



团 体 标 准

T/CEATEC XXXX—2026

风力发电机组偏航、变桨轴承技术规范

Standard technical specification for yaw and pitch bearings of wind turbine generator systems

(征求意见稿)

2026-xx-xx 发布

2026-xx-xx 实施

中国欧洲经济技术合作协会 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 结构型式与代号 2

 4.1 结构型式 2

 4.2 轴承代号 2

5 技术要求 2

 5.1 一般要求 2

 5.2 材料 2

 5.3 热处理 4

 5.4 机械加工精度 4

 5.5 无损检测（NDT） 4

 5.6 防腐涂装 4

 5.7 润滑 4

 5.8 强度与寿命计算 5

6 检验方法 5

 6.1 一般要求检验 5

 6.2 材料检验 5

 6.3 热处理检验 5

 6.4 机械加工精度检验 6

 6.5 无损检测（NDT） 6

 6.6 防腐涂装检验 6

 6.7 润滑检验 6

 6.8 强度与寿命校核 6

7 检验规则 6

 7.1 检验分类 6

 7.2 出厂检验 7

 7.3 型式检验 7

 7.4 组批与取样 7

 7.5 判定 7

8 标志、包装、运输和贮存 7

 8.1 标志 7

 8.2 包装 7

 8.3 运输 7

8.4 贮存 7

9 安装与维护 8

9.1 安装前准备 8

9.2 螺栓紧固 8

9.3 首次润滑 8

9.4 定期维护 8

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。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会提出并归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

风力发电机组偏航、变桨轴承技术规范

1 范围

本文件规定了风力发电机组偏航轴承和变桨轴承（以下简称“轴承”）的结构型式与代号、技术要求、检测方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存、安装与维护等。

本文件适用于陆上及海上风力发电机组用单排四点接触球式、双排四点接触球式偏航轴承和变桨轴承的设计、制造、验收及使用维护。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 223.64 钢铁及合金 锰含量的测定 火焰原子吸收光谱法
GB/T 226 钢的低倍组织及缺陷酸蚀检验法
GB/T 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法
GB/T 230.1 金属材料 洛氏硬度试验 第1部分：试验方法
GB/T 231.1 金属材料 布氏硬度试验 第1部分：试验方法
GB/T 1184 形状和位置公差 未注公差值
GB/T 1804 一般公差 未注公差的线性角度尺寸的公差
GB/T 1979 结构钢低倍组织缺陷评定 酸浸法和超声检测法
GB/T 3077-2015 合金结构钢
GB/T 4162 锻轧钢棒超声检测方法
GB/T 5617 钢件表面淬火硬化层深度的测定
GB/T 6394 金属平均晶粒度测定方法
GB/T 6402 钢锻件超声检测方法
GB/T 6930 滚动轴承 词汇
GB/T 8597—2013 滚动轴承 防锈包装
GB/T 9793 热喷涂 金属和其他无机覆盖层 锌、铝及其合金
GB/T 10095.1 圆柱齿轮ISO齿面公差分级制 第1部分：齿面偏差的定义和允许值
GB/T 10095.2 圆柱齿轮ISO齿面公差分级制 第2部分：径向综合偏差的定义和允许值
GB/T 10561 钢中非金属夹杂物含量的测定 标准评级图显微检验法
GB/T 29717—2026 滚动轴承 风力发电机组偏航、变桨轴承
GB/T 33154 风力发电机偏航轴承及变桨轴承橡胶密封圈
GB/T 37400.15 重型机械通用技术条件 第15部分：锻钢件无损探伤
HG/T 2811 旋转轴唇形密封圈橡胶材料
JB/T 9204 钢件感应淬火金相检验
NB/T 10658—2021 风力发电机组 变桨和偏航轴承设计要求

3 术语和定义

GB/T 6930、NB/T 10658界定的术语和定义适用于本文件。

3.1

偏航轴承 yaw bearing

用于连接机舱与塔筒，起到追踪风向进而调整迎风面作用的轴承。

3.2

变桨轴承 pitch bearing

用于连接叶片与轮毂，起到改变气流对叶片攻角进而影响空气动力转矩作用的轴承。

4 结构型式与代号

4.1 结构型式

偏航、变桨轴承通常为四点接触球转盘轴承，分为以下型式：

- a) 单排四点接触球式（无齿/内齿/外齿）——适用于 1.5 MW~8 MW 机组偏航及变桨；
- b) 双排四点接触球式（无齿/内齿/外齿）——大兆瓦机组偏航专用，可提高承载能力和刚度。

注：偏航轴承通常带渐开线圆柱齿轮（内啮或外啮），变桨轴承多为无齿或带内齿。

4.2 轴承代号

轴承代号应符合GB/T 29717—2013中第5章的规定。

5 技术要求

5.1 一般要求

轴承应按经规定程序批准的图样及本文件要求进行设计制造，并能承受风电机组运行中的交变载荷、冲击载荷及-40℃（或按风场环境）低温工况，陆上风力发电机组用轴承的设计服役寿命≥20年，海上风力发电机组用轴承的设计服役寿命≥25年。

5.2 材料

5.2.1 套圈（滚道圈）

5.2.1.1 应采用优质中碳合金结构钢 42CrMo（或 42CrMoA、42CrMo4），符合 GB/T 3077 的规定，也宜采用经验证性能相当或更优的风电专用贝氏体钢或含 Ni/Mo/V/Nb 微合金化调质钢，其化学成分、低倍组织和非金属夹杂物应符合表 1~表 3 的规定，当用户有特殊要求时，也可采用性能相当或更优的其他材料制造。

表 1 材料化学成分

牌号	化学成分/%										
42CrMo	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	Cu	S	P	H	O
	0.41~ 0.45	0.60~ 0.80	0.17~ 0.37	1.00~ 1.20	0.15~ 0.25	≤0.30	≤0.20	≤0.025	≤0.025	≤ 0.0002	≤ 0.0020

表 2 低倍组织级别

低倍组织类型	评级图	max.
中心疏松	第3级别图	2.0级
一般疏松	第3级别图	2.0级
偏析	第3级别图	2.0级

表 3 非金属夹杂物级别

非金属夹杂物类型	细系	粗系
	max.	
A	2.5 级	1.5 级
B	2.0 级	1.0 级
C	1.0 级	1.0 级
D	1.0 级	1.0 级

- 5.2.1.2 轴承套圈调质后-40℃低温冲击功 KV_2 不应低于 27J，调质硬度为 260 HBW~300 HBW。
- 5.2.1.3 轴承套圈调质后平均晶粒度级别应符合 GB/T 6394 的要求。
- 5.2.1.4 轴承套圈调质后超声波检测不应低于 GB/T 6402 的要求。
- 5.2.1.5 轴承套圈滚道表面淬火后表面硬度为 55 HRC~62 HRC，其有效硬化层深度应符合表 4 的规定。

表 4 有效硬化层深度

单位为毫米				
钢球公称直径 D_s	≤ 30	$> 30 \sim 40$	$> 40 \sim 50$	≥ 50
有效硬化层深度 min.	3.0	3.5	4.0	5.0
注：有效硬化层深度为滚道表面到硬度值为 48HRC 处的垂直距离。				

- 5.2.1.6 轴承齿圈齿面、齿根应进行表面淬火，表面硬度为 50HRC~60HRC，有效硬化层深度应符合表 5 的规定。

表 5 齿圈齿面和齿根有效硬化层深度

模数		$> 6 \sim 10$	$> 10 \sim 16$	$> 16 \sim 22$	$> 22 \sim 28$	> 28
有效硬化层深度 min.	齿面	1.2	2.0	2.5	3.2	3.6
	齿根	0.6	1.2	1.6	1.8	2.2
注：有效硬化层深度为齿面或齿根表面到硬度值为 40HRC 处的垂直距离。						

- 5.2.1.7 轴承套圈存在软带时，软带宽度不应大于堵塞孔直径加 35 mm。将带堵塞孔套圈的软带设置在堵塞孔部位，双排同径轴承上下两排滚道软带一般放置于一处，非堵塞孔软带位置对应的非安装面上应作明显的永久性标记“S”。

5.2.2 滚动体

- 5.2.2.1 应采用 GCr15 或 GCr15SiMn 精密级钢球，精度等级不低于 G10。
- 5.2.2.2 硬度应为 61 HRC~65 HRC，同一套轴承各球硬度差应 ≤ 1 HRC。
- 5.2.2.3 $D_s \geq 50.8$ mm 时宜采用 100CrMnSi6-4 或同等淬透性轴承钢。

5.2.3 保持架

- 5.2.3.1 偏航轴承：宜采用玻璃纤维增强聚酰胺或黄铜实体/钢板冲压保持架。
- 5.2.3.2 变桨轴承（盐雾、频繁变桨环境）：宜使用钢板冲压或黄铜实体保持架。

5.2.4 密封件

- 5.2.4.1 材质应为耐候、耐臭氧、耐低温丁腈橡胶或氟橡胶。
- 5.2.4.2 密封结构应符合 GB/T 33154 的要求，采用双唇接触式或迷宫+防尘唇组合，设计寿命 ≥ 6 年，年漏脂量 $<$ 注脂量的 10%。

5.2.5 紧固件

连接螺栓应采用 10.9 级或 12.9 级高强度螺栓，配对提供液压拉伸或扭矩紧固工艺参数。

5.3 热处理

- 5.3.1 滚道表面淬火硬度应为 58HRC~62HRC。
- 5.3.2 滚道有效淬硬层深度：轴承外径 $D \leq 2000\text{mm}$ 时 $\delta \geq 4.0\text{mm}$ ； $D > 2000\text{mm}$ 时 $\delta \geq 6.7\text{mm}$ 。
- 5.3.3 软带控制：软带宽度 $\leq 45\text{mm}$ ，软带区域硬度 $\leq 42\text{HRC}$ ，软带位置避开最大载荷承载区。
- 5.3.4 热处理后回火消除应力，套圈变形量控制在尺寸公差 1/3 以内，无淬火裂纹、网状碳化物超标缺陷。

5.4 机械加工精度

5.4.1 尺寸与几何公差

5.4.1.1 尺寸公差

内外径配合尺寸公差应符合表6的规定，其余尺寸公差应符合GB/T 1804的规定。

表 6 尺寸公差

d 或 D		Δ_{ds}	Δ_{Ds}
$>$	$\leq$		
630	2000	H8	h8
2000	4500	H9	h9
说明		非定位直径的 Δ_{ds} 、 Δ_{Ds} 可分别按照H12或h12的规定	

5.4.1.2 几何公差

其他几何公差应符合GB/T 1184的规定。

5.4.2 齿轮精度

- 5.4.2.1 渐开线圆柱齿轮精度应符合 GB/T 10095.1、GB/T 10095.2 中 9 级或 10 级。
- 5.4.2.2 齿面粗糙度 $Ra \leq 3.2 \mu\text{m}$ （精滚或磨齿），非工作齿面 $Ra \leq 6.3 \mu\text{m}$ 。
- 5.4.2.3 公法线长度偏差、齿圈径向跳动按协议控制。

5.4.3 游隙

- 5.4.3.1 偏航轴承：轴向游隙宜为 $0 \mu\text{m} \sim 50 \mu\text{m}$ （小游隙或预紧），具体由主机厂动力学计算确定。
- 5.4.3.2 变桨轴承：装配后轴向游隙应 $\leq 0 \mu\text{m}$ 。

5.5 无损检测（NDT）

5.5.1 超声波探伤（UT）

套圈锻件毛坯应符合GB/T 4162的要求。

5.5.2 磁粉探伤（MT）

调质粗加工后、精加工前分别进行；滚道面、齿根圆角、螺孔周边线性缺陷长度 $\leq 1.5\text{mm}$ ，不允许有任何横向裂纹及周向裂纹。

5.6 防腐涂装

非配合外表面应按用户要求或如下执行：

- a) 陆上型：热喷锌/铝 $\geq 80 \mu\text{m}$ ，或环氧富锌底漆+中间漆+面漆，干膜总厚 $\geq 200 \mu\text{m}$ ；
- b) 海上/潮间带型：热喷锌/铝 $\geq 120 \mu\text{m}$ 或重防腐涂层干膜总厚 $\geq 280 \mu\text{m}$ ；
- c) 配合表面（滚道非工作区、螺孔、定位销孔）涂防锈脂应符合 GB/T 8597 中 2 级或以上要求，加防护盖。

5.7 润滑

轴承初润滑时应填装用户指定的润滑脂，注脂量一般为轴承内部有效空间容积的60%~80%，也可由制造厂与用户之间协商确定。装填的润滑脂应具备使用温度范围、抗微动磨损、极压性、抗水性、防腐性和良好的泵送性等基本性能要求。

5.8 强度与寿命计算

应符合NB/T 10658—2021进行极限状态（ULS）和疲劳极限状态（FLS）校核。

6 检验方法

6.1 一般要求检验

审查轴承设计图样、计算文件及工艺文件，确认其按经规定程序批准的文件执行。设计服役寿命校核报告应符合本文件5.1的要求。

6.2 材料检验

6.2.1 套圈材料检验

6.2.1.1 化学成分按 GB/T 223.64（或供需双方认可的直读光谱法）进行检测，结果应符合表 1 的规定。

6.2.1.2 低倍组织按 GB/T 226 及 GB/T 1979 进行酸蚀检验，评级结果应符合表 2 的规定。

6.2.1.3 非金属夹杂物按 GB/T 10561 进行评级，结果应符合表 3 的规定。

6.2.1.4 调质后-40℃低温冲击功应按照 GB/T 229 进行试验，KV₂值应符合本文件 5.2.1.2 的规定。调质硬度应按照 GB/T 231.1 的要求进行试验，结果应符合 5.2.1.2 的规定。

6.2.1.5 平均晶粒度按 GB/T 6394 测定，结果应符合 5.2.1.3 的规定。

6.2.1.6 超声波检测按 GB/T 6402 执行，结果应符合 5.2.1.4 的规定。

6.2.1.7 滚道表面淬火硬度应按照 GB/T 230.1 的规定测定，测点均布不少于 3 处，结果应符合 5.2.1.5 的规定。有效硬化层深度按 GB/T 5617 用维氏硬度法测定，结果应符合表 4 的规定。

6.2.1.8 齿面及齿根表面淬火硬度按 GB/T 230.1 测定，有效硬化层深度按 GB/T 5617 测定，结果应符合表 5 的规定。

6.2.1.9 软带宽度用游标卡尺测量，软带位置用目视检查永久性标记“S”，结果应符合 5.2.1.7 的规定。

6.2.2 滚动体检验

6.2.2.1 精度等级：采用精密测量仪器检测钢球尺寸精度、几何精度，精度等级不应低于 G10。

6.2.2.2 硬度检测：应按照 GB/T 230.1 的要求检测单粒钢球硬度，每套轴承随机抽取不少于 10 粒钢球，单粒硬度 61 HRC~65 HRC，同套钢球硬度差值≤1 HRC。

6.2.3 保持架检验

目视检查保持架外观无裂纹、变形、缺损；核对材质证明文件，确认材质符合5.2.3要求。

6.2.4 密封件检验

6.2.4.1 密封圈材质通过材质证明文件核查，低温脆性按 HG/T 2811 规定的方法检测，结果应符合 5.2.4.1 的规定。

6.2.4.2 密封结构型式按 GB/T 33154 进行尺寸检查和装配验证，年漏脂量可通过加速老化试验或协议方法评估，结果应符合 5.2.4.2 的规定。

6.2.5 紧固件检验

核查高强度螺栓的材质证明书、性能等级标记及供应商提供的液压拉伸或扭矩紧固工艺参数，结果应符合5.2.5的规定。

6.3 热处理检验

6.3.1 滚道表面淬火硬度按 GB/T 230.1 测定，结果应符合 5.3.1 的规定。

6.3.2 滚道有效淬硬层深度按 GB/T 5617 测定，结果应符合 5.3.2 的规定。

6.3.3 软带宽度用游标卡尺测量，软带区域硬度按 GB/T 230.1 测定，软带位置通过目视检查确认，结果应符合 5.3.3 的规定。

6.3.4 套圈变形量用百分表或三坐标测量机检测，淬火裂纹用磁粉探伤或目视检查，网状碳化物按 JB/T 9204 进行金相检验，结果应符合 5.3.4 的规定。

6.4 机械加工精度检验

6.4.1 尺寸与几何公差检验

6.4.1.1 内外径尺寸用千分尺或内径量表检测，其余尺寸按用通用量具检测，结果应符合表 6 及 5.4.1.1 的规定。

6.4.1.2 几何公差应按照 GB/T 1184 的规定进行检测，结果应符合 5.4.1.2 的规定。

6.4.2 齿轮精度检验

6.4.2.1 齿距偏差、齿圈径向跳动按 GB/T 10095.1、GB/T 10095.2 用齿轮测量中心检测，结果应符合 5.4.2.1 的规定。

6.4.2.2 齿面粗糙度用表面粗糙度仪检测，结果应符合 5.4.2.2 的规定。

6.4.2.3 公法线长度偏差用公法线千分尺检测，齿圈径向跳动按 6.4.2.1 执行，结果应符合 5.4.2.3 的规定。

6.4.3 游隙检验

6.4.3.1 偏航轴承轴向游隙在螺栓按规定力矩拧紧状态下，用专用游隙测量仪或千斤顶位移法检测，结果应符合 5.4.3.1 的规定。

6.4.3.2 变桨轴承装配后轴向游隙按 6.4.3.1 相同方法检测，结果应符合 5.4.3.2 的规定。

6.5 无损检测（NDT）

6.5.1 超声波探伤（UT）

套圈锻件毛坯按 GB/T 4162 进行超声波检测，结果应符合本文件 5.5.1 的规定。

6.5.2 磁粉探伤（MT）

调质粗加工后、精加工前应分别按照 GB/T 37400.15 进行磁粉探伤，线性缺陷长度用刻度放大镜或游标卡尺测量，结果应符合 5.5.2 的规定。

6.6 防腐涂装检验

热喷锌/铝层厚度按 GB/T 9793 用磁性测厚仪检测，漆膜总厚度用磁性测厚仪多点检测，防锈脂按 GB/T 8597 核查，结果应符合 5.6 的规定。

6.7 润滑检验

6.7.1 注脂量核查：测量轴承内部有效容积，核对实际注脂量，注脂量为有效容积的 60%~80%，结果应符合 5.7 的规定。

6.7.2 润滑脂性能核查：查阅润滑脂出厂检验报告、型式试验报告，确认使用温度、抗微动磨损、极压、抗水、防腐、泵送性能满足要求。

6.8 强度与寿命校核

应按照 NB/T 10658—2021 规定的方法进行极限状态（ULS）和疲劳极限状态（FLS）计算校核，提交计算报告，结果应符合 5.8 的规定。

7 检验规则

7.1 检验分类

检验应分为出厂检验和型式检验。

7.2 出厂检验

每台成品轴承均应进行出厂检验，检验项目如下：

- a) 外观、标识、软带标记；
- b) 外形尺寸、尺寸公差、几何公差；
- c) 滚道、齿面、滚动体表面硬度；
- d) 表面粗糙度；
- e) 轴向游隙；
- f) 磁粉探伤；
- g) 涂层厚度、防锈脂及防护装配；
- h) 注脂量、密封外观。

7.3 型式检验

7.3.1 有下列情况之一时，应进行型式检验：

- a) 新产品试制定型鉴定或老产品转厂生产；
- b) 结构、材料、工艺有较大改变，可能影响产品性能时；
- c) 停产满一年恢复生产；
- d) 国家质量监督机构提出进行型式检验要求时；
- e) 客户有特殊要求时。

7.3.2 型式检验包含本文件第 6 章全部试验项目，同时增加低温启停、漏脂、盐雾、疲劳寿命、载荷强度等全项试验。

7.4 组批与取样

同一投料批次、同一工艺生产的轴承为一批，出厂检验逐台进行；型式检验在同一批中随机抽取。

7.5 判定

出厂检验全部合格判为合格品；型式检验全部适用项目合格判为型式检验通过。

8 标志、包装、运输和贮存

8.1 标志

每个轴承在非配合表面明显处作永久性标识，应包括但不限于以下内容：

- a) 制造厂名称或商标；
- b) 轴承代号；
- c) 出厂编号及制造日期（年、月）；
- d) 软带位置箭头标记“S”或“SOFT ZONE”。

8.2 包装

8.2.1 滚道、齿轮、螺孔等加工面涂符合 GB/T 8597 中 2 级或以上要求的防锈脂，包聚乙烯塑料膜。

8.2.2 外周采用防撞木箱或钢带加固包装，箱内附：产品合格证、材质证明书、NDT 报告、使用说明书。

8.2.3 包装应满足陆运及海上运输（防潮、防盐雾）要求。

8.3 运输

运输过程中应防止剧烈碰撞、雨淋、受潮；起吊时不得使用滚道面或齿轮作为受力点。

8.4 贮存

8.4.1 存放于通风、干燥、无腐蚀性气体室内，相对湿度 $\leq 60\%$ ，温度 $-10^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ 。

8.4.2 平放（叠放不超过 3 层）或专用支架立放，防止变形。

8.4.3 防锈有效期自出厂日起不少于 12 个月，启封后若暂不安装应重新涂防锈脂。

9 安装与维护

9.1 安装前准备

9.1.1 检查塔筒/轮毂/机舱法兰平面度及螺栓孔同轴度，清理配合面，去除毛刺、油污。

9.1.2 确认软带标记“S”朝向非主承载区。

9.2 螺栓紧固

9.2.1 连接螺栓应交叉对称分三次拧紧：30%规定力矩→60%规定力矩→100%规定力矩（或液压拉伸值）。

9.2.2 终拧后 24 h 进行预紧力复检，预紧力偏差应在规定值的±5%范围内。

9.3 首次润滑

9.3.1 安装完成后，应通过注油嘴补充润滑脂至轴承内部有效空间容积的 80%~90%。

9.3.2 首次运行 500 h~1000 h 后，应更换润滑脂并清洗滚道。

9.4 定期维护

9.4.1 每 6 个月~12 个月（视工况）补充或更换润滑脂，监控摩擦力矩突变及异常温升。

9.4.2 变桨轴承每 5 年、偏航轴承每 3 年~5 年复查螺栓预紧力。

9.4.3 海上机组应每半年检查一次密封件及防腐涂层状态。
