

# 依据 GB/T 1499.2—2018 标准的最大力 总延伸率验证试验

孙福猛, 何荣福, 孙泽敏

(广东韶钢松山股份有限公司, 韶关 512123)

**摘要:**采用引伸计和手动两种方法测量热轧带肋钢筋的最大力总延伸率, 得出两种方法测得数据的差异, 并分析了差异产生的原因。结合热轧带肋钢筋和金属材料室温拉伸试验方法相关标准的执行, 提出了准确测量热轧带肋钢筋的最大力总延伸率的合理化建议。结果表明: 在拉伸力最大且同等变形条件下进行测量时, 引伸计测量与手动方法测量的最大力总延伸率仅相差 0.34%, 数值比较接近。

**关键词:**热轧带肋钢筋; 最大力总延伸率; 引伸计; 手动测量

**中图分类号:** TU511.3+2; TG115.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-4012(2022)04-0016-03

## The maximum force total elongation verification test for GB/T 1499.2—2018 standard

SUN Fumeng, HE Rongfu, SUN Zemin

(SGIS Songshan Co., Ltd., Shaoguan 512123, China)

**Abstract:** The maximum force total elongation of hot rolled ribbed steel bars was measured by extensometer and manual methods. The difference between the two methods was obtained, and the causes of the difference were analyzed. Combined with the implementation of the relevant standards for the tensile test method of hot rolled ribbed bars and metal materials at room temperature, reasonable suggestions for accurately measuring the maximum total force elongation of hot rolled ribbed bars were put forward. The results show that when the tensile force was the largest and the deformation was the same, the maximum force total elongation measured by extensometer was only 0.34% different from that measured by manual method, and the value was relatively close.

**Keywords:** hot rolled ribbed bar; the maximum force total elongation; extensometer; manual measurement

钢筋混凝土结构在桥梁、海洋平台、房屋建筑等现代工程建设中应用广泛。混凝土的抗压强度高, 但抗拉强度低, 钢筋是钢筋混凝土建筑构件的骨架, 在混凝土中主要承受拉应力, 具有非常高的抗拉强度。钢筋和混凝土的线膨胀系数相似, 均不会因为环境因素而产生过大的应力; 钢筋和混凝土之间具有良好的黏结力, 尤其变形钢筋的使用更提高了两者的黏结力。

钢筋混凝土用热轧带肋钢筋是关键建筑材料, 其对建筑安全、建筑的使用寿命、资源节约等具有重

大意义。为了保障建筑工程的质量, 国际上制定了一系列标准, 对热轧带肋钢筋的材料性能检测也进行了详细的定义和要求, 涵盖了拉伸试验、弯曲试验和反向弯曲试验及疲劳试验等。国内对热轧带肋钢筋的生产、使用和质量检测一直有相关的控制标准: GB/T 1499.2—2018《钢筋混凝土用钢 第 2 部分: 热轧带肋钢筋》规定了热轧带肋钢筋性能检测项目和要求; 由中国住房和城乡建设部发布的《混凝土结构工程施工质量验收规范》第 5.2.1 条规定, 应按国内现行相关标准的规定, 抽取钢筋试样进行力学性能和质量偏差检验, 检验结果必须符合有关标准的规定。

目前, 国内对热轧带肋钢筋的拉伸试验检测项

收稿日期: 2021-11-15

作者简介: 孙福猛(1990—), 男, 本科, 工程师, 主要从事金属材料热处理及检测工作, 952558892@qq.com

目有:屈服强度、抗拉强度、断后延伸率和最大力总延伸率等。断后延伸率仅反映钢筋局部的变形能力,难以代表热轧带肋钢筋的真正变形能力。热轧带肋钢筋的均匀变形对其使用性能有较大的影响,最大力总延伸率能够真正反映热轧带肋钢筋的变形能力<sup>[1]</sup>。最大力总延伸率就是将试样拉伸到最大力时标距伸长量与原始标距的百分比,准确测量最大力总延伸率十分重要。

GB/T 1499.2—2018 中规定延伸率的类型可以在断后延伸率和最大力总延伸率中选定,但抗震的热轧带肋钢筋的延伸率全部选用最大力总延伸率。GB/T 1499.2—2018 的 8.1.1 条要求热轧带肋钢筋的拉伸试验方法按 GB/T 28900—2012 《钢筋混凝土用钢材试验方法》执行,该标准提供了一种断后的手动测量方法,同时也推荐 GB/T 228.1—2010 《金

属材料 拉伸试验 第 1 部分:室温试验方法》中第 18 章规定的引伸计检测方法。笔者对热轧带肋钢筋的最大力总延伸率的两种测量方法进行了比较,提出最大力总延伸率测量方法的建议。

## 1 检测方法

准备 10 个  $\phi 22$  mm 的 HRB400E 钢筋试样,每个试样长度为 600 mm,试验时平行长度大于 350 mm,无论试样断裂在任何位置,都可以满足距断口至少 50 mm,距夹持端大于 22 mm 的要求。

使用激光打标机标记原始标距,为了减小标记标距带来的误差,等分格标记间的距离为 20 mm。平行长度内标记范围总长为 400 mm,原始标距为 100 mm,测量每一组原始标距,结果如表 1 所示。

表 1 不同试样的原始标距

项目	试样 1	试样 2	试样 3	试样 4	试样 5	试样 6	试样 7	试样 8	试样 9	试样 10
标距 1	99.90	99.91	99.89	99.82	99.90	99.73	99.87	99.73	99.85	99.76
标距 2	99.87	99.79	99.87	99.90	99.78	99.90	99.84	99.89	99.83	99.75
标距 3	99.78	99.80	99.78	99.85	99.75	99.75	99.80	99.76	99.88	99.81
标距 4	99.81	99.90	99.90	99.86	99.80	99.91	99.80	99.75	99.81	99.78
标距 5	99.88	99.73	99.73	99.77	99.81	99.84	99.77	99.79	99.79	99.85
标距 6	99.89	99.86	99.90	99.74	99.90	99.87	99.80	99.78	99.74	99.84
标距 7	99.76	99.84	99.90	99.79	99.79	99.78	99.81	99.87	99.74	99.87
标距 8	99.75	99.76	99.83	99.75	99.72	99.85	99.85	99.80	99.84	99.78
标距 9	99.88	99.73	99.87	99.74	99.73	99.85	99.84	99.85	99.83	99.86
标距 10	99.83	99.81	99.87	99.87	99.87	99.84	99.85	99.89	99.73	99.78
标距 11	99.82	99.75	99.88	99.78	99.90	99.90	99.85	99.75	99.76	99.86
标距 12	99.74	99.83	99.91	99.86	99.79	99.85	99.75	99.80	99.89	99.88
标距 13	99.74	99.91	99.75	99.91	99.84	99.74	99.80	99.81	99.76	99.91
标距 14	99.91	99.86	99.82	99.73	99.88	99.89	99.91	99.76	99.76	99.88
标距 15	99.91	99.75	99.75	99.92	99.77	99.88	99.83	99.92	99.83	99.90
标距 16	99.75	99.89	99.92	99.85	99.85	99.75	99.83	99.85	99.74	99.75
极差	0.17	0.18	0.18	0.19	0.18	0.18	0.16	0.19	0.16	0.17

引伸计测量和手工测量时均采用 100 mm 的原始标距,手动调整引伸计的标距,并与试样的一组标距重合,以保证拉伸至最大力时引伸计的测量位置与手工测量标距的标记位置一致。

拉伸至最大力时停止试验,取下试样。测量与引伸计标距重合位置的最大力塑性延伸率,再加上拉伸力卸载后的弹性变形,弹性变形计算方法如式(1)所示。

$$A_{gt} = A_g + \frac{R_m}{2\ 000} \quad (1)$$

式中: $A_{gt}$  为最大力总延伸率; $A_g$  为最大力塑性延伸率; $R_m$  为抗拉强度。

最大力点测量法与断后手动测量法得到的不同试样的最大力总延伸率如表 2 所示。将试样重新加载至试验机上,无需加载引伸计,并继续进行试验,直至试样断裂。

取断裂后较长的一截试样,用手动方法测量最

大力总延伸率,测量所有满足距离断口大于 50 mm,距离夹持位置大于 22 mm 位置的结果(见表 2,断后手动测量法获得的最大力总延伸率的结

果 1~4 分别为离断口由近至远处的结果)。

采用全场应变测量系统检测拉伸至最大力后试样继续变形的应变场图像,显示仅存在一处颈缩(见图 1)。

表 2 不同方法测量的不同试样的最大力总延伸率

试样编号	抗拉强度/MPa	最大力点测量法		断后手动测量法			
		引伸计/%	手动/%	结果 1/%	结果 2/%	结果 3/%	结果 4/%
1	613	12.7	12.4	15.6	14.7	14.0	13.5
2	618	12.5	12.1	16.0	15.3	14.4	13.7
3	614	12.3	12.0	15.0	14.6	14.2	—
4	610	13.0	12.4	15.1	15.0	14.8	14.6
5	613	12.6	12.4	15.4	15.2	14.7	14.2
6	610	12.4	12.1	16.1	15.8	15.1	14.6
7	617	12.8	12.6	15.6	15.2	14.7	14.4
8	614	12.3	11.9	16.0	15.6	15.1	14.9
9	613	12.5	12.2	15.8	15.6	15.1	14.8
10	614	12.5	12.1	15.5	15.1	14.4	—

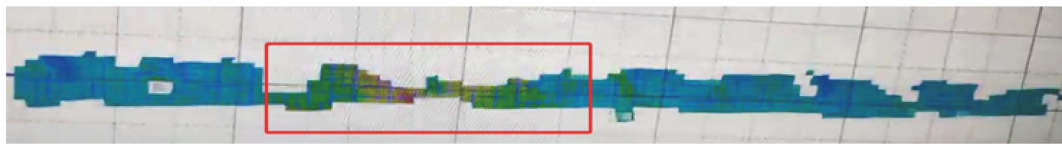


图 1 全场应变测量系统检测拉伸至最大力后试样继续变形的应变场图像

采用引伸计测量最大力总延伸率时,确保最大力取在拉伸曲线最大力平台的中间位置,避免因拉伸曲线未经过光滑处理导致最大力位置取点偏左或偏右,从而造成较大误差。未经过光滑处理最大力处的应力-应变曲线如图 2 所示。



图 2 未经过光滑处理最大力处的应力-应变曲线

## 2 结果分析

(1) 由表 1 得出的 10 个钢筋试样的标距极差均小于 0.2 mm,标记误差小于 0.3%,全部满足不大于 ±1% 的要求。采用激光打标机进行标距标记的重复性较好,对断后多组最大力总延伸率数据的影响较小。

(2) 在最大力处停止试验,比较引伸计与手动两种方法测量相同变形位置的最大力总延伸率。由表 2 可以得出,最大力处用手动方法比用引伸计方法测量获得数据的平均值偏低 0.34%。两种方法的测量结果比较接近。

(3) 试样断裂后,对引伸计与手动两种方法测

量的最大力总延伸率进行分析。

由图 1 可知:拉断试样过程中的应变场图像仅有一处颈缩位置,不存在双颈缩,所以断后手动测量不存在双颈缩对最大力总延伸率测量结果的影响。

由图 2 可知:拉伸曲线未经过光滑处理,易造成某一点的力值偏高,取点过程中,最大力不能取在平台中间位置。热轧带肋钢筋一般拉伸曲线的最大力平台长度为 1~2 mm,曲线波动使试验机选择最大力时,可能取最大力平台的两端,而不在平台的中间,造成引伸计延伸采集数据误差较大,影响最大力总延伸率的测量。

由表 2 可知:试样断裂后,引伸计与手动两种方法测量的最大力总延伸率相差较大,靠近断口处手动方法比引伸计方法测量结果的平均值偏大 3.0%,靠近夹持端手动方法比引伸计方法测量结果的平均值偏大 1.8%;测量位置对手动方法的影响较大,断后手动法测量的最大力总延伸率离断口由近至远依次递减。用体积不变原理进行分析,造成两种测量方法比对结果偏大的原因主要是热轧带肋钢筋拉伸至最大力后直至断裂过程中的不均匀变形<sup>[2]</sup>。

(下转第 40 页)

表 2 不同温度下螺栓的力学性能和晶粒度检测结果

热处理	硬度/ HBW	晶粒 度/级	室温拉伸性能				750 °C 拉伸性能			持久寿命 (750 °C, 412 MPa)/h
			抗拉强 度/MPa	屈服强 度/MPa	断后伸 长率/%	断面收缩 率/%	抗拉强 度/MPa	断后伸 长率/%	断面收 缩率/%	
调整后	334	3.5	1 307	857	30	40	908	8.5	11	77.97
调整前	315	1~2	1 233	787	22.5	23	958	8.5	15	84.38
要求	285~341	2~6	≥1 130	≥705	≥17	≥19	≥740	≥5	≥8	≥50

所下降,与上述分析结果相符。同时,对该螺栓进行了装机试验,螺栓均未出现裂纹或断裂。

#### 4 结语

(1) 螺栓发生疲劳断裂,断裂特征主要为沿晶断裂,装配时产生的偏斜应力是断裂的主要原因。

(2) 断裂螺栓的晶粒粗大,降低了材料的塑性和冲击韧性,增大了缺口的敏感性,促使裂纹快速沿晶扩展。

(3) 细化装配要求可避免螺栓发生偏斜;通过调整热处理工艺和细化晶粒,提高了材料的力学性能。

#### 参考文献:

[1] 张晓东,夏佃秀,杜恒科,等. 高强度螺栓裂纹的原因分析[J]. 热加工工艺,2018,47(14):258-260.  
 [2] 董瑾,黄霞. 汽轮机螺栓偏斜对其蠕变断裂寿命的影响[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版),2015,31(5):923-928.

[3] 吕晶,杨其全,张倩,等. 铸钢轮制动盘螺栓孔裂纹产生原因分析[J]. 金属热处理,2021,46(7):238-242.  
 [4] 林鹏,马党参,孙立国,等. 热处理对热锻模材料 GH4698 组织和性能的影响[J]. 材料热处理学报,2021,42(3):94-103.  
 [5] 冯永志,刘鹤,石多奇,等. GH4698 合金在 500 °C 下裂纹扩展特性研究[J]. 燃气轮机技术,2020,33(2):10-13.  
 [6] 江红. 微观组织对热锻模具钢热疲劳性能的影响[D]. 长春:吉林大学,2001.  
 [7] 李林骏,胡绪腾,宋迎东,等. 某镍基单晶高温合金塑性变形与失效分析[J]. 航空发动机,2019,45(5):97-102.  
 [8] 徐超. 镍基高温合金服役温度范围高温区裂纹急速扩展的现象和本质研究[D]. 北京:北京科技大学,2020.  
 [9] 张小枫,刘拥军,张思远. GH4169 高温合金螺柱失效分析[J]. 电焊机,2021,51(3):64-69,114.

(上接第 18 页)

#### 3 结论

(1) 拉伸试验全自动检测是热轧带肋钢筋性能检测的发展趋势,全自动检测需使用引伸计测量最大力总伸长率。在拉伸至最大力时,且处于同等变形条件下,引伸计方法与手动方法测量的最大力总伸长率仅相差 0.34%。引伸计的精度一般都可达到 0.5 级以上,所以引伸计测量的最大力总伸长率是可靠的。

(2) 引伸计测量热轧带肋钢筋的最大力总伸长率时,最大力的取点位置非常重要,如应力-应变曲线未进行光滑处理,取点位置可能会偏左或者偏右,影响伸长率的取值。使用引伸计测量热轧带肋钢筋的最大力总伸长率时,建议对应力-应变曲线进行光滑处理,光滑处理后的曲线应表征原始应力-应变曲线的特征。

(3) 手动方法测量位置对最大力总伸长率的检测结果有很大影响,为保证试验结果的可靠性,建议在满足测量条件下,靠近夹持端对最大力总伸长率进行测量。

(4) 热轧带肋钢筋的最大力总伸长率都有一定的余量,具备条件的实验室可以采用 GB/T 228.1—2010 中第 18 章规定的使用引伸计的检测方法测量最大力总伸长率。如有争议,可采用手动方法。

#### 参考文献:

[1] 方立新,薛建华,项钰,等. 抗震钢筋力学特征值对抗震结构的意义[J]. 浙江建筑,2018,35(9):28-30.  
 [2] 范攻光,陈巧飞,孙本荣,等. 预应力混凝土用钢棒最大力总伸长率的测试研究[J]. 科技创新导报,2012,9(5):50-51.