

附着式升降脚手架不同步运动时结构的响应分析

王秀丽^{1,2}, 胡隆德^{1,2}, 冉永红^{1,2}, 张虎跃³

(1. 兰州理工大学土木工程学院, 甘肃 兰州 730050; 2. 兰州理工大学西部土木工程防灾减灾教育部工程研究中心, 甘肃 兰州 730050; 3. 甘肃第七建设集团股份有限公司, 甘肃 兰州 730000)

摘要 目的 研究不同步运动下架体结构附着支撑点处的内力和导轨关键节点处的转角位移变化,分析导轨所在立杆与大横杆连接点处应力. 方法 考虑架体结构在施工荷载作用下的影响,利用有限元分析软件 ANSYS 对整个架体在不同位移工况下的响应进行数值模拟,分析每种工况下最大应力出现的节点位置以及在升降阶段位移差值与节点应力和关键点转角位移之间的关系. 结果 当架体发生不同步运动时,导轨所在立杆与横杆的连接处有可能发生塑性破坏,架体关键点转角位移的变化率随跨距的增大而变小,而底层关键点转角位移相比其他几层要更大,分析得到了支撑点应力和转角位移随位移差值的变化规律. 结论 当导轨发生不同步运动时,附着支撑点及其相临附着支撑点处内力变化较为明显,关键点转角随位移差值的变大而变大,其立杆与横杆的连接处很有可能出现应力的最大值.

关键词 不同步运动; 附着式升降脚手架; 附着支撑点; 转角

中图分类号 TU731.2 文献标志码 A

Response Analysis of Structure of the Attached Lifting Scaffold during the Unsynchronized Motion

WANG Xiuli^{1,2}, HU Longde^{1,2}, RAN Yonghong^{1,2}, ZHANG Huyue³

(1. School of Civil Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou, China 730050; 2. Western Engineering Research Center of Disaster Mitigation in Civil Engineering of Ministry of Education, Lanzhou, China 730050; 3. Gansu Seventh Construction Group Co., Ltd, Lanzhou, China 730000)

Abstract: The paper analyzes the change of the internal force of supporting points and the angular displacement of the key nodes at the guide way of the frame structure under the condition of asynchronous motion at the same time, stress analysis is carried out on the connection point between the vertical bar and the large cross bar, which provides a reference for the structural design and

收稿日期:2017-10-20

基金项目:国家重点研发计划专项项目(2017YFC0703905-05)

作者简介:王秀丽(1963—)女,教授,博士,博士研究生导师,主要从事钢结构及大跨度空间结构方面研究.

control use of the frame. Considering the influence of the frame structure under the action of the construction load, the response of the whole frame is simulated under different displacement conditions by the finite element analysis software ANSYS, and the node position of maximum stress and relationship between the different displacement value of the frame and the stress of the node are analyzed. From the calculation results of finite element, when the asynchronous movement occurs, the joint of the vertical bar and the cross bar may have plastic damage, the change rate of the corner displacement of the key point decreases with the increase of the span, while the key point of the bottom is larger than that of the other layers. Besides, the stress variation curve of supporting point and critical point rotation angle along with the change of displacement value are obtained. When the guide rail occurs asynchronously, the internal force change at the attachment support point and neighboring attachment support point is more obvious. The rotation becomes larger with the increase of the displacement difference, and the maximum value of the stress is likely to appear at the connection between the vertical bar and the cross bar.

Key words: asynchronous movement; attached lifting scaffold; attachment support point; rotation

附着式升降脚手架依靠其巨大的优势成为了建筑脚手架市场的主体产品,其本身对于建筑施工活动的价值不仅体现在施工阶段对建筑材料的运送,对施工人员的安全防护,更是体现于建筑活动中对于施工工期的影响^[1-4]。附着式升降脚手架又被称作“智能升降平台”,它主要由5个系统构成,一是以拉力传感器为主体的智能载荷控制系统;二是以电动葫芦控制的上下吊点为主的提升系统;三是以全封闭的防护网为主的安全防护系统;四是以导轨、立杆、连杆、扣件等通过螺栓连接成为整体为主的脚手架系统;五是以起导向、防坠、防倾覆作用的导座为主的附着支撑装置系统^[5]。其智能化集中体现在载荷控制系统利用对提升系统的控制,实现架体的升降运动。附着式升降平台作为一种可重复使用的建筑资源,也是作为一种户外作业平台,受不同类型以及不同程度荷载的长时间作用^[6-8]。经常会发现架体结构本身会出现不同程度的变形,如横杆变形、立杆弯曲、吊链损伤^[9]等。除此之外,由于建筑物跨度较大,导致架体结构机位布置过多,又或者是系统误差较大,导致不同机位电动葫芦齿轮转速存在差异,这一系列的因素都有可能引起架体多个机位控制的导轨发生不同步运动^[10-12]。导轨作为附着支撑装置与升降平台

主体结构主要的连接部分,其运动的不规律性直接影响到相邻结构连接的不稳定性,同时,一旦结构发生不同步运动,其导轨的支撑点处的内力会发生增大或减小的现象。基于此,笔者从升降平台运动过程中一些无法避免的因素考虑,给导轨不同的位移载荷,其不同支撑点处的内力变化和关键节点处的转角变化,同时对每种工况下结构的最不利节点位置进行说明,为相似工程活动中的安全防护提供一定的依据^[13-20]。

1 有限元模型的建立

1.1 模型几何参数

架体模型如图1所示。

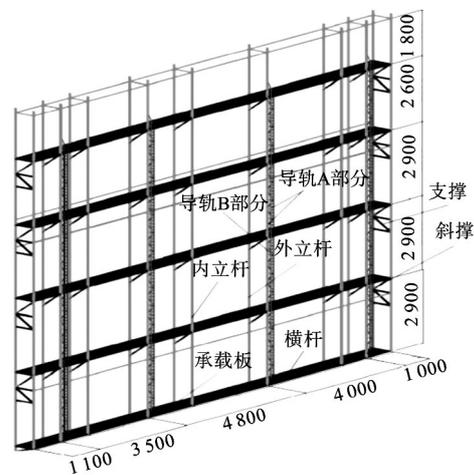


图1 架体模型

Fig. 1 Frame model

模型为5层框架结构,前3层作为主要结构层,层高为2.9 m,第4层层高为2.6 m,第5层由于作为辅助承重面层层高为1.8 m,为满足其在不同跨度建筑结构中的组装使用,有限元模型采用不同跨距进行组

合,立杆间距从左往右依次为1.1 m、1.1 m、2.4 m、1.8 m、3 m、3 m、1 m、1 m,内外立杆间距为0.6 m,导轨间距从左往右依次为3.5 m、4.8 m、4 m,架体构件截面尺寸如表1所示。

表1 架体结构截面属性

Table 1 Section properties of frame structure

矩形管长×宽×厚/mm				圆管外径×厚/mm		矩形截面 宽×厚/mm	
外立杆	内立杆	横杆	斜撑	支撑	导轨 A	导轨 B	承载板
40×80×3	40×80×3	60×30×3	30×50×3	40×40×3	Φ48×3.25	Φ25	600×3

1.2 有限元模型参数设置

1.2.1 单元及材料属性

在有限元模型中,架体杆件采用 beam188 单元,承载板作为结构主要的受荷面,不但要考虑结构的完全变形,还要考虑其本身的剪切变形,因此承载板选用 shell181 单元,整个结构体系属于钢框架结构范围,结构的材料全部选择 Q235-B 钢,钢材的弹性模量 $E = 206 \text{ GPa}$,泊松比 $\mu = 0.3$,钢材密度 $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ 。

1.2.2 模型约束及荷载设置

附着式升降平台整个架体的运动状态可以分为两阶段(见图2)。第一阶段属于结构的升降阶段,即架体在以电动葫芦为主的提升系统作用下,通过位于第2层的下吊点实现架体的整体提升;第二阶段属于结构的使

用阶段,即架体在通过提升过程以后,为满足实际工程施工需要,进行架体静止状态的保持。通过分析可将模型在第一阶段时约束设置在结构的第2层的导轨位置(见图2(a)),将模型在第二阶段时约束设置在结构前3层的导轨位置(见图2(b))。由于在第一阶段的爬升过程中,只有在吊点位置含有Y方向的位移约束,而在其他层面只有X、Z方向的位移约束,在第二阶段3层的导轨位置均含有X、Y、Z方向的位移约束。依据《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》(JGJ130—2011)模型施加的活荷载工况类型及荷载大小见表2所示,模型上的两层施工荷载作用于结构的2、3层,三层施工荷载作用于结构的1、2、3层,除此以外考虑结构的重力加速度 9.8 m/s^2 。

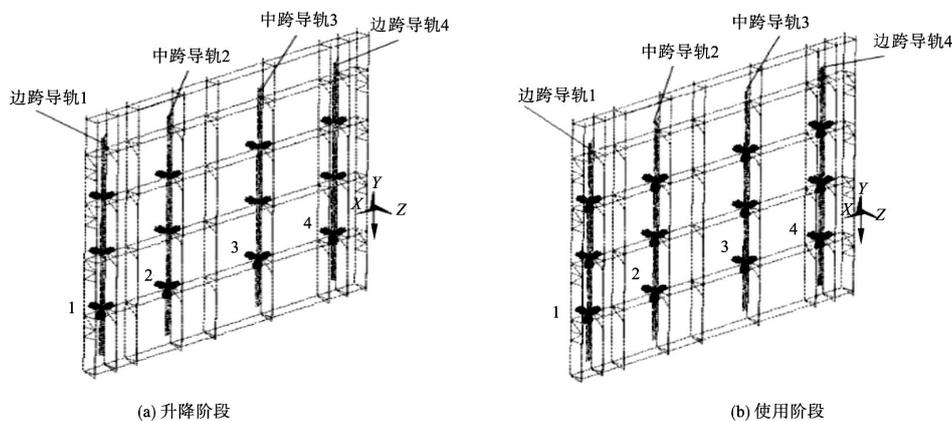


图2 不同阶段模型约束

Fig. 2 Model constraints at different stages

表 2 架体荷载标准值

Table 2 Standard values of frame load

工况类别	施工类型	同时作业 每层活荷载标准值/ 层数/层 (kN·m ⁻²)	
		层数/层	(kN·m ⁻²)
使用	结构施工	2	3.0
	装修施工	3	2.0
升降	结构和装修施工	2	0.5

2 导轨不同位移条件下架体的受力分析

当智能升降平台处于升降阶段中,假定 ΔS 为不同运动导轨在运动过程中的位移差值, ΔS 分别取 0、10、20、30、40、50、60、70 mm, 虽然 4 个导轨之间的间距不同,但是考虑对整个架体的主要影响效果,可以分为 6 种情况: 第 1 种是边跨导轨 1 或 4 的单独运动影响; 第 2 种是中跨导轨 2 或 3 的单独运动影响; 第 3 种是边跨导轨 1 和中跨导轨 2 的运动影响; 第 4 种是边跨导轨 1 和中跨导轨 3 的运动影响; 第 5 种是边跨导轨 1 和边跨导轨 4 的运动影响; 第 6 种是中跨导轨 2 和中跨导轨 3 的运动影响. 根据有限元软件进行数值模拟, 当附着式升降脚手架处于升降阶段中, 6 种情况下 4 个支撑点处的支座反力及结构最大应力的计算结果如表 3 ~ 表 8 所示. 当智能升降平台处于正常使用阶段中, 4 个支撑点处的支座反力及结构最大应力的计算结果如表 9 所示.

表 3 边跨导轨 1 运动下节点内力

Table 3 Internal forces of the nodes under the movements of the side span guide rail 1

$\Delta S/mm$	支座反力/kN				σ/MPa
	节点 1	节点 2	节点 3	节点 4	
0	10.47	10.24	8.14	10.31	44.49
10	12.65	7.82	8.24	10.45	55.26
20	14.84	5.36	8.35	10.58	79.47
30	17.03	2.96	8.45	10.72	107.41
40	19.24	0.51	8.56	10.86	142.32
50	21.48	-1.97	8.66	10.99	175.24
60	23.74	-2.51	8.74	11.13	214.05
70	26.04	-7.02	8.88	11.27	253.37

表 4 中跨导轨 2 运动下节点内力

Table 4 Internal forces of the nodes under the movements of the mid-span guide rail 2

$\Delta S/mm$	支座反力/kN				σ/MPa
	节点 1	节点 2	节点 3	节点 4	
0	10.47	10.24	8.14	10.31	44.49
10	8.05	13.97	6.76	10.38	69.62
20	5.63	17.71	5.37	10.45	86.96
30	3.19	21.48	3.98	10.52	112.42
40	0.72	25.29	2.56	10.59	153.80
50	-1.78	29.16	1.12	10.66	228.92
60	-4.32	33.11	-0.36	10.73	269.66
70	-6.92	37.15	-1.87	10.80	310.83

表 5 边跨导轨 1 和中跨导轨 2 运动下节点内力

Table 5 Internal forces of the nodes under the movements of the side span guide rail 1 and the mid-span guide rail 2

$\Delta S/mm$	支座反力/kN				σ/MPa
	节点 1	节点 2	节点 3	节点 4	
0	10.47	10.24	8.14	10.31	44.49
10	10.23	11.55	6.86	10.52	61.10
20	9.99	12.86	5.58	10.72	77.81
30	9.75	14.18	4.30	10.93	95.87
40	9.51	15.51	3.00	11.13	114.60
50	9.27	16.85	1.69	11.34	134.01
60	9.03	18.22	0.36	11.55	154.17
70	8.79	19.60	-0.99	11.76	175.05

表 6 边跨导轨 1 和中跨导轨 3 运动下节点内力

Table 6 Internal forces of the nodes under the movements of the side span guide rail 1 and the mid-span guide rail 3

$\Delta S/mm$	支座反力/kN				σ/MPa
	节点 1	节点 2	节点 3	节点 4	
0	10.47	10.24	8.14	10.31	44.49
10	12.76	6.44	11.07	8.90	73.53
20	15.05	2.61	14.01	7.48	104.63
30	17.37	-1.26	17.00	6.05	136.40
40	19.72	-5.19	20.04	4.59	168.86
50	22.11	-9.20	23.16	3.09	210.02
60	24.54	-13.30	26.36	1.56	285.68
70	27.04	-17.53	29.67	-0.26	372.63

表7 边跨导轨1和边跨导轨4运动下节点内力

Table 7 Internal forces of the nodes under the movements of the side span guide rail 1 and the side span guide rail 4

$\Delta S/mm$	支座反力/kN				σ/MPa
	节点1	节点2	节点3	节点4	
0	10.47	10.24	8.14	10.31	44.49
10	12.79	7.89	6.70	11.78	54.23
20	15.11	5.53	5.25	13.26	79.79
30	17.45	3.16	3.80	14.76	108.54
40	19.81	0.76	2.32	16.27	139.16
50	22.20	-1.67	0.82	17.81	175.74
60	24.63	-4.13	-0.72	19.38	213.52
70	27.10	-6.65	-2.29	20.99	263.83

表8 中跨导轨2和中跨导轨3运动下各节点应力

Table 8 Internal forces of the nodes under the movements of the mid-span guide rail 2 and the mid-span guide rail 3

$\Delta S/mm$	支座反力/kN				σ/MPa
	节点1	节点2	节点3	节点4	
0	10.47	10.24	8.14	10.31	44.49
10	8.16	12.59	9.58	8.84	67.37
20	5.84	14.94	11.03	7.36	104.29
30	3.50	17.31	12.49	5.86	141.31
40	1.14	19.70	13.96	4.35	178.47
50	-1.24	22.12	15.47	2.82	215.82
60	-3.67	24.58	17.00	1.25	253.65
70	-6.13	27.08	18.57	-0.36	291.83

表9 正常使用阶段各节点内力

Table 9 Internal forces of the nodes during using stage

$\Delta S/mm$	支座反力/kN				σ/MPa
	节点1	节点2	节点3	节点4	
0	4.75	4.54	3.15	5.88	141.95

2.1 不同工况下节点应力变化

通过对升降阶段特定点处不同位移差值条件下的计算结果进行应力提取,得出每个

节点在不同工况下的应力变化如图3所示。

(1) 在升降阶段(见图3(a)),当位移增量不大于30 mm时,导轨1单独作用,导轨1和导轨3作用,导轨1和导轨4作用在节点1处之间的应力变化接近,当超过30 mm时,导轨1和导轨3作用和导轨1和导轨4作用在节点1的应力变化接近,而导轨1单独作用下的应力要略小于前面两者作用下的应力;在导轨2作用和导轨2和导轨3作用下,节点1处应力都在逐渐减小,当位移增量超过40 mm时,应力先减小到零,后又逐渐增大,由表4和表8可以看出节点1处内力性质发生改变,竖向压力变为竖向拉力。

(2) 在升降阶段(见图3(b)),导轨2单独作用下的节点2的应力增幅要明显大于导轨2和导轨1作用和导轨2和导轨3作用下的应力增幅,而导轨2和导轨3作用下的应力又明显大于导轨1和导轨2作用下的应力,说明相邻导轨之间的作用比较明显,而跨距越大应力越大;当位移增量大于30 mm时,导轨1和导轨3作用下节点2的应力先接近于零,后又开始增大,由表6可以看出此时节点2处内力性质发生改变,竖向压力变为竖向拉力;导轨1作用和导轨1和导轨4作用下的应力变化接近,当位移增量大于40 mm时,节点2应力先接近于零,后又开始增大,由表1和表7可以看出此时竖向压力变为竖向拉力。

(3) 在升降阶段,导轨1作用对节点3和节点4的影响不是很大(见图3(c)),当导轨2和导轨4参与作用以后,节点3处的应力在急剧减小,当位移增量大于60 mm时,应力先接近于零,后又开始增大,由表5和表7可知此时节点3处竖向压力变为竖向拉力;从图3(d)可以看出,当导轨1和导轨3作用和导轨2和导轨3作用时节点4位移增量大于60 mm时,应力先接近于零,后又开始增大,由表6和表8可知此时节点4处竖向压力变为竖向拉力。

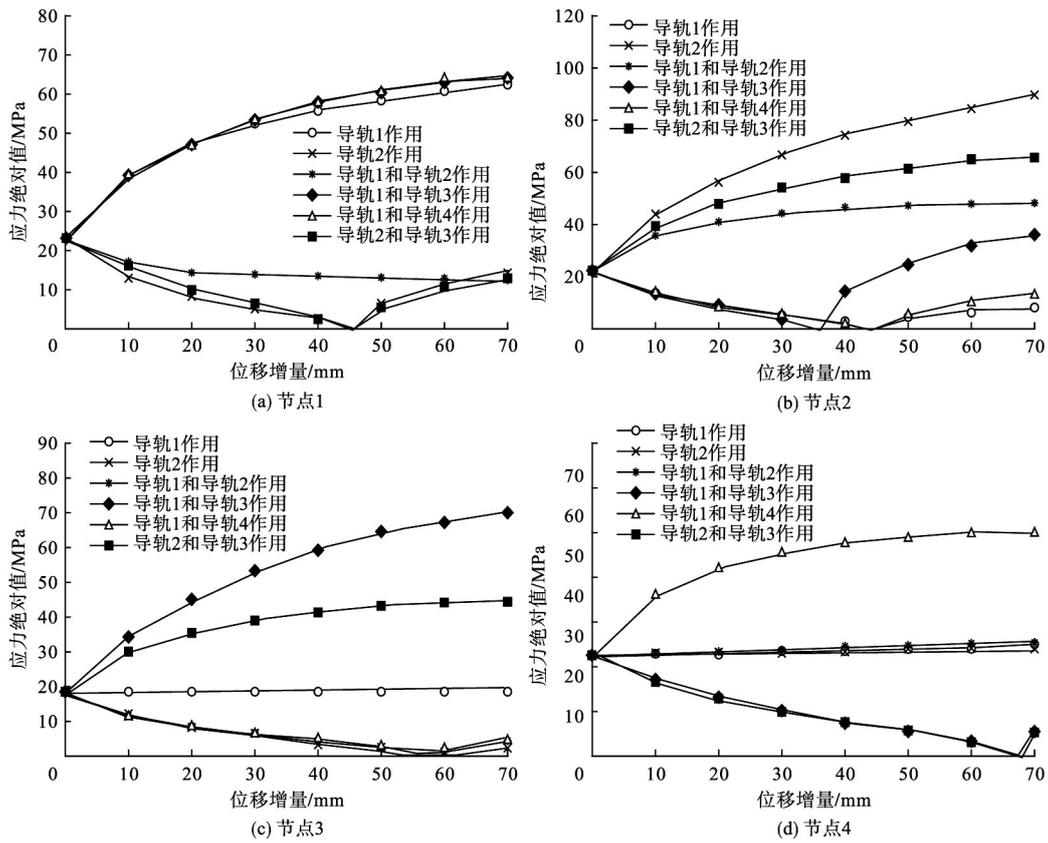


图 3 各工况下节点应力变化

Fig. 3 Stress variation of nodes under different working conditions

2.2 架体结构关键节点处转角分析

通过对附着式升降平台架体模型进行理论分析,发现两跨结构的大横杆连接位置是整个结构的薄弱部分,当导轨发生不同步运动时,不同导轨控制架体部分之间也将存在位移差值,那么结构的相连部分由于结构之间的作用,其相连位置结构的稳定性需要满足设计施工要求.通过对模型进行计算,对结构内外侧的关键点的转角位移进行分析,得到不同工况下关键点处的转角与导轨位移差值之间的关系,结构的关键点位置如图 4 所示,图中 1-1 代表 1 层内侧节点,1-1' 代表 1 层外侧节点,依次类推,图中每层取 6 个节点,主要结构从下往上依次取 4 层.

将图 4 中关键点位置依据其受力位置分为内外两排,靠近导轨一排的为内侧关键点,另一排为外侧关键点,考虑到不同位移工况

下结构运动的相似性,此次只分别研究导轨 1、导轨 2 单独运动和导轨 1、导轨 2 共同运动,通过结构计算,分析关键节点的转角变化规律.

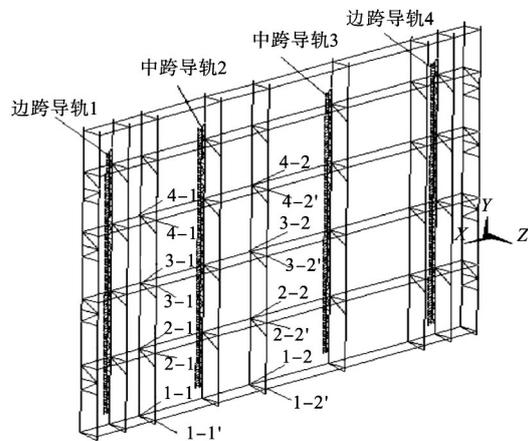


图 4 架体结构关键节点位置

Fig. 4 Key node position of structure

图5 为导轨1运动下节点转角.

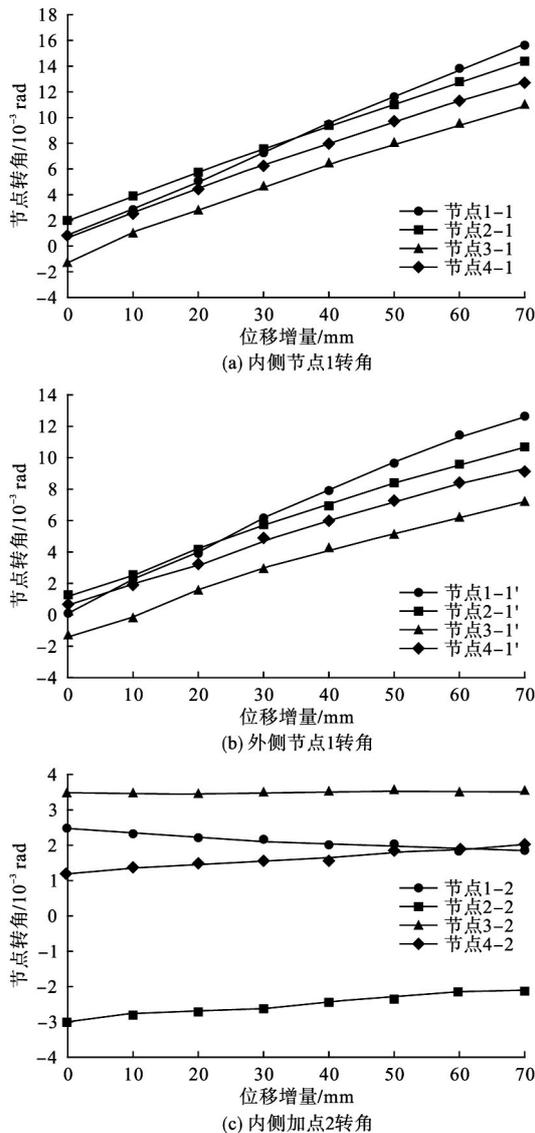


图5 导轨1运动下节点转角

Fig.5 Node rotation under motion of guide rail 1

当导轨1单独运动时,节点1作为导轨1和导轨2之间的关键节点,其受到结构影响的作用较为明显,且内侧节点的位移转角变化要大于外侧节点的位移转角.当 $\Delta S = 10\text{ mm}$ 时,1层内侧节点位移转角为 $2.83 \times 10^{-3}\text{ rad}$,而外侧节点位移转角为 $2.09 \times 10^{-3}\text{ rad}$,当 $\Delta S = 20\text{ mm}$ 时,1层内侧节点位移转角为 $4.96 \times 10^{-3}\text{ rad}$,而外侧节点位移转角为 $3.92 \times 10^{-3}\text{ rad}$,内侧转角变化率要高于外侧转角变化率14.08%.节点2作为导轨1的

次要关键节点,由于在导轨2和导轨3上约束的存在,在导轨1作用下节点2的转角变化不是很明显,但是由于约束位置的限值,关键节点2在1层和4层的转角变化相比其他几层较为明显.

节点1和节点2作为导轨2的主要关键点,当导轨2单独运动时,受到结构的影响比较大(见图6).

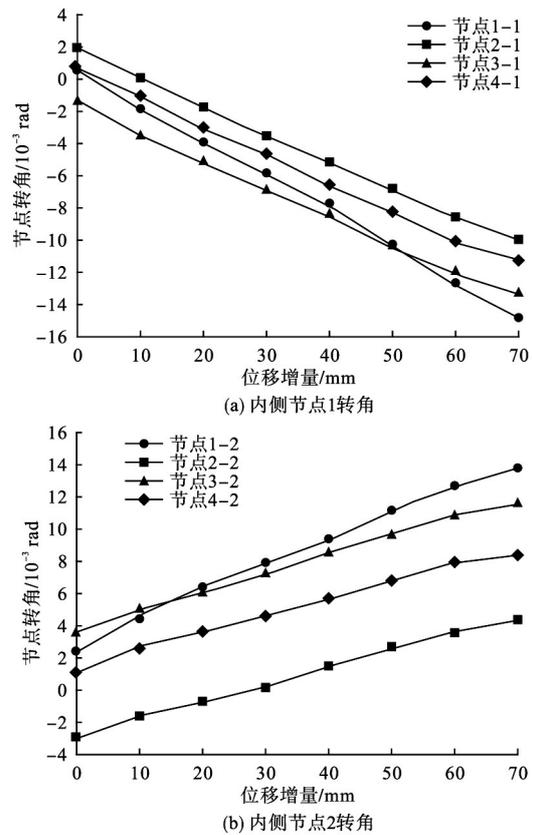


图6 导轨2运动下节点转角

Fig.6 Node rotation under motion of guide rail 2

从图6可以看出,关键节点2初始状态下节点转角要大于关键节点1初始状态下的节点转角,但节点1相比较节点2距离导轨2较近,其转角变化率比节点2转角变化率最高要达到14.11%.同导轨1作用,导轨2作用下,1层关键点的转角变化要明显高于其他几层,2层关键点转角要小于其他几层.

节点1和节点2作为导轨1和导轨2的主要关键点,当导轨1和导轨2运动时,节点

1 受到的影响较小,节点 2 受到的影响较大(见图 7).

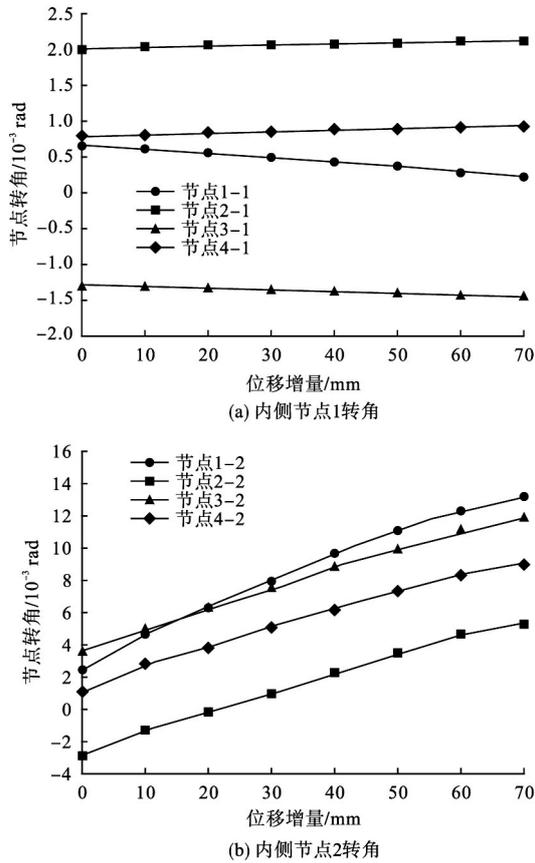


图7 导轨 1 和导轨 2 运动下节点转角

Fig. 7 Node rotation under motion of guide rail 1 and guide rail 2

从图 7 可以看出,在 2 层节点 1 和节点 2 初始状态下的转角最大,但是 1 层节点的转角变化最为明显.除此之外,对导轨 2 单独作用和导轨 1 和导轨 2 作用下的关键节点 2 进行对比分析,发现导轨 2 作用下节点 2 的转角变化要小于导轨 1 和导轨 2 共同作用下的转角变化,转角变化率的差值最大达到了 2.74%.

2.3 架体结构最不利位置分析

通过对架体进行有限元分析,发现结构的最大应力点总是出现在结构的大横杆与立杆的连接点处,当位移增量过大时,其位置最容易发生塑性破坏,部分最大应力出现位置如图 8 所示.

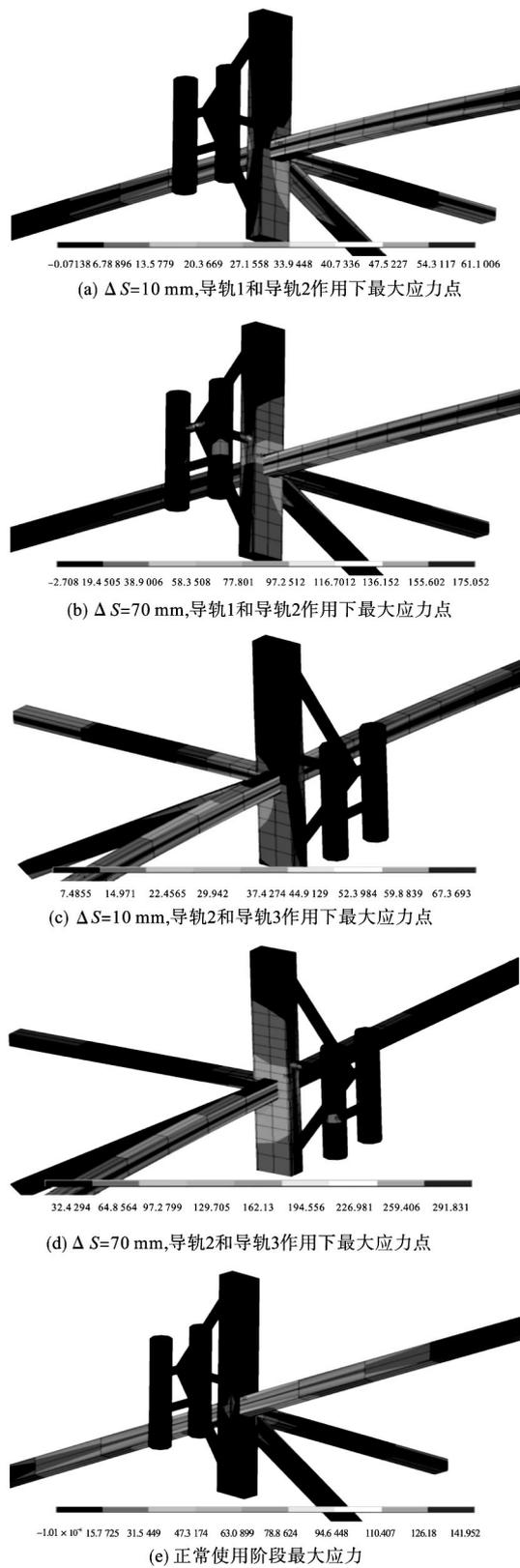


图8 结构最大应力位置

Fig. 8 Maximum stress position of structure

(1) 对比节点1和节点2,当导轨1和导轨2作用时,节点2处应力在逐渐增大,节点1处应力在略微减小,最大应力点出现在导轨2所在内立杆与2层4.8 m横杆的连接处,当 $\Delta S = 10$ mm时,最大应力为61.0 MPa;当 $\Delta S = 70$ mm时,最大应力为175.05 MPa,其应力云图如图8(a)和(b)所示.对比节点2和节点3,当导轨2和导轨3作用时,节点2处应力要高于节点3处的应力,最大应力点出现在导轨3所在内立杆与3层4.8 m横杆的连接处,当 $\Delta S = 10$ mm时,最大应力为67.37 MPa;当 $\Delta S = 70$ mm时,最大应力为291.31 MPa,其应力云图如图8(c)和(d)所示.对比节点1和节点3,当导轨1和导轨3作用时,节点3处应力要高于节点1处的应力,最大应力点出现于导轨3所在内立杆与3层4.8 m横杆的连接处,当 $\Delta S = 10$ mm时,最大应力为73.53 MPa;当 $\Delta S = 70$ mm时,最大应力为372.63 MPa.对比节点1和节点4,当导轨1和导轨4作用时,节点1处应力要高于节点4处的应力,最大应力点出现于导轨1所在内立杆与3层3.5 m横杆的连接处,当 $\Delta S = 10$ mm时,最大应力为54.23 MPa,当 $\Delta S = 70$ mm时,最大应力为263.83 MPa.

(2) 在正常使用阶段,发现在3 m大横杆与内立杆连接点处会出现141.95 MPa的最大应力点,其应力云图如图8(e)所示.在升降阶段,当 $\Delta S = 30$ mm时,最大应力为141.31 MPa;当 $\Delta S = 40$ mm时,最大应力为168.86 MPa,为了满足架体在升降阶段的安全性需要,要求在升降阶段的最大应力不得超过其在正常使用阶段的最大应力.

3 结 论

(1) 附着式升降脚手架在升降阶段中,当某一个或几个导轨位移差值为正时,该导轨附着支撑点处的内力会增大,增大的幅度随着差值的增大而变小;当某一个或几个导

轨的位移差值为负时,该导轨附着支撑点处的内力会减小,当位移差值增加到一定程度时,该点处的内力会减小到零后又反向增大.

(2) 当附着式升降脚手架导轨发生不同步运动时,其导轨所在立杆左右关键节点会发生转角变化,且随着跨距的减小转角变化率增大,同时,在所有的结构层中1层结构关键点转角变化趋势最为明显,所以在施工过程中,1层结构不宜作为主要施工面层,也不应该作为主要的承重面层,同时为满足结构稳定性要求,在架体的设计过程中,可以通过增加支撑或立杆间增加桁架来增强整体刚度,减小关键点处位移转角,来实验结构的稳定性需要.

(3) 当附着式升降脚手架发生单导轨或多导轨不同步运动时,其应力最大的支撑点所在的导轨,其立杆与横杆的连接处有可能发生塑性破坏.

(4) 附着式升降平台在升降过程中,为满足安全性需要,其相临导轨之间的位移差值不宜超过30 mm,一旦超过30 mm的限定值,存在严重的安全隐患.

参考文献

- [1] 岳峰,李国强. 高层建筑施工附着式升降钢管脚手架[M]. 上海: 同济大学出版社, 2007. (YUE Feng, LI Guoqiang. Attached lifting steel pipe scaffold for tall building construction [M]. Shanghai: Tongji University Press, 2007.)
- [2] 谢永超. 附着式升降脚手架在超高层建筑施工中的应用[J]. 施工技术, 2006, 35(8): 77-80. (XIE Yongchao. Application of adhesive lifting scaffold in the construction of ultra-high-rise building [J]. Construction technology, 2006, 35(8): 77-80.)
- [3] 汤吉善. 脚手架技术在建筑施工中的应用[J]. 科技与企业, 2015(20): 119-119. (TANG Jishan. Application of scaffolding technology in building construction [J]. Science technology and enterprises, 2015(20): 119-119.)
- [4] 糜嘉平. 我国新型脚手架的发展动向[J]. 施工技术, 1999, 28(3): 1-3. (MI Jiaping. Trend of development of new type scaffolds in China [J]. Construction tech-

- nology, 1999, 28(3): 1-3.)
- [5] 张健, 刘曦, 韦蓼英. 附着式升降脚手架的应用效果分析[J]. 沈阳建筑工程学院学报(自然科学版), 2003, 19(1): 19-21.
(ZHANG Jian, LIU Yan, WEI Liaoying. Application effect analysis of attached lifting scaffold [J]. Journal of Shenyang architectural and civil engineering university (natural science), 2003, 19(1): 19-21.)
- [6] 岳峰, 李国强, 袁勇. 高层建筑附着升降脚手架风洞实验研究[J]. 同济大学学报, 2001(29): 1220-1224.
(YUE Feng, LI Guoqiang, YUAN Yong. Wind tunnel test on the self-climbing scaffold attached to tall buildings in construction [J]. Journal of tongji university, 2001(29): 1220-1224.)
- [7] 岳峰, 李国强, 袁勇. 高层建筑施工附着整体升降钢管脚手架的设计计算[J]. 工业建筑, 2011, 41(1): 6-10.
(YUE Feng, LI Guoqiang, YUAN Yong. Design and calculation of integral-lift scaffolds for tall building construction [J]. Industrial construction, 2011, 41(1): 6-10.)
- [8] 秦桂娟, 吴思怡, 葛文志. 风载作用下扣件式钢管脚手架大横杆受力分析[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2016, 32(5): 855-862.
(QIN Guijuan, WU Siyi, GE Wenzhi. Stress analysis of longitudinal horizontal tube in steel tubular scaffold with couplers under wind load [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2016, 32(5): 855-862.)
- [9] 李明, 严明泽. 附着式升降脚手架定型水平承载力框架结构方案分析与优化[J]. 建筑施工, 2001(2): 114-115.
(LI Ming, YAN Mingze. Analysis and optimization of frame structure scheme for horizontal bearing capacity of attached lifting scaffold [J]. Building construction, 2001(2): 114-115.)
- [10] 杨光祥. 附着升降脚手架同步升降控制方法研究[J]. 工业建筑, 2011, 41(1): 26-29.
(YANG Guangxiang. A study on synchronous control of attached self-lifting scaffolds [J]. Industrial construction, 2011, 41(1): 26-29.)
- [11] 王帆, 郭正兴, 李维滨. 附着升降脚手架受升降不同步影响的试验研究[J]. 施工技术, 2000, 29(3): 11-13.
(WANG Fan, GUO Zhengxing, LI Weibin. Experimental study on the influence of lifting and lowering on the attached lifting scaffold [J]. Construction technology, 2000, 29(3): 11-13.)
- [12] YANG G, NOTODIRDJO A. Attached self-lifting scaffolds synchronous movements measuring method and device based on transmitted light of optoelectronic measurement [J]. Measurement, 2011, 44(9): 1564-1571.
- [13] 王喜国. 附着升降脚手架安全构造设计及工程应用研究[D]. 天津: 天津大学, 2004.
(WANG Xiguo. Safety structure design and engineering application of attached lifting scaffold [D]. Tianjin: Tianjin University, 2004.)
- [14] 赵飞. 超高层建筑附着升降脚手架施工技术性能研究[D]. 上海: 同济大学, 2008.
(ZHAO Fei. Research on construction technology and performance of attached lifting scaffolds for super high-rise buildings [D]. Shanghai: Tongji University, 2008.)
- [15] 陈剑波. 扣件式钢管脚手架整体稳定性的ANSYS分析[J]. 水利与建筑工程学报, 2011, 9(6): 105-108.
(CHEN Jianbo. Analysis on overall steady-state load-bearing capacity of steel tubular scaffold with couplers based on ANSYS [J]. Journal of water resources architectural engineering, 2011, 9(6): 105-108.)
- [16] 刘景国. 脚手架连墙件施工方法探讨[J]. 河北建筑工程学院学报, 2013, 31(1): 57-59.
(LIU Jingguo. The discussion of scaffolding tie members construction [J]. Journal of Hebei institute of architecture and civil engineering, 2013, 31(1): 57-59.)
- [17] 常文广, 牛朋英. 脚手架施工安全事故模式研究[J]. 价值工程, 2014(29): 85-87.
(CHANG Wenguang, NIU Pengying. Research on safety accident model of scaffolding construction [J]. Value engineering, 2014(29): 85-87.)
- [18] 张文喜. 高层建筑施工中悬挑式脚手架的设计与应用[J]. 工程质量, 2011, 29(1): 32-35.
(ZHANG Wenxi. Design and calculation for cantilever false work in high rise building [J]. Quality of civil engineering and construction, 2011, 29(1): 32-35.)
- [19] 李洋洋, 徐伟, 申青峰. 钢管脚手架连墙件的结构建模分析研究[J]. 建筑施工, 2012, 34(11): 1095-1097.
(LI Yangyang, XU Wei, SHEN Qingfeng. Analytical study on structural modeling for wall connector of steel pipe scaffold [J]. Building construction, 2012, 34(11): 1095-1097.)
- [20] 陈志华, 陆征然, 王小盾. 钢管脚手架直角扣件刚度的数值模拟分析及试验研究[J]. 土木工程学报, 2010, 43(9): 102-108.
(CHEN Zhihua, LU Zhengran, WANG Xiaodun. Numerical analysis and experimental study of the stiffness of right angle couplers in tubular steel scaffolds [J]. China civil engineering journal, 2010, 43(9): 102-108.)