



LOUDGEARS

NEURAL FEA SYSTEM

物理信息智能仿真系统

定制锻造轮毂 工程白皮书

VERSION 1.2

下刀切削前，锁定真实路况应力隐患。

终结代工与自建的两难困境，将实车断裂复盘沉淀为路况级仿真模型。典型 2-3 分钟，让品牌方把控真正的工程底线。



01 / THE ENGINEERING DILEMMA

锻造品牌的力学困局

高昂的自建成本 vs 混乱的代工仿真

定制锻造轮毂（Custom Forged Wheels）依赖极具视觉张力的造型和多变的装车参数（不同 ET、PCD、条幅镂空与局部减重）。截面厚度微调 1 毫米，内部载荷路径与应力集中区都会彻底迁移。面对结构验证，品牌方普遍面临两难困境：

困境一：品牌自建 CAE 团队代价沉重且极难落地

软件采购昂贵

COST 01

传统通用商业有限元软件（Ansys / Abaqus）商业许可年费高达 2-4 万美元/席位。

人力成本居高不下

COST 02

聘请专职结构力学工程师还要另付一份全职薪资，搭建并维持基础力学分析岗位的固定年成本通常超过 10 万美元。

协同断层与低效

COST 03

通用 CAE 软件操作极其复杂、单次算例耗时数小时，造型设计师无法直接使用，改图与校核反复脱节。

01 / THE ENGINEERING DILEMMA

困境二：代工厂 FEA 乱象

“假 FEA”与盲目切削

RISK 01

大量中小型代工厂既没有力学工程师，也无部署专业软件；为了接单往往谎称已做分析，甚至拿通用截图应付，实际全凭车间师傅经验直接铣切铝坯。

受力参数混乱随意

RISK 02

即使出具报告，受力点位置、加载方向与边界约束通常也是人工随手设定，缺乏统一的工程规范，结果失去参考价值。

能过台架，不等于上路不裂

RISK 03

多数工厂仅围绕标准的冲击或疲劳台架做局部拼凑与微调，以满足形式上的合规。然而，标准台架无法替代复杂的真实路况（坑洼冲击、过弯侧倾、多轴交变受力），部分通过台架测试的产品在装车实跑后依然发生辐条断裂。

LoudGears 填补这一空白：把道路级结构验证交到轮毂设计师和品牌方手中——快速、标准化，并经真实失效验证。

02 / REAL-WORLD VALIDATION

核心底牌：真实路况与实车断裂印证

“我们不为应付测试，我们只还原真实路面。”

LoudGears 与合作轮毂制造商共同构建：一套经实车工况标定的路况受力模型，并与赛道和道路断裂案例相互印证。

全工况路面动力学还原

不仅涵盖极端冲击与弯曲疲劳，更精准模拟了路面交变载荷与车辆动态侧向加速度。

TÜV 认证轮毂、赛道与道路断裂

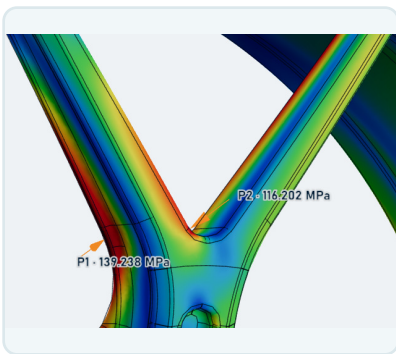
以合作制造商的多款 TÜV 认证轮毂为基准；赛道裂纹与预测 A/B 对比，道路断裂在不提供裂纹位置的情况下盲测复现。

案例 A / 辐条分叉根部开裂

实车在剧烈驾驶后根部开裂；LoudGears 在对应工况下精准复现了此处 139.2 MPa 的异常应力集中（P1 峰值区）。



实物裂纹·根部过渡区



VM 回溯·对应应力热点



02 / REAL-WORLD VALIDATION

案例 B：双点断裂与热点

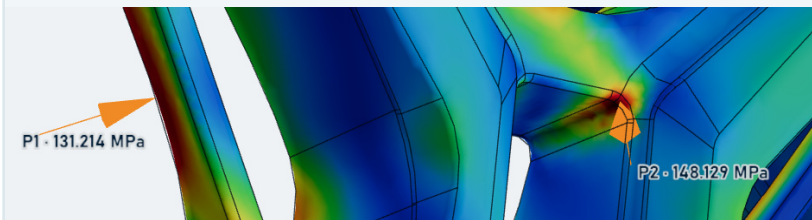
实车在路跑中出现辐条外侧边缘与跨接桥双点开裂；系统在设计阶段即清晰标记出 131.2 MPa 与 148.1 MPa 的双重危险区（P1/P2 热点）。



实物裂纹 ① · P1 区域



实物裂纹 ② · P2 区域



失效后回溯对照：实物裂纹区域与模型应力热点对应。

两个案例都是合作制造商的早期轮毂。从中得到的经验，已融入如今的设计和 LoudGears 本身。



03 / PHYSICS-INFORMED ARCHITECTURE

拒绝“AI 幻觉”的物理硬约束

市面上的纯数据 AI 模型往往只做图像级特征拟合，缺乏物理连续性，容易在关键受力点产生“物理漂移”，甚至遗漏高危应力点。

LoudGears 将图神经算子与可微 Tet10 有限元深度耦合，在分析全程施加物理约束，守住工程底线：

双擎力学驱动架构

01

利用三维几何神经算子实现毫秒级快速推演；所有应力张量与极限变形，均严格依据材料本构与连续介质力学原理直接派生，杜绝黑盒生成的虚假应力。

边界刚性硬约束

02

固定端与螺栓法兰面由底层结构强行施加绝对位移约束，从源头上杜绝传统 AI 在固支区域产生的虚假微变形，保证力矩与合力的绝对物理平衡。

物理自校验引擎

03

模型推演后，系统立即在底层执行物理守恒一致性复核，只有完全符合经典力学平衡条件的工况结果才会被采纳并生成报告。

设计置信度安全标尺

04

当设计师尝试极其激进或超出常规工程经验的极限镂空造型时，系统会主动给出“置信度预警”，提示该结构进入高敏区间，为工程与加工决策提供明确的风险边界。

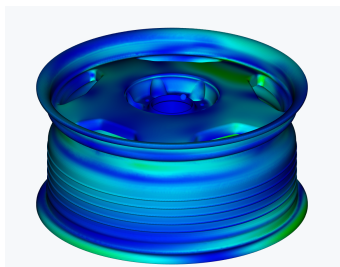


04 / BENCHMARK

与主流商业 CAE 偏差 < 1%

针对标准 5 mm 单元尺寸进行严格的基准测试 (Benchmark)，在完全一致的 CAD 几何、6061-T6 材料、载荷与约束条件下：

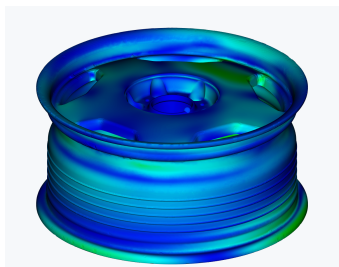
主流商业 CAE



Free-surface Von Mises peak

93.035 MPa

LoudGears 5 mm



Free-surface Von Mises peak

93.377 MPa

0.37%

VM 峰值相对偏差

高应力热点均位于辐条过渡圆角

整机耗时：经验丰富的分析工程师在主流商业 CAE 中估计需要 45-90+ 分钟，常常需要数小时；LoudGears 处理中等复杂度的 STEP 轮毂，在受支持的 GPU 上典型耗时 2-3 分钟，效率提升约 15-45 倍。第 08 页说明原因。

说明：此处为单一案例对比，并非普适精度声明。量产与安全决策仍须遵循企业规范、工程复核及适用的实物测试。

05 / SPEED

为什么快 15–45 倍

速度并非来自在物理上偷工减料，而是去掉人工步骤，并让求解器从接近答案的位置起步。

自动清理、修复与网格划分

01

据行业估计，一次典型 CAE 仿真多达 80% 的时间花在准备模型上：清理、修复 CAD，再手工划分网格。LoudGears 自动、快速、准确地完成这些工作，求解前检查每个网格，并施加车辆载荷。无需网格划分专业知识。

AI 热启动

02

基于轮毂结构训练的图神经算子先预测位移场，让求解器从接近答案的位置起步，而不是从零开始。

由物理完成求解

03

在本地 CPU（有显卡时也可用 GPU）上运行的预条件求解器把真实的有限元残差降到收敛门槛以下。AI 缩短求解，但从不取代求解。

专为轮毂打造

04

轮毂专用的载荷模板、结构区域识别和网格规则，取代了通用 CAE 软件要求您手动完成的设置。

热启动节省的时间随网格规模和硬件而变化；收敛始终以重新计算的真实残差为准。

06 / WORKFLOW

选定车型，2-3 分钟完成路面仿真

无需学习复杂的传统网格划分与力学边界配置，将专业分析能力交还给品牌设计与工程团队。

步骤 1 / 导入轮毂 CAD

INPUT

支持 STEP、IGES 或 Parasolid X_T；自动修复常见导出缺陷，无需手动缝合或划分网格。

步骤 2 / 选择车型与材料

SETUP

内置整车参数库自动匹配载荷、方向与边界条件；选择锻造 6061-T6 铝合金或 AZ80A-T6 镁合金，运行前可核对径向载荷与轮毂扭矩。

步骤 3 / 输出工程报告

RESULT

全场应力、三维变形、失效热点和明确结论，并给出哪里加料、哪里减重的建议。

无论是外观设计师、项目销售还是工程主管，均可在典型 2-3 分钟内获取专业力学评估结果，支撑商务报价与设计定型决策。

前后轮不同尺寸：同一文件中的前轮和后轮按两个轮毂分析；两者外径相差在 1.5% 以内且辐条数相同时，后轮半价。

07 / ENGINEERING ADVICE

不只给结论

每个结果都附有基于规则的工程建议，读自经验证的应力场，让设计师知道下一步怎么做。

设计顾问：哪里需要加料

BELOW TARGET

对每个低于所选材料安全系数目标（6061-T6 为 3.0，AZ80A-T6 镁合金为 2.5）的区域，LoudGears 指出其位置并给出带尺寸的修改建议：加大圆角半径、加深或加宽轮辐，或局部加厚轮缘、胎圈座或轮辋壁。

减重顾问：哪里可以减重

ABOVE TARGET

设计合格后，系统指出可以减重的位置：在 PCD 背面挖槽、减薄轮辋和轮缘、收窄轮辐，并让每个区域保持在该目标之上；减重量按材料密度计算。

交给客户的报告

REPORT

带品牌标识的 PDF：结论、标出峰值的应力视图、每个数值的通俗解读，以及每个区域一页修改建议；减重 PDF 列出每项修改及其预估减重量。

建议从不改变结论。每项修改都需经工程师审核并重新运行。

08 / LOCAL SECURITY

核心资产安全：CAD 绝不出本地

定制锻造品牌的核心生命线在于原创外观造型与新产品专利。

核心图纸零外泄

PRIVATE

几何读取、三维网格生成与力学求解全部在本地 CPU（有显卡时也可用 NVIDIA GPU）上运行，STEP、IGES 和 X_T 文件绝不上云。

普通电脑即可

LOCAL

Windows 11（64 位）、8 核处理器、16 GB 内存。显卡为可选：NVIDIA RTX 3060 或更高只用于加速。无需购买云端算力，安装包已签名。

测试期间免费

CREDITS

测试名额免费。网格失败、运行中止或服务错误都不会消耗 credits。

核心 CAD 图纸留在品牌方本地工作站与内网，设计评估过程由品牌方独立掌控。

09 / COMMERCIAL COMPARISON

四种仿真实现路径横向评估

考量维度	代工工厂 FEA	品牌自建 CAE	第三方 CAE 外包	LoudGears
年化成本投入	表面免费，隐性断裂与召回损失极高。	每年 10 万美元以上；商业软件年费加工程师薪资。	单次上千至万元，多次修改设计成本失控。	测试期间免费，直接使用本地硬件算力。
使用门槛与人员	车间代工师傅，水平参差随意。	门槛极高；需专职结构力学硕士 / 工程师。	依赖外部人员，沟通修改成本高。	零门槛；造型设计师与工程全员开箱即用。
工况真实度	仅按简单台架拼凑，脱离真实路面。	依赖实验室标准工况，缺乏实车失效沉淀。	按单次需求机械化套用标准工况。	以实车断裂案例双向标定，精准还原道路动态受力。
反馈与迭代时效	频繁跨厂沟通，通常等待 2-3 天。	每改一次图求解耗时数小时。	排期与商务沟通需 3-7 天。	典型 2-3 分钟出结果，随时随地实时改图。
商业数据保密	新款图纸流传于代工厂群聊与个人电脑。	内部保密，但维持成本沉重。	核心图纸需外发给第三方机构。	本地离线计算，CAD 图纸绝不入网。
设计建议	最多给出合格 / 不合格。	取决于分析工程师。	每次修改额外收费。	指出哪里加料、哪里减重。



10 / BETA PROGRAM

立即开启：免费 Beta 品牌验证合作

别再让装车上路，成为检验轮毂安全的第一道防线。

LoudGears 现面向定制锻造轮毂品牌方开启限量【免费 Beta 体验计划】。

您可以任选一款已投产的旧款轮毂，或曾经在路况 / 台架上出现过问题的设计，在典型 2-3 分钟内用 LoudGears 进行一次无死角盲测验证，亲眼见证系统是否能精准抓出应力薄弱点。

立即申请 Beta 试用席位

loudgears.com