ICS 77.140.60
CCS H 44

中华人民共和国国家标准

GB/T 28900—2022
代替 GB/T 28900—2012

钢筋混凝土用钢材试验方法

Test methods of steel for reinforcement of concrete

(ISO 15630-1:2019,Steel for the reinforcement and prestressing of concrete—Test methods—Part 1:Reinforcing bars,rods and wire,MOD)

2022-10-12 发布　　2022-10-12 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会　发布

刮涂层 查真伪

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
钢筋混凝土用钢材试验方法
GB/T 28900—2022
*
中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100029)
北京市西城区三里河北街 16 号(100045)
网址 www.spc.net.cn
总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238
读者服务部:(010)68523946
中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销
*
开本 880×1230 1/16 印张 1.75 字数 48 千字
2022 年 10 月第一版 2022 年 10 月第一次印刷
*
书号:155066·1-70716 定价 34.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107

GB/T 28900-2022

码上扫一扫 正版服务到

目　次

前言 …… Ⅲ
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 1
3　术语和定义 …… 1
4　符号及说明 …… 1
5　试样的一般规定 …… 3
5.1　制取 …… 3
5.2　矫直 …… 3
5.3　人工时效 …… 3
6　拉伸试验 …… 3
6.1　试样 …… 3
6.2　试验设备 …… 4
6.3　试验程序 …… 4
7　弯曲试验 …… 5
7.1　试样 …… 5
7.2　试验设备 …… 5
7.3　试验程序 …… 6
7.4　试验结果评定 …… 6
8　反向弯曲试验 …… 6
8.1　试样 …… 6
8.2　试验设备 …… 6
8.3　试验程序 …… 7
8.4　试验结果评定 …… 8
9　轴向疲劳试验 …… 8
9.1　试验原理 …… 8
9.2　试样 …… 9
9.3　试验设备 …… 9
9.4　试验程序 …… 9
10　化学分析 …… 10
11　尺寸测量 …… 10
11.1　试样 …… 10
11.2　试验设备 …… 10
11.3　试验程序 …… 10
12　相对肋面积(f_R)的测定 …… 13
12.1　概述 …… 13

12.2 测量 …… 13
12.3 计算 …… 13
13 重量偏差的测定 …… 14
13.1 试样 …… 14
13.2 测量的精确度 …… 14
13.3 计算 …… 14
14 循环非弹性载荷试验 …… 14
14.1 试验原理 …… 14
14.2 试样 …… 15
14.3 试验设备 …… 15
14.4 试验程序 …… 15
附录 A（资料性） 本文件与 ISO 15630-1:2019 相比的结构对照表 …… 17
附录 B（资料性） 本文件与 ISO 15630-1:2019 的技术差异及原因 …… 19

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。

本文件代替 GB/T 28900—2012《钢筋混凝土用钢材试验方法》，与 GB/T 28900—2012 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

——更改了文件的范围（见第 1 章，2012 年版的第 1 章）；

——增加了 L'_0、L'_u 和 Δl 等符号及说明，删除了 λ 符号及说明（见表 1，2012 年版的表 1）；

——更改了拉伸试验程序的部分要求（见 6.3，2012 年版的 5.3）；

——增加了 A_r 计算公式（见 6.3.4）；

——增加了弯曲试验的部分要求（见 7.3）；

——增加了测量横肋宽度的精度要求（见 11.2）；

——增加了当存在不同的横肋与轴线夹角（β）时，横肋高度的测量方法（见 11.3.1）；

——增加了沿轴线方向两相邻横肋截面示意图 M'-M'（见图 6）；

——删除了简化公式中的经验公式[见 2012 年版的公式(8)]；

——增加了重量偏差测定用试样的取样部位（见 13.1）；

——删除了重量偏差测定的部分试验程序（见 2012 年版的 12.3）；

——增加了“循环非弹性载荷试验”（见第 14 章）；

——删除了“钢筋的金相检验方法”（见 2012 年版的第 13 章）。

本文件修改采用 ISO 15630-1:2019《混凝土用钢筋和预应力钢材　试验方法　第 1 部分：钢筋、盘条和钢丝》。

本文件与 ISO 15630-1:2019 相比，在结构上有较多调整。两个文件之间的结构编号变化对照一览表见附录 A。

本文件与 ISO 15630-1:2019 相比，存在较多技术差异，在所涉及的条款的外侧页边空白位置用垂直单线（|）进行了标示。这些技术差异及其原因一览表见附录 B。

本文件做了下列编辑性改动：

——为与现有标准协调，将标准名称改为《钢筋混凝土用钢材试验方法》；

——删除了 ISO 15630-1:2019 的附录 A；

——删除了 ISO 15630-1:2019 的参考文献。

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。

本文件由中国钢铁工业协会提出。

本文件由全国钢标准化技术委员会（SAC/TC 183）归口。

本文件起草单位：首钢集团有限公司、冶金工业信息标准研究院、中冶建筑研究总院有限公司、陕西龙门钢铁有限责任公司、乌海市包钢万腾钢铁有限责任公司、石横特钢集团有限公司、连云港兴鑫钢铁有限公司、宁夏建龙龙祥钢铁有限公司、国家钢铁及制品质量检验检测中心、浙江省标准化研究院、凌源钢铁股份有限公司。

本文件主要起草人：吴朝晖、王玉婕、邱宇、朱建国、习晓峰、刘宝石、潘雪、王长生、郑贵增、汪世峰、路丰、黄飞、陈良辅、师莉、李君荣、王硕、肖立军、张泽星、降建平、谭长江、甘正斌、余子英、赵喜庆、马欣、杨森。

本文件于 2012 年首次发布，本次为第一次修订。

钢筋混凝土用钢材试验方法

1 范围

本文件规定了钢筋混凝土用钢材的拉伸试验、弯曲试验、反向弯曲试验、轴向疲劳试验、化学分析、几何尺寸测量、相对肋面积的测定、重量偏差的测定和循环非弹性载荷试验等试验方法。

本文件适用于钢筋混凝土用钢材。

本文件不适用于预应力钢材。

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 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法(GB/T 228.1—2021，ISO 6892-1：2019，MOD)

GB/T 232 金属材料 弯曲试验方法(GB/T 232—2010，ISO 7438：2005，MOD)

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 11170 不锈钢 多元素含量的测定 火花放电原子发射光谱法(常规法)

GB/T 12160 金属材料 单轴试验用引伸计系统的标定(GB/T 12160—2019，ISO 9513：2012，IDT)

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 16825.1—2008，ISO 7500-1：2004，IDT)

GB/T 25917.1 单轴疲劳试验系统 第1部分：动态力校准(GB/T 25917.1—2019，ISO 4965-1：2012，IDT)

GB/T 25917.2 单轴疲劳试验系统 第2部分：动态校准装置用仪器(GB/T 25917.2—2019，ISO 4965-2：2012，IDT)

GB/T 38937 钢筋混凝土用钢术语(GB/T 38937—2020，ISO 16020：2005，MOD)

3 术语和定义

GB/T 38937界定的术语和定义适用于本文件。

4 符号及说明

下列符号及说明(见表1)适用于本文件。

表 1　符号及说明

符号	单位	说明	涉及章条
A	%	断后伸长率	6.1,6.3
A_{gt}	%	最大力总延伸率	6
A_r	%	断后均匀伸长率	6.3.4
b	mm	横肋顶宽	11.3.7,图 6
d	mm	钢筋、盘条或钢丝的公称直径	6.3,图 3,9.2,9.4.8,12.3,表 2,14.4.8
D	mm	在弯曲或反向弯曲试验中弯曲设备的弯曲压头直径	图 2,7.3,8.3.2
e	mm	相邻两排横肋之间的平均间隙	11.3.4,图 6
f	Hz	在轴向疲劳试验或循环非弹性载荷试验中的应力循环频率	9.1,9.4.3,图 5,表 2
f_R	—	相对肋面积	12
F_m	N	在拉伸试验中的最大力	6.3.2
F_r	N	在轴向疲劳试验中的力的范围	图 5,9.3,9.4.2,9.4.3
F_R	mm^2	单条肋纵向截面积	图 6,12.3.1
F_{up}	N	在轴向疲劳试验中的最大力	图 5,9.3,9.4.2,9.4.3
h	mm	在二分之一点处的横肋高	11.3.1.2,图 6,12.3.2
h_l	mm	纵肋高度	11.3.2
h_{max}	mm	横肋的最大高度	11.3.1.1
$h_{s,i}$	mm	肋在长度上按照 Δl 的距离被分为 p 个部分时 i 部分的平均高度	12.3.1,图 6
$h_{1/4}$	mm	在四分之一点处的横肋高	11.3.1.2,12.3.2,图 6
$h_{3/4}$	mm	在四分之三点处的横肋高	11.3.1.2,12.3.2
l	mm	横肋间距	11.3.3,图 6,12.3
n,m	—	用于定义 f_R 和 F_R 公式的变量	12.3.1
L'_o	mm	手工法测定 A_{gt} 时的原始标距	6.3.4.3
L'_u	mm	手工法测定 A_{gt} 时的断后标距	6.3.4.3,图 1
r_1	mm	手工测定 A_{gt} 时夹持部位和断后标距之间的距离	6.3.4.3,图 1
r_2	mm	手工测定 A_{gt} 时断口和断后标距之间的距离	6.3.4.3,图 1
R_{eL}	MPa	下屈服强度	6.2,6.3,9.4.2
R_m	MPa	抗拉强度	6.3.1.2
$R_{p0.2}$	MPa	规定塑性延伸率为 0.2%时的应力	6.2,6.3
S_n	mm^2	钢材的公称横截面面积	9.4.2

表 1　符号及说明（续）

符号	单位	说明	涉及章条
α	(°)	横肋斜角	11.3.6,图 6
β	(°)	横肋轴向与钢材轴线之间的夹角	11.3.1,11.3.5,图 6,12.3.1
γ	(°)	在弯曲或反向弯曲试验中的弯曲角度	7.3,图 4,8.3.2
Δl	mm	肋-芯截面处横肋长度的增量部分	图 6,12.3.1
δ	(°)	反向弯曲角度	图 4,8.3.4
$2\sigma_a$	N/mm^2	在轴向疲劳试验中的应力范围	9.4.2
σ_{max}	N/mm^2	在轴向疲劳试验中的最大应力	9.4.2
$\sum e_i$	mm	横肋末端间隙	11.3.4,12.3.2
σ	N/mm^2	应力	图 7
ε	%	应变	图 7

5　试样的一般规定

5.1　制取

除非供需双方另有协议或产品标准有规定，试样应从符合交货状态的钢材上制取。

5.2　矫直

对于从盘卷（盘条或钢丝）上制取的试样，在任何试验前应进行简单的弯曲使试样平直，并确保最小的塑性变形。试样的矫直方式（手工、机械）应记录在试验报告中。

注 1：对于室温拉伸试验、轴向疲劳试验、循环非弹性荷载试验、弯曲试验、反向弯曲试验和重量偏差测定，试样的矫直是至关重要的。

注 2：过度的矫直极易造成力学及工艺性能的变化，通过采用橡胶锤、木头锤轻微敲击或专用装置等进行矫直，在确保最小塑性变形的基础上，尽量使试样的轴线与力的作用线重合或在同一平面内。

5.3　人工时效

测定室温拉伸试验、弯曲试验、反向弯曲试验、轴向应力疲劳试验和循环非弹性载荷试验中的性能指标时，可根据产品标准的要求对矫直后的试样进行人工时效。

当产品标准没有规定人工时效工艺时，可采用下列工艺条件：加热试样到 100 ℃，在 100 ℃±10 ℃下保温 60 min～75 min，然后在静止的空气中自然冷却到室温。

注：不同的试验条件（包括试样数量、试样尺寸和加热设备类型）加热时间亦不相同，一般认为，加热时间不少于 40 min 时效果最佳。

如果对试样进行人工时效，人工时效的工艺条件应记录在试验报告中。

6　拉伸试验

6.1　试样

除了在第 5 章中给出的一般规定外，试样的平行长度应足够长，以满足在 6.3 中对断后伸长率（A）

或最大力总延伸率(A_{gt})测定的要求。

当通过手工方法测定断后伸长率(A)时,试样应根据 GB/T 228.1 的规定来标记原始标距。

当通过手工方法测定最大力总延伸率(A_{gt})时,应在试样的平行长度上标出等距标记,标记之间的长度应根据试样直径选取为 20 mm、10 mm 或 5 mm。

6.2 试验设备

试验机应根据 GB/T 16825.1 来校验和校准,其准确度应至少达到 1 级。

当使用引伸计测定 R_{eL} 或 $R_{p0.2}$ 时,应使用 1 级引伸计(GB/T 12160);测定 A_{gt} 时,可使用 2 级引伸计(GB/T 12160)。

用于测定最大力总延伸率(A_{gt})的引伸计应至少有 100 mm 的标距长度,标距长度应记录在试验报告中。

6.3 试验程序

6.3.1 一般要求

6.3.1.1 拉伸试验应按照 GB/T 228.1 执行。

6.3.1.2 除非在相关产品标准中另有规定,对于拉伸性能(R_{eL} 或 $R_{p0.2}$,R_m)的计算,原始横截面积应采用公称横截面面积。

6.3.1.3 若断裂发生在距夹持部位的距离小于 20 mm 或公称直径 d(选取两者最大值)处或夹持部位上,试验可视为无效。

6.3.2 规定塑性延伸强度($R_{p0.2}$)的测定

当屈服不明显时,应测定 $R_{p0.2}$ 代替 R_{eL}。其中当力-延伸曲线的弹性直线段较短或不明显时,应采用下列方法之一来确定有效的直线段:

a) GB/T 228.1 中规定的推荐程序;

b) 力-延伸曲线的直线段应被视作连接 $0.2F_m$ 和 $0.5F_m$ 两点之间的直线段。

注 1:F_m 可预先定义为与产品标准中给出的规定抗拉强度相对应的力。

注 2:上述范围值仅适用于碳钢,对于不锈钢,可由产品标准中给出的或相关各方商定的适当值代替。

当有争议时,应采用方法 b)。

当直线段的斜率与弹性模量的理论值之差大于 10%时,试验可视为无效。

6.3.3 断后伸长率(A)的测定

除非在相关产品标准中另有规定,测定断后伸长率(A)时,原始标距长度应为 5 倍的产品公称直径(d)。当有争议时,应采用手工法计算。

6.3.4 最大力总延伸率(A_{gt})的测定

6.3.4.1 对于最大力总延伸率(A_{gt})的测定,应采用引伸计法或本文件规定的手工法测定。当有争议时,应采用手工法。

6.3.4.2 如果通过引伸计来测量 A_{gt},采用 GB/T 228.1 测定时应修正使用,即 A_{gt} 应在力值从最大值落下超过 0.2%之前被记录。

注:本规定旨在避免因采用不同方法测定(手工法与引伸计法)带来的差异,普遍认为,使用引伸计得出的 A_{gt} 平均值比手动法测量的值低。

6.3.4.3 当采用手工法测定 A_{gt} 时,A_{gt} 应按照公式(1)进行测定。

$$A_{gt}=A_r+\frac{R_m}{2\ 000} \qquad \cdots\cdots(1)$$

式中：

A_{gt} ——最大力总延伸率，%；

A_r ——断后均匀伸长率，%；

R_m ——抗拉强度，单位为兆帕(MPa)；

2 000——根据碳钢弹性模量得出的系数(不锈钢的系数应由产品标准给出的数值代替，或者相关方约定的适当值代替)，单位为兆帕(MPa)。

其中，断后均匀伸长率(A_r)的测定应参考 GB/T 228.1 中断后伸长率(A)的测定方式进行。除非另有规定，原始标距(L'_o)应为 100 mm。当试样断裂后，选择较长的一段试样测量断后标距(L'_u)，并按照公式(2)计算 A_r(测量方法示意见图 1)，其中断口和标距之间的距离(r_2)至少为 50 mm 或 $2d$(选择较大者)。若夹持部位和标距之间的距离(r_1)小于 20 mm 或 d(选择较大者)时，该试验可视为无效。

$$A_r=\frac{L'_u-L'_o}{L'_o}\times 100 \qquad \cdots\cdots(2)$$

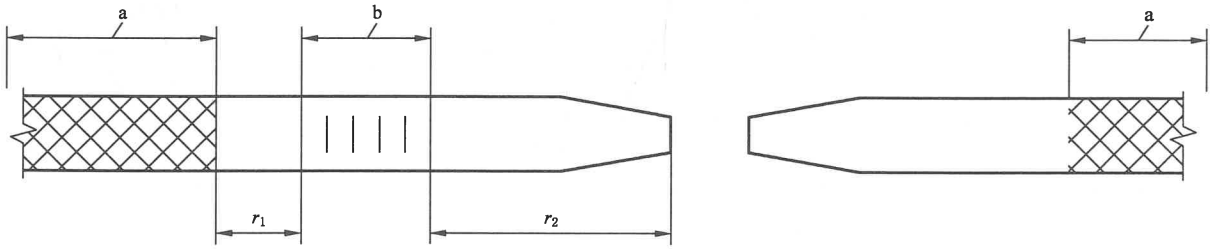
式中：

L'_u ——手工法测定 A_{gt}时的断后标距，单位为毫米(mm)；

L'_o ——手工法测定 A_{gt}时的原始标距，单位为毫米(mm)；

100 ——比例系数，无量纲。

单位为毫米



标引符号说明：

a ——夹持部位；

b ——手工法测定 A_{gt}时的断后标距(L'_u)；

r_1——手工测定 A_{gt}时夹持部位和断后标距(L'_u)之间的距离；

r_2——手工测定 A_{gt}时断口和断后标距(L'_u)之间的距离。

图 1　用手工法测量 A_{gt}示意图

7　弯曲试验

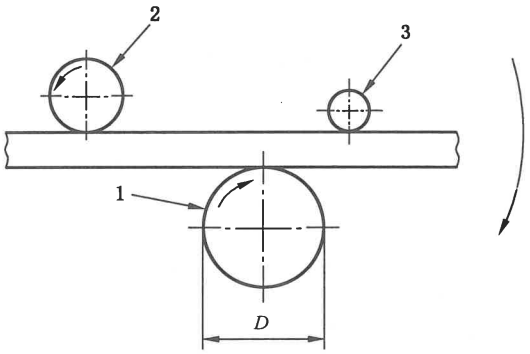
7.1　试样

试样符合第 5 章的规定。

7.2　试验设备

7.2.1　弯曲装置应采用图 2 所示的试验原理。

单位为毫米



标引序号说明：

1 ——弯曲压头；

2 ——支辊；

3 ——传送辊；

D ——弯曲压头直径。

图 2　弯曲装置的原理

7.2.2　弯曲试验也可采用 GB/T 232 中规定的带有两个支辊和一个弯曲压头的设备。

7.3　试验程序

除非另有规定，弯曲试验应在 10 ℃～35 ℃的温度下进行。

对于低温下的弯曲试验，如果协议没有规定试验条件，应采用±2 ℃的温度偏差。试样应浸入冷却介质中保持足够的时间，以确保试样的整体达到规定的温度（例如，对于液体介质至少保温 10 min，对于气体介质至少保温 30 min）。弯曲试验应在试样从冷却介质中移出 5 s 内开始进行，移动试样应确保试样的温度在允许的温度范围内。

试样应使用弯曲压头完成弯曲试验。

对于热轧带肋钢筋，除非产品标准中另有规定或供需双方另有约定，否则弯曲压头应放置在棒材的纵向平坦部位上。

弯曲角度（γ）和弯曲压头直径（D）应符合相关产品标准的规定。

7.4　试验结果评定

弯曲试验结果应根据相关产品标准的规定进行评定。

当产品标准没有规定时，若弯曲试样无目视可见的裂纹，则评定弯曲试验结果合格。

8　反向弯曲试验

8.1　试样

试样符合第 5 章的规定。

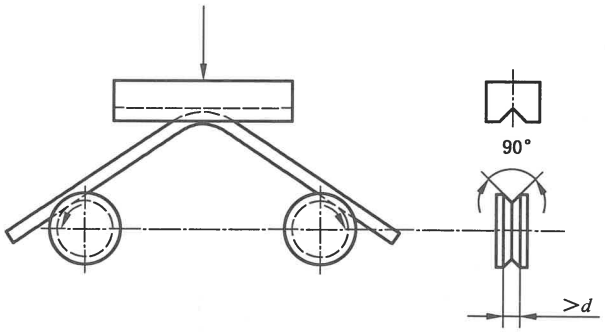
8.2　试验设备

8.2.1　弯曲装置

应采用 7.2 中规定的弯曲装置。

8.2.2 反向弯曲装置

反向弯曲可在图 3 所示的反向弯曲装置上进行，也可采用图 2 所示的弯曲装置。



标引序号说明：

90°——带槽传动辊的内切角度，单位为度(°)；

d ——钢筋、盘条或钢丝的公称直径，单位为毫米(mm)。

图 3 反向弯曲装置的图例

8.3 试验程序

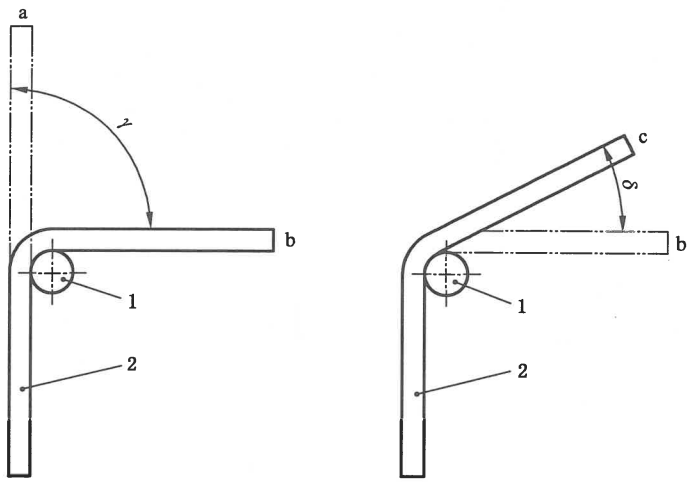
8.3.1 概述

试验程序由三个步骤组成(见图 4)：

a) 弯曲；

b) 人工时效；

c) 反向弯曲。



标引序号和标引符号说明：

1——弯曲压头；

2——试样；

a——初始位置；

b——按 8.3.2 操作后的位置；

c——按 8.3.4 操作后的位置；

γ——在反向弯曲试验中的弯曲角度；

δ——反向弯曲角度。

图 4 反向弯曲试验程序的图例

8.3.2 弯曲

弯曲应在 10 ℃～35 ℃的温度下进行，试样应在弯曲压头上弯曲。
弯曲角度(γ)和弯曲压头直径(D)应符合相关产品标准的规定。
试样应通过目视仔细检查裂纹。

8.3.3 人工时效步骤

人工时效的温度和时间应满足相关产品标准的要求。
当产品标准没有规定时，应采用 5.3 中的人工时效工艺条件。

8.3.4 反向弯曲步骤

在静止空气中自然冷却到 10 ℃～35 ℃后，应在弯曲原点(最大曲率半径圆弧段的中间点)将试样按相关产品标准的规定反向弯曲相应角度(δ)。

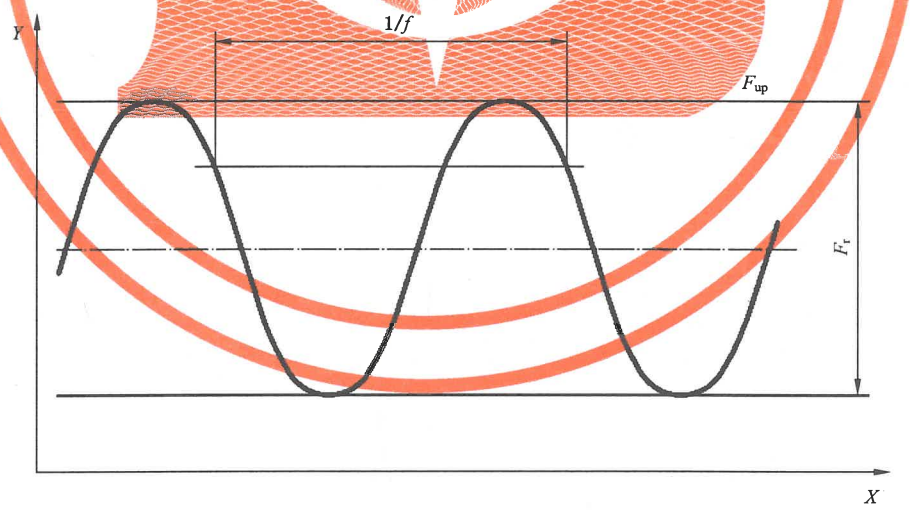
8.4 试验结果评定

反向弯曲试验结果应根据相关产品标准的规定来判定。
当产品标准没有规定时，若反向弯曲试样无目视可见的裂纹，则判定该试样为合格。

9 轴向疲劳试验

9.1 试验原理

轴向疲劳试验是试样在弹性变形范围内，使之承受一个呈固定频率(f)正弦曲线周期变动(见图 5)的轴向拉力的作用，并使试验一直进行到试样破坏或者达到相关产品标准规定的循环周次且试样没有破坏为止。



标引符号说明：
X ——时间，单位为秒(s)；
Y ——轴向力，单位为牛顿(N)；
f ——在轴向疲劳试验中应力循环频率，单位为赫兹(Hz)；
F_{up} ——在轴向疲劳试验中的最大力，单位为牛顿(N)；
F_r ——在轴向疲劳试验中的力的范围，单位为牛顿(N)。

图 5 疲劳加载循环图

9.2 试样

试样应符合第5章的规定。

在夹持部位之间的平行长度的表面不应进行任何形式的表面处理，且不应包含产品标识。平行长度应至少为140 mm或$14d$（二者取较大者）。

9.3 试验设备

疲劳试验机的力值检测系统应根据GB/T 16825.1、GB/T 25917.1和GB/T 25917.2校准，其静态精度等级至少应为1级，试验机应能确保最大力（F_{up}）误差范围在规定值的±2%之内，力的范围（F_r）误差范围在规定值的±4%之内。

9.4 试验程序

9.4.1 与试样有关的准备工作

试样夹持在试验设备中时，应确保力沿轴向传送，且没有任何弯曲力矩。

9.4.2 最大力（F_{up}）和力的范围（F_r）

最大力（F_{up}）和力的范围（F_r）应在相关产品标准中给出，若相关产品标准中未给出最大力（F_{up}）和力的范围（F_r）的数值，可按以下参数进行试验。

注：F_{up}和F_r能根据相关产品标准给出的最大应力（σ_{max}）和应力范围（$2\sigma_a$）按照公式(3)和公式(4)推导出来：

$$F_{up} = \sigma_{max} \times S_n \quad \cdots\cdots(3)$$

$$F_r = 2\sigma_a \times S_n \quad \cdots\cdots(4)$$

式中：

F_{up} ——在轴向疲劳试验中的最大力，单位为牛顿（N）；

F_r ——在轴向疲劳试验中的力的范围，单位为牛顿（N）；

σ_{max} ——在轴向疲劳试验中的最大应力，单位为牛顿每平方毫米（N/mm^2）；

$2\sigma_a$ ——在轴向疲劳试验中的应力范围，单位为牛顿每平方毫米（N/mm^2）；

S_n ——钢材的公称横截面面积，单位为平方毫米（mm^2）。

当应力循环的最大值不大于$0.6R_{eL}$（R_{eL}为产品标准规定特征值）时，对于直径不大于28 mm的钢筋，应力范围（$2\sigma_a$）为175 N/mm^2；对于直径大于28 mm的钢筋，应力范围（$2\sigma_a$）为145 N/mm^2。

疲劳循环次数N一般为200万次，也可由供需双方协商确定。

9.4.3 力和频率的稳定性

试验应在恒定的最大力（F_{up}）、力的范围（F_r）和频率（f）下进行。在整个试验过程中，循环载荷不应出现中断，但试验因意外而中断也允许继续试验，所有中断应在试验报告中注明；中断试验可视作无效。

9.4.4 循环周次的记录

加载循环周次应从第一个完整的循环开始记录。

9.4.5 频率

在试验过程中和系列试验过程中，循环频率应保持恒定。频率应在1 Hz～200 Hz之间。

9.4.6 温度

在试验的整个过程中，试样温度不应超过40 ℃。除非另有规定，试验环境温度应在10 ℃～35 ℃

之间，为确保试验在可控条件下进行，试验温度应在(23±5) ℃。

9.4.7 试验终止

在达到规定的循环周次之前试样破坏，或达到规定的循环周次且试样没有破坏，应终止试验。

9.4.8 试验的有效性

如果破坏发生在夹持部位或距夹持部位 $2d$ 的距离内，或破坏是由试样异常特征引起的，试验可被视作无效。

10 化学分析

一般情况下，用光谱分析方法 GB/T 4336 或 GB/T 11170 测定化学成分。

在对分析结果产生争议时，化学成分应采用化学分析方法进行仲裁。

11 尺寸测量

11.1 试样

试样应符合第 5 章的规定。

试样的长度应满足 11.3 的测量要求。

11.2 试验设备

测量设备的几何尺寸精度至少应符合以下要求：

——测量横肋或纵肋高度不大于 1 mm 时为 0.01 mm；

——测量横肋或纵肋高度大于 1 mm 时为 0.02 mm；

——测量两个相邻横肋间距时为 0.05 mm；

——测量横肋宽度时为 0.05 mm；

——测量横肋间距(见 11.3.3)时为 0.5 mm；

——测量横肋轴向与钢筋轴向之间的夹角或肋侧斜角时为 1°。

当有争议时，应使用传统的直读仪器，例如卡尺、深度计等。

11.3 试验程序

11.3.1 横肋高度

11.3.1.1 最大值(h_{max})

横肋的最大高度(h_{max})应在横肋上每列至少测量三个最大值，计算平均值得出，这些用于测量的横肋不应带有钢筋的产品标识。

如果在一排中存在不同的横肋轴向与钢材轴线之间的夹角(β)，则每个 β 应至少对单个横肋进行三次测量。

11.3.1.2 给定位置的值

在给定位置的横肋高度，例如在 1/4 点、1/2 点和 3/4 点，分别定义为 $h_{1/4}$、h 和 $h_{3/4}$，应在不同横肋上，每列至少在这个位置上测量 3 个值，计算平均值，这些用于测量的横肋不应有钢筋的产品标识。

如果在一排中存在不同的横肋轴向与钢材轴线之间的夹角(β)，则每个 β 应至少对单个横肋进行三次测量。

11.3.2 纵肋高度(h_l)

纵肋高度(h_l)应是在产品的三个不同位置上对每条纵肋至少测量三次得到的计算平均值。

11.3.3 横肋间距(l)

横肋间距(l)应当用测量的长度除以长度内的肋数。

测量长度被认为是在同一排肋上、平行于产品中心线的直线上，一个肋的中心至另一个肋的中心的距离。测量长度应至少有 10 个肋间距。

11.3.4 横肋末端间隙($\sum e_i$)

横肋末端间隙($\sum e_i$)应为相邻两排横肋之间的平均间隙(e)的总和，e 应至少测量三次。

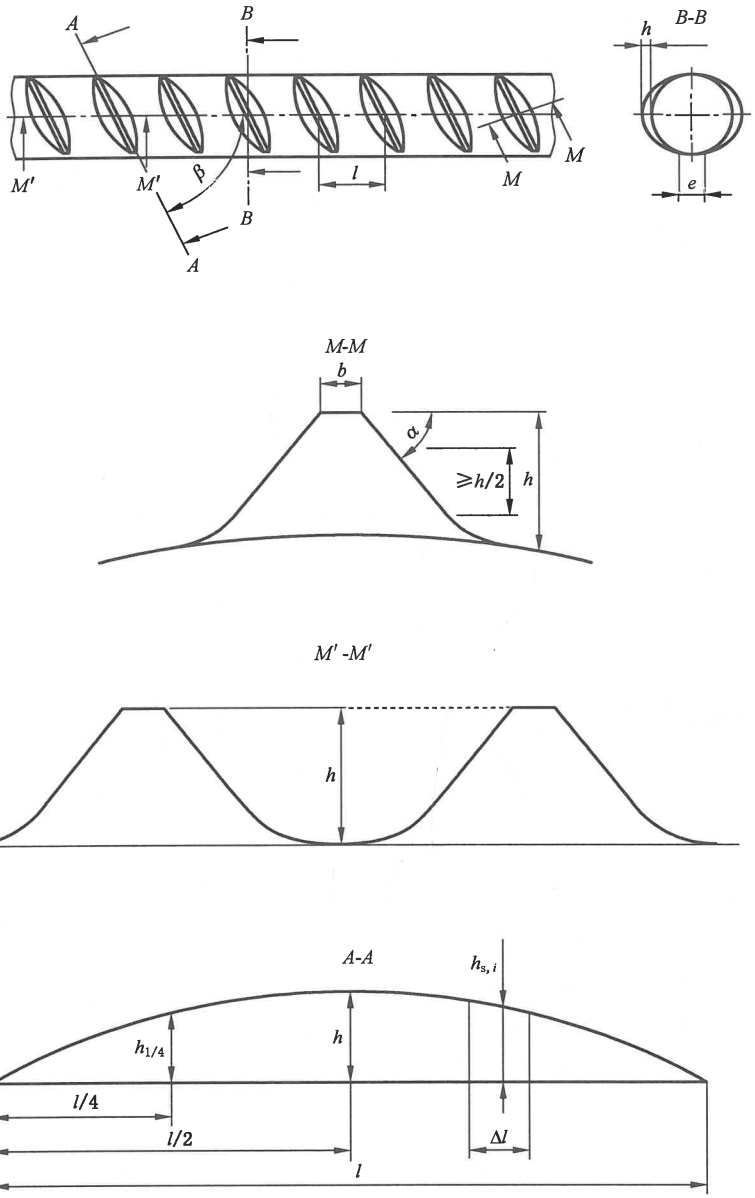
11.3.5 横肋轴向与钢材轴线之间的夹角(β)

横肋轴向与钢材轴线之间的夹角(β)应用按同一公称角度计算每排横肋的单个测量倾斜角度的平均值来确定。

11.3.6 横肋斜角(α)

按照图 6 所示，每个横肋斜角(α)应在没有钢筋产品标识的部位上，至少每排测量两个不同的横肋，并计算肋的同一侧边上的单个倾角的平均值来确定。

横肋斜角(α)应通过测量斜面上两点间最适合的线段来确定，这两点宜足够远以表示出合适的倾角，但要避开底部末端和肋条顶部的坡度，如图 6 所示。



标引符号说明：

A-A ——单条横肋的肋-芯截面示意图；

B-B ——钢材横截面示意图；

M-M ——二分之一点处的横肋横截面示意图；

M′-M′ ——相邻两条横肋的轴向截面示意图；

β ——横肋轴向与钢材轴线之间的夹角，单位为度(°)；

l ——横肋间距，单位为毫米(mm)；

h ——在二分之一点处的横肋高，单位为毫米(mm)；

e ——相邻的两排横肋之间的平均间隙，单位为毫米(mm)；

b ——横肋顶宽，单位为毫米(mm)；

α ——横肋斜角，单位为度(°)；

$h_{1/4}$ ——在四分之一点处的横肋高，单位为毫米(mm)；

$h_{s,i}$ ——肋在长度上按照 Δl 的距离被分为 p 个部分时 i 部分的平均高度，单位为毫米(mm)；

Δl ——肋-芯截面处横肋长度的增量部分，单位为毫米(mm)。

图 6　横肋斜角(α)和单条肋纵向截面积(F_R)的测量

11.3.7 横肋顶宽(b)

除非产品标准另有规定,横肋顶宽(b)应为每条肋三个测量值的平均值,且在肋的中间点处、垂直于肋的轴线上进行测量。这些用于测量的横肋不应有钢筋的产品标识。

12 相对肋面积(f_R)的测定

12.1 概述

钢材和混凝土之间的黏结性允许共有载荷的传递。

影响黏结的主要因素来自混凝土钢材表面上肋产生的切变黏结。

当钢筋混凝土用钢材有肋时,可通过不同方法来确定黏结性能:

a) 肋几何尺寸的测定;

b) 在拉拔试验或梁试验中测量混凝土与混凝土钢材之间的黏结性。

在几何尺寸数据基础上,计算得出黏结系数,也称作相对肋面积(f_R)。

12.2 测量

相对肋面积(f_R)的测定应采用第 11 章中测量的几何尺寸结果来确定。

12.3 计算

12.3.1 通用公式

相对肋面积(f_R)通过公式(5)来定义:

$$f_R = \frac{1}{\pi d}\sum_{i=1}^{n}\frac{\frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m}F_{R,i,j}\sin\beta_{i,j}}{l_i} \qquad \cdots\cdots(5)$$

式中:

f_R ——相对肋面积,无量纲;

π ——圆周率,无量纲;

d ——钢筋、盘条或钢丝的公称直径,单位为毫米(mm);

n ——在圆周上横肋的排数,无量纲;

m ——不同横肋每排倾斜夹角的数量,无量纲;

F_R ——单条肋纵向截面积,单位为平方毫米(mm^2);

β ——横肋轴向与钢材轴向之间的夹角,单位为度(°);

l ——横肋间距,单位为毫米(mm)。

其中,单条肋纵向截面积(F_R)通过公式(6)来计算:

$$F_R = \sum_{i=1}^{p}(h_{s,i}\Delta l) \qquad \cdots\cdots(6)$$

式中:

$h_{s,i}$——肋在长度上按照 Δl 的距离被分为 p 个部分时 i 部分的平均高度,单位为毫米(mm);

Δl ——肋-芯截面处横肋长度的增量部分,单位为毫米(mm);

p ——划分的部分数。

具体公式也可由相关产品标准给出。

12.3.2 简化公式

如使用特殊装置而不需要公式(5)时，可采用简化公式。

公式(7)～公式(9)给出了月牙形横肋的简化公式示例。

a) 梯形公式：

$$f_R=(h_{1/4}+h+h_{3/4})(\pi d-\sum e_i)\frac{1}{4\pi dl} \quad \cdots\cdots(7)$$

b) 辛普森定律公式：

$$f_R=(2h_{1/4}+h+2h_{3/4})(\pi d-\sum e_i)\frac{1}{6\pi dl} \quad \cdots\cdots(8)$$

c) 抛物线公式

$$f_R=\frac{2h}{3\pi dl}(\pi d-\sum e_i) \quad \cdots\cdots(9)$$

式中：

$h_{1/4}$——在四分之一点处的横肋高，单位为毫米(mm)；

h ——在二分之一处的横肋高，单位为毫米(mm)；

$h_{3/4}$——在四分之三点处的横肋高，单位为毫米(mm)；

$\sum e_i$——横肋末端间隙，单位为毫米(mm)。

12.3.3 其他

用于计算 f_R 的公式应符合相关产品标准的规定，并在试验报告中说明。

13 重量偏差的测定

13.1 试样

重量偏差的测定应在有垂直切割端面的试样上进行，试样的取样位置、数量和长度应符合相关产品的规定。

13.2 测量的精确度

试样的长度测量精确到 1 mm，重量的测量精确度不应小于 1%。

13.3 计算

实际重量与理论重量的偏差 W_e 按公式(10)计算：

$$W_e=\frac{W_T-(L_T\times W_t)}{L_T\times W_t}\times 100\% \quad \cdots\cdots(10)$$

式中：

W_T ——试样实际总重量，单位为千克(kg)；

L_T ——试样总长度，单位为米(m)；

W_t ——理论重量，单位为千克每米(kg/m)。

14 循环非弹性载荷试验

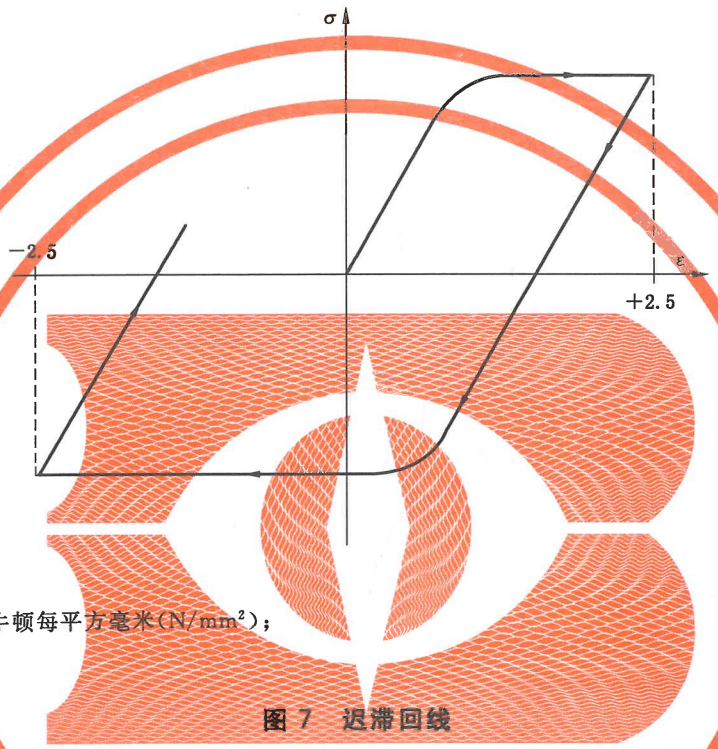
14.1 试验原理

循环非弹性载荷试验是在表 2 和图 7 中给出的条件下，使试样承受 5 次完整的对称迟滞循环，在达

到规定的循环次数前试样失效或完成规定次数的循环后，试验结束。

表 2　循环非弹性载荷试验的试验条件和载荷循环规范

公称直径(d) mm	夹具之间的 自由长度	拉伸应变 %	压缩应变 %	完整的对称迟滞 循环次数(周期 荷载强度)	频率(f) Hz
所有	$10d$(1±5%)	2.5±0.1	−2.5±0.1	5	<3



标引符号说明：

σ ——应力，单位为牛顿每平方毫米(N/mm^2)；

ε ——应变，%。

图 7　迟滞回线

14.2　试样

除了第 5 章给出的一般规定外，试样的自由长度应符合表 2 的规定。

试样应具有代表性、无损伤，且具有足够的长度，以满足表 2 给出的夹具之间的长度要求。夹具之间自由长度的表面不应进行任何形式的表面处理。

14.3　试验设备

试验机的力值检测系统应根据 GB/T 16825.1 来校验和校准，其静态精度等级至少应为 1 级。

对于每台循环非弹性载荷试验机，应记录钢材各公称直径的试验条件(初始力、夹持力、夹具之间自由长度的试验控制)和必要的试样长度。

注：有关初始力和横梁分离速率控制的规定，参考 GB/T 228.1。

14.4　试验程序

14.4.1　关于试样的规定

试样应夹持在试验设备中，以便轴向传递载荷。

使用的夹具应确保试样在试验过程中不会弯曲。垂直于试验轴的夹持力应为最小值，以确定试样

不会发生位移。

14.4.2 应变的上限和下限

应变的上下限应符合表 2 的规定。

加载方向应被适当控制，实现从拉伸到压缩再反向加载的变化过程，以便精确地达到由试验条件(见表 2)规定的迟滞回线的最大点和最小点(见图 7)。

14.4.3 中断

在整个试验过程中，循环载荷不应中断，否则该试验应视为无效。

14.4.4 循环次数

循环次数应从第一个完整的力-位移循环开始计算。

14.4.5 频率

在试验过程中，力循环频率应稳定控制在表 2 规定的范围内。

14.4.6 温度

除非另有规定，试验应在 10 ℃～35 ℃的温度下进行。

14.4.7 试验结束

在达到规定的循环次数前试样失效，或完成规定次数的循环后，试验结束。

14.4.8 试验的有效性

如果在夹持部位或在距夹持部位 $2d$ 范围内发生试样失效，或在试样的异常特征处失效，则该试验可视为无效。

附 录 A
（资料性）
本文件与 ISO 15630-1:2019 相比的结构对照表

本文件与 ISO 15630-1:2019 相比在结构上有较多的调整，具体章条编号对照情况见表 A.1。

表 A.1 本文件章条编号与 ISO 15630-1:2019 章条编号对照

本文件章条编号	对应的 ISO 15630-1:2019 章条编号
1	1
2	2
3	3
4	3
5,5.1,5.2,5.3	4
6	5
6.1	5.1
6.2	5.2
6.3	5.3
7	6
7.1	6.1
7.2	6.2
7.3	6.3
7.4	6.4
8	7
8.1	7.1
8.2	7.2
8.3	7.3
8.4	7.4
9	8
9.1	8.1
9.2	8.2
9.3	8.3
9.4	8.4
10	9
11	10
11.1	10.1
11.2	10.2
11.3	10.3

表 A.1　本文件章条编号与 ISO 15630-1:2019 章条编号对照（续）

本文件章条编号	对应的 ISO 15630-1:2019 章条编号
12	11
12.1	11.1
12.2	11.2
12.3	11.3
12.4	11.4
13	12
13.1	12.1
13.2	12.2
13.3	12.3
—	13.1,13.2
14	13.3
—	14
—	附录 A
附录 A	—
附录 B	—
—	参考文献

附 录 B
（资料性）
本文件与 ISO 15630-1:2019 的技术差异及原因

本文件与 ISO 15630-1:2019 的技术差异及原因见表 B.1。

表 B.1 本文件与 ISO 15630-1:2019 的技术差异及原因

本文件的章条编号	差异	原因
全文	删除了关于冷轧扭钢筋和刻痕钢筋的有关内容	国内目前没有冷轧扭钢筋和刻痕钢筋产品
6、7、9、14	1）将 ISO 6892-1 替换为 GB/T 228.1； 2）将 ISO 7500-1 替换为 GB/T 16825.1； 3）将 ISO 9513 替换为 GB/T 12160； 4）将 ISO 4965-1 替换为 GB/T 25917.1； 5）将 ISO 4965-2 替换为 GB/T 25917.2； 6）将 ISO 16020 替换为 GB/T 38927； 7）删除了 ISO 6892-2 和 ISO 6892-3； 8）增加了 GB/T 4336 和 GB/T 11170	1）GB/T 228.1—2021 修改采用 ISO 6892-1:2019； 2）GB/T 16825.1—2008 等同采用 ISO 7500-1:2004； 3）GB/T 12160—2019 等同采用 ISO 9513:2012； 4）GB/T 25917.1—2019 等同采用 ISO 4965-1:2012； 5）GB/T 25917.2—2019 等同采用 ISO 4965-2:2012； 6）GB/T 38927—2020 修改采用 ISO 16020:2005； 7）国内在钢筋混凝土用钢材领域尚未广泛开展高温拉伸和低温拉伸试验研究，本次修订暂不纳入； 8）根据我国具体生产技术要求，增加相应国家标准
4、6、11、12	将“a”改为“h_l”，“a_m”改为“h”，“a_{max}”改为“h_{max}”，“$a_{s,i}$”改为“$h_{s,i}$”，“$a_{1/4}$”改为“$h_{1/4}$”，“$a_{3/4}$”改为“$h_{3/4}$”，“c”改为“l”，“R_{eH}”改为“R_{eL}”，增加了 L'_o 和 L'_u，删除“A_g”“f_P”“F_P”“P”“λ”和“ϕ”	与相应的产品、试验方法国家标准一致
6.3.4	增加了用于手工法测量 A_{gt} 的 A_r 计算公式	GB/T 228.1 没有明确 A_r 的测定方法，仅提到与 A 的测定一致，为了避免歧义，按照 ISO 15630-1:2019 的规定，参考 A 的计算公式，补充了 A_r 的计算公式
7.4、8.4	对弯曲和反向弯曲后的试验结果评定中，删除了“当撕裂深度不大于撕裂宽度时，可视为表面撕裂，表面韧性撕裂可能发生在肋的底部，这种情况不视为裂纹”	ISO 15630-1:2019 提出了新的裂纹评价方法，但撕裂深度的测量无法实际操作，国内要求只要出现深度撕裂即算作裂纹，严于 ISO 15630-1:2019 的要求
9.3	疲劳试验机精度等级至少应为 1 级，而不是精确度最大允许误差为±1%	在 GB/T 16825.1 中疲劳试验机的精度用精度等级来表示，1 级相当于示值相对误差±1%
9.4.2	对于最大力（F_{up}）和力的范围（F_r）新增默认值和试验方法	对没有明确试验条件的产品提供推荐的疲劳试验步骤予以补充
10	第一句中将“化学成分通过光谱法测定”改为“用光谱分析方法 GB/T 4336 或 GB/T 11170 测定化学成分”。第二句将“在对分析方法产生争议时，化学成分应采用相应的国际标准中规定的适当参考方法进行仲裁”改为“在对分析方法产生争议时，化学成分应采用化学分析方法进行仲裁”	根据 ISO 15630-1:2019 的规定，采用光谱法测定多元素化学成分，国内普遍采用 GB/T 4336 或 GB/T 11170 的光谱仪器分析方法，仲裁方法采用相应的经典分析方法，符合我国国情

表 B.1　本文件与 ISO 15630-1:2019 的技术差异及原因（续）

本文件的章条编号	差异	原因
12.3.2	删除简化公式中的经验公式	国内未采用
14	将特殊试验中的低温拉伸试验、高温拉伸试验内容删除，仅保留循环非弹性载荷试验	目前对低温拉伸、高温拉伸试验研究不够普及，待后续成熟后再行加入，删除此条符合我国国情
—	删除 ISO 15630-1:2019 的第 14 章试验报告	各产品标准均有报告格式，无需累述