

T/CWDPA

团 体 标 准

T/CWDPA XXXX—XXXX

陆上风电塔筒用高强轻量化钢板技术规范

Technical specification for high-strength lightweight steel plate for onshore wind
power tower tube

（征求意见稿）

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中国西部开发促进会 发 布

目 次

前言 II

1 范围 3

2 规范性引用文件 3

3 术语和定义 3

4 牌号表示方法 3

5 订货内容 4

6 制造工艺 4

 6.1 冶炼方法 4

 6.2 交货状态 4

7 技术要求 4

 7.1 牌号与化学成分 4

 7.2 力学性能 5

 7.3 轻量化要求 6

 7.4 表面质量 6

 7.5 尺寸、外形、重量 6

 7.6 无损检测 6

8 试验方法 6

9 检验规则 6

10 包装、标志及质量证明书 6

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。

本文件由中国西部开发促进会提出。

本文件由中国西部开发促进会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件首次发布。

陆上风电塔筒用高强轻量化钢板技术规范

1 范围

本文件规定了陆上风电塔筒用高强轻量化钢板的牌号表示方法、订货内容、制造工艺、技术要求、试验方法、检验规则、包装、标志及质量证明书。

本文件适用于厚度6 mm~100 mm的陆上风电塔筒用高强轻量化钢板（以下简称“钢板”）。

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 222 钢及合金 成品化学成分允许偏差
GB/T 223（所有部分） 钢铁及合金
GB/T 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法
GB/T 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法
GB/T 232 金属材料 弯曲试验方法
GB/T 247 钢板和钢带包装、标志及质量证明书的一般要求
GB/T 709 热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差
GB/T 1591—2018 低合金高强度结构钢
GB/T 2970 厚钢板超声检测方法
GB/T 2975 钢及钢产品 力学性能试验取样位置及试样制备
GB/T 4336 碳素钢和中低合金钢多元素含量的测定火花放电原子发射光谱法（常规法）
GB/T 5313 厚度方向性能钢板
GB/T 14977 热轧钢板表面质量的一般要求
GB/T 16270 高强度结构用调质钢板
GB/T 17505 钢及钢产品交货一般技术要求
GB/T 20066 钢和铁 化学成分测定用试样的取样和制样方法
GB/T 20123 钢铁总碳硫含量的测定 高频感应炉燃烧后红外吸收法（常规方法）
GB/T 20124 钢铁 氮含量的测定 惰性气体熔融热导法（常规方法）
GB/T 20125 低合金钢多元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法
GB/T 28410—2025 风力发电塔用结构钢板
NB/T 47013.3 承压设备无损检测 第3部分：超声检测

3 术语和定义

GB/T 1591—2018和GB/T 28410—2025界定的术语和定义适用于本文件。

4 牌号表示方法

4.1 钢的牌号由代表屈服强度的“屈”字汉语拼音首字母、规定的最小上屈服强度数值、风塔的汉语拼音首字母、交货状态代号、质量等级符号（D、E、F）五部分组成。

示例：Q550FTMD，其中：
Q——屈服强度“屈”字汉语拼音首字母；
550——规定的最小上屈服强度数值，单位为兆帕（MPa）；
FT——“风塔”汉语拼音首字母；

M——交货状态为热机械轧制（TMCP、TMCP+回火）；
D——质量等级为D级。

- 4.2 当要求钢板具有厚度方向性能时，则在上述规定的牌号后分别加上代表厚度方向（Z 向）性能级别的符号（Z15、Z25、Z35），如 Q550FTMDZ25。
- 4.3 当钢板中添加镧 La、铈 Ce、钇 Y 等中的一种或多种稀土元素时，应在牌号后加“RE”后缀表示稀土高强轻量化钢板，（例：Q550FTMDRE、Q550FTMDREZ25）。稀土元素的添加种类及添加量应由供需双方协商确定，并在合同中注明。

5 订货内容

- 按本文件订货的合同或订单应至少包括下列内容：
- a) 本文件编号；
 - b) 产品名称；
 - c) 牌号；
 - d) 尺寸、外形精度；
 - e) 重量；
 - f) 交货状态；
 - g) 轻量化特殊要求（如减重比例、厚度优化等，可选）；
 - h) 是否添加稀土元素及稀土种类（可选）。

6 制造工艺

6.1 冶炼方法

钢由转炉或电炉冶炼，并应进行炉外精炼。

6.2 交货状态

钢板以热机械轧制（TMCP、TMCP+回火）或淬火+回火状态交货，以实现高强轻量化目标。

7 技术要求

7.1 牌号与化学成分

- 7.1.1 热机械轧制交货状态的高强轻量化钢板牌号及化学成分（熔炼分析）应符合表 1 的要求。
- 7.1.2 淬火+回火交货状态的高强轻量化钢板牌号及化学成分（熔炼分析）应符合表 2 的要求，其碳当量（CEV）应符合 GB/T 16270 的相关规定。
- 7.1.3 成品化学成分允许偏差应符合 GB/T 222 的相关要求。
- 7.1.4 需方要求厚度方向性能时，钢的硫含量应符合 GB/T 5313 的相关要求。
- 7.1.5 高强轻量化钢板 P_{cm} 应符合表 3 的要求。
- 7.1.6 当牌号后缀含有“RE”时，除应符合本文件 7.1.1 或 7.1.2 的相应要求外，还应添加镧（La）、铈（Ce）、钇（Y）等稀土元素中的一种或多种，具体添加种类及添加量由供需双方协商确定。

表1 热机械轧制交货状态的高强轻量化钢板牌号及化学成分（熔炼分析）

牌号	质量等级	化学成分（质量分数）/%											
		C ≤	Mn ≤	Si ≤	P ≤	S ≤	Ni ≤	Cr ≤	Mo ≤	V ≤	Ti ≤	Al ≥	N ≤
Q500FTM	D/E/F	0.12	1.70	0.50	0.020	0.010	0.80	0.80	0.50	0.12	0.05	0.015	0.015
Q550FTM	D/E/F	0.12	1.70	0.50	0.020	0.010	0.80	0.80	0.50	0.12	0.05	0.015	0.015
Q620FTM	D/E/F	0.12	1.70	0.50	0.020	0.010	0.80	0.80	0.50	0.12	0.05	0.015	0.015
Q690FTM	D/E/F	0.12	1.70	0.50	0.020	0.010	0.80	0.80	0.50	0.12	0.05	0.015	0.015
注：其他合金元素添加需经供需双方协商。													

表2 淬火+回火交货状态的高强轻量化钢板牌号及化学成分（熔炼分析）

牌号	质量等级	化学成分（质量分数）/%														
		C ≤	Si ≤	Mn ≤	P ≤	S ≤	Cr ≤	Mo ≤	V ≤	Nb ≤	Ti ≤	Als ≥	B ≤	N ≤	Cu ≤	Ni ≤
Q500FTQ	D/E/F	0.20	0.60	1.70	0.020	0.010	1.50	0.50	0.10	0.05	0.025	0.015	0.005	0.012	0.30	2.00
Q550FTQ	D/E/F	0.20	0.60	1.70	0.020	0.010	1.50	0.50	0.120	0.05	0.025	0.015	0.005	0.012	0.30	2.00
Q620FTQ	D/E/F	0.20	0.60	1.70	0.020	0.010	1.50	0.50	0.120	0.05	0.025	0.015	0.005	0.012	0.30	2.00
Q690FTQ	D/E/F	0.20	0.60	1.70	0.020	0.010	1.50	0.50	0.120	0.05	0.025	0.015	0.005	0.012	0.30	2.00

注：其他合金元素添加需经供需双方协商。

表3 碳当量及 Pcm（基于熔炼分析）

交货状态	牌号		公称厚度 mm			Pcm %
	钢级	质量等级	≤40	40~100	100~150	
热机械轧制	Q500FTM	D/E/F	≤0.45	≤0.45	≤0.46	≤0.24
	Q550FTM	D/E/F	≤0.46	≤0.48	≤0.50	≤0.25
	Q620FTM	D/E/F	≤0.47	≤0.49	≤0.50	≤0.25
	Q690FTM	D/E/F	≤0.48	≤0.50	≤0.52	≤0.25

注：淬火+回火状态钢板的碳当量（CEV）及Pcm应符合GB/T 16270的相关规定，具体数值经供需双方协商确定。

7.2 力学性能

7.2.1 钢板的抗拉强度、断后伸长率、弯曲试验、冲击吸收能量结果应符合规定，其中厚度≤100 mm 的各牌号钢板对应的力学性能应符合表 4 的要求，厚度>100 mm 时应由供需双方协商确定。

表4 力学性能

钢级	抗拉强度 MPa	断后伸长率 %	弯曲试验
Q500FTM	540~770	>17	角度180° 直径D等于3倍钢板厚度 a（D=3a）
Q550FTM	690~820	>16	
Q620FTM	650~890	>15	
Q690FTM	770~940	>14	

注：厚度>100 mm时，力学性能指标由供需双方协商确定。

7.2.2 钢板的夏比（V 型缺口）冲击试验结果应符合表 5 的要求。

表5 钢板的夏比（V 型缺口）冲击试验结果

质量等级	冲击试验温度	冲击吸收能量值
D	-20℃	>34 J
E	-40℃	34 J
F	-60℃	34 J

注1：冲击试样的取样方向为纵向；
注2：冲击试验结果按一组三个试样的算术平均值进行计算，允许其中有一个试样的试验结果低于规定值，但不应低于规定值的70%。否则，应从同一张钢板上再取三个试样进行试验。先后六个试样试验结果的算术平均值不应低于规定值，允许有两个试样的试验结果低于规定值，但其中低于规定值70%的试样只允许有一个。

7.2.3 当钢板厚度小于 12 mm 时，夏比（V 型缺口）冲击试验应采用小尺寸试样，其试验结果的判定应符合以下要求：

- a) 厚度 8 mm~12 mm：采用 10 mm×7.5 mm×55 mm 的小尺寸试样，其试验结果应不小于表 5 中规定值的 75%；
- b) 厚度为 6 mm~8 mm：采用 10 mm×5 mm×55 mm 的小尺寸试样，其试验结果应不小于表 5 中规定值的 50%；
- c) 厚度小于 6 mm 时：可不作冲击试验。

7.2.4 当要求钢板具有厚度方向性能时，其厚度方向断面收缩率应符合 GB/T 5313 相应级别（Z15、Z25、Z35）的规定。

7.2.5 稀土元素对力学性能的改善参见附录 A。

7.3 轻量化要求

经供需双方协商，可在设计选材时通过提高钢级（如采用Q550FTM及以上牌号）实现塔筒减重。在同等承载条件下，相对于Q355级钢材，减重比例宜不低于15%，具体减重目标由供需双方在合同中明确。

7.4 表面质量

表面质量应符合GB/T 14977的相关要求。

7.5 尺寸、外形、重量及允许偏差

尺寸、外形及重量及允许偏差应符合GB/T 709的相关要求，优先采用较高精度等级以利于轻量化设计。

7.6 无损检测

经供需双方协商，钢板可进行超声检测，检测方法应按照GB/T 2970或NB/T 47013.3的相关内容执行，合格级别在合同中注明。

8 试验方法

8.1 钢的化学成分分析通常按照 GB/T 223（所有部分）、GB/T 4336、GB/T 20123、GB/T 20124、GB/T 20125 或通用方法的规定进行，仲裁时由供需双方协商确定。

8.2 每批钢板的检验项目、取样数量、取样方法及试验方法应符合表 6 的规定。

表6 检验项目、取样数量、取样方法和试验方法

序号	检验项目	取样数量	取样方法	试验方法
1	化学成分	1个/炉	GB/T 20066	本文件8.1
2	拉伸试验	1个/批	GB/T 2975	GB/T 228.1
3	弯曲试验	1个/批	GB/T 2975	GB/T 232
4	冲击试验	一组(3个)/批	GB/T 2975	GB/T 229
5	表面质量	逐张	—	目视
6	尺寸、外形、重量及允许偏差	逐张	—	GB/T 709
7	无损检测	逐张	—	GB/T 2970或NB/T 47013.3

9 检验规则

9.1 检查和验收

钢板的检查和验收由供方质量检验部门进行。

9.2 组批

9.2.1 钢板应成批验收。每批应由同一牌号、同一炉号、同一厚度、同一轧制制度、同一热处理制度的钢板组成, 每批重量不大于 60 t。

9.2.2 具有厚度方向性能钢板的组批应符合 GB/T 5313 的规定。

9.3 取样数量和取样方法

每批钢板的取样数量和取样方法应符合本文件表6的规定。

9.4 复验与判定规则

9.4.1 钢板的拉伸试验、冲击试验及弯曲试验的复验与判定应符合 GB/T 17505 的规定。

9.4.2 厚度方向性能钢的厚度方向断面收缩率的复验与判定应符合 GB/T 5313 的规定。

10 包装、标志及质量证明书

- 10.1.1 钢板的包装、标志及质量证明书应符合 GB/T 247 的规定。
- 10.1.2 添加稀土元的钢板，质量证明书中应注明稀土元素的添加种类及含量。

附 录 A

(资料性)

稀土元素对力学性能的改善

牌号后缀含有“RE”时，添加稀土元素可进一步改善钢板的力学性能，具体提升效果如下：

- a) 晶粒细化：添加稀土后，钢板晶粒可细化0.5~1.0级，有利于改善材料的强韧性；
- b) 冲击韧性提升：添加稀土后，钢板不同温度下的冲击功值显著提高，较未添加稀土的同类钢板可提升25%~100%；
- c) 厚度方向性能提升：添加稀土后，钢板的Z向性能（厚度方向断面收缩率）可提高40%以上；
- d) 疲劳性能提升：稀土风电钢的疲劳极限较普通风电钢可提高5%以上；500MPa级稀土风电钢的疲劳极限较355MPa级风电钢可提高25%以上。

注：上述性能指标的具体数值应由供需双方协商确定并在合同中注明。
