

端面齿

端面齿在风电增速齿轮箱台架试验中的应用

本文提出了端面齿在风电增速齿轮箱台架试验中的应用，简单介绍了端面齿的设计方法及选型，利用 ANSYS 分析了花键连接和端面齿连接的承载受力情况，通过台架试验验证了端面齿连接的优势及安全性。

文 | 吴聪、杨军、周贺，重庆齿轮箱有限责任公司

风电增速齿轮箱是风力发电动力传递的核心装置，一旦齿轮箱出现问题，整台发电设备就处于瘫痪状态。我国风力发电近年来获得了迅速发展，并逐渐向大功率方向发展，这对风电增速齿轮箱的可靠性提出了更高的要求。所以对风电增速齿轮箱进行台架试验，对齿轮箱各项性能、振动、噪声指标检测不可缺少，只有各种指标达到要求才可以出厂。目前，风电增速箱台架试验一般靠花键连接，试验台整个布置的对中性差，齿轮箱在试验过程中会出现振动及噪声，影响试验结果，造成试车合格率低。故本文提出一种新型的端面齿连接方式。

传统试验台

为提高台架试验效率，传统试

验台（图 1）采用两台被试齿轮箱面对面连接方式。被试齿轮箱③和⑤输入行星架内孔分别安装外花键芯轴，并用锁紧盘抱死，然后通过外花键套连接（图 2）。该试验台即可实现齿轮箱的正反转、空载试验和加载试验。根据需要，

可在②和③、⑥和⑦之间连接测扭仪，可测定齿轮箱的真实机械效率。

由图 1 可知，风电增速齿轮箱台架试验台位布置较长，且连接较多。目前兆瓦级齿轮箱功率较大，输出轴转速较高。试验前，需按技术要求找正整条布置线，包括齿轮箱输入、输出部位连接的径向跳动

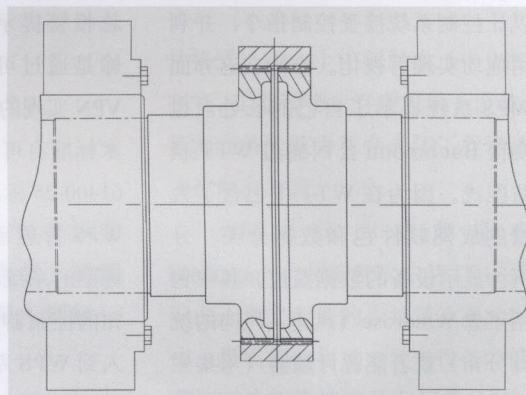


图 2 花键——花键套连接

和端面跳动。由于齿轮箱重量达 20 t 左右，找正极其不便，会花费操作者大量时间。当找正无法达到技术要求时，台架试验布置线处于扭曲状态，试验过程中会引起异响、振动等假象，导致齿轮箱试验不合格而无法出厂发货。

端面齿连接试验台

端面齿连接是通过一对直径、齿数和齿形相同的端面齿轮齿与齿槽相互贴合来传递转矩的。一般会在端面齿结合部位增加螺栓使两部件压紧传递力矩。端面齿连接的两个部

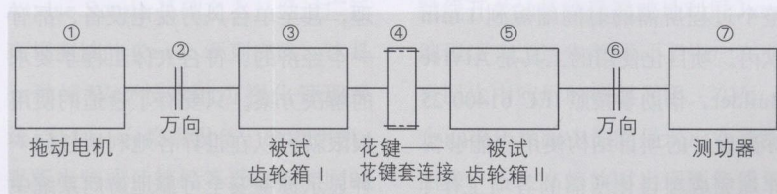


图 1 传统试验台连接示意图

件的转扭是靠端面齿轮齿提供的，而非螺栓。在正常工作情况下，螺栓只受轴向拉紧力，而不受剪切力。端面齿传递的力矩由多个轮齿分担，受力较均匀，可以避免应力高度集中，螺栓也不易失效。啮合时，在螺栓预紧力足够条件下，轮齿结合面会相互支撑，轮齿不会发生弯曲。端面齿可以起定心作用，避免了连接件旋转轴不同心带来的偏摆。端面齿连接能大大缩短轴向尺寸，紧凑可靠，拆装方便，适合大功率传动。

首先根据结合部位的行星架内孔直径大小，确定端面齿的外径D。然后考虑齿数设计，根据文献，端面齿齿数Z的选择一般为12的倍数，即12、24、36、48、96等。此外，齿数的选择还要考虑传动的强度。在一定直径条件下，齿数越多，齿牙越小。确定外径D和齿数Z后，还需考虑轮齿型面角 γ 。型面角越大，轮齿贴合越容易，但在传动过程中，其轴向力越大。根据文献，型面角推荐值一般为60°或40°，型面角如图3所示。

台架试验采用新型的端面齿连接方式（图4）。安装于两被试齿轮箱的行星架内孔的端面齿芯轴通

过锁紧盘抱死，然后利用螺栓拔紧，即可实现两被试齿轮箱的对中。避免了传统试验台中通过操作者打表找正，且对中性好，不会造成齿轮箱的振动及噪声。根据图2、图3对比可知，相比花键连接，端面齿连接无需外花键套，减轻了工装芯轴的整体重量，可节约工装成本。

由于端面齿轮齿与齿槽均为梯形。在理想情况下，任意同心圆的齿厚和齿槽宽相等，两端面齿轮齿结合面完全贴合，无齿侧间隙，可自动对中。

ANSYS 分析

设计相同外径的外花键和端面齿，参数见花键及端面齿基本参数表。以2 MW 风电增速齿轮箱为例，输入转速13.7 rmp，额定功率2282 kW，通过 ANSYS 分析各自的承载能力（图5、图6）。

根据分析结果可知，在相同输入转速、功率条件下，花键最大接触应力为116.51 Mpa，端面齿最大接触应力为65.782 Mpa，故端面齿承载能力更大，可保证试验的安全性。可通过优化，在保证承载能力的前提下减小端面齿外径，从而轻

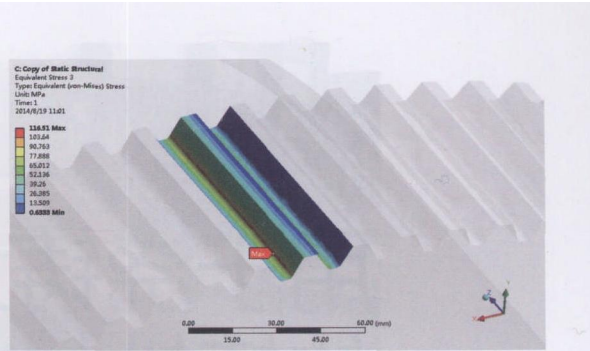


图5 花键 ANSYS 受力分析

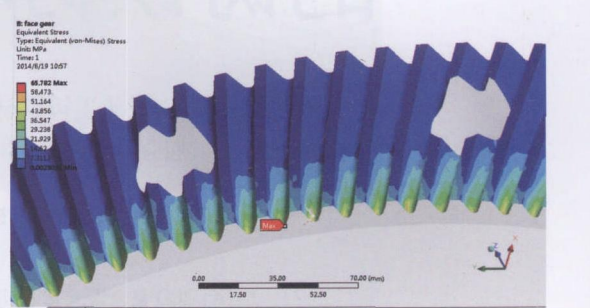


图6 端面齿受力分析

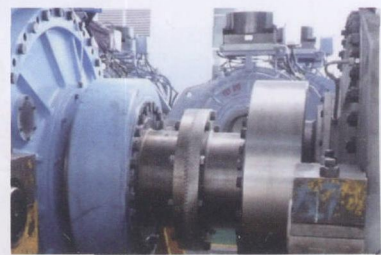


图7 端面齿应用

化工装，缩减工装成本。

端面齿的应用

根据端面齿在台架试验中的现场应用（图7）及通过试验验证，证实端面齿连接时，台位布置快、传动平稳、齿轮箱各项振动及噪声指标符合技术要求。

由此，端面齿芯轴在风电增速齿轮箱台架试验中的应用具有明显的优势：能实现齿箱的自动定心，保证试验台布置快速找正，减少操作工人的劳动强度；能避免技术人员对台架试验中由于未找正而产生的异响、振动的误判，提高试验效率及合格率。具有较大的承载能力，传动平稳，为台架试验提供安全保障。无需外花键套，可缩减连接芯轴尺寸，能轻化工装，节约工装成本。[MM]

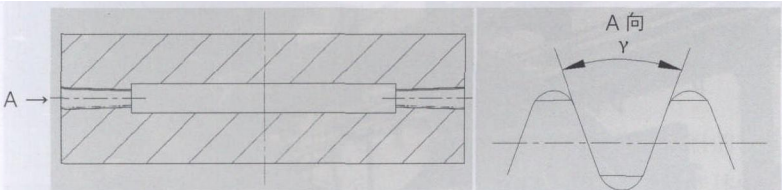


图3 端面齿型面角

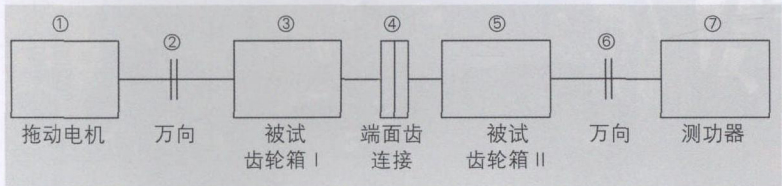


图4 端面齿连接试验台示意图

表 花键及端面齿基本参数表

花键				端面齿				
齿数	模数	压力角	材料	齿数	外径/mm	内径/mm	型面角	材料
140	6	20°	42CrMoA	144	846	680	40°	42CrMoA