



中华人民共和国国家标准

GB/T 32076.11—2024

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

2024-03-15 发布

2024-10-01 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	I
引言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 载荷指示垫圈	1
4.1 通则	1
4.2 型式尺寸	2
4.3 技术要求	3
4.4 压缩载荷	3
4.5 压缩载荷试验方法	4
4.6 标志	8
4.7 标记	8
5 螺母面垫圈(HN)和螺栓面垫圈(HB)	8
5.1 型式尺寸	8
5.2 技术要求	10
5.3 标志	10
5.4 标记	11
6 功能特性	11
6.1 预载荷高强度栓接结构连接副	11
6.2 连接副中载荷指示垫圈功能特性	12
6.3 带载荷指示垫圈连接副功能特性	13
6.4 载荷指示垫圈功能特性评估方法	14
7 验收规则、质量证明文件与包装	15
7.1 验收规则	15
7.2 质量证明文件	15
7.3 包装	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、上海泛胜紧固技术有限公司、苏州友尼可紧固件有限公司、山东中兴电动工具有限公司、浙江海力股份有限公司、河南航天精工制造有限公司、晋亿实业股份有限公司、东方电气集团东方电机有限公司、舟山市正源标准件有限公司、上海高强度螺栓厂有限公司、广东史特牢紧扣系统有限公司、中机研标准技术研究院(北京)有限公司、苏州热工研究院有限公司、北京金兆博高强度紧固件有限公司、河北五维航电科技股份有限公司。

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,由 11 个部分构成。

- 第 1 部分:通用要求。目的在于规范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。
- 第 2 部分:预载荷适应性。目的在于规范预载荷高强度栓接结构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。
- 第 3 部分:HR 型 大六角头螺栓和螺母连接副。目的在于规范不同载荷极限设计条件下,HR 型预载荷高强度栓接结构连接副产品型式尺寸和技术要求。
- 第 4 部分:HV 型 大六角头螺栓和螺母连接副。目的在于规范不同载荷极限设计条件下,HV 型预载荷高强度栓接结构连接副产品型式尺寸和技术要求。
- 第 5 部分:平垫圈。目的在于规范预载荷高强度栓接结构连接副用平垫圈型式尺寸和技术要求。
- 第 6 部分:倒角平垫圈。目的在于规范预载荷高强度栓接结构连接副用倒角平垫圈型式尺寸和技术要求。
- 第 7 部分:M39~M64 大六角头螺栓和螺母连接副。目的在于规范 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。
- 第 8 部分:扭剪型圆头螺栓和螺母连接副。目的在于规范扭剪型圆头螺栓连接副产品的型式尺寸和技术要求。
- 第 9 部分:扭剪型大六角头螺栓和螺母连接副。目的在于规范扭剪型大六角头螺栓连接副产品的型式尺寸和技术要求。
- 第 10 部分:安装技术条件。目的在于规范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。
- 第 11 部分:载荷指示垫圈。目的在于规范预载荷高强度栓接结构连接副用载荷指示垫圈的型式尺寸和技术要求。

本文件规定的载荷指示垫圈是放置在螺栓头下或螺母下,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,采用适当的装配拧紧方法,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。本文件与 GB/T 32076.1 和 GB/T 32076.2 一起规定了适用于预载荷高强度栓接结构连接副的载荷指示垫圈、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。

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

本文件规定了适用于预载荷高强度栓接结构连接副的载荷指示垫圈、螺母面垫圈(HN)和螺栓面垫圈(HB)的型式尺寸、技术要求、功能特性和验收规则、质量证明文件与包装等。

本文件适用于建筑、桥梁、塔桅结构、锅炉钢结构、起重机械、输送管道、机体盲孔及其他钢结构用预载荷高强度栓接结构连接副用载荷指示垫圈及其配件螺母面垫圈(HN)和螺栓面垫圈(HB)。

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 230.1 金属材料 洛氏硬度试验 第 1 部分:试验方法
- GB/T 1237 紧固件标记方法
- GB/T 3103.3 紧固件公差 平垫圈
- GB/T 4340.1 金属材料 维氏硬度试验 第 1 部分:试验方法
- 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 金属材料 静力单轴试验机的检验与校准 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
- ISO 17668 铁制品上的锌扩散涂层 渗锌 规范(Zinc diffusion coatings on ferrous products—Sherardizing—Specification)

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 通则

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零件。

载荷指示垫圈的作用是指示预载荷高强度栓接结构连接副被拧紧后是否达到规定的预载荷。载荷指示垫圈可与螺母面垫圈(HN)或螺栓面垫圈(HB)配套使用,连接副的组成应符合 6.1 的规定。

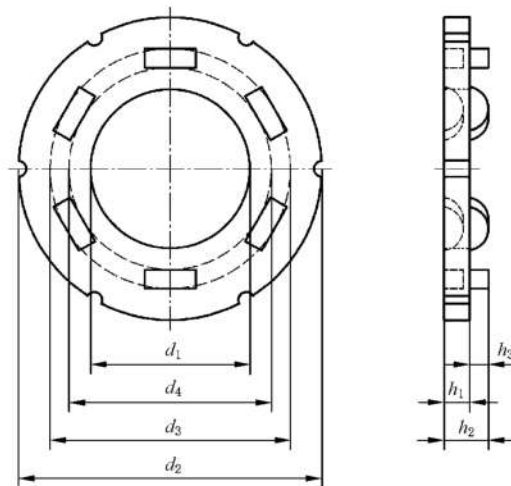
根据 GB/T 32076.1,载荷指示垫圈应作为预载荷高强度栓接结构连接副的零件进行评价。

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包括螺栓、螺母、垫圈和载荷指示垫圈。

4.2 型式尺寸

安装前,载荷指示垫圈的型式见图 1,尺寸应符合表 1(涂镀前)的规定。载荷指示垫圈上凸起的尺寸和数量应能保证压缩载荷满足 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。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,以标识检查时测隙规应插入的位置。

尺寸代号和标注应符合 GB/T 5276 的规定。



标引符号说明:

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(以 6 个凸起为示例)

表 1 载荷指示垫圈的尺寸

单位为毫米

配套螺栓螺纹规格 d	d_1		d_2^a		h_1^a		h_2	h_3	d_3^a	d_4^a
	min	max	min	max	min	max	max	min	max	min
M12	12.75	12.85	23.48	24	2.7	3.3	5.5	0.8	20.0	13.85
M16	16.75	16.85	29.48	30	3.7	4.3	6.0	0.8	25.0	17.85

表 1 载荷指示垫圈的尺寸 (续)

单位为毫米

配套螺栓螺纹规格 d	d_1		d_2^a		h_1^a		h_2	h_3	d_3^a	d_4^a
	min	max	min	max	min	max	max	min	max	min
M20	20.95	21.05	36.38	37	3.7	4.3	6.5	0.8	29.0	22.05
M22	23.05	23.15	38.38	39	3.7	4.3	7.0	0.8	33.0	24.15
M24	25.15	25.25	43.38	44	3.7	4.3	7.0	0.8	38.0	26.25
M27	28.30	28.40	49.00	50	4.4	5.6	7.0	0.8	43.0	29.40
M30	31.45	31.55	54.80	56	4.4	5.6	7.0	0.8	46.5	32.55
M36	37.75	37.85	64.80	66	5.4	6.6	7.5	0.8	56.0	38.85

^a 也可根据需要,按供需协议。

4.3 技术要求

载荷指示垫圈技术要求应符合表 2 的规定。

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
硬 度	硬度等级代号	H8 和 H10
	最大值	350 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 ^a		不经处理(无涂镀层)
		粉末渗锌技术要求按 ISO 17668 ^b
		如需其他技术要求或表面处理,应由供需协议 ^c
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

^a 载荷指示垫圈不应进行电镀或采用可能导致氢脆的工艺过程。
^b 粉末渗锌被认为具有相当于热浸镀锌的防腐蚀作用。
^c 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。不应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,所有试件应符合表 3 规定的压缩载荷要求。

表 3 在 0.40 mm 间隙时的压缩载荷

单位为千牛

配套螺栓螺纹规格 d/mm	压缩载荷			
	H8		H10	
	min	max	min	max
M12	47	56	59	71
M16	88	106	110	132
M20	137	164	172	206
M22	170	204	212	254
M24	198	238	247	296
M27	257	308	321	385
M30	314	377	393	472
M36	458	550	572	688

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

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,读取此时产生的压缩载荷。

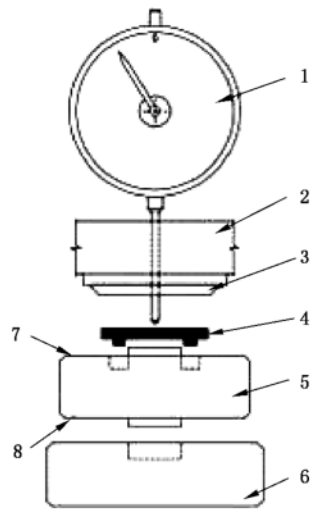
4.5.2 试验设备

拉力试验机应符合 GB/T 16825.1 的规定,达到 1 级精度或以上。

4.5.3 试验装置

4.5.3.1 组成

试验装置由千分表、压块、支撑块和支撑座组成,见图 2。



标引序号说明：

- 1——千分表；
- 2——试验机移动横梁；
- 3——压块；
- 4——载荷指示垫圈；
- 5——支撑块；
- 6——支撑座；
- 7——A 面；
- 8——B 面。

图 2 试验装置示意图

间隙测量可采用千分表或精度符合要求并能指示加载时轴向位移的其他计量器具。

注：由于螺栓尺寸和涂层特性通常存在允许的误差，因此螺栓不直接用于测量载荷指示垫圈功能特性。

4.5.3.2 支撑块

支撑块符合下列规定。

- a) 应在一侧开槽(见图 3)，当载荷指示垫圈凸起未被压缩时，将凸起置于槽中，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。
- b) 支撑块尺寸应符合图 4 和表 4 规定，外径应大于载荷指示垫圈的外径，且不小于 75 mm。
- c) 支撑块两平面的平行度应不大于 0.005 mm。

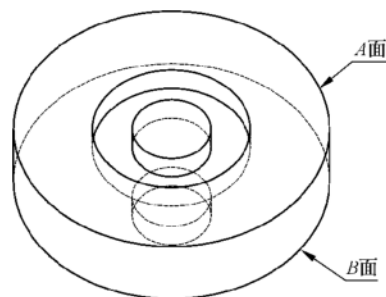


图 3 支撑块示意图

单位为毫米

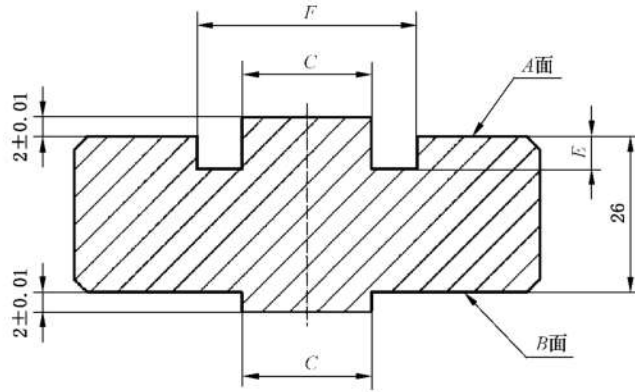


图 4 支撑块剖面图

表 4 支撑块尺寸

单位为毫米

配套螺栓螺纹规格 d	C^a		E	F	
	min	max	min	min	max
M12	10.5	11.0	3.0	23.0	23.5
M16	15.0	15.5	3.0	30.0	30.5
M20	19.0	19.5	3.0	34.0	34.5
M22	21.0	21.5	3.0	38.0	38.5
M24	23.0	23.5	3.0	43.0	43.5
M27	26.0	26.5	3.0	49.0	49.5
M30	29.0	29.5	3.0	53.5	54.0
M36	35.0	35.5	3.5	63.0	63.5

^a 圆柱形凸台的高度为 $2\text{ mm} \pm 0.01\text{ mm}$, A 面和 B 面凸台高度差不超过 0.005 mm 。

4.5.3.3 压块与支撑座

压块与支撑座符合下列规定：

- 压块端面最小直径不小于 75 mm, 且应大于载荷指示垫圈的外径；
- 支撑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)；
- 压块和支撑座两平面的平行度应不大于 0.012 5 mm；
- 压块和支撑座的硬度应不低于 50 HRC。

4.5.4 试验程序

4.5.4.1 一般要求

试验时, 应符合下列要求：

- 在环境温度为 $10\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下试验；
- 根据被测载荷指示垫圈的规格选择支撑块；
- 沿轴向对载荷指示垫圈施加压缩载荷。

4.5.4.2 千分表置零

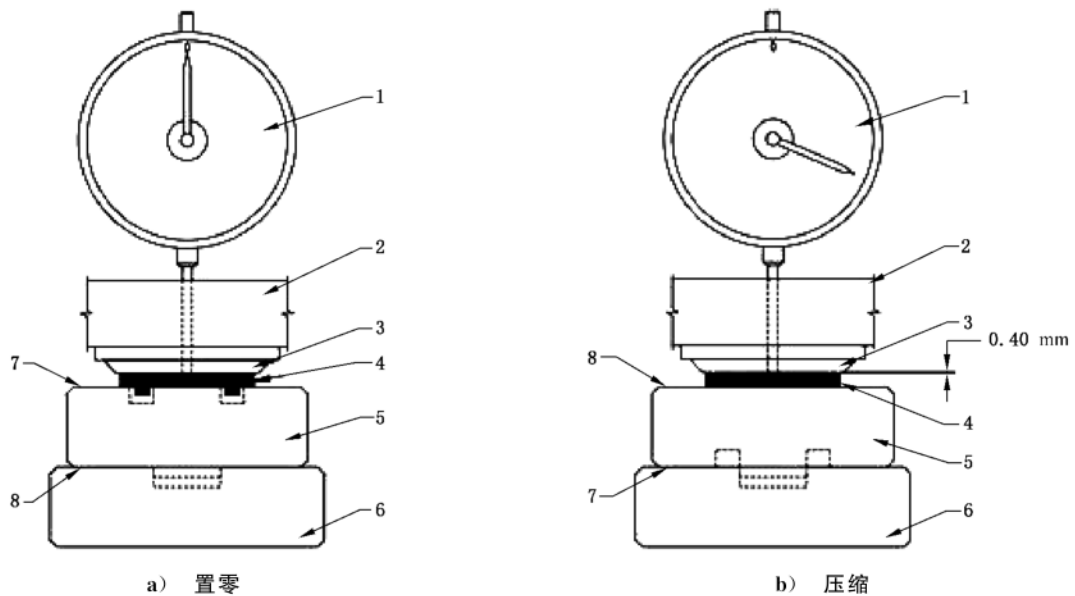
千分表置零[见图 5 a)]程序如下:

- 将载荷指示垫圈放置在支撑块的 A 面(见图 3),使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 面朝下,与支撑座贴合;
- 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载荷指示垫圈和支撑块;
- 把支撑块倒置,使带凹槽的 A 面向下。

4.5.4.3 压缩载荷测量

压缩载荷测量[见图 5 b)]程序如下:

- 将 4.5.4.2 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 面与支撑座对中密贴;
- 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 0.40 mm;
- 载荷指示垫圈开始压缩至千分表读数达到 0.40 mm 应在 30 s 内完成。



标引序号说明:

- 千分表;
- 试验机移动横梁;
- 压块;
- 载荷指示垫圈;
- 支撑块;
- 支撑座;
- A 面;
- B 面。

图 5 压缩载荷试验示意图

4.5.4.4 读取和记录

读取并记录千分表读数为 0.40 mm 时对应的压缩载荷值。

4.6 标志

载荷指示垫圈标志符合下列规定。

- a) 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硬度等级代号。
- b) 载荷指示垫圈应在有凸起面用凹字进行标志。
- c) 宜在载荷指示垫圈表面标记批号。

4.7 标记

标记方法按 GB/T 1237 规定。

示例 1: 规格为 $d=30$ 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, 标记为:

载荷指示垫圈 GB/T 32076.11-30-H10

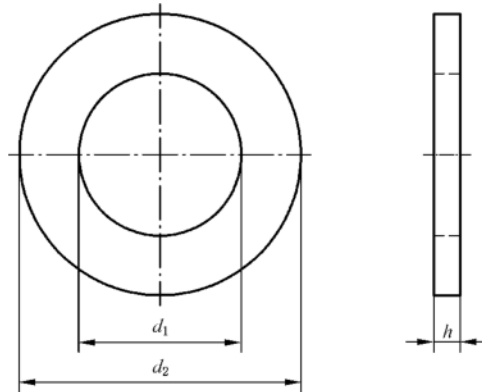
示例 2: 规格为 $d=30$ mm, 渗锌(TDZn)处理, 性能代号 H10 的预载荷高强度栓接结构连接副用载荷指示垫圈, 标记为:

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)的型式见图 6 和图 7, 尺寸应符合表 5 和表 6 的规定。尺寸代号和标注应符合 GB/T 5276 的规定。



标引符号说明:

d_1 ——内径;

d_2 ——外径;

h ——厚度。

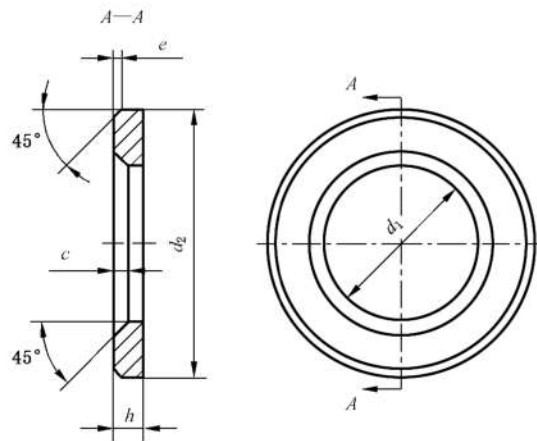
图 6 螺母面垫圈(HN)

表 5 螺母面垫圈(HN)尺寸

单位为毫米

配套螺栓螺纹规格 d	d_1		d_2		h	
	min	max	min	max	min	max
M12	12.1	12.35	23.48	24	2.7	3.3
M16	16.1	16.35	29.48	30	3.7	4.3
M20	20.1	20.40	36.38	37	3.7	4.3
M22	22.3	22.60	38.38	39	3.7	4.3
M24	24.2	24.50	43.38	44	3.7	4.3
M27	27.2	27.55	49.00	50	4.4	5.6
M30	30.2	30.55	54.80	56	4.4	5.6
M36	36.2	36.55	64.80	66	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。



标引符号说明：

 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

配套螺栓螺纹规格 d	d_1		d_2		h		c		e	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
M12	13	13.27	23.48	24	2.7	3.3	1.6	1.9	0.50	1.0
M16	17	17.27	29.48	30	3.7	4.3	1.6	1.9	0.75	1.50
M20	21	21.33	36.38	37	3.7	4.3	2.0	2.5	0.75	1.50
M22	23	23.33	38.38	39	3.7	4.3	2.0	2.5	0.75	1.50
M24	25	25.33	43.38	44	3.7	4.3	2.0	2.5	0.75	1.50
M27	28	28.52	49	50	4.4	5.6	2.5	3.0	1.0	2.0
M30	31	31.62	54.80	56	4.4	5.6	2.5	3.0	1.0	2.0
M36	37	37.62	64.80	66	5.4	6.6	2.5	3.0	1.25	2.50

5.2 技术要求

螺母面垫圈(HN)和螺栓面垫圈(HB)技术要求和相应试验方法应符合表 7 及所列标准的规定。

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 ^a	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 ^b		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 ^c
配合螺栓和螺母		GB/T 32076.3 或 GB/T 32076.4
配合垫圈		GB/T 32076.5 或 GB/T 32076.6
^a 如有争议,维氏硬度试验为仲裁试验方法。 ^b 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。 ^c 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。不应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(HB)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,并应在无倒角面用凹字标志。

5.4 标记

标记方法按 GB/T 1237 规定。

示例 1: 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

示例 2: 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):

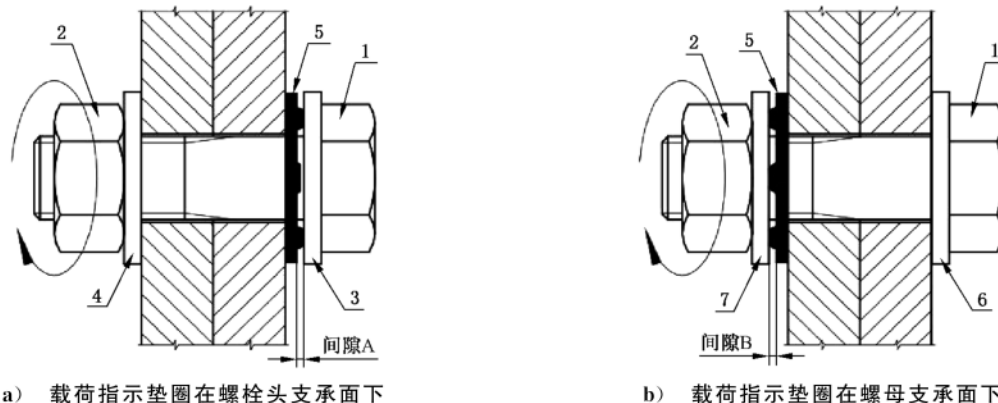
垫圈 GB/T 32076.11-20HB

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的预载荷适应性试验按 GB/T 32076.2 和本章的规定进行。

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 的规定。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 所示使用载荷指示垫圈。



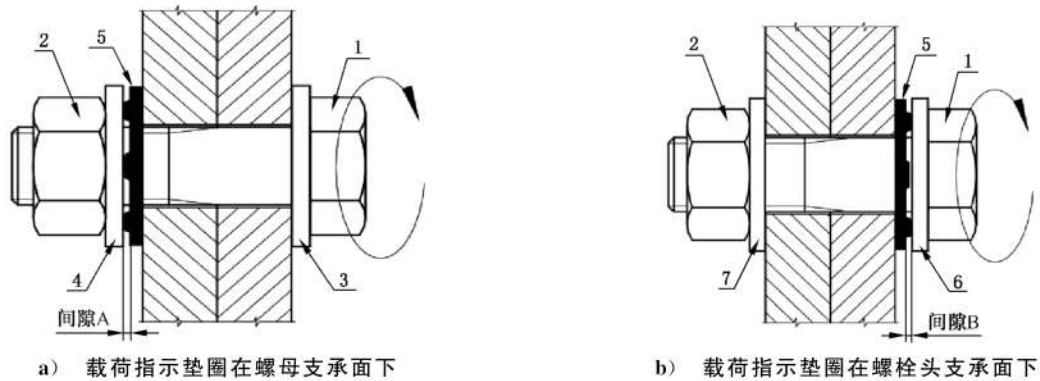
a) 载荷指示垫圈在螺栓头支承面下

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——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;
- 6——符合 GB/T 32076.6 垫圈;
- 7——螺母面垫圈(HN)。

图 8 转动螺母拧紧连接副示意图



a) 载荷指示垫圈在螺母支承面下

b) 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——符合 GB/T 32076.6 垫圈；
- 4——螺母面垫圈(HN)；
- 5——载荷指示垫圈。
- 6——螺栓面垫圈(HB)(性能等级 8.8 级不要求)；
- 7——符合 GB/T 32076.5 或 GB/T 32076.6 垫圈。

图 9 转动螺栓拧紧连接副示意图

6.2 连接副中载荷指示垫圈功能特性

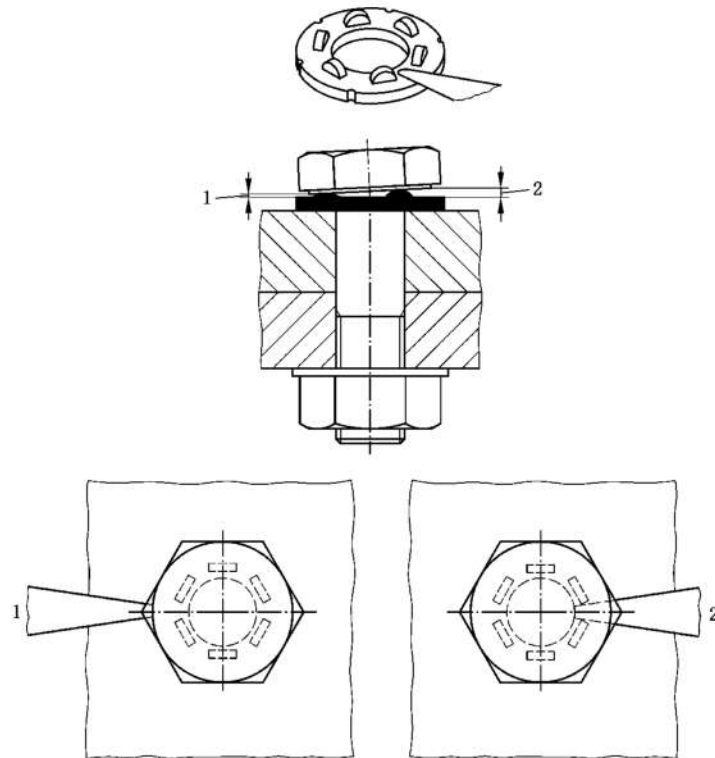
连接副拧紧过程中,使用表 8 规定的测隙规确定载荷指示垫圈凸起是否被压缩至规定的间隙,即是否达到最小预载荷。

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
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。检查时,测隙规应指向螺栓的中心(见图 10),其“通不过”次数应达到表 9 的规定。



标引序号说明：

- 1——测隙规“通不过”，代表间隙合格；
2——测隙规“通过”，代表间隙不合格。

图 10 测隙规检查示意图(以 6 个凸起为示例)

表 9 测隙规“通不过”次数

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 6.3.2 进行试验时,预载荷高强度栓接结构连接副(包括螺栓、螺母、载荷指示垫圈和配合垫圈)应满足本章规定的功能特性,并在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。

6.3.2 适应性试验程序

6.3.2.1 带载荷指示垫圈连接副预载荷

载荷指示垫圈可与符合 GB/T 32076.3 或 GB/T 32076.4 要求的连接副组合使用,按 GB/T 32076.2 的规定进行试验,确定螺栓和螺母之间相对转角,必要时可采用 GB/T 32076.2 中特殊试验条件和程序。

K 等级应为 K0。

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

6.3.2.2 验证测隙规“通不过”次数

试验应在 GB/T 32076.2 规定的经校准传感器中进行,可使用液压试验装置的情况除外。如需使用垫圈调整螺栓头和螺母之间的距离,应按 GB/T 32076.2 的规定进行。

连接副应按图 8a)所示水平装配,并拧紧螺母。

测隙规“通不过”次数验证步骤如下:

- 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,验证测隙规“通不过”的次数是否小于表 9 的规定;
- 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,验证测隙规“通不过”的次数是否不小于表 9 的规定。

6.4 载荷指示垫圈功能特性评估方法

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不大于 0.4 mm 时,连接副的紧固轴力 F_b 应满足下列要求:

- 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 $V_F \leq 0.10$ 。

其中: R_m ——螺栓公称抗拉强度,单位为兆帕(MPa);

A_s ——螺栓螺纹公称应力截面积,单位为平方毫米(mm²)。

螺栓紧固轴力变异系数 V_F 按公式(1)计算:

$$V_F = \frac{s_F}{F_{bm}} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

s_F ——标准偏差,按公式(2)计算;

F_{bm} ——紧固轴力平均值,按公式(3)计算。

$$s_F = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (F_{bi} - F_{bm})^2}{n - 1}} \dots\dots\dots (2)$$

$$F_{bm} = \frac{\sum_{i=1}^n F_{bi}}{n} \dots\dots\dots (3)$$

6.4.2 拧紧扭矩

在轴力计上按图 8a)所示装配连接副,先试验 1 套连接副,拧紧螺母使轴力达到 6.4.1 中的轴力平

均值 $0.77R_m A_s$ ，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，计算结果应满足 6.4.1 的要求，间隙应满足表 9 的要求，以此确定该批带有载荷指示垫圈的预载荷高强度栓接结构连接副的拧紧扭矩。

7 验收规则、质量证明文件与包装

7.1 验收规则

验收检查应按批进行，并符合以下规定：

- 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生产批，一批的最大数量为 20 000 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 $A_c=0$ ；
- 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 质量证明文件

制造者应以批为单位提供产品质量证明文件，应包括以下内容：

- a) 本文件编号；
- b) 批号、规格和数量；
- c) 材料牌号、炉号、化学成分；
- d) 载荷指示垫圈性能试验数据；
- e) 连接副紧固轴力的单个值、平均值、变异系数和拧紧扭矩（参考）；
- f) 出厂日期。

7.3 包装

7.3.1 包装应符合 GB/T 90.2 的规定。

7.3.2 包装箱应牢固、防潮，每箱质量不应超过 40 kg。

7.3.3 包装箱外应有制造者名称、产品名称、标准编号、批号、规格、数量、毛重等明显标记。
