 DOI: https://doi.org/10.12349/tie.v3i9.11781

A Digital–Physical Collaborative Process and Method for Motorcycle Clay Modeling

Jialin Zou

Tianjin Internal Combustion Engine Research Institute, Tianjin, 300072, China

Abstract

This study focuses on the development activity of motorcycle clay modeling and applies process decomposition, reflective practice, and comparative project cases. Using the problem–action–evidence–decision event as the basic unit, it maps key tasks, role interfaces, and stage gates from design input and full-scale form construction to iterative review and digital feedback. A five-stage process and an eight-dimension review framework are proposed. Two representative cases illustrate the styling and engineering loops, showing how a clay model can serve as a boundary object that connects styling judgements with engineering evidence. The method is intended as a practical development framework; its cross-organizational applicability, quantitative effects, and the added value of CNC and MR/VR require further multi-project and controlled validation.

Keywords

motorcycle design; clay model; digital–physical collaboration; development process; boundary object

数字—实体协同视角下的摩托车油泥造型开发流程与方法研究

邹佳林

天津内燃机研究所，中国 · 天津 300072

摘　要

针对摩托车造型由二维意图转译为可制造三维形态时，造型、结构、人机与法规要求相互耦合而缺少统一协同流程的问题，本文以摩托车油泥造型开发活动为研究对象，综合运用流程分解、实践反思与案例对照方法，以“问题—行动—证据—决策”为基本分析单元，梳理从设计输入、一比一形态建构、迭代评审到数字回传的关键任务、角色接口与阶段门。研究构建了输入一致性、一比一形态建构、造型/工程双回路迭代、多约束验收和数字回传五阶段流程，并提出八维评审框架。两个代表性项目案例分别呈现造型回路与工程回路的运行方式，说明油泥模型能够作为跨专业边界对象，使感性判断与工程证据在共同尺度上接受检验。本文所提出的是面向开发实践的过程方法，其跨企业适用性、量化效能及CNC、MR/VR的增益仍需通过多项目和对照研究进一步验证。

关键词

摩托车设计；油泥模型；数字—实体协同；开发流程；边界对象

1 引言

摩托车兼具造型敏感性与工程高耦合性。二维草图虽能快速表达比例、姿态和品牌语义，却会因透视、光影与局部夸张掩盖真实厚度、遮挡和装配关系。进入一比一开发后，车架平台、转向及悬架包络、驾驶姿态、部件成型和法规边界同时介入，局部造型修改可能向结构、制造与使用环节传导。数字曲面、扫描、CNC 和 MR/VR 提高了复制与协作效率，但复杂曲面的光影、触觉、实物间隙及戴手套操作仍需实体证据 [1-5]。既有研究多分别讨论几何、人因或虚拟原型，较少解释不同证据如何在摩托车油泥开发中汇合并形成可执行的评审闭环。因此，本文不以某一工具或某份资料为中心，而是把摩托车油泥造型开发全过程作为研究对象，旨在建立连接设计意图、实体建构、工程校核与数字回传的流程与方法。

2 研究思路与方法

本文采用面向实践的设计研究思路。首先依据摩托车造型开发的任务链，将设计输入、模型建构、造型评审、工程校核和数字回传分解为连续且可回退的活动；其次，以“触发问题—调整行动—形成证据—评审决策”为基本单元，识别每项活动的输入、责任角色、验收依据与回退条件；最后选取两个具有互补特征的实际项目进行案例对照：案例 A

【作者简介】邹佳林（1987–），男，中国山东烟台人，本科，中级，从事摩托车设计开发研究。

突出造型语言与曲面迭代，案例 B 突出运动间隙、人机任务与法规校核。项目照片、红线标注、尺寸与法规校核、试坐观察及阶段评审结果仅作为流程识别和方法说明的证据载体，而非论文的研究对象或边界。研究借鉴案例研究的分析性概括原则 [6]，通过案例内过程追踪和跨案例模式匹配，检验所建方法能否覆盖造型与工程两类关键问题，并保持问题、修改、复核和决策的可追溯性。

3 五阶段双回路方法

跨案例综合形成五阶段流程。第一，输入一致性：把草图意图转化为比例、特征线和曲面关系，并统一坐标、硬点、法规清单与版本基线。第二，一比一形态建构：由模芯、填泥、粗刮至面型精修，先稳定整体体量，再进入细节。第三，双回路迭代：造型回路以多视角照片、红线和光影比较处理比例与风格；工程回路以尺寸、极限位置、装配动作和试坐任务处理结构、人机与法规约束。第四，多约束验收：围绕法规符合性、要素完整性、造型一致性、风格统一性、运动间隙、工程可行性、人机合理性和关键尺寸八维审查。第五，数字回传：记录坐标、设备、版本、重建责任与验收偏差，使实体修改回到受控数字模型。

五阶段不是不可逆的线性流程，而是证据成熟度和责任边界。任一强制项失败均可触发回退；问题只有具备编号、责任人、修改版本、复核证据和关闭结论，才可进入下一阶段。八维内容目前是检查框架而非量表，不设未经验证的总分或权重；法规和安全干涉属于否决项，不能由外观评分补偿。

4 案例结果

4.1 案例 A：造型回路

案例 A 呈现前脸从粗刮、灯具关系试探到整体表面趋于稳定的六阶段演进。实体模型首先暴露二维图像中被遮蔽的厚度与左右关系；设计师通过照片红线把“体量臃肿”“中心性不足”等意见转为可指认位置，模型师再调整开口、转折和两侧曲面并进行多视角复核。由此形成“二维意图—实体暴露—二维标注—实体修正—多视角复核”的造型回路。该回路的关键不在于增加评审次数，而在于把抽象造型判断转化为具有位置、版本和复核依据的修改任务。

4.2 案例 B：工程回路

案例 B 将真实部件、运动包络与人体任务引入油泥模型，暴露前悬架与覆盖件、转向与线束、手把上盖与置物空间等冲突，并对灯具、牌照、外部凸出物等项目进行条款化核对 [7-9]。170、175 和 180 cm 三名参与者试坐用于早期发现明显姿态与腿部空间问题，但正式人机验证仍需依据目标用户的人体尺寸分布和任务要求设置边界样本。该案例体现的工程回路为“约束输入—极限位置或真实装配—冲突识别—结构 / 造型协调—复核关闭”，其目的在于使工程问题在造型定型前被发现并形成明确处置。

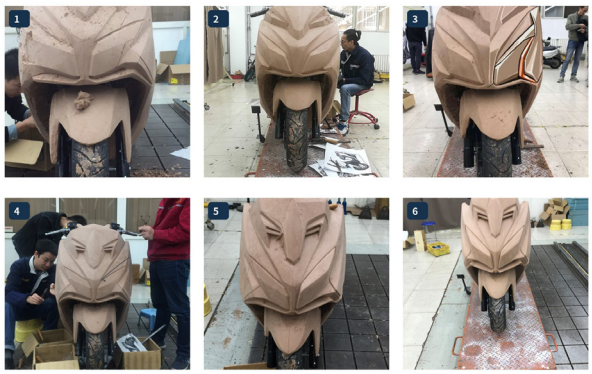


图 1 案例 A 前脸造型的阶段性迭代（图片来源：作者项目实践）



图 2 案例 B 的间隙、空间冲突与探索性试坐（图片来源：作者项目实践）

两个案例分别突出方法中的造型回路和工程回路：前者处理语义、比例、特征与曲面，后者处理尺寸、运动、装配、任务和法规。完整开发中，两回路并非前后割裂，而是围绕同一一比一模型交替推进；造型修改需要接受工程复核，工程调整也需重新评估造型连续性。油泥模型因而成为造型师、模型师和工程角色之间的边界对象 [10-11]，阶段门则把分散意见转化为可追踪的问题清单与共同决策。

5 讨论与适用边界

该方法的核心不是宣称实体天然优于数字，而是根据证据类型配置工具：数字模型适合基线控制、几何复制、参数传递和版本管理，实体油泥适合观察真实光影、触觉、装配间隙及操作任务。CNC 可在一比一建模前建立可重复的几何基线，扫描可把实体修改回传至数字主模型，MR/VR 可用于体量预筛、方案叠加和异地评审。三者只有纳入统一坐标、版本、责任人和验收偏差后，才能构成数字—实体闭环；否则只是并列使用的工具，不能自动减少返工。

本文定位于流程与方法建构，适用于需要在造型、结构、人机、法规和工艺之间反复协调的一比一摩托车造型开发。现阶段的适用边界主要包括：案例数量仍有限，八维框架尚未在多企业、多车型中检验评审一致性；探索性试坐只能

发现早期问题，不能替代基于目标人群百分位的人机验证；CNC、扫描和 MR/VR 的精度、工时及协同增益也未作为独立变量进行对照。后续研究应以前瞻性项目台账记录问题编号、责任角色、版本、工时、关闭时间、扫描偏差和评审分歧，并设置传统流程或不同工具组合作为对照，以检验方法的完整性、效率与可迁移性。

6 结论

本文围绕摩托车油泥造型开发活动，构建了“五阶段—双回路—八维度”的数字—实体协同流程与方法。五阶段明确从输入一致性、一比一形态建构、造型 / 工程迭代、多约束验收到数字回传的任务链；双回路使感性造型判断与结构、人机、法规证据在同一模型上交替收敛；八维框架为阶段评审提供检查边界。该方法的价值在于把设计经验转化为可描述、可执行和可追踪的开发机制，并明确数字工具与实体模型的互补关系。后续通过多项目和量化对照验证后，可进一步形成适用于不同车型与组织条件的标准化方法。

案例与伦理说明：文中案例用于说明开发流程与关键问题，已对涉及企业和车型的信息作必要抽象化处理。正式投稿前仍须取得项目图片及相关材料的发表授权，并按期刊要求补充参与者知情同意以及伦理审查或豁免说明。

参考文献

[1] TOVEY M. Styling and design: intuition and analysis in industrial design[J]. Design Studies, 1997, 18(1): 5-31.

[2] LAWSON G, HERRIOTTS P, MALCOLM L, et al. The use of virtual reality and physical tools in vehicle development[J]. Applied Ergonomics, 2015, 48: 240-251.

[3] AROMAA S, VÄÄNÄNEN K. Suitability of virtual prototypes to support human factors evaluation[J]. Applied Ergonomics, 2016, 56: 11-18.

[4] CHU C H, KAO E T. Design evaluation with virtual prototypes versus a physical product[J]. Applied Sciences, 2020, 10(14): 4723.

[5] CUCINOTTA F, GUGLIELMINO E, SFRAVARA F. A CAE method for ergonomic assessment of motorcycles[J]. International Journal on Interactive Design and Manufacturing, 2019, 13: 699-712.

[6] YIN R K. Case Study Research and Applications: Design and Methods[M]. 6th ed. Thousand Oaks: SAGE, 2018.

[7] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. GB/T 10000—2023 中国成年人人体尺寸[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.

[8] 国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. GB 7258—2017 机动车运行安全技术条件[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.

[9] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. GB 18100—2025 摩托车和轻便摩托车道路照明及光信号装置的安装规定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2025.

[10] STAR S L, GRIESEMER J R. Institutional ecology, translations and boundary objects[J]. Social Studies of Science, 1989, 19(3): 387-420.

[11] CARLILE P R. A pragmatic view of knowledge and boundaries in new product development[J]. Organization Science, 2002, 13(4): 442-455.

[12] COOPER R G. Stage-gate systems: a new tool for managing new products[J]. Business Horizons, 1990, 33(3): 44-54.