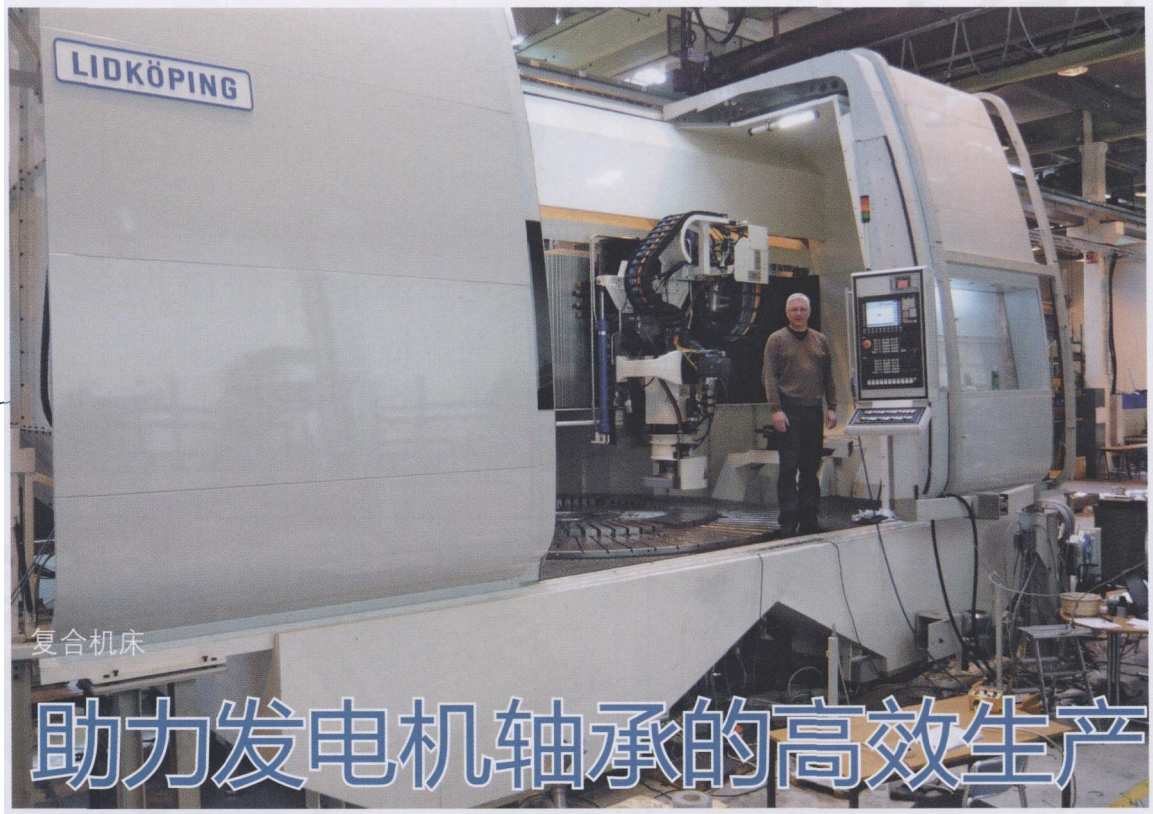


图1 风力涡轮机转动叶片通过装配直径最大到4 m的轴承连接到涡轮轴，这个尺寸的轴承套圈由 Lidköping VTG4000 立式磨床进行加工

复合机床

# 助力发电机轴承的高效生产

**轴承滚道磨削过程中所要求的精度是至关重要的参数，旨在以最小的摩擦得到更长的零件寿命并降低能耗。在立式车磨复合机床上配置光学和磁编码器，以帮助风力发电机轴承的高精度生产。**

文 | KMT 公司

汽车和火车的车轮、发电站的涡轮机和冰箱压缩机等，这些设备所包含的零件都需要以最小的摩擦进行回转，而且往往会在严重的外部负荷下进行。显然，摩擦越小，越省能源。在每次的旋转中轴承起到相当大的作用，以减少摩擦和保证稳定的旋转。生产过程中各工序的要求都很高，尤其是轴承的最终形状磨削以及超精加工的表面质量。

## 适应客户

目前，风电行业已经成为科美腾重点关注的领域。“我们追随客户在新市场的发展，”科美腾首席执行官托马斯·卡尔森说道，“当我们的客户在风力发电站领域进行扩张的时候，新类型的轴承是必需的。因此我们必须研发出新的机床以满足他们的需要。”

在一个风力发电站涡轮机组中轴承位于不同的部位，回转的转动叶片通过直径约4 m的轴承连接到涡轮轴。这个尺寸的轴承套圈由利雪平（Lidköping）VTG4000 立式磨床磨削，使得材料在可选择的磨削和车削组合加工下得到正确的轮廓外形。卡尔森强调这个工艺有多关键：“磨削工艺决定了滚道的精度能够达到多少。这个精度决定了摩擦和发电的准确性。优质磨削的轴承带来的高精度输出不仅仅使降低能耗成为可能，同时也提高了它们的可靠性。”

在强风载荷应力下，如果转动叶片被放置到错误的轴上，将导致严重的后果，巨大的力量可以使叶片松脱，乃至发电站倒塌。

“调节叶片桨距是风力涡轮机运转最关键的功能之一，通过

VTG4000 调整机构中的巨型轴承，能够以通常只有小零件才能达到的精度级别进行高精度的制造（图1）。”KMT Lidköping 的首席设计师 Eive Johansson 说道，“机床结合了先进的运动系统，在关键轴上配置光学和磁性直线及角度编码器以保证零件的形状偏差小于 1 μm。”轮廓偏差是指所需要的轮廓的变化。在轴承的机加工业务中，Lidköping 的优势在于高速和高金属去处率，这些优势促进了整体生产力的提高。

## 定位和品质

定位精度是非常重要的，与加工后的轴承品质直接相关。在 VTG4000 之前，KMT 公司的最大机床能够涵盖零件直径最大到 600 mm，但是 VTG4000 加工的直径超过 4000 mm，是最大风力涡轮机轴承的尺寸，同时可提供良好的精度。

线性轴上的直线电机使得 VTG4000 快速、稳固的静压导轨精度得以提升。伴随静压导轨，压力油注入到上下滑台之间浮起上滑台，形成一个几乎无摩擦和高响应的滑台系统。“标准尺寸的机床，在轴上使用滚珠丝杠，维持约 3 μm 的形状偏差，”Johannson 解释道，“这个机床保持形状偏差小于 1 μm，进给分辨率 0.1 μm。”线性滑台是 Lidköping 机床的核心，液体静压滑台、气密封和直线电机的结合产生了高刚性、高精度且免维护的系统。

变桨轴承允许风力涡轮机叶片依据风速优化自身的角度或在大风中产生失速条件，因此这类轴承的可靠性直接决定了效率和安全操作。多用途 VTG4000 被设计用来在单次设置后加工这类大型轴承，执行两个独立工作头的车削和磨削。两个工作头可根据需要重新布置，通常情况下进行磨削 / 车削或磨削 / 磨削作业。机床 4.5 m 的 *X* 轴支撑着零件相对侧的两个工作头，允许磨削和车削刀具接近零件。VTG4000 非常耐变形和热变化，这是借助于严密控制液压油和冷却液温度实现的。

“我们从 1970 年代开始使用液体静压滑台取代滚动导轨（图2），再将它们与直线电机进行结合，这给我们带来了更快、更高精度和更大的加 / 减速度，”工厂经理 Jörgen Möller 说道，“当你能用手指使 25 000 kg 的旋转轴运动时，你会意识到液体静压系统有多么出色。”四个主要滑台的运动精度建立在 Siemens 直线电机配置全闭环反馈的高分辨率编码器上。液体静压滑台接近零摩擦并实现超高精度。

Johansson 第一次看到编码器最终安装到 VTG4000 上是在 2007 年的 EMO 展览会，Lidköping 对传感器经过严格的测试。“我们比较了不同的光栅尺组装到我们的滑台上，并选择了表现最出色的那个，”Johansson 说道，“重要的是线性编码器的连续长度至少要 4.5 m，且要具备很强的抗污染能力，雷尼绍（Renishaw）的 SiGNUM 系列是这些要求的最佳选择。我们已经将他们安装到所有的四个直线滑台，并且没有出现任何问题。我们的回转工作台具有同样的设计原理，配置液压径向和轴向轴承、空气密封和力矩马达。回转工作台的力矩马达拥有一个高分辨率编码器用于伺服闭环控制。我们做了同样的分析并选择了 SiGNUM 角度编码器。”

图 2 磨削系统 / 左动柱使用直线电机驱动液体静压滑台，配置直线电机、高分辨率编码器、闭环伺服系统

编码器同样有助于设定磨削主轴角度，该功能再次利用静压 / 直线电机滑台的超高精度，任何超出的角度将会在砂轮修整期间进行微调。

雷尼绍的磁性角度编码器安装在磨头的 *B* 轴上。这些编码器暴露于机床环境的苛刻条件下，他们的非接触式、非光学设计及 IP68 密封特征，确保它们免受冷却液和切屑的影响。数字或模拟输出 LM10 允许达到 100 m 的行程及 25 m/s 的高速运动。

编码器配置一个集成设置的 LED，加速了安装和更换的时间以用于复杂的设置环境或示波器。“雷尼绍编码器最大的特点就是容易设置，分辨率高且经久耐用。”Johansson 补充道。

为了精确地将零件设置到机床的工作坐标系，VTG4000 使用雷尼绍 RMP60 无线信号传输接触探针。毛坯零件安装到机床上之后，RMP60 从刀库内装上，用来在数秒内定位主要特征的准确位置。MM

此文章 2013 年 5 月首次发表在美国 Control Design。