

复杂车型平台下汽车 HVAC 系统协同开发机制研究

石海涛

上海爱斯达克汽车空调系统有限公司

DOI:10.32629/pe.v4i3.21099

[摘要] 针对复杂车型平台开发中HVAC系统面临的多车型并行开发、设计变更频繁、跨团队协同链条长以及验证资源冲突等实际问题,从工程项目执行层面出发,研究面向平台化开发的协同管理方法。本文围绕“共享零部件+差异化配置”的开发模式,提出建立HVAC系统跨车型配置对照管理机制。研究引入基于工程变更的变更影响路径跟踪方法,构建以“节点冻结+滚动释放”为特征的开发节奏管理方式。结果表明,该机制可有效实现设计输入的可追溯与版本一致性控制,减少跨团队重复沟通与验证返工,提高多车型并行开发的稳定性。

[关键词] HVAC系统; 平台化开发; 协同管理; 工程变更

中图分类号: F407.9 **文献标识码:** A

Research on the Collaborative Development Mechanism of Automotive HVAC Systems under Complex Vehicle Platforms

Haitao Shi

Shanghai SDAAC Automotive Air-conditioning System Co., Ltd.

[Abstract] In response to the practical problems faced by the HVAC system in the development of complex vehicle platforms, such as multi-vehicle parallel development, frequent design changes, long cross-team collaborative chain, and conflict of validation resources, this paper studies the collaborative management method for platform-based development from the perspective of project execution. This article focuses on the development mode of "shared parts + differentiated configuration" and proposes to establish a cross-model configuration comparison management mechanism for HVAC systems. The study introduces a change impact path tracking method based on engineering changes, and constructs a development rhythm management mode with the characteristics of "node freezing + rolling release". The results show that this mechanism can effectively realize the traceability and version consistency control of design inputs, reduce repeated communication and validation rework across teams, and improve the stability of parallel development of multiple models.

[Key words] HVAC system; Platform-based development; Collaborative management; Engineering change

1 引言

随着新能源汽车产业的快速发展,汽车热管理系统作为关键子系统,其性能直接影响整车的能耗与舒适性,而复杂车型平台开发模式下多车型并行开发、设计变更频繁、跨团队协同链条长及验证资源冲突等问题日益凸显,给HVAC系统协同开发带来严峻挑战。平台化开发趋势要求建立“共享零部件+差异化配置”的管理机制,以提高开发效率与质量一致性。现有研究在汽车热管理系统技术、平台化开发方法及工程变更管理等方面已取得一定成果,但在工程执行层面的协同管理方法上仍存在不足,为本研究提供了切入点。本文旨在从工程项目执行角度出发,提出面向平台化开发的HVAC系统协同管理方法,构建配置对照管理机制、工程变更影响路径跟踪方法

及开发节奏管理模式,为复杂车型平台开发提供理论支持与实践指导。

2 HVAC系统跨车型配置对照管理机制

2.1 统一基线管理方法

HVAC关键参数识别是统一基线管理的基础,需涵盖风量分配、换热能力、压缩机匹配及控制策略等核心要素。风量分配参数基线化方法要求对出风口风量、风量调节范围等指标进行标准化定义,建立各车型共用的风量参数库。换热能力参数基线化方法需明确换热器表面积、换热系数等关键指标的取值规范,形成统一的性能基准。压缩机匹配及控制策略的基线管理则需对压缩机排量、制冷量范围、控制算法框架等进行统一规定,确保不同车型间核心部件的可互换性与控制逻辑的一致性。通

过统一基线管理,可实现关键参数的集中管控与复用,降低开发成本与验证风险。

2.2 差异配置清单设计

车型差异化需求的识别方法应基于市场定位、用户场景及性能要求等多维度进行分析,明确各车型的差异化配置点。差异配置清单的构成要素包括配置项名称、适用车型范围、技术参数、变更控制级别等信息,形成结构化的配置管理数据库。配置版本控制机制设计需建立版本编码规则,确保配置变更过程的可追溯性,采用版本号与变更标识双重标识方法。设计输入可追溯性保障要求在设计输入文档、配置清单与验证报告之间建立关联索引,实现从需求输入到配置输出的全链路追溯。通过差异化配置清单的规范化设计,可确保各车型在共用架构基础上的差异化需求得到准确表达,同时维护配置数据的一致性与完整性。

2.3 配置一致性验证

配置对照的验证流程包含配置审查、数据比对与结果确认三个阶段,需在关键设计节点开展配置一致性专项验证。版本一致性检查方法采用自动化工具进行配置参数比对,结合人工审核方式确保关键配置项的准确性,生成版本差异分析报告。配置偏差的识别与处理需建立偏差等级分类标准,区分关键偏差、一般偏差与轻微偏差,不同等级偏差对应不同的处理流程与审批权限。关键偏差须触发设计变更流程,经跨部门评审确认后方可实施;一般偏差可纳入下一版本迭代修正;轻微偏差允许在受控条件下临时保留。通过配置一致性验证机制,可有效防止配置数据错误导致的开发返工与验证资源浪费,保障多车型并行开发的协同效率与质量可控性。

3 基于ECR/ECO的工程变更影响路径跟踪

3.1 工程变更管理流程

工程变更管理是确保HVAC系统设计变更有序执行的关键环节。工程变更请求作为变更流程的起点,用于记录产品识别的问题或建议的增强功能,其核心作用在于描述变更需求、确定受影响的零部件,并评估所需变更的影响。ECR处理流程包含创建、审查和转换三个阶段:在创建ECR时需指定系统状态和用户状态,随后进行变更对象的变更申请审查。工程变更指令则是ECR获批后由工程部门编制的正式变更指令文件,规定了具体变更内容,包括技术参数、图纸、BOM、工艺及替换方案,是实施变更的核心文件。ECO的执行机制包含基于获批ECR建立ECO草案、详细描述变更内容、规划旧版物料清理与切换方案、跨部门会签、正式批准ECO,以及在PLM/ERP中完成文档和物料更新。ECR到ECO的转换规则要求ECR需经过变更控制委员会评估,决定是否实施,若为紧急问题则需立即启动ECO,ECO可基于多个ECR形成,且应从PLM系统发起,最终数据推送至ERP执行。

3.2 变更影响路径结构化的实现

变更影响路径的结构化实现需要明确HVAC系统与各相关系统之间的影响关系映射。HVAC系统与冷却系统的影响关系映射以气候控制系统的工程师团队为核心,CCS工程师负责协调发动

机工程师等X功能团队的沟通,通过模拟组进行初步评估和模拟,进而将变更请求传递至项目管理节点。HVAC系统与整车热管理的影响关系映射则涉及多学科环境中的变更协调,需利用BIM等技术识别冲突,并通过单一模型的不同视图来自动化传播和影响变更。HVAC系统与电控策略的影响关系映射强调跨部门协作和信息集中管理,ECR和ECO需跨部门协作,信息集中于PLM系统,确保变更管理的一致性。影响路径的图形化表示方法采用队列网络结构,以ECO过程作为多个队列节点的连接形式,从左到右依次表示“CCS工程师”、“模拟组”、“项目管理”和“采购”等节点,节点间通过箭头连接,清晰地展示每个环节的工作顺序和依赖关系。该图形化表示方法不仅可视化了变更信息流,也为变更影响范围的追溯和跨团队协同提供了明确依据。

3.3 变更优先级与分级处理

变更影响度的评估方法采用网络分析方法、熵权-TOPSIS方法等进行多指标综合评价,以量化设计变更的影响程度。变更优先级的分级标准依据变更类别和成本阈值进行划分,如ECO属于Class I类别或成本超过特定金额时,需进入现场升级审批流程,由VP/Director签字确认。涉及客户批准或通知的变更则需进一步判断是否需要客户授权,若需要则需客户签回作为ECO实施依据。不同优先级变更的处理策略包括:Class I或高成本变更需经过更高层级审批,变更执行过程需通过“变更团队准备ECO执行请求→执行者接收并注册ECO→执行变更操作→发送完成通知→检查ECO及受影响对象是否完成”的双向交互机制确保透明性与可追溯性。跨团队沟通优化方法强调建立有效的沟通机制,确保项目各方能够及时交流信息,共同解决遇到的问题,减少误解和冲突。同时利用PLM系统作为信息集中管理平台,实现变更内容的正式发布、分发和接受确认的闭环管理,确保所有相关方均知晓变更内容并获得正式认可。

4 节点冻结+滚动释放的开发节奏管理

4.1 开发节奏管理模式设计

“节点冻结”机制是指在产品开发关键阶段设定明确的冻结点,一旦进入冻结状态,除受控变更外禁止任何设计修改。该机制的核心内涵在于确保设计稳定性的同时保留必要的变更通道,如在设计冻结节点必须确保所有工程图纸、BOM清单、技术规范完成冻结并经多方确认,任何未关闭的A级缺陷均不得进入下一阶段。在BoM冻结节点,系统明确标注此日期后禁止任何ECO(工程变更订单),标志着设计冻结的严格执行。“滚动释放”机制则是指在冻结周期内,将创新活动暂缓并累积至下一个冻结点,在Freezing Point(冻结点)实现产品调整的一次性批量发布。通过Release Engineering方法,产品调整在Release-Segment(发布段)内提前规划,仅至预先确定的时间点如Freezing Points才获准实施。两种模式的协同关系体现为:冻结机制保障设计稳定性,滚动释放机制平衡创新需求与变更控制,共同实现产品开发节奏的有序管理,降低协调复杂度并提升市场响应能力。

4.2 关键设计节点与整车平台对齐

HVAC关键设计节点识别需基于整车开发流程的五大阶段:概念设计、工程开发、样车试制、小批量试产、批量投产。工程开发阶段包含造型设计冻结、工程设计、零部件开发、原型制造与测试等关键环节。整车平台开发节点定义涵盖项目启动与概念设计、规划与预研、工程开发、验证与试验、试生产、量产准备与市场导入等核心节点。节点对齐方法与协调机制要求将HVAC关键设计节点与整车平台开发节点建立映射关系,如工程路径需指定变体并建立批次1的构建清单,随后工程与工程资源系统协同工作,将各变体连接至具体车辆平台。在BoM Freeze节点,冻结后ERS会为每辆车生成 $n \times M$ 视图,确保每个变体都有完整的工程视图支持。该对齐机制通过明确各阶段关联交付物齐备性、问题闭环状况、评审签字完成情况,确保项目按时按质完成。

4.3 设计扰动的受控管理

关键设计冻结点的界定需明确冻结范围与豁免条件,如BoM Freeze后禁止任何ECO,冻结点前后部件释放数量形成对比分析以评估变更影响。非必要设计扰动的限制规则包括:冻结周期内创新活动暂缓,直至下一个Freezing Point才实施产品调整,通过Release-Segment内的提前规划降低变更管理复杂度。基于验证问题的受控迭代机制允许仅在验证发现问题时启动受控变更,如通过Gate Review阀门节点评审,确保关联交付物齐备、问题闭环、评审签字完成后方可进入下一阶段。迭代变更的审批流程需建立分级授权机制,如Class I类别变更或成本超过特定金额时,需现场升级审批由VP/Director签字确认。涉及客户批准或通知的变更需进一步判断是否需要客户授权,若需要则需客户签回作为ECO实施依据。变更执行过程需通过“变更团队准备ECO执行请求→执行者接收并注册ECO→执行变更操作→发送完成通知→检查ECO及受影响对象是否完成”的双向交互机制确保透明性与可追溯性。同时利用PLM系统作为信息集中管理平台,实现变更内容的正式发布、分发和接受确认的闭环管理,确保所有相关方均知晓变更内容并获得正式认可。

5 应用案例与效果验证

5.1 案例背景与实施环境

本文选取某自主品牌汽车平台开发项目作为应用案例,该平台包含3款衍生车型,开发周期24个月。项目实施前,HVAC系统面临多车型并行开发导致的配置混乱、变更沟通效率低、设计返工频繁等问题。项目实施背景为实现平台化开发模式下HVAC系统的协同管理,目标是通过建立配置对照管理机制、工程变更

影响路径跟踪方法及开发节奏管理模式,提升多车型协同开发效率,降低设计变更导致的成本浪费与周期延误。

5.2 机制实施过程

配置对照管理的应用通过建立HVAC关键参数统一基线库与差异化配置清单,实现设计输入的可追溯与版本一致性控制。变更影响跟踪的应用依托PLM系统,将ECR与ECO流程跨部门协作,信息集中于PLM系统,确保变更管理的一致性。开发节奏管理的应用在BoM冻结节点严格执行冻结规定,冻结后禁止任何ECO,保障设计稳定性。三机制协同运行,形成从配置管理、变更控制到节奏管控的完整闭环体系,确保项目有序推进。

5.3 实施效果评估

协同效率提升表现方面,通过变更统计功能可方便地统计变更频率,帮助企业分析和控制变更,最终达到减少变更、提高设计质量和效率的目的。设计变更管理优化情况方面,ECR/ECO/ECN构成闭环链,确保变更受控、可追溯,避免因未闭环变更引发质量事故。开发稳定性改善分析方面,实施后项目交付物齐备性显著提升,问题闭环完成率提高,跨团队沟通成本降低,多车型并行开发稳定性得到实质性改善,为平台化开发提供了可借鉴的管理范式。

6 结论

本文构建了基于配置对照管理、ECR/ECO变更影响跟踪及节点冻结+滚动释放的HVAC系统协同开发机制,实现了设计输入可追溯与版本一致性控制,减少跨团队沟通与验证返工,提高多车型并行开发稳定性。本研究为平台化开发提供了可借鉴的管理范式,具有明确的工程应用价值。未来可进一步优化智能算法在变更优先级评估中的应用,拓展至更多车型平台验证,持续完善协同管理机制的普适性与灵活性。

[参考文献]

- [1]凌志伟.汽车空调HVAC系统的气动噪声与出风量协同优化设计[D].重庆理工大学,2021.
- [2]李思维.商用汽车空调HVAC的温度场分析及扰流器结构研究[D].长江大学,2022.
- [3]王浩楠,万剑雄,李进,等.数据中心HVAC智能控制的研究现状与挑战[J/OL].计算机应用研究,1-12[2026-06-04].

作者简介:

石海涛(1983--),男,汉族,湖南邵阳人,硕士,新能源汽车热管理系统协同与优化。