

高空基本影响天气系统定量化自动分析研究

胡文东^{1,2} 黄小玉³ 赵光平^{1,2} 郑广芬^{1,2} 王承伟⁴ 丁建军²

(1. 宁夏气象防灾减灾重点实验室, 银川 750002; 2. 宁夏气象台;
3. 湖南省气象台; 4. 黑龙江省气象中心)

提 要: 为了满足数值预报产品等多种参考信息不断丰富情况下,高时空分辨率精细化预报的具体需求,针对气象业务中通用的 MICAPS 格点文件数据格式,在等值线分析进行高空天气系统分析的基础上,从高空天气系统的定义出发,使用矢量分析方法,建立了确定数据场内任意预报点影响系统判识、计算考察点到影响系统距离、影响系统强度、系统移动变化、急流强度等不同定量化参数的算法。使用 Visual Basic 语言,针对中国北方沙尘暴和南方强冷空气活动高空基本影响天气系统,进行了定量参数自动分析试验,结果表明具有较好的分析效果。这一算法具有良好的业务适用性,为建立自动预报系统、提高业务预报自动化水平提供了算法基础。

关键词: MICAPS 天气系统 定量化 自动分析

Study on Quantitative Auto-Analysis of Upper Air Primary Weather System

Hu Wendong^{1,2} Huang Xiaoyu³ Zhao Guangping^{1,2}
Zheng Guangfen^{1,2} Wang Chengwei⁴ Ding Jianjun²

(1. Key Laboratory of Meteorological Disaster Preventing and Reducing in Ningxia, Yinchuan 750002;
2. Ningxia Meteorological Observatory; 3. Hunan Meteorological office; 4. Heilongjiang Meteorological Center)

Abstract: In order to meet the demand of high spatial-temporal resolution operational forecast under the situation of abundant NWP products, based on the former recognizing study about upper air primary system with contour analysis method, targeting the MICAPS format grid data, using the vector analysis, the algorithms of quantitative parameters for a certain point were setup such as the distance to the affecting weather system, the intensity, the moving direction and velocity, the temporal changing rate of the system, the relative position to that system, the location of the jet and the jet intensity also. The quantitative auto-analyzing software for upper air major weather

基金项目:国家自然科学基金 40575048,中国气象局 B-072,湖南省气象局重点科研项目 022 共同资助。

收稿日期:2007年3月12日; 修定稿日期:2008年3月15日

systems was developed with visual BASIC language. The experiment on sandstorm in northern part of China and cold air activity in southern China shows that the algorithm is effective with high accuracy. The algorithm provides a good basis for developing automatic forecast system and to rise the modernization level for objective forecast.

Key Words: MICAPS primary weather system quantification automatic analysis

引 言

在精细化预报需求日益提高的情况下,灾害性天气预报的时效性要求相当紧迫^[1-2]。由于数值预报模式与信息技术的发展,业务部门获取的预报产品信息量迅速增加,预报能力与时、空分辨率大幅度提高。一方面种类繁多、数量巨大的预报产品为提高预报能力打下了良好的基础;另一方面对高效分析处理诸多信息,在有限时间内迅速完成预报工作提出了新的挑战,仅仅依靠传统的人工方式难以实现以数值预报产品为指导的高效天气预报。目前国内相继开发建立的预报系统,大多采用人机交互与自动运算相结合的工作方式。在自动运算中以逐点对应的MOS预报思路居多,难以全面反映形势场特征,形势场的定量化特征尤其突出。

天气形势分析一直是预报业务的关键。进行天气形势场定量化自动分析研究,不仅对实现以数值预报为基础的高效客观预报具有至关重要的意义,而且对于其他业务轨道的建立也具有积极作用。

在计算机自动识别天气图方面,气象科技工作者已经进行了一些尝试^[3-12],但对天气系统的自动分析多年来仍然相对不足,其困难在于:1. 形势分析受到天气学理论的严格约束,2. 业务数据不够规范。胡文东等从天气学原理出发,提出了基于等值线分析的天气系统类别自动识别方法,以此方法进行沙尘暴高空影响系统试验取得了成功^[13],表明以天气学理论为出发点的天气系统识别切

实可行。自从中国气象局气象信息综合处理系统(MICAPS)投入业务应用以来,气象业务资料格式实现了规范化,不仅为天气系统的自动化分析提供了有利条件,而且为提高业务自动化水平开拓了空间。目前,进行天气形势场自动分析研究的条件已经成熟。

在基于等值线分析的天气系统类别自动识别方法基础上,本文针对MICAPS系统格点数据,进行天气系统定量分析研究。针对数据场内任意一点,提出可有效确定高空影响天气系统相对位置、距离、急流与影响系统移向、移速及变化强度等定量参数的算法。将识别问题从逐点图像分析转化为矢量图形分析,处理效率与识别准确率进一步提高。

1 根据天气学原理进行天气系统判识的基本思路

根据槽、脊等天气系统定义,在等值线分析基础上,分别在各条等值线上确定特性点,进行滤波、逻辑判别等处理,获得天气系统可能的节点。根据相邻各等值线槽、脊间的相互关系,对槽、脊的位置进行初步分析。根据天气学理论,按照天气系统基本规则确定相应的算法,对可能的槽、脊节点逐一进行判识运算,确定合理的槽、脊线^[13]。

对闭合系统,通过检索每条闭合等值线,确定嵌套关系,从而掌握每组嵌套等值线的向心增、减规律;由不同分布情况分别判定高、低中心。对最内层闭合等值线的端点位置进行几何平均,确定高、低值中心位置^[13]。

2 某处的影响系统判识与相对距离、相对位置计算

2.1 某考察点的影响系统

判识某点的影响系统,需要计算该点与各天气系统距离,取距其最近的上游系统为影响系统。

天气系统在图形表示上由不同线段组成,某考察点到天气系统的距离就是距这些线段的最小距离。必须注意:某点对线段的距离不一定等同于此点对该线段所在直线的距离。当线段远离此点,且两端点与该点所夹角度符号相同、数值较小时,两者相差很大。如图 1 所示,点 a 到 bc 所在的直线距离为 ad ,与其到线段 bc 的距离差距很大。

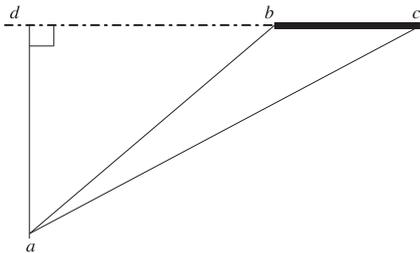


图 1 a 点到线段 bc 的距离与其到线段所在直线的距离

计算某点到槽脊天气系统的距离,应计算该点到槽脊线上各节点以及距该点最近两个节点所在直线的距离。

2.2 某考察点相对天气系统的距离与位置

对于闭合的影响系统,以考察点到闭合系统中心点的距离为相对距离。

对于槽脊系统,分别计算较近节点到考察点的距离,以及最近两节点所在直线到考察点的距离。这时会出现两种情况:如果考察点到两个选定节点的连线分别位于考察点到节点所在直线垂线的两侧,则取考察点到

两节点所在的直线距离为相对距离;反之取该点到最近节点的距离。节点在垂线的哪一侧由矢量叉乘判识确定,详见 2.2.2 的分析。

2.2.1 距离的计算

计算任意点到已知两点所在直线的距离可以用解析几何方法,但较为繁琐。在计算机屏幕上根据各已知点坐标,用矢量分析法计算更为简便。

设槽、脊线距考察点 c 最近的一段为线段 ab ,由节点 a 到节点 b 作矢量 ab ,由节点 a 到考察点 c 做矢量 ac 。由矢量分析可知,矢量 ab 与 ac 叉乘 $ab \times ac$ 的模为三角形 abc 构成面积的 2 倍。 c 点到线段 ab 的距离是三角形 abc 的高,可通过其面积除以底边得到,即 $ab \times ac$ 的模除以 2 再除以矢量 ab 的模(图 2a)。

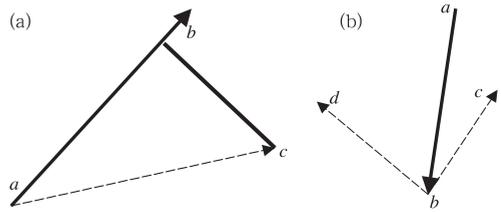


图 2 相对距离计算(a)与相对位置判别计算(b)

2.2.2 考察点与系统相对位置的判识

相对位置可由矢量的叉乘结果判识。

由等值线分析、槽脊分析可确定等值线及槽脊节点的顺序,从而可以确定槽脊系统上各节点的记录顺序为:由低值等值线节点到高值等值线节点。在图 2b 中,设槽脊线为 ab ,其构成的矢量 ab 在西风带系统中一般应向右(东)移动。由点 b 到系统前方考察点 c 可构成矢量 bc ,在右手坐标系中上述矢量叉乘为 $ab \times bc$,所得矢量的 k 方向应为正值。即在此种算法中,系统前方点在结果矢量中 k 方向应为正值;反之,对系统后方点 d ,叉乘结果矢量的 k 方向应为负值。如果所得为 0 矢量,则表明当前考察点正处于影响天气

系统之上,与影响系统相距为 0。

对于横槽,矢量 ab 方向由东向西,随着冷空气的南下运动,前进方向也是其右(南)方,判别方法与其它槽脊相同,可采用上述算法。

如果某 c, d 两点在矢量 ab 的同一侧,利用上述方法,则两点判别结果之积为正。反之若 c, d 两点分别在矢量 ab 两侧,则两点判别结果之积为负。这一方法可用于 2.2 节点垂线位置的判别。

对闭合系统的位置识别较为简单,只需比较闭合系统中心点与考察点的坐标即可。

2.3 天气系统强度的表示

对闭合天气系统,闭合中心极值是系统强度的直接体现。由最内层等值线的 4 个端点确定其中心位置,以此位置对应的数据点为中心,与其相邻点一道分别取最大和最小值,确定为闭合天气系统强度。

槽、脊的深浅是移动性天气系统强度的直观表示,可由每条槽、脊线的起点和终点坐标计算。

在预报实践中,仅依靠槽脊的深浅判定天气系统的强弱有时还不能满足业务需求。冷空气的堆积程度、暖脊的阻挡能力、引导气流的方向等也非常重要。这些参数可以通过同一条等值线上相邻槽脊节点构成线段的斜率表示。正值越大、负值越小则系统的天气影响越强。

2.4 急流强度指标

槽区附近易产生急流。根据天气学原理,计算每个槽各相邻节点间的位势梯度,可作为槽线上各段的急流强度指标,并由相邻节点的中点作为急流位置的参数。

2.5 天气系统的变化情况

在系统判别过程中,分别记录每个天气系统的类别、编号和位置^[13]。根据相邻两个时刻系统位置与强度的变化,可计算出天气系统的移向、移速及加强、减弱情况,从而为业务预报提供所需的定量信息。

3 定量化自动分析试验

针对 2000—2006 年位于中国西北的宁夏、东北的黑龙江共 42 次典型沙尘天气过程,和中南部湖南的冬季强冷空气活动 40 次典型过程,利用过程发生前 12~24h 和 0~12h 的 500hPa 亚欧范围位势高度场,分别以银川、哈尔滨、长沙为考察点,共针对 328 个影响系统,对相对位置、距离以及系统移向、移速、强度变化、急流位置和强度进行试验,并与人工纸上分析、计算进行对比,结果如表 1、2 所示。

对比试验表明,与人工纸上分析计算相比,相对固定点影响系统识别正确率平均为

表 1 2000—2006 年北方典型沙尘与强冷空气过程高空影响天气系统定量自动分析结果

天气系统	影响系统位置(次数)	参数	相对距离计算(km)	系统移向(°)	系统移速(km/12h)	强度变化(10gpm/12h)	急流位置(km)	急流强度(m/h)
总数	168	最大误差	41	35	13	9	65	8
正确数	161	最小误差	2	1	1	0	0	0
正确率	96%	平均误差	6.5	8.2	1.6	1.3	12.3	3.1

表 2 2000—2006 年南方典型强冷空气过程高空影响天气系统定量自动分析试验结果

天气系统	影响系统位置(次数)	参数	相对距离计算(km)	系统移向(°)	系统移速(km/12h)	强度变化(10gpm/12h)	急流位置(km)	急流强度(m/h)
总数	160	最大误差	51	34	15	11	68	10
正确数	134	最小误差	2	3	2	1	2	1
正确率	84%	平均误差	6.9	10.4	2.1	1.7	22.3	4.1

84%~96%。虽然在某些情况下定量化参数的最大误差相对较大,但平均误差均较小,效果比较理想。

对比中国北方和南方所选过程高空影响系统的定量分析表明,北方的试验效果均好于南方。其原因在于,中国北方所选过程主要受中高纬度天气系统影响,而南方还同时受到热带、中低纬度系统影响,形势相对更为复杂。

微机试验表明,利用本算法相应软件,针对高空位势场,可以立即计算确定某点的影响天气系统、相对于影响系统的位置、距离、影响系统强度、急流位置、急流强度等相关定量化参数,为业务天气分析、预报提供识别产品。与人工纸面分析计算相比,定量化分析效率大幅度提高。

本算法从天气学原理出发,根据天气系统定义进行定量化分析,物理意义明确,概念清晰。针对业务通用的 MICAPS 系统格式数据文件,具有良好的应用前景。经过进一步改进完善后,在精细化预报业务量巨大的业务中心与其它工具配合使用,可望有效缓解巨大数据量预报信息分析处理的压力、提高综合预报的自动化水平。

4 小 结

本文针对 MICAPS 的网格点数据,以高空位势高度场为例,在基于等值线分析的天气系统类别自动识别方法基础上,完成了以下算法分析、软件开发工作:

(1) 通过对比计算上游天气系统的距离,确定任意考察点的影响系统及相对距离。

(2) 使用矢量分析方法,针对不同情况经过逻辑判别,建立了数据场内任意考察点影响系统距离计算、确定考察点相对影响天气系统前后位置的算法。

(3) 根据业务需求,提出了确定天气系统强度、系统移向、移速与强度变化、急流位置与强度的算法。

(4) 使用 Visual Basic 语言,在业务工作平台上开发了相应的沙尘暴高空基本影响天

气系统自动分析可视化应用软件。

(5) 对 2000—2006 年宁夏、黑龙江典型沙尘过程 42 次和湖南强冷空气活动 40 次典型过程,进行了 500hPa 位势高度场影响天气系统定量化分析试验,取得了较为理想的效果。

本方法在前期天气系统自动判别工作的基础上,针对 MICAPS 格式的 500hPa 高度场,对高空天气系统的诸多参数进行自动化定量分析研究,提出了具体算法并通过可视化软件实现了相应功能。可将此方法应用于温度等其它要素场进行多种要素场综合分析,从而完成更为复杂的系统分析任务,为提高沙尘暴、强冷空气活动等灾害性天气客观化、自动化预报水平打下了良好的基础。

参考文献

- [1] 胡文东,赵光平,丁建军.省级气象预报业务系统软件工程开发原则与技术[J],气象科学,2006,26(1):81-89.
- [2] 胡文东,赵光平,丁建军,等.宁夏短时强对流灾害性天气预报业务工作平台系统开发策略与技术措施[J],干旱区资源与环境,2006,20(6):114-117.
- [3] 李振海.计算机天气图图形识别[J],气象,1994,20(6):20-23.
- [4] 张延亭,林铍德.低槽(含切变线)的计算机识别[J],江西气象科技,1995(3):21-23.
- [5] 林振敏,杨宇红.低涡、急流、切变线的微机自动识别[J],广西气象,1997,18(1):47-48.
- [6] 袁美英,徐南平,于振东.低压中心、槽线识别的初步试验[J],气象,1994,20(6):15-19.
- [7] 陈静.图形模式识别方法及其在中期雪灾天气预报中的应用[J],应用气象学报,2002,13(1):109-116.
- [8] 张丰启.东北冷涡特征及其关键区的计算机识别[J],气象,2001,27(9):46-49.
- [9] 胡文东.宁夏气象台中一长期预报图形分析系统[J],宁夏气象,1991,(1):46-50.
- [10] 王新芝,陈必云.高空天气图自动分析系统[J],南京气象学院学报,1994,17(4):477-481.
- [11] 周庭泽,梁平德.天气图相似识别系统及其在天气预报中的应用[J],气象,1991,17(6):23-26.
- [12] 刘文泽.边界识别与计算机缩图[J],气象,1992,18(4):38-39.
- [13] 胡文东,赵光平,陈晓光,等.高空基本天气系统类别自动识别与沙尘暴系统识别试验[J],中国沙漠,2004,24(5):607-610.