

# 雀巢里的 甜蜜仿真



在英国约克郡的雀巢公司产品技术中心，  
研究人员正使用仿真来优化巧克力的生产。

作者：ALEXANDRA FOLEY

在雀巢，围绕生产一块完美巧克力糖果所进行的各种研究、设计和制造工作是一个非常令人着迷的过程，甚至有些类似电影《欢乐糖果屋》中的奇幻世界。虽然可能没有一位奥帕-伦帕人在监督糖果的生产，人们还是进行了大量的思考及仿真工作来优化这一过程。

在英国约克的雀巢产品技术中心（约克 PTC），工程师们正在进行三大产品的研发：用于制作糖果棒的巧克力浇注机；威化烤盘；以及用于同时烘焙和分类谷物食品的挤出机。约克 PTC 是雀巢糖果类产品的研发中心，工程师们正依赖多物理场仿真来优化和简化生产工艺。

## → 巧克力的研发

雀巢奇巧（Kit Kat®）、Aero® 气泡巧克力、Crunch 甘脆巧克力，以及牛奶巧克力棒等都是利用巧克力浇注机向模具中填满融化的巧克力制作而成。巧克力通过顶部的流道进入浇注机，然后经由一个个的喷嘴尖端离开浇注机并进入模具（见图 1）。

“要保证每根巧克力棒都包含相同数量的巧克力，就意味着巧克力要以相同的流速和压力离开喷嘴。”雀巢工艺工程师 William Pickles 说道：“我们要保证每根巧克力棒都具有相同的重量，这不仅是为了成本效率和标准化的目的，也是为了保证外包装上卡路里信息的正确性。这样，我们才能交付出包含精确营养成分的产品，将其完美加入到我们顾客的平衡膳食。”为了实现这一标准化，每个喷嘴尖端的流动和压力都必须一致，误差应被控制在极小的范围内。

雀巢通过一组模拟与仿真工具来实现这个一致性要求。图 1 所示的巧克力浇注机首先通过 SOLIDWORKS® 设计，随后几何被导入 COMSOL Multiphysics® 仿真软件进行分析。他们利用仿真来优化流体流动、测试机械应力，以及分析具体几何的热属性。

“每家巧克力制造商都有独有的配

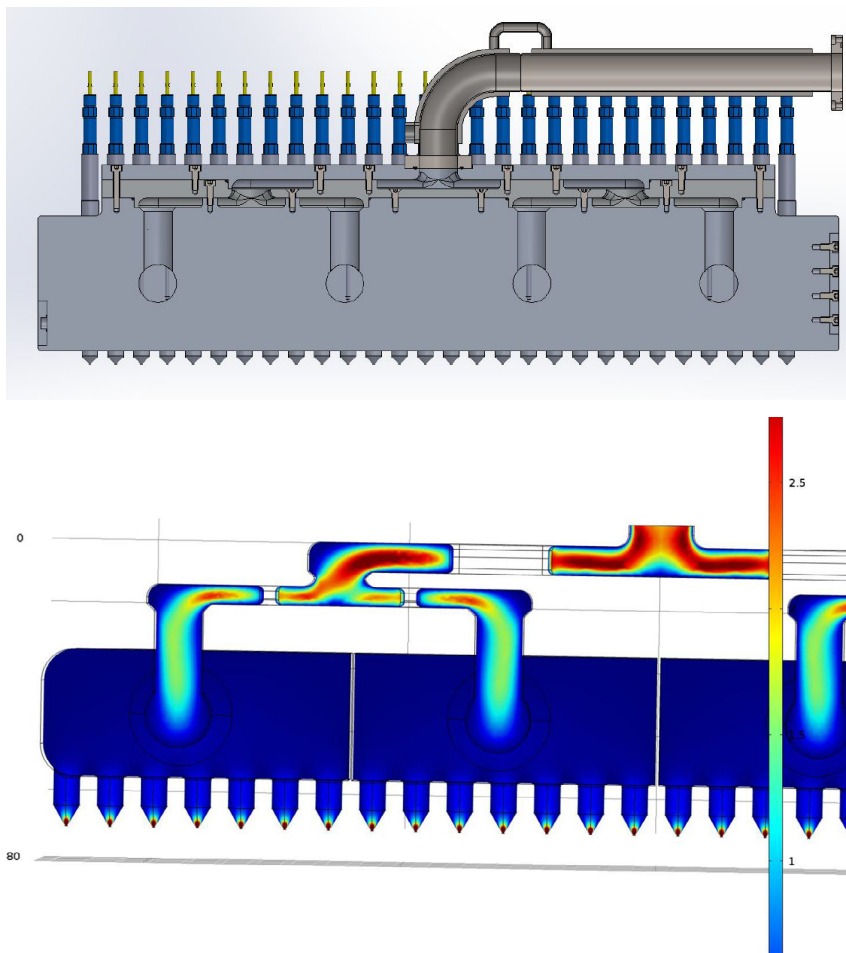


图 1. 上：SOLIDWORKS® 软件绘制的浇注机几何。下：COMSOL Multiphysics® 仿真显示了浇注机喷嘴和流道中的巧克力流速大小。

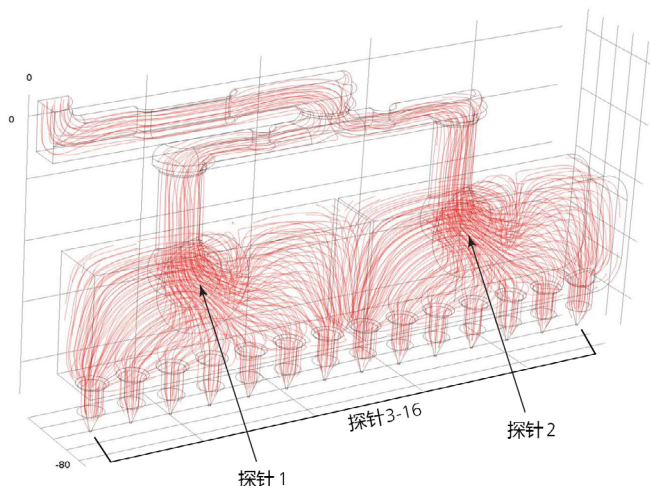


图 2. 置于每个喷嘴尖端和流道内的探针，显示出巧克力在浇注机和喷嘴内的流速和压力变化符合规格要求。流线显示了巧克力的流动方向。

方，这样才能生产出独具特色的巧克力。” Pickles 说道，“通过建立一个仿真，并将流体的剪切速率与剪切应力相关联的实验曲线导入软件，我们能够充分模拟雀巢经典巧克力中的非牛顿行为。这样，我们就能确定所模拟的巧克力具有与真实产品相同的流体属性。”

团队利用仿真找出了高流速和低流速区域，并确定了每个浇注机喷针之间的流动差异。使用流道中及喷嘴尖端的数值探针来分析几何中特定位置的情况。

“通过优化浇注机设计，我们能在每个喷嘴上实现一致的流速，将误差控制在期望值的 1% 以内。” Pickles 说

道。图 2 显示了这些仿真结果。

### → 仿真拯救了巧克力中的甘脆口感

如果雀巢奇巧里面没有香脆的威化夹心，会怎么样呢？制作威化时，加热不均匀会在威化内部造成不同的水分浓度，破坏它松脆的口感，甚至会使它自己发生断裂。

烘焙威化时，雀巢会使用两个烤盘来挤压它们之间的糊状物（见图 3）。烘焙过程中，烤盘大约会经过 40 簇火焰。

“我们使用仿真来分析烤盘下方和周围的热空气流动，优化烤盘设计，以保证我们能在烤盘表面实现均匀的温度剖面。” Pickles 描述道：“我们这项研究的目标是修正燃烧器的功率和方向，希望能在烘焙出最佳威化的同时，减少所消耗的燃料量。”这也符合雀巢有关持续改进所有生产过程效率的政策。

烤盘下的火苗被模拟为热空气喷射，通过对流实现加热过程。图 4 显示

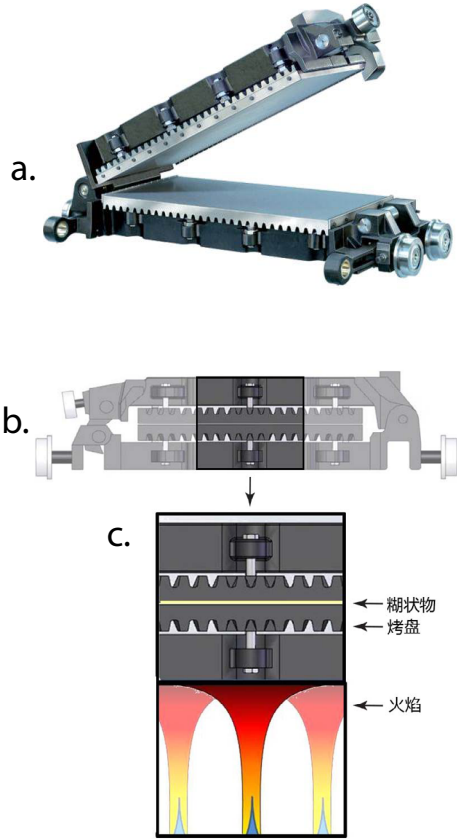


图 3. 使用两个威化烤盘 (a) 来烘焙奇巧威化；上部和底部的烤盘正在挤压面糊 (b)；而烤盘底部的火焰正在烘焙威化 (c)。

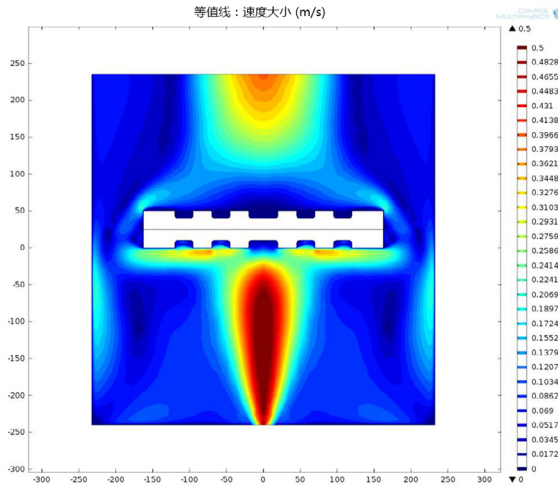


图 4. 烤盘周围的气流。

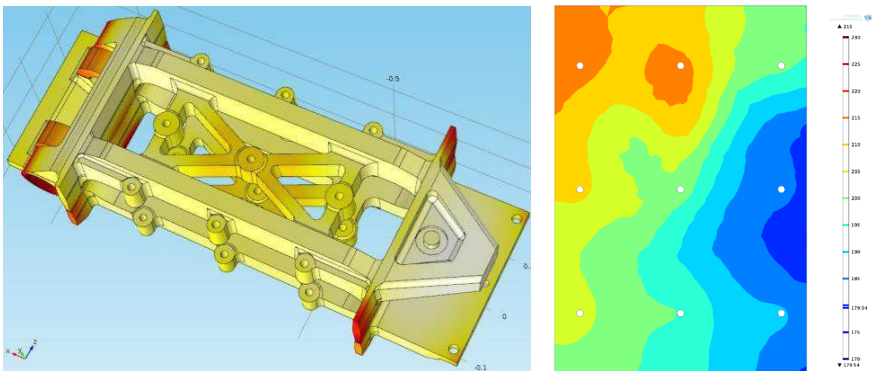


图 5. 左：烤盘支架中的温度分布。右：上方烤盘表面的温度剖面，可以在螺栓位置处（白圈）看到更热的点。

“每家巧克力制造商都有独有的配方，这样才能生产出独具特色的巧克力。我们可以使用 COMSOL Multiphysics 来全面模拟雀巢的经典巧克力。”

— WILLIAM PICKLES, 雀巢工艺工程师

了烤盘下方的火苗和周围气流的剖面。

“我们借助试验中用到的烤盘来验证模型，发现它与仿真结果拥有很好的一致性。” Pickles 说道。结果还显示，在用于将烤盘连在一起的螺栓附近，由于螺栓增加了热传导，因此出现了更热的点（见图 5）。

“下一步将是优化设计，以尽可能均匀地加热烤盘顶部，并最小化温度峰值。” Pickles 说道。

### → 挤压烘焙

在雀巢，像脆谷乐 (Cheerios®)、果然多 (Trix®)、雀巢巧伴伴 (Nesquik®) 等谷物食品均通过挤出机烘焙而成。“雀巢使用的高温挤出机会将生面团挤出模具来制作各类谷物食品。这个过程中会产生压力和摩擦，通过粘性加热来烘焙生面团。” Pickles 这样解释图 6 中所示的挤出机。“挤出机很常见，因为它是一种小巧的低成本产品制造方法。”

Pickles 正在设计粘度计的外壳，该粘度计置于挤出机内部以测量面团进入模具时的粘度。这将保证面团质量的一致性，从而能够按照可预计的

方式来烘焙。“在我们的设计中，需要保证粘度计的外壳能够承受设备内的高压。” Pickles 说道。

在原始的挤出机设计中，粘度计外壳无法承受其中的高压。

“我们重新设计了外壳，它可以帮助降低压力。因此我们能保证模具的设计不会超过其屈服应力，这样粘度计才能安全地安装在挤出机内部。” Pickles 说道。此外，还通过仿真检查了挤出机的位移是否一致，因为如果设备位移存在差异，生产出的谷物食品将会有不均匀的外形和尺寸（见图 7）。

### → 利用多物理场仿真更好、更安全地生产

在雀巢，仿真是设计过程中一个重要组成部分，从巧克力、到威化，再到谷物食品的生产，到处都有仿真的身影。

“由于雀巢产品最终将被我们的消费者作为食物消费掉，我们必须保证我们的设计在真实世界中同样有效。” Pickles 总结道：“我们对仿真结果非常有信心，而且我们相信它可以帮助我们得到最好、最安全的设计。这也使我们能够持续为大家生产出更美味、更健康的产品。” ❖

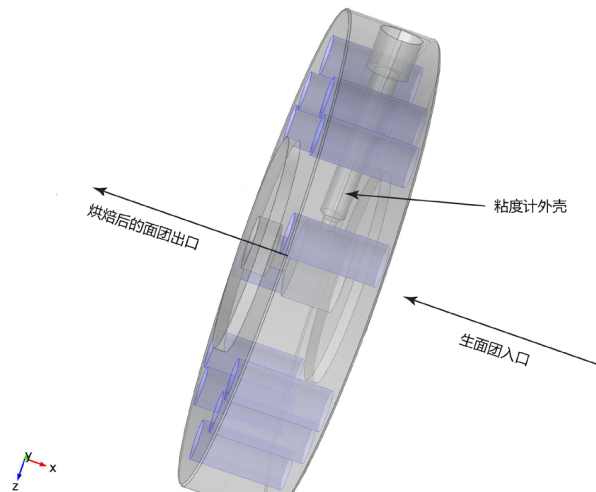


图 6. 挤出机的几何构造。

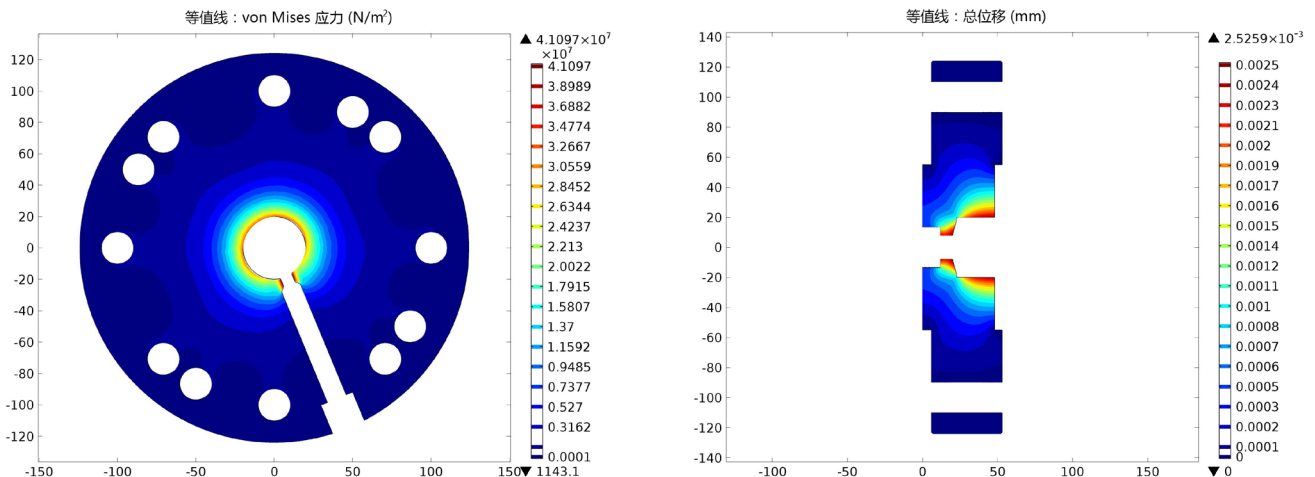


图 7. 粘度计外壳和模具的仿真结果。左：von Mises 应力等值线。右：总位移切片图。