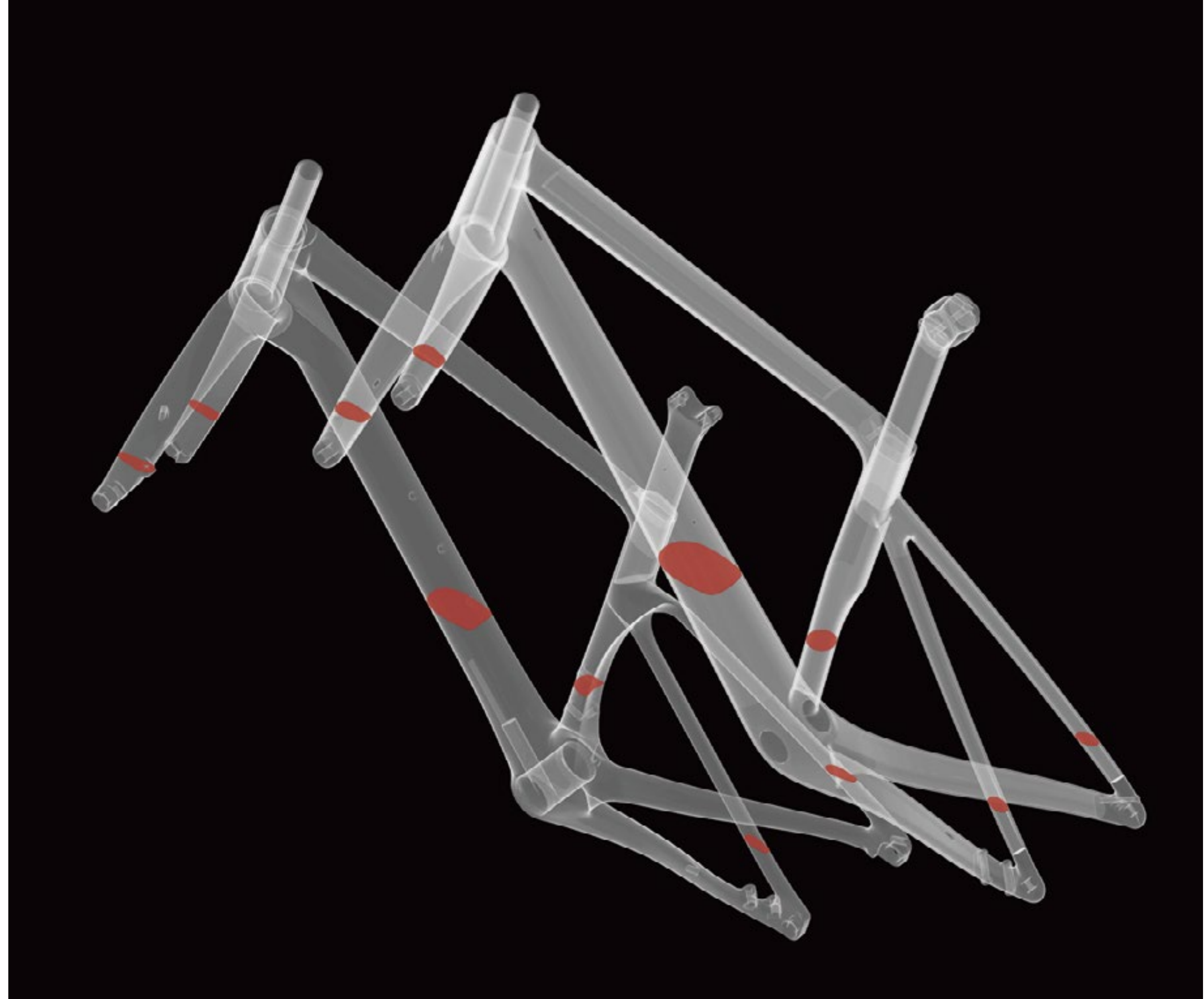


第一章

SPEEDSTER的理想形态是什么？

SPEEDSTER 车型是一款通过减少迎风面积来降低风阻的气动综合车架，同时管型宽度适中，以获得较轻的重量。虽然管型宽度不及一些传统意义上的气动车架，但是管型横截面长宽比其实和这些车架接近，而且因为 SPEEDSTER 的迎风面积更小，减阻表现会更好。



为了减少迎风面积，SPEEDSTER 的头管最窄处被设计为只有 40mm 宽度。为了保证前叉刚性，我们采用了标准的圆形单根内置舵管，我们还巧妙地把舵管设计成偏心，使用了仅有 1.25 英寸的碗组轴承（这是能容纳 28.6 标准圆形舵管以及油管、线管的最小尺寸轴承），并将头管设计成沙漏型，最终头管最窄处宽度设计成仅有 40mm，这已经是很理想的形态。



在完成 SPEEDSTER 的设计之后，我们开始思考采用一些非常规的头管结构来进一步地降低迎风面积。为此，我们考察了 4 种不同的结构：

第一种，是采用更小直径的圆舵管，或者是异形舵管
把圆舵管从 28.6mm 缩小到 25.4mm，或是采用类似 SUPER SIX 那种三角舵管，能够把头管外宽缩小 3-4mm。但是头管仍然只能做成沙漏形，减阻效果有限，且舵管缩小导致前叉刚性下降明显。

第二种，是前后油管均通过舵管内部走管
把前后油管都通过舵管内部走，就可以把头管内壁做到尽量贴近舵管，外壁宽度也可以做到只有 34mm。但是这种方式需要在舵管上设置较大的进出线口，且上出线口需布置在碗组轴承附近，下进线口需布置在靠近叉肩的位置，这两个位置都会承受比较大的剪切应力，在这些位置布置开口都会导致舵管强度的明显下降，且同时在舵管内部走两根油管，操作将会非常困难。

第三种，是外置舵管结构 + Y 形把立
使用外置舵管 + 异形把立的方案，在近几年的超级气动车上出现得越来越多了。这种方案能一定程度上降低头管高度，从而压缩头管迎风面积。
但是为了使把立固定在外置舵管上，往往需要采用多颗螺丝向下固定的方式，这种方式会导致车把刚性比较差，而且在添加垫圈之后刚性会下降更明显。同时，异性把立的安装界面也会导致车架无法兼容通用的车把。

第四种，是内外双舵管，内舵管为标准圆形舵管，搭配常规一体把
这种方案，最早可以追溯到一些铁三车和场地车，它能够在狭小的空间内尽可能实现较好的车头刚性和结构强度，且能很好地实现对通用车把的兼容。另一方面，油管可以采用前油管经过外舵管、后油管通过内置舵管的方式实现走管，这时候由于内外舵管共同承担前叉的强度需求，内舵管也不需要承载过多走线功能，不会因为过多的过线口导致前叉刚性和结构强度下降。内外双舵管这种构造可以获得理想的空气动力学性能，且是打造更轻的重量和更好的刚性重量比车架的理想方案。

基于以上原因，我们决定采用第四种方案为 SSR 的基础结构方案。

第二章

前叉构型的选择

众所周知，除了轮组以外，前叉是整个车身最靠前的一个部件，其形状很大程度上对整车流场产生显著的影响。近几年，有一个和传统设计迥异的趋势是使用超宽的前叉来对骑行者腿部进行整流，为了考察不同前叉造型对整体数据的影响，有必要进行 CFD 分析判断优劣。

我们对 9 种不同的前叉造型进行了 CFD 分析：

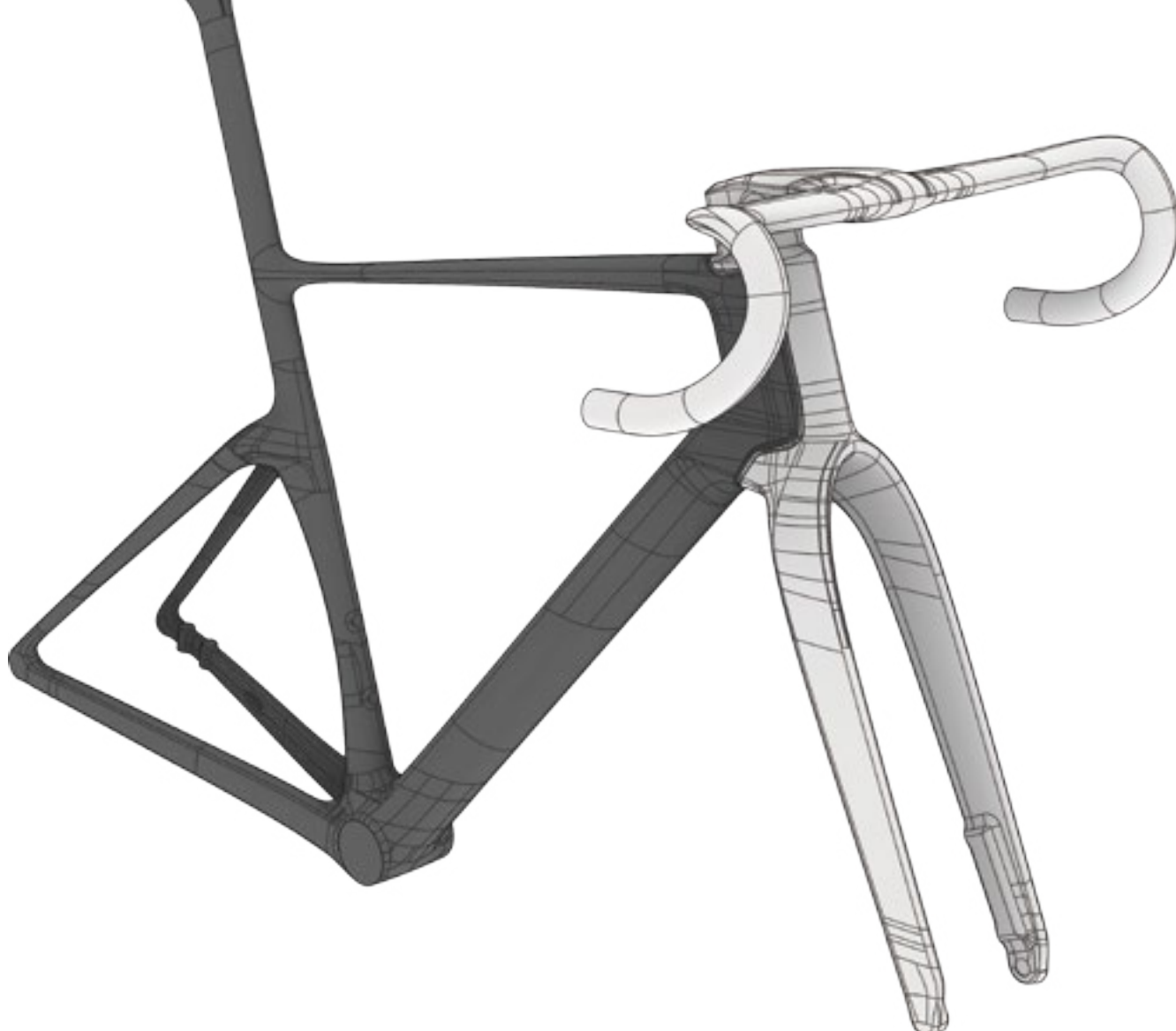
方案 1 初始方案

初始方案为考虑和较纤细的后车身匹配的前叉造型，并且较为便于制造和减轻重量



方案 2 宽截面方案

方案 2 基于方案 1 加大了叉腿截面的长宽比，同时外舵管前端也更加尖锐和凸出。方案价值在于讨论前叉截面长宽比大小对风阻的影响，即一般认为的叉臂更宽的前叉能获得空气动力学收益是否正确



方案 3 减少迎风面积方案

方案 3 基于方案 2 减少了一定的迎风面积



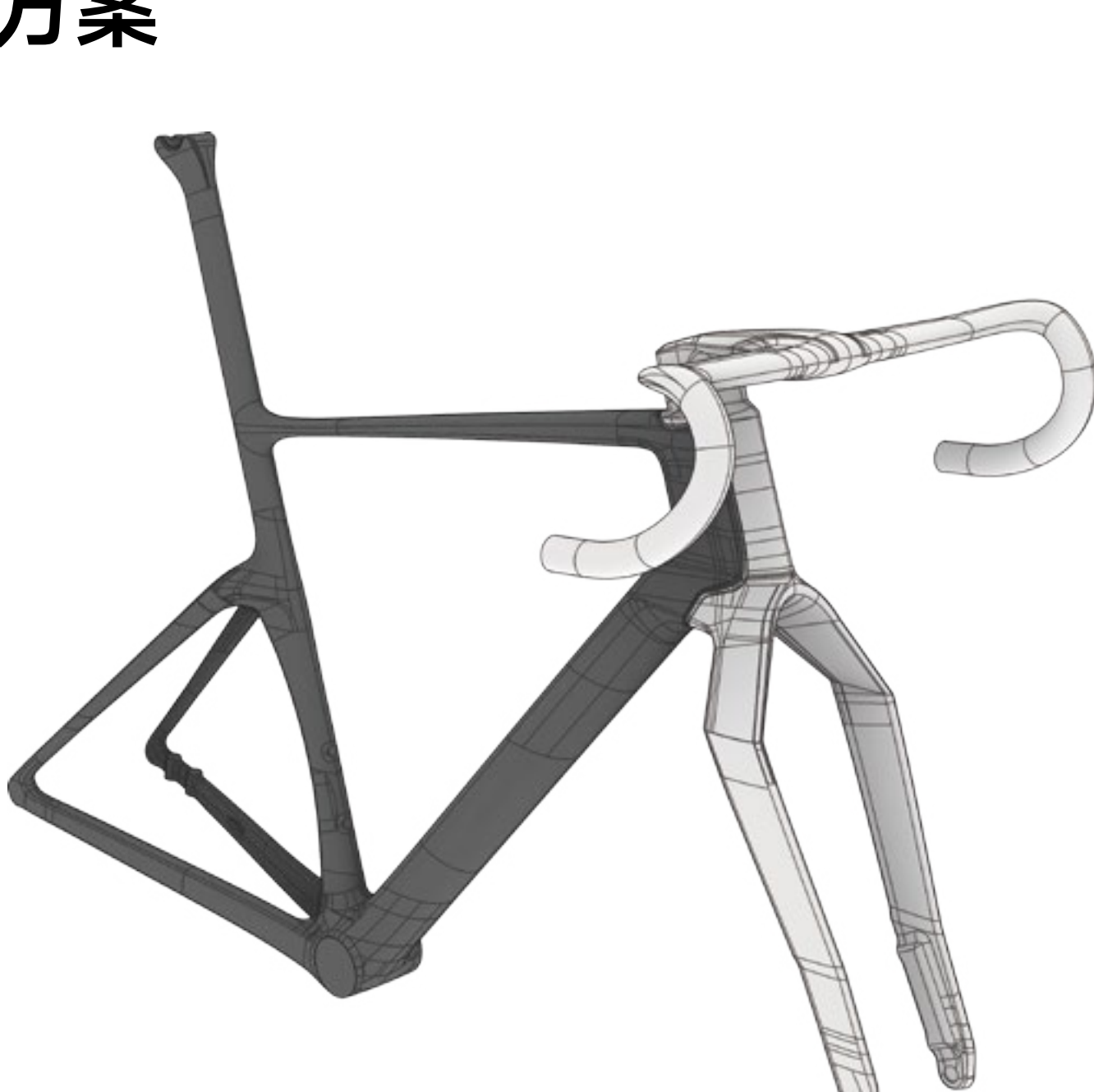
方案 4 叉臂向外偏转 20 度方案

理论上，如果前叉能产生强烈的外洗气流，能否大幅度减少骑行者腿部前方的高压区域，从而降低人-车整体的风阻？



方案 5 叉臂加宽到腿部正前方的方案

如果按照前叉开档宽度垂直构造叉臂的话，那么前叉叉臂的内宽仅为 96mm 左右，距离腿部正前方还有一定距离。因此，尝试把前叉叉臂加宽到腿部正前方，看看数据如何变化



方案 6 带内偏 10 度的加宽叉距方案

和方案 4 相反，方案 6 尝试了基于方案 5 进行叉腿内偏转的修改，观察假如把迎面来流引导到腿部内侧，能否有所收益



方案 7 较窄的叉腿内偏方案

同样是叉腿内偏的方案，但是采用较窄距的方案



方案 8 窄距方案

比方案 1 和方案 2 更窄距的叉臂方案



方案 9 叉臂加厚方案

如果前叉确实能够对腿部进行一定的遮挡，那么是否可以把前叉叉臂加粗，以制造尽量大的低压区，从而降低腿部前方的高压，以减少压差阻力？



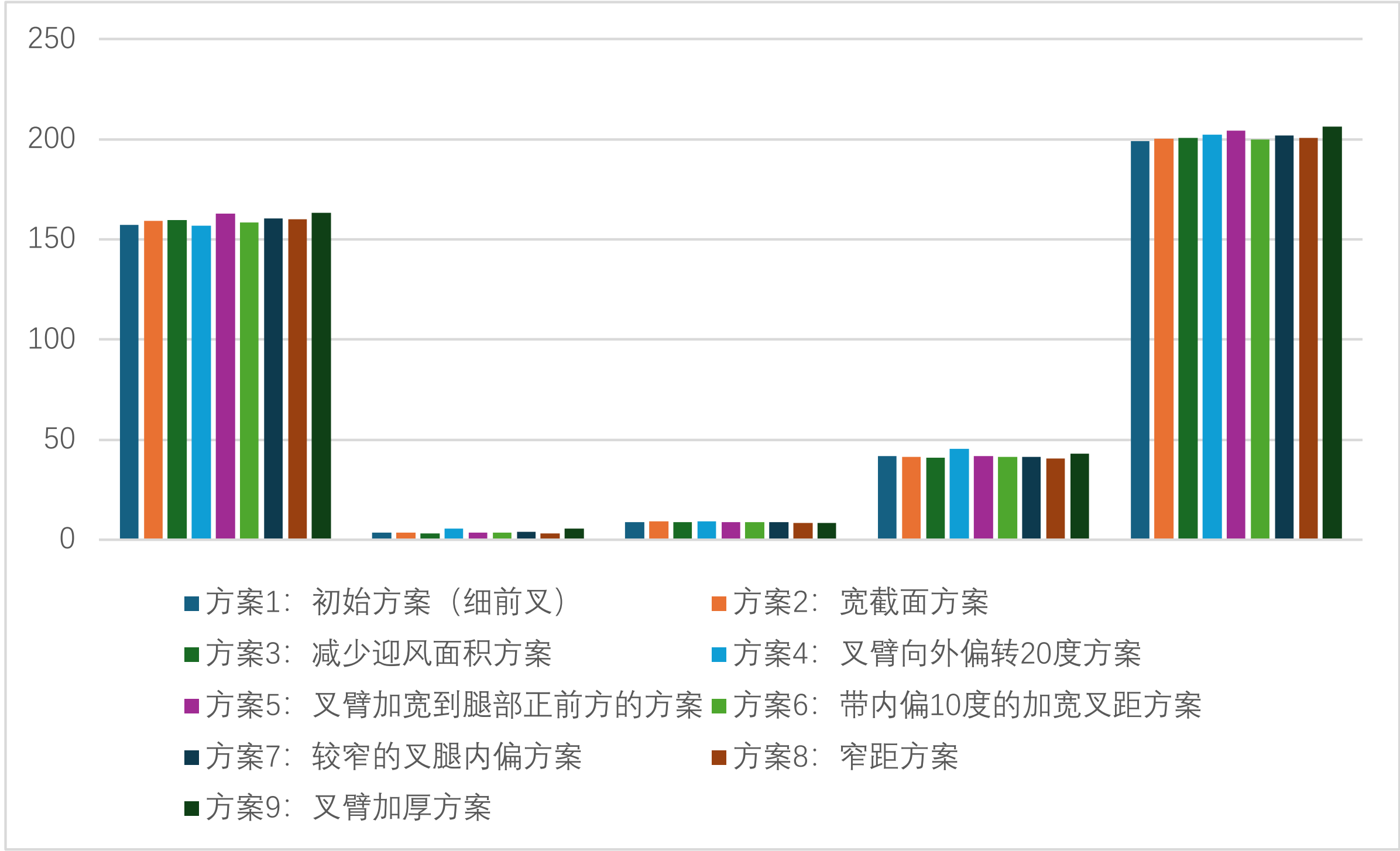
CFD 模拟采用带假人的方式进行测试，测试所用的整车形态如下：



CFD 结果数据如下：

	车把	链条	人体	前刹车	前拨	前花鼓	前叉	车架	前圈	左曲柄	左手变	后刹车	右曲柄	后拨	后花鼓	后圈	右手变	坐杆	车身	总体
方案 1：初始方案（细前叉）	2.443	1.089	157.244	1.153	1.903	1.688	3.638	8.755	5.919	0.643	1.983	0.62	1.987	3.083	1.975	2.577	1.982	0.23	41.67	198.91
方案 2：宽截面方案	2.437	1.092	159.004	1.111	1.78	1.71	3.507	9.256	5.675	0.588	2.019	0.587	2.034	3.059	1.884	2.434	1.996	0.197	41.36	200.37
方案 3：减少迎风面积方案	2.353	1.068	159.714	1.055	1.894	1.72	3.308	8.797	5.967	0.586	2.034	0.6	1.938	3.043	1.897	2.511	2.001	0.164	40.94	200.65
方案 4：叉臂向外偏转 20 度方案	2.427	1.146	156.888	1.137	1.801	1.859	5.575	9.271	5.95	0.655	1.957	0.808	1.988	3.147	2.587	2.791	1.981	0.151	45.23	202.12
方案 5：叉臂加宽到腿部正前方的方案	2.413	1.073	162.637	1.1	1.881	1.757	3.527	8.885	6.031	0.595	2.012	0.585	1.929	3.093	1.966	2.553	2.004	0.202	41.61	204.24
方案 6：带内偏 10 度的加宽叉距方案	2.42	1.046	158.538	1.077	1.897	1.7	3.648	8.911	6.057	0.592	2.033	0.614	1.867	2.935	1.932	2.353	1.988	0.179	41.25	199.79
方案 7：较窄的叉腿内偏方案	2.434	1.058	160.402	1.098	1.885	1.735	3.786	8.907	5.977	0.59	2.003	0.564	1.889	2.964	1.974	2.411	2.015	0.102	41.39	201.79
方案 8：窄距方案	2.407	1.071	160.088	1.076	1.917	1.753	3.268	8.559	5.927	0.586	2.03	0.591	1.952	3.033	1.974	2.39	1.969	0.124	40.62	200.71
方案 9：叉臂加厚方案	2.365	1.122	163.195	1.163	1.816	1.739	5.532	8.444	5.873	0.592	2.014	0.529	2.002	3.106	2.004	2.562	1.969	0.132	42.97	206.16

去掉对结果影响不大的部件的数据,数据比较如下：



从这些数据,我们可以得到以下结论：

- 1、前叉长宽比以及轻微减少迎风面积对数据的影响并不大,并且随着迎风面积的减少以及长宽比的增加,叉臂收敛尾流的能力会略微增强,反而会导致人体的风阻略微增加,实际的人 + 车整体风阻并不会变好；
- 2、叉臂向外偏转的方案确实一定程度上减少了人体风阻,但是前叉本身的风阻增加太多,整体得不偿失；
- 3、将前叉叉臂完全放置于腿部前方,由于距离过远且速度过低,前叉的尾流低压区强度并不足以降低腿部所受的阻力,反而是加宽前叉配合上显著的向内引流(方案 6)的方案似乎具有较好的收益,然而这类方案对叉腿宽度、叉腿偏角、气流速度、人体位置变化等因素会比较敏感(例如方案 7 的效果反而是变差的),因此难以确定一种普适性的产生优势的方案；
- 4、窄前叉在净车数据上排在第一位,并且在人 + 车整体系统中排名第四,和第一位相差不大。考虑到工艺制造,这种形态的前叉比较有利于前叉刚性和强度；
- 5、明显加厚的叉臂显著增加了前叉所受阻力,且并没有降低人体风阻数据；

综上所述,我们决定采用相对较窄的前叉,配合细叉腿,已获得较好的气动性、重量、刚性。

第三章

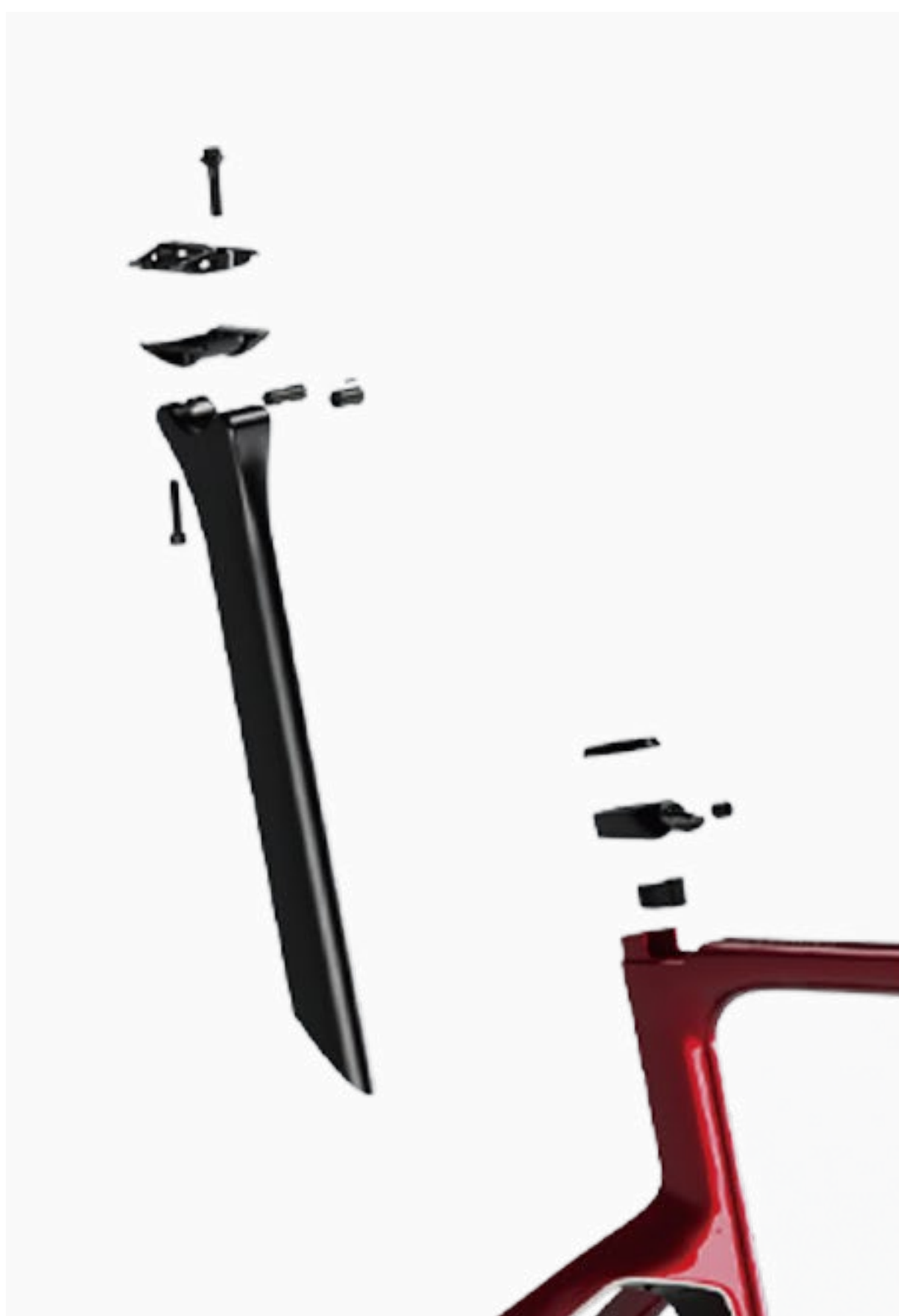
立管和坐杆构型的选择

SR+ 的坐杆构型采用了常规的分体坐杆方案，这种方式在可调性和运输性上有一定的优势。

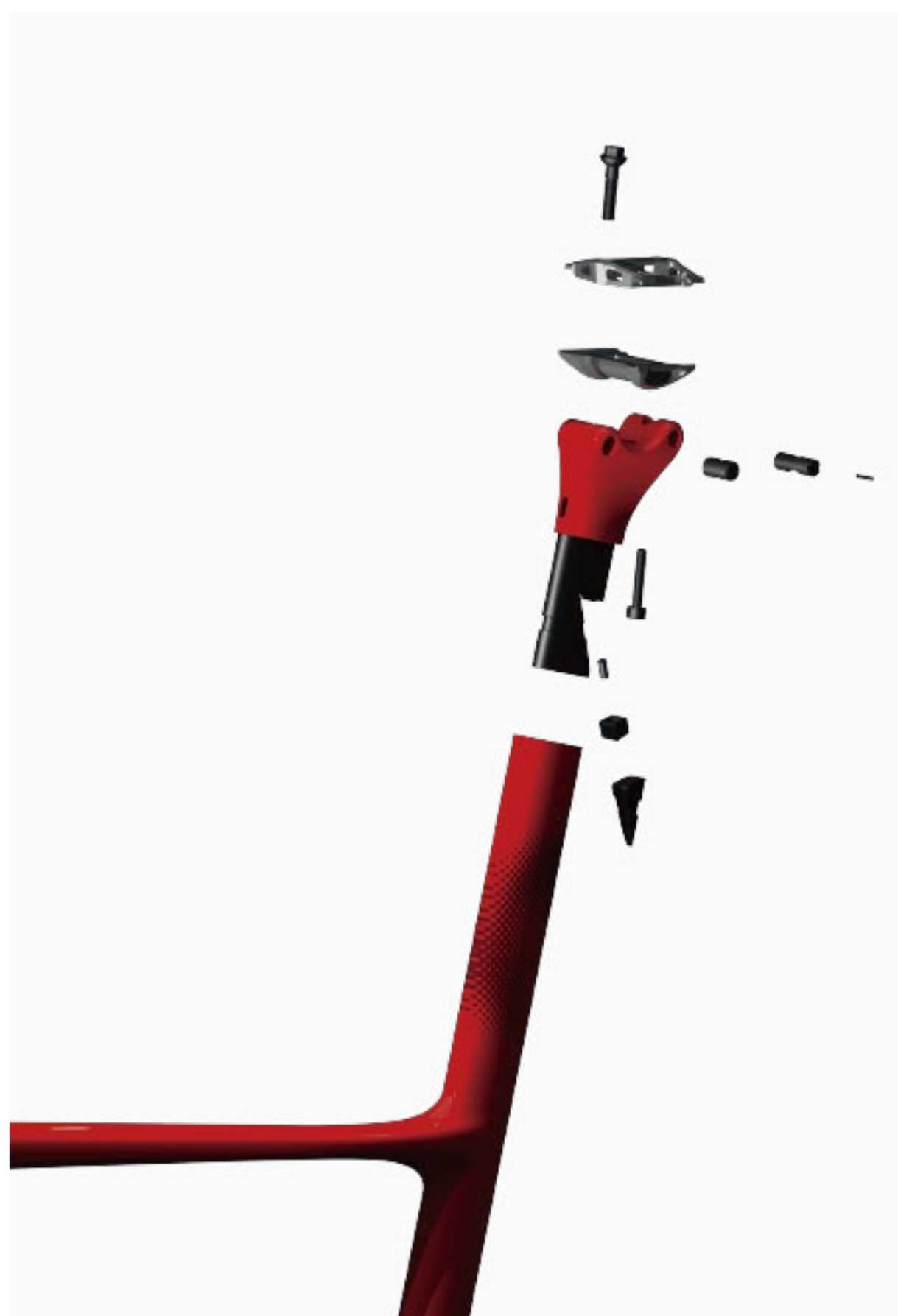
然而，对于非的分体坐杆系统而言，为了确保车架强度，车架立管壁至少需要 2.5 以上，且坐杆插入深度至少需要 80mm。这使得立管和坐杆这一部分的重量很难降下来。

同时，分体坐杆的坐杆锁紧系统位置比较靠下，当坐杆比较薄的时候，锁紧位置产生较大的形变，容易产生异响和下滑，所以分体坐杆很难做到 20mm 以下，而立管则要比这更厚。

这些因素，导致我们认真考虑必须在 SSR 上使用 ISP 坐杆结构，以实现重量和气动性上的提升。



SR+的坐杆系统

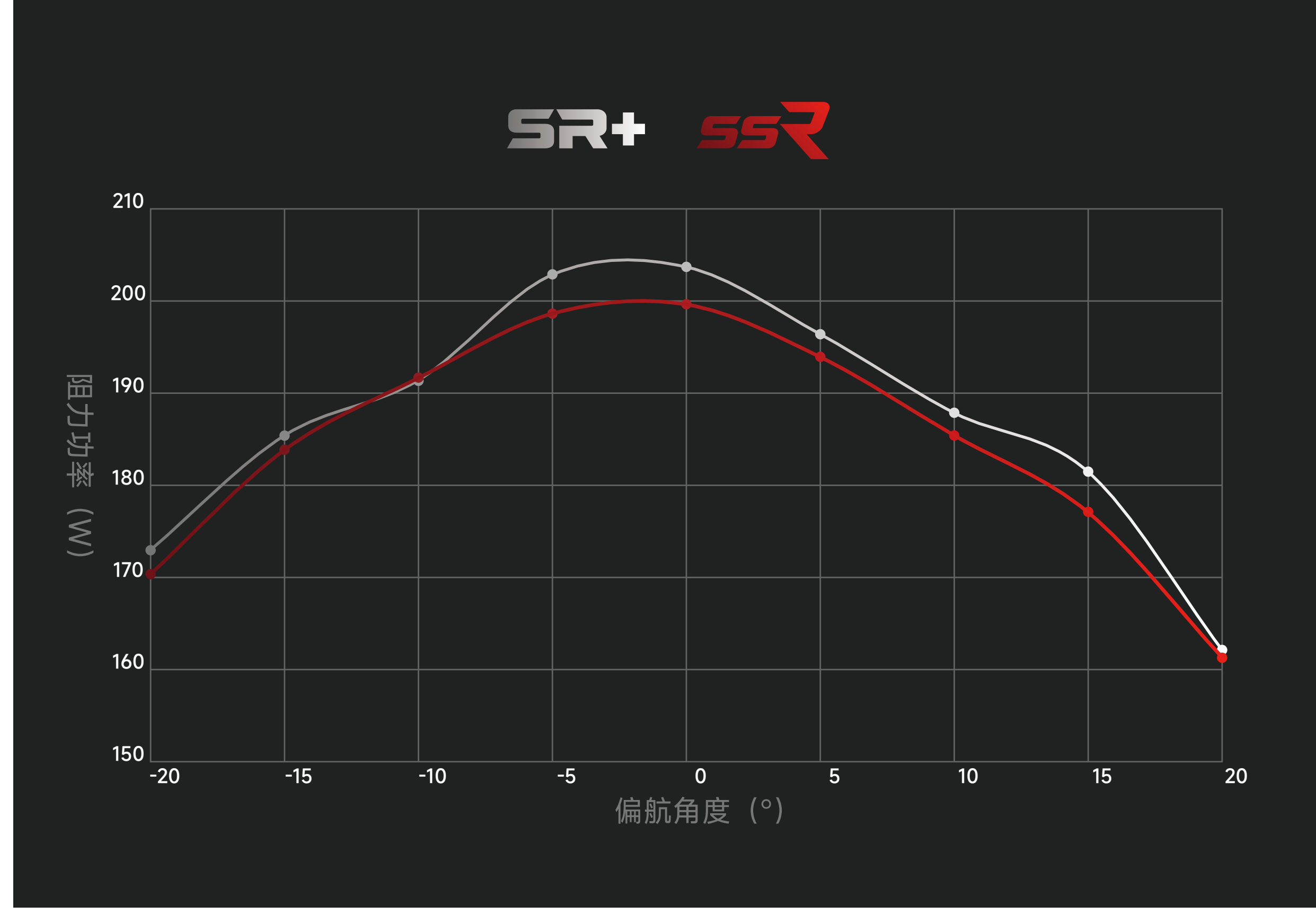


SSR的坐杆系统

第四章

和SR车型的CFD结果对比

确定形态之后，我们便把定稿后的 SSR 和 SR 进行 CFD 横向比较。



SR和SSR阻力曲线对比(W@40km/h)

在带假人的情况下，SSR 比 SR 在 $-20^{\circ}\sim+20^{\circ}$ 9 个偏航角平均、40km/h 下，节省了 2.47W，而在 0 度偏航角下则节省了 4W。

在进行完一般性的 CFD 对比测试后，我们还对每一个尺码的 SSR 和 SR,进行了 0 度偏航角下不带假人的 CFD 对比。

对于一般车架，随着车架尺码增大，由于头管区域明显的变高，车架的风阻会明显增大。对于一个特定的车头堆高值而言，由于常规结构头管的外宽往往要比车把垫圈要更宽，因此“小 stack 值 + 多垫圈”会比“大 stack 值 + 少垫圈”的组合风阻更小，所以，我们能看到在 TOUR 杂志的评测里，一些头管基础 stack 值相当低的车型，例如 storck、simplon、cervelo 的车型，能取得明显的优势——即使对比车辆的车头通过增加垫圈的方式被设置到相同的高度，这些车型仍然因为头管区域 + 垫圈区域的总迎风面积更小，而表现得更好。



然而在实际使用中，很少有骑行者能使用这么低的头管高度的车架，即使勉强使用，也需要增加较多的垫圈，对车头的刚性以及美观度造成较大的影响。

对于 SSR 而言，由于头管区域被收窄到等宽的 34mm 宽度，因此对于一个特定的堆高数值需求而言，更高的头管高度并不会产生更大的风阻，并且由于头管迎风面积随尺码增加的幅度要比常规结构头管要更小。因此，随着尺码增大，理论上 SSR 相对于 SR 的气动优势会更加明显。



为了印证这个猜想，我们进行了 CFD 对比测试，结果如下：



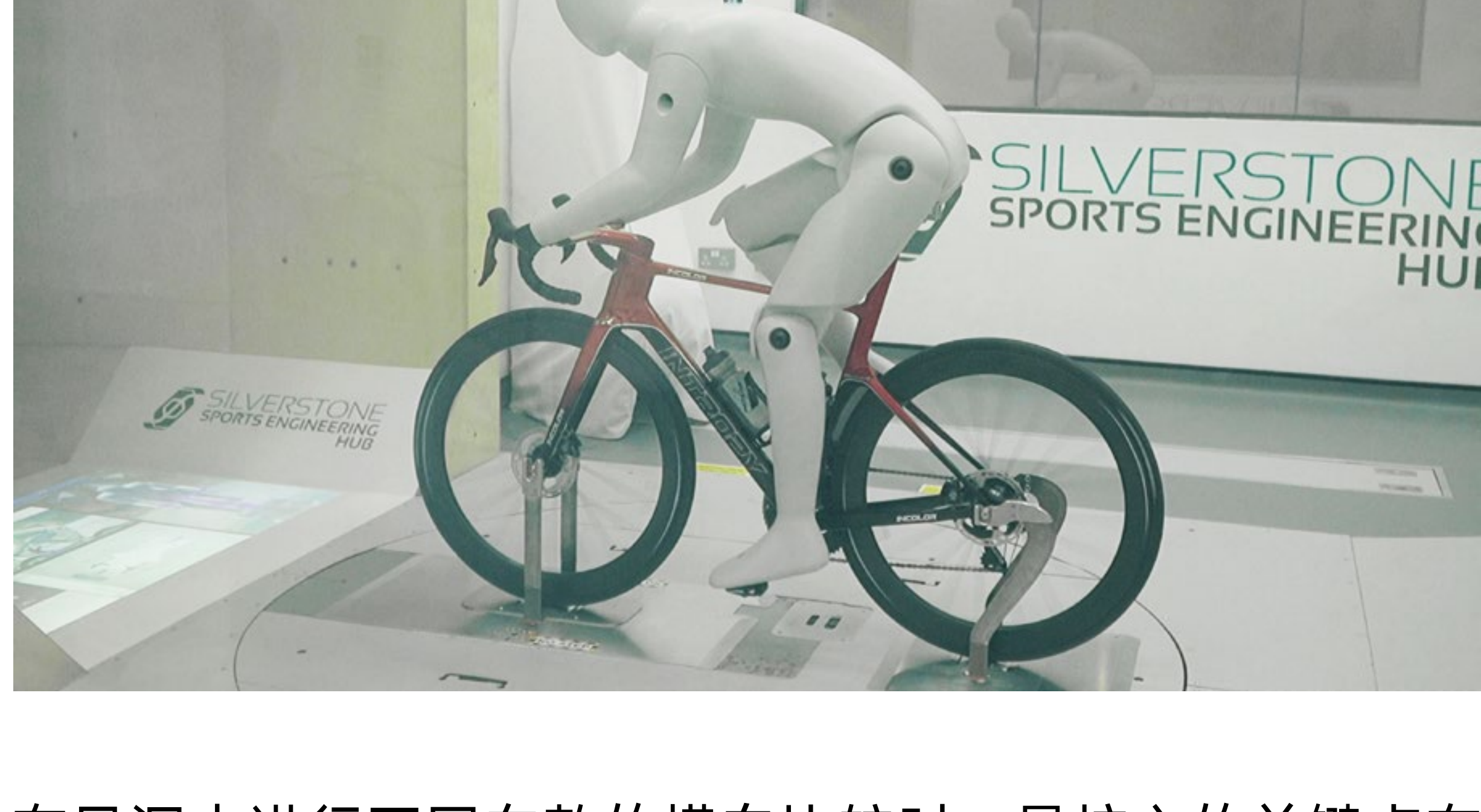
SR和SSR不同尺码的风阻比较 (W@40km/h)

可以看到，SSR 和 SR 的风阻优势，从小尺码的 1W 逐渐增加到最大尺码的 3.3W。

第五章

风洞验证

在上一次到银石风洞实验室进行验证的时候，我们没有带假人测试，只采用了净车测试 + 真人上车测试的方式。这一次，我们有更充分的时间来准备，我们专门制作了一个腿部可动的标准化测试全身假人，用于 SSR 的风洞验证工作。

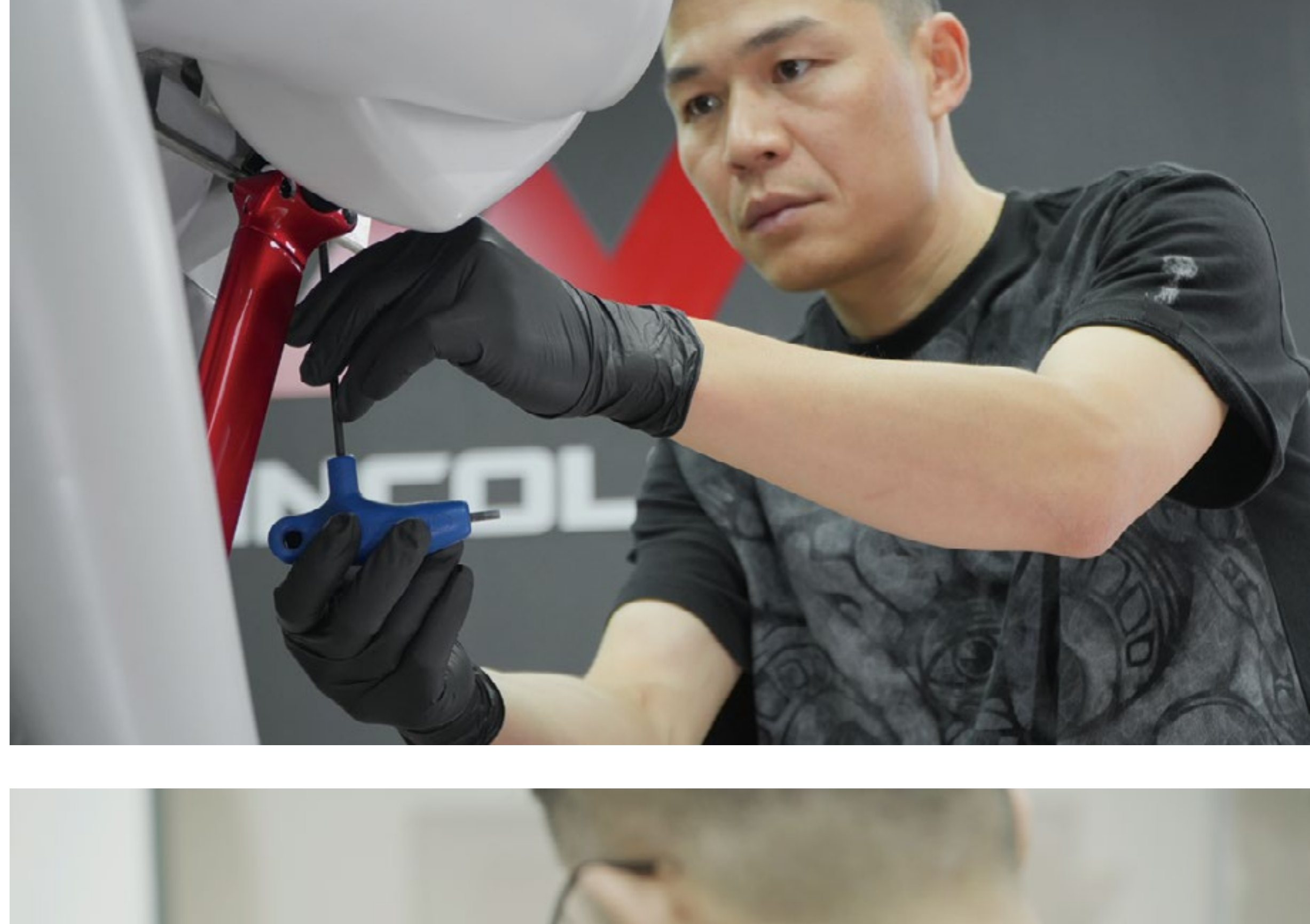


在风洞中进行不同车款的横向比较时，最核心的关键点在于必须确保测试条件高度一致，因此，在制作假人时，重点要考虑如何确保假人在安放后具有精确的俯仰角度、侧偏角度，以及腿部运动路径的一致性。

首先，为了确保假人的运动姿态稳定，假人的手臂被设计为固定的安装姿态，手掌被取消以消除手掌和车把结合时产生的形状变化导致的数据差异，同时取消额外穿着的锁鞋，而是直接在假人脚底安装自锁锁片，直接固定在锁踏上面；



其次，为了确保假人的安装位置高度是一致的，我们制作了一个把假人身体直接固定在坐杆夹头上的转接装置，确保假人的侧偏角和侧倾角在每一次测试中均高度一致，且通过调节坐杆夹头来改变假人的俯仰角，假人背部放置水平仪，对每一次测试的俯仰角进行校准。



人类的腿部具有三个主要关节，分别是髋关节、膝关节和踝关节，如果在设计假人腿部时也具有这三个关节，那么腿部运动的时候会有一个额外的自由度，导致腿部的运动轨迹不唯一



《TOUR》杂志的风洞测试半身假人为三个腿部关节

因此，我们把假人的踝关节设计为固定式，仅允许髋关节和膝关节在水平轴上的转动，确保运动轨迹唯一；



最后，测试车的坐杆夹头高度以及车把规格、高度设定一致，通过假人背部的水平仪，并结合风洞实验室的位置捕捉摄像机对假人的位置进行校准。



通过使用上述这一系列手段，我们确保了假人安装的高度一致性，从而确保了带假人的对比测试结果，真实、可靠。

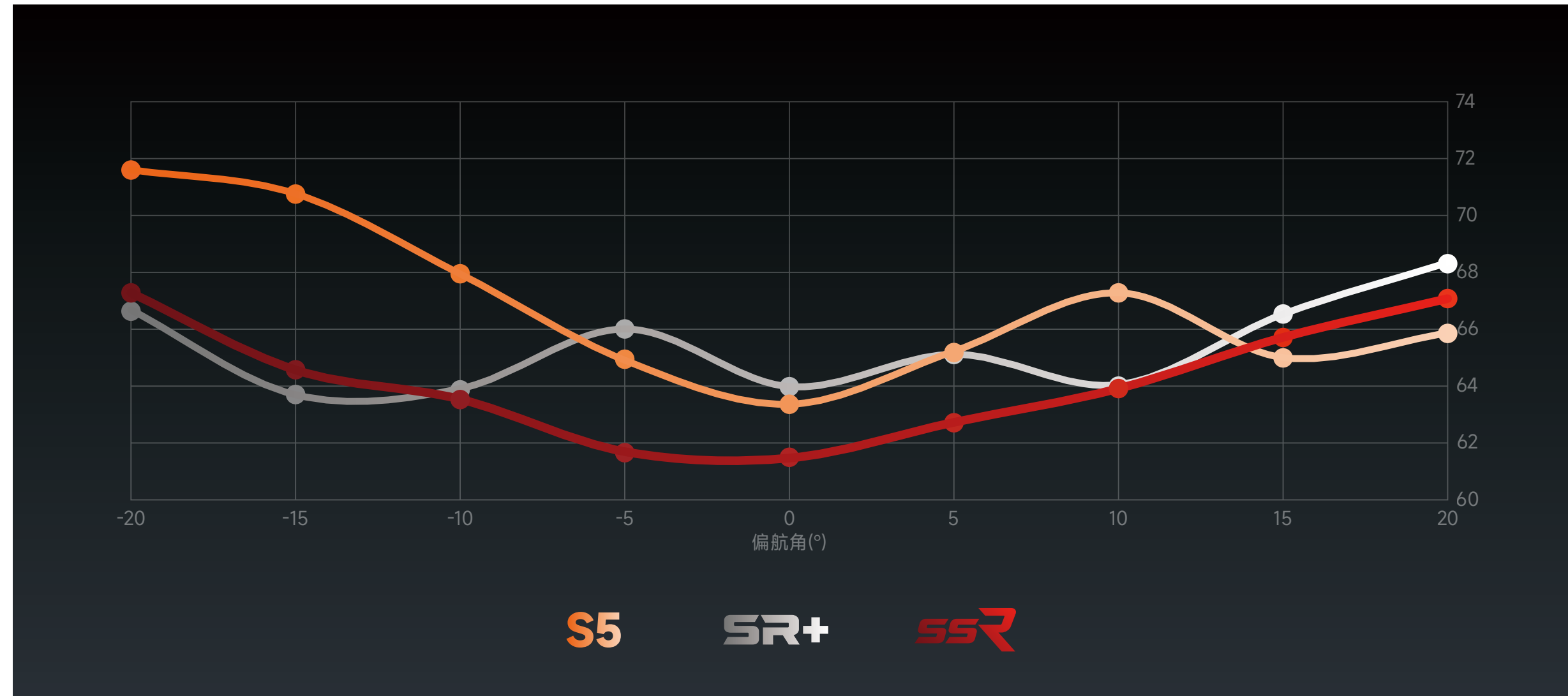
在银石风洞实验室，我们对 SSR、SR+、Cervelo S5 三款车，进行了以下项目的测试：

- 1、不带假人的净车测试，测试风速 40km/h、45km/h
- 2、带假人测试，测试风速 40km/h、45km/h
- 3、带气动水壶的净车测试，测试风速 40km/h、45km/h
- 4、带气动水壶的带假人测试，测试风速 40km/h、45km/h
- 5、带圆水壶的净车测试，测试风速 40km/h、45km/h
- 6、带圆水壶的带假人测试，测试风速 40km/h、45km/h

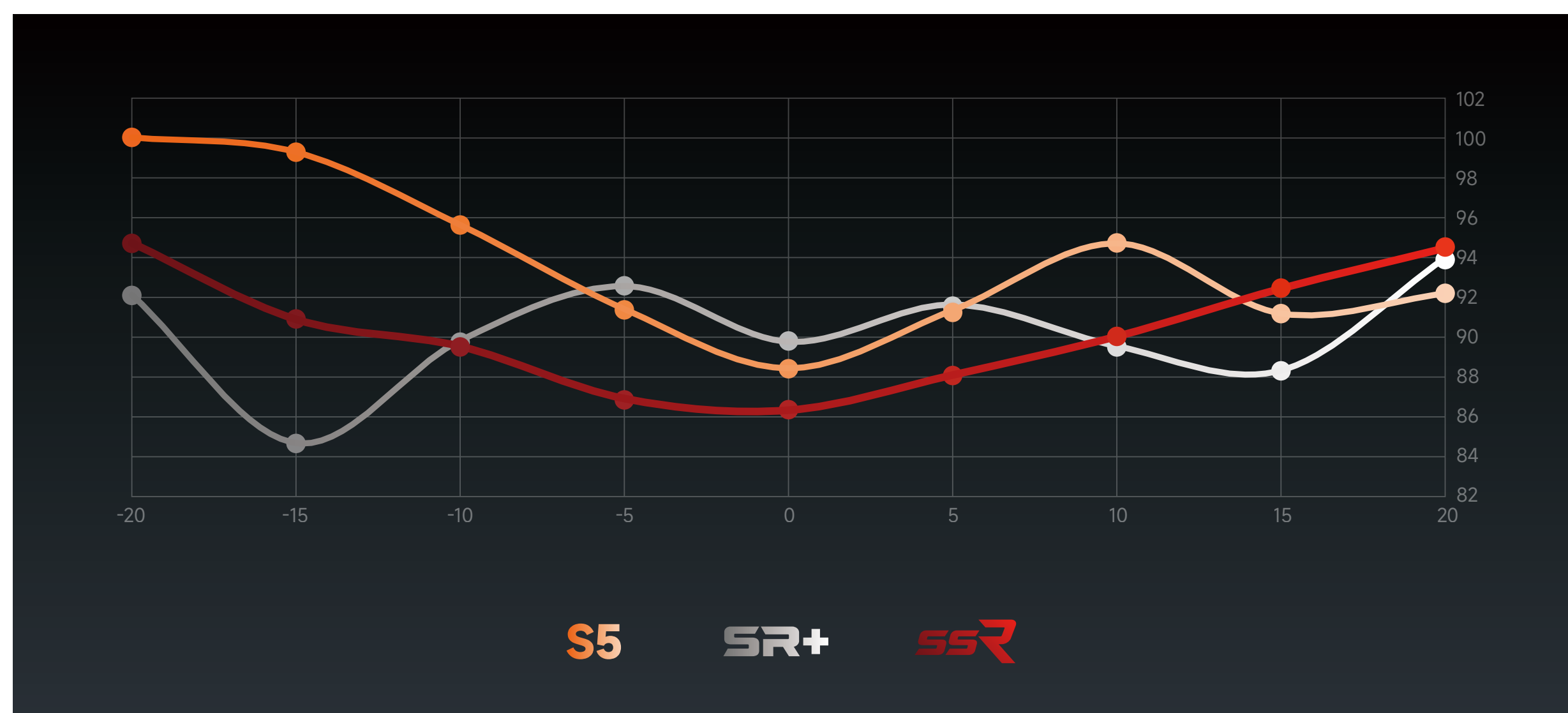
测试车均使用 shimano UT8170 套件，天枢曲柄 +52/36 盘片，11-30 飞轮，aerowav 钢条轮组 +EAGLE F1 28C 真空胎

测试结果如下：

1、不带假人的净车风阻功率对比：



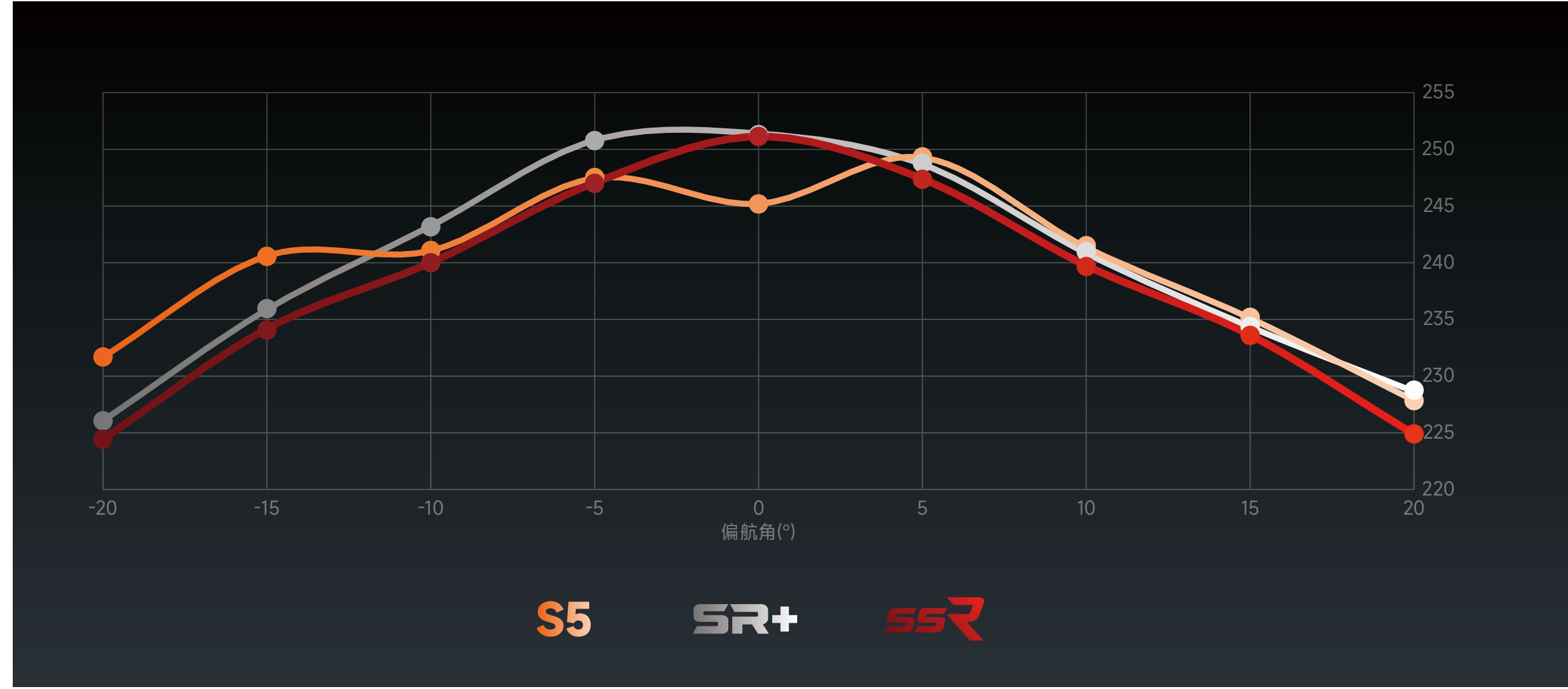
净车风阻功率对比(W@40km/h)



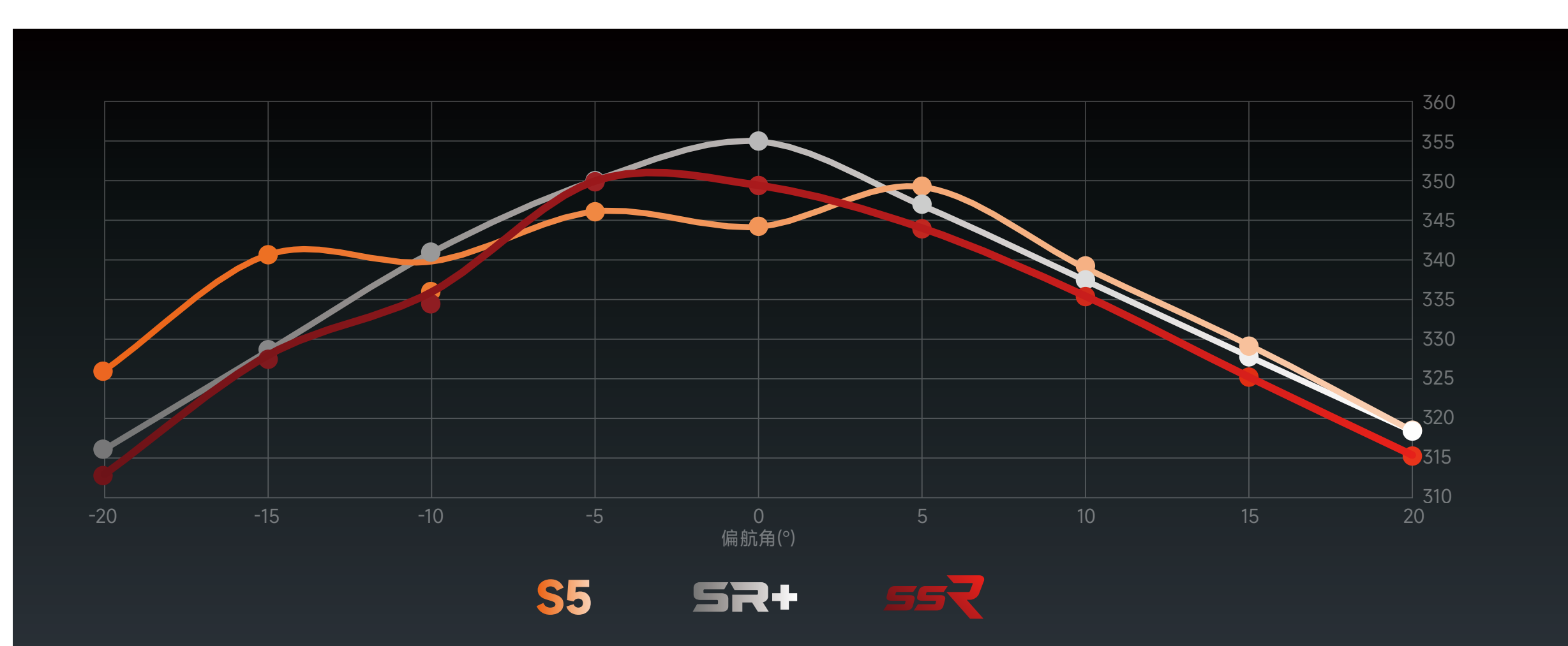
净车风阻功率对比(W@45km/h)

从数据中可以看到，由于迎风面积显著更小，SSR 在小角度下相比 SR+ 有明显的优势，而在几乎所有角度下对比 S5 都有优势。在一些特定角度下，由于车架对牙盘、前叉对下管的一些遮挡效应，S5 和 SR+ 会在这些角度下略领先于 SSR。综合计算平均值，在 40km/h 速度下，SSR 的平均功率是 64.3W，SR+ 的平均功率是 65.4W，S5 的平均功率是 67W；在 45km/h 速度下，SSR 的平均功率是 90.4W，SR+ 的平均功率是 90.3W，S5 的平均功率是 93.9W。

2、带假人的风阻功率对比：



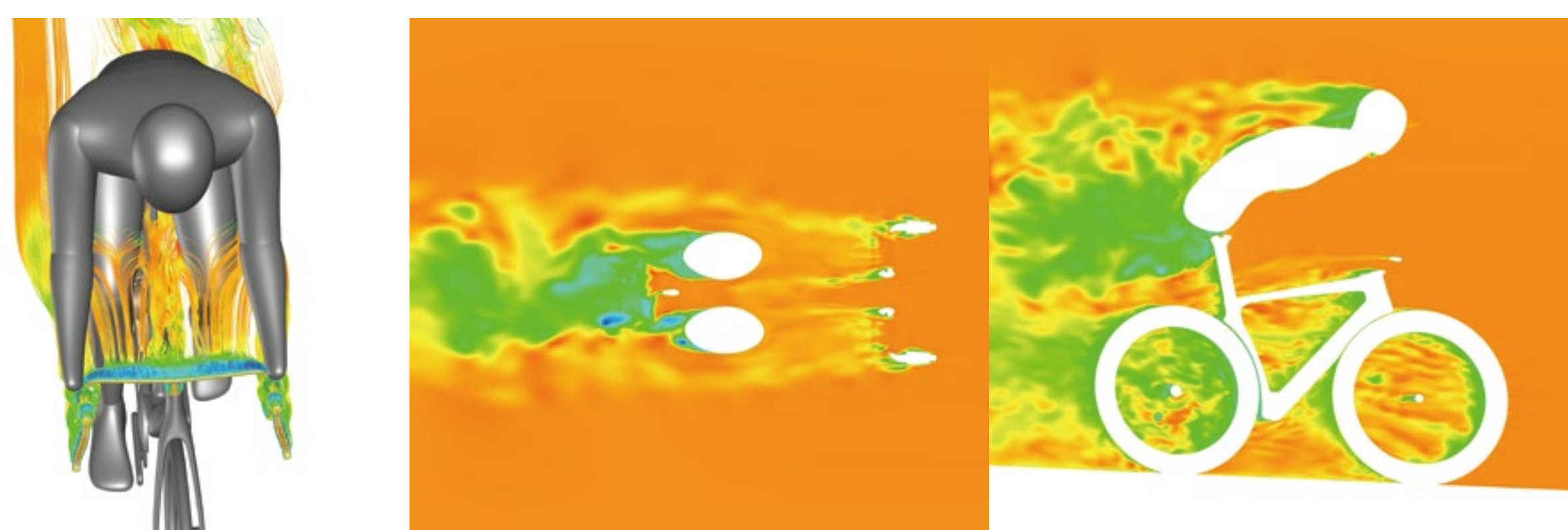
带假人整车风阻功率对比(W@40km/h)



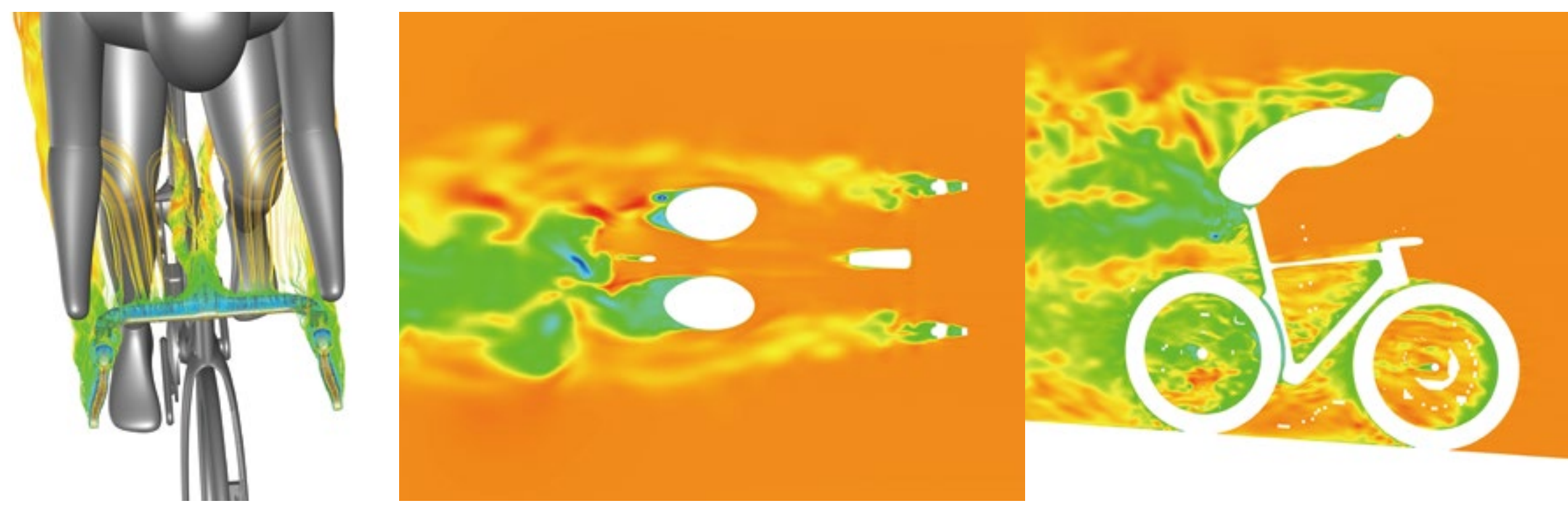
带假人整车风阻功率对比(W@45km/h)

带假人测试情况下数据差异有所改变，0 偏航角附近会比 S5 的数据略高

对 S5 进行 CFD 分析，可以看到在 0 度时，较厚的车把制造了较大的尾流低压区，显著减少了人体阻力



S5的0度流场状态



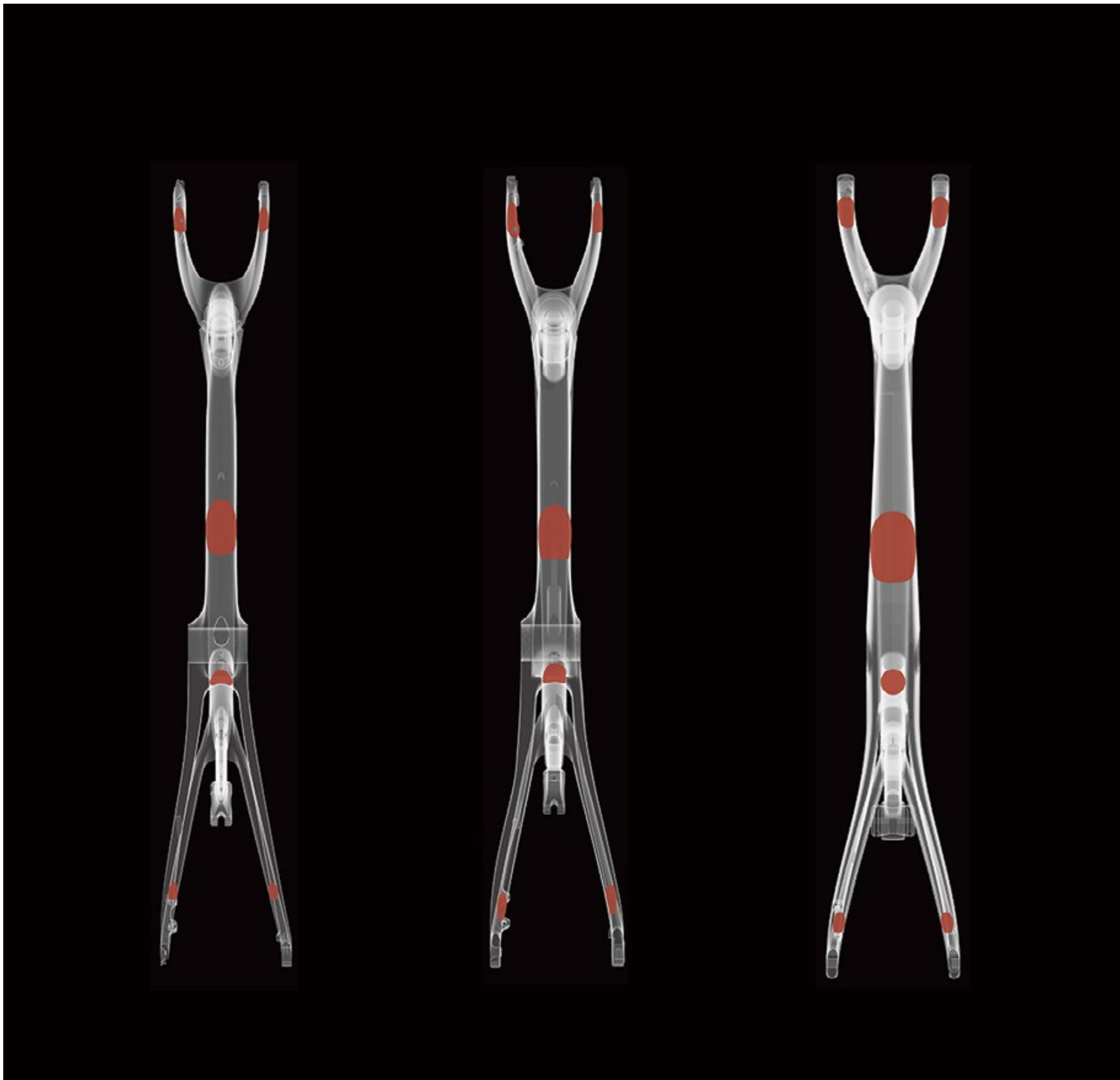
SSR的0度流场状态

同时，S5 的立管由于明显向后偏移设计，能有效填充后轮和立管之间的高压区域，使得后轮受到的阻力显著降低。然而这种设计也降低了胎容范围，使得 S5 最多仅能支持 30C 的轮胎，且立管的侧向刚性较差需要更多补强，增加了重量。综合取舍下 SSR 并没有使用这样的设计，而是使用了胎容更大、重量更轻的直立管设计。

综合计算平均值，在 40km/h 速度下，SSR 的平均功率是 238.3W，SR+ 的平均功率是 240.2W，S5 的平均功率是 240.2W；在 45km/h 速度下，SSR 的平均功率是 333W，SR+ 的平均功率是 335.7W，S5 的平均功率是 337W。

第六章

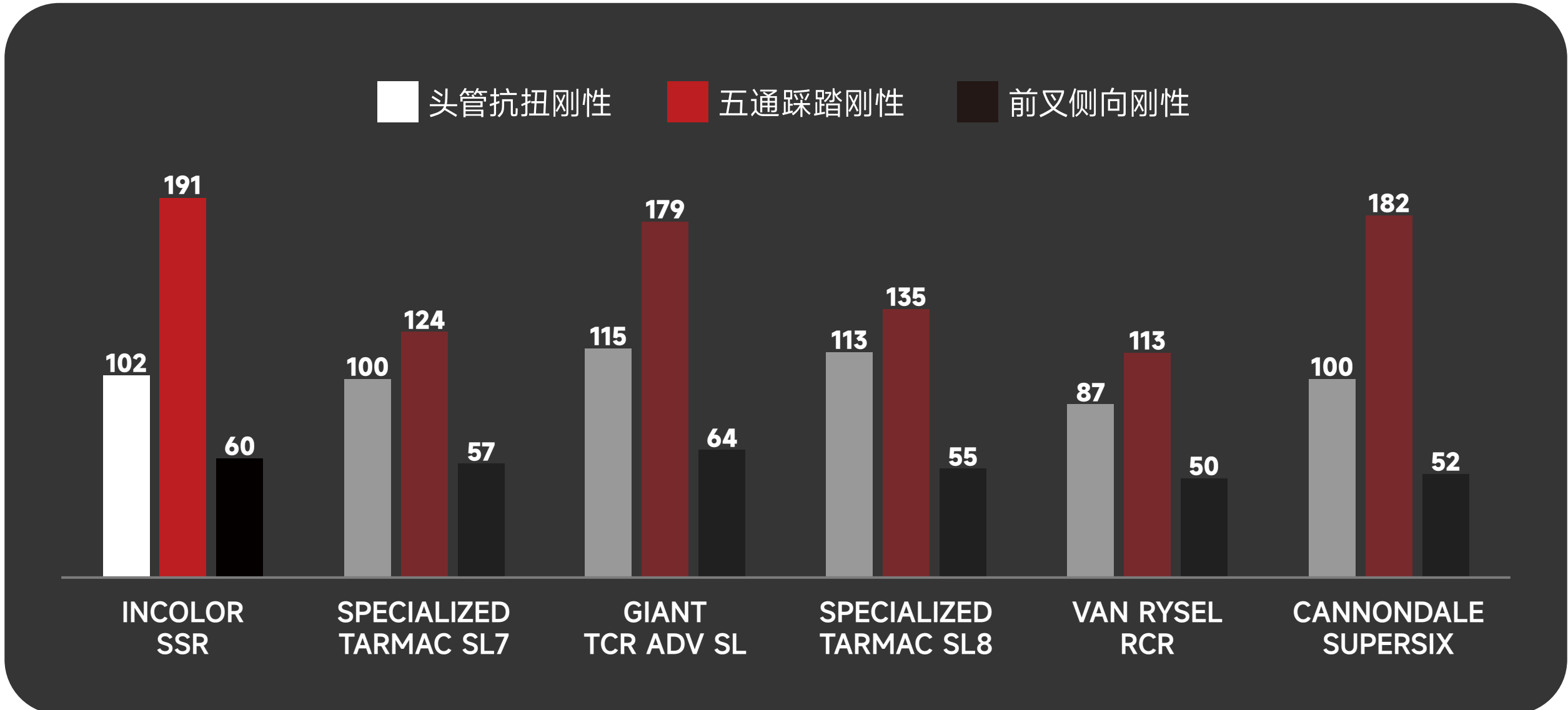
刚性优化



上图可以看到，SSR 的管型横截面非常的窄，这对碳纤维的排叠设计要求非常高。为了能达到足够的刚性，SSR 用了比 SR+ 多三倍的 80T 沥青基刚性纱补强，并采用了特殊的排叠方案以确保刚性。



最终，SSR 相比 SR+ 提升了 5.6% 踩踏刚性，以及提升了 6.9% 的头管刚性。SSR 的刚性和对标车型的数据对比如下:



SSR和市售竞品的刚性数据对比

第七章

舒适性优化

SSR 不仅刚性上的进行了优化，我们还对舒适性进行了一定程度的优化。通过 FEA 进行造型优化，SSR 的后上叉被设计为上粗下细的造型，同时立管下端的截面比 SR+ 的更细；SSR 的后叉碳纤维排叠也进行了改良，最终使得 SSR 的立管垂直刚度从 SR+ 的 310N/mm 下降到 224N/mm，实现了 28% 的垂直顺应性提升。



第八章

重量优化

通过使用轻量化的 ISP 坐杆系统，以及更轻的配件和碗组轴承，SSR 车架组相比于 SR+ 实现了 100g 的减重。具体的列表如下：

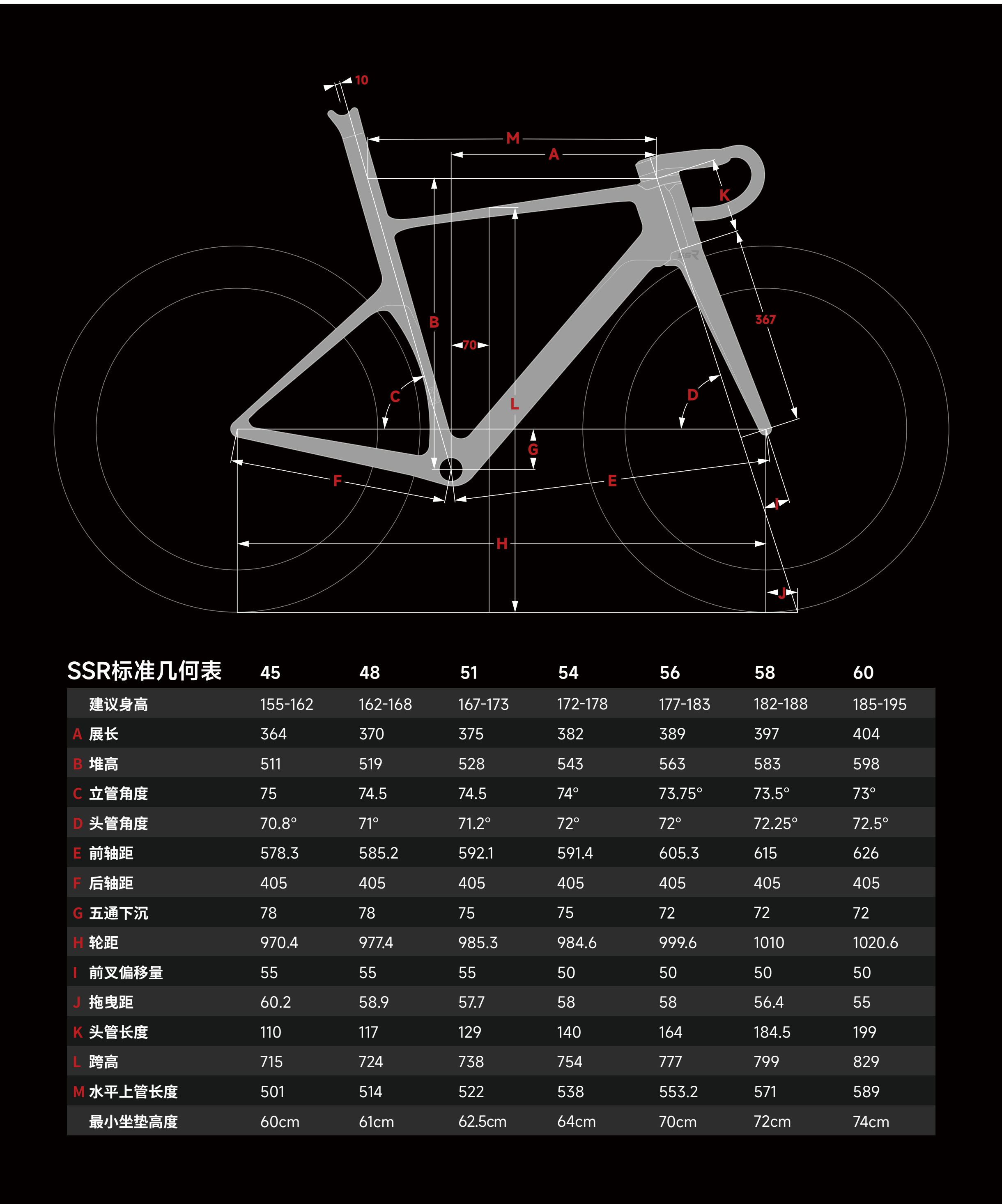
	车架	前叉	坐杆	把组	配件 含筒轴杆、碗组等	总计
SR+	720g	420g	150g	320g	165g	1775g
SSR	750g	440g	50g	320g	128g	1680g

第九章

几何

自行车的几何设定就像汽车的底盘调教一样，影响着整辆车的骑行感受

INCOLOR 在 SPEEDSTER 上独创的几何数据，是这个系列车型的基因和灵魂，我们决定在 SSR 上沿用这套几何设定。通过使用偏大的 72mm-78mm 五通、较小的头管角度以及适中的 trail 值来获取稳定的坐姿踩踏特性，以及良好的高速过弯稳定性，同时，通过使用 405mm 的短后下叉和高踩踏刚性，来获得很好的踩踏效率和对摇车发力的积极反馈。



SSR 的几何包含 45-60 码共 7 个尺寸，7 个尺码对应 7 个不同前叉，覆盖从 155-195cm 身高的骑行者，比 SR 提供多一个 60 码的尺寸，覆盖范围更广。

同时，SSR 还支持一定程度的几何定制，通过改变模具内滑块的形式，实现对 STACK 值的定制，以使得定制版的 SSR 能够减少垫圈的使用量，获得更好的性能和美观度。每一个几何尺码提供激进、适中、舒适三种不同的 REACH 和 STACK 值组合，并可对 ISP 坐杆头进行无限制的高度和后飘值定制。

