

# 通过多物理场仿真 开发微型机器人驱动技术

法国原子能与可替代能源委员会的研究人员正在研究让微型机器人机械手臂变得更容易制造和操作的方法。他们希望提供比目前外科手术所用器械更低廉的驱动器；终有一天，它会革新目前手术台上所采用的的方式。

作者：LEXI CARVER

微创手术依赖于微型灵巧的工具，及其可靠的驱动性与性能稳定。机器人器械已经进入手术室，协助外科医生进行需要站立数小时的手术。但许多机器人手术器械都极其昂贵、体积庞大，操作费力。法国原子能与可替代能源委员会（CEA LIST，法国 Gif-sur-Yvette）系统与技术集成实验室的研究人员 Christine Rotinat 正在寻求创造出一种替代品。

## 相变驱动改善外科医生的体验

Rotinat 的目标是为外科医生提供

价格适中的多功能机器人工具，减轻他们在漫长手术中的痛苦。这种器械需要便宜、灵巧，能够在较大位移下产生高驱动力，功耗小，并符合医疗标准。例如，高电压通常不安全，MRI 之类的设备周围不能存在磁场。

Rotinat 研究了微型相变驱动器，他们可以通过材料从固态转变为液态时发生的体积膨胀来提供运动和力。她需要的材料要具有高膨胀率和抗逆性，并能在病患体温和管理阈值之间发生相变。Rotinat 测试了由 Goldschmidtboing 等人发明的微型驱动器，这种微型驱动器使

用石蜡，这种蜡烃类在受热从固体变为液体时体积会膨胀 10-20%。它与炭黑粒子结合，产生了一种导电复合材料，在电流通过时产生焦耳热。

Goldschmidtboing 的微型驱动器包含一个腔室，其中充满 2% 炭黑浓度的导电石蜡，覆盖用于施加电流的硅膜和密封金属，并用电绝缘层隔开（见图 1）。石蜡膨胀会导致硅膜向外弯曲，使驱动器发生运动。

Rotinat 和她的团队评估了这种复合材料在 CEA LIST 微型驱动器中的力学行为和控制方式（见图 2），她的同事

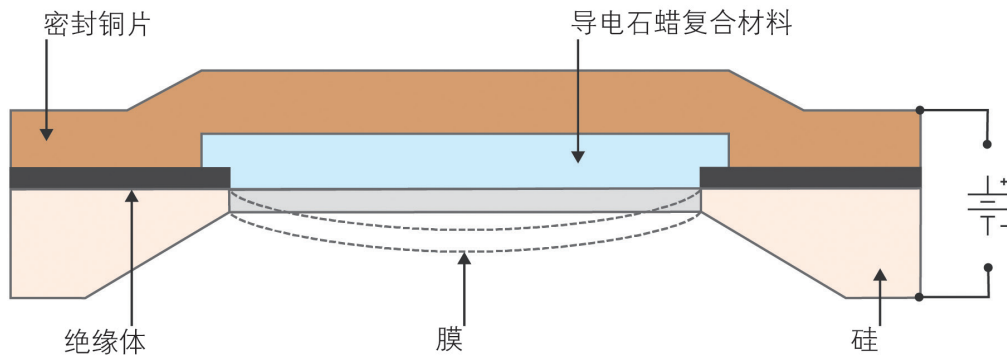


图 1：基于 Goldschmidtboing 等人工作的相变微型驱动器的原理图。

## “我们可以轻松进行参数化，更改驱动器高度、膜厚度，以及蜡复合材料模型。”

Panagiotis Lazarou 在 COMSOL Multiphysics® 中建立了预测模型，用于优化设计。为了仿真器件中复合材料的行为，Rotinat 和 Lazarou 基于 Goldschmidtboing 的微型驱动器研究对他们的模型进行了调校。

### 使用多物理场仿真预测驱动器的行为

LAZAROU 的仿真包含了几何、热、机械和电气参数。“COMSOL 可以直接耦合所有涉及的物理场，”他解释说：“这是一个多物理场问题，具有非线性的电导率、密度与比热容，以及不断变化的粘度，所有这些都影响弯曲。”COMSOL 使他可以精确地研究每种参数如何影响位移。

“我们使用 COMSOL 作为预测工具，”Lazarou 说：“我们可以轻松进行参数化，更改驱动器高度、膜厚度，以及蜡复合材料模型。此外，由于石蜡膨胀时碳粒子会相互分离，所以电阻率会随温度升高而增大。”Lazarou 通过对

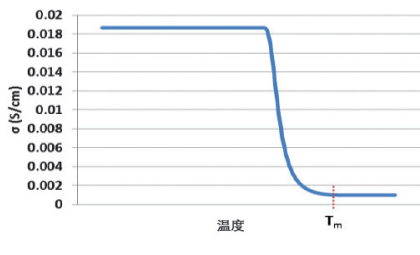


图 2：电导率随温度非线性变化的近似模拟。其中，熔化温度  $T_m$  约为  $42.8^\circ\text{C}$ 。

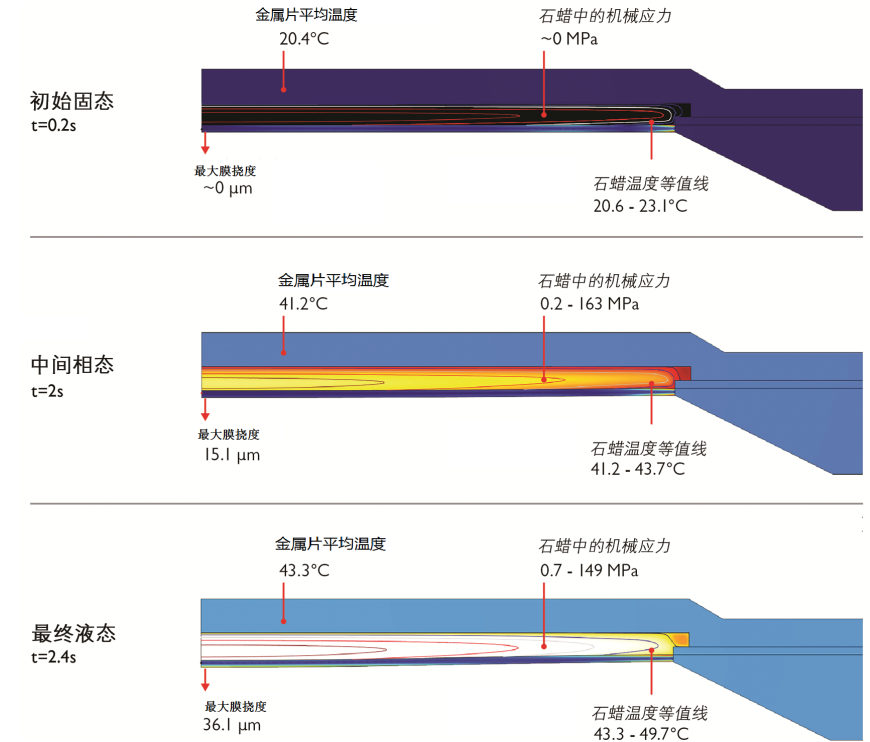


图 3：验证模型与结果显示了金属片和石蜡的温度范围、石蜡中的应力，以及膜的挠度。

电导率分布式建模来近似模拟这种行为（见图 2）。

仿真得到膜的挠度（见图 3）非常接近于 Goldschmidtboing 等人展示的挠度，这反映了该模型和电导率近似模拟的准确性。这样 Rotinat 和 Lazarou 可以采用这个模型并优化 CEA LIST 微型驱动器设计。

### 机器人外科手术工具的新造型

Lazarou 成功地构建了相变驱动器的多物理场模型，用于仿真力学行为和 各种控制方式。他正在将仿真应用于 CEA LIST 集成微型驱动器的设计和优化，目标是和 Rotinat 所设想的高负荷和大驱动范围。这种驱动器符合医疗要求且功耗低，以及降低成本和外科医

生负担的优点。原型设计将在 2014 年完成，并在集成到机器人外科手术工具之前进行全面测试。我们很快就会在手术室里看到价格合理、易于使用的外科手术机器人。■



Panagiotis Lazarou 和 Christine Rotinat 正在进行微型驱动器仿真。