

中国船级社质量认证公司 产品技术规范

CCSC/PCS02029：2017

风力发电机组 主齿轮箱 检修技术规范

**Service specification for
wind turbine main gearbox**



2017-08-10 发布

2017-08-10 实施

中国船级社质量认证公司 发布

目 录

前 言	3
1 范围	4
2 规范性引用文件	4
3 术语和定义	5
4 主齿轮箱运行状态下各部件技术要求	6
4.1 紧固件	6
4.2 箱体	6
4.3 空气滤清器	7
4.4 温度传感器	7
4.5 电加热器	7
4.6 液位计	7
4.7 压力传感器、压力表	7
4.8 润滑和冷却系统	8
4.9 报警器	9
4.10 润滑油	9
4.11 传动件	10
4.12 轴承	10
4.13 锁紧装置	10
5 主齿轮箱各部件维修技术要求	10
5.1 紧固件	11
5.2 箱体	11
5.3 空气滤清器	11
5.4 温度传感器	12
5.5 电加热器	12
5.6 液位计	12
5.7 压力传感器、压力表	12
5.8 润滑和冷却系统	13
5.9 报警器	14
5.10 润滑油	14
5.11 传动件	15

5.12 轴承	16
5.13 锁紧装置	16
6 检修后主齿轮箱的试验验证	17
6.1 机舱内检修后主齿轮箱的验证	17
6.2 下架维修后主齿轮箱的验证	17
6.3 振动检测	18
6.4 噪声检测	19
7 涂装	19
8 检修文件	19
9 标志、包装、运输、贮存	20
9.1 标志	20
9.2 包装	20
9.3 运输	20
9.4 贮存	20
10 质量保证	21
附录：主齿轮箱日常巡检要求	22

前 言

风电产业在我国已发展近二十年，随着风力发电机组（以下简称风机）装机量的日益增大和运行时间的持续增加，风机各主要部件暴露的质量问题也越来越多。作为给风机发电机提供动力驱动的齿轮增速箱（以下简称主齿轮箱），其质量对于发电成本控制、整机维护保养影响尤为明显。然而市面上主齿轮箱规格繁多，各个制造商的技术水平、生产能力也不尽相同。为了引导主齿轮箱检修市场良性和有序的发展，本机构根据主齿轮箱制造标准，结合主齿轮箱检修的实际情况，特制定本技术规范。

本技术规范由中国船级社质量认证公司提出并归口。

本技术规范主要编写单位：中国船级社质量认证公司、南京安维士传动技术股份有限公司、南京高速齿轮制造有限公司。

本技术规范协助编写单位：国电联合动力技术有限公司、东方电气风电有限公司、中国船舶重工集团海装风电股份有限公司、太原重工股份有限公司、重庆齿轮箱有限责任公司、杭州前进齿轮箱集团股份有限公司、中车戚墅堰机车车辆工艺研究所有限公司

本技术规范起草人：纪宁毅、吴伟强、郭宝霖、汝学斌、张合超、孙黎、卢冠宇、郑北超、刘桦、周祖田、刘震、李兴亚、陈宗瑞、毛宏璞、庞文良

1 范围

本规范规定了风机主齿轮箱产品检修的术语和定义、运行状态下的技术要求、检修要求以及检修后整机的装配、试验、外观要求等。

本规范适用于 4MW 以下水平轴风机主齿轮箱的检修，传动结构形式包含：1、两级行星；2、三级平行轴；3. 一级行星+两级平行轴；4. 两级行星+一级平行轴等。

其它结构形式和功率的风机主齿轮箱检修作业可参照此规范执行。

2 规范性引用文件

下述标准所包含的条文，通过在本规范的引用而构成本规范的一部分。未标明日期的文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。对于生产日期明确的主齿轮箱，检修时宜按照制造期间内有效的标准执行，建议供需双方按新版标准进行检修作业。

GB/T 19073	风力发电机组齿轮箱
GB/T 3481	齿轮轮齿磨损和损伤术语
GB/T 9444	铸钢件磁粉探伤及质量评级方法
GB/T 24611	滚动轴承 损伤和失效 术语、特征和原因
JJG 229	工业铂、铜热电阻检定规程
GB/T 11137	深色石油产品运动粘度测定法(逆流法)和动力粘度计算法
GB/T 260	石油产品水分测定法
GB 5096	石油产品铜片腐蚀试验法
GB/T 17476	使用过的润滑油中添加剂元素、磨损金属和污染物以及基础油中某些元素测定法(电感耦合等离子体发射光谱法)
GB/T 7304	石油产品酸值的测定 电位滴定法
GB/T 14039	液压传动 油液固体颗粒污染等级代号
ISO 4407	液压传动 油液污染 用显微镜计数法测定颗粒污染
ISO 11500	液压传动 利用遮光原理自动计数法测定

	颗粒污染
GB/T 265	石油产品运动粘度测定法和动力粘度计算法
GB/T 11133	石油产品、润滑油和添加剂中水含量的测定 卡尔费休库伦滴定法
GB/T 13924	渐开线圆柱齿轮精度 检验细则
GB/T 15822	无损检测 磁粉检测
GB/T 17879	齿轮磨削后表面回火的浸蚀检验
GB/T 10095.1	圆柱齿轮 精度制 第 1 部分：轮齿同侧齿面偏差的定义和允许值
GB/T 10095.2	圆柱齿轮 精度制 第 2 部分：径向综合偏差与径向跳动的定义和允许值
GB/T 1032	三相异步电动机试验方法
VDI 3834	风机振动测试规范
GB/T 6404.1	齿轮装置的验收规范 第 1 部分：空气传播噪声的试验规范
GB/T 13384	机电产品包装通用技术条件
GB/T 191	包装储运图示标志

3 术语和定义

本规范采用下列术语和定义：

- 3.1 风机主齿轮箱：风机中将叶轮系统产生的动力传递给发电机并使其得到相应转速的重要机械部件；
- 3.2 传动件：主齿轮箱内除轴承外所有参与传动的部件，包含内齿圈、太阳轮、行星轮、齿轮轴、齿轮和行星架等；
- 3.3 润滑系统：对主齿轮箱传动件输送定量的清洁润滑油，以实现流体润滑、减少阻力、减轻部件的磨损、防止锈蚀，以及对零件进行润滑的装置，一般由机械泵、电动泵、油泵电机、过滤器、油路温度控制阀、润滑油管、油路分配器、电缆以及其它电器元件等组成；
 - 3.3.1 机械泵：由主齿轮箱中传动系驱动，实现润滑油循环的装置；一般在主齿轮箱传动系工作时参与润滑；

注：个别作为电动泵的备用，只在系统失电后参与润滑，也可参照此规范执行；

3.3.2 电动泵：由油泵电机驱动，实现润滑油循环的装置；

3.3.3 油路温度控制阀：根据润滑油温度控制润滑油流向的装置；

3.3.4 油路分配器：对润滑油进行分配，实现多点润滑的装置；

3.4 离线过滤器：独立于主齿轮箱润滑系统，用于润滑油净化精滤的装置；

3.5 冷却系统：在油温或轴承温度达到设定值情况下，对主齿轮箱进行冷却的装置。根据冷却方式分为水冷型以及风冷型；

3.5.1 水冷型冷却系统：利用管路中冷却液循环带走热量，从而实现冷却的装置，一般由油水换热器、冷却管路等组成；

3.5.2 风冷型冷却系统：利用风扇将润滑油热量排至空气中，从而实现冷却的装置，一般由风冷散热器、冷却风扇、冷却电机、电缆、冷却管路等组成；

3.6 温度传感器：用于监测主齿轮箱润滑油及轴承温度的装置；

3.7 压力传感器及压力表：用于监测主齿轮箱润滑油压力的装置；

3.8 液位计：用于观察润滑油油液位置的装置；

3.9 电加热器：根据温度传感器测量获得的润滑油温度，对润滑油进行升温、保温的装置；

3.10 报警器：在主齿轮箱某参数达到设定值后进行报警的装置，一般包含油位报警器、油压报警器、油温报警器及压差报警器等；

3.11 弹性支撑：用于平衡传动链力矩、支撑主齿轮箱、减振降噪的装置；

注：对于两点支撑的传动链，弹性支撑起平衡扭转力矩的作用；对于三点支撑及集成式传动链，弹性支撑同时起平衡扭转力矩及弯矩的作用。

4 主齿轮箱正常运行状态下各部件应满足的技术要求

4.1 紧固件

所有紧固件无缺失、无松动、表面无锈蚀及变形，螺纹无断牙；

4.2 箱体

4.2.1 箱体表面无掉漆和锈蚀；

4.2.2 箱体无异常变形，功能正常；

- 4.2.3 箱体各接合面及管路连接处无漏油；
- 4.2.4 轴承座无异常变形，轴承座孔未失圆，轴承座孔无异常磨损，功能正常；
- 4.2.5 弹性支撑无异常破损，与扭力臂连接无错位，功能正常；液压式弹性支撑的工作压力正常；

4.3 空气滤清器

- 4.3.1 外观完好，功能正常；
- 4.3.2 滤网式空气滤清器的滤网无堵塞；
- 4.3.3 硅胶颗粒式空气滤清器的硅胶颗粒未失效；

4.4 温度传感器

- 4.4.1 外观完好，无异常破损；
- 4.4.2 线路连接可靠，监测数据显示正常；
- 4.4.3 如采用 PT100 型铂热电阻：接线柱与 PT100 壳体绝缘阻值应大于 $1M\Omega$ ；各接线柱间阻值及测量方法应满足 JJG229 的要求；

4.5 电加热器

- 4.5.1 外观完好，无异常破损；
- 4.5.2 电加热器及与箱体连接处无漏油；
- 4.5.3 电阻值满足设备制造商的要求，并可通过主控系统实现启停功能，功能正常；

4.6 液位计

- 4.6.1 外观完好、无异常破损，油位标识清晰；
- 4.6.2 液位计及与箱体连接处无漏油；
- 4.6.3 功能正常。浮球式液位计停机和运行状态下的油浮浮动明显；

4.7 压力传感器、压力表

- 4.7.1 外观完好，无异常破损；
- 4.7.2 压力传感器、压力表安装连接处无漏油；
- 4.7.3 监测数据准确，功能正常；

4.8 润滑和冷却系统

4.8.1 硬油管及管接头：外观完好，无异常破损、无松动、无漏油，硬油管折弯处长径比不小于 0.85；

4.8.2 软油管及管接头：外观完好，无异常破损、无裂纹、无松动、无漏油、无干涉、无扭曲变形；

4.8.3 过滤器：外观完好，无异常破损、无漏油，顶盖密封件无损坏，功能正常；

4.8.4 油路温度控制阀：外观完好，无异常破损、无漏油，油温在达到制造商设定值时控制阀能正常工作；

4.8.5 油泵电机和冷却电机：外观完好，电机旋转方向正确，无异响，功能正常；

4.8.6 油泵电机联轴器：外观完好，无异常破损，功能正常；

4.8.7 电动泵：外观完好、无异常破损、无漏油，无异响，功能正常；

4.8.8 冷却风扇：外观完好，无异常破损，风扇叶片安装连接处无松动，功能正常；

4.8.9 风冷散热器：外观完好，无异常破损、无漏油、无堵塞，功能正常；

4.8.10 油水换热器：外观完好、无异常破损、无渗漏，功能正常；

4.8.11 机械泵：外观完好，无破损，无漏油，功能正常；

4.8.12 润滑和冷却系统功能验证：主齿轮箱无故障停机状态下及额定输出功率运转状态下，要求：

(1) 停机状态下可通过系统控制油泵电机和冷却电机动作；

(2) 滤芯堵塞时，压差报警器报警正常；

(3) 齿轮箱进油口油压达到监测系统设定值时报警正常；

(4) 油压在正常工作压力范围内，油池最高温度及轴承外圈最高温度应优先满足整机或齿轮箱制造厂的制造标准。但在持续运转时油池温度不得高于 85℃、轴承外圈不得高于 95℃，当轴承外圈温度连续 1 小时运转超过 105℃达 10 分钟，或油池温度在 1 小时连续运行中超过 85℃达 10 分钟需停机检查；

(5) 润滑油经冷却系统冷却后应能达到系统性能要求，温度降低不低于 10℃；

4.9 报警器

- 4.9.1 外观完好，无异常破损；
- 4.9.2 报警器及安装连接处无漏油；
- 4.9.3 功能正常，达到系统设定值时，报警正常；

4.10 润滑油

- 4.10.1 润滑油外观符合原油品特性，如透明度、均匀性、乳化程度等；
- 4.10.2 主齿轮箱内油位正常；
- 4.10.3 为保证润滑油持续满足主齿轮箱使用要求。需定期取样并按表 1 要求检测，取样周期为主齿轮箱每运行 2500 小时或每 6 个月，以先到为限；
- 4.10.4 主齿轮箱正常运行时润滑油性能应满足表 1 要求，反之，应进行原因分析和处理；

表 1：风机主齿轮箱润滑油①指标的技术要求和试验方法

检测项目		质量指标	试验方法
外观		无异常②	目测
运动黏度③	运动黏度（40℃）变化率/% 小于	±10	GB/T 11137④
	运动黏度（40℃）/(mm ² /s) 大于	275	
水分(质量分数)/%		小于 0.05	GB/T 260⑤
铁含量/(mg/kg)		小于 150	GB/T 17476
铜含量/(mg/kg)		小于 30	GB/T 17476
酸值变化值/(mgKOH/g)		小于 1.0	GB/T 7304
清洁度		小于 -/17/14	ISO 4407、ISO 11500
① 本表中质量指标以320牌号润滑油为准； ② 外观异常是指使用后油品中能观察到明显的浑浊、油泥状物质或颗粒状物质； ③ 运动黏度质量指标值为运动黏度（40℃）变化率超出新油±10%，或运动黏度（40℃）小于275mm ² /s，以先到为准； ④ 也可采用GB/T 265 方法进行检测，结果有争议时，以GB/T 11137 为仲裁方法； ⑤ 也可采用GB/T 11133 方法进行检测，结果有争议时，以GB/T 260 为仲裁方法；			

- 注：a. 根据油品厂家提供的信息，也应对添加剂进行监测；
- b. 换油周期不应超出油品厂家推荐的时间；
- c. 建议取样方法：油液充分循环（不低于 5 分钟）后，用专用取样容器及取样管在电动泵和过滤器间的取样口取样；

4.11 传动件

4.11.1 内齿圈、太阳轮、行星轮、齿轮轴、齿轮

4.11.1.1 齿轮齿面外观应完好，不允许出现 GB/T 3481 中的失效形式，包括但不限于：异常磨损、腐蚀、胶合、塑形变形、疲劳损伤、裂纹、断齿等；

4.11.1.2 轴表面不允许出现以下情况：异常磨损、塑形变形、裂纹等；

4.11.1.3 主齿轮箱运行过程中齿轮副啮合无异响、无异常振动；

4.11.2 行星架

外观完好，无裂纹等缺陷；

4.12 轴承

4.12.1 轴承外观应完好，不允许出现 GB/T 24611 中的失效形式，包括但不限于：腐蚀、锈蚀、电蚀、塑形变形、疲劳、断裂、开裂等；

4.12.2 轴承内圈、轴承外圈无异常磨损；

4.13 锁紧装置

4.13.1 锁紧盘：外观完好，无异常变形，无裂纹，功能正常；

4.13.2 法兰盘：外观完好，无异常变形，功能正常；

5 主齿轮箱各部件检修要求

风机主齿轮箱检修单位应知悉拟检修的主齿轮箱主要技术要求，配备主齿轮箱检修车间、装配车间、检修工具、安全防护用品、相关的管理规范和完善的生产管理体系。专业检修人员应具备作业资质。

根据故障现象进行原因分析后给出检修方案，并选取适宜的检修场所。原零部件经检测合格后方可继续使用，替换的零部件应与原零部件具备等同的适用性。接口尺寸应与原主齿轮箱一致。主齿轮箱检修后应加以验证。运行期间，建议按照附录主齿轮箱日常巡检要求进行维护保养。

对维修的主齿轮箱进行拆卸时，应尽量不破坏原有零部件，如遇螺纹卡死、锁紧盘卡死等特殊情况需采取切割等方法进行拆解时，必

须进行工艺方案可行性论证。一个型号主齿轮箱首次拆卸过程中，原则上应对各部件原装配间隙尺寸及各接口尺寸进行测绘、记录，并根据拆箱过程、测绘结果编制检修后主齿轮箱装配工艺及检验记录，检验记录文件应包括但不限于零件编号、标准件规格、螺栓力矩、间隙要求、零部件安装要求、齿轮箱接口尺寸等内容。

各零部件检修完成后，须严格按照装配工艺进行装配，装配前应做好零部件的清洗及防护措施。对于无法在装配工艺中详细描述的统一型工艺，检修单位应进行可行性论证后编制专用装配工艺，装配过程中应严格按照检验文件要求进行记录，确保主齿轮箱达到正常运行状态。

5.1 紧固件

5.1.1 检查紧固件，如有缺失、变形、螺纹断牙等异常，应更换相同规格紧固件。如发生松动现象应予以紧固或做更换处理，并对其余所有紧固件进行按说明书要求进行力矩检查；

5.1.2 维修后符合本规范 4.1 要求

5.2 箱体

5.2.1 检查箱体外观，如有掉漆或锈蚀，做好表面处理后进行油漆，应满足规范第 7 章涂装要求；

5.2.2 检查箱体，如有影响功能性或安全性的变形和缺陷，应予以维修或更换；

5.2.3 检查箱体各接合面，如有漏油，应予以维修或更换；

5.2.4 检查轴承座，如有异常变形或磨损，应予以维修或更换；

5.2.5 检查弹性支撑外观，如有异常破损，应予以更换。如有安装错位，应予以维修或更换；对于液压式弹性支撑，还需检查工作压力，如有异常应予以维修或更换；

5.2.6 维修后符合本规范 4.2 要求；

5.3 空气滤清器

5.3.1 检查空气滤清器外观，如有异常破损，应予以更换；

5.3.2 检查滤网式空气滤清器的滤网，如堵塞，应对滤网进行清洗或

更换。原则上，一年至少清洗一次；

5.3.3 检查硅胶颗粒式空气滤清器的硅胶颗粒，如失效，应予以更换；原则上，一年至少更换一次；

5.3.4 维修后符合本规范 4.3 要求。

5.4 温度传感器

5.4.1 检查温度传感器外观，如有异常破损，应予以更换；

5.4.2 主齿轮箱正常运转状态下系统监测温度数据显示异常，按本规范 4.4.3 节要求对 PT100 进行检测。如有异常，应予以更换；如检测结果正常，检查接线情况等，确认原因后进行维修；

5.4.3 维修后符合本规范 4.4 要求；

5.5 电加热器

5.5.1 检查电加热器外观，如有异常破损，应予以更换；

5.5.2 检查电加热器及与箱体连接处，如有漏油，应予以维修或更换；

5.5.3 系统无法正常控制启停，或油温在达到各制造商设定值时无法正常启停，检测电加热器在常温下阻值，测得值应在各制造商规定的正常阻值范围内。如有异常，应予以更换；如阻值正常，检查接线情况等，确认原因后进行维修；

5.5.4 维修后符合本规范 4.5 要求；

5.6 液位计

5.6.1 检查液位计外观，如有异常破损或油位标识模糊，应予以更换；

5.6.2 检查液位计及与箱体连接处，如有漏油，应予以维修或更换；

5.6.3 浮球式液位计在停机与运行状态下，油浮正常浮动，如有异常，应予以更换；

5.6.4 维修后符合本规范 4.6 要求；

5.7 压力传感器、压力表

5.7.1 检查压力传感器、压力表外观，如有异常破损，应予以更换；

5.7.2 检查压力传感器、压力表安装连接处，如有漏油，应予以维修或更换；

5.7.3 油泵电机启停时，压力表示数、系统内示数如不一致，排除其它因素后更换压力表或压力传感器；

5.7.4 维修后符合本规范 4.7 要求；

5.8 润滑和冷却系统

5.8.1 检查硬管及管接头，要求：

- (1) 外观如有异常破损，应予以更换；
- (2) 如有松动或漏油，排除力矩原因后应予以更换；
- (3) 更换后，应按要求力矩进行紧固并做好紧固标识；

5.8.2 检查软管及管接头，要求：

- (1) 外观如有异常破损及裂纹，应予以更换；
- (2) 如有松动或漏油，排除力矩原因后予以更换；
- (3) 如干涉或扭曲变形，调整管路布置；
- (4) 更换后，需按要求力矩进行紧固并做好紧固标识；

5.8.3 检查过滤器，要求：

- (1) 外观如有异常破损，应予以更换；
- (2) 如有漏油，应予以维修或更换；
- (3) 主齿轮箱首次运行 8-12 周内及之后每 6 个月应进行润滑油清洁度检测，依据检测结果决定是否更换滤芯及清洗过滤器。原则上，滤芯最长使用时间不应超过 1 年；

5.8.4 检查油路温度控制阀，要求：

- (1) 外观如有异常破损，应予以更换；
- (2) 如有漏油，应予以维修或更换；
- (3) 油路温度控制阀应能在油温达到制造商设定值时正常工作，如异常应予以维修或更换；

5.8.5 检查油泵电机及冷却电机，要求：

- (1) 外观如有异常破损，应予以维修或更换；
- (2) 电机工作时，如旋转方向不正确、有异响应予以维修或更换；
- (3) 电机应能正常工作，其对地绝缘及相间绝缘应满足 GB/T 1032.5 的要求，如有异常应予以维修或更换；

5.8.6 油泵电机联轴器：检查外观，如有异常损坏应予以更换；

5.8.7 检查电动泵，要求：

- (1) 外观如有异常破损、漏油，应予以更换；
- (2) 如有异响，应予以更换；
- 5.8.8 检查冷却风扇，要求：
 - (1) 检查风扇叶片外观，如有异常破损，应予以更换；
 - (2) 安装连接处如有松动，应进行紧固；
- 5.8.9 检查风冷散热器，要求：
 - (1) 检查散热器外观，如有异常破损，应予以更换；如有堵塞应予以清理；
 - (2) 如有漏油，应予以更换；
- 5.8.10 检查油水换热器，要求：
 - (1) 检查油水换热器外观，如异常破损应予以更换；
 - (2) 如渗漏应予以更换；
- 5.8.11 检查机械泵，要求：
 - (1) 检查机械泵外观，如有异常破损，应予以更换；
 - (2) 如有漏油，应予以维修或更换；
- 5.8.12 润滑和冷却系统功能性故障时，可对上述零部件进行排查，维修后符合本规范 4.8 要求；

5.9 报警器

- 5.9.1 检查报警器外观，如有异常破损，应予以更换；
- 5.9.2 检查报警器及与主齿轮箱安装连接处，如有漏油，应予以维修或更换；
- 5.9.3 如达到系统设定值时无法正常报警，排除其它因素后应予以更换；
- 5.9.4 维修后符合本规范 4.9 要求；

5.10 润滑油

- 5.10.1 润滑油应定期取样检测，检测结果应满足表 1 要求；
- 5.10.2 日常巡检如发现润滑油颜色发黑，目视可见明显的浑浊、油泥状物质或颗粒状物质等需对润滑油取样检测，检测结果应满足表 1 要求；
- 5.10.3 补充润滑油应尽量与原润滑油同品牌同牌号，如发生油品混

用，需进行兼容性试验；

5.10.4 更换的新润滑油应符合主齿轮箱使用要求，更换前应使用同品牌和同牌号的润滑油冲洗主齿轮箱，并保证加入时油温在 10℃ 以上；

5.10.5 润滑油检测周期、检测项目、检测方法等应符合本规范 4.10 要求；

5.11 传动件

主齿轮箱传动件运转，如发生异响、异常振动、油液检测异常等，应使用内窥镜对主齿轮箱内部进行检查，并结合测振数据分析部件损坏状态。可根据各机型空间等作业条件选择机舱内维修或下架维修。

5.11.1 齿轮传动件：内齿圈、太阳轮、行星轮、齿轮轴、齿轮

5.11.1.1 检查齿轮齿面外观，如有 GB/T 3481 中失效形式，应予以维修或更换；

5.11.1.2 轴件表面如有异常磨损、塑性变形、裂纹等应予以维修或更换；

5.11.1.3 齿面不允许焊接处理；

5.11.1.4 维修后齿轮传动件的齿面应按 GB/T 15822 要求进行磁粉探伤，不允许出现裂纹；

5.11.1.5 维修后外啮合齿轮的齿面粗糙度应不大于 Ra 0.6 μm；

5.11.1.6 维修后内啮合齿轮的齿面粗糙度应不大于 Ra 0.8 μm。如采用氮化处理，粗糙度应符合齿轮箱制造厂的技术要求；

5.11.1.7 维修后与轴承配合的轴颈表面粗糙度应不大于 Ra 3.2 μm；

5.11.1.8 维修后渗碳淬火齿轮传动件的齿面硬度值应在 58-62HRC 范围内；

5.11.1.9 维修后的外啮合齿轮加工精度应不低于 GB/T10095.1、GB/T10095.2 规定的 5 级，并根据载荷情况作齿形和齿向修正；

5.11.1.10 维修后的内啮合齿轮加工精度不低于 GB/T10095.1、GB/T10095.2 规定的 6 级；如磨齿后氮化处理，可按 7 级精度验收；

5.11.1.11 维修后的齿轮传动件应按照 GB/T17879 要求进行磨削烧

伤检测，不允许存在磨削烧伤；

5.11.1.12 维修后的齿面接触斑点：主齿轮箱在额定载荷或供需双方确定的载荷下，按 GB/T 13924.18 着色法检测，所有齿轮件啮合区域应同时满足：大于有效齿宽方向的 95%和有效齿高方向的 95%，且无偏载及接触硬痕；

5.11.1.13 维修后的齿轮传动件在运行状态下，振动值应满足本规范 6.3 要求，噪声值应满足本规范 6.4 要求；

5.11.2 行星架

5.11.2.1 检查行星架外观，重点关注立柱与幅板连接处等部位，如有裂纹等缺陷，应予以维修或更换；

5.11.2.2 维修后行星架与主轴、锁紧盘的配合面不允许出现异常磨损；

5.11.2.3 如轴承拆卸，应对行星架两侧安装轴承的轴颈进行检查，不允许出现异常磨损；

5.11.2.4 未经可行性验证，不建议使用焊接等新型修复工艺；

5.11.2.5 维修后符合本规范 4.11.3 要求；

5.12 轴承

5.12.1 检查轴承外观，如有 GB/T 24611 中失效形式，应予以维修或更换；

5.12.2 检查轴承内、外圈，如有异常磨损应予以维修或更换；

5.12.3 滑动轴承检修由供需双方协商进行；

5.12.4 维修后轴承符合本规范 4.12 要求；

5.13 锁紧装置

5.13.1 锁紧盘：检查锁紧盘，要求：

(1) 外观如有裂纹，应予以维修或更换；

(2) 维修后的内、外环锥面，不允许有毛刺；

(3) 维修后内、外环锥面接触斑点的面积不低于锁紧盘正常传递扭矩的最低要求；

(4) 维修后锁紧盘端面的各螺纹孔无烂牙、变形等；

(5) 维修后符合本规范 4.12.1 要求；

5.13.2 法兰盘

(1) 检查法兰盘外观，如有异常变形，应予以维修或更换；

(2) 维修后符合本规范 4.12.2 要求；

6 检修后主齿轮箱的试验验证

6.1 机舱内检修后主齿轮箱的验证

机舱内检修后的主齿轮箱应进行功能性验证：重新运行至少 24 小时，期间应满足：

(1) 连接件、紧固件不松动；

(2) 密封处、接合面处不漏油、不渗油；

(3) 油池温度、入口油压、高速轴两侧轴承外圈温度等参数均正常，系统监测无报警；

(4) 运转平稳，噪声无异常；

如开箱检修、传动件维修或替换等，运行期间还需满足：

(1) 振动无异常，符合本规范 6.3 要求；

(2) 啮合正常；

6.2 下架检修后主齿轮箱的验证

6.2.1 空载试验：在额定转速下，正、反向运转不少于 30 分钟，期间应满足：

(1) 连接件、紧固件不松动；

(2) 密封处、接合面处不漏油、不渗油；

(3) 运转平稳，无冲击；

(4) 润滑充分，检测高速级两侧轴承外圈温度和油池温度；

6.2.2 加载试验：在额定转速下，逐级加载试验，按 25%、50%、75% 的额定负荷各运转不少于 15 分钟。主齿轮箱油池温度 30 分钟内温差不超过 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 即视为达到热平衡，此时进行 100% 额定负载试验，总运转时间不少于 60 分钟，期间应满足：

(1) 连接件、紧固件不松动；

(2) 密封处、接合面处不漏油、不渗油；

(3) 运转平稳，无冲击。工作转速范围内，传动轮系、轴系不发生共振；

(4) 润滑充分，检测高速级两侧轴承外圈温度和油池温度，油池最高温度及轴承外圈最高温度应优先满足整机或齿轮箱制造厂的制造标准。但在持续运转时油池温度不得高于 85℃、轴承外圈不得高于 95℃，当轴承外圈温度连续 1 小时运转超过 105℃达 10 分钟，或油池温度在 1 小时连续运行中超过 85℃达 10 分钟需停机检查；

(5) 油压应在整机或齿轮箱制造厂提供的正常压力范围内；

(6) 啮合正常，接触斑点应符合本规范 5.11.1.12 要求；

(7) 加载形式、负载大小以及试验时间也可由供需双方商定，但 100%额定负荷运转时间不少于 60 分钟；

6.3 振动检测

如无特殊要求，一级行星+两级平行轴的主齿轮箱测点布置建议按表 2 设置，其它形式的主齿轮箱测点布置视情况而定，但维修整改处及高速级轴承座处必须有测点设置；测试方法应符合 VDI 3834 规范要求，测得振动速度有效值、振动加速度有效值应满足表 2 中正常运行的要求；

表 2：建议测点布置及测试方向

序号	测点	测试方向
1	高速级电机侧轴承座	V/A
2	高速级叶片侧轴承座	V
3	中速级电机侧轴承座	V
4	低速级电机侧轴承座	V
5	齿圈	H/V
6	扭力臂	H/V/A

注：H-水平向；V-垂直向；A-轴向；

表 3：振动速度有效值、振动加速度有效值评估值

振动加速度有效值		
频率范围	0.1-10Hz	10-2000Hz
m/s ²	报警>0.5	报警>12
	预警 0.3-0.5	预警 7.5-12
	正常<0.3	正常<7.5
振动速度有效值		
频率范围	10-1000Hz	
mm/s	报警>5.6	
	预警 3.5-5.6	
	正常<3.5	

注：VDI 3834 规范适用于 3MW（含 3MW）以内风机主齿轮箱振动评估，大于 3MW 风机主齿轮箱振动评估可以此标准为参考；

6.4 噪声检测

额定功率下，参照 GB/T 6404.1 规定测定主齿轮箱的噪声，额定功率 1MW 以下的主齿轮箱应不大于 90dB(A)，额定功率 1MW 至 3MW（含 3MW）的主齿轮箱应不大于 100 dB(A)，额定功率 3MW 以上的主齿轮箱应不大于 106 dB(A)。噪声验收值也可由供需双方商定；

7 涂装

检修后应清理主齿轮箱涂层破坏处，并进行油漆处理，要求：

- (1) 新面漆色号原则上应与原面漆一致；
- (2) 新油漆应与原油漆兼容；
- (3) 涂层表面应光滑、平整，不允许出现流挂、橘皮等缺陷；
- (4) 新涂层防腐性能应不低于整机或齿轮箱制造厂的要求，必要时进行涂层附着力测试；

8 检修文件

检修完成的主齿轮箱须提供检修报告，应包含但不限于以下文件

- (1) 故障鉴定报告：应包含现象描述、零部件的情况及故障原因分析；

- (2) 维修方案：应包含留用件清单、维修件清单、替换件清单等。其中，维修件需附维修方法的说明；
- (3) 维修过程验证报告：应包含主要零部件，如传动件、润滑和冷却系统等的维修或替换信息；
- (4) 检修后的验证报告：应按照本规范第 6 章的要求出具相应的报告；
- (5) 出厂文件：应包含产品合格证、装箱清单等；

9 标志、包装、运输、贮存

9.1 标志

检修完成的主齿轮箱应保留原主齿轮箱的铭牌。如下架检修，还应增加检修单位的铭牌，内容需包括但不限于以下信息：检修日期、检修单位、出厂编号等；

9.2 包装

- (1) 主齿轮箱返厂维修，并经检验合格后按 GB/T 13384 的规定进行包装，并按 GB/T 191 的规定涂刷储运图示标志；
- (2) 主齿轮箱在包装箱内应可靠牢固，并有采取防止旋转轴转动的措施；
- (3) 主齿轮箱外露的机械加工表面应涂防锈剂；

9.3 运输

- (1) 发运时应可靠固定；
- (2) 主齿轮箱在运输过程中应采取必要的防震、防撞和有害气体、溶液侵蚀的措施；

9.4 贮存

- (1) 主齿轮箱应贮存在清洁、通风、防潮湿的地方，不允许在阳光下长期暴晒；
- (2) 主齿轮箱出厂后有效封存期为三个月；如长期存放或停用，应及时检查保养，对外露表面进行防锈处理，并再次封存。具体可参见整机或齿轮箱制造厂提供的技术说明书；

10 质量保证

客户按照产品说明书的规定，正确使用、维护和保存产品的前提下，检修单位应保证产品在合同质保期内能良好的运行；

附录：主齿轮箱日常巡检要求

(1) 主齿轮箱内部零件建议检查周期不超过 1 年，如发现隐患应立即处理；

(2) 主齿轮箱日常维护建议可参考表 4 进行维护保养，具体可参见整机或齿轮箱制造厂提供的说明书；

表 4：日常巡检表

维护项目	运行开始后的时间							
	试运转	3-8 周	每 6 个月	每 12 个月	每 18 个月	每 24 个月	每 30 个月	每 36 个月
漏油检查	●	●	●	●	●	●	●	●
油位检查	●	●	●	●	●	●	●	●
油压检查	●	●	●	●	●	●	●	●
过滤器检查				●		●		●
油品检测		●	●	●	●	●	●	●
风冷散热器检查				●		●		●
轴承检查	●		●	●	●	●	●	●
齿轮传动件检查	●		●	●	●	●	●	●
电控系统检查	●			●		●		●
振动检测	●		●	●	●	●	●	●
噪音检查	●		●	●	●	●	●	●
箱体外观检查	●	●	●	●	●	●	●	●
紧固件检查		●		●		●		●