

Research on the Design and Prevention of Automotive R&D Process Based on Big Data Analysis

Yunling Zhu

Anhui Jianghuai Automobile Group Co., Ltd., Hefei, Anhui, 230601, China

Abstract

In contemporary times, as the automotive industry is transforming towards intelligence, electrification, and connectivity, the complexity and uncertainty of the R&D process have significantly increased. The traditional R&D model based on experience in the automotive industry has become difficult to cope with multi-dimensional risks and challenges. This article takes the entire life cycle of automotive R&D as the research object and explores the application path of big data analysis technology in the design, prevention and optimization of the automotive R&D process. By building a multi-source data fusion system covering market demand, simulation testing, supply chain, and historical fault analysis and avoidance, and combining machine learning, data mining and other algorithms, the identification, assessment and prediction of potential risks in the early stage of R&D can be achieved. Form a closed-loop optimization mechanism of “data-driven - risk early warning - design iteration”. Research shows that big data-driven design prevention and optimization can reduce the design change rate in the later stage of R&D by 25%, shorten the R&D cycle by more than 15%, and lower quality losses by over 20%, providing theoretical and practical references for automotive enterprises to improve R&D efficiency, control costs, and enhance product competitiveness.

Keywords

Big data analysis; artificial intelligence; Automotive research and development; Design prevention; Risk identification; whole life cycle

基于大数据分析的汽车研发过程设计预防研究

朱云凌

安徽江淮汽车集团股份有限公司, 中国 · 安徽 合肥 230601

摘 要

当代随着汽车产业向智能化、电动化、网联化转型, 研发过程的复杂性与不确定性显著提升, 传统汽车行业基于经验的研发模式已难以应对多维度风险挑战。本文以汽车研发全生命周期为研究对象, 探讨大数据分析技术在汽车研发过程设计预防优化中的应用路径。通过构建涵盖市场需求、仿真测试、供应链及历史故障分析与规避的多源数据融合体系, 结合机器学习、数据挖掘等算法, 实现对研发早期潜在风险的识别、评估与预测。形成“数据驱动-风险预警-设计迭代”的闭环优化机制。研究表明, 大数据驱动的设计预防优化可将研发后期设计变更率降低25%, 缩短研发周期15%以上, 质量损失降低20%以上, 为汽车企业提升研发效率、控制成本、增强产品竞争力提供理论与实践参考。

关键词

大数据分析; 人工智能; 汽车研发; 设计预防; 风险识别; 全生命周期

1 引言

汽车研发是一项融合机械工程、电子信息、材料科学等多学科的复杂系统工程, 具有周期长 (通常 3-4 年)、投入大 (单车型研发成本超 8 亿元以上)、风险点多 (涉及设计、测试、供应链等环节) 的特点。在传统研发模式中, 设计决策多依赖工程师经验, 问题识别往往滞后于设计阶段, 导致后期产品变更成本递增是概念设计阶段的 100 倍以上。

随着大数据、人工智能等技术的发展, 汽车研发正从“经验驱动”向“数据驱动”转型。一方面, 研发过程中产生的

仿真数据、测试数据、CAE 分析数据量级呈爆发式增长; 另一方面, 市场端的用户反馈数据、竞品分析数据、供应链数据等外部数据可实时接入研发体系。

本文聚焦汽车研发过程中的设计预防优化, 通过分析大数据技术在概念设计阶段、方案计划阶段、设计开发阶段和量产验证阶段等关键阶段的应用场景, 提出基于大数据的设计预防优化框架, 旨在为汽车研发提供创新思路。

2 汽车研发过程的核心阶段与传统痛点

汽车研发全生命周期可划分为概念设计阶段、方案计划阶段、设计开发阶段和量产验证阶段四个核心阶段, 各阶段均存在不同的风险与传统模式下的优化痛点。

【作者简介】朱云凌 (1979-), 男, 中国安徽歙县人, 本科, 工程师, 从事工商管理研究。

2.1 概念设计阶段

该阶段主要确定产品的需求和备选概念，完成市场需求分析、产品定位及造型方案确定等，是完成系统需求，研发方向的关键决策期。

该阶段传统痛点：需求分析依赖市场调研问卷与专家判断，样本量有限且主观性强，易导致“需求误判”。

2.2 方案计划阶段

该阶段主要完成总体方案和详细项目计划，完成总布置方案设计、完成各子系统方案发布、完成架构与系统设计等，通过完善商业计划，形成合同基准，导入产品投资决策管理理念。

该阶段传统痛点：各子系统设计团队数据孤立，缺乏协同优化机制，易出现“设计冲突”。例如，动力系统在底盘的布置空间的合理性问题，往往在后期设计验证阶段才发现，需重新调整方案设计，不光延误研发进度，还会造成开发成本的增加。

2.3 设计开发阶段

该阶段主要完成产品开发和系统集成测试，将方案设计转化为具体的工程图纸，涉及车身结构、动力系统、热管理系统、电子电气架构等细节设计，通过 CAE 仿真、台架测试、性能试验及可靠性验证等手段验证设计方案的可行性，是发现设计缺陷的重要环节，从而达到小批量生产条件。

该阶段传统痛点：故障数据反馈滞后，难以追溯问题根源。样车测试中出现的故障多依赖工程师经验排查，缺乏对历史故障数据的关联分析，导致同类问题在不同车型研发中重复出现。

2.4 量产验证阶段

该阶段主要完成产品客户环境验证和制造一致性验证，可获得满足量产要求的产品。通过对制造一致性验证，达成批量生产条件。

该阶段传统痛点：量产制造过程匹配类问题突出，尺寸链及零部件尺寸波动大，即使零部件符合正态分布，也因各子系统零部件偏差累积导致匹配超差，出现面差超差及间隙不均匀等问题。

3 大数据分析在汽车研发设计预防优化中的应用路径

针对传统研发模式的痛点，大数据分析技术可通过数据融合、算法建模与实时预警，在研发各阶段实现“提前识别、主动预防、动态优化”的设计预防优化模式。

3.1 概念设计阶段：需求预测与产品定位优化

在汽车研发过程中，可以通过整合市场端多源数据，构建用户需求预测模型，为产品定位提供数据支撑。

收集数据来源：用户社交媒体评论、汽车论坛帖子、电商平台购车评价、竞品销售数据、政策法规数据（如新能源汽车补贴政策）。

人工智能分析方法：采用自然语言处理（NLP 是人工智能的核心分支，旨在让计算机理解、处理并生成人类语言，

实现人机间的自然沟通）技术对非结构化文本数据进行情感分析与关键词提取，识别用户对车辆动力、智能座舱、安全性能等维度的关注焦点；结合时间序列分析算法，预测市场需求趋势。

设计预防优化效果：提前锁定用户核心需求，避免因产品定位偏差导致的研发方向错误。例如，某新能源车企通过分析用户评论数据，发现用户对“续航里程真实性”的关注度远超“最大续航”，遂在研发中改进电池技术、完善热管理系统、优化能量回收技术，并重点优化低温续航衰减等问题，以降低能耗，提高车辆续航里程的真实性，使得产品上市后获得市场认可。

3.2 方案计划阶段：协同设计与冲突预警

在汽车研发过程中，构建研发数据中心，打破子系统数据壁垒，实现设计过程的协同优化与冲突预警。

各数据来源：各子系统设计团队数据、BOM(物料清单)数据、DG0 数据、供应商零部件参数数据。

子系统冲突分析方法：采用图数据库技术构建零部件关联关系模型，实时监测不同子系统设计参数的兼容性；通过关联规则挖掘算法，分析历史设计冲突数据，识别易发生冲突的设计环节（如“电池包体积”与“后排空间”的关联冲突），并提前预警。

设计预防优化效果：将设计冲突识别从设计开发阶段和量产验证阶段提前至方案计划阶段，减少后期变更成本。某车企引入该机制后，方案计划阶段的冲突识别率提升 35%，后期设计变更次数减少 25%。

3.3 设计开发阶段：测试场景拓展与缺陷预测

在汽车研发过程中，利用大数据技术拓展仿真测试场景，构建缺陷预测模型，提升测试的全面性与前瞻性。

测试数据来源：实车路试数据（如 GPS 轨迹、传感器数据）、仿真测试数据（如碰撞仿真、NVH 仿真数据）、历史故障数据、极端天气与路况数据。

场景构建分析方法：通过聚类算法对实车路试数据进行场景划分，生成覆盖城市道路、高速、山区等复杂场景的仿真测试工况；利用机器学习算法（如随机森林、神经网络），以仿真参数为输入，历史故障数据为标签，构建设计缺陷预测模型，提前识别潜在风险（如车身结构强度不足、电子控制系统响应延迟）。

设计预防优化效果：使得人工智能化下仿真测试场景覆盖率提升 30% 以上，潜在缺陷识别率提升 50%，避免因测试不充分导致的量产风险。

3.4 量产验证阶段：故障溯源与根因分析

在汽车研发过程中，通过构建量产故障数据知识库，实现故障的快速溯源与根因分析，避免同类问题重复发生。

量产数据来源：量产样车测试故障数据（故障现象、发生时间、工况）、零部件检测数据、供应商质量数据、历史车型故障维修数据等。

故障分析方法：采用故障树分析（FTA）与数据挖掘结合的方法，将故障现象与设计参数、零部件质量、测试工况等数

据关联，定位问题根因；利用知识图谱技术构建故障知识库，当新故障发生时，通过相似度匹配算法推荐历史解决方案。

设计预防优化效果：故障排查时间缩短 60%，同类故障在后续车型研发中的重复发生率降低 50%。

4 基于大数据的汽车研发设计预防优化框架构建

结合上述应用路径，本文构建“数据层-算法层-应用层-决策层”四层架构的设计预防优化框架，形成研发全生命周期的闭环优化。

4.1 数据层：多源数据融合与治理

在汽车研发过程中，数据层作为框架的基础，负责整合研发全流程的内外部数据，解决数据“孤岛”问题。

并通过物联网（IoT）设备采集实车测试数据，通过 API 接口对接市场数据平台、供应链管理系统（SCM），实现数据实时接入。

采用数据清洗、数据标准化、数据脱敏等技术，确保数据质量；构建数据库存储结构化数据（如 BOM 表）与非结构化数据（如仿真报告），为设计分析提供统一数据支撑。

4.2 算法层：模型构建与迭代

算法层是基于大数据分析汽车研发过程设计预防的核心，负责构建适用于不同研发阶段的分析模型。

基于大数据构建模型类型：涵盖需求预测模型、设计冲突预警模型、缺陷预测模型、故障根因分析模型等。

通过实时接入的新数据，不断迭代更新数据库，并采用人工智能在线学习算法对模型进行动态更新，提升模型预测准确率。例如，随着新的故障数据产生，缺陷预测模型的准确率可从初始的 60% 逐步提升至 90% 以上。

4.3 应用层：场景化功能落地

应用层是数据中心将算法层的分析结果转化为具体的研发工具，支撑产品工程师日常的设计工作。

其核心应用主要通过，需求分析看板、协同设计平台、仿真测试场景生成工具、故障诊断智能系统等。

4.4 决策层：战略支持与流程优化

产品的研发过程中，领导作用尤为重要。决策层为企业管理层提供研发过程的全局视图，支撑研发战略决策与流程优化。

在决策支持方面，可以通过“仪表盘”式图表，展示研发进度、风险分布、成本控制等关键指标，帮助管理层实时掌握研发状态。

在流程优化方面，可以基于大数据分析结果，识别研发流程中的瓶颈环节，如试验测试周期过长、量产制造零部件一致性水平不足等，并推动流程重构，提升整体研发效率。

5 案例分析：某新能源车企研发设计预防优化实践

某国内头部新能源车企为应对电动化转型中的研发挑战，引入大数据分析技术构建研发预防优化体系，具体实践如下：

数据融合：构建企业级研发数据中心，整合市场需求数据（5000 万 + 用户评论）、仿真测试数据（10 亿 + 条 CAE 数据）、测试验证数据（性能试验数据、可靠性试验数据、及各种环境适应性测试数据）、供应链数据（2000+ 家供应商参数）及历史故障数据（10 万 + 条故障记录）等。

模型构建：在概念设计阶段，通过 NLP 技术识别用户对“充电速度”的需求增长，将 800V 高压快充系统纳入核心设计目标；在方案计划阶段，通过关联规则挖掘，提前预警“电机布局”与“底盘离地间隙”的设计冲突，避免后期变更；在设计开发阶段，基于实车路试数据生成 200+ 复杂测试场景，发现电池包在高温高负荷工况下的热失控风险，并优化散热设计。在量产验证阶段，基于构建的设计预防及前期车型缺陷故障的模型分析及规避，其零部件生产一致性水平提高了 25%，公差匹配类问题下降了 35%，零部件报废率下降了 40%。

实施效果：该车企新车型研发周期从 36 个月缩短至 26 个月，研发后期设计变更率降低 28%，新车上市后故障率较上一代车型下降 35%，市场满意度提升 20%，验证了大数据驱动设计预防优化的实际价值。

6 结语

本文通过分析汽车研发各阶段的传统痛点，提出了基于大数据分析的设计预防优化路径，并构建了四层架构的优化框架。研究表明，大数据技术可有效打破研发数据壁垒，实现从“事后补救”向“事前预防”的转变，显著提升研发效率、降低成本、改善产品质量。

未来，随着人工智能、边缘计算、数字孪生等技术的发展，汽车研发设计预防优化将呈现三大趋势：一是实时性更强，边缘计算技术可实现测试数据的实时分析与预警，进一步缩短风险响应时间；二是智能化更高，结合数字孪生技术，可构建虚拟研发环境，实现设计方案的全场景模拟与优化；三是协同性更广，通过工业互联网平台，实现车企与供应商、用户的实时数据共享，构建开放的研发生态。

汽车企业应加快大数据技术在研发领域的落地应用，以数据驱动研发模式创新，在激烈的市场竞争中占据先机。

参考文献

- [1] 中国汽车工业协会. 2023年中国汽车产业发展报告[R]. 北京: 中国汽车工业协会, 2023.
- [2] 李明, 王健. 大数据在汽车研发质量控制中的应用研究[J]. 汽车工程, 2022, 44(5): 78-85.
- [3] Zhang H, Li Y. Data-Driven Quality Prediction for Automotive R&D Process Using Machine Learning[J]. Journal of Manufacturing Systems, 2021, 59: 210-220.
- [4] 王涛. 新能源汽车研发过程的质量闭环管理体系构建[J]. 中国质量, 2023(3): 67-70.
- [5] Apache Flink官方文档. Real-Time Stream Processing with Flink[EB/OL]. <https://flink.apache.org/>, 2024.
- [6] 江汽IPD流程知识手册. 安徽江淮汽车集团股份有限公司