

## 赛车调教基础

“在一台调好的车子里，新手需要做的第一件事是尽可能多地跑圈，不要理会其他车手。新人必须努力学习车子的一切，系统地改变关键的部件来看看它们的影响：试着使用不同的防倾杆、软和硬的弹簧、调整下压力之类的。即便对于有经验的车手来说，仅仅会开车也是不够的，必须要懂得如何发挥出车子的性能。在这种层面的比赛中，很可能一个车手靠自己的本事在赛道上能快 1 秒，但是会因错误的调校损失 3 秒。” ——Alan Prost:“Competition Driving”



### 空气动力学 Aerodynamics

空气动力学是当今 F1 赛车最重要的一个方面。F1 设计的大部分预算目的都在与对流经车体上、下以及周围的气流进行梳理的工作。塑造气流不仅仅是为了在尽量小的阻力代价下提供尽量大的下压力，还要冷却车辆的几个发热大户：刹车、引擎、变速箱。一般在比赛中可以调节的只有前翼角度、尾翼角度和底盘高度。

### 翼片 Wings

F1 赛车的翼片作用和飞机、传统美国车上使用的翼片截然不同，与后者翼片整流相比，F1 的鼻翼尾翼实质上是在破坏气流，用增加摩擦或阻力的代价来提供下压力。



尾翼的设置总是在尾部下压力和极速中取舍。高下压力设定会带来严重的阻力，进而限制车辆极速。当设置尾翼角度时，总是希望在提供弯中足够的下压力的同时，在直线上也能达到有竞争力极速。



与尾翼相反，前翼并不会带来太多阻力，即使是最大下压力设置时也一样。所以设置前翼时，在不影响前后平衡的范围内尽可能地加大角度。另外要提一下，F1 比赛中进站的时候是可以调前翼的。

### 刹车和冷却系统 Brake & Engine Cooling

刹车和散热部件需要空气冷却，代价是影响流经车辆的气流并产生阻力。在车轮内侧偏前的部件就是刹车冷却管道。这些管道需要将高速气流灌进刹车盘。这些管道有 7 种尺寸（现在规则不知道是怎样的了）。之后的章节会介绍刹车总成温度对刹车磨损程度的影响。



车辆两侧的侧箱中各藏有一个散热器，就在侧箱进气口后面。车队根据赛道

温度和散热片大小也会调整侧箱进气口的大小。进气口越小，气流就可以更平滑地沿车体的塑形流过。小贴士：引擎的最佳工作温度是  $107.3^{\circ}\text{C}$ ，高于  $110.6^{\circ}\text{C}$  就是过热了，在  $113.9^{\circ}\text{C}$  时，引擎寿命会减为正常情况下的 50%。



#### **底盘高度（扩散器） Ride Height (Rear Diffuser)**

流经车底的气流是下压力的另一大来源，尤其是在尾部。贴近地面的气流被精心地在底板木板周围和下方引导。这些气流因文丘里效应而被剧烈压缩。而在尾部扩散器这里，气流又被加速。扩散器设计出来就是为了给底板下的高压气流提供一个出口。原理与飞机机翼在机翼表面通过加速气流创造低压区产生升力相似，扩散器在车尾通过加速气流创造了一个低压区。但是扩散器和机翼的工作正相反，当车底的气流被猛烈地抽出产生了巨大的下压力。这个组件创造了极大的下压力但是没有带来任何阻力，所以它非常非常高效。





底盘越低，扩散器低压带来的下压力越大，这也是为什么我们都希望在不磨损底盘木板的前提下尽可能降低车身的原因。而底盘高度取决于弹簧的硬度，而弹簧硬度又会影响到车辆操控特性。所以底盘高度是根据悬挂推杆设置调整的。

#### 基本调校原则：

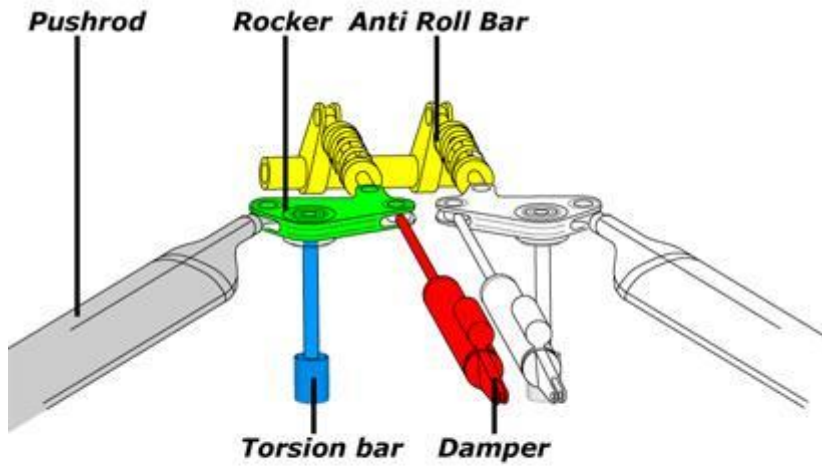
尾翼：在不影响到车辆直道极速竞争力的前提下，尽可能地增大角度

前翼：在不影响前后下压力平衡的前提下尽可能增大角度

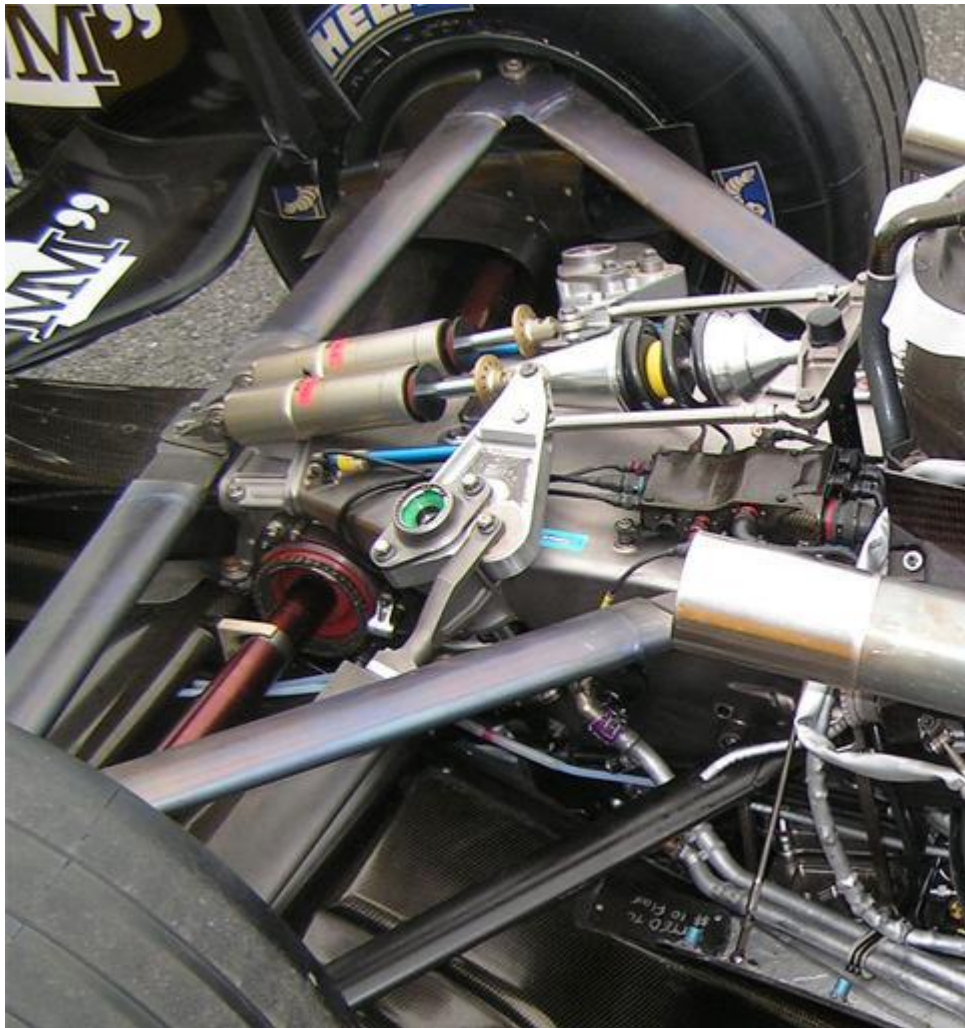
底盘高度：在不会造成木板过度磨损的前提下尽可能降低

#### 悬挂 Suspension (Overview)

F1 悬挂由一套很复杂的硬件组成。首先有上、下控制 A 臂，或横臂。这些是用黑色的碳纤维或合金构成的三角形结构，连接车轮组件和车架，允许车轮一定幅度内的上下移动。通常横臂被设计为与赛道表面大致平行并且形状符合空气动力学。而推杆的下部与车轮或下横臂相连，上部通过一个复杂的叉臂与车架相连，它是弹簧、阻尼和防倾杆的接口(it interfaces with the springs, dampers and anti-roll bar)。推杆结构将车重转移到悬挂/阻尼组件上。推杆同时也是底盘高度微调的关键。高度调节就是通过推杆穿过车体处的一个调节螺母调整的。与上横臂前部并行工作的是转向臂，它们将车轮上层前部与车鼻处的转向箱连接，转向箱里有转向齿轮，转向比和转向锁就在这里调节。这里同时也是前轮束角调节的地方。



**Craig Scarborough Copyright: @ScarbsF1**



前悬挂的弹簧和阻尼位于车鼻处一个盖板下，就在坐舱前面。掀开盖板以后技师可以处理包括前弹簧、阻尼器和垫片的所有部件。

此时有一点需要强调。当调节悬挂的时候，此时你是在调节车子所有四个角落的转向不足和转向过度的平衡。因为弹簧和阻尼影响着车辆的重量转移，很可能调整后悬挂反而影响到车的前部，反之亦然。用其他例子来说，就好象调节翼

片一样。尽管转向过度 and 转向不足只是个大概的描述，但实际上你对悬挂的调整直接影响到了车子的具体表现。正因为悬挂如此复杂和重要，所以很有必要了解悬挂各个组件和其特定的目的。

*“在汽车赛事中，包括F1，你总是会在各种影响车子表现的部件中取舍。没有一套科学可信的路子能让我们一步步找出最有效的调校。”* ——Ayton Senna: “Principles of Race Driving”

## 弹簧 (Springs)

弹簧通过吸收或偏转力来储存能量。也就是说，重量转移时，能量会暂时储存在弹簧里，直到回归静态时能量才被释放完。从这一点上来讲，弹簧只是储存因重力而产生的车重而已。



2 sizes of torsion springs



Top of installed spring and spring pivot

F1 赛车上的弹簧可不是传统意义上一圈一圈的弹簧，而是扭杆“Torsion Bar”。和传统弹簧靠长度吸收能量相比，扭杆靠的是扭转“twist”。弹簧的直径表明弹簧的抗扭强度和储存能量的能力。一般情况下，弹簧强度在 100N/mm 至 250N/mm 之间。弹簧底部与车架固定，顶端通过一个短连接臂和推杆叉臂相连。在车尾，弹簧则是藏在变速箱/差速器的两侧。

弹簧的主要作用是支撑车的质量（簧载质量 Sprung Mass），另外还要保证车辆底盘的基本高度、吸收颠簸和起伏、控制车辆在加速、刹车、过弯的重量转移。这些功能随着当今赛车受空气动力影响越来越大而变得越来越重要，车辆俯仰和姿态的急剧变化将扰乱空气动力套件产生的下压力和整体效率。

弹簧调校的基本原则是：较软的弹簧能吸收更多重量，当重量从车子的一角移开的时候，弹簧变形较慢。这可以带来更好的抓地，因为当簧载质量移走的时候，施加在轮胎上的能量减少得较少。但是软弹簧的代价是反应慢。较硬的弹簧转移重量更快，因为它装载重量慢而释放能量快。这种特性可以提升驾驶时车辆的反应，但是重量转移的时候轮胎上的负荷也转移得快，造成抓地力下降。记住：软和硬是相对的，和民用车比起来，F1 用的最软的弹簧也已经硬的跟石头一样了。

## 阻尼 (Dampers)

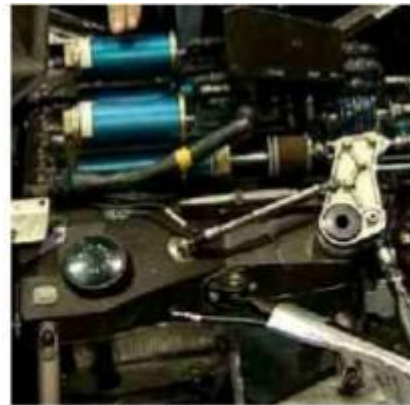
阻尼 Dumper，或说减震筒 Shock Absorbers，实质是连接在弹簧上的液压筒，可以控制弹簧的移动。基本结构是一个活塞，一个活塞杆，一个油缸。动能通过



活塞压缩液压油转移为油的内能，使油温上升。所以阻尼需要有相应的冷却设计，因为过热会造成阻尼失效。



Front dampers (blue) and packers (white)



Rear dampers

注意左上图中悬挂的层次结构。左下方那个洞就是推杆与弹簧阻尼相连（通过摇臂将枢纽和活塞杆、弹簧连接杆相连）的枢纽部位。

阻尼内部工作如下：活塞压迫液压油流过筒内壁上的小孔并通过“Shim Stack”（在分流器上方，活塞下方）。当需要对阻尼调节的时候，调节孔的大小，就可以调节活塞行程中来自油的阻力。需要回弹慢的阻尼设定时就调整“Shim Stack”，需要回弹快的阻尼就采用更多更大孔的内壁。因为阻尼液压油是无压缩的，所以会加入一点氮气，当活塞运作的时候允许有轻微的压缩。

阻尼控制着弹簧吸收和释放能量的过渡反应。举个栗子：当猛烈制动的时候，车前端下探，前悬挂压缩，高度降低。当弹簧决定着前端下探的幅度时，阻尼控制着下探发生的速度。而这些在加速、刹车、过弯时都在发生。

F1 的阻尼是 4 路可调的。可以调节阻尼压缩(Bump)的快慢和回弹(Rebound)的快慢。这个快慢和车子的速度无关，而是取决于来自活塞杆的能量转移。简单的分析一下，是这样的：阻尼压缩得慢，会影响到簧载质量对弹簧的压迫；阻尼压缩得快会影响到弹簧对簧下质量（轮胎、轮圈、轮毂、刹车等）的反应。换句话说，缓慢的阻尼设定带来良好的过弯平衡，快速的阻尼设定可以应付颠簸路面下的操控。

阻尼是悬挂设定中最需要细心调校的地方。阻尼应是一个精心设计的车的调校的最后一笔(finishing torch)。由于阻尼的性质对赛车的最终性能是如此重要，我强烈建议有心研究的读者能尽可能多的读读相关的书籍。“Technical F1”网站是一个很好的资源。

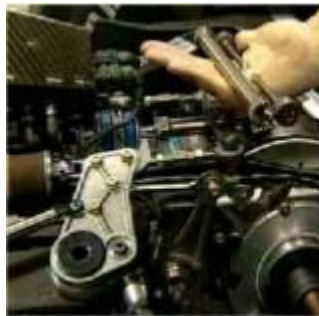
### 垫片(Packers)

垫片是安装在阻尼器活塞杆末端的隔层。它是防止底盘木板被损坏的最后一道防线。当悬挂受到强力冲击而被压缩至极限时，Packers 通过冲击阻尼筒和压缩橡胶的方式使悬挂停止变形。垫片可以沿着活塞杆上移动，前悬挂的垫片的尺寸是 0.0cm 到 4.0cm 之间，后悬挂则是 0.0cm 到 8.0cm 之间。

### 防倾杆 Anti-roll Bars

介绍到现在为止，每个轮胎具有一个独立的由弹簧、阻尼和 Packers 组成的控制系统。尽管车子四个角落是完全独立的，但是大多数调校是把组件调成对称的状态，意味着左前、右前弹簧和阻尼设置一样，左后、右后弹簧和阻尼设置一

样。这种做法可以很有效地处理前后的重量转移，而且可以很好地控制每只车轮的弹跳。但是，在过弯时处理弯内侧外侧的重量转移效果不是最好的。内侧轮胎可能失去牵引力而外侧轮胎则会负荷过大。这种情况下就需要防倾杆来发挥作用了。



2 sizes of anti-roll bars

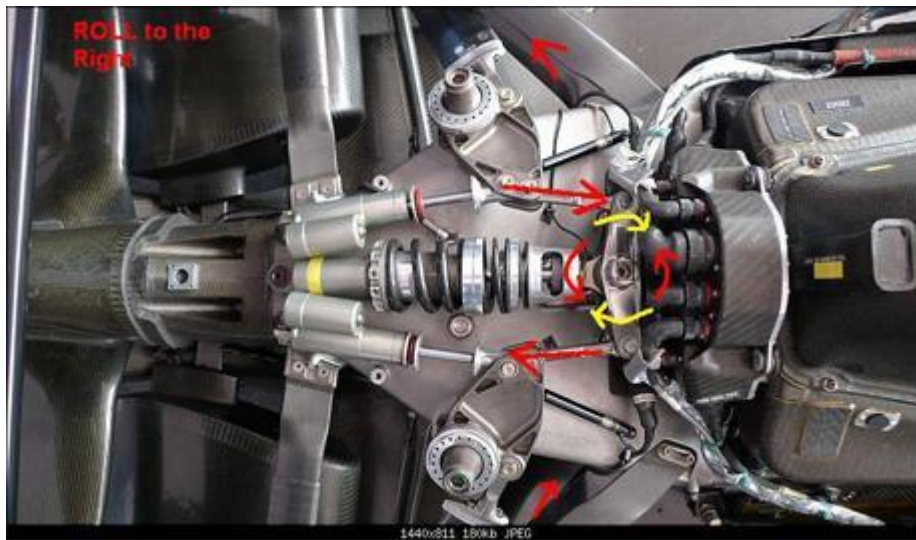


The rear bar couples here



The front bar is in the nose

在当今 F1 赛车上，防倾杆和弹簧一样，都是扭杆。它们是这样工作的：防倾杆将左右弹簧和阻尼横向连在一起，还记得之前提到的相互平行的弹簧和阻尼吗？防倾杆的两端就通过一个连杆连在和弹簧阻尼相连的同一个叉臂上；一端连接左侧悬挂，另一端连接右侧。当车子直线前进压到路面上的一个突起，左右两个轮胎的反应大致相同（先往上移动...再向下移动），防倾杆也在相同方向“rolls”，几乎没起什么作用。但是在弯内，重量转移是从内向外的，内侧轮胎向下移动（失去簧载质量的压迫），内侧弹簧也在重量转移下释放能量，与此同时，外侧轮胎向上移动（获得更多簧载质量的压迫），外侧弹簧吸收能量，这使得防倾杆两端向相反方向扭转。由于防倾杆的存在，它限制了内外侧悬挂转移的能量，从而抑制了车架的倾斜，减少了悬挂的行程，将部分抓地力还回给了内侧轮胎。







像弹簧一样，防倾杆的强度也和粗细相关。防倾杆强度范围是：前防倾杆 100N/mm 至 200N/mm，最小调节单位是 5N/mm；后防倾杆 50N/mm 至 130N/mm，最小调节单位也是 5N/mm。值得注意的是前防倾杆数值要高？一般情况下，前防倾杆和前悬挂一样，都是要比尾部硬。这能够提升入弯时的反应和出弯时后部的牵引力，实现灵敏入弯和快速出弯。

悬挂：是如何协同工作的？

**基本原则：**

**弹簧（主要用途）：**保证底盘高度和赛车大致的操控平衡；

**前弹簧：**尽可能的硬，确保车头的快速反应，尽可能降低底盘高度；

**后弹簧：**尽可能的软，确保车尾在制动/入弯/加速时有足够的牵引力；

**阻尼器（主要用途）：**通过控制弹簧在颠簸路段和重量转移时的压缩和拉伸速度，实现更好的操控；

**前阻尼：**尽可能的软，保证前端的抓地；

**后阻尼：**尽可能的硬，保证高速弯尾部的稳定；

**阻尼的慢速设置：**控制簧载质量的转移；

**阻尼的快速设置：**控制簧下质量（轮胎和轮圈）在颠簸路面和路肩上的表现；

**防倾杆（主要用途）：**限制底盘稳定时车架的过分倾侧；

**前防倾杆：**尽可能硬化，确保车头快速反应；

**后防倾杆：**尽可能软化，确保出弯加速能够提供足够牵引力。

所有组件协同工作创造了机械抓地力。记住它的目标是使轮胎能够达到其最佳工作温度，从而获得最大的抓地力。加载在轮胎上的重量直接决定了胎温。机械抓地力在高速时只是辅助高速时起决定作用的空气动力学，而在低速时，空气动力学影响很小的情况下，机械抓地力就很重要了。以下是悬挂如何决定机械抓地力的：

**1. 弹簧建立了基本的底盘高度和前后机械抓地力的分配平衡；**

**2. 车子刹车入弯时，后弹簧能有效地处理从后往前转移的重量，允许悬挂能够保有一些尾部抓地力而不是完全丧失后轮抓地。阻尼控制着弹簧遇到突然冲击后的反应，否则会干扰正常的行车平衡；**

3. 入弯早期，当车架重量从弯内向外转移的时候，阻尼持续地控制着弹簧转移能量；
4. 当车子已经处于稳定的弯中状态时，防倾杆限制着车从弯内向外的倾侧，向内侧轮胎反馈部分重量。
5. 当车子来到弯角出口，防倾杆开始释放能量，将重量转移的责任交给阻尼控制下的弹簧；
6. 在出弯的时候，由于动力开始施加在后轮上，重量也开始向车尾转移。软化的后弹簧可以快速吸收这些过多的能量，保证轮胎在加速时能够发挥最大牵引力。

注：当调车的时候必须有所妥协。比如：使用软弹簧搭配过高的阻尼值反而会抵消弹簧的软度，换句话说，弹簧将不会被完全压缩，或者反弹过快。所有组件应当协同工作，每个部件完成其特定的任务，它们合作的结果是在赛道的各处都能有效地控制车子的重量转移。这本指南将在“Establishing a Setup”章节详细地证明这一点（这一章我没翻...）。

## 轮胎 Tires

方程式赛车的轮胎是特制的。这些赛用轮胎按工作温度分为五种：干燥路面用胎分软胎 Soft（112°C）和硬胎 Hard（114°C），轻微潮湿路面用中性胎 Intermediate（109°C），中度潮湿用中雨胎 Wet（107°C）和重度湿滑路面用大雨胎 Monsoon（105°C）。一般的规律是越软配方的轮胎抓地力越强，但是软胎更容易因过热而增加磨损。雨胎一般比干胎要软，目的是为了在雨天尽可能提供抓地，所以干燥路面就别用雨胎了，很容易过热起泡而毁掉胎。



由于轮胎是赛车与赛道接触的唯一部分，所以我们可以从每个 Session 结束后各个轮胎的温度中读出大量宝贵的信息。这是一个衡量悬挂作用的重要的物理指标。读数要从胎面三处读：内边缘、中间和外边缘。通过分析这些数据，技师可以精确地设定轮胎倾角和胎压，选择更有效的弹簧硬度和阻尼设定。当某个轮胎三处温度都相等，说明在一圈内轮胎与赛道的接触面分布得很平均。

轮胎在最佳工作温度时能够达到最大抓地力。温度过高，说明轮胎在重量转移时承受的负荷过高。温度过低，说明轮胎在重量转移时轮胎没有装载足够的重量。

## 轮胎倾角和胎压 Camber & Tire Pressure

倾角调整和胎压设置允许我们对轮胎与路面的接触面进行微调。倾角是调整接触面的扁平程度，需要在轮毂内侧调节。记住这一点，倾角设置甚至可以帮助我们根据轮胎内外边缘的温度算出轮胎磨损情况。下图展示了倾角设置的两个极端。



+2.0 degrees front camber



-6.0 degrees front camber

左图展示了最大正倾角+2.0 Degrees(我们计算倾角根据的是轮胎上方半径的倾斜程度)。正倾角意味着轮胎上方偏离车架。好吧，在当今 F1 赛车上我们不可能看见正倾角的出现。正倾角设定下，前胎外侧承载着大部分的重量，所以运转时会比轮胎其他部分更热，磨损也会更为严重，更不用说少触地面积带来的抓地力损失了。请记住：调车的目标是实现最大抓地力，而精髓之处就在于保证轮胎表面温度分布的均匀。

另一方面，右图显示了一个极端的负倾角。负倾角是指车轮顶端向车架方向倾斜。在额定条件下，这种极端的负倾角设定会过早地加热轮胎内边缘，造成轮胎在达不到最大抓地力的情况下过分磨损。当车辆入弯时，车架会有一定程度的倾斜，重量转移到外侧轮胎，外侧轮胎在过弯的时候承担着大部分的负荷。负倾角可以使外侧轮胎在重量转移时处于一个接近垂直于路面的状态。

但有一件事：当分析胎温数据时，必须要考虑到车子用这套胎跑的圈数和车手 Push 的程度。采用负倾角在直道上会加热轮胎内侧，但这些热量（磨损）与那些剧烈转弯时所造成的热量相比就是湿湿碎。尽管如此，这带来一个有趣的现象：如果你采用了一个负倾角的设定，然后出去以 80% 的速度（不要 Push 太狠）跑两圈，得到的胎温读数可能会显示出错误的信息，它会显示在 Pushing 的时候轮胎内侧温度会过高。为了达到最佳效果，设置的时候起码应该用 95% 的速度跑三圈才能得到比较可信的胎温信息。

胎压的作用是调节每只轮胎胎面中间（胎冠 at the tires 'crown'），相对于胎边缘，的温度。在高级赛事中，轮胎会用氮气填充。因为氮气是比较惰性的气体，因温度变化产生的压力变化很小。另外氮气也不容易吸收水分，可以防止轮胎气体中的水分凝结在内壁导致轮胎旋转失衡。

F1 轮胎侧壁是很强硬的，所以如果胎压比较低，轮胎侧壁便会隆起（开始承担车重），而且轮胎胎面也会靠近轮圈。在这种情况下，外侧胎面会比内侧更容易升温，因为外侧轮胎与路面的接触比中部要多。同理，如果胎压偏高，轮胎胎面中央会隆起，高于轮胎两侧。这两种情况下，如果轮胎不能平坦地与路面接触，影响最大的地方在高摩擦的影响下将会产生更高的温度，结果是抓地力降低、磨



损加剧。

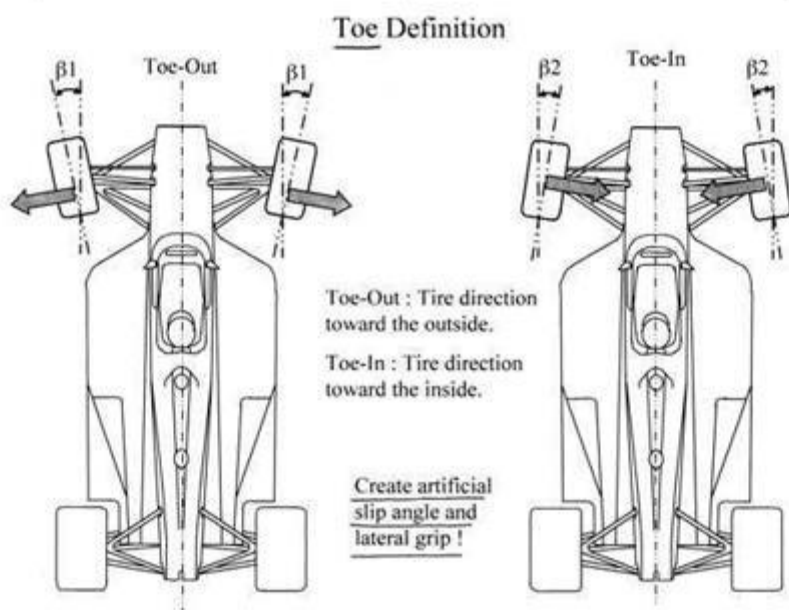
胎压设定、倾角设定和胎压设定之间的关系一言难尽。但是持续关注更改调校后胎压的变化是非常重要的，与此同时，更重要的是花时间分析为什么跑了几圈后胎压会呈现这样的状况。

所有这些因素也和悬挂设定息息相关。如果我们调软弹簧，它就会影响到倾角的设定。由于较软的弹簧吸收了较多的车身重量，底盘静态高度就会降低。当悬挂压低的时候，轮胎便会因叉臂上移而向内倾斜。这反过来又需要重新调整倾角设置，以抵消悬挂带来的影响，把轮胎重新设置在垂直于路面的状态下。这个过程反复循环。不过不用太过担心，当你逐渐把车调得与理想状况越来越相近的时候，需要改变的地方就会越来越少。

“车手和技师调车的目的就是让轮胎能够在最佳状态下运转。只有这样，身为F1最重要部件之一的轮胎，才能把车子带向极限” Ayton Senna: “Principles of Race Driving”

### 轮胎束角 Toe-in

束角是指当轮胎处于静态时，从正上方往下看，轮胎的指向角度是向内 toe-in/负值 negative（前方向车架方向倾斜）还是向外 toe-out/正值 positive（前方向车架反方向倾斜）。大多数车辆前轮有一点 negative toe/toe-in 的原因是为了保证在直线前进时的稳定性。如果车子有个 0 度的 toe 值，车子在直路上会变得很“紧张”，稍微有一点颠簸、车辙或小沟都会变得不稳定。如果设为有点 toe-in，每只轮胎随时都会有点向内转的倾向。这在方向盘上会感到回正的倾向，而这一点保证了更好的直线稳定性。



65

后轮的 toe 值则是一个存有争议的话题。消极的一面是，批评者认为设定非

零的后轮束角只会徒增无意义的轮胎磨损，而没什么性能优势。积极的一面是，专家声称后轮有一点 toe-out 将有助于车子加速时的稳定。

但要时刻铭记：过大的 toe-in 值会加热轮胎外侧，产生摩擦，一定程度上影响速度。而过大的 toe-out 值意味着轮胎内侧将会被加热。你需要针对这些反应而对倾角设置做一些改动。

### 重量分布 Weight distribution

所有的 F1 设计师都会尽可能地把车子轻量化，使得重量低于 FIA 规定的 600kg 下限。这将允许车队使用压舱物去针对特定赛道微调车辆的重量分布。事实上，现在这已经成为一个惯例了：送抵测试赛道的 F1 赛车初始重量还不及一台 F3 的车。

随着更严苛的安全条例的到来，驾驶员坐舱位置已经被进一步后移以减少受伤可能。这使得车辆的大部分重量都集中在后部。尽管改变重量分布似乎是正是为了修正这种重量分布不平衡而引入的，但出于某些原因，这并不能解决问题。原因之中最重要的是 FIA 的规则要求压舱物必须是不可动的，必须安全地固定在车的某个位置。这意味着 F1 赛车不能利用 weight\_jacker system 的优势，而是被迫用螺栓把重物固定在车上。这确实限制了彻底解决重量分布的可能性。

压舱物的理想材料是耗尽的铀条和 Mallory(?)。这种材料密度非常非常高，可以被车队塑成理想的形状放在各种可能的位置，并使车重满足 FIA 的要求。不过这些组件很难被放进车体内部，所以大部分都堆到了车手两腿下方、鼻锥里面。因为引擎和变速箱这种重量大头已经放在后面了，所以把压舱物往车尾装并不是流行的做法。



正因如此，重量分布是极难控制的。一般情况下，如果我们将重心转移到车

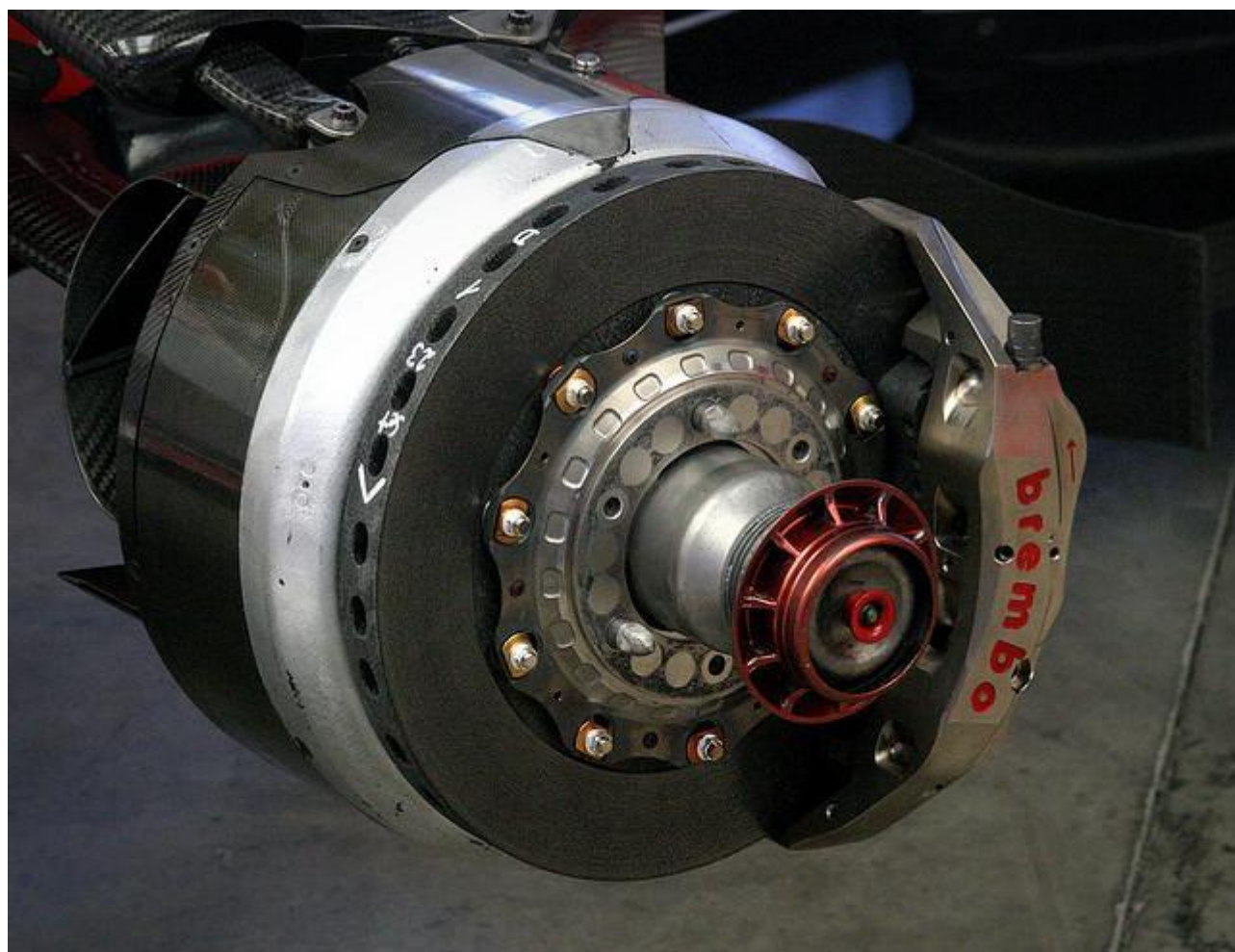
尾以提供更多的牵引力，意味着车前方的重量较少，从而产生转向不足。而把重心前移，在加速时转移到尾部的重量就会减少。然后，这又回到悬挂设置问题上了。该如何分配前后重量比例依赖于车子最初的平衡程度，而车子的平衡又依赖于弹簧和阻尼的搭配选择。考虑到这一点，重量分布是改变车辆操控特性的一个设定。一般情况下，重量分布是调校的最后一项，有时甚至是将一台顽固的车调好的最后一搏。

每辆车都有自己独特的重量分布。这是由于各车的引擎重量和车架设计不同导致的。可以按 0.5% 的精度将压舱物前移或后移。

### 刹车系统 Braking system (Overview)

如果说 F1 是赛车运动的顶峰，那么刹车就是这高峰之巅。在数不胜数的 F1 车队测试中，从低级赛事晋级的年轻车手无不对 F1 的制动能力感到惊叹。

F1 赛车的刹车系统是传统的由液压活塞、刹车片、刹车碟盘构成的。车手踩下刹车踏板，刹车油泵便将这股力转而施加给两个刹车油缸（分别为前后刹车独立使用）。这两个刹车油缸将高压刹车油供应给前后共四个刹车卡钳（有些车队设计成单碟双卡钳，那就意味着八个刹车卡钳）。这些高压刹车油推动卡钳内的活塞（通常一个刹车卡钳里有四个活塞），将碳纤维刹车片压往高速旋转的刹车碟。



### 刹车压力 Brake Pressure



我个人倾向与设置为 100% 的刹车压力，除非特殊天气如下雨我不会降低刹车压力的。不过需要指出，增加刹车压力的同时也增加了刹车的损耗。最好是增加刹车压力的同时车手改良自己的刹车技术以减少刹车损耗。这样就可以在需要的时候挖掘出刹车所有的潜力，比如延迟刹车实施超越什么的。

方程式赛车不需要使用刹车助力。车手需要能获得非常精确的刹车力度反馈，这样才能让车手调节刹车以避免锁死车轮。车轮锁死是非常不可取的，但是由于最佳刹车状态恰恰是轮胎濒临锁死时的状态，所以车手常常会锁死车轮，尤其是意气用事的时候（driving in anger）！

能够实时调节刹车力度是顶级车手的特质。一个非常有效控制刹车的技术叫做 Trail-braking。Trail-braking 是指在入弯时缓慢放开刹车的意思。由于刹车时重量转移到前方，过弯时尾部很容易偏出。这种刹车技术可以预防尾部不安分，并有效地允许车手入弯后仍可以继续刹车，有时车手甚至带着刹车入弯至 apex，直到踩油门那一刻才松开刹车。这可以确保赛车在弯中各处都可以更快。

另一种方法是踩下刹车入弯的时候同时踩一点油门（这需要踏板分离的设置）。这种激进的驾驶方式可以施加一些扭矩在后轮上，在入弯的关键时刻半控制（semi-control）车子的重心转移。在极端情况下，车手甚至在刹车的同时迅速地深踩一下油门，刻意地造成车子轻微转向过度，使得车头指向 apex。

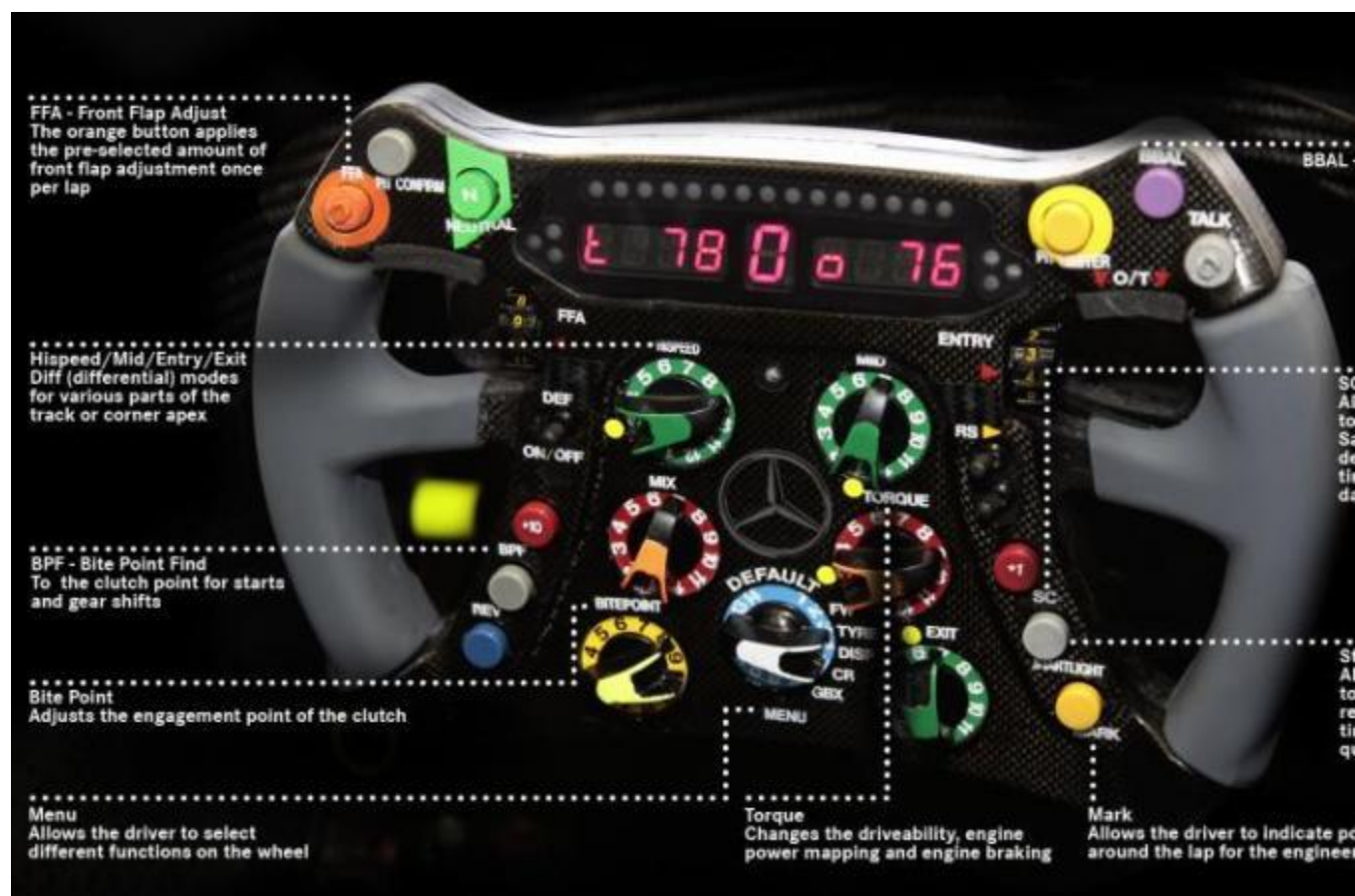


这两种技巧说着容易，不过都很难彻底掌握，而后一种是否是快速的过弯方法还存在一点争议。这本指南的哲学更多侧重于车辆调校，而不是驾驶技术。如果你愿意学习相关技术，建议去找些论坛去学习掌握这些驾驶技术，尤其是 Trail-braking，因为它是车手们常用的技术。

### 刹车比 Brake Bias

由于 F1 赛车的性能是基于它利用重量转移的能力的，所以改变车子刹车时的平衡就很重要了。当我们改变刹车比时，我们只是转移刹车的力量，使车能够承受更大制动力一边的轮胎能够被充分利用。而这能承受更大制动力的一边，我们一般指的是前面。理由很简单：刹车时重量转移到前面了。而在尽可能前移刹车比的时候，我们也要对后轮有所补偿。因为如果后轮制动力过少，过分的心转移会使后轮丧失循迹性。

设置刹车比的方式是通过刹车踏板后的一个枢纽。这个枢纽连接着踏板和两个刹车主油缸的活塞。通过改变这个枢纽的角度，车手可以有效地调节具体有多少踏板移动被传递给某一个活塞，换句话说就是独立地调节了刹车力度。刹车比调节是如此重要，所以它需要由车手在驾驶的时候调整。一般坐舱里有一个旋钮或拉杆可以调整这个枢纽的角度。通常情况下，一场比赛里刹车比会被调整数次以适应逐渐减少的载油量、轮胎磨损和赛道状况。



图中右上角紫色的 BBAL 就是刹车比调整处

50/50 的刹车比情况下，后轮在重心前移的时候常常会过早锁死，造成入弯转向过度。设置刹车比的原则是在正常刹车不锁死前胎的情况下尽可能增大前轮比例，但是这会使车子入弯时倾向于转向不足。

### 刹车损耗 Brake Wear

刹车系统最常见的问题是过热带来的热衰减和刹车损耗带来的刹车崩溃。

刹车需要达到合适的温度才能以最佳状态工作。过冷的刹车是不能让滚烫的刹车碟停止旋转的。合适的刹车温度是  $550^{\circ}\text{C}$ ，在这个温度下，刹车会拥有最大化的制动力。但是，制动摩擦会带来高热，这些过分的热量反而会损害刹车，导致刹车片的磨损和刹车热衰减，降低制动力。热衰减曲线从  $550^{\circ}\text{C}$  开始，逐步上升至  $1650^{\circ}\text{C}$ ，此时制动力已经减为工作温度时的一半了。使刹车能够稳定工作在工作温度上是非常重要的，改变刹车冷却管道的尺寸就是为了这个目的。

此外，可以监控刹车片的厚度来研究刹车工况。在试跑前测量刹车片起始厚度，试跑结束后，减少的刹车片厚度便表示了刹车的耗损情况。从这里我们可以计算出一套刹车片可以坚持多少圈。结合温度读数，我们可以精确地了解到在这

条赛道上我们需要多大的冷却导管才能保证刹车系统能够支撑到比赛结束。

### 刹车碟尺寸 Disc Size

有两种刹车碟可选。一种是排位赛专用的轻量化刹车碟，可以有效地降低簧下质量。它们差不多是正常尺寸刹车碟厚度的 1/3。这种薄刹车碟的温度控制更为困难。

### 传动系统 Transmission (Overview)

当今的 F1 赛车采用的是纵置半/全自动变速箱。方向盘后的换档拨片连接着伺服阀 (servo-valves)，通过电子线路控制位于车尾的四个执行器 (actuators)，然后执行器操作液压机构移动变速箱选择杆来接合/释放选定的齿轮。一个 CPU 控制的系统控制着离合器，确保换档能匹配引擎的转速，防止在错误的时机换档带来损害。这个系统还允许预设换档模式，实现自动降档甚至全自动升降档。这套变速箱可以在 20-40 毫秒内完成换档动作。

变速箱的外壳是非常重要的。因为变速箱实质上是车架的一个组成部分，连后悬挂也是连在变速箱外壳上。金属钛是一个非常好的选择，但是真正应用在变速箱外壳的材料是钛合金甚至是碳纤维，比如 Arrows A23 上的变速箱就是碳纤维外壳。



Minardi's high tech die cast titanium gearbox casing

变速箱固定在引擎的后面。在几年前，F1 采用的是老式的外置变速箱（差速器的齿轮甚至暴露在车尾外面），变速箱齿轮可以相当快速地更换。但现在变速箱内置了，需要花 30 分钟才能把所有 7 个齿轮全部更换。Ferrari 最近成功地把变速箱整合进了引擎，创造出了一体化的引擎/变速箱单元，进一步提高车子的刚性。

### 传动装置 Gearing

传动系统根据车辆速度变化和道路条件的变化，切换前进档齿轮的规格 (FIA 规定前进档只能有 4-7 个齿轮)，实现最大化引擎输出到驱动轮的马力和扭矩的作用。现在 F1 赛车可以选择 6 或 7 个前进档位。每个档位的齿轮结合上曲轴的作用和差速器分配，驱动车轮旋转。这些齿轮是如此脆弱，它们只能坚持一场比



赛，甚至在比赛周末就会被换几次。出了前进档，FIA 规定 F1 赛车必须至少有一个倒档。不过，这个档位很少会用到，所以车队都用很轻很脆弱的齿轮应付。

每一个“档位”都是用两个齿轮组合在一起形成的一个齿比（Ratio）。一个齿轮，小的那个，安装在离合器下来的主轴上。另一个齿轮装在连接着差速器的传动轴上。这两个齿轮（主轴上的和驱动轴上的）随时都咬合着，但是任何时候都只有一组能和驱动轴相连，这组齿轮也就是车手在坐舱里选择的那个档位。



### Benetton 车队的齿轮

基本上技师有 69 种不同的齿比组合可选，这还不包括差速器的 3 个最终传动齿轮。每个齿轮由两个数值决定：1. 一个 XX/XX 标签，XX 是数值，代表着两个齿轮上的齿数；2. 一个 XX.XXX 数值，表示着与最终传动齿比结合后的齿比值。这个数值告诉我们曲轴相对于后轮驱动轴旋转了多少。我们可以发现，如果你修改了最终传动齿轮，第二个数值会随之变化，而第一个数值不会变。

当选齿比时，有两个因素需要考虑：在这个赛道需要达到的极速，赛道最慢的弯角在哪里。后者通常是一个 2 档弯，所以我们需要首先考虑 2 档，其次是 6、7 档。将这三个档位的齿比确定以后，我们再将剩下的 3-5 档平均分配（或者 3-7 档都平均分配），以获得最大极速和稳定的加速至极速的能力。如果赛道有发卡弯（比如法国 Magny-Cours 赛道），就需要考虑到 1 档时车辆在弯角的指向能力。如果赛道最慢弯角是 2 档弯，那么 1 档就只需要针对起步设置就好。即使是这样，还是要根据具体的某些因素调整齿比。1 档最初的选择应当是为了在平顺起步时能获得最大加速度直奔 2 档。但如果排位的位置比预期靠后，可能就需要缩短 1 个单位的齿比。如果排位比预期要好，就可以采用与之前相反的设置。随着 LC 系统的引入，设置 1 档的重要性似乎降低了。但实际上并不是这样，因为我们的目的是尽可能地优化车子的表现，没有哪个部分的设置是不重要的。

### 差速器 Differential (Final Drive Gear)

差速器是连接变速箱输出和后轮驱动轴的机械耦合装置，在 F1 赛车中，差速器被整合进了变速箱。引擎曲轴旋转产生的驱动力，经过离合器和选定的档位齿轮，由这里的最终传动比决定驱动力分配，最终传递给驱动轮。



图中是雷诺在民用跑车上的 LSD

连接差速器输入轴和变速箱输出轴的是最终传动齿轮。这里的三种齿轮选项决定了车子前进后退的速度。低传动比以损失极速的代价提升加速能力，高传动比正相反。所以大多数情况下，一开始选中等传动比（13/52，斜率 30.42）是明智的，

具体需要升高降低取决于车手能否在赛道上将所有档位用尽（比如应用了高下压力的翼片设定）。另一个技巧是在雨天升高传动比，这可以减少施加到后轮的扭矩。

## 差速锁 Differential Lock

F1 采用了限滑差速器（LSD）。这意味着差速器输入轴和后轮传动轴的差速水平是可变的。差速器的耦合程度决定了驱动轮获得的扭矩是平均分配还是不同比例分配。当差速锁设为 100% 时，输入轴和传动轴是 100% 锁定的，扭矩平均地分配给两个轮胎。0% 时，如果一个轮胎的牵引力与另一只轮胎不同（比如车子的一半压上了草地），差速器便会将扭矩从牵引力低的一侧轮胎移走。

需要理解的是，因为差速器是一个机械装置，它不可能在两个驱动轮间转移大量的扭矩。换句话说，如果忽视掉差速器的存在，F1 的两个驱动轮总是会获得极大的扭矩。即使使用 0% 的差速锁，从打滑轮胎转移到抓地良好轮胎的扭矩占两轮所获扭矩的百分比也是相当小的。

人们倾向于用转向过度 and 转向不足来描述差速锁的效果。但现实中，我们只可能调节车子的转向过度。因为缺少转向过度自然而然地使车子倾向与转向不足，所以我们只用转向过度来描述车子的状态。以下是一个测试结果，测试的是一个极端的差速器应用于恒定半径弯角的情况：

差速锁 0%：

松开油门——高转向过度

踩下油门——零转向过度

差速锁 100%：

松开油门——零转向过度

踩下油门——高转向过度

踩下油门是指在一个稳定状态下油门全开（比如 2 档，85-90mph，路线是半径 80m 的圆环，然后地板油...）。

松开油门正相反，在一个稳定状态下松开油门。

想想看，松开油门的测试正是模拟我们在赛道上入弯时的动作：松开油门，重踩刹车，转向。在一个基础调校之上将差速锁设为 0%，你会发现入弯时 spin 的概率大大增加。这是因为在极端条件下刹车入弯，差速器会帮助减少扭矩。结果是重量前移的速度比使用高差速锁时的重量转移速度快得多。即使是刹车入弯的时候，引擎施加在后轮的扭矩大小也是车辆重量转移的原因之一。

如果车手完成了过弯，可以更早、更狠地踩下油门。因为低差速锁设定会在重量转移时帮助分配牵引力。而后轮濒临失去牵引力的状态正是我们所希望的，因为这种条件下能够获得最大可能性的牵引力。

在论坛上，很多人读到这里会觉得这似乎是矛盾的。不信的话你可以去试试...

而高差速锁设置下的车子则是完全不同的野兽。车子在刹车入弯时很稳定，但是出弯时很难发力。这是因为后轮被差速锁“锁住”了，两个轮胎会无视重量转移而将所有扭矩释放出来。

调节差速锁时，可以先采用 50% 的设定，这是个平衡点。然后出去试跑，看车手倾向于什么样的驾驶风格。和其他调校类似，并不取决于车手是否喜欢转向过度，而是取决于在什么时间、什么地点需要多少转向过度。然后调节这个数值。

比如法国车手 Jean Alesi，他是公认的 Power-slide 大师，他常常把方向盘打满。我敢打赌，Alesi 的差速锁设置相当高。试想 Alesi 在 Monza 的 Parabolica 弯（最后一弯），他可以标志性地稳定刹车入弯，然后在这个高速弯 apex 之前便踩下油门，利用油门控制下的转向过度来保证车头指向 apex，直到他通过 apex 可以地板油通过 Parabolica 的后半部分并冲向大直道。

没错，对他来说这一套动作轻松加愉快。

## 测试调校 Setup Testing (Overview)

测试是 F1 车队征战全球的重要环节之一。在一个常规的大奖赛周末，练习赛赛道开放时间是两个 60min 和两个 45min，还有一个 30min 的 Warm-up。这意味着车队必须非常了解自己车队的赛车。车手也必须清楚车队针对不同赛道的不同调校会改变车的操控特性。测试允许我们花时间针对车手的驾驶风格改良调校，从而发挥出车子的全部能力。

正如前文所述，测试时需要有持续稳定地试跑，这样才能通过 Lap-time 得到关于调校作用的合理结论。这意味着以 95% 的速度试跑，对调校进行细微的改变，使车子能跑得更快。然后再度细微改变调校，用轻油、软胎去做一个全力冲刺。

当为某个赛道做初始调校的时候，重要的是在一段时间内能够集中精力全力解决一件事，并且对车子在赛道各个部分的表现做好详细的记录。这可以让车队能够对所有部件整理出一个大致的调校方案。以下是我个人调车的方法：

1. 极速：第一圈，通过齿轮比和尾翼角度设置找到车子在这条赛道上的极速。与此同时，依据尾翼角度来设置前翼。齿比设置方面，先确定最高档（6 或 7 档）和比赛时能用到的最低档（2 档）的齿比，然后平均分配剩余的档位分布。

2. 刹车平衡：下一步是设置刹车比，依据是在最慢弯全力制动时车身能够保持稳定。

3. 悬挂（底盘高度）：下一步通过调整底盘高度来平衡车辆。这个时候就需要用到 Telemetry 了。此时弹簧设置不需要太过考虑操控，先着重处理在复杂的赛道上维持底盘高度的问题。

4. 操控（大致平衡）：先选用标准设定的阻尼，然后专心调整弹簧软硬和防倾杆软硬，目的是平衡操控的同时能保持底盘高度合乎规则。从这个阶段开始胎压和倾角变得尤为重要。更改前翼可以在应用特别设定的时候，帮助保持前部抓地力的平衡。需要根据赛道特点通过改变差速锁调整油门反应灵敏度。

5. 操控（微调）：当车子的平衡大致建立起来以后，开始调整阻尼值以针对赛道的特殊部分对操控进行微调。首先针对阻尼吸震的软硬和车子在入弯出弯的过渡情况调校。然后针对阻尼回弹速度和车子在颠簸路段/路肩上的控制进行调整。重量分配也可以帮助改变赛车在赛道上的操控特性。

也许有时候车手开着改变过的调校返回赛道，却发现车子反而不如改变前那么快。这种情况时有发生。不过从积极的一面来看，如果这种事发生得越来越少，那就意味着车队走上了正确的道路，需要改变的地方越来越少，改动也越来越细微。

再说一遍，在一段时间内务必专注于某一项设置，并且需要通过大量持续的试跑圈数来评估调校。我个人在一开始会使用极端的调校来对车子变化的范围建立一个基准。如果改变设置的方向是可取的（甚至超出预期），我会应用这个改变值的一半，如此反复以建立一个良好的调校（二分法……）。在一段时间内专注于某一个部件（或一组部件，如两个前弹簧）直到把它调到满意为止。虽然这



似乎很耗时，但这值得在时间上付出代价。从第一天的 **Shakedown** 开始，运气好的话，我们能在第二天结束前幸运地得到一个大致满意的调校。不过测试结束后，各支车队都会非常清楚车子在这条赛道上的能力以及车手需要什么样的车子。

如果随着设置的改变，车手逐渐觉得车子越来越顺手，接下来就可以在多方位进行细小的改变了。这期间微调产生的效果对车子能在大奖赛周末能取得的成绩起着至关重要的作用。

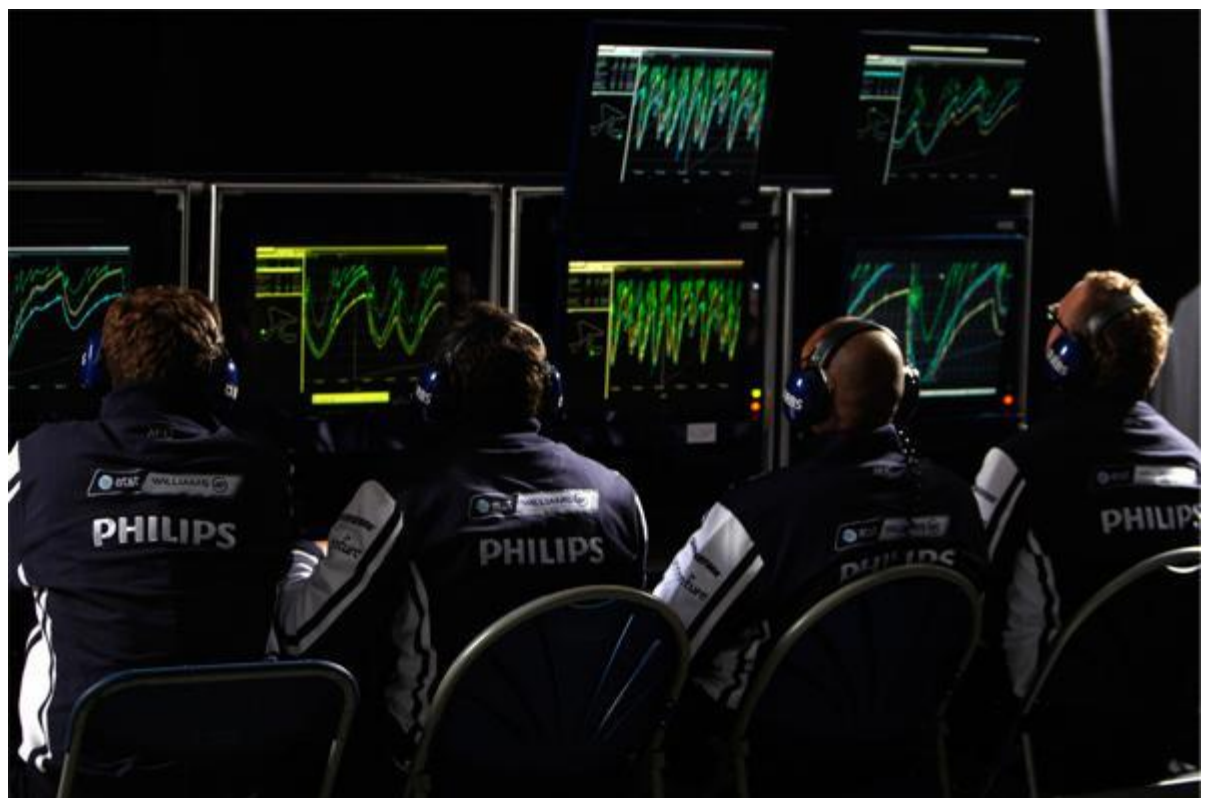
### 静态参考设置 **Static Reference Setup**

因为我们需要处理很多变量，涉及多个部件，所以有必要建立一个静态参考设置。我的意思是，我们需要全方位地对所有部件定义调校，建立一个中等程度的基准。这样我们在调校的时候就可以知道现状与中等水平之间的差距，以及我们离最佳调校还有多远。这有助于我们避免走进调校的死胡同——当我们认为调校完毕，却发现这与我们的目标并不相符，只得推倒重来。通过定义具体的参数，理解具体多软才是“软”，具体多硬才是“硬”，我们才能在最合理的地方做出最关键的设置。

### 遥测基础 **Telemetry Fundamentals**

遥测技术：是高科技的自动测量传输数据的技术。远程数据源将信息通过线缆、无线或者其他形式传输到接收站进行记录和分析，就像航天器一样。

当今 F1 赛车上都装有惊人数目的电位器和传感器，可以监测车辆几乎所有关键部件的运行状况。这些读数将会储存在车载电脑里并且可以被车库里的工程师实时监控。遥测技术使得车手和技师在调校方面有一个共同的平台。也可以将两个车手的遥测数据叠加分析，以从两个不同的参考角度来确定车子的操控特性。



当一个 Session 开始后，用默认调校去做一些热身圈（20-30 圈）总是好的，记下最快圈速作为参考基准圈速。当对车子的调校进行改良、圈速提升以后，将新的最速圈作为新的参考基准。尽管 Telemetry 屏幕上会显示车手数十圈的数据，但是将上一个 stint 的参考基准圈速和最速圈作对比，可以很轻松地评判车手的表现如何。再说一遍，当最速圈比参考基准圈速快，就把新的最速圈作为新的参考基准圈速。对菜鸟车手来说，甚至可以借助遥测数据来指导赛车调校。

在大奖赛周末的自由练习赛，仅有的 45-60min 赛道开放时间使得测试时间极为宝贵。所以车队会对调校做出大量改变并记录下相应的遥测数据。在练习赛赛后的会议中，遥测数据将会被车手、技师和技术总监详细地分析和讨论。然后在下一个 Session 中，会议讨论的结果将作为基础调校。

以下是 Telemetry 各个坐标表项以及作用：

**Velocity - Distance (速度-距离)**：这个轨迹显示了车手的速度与距离之间的关系。将两个单独的单圈轨迹叠加起来，可以看出赛车调校变化对圈速的影响。将队友更快圈速的轨迹叠加上来，可以看出自己在什么地方损失了时间，指出了应该在什么地方需要再度调校。

**Engine RPM - Distance (引擎转速-距离)**：这个数据显示了引擎的转速与圈数之间的关系。可以让我们监控车手在何处运用引擎的动力，这正是我们需要让引擎达到峰值输出和扭矩的地方。这个数据也可以指出在引擎马力/扭矩曲线的何处提前换挡有助于过弯的稳定。

**Longitude Acceleration - Lateral Acceleration (纵向加速度-横向加速度)**：图形是个“Friction Circle(摩擦环？)”。这个环形显示了车手是否将车子推向了极限。理想情况下，车手挖掘出车子全部潜力的话，当车手持续稳定地将车子不断推向极限，相对于 G 力参考点的图形将会显示成一个清晰并且重复出现的图案。

**Incremental Time Difference (时间增量差)**：显示了追踪的这一圈的圈速与参考圈速的增加/减少值。尖峰表示出现了巨大的增/减变化，需要分析原因。当研究叠加起来的圈速时，这是第一个需要查看的部分。



这张图展示了德国大奖赛第二次练习赛中，时间增量差的图形。这是一个满载油的比赛调校与第一次练习赛中建立的排位赛调校的圈速比对。这也是大奖赛周末的两个基本调校。

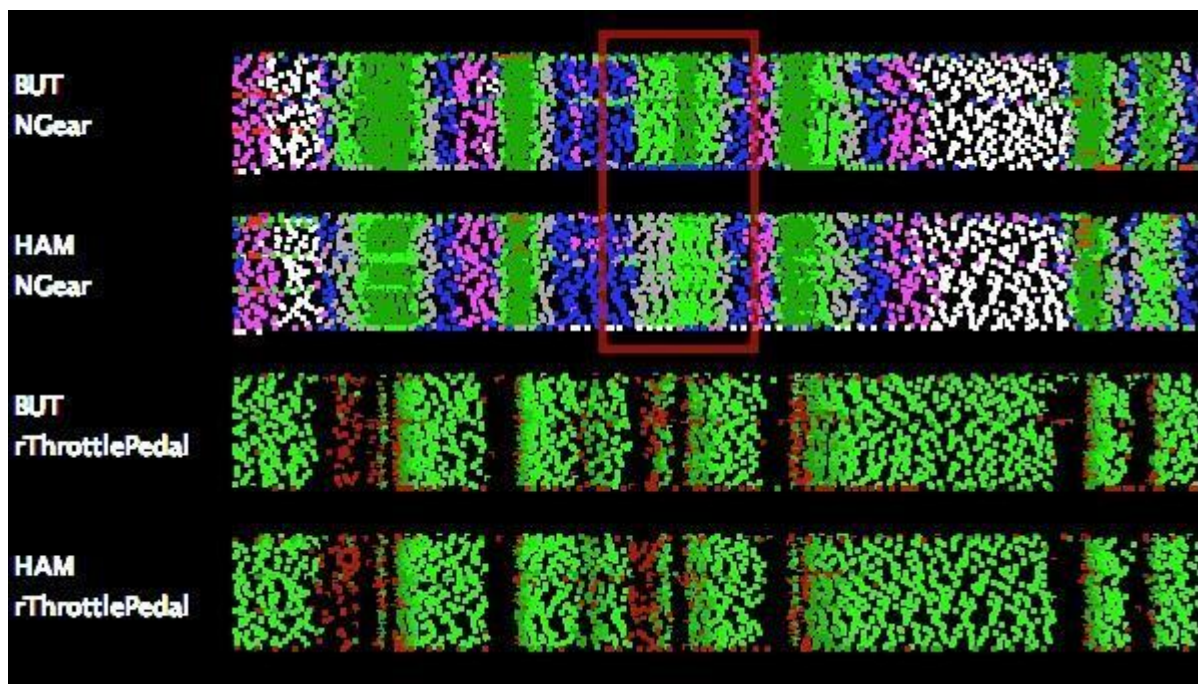
**Gear - Distance（档位-距离）：** 这张表显示了在赛道各处的档位选择。

**Rear Wheel Speed Difference - Distance（后轮速度差-距离）：** 这个曲线通过列表记录相应后轮旋转速度差，显示了差速锁的效果。

**Track View（赛道视图）：** 通过收集的遥测参数在赛道图上绘制出 Racing Line。通过比较不同的 Racing Line 对攻弯非常有用。

**Throttle - Distance（油门-距离）：** 这个表显示了在一圈中的各处，油门踏板深浅的百分比。这个曲线有助于找出在各个弯角油门应该踩到何处的具体值。当我们希望出弯时能尽早踩下油门时，这个图表可以显示出采用的调校有没有效。





**Brake - Distance (刹车-距离):** 这个表列出了一圈中刹车的位置。可以根据这个轨迹了解需要在何处踩下多少刹车。有效的 Trail-braking 会在刹车尖峰后显示出圆润的缓降轨迹。轨迹的叠加可以看出在哪里刹车会减少/增加圈速。

**Steering - Distance (转向-距离):** 这个表格显示了一圈中方向盘转动的百分比。结合赛道图可以找出正确的入弯点以及方向盘转动到什么程度会产生转向过度。

**Clutch - Distance (离合器-距离):** 显示了离合器在一圈中的行程。记住 F1 的半/全自动变速箱是自动操作离合器的。这里是不可改变的。

**Damper Velocity - Distance (阻尼速度-距离):** 这个轨迹显示了一圈中 4 个阻尼器的移动速度和活塞行程。阻尼压缩在图中是向上的尖峰（锐利程度=速度，高度=行程）。反弹显示成向下的尖峰。尖峰高度越高，表明阻尼值越低（阻力少/行程长）。这个表更多反映了阻尼回弹设置的效果，或者说是阻尼在颠簸路段和路肩上的表现。当调校阻尼回弹速度的同时，需要同时交叉引入悬挂行程图表，以结合起来调校。

**Damper Velocity (Smoothed) [阻尼速度(平滑)]:** 这张表平滑地显示了 4 个阻尼器的移动速度和活塞行程，更多反映了阻尼的压缩效果，或者说是弯角重量转移时阻尼的表现。压缩被表示成向上的尖峰，回弹被表示成向下的尖峰。调校阻尼压缩设置时需要交叉引入底盘高度（平滑）表和悬挂行程表。

**Longitude Acceleration (纵向加速度-距离):** 显示了车架在加速/刹车时经受的 G 力。加速时显示成向下的尖峰，刹车时显示成向上的尖峰。

**Lateral Acceleration - Distance (横向加速度-距离):** 显示了车架在过弯时经受的 G 力。右转 G 力产生向下的尖峰，左转产生向上的尖峰。

**Vertical Acceleration - Distance (垂直加速度-距离):** 显示了车架在遇到颠簸和赛道高度变化的情况下受到的 G 力。向上/下在表格里也是向上/下。

**Front and Rear Ride Height (前后底盘高度):** 这个表显示了车底木板 (图中的线) 与赛道 (表格最底端) 之间的距离, 单位是 mm。它代表了车子因颠簸和路面起伏造成的底盘高度变化。这个视图对调整大体的弹簧硬度和阻尼回弹速度很有帮助。

**Front and Rear Ride Height Smoothed (前后底盘高度, 平滑版):** 这个表将底盘高度变化轨迹平滑化, 可以让我们得到车子重量转移时的底盘高度变化。帮助调节弹簧硬度、阻尼压缩速度和 Packers 的尺寸。

**Chassis Slip Angle (车架偏角):** 表示车子行进中的横向倾斜。理想情况下, 在正常驾驶时这个数值应当尽可能地小。

**Suspension Travel (悬挂行程):** 这个参数衡量了反映在悬挂摇臂上的每个独立轮胎的垂直移动大小, 单位是 mm。参考点 (0) 表示阻尼活塞完全伸展 (未被压缩), 就好像车子被完全撑起时的状态。垂直的尖峰表示悬挂被压缩了。这个视图显示了悬挂、阻尼、防倾杆在重量转移、压上路肩和道路起伏的状况下是如何控制独立的每只轮胎的。通过同时对两个前胎/后胎在稳定地过弯情况下测试 (同时参考车架偏角), 可以帮助设定防倾杆软硬。当使用较软的弹簧和阻尼设置时, 这个表格还可以帮助选择 Packers 的厚度。Packers 的作用可以在图中的尖峰处看出。

**Tire Temperatures(Inside/Middle/Outside) (胎温 内/中/外):** 这个表格显示了在一圈内各处的胎温 (单位是摄氏度)。它将内侧和外侧的温度整合成 Camber Temperature (倾角温度), 并且将中部温度称为 Crown Temperature (胎冠温度)。为了使轮胎能够工作在工作温度下, 这个数据是非常值得信赖的。不过在调校调整时, 这个数据更有助于设置胎压, 而不是倾角。

**Wheel Spin (轮胎空转):** 这个轨迹显示了每个独立的轮胎在一圈中各处的空转百分比。这个数值的理想情况是在刹车时降低, 而在加速时升高。

**Tire Wear (轮胎磨损):** 这个表显示了一圈中轮胎的磨损情况。将这个数据与悬挂行程、车架偏角、轮胎空转和胎温几个视图结合起来, 有助于确定轮胎提前消耗的原因。

其他有用的信息还包括记录圈的天气情况。

**Air Temperature - Distance (气温-距离):** 记录圈中在赛道各处时, 赛车周围的温度。

**Track Temperature - Distance (赛道温度-距离):** 记录圈中, 路面各处温度。

**Rain - Distance (雨-距离):** 记录赛道各处的雨水量。

**Track Dampness (赛道潮湿程度-距离):** 记录赛道表面各处的潮湿程度。

遥测程序啊按照一定的标题将收集的数据整理输出。换句话说，我们可以在“Incremental Time”（时间增量）标题下同时查看赛道图、速度-时间表、时间增量表。

### **弯角分段和类型 Corner Phases and Types**

每一个弯角都有 3 个不同的分段：弯角入口、弯心 Apex、弯角出口。当描述赛车在某个弯角的操控性的时候，必须分清这三个部分。

**入口 Corner Entry** 是车子开始入弯的地方。通常在入口前刹车，但并不绝对。有时在入口处仍然在刹车，在某些特定情况下，甚至带着刹车进入下一阶段。在入口处，重量开始从内侧轮胎向外侧轮胎转移。如果在这里刹车，重量转移实质上是从内侧后胎沿对角线转移到外侧前胎上。

**弯心 Corner Apex** 部分，车子到达了弯角入口和出口的分界点。Apex 在如快速弯（Quick Kink）、连续弯（Chicane）可以很简短，而在大半径长弯如巴西 Interlagos 的 2 号弯和美国 Indianapolis 的 13 号弯，Apex 就会被拉得很长。在 Apex，前后重量转移相对稳定，大部分重量集中在外侧轮胎上。同时 Apex 也是弯中最慢的一点。

**出口 Corner Exit** 从弯角弧度开始减缓，车手回正方向盘时开始。通常会在这里加速，不过这也不是绝对的。在出口处，重量开始重新移回车子重心所在处，外侧轮胎的负荷也减少了。加速力度越大，重量向后转移的趋势也越大，然后重量再次沿对角线从外侧前胎移向内侧后胎。直到车子回正开始直线前进，分配到两个后胎上的重量才会相等。

每个人都应该检查赛道布局，以确定哪个弯角或哪几个组合弯是赛道的关键。很明显我们不可能让车子能够适应所有弯角。所以这就是我们妥协的开始。另一点是需要考虑连续的弯道+直道组合。有时需要在出弯方式上妥协以求能以更高速度通过下一个弯角，尤其是在接下来是大直道的情况下。不过终极决定因素还是时间和圈速。

为了更好地理解多变的 Racing Lines，以及如何高效地完成一圈，我个人强烈推荐由 Ayrton Senna 写的“Principles of Race Driving”和 Alan Prost 写的“Competition Driving”这两本书。它们是由毫无争议的 20 世纪最佳车手所著。但是回到这本手册，我们需要研究不同的弯型，讨论车子过这些弯的情况，以及这些如何影响到车子的调校。

### **Constant Radius Corner（恒定半径弯）e.g. Catalunya "Camps"**

恒定半径弯有着快速且柔和的入弯，长而恒定的 Apex，以及柔和的出弯。提供了相当平稳的赛道。这种弯角的设置可以用常规的办法解决。就像在其他所有弯角一样，在决定这个弯角对调校的重要性之前，需要分析它对圈速的影响，以及赛道上这种类型弯角的数目。

一个恒定半径弯事实上挺简单的。提供了宽容的弹簧选择范围以获得中性的操控表现，主要的是空气动力表现和防倾杆设置。入弯动作到稳定入弯状态的转变很快。车子很快就需要防倾杆的支撑，并且需要防倾杆在一段时间内能够保持住这个状态。通常，一个平衡良好的车子在通过大多数恒定半径弯中会自动获得稳定可靠地操作特性，这样车队可以很快知道需不需要改变下压力。正因如此，恒定半径弯对于前期建立初始设定（包括弹簧、防倾杆）来说是很好的测试场所。





如果车手在这种弯有些挣扎，并且这个弯是高速弯时，首先应该考虑的是改变前翼，紧接着是防倾杆和重量分布。如果这个弯是个中速弯，那么顺序可能就要反过来。

但是我不会在在这个弯花太多时间在阻尼上，除非车手在赛道各处都遇到了入弯不平衡的问题...尤其是中速弯。此外，任何对于阻尼的改动都需要考虑到对其他弯角的妥协，尤其是赛道中有一个或多个 Decreasing Radius Corner（紧缩弯）的情况下。

### Increasing Radius Corner（开放弯）e.g. Catalunya "La Caixa"（未改动之前）

开放弯的特点是弯角出口比入口长，而且通常伴随着一个小 Apex。在开放弯，需要晚刹车，尽早急转指向 Apex，然后激进快速地踩下油门获得最大出弯速度。由于这个弯角的出弯线路通常没有参考标志，所以很难判断。



由于出口是扩散状的，如果车手不能成功地加速，将会在这里损失大量时间。

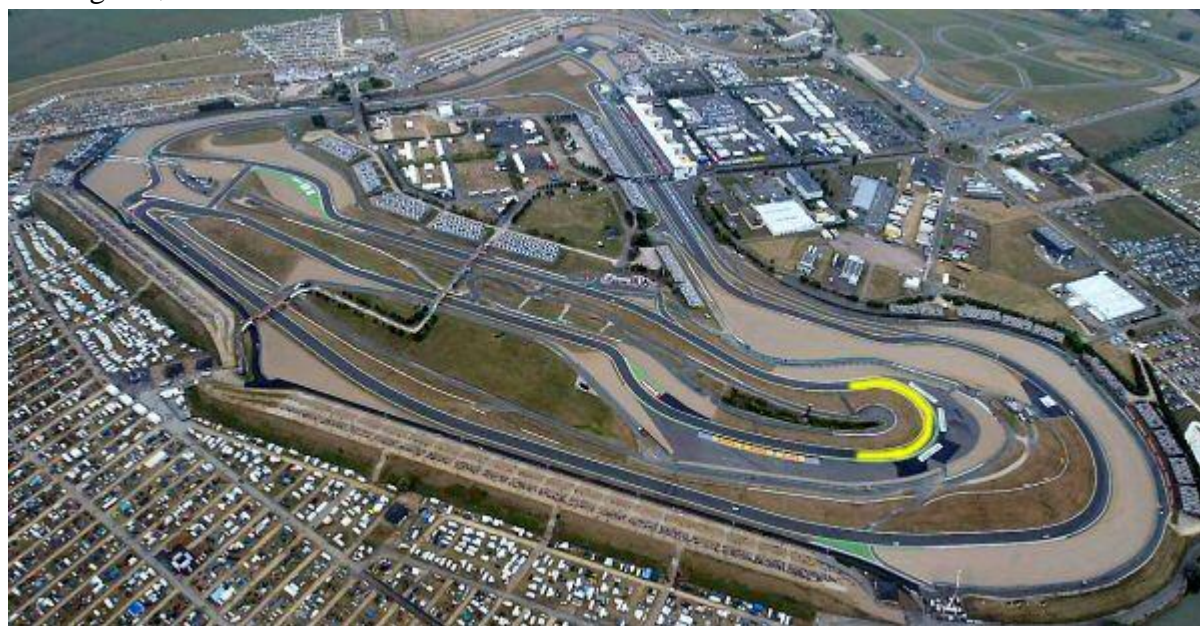
因此这个弯的调校重点是获得出弯牵引力，而且如果此弯连接的是一个直道的话，出弯就更重要了。一般菜鸟车手可能想靠较小的差速锁设置来控制轮胎空转 spin，但是有经验的车手会靠油门控制来迫使车子倾向转向过度。这就需要微妙而中性的平衡。

首先，我们需要软化后桥以在加速时获得更多牵引力。通过选择前后弹簧硬度来适应整个赛道的操控要求，然后调阻尼。和往常一样，易压缩的阻尼设定在重量转移时可以很好地控制弹簧。在这里你可能会想要用较软的压缩阻尼。但是软化后桥的时候，请注意 Packers 和底盘高度。过软的悬挂在遇到冲击的时候会撞击到 Packers，而 Packers 受到撞击时（尤其是外侧后轮）是不利于实现我们榨取后部牵引力的，因为这会立刻使轮胎过载。

通常情况下，这种弯不是很需要调防倾杆和空气动力的，除非你在其他地方也遇到平衡问题。

### **Decreasing Radius Corner（紧缩弯）e.g. Magny-Cours "180 Degrees"**

紧缩弯确实是最难调校的弯角之一。你可以从弯型看出，刹车区沿着一个弧形来到 Apex。最头疼的问题是要能够深踩刹车的同时还能够转向。熟练的 Trail-braking 技术可以确保能顺利通过这种弯。



紧缩弯基本的调校原则是让车子有灵活的转向，但更重要的是：稳定地后桥。因为从入弯开始到达到稳定弯内状态的过渡期之长，长到防倾杆都不是很管用。不过并不是说不需要调防倾杆，只是防倾杆除了在 Apex 前 25 码和 Apex 处压上颠簸的路肩以外没有什么关键作用。另外，如果赛道有高速恒定半径弯，车子在那里平衡不错的话，我才会关注在紧缩弯关注防倾杆。

软化后弹簧可以帮助后桥不会负担太多重量，如果在紧缩弯遇到麻烦的话（并且这个弯是赛道的关键部分）这会是一个好的开始。但是更重要的是，阻尼才是解开车子在刹车入弯时的速度潜能封印的钥匙。重量转移必须得到控制。具体来说就是需要降低阻尼回弹的速度。软化阻尼以尽可能保持后桥的负荷，一旦车尾开始变轻、开始失控，车手最好停止转向并沿着直线重刹。另一种方案是从前面着手，硬化前阻尼，不过除非在别的弯角前桥也有问题，或是后桥已经接近理想状态（而前桥仍有改进空间）的话，不建议先动前桥。



也可以调整刹车比。不过如果在别的弯角刹车没有问题的话，调刹车比还不如搞定那些阻尼。

把差速锁设为 50% 及以上也可以缓解这里的问题。当车手松开油门转向的时候，肯定希望扭矩也能受控。但是在再次加速的时候得小心可能出现的转向过度。如前所述，差速锁的设置更多取决于车手的驾驶风格。

### **Fast Esse（高速连续弯）e.g. Silverstone "Maggots & Becketts"**

一个高速连续弯通常是两个或两个以上弯角的组合。在这种速度下，空气动力学平衡成了关键。但是同等重要的是正确精准的走线，这可以创造更快的 Sector 时间。在这里偏出最佳走线，哪怕只有几英尺，都会损失大量的时间，并且影响到进入下个弯时的节奏，更糟的是，影响到接下来几个弯。正因如此，前桥转向的反应非常重要。车手也必须对调校有信心，能够高速冲进弯内，否则一旦速度不足，下压力不够，反而会造成严重的 spin。



正如之前提及的，空气动力学在这类弯角有很大的影响。当基于赛道极速设置好了齿比和尾翼角度后，前翼可以通过这个弯来大致确定前后空力平衡。

基础的弹簧设定也可以通过这里的连续高速转弯来进行测试。较硬的前弹簧能使车子的灵敏性超出所需。而过硬的弹簧反而会影响到应得的抓地力水平，需要靠更高的前翼角度或更软的前防倾杆来抵消。在胎温上也需要额外关注一下，因为前面提到的设置都会使胎温上升。软化后弹簧可以使后胎抓住路面并且持续将动力施加在赛道上。而调节阻尼压缩速率可以控制反复变向带来的重量转移。此外，这种弯对防倾杆的设置也是个大的挑战，因为车子需要反复变向，反复在防倾杆两端施加压力。一旦防倾杆在这里设好了，尽量不要为了其他弯角而改变防倾杆设定。除非是需要因其他原因而需要防倾杆补偿（比如之前提到的前弹簧）。

差速锁设置在这里也是很有用的，尤其是使用引擎制动以减速进入弯角的时候。



候。

### **Medium Esse（中速连续弯） e.g. Silverstone "Abbey"**

和高速连续弯类似，中速连续弯通常是两个或两个以上弯角的组合。在这里，弹簧和阻尼反而比空气动力更重要，主要因为车子在通过这些弯角的时候总是在加速或减速。



如果车子在高速弯平衡不错的话，在这里就需要更加关注弹簧和阻尼压缩速率。中速弯角总是微调弹簧和阻尼的好地方。你可能希望车子可以锐利的入弯，所以需要尽可能调硬前悬挂而不会破坏车子的整体平衡。再去增加前翼角度或选择较软前防倾杆来减少可能出现的转向不足，直到达到一个中性的平衡。但是要小心，这些调整会迅速加重前轮负荷而造成前胎迅速升温。所以我们需要降低阻尼回弹速度，以减弱前桥反应的代价换取抓地力。

同时，一个激进风格的车手可能会在这里吃路肩，所以阻尼回弹速度成了重要因素。阻尼回弹快速地设置可以让车子在颠簸路段保有反应能力，所以如果车手发现吃路肩的时候抓地力丧失得厉害，可以尝试降低阻尼回弹速度。当车子在类似 Abbey 弯的左右转向时会伴有巨大的左右重量转移，这种情况下吃路肩需要格外小心。

### **Chicanes（减速弯） e.g. Nurburgring "Veodol S"**

Chicanes 基本上就是 Slow Esse 低速连续弯，所以中速连续弯的特点也适用于这里。此外，因为这种弯角角度很急（而且一般 Chicanes 都很窄小），在左右转弯造成的重量急剧转移过程中，车子的不平衡会被放大。由于 Chicanes 收紧的特点，所以在这里冒险吃路肩是值得的。



相当多的情况下，Chicanes 就是一条赛道最慢的弯。这意味着这里有着重刹车区域，所以需要针对这一点调整刹车比。由于这里是优先超车点，所以需要在通过之后能迅速出弯。这反过来能使车子在 Chicanes 之前的直道上能获得最大速度，使得超车能容易一些。

Chicanes 也是选择最低档位的地方。通常是比赛开始以后最低只会降到二档。如果是这种情况的话，那在 Chicanes 这里二档就是最低档位，需要调整为能够确保最佳加速并且能够在出弯保持稳定。特殊情况下，需要使用 1 档来同时满足出弯稳定和起跑。

### **Hairpin（发夹弯）e.g. Gill Villeneuve "Pits Hairpin"**

发夹弯需要车子尽全力制动。通常情况下，发夹弯紧随在一个大直道后，车子被迫从极速骤减到 40-60mph。在这里需要敏锐的前端抓地力，以确保车手能在这里具有竞争力，尤其是超车的时候。弯道入口到来得很早，Apex 则在内侧路肩的中央。排位赛的时候 Racing Line 比较多样化。刹车需要尽可能的晚（让车子能以极速多跑零点几秒），然后较晚转向。这种走法会将 Apex 延后。通过延后 Apex，弯角出口的半径也被缩小了，这样可以更早、更激进地加速，而尽早加速在这里是十分重要的。我再次指出，这些原则性的知识在 Senna 和 Prost 的书都有讲述，有兴趣学习过弯技术的话应该去看看。



和 Chicanes 类似，发夹弯是在练习赛前期设置刹车比的绝佳场所，因为整条赛道最激烈的刹车点就在这个弯前。

我个人通常不会针对发夹弯调校车子的基本平衡（翼片、弹簧、防倾杆、底盘高度之类的）。我发现，只要针对中高速弯调校好平衡，在发夹弯的平衡自然就到位了。不过我会在这里调齿轮比。这里是使用比赛中最低档位的地方，而且这个档位需要能尽可能地使出弯加速稳定。

发夹弯也是大多数赛道的主要超车点。这也使得发夹弯之前的弯角尤为重要，所以之前的弯角也需要重点调校。记住这一点，一个超车，虽说是在发夹弯超越的，但实质上是在前一个弯角就已经决定的，车子从前一个弯角出弯就获得了超越对手的优势。

### **Double Apex（双顶点弯） e.g. Sepang "Turn 7 & Turn 8"**

有时候，连续两个的弯角连接的方式比较特殊，车手可以以通过一个弯角的方式一口气通过这两个弯。这意味着第一个弯的出口和第二个弯的入口结合在一起，成了这一个双顶点弯的 Apex。这样的话，Apex 阶段就很长，包括一些必要的油门控制。车子需要设定为允许弯中的油门控制而不会造成不良影响。





由于以上因素，这种弯和恒定半径弯就有相通的地方。需要调整弹簧和防倾杆建立基本的平衡，同时也需要调节空气动力平衡。

而稳定地油门动作可以由差速锁设定解决。如果双顶点弯需要在 Apex 处略微收油，而这会造成严重的转向过度，这时候就需要高差速锁的设置了。