

林 纾,李丹华,卢国阳,等. 甘肃省春季强冷空气时空分布特征及其延伸期预报探索[J]. 干旱气象,2017,35(6):934-939. [LIN Shu, LI Danhua, LU Guoyang, et al. Temporal and Spatial Distribution Characteristics of Strong Cold Air and Exploration of Extended Period Prediction in Gansu in Spring During 1981-2015[J]. Journal of Arid Meteorology, 2017, 35(6):934-939], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-06-0934

甘肃省春季强冷空气时空分布特征 及其延伸期预报探索

林 纾^{1,2}, 李丹华¹, 卢国阳¹, 刘卫平¹

(1. 西北区域气候中心, 甘肃 兰州 730020;

2. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室,
中国气象局干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020)

摘 要:利用1981—2015年春季甘肃省77站逐日最低温度资料,分析甘肃省1981—2015年以来春季强冷空气的时空分布特征。在此基础上,结合1981—2015年NCEP逐日500 hPa高度场资料和准150 d韵律方法,对甘肃省春季强冷空气的延伸期预报进行探索。结果表明,1981年以来甘肃省春季强冷空气发生频次1980年代最少,21世纪以来明显增多。全省范围和河东区域的强冷空气多出现在3—4月,而河西区域的强冷空气则多在4—5月,且河西区域的强冷空气频次是河东区域的两倍。经相似系数的计算及阈值的确定,制定了评估标准及多层筛选方法,从而选出4个针对甘肃省春季强冷空气活动具有天气学意义的典型预报场,在综合4个典型场的情况下,预报准确率明显提高,空报率降为零,漏报率显著降低,为甘肃省春季强冷空气的延伸期预报提供了新的预报途径。

关键词:春季;强冷空气;延伸期预报

文章编号:1006-7639(2017)06-0934-06 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-06-0934

中图分类号:P425.5⁺4

文献标志码:A

引 言

甘肃省行政区域整体呈西北-东南向的狭长状分布,东西长约1 655 km,南北宽约530 km,通常习惯以黄河为界,把甘肃分为河西和河东两区域。早有学者指出,入侵我国冷空气的路径主要有4条:西北路(中路)、东路、西路、东路加西路^[1],前3条路径冷空气分别经蒙古到达我国河套附近南下,经蒙古到达我国华北北部,经新疆、青海、西藏高原东南侧南下影响西北地区;东路加西路的两股冷空气常在黄土高原东侧汇合。由此可见,西路和西北路是影响甘肃省不同区域的主要冷空气路径。

自1990年代末气候变暖后,从气候学角度针对强冷空气影响的探讨研究并不多^[2-7],而对于强冷空气的延伸期预报更是少之甚少^[8-9]。伍红雨等^[2]研究了1961—2008年华南区域寒潮变化的气候特征,指出近48 a来华南地区寒潮活动在以减少趋势

为主的基础上还有频数和强度的月际、年际变化,尤其具有明显的年代际变化。康志明等^[4]统计分析了1951—2006年冬半年我国寒潮气候特征,得出我国寒潮强冷空气逐年活动频次呈明显下降趋势。马晓青等^[8]分析了2004/2005年冬季中国的2次大范围强寒潮事件,并对寒潮爆发的周期、低频波动特征及其影响寒潮爆发的可能原因进行研究。然而,更多的研究针对的是不同区域寒潮、强冷空气的个例诊断分析^[10-16]。如张备等^[11]对2010年2月江苏的一次雨、雪、冻雨、冰雹等不同相态的寒潮过程进行分析;牟欢等^[12]对2014年4月新疆北部的一次春季强寒潮降温过程进行分析;李晓霞等^[14]对2014年春季甘肃河东地区的一次大范围雨雪冰冻降温天气过程进行了个例诊断分析。春季强冷空气活动具有很大危害性,尤其是发生在4—5月的强冷空气活动。强冷空气活动不仅会带来大风和沙尘天气,严重影响空气质量,对人民生活 and 交通运输等造

收稿日期:2017-10-18;改回日期:2017-10-26

基金项目:中国气象局2017年核心业务发展专项(YBGJXM(2017)04-06)和中国气象局气候变化专项(CCSF201612)共同资助

作者简介:林纾(1964—),女,福建福州人,正研级高级工程师,主要从事短期气候预测业务及研究。E-mail:treewest@163.com。

成严重影响,同时强冷空气活动带来的强降温,也会对初春出苗和发芽的作物造成致命伤害。所以,春季强冷空气活动预报,尤其是延伸期预报,可拉长预报的提前时间,以便有关部门可以有充分的时间做好相关应对措施。为此,本文就这方面做一些探讨。

1 资料与方法

1.1 资料

利用1981—2015年春季(3月1日至5月31日)甘肃省77站逐日最低气温资料,资料由甘肃省信息装备中心提供,其中河西区域19站,河东区域58站;1980年1月1日到2015年12月31日NCEP逐日500 hPa环流资料,空间分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$,并统计成每月6个自然候的候平均场序列资料。

1.2 强冷空气及区域性强冷空气判别标准

根据GB/T20484—2017《冷空气等级》标准,将单站“日最低气温48 h内降温幅度大于或等于 8°C ,且使该站日最低气温下降到 8°C 或以下”定义为强冷空气;区域性强冷空气定义为发生强冷空气的站数大于等于区域内总站数20%的强冷空气过程。按此规则,发生强冷空气的站数河西大于等于4站、河东大于等于12站时,即分别达到各区域强冷空气的标准;如果两个区域同时达到标准,则认为是一次全省性的强冷空气过程。需要说明的是,河西和河东区域性强冷空气统计数据与全省范围的数据不重叠。同理,大范围强冷空气定义为发生强冷空气的站数大于等于区域内总站数50%的强冷空气过程,故河西10站、河东29站是临界值,其他规则相同。

将强冷空气发生日期划归为该日期所在的自然候,每5 d为1候,每月有6个自然候(第6个自然候的日数不完全一致,3月、5月是26—31日,4月是26—30日),如果在同一候内发生两次或以上强冷空气过程,则归并到同一候内,记为1次。需要说明的是,对连续两候均有强冷空气过程的需进行人为甄别,剔除因时间跨候而把一次过程分解为2次,同时也确保了10 d内出现2次强冷空气过程的现象。其原因是:一方面考虑到强冷空气移动有时间差,另一方面则是应用准150 d韵律方法做延伸期预报(该方法的时间序列要素以候为单位),这也是本文采用的研究方法。

1.3 准150 d韵律方法

关于准150 d韵律方法的原理及其应用详见文献[17—18]。但考虑到该方法的复杂性,为便于读者理解,这里做一简单说明。

经周期检验发现,影响我国中高纬度的关键区,如乌拉尔山、贝加尔湖、鄂霍次克海区域,以及影响我国中纬度的一些关键区,如新疆区域、青藏高原区域等,500 hPa高度场有准30候周期可通过0.01~0.10信度的检验,即大气环流形势每30候后会重现。在此前提下,利用前30候的物理场来做延伸期预报。如利用1月第1候的500 hPa高度场做6月第1候的预报、用1月第2候的500 hPa高度场做6月第2候的预报,以此类推。

2 春季强冷空气时空分布特征

2.1 全省范围强冷空气分布特征

表1列出甘肃省不同区域1981—2015年春季及各月的区域性、大范围强冷空气发生频次。可以看出,1981—2015年春季全省范围出现区域性的强冷空气共53次,3月、4月最集中,分别有19次和21次,5月相对较少,有13次;春季区域性强冷空气的年代际活动并未随气候变暖而减少,相反,2000年代开始有所增加。从年代际频次来看,2011—2015年春季的强冷空气活动年均频次在近35 a中仅次于2000年代,多于1980年代和1990年代。全省大范围强冷空气共出现36次,21世纪以来的15 a有19次,发生频次略多于1981—2000年的17次,与区域性强冷空气特点基本一致。

综上所述,甘肃春季强冷空气的年代际活动呈增加态势,2000年代是近35 a来强冷空气活动最多的时段。

2.2 河西区域强冷空气分布特征

除了达到全省范围的强冷空气活动标准外,还有一些西路强冷空气活动只影响到河西地区,其影响频次相对较多。由表1看出,1981—2015年春季甘肃河西地区区域性强冷空气共85次,但月际分布与全省范围的强冷空气有较大差别,主要出现在4—5月,其中5月最多,为41次,3月最少,为19次;年代际分布特点仍然是1980年代最少,进入21世纪以后明显增加。然而,河西大范围强冷空气的年代际分布与全省略有不同,1980年代仍为最少,而1990年代最多,2001—2015年共有23次,与前20 a的25次接近。

2.3 河东区域强冷空气分布特征

河东地区主要受西北路强冷空气影响,发生频次仅有河西地区的一半。由表1可知,1981—2015年春季河东地区的区域性强冷空气活动共43次,月际分布与全省相同,集中在3—4月,占春季总频次近八成。然而,春季区域性强冷空气的年代际分布

与全省和河西地区明显不同,其年均频次最多出现在 2011 年以后,比这两区域出现频次最多的 2000 年代滞后 10 a,这表明西北路径的强冷空气活动近年来有增多趋势。另外,21 世纪以来尤其是 2011 年以后河东大范围强冷空气活动明显增多,平均每年发生 1~2 次,这与全省和河西地区强冷空气活动基本一致。

表 1 甘肃省 1981—2015 年春季区域性
及大范围强冷空气频次统计

Tab. 1 The frequency of regional and wide range strong cold air in spring in Gansu Province during 1981—2015

范围	时 期	区域性				大范围
		3 月	4 月	5 月	春季	春季
全省	1980 年代	5	4	3	12	8
	1990 年代	4	6	4	14	9
	2000 年代	7	8	4	19	11
	2011—2015 年	3	3	2	8	8
	合计	19	21	13	53	36
河西	1980 年代	4	9	7	20	6
	1990 年代	5	5	14	24	19
	2000 年代	7	7	14	28	16
	2011—2015 年	3	4	6	13	7
	合计	19	25	41	85	48
河东	1980 年代	3	5	2	10	5
	1990 年代	7	5	1	13	5
	2000 年代	2	5	5	12	6
	2011—2015 年	4	2	2	8	8
	合计	16	17	10	43	24

3 春季强冷空气延伸期预报

3.1 计算相似系数

选取 10°N—70°N、40°E—160°E 范围计算相似系数,共计 1 225 个格点。

根据准 150 d 韵律方法,春季 3—5 月的预报场对应为上一年 10—12 月的 500 hPa 高度场。1981—2015 年间,甘肃春季共发生 181 次区域性强冷空气活动,时间前推 30 候,均有其对应的 181 个 500 hPa 候高度场。在此基础上,从这 181 个场中挑选出预报效果好且有天气学意义的若干个典型场,为描述方便,记为 X 场。每年 3—5 月有 18 候,时间亦前推 30 候,也均有其对应的 500 hPa 候高度场,

因此 1981—2015 年共有 630 (35 × 18) 个场,为描述方便,记为 Y 场。对上述 181 个场分别与所有 630 个场计算相似系数,相似系数是判定两幅图相似程度的指标,其值愈接近 1,表明两幅图愈相似^[19],其计算公式如下:

$$\cos \theta_{1,2} = \frac{\sum_{i=1}^m X_i Y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^m X_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^m Y_i^2}} \quad (1)$$

根据统计学原理,当样本格点数 m 为 100 时,通过 0.01 信度检验的阈值是 0.254。本文每个场的样本数 m 多达 1 225 个,选择以上统计检验条件足以判定两幅图的相似程度。

3.2 评估标准

当 $X_i (i=1, 2, 3, \dots, 181)$ 场与 $Y_j (j=1, 2, 3, \dots, 630)$ 场两个候的相似系数 $\cos \theta_{1,2} \geq 0.254$,且 Y 所在候有强冷空气出现时,记为强冷空气预报准确;当两个候高度场不相似 ($\cos \theta_{1,2} < 0.254$),且 Y 所在候没有强冷空气出现时,记为无冷空气预报准确;当两个候高度场相似,且 Y 所在候没有强冷空气出现时,记为空报;当两个候高度场不相似,且 Y 所在候有强冷空气出现时,记为漏报。

3.3 筛选典型场

按照强冷空气预报准确率高、漏报率低且具有天气学意义的原则,根据上述 4 种预报结果统计,可初选出 15~20 个场,并将这些场进行天气学归类,最后确定 3~5 个场作为强冷空气预报的典型场。需要指出的是,典型场的选取具有一定的经验性,需要熟悉当地春季强冷空气的影响系统及环流形势,并非完全以准确率排名筛选。

本文在初选的 17 个场中,每个场强冷空气预报频次在 47~52 次,漏报频次在 126~131 次,总体差异不大;其他 2 项差异较大,其中无冷空气预报频次 306~356 次,空报频次 96~146 次。根据甘肃强冷空气的形势场特征,归纳出 5 种具有天气学意义的典型场,其对预报的表现见表 2。就单个场而言,平均准确率为 57.8%~63.0%,空报率 17.0%~21.6%,漏报率 20.0%~20.6%,预报结果显然不能令人满意。由于单个预报场不能概括强冷空气活动的所有形势,所以需要将多个场同时作为典型场来提高准确率、降低漏报率和空报率。即每个典型场相对于其他典型场都是起到补充和捡漏的作用。在此设定捡漏规则:如果前面典型场漏报,而增加的典型场预报强冷空气准确,则追加 1 次强冷空气预报准确,对

应漏报减少 1 次;同理,如果前面典型场是空报,而增加的典型场预报无强冷空气准确,则追加 1 次无强冷空气预报准确,对应空报减少 1 次,以此类推。选出的 5 个典型场结合应用的预报效果统计见表 3。可以看出,第 1 个与第 2 个典型场一起使用

时,消除了空报率,漏报率降低 6.0%,准确率跃升 23.0%;继续增加典型场时,准确率持续缓升,漏报率逐步降低,但当增加到第 6 个典型场时,准确率和漏报率变化很小,表明典型场的选取不易过多,需要恰到好处。

表 2 5 个典型场的预报

Tab. 2 Prediction of 5 typical fields

序号	时 间	强冷空气 预报准确 频次/次	无冷空气 预报准确 频次/次	空报 频次/ 次	漏报 频次/ 次	准确率/ %	空报率/ %	漏报率/ %
1	1997 年 10 月 5 候	52	345	107	126	63.0	17.0	20.0
2	2005 年 10 月 3 候	51	345	107	127	62.8	17.0	20.2
3	1994 年 10 月 4 候	49	335	117	129	60.9	18.6	20.5
4	2014 年 10 月 3 候	48	336	116	130	61.0	18.4	20.6
5	1997 年 12 月 1 候	48	316	136	130	57.8	21.6	20.6

表 3 5 个典型场结合的预报

Tab. 3 Combined prediction of 5 typical fields

典型场合成	强冷空气预报 准确频次/次	无冷空气预报 准确频次/次	空报频 次/次	漏报频 次/次	准确 率/%	空报 率/%	漏报 率/%
1	52	345	107	126	63.0	17.0	20.0
1+2	90	452	0	88	86.0	0.0	14.0
1+2+3	103	452	0	75	88.1	0.0	11.9
1+2+3+4	123	452	0	55	91.3	0.0	8.7
1+2+3+4+5	130	452	0	48	92.4	0.0	7.6

注:最左列的数字为表 2 中典型场的序号

另外,第 5 个典型场对准确率的提高仅贡献了 1.1%,且与第 4 个高度场有相似之处,所以只保留了前 4 个典型场,准确率可达 91.3%,漏报率 8.7%,从延伸期预报来看,已达到很高的预报水平。由于该方法是以候为单位,强冷空气活动的特征必定不如日高度场清晰明确,系统位置也略有偏差。但表 3 中的准确率,证实了该方法可为延伸期预报提供有用信息。

图 1 是春季影响甘肃省强冷空气的 4 个 500 hPa 典型场。可以看出,4 个典型场对甘肃省强冷空气活动都有较清楚的天气学意义。第 1 个典型场[图 1(a)],乌拉尔山至贝加尔湖为轴线呈东北-西南向的高压脊,脊前我国东北地区为切断低压,横槽由低压中心西伸到蒙古国西部,蒙古国至日本海为广阔的低值区和高气压梯度区,槽前不断有冷空气分裂,这种形势的强冷空气主要影响甘肃河东

地区。第 2 个典型场[图 1(b)],欧洲(50°E)有阻塞高压,中心约在 55°N,其高压脊与极涡在新地岛形成密集的等高线区域,其南部东西各有一切断低压;极涡位于 80°N、110°E,中心强度小于 5 000 gpm,低压槽从极涡中心经贝加尔湖向西南伸至巴尔喀什湖附近,巴尔喀什湖至咸海为切断低压。一方面,欧洲脊前密集的西北气流带来了极地的强冷空气;另一方面,巴尔喀什湖的切断低压亦分裂冷空气东移。这种形势的强冷空气可影响到全省范围。第 3 个典型场[图 1(c)],40°N 以北欧亚中高纬度地区,呈两槽一脊型,脊线在 95°E,槽区分别在西欧和日本海;鄂霍次克海有切断低压,低压槽西伸经我国东北到蒙古国西部,伴有槽后偏北气流从西到东影响的过程,从而带来西伯利亚的强冷空气,槽前也不断有冷空气东移,这种形势的强冷空气主要影响全省范围。第 4 个典型场[图 1(d)],极涡位于新地岛,低气压底

部等高线密集,气压梯度大,随着极涡向东南方向移动,强冷空气东移南压,这种形势的强冷空气亦主要影响全省范围。影响甘肃省的寒潮天气过程类型主要有3种^[20]:乌拉尔山高压脊发展-亚洲西部横槽

南压转向、欧洲高压脊-西方长波槽东移、里海中亚长脊-脊前不稳定小槽东移发展。除第3个典型场对应不上外,其他3个基本相似,表明针对甘肃强冷空气活动挑出的典型场具有一定的代表意义。

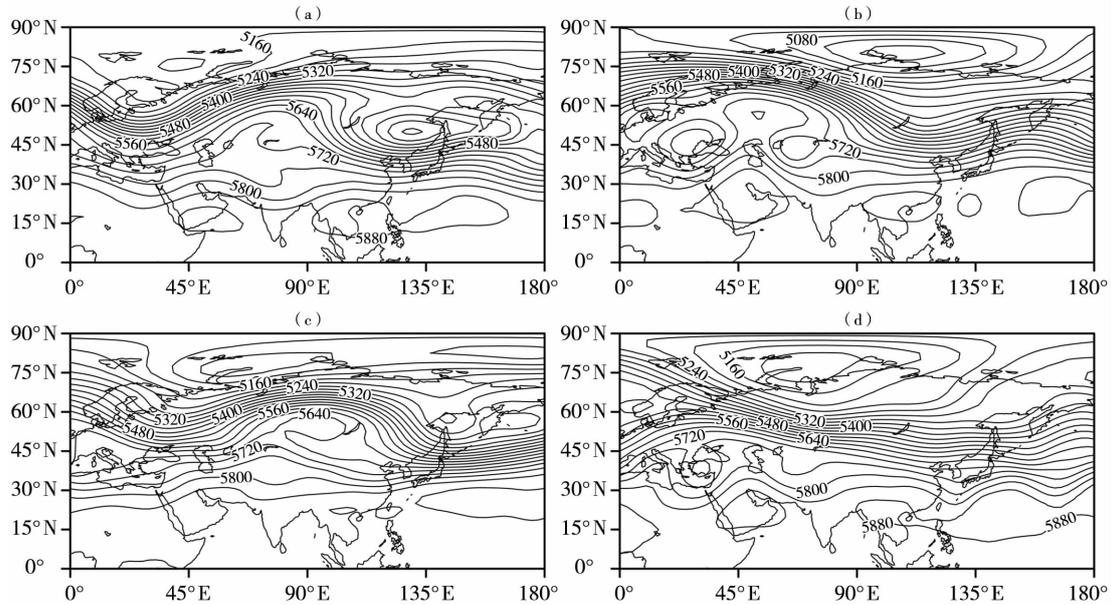


图1 春季影响甘肃省强冷空气的4个500 hPa典型候平均场(单位:gpm)

(a)1997年10月21—25日,(b)2005年10月11—15日,
(c)1994年10月16—20日,(d)2014年10月11—15日

Fig. 1 The four typical average pentad geopotential height fields on 500 hPa of strong cold air affecting Gansu in spring (Unit:gpm)

(a) from 21 to 25 October 1997, (b) from 11 to 15 October 2005,
(c) from 16 to 20 October 1994, (d) from 11 to 15 October 2014

4 结论与讨论

(1)1981—2015年甘肃省春季强冷空气活动发生频次呈现逐年代持续增多趋势,1980年代最少,21世纪以后明显增多。其中,全省范围和河东地区的强冷空气多出现在3—4月,而河西地区的强冷空气则多出现在4—5月,且河西区域的强冷空气频次是河东区域的两倍。

(2)利用准150 d韵律方法,经相似系数计算及阈值确定,制定的评估标准以及多层筛选方法选出4个针对甘肃省春季强冷空气活动具有天气学意义的典型预报场,且与影响甘肃省寒潮天气过程的3种类型有相似之处,表明这些典型场确实具有一定的代表意义。在同时应用4个典型场做预报的情况下,预报准确率明显提高,空报率降为零,漏报率也大大降低,为甘肃省春季强冷空气的延伸期预报提供了新的预报途径。

由于准150 d韵律方法是以候为单位,目前在延伸期预报中尚不能对强冷空气发生的时间和降温

幅度进行定量化预报。但是,定时、定量化预报是未来气象预报的发展方向,如何在此定性化背景预报的基础上逐步实现定量化预报,仍然需要继续探索。

参考文献:

- [1] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等. 天气学原理和方法[M]. 北京:气象出版社,1981:168-207.
- [2] 伍红雨,杜尧东. 1961—2008年华南区域寒潮变化的气候特征[J]. 气候变化研究进展,2010,6(3):192-197.
- [3] 曾琮,谢炯光. 广东省寒潮、强冷空气的气候特征及与ENSO的关系[J]. 广东气象,2003(1):7-9.
- [4] 康志明,金荣花,鲍媛媛. 1951—2006年期间我国寒潮活动特征分析[J]. 高原气象,2010,29(2):420-428.
- [5] 毛炜峰,陈颖. 1951—2015年乌鲁木齐市寒潮过程频次及强度气候特征[J]. 干旱气象,2016,34(3):403-411.
- [6] 郑玉萍,宫恒瑞. 乌鲁木齐市寒潮气候特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象,2015,9(6):56-61.
- [7] 张俊兰,牟欢,谢菴颖. 北疆寒潮天气分析及预报[J]. 沙漠与绿洲气象,2015,9(6):11-18.
- [8] 马晓青,丁一汇,徐海明,等. 2004/2005年冬季强寒潮事件与大气低频波动关系的研究[J]. 大气科学,2008,32(2):380-394.

- [9] 王阔,封国林,孙树鹏. 基于2008年1月中国南方低温雨雪冰冻事件10—30 d延伸期稳定分量的研究[J]. 物理学报,2012,61(10):109201-1-10.
- [10] 邵宇翔,李周. 一次寒潮背景下降水相态变化特征分析[J]. 气象与环境科学,2016,39(1):89-95.
- [11] 张备,尹东屏,孙燕,等. 一次寒潮过程的多种相态降水机理分析[J]. 高原气象,2014,33(1):190-198.
- [12] 牟欢,赵克明. 2010年春季新疆一次寒潮天气过程分析[J]. 沙漠与绿洲气象,2011,5(4):35-39.
- [13] 牟欢,于碧馨,张俊兰. 新疆“4·23”强寒潮降温特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象,2016,10(3):59-65.
- [14] 李晓霞,樊晓春,李奇三,等. 2014年春季甘肃河东地区一次大范围雨雪降温天气过程分析[J]. 干旱气象,2016,34(2):317-325.
- [15] 殷雪莲,郭萍萍,修韶宇. 河西走廊中部2010年春季异常低温雨雪天气特征及其防御[J]. 干旱气象,2012,30(3):415-420.
- [16] 申李文,苗爱梅,赵建峰. 2011年山西省一次连续性降雪过程成因分析[J]. 气象与环境科学,2013,36(1):7-14.
- [17] 林纾. 季以上尺度预报春季区域性沙尘暴过程的方法研究[J]. 中国沙漠,2006,16(3):478-483.
- [18] 林纾,惠志红,郭俊琴,等. 150天韵律方法月内过程预测系统简介及应用检验[J]. 气象科技进展,2013,3(5):48-51.
- [19] 顾骏强,施能,薛根元. 近40年浙江省降水量、雨日的气候变化[J]. 应用气象学报,2002,13(3):322-329.
- [20] 徐国昌,白肇烨. 西北天气[M]. 北京:气象出版社,1991:379-384.

Temporal and Spatial Distribution Characteristics of Strong Cold Air and Exploration of Extended Period Prediction in Gansu in Spring During 1981 – 2015

LIN Shu^{1,2}, LI Danhua¹, LU Guoyang¹, LIU Weiping¹

(1. Northwest Regional Climate Center, Lanzhou 730020, China;

2. Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Key Laboratory of Arid Climatic Change and Disaster Reducing of China Meteorological Administration, Lanzhou 730020, China)

Abstract: Based on the daily minimum temperature data of 77 weather stations in spring in Gansu Province and daily geopotential height field on 500 hPa during 1981 – 2015, the temporal and spatial distribution characteristics of strong cold air affecting Gansu in spring were analyzed. And on this basis the extended period prediction of strong cold air in spring in Gansu was explored by using the quasi 150 – day rhythm method. The results show that the frequency of strong cold air in spring in Gansu was the lowest in the 1980s, and it increased obviously since 2000. The strong cold air in whole province and Hedong area of Gansu mainly appeared in March and April, while in Hexi area it tended to occur in April and May, and the frequency of strong cold air in Hexi area was two times of that in Hedong area. The evaluation criteria and multilayer screening method were established by calculating similarity coefficients and determining of thresholds, and then four typical fields of weather forecast to strong cold air in spring in Gansu were selected. In the case of combining four typical forecast fields, the prediction accuracy improved obviously, the null rate of forecast reduced to zero, and the omission rate reduced greatly, which provided a new prediction way for the extended period forecast to strong cold air in Gansu.

Key words: spring; strong cold air; extended period prediction