

# 异型卡式脚手架防坠落装置的设计与强度校验

吴碧金<sup>1</sup>, 王化峰<sup>1</sup>, 苏永新<sup>2</sup>, 钟文辉<sup>3</sup>

(1. 集美大学海洋装备与机械工程学院, 福建 厦门 361021; 2. 厦门宝嘉达信息科技有限公司, 福建 厦门 361004;  
3. 福建省南铝铝模科技有限公司, 福建 南平 353000)

**[摘要]** 针对现有的附着式升降脚手架防坠落装置存在的不足, 根据脚手架的结构和安装位置, 设计了一种基于速度控制的制动机构——异型卡式防坠落装置。该防坠落装置主要构件是异型卡子和多爪转子, 异型卡子具有独特的形状结构。当脚手架慢速提升和下降时, 多爪转子作逆时针或顺时针转动, 而异型卡子仅小幅摆动; 当脚手架急速坠落时, 多爪转子与异型卡子互相卡死, 防止架体坠落。为验证防坠落装置在升降脚手架坠落时的安全性能, 对脚手架主要构件进行了有限元分析与强度校验, 结果证明所设计的防坠落装置主要构件的强度满足施工需要。

**[关键词]** 升降脚手架; 防坠落装置; 异型卡子; 多爪转子; 有限元分析

**[中图分类号]** TH 12

## Design and Strength Verification of Anti Falling Device with Special-Shaped Fastener for Lifting Scaffold

WU Bijin<sup>1</sup>, WANG Huafeng<sup>1</sup>, SU Yongxin<sup>2</sup>, ZHONG Wenhui<sup>3</sup>

(1. School of Marine Equipment and Mechanical Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China;

2. Xiamen Baojiada Info & Tech Ltd., Xiamen 361004, China;

3. FujianNanlv Aluminum mold technology Co., Ltd, Nanping 353000, China)

**Abstract:** In view of the defects of the existing attached lifting scaffold anti falling device, combined with the structure and installation position of the scaffold, a kind of braking mechanism based on speed control is designed for a lifting scaffold. The anti-falling device, which is called special-shaped anti falling device, consists of a special-shaped fastener and multi claw rotors. The fastener is in a unique shape and structure. While the multi-claw rotor rotates anticlockwise or clockwise, the scaffold can be slowly lifted or lowered correspondingly, but the fastener only swings slightly. When the scaffold falls rapidly, the multi-claw rotor and the special-shaped fastener are stuck to each other to prevent the scaffold from falling. In order to verify the safety performance of Anti falling device when the lifting scaffold falls, the FEA (Finite Element Analysis) is carried out to check the strength for the main components, and the results show that the strength of the main components meets the needs.

**Keywords:** lift scaffold; anti falling device; special-shaped fastener; multi-claw rotors; FEA

**[收稿日期]** 2020-03-23

**[基金项目]** 福建省高等学校科技创新项目(B18214); 集美大学产学研项目

**[作者简介]** 吴碧金(1969—), 女, 副教授, 硕士, 主要从事机械设计、工程制图、CAD教学与研究。

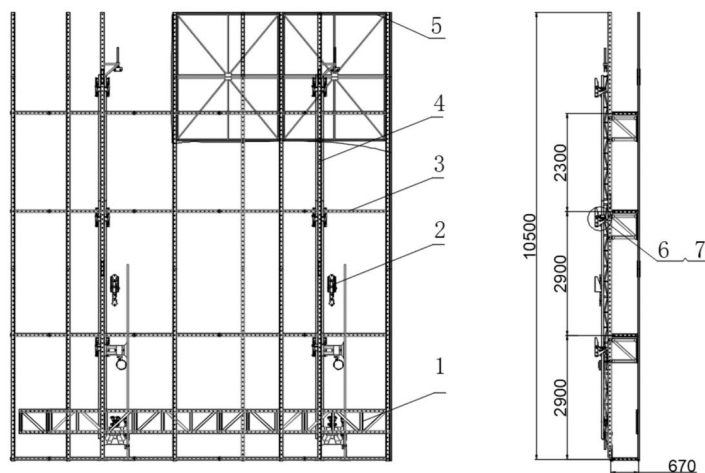
## 0 引言

附着式升降脚手架通过附着支承结构附着在建筑结构上,在其上设置一定高度的外部脚手架,能够依靠自身配备的升降设备,根据施工需求在建筑结构上对脚手架进行升降。由于附着式升降脚手架具有操作简便、施工效率高、节省材料、施工成本低、改善施工环境、绿色环保等特点,近年来,已经被广泛地应用于高层建筑施工中<sup>[1]</sup>。在建筑脚手架安全技术规范中,规定了自动升降脚手架必须具备防倾覆、防坠落功能<sup>[2]</sup>。但在实际施工过程中,仍然时有发生脚手架坠落、倾覆等安全事故,造成人员伤亡和财产损失。防坠落装置作为脚手架的重要装置,起着非常重要的作用,因此,对其进行不断地改进以适应行业的发展是十分必要的<sup>[3]</sup>。附着式升降脚手架的防坠落装置常用的基本类型有摆针式、钢吊杆式、星轮式和楔块式<sup>[4-6]</sup>。但这些防坠落装置都有自身的缺陷,如:摆针式防坠落装置由于其结构尺寸原因导致制动距离过大;钢吊杆式防坠落装置易受到安装的影响而造成防坠距离过大;星轮式防坠落装置内设有弹簧,易受到施工现场如水泥、砂浆的侵蚀,以及弹簧自身失效而产生安全隐患。针对现有的附着式升降脚手架防坠落装置存在的不足,设计了一种异型卡式防坠落装置<sup>[7]</sup>。该装置的主要构件为多爪转子和异型卡子。

## 1 异型卡式防坠落装置的结构和工作原理

### 1.1 异型卡式脚手架防坠落装置的主要结构

附着式升降脚手架主要由架体、竖向主框架、水平支承框架、附墙支承装置、防坠落装置、提升装置和防护钢网 7 个部分组成,如图 1 所示(图中尺寸单位为 mm)。



1—架体 Frame body; 2—提升装置 Lift device; 3—水平支承框架 Horizontal support frame; 4—竖向主框架 Vertical main frame; 5—防护钢网 Protective steel mesh; 6—附墙支承装置 Supporting device attached wall; 7—防坠落装置 Anti falling device

图 1 附着式升降脚手架结构

Fig.1 The structure of an attached lifting scaffold

异型卡式防坠落装置安装在附墙支承装置内,如图 2 所示。防坠落装置由多爪转子、异型卡子、侧限位板、上限位板、销轴组成,如图 3 所示。多爪转子和异型卡子可以绕着销轴转动,多爪转子可以设计成 4~6 爪。异型卡子结构设计要点如下:

1) 设有传动部和制动部,连接于销轴处,另一端分别延伸成“L”形;

2) 传动部的内侧面拱起,形成配重;

3) 制动部的外侧面远离销孔处,设计成曲面,以保证与

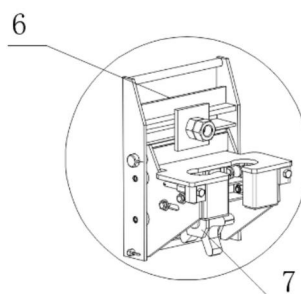


图 2 防坠落装置位置图

Fig.2 The position of the anti falling device

多爪转子的爪子接触是面接触。

4) 传动部和制动部中心线之间的夹角为  $90^\circ \sim 95^\circ$ , 如图4所示。

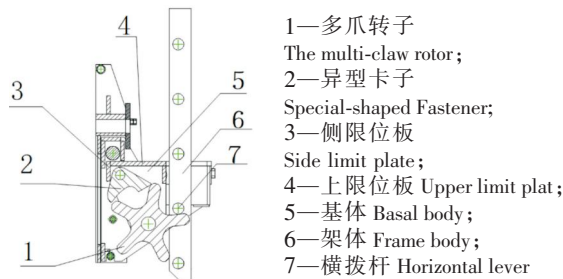


图3 防坠落装置

Fig.3 The schematic show of the anti-falling device

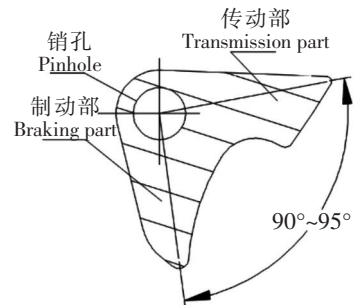


图4 异型卡子结构

Fig.4 The structure of the special-shaped fastener

## 1.2 异型卡式脚手架防坠落装置的工作原理

升降脚手架具有三种工况：提升工况、下降工况和坠落工况。

### 1) 提升工况

当升降脚手架的架体6处于提升工况时(慢速),横拨杆7带动多爪转子1逆时针转动,其爪子沿异型卡子的弧形轨迹从右向左做配合运动。图5a)是多爪转子与异型卡子初始接触位置;图5b)~图5c)中,当多爪转子逆时针转动约  $20^\circ$ ,推动异型卡子逆时针转动约  $21^\circ$ ;图5d)中,当多爪转子继续逆时针转动约  $20^\circ$ ,此时异型卡子由于自重作用顺时针转动约  $10^\circ$ ;图5e)中,多爪转子继续逆时针转动,脱离弧形轨迹,而异型卡在自重作用下与侧限位板配合回到初始位置,继续下一个循环运动。架体慢速提升过程中,多爪转子和异型卡子不会相互卡住,即防坠落装置不会影响架体持续慢速提升。

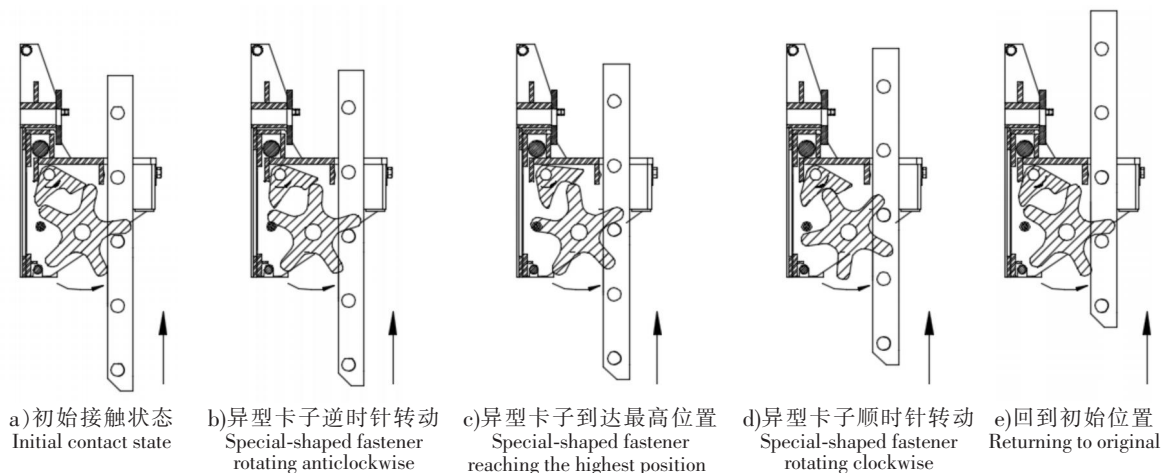


图5 异型卡式脚手架提升工况示意图

Fig.5 The schematic show of the lifting process

### 2) 下降工况

当升降脚手架架体6处于下降工况时(慢速),横拨杆7带动多爪转子1顺时针转动,其爪子沿异型卡子的弧形轨迹从左向右做配合运动。图6a)是多爪转子与异型卡子初始位置;图6b)~图6c)中当多爪转子顺时针转动约  $20^\circ$ ,推动异型卡子逆时针转动约  $10^\circ$ ;图6d)中,当多爪转子顺时针转动约  $20^\circ$ ,此时异型卡子由于自重作用顺时针转动约  $21^\circ$ ;图6e)中多爪转子继续顺时针转动脱离弧形轨迹,而异型卡在自重作用下与侧限位板配合回到初始位置,继续下一个循环运动。架体慢速下降过程中,多爪转子和异型卡子不会相互卡住,即防坠落装置不会影响架体持续慢速下降。

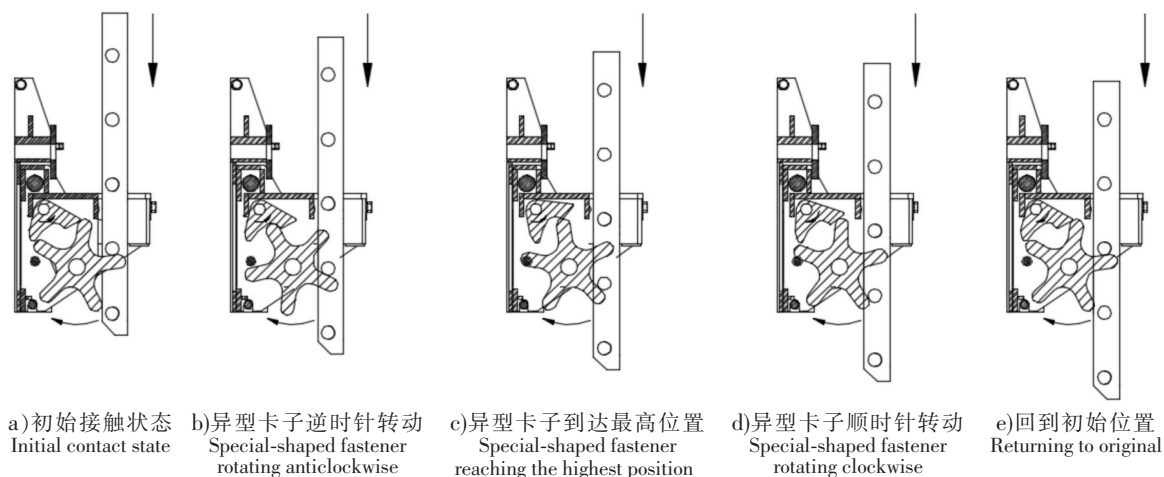


图 6 异型卡式脚手架下降工况示意图

Fig.6 The schematic show of the lifting process

### 3) 坠落工况

当升降脚手架架体 6 处于坠落工况时 (急速), 横拨杆 7 带动多爪转子 1 顺时针转动, 其爪子沿异型卡子的弧形轨迹从左向右快速运动。图 7a) 是多爪转子与异型卡子初始位置; 图 7b) 中, 当多爪转子快速顺时针转动, 多爪转子的前一个爪子碰撞异型卡子, 推动异型卡子快速逆时针转动, 异型卡子来不及复位, 就被多爪转子的下一个爪子卡住; 异型卡子被推动着继续快速逆时针转动, 直至异型卡子传动部的外侧面上与上限位板接触 (限制向上转动)。异型卡子制动部的圆弧曲面与多爪转子的下一个爪子面面接触, 多爪转子与异型卡子相互卡死, 如图 7c) 所示。如此, 防坠落装置卡住架体, 阻止架体继续下降。

此防坠装置属于一次性产品。在发生坠落工况时, 防坠装置发挥防坠作用后, 整个防坠装置 (包括多爪转子、异型卡子和上下限位板) 报废, 必须安装新的防坠装置。

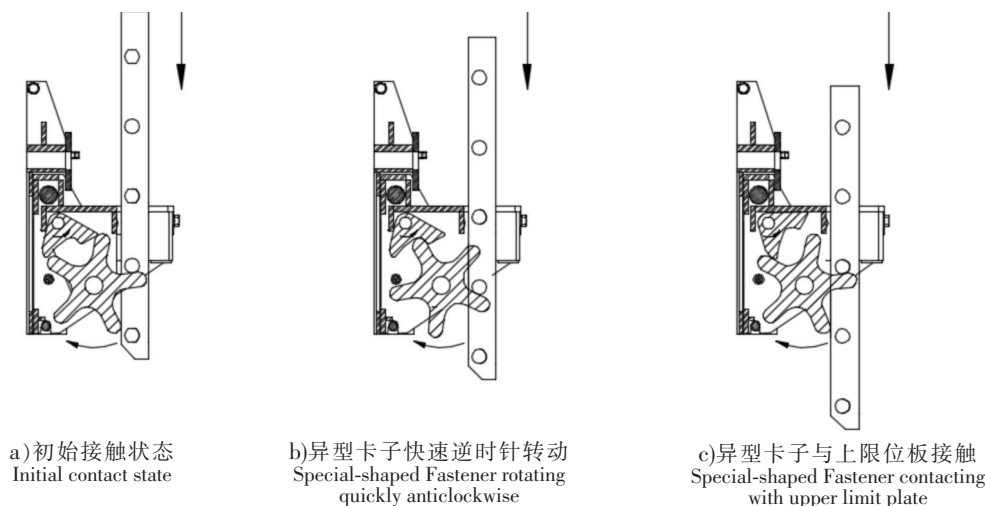


图 7 坠落工况示意图

Fig.7 The schematic show of the Falling Process

## 2 异型卡式防坠落装置有限元分析

为了研究防坠落装置在升降脚手架坠落时的安全性能, 借助 Ansys 有限元软件对脚手架主要构件进行应力校验。

- 1) 多爪转子和异型卡子的材料为 ZG310-570; 屈服应力为 310 MPa; 抗拉强度为 570 MPa<sup>[8]</sup>。
- 2) 加载载荷

为保证防坠落装置的安全可靠性, 验算防坠落装置承载力时, 将一个机位整个架体的全部竖向载荷加载到单个附着支座上, 则整个架体的全部竖向载荷为<sup>[9]</sup>:

$$N_1 = \gamma_0 \gamma_3 (\gamma_G \sum N_{Gik} + \gamma_Q \sum N_{Qik})。$$

式中:  $N_1$  为单个附着支座所承受的最大竖向载荷设计值, kN;  $\gamma_0$  为结构系数, 取 1.1;  $\gamma_3$  为冲击系数, 取 1.5;  $\gamma_G$  为恒载分项系数, 取 1.2;  $\gamma_Q$  为活载分项系数, 取 1.4;  $\sum N_{Gik}$  为单个支座所承受的竖向恒载标准值总和, 取 30 kN;  $\sum N_{Qik}$  为单个支座所承受的施工载标准值总和, 根据 JG/546—2019 规定,  $\sum N_{Qik} = 21.6$  kN

代入以上数据:  $N_1 = 1.1 \times 1.5 \times (1.2 \times 30 + 1.4 \times 21.6) = 109$  kN。

- 3) 有限元模型的建立

根据多爪转子和异型卡子的结构形状, 为避免实体单元带来的奇异应力和局部应力集中, 采用板壳单元进行模拟。当升降脚手架发生坠落时, 多爪转子与异型卡子发生接触, 销联结部位为轴对称约束, 限制法向位移。根据接触后的受力情况建立有限元模型如表 1 所示。

表 1 有限元模型

Tab. 1 Finite element model

构件名称 Component	单元类型 Unit type	厚度 Thickness/mm	单元数 Number of units	节点数 Number of nodes	载荷方向 Load direction	载荷大小 Load cases/kN	载荷分布 Load distribution
多爪转子 Multi-claw rotors	Shell63	45	2 247	2 281	法线方向 Normal direction	109	图 8a) Fig. 8a)
异型卡子 Special-shaped fastener	Shell63	45	485	555	法线方向 Normal direction	109	图 8b) Fig. 8b)

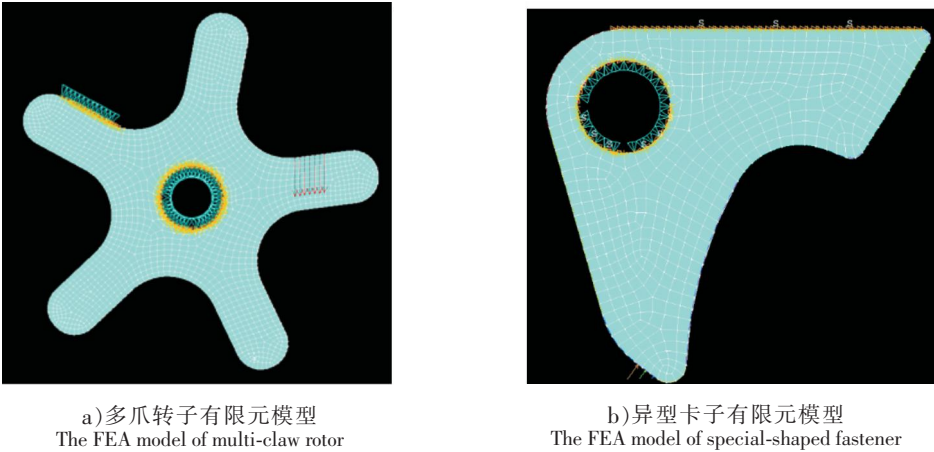


图 8 防坠落装置有限元模型

Fig.8 The FEA models of the anti falling device

- 4) 有限元分析结果

防坠落装置有限元分析结果如图 9 所示。

由图 9a) 可知: 多爪转子的最大应力为 199 MPa, 发生在爪的根部。  
由图 9b) 可知: 异型卡子的最大应力为 98 MPa, 发生在制动部的圆弧外侧。



多爪转子和异型卡子的最大应力都远小于材料许用应力, 满足要求。

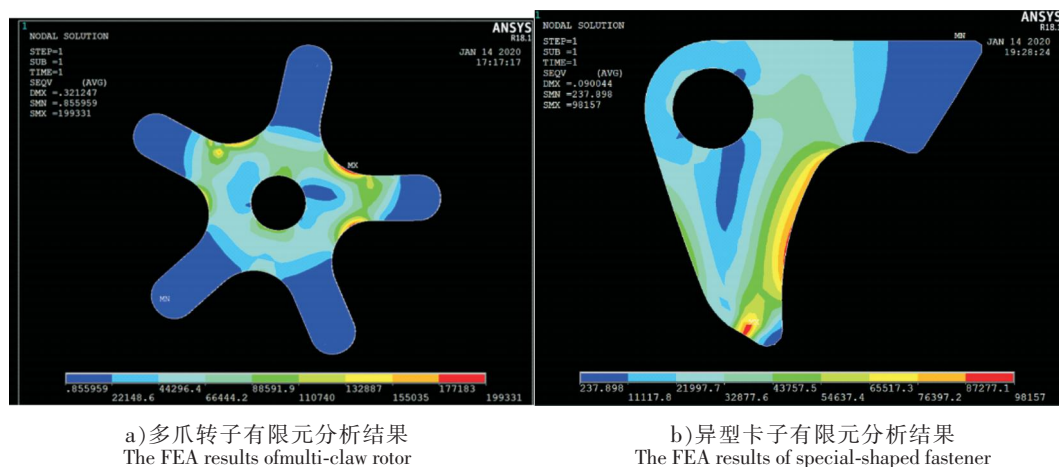


图 9 防坠落装置有限元分析结果

Fig.9 The results from FEA on the anti-falling device

### 3 结语

设计了一种结构特殊的异型卡式防坠落装置, 并通过有限元分析进行了强度校验。验证结果表明该防坠落装置是安全可靠的。该防坠落装置具有以下特点。

1) 安全可靠。异型卡子设计为弧形配重, 保证异型卡子复位时总是向制动部偏转; 设置了侧限位板, 限制异型卡子向下转动位置, 使得异型卡子复位位置一致, 以保证工作时异型卡子与多爪转子可靠接触。异型卡子制动部的的外侧面远离销孔处, 设计成曲面, 当架体坠落时, 异型卡子与多爪转子形成面接触而相互卡死, 强度大, 可靠性高。

2) 动作快而准确。多爪转子转动时, 爪子的运动轨迹为弧形, 配合侧限位板的限位, 使得异型卡子运动过程摆动幅度小, 定位快而准确。

3) 防尘保护。所设置的上限位板和侧限位板, 不仅限制异型卡子的摆动位置, 还可以起到防尘和保护装置的作用。

### [ 参考文献 ]

- [1] KHUDEIRA S. Scaffolding on high-rise buildings [J]. Practice Periodical on Structural Design and Construction, 2009, 14(1): 11-13.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑施工工具式脚手架安全技术规范: JGJ 202—2010 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010: 17-19.
- [3] 金明, 彭双庚, 王璐. 关于附着式升降脚手架防坠落装置的几点思考 [J]. 建筑安全, 2015(3): 25 -29.
- [4] 王峰, 温雪兵, 张森, 等. 常用附着式升降脚手架防坠落装置改进建议 [J]. 建筑机械化, 2017(4): 17-19.
- [5] 惠宽堂, 白继东. 一种导轨式提升脚手架的防坠落装置 [J]. 西安建筑科技大学学报, 1999, 31(3): 269-272.
- [6] 韩玉坤, 李军民, 张运真, 等. 基于非能动技术的防坠装置安全性计算与测试 [J]. 机械传动, 2017, 41(8): 74-77.
- [7] 施志峰, 王化峰, 高镜钦. 一种外置触发式防坠落器: 106677514 [P]. 2017-05-17.
- [8] 中国工程建设标准化协会. 钢结构设计规范: GB 50017—2014 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014: 9-18.
- [9] 中国工程建设标准化协会. 建筑结构荷载规范: GB 5009—2012 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012: 23-30.

(责任编辑 陈 敏 英文审校 郑青榕)