



案例研究

ISFD® 技术可消除汽轮机上的次同步振动，从而实现全功率输出

项目概述

Doosan Škoda Power 拥有超过一个世纪的汽轮机制造经验，并投资进行研发，力求成为提供高端清洁能源技术的国际领导者。在公司的创新解决方案中，有一种利用废热及提高循环能率的系统。

对于位于斯堪的纳维亚的发电工业客户，Doosan Škoda Power 设计了 46 MW 的汽轮机，并将其作为发电以及废热回收联合循环系统的一部分。然而在初始调试过程中，涡轮机出现了转子的不稳定性，无法使驱动机构满载运行。较高的次同步振动迫使涡轮机在功率仅为 27 MW 而非额定的 46 MW 情况下运行时停机。

更改轴承间隙和配置可减缓振动，但不能将其完全消除。Doosan Škoda Power 联系了 Bearings Plus® (Waukesha Bearings® 旗下公司)，寻求阻尼器解决方案。

事实一览

行业: 发电

应用: 46 MW 汽轮机

- 作为联合循环一部分的多级汽轮机
- 转轴速度: 5,500 rpm
- 涡轮重量: 6,230 kg

产品解决方案: ISFD® 整体式挤压油膜阻尼器

- 非驱动端 (NDE) 的组合径向推力轴承
- 驱动端 (DE) 径向轴承

优势:

- 改进的稳定性裕量
- 消除次同步振动
- 临界转速放大系数的减小

	NDE 轴承	DE 轴承
转子直径	200 mm	220 mm
瓦块数量	4	4
负载方向	瓦间负载	瓦间负载
轴向长度	107 mm	127 mm
瓦块预载荷	0.2	0.2
支撑类型	摇柱式	摇柱式
支撑偏移	50%	50%
轴承负载	28.3 kN	35.2 kN
润滑	进油口 43°C 温度下 ISO VG 46	
轴承间转子L/D 比值	10.5	
ISFD 刚度	131 MN/m	
ISFD 阻尼	1,050 kN-s/m	

Bearings Plus 对涡轮机执行系统级转子动力学评估, 在这个过程中, 包括了对转子、各个轴承和密封装置的评估, 并确认振动原因为柔性转子 (由轴承间的较大跨度产生) 结合二次密封位置处的蒸汽涡动力。

关于解决方案, Bearings Plus 建议采用加装 ISFD® 技术的可倾瓦径向 (TPJ) 轴承对转子系统进行软安装。这一取得专利的整体式挤压油膜阻尼器设计大幅提高了涡轮机的转子动力学稳定性, 消除了次同步振动, 并大大降低了临界速度处的放大系数。最终, ISFD 设计使得汽轮机能够在满载的情况下运行, 并为终端用户产生最大功率。

解决难题

汽轮机的原始 5 瓦摇柱式支撑 TPJ 轴承最初设计为不对称油膜刚度, 以适应联合循环系统的转子动力学特性, 但是, 转子柔性与不稳定蒸汽涡动力导致了负阻尼系统, 从而产生了大约 30 Hz 的较强次同步振动 (见图 1)。与此相反, 使用 ISFD 技术的轴承则提供较低刚度和高效阻尼, 从而将阻尼比率最大化并消除次同步振动。

ISFD 设计通过电蚀加工 (EDM) 方法而制造。整体式“S”形弹簧连接着外圈和内圈, 在各组弹簧之间则形成挤压油膜阻尼器工作面。轴承瓦块置于内圈中 (图 2)。采用该独特设计可实现同心度、刚度和转子定位的高精度控制; 同时通过分离刚度与阻尼, 实现了卓越的的阻尼特性。

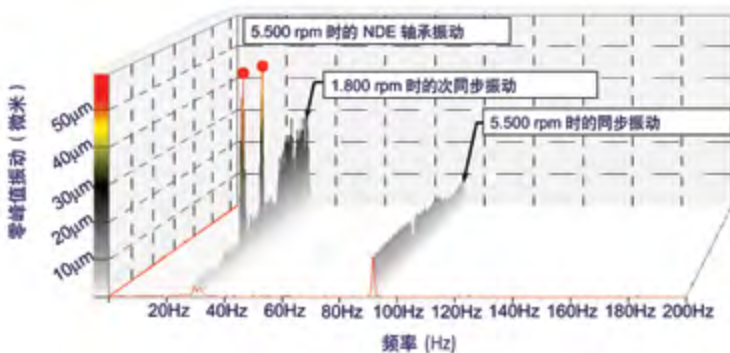


图 1: 频谱瀑布图显示使用原始 5 瓦 TPJ 轴承时 30 Hz 频率下的次同步振动情况

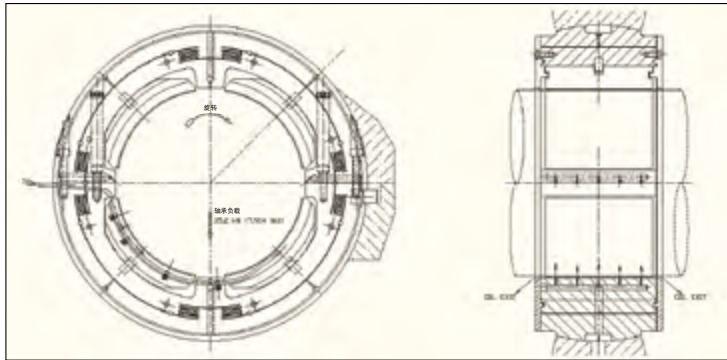


图 2: 使用 ISFD 技术的 4 瓦 TPJ 轴承



传统挤压油膜阻尼器 (SFD) 会由于振幅和频率的不同而产生阻尼器油膜动态刚度, 然而在 ISFD 设计中, 该刚度则仅由弹簧限定。如此, 我们便可在不考虑振幅和频率的情况下, 对临界转速和转子模态进行准确的预测和设置。

ISFD 阻尼由加油喷嘴和端封处的流阻控制。传统 SFD 中的阻尼由阻尼器油膜挤压产生并受环流控制, 分段的 ISFD 设计则可阻止环流影响并通过活塞/阻尼器效应吸收能量。

ISFD 设计的刚度和阻尼则由严密的转子动力学分析获得应用优化。对于汽轮机, 由于蒸汽涡动力是产生次同步振动的根本原

因之一, ISFD 解决方案在分析过程中特别注意对不稳定密封力和级段力进行建模。不考虑这些力的影响时进行的阻尼特征值分析显示, 与原始轴承相比, 系数为 12 的 ISFD 设计具有更好的稳定性裕量。在考虑不稳定力的情况下, ISFD 解决方案维持了较高的稳定性裕量 (见图 3)。在将弯曲模态转换为更具刚性的刚体模态并提高转子/轴承系统的整体稳定性和阻尼比的过程中, 轴承支持系统的较低刚度和最佳阻尼组合是一个关键因素。

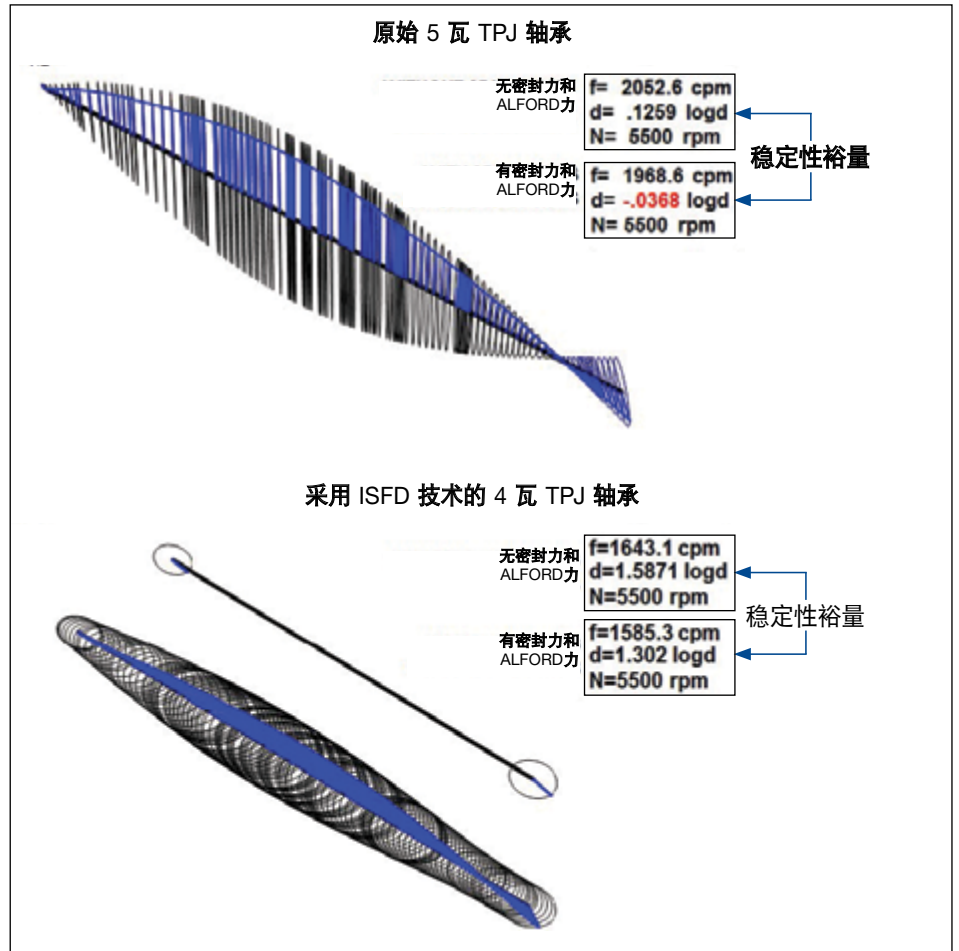
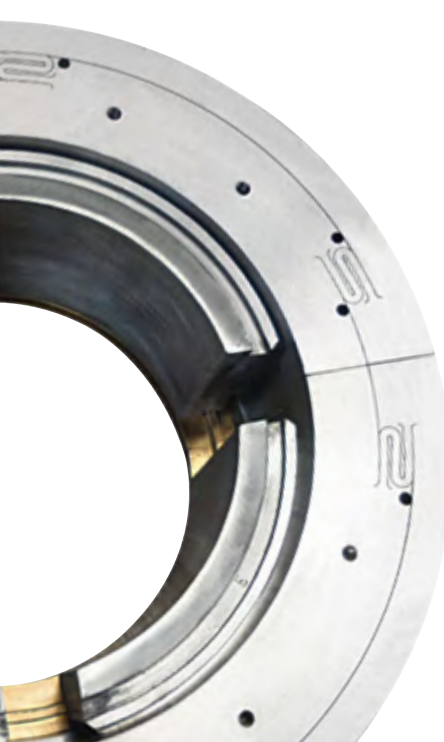


图 3: 一阶模态的阻尼特征值: 原始 5 瓦 TPJ 轴承 (上) 与 ISFD 技术的 4 瓦 TPJ 轴承 (下)



安装了采用ISFD 技术轴承后的现场振动数据验证了转子动力学分析, 显示了系统的阻尼效果良好。即使在开始阶段的热力瞬变过程中, ISFD 设计也大幅降低了同步振动并消除了振动的增量与波动性 (见图 4)。

并且, 使用 ISFD 设计后, 在初始调试 (图 1) 过程中遇到的次同步振动峰值已被消除 (见图 5)。正是有了使用 ISFD 技术的轴承所提供的较大稳定性裕量, 系统的大幅次同步振动才得以消除, 从而使得涡轮机可以全速、全功率运行。

多功能性

高速、高压应用时的柔性转子尤其对通过临界转速时的转子动力学不稳定性和较大的放大系数敏感。不论是应用到整体式齿轮压缩机、离心压缩机、汽轮机还是发电机, ISFD 轴承阻尼解决方案都可设计为特定的支承刚度和阻尼, 以将传输到轴承所在位置的功率比率最大化, 并大幅提高系统的稳定性。

详细论证该解决方案的完整技术论文可参见 ASME Turbo Expo 2014 论文集 (GT2014_27066)。

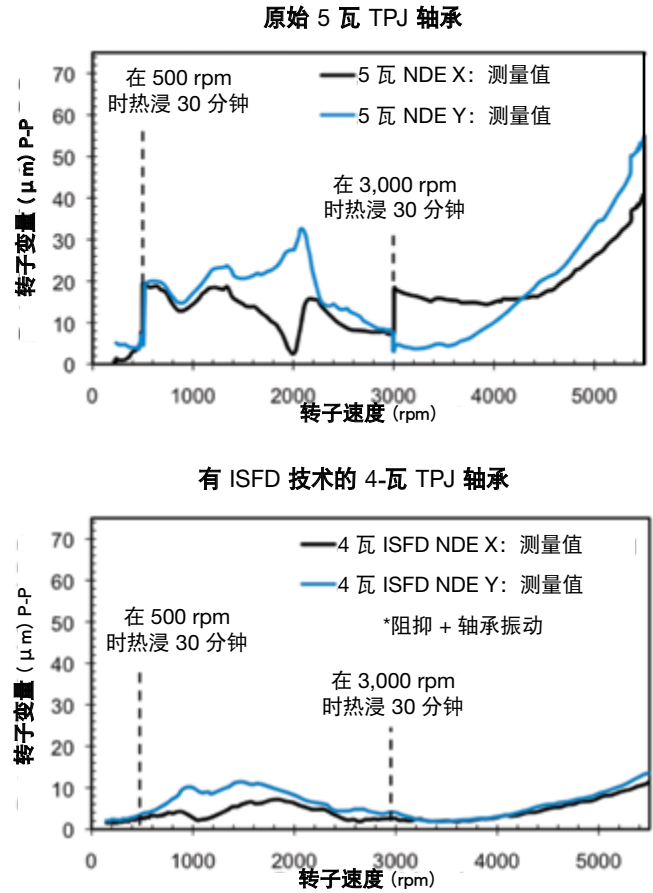


图 4: 同步响应的现场振动测定: 原始 5 瓦 TPJ 轴承 (上) 与 ISFD 技术的 4 瓦 TPJ 轴承 (下)

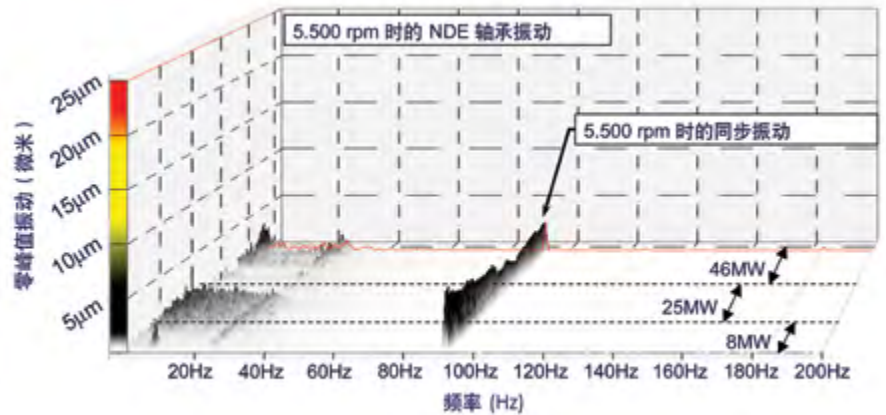


图 5: 频谱瀑布图显示使用 ISFD 设计后次同步振动的消除情况