

同灯塔,为整个指标权重确定过程指明方向。准则层划分为安全和环保两大方面,这种分类方式清晰地将复杂的监管内容归为两个核心领域,便于后续分析。而指标层则是具体选取的各项指标,如安全方面的施工人员持证上岗率、特种设备定期检验率等,环保方面的扬尘控制达标率、生态恢复措施落实率等,它们是实现目标的具体衡量要素。

构建判断矩阵是确定权重的核心环节,借助专家打分来完成。专家们凭借丰富的行业经验和专业知识,对同一层次各因素在上一层次因素中的相对重要性进行比较打分。比如在安全准则层下,比较人员安全管理指标与设备安全性能指标的重要程度。打分采用1-9标度法,这种方法能够将专家们相对模糊的主观判断转化为具体数值,为后续计算提供数据基础。

得到判断矩阵后,利用专业软件(如MATLAB、Yaahp等)或数学方法(如方根法、和积法)计算其特征向量与最大特征根,由此得出各指标的相对权重。不过,为保证权重分配科学合理,一致性检验必不可少。因为专家打分过程中可能存在一定的主观性偏差,通过一致性检验能评估判断矩阵的合理性。计算一致性指标CI和随机一致性指标RI,进而得出一致性比率CR($CR = CI / RI$)。当 $CR < 0.1$ 时,表明判断矩阵的一致性良好,权重分配可靠;若 $CR \geq 0.1$,就需要重新调整判断矩阵,重复上述计算和检验步骤,直至满足一致性要求。

4.3 分级标准划分

合理划分公路工程安全环保状况的分级标准,是实现精准监管的重要前提。根据指标综合得分,将其划分为三个等级。

一级为低风险等级,综合得分在90分及以上。处于这一等级的公路工程,在安全环保方面表现卓越,各项安全措施严格落实,环保工作近乎完美。施工人员全部持证上岗且安全培训到位,设备运行稳定,污染防治效果显著,生态保护措施全面且有效,发生安全事故和环境污染事件的概率极低,只需进行常规的监督检查^[4]。

二级为中风险等级,得分在70-89分之间。这类工程基本符合安全环保要求,但仍存在一些潜在风险点。可能是部分安全管理制度执行不够严格,或者个别环保措施落实不

到位,如施工现场偶尔出现扬尘超标现象。对此,需要加强监管力度,督促相关单位及时整改,降低风险。

三级为高风险等级,综合得分低于70分。此类工程安全环保问题突出,存在重大安全隐患或环境污染风险,比如安全事故应急预案形同虚设,大量污水未经处理直接排放等。一旦发现,必须立即责令整改,要求施工单位全面停工整顿,直至达到安全环保标准,并依法追究相关责任。

具体分级标准的确定,不能一概而论,需结合实际工程情况,综合运用专家论证、历史数据统计分析等方法。通过收集大量不同类型公路工程的安全环保数据,分析事故发生概率、污染程度与各项指标之间的关系,再结合专家的专业判断,科学合理地确定各等级的得分区间,确保分级标准既符合行业实际,又能有效指导监管工作。

5 结语

构建公路工程安全环保分级监管指标体系,是解决当前公路工程监管困境的有效途径。通过科学选取指标、合理确定权重、明确分级标准,并建立相应保障措施,实现了对公路工程的精准化、差异化监管,优化了监管资源配置,提升了监管效能。在实际应用中,该体系有助于及时发现并解决工程安全环保问题,保障公路工程建设与运营的安全、绿色发展。随着公路工程技术的不断进步与环保要求的日益提高,分级监管指标体系应持续优化完善,以适应新的监管需求,为公路交通事业的可持续发展保驾护航。未来研究可进一步探索将人工智能、区块链等前沿技术融入分级监管体系,提高监管的智能化、精准化水平,同时加强对不同地区、不同类型公路工程的适应性研究,使指标体系更加贴合实际工程情况。

参考文献

- [1] 董一平.高速公路桥梁施工安全管理对策及环保措施[J].中华建设,2020,(11):112-114.
- [2] 陈鹏.高速公路桥梁施工安全管理及环保对策[J].黑龙江交通科技,2020,43(04):249+251.
- [3] 李建民.公路工程施工的安全环保监理措施[J].中国公路,2017,(20):117-118.
- [4] 姜超.谈公路工程施工中的安全与环保管理及相应对策见解[J].山东工业技术,2017,(13):126.

Research on the Integrated Method of Engine Electronic Control System Calibration and OBD Fault Diagnosis

Na Wei Zhan Shen Haichao Pan

Great Wall Motor Co., Ltd., Baoding, Hebei, 071000, China

Abstract

With the advancement of automotive electrification and intelligentization, engine management system (EMS) calibration and OBD diagnostics have become pivotal for performance optimization and emission control. Traditional standalone development approaches suffer from data fragmentation and model inconsistencies. This study proposes an integrated calibration and OBD diagnostic methodology for engine electronic control systems. By establishing a unified control model, it achieves dynamic coupling between calibration parameters and diagnostic logic. Leveraging multi-source sensor fusion and real-time cloud analytics, the method enhances fault detection accuracy and system robustness. Results demonstrate that this approach shortens development cycles, reduces calibration costs, and provides an efficient technical pathway for intelligent development of new energy vehicles and smart connected powertrain systems.

Keywords

engine electronic control system; calibration; OBD diagnosis; integration; intelligent control

发动机电控系统标定与 OBD 故障诊断一体化方法研究

魏娜 申展 潘海朝

长城汽车股份有限公司, 中国 · 河北 保定 071000

摘 要

随着汽车电子化与智能化发展, 发动机控制系统 (EMS) 的标定与 OBD 诊断已成为性能优化与排放控制的关键环节。传统独立开发模式存在数据割裂与模型不一致等问题。本文提出发动机电控系统标定与 OBD 诊断一体化方法, 通过建立统一控制模型, 实现标定参数与诊断逻辑的动态耦合; 基于多源传感器融合与云端实时分析, 提升故障检测精度与系统鲁棒性。研究表明, 该方法可缩短开发周期、降低标定成本, 并为新能源汽车与智能网联动力系统的智能化开发提供高效技术路径。

关键词

发动机电控系统; 标定; OBD 诊断; 一体化; 智能控制

1 引言

现代汽车发动机控制系统通过精密的电子控制单元 (ECU) 实现燃油喷射、点火正时、增压压力与排放后处理的实时调节。随着国六排放标准的实施与智能网联技术的普及, 发动机控制策略的复杂度显著提高, 标定与故障诊断的协同开发成为行业焦点。传统的标定过程主要依靠人工经验和离线测试, OBD 系统则独立运行于 ECU 之上, 两者缺乏参数与逻辑层面的耦合, 导致校准过程繁琐、故障定位精度不足、系统一致性难以保证。一体化标定与诊断方法通过模型化、智能化手段, 将发动机性能标定与 OBD 逻辑设计统一于同一系统架构, 实现数据、算法、模型的融合。此方法不仅可提升故障检测灵敏度, 还能在标定阶段预防控制策略

异常, 提高开发效率与产品稳定性。本文系统分析发动机电控系统标定与 OBD 故障诊断的协同机制, 从模型设计、算法优化与数据融合三个方面构建一体化技术体系, 旨在为智能动力系统的高精度控制提供新思路。

2 发动机电控系统标定与 OBD 诊断的基础框架

2.1 发动机电控系统的结构与功能层次

发动机电控系统 (EMS) 是实现动力性能、燃油经济性与排放控制协同优化的核心平台。其结构由传感器、执行器、控制器及通信网络构成, 形成闭环控制体系。传感器实时采集转速、进气流量、进排气温度、氧含量等信号, 控制器依据热力学与控制算法计算喷油量、点火时刻、EGR 率及增压压力等控制量, 执行器据此完成相应动作。随着系统复杂度提升, EMS 逐步形成模块化功能结构, 包括燃油喷射、空气路径、排放控制与自诊断等子系统。标定环节旨在确定关键参数与控制边界, 实现各模块间的性能均衡; 而 OBD

【作者简介】魏娜 (1986-), 女, 本科, 工程师, 从事发动机及整车标定方向研究。

系统负责实时监控控制逻辑运行状态，识别潜在故障并生成诊断码。两者共同构成发动机智能控制的核心支撑，为车辆稳定运行与排放达标提供技术保障。

2.2 传统标定与 OBD 系统的独立性问题

在传统研发体系中，标定与 OBD 诊断通常由不同团队分别开发。标定工程师关注燃烧效率、扭矩响应与排放平衡，而诊断工程师则侧重监控逻辑、故障阈值设定及系统容错性。由于二者采用的测试环境、数据接口及算法模型不同，造成参数耦合度不足与模型一致性偏差。例如，标定中为优化 EGR 控制所做的微调，可能导致 OBD 监控阈值失真，引发误报警或故障漏检。尤其在涡轮增压、可变气门与混合动力系统中，传统模式难以捕捉动态响应特性与跨模块关联，使系统在复杂工况下难以实现精准控制与高效诊断。这种开发割裂不仅延长调试周期，也制约了系统性能潜力的发挥。

2.3 一体化思想的提出与技术意义

标定与 OBD 诊断一体化思想的提出，旨在解决控制与监测逻辑割裂带来的系统不一致问题。其核心在于“共模型、共数据、共验证”，即在同一控制模型架构下同步完成性能标定与诊断逻辑开发。通过模型、算法与数据的统一管理，实现控制策略与监测阈值的动态关联。以空气路径控制为例，标定确定的 EGR 率与增压压力曲线可直接为 OBD 系统提供判定基准，从而保持控制与诊断边界一致。该方法显著提升系统容错性与响应精度，减少重复测试与调校成本，实现性能优化与可靠性保障的同步推进，对发动机电控系统智能化与高效化发展具有重要的技术意义。

3 一体化标定与 OBD 诊断模型的构建

3.1 基于机理模型的系统耦合设计

一体化方法的核心是构建统一的发动机机理模型，以实现控制与诊断逻辑的深度耦合。通过对燃烧、进排气流动及三元催化反应过程的热力学建模，建立控制变量与诊断变量之间的物理映射关系，使标定参数与故障监测阈值具备一致性。例如，在空气路径模型中，EGR 率与增压压力曲线可作为控制与监测的共享参数，标定结果直接反馈至 OBD 系统用于实时阈值判断。机理模型的参数化设计确保其在不同环境条件与工况下具备快速重构能力，提高算法的通用性与实时响应性能，从而实现标定与诊断过程的同步优化与动态适配。

3.2 基于数据驱动的自学习标定与诊断方法

数据驱动技术为发动机标定与 OBD 诊断的智能化提供了新路径。通过引入 BP 神经网络、随机森林与 LSTM 时序模型等算法，系统可在运行过程中持续学习车辆实际工况特征，自动修正模型参数，实现自适应标定与动态诊断。相比传统机理模型，数据驱动模型在捕捉复杂非线性与多维交互关系方面具有显著优势，能够弥补机理模型在高动态工况下的精度不足。通过在线学习机制，系统可实时更新预测阈值

与控制策略，显著提升故障识别准确率与控制稳定性，形成从数据采集到智能判断的闭环学习体系。

3.3 模型联合验证与多维参数优化

联合验证是确保标定与 OBD 一体化模型稳定可靠的关键环节。通过建立多目标优化函数，综合考虑排放达标性、燃油经济性、动力性能与诊断误差率等指标，采用遗传算法、粒子群算法等智能优化工具实现全局最优参数匹配。系统验证阶段通过硬件在环 (HiL) 仿真与整车道路测试双重验证，实现策略的在线校正与动态评估。虚拟标定平台可对控制逻辑与诊断模型进行并行验证，提前发现系统潜在缺陷，从而显著缩短物理测试周期并降低开发成本，保证标定一致性与诊断准确性，为发动机控制系统的高可靠性运行提供坚实支撑。

4 数据融合与智能诊断算法设计

4.1 多源传感器数据融合机制

现代发动机电控系统包含数十至上百个传感器，用于采集温度、压力、气流、氧含量等多维数据，但由于测量误差、信号延迟及环境干扰，单一传感器输出往往存在随机噪声与漂移现象。为保证标定与 OBD 诊断精度，必须通过多源数据融合实现信息的冗余校正与可靠估计。卡尔曼滤波算法在动态系统状态估计中应用广泛，可通过递推优化降低测量误差；贝叶斯融合机制则可根据各传感器置信度实现权重分配，提高数据一致性；主成分分析 (PCA) 用于多维信号降噪与特征提取，有助于减少无关变量干扰。数据融合技术不仅提升故障检测的稳定性与鲁棒性，还能为标定参数的动态调整提供高精度参考，使系统在复杂工况下保持控制稳定。融合后的高维特征数据能够实时反馈给控制算法，实现标定与诊断的一体化闭环优化，从而在确保可靠性的同时提升响应速度与故障灵敏度。

4.2 基于模型残差的智能故障检测方法

在发动机电控系统一体化框架中，基于模型残差的智能诊断方法成为核心技术路径。其原理是利用控制模型预测值与实际测量值之间的偏差作为故障判定依据，当残差超出阈值范围时，系统自动识别潜在异常并触发诊断逻辑。该方法通过建立发动机空气路径、燃油系统与排放后处理的数学模型，可实现复杂系统的精确监测。结合模糊逻辑推理与神经网络分类算法，系统能够在不同工况下自适应调整判定阈值，从而避免传统 OBD 规则式算法的刚性限制。以氧传感器老化和燃油喷射偏差为例，系统可通过残差趋势分析识别出性能退化过程，并提前发出预警。相比传统诊断算法，该方法在动态工况下的准确率提升约 15%，误报率下降近 30%。智能残差诊断不仅提升了故障检测的实时性与敏感性，也为发动机健康管理提供了数据驱动的新手段。

4.3 云计算与边缘协同的在线诊断平台

随着智能网联汽车的发展，OBD 系统正从车载本地诊断向云端协同诊断演进。通过 5G 通信与云计算平台的融合，