



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 32076.11—202×

## 预载荷高强度栓接结构连接副

### 第 11 部分：载荷指示垫圈

High-strength structural bolting assemblies for preloading—

Part 11: Load indicating washer

（征求意见稿）

2022-09-19

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

202×-××-××发布

202×-××-××实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会

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 .....	2
4 载荷指示垫圈 .....	2
4.1 概述 .....	2
4.2 型式尺寸 .....	2
4.3 载荷指示垫圈技术条件和引用标准 .....	3
4.4 载荷指示垫圈功能试验 .....	3
4.5 载荷指示垫圈压缩载荷试验方法 .....	4
4.6 标志 .....	6
4.7 标记 .....	6
5 螺母面垫圈(HN)和螺栓面垫圈(HB) .....	7
5.1 尺寸 .....	7
5.2 螺母面垫圈(HN)和螺栓面垫圈(HB)条件和引用标准 .....	8
5.3 标志 .....	9
5.4 标记 .....	9
6 功能特性 .....	9
6.1 栓接连接副 .....	9
6.2 装配中载荷指示垫圈功能特性 .....	10
6.3 带载荷指示垫圈的栓接连接副功能特性 .....	11
6.4 技术要求 .....	11
7 验收规则, 标志与包装 .....	12
7.1 验收规则 .....	12
7.2 标志 .....	12
7.3 包装 .....	12

## 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。

本文件是 GB/T 32076《预载荷高强度栓接结构连接副》的第 11 部分。GB/T 32076 已经发布了以下部分：

- 第 1 部分：通用要求；
- 第 2 部分：预载荷适应性；
- 第 3 部分：HR 型 大六角头螺栓和螺母连接副；
- 第 4 部分：HV 型 大六角头螺栓和螺母连接副；
- 第 5 部分：平垫圈；
- 第 6 部分：倒角平垫圈；
- 第 7 部分：M39～M64 大六角头螺栓和螺母连接副；
- 第 8 部分：扭剪型圆头螺栓和螺母连接副；
- 第 9 部分：扭剪型大六角头螺栓和螺母连接副；
- 第 10 部分：安装技术条件；
- 第 11 部分：载荷指示垫圈。

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。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国紧固件标准化技术委员会（SAC/TC 85）归口。

本文件起草单位：中机生产力促进中心有限公司等。

本文件由全国紧固件标准化技术委员会负责解释。

## 引言

GB/T 32076《预载荷高强度栓接结构连接副》规范了我国预载荷高强度栓接结构连接副的材料选用、设计选型、加工制造和试验验收，广泛应用于风力发电装备、工业与民用建筑、桥梁与塔桅结构、锅炉钢结构、起重机械及其他钢结构领域，拟由 11 个部分构成：

- 第 1 部分：通用要求；
- 第 2 部分：预载荷适应性；
- 第 3 部分：HR 型 大六角头螺栓和螺母连接副；
- 第 4 部分：HV 型 大六角头螺栓和螺母连接副；
- 第 5 部分：平垫圈；
- 第 6 部分：倒角平垫圈；
- 第 7 部分：M39～M64 大六角头螺栓和螺母连接副；
- 第 8 部分：扭剪型圆头螺栓和螺母连接副；
- 第 9 部分：扭剪型大六角头螺栓和螺母连接副；
- 第 10 部分：安装技术条件；
- 第 11 部分：载荷指示垫圈。

GB/T 32076.1 规定了预载荷高强度栓接结构连接副术语和定义、机械性能、试验项目、质量控制和一致性评价；GB/T 32076.2 规定了连接副满足不同安装条件下，保证载荷一致性的适应性试验方法；GB/T 32076.3~32076.6 规定了不同载荷极限设计条件下，HR 型和 HV 型连接副结构产品尺寸；GB/T 32076.7 针对 M39～M64 大规格产品，通过材料、成型工艺验证和性能试验验证，规定了尺寸及技术要求；GB/T 32076.8 和 GB/T 32076.9 规定了扭剪型螺栓连接副产品的型式尺寸和技术条件；GB/T 32076.10 以上述产品标准为基础，规定了满足设备可靠性要求的预载荷高强度栓接结构连接副扭矩法安装要求。

本文件规定的载荷指示垫圈是放置在螺栓下或螺母下，与螺母面垫圈(HN)或螺栓面垫圈(HB)一起，和符合 GB/T 32076.3、GB/T 32076.4 的预载荷高强度栓接结构连接副组合使用的载荷指示装置。载荷指示垫圈一个面上具有在负载下压缩的凸起，采用合适的装配拧紧程序，当拧紧后(凸起被压缩)垫圈面之间间隙在规定值范围内，预载荷高强度栓接结构连接副可以获得规定的预载荷。

预载荷高强度栓接结构连接副对制造和润滑的差异非常敏感，因此，由同一制造者供应预载荷高强度栓接结构连接副，并保证其功能特性非常重要。同理，预载荷高强度栓接结构连接副的表面处理应由同一制造商控制。

# 预载荷高强度栓接结构连接副

## 第11部分：载荷指示垫圈

### 1 范围

本文件与 GB/T 32076.1 和 GB/T 32076.2 规定了适用于预载荷高强度栓接结构连接副组件的载荷指示垫圈、螺母面垫圈(HN)和螺栓面垫圈(HB)的一般尺寸、公差、材料和功能特性及试验方法。

载荷指示垫圈是螺纹规格为 M12~M36、性能等级为 8.8/8 和 10.9/10 的 GB/T 32076.3、GB/T 32076.4 预载荷高强度栓接结构连接副的组件。

预载荷高强度栓接结构连接副允许的预载荷 $\geq 0.7R_m \times A_{s,nom}$ ，符合 GB/T 32076.3 的 HR 型由螺栓的塑性伸长或符合 GB/T 32076.4 的 HV 型由旋合螺纹的塑性变形保证延伸性能。

预载荷高强度栓接结构连接副可能包含符合 GB/T 32076.6 或 GB/T 32076.5(仅在螺母下)的垫圈。

注：为确保预载荷高强度栓接结构连接副的正确使用，请参阅 JGJ 82（修订稿）。

预载荷高强度栓接结构连接副预载荷适应性试验方法见 GB/T 32076.2 和本文件第 6 章。

本文件适用于工业与民用建筑、桥梁、塔桅结构、锅炉钢结构、起重机械、输送管道、机体盲孔螺栓安装及其他钢结构用预载荷高强度栓接结构连接副。

### 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(包括所有修改单)适用于本文件。

GB/T 90.1 紧固件 验收检查

GB/T 90.2 紧固件 标志与包装

GB/T 1237 紧固件的标记方法

GB/T 3103.3 紧固件公差 平垫圈

GB/T 5267.2 紧固件 非电解锌片涂层

GB/T 5267.3 紧固件 热浸镀锌层

GB/T 5276 紧固件 螺栓、螺钉、螺柱及螺母 尺寸代号和标注

GB/T 16825.1 静力单轴试验机的检验 第 1 部分：拉力和(或)压力试验机测力系统的检验与校准

GB/T 32076.1 预载荷高强度栓接结构连接副 第 1 部分：通用要求

GB/T 32076.2 预载荷高强度栓接结构连接副 第 2 部分：预载荷适应性

GB/T 32076.3 预载荷高强度栓接结构连接副 第 3 部分：HR 型大六角头螺栓和螺母连接副

GB/T 32076.4 预载荷高强度栓接结构连接副 第 4 部分：HV 型大六角头螺栓和螺母连接副

GB/T 32076.5 预载荷高强度栓接结构连接副 第 5 部分：平垫圈

GB/T 32076.6 预载荷高强度栓接结构连接副 第 6 部分：倒角平垫圈

JGJ 82 钢结构高强度螺栓连接技术规程（修订稿）  
ISO 17668 铁制品上的锌扩散涂层 渗锌 规范

3 术语和定义

GB/T 32076.1界定的术语和定义适用于本文件。

4 载荷指示垫圈

4.1 一般要求

载荷指示垫圈的作用是显示预载荷高强度栓接结构连接副达到规定的预载荷。载荷指示垫圈的使用应符合 6.1，带或不带螺母面垫圈(HN)或螺栓面垫圈(HB)。

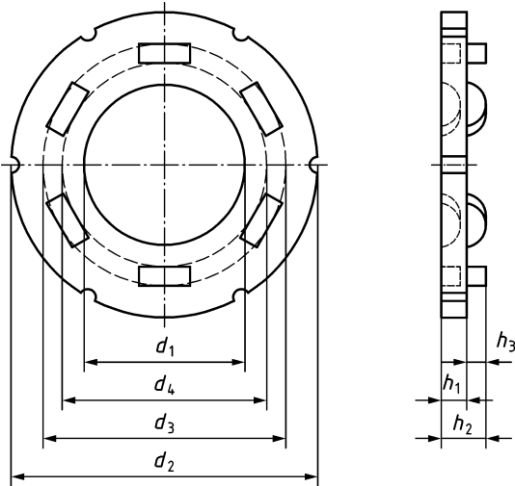
根据 GB/T 32076.1，载荷指示垫圈应作为预载荷高强度栓接结构连接副的组件进行评价。

符合 GB/T 32076.2 规定的预载荷高强度栓接结构连接副应由同一制造者提供。带有载荷指示垫圈的预载荷高强度栓接结构连接副应包括螺栓、螺母、垫圈和载荷指示垫圈，如需要，也可以包括螺母面垫圈(HN)和/或螺栓面垫圈(HB)。

4.2 型式尺寸

安装前，载荷指示垫圈的型式和尺寸按图 1 和表 1。载荷指示垫圈上凸起的尺寸和数量应满足 4.4 的要求，数量应不少于 4 个，且等角度分布。凸起的形状由制造商自行选择，可采用图 1 所示以外的其他型式。

尺寸代号和标注应符合 GB/T 5276。



- 标引序号说明：
- $d_1$ ——内径；
  - $d_2$ ——外径；
  - $d_3$ ——凸起外切圆直径；
  - $d_4$ ——凸起内切圆直径；
  - $h_1$ ——垫圈厚度（不包括凸起）；
  - $h_2$ ——总高度（包括凸起）；

$h_3$ ——凸起高度。

图1 载荷指示垫圈尺寸（以6个凸起示例）

表 1 中尺寸适用于涂镀前载荷指示垫圈。

载荷指示垫圈可在外径上制出凹槽或其他特征，对应凸起间隔位置，以标识塞尺应插入测量位置。

表1 载荷指示垫圈的尺寸 单位为毫米

规格 $d$ (螺纹公称直径)	$d_1$		$d_2$		$h_1$	$h_2$	$h_3$	$d_3$	$d_4$
	min	max	min	max	min	max	min	max	min
12	12.75	12.85	26.0	32.5	2.5	5.5	0.8	20.0	13.85
16	16.75	16.85	35.0	36.8	3.0	6.0	0.8	25.0	17.85
20	20.95	21.05	41.0	46.0	3.5	6.5	0.8	29.0	22.05
22	23.05	23.15	46.5	50.6	4.0	7.0	0.8	33.0	24.15
24	25.15	25.25	50.0	55.2	4.0	7.0	0.8	38.0	26.25
27	28.30	28.40	54.0	62.1	4.0	7.0	0.8	43.0	29.40
30	31.45	31.55	59.0	69.0	4.0	7.0	0.8	46.5	32.55
36	37.75	37.85	78.0	83.0	4.0	7.5	0.8	56.0	38.85

4.3 技术要求

载荷指示垫圈技术要求按表 2。

表2 载荷指示垫圈技术要求

材料		钢
通用要求		GB/T 32076.1和 GB/T 32076.2
热处理		淬火并回火或控制轧制并回火
硬 度		8H和10H， $\leq 350\text{HV}$
公 差	产品等级	除表1规定外，C级
	标 准	GB/T 3103.3
表面处理 <sup>a</sup>		不经处理(无涂镀层)
		粉末渗锌技术要求按ISO 17668 <sup>b</sup>
		如需其他技术要求或表面处理，应由供需协议 <sup>c</sup>
螺栓和螺母		GB/T 32076.3或GB/T 32076.4
垫圈		GB/T 32076.5或GB/T 32076.6
<sup>a</sup> 载荷指示垫圈不应进行电镀或采用任何可能导致氢脆的工艺过程。		
<sup>b</sup> 粉末渗锌被认为具有相当于热浸镀锌的防腐蚀作用。		
<sup>c</sup> 供需双方可以协商使用其他涂层，但不应降低机械性能或功能特性。不允许使用镉或镉合金镀层。		

4.4 压缩载荷

载荷指示垫圈应在经过校准的载荷测量装置上进行试验，试验程序见4.5。当载荷指示垫圈凸起被压缩至间隙为0.4 mm时，压缩载荷应满足表3要求。

制造者应对载荷指示垫圈成品进行试验，每生产批次试验数量应不少于8件，所有样品应符合要

求。应记录试验扭矩。

表3 在0.40 mm间隙时的压缩载荷

单位为千牛

规格 <i>d</i> (螺纹公称直径)	压缩载荷			
	性能代号 H8		性能代号 H10	
	min	max	min	max
12	47	56	59	71
16	88	106	110	132
20	137	164	172	206
22	170	204	212	254
24	198	238	247	296
27	257	308	321	385
30	314	377	393	472
36	458	550	572	688

注：根据GB/T 32076.2，最小值等于0.7  $R_m \times A_s$ 。

4.5 压缩载荷试验方法

4.5.1 一般要求

本试验方法用于测量载荷指示垫圈在规定变形状态下达到的压缩载荷。根据载荷指示垫圈厚度 $h_1$ 将千分表置零，然后将载荷指示垫圈凸起压缩至规定的间隙，测量此时产生的压缩载荷。

4.5.2 试验装置

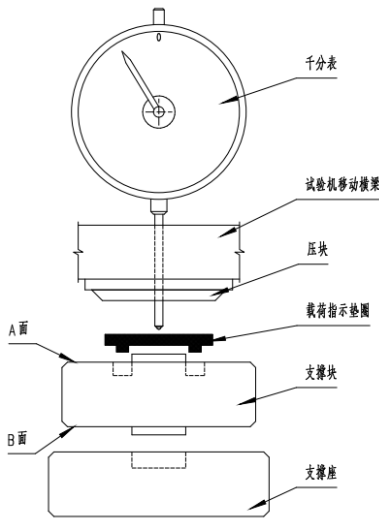


图2 试验装置

试验装置如图2所示，包括试验机、千分表、压块、支撑块和支承座。

应沿轴向对载荷指示垫圈施加压缩载荷。

试验装置的测力系统应符合GB/T 16825.1的规定，达到1级精度或以上。

间隙测量应采用精度至少为0.001mm的千分表，也可以是其他可精确指示加载时轴向位移的计量器具。

注：由于螺栓尺寸和涂层特性可存在允许的误差，因此不能把螺栓直接用于测量载荷指示垫圈功能特性。

4.5.3 支撑块

支撑块应在一侧开槽(见图3)，当载荷指示垫圈凸起未被压缩时可置于槽中，使凸起一侧的平面与支撑块平面密贴，以便千分表置零。支撑块的硬度应不低于50 HRC。

支撑块尺寸按图4和表4，外径应大于载荷指示垫圈的外径，且不小于75 mm。



支撑块两平面的平行度不大于0.005mm。

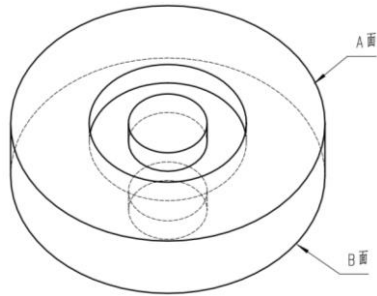


图3 支撑块

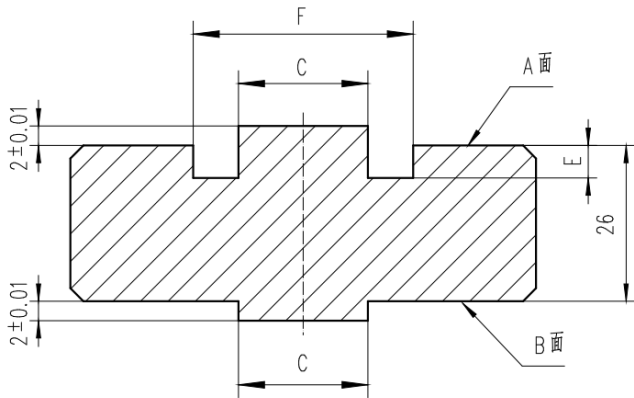


图4 支撑块尺寸

表4 支撑块尺寸

单位为毫米

规格 <i>d</i> (螺纹公称直径)	<i>C</i> <sup>a</sup>		<i>E</i>	<i>F</i>	
	min	max	min	min	max
12	10.5	11.0	3.0	23.0	23.5
16	15.0	15.5	3.0	30.0	30.5
20	19.0	19.5	3.0	34.0	34.5
22	21.0	21.5	3.0	38.0	38.5
24	23.0	23.5	3.0	43.0	43.5
27	26.0	26.5	3.0	49.0	49.5
30	29.0	29.5	3.0	53.5	54.0
36	35.0	35.5	3.5	63.0	63.5

<sup>a</sup> 圆柱形凸台的高度为 2mm±0.01mm，A面和B面凸台高度差不超过0.005mm。

4.5.4 压块与支承座

压块端面最小直径为75 mm，且应大于载荷指示垫圈的外径。  
支承座直径应大于相应支撑块的直径，并且应能够容纳支撑块的圆柱形凸台（见图4中C）。  
压块和支承座两平面的平行度应不大于0.0125 mm。  
压块和支承座的硬度应不低于50 HRC。

4.5.5 校准

试验装置的测力系统和千分表每年至少校准一次。校准证书应保留。

4.5.6 试验程序

4.5.6.1 一般要求

应在环境温度为10℃~35℃条件下进行试验。  
应根据被测载荷指示垫圈的规格选择支撑块。

4.5.6.2 千分表置零

千分表置零（见图5 a））程序如下：

- 载荷指示垫圈放置在支撑块的 A 面（见图 3），凸起部分进入支撑块凹槽；
- 将支撑块和载荷指示垫圈放入试验装置中，支撑块的 B 面面向支承座；
- 在试验过程中，千分表测量触头通过载荷指示垫圈的孔与支撑块的中心平面接触；
- 施加压缩载荷，达到被测载荷指示垫圈规格和性能代号（H8 或 H10）所需的最小压缩载荷（见表 3）时停止加载，千分表置零；
- 释放载荷，并从试验装置上分别取下支撑块和载荷指示垫圈；
- 把支撑块倒置，使带凹槽的 A 面向下。

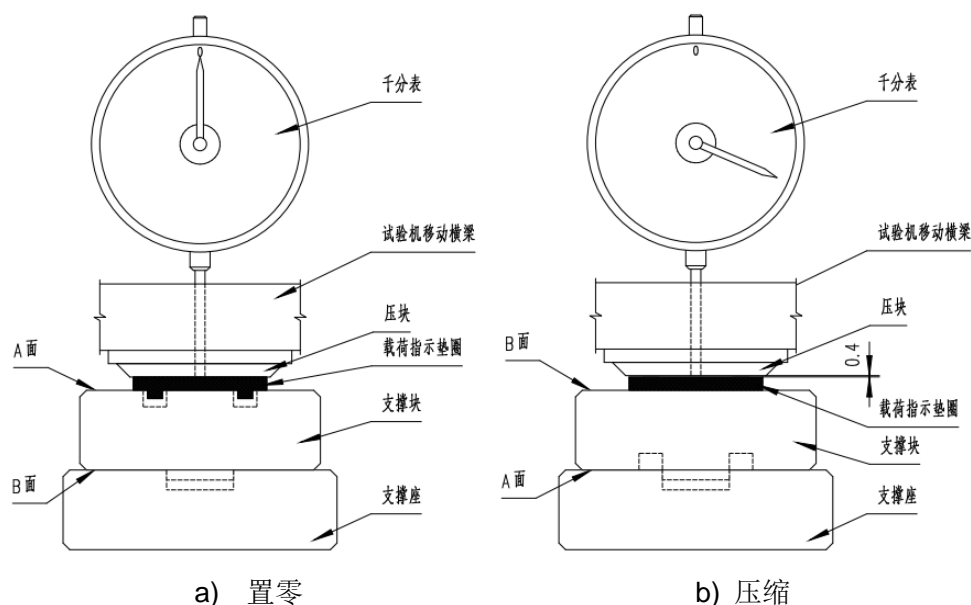


图 5 压缩载荷试验

#### 4.5.6.3 压缩载荷测量

压缩载荷测量（见图5 b））程序如下：

- 将 4.5.6.2 中载荷指示垫圈放置在支撑块的 B 面，带凸起面向上；
- 将支撑块和载荷指示垫圈放入试验装置中，支撑块的 A 面与支承座对中密贴；
- 在试验过程中，千分表测量触头通过载荷指示垫圈的孔与支撑块的中心平面接触；
- 施加压缩载荷直到千分表读数等于 0.40 mm，即压块端面与载荷指示垫圈表面之间的间隙是 0.40mm；
- 应在 30s 内完成从载荷指示垫圈开始压缩至千分表读数达到 0.40mm。

#### 4.5.6.4 读取和记录

读取并记录千分表读数为0.40mm时对应的压缩载荷值。

### 4.6 标志

载荷指示垫圈应标志预载荷高强度栓接结构连接副制造者识别标志及性能等级。

载荷指示垫圈应在有凸起面用凹字进行标志。

宜在载荷指示垫圈表面标记批号。

### 4.7 标记

#### 4.7.1 标记方法

标记方法按GB/T 1237规定。

#### 4.7.2 标记示例

规格为  $d = 30 \text{ mm}$ ，不经表面处理，性能代号H10的预载荷高强度栓接结构连接副用载荷指示垫

圈：

载荷指示垫圈 GB/T 32076.11-30-H10

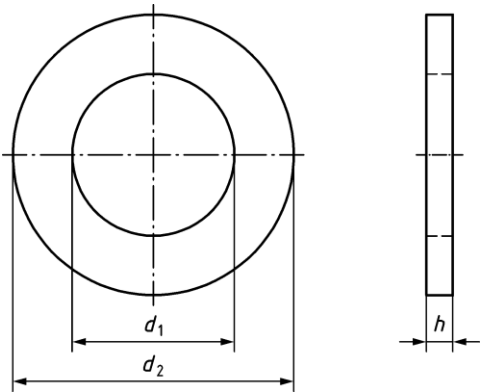
如要求其他表面处理，则应增加标记。如渗锌（TDZn）：

载荷指示垫圈 GB/T 32076.11-30-H10-TDZn

5 螺母面垫圈(HN)和螺栓面垫圈(HB)

5.1 型式尺寸

螺母面垫圈(HN)和螺栓面垫圈(HB) 的型式和尺寸按图6、图7和表5、表6。  
尺寸代号和标注应符合GB/T 5276。



标引序号说明：

$d_1$ ——内径；

$d_2$ ——外径；

$h$ ——厚度。

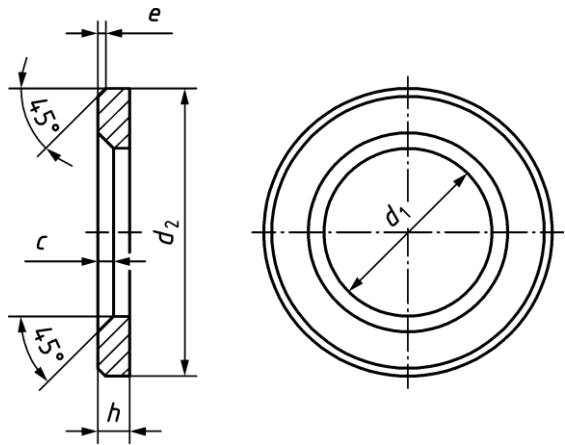
图6 螺母面垫圈(HN)

表5 螺母面垫圈(HN)尺寸

单位为毫米

规格 <i>d</i> (螺纹公称直径)	<i>d</i> <sub>1</sub>		<i>d</i> <sub>2</sub>		<i>h</i>	
	min	max	min	max	min	max
12	12.1	12.35	22.7	24	2.7	4.3
16	16.1	16.35	27.7	29	3.7	4.3
20	20.1	20.40	34.4	36	3.7	4.3
22	22.3	22.60	37.4	39	3.7	4.3
24	24.2	24.50	41.4	43	3.7	4.3
27	27.2	27.55	46.4	48	4.4	5.6
30	30.2	30.55	50.1	52	4.4	5.6
36	36.2	36.55	60.1	62	5.4	6.6

注：垫圈仅安装在螺纹部分。有些情况下，垫圈内径( $d_1$ )小于GB/T 32076.3和GB/T 32076.4规定的螺栓杆部直径最大值。



标引序号说明:

- $d_1$ ——内径;
- $d_2$ ——外径;
- $h$ ——厚度;
- $c$ ——内倒角;
- $e$ ——外倒角。

图7 螺栓面垫圈(HB)

表6 螺栓面垫圈(HB)尺寸 单位为毫米

规格 $d$ (螺纹公称直径)	$d_1$		$d_2$		$h$		$c$		$e$	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
12	13	13.27	23.48	24	2.7	3.3	1.6	1.9	0.50	1.0
16	17	17.27	29.48	30	3.7	4.3	1.6	1.9	0.75	1.50
20	21	21.33	36.38	37	3.7	4.3	2.0	2.5	0.75	1.50
22	23	23.33	38.38	39	3.7	4.3	2.0	2.5	0.75	1.50
24	25	25.33	43.38	44	3.7	4.3	2.0	2.5	0.75	1.50
27	28	28.52	49	50	4.4	5.6	2.5	3.0	1.0	2.0
30	31	31.62	54.80	56	4.4	5.6	2.5	3.0	1.0	2.0
36	37	37.62	64.80	66	5.4	6.6	2.5	3.0	1.25	2.50

5.2 螺母面垫圈(HN)和螺栓面垫圈(HB)技术要求

螺母面垫圈(HN)和螺栓面垫圈(HB)技术要求按表7。

表7 螺母面垫圈(HN)和螺栓面垫圈(HB)技术要求

材料		钢
通用要求		GB/T 32076.1和 GB/T 32076.2
热处理		淬火并回火
硬度 <sup>a</sup>	洛氏硬度	40 HRC ~ 45 HRC
	标准	GB/T 230.1
	维氏硬度	381 HV ~ 441 HV
	标准	GB/T 4340.1
公差	产品等级	除表5、表6规定外, C级
	标准	GB/T 3103.3
表面处理 <sup>b</sup>		不经处理(无涂镀层)
		粉末渗锌技术要求按ISO 17668
		如需其他技术要求或表面处理, 应由供需协议 <sup>c</sup>
螺栓和螺母		GB/T 32076.3或GB/T 32076.4
垫圈		GB/T 32076.5或GB/T 32076.6
<sup>a</sup> 如有争议, 维氏硬度试验为仲裁试验方法。		
<sup>b</sup> 螺母面垫圈(HN)和螺栓面垫圈(HB)不应进行电镀或采用任何可能导致氢脆的工艺过程。		
<sup>c</sup> 供需双方可以协商使用其他涂层, 但不应降低机械性能或功能特性。不允许使用镉或镉合金镀层。		

5.3 标志

5.3.1 螺母面垫圈(HN)

螺母面垫圈(HN)应标志预载荷高强度栓接结构连接副制造者识别标志和字母HN，应用凹字进行标志。

5.3.2 螺栓面垫圈(HB)

螺栓面垫圈(HN)应标志预载荷高强度栓接结构连接副制造者识别标志和字母HB，应用凹字进行标志。

5.4 标记

5.4.1 标记方法

标记方法按GB/T 1237规定。

5.4.2 标记示例

规格为 $d = 20$  mm，不经表面处理的预载荷高强度栓接结构连接副用螺母面垫圈(HN)：

垫圈 GB/T 32076.11-20HN

规格为 $d = 20$  mm，不经表面处理的预载荷高强度栓接结构连接副用螺栓面垫圈(HB)：

垫圈 GB/T 32076.11-20HB

6 功能特性

6.1 预载荷高强度栓接结构连接副

预载荷高强度栓接结构连接副由螺栓和螺母组成，应符合GB/T 32076.3和GB/T 32076.4的所有要求。与载荷指示垫圈共同进行试验时，应达到预载荷高强度栓接结构连接副的功能特性。预载荷高强度栓接结构连接副可以包括符合GB/T 32076.6或GB/T 32076.5(仅用于螺母支承面下)的垫圈和/或符合第5章规定的螺母面垫圈或螺栓面垫圈。应按图8和图9使用载荷指示垫圈。



- a) 载荷指示垫圈在螺栓头支承面下  
标引序号说明：
- 1——螺栓；
  - 2——螺母；
  - 3——螺栓面垫圈(HB)(性能等级8.8级不要求)；
  - 4——符合GB/T 32076.5或GB/T 32076.6垫圈；
  - 5——载荷指示垫圈。

- b) 载荷指示垫圈在螺母支承面下  
标引序号说明：
- 1——螺栓；
  - 2——螺母；
  - 3——符合GB/T 32076.6垫圈；
  - 4——螺母面垫圈(HN)；
  - 5——载荷指示垫圈。

图8 转动螺母紧固连接副

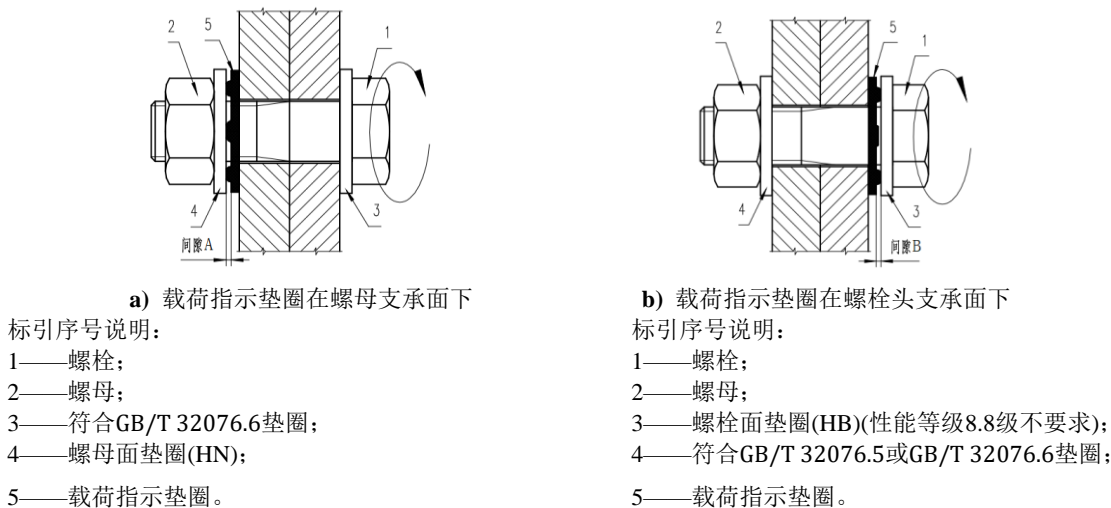


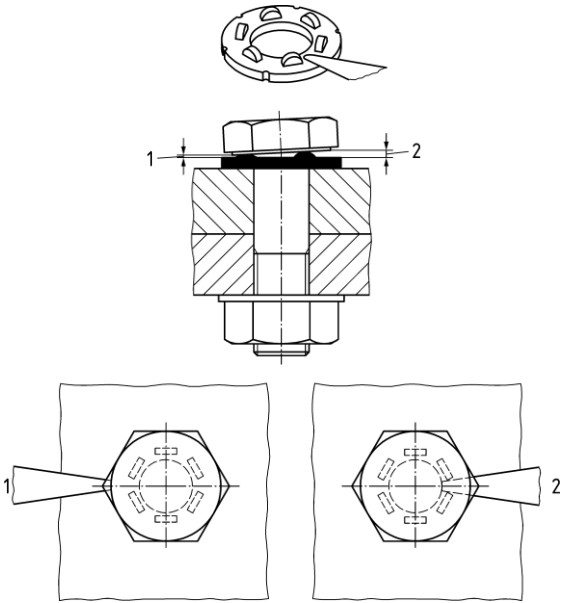
图9 转动螺栓紧固连接副

6.2 连接副中载荷指示垫圈功能特性

连接副拧紧过程中, 载荷指示垫圈凸起被压缩至规定的间隙时, 使用表8规定的测隙规确定是否达到最小预载荷。

表8 测隙规厚度		单位为毫米
载荷指示垫圈位置	测隙规厚度 (H8和H10)	
转动螺母时, 在螺栓头下 (图8a))	0.40 (间隙A)	
转动螺栓时, 在螺母下 (图9a))		
转动螺母时, 在螺母下 (图8b))	0.25 (间隙B)	
转动螺栓时, 在螺栓头下 (图9b))		
注: 试验表明, 当载荷指示垫圈位于转动件下时, 需要更小的间隙。		

测隙规应作为“通不过”检查工具。测隙规应指向螺栓的中心(见图10), 并应达到表9中规定的测隙规通不过次数。



- 标引序号说明:
- 1——测隙规“通不过”, 间隙合格;
- 2——测隙规“通过”, 间隙不合格。

图10 缝隙检查 (以6个凸起示例)

表9 测隙规要求

载荷指示垫圈凸起数量	测隙规“通不过”的最少次数
4	3
5	3
6	4
7	4
8	5
9	5

### 6.3 带载荷指示垫圈连接副功能特性

#### 6.3.1 一般要求

依照下列规定进行试验时，预载荷高强度栓接结构连接副(包括螺栓、螺母、载荷指示垫圈和适用的垫圈)应满足功能特性。

拧紧预载荷高强度栓接结构连接副过程中测量以下参数：

- 螺栓和螺母间相对转角；
- 连接副紧固轴力；
- 连接副拧紧扭矩。

试验步骤以GB/T 32076.2的要求为基础，并结合适用于连接副（包括载荷指示垫圈）的要求，必要时可采用GB/T 32076.2中特殊试验条件和程序。

#### 6.3.2 适用性试验程序

##### 6.3.2.1 带载荷指示垫圈连接副预载荷

符合本文件的载荷指示垫圈可与符合GB/T 32076.3、GB/T 32076.4要求的连接副组合使用，连接副按GB/T 32076.2进行试验，确定螺栓和螺母之间相对转角。

K等级应为K0。

载荷指示垫圈应分别放置在螺栓头和螺母下方进行型式试验。型式试验中，使用载荷指示垫圈的连接副测得的 $\Delta\theta_2$ 应超过 $\Delta\theta_{2,min}$ 至少10%。

##### 6.3.2.2 验证测隙规次数

试验应在GB/T 32076.2规定的经校准传感器中进行，允许使用液压试验装置的情况除外。如果需要垫片调整螺栓头和螺母之间的距离，应按GB/T 32076.2规定。

连接副应按图 8a)水平装配，并转动螺母。

——连接副应拧紧到表3规定的最小压缩载荷，使用表8规定的测隙规检查间隙，测隙规“通不过”的次数应小于表9规定；

——连接副进一步拧紧到表3规定的最大压缩载荷，使用表8规定的测隙规检查间隙，测隙规“通不过”的次数应不小于表9规定。

### 6.4 载荷指示垫圈功能特性评估

#### 6.4.1 紧固轴力

对带有载荷指示垫圈的预载荷高强度栓接结构连接副，当载荷指示垫圈的间隙被压缩到 $\leq 0.4$  mm时，连接副的紧固轴力 $F_b$ 应满足下列技术要求：

- 单个紧固轴力值 $F_{bi} \geq 0.7R_m A_s$ ；
- 试验组紧固轴力平均值 $F_{bm} \geq 0.77R_m A_s$ ；
- 紧固轴力变异系数 $V_{Fb} \leq 0.10$ 。

其中： $R_m$ ——螺栓公称抗拉强度；

$A_s$ ——螺栓螺纹公称应力截面积；

$V_{Fb}$ ——螺栓轴力变异系数

$$V_{\text{fb}} = \frac{s_{\text{fb}}}{F_{\text{bm}}}$$

其中： $s_{\text{fb}}$ 是标准差， $F_{\text{bm}}$ 是轴力平均值

$$s_{\text{f}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (F_{\text{bi}} - F_{\text{bm}})^2}{n-1}}, \quad F_{\text{bm}} = \frac{\sum_{i=1}^n F_{\text{bi}}}{n}$$

#### 6.4.2 安装扭矩

在轴力计上按图7a)的方式装配连接副，先试验一套连接副，拧紧螺母使轴力达到6.4.1中的轴力平均值 $0.77R_{\text{m}}A_{\text{s}}$ ，记录扭矩、轴力和间隙值。然后以相同的扭矩、相同的方法再试验4套螺栓连接副，分别记录扭矩、轴力和间隙值。计算5个试样的轴力平均值、标准偏差和变异系数，它们应满足6.4.1的要求，间隙应满足表9的要求，以此确定用扭矩法安装带有载荷指示垫圈的栓接连接副的安装扭矩。

### 7 验收规则、标志与包装

#### 7.1 验收规则

验收检查应按批进行：

- a) 同一材料、炉号、规格、凸起个数、热处理及表面处理的载荷指示垫圈为同批，一批的最大数量为 20000 件；
- b) 载荷指示垫圈的检验按每批抽取 8 件，8 件载荷指示垫圈所测得的压缩载荷值和间隙应符合表 3 的规定；
- c) 合格判定数  $A_{\text{c}}=0$ ；
- d) 载荷指示垫圈尺寸及表面缺陷的抽样方案应符合 GB/T 90.1 的规定。

#### 7.2 标志

载荷指示垫圈标志按4.6规定。

#### 7.3 包装

制造者应以批为单位提供产品质量检验报告证书，证书应包括以下内容：

- a) 批号、规格和数量；
- b) 材料牌号、炉号、化学成分；
- c) 载荷指示垫圈性能试验数据；
- d) 连接副紧固轴力的单个值、平均值和变异系数；
- e) 出厂日期。