

基于TRIZ理论的发动机热试 对接改进设计

宋一飞, 任学浩, 陈真

北汽福田汽车股份有限公司欧康动力系统力系统事业部 山东潍坊 261000

摘要: 针对发动机出厂前热试时, 发动机与台架对接导致花键轴频繁损坏摩擦片的问题, 运用发明问题解决理论 (TRIZ理论), 分析和改进对接系统的设计中存在的问题和技术矛盾, 基于TRIZ理论, 提出连接系统关键性改进方案, 在满足发动机与台架快速对接和不增加成本的前提下, 解决花键轴频繁损坏摩擦片的问题。

关键词: TRIZ理论; 分析; 改进; 快速对接

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2025.08.014

在发动机热试台架对接过程中, 由测功机连接底座、花键传动轴和工艺摩擦片构成的对接系统存在结构性匹配问题。该系统的具体配置为: 测功机末端固定有刚性安装底座, 通过定位销装配的花键传动轴与底座形成旋转连接, 工艺摩擦片则通过内孔齿圈与发动机输出端实现装配, 发动机整体通过热试台车进行移动定位。

在热试准备阶段, 操作人员需手动推移热试台车, 借助粗定位导向装置使花键传动轴与摩擦片内孔齿圈进行啮合。在此动态对中过程中, 受测功机远端动态跳动及人工对位精度偏差的双重影响, 花键轴端面与摩擦片齿圈接触面会产生显著的非预期轴向接触应力。当该应力值超出摩擦片结构承载阈值时, 即会

导致齿圈塑性变形或断裂失效。这一系统性匹配问题已引发产线工艺摩擦片异常损耗率持续超标, 目前尚未找到有效的工程解决方案。

TRIZ理论

TRIZ理论 (发明问题解决理论) 是前苏联 G.S.Altshuller团队针对上百万份专利和文献分析研究后提出的技术系统开发的创新规律, 并在此基础上建立的发明问题解决理论^[1]。TRIZ理论在产品生产过程中具体化呈现了创新产品的工作原理^[2], 解决普遍存在于产品设计中的冲突/矛盾, 为方便定义这一过程中的技术冲突, 提出了39个通用工程参数、矛盾矩阵、物场模型分析原理, 40个发明原理及76个标准解^[3]。

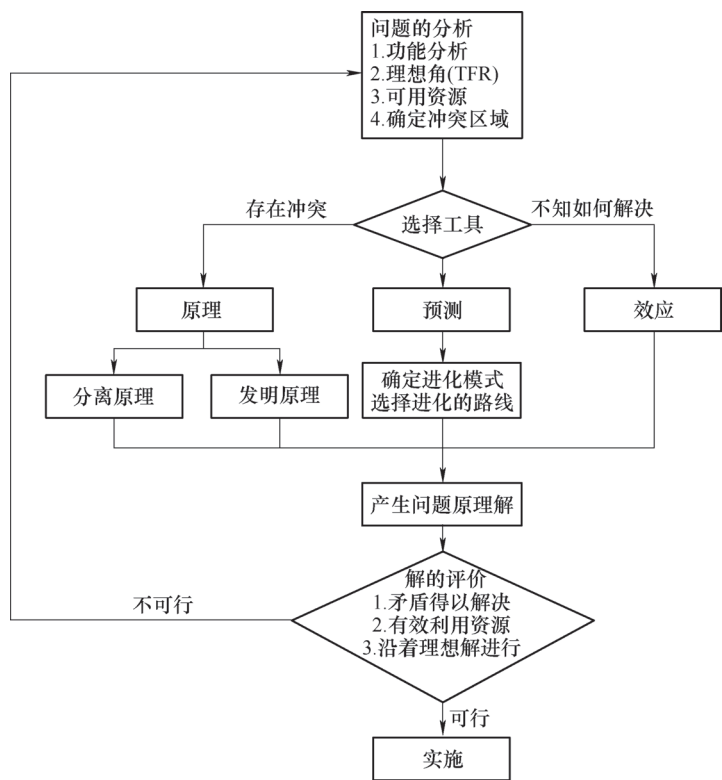


图1 基于TRIZ理论的冲突解决流程

本文发动机热试对接改进设计流程如图1所示：①分析发动机热试对接设计问题。②定义热试对接设计需求。③对接系统通用冲突模型。④发现冲突原因，发明“原理”进行解决；发现冲突但不明原因，用“效应”进行解决；系统进化，用“标准解”进行解决。⑤对设计可行性进行评估，如不可行，利用TRIZ理论中的冲突模型对所存在的技术冲突进行求解，直到得到最优解^[4]。

用TRIZ理论解决特定设计领域的问题时，应先采用TRIZ理论的定义方法将领域问题转化为TRIZ标准问题，再利用发明原理、标准解、效应等工具，确定TRIZ通用解，最后通过与通用解的类比及设计经验，确定领域解^[5]。

对接系统的改进设计

1.对接系统力分析

对接系统如图2所示，主要由发动机、工艺摩擦片、花键轴、锁止螺钉、底座及测功机构成。系统工作时，发动机通过热试小车进行安装，借助缸体底面

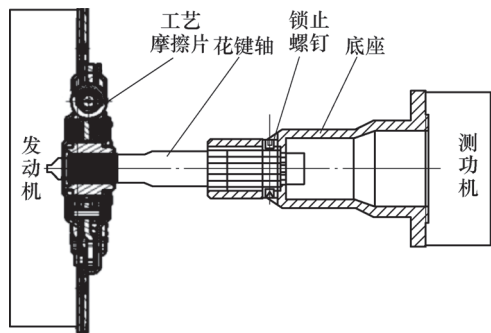


图2 刚性对接系统示意

的定位销实现精准定位，并通过快速夹紧系统完成紧固。底座组件通过高强度螺栓与测功机末端刚性连接，其上配置的花键轴采用精密锁止螺钉固定，确保传动系统的同轴度要求。

在测试准备阶段，操作人员需手动推移热试小车，使花键轴与工艺摩擦片的内齿圈实现啮合。然而，在对接过程中存在多重精度偏差风险，包括人工操作误差、测功机转子径向圆跳动以及发动机装配公差等因素的叠加效应。这些偏差导致花键轴与工艺摩擦片端面发生非设计接触，从而产生持续的轴向载荷。该异常受力直接作用于工艺摩擦片齿圈端面，造

成工艺摩擦片机械损伤，严重影响工艺摩擦片的使用寿命和测试数据的准确性。此问题暴露出系统在容差设计、自动对中补偿机制及防护装置等方面的优化空间，需通过改进定位导向结构或增设轴向缓冲装置予以解决。

2.问题描述及TRIZ分析

基于TRIZ理论对发动机热试工艺矛盾的解析：系

统需在消除不可控轴向力的同时，解决快速对接过程中工艺摩擦片产生的有害因素。该技术矛盾可界定为改进参数"力"（第10号工程参数）与恶化参数"物体产生的有害因素"（第31号工程参数）的对立。通过TRIZ矛盾矩阵交叉匹配（见表1），获得第3（局部质量优化）、第13（反向作用）、第24（中介物应用）、第36（相变效应）四项核心发明原理。对这些原理的深入分析如下。

表1 矛盾矩阵表（节选）

改善参数恶化参数	物体外部有害因素作用的敏感性	物体产生的有害因素	可制造性
度	1、28、35、23	2、24、35、21	35、13、8、1
力	1、35、40、18	3、13、24、36	15、37、18、1
应力或压力	22、2、37	2、33、27、18	1、35、16

（1）原理3——局部质量原理 TRIZ发明原理3“局部质量原理”强调通过改变物体不同部分的特性以优化整体性能。该原理主张让物体的每一局部具备最适合其功能的最优属性，而非保持整体均质化。具体应用表现为三种形式。

- 1) 空间维度上，使物体不同区域具有不同特性（如铅笔末端加装橡皮擦）。
- 2) 时间维度上，让物体在不同时段呈现差异化性能（如记忆合金随温度变化的相变特性）。
- 3) 功能维度上，划分各区域承担特定功能（如瑞士军刀的多工具集成）。

该原理突破传统“整体最优”思维，通过差异化设计解决系统矛盾，在材料科学（梯度材料）、机械工程（齿轮局部硬化处理）和产品设计（智能手机多传感器分区）等领域广泛应用，有效提升资源利用率并创造复合功能价值。

（2）原理13——反向作用原理 TRIZ发明原理13“反向作用”主张通过逆向操作或结构创新解决问题，突破常规思维定式。其实现路径如下。

- 1) “动作逆向化”：使物体运动方向与传统相反（如切割机从"推"改为"拉"提升稳定性）。
- 2) “结构反转”：交换系统固定与运动部件（如自动扶梯踏板移动而扶手静止）。
- 3) “过程倒置”：改变作用顺序（热处理中先冷

却后加热消除应力）。

该原理在机械设计（旋转楼梯双向通行）、流程优化（逆向物流回收系统）及产品开发（吸尘器变吹风机）中广泛应用，通过矛盾要素的逆向转化实现功能升级或成本优化。

（3）原理24——中介物原理 TRIZ原理24“中介物”通过引入中间组件间接实现功能，如催化剂加速反应、适配器连接异形接口，以临时媒介辅助系统运作，解决兼容性难题或提升操作效率。

（4）原理36——相变原理 TRIZ发明原理36“相变”利用物质状态转变的特性解决问题，通过固、液、气态转换实现功能突变。应用包括相变材料（如石蜡）储热调温、干冰升华切割、记忆合金形状恢复。该原理在热管理（电子散热）、能源存储（相变储能墙）及材料工程（自修复涂层）中高效转化能量形态，突破传统性能限制。

经矛盾分析确认，TRIZ反向作用原理（原理13）通过逆向思维转换系统作用方向，可有效解决当前设计问题，其应用逻辑经工程经验验证可行。

3.设计方案

为解决发动机热试时对接系统不可消除的轴向力和能够实现快速对接并且伤害工艺摩擦片物体产生的有害因素的矛盾根据TRIZ理论分析，采用40个创新发

明原理的第13个原理“反向作用原理”创新设计——发动机热试对接系统优化方案。

在发动机热试过程中，传统对接系统面临双重矛盾：一方面存在不可消除的轴向作用力，另一方面需在快速对接过程中避免对工艺摩擦片造成机械损伤。这一对技术矛盾严重制约了测试效率和设备可靠性。

创新方案：应用TRIZ理论第13号创新原理（反向作用原理），突破传统刚性固定思维，对花键轴连接系统进行关键改进。结构重构设计，将原花键轴锁止螺钉平台改造为具有5mm轴向位移容差的键槽系统；锁止螺钉升级为轴向限位装置，与花键轴保持非接触式间隙；取消底座原有轴向粗限位结构。动态缓冲系统，在花键轴后腔加装可调式弹簧机构，通过多组弹性系数实验建立最优缓冲参数。

优化方案的工作原理为对接过程中，工艺摩擦片与花键轴接触时产生的轴向力被动态吸收。接触阶段，弹簧系统吸收瞬时冲击载荷（ $F_{\text{轴向}} > F_{\text{弹性}}$ ）。导向阶段，键轴倒角结构引导平稳入位。稳定阶段，弹簧恢复平衡状态，完成精准对接。

本设计成功化解了刚性约束与动态对接的矛盾，为动力系统测试装备提供了可推广的弹性连接解决方案（具体结构参见图3）。该创新不仅验证了TRIZ理论在机械工程领域的应用价值，更为类似工况下的精密对接系统设计开辟了新思路。

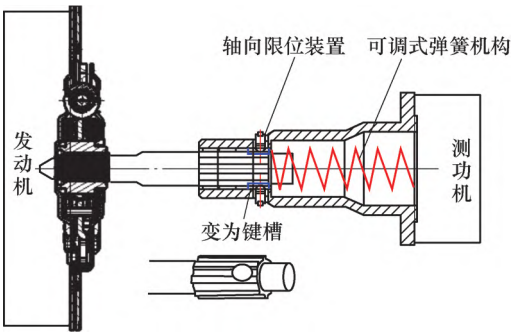


图3 弹性对接系统示意

设计方案对比分析

优化后的设计方案相较于原方案，在多个维度上均展现出显著优势，生产效率得到了大幅提升，使用的可靠性也明显改善。此外，生产过程中反馈的异常问题也有所减少。优化方案与原方案在这些方面的对比分析见表2。

表2 方案对比分析表

项目	方案	
	优化前方案	优化后方案
工艺性	可行	可行
可靠性	中等	可靠
单台成本	高	低
合格率	低	高
维护成本	高	低
兼容性	低	高

结语

TRIZ创新方法体系通过系统化的逻辑框架将复杂技术问题解构为可操作的解决方案，为工程创新提供了科学化的问题解决路径。本研究基于TRIZ方法论的技术矛盾分析体系，针对发动机热试时快速对接过程中工艺摩擦片造成机械损伤问题展开系统性创新设计。通过运用矛盾矩阵分析工具，精准识别出39个工程参数中的关键冲突要素，并应用反向作用发明原理，最终在维持产品成本和效率双重要求的前提下，成功实现了装配工艺的突破性改进。该创新实践不仅验证了TRIZ理论在制造业优化设计中的工程适用性，更充分彰显了该理论体系在突破技术瓶颈、实现约束条件下创新突破的方法论价值，为先进设计理论在制造业的转化应用提供了典型范例。

参考文献：

[1] 徐起贺，任中普，戚新波. TRIZ创新理论实用指南[M].北京：北京理工大学出版社，2011.

[2] 米峰，王小平. 基于TRIZ与QFD的故宫旅游产品造型设计研究[J]. 河北工业科技，2008，111（5）：27-31.

[3] 雷琴，魏丽敏，胡静. 基于TRIZ理论的人工智能产品及方法的创新模型研究[J]. 四川图书馆学报，2020（3）：23-28.

[4] 江帆，王一军，萧仲敏，等. 基于TRIZ理论的滚筒球磨机防水结构创新设计[J]. 矿山机械，2010，38（5）：71-73.

[5] 韩华亭，范海雄，王崴，等. 基于TRIZ理论的一种可调整支架的改进设计[J]. 机械设计与制造，2010（2）：31-33. **AUTO1950**