纵向闭环控制基本原理

同学们好，今天我们来学习飞机纵向闭环控制的基本原理。（标题页）

纵向闭环控制的基本原理如右图所示。其中为自动器传递函数，为飞机本体的传递函数。其中纵向的控制量包括升降舵偏角，襟翼位置，油门杆位置。纵向的控制指令可以是俯仰角、轨迹倾角、迎角、俯仰角速度、飞行高度、法向加速度和法向过载。控制系统会根据不同的指令和控制量，形成不同的控制。

对于设计良好的飞机来说，俯仰姿态本身可以是稳定的。也就是说，如果没有自动器，飞机受扰动后，不需飞行员操纵也可以自动恢复到原来的俯仰姿态。但是，对于高度来说，飞机的高度模态是中立稳定的，也就是说，飞机本身没有保持高度的能力。飞机受扰动后，即使飞机俯仰姿态稳定性很好，飞机仍要偏离原来的飞行高度，因此，对高度控制来说加装自动器尤为重要。

下面我们就来说一下高度控制。飞行高度的控制与稳定，可以通过升降舵(平尾)或油门来实现，也可以通过两者同时操纵来实现。一般来说，用油门来改变飞行高度较慢，而用升降(平尾)来改变飞行高度较快。所以接下来我们主要讨论升降舵(平尾)对高度的控制原理。

高度控制最简单的是比例控制，可以得到比例控制下系统理想的控制规律，并画出控制原理结构图。为了更好地分析加入自动器后对整个系统的影响，我们选择根轨迹的分析方法。为了较好地画出系统的根轨迹，首先要分析传递函数的零极点分布情况。这就是飞机本体中高度和升降舵之间的传递函数表达式，可以发现，系统的开环极点一共有五个，除了代表长、短周期的四个极点外，还有一个零值极点，这个零值极点即代表高度模态。这就是为什么飞机没有保持高度能力的原因。

系统的开环零点有三个。对于正常布局的飞机，一般均为实数。其中两个为数值相近、符号相反的大值零点，一个为小值零点。小值零点的位置，取决于飞机处于正操纵区还是反操纵区。正操纵区处于左半平面，反操纵区处于右半平面。

根据零极点的值画出闭环系统的根轨迹，分析根轨迹，可以看出，随着的增加，表征高度模态的零值极点将向左移动而趋于零点，高度模态将由原来的中立状态变成稳定状态。这也是我们采用高度控制的主要目的。从图中还可以看出，引入高度控制信号后，短周期模态的阻尼比和固有频率都随的增加而增加，但它对长周期模态的影响是不利的。随着的增加，长周期的阻尼比逐渐下降。当增加到一定程度时，长周期模态将出现不稳定现象。为了避免长周期模态的恶化，通常可引入高度的微分控制。同样，为了提高系统的稳态精度，还需要引入积分信号。

除了高度控制外，还可以进行飞行速度控制。速度控制要比飞机的姿态控制和高度控制发展晚，主要原因是亚音速飞机在巡航状态时有较大的速度稳定性；且速度变化又是缓慢的长周期过程，飞行员可以及时地对速度进行修正。另外，巡航飞行时，对速度的稳定精度要求不高，飞行员一旦建立发动机最佳工作状态后，在整个飞行过程中只要注意飞行速度是否在允许的最大值与最小值之间就可以了。

随着航空事业的发展，要求飞行员在恶劣的气象条件下自动进场着陆。此时，引起飞机速度变化的因素很多。而着陆本身又对速度精度要求很高，这就必然导致对速度要进行自动控制。这是速度控制的第一个功能。

速度控制的第二个功能是协助进行轨迹倾角的控制。例如，当飞行员由平飞转入上升而加大油门时，由于长周期运动阻尼很小，如果采用开环控制而无速度反馈时，达到一定轨迹倾角所需的时间往往很长，是一个长周期振荡过程，轨迹倾角建立所需的时间甚至长达十几分钟。原因在于当飞行员推油门时，飞机加速，由于舵面不偏转，因此迎角基本保持不变，飞机只是随着速度的增大而逐渐增大升力，从而使飞行轨迹发生变化。这个过程是很漫长的。

如果采用具有速度反馈的闭环控制，加上舵面偏转的作用，这一过程可以大大缩短。原因在于当用人工或推力自动控制器加油门爬升时，速度控制系统为保持速度基本不变，通过速度反馈信号迅速偏转舵面，相当于改善了长周期模态的动态特性，因而可以迅速而稳定地达到预定的轨迹倾角。整个过程可以从十几分钟缩短到10秒左右。

事实上是不是这样呢，同样我们可以通过根轨迹方法进行分析。这是采用比例控制的速度控制系统原理结构图，得到系统的开环传递函数。其中，零点在左半平面，而零点可能在左半平面，也可能在右半平面，取决于飞机是正常布局还是鸭式布局，以及大小1或小于1。但不管是在左半平面还是右半平面，它们都远离原点，因此，对于大部分实际问题来说，可以略去。

略去之后，可以发现，这种控制系统对长周期模态的无阻尼固有频率的影响很大，同时也增加了长周期模态的阻尼比。因此，速度稳定性过程得到实现或缩短，轨迹角的形成也可加速。同时也可以看出，不大时，长周期阻尼比改善不显著，只有较大的才能使长周期阻尼比增加得足够多，而过大的又会引起短周期模态特性的恶化。为了既改善长周期模态特性，又保持良好的短周期模态特性，实际使用的控制系统，往往在速度信号的基础上，加上速度的微分(加速度)信号。如果要消除系统的稳态误差，尚需引入积分信号。

以上是本次知识点的内容，再见。