

T/GES

甘 肃 省 电 工 技 术 学 会 团 体 标 准

T/GES 009—2024

风电机组叶片用高强度螺柱

2024 - 12 - 15 发布

2024 - 12 - 15 实施

甘肃省电工技术学会 发 布

目 次

前言 II

引言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 型式尺寸 1

5 技术要求 3

 5.1 表面缺陷 3

 5.2 材料 3

 5.3 机械性能 3

 5.4 其他要求 4

 5.5 表面处理 4

 5.6 脱碳层 4

6 试验方法 4

 6.1 外观 4

 6.2 材料成分 5

 6.3 规格尺寸检验 5

 6.4 机械性能 5

 6.5 扭矩系数试验 5

 6.6 疲劳试验 5

 6.7 表面处理 5

 6.8 脱碳试验 5

7 检验规则 5

8 标志、标记、包装、运输、贮存 5

 8.1 标志 5

 8.2 标记 6

 8.3 包装 6

 8.4 运输 6

 8.5 贮存 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。

本文件由甘肃省电工技术学会提出并归口。

本文件起草单位：定西高强度紧固件股份有限公司、宁波宁力高强度紧固件有限公司、宁波九龙创展紧固件有限公司、酒泉职业技术学院、金风科技股份有限公司、明阳智慧能源集团股份公司。

本文件主要起草人：孙富、谢桃红、徐勇、安炳、刘晓东、张志训、王铎。

引 言

风力发电机组叶片连接用双头螺柱断裂事件时有发生，经全面检验检测与失效分析，认为该类事件发生的主要原因是疲劳断裂。检查断裂螺柱，发现断裂的部位通常在螺柱与螺母旋合后的第一扣螺纹处，约占70%；少量的断裂在螺纹与无螺纹光杆的转变处，约占30%。

《风电机组叶片用高强度螺柱》团体标准针对上述实际问题，从型式尺寸、技术要求、机械性能、表面处理、检验检测等方面做了具体规定，特别是在产品结构和生产工艺过程上进行了创新性设计，提高了螺柱的抗疲劳性能。

——改等粗杆结构为腰状杆结构，提升了螺柱柔性，降低了弯矩对螺柱的影响，进而提升螺柱抗疲劳性能；

——螺柱锥面过渡部分两端与直杆结合部位R（R值为R25~R200）圆弧过渡，消除应力集中风险；

——螺柱螺纹牙型为牙底、牙尖R（R值为： $R_{\min}=0.15P$, $R_{\max}=0.18P$ ，P为螺距）圆弧过渡型抗疲劳螺纹牙型，消除螺纹牙底、牙尖的应力集中；

——螺柱螺尾处贯通不收尾，消除螺纹收尾造成的应力集中。

另外，近年来叶片螺柱大量采用张拉法安装，所以，当主机企业订单明确用张拉法安装时可不进行扭矩试验。

风电机组叶片用高强度螺柱

1 范围

本文件规定了螺纹规格为 M36~M64的风电机组叶片用高强度螺柱的型式尺寸、技术要求、试验方法、检验规则、标志、标记、包装、运输、贮存等。

本文件适用于风力发电机组叶片用高强度双头螺柱的设计、制造与检验。

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 196 普通螺纹 基本尺寸
- GB/T 197 普通螺纹 公差与配合
- 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 1237 紧固件的标记方式
- GB/T 1804 标准机加工公差表
- GB/T 3077 合金结构钢
- GB/T 3098.1 紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱
- GB/T 3098.23 紧固件机械性能 M42~M72 螺栓、螺钉和螺柱
- GB/T 4336 碳钢和低合金钢 多元素含量的测定 火花放电原子发射光谱法
- GB/T 4340.1 金属材料 维氏硬度试验 第1部分: 试验方法
- GB/T 5267.2 紧固件 非电解锌片涂层
- GB/T 5779.1 紧固件表面缺陷 螺栓、螺钉和螺柱 一般要求
- GB/T 5779.3 紧固件表面缺陷—螺栓、螺钉和螺柱—特殊要求
- GB/T 10125 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验
- GB/T 13682 螺纹紧固件轴向载荷疲劳试验方法
- GB/T 20066 钢和铁 化学成分测定用试样的取样和制样方法

3 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

4 型式尺寸

4.1 风电机组叶片用高强度螺柱的型式结构见图1、图2。

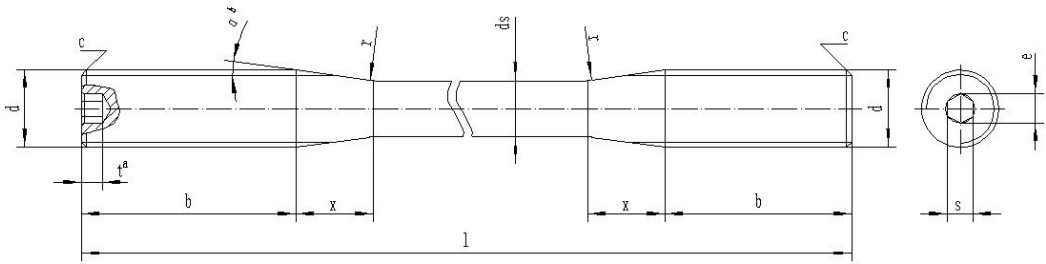


图1 风电机组叶片用高强度螺栓的型式结构（带内扳拧）

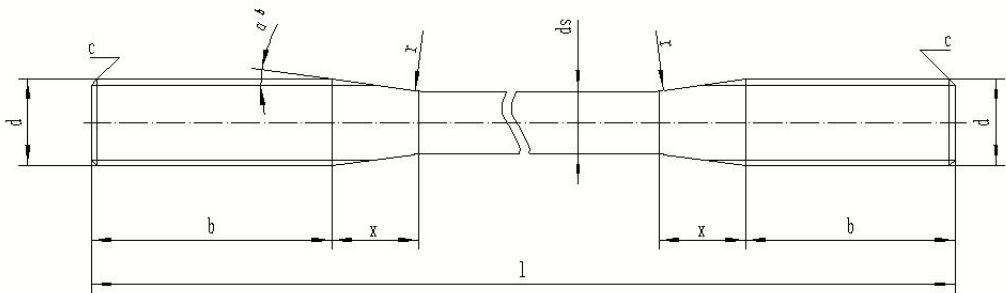


图2 风电机组叶片用高强度螺栓的型式结构（不带内扳拧）

4.2 风电机组叶片用高强度螺栓的规格尺寸见表 1。

表1 风电机组叶片用高强度螺栓规格尺寸

螺纹规格		M36	M39	M42	M45	M48	M56	M64
b参考 _i		84	90	96	102	108	124	140
x	max	36	39	42	45	48	56	64
	min	10	10	10	10	10	10	10
ds	max	32.7	35.3	38.2	40.8	44.2	52.3	60.2
	min	32.3	35	37.8	40.5	43.8	52	59.8
r	max	200	200	200	200	200	200	200
	min	25	25	25	25	25	25	25
c		4	4	4.5	4.5	5	5.5	6
a ₂	max	10°	10°	10°	10°	10°	10°	10°
	min	3°	3°	3°	3°	3°	3°	3°
S ₃	max	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3
	min	10	10	10	10	10	10	10

(e)		11.55	11.55	11.55	11.55	11.55	11.55	11.55
t ₄	max	10	10	10	10	10	10	10
	min	7	7	7	7	7	7	7
l ₅		300~1200						
¹ 叶片用螺柱螺纹长度可根据使用者需求进行调整; ² 叶片用螺柱螺纹与无螺纹杆部过渡有无角度及角度值可由使用者选择, 但必须保证螺纹滚通, 并且螺纹收尾圆滑过渡; ³ 叶片用螺柱端部有无内六角型式及内六角尺寸可由使用者选择; ⁴ 叶片用螺柱长度公差按 GB/T 1804 m级; ⁵ 此尺寸表未注公差按 GB/T 1804 m级。								

- 4.3 螺纹牙尖、牙底 R 圆弧过渡, Rmin=0.15P, Rmax=0.18P, P 为螺距。
- 4.4 叶片用螺柱端部有无内六角型式可由使用者或订货者选择; 螺柱螺纹与无螺纹杆部过渡有无角度及角度值可由使用者选择。

5 技术要求

5.1 表面缺陷

- 5.1.1 螺柱表面涂覆处理前外观不应有裂缝、凹痕、皱纹、螺纹折叠、损伤等缺陷。
- 5.1.2 螺柱连接副的螺柱、螺母及垫圈外观不应有磕碰损伤。
- 5.1.3 螺柱表面缺陷应符合 GB/T 5779.1 和 GB/T 5779.3 的规定。

5.2 材料

风电机组叶片用高强度螺柱及连接副材料要求见表2。经协议, 可使用其他材料。

表2 风电机组叶片用高强度螺柱及连接副材料

类别	材料	执行标准
双头螺柱	42CrMoA	GB/T 3077
	40CrNiMo	

5.3 机械性能

5.3.1 叶片用螺柱试件机械性能

螺柱试件机械性能见表3。

表3 螺柱试件机械性能

性能等级	抗拉强度 Rm/MPa	芯部硬度 HV	表面硬度	芯表硬度差	规定非比例 延伸强度 Rp0.2/ MPa	断后伸长率 A/%	断面收缩率 Z/%	-45℃冲击吸 收功 Kv2/J
						不小于		
10.9	≥1040	320-370	≤370HV0.3	≤30HV	≥940	10	50	30
注1：硬度及其他要求应符合 GB/T3098.1 和 GB/T3098.23。 注2：冲击功允许一件小于规定值，但不得小于规定值的70%。								

5.3.2 螺柱实物机械性能

螺柱实物件机械性能见表4。

表4 叶片用螺柱实物机械性能

螺纹规格			M36	(M39)	M42	(M45)	M48	M56	M64
公称应力截面积 A_s (mm ²)			817	962	1120	1288	1470	2030	2680
性能等级	10.9	最小拉力载荷 ($A_s \cdot R_m$ min) KN	850	1020	1165	1360	1530	2110	2790

5.3.3 螺柱连接副扭矩系数

5.3.3.1 螺柱连接副扭矩系数见表 5。

表5 叶片用螺柱连接副扭矩系数

螺纹规格	扭矩系数平均值 K_m	变异系数 V_k	每个螺柱连接副扭矩系数 K_i
$36 \leq d \leq 48$	0.095—0.120	≤ 0.06	允许有 1 个试验值不在规定范围内，但应在 0.09—0.125 范围内
$d \geq 48$	0.090—0.115	≤ 0.06	允许有 1 个试验值不在规定范围内，但应在 0.09—0.125 范围内
注1：扭矩实验所用油脂不作规定，但应与使用者协议规定。当主机企业技术规范与表5指标不一致时，按主机企业技术规范执行。			
注2：当主机企业订单没有扭矩试验要求或明确用张拉法安装时，不进行扭矩试验。			

5.3.4 螺柱疲劳试验

5.3.4.1 应按 GB/T 13682 的规定进行疲劳试验，测试持续进行至试件失效或达到 200 万次为止，获取试件的疲劳寿命。

5.3.4.2 疲劳试验频率 $\leq 10\text{Hz}$ ，试验机的额定轴力 $\geq 2000\text{Kn}$ 。

5.3.4.3 疲劳应力幅不应小于 40MPa，10.9 级螺柱对应的疲劳平均应力为 630MPa。

5.4 其他要求

螺纹基本尺寸按GB/T 196的规定；螺纹公差按GB/T 197的规定，涂镀前公差等级为6g。其他未特殊说明的机械性能应符合 GB/T3098.1、GB/T3098.23 的试验要求。

5.5 表面处理

5.5.1 螺柱宜采用非电解镀锌片涂层，应满足 GB/T 5267.2 的规定，涂层厚度应为 $9\mu\text{m} \sim 25\mu\text{m}$ 。

5.5.2 螺柱表面处理，应能满足互配性；涂层连续，无漏涂、气泡、剥落、裂纹，有效螺柱部分不允许涂层局部过厚及涂层积液；其他局部过厚区域表面不能存在裂纹、且轻刮后涂层不能整体脱落。

5.5.3 螺柱采用非电解镀锌片涂层时，按照 GB/T5267.2 的规定，中性盐雾试验 1000h 时，螺柱基体表面不允许出现红锈。

5.5.4 螺柱表面处理执行涂层胶带附着力试验时，要求涂层不应从金属基体上脱落或露底，但允许有少量的涂层材料粘贴到胶带上。

5.5.5 也可依据客户要求定制其他表面防腐方式。

5.6 脱碳层

螺柱脱碳层按 GB/T 3098.1、GB/T 3098.23 的有关规定，牙底不应出现完全脱碳层。

6 试验方法

6.1 外观

螺柱表面涂覆处理前外观检验按 GB/T 5779.3 的规定执行。

6.2 材料成分

螺柱材料化学成分测定用试样的取样和制样方法按 GB/T 20066 的规定执行，材料化学成分测定按 GB/T 4336 的规定进行。

6.3 规格尺寸检验

采用游标卡尺检验螺柱外螺纹大径与内螺纹小径。采用螺纹环规检验螺纹精度，涂镀前螺纹精度为 6 g。

6.4 机械性能

6.4.1 螺柱材料力学性能检验取样位置及试样制备按 GB/T 2975 的规定进行，力学性能检验按 GB/T 228.1 的规定进行。

6.4.2 螺柱力学性能检验按 GB/T 228.1 的规定进行。

6.4.3 冲击试验按 GB/T 229 的规定进行，取样数量应不少于 3 个。

6.5 扭矩系数试验

螺柱连接副扭矩系数试验在轴力试验机上进行，每一连接副只能试验一次，不应重复使用。采用同批次的六角螺母和垫圈测试，测试报告应明确润滑剂的名称及涂抹方式。扭矩系数按公式（1）计算。扭矩试验按 GB/T16823.3 的规定执行。

$$K = \frac{T}{P \times d} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

K ——扭矩系数；

T ——施拧扭矩，单位为牛·米（N·m）；

P ——双头螺柱预拉力，单位为千牛顿（kN）；

d ——双头螺柱螺纹公称直径，单位为毫米（mm）。

6.6 疲劳试验

螺柱疲劳试验应符合 GB/T 13682 的规定。

6.7 表面处理

6.7.1 螺柱涂层胶带附着测试和厚度测试按 GB/T 5267.2 规定执行。

6.7.2 螺柱采用中性盐雾试验按 GB/T 10125 规定执行。

6.8 脱碳试验

螺柱的脱碳试验应该符合 GB/T 3098.1 的规定。

7 检验规则

7.1 螺柱出厂检验应按批进行。同一性能等级、材料炉号、螺纹规格、长度（当螺柱长度小于或等于 100mm 时，长度相差小于或等于 15mm；当螺柱长度大于 100mm 时，长度相差小于或等于 20mm，可视为同一长度）、机械加工、热处理工艺、表面处理类型的螺柱为同批。

7.2 螺柱取样数量为 2% 每批。

7.3 用户对产品质量有异议时，在正常运输和保管条件下，应在产品出厂之日起 6 个月之内向供货方提出。如有异议，双方按本文件的要求进行复验仲裁。

8 标志、标记、包装、运输、贮存

8.1 标志

8.1.1 螺柱应标记生产厂家代号、生产批次编号、性能等级，字样清晰。

8.1.2 螺柱标记方法按 GB/T 1237 的规定。

8.2 标记

螺柱标记方法按GB/T1237的规定。

示例：螺纹规格 $d=M36$ 、公称长度 $l=200mm$ 、性能等级为 10.9 级的螺柱的标记：螺柱 $M36 \times 200-10.9$

8.3 包装

螺柱应采用适宜的包装防护方式，避免磕碰损坏或产品锈蚀。包装后应张贴标识，至少需包含制造商名称、产品名称、产品规格型号、产品数量、生产日期。

8.4 运输

螺柱运输过程中，应保证包装物的完好无损。

8.5 贮存

螺柱应贮存在清洁、通风、干燥，且具有防雨、雪、水侵袭的地方，不应在阳光下长期暴晒，应保证包装物的完好无损，避免螺柱发生锈蚀。
