



international x-plane engineering group

737 CLASSIC



Tutorial Series
Autopilot and Flight Director

自动驾驶和飞行指引

资源

油管上有 Captain Jan Vogel 的示范视频。

<http://www.youtube.com>

简介

我们第二篇教程将展示 *Autopilot / Flight Director System (APFDS)* 系统。偶们强烈建议您在熟练地掌握手动飞行的技能、了解 737 的驾驶舱的术语，并通过阅读 *Quick start* 和 *Tutorial flight 1* 掌握基本的 FMS 操作 之后来学习本篇教程。

任务简报

今天我们继续在米国飞行，从亚利桑那州的 Tucson International Airport (KTUS) 到内华达州拉斯维加斯的 McCarran Airport Nevada (KLAS)。我们从 KTUS 起飞，沿 J-11 到 Drake VOR (DRK)，然后沿 J-92 航路到 Boulder City VOR (BLD)，继续沿 BLD 台的 R-305 径向线到 SHAND 交叉点，然后利用 ILS 降落 Las Vegas McCarran Intl 的 25L。

我们会重复前一教程的启动流程，在不同的情况下激活和操作自动驾驶系统，然后进行自动的进近和着陆，或者复飞。

航前

飞行设置

请打开 www.skyvector.com

- 选择 *Enroute H-4*，建立航路。
- 下载 KLAS ILS25L 的进近图。

做一个飞行计划可以实现航路的可视化。在 *KTUS* 的图标上单击右键，弹出一个对话框，选择 *PLAN* 开始设计航路，右键加入航点。你要加的航点如下表所示（蓝色的）。手边放着航图和计划，随时做参考。

KTUS	TOTEC	PXR	DRK	BLD	SHAND	KLAS
------	-------	-----	-----	-----	-------	------

如果您像画面像教程中一样美的话，就要下载相应的机场插件，因为默认的机场一片荒芜，所以，请您在 X-Plane.org 下载 KLAX，不过这个 KLAX 的 ILS 对得不是特别的好，因此在最后进近的最后几米要注意。教程还使用了 *alpilotX* 出品的 HD terrain mesh V3（注：实际是 LandClass）。

- KTUS 机场选择 *ramp start* ；
- 打开 *Ground Services* 菜单 ；
- 加 8.0 吨油，点 *Instant* ；
- 在 X-Plane 中选天气为良好 ；
- 打开 *Preflight* 菜单 ；
- 选择 Turn-around 并点击 *Apply Settings*。

驾驶舱的准备工作

飞机现在处于 turn-around 状态，APU 工作中，飞机也有电。能保证乘客和您的舒适。

- 抬头看看空调面板。将 left pack 开关从 OFF 拨到 AUTO。

由于隔离阀门处于 AUTO 状态，保证了这个阀门打开并且只有左空调处于工作状态。不要在只有 APU 供电的时候打开两部空调（除非在冬天需要快速加热的时候）。当您打开左边空调的时候，您会发现隔离阀门是关闭的，（有 R 的指针没有动），表明空气不会流到右边的空调去了。

- 选择一个舒服的温度，一般初始的温度指向温度表的 12 点钟方向。

AUTO 档表示隔离阀门是关闭的，除非一台空调或一台引擎的引气开关关闭了。这能保证隔离之后，两台空调之间不会因管道的破裂而受到影响。



Air Systems Panel

注意，引气系统的 DUAL PRESSURE 亮起来了。这是警告您 APU 和引擎的引气连起来了，所以从引擎来的高压可能会倒灌到 APU 里面。引擎处于慢车的时候还行，但再加力就麻烦了。您可以摆弄一下这些开关，看看隔离阀门和引气是怎么样工作的。

设置 FMS :

现在我们终于可以从容的准备飞行了。记得参考一下教程 1，如果有必要的话。我们将设置以下参数：

在 CDU 上操作：

- 选择 *PERF INIT* 页面；

从 *GROUND SERVICE* 菜单查找 ZFW 的数据。应该是 40.0 吨或者 88.3 千磅。

- reserves 项设为 2.4 吨 (5.0 千磅)
- cost index 设为 20
- 巡航高度设为 24.000 ft (FL240).
- 点击亮着的 EXEC 按钮。

这次我们用 *flaps 5* 起飞，使用减推力设置来减少引擎的负荷。

- 点击 N1 limit 按钮进入 N1 Limit 页面；
- 在左上角的 *SEL/OAT*，输入假定的 55 摄氏度。enter an assumed temperature, TASS, of 55（注：这个 TASS 我不清楚是什么意思，请大神赐教）；
- 观察 N1 大概会降到 87%。



55 Degrees set on LSK1L

通

过输入一个 TASS 让引擎以为空气真的很热。FMS 为了避免起飞时超过 EGT 的最大值，降低了起飞时的功率。由于外界不是真的 55°，因此引擎减少了输出降低了负荷。这一举措将减少大量的维护费用。另一个好处就是在单发失效时降低摆动的幅度，同时机长可以从容地加大油门满功率起飞



- 点击 LSK6R 进入 TAKEOFF REF 页面；
- 输入 Flaps 5
- 点击右边第 3 个 LSK，依次点击 LSK1R, LSK2R, LSK3R。起飞的时候，这三个速度会依次显示在 EADI 上。
- 点击 *NEXT PAGE* 按钮。
- 将 3000 ft 输入到 thrust reduction altitude（注：看下面的解释）。

为了避免给 Tucson 带来噪音，因此我们决定在开始减少爬升动力加快爬升速度之前，快速爬升到 3000'AGL (5600'MSL)。所以我们要在 *THR REDUCTION* 输入 3000ft。

- 点击 *NEXT PAGE* 按钮返回到 TAKEOFF REF 的第 1 页。
- 在 ASI 用塑料拨片设置 *V₁*, *V_r*, 和 *V₂+15* 的值。（注：看油管上的视频，第 1 个可以设置为 80knots）

本次飞行这三个值分别是 123, 125 和 150 kts。V2+15 是 *maneuvering speed*, 大于这个速度, 可以作 25 度的转弯并且在 1G 失速之前还有很大的冗余。当低于这个速度, 您只能作小于 15 度的转弯。您也可以在您的副驾驶的 ASI 上进行同样的设置。

设置自动飞行系统

接下来，您要为离场设置 *MCP*，我们从最左边的 CRS 1 按钮开始。

- 将 CRS 旋到 308，这是待会我们要追的 TUS VOR 一条径向线。
- 机长侧的 FD 拨到 **ON**。MA 灯亮起来。

现在左边的飞行控制计算机被称为主控制器 (*FCCA*)。这就决定了系统在自动驾驶处于 VOR/LOC 模式时该听哪台导航电台。此刻，自动油门处于关的状态，我们可不想在滑行时意外地切换到起飞动力！

- 将 MCP 速度设置为 V2 (参考 TAKEOFF REF 页面，应该是 135kts)。
- MCP 的 HEADING 设为跑道的朝向(304)。
- MCP 的高度设置为 8000 ft，这是我们第一次改平的高度。

正确的设置如下图所示：



MCP Configured before Takeoff

- 设置副驾驶的 FD 为开。

注意，MA 灯没有亮，因为主控是 FCC A！尽管只有一个 FCC 是主控，但是在 FD（飞行指引仪）的起飞模式下，打开两个飞行指引是非常有必要的。

- 副驾驶的 CRS 设置为 323, 这是待会要撞的 PXR VOR 的一条径向线

设置电子飞行仪表系统 (EFIS MAP)

接下来，我们正在 pedestal 控制台设置 VHF NAV 和 EFIS 模式。

- 机长这边的 nav 设置成 TUS 的 116.0。
- 副驾驶这边的 nav 设置为 PXR 的 115.6。

在 EFIS 设置这块，我们建议设置为 MAP 模式，点击 VOR/ADF + ARPT 按钮用来在地图上显示 VOR、ADF 和 机场。同时选择 40NM 的现实范围。FO 那边的设置可以稍微有些不同，譬如设置为 NAVAID，可以偶尔浏览一下。您多试试不同的 EHSI 模式和 map 显示选项。

注意，为了避免混乱，有一些图标(NAVAID, FIX)只有在地图的显示范围足够小时才会显示。同时 EFIS 会在无法显示太多信息的时候发出 *EXCESS DATA* 警告。这个时候，只要减少 EHSI 的显示项目或者减少显示的范围就行了。



EHSI Map Controls on Center Pedestal

- 两边的 DH 决断速度设为 -20。

这是一个通常的设置，因为大多数的飞行不会用到决断速度，只有在猫 II 和猫 III 的 ILS 进近中才使用。在低功率时决断高度通常设置为 200，因此，每次飞行，您设置为 -20 就行了。（注：手动擦汗）

由于我们要飞过山区，因此我们要在 EGPWS（增强型近地警告系统）上显示地形的信息。这个系统和天气雷达共用图像处理器，所以我们要打开 WX 开关。

- 在两个 CDU 之间将 **WX** 开关拨到 **ON**。

尽管 WX 开关拨到了 ON，雷达要开机还得 EFIS 控制面板按下 **WXR** 按钮。在开机之前，我们设置为地形处理模式。

- 按下 **TERRAIN SELECT/DESELECT** 按钮，它就在 CDU 的键盘下面。

这样就会在 EHSI 显示地形了。不同的颜色显示了飞机与地面的相对高度。同时，它也正在地图范围内显示了地形最低和最高的高度。

注意：为了避免混乱，在一定高度之下，EHSI 不会显示飞机正下方的地形。这就是 EHSI 只显示 15NM 以外的地形的原因。



Terrain Display on the EHSI Map

设置客舱气压控制系统:

最后但不是最重要的是设置客舱的气压设置：

- *FLT ALT* 窗口的数值旋到 24000 (默认值就是 24000)
- *LAND ALT* 旋到 2100ft。
- 确定 *FLT/GRD* 拨到 *GRD*。

FLT/GRD 开关告诉气压控制系统什么时候给飞机加压。我们一般在滑出之后拨到 FLT。



Pressurization Panel at Lower Right of Overhead

飞行操作

启动引擎

是时候启动引擎了。从 APU 引气到启动机来启动引擎。APU 的引气不足以同时保证一台和发动机的启动和空调。如果您乘坐过真的 737，您会发现在引擎启动的时候，空调是关掉了。您会很容易察觉这件事的发生，因为启动的这短短的几秒钟，客舱会变得非常热。您会发现人们纷纷站起来摆弄空调的出风口。:)

- 关掉两部 AC 空调
- 确定活门阀 (isolation valve) 处于 *AUTO* 或者 *OPEN*

如果您没有打开活门阀，飞机就没有足够的压力来启动 2 号引擎，因为 APU 的引气只能到达活门阀的左边，只有打开了活门阀，才能将空气引到右边的引擎。



Air Systems Panel on the Right Side of the Overhead

启动引擎之前要做的事情：

- 打开碰撞灯。
- 确定驻车刹车打开。
- 确保地面的设备都撤离了。

为了更真实的模拟，我们利用一下检查单

- 点击 MCP 控制面板上面一个小袋子
- 阅读 PREFLIGHT 和 BEFORE START 两项检查单。

完成检查单之后

- 转动右引擎启动开关到 GRD (如下图所示)

观察一下引气面板，当开始启动的时候，空气会源源不断地启动引擎，气压值会下降，。这也说明了空气被引入到了引擎。



Engine Start Switch to GRD

在引擎的仪表盘上：

- 观察 *START VALVE OPEN* 灯是否点亮。
- 观察 N2 是否上升。片刻之后 N1 也开始上升。

当 N2 至少在 20%，(最好 25%)

- 移动油门下方的相应的 start lever 到 *IDLE* 位置。
- 观察 EGT 是否上升， 这表明启动成功。

引擎会处于慢车状态，在达到 N2 的 46% 时， *START VALVE OPEN* 灯会熄灭，启动机停止工作。启动开关会跳到 off。

- 重复上述流程启动左边的引擎 *engine no. 1*。

当两具引擎都处于慢车时，我们开始准备设置飞机到飞行状态了。

- 在顶板上打开 engine generator 到 ON 的位置。
- 重新打开空调。
- 关掉 APU 引气开关
- 将气压面板上的 *AIR/GND* 拨到 *FLT* 位置

为了起飞，可以通过排气活门看到，气压控制系统开始慢慢地开始给飞机加压了。

如

果起飞的时候排气活门全开，这会让客舱里的气压陡然变化，从而对乘客产生伤害。这种现象称为 *pressure bump*。排气活门通常只让少量空气流过，从而显示出很少的压力。



Illustration 1: Air Systems after Engine Start

- 关掉 APU (省油),
- 自动刹车旋到 *RTO* 模式. (*Rejected Take Off*),
- 把襟翼放到 5 准备起飞，这个我们已经在 FMS 的 TAKEOFF 页面作了设置。
- 确保配平设置在 4.0 的位置。
- 阅读 BEFORE TAXI 检查单。

滑行

- 打开滑行灯。
- 松刹车 (默认键, *V*)。 (注：不是 B 么？)

滑行到 29R 跑道，排好队准备起飞。左转或者右转对准初始航向 160。您会来到一条平行的滑行道 *A*，在这里一直朝着 124 航向直到滑行道的末端。在开始滑行之前，您需要稍稍加点油门，大约 40%N1 比较适合，当开始滑行后，记得稍稍收一点油门来保持滑行速度。轻负载的时候，慢车油门足够使飞机动起来。需要减速的时候记得点几下刹车。给您一个

滑行时的经验法则：转弯 10kts，直走 30kts。地速的速度计 *speedometer* 在 EHSI 表的右上角。如下图所示：



Ground Speed of 5 kts on the EHSI

在 29R 跑道排队之前

- 打开着陆灯 *landing lights*,
- 打开频闪灯 *strobe lights*.
- 预位自动油门。
- 打开滑行灯 *taxi light*.
- 阅读 yoke 上的 TAXI 检查单。

起飞

- 找到计时器，左边的旋钮扭到 RUN 并按下左上方的 CHR 按钮。开始计时。
- 手动将油门推到大致 40%N1。
- 点击油门杆上的 TO/GA 按钮（或者通过定义在油门杆上的快捷键）。油门会自动向前，达到起飞的动力。

当您开始沿跑道加速的时候，建议将您的摇杆上的油门杆推到最前面。这是 *RTO* 的触发条件，只有这样，当您拉回杆的时候，*RTO* 才会工作。当然，这也是最简单捕获 *ghost throttles* 的方法。

有几个自动驾驶模式会出现在起飞滑跑的过程中，如：*TOGA* 和 *HDG SEL*。此时，飞行指引 *FD* 也会弹出来。完全无视这些自动驾驶的元素，专心致志地投入到起飞的操作中，实现完美的 15° 的稳定爬升。

在 84kts 的时候，自动油门会切换到 *THR HOLD* 状态，保证起飞的动力要求从而保证顺利起飞。很快，在起飞之后，自动油门会切换到 *ARM*。

达到 *V_R* 时，开始平顺地抬轮。下面的操作需要一些练习：刚开始抬轮的时候动作要稍大一点，然后松一下操作杆接近回中的位置，然后又拉回到大约 10°，然后又稍微松一下。

以每秒 3° 的目标抬升，直到仰角为 15-20°。这大概要花 6-7 秒。如果抬轮太早或者太快，飞机可能会擦尾（注：有一集空中浩劫华航？）如果抬轮太迟或者太慢，飞机会浪费掉性能，特别是在起飞的时候发生发动机失效，这将非常危险。

理想的状态是在抬轮之后，速度稳定在 $V_2 + 20\text{kts}$ ！（本例约为 160kts）。这个速度可以实现 30° 的转弯并且保持良好的爬升性能。

- 保持正爬升率时收轮。

当加速和大坡度爬升的时候，一些前油泵的喷口会暴露在空气中，因此会触发低压 *LOW PRESS* 报警。这是正常现象也不会影响飞行安全。

CLIMBOUT

当您超过地面约 500ft 并保持稳定地爬升后，按下 MCP 上的 CMD A，激活自动驾驶仪 *A*。



Autopilot A & B Engage Buttons on the MCP

垂直自动驾驶模式从 *TOGA* 转换到 *MCP SPD*，此时，自动驾驶仪会调整到 MCP 输入的速度。



EADI Display during Climb showing AP modes

在

EADI 上方一栏称为 FMA (*Flight Mode Annunciators*) 飞行模式指示器。这些指示会随时显示自动驾驶仪的状态。不要被 MCP 上亮着的按钮所迷惑，永远只有 FMA 知道自动驾驶仪此刻正在做什么。

FMS（注：应该是 EADI 吧？）的最左边的指示器是自动油门指示器。它的右边是垂直模式指示器，最右边是自动驾驶模式指示器。当此处空白式，表示手动驾驶 (*manual flight*)，FD (*flight-director*)，CWS (*control wheel steering*) 或者 CMD (*autopilot control*)。绿色框是告诉您该模式激活了，然后 10 秒钟之后，这个框就消失了。

当到达减噪（注：原文是 reduction altitude）的高度 3000ft，这个高度是我们之前在 FMS 里面输入的，那么自动油门会自动激活自动油门模式并将油门设置为爬升模式。现在我们把注意力放在如何有效地爬升到预定高度。要做到这个，我们需要收回襟翼，并提高我们的速度。

- 将 MCP 的速度设定为 220 knots.

首先我们加速到 220kts，因为这个速度低于当前 5°襟翼的最大速度。这样的话，如果您把襟翼收慢了，或者忘了收，都不会损坏襟翼或者破坏爬升构型。

自动驾驶仪会减少仰角进行加速。引擎会全力爬升。

- 当你减少仰角开始加速时收回襟翼到 *flaps 1*
- 190kts 时收回襟翼 *flaps up*。

很快，您会达到 8000ft。由于我们之前在 MCP 输入了 8000，当自动驾驶仪发现到达 8000ft 时会改平飞。

- 在 MCP 速度处输入 250，飞机会加速，并当到达 250kts 后收回一些油门。



FMA's showing Altitude Capture and MCP SPD mode activating

初始导航：

现在按计划朝 TUS 308 背台线飞行。

- 将 EFIS 的地图模式转换为 EXP VOR/ILS 模式。
- 将地图的范围调整位 80NM。这就帮助我们能够发现航向和设定的航向有没有偏移，也能更好的显示地形信息。
- 右转，朝 320 方向切 TUS 308 径向线。



Right Hand Turn to 320 to intercept TUS 308 radial.

由于咱们这是一篇自动驾驶的教程，我们确实要用 *VOR/LOC* 作为我们的自动驾驶。

- 通过 MCP 上的 VOR/LOC 按钮预位 *VOR/LOC* 模式。

EADI 会用小的白色字体显示（白色意为已经预位），*VOR/LOC* 模式已经预位等着捕获相应的径向线。当捕获的条件满足了，并且自动驾驶捕获到径向线，这个侧面的 FMA 就会从 HDG SEL 变到 *VOR/LOC*。



VOR/LOC mode armed

捕获到径向线之后，我们继续爬升。

- 在 MCP 的 ALT 设置目标高度 24000 ft。

当您转动高度旋钮的时候，观察一下 MCP 上的 *ALT HLD* 灯是否亮了。这个灯亮并不表示 ALT HOLD 此时已经启动，只有通过 FMA 才能知道这个模式是否真的启动。这个灯仅仅表示当它熄灭的时候，这个模式是断开的。

自动俯仰控制模式

让我们通过俯仰的模式来了解我们的自动驾驶。我们就 *CWS Control Wheel Steering* 模式谈起。

- 点亮 *ALT HOLD* 按钮。

请记住，MCP 上点亮的按钮的意思是“它能够被取消”。点亮的按钮并不意味着这个模式被启动了。注意观察 EHSI，垂直的 FMA 会从 ALT HOLD 变成空白。这表明爬升模式已经进入您可操作的手动模式。当自动驾驶没有控制爬升之后，垂直飞行引导条也消失了。

右边会显示一个黄色的 CWS P 标志，这表明 Control Wheel Steering 已经激活可以控制俯仰轴了。仍和一个 yoke 上的俯仰角度都会体现出来。这是最简单的自动俯仰控制模式。



EHSI showing CWS P mode as the active pitch mode.

- 往后拉一点 yoke 保持 5° 的仰角然后松开 yoke。自动驾驶会保持这个新设定的仰角。这是多么酷的一件事啊！不过自动油门会增大些推力保持在我们当前在 MCP 上设定的速度-250kts。

下面，让我们试试垂直速度模式(V/S)。

- 按下 MCP 上的 V/S 按钮。观察 CWS P FMA 是否消失，V/S 模式是否启动。
- 调整 V/S 的转轮，设定爬升率为 +2000 feet 每分钟。



Vertical Speed Mode becoming active (green rectangle)

当您通过 10000ft 之后：

- 关掉着陆灯。
- 设置 seat belt 开关到 auto。。
- 拉下机轮杆 到 OFF。
- 设定自动刹车为 OFF。

现在让我们用 flight level change 模式来爬升到 FL240。

- 点击 *LVL CHG*，观察 EADI 是否切换到该模式。
- 在 MCP 上设定速度为 290 。飞机将加速。



Level Change. AT in N1 mode to maintain MCP Speed

AP 自动转弯模式

让我们看看不同于现在使用的 VOR/LOC 模式的转弯模式。首先，打开 skyvector.com，再看一遍航图。记下 40NM 左右入 PXR 台的航点 **TOTEC**，我们打算右转飞入台径向线 R-143 的 (**CRS 323**)。取消我们之前设定的 CRS-2。

回到 X-Plane，打开 local map 视图，通过与 skyvector.com 地图上的位置进行比较，找到现在所在的位置。在 X-Plane 里，选择 **Low Enroute** 标签视图，激活 local map 视图右侧的 **show fix** 选项

- 设定 First Officer's (FO) EHSI 地图模式为 **EXP VOR/ILS**。

持续观察 DME2，当离 PXR 台大约 45NM，点击 MCP 上亮着的 VOR/LOC 按钮取消 VOR/LOC 模式。转弯模式的 FMA 从空白变到 CWS R (见下一页的图)。

这个转弯模式很像 CWS P 模式。如果您轻轻地用 yoke 转弯到一定角度，然后松开摇杆，CWS R 模式就会保持住此时的角度。如果这个角度特别的小，自动驾驶就会自动改平。

- 利用 CWS R 切 PXR 的入台径向线。查看 FO 的 EFIS 或者 RMI 确保双箭头 **double needle** 正指向 VOR 2。



Disengaged VOR/LOC with CWS R active

- 在 VHF NAV 1 上设定 *PHX VOR* 的频率为 115.6。
- 在 MCP 上设定 *CRS 1* 为 323。

您可以在机长的位置上跟踪入台的径向线了，并且您可以再次使用自动驾驶的 VOR/LOC 模式。不过，请您记住 FCC A 才是主飞行指引仪，它不会跟踪副驾驶那边的输入设置，反之亦然。

- 在 VHF NAV 2 设置下一个 VOR 台 DRK 的频率 114.1。
- 在 MCP 设置 *CRS 2* 为 327。

巡航飞行

到目前为止，您应该到达了巡航高度 FL240 并且改平飞了。现在让自动驾驶休息一下，让我们练习一下用飞行指引仪来手动驾驶飞机。

- 取消 MCP 的速度模式。自动油门会调整到 ARM。
- 捕获到影子油门 ghost throttles 来让摇杆控制油门。在捕获之前记住此刻的 N1 值，因为您要手动控制油门保持这个 N1 值。
- 取消自动驾驶 A，按下 yoke 上的开关或者通过 MCP 上的按钮。注意，自动驾驶按钮下的取消条只在紧急情况下使用！
- 按一下 P/RST 警告灯取消警告。

现在开始手动飞行，跟着飞行指引仪的指令 (*EADI 上品红色的条*) 保持飞行高度并跟紧这个 VOR。通过俯仰操作和转弯操作保持品红色的条分别保持水平和垂直，如下图：



在我们目前的高度和速度下，飞机非常敏感，所以我们操作的时候要温柔一些。几分钟之后，您就会了解为什么飞行员要在飞行途中使用自动驾驶了;-)。好吧，让我们把飞机交给自动驾驶仪吧。

航路导航：

- 在 MCP 打开 *Autopilot A*。
- 在 MCP 上点击 *SPEED* 按钮重新激活自动油门。

检查和 PXR VOR (DME 1) 距离，应该很近了。

当

飞机通过 VOR 台的正上方时，会进入静锥区 *cone of silence*。VOR 台上方的信号变得微弱、飘来飘去。飞机在追这些不稳定的信号时，可能会有些摇摆，但飞过这个区域之后，信号会变强，飞机又会捕捉到稳定的信号了。

- 调整 CRS 1 从 323 到 330，飞机会偏转一定角度去切新的出台径向线。

巡航爬升：

大约离 Las Vegas 220NM 时。ATC 提出一个新的飞行层来减少燃油消耗。
"爬升到 *FL 290*" ATC 发出指令。

- 将 MCP ALT 转动到 29000。
- 在客舱气压控制面板的 FLT ALT 转动到 29000 以便进入新的巡航飞行高度层。可以观察到客舱的高度表开始迅速升高来适应这一变化。
- 按压 *LVL CHG* 开始爬升。

在 FL260 附近，飞机的速度会从 290 变成 .71。这个从 IAS 到马赫的转换是自动进行的，因为飞行员有可能忘记用 MCP 上的 C/O 按钮进行人工转换。

一旦达到 FL290，关掉飞行指引。EADI 上的品红色条会消失，不过自动驾驶还是在控制着飞机飞行的。换句话说，自动驾驶就像一个精确按照飞行指引指示飞行的飞行员。

我们现在正在接近 DRK VOR 台。切换 EHSI 的地图模式 *MAP*，地图范围调整到 80NM。由于我们还在跟 PHX R-330 出台信号，我们可能错过 DRK VOR 台。让我们用 AP 的 heading 模式和地图以倾角限制器设定的较小的倾角通过 Drake。



EHSI set to MAP mode and 40NM range, showing DRK VOR.

倾角限制器：

倾角限制器，简单来说就是限制自动驾驶转弯时倾角的角度。它的按钮在 MCP 上，在 HDG 的旋钮下面，要仔细找一下。如下图所示：

- 旋转 HDG SEL 旋钮下面的方形环，调整到最左边最小的位置。



Bank Angle Set to 5 Degrees

- 激活 MCP 上的 *HDG SEL*。
- 调整 MCP 上的 *HEADING* 直到 EHSI 上白色的 *track line* 直接指向绿色的 *DRK* VOR 台。

当快要通过 DRK 之前：

- 调整 *HEADING* 到 290 开始转弯
- 设定 *CRS 2* 到 290 (请记住：DRK 的信号设定在 NAV2)

用自动驾驶的 HDG SEL 模式去切 DRK 290 径向线，同时用余光关注副驾驶 EHSI 上的 VOR/ILS 模式下的偏航指示器 (CDI)。Recall we set the copilot side to VOR/ILS mode earlier.



Copilot EHSI set to VOR/ILS mode

当我们为了乘客的舒适做了一个小小的转弯，不过这很容易让我们忘了把倾角限制器设定到普通状态。两个 LNAV 模式 (下一篇教程会介绍水平导航) 和 VOR/LOC 模式会忽略倾角限制器的设定，只有 HDG SEL 模式会受到影响。当 ATC 要求我们转弯的时候，无论如何他都希望我们能做一个标准转弯而不是一个 5° 的转弯。

- 将倾角限制器设定为 30° 。

下降

- 设定 EHSI *MAP* 范围到 160NM
- 将 *NAV 1* 频率设定为 BLD VOR 的 116.7
- 将 *NAV 2* 频率设定为 Las Vegas LAS VOR 的 116.9



EHSI Map range set to 160 with NAV1/NAV2 tuned to VORs

在 FL290 高度，我们需要从 88NM ($290 / 3.3$) 开始下降。Las Vegas 的机场海拔为 2500 ft，所以算下来大约从 80NM 开始下降。我们要稍微加一点右转弯去到 ILS 的距离，所以最后开始降落的距离定为距离 LAS VOR 台 85NM (参考 DME-2)。这也给我们一些尝试不同下降模式所需的空间。

- 在 MCP 设定 ALT 为 4900 ft。

这是最后 *SHAND* 点的高度 (参考 *skyvector 进近图*) 并让我们能看清 BLD VOR 台附近的高山。

当副驾的 DME 距离 LAS 85NM：

- 激活 MCP 上的 *LVL CHG* 模式。

自动油门会收回到慢车并进入 ARM 模式。自动驾驶会调低机头保持 Mach 0.71 的速度。您可以试试此刻手动增加油门(捕获影子油门取得油门的控制 *capture ghost throttles to gain throttle control*)，自动驾驶会抬起一点机头保持设定的速度。您可以用这个技术来延缓下降。我们可以使用垂直速度模式和自动油门的 MCP SPD 模式。

- 再次选择 LVL CHG – 我们需要及时下降。

今天我们计划做一次低能见度时采用的自动进近和降落(尽管我们设定的天气很好)。让我们开始吧。自动进近最大的不同就是两台自动驾驶都联接到飞行控制。这叫 *fail passive*, 如果一台自动驾驶崩溃了, 另一台马上顶上。一般情况下您没法同时激活两台自动驾驶。

- 激活 AP-B。观察到 AP-A 断开。
- 再次激活 AP-A 从而断开, 因为 AP-B 不会跟踪 设定在 NAV1 的 ILS 频率。

进近

安全地飞完整个自动着落进近还是相当复杂的, 所以我们只做最基本的部分。

- 两个 CRS 都设定为 ILS 的入台径向线 255。
- 机长和 FO 的决断高度都设为 50ft, 如下图所示:



NAV 1 radio, shown tuned to BLD VOR

我们把两台 VHF NAV 的频率都设为 ILS 的频率从而激活第二台自动驾驶。计划是先在 NAV 1 上设定 ILS 的频率, 然后当出了 BLD 台并且 NAV 1 捕获到 ILS 信号, 马上在 NAV 2 上设定为 ILS 的频率。

- 在 CDU 的 APPROACH 页面设定 40 度襟翼时的进近速度 *Vref* (按 *INIT REF* 进入)。

进近速度应该是 122kts。分别点击下面的两个按钮得到剩下的两个速度值。选中的数字的字体变得大一点。

- 在 MASI (Mach-airspeed indicator) 上用塑料片设定 Vref 速度。
- 下一个塑料片设定为 $V_{ref} + 15$ knots, ($V_{ref} + 15$, *maneuvering speed*).
- 自动刹车设定为 3
- 阅读 yoke 上的 APPROACH 检查单。
- 根据实际情况减少地图的范围, 方便观察到 BLD 和 LAS 两个 VOR 台。

地图范围设定太小看不全, 范围设定太大会使得 EHSI 底部的信息杂乱无章。

- 再回顾一下进近航图。

在 BLD 我们右转, 朝 320 模拟 *radar vectors to final*。当我们下降通过 15000ft 时:

- 打开 seatbelt。
- 打开着陆灯。
- 在 12000 ft 时, 减速到 250kts.。

按照规定, 在自动着落的进近过程中要打开飞行指引。

- 在 MCP 上打开飞行指引。

开始进近:

当您朝 BLD VOR 台进近时, 减速到 210 kts。当通过 BLD 台时:

- 在 MCP 上设置 *HEADING* 为 320。
- 设定 NAV 1 为 ILS 的频率 111.75 MHz

您要用 ILS 朝 RWY 25L 进近了!



HEADING set to 320, turning towards ILS capture

- 预位进近模式 (*MCP 上的 APP 按钮*)。观察 LOC 和 GS 预位 (*white*)。
- 选择机长席为 EXP VOR/ILS 模式，用来检查入台径向线的方向。
- 减速到 180kts (*Flaps 1 at 210, Flaps 5 at 190*)。



Preparing to Intercept the ILS

最后进场：

可以观察到自动驾驶首先捕获 LOC，飞机飞到跑道中心线的位置时，白色的 VOR/LOC 变绿。



Turning to Intercept the ILS

- 设定 **HEADING** 为 255 用来跟踪 ILS。
- 设定 NAV2 为 ILS 的频率 111.75。
- 迅速激活 AP-B 。

现在两部自动驾驶仪都激活了，不过只有 AP-A 在控制飞机。一旦捕获下滑道，EADI 会用黄色的 **1CH** 指示器显示。下面我们要加快一点节奏了。

- 预位扰流板 Speedbrake，往后拉一点点直到 绿色的 **SPEEDBRAKE ARM** 亮。
- 当捕获下滑道时，减速到 $V_{ref} + 5$ (127 knots) (白色的 **GS** 变绿)
- 放轮。
- 放襟翼 **flaps 15** (跳过 flaps 10)。
- 150kts 放襟翼 **flaps 25**
- 140kts 放襟翼 **flaps 40** (跳过 flaps 30)
- 设定 **MCP ALT** 为 6000 feet (这是万一发生复飞后改平飞的高度)。
- 阅读 yoke 上 **FINAL** 检查单。

观察 ILS 在离地 1500ft 时会进行自检(闪动的 *yellow scales*)。在真实的飞机上, 我们称为 *Flare armed*, 自检结束, 白色的 *FLARE* 会显示在 EADI FMA.



EADI showing *FLARE* after the ILS self test

此刻, 两台自动驾驶处于激活状态。同样自动复飞模式也处于预位状态(没有提示而已), 如果您点击油门杆上的 TO/GA 按钮, 飞机会自动为您复飞。

如

过您有认真观察, 您会发现雷达高度 400ft 时的 *mistrim* 现象。此时, 自动驾驶会稍稍配平使机头上扬。您会看到操纵杆超前移动, 自动驾驶会再次推动配平轮。这是一个安全特性, 如果发生了问题导致自动驾驶失去控制, 那么此刻机头是朝上而不是朝下的。这也使得在 400ft 一下手动复飞变得困难, 因为要带住杆来补偿没有配平的因素。

着陆和滑跑

着陆期间, 下面的事情有序发生:

- 离地大约 150 ft 时, 喊出 *approaching minimum*。如果有雾的话, 您可以看到下面的灯光了。
- 50 ft 时, 喊出 *minimum* 如果能看到灯光就喊 *continue*, 如果看不到就喊 *go-around*。如果您继续进近, 自动驾驶会激活 *FLARE* 模式, 之后在离地 27ft 的时候激活自动油门的 *RETARD*。

触地之后：

- 立即断开自动驾驶。
- 打开反推。

注意，自动驾驶不会控制方向舵和机鼻轮。在触地之后，只有您的操作能保持飞机在中线上。这就是为什么 737-300 局限于 CAT3a 进近，也就是决断高度 50ft，最小跑道视程 200m。您需要目视控制滑跑。



Final Approach

复飞和进场失误

当您感到危险时，您能选择复飞。如果这样，点击 TO/GA 按钮看看有什么事情发生！机头会抬起，动力输出会提升到 GA (*reduced go-around power*)。

*TO/GA mode enabled*

如果您需要更多的动力，再按一次 TO/GA 按钮 (GA 会变到 N1)。速度会显示在 MCP 的空白处，并根据此时的襟翼情况设定一个速度。如果您收襟翼的话，这个速度光标会自动调整！

- 立即收襟翼到 15 的位置，（它实际是一条指令: GO AROUND, FLAPS 15!）
- 正上升率的时候收轮。

离地 1000ft 的时候，您可以收襟翼到 5，然后 170kts 到 1，190 的时候收完。当建立了一个新的爬升模式，开头激活的第二个自动驾驶就会自动断开。选择 HDG 模式绕机场一圈，然后进行第二次降落。

落地之后：

如果您决定落地：

- 脱离跑道。
- 打开滑行灯。
- 关掉着陆灯和频闪灯。
- 减少刹车。如果您是一个狡猾的机长，您会把油门推到一半的位置，让飞机以为您要复飞，就可以减少自动刹车。（见教程 1）
- 升起襟翼。

- 拨动空调面板的气压控制到 GRD，通过出流阀门给飞机减压。
- 关掉自动刹车和飞行指引。

您可以在滑行的过程中打开 APU，这样就能保证在关闭发动机之后还有充足的电力提供给空调。或者，在您停下来之后，马上接上地面电源来提供电力。像 Las Vegas 这么热的地方也会用软管把冷气送到飞机上！

在关闭引擎之前：

- 设置刹车。
- 将发电机接到 APU 或者 GPU 的汇流条上。

—— 个关于 APU 的趣闻：在地面，它能提供给所有的汇流条，但在空中，它只能提供一个。尽情的在您的模拟器上试试吧！

我们建议您不断重复这个飞行直到您熟悉和掌握的本教程的内容。不断尝试不同的情景，模拟的时候油不要钱，引擎可靠，飞机足够坚固。尝试不同的自动驾驶模式。选择不同的跑道，不同的机场。飞一飞坏天气，调整一下飞机的质量、风向等等。当您能从容面对这些变化的时候，您就成为了老司机，可以进入我们的第 3 篇教程了。