

新型电缆设计

——仿真软件为电缆行业带来巨大变革

普睿司曼 (Prysmian) 集团利用多物理场仿真技术研发出高科技电缆, 从而开拓了新业务并增加了利润。

作者 **DEXTER JOHNSON**

普睿司曼集团是全球能源和通信电缆行业的领导者, 仅在能源这一领域的产品就有很多种类, 例如应用于陆地和海底的高压电缆, 其中既有适用于高压交流输电系统的电缆, 也有适用于高压直流输电系统的电缆。

早在 2010 年, 普睿司曼集团的研发团队就对设计和测试新电缆和系统的方式进行了重大变革, 已经带来了红利, 包括新增收入和利润的提升。通过全面采用多物理场仿真技术, 研发团队能够不断地优化电缆和系统的设计, 以适应各种恶劣的环境。

从近似值到热仿真

在设计电力传输系统时, 需要重点考虑的一个问题是: 系统既要在稳定状态下输送规定的电流, 又不能超出最大允许工作温度。为了解决这一问题, 必须建立一个精细的、包括各种变量的系统热模型, 这些变量包括: 电缆的结构和内部电损耗源 (图 1); 装置的几何结构; 安装环境 (例如土壤、水、加压气流或浮力气流); 环境温度; 太阳辐射引起的外部负载; 以及该系统与其他基础设施之间的距离。

在使用多物理场仿真之前, 普睿司曼集团和电缆行业其他公司都是采用国际标准提供的公式或计算方法, 这类标

准能够非常好地处理那些电缆处于不受干扰的热状态 (通常是地下) 的情况。但现在, 电缆系统安装或横穿在那些不良热环境的区域的设计方案变得越来越普遍, 例如, 在现有基础设施附近安装的新电缆系统, 就会有很大概率存在其他电缆穿越新电缆路线。

普睿司曼集团选择 COMSOL Multiphysics® 仿真软件来开发计算模型, 将每根电缆的结构、电力传输系统的结构、负载条件以及外部环境情况都考虑进来, 以获得真实可靠的仿真结果 (图 2)。

“COMSOL 能够解决这类问题, 因为我们可以建立一个参数模型来优化电缆的几何结构、铺设方式, 甚至可以将空

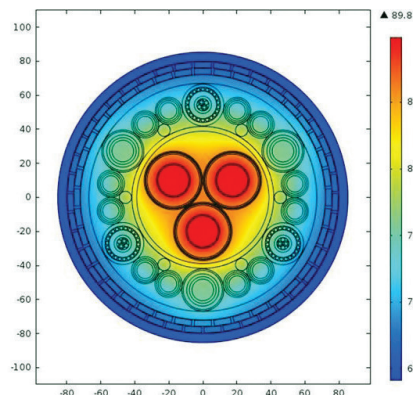


图 1. 双铠皮脐带电缆横剖面的温度分布。

气对流所需的物理条件也考虑进来。”普睿司曼集团建模和仿真专家 Massimo Bechis 解释道, “我们可以做大量的瞬态分析, 从而了解每天的太阳辐射和环境温度变化对电缆的影响。之前我们只能将电缆的运行情况看作是恒定不变的, 现在我们可以了解到电缆当前的负载变化。不同的负载对电缆有不同的要求, 仿真能够让我们满足这些不同的要求。因此, 多物理仿真确实解决了这类以前很难解决、甚至不可能解决的问题。”

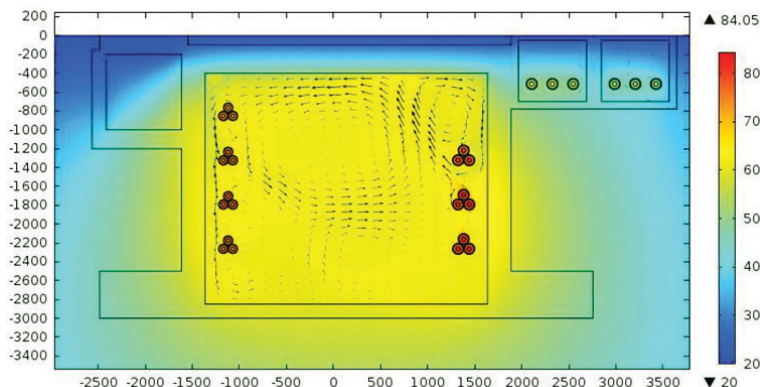


图 2. 利用 COMSOL Multiphysics, 普睿司曼将热、计算流体力学 (CFD) 相结合, 对置于仅有自然通风的水平隧道内的高压电缆系统进行了分析。

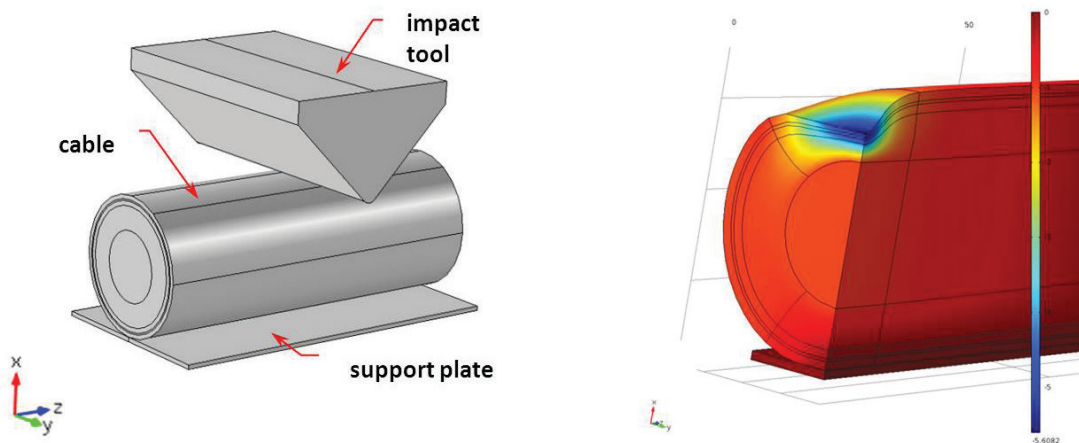


图 3. 中压电缆冲击试验仿真。图注：Impact tool - 冲击工具；Support place - 支撑板；Cable - 电缆

实现最优化的理想维护过程

当 Bechis 及其同事设计普睿司曼的一些高科技产品时，数值仿真技术已经改进了他们的工作方式。例如，在设计复合电缆时，在同一个结构中包含了电力导线、信号传输电缆和输送流体的软管等各种零件，因此可以通过参数研究来优化复合电缆中这些零件的几何尺寸或位置。Bechis 期望通过逐步实施这些方法，能够推动制造工艺的改进。

基于简化的模型，普睿司曼公司内部利用 Microsoft®、Excel® 及 Visual Basic® 等商用软件，开发了一些数学工具。在使用多物理仿真之前，许多研究都是使用这些工具来实现。在使用这些内部开发工具时，Bechis 总结了很多建模诀窍，这使得他在转向使用新工具时，能够用更精密的细节完成建模，并且能够获得更高的准确性。他表示说，借助 COMSOL Multiphysics 软件，公司已经向前迈出了一大步，而且给设计师和客户提供的服务也得到了提升。

“如今，我的同事们提出了很多的要求，因为他们知道 COMSOL 软件可以帮助他们分析并解决许多与热、电磁和

结构有关的问题。” Bechis 如是说。

在使用仿真工具之前，普睿司曼从未发生过电缆故障。但是为了保持一直以来的完美记录，对每根电缆和每个系统所采用的计算都留出了很大的设计余量。

“现在我们能够优化电缆结构，并且能够保证电缆仍然满足规范的要求。” Bechis 如是说。“我们还可以解释为什么要在某一层中使用一定数量的某种材料，并展示我们是如何根据建模做出这一决定的。”

借助仿真，还可以对中压电缆的冲击测试展开分析（图 3）。能够利用计算机进行这类仿真计算，意味着研究人员可以利用它来优化电缆外层厚度和材料

类型。

“我们不需要在实验室里做大量测试，” Bechis 表示说，“作为替代，我们可以在电脑上做很多虚拟测试。当我们确信找到了电缆的最优设计时，便可将其制造出来，并在实验室进行常规的现场测试。”

尽管制造出的原型电缆仍然需要进行物理测试，但是因为原型电缆更接近最终设计，因此总体开发时间会大大缩短。这些测试能够验证电缆和系统的机械性能，以便普睿司曼的研发团队确认他们可以依赖所建立的模型。

增加利润和产生新收入

新建模型取得成功的最明显的标志之一是：Bechis 及其同事能够对客户提出的很多请求做出回应，这些请求明确要求除了通常使用的标准之外，还要进行仿真工作。

“我们现在能够提供更好的服务” Bechis 说，“不仅节约成本，还改进了电缆和电力传输系统的设计程序。我们可以用非常高效的方式来响应客户的请求。”

多物理仿真可以真正地解决这些以前很难解决甚至不可能解决的问题。

——普睿司曼建模和仿真专家
MASSIMO BECHIS