

ICS 27.180  
F 11  
备案号: 64294-2018

# NB

## 中华人民共和国能源行业标准

NB/T 31141 — 2018

### 直驱风力发电机组 偏航、变桨轴承 型式试验技术规范

Direct-drive wind turbine-  
Technical specification for type test of yaw and pitch bearing

2018-04-03 发布

2018-07-01 实施

国家能源局 发布

## 目 次

前言	II
1 范围	1
2 符号	1
3 基本要求	2
4 试验设备要求	2
4.1 试验能力	2
4.2 监测系统	2
4.3 控制系统	3
5 试验项目及要 求	3
5.1 试验项目	3
5.2 外圈疲劳强度评估试验	3
5.3 极限载荷试验	3
5.4 疲劳寿命试验	4
5.5 微动磨损试验（选做）	5
5.6 密封性能试验	6
6 试验流程	6
6.1 试验准备	6
6.2 试验过程	6
7 记录	7
7.1 自动记录	7
7.2 手工记录	7
7.3 照片记录	7
8 型式检验	8
8.1 概述	8
8.2 成品	8
8.3 内外圈	8
8.4 钢球	9
8.5 保持架	9
8.6 隔离块	10
8.7 无损探伤检测	10
8.8 密封	10
8.9 油脂	10
9 判定原则	10
附录 A（规范性附录） 轴承型式检验项目及要 求	11

## 前 言

本标准按 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给定的规则起草。

本标准由国家能源局提出。

本标准由能源行业风电标准化技术委员会归口（NEA/TC1）。

本标准起草单位：北京金风科创风电设备有限公司、大连冶金轴承股份有限公司、湘电风能有限公司、瓦房店轴承集团有限公司、大连理工大学、成都天马铁路轴承有限公司、上海欧际柯特回转支承有限公司、洛阳新能轴承制造有限公司、北京鉴衡认证中心有限公司、国电联合动力技术有限公司、洛阳LYC轴承有限公司、中车株洲电机有限公司。

本标准主要起草人：翟晓江、叶吉强、刘万平、薛锋、石亦平、朱海燕、卢超、周震、薛飞、冯辉、刘瑞兵、张宏伟、阳雪兵、孙振生、王德伦、袁玉密、高学海、周凯、程人杰、孙乐乐、杨德胜、陈国旗、龚天明。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

# 直驱风力发电机组 偏航、变桨轴承 型式试验技术规范

## 1 范围

本标准规定了直驱风力发电机组偏航、变桨轴承（以下简称轴承）型式试验设备、试验项目、试验要求、试验流程、试验记录、型式检验等。

本标准适用于直驱风力发电机组偏航、变桨轴承型式试验。

## 2 符号

$C_a$ ：基本额定动载荷。

$C_{a,osc}$ ：修正基本额定动载荷。

$D$ ：钢球直径。

$d_m$ ：轴承回转直径。

$f_{cm}$ ：与额定载荷系数  $\gamma$  有关的系数  $\left(\gamma = \frac{D \cos \alpha}{d_m}\right)$ 。

$F_{rk}$ ：K 工况的径向载荷。

$F_{ak}$ ：K 工况的轴向载荷。

$F_{rt}$ ：试验径向载荷。

$F_{at}$ ：试验轴向载荷。

$i$ ：滚道列数。

$L_{10}$ ：轴承的基本额定寿命，百万转。

$L_a$ ：轴承的要求寿命，百万转。

$L_t(\text{hr})$ ：轴承的试验时间，h。

$M_k$ ：K 工况的倾覆力矩。

$M_t$ ：试验倾覆力矩。

$n$ ：工况数。

$N_k$ ：K 工况的转速，r/min。

$N_t$ ：轴承的试验转速，r/min。

$P_{ea}$ ：轴承的当量动载荷。

$P_{eak}$ ：K 工况的当量动载荷。

$P_{eat}$ ：试验当量动载荷。

$R$ ：单双列转矩比值。

$t_k$ ：K 工况轴承运行所占时间比。

$T$ ：轴承的要求寿命，h。

$T_t$ ：总摩擦力矩平均值。

$T_s$ ：单列摩擦力矩平均值。

$Z_0$ ：每列滚道的钢球数量。

$\alpha$ ：名义接触角。

$\theta_{\text{crit}}$ : 临界摆动角度。

$\theta_c$ : 轴承当量摆幅角。

$\theta_k$ : K 工况的摆幅角。

### 3 基本要求

型式试验是为了验证轴承采用的设计方法、制造工艺能否保证轴承产品满足设计使用要求。有下列情况之一时，应进行型式试验或评估是否应进行型式试验：

- a) 轴承的设计方法、制造工艺未能通过验证或未进行验证时；
- b) 轴承的设计方法、制造工艺发生重大的变更，可能影响轴承的性能时；
- c) 轴承的设计结构、原材料、润滑油脂、密封等发生重大变化，可能影响轴承的性能时。

注：油脂重大变化，是指油脂未经行业验证、广泛使用的情况。

若产品的设计方法、制造工艺已经通过型式试验验证，采用相同设计方法、制造工艺的新型号产品可以不进行型式试验，但应向客户提供详细的计算、验证报告，并得到客户认可。

### 4 试验设备要求

#### 4.1 试验能力

型式试验机应模拟轴承实际工作时的受力状态，进行动态、静态加载试验：

- a) 轴承在试验机的安装方向应与实际工况一致；
- b) 施加的载荷包括轴向力、径向力、倾覆力矩，加载方向为双向加载，各个载荷的加载控制应相互独立，又可实现同时加载；
- c) 试验加载后，轴承变形量不应小于实际工况，并且变形的方向应与实际工况一致；
- d) 轴承的加载载荷应不低于试验要求载荷，轴承厂家应对轴承输入载荷进行校准并提供报告，明确载荷的偏差；
- e) 轴承的转速不应低于要求转速。

#### 4.2 监测系统

##### 4.2.1 概述

型式试验机应具备对轴承运行状态参数及液压系统运行状态参数的监视、测量能力及系统报警能力。

##### 4.2.2 轴承运行状态参数

轴承运行状态参数包括：

- a) 轴向力、径向力、倾覆力矩；
- b) 旋转速度；
- c) 运转圈数；
- d) 转矩；
- e) 振动值(采用速度或加速度量纲)；
- f) 轴向、径向位移；
- g) 运行温度。

##### 4.2.3 液压系统运行状态参数

液压系统运行状态参数包括：

- a) 油缸的进油口压力;
- b) 液压油温度。

#### 4.2.4 系统报警信号

系统报警信号包括温度、振动、转矩。

### 4.3 控制系统

#### 4.3.1 载荷控制

加载系统应具备加载载荷的反馈和控制功能。

#### 4.3.2 旋转速度控制

系统应具备轴承旋转速度的反馈和控制功能。

## 5 试验项目及要求

### 5.1 试验项目

偏航、变桨轴承型式试验项目包括外圈疲劳强度评估试验、极限载荷试验、疲劳寿命试验、微动磨损试验、密封性能试验。

#### 5.2 外圈疲劳强度评估试验

##### 5.2.1 试验范围

变桨轴承应进行外圈疲劳强度评估试验，偏航轴承的外圈疲劳强度评估试验不作要求，具体与客户协商确定。

##### 5.2.2 试验载荷

叶根疲劳载荷 Markov 矩阵中最大载荷或者极限载荷的 70%，取两种载荷中的较大载荷。

##### 5.2.3 试验方法

加载 5.2.2 规定的试验载荷，测量外圈安装孔内壁的环向主拉应力，推荐最大应力值：小于 300MPa。

### 5.3 极限载荷试验

#### 5.3.1 试验范围

偏航、变桨轴承均应进行极限载荷试验。

#### 5.3.2 静态极限载荷试验

在极限载荷作用下，推荐保持时间不少于 5min。

#### 5.3.3 动态极限载荷试验

5.3.3.1 在极限载荷作用下进行倾覆力矩方向转化，推荐摆动次数不少于 10 次。

5.3.3.2 在极限载荷作用下进行内外圈的旋转，试验参数如下：

- a) 旋转速度：变桨轴承取极限载荷工况发生时的变桨速度；偏航轴承取额定偏航速度。
- b) 旋转角度：±45°（变桨轴承），360°（偏航轴承）。
- c) 推荐时间：不少于 5min。

## 5.4 疲劳寿命试验

### 5.4.1 试验范围

变桨轴承应进行疲劳寿命试验，偏航轴承的疲劳寿命试验不作强制要求，具体与客户协商确定。

### 5.4.2 试验载荷的确定

根据型式试验设备的加载能力确定试验载荷  $F_{rt}$ 、 $F_{at}$ 、 $M_t$ ，并且符合以下要求：

- a) 试验载荷应小于 70%极限载荷；
- b) 轴承的变形量应不小于实际工况。

试验当量动载荷按照式（1）进行计算：

$$P_{cat} = 0.75F_{rt} + F_{at} + \frac{2M_t}{d_m} \quad (1)$$

### 5.4.3 试验转速的确定

旋转速度：应不大于实际变桨最大速度。

旋转圈（内圈旋转或外圈旋转）应与实际工况相同，否则应根据应力循环次数的变化，重新计算试验时间。

### 5.4.4 旋转角度

变桨轴承旋转角度为±45°，偏航轴承旋转角度为 360°。

### 5.4.5 试验时间的计算

#### 5.4.5.1 额定动载荷的计算方法

- a) 基本额定动载荷按式（2）进行计算：

$$C_a = 3.647 f_{cm} (i \cos \alpha)^{0.7} Z_0^{\frac{2}{3}} D^{1.4} \tan \alpha \quad (2)$$

- b) 基本额定动载荷的修正：

偏航、变桨轴承是一个摆动轴承，套圈滚道振动幅度的临界值  $\theta_{crit}$  按式（3）进行计算：

$$\theta_{crit} = \frac{720^\circ}{Z_0(1 \pm \gamma)} \quad (3)$$

式（3）中，外滚道  $\theta_{crit}$  取-号，内滚道  $\theta_{crit}$  取+号。

当量摆幅角  $\theta_e$  按式（4）进行计算：

$$\theta_e = \frac{\sum_{k=1}^{k=n} N_k t_k \theta_k}{\sum_{k=1}^{k=n} N_k t_k} \quad (4)$$

当  $\theta > \theta_{crit}$  时，基本额定动载荷按式（5）进行修正：

$$C_{a,osc} = C_a \left( \frac{180^\circ}{\theta_c} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (5)$$

当  $\theta < \theta_{crit}$  时, 基本额定动载荷按式 (6) 进行修正:

$$C_{a,osc} = C_a \left( \frac{180^\circ}{\theta} \right)^{\frac{3}{10}} Z_0^{0.033} \quad (6)$$

#### 5.4.5.2 当量动载荷的计算方法

a) 疲劳载荷谱中每种工况下的当量动载荷按式 (7) 进行计算:

$$P_{eak} = 0.75F_{rk} + F_{ak} + \frac{2M_k}{d_m} \quad (7)$$

b) 轴承的当量动载荷按式 (8) 进行计算:

$$P_{ea} = \left( \frac{\sum_{k=1}^n P_{eak} N_k t_k}{\sum_{k=1}^n N_k t_k} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (8)$$

#### 5.4.5.3 试验时间的计算

试验时间可按下述两种公式计算:

a) 按式 (9) 计算试验时间:

$$L_t(\text{hr}) = \left( \frac{C_{a,osc}}{P_{eat}} \right)^3 \frac{1}{N_t 60} \quad (9)$$

b) 按式 (10) ~ 式 (12) 计算试验时间:

$$L_t(\text{hr}) = \left( \frac{P_{ea}}{P_{eat}} \right)^3 \frac{L_a}{N_t 60} \quad (10)$$

或者

$$L_t(\text{hr}) = \left( \frac{P_{ea}}{P_{eat}} \right)^3 \frac{TN_{ave}}{N_t 60} \quad (11)$$

$$N_{ave} = \sum_{k=1}^n N_k t_k \quad (12)$$

试验验证的轴承寿命时间  $T$  应为 20 年或与客户协商确定。

### 5.5 微动磨损试验 (选做)

#### 5.5.1 滚道微动磨损试验

当轴向、圆周方向的摆动幅度分别小于钢球与滚道接触椭圆的长轴、短轴时, 应进行微动磨损试验。

微动磨损试验的设备应具备模拟滚道切向微动、径向微动、滚动微动和扭动微动 (自旋滑动) 四种微动形式组成的复合微动的能力。

#### 5.5.2 齿面的微动磨损试验

采用齿传动的偏航、变桨轴承, 当齿面切向的摆动幅度小于接触应力区域宽度时, 均应进行微动磨损试验。

微动磨损试验设备应具备模拟轮齿径向、切向组成的复合微动的能力。



### 5.5.3 微动磨损试验参数

客户应选取微动磨损的典型工况，确定试验参数，包括载荷、摆动幅度、频率、时间等。

变桨轴承的试验参数与传动链的设计（齿传动、齿形带传动、液压传动）、变桨类型（统一变桨、独立变桨）及装配工艺（齿形带的频率、齿啮合侧隙）有关。

偏航轴承的试验参数与制动系统的设计（制动器、阻尼块、减速器制动）、控制策略及装配工艺（齿啮合侧隙、阻尼块预压力）有关。

轴承厂家应优化轴承滚道、轮齿的设计，在保证承载能力的前提下，提高滚道、轮齿抵抗微动磨损的能力。

## 5.6 密封性能试验

5.6.1 保压试验：在 70%极限载荷作用下，200kPa 压力，保压 10min 不漏脂。

5.6.2 疲劳寿命试验结束后，不应出现大量漏脂，允许出现渗脂或少量漏脂。

## 6 试验流程

### 6.1 试验准备

#### 6.1.1 试验样本

在检验合格的偏航、变桨轴承中随机抽取 1 套作为试验样本，并进行全面检验、记录，检验项目应至少包括附录 A 中所列的项目。

#### 6.1.2 试验轴承的安装

试验轴承的安装应符合以下要求：

- a) 试验轴承安装使用紧固件的产品标准、预紧力应与实际情况相同；
- b) 螺栓拧紧应分三次，十字交叉均匀对称紧固，力矩分别为拧紧力矩的 50%、75%、100%；
- c) 滚道软带应避免载荷较大的位置；
- d) 润滑油脂牌号应与实际情况相同，注脂量、注脂频次与客户协商确定。

### 6.2 试验过程

#### 6.2.1 试验顺序

试验过程按照以下顺序进行：

- a) 密封保压试验。
- b) 轴承磨合运行。运行参数与客户协商确定。
- c) 外圈疲劳强度评估试验。若试验未通过，不再进行后续的极限载荷试验及疲劳寿命试验。
- d) 极限载荷试验。试验应在疲劳寿命试验前或试验过程中进行，不应将极限载荷试验放在疲劳寿命试验结束后进行。
- e) 疲劳寿命试验。
- f) 微动磨损试验。试验应在疲劳寿命试验过程中进行，具体与客户协商确定。

#### 6.2.2 试验过程状态监测

疲劳寿命试验时，推荐至少每间隔 1min 自动记录一次轴承运转状态参数。极限载荷试验时，推荐至

少每间隔 0.5min 自动记录一次轴承运转状态参数。

### 6.2.3 试验过程中检查

#### 6.2.3.1 运行状态

试验过程应随时检查试验轴承的运行状态：

- a) 有无异常声音；
- b) 密封状态及漏脂情况；
- c) 载荷的加载情况；
- d) 旋转速度。

#### 6.2.3.2 油脂状态

疲劳寿命试验过程应定期对润滑油脂进行外观检验及铁含量检测，具体要求如下：

- a) 油脂取样位置：载荷最大位置、软带位置。
- b) 检测周期：检测周期应确保可以及时发现油脂中铁含量急剧上升。推荐检测周期：铁含量  $> 1500 \times 10^{-6}$  时，1 次/d；铁含量  $< 1500 \times 10^{-6}$  时，1 次/周。

当油脂中铁含量急剧上升且大于  $1500 \times 10^{-6}$  时，应及时补加油脂，必要时对轴承进行拆套检查，具体与客户协商确定。

#### 6.2.3.3 拧紧力矩

拧紧力矩的检查，推荐按以下要求执行：

- a) 极限载荷试验完成后检查；
- b) 疲劳寿命试验过程，每天检查一次；
- c) 若出现松动，应全部重新拧紧，拧紧方法及顺序应与首次安装一致。

## 7 记录

### 7.1 自动记录

试验程序应实时保存轴承运行状态参数、液压系统运行状态参数、系统报警信号等，并且可以对数据进行检索、调用。

### 7.2 手工记录

手工记录应至少包括以下内容：

- a) 轴承运行状态、液压系统运行状态、系统报警信号，记录频率为 1 次/h~2 次/h；
- b) 试验过程中检查到的异常情况；
- c) 油脂外观检查、铁含量检测情况；
- d) 螺栓拧紧力矩的检查及紧固；
- e) 试验前、试验后按表 A.1 对轴承进行检验、记录。

### 7.3 照片记录

照片记录应至少包括滚道、钢球、保持架、隔离块、密封、油脂等。

## 8 型式检验

### 8.1 概述

型式试验完成后,应对试验轴承进行型式检验,确定轴承能否满足设计使用要求。

### 8.2 成品

#### 8.2.1 游隙

轴承游隙应小于 0。

#### 8.2.2 旋转精度

轴向跳动、径向跳动、齿对滚道的综合跳动应符合设计要求。

#### 8.2.3 转矩

应对轴承不带密封圈的双列转矩、单列转矩进行检测,具体要求如下:

a) 转矩下降值小于 50%。

b) 单、双列转矩的比值  $R = \frac{T_s}{T_t} = (1.3 \sim 1.5)$ 。

### 8.3 内外圈

#### 8.3.1 滚道

##### 8.3.1.1 外观

对滚道表面进行外观检验,具体要求如下:

a) 滚道表面不应出现疲劳点蚀、疲劳剥落及裂纹等缺陷。

注 1: 小的外界颗粒造成的少量凹坑是不可避免的,见图 1。

注 2: 疲劳剥落失效标准为剥落深度不小于 0.05mm,剥落面积不小于 1mm<sup>2</sup>。

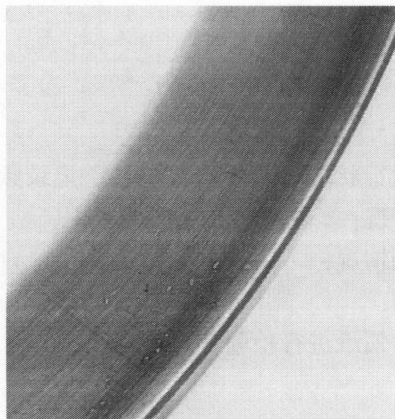


图 1 滚道表面正常的接触痕迹

b) 不应发生滚道边缘压溃。

c) 微动磨损试验后,滚道表面不应出现严重的等间距磨痕(磨损氧化、磨屑的剥落),具体判定标

准与客户协商确定。

### 8.3.1.2 尺寸及形状精度

滚道的中心距、轮廓度、曲率半径应符合设计要求。

### 8.3.2 齿圈

#### 8.3.2.1 外观

对齿面、齿根进行外观检验，具体要求如下：

- a) 齿面不应出现疲劳点蚀、疲劳剥落及裂纹等缺陷，齿根不应出现裂纹等缺陷；
- b) 齿面的啮合痕迹应位于中间区域，不允许发生偏载；
- c) 微动磨损试验后，齿面不应出现严重的磨痕（磨损氧化、磨屑的剥落），具体判定标准与客户协商确定。

#### 8.3.2.2 尺寸精度

齿的公法线长度变动量应符合设计要求。

### 8.3.3 保持架引导面

保持架引导面不应发生拉伤及严重的磨损。

### 8.3.4 外圈疲劳强度评估

外圈安装孔内壁环向主拉应力最大值：推荐小于 300MPa。

## 8.4 钢球

### 8.4.1 外观

钢球表面不应出现疲劳点蚀、疲劳剥落及裂纹等缺陷。

### 8.4.2 尺寸、形状精度

直径、圆度应符合设计要求。

## 8.5 保持架

### 8.5.1 外观

外观检验应符合以下要求：

- a) 引导面的最大磨损深度应不超过板厚的 1/10；
- b) 兜孔中间梁不应弯曲变形；
- c) 焊缝处不应出现裂纹。

### 8.5.2 尺寸精度

兜孔直径应符合设计要求。

## 8.6 隔离块

隔离块无压缩变形及碎裂。

## 8.7 无损探伤检测

内外圈、钢球、保持架应进行无损探伤检测，具体要求如下：

- a) 内外圈主要检测滚道、堵塞孔内壁、密封安装槽底、齿面、齿根；
- b) 保持架主要检测焊缝。

## 8.8 密封

8.8.1 保压试验后，密封不漏脂。

8.8.2 疲劳寿命试验结束后，不应出现大量漏脂，可出现渗脂或少量漏脂。

## 8.9 油脂

油脂不应发干，不应有铁屑及大的金属颗粒。

## 9 判定原则

附录 A 中标注“\*”的检验项目应符合第 8 章型式检验的要求，其余项目为参考项目。

附 录 A  
(规范性附录)  
轴承型式检验项目及要求

轴承型式检验项目记录见表 A.1。

表 A.1 轴承型式检验项目记录表

序号	类别	型式检验项目	试验前	试验后
1*	成品	游隙		
2*		轴向跳动		
3*		径向跳动		
4*		齿对滚道综合跳动		
5		转矩下降值		
6*		单双列转矩比值		
7*	滚道	外观		
8*		中心距		
9*		曲率半径		
10*		轮廓度		
11*	齿圈	外观		
12*		公法线长度变动		
13	保持架引导面	外观		
14*	外圈	疲劳强度评估试验	—	
15	钢球	外观		
16		直径		
17		圆度		
18	保持架	外观		
19		兜孔直径		
20	隔离块	外观		
21*	无损探伤检测	滚道		
22*		堵塞孔内壁		
23*		密封安装槽底		
24*		齿面		
25*		齿根		
26*		外圈安装孔内壁		

表 A.1 (续)

序号	类别	型式检验项目	试验前	试验后
27*	无损探伤检测	钢球		
28		保持架焊缝		
29	密封	保压试验		—
30		寿命试验后漏脂情况	—	
31	油脂	外观		

新嘉金风科技股份有限公司