

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, [MIAO Aimei, DONG Wenxiao, JA Lidong, et al. The Statistical Characteristics and Conceptual Model of Different Phase Precipitation in Recent 30 Years in Shanxi Province [J]. Journal of Arid Meteorology, 2014, 32(1):23-31], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-01-0023

近30 a 山西不同相态降水的统计特征及概念模型

苗爱梅¹,董文晓¹,贾利冬²,李 苗³,王洪霞¹

(1. 山西省气象台,山西 太原 030006;2. 山西省气象局,山西 太原 030002;
3. 山西省气象服务中心,山西 太原 030002)

摘 要:利用山西省1981~2010年108站的地面降水观测数据,以降水量 ≥ 0.1 mm的日数为指标,对山西108个县市不同相态降水的时空分布特征进行了分析,结果表明:五寨(山西西北部)和陵川(山西东南部)平均降雨日数、平均降雪日数、平均雨夹雪日数都位于全省之首;30 a间山西的降雨日数和降雪日数分别以3.333 d/10 a和1.529 d/10 a的趋势减少,而雨夹雪日数则以0.34 d/10 a的趋势增多;山西区域降雪和降雨日数变化趋势的空间分布都具有西部减少趋势高于东部的特征,雨夹雪日数变化趋势的空间分布则具有东部增多趋势高于西部增多趋势的特征;朔州和忻州西部是降雪日数减少趋势最强的区域,运城是降雨日数减少趋势最强的区域,晋城是雨夹雪日数增多趋势最强的区域。应用328个多相态降水过程资料 and NCEP再分析资料进行统计分析,结果表明:冷空气侵入导致中低空温度下降,0℃层高度降低是降水相态发生变化的主要原因;-3℃和0℃是山西中南部降水相态转变时850 hPa和925 hPa的临界值;3.5℃则是山西北部和高海拔地区降水相态发生转变时850 hPa温度的临界值;西北路冷空气侵入多相态降水过程,地面冷锋是降水相态的分界线,东路冷空气侵入多相态降水过程,低空切变线则是降水相态的分界线。

关键词:降水相态;统计特征;概念模型

文章编号:1006-7639(2014)-01-0023-09 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2014)-01-0023

中图分类号:P456.8

文献标识码:A

引 言

随着社会的发展、工农业生产的需求,人类不仅对灾害天气预警的种类和精度要求越来越高,而且对降水相态预报的可信度给予极高的期望,因此,秋冬、冬春转换季节降水相态的预报问题显得越来越重要。如春播期24 h累积降水量达到15 mm时,对北方地区来说是春播期第一场好雨,对春播极为有利,但如果降水相态是雪,则对刚刚拔节的冬小麦,即将盛开和已经盛开的梨、果、杏花就是致命的一击。对于大中城市,如果降水相态是液态,15 mm只是小一中雨的量级,对城市运行和社会生产环节不会有明显影响,但如果降水相态是固态,则为暴雪,对城市的运行及生产环节的影响就变得非常严重;

如果降水相态是冰粒或冻雨时,对城市运行及生产环节的影响则可能是致命的。如2008年冬季的冰冻雨雪过程给我国南方地区带来了严重的社会影响^[1-2]。即使是很弱的降雪过程,如果降水相态预报失败或漏报,也会给城市运行带来严重的不利影响^[3-5]。近20 a来,我国预报技术人员对冬季的暴雪、夏季的暴雨以及极端降水和气温变化的时空分布有过很多研究^[6-15],但对降水相态预报以及不同相态降水的统计特征研究相对较少^[16-20]。尤其是利用最近30 a(1981~2010年)资料长度严格一致且分不同的降水相态进行统计分析的研究工作更少。本文试图利用山西108个观测站最近30 a的地面降水观测资料,按照不同的降水相态进行统计分析,并利用328个雨转雨夹雪、雨夹雪转雪降水过

收稿日期:2013-07-25; **改回日期:**2013-11-07

基金项目:山西省科技攻关项目“基于GIS的极端气象灾害预警与评估集成系统(20090311083)”、中国气象局行业公益项目“冬季降水相态预报技术研究(GYHY201006010)”、中国气象局关键技术集成与应用项目“山西省中尺度天气分析业务建设(CMAGJ2012M09)”、中国气象局预报员专项“2011年山西暴雨的多尺度特征对比分析(CMAYBY2012-007)”共同资助

作者简介:苗爱梅(1960-),女,山西长治人,正研级高工,主要从事中短期、短时天气预报技术和灾害性天气预报技术研究. E-mail: mam1226@163.com

程资料以及 NCEP 再分析资料,分析降水相态发生变化的原因,以期获得降水相态发生变化的临界指标,为冬春、秋冬转换季节降水相态的预报提供参考,减少由于降水相态预报失误而造成的高速公路车辆滞留和城市交通瘫痪等带来的生命和财产损失。

1 资料与方法

1.1 资料来源

本文对降雨、降雪和雨夹雪天气的研究主要以其出现降水量 ≥ 0.1 mm 的日数作为定量表征指标。108 个站的资料均取自山西省气象信息中心归档的原始气象记录月报表及其信息化产品,资料经过反复检查,质量和完整性很高。资料年代为 1981 ~ 2010 年。近 30 a 山西 108 个县市均出现过雨、雪和雨夹雪,因而分析结果可以代表山西不同相态降水出现日数的变化。由于五台山海拔在 3 000 m 以上,相当于 700 hPa 高度,温度明显低于山西其它站点,因此 108 站资料中不包括五台山的资料。

1.2 方法

趋势系数和变化速率可以表示气候要素变化趋势的性质和幅度。本文采用了趋势系数、变化速率

(气候倾向率)^[21]等方法,对山西省 108 县不同相态降水的变化趋势进行了分析。采用历史概括率统计了不同相态降水发生的临界值。

2 结果与分析

2.1 降水相态的气候分布特征

1981 ~ 2010 年间,山西省平均降雪日数超过 24 d 的区域位于山西的西北部和东南部;降雪日数超过 36 d 的区域位于忻州的西部,最多降雪日数为 41 d,出现在忻州的五寨;晋西南是出现降雪日数最少的区域(图 1a);雨夹雪平均日数超过 3.8 d 的区域主要位于山西的北部和中南部的东部地区(图 1b),雨夹雪平均日数高值中心有 3 个,分别位于五寨、娄烦和陵川,平均雨夹雪日数分别在 6.7 d、5.4 d 和 6.3 d(图 1b);平均降雨日数南部多于北部,高值中心有 2 个,分别是五寨和陵川,平均降雨日数达到 110 d 和 107 d(图 1c)。

五寨(位于山西西北部,海拔 1 402 m)和陵川(位于山西东南部,海拔 1 312 m)平均降雨日数、平均降雪日数、平均雨夹雪日数都位于全省之首,说明地形对山西降水的多寡起重要作用。

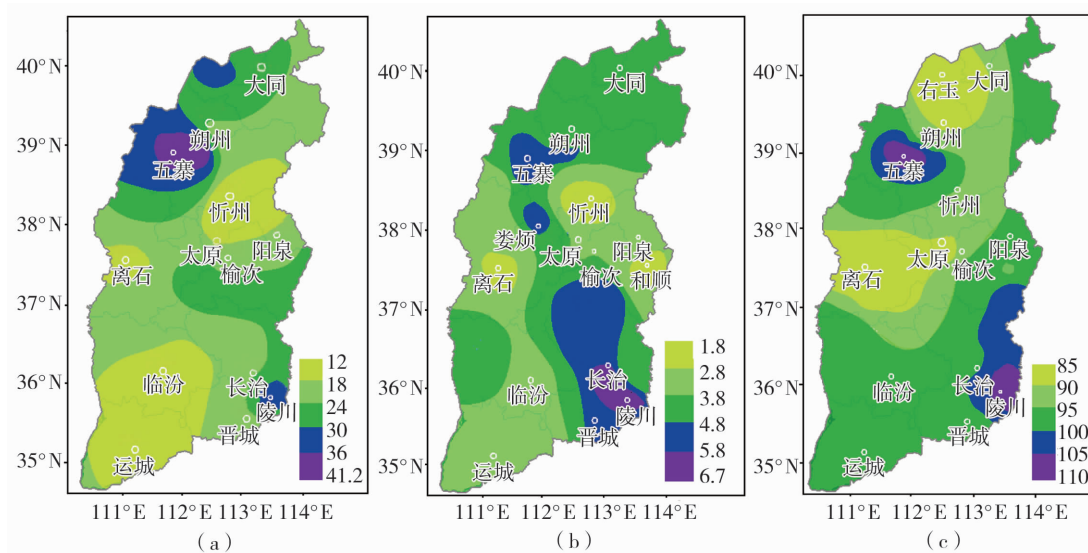


图 1 山西 1981 ~ 2010 年不同相态降水日数空间分布
(a) 平均降雪日数, (b) 平均雨夹雪日数, (c) 平均降雨日数

Fig. 1 The spatial distribution of average snowfall days (a), average sleet days (b), and average rainfall days (c) from 1981 to 2010

2.2 不同相态降水日数变化趋势的分布特征

近 30 a 来,山西区域不同相态的降水日数变化趋势的空间分布如图 2 所示。1981 ~ 2010 年,山西区域除中东部的少数县市降雪日数有增多的趋势外,全省大部分地区降雪日数都具有减少的趋势,山西的西

部地区是降雪日数减少趋势最强的区域,降雪日数减少率在 $-4.2 \sim -0.2$ d/10 a 之间(图 2a);降雨日数变化趋势的空间分布与降雪日数变化趋势的空间分布相似,山西西部均为减少趋势最强的区域,降雨日数减少率在 $-10.9 \sim -4.0$ d/10 a 之间,其中运城市

是降雨日数减少率最大的区域,降雨日数减少率在 $-10.9 \sim -6.0$ d/10 a 之间(图 2c);降雨日数增多趋势的区域主要位于晋城和长治的南部地区,增多率在 $0.0 \sim 2.54$ d/10 a 之间(图 2c);近 30 a,山西全省大

部分地区雨夹雪日数为增多趋势,东部为雨夹雪日数增多趋势最强的区域,增多率在 $0.0 \sim 2.1$ d/10 a 之间(图 2b),其中晋城市是雨夹雪日数增多率最大的区域,增多率为 $1.0 \sim 2.1$ d/10 a(图 2b)。

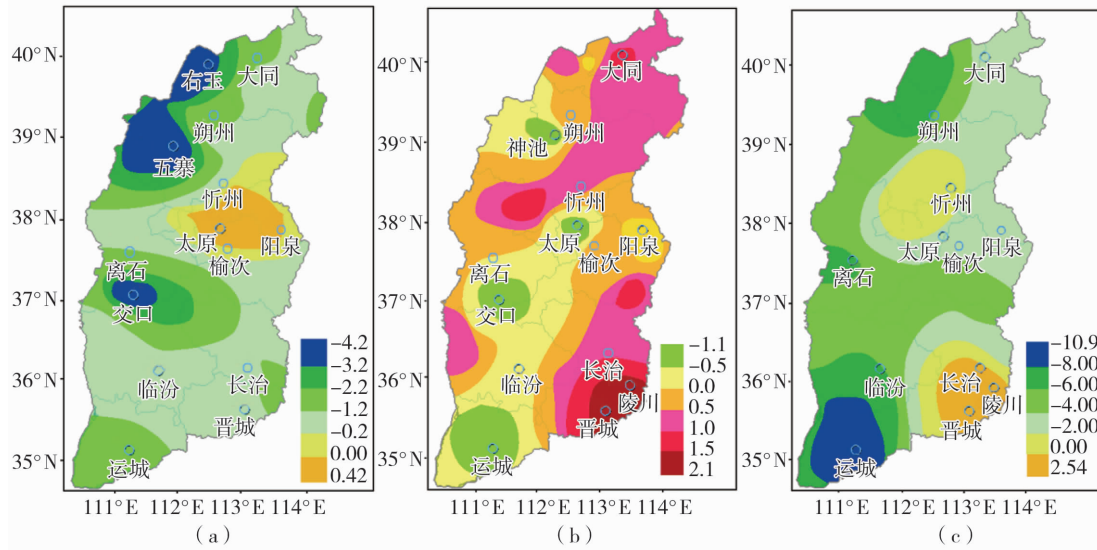


图 2 山西区域近 30 a 不同相态的降水日数变化趋势空间分布(单位:d/10 a)
(图 2b 的暖色区域通过 95% 显著性检验,图 2a 和图 2c 的冷色区域通过 95% 显著性检验)
(a)降雪日数,(b)雨夹雪日数,(c)降雨日数

Fig. 2 The spatial distribution of the variation tendency of precipitation days in recent 30 years in Shanxi (Unit:d/10 a)
(a)for snowfall days,(b) for sleet days,(c) for rainfall days

2.3 不同相态降水的时间分布特征

山西南北跨度大,1981 ~ 2010 年,全年仅有 8 月份没有出现过雪和雨夹雪外,这与全国其他省份有着明显的不同;最寒冷的 1 月份,山西北部大部分地区降水相态为固态,但在山西南部的全区和中部的部分县市仍有液态降水出现(图略)。5 ~ 9 月全省以液态降水为主,1 月份全省以固态降水为主,10

~12 月和 2 ~ 4 月份则有固态、液态以及固液相混多种降水相态(图略)。山西地形复杂,处于同纬度的运城和陵川海拔高度相差 1 000 m,降水相态的时间分布特征有明显不同,运城 4 ~ 10 月降水相态均为液态,而陵川 5 ~ 9 月降水相态以液态为主(图 3),7 月曾经出现过雨转雨夹雪和雪的天气过程(1988 年)。

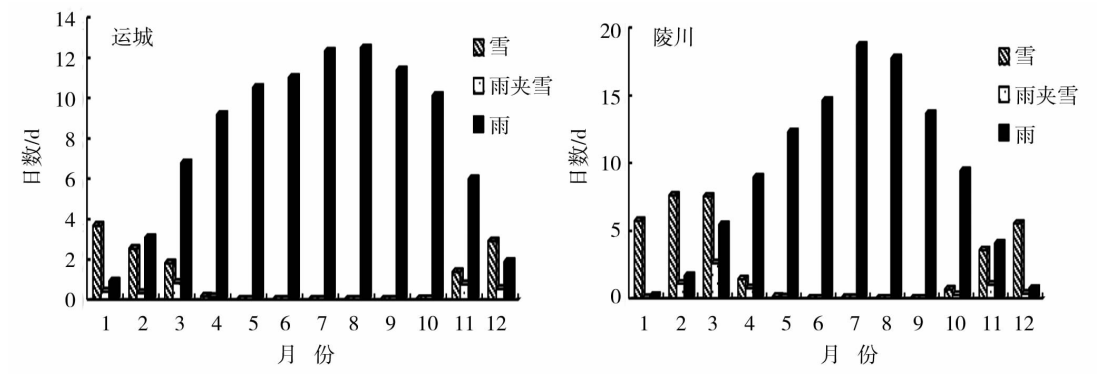


图 3 代表站不同相态降水平均日数的月分布
Fig. 3 The monthly variation of average precipitation days for different phase state at the representative stations

2.4 不同相态降水日数的年际变化趋势

1981~2010年,山西省年平均降雨日数为95.64 d,年平均降雪日数为24.72 d,年平均雨夹雪日数为4.21 d。从图4可以看出,降雨日数和降雪日数均呈明显下降趋势,气候倾向率分别达到 $-3.333\text{ d}/10\text{ a}$ 和 $-1.529\text{ d}/10\text{ a}$ (通过99%置信度检验),相当于每10 a降雨日数减少3.49%和降雪日数减少6.18%。雨夹雪日数有上升趋势,气候倾向率达到 $0.340\text{ d}/10\text{ a}$ (通过99%置信度检验),相当于每10 a雨夹雪日数增多8.08%。

1981~2010年,降雨日数表现为明显的年际变

化特征。20世纪80年代和21世纪初至2010年,降雨日数均经历了2个雨日偏多与偏少的交替,分别为1981~1986年、1987~1989年和2001~2005年、2006~2010年,不同的是,1980年代,降雨日数偏多的年份多于偏少的年份,雨日正距平的年份是负距平的1.5倍;而2000年代则是雨日负距平的年份是正距平的1.5倍,2005年降雨日数是近30 a来偏少最为严重的一年,比年平均降雨日数偏少15.21 d。1990年代,降雨日数表现为明显偏少态势,雨日负距平的年份是正距平的1.5倍,其中负距平雨日的偏离程度明显大于正距平雨日(图4)。

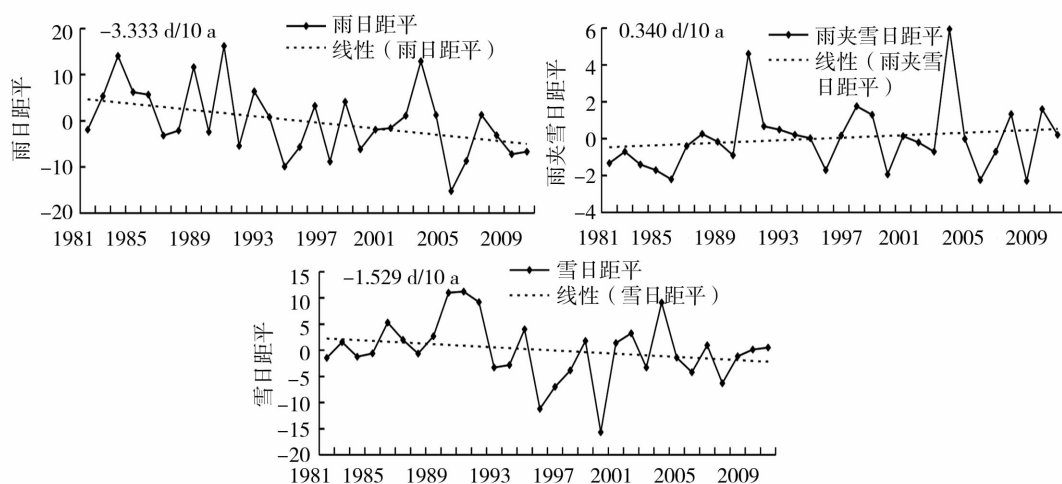


图4 1981~2010年山西省不同相态降水日数变化趋势

Fig. 4 The variation trend of different phase state precipitation days from 1981 to 2010 in Shanxi

1980年代,降雪日数经历了2个雪日偏多与偏少的交替,分别为1981~1983年、1984~1987年,雪日正距平年份是负距平的1.5倍,正距平雪日的偏离程度明显大于负距平雪日,1989年降雪日数是近30 a来偏多最为严重的一年,比年平均降雪日数偏多11.00 d。1990年代,降雪日数经历了3个雪日偏多与偏少的交替,分别为1991~1993年、1994~1997年、1998~2000年,雪日负距平年份是正距平的1.5倍,负距平雪日的偏离程度明显大于正距平雪日,1999年降雪日数是近30 a来偏少最为严重的一年,比年平均降雪日数偏少15.64 d。2000年代,雪日正距平年份与负距平年份相当,但正距平雪日的偏离程度明显大于负距平日。

1980年代,雨夹雪日数呈显著偏少态势,10 a中有8 a为负距平;1990年代,雨夹雪日数徘徊在平均值附近,负距平雨夹雪日的偏离程度与正距平相当;2000年代,雨夹雪日数经历了3个雨夹雪日数偏多与偏少的交替,分别为2001~2005年、2006~2008年、

2009~2010年,雨夹雪日数正距平年份与负距平年份相当,但正距平雨夹雪日数的偏离程度明显大于负距平日,2003年雨夹雪日数是近30 a来偏多最为严重的一年,比年平均雨夹雪日数偏多5.94 d。

3 降水相态变化的成因及天气学判据

3.1 冷空气入侵路径及其降温幅度对降水相态的影响

3.1.1 统计特征

由表1可知,1981~2010年,山西共有328个多相态降水过程,其中冷空气由西北路径(降水开始前24 h,冷高压中心位置位于 $94^{\circ}\sim 98^{\circ}\text{ E}$ 、 50° N 以北)入侵影响的有73日次,由东路(冷高压中心位置位于 $92^{\circ}\sim 110^{\circ}\text{ E}$ 、 $46^{\circ}\sim 54^{\circ}\text{ N}$)入侵影响的有240日次,由西路(冷高压中心位置位于 $82^{\circ}\sim 91^{\circ}\text{ E}$ 、 $42^{\circ}\sim 47^{\circ}\text{ N}$ 即新疆西部)入侵影响的有15日次。图5是典型个例。但可使山西出现大范围降水相态变化的主要是西北路和东路冷空气,其中东路冷空气

影响时降水相态发生变化的站点最多,而西北路冷空气影响时降温幅度最大,这使得山西北部一旦出现降水就以固态降水为主,中南部则出现大范围的降水相态变化。

表 1 冷空气入侵路径及其降温幅度以及降水相态变化日数的统计

Tab. 1 The statistics of the intruding cold air path and its temperature dropping range, the days statistics of precipitation phase state change

冷空气入侵路径	西北路	东路	西路
降水相态发生变化的日数/d	73	240	15
24 h 最低气温下降幅度/℃	12~24	8~12	5~8
24 h 之内降水相态发生变化的最多站数	88 站	105 站	11 站

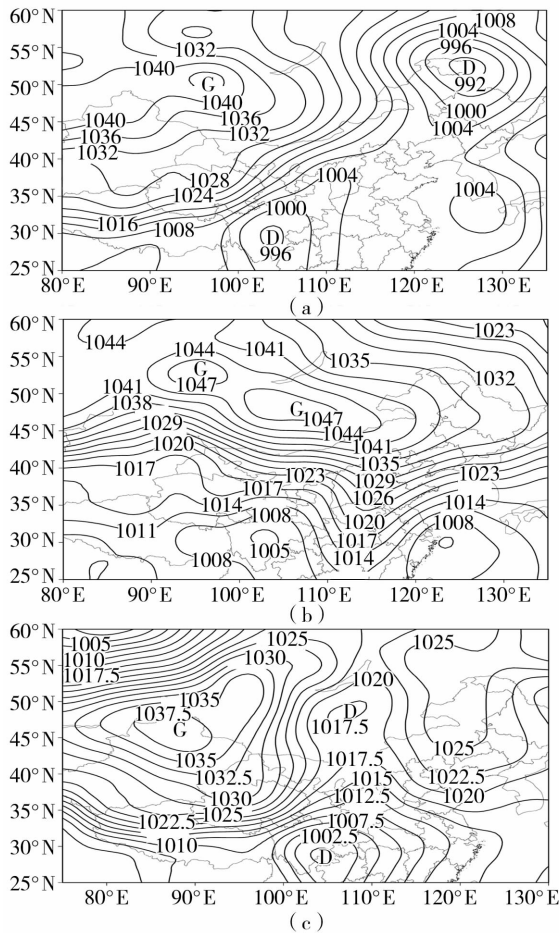


图 5 不同路径冷空气影响典型地面气压场
(a)2006 年 4 月 11 日 02 时(西北路), (b)2009 年 11 月 10 日 08 时(东路), (c)2005 年 4 月 8 日 08 时(西路)

Fig. 5 Typical surface pressure fields influenced by different cold air path

(a) the northwest pathway (02:00 on 11 April, 2006);
(b) the east pathway (08:00 on 10 November, 2009);
(c) the west pathway (08:00 on 8 April, 2005)

3.1.2 概念模型

(1) 西北路径冷空气影响时(根据 73 日次西北路冷空气影响个例)

山西多相态降水概念模型:①500 hPa, 亚州中高纬环流平直, 锋区位于 42°~50°N, 南支槽发展, 槽线位于河西走廊一带, 槽前有 ≥ 20 m/s 的西南风中高空急流, 冷涡位于贝加尔湖, 冷涡中心温度值达 -44℃; ②降水前 36 h, 天气尺度的地面冷锋呈东北—西南向位于中蒙边界, 高压中心位于 50°N、95°E 附近, 高压中心强度达 1 050 hPa。降水前 24 h 冷锋南压到东北—河套一带, 降水前 12 h 南压到 40°N 以南, 锋后锋区强度达 5 hPa/°N(°E); ③700 hPa, 低涡切变位于河套北部, 暖切变位于山西北部地区, 暖切变线北部西北气流强盛风速 ≥ 16 m/s, 暖切变线南部西南气流较旺盛, 西南急流核风速 ≥ 12 m/s; ④850 hPa 冷性切变位于河套的中东部地区, 切变线前部有风速 ≥ 12 m/s 的西南低空急流; ⑤ 高低空系统配置为后倾; ⑥ 地面冷锋是降水相态的分界线。

此型影响下, 24 h 之内最低气温下降幅度一般在 12℃ 以上, 冷空气的影响表现为速度快, 影响范围广, 山西 24 h 之内出现全省性的寒潮天气, 降水相态在 6 h 之内可由雨转为雨夹雪和雪, 地面冷锋是降水相态的分界线, 冷锋后部为固态降水, 冷锋附近为固、液混合降水, 锋前暖区为液态降水。

统计结果还表明, 西北路径冷空气影响下, 更多的是产生大风降温天气, 若要出现有效降水(降水量 ≥ 1 mm), 物理量还要达到以下统计结果(表 2)。

(2) 东路冷空气影响时(根据 240 日次东路冷空气影响个例)

山西多相态降水概念模型: ①500 hPa 亚欧中高纬度环流平直, 贝加尔湖附近有横槽, 槽底不断有冷空气扩散南下, 冷温度槽温度值达 -36℃; ②地面图上山西位于大陆高压的底后部, 河套有倒槽发展, 冷空气从渤海湾向西南倒灌形成回流天气形势(处于太行山西边的山西, 与处于太行山东边的河北, 其回流天气的相同点是低空要有来自渤海湾的偏东气流, 不同点是山西海拔高, 要产生回流天气, 偏东风的厚度一般要达到 1 500 m(850 hPa), 且东风的风速与降水量成正比, 见表 3); ③700 hPa 横切变(暖切变或冷切变, 以中蒙边界 3 040 gpm 闭合小高压的位置确定是冷切变还是暖切变)横跨山西, 切变线南部有 ≥ 12 m·s⁻¹ 的西南低空急流; ④850 hPa, 东北—西南向的冷切变位于河套地区, 从渤海湾到山西有 ≥ 12 m·s⁻¹ 的偏东或东北风急流; ⑤低空切变线是降水相态的分界线。

表2 冬半年西北路冷空气特征物理量均值与降水量均值

Tab. 2 The characteristic physical quantity mean value and averaged precipitation influenced by the northwest path of cold air in winter half year

降水量 (次数)	辐射中心 辐合中心	水汽通量 散度	湿层 厚度	负涡度中心 正涡度中心	WP 中心强度 和中心高度	700 hPa 西南风风速/ $m \cdot s^{-1}$
1 ~ 5 mm (36 次)	$\frac{+16}{-14}$	-4.0	3.0 km	/	-15(700 hPa)	风速 < 6
5 ~ 10 mm (26 次)	$\frac{+23}{-20}$	-6.0	4.5 km	$\frac{-28}{+16}$	-28(700 hPa)	$6 \leq$ 风速 < 10
10 ~ 20 mm (8 次)	$\frac{+31}{-34}$	-10.5	5.5 km	$\frac{-36}{+18}$	-32(600 hPa)	$10 \leq$ 风速 \leq 12
20 ~ 30 mm (2 次)	$\frac{+33}{-35}$	-11.0	6.0 km	$\frac{-41}{+18}$	-36(500 hPa)	$12 <$ 风速 \leq 14
30 mm 以上 (1 次)	$\frac{+39}{-38}$	-14.0	7.5 km	$\frac{-50}{+20}$	-48(500 hPa)	风速 > 14

表3 冬半年东风降水特征物理量均值与降水量均值

Tab. 3 The characteristic physical quantity mean value and averaged precipitation influenced by easterly wind in winter half year

降水量 (次数)	辐射中心 辐合中心	水汽通量 散度	湿层 厚度	负涡度中心 正涡度中心	WP 中心强度 和中心高度	850 hPa 东风风速/ $m \cdot s^{-1}$
1 ~ 5mm (112 次)	$\frac{+20}{-10}$	-3.0	2.6 km	/	-12(700 hPa)	风速 < 8
5 ~ 10 mm (83 次)	$\frac{+25}{-15}$	-4.0	3.5 km	$\frac{-20}{+15}$	-16(700 hPa)	$8 \leq$ 风速 < 10
10 ~ 20 mm (38 次)	$\frac{+30}{-20}$	-4.5	5.5 km	$\frac{-32}{+18}$	-28(600 hPa)	$10 \leq$ 风速 \leq 12
20 ~ 30 mm (5 次)	$\frac{+32}{-20}$	-7.0	7.5 km	$\frac{-34}{+15}$	-33(500 hPa)	$12 <$ 风速 \leq 14
30 mm 以上 (2 次)	$\frac{+36}{-20}$	-7.5	12.0 km	$\frac{-36}{+8}$	-35(400 hPa)	风速 > 14

此型影响下,24 h 之内最低气温下降幅度一般在 8°C 以上,48 h 之内最低气温下降幅度在 12°C 以上,冷空气的影响表现为扩散型,山西南部要比山西北中部降温滞后 24 h,48 h 之内山西全省可达寒潮天气标准,降水相态在 24 h 之内可由雨转为雨夹雪和雪,低空切变线是降水相态的分界线,切变线北部为固态降水,切变线附近为固、液混合降水,切变线南部为液态降水。

统计 240 次回流降水天气过程表明,东路冷空气影响时,冷高压中心多位于蒙古国,中心强度可达 1 047 hPa 以上,在水汽条件满足时,850 hPa 东风的大小与降水量的大小关系密切,见表 3 统计结果。

(3) 西路冷空气影响时(根据 15 日次西路冷空气影响个案)

山西多相态降水概念模型:降水前 24 h,①500 hPa 为径向环流,西风槽位于河西走廊一带,槽前有 $\geq 16 \text{ m/s}$ 的西南风中空急流;②地面冷锋呈南—北向位于河套中东部地区;③700 hPa 槽线(切变线)位于河西走廊—河套西部,槽前西南气流旺盛,有 $\geq 12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 的西南风低空急流;④850 hPa 槽线(或切变线)位于河套西部地区,槽前西南或东南风 $\geq 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,有时 850 hPa 有低涡切变配合;⑤高低空系统配置为后倾。

此型影响下,降水落区在地面冷锋—700 hPa

(850 hPa)切变线之间,为锋后降水,但降温幅度较前 2 类小得多,一般达不到寒潮标准,山西境内不会出现较大范围的降水相态变化。西路冷空气影响时,地面冷高压主体一般位于新疆的西部,冷高压中心强度一般 $\leq 1\ 036$ hPa,较西北路和东路冷空气影

响时冷高压强度偏弱 10 hPa 左右(图 5c)。西路冷空气影响时一般都会产生降水天气,降水量级的大小可参考表 4 的物理量统计数据。

综上,能够使山西出现较大范围的降水相态变化的冷空气入侵路径主要是西北路和东路(回流)2 类。

表 4 冬半年西路冷空气特征物理量均值与降水量均值

Tab. 4 The characteristic physical quantity mean value and averaged precipitation influenced by the west path of cold air in winter half year

降水量 (次数)	辐射中心 辐合中心	水汽通量 散度	湿层 厚度	负涡度中心 正涡度中心	WP 中心强度 和中心高度	700 hPa 西南风风速/ $m \cdot s^{-1}$
1 ~ 5 mm (14 次)	$\frac{+12}{-12}$	-2.8	2.3 km	/	-12(700 hPa)	风速 < 8
5 ~ 10 mm (13 次)	$\frac{+15}{-15}$	-3.7	3.4 km	$\frac{-18}{+18}$	-18(700 hPa)	$8 \leq$ 风速 < 12
10 ~ 15 mm (18 次)	$\frac{+20}{-16}$	-5.0	5.0 km	$\frac{-22}{+20}$	-26(600 hPa)	$12 \leq$ 风速 ≤ 16
15 mm 以上 (3 次)	$\frac{+22}{-18}$	-5.2	10.0 km	$\frac{-50}{+10}$	-28(500 hPa)	风速 > 16

注:表 2~4 中,水汽通量散度单位为: $\times 10^{-8} g \cdot hPa^{-1} \cdot cm^{-2} \cdot s^{-1}$,垂直速度单位为: $\times 10^{-3} hPa \cdot s^{-1}$

3.2 降水相态变化的天气学判据

为了找出雨雪转换依据,应用 328 个多相态降水过程资料和 NCEP 再分析资料,并引入海拔高度因子进一步分析低层温度变化对降水相态变化的影响。发现:山西中南部海拔高度在 1 km 以下的站点,当 850 hPa 温度 ≥ -3 °C 时,液态降水出现的概率是 85% (图 6a),当 925 hPa 温度 ≥ 0 °C 时,液态降水出现的概率是 75% (图 6b),即:850 hPa 温度 ≥ -3 °C、925 hPa 温度 ≥ 0 °C 时,降水相态以液态为主,850 hPa 温度 < -3 °C、925 hPa 温度 < 0 °C 时,降水相态以固态或固液混合为主;因此,-3 °C 和 0 °C 可作为 850 hPa 和 925 hPa 降水相态转变的临界

值温度。山西北部或山西中南部海拔高度在 1 km 以上的站点,当 850 hPa 温度 ≥ 3.5 °C 时,液态降水出现的概率是 75% (图 7),850 hPa 温度 < 3.5 °C 时,固态或固液相混合降水出现的概率是 75% (图 7),即:3.5 °C 是山西北部(或山西中南部海拔高度在 1 km 以上站点)降水相态发生转变时 850 hPa 温度的临界值。进一步的统计结果表明,山西北部(或山西中南部海拔高度在 1 km 以上站点),当液态降水转变为固态降水时,85% 的 0 °C 层高度降至 810 hPa 以上,而山西中南部海拔高度在 1 km 以下的站点,当液态降水转变为固态降水时,85% 的 0 °C 层高度降至 900 hPa 以下(图 8)。

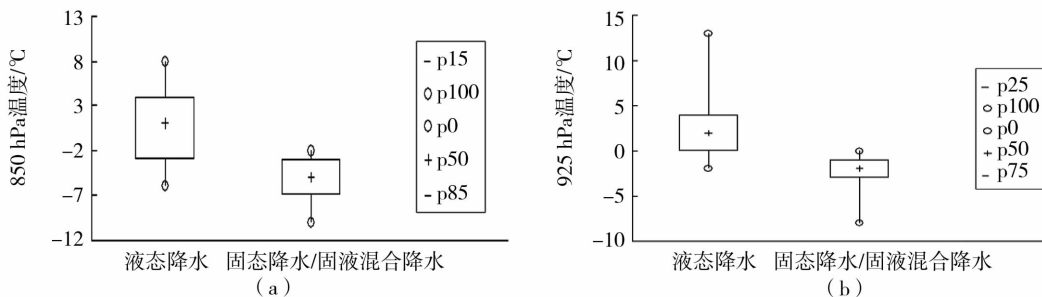


图 6 山西中南部海拔低于 1 km 站点不同相态降水 850 hPa (a) 和 925 hPa (b) 温度变化范围

Fig. 6 The temperature changing range of different phase precipitation on 850 hPa (a) and 925 hPa (b) of the stations with altitude less than 1 km in the south - center of Shanxi

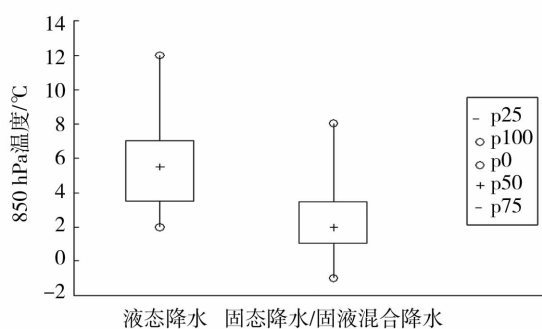


图7 山西北部和中南部海拔高度在1 km以上站点不同相态降水850 hPa温度变化范围

Fig. 7 The temperature changing range of different phase precipitation on 850 hPa of the stations with altitude more than 1 km in the north and south-center of Shanxi

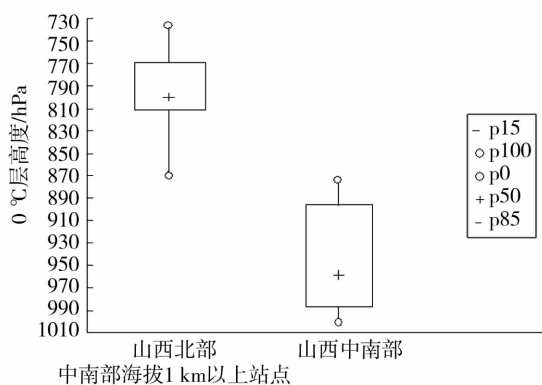


图8 降水相态转变为固态时山西北部(或中南部海拔1 km以上)和中南部0°C层高度

Fig. 8 The 0°C layer height in the north (or the south-center with altitude more than 1 km) and the south-center of Shanxi when the precipitation phase transforming into solid state

(注:图6~图8右边图例中的p15、p100、p50、p85、p75等表示在历史个例中临界值出现的概率)

4 结论

(1)4~10月全省以液态降水为主,1月份全省以固态降水为主,11~12月和2~4月则有固态、液态以及固液相混多种降水相态;30 a间山西省全年仅有8月没有出现过雪和雨夹雪,其他月份均有雪和雨夹雪出现,这与全国其他省份有着明显的不同。

(2)近30 a山西的降雨日数和降雪日数分别以3.333 d/10 a和1.529 d/10 a的趋势减少,而雨夹雪日数则以0.34 d/10 a的趋势增多。

(3)山西区域降雪和降雨日数变化趋势的空间分布都具有西部减少趋势高于东部减少趋势的特征,雨夹雪日数变化趋势的空间分布则具有东部增

多趋势高于西部增多趋势的特征;朔州和忻州西部是降雪日数减少趋势最强的区域,运城是降雨日数减少趋势最强的区域,晋城是雨夹雪日数增多趋势最强的区域。

(4)可使山西出现大范围降水相态变化的冷空气路径主要有西北路和东路,其中东路冷空气影响时降水相态发生变化的站点最多,而西北路冷空气影响时降温幅度最大,这使得山西北部一旦出现降水就以固态降水为主,中南部则出现大范围的降水相态变化。

(5)西北路径冷空气多相态降水概念模型的特点是,冷空气影响表现为一举南下,24 h之内最低气温下降幅度一般在12°C以上,山西24 h之内出现全省性寒潮天气,降水相态在6 h之内可由雨转为雨夹雪和雪,地面冷锋是降水相态的分界线,冷锋后部为固态降水,冷锋附近为固、液混合降水,锋前暖区为液态降水。

(6)东路冷空气及回流天气多相态降水概念模型的特点是,冷空气影响表现为扩散型,24 h之内最低气温下降幅度一般在8°C以上,48 h之内最低气温下降幅度在12°C以上,48 h之内山西全省可达寒潮天气标准,降水相态在24 h之内可由雨转为雨夹雪和雪,低空切变线是降水相态的分界线,切变线北部为固态降水,切变线附近为固、液混合降水,切变线南部为液态降水。

(7)对于山西中南部地区,-3°C和0°C是850 hPa和925 hPa降水相态转变的临界值温度;山西北部或山西中南部海拔高度在1 km以上的站点,3.5°C则是降水相态发生转变时850 hPa温度的临界值。

(8)冷空气侵入导致中低空温度下降,0°C层高度降低是降水相态发生变化的主要原因;山西北部(或山西中南部海拔高度在1 km以上的站点),当液态降水转变为固态降水时,0°C层高度一般在810 hPa以上,而山西中南部,当液态降水转变为固态降水时,0°C层高度一般都会下降到900 hPa以下。

参考文献:

- [1] 胡爱军,李宁,祝燕德,等.论气象灾害综合风险防范模式—2008年中国南方低温雨雪冰冻灾害的反思[J].地理科学进展,2010,29(2):159-165.
- [2] 曾明剑,陆维松,梁信忠,等.2008年初中国南方持续性冰冻雨雪灾害形成的温度场结构分析[J].气象学报,2008,66(6):1043-1052.
- [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] 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.
- [5] 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.
- [6] 张楠楠,桑建人,杨侃,等.宁夏中雨及以上降水过程气候特征统计分析[J].干旱气象,2010,28(2):173-178.
- [7] 李巧媛.1962~2011年湖南各量级降水的年变化特征[J].干旱气象,2012,30(3):353-359.
- [8] 丁文魁,杨晓玲,胡津革,等.河西走廊东部中雨及以上降水的气候特征及预报[J].干旱气象,2011,29(1):35-41.
- [9] 王红红,章新平,孙广禄,等.近33 a亚洲高纬地区地面气温变化特征分析[J].干旱气象,2011,29(1):35-41.
- [10] 左敏,陈洪武,江远安,等.新疆近50 a气温变化趋势和演变特征[J].干旱气象,2008,28(2):160-166.
- [11] 王文,张薇,蔡晓军.近50 a来北京市气温和降水的变化[J].干旱气象,2009,27(4):350-353.
- [12] 卞韬,连志鸾.石家庄地区近46 a温度变化特征[J].干旱气象,2008,26(2):57-62.
- [13] 吴昊旻,廖必军,蔡寿强.浙江省不同强度降水日数的时空分布特征[J].干旱气象,2012,30(3):360-366.
- [14] 苗爱梅,贾利冬,李智才,等.“091111”山西特大暴雪过程的流型配置及物理量诊断分析[J].高原气象,2011,30(4):969-981.
- [15] 苗爱梅,董春卿,张红雨,等.“0811”暴雨过程中MCC与一般暴雨云团的对比分析[J].高原气象,2012,31(3):731-744.
- [16] 杜小玲,彭芳,武文辉.贵州冻雨频发地带分布特征及成因分析[J].气象,2010,36(5):92-97.
- [17] 马中元,刘熙明,吴琼,等.江西强冻雨天气形成特征分析[J].气象,2011,37(1):66-74.
- [18] 马晓刚,曲晓波,李月安,等.冻雨落区基本概念模型的研究与建立[J].气象,2010,36(9):68-73.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 王劲松,费晓玲,魏锋.中国西北近50 a来气温变化特征的进一步研究[J].中国沙漠,2008,28(4):725-732.

The Statistical Characteristics and Conceptual Model of Different Phase Precipitation in Recent 30 a in Shanxi Province

MIAO Aimei¹, DONG Wenxiao¹, JIA Lidong², LI Miao³, WANG Hongxia¹

(1. Shanxi Meteorological Observatory, Taiyuan 030006, China; 2. Shanxi Provincial Meteorological Bureau, Taiyuan 030002, China; 3. Shanxi Meteorological Service Center, Taiyuan 030002, China)

Abstract: Based on the ground precipitation data of 108 stations from 1981 to 2010 in Shanxi, the temporal and spatial distribution characteristics of different phase precipitation in 108 counties and cities in Shanxi were analyzed. Results show that the average days of rainfall, snowfall and sleet in Wuzhai (in the northwest of Shanxi) and Lingchuan (in the southeast of Shanxi) were most. The rainfall days and snowfall days decreased with the tendency of 3.333 d/10 a and 1.529 d/10 a in recent 30 a in Shanxi, respectively, while the sleet days increased with the tendency of 0.34 d/10 a. The decreasing trend for both snowfall and rainfall days was higher in the west region than that in the east Shanxi, but for sleet days, the increasing trend was higher in east Shanxi than that in the west region. The decreasing trend of snowfall days was maximum in Shuozhou and the east of Xinzhou, and Yuncheng was the area where the rainfall days' decreasing trend was maximum, Jincheng was the area where the sleet days' increasing trend was strongest. The statistical analysis was made by using 328 multi-phase precipitation processes data and the NCEP reanalyzed data, and the results show that the invasion of cold air resulted in the mid-low level's temperature dropping, and the height of 0 °C layer descending, which was the main cause of precipitation phase change. The critical temperature that made precipitation phase transition in the south-center of Shanxi on the level of 850 hPa and 925 hPa were -3 °C and 0 °C, respectively. While 3.5 °C is the critical temperature on 850 hPa that made precipitation phase transition in the north and high elevation area of Shanxi. In the processes that the northwest cold air intruded multi-phase precipitation, the ground cold front was the boundary of the precipitation phase, while in the process that the east cold air intruded multi-phase precipitation, the low level shear line was the boundary of the precipitation phase.

Key words: precipitation phase; statistical characteristics; conceptual model