

气温、气压对飞行安全的影响分析

王永忠

(中国民航飞行学院航空系, 广汉 618307)

摘要: 分析了气温、气压变化造成的高度表误差及气温的变化带来的飞机空速表误差, 认为现行民航航线飞行安全高度的规定存在一定的不足, 并提出了改进办法。

关键词: 安全高度, 高度表, 空速表, 气压, 气温

中图分类号: V321. 2⁺2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-2022(2001)02-0291-04

高度表和空速表是飞机飞行中两个非常重要的仪表, 保持正确的飞行高度和速度对充分利用飞行高度层, 确保飞行安全有着重要的意义。多起飞行事故就是由于高度和速度的保持不当造成的。例如: 1993 年 11 月 13 日北方航空公司的 MD-82 型 B-214 号机在乌鲁木齐的一等飞行事故及 1992 年 7 月 31 日通用航空公司雅克 42 型 B-2755 号飞机在南京大校场机场发生的一等飞行事故, 都分别与当时的气压和气温有关¹⁾。

由于我国地域广阔, 南北跨度大, 冬季强冷空气过境常造成很大的温度和气压差, 而飞机在航线上保持高度和速度的气压高度表和速度表都是以标准大气为基准的, 这样就会造成飞行中高度表和速度表指示度出现误差。安全高度是指在看不见地面的情况下, 保证飞机不至与地面障碍物相撞的最低飞行高度。目前我国计算安全高度的方法通常是: 在平原高于航线左右 25 km 范围内的最大标高 400 m; 在山区高于航线左右 25 km 范围内的最大标高 600 m²⁾。虽然这一规定已使用了许多年, 但通过分析可以看出这一规定仍存在一定的误差。本文的分析旨在使飞行服务人员在指挥飞机时, 要充分注意到气温、气压对飞机高度及速度的影响, 让飞机充分保持适当的高度和速度, 以确保飞行安全。

1 气压、气温对飞机气压式高度表的影响

1.1 气压变化引起的高度表指示度的误差

气压式高度表本身有仪表误差(ΔH_w)。这种误差可采用人工修正。因此可以不考虑, 而看作 $\Delta H_w = 0$ 。为保证飞行安全, 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飞行。这种分高度层次的原则是飞机沿着等压面飞行。遵循这一原则, 就可以避免飞机空中相撞, 这种高度层高度是标准修正表高(H_{sa})。如果航线上海平面气压分布不均匀, 就会造成气压高度误差。测量高度用压高公式来计算, 即高度与气压的关系可用下式表示($\Delta H_w = 0$),

收稿日期: 2000-10-19; 修订日期: 2001-02-02

作者简介: 王永忠, 男, 1968 年 7 月生, 硕士, 讲师

1) 民用航空飞行事故汇编. 中国民用航空总局, 1996. 23~27

2) 空中交通管制规则(附件 2). 国际民航组织, 1991. 20~21

$$H = RT_s \ln(p_b/p_H); \quad T_s = (T_{bs} + T_{Hs})/2. \quad (1)$$

p_H 为高度 H 处的气压; p_b 为基准面气压; R 为气体常数($29.2 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$); T_s 为标准大气的平均温度; T_{Hs} 为 H 高度上的标准大气温度。假定基准面气压变化量为 Δp , 则地面实际气压 $p_g = p_b + \Delta p$ 。根据(1)式有:

实际大气的修正高度(实际高度)为

$$H_{ra} = RT_s \ln(p_g/p_H) = RT_s \ln((p_b + \Delta p)/p_H);$$

标准大气修正高度(指示高度)为

$$H_{sa} = R\bar{T}_s \ln(p_b/p_H)。$$

因此, 如果不考虑气温因素。即 $T_r = T_s$, T_r 为实际大气平均温度, 则指示误差

$$\Delta H_p = H_{ra} - H_{sa} = R\bar{T}_s \ln(1 + \Delta p/p_b)。 \quad (2)$$

从(2)式中可以看出, 由气压变化量 Δp 所引起的修正量与 p_H 值无关, 即在任何高度上的误差修正量都相等。

长途飞行时, 规定选 1 013. 25 hPa 气压面为测高基准面, 当基准面气压改变 Δp 时, 气压式高度表就存在气压误差(ΔH_p)。从全国平均气压表中查得我国南北气压平均差在 13. 3 hPa 左右^[1], 用公式(2) 求出 $\Delta H_p = 120 \text{ m}$ 左右。

1. 2 气温变化引起航线飞行中高度表指示度的误差

气温误差是由于实际气温与标准大气气温不一致而产生的误差。当实际平均温度 T_r 高于标准条件下的平均温度 T_s 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。如果管制员、飞行员不注意这一特点, 在飞行中就会发生危险。

在标准大气条件下, 气压式高度表指示的高度 H_{sa} 可表示为($\Delta H_w = 0$)

$$H_{sa} = R\bar{T}_s \ln(p_b/p_H); \quad T_s = (T_{bs} + T_{Hs})/2 = T_{bs} - \gamma H/2. \quad (3)$$

上式中, γ 为标准大气气温直减率; T_{bs} 为基准面标准大气温度。

非标准大气条件下, 气压式高度表指示的高度 H_{ra} 可表示为($\Delta H_w = 0$)

$$H_{ra} = RT_r \ln(p_b/p_H); \quad T_r = (T_{br} + T_{Hr})/2 = T_{br} - \gamma_r H/2. \quad (4)$$

T_{Hr} 为 H 高度上的实际温度; T_{br} 为基准面实际大气温度; γ_r 为实际大气气温直减率。则气温变化引起的高度误差为

$$\Delta H_t = H_{ra} - H_{sa} = [(T_{br} - T_{bs}) - (\gamma_r - \gamma)/2]R \ln(p_b/p_H) = \Delta T R \ln(p_b/p_H)。$$

ΔT 是 T_r 和 T_s 的差值, $\Delta T = [(T_{br} - T_{bs}) - (\gamma_r - \gamma)/2]$; p_b/p_H 的比值随高度的增大而增大。因而, 从上式可以看出, 无论大气条件如何变化, ΔH_t 是随 H 的增大而增大的。

比较(3)式和(4)式可以得出如下关系,

$$H_{ra}/H_{sa} = T_r/T_s;$$

$$\Delta H_t/H_{sa} = \Delta T/T_s。$$

因飞机飞行航线高度多在 10 000 m 以下, 所以我们只讨论 10 000 m 以下的情况。

标准大气海平面温度为 288 K, 那么 10 000 m 处温度 $T_H = 288 - 10\,000 \times 0.0065 = 223 \text{ K}$ 。

$$\bar{T}_s = (288 + 223)/2 = 256 \quad \Delta H_t/H_{sa} = \Delta \bar{T}/256 \quad \Delta H_t = \Delta \bar{T} H_{sa}/256。$$

设 $E = \Delta T/T_s$ 是气温的相对误差, 因此在 10 000 m 以下 $E = \Delta T/256$ 。

设飞机从广州向哈尔滨作南北飞行, 广州气温为(273+ 17) K, 哈尔滨气温为(273- 23) K, 两地温差为 40 K。平均而言, 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。实际上, 无论高空还是低空, 跨度很大的南北温差达到 40 K 都是可能的。

$$\Delta T = T_r - T_s,$$

而南北温差的一半接近 $\Delta \bar{T}$ 值。所以

$$\Delta \bar{T} = [17 - (-23)] / 2 = 20 \text{ K}.$$

根据公式 $T_s = \frac{T_{bs} + T_{Hs}}{2}$, $E = \Delta T / T_s$ 及 $\Delta H_t = EH_{sa}$ 得表 1。

分析表 1 可以看出, ΔH_t 随 H 增大而增大。当两地平均温度差 ΔT 很大时, E 值可达 7.81%。我国南北跨度 50 多纬度, 冬季南北温差可高达 40~50, 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 (ΔH_t)。在 10 000 m 高空, 高度误差可达 $10\,000 \times 7.81\% = 781 \text{ m}$ 。另外, 气团、气流、山地都会对高度表的指示度造成影响, 估计其影响极限为 320 m^1 。

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 8 848 m (珠穆朗玛峰)。因此只考虑 10 000 m 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

Table 2 The maximum errors at different altitude m

高度	误差极限	高度	误差极限	高度	误差极限
500	355	4 000	611	8 000	930
1 000	390	5 000	688	9 000	1 015
2 000	462	6 000	766	10 000	1 101
3 000	536	7 000	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。如果一架飞机于 4 000 m 高度上在非常寒冷的冬季沿南北方向在山的背风坡飞行, 最大误差可达 611 m, 在穿越 3400 m 的山峰时, 如不修正误差, 总的误差值就会大于 600 m, 飞机就有撞山的可能。所以, 在长途中低空飞行时, 如果保持最低真高 600 m 的安全高度飞行, 在上述正向综合误差的作用下, 有可能危及飞行安全。可见, 现行民航飞行安全高度的规定需加以修正。

2 气温对飞机空速表指示度的影响

在高度为 H 、密度为 ρ_H 的非扰动气流中, 以空速 V 飞行时, 动压为 $\rho_H V^2$ 。通常空速表是按海平面标准密度 (ρ_0) 分划仪表刻度的。如果在飞行高度上 ρ_H 不等于 ρ_0 , 仪表示度与空速不一致。要确定空速就须进行实际空气密度与标准大气密度偏差的订正。

1) 飞行安全文选(十八). 中国民航飞行学院, 2000. 56~59

表 1 $\Delta T = 20 \text{ K}$ 时引起的各高度误差

Table 1 The bias at different altitude induced by $\Delta T = 20 \text{ K}$

H_{sa}/m	\bar{T}_s/K	$E/\%$	$\Delta H_t/\text{m}$
500	286.4	6.98	35
1 000	285.0	7.01	70
2 000	282.0	7.09	142
3 000	278.0	7.19	216
4 000	275.0	7.27	291
5 000	272.0	7.35	368
6 000	269.0	7.43	446
7 000	265.0	7.55	529
8 000	262.0	7.63	610
9 000	259.0	7.72	695
10 000	256.0	7.81	781

在飞行中空速(V)与表速(V_1)的关系是 $V = V_1 \sqrt{\rho_0 / \rho_H} = V_1 / \sqrt{\Delta}$ ^[2]。式中 $\Delta = \rho_H / \rho_0$ 为空气相对密度。由于空气密度随高度递减,故随着飞行高度的增加,表速必然越来越小于空速。在 8~10 km 高度上,这种误差可达 50%~70% 以上^[3]。

为了克服空速与表速的偏差,目前在飞机上安装了双指针级组合型空速表进行修正。但在实际条件下,飞行高度上的气温与标准大气所规定的数值仍有偏差。已知亚音速飞机的飞行速度 $V = V_2 \sqrt{T/T_{st}}$, 式中 V_2 为细指针指示的空速, T 和 T_{st} 分别为飞行高度上的实际气温和标准大气气温。可知,当 $T > T_{st}$ 时,仪表示度偏低;当 $T < T_{st}$ 时,仪表示度偏高。此时,若按表速飞行而不加以修正,飞机位置就会发生偏差。

3 结 论

(1) 气温或气压的变化会使飞机的高度表和速度表出现误差,现行民航航线飞行安全高度的规定没有将这种误差考虑进去。对低速、升限小、低高度飞行的飞机要特别注意气温和气压变化带来的高度误差,在实际飞行中建议利用表 2 提供的数据进行修正。

(2) 在起降及航线飞行中要注意气温造成的空速表指示度的误差,尤其在起降过程中注意油门的使用,在低温条件下,应适当加大油门,高温条件下,应适当减小油门。

参考文献:

- [1] 航空气象编写组. 航空气象学[M]. 广汉: 中国民航飞行学院出版社, 1997. 18~20
 [2] 陈廷良. 运输机航空气象学[M]. 北京: 气象出版社, 1995. 28~32
 [3] 王大海. 飞行原理[M]. 广汉: 中国民航飞行学院出版社, 1997. 45~47

On the flying safety associated with the air temperature and pressure

WANG Yong-zhong

(CAAC Flying College, Guanghan 618307)

Abstract: The errors of the airplane altimeter induced by the air temperature and pressure changes as well as the errors of speedometer induced by the air temperature change are analyzed in the present article. The results suggests that the constitution, in which the altitudes for different airlines are given abided by the civil aviation department should be improved. Some schemes are put forward in this paper.

Key words: flying safety altitude, altimeter, speedometer, air temperature and pressure