

用于既有住宅建筑外墙更新改造的新型脚手架研究

蓝永琦 陈 跃*

(宁波工程学院浙江省土木工程工业化建造工程技术研究中心, 宁波 315211)

摘 要 基于既有住宅建筑普遍面临外墙老化以及传统脚手架在既有建筑改造中存在的问题, 提出一种专门用于既有住宅建筑更新改造的新型脚手架。对该新型脚手架的结构进行了设计, 并对其受力特点、内力计算、连接构造等方面展开研究。研究表明: 该新型脚手架具有可模块化拼装、可滑动、结构重量轻、便于拆卸与搭设等特点。研究成果有助于提高既有住宅建筑的改造效率。

关键词 脚手架, 模块化拼装, 悬吊, 滑动, 既有住宅建筑, 外墙, 更新改造

中图分类号: TU312 文献标志码: A DOI: 10.15935/j.cnki.jggcs.202601.0002

Research on A New Scaffold System for Retrofitting Exterior Walls of Existing Residential Buildings

LAN Yongqi CHEN Yue*

(Zhejiang Engineering Technology Research Center for Civil Engineering Industrialized Construction,
Ningbo University of Technology, Ningbo 315211, China)

Abstract Given the prevalent issue of exterior wall aging in existing residential buildings and the limitations of traditional scaffolding in retrofit projects, this paper proposes a novel scaffold system specifically designed for the refurbishment of such structures. The structural design of the scaffold is introduced, and its mechanical properties, internal force analysis, and connection configurations are examined. The results demonstrate that the proposed scaffold features a modular and slidable design, with advantages such as light weight, ease of assembly and disassembly. The findings of this study contribute to improving the efficiency of retrofit projects for existing residential buildings.

Keywords scaffold, modular assembly, suspending, sliding, existing residential buildings, exterior wall, retrofit

0 引 言

目前我国众多既有住宅建筑普遍面临外墙表面脱落、空鼓、开裂、渗水、漏水以及污染等一系列问题^[1]。对这些问题进行有效解决, 不仅能够显著提升人们居住的安全性和环境质量, 还能增强

住宅的防水和保温功能, 并显著提高住宅的美观性。因此, 对既有住宅建筑进行必要的更新与改造, 已成为一项迫在眉睫的任务。

目前, 在既有住宅外墙更新改造工程中, 常用的脚手架类型主要有扣件式钢管脚手架和盘扣式脚手架两种。另外, 由于既有住宅建筑的特殊性,

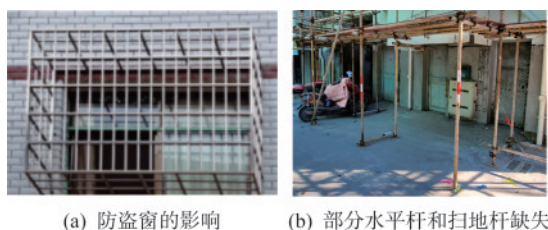
收稿日期: 2024-08-19

基金项目: 宁波市公益性科技计划项目(2022S170)

作者简介: 蓝永琦(1999-), 男, 硕士研究生, 主要从事结构创新研究。E-mail: 1052429301@qq.com

* 联系作者: 陈 跃(1975-), 男, 教授, 博士, 主要从事结构创新与工程抗震研究。E-mail: ychen@nbut.edu.cn

传统脚手架搭设会出现很多超规范的情况^[2-3],从而导致出现许多安全隐患。例如:①悬挑防盗窗的设置会影响脚手架立、横杆的连续布置[图1(a)];②由于不能破坏外墙,因此无法设置连墙件;③由于不能影响居民进出住宅和确保建筑底层其他使用功能,导致部分水平杆和扫地杆缺失[图1(b)]。以上种种原因导致传统脚手架结构体系传力路径复杂,整体稳定性降低,产生较大的安全隐患。



(a) 防盗窗的影响 (b) 部分水平杆和扫地杆缺失

图1 传统脚手架搭设中的安全隐患

Fig.1 Safety risks in traditional scaffolding erection

国内外学者已经对脚手架进行了较多的研究并取得了不错的成果,如扣件式钢管脚手架^[4-7]、盘扣式脚手架^[8-10]、碗扣式脚手架^[11]、门型脚手架^[12]等。同时,一些学者在脚手架设计方面进行了创新性的研究。例如,赵中华^[13]开发了自锁式模块脚手架,卢照强等^[14]研发了一种装配式移动脚手架,张福养^[15]开发了应用于高层圆形建筑外墙改造的移动式悬挂脚手架等。

然而,已有研究中的脚手架形式虽各具特色,但都不适用于既有住宅建筑外墙更新改造工程。另外,经文献查询可知,目前还未见针对以上目的专用脚手架的研究与应用。基于此,本文提出了一种用于既有住宅建筑外墙更新改造的新型脚手架(以下简称新型脚手架),如图2所示。该新型脚手架具有可模块化装配、可悬吊、可滑动、安全性高、施工便捷等特点。

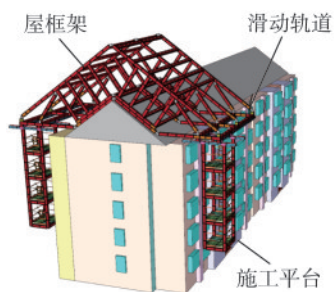


图2 新型脚手架概念图

Fig.2 Conceptual diagram of the new scaffold system

1 结构设计

新型脚手架主要由以下三部分构成:①施工平台;②滑动轨道;③屋框架。其中,施工平台与滑动轨道由基本单元通过普通钢螺栓连接组合而成,屋框架由基本单元和具有自锁功能的铰接节点组合而成。基本单元根据其尺寸不同分为A、B、C三种类型,如图3所示。基本单元所选用的材料为7075 高强铝合金(以下简称7075 铝)。7075 铝具有显著的轻质高强特点,相较于Q235 钢,其密度和强度分别约为后者的0.3 倍和1.7 倍。7075 铝与Q235 钢性能参数对比见表1。

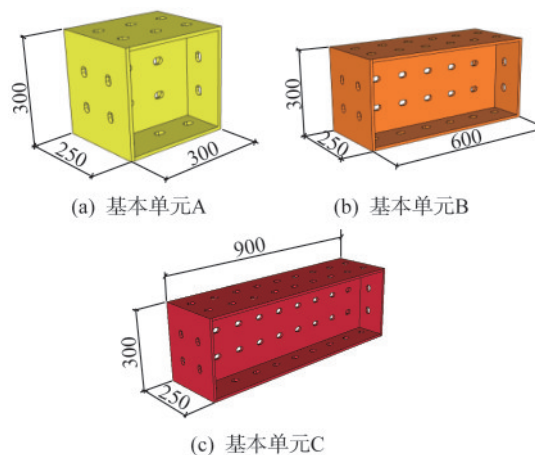


图3 基本单元(单位:mm)

Fig.3 Basic components (Unit:mm)

表1 7075 铝与Q235 钢性能参数对比

Table 1 Comparison of the parameters between 7075 Aluminum and Q235 steel

材料类型	抗拉、抗压强度 设计值/MPa	抗剪强度设计 值/MPa	密度/(g·cm ⁻³)
7075 铝	380	215	2.7
Q235 钢	215	125	7.85

具有自锁功能的铰接节点如图4所示。该节点由定位孔、定位螺栓、铰接孔和铰接螺栓等构件构成,其特点为:①在未安装定位螺栓时,节点处于铰接状态,此时,连接屋脊两侧的刚性框架会自动调整至所需角度;②一旦角度调整到位,通过安装定位螺栓,使节点转变为刚性节点。

新型脚手架的荷载传递方式与传统脚手架有本质的不同,如图5所示。新型脚手架荷载的传递路径使其相比于传统的脚手架具有以下优势:①可避免防盗窗阻断脚手架构件的问题;②无须设置连墙件;③悬吊式施工平台使得建筑底部空间得以

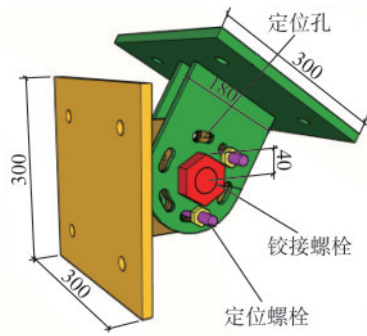


图4 具有自锁功能的铰接节点(单位:mm)

Fig.4 A hinge node with self-locking capability (Unit:mm)

释放,保证了底层建筑的使用功能。

1.1 施工平台内力计算

施工平台如图2所示。计算时可将其结构简化为横向与纵向框架。作用在横向与纵向框架的荷载分别见表2、表3。表中 G_T 和 Q_T 分别表示作用于横向框架上的集中恒载与活载设计值; g_T 表示作用于横向框架上的均布恒载设计值。类似

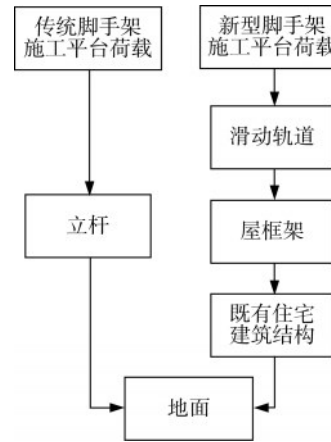


图5 脚手架荷载传递路径对比

Fig.5 Comparison of load transfer paths in two scaffolding systems

地, G_L 为作用于纵向框架上的集中恒载设计值; g_L 和 q_L 分别表示作用于纵向框架上的均布恒载与活载设计值。横向与纵向框架的内力图分别如图6、图7所示,根据横、纵框架内力图,可获得其最大内力,见表4。

表2 横向框架外荷载

Table 2 Loads acting on the transverse frame

荷载类型	$g_T/(kN \cdot m^{-1})$	G_{T1}/kN	G_{T2}/kN	G_{T3}/kN	G_{T4}/kN	G_{T5}/kN	Q_{T1}/kN
荷载大小	0.34	0.92	2.89	1.97	2.59	1.67	4.33

表3 纵向框架外荷载

Table 3 Loads acting on the longitudinal frame

荷载类型	$g_L/(kN \cdot m^{-1})$	G_{L1}/kN	G_{L2}/kN	G_{L3}/kN	G_{L4}/kN	G_{L5}/kN	$q_L/(kN \cdot m^{-1})$
荷载大小	0.75	0.92	2.07	1.15	2.29	1.37	3.15

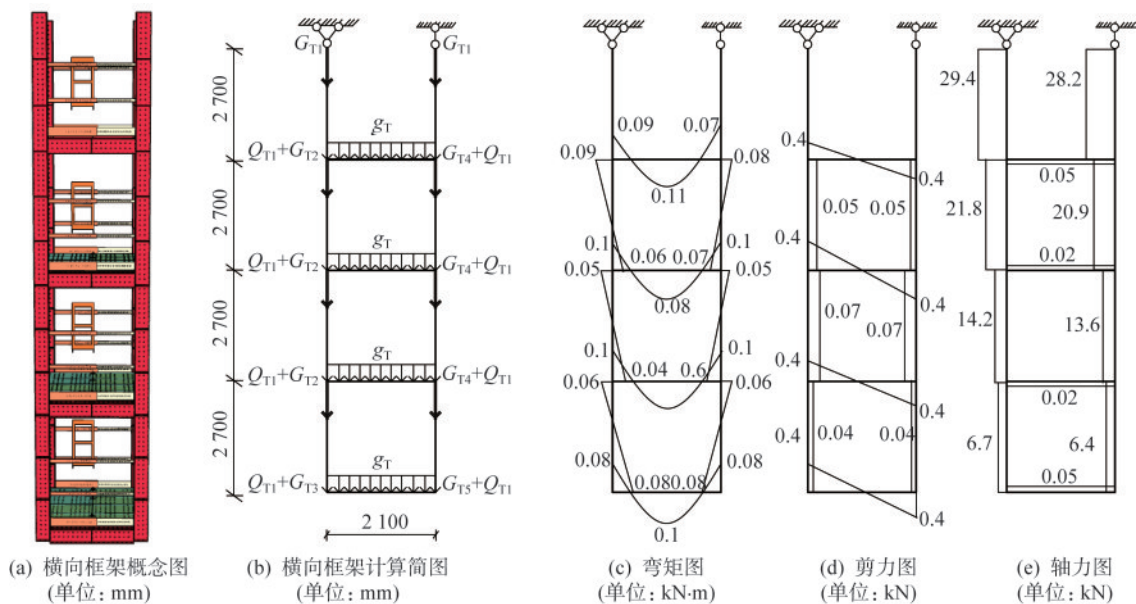


图6 施工平台横向框架

Fig.6 Transverse frame of the construction platform

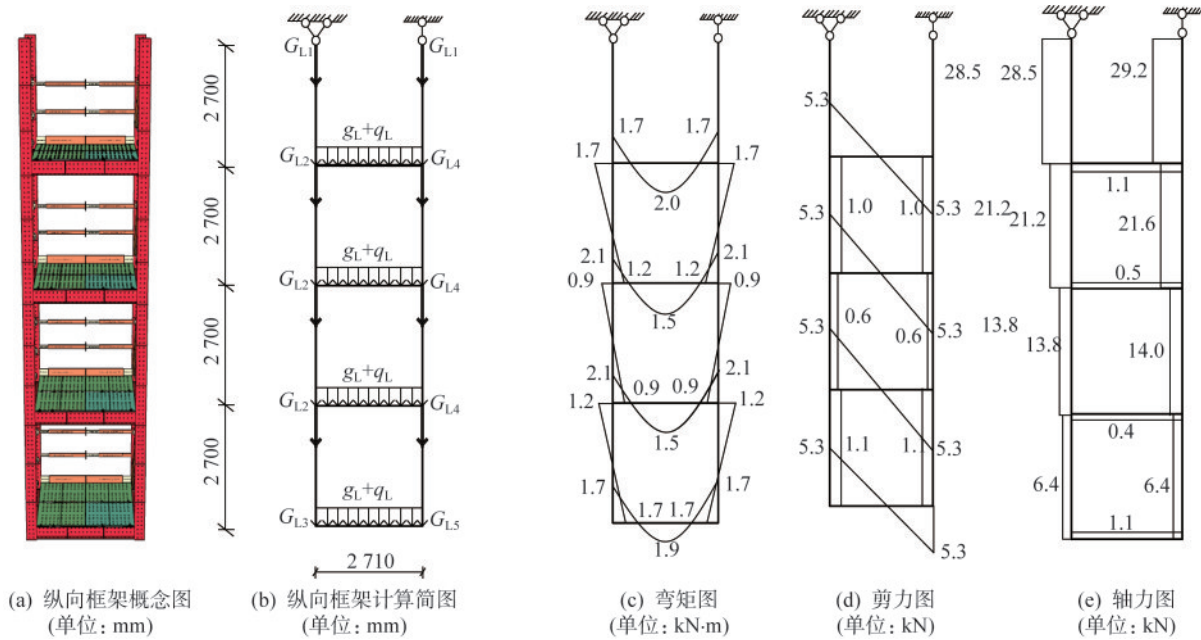


图7 施工平台纵向框架

Fig.7 Longitudinal frame of the construction platform

表4 横、纵向框架最大内力

Table 4 Maximum internal forces of the frames

最大内力	弯矩/kN·m	剪力/kN	轴力/kN
数值	2.1	5.3	28.2

1.2 滑动轨道内力计算

滑动轨道由横向滑轨、纵向滑轨和滑动小车拼接而成,如图8所示,其上接屋框架,下接施工平台,是将施工平台荷载传递至屋框架的重要结构。施工平台在滑动轨道上可进行横向与纵向的移动,从而使施工更加便捷与灵活。

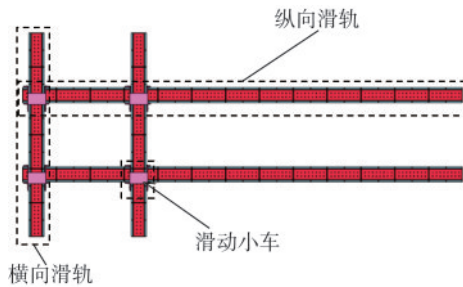


图8 滑轨结构示意图

Fig.8 Schematic diagram of the sliding rails

施工平台在滑动轨道的不同位置会使滑动轨道产生不同的内力。横、纵向滑轨计算简图分别如图9、图10所示。为了模拟施工状态,将作用于横向与纵向滑轨上的集中荷载 F_{SCP} 与 $F_{tr,SCP}$ 单方向向左移动0.5 m的方式来计算横、纵滑轨内力包络

图。横、纵向滑轨荷载计算结果见表5。横、纵向滑轨内力包络图分别如图11—图14所示。横、纵向滑轨最大内力见表6。

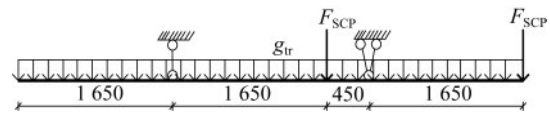


图9 横向滑轨计算简图(单位:mm)

Fig.9 Schematic diagram of the calculation of the transverse sliding rail (Unit:mm)

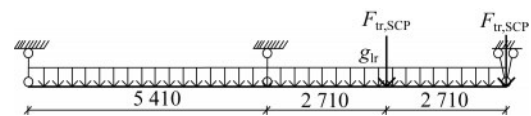


图10 纵向滑轨计算简图(单位:mm)

Fig.10 Schematic diagram of the calculation of the longitudinal sliding rail (Unit:mm)

表5 横、纵向滑轨荷载

Table 5 Loads on the longitudinal and transverse sliding rails

F_{SCP}/kN	$g_{tr}/(kN \cdot m^{-1})$	$F_{tr,SCP}/kN$	$g_{tr}/(kN \cdot m^{-1})$
28.88	0.56	75.74	0.56

1.3 屋框架内力计算

屋框架是将施工平台与滑动轨道所承受的荷载传递至既有住宅结构的重要媒介,其由单榀屋架、若干连梁、支座连梁和具有自锁功能的铰接节点组成。单榀屋框架、横梁与支座连梁都由基本

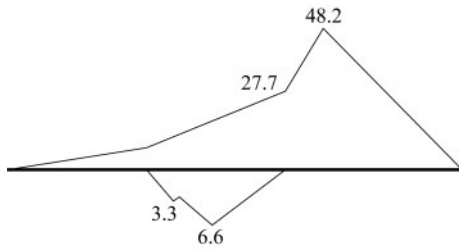


图 11 横向滑轨弯矩包络图(单位:kN·m)
Fig.11 Bending moment envelope diagram of the transverse sliding rail (Unit:kN·m)

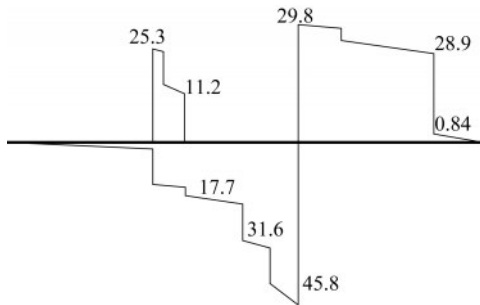


图 12 横向滑轨剪力包络图(单位:kN)
Fig.12 Shear force envelope diagram of the transverse sliding rail (Unit:kN)

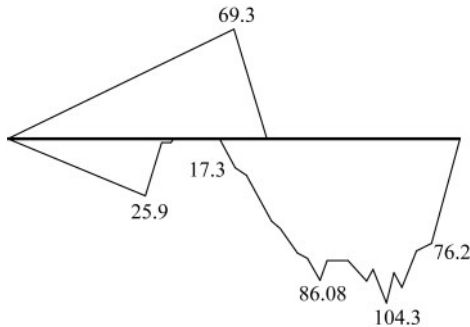


图 13 纵向滑轨弯矩包络图(单位:kN·m)
Fig.13 Bending moment envelope diagram of the longitudinal sliding rail (Unit:kN·m)

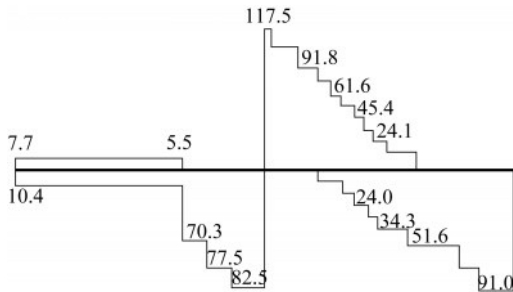


图 14 纵向滑轨剪力包络图(单位:kN)
Fig.14 Shear force envelope diagram of the longitudinal sliding rail (Unit:kN)

单元组成。支座连梁与屋框架通过螺栓连接,并且架设在既有结构承重框架上,进而可将整个脚

表 6 横、纵向滑轨最大内力
Table 6 Maximum internal forces of the transverse and longitudinal sliding rails

最大内力	弯矩/kN·m	剪力/kN
数值	104.3	117.5

手架系统的荷载传递至房屋受力骨架中。

屋框架示意如图 15 所示。以中间跨的单榀屋架为例进行计算,其计算简图如图 16 所示,图中一并标注了各个节点、单元命名以及长度。单榀屋架各节点上的集中荷载由横梁、屋架自重及纵向滑轨传递荷载组成。单榀屋架外其荷载数值见表 7,单榀屋架内力图如图 17—图 19 所示,最大内力见表 8。

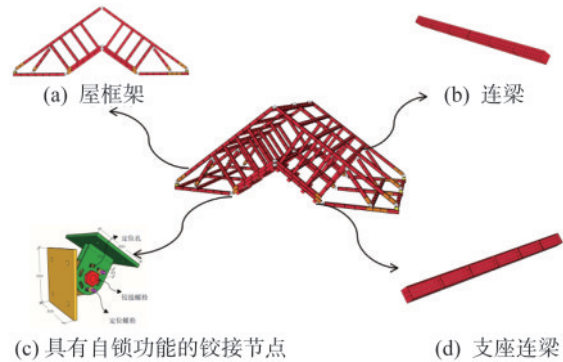


图 15 屋框架示意图
Fig.15 Schematic diagram of the roof frame

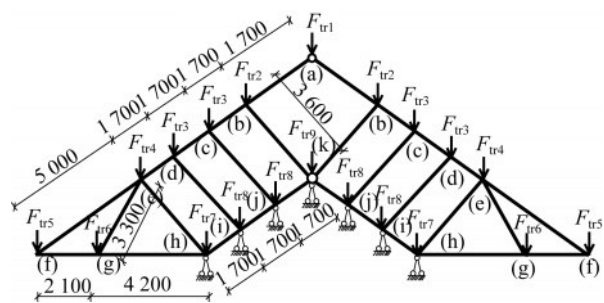


图 16 单榀屋架结构计算简图(单位:mm)
Fig.16 Calculating diagram of the planar frame (Unit:mm)

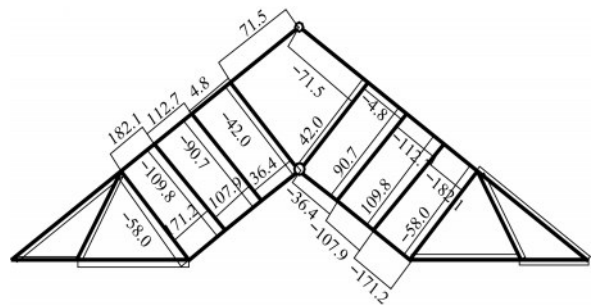


图 17 单榀屋架剪力图(单位:kN)
Fig.17 Shear force diagram of the planar frame (Unit:kN)

表 7 单榀屋框架外荷载
Table 7 Loads on the planar frame

F_{tr1}	F_{tr2}	F_{tr3}	F_{tr4}	F_{tr5}	F_{tr6}	F_{tr7}	F_{tr8}	F_{tr9}
4.7	3.2	3.0	3.3	145.5	145.8	3.8	3.6	6.2

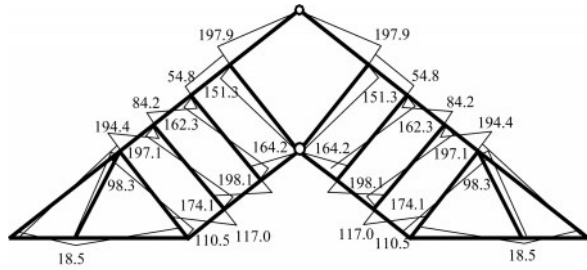


图 18 单榀屋架弯矩图(单位:kN·m)

Fig.18 Bending moment diagram of the planar frame (Unit:kN·m)

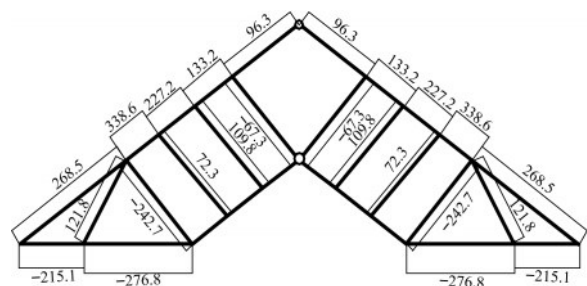


图 19 单榀屋架轴力图(单位:kN)

Fig.19 Axial force diagram of the planar frame (Unit:kN)

表 8 单榀屋架最大内力及所在单元

Table 8 Maximum internal forces and members of the planar frame

内力	弯矩/(kN·m)	剪力/kN	轴力/kN	所在单元
最大弯矩	197.9	71.5	96.3	(a)-(b)
最大剪力	194.4	182.1	338.6	(d)-(e)
最大轴力	194.4	182.1	338.6	(d)-(e)

2 截面设计

新型脚手架的最大内力存在于屋框架中,因此只需对屋框架的杆件截面进行承载力验算即可。屋框架的内力控制截面有三种类型(图 20、图 21),即:①腹板上开洞的净截面 1-1;②翼缘上开洞的净截面 2-2;③普通钢螺栓连接的截面 3-3。

2.1 控制截面 1-1 与 2-2 承载力验算

在弯矩、剪力和轴力共同作用下的控制截面 1-1 与 2-2 最大应力应满足式(1)和式(2)的要求^[16]:

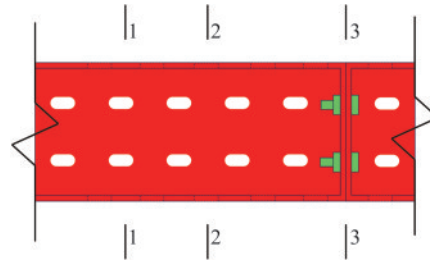


图 20 屋框架内力控制截面位置

Fig.20 Positions of control cross-sections of the planar frame

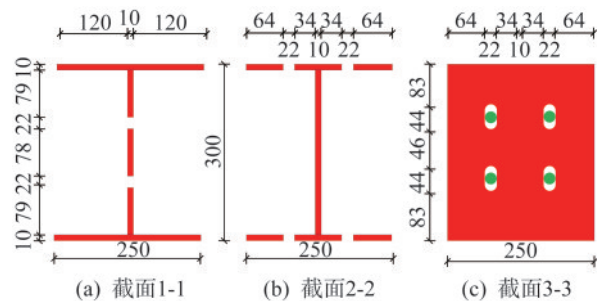


图 21 屋框架内力控制截面(单位:mm)

Fig.21 Control cross-sections of the planar frame (Unit:mm)

$$\frac{N}{A_{en}} \pm \frac{M_x}{\gamma_x W_{enx}} \leq f \quad (1)$$

$$\frac{V \cdot S}{I \cdot t_w} \leq f_v \quad (2)$$

式中: N 为轴心拉力或压力; M_x 为绕截面主轴 x 轴弯矩; A_{en} 有效净截面面积; W_{enx} 为对 x 轴的有效净截面模量; γ_x 为截面塑性发展系数^[16]; f 为 7075 铝的抗拉、抗压强度设计值; V 为杆件最大剪力; S 为中性轴一侧的面积对中性轴静矩; t_w 为腹板厚度; f_v 为 7075 铝的抗剪强度设计值; I 为截面惯性矩。

基于表 8 中部分数据及材料力学的基本原理^[17],可得相关参数,见表 9。

将表 9 数据分别代入式(1)、式(2)可知,控制截面 1-1 与 2-2 承载能力均满足要求。

$$\frac{338.6 \times 10^3}{7.36 \times 10^{-3}} + \frac{197.9 \times 10^3}{1 \times 8.13 \times 10^{-4}} = 289.4 \text{ MPa} <$$

380 MPa (截面 1-1 抗拉强度)

$$\frac{338.6 \times 10^3}{6.92 \times 10^{-3}} + \frac{197.9 \times 10^3}{1 \times 7.07 \times 10^{-4}} = 328.8 \text{ MPa} <$$

380 MPa (截面 2-2 抗拉强度)

$$\frac{182.1 \times 4.50 \times 10^{-4} \times 10^3}{1.22 \times 10^{-4} \times 0.01} = 67.2 \text{ MPa} < 215 \text{ MPa}$$

表 9 构件最大内力及截面参数

Table 9 Maximum internal forces and section parameters of components

截面类型	N/kN	$M_x/(\text{kN}\cdot\text{m})$	A_{en}/m^2	γ_x	I/m^4	$W_{\text{enx}}/\text{m}^3$	V/kN	S/m^3
1-1	338.6	197.9	7.36×10^{-3}	1.0	1.22×10^{-4}	8.13×10^{-4}	182.1	4.50×10^{-4}
2-2			6.92×10^{-3}	1.0	1.06×10^{-4}	7.07×10^{-4}		3.97×10^{-4}

(截面 1-1 抗剪强度)

$$\frac{182.1 \times 3.97 \times 10^{-4} \times 10^3}{1.06 \times 10^{-4} \times 0.01} = 77.3 \text{ MPa} < 215 \text{ MPa}$$

(截面 2-2 抗剪强度)

2.2 控制截面 3-3 承载力验算

控制截面 3-3 采用 8.8a 级直径为 20 mm 的普通钢螺栓进行连接。控制截面内力取以下两种情况:①最大轴力和最大轴力所在单元的弯矩以及剪力;②最大弯矩和最大弯矩所在单元的轴力以及剪力。经验算,截面 3-3 螺栓承载力均不满足要求,因此需对截面的搭设方式进行改进。改进后截面 4-4 搭设方式和受力变形分别如图 22、图 23 所示。

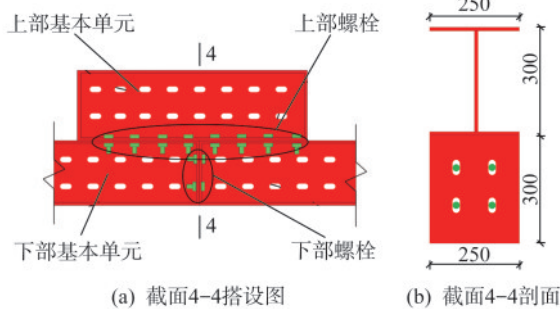


图 22 截面 4-4 搭设方式(单位:mm)

Fig.22 Cross-section 4-4 (Unit:mm)

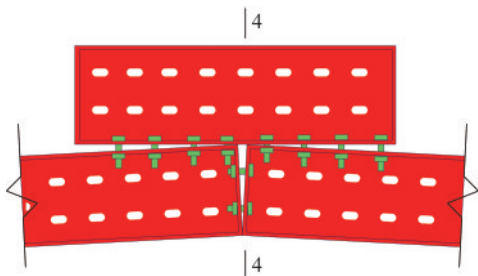


图 23 截面 4-4 受力变形

Fig.23 Deformation of cross-section 4-4 under loads

2.3 控制截面 4-4 承载力验算

为简化计算,对截面 4-4 的受力作如下两个假定:①截面的弯矩由上部基本单元上翼缘与下部基本单元下翼缘内力形成的力偶来承担;②截

面所受的轴力和剪力全部由下部螺栓来承担。截面 4-4 内力分析如图 24 所示。

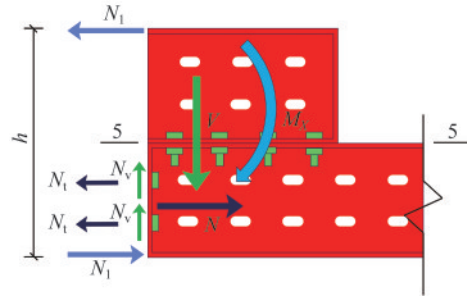


图 24 截面 4-4 内力分析

Fig.24 Internal forces of cross-section 4-4

根据静力平衡方程,可得截面内力关系如下:

$$\begin{cases} M_x = N_1 h \\ N = n N_t \\ V = n N_v \end{cases} \quad (3)$$

式中: M_x 为截面 4-4 弯矩; N_1 为翼缘处集中力; h 为截面 4-4 上下翼缘中心处的距离; N 为截面轴力; V 为截面剪力; N_v 与 N_t 分别为单个下部螺栓所受到的剪力与轴向拉力; n 为下部螺栓个数。

2.3.1 截面 4-4 抗弯承载力验算

依据受力假定①,截面 4-4 的上、下翼缘应力需满足式(4)要求:

$$\sigma = \left| \frac{N_1}{A} \right| \leq f \quad (4)$$

式中: σ 为截面 4-4 翼缘受到的拉或压应力; A 为截面 4-4 上或下翼缘截面面积。

N_1 可通过式(3)求得。通过表 9 可知 $M_x = 197.9 \text{ kN}\cdot\text{m}$, $h = 0.59 \text{ m}$ 。经计算: $N_1 = 335.4 \text{ kN}$ 。由图 21(a)可知 $A = 0.0025 \text{ m}^2$,经计算

$$\sigma = 134.2 \text{ MPa} < f = 380 \text{ MPa}$$

即截面 4-4 抗弯承载力满足要求。

2.3.2 截面 4-4 下部螺栓在拉剪共同作用下的承载能力验算

截面 4-4 下部螺栓受拉剪作用,则单个螺栓承载力应满足式(5)^[16]:

$$\sqrt{\left(\frac{N_t}{N_t^b}\right)^2 + \left(\frac{N_v}{N_v^b}\right)^2} \leq 1 \quad (5)$$

式中： N_t^b 和 N_v^b 为单个螺栓的抗拉、抗剪承载力设计值。

(1) 单个螺栓抗拉承载力设计值计算

单个螺栓抗拉承载力设计值取螺栓抗拉承载力与螺母下构件抗冲切承载力设计值中的较小者^[16]，如式(6)所示。

$$N_t^b = \min \{ N_t^b, N_p^b \} \quad (6)$$

式中： N_p^b 为螺栓抗冲切承载力设计值。

螺栓抗拉承载力设计值由式(7)计算：

$$N_t^b = \frac{\pi d_c^2}{4} f_t^b \quad (7)$$

式中： d_c 为螺栓在螺纹处的有效直径； f_t^b 为螺栓抗拉强度设计值。8.8a级直径为20 mm的普通钢螺栓， $d_c=17.65$ mm， $f_t^b=400$ MPa。经计算， $N_t^b=97.8$ kN。

螺栓头及螺母下构件冲切承载力设计值由式(8)计算^[16]：

$$N_p^b = 0.8 \pi d_m t_p f_c = 0.8 \quad (8)$$

式中： d_m 为下列二者中较小值，即螺栓头或螺母外接圆直径与内切圆直径的平均值，采用垫圈时垫圈的外径； t_p 为螺栓头或螺母下构件的厚度； f_c 为7075铝抗剪强度设计值。

已知8.8a级直径为20 mm的普通钢螺栓 $d_m=17.65$ mm， $t_p=10$ mm。由表1可知 $f_c=215$ MPa。经计算， $N_p^b=95.4$ kN。

由式(6)可知， $N_t^b=95.4$ kN。

(2) 单个螺栓抗剪承载力设计值计算

单个螺栓抗剪承载力取螺栓抗剪和承压承载力设计值中较小者^[16]，如式(9)所示。

$$N_v^b = \min \{ N_v^b, N_c^b \} \quad (9)$$

式中： N_c^b 为螺栓承压承载力设计值。

单个螺栓抗剪承载力设计值由式(10)计算：

$$N_v^b = n_v \frac{\pi d^2}{4} f_v^b \quad (10)$$

式中： n_v 为受剪面个数； d 为螺栓杆直径； f_v^b 为螺栓抗剪强度设计值。

由图22可知 $n_v=1$ 。经计算， $N_v^b=100.5$ kN。

单个螺栓承压承载力设计值由式(11)计算：

$$N_c^b = d \sum t f_c^b \quad (11)$$

式中： t 为7075铝板厚度； f_c^b 为7075铝承压强度设计值。

已知 $d=20$ mm， $t=10$ mm， $f_c^b=600$ MPa^[18]。经计算， $N_c^b=120$ kN。

由式(9)可知， $N_v^b=100.5$ kN。

(3) 用最大轴力单元(d)—(e)内力对截面4-4进行螺栓承载力验算

由表8可知 $V=182.1$ kN，由图21(c)可知 $n=4$ 。经计算， $N_v=45.5$ kN。

下部螺栓所受到的拉力由式(12)求得：

$$N_t = \frac{N}{n} \quad (12)$$

由表8可知 $N=338.6$ kN，经计算， $N_t=84.7$ kN。

下部螺栓受到的剪力由式(13)求得：

$$N_v = \frac{V}{n} \quad (13)$$

设 N_v 为单元(d)和(e)下部单个螺栓受到的剪力， V 为单元(d)和(e)的截面4-4受到的剪力。

将数据代入式(5)，经计算：

$$\sqrt{\left(\frac{84.7}{95.4}\right)^2 + \left(\frac{45.5}{100.5}\right)^2} = 0.992 \leq 1$$

即单元(d)—(e)截面4-4螺栓拉剪强度满足要求。

2.4 控制截面5-5承载力验算

截面4-4的出现导致一个新的截面5-5产生，如图24所示。截面5-5受力分析如图25所示。其中， h_1 为截面4-4上部基本单元上翼缘中点间与下翼缘外表面距离； N_2 为截面5-5截面所受到的翘力； $N_{t,1} \sim N_{t,4}$ 分别为截面5-5螺栓所受到的拉力， $N_{v,1}$ 为截面5-5螺栓所受到的剪力，截面5-5的螺栓处于拉剪受力状态。对截面5-5受力作如下两个假定：①所受的剪力由螺栓平均分担；②螺栓所受到的拉力呈线性关系。以图25中工字形截面左下角为矩点，根据弯矩平衡条件可得式(14)：

$$N_1 h_1 = 2 [N_{t,1} h_2 + N_{t,2} (h_2 + h_3) + N_{t,3} (h_2 + 2h_3) + N_{t,4} (h_2 + 3h_3)] \quad (14)$$

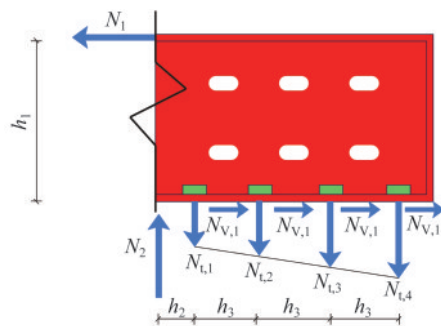


图25 截面5-5受力分析

Fig.25 Force analysis diagram of cross-section 5-5

根据基本单元尺寸可知 $h_2=0.05\text{ m}$, $h_3=0.1\text{ m}$ 。
代入式(14),可得式(15):

$$N_{t,1} = \frac{N_{t,2}}{3} = \frac{N_{t,3}}{5} = \frac{N_{t,4}}{7} \quad (15)$$

将式(15)代入式(14)可得式(16):

$$N_1 \cdot h_1 = 1.2N_{t,4} \quad (16)$$

截面 5-5 中只需验算同时承受最大剪力与最大拉力的螺栓承载力即可。

设 n_1 为截面 5-5 螺栓数量,则单个螺栓受到的剪力可由式(17)求得:

$$N_{v,1} = \frac{N_1}{n_1} \quad (17)$$

由图 25 以及上文可知 $n_1=8$, $N_1=335.4\text{ kN}$ 。经计算, $N_{v,1}=41.9\text{ kN}$ 。

截面 5-5 单个螺栓受到的最大拉力可由式(16)求得,已知 $h_1=0.295\text{ m}$,经计算得 $N_{t,4}=82.5\text{ kN}$ 。

将数据代入式(5),可得:

$$\sqrt{\left(\frac{41.9}{100.5}\right)^2 + \left(\frac{82.5}{95.4}\right)^2} = 0.96 \leq 1$$

即截面 5-5 螺栓拉剪承载力满足要求。

3 结 论

(1) 基于既有住宅建筑普遍面临外墙老化以及传统脚手架在既有建筑改造中存在的问题,开发了一种专门用于既有建筑更新改造的新型脚手架。

(2) 新型脚手架相较于传统的脚手架体系,具有以下优势:不受既有防盗窗的影响;无须设置连墙件;确保既有住宅底层使用功能。

(3) 该新型脚手架具有可模块化装配、可滑动、可悬挂、结构简单以及施工方便等特点,且各截面承载力均满足要求。

参 考 文 献

[1] 张晗,文学,包佳宝,等.老建筑外墙修缮技术应用分析[J].中国住宅设施,2022(9):115-117.
ZHANG Han, WEN Xue, BAO Jiabao, et al. Application analysis of exterior wall repair technology in old buildings[J].China Residential Facilities, 2022 (9):115-117.(in Chinese)

[2] 钢管脚手架扣件:GB 15831—2023[S].北京:中国标准出版社,2023.
Steel tube scaffold coupler: GB 15831—2023 [S].

Beijing:Standard Press of China,2023.(in Chinese)

[3] 建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范:JGJ 130—2011[S].北京:中国建筑工业出版社,2011.
Technical code for safe of steel tubular scaffold with couplers in construction:JGJ 130—2011 [S].Beijing: China Architecture & Building Press, 2011. (in Chinese)

[4] LIU H B, JIA L, WEN S L, et al. Experimental and theoretical studies on the stability of steel tube-coupler scaffolds with different connection joints [J]. Engineering Structures, 2016, 106: 80-95.

[5] LIU H B, MENG Y, JIA L, et al. Structural behavior of steel tube and coupler scaffolds with stability strengthening details [J]. Int. J. Steel. Struct., 2018, 18 (1): 79-95.

[6] ABDEL-JABER M, ABDEL-JABER M S, BEALE R G, et al. Cyclic loading applied to sleeve couplers for tube and fitting scaffolds [J]. WANG Chien Ming, HO Johnny C M, KITIPORNCHAI Sritawat eds. ACMSM25: Lecture Notes in Civil Engineering, vol.37. Singapore: Springer Singapore, 2020: 819-830.

[7] KAEWSAWANG S, CHOTICKAI P. Effect of bolt-tightening torques of couplers on load capacities of tube-coupler scaffolds [J]. Journal of Constructional Steel Research, 2024, 214: 108496.

[8] PENG J L, YEN T S, KUO C C, et al. Analytical and experimental bearing capacities of system scaffolds [J]. J.Zhejiang Univ.Sci.A, 2009, 10(1): 82-92.

[9] PENG J L, WU C W, CHAN S L, et al. Experimental and numerical studies of practical system scaffolds [J]. Journal of Constructional Steel Research, 2013, 91: 64-75.

[10] ALQATTAN Hosny Fathallah, EL AGHOURY Ihab Mohamed, IBRAHIM Sherif Abdel-Basset. Enhancing sustainability in construction: Experimental testing and finite element investigation of falsework ringlock joints [J]. Innov. Infrastruct. Solut., 2024, 9(6): 224.

[11] CHANDRANGSU TAYAKORN, RASMUSSEN KIM J R. Structural modelling of support scaffold systems [J]. Journal of Constructional Steel Research, 2011, 67 (5): 866-875.

[12] 卢宏波. 门式脚手架在 20 m 超高支模施工中的应用 [J]. 施工技术, 2005(6): 71-73.
LU Hongbo. Application of portal scaffold in 20 m super high formwork construction [J]. Construction Technology, 2005(6): 71-73. (in Chinese)

[13] 赵中华. ADG 脚手架在蔡家窝铺大桥现浇连续箱梁施工中应用 [J]. 铁道建筑技术, 2011(1): 85-89.

- ZHAO Zhonghua. Application of ADG scaffold in the construction of cast-in-place continuous box girder of Caijiawopu bridge [J]. Railway Construction Technology, 2011(1):85-89. (in Chinese)
- [14] 卢照强, 蒋昌盛, 彭望. 装配式移动脚手架在河道护岸墩施工中的应用研究[J]. 西部交通科技, 2023(201):51-54.
- LU Zhaoqiang, JIANG Changsheng, Peng Wang. Research on the application of prefabricated mobile scaffold in the construction of river revetment pier[J]. Western Communications Technology, 2023(201):51-54. (in Chinese)
- [15] 张福养. 移动式悬挂脚手架在高层结构中的应用[J]. 广东建材, 2021, 37(11):51-54.
- ZHANG Fuyang. Application of mobile suspended scaffold in high-rise structure [J]. Guangdong Building Materials, 2021, 37(11):51-54. (in Chinese)
- [16] 铝合金结构设计规范:GB 50429—2007[S]. 北京: 中国计划出版社, 2008.
- Code for design of aluminum structures: GB 50429—2007 [S]. Beijing: China Planning Press, 2008. (in Chinese)
- [17] 孙训方, 方孝淑, 关来泰编; 胡增强, 郭力, 江晓禹修订. 材料力学(一)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2019.
- SUN Xunfang, FANG Xiaoshu, GUAN Laitai. Revised by HU Zengqiang, GUO li and JIANG Xiaoyu. Mechanics of materials (I) [M]. Beijing: Higher Education Press, 2019. (in Chinese)
- [18] 铝合金格构结构技术标准: DG/TJ 08-95—2020[M]. 上海: 同济大学出版社, 2020.
- Technical standard for aluminum alloy reticulated structure: DG/TJ 08-95—2020 [M]. Shanghai: Tongji University Press, 2020. (in Chinese)