

韩余,刘德,王欢,等.重庆雾气候特征及天气成因分析[J].气象与环境学报,2013,29(6):116-122.

HAN Yu, LIU De, WANG Huan, et al. Climatic characteristics of fog and its forming reason in Chongqing[J]. Journal of Meteorology and Environment, 2013, 29(6): 116-122.

重庆雾气候特征及天气成因分析

韩余¹ 刘德¹ 王欢¹ 江玉华¹ 夏佰城²

(1. 重庆市气象台,重庆 401147; 2. 重庆市气象服务中心,重庆 401147)

摘要:利用1980—2011年重庆市36个区县气象站能见度及相对湿度资料,分析了重庆全区域雾的气候特征。选取全市典型浓雾个例,利用NCEP的 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 再分析资料和L波段雷达资料,合成分析了辐射雾和雨雾的环流形势和温、湿、风的垂直结构。结果表明:重庆全区域雾呈西多东少的分布形势,出现的时间主要集中在10月至翌年2月,年平均雾日数在21世纪初呈现显著下降趋势,雾日减少的突变发生在2002年。辐射雾发生时500 hPa中亚及青藏高原地区为高压脊,地面上重庆位于高压内部均压场中,冷锋已到达华南地区;而雨雾发生时500 hPa青藏高原地区为低压槽区,地面冷高压中心位于中国北方地区,有弱冷空气经大巴山从东北向重庆渗入。两种雾的温、湿、风垂直结构特征表现为辐射雾近地层逆温明显强于雨雾;上千下湿和湿层深厚分别是辐射雾和雨雾形成时湿度垂直结构的主要特征;两种雾形成时近地层风速均较小,总体来看雨雾发生时各层的风速均大于辐射雾。

关键词:辐射雾;雨雾;合成分析

中图分类号:P426.4 **文献标识码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1673-503X.2013.06.018

引言

重庆是闻名的“雾都”,浓雾经常导致工业、交通事故发生。特别是浓雾天气伴随的城市污染事件,给重庆的经济建设和人民生活带来严重影响。因此研究重庆雾的特征及天气成因,提供雾预报的概念模型,具有十分重要的意义。近年来对雾的研究取得了许多成果,如李子华^[1]、吴兑等^[2]对中国近几十年的雾及霾进行了研究。王丽萍和陈少勇^[3]对1961—2000年中国雾区的分布及季节变化进行了研究,指出中国地区的6个主要雾区,雾日显著趋势区呈西南—东北走向,秋冬季雾日最多。马学款等^[4]对重庆市区雾的天气特征进行分析,选取适当的诊断因子,使用神经网络建立预报模式。陈传雷等^[5]对近53 a辽宁雾的时空分布及成因进行了分析。李红波等^[6]对1999—2008年9次连续4 d以上的大雾天气过程进行分析,给出了华北平原连续性大雾的统计特征、环流背景、温湿场特征、成因及雾区分布天气概念模型及预报着眼点。杜坤等^[7]对江苏区域性雾进行了气候分析。许薇等^[8]对1951—2006年汕头雾变化的气候特征及影响因素进行分析。金巍等^[9]对渤海北部沿海近岸的雾进行了特征分析。大量研究^[10-14]分析了重庆城区的雾,但对重庆区域性

雾的特征及成因的研究较少。本文分析了重庆市36个区县雾的气候特征。选取全市的典型浓雾个例,合成分析了辐射雾和雨雾的环流形势和温、湿、风的垂直结构,建立雾的预报概念模型,为大雾天气预测、减灾及其影响评估提供科学依据。

1 资料与方法

采用1980—2011年重庆市36个区县气象站的能见度及相对湿度资料。雾是悬浮于近地面层空气中的大量水滴或冰晶微粒使水平能见度降到1000 m以下的现象。WMO在2005年的报告中建议相对湿度大于等于95%、能见度小于1000 m即定义为雾。本文统计的雾以此为标准,水平能见度100—500 m为浓雾;水平能见度小于100 m为强浓雾。当一日中任一观测时段有雾出现即统计为雾日,再根据一日中最低能见度的大小,统计出浓雾日和强浓雾日。

在已统计出的雾基础上,利用36个区县气象站降水资料,将雾进行分类,划分出重庆地区出现较多的两种雾:辐射雾和雨雾。本文中雨雾定义为雾出现前后6 h有降水发生,而无降水发生的雾则归为辐射雾。选取了全市区域的典型浓雾个例,利用NCEP的 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 再分析资料和L波段雷达资料,采用合成分析方法进行深入剖析。

收稿日期:2012-06-04; **修订日期:**2012-08-13。

基金项目:国家科技部公益性行业科研专项(GYHY200906012)和重庆市气象局2008年科技计划项目(zl-200805)共同资助。

作者简介:韩余,女,1978年生,副研级高级工程师,主要从事天气预测研究,E-mail:hanyubox@126.com。

2 结果分析

2.1 重庆雾的气候特征

1980—2011年重庆市年雾日为34.1 d(图1),年平均最多雾日数达49.1 d(1992年),最少雾日仅

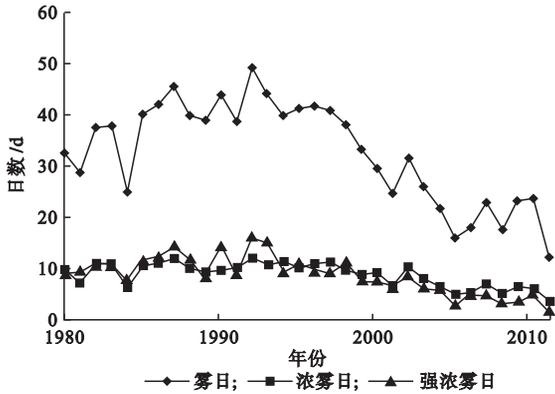


图1 1980—2011年重庆市逐年雾、浓雾、强浓雾日数变化

Fig. 1 Variations of days of annual fog, heavy fog and strong heavy fog from 1980 to 2011 in Chongqing

16.2 d(2005年)。20世纪80—90年代年平均雾日数总体呈增多趋势,2000年后雾日明显偏少。浓雾、强浓雾日数的变化也有类似特点。图2给出

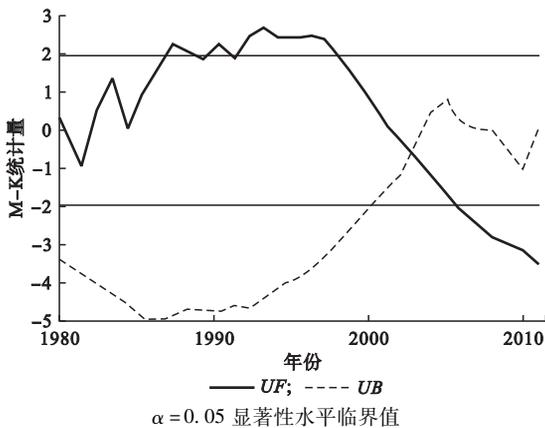


图2 1980—2011年重庆市平均雾日时间序列M-K突变检验

Fig. 2 Mann-Kendall test of mean fog days from 1980 to 2011 in Chongqing

了重庆市逐年雾日时间序列的M-K突变检验^[15]。从图中UF曲线可以看出,20世纪80年代后期到90年代后期,重庆年雾日为明显增加趋势,这种增加趋势超过了显著性水平0.05临界线。而2002年以后雾日开始呈下降趋势,到2006年这种减小的趋势超过了显著性水平0.05临界线,甚至超过了0.001的显著性水平($u_{0.001} = 2.56$),表明重庆21世纪初开始的雾日减少的趋势十分显著。从UF曲线和UB曲线交点的位置,可以看出2002年以后的雾日减少是一个突变现象。城市扩张所带来的热岛效应是造成

雾日减少的一个重要原因,通过统计沙坪坝站冬季最低气温,重庆冬季平均最低气温20世纪80年代为7.0℃,90年代上升至7.2℃,而到21世纪初10a冬季最低气温持续上升至7.4℃,对冬季最低气温做M-K检验发现,从90年以后,气温就呈增加趋势,而在2004—2009年,冬季最低气温显著升高,增加趋势超过了显著性水平0.05临界线。城市温度的升高,不利于水汽的凝结,是导致雾减少的一个重要因素。大气湿度也是影响雾形成的一个重要条件。随着城市化建设的发展,耕地、水体的减少,使得近地层大气含水量发生变化。统计沙坪坝站近30a平均相对湿度表明,20世纪80—90年代,每10a平均相对湿度为80.2%,而21世纪初10a,平均相对湿度降低为78.4%。最低气温的升高以及湿度的降低是近10a来雾日减少的重要影响因素。

重庆一年四季均有雾发生,主要集中在10月至翌年2月,月平均雾日在4d以上,11月至翌年1月是雾最易发生的时段,全年约有48.3%的雾发生在这3个月中,12月出现频率最高,达6.3d。8月是全年雾日最少的月份,月平均雾日仅为1d(图3)。浓雾与强浓雾的发生频率与雾相似。

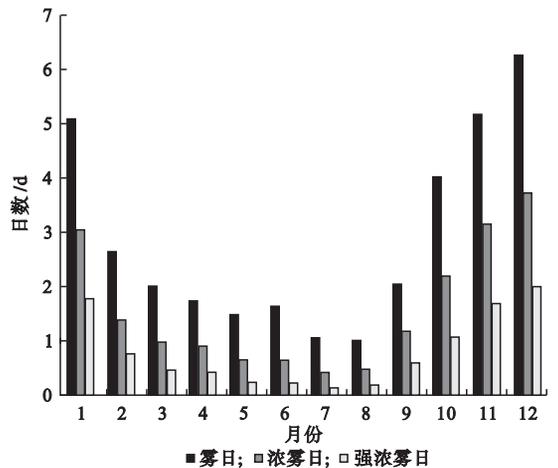


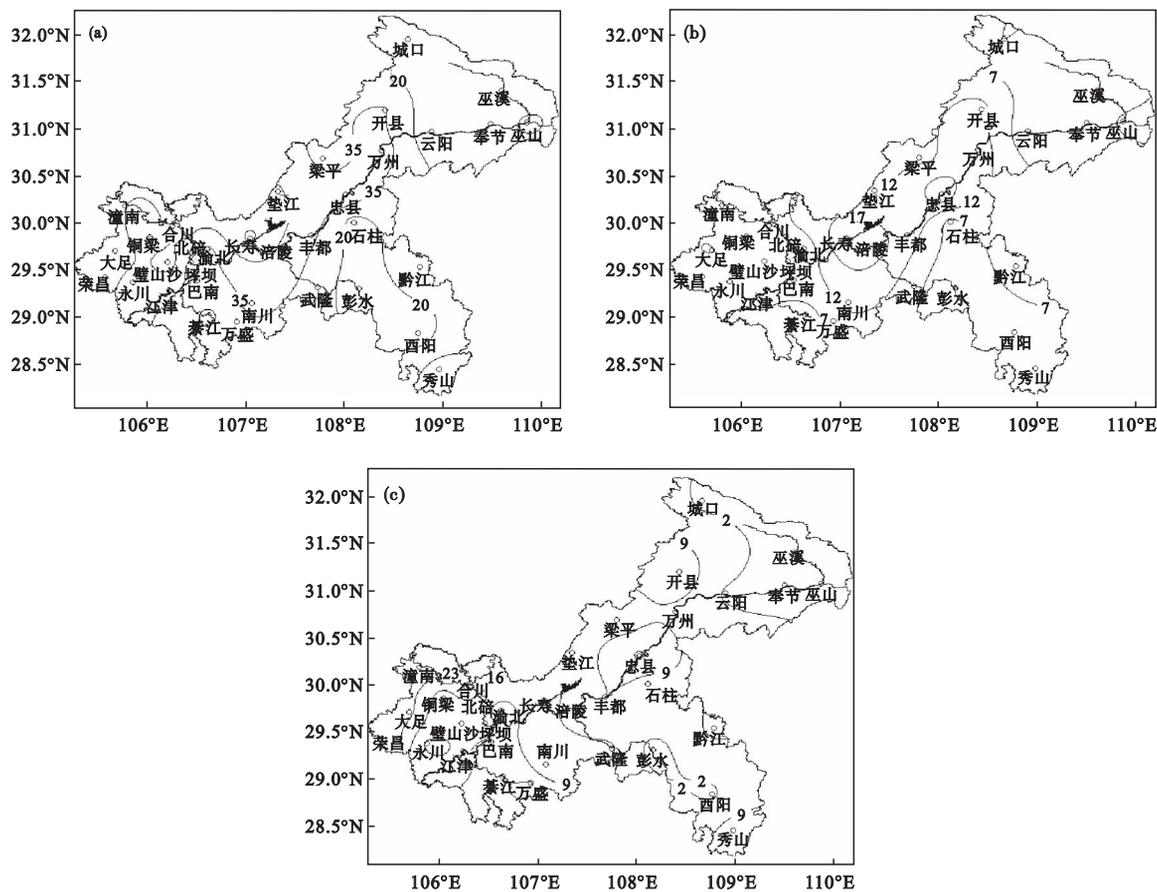
图3 1980—2011年重庆市逐月平均雾、浓雾、强浓雾日数变化

Fig. 3 Variations of days of the monthly fog, heavy fog and strong heavy fog from 1980 to 2011 in Chongqing

重庆雾的分布有明显的区域性,呈现西多东少,其等值线的走向明显的将全市分成4个不同的区域(图4a),分别是西北部多雾区、西南部较多雾区、东南部较少雾区和东北部少雾区。西北部多雾区内绝大部分地区年平均雾日数在50d以上,以长寿最为突出,达68.1d。西南部较多雾区内绝大部分地区年平均雾日数为40d左右。东南部较少雾区年平均雾日数为20d左右。东北部少雾区是全市最少雾区,绝大部分地区年平均雾日数不足10d,其中巫山雾日最少,年平均雾日仅为3.7d,本区不仅雾日少,

且持续时间也较短。浓雾分布(图4b)与雾的分布大

致相同,西北部的长寿、垫江等地浓雾日最多,而忠



单位为 d

图4 1980—2011年重庆市年平均雾日数(a)、浓雾日数(b)和强浓雾日数(c)分布

县是浓雾的另一个高发区。强浓雾的分布地区(图4c)与雾的分布有所不同,位于西北部边缘的潼南、大足等地强浓雾最多,年平均强浓雾日数为23 d以上,与浓雾一样忠县也是强浓雾的另一个高发区,年平均强浓雾日达17.6 d。重庆雾西多东少的分布形势,很大程度上与重庆的地形有关,重庆位于四川盆地东部边缘地区,是盆地向盆周山地的过渡地带,整体地势由西向东逐步升高。而西部低洼地带,夜间易受高地辐射冷却形成的下坡风影响,从而更利于雾的形成。同时重庆西部地区是重庆主要河流长江及嘉陵江的交汇地带,水汽充足,也是西部多雾的一个重要原因。

2.2 雾的成因分析

重庆雾主要有两类,一类是由于辐射冷却的作用使地面气层水汽凝结而形成的辐射雾,此类雾约占73.7%;另一类是雨雾,发生在锋面附近,伴有降水出现,此类雾约占26.3%。辐射雾主要分布在以长寿为中心的重庆西部地区,东北部和东南部辐射雾相对较少。雨雾也主要分布在以长寿为中心的重庆西部地区,只是范围明显不及辐射雾。辐射雾多发生在10月至翌年3月,11月至翌年1月辐射雾日

数占总数的51.3%,11月最多达3.74 d,7—8月辐射雾最少。雨雾多发生在10月至翌年3月,12月出现频率最高,达0.93 d,7—9月雨雾最少。辐射雾和雨雾多发生在早上(08时前后),分别占81.6%和82.4%(沙坪坝为例),其他时段出现辐射雾和雨雾的频率均不大。

表1为重庆几次典型的辐射雾和雨雾个例,选

表1 重庆市典型辐射雾和雨雾个例

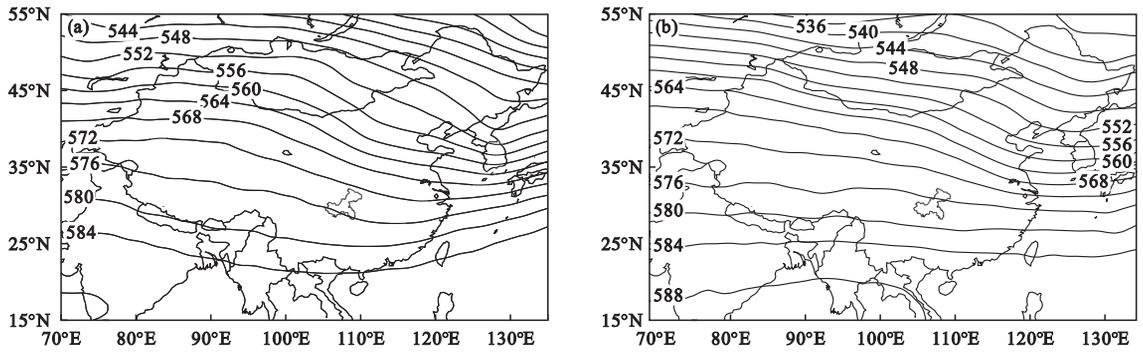
Table 1 The typical cases of radiation fog and rainy fog in Chongqing

类型	日期	雾站数	最小能见度/m	沙坪坝能见度/m
辐射雾	2005年11月26日	21	<100	100
	2006年12月20日	23	<100	600
	2007年11月9日	21	<100	500
	2007年11月24日	21	<100	100
	2009年11月24日	19	<100	100
雨雾	2005年4月18日	10	300	600
	2008年10月14日	5	<100	100
	2009年1月9日	6	<100	<100
	2009年1月19日	5	100	800
	2009年10月26日	8	300	600

取原则是:早上(08 时前后)发生的雾、雾的站数多、最小能见度低于 500 m 且重庆主站沙坪坝有雾。利用 NCEP 的 $1^\circ \times 1^\circ$ 再分析资料和 L 波段雷达资料,对表 1 所列两类雾采用合成方法分析高空形势和地面影响系统,比较两类雾的异同点,探究雾的天气成因。建立雾的预报概念模型,为大雾天气预测提供科学依据。

2.2.1 500 hPa 环流形势

辐射雾形成于亚洲较大的经向环流背景下,雾发生时 500 hPa 中亚及青藏高原地区为高压脊, 95°E 、 30°N 格点与 110°E 、 30°N 格点的高度差达 50 gpm 以上。东亚大槽位于中国东部沿海地区,强度较强(图 5a),重庆主要受高空脊前偏北气流影响,夜间天气晴空少云,辐射降温明显,在低层水汽



单位为 gpm

图 5 辐射雾(a)和雨雾(b)发生当日 02 时 500 hPa 环流形势合成

Fig. 5 Composite circulation situation at 02:00 at 500 hPa in the day when radiation fog (a) or rainy fog takes places (b)

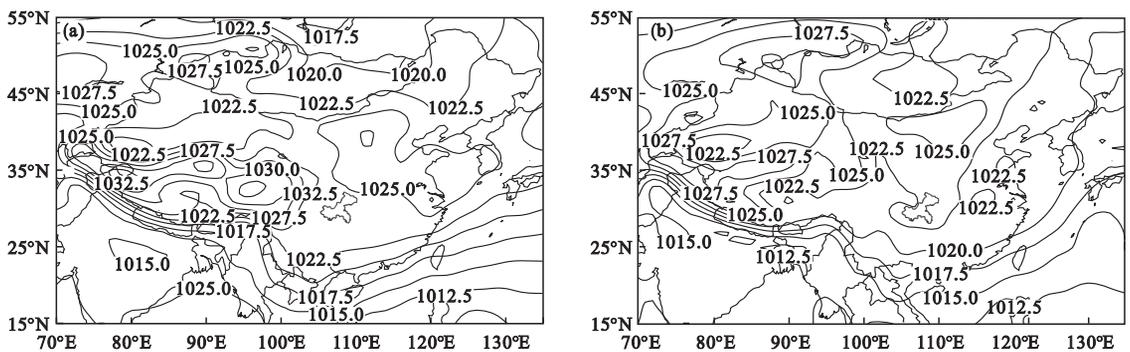
条件较好的情况下,很容易出现辐射雾。

东移(图 5b),有利于降水天气发生。

而雨雾发生时,亚洲地区经向环流相对较弱, 95°E 、 30°N 格点与 110°E 、 30°N 格点的高度差不明显(20 gpm 以内)。500 hPa 东亚大槽比较平浅,中亚地区高压脊不明显,青藏高原东部有低压槽发展

2.2.2 地面形势场

地面图上,辐射雾发生时中国东部地区都在高压控制下,冷锋已南压至华南沿海地区,重庆位于地面等压线相对稀疏的均压区内(图 6a),地面风力



单位为 hPa

图 6 辐射雾(a)和雨雾(b)发生当日 08 时海平面气压合成

Fig. 6 Composite sea level pressure at 08:00 in the day when radiation fog (a) or rainy fog takes places (b)

弱,大气层结稳定,而之前冷锋过境带来的降水,增加了近地层的湿度,更为辐射雾的形成提供了有利条件。

2.2.3 湿度场特征

辐射雾发生时 700 hPa 湿度场(图 7a)为一自东向西伸展的干区,重庆上空相对湿度仅为 20%—30%,说明此时对流层中高层水汽较少,天空晴朗少云,夜间地面辐射降温明显,有利于水汽凝结和辐射雾的形成。雨雾发生时 700 hPa 湿度场(图 7b)重庆上空相对湿度明显高于辐射雾发生时的情况,相对湿度维持在 60% 以上,且重庆西侧和南侧为高湿区,

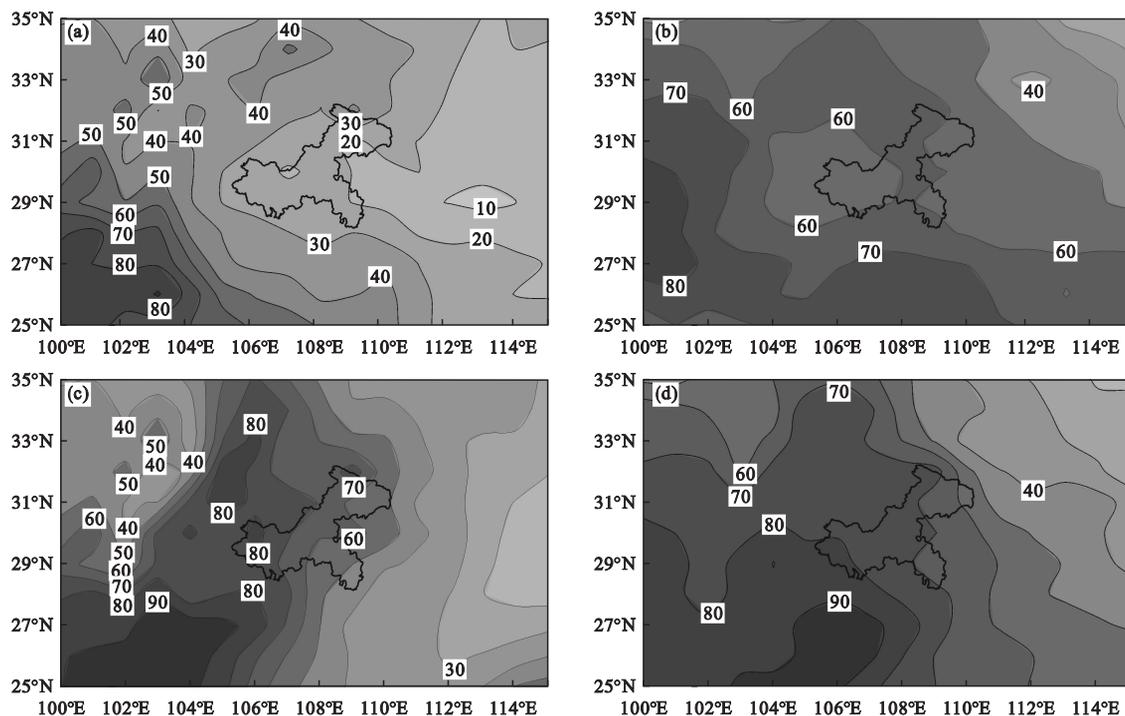
雨雾发生时,地面冷高压中心位于中国北方地区,有弱冷空气经大巴山从东北向重庆渗入(图 6b),由于高空低压槽和地面空气强度较弱,使得重庆地区降水、水汽与冷空气在近地层充分混合,发生水汽凝结形成雨雾。

相对湿度达70%以上,结合700 hPa流场分析,西南气流和气旋式辐合将使重庆上空相对湿度进一步增大,有利于云雨形成。

850 hPa上,辐射雾和雨雾发生时的湿度场具有类似特征,即重庆处于自西南向东北伸展的高湿区

内,相对湿度超过70%(图7c和图7d),所不同的是,雨雾发生时的高湿区范围更大。

综上所述,辐射雾发生时的湿度场特征表现为上层干(700 hPa以上),下层湿(850 hPa以下),雨雾则表现为较深厚的湿层特征。



单位为%

图7 辐射雾(a)和雨雾(b)发生时08时700 hPa湿度场、辐射雾(c)和雨雾(d)发生时08时850 hPa湿度场

Fig. 7 The composite humidity fields at 08:00 when radiation fog (a) or rainy fog takes place (b) at 700 hPa and at 08:00 when radiation fog (a) or rainy fog takes places (b) at 850 hPa

2.2.4 温度、湿度和风速的垂直结构

利用沙坪坝07时L波段雷达资料,对表2所列辐射雾和雨雾的温度、湿度、风速的垂直结构进行合成分析,可以看出两类雾发生时的温、湿、风的垂直变化有较大差异。

2.2.4.1 温度的垂直结构

辐射雾和雨雾发生时,近地层的温度有较大差异,200 m以下辐射雾形成时的温度比雨雾形成时的温度低2℃左右,说明辐射降温是辐射雾形成的重要条件。辐射雾发生时0—200 m近地层有明显的逆温或等温层。说明夜间辐射降温幅度大,地面很快冷却,贴近地面的气层也随之降温,形成了贴地逆温(图8a)。这一逆温层抑制了垂直运动的发展,使大量烟尘和水汽凝结物聚集在其下面,从而有利于辐射雾的形成。雨雾形成时近地层并无逆温存在,但气温的垂直递减率较小,在50—200 m之间存在浅薄的等温层,这可能是弱冷空气入侵形成的锋

面逆温。在有利降水的高空形势和稳定层结条件下,降水、水汽与冷空气在近地层充分混合,发生水汽凝结形成雨雾。

2.2.4.2 湿度的垂直结构

辐射雾和雨雾形成时,近地层都具有高湿特征,在300 m以下相对湿度均超过90%(图8b)。所不同的是,雨雾的湿层更深厚。雨雾形成时相对湿度90%以上的湿层可伸展到1200 m的高度,而辐射雾形成时相对湿度90%以上的湿层仅能到达600 m的高度。另一方面,辐射雾形成前后在2500 m以上,相对湿度明显下降到20%以下,而雨雾形成前后在1500—3000 m层相对湿度仍能保持在60%左右。说明上干下湿和湿层深厚分别是辐射雾和雨雾形成时湿度垂直结构的主要特征。

2.2.4.3 风速的垂直结构

辐射雾和雨雾形成时风速的垂直变化趋势基本一致,总体来看雨雾发生时各层的风速均大于辐射

雾(图8c)。两类雾发生时50 m以下的近地层均以静风为主,只是在辐射雾形成时的230 m以下风速较小,这可以保证近地面凝结的水汽不被迅速带走,

使雾得以形成。而雨雾形成时在50—100 m高度上风速明显增大,说明雨雾发生时大气边界层内的湍流运动更明显。

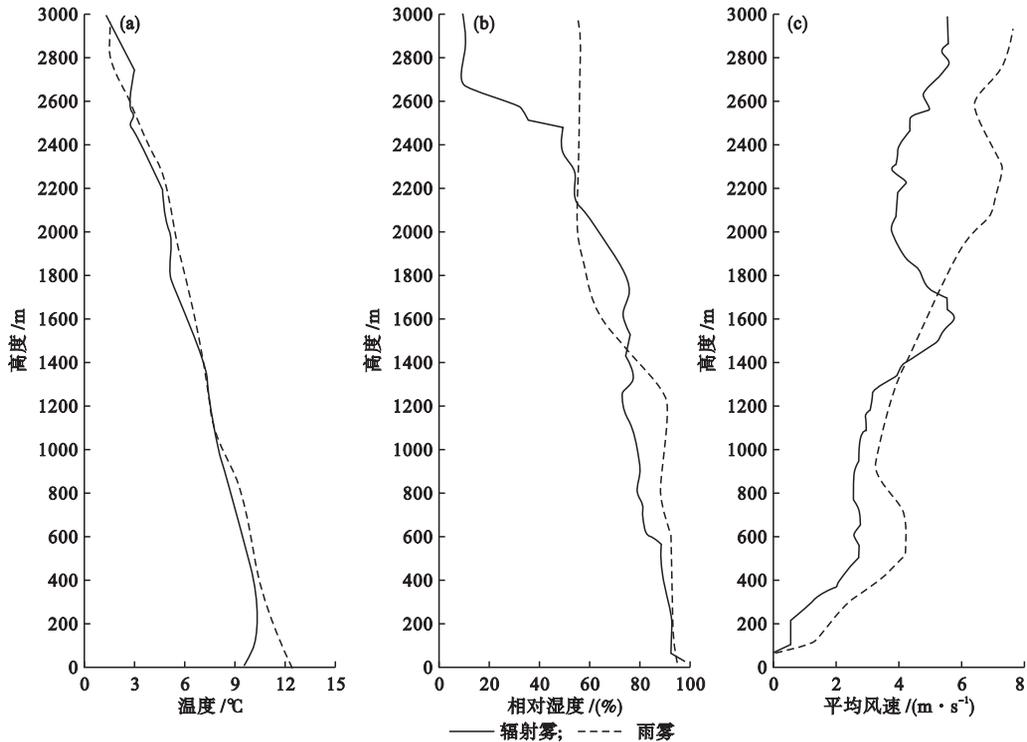


图8 辐射雾和雨雾发生时的温度(a)、相对湿度(b)和平均风速(c)的垂直变化

Fig. 8 Vertical variation of air temperature (a), relative humidity (b) and mean wind speed (c) when radiation fog or rainy fog takes places

3 结论与讨论

(1)重庆雾的分布有明显的区域性,呈西多东少,其等值线的走向明显的将全市分成4个不同的区域,分别是中北部多雾区、西南部较多雾区、东南部较少雾区和东北部少雾区。雾出现的时间主要集中在10月至翌年2月,11月至翌年1月是雾最易发生的时段,全年约有48.3%的雾发生在这3个月中,12月和8月分别是全年雾日最多和最少的月份。从20世纪80年代后期到90年代后期,重庆年平均雾日为明显增加的趋势,而2002年以后雾日数开始呈显著性下降趋势,雾日减少的突变发生在2002年。

(2)辐射雾发生时500 hPa中亚及青藏高原地区为高压脊,95°E、30°N格点与110°E、30°N格点的高度差达50 gpm以上。而雨雾500 hPa发生时青藏高原地区为低压槽区,95°E、30°N格点与110°E、30°N格点的高度差不明显(20 gpm以内)。辐射雾发生时地面上重庆位于高压内部的均压场中,冷锋已到达华南地区。而雨雾发生时地面冷高压中心位于中国北方地区,有弱冷空气经大巴山从东北向重庆渗入。

(3)辐射雾发生时的湿度场特征表现为上层干

(700 hPa以上),下层湿(850 hPa以下),雨雾则表现为较深厚的湿层特征。利用L波段雷达资料,对辐射雾和雨雾的温度、湿度、风速的垂直结构分析,发现辐射雾发生时近地层有贴地逆温,雨雾发生时近地层有浅薄逆温层。上干下湿和湿层深厚分别是辐射雾和雨雾形成时湿度垂直结构的主要特征。辐射雾和雨雾形成时风速的垂直变化的趋势基本一致,总体来看雨雾发生时各层的风速都大于辐射雾。

参考文献

- [1] 李子华. 中国近40年来雾的研究[J]. 气象学报, 2001, 59(5): 616-623.
- [2] 吴兑, 吴晓京, 李菲, 等. 中国大陆1951—2005年雾与轻雾的长期变化[J]. 热带气象学报, 2011, 27(2): 145-151.
- [3] 王丽萍, 陈少勇. 中国雾区的分布及其季节变化[J]. 地理学报, 2005, 60(4): 689-697.
- [4] 马学款, 蔡梦宁, 杨贵名, 等. 重庆市雾的天气特征分析及预报方法研究[J]. 气候与环境研究, 2007, 12(6): 795-803.
- [5] 陈传雷, 蒋大凯, 孔令军. 近53年辽宁雾的时空分布及成因分析[J]. 气象与环境学报, 2006, 22(1): 21-24.

- [6] 李红波,赵广玉,孙凡超,等. 华北平原连续性大雾的特征分析[J]. 中国海洋大学学报,2010,40(7):15-23.
- [7] 杜坤,魏鸣,许遐祯,等. 江苏省雾的集中程度及其气候趋势分析[J]. 气象科学,2011,31(5):632-638.
- [8] 许薇,甘庆辉,汤强,等. 1951—2006年汕头雾变化的气候特征及影响因素分析[J]. 气象与环境学报,2008,24(3):42-45.
- [9] 金巍,曲岩,卞韬,等. 渤海北部沿海近岸雾的特征分析[J]. 气象与环境学报,2012,28(2):40-43.
- [10] 刘德,李永华,喻桥,等. 基于客观分析的重庆雾的BP神经网络预报模型研究[J]. 气象科学,2005,25(3):293-297.
- [11] 江玉华,王强,李子华,等. 重庆城区浓雾的基本特征[J]. 气象科技,2004,32(6):450-455.
- [12] 刘德,张庆鸿,杨期丰. 重庆市区浓雾短期客观预报方法研究[J]. 成都气象学院学报,1992,7(2):31-38.
- [13] 李子华. 重庆市区气象能见度低劣的成因[J]. 南京气象学院学报,1992,15(4):550-557.
- [14] 向波,刘德,廖代强. 重庆雾的特点及其变化分析[J]. 气象,2003,29(2):48-52.
- [15] 魏凤英. 现代气候预测诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社,2007:63-66.

Climatic characteristics of fog and its forming reason in Chongqing

HAN Yu¹ LIU De¹ WANG Huan¹ JIANG Yu-hua¹ XIA Bai-cheng²

(1. Chongqing Meteorological Observatory, Chongqing 401147, China; 2. Chongqing Meteorological Service Center, Chongqing 401147, China)

Abstract: Based on the visibility and relative humidity data at 36 weather stations from 1980 to 2011 in Chongqing, the climatic characteristics of fog were analyzed. Typical heavy fog events were selected, and the circulation situation of radiation fog and rainy fog, vertical structure of temperature, humidity and wind were discussed using the NCEP reanalysis data with the resolution of $1^\circ \times 1^\circ$ and the L band radar data. The results indicate that the number of fog events is larger in the west than in the east of Chongqing, and the fog weather usually appears from October to February of next year. Annual mean number of fog days is in a significant decreasing trend in the early of this century, and an abrupt change occurs in 2002. There is high pressure ridge at 500 hPa in areas of Central Asia and Qinghai-Tibet plateau when radiation fog takes place, and Chongqing is located in the pressure equalization field inside the high atmosphere pressure and cold front reaches the South China. However, there is low pressure trough at 500 hPa in Qinghai-Tibet plateau when rainy fog takes place, and the center of surface cold high pressure is located in the north of China, which makes the weak cold air penetrating through Daba Mountain into Chongqing from the northeast. The vertical structures of temperature, humidity and wind speed for fogs of two types differ each other. Inversion temperature of radiation fog near the ground layer is obviously stronger than that of rainy fog. The vertical structure of humidity for radiation fog is dry in the upper layer and wet in the lower layer, while that of rainy fog is deep wet layer. At the same time, wind speed near the ground is slow, while the wind speed in each layer is faster during rainy fog than during radiation fog.

Key words: Radiation fog; Rainy fog; Composite analysis