

## 第1章 基础知识

### 1.1 飞行速度概念

- 指示空速与真空速的关系; ( $V_{TAS} = \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_H}} \cdot V_{IAS}$ ; 纵坐标(飞行高度)vs.横坐标(真空速))
- 真空速与M的关系;
- GS、TAS与WS之间的关系;
- 温度对音速c的影响。(音速c的大小仅取决于温度的高低,与温度呈正相关关系。)

### 1.2 操作速度限制

- 最大使用限制速度( $V_{MO}/M_{MO}$ )、襟缝翼最大操作速度( $V_{FE}$ )、S速度、F速度和绿点速度(空客公司使用,光洁构型下发动机故障收襟翼的速度)、 $V_{LO}$ (起落架收放的最大速度)、 $V_{LE}$ (起落架处于放下位的最大速度)。
- 抖振裕度限制(抖振开始边界图BOB); 两种题型: 1.已知飞行高度、飞行马赫数M、重心及飞机重量,求飞机抖振允许的最大坡度和载荷因数; 2.已知飞行高度、重心、飞机重量和载荷因数,求飞机低速和高速抖振的马赫数。
- 飞行高度和环境温度包线(简称飞机温度包线),主要给出飞机运行的高度和温度的限制范围。

### 1.3 大气温度和气压高度

- 国际标准大气(人为规定的一个气体参数为常数的标准大气状态); 标准大气参数(海平面气温、标准气压、标准温度递减率、同温层高度范围)。

- 气压和气压高度的关系、温度对气压高度的影响(气温引起的气压高度表的误差—温度越低，飞的越低；温度越高，飞的越高)，修正气温误差的计算公式：
$$\frac{\text{实际气压高度}}{\text{指示气压高度}} = \frac{\text{空中实际气温的绝对温度值}}{\text{标准条件下该高度空中气温的绝对温度值}}$$
- QNH与机场标高的关系(低空飞行使用QNH，停在地面上的飞机将高度表拨正为QNH时，高度表指示为机场标高；低压天气时，气压较标准大气压低，气压高度比机场高度高；机场标高与气压高度的转换(P27表1.3.2))

#### 1.4 涡扇发动机主要性能参数和常用工作状态

- 涡扇发动机主要性能参数(推力设置的两个常用参数：EPR和N1(%N1)，推力、EPR和%N1随温度的变化规律)
- 涡扇发动机推力的限制(1.发动机机匣内外的压差限制；2.发动机内部的温度限制；3.发动机风扇的转速限制)
- 空气密度对发动机推力有显著影响(空气密度随温度升高而减小，随高度升高而减小)
- 飞机的飞行速度对发动机推力的影响(结论：涡扇发动机的推力随着飞行速度的增大基本不变；原因：冲压效应(飞行速度增大，空气急剧压缩，空气密度增加，推力增加)与飞行速度增加，导致发动机进口空气的动量增加，使得发动机推力减小( $T = m(V_j - V)$ ))
- 发动机推力随飞行高度的升高而减小；发动机推力随温度的升高先保持不变然后再减小。
- 涡扇发动机常用的工作状态(TOGA、MCT(前两个为审定级别)、MCL、MCR、减推力工作状态、慢车工作状态、反推工作状态)

## 1.5 常用的限制速度和运行速度

### ● 限制速度:

- 失速速度( $V_S(n<1)$ 、 $V_{S1g}(n=1)$ 、 $V_{SR}(\geq V_{S1g}$ , 常取 $V_{S1g}$ ))
- $V_{MCA}(V_{MCA} \leq 1.2V_S)$
- $V_{MCG}$ (机场气温和标高越高、飞机重量越大、舵面效应越好,  $V_{MCA}$ 和 $V_{MCG}$ 越小。原因分析: 最小操纵速度的大小取决于偏转力矩的大小)
- $V_{MU}(V_{MU(N-1)} > V_{MU(N)})$
- $V_{EF}(V_{EF} \geq V_{MCG})$
- $V_{MBE}$ (实际运行中, 是限制 $V_1$ 的条件, 即 $V_1 < V_{MBE}$ )
- $V_{tyre}$ (是地速, 在高温高原机场运行时, 更容易受到轮胎速度的制约)

### ● 运行速度:

- $V_1(V_1 \leq V_R; V_1 \geq V_{1(MCG)} + \Delta V(1s); V_1 \leq V_{MBE}; V_1$ 的安全选择, 何时选较大何时选较小)
- $V_R(\geq V_1; \geq 1.05V_{MCA}; \geq$ 速度 $V$ 能使飞机在35ft高获得不低于 $V_2$ 的速度;  $\geq$ 速度 $V$ 能保证 $V_{LOF} \geq 1.1V_{MU(N)}$ 且 $V_{LOF} \geq 1.05V_{MU(N-1)}$ )



- $V_{LOF}$ (该速度满足 $L=W$ ; 满足 $V_{LOF} \geq 1.1V_{MU(N)}$ 且 $V_{LOF} \geq 1.05V_{MU(N-1)}$ )
- $V_2$ (由于 $V_2 \geq V_R + \Delta V$ ( $V_R$ 到35ft), 故 $V_2$ 与 $V_R$ 是同大同小的关系; 查图表时对 $V_R$ 修正后, 务必对 $V_2$ 修正。)
- $V_{FTO}$ (是飞机距离起飞表面1500ft高时的速度;  $V_{FTO} \geq 1.18V_{SR}$ )
- 着陆最小操纵速度 $V_{MCL}$ 和 $V_{MCL-2}$
- 着陆进场参考速度 $V_{REF}$ (飞机以全襟翼构型着陆时, 在距离着陆表面50ft高度上的最小着陆速度;  
 $V_{REF} \geq 1.23V_{SR0}$ ;  $V_{REF} = 1.3V_S$ 或 $1.23V_{S1g}$ )
- 最后进近速度 $V_{APP}$ ( $V_{APP}$ 与 $V_{LS}$ 的修正公式)
- 接地速度 $V_{TD}$ (着陆重量增加、空气密度减小,  $V_{TD}$ 增大; 接地迎角增大,  $V_{TD}$ 减小)

## 1.6 “ACN-PCN” 方法的使用

- 航空公司运行通常要求最大起飞重量对应的ACN小于或等于机场跑道的PCN, 则道面强度限制的起飞重量就是该机型的最大起飞重量。
- 当 $ACN > PCN$ 时, 可进行有限制地超载运行, 其中条件2: 对柔性道面, ACN不超过PCN的10%; 对刚性道面或以刚性道面为主的复合道面, ACN不超过PCN的5%。

## 第2章 飞机的起飞性能

### 2.1 起飞的相关概念

- 起飞的定义(起飞航迹、起飞飞行航迹); 起飞场道阶段(BRP到35ft高); 起飞航道阶段(35ft高到1500ft高)
- 可用距离:  $TODA = RWY + CWY - LA$ ;  $TORA = RWY - LA$ ;  $ASDA = RWY + SWY - LB$
- 所需距离:
  - $TOD_{干} = \max\{TOD_{N-1,干}, 1.15 * TOD_{N,干}; \text{BRP到35ft高的水平距离}\};$
  - $TOD_{湿} = \max\{TOD_{干}, TOD_{N-1,湿}; \text{BRP到15ft高的水平距离}\};$
  - $TOR_{干} = \max\{TOR_{N-1,干}, 1.15 * TOR_{N,干}; \text{BRP到} 1/2(V_{LOF} + 35\text{ft})\};$
  - $TOR_{湿} = \max\{TOR_{N-1,湿}(\text{从BRP到15ft}), 1.15 * TOR_{N,湿}(\text{从BRP到} 1/2(V_{LOF} + 35\text{ft}))\}$
  - $ASD_{干} = \max\{ASD_{N,干}, ASD_{N-1,干}\}$
  - $ASD_{湿} = \max\{ASD_{干}, ASD_{N-1,湿}, ASD_{N,湿}\}$
- 影响TOD和TOR距离的因素:
  - $V_1$ 增大,  $TOR_N$ 和 $TOD_N$ 不变,  $TOR_{N-1}$ 和 $TOD_{N-1}$ 减小;
  - 起飞重量W增大、大气温度升高、机场气压高度升高、顺风起飞、上坡起飞, TOD和TOR增大。
- 影响ASD距离的因素:
  - $V_1$ 增大、起飞重量W增大、大气温度升高、机场气压高度升高、顺风起飞、上坡起飞, ASD增大。

## 2.2 起飞飞行航迹的要求

- 起飞飞行航迹(飞行高度从35ft到1500ft; 速度 $\geq 1.25V_S$ ; 爬升梯度满足法规规定的最小梯度要求; 完成起落架、襟翼及发动机功率状态转换)
- 起飞航道I、II、III、IV段如何划分;
- 法规规定的双发安全裕量为0.8%;
- 航道I段的最小爬升梯度大于0即可; 航道II段的最小爬升梯度为2.4%; 航道III段和IV段的最小爬升梯度均为1.2%。

## 2.3 限制最大起飞重量的因素

- 最大审定起飞重量限制; 场长限重(满足 $TOD \leq TODA$ ;  $TOR \leq TORA$ ;  $ASD \leq ASDA$ ); 起飞航道的上升梯度限制; 障碍物限制的最大起飞重量(三个改平高度: 最低改平高度(400ft)、最大改平高度、延长航道II段改平高度)、轮胎速度限制的最大起飞重量、刹车能量限制的最大起飞重量、曲线图和表格题。

## 2.4 起飞特征速度 $V_1/V_R/V_2$ 的确定

- $V_{STOPmax}$ (ASD与ASDA的交点; 影响因素: 起飞重量 $W$ 增大、大气温度升高、机场压力高度升高、顺风起飞,  $V_{STOPmax}$ 减小)
- $V_{GOmin}$ (TOD与TODA的交点; 影响因素: 起飞重量 $W$ 增大、大气温度升高、机场压力高度升高、顺风起飞,  $V_{GOmin}$ 增大)
- 平衡距离、平衡速度、平衡跑道的概念
- 平衡场地法, 飞机分别以小于跑道限重的重量 $W_1$ 、等于跑道限重的重量 $W_2$ 和大于跑道限重的重量 $W_3$ 起飞时对应的 $L$ 随 $V_{识别}$ 的图必须会独立画出。
- $V_1/V_R/V_2$ 的确定, 表格计算题。



影响起飞决断速度 $V_1$ 的因素:

飞机重量 $W$ 增大、气温越高、机场标高越高、上坡和逆风, 使 $V_1$ 增大; 襟翼角度越大, 起飞决断速度 $V_1$ 越小。

## 2.5 起飞性能的优化

### ● 合理地选择起飞襟翼

结论: 跑道相对较长时, 选用较小的起飞襟翼偏度; 跑道相对较短时, 选用较大的起飞襟翼偏度。

### ● 起飞速度的优化

- $V_1/V_R$ 仅影响场长限重,  $V_1/V_R$ 增大时, 一发失效后继续起飞滑跑距离缩短, 场长限重增大; 一发失效后加速停止距离延长, 场长限重减小。
- $V_2/V_S$ 影响场长限重和爬升梯度限重。  $V_2/V_S$ 增大时, TOD、TOR和ASD均增大, 场长限重减小;  $V_2/V_S$ 增大时, 即 $V_2$ 增大, 爬升梯度增加, 爬升梯度限重增加。
- 改进爬升, 使用前提时场长限重大于上升梯度限重, 具体方法为利用富裕的跑道增速, 使 $V_2$ 靠近 $V_X$ 。
- 减推力起飞(减额定功率Derate和假设温度法Assumed Temperature或灵活温度法Flexible Temperature)
- 减额定功率减推力—优点: 没有运行限制; 缺点: 在该次起飞中功率无法恢复至满功率。
- 假设温度法, 即把实际起飞重量当成最大起飞重量反找确定一个比实际温度更高的假设温度, 缺点: 污染跑道不能使用假设温度或灵活温度起飞。
- 掌握波音、空客起飞分析表的使用, 例题要求独立完成。