

# 超高层建筑变形监测策略研究

杨永超 罗伟荣 程光冉

中节能建设工程设计院有限公司 四川 成都 610052

**摘要:** 在全新的发展阶段中,超高层建筑数量不断增加,受自身构筑形态、静动荷载、地下水位变化以及周边工程建设施工的影响,超高层建筑会产生变形,变形一旦超出安全范围,将会影响超高层建筑正常使用,甚至发生安全事故。因此,文章从超高层建筑结构入手,分析了变形监测特点,研究了建筑变形监测方法,给出了超高层建筑变形监测有效策略。

**关键词:** 超高层;变形监测;有效策略

## Study on Deformation Monitoring Strategy of Super High-rise Buildings

Yang Yongchao, Luo Weirong, Cheng Guangoran

China Energy Saving Construction Engineering Design Institute Co., Ltd. Sichuan Chengdu 610052

**Abstract:** In the new stage of development, the increasing number of super high-rise buildings, effected by their own construction form, static load, groundwater level change and the influence of surrounding engineering construction, super high-rise buildings will produce deformation, deformation once beyond the safety scope of the, will affect the normal use of super high-rise buildings, and even safety accidents. Therefore, the paper analyzes the characteristics of deformation monitoring, studies the building deformation monitoring method, and gives the effective strategy of super high-rise building deformation monitoring.

**Key words:** Super high-level; Deformation monitoring; Effective strategy

### 1 超高层建筑结构特点及监测内容

#### 1.1 超高层建筑结构特点<sup>[1-3]</sup>

超高层建筑结构一般有框架结构、框架-剪力墙结构、剪力墙结构、筒体结构。框架结构是由柱体和横梁构成,随着高度的增加,结构侧向力作用急剧增长,侧向位移也随之增大,甚至水平荷载产生的内里超过竖向荷载产生的内力,框架结构抗侧位移刚度较小,上部容易产生水平位移,对基础不均匀沉降较为敏感。框架-剪力墙结构是由框架和剪力墙共同作为竖向承重结构的结构体系,框架与剪力墙协同受力,剪力墙承担绝大部分水平荷载,框架则以承担竖向荷载为主,具有较强的侧向刚度。剪力墙结构是由纵向、横向的钢筋混凝土墙所组成的结构,该结构整体性好,具有较强的抗侧力能力,水平力作用下侧向位移较小,但该结构由于剪力墙位置的约束结构延性较差。筒体结构可以利用建筑周边构件来抵抗侧向荷载,可分为框架筒和桁架筒两种形式,是目前超高层建筑的主要结构形式,框筒结构是由建筑四周的密柱、深梁组成,其受力特点是一个地面上的悬臂多孔体;桁架筒结构,是在筒体结构中增加斜撑来抵抗水平荷载,以进一步提高结构承受水平荷载的能力,增加体系的刚度。

#### 1.2 超高层建筑变形监测项目

在超高层建筑施工和运营过程中均应对其进行变形监

测,监测内容应根据超高层建筑基础、结构、所处阶段以及周边环境确定监测项目。

1.2.1 施工阶段,监测内容主要有结构基础倾斜、结构墙体变形。随着结构增高地基荷载也在不断增加,由此可能引起建筑结构基础出现不均匀沉降,进而导致超高层建筑发生垂直方向上的倾斜;再者,在超高层建筑主体特别是核心筒墙体浇筑过程中,由于混凝土长期不同程度的膨胀与收缩,可能会导致建筑主体中心产生位移,建筑墙体随荷载的增加在弯矩作用下发生挠度,随着高度增高产生变形累计进而影响建筑主体的垂直度,同时受风力、邻近机械的共振影响均会对超高层建筑的整体现象。

1.2.2 运营期间,主要是对超高层建筑结构环境、荷载、状态、变形等响应数据进行健康监测,开展结构响应、变形趋势、安全评估等分析,实现结构损伤、疲劳检测与识别等,健康监测宜采用自动化健康监测系统采集结构及周边环境信息,并通过分析结构的各种特征对结构健康状况进行评价,重要结构,宜同时采用常规监测手段。

### 2 超高层建筑变形监测方案设计

#### 2.1 监测控制系统建立

变形监测控制系统是判定超高层建筑变形的基础,宜分为垂直位移控制网和水平位移监测控制网,分别由基准点

和工作基点组成,其应设置在监测建筑变形影响范围以外利于长期保存、便于联测和检核的稳定区域。监测期间,应定期对变形监测控制网进行复测,并评定其稳定性,复测周期应根据变形监测控制网点标志的稳定性而定。

变形监测平面控制网根据现场情况一般一级布网形式,网型可采用三角形、四边形或中间点多边形组成的测角网、测边网和边角网,亦可布设成符合导线或导线网,布网时应兼顾精度、可靠性和灵敏度等指标。变形监测垂直控制网一般同监测点按一级布设成闭合环或符合路线。

变形监测平面控制网一般采用独立坐标系统,必要时,可与国家坐标系统或地方坐标系统联测;变形监测垂直控制网宜采用测区原有高程系统,重要的监测工程宜与1985国家高程基准或地方高程基准联测。

## 2.2 监测点布设

变形监测点是超高层建筑变形体现的载体,根据建筑地基、结构以及地质构造情况,变形监测点应直接布设在变形体能反应建超高层筑变形特征的敏感位置上,健康监测传感器应在施工期间预先安装。

## 2.3 监测精度与周期确定

变形监测精度直接影响变形监测结果的准确性与可靠性,精度过低会给超高层建筑变形分析带来困难,甚至无法获取建筑变形真实情况,但过高的精度要求会造成监测工作量大幅度增大,并增加时间和成本。超高层变形监测精度的估算应综合考虑超高层建筑变形允许值、变形速率、监测仪器和监测方法等情况。在估算出监测精度又仅给出单一变形允许值时,应按所估算的精度选择变形监测精度等级;当有多类型变形允许值时,分别估算精度并按最高精度选择监测精度等级;对研究分析变形过程的变形监测宜提高一个监测等级。

超高层建层变形监测周期一般取决于建筑变形的大小、变形速率以及监测目的。监测周期应能反应超高层建筑变形规律。施工过程中,一般每加高1~2层观测1次,通常情况超高层建筑建成初期变形速度较快,监测频率要大一些,根据超高层变形情况,适当增减监测频率。周边环境发生巨大变化,如深基坑施工、轨道交通盾构施工,经历内涝、地震、台风等,应加大监测频率。超高层健康监测宜试行自动实时监测。

## 3 超高层建筑变形监测措施

超高层建筑变形监测宜综合运用多种监测手段,监测措施一般针对超高层建筑水平位移、垂直位移、核心筒倾斜、挠度以及建筑结构内力等进行监测。

### 3.1 水平位移监测

超高层建筑水平位移监测应根据建筑类型、风格、周边环境等确定监测方案。水平位移监测可采用基准线法、交会法、极坐标法、GNSS测量、激光扫描、近景摄影测量法、地基InSAR法、位移传感器等多种监测方法。如对日照、风

荷载对超高层建筑变形影响进行动态监测时,宜采用GNSS测量方法或智能全站仪进行。

### 3.2 垂直位移监测

超高层建筑垂直位移监测也称为沉降观测,主要包括基础沉降和主体结构沉降,垂直位移监测贯穿于整个超高层建筑施工期间,并延续至使用期。超高层建筑施工期间,由于建筑场地环境复杂沉降观测一般采用水准测量或三角高程方式进行;运行期间一般采用水准测量和静力水准测量方式进行,静力水准测量有助于监测的自动化实施。特别指出的是三角高程测量方式只能在其他方式无法使用或观测精度能满足监测要求时才可使用。

### 3.3 倾斜监测

超高层建筑倾斜监测应根据建筑特点现场条件,采用垂准法、经纬仪投点法,全站坐标法、水准测量以及倾斜仪测计等方法。测站点点位应选在监测目标接近直角或成等分角的方向线上,并距照准高度1.5至2.0倍距离的固定位置处。

### 3.4 超高层建筑健康监测

超高层建筑健康监测是通过传感器对建筑结构内力、运行状态等数据进行感知。结合常规变形监测数据,依托光电传感器对风荷载、日照、雨量等数据获取,以及利用振弦式传感器、光纤传感器等对超高层建筑结构应力、压力、加速度等数据进行获取,并利用大数据、人工智能等技术手段对多种监测数据综合分析以获取超高层建筑运行状态下的健康状况。基于互联网、大数据以及人工智能的超高层建筑健康监测系统,可实现数据成果分析的专题可视化,实现数据的智能呈现与挖掘,以及实现超高层建筑运行相关系统如安全监控、机电控制、应急指挥等集中式运行。

## 4 变形监测数据分析

超高层建筑变形监测数据分析主要采用比较法、作图法、回归分析法、灰色系统分析法等分析归纳结构变形、内力变形等过程、幅度和规律,分析变形的原因、变形值与引起变形因素之间的关系,并对变形的发展趋势进行预测。

### 4.1 分析原则

监测点的变形分析应基于以稳定的基准点作为平差基准计算所得的成果;相邻两期观测点的变形分析,通过比较相邻两期的变形量与测量极限误差(取2倍中误差)来进行,当变形量小于测量极限误差时,可认为该观测点在这两个周期内没有变形或变形不显著;对多期变形观测成果,当相邻周期变形量小,但多期呈现出明显的变化趋势时,视为有变形。

### 4.2 分析方法

根据监测数据特征主要采用比较法、作图法、特征值统计法进行分析<sup>[3,4]</sup>。

比较法是通过对比分析监测物理量量值的大小及其变化规律是否合理,判定建筑(构)物所处的状态是否稳定,具体内容有(1)将相同部位(或相同条件)的监测量相比

较；(2)将监测值与理论的或试验的成果相比较；(3)将监测值与技术警戒值相比较；(4)与作图法、特征统计法和回归分析法等配合使用。

作图法是画出相应的过程线图、相关图、分布图以及综合过程线图来了解和分析观测值的变化大小及其规律，找出影响观测值的荷载因素和其对观测值的影响程度，并且判断观测值有无异常。

特征值统计法是以监测物理量的最大值和最小值、变化趋势和变幅、地层变形趋于稳定所需的时间、以及出现最大值和最小值的工况、部位和方向等为特征值，对特征值的统计与比较辨识监测物理量的变化规律是否合理并得出分析结论。

目前监测数据处理与分析逐步向自动化、智能化、系统化、网络化发展，由于超高层建筑变形的不确定性和错综复杂性，人工智能在变形监测数据分析中的作用也将会得到加强。

## 5 结束语

文章对比分析了超高层建筑常见结构的特点、力学特征以及超高层建筑变形监测内容，讨论了超高层建筑结构在施

工和运营阶段常用的监测方法、相关技术方法以及监测数据的分析方法，对超高层建筑施工及运行过程中的变形监测工作具有一定的借鉴和参考意义。

## 参考文献

- [1]刘文聪,朱博莉,王宏业等.某高层建筑混凝土核心筒-外框架竖向变形差值研究[J].施工技术(中英文),2022,51(4):108-113.
- [2]杨蔚彪,齐五辉常为华,官贞超基于中国尊大厦项目的高烈度区巨型超高层结构设计关键技术研究建筑结构,2019,49(18):39-48.
- [3]肖从真,王翠坤,李建辉.超高层建筑结构新技术[M].北京:中国建筑工业出版社,2021.
- [4]秦波.浅谈高层建筑在建设中变形监测方法[J].建材与装饰,2022,18(13):147-149.
- [5]王杨.有限元分析在超高层建筑变形计算中的应用[J].建筑技术开发,2022,49(5):127-129.
- [6]冯艳顺,赵万东,王红夺,等.基于灰色系统理论的高层建筑变形分析应用研究[J].测绘与空间地理信息,2021,44(5):188-190,195.