

磁力传动技术 延长海上风力发电场的使用寿命

丹麦 Sintex 公司使用多物理场仿真对非接触式磁力联轴器进行开发和分析。基于这种磁力联轴器的传动系统具有更高的可靠性和密封性, 装置内的介质可以实现完全隔离, 能够在海上风力发电机和化工泵的应用中扮演重要角色。

作者 **ZACK CONRAD**

无论是汽车发动机、风力涡轮机, 还是随处可见的腕表, 扭矩转换和旋转功率的传递都是众多技术的重要组成部分。

传统的传动系统通常利用一组机械齿轮或轴来进行扭矩和功率的传递。机械传动装置中的连续接触部位容易受到摩擦、磨损和过载的影响。随着传动技术的应用不断向着更加恶劣和极端的环境扩展, 机械传动装置的局限性可能造成严重危害。在交通不便、环境恶劣的地区, 更换故障的传动装置是一项极具挑战的任务, 需要付出巨大的代价。

⇒ 无摩擦动力传递

Sintex 公司的工程师开发了一套具有更高稳定性和可靠性的新型传动系统: 磁力联轴器。这种联轴器的特别之处在于动力的传递是依靠磁力而非机械力来实现, 因此避免了接触和磨损, 大幅延长了传动系统的使用寿命。扭矩联轴器的动力传递依靠同轴的永磁体阵列(图 1)。当电源开启后, 一个驱动器开始转动, 它与另一个驱动器间的耦合磁场会带动另一个驱动器以相同的速度转动。该系统中的旋转功率传递与机械传动装置相似, 但是由于没有摩擦, 所以不存在过载风险。如果电机传递的扭矩过大, 则联轴器会限制对轴施加过量扭矩, 这一机制可防止轴所承受的扭矩值超

过设计极限, 从而保证系统能够在预期工作条件下持续运行。

对于海上风力发电机和采用复杂泵系统的行业来说, Sintex 的非接触式磁力联轴器是一款理想的产品。海上风力发电场因发电量大的优势而备受关注。然而由于风机零部件维修难度极大, 因此这些零部件需要具备高度的可靠性。在单台涡轮机中, 磁力联轴器将能量从电机传递给水泵, 用于全天 24 小时冷却电子元件。由于海上风力发电系统的远程离岸安装, 预防性维护或维修任务非常繁重, 且成本高昂, 因此磁力联轴器的可靠性成为了重中之重。驱动器之间的间隙可以轻松容纳一个隔离密封套(图 2), 其作用是隔离不同的介质, 形成密封系统。这类系统主要用于化工和食品工业, 在化学品和有毒物质的运输、混合、搅拌和研磨过程中, 无泄漏泵系统的重要性不言而喻。

⇒ 磁力联轴器的广泛应用

Sintex 生产的磁力联轴器具有广泛的应用范围。不过在实际应用中需要根据给定的约束条件进行个性化定制, 例如满足重量或材料要求, 符合几何结构限制等。在设计过程中, 工程师需要反复修改磁体的形状和材料, 才能设计出符合客户需求的产品。由于磁体样机的制作成本高、耗时

长, 工程师希望在不用构建样机的情况下就能改进设计。为了节省时间, Sintex 使用多物理场仿真来表征各种构型, 并为设计创建虚拟原型。Flemming Buus Bendixen 是 Sintex 公司从事磁性材料研究的专业人员, 拥有二十多年的仿真分析经验, COMSOL Multiphysics® 是他近十年最常用的仿真工具。

“在我看来, COMSOL 最大的优势是支持各种类型的仿真; 你可以在软件中添加多种物理场, 并模拟它们之间的相互作用。”Bendixen 评论道。他的团队建立了大量完善、复杂的模型。这些模型经过了严格的验证和确认, 赢得了团队的充分信任。仿真模型不仅帮助工程师团队节省了时间, 使他们可以将更多的精力和资源集中在完善细节上, 同时为 Sintex 的客户节约了成本。

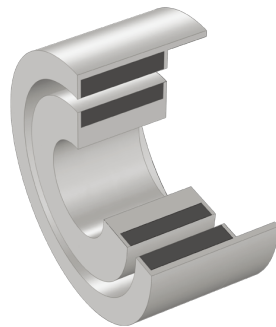


图 1. 磁力联轴器结构示意图。

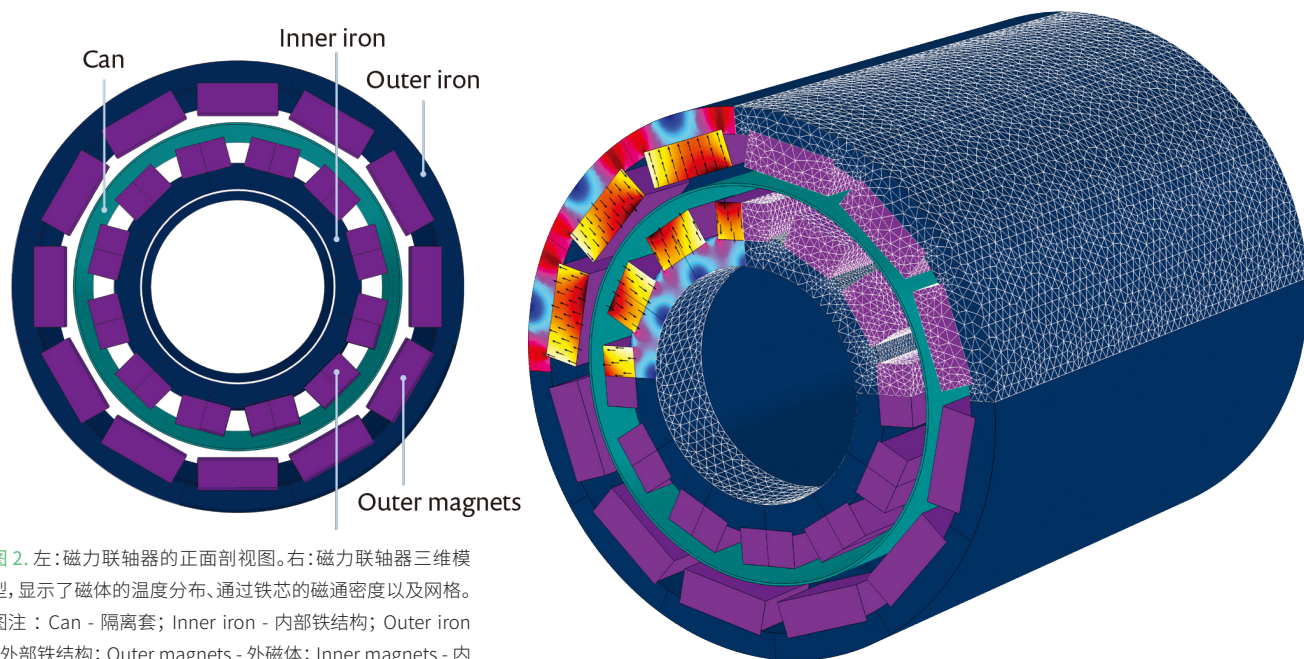


图 2. 左：磁力联轴器的正面剖视图。右：磁力联轴器三维模型，显示了磁体的温度分布、通过铁芯的磁通密度以及网格。
图注：Can - 隔离套；Inner iron - 内部铁结构；Outer iron - 外部铁结构；Outer magnets - 外磁体；Inner magnets - 内磁体

⇒ 革新设计，消除风险

磁力联轴器的主要作用是沿轴传递最大的扭矩和功率。Bendixen 使用多物理场仿真来研究磁力联轴器驱动器之间的相互作用，并计算出从外部驱动器传递给内部驱动器的扭矩。Bendixen 通过多种方式来计算扭矩，包括麦克斯韦应力张量法、后处理积分法以及 Arkkio 方法。经过与实验结果对比，仿真分析的误差只有 1%，模型的准确性得到了充分验证。在新设计的开发过程中，该模型可用于研究特定结构中传递的最大扭矩。

考虑到永磁体磁场会带来许多负面效

“在我看来，COMSOL 最大的优势是支持各种类型的仿真；你可以在软件中添加多种物理场，并模拟它们之间的相互作用。”

— FLEMMING BUUS BENDIXEN, SINTEX 公司磁性材料专业研究人员

应，Bendixen 努力通过仿真来模拟它们产生的影响。在联轴器的钢制隔离套等金属材料中，外磁场会引起涡流，从而产生电损耗。“南北磁极的变化会在钢结构内产生电压，系统会由于钢的导电性而产生能量耗散。”Bendixen 解释说。对于这种被称为隔离套涡流损耗的现象，研究团队希望利用软件中的后处理工具对其进行分析，力争将这类损耗降至最低。该团队使用内部开发的仪器对设计中的隔离套涡流损耗进行了实验测试。仿真结果和实验结果只有百分之几的差别，进一步证明了模型的准确性。

“我们致力于捕捉磁性材料的真实非线性特性。COMSOL 软件为我们提供了强力支持，确保阵列达到最佳磁化效果。”Bendixen 表示。团队在仿真(上图)中采用了高度非线性的磁滞曲线，并依据曲线和材料温度的相关性来调整磁负载，由此来防止永磁体达到临界温度而产生不可逆的退磁。这对于确保产品的可靠性来说至关重要。“确定磁体能承受的最高温度是极其重要的，我们现在可以非常准确地计算出温度上限值。”Bendixen 补充道，“磁体一旦过热，就可能产生局部退磁。”

Bendixen 进一步发掘了多物理场仿真的灵活性，通过导入 Sintex 的磁性材料库，可以对各种磁体构造进行定制化设计。

⇒ 仿真人员的“得力助手”

Sintex 在创建含有足够细节的复杂模型后，就会着手扩大模型的使用范围，让非仿真专业人员也能使用这些模型进行

仿真分析。以前,销售人员和其他没有仿真经验的同事需要对设计进行测试时,他们就会请求 Bendixen 帮助完成所有的计算工作。

为了能够让同事们尽快得到仿真结果, Bendixen 基于多物理场模型开发了仿真 App, 仿真的效率和便捷性都因此达到了前所未有的高度。目前在 Sintex 公司, 多达二十位用户正在使用十款不同的仿真 App。这些仿真 App 都是直接在 COMSOL Multiphysics® 中利用“App 开发者”工具创建的, 用户只需要连接到 COMSOL Server™ 就能通过网页浏览器进行访问。仿真 App 直观的用户界面和简易的部署方式让所有员工都能轻松使用。公司甚至可以为重要客户开放这些仿真 App 及其计算功能的使用权限。“我之所以开发仿真 App, 是因为一些同事不熟悉仿真软件, 但又希望自己运行系统测试和仿真分析。仿真 App 让这一切成为了现实。”Bendixen 说道。

借助仿真 App, 用户无需修改底层计算模型就能调整设计参数。“销售人员可以通过电话与客户确认产品需求规格, 并在短短几分钟内, 快速修改模型尺寸并运行仿真, 及时为客户提供所需的数据。”Bendixen 说。仿真 App 虽然界面简单, 但具有极强的灵活性, 为设计创新提供了充足的发挥空间。用户可以在 Sintex 开发的仿真 App 中调整几何参数和磁性参数, 然后基于这些参数计算磁体的临界温度、剩磁分布、磁通密度、扭矩和隔离套涡流损耗等。图 4 显示的仿真 App 示例用于模拟隔离套中产生的涡流, 得到的电流值可以用于计算系统的功率损耗。现在, 各个开发阶段涉及的人员都能参与到设计过程中, 为最大限度地提高产品可靠性贡献自己的力量。



图 3. 标准的磁力联轴器。

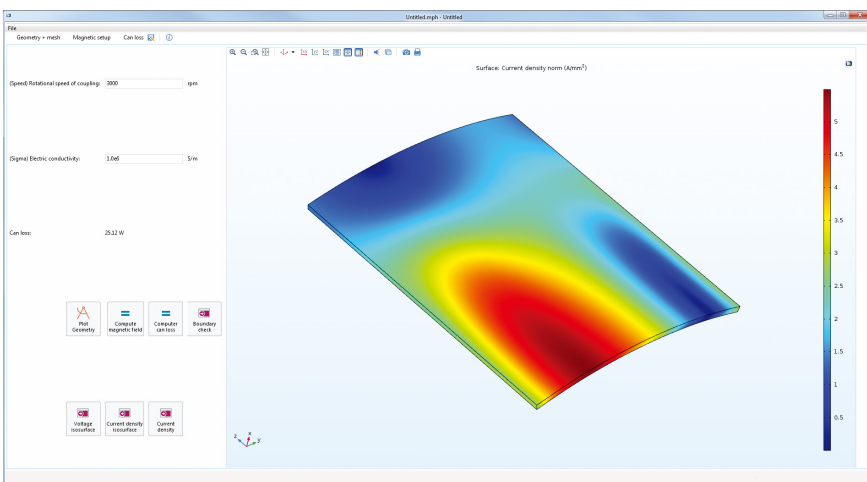


图 4. 仿真 App 模拟了隔离套内的感应涡流密度, 并计算由此引起的能量损耗。

⇒ 展望未来

Sintex 目前正在开发一种新型的磁阻式传动装置, 用于进一步扩大传动装置的应用范围。这种装置不仅可以实现可靠的非接触式磁力传动扭矩, 还可以改变驱动器之间的速度或扭矩, 从而在传动比固定的情况下发挥机械优势。新型传动装置具有独特的设计, 其中加入了一块磁化方向与轴平行的永磁体, 极大地简化了装配结构。在仿真 App 的帮助下, 更多人员能够参与分析过程, 这就使 Bendixen 能投入更多的时间和精力专注于改进 Sintex 的磁技术。❖



Flemming Buus Bendixen, Sintex 公司磁性材料研究员。