

**T/CRES**

# 中国可再生能源学会团体标准

T/CRES0019-2023

---

## 风力发电机组 叶片螺栓组件

Wind turbine—Blade bolt assembly

2023-10-20 发布

2023-12-01 实施

---

中国可再生能源学会 发布



目 次

前言 ..... III

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 2

4 符号 ..... 2

5 型式与结构 ..... 3

    5.1 型式与组成 ..... 3

    5.2 产品结构..... 4

6 技术要求 ..... 7

    6.1 外观..... 7

    6.2 材料..... 8

    6.3 尺寸与公差..... 8

    6.4 机械性能..... 9

    6.5 保证载荷..... 10

    6.6 表面处理..... 10

    6.7 扭矩系数..... 11

    6.8 无损检测..... 11

    6.9 成品疲劳性能..... 11

    6.10 防松性能..... 11

7 试验方法 ..... 11

    7.1 外观..... 11

    7.2 材料成分..... 11

    7.3 尺寸检验..... 11

    7.4 机械性能..... 12

    7.5 保证载荷..... 12

    7.6 表面处理..... 12

    7.7 扭矩系数..... 12

    7.8 无损检测..... 12

    7.9 成品疲劳..... 13

    7.10 防松性能..... 13

8 检验规则 ..... 13

    8.1 检验分类..... 13

    8.2 型式试验..... 13

    8.3 出厂检验..... 14

9 标志、包装、运输、贮存 ..... 15

    9.1 标志..... 15

9.2 包装 ..... 15

9.3 运输 ..... 15

9.4 贮存 ..... 15

## 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》的规则起草。

请注意本标准化文件的某些内容有可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中船海为高科技有限公司提出。

本文件由中国可再生能源学会（T/CRES）归口及发布。

本文件主要起草单位：中船海为高科技有限公司、中国船舶集团有限公司第七一三研究所、洛阳双瑞风电叶片有限公司、北京理工大学、西北工业大学、武汉中科创新技术股份有限公司、河南涵翔新能源有限公司、中国船舶集团海装风电股份有限公司、厦门双瑞风电科技有限公司、东方电气风电股份有限公司、西北工业大学太仓长三角研究院、中国广核新能源控股有限公司、中广核风电有限公司、中国船舶集团风电发展有限公司、中船海为(新疆)新能源有限公司、河南济源钢铁(集团)有限公司、明阳智慧能源集团股份公司、远景能源有限公司、浙江运达风电股份有限公司、舟山市正源标准件有限公司、浙江国检检测技术股份有限公司、郑州机械研究所有限公司、中国兵器工业第五二研究所烟台分所有限责任公司、中钢集团郑州金属制品研究院股份有限公司、西宁特殊钢股份有限公司、郑州大学、中原工学院、华润新能源投资有限公司山西分公司、北京鉴衡认证中心有限公司。

本文件主要起草人：杨中桂、李梦晗、白洁、丁永春、吴胜军、丁晓宇、杜飞、王子成、冯五、赵智垒、肖航、钟贤和、李星耀、徐超、陈飞宇、肖裕琨、张学森、李辉、李卫、冯二红、马晨勛、张育超、白瑞娟、何学、张章、孔魁、林仲岳、刘海波、窦小鹏、梁景恒、王军、王磊英、赵红亮、崔陆军、张艳锋、赵盼盼。

本文件在执行过程中的意见建议请反馈至中国可再生能源学会标准化工作办公室。



# 风力发电机组 叶片螺栓组件

## 1 范围

本文件规定了风力发电机组叶片螺栓组件的型式与结构、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输、贮存等。

本文件适用于风力发电机组叶片螺栓组件的设计、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 97.1-2002 平垫圈 A 级
- GB/T 97.2-2002 平垫圈 倒角型 A 级
- GB/T 196 普通螺纹 基本尺寸
- GB/T 197 普通螺纹 公差
- 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 699-2015 优质碳素结构钢
- 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 3077-2015 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 3098.2 紧固件机械性能 螺母
- GB/T 4162-2022 锻轧钢棒超声检测方法
- 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 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 5276 紧固件 螺栓、螺钉、螺柱及螺母尺寸代号和标注
- GB/T 5779.3 紧固件表面缺陷 螺栓、螺钉和螺柱 特殊要求
- GB/T 6170 1型六角螺母
- GB/T 10125 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验
- GB/T 10431 紧固件横向振动试验方法
- 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
- 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 20125 低合金钢 多元素含量的测定 电感耦合等离子体原子发射光谱法
- NB/T 10214 风力发电机组用锚杆组件

NB/T 47013.4-2015 承压设备无损检测 第4部分：磁粉检测

JJG 707-2014 扭矩扳子检定规程

### 3 术语和定义

GB/T 197 及 GB/T 5276 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**叶片螺栓组件** blade bolt assembly

由双头螺柱、螺母与预埋螺套、堵头，或与圆螺母、双圆螺母等零件组成的组合件。

注：用于风力发电机组风轮叶片与轮毂变桨轴承之间的连接。

#### 3.2

**预埋螺套** embedded bolt bushing

内孔中有一段具有内螺纹的一种钢制套筒。

注：叶片铺层过程中将其埋入叶根并和叶根一体成型。

#### 3.3

**堵头** plug

与预埋螺套配合使用、保证预埋螺套与叶片玻璃纤维一体灌注时树脂不流入预埋螺套内孔的一种封堵部件。

#### 3.4

**圆螺母** cross nut

一种安装于叶片根部内用于连接双头螺柱、外形呈圆柱状的螺母。

#### 3.5

**双圆螺母** double cross nut

两个配合使用的圆柱状螺母。

注：其中一个内孔有螺纹，另一个内孔为通孔。

### 4 符号

下列符号适用于本文件。

$A$ : 断后延伸率

$E$ : 螺纹末脱碳层的最小高度, mm

$G$ : 全脱碳层的最大深度, mm

$K$ : 扭矩系数

$KV_2$ : 吸收能量, J

$P$ : 双头螺柱预拉力, kN

$R_m$ : 抗拉强度, MPa

$R_{p0.2}$ : 规定非比例延伸 0.2 % 的应力, MPa

$T$ : 施拧扭矩, N·m

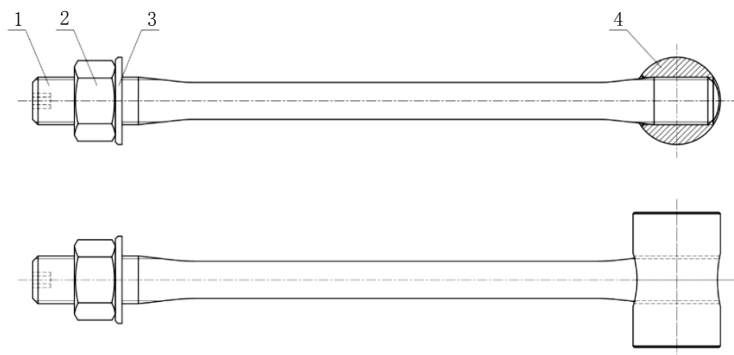
$Z$ : 端面收缩率



## 5 型式与结构

### 5.1 型式与组成

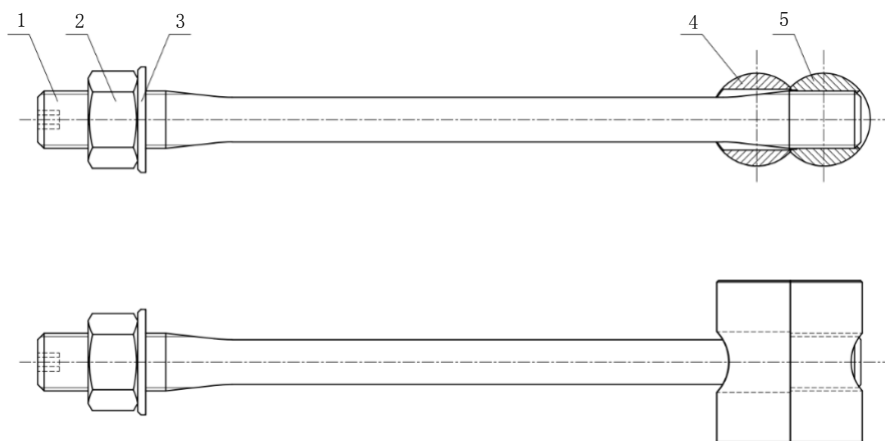
叶片螺栓组件一般包括双头螺柱、六角螺母、垫圈、圆螺母（或双圆螺母、预埋螺套、堵头），按其结构的不同可分为 T 型螺母型式、双圆螺母型式和预埋螺套型式三种型式，如图 1、图 2 及图 3 所示。



标引序号说明：

- 1——双头螺柱；
- 2——六角螺母；
- 3——垫圈；
- 4——圆螺母。

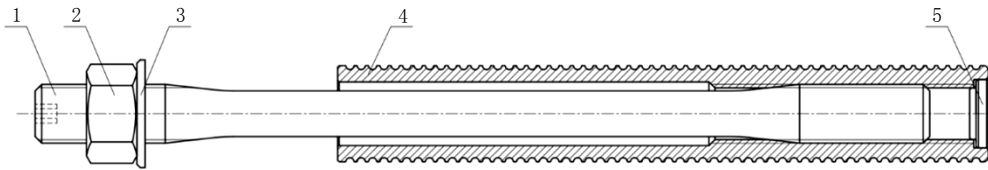
图1 叶片螺栓组件产品组成——T 型螺母型式



标引序号说明：

- 1——双头螺柱；
- 2——六角螺母；
- 3——垫圈；
- 4——双圆螺母（内孔无螺纹）；
- 5——双圆螺母（内孔有螺纹）。

图2 叶片螺栓组件产品组成——双圆螺母型式



标引序号说明:

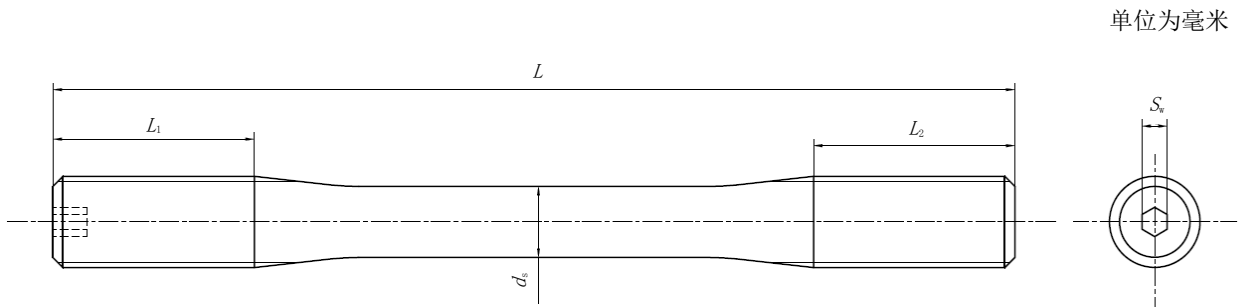
- 1——双头螺柱;
- 2——六角螺母;
- 3——垫圈;
- 4——预埋螺套;
- 5——堵头。

图3 叶片螺栓组件产品组成——预埋螺套型式

## 5.2 产品结构

### 5.2.1 双头螺柱

5.2.1.1 双头螺柱一般为两端螺纹、中间光杆结构。通常，中间光杆处直径小于两端螺纹处中径，且长螺纹端具有内六角孔，其结构型式如图 4 所示。



标引序号说明:

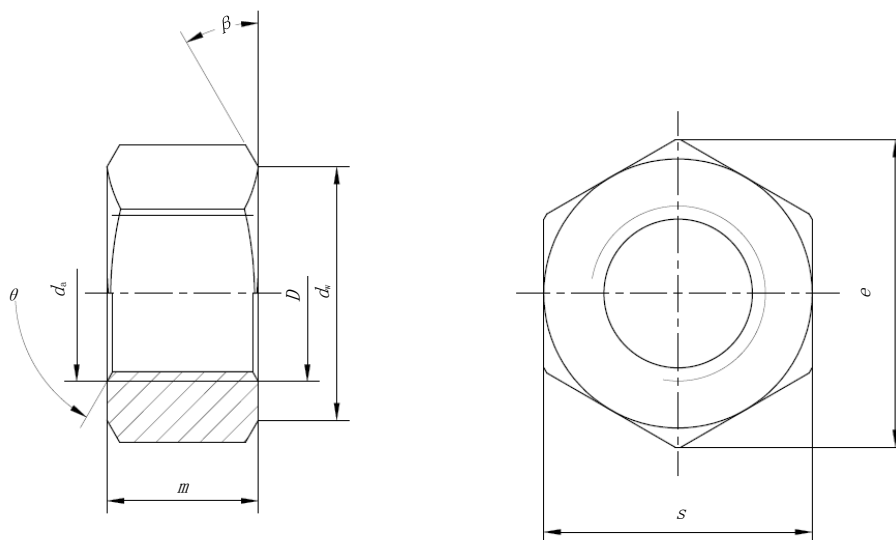
- $L$ ——双头螺柱长度;
- $L_1$ ——双头螺柱长螺纹端螺纹有效长度;
- $L_2$ ——双头螺柱短螺纹端螺纹有效长度;
- $d_s$ ——双头螺柱光杆处直径;
- $S_s$ ——内六角孔对边宽度。

图4 双头螺柱结构型式

5.2.1.2 双头螺柱螺纹可采用圆弧螺纹结构或普通螺纹结构（一般用途米制螺纹）。采用圆弧形螺纹结构时，螺纹基本尺寸和公差应符合 NB/T 10214 的规定。采用普通螺纹时，尺寸代号和标注应符合 GB/T 5276 的规定，螺纹的基本尺寸和公差应符合 GB/T 196 和 GB/T 197 的规定。

### 5.2.2 六角螺母

5.2.2.1 六角螺母的型式、规格如图 5 所示。



标引序号说明:

$\beta$ ——倒角, 单位为度 ( $^{\circ}$ );

$\theta$ ——沉头角, 单位为度 ( $^{\circ}$ );

$d_s$ ——沉孔直径, 单位为毫米 (mm);

$D$ ——内螺纹基本大径(公称直径), 单位为毫米 (mm);

$d_e$ ——支撑面大径, 单位为毫米 (mm);

$e$ ——螺母对角宽度, 单位为毫米 (mm);

$m$ ——螺母高度, 单位为毫米 (mm);

$s$ ——螺母对边宽度, 单位为毫米 (mm)。

注:  $\beta=15^{\circ} \sim 30^{\circ}$ ,  $\theta=90^{\circ} \sim 120^{\circ}$ 。

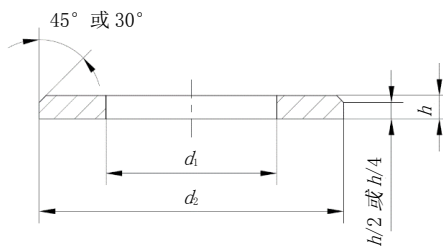
图5 六角螺母型式

5.2.2.2 六角螺母螺纹采用圆弧形螺纹结构时, 产品螺纹规格应符合 NB/T 10214 的规定。采用普通螺纹结构时, 型式应符合 GB/T 6170 的规定, 尺寸代号和标注应符合 GB/T 5276 的规定, 螺纹的基本尺寸应符合 GB/T 196 和 GB/T 197 的规定。

### 5.2.3 垫圈

垫圈一般为倒角型垫圈, 尺寸规格应符合 GB/T 97.2-2002 的要求, 型式如图 6 所示。当客户有特殊要求时, 也可选用平垫圈, 尺寸规格应符合 GB/T 97.1-2002 的要求。若客户具有特殊防松需求时, 垫圈可选用双叠自锁防松垫圈, 型式如图 7 所示。

单位为毫米



标引序号说明:

$d_1$ ——垫圈内径；  
 $d_2$ ——垫圈外径；  
 $h$ ——垫圈厚度。

图6 垫圈型式

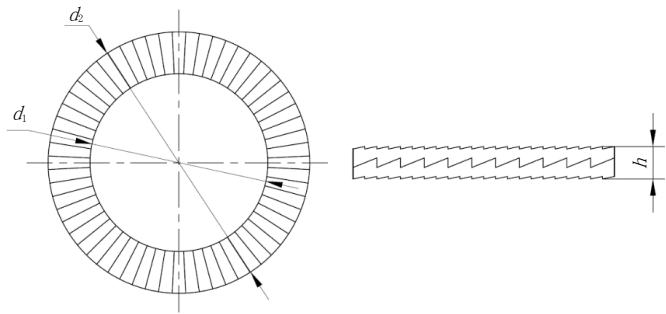
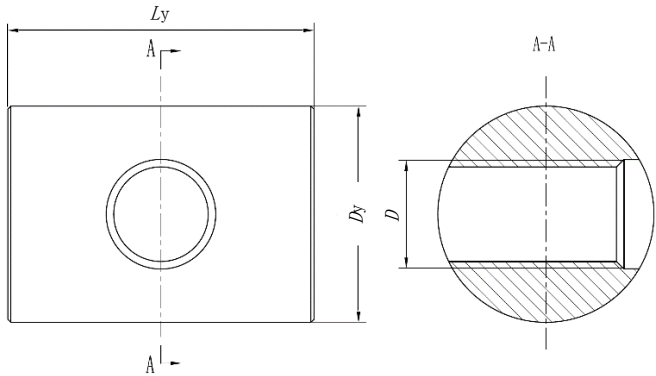


图7 双叠自锁防松垫圈型式

5.2.4 圆螺母及双圆螺母

5.2.4.1 圆螺母的结构型式如图8所示，双圆螺母的结构型式如图9所示。



单位为毫米

标引序号说明：  
 $D$ ——内螺纹基本大径（公称直径）；  
 $D_y$ ——圆螺母外径；  
 $L_y$ ——圆螺母长度。

图8 圆螺母型式

单位为毫米

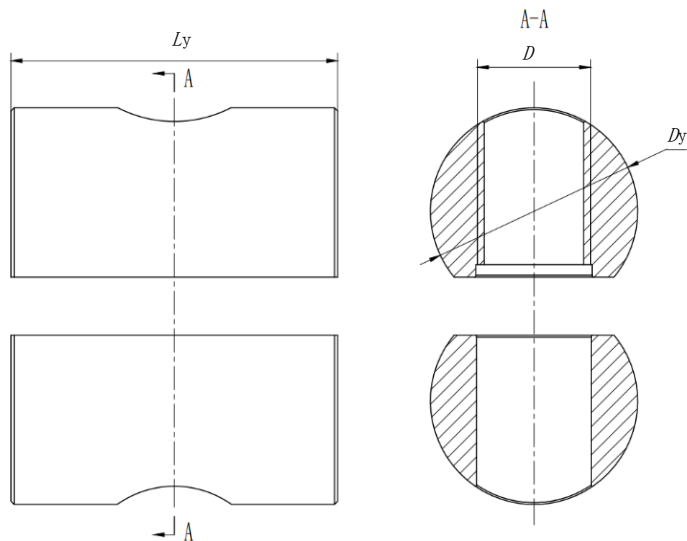


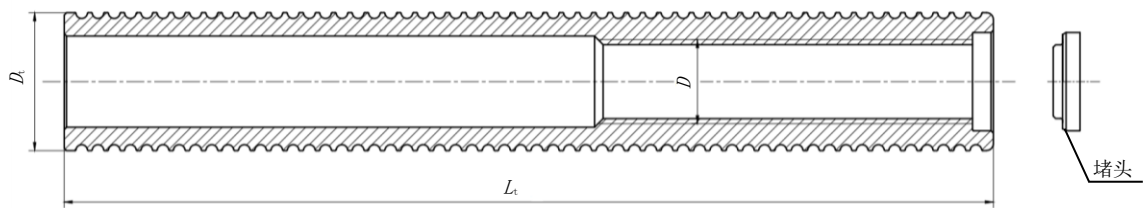
图9 双圆螺母形式

5.2.4.2 圆螺母及双圆螺母螺纹采用圆弧形螺纹结构时，螺纹的基本尺寸和公差应符合 NB/T 10214 的规定；采用普通螺纹结构时，螺纹的基本尺寸和公差应符合 GB/T 196 和 GB/T 197 的规定。

5.2.5 预埋螺套和堵头

5.2.5.1 常见的预埋螺套和堵头的结构型式如图 10 所示。

单位为毫米



标引序号说明：

$D$ ——内螺纹基本大径（公称直径）；

$D_s$ ——预埋螺套外径；

$L_s$ ——预埋螺套长度。

图10 预埋螺套和堵头型式

5.2.5.2 预埋螺套螺纹采用圆弧形螺纹结构时，螺纹基本尺寸和公差应符合 NB/T 10214 的规定；采用普通螺纹结构时，螺纹的基本尺寸和公差应符合 GB/T 196 和 GB/T 197 的规定。

6 技术要求

6.1 外观

6.1.1 双头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。

6.1.2 预埋螺套、六角螺母及垫圈外观不应有磕碰损伤。

## 6.2 材料

双头螺栓、圆螺母、双圆螺母、预埋螺套、堵头、六角螺母、垫圈的材质及化学成分宜按表 1 要求执行。

表1 叶片螺栓组件材料

类别	材料	材料执行标准
双头螺柱	42CrMoA	GB/T 3077-2015
	40CrNiMo	
预埋螺套	42CrMoA	GB/T 3077-2015
堵头	42CrMoA	GB/T 3077-2015
	40Cr	
	45#	GB/T 699-2015
	尼龙 6 或尼龙 66	/
圆螺母/双圆螺母	40CrNiMo	GB/T 3077-2015
	42CrMoA	
六角螺母	42CrMoA	GB/T 3077-2015
	35CrMoA	
垫圈	45#	GB/T 699-2015

## 6.3 尺寸与公差

- 6.3.1 圆弧螺纹叶片螺栓组件的基本尺寸、公差应符合 NB/T 10214 的规定。
- 6.3.2 普通螺纹叶片螺栓组件的基本尺寸、公差应符合 GB/T 196 和 GB/T 197 的规定。
- 6.3.3 六角螺母基本尺寸、公差应符合表 2 的规定，其它非常用规格应符合 GB/T 6170 的规定。

表2 常用螺母规格

单位为毫米

螺纹规格 $D$		M36	M39	M42	Rd36	Rd39
螺距 $P$		4	4	4.5	6.35	6.35
$d_s$	max	38.90	42.10	45.40	38.90	42.10
	min	36.00	39.00	42.00	36.00	39.00
$d_{s, \min}$		51.10	55.90	60.00	51.10	55.90
$e_{\min}$		60.79	66.44	71.30	60.79	66.44
$m$	max	31.00	33.40	34.00	41.00	43.00
	min	29.40	31.80	32.40	40.00	41.00
$s$	max	55.00	60.00	65.00	55.00	60.00
	min	53.80	58.80	63.10	53.80	58.80

- 6.3.4 垫圈的基本尺寸、公差应符合表 3 的规定，其它非常用平垫圈基本尺寸、公差应符合 GB/T 97.1-2002 的规定，其它非常用倒角型垫圈基本尺寸、公差应符合 GB/T 97.2-2002 的规定。

表3 常用平垫圈规格

单位为毫米

螺纹规格 ( <i>d</i> )	公称规格	36	39	42
<i>d</i> <sub>1</sub>	公称 (min)	37	42	45
	max	37.62	42.62	45.62
<i>d</i> <sub>2</sub>	min	64.80	70.80	76.80
	公称 (max)	66	72	78
<i>h</i>	公称	5	6	8
	min	4.4	5.4	7
	max	5.6	6.6	9

6.4 机械性能

6.4.1 双头螺柱

双头螺柱应在热处理后对两端进行滚制螺纹加工，机械性能应符合表 4 的规定。

表4 双头螺柱机械性能

序号	检验项目		要求	
			10.9 级	12.9 级
1	力学性能	抗拉强度 <i>R</i> <sub>m</sub>	≥1040 MPa	≥1220 MPa
2		规定非比例延伸 0.2%的应力 <i>R</i> <sub>p0.2</sub>	≥940MPa	≥1100MPa
3		机械加工试件的断后延伸率 <i>A</i>	≥9%	≥8%
4		机械加工试件的断面收缩率 <i>Z</i>	≥48%	≥44%
5	冲击性能	吸收能量 <i>KV</i> <sub>2</sub> (−40℃)	≥27 J	≥19 J
6	硬度	维氏硬度/HV <i>F</i> ≥98N	320HV~380HV	385HV~435HV
7		表面硬度/HV0.3	不应比芯部硬度高出 30HV	
8	脱碳层	螺纹末脱碳层的最小高度 <i>E</i>	≥2/3 <i>H</i> <sub>t</sub>	≥3/4 <i>H</i> <sub>t</sub>
9		全脱碳层的最大深度 <i>G</i>	≤0.015 mm	

6.4.2 圆螺母和预埋螺套

圆螺母（双圆螺母）和预埋螺套的机械性能应符合表 5 的规定。

表5 圆螺母和预埋螺套机械性能

序号	检验项目	要求
1	规定非比例延伸 0.2 %的应力 <i>R</i> <sub>p0.2</sub>	≥800 MPa
2	保证载荷	施加保证载荷，保持 15 s，卸载后可以用手将螺母旋出
3	维氏硬度/HV	272 HV~353 HV
4	−40℃吸收能量 <i>KV</i> <sub>2</sub>	≥27 J

6.4.3 六角螺母

六角螺母的机械性能应符合表 6 的规定。

表6 六角螺母机械性能

序号	检验项目	要求
1	维氏硬度/HV	272HV~353HV
2	保证载荷	施加保证载荷，保持 15 s，卸载后可以用手将螺母旋出

#### 6.4.4 垫圈

垫圈的硬度应满足 GB/T 97.1-2002 第 4 章中 300HV~370HV 要求或 GB/T 97.2-2002 中第 4 章中 300 HV~370HV 要求。

#### 6.4.5 堵头

堵头材料的软化点应不小于 150℃，且同预埋螺套安装后应保证气密性。

#### 6.5 螺母保证载荷

六角螺母、圆螺母、预埋螺套的保证载荷应符合表 7 的规定，10 级螺母保证应力为 1060MPa，12 级螺母保证应力为 1200MPa。

表7 螺母保证载荷

螺纹公称直径 $d$ mm	螺纹公称应力截面积 $A_s$ mm <sup>2</sup>	保证载荷 N	
		性能等级	
		10 级	12 级
36	817	866 000	980 400
39	976	1 035 000	1 171 000
42	1 120	1 187 200	1 344 000

#### 6.6 表面处理

6.6.1 叶片螺栓组件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 9μm~25μm。

6.6.2 依据客户对环保或叶片螺栓组件疲劳性能方面的特殊需求，叶片螺栓组件也可采用锌铝涂层，涂层厚度应为 9μm~25μm。

6.6.3 叶片螺栓组件表面处理，应能满足互配性；涂层连续，无漏涂、气泡、剥落、裂纹，有效螺纹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。

6.6.4 叶片螺栓组件采用非电解镀锌片涂层时，可以采用中性盐雾试验或硝酸铵快速腐蚀试验检测表面防腐性能。采用中心盐雾试验时，应符合 GB/T 10215 的规定，依据实际工况需求分为三级：1 级要求耐中性盐雾试验 1440 h 无红锈出现；2 级要求耐中性盐雾试验 1000 h 无红锈出现；3 级要求耐中性盐雾试验 720 h 无红锈出现。采用硝酸铵快速腐蚀试验时，应符合 GB/T 5267.2 中的规定。

6.6.5 叶片螺栓组件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。

6.6.6 叶片螺栓组件也可依据客户要求定制其他表面防腐方式。



## 6.7 扭矩系数

叶片螺栓组件扭矩系数一般应为 0.10~0.13, 偏差应不大于 0.01。若无特殊要求, 安装时润滑剂涂抹部位分别是双头螺柱外螺纹、六角螺母内螺纹和垫圈表面。

## 6.8 无损检测

6.8.1 双头螺柱坯料热处理后, 进行磁粉探伤, 应符合 NB/T 47013.4-2015 中 I 级规定。

6.8.2 双头螺柱坯料热处理后, 进行超声探伤, 应符合 GB/T 4162-2022 中 A 级规定 (如热处理前原材料已进行同等要求的超声探伤, 此项检测可以不再重复进行)。

## 6.9 成品疲劳性能

成品双头螺柱、六角螺母和垫圈的连接副应在指定循环载荷下进行疲劳性能试验, 叶片螺栓组件疲劳性能依据实际需求分为三级: 1 级要求在  $(400 \pm 80)$  MPa 的循环应力范围下, 经受 200 万次循环载荷后双头螺柱与螺母不发生破坏; 2 级要求在  $(400 \pm 60)$  MPa 的循环应力范围下, 经受 200 万次循环载荷后双头螺柱与螺母不发生破坏; 3 级要求在  $(400 \pm 42.5)$  MPa 的循环应力范围下, 经受 200 万次循环载荷后双头螺柱与螺母不发生破坏。应力截面取双头螺柱最小应力截面积。

## 6.10 防松性能

若客户有特殊防松性能需求、采用双叠自锁防松垫圈时, 可根据客户要求对残余轴力衰减或临界横向力防松性能试验。双头螺柱、六角螺母和垫圈的连接副在特定振动次数后, 残余轴力与初始轴力之比应不低于需方要求, 其最低防松性能要求为振动 1500 次后残余轴力与初始轴力之比应不低于 50 %。

## 7 试验方法

### 7.1 外观

7.1.1 双头螺柱表面涂覆处理前外观检验按 GB/T 5779.3 的规定执行。

7.1.2 目视检验埋螺套、六角螺母、垫圈外观质量。

### 7.2 材料成分

叶片螺栓组件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, 化学成分测定按 GB/T 20123、GB/T 20125 或 GB/T 4336 的规定进行。

### 7.3 尺寸检验

7.3.1 采用游标卡尺检验外螺纹大径与内螺纹小径。

7.3.2 外螺纹表面涂 (镀) 层加工前应满足螺纹量规检验要求, 通端螺纹环规应与工件外螺纹旋合通过, 止端螺纹环规允许与工件外螺纹部分旋合, 旋合量不应超过三个螺距。外螺纹表面涂 (镀) 层加工后对通端螺纹环规不做要求, 但止端螺纹环规允许与工件外螺纹部分旋合, 旋合量不应超过三个螺距。

7.3.3 内螺纹应满足螺纹量规检验要求, 通端螺纹塞规应与工件外螺纹旋合通过, 止端螺纹塞规允许与工件外螺纹部分旋合, 旋合量不应超过三个螺距。

7.3.4 采用游标卡尺检验六角螺母、垫圈外形尺寸。

## 7.4 机械性能

7.4.1 叶片螺栓组件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。

7.4.2 叶片螺栓材料组件硬度试验方法按 GB/T 4340.1 的规定进行。

7.4.3 叶片螺栓组件材料冲击试验取样位置及试样制备按 GB/T 2975 的规定进行, 低温冲击吸收能量和低温脆性转变温度的试验按 GB/T 229 的规定进行, 取样数量应不少于 3 个。

7.4.4 叶片螺栓组件螺纹脱碳层深度试验按 GB/T 3098.1 的规定执行。

## 7.5 保证载荷

六角螺母、圆螺母、双圆螺母和预埋螺套的保证载荷试验按 GB/T 3098.2 的规定执行。

## 7.6 表面处理

7.6.1 叶片螺栓组件涂层胶带附着力测试和厚度测试按 GB/T 5267.2 规定执行。

7.6.2 叶片螺栓组件采用中性盐雾试验按 GB/T 10125 规定执行, 采用硝酸铵快速腐蚀试验按 GB/T 5267.2 规定执行。

## 7.7 扭矩系数

7.7.1 双头螺柱、六角螺母和垫圈组成的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。

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

式中:

$K$ ——扭矩系数;

$T$ ——施拧扭矩, 单位为牛米 ( $N \cdot m$ );

$P$ ——双头螺柱预拉力, 单位为牛顿 ( $N$ );

$d$ ——双头螺柱螺纹公称直径, 单位为毫米 ( $mm$ )。

7.7.2 施拧扭矩  $T$  施加于六角螺母上的扭矩, 其误差不应大于测试扭矩值的 2%, 使用的扭矩扳手准确度级别应不低于 JJG 707-2014 中规定的 2 级。

7.7.3 双头螺柱预拉力  $P$  用轴力试验机测定, 其误差不应大于测试预拉力值的 2%。预拉力  $P$  一般由叶片工作载荷计算确定, 未明确规定时可按公式 (2) 计算。

$$P = 70\% \times R_{p0.2} \times A_{\min} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$R_{p0.2}$ ——双头螺柱材料规定非比例延伸 0.2% 的应力, 单位为兆帕 ( $MPa$ );

$A_{\min}$ ——双头螺柱最小应力面积, 单位为平方毫米 ( $mm^2$ )。

7.7.4 组装连接副时, 若采用倒角垫圈, 垫圈有倒角的一侧应朝向螺母支撑面。试验时, 垫圈不应发生转动, 否则试验无效。

## 7.8 无损检测

- 7.8.1 双头螺柱坯料磁粉探伤按照 GB/T 47013.4-2015 中相关规定执行。
- 7.8.2 双头螺柱坯料超声探伤按照 GB/T 4162 中相关规定执行。

7.9 成品疲劳性能

- 7.9.1 叶片螺栓组件成品试验用的一套连接副应由一支双头螺柱、两个六角螺母和两个垫圈组装而成。
- 7.9.2 叶片螺栓组件成品疲劳试验应符合 GB/T 13682 的规定。

7.10 防松性能

叶片螺栓组件防松性能检验按照 GB/T 10431 中规定进行，在不同防松方式规定的试验紧固轴力及润滑条件下，对连接副进行频率为 12.5 Hz、振动次数为 1500 次的横向振动试验，记录连接副残余轴力与初始轴力之比或临界横向振动力。

8 检验规则

8.1 检验分类

叶片螺栓组件的检验分型式试验和出厂检验。

8.2 型式试验

8.2.1 试验对象

叶片螺栓组件在下列情况下应进行型式试验：

- a) 首次生产或转场生产时；
- b) 在结构、材料、工艺有重大变化时，足以影响产品性能或质量时；
- c) 产品长期停产后，恢复生产时；
- d) 其他需要进行型式试验的情况。

8.2.2 试验项目

叶片螺栓组件的型式试验项目应符合表 8 的规定。

表8 叶片螺栓组件检验项目及要

序号	检验项目	型式试验	出厂检验	要求章条号	试验方法对应章条号
1	外观	●	●	6.1	7.1
2	化学成分	●	●	6.2	7.2
3	尺寸与公差	●	●	6.3	7.3
4	拉伸性能	●	●	6.3	7.3
5	硬度	●	●	6.3	7.3
6	低温冲击	●	●	6.3	7.3
7	脱碳层	●	●	6.4	7.4
8	保证载荷	●	—	6.5	7.5
9	耐盐雾腐蚀性能	●	—	6.5	7.5

表 8 （续）

序号	检验项目	型式试验	出厂检验	要求章条号	试验方法对应章条号
10	涂层附着力和厚度	●	—	6.6	7.6
11	扭矩系数	●	—	6.7	7.7
12	双头螺柱原材料无损检测	●	●	6.8	7.8
13	成品疲劳性能	△	—	6.9	7.9
14	防松性能	△	—	6.10	7.10
●为必检项目，△为按客户要求，—为不检项。					

### 8.2.3 检验样品数量

叶片螺栓组件的型式试验样品数量应符合表 9 的规定。

表9 叶片螺栓组件检验样品数量

序号	检验项目	取样数量
1	外观	2 %
2	化学成分	1 个/炉批
3	尺寸与公差	2 %
4	拉伸性能	2 个/热处理批
5	硬度	2 个/热处理批
6	低温冲击	2 个/热处理批
7	脱碳层	2 个/热处理批
8	保证载荷	1 个/生产批
9	耐盐雾腐蚀性能	1 个/年
10	涂层附着力和厚度	2 个/生产批
11	扭矩系数	不少于 5 个/半年
12	双头螺柱原材料无损检测	100%
13	成品疲劳性能	1 个/两年
14	防松性能	5 个/年

### 8.2.4 判定规则

叶片螺栓组件所有试验项目经试验均符合要求时，则判定叶片螺栓组件型式试验合格。若有 1 项不符合要求，应针对该生产批加倍取样进行复检。若复检符合要求，判定叶片螺栓组件型式试验合格。若复检不符合要求，则判定该生产批叶片螺栓组件型式试验不合格。

## 8.3 出厂检验

### 8.3.1 检验项目

叶片螺栓组件的出厂检验项目应符合表 8 的规定。

### 8.3.2 组批规则

叶片螺栓组件应按批检验。同一炉批指产品毛坯轧制时单一炉子中同一批量生产的半成品。同一热处理批指按相同热处理工艺进行不间断作业的同一批次热处理加工的半成品。同一生产批指相同材料、设备、工艺方法生产的特定数量的产品。

### 8.3.3 检验样品数量

叶片螺栓组件的出厂检验样品数量应符合表 9 的规定。

### 8.3.4 判定规则

8.3.4.1 叶片螺栓组件外观检验符合要求时，则判定该产品外观检验合格，若不符合要求，允许返修后复验。若复验仍不符合要求，则判定该产品外观检验不合格。

8.3.4.2 叶片螺栓组件化学元素、物理力学性能、硬度等检验符合要求时，则判定叶片螺栓组件该检验项目合格。若有不符合要求的项目，允许加倍取样进行复检。若复检符合要求，仍判定叶片螺栓组件该项目检验合格。若复检仍不符合要求，则判定叶片螺栓组件该项目检验不合格。

8.3.4.3 以上两项均合格，则判定叶片螺栓组件出厂检验合格。

## 9 标志、包装、运输、贮存

### 9.1 标志

9.1.1 双头螺柱、圆螺母、预埋螺套成品应标记生产厂家代号、生产批次编号、性能等级，字样清晰。

9.1.2 六角螺母、垫圈应标记性能等级，字样清晰。

### 9.2 包装

叶片螺栓组件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。

### 9.3 运输

叶片螺栓组件整体运输过程中，应保证包装物的完好无损。

### 9.4 贮存

叶片螺栓组件应贮存在清洁、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，避免叶片螺栓组件发生锈蚀。