

黄少妮, 杜莉丽, 刘嘉慧敏, 等. 陕西降水

文章编号: 1006-4354(2019)06-0018-06

# 陕西降水相态识别判据研究及检验

黄少妮<sup>1,2</sup>, 杜莉丽<sup>1</sup>, 刘嘉慧敏<sup>1</sup>, 梁 绵<sup>1</sup>

(1. 陕西省气象台, 西安 710014; 2. 秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室, 西安 710016)

**摘要:** 利用 2003 年 1 月至 2016 年 12 月逐日地面观测资料, 统计分析了陕西延安、西安、汉中、安康等雨夹雪天气的月变化特征。选取雨雪转换季节的雨、雨夹雪和雪天气个例, 对地面和高空观测数据进行统计分析, 筛选雨雪相态转换的主要影响因子和判别指标; 采用多元线性回归算法, 分别建立各站的雨雪相态预报方程并进行检验。结果表明: 延安、西安、汉中、安康 4 站雨雪相态的地面温度和露点温度均有明显差异, 低层(925 hPa 或 850 hPa)温度也有明显差异, 但随着高度增加其差异减小。利用陕西 4 站的判别指标和统计预报方程对 2017 年 1 月至 2018 年 1 月出现的雨雪天气过程进行检验, 效果较好; 但由于检验时间较短, 结论的适用性有待进一步验证。

**关键词:** 降水相态; 判别指标; 检验

**中图分类号:** P457.6

**文献标识码:** A

近年来我国城市化进程不断加快, 城市现代化公共设施建设不能完全满足大城市发展的需求, 面对极端气象灾害的脆弱性也日益凸显。冬季降雪天气常常会给人们的生活带来不便<sup>[1-3]</sup>, 特别是道路结冰和积雪常常造成城市上下班高峰期交通拥堵。降水相态的预报一直是天气预报中的难点。一方面, 降水相态受大气温度层结的影响<sup>[4]</sup>; 另一方面, 降水粒子在发生相态转变的过程中, 又会影响和改变温度层结<sup>[5]</sup>。因此降水相态的预报常常是天气预报人员关注的重点, 许多学者通过研究雨雪天气个例, 总结出我国不同地方不同降水相态的特性层温度特征<sup>[6-11]</sup>。

不同地区冬季降水相态的识别指标有不同的判据, 其阈值设定也有很大不同。陕西南北长达

800 多公里, 气候从陕北的温带干旱半干旱气候到陕南的暖温带湿润气候, 境内的秦岭是我国气候的南北分界线, 因此陕西冬季降水雨雪相态的预报更为复杂。目前有关陕西降水相态预报的相关研究多以雨雪天气过程成因分析为主, 因此有必要对本地降水相态进行深入研究, 提出定量的预报指标, 为业务预报提供参考依据。在实际预报业务中, 对降水相态的判别常常依赖于特性层(850、925 hPa 以及地面)的温度, 我国北方气象工作者利用高空探测资料及地面实况数据, 针对不同降水相态相应的温度及厚度进行统计分析, 开展了许多相关研究<sup>[12-18]</sup>, 揭示了常规气象要素在冬季降水相态判别中的作用<sup>[13]</sup>, 指出地面温度和露点温度指标预报意义较大<sup>[16]</sup>。本文较系统

**收稿日期:** 2019-02-13

**作者简介:** 黄少妮(1981—), 女, 陕西西安人, 博士, 高工, 从事天气气候预测研究。

**基金项目:** 秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室开放研究课题基金(2019M-11)

布特征分析[J]. 陕西气象, 2015(4): 21-23.

[7] 韩洁, 庞翻, 王婷, 等. 近 31 年宝鸡市灰霾天气时空分布特征[J]. 陕西气象, 2014(4): 11-14.

[8] 孟妙志, 卢晔, 王仲文, 等. 2013 年冬季宝鸡重度雾霾污染分析[J]. 陕西气象, 2015(3): 48-52.

[9] 曹红丽, 苏静. 西安地区混合层厚度变化特征及对大气污染的影响[J]. 陕西气象, 2014(5): 32-35.

[10] 程水源, 席德立, 张宝宁, 等. 大气混合层高度的确定与计算方法研究[J]. 中国环境科学, 1997, 17(6): 512-516.

地分析了陕西陕北、关中和陕南的态预报中主要影响因子及判别指标,并在此基础上进一步建立降水相态统计预报方程。对 2017 年 1 月至 2018 年 1 月降水过程中降水相态的检验表明,该判据在延安、西安、汉中、安康等站的降水相态预报具有一定的参考价值,可为业务预报提供依据。

## 1 资料与方法

选取陕北地区的榆林、延安,关中地区的西安、周至、蓝田,陕南地区的汉中和安康 7 个气象站 2003—2016 年 10 月至次年 4 月逐日地面观测资料,分析得到各站雨夹雪天气的季节特征。天气现象观测记录中,当日出现雨夹雪天气现象即记为一个雨夹雪日。

为了保证所选个例均为降水相态转换的天气过程,确定的选取标准为:(1)2003—2016 年出现的全部雨夹雪过程;(2)2003—2016 年秋冬过度季(10—11 月)和冬春过度季(3—4 月)出现的降雪过程;(3)2003—2016 年冬季(12 月—2 月)出现的降雨过程。根据陕西气候特点,安康和汉中选择标准略有调整:12 月 16 日—2 月 15 日出现的降雨过程;10 月—12 月 15 日和 2 月 16 日—4 月的降雪过程。通过对每个站点雨雪转换临界值

现时各特性层气温的范围和阈值,从而给出降水相态识别的判据。采用统计方法分析各特性层气温与降水相态的关系;使用多元线性回归方法建立降水相态统计预报方程,并对 2017 年 1 月—2018 年 1 月出现的雨雪天气过程进行检验分析。

## 2 雨夹雪的季节变化

图 1 为 2003—2016 年陕西 7 个代表站雨夹雪日数的季节变化特征。14 a 中,地处黄土高原的榆林和延安分别出现 25 d 和 36 d 雨夹雪日(图 1a),雨夹雪天气主要出现在 11 月和 3 月。关中地区的西安站共出现 18 d 雨夹雪日,地处秦岭北麓的周至共出现 20 d 雨夹雪日,蓝田出现 10 d 雨夹雪日;雨夹雪天气主要出现在 1 月,其次为 11、12 月和 2 月(图 1b)。秦岭以南的汉中和安康分别出现 26 d 和 21 d 雨夹雪日(图 1c),雨夹雪频次高的月份在 12、1 月和 2 月。以上分析说明,榆林和延安降水相态发生转变的时期集中在 11 月和 3 月,西安地区雨夹雪天气主要出现在 11 月到次年 2 月,汉中和安康雨夹雪天气主要发生在 12 月到次年 2 月,即西安、汉中和安康雨夹雪天气在冬季都有发生,因此冬季降水相态的预报更为复杂。

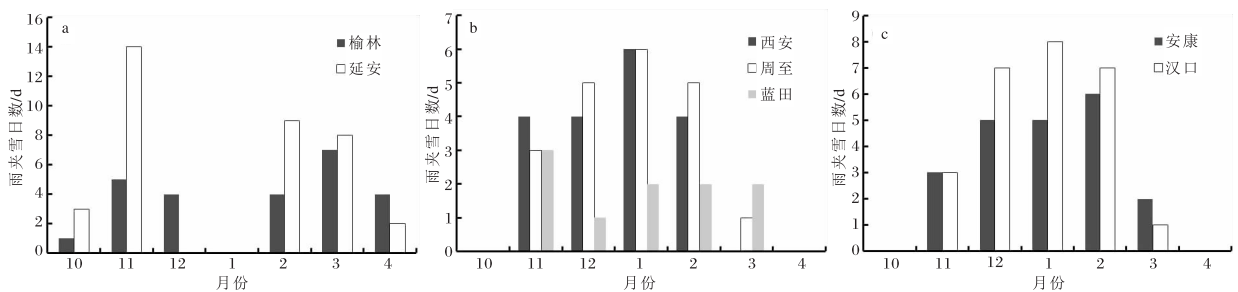


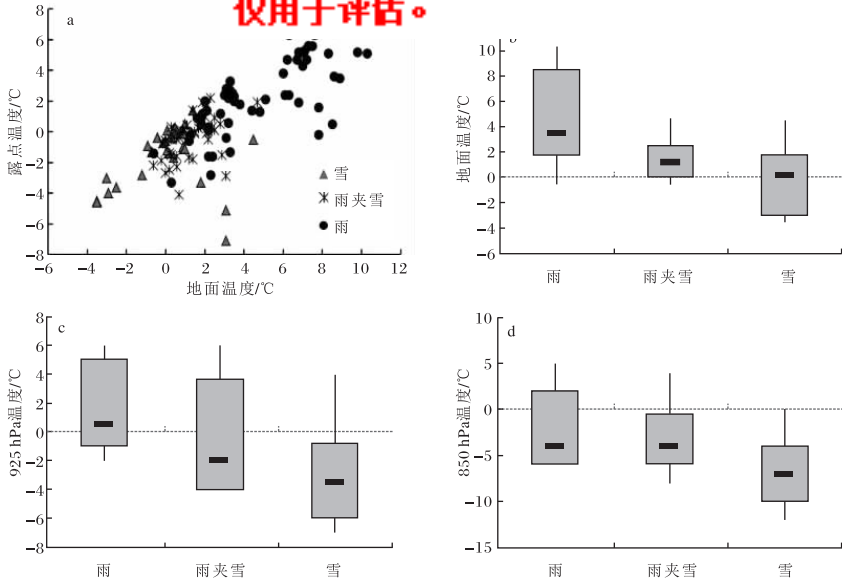
图 1 2003—2016 年陕西 10 月至次年 4 月雨夹雪日数分布

## 3 识别判据的统计特征及指标确定

### 3.1 不同层次气温与相态的统计特征

由西安三种降水相态地面温度和露点温度点聚图(图 2a)可见:在降雨和降雪时,地面温度和露点温度集中在不同区域中;而雨夹雪时,分布区域与两者都有重叠,但整体上更接近雪的区域。这种分布特征在区分降水相态时具有较好的参考价值<sup>[13]</sup>。图 2b 是西安三种降水相态地面温度箱

线图。可以看出,雨和雪的温度分布特征有显著差异,两者的 10%~90%分位的范围几乎没有交叉。降雨 10%分位在 2℃以上,而降雪 90%分位则在 2℃以下,所以 2℃可以作为西安雨雪相态的分界值。雨夹雪和雨、雪两种相态的温度分布都有交叉,且雨夹雪温度的分布更接近降雪的温度分布。总的来说,就单一指标而言地面温度对雨、雪的区分效果较好。



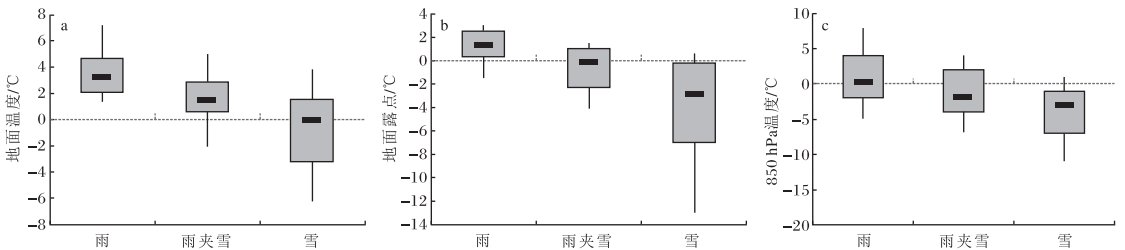
灰色粗柱代表 10%~90%分位。

图 2 西安三种降水相态点聚图(a)和对应的温度箱线(b,c,d)

由图 2c 可以看出,西安 925 hPa 温度在雨和雪 10%~90%分位范围几乎没有交叉。降雨的 10%分位为  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,即当 925 hPa 温度高于  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  时,出现降雨的概率比较大;而降雪的 90%分位为  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,即当 925 hPa 温度低于  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  时,出现降雪的概率比较大。因此  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  可作为降雨和降雪的分界。雨夹雪和其他两种相态均有交叉。由不同降水相态 850 hPa 温度箱线(图 2d)可以看出,850 hPa 出现雨夹雪的温度范围几乎都包括在出现降雨的温度范围中。当 850 hPa 温度低于  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  时,出现降雪的概率比较大。700 hPa 三种降水相态温度分布的交叉范围非常多(图略),明显大于 850 hPa 的交叉范围,对于三种降水相态

的指示意义不大,所以不选择 700 hPa 温度作为降水相态判别指标。以上分析可见,随着高度的增加,高层温度区分降水相态的能力越来越弱,低层温度和地面温度优于高层温度。

从延安三种降水相态地面温度和露点温度箱线(图 3a、3b)可以看出,雨和雪的分布特征有显著差异,两者的地面温度和露点温度 10%~90%分位几乎没有交叉,地面温度  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  和露点温度  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  可作为延安雨、雪的临界值。当地面温度高于  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、露点温度高于  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  时,出现降雨的概率较高;当地面温度低于  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、露点温度低于  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  时,出现降雪的概率较高。雨夹雪的地面温度和露点温度与其他两种相态均有交叉。



灰色粗柱代表 10%~90%分位。

图 3 延安三种降水相态箱线

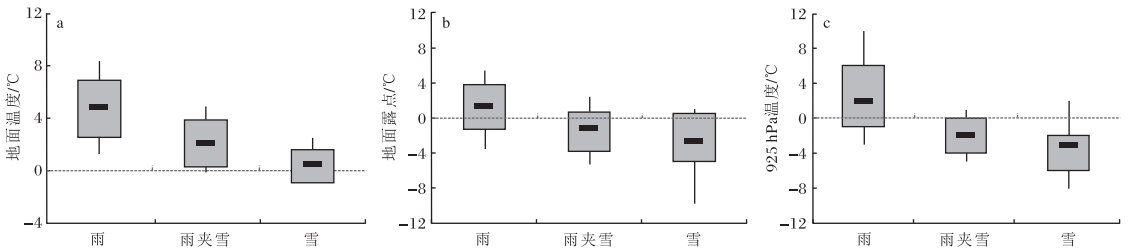
由于延安位于黄土高原,平均海拔高度在 1 000 m 左右,因此选取 850 hPa 温度进行分析

(图 3c)。雨、雨夹雪和雪 850 hPa 温度的中位数分别为  $0$ 、 $-2$ 、 $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,差异较小,三种相态交叉

范围比地面温度大。但雨和雪 10 还是有明显区别,当 850 hPa 温度高于  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  时,出现降雨的概率比较高,可以作为降雨的下限分界值;当 850 hPa 温度低于  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  时,降雪的概率比较高。以上分析可见,雨夹雪地面和特性层的温度分布在统计上与其他两种相态均有交叉,这可能是由于雨夹雪多出现在秋冬季和冬春季过渡季节,常常出现雨转雨夹雪或雨夹雪转雪的情况,因此难以区分,将建立回归方程来加以判别。

位于秦岭以南的安康和汉中,三种降水相态在不同特性层温度的临界值和秦岭以北的延安和西安有较大差别。安康站的雨、雨夹雪和雪地面

区地面温度高于  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  的状况下,雨、雨夹雪和雪都有可能发生。当地面温度高于  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  时,出现降雨的概率比较大;当地面温度低于  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  时,出现降雪概率比较大;雨夹雪的地面温度和其他两个相态都有交叉(图 4a)。当地面露点温度低于  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  时,出现雪和雨夹雪的概率较高(图 4b)。安康雨和雪 925 hPa 温度的 10%~90% 分位基本没有交叉,  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  可以作为降雨和降雪的分界。但雨夹雪和其他两种相态均有交叉,当温度在  $-4\sim -2\text{ }^{\circ}\text{C}$  时,主要出现雨夹雪和雪,而当温度在  $-2\sim 0\text{ }^{\circ}\text{C}$  时,主要出现雨和雨夹雪。

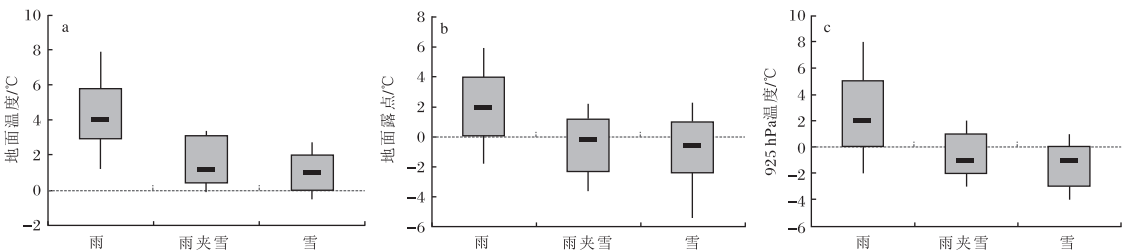


灰色粗柱代表 10%~90% 分位。

图 4 安康三种降水相态对应的温度箱线图

与安康一样,汉中三种降水相态地面温度几乎都在  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  以上,即地面温度高于  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  的状况下,雨、雨夹雪和雪都有可能发生(图 5a)。其中,绝大多数降雨个例中地面温度几乎都在  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  以上,而雨夹雪和雪的 90% 分位基本都在  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  以下,因此  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  可作为降雨下限的分界值。雨夹雪和雪的地面温度和

露点温度在 10%~90% 分位的交叉范围较大(图 5a、图 5b),难以区分雨夹雪和雪。从 925 hPa 温度箱线图(图 5c)上也可看到相同的分布特征,雨夹雪和雪的交叉范围较大,难以区分。降雨的 10% 分位在  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  以上,而降雪的 90% 分位基本在  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  以下,因此  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  可作为降雨和降雪的分界。



灰色粗柱代表 10%~90% 分位。

图 5 汉中三种降水相态对应的温度箱线图

### 3.2 降水相态的判别指标

西安、延安、安康和汉中 4 站不同特性层温度与不同相态的统计分析说明,随着高度的增加,高层温度区分降水相态的能力越来越弱,低层温度

和地面温度的区分能力优于高层温度的。因此,在进行降水相态预报时,首选地面温度和地面露点温度,其次是 925 hPa(850 hPa)温度。参考以上 4 站的统计分析特征,给出地面判别指标(表 1)。

站名	降雨	降雪	雨夹雪
西安	地面温度 $>2^{\circ}\text{C}$ ,地面露点 $>1^{\circ}\text{C}$	地面温度 $<2^{\circ}\text{C}$ ,地面露点 $<1^{\circ}\text{C}$	$0^{\circ}\text{C}\leq\text{地面温度}\leq 2.5^{\circ}\text{C}$
延安	地面温度 $>2^{\circ}\text{C}$ ,地面露点 $>0^{\circ}\text{C}$	地面温度 $<2^{\circ}\text{C}$ ,地面露点 $<0^{\circ}\text{C}$	$0.5^{\circ}\text{C}\leq\text{地面温度}\leq 3^{\circ}\text{C}$
安康	地面温度 $>3^{\circ}\text{C}$ ,地面露点 $>0^{\circ}\text{C}$	地面温度 $<1^{\circ}\text{C}$ ,地面露点 $<0^{\circ}\text{C}$	$1^{\circ}\text{C}\leq\text{地面温度}\leq 3^{\circ}\text{C}$
汉中	地面温度 $>3^{\circ}\text{C}$ ,地面露点 $>0^{\circ}\text{C}$	地面温度 $<2^{\circ}\text{C}$ ,地面露点 $<0^{\circ}\text{C}$	$2^{\circ}\text{C}\leq\text{地面温度}\leq 3^{\circ}\text{C}$

#### 4 统计预报方程建立及检验

##### 4.1 方程的建立

以上统计分析得出的陕西地区降水相态地面和特性层判别指标,可以在很大程度上指导业务一线人员的主观预报。由表 1 可以看到,雨夹雪的地面判别指标与雨和雪有较大的重复,单独使用地面温度和地面露点在某些情况下有局限性,存在难以判别的情况。在实际天气预报过程中,预报员常常需要综合考虑地面和各特性层温度的参考权重。因此采用多元线性回归方法,选取地

面温度和露点温度,以及 925 hPa 或 850 hPa 温度作为因子,对延安、西安、汉中、安康各站分别建立预报方程。表 2 给出了 4 站降水相态预报方程和判别标准。延安选取地面温度、露点温度和 850 hPa 温度建立预报方程,复相关系数为 0.63,根据 48 个样本给出判别标准。西安、安康和汉中均选取地面温度、露点温度和 925 hPa 温度建立降水相态预报方程,复相关系数分别为 0.41、0.61 和 0.54,分别根据 39、50 和 60 个样本给出判别标准。

表 2 陕西代表站降水预报方程及判别指标

站名	预报方程	判别指标
西安	$y=0.744\ 1-0.054\ 3x_1-0.086\ 9x_2-0.075\ 2x_3$	$y\geq 1.0$ ,雪; $y\leq 0.6$ ,雨; $0.6<y<1.0$ ,雨夹雪
延安	$y=1.179\ 6-0.159\ 2x_1-0.075\ 7x_2-0.044\ 4x_3$	$y>1.2$ ,雪; $y<0.8$ ,雨; $0.8\leq y\leq 1.2$ ,雨夹雪
安康	$y=1.193\ 0-0.187\ 8x_1-0.047\ 4x_2-0.082\ 7x_3$	$y>1.2$ ,雪; $y<0.8$ ,雨; $0.8\leq y\leq 1.2$ ,雨夹雪
汉中	$y=1.351\ 5-0.301\ 2x_1-0.045\ 9x_2-0.109\ 7x_3$	$y>1.3$ ,雪; $y<0.7$ ,雨; $0.7\leq y\leq 1.3$ ,雨夹雪

##### 4.2 检验

应用延安、西安、汉中和安康 4 站降水相态判别指标和降水相态统计预报方程,对 2017 年 1 月至 2018 年 1 月出现雨、雨夹雪和雪的天气个例进行检验。由于实际业务中只有 08 时和 20 时有探空资料,能获取 925 hPa 和 850 hPa 温度,可以对判别指标和预报方程都进行检验,其他时次仅对判别指标进行检验。2017 年 1 月至 2018 年 1 月,延安和西安有三次雨雪天气过程。延安三次过程(共 13 个时次)的指标检验结果与实况均一致,其中 4 个时次的预报方程检验结果也与实况相符。西安三次过程使用判别指标(14 个时次)和预报方程(5 个时次)的检验结果均与实况完全一致。

年 1 月出现雨、雨夹雪和雪的天气过程进行检验,汉中共有 12 个时次使用判别指标检验,4 个时次采用预报方程进行检验。其中 2018 年 1 月 3 日 14 时指标检验将雨夹雪判别为雨,出现降水相态误判,其余时次均与实况相符。安康共有 11 个时次用于判别指标检验且结果与实况一致;3 个时次采用预报方程进行检验,其中 2018 年 1 月 3 日 20 时预报方程将雨判别为雨夹雪,其余检验结果均与实况相符。

从延安、西安、汉中和安康 4 站的检验结果可以看出,延安和西安地面降水判别指标和统计方程检验结果较好,而汉中和安康在雨夹雪和雨的判别上分别出现一次相态误判。总的来说,降水相态判别指标和预报方程对预报业务中降水相态预报准确率有一定的参考价值和使用价值。

同时,对汉中和安康站 2017 年 1 月至 2018



## 5 结论

(1)通过对陕西 2003—2016 年雨夹雪天气的气候资料分析得到,榆林和延安降水相态发生转变的过度季节集中在 3 月和 11 月,西安地区雨夹雪天气主要出现在 11 月至次年 2 月,汉中和安康雨夹雪天气主要发生在 12 月至次年 2 月。

(2)对近 14 年延安、西安、安康和汉中 4 站雨雪转换过度季节降水过程和临界值的分析发现,雨和雪的温度、露点在地面有明显差异,低层温度也有明显差异,但随着高度增加差异逐渐减小。在降水相态预报中应尽量考虑地面温度、露点及低层温度要素。其中,925 hPa 温度可作为判别西安、汉中和安康雨雪相态的参考,而 850 hPa 温度可用来区分延安雨和雪相态的参考。

(3)利用判别指标和降水相态预报方程对陕西 4 站在 2017 年 1 月至 2018 年 1 月期间出现的雨雪天气过程进行检验,判别效果较好,有一定的参考价值。但是,由于检验时间仅有 1 年,雨雪天气个例较少,因此判别指标和降水相态预报方程的适用性有待进一步检验。

### 参考文献:

- [1] 蒋建莹,史历,倪允琪. 一次“高影响天气”的弱降雪过程的数值研究[J]. 应用气象学报, 2005, 16(2): 231-237.
- [2] 孙继松,梁丰,陈敏,等. 北京地区一次小雪天气过程造成路面交通严重受阻的成因分析[J]. 大气科学, 2003, 27(6): 1057-1066.
- [3] 赵思雄,孙建华,陈红,等. 北京“12·7”降雪过程的分析研究[J]. 气候与环境研究, 2002, 7(1): 7-21.
- [4] THERIAULT J M, STEWART R E, HENSON W. On the dependence of winter precipitation types on temperature, precipitation rate, and associated features [J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 2010, 49(7): 1429-1442.
- [5] ing effect as a factor in precipitation-type forecasting [J]. Weather & Forecasting, 2010, 15(6): 700-714.
- [6] 李江波,李根娥,裴雨杰,等. 一次春季强寒潮的降水相态变化分析[J]. 气象, 2009, 35(7): 87-94.
- [7] 郑婧,许爱华,刘波,等. 江西大雪天气的时空变化及其影响系统分析[J]. 气象, 2010, 36(4): 30-36.
- [8] 漆梁波,张瑛. 中国东部地区冬季降水相态的识别判据研究[J]. 气象, 2012, 38(1): 96-102.
- [9] 许爱华,乔林,詹丰兴,等. 2005 年 3 月一次寒潮天气过程的诊断分析[J]. 气象, 2006, 32(3): 49-55.
- [10] 杨成芳,姜鹏,张少林,等. 山东冬半年降水相态的温度特征统计分析[J]. 气象, 2013, 39(3): 355-361.
- [11] 孙燕,严文莲,尹东屏,等. 江苏冬季降水相态气候分布特征及预报方法探讨[J]. 气象科学, 2013, 33(3): 325-332.
- [12] 段云霞,李得勤,李大为,等. 沈阳降水相态特征分析及预报方法[J]. 干旱气象, 2016, 34(1): 51-57.
- [13] 尤凤春,郭丽霞,史印山,等. 北京降水相态判别指标及检验[J]. 气象与环境学报, 2013, 29(5): 49-54.
- [14] 王清川,寿绍文,许敏,等. 河北省廊坊市初冬雨雪相变特征及预报指标初探[J]. 干旱气象, 2012, 30(2): 276-282.
- [15] 苗爱梅,董文晓,贾利冬,等. 近 30 a 山西不同相态降水的统计特征及概念模型[J]. 干旱气象, 2014, 32(1): 23-31.
- [16] 高松影,李慧琳,宋丽丽,等. 丹东冬季降水相态判据研究[J]. 气象与环境学报, 2014, 30(2): 38-44.
- [17] 张俊兰,彭军. 北疆春季降水相态转换判识和成因分析[J]. 高原气象, 2017, 36(4): 939-949.
- [18] 谷秀杰,邵宇翔,王友贺,等. 一次暴雪成因及相态演变分析[J]. 陕西气象, 2018(4): 12-17.