

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2022.01.06

装甲车辆传动装置试验台无损连接制动系统研究

李胜军, 李金亮*, 史寒冰, 方国震

(内蒙古第一机械集团股份有限公司计量检测中心, 内蒙古 包头 014030)

摘 要: 传动装置试验台无损连接制动系统是传动装置试验台大转矩原位校准系统的重要组成部分, 可实现对装甲车辆大转矩传动轴的无损连接制动。为了在满足现场空间要求的前提下保证原位校准的准确性, 本文设计了一套与现场大转矩动力输出装置相匹配的无损连接制动系统。该系统不仅适用于现场狭小空间, 而且可根据传动装置试验台输出转矩的大小提供与之匹配的传动轴抱紧力, 实现对传动轴抱紧力的精准控制。通过现场试验, 建立了传动装置试验台输出转矩与抱紧力之间的对应关系, 实现了满足制动要求的同时不损伤传动轴的结果, 同时通过试验表明, 该无损连接制动系统可实现在传动轴承受小于 30000 N·m 下的无损连接制动。

关键词: 大转矩; 抱紧力; 精准控制; 无损连接制动

中图分类号: TB93

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2022)01-0039-06

Research on the nondestructive connection brake system for the transmission device test bench of armored vehicle

LI Shengjun, LI Jinliang*, SHI Hanbing, FANG Guozhen

(Calibrating and Measuring Center, Inner Mongolia First Machinery Group Co., Ltd, Baotou 014030, China)

Abstract: The nondestructive connection brake device is an important component of the high torque in-situ calibration system for the transmission test bench. The device enables nondestructive connection braking of the high torque drive shaft of armored vehicles. In order to ensure the accuracy of in-situ calibration on the premise of meeting the site space requirement, the researcher designed a non-destructive connection brake system which matches the high torque power output device on site. The system not only suits the narrow space on site, but also provides matching transmission shaft holding force on the basis of the transmission device test bench output torque, so as to precisely control the drive shaft holding force. With field test, the correlation between the output torque of transmission device test bench and holding force has been built, and the result of meeting the braking requirement without damaging the transmission shaft has been realized. The test results show that the designed nondestructive connection brake system can achieve nondestructive connection brake when the pure torque that drives the transmission shaft is lower than 30000 N·m.

Key words: high torque; holding force; precise control; nondestructive connection brake

收稿日期: 2021-12-20; 修回日期: 2022-02-14

基金项目: “十三五”国家技术基础科研项目(JSJL2017208B018)

引用格式: 李胜军, 李金亮, 史寒冰, 等. 装甲车辆传动装置试验台无损连接制动系统研究[J]. 计测技术, 2022, 42(1): 39-44.

Citation: LI S J, LI J L, SHI H B, et al. Research on the nondestructive connection brake system for the transmission device test bench of armored vehicle[J]. Metrology & measurement technology, 2022, 42(1): 39-44.



0 引言

装甲车辆传动装置是将液力元件、液压元件、变速机构、转向机构等部件功能集成实现动力的传递,以改变车辆的行驶状态,是实现装甲车辆快速机动的核心部件^[1-3]。近年来,为了适应国家战略和军事转型需要,对装甲车辆的传动装置提出了越来越高的技术要求^[4-5]。为了保证装甲车辆整车的可靠性,传动装置在装车之前必须在传动装置试验台上开展各项性能测试^[6],其中输入输出功率(与转矩和转速的乘积成正比)是考核传动装置性能的重要技术指标^[7-8]。

然而,目前正在执行的装甲车辆传动装置试验台校准技术规程JJF(军工)50-2014《试验台用转矩转速测量系统原位校准规范》,已经无法满足在大转矩3500~30000 N·m条件下对传动轴输入输出功率的校准要求,不能形成有效的量值溯源,影响了传动装置性能试验数据的准确性^[9]。而且,由于传动试验台存在转矩大、试验空间狭小、难拆卸等问题,只有在现场对整套系统进行原位综合校准,与实际工况保持一致,使得传感器在标定时和试验时有着相同的受力和工作条件,才能保证校准的准确性。因此,设计一套能够形成有效的量值溯源的装甲车辆传动装置试验台大转矩原位校准系统具有重要的工程意义。

装甲车辆传动装置试验台大转矩原位校准系统主要由现场纯扭转大转矩动力输出装置、无损连接制动系统和标准扭矩传感器三部分组成。其

中无损连接制动系统需要和传动装置试验台的输出轴连接,不仅要满足现场狭小空间,而且必须在承受现场纯扭转大转矩动力输出装置输出的大转矩时将传动轴抱紧制动,且不能损伤传动轴,有效保证动力输出值与测量值的一致性。由此可见,无损连接制动系统的优劣直接关系着装甲车辆传动装置试验台大转矩原位校准系统的准确性。因此,本文将重点对无损连接制动系统展开研究,设计一套与输出转矩相匹配的现场无损制动系统,利用标准扭矩传感器,完成试验台在系统固性不变、使用条件不变的情况下转矩的原位校准,实现量值的有效溯源,为装甲车辆传动装置的性能指标、参数试验验证、质量检验提供有效的计量保证。

1 无损连接制动系统的工作原理与结构设计

1.1 工作原理

装甲车辆传动装置试验台由加载电机、输出轴、转矩转速传感器和被测传动装置组成。

为了保证在加载电机、输出轴、被校转矩转速传感器和联轴器等设备固定不动的前提下实现对试验台的原位校准,需要在输出轴上加入无损连接制动装置,利用该装置与传动轴间的摩擦力提供反向扭矩,将受扭传动轴抱紧。然后,在被测传动装置的位置上反向串接标准扭矩传感器和大转矩动力输出装置。最后,通过动力输出装置输出扭矩,同时读取标准扭矩传感器和被校转矩转速传感器的数值,实现对试验台的原位校准。试验台转矩原位校准原理如图1所示。

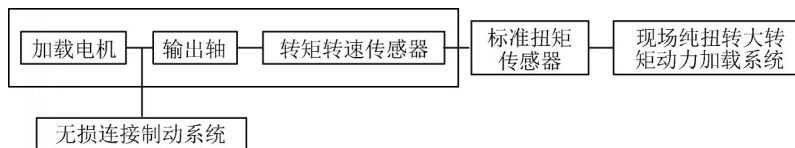


图1 试验台转矩原位校准原理

Fig.1 Schematic diagram of torque in-situ calibration for test bench

1.2 结构设计

根据无损连接制动系统工作原理及现场条件,确定整套系统设计的总体目标是:1)抱紧力值大,制动能力强,且不能对传动轴造成损伤;2)适合现场狭小空间使用,体积小、重量轻,方便移动和固定;3)适用于不同试验台,不同高度、不同直径输出轴的抱紧和制动;4)安装方便,操作简单,安全可靠。从系统设计的总体目标出发,

综合考虑系统的结构稳定性和使用安全性等多方面因素,确定了双臂结构无损连接制动系统的设计方案,如图2所示。

双臂结构无损连接制动系统由抱紧和制动两部分组成。抱紧部分由上抱紧臂、下抱紧臂和抱紧螺栓组成,通过拧紧抱紧螺栓,将传动轴抱紧。制动部分由制动螺栓和液压装置组成,当传动轴承受纯扭转大转矩动力输出装置输出的标准转矩

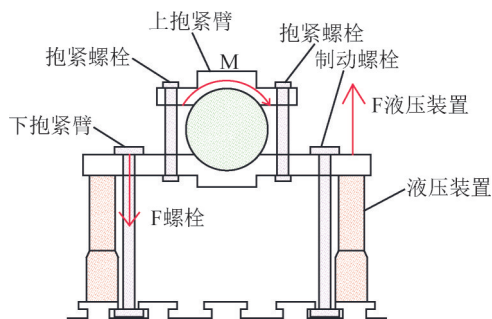


图2 双臂结构无损连接制动系统

Fig.2 Nondestructive connection brake system with two-arm structure

时,无损连接制动系统产生反向转矩将传动轴抱紧制动。无损连接制动系统通过安装在抱紧螺栓下面的垫片传感器的示值调整抱紧螺栓的拧紧力,同时根据加载扭矩的大小调整液压装置的位置,能够使传动轴的抱紧力与加载扭矩相匹配,尽可能减小对传动轴的损伤,实现了抱紧力的精准控制,达到无损连接制动的目的。

2 无损连接制动系统设计计算与选型分析

2.1 抱紧臂材料选择

为防止抱紧臂在大力值抱紧时损伤传动轴,抱紧装置的材料硬度应远低于传动轴的硬度。通过查阅试验台资料可知,传动轴材料为35CrMo合金结构钢,硬度为HRC40~45。因此,选用硬度值低、性价比高的Q235普通碳素结构钢作为抱紧臂材料。

2.2 下抱紧臂长度方向尺寸设计

下抱紧臂既要和上抱紧臂连接,抱紧传动轴,又要与制动部件连接承受拉、压力,是装置的重要部件,且适合于现场狭小空间使用,应优先确定。通过对型号为CH1000传动箱试验台现场测量可知,传动轴直径 Φ 为240 mm,轴长 L 为300 mm,距地面高度 H 为800 mm,最大扭矩为30000 N·m。据此设计下抱紧臂尺寸如图3所示。

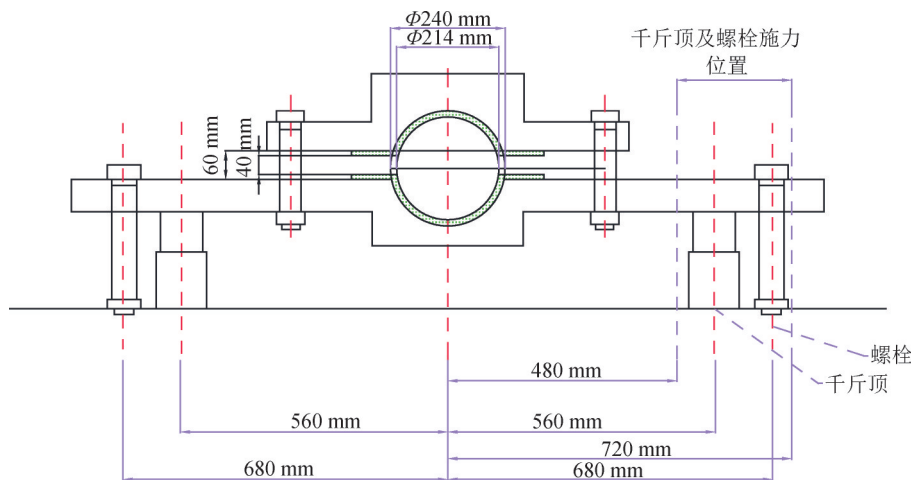


图3 下抱紧臂长度方向尺寸

Fig.3 Length dimension of lower holding arm

2.3 制动部分液压装置规格确定

根据下抱紧臂长度方向尺寸,对其进行受力分析,如图4所示。

根据静力学定律^[10-11],当施加载荷平衡时

$$\sum F = 0 \text{ N}, \sum M = 0 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (1)$$



图4 制动部分受力分析

Fig.4 Force analysis of the braking part

式中: $\sum F$ 为平衡状态下受力总和, N; $\sum M$ 为刚体力矩总和, N·m;

通过分析图5得出

$$\sum F = F_{\text{压}} - F_{\text{拉}} = 0 \text{ N}$$

$$\sum M = 30000 \text{ N} \cdot \text{m} - F_{\text{压}} \times 0.56 \text{ m} - F_{\text{拉}} \times 0.68 \text{ m} = 0 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (2)$$

式中: $F_{\text{拉}}$ 为螺栓承担的拉力, N; $F_{\text{压}}$ 为液压装置承担的压力, N。

求解

$$F_{\text{压}} = F_{\text{拉}} = 24200 \text{ N}$$

根据式

$$F=mg \quad (3)$$

可以求得 m 为 2470 kg。

因此, 压向液压装置选用 5 t 量程即可。

2.4 制动螺栓的型号/规格确定

制动螺栓选用性能等级为 6.9 级的螺栓^[12], 螺栓的抗拉强度 σ 为

$$\sigma = 6 \times 100 \text{ MPa} = 600 \text{ MPa}$$

屈强比为 0.9, 公称屈服强度 σ_s 为

$$\sigma_s = 600 \text{ MPa} \times 0.9 = 540 \text{ MPa}$$

根据压强公式

$$P = \frac{F}{S} \quad (4)$$

螺栓的最小截面积 S 为

$$S = \frac{F}{P} = \frac{24200 \text{ N}}{540 \text{ MPa}} = 44.82 \text{ mm}^2 \quad (5)$$

螺栓截面积 A_s 公式为^[12]

$$A_s = \frac{\pi}{4} \times \left(\frac{d_2 + d_3}{2} \right)^2 \quad (6)$$

式中: A_s 为螺纹的应力截面积, mm^2 ; d_2 为螺纹中径的基本尺寸, mm ; d_3 为螺纹小径 d_1 减去螺纹原始三角高度 (H) 的 1/6 的值, mm 。

$$d_3 = d_1 - \frac{H}{6} \quad (7)$$

式中: H 为螺纹原始三角形高度 ($H=0.866025 P$), mm ; P 为螺距, mm ; d_1 为螺纹小径的基本尺寸, mm 。

将螺栓的最小横截面带入, 可以计算出螺纹小径 d_1 与螺纹中径 d_2 之和为

$$d_1 + d_2 = 2 \sqrt{4 \frac{A_s}{\pi} + \frac{H}{6}} = 15.2 \text{ mm} \quad (8)$$

如果选用 M16 螺栓, M16 螺栓小径为 13.8 mm, M16 螺栓中径为 14.7 mm, 中径与小径之和远大于 15.2 mm。计算结果表明, 选用 M16 螺栓可以满足承压装置使用要求。

2.5 抱紧螺栓的型号/规格选用

抱紧螺栓的型号规格, 决定着抱紧力的大小, 关系着上下抱紧臂的宽度和垫片传感器的选型。根据国家相关标准要求^[13], 在施加不同拧紧力时, 抱紧臂对主轴的抱紧力计算公式为

$$\mu = \frac{N_p}{n_f \cdot \sum_{i=1}^m P_i} \quad (9)$$

式中: N_p 为滑移载荷, kN ; n_f 为摩擦面面数; μ 为

抗滑移系数; $\sum_{i=1}^m P_i$ 为高强度螺栓预紧力之和, kN 。

钢的抗滑移系数 $\mu=0.4$, 摩擦面面数 $n_f=2$, 试件一侧螺栓数量 $m=2$, 10.9 级 M24 的螺栓预紧力为 250 kN, 液压装置的压力可达 500 kN, 则高强度螺栓预紧力之和为

$$\sum_{i=1}^m P_i = 500 \text{ kN} \quad (10)$$

由此可得

$$N_p = \mu \cdot \left(n_f \cdot \sum_{i=1}^m P_i \right) = 400 \text{ kN} \quad (11)$$

故螺栓预紧时, $N_p = 400 \text{ kN}$; 液压装置预紧时, $N_p = 800 \text{ kN}$ 。

以传动轴直径 150 mm 为例, 若利用高强度螺栓预紧, 则滑移转矩 $M_p = 400 \text{ kN} \times 75 \text{ mm} = 30000 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。若转矩值超出 30000 $\text{N} \cdot \text{m}$ 的范围, 可采用液压装置抱紧, 此时的最大滑移转矩可增大至 60000 $\text{N} \cdot \text{m}$ 。

在施扭时, 输出轴转矩通过制动装置转化成拉力和压力的输出 (一端压力, 另一端拉力), 压力端通过液压装置承压, 拉力端通过螺栓承拉。液压装置和螺栓均固定在槽钢上, 力臂为 0.5 m, 螺栓和液压装置承受的拉压力在 60 kN 左右。

通过分析可知, 10.9 级 M18 螺栓拧紧力为 200 kN 时, 即可承受 30000 $\text{N} \cdot \text{m}$ 的转矩将传动轴抱紧。因此, 选用 10.9 级 M18 的抱紧螺栓。

2.6 垫片传感器的型号/规格选用

为了达到精准控制和实时监测抱紧力的目的, 实现在满足制动要求的同时不损伤传动轴, 专门设计了带有垫片传感器的抱紧螺栓。垫片传感器在无损连接制动系统中的安装位置如图 5 所示。10.9 级 M18 的螺栓拧紧力为 200 kN, 考虑到垫片传感器的承压、过载和安装^[14-16], 则选用内径为 20 mm, 最大试验力为 300 kN 的垫片传感器, 如图 6 所示。

3 无损连接制动系统验证试验

为实现对抱紧力的精准控制, 确定装置承载扭矩值与预紧力值之间的关系, 使用测量范围为 3000 ~ 30000 $\text{N} \cdot \text{m}$, 准确度为 0.3% 的静校试验台对工艺轴进行模拟试验。试验方法为:

首先, 将工艺轴的一端通过花键与静校试验台加载端连接, 另一端通过抱紧螺栓、垫片传感器与上、下抱紧臂连接, 拧紧抱紧螺栓抱紧传动

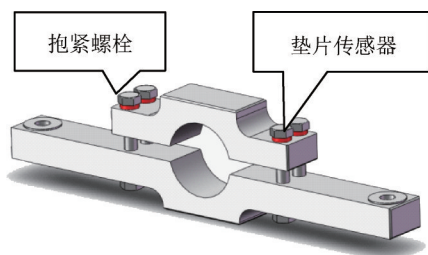


图5 无损连接制动系统示意图

Fig.5 Schematic diagram of the nondestructive connection brake device

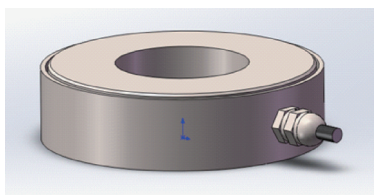


图6 垫片传感器

Fig.6 Gasket transducer

轴。将制动螺栓和液压装置与下抱紧臂连接。全部连接固定好后，将垫片传感器与显示仪表连接，接通电源。然后，调整静校试验台加载臂至水平，将垫片传感器指示仪表调至零点。将拧紧力矩从 50 N·m 依次增加至 500 N·m 拧紧抱紧螺栓，并通过垫片传感器读取抱紧力，同时利用砝码、臂杆将加载扭矩逐渐从 500 N·m 增加至 18000 N·m，保持 5 min。最后，拆开抱紧装置，卸下砝码。此过程重复进行多次，试验结果见表 1。

通过试验验证发现，使用如表 1 所示的预紧力，结果“未打滑”表示可将传动轴抱紧制动，而且通过粗糙度仪和探伤仪检测，工艺轴的外观和内部结构完好，即实现了无损连接制动。图 7 所示为工艺轴加载扭矩与抱紧螺栓预紧力之间的对应关系。从图中可以看出，在满足制动要求且不损伤传动轴的情况下，工艺轴加载扭矩与抱紧螺栓预紧力之间满足如下关系，即 $y=20.76+0.01x-1.42\times10^{-7}x^2$ 。其中， y 表示抱紧螺栓预紧力， x 表示工艺轴加载扭矩。根据这一关系式，可以通过计算获得传动轴在任意加载扭矩下实现无损连接制动所需要的抱紧螺栓预紧力。

4 结论与展望

本文设计的无损连接制动系统，抱紧力值大，制动能力强，可实现在小于 30000 N·m 加载条件下

表 1 现场试验结果

Tab.1 Field test results

加载扭矩/(N·m)	拧紧力矩/(N·m)	预紧力/kN	测试结果
1000	50	13.96	已打滑
700	50	13.89	已打滑
500	50	13.93	已打滑
1200	100	27.86	未打滑
1500	100	27.86	已打滑
2500	150	41.74	未打滑
3000	150	41.74	已打滑
4000	200	55.63	未打滑
6000	200	55.63	已打滑
6000	250	69.47	未打滑
7000	250	69.47	已打滑
9000	300	83.35	未打滑
10000	300	83.35	已打滑
12000	350	97.26	未打滑
13000	350	97.26	已打滑
13000	400	111.4	未打滑
14000	400	111.4	已打滑
17000	450	125.2	未打滑
18000	450	125.2	已打滑
18000	500	138.9	-

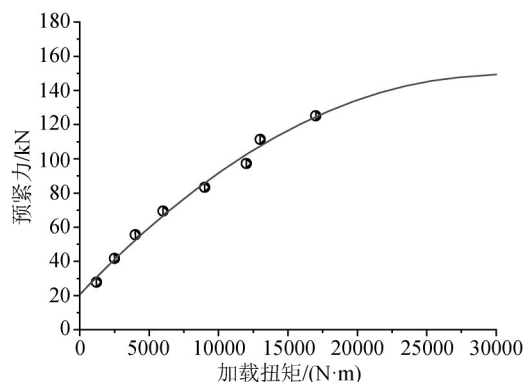


图7 加载扭矩和预紧力间的对应关系

Fig.7 Correlation between loading torque and pretightening force

对传动轴的无损连接制动，适合现场狭小空间使用，操作简单、安全可靠。同时，通过现场试验验证建立了拧紧力和标准扭矩之间的对应关系 ($y=20.76+0.01x-1.42\times10^{-7}x^2$)，实现了抱紧力的精准控制，达到了无损连接制动的目的。通过本项技术研究，解决了装甲车辆传动装置试验台原位校准难题，为传动装置的性能指标、参数试验验证、质量检验提供了有效的计量保证，对新一代装甲车辆的设计、研制具有十分重要的意义。

参考文献

- [1] 伍赛特. 装甲车辆动力传动技术研究现状及发展趋势展望[J]. 传动技术, 2019, 33(2): 44-50.
WU S T. Research status and development trend of armored vehicle power transmission technology [J]. Drive system technique, 2019, 33(2): 44-50. (in Chinese)
- [2] 梁启海. 装甲车辆综合传动装置可靠性优化分配方法研究[D]. 北京: 北京理工大学, 2016.
LIANG Q H. Research on reliability optimal allocation method of integrated transmission of armored vehicles [D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2016. (in Chinese)
- [3] 于知杉. 履带车辆综合传动装置驱动载荷谱应用研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2017.
YU Z S. Study on application of driven load spectrum of tracked vehicle integrated transmission [D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2017. (in Chinese)
- [4] 毛明, 庞宝文. 坦克装甲车辆技术发展新动向和发展重点[J]. 车辆与动力技术, 2012, 3: 51-55.
MAO M, PANG B W. Trends and key points of tank and armored vehicle development [J]. Vehicle & power technology, 2012, 3: 51-55. (in Chinese)
- [5] 伍赛特. 装甲车辆动力系统过程研究综述[J]. 机电信息, 2019, 27: 146-147.
WU S T. Review on the design process of armored vehicle power system [J]. Mechanical and electrical information, 2019, 27: 146-147. (in Chinese)
- [6] 魏巍, 闫清东, 马越. 基于虚拟仪器的车辆综合传动装置测试系统设计[J]. 现代制造工程, 2007, 8: 81-85.
WEI W, YAN Q D, MA Y. Design of test system of a vehicular integrated transmission assembly based on virtual instrument [J]. Modern manufacturing engineering, 2007, 8: 81-85. (in Chinese)
- [7] 徐宜, 王敏, 李建东, 等. 履带车辆传动轴三工况动态扭矩实时测试[J]. 车辆与动力技术, 2018, (3): 50-54.
XU Y, WANG M, LI J D, et al. Real time testing of dynamic torque of tracked vehicle transmission shaft under three working conditions [J]. Vehicle & power technology, 2018, (3): 50-54. (in Chinese)
- [8] 宋娜, 张大治, 吕华溢. 基于超磁致伸缩材料的动态扭矩测量仪的原理设计[J]. 计测技术, 2016, 36: 142-144.
SONG N, ZHANG D Z, LYU H Y. Principle design of dynamic torque measuring instrument based on giant magnetostrictive materials [J]. Metrology & measurement technology, 2016, 36: 142-144. (in Chinese)
- [9] 国家质量监督检验检疫总局. 转矩转速测量装置: JJG 924-2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
State Administration for Market Regulation. Tacho-torque measuring device: JJG 924-2010[S]. Beijing: Standards Press of China. (in Chinese)
- [10] 刘鸿文. 材料力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2017.
LIU H W. Mechanics of materials [M]. Beijing: Higher Education Press, 2017. (in Chinese)
- [11] 王大康, 高国华. 机械设计基础[M]. 北京: 机械工业出版社, 2020.
WANG D K, GAO G H. Fundamentals of mechanical design [M]. Beijing: China Machine Press, 2020. (in Chinese)
- [12] 国家质量监督检验检疫总局. 紧固件机械性能螺栓、螺钉和螺柱: GB/T3098.1-2010[S]. 北京: 中国质检出版社, 2014.
State Administration for Market Regulation. Mechanical properties of fasteners bolts, screws and studs: GB/T3098.1-2010 [S]. Beijing: China Quality Inspection Press, 2014. (in Chinese)
- [13] 国家质量监督检验检疫总局. 钢结构工程施工质量验收规范: GB 50205-2020[S]. 北京: 中国计划出版社, 2020.
State Administration for Market Regulation. Code for acceptance of construction quality of steel structure engineering: GB50205-2020 [S]. Beijing: China Planning Press, 2020. (in Chinese)
- [14] 赵印明, 陈柯行, 柴继新, 等. 一种四柱式高精度电阻应变式力传感器[J]. 计测技术, 2017, 37: 129-133.
ZHAO Y M, CHEN K X, CHAI J X, et al. A four-column high precision resistance strain type force sensor [J]. Metrology & measurement technology, 2017, 37: 129-133. (in Chinese)
- [15] 邢堃, 刘检华, 唐承统, 等. 一种基于垫片式力传感器的螺栓组连接预紧力测量方法[J]. 航空制造技术, 2015, 16: 90-95.
XING K, LIU J H, TANG C T, et al. Bolt group preload measuring method based on gasket force sensor [J]. Aeronautical manufacturing technology, 2015, 16: 90-95. (in Chinese)
- [16] 殷鹤月. 基于压电主动传感技术的螺栓联接状态监测传感器研究[D]. 武汉: 武汉科技大学, 2017.
YIN H Y. A sensor for bolt connection status monitoring based on piezoelectric active sensing method [D]. Wuhan: Wuhan University of Science and Technology, 2017. (in Chinese)

(本文编辑: 朱俊真)



第一作者: 李胜军(1970—), 男, 湖南人, 汉族, 高级工程师, 主要研究方向为力学和热学计量。



通讯作者: 李金亮(1968—), 男, 内蒙古包头人, 汉族, 工程师, 主要研究方向为力学计量。