

多物理场分析帮助保存历史遗迹

为了改善建筑环境、拯救历史建筑及文物，学生们与咨询公司正积极展开合作。在这一过程中，仿真 App 发挥了极大的作用。

作者 **GARY DAGASTINE**

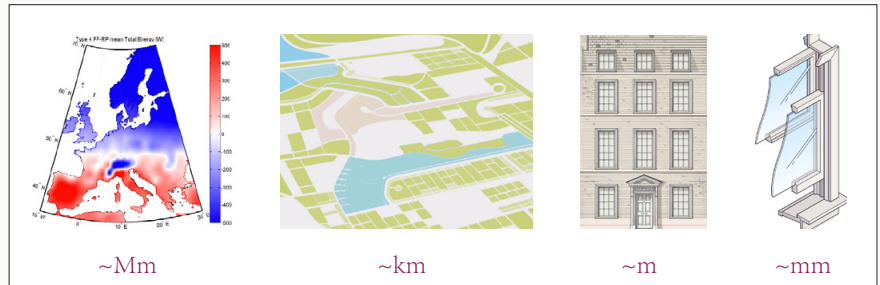


图 1. 从左到右分别显示了建筑环境的各种长度尺度，从广袤的陆地区域，一直到窗户中使用的材料。

人类创造的事物总是有其发展的空间。没有什么地方比所谓的“建筑环境”更真实了，我们正是在这样的人造物理环境中生活、工作和玩耍。

建筑环境是个相当宽泛的概念，从都市圈到单个建筑、公园、道路，再到我们经常要打交道的各种基础设施，都属于建筑环境。虽然这些建筑看起来似乎巍然不动，但它们其实会持续受到多个物理过程的影响，例如在不同尺度下发生的传热、空气流动和湿气输运等过程（见图 1）。

如果能精确模拟与仿真这些过程，将会给许多重要领域带来极大改进，例如能效、健康与安全、运作成本与耐用年限，这其中特别涉及到对历史建筑的保护。

Jos van Schijndel 目前正致力于该领域的研究，他是荷兰咨询公司 CompuToolAble 的创始人，同时也是荷兰埃因霍温理工大学的助理教授，他的专业领域是对建筑物理的数学建模。

“我在项目中收获了很多快乐与动力，因为项目中不仅包含了最前沿的研究，还有很明显的社会效应，并且能够激励我

的学生。” van Schijndel 说道，“我成立 CompuToolAble 公司的目的，是希望能结合我们在前沿数学理论及计算工具方面的专业知识，以及在复杂数值实验方面的执行能力，为客户带来创新的设计，并不断优化设计的性能。

作为一名咨询顾问兼教授，van Schijndel 经常要想办法与身边的人交流一些复杂的想法。而这些人中时常会有非仿真专业的客户或正在学习建模与仿真的学生。作为一名 COMSOL Multiphysics® 软件的用户，他利用 App 开发器为他的 COMSOL® 软件模型开发了直观的用户界面。这使身为仿真专业人员的他能更有效地与其他机构和部门的客户与同事进行合作。

⇒ 仿真 App 促进了数值仿真的使用

van Schijndel 为 COMSOL 模型开发了定制用户界面 (App)，客户可基于这个界面进行数值仿真分析与测试。对那些之前从未使用过仿真软件或由于没有相关技术背景而无法独立开发模型的最终用户而言，这些 App 使他们能根据自己的需求更

改设计，并进行虚拟测试。

在大学里，他可以继续使用这款软件来向学生们介绍多物理场仿真及 App 设计。COMSOL 仿真 App 为学生们提供

COMSOL 仿真 App 为学生们提供了一个非常好的起点，使他们能在自行开发模型之前先对数值分析及物理系统有初步的了解。



图 2. 左图为 Amerongen 城堡，随着时间的推移，由热和湿度驱动的应力与应变将给这类历史建筑带来各种潜在威胁。除了建筑本身，城堡中收藏的各种珍贵物品，比如右侧的橱柜门，都会被破坏（来源：Rijksmuseum Amsterdam）。

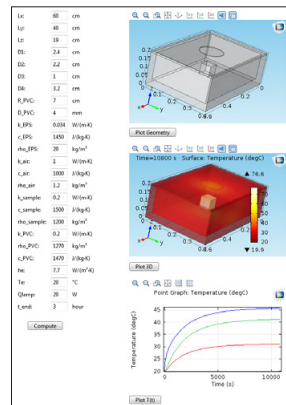


图 3. App 用户可以了解各种设计与工况，例如，不同的几何参数与材料属性。

了一个非常好的起点，使他们能在自行开发模型之前先对数值分析及物理系统有初步的了解。当他们足够熟悉相关概念和模拟技巧后，就能通过 App 开发器制作自己的仿真 App，从而进一步扩展知识并提高整体分析能力。

“对我而言，App 开发器在两个方面特别重要。” van Schijndel 说道，“在大学里，在学生们深入数学建模之前，鼓励他们积极发挥自己的创造力与独创性，这项工作一直都很困难做到。但现在，我可以轻松开发出参与型仿真 App，仅在其中加入我希望学生研究的一些特征。只有在他们有机会使用仿真 App，分析其中的物理场并理解更改各种参数所带来的影响之后，我们才会引入更详细的分析。”

“在公司层面，” van Schijndel 继续说道，“常常有用户需要借助数值仿真来分析和理解物理过程对他们产品的影响，但他们缺乏足够的经验来开发模型或不愿意自己开发模型。借助 App 开发器，我可以为高级数值模型开发一个专业的用户界面，并只提供用户感兴趣的参数。这还能保证不会引入其他错误，因为我们都是基于相同的参考点开始工作的。”当对仿真 App 进行部署后，用户将能通过网络浏览器或下载客户端连接 COMSOL Server™ 产品，访问并运行仿真 App（见图 3 中 App 的截屏）。

⇒ 多物理场分析帮助保存历史遗迹

在对历史建筑及内部文物进行保护时（见图 2），我们必须严格观察传热、空气流动与湿气传递的综合作用，尽量削弱其不良影响。温度与湿度的波动会增大历史建筑及文物中的应力与应变，可能造成翘曲、破裂、尺寸变化和其他

形式的损害。如果能更好地理解这些过程的动力学及产生原因，将能更有效地采取保护措施。

Van Schijndel 与他在古建筑物理学部门的同事 Henk Schellen 助理教授合作，开发并指导了多个与历史建筑保护相关的 COMSOL 模型。例如，他们的博士生 Zara Huijbregts 就通过 COMSOL Multiphysics 中的传热模块模拟了从窗户射入的阳光在一天中不同时段对房间地板与墙壁的加热（见图 4）。

仿真中加入了穿过围护结构的热传导、对流换热和

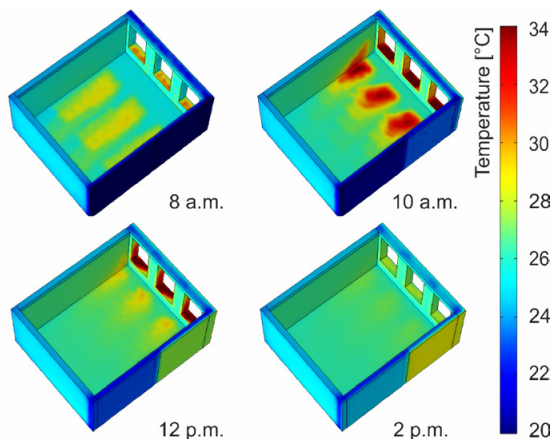
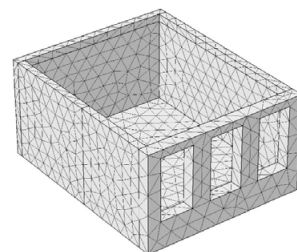


图 4. 在 COMSOL® 软件中对地板及房间墙壁在一天中不同时段温度分布执行的数值仿真。随着日光进入室内，来自太阳辐射的热也会从窗户传入。

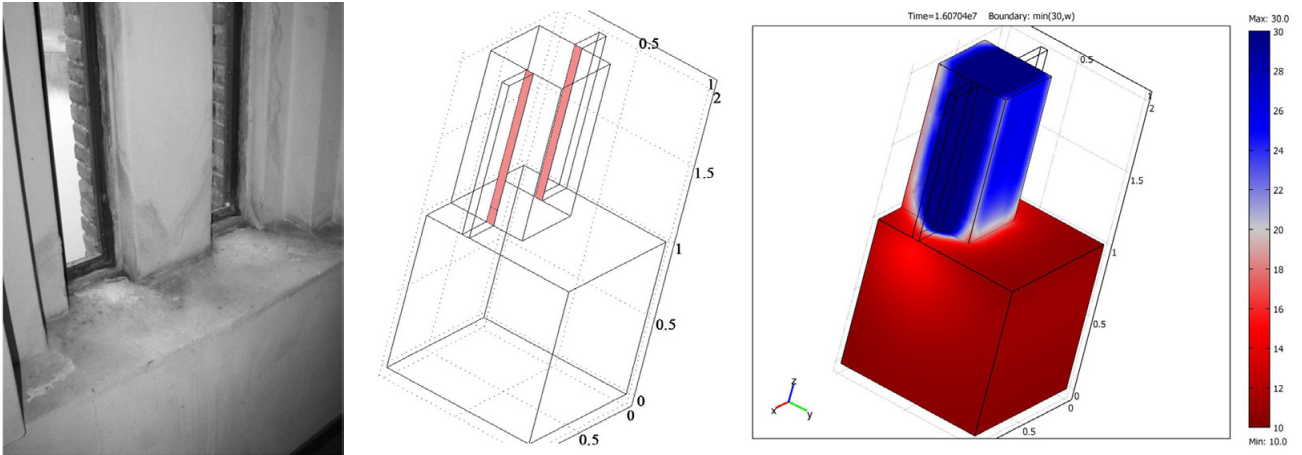


图 5. 湿气可能会损坏上方的画作（左），van Schijndel 开发了一个 COMSOL 模型来理解湿气的传递，其中精确耦合了通过墙壁的热与湿气的传递（右）。

测量得到的室内空气，以及热辐射。模型加入了房间及建筑立面的不同表面，还考虑了室外遮阳的冷却效果。

结果预测了每面墙在一天内各时段温度，标出了能够保护敏感物品免受日光及传热损害的最佳位置。“获取精确的温度分布至关重要，例如，可以将绘画作品挂在受太阳加热影响较少的位置。” van Schijndel 说道。

潮湿损伤是另一个会损害墙壁、建筑、屋顶及室内物品的元凶。在较古老的建筑中，我们并非总能很明确地找到湿气进入建筑或室内的位置，van Schijndel 有时会将 COMSOL Multiphysics 作为一种分析工具来使用。

“我们的想法是在多物理场仿真中加入在不同位置测得的相对湿度，通过运行仿真推测出湿气的进入位置。我们将能从相对湿度较高的地方得出湿气的传质过程，然后将信息耦合到传热仿真中，因为热会驱动湿气的分布。”他说。

Van Schijndel 针对在窗户附近存在明显泄露损伤的墙面开发了湿气运输的 COMSOL 模型。他可以从模型中推测出湿气的来源（见图 5）。他和他的学生们利用这种方法模拟了各种材料的热桥，分析了密封位置对从建筑内部到外部传热的影响；并理解湿气在各种建筑材料中的传播，比如混凝土、石头，及隔热材料（见图 5）。

对诸如历史画作的珍贵物品而言，由于应力及应变主要由温度和湿度驱动，所以需要能在一个模型中准确地耦合这些因素，以便更好地预测各种潜在损坏。Van Schijndel 的模型计算了墙壁和画作上的温度分布，以及湿度的相对变化（见图 6）。

“在气候变化、城市化加速及其他各种因素的影响下，历史建筑的完整性正遭受前所未有的威胁。与此同时，由于对历史传承的保护将带来极高的社会效应，相关历史建筑的保护规定也非常严格。在我们用于实现这些要求的工具中，对 COMSOL 这样的高级建模与仿真工具的使用已经成为了重要组成部分。” van Schijndel 说。❖

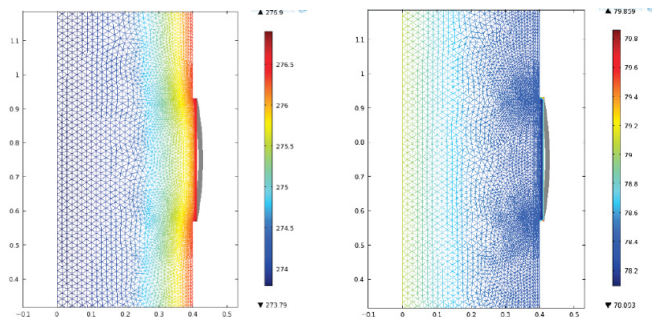
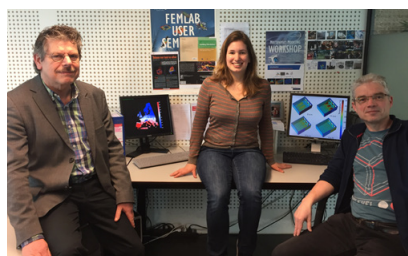


图 6. 在 COMSOL 中对悬挂画作的墙壁横截面的两个仿真结果图。左图是墙壁和画作在给定时间点的温度分布，右图是相同时间点下墙壁及画作中相对湿度的变化率。模型能够预测影响历史建筑与文物的应变及应力，专家们将根据这些信息选出适合的损坏缓解措施。



从左到右：
Henk Schellen、Zara Huijbregts 和 Jos van Schijndel。