

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.S1.024

# 基于区域定位的电厂建(构)筑物沉降 观测系统初探

陈尚东, 徐晓斌

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

**摘要:** [目的]建(构)筑物沉降关系到电厂建设及安全运行, 沉降观测过程中, 如何减少人工成本, 提高观测精度, 适宜于电厂建(构)筑物特点, 是观测方法适用性的关键。[方法]阐述了电厂重要建(构)筑物沉降观测的意义、内容及精度要求, 分析传统观测方法的优缺点, 引入区域定位技术用于沉降观测。[结果]提出适于电厂建(构)筑物沉降观测自动化、智能化沉降观测系统, 并解决了观测系统设立过程中的关键问题。[结论]研究成果应用于实践, 降低了成本投入, 提高了工作效率; 同时也丰富了沉降观测特别是小区域沉降观测的手段和方法。

**关键词:** 沉降观测; 区域定位; 智能化

中图分类号: P227

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2019)S1-0124-04

## Discuss on a Settlement Observation System for Buildings of Power Plants Based on Area Local Positioning

CHEN Shangdong, XU Xiaobin

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

**Abstract:** [Introduction] Settlement of buildings and structures is related to construction and safety operation of power plants. In the process of settlement observation, the key to the applicability of the observation method is to solve how to reduce the labor and improve the observation accuracy, is suitable for buildings and structures of power plants. [Method] In this paper, the role, the content and the accuracy requirements for important buildings of power plants were introduced. The advantages and disadvantages of traditional observation methods were analyzed, and the regional positioning technology was introduced. [Result] An automatic and intelligent settlement observation system based on area local positioning is presented, which is suitable for the buildings and structures of power plants. The key problems are solved in the process of the settlement observation system. [Conclusion] With the research applied in practice, the cost is reduced and work efficiency is improved. Furthermore, the means and methods of settlement observation are enriched, especially in small area.

**Key words:** settlement observation; area local positioning; intelligence

电厂沉降观测是根据电厂重要建(构)筑物(如烟囪等)的变形特点, 采用测绘手段和仪器设备进行连续测量和监测, 以掌握电厂重要建(构)筑物的沉降情况, 及时发现不利下沉现象, 预报变形发展态势。沉降观测在预防电力建设工程事故、检验建

(构)筑物施工质量、验证设计方案、评估电厂的安全运营期等给予了关键的技术支持, 并成为电力工程特别是电厂建设和安全运行强制实施的任务之一<sup>[1]</sup>。现有的观测技术, 满足数据精度要求的手段, 须耗费大量的人力、物力, 并且对观测人员要求高; 满足自动采集、自动数据处理的手段, 由于电厂建(构)筑物自身特点影响, 数据精度难以达到要求。研究一种精度满足要求、智能化、快速化, 且适于电厂建(构)筑物特点的沉降观测手段是测绘

收稿日期: 2019-02-18 修回日期: 2019-05-22

基金项目: 国家重点研发计划项目资助(2017YFB1201102), 广东省自然科学基金项目资助(2018A0303130154)

工程领域亟待的问题。

本文收集了现有研究成果,总结了现有观测手段优缺点,引入区域定位技术、信息同步传输、PDOP等,探索基于区域定位系统的沉降观测手段。

## 1 沉降观测技术需求

电厂沉降观测工作就是在一定期限内定期地对电厂重要建(构)筑物进行重复观测,内业整理成果体现电厂重要建(构)筑物在观测期内的沉降变化,及时掌握电厂重要建(构)筑物的沉降特征和沉降趋势。当观测的沉降参数超出规范规定的界限值时,说明该参数对应的建(构)筑物可能即将发生安全事故,需要立即预警,并通知相关方启动预警措施和商议补救措施,有关规范规定,电厂重要建(构)筑物等大型建筑工程沉降变化测量精度要求应小于允许值的 $0.05 \sim 0.10$ <sup>[2-3]</sup>,并满足毫米量级要求。电厂建(构)筑物沉降观测主要是观测重要建(构)筑物相对沉降变化,而对于绝对整体变化情况要求相对较低<sup>[4-5]</sup>。

综上所述,电厂沉降观测的关键工作是电厂重要建(构)筑物的定位观测,工作的重心是沉降的相对变化量,因此只需建立观测区坐标系,可不采用大地测量坐标系统<sup>[6]</sup>。

## 2 传统观测方法的优缺点

长期的设备研发和实践经验积累,更重要的是科技技术的快速发展,沉降观测的手段已发展到多方法、多层次、多角度的多维观测体系。采用传统作业手段的水准仪、测距仪和经纬仪等设备进行水准测量和三边量测等观测方式,手段与理论完善,数据真实性好,但所耗时长、人力工作强度大、对观测人员有专门技术要求,测量精确度受测绘仪器设备、作业人员操作、监测点及监测网布设、气候变化等因素影响较大,无法实现智能观测,智能成果处理和分析,需要外业结束后,再人工进行数据导出、整理、分析,在快速化、全天候、及时性、精度要求高等电厂重要建(构)筑物沉降观测领域受到一定限制,还可能延误安全预警。

采用测绘机器人、无镜全站仪等仪器的现代化手段,曾经是较盛行的沉降观测技术手段。然而,相对常规通用的手段,该技术仅仅提升了测量和数据录入的速度,其他方面并无本质上的改变。

采用光纤光栅传感器、沉降仪、原位监测仪器等仪器的更新式沉降观测技术,已实现自动测量、数字采集,然而需要的条件比较苛刻,单一测量技术还无法完成沉降观测任务,还需要采用其他测量技术进行补充。

采用全球卫星定位系统、合成孔径雷达差分干涉测量、倾斜摄影测绘和激光雷达等手段的三维空间沉降观测技术,目前得到较广泛的运用,可采集到高精度成果,在一定程度上可称得上实现智能化,但精度受周围环境限制大,特别是在电厂建(构)筑物密集区域使用还受到较大限制<sup>[8-9]</sup>。

综上所述,传统的沉降观测手段,存在的问题主要有以下三方面,一是测量效率低,观测周期长;二是劳动力投入大,项目成本高;三是受周围环境影响较大,难以达到预期的要求,这些问题导致沉降观测成为外业复杂的测绘工作。

随着我国北斗卫星导航系统、全球卫星定位系统和格洛纳斯卫星导航系统等全球定位系统不断发展和广泛运用,科研人员对智能测绘技术进行了大量的研究,为实现新科技高精度测量打下了坚实基础,为沉降观测提供了新方法、新技术、新手段。

## 3 区域定位电厂沉降观测系统

### 3.1 基本原理

根据电厂沉降观测体的高度和平面布置,按测量几何关系布设不少于四个信号发送基站,在需要沉降观测的电厂建(构)筑物上设置相应的信号接收机,几何位置关系示意图见图1。

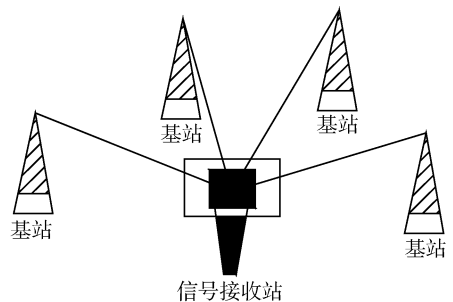


图1 信号接收机与基站位置关系示意图

Fig. 1 Relationship between the receiver and base stations

各基站发出信息,信号接收机接收到信息(至少来自四个基站),得到相关的信息传输时间,计算按下式分别进行计算:

$$\rho = c \cdot \Delta t \quad (1)$$

式中： $\rho$ 为各基站至接收机的距离； $c$ 为光速； $\Delta t$ 为时间。

观测前，各基站坐标参数已知，通过以下式子，由基站坐标参数及信号接收机参数四个观测方程，便可计算出信号接收机的三维空间位置 $x$ 、 $y$ 、 $z$ 以及信号接收机与基站之前的时间差 $\Delta T$ ：

$$\rho_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2} + c \cdot \Delta T \quad (2)$$

式中： $\rho_i$ 为各基站到信号接收机之间的距离； $x_i$ 、 $y_i$ 、 $z_i$ 为各基站的坐标； $x$ 、 $y$ 、 $z$ 为沉降观测点的坐标； $\Delta T$ 为信号接收机与基站之间的时差。

相对于各类定位系统而言，沉降观测范围较小，信号在各基站与信号接收机之前的传输距离，比采用卫星传输的距离也大幅减少，受各类信号干扰也大幅减少，各类观测信息传输条件明显偏好。剩下的问题就是解决信息传输同步问题（即方程中 $\Delta T$ ），就能实现1台信号接收机只要同步接收来自3个基站的信息即可获得相应精度的沉降观测数据。

由此可知，如果在需要沉降观测的电厂建（构）筑物上布设一定数量的信号接收机，保证每台信号接收机能够接收到来自至少3个基站的信息，便能得到各个信号接收机的坐标参数，按照既定的沉降观测计划进行观测，内业整理成果就可反映需要沉降观测的电厂建（构）筑物相对沉降情况。

### 3.2 重点技术解决

#### 1) 信息传输同步

需解决的重点技术之一是信息传输同步，由于测量学科的发展，目前，可供采用的完善技术较多，如光纤通信网络统一时钟技术，骨干网传输超过一千公里技术已经在国内逐步使用，24小时秒信号同步不确定度达0.1 ns和0.002 8 ns，由于电厂沉降观测的信号传输距离很短，信号传输同步精度仍可提升；如果使用更先进的双向授时技术，系统内部信息传输同步精度，接近3纳秒<sup>[9]</sup>。另外，电厂的建（构）筑物分布条件，更适宜采用区域内设备接收同一颗定位卫星（包括北斗卫星导航系统、全球卫星定位系统和格洛纳斯卫星导航系统等）的时间参数，共视时间传递系统信息传输同步精度可达3~4纳秒<sup>[7]</sup>，卫星载波相位定位测量精度接近亚纳秒，完全达到电厂范围内信息传输同步。因为仅注重电厂建（构）筑物沉降变化，所以只需满足区域内信息传输同步，设立区域时间体系，不必采用国

家授时体系。采用以上方案。既减少采购系统设备所需费用不菲的高精度时频设备，又能满足电厂沉降观测的精度指标。

#### 2) 主要参数设置

主要参数包括：基站传输信息、设备使用频率、基站发射功率。基站传输信息为该基站的编号、位置参数、延时参数。工作前，把各基站位置参数输入信号接收机内，便于基站信息传输。工作频率关系到观测的精度，采用越高的工作频率，观测精度就越高。电厂建（构）筑物沉降观测属小范围的测量，各基站使用尽可能小的发射功率，只需满足基站频段与电厂范围其他设备频段不同即可，观测的工作频率可以有更多选择。

#### 3) 基站均匀分布

电厂的建（构）筑物由设计总平面布置决定，为获得更高精度，沉降观测基站需根据设计总平面图，以构建均匀的空间几何图形为目标，进行合理布设。基站布设合理性，可用测量中的“PDOP”（即“空间几何强度因子”）评判<sup>[12]</sup>。当PDOP较大时，说明基站布设均匀性较差，得到的观测精度较低；反之，布设合理、适用的基站位置，使基站和观测点在空间上的几何位置布设尽量均匀，以构建最优的几何图形架构，PDOP小，观测精度高，完全满足电厂沉降观测对精度的要求。

## 4 建立区域沉降观测系统优势

1) 适用性强。电厂沉降观测属小区域沉降观测，此系统根据电厂建（构）筑物分布灵活布设，减少对卫星定位信号的依赖，能有效地解决电厂内高大建（构）筑物对卫星定位信号遮蔽或信号受其它非观测基站信号的影响<sup>[13-14]</sup>。

2) 操作简单。此系统观测精度高，能达到毫米量级，数据处理与各类卫星定位系统处理相同，不需要再进行数据处理技术研究<sup>[15]</sup>。

3) 手段成熟。此系统所采用为常用的仪器设备、所要求建设的基站、控制点等与常规测量相同，同类元器件繁多，购置和维修方便，无技术风险；成果处理程序软件与卫星定位系统的相关软件差不多，技术要求低<sup>[16]</sup>。

4) 智能化。能达到自动观测、无线传输、自动数据处理、智能报警等状态，可进行观测期内长期无人值守情况下的观测，观测成果可通过北斗信息

或 4G 无线网络、有线千兆网络发送至手机用户端, 实现智能化电厂建(构)筑物沉降观测<sup>[17-18]</sup>。

## 5 结论

本文根据沉降观测工作性质, 针对电厂建(构)筑物观测的特点, 分析现有沉降观测手段存在的问题, 采用传统测量手段与新技术相结合的原则, 引入信号同步传输及“PDOP”等理论, 提出了适用性强、操作简单、手段成熟以及智能化的一套基于区域定位的电厂建(构)筑物沉降观测系统, 不但精度要求满足要求, 而且能实现自动化、智能化观测, 提高工作效率、降低人力物力投入。该系统已在部分电厂建设中进行推广运用, 效果达到预期。

另外, 随着未来 5G 技术的广泛应用, 同步传输问题将得到更好的解决, 也将促进基于区域定位的沉降观测技术的发展。此观测系统的提出, 丰富了沉降观测技术手段, 同时也为相关研究提供参考。

### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国行业标准. 建筑变形测量规程: JGJ 8—2016 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
- [2] 中华人民共和国行业标准. 火力发电厂工程测量技术规程: DL/T 5001—2014 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.
- [3] 中华人民共和国行业标准. 电力工程施工测量技术规程: DL/T 5445—2010 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2010.
- [4] 沙海, 陈华明, 吕志成. 一种新的高动态条件下实时高精度伪距计算方法 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2016, 41(4): 523-527.  
SHA H, CHEN H M, LV Z C. A new method of real-time high precision pseudorange calculation in high dynamic circumstance [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2016, 41(4): 523-527.
- [5] 顾胜, 陈洪卿, 曾亮. 基于北斗—GNSS 精密时频量值传递综述 [J]. 宇航计测技术, 2012, 32(1): 41-44.  
GU S, CHEN H Q, ZENG L. Review of the precise traceability of time and frequency based on Beidou/GNSS transfer [J]. Journal of Astronautic Metrology and Measurement, 2012, 32(1): 41-44.
- [6] 卫建东. 现代变形监测技术的发展现状与展望 [J]. 测绘科学, 2007(6): 10-13+204.  
WEI J D. The status quo and prospect of modern deformation monitoring technologies [J]. Science of Surveying and Mapping, 2007(6): 10-13+204.
- [7] 肖衡林, 李丽华. 山区高填方路堤沉降预测方法 [J]. 应用基础与工程科学学报, 2015, 23(1): 154-160.  
XIAO H L, LI L H. Settlement prediction method for high fill embankment in mountainous area [J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2015, 23(1): 154-160.
- [8] 陈敦云. 变形监测应用技术 [J]. 福建地质, 2006(4): 18-20.  
CHEN D Y. Applied technique of deformation monitoring [J]. Geology of Fujian, 2006(4): 18-20.
- [9] 刘涛, 刘杰, 邓雪, 等. 光纤时间频率信号传递研究 [J]. 时间频率学报, 2016, 34(3): 207-215.  
LIU T, LIU J, DENG X, et al. Study on time frequency signal transferring through optional fiber link [J]. Journal of Time and Frequency, 2016, 34(3): 207-215.
- [10] 李鹏, 何喜洋, 黄长华. 汽轮发电机基础的沉降计算 [J]. 南方能源建设, 2015, 2(增刊1): 119-122.  
LI P, HE X Y, HUANG C H. Settlement calculation of turbine and generator foundation [J]. Southern Energy Construction, 2015, 2(Supp. 1): 119-122.
- [11] 杨英华. 土力学 [M]. 北京: 地质出版社, 1986.  
YANG Y H. Soil mechanics [M]. Beijing: Geological publishing house, 1986.
- [12] 黄声享, 尹辉, 蒋征. 变形监测数据处理 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2003.  
HUANG S X, YIN H, JIANG Z. Deformation monitoring data processing [M]. Wuhan: Wuhan University, 2003.
- [13] 聂卫平, 金晓华. 基于实测数据的盾构电缆隧道沉降规律与预测 [J]. 南方能源建设, 2017, 3(2): 86-89+94.  
NIE W P, JIN X H. Shield cable tunnel settlement subsidence regulation and prediction based on measured data [J]. Southern Energy Construction, 2017, 4(2): 86-89+94.
- [14] 郑文棠, 程小久. 某核岛地基沉降分析与计算 [J]. 南方能源建设, 2015, 2(4): 116-122+127.  
ZHENG W T, CHENG X J. Settlement calculation and analysis of a nuclear island foundation [J]. Southern Energy Construction, 2015, 2(4): 116-122+127.
- [15] 李建飞. 组合模型在基坑变形监测中的应用 [D]. 成都: 成都理工大学, 2013.
- [16] 何春保. 测斜监测在深基坑施工中的应用 [J]. 科学技术与工程, 2008, 8(23): 6406-6409.
- [17] 王楠, 张郁. 超高层建筑物的沉降观测方法 [J]. 测绘地理信息, 2017, 3(42): 110-112.
- [18] 胡珂, 熊春宝. 建筑工程沉降监测若干问题的探讨 [J]. 测绘与空间地理信息, 2007, 2(30): 119-121.

### 作者简介:



CHEN S D

陈尚东 (通信作者)

1966-, 男, 广东兴宁人, 高级工程师, 昆明理工大学工程测量专业学士, 主要从事工程测绘研究工作 (e-mail) chenshangdong@gedi.com.cn。

(责任编辑 李辉)