

基于 ANSYS 的铝合金高处作业吊篮 悬吊平台分析与优化

赵 涛

(甘肃第七建设集团股份有限公司,甘肃 兰州 730000)

摘要:为优化铝合金高处作业吊篮的结构设计,基于 ANSYS 平台构建了不同构型悬吊平台的参数化有限元模型,并进行了静力学分析。通过分析结果,量化了铝合金悬吊平台组合模块的最大配置数量。在此基础上,针对静力学分析识别出的薄弱构件进行参数化敏感性分析,重点探究了截面参数对平台整体刚度和强度的影响机制。研究表明:加强杆截面参数对悬吊平台的整体承载性能具有显著调控作用,并存在最优解。本文研究成果可为铝合金吊篮的模块化设计与工程安全性评估提供理论依据和技术支撑。

关键词:铝合金吊篮;悬吊平台;有限元分析;优化分析

中图分类号:TD926.4

文献标志码:A

文章编号:1673-8993(2026)06-0042-07

doi:10.13402/j.gcjs.2026.06.065

Analysis and optimization of aluminum alloy suspended platform for high-altitude work based on ANSYS

ZHAO Tao

(Gansu Seventh Construction Group Co., Ltd., Lanzhou 730000, Gansu, China)

Abstract: To optimize the structural design of aluminum alloy aerial work suspended platforms, parametric finite element models of suspended platforms with different configurations are constructed based on the ANSYS platform, and static analyses are conducted. Through the analysis results, the maximum number of configurations of aluminum alloy suspended platform combination modules is quantified. On this basis, a parametric sensitivity analysis is conducted on weak components identified by static analysis, focusing on the mechanism by which sectional parameters affect the overall stiffness and strength of the platform. Research results show that the sectional parameters of the reinforcing rods have a significant regulatory effect on the overall load-bearing performance of the suspended platform, and there is an optimal solution. The research results can provide theoretical basis and technical support for modular design and engineering safety evaluation of aluminum alloy suspended platforms.

Key words: aluminum alloy basket; suspended platform; finite element analysis; optimization analysis

高处作业吊篮作为一种现代化高空作业设备,凭借操作灵活、安拆便捷等优势,已成为建筑外墙施工领域的主流高空作业设备之一^[1]。目前,国内高处作业吊篮主要采用碳钢、不锈钢等金属材料,结构自重对系统承载能力和施工安全具有显著影响^[2]。近年来,随着材料科学的发展,铝

合金材料因强度高、自重轻及可塑性强等特点,逐步在建筑领域得到应用。

在结构分析与优化方面,国内外学者已开展了大量研究。邵海^[3]以 GTB16 型高空作业平台为对象,通过建立分析模型对其进行了静态特性仿真、动态优化分析,验证了该机构在工作状态下

收稿日期:2025-09-07

作者简介:赵 涛(1989—),男,高级工程师,从事建筑施工、建筑机械方面的研究。

的刚性、强度及稳定性；刘明达^[4]采用有限元软件 ANSYS 研究了 ZLP800 型吊篮悬吊平台的模块化组合力学性能，构建了跨度为 15 m 的平台组合枚举模型，并求解获得了最优组合方案；王绍龙^[5]针对大跨度大载荷吊篮的关键部件进行了 ADAMS 动力学分析，并基于 VB 语言开发了关键部件的参数化分析系统，获得了一套切实可行的结构分析方法；高晓巍^[6]则基于枚举组合算法对 ZLP3000 型吊篮悬吊平台进行了模块组合优化与刚度强度校核，并利用虚拟样机技术完成了整机起升工况下的瞬态动力学分析，确定了动载系数。

鉴于此，铝合金悬吊平台作为吊篮的核心承力组件，其刚度与强度直接关系到设备的综合性能及安全可靠性。为探究不同构型方案的结构安全性，本文拟采用有限元分析方法，对不同方案的应力场与应变场分布规律进行揭示，并对其结构安全性进行评估，以期铝合金悬吊平台的轻量化设计与结构优化提供理论依据与技术参考。

1 铝合金吊篮悬吊平台介绍

1.1 结构组成

悬吊平台是搭载施工人员、工具及物料的作业装置。工作时，平台通过钢丝绳悬挂于空中，由提升机驱动沿建筑物外立面升降，其四周设有防护栏以确保作业安全。

作为吊篮的主要承载结构，铝合金悬吊平台采用模块化设计。各独立单元由空腹铝合金管材焊接完成骨架，单元间通过螺栓连接形成整体空间格构式架构。铝合金悬吊平台主要由主立柱、横杆、腹杆、底板及踢脚板等构件构成，如图 1 所示。本文选取长度为 2.0 m 的标准单元模块作为基础研究对象。

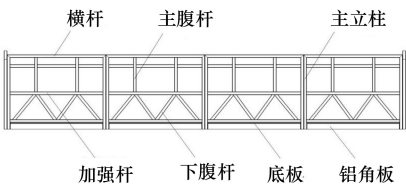


图 1 铝合金悬吊平台结构示意图

1.2 材料选型

铝合金材料具有优异的吸能抗冲击性能，能有效抵抗作业过程中的动态载荷。同时，该材料比强度高、耐腐蚀性强、回收率高，且便于安装施工，综合效益显著。

铝合金高处作业吊篮主要选用 6061 - T6 铝合金型材及 3A21 铝合金板材加工制作，构件壁厚通常为 0.7 ~ 3.0 mm。其中，6061 - T6 铝合金因具有较高的强度、硬度及优良的抗腐蚀性 with 加工性能，主要用于主框架结构的加工^[7]；3A21 铝合金板材塑性好、焊接性能优异，主要用于荷载较小的悬吊平台底板。铝合金悬吊平台各构件的材料选型及参数如表 1 所示。

2 工况分类与荷载设定

2.1 施工工况分类

根据《高处作业吊篮》（GB/T 19155—2017），结合铝合金高处作业吊篮的实际运行情况，将铝合金悬吊平台的施工工况归纳为 3 类^[8-9]，具体如表 2 所示。其中： R_l 为额定载重量，kg； S_{wp} 为平台自重，kg； F_w 为平台所受风荷载，N； F_p 为人员施加的作用力，N； S_d 为平台的冲击荷载系数，取值为 2.0。

2.2 施工荷载设定及平台模块化组合分析

悬吊平台在施工过程中承受的荷载主要包括

表 1 铝合金悬吊平台构件参数

构件名称	规格参数/mm	截面面积/cm ²	线质量/(kg·m ⁻¹)	材质
主立柱	60 × 40 × 3.0	5.99	1.62	6061 - T6
横杆	60 × 40 × 3.0	5.99	1.62	6061 - T6
主腹杆	60 × 40 × 3.0	5.99	1.62	6061 - T6
下腹杆	60 × 40 × 3.0	5.99	1.62	6061 - T6
加强杆	60 × 40 × 3.0	5.99	1.62	6061 - T6
铝角板	90 × 140 × 3.0	13.44	3.63	6061 - T6
底板	3.0	—	—	3A21

表 2 铝合金悬吊平台施工工况

荷载工况	荷载取值
1(正常工作)	$1.25 \times (R_1 + S_{wp}) + 1.25 \times F_w + 1.25 \times F_p$
2(偶然发生)	$1.5 \times R_1 + S_{wp}$
3(极限情况)	$0.8 \times S_d \times (R_1 + S_{wp})$

平台结构自重、操作人员及装备重量、作业物料重量、风荷载以及人员动态作用力。

模块化参数分析旨在确定铝合金悬吊平台的最大安全实用模数。分析中采用参数如下：操作人员按两人计，人均质量为 80 kg，总重 160 kg；装备质量共 80 kg；平台内材料质量共 50 kg；以平台组合模数作为单一变量。不同模块化组合方案对应的各工况荷载如表 3 所示。

表 3 平台模块化组合与工况荷载

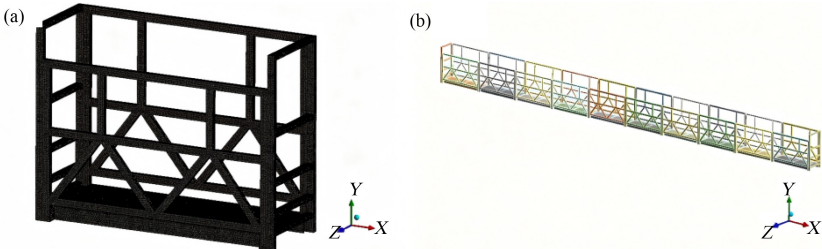
组合模数	平台长度/mm	荷载/kN		
		工况 1	工况 2	工况 3
2×1	2 000	7.40	7.13	6.08
2×2	4 000	8.65	7.67	6.74
2×3	6 000	9.90	8.22	7.39
2×4	8 000	11.15	8.77	8.05
2×5	10 000	12.40	9.31	8.71
2×6	12 000	13.65	9.86	9.36
2×7	14 000	14.90	10.41	10.02
2×8	16 000	16.15	10.96	10.68
2×9	18 000	17.39	11.50	11.34
2×10	20 000	18.64	12.05	11.99

3 悬吊平台静力学分析

铝合金悬吊平台结构件选用 6061-T6 铝合金

表 4 材料力学性能参数

材料型号	杨氏模量/MPa	密度/($\times 10^{-6} \text{ kg}\cdot\text{mm}^{-3}$)	屈服强度/MPa	泊松比
6061-T6 型材	6.9×10^4	2.7	276.00	0.33
3A21 板材	6.9×10^4	2.7	41.36	0.33



(a) 2×1 组合构型；(b) 2×10 组合构型

图 2 悬吊平台组合构型有限元模型

型材，底板采用 3A21 铝合金板材，材料参数如表 4 所示^[10]。

3.1 有限元模型建立

铝合金吊篮悬吊平台结构为空间网架结构，在 ANSYS 有限元建模中采用三维建模构架。为了保证有限元力学分析的准确性，在力学模型建立中简化部分节点及特征。将吊篮悬吊平台模块与模块之间的普通螺栓连接视为铰接节点；忽略所有螺栓孔洞等微小特征对计算模型的影响；将所有焊接焊缝视为刚性连接，性能与母材保持一致^[11-12]。悬吊平台组合构型有限元模型如图 2 所示。

悬吊平台主立柱、横杆、腹杆均采用铝合金管材，力学模型中采用梁单元进行模拟，均应用基于 Timoshenko 梁理论、具有 6 个自由度的三维线性有限应变梁单元——BEAM188 单元；底板、踢脚板等板材采用具有 6 个自由度的四节点有限应变壳单元——SHELL181 单元。两个模块之间的螺栓连接点处理为耦合约束。

3.2 ANSYS 静力学响应数值分析

在设定的 3 种工况下，利用 ANSYS 有限元进行静力学分析，分别根据表 3 的数据对各种组合构型施加荷载，经过分析获得悬吊平台的静力学分析结果如表 5 所示。

由表 5 可知：在 3 种工况下，悬吊平台的最大应力值和最大位移值均随模块数量的增加而增大。3 种工况下悬吊平台高应力区的分布基本相同，均位于与底板连接的加强杆上。其中：加强杆与铝角板连接处的应力最为集中；变形量从两

表 5 悬吊平台静力学分析结果对比

组合序号	工况 1		工况 2		工况 3	
	最大应力值/MPa	最大位移值/mm	最大应力值/MPa	最大位移值/mm	最大应力值/MPa	最大位移值/mm
1	72.18	1.13	75.57	1.09	65.41	0.93
2	75.58	5.73	93.62	5.63	89.87	5.89
3	85.99	7.34	103.89	7.07	98.75	7.53
4	115.07	10.35	110.58	9.58	138.01	10.91
5	123.43	12.64	114.14	11.28	143.93	13.37
6	130.39	14.79	116.03	12.83	160.66	15.66
7	132.81	17.43	119.88	14.47	165.16	18.78
8	135.02	20.72	122.75	16.48	166.83	21.87
9	142.97	25.08	129.46	19.00	169.69	26.55
10	151.11	30.49	134.07	22.08	171.70	32.11

端到中部呈现非线性增加，中部变形量最大，主要体现为外侧横杆的弯曲变形。

对比不同工况下的等效应力峰值与材料许用应力值可知：在所有组合构型中，工况 3 下的 2 × 10 组合构型应力值最大，为 171.7 MPa；等效应力峰值小于许用应力值，强度满足要求。在结构变形方面，工况 3 下的 2 × 10 组合构型位移值最大，为 32.11 mm，该位移极值小于规范规定的许用最大挠度值，表明结构稳定性均满足要求。

分析结果显示，在不同工况下，悬吊平台横杆与加强杆的应力水平相对较高。当设备发生超载或者长期疲劳作业时，横杆及底部加强杆将优先达到许用应力极限，导致强度失效进而发生破坏。因此，在悬吊平台的结构优化设计及日常检查监控过程中，应将横杆与加强杆作为重点优化对象和安全监测部位。

4 薄弱结构优化分析

在不同工况下，不同组合构型的悬吊平台等

效应力峰值均出现在与底板连接的加强杆处，位移极值则出现在外侧横杆处。加强杆作为底板的主要承载结构，其截面参数直接影响悬吊平台乃至整体铝合金吊篮的静力学刚度。

基于此，选取响应最显著的工况 3 作为荷载施加标准，以 2 × 5 组合模数(平台长度为 10 m)为基准构型，在其他参数保持不变的情况下，对横杆与加强杆的截面规格和壁厚进行参数化分析。通过计算获取不同参数组合下的结构等效应力峰值及位移极值，揭示构件参数与悬吊平台力学性能之间的动态关联规律。工况 3 下，2 × 5 组合构型初始状态下的位移云图和应力云图如图 3 所示。

4.1 横杆关联性分析

为探究不同规格及厚度的横杆在工况 3 条件下对悬吊平台静力学性能的影响，选取不同截面参数的横杆进行 ANSYS 静力学仿真分析，得到相应的应力及位移响应数据，如图 4、5 所示。

由图 4、5 可知：在同一工况下，悬吊平台结数构的等效应力峰值与位移极值随横杆截面几何参的

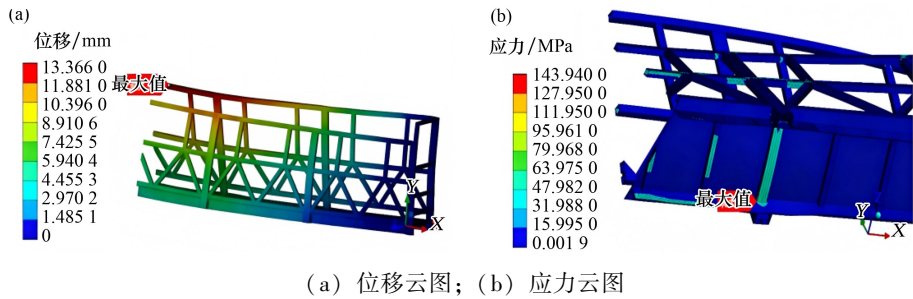
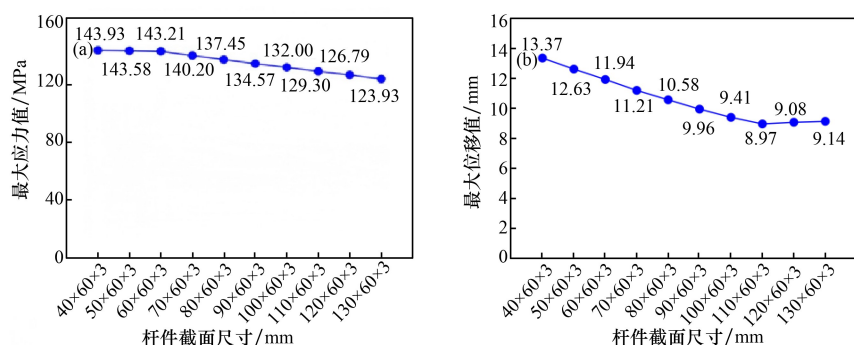
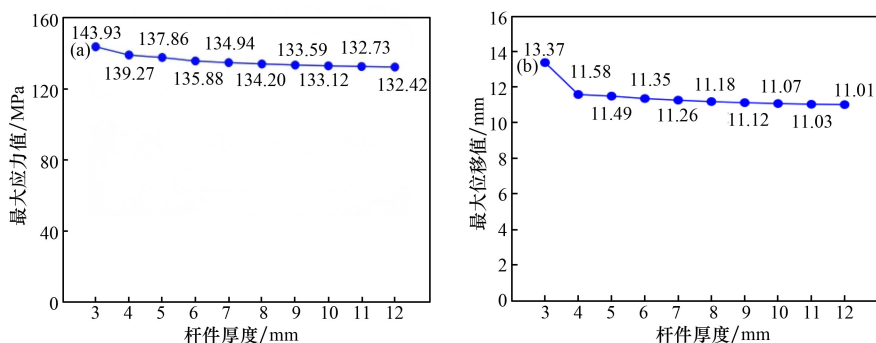


图 3 2 × 5 构型工况 3 最大位移及应力云图



(a) 最大应力; (b) 最大位移

图 4 横杆截面 - 力学性能关系曲线



(a) 最大应力; (b) 最大位移

图 5 横杆厚度 - 力学性能关系曲线

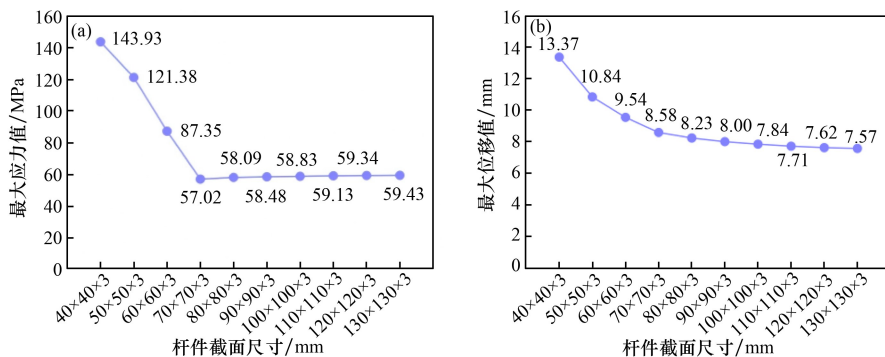
递增总体呈单调递减趋势。当横杆规格由 $40 \times 60 \times 3$ 增至 $130 \times 60 \times 3$ 时, 等效应力峰值仅在 $123.93 \sim 143.93$ MPa 范围内波动下降, 变化幅度不显著; 而位移极值在规格由 $110 \times 60 \times 3$ 时达到最小值 8.97 mm, 较初始值降低了 32.91% , 随后略有回升。

针对横杆厚度的影响, 在保持截面外形尺寸不变的情况下, 仅增加横杆厚度对平台等效应力峰值与位移极值的改善效果不明显, 影响深度有限。

4.2 加强杆关联性分析

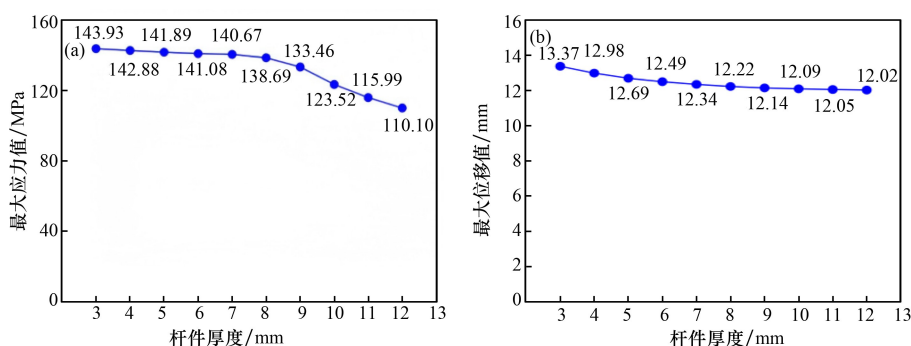
为验证加强杆参数对悬吊平台整体性能的影响,

基于参数化设计方法, 对加强杆截面尺寸进行梯度化调整。通过有限元软件对不同参数下的悬吊平台进行静力学仿真, 获得其静力学性能响应数据, 如图 6 所示。针对厚度参数的影响特性, 在保持加强杆外廓尺寸恒定的前提下, 选取 $40 \times 40 \times 3$ 加强杆为基准, 采用参数化建模方法, 以 1 mm 为步长逐步增加壁厚直至 12 mm。通过有限元仿真分析不同厚度工况下悬吊平台的力学响应特性, 形成等效应力峰值与位移极值的变化曲线, 如图 7 所示。



(a) 最大应力; (b) 最大位移

图 6 加强杆截面 - 力学性能关系曲线



(a) 最大应力; (b) 最大位移

图 7 加强杆厚度-力学性能关系曲线

由图 6、7 可知: 悬吊平台的等效应力峰值与位移极值随加强杆截面的增大呈现显著的非线性关联规律。当加强杆截面尺寸处于 $40 \times 40 \times 3 \sim 70 \times 70 \times 3$ 时, 结构等效应力峰值随截面增大而显著下降; 当截面尺寸大于 $70 \times 70 \times 3$ 后, 应力值趋于平缓甚至小幅回升。同时, 位移值在截面尺寸达到 $70 \times 70 \times 3$ 后随截面增大逐步趋于稳定, 波动幅度极小。这表明 $70 \times 70 \times 3$ 是加强杆参数优化过程中的经济合理截面。

此外, 悬吊平台力学性能随加强杆厚度参数的增加呈现非线性降低趋势, 但总体幅度较为缓慢, 表明单纯增加壁厚对结构刚度的提升效果有限。

5 结 论

(1) 综合分析所有组合构型的计算结果可知, 在工况 3(极限情况)下, 2×10 组合构型的响应最为显著, 最大等效应力为 171.7 MPa, 约占许用应力值的 62.22%; 最大位移为 32.11 mm, 约占许用挠度值的 48.17%, 均处于安全范围以内。然而, 考虑到施工过程中的不确定性因素影响, 为确保具备足够的安全储备, 建议将最大工作应力控制在许用应力的 60% 以内, 即悬吊平台的最大组合长度不宜大于 16 m。

(2) 基于 ANSYS 的静力学分析结果表明, 在 3 种工况下, 悬吊平台的最大应力值和最大位移值总体上随模块数量的增加而增大。各工况的高应力区分布规律基本相同, 主要集中于与底板连接的加强杆上, 其中加强杆与铝角板连接处的应力最大; 平台变形量沿长度方向呈非线性增长, 中

部变形量最大, 主要体现在外侧横杆处。

(3) 对比不同工况下的等效应力峰值与许用应力值可知, 所有组合构型的最大等效应力峰值均未超过许用应力, 结构强度满足设计要求; 在变形控制方面, 各类工况下所有组合构型的位移极值均小于规范允许的最大挠度值, 结果稳定性均处于安全可控范围。

(4) 不同工况下的应力及位移响应分析表明, 与底板连接的加强杆存在明显的应力集中现象, 是结构的薄弱部位; 而悬吊平台的变形则主要表现为外侧横杆的弯曲位移。因此, 在结构优化设计和日常安全监控中, 应将底部横杆与加强杆列为重点优化对象和关键检测部位。

(5) 参数分析证实, 横杆对悬吊平台总体性能的影响较弱, 仅对位移极值具有一定的限制作用; 相比之下, 加强杆参数对结构总体性能具有显著的调控作用。在满足强度设计要求的条件下, 应优先通过优化加强杆的截面几何参数或材料属性来提升结构的综合性能, 而非单纯增加壁厚。

参考文献:

- [1] 张华, 李守林. 国内外高空作业机械的现状与发展趋势(上)[J]. 建筑机械化, 2011, 32(3): 19-24.
- [2] 楼允龙, 陆勇. 浅谈吊篮在幕墙施工中的安全管理措施[J]. 门窗, 2007(4): 42-44.
- [3] 邵海. 高空作业平台工作机构现代设计方法研究: 基于虚拟样机技术的建模方法及机构的仿真、分析与优化[D]. 南京: 南京林业大学, 2008.
- [4] 刘明达. 高处作业吊篮悬吊平台组合结构力学性能分析[D]. 沈阳: 沈阳建筑大学, 2011.
- [5] 王绍龙. 大跨度大载荷高处作业吊篮关键部件力学

- 分析及评估[D]. 沈阳:沈阳建筑大学,2016.
- [6] 高晓巍. 大载荷高处作业吊篮起升动力学分析及仿真[D]. 沈阳:沈阳建筑大学,2014.
- [7] 刘迪,刘兴武,董颖,等. 6061 铝合金元素含量对产品影响的分析[J]. 装备机械,2023(3):63-66;76.
- [8] 屈建军. 建筑施工吊篮安全设施机构力学计算及强度校核[J]. 建设机械技术与管理,2023,36(6):46-47.
- [9] 王旭,任宁,赵昕晨,等. 异形建筑外幕墙工程吊篮施工技术[J]. 建筑技术开发,2024,51(11):55-57.
- [10] 黄晶晶,祝哮,郭峰,等. 铝合金脚手板的结构设计与分析[J]. 装备机械,2024(3):29-32;44.
- [11] 贾肖雄. 高处作业吊篮安全管理的分析及建议[J]. 建筑机械化,2025,46(4):34-37.
- [12] 郑夕健,卢震,谢正义. 基于 ANSYS 的吊篮悬挂机构动力学分析[J]. 建筑机械化,2010,31(12):42-44.

《工程建设》期刊投稿系统启用通告

为适应期刊发展需要,提升投稿及稿件处理效率,本刊自 2026 年 1 月 1 日起正式启用网上采编系统。即日起,所有来稿请通过以下官方网站投稿与查询:

采编系统网址: <https://gcjs.cie-cn.com>。

投稿流程说明:

- 1) 首次使用请先完成作者注册;
- 2) 注册成功后以作者身份登录;
- 3) 按系统页面提示完成投稿及相关操作。

请广大作者通过上述系统进行投稿、查稿等事宜,感谢您的支持与配合!