析其混合层高度季节、月和日变化特征。

3.1 季节变化特征

从表 4 看出,全省混合层高度均以春季为最高,

其次是夏季,秋季明显降低,冬季最低。四季和全年均以关中最高,陕北其次,陕南明显较低。

表 4 陕西不同区域四季和年平均混合层高度 m					
区域	春季	夏季	秋季	冬季	年均
关中	714.3	675.6	481.3	441.4	631.8
陕北	702.8	659.5	465.1	400.4	564.3
陕南	569.9	531.9	403.9	398.9	446.0
全省平均	667.8	629.1	453.9	419.4	543.3

3.2 月变化特征

从图 3 看出,陕北、关中、陕南月平均混合层

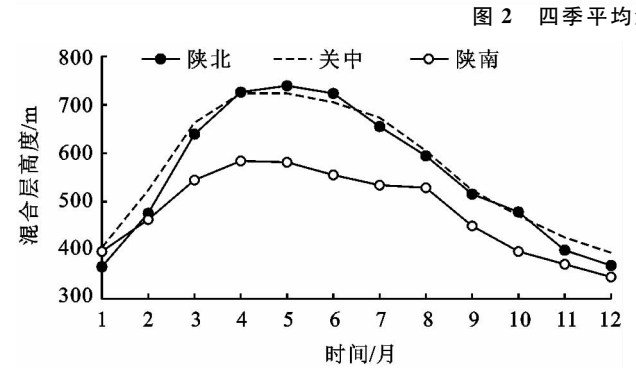
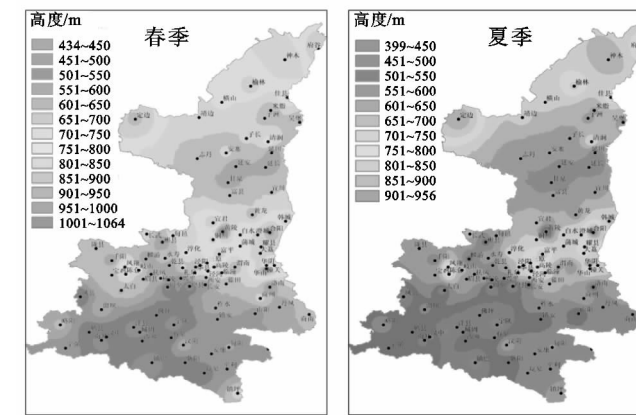


图 3 陕北、关中、陕南近 6 年各月平均混合层高度变化曲线

3.3 四季及年混合层高度日变化特征

3.3.1 年混合层高度日变化特征 从图 4 看出,陕北、关中、陕南近 6 年年均混合层高度日变化规律基本一致,均呈现单峰型。6:00 开始迅速升高,13:00 达到最高,随后开始降低,17:00 后迅速降低,20:00 至次日 6:00 持续较低并波动变化,1:00—5:00 处于谷值时段。区域比较来看:关中和陕北白天 7:00—17:00 各时刻平均混合层高度明显高于陕南,夜间三大区域相差不大,其中陕南夜间 21:00 至次日 5:00 明显高于陕北,略低于关中;陕北和关中各时刻差异相对较小,其中 13:00 至 20:00 陕北大多数时刻高于关中,其余时刻低于关中。

3.3.2 四季混合层高度日变化特征 从图 5 看出,陕北、关中、陕南近 6 年四季混合层高度日变化规律

高度变化规律基本一致,大致以冬季 12 月或 1 月最低,随后快速升高,4—5 月达到最高,以后逐渐降低,其中,陕北和关中 5 月最高,陕南 4 月最高,陕北 1 月最低,关中和陕南 12 月最低。区域比较来看:月平均混合层高度关中最高,其次是陕北,陕南明显较低;陕北 11 月至次年 3 月明显低于关中,其余各月与关中相当;陕北和关中 4—6 月明显较高,峰值明显,而冬季则较低,陕南全年变化幅度相对较小,春、夏季相对较高,但峰值不显著;陕南除 1 月高于陕北外,其他各月明显低于陕北和关中。

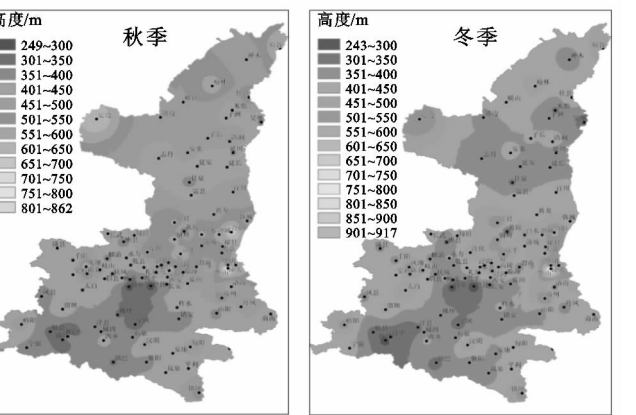


图 2 四季平均混合层高度分布特征

基本一致,均呈单峰型。大致从日出后开始迅速升高,13:00 前后达到最高,16:00 开始迅速降低,日落后至次日日出前持续较低。夏季峰值持续:时间最长(12:00—16:00),春季其次(12:00—15:00),秋、冬季较短(13:00)。春季 20:00 至次日 6:00,夏季 20:00 至次日 5:00,以及秋、冬季 19:00 至次日 7:00 持续较低。区域比较来看:四季陕北和关中全天平均混合层高度差异不大,大部分时间关中略高于陕北;陕南春、夏季白天、秋季 9:00 至 16:00 以及冬季 10:00 至 15:00 明显低于陕北和关中,而秋季夜间 18:00 至次日 7:00、冬季夜间 17:00 至次日 7:00 大多高于陕北和关中。

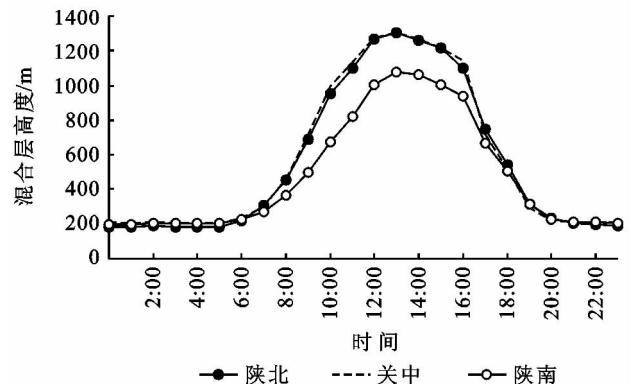


图 4 陕北、关中、陕南近 6 年平均混合层高度日变化曲线

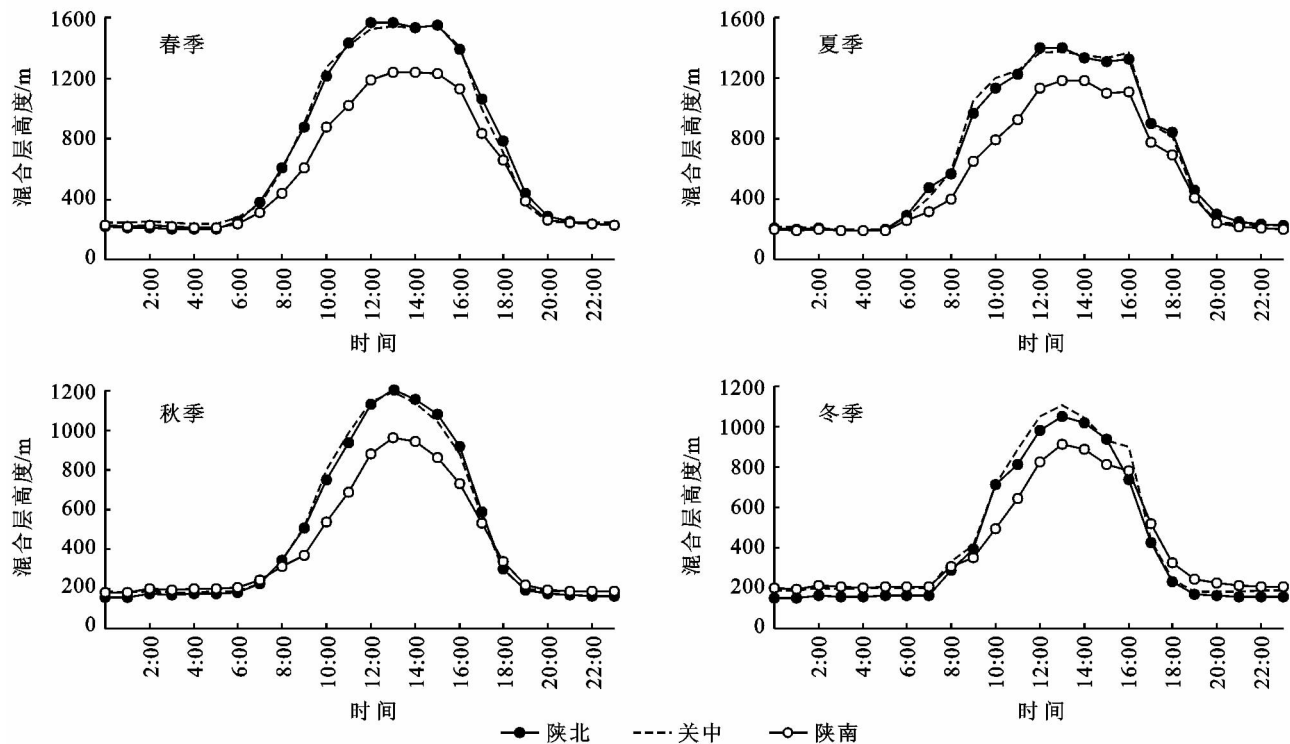


图 5 陕北、关中、陕南四季平均混合层高度日变化曲线

4 讨论

混合层高度是反映大气污染物在大气边界层内垂直扩散能力和湍流混合扩散能力的重要气象参数,混合层高度越大,就越有利于污染物的扩散和稀释,而大气层结稳定度是决定混合层厚度的最主要因子<sup>[11]</sup>。

关中区域由于城市化的快速发展,钢筋水泥和柏油形成的城市下垫面不断拓展,白天太阳辐射使得地表升温远比陕北和陕南快,大气垂直对流和湍流活动强烈,不稳定类天气较多,因此总体混合层高度也相对较高。夜间由于地面快速降温,稳定类天气较多,近地层也更容易形成逆温,因此夜间混合层高度较低,使得昼、夜间混合层高度差异较大。而陕南以丘陵山地为主,受秦岭的阻隔,形成亚热带气候,植被茂盛,且多阴、雨、大雾等天气,中性类天气较多,因此混合层高度相对较低,但全天变化幅度相对较小。陕北北部位于毛乌素沙漠南缘,南部黄土高原植被相对稀疏,因此整体则介于二者之间。

陕西春季受西南暖湿气流和西北气流的交替影响,地面风速相对较大,加之地面因太阳辐射快速升温,不稳定类天气增多,垂直对流和湍流不断加强,因此混合层高度较高。而夏季长时间受西太平洋副热带高压控制,地面风速相对春季小,因此混合层高度略小于春季。秋、冬季西北干冷气流逐渐占据主导,随着太阳不断南归,太阳辐射不断减少,地面风速也逐渐减小,冬季太阳辐射最弱,风速相对最小,垂直对

流和湍流也最弱,稳定类天气出现频率较高,近地层也更容易形成逆温,因此混合层高度最低。

5 结论

(1) 全年和四季平均混合层高度均以关中最高、陕北其次、陕南最低,其中陕北区域北部高、中部低,关中和陕南均为东北部高、西南部低。全省高值中心在关中东北部的合阳,低值中心在关中中南部秦岭北麓的户县和周至。陕北高值中心在定边,低值中心在延安市区、延川和延长;关中高值中心在合阳和富平,低值中心在户县、周至和长安;陕南高值中心在商州市区,低值中心在汉中盆地。

(2) 各区域混合层高度均以春季最高,夏季其次,冬季最低,大致以冬季 12 月或 1 月最低,随后快速升高,4—5 月达到最高,以后逐渐降低,其中,陕北和关中 5 月最高,陕南 4 月最高,陕北 1 月最低,关中和陕南 12 月最低;日变化均呈单峰型,日出后开始迅速升高,13:00 前后达到最高,16:00 开始迅速降低,日落后至次日日出前持续较低,春、夏季峰值持续时间较长,秋、冬季较短。

(3) 四季陕北和关中全天平均混合层高度差异不大,大部分时间关中略高于陕北;陕南春、夏季白天、秋季 9:00—16:00 以及冬季 10:00—15:00 明显低于陕北和关中,而秋季夜间 18:00—次日 7:00、冬季夜间 17:00 至次日 7:00 大多高于陕北和关中。

水源地保护、面源污染防治、人居环境改善和农民脱贫致富等有机结合起来,促进水土资源的可持续利用和生态环境的可持续维护,实现生产发展、生活富裕和生态良好的有效途径。

### 4.5 山核桃林生态工程综合整治

山核桃作为临安市主导经济林产业,其产量占全国总产量的 50%以上。但由于粗放的管理经营与落后的生产方式,加上林地特殊的地形与地势,造成临安市山核桃经济林成为该市土地利用方式中水土流失最为严重的。

山核桃林的水土保持是一项系统的工程,为综合整治临安市山核桃经济林的水土流失,促进山区经济生态可持续发展,需要根据林地地形地势与林分质量的不同而异。

(1) 科学造林。一是在营造山核桃林时,应根据立地条件,配合坡改梯、带状或块状整地等水土保持工程措施,例如淳安县的王阜乡童川村、临安市的大峡谷镇外川村等用石头在树基干部位下方垒成 1~2 m<sup>2</sup> 左右的小平台或小梯地,有条件的还可以补充客土,这样既清理了林内杂乱的小石块,便于林内作业,又能起保水、保肥、保土的作用。二是在营造的林地上,套种黑麦草、紫穗槐等绿肥植物或其它经济作物,根据“宜乔则乔,宜灌则灌,宜草则草”的原则,构建山核桃林的生态经济功能结构,通过套种的植物来调节林内水文,调理土壤结构。

(2) 生态管理。由于山核桃林的立地条件较差,土层薄,所以在除草、施肥、灌溉等管理上,要做到生态管理。一是慎用化学除草剂,多年使用除草剂的林地由于地表裸露,水土流失严重,提倡人工劈草,做到杂草还林。二是把林地就近农作物的秸秆或杂草平铺在

(上接第 326 页)

### 参考文献:

[1] 廖国莲. 大气混合层厚度的计算方法及影响因子[J]. 中山大学研究生学刊:自然科学、医学版,2005,26(4):66-73.

[2] 陆雍森. 环境评价[M]. 2 版. 上海:同济大学出版社,2002:220-242.

[3] 刘强. 大气污染物扩散中稳定度判定方法概述[J]. 干旱气象,2011,29(3):355-361.

[6] 邓奕,范绍佳. 沿海大气稳定度分类莫宁—奥布霍夫长度 L 分类标准研究[C]//新世纪气象科技创新与大气科学发展:中国气象学会 2003 年年会. 大气气溶胶及其对气候环境的影响分会论文集. 北京:气象出版社,2003:97-101.

[4] 孟庆珍,林安民. 重庆近 11 年大气混合层厚度研究[J]. 重庆环境科学,1994,16(4):12-16.

林内,既能减少降雨侵蚀,又可以腐烂堆肥,改善土壤肥力,提高土地生产力。三是修建蓄水池、截水沟、采收便道等,进行沟道整治,做到降雨就地入渗拦蓄。

### 参考文献:

[1] 赵秉栋,赵军凯,宫少燕,等. 论生态修复在水土保持生态建设中的优化作用[J]. 水土保持研究,2004,11(3):105-108.

[2] 熊英,王秋兵,黄毅,等. 浅谈水土保持生态修复及其在辽东山区的应用[J]. 水土保持研究,2006,13(2):37-38.

[3] 杨爱民,刘孝盈,李跃辉,等. 水土保持生态修复的概念、分类与技术方法[J]. 中国水土保持,2005(1):11-13.

[4] 陈明权. 水土保持生态自然修复的探讨[J]. 成都水利,2004(1):41-51.

[5] 杨子峰,于兴修,马骞. 水土保持生态修复效益评价探讨[J]. 水土保持研究,2006,13(6):175-181.

[6] 洪双族. 水土保持生态的修复需要人工的合理干预[J]. 水土保持研究,2004,11(3):802-804.

[7] 焦士兴. 关于生态修复几个相关问题的探讨[J]. 水土保持研究,2006,13(4):127-129.

[8] 陈奇伯,陈宝昆,董映成,等. 水土流失区小流域生态修复的理论与实践[J]. 水土保持研究,2004,11(1):168-170.

[9] 田卫堂,胡维银,李军,等. 我国水土流失现状和防治对策分析[J]. 水土保持研究,2008,15(4):204-209.

[10] 徐天蜀,彭世揆,岳彩荣. 山地流域治理的景观生态规划[J]. 水土保持通报,2002,22(2):52-54.

[11] 刘震. 我国水土保持小流域综合治理的回顾与展望[C]//中国水土保持探索与实践—小流域可持续发展研讨会论文集. 北京:中国水利水电出版社,2005:3-13.

[12] 胡建忠. 生态清洁型小流域建设:绿化美化、净化、产业化[J]. 中国水土保持科学,2011,9(1):104-107.

[13] 姚孝友. 关于生态型小流域水土保持设计理念的探讨[J]. 中国水土保持,2008(7):27-28.

[5] 杨勇杰,谈建国,郑友飞,等. 上海市近 15 a 大气稳定度和混合层厚度的研究[J]. 气象科学,2006,26(5):536-541.

[6] 杨静,李霞,李秦,等. 乌鲁木齐近 30 a 大气稳定度和混合层高度变化特征及与空气污染的关系[J]. 干旱区地理,2011,34(5):747-752.

[7] 张德华,李晓忠,侯祺棕. 城市大气稳定度分级模型的研究[J]. 武汉理工大学学报,2011,23(1):63-66.

[8] 范绍佳,林文实,苏雄晖,等. 理查逊数 Ri 在沿海近地层大气稳定度分类中的应用[J]. 热带气象学报,1999,15(4):370-375.

[9] 国家环保总局监督管理司. 中国环境影响评价培训教材[M]. 1 版. 北京:同济大学出版社,2000:116-117.

[10] 蔡新玲,吴素良,王繁强,等. 西安市近 10 年大气稳定度和边界层厚度特征[J]. 气象科技,2007,35(6):814-817.

[11] 陈建文,胡琳,王娟敏,等. 陕西省大气稳定度分布特征研究[J]. 水土保持研究,2013,20(3):299-304.