

深圳建筑产业生态智谷总部基地项目 结构健康监测任务书

2024 年 3 月 3 日

目录

一、 概述	1
1.项目概况	1
2.风气候资料	1
3.工程地质条件	2
二、 监测规范和依据	2
三、 监测总体要求	3
四、 系统构成	3
五、 监测对象及监测内容要求	7
1、 监测对象	7
2、 1 栋一单元健康监测系统	7
2.1 工程概况	7
2.2 结构体系	8
2.3 结构健康监测内容和测点布置	9
2.3.1 监测内容	9
2.3.2 结构荷载与作用	9
2.3.3 周期、阻尼和振型（基于加速度）	10
2.3.4 结构顶点位移与最大层间位移角	11
2.3.5 底部大堂和穿层柱底部应力监测	12
3. 1 栋二单元健康监测系统	13
4、 1 栋六、七单元健康监测系统	14
5、 1 栋十单元健康监测系统	15
6、 监测内容汇总	16
六、 监测系统设计	17
1、 风速风向监测设计	18
2、 地震作用监测设计	19
3、 振动监测设计	20
4、 层间角位移监测设计	21
5、 应力应变监测设计	22
6、 数据采集系统设计	23
七、 监测平台设计及要求	24
八、 后期服务	25

一、概述

1.项目概况

本项目位于深圳市龙岗区，场地北邻鹰咀路，西接鹰晖路，南邻清辉路，东侧为清耀路。本项目总用地面积 4.24 万平方米，总建筑面积 24.84 万平方米，其中地上面积 18.31 万平方米，地下 6.53 万平方米。场地内建 10 栋塔楼，建筑总平面如图 1 所示。其中 1 栋一单元 184.750 米，钢框架-核心筒结构体系；1 栋二单元约 91.350 米，框架-核心筒结构体系；1 栋三单元 14.3 米，框架结构体系；1 栋五单元 26.850 米、1 栋六单元 84.250 米、1 栋七单元 90.850 米，均为框架-剪力墙结构体系；1 栋十单元为高 20 米的会展中心，空间钢结构体系。

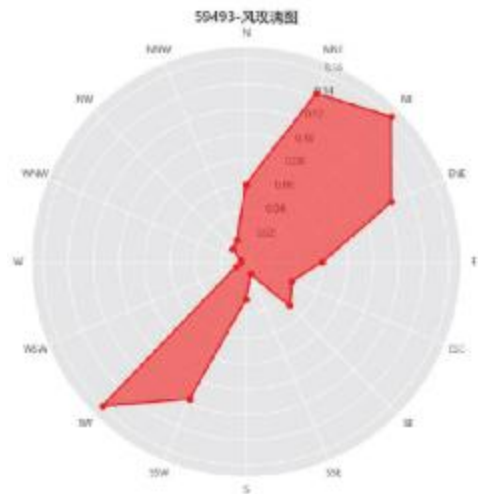


图 1 项目总平面图

2.风气候资料

根据深圳气象站（台站区站号：59493）近 20 年（2003-2022）历史测风资料统计，深圳市年平均风速为 2.17498m/s，出现概率最大的风向为东北（NE）

和西南(SW), 其次是北北东(NNE), 出现概率分别为 16.12%、16.00% 和 14.34%。



深圳市气象站累年日最大风速风向玫瑰图

3.工程地质条件

根据《深圳市区域稳定性评价》(地质出版社, 1991 年), 场区的区域地壳稳定性等级为基本稳定。场地稳定性为稳定性差, 项目的建设适宜性差, 但可通过采用桩基等措施后进行工程建设。

本工程场地未见活动性断裂构造, 区域稳定性较好, 目前勘察场地大多地势较平缓, 场地未见滑坡、崩塌、地面塌陷、沉降等不利于工程建设的不良地质作用, 亦未发现有埋藏的古河道(只发现有暗渠)、沟浜、墓穴、防空洞等对工程不利的埋藏物, 但有岩溶发育。

二、监测规范和依据

本项目监测依据包含不限于以下规范及资料要求:

- a. 《结构健康监测系统设计标准》(CECS 333:2012);
- b. 《建筑与桥梁结构监测技术规范》(GB50982-2014);
- c. 《结构健康监测系统运行维护与管理标准》(T/CECS 652:2019);
- d. 《结构健康监测海量数据处理标准》(T/CCES 16:2020);
- e. 《结构健康监测系统施工及验收标准》(T/CECS 765:2020);
- f. 《工程测量标准》(GB50026-2020);

- g. 《建筑变形测量规范》(JGJ8-2016);
- h. 《全球定位系统(GNSS)测量规范》(GB/T 18314-2009);
- i. 《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ3-2010);
- j. 《钢结构设计规范》(GB 50017-2003) ;
- k. 《建筑楼盖振动舒适度技术标准》(JGJ-T441-2019);
- l. 甲方提供的图纸及其他相关资料。

三、监测总体要求

本监测系统的总体要求为：考虑结构具体形式和特点，将监测数据准确转化为工程设计参数，实现反馈验证结构设计，跟踪结构服役性能，及时评估结构在极端荷载作用下的安全性。同时，监测结果应在可视化平台快速查询和展示。监测内容及实施总体要求如下：

- 1) 结构整体性能监测：检测整体结构的响应、振动、位移等参数，确保结构整体性能稳定。
- 2) 关键构件损伤监测：对高层建筑、空间钢结构体的关键构件(如梁、柱、节点等)进行损伤监测，以早期发现潜在问题。
- 3) 环境因素影响监测：实时监测并记录环境因素（如温湿度、风载、雪载等)对结构的影响。
- 4) 健康监测数据管理：建立数据管理系统，实现监测数据的实时采集、处理、存储和分析。
- 5) 预警与应急响应机制：根据监测数据，建立预警系统，并在必要时启动应急响应机制。
- 6) 结构安全性评估：基于长期监测数据，对高层建筑的结构安全性进行评估，为结构的维护和加固提供依据。

四、系统构成

结构健康监测系统主要包括传感器子系统、数据采集与传输系统、数据处理与管理系统、结构健康评估与预警系统、支持保护系统以及可视化平台等，具体

如下:

1.传感器子系统

传感器系统由以下所建议（但不限于）的传感器组成，传感器类型、数量汇总见下表：

表 1 建议传感器列表

序号	项目	单位	品牌要求
1	动态倾角仪	台	进口
2	静应变传感器	台	国产
3	温湿度传感器	台	国产
4	风速风向传感器	台	进口
5	地震记录仪	台	进口
6	加速度传感器	台	国产

2.数据采集与传输子系统

由于超高层结构竖向布线困难，数据采集应避免传统集中式采集方法，采用分布式同步采集的方式，方便采集设备的安装与后期维护。数据传输采用 4G(5G) 技术实现无线传输。不同采集设备之间时间同步精度应小于 1ms，保证不同测点振动信号相位同步。

数据采集与传输子系统的功能是实现传感器数据的采集、信号调理和数据传输。不同的传感器信号经过相应的信号调理模块进行调理和采集模块进行转换后形成统一的数字信号，这些数据经预处理后发送至监控中心的应用服务器中，由数据处理与评估系统进行运算处理后，最终传输至数据管理系统进行存储，提供监测结果评估和预警平台，在互联网环境传输至电脑端和手机端，为管理者提供方便实用的监管手段。

3.数据处理与管理系统

1) 数据处理

鉴于监测的结构信息包含海量时间序列数据，分析过程耗时长，为了及时反馈结构信息和增加运算效率，数据分析过程被划分为前处理与后处理两部分。数据前处理侧重于数据的实时信息提取，并能够自动判断信号质量;数据后处理侧重于数据的长期信息提取。

自动跟踪识别结构的动力特性。基于加速度长期在线监测数据，实现结构动力性能的自动跟踪与识别，反映结构在不同荷载作用下，如长期温度荷载，短时台风荷载和地震作用下结构动力特性变化，从中提取结构劣化指标。

自动跟踪结构水平位移与层间位移角。基于动态倾角长期监测，可以实现结构不同楼层结构水平位移与层间位移角长期自动跟踪，评估结构服役状态下整体位移变化水平，科学评价结构运营状态下的安全性。

2) 数据管理

数据管理系统实现对结构监测过程中所获取数据的存储和管理，并对数据采集进行控制，通过该系统可进行数据的修改、删除、查询和打印输出等操作。数据管理子系统核心为数据库系统。结构监测信息与分析结果均需要存入数据库中，所有子系统均从数据库中读取和调用数据。

4.结构健康评估与预警系统

1) 实时评估

健康监测系统应结合结构数值模型分析技术，对结构状态进行实时评估。结构状态实时评估系统要求：

分析模型建立和标定。根据项目最终施工图，建立真实的结构分析模型。通过监测数据与分析模型的比对，根据结构的自振周期、阻尼比等整体指标，标定合理的结构模型参数。修正结构设计模型参数，获取表征结构服役性能的结构模型。

工程参数重计算。应基于监测数据修正的有限元模型和多尺度有限元模型，重新计算结构的工程设计参数，如位移比、层间位移角、刚度比、剪重比、刚重比等，与规范给定的限值进行对比，从结构总体性能指标的角度评价结构服役安全冗余度。

突发事件下，结构状态实时评估系统应将评估结果接入数据展示系统和业主开发的智能楼宇系统，需反馈的指标包括：结构所受最大荷载（地震加速度峰值及模态贡献度、最大风压/风速/风向等）、结构最大层间位移角、最大振动加速度及模态贡献度、阻尼比、振型和结构整体健康状态评分。

2) 安全预警

预警等级采用黄色预警和红色预警两级预警策略。建立面向工程设计参数的结构整体性能评估与预警方法，基于实测和计算的工程设计参数（如加速度幅值、

阻尼比、周期比、位移比、层间位移角、刚度比、剪重比、刚重比等等)与规范给定限值的对比进行预警。黄色预警表示建筑开始出现超过正常使用极限状态的情况,需加强监测频率并进行专项检查和防护。红色预警表示建筑已经出现超过承载力极限状态的情况,需进行结构全面检查和评估,并启动应急预案。

5.支持保护系统

此子系统为所有设备提供稳定电源供应,并提供防雷保护,保障“系统”稳定可靠的连续在线运行。采集站和监控中心设备均采用 220V 交流电压供电,同时,为了克服现场不稳定的施工环境,保证采集站长期稳定运行,各个采集站中设备采用 UPS 电源供电。

6.可视化平台

结构健康监测系统应包含可视化平台的建设。该可视化平台可以简洁直观的反应结构各项结构健康状态,为使用方了解结构状态提供可靠参考。在面对突发异常状况时,为使用方提供快速决策依据。该系统核心功能如下:

1) 在线显示和查询功能

监测系统应具备在线远程显示和查询功能,能使设计、施工各管理部门通过直观的三维模型、选取不同传感器方便地对监测数据进行在线远程显示和查询,授权使用者能远程下载监测数据。

2) 模态参数自动识别与跟踪功能

监测系统应基于监测的海量数据的实现结构模态参数(周期、振型与阻尼比)运营状态下的自动跟踪与识别。

3) 结构分析与设计验证功能

监测系统应具备结构修正有限元模型的功能。该项功能应确保可以修正设计及施工单位分析模型的,应能有效反映和结合实测的结构响应信息,反馈设计文件与施工方案。

4) 结构性态评估功能

监测系统必须具备自动将监测数据转化为有效的内力、响应与模态参数等工程参数,结合修正后的有限元模型,对结构性态进行全面准确的评估。

结构监测系统应具备数据融合功能。在性态评估中,应对不同数据来源进行分析、比对和信息融合工作,以确保通过有限的观测信息实现对结构性态尽可能准确的把握。

五、监测对象及监测内容要求

1、监测对象

根据项目特点，本项目实施健康监测的对象主要有：1 栋一单元（钢框架-核心筒结构体系）、1 栋二单元（框架-核心筒结构体系）、1 栋六、七单元（混凝土装配式模块化建筑）、1 栋十单元（空间钢结构体系）。

2、1 栋一单元健康监测系统

2.1 工程概况

深圳建筑产业生态谷总部基地 1 栋一单元塔楼结构屋面高度为 184.75m，为超高层办公楼。塔楼采用钢管混凝土柱-钢框架梁-混凝土核心筒结构体系，剪力墙均落地，地上 41 层（不含屋面机房层），地下 2 层，无裙房。标准层层高为 4.5 米，避难层设置于第 10 层、20 层和 30 层，层高分别为 5.1m、5.8m 和 6m。计算模型选取地下室顶板为嵌固端，结构剖面与三维图如下图所示：

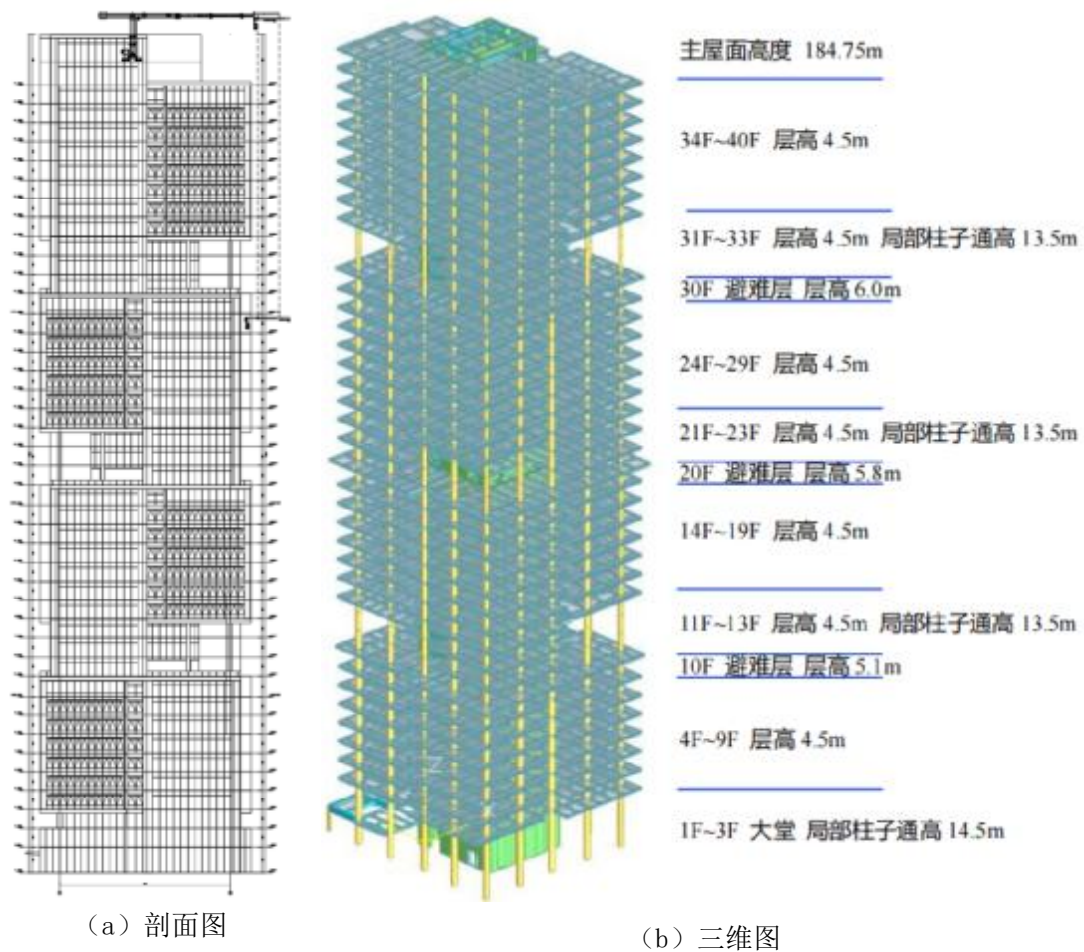


图 2 1 栋一单元结构剖面与三维图

2.2 结构体系

本工程采用钢管混凝土框架-钢筋混凝土体系，如图 2 所示。核心筒从基础顶面延伸至结构顶部，贯穿建筑全高。核心筒矩形布置，并随高度逐层收进。

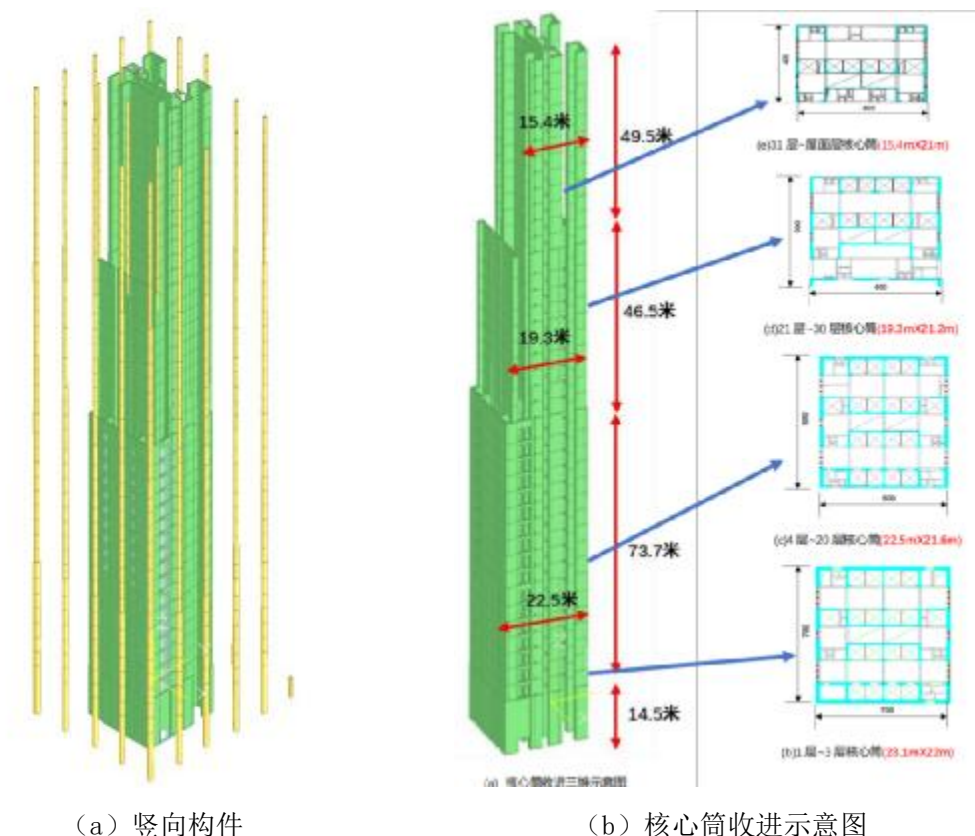


图 3 一单元结构体系

2.3 结构健康监测内容和测点布置

2.3.1 监测内容

根据超限报告显示，1 栋一单元塔楼属于高度不超限的**特别不规则**高层建筑工程，具体包括扭转不规则、首层 Y 向抗剪承载力突变、底部大堂和部分标准层存在穿层柱等局部不规则，因此，监测内容应包括

- 1) 关键构件的应变：穿层柱底部的应变监测。
- 此外，还包括
- 2) 结构荷载和作用：风荷载、温度荷载和地震作用；
- 3) 结构动态指标：周期、阻尼和振型（基于加速度）；
- 4) 结构舒适度和位移：塔顶加速度、位移与最大层间位移角。

2.3.2 结构荷载与作用

2.3.2.1 风速风向：在顶层安装一个风速（风向）仪就可获得风速和风向的相关数据，实现风速（估算风力）、风向的监测，如图 4 所示。

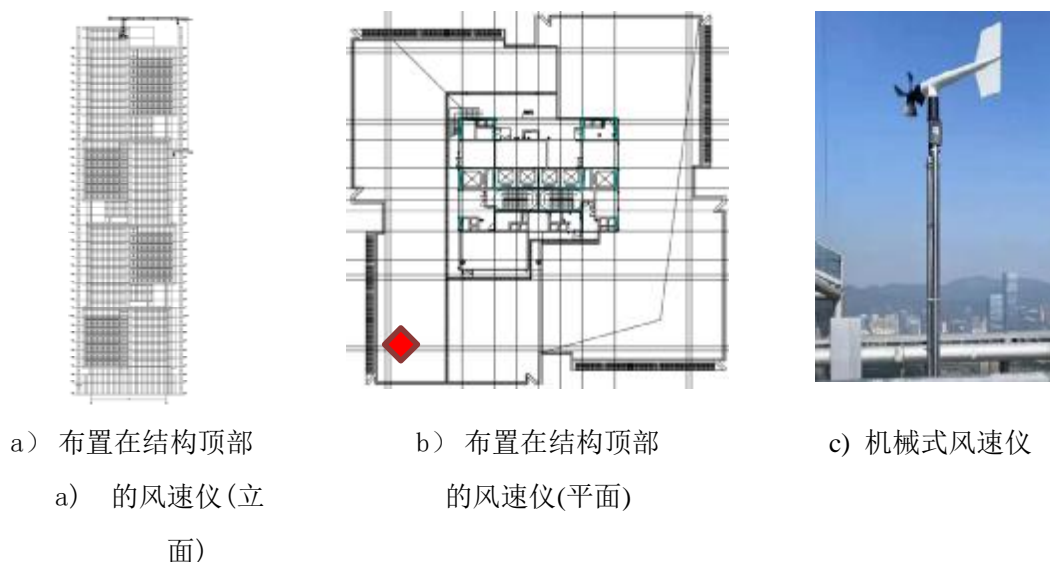


图 7 风速传感器安装位置

2.3.2.2 温度：温度传感器可以与加速度传感器布置在一起，监测结构的温度场，此外，振弦式应变传感器自带温度信息，也可以实现温度监测。

2.3.2.3 地震作用：地震作用可以三向加速度传感器进行监测，布置在塔楼地下室，实现 24 小时不间断监测获取地震响应。

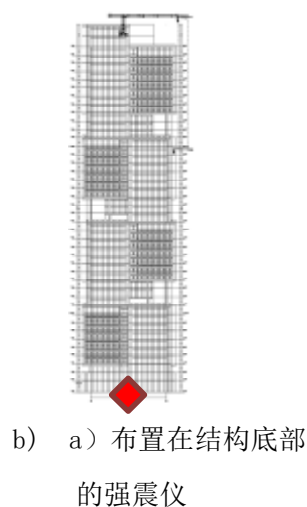


图 8 强震仪安装位置

2.3.3 周期、阻尼和振型（基于加速度）

通过加速度测试，可以获取结构真实的周期、阻尼和振型。在塔楼 3 个不同高程的避难层（10 层、20 层和 30 层）和顶层对角处各布置 4 个低频高灵敏度的加速度计，总共布置 $4 \times 4 = 16$ 个低频高灵敏度的加速度计。如图 9 所示。加速度测试可直接监测结构不同高程楼面的加速度响应，可用于对结构进行舒适性评估；

此外，通过模态分析可提取出结构的频率、模态和阻尼比等重要模态参数，从而实现基于模态参数的结构状态评估。

此外，顶层的加速度也可以用于评价结构的风振舒适度。

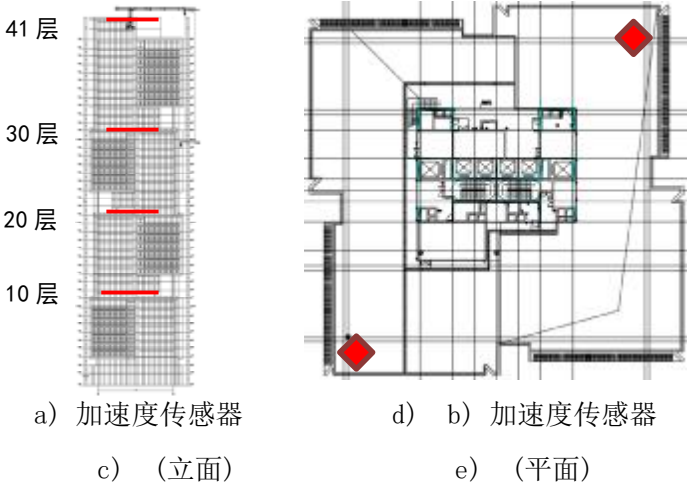


图 9 加速度传感器的安装位置

2.3.4 结构顶点位移与最大层间位移角

2.3.4.1 结构顶点位移：运营状态下，高层结构会以第一周期主导处于不断振动中，可以用动态 GNSS 监测结构顶部位移，同时基于动态倾角仪进行校核。

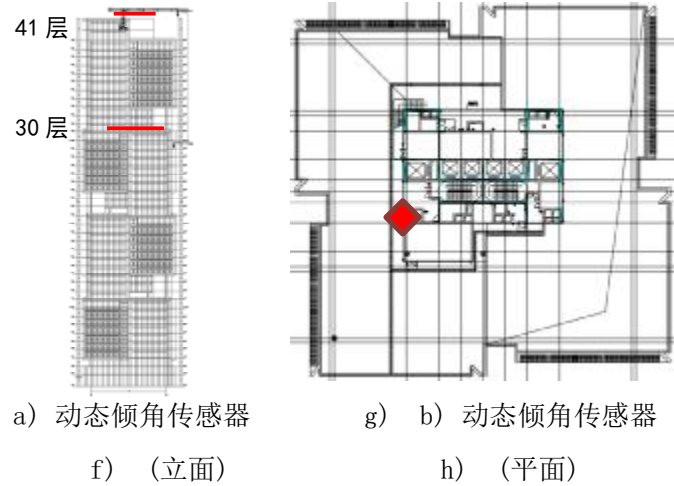


图 10 动态倾角仪的安装位置

2.3.4.2 最大层间位移角：基于修正的数值模型确定最大层间位移角所在楼层，在消防楼梯相应楼层布置位移传感器，量测楼梯上下平台之间的毫米级位移差值，用于估算最大层间位移角。

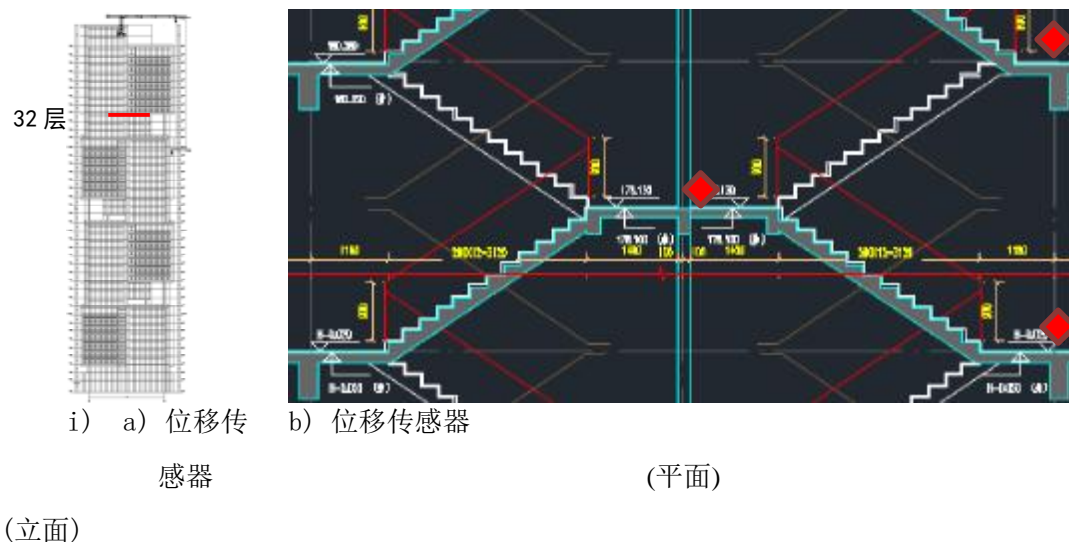


图 11 位移传感器的安装位置

2.3.5 底部大堂和穿层柱底部应力监测

该项存在底部大堂，11-13 层，21-23 层和 31-33 层存在 13.5m-14.5m 的穿层柱（图 12），建议在底部大堂和 11 层柱底安装应变传感器，对比各个柱施工和运营阶段的轴力变化。

底层布置 4 套 8 通道振弦应变式采集系统，11 层布置 4 套 8 通道振弦应变

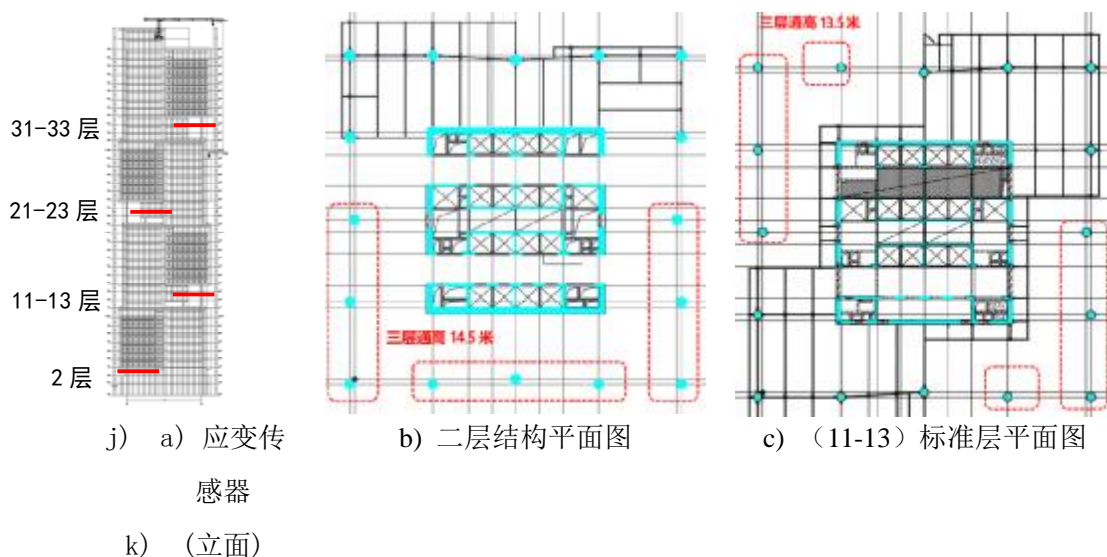


图 12 应变传感器安装位置

式采集系统，一共是 32 支振弦应变计。

3. 1 栋二单元健康监测系统

1 栋二单元的结构形式与 1 栋一单元类似，但高度较低，在四层和十四层存在混凝土悬挑端（图 13a）,长度为 1150mm+3050mm（图 14a）和 b)), 拟在每层悬挑段布置 2 套 8 通道监测设备 和 16 支振弦应变计，一共布置 4 套 8 通道应变采集设备和 32 支振弦应变计。

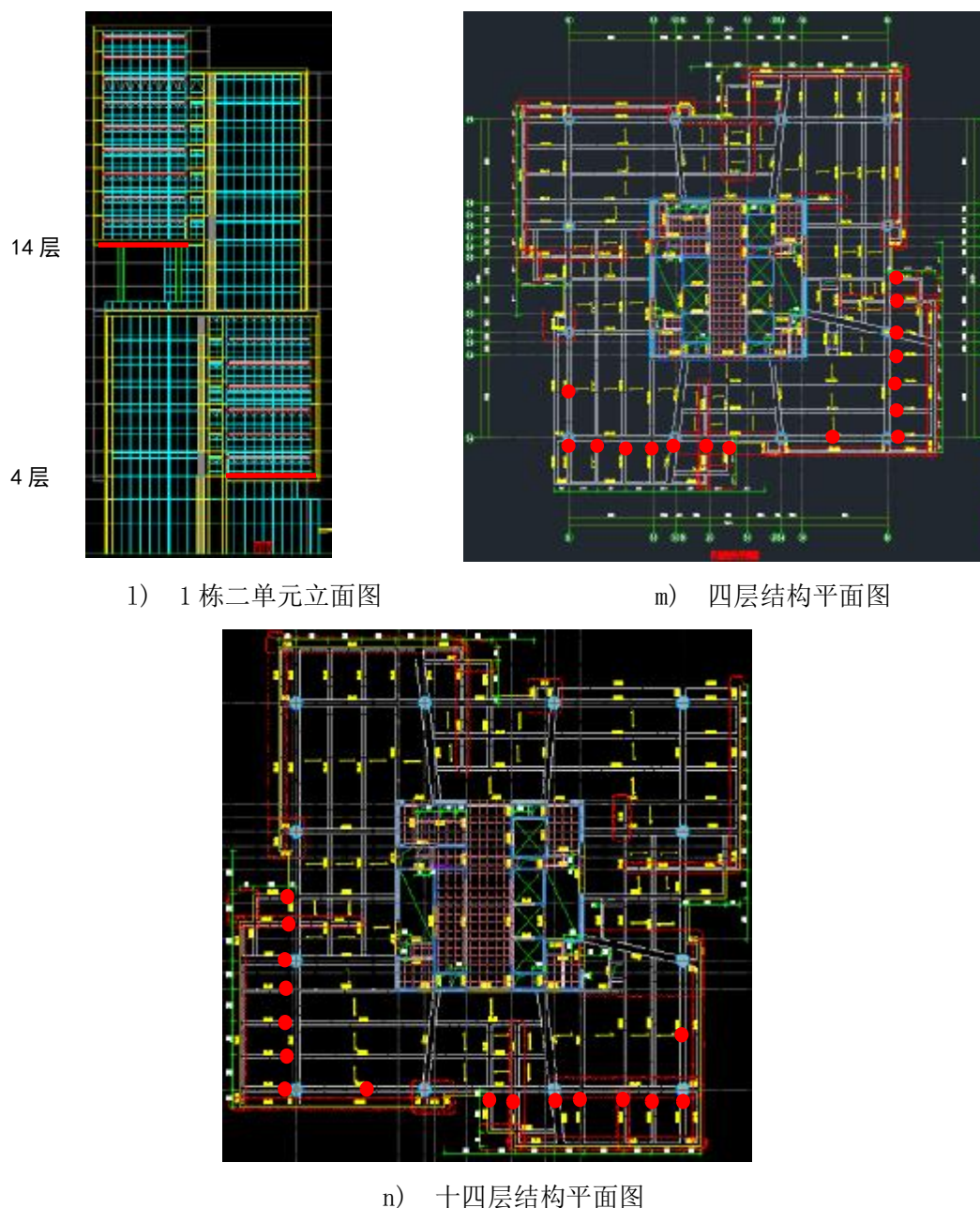


图 13 四层和十四层结构平面图

4、1 栋六、七单元健康监测系统

本项目 1 栋六单元与七单元拟采用装配式建筑（MiC 模块化建筑），混凝土 MiC（Modular Integrated Construction）结构是基于组装合成法建造的预制模块化混凝土建筑。它是将建筑先拆分成一个个模块单元，每一个模块单元在工厂进行生产、加工、组装、装饰装修等，当送到工地现场时，每个模块单元内基本达到精装修入住前的程度。MiC 建筑是一种集建筑、结构、装饰装修、机电、给排水与暖通等建筑全要素于一体、高度集成、新型高效的建筑形式。混凝土 MiC 结构在新加坡和香港等地应用较广，对内地而言是一种较新的装配式结构，目前尚没有完全针对该结构的国标或省标，主要是参考现浇结构和装配式结构相关规范进行设计。

本项目拟通过七单元开展施工与运营阶段监测技术及应用研究，通过结构长期监测数据来揭示混凝土 MiC 建筑结构性性能发展趋势，使该结构在我国的混凝土结构技术体系下能取得更高质量的推广和应用。具体监测方案如下：

1) 动态在线跟踪系统：在结构顶层布置 4 个加速度计和 2 个动态倾角仪，以及一套 6 通道采集设备，在线跟踪结构在环境激励下的加速度和位移响应，如图 14 所示；



图 14 动态在线跟踪系统

（采集设备与两个倾角仪布置在楼梯间，在东北和西南各布置两个加速度传感器）

2) 进行基准倾角位移试验, 确定倾角位移参数, 用于在线估计水平位移;

3) 进行基准模态试验, 用于长期跟踪结构刚度变化;

4) 在结构四层 (MiC 起始层) 现浇剪力墙和两侧模壳共三个墙体的上端和
下端, 预埋或表面张贴 1 个应变花, 并安装 1 套 8 通道采集设备, 共计 6 个应变
花, 以及 6 套 8 通道采集设备, 在线评估模壳在施工与运营阶段的应力水平发展。
由于目前设计图纸并非 MiC 结构, 现浇剪力墙测点布置位置初步定在消防楼梯
的剪力墙中, 另外沿着轴线, 在北侧和南侧模壳墙体表面张贴应变花, 如图 15
所示。

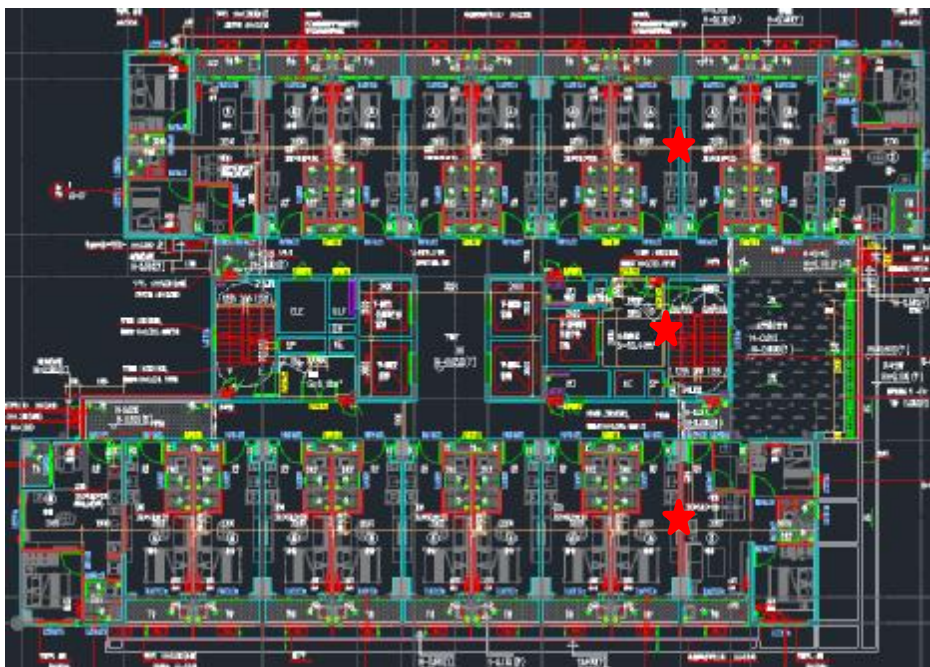


图 15 剪力墙与模壳应变监测系统

5、1 栋十单元健康监测系统

1 栋十单元为空间钢结构, 建筑高度 19.9 米, 结构相对比较简洁, 如图 16 所示。拟布置 4 套 16 通道振弦应变传感器, 分别布置在跨度较大的 1-1 和 2-2 截面屋顶和 1 层屋面的跨中。

在 1 层屋面的地面, 可以布置 1 套毫米波雷达, 长期监测屋面的竖向位移变化, 实现结构的状态评估。

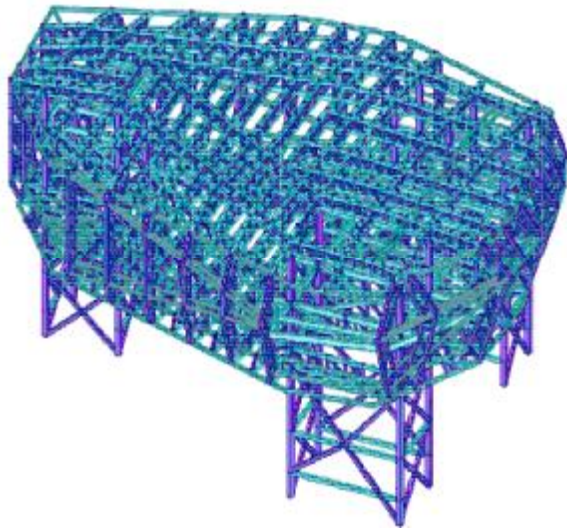


图 16 1 栋十单元模型图

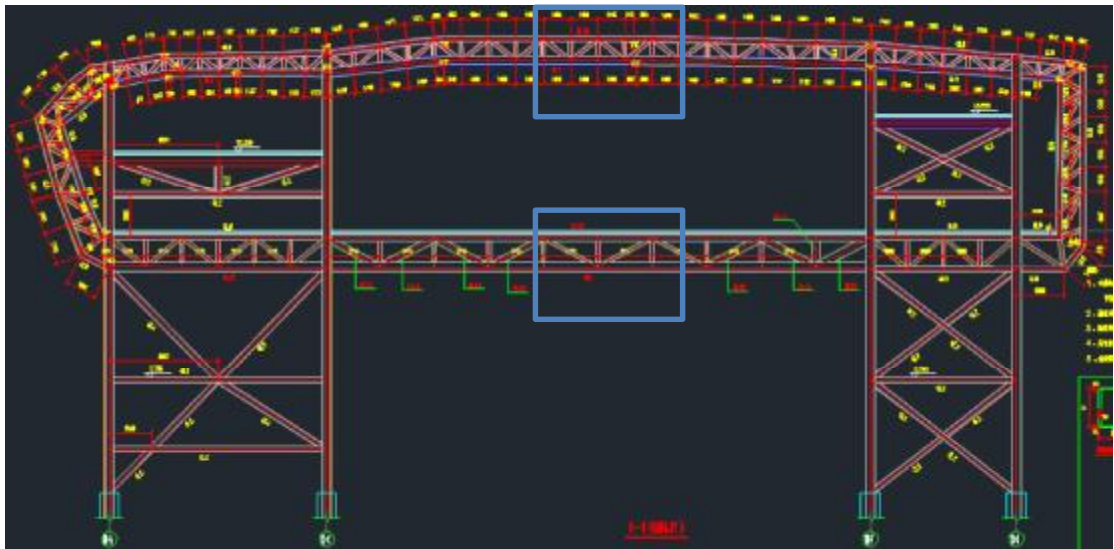


图 17 截面 1-1：1 层和屋顶跨中各布置 1 套 16 通道振弦式应变传感器

6、监测内容汇总

根据《建筑与桥梁结构监测技术规范》GB 50982-2014，以及超限报告，岩土工程详细勘察报告，抗震设计可行性论证报告等材料。

本项目监测对象及监测内容说明如下表，监测内容包括风速风向，地震作用，振动监测，角位移监测，应力应变及结构温度监测，竖向位移监测等。

监测对象及内容一览表

序号	监测对象	位置楼层	监测内容	测点数量	传感器	传感器数量
1	1 栋一单元	顶楼 /41F	风速风向	1	风速仪	1
2			水平振动	2	加速度计	4
3			塔楼倾斜	1	倾斜仪	2
4		31F/30F	水平振动	2	加速度计	4
5			塔楼倾斜	1	倾斜仪	2
6			结构温度	4	温度计	4
7			31 层关键截面应变	8	应变计	8
8		20F	水平振动	2	加速度计	4
9			结构温度	4	温度计	4
10		11F/10F	水平振动	2	加速度计	4
11			结构温度	4	温度计	4
12			11 层关键截面应变	8	应变计	8
13		1F	1 层关键截面应变	8	应变计	8
14		基于修正模型确定	最大层间位移监测	6	位移传感器	6
15	地下室	地下室	地震作用	1	地震仪	1
18	1 栋十单元	屋面	竖向位移	3	毫米波雷达位移计	3
19		屋面	应变监测	4	应变计	16
20		屋面	温度计	4	温度计	4
21	1 栋六七单元	首层	应变监测	6	应变计	18
22		首层	温度计	6	温度计	6
23		顶层	水平振动	2	加速度计	4
24		顶层	倾斜	1	倾斜仪	2
25	1 栋二单元	4 层/14 层	应变监测	16	应变计	32
26			温度监测	12	温度计	12
27	合计			124		177

六、监测系统设计

监测系统是提供获取结构信息的工具，使决策者可以针对特定目标做出正确

的决策，设计原则如下：

（1）保证系统的可靠性：由于结构安全监测系统为实时运行，需保证系统的可靠性，否则先进的仪器，在系统损坏的前提下也发挥不出应有的作用及效果。

（2）保证系统的先进性：设备的选择、监测系统功能与现在技术成熟监测及测试技术发展水平、结构安全监测的相关理论发展相适应，具有先进和超前预警性。

（3）可操作和易于维护性：系统应易于管理、易于操作，对操作维护人员的技术水平及能力不应要求过高，方便更新换代。

（4）系统具有远程固件升级功能：根据系统自检以及系统需求可通过远程固件进行完善，且系统具备各种类型的通讯协议和接口，可为后期设备升级服务。

（5）以最优成本控制：监测系统的一个原则就是利用最优布控方式做到既节省项目成本、后期维护投入的人力及物力，又能最大限度发挥出实际监控量测的效果。

1、风速风向监测设计

监测目的：获取结构在强风(台风)作用下外表面静态和动态压力的分布特征和横向满流特性及其动力响应。这些数据对于理论研究、结构抗风设计、幕墙设计以及风致振动控制都具有重要的参考价值。超高层建筑需要承受更大尺度的湍流。因此，高层建筑风速监测对于保障建筑物的安全性和稳定性具有重要意义。

监测测点：风速仪设置在 1 栋一单元结构的顶层，高于顶部 1m，并处于避雷针的覆盖范围之内。

监测设备技术要求：风速仪量程应大于设计风速，风速监测精度宜为 0.1m/s，风向监测精度宜为 3°。

风速仪的技术要求

项目	技术要求
测量参数	水平风速、风向
风速	测量范围：0~100m/s 误差 $\leq \pm 0.3\text{m/s}$
风向	测量范围：0~360° 误差 $\leq \pm 3^\circ$
采样频率	$\geq 10\text{Hz}$



风速仪示意图

2、地震作用监测设计

监测目的：超高层建筑地震作用监测的主要目的是确保超高层建筑的安全性和稳定性。在地震等自然灾害发生时，超高层建筑可能会受到严重的破坏，导致人员伤亡和财产损失。通过监测地震作用，可以及时发现建筑物的损伤情况，评估其安全性，并采取必要的措施来减轻或避免灾害造成的损失。

监测测点：地震仪部署在 1 栋一单元地下室地面。

监测设备技术要求：

传感器主要技术参数：

- 1、三分向一体结构
- 2、测量范围:± 4g
- 3、动态范围:优于 140dB 线性度优于 0.2%。

采集器主要技术参数：

- 1、分辨率: ≥ 24 位

- 2、采样率:1、10、20、50、100200 及 500sp.s 可设置
- 3、时间同步误差:优于 0.0015ms 内置存贮介质:≥32GB
- 4、宽电压、低功耗



地震仪示意图

3、振动监测设计

监测目的: 本项目 1 栋一单元振动监测的主要目的包括以下几点:

- 1) 结构安全评估:通过对建筑物的振动监测,可以分析结构的动力特性和稳定性,判断其是否处于安全状态。
- 2) 抗震设计验证:在地震等外部激励下,超高层建筑的振动响应可以反映其抗震性能。通过监测,可以验证抗震设计的有效性。
- 3) 风振分析:在风的作用下,超高层建筑会产生振动。振动监测可以帮助分析风振对结构的影响,确保结构的安全。
- 4) 舒适度评估:对于超高层建筑的使用者,结构的振动会影响其舒适度。通过监测,可以对舒适度进行评估,确保满足使用要求。
- 5) 故障诊断与预警:通过监测建筑物的振动,可以及时发现异常振动和潜在的故障,为维修和预警提供依据。
- 6) 响应优化:对于一些特殊用途的超高层建筑,如高精度仪器安装或高灵敏度设备,振动监测有助于优化结构的动力响应。
- 7) 历史数据记录:长期振动监测可以记录建筑物的历史振动数据,为结构健康状况的长期评估提供依据。
- 8) 预防性维护,通过定期或持续的振动监测,可以预防性地发现和解决潜在的结构问题,提高建筑物的使用寿命。

总之，超高层建筑振动监测对于确保结构安全、验证设计、提高使用舒适度、促进科学研究以及符合法规要求等方面都具有重要的意义。

监测测点：在 1 栋一单元，顶楼 41 层/30 层/20 层/10 层，每层 2 个测点，每个测点部署 2 个加速度传感器，一共 16 个。

监测设备技术要求：

加速度传感器的主要技术指标

项目	力平衡加速度计	电动式加速度计	ICP 压电加速度计
灵敏度 (V/ (m/s ²))	±0.125	±0.3	±0.1
满量程输出 (V)	±2.5	±6	±5
频率响应 (Hz)	0~80	0.25~80	0.3~1000
动态范围 (dB)	≥120	≥120	≥110
线性度误差 (%)	≤1	≤1	≤1
运行环境温度 (℃)	-10~+50	-20~+50	-10~+50
信号调理	线性放大、积分	线性放大、积分	ICP 调理放大



加速度传感器示意图

4、层间角位移监测设计

监测目的：高层建筑层间角位移监测的主要目的是限制结构在正常使用条件下的水平位移，确保高层结构应具备的刚度，避免产生过大的位移而影响结构的承载力、稳定性和使用要求。

监测测点：在 1 栋一单元 41 层/30 层，每层布置 1 个测点，每个测点安装 2

个倾斜传感器，共 4 个。在 1 栋 7 单元顶层布置 1 个测点，安装 2 个倾斜传感器。

监测设备技术要求：

量程： $\pm 15^{\circ}$ ；

满量程输出：0~5V；

灵敏度（V/g）：10.0；

频率带宽（Hz@-3dB）：15；



倾角传感器示意图

5、应力应变监测设计

监测目的：应力应变监测的目的是了解高层建筑在工作状态下的受力、变形情况，具体来说，包括以下几个方面：

1) 安全性评估:通过监测高层建筑的应力应变状态，可以评估其结构安全性和稳定性，及时发现潜在的结构问题防止因结构失稳而引发的安全事故。

2) 抗震能力分析:在地震等自然灾害发生时，高层建筑的抗震性能至关重要。通过应力应变监测，可以分析高层建筑在地震作用下的动态响应，评估其抗震性能，为改进和优化建筑设计提供依据。

3) 疲劳损伤评估:长期的应力应变循环作用可能对高层建筑造成疲劳损伤。通过监测和分析，可以评估结构的疲劳损伤程度，预测其剩余寿命，为维护 and 更换决策提供依据。

4) 环境影响评估:高层建筑受到温度、湿度、风力等环境因素的影响，这些因素可能引发结构的应力应变变化。通过监测和分析，可以评估环境因素对高层建筑的影响程度，为建筑的正常使用和维护提供参考。

5) 结构健康监测与预警:通过对高层建筑进行长期、持续的应力应变监测，

可以实时掌握结构的健康状态，对其异常变化进行预警，为及时采取维护措施提供支持。

总的来说，高层建筑应力应变监测对于保障建筑的安全性、优化设计、提高施工质量和保证环境友好等方面都具有重要的意义。

监测测点：在 1 栋一单元 31 层/11 层/1 层，每层 4 个测点共 12 个测点，每个测点安装 2 个传感器，共 24 个应变传感器。在 1 栋二单元，14 层/4 层每层 4 个测点共 16 个，每个测点 2 个传感器，共 32 个应变传感器。在 1 栋七单元 4 层，布置 6 测点，每个测点 3 个传感器，共 18 个；

监测设备技术要求：

应变计的技术要求

项目	技术要求
测量范围	-1500 $\mu\epsilon$ ~+1500 $\mu\epsilon$
分辨力	$\leq 0.5 \mu\epsilon$
误差	$\leq \pm 2 \mu\epsilon$



应变计示意图

6、数据采集系统设计

采集站和中心采集仪满足数据的幅值、分率和容量的要求。

由于本项传感器系统空间分布较分散，考虑设置多个采集站，各采集站与中心信号采集仪相连。

监测系统包含防雷击、防渗水;机箱应有接地措施；当所测光、电等信号微弱以致不易获得时，宜选择能满足采集系统要求的信号放大器;信号放大前应进

行合理滤波以提高信噪比;信号放大器的安装位置应满足其所需的环境要求。

信号采集时,数据采集站位置应明确,能满足采集站安全环境、电力、通信路径等要求。建议设置在结构物的计算机或消防控制中心,并采用稳定的工控机。

一级监测(在线实时监测系统)要求传感器系统数据采集与传输系统、损伤识别与安全评定系统数据管理系统全天候工作,实现在线监测;二级监测(定期在线连续监测系统)只在规定的连续时间(如每年 1 个月)传感器系统、数据采集与传输系统损伤识别与安全评定系统、数据管理系统工作,实现在线监测;三级监测(定期监测系统)不需要监测系统,只在规定的时间采用无损检测技术获取需要的结构信息,并借以评定结构的安全性。一般而言,一级监测需要的费用投入最大、二级监测次之、三级监测最少。

严格同步要求信号时间的时间差不超过 0.1ms,伪同步的时间差要满足响应的安全评估需要。

数据采集设备的技术要求

项目	技术要求
测量范围	-10V~+10V (可定制)
分辨力	24位 AD
误差	≤0.01%
采样频率	≥100Hz (可定制)
时间同步	IEEE1588、卫星授时系统等
共模干扰	120dB

七、监测平台设计及要求

监测系统用交互要求自上分为三个层面:应用层(或表现层)、逻辑层和模型层(或数据存储层)。表现层主要是人机交互,体现的是用户与系统之间的互动;逻辑层包括监测系统与数据库系统之间的交互,体现对采集数据的处理逻辑和建立于各种数据模型之上的业务逻辑;模型层主要体现于系统建立的数据模型,包括数据库中存储的各种数据信息模式以及各种分析、评估模型等。

人机交互要充分考虑用户的使用习惯和感受。系统设计和实现时要界定哪些

信息应由用户输入, 尽量避免因为人为因素造成的数据输入错误和操作错误。在出现各种人为输入异常时系统要具有出错提醒、容错的能力, 并建议系统能够给用户提供实时的智能帮助信息。

此外, 对于用户所操作的一些关键业务点采用日志进行自动记录。

监测系统与数据库的交互包括监测系统对监测设备数据库、监测信息数据库、结构模型信息数据库、评估分析信息数据库和用户数据库等进行数据储存、处理请求和提取: 数据库管理系统利用自身的管理和处理功能为监测系统提供相应的信息服务。为确保采集数据正确送达并储存, 数据传输系统和数据库系统之间需要采用一定的数据报文协议进行通信, 协议要包含传感器自身的标识信息、监测数据信息、校验信息和应答信息等。如果采集的信息不能够正确送达, 监测系统根据接收的内容可以要求数据传输系统再次发送之前缓存的信息, 正确接收后, 监测系统要向数据传输系统发送应答信息。

分布式数据库之间的协作交互要求系统实现时充分利用商业数据库管理系统所支持的分布式数据管理能力实现系统数。

八、后期服务

本次采购服务合同期为 7 年, 包含 2 年建设期及 5 年运营期, 在施工期间, 根据施工的时序及时安装各部位传感器, 并且根据施工需要提供相关监测数据。在项目运营阶段, 实时在线监测, 主要有以下内容:

(1) 在项目运营后, 第 1 年每季度提交监测报告不少于 1 次, 1 年后每半年提交监测报告不少于 1 次。

(2) 运营过程中如遭遇极端气候条件(台风、特大暴雨)及地震等偶然情况下, 需提交监测报告, 根据实测数据评估原设计, 并提出解决方案。

(3) 总体监测时间为项目竣工验收后不少于 5 年。