

高精度仿真模型

参数化高精度整机模型的价值

风机制造厂商目前面临缩短风机产品研发时间、降低制造成本并提高产品可靠性等目标，因此迫切需要一个能充分考虑各个系统之间相互作用的高精度且一体化的仿真设计解决方案。

文 | LMS China

风能是世界上发展最快的新能源之一，然而其核心行业——风机设计与制造在经过了过去十年的快速发展之后开始面临巨大的挑战。对风机制造厂商来讲，一方面它们依然需要缩短研发周期以快速推出产品并占领市场；另一方面中标的上网电价由于竞争显著降低，从而大幅度压缩了风机厂商的利润空间并迫使它们设法降低成本；此外，现有风机产品的可靠性也广受发电企业的质疑。

风能行业的另一个重要参与者——认证机构也同样面临一个困境。一方面认证机构希望通过帮助风机厂商发现问题并加以改进，从而为整个行业创造价值；

而另一方面认证机构也发现现有的认证方式还不足以达到理想的效果，例如，很多情况下通过认证且被认为具有超过 20 年寿命的风机会在一两年时间内就发生各种失效，为此认证机构不得不经常修订认证标准，并要求更高的安全系数及更多的计算，然而这种方式又导致风机制造商的成本增加和开发周期的延长。

风机是承受瞬态空气动力学激励的大型柔性机电系统（包含柔性部件、连接和控制系统），各部件之间相互作用彼此影响，风机设计必须将各个部件和各个系统之间的各种耦合效应考虑在内。然而，目前市场上主流的设计流程并无法精确地对这些耦合效应

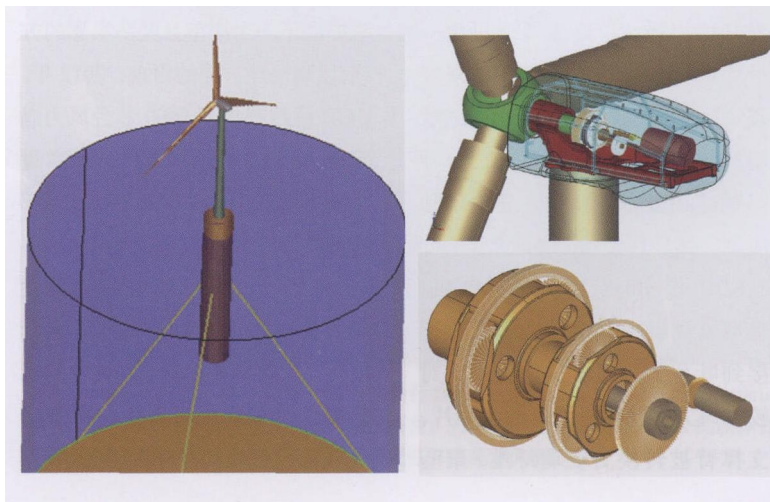
进行评估。

同时要承认的是，所有这些现象或者问题不应该归罪于任何个人或者团队，在过去几十年中制造企业和认证机构虽然普遍意识到了问题，但是由于市场上一直缺乏相应的解决方案，因此也一直也无可奈何。

参数化高精度整机模型的创新解决方案

综合以上分析，风机制造厂商和认证机构都迫切需要一个能够充分考虑风机各个系统之间相互作用的高精度且一体化的仿真设计解决方案。正是由于这样的市场需求，LMS 公司将其 40 多年的有限元软件开发经验、20 多年的柔性机械系统仿真经验和 10 多年的风机设计经验集成在一起，独创了 Samcef Wind Turbine(SWT) 系统，它定位于风机系统的正向设计解决方案，在风机系统的整个开发周期中（包括概念设计、详细设计、原型或改型机开发、认证、故障诊断等）提供一个参数化的高精度仿真模型，从而将原本脱节的设计流程关联起来。这一创新的设计方法已经在欧洲、韩国等地区获得了

图 1 全耦合一体化方法构建参数化高精度整机模型



许多企业的认可，例如 Alstom Power, Repower 和 Areva(阿海珐)等知名风机厂商。

总体上说，参数化高精度整机模型具备以下两个特点：

全耦合的一体化——依靠全耦合一体化的高精度整机模型，风机厂商可以得到精确的动态载荷和结构响应，从而优化风机结构和控制系统设计。而对于认证机构而言，利用更加精确的动态载荷和结构响应分析可以对现有的认证规范进行更好的评估和改善，从而设定更加合理的安全系数，从而使整个风机行业都为之受益。

风机作为承受瞬态空气动力学激励的大型柔性机电系统，存在高度动态效应，要掌握风机真实的动态行为，就必须充分考虑气动弹性、机械系统及控制系统的各种耦合效应。SWT 创新性地采用基于非线性有限元理论模拟柔性多体动力学系统和基于动量-叶素理论来表征空气动力学、并与控制系统相联的全耦合、一体化方法，来构建包含部件柔性、非线性及部件之间（包含机电系统之间）相互作用的高精度整机模型，从而准确模拟风机动态行为，提高风机设计可靠性。

参数化建模——高精度整机模型的参数化建模方式，可以帮助设计者非常方便地对不同设计方案进行对比验证，或基于原有设计进行风机改型设计，而无

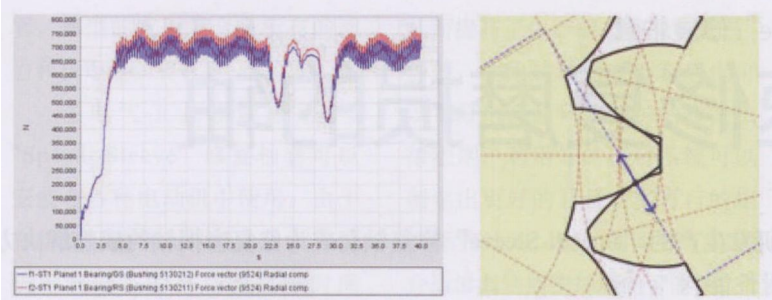


图3 参数化高精度整机模型瞬态分析

a) 轴承径向载荷变化曲线

b) 齿刚度变化

需进行繁杂的模型重构，从而可以大幅缩短产品开发周期，并降低开发成本。此外通过模型参数化和报告模板定制，还可以大大减少认证机构的手工劳动并提升效率。

为快速模拟不同结构的风机或使风机的高精度整机模型能应用于结构优化的循环过程，SWT 中提供标准参数化模型库供用户选择，用户只需直接调用并依据实际情况调整参数，再结合特殊的用户自定义部件，即可轻松实现参数化高精度整机建模。另外，用户还可根据企业实际机型订制开发参数化高精度模型，从而更加方便进行优化设计及风机改型的需要，只需一次投入，即可长期受益。如图2采用参数化建模方法，在 SWT 中用户可以轻松实现不同传动系统设计方案、对比分析及优化设计。

某风机厂商的原型样机试验时发现传动系统在 28.5 Hz 下有严重的共振现象，LMS 公司帮助该风机厂商在 Samcef Wind Turbines 软件中构建风机参数化高精度整机模型，并进行分析和故障诊断。

该模型通过整机模态分析得到了系统在 28.5Hz 附近 (28.21Hz) 的模态特征频率及模态振型，并找出在该频率下模态应变能最大，即对系统振动贡献最大部件为主轴和一级行星架齿轮的衬套。通过整机系统级瞬态分析，发现产生振动的原因在于齿轮啮合位置变化产生的刚度变化引起齿轮振动，进而通过轴承传递到整个传动系统。通过对原型样机做相关性分析，通过构建高精度整机模型进行分析，成功发现并解决了该风机厂商故障问题。如果不建立高精度整机模型，是无法实现以上分析的。当然要是在设计阶段就能进行这样的分析，就能避免类似的故障问题的发生。

采用基于非线性有限元、柔性体结构动力学、空气动力学及控制的全耦合方法，并利用参数化建模构建风机的参数化高精度模型，可以充分考虑风机各系统和部件之间各种非线性的耦合效应，并使原本脱节的风机设计流程关联起来，从而准确地模拟风机动态行为。这一全新的设计理念可以帮助风机厂商缩短开发周期并提高产品质量，同时为认证机构评估和改善认证规范提供了有力的武器。在风机行业面临严峻挑战的今天，参数化的高精度整机模型及其背后的设计理念对风机行业具有非常重要的意义。[MM]

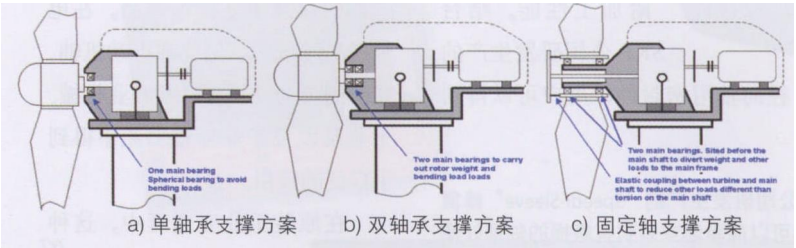


图2 参数化模型轻易实现不同的转子支撑方案的转换和对比分析