

面向齿轮泵产品设计的CDM平台优化与应用

Optimization and Application of CDM Platform for Gear Pump Product Design

■ 王宇 王建礼 邹聪 杨军杰 魏士杰 王锦瑜 蔺敏 王博 杨晓强 彭尚军 / 中国航发西安动力控制科技有限公司

2021年,中国航发西安动力控制科技有限公司(以下简称公司)开展航空发动机燃油与控制系统正向设计流程架构的搭建,同时进行各专业L6层级体系要素(方法工具、标准规范、工程数据)的建设工作。2022年,公司完成了产品研发流程活动、体系要素在设计集成研发(CDM)平台中的集成开发与定制,并在齿轮泵产品上实现初步应用。

设计集成研发平台的应用已初见成效,但从方法工具落地应用效果来看还存在诸多痛点。本文以齿轮泵产品为研究对象,综合研发流程活动、技术基础要素梳理情况及在研产品的详细需求,对CDM平台进行深度优化开发,实现了基于需求指标的齿轮泵产品参数化自顶向下设计流程拉通,打通需求管理—架构设计—功能/性能设计—结构设计—参数化建模过程。

CDM平台落地应用痛点

数据链未打通

需求管理、架构设计功能模块未开发集成(需求管理与分析仍靠Excel电子表格方式维护),需求分析过程(如需求梳理、关键指标提取、标杆对比等)并未结合设计工具显性化体现。同时方案设计活动中的针对产品功能性能设计、典型零件结构设计及三维建模过程等,并未与需求活动中的关键指标建立参数关联,使得产品研发过程数据存在断点,未能实现基于需求的自顶向下的数据关联及传递。

APP未充分考虑应用场景

随着航空发动机的功能不断

扩展,应用场景愈加丰富,燃油与控制系统设计也更加复杂,前期开发的齿轮泵典型零件设计应用软件(APP)应用效果不佳,主要体现在:需求关键指标参数无法自动捕获,需人工录入,增加数据传递过程的风险;未实现多方案对比及自动寻优功能,缺乏备选方案的管理,数据调用冗繁;纸质图表数值还需人工识别,未实现智能化读取。

模型重用无支撑

齿轮泵的核心典型零部件(如齿轮、滑动轴承、花键轴等)三维结构设计建模,虽有集团通用标准支撑,但仍无法避免由于设计人员建模软件使用水平参差不齐而导致的建模质量问题。而以往特征叠加参数化建模的方式已不能完全满足与APP对接的需求,因此急需在零组件层面开发相关的模型重用库。

实施工作策划

针对上述痛点问题,公司在CDM平台上开展基于需求管理、架构设计、齿轮泵典型零件设计APP等功能的优化及开发工作,并选取在研产品进行试点验证,以实现基于多方案对比寻优的齿轮泵产品智能化设计

过程。

一是成立专项团队。为保证CDM平台优化及应用工作的有序开展,由公司领导挂帅,单位总体组牵头,组建了包括齿轮泵研发业务人员、信息化建设专家、研发体系流程专家的联合开发及应用实施团队。同时建立了双周例会制度,以增强项目进度的把控和沟通管理。

二是梳理分析齿轮泵研发体系建设成果,研讨落地策略形成专项计划。梳理《齿轮泵方案设计指导书(试行)》(HFW1094(A))等相关体系建设成果18份、针对性分析研究在CDM平台上的部署策略,充分研讨策划,制订了公司专项计划,明确了实施途径,形成关键工作里程碑节点计划。

具体实施过程

齿轮泵需求分析工具的开发集成

对标体系文件《产品需求管理程序(试行)》(HFP0122(A))和《成附件开发项目需求管理指导书(试行)》(HFW1087(A))要求,在CDM平台中开发需求管理模块,实现初始需求(IR)—系统需求(SR)的分配过程管理,构建成熟产品

指标数据库，建立关键指标需求分析基线库，为需求分析过程提供历史产品指标数据对比支撑，集成 Magicdraw 软件，结合场景分析，构建基于条目化需求的产品功能分析、逻辑和物理架构设计数据的关联关系。

齿轮泵典型零件设计APP优化

APP作为CDM平台建设的核心，其易用性、便捷性、智能性直

接影响着设计人员的使用体验，也是决定着CDM平台能否真正落地应用的关键。针对前期APP开发及应用中的痛点，项目团队通过开展5方面工作，促进APP智能化设计功能提升。

一是APP设计场景再深挖。对集团标准《航空燃气涡轮发动机燃油控制系统齿轮泵设计方法》(AETD91A)，体系文件《齿轮

泵齿轮结构设计指导书(试行)》(HFW1099(A))、《齿轮泵滑动轴承结构设计指导书(试行)》(HFW1100(A))和《燃油泵传动轴设计指导书(试行)》(HFW1096(A))进行深入讨论分析，重新确认APP的应用场景与核心零件设计输入与输出内容，形成齿轮泵快速设计思维导图，并完成使用场景需求分析与建设方案，如图1所示。

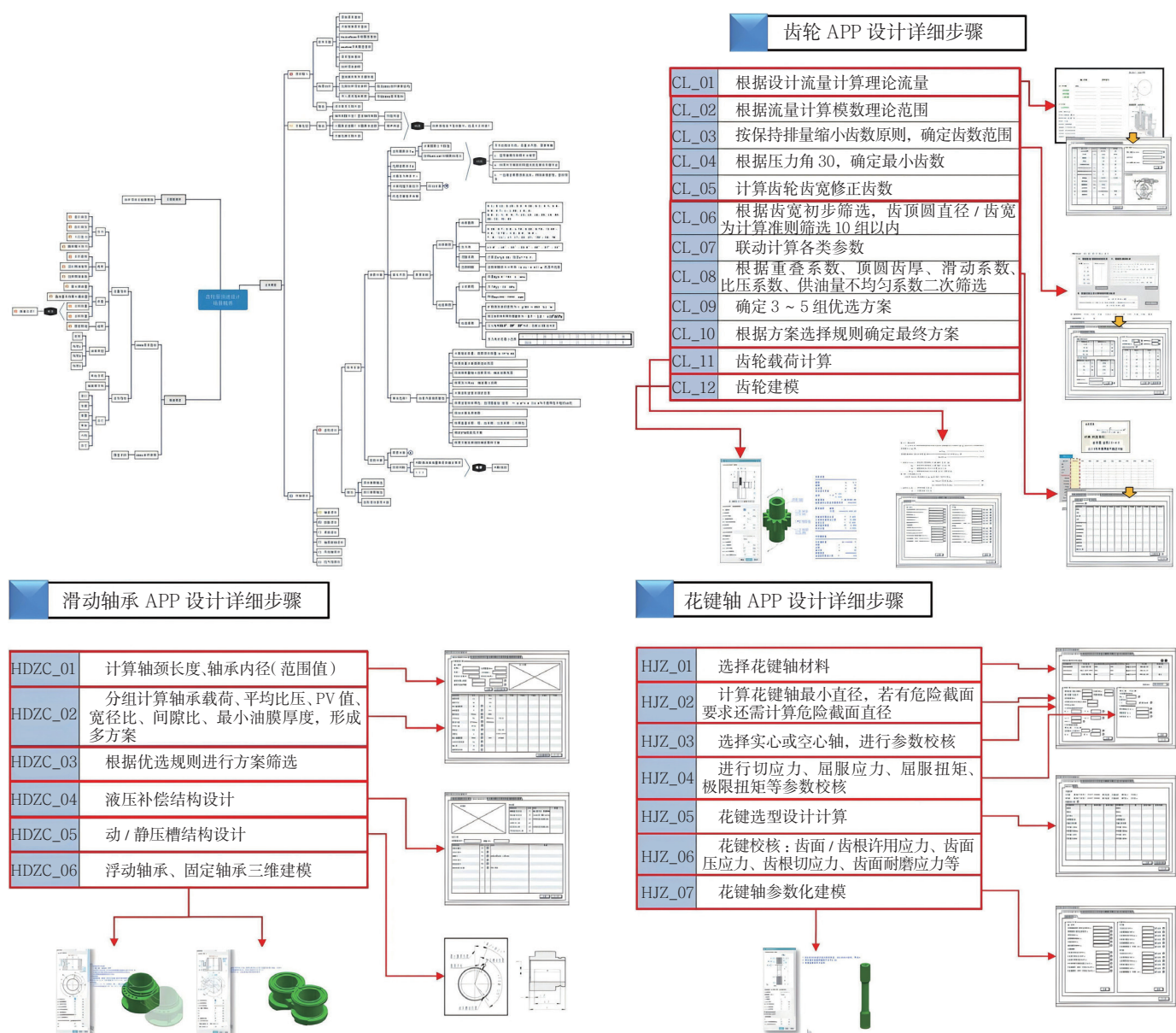
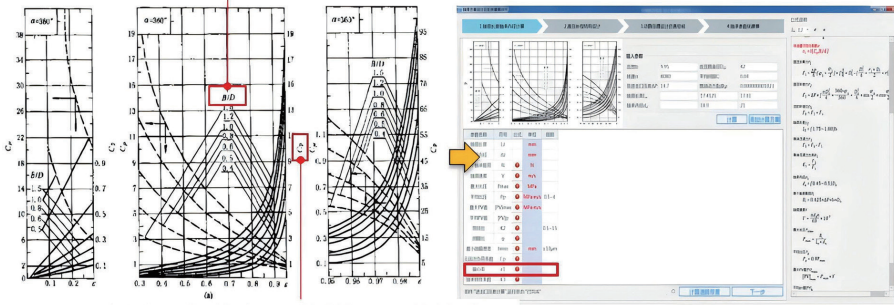


图1 思维导图及场景建设方案

①通过计算宽径比值选取近似曲线



②通过 C_p 值, 结合①选择的曲线, 读取 ε 横坐标值

图2 扫描图表与定制的APP界面

二是需求指标自动捕获功能实现。实现APP对需求模块中关键技术指标数据的自动捕获, 以满足齿轮泵各典型零件功能性能设计、结构设计对技术指标输入要求。

三是APP智能读图功能实现。齿轮泵典型零件设计及校核过程中会涉及到图表查询, 以滑动轴承设计为例, 偏心率 ε 是最小油膜厚度 C_p 与宽径比的函数, 要通过图表读值, 而图表来源于纸质扫描, 只能依赖人为方式读取。图表的清晰程度及设计人员读图时的细心程度会

对最终结果产生较大影响。因此, 项目团队对纸质图表进行电子化转换, 同时利用智能差值算法进行程序开发, 以达到自动读值及精确计算的目的, 如图2所示。

四是产品指标及结构参数数据库的建立。完成53型成熟齿轮泵产品关键指标及相关核心零件的典型特征结构形式、结构参数的梳理, 在此基础上开发可供APP捕获的数据库, 便于设计人员在正向设计过程中针对成熟产品的参考设计。

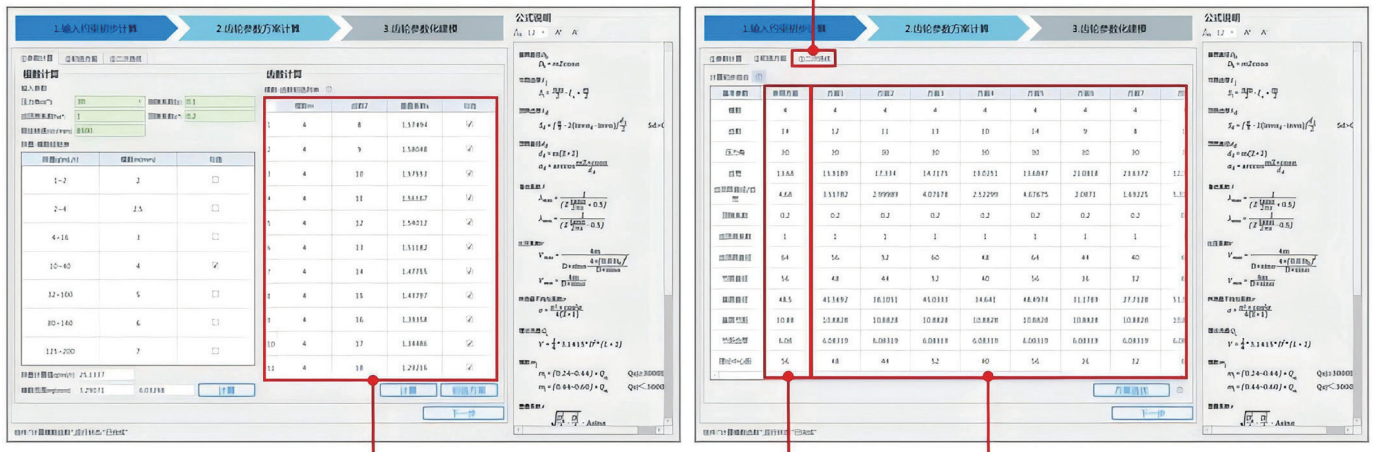
五是多方案对比及自动寻优功

能实现。在APP设计计算过程中往往会形成多种方案, 以往设计人员通过Excel公式计算功能, 将各型号相关参数进行展示, 同时将新研产品与参考型号进行类比, 通过试错设计的方式挑选出合适的少数方案再进行分析校核计算。该操作方式虽自由, 但设计效率低, 人为介入判断的影响大。因此项目团队通过APP开发并结合产品指标及结构参数数据库, 实现基于多方案对比及自动寻优功能, 如齿轮方案设计

模型重用库的建立

首先以齿轮泵典型零件结构设计需求为导向, 对设计准则、结构形式、技术要求结合成熟产品进行统计梳理与提炼; 其次通过对相关软件功能深入探究与挖掘, 定制开发基于产品模板工作室 (PTS) 的核心零组件模板, 包括主/从动齿轮、花键轴、固定轴承组件、滑动轴承组件、浮动弹簧等, 如图4所示。

基于定制规则进行寻优形成最终方案



计算得出多方案

参考成熟产品参数 基于多方案参数计算

图3 多方案对比及自动寻优

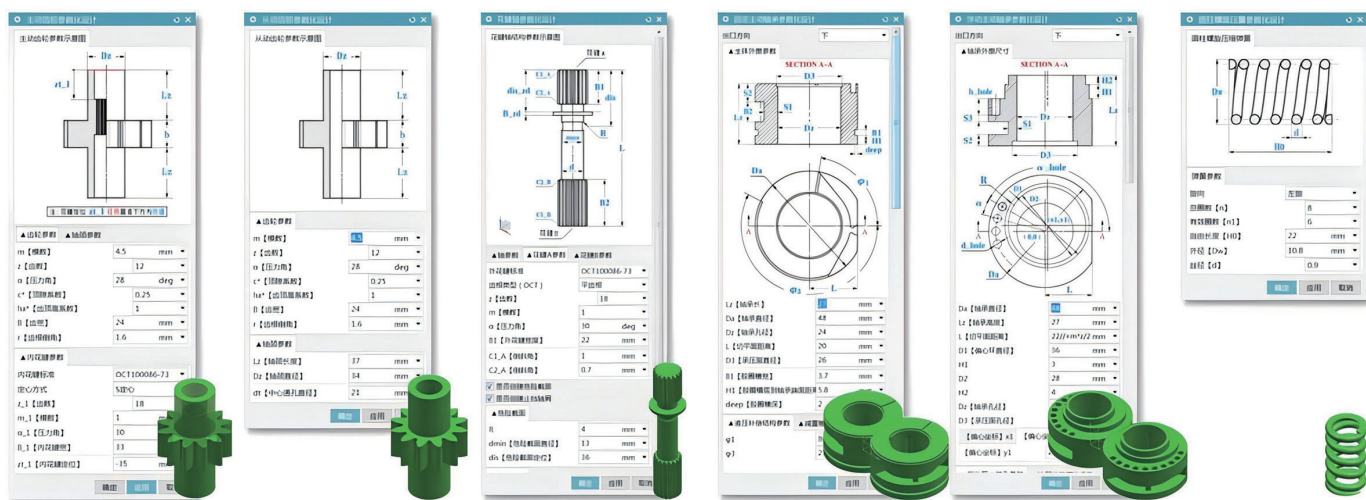


图4 基于PTS的齿轮泵核心零件模板

应用验证

为检验基于CDM平台的齿轮泵产品设计优化开发成果，以一型齿轮泵产品为试点开展应用验证。利用需求管理模块，完成产品需求梳理、需求分解、需求追溯和关键指标提取，以及标杆对比过程，如图5所示。

在其基础上进行产品功能分析、逻辑和物理架构设计，如图6所示。

使用优化后的APP及PTS模板开展齿轮泵核心典型零件方案设计及初步建模（见图7），实现了体系文件的工具化应用落地。

通过相关模块的应用，拉通齿轮泵产品核心零件基于需求指标的参数化自顶向下设计流程，极大地设计工作的开展提供了便利。

实施效果

一是打通数据链路，实现自顶向下设计。通过CDM平台的应用，打通需求管理—架构设计—功/性能设计—结构设计—参数化建模过程，实现基于需求指标的参数化自顶向下设计流程拉通。通过在齿轮泵产品上进行试点应用，与优化前相比



图5 需求管理模块应用

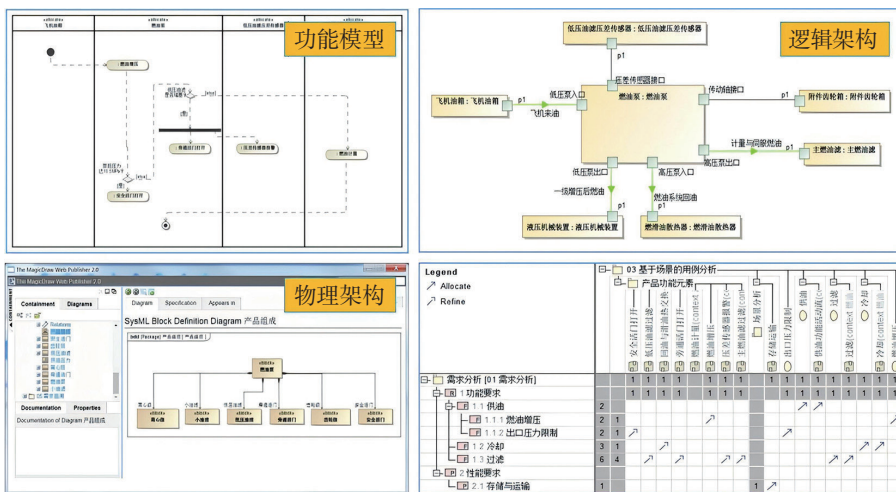


图6 架构设计应用

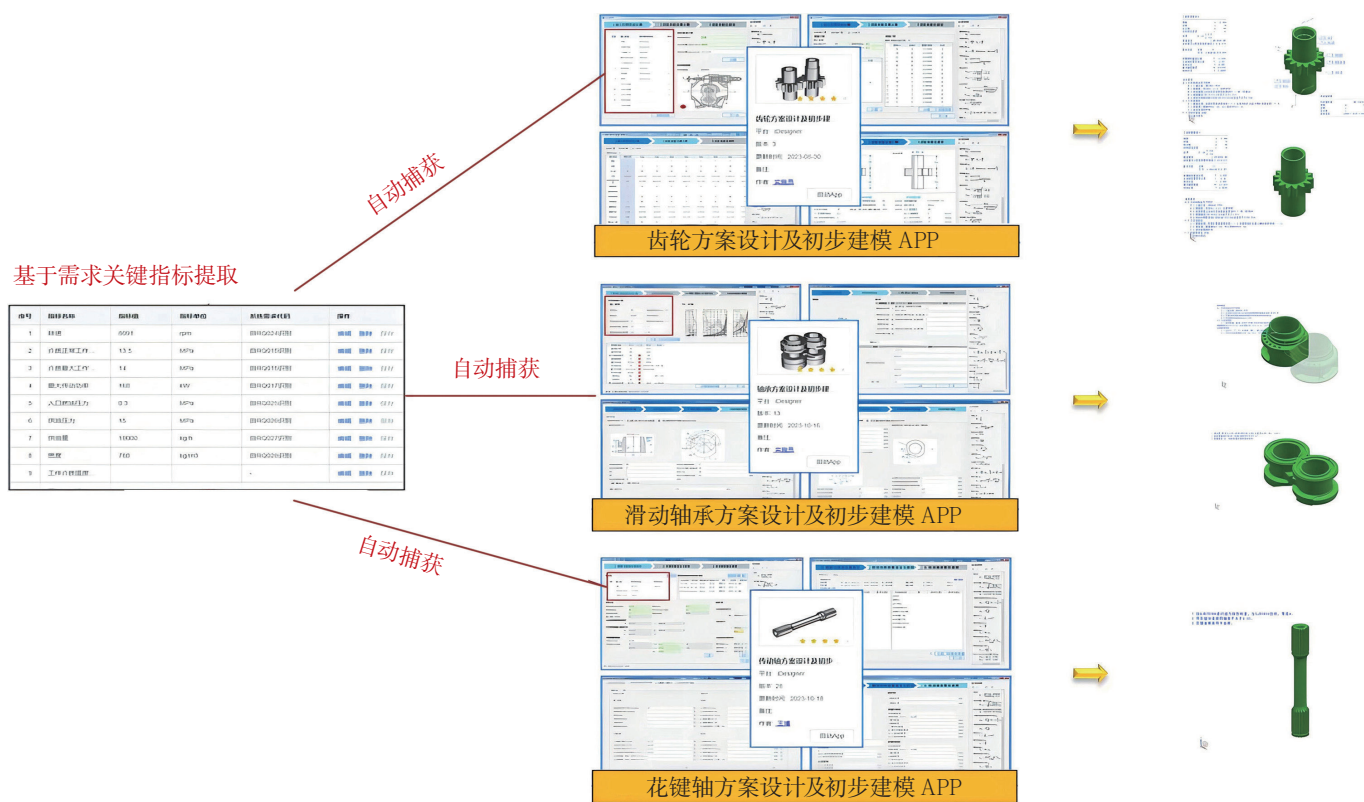


图7 核心典型零件方案设计及初步建模

整体设计周期由60天降至44天，缩短了26.7%。

二是体系文件落地，实现设计知识高效利用。基于规范、指导书的智能APP优化开发与应用，规范了齿轮泵方案设计过程，减少了多方案迭代周期，有效地提升了设计效率。

三是PTS模式应用，实现模型

重用规范化。基于PTS的齿轮泵核心典型零件的定制开发，大幅减少设计建模及信息表达工作，有效地提升了设计建模的规范性、准确性。相关模板既能与APP参数有效关联对接，又可独立使用，一定程度提高了应用末端的灵活性与便捷性。齿轮泵产品相关典型零件设计效率提升如表1所示。

表1 齿轮泵产品典型零件设计效率提升对比

典型零部件建模	使用前		使用后		效率提升
	设计步骤/步	耗时/h	设计步骤/步	耗时/min	
从动齿轮	56	2	4	4	提升29倍
主动齿轮	59	2	4	6	提升19倍
浮动轴承组件	229	6	12	10	提升11倍
固定轴承组件	167	4	7	8	提升14倍
花键轴	60	2	18	12	提升9倍

结束语

通过成附件开发程序及齿轮泵专业设计指导书在CDM平台落地部署，并在型号项目中的应用，实现了齿轮泵产品核心零件基于需求指标自顶向下的正向设计流程拉通，通过采用计算APP、参数化快速建模等手段的引入，极大地提高了设计人员的设计开发效率，同时探索出了体系建设成果数字化、工具化、IT化的实施路径，为其他成附件产品开发体系建设成果落地贡献了实践经验，具备推广应用价值。 **航空动力**

(王宇，中国航发西安动力控制科技有限公司，高级工程师，主要从事研发体系建设及数字化设计技术研究)