

前 言

本标准的编写格式和规则符合 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》之规定。

本标准的附录 A 是规范性附录。

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。

本标准由国家电力公司杭州机械设计研究所负责起草，浙江省电力设备总厂参加起草。

本标准主要起草人：王宁、刘全鑫、陈银康。

风力发电机组 塔架

1 范围

本标准规定了并网型风力发电机组(风轮扫掠面积大于等于 40 m²)塔架的通用技术条件和检测方法。

本标准适用于水平轴大型风力发电机组管塔的设计和生產。其他类型的塔架可参照执行。

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 700—1988 碳素结构钢(neq DIN 630:1987)
- GB/T 709—1988 热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差(neq ГОСТ 19903:1974)
- GB/T 1228—1991 钢结构用高强度大六角头螺栓(neq ISO 7412:1984)
- GB/T 1229—1991 钢结构用高强度大六角螺母(neq ISO 4775:1984)
- GB/T 1230—1991 钢结构用高强度垫圈(neq ISO 7416:1984)
- GB/T 1231—1991 钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件
- GB/T 1591—1994 低合金高强度结构钢(neq ISO 4950:1981)
- GB/T 1720—1979 漆膜附着力测定法
- GB/T 1764—1979 漆膜厚度测定法
- GB/T 3323—1987 钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级
- GB/T 8923—1988 涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级(eqv ISO 8501-1:1988)
- GB/T 9793—1997 金属和其他无机覆盖层 热喷涂 锌、铝及其合金(eqv ISO 2063:1991)
- GB 9969.1—1998 工业产品使用说明书 总则
- 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 11373—1989 热喷涂金属件表面预处理通则
- GB/T 12467.1~12467.4—1998 焊接质量要求 金属材料的熔化焊(idt 3834-1~3834-4:1994)
- GB/T 13912—2002 金属覆盖层 钢铁制件热浸镀锌层技术要求及试验方法(ISO 1461:1999, MOD)
- GB/T 14091—1993 机械产品环境参数分类及其严酷程度分级(neq IEC 60721-1)
- GB/T 14693—1993 焊缝无损检测符号
- GB/T 19001—2000 质量管理体系 要求(idt ISO 9001:2000)
- JB 4708—2000 钢制压力容器焊接工艺评定
- JB/T 6061—1992 焊缝磁粉检验方法和缺陷磁痕的分级
- JB/T 6062—1992 焊缝渗透检验方法和缺陷迹痕的分级
- JB/T 10300—2001 风力发电机组 设计要求
- SD 218.3—1987 电力金具制造质量标准 钢铁件热镀锌层
- JGJ 82—1991 钢结构高强度螺栓连接的设计、施工及验收规程

3 载荷

塔架的载荷情况根据 JB/T 10300—2001 中 5.3.16.2 确定。

4 设计要求

4.1 设计条件

4.1.1 应给出以下设计条件

- a) 来自机舱的载荷(包括风轮载荷);
- b) 塔架轴线与水平面的垂直度;
- c) 作用于塔架的风载荷;
- d) 使用寿命;
- e) 防腐处理和表面防护(环境条件等级);
- f) 安全系数;
- g) 工作温度;
- h) 塔架高度。

4.1.2 应给出塔架的以下条件

- a) 塔架顶部直径;
- b) 塔架顶部法兰上的螺栓分布,螺栓规格;
- c) 叶尖位置处的塔架最大直径;
- d) 门的尺寸要求。

4.2 计算方法和条件

本标准规定的计算及其方法是验收塔架结构的最低依据,所有计算应以设计条件为基础。

应保证塔架和机舱能承受因运输和工地安装而引起的外加载荷。

应考虑应力集中,比如门、法兰联接和管塔壁厚变化处,应通过计算和测量校核极限载荷下的应力。管塔内梯栏的重要接点应进行极限负荷计算,并给出梯栏的负荷容量。

4.2.1 塔架静强度计算

塔架静强度计算应符合 JB/T 10300—2001 中 5.3.16.3.1 的规定。

4.2.2 塔架的疲劳分析

塔架的疲劳分析应符合 JB/T 10300—2001 中 5.3.16.3.3 的规定。

4.2.3 固有频率

塔架的动强度分析,应符合 JB/T 10300—2001 中 5.3.16.4.2 的规定。塔架工作状态下的固有频率必须在大于风轮频率 1 阶的 10% 和小于风轮频率 3 阶的 10% 的范围内。

计算塔架固有频率时,应考虑塔架基础的刚度。

固有频率的计算应包括扭转 1 阶,弯曲 1 阶、2 阶。

4.2.4 螺栓联接

所有重要的联接螺栓应进行极限载荷和疲劳载荷的强度计算,计算采用的材料数据按国家标准选取。

所有钢结构高强度大六角头螺栓、大六角头螺母、垫圈技术条件应符合 GB/T 1228~1231 的规定。钢结构高强度螺栓联接的设计、施工及验收应符合 JGJ 82 的规定。

4.2.5 塔架基础

塔架基础的计算分成地基部分和地脚螺栓部分计算。

以极限载荷计算地基部分,并充分考虑地基的地质构造。

地脚螺栓联接应符合 4.2.4 的规定。

4.3 塔架分段

如果订货合同没有明确规定,则塔架分段应充分考虑以下因素:

- a) 价格;

- b) 运输能力;
- c) 生产批量;
- d) 生产条件。

4.4 塔架内部部件

塔架内部部件的设计和安装应满足使操作人员能够安全地进行安装、作业、维修和进入机舱。应设有直接通道进入塔架内(门应能锁住)。

塔架内部应设有:

- a) 安全保护设施;
- b) 电缆保护设施;
- c) 梯栏;
- d) 安全平台;
- e) 照明设施;
- f) 门;
- g) 电气设备安装附件。

5 材料要求

5.1 选择金属结构件的材料依据环境温度而定,可根据 GB/T 700 选择使用 Q235B、Q235C 及 Q235D 结构钢,或根据 GB/T 1591 选择使用 Q345B、Q345C 及 Q345D 低合金高强度结构钢。

5.2 钢板的尺寸、外形及允许偏差应符合 GB/T 709 的规定。钢板的不平度,每米不大于 10 mm。

5.3 采用 Q345 低合金高强度结构钢时,用边缘超声波检验方法评定质量,质量分级应符合本标准附录 A 的规定。最低工作环境温度时冲击功不低于 27 J(纵向试件),在钢厂订货时提出或补做试验。

5.4 焊接构件用的焊条、焊丝和焊剂应与被焊接件的材料相适应。

6 工艺要求

6.1 焊接工艺规程

焊接作业的质量保证应根据 GB/T 12467.1~12467.4 进行制定和执行。

另外,应由制造厂的技术主管部门依据 JB 4708 的规定编制并确定焊接工艺规程文件(即焊接工艺指导书),最终确定的工艺规程是钢结构焊接过程中应遵循的法则。

6.2 焊接工艺规程评定

焊接工艺规程应按有关标准和试验数据进行评定,并根据 JB 4708 的规定编制焊接工艺评定报告。

6.3 参与焊接人员资格

参与焊接的人员必须具有本工作的资格证书或能够证明具有相当的焊接操作能力。

6.4 焊前准备

6.4.1 下料应按有关的工艺要求进行,坡口型式、尺寸、公差及表面质量应符合有关标准或技术条件的规定。

6.4.2 材料和焊接坡口的加工必须使用热切割或机加工方法,对于钢板切割边缘的不平滑处和渣屑,应使用机加工和打磨的方法去除,其他方法不得使用。

6.4.3 不容许在接头表面出现不合要求的裂缝、切割缺陷或其他裂痕。

6.4.4 接头表面和联结表面应经过清理,应做到不潮湿,无锈皮、油污、油漆及其他杂质。

6.5 组焊

钢结构的组焊应严格遵循焊接工艺规程。焊接构件用的焊条、焊丝与焊剂都应与被焊接的材料相适应,并符合焊条相关标准的规定。在生产现场,应有必要的技术资料。在不利的氣候条件下,应采取特殊的措施。应仔细地按技术要求焊接或拆除装配定位板。

6.6 焊后处理

当钢结构技术条件中要求进行焊后处理(如消除应力处理)时,应按钢结构的去应力工艺进行。

6.7 焊接修复

进行焊接修复时,应根据有关标准、法规,认真制定修复程序及修复工艺,并严格遵照执行。

6.7.1 焊接修复的质量控制应和其他焊接作业的质量控制一样。

6.7.2 同一处的焊接修复不应使用两次以上相同的焊接修复工艺。

6.8 样件试组装

6.8.1 在进行表面处理前,应对不同类型的第一台塔架的各段、基础段和内部布置进行试组装。

6.8.2 联结所有法兰接头,拧紧螺栓直到法兰接合面紧贴,但仅限于在额定拧紧力矩之下。试组装时拧紧至额定力矩的高强度螺栓,在正式安装塔架时不准再使用。

6.8.3 试组装时,所有扶梯、平台等也应试装,并按塔架运输分段进行试装。

6.8.4 钢结构在表面处理前,纠正所有不符合要求之处。

6.8.5 编制试组装报告。

7 防腐处理和表面防护

7.1 塔架的环境条件等级

根据 GB/T 14091—1993 的条款确定塔架的环境条件等级。

如果订货合同没有明确规定,塔架外部表面的环境条件为 4 级,内部表面的环境条件为 3 级;塔架的表面处理按本标准进行。

7.2 作业场所的要求

进行表面处理应在室内完成,作业区域应整洁、干燥;喷砂、喷锌和涂漆作业不允许在同一室内进行。

每座塔架应备有一块测试板,该板的一面为塔架外部喷涂层,另一面为塔架内部喷涂层。测试板应跟着塔架表面处理过程一一重复。

7.3 塔架外部表面的防护处理

7.3.1 表面预处理

按照 GB/T 11373 的规定对钢材表面作喷砂粗化处理。

喷砂处理后的清洁度应达到 GB/T 8923—1988 第 3 章中规定的最高清洁度 Sa3 级,即完全除去氧化皮、锈、污垢和涂层等附着物,表面应显示均匀的金属色泽。

粗糙度应达到 $Rz40\ \mu\text{m}\sim 70\ \mu\text{m}$ 。

表面预处理后应在规定时间内进行底层处理。

7.3.2 底层处理

按照 GB/T 9793 的规定进行金属喷镀,涂层为 $60\ \mu\text{m}$ 厚的锌或锌/铝。

用双组份复合环氧树脂漆在锌层上喷封,漆层厚约 $20\ \mu\text{m}$ 。

7.3.3 中间层喷漆

用双组份复合厚膜环氧树脂漆喷漆,漆层厚 $90\ \mu\text{m}$ (在 4C2 环境条件下,漆层厚 $140\ \mu\text{m}$)。

7.3.4 面层喷漆

用双组份复合聚氨脂漆喷封(阻抗 50%~75%),漆层厚 $50\ \mu\text{m}$ (干膜)。

7.4 塔架内部表面的防护处理

7.4.1 表面预处理

按照 GB/T 11373 的规定对钢材表面作喷砂粗化处理。

喷砂处理后的清洁度应达到 GB/T 8923—1988 第 3 章中规定的清洁度 Sa2.5 级,即完全除去氧化皮、锈、污垢和涂层等附着物,任何残留的痕迹应仅是点状或条纹状的轻微色斑。

粗糙度应达到 $Rz40\ \mu\text{m}\sim 70\ \mu\text{m}$ 。

表面预处理后应在规定时间内进行底层处理。

7.4.2 底层处理

用双组份环氧富锌进行喷封,漆层厚 $40\ \mu\text{m}$ (干膜)。

7.4.3 面层喷漆

用双组份复合厚膜环氧树脂漆喷漆,漆层厚 $100\ \mu\text{m}$ (干膜)。

7.5 其他钢质部件(加工成形的部件)

7.5.1 表面预处理同 7.4.1。

7.5.2 按照 GB/T 13912 的规定进行热镀锌。

7.6 表面处理报告

应坚持质量保证体系的原则,编制一份表面处理报告,记录塔架表面防腐处理的全过程。表面处理报告应包含以下内容:

- a) 提供作业当天有关湿度、室温和单项温度的资料;
喷涂开始及结束时都需测量。温度和湿度应保持在漆供应商要求的范围之内。一般情况下,钢的表面温度高于露点 3°C 以上,湿度在 80% 以下便可进行表面处理作业。
- b) 提供喷砂的粗糙度和进度资料。
- c) 提供锌/漆型号、批数、作业日期、金属喷镀层厚度数值、漆干膜厚度数值(内外表面处理系统),以及测试结果和认可的签字。
- e) 提供表层漆颜色代码。

8 质量保证

8.1 质量保证是塔架设计、制造、试验、使用维护中的一个完整部分。

8.2 制造商应按照一种认可的标准管理和应用一个质量保证体系,并且这一体系已经认证和批准。

8.3 质量保证体系应满足 GB/T 19001 的要求,即质量保证体系包括产品的设计、开发、生产、安装和服务的质量保证模式。

8.4 制造商应保证质量保证体系的有效性。

8.5 制造商应遵守本标准及其他相关的标准、规范和规定。

9 检测项目

9.1 对钢结构的检测

9.1.1 对钢结构焊缝进行无损检测(NDT)。本标准采用 GB/T 14693 的 NDT 符号。NDT 的操作人员应持有相应的资格证。

9.1.2 对钢结构焊缝等级要求及采用何种 NDT 方法应在设计施工图纸上详细注明,并对所有焊缝进行 100% 的外观测试(VT)。

9.1.3 NDT 方法的选择

对接焊缝,钢板厚度小于 8 mm:RT

对接焊缝,钢板厚度不小于 8 mm:RT 或 UT

T 型对接焊缝:UT

角焊缝:MT

对于进出有困难的地方、不锈钢材料、或在安装工地时可以使用 PT。

9.1.4 执行 NDT 的相关标准:

a) 射线探伤(RT),执行 GB/T 3323;

b) 超声波检测(UT),执行 GB/T 11345;

- c) 磁粉探伤(MT),执行 JB/T 6061;
- d) 渗透检测(PT),执行 JB/T 6062;
- e) 目视检测(VT),外观检验及断口宏观检验使用放大镜的放大倍数应以 5 倍为限。焊件与母材之间在 25 mm 范围以内应无污渍、油迹、焊皮、焊迹和其他影响检测的杂质。

9.2 对金属喷镀层的检验

9.2.1 对塔架外部表面和内部表面热喷涂锌及锌合金涂层的检验,应符合 GB/T 9793 的规定。应做如下试验和检查:

- a) 涂层厚度试验;
- b) 结合性能试验;
- c) 耐腐蚀性能试验;
- d) 外观质量检查。

9.2.2 对塔架其他钢质部件热镀锌层的检验,应符合 GB/T 13912 的规定,同时对测定锌层均匀性和锌层粘附力试验应根据 SD 218.3 中的锌层检验方法进行。

9.3 对漆层的检验

9.3.1 漆层厚度的检验应符合 GB/T 1764 的规定。

9.3.2 漆层粘附力的检验在测试板上进行,应根据 GB/T 1720 的规定进行测定并评级。

9.3.3 作 100% 的漆层外观检验,应无漆挂流、膜过厚、漏涂、缝隙、气泡以及处理工艺上的破坏。

10 验收

10.1 应提供塔架的设计计算结果

应包括以下内容:

- a) 强度计算;
- b) 固有频率计算;
- c) 钢结构用高强度螺栓副拧紧力矩。

10.2 应提供的文件

- a) 钢材、连接材料和涂装材料的质量证明书或试验报告;
- b) 焊接工艺评定报告,包括 NDT 报告;
- c) 表面处理报告,对锌层和漆层的检测结果报告;
- d) 试组装报告;
- e) 塔架发运和包装清单。

10.3 评定规则和复检规则

单件生产的塔架应逐个验收,批量生产的塔架按 5 件为一批次,每批次抽检 1~2 件。

10.3.1 检验结果与塔架技术条件和要求不符时,则塔架评定为不合格。复检时对同一批次的另外几件作该项目的复检,若仍不合格,应找出原因并排除,使其合格。

10.3.2 不合格的塔架应有明显标记,或被拆除。

10.3.3 塔架完成规定的验收后,应填写产品合格证、检验单,并交付所需的文件。

11 标志、安装使用说明书

11.1 塔架的标志

应在塔架底部内侧人眼目视高度固定一个永久性标志,塔架标志包括以下内容:

- 产品的名称、商标;
- 生产企业名称、详细地址;
- 塔架的高度、塔架上部直径、底部直径;

——制造日期。

11.2 塔架安装使用说明书

塔架安装使用说明书的起草与表述应符合 GB 9969.1 的规定,安装使用说明书应包括以下内容:

- a) 概述;
- b) 外形、安装尺寸及分段重量、重心;
- c) 安装、调整;
- d) 保养、维修;
- e) 运输、贮存。

12 运输、贮存

塔架可以分段运输或套装运输,无论何种方式运输都应有牢固的固定设施,以免相互碰撞。

12.1 运输单件超过 3 000 kg,宜在明显部位标上重量及重心位置。

12.2 塔架的各结合面及螺孔应有特殊保护措施,以免受损。

12.3 塔架可露天单独存放,但应避免腐蚀介质的侵蚀。

附录 A
(规范性附录)
德国钢铁交付条件

A.1 检验

本标准的扫查区域分三类：

- a) 中部检查(中部系指整块钢板上除了边缘以外的面积)；
- b) 边缘检查；
- c) 完面检查,包括中部和边缘检查。

标准规定在订货时,必须就检验区域达成协议。在一般情况下,中部检验可按边长为 200 mm 的格子或按一个笔直的相互平行间距为 100 mm 的梳状检验线进行,或按一组正弦状检验线进行检验,这些正弦曲线的振幅和振荡率周长均为 200 mm。在作边缘检验时,距切口的宽度等于被检钢板的厚度,但至少等于 25 mm。

A.2 使用的探头与检验方法、缺陷距离之间的关系(如表 A.1)

表 A.1

缺陷距离/mm	探头型号	检验方法
≤20 20~60	SE5° SE0°	A A
>60	缺陷当量直径≤11 mm	
	N	B
	缺陷当量直径>11 mm	
	SE0°	A

表中技术术语表述如下：

A——按照中间回波的半高度测定方法确定缺陷面积。

B——采用适合于使用探头的距离——增益面积(AVGA)曲线图来确定缺陷的当量面积。

SE5°——SE 探头,即 TR 探头,频率为 4 MHz,双斜角度约 5°,焦距约为 12 mm,振荡器直径为 9~20 mm。当振荡器直径≤10 mm,探查方向平行于隔声层。当振荡器直径>10 mm,则探头探查方向垂直于隔声层。

SE0°——频率为 4 MHz,双斜角度约 0°,焦距约为 25 mm~40 mm,振荡器直径为 18 mm~20 mm,探查方向平行于隔声层。

N——直探头,频率为 2 MHz,振荡器直径为 25 mm。

A.3 钢板质量分级

本标准规定了采用中部检查钢板的质量分级和采用边部检查时的钢板质量分级,它们分别列于表 A.2 和表 A.3。

采用中部检验时的钢板质量分级如表 A.2。

表 A.2

等 级	必须考虑的最小缺陷面积/cm ²	最大允许的缺陷面积/cm ²	缺陷的允许个数	
			指钢板的局部区域/(个/m ²)	指整张钢板/(个/m ²)
0	0.5	取消	0	0
1	0.5	1	≤4	≤2
2	0.5	1	≤30	≤15
3	1	10	≤10	≤5
4	1	10	≤50	≤30
5	10	100	≤1	≤1/2 m ²
6	10	100	≤5	≤3/2 m ²

注:当面积为 1 cm²~10 cm² 的相互靠近的缺陷的边缘距离小于最小缺陷的最大延伸长度时,这些缺陷必须看作一个缺陷。但这只适用于两个缺陷的评价。当两个以上缺陷紧靠在一起时,每次必须逐对比较。

采用边缘检验时的钢板质量分级如表 A.3。

表 A.3

等 级	必须考虑的最小缺陷面积/cm ²	最大允许的缺陷面积/cm ²	必须考虑的平行于切口的缺陷的最大允许长度/cm	单位平方米缺陷的允许个数
0	0.5	取消	取消	0
1	0.5	1	4	≤2
2	0.5	1	4	≤5
3	1	10	4	≤3
4	1	10	4	≤5

A.4 适用范围

海洋用钢 St52¹⁾ 必须采用此标准作为交货条件。

1) 16 Mn 钢使用在重要钢结构上,有一定的综合经济效益。其性能和美国 A441、日本 SM50、德国 St52 的钢材等同。——摘自 GB 50205《钢结构工程施工及验收规范》3.0.1 条款。