

雨凇的长期预报基础和预报途径

叶愈源

赵文兰

(湖南省气象台) (湖南省气象科研所)

一、引言

雨凇是过冷却水滴(雨滴、毛毛雨、雾滴)在接触近地面层寒冷的裸体(如电线、树木、建筑物、路面、作物)时形成的一种透明状的凝结物。在它的发生、发展和维持阶段给交通运输、通讯、电力输送、基本建设、建筑业、农业生产和园艺等国民经济各个方面带来十分不利的影响,甚至造成严重的破坏,同时也给城乡人民生活带来不便,甚至于造成停电、翻车等严重事故。据省气候资料室 1984 年度《湖南省气候评价》的报道,1984 年元月 15 日开始出现的一次中等强度的雨凇天气,湖南全省有 99 个县市出现了雨凇,并维持了 5—15 天,最大积冰厚度达 30 毫米。公路客车压班 12524 个班次,受阻旅客 101.2 万人次;部分货车停驶。仅此两项,据不完全统计减少收入 350 万元以上。由于道路冻结,行车事故骤增,仅元月 19 日这一天,从长沙到益阳这段不足 100 公里的公路上就翻车 18 辆,经济损失惨重。又如雨凇造成的导线积冰,严重时可造成输电线路或通讯线路倒杆断线,

造成供电中断和通讯中断事故,不仅影响电力输送和通讯业务,而且对国民经济各部门造成严重的影响。

总之,雨凇是冬季危害湖南和附近各省国民经济建设和生产活动的主要灾害性天气之一,人们不仅期望了解雨凇发生的气候特征,而且更需要得到不同预见期的雨凇现象的天气预报,其中包括冬季来临之前的长期趋势预报,以便采取适当的防寒防冻措施,减少因冻害造成的损失。关于雨凇发生的气候特征及其短期预报方法或经验规则已有报道^{[1][2]}。本文主要讨论雨凇的长期预报基础及其预报着眼点。

二、雨凇长期预报的可能性

目前用户提出的雨凇长期预报的要求,主要是回答冬季是否会出现大范围的雨凇危害。这是一个比较困难的问题。其主要困难在于雨凇形成于一种特定的空气温度层结结构,即在 700—800 hPa 附近有一个暖层或融化层,850 hPa 到地面附近为过冷却层的逆温结构的条件下。对于某一局地的观测事实

而言，雨凇从开始形成到完全消溶的整个过程常常很短促，约有 60—80% 的情况整个生消过程在一天内完成。因此，似乎给人们一种印象，即雨凇是一种短时现象。这与当前人们对长期天气预报的对象是气象要素在大范围和长时间的平均状况的距平值的观点相矛盾。下面我们将从四个方面来论证雨凇是否可以作为长期预报的对象，即雨凇是否属于时空尺度都相当大的一种天气气候事件。

首先，从多年平均的雨凇天气分布图(见图 1)可以看出，我国冬季雨凇主要发生在贵州、湖南、湖北及其邻近的区域，其中贵州居全国首位，湖南次之。严重时甚至可扩展到黄河中下游和长江下游，如 1969 年元月下旬到 2 月上旬。可见雨凇现象是我国冬季长江流域的一种区域性的天气气候现象。

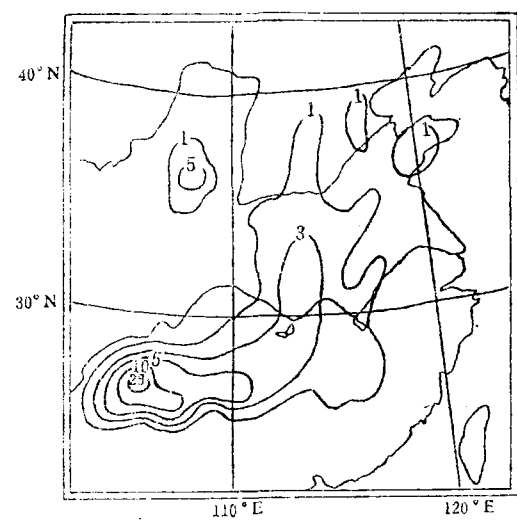


图 1 中国多年平均雨凇天数分布图

其次，从雨凇天数的年际变化演变图(见图 2)可以看出，湖南冬季雨凇天数(实线)的年际变化明显，有的年份雨凇天数在 10 天以上(如 1954—55、1956—57、1963—64、1968—69、1976—77 等)，有的年份却基本无雨凇现象发生(如 1961—62、1962—63、1964—65、1969—70、1972—73、1974—75 等)。并且这种雨凇天数的年际变化趋势与全国年雨凇天数(虚线)的变化趋势十分一致。

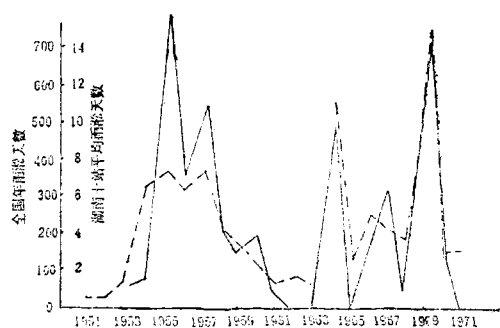


图 2 湖南冬季雨凇天数(实线)与全国年雨凇天数(虚线)的逐年变化(湖南雨凇天数的年序是以元月为基准，如 1955 年代表 1954—1955，余类推)

第三，雨凇是湖南冬季严寒期的一种自然现象。资料统计表明：雨凇发生时的最佳地面气温是 0°C — 3°C ，约占 80%。但是，一旦雨凇发生后，由于冷平流的加强或与辐射冷却的共同作用，常出现所谓冻后霜天气而出现极端最低气温。统计计算表明，湖南 $\leq -5^{\circ}\text{C}$ 的极端最低气温有 90% 以上是同雨凇有关，雨凇天数与 $\leq -5^{\circ}\text{C}$ 的天数的相关系数为 +0.81，其置信水平达 0.001。这个统计事实表明：冬季雨凇预报问题可以转化为人们熟悉的冬季极端最低气温的预报问题。

最后，从雨凇形成的环流背景来看，形势特点概括地说是：在中纬度欧亚范围内有阻塞形势存在，阻塞高压或位于欧洲大陆、或位于西伯利亚，前者在西伯利亚西部到黑海、里海一线为一横槽区，其下游为平直西风环流，西风带上的小槽不断将冷空气分股引导南下，由河西走廊、黄河中游经汉水流域侵入湖南；后者欧亚范围为振幅较大的二槽一脊形势，冷空气沿大陆东岸大槽后在偏北气流引导下自我国东部或沿海南下侵入湖南。其中前者为最常见。这两种形势所伴随的冷空气路径不同，前者多为中路，后者常为东路，它们都为雨凇的形成提供源源不断的新鲜冷空气，使得长江流域、江南地区维持一个过冷却层的冷空气垫。此时的副热带环流是西北太平洋副热带高压位置偏北、偏东，孟加拉湾低槽极深，较强的南支西风急流经过湖南上空形成极强的锋区，从而使暖湿的西南气流在

700 hPa 附近的中空流入湖南上空。这种南北两种性质不同的气流在湖南或江南上空交汇, 不仅为湖南雨凇的形成提供了逆温层结的条件, 而且也形成雨凇提供了必要的水汽条件和上升运动。

当然, 还应该指出湖南特殊的地理地形环境对形成湖南雨凇的作用。由于湖南的地形特点是三面环山向北开口的马蹄形地形特征, 这种地形条件下极有利于冷空气长驱直入, 却不利于冷空气快速移出。

上述特定的环流配置在时间上的稳定性是形成和维持雨凇现象的一个重要特征。对照严重雨凇发生时的瞬时天气图、雨凇发生期间的候平均图、十天平均图和严重雨凇发生月份的月平均图, 可以看出: 雨凇发生时的瞬时天气形势, 一般和雨凇发生期间的五天平均形势十分相似。这些说明严重雨凇时的大气环流形势极其稳定。从这里可以推断, 雨凇现象与稳定的超长波有关。

三、严重雨凇事件的月平均环流场的诊断

为了诊断严重雨凇事件的月平均环流场

的主要特征, 我们计算并绘制了湖南严重雨凇事件所在月份的月平均 500 hPa 高度场的合成图和距平分布图。它是由 1954 年 12 月、1955 年 1 月、1957 年 2 月、1964 年 2 月、1969 年 1 月、1969 年 2 月和 1977 年 2 月等 7 个严重雨凇事件所在月组成。从长沙月平均气温看, 上述各月的平均气温都在 3℃ 以下, 全是一些极冷的月份。为了比较, 同时计算并绘制了湖南冬暖月 (以长沙月平均气温距平为 +2.0℃ 以上的月份) 的月平均 500 hPa 高度场的合成图和距平分布图, 以及雨凇月份减暖月的 500 hPa 高度场的差值图。其中暖月合成图是由 1951 年 12 月、1955 年 12 月、1958 年 12 月、1960 年 2 月、1962 年 2 月、1965 年 1 月、1966 年 2 月、1968 年 12 月组成。

图 3 给出了湖南冬季雨凇月份的 500 hPa 高度合成图(左图)和雨凇月份减暖月的高度差值图(右图)。从图可以看到, 在欧亚范围内西风带存在一脊一槽的横槽特征明显, 与雨凇发生时的瞬时天气图和候(旬)平均环流相似。与暖月的合成图对照, 主要有

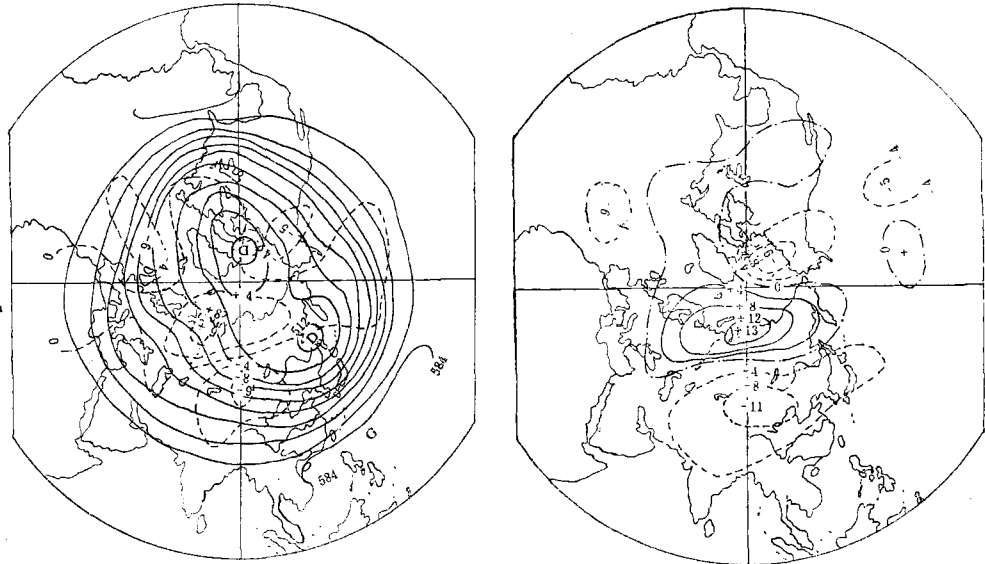


图 3 湖南雨凇月份的 500 hPa 高度合成图(左)和雨凇月份减暖月的高度差值图(右)

如下几个特征:

- 1. 雨凇月份的极涡偏向北美大陆一侧。

从高度场分布可以看出, 在 70°N 以北的高纬度区域, 无论是雨凇月份还是暖月, 极涡都

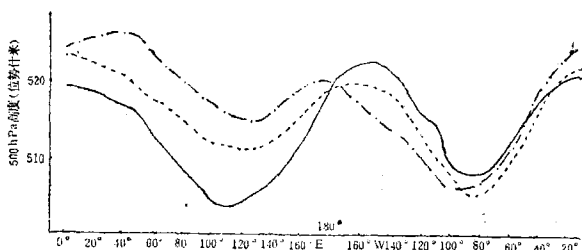


图 4 冬季雨淞月份(点划线)、暖月(实线)沿 70°N 的 500 hPa 高度廓线(点线为多年均值)

分裂为两个中心,一个在亚洲东部,一个在北美。但雨淞月份极涡主要分量偏向北美大陆一侧,暖月的情况恰好相反,极涡主要中心位于亚洲的 70°N、110°E 附近。图 4 给出了沿 70°N 的高度廓线,它能十分清楚地揭示出上述环流特点。

2. 雨淞月份亚洲(60°E—150°E)大陆 500 hPa 高度距平呈北正南负的分布特征。最大地转风轴线,雨淞月份在 35°N 附近,暖月在 45°N 以北。其差异十分显著(图略)。

3. 雨淞月份亚洲地区经向环流发展。如图 3 左所示,据亚洲(60—150°E, 45—65°N)区域环流指数计算,雨淞月份的纬向指数 $I_z = 0.76$,为常年的 66%,经向指数 I_M 比常年大,为常年的 106%;而暖月 $I_z = 1.46$ 为常年的 125%,几乎为雨淞月份的一倍, I_M 比常年小,只及常年的 91%。

总之,上述诊断结果进一步说明,就目前长期预报对象是时空尺度相当大的气候事件而言,制作雨淞长期预报是可能的。

四、雨淞的长期演变规律

如前所述,由于冬季雨淞天数与年极端最低气温有很好的对应关系。分析表明:长沙五日滑动平均气温的年极端最低值 $\bar{T}_m$ 与湖南全省平均雨淞天数有很好的对应关系,两者的相关系数达 -0.85, 超过置信度 $\alpha = 0.001$ 。当五日滑动平均气温的年极端最低值 $\bar{T}_m \leq 0^\circ\text{C}$ 时,会有三天以上的雨淞天气;反之,当 $\bar{T}_m > 0^\circ\text{C}$ 时,则没有三天以上的雨淞天气。其历史概括率达 92.3%。因此,我们在分析雨淞的长期演变规律时,就用长沙日平

均气温的五日滑动平均值的年极端最低值 $\bar{T}_m$ 来表征湖南雨淞的趋势。中间个别年份的资料残缺由芷江站按气候统计学上的气温补插方案进行补插。这样,我们得到了有 70 余年的完整资料序列。经过低通滤波分析(三年加权滑动平均)和功率谱分析揭示出雨淞的时间序列演变有两个主要的特征。

1. 雨淞发生有频繁阶段和间歇阶段。低通滤波曲线表明:湖南冬季雨淞发生的气候变化趋势中没有明显的增多或减少的倾向,只是呈现出一种频繁期和间歇期相交替的波动特征。表 1 给出了 1911—1986 年雨淞发生的阶段统计结果。1911 年以来,共经历了 5 个雨淞频繁期和 5 个雨淞间歇期。频繁期对应严冬,大多数年份有雨淞发生;间歇期对应暖冬,大多数年份很难观测到雨淞现象。这种阶段性的平均长度为 7—8 年,但各个时期不尽相同,在 4—13 年之间,以 5—6 年为主,这与功率谱分析所揭示的在 11.5 年附近出现谱峰相对应。

表 1 1911—1986 年雨淞发生的阶段统计特征

雨淞间歇期			雨淞频繁期		
	长度	$>0^\circ\text{C}$ 年数	年代	长度	$\leq 0^\circ\text{C}$ 年数
1913 年以前			1914—1922	9	7
1923—1928	6	5	1929—1933	5	4
1934—1946	13	11	1947—1959	13	10
1960—1965	6	5	1966—1971	6	4
1972—1975	4	3	1976—1980	5	4
1981—1986	6	4			

2. 雨淞发生有 2—3 年的准周期振动。无论从 $\bar{T}_m$ 的历史演变曲线,还是从 $\bar{T}_m$ 的

功率谱分析结果,都揭示出 $\bar{T}_m$ 有2—3年的准周期振动的特征。

上述演变特征对制作雨淞趋势预报有参考意义,其详细叙述将在下节中介绍。

五、雨淞长期预报的着眼点

1. 以低通滤波分析结果作为雨淞长期预报的背景。如前所述,雨淞的长期演变趋势有频繁期和间歇期相交替出现的特征。因此,人们可以以这种交替出现的特征为制作雨淞预报的气候背景。当已知进入频繁期后,要特别注意雨淞的危害。

2. 根据雨淞发生有2—3年的准周期振动特征,建立平稳外推的自回归预报方案。若设 $\bar{T}_{m,N}, \bar{T}_{m,N-1}, \bar{T}_{m,N-2}$ 分别为预报年前1年、2年和3年的观测值, $\tilde{T}_{m,N+1}$ 为预报年的估计(预报)值,则有

$$\tilde{T}_{m,N+1} = 0.1574 \bar{T}_{m,N-2} + 0.1703 \bar{T}_{m,N-1} + 0.0286 \bar{T}_{m,N}$$

该方案的历史回代概括率很高,自1978年冬季开始使用,至今已有9年,除有2年出入较大外,其余各年基本准确。

3. 利用夏季气温特征作冬季雨淞趋势预报。预报经验表明:夏季(6—8月)总温度的变异与冬季雨淞事件关系密切。当夏季总温度低于临界值84.0℃时,冬季会有雨淞发生;相反,当夏季总温度高于临界值84.0℃时,冬季没有雨淞发生。同时常年极端最热旬的7月下旬的气温偏高时会有雨淞,偏低时没有雨淞。根据这种大约相隔半年的对应关系,能够对冬季是否有雨淞作出推断。在实际业务中,利用上述两组资料构成相关散布图,能将雨淞区和没有雨淞区很好地分隔开,其历史概括率达90%。在过去的14年实际使用中,有10年的推测与实况基本一致。

4. 利用前期环流特征作冬季雨淞趋势预报。根据湖南十站雨淞整个冬季的平均天数和雨淞发生前1年北半球500 hPa高度场相关系数的计算结果。发现9月份的显著相关区和显著相关格点数为最多。其中主要集中在高纬度地区,正相关系数最大区在加拿大北部巴芬湾附近;而最大负相关区在阿拉斯加附近。图5给出了沿75°N的相关系数

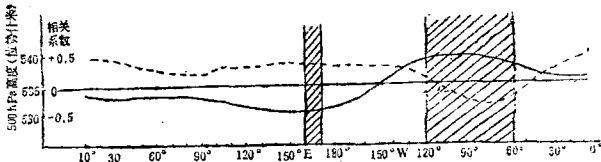


图5 9月沿75°N高度与冬季雨淞天数的相关系数(实线)及同期多年平均高度廓线(虚线)随经度的变化(斜线区为相关系数置信度 $\alpha=0.05$ 的区域)

随经度变化的廓线,其中斜线区为相关显著区域(相关系数的置信度超过0.05),它是一个很有代表性的纬度带。从图可以看出,整个高纬地区分为两个相关显著区域,即北美的正相关区和其他各经度上的负相关区。图中同时还点绘了9月多年平均高度廓线(虚线)以作对照。显然,当极涡偏向加拿大北部的巴芬湾附近,即在多年平均位置上加深时,湖南冬季没有雨淞;相反,当极涡偏离多年平均位置,尤其是偏向东半球白令海峡附近时(常常是等压面高度在此处下降,而在极涡多年平均位置上升),则雨淞明显。换句话说,

就是当9月极涡偏离多年平均位置指向白令海峡或东半球时,冬季容易发生雨淞;反之,当极涡在常年位置上加深则容易冬暖。上述极涡配置特征与冬季雨淞月份和暖冬月份环流特征中的极涡配置特征相反。这种极涡的变异很可能是雨淞预报的一个信息。

六、小 结

雨淞是一种非常严重的自然灾害,是我国淮河以南、南岭以北这一广阔区域的一种冬季常见的天气气候现象,它给这一地区的交通运输、通讯、电力输送、基本建设、建筑

业、农业生产和园艺等许多方面带来不利的影响。本文从大的地理范围和长的时间尺度这个角度来回答制作雨凇的长期预报的可能性这一问题并提出预报着眼点。最近 20 年来除少数几个年份预报失误之外，大多数年份大致能够在冬季来临之前基本准确地作出是

否会有雨凇的趋势预报。

参 考 文 献

- [1] 湖南省气象局资料室编,《湖南农业气候》,湖南科技出版社,1981 年。
- [2] 程庚福等,《湖南天气分析与预报》,气象出版社,1987 年。