

DOI: 10.7672/sgjs2025220110

新型定型化可折叠操作架设计与应用研究 *

陈相坤¹, 陈 健², 张紫仲², 刘一凡², 李永轩²(1. 复旦大学附属中山医院, 上海 200032;
2. 中国建筑第二工程局有限公司华东公司, 上海 200135)

[摘要] 设计了建筑施工用的定型化可折叠变高度轻型操作架, 通过理论计算和数值模拟开展横杆受力、立杆轴力和抗倾覆稳定性计算、折叠架整体受力及失稳分析, 确保结构安全可靠。通过使用铝合金材料、合理布置开爬梯洞口, 解决钢管扣件脚手架、盘扣脚手架等搭设操作架过程复杂、质量大、爬梯布设困难、人员不易操作的问题。通过底部承托, 解决了登高作业架易倾覆的安全风险问题、底部滚动轮带来的违规操作风险问题, 通过设置斜撑增加结构稳定性。结合经济分析, 对比同条件钢管盘扣操作架的立杆数量。研究结果表明, 随着周转次数增加, 新型操作架能够显著减少人工搭设时间, 实现降本增效。

[关键词] 操作架; 铝合金脚手架; 数值模拟**[中图分类号]** TU74**[文献标识码]** A**[文章编号]** 2097-0897(2025)22-0110-05

Application Research and Design of a New Type of Standardized Foldable Operating Scaffold

CHEN Xiangkun¹, CHEN Jian², ZHANG Zizhong², LIU Yifan², LI Yongxuan²

(1. Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China;

2. China Construction Second Engineering Bureau Ltd., East China Co., Shanghai 200135, China)

Abstract: A standardized foldable variable height lightweight operating frame for construction has been designed. Through theoretical calculations and numerical simulations, the horizontal bar force, vertical pole axial force, and anti overturning stability calculation, as well as the overall force and instability analysis of the folding frame, have been carried out to ensure the safety and reliability of the structure. By using aluminum alloy materials and arranging ladder openings reasonably, the problems of complex, heavy, difficult ladder installation, and personnel difficulty in operating scaffolding such as steel pipe fastener scaffolding and plate fastener scaffolding can be solved. Through the bottom support, the safety risk of easy overturning of the climbing operation frame and the illegal operation risk caused by the bottom rolling wheel are solved, and the structural stability is increased by setting slant support. Combining economy analysis, this paper compares the number of upright poles of steel pipe buckle operating frames under the same conditions. The research results indicate that with the increase of turnover times, the new operating frame can significantly reduce manual installation time and achieve cost reduction and efficiency improvement.

Keywords: operating frame; aluminum alloy scaffolding; simulation

0 引言

在主体结构施工中, 施工现场往往采用搭设盘

* 上海市医院协会医院建筑后勤管理专委会课题: 结合 AI 的新一代信息技术在国家医学中心建设项目的探索应用 (2025JZHQ005)

[作者简介] 陈相坤, 总务处副处长, 重大办副主任, 助理研究员, E-mail: chen_xiangkun@zs-hospital.sh.cn

[通信作者] 刘一凡, 项目副总工程师, 工程师, E-mail: 879040943@qq.com

[收稿日期] 2025-02-05

扣架作为操作架, 以开展墙柱钢筋绑扎工作。但盘扣架为定型化产品, 为满足现场安全施工要求搭设爬梯, 往往需要多层架体, 单根柱钢筋绑扎搭设的架体总质量超过 500kg, 质量大、架体宽且不易操作。为避免操作架和支撑架混用, 且尽可能方便作业人员操作, 许多学者在实际生产中不断优化操作架。居虎等^[1]对上海环球金融中心采用的临边巨

型钢柱焊接操作设计了操作架,通过钢上翼缘的主要吊点和辅助吊点,确保工人作业安全。王伟等^[2]针对超高独立柱设计井字操作架方式搭设,相比搭设双排操作架所用人工和材料大大节约。许婷华等^[3]对大跨钢网架高空操作架的设计进行了深入研究和讨论。除了操作架设计外,多位学者也针对架体进行了力学性能计算。谢向阳^[4]采用有限元软件进行特征屈曲计算分析,明确外墙脚手架搭设要点。赵元一等^[5]采用理论分析考虑初始变形对结构性能的影响,对钢管脚手架的稳定性进行了研究分析。张月楼等^[6]对轻型结构的安装工程进行细化,设计了可折叠式轻型钢结构施工临时支撑体系,并进行了模型试验和数值计算。在操作架架体设计时也应采用相似的研究思路和研究方法。

本文设计了建筑施工用定型化可折叠变高度轻型操作架,通过理论计算和数值模拟验证结构强度和稳定性,保证架体设计稳定。通过使用轻便材料、合理布置开洞口,解决钢管扣件脚手架、盘扣脚手架等搭设操作架过程复杂、质量大、爬梯布设困难、人员不易操作的问题;通过底部承托,解决了登高作业架易倾覆的安全风险问题、底部滚轮带来的违规操作风险问题,通过设置斜撑增加结构稳定性。同时,通过经济分析比选,验证其在实际工程应用中的优势。

1 操作架架体设计

1.1 设计原则

操作架设计有如下原则:①选用铝合金材料,确保架体轻盈;②尽量设置折叠段,减少拼装次数;③爬梯设置合理,保障安全;④提高结构抗倾覆性能;⑤操作平台易搭设,高度可调节,兼顾常规建筑、住宅的一次结构、二次结构操作平台高度范围;⑥满足2人操作平台,设计荷载 $2\text{kN}/\text{m}^2$;⑦作业面围护结构高度满足要求。

1.2 设计尺寸及组件

设计尺寸作业面长1.2m,宽0.8m,操作架总高(3.7 ± 0.25)m(可调节底座高度)如图1所示。作业平台为铝合金开口平台板,可通过两侧四级架固定,也通过四级架在不同高度,调整作业平面高度,实现在0.4~2.8m范围内作业平台的调节。

操作架总质量约72.5kg,由可调底座、横撑杆、斜撑杆、单宽四级架(不含爬梯)、单宽四级架(含爬梯)、折叠连接框架、开口平台板、斜向支撑组成。其中单宽四级架(不含爬梯)、单宽四级架(含爬梯)和折叠连接框架组成了折叠段,折叠组件的质量 $\leq 20\text{kg}$,如图2所示。结构使用时,2层折叠段通过顶

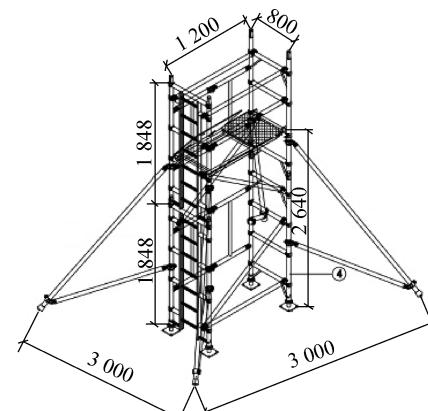
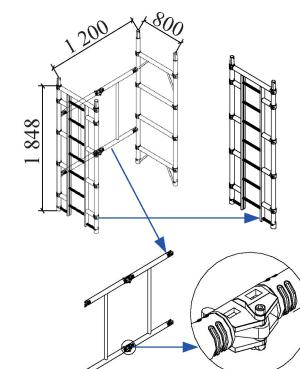


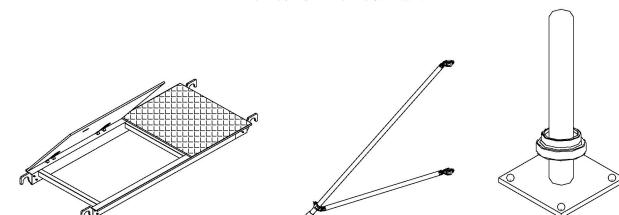
图1 设计尺寸

Fig. 1 Design size

部承插组合而成,减小了单件质量,方便收纳存储,通过狭小空间实现架体搭设。



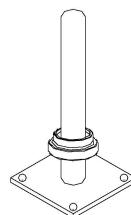
a 操作架一体折叠段



b 开口平台板



c 斜向支撑



d 底部支撑

图2 新型操作架组成部分

Fig. 2 Components of new type operating scaffold

2 结构计算

正常使用状态下,荷载通过面板传递至横杆,横杆将受力传递至立杆。结构计算包括横杆受力计算、立杆轴力计算、抗倾覆稳定性计算和折叠架整体受力及失稳分析。

2.1 横杆受力计算

对于荷载直接作用面,主要依靠底部横杆受力,如图3所示。

1) 强度验算

当 $2\text{kN}/\text{m}^2$ 的满布施工荷载作用在折叠架顶层时,承重横杆应力最大。对于本设计中 $1.2\text{m}\times 0.8\text{m}$ 的

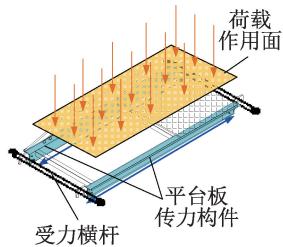


图 3 横杆受力

Fig. 3 The horizontal bar bears the load

施工操作平台,承重横杆上的总荷载值为 1.511kN,结构反力为 0.755kN,最大弯矩为 0.112 3kN·m。

考虑横杆截面惯性矩 $W_{x1} = 2774.76\text{mm}^3$,计算得出截面的最大应力为 40.472MPa,小于铝合金材料的允许应力 200MPa。

2) 挠度验算

均布荷载最大挠度计算结果为 1.791mm,小于允许变形 5.33mm。

2.2 竖杆受力计算

计算支撑架竖杆时,考虑自重、作业面活荷载和风荷载。为此,分别考虑风荷载作为活荷载控制和非控制条件。

当主要考虑作业面活荷载时,立杆的轴向压力设计值如下:

$$\sigma = \frac{N_1}{\phi A_0} < [f] \quad (1)$$

式中: N_1 为不考虑风荷载作用下立杆的轴向压力设计值; ϕ 为轴心受压构件的稳定系数; A_0 为立杆净截面面积; $[f]$ 为立杆的抗压强度设计值。

当主要考虑风荷载时,风荷载标准值按 GB 50009—2012《建筑结构荷载规范》计算。

$$\sigma = \frac{N_2}{\phi A_0} + \frac{M_w}{W} < [f] \quad (2)$$

式中: N_2 为考虑风荷载作用下立杆的轴向压力设计值; M_w 为计算立杆段由风荷载设计值产生的弯矩值; W 为立杆的截面模量。

计算结果显示,当主要考虑作业面活荷载时,计算结果为 41.199MPa,考虑风荷载时,计算结果为 80.891MPa,立杆的稳定性满足要求。

2.3 抗倾覆稳定性计算

根据现场试验测试,架体最容易倾覆的状态为:2名作业人员($2 \times 75\text{kg}$)同侧施工,且身体外倾,并考虑箍筋质量 30kg。力学模型简化为 1.5kN 作用在架体边缘 200mm 处,且端部有 0.3kN 作用在架体外 300mm 处。同时,架体自重为 0.725kN。

当不考虑斜撑时,操作架的安全系数为 6.556,

表明结构有 6 倍安全保障。当计算模型考虑斜撑后,结构各项受力均在落点范围内,结构的倾覆力矩为 0。因此,折叠架不会发生倾覆,满足使用要求。

2.4 折叠架整体结构分析

除了构件层面,还需对结构整体进行受力分析,基于 Solidworks Simulation 建立精细化有限元模型,分析结构应力和变形。结构的边界条件和荷载条件如图 4 所示。结构底部采用固定约束,约束 x, y, z 方向的位移,顶部自由。作业面荷载考虑 2kN/m^2 ,并结合放大系数,在每个横梁作用点设置 75kN 荷载;模型整体设置向下 9.8m/s^2 的加速度,以模拟自重。

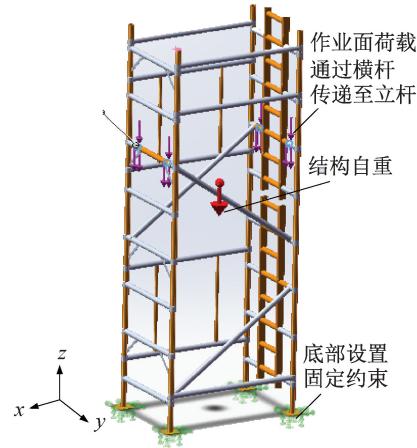


图 4 边界条件及荷载条件

Fig. 4 Boundary conditions and load

铝合金材料本构关系如式(3)所示^[7],采用 Ramberg Osgood 模型, ε , E , $f_{0.2}$, n 分别为应变、应力、非比例延伸强度(即残余应变等于 0.002 时所对应的应力)、用于表征铝合金应变硬化的系数,系数 n 采用 SteinHardt 建议按式(4)计算。相应系数按 GB 50429—2007《铝合金结构设计规范》取值。

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + 0.002 \left(\frac{\sigma}{f_{0.2}} \right)^n \quad (3)$$

$$10n = f_{0.2} \quad (4)$$

数值模拟计算结果如图 5 所示,荷载作用下,结构整体的最大变形为 0.27mm,结构杆件最大应力为 3.8MPa,结构的整体变形和应力均满足要求。考虑刚度矩阵,对有限元模型进行了特征屈曲计算,计算结果显示,第 1 节失稳为整体失稳,最容易失稳位置位于轴向立杆的节点位置,安全系数为 7.812,满足结构性能要求,与理论计算安全系数相近。

3 现场实施

架体拼装如图 6 所示。整个架体组装完成后,

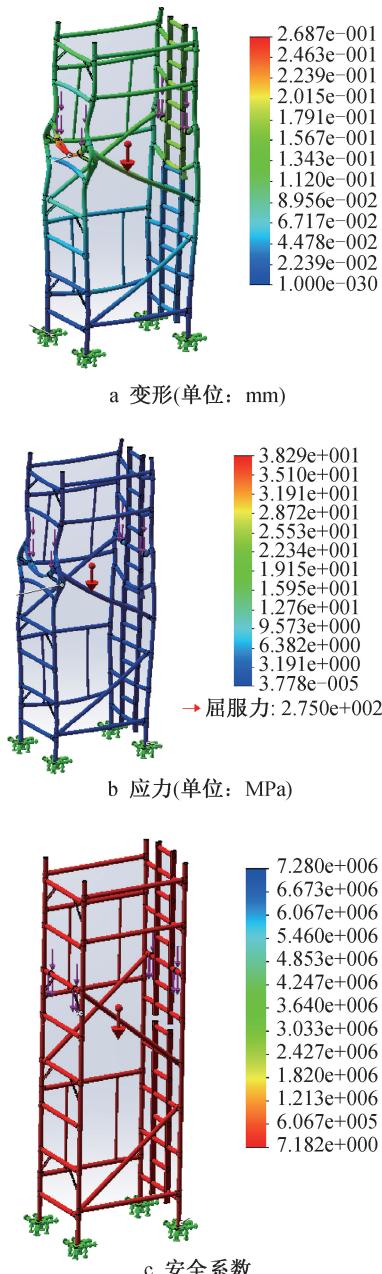


图 5 计算结果

Fig. 5 Calculation results

根据地面平整度调整底部承托高度并锁死、调整斜抛撑角度和与地面接触度以保证结构安全。设置斜撑后,平台板设置为最高 3.7m,顶部横向变形 $\leq 3\text{cm}$,充分保障作业人员安全。

新型操作架在主体结构、二结构施工过程中得到了大量应用,如图 7 所示。通过调节平台板位置适应不同高度柱钢筋绑扎、二次结构墙体。架体总质量为 72.5kg,能够满足 2 名作业人员迅速作业。结构材料方便轻盈,助力项目实现高效建造,精益建造。

4 经济效益分析

从工序上分析,建筑工程每层结构施工应依次



图 6 操作平台搭设过程

Fig. 6 Setting-up process of operating platform



图 7 现场应用

Fig. 7 Application at site

完成柱、墙、梁、板钢筋绑扎。为满足规范要求,需进行平面布置。对于 4.5m 高、截面尺寸为 1.2m×1.2m 的混凝土柱采用盘扣架进行搭设,平面需布置 3m×3m 空间盘扣架形成相对封闭操作面,洞口通过设置斜向爬梯进行上下作业。传统盘扣架体共需设置约 16 个立杆、24 个横杆形成架体,总质量约 1 296kg。对于同样柱截面钢筋工程,采用新型操作架仅需 4 个,总质量 290kg,减少约 77.5%。

2 种定型化方案的经济性对比如表 1 所示, 成本可分成购买和安装。购买价格显然传统盘扣架更有优势, 但考虑搭设架体、拆除架体的时间后, 采用铝合金操作架的绑扎方式优势显著, 绑扎每根柱子均能减少操作时间, 进而提高效率, 减少人力成本。当绑扎 135 根柱子时, 新型操作架与传统盘扣架的成本相当, 且能够节约 2 个人作业时间约 22d, 当绑扎超过 135 根柱子时, 选择新型操作架能降低成本。

表 1 定型化操作架经济性对比

Table 1 Economic comparison of standardized operation scaffold

项目	传统盘扣架方案	新型操作架方案
质量/kg	1 296.4	4×72.5
单价(含加工)/(万元·t ⁻¹)	约 0.6	约 5
是否可周转	是	是
总价/元	7 778	14 500
拼装速度/min	60	20
拼装人员/人	2	2
工序总时间/min	120	40
作业人员工资/(元·d ⁻¹)	约 300	约 300
每根柱钢筋人工费用/元	75	25

5 结语

1) 通过理论计算和数值模拟开展横杆受力计算、立杆轴力计算、抗倾覆稳定性计算、折叠架整体受力及失稳分析, 确保新型操作架结构安全可靠。

2) 通过使用铝合金材料、合理布置开爬梯洞口, 解决钢管扣件脚手架、盘扣脚手架等搭设操作架过程复杂、质量大、爬梯布设困难、不易人员操作的问题; 通过底部承托, 解决了登高作业架易倾覆的安全风险问题、底部滚动轮带来的违规操作风险问题, 通过设置斜撑增加结构稳定性。

3) 结合市场经济分析, 对比同条件钢管盘扣操作架的立杆数量, 验证新型操作架的经济性。研究表明, 随着周转次数增加, 新型操作架能够显著减少人工搭设时间, 该操作架已在柱钢筋绑扎、二次

结构、装饰装修等施工中得到应用。

参考文献:

- [1] 居虎, 姚刚, 鲍广鉴, 等. 巨型钢柱施工自升式操作架施工工艺 [J]. 施工技术, 2008, 37(2): 63-65.
- [2] JU H, YAO G, BAO G J, et al. Construction technology of self-rising operation frame for giant steel column construction [J]. Construction technology, 2008, 37(2): 63-65.
- [3] 王伟, 郑文涛, 龚章权, 等. 超高独立柱操作架搭设施工技术 [J]. 建筑机械, 2022(11): 32-35, 4.
- [4] WANG W, ZHENG W T, GONG Z Q, et al. Construction technology of super-high independent column operation frame erection [J]. Construction machinery, 2022(11): 32-35, 4.
- [5] 许婷华, 马正国, 郑少琪. 大跨钢网架高空操作架施工技术 [J]. 施工技术, 2009, 38(7): 49-51, 82.
- [6] XU T H, MA Z G, ZHENG S Y. Construction technology on handling frame at high-altitude of large-span steel grid structure [J]. Construction technology, 2009, 38(7): 49-51, 82.
- [7] 谢向阳. 钢管外脚手架稳定承载力研究及设计优化 [J]. 施工技术, 2021, 50(14): 129-133.
- [8] XIE X Y. Stability bearing capacity research and optimization on exterior steel tubular scaffold [J]. Construction technology, 2021, 50(14): 129-133.
- [9] 赵元一, 徐佳, 赵成成. 考虑初始变形的钢管脚手架稳定性分析 [J]. 施工技术 (中英文), 2021, 50(23): 132-135.
- [10] ZHAO Y Y, XU J, ZHAO C C. Stability analysis of steel tube scaffold considering initial deformation [J]. Construction technology, 2021, 50(23): 132-135.
- [11] 张月楼, 刘祥, 张良兰, 等. 新型可折叠式轻型钢结构施工临时支撑体系的研制 [J]. 中国建筑金属结构, 2023(4): 6-8.
- [12] ZHANG Y L, LIU X, ZHANG L L, et al. Development of a new type of temporary support system for folding light steel structure construction [J]. China construction metal structure, 2023(4): 6-8.
- [13] 郭小农, 沈祖炎, 李元齐, 等. 国产结构用铝合金材料本构关系及物理力学性能研究 [J]. 建筑结构学报, 2007, 28(6): 110-117.
- [14] GUO X N, SHEN Z Y, LI Y Q, et al. Stress-strain relationship and physical-mechanical properties of domestic structural aluminum alloy [J]. Journal of building structures, 2007, 28(6): 110-117.