

倪江波,李文才,尚可政,等. 华北区域性低能见度天气的自动识别及预报[J]. 干旱气象, 2015, 33(1): 174-179, [NI Jiangbo, LI Wencai, SHANG Kezheng, et al. Automatic Identification and Prediction of Low Visibility Weather in North China[J]. Journal of Arid Meteorology, 2015, 33(1): 174-179], doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2015)-01-0174

华北区域性低能见度天气的自动识别及预报

倪江波^{1,2}, 李文才³, 尚可政¹, 王式功¹, 李德帅¹

(1. 兰州大学大气科学学院, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国人民解放军93582部队, 山西 忻州 035400; 3. 中国人民解放军92493部队中心气象台, 辽宁 葫芦岛 125000)

摘要:利用2002~2011年的能见度观测资料以及NCEP格点资料,采用天气学方法研究了华北地区的低能见度天气过程。结果表明:造成研究区域低能见度的500 hPa天气形势可分为3种类型:2槽1脊型、低槽型、纬向气流型;用特征物理量作为这3种天气型的入型判据,建立了华北区域性低能见度天气的自动识别系统;并在此基础上,利用K指数、露点温度差以及500 hPa和850 hPa的假相当位温差等天气诊断物理量,进行第二次判别,进一步消空,最后制作低能见度天气预报。利用以上建立的预报方案,对2002~2011年进行冬半年逐日回代检验,预报准确率达到78%左右;对2012年的试预报结果为:出现3 d区域性低能见度天气过程完全报对,试验结果表明预报方法达到了较好的效果。

关键词:低能见度;天气形势;槽脊自动识别;物理量诊断

文章编号:1006-7639(2015)-01-0174-06 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2015)-01-0174

中图分类号:S166

文献标识码:A

引言

雾是造成大范围低能见度天气的主要原因。雾对交通运输有严重影响,会造成旅客滞留、高速公路关闭、机场停飞等。雾对飞行的影响最为严重,尤其是在飞机的起飞降落过程中。每年秋冬季节,华北平原及鲁西地区水汽含量相对较高,在特定气象条件下,容易产生大范围长时间的低能见度天气,对该地区人们的健康以及经济都会造成严重危害。因此研究这些地区的低能见度天气有非常重要的意义。

对能见度的预报,张德山等^[1]通过分析影响首都机场高速公路能见度的6种典型地面天气形势场,确定大气稳定度、低层水汽含量、低空大气中悬浮颗粒物3个基本气象要素作为预报因子,预报准确率在70%左右;樊琦等^[2]利用MM5模式对广州地区冬季的一次大雾天气进行了数值模拟研究;陈锋立等^[3]利用WRF模式对西安地区一次冬季平流辐射雾过程进行了数值模拟分析;刘小宁等^[4]对全

国雾的分布以及气候特征分析得出,温、湿等气候因子的变化以及人类活动引起的空气质量和生态环境的改变,与区域性浓雾日数的变化密切相关;李沛等^[5]利用神经网络逐级分类建模方法预报北京能见度,预报准确率远优于回归预报的方法;马学款等^[6]采用动态学习率BP算法的人工神经网络对重庆市区能见度进行了拟合和预报检验,通过引入M指数、Ri数、凝结核和辐射状况等诊断因子,并考虑降水对地面湿度干扰影响的消空,以及对相关数据的技术处理,提高网络的拟合精度,对重庆的预报取得了较高的准确率;管琴等^[7]利用中尺度数值预报模式MM5对山西省2009年发生的几场典型雾个例进行数值模拟,并利用实测资料订正模式预报误差,给出订正后的能见度预报方程并以2次实例对区域及太原雾天能见度进行预报,表明该模型有一定的适用性。日常的预报业务中天气学方法仍是做能见度预报的重要手段,因为相似的天气过程通常造成相似的天气现象,在参量检验过程前如果能找到发

收稿日期:2014-04-21;改回日期:2014-06-16

基金项目:北京市科委首都蓝天行动培育专项(Z141100001014013)、国家人口与健康科学数据共享平台(交通安全与健康出行气象保障服务专题)和兰州大学中央高校基本科研业务费专项(lzujbky-2013-m03)共同资助

作者简介:倪江波(1988-),男,汉族,山西运城人,硕士研究生,研究方向为现代天气预报技术和极端天气气候。E-mail:446713215@qq.com

通讯作者:尚可政(1960-),男,甘肃景泰人,博士,硕导,主要从事干旱气候和现代天气预报技术和方法研究。E-mail:shangkz@lzu.edu.cn

生低能见度的天气形势,排除掉大部分不会造成低能见度天气的天气形势,可以达到提高预报准确率的效果。

目前在业务预报中,对天气型进行划分时主观性、经验性较强,而利用槽脊客观、自动识别的方法对能见度进行预报研究的较为少见。对天气形势的识别过程,如果采用系统自动识别技术,就可以利用数值预报产品直接对天气现象做出预报。系统识别的方法很多,本文采用旨在研制天气系统的自动识别方法,在此基础上与物理诊断方法相结合,以期为华北平原及鲁西地区天气的分析和预报提供科学依据。

1 资料及方法

1.1 资料

常规地面观测资料的时间段为2002~2011年,时间间隔为3h,包括能见度、温度、湿度等气象要素。高空资料采用NCEP $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 的资料,时间间隔6h。

研究区选定为 $112^\circ\text{E} \sim 118^\circ\text{E}, 36^\circ\text{N} \sim 40^\circ\text{N}$ 华北平原及鲁西地区的222个站点,站点的位置如图1所示。研究区域内,气象站的海拔高度均低于1000m,都处在东亚季风影响的范围,相对湿度变化范围基本相同,气候背景相近,在相同的天气形势下多出现相近的天气现象。

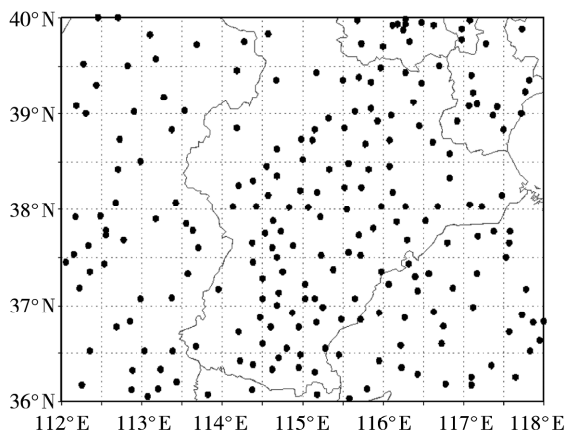


图1 研究区222个站点分布

Fig. 1 The distribution of the 222 selected sites

通常业务单位规定单站低能见度为日最低能见度 $< 1\text{ km}$,本文规定区域性低能见度日为研究区内出现74个及以上(超过总站点数222个的1/3)站点,且有3个以上相邻站点在同一天中出现了能见度 $< 1\text{ km}$ 为1个低能见度日。

1.2 槽脊及高低压中心自动识别基本原理

(1) 高低压中心识别

对于高低压中心,采取9点最小及25点最小识别方法,可以定出高低压中心^[8]。

(2) 槽脊的识别

首先,划定一个矩形区域,区域的大小近似为一个长波槽的长和宽,目的是保证在区域内只有一个槽或者脊,防止在识别过程中由于多槽脊的存在而相互干扰,这样可以更精确地识别出槽或者脊。本文定义变量:

$$u(i) = \frac{hgt(i-2) + hgt(i+2) - 2hgt(i)}{\cos^2(\varphi)} \quad (1)$$

式中 i 是 x 方向的格点序号, $u(i)$ 是地转涡度在 x 方向的二次偏导数的差分运算值乘上一个系数,代表了等高线的弯曲程度, $hgt(i)$ 是某一格点的位势高度,采取隔一个格点,取中间差值。其中 φ 是该格点所在纬度,因为不同纬度之间格点之间的距离不同,采取中间差值的时候除以它的平方。

在某一条纬度上,求出给定区域内所有 $u(i)$,找出正的最大值记作 u_{\max} ,并记录 u_{\max} 所在的经纬度,这样 u_{\max} 的经纬度是 $(lon1(i), lat1(i))$;找出该纬度上负的最小值,记作 u_{\min} ,并记录它的位置为 $(lon2(i), lat2(i))$ 。如果该条纬度上 u_{\max} 绝对值 $> u_{\min}$ 的绝对值,即可以认为该纬度上有明显的槽;反之则有明显的脊。

当出现5条有明显槽的纬线时,且其中任意连续的2条满足:(1) $u_{\max} > \text{阈值} f_0$; (2) 2条有明显槽的纬线相邻时,其所在经度差阈值在 f_2 之内;不相邻时,纬度差阈值在 f_1 之内,经度差阈值在 f_3 之内;且连续3条有明显槽的纬线纬度差阈值在 f_4 之内,经度差阈值在 f_5 之内。

阈值在不同区域内大小不同,海面上槽脊明显且整齐,阈值 f_0, f_1, f_2, f_3, f_4 相应较小,但是陆地上受陆地高低起伏影响,阈值相对较大。 f_0, f_1, f_2, f_3, f_4 是格点宽度的整数倍,具体确定过程要不断修改阈值,直到程序能够识别出明显的槽脊。

以上是对竖槽的识别,对于横槽识别,采用沿经度运算,运算方法与求竖槽相似,定义:

$$v(j) = hgt(j-2) + hgt(j+2) - 2hgt(j) \quad (2)$$

式中 j 是 y 方向的格点序号,沿南北方向运算时,纬距间隔是相等的。阈值的确定方法,与求竖槽类似。

2 华北低能见度分型及自动识别

华北2002~2011年间共出现105个低能见度日,平均每年10次(表1),全部集中在冬半年,普查

表 1 2002~2011 年低能见度出现的天数

Tab. 1 The days with low visibility from 2002 to 2011

年份	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	平均
天数/d	14	11	11	5	14	27	2	14	1	6	10

这些低能见度日过程发现全部是由雾引起的。依据客观识别方法,将 70 个低能见度个例进行了天气学分型。

2.1 2 槽 1 脊型

500 hPa 图上,40°E~80°E,30°N~80°N 和 120°E~150°E,20°N~60°N 分别为明显的槽区,80°E~120°E,30°N~80°N 为明显的脊区(图 2),这种形势能够引起华北长时间的低能见度天气^[9],是造成华北大范围低能见度的主要天气形势。由于华北位于槽后,在这种天气形势控制下,没有强冷空气活动,高空主要是下沉气流,下沉气流增温有利于低层形成逆温层,容易造成低层大雾的出现。2002~2011 年间,在这种形势场下华北出现低能见度天气 57 d,占 55%。

2 槽 1 脊型的自动识别标准和步骤:

(1) 检验 40°E~80°E,30°N~80°N 是否有明显槽,该区有超过连续 5 条有明显槽的纬线,5 个阈值取值: f_0 为 40, f_1 为 5, f_2 为 5, f_3 为 10, f_4 为 7.5;

(2) 检验 80°E~120°E,30°N~80°N 是否有明显脊,该区有超过连续 5 条有明显槽的纬线,5 个阈值取值: f_0 为 25, f_1 为 5, f_2 为 5, f_3 为 10, f_4 为 10;

(3) 检验 40°E~80°E,30°N~80°N 是否有明显槽,该区有超过连续 5 条有明显槽的纬线,5 个阈值取值: f_0 为 58, f_1 为 5, f_2 为 5, f_3 为 7.5, f_4 为 7.5。

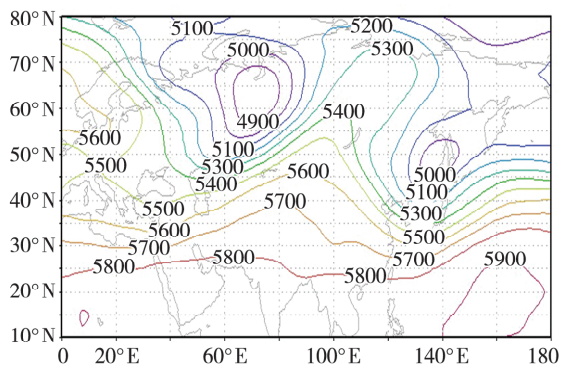


图 2 2 槽 1 脊型的 500 hPa 形势(单位:gpm)
(2002 年 12 月 10 日 08 时形势)

Fig. 2 The situation of two trough and one ridge type on 500 hPa (for 08:00 December 10, 2002) (Unit:gpm)

2.2 纬向气流型

500 hPa 上在 80°E~120°E,40°N~80°N 往往存在一个大低压,欧洲为高压脊区,中纬度为平直的纬向平流(图 3)。中纬度的纬向平流以及高空下沉气流使得低层层结稳定,在这种形势场下华北出现低能见度天气 27 d,占 26%。

纬向气流型的自动识别标准和步骤:

(1) 检验 80°E~120°E,40°N~80°N 是否有明显低压中心,且中心位势高度低于 5 100 gpm;

(2) 该区没有明显的槽脊,对于脊的识别同对 2 槽 1 脊型脊的识别阈值相同;对于槽识别时,阈值取值: f_0 为 40, f_1 为 5, f_2 为 5, f_3 为 7.5, f_4 为 10。

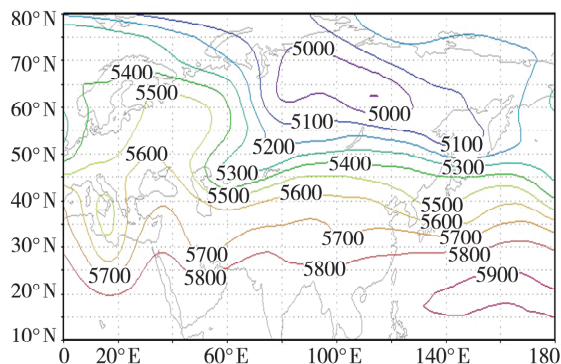


图 3 纬向气流型 500 hPa 天气形势(单位:gpm)
(2002 年 12 月 2 日 08 时形势)

Fig. 3 The situation of zonal flow type on 500 hPa
(for 08:00 December 2, 2002) (Unit:gpm)

2.3 低槽型

500 hPa 上 100°E~120°E,25°N~60°N 有明显槽区,地面上华北处于槽前(图 4)。该型主要和平流雾有关^[10]。也有在大雾出现前 2 d 内出现过降水,地面水汽较大,地面冷锋过后,地表温度下降,高空仍处于槽前,此时层结稳定,地面水汽遇冷凝结容易形成大雾天气。这种形势往往造成 1~2 d 大范围的低能见度天气。这种形势场下华北出现低能见度天气 20 d,占 19%。低槽型的自动识别标准和步骤:检验 100°E~120°E,25°N~60°N 是否有明显槽。阈值的取值同纬向气流型,判别槽时阈值相同。

2.4 天气形势的自动识别结果

用槽脊自动识别方法筛选出 2002~2011 年中

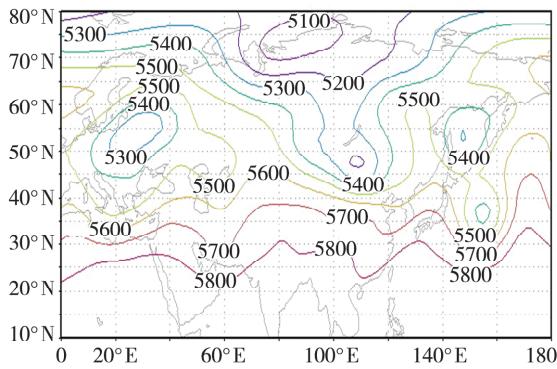


图 4 低槽型 500 hPa 天气形势(单位:gpm)
(2002 年 4 月 6 日 08 时形势)

Fig. 4 The situation of low trough type on 500 hPa
(for 08:00 April 6, 2002) (Unit:gpm)

出现 2 槽 1 脊形势的情况,统计结果见表 2。发现 2 槽 1 脊型环流形势下出现的低能见度天气主要发生在 9 月至翌年 3 月,因此只对这几个月出现的 2 槽 1 脊型进行检测。漏掉的是一次仅持续 1 d 的低能见度天气,一般来说对连续造成多天低能见度天气的 2 槽 1 脊型情况,漏掉的概率较小。但是并非满足 2 槽 1 脊形势就会造成华北大范围的低能见度天气,后面还要通过指数的检验来判断是否该形势满足造成华北大范围低能见度的条件。

表 2 自动识别出的 2002 ~ 2011 年冬半年
华北低能见度天气型出现的天数

Tab.2 The low visibility days caused by different
situation which identified by automatic
identification system in North China in
winter half year from 2002 to 2011

天气型	自动识别出 的天数/d	其中低能见 度出现天数/d	漏掉的能见 度天数/d
2 槽 1 脊型	157	57	
纬向气流型	105	27	1
低 槽 型	141	20	
合 计	403	104	1

在排除 2 槽 1 脊形势后,对纬向气流型进行检验,系统检验出 10 a 中纬向气流型天气出现次数较多,但是造成低能见度天气的次数较少。

在排除 2 槽 1 脊型和纬向气流型的情况下,检验 100°E ~ 120°E, 25°N ~ 60°N 是否有明显的槽区出现。

对于槽脊的识别效果,主要在于对几个参数的调节,程序中不做单个槽脊识别检验,但要求槽脊识别能够尽量多的包括满足某形势低能见度天气而尽

量少的包括其他天气。例如对满足低槽型的检验,尽量把满足低槽型的低能见度天全部包括,而尽量少的有其他不满足低槽型的天气。

3 物理量诊断

天气现象发生与否,环流形势仅仅提供了大尺度的背景场^[11],具体发生与否,还取决于物理量是否满足。通过天气分型识别,发现仅依靠天气形势,低能见度的空报率较高,所以要选择合适的物理量进一步诊断。

3.1 K 指数

K 指数定义为:

$$K = (T_{850} - T_{500}) + T_{d850} - (T - T_d)_{700} \quad (3)$$

K 指数计算式中第一项表示温度的垂直直减率,第二项表示低层水汽条件,第三项表示中层饱和程度,所以它能够反映大气的层结稳定情况,K 指数越大,层结越不稳定。一般来说,大雾发生时层结都有很好的稳定性,且低层要达到一定的水汽含量,统计出现低能见度日时研究区域的 K 指数,结果显示大雾发生时段,K 指数一般都 < 10。

3.2 水汽

统计各种天气要素与能见度的相关性分析,发现华北地区能见度与温度露点差的相关性最好,达到了 0.47,且通过了 $\alpha = 0.05$ 的显著性水平检验。这也说明了水汽条件是影响能见度的一个非常重要的因素。其他各因素相关性较好的还有地面气压,相关系数 0.27,24 h 变温、变压相关系数分别为 0.25 和 0.16,其他要素的相关系数都比较弱。

检验华北低能见度天气的温度露点差发现,对于 2 槽 1 脊型天气,温度露点差相对比较小,一般在 1.0 ~ 3.0 °C,其中有一天超出 4.0 °C 的范围达 4.6 °C;纬向气流型低能见度天温度露点差在 1.0 ~ 4.0 °C 之间,因此对通过该型检验的天气,也要求温度露点差 < 4.0 °C;低槽型温度露点差相对比较大一些,主要在 2.0 ~ 5.0 °C 之间,其中有超过 5.0 °C 的可以达到 5.3 °C 以及 7.0 °C。主要原因是此类天气形势下内陆几个测站比较干燥,而沿海的一些测站由于平流雾造成大范围的低能见度天气,因此平均下来温度露点差会比较大。因此对于低槽型天气,只要要求温度露点差 > 7.0 °C。

由于温度露点差与能见度良好的相关性,以及大雾发生时温度露点差都较小,因此温度露点差可以作为判别低能见度天气的一个重要标准,大部分满足天气型但是没有发生大范围低能见度天气的个例都可以用温度露点差进行剔除。

3.3 假相当位温差 $\Delta\theta_{se}$

大雾发生时不仅要求层结稳定,而且对能量场也有要求。规定 $\Delta\theta_{se}$ 为 08 时 850 hPa 的 θ_{se} 与 500 hPa 的 θ_{se} 差值,即: $\Delta\theta_{se} = \theta_{se500} - \theta_{se850}$, 统计研究区域内的 $\Delta\theta_{se}$ 和华北低能见度的关系发现,一般发生低能见度天气时, $6.0\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \Delta\theta_{se} \leq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, 说明低能见度天气不仅需要一定的稳定度而且需要适当的能量场。可以用此方法对通过天气形势检验、K 指数检验、水汽检验的天气做进一步的非低能见度天气的排除。

4 华北低能见度预报流程

4.1 低能见度天气系统识别步骤

(1) 通过槽脊自动识别系统判别是否出现低能见度天气的基本天气形势;

(2) 对满足低能见度的天气型,进行相关的物理量诊断,剔除不满足低能见度条件的样本。

流程见图 5。

4.2 对 2002 ~ 2011 年低能见度天气进行回代检验

对通过天气分型得到的 403 个样本,进行物理量诊断,结果见表 3。对于 2 槽 1 脊型,预报效果较好,漏报率较低,空报率也较低,漏报出现在假相当位温的判别过程中;纬向气流型漏报稍高,但空报率比较低;低槽型的预报效果与 2 槽 1 脊型以及纬向气流型预报结果相近,漏报率空报率不大。

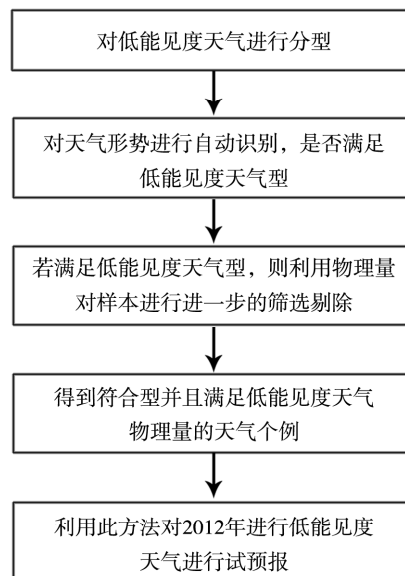


图 5 华北低能见度识别和预报的步骤
Fig. 5 The identification and predication steps of low visibility day in North China

4.3 对 2012 年的低能见度天气试预报

对 2012 年华北低能见度日进行试预报,判别出满足入型要求的天数 32 d (表 4)。

对以上入型样本进行物理量诊断,得出区域性低能见度的预报结果,并将预报结果与实际出现低能见度天气进行对比(表 5)。结果发现,预报结果与实际完全相符的天数为 3 d;空报为 6 d,这 6 d,出

表 3 天气型识别与物理量诊断结合的 2002 ~ 2011 年间低能见度检测结果

Tab. 3 Low visibility detection results tested by situation identification and physical quantities diagnosis from 2002 to 2011

天气型	出现总天数 /d	3 种物理量都满足			3 种物理量不能同时满足			正确率 /%
		出现低能见度天气/d	空报 /d	空报率 /%	漏报 /d	不出现低能见度天气/d	漏报率 /%	
2 槽 1 脊型	157	52	31	20.3	5	69	4.0	77.1
纬向气流型	105	22	20	20.0	5	58	5.9	76.2
低槽型	141	17	25	18.1	3	96	2.6	80.1
合计	403	91	76	19.5	13	223	4.0	77.9

表 4 2012 年冬半年华北低能见度天气型出现天数

Tab. 4 The low visibility days in North China caused by different situation in winter half year of 2012

天气型	2 槽 1 脊型	纬向气流型	低槽型	合计
天数/d	12	5	15	32

表5 2012年低能见度预报结果与实际对比

Tab.5 The contrast of the actual and forecasted low visibility in 2012 in North China

预报出现低能见度日	1.1	1.2	1.10	2.14	2.15	10.21	10.26	10.27	12.22
实际出现站点数	80	38	122	46	26	28	23	83	14

现低能见度天气的站点数,虽然没有达到74个,但都出现了14个以上,其中有2d超过了37个站点(达到了74的一半)。

5 小结与讨论

(1)华北低能见度天气可以分为3种天气形势,分别是2槽1脊型、纬向气流、槽影响型。

(2)利用取中间差值槽脊识别方法对3种天气型进行识别,但即使相似的天气形势,由于某些物理量的差别也会造成不同的天气现象。

(3)利用K指数、露点温度差以及500 hPa和850 hPa的假相当位温差,分别从稳定度、湿度和能量场3个角度对通过天气型检验的天气做进一步的物理量检验,得到华北低能见度天气。

(4)对2012年的华北低能见度天气做预报,预报结果发现此方法对华北低能见度天气预报效果比较好,达到了比较满意的效果。

存在问题及讨论:(1)槽脊识别系统几个阈值的调节对样本的选取过于敏感,有待进一步改进;(2)在以后的研究中寻找与低能见相关更好的物理量参数,以减少空报率漏报率,提高预报准确;(3)由于利用统计学的方法对低能见度天气分型,建立槽脊自动识别系统和进行物理量检验,因此此方法可能会随着选定区域气候背景的改变准确率发生变

化,因此,应用实际业务时,要考虑气候订正。

参考文献:

- [1] 张德山,魏建明,陈廷良,等.首都机场高速公路能见度预报方法[J].气象科技,2002,30(6):358-361.
- [2] 樊琦,吴兑,范绍佳,等.广州地区冬季一次大雾的三维数值模拟研究[J].中山大学学报(自然科学版),2003,42(1):84-86.
- [3] 陈锋立,王春明,王洋,等.一次大雾天气过程的数值模拟研究[J].气象与环境科学,2011,34(2):31-38.
- [4] 刘小宁,张洪政,李庆祥,等.我国大雾的气候特征及变化初步解释[J].应用气象学报,2005,16(2):220-230.
- [5] 李沛,王式功,尚可政,等.基于神经网络逐级分类建模的北京地区能见度预报[J].兰州大学学报(自然科学版),2012,48(3):52-57.
- [6] 马学款,蔡芎宁,杨贵名,等.重庆市雾的天气特征分析及预报方法研究[J].气候与环境研究,2007,12(6):795-803.
- [7] 管琴,李青平,黄铃光,等.太原雾天能见度预报[J].气象与环境学报,2013,29(4):47-53.
- [8] 孙晓娟,王盘兴,郭栋,等.蒙古高压若干环流指数及与我国冬温异常相关的分析和比较[J].高原气象,2010,29(6):1493-1500.
- [9] 万瑜,曹兴,窦新英,等.2011年12月乌鲁木齐市一次大雾天气成因[J].干旱气象,2013,31(2):383-389.
- [10] 汤鹏宇,何宏让,阳向荣.大连海雾特征及形成机理初步分析[J].干旱气象,2013,31(1):62-69.
- [11] 李霞,王胜利.1980-2007年新疆地区能见度的变化特征及其影响因子研究[J].沙漠与绿洲气象,2012,6(3):14-20.

Automatic Identification and Prediction of Low Visibility Weather in North China

NI Jiangbo^{1,2}, LI Wencai³, SHANG Kezheng¹, WANG Shigong¹, LI Deshuai¹

- (1. College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;
2. 93582 Troop, People's Liberation Army of China, Xinzhou 035400, China;
3. 92493 Troop, People's Liberation Army of China, Huludao 125000, China)

Abstract: By using the data of the visibility observations and NCEP reanalysis data during 2002-2011, the processes of low visibility weather in North China has been studied. The results show that the circulation situation on 500 hPa that caused low visibility weather in studied area could be divided into three types including two troughs and a ridge type, low trough type and zonal flow type, and the automatic identification system could be established to recognize the three weather types and eliminate other situations from these three types. On this basis, the use of K-index, the dew point temperature difference and pseudo-equivalent potential temperature difference between 500 hPa and 850 hPa gave a further physical diagnosis, and at last the forecast of low visibility weather could be obtained. The low visibility weathers occurring in North China in 2012 were forecasted by using the method mentioned above, the results show that the prediction effect of this forecast method was fine.

Key words: low visibility; weather situation; automatic identification of trough or ridge; physical quantity diagnosis