

丰田公司借助仿真优化拓扑设计改进混合动力汽车的冷却系统

→改造电子冷却系统

丰田公司的混合动力汽车中安装有精密的电气系统，其中包括多款半导体功率器件，比如二极管，以及用于功率转换和管理的绝缘栅双极型晶体管（IGBT）。这些设备被安装在铝制散热片或散热板上，并将水和乙二醇混合液泵入由其形成的冷却通道中，以便进行热调节。

当技术路线图要求这些动力元件在保证消耗功率不变的同时将尺寸缩小一半，这会造成热通量的上升。由于发动机舱空间有限，无法安装更高功率的大型泵，因此通过安装大型泵来增加散热板间冷却剂输入量的方案并不可行。

在丰田位于美国密歇根州安娜堡的北美研发中心（TRI-NA），研究人员正在努力对散热板进行重新设计。Ercan（Eric）Dede 博士是 TRI-NA 电子研究部门的负责人，他解释说：“我们的目标是在散热板中结合射流冲击和基于优化后分支型冷却流道的径流，最终能在尽量减少压降的情况下均匀地带走大部

分的热。”对于 Dede 博士和他的同事们而言，最大的挑战便是设计出分支型冷却流道，他们可能需要制作大量的原型机来测试多种可能拓扑结构的热力学性能。

→斩获创新殊荣的高效工作流程

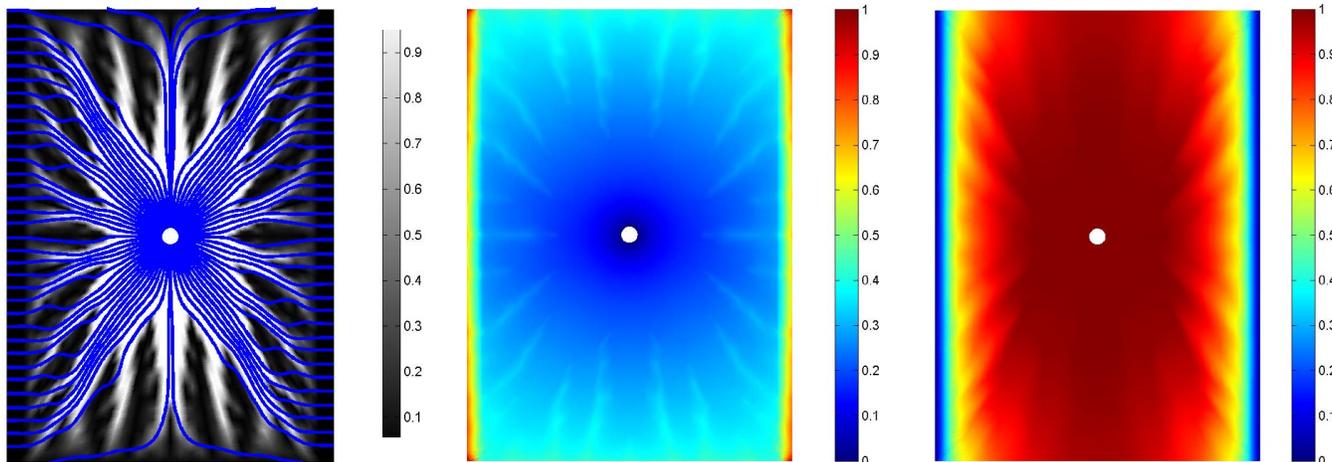
为了省去解析设计法和原型机试错法所需花费的时间和成本，在设计和测试这种有望用于未来混合动力车的新型散热板的原型机时，Dede 博士和他的同事们借助了数值仿真和多物理场拓扑优化。他们在工作流程中引入 COMSOL Multiphysics® 软件进行仿真，因而能够高效地设计出用于改造散热板中分支型冷却流道的拓扑结构。

新型散热板的研发是 TRI-NA 希望加速其在能源和环境、安全性，以及移动性等基础设施领域的前沿研究工作进度而展开的。该研究也为团队赢得了“R&D 100 大奖”的殊荣。

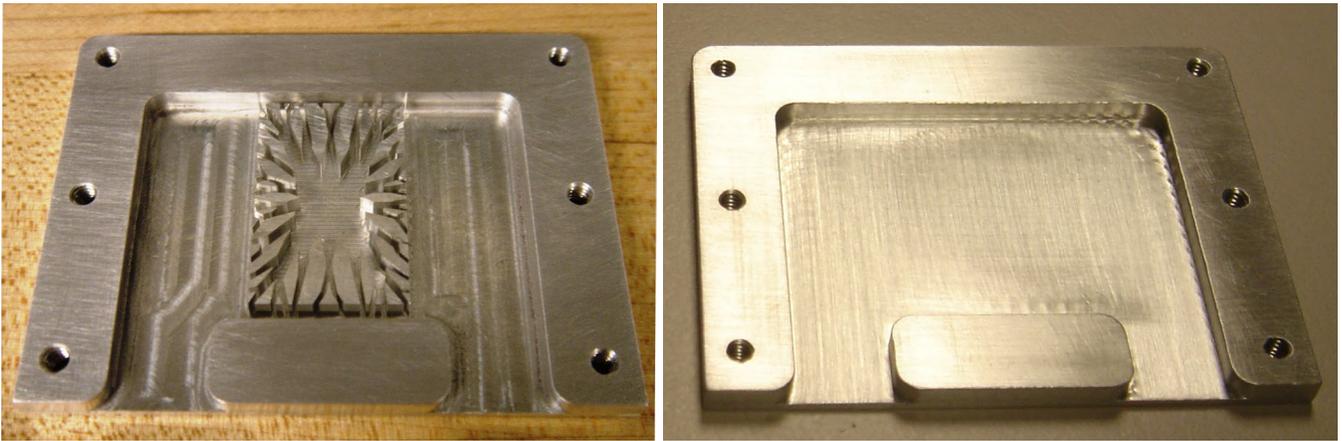
→混合动力车的冷却解决方案

“各应用领域研究人员都认为射流冲击是一个很不错的表面冷却实现方法。”Dede 博士说，“虽然射流冲击在距射流口较近区域的冷却效果不错，但在远离孔板处的效果就要差一些。”因此，他们的解决方案包含一个安装在散热板中心的单相射流冲击组件，以及分层式的分支型冷却流道，用于为周边区域提供冷却。“我们必须缩短这些冷却流道，这样才能将压降控制在最低限度。”Dede 博士解释说。

利用 COMSOL Multiphysics 的 CFD 模块和传热模块进行仿真，这对于优化分支型冷却流道的拓扑结构、进而在整个散热板内实现高效均匀的传热至关重要。此外，通过 LiveLink™ for MATLAB® 接口，Dede 博士可以直接在 MATLAB® 软件中运行仿真以优化设计，例如查看冷却流道拓扑将如何影响稳态自然对流传热和流体流动。



蓝色流线图代表了最佳的冷却流道拓扑（左图）；归一化等温线（中图）；归一化等压线（右图）。



左图为带有分层式微流道拓扑的铝制散热板原型；右图为不带拓扑结构的铝制散热板原型。

得到最初始的冷却流道拓扑之后，研究人员可以将用于分隔不同冷却流道的鳍片的高度也加进去，然后对其进行独

这也是该分支型结构计划实现的功能之一。之后，研究人员就在这一分形拓扑的指导下利用 SOLIDWORKS® 软件设计物

设计工具的主动链接，因此我们可以轻松地把 SOLIDWORKS® 中的结构设计导入 COMSOL®，以验证压降和传热问题。” Dede 博士说，“这才是仿真的真正未来，将你的 CAD 工具与仿真工具连接在一起，然后借助快速精确的设计迭代来简化开发流程。” 基于 SOLIDWORKS® 软件的设计结果，研究人员采用标准微加工技术和铝材制作出了原型机。改造后的功率电子散热板的传热性能提升了 70%，尺寸却仅为现在的 1/4。❖

“.....这才是仿真的真正未来，将你的 CAD 工具与仿真工具连接在一起，然后借助快速精确的设计迭代来简化开发流程。”

立的参数化尺寸研究。仿真结果显示，流道可以有效地将冷却剂分散到散热板各处，从而实现了均匀的温度和压力分布，

理散热板的原型机。

“LiveLink™ for SOLIDWORKS® 接口有一些非常棒的功能，支持与 CAD 设



丰田北美研发中心拓扑优化小组成员（从左到右）：Ercan Dede 博士，负责人；Jaewook Lee 博士，韩国航空大学助理教授（前 TRI-NA 研究员）；Tsuyoshi Nomura 博士，丰田中央研发实验室高级研究员（前 TRI-NA 研究员）。