

四川盆地区域性浓雾序列及其年际和年代际变化*

周自江¹⁾ 朱燕君¹⁾ 姚志国²⁾ 鞠晓慧¹⁾

¹⁾(国家气象信息中心,北京 100081) ²⁾(四川省气象局,成都 610071)

摘 要

利用四川盆地 20 个国家级基本气象站 1954—2005 年的大雾和能见度等资料,探讨了区域性浓雾的认定标准,建立起该地区较完整的区域性浓雾日数序列,分析了其年际、年代际变化及可能原因。结果表明:① 盆地内区域性浓雾主要发生在秋冬季(9 月至次年 2 月),占总数的 92.8%,这也就决定了浓雾日数序列是一个跨年度统计的序列;② 1954—1976 年盆地内浓雾处于偏少的负位相,尤以 20 世纪 60 年代为最少,相反,20 世纪 80—90 年代浓雾频次高、强度大,处于多雾的正位相,但是近些年有明显的减弱;③ 在浓雾的年际和年代际变化中,大气中凝结核的数量(背景大气浑浊度)起着主导作用,同时,干湿状况是决定浓雾年代际变化另一主要原因,局地气候变暖对浓雾的影响具有不确定性;④ 90 年代以后盆地内浓雾的减弱是 3 个因子共同作用的结果。

关键词:四川盆地;区域性浓雾;年代际变化;大气浑浊度

引 言

雾是常见的灾害性天气之一^[1]。20 世纪 80 年代以来,随着我国社会经济(特别是交通事业)的发展,由雾造成的经济损失也愈来愈突出。与此同时,科学家们对于雾害问题的研究也在不断地推进,并已在雾的物理结构、化学组分、数值模拟和人工消雾等方面取得了诸多成果^[2-8]。但迄今针对雾的历史演变趋势及其气候学机理的研究却很少,其中专门针对区域性浓雾(大范围能见度小于 500 m 的雾)气候特征的研究成果则更少,非常需要用长序列的客观观测资料来研究和补充。

最近,刘小宁等^[9]利用我国 679 个站的气象观测资料,给出了全国范围的大雾(能见度小于 1000 m 的雾)日数的时空分布,由此可以清楚地看出,四川盆地因群山屏蔽,地形闭塞,静风频率高,再加上水道多,空气湿润,近地面气层的年平均相对湿度高达 79.4%,很容易发生大雾天气。据统计,盆地内大部分地区平均每年的大雾日数在 45 d 以上,部分地区超过 60 d^[9],其中成都、重庆 1954—2005 年年平均大雾日数分别为 61.8 d 和 52.8 d,是我国所有大城市中大雾最多的,当然也是城市雾研究的重点地

区^[10-12],但是已有的研究大多是基于两地而孤立进行的,不能代表整个四川盆地。本文旨在利用四川盆地 20 个气象站 1954—2005 年的逐日大雾原始记录及能见度资料,探索建立区域性浓雾的气候序列,进而应用近代统计学方法分析其年际和年代际变化特征,并对变化的原因给予初步解释。

1 研究区域与浓雾资料

本文在四川盆地选择了连续观测年代较长的 20 个国家级基本气象站,并以此构成广义上的盆地代表性研究区域(图 1)。

在气象观测^[13]中,无论何时,只要出现能见度小于 1000 m 的雾,就记作大雾,并填入气象记录报表。根据国家气象信息中心存档的原始气象记录报表,1954—2005 年的 52 年间 20 个站总共积累了 41577 条原始大雾记录,其时间分辨率为 1 min。为进一步判断其是否为能见度小于 500 m 的浓雾,依照几十年来中国气象观测站网能见度资料的实际情况,并为保证年际和年代际的可比性,本文统一从每天 4 次定时(即 02:00, 08:00, 14:00 和 20:00,北京时,下同)值中给大雾样本选配能见度。

* 国家自然科学基金项目(40305008)和国家科技基础条件平台工作重点项目(2004DKA20170)共同资助。

2006-06-06 收到,2006-08-03 收到修改稿。

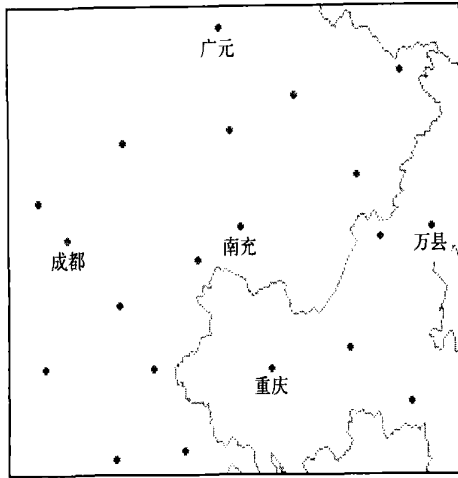


图1 四川盆地20个代表站的地理分布

2 四川盆地区域性浓雾序列的建立

2.1 区域性浓雾的认定标准

按气象观测规范^[13]定义,浓雾是指大量微小水滴悬浮空中,使水平能见度小于500 m的天气现象。虽然其形成与局地地形环境条件有关,但是对于影响面较大、持续时间较长的浓雾,一般发生在范围相对较大的均压区内,低层大气稳定,风速小,夜间晴空无云,辐射降温明显^[14-15]。因此,与这种比较明显的天气背景相联系,可以考查浓雾的区域性和多站群发特征。那么在四川盆地究竟多少站出现浓雾才能被认定为一次区域性浓雾呢?为此,本文对盆地内20个站的实测资料进行整合后得出了单站或多站同时出现浓雾的年平均日数。由表1可见,盆地内每年出现局地或区域性浓雾105.6 d,相对于全年365个观测日来说,几率为28.9%。与盆地内每年出现209.3 d局地或区域性大雾相比,浓雾日数占了50.4%,相当于每两场大雾中就会有1次达到浓雾标准,比例是比较高的。相反出现10个站以上的区域性浓雾仅有5.7 d,几率不到1.6%,属异常极端的天气气候事件。因此,基于表1的数据分布规

律,本文规定在同一观测日研究区域内有5个以上站(含5个)出现浓雾者为区域性浓雾,并记1个区域性浓雾日。其出现几率约为7%。

表1 1954—2005年四川盆地单站或多站同时出现浓雾的年平均日数

出现浓雾的年平均日数	d					
	≥1站	≥2站	≥3站	≥4站	≥5站	≥10站
浓雾日数	105.6	63.3	44.6	33.3	25.6	5.7

2.2 基于季节分布特征的序列调整

对上述41577条原始大雾记录进行逐一筛选核查后,发现在1954—2005年的52年间,四川盆地地区总共出现了1332个区域性浓雾日。将其按年份定位便构成了一条四川盆地的区域性浓雾时间序列(表略)。

图2为四川盆地上述1332个区域性浓雾的逐月分布。可见,区域性浓雾主要发生在秋冬季(9月至次年2月),占总数的92.8%,相反,在夏季发生浓雾的次数却很少,只占总数的1.4%。这一分布特点表明,区域性浓雾的发生主要与该地区秋冬季低温高湿、对流性天气较少等天气气候特征密切相关。因此,为更准确地把握四川盆地区域性浓雾的年际变化、年代际变化特征及其可能原因,本文对原序列作跨年度调整,即以当年7月至次年6月为1个年度,年份记为12月所在的年份。调整后的四川盆地区域性浓雾日数年度序列见表2,共有区域性浓雾

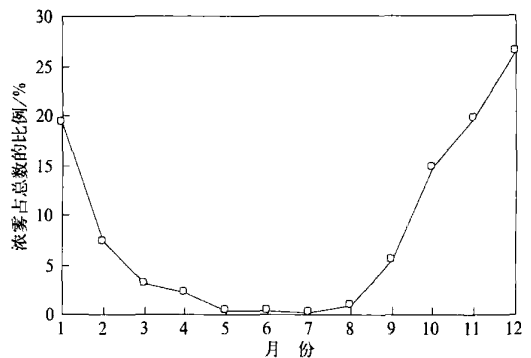


图2 1954—2005年四川盆地区域性浓雾的逐月分布

表2 四川盆地1954—2004年度区域性浓雾日数

年份	逐年区域性浓雾日数										平均日数
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1954—1959					29	28	14	20	18	17	21.0
1960—1969	10	9	15	16	25	18	17	10	9	21	15.0
1970—1979	21	28	16	22	16	15	24	30	36	32	24.0
1980—1989	46	34	31	33	25	37	37	40	38	34	35.5
1990—1999	35	48	44	43	33	32	28	19	33	23	33.8
2000—2004	11	22	21	17	26						19.4

日数 1306 d, 平均每年 25.6 d。调整后虽然序列的长度减少了 1 年, 但是可以使多发季节不被分割, 物理意义更为明确。

3 浓雾的年际和年代际变化

图 3a 为四川盆地 1954—2004 年区域性浓雾日数的逐年变化曲线。由此可以看出, 在 20 世纪 60—70 年代浓雾相对较少, 只有 4 年的日数大于 51 年的平均值, 其后的 20 年中浓雾事件较多, 仅有 3 年少于平均值, 因而使得四川盆地区域性浓雾的总体趋势为波动增多, 线性倾向率为 2.96 d/10a, 并且在 $\alpha=0.05$ 的显著性水平下这一变化趋势是显著的。51 个年度中, 1961 年度(1961 年 7 月—1962 年 6 月)和 1968 年度(1968 年 7 月—1969 年 6 月)仅出现 9 个浓雾日, 是历史最低值, 而 1991 年度(1991

年 7 月—1992 年 6 月)出现 48 个浓雾日, 是历史峰值。从每 10 年的平均日数(表 2)来看, 1960—1969 年的 10 年间最少, 平均每年出现区域性浓雾 15 d; 而 20 世纪 80 年代浓雾最多, 平均每年 35.5 d, 是 60 年代的 2.37 倍。2000—2004 年的 5 年间平均每年 19.4 d, 低于 51 年平均值, 但是明显高于 20 世纪 60 年代的平均值。上述分析表明, 20 世纪 80—90 年代四川盆地的浓雾频次高、强度大、影响范围也大, 但近几年有明显的减弱。

进一步采用九点二次滑动平均方法^[16]将四川盆地区域性浓雾日数数值序列的长期趋势变化分离出来, 笼统地视作年代际分量(图 3b), 再用原序列减去年代际分量得到年际尺度分量(图 3c)。由图 3b 可见, 1954—1976 年四川盆地区域性浓雾处于少雾的负位相, 平均每年 18.2 d; 1977—1997 年处于多雾的正位相, 平均每年 35 d; 1998—2004 年又为少

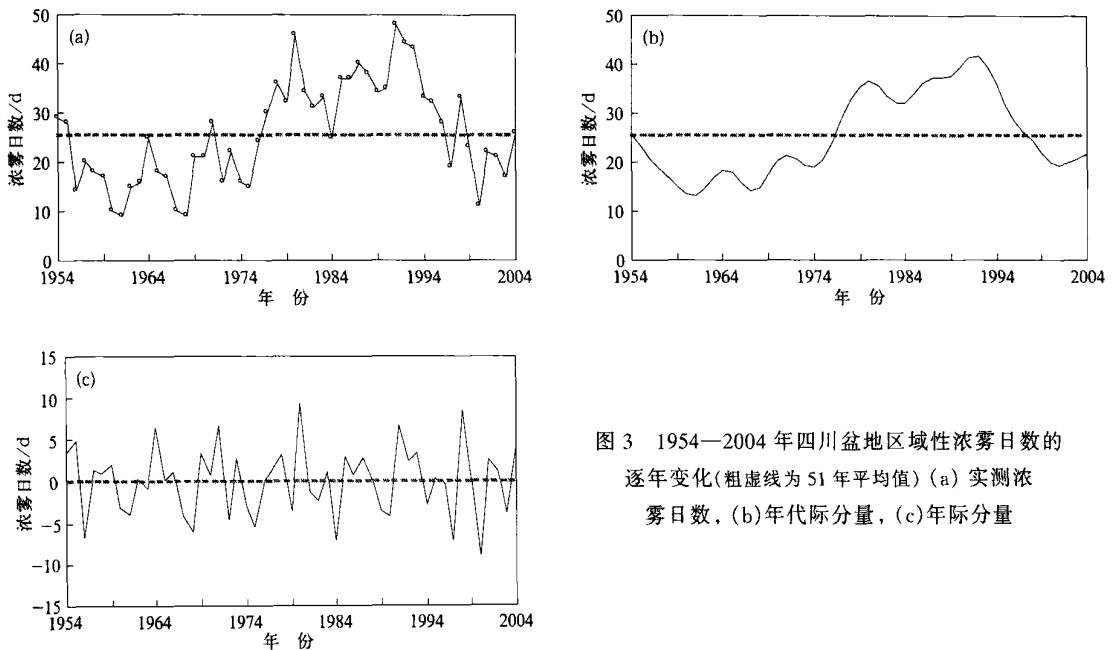


图 3 1954—2004 年四川盆地区域性浓雾日数的逐年变化(粗虚线为 51 年平均值) (a) 实测浓雾日数, (b) 年代际分量, (c) 年际分量

雾的负位相, 平均每年 21.9 d。就年际尺度分量(图 3c)而言, 存在 6 次明显的波峰(年际分量 ≥ 5 d)和波谷(年际分量 ≤ -5 d)。

4 近 50 年浓雾变化与气候因子的关系

研究表明, 四川盆地的雾主要为辐射雾, 其形成可以通过两种途径: 即增加空气中的水汽, 造成空气中水汽饱和, 产生水汽凝结, 或降低空气中温度使低

层大气冷却到露点^[9]。因此, 为探讨四川盆地区域性浓雾年际和年代际变化的可能原因, 本文选择了与雾生成关系最密切的 3 个因子: 平均最低气温、平均相对湿度和大气中凝结核的数量(背景大气浑浊度)指标。其中气温和相对湿度取自气象站的实测值, 并针对上述区域性浓雾的季节分布特征只选用秋冬季(9 月至次年 2 月)20 个站的平均序列。

相比之下, 由于没有系统性的实测资料, 大气中凝结核的数量指标或背景大气浑浊度指标序列的建

立要困难得多。我国开展大气浑浊度的观测始于20世纪90年代初期,由为数不多的国家一级辐射站(在四川盆地只有成都1个站)承担,同时在观测时还要考虑太阳面有无云,大气低层有无雾和沙尘等天气现象,观测时次只有每天02:00,12:00和15:00^[17]。因此,有效样本较少,很难获取50年长度的月、季和年平均序列。但是统计分析表明,1998—2002年间成都站14:00能见度与对应日15:00全波段浑浊度指标 T_G 的相关系数为-0.283,通过了 $\alpha=0.01$ 的相关信度检验(137个样本),亦即 T_G 愈大,大气愈浑浊,能见度愈小,反之亦然。分析还得到了2003年9月—2004年2月成都站14:00能见度与粒径小于等于 $10\ \mu\text{m}$ 的颗粒物(PM_{10})浓度日值的相关系数为-0.331(172个样本),重庆站为-0.445(177个样本),都通过了 $\alpha=0.001$ 的相关信度检验。这些结果表明可以用14:00能见度来近似表征大气浑浊度指标或大气中凝结核数量指标。之所以选择14:00能见度的主要原因还在于大雾的日变化特点^[9]。从上述41577条原始大雾记录来看,其跨越14:00的几率仅为7.74%,也就是说该时次的能见度受到大雾天气的影响相对较小。但是要作为背景大气的浑浊度指标,7.74%的比例是不可忽略的,为此本文只选用14:00能见度大于等于6级(亦即大于等于4 km)的样本来计算秋冬季背景大气能见度的平均序列,以尽可能削弱雾对背景大气能见度的影响。

图4为秋冬季3个因子的逐年变化曲线。对照图4a和图3b中粗实线的变化趋势,可以看出,当1954—1976年四川盆地区域性浓雾处于负位相时,两季平均相对湿度的位相出现过明显的正负波动,前期和后期一致,中间相反;在1977—1997年盆地浓雾处于正位相时,绝大多数年份相对湿度处在偏高期,与浓雾的位相变化基本一致;1998—2004年盆地又为少浓雾的负位相,相对湿度也处在一个低值期,两者的位相同时出现转变。由图4b可见,四川盆地秋冬季平均最低气温的年代际分量变化比较平缓,主要反映了该地区气候平均态的阶段变化不甚显著,但20世纪90年代以后的显著增温趋势,与盆地区域性浓雾减少趋势的位相相反。将图4c的两季平均背景大气能见度的年代际变化趋势曲线与图3b比较,可以看出,1997年以前两者的位相变化基本相反。文献[18]曾论证过重庆市浓雾与污染物排放总量的关系。对照看来,其结果与图4c也是相吻合的,亦即20世纪50年代中期是工业大发展的高峰期,烟尘的排放量大,大气能见度低;60—70年代,工业生产发展缓慢,烟尘的排放少,大气能见度相对较好;80—90年代是工业发展的新高峰期,大气能见度恶化;90年代中期由于政府加强了治理力度,烟尘排放量逐渐减少,大气能见度又相对好转。这也间接证明了用14:00能见度来近似表征大气的浑浊度是可行的。

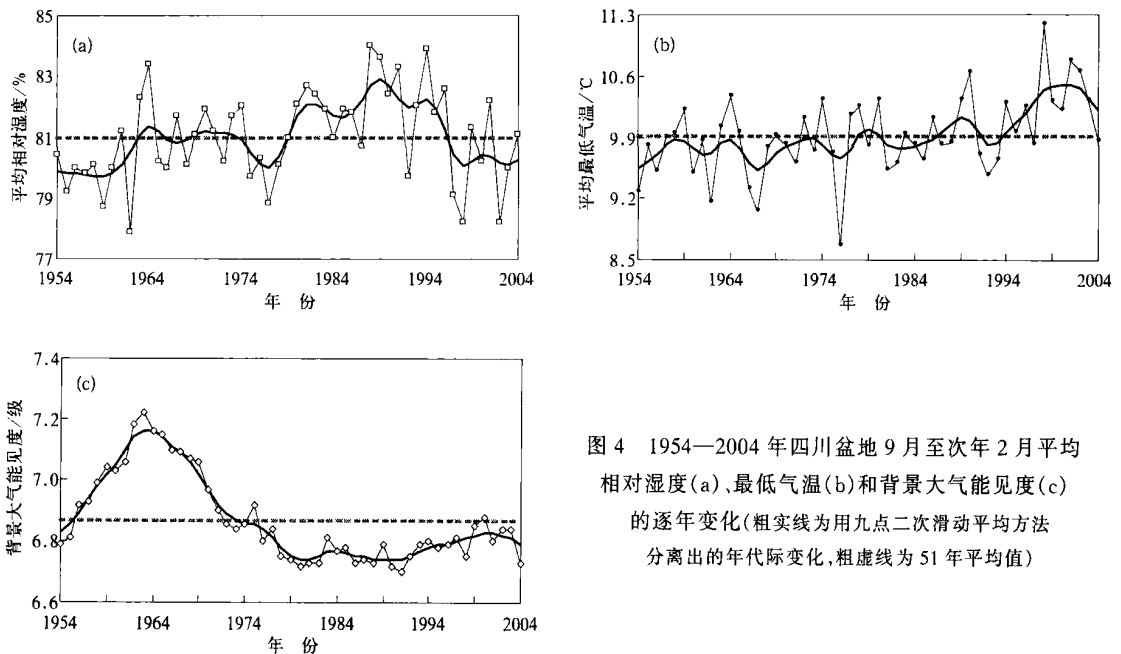


图4 1954—2004年四川盆地9月至次年2月平均相对湿度(a)、最低气温(b)和背景大气能见度(c)的逐年变化(粗实线为用九点二次滑动平均方法分离出的年代际变化,粗虚线为51年平均值)

进一步计算四川盆地区域性浓雾与3个因子在不同时间尺度上的相关系数,并根据统计学大样本定理,对于尺度小于30年的采用了无偏相关系数^[16]给予校正(表3)。结果表明,四川盆地区域性浓雾与秋冬季背景大气能见度始终是较高水平的负相关,除年际分量仅通过0.01的显著性检验外,其他分量或时段均超过了0.001的显著性水平,表明能见度越低,背景大气越浑浊,形成雾滴的云凝结核可能也越多,导致区域性浓雾也越多。浓雾与相对湿度的年际分量的相关关系不明显,但是两者的年代际分量的相关系数高达0.727,超过了0.001的

显著性水平,表明盆地内干湿状况的年代际更替是决定区域性浓雾年代际变化另一主要原因。同时,浓雾与相对湿度的相关随时间存在一定的阶段性变化(图略),1954—1979年段相关系数几乎为零,而1980—2004年段为较显著的正相关(达到了0.05的显著性水平)。四川盆地区域性浓雾与秋冬季平均最低气温的相关性只是在1978年以后得以明确地体现出来(相关达到0.10的显著性水平),其他时段相关关系不明显,甚至出现了相关符号的改变,表明在气候尺度上气候变暖对区域性浓雾的影响具有不确定性。

表3 四川盆地区域性浓雾日数与各因子的相关系数

浓雾时间序列	最低气温	相对湿度	背景大气能见度
浓雾日数(1954—2004年)	0.123	0.396*	-0.737*
浓雾日数(1954—1979年)	0.171	0.019	-0.664*
浓雾日数(1980—2004年)	-0.353 [†]	0.438 [#]	-0.760*
年代际分量(1954—2004年)	0.136	0.727*	-0.824*
年际分量(1954—2004年)	0.181	0.034	-0.421*

注:†表示通过 $\alpha=0.1$ 的显著性检验;#表示通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验,*表示通过 $\alpha=0.01$ 的显著性检验。

综上所述,大气中凝结核的数量(大气浑浊度)在四川盆地区域性浓雾的年际和年代际变化中始终起着主导作用;干湿状况在浓雾年际变化中的作用有限,但在浓雾年代际变化中是主要原因之一;局地气候变暖对浓雾的影响具有不确定性;20世纪90年代以后盆地内浓雾的减弱是3个因子共同作用的结果。

5 结论和讨论

1) 以在同一观测日内有5个以上站(含5个)出现浓雾为认定标准,得到了四川盆地近半个世纪较完整的区域性浓雾样本。盆地内区域性浓雾主要发生在秋冬季(9月至次年2月),占总数的92.8%,而夏季却很少,只占1.4%。基于这一特点,通过跨年度统计建立了1954—2004年度区域性浓雾日数序列,共包含区域性浓雾日数1306 d,平均每年25.6 d。

2) 1954—1976年四川盆地区域性浓雾处于偏少的负位相,平均每年18.2 d,其中又以60年代为最少,平均每年15 d。相反,20世纪80—90年代浓雾频次高、强度大,处于多雾的正位相。近些年浓雾又呈明显的减弱态势,但是尚多于20世纪60年代。对于1954—2004年51年的时间尺度,盆地内区域性浓雾的线性倾向率为2.96 d/10a。

3) 四川盆地区域性浓雾与秋冬季背景大气能见度始终是较高水平的负相关,超过了0.01的显著性水平,表明大气中凝结核的数量(大气浑浊度)在区域性浓雾的年际和年代际变化中始终起着主导作用。与此同时,干湿状况在浓雾年际变化中的作用有限,但在浓雾年代际变化中是主要原因之一;局地气候变暖对浓雾的影响具有不确定性。20世纪90年代以后盆地内浓雾的减弱是3个因子共同作用的结果。

最后需要指出的是,本文在判定能见度小于500 m的浓雾事件时,主要依赖于每日4次定时能见度。正因如此,当生命周期有限的大雾与时间分辨率相对较粗的能见度取值叠加时,对于区域性浓雾的判别难免存在遗漏情况。但是由于所有样本的能见度取法高度一致,所以上述的年际和年代际变化规律还是有很好代表性的。

参考文献

- [1] 黄荣辉,张庆云,阮水根,等.我国气象灾害的预测预警与科学防灾减灾对策.北京:气象出版社,2005:3-19
- [2] 丁国安,纪湘明,房秀梅,等.庐山云雾水化学组成的某些特征.气象学报,1991,49(2):190-197.
- [3] 孙奕敏.灾害性浓雾.北京:气象出版社,1994:1-148.
- [4] 鲍宝堂,束家鑫,朱炳权.上海城市雾理化特性的研究.南京气象学院学报,1995,18(1):114-118.

- [5] 李子华, 黄建平, 周毓荃, 等. 1996年南京连续5天浓雾的物理结构特征. 气象学报, 1999, 57(5): 622-631.
- [6] 李子华. 中国近40年来雾的研究. 气象学报, 2001, 59(5): 616-624.
- [7] 张利民, 石春娥, 杨军, 等. 雾的数值模拟. 北京: 气象出版社, 2002: 1-138.
- [8] 张光智, 卞林根, 王继志, 等. 北京及周边地区雾形成的边界层特征. 中国科学(D辑), 2005, 35(A01): 78-83.
- [9] 刘小宇, 张洪政, 李庆祥, 等. 我国大雾的气候特征及变化初步解释. 应用气象学报, 2005, 16(2): 220-230.
- [10] 李子华, 仲良喜, 俞香仁. 西南地区 and 长江下游雾的时空分布和物理结构. 地理学报, 1992, 47(3): 242-251.
- [11] 李子华, 彭中贵. 重庆市冬季雾的物理化学特征. 气象学报, 1994, 52(4): 477-483.
- [12] 柳泽文孝, 贾疏源, 赤田尚史, 等. 成都市2002年1月2日至4日浓雾天气雾的化学组成. 四川环境, 2004, 23(1): 62-64.
- [13] 中国气象局. 地面气象观测规范. 北京: 气象出版社, 2003: 21-27.
- [14] 葛良玉, 江燕如, 梁汉明, 等. 1996年岁末沪宁线持续五天大雾的原因探讨. 气象科学, 1998, 18(2): 181-188.
- [15] 何立富, 李峰, 李泽椿. 华北平原一次持续性大雾过程的动力和热力特征. 应用气象学报, 2006, 17(2): 160-168.
- [16] 魏凤英. 现代气候统计诊断预测技术. 北京: 气象出版社, 1999: 15-61.
- [17] 中国气象局. 气象辐射观测方法. 北京: 气象出版社, 1996: 24-25.
- [18] 江玉华, 王强, 李子华, 等. 重庆城区浓雾的基本特征. 气象科技, 2004, 32(6): 450-455.

Regional Dense Fog Time Sequence with Its Annual and Decadal Variation in the Sichuan Basin

Zhou Zijiang¹⁾ Zhu Yanjun¹⁾ Yao Zhiguo²⁾ Ju Xiaohui¹⁾

¹⁾(National Meteorological Information Center, Beijing 100081)

²⁾(Sichuan Provincial Meteorological Bureau, Chengdu 610071)

Abstract

According to the definition in the Surface Meteorological Observation Manual, dense fog is a kind of disastrous weather phenomenon that the visibility is less than 500 meters caused by abundant tiny water drops floating in the low atmosphere layer. Since the 1980s, the traffic has increased sharply with the developing of the national economy, and the damage caused by dense fog becomes more and more severe in China. As a result, much attention has been paid to studies on dense fog.

Based on the available observation data set from 20 meteorology stations located in the Sichuan Basin where dense fog occurs frequently during 1954—2005, the time series of regional dense fog has been constructed under the criterion, during the same observation day there are 5 or more stations where dense fog emerge together, in the Sichuan Basin. Furthermore, the annual and decadal variation of this time series and possible change mechanism are discussed.

Results show that most regional dense fogs occur mainly during autumn and winter (September to next February), and account for 92.8% of the annual amount. In summer, dense fog events are not prone to happening, only account for 1.4%. So it means that the time sequence of dense fog in the Sichuan Basin spans two years, from July to June of next year. Taking the 51 years as a whole, regional dense fog has an increasing tendency with 2.96 days per decade in the Sichuan Basin. During 1954—1976, regional dense fog events are less than the average of 51 years, keeping a negative phase and 18.2 days per year, especially the 1960s is the least ten years, only 15 days per year. On the contrary, dense fogs are frequent and severe through 1980s and 1990s, keeping a positive phase. In recent years, dense fogs in the Sichuan Basin are decreasing, but the number is still more than that in the 1960s. There are significant negative correlation coefficients, not only at inter-decadal

scales but also inter-annual scales, between dense fogs and visibilities of background atmosphere with no fog weather in autumn and winter. It explains that in the past 51 years the number of condensation nucleus is the decisive factor on the tendency of dense fogs in the Sichuan Basin. At the same time, the relative humidity of atmosphere is another main factor for dense fog change at inter-decadal scales despite the limit influence weaker at inter-annual scales, and the local temperature warming tendency doesn't exert obvious influence on dense fogs. In recent years, the change of condensation nucleus, relative humidity and temperature lead to the decline of regional dense fogs in the Sichuan Basin.

Key words: the Sichuan Basin; regional dense fog; inter-decadal variation; turbidity of atmosphere