

文章编号: 1000-4750(2011)Sup.I-0085-05

混凝土浇筑期高大模板支架工作状态的试验测试

谢 楠

(北京交通大学土建学院, 北京 100044)

摘 要: 混凝土浇筑期是高大模板支架最危险的时期, 为了了解这一时期的高大模板支架的工作状态, 该文对两个模板支架进行了内力的静态和动态实测。测试结果表明: 立杆所受到的最大荷载出现在浇筑过程中, 而不是在浇筑结束后; 支架整体工作; 个别立杆在浇筑过程中退出了工作, 使得附近立杆的轴力大幅度提高。该文对这一现象进行了分析, 根据试验和分析结果, 掌握了高大模板支架的工作状态, 提出设计时应将混凝土荷载视为可变荷载, 并忽略浇筑和振捣混凝土产生的荷载动力效应。

关键词: 高大模板支架; 混凝土浇筑期; 工作状态; 现场试验; 混凝土荷载

中图分类号: TU317; TU312 **文献标识码:** A

IN-SITU TEST OF WORKING STATE OF HIGH FALSEWORK DURING CONCRETE PLACEMENT

XIE Nan

(School of Civil Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract: High falseworks are in the most dangerous state during concrete placement. In order to investigate the working state in that period, in-situ static and dynamic tests of member axial forces were carried out in two construction projects. The test results show that the maximum loads on vertical tubes occur during the pouring process, rather than the end of pouring. The falsework works as a whole structure. In addition, a special phenomenon is found that one of measured vertical tubes stops sustaining load gradually, leading to a significant increase of the axial forces of vertical tubes at juxtaposition; this phenomenon was analyzed in this paper. Based on the results of tests and analyses, the working state of high falseworks was addressed. It is suggested that, during concrete placement, fresh concrete load should be treated as a live load and the dynamic effects caused by placing concrete and vibrating concrete can be neglected.

Key words: high falsework; period of concrete placement; working state; in-situ test; concrete load

近年来随着城市建设的发展, 高大模板支架较频繁地用来支撑高、大、重现浇混凝土水平构件的模板。高大模板支架垮塌导致的安全事故屡有发生, 许多文献认为结构抗力不足是主要原因, 而忽略了影响结构可靠性的另一方面——工作状态和荷载。

模板支架的工作状态可按混凝土浇筑前、混凝土浇筑期和混凝土浇筑后来划分。混凝土浇筑前和

混凝土浇筑后模板支架的工作状态与其它临时钢结构无明显区别, 永久荷载与可变荷载的种类和取值方法也大致相同, 但混凝土浇筑期模板支架的工作状态非常独特, 模板支架必须承担伴随着混凝土的浇筑而产生的一系列荷载。文献[1]分析了 85 起模板支架坍塌事故的起因, 发现除了自然灾害导致的坍塌事故外, 混凝土浇筑期内发生的坍塌事故占了绝大多数; 从“西西工程”模板支架坍塌事故

收稿日期: 2010-10-27; 修改日期: 2011-01-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(51078018); 住房和城乡建设部安全质量监督专项经费项目(2009-9)

作者简介: 谢楠(1965—), 女, 湖南人, 副教授, 博士, 从事结构设计和可靠度理论研究(E-mail: n_xie@sina.com)

和广西医科大学模板支架坍塌事故等的报道^[2-3]可知,模板支架的坍塌也发生在混凝土浇筑期。混凝土浇筑期虽然只有几个小时,却是最危险的时期。

现在大部分企业参考使用的《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》(JGJ130-2001)^[4]并没有考虑这一时期模板支架的设计验算;而国外规范 Design loads on Structures During Construction (SEI/ASCE37-02)^[5]和 Guide to Formwork for Concrete (ACI347R-03)^[6]中则考虑了混凝土浇筑期的设计验算。

在工作状态测试方面,文献[7]测试分析了料斗倾倒混凝土对低矮模板支架产生的动力效应;文献[8]对某公共建筑群的扣件式超高模板支架的杆件内力进行了实测,给出了混凝土浇筑前、浇筑中期和浇筑后3个时刻的杆件内力,没有测试到混凝土浇筑期内的杆件内力的详细变化;文献[9]在试验室测试了不均匀荷载作用下立杆内力的变化,发现位于模板和支架之间的木梁出现了“翘起”现象;文献[10]给出了钢管内力和位移的监测方法,并进行了混凝土浇筑期立杆的内力和位移实测,但未给出有关工作状态的结论。

目前对高大模板支架的工作状态了解不多,本文在北京一个工地对模板支架的杆件内力进行了静态实测,在另一个工地进行荷载动力效应的测试,以期全面掌握混凝土浇筑期高大模板支架的工作状态及荷载动力效应,为合理设计高大模板支架提供依据。

1 模板支架内力静态测试

1.1 测试工程简介

本工程地下一层地上两层,地上一层层高8m、地上二层层高为7.6m,12m×9m柱网,内设3m×3m的井字梁。测试对象为首层顶板的支架,楼盖体系中,框架梁截面500×1100,井字梁截面300×800,板厚150。

支架立杆间距600、600与900、900交替设立,立杆步距1.2m。剪力撑与地面夹角为45°—60°,沿12m梁跨方向每隔4.5m设一道竖向剪刀撑,沿9m梁跨方向每隔6m设一道竖向剪刀撑。

1.2 测试方法和测点布置

采用DH3816静态应变测试系统,测试钢管的应变。测试的零时刻为浇筑开始的时刻,采样间隔为5s。

钢管沿轴向对称贴2个或4个应变片(重点观测的钢管贴4个应变片),钢管的应变 ε 按下式计算:

$$\varepsilon = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4) / 4 \quad (1)$$

$$\varepsilon = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) / 2 \quad (2)$$

式中, ε_i 为通过应变片测得的应变值。

钢管的轴力 P 按下式计算:

$$P = \varepsilon EA \quad (3)$$

式中: E 为钢管的弹性模量; A 为钢管的截面面积。

12m跨大梁下支架立杆编号和测点布置见图1。沿9m跨大梁的竖向剪刀撑的下部和上部测点编号为⑥和⑬。

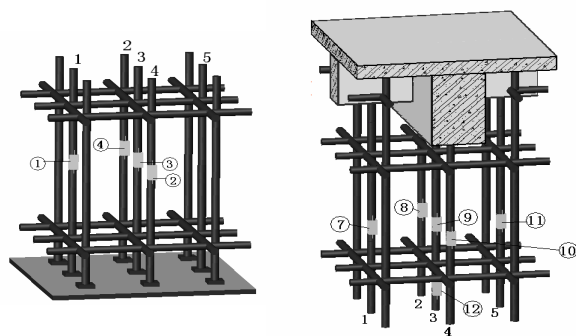


图1 杆件编号和测点布置图

Fig.1 Numbers of tubes and layout of measured points

1.3 主要测试数据

测试过程中,所有应变片工作正常,从测试的数据可以看出,钢管同一截面上2个或4个应变片测得的数据比较接近,其中12m跨梁的中心线下立杆3上测点⑨的4个应变片测得的应变时程见图2。根据图2,可以认为钢管处于轴心受压状态。

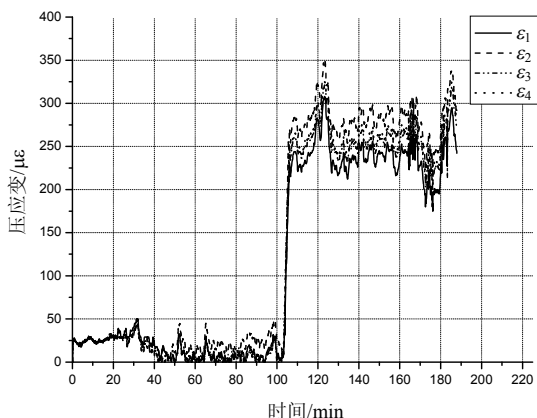
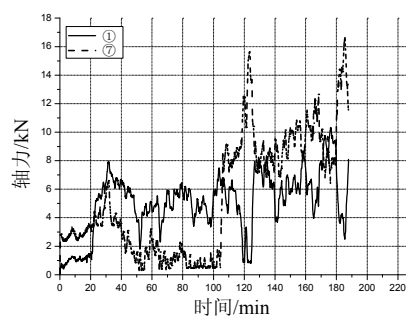


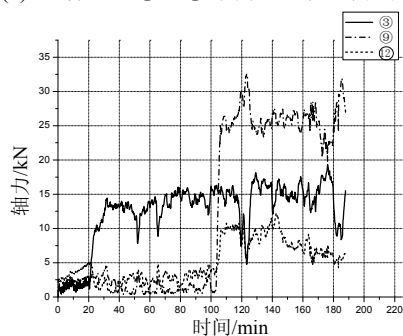
图2 立杆3上测点⑨的4个应变片测得的时程图

Fig.2 Readings of 4 strain gauges on tube 3

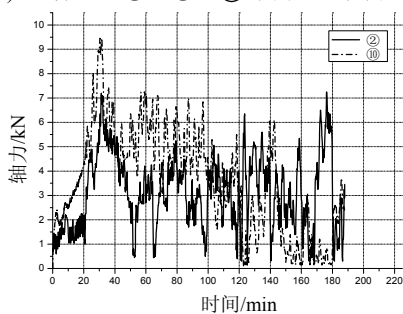
为了方便分析比较,将具有可比性的立杆轴力时程曲线画在一起,见图3(a)—图3(e)。



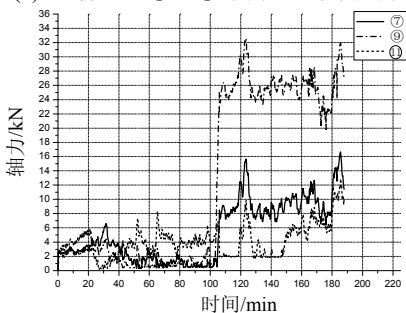
(a) 立杆 1 的①和⑦号测点的轴力历程



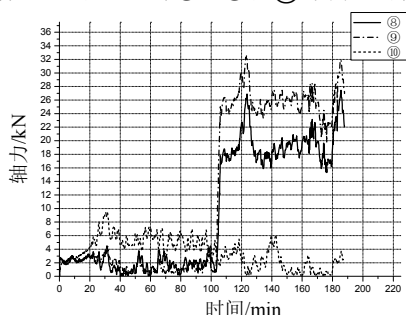
(b) 立杆 3 的③、⑨和⑫号测点的轴力历程



(c) 立杆 4 的②和⑩号测点的轴力历程



(d) 立杆 1、3 和 5 上部⑦、⑨和⑪号测点的轴力历程



(e) 立杆 2、3 和 4 上部⑧、⑨和⑩号测点的轴力历程

图 3 立杆的轴力历程

Fig.3 Histories of tube axial forces

竖向剪刀撑的上部测点和下部测点处的轴压力时程见图 4。

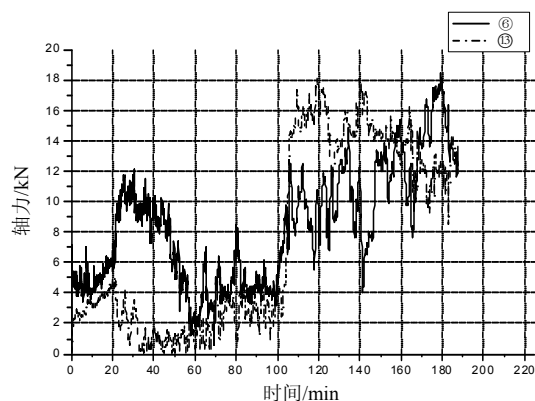


图 4 竖向剪刀撑的测点⑥和⑬的轴力时程图

Fig.4 Histories of axial forces at points ⑥ and ⑬ on vertical brace

1.4 试验数据分析和模板支架的工作状态

从图 3 可以看出:

1) 在混凝土浇筑的过程中,主梁下大部分立杆内力在较短的时间内加大至最大值,之后内力有所减小,表明立杆所受最大荷载出现在混凝土浇筑的过程中,浇筑完毕后,内力有所减小。

2) 竖向剪刀撑的最大内力达 12kN—18kN,表明竖向剪刀撑参与了工作,而且承担了可观的内力。

3) 在混凝土浇筑的前期,立杆 4 上测点②和测点⑩的轴力值随时间逐渐增大,之后两个测点的轴力值开始降低,直到不再承担荷载。

4) 由于立杆 4 的退出,使得与之相邻的并排立杆 3 上测点⑨的最大工作轴力达到 32kN,高于并排立杆 2 上测点⑧的轴力约 40%,高于另一方向与立杆 3 并排的立杆 1 和立杆 5 上测点⑦和测点⑪的轴力约一倍。

1.5 试验中特殊现象的分析

通过对试验数据的分析,可以看出混凝土浇筑过程中存在特殊现象:主梁下个别立杆退出工作,致使相邻立杆的轴力大幅度增加,成为安全隐患。

1.5.1 立杆退出工作对模板支架受力的影响

取 3m×3m 的局部模板支架进行荷载作用下的立杆受力分析。

荷载组合为:混凝土自重标准值+其它施工活荷载的标准值(按 3kN/m²取)。

图 5 为每个立杆均参与工作时的立杆轴力图;如果立杆 4 退出工作则立杆轴力变化见图 6。

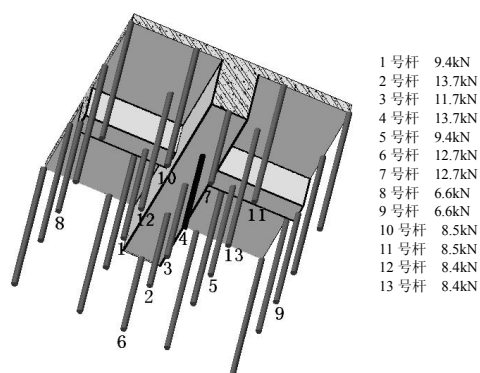


图5 每个立杆均参与工作时的立杆轴力

Fig.5 Axial forces when all tube work

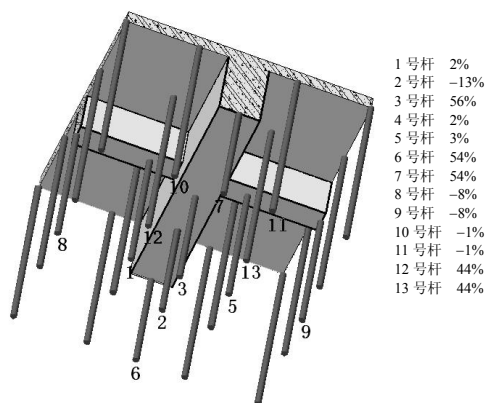


图6 立杆4退出工作前后的立杆轴力变化

Fig.6 Changing of axial forces when tube 4 abort working

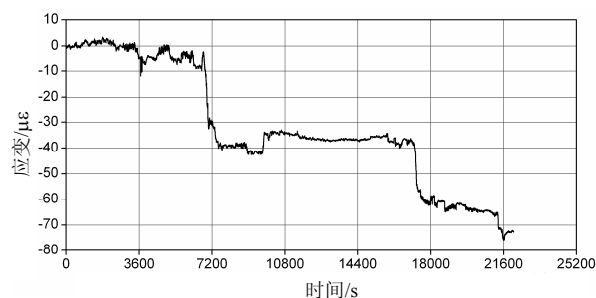
从图6可以看出,立杆4退出工作后相邻4根立杆轴力的变化最明显,其中立杆3的轴力增加了56%,达到了18.2kN,高于并排的立杆2的轴力约53%,高于另一方向并排立杆1和立杆5的轴力约一倍,这一分析结果与试验结果基本一致。

1.5.2 立杆退出工作原因

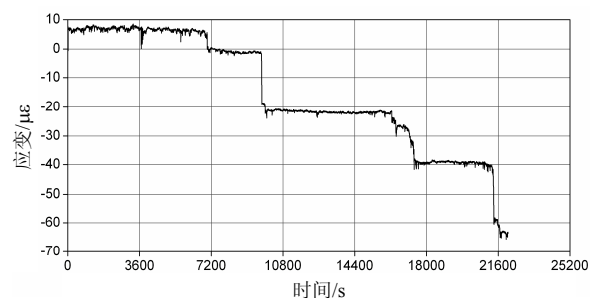
立杆退出工作的原因可能有两个:一是立杆搭设的问题,立杆搭虚了,当荷载增加到一定大小时,立杆退出工作;二是施工方法引起的,从一边向另一边推进的混凝土浇筑次序,使得荷载分布不对称,文献[7]和文献[9]均提到施工期连接模板和支架的木梁有可能出现“翘起”(uplift)。一旦“翘起”发生,支撑木梁的支架立杆将不再受力。

2 混凝土浇筑期荷载动力效应的测试

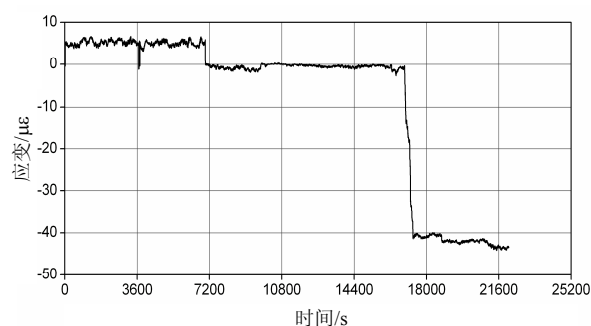
在某大学图书馆工地,对混凝土浇筑期模板支架的3个立杆进行了动力效应的测试。采用DH3817多测点动静态应变测试系统,采样频率为200Hz,采样的零时刻为浇筑开始的时刻。立杆的应变时程见图7。



(a) 立杆1的应变时程



(b) 立杆2的应变时程



(c) 立杆3的应变时程

图7 立杆的应变时程

Fig.7 Stain histories of tubes

混凝土的浇筑过程中,初期施加的混凝土对模板支架有一定的冲击,之后逐步施加的混凝土对模板支架的冲击作用不明显;振捣过程中模板支架立杆的受力没有发生较为明显的变化。

3 结论

混凝土浇筑期是高大模板支架最危险的时期,本文对混凝土施工期内的模板支架内力进行的静动力实测,通过分析得出以下结论:

- (1) 支架整体工作,竖向剪刀撑参与了工作。
- (2) 混凝土浇筑期内,立杆内力在短时间内增加到最大值,应将混凝土荷载视为可变荷载。
- (3) 可以忽略浇筑和振捣混凝土产生的荷载动力效应。
- (4) 存在个别立杆退出工作的现象,在搭设时应避免立杆虚搭,应尽量对称浇筑混凝土,在无法

保证时,在设计中应对支撑厚板和高梁的支架立杆留有 50%左右的富裕量,并在立杆间建立必要的连接。

本文的研究工作是混凝土浇筑期高大模板支架可靠性研究的一部分,今后应对混凝土浇筑期的可变荷载进行更为完善的动力试验测试和理论分析,以完善高大模板支架的设计方法,减少事故的发生。

参考文献:

- [1] Hadipriono F C, Wang H K. Analysis of causes of formwork failures in concrete structures [J]. Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 1986, 112(1): 112—121.
- [2] 北京市工程质量安全监督站. “9.5”重大生产安全事故调查报告[R]. 2005.
Beijing Engineering Quality and Safety Supervision Station. Investigation report of No. 9.5 serious construction safety accident [R]. 2005. (in Chinese)
- [3] 刘家彬, 郭正兴. 扣件钢管架支模的安全性[J]. 施工技术, 2002, 31(3): 9—11.
Liu Jiabin, Guo Zhengxing. Safety of fastener-style steel pipe frame formwork-support [J]. Construction Technology, 2002, 31(3): 9—11. (in Chinese)
- [4] JGJ130-2001, 建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [5] JGJ130-2001, Technical code for safety of steel tubular scaffold with couplers in construction [S]. Beijing: China Architecture Industry Press, 2001. (in Chinese)
- [6] SEI/ASCE37-02, Design loads on structures during construction [S]. 2002.
- [7] ACI 347R-03, Guide to formwork for concrete [S]. 2003.
- [7] Karshenas S, Heinrich S M. Dynamic modeling of slab formwork during concrete placement [J]. Journal of Structural Engineering, ASCE, 1994, 120(7): 2199—2217.
- [8] 杨俊杰, 顾仲文, 章雪峰, 金睿. 扣件式钢管模板高支撑体系实测分析[J]. 施工技术, 2006, 35(2): 8—10.
Yang Junjie, Gu Zhongwen, Zhang Xuefeng, Jin Rui. Actual measurement and analysis of high form strut of steel tubular scaffold with couplers system [J]. Construction Technology, 2006, 35(2): 8—10. (in Chinese)
- [9] Huston D R, Fuhr P L, Ambrose T P, Devino E A, Werner M P. Construction load monitoring using instrumented shoring [J]. Proc. SPIE, 1994, 2191: 408—419.
- [10] Huang Y L, Chen W F, Ji H, Chen T Y, Kao Y G, Lin C Q. A monitoring method for scaffold-frame shoring systems for elevated concrete formwork [J]. Computers and Structures, 2000, 78(5): 681—690.