

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2023.02.002

不同悬挑长度的拉杆式与悬挑梁式脚手架对比研究

侯天赐, 李大华

(安徽建筑大学 土木工程学院, 安徽 合肥 230601)

摘要: 为了给拉杆式与悬挑梁式脚手架选型提供参考, 采用对两种不同悬挑长度脚手架建模的方法, 对两种脚手架进行力学性能分析与经济效益分析。结果表明, 相较于悬挑梁式脚手架, 拉杆式悬挑脚手架的主梁应力小并且分布更加均匀, 挠度更小; 从经济效益、施工工艺和工期方面考虑, 拉杆式悬挑脚手架平均节约 54.03% 的建造费用, 且能缩短工期; 设置张紧的钢丝绳对悬挑梁式脚手架的承载能力有很大提升, 应定期检查钢丝绳的张紧程度。

关键词: 悬挑梁式脚手架; 拉杆式悬挑脚手架; 力学性能; 效益分析; 有限元

中图分类号: TU731.2

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2023)02-0009-07

引文格式: 侯天赐, 李大华. 不同悬挑长度的拉杆式与悬挑梁式脚手架对比研究 [J]. 湖南工业大学学报, 2023, 37(2): 9-15.

Comparative Study on the Pull-Rod and Cantilever-Beam Scaffolds with Different Cantilever Lengths

HOU Tianci, LI Dahua

(School of Civil Engineering, Anhui Jianzhu University, Hefei 230601, China)

Abstract: In view of a reference for the selection of pull rod scaffold and cantilever beam scaffolds, a mechanical performance analysis and an economic benefit analysis have been carried out of the two kinds of scaffolds by adopting the method of modeling them with different cantilever lengths. The results show that, compared with the cantilever beam scaffold, the stress of the cantilever main beam tends to be smaller, with a more uniform distribution, and a smaller deflection. The results show that, compared with the cantilever-beam scaffold, the stress of the main beam of the cantilever is smaller and more evenly distributed with a smaller deflection. Considering the economic benefits, construction process and construction period, the average cost saving of the pull-rod cantilever scaffold is 54.03% with a shortened construction period. Setting the tensioned steel wire rope helps to greatly improve the bearing capacity of the cantilever-beam scaffold, while a regular check should be taken of the tensioning degree of the steel wire rope.

Keywords: cantilever-beam scaffold; pull-rod cantilever scaffold; mechanical property; benefit analysis; finite element

收稿日期: 2022-03-28

基金项目: 国家重点研发计划基金资助项目 (2016YFC0701500); 安徽四建科技开发基金资助项目 (HYB20190118)

作者简介: 侯天赐 (1995-), 男, 安徽临泉人, 安徽建筑大学硕士生, 主要研究方向为工程结构现代施工技术,

E-mail: 948473867@qq.com

通信作者: 李大华 (1963-), 男, 安徽望江人, 安徽建筑大学教授, 硕士生导师, 主要研究方向为工程结构现代施工技术,

E-mail: ldh2006@163.com

脚手架在建筑结构中具有十分重要的作用,建筑行业中使用最广泛的一种脚手架体系是悬挑梁式脚手架,同时拉杆式悬挑脚手架近年在高层建筑施工中开始流行^[1-2]。悬挑梁式脚手架虽然是实际工程中使用最多的一种脚手架体系,但是安装该脚手架会破坏建筑物结构,拆除后还需对建筑物进行补洞、衬砌,增加工期,并且后期存在渗漏风险。为了解决悬挑梁式脚手架出现的问题,国内外学者提出拉杆式悬挑脚手架^[3-5]。目前,国内外学者对悬挑梁式脚手架的设计、安装、使用、监测的工作较为充分^[6-10],工程应用也十分广泛,而拉杆式悬挑脚手架在实际工程应用中的研究主要集中在施工方面。

此外,现代建筑除了需要满足结构安全的要求外,还需要满足一定的外形需求,这些需求会使建筑外形凹凸不平,进而增加脚手架的悬挑长度。本研究拟针对拉杆式、悬挑梁式两种不同脚手架体系,采用内立杆与建筑边缘相同距离的方法建立相应模型,对两种脚手架体系所处不同工况下进行受力对比、效益对比,以期给实际工程中进行脚手架选型提供一定的理论参考。

1 脚手架搭设方式

拉杆式悬挑脚手架是利用穿墙高强螺栓,将型钢梁焊有端板的一端锚固到建筑的梁、柱、墙上,另一端通过钢拉杆与建筑结构主体连接,钢拉杆由花篮螺栓及两端拉杆连接而成。由型钢梁及钢拉杆组成的支撑体系共同承担上部脚手架传递的载荷,并且将其传递给建筑主体,其具体搭设方式如图 1a 所示。

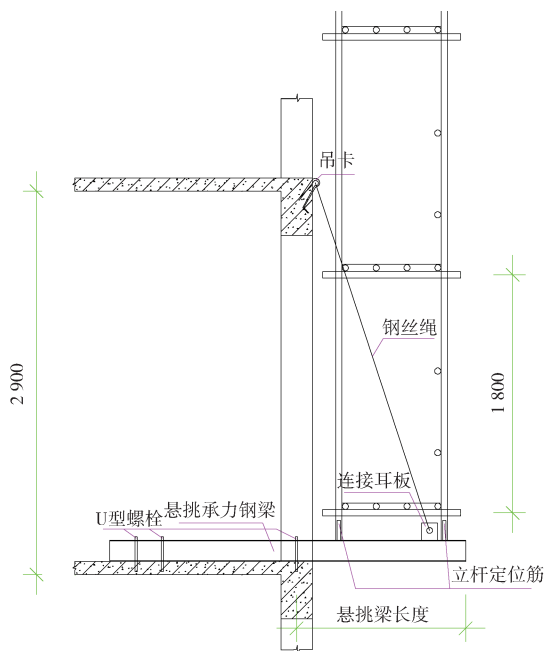
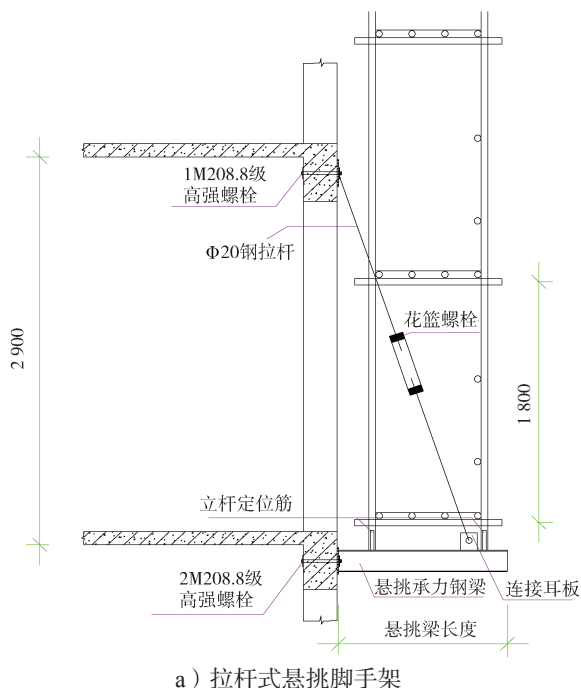


图 1 两种脚手架的结构形式

Fig. 1 Two types of scaffold structures

悬挑梁式脚手架是利用预埋 U 型螺栓,将一端伸入建筑的型钢梁与建筑主体进行锚固,型钢的另外一端向结构外悬挑,并用卸载钢丝绳将型钢梁与建筑结构主体进行连接,承受上部脚手架传递的载荷,并将载荷传递给建筑主体,其具体搭设方式如图 1b 所示,图中单位为 mm。

2 脚手架结构力学分析

以巢湖市某一住宅项目 4# 楼悬挑梁式脚手架为例,脚手架的搭设方式为地上 2 层以上采用悬挑脚手架,其中标准层层高为 2.9 m,每 6 层悬挑一次,架体高度为 17.4 m。其中两种悬挑脚手架参数如下:主梁型钢强度等级为 Q235-A,双排脚手架横距为 0.8 m,步距为 1.8 m,纵距为 1.5 m,连墙件布置为两步三跨,脚手板为冲压钢脚手板且铺设方式为一步一设。

2.1 载荷计算

根据《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》(JGJ 130—2011)^[11]以及实际施工情况,各构件的载荷计算参数如下:钢管自重标准值为 0.038 4 kN/m,冲压钢板脚手板的自重标准值为 0.35 kN/m²,扣件的自重标准值取 0.015 kN/个,密目式安全网的自重标准值为 0.01 kN/m²,栏杆、冲压钢脚手板挡板的自重标准值为 0.16 kN/m,型钢增加的均布载荷为 0.25 kN/m²。施工载荷为 3 kN/m²,风压高度变化系数 μ_z

为 0.74, 风荷载体型系数 μ_s 为 0.868, 基本风压 ω_0 为 0.25 kN/m²。

作用于脚手架的荷载可分为永久荷载与可变荷载。永久荷载包括: 脚手架立杆自重标准值 N_{G1K} , 为 1.725 5 kN、构配件自重标准值 N_{G2K} , 为 1.044 6 kN。可变荷载包括: 立杆施工荷载 N_{Q1K} , 为 4.320 0 kN; 风荷载 N_{Q2K} , 为 2.514 9 kN。荷载组合包括: 不组合风荷载与组合风荷载, 轴向力设计值分别为 9.372 0, 11.936 1 kN。取两者轴向力设计值的较大值 11.936 1 kN, 作为内外立杆轴向力设计值 N 。

2.2 计算模型建立

本研究借助 ABAQUS 有限元通用平台, 确定拉杆式悬挑脚手架与悬挑梁式脚手架的承载能力。脚手架结构的悬挑主梁采用实体建模, 强度等级为 Q235-A, 取弹性模量 E 为 210 GPa, 取泊松比为 0.3。钢丝绳、钢拉杆采用梁单元建模, 钢丝绳的直径为 14 mm, 抗拉强度为 1 700 MPa, 纵断面为 72.49 mm², 取弹性模量 E 为 8×104 MPa; 钢拉杆采用 HPB300, 取弹性模量 E 为 210 GPa。钢丝绳、钢拉杆、型钢梁与墙体的连接方式均为铰接。以型钢与 U 型螺栓接触位置约束 3 个方向的线位移的方法施加边界条件。

2.2.1 脚手架模型建立

为了研究不同悬挑长度下两种脚手架的力学性能, 建立以下 3 种工况: 工况一, 内立杆距离建筑边

缘 1.1 m; 工况二, 内立杆距离建筑边缘 1.6 m; 工况三, 内立杆距离建筑边缘 2.5 m。

依据 DGJ32/J12—2011《建筑施工悬挑式脚手架安全技术规程》^[12], 规定悬挑钢梁悬挑长度小于 1 800 mm 时, 宜设置一根钢筋拉杆; 悬挑长度大于 1 800 mm 但小于 3 000 mm 时, 宜设置内外两根钢丝绳、钢筋拉杆, 并且钢丝绳、钢筋拉杆与钢梁的水平夹角应不小于 45°。

1) 悬挑梁式脚手架模型。工况一、工况二、工况三建立的悬挑梁式脚手架模型 XT-1、XT-2、XT-3 中未设置钢丝绳, 所以上部脚手架产生的荷载全部由型钢梁承担。悬挑梁式脚手架钢丝绳参与受力在工况一、工况二的条件下建立的模型为 XTP-1、XTP-2, 设置一根钢丝绳; 工况三三模型为 XTP-3, 设置两根钢丝绳, 上部脚手架产生的全部荷载由型钢梁和钢丝绳共同承担, 钢丝绳和型钢梁共同工作时钢丝绳是张紧状态。由层高 2.9 m 及悬挑长度计算得出的钢丝绳与型钢梁水平夹角, 模型 XTP-1、XTP-2、XTP-3 满足规范要求。

2) 拉杆式悬挑脚手架模型。工况一、工况二拉杆式悬挑脚手架建立的模型 LGP-1、LGP-2 均设置一根钢拉杆; 工况三三模型 LGP-3 设置两根钢拉杆。由层高 2.9 m 及悬挑长度得出钢拉杆与型钢梁水平夹角, 知模型 LGP-1、LGP-2、LGP-3 满足规范要求。两种脚手架模型的具体参数如表 1 所示。

表 1 脚手架计算模型
Table 1 Scaffold computation model

工况	模型	悬挑长度 /m	总长度 /m	型钢规格	钢丝绳 / 钢拉杆 /mm		夹角 / (°)	
					绳 / 杆 1	绳 / 杆 2	绳 / 杆 1	绳 / 杆 2
一	XT-1	1.2	2.7	I16				
	XTP-1	1.2	2.7	I16	3 036		72.67	
	LGP-1	1.1	1.1	I16	3 036		72.67	
二	XT-2	1.7	4.5	I20				
	XTP-2	1.7	4.5	I20	3 220		64.23	
	LGP-2	1.6	1.6	I20	3 220		64.23	
三	XT-3	2.6	5.9	I22				
	XTP-3	2.6	5.9	I22	3 265	3 700	62.65	51.58
	LGP-3	2.5	2.5	I22	3 265	3 700	62.65	51.58

2.3 脚手架结果分析

将上述 3 种工况下建立的模型导入 ABAQUS 计算后, 提取悬挑主梁的应力值、自由端挠度值、钢丝绳及钢拉杆的轴力, 并进行验算。

2.3.1 钢拉杆与钢丝绳验算

钢拉杆的强度等级为 HPB300 的 $\Phi 20$ 拉杆, 其屈服强度达 300 MPa, f20 螺纹有效直径 d_e 为 17.65 mm, 抗拉强度设计值 f_t 为 270 MPa。根据

GB50017—2003《钢结构设计规范》^[13] 螺纹处的最大拉力 $T=\pi d_e^2 f_t/4=66.06$ kN。选用 6×19 根直径为 14 mm 的钢丝绳, 查表得知破坏拉力总和 P_g 为 123 kN, 换算系数 K 为 8, 安全系数 α 为 0.85。则钢丝绳的容许拉力计算如下: $S=\alpha P_g/K=13.07$ kN, 取钢丝绳的容许拉力 S 为 13.07 kN。图 2 为钢丝绳与钢拉杆在相应模型下的最大轴力, 由图可知钢拉杆与钢丝绳轴力满足要求。

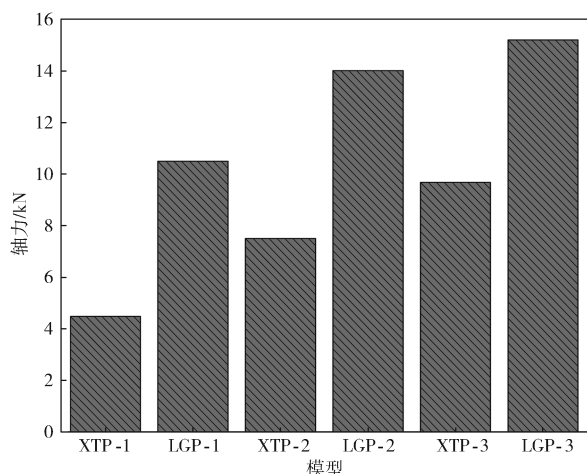


图2 钢丝绳或钢拉杆中最大轴力

Fig. 2 Maximum axial force in the wire rope or steel tie rod

2.3.2 型钢悬挑梁验算

《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》(JGJ 130—2011)规定了悬挑钢梁的材料设计值,牌号为Q235的钢材抗拉、抗压和抗弯强度设计值 f 均为215 MPa,抗剪强度设计值 v 为125 MPa。型钢悬挑主梁的整体稳定性应按下式计算: $\sigma = M_{\max} / \phi_b W \leq f$,其中, ϕ_b 为型钢悬挑主梁的整体稳定性系数;按现行国家标准《钢结构设计规范》(GB50017—2003)的规定采用, $M_{\max}$ 为悬挑梁上的弯矩最大值。当 $\phi_b = 1.572 > 0.6$ 时,用 ϕ'_b 代替 ϕ_b ,得 $\phi'_b = 1.07 - 0.282 / \phi_b = 0.89$ 。即模型截面应力应控制在 $0.89 \times 215 \text{ MPa} = 191.35 \text{ MPa}$ 。图3为悬挑主梁的应力最大值,由图可知型钢的强度和稳定性满足规范要求。

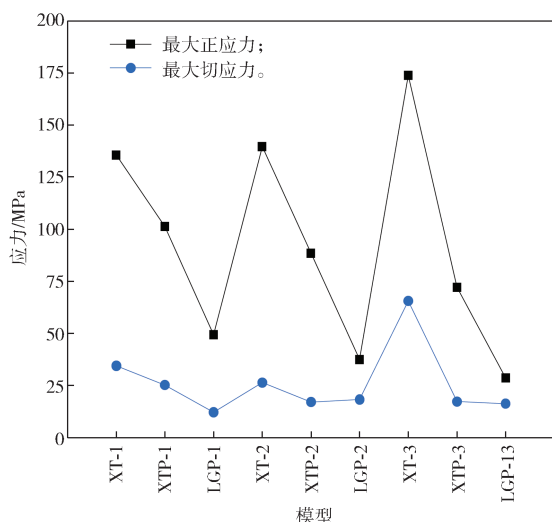


图3 悬挑主梁的最大应力

Fig. 3 Maximum stress of the cantilever girder

2.3.3 悬挑主梁挠度验算

规范中对不同的悬挑长度 L ,对应的挠度限值 v 有不同的要求,依据悬挑型钢梁的受弯构件允许挠度

公式 $v \leq 2L/250$,可得3种工况的悬挑主梁挠度限值,工况一、工况二、工况三的挠度限值分别为9.6, 13.6, 20.8 mm。图4为各悬挑主梁自由端挠度,除模型XT-3不满足挠度要求外,其余模型挠度均符合要求。由悬挑主梁应力分析可知,模型XT-3的悬挑主梁应力满足要求,但需要替换为更大规格的悬挑主梁才能满足挠度要求。

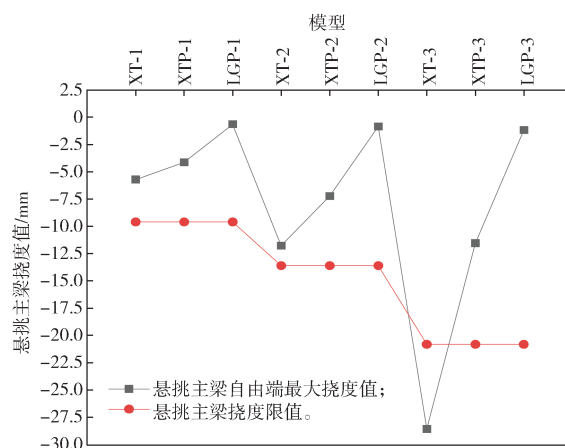


图4 悬挑主梁最大挠度值

Fig. 4 Maximum deflection value of the cantilever girder

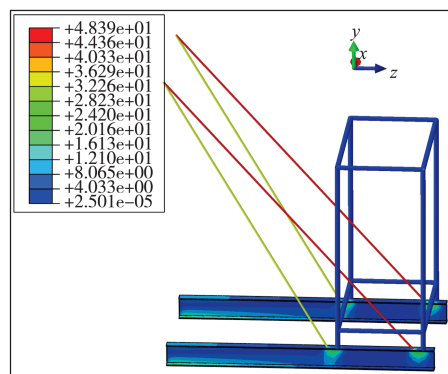
2.3.4 两种脚手架体系受力对比分析

两种脚手架体系共有的构件是悬挑主梁,而且该构件的主要作用是抵抗弯矩,相同悬挑长度所使用的型钢梁是同样规格。工况三的悬挑长度最大,因此选取此工况输出的应力、位移云图对两种脚手架体系进行整体分析。

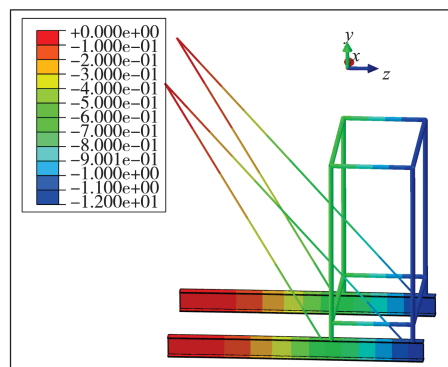
从应力分布状况来看,如图5中a、c所示,拉杆式悬挑脚手架悬挑主梁的应力分布均匀,主梁沿轴向材料承载能力发挥合理,而悬挑梁式脚手架的悬挑主梁应力主要集中在U型螺栓锚固点处。其主要原因是上拉杆的刚度要明显大于钢丝绳的刚度,因此拉杆式主梁的约束作用明显强于悬挑梁式。从两种脚手架体系对应的悬挑主梁自由端挠度来看,如图5中b、d所示,上拉杆会使悬挑主梁的自由端挠度明显减少,而且拉杆式对主梁的约束更强。其他两种工况的悬挑主梁的应力和自由端挠度见图3~4。所以无论是从主梁强度、刚度还是稳定性,拉杆式脚手架体系都要优于悬挑式脚手架体系。

此外,由图5中c、e和d、f可以得出,钢丝绳参与受力的悬挑主梁相较于钢丝绳未参与受力的悬挑主梁,应力值与自由端挠度均有不同程度下降。工况一、工况二、工况三的应力值分别降低了25.22%, 36.59%, 58.47%;悬挑主梁自由端的挠度值分别降低了27.45%, 38.47%, 59.53%。这主要是由于随着悬挑长度的增加,悬挑主梁所承担的弯矩逐渐增大,钢丝

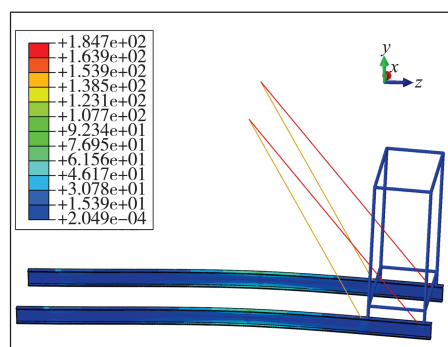
绳能分担一部分作用力。但是钢丝绳在实际使用过程中存在不稳定性, 因此规范中也明确表示, 计算悬挑梁式脚手架钢丝绳作为一种保证措施存在。在实际设计施工中计算了钢丝绳的作用, 因此施工现场要定期检查钢丝绳的张紧状态是十分重要的。



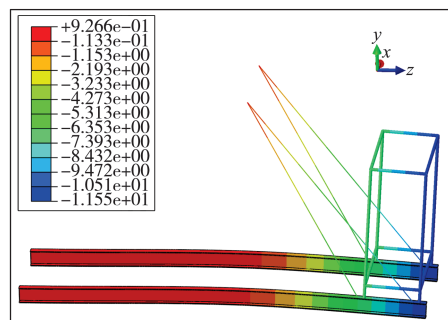
a) 模型 LGP-3 应力图



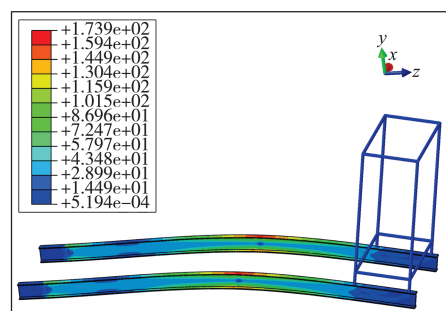
b) 模型 LGP-3 位移图



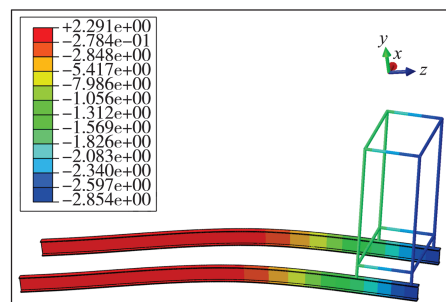
c) 模型 XTP-3 应力图



d) 模型 XTP-3 位移图



e) 模型 XT-3 应力图



f) 模型 XT-3 位移图

图 5 工况三下的有限元模拟结果云图

Fig. 5 Finite element simulation under working condition 3

3 效益分析

脚手架的主要作用是为施工提供平台, 其本身不直接产生经济效益。但若能在保证施工工期的情况下降低费用, 也是变相产生经济效益的手段。拉杆式与悬挑梁式脚手架的组成体系不同, 因此, 接下来从经济效益、施工工艺、施工工期等方面进行对比分析。

3.1 经济效益对比分析

悬挑梁式脚手架的费用组成包括型钢、钢丝绳、U 型螺栓、安装及维护费用等; 拉杆式脚手架的费用组成包括型钢、钢拉杆、螺栓连接件、安装及维护费用等。依据 2022 年 3 月份市场发布的报价信息, 得到材料的报价如表 2 所示。

表 2 材料报价

Table 2 Material quotation

材料	单位	价格	材料	单位	价格
I16	元/t	4 928	钢拉杆	元/m	10.5
I20	元/t	5 326	花篮螺栓	元/m	6.5
I22	元/t	5 436	U 型螺栓	元/个	10
钢丝绳	元/m	20	高强螺栓	元/个	15

为了对比两种脚手架体系的经济效益, 以上述模型为例计算得出两种脚手架体系的费用, 如表 3 所示。从表中的费用可以得出, 工况一的条件, 拉杆式悬挑脚手架相较于悬挑梁式脚手架能节约 50.62% 的

费用；工况二能节约 57.47% 的费用；工况三能节约 54.01% 费用。总之，拉杆式脚手架相较于悬挑梁式脚手架平均节约 54.03% 的费用。这主要是悬挑梁式脚手架的型钢梁伸入建筑内部，不能发挥承载作用，而拉杆式脚手架的主梁更能发挥承载作用。其次，与悬挑梁式脚手架相比，拉杆式脚手架的构件能够被重复利用，而循环利用提高了构件的利用率，变相地节约了资源，降低了生产成本，同时也响应了国家节约资源的号召。

表 3 各模型的计算费用

Table 3 Calculated costs for each model

模型	费用 / 元	计算说明
LGP-1	179.60	主梁采用 I16，钢拉杆直径为 20 mm，2 个高强度螺栓
XTP-1	363.72	主梁采用 I16，钢丝绳直径为 14 mm，1 个花篮螺栓，3 个 U 型螺栓
LGP-2	311.78	主梁采用 I20，钢拉杆直径为 20 mm，2 个高强度螺栓
XTP-2	733.09	主梁采用 I20，钢丝绳直径为 14 mm，1 个花篮螺栓，3 个 U 型螺栓
LGP-3	565.48	主梁采用 I22，钢拉杆直径为 20 mm，2 个高强度螺栓
XTP-3	1 229.78	主梁采用 I22，钢丝绳直径为 14 mm，1 个花篮螺栓，3 个 U 型螺栓

3.2 施工工艺对比分析

拉杆式脚手架悬挑主梁锚固于梁、墙、柱，不会穿过建筑结构，无需墙面预留洞口，不对原有结构造成破坏，杜绝渗水漏水隐患，可以有效地保证施工质量，并且不用现场对型钢进行焊接、切割等工序，有效地消除了火灾隐患。现场施工没有深入室内型钢梁，不会影响建筑垃圾清理及施工人员的行走，各项施工工序可交叉进行，工作面简洁、美观。此外，拉杆式主梁长度相对较小，安装拆除无需塔吊配合，轻量化操作，方便快捷，单人即可完成安装拆除工作，施工效率较高。

悬挑梁式脚手架主梁会穿过建筑物，容易破坏建筑原有结构，从而引起楼面渗水漏水。现场安装时悬挑主梁长度较长，需要塔式起重机全程配合，还需要现场对型钢进行焊接、切割等工序。现场使用时，由于伸入室内的型钢梁布局复杂，因此会妨碍室内建筑垃圾清理及施工人员行走。拆除型钢梁前，需要将预埋 U 型螺栓切除，拆除后还需要补洞、补贴砖，工序繁多，会耗费大量时间，增加工期。这种搭设方式悬挑主梁伸入室内的固定长度不应小于室外悬挑段的 1.25 倍，所以根据悬挑长度的不同，需要用到 3~5 m 的型钢梁，在安装、拆除过程中塔式起重机的盲区很多，存在很大的安全隐患。

3.3 施工工期对比分析

拉杆式悬挑脚手架搭设所耗费的工期主要包括型钢梁、钢拉杆及连接件的安装和拆除，建筑结构上由于锚固留下的孔洞完成注浆封堵即可，施工效率较高。悬挑式脚手架搭设所耗费的工期主要为型钢梁安装，拆除时需要切割预埋 U 型螺栓，建筑物的开洞往往较大，需要以混凝土或者砌块进行封堵，施工用时较长。综上，采用拉杆式脚手架搭设方式，可以在挑架作业层减少约 2 d 的工期。

4 结语

经过 ABAQUS 模拟分析，得知悬挑脚手架钢丝绳对悬挑主梁的应力及自由端挠度都有很大的影响，因此，建议在高层建筑悬挑脚手架施工中，定期检查钢丝绳，保持钢丝绳的张紧状态。

从悬挑主梁的应力及控制主梁的挠度看，拉杆式脚手架体系优于悬挑梁式脚手架体系。

在保证结构安全的前提下，通过对两种脚手架不同悬挑长度的效益分析，得知拉杆式脚手架相对于悬挑式脚手架，平均能节约 54.03% 的费用，并且能够加快工期，显著提升生产效率，降低生产成本。

参考文献：

- [1] 贾海涛, 杜 岩, 宋红克, 等. 悬挑式脚手架在高层建筑施工的应用研究 [J]. 施工技术, 2017, 46(增刊 1): 382-384.
JIA Haitao, DU Yan, SONG Hongke, et al. The Application of Cantilevered Scaffold in Construction of High-Rise Buildings[J]. Construction Technology, 2017, 46(S1): 382-384.
- [2] 丁维春. 悬挑脚手架的安全改进与创新 [J]. 建筑施工, 2017, 39(10): 1531-1532, 1541.
DING Weichun. Safety Improvement and Innovation of Cantilever Scaffold[J]. Building Construction, 2017, 39(10): 1531-1532, 1541.
- [3] 黄宗权, 陈 权, 冉小和, 等. 锚固螺栓连接式悬挑外脚手架设计与施工技术 [J]. 施工技术, 2018, 47(增刊 4): 419-425.
HUANG Zongquan, CHEN Quan, RAN Xiaohu, et al. Construction Technology of Cantilever Scaffold of Bolt Connection[J]. Construction Technology, 2018, 47(S4): 419-425.
- [4] 张 伟, 李 超, 常晨曦, 等. 高层建筑梁侧悬挑脚手架施工技术 [J]. 施工技术, 2020, 49(6): 61-63, 108.
ZHANG Wei, LI Chao, CHANG Chenxi, et al.

- Construction Technology of Beam-Side Overhanging Scaffolding in High-Rise Buildings[J]. Construction Technology, 2020, 49(6): 61–63, 108.
- [5] 鲁 烨, 韦应彬, 沈海杰. 花篮拉杆式型钢悬挑式脚手架施工技术[J]. 施工技术, 2020, 49(增刊1): 886–889.
- LU Ye, WEI Yingbin, SHEN Haijie. Construction Technology of Basket Pull Rod Type Steel Cantilever Scaffold[J]. Construction Technology, 2020, 49(S1): 886–889.
- [6] 帅云飞, 李 彬. 悬挑脚手架型钢悬挑梁在阳台上的受力分析[J]. 建筑安全, 2017, 32(7): 39–42.
- SHUAI Yunfei, LI Bin. Stress Analysis of Cantilevered Scaffold Steel Cantilevered Beam on Balcony[J]. Construction Safety, 2017, 32(7): 39–42.
- [7] LIU H B, MENG Y, JIA L, et al. Structural Behavior of Steel Tube and Coupler Scaffolds with Stability Strengthening Details[J]. International Journal of Steel Structures, 2018, 18(1): 79–95.
- [8] 毛 磊. 浅析悬挑脚手架在某小高层建筑中的应用[J]. 建材技术与应用, 2018(4): 30–32.
- MAO Lei. Application of Cantilever Scaffold in a Small High-Rise Building[J]. Research & Application of Building Materials, 2018(4): 30–32.
- [9] SZÓSTAK M, HOŁA B, BOGUSŁAWSKI P. Identification of Accident Scenarios Involving Scaffolding[J]. Automation in Construction, 2021, 126: 103690.
- [10] 李树一. 建筑施工悬挑式脚手架受力性能远程监测及力学模型研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2016.
- LI Shuyi. Remote Monitoring and Research on Model of Mechanical Performance for Cantilevered Scaffolding on Construction[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2016.
- [11] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 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: 9–12.
- Ministry of Housing and Urban Rural Development of the People's Republic of China. Technical Code for Safety of Steel Tubular Scaffold with Couplers in Construction: JGJ 130—2011[S]. Beijing: China Architecture Press, 2011: 9–12.
- [12] 江苏省住房和城乡建设厅. 建筑施工悬挑式钢管脚手架安全技术规程: DGJ32/J121—2011[S]. 南京: 江苏凤凰科学技术出版社, 2011: 7–9.
- Jiangsu Provincial Department of Housing and Urban Rural Development. Technical Specification for Safety of Cantilever Steel Scaffolding in Construction[S]. Nanjing: Jiangsu Phoenix Science and Technology Press, 2011: 7–9.
- [13] 中华人民共和国建设部, 国家质量监督检验检疫总局. 钢结构设计规范: GB 50017—2003[S]. 北京: 中国计划出版社, 2003: 1–10.
- Ministry of Construction of the People's Republic of China, General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. Code for Design of Steel Structures: GB 50017—2003[S]. Beijing: China Planning Press, 2003: 1–10.
- (责任编辑: 申 剑)