

多物理场仿真优化智能微波炉设计

ITW 的工程师使用多物理场仿真及仿真 App 来优化智能微波炉设计。固态微波 / 对流加热技术使厨师能够更快、更均匀地烹饪食物。

作者 THOMAS FORRISTER

连接性是实现电子设备“智能化”的关键因素。目前,用户可以轻松地通过蓝牙、无线网络、4G LTE 或 5G 技术,将手机或平板与电脑无缝连接。此外,电子设备的计算能力也是加速其智能化的另一个重要因素。人工智能设备可以使人们的日常生活实现自动化,并且节约能源。大多数智能家居产品已具有多种功能,如机器人吸尘器还可以定时调节照明和采暖。

目前,冰箱、洗碗机和微波炉等智能厨用电器已成为人们日常生活的一部分,并在专业厨房中占有一席之地。美国伊利诺伊工具制造公司 (Illinois Tool Works, ITW) 食品设备部是世界上最大的商业食品设备制造商。ITW 设计的专业智能厨用设备,改变了厨师的烹饪方式,并能帮助他们管理服务时间和定制菜单。

» 利用固态技术控制微波

从制冷机到保温设备, ITW 制造各种工业电器产品,并通过使用 COMSOL Multiphysics® 软件创建和分发仿真 App 来优化制造工艺和产品设计。IBEX (图 1) 是 ITW 最新生产的一款为专业厨房设计的固态微波 / 对流微波炉。与其他智能组合微波炉不同, IBEX 具有多种智能化功能,它改变了食物的加热方式。

射频技术可以保障在不同负载条件下烹饪所需的稳定性。ITW 的工程师正在研究使用固态射频功率放大器和接收器来控制射频能量。与传统的磁控管相比,这种固态射频

功率放大器和接收器能根据食物的类型或数量,以一种更智能、更均匀且更高效的方式引导能量。这项技术使 IBEX 不仅可以达到组合型微波炉的质量要求,而且烹饪速度更快。

IBEX 的靶向加热功能可以自动执行厨师和其他厨房工作人员设置的任务。除具备高效的固态微波加热功能外, IBEX 还具有算法编

程功能,并支持专业人员编写食谱程序和定制菜单,以及执行各种常见功能。此外, IBEX 还具有一个 USB 接口,可与其他设备连接并传输菜单。

智能厨用设备使专业厨师的工作更加轻松。那么,使用什么工具来设计这些设备呢?“在尝试利用微波或射频能量优化食物的加热方式时,我们可以使用仿真工具来准确预测结果。” ITW 的资深射频系统工程师 Christopher Hopper 说道,“通过仿真了解固态微波炉中可能存在的加热模式,可以进行更精准的试验设置。”此外,由于几乎不需要进行反复试验,仿真还为团队节省了试验成本,并提前完成厨用设备和相关试验



图 1 ITW 生产的 IBEX 固态微波/对流微波炉。

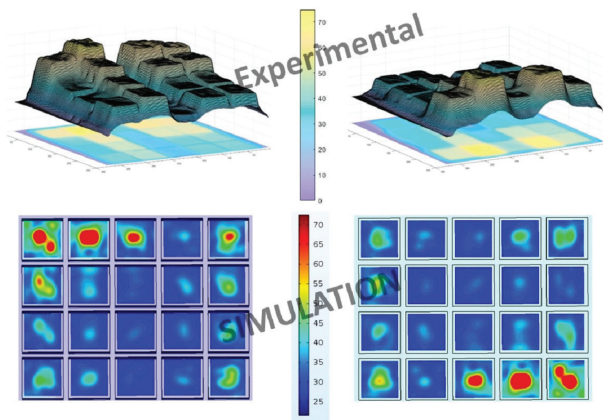


图2 设计不同烹饪配置组合,以改善食物加热的均匀性。

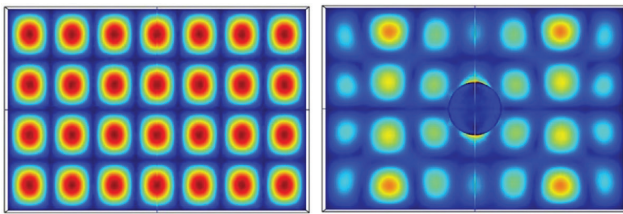


图3 有负载和无负载情况下,微波炉内的电场模式比较。

的最优设计。

» 仿真与试验的完美结合

在仿真试验设计开始, Hopper 和他的团队使用了 COMSOL® 软件及其附加的射频模块来研究不同的负载、加热均匀性以及食物的受热点,等等。之后,他们利用软件的 LiveLink™ for MATLAB® 接口,将参数化扫描与复杂的后处理相结合以减少计算时间。Hopper 发现该接口非常有用,因为他经常使用 MATLAB® 软件。

在一个关于固态射频效率的 IBEX 试验设计中,为了研究对于不同容量的食物容器,以及对于不同负载微波炉如何保持高效运转, Hopper 和他的团队通过仿真对容器进行了测试,并研究了如何改进负载加热的均匀性。通过比较两种不同的食物排列方式:薄层组成的、立方排列和柱状的陈列排列,他们发现对于每种类型的组合,固态射频微波炉都可以持续地将能量高效输送至负载。

目前,市场上出售的快速烹饪微波炉无法调整相位、频率

和输出功率等参数,因此当负载的体积、分布,以及数量发生变化时,加热效率会发生大幅波动。此外,对流微波炉或组合微波炉的效率还取决于负载的表面积,因此负载的数量增加并不一定会使烹饪或加热所需的时间增加。相比之下,对于不同组合的负载,IBEX 微波炉都能保持较高的加热效率,即同时拥有对流微波炉的质量特性与快速烹饪微波炉的速度特性。

然而,仅通过控制频率、相位和输出功率还不足以维持固态微波炉高效的能量输送。因此,他们采用了闭环反馈系统来改善烹饪配置。与开环式控制微波炉不同,闭环式控制微波炉允许设置初始加热条件,应用特殊的加热配置,并能适应烹饪过程中负载性能的不断变化。通过闭环控制,工程师可以将输出结果反馈回系统;通过比较实际输出与期望输出结果,他们可以设计出一个利用误差信号自动检测和监视输出差异的系统,从而通过改变负载、食物特性和其他条件来改善烹饪过程。通过从腔体/负载系统获得的反馈,工程师们可以通过测

试找出最佳的烹饪组合,并使用更小的标称功率来提高加热的均匀性和能量传递的持续性(图2)。

在此基础上,团队还可以继续完善测试和验证模拟结果。“COMSOL 多物理场仿真软件可以准确地对不同食材或负载进行电磁-热耦合。通常,负载的特性随温度和频率的变化而变化。”Hopper 说道,“软件不仅可以模拟这些变化,还可以精确地模拟加热模式、电磁场强度和功率损耗密度。”

例如,通过模拟结果,在有负载和没有负载两种情况下,团队可以找到受热点最有可能存在的位置(图3)。通过模拟结果来评估可能的加热模式、腔体和炊具的吸收等,可以帮助工程师设计试验,并在试验过程中收集不同频率下的热和电磁数据(图4)。此外,他们还可以通过比较不同食物(如面包和鸡蛋)中产生的温差来验证仿真结果的准确性。

» 智能厨用设备使生活更美好

除了进行更复杂的仿真之外, Hopper 还使用 COMSOL Multiphysics®

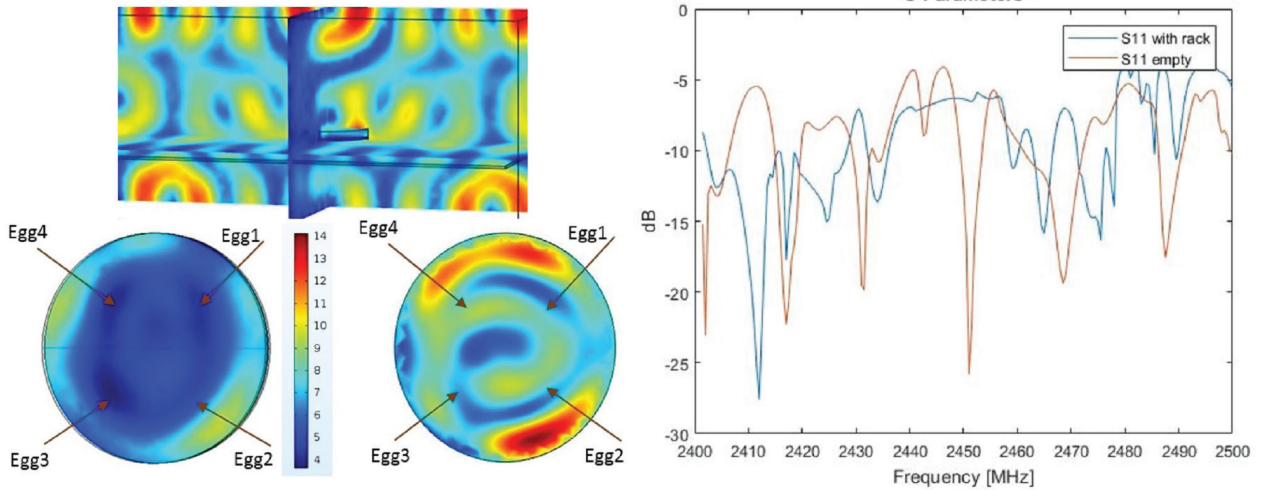


图 4 使用探头收集微波炉内鸡蛋中的热和电磁数据(左) ;含支架和不含支架的微波炉 S 参数(右)。

创建了仿真 App, 以便于其他同事参与设计, 如更改频率或相位响应、温度和时间(创建食谱时)、食材大小和摆放位置以及介电性能等。

在组织内部署仿真 App 有诸多优点。Hopper 说: “在一个具有不同技能水平和背景的多元化团队中, 根据个人兴趣和工作职责量身定制仿真 App, 可以减轻仿真专家的工作负担。” 此外, 仿真 App 还可以帮助他人学习。Hopper 创建了一个 IBEX 微波炉的仿真 App (图 5), 用于向团队新成员和实习生介绍波干扰、介电和损耗因子依赖性, 以及射频加热等基础知识。

固态微波厨用设备推动了烹饪艺术的进步, 靶

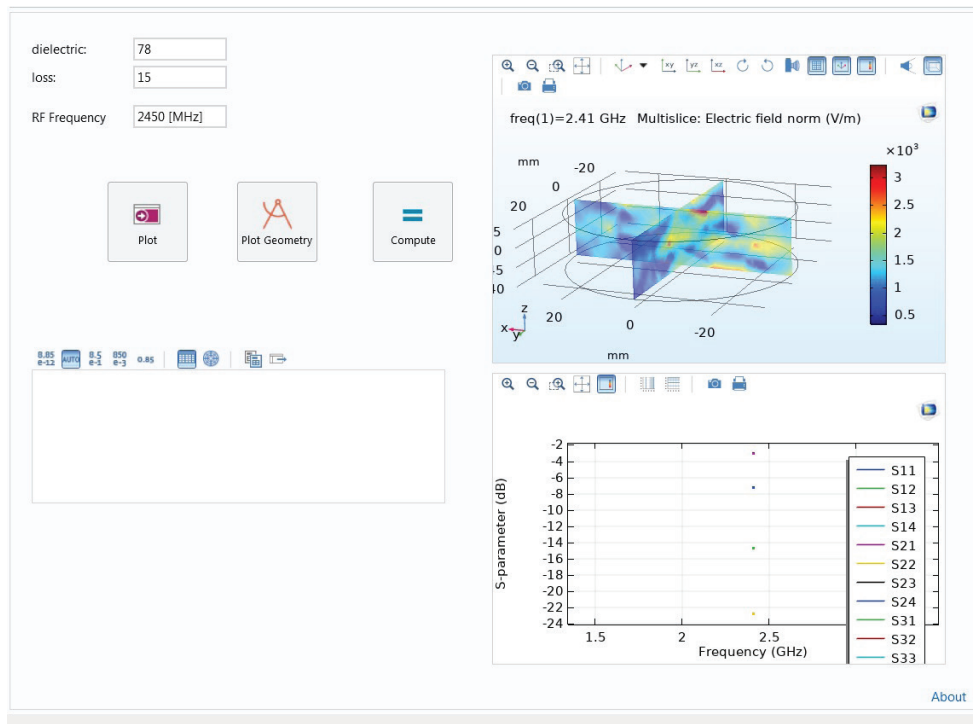


图 5 IBEX 微波炉的仿真 App 用户界面。

向食物加热只是其中的一项功能。通过持续使用 COMSOL 多物理场仿真软

件的计算、仿真 App 和后处理等功能, 食品设备制造行业的工程师和制造商可以为专业和家用厨房设计出更高效、更可靠的智能电器。©