

前 言

本标准是根据 GB/T 1.1—2000《标准化工作导则 第 1 部分：标准的结构和编写规则》的规定编写的。

本标准的附录 A 为规范性附录。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国风力机械标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：杭州前进齿轮箱集团有限公司。

本标准主要起草人：宣安光、马珍莲、陈钟奇。

风力发电机组 齿轮箱

1 范围

本标准规定了风力发电机组增速齿轮箱(以下简称齿轮箱)的技术要求、试验方法、检验规则及标志、包装、运输和贮存等要求。

本标准适用于水平轴风力发电机组(风轮扫掠面积大于或等于 40 m²)中使用平行轴或行星齿轮传动的齿轮箱。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

- GB/T 191—2000 包装储运图示标志(eqv ISO 780:1997)
- GB/T 1184—1996 形状和位置公差 未注公差值(eqv ISO 2768. 2:1989)
- GB/T 1348—1988 球墨铸铁件
- GB/T 3077—1999 合金结构钢
- GB/T 3480—1997 渐开线圆柱齿轮承载能力计算方法(eqv ISO 6336-1~6336-3:1996)
- GB/T 5371—1985 公差与配合 过盈配合的计算和选用
- GB/T 6391—1995 滚动轴承 额定动载荷和额定寿命(idt ISO 281:1990)
- GB/T 6404—1986 齿轮装置噪声声功率级测定方法(neq ISO 464 E:1983)
- GB/T 8539—2000 齿轮材料及热处理质量检验的一般规定(eqv ISO 6336-5:1996)
- GB/T 8543—1987 验收试验中齿轮装置机械振动的测定
- GB/T 9439—1988 灰铸铁件
- GB 9969.1—1998 工业产品使用说明书 总则
- GB/T 10095.1~10095.2—2001 渐开线圆柱齿轮 精度(idt ISO 1328-1~1328-2:1997)
- GB/T 11345—1989 钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级
- GB/T 13306—1991 标牌
- GB/T 13384—1992 机电产品包装通用技术条件
- GB/T 13924—1992 渐开线圆柱齿轮精度检验规范
- GB/T 14039—2002 液压传动 油液 固体颗粒污染等级代号(ISO 4406:1999,MOD)
- JB/T 6395—1992 大型齿轮、齿圈锻件
- JB/T 6396—1992 大型合金结构钢锻件
- JB/T 6402—1992 大型低合金钢铸件
- JB/T 7929—1999 齿轮传动装置清洁度
- JB/T 10300—2001 风力发电机组 设计要求
- DIN 3990—1987 齿轮承载能力计算

3 技术要求

3.1 一般技术要求

3.1.1 技术参数

齿轮箱应符合本标准的要求和订货合同(或技术协议)的规定。

3.1.2 旋向

除非特殊要求,一般情况下齿轮箱低速轴旋向应符合下列要求:
面对低速轴输入端看,低速轴的旋向为右旋,即顺时针方向。

3.1.3 机械效率

齿轮箱机械效率应大于 97%。

3.1.4 环境温度

齿轮箱工作环境温度为一 40℃~50℃。

3.1.5 工作温度

齿轮箱最高温度不得高于 80℃;其不同轴承间的温差不应高于 15℃,必要时增设加热装置和冷却装置。

3.1.6 噪声

齿轮箱的噪声应不大于 85 dB(A)。

3.1.7 机械振动

在齿轮箱工作转速范围内,传动轮系、轴系应不发生共振。齿轮箱的机械振动应符合 GB/T 8543 规定的 C 级。

3.1.8 主要零件的设计

3.1.8.1 齿轮箱主要零件的设计载荷和强度计算按 JB/T 10300 及订货技术协议的相关规定。主要零件的强度评定指南详见附录 A。

3.1.8.2 齿轮箱机械零部件应进行防腐设计。

3.1.8.3 齿轮箱的紧固件应尽量采用标准件,其零部件的种类要限制在最小范围内。齿轮箱的设计应使其结构简单,易加工且应保证使用维修方便。

3.1.8.4 齿轮箱主轴上的推力轴承应按风轮在运行中所承受的最大气动推力来选取。

3.1.9 清洁度

齿轮箱的清洁度应符合 JB/T 7929 的规定。

3.1.10 外观

机械加工表面以外的全部外露表面应涂防护漆,涂层应厚薄均匀,表面平整、光滑、颜色均匀一致。对油漆的防腐要求和颜色由供需双方在技术协议中规定。

3.1.11 密封性

齿轮箱应具有良好的密封性,不应有渗、漏油现象,并能避免水分、尘埃及其他杂质进入箱体内部。

3.1.12 其他

齿轮箱上应设有相应的观察窗口盖、油标(必要时应设油位报警装置)、油压表(必要时应设油压报警装置)、空气滤清器、透气塞、带磁性垫的放油螺塞(放油阀)以及起重用吊钩等。

3.2 主要零件的制造技术要求

3.2.1 箱体

3.2.1.1 箱体类零件的材料应按照 GB/T 1348 和 GB/T 9439 的规定选用铸铁材料,宜选用球墨铸铁,也可选用 HT 250 以上的普通铸铁,或其他具有等效力学性能的材料。

3.2.1.2 箱体类零件均应进行消除应力处理。

3.2.1.3 箱体、箱盖相互联接部位及与轴承、内齿圈相配合各孔的加工要求:

a) 内齿圈孔和轴承孔挡肩的端面跳动公差值应符合 GB/T 1184 的 5 级精度的规定。

b) 箱体、箱盖各轴承孔的同轴度、圆跳动应符合 GB/T 1184 的 5 级精度的规定。

3.2.1.4 中心距极限偏差 f_0 应符合 GB/T 10095.1~10095.2 的 5 级精度的规定。

3.2.2 行星架

- 3.2.2.1 行星架的材料宜采用 QT700-2、42CrMoA、ZG34Cr2NiMo，其力学性能应分别符合 GB/T 1348、GB/T 3077、JB/T 6402 规定，也可使用其他具有等效力学性能的材料。
- 3.2.2.2 行星轮孔系与行星架回转轴线的位置度应符合 GB/T 1184 的 5 级精度的规定。
- 3.2.2.3 精加工后应进行静平衡，在每个平面内允许的残余不平衡量可按下式确定：

$$U = \frac{9.6 \cdot Q \cdot G}{Z \cdot n}$$

式中：

U ——残余不平衡量，单位为千克米(kg·mm)；

Q ——平衡度， $Q=6.3$ ；

G ——应校平衡物体的质量，单位为千克(kg)；

Z ——平衡平面数；

n ——应校平衡物体的转速，单位为转每分(r/min)。

- 3.2.2.4 行星架如采用焊接结构，则应对其焊缝进行超声波探伤，并应符合 GB/T 11345 的要求。

3.2.3 齿轮、内齿圈、齿轮轴、轴

- 3.2.3.1 选用材料应在强度、塑性、韧性等方面具有较好的综合机械性能。

- 3.2.3.2 齿轮、齿轮轴宜采用 20CrMnMo、20CrNi2MoA、15Cr2Ni2、17Cr2Ni2MoA 等材料制造，并使用锻件，其力学性能应分别符合 GB/T 3077、JB/T 6395、JB/T 6396 的规定，也可采用其他具有等效力学性能的材料。

内齿圈、轴类零件宜采用 42CrMoA、34Cr2Ni2MoA 等材料制造，其力学性能应符合 GB/T 3077、JB/T 6395 的规定，也可采用其他具有等效力学性能的材料。

- 3.2.3.3 齿轮精度不低于 GB/T 10095.1~10095.2 规定的 5 级，并根据载荷情况作必要的齿形和齿向修正。内齿圈精度不低于 GB/T 10095.1~10095.2 规定的 6 级。

- 3.2.3.4 必要时对齿轮和轴类零件进行静平衡试验后才可组装，静平衡的要求可按 3.2.2.3 中的公式计算。

3.3 装配技术要求

- 3.3.1 齿轮箱的零件经检验合格后方可装配。装配前应将零件仔细清洗干净。

- 3.3.2 装配时应严格按图样要求检查规定的轴向间隙。

- 3.3.3 装配后行星轮与行星架，行星轮与内齿圈均应打上啮合位置标记。

- 3.3.4 按图样要求检查齿轮副的最小侧隙及接触斑点。

- 3.3.5 紧固螺栓应按规定的预紧力拧紧。加预紧力的方式可用扭力扳手加预紧力矩加载，也可用液压式螺栓拉伸器按轴向力加载，其预紧力见表 1。

表 1 螺栓预紧力

螺栓直径 d /mm	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36
用扭力扳手加预紧力矩 M_A /Nm	35	61	149	290	500	1 004	1 749
用螺栓拉伸器加预紧轴向力 F_V /kN	—	—	—	—	158.1	251.3	366.0
注：本表的螺栓强度级别为 8.8。当螺栓强度级别为 5.6 时，应用本表数值乘以系数 0.47；当强度级别为 10.9 时，则应乘以系数 1.47；当强度级别为 12.9 时，则乘以系数 1.69。							

3.4 润滑

- 3.4.1 齿轮箱应装有润滑和冷却装置，且应提供油位测量装置以便检查润滑油油位。在齿轮箱具有循环润滑系统的情况下，应在散热器后和进入齿轮箱前设置润滑油温度和压力监测装置。

3.4.2 齿轮箱应具有良好的润滑条件,采用飞溅润滑或强制润滑方式。采用强制润滑时必须配置滤油器,油液清洁度应达到 GB/T 14039—2002 规定的代号为 15/12 的要求。

润滑油性能应满足产品使用要求,油站的启动温度应不低于 10℃。

3.5 使用寿命

在主机正常运转情况下,齿轮箱的使用寿命应不少于 20 年。

3.6 保用期

在按规定正确安装、维修保养和正常使用的情况下,保用期为二年。

4 试验方法和检验规则

4.1 检验类别

产品检验分出厂检验和型式检验。有下列情况之一时应进行型式检验:

- 新产品的试制定型鉴定时;
- 产品的设计、工艺等方面有重大改变时;
- 出厂检验的结果与上次型式检验有较大差异时;
- 国家质量监督机构要求进行的型式检验时。

4.2 检验项目与方法

除另有规定外,齿轮箱的检验项目和检验方法应符合表 2 的规定。

表 2 检验项目和方法

序号	检验项目	型式检验	出厂检验	要求	检验方法
1	材质	△	△	3.2.1.1;3.2.2.1; 3.2.3.1	GB/T 8539 等有关标准
2	外观	△	△	3.1.10	目测
3	接触斑点	△	△	3.3.4	GB/T 13924
4	清洁度	△	—	3.1.9	JB/T 7929
5	空载试验	△	*	表 3	表 3
6	性能试验	△	—	表 3	表 3
7	齿面接触疲劳寿命试验	△	—	表 3	表 3
8	噪声	△	—	3.1.6	GB/T 6404
9	机械振动	△	—	3.1.7	GB/T 8543
10	空载功率损耗	△	△	3.1.3	表 3
11	密封	△	△	3.1.11	目测

注:标有“△”者为必须进行的检验项目;标有“—”者为不作规定的检验项目;标有“*”者为按照制造厂试验台条件作部分加载试验。

4.3 运转试验

4.3.1 试验条件

检测用仪器、仪表、量具应按国家有关标准和规定进行校准、标定,并具有有效期内的检定证。

4.3.2 试验内容

齿轮箱试验内容按表 3 规定。

表 3 试验内容

序号	项目名称	试验项目		说明
		序号	试验内容	
I	空载试验		在额定转速下,正、反两方向运转不少于 1 h。 要求:	
		1	连接件、紧固件不松动	
		2	密封处接合处不漏油、不渗油	
		3	运转平稳,无冲击	
		4	润滑充分。检查轴承和油池温度。每 5 min 记录一次油压、油温	
II	性能试验		空载试验合格后,在额定转速下进行逐级加载试验。按规定 25%、50%、75% 的额定负载各运转 30 min。按 100% 额定负载运转 120 min,110% 超负载运转 30 min,要求:	可根据制造厂试验条件 确定加载要求
		5	在正常运转情况下,每隔 10 min 测定并记录一次转速、负载(扭矩)、油温、油压及各轴承挡外壳温度	
		6	在额定转速和 100% 额定负载下,测定齿轮箱的噪声、振动	可根据制造厂试验条件, 在台位最大负荷下进行
		7	齿面接触斑点,轮齿齿面状况检查	
III	空载功率损耗测定	8	在额定转速,油温稳定在 45℃~65℃,空载工况下测定齿轮箱功率损耗	
IV	齿面接触疲劳寿命试验	9	在额定负荷下高速齿轮的应力循环数,调质齿轮、淬火齿轮为 5×10^7 。 检验项目与本表序号 5~7 相同	允许用工业应用试验代替 疲劳寿命试验

4.4 出厂检验

齿轮箱应逐台按表 2 规定的出厂检验项目进行出厂检验,并由质检部门检验合格,出具产品合格证书后方可出厂。

4.5 型式检验

齿轮箱型式检验按表 2 规定的型式检验项目进行,如各检验项目均符合本标准规定的要求时,则判定该产品的型式检验合格;如某一项目的检验结果不符合本标准规定的要求,则判定该产品的型式检验为不合格。

5 标志、使用说明书

5.1 标志

产品铭牌和旋向箭头应分别固定在齿轮箱的显著部位,产品铭牌应符合 GB/T 13306 规定,其内容包括:

- a) 制造厂名称;

- b) 型号和规格；
- c) 出厂编号；
- d) 出厂日期；
- e) 增速比；
- f) 额定输入转速；
- g) 额定输入功率；
- h) 商标及检验认可标记。

5.2 使用说明书

制造厂提供的产品说明书，编写应符合 GB 9969.1 的规定，其内容至少应包括：

- a) 产品标准号；
- b) 齿轮箱概况及使用说明；
- c) 吊运注意事项及专用工具使用说明；
- d) 安装技术要求，必要时有关安装平面布置图和载荷分布图；
- e) 启动、停机以及运行要求；
- f) 维护保养说明。

6 包装、运输、贮存

6.1 包装

6.1.1 齿轮箱在出厂检验合格后按 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。

6.1.2 产品应按如下规定进行防锈包装：

- a) 全部外露的机械加工表面应涂防锈剂；
- b) 齿轮箱内部应涂能用溶剂清除的防锈剂。

6.1.3 齿轮箱随机文件：

- a) 产品使用说明书；
- b) 产品合格证书；
- c) 供货清单；
- d) 装箱清单；
- e) 备件及易损件清单；
- f) 主要零件的出厂材质证明和检验证明；
- g) 资料清单。

6.2 运输

齿轮箱在运输时应采用必要的防震防撞措施，并应避免碰撞、雨淋和有害气体的侵蚀。

6.3 贮存

齿轮箱应贮存在清洁、通风，防雨、雪、水侵袭的地方，不允许在阳光下长期暴晒。

附录 A (规范性附录)

齿轮箱主要零件的强度评定指南

A.1 设计载荷

A.1.1 齿轮箱的传扭零部件应能承受静、动载荷。其动载荷部分取决于输入端(风轮)、输出端(发电机)的特性和主、从动部件(轴和联轴器)的质量、刚度和阻尼值以及风力发电机组的外部工作条件。

A.1.2 作用在齿轮箱主轴的主要设计载荷有:工作扭矩、风轮的陀螺力矩以及风轮重力等。

A.1.3 风力发电机组载荷谱是齿轮箱计算的基础,载荷谱应通过实测得到,也可按 JB/T 10300 通过计算确定。

A.1.4 当采用实测载荷谱计算时,使用系数 K_A 取 1.0;

A.1.5 当无法得到实测载荷谱时,齿轮箱的额定输入功率可按齿轮箱订货合同(或技术协议)规定的参数,或以发电机额定功率除以发电机和齿轮箱的机械效率后得到的功率计算,对于广泛采用的三叶片风力发电机组,使用系数 K_A 为 1.3。

A.1.6 齿轮箱在极限载荷影响下的强度分析(静强度计算),使用系数 K_A 取 1.0。

A.2 强度计算

A.2.1 齿轮

A.2.1.1 静强度计算

A.2.1.1.1 静强度分析应以作用于齿轮箱上的最大转矩为基础。

A.2.1.1.2 轮齿齿根和齿面的最大静应力应不超过对应轮齿齿根断裂和表面形成凹坑的强度极限值。且使用下列安全系数:

——齿根断裂静强度计算安全系数 $S_F \geq 1.4$;

——齿面接触静强度计算安全系数 $S_H \geq 1.0$ 。

A.2.1.1.3 静强度计算按 GB/T 3480(或 DIN 3990)规定的方法进行。

A.2.1.2 疲劳强度计算

A.2.1.2.1 齿轮轮齿的疲劳强度分析应建立在轮齿应力分析和确定其疲劳特性(S-N 曲线)基础上。前者可根据载荷谱采用应力分析程序进行,后者可查有关手册或通过试验获得。疲劳损伤破坏根据线性损伤累积理论来确定。

A.2.1.2.2 齿轮的疲劳强度分析按 GB/T 3480(或 DIN 3990)规定的方法进行。

A.2.1.2.3 对于轮齿疲劳分析使用以下安全系数:

——按实测载荷谱计算时:

对齿表面接触取其安全系数 ≥ 1.2 ;

对齿根弯曲取其安全系数 ≥ 1.5 。

——无实测载荷谱时:

对齿表面接触取其安全系数 ≥ 1.3 ;

对齿根弯曲取其安全系数 ≥ 1.7 。

A.2.2 轴

A.2.2.1 所有的轴均应进行疲劳强度和静强度分析。

A.2.2.2 对主轴进行强度计算时,应综合考虑主轴上工作扭矩、风轮的陀螺力矩以及风轮重力的综合影响。

A. 2.2.3 静强度计算应以最大转矩为基础。其最大计算应力相对于材料的屈服强度，应具有 $\gamma_M \geq 1.1$ 的安全系数。

A. 2.2.4 疲劳强度计算按输入持续扭矩进行。

A. 2.2.5 强度计算按常规计算方法进行。

A. 2.3 滚动轴承

A. 2.3.1 轴承按 GB/T 6391 或轴承制造商的计算指南进行计算。

A. 2.3.2 轴承在最大载荷下的静承载能力 f_s ，系数应不小于 2.0。输入轴承的静强度计算须计入风轮的附加静负荷。轴承静承载能力系数定义为轴承的静载荷系数 C_0 和当量静载荷 P_0 的比值。

A. 2.3.3 轴承使用寿命采用扩展寿命计算方法进行，计算中所用的失效概率设定为 10%。

使用实测载荷谱时，其平均当量动载荷按以下公式计算：

$$P_m = \left(\frac{1}{N} \int_0^N P^{\epsilon} dN \right)^{\frac{1}{\epsilon}}$$

式中：

P_m ——平均当量动载荷；

ϵ ——寿命指数，对球轴承 $\epsilon=3$ ，对滚子轴承 $\epsilon=10/3$ ；

N ——总循环次数；

P ——作用于轴承上的当量动载荷。

若无实测载荷谱，轴承平均当量动载荷按额定载荷的 2/3 进行计算。

A. 2.3.4 计算寿命应不小于 130 000 h。

A. 2.4 其他联接件

A. 2.4.1 对联接件(如过盈、花键等)一般仅进行静强度计算，计算载荷为最大扭矩。

A. 2.4.2 按 GB/T 5371 标准进行过盈联接计算。过盈联接的最小抗滑动安全系数一般应不小于 4.0。

A. 2.4.3 在传输功率过程中必须采用螺纹联接时，应按有关标准进行螺纹联接强度计算。

A. 2.4.4 如轮毂直接安装在齿轮箱输入轴上，箱体要承受风轮载荷时，应对箱体进行强度或变形的有限元分析。

A. 2.4.5 应对齿轮箱进行热平衡设计。