



《着陆技术及风险分析》

目录

CONTENTS

01

概述

02

典型数据分析

03

操纵要点解析

04

带飞风险解析

《概述》

一、概述

没有一个“难看”的着陆是人的主观意愿所造成的，在航班中大家聊的最多的也是起落怎么飞，公司有关着陆的课件及技术研讨基本上每年都在讲解提示，但类似原因造成的“难看”着陆却仍在发生。

在技术管理中，时常能听到的，怎么能？怎么又？怎么会？所有的飞行员都是万里挑一的人，甚至身边有些出现重复技术问题的人还是各种各样的高手健将，那么到底出了什么问题，有没有规律性的和逻辑性的答案？

《典型数据分析》

升力公式：

$$L = 1/2 \rho v^2 S * CL$$

其中L表示升力， ρ 表示空气密度， v 表示飞行速度，S表示机翼面积，CL表示升力系数。这个公式表明升力与空气密度、飞行速度的平方和机翼面积成正比。

空气密度：大气温度的（季节、海陆、地表辐射）、气压、海拔高度等因素直接影响。

速度：可以看到速度的增加和减小对于升力的影响不是线性的关系，当其他影响因素不变，可以把速度对升力的影响看成一个二次函数，当速度偏离所需基准时，对升力将产生指数级的偏差。





五边能量的表达：

总能量=势能+动能+风能

势能：飞机相对于标准剖面所具备的能量状态，通过“牺牲”剖面梯度可以换取速度（动能），相反通过增加姿态可以减小速度（动能）以增加剖面梯度（势能）。

动能：飞机当前速度所对应的能量状态。

化学能：飞机油门控制的当下推力对飞机未来总能量产生影响。

趋势：飞机增/减能量的一种状态过程。

风能：顶/顺风分量变化造成的速度增加或减小，导致动能的变化。

重着陆原因分析：

- 对飞机的趋势判断认知偏差，导致油门小于所需油门，飞机总能量减小的趋势过入口（常见的是速度持续减小），入口后能量不足；
- 入口前有稳杆动作，飞机姿态减小，下降率增加，导致下沉快；
- 拉开始时机过早或偏晚；收油门机械；拉平高后处置不当；
- 低空有推拉杆动作，部分接地时存在粗猛抽杆动作；
- 对季节特点、机型差异操纵特性、机场特点了解不充分，预判不足；
- 教员/机长未把握好放手量和接操纵上手时机等等。

主因： 低空趋势判断不准（低空趋势不稳定），入口条件不好，视线转移不恰当，着陆技巧不合理，带飞理念不正确是主要因素。

示例1： 能量弱。飞机重量： **60.6t** 襟翼： **30** 外界温度： **0℃**。G值 2.02。

假设总能量状态不变，如果把剖面飞到正常的**3**度剖面上去，飞机的减速效果一定更加明显，为了维持正常剖面飞行所需的姿态也会明显大于正常进近姿态，这样是不是能更加直观快捷的判断出总能量不足，趋势走弱的情况？

原因分析

一、入口飞机总能量弱，减速趋势快，下沉没有完全控制就收油门

1、入口评估能量主要是在考虑到速度偏差风险的情况下，评估油门和风的变化

飞机油门小于基准，姿态却**大于**正常姿态，飞机持续缓慢的减速。如果再叠加顶风分量减小，则能量减弱趋势将更加明显。此时要**格外警惕**！飞机抬头、小下降率过入口，往往给机组造成起始下沉可控的假象。而实际上油门小于所需油门后飞机产生能量减弱的趋势，导致杆上的操纵效应变差，机组开始拉、飞机不拉开始，所需姿态也大幅增加。

2、收油门要及时判断飞机的低头趋势

由于飞机起始下沉较缓，带杆飞机会出现下沉可控的假象。如按照正常高度收油门飞机便会出现**明显掉机头趋势**。此时机组若缺乏预判，飞机很可能出现掉机头接地。

案例2：入口前稳点。飞机重量：59.3t 襟翼：30 外界温度：-10℃。
G值：1.85

入口：地速127kt；姿态由2.3减小到1.7；下降率由650增加到800；空速
Vref+3。

能量偏弱，入口后收油门机械，虽然姿态增加但下沉未有效减小。

原因分析

3、发现偏差时机偏晚

当出现偏差以后，上手时机偏晚，低空再去上手已经没有修正的空间，更容易造成抽杆的情况。

4、大速度小油门

当出现此种情况时，为了制止下沉，通常机组需要在同样的拉开始高度带出更大的姿态以换取势能以减小下降率，操作不好既容易产生着陆姿态大的后果，也违反飞行员主观的操纵习惯和认知，即拉开始后对应的高度有对应的姿态，或习惯的落地姿态的区间。导致飞行员最终还是以“正常而习惯”的姿态接地，同时伴有下降率。

原因分析

二、短五边抬点，入口过度稳点导致“跳水”进跑道

- 1、短五边未有效控制下降率减小趋势。（抬点）
- 2、入口前过度稳点导致飞机在拉开始期间出现下降率增加趋势。（下滑剖面变陡）
- 3、由于稳点往往飞机会有劲足的假象，对应高度正常收油门导致飞机下沉进一步增加。

此时往往有飞机的杆一直没停，姿态一直在出。飞机下沉并没有减小。

- 4、当低高度发现下沉未有效控制时往往会诱发抽杆动作。

在入口前发现飞机抬点时，适当调整目视点比稳点跳水带来的风险小的多

案例3： **接地前抽杆**。飞机重量：**53.2t** 襟翼：**30** 外界温度：**38℃**。G值：**1.919**

入口：地速**139kt**；下降率**500fpm**；姿态**2°**；空速**Vref+7kt**。

入口时感觉下沉偏缓，稳杆减小姿态增加下沉，后续未在合适高度有效减小下沉，发现下沉快时高度低，抽杆。

原因分析

三、下沉抑制不够，接地前抽杆

1、五边较为稳定、视线易固着

飞机**五边往往较为稳定**，飞机在低空也不存在下降率的较大波动。飞行员往往存在**视线固着**情况（雨中进近等影响），导致拉开始高度降低。

2、粗猛带杆，抽杆过程中接地

对下沉容忍度高，到了低高度才开始带杆。杆量往往非常大，飞机下沉并未有效抑制，飞机姿态在增加过程中接地。往往导致**g**值非常大。

3、带飞放手量过大

带飞容易被五边稳定的假象干扰，语言提示没效果再上手为时已晚，**低高度上手本能导致抽杆**。

案例4：入口前能量不足，姿态过大，入口后稳点不拉开始 **g**值：
2.072

飞机重量：**62.9t** 襟翼：**30** 外界温度：**38℃**

原因分析

四、忽视大姿态带来过快减速效应

1、短五边能量不足修正时机晚

飞机长期处于能量弱，低于下滑轨迹状态。快到入口再修正，时间已经来不及，并且修正量太大。

2、入口后盲目稳杆

入口后因姿态过大，稳杆等下沉的过程很危险。没把握好提前量就会导致飞机在下降率增加的过程中接地

《操纵要点解析》

五边及入口条件创造要点分析

- ✓ 五边飞好趋势是为了创造良好、**稳定**的入口条件而做准备的一个过程；是以好的入口条件为最终目标而观察、判断和准备的一个过程；并且也是随着距离入口越近，高度越低，修正偏差的**容差裕度越来越小**的过程。
- ✓ 把五边趋势飞好是建立在**下滑轨迹正确**的基础上的（不在轨迹上总能量会失真），是了解飞机性能的基础数据，结合对外部环境影响的预见性研判，体会惯性的过程，是入口条件创造的前提。
- ✓ **进近时要识别天气类型**，如果天气条件并不产生明显的速度变化，仅仅是速度的晃动，那么在长五边要允许速度围绕着目标速度晃动，油门使用相对克制，保持好目标速度即可。如果气象条件会产生速度变化，在控制好剖面的大前提条件下，**油门使用应遵循少量、多次、及时、定中的原则**在长五边尽可能飞好数据。如在长五边速度、剖面准确的情况下，在短五边入口前，**参考姿态、基准油门，评估好油门偏离度**，飞好入口前趋势，使得飞机以正常的能量稳定的状态过入口。

- ✓ 短五边时，**以下滑点、线为主，检查速度和油门**，注意力分配由以内为主逐渐向以外为主过渡，内外循环的越快越有利于我们及时发现下滑点、线的变化；正确的趋势判断依靠正确的视线、基准数据和对环境条件的研判，对飞机趋势判断的正确感知要参照仪表数据的修正，可以使感觉更趋向于正常准确。
- ✓ 入口前飞好油门务必要明确将**油门加至基准的前提是飞机的轨迹趋势稳定可控**，是在五边趋势飞好的基础上，使飞机不欠劲，是为着陆动作拉开始创造良好条件的关键，是托底的，但不要机械盲目，脱离实际，参考好**实际进近姿态**，控制好**油门偏离度**。
- ✓ 在每一次五边进近过程中，做好评估准备，并根据实际情况具体调整，去感受能量和趋势在不同阶段的变化，眼、手、脑的组合，**关键在脑**。

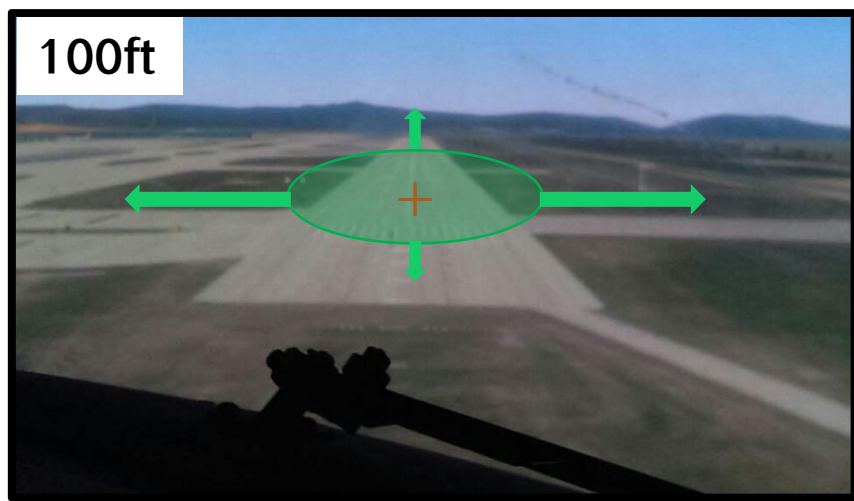
拉开始飞好曲线

着陆操纵技巧——视线转移

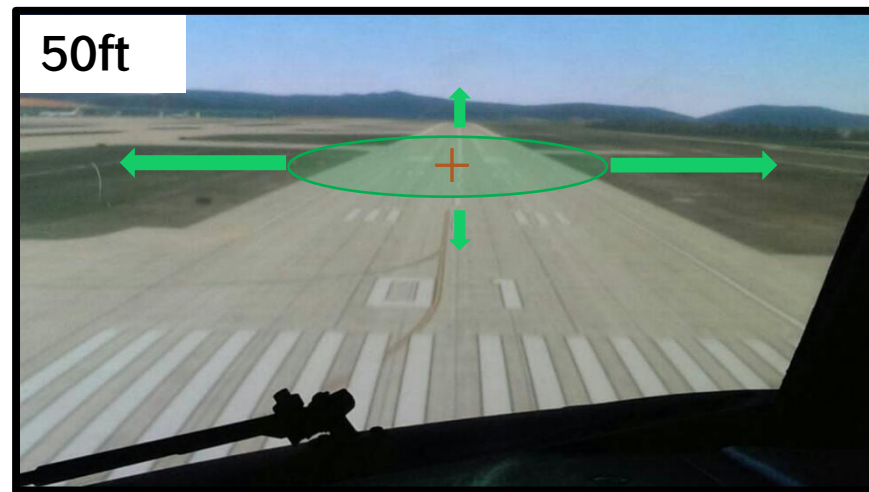
100英尺以下注意力分配

- 在机头通过跑道入口，**跑道入口从视线中消失时**，将目视点转移到跑道最远端，形成面的参考。转移目视点有助于在拉平时控制俯仰姿态。

• 飞机离地100英尺时



• 飞机50英尺时（飞越跑道入口）

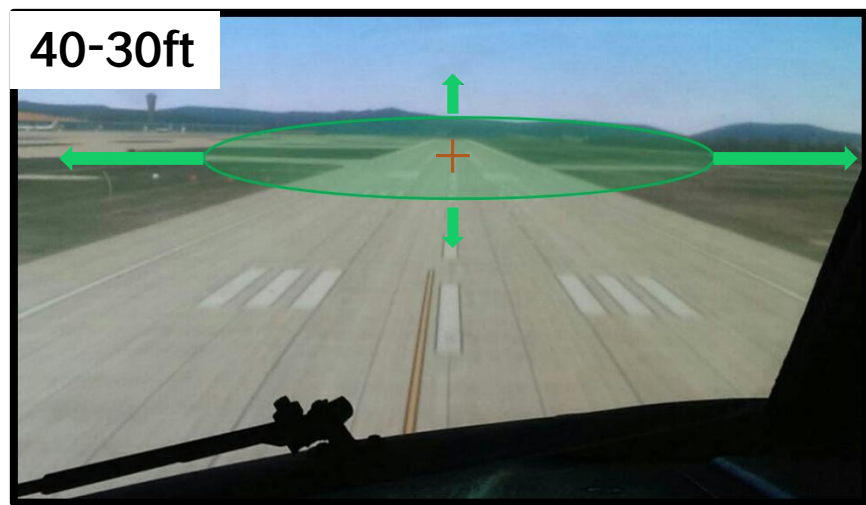


着陆操纵技巧——视线转移

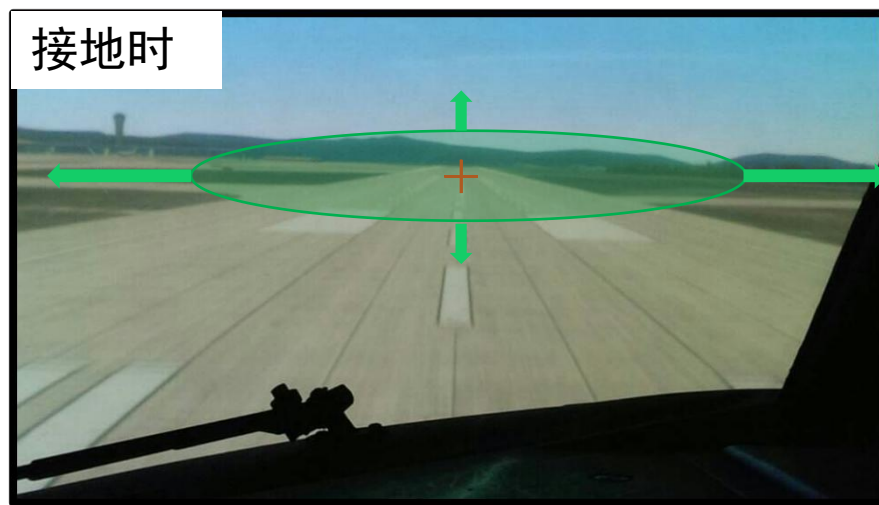
100英尺以下注意力分配

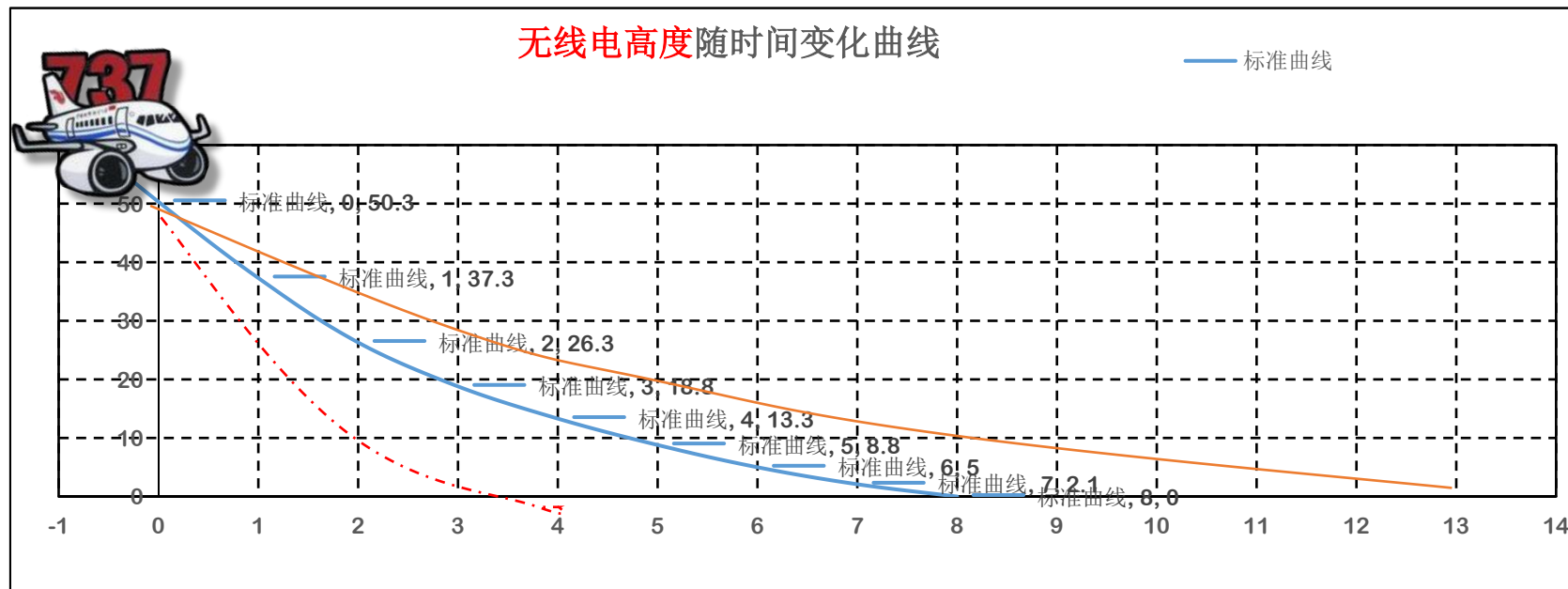
- 随着视线放远，柔和带杆控制下沉减小，当下沉可以用杆控制后（即克服空杆和惯性），油门开始柔和收光，视线适当放远，夜航时随着入口灯光从视线消失，将视线柔和放至最远，用余光去感受两侧边灯向上升起的速率

• 40-30英尺时



• 飞机接地时





50ft以下我们经常说要控制下沉，其实控制下沉就是飞一个稳定的曲线。在三维空间一个稳定的曲线：从仪表参数来看就是一个无线电高度对应一个大致下降率。

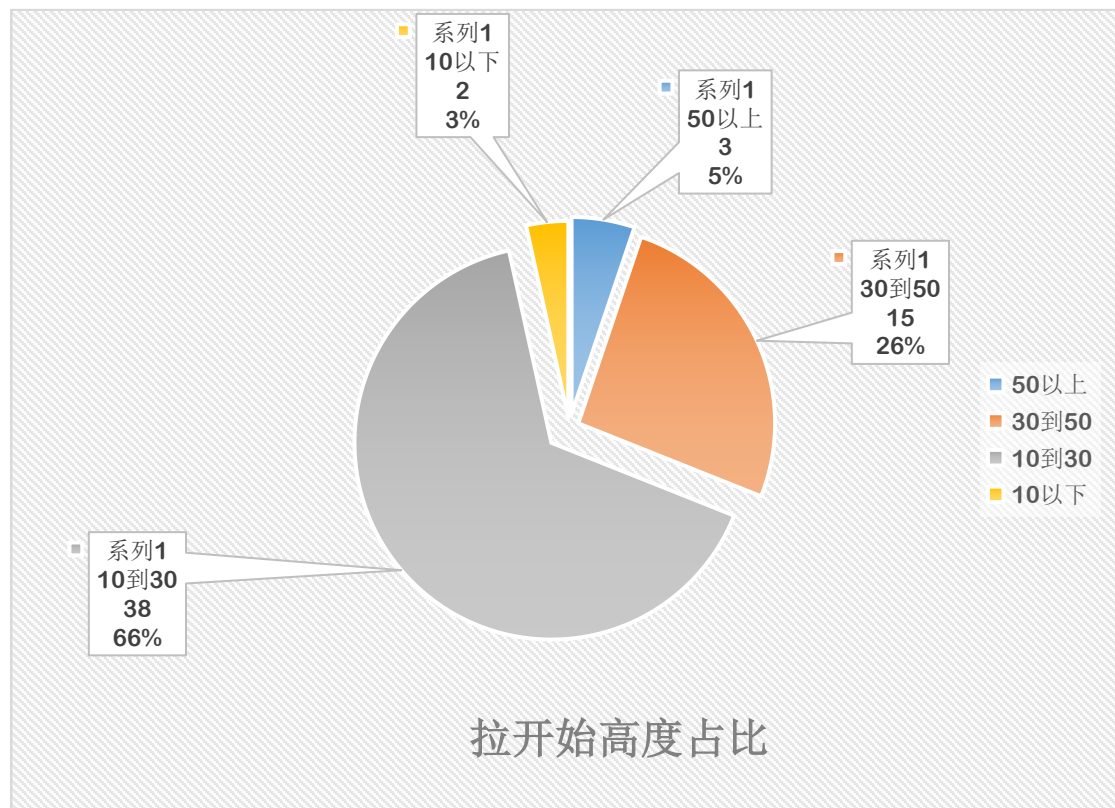
而实际我们是依赖目视感觉飞50ft的曲线，这就需要把这个以仪表参数代表的曲线转换为我们的目视感觉。当然这需要大量的练习和飞行经历。但依赖于我们多看正常的曲线，在大脑中强化正常曲线的印象，才能按照大脑中的图形练习。

这也要靠机长教员们能演示出正常的飞行曲线给副驾驶建立正常概念。

任何过多偏离正常曲线的情況基本都会导致着陆载荷大或接地点远。

1. 低空稳点，起始下沉快，依旧在习惯拉开始高度机械拉开始，就容易造成下沉不能有效减小，导致重着陆。
2. 低空抬点或者由于地速小入口起始下沉缓，并且拉开始机械，就容易造成拉挂，接地点远；若拉挂后稳杆或过多掉机头也容易造成重着陆。

以下是**2022**年着陆载荷大事件中，不同高度拉开始的占比。



一：拉开始高度大于**50ft**: **5%**

二：拉开始高度**30-50ft**: **26%**

三：拉开始高度**10-29ft**: **66%**

四：拉开始高度低于**10ft**: **3%**

由此可见重着陆往往都跟拉开始高度偏低有关

视线转移常见误区：

1. **视线紧张：**盯得死，没有视线转移，看不出下沉，不拉开始，拉开始晚，导致抽一杆；
2. **视线跳跃：**拉开始时还是大白点，下一秒就是跑道最远端，中间的过程丢失，等带完了第一杆，才去判断结果，然后再去修正，结果就是可能多可能少，没有曲线；
3. **参考偏差：**看得过远或过近，发现趋势晚，典型的一种情况是，拉平高的处置不当：发现拉平高以后停杆，之后不能及时的发现下沉的那一刹，实施二次拉开始晚，掉机头。

视线转移提示：

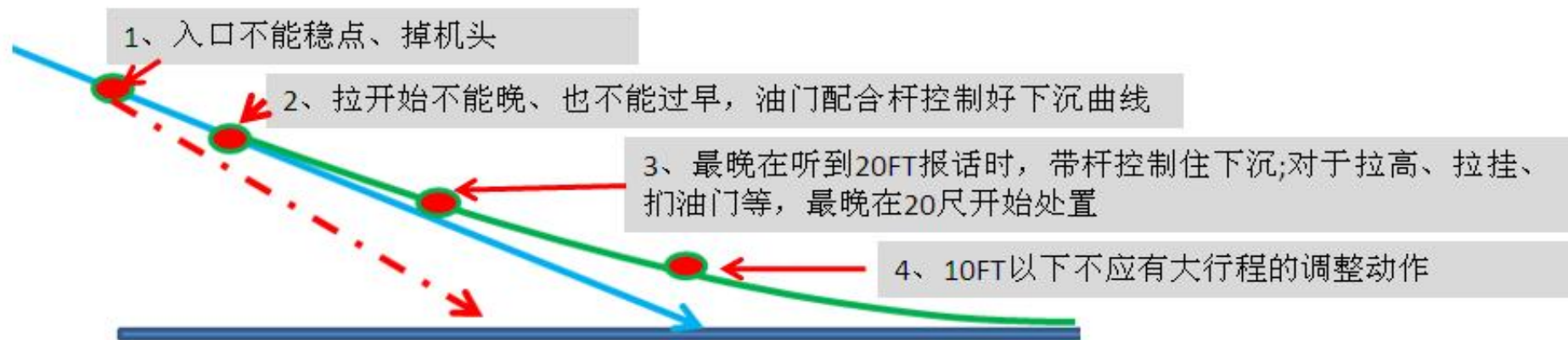
1. 拉开始的同时，随着姿态的增加视线逐渐前移，以确保能持续看出飞机的下沉，直到接地；
2. 逐渐的意思是不丢失每一个瞬间，中间没有停顿也没有跳跃，就是飞机每一秒的变化都能看在眼里，飞完以后都能回忆起来刚才的过程。

操纵手法常见误区：

1. 入口前习惯性的稳点，大白点情节重；
2. 拉开始前习惯性的起始退一杆；
3. 习惯性的拉开始晚，憋油门，用油门去控制下沉；
4. 杆与油门的配合不协调，例如：有的是20尺甚至更高，油门就收光了，后续仅靠杆来落地，接地效果和曲线都不好；
5. 操纵粗猛，推拉杆、抽杆、一把油门收光。

操纵手法提示：

1. 在拉开始前保持飞机的运动趋势，不改变运动轨迹；
2. 随着退杆逐渐收油门，最理想的状态是在接地的同时油门收光，飞机在每一个高度对应一个姿态，推力，速度、下降率；
3. 通过下降率的逐渐减小过程，飞出曲线，得到接地点和接地效果自然呈现的结果，正常情况下杆只有一个行程就是向后。



操纵风险分析：

● 趋势判断不准：

气流扰动（导致速度、姿态的扰动），容易让人对飞机的趋势判断认知产生偏差，无法准确地判断出飞机能量不足；需要眼、手、脑的综合运用（感性+理性<目视感知+基准数据>），以达到趋势好，状态稳定。

● 入口条件不好：

① 数据好，趋势不好；

② 数据不好，趋势也不好；

气温回升时，地表气温回升快、气压降低等因素，造成在低高度油门不足；

不能以飞好趋势、不欠劲为由，盲目大速度进近，造成进近速度大、接地速度大，也不能盲目依赖数据，缺乏对能量的判断。

● 视线转移不恰当：

低空容易产生上升气流，飞机姿态的不稳定、数据的变化，过多牵扯精力；视线转移晚、下滑点不准，入口前有过量稳杆动作，下降率增加，导致下沉快。

- 着陆技巧不合理：

入口状态的不稳定，容易造成拉开始时机过早或偏晚（特别是拉开始晚、拉平低）；收油门机械；拉平高后处置不当；低空有推拉杆动作，部分接地时存在粗暴抽杆动作。

- 带飞理念不正确：

不稳定的气流会加大对被带飞者能力的准确评估难度，加大接操纵后偏差修正的难度。

教员、机长没有把握好放手量和接操纵上手时机，机长对机组技术状况了解不准确；带飞是教正确的概念，而非偏差修正，了解好带飞人员技术情况，提前沟通操纵风险；

避免大撒把式带飞，机长发现偏差要早提醒，再帮忙，最后上手，副驾驶修正不了偏差，机长可以随时接操纵，状态恢复正常状态以后在交给副驾驶，50ft最晚上手时机，且上手直到落地。

注：应防止飞机进入过大偏差的状态

《带飞风险解析》

人：

在飞行中我们一定要对自身能力有充分的了解和认知。结合正确的操纵理念和娴熟的操纵技巧来控制飞机的状态和趋势是避免重着陆最有效的方法。

1) 航班运行中，机长的职责是确保人机安全，是帮助副驾驶建立运行经历，带飞是在安全边际内的实施过程，“大撒把”式的所谓深度体验既不利于飞行安全，又不能给被带飞人员带来在技能上提升的获得感；

2) 为了确保在安全边际内的可控带飞，也就对带飞人员提出了更高要求，在评估带飞对象的同时，评估好自身的状态能力，根据实施阶段及受训对象的不同，理顺“评估”、“提醒”、“帮助”、“上手”间的关系，采取切实有效的处置，履行岗位职责。

“评估目标”-在PF当前标准，要有目标并努力去做好

“趋势提醒”-虽然在控制范围内，没有把趋势预判的效果飞出来

“偏差帮助”-超出PF控制范围的，帮助PF控制在范围内

“上手时机”-该上手时就上手，低高度的上手必须负责到底

人：

- 3) 带飞人员要张得开嘴，提前讲，根据机型、天气、机场特点，和受训人员的情况讲了再练，有针对性的预习要比盲目开练更有效果；
- 4) 带飞实施阶段是应用好“评估”、“提醒”、“帮助”、“上手”，既确保了航班安全，也给被带飞人员建立关于飞机轨迹趋势判断控制的正确概念，获得有效的认知和技能的提升；
- 5) 带飞后的讲评，要从情景意识、进场计划、视线、手法、趋势判断入手点透实质，提高了机长教员的分析解决能力和成就感，双赢才是硬道理。

机：

不同机型的特点：

-700机型飞机进近速度小，进近姿态大，有种-800亏劲儿的感觉。在入口以后收油门后，减速快，容易诱发下沉快，如果视线盯得死，发现下沉快不及时，容易导致重着陆。

预防的方法：对于-700来说，五边速度不能小，油门收得要带杆配合好，通常拉开始不能早，防止误认为操纵性好就一把油门收光。

-800机型襟翼30相对襟翼40杆上的反应灵敏，容易误认为速度大点儿小点儿无所谓，如果偏差积累到入口前，往往已经错过了修正的时机，导致偏差过大。

预防的方法：五边要有速度控制，入口前数据的检查要形成习惯，趋势的判断要结合数据，油门的收减要看趋势，带杆的动作要柔和一致。

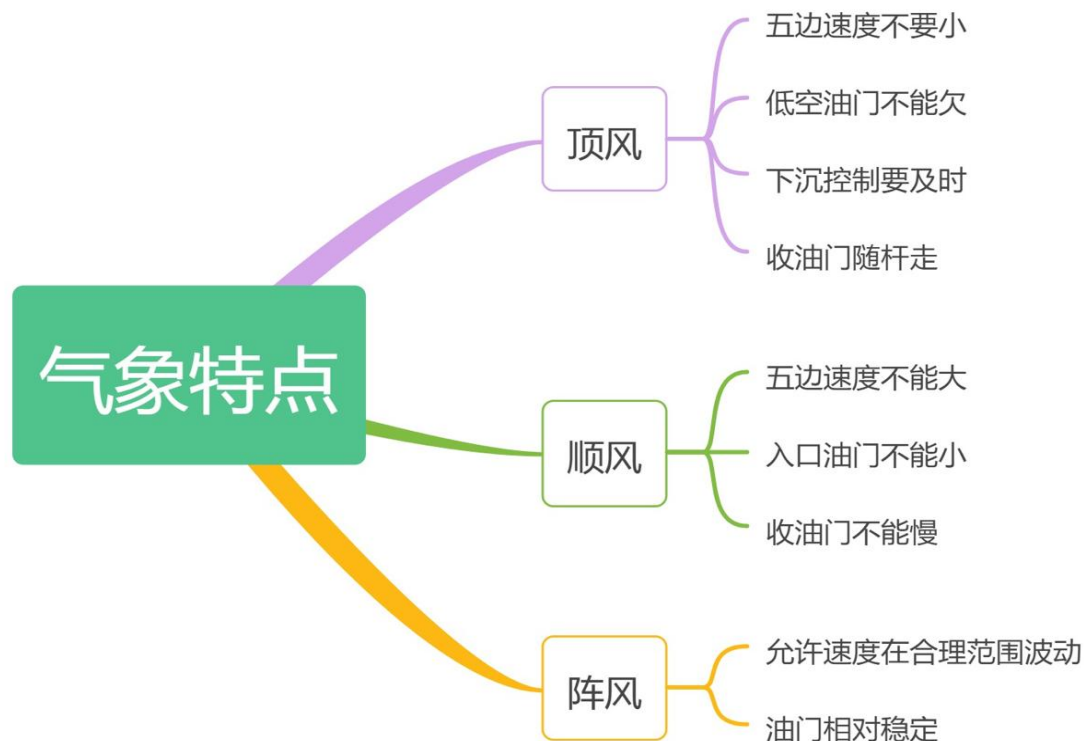
-MAX机型五边油门小，横侧操纵较硬，有滞后性。入口收油门后减速慢，飞机能量足。错误的认为入口以后可以一把收光收油门，不用等，落地不会重。

预防的方法：五边尽早脱离，尽早确认基准油门，横侧操纵要稳住不急不晃，入口后收油门不可过早过快，拉开始后带杆力要随着减速逐渐增加。恰恰是MAX要想飞好，对杆和油门的配合要求更高。

环：

环境趋势较为复杂，有部分需要结合航线运行经验，但并不是完全依靠经验，我们飞的是当下的状态。

影响因素：风、气温、地形、机场标高



➤ **风的影响：**紧张，数据变化大，飞机状态不稳定，过量粗猛的操纵动作，死飞数据，丢失了对趋势的判断。

- **气温影响：**我们都知道气温高，飞机能量弱，所需要的基准油门大，但往往忽略了换季时气温的变化。由于日照变强，地表温度升高快，由于地表辐射会造成低空温度高于五边温度。导致的现象就是飞机五边的基准油门在低空变得偏小，入口前感觉能量不足，需要及时地增加推力。
- **地形影响：**地形的变化往往伴随着风速风向的变化，比如大连RW10，往往五边顺风，决断高度以下从顺风变顶风。北京RW01 500FT上升气流，200FT下沉气流。
多总结，找规律，及时修，别过量，等稳定，再调整。
- **标高影响：**我们所飞的机场小高原偏多，特点加速慢减速也慢，空气动力弱，进近地速大，需要对能量、趋势有充分的预判，操纵上讲究一定的技巧。

五边速度不能大（本身地速大，如果速度控制不好，容易造成过大的下降率；由于减速慢，如果五边速度控制不好，很容易将偏差积累到低高度，造成入口大速度小油门）

低空油门不能小（感觉出能量小，再加油门，往往为时已晚）

所以总结不同机场，季节特点，了解环境变化趋势可以让大家飞起来更加从容。

回到开篇所述，重起落绝非人所愿为，发生重起落却离不开人的因素。

作为副驾驶，首先要对自身所处的阶段能力**有清醒的认识**，风险点在哪儿，虽然不能完全避免，但可以**提前预防**。

作为机长，要清醒的意识到**带飞的责任**，**首先是确保安全第一**，如果用一种错误的带飞方法来纠正一个错误的操纵理念，结果可想而知，一定不是负负得正。

从事故链的**最开始进行把控**，相信可以远离重着陆的发生。

— 感谢观看 —→



《着陆技术及风险分析》