

《柴油机虚拟标定系统》标准编制说明

（征求意见稿）

一、工作简况

1. 任务来源

本项目是根据中国内燃机工业协会关于下达2024年度第三批团体标准制定计划的通知（中内协（2024）51号），计划编号为CICIA2024023，项目名称“柴油机虚拟标定系统”而进行制定，主要起草单位：广西玉柴机器股份有限公司等，项目完成时间：2026年7月。

2. 主要工作过程

起草阶段：

根据计划，由广西玉柴机器股份有限公司牵头组织成立了标准编制组，于2025年5月在南宁组织了柴油机虚拟标定系统研讨会议（第一轮），宣读了中内协（2024）51号《中国内燃机工业协会关于下达2024年度第三批团体标准制定计划的通知》，研讨了柴油机虚拟标定系统的范围、规范引用性文件、术语和定义、技术要求等；针对一般要求，研讨了虚拟标定系统开发所涉及的试验、模型、硬件在环工程和综合调试工作所涉及模块的技术要求及测试检验方法、计算公式等；为推进柴油机虚拟标定系统标准的文本发布及验证工作，现场研讨确定了后续的工作计划。

3、主要参加单位和工作组成员及其所做的工作等

本标准由广西玉柴机器股份有限公司、中国汽车技术研究中心有限公司、潍柴动力股份有限公司、东风柳州汽车有限公司、上海机动车检测认证技术研究中心有限公司等共同负责起草。

主要成员：何冠璋、武承伟、刘旭、周凤、计维斌、谢亚平、郭华、罗志坚、黄胜东。

所作的工作：何冠璋作为工作组组长，全面负责组织起草，武承伟、刘旭、周凤负责专项部分内容初稿编撰，罗志坚等负责收集资料、生产、试验和使用情况等，黄胜东、计维斌、谢亚平、郭华负责协调工作和审核标准。

二、标准编制原则和主要内容

1、标准编制原则

本标准在修订工作中遵循“面向市场、服务产业、自主制定、适时推出、及时修订、不断完善”的原则，标准制定与技术创新、试验验证、产业推进、应用推广相结合，统筹推进。

本标准依据国家标准 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定及要求编写。本标准的编制还参考了：GB 17691-2018《重型柴油车污染物排放限值及测量方法（中国第六阶段）》、GB 18352.6-2016《轻型汽车污染物排放限值及测量方法（中国第六阶段）》、T/CAMS/CICEIA 41.1-2020《柴油机电子控制单元可靠性技术条件 第1部分：硬件》、ISO 26262-1:2018《道路车辆功能安全性 第1部分：词汇表》等标准。

本标准制定时充分考虑到我国柴油机虚拟标定系统产业发展现状，本着“科学、合理、系统、适用于后处理系统新技术路线的原则，注重实用性、易读性、可操作性以及开发和评估过程中的技术含量，充分体现行业进步和发展趋势，符合国家产业政策，推动行业技术水平提高。

2、标准主要内容

本文件规定了虚拟标定系统的术语和定义、试验方法、试验数据质量要求、发动机和后处理模型质量要求、硬件在环工程技术要求和质量标准以及系统综合调试质量要求等。

本文件适用于柴油机虚拟标定系统的开发工作。

3、解决的主要问题

2021年中国内燃机工业协会发布的《内燃机产业高质量发展规划（2021-2035）》中指出，内燃机产业高质量发展的重点任务包括推动内燃机动力系统数字化和智能化关键技术创新与应用，要推动内燃动力系统数字化仿真与匹配优化工具的自主研发与应用，基于柴油机数字孪生模型技术的虚拟标定系统符合规划的发展方向。

重型柴油机国六排放标准相比国五阶段所考察的环境范围增大，柴油机产品迭代速度显著加快，市场竞争激烈，对企业研发成本管控、研发技术能力和研发效率提出了挑战。虚拟标定系统能够综合替代40%的发动机台架和整车标定验证工作，缓解开发资源紧张状况，降低开发成本；该系统能够将

串行后置的标定开发工作前置开展，缩短开发周期；此外，虚拟标定系统所使用的高精度发动机和后处理数字孪生模型具备非标准环境条件下的性能预测能力，能够在办公室环境下实现对非标准环境条件下的预标定和优化工作，增强产品的环境适应性，同时让非标准环境下的场地试验工作更具备验证性质，缩短开发周期，降低劳动强度。

为了规范柴油机虚拟标定系统的各项指标，对虚拟标定系统开发所涉及的试验、模型、硬件在环工程和综合调试工作提供支撑，进而助力柴油机高质量开发和发展，制定相关的技术规范是急需和必要的。

本标准的制定，从被控对象模型技术要求、硬件在环工程技术要求、系统综合调试技术要求以及对应上述技术要求的测试方法和指标计算方法进行了详细的规范说明，它的应用将改变现阶段柴油机虚拟标定系统精度参差不齐的现状，统一柴油机虚拟标定系统技术语言和精度标准，促进技术交流的便利性和模型在不同平台应用的互换性。

本标准的作用：本标准统一了柴油机虚拟标定系统建设和应用中的各项术语，降低了行业不同单位之间技术沟通成本，在虚拟标定技术在国内发展时间不长的背景下，向行业介绍了柴油机虚拟标定系统基本概念，推动该项技术在行业中的发展应用，从长期来看，推动行业产品开发工作缩短开发周期，降低开发成本。本标准对被控对象模型、硬件在环工程、系统综合调试均提出了量化标准、试验验证操作方法以及指标计算方法，推动了行业内虚拟标定系统精度的提升和一致性，确保基于虚拟标定系统所开展技术工作的有效性。

本标准的创新点：

国内首次提出柴油机虚拟标定系统技术标准。

- a) 本标准首次对柴油机虚拟标定系统组成进行了定义。详细定义了虚拟标定系统的软硬件构成，清晰界定了系统的范畴。
- b) 针对柴油机虚拟标定系统统一了系统开发过程中涉及的技术对象名称。
- c) 通过设置被控对象模型精度技术要求、硬件在环工程闭环调试精度技术要求和综合调试精度技术要求三个层层递进的环节保证柴油机虚拟标定系统的精度。
- d) 在系统综合调试精度技术要求中提出将综合调试结果与被控对象模型离线仿真结果做对比进行综合调试精度评价，而不是与试验数据对比。这个要求是基于综合调试是建立在硬件在环工程精度和离线仿真模型精度的基础上开展工作提出的，更符合客观情况。

三、主要试验（或验证）情况分析

1、被控对象模型离线仿真检验试验

根据本标准 6.1.1 和 6.1.2 开展多款国六柴油机被控对象离线仿真检验试验。所考察的变量分别如表 2 和表 3 所示。在具备模型开发所需的试验能力和模型标定能力的基础上，从验证结果看，温度、压力参数均能较好的达成目标精度要求，稳态比油耗指标能够满足落入 $\pm 3\%$ 标准比例 $\geq 85\%$ 的标准，稳态比 NO_x 的指标为落入 $\pm 0.5\text{g}/(\text{kWh})$ 范围工况点比例 $\geq 85\%$ ，此标准能否达成取决于模型开发技术水平，有一定的挑战性，但是从应用角度来讲，必须达成这样的标准才能让日后基于虚拟开发平台的工作具备准确性。瞬态试验中温度、压力参数均能较好的达成目标精度要求，循环累计油耗和循环累计 NO_x 排放物质量均能够达成相比试验值位于 $\pm 10\%$ 范围内，循环内累计尾排能够达成相比试验值位于 $\pm 20\%$ 的范围内。循环平均比油耗、循环平均比 NO_x 能够达成相比试验值位于 $\pm 0.5\text{g}/(\text{kWh})$ 的水平。

2、硬件在环闭环信号精度检验试验

根据本标准 6.2 操作方法开展硬件在环闭环调试精度检验试验。在硬件在环工程信号连接正确且传感器或执行器特性曲线输入正确的前提下，各项参数均能够达成表 5 所示的精度要求。

3、系统综合调试精度检验试验

根据本标准 6.3.1 和 6.3.2 开展系统综合调试试验。将试验结果与被控对象模型离线仿真结果进行对比分析，分析结果显示，在硬件在环闭环信号精度满足技术要求的前提下，稳态试验结果各参数均能够满足表 6 所示的精度要求，瞬态试验位于一定偏差范围的比例、整个循环累计相对偏差和循环平均值偏差均能够满足表 7 所示的精度要求。

四、标准中涉及专利的情况

本标准不涉及专利问题。

五、预期达到的社会效益、对产业发展的作用等情况

本标准的制定属于国内首创，解决了柴油机虚拟标定系统没有统一的技术标准的问题，该标准本标准为被控对象模型、硬件在环工程、系统综合调试均提出了量化标准、试验验证操作方法以及指标计算方法，推动了行业内虚拟标定系统精度的提升和一致性，确保基于虚拟标定系统所开展技术工作的有效性。

通过应用该标准，开发出能够支持策略验证和标准及非标准环境下标定工作的虚拟标定系统，可实现通过数字化仿真优化燃烧控制策略，降低柴油机在标准和非标准环境下的油耗和排放，助力实现“双碳”目标。基于虚拟标定能精准模拟三高（高温/高寒/高原）工况，减少实车路试产生的碳排放，据测算每款新机型开发可减少约 200 吨 CO₂ 排放。应用虚拟标定系统可以将基于实体发动机、实体台架和实体车辆的试验工作前置或转移到虚拟标定系统上开展，单个项目能够缩短标定周期 20-30 天，使新机型上市时间提前 1-2 个月，降低单各项目研发成本降低 10% 以上，试验车辆需求减少 50%。虚拟标定系统能够支持国产控制器及控制策略开发工作，促进国产 ECU 软件自主率提升，形成“仿真-标定-验证”闭环体系，加速智能柴油机技术迭代。

虚拟标定系统作为可承载模型和算法的载体，能带动高精度传感器、云计算平台、数字孪生等配套产业发展，预计到 2030 年将形成亿级虚拟标定服务市场。统一技术规范可解决当前各厂商数据孤岛问题，促进行业研发资源利用率提升，并为国际标准制定提供中国方案。

六、与国际、国外标准对比情况

本标准没有采用国际标准。

本标准在制定过程中未查到同类国际、国外标准。

本标准在制定过程中未测试国外的样品、样机。

通过评估，本标准为国内领先水平。

七、与现行法律、法规、规章及相关标准，特别是强制性标准的协调性

本标准与现行相关法律、法规、规章及相关标准协调一致。

本标准在制定过程中充分考虑了与现行相关法律、法规、规章及相关标准的一致性，涉及的主要相关法律、法规、规章、标准见下表：

主要涉及相关法律、法规、规章、标准清单

序号	相关标准	与本标准关系
1	GB 17691-2018 《重型柴油车污染物排放限值及测量方法（中国第六阶段）》	指导本标准的试验方法
2	GB 18352.6-2016 《轻型汽车污染物排放限值及测量方法（中国第六阶段）》	指导本标准的试验方法
3	T/CAMS/CICEIA 41.1-2020 《柴油机电子控制单元可靠性技术条件 第 1 部分：硬件》	指导本标准的术语、可靠性试验方法
4	ISO 26262-1: 2018 《道路车辆功能安全性 第 1 部分：词汇表》	指导本标准的术语

本标准首次定义了柴油机虚拟标定系统的术语和定义、试验方法、试验数据质量要求、发动机和后处理模型质量要求、硬件在环工程技术要求和质量标准以及系统综合调试质量要求等，是其他相关法律、法规、规章及相关标准没有定义和区分的。

八、重大分歧意见的处理经过和依据

无。

九、标准性质的建议说明

本标准为推荐性团体标准。

十、贯彻标准的要求和措施建议

本标准制定完成并发布后，由中国内燃机工业协会在行业企业内组织宣贯实施，推动企业及时采用本标准。企业可按照本标准的规定和要求，对企业内部的标准（或技术文件）进行修订，或根据本标准的实施时间拟定企标的整改过渡措施。

建议本标准的实施日期为正式发布 6 个月后。

十一、废止现行有关标准的建议

本标准为首次制定，无相关现行标准需废止。

十二、其他说明事项

无。

《柴油机虚拟标定系统》标准编制工作组
2025 年 8 月