

# 揭开世界杯用球 三重浪 的飞行密码

2026年世界杯是历史上首次美国、加拿大和墨西哥三国联合举办的赛事,阿迪达斯为此设计的“三重浪”(Trionda),名称正是对这一历史性组合的致敬。“三重浪”仅由4个拼接块组成,是世界杯历史上拼接块数量最少的官方比赛用球。

设计团队将这一极简结构处理成几何造型“流动的波浪”。4个聚氨酯拼接块以热黏合工艺无缝连接,表面没有传统缝线的凸起,取而代之的是刻意设计的深缝与压纹。每个拼接块呈现红、蓝、绿三色,拼接块上还分别嵌有三国标志性图案,配色以金色点缀收尾,向大力神杯致敬。值得关注的是,“三重浪”全部由深圳一家体育用品工厂生产。其内部的智能球胆同样来自中国,由江苏淮安企业负责制造。

## >> 这只球在空中如何飞行?

充满设计感的外观背后,科学家们则关心另一个问题:这只球在空中如何飞行?2026年3月,发表于国际学术期刊《应用科学》的一项同行评审研究给出了答案。来自美国、韩国、日本的联合研究团队,将“三重浪”与此前四届世界杯用球一同送入风洞,在每秒7米至35米的速度区间逐步测量,精度达每秒约1米一个数据点,采样频率每秒1000次。测试结果令研究者欣慰:“三重浪”的阻力危机临界速度(约11.9米/秒)是5只球中最低的。也就是说,它能在极低的速度下完成从层流到湍流的转变,在绝大多数比赛时间里,它的速度都将处于稳定的湍流状态。这与“三重浪”表面更为粗糙的设计有关。

研究者对“三重浪”的表面几何进行了测量。与历届用球相比,“三重浪”的缝宽和缝深均较大,而每个拼接块上还额外设有3条明显凹槽。这些凹槽的尺度与缝线深度相当,同样构成有效的粗糙元,强化了对边界层的扰动,促使湍流转变提前完成。这一设计有其代价:“三重浪”在湍流区间的阻力系数略高于过去三届世界杯用球。风洞数据显示,在临界速度时,“三重浪”的阻力系数为0.169至0.172,是五款足球里最高的。

为了量化阻力系数差异对实



世界杯用球“三重浪”

图源央视新闻

战产生的确切影响,研究团队模拟了足球飞行轨迹和长度。结果显示,在不施加旋转的条件下,“三重浪”的大力踢球射程要短于前几届世界杯用球,差距可多达15米。不过,他们认为这一差异属于“可察觉但幅度有限”的量级,且实际比赛中绝大多数踢球都带有旋转,马格努斯效应产生的附加升力会部分抵消这一差距。

最重要的还是,“三重浪”临界速度仅11.9米/秒,意味着任何稍具力度的传球或射门都已在临界速度以上,球在空中的飞行将处于湍流稳定区间,轨迹可预判,守门员不必再担心球在飞行途中

突然变向。这也有利于比赛整体的公正性。

低自旋状态下的侧向偏移问题也被关注研究。对于不旋转或极低旋转的球,侧力系数和升力系数即便数值微小,在模拟轨迹中也可能造成接近球门宽度的偏移量。“三重浪”的模拟结果显示,在特定朝向和速度下,侧向偏移可达水平射程的12%左右,这意味着一脚朝正前方踢出的无旋转任意球,在极端情况下可能偏移数米。但研究者强调,这种情况高度依赖球的朝向,且实际比赛中球的旋转会大幅压制此类效应。

## >> 藏在球皮下的芯片

“三重浪”的另一项创新藏在球体内部。2022年卡塔尔世界杯已经引入了连接球技术(Connected Ball Technology),在球的内部悬浮系统中嵌入了一枚惯性测量单元(IMU)芯片,以每秒500次的频率采集球的运动数据,实时传输给视频助理裁判(VAR)系统,辅助越位判定。尽管这种设计能完美保持球体重心的均匀,但在遭受连续、极端的非对称重击时,内部悬挂网络的疲劳与应力传递往往不够理想。

“三重浪”升级了这一技术。芯片不再居中悬浮,而是被嵌入四个拼接块之一的专设内层夹层中,改为侧挂式安装。为补偿这一不对称质量分布,其余三个拼接块内各设有配重块,以维持球的飞行稳定性和质量平衡。这一方案目标是在减少机械悬挂系统复杂性的同时,进一步提高数据

传输精度,让VAR能在更短时间内确认越位判定。理论上,系统甚至可以精确识别球与球员身体部位接触的具体时刻。当然,物理学会平等地对待每一种情况:即使加了配重块,传感架构从中心到表面的转移也会对足球的“脚感”造成影响。

根据经典刚体动力学中计算转动惯量的公式,如果保持球体总质量(m)不变,将原本集中在核心点(半径 $r \approx 0$ )的传感器向外围表皮(半径 $r \approx 11$ 厘米)转移,必然会导致足球整体转动惯量的增大。因此在出脚瞬间,球员(尤其是尝试施加极限旋转时)可能会感到皮球起转时的抗力微弱增加,即更难在瞬间赋予皮球极高的角速度。然而,角动量守恒定律同时表明,一旦具有较大转动惯量的球在空中获得了旋转,它转速衰减的速率将更加平缓。这

意味着“三重浪”在长距离弧线飞行中能够更好地保持轨迹。

对比过去四届的世界杯用球,我们可以看到,追求更圆、更光滑、更“完美”的球,往往带来更不可控的飞行行为;而有意引入粗糙、沟槽和不规则表面,反而能让球的运动更加可预测。“三重浪”是这条路上走得最远的一只球。4个拼接块,史上最少;临界速度11.9米/秒,在最近五届世界杯用球中最低;凹槽设计将粗糙元分布延伸至整个拼接块表面,而不仅仅依赖缝线。

科学家用数据说明,“三重浪”是整体最优秀的一个。当然,他们也留下了谨慎的注脚:所有模拟均在不旋转状态下完成,实际比赛中球的旋转、风向、温度和湿度都会引入新的变量。同时,全新的连接球技术也将迎来实战的考验。

## >> 比赛用球“不断进化”

世界杯早期的比赛用球都是用真皮制成,此前数百年一直如此。真皮足球外层是皮革,内层是一圈橡胶,球很重而且吸水。

1982年,世界杯用球采用了当时最新的防水密封接缝技术,吸水性问题终于取得突破。

1986年,世界杯用球使用了聚氨酯合成材料。

1998年,世界杯用球使用了新型复合泡沫材料。

2014年,世界杯用球工艺已经变得极为复杂,用的复合材料有6层之多。

2018年俄罗斯世界杯,

首次在足球里内置了NFC芯片,可以记录运动轨迹、球员射门等比赛细节。

2022年卡塔尔世界杯,比赛用球升级了内置芯片,实时收集高精度的足球运动数据,再交由人工智能系统进行整合分析,并发送给视频助理裁判(VAR)。

2026年美加墨世界杯比赛用球升级高精度传感芯片,可捕捉毫秒级触球等细微赛场动作,数据联动AI系统,更快更精准辅助VAR完成争议判罚;同时优化球面材质与拼接工艺,球体飞行更平稳,适配多元赛场环境。

## 世界杯相关报道

### “中国造”轻轨列车服务世界杯

115列新型轻轨列车是中国高端轨道交通装备在2026美加墨世界杯中的一次温暖亮相。由中国中车研制的轻轨列车在墨西哥城、蒙特雷、瓜达拉哈拉三座城市以“赛事”状态投入运营。来自全世界的球迷可搭乘“中国造”轻轨列车,便捷抵达世界杯开幕式主场馆及墨西哥各大比赛场地。

作为开幕式主场馆——墨西哥城体育场的直达专线,中国中车为该线路提供的轻轨列车充分考虑了高原环境与雨季特点,搭载再生制动、低噪声通风系统,并强化了无障碍设施,在节能降噪的同时提供更舒适的出行体验。

蒙特雷轻轨1号线直通比赛场馆——蒙特雷体育场,列车在控制系统、能效与运行效率等方面完成升级,为市民和球迷带来更高效、环保、智能的出行体验。瓜达拉哈拉轻轨4号线将南部人口密集区纳入轨道交通网

络,市民球迷可乘坐该线换乘快速公交环线,轻松抵达阿克伦体育场,有效缓解观赛出行难题。

面对墨西哥城高海拔、雨季高湿及赛事瞬时大客流的三重挑战,中车团队启动了“全天候”运营保障服务:建立三级联动响应机制,增派资深服务工程师赴墨值守,设立24小时应急与技术支持团队,以专业、高效、可靠的服务,确保赛事期间列车高强度、高密度、高可靠运行。此外,中国中车还在当地推出“绿色能量站”打卡活动,为球迷提供绿色出行指南,倡导低碳生活方式。

从服务巴西世界杯、里约奥运会到护航北京奥运会、成都世运会,再到此次助力美加墨世界杯,中国中车始终以可靠的产品和用心的服务,为全球顶级赛事提供交通支持。这不仅是中国轨道交通装备服务世界级赛事的又一里程碑,也是中墨务实合作的一个生动缩影。



在墨西哥首都墨西哥城的轻轨列车

图源新华社