

T/CASME

团 体 标 准

T/CASME XXX—2024

风力发电机组主轴维修质量控制规范

Specification of wind turbine spindle maintenance quality control

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

2024 – XX – XX 发布

2024 – XX – XX 实施

中国中小商业企业协会 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 总体要求 1

5 维修准备 1

 5.1 收货 1

 5.2 外部清理 1

6 维修流程 2

 6.1 拆卸 2

 6.2 检查检测 2

 6.3 方案确认 3

 6.4 物料准备 3

 6.5 装配 3

 6.6 空载试车 4

7 验收与交付 4

 7.1 成品验收 4

 7.2 涂漆发货 4

 7.3 存储 5

 7.4 起吊 5

 7.5 传动链拆卸 5

 7.6 传动链组装 6

 7.7 试运行 6

8 过程记录 6

 8.1 主轴信息记录 6

 8.2 入场记录 7

 8.3 维修方案记录 7

 8.4 装配记录 7

 8.5 空载试验记录 7

 8.6 检测记录 7

前 言

本文件按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。

本文件由上海骋海新能源科技有限公司提出。

本文件由中国中小商业企业协会归口。

本文件起草单位：……。

本文件主要起草人：……。

风力发电机组主轴维修质量控制规范

1 范围

本文件规定了风力发电机组主轴维修质量控制的总体要求、维修准备、维修流程、验收与交付、过程记录。

本文件适用于风力发电机组主轴维修质量控制。

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 2900.53 电工术语 风力发电机组
- GB/T 29718 滚动轴承 风力发电机组主轴轴承
- GB/T 34524 风力发电机组 主轴
- GB/T 37898 风力发电机组 吊装安全技术规程

3 术语和定义

GB/T 2900.53界定的术语和定义适用于本文件。

4 总体要求

- 4.1 主轴维修应根据主轴制造厂商指导手册要求，制定维修大纲，大纲应包括维修准备、维修流程、验收与交付。
- 4.2 主轴维修作业应有妥善的安全措施，包括但不限于：危险点分析、风险预控措施、劳动防护用品的使用要求、工具器具的使用要求、临时用电安全措施、消防安全措施等。
- 4.3 主轴维修人员应了解待修主轴所处风电场的环境和风电场基本信息，了解风电场环境的变化趋势。
- 4.4 在拆卸和搬运重物前，应预估物体重量，并采取有效防护措施，作业人员应观察周围环境合理站位，防止部件突然脱落砸伤人员和设备。
- 4.5 维修后主轴质量不应低于原设计要求。
- 4.6 维修过程中应注意环境保护，避免污染。

5 维修准备

5.1 收货

- 5.1.1 核对收货清单，清点所收主轴及相关部件的信息，核对入场状态是否与客户所述相符。
- 5.1.2 将所有物料分类存放并进行标识，便于后续使用。

5.2 外部清理

5.2.1 检查主轴外部的污染程度和污染物质。

5.2.2 可采用吸尘器除去灰尘。其余污染物质（焊剂、油、脂、盐等）应采用清洁剂进行低压喷洗或软刷刷洗，并用洁净淡水冲洗掉所有残余物；也可采用碱液清洗，清洗后用淡水冲洗至中性；小面积污物可采用溶剂擦洗。清理时不应接触密封圈。

5.2.3 检查主轴及相关部件表面防腐涂层是否有脱落现象，如有应进行补涂。

6 维修流程

6.1 拆卸

6.1.1 拆卸端盖/锁紧螺母

使用扳手或扭矩扳手，按照规定的扭矩顺序拆卸端盖或锁紧螺母，宜以对角线顺序逐步松开，避免部件突然松脱造成损伤。

6.1.2 拆卸轴承座

移除端盖后，暴露出轴承座，使用吊装设备或千斤顶，按照制造商的指导移除轴承座；在移除轴承座的过程中，不应对手轴或其他部件造成任何损坏。

6.1.3 拆卸密封环

轴承座拆卸后，根据密封环的类型（如O型圈、机械密封等），使用适当的工具和方法进行拆卸；

6.1.4 拆卸主轴轴承

6.1.4.1 主轴轴承的拆卸可采用破坏性拆卸或保护性拆卸两种方式：

- a) 破坏性拆卸：如轴承已损坏到无法正常工作，可采用破拆方式，使用液压工具或切割设备来移除轴承；
- b) 保护性拆卸：如轴承状况尚好，可采用保护性拆卸便于轴承的再利用或分析，使用专业的拉拔器或液压设备来拆卸轴承，避免对轴承造成进一步损伤。

6.1.4.2 在拆卸过程中，应记录轴承的状况，如磨损、损坏等，用于后续分析和更换。

6.1.5 拆卸前密封环

主轴轴承拆卸后，进行拆卸前密封环，与拆卸密封环类似。

6.1.6 拆卸风轮锁盘

最后拆卸风轮锁盘，使用适当的工具，按照制造商的指导，逐步松开并移除锁盘。在此过程中，不应对手轴或风轮造成任何损坏。

6.2 检查检测

6.2.1 检查密封圈

对密封圈进行全面的视觉检查，是否出现裂纹、老化、变形或其他损坏的迹象。如有任何损坏迹象，均应进行更换。

6.2.2 无损探伤

可采用以下方式进行无损探伤检测：

- a) 超声波探伤 (UT)，利用高频声波在材料中传播并反射的原理，对主轴和轴承座等关键部件的内部结构的裂纹、气孔、夹杂等缺陷进行细致的检查；
- b) 磁粉探伤 (MT)：通过施加磁场，使表面或近表面的缺陷吸引磁粉形成可见的磁痕，适用于检测表面或近表面的裂纹、折叠、夹渣等缺陷。

6.2.3 尺寸检测

6.2.3.1 在维修过程中，应对主轴和轴承座等关键部件的关键尺寸进行测量，包括但不限于直径、长度、圆度、锥度等参数。

6.2.3.2 尺寸检测可通过以下方式进行:

- a) 卡尺、千分尺测量;
- b) 三坐标测量机 (CMM) 测量;
- c) 视觉检测系统测量。

6.3 方案确认

根据检查检测的结果进行主轴失效分析,制定维修方案,确定需要更换的部件和维修方法,并与客户、相关技术人员和管理人员确认维修方案的可行性和安全性。

6.4 物料准备

6.4.1 主轴和轴承座应优先选择信誉良好、具有严格的质量控制体系和成熟的生产工艺的大型供应商企业。

6.4.2 轴承宜从轴承生产厂家处直接采购。

6.4.3 润滑脂应从授权供应商处采购。

6.5 装配

6.5.1 清理清洗

在装配之前，应对所有部件进行彻底的清理和清洗，去除油污、锈迹和灰尘。

6.5.2 尺寸复测

在装配之前，应对主轴、轴承座、密封环等关键部件的尺寸进行复测，确认其在维修过程中没有发生变形或损坏，保证装配的精确性和部件的兼容性。

6.5.3 前密封环装配

将前密封环装配至主轴上，应注意密封环的安装方向和位置，使其正确地密封主轴，防止润滑油泄漏和外界污染物侵入。

6.5.4 轴承装配

应使用专用工具（如轴承加热器）将轴承安装到主轴上，确认轴承安装到位且无损坏，轴承的游隙应符合制造商的规定。

6.5.5 注脂

轴承安装完成后,应注入新的润滑脂,润滑脂的选择和注入的量应根据制造商的建议和轴承的工作条件进行确定。

6.5.6 轴承座装配

使用吊装设备或千斤顶将轴承座装配至主轴上，使轴承座与轴承正确对齐。

6.5.7 盘车

装配完成后，应进行盘车测试，手动旋转主轴，检查其旋转是否顺畅，是否有卡滞或异常噪声。

6.5.8 密封环/圆螺母装配

如有圆螺母，应在盘车测试后装配，使密封环和圆螺母紧固到位，避免在运行中发生松动。

6.5.9 端盖装配

将端盖装配至主轴上，使其与主轴的密封面贴合良好，完成主轴的装配工作。

6.6 空载试车

6.6.1 在进行空载试车前，应确保所有装配工作已完成，并且所有的连接均已紧固。手动盘车，确认主轴旋转顺畅，无卡死现象，无异常阻滞或噪声。

6.6.2 检查空载试验台的电源、润滑系统和制动系统是否正常，电器、仪表是否工作正常，确认试验环境安全。

6.6.3 启动空载试验台，使主轴逐渐加速至运行转速，按照预设的试验程序进行试车。在试车过程中，应模拟实际工作时的倾角，检查齿轮箱油润滑系统的工作情况。

6.6.4 使用温度计或温度传感器测量润滑油温度和轴承温度，齿轮箱最高温度不应超过 80℃，高速轴承温度不应超过 90℃。

6.6.5 使用振动分析仪测量主轴的振动，记录振动的峰值、有效值等。进行频谱分析，识别是否存在异常频率成分。

6.6.6 在额定转速下，在距齿轮箱中分面 1 m 处使用声级仪测量试车噪音，空载噪声应不大于 85 dB (A)。

6.6.7 试车完成后，检查主轴和齿轮箱是否有异常磨损或损坏，确认所有部件在试车过程中没有松动或移位，分析试车数据，与标准或历史数据进行比较，评估设备性能。

6.6.8 如发现任何异常，应进行进一步的检查和必要的调整。

7 验收与交付

7.1 成品验收

7.1.1 维修后，应核对所有更换或维修的零件，包括零件的型号、规格、更换日期等详细信息。

7.1.2 对于轴承、密封环、涨紧套等关键部件，应进行详细的状态检查，是否有磨损、损坏、裂纹或其他可能影响性能的问题，并对涨紧套端的尺寸进行复检，确认所有关键部件均处于良好的工作状态。

7.1.3 维修后，应对主轴进行尺寸检测、无损探伤等检测，检测结果应形成检测报告，报告中所有项目均应合格，符合 GB/T 34524、GB/T 29718 中的相关要求。

7.2 涂漆发货

7.2.1 在主轴的加工面上均匀涂抹一层防锈油，使油膜均匀覆盖，不留死角。涂抹防锈油后，使用塑料膜包裹主轴，塑料膜应具有良好的密封性。

7.2.2 整体或分开运输的部件均应包装良好，适应运输和装载的要求，能够承受运输过程中的震动和

冲击。应对包装采取额外的防雨措施，如使用防水帆布或塑料布覆盖，防止雨水渗入包装内部。

7.2.3 在包装过程中，主轴轴承座应使用螺栓固定，同时可使用防滑垫或其他缓冲材料，避免在运输过程中因震动或移动造成轴承座的位移或损坏。

7.2.4 发货应附发货清单，包括合格证、使用说明书、装箱清单、货运验收单等文件。

7.3 存储

7.3.1 主轴应存放在干燥、通风良好且无振动的环境中，并控制环境的相对湿度，避免因温度变化导致水汽在零件表面凝结引起的锈蚀。

7.3.2 主轴在存放时应进行全面的防水和防晒覆盖，避免水分侵入和紫外线引起的材料老化。

7.3.3 在极端环境条件下，如灰尘多或野外风电场，应采取特别的防护措施来保护主轴免受损害，包括但不限于：

- a) V型密封处涂上润滑脂，防止灰尘和水分的侵入；
- b) 定期进行必要的防锈措施，维护主轴的防腐状态。

7.3.4 主轴的防腐保护期限为自发货之日起3个月，如存储时间超过3个月，应重新涂抹防锈油提供额外的保护。

7.3.5 当存储时间超过7天，应每隔7天对主轴系统进行一次盘动，使其保持润滑、防止锈蚀，盘动要求如下：

- a) 记录主轴的原始位置，然后旋转主轴3圈~4圈；
- b) 旋转完成后，将主轴顺时针旋转90°后放置；
- c) 旋转位置满一圈后，将b)中旋转的角度调整为45°。

7.4 起吊

7.4.1 起吊安全要求应符合GB/T 37898的规定。

7.4.2 拆卸完主轴的相关附件后，塔上作业人员应系好安全带，并将双钩安全绳的双钩系挂在牢固的构件上。

7.4.3 主轴卸车和传动链组装起吊时，应只使用专用吊装工具和吊带起吊主轴，不应起吊轴承座、运输支架，吊具不应碰到轴承座，避免轴承内部产生偏斜和挤压痕迹。

7.4.4 起重机械吊臂升降与转动时，应与架空线路保持足够的安全距离。

7.4.5 起吊作业应设专人指挥，指挥人员不应兼做捆绑、挂钩等其他工作。

7.4.6 起重机械工作期间，人员不应在吊臂下方穿越和作业。

7.4.7 吊物不应长时间悬空停留，吊物在地面上还未固定好时，不应松钩。

7.5 传动链拆卸

7.5.1 测量参考距离

在拆卸旧传动链前，先测量并记录特定参考点的距离L，在新主轴安装完成后，应重新测量同一位置的距离L，使新旧两个测量值相同，误差范围控制在 $\pm 0.5\text{ mm}$ 以内。

注：L指从主轴的小端台阶面（主轴台阶面、密封环台阶面或圆螺母端面）到齿轮箱行星架外端面的距离。

7.5.2 更换弹性支撑

如弹性支撑已使用5年以上，或在齿轮箱的扭力臂处发生过轴向移动，则应更换新的弹性支撑。

7.5.3 齿轮箱检查

在拆卸和重新安装传动链的过程中，应对齿轮箱的内外部进行全面检查，确认没有裂纹、变形、过度磨损或其他可能影响齿轮箱正常工作的损伤等异常情况。

7.5.4 轮毂检查

在拆卸轮毂前和组装完成后，应检查主轴法兰与轮毂之间的间隙，确认轮毂没有发生较大的变形，保证装配的精确性和轮毂的完整性；如发现轮毂有变形迹象，应进行进一步的检查维修，避免在运行中出现故障。

7.6 传动链组装

7.6.1 清洁和防锈

在组装前，应彻底清洗主轴小端和碳刷的裸露表面，涂抹防锈剂，并对行星架孔的表面进行打磨，去除高点、锈蚀，确保主轴和齿轮箱之间的良好接触。

7.6.2 锁紧盘检查

在安装新的主轴前，宜拆卸齿轮箱的锁紧盘，分离锁紧盘的内外圈，检查内外圈的结合面，如有损伤应进行打磨，使其平整，并在结合面上涂抹二硫化钼润滑剂以减少摩擦，避免在安装过程中涨紧套内外圈无法打平。

7.6.3 主轴与齿轮箱组装

7.6.3.1 在将主轴安装至齿轮箱时，宜使用人力推动主轴法兰面，使主轴小端缓慢穿入齿轮箱的行星架孔，避免结合面无法贴合、损伤安装面或发生偏斜。

7.6.3.2 如主轴无法通过人力推动装入齿轮箱行星架孔，应多角度测量行星架孔和主轴小端轴径的尺寸，检查行星架孔是否有变形或高点，去除高点，并通过加热行星架孔装入主轴。

7.6.3.3 在主轴与齿轮箱组装完成后，应固定主轴轴承座。

7.6.3.4 盘动齿轮箱高速轴，检查主轴是否能够顺利转动，无卡顿和异常声音。主轴应能旋转 4 圈以上，无影响转动顺畅性和功能性的现象。

7.7 试运行

7.7.1 安装完毕、机组恢复后，应进行试运行，初始阶段将发电功率控制在 30%，并持续运行 48 h，让设备在较低负荷下逐步达到工作温度。在此期间，不应立即进行大负荷运行发电，避免对新安装的传动链和其他组件造成损害。

7.7.2 在试运行期间，应每周进行一次上机检查，检查内容包括：

- a) 主轴和轮毂、轴承座、齿轮箱锁紧盘的连接螺栓是否有松动或缺失，确认所有连接件紧固可靠；
- b) 目视检查主轴轴承的密封情况，是否有磨损、裂缝等缺陷，配合是否紧密，有无可能导致轴承损坏或润滑脂泄漏的密封不良；
- c) 主轴转速保持在 $2\text{ r/min} \sim 5\text{ r/min}$ 时，是否存在异响。

7.7.3 机组运行约 1 个月后，应对主轴轴承进行油脂的初次补充，补充量宜为 1 200 g；机组运行 6 个月后，宜每隔 6 个月对主轴轴承的油脂进行一次分析，检查油脂的状态和性能，根据维护要求和油脂分析结果，定期补充润滑脂，保持轴承的良好润滑状态，延长其使用寿命。

8 过程记录

8.1 主轴信息记录

主轴信息记录包括但不限于：

- a) 记录客户的名称、联系方式和风电场位置；
- b) 记录主轴的型号、规格和唯一标识编号。

8.2 入场记录

入场记录包括但不限于：

- a) 通过拍照和文字描述记录主轴入场时的状态，包括整体和关键部件的细节，任何可见的损坏、磨损或腐蚀情况；
- b) 记录无损探伤的检测结果；
- c) 对主轴的关键尺寸进行测量，记录初始尺寸数据；
- d) 主轴失效分析：记录主轴失效分析的过程和结果。

8.3 维修方案记录

记录维修步骤、所需零件和预计时间。

8.4 装配记录

装配记录包括但不限于：

- a) 编制维修零件清单，记录所有更换或修复的零件及其编号；
- b) 记录装配过程中，对关键零件配合尺寸的复检；
- c) 记录轴承游隙；
- d) 装配过程中如需加热零件，记录加热温度和时间；
- e) 记录装配过程中螺栓的拧紧力矩；
- f) 记录盘车测试的过程和结果；
- g) 记录注入的润滑油品牌和用量；
- h) 如使用了特定品牌的零件，应记录相应的授权证书。

8.5 空载试验记录

记录试验条件、运行参数和温度、振动值、噪声等试验结果。

8.6 检测记录

记录成品验收时的检测报告，以及检测人员和审批人员信息。
