



空燃比

空燃比 (AFR) 是指燃烧循环中空气与燃料的质量比。AFR 非常重要，因为喷入发动机的燃油量是 ECU 能够控制的最重要的燃烧参数之一。ECU 会获取目标 AFR，并根据通过温度和压力估算出的空气质量来确定正确的燃油喷射量。

为什么 AFR 如此重要

当空燃比达到特定值（称为化学计量比）时，发动机运行效率最高、清洁度最高。该比率取决于所用燃料的类型，但对于汽油而言，该比率约为14.7份空气兑1份燃料（14.7:1）。当空燃比达到化学计量值时，所有燃料都会燃烧，排气中不会残留过量的氧气或未燃烧的燃料。这可实现最低的排放量和最高的燃油效率。如果空燃比过稀（空气过剩），则燃料不足，发动机可能会失火或熄火。如果空燃比过浓（燃料过剩），则氧气不足以燃烧所有燃料，发动机可能会排放更多污染物，降低燃油效率，甚至可能随着时间的推移损坏发动机。因此，保持适当的空燃比对于汽车发动机的最佳性能、燃油效率、废气温度、发动机爆震和排放控制至关重要。

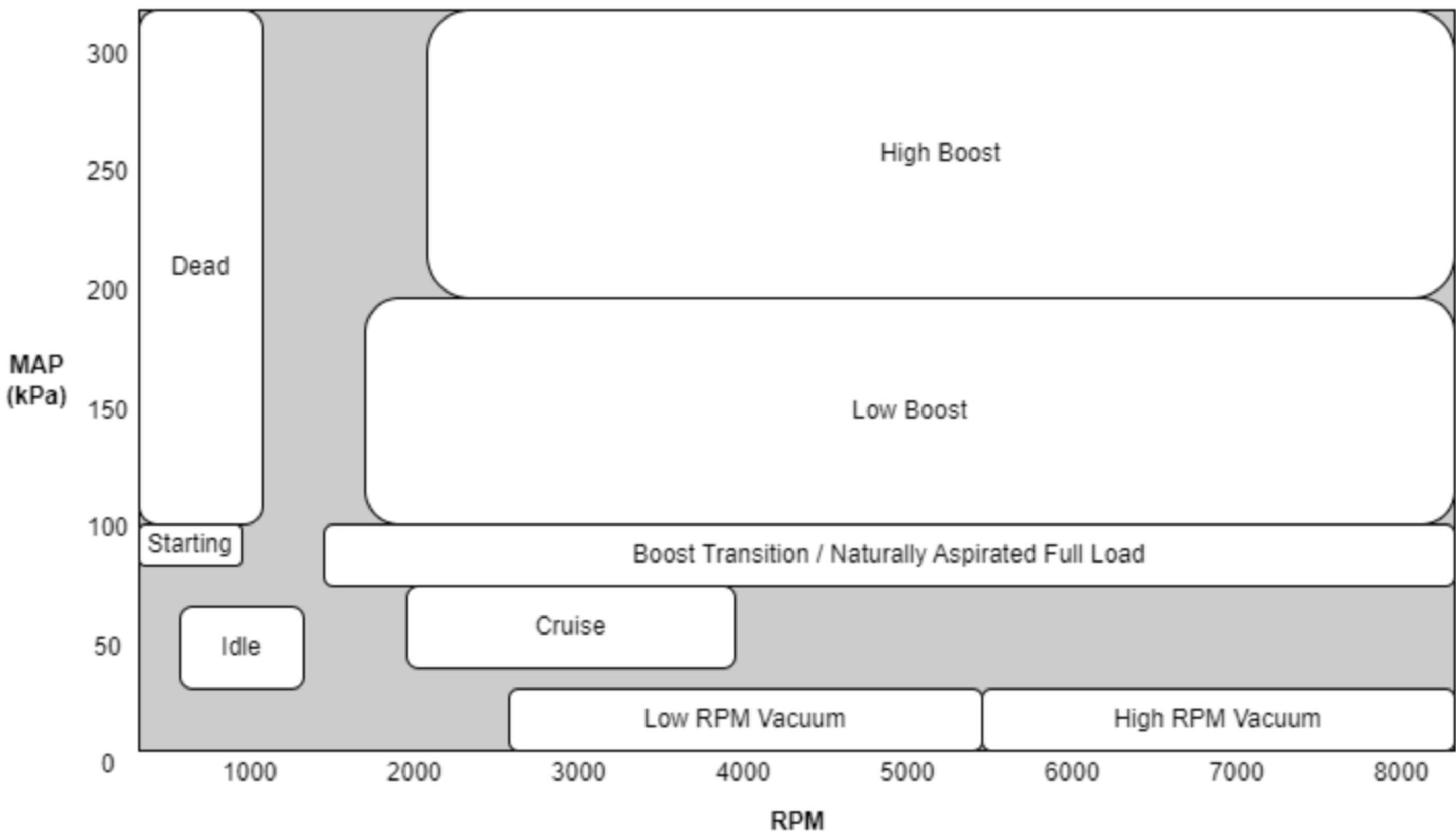
Lambda 是什么以及为什么它是一个优越的指标

Lambda 是实际空燃比与化学计量空燃比的无量纲比。换句话说，它是 AFR 与化学计量 AFR 的比率（或测量的 AFR 除以化学计量 AFR）。Lambda 是空燃比的更通用的度量，因为它不受所用特定燃料的影响。任何燃料的化学计量 lambda 值始终为 1.0，无论燃料类型如何。例如，如果发动机中的实际 AFR 为 14.7:1（化学计量 AFR），则 lambda 值为 1.0。如果实际 AFR 小于 14.7:1，则 lambda 值大于 1.0，如果实际 AFR 大于 14.7:1，则 lambda 值小于 1.0。

在发动机调校中，Lambda 更受青睐，因为它能够更精确地控制不同燃料的空燃比，而且通常更容易理解。例如，如果一辆汽油车的稀燃比例为 10%，AFR 为 16.17，Lambda 为 1.1。如果汽油车的浓燃比例为 10%，AFR 为 13.36，Lambda 为 0.9。通过 Lambda，可以立即看出发动机的稀燃或浓燃比例，但要了解 AFR，则需要付出更多努力。

AFR 目标 - 何时运行富油、精益和 Stoich

每台发动机的理想空燃比 (AFR) 目标值各不相同，但针对发动机各个运行区域的目标值都有相应的指导原则。这些目标值将以空燃比目标表或目标图的形式呈现，如下图所示，该表或图描述了各种发动机运行工况下相应的发动机转速 (RPM) 和平均进气量 (MAP)。一般而言，高浓空燃比会降低发动机响应，但会增加燃烧室冷却，并略微提高功率。相反，低浓空燃比会提高发动机响应，但会降低发动机温度并降低功率。



怠速和巡航

怠速时，通常建议将 λ 值设为1.0以实现稳定的怠速。巡航时，也建议将 λ 值设为1.0，但为了提高车辆在高速公路上或长时间匀速行驶的燃油效率，可以将 λ 值提高到1.05左右。

低负荷和高负荷真空

在低真空状态下，发动机仅在最低负载（例如油门关闭时挂档）下运转。为了节省燃油，发动机可以在此状态下以最高约 1.05 的空燃比运行，或者启用减速燃油切断 (DFCO) 功能，完全禁用喷油器，让车辆发动机制动。DFCO 功能位于 Tuner Studio 的“燃油”选项卡下。

图中高真空部分通常仅在高转速换挡或油门升程之间的短时间内使用。使用这部分图谱时，发动机通常会处于高负荷运转状态，因此建议将目标 λ 值设为0.95以帮助冷却气缸，尽管1.0也是可以接受的。

高负荷自然吸气/增压过渡区

对于自然吸气 (NA) 发动机，此区域代表发动机将承受的峰值运行负荷。建议 λ 值约为0.9，以平衡性能和气缸冷却。

对于增压发动机，此区域代表发动机进入增压阶段。由于发动机在此阶段通常负载不大，因此建议使用略高的 λ 值（0.95），以平衡发动机响应和一定程度的气缸冷却。

中高增压区

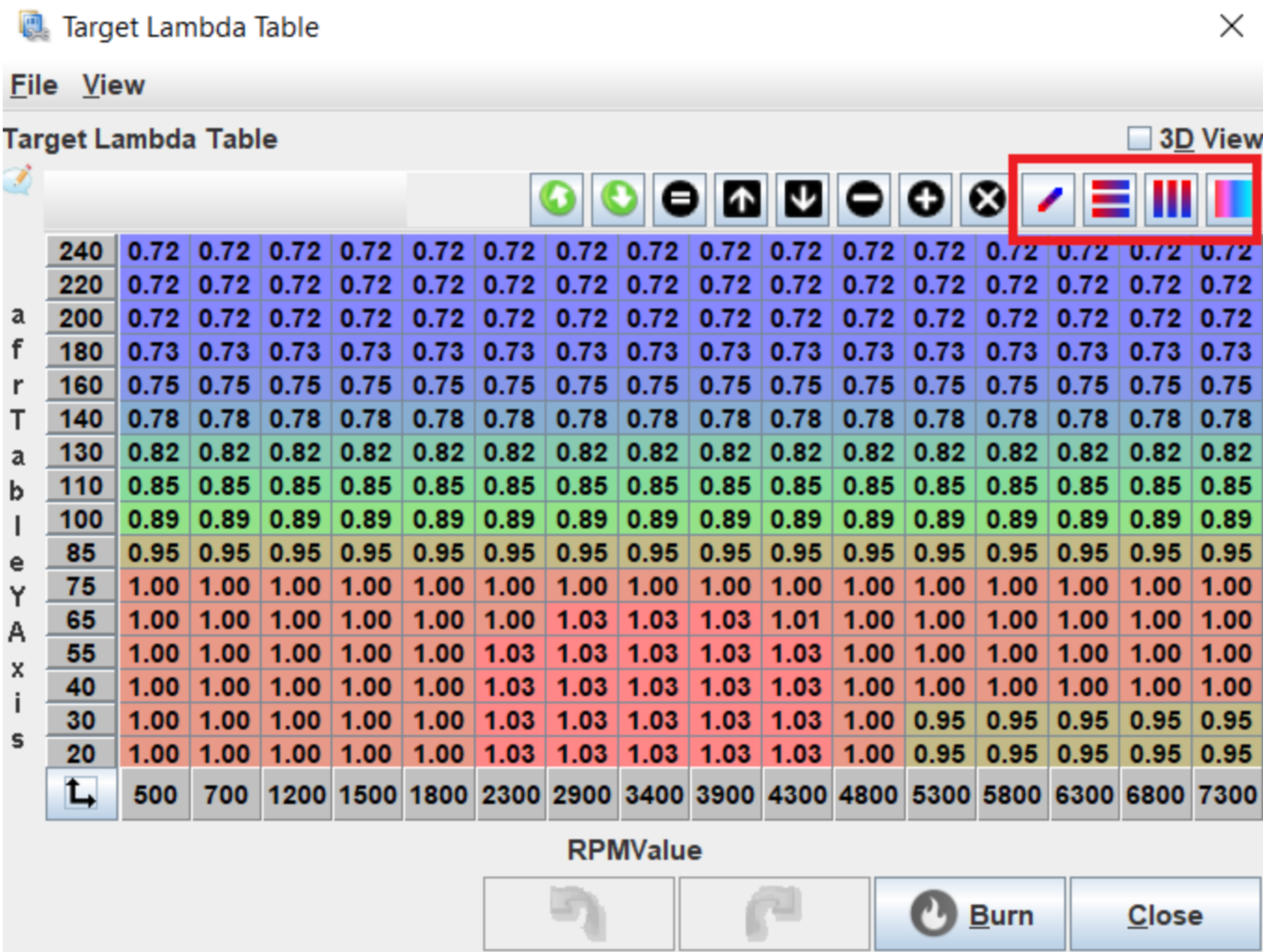
当发动机进入增压模式时，发动机负荷会增加，燃烧温度和压力也会升高。因此，随着增压压力的增加，空燃比 (AFR) 需要逐渐增加。对于约 200kPa MAP 或 14.5PSI 的增压， λ 值应在 0.78-0.82 之间。对于 300kPa MAP 或 29PSI 的增压， λ 值应在 0.76-0.8 之间。当然，每台发动机的性能都有所不同，因此，研究其他发动机在类似平台上的成功运行情况至关重要。

发动机启动和死区

在这两个区域中，它们的目标AFR并不重要。死区永远不会运行，启动区也永远不会进行闭环供油，因为氧传感器只有在车辆启动后才会激活。为了使图谱更平滑，这些区域的最佳配置是将它们从紧邻的目标AFR列复制或转换过来。

合并区域

在空燃比目标图上，某些运行区域缺少值。为了正确选择这些区域的目标值，建议在定义的图块之间进行插值并平滑值。创建平滑的空燃比目标图以避免突变非常重要，因为发动机需要空燃比的渐进变化才能达到最佳性能。为了在 Tuner Studio 中平滑图，下图中的图上有四个按钮。从左到右，这些按钮分别用于在整个选定区域进行插值、仅水平插值、仅垂直插值以及平滑选定单元格之间的变化。



不同燃料的空燃比

氧传感器的工作原理是测量氧浓度 (λ)。它测量废气中相对于空气的氧含量，并输出电压，ECU 或宽带控制器可将其直接转换为 λ 值。然后，ECU 会根据需要，将 λ 值乘以燃料的化学计量值（无铅汽油通常为 14.7）将其转换为空燃比 (AFR)。无论燃料是什么，只要燃料处于化学计量点，氧传感器都会读取相同的 λ 值。下表比较了常见燃料的化学计量空燃比值。

燃料类型	化学计量空燃比
无铅汽油	14.7
E85	9.76
E100	8.98
柴油机	14.5
甲醇	6.46