

基于有限元的盘扣式钢管满堂支架稳定性研究分析

章贝贝¹, 樊训良², 林京京¹, 高钧健¹

(1. 浙江省大成建设集团有限公司, 浙江 杭州 310012; 2. 淄博瑞新市政工程有限公司, 山东 淄博 256300)

摘要: 满堂支架体系因通用性强、易安装拆卸、承载力高等特点, 在桥梁上部结构中得到广泛应用。但近年来满堂支架坍塌的事故屡见不鲜, 对人员生命安全造成巨大威胁。本文基于实际工程, 采用有限元模拟的方法建立空间模型, 对盘扣式钢管满堂支架的稳定性进行分析。结果表明: 盘扣式满堂支架结构体系在连续现浇箱梁的施工过程中具有良好的工作性能, 满足强度、刚度和稳定性的要求, 具有一定的富余度; 盘扣式钢管满堂支架顶托不易过长, 过长容易导致上部结构失稳, 或者可以采用剪刀撑连接减少自由长度。

关键词: 满堂支架; 承载力; 稳定性; 有限元分析

中图分类号: TU432

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2020)06-0492-05

Stability of full-supported disc buckle steel pipe based on finite element

ZHANG Bei-bei¹, FAN Xun-liang², LIN Jing-jing¹, GAO Jun-jian¹

(1. Zhejiang Dacheng Construction Group Co., Ltd., Hangzhou 310012, China;

2. Zibo Ruixin Municipal Engineering Co., Ltd., Zibo 256300, China)

Abstract: The full support system has been widely used in the bridge superstructure because of its strong versatility, high bearing capacity, and easy simplicity during installation and disassembly processes. However, incidents of collapsed stents have been common in recent years, posing a huge threat to the lives and safety of personnel. Based on the actual project, this paper uses the finite element simulation method to establish a space model, and analyzes the stability of the full-supported disc buckle steel pipe. The results show that the full-supported disc-buckle structure has good working performance during the construction of continuous cast-in-place box girder, meets the requirements of strength, rigidity and stability, and has a certain degree of surplus. Full-supported disc-buckle steel pipe should not be too long, which will easily lead to instability of the upper structure, or the free length can be reduced by connecting with scissors.

Key words: full-supported system; bearing capacity; stability; finite element analysis

0 引言

随着我国国民经济建设的大规模发展, 国家在铁路、公路、桥梁等的投入不断增加, 模板支架也随之迅速发展。而盘扣式满堂支架作为一种常用的大型模板支架体系, 由于承载力强、安全稳固、安装简易、形象美观等优点, 在桥梁工程中一直受到广泛关注。由于现阶段对支架规模参数设计的重视程度不高, 导致近几年满堂支架坍塌事故频频发生^[1-2], 因此大量研究人员对支架力学性能和稳定性

进行研究。张银龙等^[3]阐述了钢结构稳定性设计方法的现状, 分析相关计算方法的不足, 对稳定性计算部分系数之间的关系进行研究, 指出高强钢结构稳定性计算的理论和方法存在不足。孙秋月^[4]通过4组碗扣式钢管满堂支架试验, 对比分析了斜撑、步距变化对碗扣式满堂支架的稳定性、承载能力和受力性能的影响。张建伟^[5]研究了满堂支架在浇注过程中各杆件应力和变形, 并进行结构整体稳定性的动力分析, 采取子空间迭代法计算结构的自振频率和振型。李海东等^[6]通过实际工程, 研究了桥梁

支架竖向力的组成与稳定系数的取值方法, 并给出相应的结果。因此对盘扣式满堂支架稳定性研究, 最大程度的减少满堂支架失稳带来的危害显得日益重要。本文运用数值模拟的方法, 建立有限元分析模型, 对盘扣式满堂支架的稳定性展开研究, 以期做好解决工程实际问题的案例^[7-9]。

1 有限元模型

依据实际工程, 需通过盘扣式满堂支架对箱梁进行架设, 梁横断面如图 1 所示, 支架采用 Q235 钢材, 上部荷载通过方木传递至钢管, 其结构计算尺寸见表 1。方木的弹性模量为 $1.67 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$, 泊松比 0.4, 容重为 5.1 kN/m^3 。为对盘扣式满堂支架的稳定性进行研究, 建立满堂支架三维有限元模型, 支架纵向 18 m, 横向 9.6 m, 高度 6.4 m, 纵向间距 1.5 m, 横向间距 0.6 m; 竖直钢管和水平钢管之间采用斜撑钢管连接, 并释放梁端约束; 梁体作用于厚度为 15 mm 的木板上, 计算模型如图 2 所示。模型约束情况为底部铰接, 约束 DX、DY、DZ, 木板与方木、方木与竖向钢管之间均采用弹性连接, 施加自重、人工机具荷载 4 kN/m^2 , 并通过分配面荷载模拟梁体重量, 梁荷载如图 3 所示。

2 有限元分析

结合盘扣式钢管满堂支架结构体系的实际情况, 对满堂支架体系的应力和位移结果进行分析。

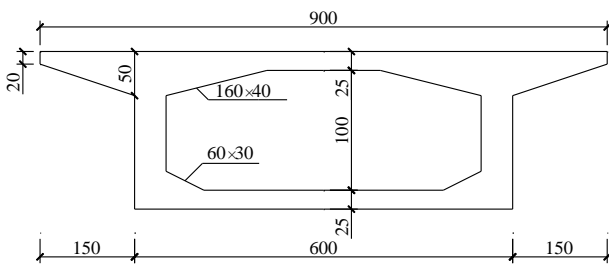


图 1 梁横断面图

Fig. 1 Cross-section of the beam

表 1 结构尺寸计算参数表

Tab. 1 Structural dimension parameters

类型	D/mm	t _w /mm	B/mm	H/mm
竖直钢管	60	3.2	-	-
水平钢管	48	3.2	-	-
斜撑钢管	48	3.2	-	-
纵向方木	-	-	150	50
横向方木	-	-	100	120

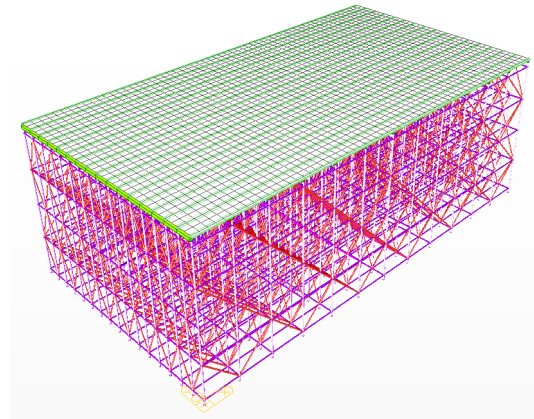


图 2 有限元模型图

Fig. 2 Finite element model

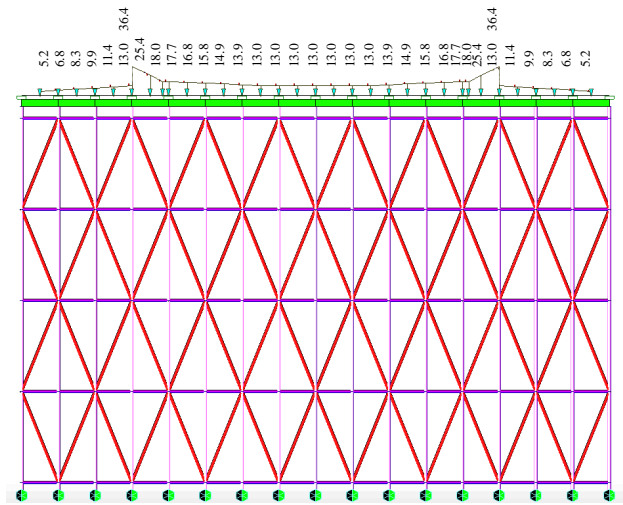


图 3 施加梁荷载图 (单位: kN/m²)

Fig. 3 Applied load on the beam (Unit: kN/m²)

2.1 满堂支架应力分析

在自重、人工机具和梁体荷载组合作用下, 盘扣式钢管满堂支架有限元应力计算结果如图 4 所示。

根据计算结果可知, 组合最大拉应力为 50 MPa, 最大压应力为 48 MPa, 水平钢管承受的最大拉应力为 8.6 MPa, 最大压应力为 4.6 MPa, 竖向钢管承受的最大拉应力为 50 MPa。所有杆件承受的拉、压应力均小于 Q235 钢材的设计强度, 因此, 此盘扣式钢管满堂支架具有一定的安全富余度, 满足强度要求^[10]。

2.2 满堂支架位移分析

在自重、人工机具和梁体荷载组合作用下, 盘扣式钢管满堂支架有限元位移计算结果如图 5 所示。

根据计算结果可知, 满堂支架的整体最大竖向位移为 16 mm, 发生在木板的两端。对于支架压缩变形量, 不能超过相应计算跨度的 $L/150$ 和 10 mm^[11], 该模型计算竖向钢管和横向钢管的位移

值小于规范允许的压缩变形值，刚度满足要求。

3 线性屈曲分析

稳定问题的计算方法有静力平衡法、缺陷法、

能量法和振动法。静力平衡法是求解系统平衡路径分支点所对应的载荷值；缺陷法是求解具有初始缺陷的结构变形过大时的荷载值，屈曲分析一般采用静力平衡法。

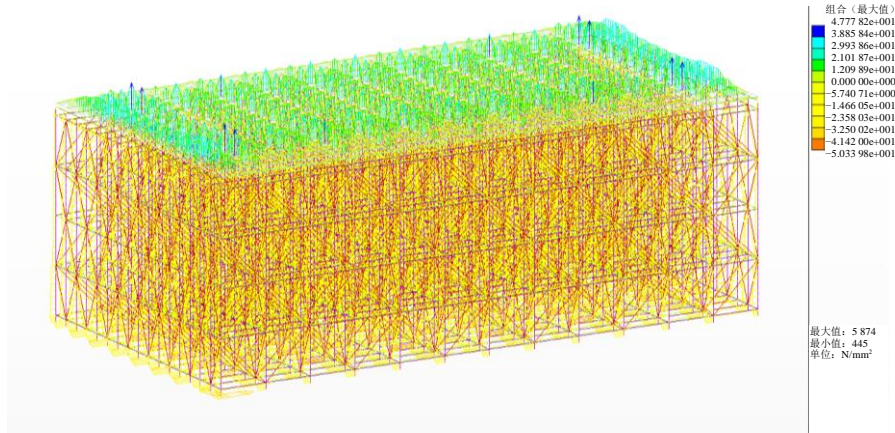
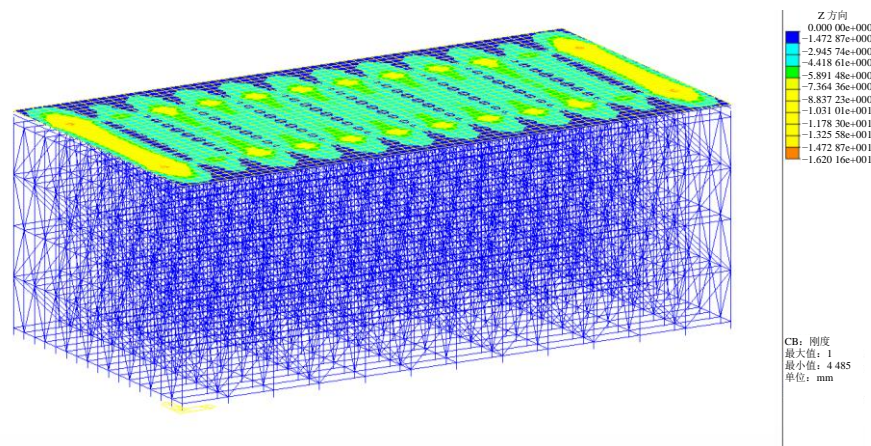
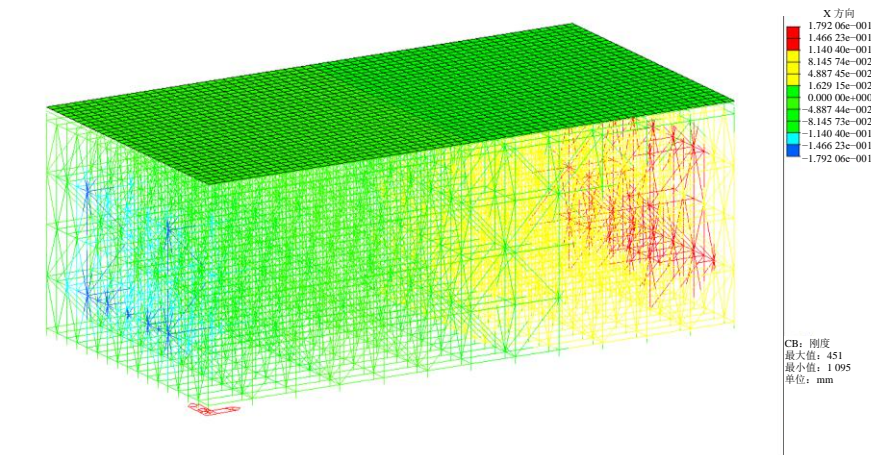


图4 有限元应力计算云图
Fig. 4 Finite cloud map of stress



(a) 整体位移云图



(b) 纵向位移云图

图5 有限元位移计算云图
Fig. 5 Finite cloud map of displacement

线性稳定 (屈曲) 分析就是特征值屈曲分析, 是用于预测一个理想弹性结构的理论屈曲强度 (分叉点), 通过提取线性系统的刚度矩阵奇异的特征值来获得结构的临界失稳荷载及失稳模态^[12]。通过有限元分析软件对盘扣式钢管满堂支架进行屈曲分析, 得到前 6 阶特征值见表 2, 前 6 阶模态屈曲云图如图 6 所示。

由表 2 和图 6 可知, 该满堂支架结构的第一阶特征值及最小安全系数为 19, 此时上部结构已经失稳, 这是由于上部杆的自由长度较长, 建议顶托不宜过长, 过长容易导致上部结构失稳, 或者可以采

用剪刀撑连接减少自由长度。

表 2 前 6 阶特征值数值表
Tab. 2 First 6th order eigenvalue values

模态	特征值
1	19
2	20.2
3	20.8
4	21.4
5	21.9
6	22.5

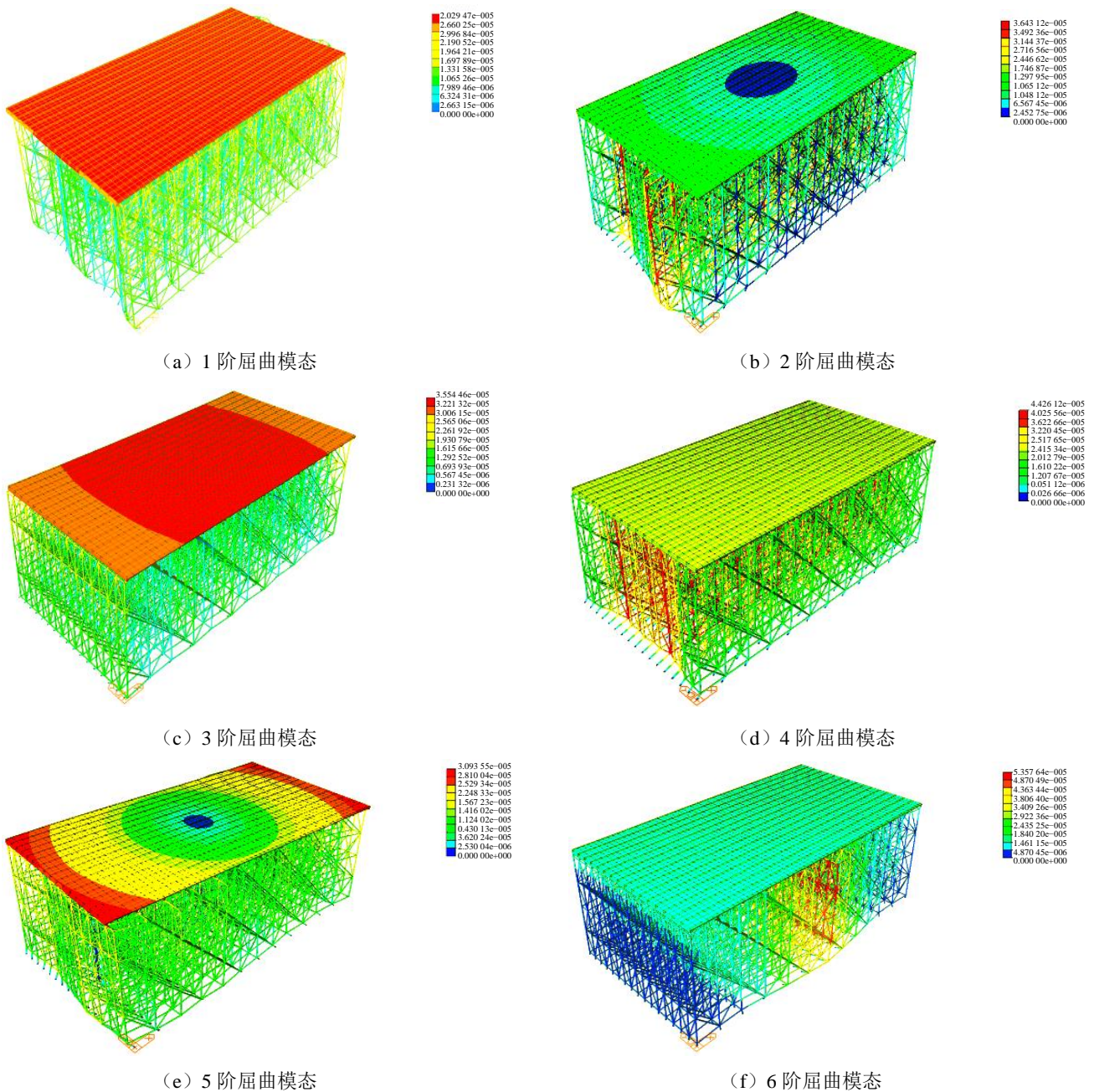


图 6 屈曲模态云图

Fig. 6 Cloud map of buckling

4 结 论

本文以有限元法为基础,通过以实际工程实例为参照,建立盘扣式钢管满堂支架的有限元模型,对满堂支架进行应力和位移分析,并进行线性屈曲分析,研究盘扣式钢管满堂支架的稳定性,得到以下结论:

(1) 盘扣式满堂支架结构体系在连续现浇箱梁的施工过程中具有良好的工作性能,满足强度、刚度和稳定性的要求,具有一定的富余度。

(2) 通过对满堂支架的屈曲分析,建议顶托不易过长,过长容易导致上部结构失稳,或者可以采用剪刀撑连接减少自由长度。

(3) 通过有限元方法对满堂支架进行分析,有效的提高了施工时的安全性,为其他类似工程提供依据。

参考文献

- [1] 冉涛,李俊德,魏治国,等.基于规模因素的高大满堂支架结构稳定性的研究[J].公路,2020(10):151-155.
RAN Tao, LI Jun-de, WEI Zhi-guo, et al. Study on the stability of tall and full-hall bracket structure based on scale factor [J]. Highway, 2020(10): 151-155.
- [2] 沈杰.碗扣式满堂支架有限元建模及稳定性分析[D].武汉:华中科技大学,2019.
SHEN-jie. Finite element modeling and stability analysis of bowl button full frame bracket[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2019.
- [3] 张银龙,苟明康,梁川.钢结构稳定性设计方法的发展综述及分析[J].钢结构,2008,23(7):1-6.
ZHANG Yin-long, GOU Ming-kang, LIANG Chuan. Development review and analysis of the design method of steel structure stability[J]. Steel Construction, 2008, 23(7): 1-6.
- [4] 孙秋月.碗扣式钢管满堂支架力学性能及稳定性试验研究[D].西安:长安大学,2018.
SUN Qiu-yue. Experimental investigation on the mechanical behaviour and stability of full cuplock steel tubular scaffolding[D]. Xi'an: Chang'an University, 2018.
- [5] 张建伟.连续梁桥满堂支架施工控制技术研究[D].西安:长安大学,2010.
ZHANG Jian-wei. Research on the construction control technology in the over framing of continuous bridge[D]. Xi'an: Chang'an University, 2010.
- [6] 李海东,陈舜东.桥梁现浇施工碗扣式满堂支架稳定性计算[J].铁道建筑,2014(11):14-16.
LI Hai-dong, CHEN Shun-dong. Calculation of the stability of bowl-buckle full-hall bracket in cast-in-situ construction of bridge [J]. Railway Engineering, 2014(11): 14-16.
- [7] 刘玉达,杨涛.盘扣式脚手架在桥梁支架工程中的应用[J].工程建设与设计,2019(23):80-82.
LIU Yu-da, YANG Tao. Application of turnbuckle scaffold in bridge bracket engineering[J]. Construction and Design for Project, 2019(23): 80-82.
- [8] 梁衍涛.桥梁工程现浇箱梁盘扣式满堂支架施工技术[J].工程建设与设计,2020(8):169-170.
LIANG Yan-tao. Construction technology of tray-buckle full-hall bracket of cast-in-place box girder in bridge engineering[J]. Construction Technology, 2020(8): 169-170.
- [9] 李志强.新型盘扣式支架在铁路现浇连续梁中的应用技术[J].价值工程,2019,38(30):166-169.
LI Zhi-qiang. Application technology of new plate-type bracket in railway cast-in-place continuous beam[J]. Value Engineering, 2019, 38(30): 166-169.
- [10] 贺辉,唐焱.现浇箱梁桥碗扣式满堂支架力学性能分析[J].工程建设,2019,51(4):71-75.
HE Hui, TANG Yan. Analysis of mechanical properties of cup-lock full support scaffold of cast-in-place box girder bridge[J]. Engineering Construction, 2019, 51(4): 71-75.
- [11] 中华人民共和国住房和城乡建设部.建筑施工承插型盘扣式钢管支架安全技术规程:JGJ 231-2010[S].北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [12] 张婷.米波天线结构分析技术研究[D].西安:西安电子科技大学,2009.
ZHANG Ting. On structural analysis technique of the meter-wave antenna[D]. Xi'an: Xidian University, 2009.