

# 气象因素对飞行安全高度的影响

白建忠 窦金锋

(中国人民解放军 8617 部队, 涿州 072757)

## 提 要

通过分析气象因素对气压式高度表测量高度的影响, 求出了高度误差极值。说明了我国安全高度按高于航线两侧 25km 范围内的最大标高 400m 或 600m 存在一定误差, 提出了 4 条预防措施。

**关键词:** 飞行安全高度 气压式高度表 仪表误差 场面气压 最低真高 修正表高

## 引 言

高度是保证飞行安全的一个基本因素。飞行中, 正确选择飞行高度, 对充分发挥飞机性能、争取战术优势、充分使用空间、确保飞行安全都有着重要意义。

由于地形不同, 气候各异, 会造成高度表的指示出现误差, 从而影响高度表指示的安全高度。安全高度是指看不见地面的情况下, 保证飞机不至于与地面障碍物相撞的最低飞行高度。目前, 计算安全高度的方法, 通常是高于航线左右两侧 25km 范围内的最大标高 400 或 600m。虽然这一规定已使用了几十年, 但通过分析, 可以看出这一规定仍存在着一定的误差。

根据选择基准面的不同, 计算安全高度一般有两种方法:

(1) 当气压式高度表基准气压定场面气压时:

$$H_{\text{相安}} = \Delta h + H_{\text{最低}} \quad (1)$$

$\Delta h$  为最大标高差;  $H_{\text{最低}}$  为障碍物上空的最低真高。

(2) 当气压式高度表基准气压定海平面气压时:

$$H_{\text{地安}} = h + H_{\text{最低}} \quad (2)$$

$h$  为航线左右两侧 25km 范围内的最大标

高。

在转场或长途飞行时, 一般采用标准气压高。当海平面气压等于 760mm 时,

$$H_{\text{标安}} = H_{\text{地安}} = h + H_{\text{最低}} \quad (3)$$

飞行中, 安全高度是用气压式高度表来保持的, 由于气压式高度表是在标准大气条件(海平面气压 760mm, 大气绝对温度 288K, 标准气温垂直递减率  $0.0065^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$ , 海平面标准空气密度  $0.125\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) 下气压与高度的一一对应关系, 通过测量气压来获得高度数值的仪表。而实际大气变化规律常常和标准大气条件下的变化规律不一致。当海平面气压不等于 760mm 时, 就会产生气压误差。当海平面气温不等于  $+15^{\circ}\text{C}$  时, 就会产生气温误差。另外, 还有仪表误差, 飞行员保持误差等等。因此气压式高度表指示的高度就常常不等于真实高度。常见的误差主要有以下几种。

### 1 仪表误差

气压式高度表是利用弹性应力与静压力相对平衡时真空膜合膨胀或收缩的机械运动来指示高度的。膜合弹性的改变和传动机构零件的构造不完善或磨损变形, 使得仪表指示的高度与静压常不相对应。这种纯机械性的误差, 叫仪表误差( $\Delta H_{\text{表}}$ )。每个高度表的

仪表误差都不一样,由仪表员在定期检查时测定,并绘成高度误差表。根据高度表的指示可以从误差表中查出相应的仪表误差。用公式  $H_{修} = H_{表} + \Delta H_{表}$  求出修正表高( $H_{修}$ )。这种误差可采用人为修正,因此可以不考虑,而看作  $\Delta H_{表} = 0$ 。

### 2 气压变化引起的高度误差

为了保证飞行安全,对我国境内的固定航线和非固定航线,规定了飞机按配备的高度层次飞行,这种分高度层次的原则是飞机沿着相等的气压面飞行,遵循这一原则,就可避免飞机空中相撞,这种配备高是标准修正表高( $H_{标修}$ )。如果航线上海平面气压分布不均匀就会造成气压误差。

测量高度用的是气压法,即利用空气压力随高度的增加而减小的变化规律。高度与气压的关系可用下式表示: ( $\Delta H_{表} = 0$ )

$$H = RT_{均标} \ln \frac{P_{基}}{P_H} \quad (4)$$

$$T_{均标} = \frac{T_{基标} + T_{H标}}{2}$$

$P_H$  为高度  $H$  处的气压;  $P_{基}$  为基准面气压;  $R$  为气体常数,  $R = 29.27 \text{ kg} \cdot \text{m} / \text{C}$

假定基准面气压变化量为  $\Delta P$ , 地面实际气压  $P_{地} = P_{基} + \Delta P$ , 根据式(4)

$$\begin{aligned} \text{实际高度 } H_{实} &= RT_{均实} \ln \frac{P_{基地}}{P_H} \\ &= RT_{均实} \ln \frac{P_{地} + \Delta P}{P_H} \end{aligned}$$

$$\text{指示高度 } H_{修} = RT_{均标} \ln \frac{P_{基}}{P_H}$$

因此,如果不考虑气温因素,即  $T_{均实} = T_{均标}$ , 则指示误差

$$\Delta H_{压} = H_{实} - H_{修} = RT_{均标} \ln \left( 1 + \frac{\Delta P}{P_{基}} \right) \quad (5)$$

从式(5)中可以看出,由气压变化量  $\Delta P$  所引起的修正量与  $P_H$  值无关,在任何高度上的误差修正量都相等。

长途飞行时,规定选 760mm 气压面为

测高基准面,当基准面气压改变  $\Delta P$  时,气压式高度表就存在气压误差( $\Delta H_{压}$ ),从全国平均气压表中查得南北地区气压平均差在 10mm 左右,用公式⑤求出:  $\Delta H_{压} = 120\text{m}$  左右。

### 3 气温变化引起的高度误差

气温误差是由于实际气温与标准气温不一致而产生的误差。当实际平均温度高于标准条件下的平均温度时,高度表产生少指误差,指示的高度小于实际高度。反之,高度表产生多指误差。如果飞行员在飞行中不注意这一特点就会发生危险。

在标准大气条件下,气压式高度表指示的高度  $H_{标修}$  可用下式表达( $\Delta H_{表} = 0$ )。

$$H_{标修} = RT_{均标} \ln \frac{P_{基}}{P_H} \quad (6)$$

$$T_{均标} = \frac{T_{基标} + T_H}{2} = T_{基标} - \frac{\tau_{标} H}{2}$$

$\tau$  为气温垂直递减率。

非标准大气条件下,气压式高度表指示的高度  $H_{标修}$  可用下式表达( $\Delta H_{表} = 0$ )。

$$H_{实修} = RT_{均实} \ln \frac{P_{基}}{P_H} \quad (7)$$

$$T_{均实} = \frac{T_{基实} + T_{H实}}{2} = T_{基实} - \frac{\tau_{实} H}{2}$$

那么高度误差:

$$\begin{aligned} \Delta H_{温} &= H_{实修} - H_{标修} = [(T_{基实} - T_{基标}) \\ &\quad - \frac{1}{2}(\tau_{实} - \tau_{标})] R \ln \frac{P_{基}}{P_H} \end{aligned}$$

从式中可以分析出,无论大气条件如何变化,  $\Delta H_{温}$  随  $H$  的增大而增大。

用式(6)和(7)比较可以看出  $\Delta H_{温}$  和  $H$  的关系

$$\frac{H_{实修}}{H_{标修}} = \frac{T_{均实}}{T_{均标}} \quad \frac{\Delta H_{温}}{H_{标修}} = \frac{\Delta T_{均}}{T_{均标}}$$

$\Delta T_{均}$  是  $T_{均实}$  和  $T_{均标}$  的差值。

由于世界最高峰珠穆朗玛峰只有 8848m, 加上误差也不过 10000m, 因此我们只研究 10000m 以下的情况。

$$T_H = 288\text{K} - 10000 \times 0.0065 \text{ C} = 223\text{K}$$

$$T_{均标} = \frac{288K + 223K}{2} = 256K$$

$$\frac{\Delta H_{均}}{H_{均标}} = \frac{\Delta T_{均}}{256K} \quad \Delta H_{均} = \frac{\Delta T_{均}}{256K} H_{均标}$$

设  $K = \frac{\Delta T_{均}}{T_{均标}}$  是气温的相对误差, 因此在

$$10000m \text{ 以下 } K = \frac{\Delta T_{均}}{256K}$$

如果飞机从广州向哈尔滨作南北长途飞行, 设广州气温为 +17°C, 哈尔滨气温为 -23°C, 两地气温差为 40°C。从平均角度考虑, 在南方天气暖和, 温度相对标准气温偏高。北方天气寒冷, 温度相对标准气温偏低。而  $\Delta T_{均} = T_{均实} - T_{均标}$ , 南北温差的一半接近  $\Delta T_{均}$  值。所以  $\Delta T_{均} = \frac{17°C - (-23°C)}{2} = 20°C$

$$\text{根据公式 } T_{均标} = \frac{T_{北标} + T_{南标}}{2}, K = \frac{\Delta T_{均}}{TK}$$

得到表 1。

表 1  $\Delta T = 20°C$  时引起的高度误差

高度 $H/m$	温度 $T/K$	$K/\%$	高度误差 $\Delta H/m$
500	286.4	6.98	35
1000	285	7.01	70
2000	282	7.09	142
3000	278	7.19	216
4000	275	7.27	291
5000	272	7.35	368
6000	269	7.43	446
7000	265	7.55	529
8000	262	7.63	610
9000	259	7.72	695
10000	256	7.81	781

从上面分析知道, 两地平均温度差  $\Delta T_{均}$  很大时,  $K$  值可达到高度的 8%。我国南北跨纬度 50 多度, 南北冬季温差可高达 40—50°C, 在这么大的温差下飞行, 气压式高度表会产生很大的高度误差 ( $\Delta H_{均}$ )。在 10000m 高空, 高度误差可达  $10000 \times 8\% = 800m$ 。

#### 4 复杂气象条件和特殊地形引起的高度误差

我国位于亚洲东南部, 东临广阔的太平洋, 西部深入到欧亚大陆中心, 全国 90% 的地区在温带和亚热带, 地形复杂多样。这种特征形成了我国千差万别的气候, 而且气候垂

直分布明显。另外, 还有气团、气流、锋面、云和降水等复杂因素的影响, 这一复杂多变的地理、空间环境给飞行安全造成一定的影响。

#### 4.1 气团、气流的影响

受气候变化的影响, 局部空间常常会形成性质各异的气团, 进入该气团的任何物体受到气团的作用, 都将短时间内上升或下降。如果空中飞行的飞机进入该气团内, 而且遇到下降气流, 那么飞机将会损失一定的高度。因气流垂直影响广大, 平原地区所及真高达 1000—2000m, 扰动气流会造成飞机颠簸或强烈颠簸, 使飞机高度在数十米以至数百米之内变化。

由于飞机颠簸高度表不可能迅速指示出高度的变化数值, 将会有明显的误差。实际上飞行员也来不及操纵飞机保持飞行高度。从我国的地形特点、气流特征以及数十年的飞行经验总结看, 在强颠簸区, 高度变化范围在 50—200m 之内。

#### 4.2 山地的影响

山地的影响中, 主要是背风波——山后稳定的空气扰动的影响。背风波的波长长短不一, 气流的垂直速度为 5—10m/s, 在个别情况下, 甚至可达 20—30m/s。因此, 在背风波的上升气流中飞行, 飞机高度会自动地逐渐增加, 在背风波的下降气流中飞行, 飞机高度会自动地降低, 有时还会引起飞机颠簸。

例如 1945 年, 有一架飞近马德里北面山脉的飞机, 由于受背风波的影响, 曾猛降过三次, 飞行高度从 3400m 掉到 2700m 给飞行员操纵造成了很大困难, 也危及了飞行安全。

#### 5 高度误差的极值

以上分析了气温、气压、气团、气流、背风波对高度的影响。除此之外, 还有湿度变化, 云层密度的增大等因素, 对气压式高度表测量高度也有影响, 因其误差值较小, 不做定量分析。

实际飞行时, 这几种误差在某一地区可能同时出现, 由于地面障碍物最高只有

8848m。因此只考虑 10000m 以下的情况,把这几种误差综合起来可得到飞行时的极限误差(表 2)。

表 2 各高度上的极限误差/m

高度	误差极值	高度	误差极值	高度	误差极值
500	335	4000	611	8000	930
1000	350	5000	688	9000	1015
2000	462	6000	766	10000	1101
3000	436	7000	849		

从表中可以查出不同高度的最大误差值,即所需要的最低真高。

如果一架运输机在 4000m 高度上飞行,最大误差可达 611m,在穿越 3400m 的山峰时,如不修正误差,总的误差值就会大于 600m,飞机就有撞山的可能。所以,在长途飞行时,如果保持最低真高 600m 的安全高度飞行,在上述正向综合误差的作用下,将危及飞行安全。

## 6 预防措施

由于我国地理位置的特点,南北气温差达 40—50℃,海平面气压差达 10—20mm,在这种条件下,气压式高度表测量的高度误差就很大,再加上一些特殊因素的影响,若仍按高于航线左右两侧 25km 范围内的最大标高

400 或 600m 飞行,将会危及飞行安全。对于现代先进的飞机大多采取高升限作长距离飞行,一般高度都在万米以上,不可能撞山,而对于低速、升限小的运输机就有危险。因此,在飞行中,要特别注意,应采取一定的预防措施来保证飞行安全。

6.1 在地形起伏较大的地区,要分段计算标准安全高度,认真研究航线周围地形及气象条件,及时修正气温、气压误差。

6.2 在遇到气团、气流影响时,要根据气团、气流对高度影响的误差极值适当上升高度。

6.3 仔细研究飞行区域内产生颠簸的可能区域,以便尽量避免进入颠簸区,如果进入,要沉着冷静,柔和操纵飞机,保持平飞,采用适当的速度,改变航线和高度,脱离颠簸区。

6.4 在山地飞行时,尽量避开强的背风波,如果必须在背风波飞行,一定要时刻注意高度表的指示,保持安全高度以上飞行,使飞机安全通过山峰。

总之,在飞行中,只有全面考虑这几项误差的影响,并及时修正或适当处置,才能真正保证飞行安全。

## The Effects of the Meteorological Elements on Safe Flight Altitude

Bai Jianzhong Dou Jinfeng

(PLA unit 6817)

### Abstract

The extreme values of altitude error were estimated through the analysis of effect of the meteorological factors on the pressure altimeter. The idea that the safety altitude higher than the maximum elevation in the range of 25km on both sides of the course is not exactly accurate has been put forward, and 4 precautionary measures offered.

**Key Words:** safe flight altitude calibrated altitude pressure altimeter instrument error aerodrome pressure minimum absolute altitude