

## FAST

# 预测机械摩擦对发动机性能的影响

[www.realis-simulation.com/products/fast](http://www.realis-simulation.com/products/fast)

[contact@realis-simulation.com](mailto:contact@realis-simulation.com)

## 什么是 FAST?

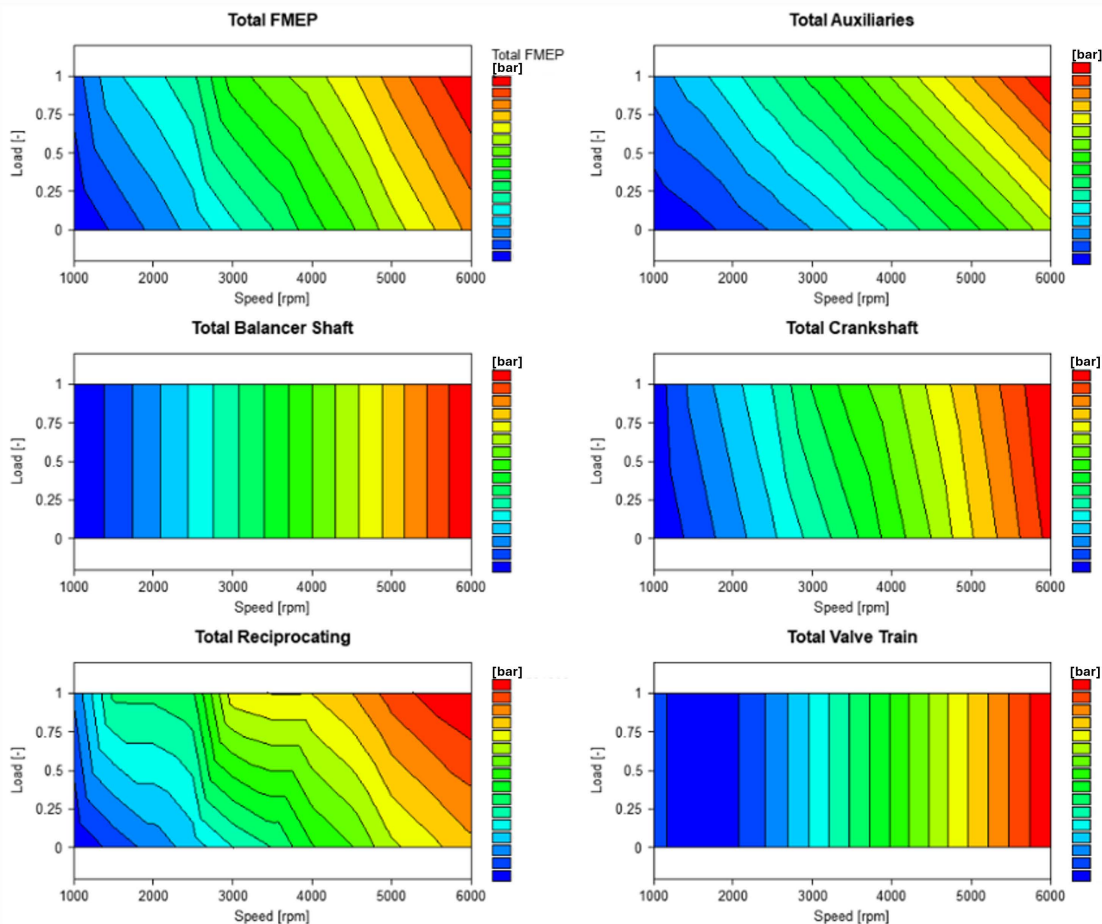


FAST 是一款用于快速估算内燃机机械摩擦的预测性摩擦分析工具。它利用经验和半经验计算方法，结合经过发动机拆解测试数据验证的结果，仅需少量输入数据即可提供快速、实用的摩擦预测。

FAST 帮助工程师在开发初期了解摩擦损失，而无需为每项研究构建高保真度模型。该工具既可独立使用（求解器将报告发动机总摩擦的详细分解），也可与 WAVE 耦合，在发动机性能仿真中预测 FMEP。

### 主要特点

- 在发动机开发过程中预测摩擦平均有效压力 (FMEP)，以满足所需的性能和燃油经济性目标
- 考虑内燃机中的主要损耗来源，包括辅助系统、风阻以及润滑接触点的摩擦
- 利用有限的输入数据，提供发动机总摩擦的详细分解
- 支持为发动机性能仿真模型生成输入数据
- 可在可行性研究和概念设计阶段对替代发动机架构进行比较
- 在发动机开发过程中协助确定摩擦目标
- 支持对带电机摩擦拆解试验结果的解读
- 支持评估减摩措施，并评估小型化或适度尺寸化方案
- 生成预测的摩擦图，可将其纳入实时发动机工厂模型，用于车辆系统建模和虚拟标定



### 何时使用 FAST

使用 FAST 可更早预测机械摩擦，更快了解导致发动机损耗的因素，并在投入硬件或详细 CAE 之前做出更明智的决策。

FAST 为工程师提供了摩擦行为的快速预测视图，帮助他们将开发精力集中在影响最大的系统上，并提供准确的摩擦输入数据，从而提高发动机性能模拟的质量。

## 快速 FMEP 预测，实现完整的发动机摩擦评估

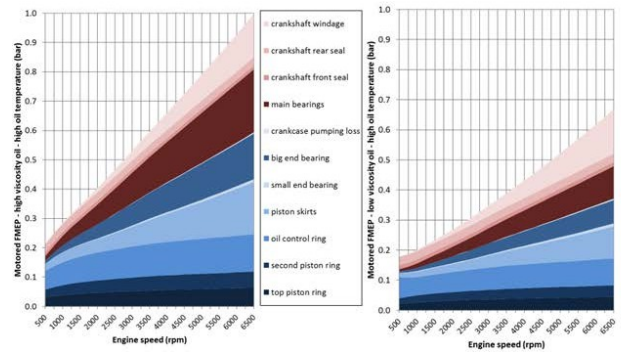
FAST 提供了一种预测整个发动机机械摩擦的实用方法。它计算摩擦平均有效压力 (FMEP)——即克服发动机摩擦所需的理论平均有效压力，并报告构成总发动机摩擦的关键系统的贡献。

该工具专为开发初期设计，此时虽然可用的设计信息有限，但工程师仍需对可能的摩擦损失有可靠的了解。FAST 结合了经验公式和半经验公式，并对每个发动机子系统进行单独计算，使其比简单的相关性方法更具预测性，同时比详细的 CAE 计算快得多。

## FAST 的预测内容

FAST 包含针对发动机摩擦主要来源的经验模型，包括：

- 活塞环和活塞裙
- 主轴承与连杆轴承
- 气门机构
- 正时驱动
- 曲轴密封件
- 曲轴风阻
- 机油泵、水泵及其他从动辅助部件
- FEAD 皮带损耗
- 适用于湿式油底壳发动机的曲轴箱泵送损失



图片由里卡多提供

## 活塞环与活塞裙部摩擦

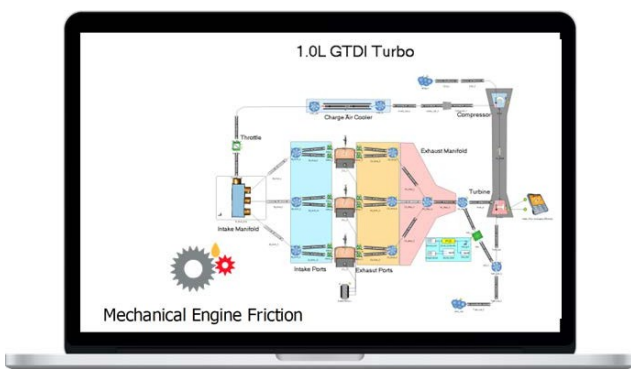
FAST 利用接触力、滑动速度和摩擦系数之间的关系，计算整个曲轴转角范围内的活塞环和活塞裙摩擦。对于活塞环，该模型考虑了环张力，并在点火工况下考虑了气缸压力对顶环和第二环的影响。对于活塞裙部摩擦，该模型在自转工况下考虑了惯性效应，在点火工况下考虑了气体力效应。摩擦系数是根据滑动速度、力和油粘度，采用斯特里贝克 (Stribeck) 型关系式计算得出的。

## 气门机构、正时驱动及轴承

FAST 采用半经验公式计算气门机构和正时驱动系统的摩擦。气门机构计算反映了气门机构类型、凸轮随动件接触形式、凸轮轴布置及气门间隙调整方式，而正时驱动计算则考虑了驱动类型和布局。轴承损耗可通过简化方程计算，如有需要也可引入更详细的轴承分析。

## 密封件、风阻、泵及 FEAD

FAST 考虑了组件级分析中常被忽略的摩擦和寄生损耗。这些包括曲轴密封件损耗、曲轴风阻、机油泵和水泵驱动功率、无负载状态下的交流发电机和空调 (A/C) 的空载损耗，以及 FEAD 皮带摩擦，从而更全面地预测整机机械摩擦。



## 典型应用

FAST 支持以下工程任务：

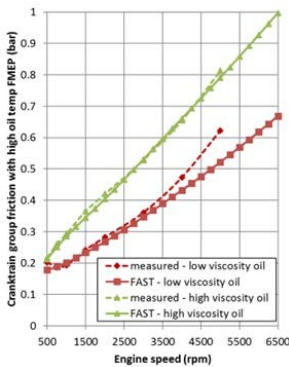
- 在可行性研究和概念设计阶段比较不同的发动机架构
- 为新发动机开发设定摩擦目标
- 解读带电机摩擦拆解测试结果
- 评估减摩措施的宣称效果
- 理解小型化和适度尺寸化概念对摩擦的影响
- 识别量产发动机中摩擦的主要来源

## 预测机械摩擦对发动机性能的影响

机械摩擦会随转速、负荷、温度、机油粘度、气缸压力及发动机架构而变化，这些变化可能对预测的燃油经济性、性能及调校决策产生显著影响。

FAST 将预测性机械摩擦直接融入发动机性能建模 workflow。它使工程师能够快速生成针对特定工况的 FMEP 数据，既可作为独立的摩擦分析，也可与 WAVE 耦合以支持发动机性能仿真。这使得摩擦效应能够更早、更真实地呈现，而无需为每项研究都采用更高保真度的部件模型。

通过提供快速的摩擦图和子系统级别的摩擦行为，FAST 帮助性能团队摆脱笼统的假设或固定的摩擦系数。它支持更优的架构比较、更具代表性的虚拟调校，并能更确信地评估设计选择如何影响整体发动机效率。



### 用于仿真和调校的摩擦图

FAST 可生成预测摩擦图，用于发动机和车辆系统建模。这些摩擦图可集成到实时发动机工厂模型中，用于车辆系统仿真和虚拟调校。

这使得 FAST 在无法将摩擦简单视为固定值的情况下尤为宝贵。发动机摩擦会随转速、负荷、温度、机油粘度及运行工况而变化，这些变化可能对性能和燃油经济性预测产生显著影响。

图片由里卡多提供

## 点火发动机 FMEP 预测

在欠燃工况下，FMEP 通常作为发动机性能仿真模型的输入参数。在欠燃工况下，由于气体作用力作用于活塞环、活塞裙、连杆轴承、曲柄轴承和主轴承，曲轴系摩擦力会超过自转摩擦力。FAST 通过在摩擦计算中使用气缸压力数据，支持此类预测。

## 基于性能的设计决策

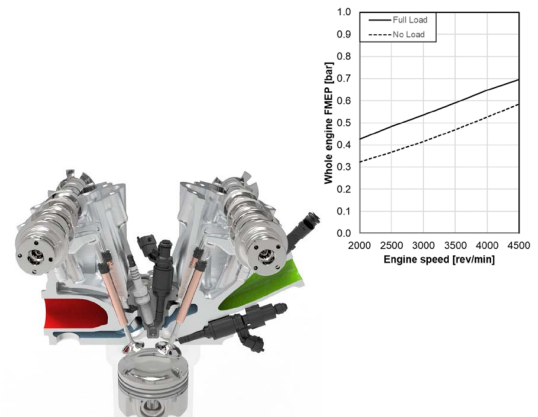
FAST 通过帮助团队评估摩擦力在不同工况和设计方案下的变化情况，助力发动机性能开发。其主要应用包括：

- 为发动机性能仿真模型提供摩擦参数
- 在可行性研究和概念开发阶段比较发动机架构
- 评估小型化和适度尺寸化概念对摩擦的影响
- 支持性能和燃油经济性的目标设定
- 研究机油粘度对曲轴系摩擦的影响
- 提供跨工况的子系统级摩擦响应

## 混合动力发动机性能

FAST 应用于混合动力发动机开发，该领域的重点已从传统的缩小排量转向合理排量，以实现更高的制动热效率。在混合动力应用中，摩擦预测有助于评估小缸径/长行程结构、曲轴偏心、连杆长度和轴承直径等选择的影响。长冲程设计可提高中冲程区域的活塞速度，从而增加活塞环和活塞裙部的摩擦，而更大的曲轴轴承则会增加轴承摩擦。

FAST 支持对混合动力特有的配置进行分析，包括带皮带驱动电动机的轻度混合动力布局、无皮带驱动的插电式混合动力概念、不同温度条件下的发动机摩擦，以及电池和发动机运行条件下的混合动力控制策略。



里卡多 Magma xEV 发动机 © SAE 2022-01-0422