



中华人民共和国国家标准

GB/T 40082—2021

风力发电机组 传动链地面测试技术规范

Wind turbines—Drive train ground test specification

2021-04-30 发布

2021-11-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 符号	2
5 技术条件	2
6 试验设备和仪器	4
7 试验内容和方法	4
8 检验规则.....	10
9 测试报告内容.....	10
附录 A（资料性附录） 报告格式样本	12



前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国风力机械标准化技术委员会(SAC/TC 50)归口。

本标准起草单位：浙江运达风电股份有限公司、新疆金风科技股份有限公司、上海电气风电集团股份有限公司、中国电力科学研究院有限公司、中国船舶重工集团海装风电股份有限公司、中国科学院电工研究所、北京鉴衡认证中心有限公司、南京高速齿轮制造有限公司、株洲时代新材料科技股份有限公司、西安盾安电气有限公司。

本标准主要起草人：许国东、杨震宇、斯建龙、秦世耀、应有、余清清、范德功、朱志权、董晔弘、孟岩峰、程人杰、张合超、胡伟辉、张卫华。

风力发电机组 传动链地面测试技术规范

1 范围

本标准规定了变速恒频风力发电机组传动链性能地面测试技术条件、试验设备和仪器、试验内容和方法、检验规则及报告内容。

本标准适用于风轮扫掠面积大于 200 m² 的水平轴风力发电机组。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 1032 三相异步电动机试验方法

GB/T 2900.53 电工术语 风力发电机组

GB/T 3785.1—2010 电声学 声级计 第1部分:规范

GB/T 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第1部分:通用技术条件

GB/T 9239.1 机械振动 恒态(刚性)转子平衡品质要求 第1部分:规范与平衡允差的检验

GB/T 17626.30—2012 电磁兼容 试验和测量技术 电能质量测试方法

GB/T 18451.1 风力发电机组 设计要求

GB/T 19568 风力发电机组 装配和安装规范

GB/T 22095—2008 铸铁平板

GB/T 25389.1 风力发电机组 永磁同步发电机 第1部分:技术条件

GB/T 25389.2—2018 风力发电机组 永磁同步发电机 第2部分:试验方法

GB/T 35854 风力发电机组及其组件机械振动测量与评估

GB/T 36994 风力发电机组 电网适应性测试规程

GB/T 36995 风力发电机组 故障电压穿越能力测试规程

GB 50040 动力机器基础设计规范

JB/T 7486—2008 温度传感器系列型谱

JB/T 11498 光栅旋转编码器

JJG 144—2007 标准测力仪检定规程

3 术语和定义

GB/T 2900.53 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

传动链 drive train

风力发电机组中从主轴动力输入端到并网点之间所有机械、电气传动相关部件的总和。

注:包括主轴、主轴承、弹性支撑、发电机、变流器等,如主轴和发电机之间采用增速机构,则传动链还包括增速齿轮箱和高速联轴器。

3.2

试验平台基础 test rig foundation

与地面固定、不可移动的动力设备基础平面,用于安装驱动系统和被试传动链。

3.3

安装支架 support structure

支撑驱动系统和被试传动链,将其固定到基础平台上的机械结构。

3.4

驱动系统 driving system

产生原动力的装置,可通过联轴器连接被试传动链主轴端,施加扭矩负载。

3.5

转矩脉动 torque pulsation

试验时主轴稳态转矩周期性波动的峰-峰变化。

4 符号

下列符号适用于本文件。

J ——传动链转动惯量($\text{kg} \cdot \text{m}^2$);

P_n ——传动链输出的额定电功率(kW);

P_1 ——被试传动链输入机械功率(kW);

P_2 ——被试传动链输出电功率(kW);

P_{in} ——驱动系统的输入电功率(kW);

P_{out} ——发电状态下传动链的输出电功率(kW);

η ——传动链效率。

5 技术条件

5.1 安全要求

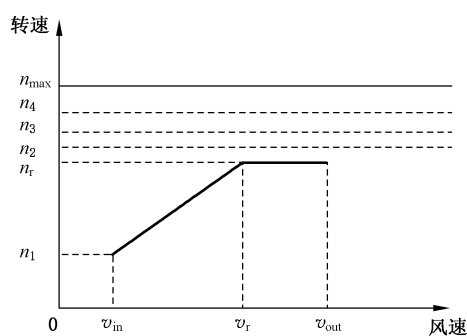
针对传动链进行的所有试验项目,现场应采取相应的安全防护措施。

试验控制系统应具备在意外突发情况下紧急停止设备运行的功能,并符合 GB/T 5226.1 的要求。

在运行工况超出驱动系统和被试传动链可承受的运行条件时,试验控制系统应具有主动停止设备运行的功能。

5.2 转速范围

在试验过程中,应根据被试风力发电机组传动链的设计要求来确定运行转速范围。在理想稳态风况条件下,风力发电机组转速和风速的曲线如图 1 所示,风力发电机组转速与功率的曲线如图 2 所示,不同的风力发电机组控制策略存在不同,因此曲线的形态可能存在差别,该曲线仅仅只是一个示意,不代表各厂家的真实曲线。



说明：

v_{in} ——切入风速,单位为米每秒(m/s);

v_r ——额定风速,单位为米每秒(m/s);

v_{out} ——切出风速,单位为米每秒(m/s);

n_1 ——最小运行转速,单位为转每分(r/min);

n_r ——额定转速,单位为转每分(r/min);

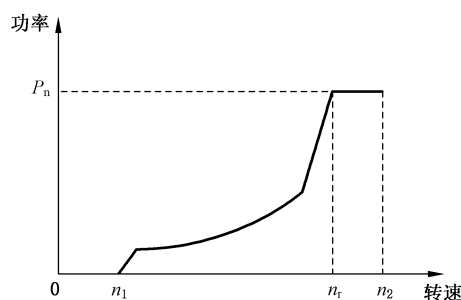
n_2 ——最大运行转速,单位为转每分(r/min);

n_3 ——切出转速,软件保护,单位为转每分(r/min);

n_4 ——停机转速,硬件保护,单位为转每分(r/min);

n_{max} ——安全极限转速,单位为转每分(r/min)。

图 1 风力发电机组转速和风速的曲线



说明：

n_1 ——最小运行转速,单位为转每分(r/min);

n_r ——额定转速,单位为转每分(r/min);

n_2 ——最大运行转速,单位为转每分(r/min);

P_n ——传动链输出的额定电功率,单位为千瓦(kW)。

图 2 风力发电机组转速和功率的曲线

5.3 试验条件

试验应满足以下条件,结构形式示例见图 3:

- 设备基础平台的设计应符合 GB 50040 的要求。
- 设备基础平台每一个平面的平面度误差应不低于 GB/T 22095—2008 中 3 级要求。
- 在整个试验过程中,不应出现由于安装支架刚性不足导致的驱动系统或被试传动链振动异常的现象。
- 系统运转试验时,设备基础平台的前后、左右、上下方向的振动,在 0.1 Hz~10 Hz 频率范围内速度应不超过 0.2 mm/s,位移应不超过 0.16 mm。

- e) 试验前,传动链通过安装支架被固定到基础平台上,并进行机械和电气连接,被试传动链应安装完整并符合现场实际情况,应满足 GB/T 19568 的要求。被试传动链和安装支架的受力连接应仅通过偏航轴承实现,与现场运行状况一致。
- f) 除了电网适应性试验项目,进行其他项目的试验时,并网交流电压的三相不平衡度应小于 2%,背景电压总谐波畸变率应小于 3%。
- g) 被试风力发电机组传动链并网点的短路容量至少应为风力发电机组额定容量的 3 倍。

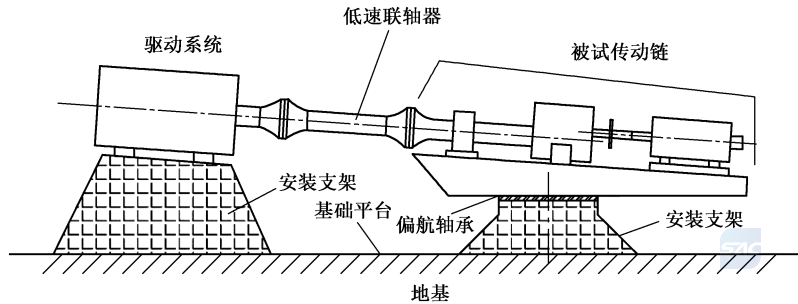


图 3 被试传动链示意图

6 试验设备和仪器

6.1 设备检定

试验使用的仪器、仪表和传感器均应经计量机构检定合格,并在检定有效期内;试验使用的仪器仪表的量程、精度等级和准确度应符合测试要求和相关标准的规定。

6.2 精度等级

- 6.2.1 试验时采用的电气测量仪表应符合 GB/T 17626.30—2012 的 A 级要求。
- 6.2.2 加速度传感器频率响应范围、传感器和检测单元不确定度应满足 GB/T 35854 的要求。
- 6.2.3 测力计准确度应不低于 JJG 144—2007 的 0.5 级要求,响应频率应不小于 200 Hz。
- 6.2.4 编码器应满足 JB/T 11498 和转速范围的要求,分辨率不低于 1 000 ppr。
- 6.2.5 声级计应满足 GB/T 3785.1—2010 规定的 1 级要求。
- 6.2.6 温度传感器应满足 JB/T 7486—2008 规定的 A 级要求。
- 6.2.7 其他测量仪器、仪表符合相关标准的规定。

6.3 驱动系统

驱动系统应满足被试传动链在地面测试过程中所有带载测试项目的要求,如传动链额定工况稳定运行、规定时间内的过载和超速工况运行等,并具备转矩和转速两种目标的控制能力。驱动系统的输出转速-功率特性应覆盖被试传动链系统的实际运行要求。

驱动系统应保证与被试传动链系统连接的对中性,当驱动系统拖动被试传动链系统输出功率在 $20\%P_n \sim 100\%P_n$ 范围内稳定运行时,被试传动链主轴输入端处的转矩脉动峰-峰值应小于额定转矩的 1%。

7 试验内容和方法

7.1 外观检查

外观检查应包含以下内容:

- a) 装配检查:检查被试传动链装配是否完整、正确;
- b) 外观检查:传动链各部件表面油漆应干燥、完整、均匀、无污损、碰撞、裂痕等现象;
- c) 安装尺寸、外形尺寸检查:外形、安装尺寸应符合 GB/T 19568 和被试传动链安装工艺文件的要求;
- d) 转动检查:传动链盘车转动时,应平稳轻快,无怠滞现象,无异音。

7.2 起动阻力矩试验

起动阻力矩的测定方法应按照 GB/T 25389.2—2018 中 5.20 规定的要求执行。对于具有增速齿轮箱的传动链,起动装置可安装于主轴动力输入端的圆盘面。

7.3 动平衡试验

被试传动链与驱动系统不进行机械连接,通过变频器驱动被试传动链的发电机运行于电动机模式,将传动链带动至传动链运行转速范围。从并网最小运行转速到最大运行转速内至少均匀分布 5 个点,其中包括额定转速,在设定转速点运行稳定后,用动平衡测试仪进行测试并记录数据。

测点应布置在传动链低速输入端主轴承和高速发电机传动端轴承,评价方法应按照 GB/T 9239.1 的规定执行,高速、低速端不平衡的计算转子质量分别为以高速、低速旋转的转动体质量。

7.4 转动惯量试验

按照 GB/T 1032 的要求测试被试传动链中发电机定、转子冷态直流电阻。

被试传动链与驱动系统不进行机械连接,通过变频器驱动被试传动链中发电机运行于电动机模式,将转速提升至发电机同步转速的 1.1 倍。转速稳定时,测量发电机输入端电压和电流,计算输入有功功率 P_e ,然后断电使传动链自由空转减速,在 1.1 倍~0.9 倍发电机同步转速范围内,测定转速变化所需的时间。

传动链机械损耗按公式(1)计算:

$$P_{\text{loss}} = P_e - P_{\text{fe}} - P_{\text{cu}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

P_{loss} ——传动链的机械损耗,单位为千瓦(kW);

P_e ——发电机作为电动机带动传动链运行时,测量得到的电机输入有功功率,单位为千瓦(kW);

P_{cu} ——发电机作为电动机带动传动链运行时,根据测量电流和发电机定、转子电阻计算得到的电机铜损耗,单位为千瓦(kW);

P_{fe} ——发电机在电机型式试验过程中,在空载运行工况下测定的铁损耗,单位为千瓦(kW)。

用转速传感器记录在断电后,传动链从发电机同步转速的 1.1 倍到同步转速 0.9 倍的转速自由下降曲线,采样间隔时间不大于 0.1 s,在该过程中,可认为仅由机械损耗作用使传动链动能下降。传动链转动惯量按公式(2)计算:

$$1\ 000 \times P_{\text{loss}} \times \Delta t = \frac{1}{2} J \omega_{1.1}^2 - \frac{1}{2} J \omega_{0.9}^2 \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

Δt ——从 1.1 倍发电机同步转速下降到 0.9 倍发电机同步转速的减速时间,单位为秒(s);

J ——传动链转动惯量,单位为千克二次方米($\text{kg} \cdot \text{m}^2$);

$\omega_{1.1}$ ——1.1 倍发电机同步转速对应的角速度,单位为弧度每秒(rad/s);

$\omega_{0.9}$ ——0.9 倍发电机同步转速对应的角速度,单位为弧度每秒(rad/s)。

从而可计算得到惯量 J ,重复三次,取平均值。

7.5 超速试验

被试传动链与驱动系统不进行机械连接,按照 GB/T 35854 的规定布置振动传感器,通过变频器驱动被试传动链的发电机运行于电动机模式,将传动链带动至传动链额定转速的 1.2 倍,持续时间为 2 min。针对带增速齿轮箱的风力发电机组传动链,振动评价按照 GB/T 35854 的规定执行。针对直驱型风力发电机组的传动链,振动评价标准应按照 GB/T 25389.1 的规定执行。检查传动链各部件是否存在有害形变或损伤。

7.6 空载电压畸变率试验

被试传动链与驱动系统进行机械连接,由驱动系统带动被试传动链运转至运行转速范围,对被试传动链的发电机外部施加或利用内部永磁体产生实际运行所需的励磁激励,并进行适当的功率变换,使被试传动链功率输出端产生满足并网运行要求的空载电压。

从传动链并网最小运行转速到最大运行转速内至少均匀分布 5 个点,其中包括额定转速,在设定转速点运行稳定后,用功率分析仪对风力发电机组并网侧空载线电压进行测量,分解出基波和 50 次以下各次谐波含量。

7.7 振动噪声扫频试验

7.7.1 空载振动噪声扫频试验

测点布置:按照 GB/T 35854 在传动链布置振动传感器,在主轴、齿轮箱、发电机侧向几何中心,距离外表面 1 m 的位置放置噪声测试探头,方向正对被测部件。

被试传动链与驱动系统不进行机械连接,通过变频器驱动被试传动链的发电机运行于电动机模式,将传动链带动至传动链最小并网运行转速,主轴以 0.1 r/min 的速度变化率提升速度,直至最大并网运行转速,稳定后以同样的速度变化率降低转速至最小运行转速,连续记录转速对应各测试点的振动噪声数据,分析处理得到扫频振动噪声曲线。

7.7.2 负载振动噪声扫频试验

测点布置:同 7.7.1。

被试传动链与驱动系统进行机械连接,由驱动系统带动被试传动链运转至最小运行转速,被试传动链并网,驱动系统带动被试传动链以主轴每分钟 0.1 r/min 的速度变化率提升速度,被试传动链根据风力发电机组设计要求的转速-功率曲线同步调整输出功率,直至最大并网运行转速,稳定后以同样的速度变化率降低转速至最小并网运行转速,连续记录各转速下对应各测试点的振动数据、噪声数据和输出功率,分析处理得到转速、功率特性下的扫频振动曲线和噪声曲线。

在整个转速范围内,设计输出功率和实测输出功率的偏差应不超过额定功率的 1%。

7.8 阻尼试验

无齿轮箱的直驱机型可不进行该项试验。

在被试传动链高、低速转轴非应力集中位置同一截面的圆周方向贴应变片测量扭矩,应变信号均不少于两路,彼此之间的动态误差在整个功率范围内应不大于贴片位置额定扭矩的 2%;将驱动系统和被试传动链通过联轴器相连并对中,在 50% 以上负载对应转速稳定运行的情况下,使被测传动链瞬间脱网,同时切断驱动系统动力,使传动轴系产生自由的往复扭转振荡,记录其高、低速轴应力振荡衰减曲线,记录间隔时间应不大于 0.1 s,按照上述方式多次测量取平均值,见图 4。

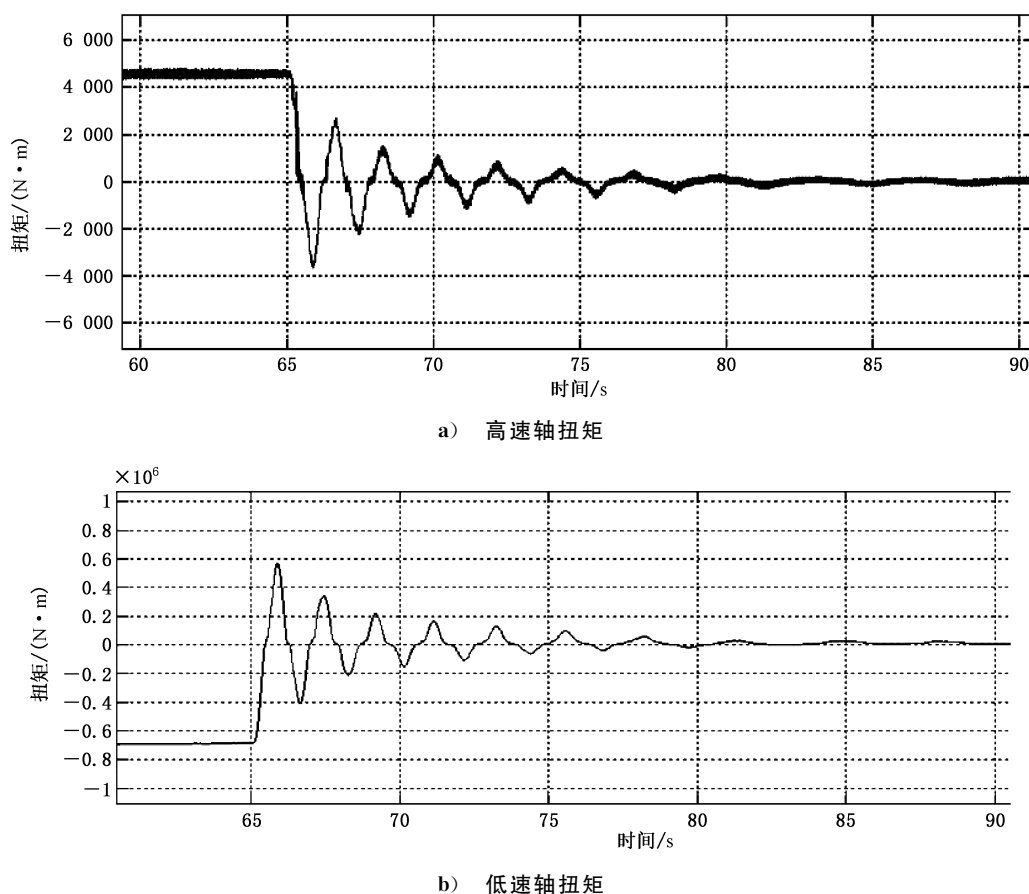


图4 高速、低速扭矩振荡衰减曲线

由衰减振荡曲线读取振荡周期 T 、峰值 A ，从而计算衰减系数 φ 和轴系阻尼比 D 。

每经过半个周期的振幅比值为一常量，该比值即为衰减系数 φ ，衰减系数 φ 按公式(3)计算：

$$\varphi = \frac{|A_K|}{|A_{K+1}|} = \frac{Ae^{-\epsilon t}}{Ae^{-\epsilon(t+\frac{TD}{2})}} = e^{\frac{1}{2}\epsilon TD} = e^{\pi \frac{D}{\sqrt{1-D^2}}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

由公式(3)可得公式(4)：

$$D = \frac{0.733 \lg \varphi}{\sqrt{1 + (0.733 \lg \varphi)^2}} = \frac{\lg \varphi}{\sqrt{1.862 + (\lg \varphi)^2}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

在实际阻尼波形振幅读数时，可取前三个半周期进行计算，由于基线处理难度较大，且基线的偏差对阻尼影响较大，往往读取两个相邻波形的峰-峰值之比，衰减系数 φ 可按公式(5)计算：

$$\varphi = \frac{|A_K|}{|A_{K+1}|} = \frac{|A_K| + |A_{K+1}|}{|A_{K+1}| + |A_{K+2}|} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

A_K ——扭矩振荡衰减曲线中第 K 个周期波形的峰值，单位为牛米(N·m)。

7.9 效率试验

7.9.1 试验工况

被试传动链与驱动系统进行机械连接，由驱动系统带动被试传动链运转至最小运行转速，转速稳定后被试传动链并网。根据被试传动链的转速-功率特性，在 $20\%P_n \sim 100\%P_n$ 范围内，每间隔 $10\%P_n$ 取一点对传动链效率进行测试。

在整个转速范围内,设计输出功率和实测输出功率的偏差应不超过额定功率的1%。

7.9.2 直接测量法

在被试传动链的低速联轴器贴应变片,采用扭矩结合转速测试的方法来测量被试传动链输入机械功率。应变片需要以90°为间隔在低速联轴器非应力集中位置同一截面的圆周方向贴4组应变片测量扭矩,在测量的功率范围内,任一应变片的输出和4组应变片平均值的差均不应超过输入轴额定扭矩值的1%,在计算中取4组应变片测量的平均值,结合转速测量,可以得到传动链输入机械功率,输入机械功率 P_1 按公式(6)计算:

$$P_1 = T \times \omega / 9\,550 \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

P_1 ——传动链输入机械功率,单位为千瓦(kW);

T ——低速联轴器的扭矩,单位为牛米(N·m);

ω ——低速联轴器的转速,单位为转每分(r/min)。

测量输入轴输入机械功率 P_1 的同时,测量被试传动链输出电功率 P_2 ,则可以得到传动链效率,传动链效率 η 按公式(7)计算:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

η ——传动链效率;

P_2 ——传动链输出电功率,单位为千瓦(kW)。

7.9.3 间接测量法

采用两台配置完全相同的风力发电机组同轴连接并良好对中,一台为电动状态,另一台为发电状态,如图5所示,那么通过测量电动状态风力发电机组的输入电功率 P_{in} 、发电状态风力发电机组的输出电功率 P_{out} 即可推算被试传动链效率:

$$\eta = \frac{P_{out}}{\sqrt{P_{in} P_{out}}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (8)$$

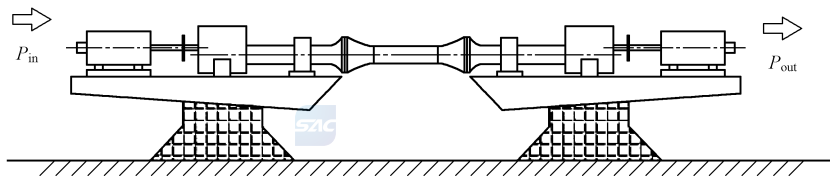


图5 间接测量效率法布置图

7.10 半实物仿真试验

7.10.1 试验条件

半实物仿真试验的软件环境为风力发电机组载荷仿真计算软件,用于实时模拟高度真实的外部运行工况以及无法连入测试中的硬件系统运行特性。半实物仿真试验的硬件环境为被测风力发电机组除叶片及塔架基础外的所有整机系统,如主控制系统、变桨系统、变流系统、发电机等子系统;半实物仿真试验的通信接口为用于实现仿真环境与硬件系统实时数据交互的通信协议。半实物仿真试验条件由以上三部分组成。

半实物仿真试验平台框架见图6所示。

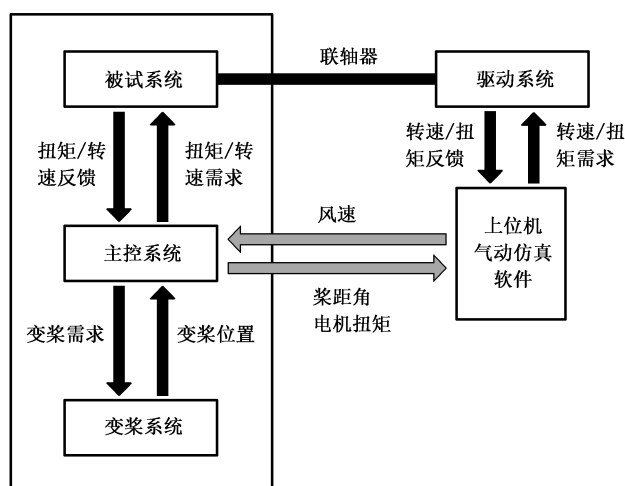


图 6 半实物仿真试验平台框图

7.10.2 测点要求

根据 GB/T 35854 的要求将振动传感器布置在传动链上；在被试传动链高速、低速转轴非应力集中位置同一截面的圆周方向贴应变片测量扭矩，应变信号均不少于两路，彼此之间的动态误差在整个功率范围内应不大于贴片位置额定扭矩的 2%；在并网点以功率分析仪测量电压、电流，并进一步分析有功功率、无功功率等参量。

7.10.3 试验内容

按照 GB/T 18451.1 使用可用于产品认证的风电仿真软件得到被试传动链在平均风速为额定风速，湍流强度为风力发电机组设计要求情况下的 10 min 输入风况，以及极端运行阵风风况。

试验内容应包含暂态的额定风速下并网过程测试、额定风速下故障停机测试、极端运行阵风测试，以及稳态的额定风速下 10 min 正常湍流运行测试。在联调过程中检查各子系统的运行情况、主控制系统与各子系统的通信和控制逻辑匹配性，以及被试传动链的转速、扭矩和变桨的执行情况。在测试过程中，各子系统应工作正常，无异常噪声、振动及故障停机现象出现。

被试传动链与驱动系统进行机械连接，由驱动系统带动被试传动链运转至最小并网运行转速，转速稳定后被试传动链并网。驱动系统运行于转矩控制模式，结合风轮仿真模型以及变桨系统的仿真或半实物模型，导入仿真的各类输入风况，以输入轴扭矩作为驱动系统的闭环反馈，使传动链主轴输入端达到设定扭矩。整个测试过程中，在考虑控制延时影响后，输入轴仿真扭矩和输入轴实测扭矩的偏差应不超过额定值的 5%。

测量并记录上述暂态工况下的功率和发电机转矩波动情况，稳态工况下的功率和发电机转矩情况并分析其方差，以及各工况下的传动链振动情况。

7.11 电网适应性试验

被试传动链与驱动系统进行机械连接，由驱动系统带动被试传动链运转至最小运行转速，转速稳定后被试传动链并网。根据被试传动链的转速-功率特性，在 $20\%P_n \sim 100\%P_n$ 范围内，每间隔 $20\%P_n$ 取一点对给定电网条件下传动链的适应性进行测试。

按照 GB/T 35854，在传动链布置符合要求的振动传感器；在被试传动链高速、低速转轴非应力集中位置同一截面的圆周方向贴应变片测量扭矩，应变信号均不少于两路，彼此之间的动态误差在整个功率范围内应不大于所在位置额定扭矩的 2%；在传动链并网点以功率分析仪测量电压、电流等参量。

试验设备的要求和试验的具体执行方法按照 GB/T 36994 的规定执行。

7.12 故障电压穿越能力试验

被试传动链与驱动系统进行机械连接,由驱动系统带动被试传动链运转至最小运行转速,转速稳定后被试传动链并网。根据被试传动链的转速-功率特性,取 $20\%P_n$ 和 $100\%P_n$ 作为测试点,测试传动链在故障电压穿越情况下的动态过程。

按照 GB/T 35854,在传动链布置符合要求的振动传感器;在被试传动链高速、低速转轴非应力集中位置同一截面的圆周方向贴应变片测量扭矩,应变信号均不少于两路,彼此之间的动态误差在整个功率范围内应不大于所在位置额定扭矩的 2% ;在传动链并网点以功率分析仪测量电压、电流等参量。

试验设备的要求和试验的具体执行方法按照 GB/T 36995 的规定执行。

7.13 温升试验

进行该项试验时,机舱罩应安装完成,机舱冷却散热条件应与现场实际运行基本一致。

被试传动链与驱动系统进行机械连接,由驱动系统带动被试传动链运转至最小运行转速,转速稳定后被试传动链并网,提升至额定转速,在额定电压下使被试传动链输出额定有功功率,经长时运行后当 15 min 间隔的齿轮箱油以及 30 min 间隔的发电机各部分温度读数变化在 1 K 以内认为达到温度稳定,读取机舱外环境、主轴承、齿轮箱油、发电机轴承、发电机绕组及机舱空间内其他敏感位置的温度。

将驱动系统和被试传动链通过联轴器相连并对中,在 0.9 pu 电压和额定转速下输出额定有功功率和 $\cos\varphi=0.95$ 下的容性无功功率,经长时运行后当 15 min 间隔的齿轮箱油以及 30 min 间隔的发电机各部分温度读数变化在 1 K 以内认为达到温度稳定,读取机舱外环境、主轴承、齿轮箱油、发电机轴承、发电机绕组及机舱空间内其他敏感位置的温度值。

7.14 超载试验

被试传动链与驱动系统进行机械连接,由驱动系统带动被试传动链运转至并网转速,转速稳定后被试传动链并网,提升至额定转速,使被试传动链输出额定有功功率的 110% ,保持稳定 2 min,测量 7.13 中规定的部分温度测点的温度值以及 GB/T 35854 要求测点的振动情况,测量齿轮箱噪声。

8 检验规则

本标准规定的传动链测试项目不作为风力发电机组出厂试验或型式试验的强制要求,可作为制造商或用户进行产品技术指标试验验证时的参考方法。需求方可根据实际情况执行本标准中试验项目的全部或部分。

9 测试报告内容

9.1 测试信息

测试报告应包含以下信息:

- a) 被试对象的描述:
 - 1) 风力发电机组制造商、型号、序列号、生产日期;
 - 2) 风轮转速范围;
 - 3) 发电机工作点(转速/功率);
 - 4) 切入风速、切出风速和额定风速;
 - 5) 变流器及主控系统软件版本号;



- 6) 风力发电机组并网条件描述,包括电压、频率及允许的偏差范围;
 - 7) 风力发电机组类型。
- b) 测试环境的描述:
- 1) 驱动系统的功率和转速范围;
 - 2) 被试风力发电机组传动链并网点短路容量;
 - 3) 效率测试方法;
 - 4) 半实物仿真试验用软件。
- c) 测试设备和仪器的描述:
- 1) 测试设备和仪器的信息;
 - 2) 测试设备校准证书。
- d) 测试过程的描述:
- 1) 测试项目;
 - 2) 报告中参数、符号的说明;
 - 3) 报告编写、审查、批准及签发日期等信息。

9.2 测试结果汇总

测试报告中应给出测试结果汇总信息,测试结果信息汇总表可参考附录 A。

附 录 A
(资料性附录)
报告格式样本

A.1 被试对象

被试对象的描述可见表 A.1。

表 A.1 被试对象的描述

风力发电机组制造商名称	
风力发电机组型号	
风力发电机组序列号	
风力发电机组生产日期	
风轮转速范围	
发电机工作点(转速 1/功率 1,转速 2/功率 2,…))	
风力发电机组类型(A 定桨失速/B 转差调速/C 双馈/D 全馈)	
额定功率	
风轮直径	
额定风速	
工作电压范围	
工作频率范围	

A.2 试验环境

试验环境的描述可见表 A.2。

表 A.2 试验环境的描述

驱动系统的功率和转速范围(最大稳定工作区域,转速 1/功率 1,转速 2/功率 2,…))	
被试风力发电机组传动链并网点短路容量	
效率测试方法	
半实物仿真试验用软件	

A.3 测试设备和仪器

测试设备和仪器的描述可见表 A.3。

表 A.3 测试设备和仪器的描述

名称	制造商	型号	校准证书编号
...

A.4 测试过程

测试过程描述可见表 A.4。



表 A.4 测试过程的描述

试验的项目	
报告中参数、符号的说明	
报告编写人	
报告审查人	
报告批准人	
签发日期	

A.5 测试结果汇总

测试过程描述可见表 A.5~表 A.18。

表 A.5 外观检查

装配检查	
外观检查	
尺寸检查	
转动检查	

表 A.6 气动阻力矩试验

力臂/m	
阻力矩 1/(N·m)	
阻力矩 2/(N·m)	
阻力矩 3/(N·m)	
平均阻力矩/(N·m)	

表 A.7 动平衡试验

转速 r/min	低速轴平衡量 mm/s	高速轴平衡量 mm/s

表 A.8 惯量试验

P_e /kW	
P_{cu} /kW	
P_{fe} /kW	
Δt_1 /s	
惯量/(J/kg·m ²)	

表 A.9 超速试验

齿轮增速型机组			
测点	振动位移 mm	振动速度 mm/s	振动加速度 mm/s ²
主轴承	—		
齿轮箱	—		
发电机	—		
直驱型机组			
发电机		—	—

表 A.10 空载电压畸变率试验

转速 r/min	谐波阶次	电压幅值 V
转速 1	2	
	3	
	4	
	...	
	50	

表 A.10 (续)

转速 r/min	谐波阶次	电压幅值 V
转速 2	2	
	3	
	4	
	...	
	50	
转速 3	2	
	3	
	4	
	...	
	50	
转速 4	2	
	3	
	4	
	...	
	50	
转速 5	2	
	3	
	4	
	...	
	50	

表 A.11 振动噪声扫频试验

测试内容	转速-频率-振动加速度(或声压)三维图谱
主轴承空载噪声	
主轴承空载振动	
主轴承负载噪声	

表 A.11 (续)


测试内容	加速度(或声压)三维图谱
主轴承负载振动	
齿轮箱空载噪声	
齿轮箱空载振动	
齿轮箱负载噪声	
齿轮箱负载振动	
发电机空载噪声	
发电机驱动端轴承空载振动	
发电机非驱动端轴承空载振动	
发电机负载噪声	
发电机驱动端轴承负载振动	
发电机非驱动端轴承负载振动	

表 A.12 阻尼试验

高速轴扭矩变化波形	
低速轴扭矩变化波形	
固有频率/Hz	
衰减系数 D	
阻尼比 φ	

表 A.13 效率试验

负载率	效率
10%	
20%	
30%	
40%	
50%	
60%	
70%	
80%	
90%	
100%	

表 A.14 半实物仿真试验

暂态过程						
测试工况	仿真与测试 扭矩的误差	低速轴转矩 变化过程	发电机转矩 变化过程	主轴承振动 速度最大值 mm/s	齿轮箱振动 速度最大值 mm/s	发电机轴承 振动最大值 mm/s
额定风速， 并网过程						
额定风速， 故障停机						
极端阵风运行						

表 A.14 (续)

稳态过程						
测试工况	仿真与测试 转矩的误差	有功功率 方差	发电机转矩 方差	主轴承振动 速度有效值 mm/s	齿轮箱振动 速度有效值 mm/s	发电机轴承 振动速度 有效值 mm/s
额定风速, 10 min 正常湍流运行						

表 A.15 电网适应性试验

三相电压不平衡适应性					
电压不平衡度	负载率	电流不平衡度	发电机转矩波动 峰峰值 N·m	有功功率波动 峰峰值 kW	电流谐波畸变率
2%	20%				
	40%				
	60%				
	80%				
	100%				
4%	20%				
	40%				
	60%				
	80%				
	100%				
闪变适应性					
长时间闪变值 P_{lt}	负载率	低速轴转矩波动 峰峰值 N·m	高速轴转矩波动 峰峰值 N·m	有功电流波动 峰峰值 A	无功电流波动 峰峰值 A
1.0	20%				
	40%				
	60%				
	80%				
	100%				

表 A.15 (续)

谐波电压适应性					
谐波电压工况	负载率	电流谐波畸变率	高速轴转矩波动 峰峰值 N·m	发电机轴承振动 加速度 mm/s ²	发电机噪声声压 dB
工况 1(详细描述, 下同)	20%				
	40%				
	60%				
	80%				
	100%				
工况 2	20%				
	40%				
	60%				
	80%				
	100%				
...	20%				
	40%				
	60%				
	80%				
	100%				

表 A.16 故障穿越能力试验

故障穿越工况	负载率	无功电流 响应时间 ms	无功电流 稳态均值 pu	无功功率 退出时间 ms	故障穿越过程发电机转矩波形
工况 1(详细描 述,下同)	20%				
	100%				
工况 2	20%				
	100%				
...	20%				
	100%				

表 A.17 温升试验

额定电压,额定功率									
时间	机舱外环境温度 ℃	主轴承温度 ℃	齿轮箱油温度 ℃	发电机驱动端轴承温度 ℃	发电机非驱动端轴承温度 ℃	发电机绕组温度 ℃	机舱进风口温度 ℃	机舱出风口温度 ℃	机舱控制柜内温度 ℃
开始时刻									
开始时刻+30 min									
...									
温度稳定时刻									
0.9 pu 电压,功率因数 $\cos\varphi=0.95$ 容性									
时间	机舱外环境温度 ℃	主轴承温度 ℃	齿轮箱油温度 ℃	发电机驱动端轴承温度 ℃	发电机非驱动端轴承温度 ℃	发电机绕组温度 ℃	机舱进风口温度 ℃	机舱出风口温度 ℃	机舱控制柜内温度 ℃
开始时刻									
开始时刻+30 min									
...									
温度稳定时刻									

表 A.18 超载试验

时间	主轴承温度 ℃	发电机驱动端轴承温度 ℃	发电机非驱动端轴承温度 ℃	发电机绕组温度 ℃	主轴承振动速度 mm/s	齿轮箱振动速度 mm/s	发电机驱动端轴承振动速度 mm/s	发电机非驱动端轴承振动速度 mm/s	齿轮箱噪声声压 dB
开始时刻									
加载 2 min 后									