

气象能见度的突变特征及其在预报上的应用

李子良

(中国民航飞行学院, 四川 618307)

提 要

该文讨论了气象能见度的突变特征及其在预报上的应用, 研究表明, 可用计算中空以上的变温分布和云量变化来诊断气象能见度, 而且中空以上的变温的正负转换和槽脊更替对预报气象能见度有一定的意义。

关键词: 气象能见度 突变 预报

引 言

气象能见度的预报是航空气象保障的重要内容, 是影响航空经济效益的重要因素, 目前业务系统主要依靠经验和统计的结果, MM5 模式尽管能对能见度作出一定程度的预报, 但气象能见度的突然变化仍然是预报的困难问题。气象能见度本身的变化是一种连续现象, 但在由高能见度向低能见度转变, 或由低能见度向高能见度转换中, 又可以看作是一种不连续现象。当其具备某种条件时将会发生突变, 由高能见度转为低能见度, 或由低能见度转为高能见度。我们针对运动流体的温压场特征, 力求寻找一种反映温压场的参数进行气象能见度的直接诊断。经验和统计结果表明, 当处槽前脊后的云雨天气时, 中空以上有明显的正涡度平流, 气象能见度较好, 大于飞行天气标准能见度。当处槽后脊前的晴好天气时, 中空以上有明显的负涡度平流, 如果中空以上有暖平流, 气象能见度较差, 常因有辐射大雾而小于飞行天气标准能见度; 如果中空以上有冷平流, 气象能见度较好, 大于飞行天气标准能见度。当处平直多波动的西风气流控制下, 没有明显的冷暖温度平流, 气象能见度在飞行天气标准能见度左右。我们在气象能见度的尖点突变模型的基础上, 建立起气象能见度的突变同温度平流和涡度平流的联系, 并以此来说明气象能见度突变特征, 揭示低气象能见度产生的物理机制。研究表明, 中空以上的变温由负转正预示会形成低气象能见度, 而且中空以上的最

大增温分布和低气象能见度的分布具有一致性, 因此可用中空以上的变温分布和云量变化来诊断低气象能见度, 客观上可提高气象能见度预报的准确性, 增强飞行气象保障能力。

1 气象能见度的突变模型

突变理论的创始人托姆提出把突变理论应用范围的两端用“物理学”和“玄学”的途径来描述其特点。一是由已知的科学定律出发, 把突变理论的形式作为这些定律的结果, 这是“物理学”的途径; 二是由对之理解很差的实验形态出发, 预先认为突变理论的形式是正确的, 并且试图重新建立导致这个形态的潜在动力学, 这是“玄学”的途径。我们用第二种途径, 即从实际观测资料出发, 用突变理论的尖点突变模型较好地模拟了低气象能见度的产生机制。气象能见度本身的变化是一种连续现象, 但又可以看作是一种不连续现象, 当其具备某种条件时将会发生突变。因气象能见度同其它天气现象一样是由高空的温压场决定的, 高空温度平流和槽脊更替而引起的云量变化是气象预报员预报能见度的基本因子, 所以我们把气象能见度的变化 X 作为状态变量, 分成大于飞行天气标准和小于飞行天气标准能见度 (1.2km) 两类, 用高空的温度平流 A_T 和涡度平流 A_ζ 作为控制变量, 可以得到 X 、 A_T 和 A_ζ 三个变量组成的三维空间, 称为行为空间或相空间。其中温度平流 A_T 和涡度平流 A_ζ 确定的平面称为控制平面, 表示气象能见度突变的条件。突变理论指

出,在控制变量 A_T 、 A_ζ 作用下,气象能见度的变化可用一个特殊的曲面 $X=F(A_T, A_\zeta)$ 表示,此曲面称为状态曲面(如图1)。

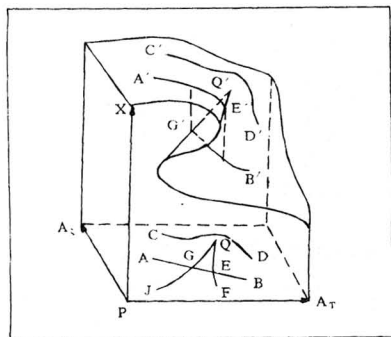


图1 尖点突变模型示意图

在这个模型中,曲面 $X=F(A_T, A_\zeta)$ 上的每一个点表示在温度平流 A_T 和涡度平流 A_ζ 时气象能见度的大小,整个曲面由大于飞行天气标准能见度区向小于飞行天气标准能见度区倾斜。我们规定暖平流为正值,冷平流为负值,正涡度平流为正值,负涡度平流为负值,这说明温度平流增大,涡度平流减少,气象能见度转坏,即暖平流增大,正涡度平流减少,气象能见度越差。从图中可以看出,状态曲面有一个平滑的折叠越来越窄,最后止于三层曲面的汇合处 Q 点,把整个折叠处投影到控制平面 $PA_T A_\zeta$ 上,将得到一个尖角形的平面区域 JQF ,称为分支集,分支集的两条边线,即折叠边缘线在控制平面上投影 QJ 和 QF ,称为分支曲线,由于分支集的顶点是尖的,故称为尖点突变模型。

这个尖点突变模型可以较好地描述低能见度的突变现象。

首先,在状态曲面上、中(折叠处)、下三叶中,上、下两叶表示能见度的稳定状态,即大于飞行天气标准能见度(1.2km)和小于飞行天气标准能见度两种状态。中叶(折叠处)表示能见度的不稳定状态,即双态共存区。现设想温度平流和涡度平流沿着控制平面上的 AB 方向变化,可以看到在相应的状态曲面上,能见度沿曲线 $A'E'B'$ 变化。在曲线 $A'E'$ 阶段,能见度在上叶连续降低,表示能见度还是在渐变,仍然大于飞行天气标准能见度。对折叠曲线上的 E' 点而言,温度平流和涡度平

流只要稍顺 AB 方向离开 E 点,相应地在状态曲面上叶的低能见度由大于飞行天气标准能见度突然下叠到下叶的小于飞行天气标准能见度区,由此发生不连续的突然变化,即产生突变。反之,如果温度平流和涡度平流沿着 BA 的方向变化,那么能见度开始只是在状态曲面的下叶沿着 $B'G'$ 连续地增大,但仍然小于飞行天气标准能见度,一旦到了另一条折叠曲线上的点 G' ,能见度就会忽然上升到曲面的上叶大于飞行天气标准能见度区,也会发生一次突变。

其次,从模型中还可以看出,与控制平面上的尖角区 JQF 相对应,在状态曲面上有上叶和下叶两个部分,这意味着在同一温度平流和涡度平流下的能见度可有两个不同的值,也就是说气象能见度在此时表现有大于飞行天气标准能见度(1.2km)或小于飞行天气标准能见度(1.2km)双重行为,所以控制平面的尖角区又叫双态共存区。在这个区域,有的干扰可使能见度由大于飞行天气标准转为小于飞行天气标准,有的干扰可使能见度由小于飞行天气标准能见度向大于飞行天气标准能见度转变。

第三,从模型中还可看到,如果控制变量的温度平流 A_T 和涡度平流 A_ζ 沿着 CD 曲线变化,绕过了尖角区,那么相应的状态曲面上的点就沿着 $C'D'$ 平滑而连续地变化,不会出现在上、下两叶之间的突然跃迁。这表明,当温度平流、涡度平流绕过临界点变化时,能见度的变化将通过连续、渐变的形式来实现,不会发生突变。模型中控制平面上的尖点 Q 称为奇点。奇点附近的运动将有四种可能出现:①不穿过尖角区;②穿过尖角区;③沿分支曲线 QJ 左侧通过进入上叶;④沿分支曲线 QF 右侧进入下叶。这表明在奇点 Q 的邻近点,其初态时的各种微小偏离,将可能导致气象能见度的各种不同状态的出现,这种现象叫发散。

从上面的分析可以看出,尖点突变模型可以定性地模拟低气象能见度的变化,为制作低气象能见度的预报提供依据。

2 气象能见度的突变特征在预报上的应用

根据突变理论,选择尖点突变的无量纲方程为:

$$\hat{A}_T(X) = \hat{X}^4 + \hat{A}_S \hat{X}^2 + \hat{A}_T \hat{X} \quad (1)$$

式中, 状态变量 \hat{X} 表示能见度出现的类型, 按广汉机场每日 06—12 时出现的最小能见度值分为大于飞行天气标准能见度(1.2km)和小于飞行天气标准能见度(1.2km)两种类型; \hat{A}_S 、 \hat{A}_T 为无量纲控制参数, 分别表示中空以上涡度平流和温度平流大小, 反映中空空的温压场特征。 $\hat{A}_S > 0$ 表示有正涡度平流, 处于槽前脊后的云雨天气下, $\hat{A}_S < 0$ 表示有负涡度平流, 处于槽后脊前的晴好天气下, \hat{A}_S 的大小可直接从槽脊的深度来分析, 也可直接用槽脊线附近等高线曲率的大小来表示, 还可用云量的变化来表示。 $\hat{A}_T > 0$ 表示有暖平流, $\hat{A}_T < 0$ 表示有冷平流, 可用中空等压面上 24 小时变温来反映, 当有冷平流时, 出现负变温, 当有暖平流时, 出现正变温, 中空等压面上 24 小时变温的正负转换可以反映冷暖温度平流的变化。

对式(1)求导可以得到平衡曲面 M 的方程为:

$$4\hat{X}^3 + 2\hat{A}_S \hat{X} + \hat{A}_T = 0 \quad (2)$$

对 M 求导可以得到奇点集为

$$12\hat{X}^2 + 2\hat{A}_S = 0 \quad (3)$$

把式(3)代入式(2)得

$$-\frac{2}{3}\hat{A}_S \hat{X} + 2\hat{A}_S \hat{X} + \hat{A}_T = 0 \quad (4)$$

则有

$$\hat{X} = -\frac{3}{4} \frac{\hat{A}_T}{\hat{A}_S} \quad (5)$$

将式(5)代入式(3)消去 \hat{X} , 得

$$\frac{27\hat{A}_T^2}{4\hat{A}_S^2} + 2\hat{A}_S = 0 \quad (6)$$

得分支点集

$$27\hat{A}_T^2 = -8\hat{A}_S^3 \quad (7)$$

按式(7)在控制平面上作分支曲线 QF 和 QJ , 就建立了低能见度突变模型控制平面图(部分)。

取 1993—1994 年 12 月和 1 月的逐日资料, 共有样本 122 个, 选取低能见度日数(小于飞行天气标准能见度 1.2km)97 个, 其中大雾日数(≤ 0.8 km)有 58 个。分别计算出逐月资料的无量纲参数 \hat{A}_S 和 \hat{A}_T , \hat{A}_T 可以近似用中空以上等压面上的 24 小时变温来反映, \hat{A}_S 可以用槽脊线的深度来反映, 也可用夜间

云量的变化来反映。根据其对应的状态 \hat{X} 在控制平面上点绘(如图 2)。在分支曲线 QF 右侧气象能见度均小于飞行天气标准 1.2km, 分支曲线 QJ 左侧的气象能见度均大于飞行天气标准能见度 1.2km, 在尖角区 JQF 内为两种状态混存。这说明, 当控制参数 \hat{A}_S 、 \hat{A}_T 的变化使控制轨迹位于尖点曲线之外时, 系统处于稳定平衡状态; 当控制参数 \hat{A}_T 、 \hat{A}_S 的变化使控制轨迹位于尖点曲线之内时, 系统进入双态, 出现滞变; 当控制参数的变化使控制轨迹越过分支点集时, 系统将发生突变。

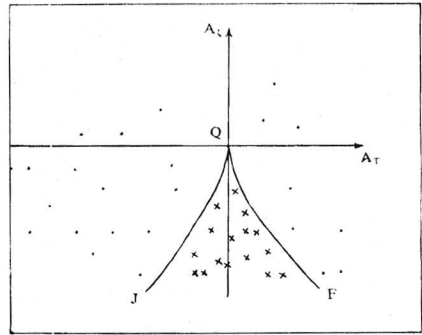


图 2 低能见度突变模型控制平面图(部分)

由上述分析得出, 凡控制平面上 $\hat{A}_S > 0$ 时, 气象能见度不会出现小于飞行天气标准能见度 1.2km; 当 $\hat{A}_S < 0$ 时, 有负涡度平流, 处于槽后脊前的晴好天气, 控制参数轨迹在 QF 曲线之右时, 有明显的暖平流, 气象能见度小于飞行天气标准, 而控制参数轨迹在 QJ 曲线之左时能见度因有冷平流而大于飞行天气标准能见度 1.2km。当控制参数轨迹落在 JQF 尖角内时, 气象能见度有两种可能。在尖点 Q 附近, 控制参数的细微变化将使能见度发生各种状态的变化。在尖角区内, 温度平流不大, 本场多为平直多波动的西风气流控制, 气象能见度在飞行天气标准能见度左右。

采用中空以上的变温条件和等高线曲率变化条件进行判断, 对 1993—1994 年 12 月份和 1 月份的历史资料进行拟合。其历史拟合率为 $38/39 = 97.4\%$ 。我们对 1995 年 12 月份资料进行检验, 共有样本 28 个, 只有一个报错。在 28 个样本中, 落在模型尖角区外 21 个(其中 15 个报 < 1.2 km, 6 个报 ≥ 1.2 km, 7 个落在双态区)。

3 双流机场一次能见度过程分析

1978年12月3日夜冷空气入川后,迅速进入云贵高原北部,700hPa 4日08时冷槽消失,20时高原东部兰州至宜宾一线 ΔT_{24} 为 $+4\sim+8^{\circ}\text{C}$,成都为 $+4^{\circ}\text{C}$,增温继续加强,5日08时,成都700hPa ΔT_{24} 为 $+7^{\circ}\text{C}$,20时为 $+8^{\circ}\text{C}$,直至7日20时为 $+2^{\circ}\text{C}$,也就是说从4日20时—7日20时的三天中700hPa的温度从 -3°C 上升至 $+9^{\circ}\text{C}$,总增温为 $+12^{\circ}\text{C}$,8日08时才出现了 -3°C 的降温。

500hPa上的冷槽5日08时消失,增温比700hPa落后一些,成都5日20时开始增温, ΔT_{24} 为 $+2^{\circ}\text{C}$,6日08时增至最大为 $+6^{\circ}\text{C}$,6日20时为 $+3^{\circ}\text{C}$,7日08时为 $+1^{\circ}\text{C}$,7日20时才转为 -4°C 的降温。500hPa成都从5日08时—7日08时两日的增温为 $+7^{\circ}\text{C}$ 。

12月3日冷空气入川后,4日能见度 $>10\text{km}$,从升温日(5日)开始,午后能见度降为 4km ,其后随着中空以上增温的加强,高原上的负变压加强东移和本场上空逆温层的加强,能见度一日比一日差。6日午后13时为 1.3km ,15时达 1.9km ,最大仅为 2.3km 。7日能见度最差,8日后 $<1\text{km}$,直到午后15时才达到 $1\sim 1.2\text{km}$,由于7日08时500hPa昌都以西有一冷槽,降温 3°C ,700hPa也开始降温,所以8日的能见度开始好转,最大达到 4.5km ,8日夜降温加强,逆温层遭破坏,天气转晴,下半夜至9日上午形成较大的辐射雾,雾消散后,9日下午能见度又 $>10\text{km}$,一次低能见度过程结束。

4 广汉机场低能见度成因分析

广汉机场气象低能见度是由中空以上的暖湿平流和特殊地形共同造成的。冬季,广汉地区受大陆气团控制,每当冷空气入川南下后,气团一天天回暖变性,在高原东侧的死水区广汉机场留下了一个弱的冷空气垫,当中

空以上的冷平流结束后,暖平流开始从上游进入高原并经过广汉机场的冷空气垫上时,首先形成逆温层,同时逆温层下的地面气压必然下降。并且逆温层下上升运动会把近地面层的水汽杂质带入空中。当逆温层加强下压时,逆温层下的水汽、杂质物浓度变大,大气透明度变差,致使气象低能见度产生。低能见度的形成与中空以上的暖平流强度以及与之相对应的地面负变压数值,中空逆温层高度和强度及逆温层下的水汽、杂质物浓度有关,主要有以下几个方面的预报经验:

①在气团的回暖变性过程中,要注意本场上游的高原上500hPa及其以下的最大增温区和最大负变压区的移向、移速和强度发展情况,再根据四川盆地上空逆温层的加强情况,预报其何时到达盆地上空。若最大增温区($\geq 5^{\circ}\text{C}$)和最大负变压(绝对值 $\geq 5\text{hPa}$)中心区到达盆地上空,且逆温层已到达最强时(逆温层顶部和底部温差 $\geq 5^{\circ}\text{C}$),有利于低气象能见度形成。

②低气象能见度出现在中空以上升温、降温转换的前一日。当中空以上有降温出现时,逆温减弱,能见度开始好转,直至有连续降温使盆地逆温层破坏时,或地面有明显冷锋过本场后,能见度才转好。

③如果本场已形成辐射雾,但天气系统很快转坏,在高原上有很强的负变压中心(其绝对值 $\geq 5\text{hPa}$)东移,而且中空以上有强增温使盆地上空逆温层加强,在辐射雾的基础上可能形成午后小于飞行天气标准的低能见度。

④如果本场基础能见度较差,中空以上500hPa为平直西风气流控制,无明显温度平流,则本场低能见度往往要持续数日,直至有较强的天气系统出现,能见度才能好转。

Application of Catastrophe Theory to Visibility Forecast

Li Zhiliang

(CAAC Flying College, Sichuan Province 618307)

Abstract

Application of catastrophe theory to visibility forecast is discussed. The results show that the low visibility can be estimated by computing the change distribution of middle upper air temperature and air pressure. Furthermore, to some extent the mathematical symbols alternation of the middle upper air temperature changes and the air pressure changes indicate the formation or the elimination of low visibility.

Key Words: visibility catastrophe forecast