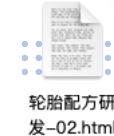
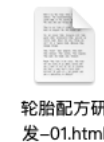


AI助力轮胎配方研发

从传统“试错式”研发到AI“预测式”创新，重塑轮胎材料研发全流程的详细解决方案

AI助力轮胎配方有研发



依托 AI性能预测、智能优化、数据洞察、自适应迭代核心能力，深度挖掘企业轮胎配方研发积淀数据，搭建配方智能决策引擎与全流程自优化闭环体系，精准赋能配方生成、性能预判、迭代调优、落地验证全链路，实现研发效率跃升、实验周期大幅压缩、新品市场响应全面提速。



配方研发

基础配方智能生成

作为配方研发起点，依托 AI 融合算法，结合历史配方、原材料、需求等数据，快速生成符合核心需求的 2-3 组基础配方，经 AI 初筛与人工校验后，输出可进入下一轮的优质基础配方，替代传统经验试配，减少盲目性。

配方性能智能预测

承接基础配方，通过 AI 模型精准预测配方在不同工况、环境下的全维度性能，模拟性能动态变化，判断是否达标，给出调整建议，替代反复试配检测，缩短研发周期、降低成本。

配方迭代智能优化

针对性能未达标或有提升空间的配方，通过 AI 多目标优化算法，平衡性能、成本、工艺等因素，进行多轮智能迭代，生成 3-5 组最优配方，经人工审核后，输出可进入验证环节的最终优化配方。

配方验证落地

通过“虚拟验证+物理验证”结合的方式，验证优化配方的工艺可行性、生产稳定性和实际性能，将验证数据反馈至前序模块优化模型，形成闭环，确保配方顺利批量落地。



PART 01

基础配方智能生成

PROJECT BACKGROUND AND ARCHITECTURE

基础配方智能生成

AI轮胎配方研发智能助手 · 企业专业版

人工智能驱动 · 全维度配方生成 / 性能预测 / 迭代优化 / 验证落地

基础配方智能生成

配方性能智能预测

配方迭代智能优化

配方验证落地

多维度生成条件设置

轮胎类型

轿车轮胎

使用场景

城市道路

性能优先级

耐磨性优先

载重级别

标准载重

气候环境

常温通用

成本预算

中等成本

环保要求

欧盟ROHS标准

AI智能生成配方

AI生成全维度配方结果

原料名称	配比(%)	核心作用	成本等级
天然橡胶	42%	提供基础弹性与强度	中等
合成橡胶SBR	28%	提升耐磨与抗湿滑	中等
炭黑N330	18%	核心补强	低
白炭黑	5%	提升抓地/降滚阻	高
环保软化油	6%	加工软化	中等
增粘树脂	2%	提升粘合	中等
硫化体系	1.8%	交联固化	低
环保防老剂	1.2%	抗老化	中等

适用轮胎: 轿车轮胎

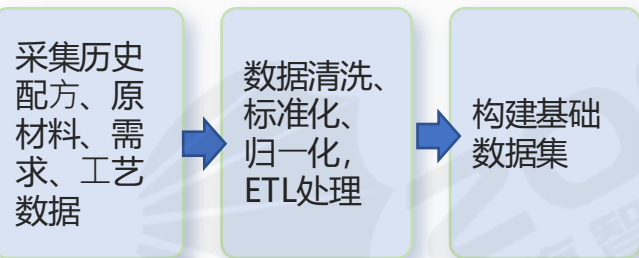
环保标准: 欧盟ROHS

成本定位: 中等成本

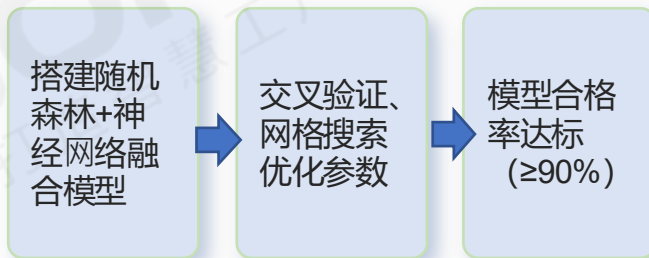
配方密度: 1.12 g/cm³

核心流程

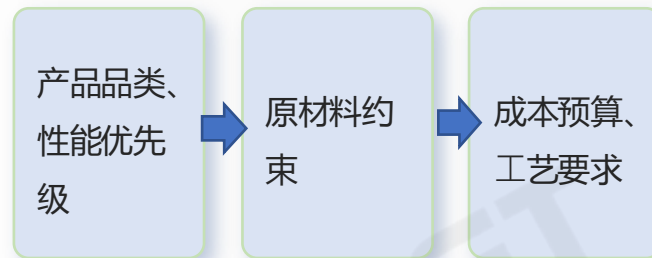
01. 数据采集与预处理



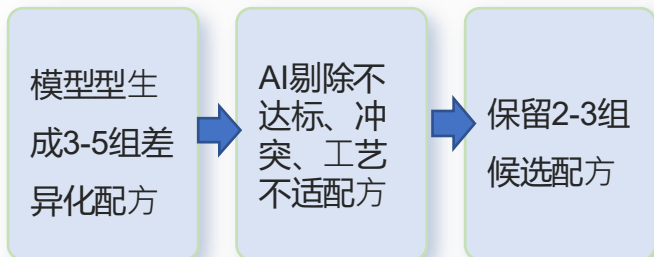
02. AI模型训练与优化



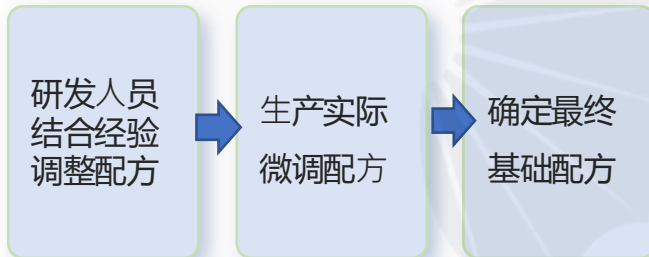
03. 输入需求参数



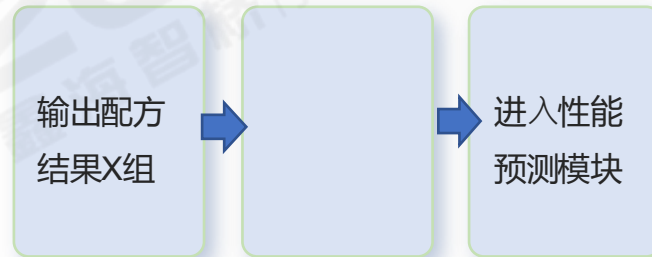
04. AI生成配方



05. 人工校验



06. 输出配方



输入数据和输出结果



输入数据

- **需求参数数据:** 轮胎类型 (乘用车/商用车/特种胎/雪地胎等)、性能目标 (耐磨指数 ≥ 300 、抗湿滑指数 ≥ 1.2 、滚阻系数 ≤ 0.008 、耐高温 $\leq 120^{\circ}\text{C}$ 、耐低温 $\geq -40^{\circ}\text{C}$ 等, 可按需调整)、使用寿命要求 (乘用车 ≥ 8 万公里、商用车 ≥ 15 万公里)、安全标准 (符合GB/T 2978-2014等国家/行业标准)。
- **原材料数据:** **橡胶类** (天然橡胶NR、丁苯橡胶SBR、丁腈橡胶NBR等的型号、门尼粘度、拉伸强度、价格)、**填料类** (炭黑、白炭黑的粒径、比表面积、补强性能、价格)、**助剂类** (硫化剂、促进剂、防老剂、软化剂的类型、用量范围、性能影响、价格)、**其他辅料** (纤维、钢丝的规格、兼容性), 以及原材料库存数量等约束数据。
- **成本数据:** 单套配方成本上限、各原材料单价、加工成本 (混炼、硫化等工序的单位成本)、目标利润率。
- **工艺数据:** 现有生产设备的混炼温度范围 ($100-150^{\circ}\text{C}$)、硫化温度 ($140-160^{\circ}\text{C}$)、硫化时间 ($10-30\text{min}$)、混炼转速等工艺参数, 确保生成配方适配现有生产条件。
- **历史数据:** 企业过往基础配方数据 (各组分用量、配比比例)、配方对应的性能测试数据、不合格配方案例及原因、成功配方的核心特征, 以及行业公开配方数据、专利配方拆解数据。
- **约束条件数据:** 环保要求 (VOC排放限值、重金属含量标准)、政策合规要求 (欧盟REACH法规、国内环保标准)、原材料替代限制 (如禁止使用某类高污染助



输出结果

- **候选基础配方清单:** 3-5组可落地的基础配方, 每组配方包含各组分 (橡胶、填料、助剂、辅料) 的具体用量 (单位: kg/份)、配比比例, 明确标注配方对应的轮胎部位 (胎面胶/胎侧胶/胎体胶)。
- **配方基础信息表:** 每组配方的原材料明细 (型号、规格、用量)、预估成本 (单套配方成本、单位重量成本)、原材料兼容性分析 (是否存在组分冲突)、工艺适配性分析 (是否符合现有混炼、硫化工艺要求)。
- **配方可行性评分:** 从原材料可得性 (库存是否充足、供应是否稳定)、工艺适配性、成本可控性、性能达标预判四个维度, 对每组配方进行0-100分评分, 标注核心优势 (如成本低、原材料易获取) 和潜在风险 (如某助剂用量偏上限、需微调工艺)。
- **原材料替代方案:** 针对每组配方, 提供1-2种可替代原材料方案 (如某型号炭黑缺货时, 可替代的同性能炭黑型号及用量调整建议), 保障配方落地的灵活性, 同时给出替代后的成本变化、性能影响预判。
- **模型生成日志:** 记录配方生成的时间、使用的模型参数、参考的历史配方案例、筛选规则, 便于后续追溯和模型优化, 同时标注生成过程中过滤的无效配方及原因 (如成本超标、原材料不兼容)。

核心AI技术

- **生成式对抗网络 (GAN)**：就是由“生成器”和“判别器”两个AI模型相互“对抗”学习，生成器负责随机生成配方，判别器负责判断生成的配方是否符合要求（参考知识库中的成功配方特征），两者不断迭代优化，最终生成高质量、符合需求的基础配方，就像“厨师（生成器）不断尝试做菜，评委（判别器）不断品尝打分，最终做出符合口味的菜品”。
- **规则约束模型**：相当于“配方筛选员”，内置提前设定的规则（如原材料用量范围、成本上限、工艺适配要求），对生成器生成的配方进行逐一检查，剔除不符合规则的配方，避免无效配方进入下一轮流程，减少研发浪费。
- **数据清洗与特征提取技术**：负责“整理数据”，将企业历史数据、行业数据中的杂乱信息（缺失值、异常值、重复数据、不一致数据、噪声数据）清理干净，提炼出对配方生成有用的关键信息（如橡胶类型、填料比例等），让AI模型能精准学习到配方与性能、原材料的关联规律，同时通过多链方程插补法填补缺失数据，提升数据质量。
- **主动学习技术**：让AI模型“主动选择”最有价值的样本进行学习，比如优先学习那些性能优异、配方特殊的历史案例，减少无效学习，快速提升模型生成配方的质量和效率，避免模型陷入“盲目学习”的困境。

PART 02

配方性能智能预测

PROJECT BACKGROUND AND ARCHITECTURE

基础配方智能生成

AI轮胎配方研发智能助手 · 企业专业版

人工智能驱动 · 全维度配方生成 / 性能预测 / 迭代优化 / 验证落地

基础配方智能生成

配方性能智能预测

配方迭代智能优化

配方验证落地

全原料配方参数输入

天然橡胶 NR (%)

45

合成橡胶 SBR (%)

25

炭黑 N330 (%)

20

白炭黑 SiO2 (%)

5

软化油 (%)

8

树脂 (%)

3

硫化剂 S (%)

1.5

促进剂 (%)

1.5

防老剂 (%)

1

AI全维度性能预测

AI全维度性能预测报告

耐磨性指数

55.5

越高越好

湿抓地指数

38.5

越高越好

滚动阻力

87.5

越低越好

行驶噪音

82.5

dB

生热温度

63.0

°C

邵氏硬度

68.5

HA

综合评分: 44分

配方适用性: 轿车/SUV通用

加工建议: 混炼温度 155±5°C

硫化条件: 150°C×12min

AI综合分析结论: 配方基础性能合格, 建议通过AI优化模块提升核心性能

核心流程

01. 数据拓展与优化

补充性能检测、工况、工艺、原材料批次数据

二次清洗数据, PCA提取关键特征

构建“配方-工艺-环境-性能”关联数据集

02. 性能预测模型搭建与训练

搭建 CNN+LS TM融合模型, 融入混合建模算法

划分训练集、验证集、测试集

调整模型参数, 确保预测准确率 $\geq 95\%$

03. 输入需求参数

输入基础配方与工况、工艺参数

输入基础配方、目标工况、性能标准、工艺参数

成本预算、工艺要求

04. 多维度性能预测

预测静态、动态、环境适应性、工艺适配性性能

生成性能动态变化曲线

虚拟仿真工艺适配性

05. 性能达标判断

对比预测性能与目标

判断是否达标/标准

进入迭代优化模块

06. 不达标处理

标注未达标指标、原因

给出初步调整建议

返回基础配方模块生成/微调配方, 重新

输入数据和输出结果



输入数据

- 基础配方数据:** 候选基础配方的各组分明细 (橡胶、填料、助剂、辅料的型号、用量、配比比例), 配方对应的轮胎部位 (胎面胶/胎侧胶/胎体胶), 配方预估成本。
- 原材料性能数据:** 各原材料的核心性能指标 (橡胶的门尼粘度、拉伸强度、弹性模量; 炭黑的粒径、比表面积、补强效率; 助剂的硫化效率、防老化性能等), 原材料的批次差异数据 (不同批次原材料的性能波动)。
- 工艺参数数据:** 混炼温度、混炼时间、混炼转速、硫化温度、硫化时间、硫化压力等, 以及工艺参数的波动范围 (如混炼温度 $\pm 5^{\circ}\text{C}$), 模拟实际生产中的工艺波动对性能的影响。
- 性能预测需求数据:** 各项性能指标的目标值 (如耐磨指数 ≥ 300 、抗湿滑指数 ≥ 1.2 、滚阻系数 ≤ 0.008 、拉伸强度 $\geq 18\text{MPa}$ 、断裂伸长率 $\geq 500\%$)、性能优先级 (如优先保证耐磨和抗湿滑性能)、性能测试标准 (如GB/T 2978-2014、ISO标准)。
- 历史性能数据:** 企业过往配方的物理测试数据 (各项性能指标的实测值)、配方组分与性能的关联数据、性能异常案例 (如某配方耐磨性能不达标原因)、不同工艺参数下的性能波动数据, 以及行业同类配方的性能数据。
- 环境适应性数据:** 轮胎使用环境参数 (如高温、低温、潮湿、紫外线照射等), 不同环境下的性能衰减要求 (如高温环境下拉伸强度衰减 $\leq 10\%$), 用于预测配方的环境适应性。



输出结果

- 配方性能预测报告:** 每组候选配方的各项性能指标预测值 (耐磨指数、抗湿滑指数、滚阻系数、拉伸强度、断裂伸长率、硬度、耐高温性能、耐低温性能、耐老化性能等), 标注每项性能的单位、预测误差 (如 $\pm 3\%$)、达标情况 (符合/不符合目标值)、达标概率。
- 性能短板分析报告:** 针对未达标的性能指标, 分析短板原因 (如滚阻系数超标是因为某橡胶用量不足、炭黑粒径过大), 通过SHAP值分析, 量化各组分对性能短板的影响权重 (如炭黑用量影响耐磨性能的权重为35%), 明确优化方向 (如增加某橡胶用量、调整炭黑粒径)。
- 性能优先级排序表:** 根据需求参数中的性能优先级, 对每组配方的各项性能进行排序, 标注核心优势性能 (如某配方耐磨性能突出, 达标概率95%) 和薄弱性能, 帮助研发人员快速判断配方的适配性。
- 工艺参数影响分析:** 预测不同工艺参数波动 (如混炼温度升高 5°C 、硫化时间缩短3min) 对配方性能的影响, 给出工艺参数的最优调整范围, 为后续生产工艺优化提供参考, 减少因工艺波动导致的性能不达标。
- 预测精度评估报告:** 记录每组配方的预测精度 (与历史同类配方实测值的对比), 标注模型的整体预测误差 (如平均误差4.2%), 明确模型的适用范围 (如适用于乘用车胎胎面胶配方预测), 便于研发人员判断预测结果的可靠性, 同时为模型后续优化提供依据。
- 配方筛选建议:** 基于预测结果, 推荐2-3组性能最优、达标概率最高的配方, 进入下一轮迭代优化; 对性能不达标、优化空间小的配方, 给出淘汰建议及原因。

核心AI技术

- **随机森林**：相当于“多个决策树一起投票”，由大量决策树组成，每个决策树根据配方组分、原材料性能等特征，预测轮胎性能，最终取所有决策树的预测结果平均值作为最终预测值，优点是预测精度高、能处理多特征数据，还能判断每个特征（如炭黑用量）对性能的影响程度，就像“多个专家一起判断，最终综合大家的意见得出结论”。
- **神经网络**：模拟人类大脑的神经元结构，由输入层、隐藏层、输出层组成，能处理配方组分与性能之间的复杂非线性关系（如多种助剂协同作用对性能的影响），弥补随机森林处理非线性关系的不足，提升预测精度，就像“大脑通过学习大量案例，形成复杂的判断逻辑，精准预测结果”。
- **特征工程技术**：负责“提炼关键信息”，从杂乱的配方数据、原材料数据中，提取出对性能预测有用的特征（如配方组分比例、原材料的核心性能参数），剔除无用信息，让AI模型能更精准地学习到“组分-性能”的关联规律，减少冗余数据对模型的干扰。
- **交叉验证与超参数调优**：交叉验证是将数据集分成多组，反复训练和测试模型，避免模型“过拟合”（只适应训练数据，不适应新数据）；超参数调优是调整模型的核心参数（如决策树数量、神经网络层数），让模型达到最优预测效果，就像“不断调试机器的参数，让机器运行更稳定、更精准”。
- **SHAP值分析技术**：用于解释AI模型的预测结果，能清晰展示每个配方组分对性能指标的影响程度（正面影响/负面影响、影响权重），让研发人员明白“为什么这个配方的耐磨性能好”“为什么滚阻系数不达标”，解决AI模型“黑箱”问题，提升预测结果的可信度。

PART 03

配方迭代智能优化

PROJECT BACKGROUND AND ARCHITECTURE

基础配方智能生成

AI轮胎配方研发智能助手 · 企业专业版

人工智能驱动 · 全维度配方生成 / 性能预测 / 迭代优化 / 验证落地

基础配方智能生成

配方性能智能预测

配方迭代智能优化

配方验证落地

多目标智能优化设置

原始配方编号

FORMULA-2025-0001

成本控制要求

不限制

AI迭代计算次数

300次 (标准)

核心优化目标 (可多选)

提升耐磨性
提升抓地力
降低滚动阻力
降低行驶噪音
降低生热
提升拉伸强度

AI多目标迭代优化

AI优化完成 - 最优配方方案

原料名称	原始配比(%)	优化配比(%)	调整幅度
天然橡胶	42%	45%	+3.0%
合成橡胶	28%	26%	-2.0%
炭黑N330	18%	16%	-2.0%
白炭黑	5%	8%	+3.0%
软化油	6%	4.5%	-1.5%
增粘树脂	2%	2.5%	+0.5%
硫化体系	1.8%	1.7%	-0.1%
防老剂	1.2%	1.3%	+0.1%

全维度性能提升对比

耐磨性提升

+22.4%

优化效果

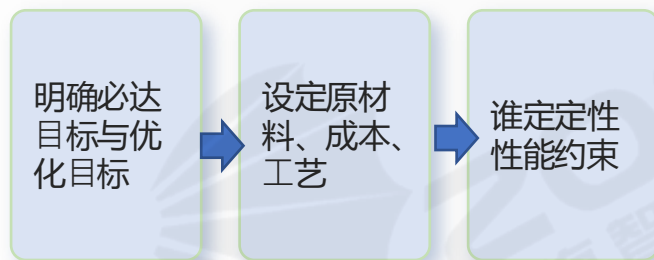
抓地力提升

+15.7%

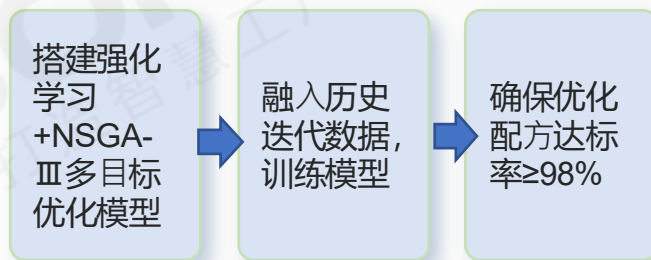
优化效果

核心流程

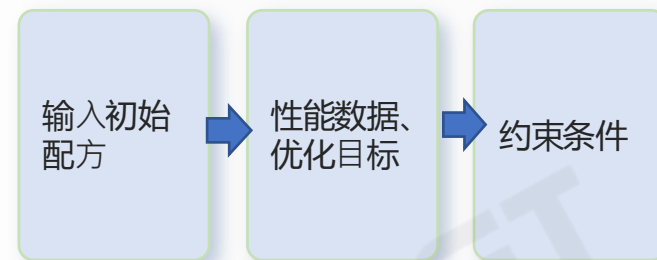
01. 设定优化目标和约束条件



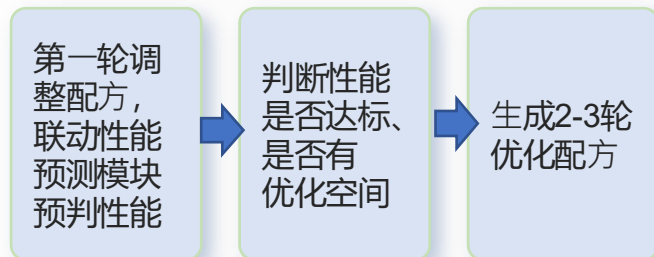
02. 迭代优化模型搭建与训练



03. 输入需求参数



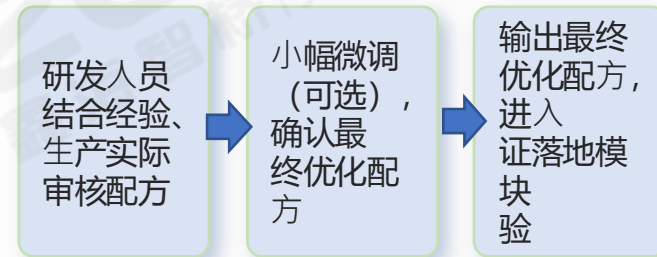
04. 多轮智能迭代优化-1轮



05. 多轮智能迭代优化-2轮



06. 人工审核与确认



输入数据和输出结果



输入数据

- **初始配方数据:** 性能预测模块筛选出的最优候选配方 (组分明细、用量、配比比例), 配方对应的性能预测结果。
- **性能短板数据:** 性能短板分析报告、各组分对性能的影响权重 (SHAP值)、未达标的性能指标及目标值, 性能提升目标 (如耐磨性能提升10%、滚阻系数降低5%)。
- **约束条件数据:** 原材料用量约束 (各组分的最小/最大用量范围)、成本约束 (优化后配方成本 \leq 初始配方成本或 \leq 成本上限)、工艺约束 (优化后配方需适配现有混炼、硫化工艺)、环保约束 (VOC排放、重金属含量达标)、原材料库存约束 (优化配方所用原材料库存充足)。
- **原材料数据:** 各原材料的单价、性能参数、兼容性数据, 原材料替代方案 (如某组分无法调整时的替代材料及用量), 原材料价格波动数据 (用于成本测算)。
- **工艺数据:** 现有生产工艺参数 (混炼、硫化等)、工艺参数的调整范围, 工艺波动对性能的影响数据, 确保优化配方能适配现有生产工艺, 无需大规模改造设备。
- **迭代参数数据:** 迭代次数 (如3-5轮)、性能提升阈值 (如每轮性能提升 \geq 3%)、成本控制阈值 (如成本上升 \leq 2%), 用于判断迭代是否终止, 避免无效迭代。
- **多目标优化权重数据:** 各优化目标的权重 (如性能提升权重60%、成本控制权重30%、工艺适配权重10%), 根据企业研发优先级调整, 确保优化方向符合企业战略需求。



输出结果

- **最优优化配方清单:** 1-2组最终优化配方, 包含各组分的明细 (型号、用量、配比比例)、与初始配方的差异 (如某填料用量增加5%、某助剂用量减少3%), 明确配方对应的轮胎部位和适用场景 (如乘用车胎面胶、商用车胎体胶)。
- **配方迭代优化报告:** 记录每轮迭代的配方变化、性能预测结果、性能提升幅度、成本变化; 明确最终优化配方与初始配方的对比 (性能提升百分比、成本变化金额/百分比), 标注优化的核心方向 (如调整炭黑用量提升耐磨性能、调整橡胶比例降低滚阻)。
- **性能达标确认报告:** 最终优化配方的各项性能预测值、达标情况、达标概率, 确认所有性能指标均符合需求参数, 性能提升幅度达到预期目标 (如耐磨性能提升12%、滚阻系数降低6%), 同时预测不同环境下的性能稳定性。
- **成本与工艺适配分析:** 优化配方的预估成本 (单套成本、单位重量成本)、与初始配方的成本对比 (如成本降低3%或持平); 工艺适配性分析 (是否符合现有生产工艺、是否需要调整工艺参数、调整建议), 确保配方能顺利落地生产。
- **迭代优化日志:** 记录每轮迭代的时间、模型参数、优化策略、筛选结果, 标注每轮迭代淘汰的配方及原因 (如性能提升不足、成本超标); 同时记录模型优化过程中的调整, 为后续同类配方迭代提供参考, 形成可复用的优化经验。
- **风险提示与应对建议:** 针对优化配方可能存在的风险 (如某组分用量调整后, 原材料兼容性风险、工艺波动导致的性能不稳定风险), 给出应对建议 (如调整原材料配比、优化工艺参数), 确保配方落地过程中无重大风险。

核心AI技术

- **遗传算法**：模拟生物进化的“优胜劣汰”规律，将配方组分用量作为“基因”，通过“交叉、变异、选择”三个步骤，生成大量配方组合，筛选出性能优、成本低的配方作为下一代迭代样本，不断优化，最终找到最优配方，就像“自然界中，优秀的基因不断遗传、变异，最终进化出最适应环境的生物”。
- **贝叶斯优化**：基于概率模型，通过不断学习“配方调整-性能变化”的规律，精准预测下一次调整的最优方向（如调整某组分用量多少能达到最佳性能），减少无效调整，提升迭代效率，就像“通过不断尝试，总结经验，精准判断下一步该怎么做才能达到最好的效果”。
- **多目标优化算法**：同时兼顾多个优化目标（如提升性能、控制成本、适配工艺），在多个目标之间找到平衡，避免“单一目标最优，其他目标不达标”（如只追求性能提升，导致成本大幅上升），就像“平衡工作和生活，既要做好工作，又要兼顾生活质量”。
- **目标函数构建技术**：将企业的优化需求（如性能提升10%、成本不上升）转化为AI模型可识别的数学公式，明确各优化目标的权重，让模型知道“优先优化什么、次要优化什么”，确保优化方向符合企业需求，避免模型优化偏离核心目标。

PART 04

配方性能智能预测

PROJECT BACKGROUND AND ARCHITECTURE

基础配方智能生成

AI轮胎配方研发智能助手 · 企业专业版

人工智能驱动 · 全维度配方生成 / 性能预测 / 迭代优化 / 验证落地

基础配方智能生成

配方性能智能预测

配方迭代智能优化

配方验证落地

✓ 全流程配方验证与生产落地

选择验证配方

AI优化最终配方

验证阶段

实验室小试

验证项目 (可多选)

物理性能全项
老化耐久性
动态模拟路况
生产工艺适配

启动全流程验证

🏭 配方验证落地完整报告

📊 验证进度

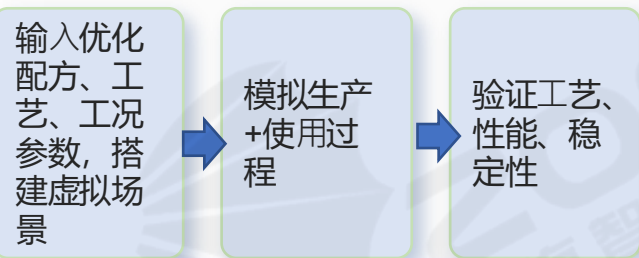
✓ 全流程验证合格!

- ✓ 物理力学性能: 全部合格
- ✓ 湿地抓地/滚阻/噪音: 达到设计指标
- ✓ 热氧老化性能: 优异
- ✓ 高速耐久测试: 通过
- ✓ 加工工艺适配性: 完全兼容

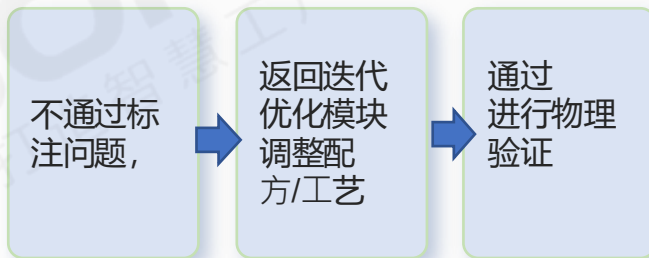
🔥 量产建议: 该配方全维度验证合格, 可直接批量生产!

核心流程

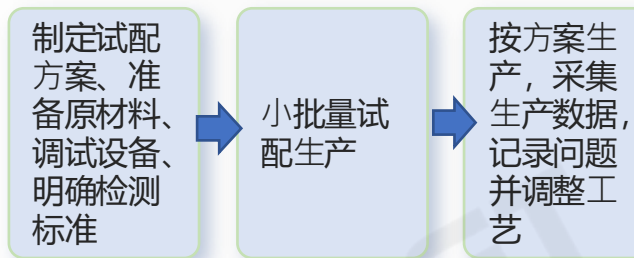
01. 虚拟验证



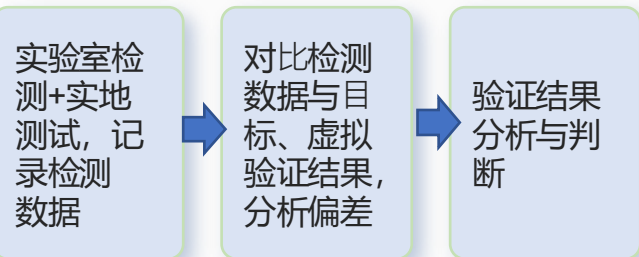
02. 验证结果处理



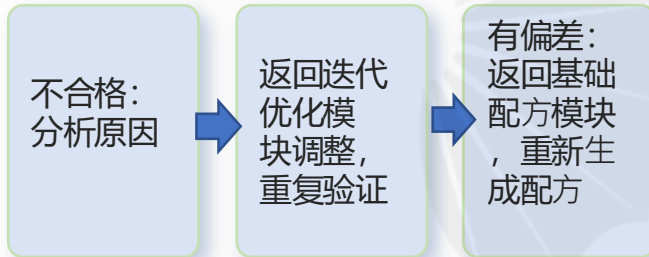
03. 物理验证准备



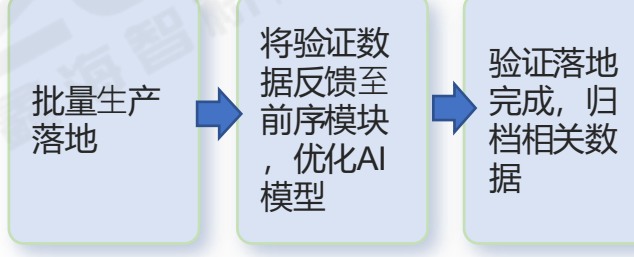
04. 物理性能检测



05. 不符合落地要求



06. 符合要求



输入数据和输出结果



输入数据

- **优化配方数据:** 配方迭代优化模块输出的最优优化配方 (组分明细、用量、配比比例)、迭代优化报告、性能预测结果, 配方的成本数据、工艺适配建议。
- **验证方案数据:** 物理测试项目 (如耐磨、抗湿滑、滚阻等)、测试标准 (GB/T 2978-2014等)、测试条件 (温度、湿度、测试时长)、测试样本数量, 中试生产工艺参数、批量生产工艺参数, 验证周期要求。
- **实验室测试数据:** 样品制备数据 (混炼、硫化参数)、各项物理测试的实测值、测试过程中的异常数据 (如样品破损、测试仪器故障)、样品微观结构图像 (如TEM/SEM图像), 测试人员、测试时间等基础信息。
- **中试生产数据:** 中试生产的工艺参数 (混炼温度、混炼时间、硫化温度、硫化压力等)、生产过程中的异常数据 (如胶料混炼不均匀、设备故障)、中试产品的性能测试数据、原材料消耗数据, 中试生产的批次信息。
- **批量生产数据:** 批量生产的工艺参数、生产批次信息、产品抽检数据 (各项性能实测值)、原材料批次数据、生产设备运行数据、产品合格率数据, 生产过程中的异常情况 (如性能波动、原材料短缺)。
- **历史验证数据:** 企业过往配方的验证数据 (物理测试数据、中试数据、批量生产数据)、验证过程中的问题及解决方案、预测数据与验证数据的差异分析, 行业同类配方的验证标准和数据。
- **反馈需求数据:** 前序模块的模型优化需求 (如性能预测模型的误差修正需求、配方生成模型的优化需求), 知识库补充需求, 确保证据数据能有效支撑前序模块优化。



输出结果

- **配方验证落地报告:** 全面总结验证过程 (实验室测试、中试生产、批量生产), 包含验证数据与AI预测数据的对比、性能达标情况 (实测值是否符合目标值)、生产可行性分析、成本核算结果、稳定性监测结果 (不同批次产品性能波动范围), 明确配方是否可批量落地生产。
- **物理测试报告:** 详细记录实验室物理测试的各项实测值、测试条件、测试结果分析, 与AI预测结果的误差 (如平均误差4.5%), 误差原因分析 (如原材料批次差异、测试条件波动), 样品微观结构分析结果 (如填料分散均匀度对性能的影响), 以及测试过程中出现的问题及解决方案。
- **生产工艺优化报告:** 中试生产、批量生产的工艺参数优化建议 (如调整混炼时间至15min、硫化温度至150°C), 生产过程中的异常问题及解决方案 (如胶料混炼不均匀, 调整混炼转速), 确保批量生产的稳定性和效率, 同时给出原材料管控建议 (如控制原材料批次差异)。
- **数据反馈报告:** 整理验证数据, 明确反馈至前序模块的内容 (如性能预测模型的误差数据、配方优化模型的调整建议), 补充到企业知识库的数据清单, 为AI模型优化提供支撑, 同时记录数据反馈的流程和时间节点。
- **配方落地结论与后续建议:** 明确优化配方是否可批量生产 (如“可批量落地, 性能达标、成本可控、生产稳定”); 针对落地过程中出现的问题, 给出后续改进建议 (如微调某组分量、优化生产工艺参数); 同时给出配方的市场应用建议 (如适配乘用车胎高端市场), 为企业市场决策提供参考。
- **模型优化方案:** 基于验证数据与预测数据的差异, 给出前序三个模块AI模型的优化方案 (如调整性能预测模型的超参数、优化配方生成模型的规则约束), 明确模型优化的步骤、时间节点和预期效果 (如将性能预测误差降低至3%以内), 持续提升AI模型的精度和可靠性。

核心AI技术

- **数据对比与误差分析技术：**自动对比AI预测数据与物理测试、生产验证的实测数据，计算误差值，分析误差产生的原因（如原材料批次差异、工艺参数波动、测试仪器误差），就像“自动对比预测值和实际值，找出差异，分析为什么会有差异”，无需人工逐一对比，提升分析效率和准确性。
- **实时监测与异常预警技术：**实时采集批量生产过程中的工艺数据、性能数据，AI模型通过分析数据变化趋势，提前预警性能异常（如某批次产品滚阻系数超标），及时提醒工作人员调整工艺参数，避免批量不合格产品产生，就像“AI当‘生产监督员’，实时盯紧生产过程，发现问题及时报警”。
- **数据复盘与模型迭代技术：**将验证数据整理、分析，自动反馈至前序AI模型，调整模型参数，优化模型性能，让模型从验证数据中学习经验，提升后续配方生成、性能预测、迭代优化的精度，就像“AI通过复盘总结，不断提升自己的能力，下次预测和优化更精准”。
- **测试方案优化技术：**基于历史验证数据，AI模型自动筛选核心测试项目，优化测试顺序，减少冗余测试，在保证测试精度的前提下，降低测试成本和时间成本，就像“AI当‘测试规划师’，合理安排测试流程，避免做无用功”。

AI研发提升带来效益

市场需求变化指数 VS 研发能力线性增长指数

理解材料 → 性能 → 设计 → 工艺 → 应用之间的关联，以优化轮胎性能（滚阻、耐磨、抓地力），通过正向预测+反向优化双引擎，实现“性能-配方”智能闭环

配方达成率

单次实验成本降低

开发周期缩短

原材料成本将

企业研发能力 指数提升

品牌、市场等带来的
隐形价值提升不可估量

正向预测

维度	AI驱动机制	指标
实验成本节约	减少物理实验轮次	单次实验成本降低 年开发配方节约
研发周期压缩	快速筛选可行配方	开发周期缩短 紧急需求响应提速
资源利用优化	降低原材料/能耗浪费	实验材料消耗减少 设备占用时间下降
隐性收益	加速新材料评估	可持续材料验证周期缩短 (如生物基橡胶、硅烷化白炭黑)

反向优化

维度	AI驱动机制	指标
成功率收益	精准匹配目标性能	配方达标率提升至
合规风险规避	自动规避法规冲突	年合规成本节约 罚金风险下降
材料成本优化	多目标平衡减少冗余	原材料成本降低 贵价材料(如硅烷)用量优化
市场响应溢价	快速满足定制需求	高溢价产品(如EV轮胎)上市提速

AI

Thanks

为客户创造新的价值!