

中华人民共和国能源行业标准

NB/T ×××××—202×

风力发电机组 增速齿轮箱试验规范

Test specification for speed increase gearbox of wind turbines

点击此处添加与国际标准一致性程度的标识

(征求意见稿)

2023 - XX - XX 发布

2023 - XX - XX 实施

国家能源局发布



## 目 次

前 言.....	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 试验要求.....	1
5 试验内容.....	3
附录 A（资料性）试验报告要求.....	12

## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由国家能源局提出。

本文件由能源行业风电标准化技术委员会风电机械设备分技术委员会（NEA/TC1/SC5）归口。

本文件起草单位：国家能源集团联合动力、南京高速齿轮制造有限公司、远景能源有限公司、金风科技股份有限公司、湖南南方宇航高精传动有限公司、明阳智慧能源集团股份公司、中车株洲电力机车研究所有限公司风电事业部、中国长江三峡集团有限公司、上海电气风电集团股份有限公司、浙江运达风电股份有限公司、中车山东风电有限公司、哈电风能有限公司、东方电气风电股份有限公司、杭州前进齿轮箱集团股份有限公司、北京鉴衡认证中心有限公司、上海中任尚科新能源技术有限公司等。

本文件起草人：……。

本文件为首次发布。

# 风力发电机组 增速齿轮箱试验规范

## 1 范围

本文件规定了水平轴风力发电机组增速齿轮箱的试验要求与试验内容。  
本文件适用于水平轴风力发电机组增速齿轮箱（以下简称“齿轮箱”）。

## 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，仅所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 3785.1-2010 电声学 声级计 第1部分：规范

GB/T 6404.1 齿轮装置验收规范 第1部分：空气传播噪声的试验规范

GB/T 6404.2 齿轮装置验收规范 第2部分：验收试验中齿轮装置机械振动的测定

GB/T 14231 齿轮装置效率测定方法

GB/T 19073 风力发电机组 齿轮箱设计要求

ISO 4406:2021 液压传动 油液 固体颗粒污染等级代号法（Hydraulic fluid power- Fluids - Method for coding the level of contamination by solid particles）

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**新开发样机** newly developed prototype

全新开发的为验证设计或方案的合理性和正确性，或生产的可行性而制作的样品。

### 3.2

**改型样机** modified prototype

将相同传动形式、结构形式，速比与扭矩变化在 5%以内，且已经过长时间挂机验证或完整工厂试验验证的齿轮箱，对其做出对产品零部件强度与寿命不会产生较大影响的局部调整(如传动比、接口尺寸、外观尺寸、润滑油/润滑脂的品牌及型号等)，可视为改型机型。

### 3.3

**批量产品** high volume product

完成样机验证后，形成批量应用的产品。

## 4 试验要求

#### 4.1 试验件要求

4.1.1 试验件为按风力发电机组制造商与齿轮箱制造商双方约定的要求、图样、工艺等文件加工生产制造的合格产品。试验件中主要零件的材料、热处理、加工精度以及试验件的装配过程均应有检测证明文件，以备必要时进行核查或抽检。

4.1.2 试验件应配备和风力发电机组相同类型的润滑剂以及满足机组散热要求的润滑冷却系统，以验证冷却系统能够满足齿轮箱润滑冷却要求。

#### 4.2 试验大纲要求

试验前风力发电机组制造商与齿轮箱制造商确认试验大纲，认可试验大纲应明确试验项目，试验方法、条件及要求，技术标准，试验场所以及试验不合格处理原则等。试验过程应严格安装认可后的试验大纲进行，并出具相应试验报告。

#### 4.3 试验范围要求

不同类别的增速齿轮箱产品进行相应的试验测试，具体试验测试项目包括但不限于GB/T 19073所述的工厂试验项目要求，详见表1。

表1 试验类型表

试验项目		新开发样机	改型样机	批量产品
流量分配试验		■	◎	×
油位油量试验		■	◎	×
加载试验	型式加载试验	■	■	×
	批量加载试验	×	×	■
传动效率测试		■	◎	×
低温试验		◎	◎	×
应力测试试验		◎	◎	×
耐久性试验	加速疲劳寿命试验	◎	◎	×
	鲁棒性试验			
漏油试验		■	◎	×
注：■必选，◎依据实际情况确定，×不选。				

#### 4.4 试验设备要求

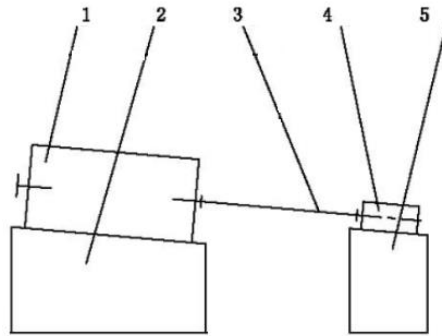
##### 4.4.1 试验装置

4.4.1.1 运转试验台架应含空载试验台架和加载性能检测试验台架。空载试验台架形式采用但不限于图1所示形式，加载试验台架形式采用但不限于图2所示形式。

4.4.1.2 试验装置包含加载装置和辅助设备；加载装置必须满足并能提供各项试验所有工况的扭矩、转速和温度等要求；辅助设备包括联轴器、固定装置、安装支座和试验工装等。

4.4.1.3 运转试验台架加载转矩和转速应稳定,波动不应超过 1%，运转中根据试验具体要求能够可靠地加载/卸载。

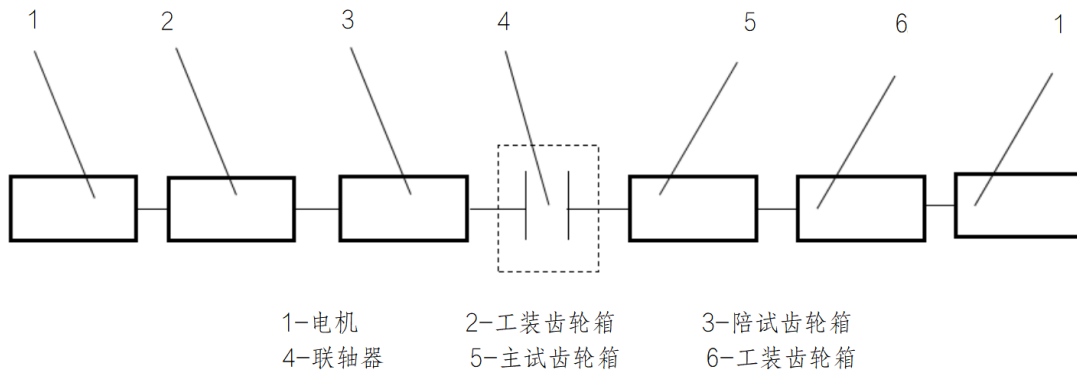
4.4.1.4 所有试验装置应在试验前制作完成并安装紧固。



说明:

- |                       |           |
|-----------------------|-----------|
| 1—齿轮箱（包括润滑冷却系统等附属装置）; | 4—电动机;    |
| 2—齿轮箱的试验工装;           | 5—电动机的支座。 |
| 3—弹性联轴器;              |           |

图1 空载试验台架形式



- |       |         |         |
|-------|---------|---------|
| 1-电机  | 2-工装齿轮箱 | 3-陪试齿轮箱 |
| 4-联轴器 | 5-主试齿轮箱 | 6-工装齿轮箱 |

图2 加载试验台形式

#### 4.4.2 检测设备

4.4.2.1 试验测试应具备并能检测各项试验所有工况时的扭矩、速度、压力、温度、流量、应力、振动、噪声和清洁度等数据的仪器，以及数据采集系统、内窥镜等设备。

4.4.2.2 试验测试所用的检测设备均应在检定有效期内。

4.4.2.3 测试项目为加载转矩（功率）、转速、测试精度不超过读数的1%，在确定被试件的相关参数（如效率、转矩、转速）时应也特别注意各类被试件及测试方法对结果的相关影响，以免导致结果偏差过大或失真。

4.4.2.4 试验过程中的噪声测试可采用各种类型的声级计，其测量精度应符合 GB/T 3785.1-2010 规定的2级，噪声测试方法应符合 GB/T 6404.1 的规定

4.4.2.5 振动测试仪器与测量方法应符合 GB/T 6404.2 的规定。

### 5 试验内容

## 5.1 流量分配试验

流量分配试验方法及要求：

- a) 静态流量分配试验台架形式同空载试验台架（图 1 所示）；
- b) 试验件油路设计应与主齿轮箱实际油路一致，试验件的主体由主齿轮箱的主体（如主齿轮箱箱体等）构成，复杂的零部件（如行星架等）可以采用相同油路设计的工装代替；
- c) 润滑设备应使用主齿轮箱的润滑系统（包括油泵、电机等）或能达到齿轮箱自带润滑系统额定流量的油站等设备进行试验（需要具有加热装置）；
- d) 试验用油牌号应与齿轮箱实际使用润滑油牌号一致；
- e) 试验分为全流量（主齿轮箱设计的流量）试验和半流量（润滑系统电机泵开低速时的润滑油量）试验；
- f) 试验时应保持齿轮箱内循环的润滑油温度恒定，试验过程润滑油温度偏差 $\leq \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；全流量试验润滑油温度  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，半流量试验温度  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- g) 供油装置与试验试验件进油口之间应安装流量计，用以测量齿轮箱总的进油流量；
- h) 记录环境温度，油分配器处的油温和压力值；
- i) 分别测量各润滑点（各喷头、油液孔处等）的油液流量；可以直接测量各测点体积流量，也可以先测量各润滑点质量流量，计算后求得体积流量（润滑油密度取  $0.885\text{ kg/L}$ ）；
- j) 各测量点处的油液应分别进行采集，每个测试点至少两次采集，每次采集时间不小于  $30\text{ s}$ ，采集完毕后分别进行流量测量；
- k) 试验完毕后应对采集到的数据进行处理，计算出各处平均流量，并与设计值进行比较，计算误差及误差率。

## 5.2 油位油量试验

油量油位试验方法及要求：

- a) 按图纸检查齿轮箱的装配质量，含润滑系统及散热风扇等，应符合图纸和实际布置要求；试验台架应保证可调至机组齿轮箱工作倾角要求；
- b) 给齿轮箱加油前，将油位报警器信号接出（可用灯泡作为信号）并通电，此时油位报警器处于报警状态（灯泡点亮）；
- c) 用称重法或量筒量得油量后给齿轮箱加油，油位接近报警油位时放慢加油速度，油位报警开关切断（灯泡熄灭）时立刻停止加油，记录此时的加油量（最小油量）并拍照；
- d) 继续给齿轮箱加油，加至额定总油量（ $\text{RV}-20$ ）L，RV 为额定总油量，记录加油总量并拍照记录与液位计上端螺纹孔安装距离；
- e) 继续给齿轮箱加油，加至额定总油量（ $\text{RV}-10$ ）L，RV 为额定总油量，记录加油总量并拍照记录与液位计上端螺纹孔安装距离；
- f) 继续给齿轮箱加油，加至额定总油量（RV），记录加油总量并拍照记录与液位计上端螺纹孔安装距离（此时液位对应液位标牌 Middle 线）；
- g) 开启润滑系统油泵电机（低速） $10\text{ min}$ ，使润滑系统充分存油（散热器存油）后关闭油泵电机。半小时后，待油位稳定后进行油位标记并拍照记录此时油位。继续给齿轮箱加油，当油位到达开启泵之前液位时，立刻停止加油，计算并记录总加油重量；
- h) 继续给齿轮箱加油  $10\text{ L}$  后停止加油；
- i) 油量试验记录见表 2。



表2 油量试验记录

状态	总加油量	油位(照片、说明)
报警油位(最低油位)		
润滑油泵未开启时 总加油量: (额定总油量-20) L		
润滑油泵未开启时 总加油量: (额定总油量-10) L		
润滑油泵未开启时 总加油量: 额定总油量 L (对应液位标牌 Middle 线)		
润滑系统充分存油后 L (润滑油泵运行一段时间后)	/	
润滑系统充分存油后, 油标高位		

### 5.3 加载试验加载试验方法及要求:

- a) 试验台宜采用但不限于如图 2 所示“电机-工装齿轮箱（用于中速传动机型）-陪试齿轮箱-联轴器-主试齿轮箱-工装齿轮箱（用于中速传动机型）-电机”的背靠背布置形式，齿轮箱与电机宜使用风机传动链中所采用的膜片联轴器或万向轴进行连接，两齿轮箱低速端之间宜使用鼓形齿联轴器或刚性轴进行连接，齿轮箱与安装支座宜使用与风机刚度相近的弹性支撑进行连接；
- b) 宜使用主试、陪试两台同型号齿轮箱进行；试验开始前应进行冲洗，油液清洁度应满足 ISO 4406:2021 规定的-/15/12 的要求；
- c) 试车前先手动盘车，确认无卡死现象再正式启动；
- d) 按表 3 进行齿轮箱型式加载试验，若协商决定允许齿轮箱样机不进行完整的加速疲劳寿命试验和极限工况试验，则应增加试验时间或提高载荷。具体试验加载步骤由双方协商决定。
- e) 按表 4 进行批量加载试验，具体试验加载步骤由双方协商决定。
- f) 负载试验应按照试验大纲约定安装全部温度、压力、振动、噪声及扭矩转速等传感器，并在试验开始前确认各传感器通道信号正常；
- g) 要求齿轮箱至少但不限于在额定扭矩加载条件要达到热平衡（15 min 内温度波动 $\leq 2^{\circ}\text{C}$ 或加载时间 $> 6\text{ h}$ ）；
- h) 在正常运转情况下，应最多每隔 10 min 测定并记录一次转速、扭矩、温度、油压、各轴承温度等数据，每个加载步骤下至少测试一次振动和噪音；
- i) 试验过程中，各项运行数据应满足以下要求：
  - (1) 齿轮箱油池温度 $\leq 75^{\circ}\text{C}$ ，高速轴轴承温度 $\leq 90^{\circ}\text{C}$ ，中间级轴承温度 $\leq 85^{\circ}\text{C}$ ；
  - (2) 齿轮箱的最大振动速度、振动加速度至少应符合 GB/T 6404.2 的要求；
  - (3) 齿轮箱噪声符合整机厂商与齿轮箱制造厂商双方协商要求；
  - (4) 齿轮箱各处油压均应在齿轮箱润滑冷却系统设计范围内。
- j) 试验后油液清洁度应满足 ISO 4406:2021 规定的-/15/12 的要求。
- k) 型式加载试验完成后对齿轮箱进行拆解。应对关键重要零部件的变形、磨损、裂纹和损伤等项目检查分析，如有需要借助检测设备或仪器进行专项检查。

表3 型式加载试验表

步骤	时间 (min)	额定扭矩	额定转速	特别检测项目
1	30	25%	100%	
2	30	50%	100%	
3	30	75%	100%	
4	240	100%	100%	轴承防打滑线、收缩盘防打滑线、 齿面接触斑点
5	30	110%	100%	
6	10	120%	100%	
7	10	100%	110%	
8	10	130%	100%	
9	0.25/次	T <sub>max</sub>	100%	
10	15	100%	-100%	

注：第9步按极限扭矩进行试验，重复加载两次；两次加载中间将载荷降低至第8步加载载荷并持续5min后再次进行第二次极限加载试验。

表4 批量加载试验表

步骤	时间 (min)	额定扭矩	额定转速	特别检测项目
1	3	0	-50%	反向转动 检查有无异响，各信号采集是否正常
2	3	0	50%	检查有无异响
3	5	0	100%	检查有无异响
4	30	50%	100%	
5	30	75%	100%	
6	90	100%	100%	
7	5	50%	-100%	

#### 5.4 传动效率测试

传动效率试验方法及要求：

- 传动效率测试仅适用于双馈风力发电机组齿轮箱；
- 效率测试方法依照 GB/T 14231 的规定执行。效率测试包含空载和负载损耗测试，试验可在空载试验与加载试验过程中同时进行；
- 试验台宜采用但不限于如图 2 所示“电机--陪试齿轮箱-联轴器-主试齿轮箱--电机”的背靠背布置形式；
- 空载功率损耗测试应在油温稳定在 45 °C~65 °C 时，额定转速和空载工况时，实测齿轮箱在空载状态下的扭矩与转速，计算齿轮箱空载功率损耗；
- 负载功率损耗测试中，齿轮箱应达到热平衡（15 min 内温度波动 $\leq \pm 2$  °C），建议测试在齿轮箱额定转速，扭矩分别为 25%、50%、75%、100%、110% 时的传动效率；
- 负载功率损耗测试宜与齿轮箱型式加载试验同时进行。实测在各加载状态下的扭矩与转速，数据处理后绘制扭矩-传动效率曲线；
- 传动效率测试的测试工况由风力发电机组制造商家与齿轮箱制造厂家双方协商确认，试验时测试相应工况的输出扭矩和转速。采用如图 2 所示试验台的传动效率，计算见公式（1）。

$$\eta = \left( \frac{T_M \times R_M}{T_S \times R_S} \right)^{\frac{1}{2}} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

式中：

$T_M$ ---主试齿轮箱扭矩，单位为（kNm）；

$R_M$ ---主试齿轮箱转速，单位为（r/min）；

$T_S$ ---陪试齿轮箱扭矩，单位为（kNm）；

$R_S$ ---陪试齿轮箱转速，单位为（r/min）。

## 5.5 低温试验

低温试验方法及要求：

- a) 应准备满足防锈要求的齿轮箱，并按照齿轮箱实际工作角度搭建试验台架；
- b) 润滑系统应按照风机实际位置布置进行安装，安装全新空气滤清器，并提前安装风机配套用空开，高速级联轴器，刹车盘，防护罩建议安装风机配套部件，以便更好的仿工况；
- c) 给驱动电机，空开，油泵电机，扭矩仪，转速传感器，齿轮箱油池加热器，风扇电机泵加热器、油泵电机加热器，吸油管加热器，温度传感器，压力传感器接线，并逐项检查信号，确定各部件能正常工作。并将所有信号接入采集系统，以便后期数据能自动保存；确定负压传感器工作正常；
- d) 实验前选型风机上主控柜的空开断路器，把该断路器与油泵电机接入同一电路回路，并排除其他敏感断路因素；
- e) 实验前应进行一次油液采样；
- f) 实验前打开润滑系统，并在试验各转速下启动拖动电机，运行时间至少 20 min，使轴承内部充分充油，并对整个试验进行降温前联调；
- g) 若无异常，将低温试验室降至齿轮箱生存温度(如-40 ℃)，温差应 $\leq \pm 2$  ℃，待齿轮箱油池及各部温度充分冷却至给定生存温度后(如-40 ℃)，温差应 $\leq \pm 2$  ℃，再保温 24 h；
- h) 将低温试验室环境温度升至齿轮箱工作温度（如-35 ℃），温差应 $\leq \pm 2$  ℃，当齿轮箱油池及各部温度达到后（如-35 ℃），温差应 $\leq \pm 2$  ℃，再保温 24 h；
- i) 试验正式开始前，应按风机逻辑，先开油池加热器、油泵电机加热器、风扇电机加热器、吸油管加热器等(如有)。达到设定时间后，再开启拖动电机，按照风机启机逻辑控制转速，刚启机时可先施加极小转速，待成功启机后，再慢慢增加转速至给定转速，直至油温上升至油泵低速启动温度(如-5 ℃)。该过程的数采频率不低于 0.5 Hz；
- j) 当油池温度达到给定温度(如-5 ℃)时，将电机泵电流数采频率调至不低于 500 Hz，低转速启动油泵电机；记录电机泵的电流值和启动开始时间，以及正常采集其他温度、压力等值，高频采集时长 5 min；
- k) 若无异常，5 min 后将数采采样频率可继续降至 0.5 Hz，继续采集，直至油池温度及高速轴温度均达到 + 5 ℃及以上，整个低温测试结束；
- l) 在整个试验过程中，各加热器控制逻辑，驱动电机的转速应与风机启机逻辑保持完全一致，不应随意变更；
- m) 试验后按标准进行油样清洁度检查，取 2 瓶标准油样，并检查齿轮箱各处有无渗漏油，电机及加热器有无过烧，空开有无异常断路等。并对齿轮箱内部特别是平行级齿面和轴承尽可能多的进行内窥镜检查，也可进行拆检全面检查。

## 5.6 应力测试试验

应力测试试验方法及要求:

- a) 在齿圈和太阳轮的工作齿面圆周上分布测点, 测点不应小于行星轮个数, 在单个齿宽方向分布一定数量的应变片, 数据采集器采集, 测量需要的各种参数。以 7 个行星轮系为例, 齿圈测点分布图可采用但不限于图 3 所示方式:

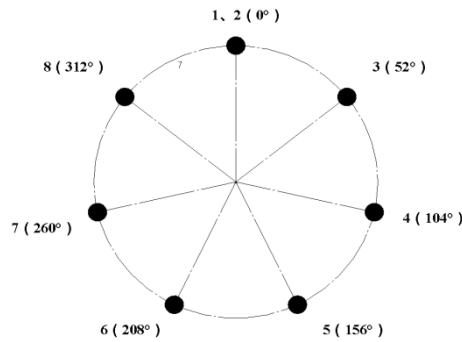


图3 齿圈测点分布方式

- b) 齿宽方向应变片分布图可采用但不限于图 4 所示方式, 要求相邻应变片之间的距离, 建议不小于 25 mm; 两侧应变片离齿圈端面的距离, 建议不小于 10 mm; 齿圈齿根与应变片之间的径向距离;

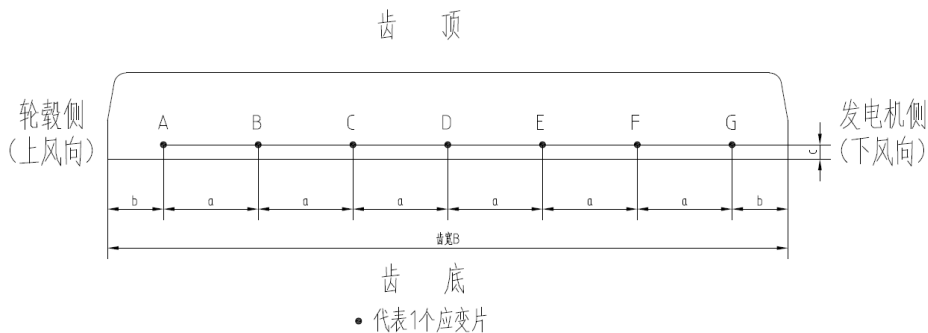


图4 齿宽方向应变片布置方式

- c) 应变计安装应可靠、位置准确、接线正确、布线合理, 采集数据输出完整。建议在额定转速下, 扭矩工况分别为 25%T、50%T、75%T、100%T (T 为额定扭矩), 分别记录在每个扭矩工况稳态下的齿根应变采样数据, 每个工况记录两组;
- d) 测取内齿圈齿根处应变作为描述均载载荷的参数, 用于计算均载系数。

## 5.7 耐久性试验

### 5.7.1 加速疲劳寿命试验

风电齿轮箱的加速寿命试验是根据载荷和循环次数的等效关系公式以及齿轮材料的 S-N 曲线, 把 LDD 载荷谱等效为一个当量载荷和对应的时间, 加速验证风电齿轮箱的可靠性。按照 LDD 载荷谱从大到小计算每个载荷步下高速轴的循环次数, 按照公式 (2) 计算等效到下一载荷步的循环次数。

$$\frac{N_2}{N_1} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^p \dots\dots\dots(2)$$

式中：

$N_2$ ---等效后的应力循环次数；

$N_1$ ---等效前的应力循环次数；

$T_1$ ---等效前的扭矩；

$T_2$ ---等效后的扭矩；

$p$ --- $N_1$ 和 $N_2$ 所在区域的材料疲劳曲线（S-N曲线）指数。

当累积循环次数大于  $5 \times 10^7$ ，该步载荷记作 $T_n$ ，上一步载荷记作 $T_{n-1}$ ；  $5 \times 10^7$  循环次数对应的等效载荷 $T_{eq,5 \times 10^7}$ 位于 $T_{n-1}$ 和 $T_n$ 之间，按照插值法计算出等效载荷 $T_{eq,5 \times 10^7}$ ，见式（4），计算示例见表 5：

$$p_{interpol} = \frac{\log \frac{T_{n-1}}{T_n}}{\log \frac{n_{ne}}{n_{(n-1)e}}} \dots\dots\dots(3)$$

$$T_{eq,5 \times 10^7} = T_n \cdot \left(\frac{n_{ne}}{5 \times 10^7}\right)^{p_{interpol}} \dots\dots\dots(4)$$

表5 等效载荷计算示例

齿数比		u = 75	额定扭矩		$T_n = 950 \text{ kN} \cdot \text{m}$		
每转接触次数		1	叶轮转速		$n_b = 20 \text{ rpm}$		
应力循环频率		1500rpm	斜率		$p = 6.61$		
				耐久性极限循环次数			$N_{L,ref} = 5 \times 10^7$
级号i	叶轮转矩 $T_i$	转矩比 $T_i/T_n$	运行时间 h	循环次数 $n_i$	前一列等效的循环次数 $n_{ia}$	总循环次数 $n_{ie}$	开关值
1	1400	1.47	0.4	36000	-	36000	0
2	1250	1.32	5.05	454500	76154	530654	0
3	1150	1.21	450	40500000	920910	41420910	0
4	1025	1.08	6520	586800000	88635476	675435476	1
5	950	1.00	15000	1350000000	1116233847	2466233847	1
6	925	0.97	21500	1935000000	2941740296	4876740296	1
...	...	...	...	...	...	...	...
注：1、该计算针对点蚀，p 值选取 6.61； 2、如果总的循环数小于 $5 \times 10^7$ ，则最右列的开关等于 0； 3、 $n_{ia}$ 计算参照公式 7.1							

依据  $5 \times 10^7$  循环次数对应的等效载荷 $T_{eq,5 \times 10^7}$ ，按照公式（2）计算 halt 试验等效载荷（推荐 1.3~1.5 倍额定载荷）对应的循环次数；当确定 halt 试验等效载荷后，校核齿轮的齿根和齿面安全系数，以确定计算所得出的等效载荷和时间是否合适。

5.7.2 鲁棒性试验

5.7.2.1 鲁棒性试验是基于真实工况的疲劳试验加载试验，是为无法通过标准的寿命计算模型计算或无法通过功能试验验证的失效模式提供试验方法。

5.7.2.2 鲁棒性试验台位齿轮箱的支撑方式应与实际支撑方式一致。

5.7.2.3 鲁棒性试验应在额定载荷下运行不少于300 h，130%额定载荷运行不少于30 h，实验步骤及要求见表6。

表6 等效载荷计算示例

序号	描述	扭矩	转速
1	启停测试	0~100%	0~100%
2	变扭矩	40%~100%~40%循环载荷	100%
3	恒扭变转速	100%	70%~100%~70%循环转速
4	130%连续载荷测试	130%	100%
5	超载测试	100%~Max LDD~100%循环载荷	100%
6	超速测试	100%	Max
7	Idling	0	小于0.2rpm

## 5.8 漏油试验

齿轮箱漏油试验方法及要求：

- 按图纸检查齿轮箱的装配质量，含润滑系统及散热风扇，空气滤清器等，应符合图纸要求。为进一步验证密封性，高速级，低速级最外部防尘用V封不安装，但用于密封等功能的，如骨架密封等部件是否安装，可双方沟通后定；
- 齿轮箱表面应清理干净，不应有油迹，尤其是各螺栓孔位置，各结合面处；
- 根据齿轮箱最大极限倾角搭建漏油试验台架，并安装风机配套的高速级联轴器，刹车盘，防护罩等，且安装和高速级对中须符合图纸设计要求；
- 安装新的空气滤清器、滤筒透气帽，视孔盖均正常打胶；
- 安装并连接温度、压力传感器、转速传感器（可拖动电机自带）；
- 连接液位报警装置，以检测在试验过程中是否会出现液位报警。漏油测试中不能出现液位报警；
- 启动润滑系统油泵，冲洗至少 30 min，取样检查油液的清洁度，要求油液清洁度达到 ISO 4406:2021 规定的-/14/11 要求，并做记录，如不合格则继续冲洗。试验前再次确认和补油至液位标牌高油位位置。试车前先手动盘动高速轴，确认无卡阻现象；
- 启动驱动电机，按**错误!未找到引用源。**7 中的步骤 1 至步骤 7 进行试验；

表7 试验步骤

序号	高速轴转速 (rpm)	油池温度 (°C)	时间 (min)	油泵状态
1	20% 额定转速	从 35 转开始测试	10	高速
2	60% 额定转速	35°C~68	10	高速
3	100% 额定转速	35°C~68	30	高速
4	20% 额定转速	≥68°	10	高速
5	60% 额定转速	≥68°	10	高速
6	100% 额定转速	≥68°	1440(24h)	高速
7	110% 额定转速	≥68°	120	高速

注：最高转速不得超过高速级轴承设计许用转速，两者冲突，以转速较低者为准。

- i) 运转过程中实时监测、记录各轴承温度、油温，检查各联接件、紧固件有无松动，密封处、结合处有无漏油、渗油，运转是否平稳，有无异响、冲击。测试过程中应持续监控液位报警器状态，使整个过程中无报警。检测，拍照并做记录；
- j) 测试结束后，检查齿轮箱各处有无异常，若无异常，调整齿轮箱及台架角度至工作角度，再次重复以上步骤进行测试。

## 5.9 拆解检查

### 5.9.1 拆解要求

5.9.1.1 拆卸齿轮箱前，应要手动试转齿轮箱是否依旧正常。

5.9.1.2 拆卸齿轮箱时应遵循逐步拆卸的规则，即拆下一部分检查一部分，防止未查明拆开部位有无异常便急于连续拆卸甚至全部拆完再检查分析的做法。

5.9.1.3 对于关键重要零部件的变形、磨损、裂纹和损伤等项目的检查分析，需借助检测设备或仪器进行专项检查。

5.9.1.4 对于润滑油清洁度、滤芯有无堵塞等的检查需出具专业的检测分析报告。

### 5.9.2 拆解中检查项目

拆解中增速齿轮箱检查项目如下：

- a) 有无损伤、裂痕或变形之处；
- a) 连接有无松动；
- b) 零件相对位置有无变动；
- c) 表面有无碰擦等异常痕迹；
- d) 有无污物或碎屑残留。

### 5.9.3 拆解后检查项目：

拆解后增速齿轮箱检查项目如下：

- a) 滚动轴承转动是否正常；
- b) 滚动轴承中滚动体、保持架、内外滚道的磨损情况和颜色；
- c) 滚动轴承内是否有污物；
- d) 滚动轴承外圈与相配表面的配合状况；
- e) 齿面接触印痕和颜色；
- f) 齿面磨损情况，是否有损伤和裂纹；
- g) 齿顶及齿根有无硬接触痕迹；
- h) 内、外花键接触面磨损情况，是否有损伤和裂纹；
- i) 轴表面的颜色，是否有损伤或裂纹；
- j) 收缩盘内的外环是否有相对滑动，是否有变形和裂纹；
- k) 螺栓、螺母和螺孔的螺纹部分有无损伤；
- l) 定位销有无损伤和松动；
- m) 箱体、行星架、扭力臂上非加工面的质量变化情况；
- n) 润滑油各流道是否畅通或是否有污物；
- o) 箱内润滑油的油质目测检查和清洁度测定；
- p) 过滤器滤芯有无堵塞或损坏情况。

## 附 录 A

(资料性)

### 试验报告要求

#### A.1 总体要求

试验报告内容包括试验标题,报告签审,试验依据,试验件信息,试验结论,各项试验监测数据记录或变化曲线、照片检查记录或报告、测量数据检测记录或报告以及相应的试验结果。

#### A.2 试验标题要求

试验标题应对所有试验内容高度概括,能简洁明了反映试验内容,为突出试验主题,可增加副标题。如,XX齿轮箱疲劳寿命试验报告,XX齿轮箱型式试验——效率测试报告。

#### A.3 试验报告签审要求

试验报告参与人员至少应包括编制人、校核人与审批人,并标明试验报告出具时间。

#### A.4 试验依据要求

试验报告中应明确试验依据,通常为风力发电机组制造商与齿轮箱制造商双方协商制定的试验大纲。

#### A.5 试验件信息要求

试验报告中应明确试验件基本参数信息,包括但不限于试验零件型号、生产编号以及效率、振动等量化评判项指标。

#### A.6 试验结论要求

A.6.1 对试验数据记录与报告进行分析与深化,简明扼要的说明全部试验结果,评判标准可参照资料性附录A内容。

A.6.2 试验报告编制人员应从保证产品质量的角度判定产品试验结果通过与否,或与同类或相同产品测试结果进行对比评判优劣情况。

#### A.7 试验记录要求

A.7.1 应保留试验中的原始记录数据,以便查阅,如有必要原始记录数据可以附录形式附于试验报告后。数据记录卡参见表A.1。对各项试验数据按本文件正文要求进行数据处理,包括但不限于以下项目:

- a) 绘制在额定转速与额定载荷状态下,温度、振动与噪声监测数据时序曲线;
- b) 按本文件 5.4 的要求进行转矩与转速数据记录,并根据试验台架形式,分析计算齿轮箱传动效率;



A.7.2 对拆解后的关键重要零部件是否存在变形、磨损、裂纹和损伤情况进行照片记录，对于各级齿轮啮合印记进行照片记录，原始照片记录应保留。

A.7.3 作为判断试验结论的重要照片记录应体现在试验报告中，试验报告中照片要求清晰、客观。

A.7.4 在各项数据记录、数据处理与分析后应给出单项试验判定结果，如果存在特殊情况，如数据存在奇异点等，需在报告中解释说明。

表 A.1 试验监测数据记录表

时间	扭矩		转速		噪声			振动速度			振动加速度			温度		
min	kNm		kNm		dB			mm/s <sup>2</sup>			mm/s			℃		
	主试端	陪试端	主试端	陪试端	①	...	N	①	...	N	①	...	N	①	...	N