

无线传感器自动监测系统在高支模监测中的应用

张学明

建材广州工程勘测院有限公司, 广东 广州 510403

[摘要]采用无线传感器自动监测系统对高支模进行监测比传统的光学监测仪器及有线传感器安装更简便快捷, 精度高, 性能稳定, 获取数据更快, 监测频率高, 可真正实现对高支模的实时监测, 有效地保证了高支模施工的安全。

[关键词]高支模; 无线传感器; 自动化监测; 实时监测

DOI: 10.33142/ec.v2i5.383

中图分类号: TU71;TP391.44;TN929.5

文献标识码: A

The Application of Wireless Sensor Automatic Monitoring System in High-mode Monitoring

ZHANG Xueming

Building Materials Guangzhou Engineering Survey Institute Co., Ltd., Guangdong Guangzhou, China 510403

Abstract: Compared with the traditional optical monitoring instrument and wired sensor, the automatic monitoring system of wireless sensor is more convenient, fast, accurate, stable, faster to obtain data and higher monitoring frequency than the traditional optical monitoring instrument and wired sensor. The real-time monitoring of high support mould can be realized, and the safety of high support mould construction can be effectively guaranteed.

Keywords: High support mode; Wireless sensor; Automatic monitoring; Real-time monitoring

引言

高支模是指施工现场混凝土构件模板支撑高度超过 8m, 或搭设跨度超过 18m, 或施工总荷载大于 15kN/m², 或集中线荷载大于 20kN/m 的模板支撑体系。

1 施工工具的高大支撑模板

随着经济的发展, 城乡建设中高层较大、大跨度结构的建筑层出不穷, 作为主要施工工具的高大支撑模板(下称高支模)的安全重要性也越来越突出。高大支模搭设过程中, 由于施工水平差异、钢管材料折旧、扣件扭力不足等因素, 往往带来了巨大的隐患^[1]。为保证施工中高支模的安全, 避免发生安全事故造成人员伤亡和财产损失, 国家相关部门出台了相应的指导文件, 规定了高支模监测的必要性。相关指导文件有:

(1) 建设部于 2018 年 3 月 8 日发布了《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》(中华人民共和国住建部令第 37 号)并于 2018 年 6 月 1 日正式实施; 其中, 高支模便是文件中规定的“危大工程”之一。

(2) 广东省住建厅《关于危险性较大的分部分项工程安全管理规定的实施细则》(粤建质[2011]13 号);

(3) 《广州市城乡建设委员会关于进一步加强危险性较大的混凝土模板支撑工程和承重支撑体系安全监测工作的通知》(穗建质〔2014〕168 号 2014. 2. 20);

(4) 《广州市城乡建设委员会关于加强建筑施工模板支撑系统安全管理工作的通知》(穗建质〔2014〕233 号);

以上政府主管部门制定的规定, 明确了高支模监测的必要性, 但并未规定其具体的监测方法。随着近年来传感器技术和通讯技术的发展, 远距离实时数据传输门槛进一步降低, 使得无线传感器实时监测成为经济可行的方法。为此, 广州市发文强调高支模监测必须实行信息化和自动化。

2 无线传感器的应用优势

无线传感器自动监测系统与传统的光学监测系统和有限监测系统相比, 具有明显的优势: ①安装优势。大多数传统光学仪器的安装较为繁杂, 监测效率较低。无线传感器具有免布线的特点, 监测效率相对较高[2]; ②精度及监测反应优势。传感器测量精度相对较高, 普遍对监测点的反应更灵敏。③实时监测优势。由于传感器是自动感应获取读数并传输数据, 不需要传统监测系统中的观测人员, 也不受天气条件的影响, 所以能做到高频率的监测, 实现真正的实时动态监测。④安全优势。无线传感器自动监测系统不需要常规的司尺员和观察员, 其数据传输距离较远, 监测人员可以在远离高支模的地方接收监测数据, 避免了监测人员在事故发生时受到伤害。

3 工程实例分析

对无线传感器自动监测系统在广州皇上皇集团食品加工中心办公楼高支模第三方监测工程项目中的应用进行分析。

3.1 工程概况

拟建项目位于广州市开发区永和区永安大道以南、香荔路以东，1 层地下室，地上 6 层，人防地下室建筑面积为 1471 m²，地上建筑面积为 5142 m²，建筑高度为 23.45m，主体采用钢筋混凝土框架结构。

本项目高支模监测位置如下图 1:

位置	层高	主要梁截面	板厚	支承立杆/地基情况
首层 1-A~1-C 轴交 1-2~1-6 轴企业文化 展示厅区域	7.8m	200×700mm	150mm	钢管支撑架/地下室顶板

图 1 高支模监测位置

本监测就是针对高大模板支撑系统施工过程中砼浇筑时和浇注之后稳定期内的监测，确保混凝土浇筑过程中施工安全，信息化指导施工。

3.2 监测内容

为全面监测高支模在混凝土浇筑前至混凝土初凝完成后的实时变形情况，共设置了模板沉降、支架水平位移、立杆轴力和立杆倾角 4 项监测内容。

3.3 测点布置

高支模一般由模板、支承模板的龙骨、次龙骨、主龙骨、支顶和支顶配套构件等组成；按部位不同，又分为楼板模板、次梁模板和主梁模板等；按使用材料，分为钢和木的模板、支顶等。任一构件或部位的破坏都可导致高支模的局部破坏，从局部开始引起大规模及大面积的倒塌。

- 1、以现有剪力墙、混凝土柱等为基准点，安装水平位移传感器，监测支架整体水平位移。
- 2、以高支模所在地面为基准点，在板底或梁底安装竖向位移传感器，监测模板沉降。
- 3、在具有代表性或荷载较大的立杆顶托和模板之间安装轴压传感器，监测立杆轴力。
- 4、在易产生水平位移或荷载较大的立杆上部安装倾角传感器，监测立杆倾斜变化。

5、根据以上原则本项目共布设 6 组监测点，编号分别为 B1~B6。每组监测点包括支架水平位移监测点、模板沉降监测点、立杆轴力监测点、立杆倾斜监测点各 1 个。

6、为检查自动监测系统的监测成果是否可靠，对支架水平位移和模板沉降采用常规光电观测法进行观测比对。选择通视良好的无线监测点附近采用粘贴反射片的方式布设水平位移监测点（B1、B6 附近）2 个；采用加设钢管的方法布设模板沉降观测点（B2、B5 附近）2 个，如图 2。

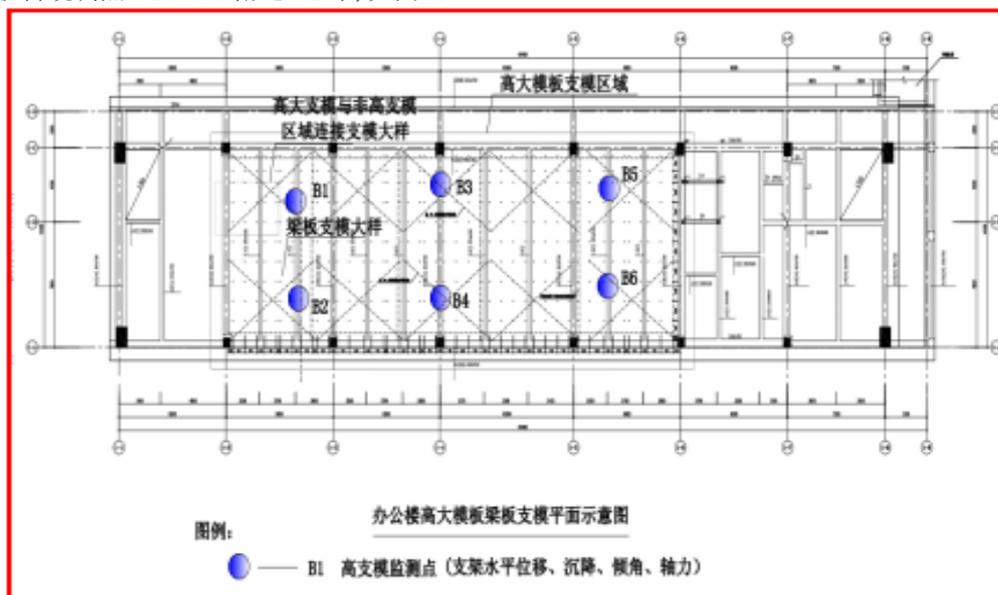


图 2: 高支模观测点平面布置图

3.4 使用的仪器设备及工作原理

本工程采用北京联睿科科技有限公司研制的 DS501 智能无线数据采集系统（包括无线智能采集仪、无线智能采集终端（含倾角仪）、轴压传感器、位移传感器、无线声光报警器、定向天线）作为监测设备。

各传感器的工作原理如下：

倾角仪：传感器内部装有电解液和导电触点，当传感器发生倾斜变化时，电解液的液面始终处于水平，但液面相对触点的部位发生了改变，也同时引起了输出点量的改变。倾角传感器随着被测物的倾斜变形量与输出的点量呈对应关系，以此可测出被测物的倾斜角度。

轴压传感器：将应变计安装在支撑钢管表面，支撑钢管在受载荷后表面产生的微小变形（伸长或缩短），会使应变计的敏感栅随之变形，应变计的电阻就发生变化，其变化率和安装应变计处构件的应变 ϵ 成比例。测出此电阻的变化，即可按公式算出构件表面的应变，以及相应的应力。

位移传感器：当被测结构物发生变形时将会通过位移传感器带动测杆，测杆拉动位移传感器产生位移变形，变形传递给振弦式位移传感器转变成振弦应力的变化，从而改变振弦的振动频率。电磁线圈激振振弦并测量其振动频率，频率信号经电缆传输至读数装置，即可计算出被测支撑钢管的水平及竖向位移变形量。

定线天线则是来负责传感器和无线数据采集仪之间通讯的传输天线。

在变形值达到或超出报警值时（即预先设定的警戒阈值），声光报警器会自动触发报警，发出光源的闪烁作为警示。相比传统报警器，无线声光报警器的安装操作便捷，警示灵敏度高。如图 3

序号	仪器设备	型·号	量·程	精·度
1	无线智能采集仪	DS501	/	/
2	无线智能采集终端 (含倾角仪)	DS602	$\pm 30^\circ$	$\pm 0.006^\circ$
3	轴压传感器	Lrk-fn50	0~50KN	0.5%·F·S
4	位移传感器	Lrk-1205	0~200mm	0.02mm
5	无线声光报警器		/	
6	定向天线		/	

图 3 仪器设备技术参数

3.5 监测项目报警值

为了判定是否超出允许的范围，判断安全可靠以及需要调整施工步骤和优化原设计施工图，必须根据实际情况事先确定相应的报警值。

3.5.1 报警值确定的原则

报警值不可超过相应范围；（2）能保证监测对象的安全；（3）满足现行相关规范、标准及规定要求；（4）满足相关主管部门的要求；

3.5.2 报警值的确定，如图 4

监测项目	预警值	报警值
模板沉降	7.0mm	8.0mm
立杆轴力	14000.0N	16000.0N
立杆倾角	1.4°	1.6°
支架水平位移	8.0mm	10.0mm

图 4 监测项目报警值

3.6 监测方法及监测实施

采用实时监测方式，安排专人在首层外围采用自动化采集仪，在高支模预压、浇筑混凝土及混凝土初凝过程中实施实时监测，监测频率根据施工进度为浇筑前不低于 15 分钟一次，浇筑过程每分钟不低于 2 次，浇筑完毕后不低于 30

分钟一次。



图5：双轴倾角传感器、位移传感器、轴压传感器

倾角传感器、位移传感器、轴压传感器安装完成后，如图5所示，形成一个监测区域，通过无线采集终端与主机远程联接。在主机中设置相关工程参数，完成后主机自动根据设置的监测频率、报警值等进行监测与报警。

3.6.1 倾斜监测

(1) 监测设备

采用倾角仪，相对于传统的通过其他技术参数换算而来的办法，直接取得最终结果，减少误差累积，提高观测精度。

(2) 安装方法

在安装传感器时，要保证‘两面’和‘两线’的正确安装，安装时注意以下两点：

- ① ‘两面’指传感器安装面与被测物体的安装面完全紧靠（被测物体的安装面要尽可能水平），不能有夹角产生。
- ② ‘两线’指传感器轴线与被测面轴线平行，两轴线不能有夹角产生。如图6。

3.6.2 轴力监测

(1) 监测设备

采用轴压传感器，直接取得最终结果，减少误差累积，提高观测精度。

安装方法

垂直杆的顶部降低，轴压力传感器安装在顶部支架和模板底梁之间。顶部支架和模板底梁必须是扁平的，并可以压在传感器的上下两侧。轴向压力传感器与垂直杆和模板处于同一垂直线上，共同受力。安装完成后，与无线采集终端连接，记录终端号，在主机中检查该编号是否有压力。通常有初始压力值。如果没有压力，则需要检查垂直杆的顶部支撑是否与模板梁的底部紧密对准，如图7。



图6：倾角仪安装效果图



图7：立杆轴力传感器安装图

3.6.3 位移监测

(1) 监测设备

采用位移传感器，直接取得最终结果，减少误差累积，提高观测精度。可测水平位移与竖向位移。

(2) 安装方法

① 竖向移安装方法：

竖向位移安装方法，在模板底木方梁下的横杆安装位移传感器，安装时使传感器线头垂直向下，拉出约 100mm，用钢丝绳与下部配重相联，注意钢丝不能有自身的变形，配重需有足够重量，使传感器线头回缩，钢丝与配重需直立，不能与支架相接。位移传感器安装完成后，与无线采集终端联接，记录终端编号，在主机中检查该编号是否有位移读数，一般有初始读数，如无读数，可拉动线头端或复位再拉出，至有读数。

② 水平位移安装方法：

本工程模架四周存在已经浇筑完成的墙柱，采用在立杆顶部安装位移传感器的方式。安装时使线头水平方向拉伸，拉出约 100mm，用钢丝与另一侧立杆固定。安装完成后，连接无线采集终端并记录终端编号。在采集终端中检查该编号是否有位移读数，如无读数，拉动线头端或者复位再拉出，直至有读数。

(3) 监测方法

传感器监测方法：位移传感器安装调试完成后，只需在主机设置工程相关信息，主机自己根据设置的报警值、监测频率进行数据采集、报警。

3.7 监测结果

本次实时监测自 2018 年 4 月 29 日 8:07 开始，16:35 结束，共 8 小时 28 分钟。无线传感器自动监测系统对高支模在混凝土浇筑过程实施全程实时监测。期间用常规光电观测方法分别在开始监测时的 8:07 采集初始值，监测中段 12:30 和监测尾段 16:30 进行了监测数据采集比对。监测结果见下图 8 和图 9

监测项目	传感器名称	测点编号	监测最大值	最大值出现时间	预警值	报警值	是否报警
立杆倾角	6-QJ	B1	-0.37°	11:32:57	1.4°	1.6°	否
	7-QJ	B2	0.42°	16:34:01			否
	8-QJ	B3	0.12°	16:03:01			否
	9-QJ	B4	-0.14°	11:32:57			否
	10-QJ	B5	0.10°	11:02:57			否
	11-QJ	B6	-0.12°	14:30:57			否
立杆轴力	6-ZL	B1	3590·N	15:32:57	14000.0 N	16000.0 N	否
	7-ZL	B2	5310·N	13:32:57			否
	8-ZL	B3	5610·N	14:02:57			否
	9-ZL	B4	3430·N	11:32:57			否
	10-ZL	B5	1320·N	15:32:57			否
	11-ZL	B6	1530·N	14:30:57			否
模板沉降	6-CJ	B1	-6.31·mm	14:02:57	7.0mm	8.0mm	否
	7-CJ	B2	-3.15·mm	12:02:57			否
	8-CJ	B3	-2.06·mm	11:31:57			否
	9-CJ	B4	-1.39·mm	12:32:57			否
	10-CJ	B5	-1.17·mm	14:02:57			否

监测项目	传感器名称	测点编号	监测最大值	最大值出现时间	预警值	报警值	是否报警
	11-CJ	B6	1.20·mm	9:31:57			否
支架水平位移	6-WY	B1	-4.18·mm	11:32:57	8.0mm	10.0mm	否
	7-WY	B2	4.73·mm	16:34:01			否
	8-WY	B3	1.40·mm	16:03:01			否
	9-WY	B4	-1.63·mm	11:32:57			否
	10-WY	B5	1.13·mm	11:02:57			否
	11-WY	B6	-1.36·mm	14:30:57			否

图 8 传感器测点最大值表

监测项目	点号	无线传感器自动监测系统		常规光电观测方法		较差 (mm)
		监测值 (mm)	监测时间	监测值 (mm)	监测时间	
模板沉降	B2	-3.15	12:30:57	-3.26	12:30:02	-0.11
		-3.15	16:34:01	-3.32	16:30:01	-0.17
	B5	-0.78	12:32:57	-0.95	12:30:12	-0.17
		-1.17	16:33:01	-1.56	16:30:10	-0.39
支架水平位移	B1	-2.30 mm	12:32:57	-2.54	12:30:21	-0.24
		-3.83	16:35:01	-3.94	16:30:33	-0.11
	B6	-0.01	12:32:57	-0.25	12:30:18	-0.24
		-1.16	16:32:01	-1.45	16:30:40	-0.29

图 9 常规光电观测方法与无线传感器自动监测系统监测结果对比表

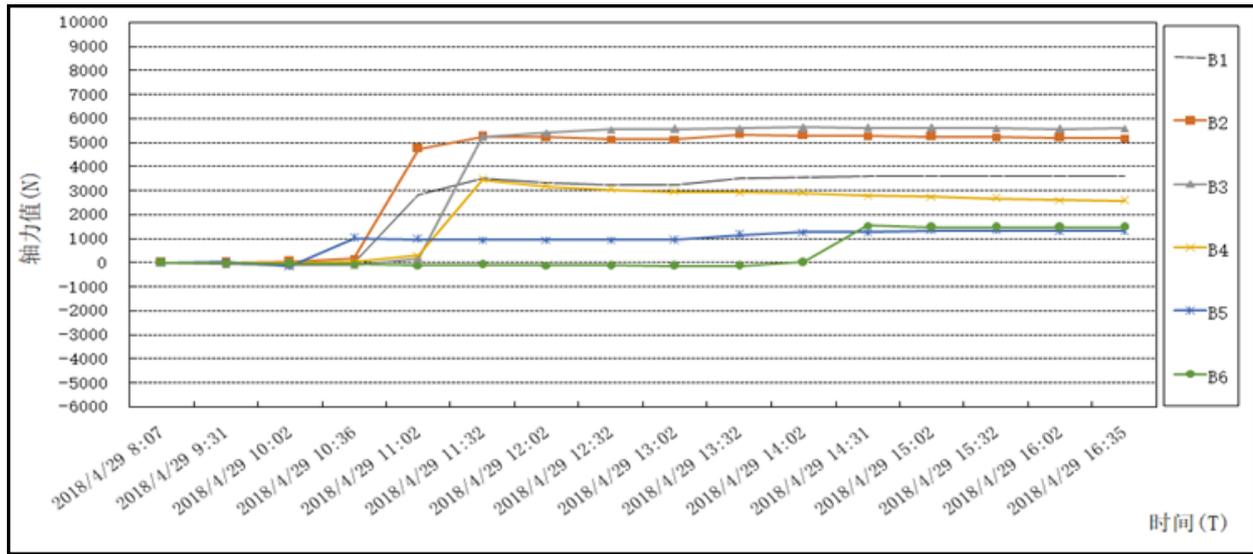


图 10: 立杆轴力时程曲线图

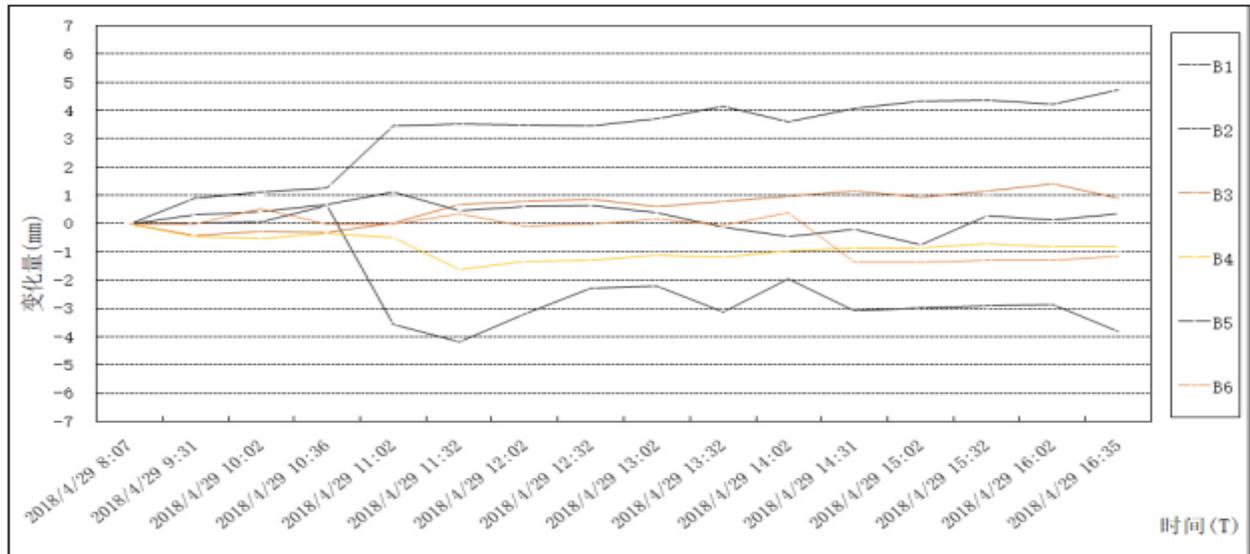


图 11: 支架水平位移时程曲线图

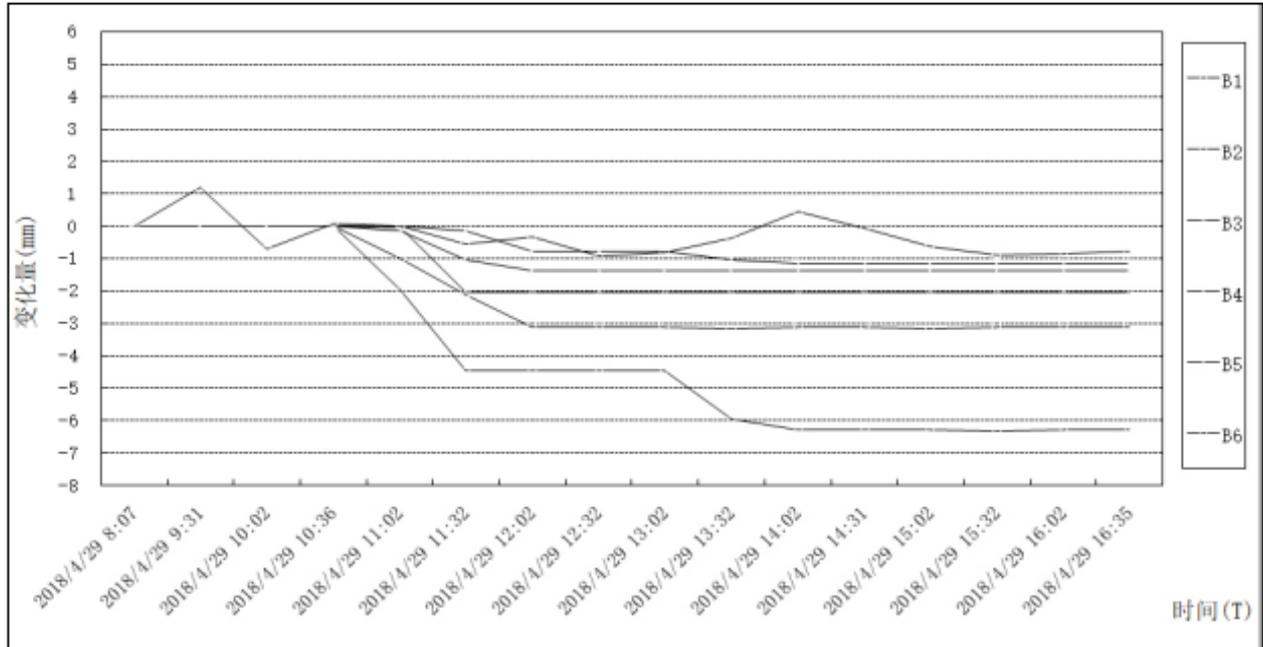


图 12: 模板沉降时程曲线图

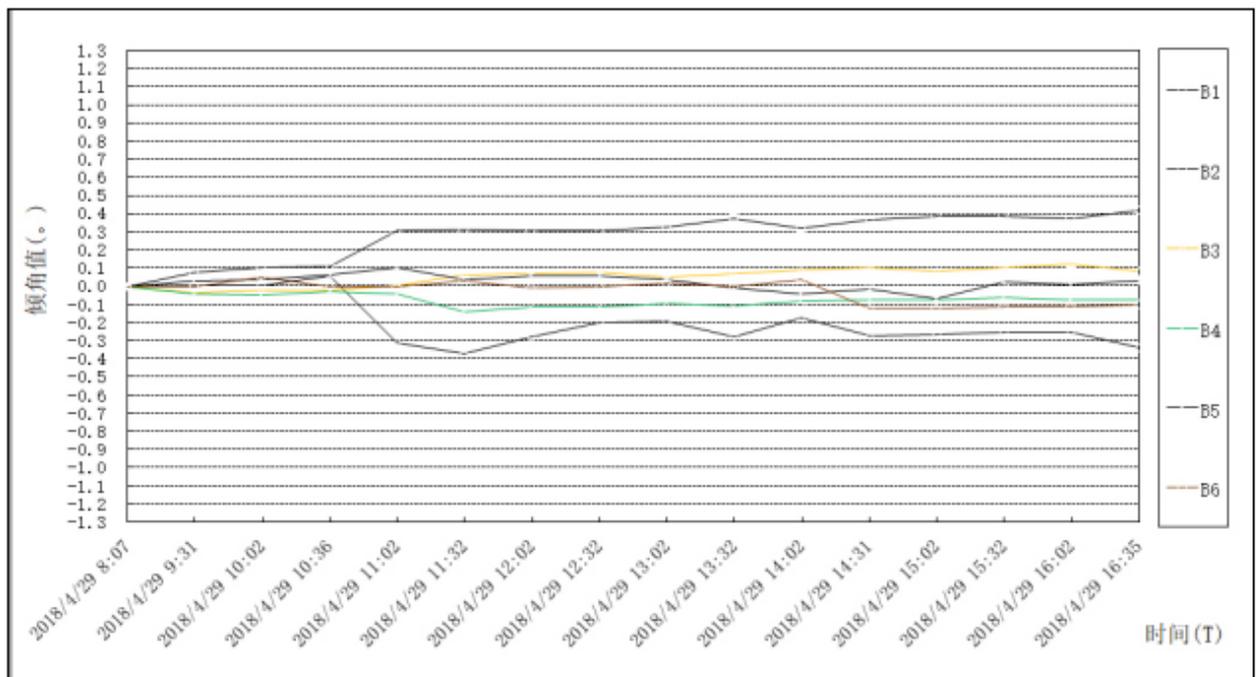


图 13: 立杆倾角时程曲线图

从监测数据和曲线图可以看出，随着浇筑过程中荷载的增加，高支模各部件被逐渐压实，立杆倾角出现最大值，出现在 B2 处，为 0.42° ，此后倾角不再增大；从模板沉降数据看出，最大值一般在浇筑中段出现，其后沉降量基本保持最大值不变或稍有减小；立杆轴力在浇筑初期较小，随着荷载增加，其轴力也逐渐增大并在建筑中期达到最大值，其后不再增大并基本保持小幅变动；支架水平位移监测结果与其他监测项类似，其最大值大多在浇筑中段后段出现。监测项目的变形情况与混凝土浇筑完成后并初凝稳定的状态较为吻合。

从表 3 可以看到各监测值均小于预警值，高支模在整个混凝土浇筑实时监测期间处于安全状态。

从表 4 看出传统光电观测方法监测支架水平位移和模板沉降与无线传感器自动监测系统在相近部位和相近时间节

点的监测结果相差较小, 最大为-0.39mm, 表明无线传感器自动监测系统监测结果可靠。

4 结语

(1) 相比传统光学监测仪器, 无线传感器自动监测系统在安装便捷性、监测精度和监测实时性、实用性等方面具有较大的优势, 可极大地提高监测效率和保障高支模施工的安全。

(2) 无线传感器自动监测系统可以对常规光电方法难以监测的立杆轴力、立杆倾角进行实时监测, 解决了常规光电方法监测存在空间盲区的问题。

(3) 无线传感器自动监测系统数据采集频率高, 可实现全天候实时监测, 可为高支模设计提供充足的基础数据。

(4) 无线传感器自动监测系统的作业模式在监测时基本不需要作业人员在高支模施工现场操作, 数据采集仪可在远离施工现场安全的地方设置, 充分保障了监测人员的安全。

[参考文献]

[1] 胡长明. 扣件高大模板支架空间结构体系失效机理及其安全性控制理论研究[M]. 北京: 科学出版社, 2013.

[2] 朵润民. 苏键. 韩强. 等. 无线智能监测仪在高支模预压监测中的应用[J]. 广州建筑, 2015(06): 20-23.

作者简介: 张学明 (1980—), 本科, 建材广州工程勘测院有限公司高级工程师, 从事工程测量和工程监测工作。