

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2013.S2.001

碗扣式高支撑体系中剪刀撑的设置对变形的影响

赵 越

(辽宁工程技术大学 建筑工程学院, 辽宁 阜新 123000)

摘 要:碗扣式高支撑体系以其施工方便、承载力高而被广泛应用到实际施工中。但是由于现阶段相应搭设规范的欠缺,广大施工人员凭经验施工,搭设的高支撑体系构造措施不合理,致使体系在荷载作用下变形过大,影响施工质量。运用 ANSYS 有限元软件模拟高支撑体系在不同方向剪刀撑布置情况下对体系变形的影响。竖向和横向剪刀撑的布置分别能有效约束高支撑体系竖向和横向变形,同时竖向剪刀撑的布置能显著提高支撑体系的承载力。

关键词:碗扣式;高支撑体系;有限元分析;构造措施

中图分类号:TU731.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2013)S2-0001-04

Deformation Analysis on the Cuplock of High Support System

Zhao Yue

(School of Civil Engineering and Architecture, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, Liaoning, P. R. China)

Abstract: The Bowl buckle high support system is widely applied to the actual construction with its convenient construction and high bearing capacity. At present, because of the lack of erection norms and the personnel experience in construction of high support system, so the erection of the structural measures are not reasonable, the system deformation under the action of load is too large which would impact the construction quality. Using ANSYS finite element software simulate the effects of the high support system deformation which arranged in different direction scissors and fixed to the surrounding structure. The vertical and horizontal scissors are arranged to system of vertical and lateral displacement with high support effective constraint. The deformation of the high support system which fixed to the surrounding structure reduced, displacement boundary portion of the vertical rod decreased more obviously.

Key words: The Bowl buckle; the high support system; the finite element analysis; the structural measures

随着时代的发展和社会的进步,人们对建筑的要求越来越高,建筑不仅仅给人们提供居住的空间,而且还要丰富人们的业余文化生活,因此越来越多的影剧院、展览馆、会展中心涌现出来。这类建筑以其跨度大、内部空间高、施工难度较大等特点被广大建筑人士所认知。这些结构内部空间大,结构形式复杂。在施工中,用碗扣式脚手架搭设的高大模板支撑体系搭设的高度较高、跨度较大,而且还要承受较大的荷载,是空间钢结构体系,不同于建筑外围双排脚手架的搭设。但目前相应搭设规范的欠缺,广大施工人员凭经验施工,搭设的高支撑体系构造措施不合理,致使体系在荷载作用下变形过大,影响施工质量。

2010 年清华大学、北京盛明建达工程技术有限公司在清华大学结构实验室进行了碗扣式模板支撑架足尺试验^[1],研究柱距和外立面斜撑因素对脚手架承载力的影响,按工程实际搭设 3 组试验模型,得到了架体的极限承载力、破坏形态、荷载-位移曲线以及应力分布等数据,为后续理论研究提供了验证实例。Peng 等^[2]通过数值分析的方法得到各种荷载

形式下支撑的承载能力,并在对模板支撑体系的调查中,得出施工荷载的多样性对支撑内力及板的弯曲影响是最主要的。

本文运用 ANSYS 有限元软件建立模型,模拟在不同方向剪刀撑布置情况下以及体系与周围结构固定后对体系变形的影响。竖向和横向剪刀撑的布置分别能有效约束高支撑体系竖向和横向变形。

1 不同剪刀撑布置方式对碗扣式模板支撑体系变形的影响

1.1 碗扣式模板支撑体系有限元模型的建立

运用通用有限元软件 ANSYS 建立 4 跨×4 跨×6 步碗扣式模板支撑体系模型,模型中立杆与横杆单元采用 PIPE16 管单元^[3]进行模拟,其特性参数见表 1。模型中采用 COMBIN39 单元^[4]模拟横杆两端的转动弹簧,进而实现节点的半刚性。选取上碗扣拧紧力矩 $T=40 \text{ N} \cdot \text{m}$,即碗扣节点初始刚度 $R=46.85 \text{ kN} \cdot \text{m}/\text{rad}$ ^[5]。模型中采用 COMBIN14 模

收稿日期:2013-09-30

作者简介:赵越(1986-),男,硕士生,主要从事高大模板支撑体系稳定性研究,(E-mail)21097378@qq.com。

拟剪刀撑,剪刀撑与立杆的连接为铰接。模型搭设参数见表 2。模型中钢管截面特性以及钢管材料参数分别见表 3 和表 4^[6]。

表 1 PIPE16 管单元特性

单元名称	简称	自由度	节点	性质
PIPE16	3D 弹性直管	6	2	拉压、弯曲及扭转的单轴单元

表 2 不同碗扣式模板支撑架模型参数 m

模型	步距	纵距横距	扫地杆	天杆	剪刀撑
1	1.2	1.2	0.35	0.45	无
2	1.2	1.2	0.35	0.45	(a)
3	1.2	1.2	0.35	0.45	(b)
4	1.2	1.2	0.35	0.45	(a)+(b)

注:(a)表示竖向剪刀撑外围满布 (b)水平剪刀撑隔两层布置

表 3 钢管截面特性

外径 d	壁厚 t	截面积 A	惯性矩 I	截面模量 W	回转半径 i	密度
0.048	0.003 5	4.89×10^{-4}	1.22×10^{-7}	5.08×10^{-6}	1.58×10^{-2}	7 840

表 4 钢管材料参数

弹性模量 E /Pa	泊松比 μ	屈服强度 f /Pa
2.06×10^{11}	0.3	2.05×10^8

1.2 碗扣式模板支撑体系有限元模型分析结果

运用 ANSYS 有限元软件分析 4 种碗扣式高支撑体系模型在不同荷载下节点的 X 向、 Y 向、 Z 向位移值的变化规律。图 1 为模型 1 在稳定承载力下的 Z 向变形模态图。表 5 至表 8 分别为模型 1 至模型 4 在不同荷载作用下节点 Z 向位移值。由于模型在 X 向和 Y 向对称,因此仅列出模型 1 至模型 4 在不同荷载作用下节点 X 向位移值,见表 9 至表 12。

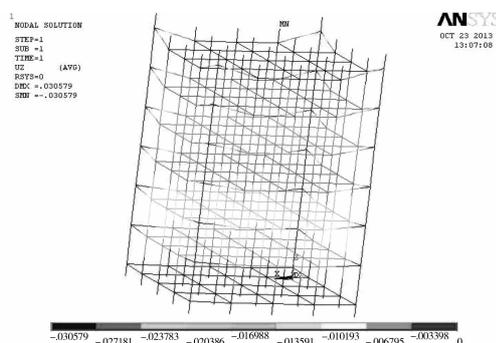


图 1 模型 1 在稳定承载力下 Z 向变形模态图

表 5 模型 1 在不同荷载下节点 Z 向位移值

荷载大小/kN	节点编号									
	1	7	76	82	88	126	132	138	176	182
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10.0	1.4	1.7	3.6	3.7	5.2	3.8	4.2	5.5	6.3	6.2
20.0	1.6	1.3	6.3	8.4	8.5	9.2	10.3	9.8	13.2	13.5
30.0	1.4	1.2	12.5	12.4	13.4	14.6	12.7	13.2	16.5	16.5
40.0	1.5	1.3	15.5	16.3	16.7	16.3	18.6	17.7	20.4	20.5
42.5	3.4	3.5	32.6	35.4	39.2	44.5	38.7	46.5	54.4	51.7

表 6 模型 2 在不同荷载下节点 Z 向位移值

荷载大小/kN	节点编号									
	1	7	76	82	88	126	132	138	176	182
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10.0	1.2	1.8	2.1	2.3	1.7	2.1	3.2	2.4	5.0	5.8
20.0	1.3	1.8	4.4	3.7	4.7	4.6	5.2	4.5	7.5	7.6
30.0	1.2	1.7	6.6	7.1	6.9	7.3	6.8	7.2	10.1	10.5
40.0	1.3	1.6	7.7	7.5	9.2	8.3	9.4	10.1	14.5	14.2
50.0	1.3	1.2	11.5	11.2	12.4	12.5	13.2	12.5	17.1	17.2
53.7	3.4	3.5	34.7	35.4	41.2	45.5	47.4	41.3	48.6	50.2

表 7 模型 3 在不同荷载下节点 Z 向位移值

mm

荷载大小/kN	节点编号									
	1	7	76	82	88	126	132	138	176	182
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10.0	1.2	1.1	2.6	3.3	3.4	3.8	3.5	4.4	5.3	6.6
20.0	1.4	1.2	7.5	7.4	8.1	8.9	8.7	9.2	14.1	13.4
30.0	1.2	1.4	11.9	11.3	12.5	11.4	13.3	12.8	17.1	16.5
40.0	1.4	1.3	15.3	14.2	15.3	16.5	17.2	16.2	21.8	22.2
46.2	3.3	3.2	37.5	42.8	45.7	56.4	49.3	52.1	54.5	65.6

表 8 模型 4 在不同荷载下节点 Z 向位移值

mm

荷载大小/kN	节点编号									
	1	7	76	82	88	126	132	138	176	182
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10.0	1.2	1.0	2.2	1.9	2.3	2.7	2.9	2.1	4.2	4.4
20.0	1.0	1.3	3.1	3.9	3.2	4.1	3.9	4.5	6.7	7.5
30.0	1.2	1.1	5.3	4.8	6.4	6.6	6.2	5.9	9.8	9.3
40.0	1.3	1.1	7.4	7.5	8.2	8.6	8.3	8.2	12.9	12.6
50.0	1.6	1.4	11.2	11.5	11.9	12.3	12.9	12.4	15.8	15.7
60.0	1.5	1.5	13.9	14.1	13.6	15.3	15.8	15.6	19.7	19.4
61.6	4.3	3.4	45.2	42.7	48.3	51.6	49.3	55.2	57.3	46.1

从表 5~8 可以看出,不同节点在相同荷载作用下,位移值基本一致。支撑体系在弹性工作阶段,节点的 Z 位移值随着支撑体系承受荷载的增大基本上线性增大。当超过弹性工作范围时,位移的增量与荷载的增量比明显增大,此时架体由于变形过大而达到稳定承载力最大值。由于在每种模型中不同节点的位移变化值基本相同,因此以节点 88 为例,分析同一节点在不同模型中位移变化规律,见图 2。

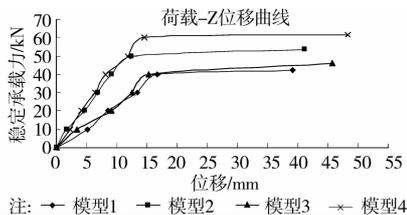


图 2 88 节点荷载-Z 向位移变化曲线

从图 2 可看出:

- 1)模型 1 至模型 4 中模板支撑体系在达到稳定承载力阶段前节点的 Z 向位移随着荷载的增加而线性变化,此时架体处于弹性工作阶段。随着继续加载,位移的增量与荷载的增量比迅速增大,此时节点位移较大,超出弹性工作范围,由于立杆失稳架体达到稳定承载力最大值。
- 2)模型 2 曲线与模型 1 曲线对比可知,在模板支撑体系外立面满布剪刀撑,在提高架体稳定承载力的同时,也可以有效减小模板支撑体系中节点的竖向位移。
- 3)模型 3 曲线与模型 1 曲线对比可知,模板支撑体系中布置横向剪刀撑,并没有有效减少节点的竖向位移,对架体承载力的提高作用不明显。
- 4)模型 4 曲线与模型 1 曲线对比可知,模板支撑体系中竖向和横向剪刀撑均布置时,对承载力提高作用明显,同时也显著减小了节点竖向位移。

表 9 模型 1 在不同荷载下节点 X 向位移值

mm

荷载大小/kN	节点编号									
	1	7	76	82	88	126	132	138	176	182
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10.0	1.6	1.5	3.7	3.9	4.2	4.0	3.8	4.1	6.5	6.2
20.0	1.2	1.1	6.3	6.5	7.4	7.6	7.1	8.3	12.5	12.2
30.0	1.1	1.2	10.0	10.5	12.8	12.4	12.6	13.2	15.6	15.5
40.0	1.2	1.3	12.1	12.5	14.2	14.4	15.4	15.1	18.8	18.6
42.5	2.6	3.2	35.1	31.4	42.8	39.4	46.7	40.8	50.1	45.6

表 10 模型 2 在不同荷载下节点 X 向位移值

mm

荷载大小/kN	节点编号									
	1	7	76	82	88	126	132	138	176	182
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10.0	1.3	1.2	3.4	2.8	3.2	3.4	3.3	3.8	5.1	4.9
20.0	1.0	1.8	6.6	6.2	7.0	6.9	7.2	7.8	10.1	10.2
30.0	1.5	1.6	11.8	12.2	12.4	12.9	13.7	12.5	15.8	15.6
40.0	1.6	1.5	11.8	14.1	13.4	14.6	14.2	14.9	17.5	17.6
50.0	1.7	1.9	14.5	14.4	15.8	15.4	16.3	16.8	19.7	18.5
53.7	2.5	3.5	38.1	39.5	38.4	35.7	36.4	45.3	51.6	49.9

表 11 模型 3 在不同荷载下节点 X 向位移值

mm

荷载大小/kN	节点编号									
	1	7	76	82	88	126	132	138	176	182
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10.0	1.3	1.5	1.5	2.1	2.3	1.9	2.4	2.3	4.7	4.1
20.0	1.2	1.4	3.6	3.3	3.3	4.2	4.1	3.8	7.3	7.9
30.0	1.3	1.4	5.7	5.0	5.5	5.9	6.2	5.7	9.1	8.8
40.0	1.4	1.5	7.4	7.3	7.6	8.0	8.2	7.9	11.1	11.7
46.2	2.2	2.6	42.3	44.4	49.1	48.3	48.7	45.7	53.8	50.6

表 12 模型 4 在不同荷载下节点 X 向位移值

mm

荷载大小/kN	节点编号									
	1	7	76	82	88	126	132	138	176	182
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10.0	1.1	1.2	1.6	2.0	1.8	2.6	2.2	2.4	4.5	4.3
20.0	1.3	1.4	3.2	3.3	3.5	4.1	3.7	4.2	5.6	5.2
30.0	1.4	1.4	4.6	4.9	6.1	6.4	7.2	7.5	8.8	9.0
40.0	1.6	1.8	7.2	7.5	7.6	8.0	8.9	8.4	12.1	12.4
50.0	1.9	2.1	8.5	8.9	8.8	9.1	9.3	9.0	13.6	13.8
60.0	2.3	2.2	9.6	10.2	10.4	11.8	12.4	12.2	15.1	14.7
61.6	3.2	3.3	36.4	35.1	48.2	42.1	47.3	39.6	45.7	45.8

从表 9~12 可以看出,不同节点在相同荷载作用下,位移值基本一致。支撑体系在弹性工作阶段,节点的 X 位移值随着支撑体系承受荷载的增大基本上线性增大。当超过弹性工作范围时,位移的增量与荷载的增量比明显增大,此时架体由于变形过大而达到稳定承载力最大值。由于在每种模型中不同节点的位移变化值基本相同,因此以节点 88 为例,分析同一节点在不同模型中位移变化规律,见图 3。

从图 3 可看出:

1)模型 1 至模型 4 中模板支撑体系在达到稳定承载力阶段前节点的 X 向位移随着荷载的增加而线性变化,此时架体处于弹性工作阶段。随着继续加载,位移的增量与荷载的增量比迅速增大,此时节点位移较大,超出弹性工作范围,由于立杆失稳架体达到稳定承载力最大值。

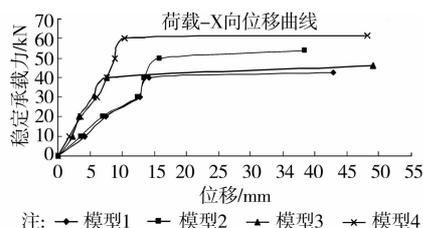


图 3 88 节点荷载-X 向位移变化曲线

2)模型 2 曲线与模型 1 曲线对比可知,在模板支撑体系外立面满布剪刀撑,并没有有效减小模板支撑体系中节点的 X 向位移,但有效提高了架体的稳定承载力。

(下转第 17 页)

- 定性强度折减法数值分析[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(11): 1975-1980.
- [8] 李远耀, 殷坤龙, 代云霞. 基于广义 Hoek-Brown 准则强度折减法的岩坡稳定性分析[J]. 岩土力学, 2008, 28(Sup): 347-352.
- [9] 陈祖煜, 汪小刚, 杨健, 等. 岩质边坡稳定性分析——原理·方法·程序[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
- [10] 赵杰, 邵龙潭. 基坑土钉支护边坡有限元稳定性分析方法探讨[J]. 岩土力学, 2008, 29(6): 1654-1658.
- [11] 徐湘涛, 汪家林, 黄润秋. 紫坪铺水利枢纽工程左岸坝前堆积体变形破坏机制研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(Sup1): 2642-2650.
- [12] 张昊, 余巍伟, 林杭等. 不同安全系数对应的边坡滑动面位置分析[J]. 岩土力学, 2012, 33(2): 449-475.
- [13] 尹骥, 杨林德, 管飞. 强度折减法确定的复合土钉支护整体稳定系数[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(21): 3882-3886.
- [14] 李强, 张力霆, 齐清兰等. 基于流固耦合理论某尾矿坝失稳特性及稳定性分析[J]. 岩土力学, 2012, 33(Sup2): 243-250.
- [15] 田斌, 卢晓春, 黄耀英等. 雅砻江官地水电站料场边坡开挖扰动及其影响因素[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(Sup1): 3199-3207.

(编辑 王维朗)

(上接第 4 页)

3) 模型 3 曲线与模型 1 曲线对比可知, 模板支撑体系中布置横向剪刀撑, 虽然没有提高架体承受的稳定承载力, 但显著减小了模板支撑体系中节点 X 向位移。

4) 模型 4 曲线与模型 1 曲线对比可知, 模板支撑体系中竖向和横向剪刀撑均布置时, 对承载力提高作用明显, 同时也显著减小了节点 X 向位移。

2 结论

运用 ANSYS 有限元软件建立 4 种不同剪刀撑布置方式的模型, 通过对模型逐步加载, 分析不同模型中同一节点位移值的变化规律, 对模拟结果进行分析发现模板支撑体系中竖向剪刀撑的布置对提高架体稳定承载力的作用明显, 并且显著减小架体中节点的竖向位移。模板支撑体系中横向剪刀撑的布置对减小架体中节点的横向位移效果明显, 限制架体横向变形, 保证平面内刚度。

参考文献:

- [1] 辛可贵, 黄勋. 碗扣式钢管模板支撑架定尺模型承载力试验研究[J]. 施工技术, 2010, 39(12): 67-70.
- [2] Peng J L, Pan A D, Rosowsky D V, et al. High clearance scaffold Systems during construction II. Structural modeling and modes of failure [J]. Engineering Structures, 1996, 18(3).
- [3] 韩学威. 碗扣式高支模架力学性能试验研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2012.
- [4] ANSYS, Inc. ANSYS10.0 Documentation.
- [5] 鲁征. 扣件式脚手架及模板支架施工期安全性研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2005.
- [6] 杨宏伟. 扣件式钢管模板支撑体系整体受力性能分析[D]. 长沙: 中南大学, 2009.

(编辑 彭建国)