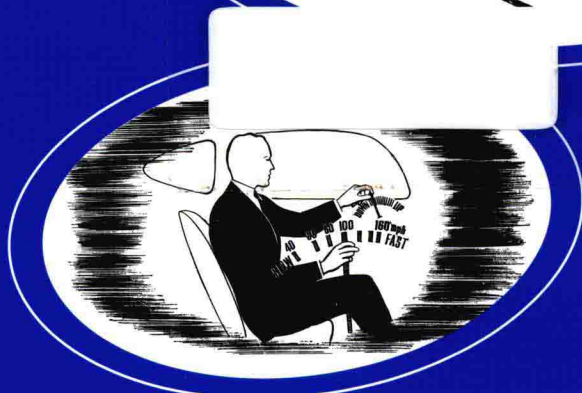
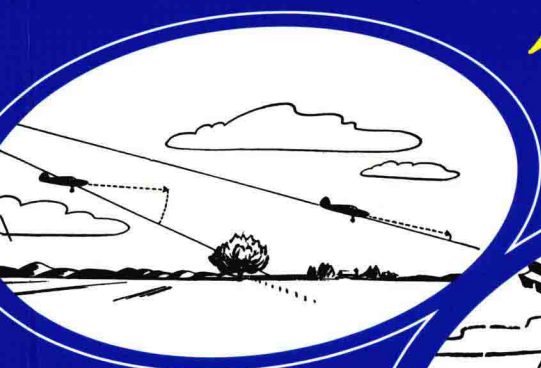


操纵杆和方向舵

领悟飞行技艺的精髓



[美] 沃夫冈·朗维舍◎著
施倩 陈慧 闵然◎译
孟昭昂 陈铭宇◎审

深入通读一次 等于实际飞行数小时

操纵杆和方向舵

领悟飞行技艺的精髓

〔美〕沃夫冈·朗维舍◎著

施倩 陈慧 闵然◎译

孟昭昂 陈铭宇◎审

 北京科学技术出版社

STICK AND RUDDER: An Explanation of the Art of Flying

by Wolfgang Langewiesche

Copyright © 1944 by Wolfgang Langewiesche

Copyright renewed © 1972 by Wolfgang Langewiesche

Published by arrangement with McIntosh and Otis, Inc.

through Bardon-Chinese Media Agency

Simplified Chinese translation copyright © 2016

by Beijing Science and Technology Publishing Co., Ltd.

ALL RIGHTS RESERVED

著作权合同登记号 图字: 01-2015-4429

图书在版编目 (CIP) 数据

操纵杆和方向舵: 领悟飞行技艺的精髓 / (美) 朗维舍著; 施倩, 陈慧, 闵然译. — 北京: 北京科学技术出版社, 2016.4

ISBN 978-7-5304-8143-1

I. ①操… II. ①朗… ②施… ③陈… ④闵… III. ①飞机 - 飞行安全 - 经验 IV. ①V328.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 311818 号

操纵杆和方向舵: 领悟飞行技艺的精髓

作 者: [美] 沃夫冈·朗维舍

策划编辑: 赵丽娜

出 版 人: 曾庆宇

出版发行: 北京科学技术出版社

社 址: 北京西直门南大街 16 号

电话传真: 0086-10-66135495 (总编室)

0086-10-66161952 (发行部传真)

电子邮箱: bjkj@bjkjpress.com

经 销: 新华书店

开 本: 710mm × 1000mm 1/16

版 次: 2016 年 4 月第 1 版

ISBN 978-7-5304-8143-1/U · 051

译 者: 施倩 陈慧 闵然

责任编辑: 赵丽娜

责任印制: 吕 越

图文制作: 天露霖

邮政编码: 100035

0086-10-66113227 (发行部)

网 址: www.bkydw.cn

印 刷: 三河市国新印装有限公司

印 张: 23

印 次: 2016 年 4 月第 1 次印刷

定 价: 98.00 元



京科版图书, 版权所有, 侵权必究。
京科版图书, 印装差错, 负责退换。

目 录

第一部分 机翼	1
1 机翼如何帮助飞机飞行	4
2 飞机的飞行方式	22
3 升力与浮力	40
4 飞行直觉	50
第二部分 飞行常识	71
5 过山车法则	72
6 随风飘飞	79
7 飞机想要做什么	101
8 那个叫作扭矩的东西	125
第三部分 操纵装置	135
9 升降舵和油门	137
10 副翼	151
11 方向舵	164
第四部分 基本飞行动作	175
12 转弯	177
13 水平直线巡航	216
14 下滑	226

第五部分 着陆	247
15 进近	249
16 着陆	272
17 着陆滑跑	294
第六部分 空中的危险	303
18 空中的危险	304
第七部分 更好地把握空气因素	329
19 飞机的运行速度	330
20 稀薄的空气	343

第一部分

机翼

飞机就是一种在空中行驶的汽车——请避免这种先入为主的想法。事实并非如此。飞机的声音、气味甚至内部装饰可能都和汽车十分相似，但二者的不同之处在于，飞机依靠机翼飞行。

机翼是一种奇特的事物，它运作起来很奇特，了解起来很困难，操作起来很复杂。在很多重要方面，机翼的运作与人类的常识完全相悖。飞机飞行时，飞得高安全，飞得低危险；飞得快安全，飞得慢危险。一般来说，如果你想让飞机向上飞，就要先使飞机抬头，但是如果抬头的幅度过大，飞机就会失控或者尾旋坠落。飞机着陆时，为了使其下滑到跑道上并且完全降落到地面，你反而要像使飞机急速上升那样控制操纵杆。在飞机下滑的过程中，如果想让它以比较陡的角度下降，机头反而要以比较平的角度指向下；如果想让它以比较平的角度下降，机头反而要以比较陡的角度指向下。而所有矛盾现象中最惊人的是，在紧急情况下，比如飞机在半失速状态下朝地面下沉、开始失速或者尾旋坠落时，你非常怕它直接撞到地上，唯一避免这种后果的方法是使机头朝下，使飞机俯冲向地面，就像你打算撞击地面一样！

很大程度上正是因为飞机本身的种种矛盾使得飞行学习起来很困难。学习飞行很难，这是毋庸置疑的，事故记录和因为缺乏天赋而被排除在飞行训练之外的男士的数量就可以证实这一点。造成飞行如此难学的原因是人的本能，也就是说，人们根深蒂固的心理和生理习惯会诱导他们做出完全错误的行为。在堪比飞行的其他技术（如航海）的学习中，技巧、思维、习惯等必然会从无到有逐渐形成和提升。而

在飞行的学习中，你必须在第一时间忘掉很多精心学到的动作和根深蒂固的观念，将它们摒弃掉，有时甚至需要反其道而行之！

同时，正是与常识的矛盾致使驾驶常规飞机有时会要求飞行员具有“勇气”，这同样毋庸置疑，因为在飞行中“乖宝宝”或者畏缩者是会失败的。最突出的案例是使在低空失控坠落的飞机恢复正常的时候——你要向前推操纵杆，使机头朝向地面。这的确需要勇气，并且没有第二条路可选。此外还有许多不那么突出的例子。官方的飞行手册中有一条规定，飞行员必须学会不向他的自我保护本能屈服，而代之以经过认真训练得来的反应。其实这只不过是“有胆量”的一种含蓄说法。

综上所述，学习驾驶常规飞机在很大程度上可以说是一种军事训练，就像训练动物那样，比如训练一只狗在它想吃东西的时候不去进食，在它并不情愿的情况下跳过火圈。事实上，我们目前的飞行训练中有很多训练方法都是动物式的，这是必需的，因为除非经过高难度的训练，否则你不可能违背你的常识和强大的本能。

不过，关于这个问题的另一种观点也有其合理性。我们的思想中对机翼及其飞行原理、操纵装置及其功能存在错误的认知，基于这些错误认知产生的常识和自然反应误导了我们的行为。飞机毕竟是一种机器，它遵循一般的物理定律，其运行并不能违背常理。正如方向盘、船和杠杆等人类其他伟大的发明一样，机翼是简单的。但与它们不同的是，机翼对我们这代人而言既新奇又陌生。

可能新手对飞机的错误反应和刚开始学习驾驶汽车的情况类似。当一个人试图紧急刹车时，他会本能地向后拽方向盘，就好像手里攥着的是一条缰绳一样，甚至会大叫“吁”。从他的意图考虑，这个人的反应不能算是错误的，唯一错的是他头脑中的想象使他下意识地吧汽车当成一种机械马，认为能像操控马那样操控汽车。假使把我们今天习以为常的机械装置——能切断发动机动力的离合器、能控制车轮减速的刹车装置——清楚地刻到他脑子里，假使让他真切明白这只是一台压根儿没有灵魂的机器，那么毫无疑问他就能轻而易举地正确应对。或许只有当我们足够清楚地了解机翼，生动直观地观察到它是如何运作的，机翼的运作看上去才不会有悖常理，我们才能按它本来的运作方式去看待它。之后，只要跟随我们的冲动和“本能”就可以了。进行飞行很大程度上靠人的想象力！如果一个人关于飞机的想象是正确的，他就能轻松自然地对飞机做出正确的反应。

为了了解飞机如何飞行而学习的内容有时被称为“飞行理论”。这个名称使它

在飞行员中有了一个坏名声，因为大多数飞行员认为理论对飞行没有用处，实践才有。然而，你会不由自主地形成理论。从削土豆皮到开飞机，无论你做什么，都是在对事物的真实状况展开想象的基础上进行的，这就是一切“理论”的真谛。如果你对事物真实状况的看法是对的，你就会做得很好。

从飞行员的视角来看，“飞行理论”的不当之处并不在于它是一种理论，而在于它是跑题的理论——它通常会变成一种制造飞机而非驾驶飞机的理论。它在航空动力学方面说得太深奥，远远超出了飞行员的需要；它甚至为飞行员提供了计算爬升高度的公式！但它却漏掉了飞行员最感兴趣的有关飞行层面的内容。它总是忽略飞行技术中最重要的方面——迎角及其在飞行中的变化。它也并未让飞行员清楚理解飞机能够前行的各种飞行条件——从快速飞行到受到干扰和失控下降。这本书，尤其是前面的章节，试图重新聚焦“飞行理论”，避开飞行员没必要了解的内容，而关注那些在飞行时真正困扰他们的内容。

1

机翼如何帮助飞机飞行

就在此刻，成千上万想要学习飞行的人正在浪费数十万的飞行时数，这是因为他们没有真正理解飞机的飞行原理，没有看清能够解释他们正在做的一切事情的一个事实，他们缺少一把打开大部分飞行奥秘的钥匙。

在教科书中，这把“钥匙”被称为“迎角”。解释了迎角实际上就解释了飞行原理：如果你只有两个小时向飞行学员解释飞行原理，那么迎角是你必须说清楚的内容。它几乎能够解释关于飞行的一切！迎角能够解释所有关于飞机爬升、下滑和水平飞行的原理，关于飞机转弯的很多原理，以及几乎所有关于一般失速、动力失速和尾旋的原理。迎角能够解开人们对某些飞行动作的疑惑，比如抬头式动力进近。迎角还能够解释飞机的着陆。因此，除非你完全理解了“迎角”，否则你将不能完全理解所有的飞行动作。然而当你完全理解了这部分内容后，你可能还是不能飞得很好，可能还会在同时移动操纵杆和方向舵时显得笨拙，你的眼睛、耳朵和脚的反应可能还是有一点儿迟钝，但是你能够理解飞行，不再感到迷惑，能够判断什么是你应该做的，还能够分析自己犯的错误，从而成功地飞上天空。

然而，理解这个概念需要付出大量脑力劳动。理解未知事物通常只有一条捷径——与已知事物进行比较。通过与汽车的变速箱进行比较，我们能够理解螺旋桨变距机构的作用；如果你愿意，还可以将螺旋桨与螺丝钉比较。通过与轮船的船舵进行比较，我们能够理解飞机方向舵的作用。但是机翼是飞机特有的，对我们而言是全新的事物。因此，我们在日常生活中找不到与迎角类似的参照物。

鉴于迎角这一概念总是被人们误用，我们首先要了解“迎角不是什么”。迎角不是飞机机头与地平线的夹角，不是机头抬起或低下的角度。飞行员有时会在那种情况下使用“迎角”这个词，而正确的词应该是“姿态”：抬头姿态、水平姿态或者低头姿态。这种差别是非常重要的，因为飞机可能处于非常明显的低头姿态，但其迎角却很大，比如当飞机尾旋时。此外，飞机的机头也可能近乎笔直朝上，但其迎角却相对较小，比如当飞机急速上升时。

迎角也不是以飞机纵轴为参照线时机翼所成的角度，那应该叫作安装角^①。这个角和飞行员没有多大关系，因为这是由飞机设计师决定的，飞行员无法改变它。此外，对大多数飞机而言，安装角小到几乎可以忽略不计，因为它只有 1° 、 2° 甚至是零。因此，从现在起，安装角不再进入我们的讨论范围，我们假设飞机的安装角都是零。

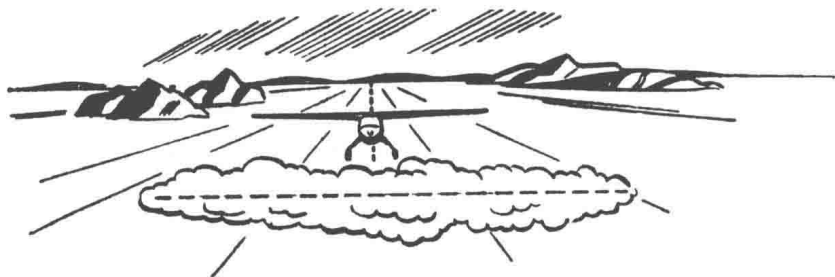
以上都在说“迎角不是什么”，接下来要说“迎角是什么”。这些内容需要你仔细思考，画在纸上，用手比划，并在飞行中进行尝试，直到最后这个概念在你的脑海中变得非常清晰和熟悉：迎角是机翼与空气相遇时两者形成的角度。

忘掉伯努利定理

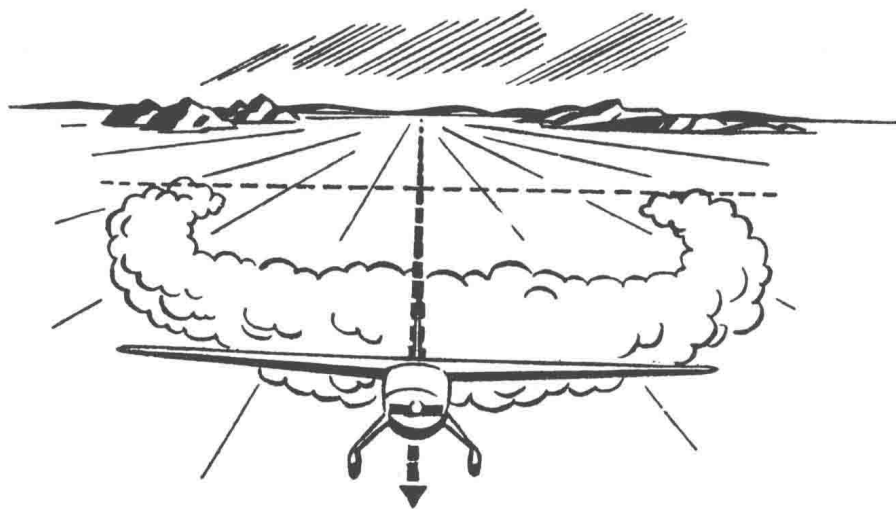
机翼与空气相遇时形成的角度是什么意思呢？为了理解这个，你必须先回到一个简单的问题：机翼是如何让飞机飞起来的？升力是如何产生的？当你在学校学习飞行理论的时候，你可能学过大量关于飞机机翼以及它是如何产生升力的复杂的知识。而当你成为实际操纵飞机的飞行员时，你可能已忘记了其中的大部分内容。或许，你还记得伯努利定理：气流在吹过机翼长长的上表面时是如何加速的，气流加速时气压是如何减小的以及气流又是如何因此在机翼上表面产生吸力的。忘掉它们吧！首先，伯努利定理并没有真正解答问题——它的解释比问题本身更令人迷惑不解！其次，在飞行中，伯努利定理实际上对你毫无帮助。毋庸置疑它是真理，但是它通常只会让那些原

^① 在英国，安装角等同于美国人所说的迎角。

本对飞行员来说更简单、更重要也更有用的事实变得晦涩难懂。



飞机通过向下挤压空气使自身保持上升的状态。如果有人可以在飞机经过的路线上放一团烟雾……



飞机飞过它时，会向下挤压烟雾。

你也许还记得流体力学中这个高深难懂的概念——空气如何（至少在某种意义上说）围绕机翼流动，在机翼下表面向前流动，在上表面向后流动以及如何通过这样的方式产生升力。也请忘掉这些吧！虽然这个抽象的原理毋庸置疑的确是真理，对工程师来说也确实是有用的知识。但对一个飞行员来说，如果这个理论会使那些更简单、更基础的关于飞行的事实变得晦涩难懂，那么它就是无用甚至有害的知识。

所有重于空气的物体飞行的主要事实是：机翼通过迫使空气向下流动，使得飞机升起来。

机翼用下表面将空气向下推，用上表面将空气向下拉，其中后一个动作更为重要。但是，我们真正需要理解的是，无论以何种方式，机翼都是迫使空气向下的。在对空气施加一个向下的力时，机翼会受到一个向上的反作用力——这个原理也被称为作用与反作用定律（牛顿第三定律）。基于同样的原理，枪在向前射出子弹的同时枪身会有反冲现象；消防水带的喷嘴在向前喷出水柱的同时，会把消防员重重地往后推。空气是有重量的，海平面上每立方米的空气重约 1.2 千克。因此，当机翼不断对一立方米又一立方米的空气施加向下的力时，机翼会受到同样巨大的向上的反作用力。

这就是飞机得以上升的原因。根据牛顿定律，如果机翼迫使空气向下流动，那么空气一定会向上推举机翼。换言之，如果机翼需要在不断受压变形的空气这种流体中支撑飞机的话，那么它只能通过迫使空气向下流动来实现。伯努利定理中所有复杂的物理学、流体力学中所有高深的数学以及展示机翼周围气流的所有图表，都只是更详细地阐述了牛顿定律本身有多么适用。例如，有一种表述非常有意思但（对飞行员来说）真的无用：机翼利用其上表面，通过吸力完成大部分气流下洗的工作。为了了解如何驾驶飞机而专注于研究伯努利和普朗特的理论，就像为了理解网球的运动而去研究球在撞击地面时球中橡胶分子的运动以及击球时球拍上网线的运动一样。为什么不简单地观察球的弹跳呢？

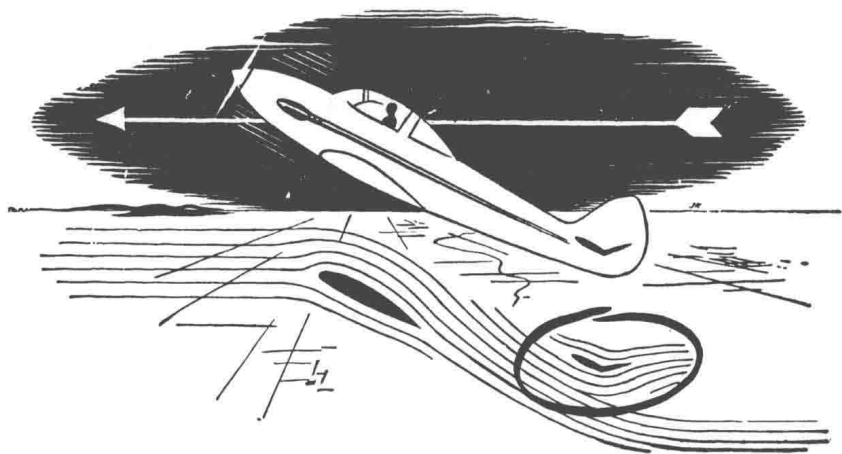
一个倾斜的平面

因此，如果忘掉这些过于学术化的知识，机翼就容易理解得多；根据最新分析，机翼实际上就是空气导流板。它是一个倾斜的平面，虽然巧妙弯曲且拥有精心设计的流线造型，但它本质上仍是一个斜面。毕竟，这正是我们把飞机这种迷人而奇妙的机器称为 air-plane（“air”指空气，“plane”指平面）的原因。

我们必须理解的是飞机（airplane）中关于平面（plane）的部分。

这个平面是倾斜的，它穿过空气时会与空气形成一个角度，并因此将空气向下推，这有点儿类似铲雪车上的倾斜平面通过顶着积雪向前移动的方式

将积雪推到两边。这个平面倾斜的角度，即平面与空气相遇时二者形成的角度，对任何一个飞行员来说都是飞行中最重要的东西。这个角度就是迎角。



慢速飞行。图中的白色箭头代表飞机飞行的方向。飞机的迎角较大，并产生强烈的下洗气流。向上偏转的升降舵（此时飞行员向后拉杆）使得飞机有较大的迎角。

飞行试验

为了更清楚地理解迎角，你最好亲自驾驶飞机进行一次简单的飞行试验。假设在几分钟之内，你一直在进行水平直线飞行，小心地以 2100 转 / 分的巡航转速保持机身平衡。等到一切稳定之后，将发动机转速降低到 1400 转 / 分。在此之后，尽最大努力保持你的飞行高度。

如果你向 100 名飞行学员发出这样的指示，大概有 80 人会告诉你这不可能完成！他们会说，这样飞机一定会失速。这说明我们的飞行训练是有缺陷的，因为我们允许学员去操作一架他们尚未完全理解的机器。事实上，大幅度降低发动机转速但仍保持水平飞行是一件容易做到的事。在前排座位空着的情况下，大部分的教练机用约 $\frac{2}{3}$ 的正常巡航转速就可以轻松保持水平飞行！这时你必须做的是通过持续向后拉杆保持抬头姿态，然后就可以以非常低的速度保持机头向上的水平飞行了。此时，飞机机头指向上，好像要进行爬升，但实际上它的飞行方向是水平的。

这是飞行中最有趣的一种情况，也是对迎角这个飞行中最重要的概念的

夸张演示。迎角也可以被定义为飞机所指的方向与飞行的方向（指在垂直方向上）相差的角度。飞行员将这种飞行状态称为“半失速飞行”或“准失速飞行”（mushing），工程师则将其简单地称为“大迎角飞行”。飞行员至少需要（通过自己的感觉和飞行积累的经验，或者通过推理和试验等其他途径）认识到，飞机以这样的方式飞行是完全可能且合理的，这样他才能算一名合格的飞行员。在这种状态下，飞机的确接近失速状态，但是它并没有失速，而且还能以这样的方式一直飞下去，除非在某些飞机上发动机逐渐过热了。

半失速飞行？

实际上，我们几乎可以说这是飞机飞行的正常方式，上文只是对一般飞行状态的一种戏剧化和夸张的演示。飞机在飞行时经常会保持抬头的姿态，即机头所指的方向比实际飞行的方向稍微高一点儿。至少飞机的机翼会这样，否则飞机就没有迎角；没有迎角，就不会产生下洗气流；而没有下洗气流，就不会产生升力。飞机在快速巡航状态下，迎角非常小。而在慢速飞行时，这样小的迎角不能产生足够大的升力来托住飞机，这是因为飞机的飞行速度越低，机翼每分钟接触到的空气量就越少。因此，为了产生足够大的升力来托住飞机，气流向下偏转的幅度就要更大。为了实现这一点，必须增大机翼的迎角；而为了增大迎角，飞行员需要向后拉杆。尽管如此，巡航飞行和慢速的半失速飞行仍然没有太明显的区别，唯一的区别就是：在正常的巡航飞行时，迎角非常小，以至于飞行员意识不到它的存在；而在半失速飞行时，迎角非常大，以至于连飞行学员都会突然意识到发生了什么。他会注意到飞机并没有朝着它指向的方向飞行，同时飞机还有下沉的趋势。这可能会让他非常不安。“天哪！”他想，“我正在下沉，现在该怎么办？”事实上并没有发生任何不正常或不对的事情，他只是第一次认识到飞行的普遍事实罢了。

你还会注意到，在这样的大迎角飞行中，控制飞机的感觉与巡航飞行时有很大不同。你会感觉副翼是柔软的；而且除非飞机的安定面已向后配平到位，否则就需要飞行员持续地用力向后拉杆，以使飞机保持如此大的迎角。但是，即使控制飞机的感觉不对，也不能证明飞行出现了问题。迎角大小不

一样，控制飞机的感觉就不一样（或者换句话说，飞行速度不一样，控制飞机的感觉就不一样）。例如，当飞机快速俯冲时，控制飞机的感觉就会非常奇怪。最终你可能发现，在慢速飞行时飞机更容易失速，安全程度会降低很多。但是只要你能意识到这一点并采取相应措施，这种飞行方式就不会有问题。简而言之，慢速的机头向上的水平飞行是一种安全、平稳和再正常不过的飞行状态。

写给飞行教员的话

对刚开始学习飞行的学员来说，在早期（甚至在他们学习着陆之前）就获得一些这样的慢速飞行经验可能是件好事。这可能不会立竿见影地提高他们的飞行技能，但是一定会让他们更深入地理解飞行的整个过程。在正常的飞行训练课程中，学员们很少能体验这种超慢速飞行的感觉，即使有机会，每次能够体验的时间也很短——可能是在练习着陆的时候或进行失速训练的时候，偶尔也可能是在练习起飞的时候。例如，学员在起飞时使飞机离地过早，导致飞机以非常慢的速度进行机头向上的飞行。在上述这些情况下，学员一般不会安于现状，相反，他会尽一切努力摆脱这种状态：如果在进行着陆或者失速训练，他会设法让飞机失速；如果过早起飞导致机头抬高，他会设法让飞机恢复“正常”的飞行状态。久而久之，学员会认为飞机不能平稳地保持这种慢速飞行状态；如果飞机以这样的状态在空中多待几秒，就会失速。如果他坚信这种观点，那么他将错过所有飞行技术的重点。

在学员学习着陆之前，让他体验几次非常慢速的水平飞行，每次5分钟，这可能会直接提高他的实际飞行技能。原因在于，在整个初级飞行训练中，学员实际花在着陆上的训练时间大约只有10分钟^①。当然，这里指的仅仅是花在实际着陆过程的时间，不算在跑道上滑跑、从机场起飞并盘旋的时间，也不算进近的时间，而只是实际的着陆，即拉平和使飞机停住的时间。这就难怪着陆训练看上去这么难了！

^① 这一数据来自迪安·布里姆霍尔的研究。

其实，三点式着陆的整个过程从本质上来讲就是一个飞行速度越来越慢、迎角越来越大的飞行，需要全程对飞行路线进行非常精确的控制。但在学员第一次尝试着陆时，他实际上完全没有中等迎角及大迎角飞行的经验。因此，他必须迅速地同时领悟三点全新的知识：第一，飞机完全可以在这种状态下飞行；第二，在这种飞行状态下，飞机会如何响应飞行员的操纵；第三，应如何判断飞行路线，以便与地面人员顺利沟通。也就是说，他必须在最困难的情况下，也就是接近地面的情况下，了解如何进行大迎角飞行；他还必须在最困难的情况下，即进行大迎角飞行的情况下，熟悉地面的情况。

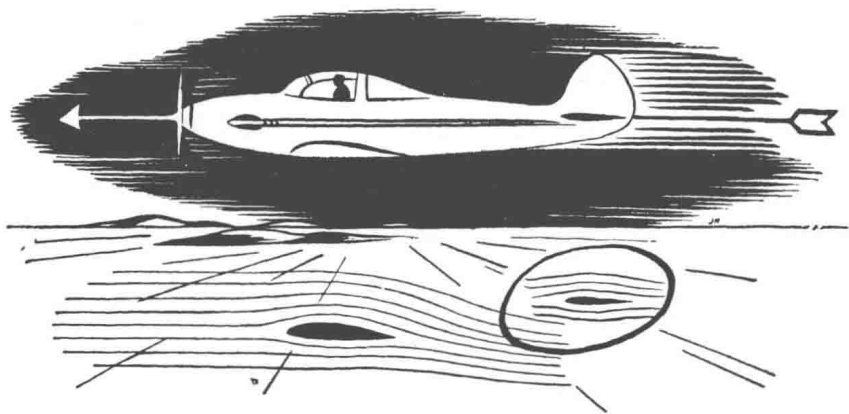
虽然教员通常会在学员学习着陆前让他们练习几次在高空中的无动力失速（当然这比什么准备工作都不做要好），但是这仍然不能给学员提供足够多的机会，让他们真正熟练掌握机头向上的慢速飞行。这是因为在失速训练中，飞机会非常快速地经历迎角的各种变化，而且这样的练习有时反而会强化学员的错误观点——每当飞机抬头，失速就会很快发生。

回到正常飞行

不管怎样，如果你对飞机还是感到有些新奇和陌生，建议你花点儿时间，驾驶飞机飞到一个安全的高度，然后使用很少的动力，以抬头的姿态保持在这个高度上飞行几分钟。你在这种飞行状态下所体会到的就是问题的核心。

假设现在我们来继续你在之前进行的飞行试验。稍微加大油门，接着尽可能地维持完全水平的飞行路线。能做到吗？显然可以！这时飞机将爬升，你可以稍微减小一点儿向后拉杆的力气，飞机就会停止爬升，但是机头会稍微向下低一点儿，接着飞机将开始加速。

目前，1800 转 / 分的飞行与 1400 转 / 分的半失速飞行的过程基本相同，只是没有那么戏剧化而已。因为现在的机翼能够以更快的速度接触空气，所以它不再需要让空气那样大幅度地向下偏转，因此也不再需要以非常大的迎角接触空气。当然，机翼还是有迎角，并且还是会产生下洗气流。“飞机通过迫使空气向下流动使自身上升”仍然是正确的说法。



快速飞行。此时的迎角小到几乎观察不到，下洗气流很小，升降舵保持水平，这是正常的巡航状态。

巡航飞行

现在，作为飞行试验的第三步，假设你将油门调到正常的巡航转速（假定为 2100 转 / 分）。接着，同第二步一样，为了保持水平飞行和避免飞机爬升，你必须让机头再向下低一点儿。为了完成这个动作，这时你必须停止向后拉杆，这样飞机就会回到水平的巡航飞行状态。由于飞行的大部分时间都处于这种巡航状态，所以你会觉得这种状态好像很正常。

现在，这种巡航飞行状态是不是与之前机头向上的半失速飞行状态完全不同呢？看起来好像如此。因为现在当飞机水平飞行时，机头同样水平指向前方。换句话说，飞机正指向它飞行的方向。或者还可以说，飞机正朝着机头所指的方向飞行（指在垂直方向上）。此时，飞机看上去没有迎角——似乎现在飞机飞行的原理与之前半失速状态下飞行的原理是不一样的。

但实际上并不存在其他原理。飞机还是有迎角的，而且必须有。如果没有迎角，机翼就不能迫使空气向下流动，也没有人能用吊钩把飞机吊起来，那么让一台一两吨重的机器在稀薄的空气中一直悬着是一件根本不可能的事情。所以除非持续地迫使空气向下流动，飞机没有其他方法保证自己不掉下来。因此，两种飞行状态的差别只在于迎角大小的不同，而非飞行原理的不同。巡航飞行时，飞机的飞行速度非常快，因此一个极小的迎角就足以产生