

DOI: 10.7672/sgjs2025200085

承插型盘扣式模板支撑架稳定承载性能 有限元分析*

张有振¹,王振兴¹,陈红²,刘清江¹,吴楠¹,赵旭辉¹

(1.北京城建北方集团有限公司,北京 101301; 2.中国基建物资租赁承包协会,北京 100036)

[摘要] 利用 ANSYS 有限元软件建立 2 层 3 跨承插型盘扣式模板支撑架模型,分析斜杆设置、转动刚度对架体极限承载力的影响;通过建立多种有限元模型分析斜杆布置、悬臂长度、顶层步距等因素对架体极限承载力的影响。在此基础上,结合数值模拟结果提出模板支撑架搭设建议,为其设计提供参考。

[关键词] 模板;支撑架;搭设;承载力;斜撑;有限元分析

[中图分类号] TU755

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2025)20-0085-05

Finite Element Analysis of Stable Bearing Performance for Socket-type Disc Lock Formwork Support Frame

ZHANG Youzhen¹, WANG Zhenxing¹, CHEN Hong², LIU Qingjiang¹, WU Nan¹, ZHAO Xuhui¹

(1. Beijing Urban Construction North Group Co., Ltd., Beijing 101301, China;

2. China Construction Materials Rental Contractor Association, Beijing 100036, China)

Abstract: ANSYS finite element software is used to establish a two-layer and three-span socket-type disk lock formwork support frame model to analyze the influence of diagonal brace setting and rotational stiffness on the ultimate bearing capacity of the frame. Through the establishment of a variety of finite element models, the influence of diagonal brace layout, cantilever length, top step distance on the ultimate bearing capacity of the frame is analyzed. On this basis, combined with the numerical simulation results, the suggestions for the erection of the formwork support frame are proposed to provide reference for its design.

Keywords: formwork; support frame; erection; loading capacity; diagonal braces; finite element analysis

0 引言

承插型盘扣式钢管脚手架因具有结构承载力高、节点结构合理、安拆方便、安全文明施工程度高等优点,在北京城市副中心、北京大兴国际机场等重点工程中得到了广泛应用,是脚手架的升级换代产品。目前,国内学者主要对盘扣架节点力学性能进行试验和数值分析,关于承插型盘扣式钢管脚手架架体极限承载力的研究较少。各施工单位主要参考相关国家、行业和地方标准进行盘扣式钢管脚手架架体设计及搭设,对架体构造的认识有待加强。

1 有限元分析

1.1 单元选择及材料定义

盘扣式钢管脚手架有限元模型中的立杆、横杆均采用 beam188 单元,斜撑采用 link8 单元,所有杆件均匀划分为 4 段。立杆与横杆的连接节点属于典型的半刚性连接节点,采用线性弹簧单元 combin14 模拟盘口连接节点的半刚性;斜杆与立杆间设置为铰接。

通过材料室温拉伸试验获得材料真实力学性能,结合 2 层 3 跨架体试验结果,验证有限元模型的有效性;并按照 JGJ/T 231—2021《建筑施工承插型盘扣式钢管脚手架安全技术标准》相关规定得出杆件截面特性、材料强度和弹性模量设计值等参数。有限元分析采用 Von Mises 屈服准则和 BKIN 双线性随动强化模型。

*北京城建北方集团有限公司课题:承插型盘扣式钢管脚手架稳定承载性能研究(KT2020-01)

[作者简介] 张有振,高级工程师,国家一级注册建造师, E-mail: zhangyz2090@163.com

[收稿日期] 2025-04-20

1.2 有限元基本假定

1)边界条件设定。在模板支撑架建模中,悬臂段顶部设为自由端,立杆与地面间设为铰接。同时,通过为线性弹簧单元赋予适当的转动刚度,以模拟盘扣节点的半刚性特性。

2)初始缺陷施加。先进行特征值屈曲分析得到钢管支架临界屈曲荷载 P_{cr} ,再沿构件失稳方向施加 $2\%P_{cr}$ 水平力模拟构件初始缺陷及试验加载过程的偏心作用。进行分析时,先施加初始缺陷等效水平力,使几何模型发生变形,再将变形后的几何导入架体模型,完成初始缺陷的施加。

2 2层3跨模架模型有限元分析

根据力学性能试验得到的材料真实本构关系,针对标准型(B型)和重型(Z型)钢管架体建立2层3跨有限元模架模型。将有限元分析结果与已有试验结果进行对比,验证有限元模型的有效性,并分析斜杆设置(满布斜杆、无斜杆)、转动刚度(40, 20(kN·m)/rad)对架体极限承载力的影响。试验及有限元分析时,立杆纵、横向间距分别取1 800, 1 500mm,步距取1 500mm;扫地杆距地300mm,悬臂长度取350mm。计算结果对比如表1所示,标准型(B型)架体有限元模型及极限承载力状态下变形模拟结果分别如图1,2所示。

表 1 试验与有限元结果对比							
Table 1 Comparison between simulation results and test results							
架体类型	斜杆设置	试验结果	有限元分析结果				
		极限承载力/kN	转动刚度/[$(\text{kN}\cdot\text{m})\cdot\text{rad}^{-1}$]	临界屈曲荷载/kN	极限承载力/kN	x方向位移/mm	极限承载力对比/%
标准型(B型)	满布斜杆	100	40	100.72	77.88	20.86	-9.08
			20	91.72	70.81	22.95	
	无斜杆	—	40	24.34	17.18	300.21	-24.68
			20	16.32	12.94	303.02	
重型(Z型)	满布斜杆	162	40	178.42	122.75	16.95	-5.34
			20	166.43	116.20	17.11	
	无斜杆	—	40	27.32	20.04	200.00	-29.19
			20	17.59	14.19	305.00	

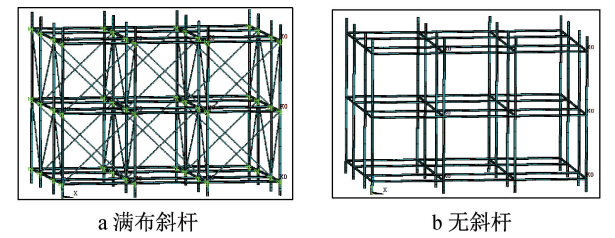


图 1 有限元模型
Fig. 1 The finite element models

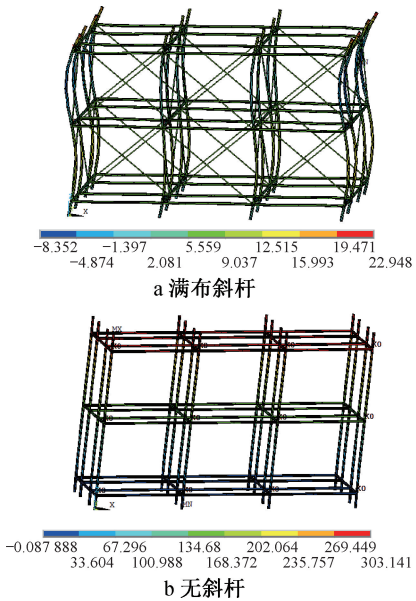


图 2 极限承载力状态下变形模拟结果(单位:mm)
Fig. 2 Simulation results of deformation under ultimate bearing capacity state(unit:mm)

从计算结果可以看出以下几点。

1)无斜杆架体的极限承载力由整体侧向失稳控制;满布斜杆架体则表现为第2层步距内立杆的大幅鼓曲并发生局部屈曲破坏。可见,斜杆可显著提高架体极限承载力。

2)对于标准型(B型)架体,转动刚度由40(kN·m)/rad降为20(kN·m)/rad时,满布斜杆、无斜杆架体极限承载力分别下降9.08%,24.68%;对于重型(Z型)架体,转动刚度由40(kN·m)/rad降为20(kN·m)/rad时,满布斜杆、无斜杆架体极限承载力分别下降5.34%,29.19%,转动刚度对架体承载力影响较大。

3)对于满布斜杆架体,有限元分析的临界屈曲荷载与试验值较接近,极限承载力低于试验值。分析其原因:①试验加载采用千斤顶-分配梁体系,分配梁会对立杆产生约束,而有限元建模时,为简化计算,将上部设为自由端,未考虑分配梁的约束效应;②试验时架体搭设较为规范,几何误差较小,为保证安全裕度,在有限元模型中人为施加了较大的初始缺陷。

3 模板支撑架稳定承载性能影响参数分析

结合《建筑施工承插型盘扣式钢管脚手架安全技术标准》给出的4种架体斜杆布置形式(TA,TB,TC,TD),以及目前施工现场搭设方案(FA),研究斜杆布置、悬臂长度、顶层步距、架体高度等对架体极限承载力的影响,各方案斜杆布置如图3所示。分析时,各模型架体立杆纵距、横距、步距均取

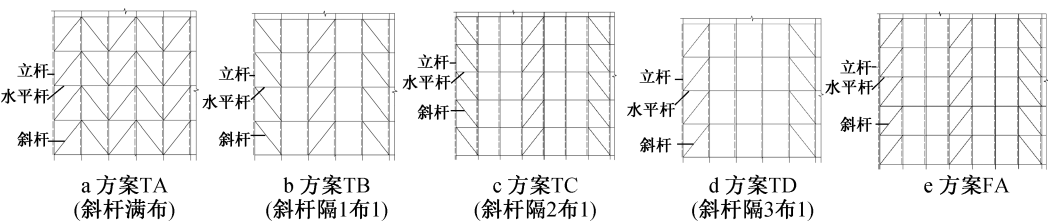


图 3 各方案斜杆布置

Fig. 3 Diagonal brace layout of each scheme

1 500mm,除顶层外其余各层步距取 1 500mm,扫地杆距地高度取 300mm,节点转动刚度取 $20(\text{kN}\cdot\text{m})/\text{rad}$ 。

3.1 悬臂长度、顶层步距的影响

建立 5 步高标准型(B 型)架体有限元模型,悬臂长度分别取 350,450,550,650mm,顶层步距分别取 1 500,1 000mm,研究悬臂长度、顶层步距对架体极限承载力的影响。各方案架体极限承载力对比如图 4 所示(因方案 TA,TB,TC,TD 计算结果较接近,因此只对方案 TA,TD 结果进行绘制),悬臂长度、顶层步距对极限承载力的影响如图 5 所示,方案 TB 中架体达到极限承载力时对应的架体变形如图 6 所示。

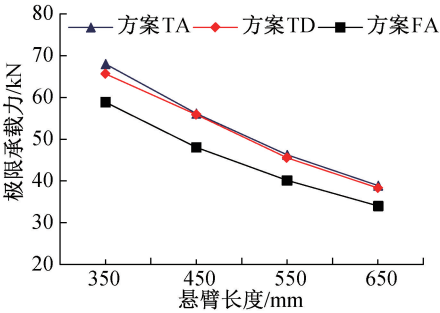


图 4 各方案架体极限承载力对比

Fig. 4 Comparison of frame ultimate bearing capacity for each scheme

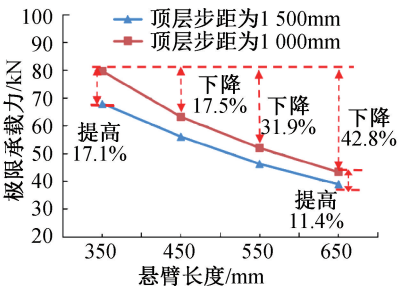


图 5 悬臂长度、顶层步距对极限承载力的影响

Fig. 5 Influence of cantilever length and top step distance on ultimate bearing capacity

由图 4,5 可以看出以下几点。

1)当架体高度为 5 步且悬臂长度相同时,TA,TB,TC,TD 方案极限承载力相差不大,但均高于模架方案 FA,承载力相差约 11.5%;各工况下架体破

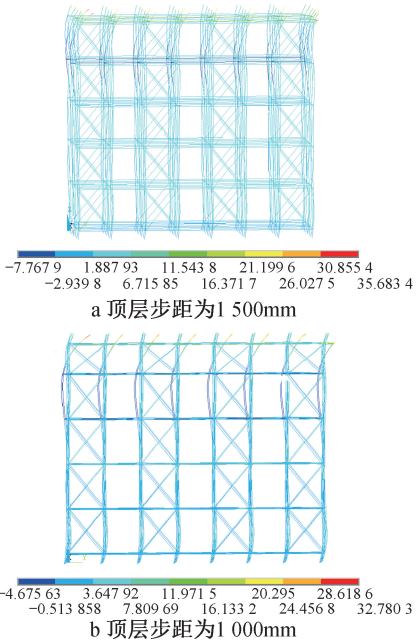


图 6 方案 TB 极限承载状态时架体变形(单位:mm)

Fig. 6 Deformation of frame under ultimate bearing capacity state for scheme TB(unit :mm)

坏均以局部失稳为主。

2)悬臂长度取 450,550,650mm 时,架体极限承载力分别下降 17.5%,31.9%,42.8%;顶层步距由 1 500mm 降为 1 000mm 时,架体极限承载力提高 11%~17%。悬臂长度和顶层步距对架体极限承载力的影响较明显。

3.2 架体高度、顶层步距及斜杆布置的影响

为研究架体高度、顶层步距及斜杆布置对极限承载力的影响,针对各方案标准型(B 型)架体,分别建立顶层步距为 1 500,1 000mm,架体高度为 5 步(8.15,7.65m)、10 步(15.65,15.15m)、16 步(24.65,24.15m)有限元模型进行极限承载力分析,分析时架体顶部悬臂长度取 350mm。

方案 TA,TB 架体高度对极限承载力的影响如图 7 所示,方案 TC,TD 也表现出类似趋势;顶层步距、斜杆布置对极限承载力的影响如图 8 所示(16 步高);16 步高方案 TB 架体(顶层步距 1 500mm)达到极限承载力时架体变形如图 9 所示。

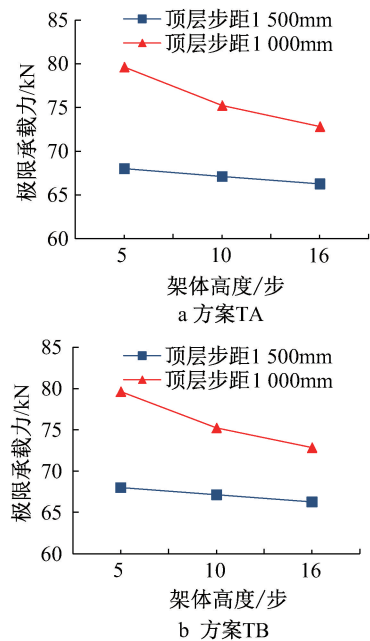


图 7 顶层步距对极限承载力的影响

Fig. 7 Influence of top step distance on ultimate bearing capacity

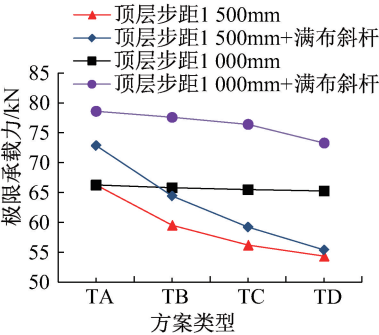


图 8 顶层步距、斜杆布置对极限承载力的影响

Fig. 8 Influence of top step distance and diagonal brace layout on ultimate bearing capacity

由图 7~9 可以看出以下几点。

- 1) 架体高度由 5 步加高为 10、16 步时,架体极限承载力出现一定的下降趋势。
- 2) 对于各工况,缩短顶层步距对提高架体承载力较为明显。
- 3) 当架体高度为 16 步且未设侧向约束时,结构呈整体失稳倾向;若在顶层满布斜杆,则可显著提高架体极限承载力。

3.3 四周满布斜杆的影响

为研究在架体四周外立面满布斜杆对架体极限承载力的影响,针对各方案标准型(B 型)架体建立有限元模型进行分析。分析时架体步距均取 1 500mm,顶部悬臂长度取 350mm。方案 TB、TC,

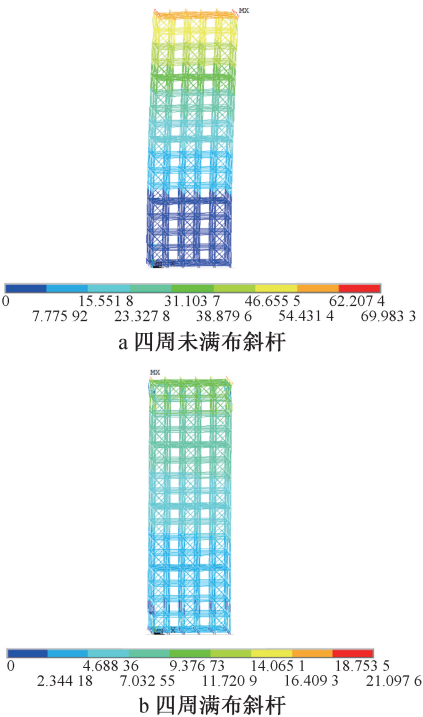


图 9 极限承载状态时架体变形(单位:mm)

Fig. 9 Frame deformation under ultimate bearing capacity state(unit : mm)

TD 不同高度架体四周满布斜杆与未满布斜杆极限承载力对比如图 10 所示。由图中可以看出:当四周满布斜杆时,架体高度变化对极限承载力的影响较小;当架体高度为 16 步时,四周满布斜杆架体极限承载力可比原方案(四周未满布)提高 12%~18%。

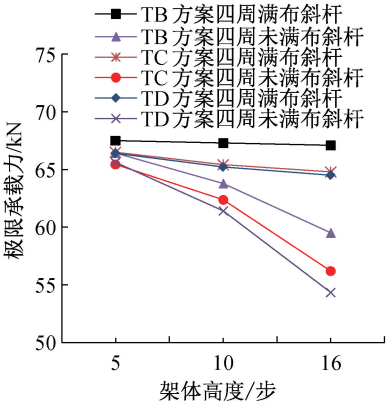


图 10 斜杆布置对极限承载力的影响

Fig. 10 Influence of diagonal brace layout on ultimate bearing capacity

4 结语

本文通过建立多种有限元模型分析转动刚度、斜杆布置、悬臂长度、顶层步距、四周满布斜杆等因素对标准型(B 型)承插型盘扣式模板支撑架极限承载力的影响,重型(Z 型)架体与标准型(B 型)架体表现出相似的受力规律。根据分析结果给出以

下架体搭设建议。

1)可调托撑伸出顶层水平杆的悬臂长度宜 $\leq 500\text{mm}$ 且应 $\leq 650\text{mm}$;当悬臂长度 $> 500\text{mm}$ 且 $< 650\text{mm}$ 时,立杆承载力设计值应乘以0.85的折减系数。

2)模板支撑架安全等级为Ⅰ级时,顶层步距宜比标准步距缩小0.5m。

3)当模板支撑架搭设高度为16~24m时,顶层步距内应每跨布置斜杆,并应在架体四周外排立杆上满布斜杆。

参考文献:

[1] 段先军,雷素素,刘云飞,等.北京大兴国际机场航站楼核心区超大平面复杂结构模架支撑体系设计与施工[J].施工技术,2019,48(20):35-39.
DUAN X J,LEI S S,LIU Y F,et al. Design and construction of super large plan complex structure formwork support system in core area of Beijing Daxing International Airport terminal[J]. Construction technology,2019,48(20):35-39.

[2] 邓应平,张永坡,张宝利,等.盘扣式脚手架在大跨度椭圆形弦支穹顶结构施工中的应用[J].施工技术,2017,46(14):39-41.
DENG Y P,ZHANG Y P,ZHANG B L,et al. Application of disk lock scaffold in the construction of long-span elliptical suspendome structure[J]. Construction technology,2017,46(14):39-41.

[3] 钱晓军.盘扣式及碗扣式钢管支架节点试验及应用技术研究[D].南京:东南大学,2016.
QIAN X J. Research on test and application technology of disk lock and bowl lock steel tubular support joints[D]. Nanjing:

Southeast University,2016.

[4] 刘哲,刘战伟,张兆龙,等.重型承插型盘扣式钢管脚手架连接节点抗弯性能研究[J].施工技术(中英文),2024,53(2):110-116.
LIU Z,LIU Z W,ZHANG Z L,et al. Bending performance of heavy-duty socket-type disk lock steel tubular scaffold connection joints[J]. Construction technology,2024,53(2):110-116.

[5] 吉萌.盘扣式钢管支架节点性能及支架稳定承载力研究[D].西安:西安工业大学,2024.
JI M. Study on joint performance and stability bearing capacity of disc-type steel pipe support[D]. Xi'an:Xi'an Technological University,2024.

[6] 南通新华建筑集团有限公司,江苏速捷模架科技有限公司.建筑施工承插型盘扣式钢管脚手架安全技术标准:JGJ/T 231—2021[S].北京:中国建筑工业出版社,2021.
Nantong Xinhua Construction Group Co., Ltd., Jiangsu Rapid Molding Technology Co., Ltd. Technical standard for safety of disk lock steel tubular scaffold in construction JGJ/T 231—2021[S]. Beijing: China Architecture & Building Press,2021.

[7] 郭正兴,温科,陈安英.盘扣式钢管模板支撑架高效应用技术[J].施工技术(中英文),2024,53(17):67-70,130.
GUO Z X,WEN K,CHEN A Y. Efficient application technology of plate-type steel pipe formwork support frame[J]. Construction technology,2024,53(17):67-70,130.

[8] 刘哲,刘战伟,张兆龙,等.重型承插型盘扣式钢管脚手架连接节点抗弯性能研究[J].施工技术(中英文),2024,53(2):110-116.
LIU Z,LIU Z W,ZHANG Z L,et al. Study on flexural behavior of heavy-duty socket-type steel tubular scaffold connection joints[J]. Construction technology,2024,53(2):110-116.

(上接第48页)

[10] 苏洋,李鹏,胡朋,等.施工态下塔吊对钢桥塔涡激振动影响的风洞试验[J].公路交通科技,2020,37(9):67-72,89.
SU Y,LI P,HU P,et al. Wind tunnel test on influence of tower crane on vortex-induced vibration of steel bridge pylon at construction stage[J]. Journal of highway and transportation research and development,2020,37(9):67-72,89.

[11] 汪仁威,胡伟,余煜东.超高钢箱-钢管混凝土桥塔塔柱施工关键技术[C]//2023年全国工程建设行业施工技术交流会议论文集,2023.
WANG R W,HU W,YU Y D. Key construction technology of super high steel box-concrete filled steel tube bridge tower column[C]//Proceedings of the 2023 National Engineering Construction Industry Construction Technology Exchange Conference,2023.

[12] 高斌.塔机垂直度的测量与控制[J].建筑机械化,2014,35(8):78-80.
GAO B. Tower crane verticality measurement and control[J]. Construction mechanization,2014,35(8):78-80.

[13] 北京建筑机械化研究院,中联重科股份有限公司,哈尔滨工业大学.塔式起重机设计规范:GB/T 13752—2017[S].北京:中国标准出版社,2017.

Beijing Construction Mechanization Research Institute, Zoomlion Heavy Industry Science & Technology Co., Ltd., Harbin Institute of Technology. Design rules for tower cranes: GB/T 13752—2017[S]. Beijing: Standards Press of China,2017.

[14] 同济大学.公路桥梁抗风设计规范:JTG/T 3360-01—2018[S].北京:人民交通出版社,2018.
Tongji University. Wind-resistant design specification for highway bridges:JTG/T 3360-01—2018[S]. Beijing: China Communications Press,2018.

[15] 尤田,王琦,汪聪颖,等.钢塔塔吊附墙与主动横撑设计及受力分析[J].公路交通科技,2021,38(S1):84-91.
YOU T,WANG Q,WANG C Y,et al. Design and stress analysis of attached wall and active cross brace of steel tower crane[J]. Journal of highway and transportation research and development,2021,38(S1):84-91.

[16] 管东银,朱金柱,张兰芳.斜拉桥桥塔塔吊附墙设计及其钢塔耦合效应研究[J].公路工程,2024,49(1):32-38.
GUAN D Y,ZHU J Z,ZHANG L F. Study on design of attached wall of tower crane of cable-stayed bridge and coupling effect of steel tower[J]. Highway engineering,2024,49(1):32-38.