

飞机积冰预报应用软件

李子良 潘微多

(中国民航飞行学院,四川省广汉 618307)

提 要

研究了飞机积冰和气象条件的关系以及飞机积冰预报方程;着重介绍了飞机积冰预报应用软件的结构、功能及其使用效果。其结果为在计算机上实现航空气象要素预报提供参考。

关键词: 飞机积冰 预报 气象条件

目前预报飞机积冰主要是依靠经验。为实现民航气象业务自动化,我们用C语言编制的《飞机积冰预报应用软件》具备优美的界面,能较好地移用到Unix系统下的网络中去,而且在各大机场均适用。

1 设计思想

飞机积冰预报不但与航线上的气象条件有关,而且还与飞行速度及机型等因素有关。对于后者,在飞行前一般是知道的。因此飞机积冰预报主要是预测出飞行中将会遇到的气象条件,其中应着重于航线上的云层,云中过冷水含量及水滴大小的分布,但是过冷水含量和水滴大小目前测定还比较困难,所以日常工作中的积冰预报主要是依据积冰与云中温度、湿度的关系,结合天气形势,综合考虑其它因素来进行。

由于过冷水滴存在于0℃以下的云中,所以凡有利于形成云层的天气形势,如锋面,空中槽和切变线等,只要温度条件具备,也都是有利于产生积冰的天气形势。一般说来,在实际工作中,制作飞机积冰预报时,可首先根据飞行区的天气形势及飞行高度的温湿条件,大致判断是否可能出现积冰。根据1960—1980年我国发生的675次积冰报告,统计出的积冰与云中温度的关系可知,最易发生积冰的温度范围是-2—-10℃,共461次(占68.3%)。其中轻度积冰在0—-10℃

出现最多,中度积冰在-2—-12℃出现最多,强积冰在-8—-10℃最多。飞机积冰一般发生在云中 $T-Td < 7℃$ 的范围内,以0—5℃发生积冰最多,强积冰多发生在 $T-Td < 4℃$ 的范围内。

我们利用国内外预报飞机积冰的经验公式建立飞机积冰的判别方程,把有关资料输入计算机,利用计算机作出客观的飞机积冰预报。

规定以下5个预报因子:

x_1 :作为改进的-8D方法预报飞机积冰,其经验公式为

$$T_f = -kD = -k(T - Td) \quad (1)$$

式中 $k = 8 \exp[-(|T|/D)^{1/2}]$,利用所求得的霜点温度 T_f 同飞行高度上的气温值 T 作比较,如果

$$\begin{cases} T_f \geq T & \text{则预报有积冰, } x_1 \text{ 为“1”} \\ T_f < T & \text{则预报无积冰, } x_1 \text{ 为“0”} \end{cases} \quad (2)$$

预报因子 x_1 反映了飞行高度上飞机积冰的温湿条件。

x_2 :作为综合考虑飞机动力增温和-8D方法的因子。我们给出假霜点温度 T_{fi} 的经验公式为:

$$T_{fi} = -0.15 \left(\frac{V}{100}\right)^2 (T - Td) \quad (3)$$

可得到预报飞机积冰的判据为:

$$\begin{cases} T_{fi} - T \leq -0.15 \left(\frac{V}{100}\right)^2 & \text{预报无积冰,则 } x_2 \text{ 为“0”} \\ T_{fi} - T > -0.15 \left(\frac{V}{100}\right)^2 & \text{预报有积冰,则 } x_2 \text{ 为“1”} \\ T_{fi} - T > 0 & \text{预报有中度以上积冰,则 } x_2 \text{ 为“2”} \end{cases} \quad (4)$$

式中, V 为飞行速度($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$), T 为飞行高度上的气温。预报因子 x_2 反映了飞机动力增

$$y' = 4.9335 + 0.002016V + 0.00818(P - P_0) - 4.4358f + 0.2839H \quad (5)$$

式中, V 为飞行速度($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$), H 为飞行高度(km), P_0, P 分别为 0°C 层和 H 高度上的

温对飞机积冰的影响。

x_3 : 作为统计预报方程

气压(hPa), f 为 H 高度上的相对湿度(%)。

$$\begin{cases} y' \geq y'_c = 2.98 \text{ 时, 预报无积冰, 则 } x_3 \text{ 为“0”} \\ y' < y'_c \text{ 时, 预报有积冰, 则 } x_3 \text{ 为“1”} \end{cases} \quad (6)$$

预报因子 x_3 反映了飞机动力增温以及出现飞机积冰的天气形势和温湿条件。

x_4 : 利用积冰强度预报方程组

$$\begin{cases} y_1 = -21.7012 + 0.0196V + 40.5169f + 0.0053(P_0 - P) + 0.2792(Te - T) \\ y_2 = -26.4642 + 0.0149V + 49.7024f + 0.0188(P_0 - P) + 0.1867(Te - T) \\ y_3 = -28.6926 + 0.0914V + 52.3836f + 0.0266(P_0 - P) + 0.2478(Te - T) \end{cases} \quad (7)$$

式中, T, Te 分别为飞行高度和凝结高度上的气温($^\circ\text{C}$), V 为飞行速度($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$), f 为相对湿度(%), P_0, P 分别为 0°C 层上和 H 高

度上的气压(hPa)。在计算判别函数 y_1, y_2, y_3 的基础上若

$$\begin{cases} y_1 = \max(y_1, y_2, y_3) \text{ 预报无积冰, 则 } x_4 \text{ 为“0”} \\ y_2 = \max(y_1, y_2, y_3) \text{ 预报轻冰, 则 } x_4 \text{ 为“1”} \\ y_3 = \max(y_1, y_2, y_3) \text{ 预报中度及其以上积冰, 则 } x_4 \text{ 为“2”} \end{cases} \quad (8)$$

x_5 : 利用 850hPa, 700hPa, 500hPa 等压面上有无积冰的判据:

$$\begin{cases} L_{850} = 1.701(T - Td) - 2.0469 + 0.239T - 1.751 \\ L_{700} = 0.654(T - Td) - 1.3139 + 0.091T - 1.011 \\ L_{500} = 0.675(T - Td) - 2.3019 + 0.102T - 0.256 \end{cases} \quad (9)$$

式中, T, Td 和 q 分别为等压面上的气温($^\circ\text{C}$), 露点温度($^\circ\text{C}$)和比湿($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$), 当计算的 $L < 0$ 时有积冰, $L \geq 0$ 时报无积冰。如果 $L_{850}, L_{700}, L_{500}$ 三者均不小于 0 时, 可预报无积冰, 则 x_5 为“0”, 如果三者之中有一个小于 0 时, 可预报轻冰, 则 x_5 为“1”, 如果三者之中有二个或三者均小于 0, 则可预报中度及其以上积冰。预报因子 x_5 反映了飞机在起飞和着陆过程的积冰条件。

$$I = \frac{1}{48} EVW \quad (12)$$

计算飞机积冰强度。式中 I 为每分钟形成冰层的厚度, 单位为 $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$, V 的单位为 $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$, 捕获系数 E 在 0—1 之间变动, 一般对于高积云和高层云取 0.2, 层积云取 0.3, 雨层云取 0.6, 浓积云和积雨云取 0.8, 在过雨冷区中飞行时取为 1。

含水量 W 的单位为 $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$, 其计算公式为

由上述 5 个预报因子组成判别方程:

$$y = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 \quad (10)$$

$$W = \frac{P}{1000} \cdot \frac{f}{1000} + k \left(\frac{P}{1000} \cdot \frac{f}{1000} \right) \quad (13)$$

则当各因子取值之和满足

$$\begin{cases} y < 3 & \text{无积冰} \\ y = 3 & \text{则预报轻冰} \\ y = 4 \text{ 或 } y = 5 & \text{轻—中冰} \\ y \geq 6 & \text{中度及其以上积冰} \end{cases} \quad (11)$$

式中, P, f 分别为飞行高度上的气压(hPa)和相对湿度(%), k 为订正系数, 一般情况下 $k=0$, 飞行高度在逆温层以下 0—600m 时, $k=0.3$, 浓积云和积雨云中飞行时 $k=0.4$, 云处于消散阶段时, 取 $k=-0.3$ 。

上式即为飞机积冰预报方程。

至此, 我们只需输入有关的气象参数, 则可在计算机上编制飞机积冰预报应用程序, 自动地作出有或无积冰及其强度预报。

在判断飞行高度上飞机有可能出现积冰以后, 再利用飞机积冰的强度公式

2 程序设计

为了能使应用软件直接移植到即将安装的民航气象网络中去,因为unix系统是用C语言编写的,因而全部程序我们均采用C语言编写。为了减少输入参数,便于操作简单,只选用了6个输入参数,它们依次为飞机飞行高度(m),飞机飞行速度($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$),飞行高度气温($^{\circ}\text{C}$),飞行高度气压(hPa),云底气温($^{\circ}\text{C}$)及飞行高度露点温度($^{\circ}\text{C}$),因而在前面计算的5个预测因子中出现的其它参数均可用上面的6个参数来计算。

相对湿度 f 为:

$$f = 10^{\frac{ab(Td-T)}{(b+T)(a+Td)}} \quad (14)$$

式中, Td 为飞行高度上的露点温度, T 为飞行高度气温, $a=7.5$, $b=237.3$ 。

比湿 q 为:

$$q = [0.622 \times 6.11 \times 10^{\frac{aTd}{b+Td}}] / P \quad (15)$$

式中, $a=7.5$, $b=237.3$, Td 、 P 分别为飞行高度露点温度和气压。

0°C 高度上的气压 P_0 可用

$$(273 + T) / 273 = (P / P_0)^{0.286} \quad (16)$$

式进行计算,式中 P 、 T 分别为飞行高度上的气压和温度。

除了上面的6个输入参数直接从屏幕界面输入以外,我们还有一个屏幕界面选择参数为飞行云层类型,该参数采用了一个弹出式菜单形式,包括高积云,高层云,层积云,雨层云,浓积云和积雨云以供选择。

如果进入飞机积冰预报系统,屏幕界面

上将显示出6个输入参数及其填充的参数值,一个选择云型的弹出式菜单,5个预报因子及其输入值,预报积冰结论及积冰强度大小。因而不仅具有优美的界面,而且方便,实用。

3 程序的使用

建立批处理命令文件,打开该文件。如果依次输入飞机飞行高度5500m,飞机飞行速度 $480 \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$,飞行高度上的气温 -16°C ,飞行高度上的气压500hPa,云底气温 3°C ,飞行高度的露点温度 -18°C ,飞行云层类型选择层积云,则有预报结果是飞机飞行高度有轻—中度积冰。

4 结束语

本应用程序主要是预报飞机积冰的。飞机积冰是在有利的高空天气形势和一定的温湿条件下产生的。运用计算机,对飞机积冰作出定量的客观分析,增强了飞行气象保障能力,具有一定的实用价值,为实现气象业务自动化提供了一种可供参考的方法。我们通过对1995年11月和12月的16次飞机积冰预报进行检验,预报飞机有积冰12次,飞机报告有9次积冰,预报飞机无积冰4次,飞机报告无积冰4次,检验发现,没有漏报,但有空报,其预报准确率为 $13/16=81.3\%$,由此可见,飞机积冰预报和飞机报告返回信息具有很好的—致性,但仍须在以后的工作中不断验证和改进。

Applied Software on the Forecasting Aircraft Icing

Li Zhiliang Pan Weiduo

(CAAC Flying College, Guanghan, Sichuan Province, 618307)

Abstract

The relationship between aircraft icing and meteorological conditions was analysed, and the forecasting equations of aircraft icing were used to program. The structure, function and its effectiveness of the applied software were mainly introduced. The results provide a reference for implementing computerization of the aeronautic meteorological elements prediction.

Key Words: aircraft icing forecast software meteorological conditions