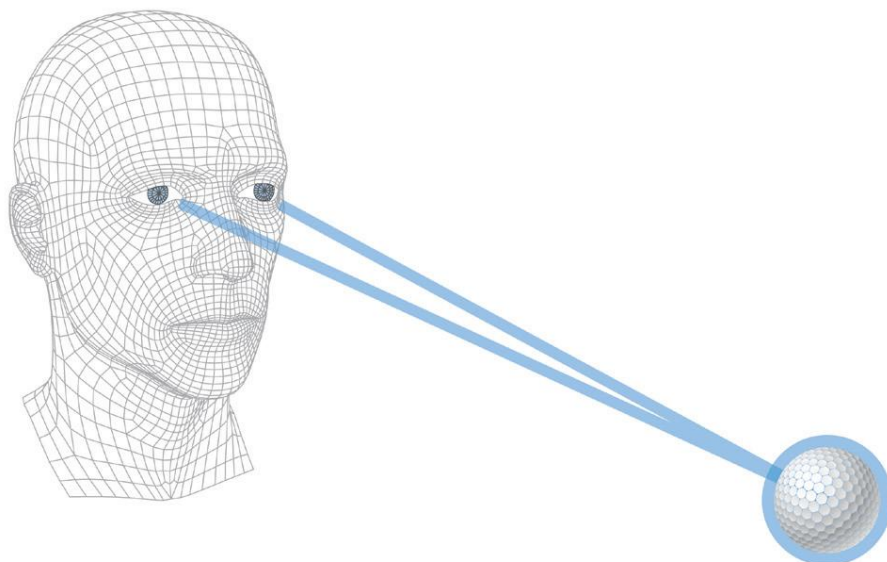


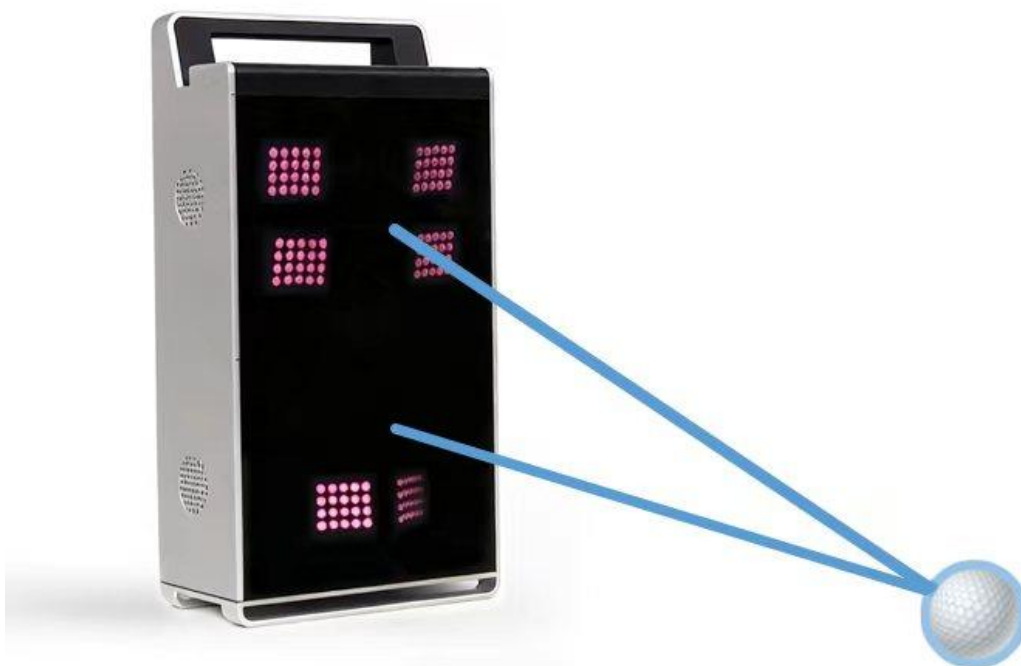
挥杆数据详解

1. 概述

1.1 测量原理

iTrack 是使用立体视觉技术对球起飞瞬间的运动数据进行分析计算测量。所谓立体视觉就是借鉴了人类双眼的“视差”原理，即左、右眼对于真实世界中某一物体的观测是存在差异的，我们的大脑正是利用了左、右眼的差异，使得我们能够辨识物体的远近。因此如人类双眼一样，立体视觉系统需要有两个（或者两个以上）摄像头的支持，可以实现三维(3D)重建。在 CaseVision 的 iTrack 检测技术中，“双眼”即两台高速相机，它们同步高速拍摄球起飞瞬间的图像，然后重构 3D 现实，进行分析计算，获得所需的各种数据。





当球穿过发射检测窗口时，这些高速摄像机从稍有不同的角度捕捉多帧图像。图像被捕获后，iTrack 内置高性能计算硬件使用立体机器视觉算法分析处理图像，计算球的飞行数据和杆头杆面数据。

1.2 数据正负号的意义

在高尔夫球的飞行或杆头运动等数据里，我们会见到某些数字带有正负，这里解释一下正负的含义，数据的正负号是代表方向，如下图所示，对于水平面上的运动，以目标线为参考，远离挥杆者的方向为正数 (+)，而接近挥杆者的方向为负数 (-)。而对于垂直面上的运动，正数 (+) 代表向上，负数 (-) 代表向下。





1.3 有反馈的练习

所谓有反馈的高尔夫练习，简单地说就是：我们在练习的过程中，我们要知道自己所做的动作与我们所期望的是否一致，简言之就是“检查你的期望”。在学习高尔夫运动时，我们使用不同类型的反馈来检查挥杆的不同过程，反馈可以有多种形式，包括：你的教练、训练辅助设备、镜子、Trackman、BodiTrak、慢动作视频，以及几乎无数其它东西。

我们需要或者是来自于一个设备给我们做的客观反馈，或者是来自于有经验的教练，由他告诉我们，我们所做的动作是否正是他想传授给我们的。显然这个反馈非常重要，可以避免我们一遍遍地去重复错误的动作以至于形成对错误动作的记忆，通俗地说，避免我们练“歪”了。举一个最显而易见的例子：有一位朋友，在学球的过程中，他的上杆到顶点时基本上杆头都指向地面了，也就是上杆严重过度。教练告诉他这个毛病了，他自己也意识到这个问题，于是努力改正这个毛病，试图不要过度上杆，但由于没有一个反馈系统，当他一遍一遍练习的时候，他其实并不知道自己所谓改正动作行为其实基本上还是在重复他原来的错误动作，因为他的一次次所谓的“不要过度上杆”，与原先的上杆并没有有多大的区别，这样的例子在我们身边比比皆是，他会说：好，教练，我明白了，我给你上一个不过度的看看，咻一上，上到顶点，杆头还是掉下去了，这个时候他需要什么呢？他最需要我们的 iSwingMirror，他每挥一杆，即时回放画面均会直观反馈给他每次上杆是否是自己想要的状态。我们很多人总认为找教练就是要学新东西，其实不然，在学完了之后，你是需要有一个有经验的教练看着你练习，当然像刚才说的上杆过度，你随便找一个人，哪怕不懂高尔夫的，你告诉他你的目标是上杆上到哪个位置，如果过了，就让他告诉你充当你的反馈。但这并不是说任何人都可以充当反馈，一些复杂得多的动作以及协调动作，也就是说一连串的动作，如下杆启动顺序、击球区动作等等，这样一些比较复杂的动作，就需要一个有经验的教练来指导，我们在学习技术动作的这个过程中，教练要把你的某一个错误动作作为“结果”，他要找出来产生这个错误动作的“原因”出来，需要通过一系列的观察分析，这个时候就更加需要一个有经验的教练作为反馈系统来帮助你练习。因此，一个教练，除了教你的动作以外，更多地是给你提供一个有经验的反馈，这是作为教练的一个非常重要的工作。由于人天性自我认知上的一些弱点，大多数人都是有点自以为是，总以为自己是在按照自己的期望做动作，而忽略了客观上真实的情况并非如此，他们一直沉浸在自以为是之中，以为改正得很好，但实际结果却是一遍遍重复自己的错误动作而茫然不知，进步非常缓慢，练习效率非常低下。

我们在高尔夫运动学习过程中，一个好的教练会为你制定训练计划，并会不断修改这

个计划，以帮助你以最有效的方式提高球技。在此过程中的每一步，他们都会为你提供一些工作，为你的训练做出适当的反馈。反馈可能是任何形式，只要你能清楚地定义什么行为是正确的，什么是不正确的，那么你就有可能得到关于你的这个行为正确与否的反馈。比如在起杆时，我们经常在杆身与地面平行时，期望杆头能遮住双手。我们通过挥杆视频可以检查你的这个动作，以确定球杆头是否遮住了你的手。如果没有，您可以进行适当的调整。

当我们在练习场独自练习时，很容易错过很多事情，因为在大多数情况下，唯一可用的反馈是球的飞行。虽然球的飞行是好球与坏球的一个很重要的指标，但它并不总是一个很好的指标，比如，你是否正确地执行了你正在尝试进行的挥杆调整？而用糟糕的技术也是能够击出一个好球，这就像用好的技术也可能击出一个糟糕的球一样，所以，仅仅用球的飞行来做反馈是不够的。拥有其它多种形式和内容的反馈，并且让这些反馈能够即时让你知道，这对于高尔夫高效练习是非常重要的。而且反馈还能够让你准确了解到你的身体在做什么、球杆在做什么以及球在做什么，由此你可以确定需要做什么才能产生你想要的击球，实时的反馈使你能够检查你是否在一遍又一遍地正确地重复你期望的挥杆动作，这样可提高你挥杆动作的一致性，确保你是在做有效的有用的挥杆练习。

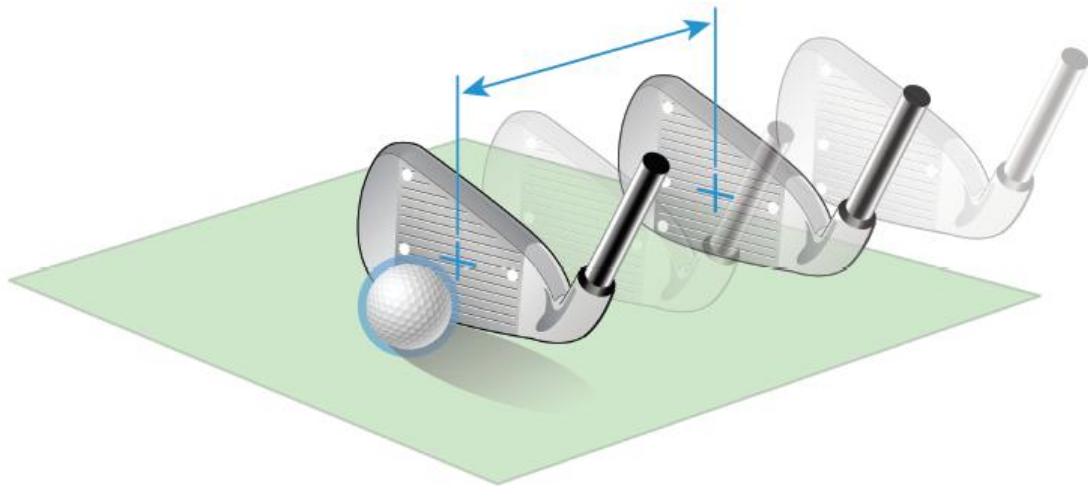
我们每个人都会时不时打出一些糟糕的坏球。重要的是我们要理解坏球的发生是必然的，即便是职业球员也会如此，您打一记出界球或在球道上打了个剃头球，其实这不需要你全面改造你的挥杆。就像你一号木一整天都打得很好，只是在第 12 洞突然打出一记坏球，这时你没有理由对你的挥杆做出改变，因为很明显，在那之前你一直在打好球。但往往人们为了弥补上次糟糕的击球并在下一次挥杆时做出过度的纠正，结果在 12 号洞 slice 出界，往往下一个洞就出现了一记 hook 球，因为太想避免上个洞 slice 出界球。我们通过反馈来发现“正确”的动作，提高动作的一致性，可帮助球手建立在球场上的挥杆信心。

凯视力成的高尔夫技术工具 iTrack (Luanch Monitor)、iPutt (AR Putting Training and Entertainment System)、iSwingMirror(Golf Swing motion capture and AI analysis) APP 等产品，为你的挥杆教学和练习提供从球的飞行数据，到球杆撞击球的数据，再到挥杆动作影像和身体关键部位挥杆时的运动顺序等全面实时反馈，大大提高你的教学和练习效率。

2. 杆头杆面数据

2.1 杆头速度 (Club Speed)

杆头速度是杆头中心沿着杆头运动路径方向上，在触球之前的瞬时速度。杆头速度越快，球的飞行距离越远，实际上，对 1 号木来说，每增加 1mph 的杆头速度，大约能增加距离 3 码。最高纪录的杆头速度是 150mph。

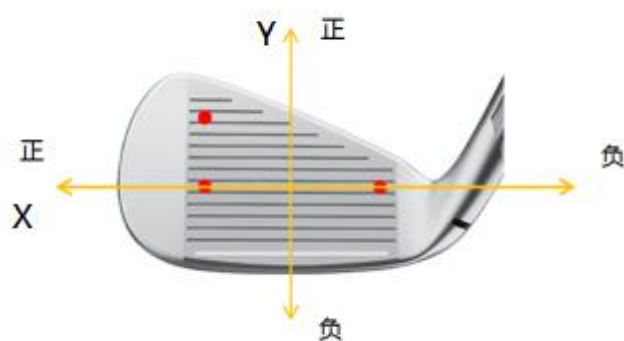


杆头速度代表选手的潜在击球距离，但击球点、攻击角度、杆头运动轨迹、杆面相对于挥杆路径的角度等对击球距离都有较大的影响。球的速度和杆头的速度形成了一种有趣的关系。而杆头速度不足可能是由于重心转移差、骨盆和胸部旋转速度不足、发力顺序差和缺乏速度训练造成的。

2.2 撞击点位置 (Impact Point Position)

球与杆面的撞击点位置，给出的数据是相对于杆面中心的。击球点位置对击球质量有着非常重要的影响，靠近杆面中心的甜蜜区的击球，能获得最扎实的击球质量。

X/Y 坐标：X 为横轴，杆面中心点到杆面趾部，数据为正值，杆面中心点到杆面根部，数据为负值；Y 为纵轴，杆面中心点到杆面上方，数据为正值，杆面中心点到杆面下方，数据为负值)。



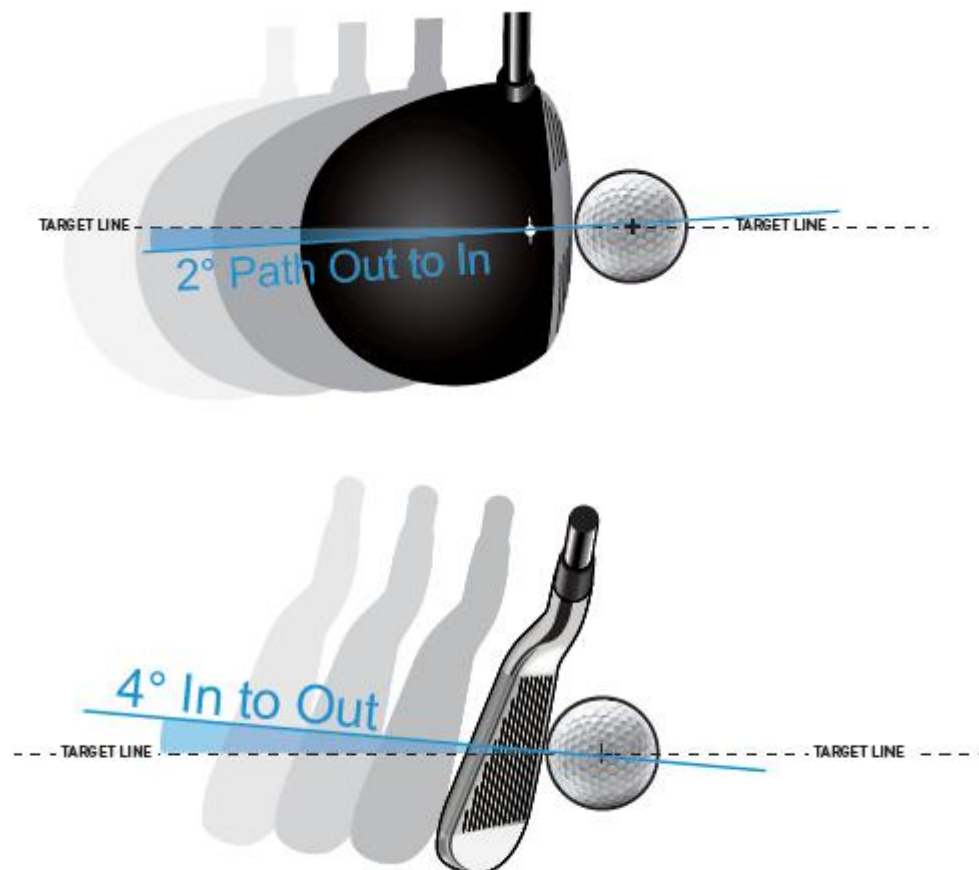
击球点位置的高低与旋转值以及杆头速度会有很大的关联，击球点位置太高，会造成倒旋减少，反之击球点位置太低会增加倒旋值。击球点位置的左右会影响杆头速度，当球击中趾部时，杆头速度会比球击中根部要快，另外，当球击中根部时，会因为齿轮效应进而造成右曲球，反之，当球击中在趾部时，则会造成左曲球，注意只有木杆尤其是一号木才有齿轮效应，齿轮效应增加了木杆的容错性。

选手之间，技能上最大的不同在于他们每次击球时的击球点的一致性。从职业选手的击球统计数据中我们不仅发现其每次击球击球点的分布非常紧密，而且在几乎所有情况下，击球点都更接近球杆面的几何中心。尤其对一号木这样的转动惯量（MOI）比较大的球杆来说，表现尤其如此。

而业余球手打好一号木的最大障碍之一就是击球点不稳定。

2.3 杆头运动轨迹（Club Path）

击球瞬间，杆头几何中心的运动方向，单位是度，以目标线为参考，由内向向外运动是正值（+），由外向内运动是负值（-）。



要想把球打直，杆头运动轨迹应该是零。杆头运动轨迹影响球的飞行弹道的弯曲，还影响球的起飞方向。

一个“inside-out”的杆头运动轨迹，是打出 draw 的必要条件，而一个“outside-in”的杆头运动轨迹是打 fade 的必要条件。所以，最佳球杆头运动轨迹取决于高尔夫球手想打出的什么样弹道类型。

杆头运动轨迹与杆面指向角、躺角和击球点等一起确定高尔夫球的起飞方向和旋转轴的方向。影响球员杆头运动轨迹的因素有很多，包括但不限于站位瞄准、球位、释放方式

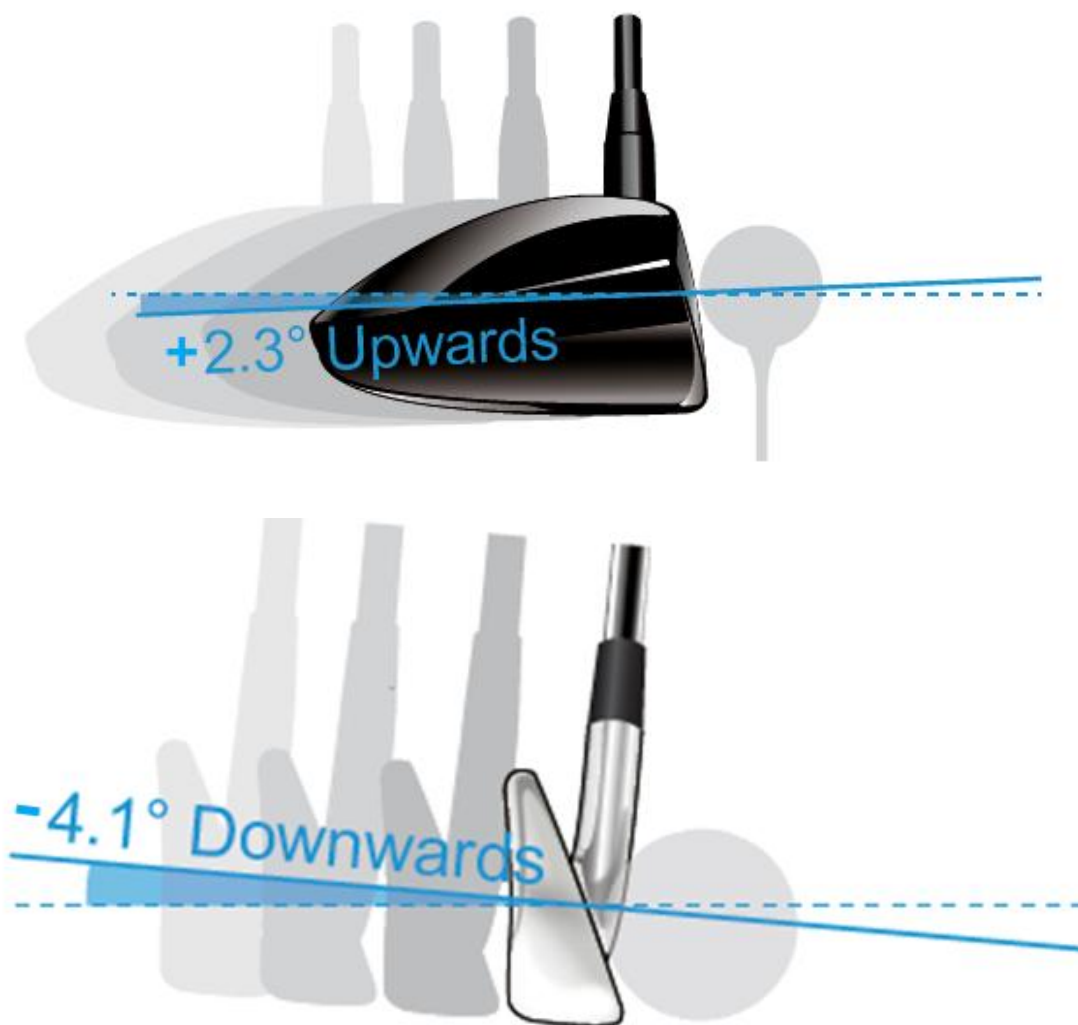
和释放时机。

杆头路径就像一个人的指纹——每次挥杆几乎没有太大的变化。即使球杆朝着球员不想要的方向挥去，它也往往是相当稳定的。杆头轨迹是最能确定球的飞行形状。例如，当一个高尔夫球手采用由内到外的杆头路径时，他们通常会打出一个 draw。而由外而内的挥杆正好相反。

改变球杆轨迹的最快方法可能是通过调整站位和球的位置。当你改变一个人的杆头运动轨迹时，一定要对杆面角做出相应的和兼容的改变，否则就不能以一个弧线（draw 或 fade）正确地飞向目标，而代替的是 slice 或 hook 飞行轨迹。

2.4 攻击角度（Attack Angle）

攻击角度一般是指在击中球瞬间杆头的运动方向与地面（注意不一定是水平面，要看球位）的夹角。



为了创造“先触球”的效果，杆头应该以一个负的攻击角度将球击离地面，即向下击球，然而，杆头速度较慢的高尔夫球手应该小心，铁杆杆头不要向下太多，否则会将影响球的飞行距离以及击球时的控球能力。为了使一号木的距离最远，攻击角度必须是正的，即向上击球，一号木的杆面角选择应当能够适合你的攻击角度，正攻击角度并不能保证最大距离，适合自己的球杆也是关键所在。

攻击角度通常会与动态杆面角及击球点一起发挥作用，主要影响球的旋转和起飞角度。

影响球员攻击角度的因素有很多，包括但不限于球的位置、次倾斜轴（脊柱倾斜角）、释放类型和释放时机。

攻击角度稍微向上一度，有助于增加一号木距离，但可能会影响准确性。如果你的目标是击中球道，那么向下 2 度的攻击角度可能还不错。用铁杆时，浅浅的攻击角度，可能是更正确的选择。这大约是 4-6 度的向下攻击角度，低点在球之后。

2.5 杆面动态仰角 (Dynamic Loft)

动态杆面仰角是撞击时杆面的仰角。



高尔夫球手的攻击角度、杆身弯曲程度、高尔夫球手杆头释放程度、杆面相对于挥杆路径是开放还是闭合、击球点等都可能影响杆面动态仰角。

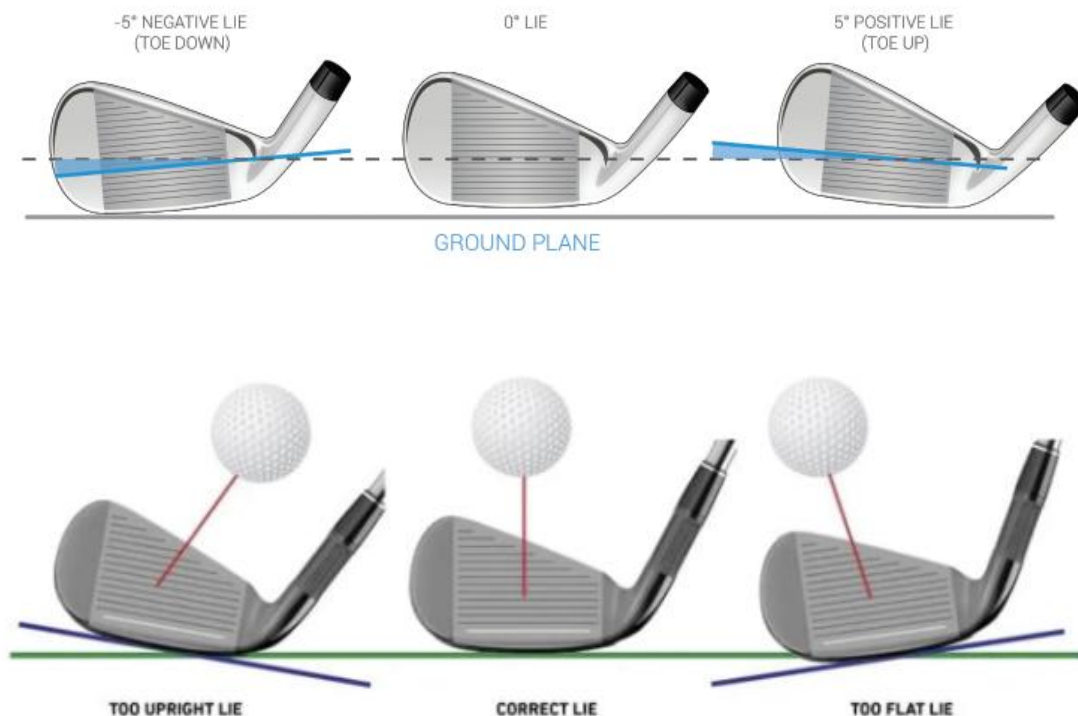
对于一定的杆头速度，为了创建一个优化的弹道和最大的 carry，适当的动态仰角是非常重要的。动态仰角太大，球的倒旋太多，会使得球飞得太高，而减少 carry；而太小的动态仰角，则会使球飞得太低，滚动过多，距离难以精确控制。

2.6 躺角 (Lie Angle)

躺角的本意是球杆与地面的夹角：



为了测量方便，我们一般用杆面底部直线与水面之间的夹角来代替，显然这两个角度的物理意义是等价的。下面的图解释了躺角的一些基本概念：



杆面指向角的变化，会影响球的弹道，如下图所示：



如果 Lie 角太 FLAT，杆头的脚趾会在击球时向下与地面接触，这将打开球面，导致球开始稍微向右，形成一个 Fading 形状。

相反，如果 Lie 太直立，杆头的根部会先触地，导致球面开始向左闭合，形成 hooking 弹道。

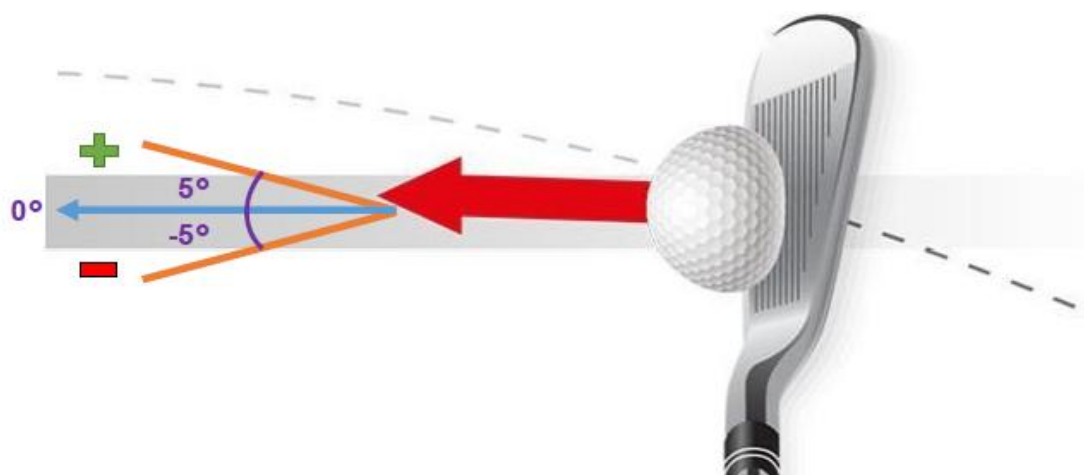
Lie 角不仅会影响球的弹道和起飞方向，而且会影响你击球的一致性，因为球是偏向脚趾或脚跟击球，它是偏离中心的，这将导致球的速度下降，然后球就会失去距离。

如果你想克服 fade 球，让 Lie 角度更 Upright 些，相反，如果你克服 hook 球，让你的 Lie 角度 FLAT 些。这将有助于打出更直的球。

2.7 杆面指向角 (Face Angle)

传统上，杆面指向角的测量和计算是通过杆头底部与目标线之间的夹角。杆面指向角是指击球时杆面指向的方向，一般指在水平面上，杆面的法向线与目标线（或挥杆路径线）

的夹角。就是我们常说的杆面闭合（负值）、打开（正值）、方正。



需要注意的是，有时我们以杆头运动路径为参考定义杆面的指向角：



杆面指向角是最非常重要的数据，球将非常接近击球时杆面（杆面角度）指向的方向飞行，要击出直球，杆面角应该为 0，最佳杆面角度取决于高尔夫球手想要打出的击球类型。。一个开放的杆面会导致一个 Slice 或 PUSH 球，而一个关闭得杆面会产生一个 Hook 或 Pull 球。

击球时杆面打开的可能原因：首先要看的是准备时杆面是否已经打开。一定要保证准备时杆面就是方正的，以避免后续不必要的补偿。

球员的挥杆路径也会导致杆面在击球时打开。如果球员在上杆时球杆远离身体移到外侧，导致外侧下杆，这时除非球员在挥杆中途进行调整，否则会产生切削球。在这种情况下，球员只好在击球时翻转手腕，否则杆面的旋转不足以防止切削球。

挥杆时，球员手腕的动作也会引起杆面出问题。教练经常告诉学员使用身体较大的肌肉来挥杆以增加稳定性。当挥杆依靠手腕动作时，如果时机不对，球员在击球时可能会滞后，导致击球时杆面开放。

击球时杆面闭合的原因有很多。高尔夫球手最常见的罪魁祸首是在下挥杆击球时手腕动作失误。这可以通过准备姿势和挥杆路径被放大，或者可能只是球员随挥阶段的结果。

尝试解决杆面问题的最简单方法是确保球杆在准备姿势时保持方正。一开始就杆面闭合的球员可能会在整个挥杆过程中都保持着闭合的杆面。

球员还应该使他们的挥杆不要太平，或者使用由内向外的挥杆路径。扁平的挥杆可以很容易地想象为在环绕背部的上杆比较低的位置。

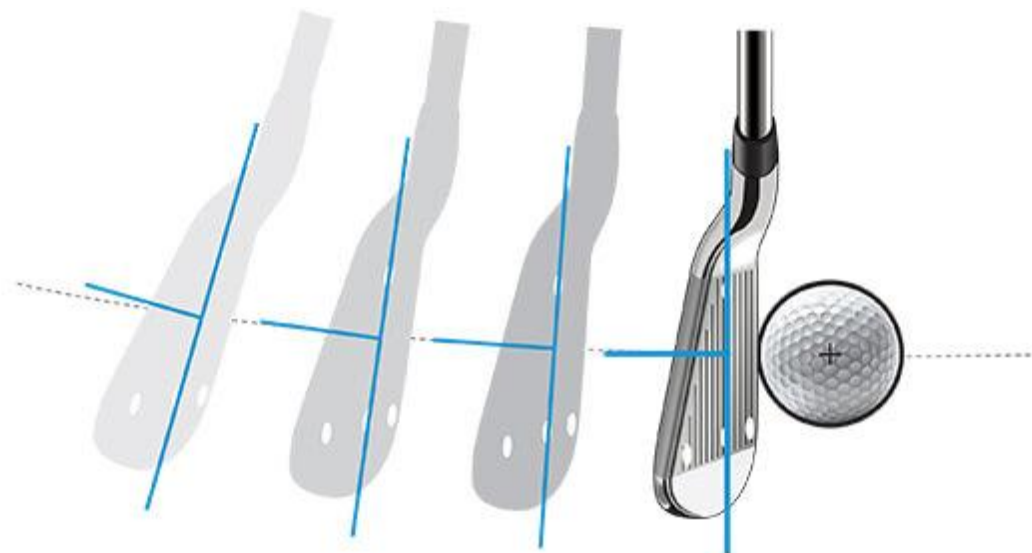
大多数对挥杆路径的标准描述都建议球杆应该更靠近运动员的后肩，而不是像奥林匹

克投掷运动员在出手前旋转一样围绕着运动员旋转。

应该注意的是，这些不是通用的修复程序。有些球员天生就拥有平坦的挥杆路径。其他球员使用关闭的杆面来补偿 PUSH。击球时，击球时保证杆面指向角的唯一真正通用的技巧是确保挥杆节奏合适，这意味着球员不会仓促挥杆而导致球杆严重滞后于躯干的运动。

2.8 闭合速度 (CLOSURE RATE)

闭合速度是在撞击之前瞬间杆面指向角的旋转角速度，单位为每秒度(dps)。



闭合速率在理解高尔夫球手在击球时如何将球杆面摆正方面起着重要作用。

RoC 在击球附件达到峰值，对于任何一组高尔夫球手来说，无论级别如何，典型范围都在 $1800^{\circ}/\text{秒}$ 至 $3600^{\circ}/\text{秒}$ 之间，这个参数没有对错之分，只是通常希望有个较低的值，但并没有什么道理。也有人认为这个参数的测量，主要是想看看你的挥杆一致性，你的每次挥杆，这个参数都应该相当一致才好。

2.9 击球效率 (Smash Factor)

击球效率是球速除以杆头速度，表示杆头的能量传递给球的效率。这个值越高说明杆头更多的能量传递给了球，使球的起飞速度越高。

杆面相对于路径的指向角、旋转倾角、击球点位置等都会影响击球效率大小。这说明打出 Slice 或 Hook 球，不可能有太高的击球效率，倾角越大的球杆如挖起杆，也不可能太高的击球效率。这一现象也不难理解：杆面相对于路径的指向角越大，会给球带来更大的侧旋，而旋转倾角越大，会给球带来更大的倒旋，所以，它们都会使杆头的能量更多地转换为球的旋转动能，而使球飞行的平动动能减少，也就是球速降低，击球效率降低。

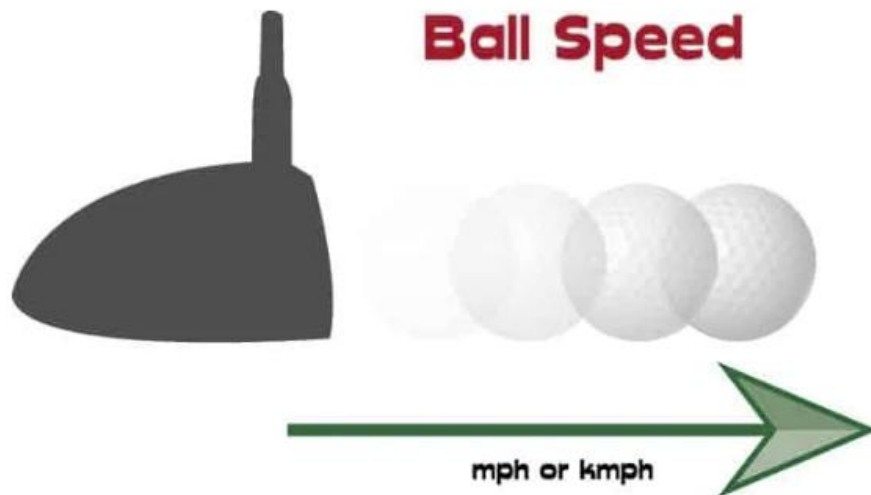
从一号木到球道木再到铁杆，击球效率越来越低，这是因为它们的倾角越大，击球效率越低。1.5 这个击球效率几乎是一个最大值了。

击球位置位于甜蜜点可以获得更高的击球效率。

3. 球的起飞数据

3.1 球速 (Ball Speed)

球速是指高尔夫球受到杆头撞击后而获得的初始起飞速度。



影响球速的主要因素是杆头速度，击球点和杆面动态仰角对球速的影响也是很大的。

击球点不同引起的球速差异就高达 15%。杆面动态仰角与球速呈反比，对于一个给定的杆头速度，如果动态杆面角增加，球速会降低。以 90 英里每小时的速度挥动一个 64 度的挖起杆，与同样的速度挥动一号木，两者球速相差可达 45 英里每小时。

每增加 1 英里每小时的球速，有可能将您的开球距离增加 2 码。

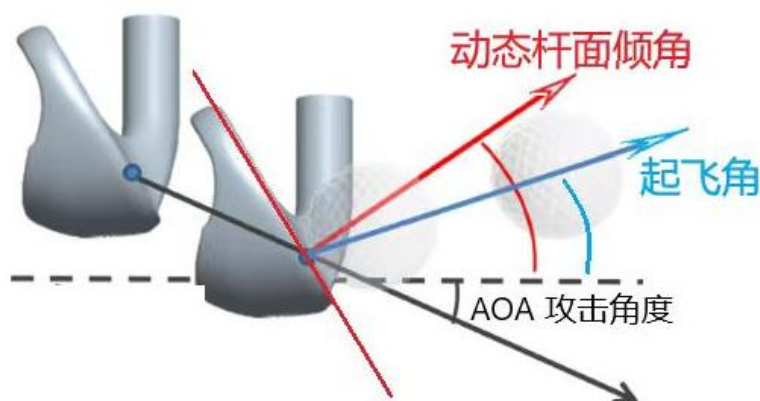
3.2 起飞角度 (Vertical Launch Angle)

球起飞瞬间相对于地面的角度。又称垂直起飞角和球起飞时的俯仰角，单位是度。



起飞角度影响球飞行弹道的高度和落点距离。

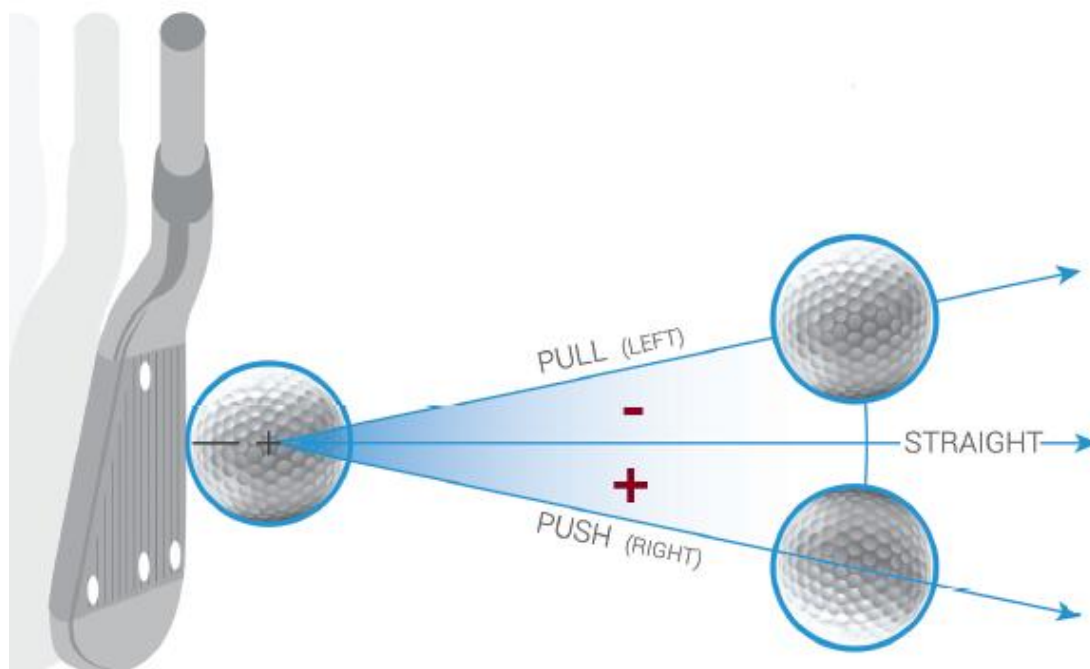
大多数高尔夫球手最初都认为起飞角度与攻击角度密切相关，但实际上依据不同的击球类型和杆头速度，攻击角度对起飞角度的贡献在 17% 至 37% 之间（依赖于击球类型和杆头速度），而对起飞角度贡献最大的是撞击时的动态杆面倾角（Dynamic Loft），动态杆面倾角对起飞角度的贡献在 63% 至 83% 之间。



最优的起飞角是多少呢？我们学物理时知道，以 45 度发射物体，能飞得最远。那为什么巡回赛球员的起飞角度不是 45 度呢？主要原因，高尔夫球飞行是有旋转的，而物理书指的是没有旋转的物体发射，前面我们说过旋转的球在飞行时会产生升力，使球飞得更高，所以，我们的起飞角比 45 度低才能获得最大的飞行距离。

3.3 起飞方向角 (Horizontal Launch Direction)

起飞方向角是球起飞瞬间在水平面上与目标线之间的角度，又称偏角、方位角等，单位是度。



如果球与目标方向一致我们称为是“直球” (straight)，如果球往击球者这一侧飞行，我们一般称为“拉”，或“左拉” (PULL)，反之称为“推”，或右推 (PUSH)。



大量试验表明：

$$\alpha = (0.63 \sim 0.83) \times \theta$$

系数随动态杆面倾角 $loft$ 变化而有所变化，

$loft$ 越大，系数越小， $loft$ 越小系数越大，一号木约 0.80，7 号铁大约 0.7

起飞方向角度是由击球瞬间的杆面相对于杆头路径的指向角及杆头路径来决定。

起飞方向角 = $(0.63 \sim 0.83) \times$ 杆面相对于路径 + 杆头路径角度

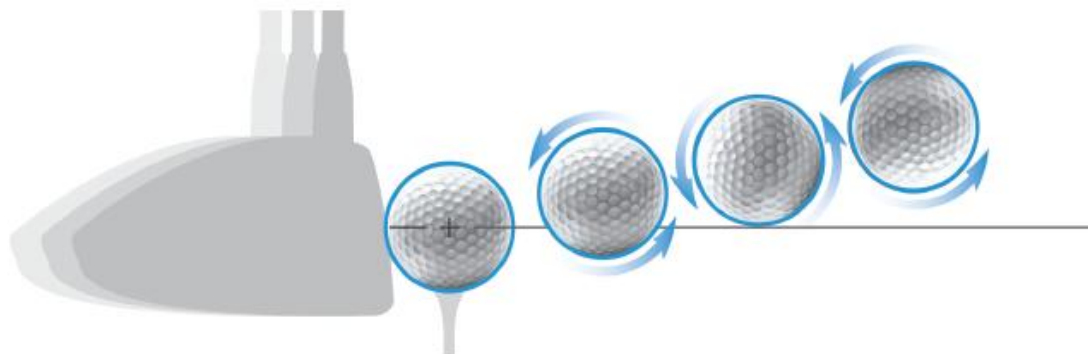
或者：起飞方向角 = $(0.63 \sim 0.83) \times$ 杆面相对于目标 + $(0.37 \sim 0.13) \times$ 杆头路径

系数随着动态杆面倾角 $loft$ 变化而有所变化， $loft$ 越大，系数越小； $Loft$ 越小，系数越大，一号木系数大约是 0.80，7 号铁大约 0.7。

职业球员很少会把球直直地打向目标，他们总是以正负 2 度范围内起飞方向角击球，然后，球通过一个弧度弯曲地飞向目标。

3.4 旋转 (Spin)

高尔夫球被击起的时候，除了收获起飞速度外，还会产生旋转，单位是每秒转 (rpm)。球的转动速度和转动方向与攻击角度、动态杆面角、杆面相对于挥杆路径的角度，球的旋转速度还与杆头速度、球的软硬、杆面的清洁程度等密切相关。



旋转对高尔夫球在空中飞行时产生的升力和阻力有很大的影响，影响球的飞行距离、飞行高度、弹道的弯曲和落地后的滚动。

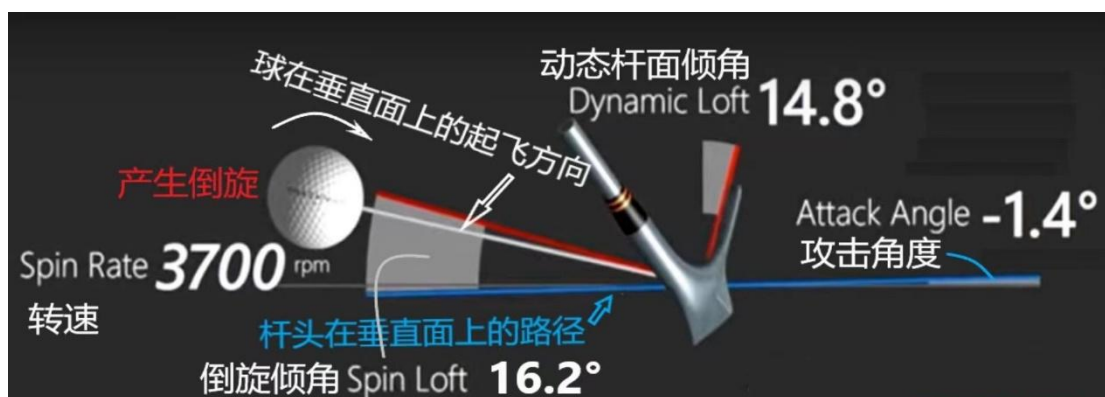
旋转的产生原因：

- (1) 首先击球时杆面的动态倾角及攻角角度，会使球产生倒旋。我们把动态杆面角

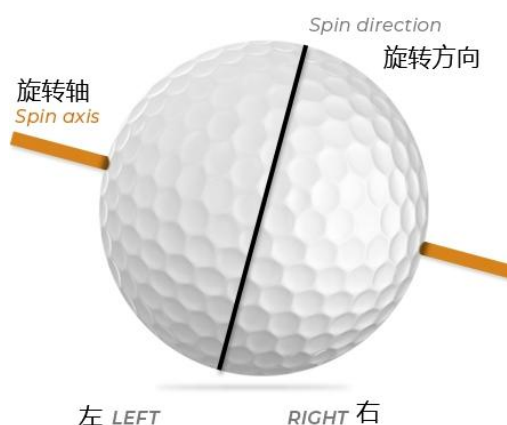
– 攻击角度，称为倒旋角，如图倒旋角为 $14.8 - (-1.4) = 16.2^\circ$ ，这个角度直接影响倒旋转速大小。在相同杆头速度下，这个角度越大，倒旋分量越大。



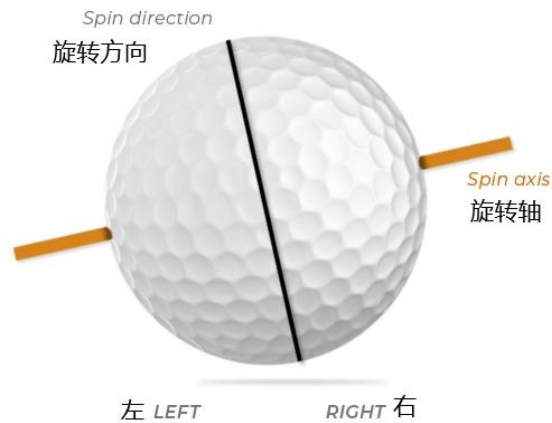
无侧旋，只有倒旋的情况，旋转轴水平，直球
如果我们期望球径直飞行，没有弯曲，那么，旋转轴一定要保持水平。



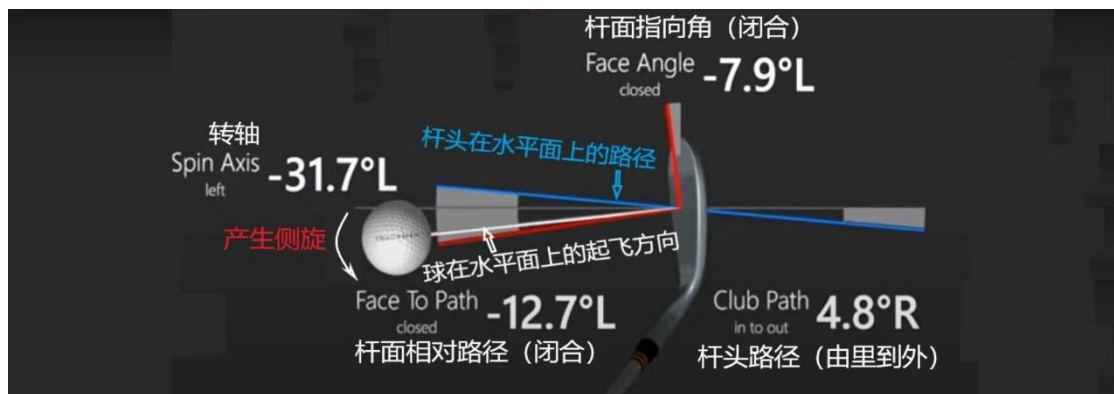
- (2) 其次是杆面相对于挥杆路径的开放和关闭，会使球产生侧旋。杆面相对于挥杆路径的角度。这个角度我们称为侧旋角。在相同的杆头速度下，这个角度越大，侧旋分量越大。



除了倒旋外，还有向右的侧旋的情况，旋转轴往右倾斜，右曲球

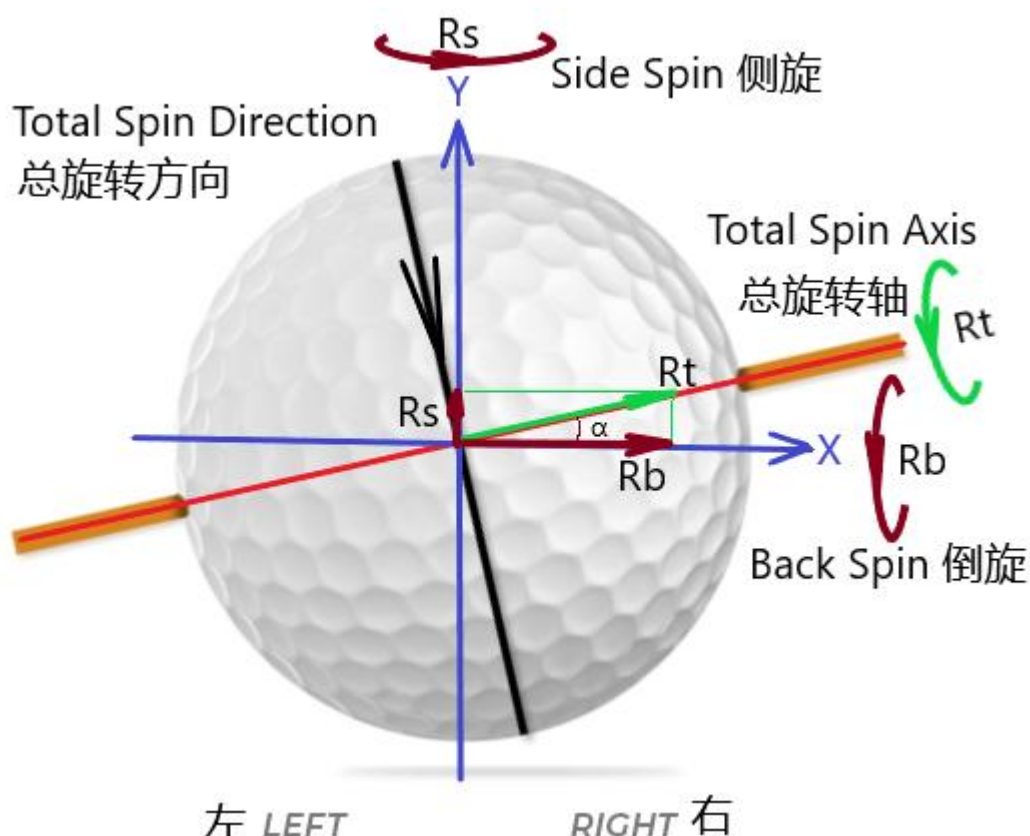


除了倒旋外，还有向左的侧旋的情况，旋转轴往左倾斜会，左曲球



可以看出球的转动不仅包含倒旋分量，还会包含侧旋分量，仅仅用一个转动速度来描述高尔夫球的旋转是不够的，为了完整地描述球的转动，我们有时会使用“转轴”这个概念，转轴就是用来描述旋转方向的，我们用右手法则来定义球的旋转方向，右手呈竖拇指拳状，四指弯曲方向跟随球的旋转方向，拇指所指的方向代表转动速度的方向，即转轴方向。

如图中的绿色矢量 R_t ， R_t 的方向就是拇指所指方向，也就是转轴的方向或叫转轴的角度，如图中的 α ，它是个矢量 R_t 与 X 轴（水平轴）的夹角； R_t 的长短表示转动速度的大小。如图所示。注意图中球的飞行方向是往纸里的。



总旋转 R_t 在 XY 轴坐标系分解呈两个分量： R_b 和 R_s 。这两个分量也代表两个旋转，按照右手法则， R_b 代表的旋转显然是一个倒旋，而 R_s 代表的显然是个侧旋。

倒旋 R_b 的转速与总旋转转速的关系：倒旋转速 = 总旋转速度 $\times \cos(\alpha)$

侧旋 R_s 的转速与总旋转转速的关系：侧旋转速 = 总旋转速度 $\times \sin(\alpha)$

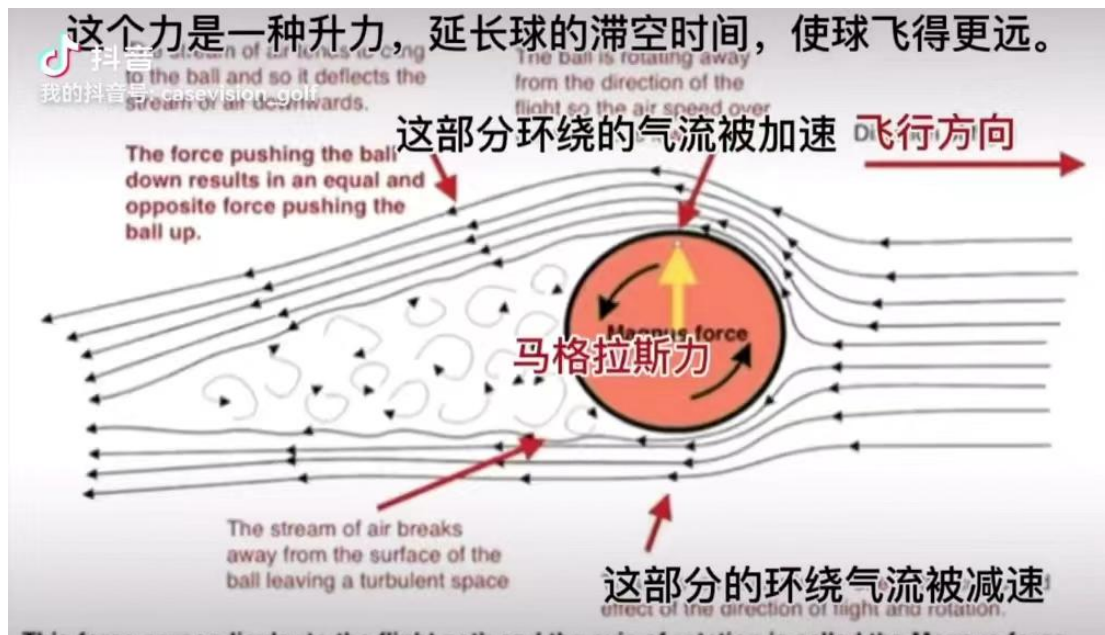
我们可以把高尔夫球的总旋转看成是由倒旋和侧旋复合而成；反过来，我们也可把倒旋和侧旋看成是总旋转分解而来。其实这样的分解物理意义也是很清晰的：侧旋严重影响球的飞行轨迹的弯曲程度，而倒旋严重影响球的飞行高度和落地的滚动。

高尔夫球的旋转是绕一个旋转轴进行旋转的。如下图，这个图中。假设球的飞行方向是向纸里（远离我们）飞去：

但是，如果击球时杆面不能做到方正，球的旋转轴就会倾斜，球也就不能径直飞行，而会出现弯曲。如下图：假设球的飞行方向是向纸里（远离我们）飞去。

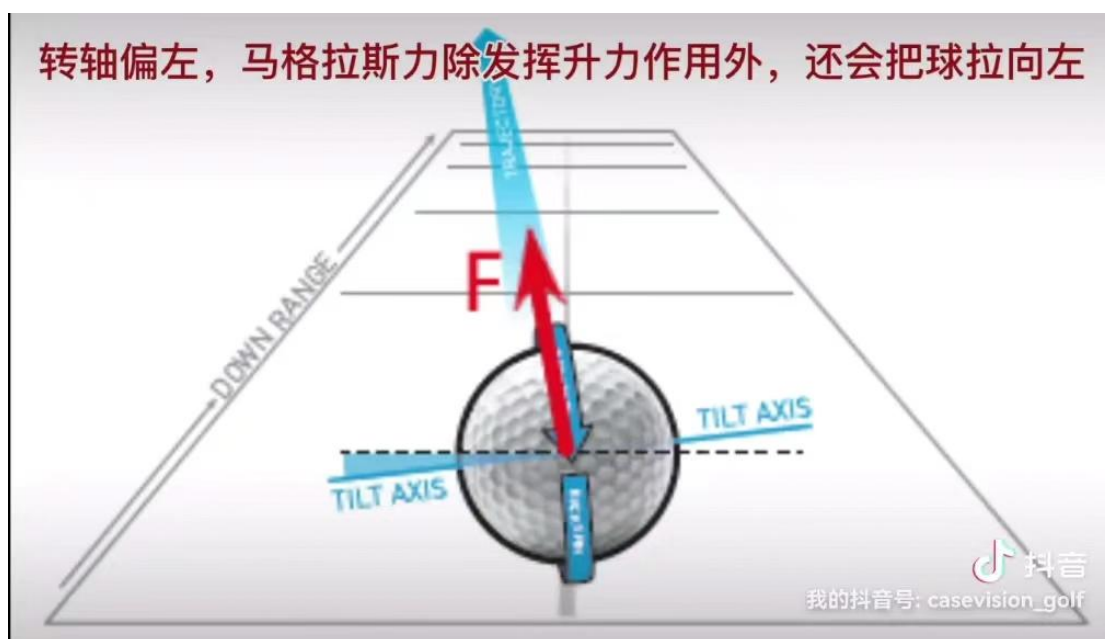
那么旋转对球的飞行产生影响的原因是什么呢？

如下图，球的飞行方向和旋转方向如图所示，球上面部分的空气会被加速，而下半部分的空气会被减速，这样在球的上下之间会产生一个速度差，按照贝努里原理，这个速度差会引起一个压力差，压力的方向是指向速度快的那一侧，这个力就是马格拉斯力，由于这个力的方向是向上的，所以是一种升力，会延长球的滞空时间，使球飞得更远更高。另外球表面的小凹坑，相对于光滑的球表面，这种凹坑会明显增加马格拉斯力。还需要注意的是马格拉斯力的方向垂直于转轴。



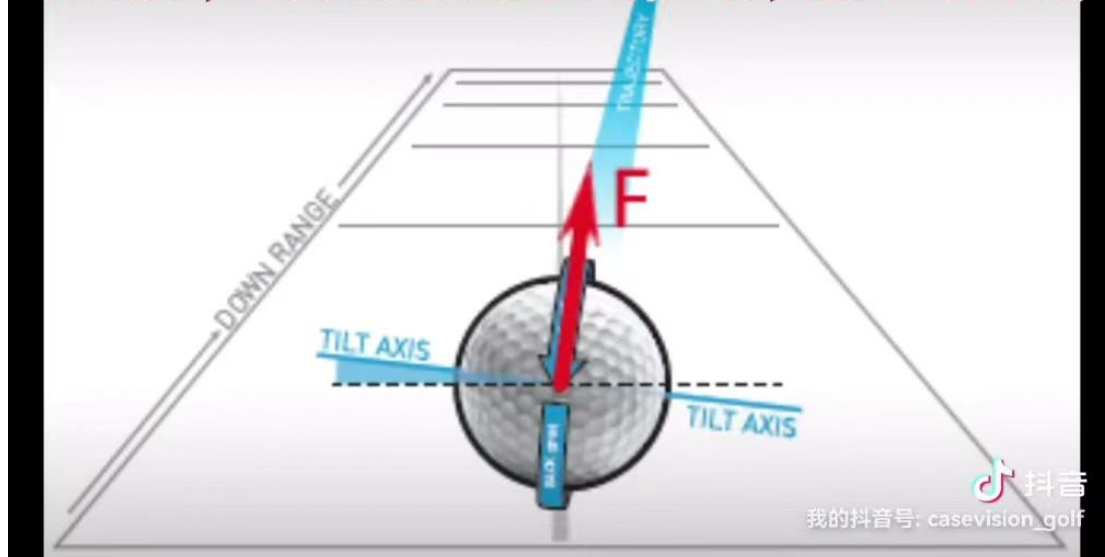
如果球的转轴。

如果转轴偏左，即旋转除了包含倒旋，还包含往左的侧旋，这是马格拉斯力偏左，使球往左偏转。



如果转轴偏右，即旋转除了包含倒旋，还包含往右的侧旋，这时马格拉斯力偏右，使球往右偏转。

转轴偏右，马格拉斯力除发挥升力作用外，还会把球拉向右



4. 球的飞行轨迹

飞行轨迹由飞行距离、飞行高度、落地角度和横向偏离来描述，影响飞行轨迹的主要因素是球速、起飞角度、起飞方向角、总旋转、旋转轴等参数，实际中还要考虑环境因素如海拔高度、温度和风。实际上，你的击球位置和落点位置并不一定在同一水平面上，这也会影响你的实际飞行距离。

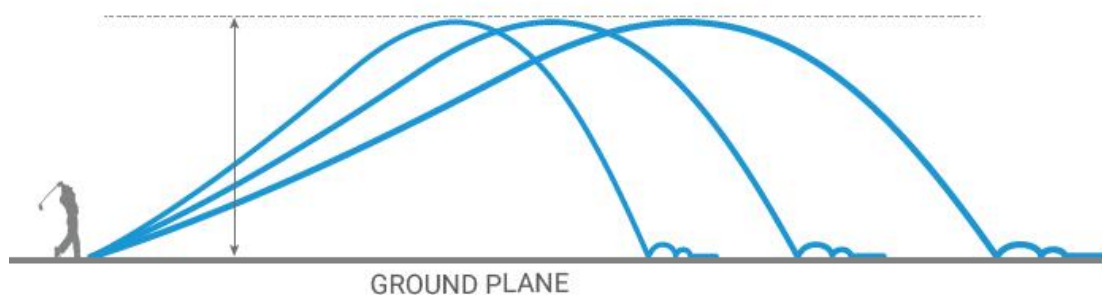
4.1 飞行距离 (Carry)

球在空中飞行的距离。carry 假设了着陆区域与击球点在相同的水平面上。



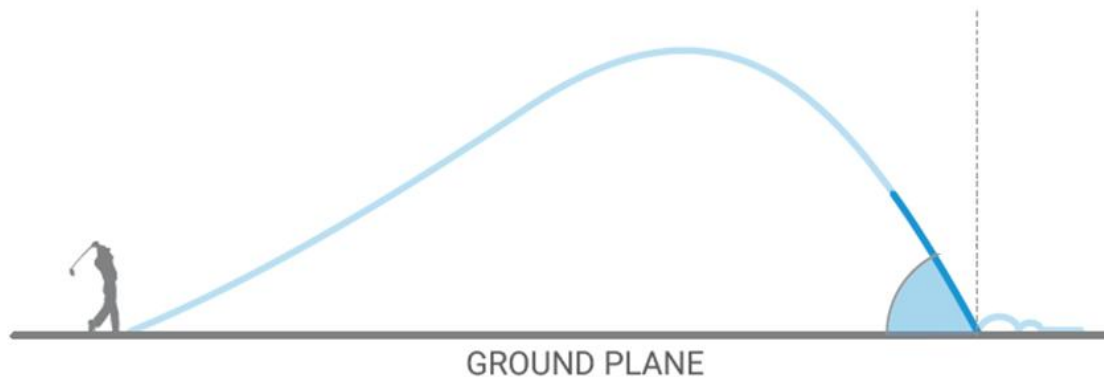
4.2 飞行高度 (Flight Height)

球的飞行最高高度。



4.3 落地角度 (Landing Angle)

球落地时的角度，说明落地时有多陡，这个数据对球的滚动会有很大影响。



4.4 横向偏移 (Lateral Offset)

球的落点偏移目标线的距离。

