

超高层建筑结构健康监测实施方案



简测科技

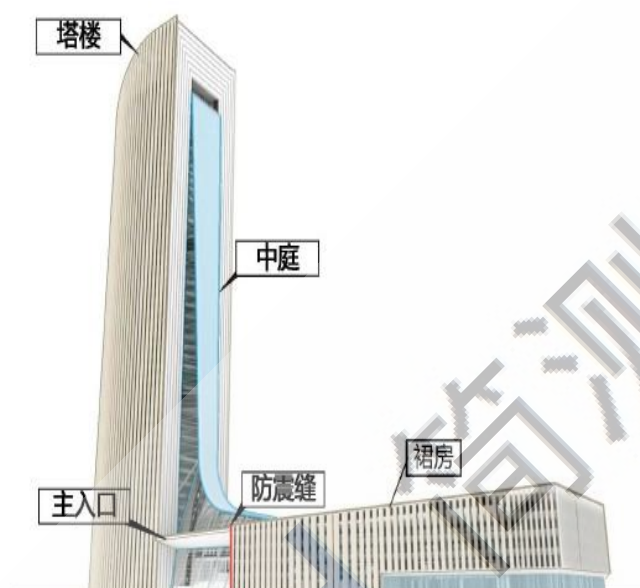
二〇一四年十月

目 录

1 工程概况	1
2 编制标准及依据	1
2.1 主要标准、规程、规范.....	1
2.2 其它依据.....	1
3 结构受力特性简介	2
4 监测内容	3
4.1 应力应变监测.....	3
4.1.1 监测点布置原则.....	3
4.1.2 监测点位置及数量.....	4
4.1.3 应力应变监测传感器.....	17
4.1.4 监测方法及过程.....	21
4.1.5 监测成果.....	21
4.2 位移监测.....	21
4.2.1 监测点布置原则.....	22
4.2.2 监测点位置及数量.....	22
4.2.3 位移监测设备.....	32
4.2.4 监测成果.....	32
4.3 温度监测.....	32
4.3.1 监测内容.....	33
4.3.2 监测点布置.....	33
4.3.3 监测设备.....	39
4.3.4 监测成果.....	42
5 监测成果	42
附件：测点一览表	

1 工程概况

本工程建筑面积约 217618.86 m²。地上 46 层，地下 3 层；钢管混凝土柱钢框架、钢筋混凝土核心筒混合结构、钢框架结构、框架剪力墙结构；塔楼高度塔楼建筑高度：195.45m;裙楼建筑高度：23..25m。



2 编制标准及依据

2.1 主要标准、规程、规范

- (1) 《建筑结构检测技术标准》(GB/T 50344-2004)
- (2) 《混凝土结构设计规范》(GB50010-2010)
- (3) 《混凝土结构工程施工质量验收规范》(2011 版)(GB50204-2002)
- (4) 《钢结构设计规范》(GB 50017-2003)
- (5) 《钢结构工程施工质量验收规范》(GB 50205-2001)
- (6) 《建筑变形测量规范》(JGJ 8-2007)
- (7) 《工程测量规范》(GB 50026-2007)

国家及地方现行的建设标准、规范、规程及相关文件。

2.2 其它依据

- (1) 设计图纸及设计相关资料；
- (2) 业主方提供的其它资料。

3 结构受力特性简介

本工程结构高度 195.45 米，抗震设防烈度 8 度（0.20g），塔楼为框架—核心筒+加强层结构体系，外框采用钢管混凝土柱+型钢梁结构，内筒为混凝土剪力墙核心筒。主楼与裙楼之间的过渡采用门式悬索钢桁架体系。南侧主入口雨篷采用空间钢桁架结构体系。具有位于高烈度区、结构高度超限、平面布置不规则、幕墙结构复杂等特点。

裙房结构地面以上由抗震缝分为东西二段。西段部分裙房及主入口结构和塔楼结构体系相连。相连部分裙房地面以上采用钢结构柱，组合梁和组合楼面，抗侧体系由塔楼和钢中心支撑体系提供。东段独立部分为钢筋混凝土框架-剪力墙结构。

塔楼采用框架-核心筒结构体系，其中外框架采用钢管混凝土柱+型钢梁结构，核心筒部分为混凝土剪力墙结构。利用 12 层、27 层、42 层三个避难层，在第 27 层设置加强层（伸臂桁架+环带桁架），在第 12 层外框周边设置腰桁架（图 2a）。塔楼平面东侧中厅大跨度室内空间采用在避难层设置转换桁架和吊柱的结构方案来实现，2~11 层、14~26 层、29~41 的吊柱，分别悬吊于 12 层、27 层、42 层的转换桁架上。楼面系统采用组合楼板和钢组合梁。为减少梁板的跨度，周边框架和核心筒之间布置了二个内部柱（图 3.1）。

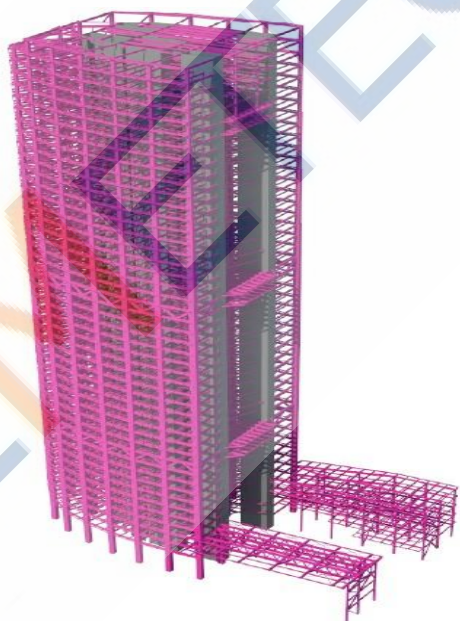


图 3.1 整体计算模型

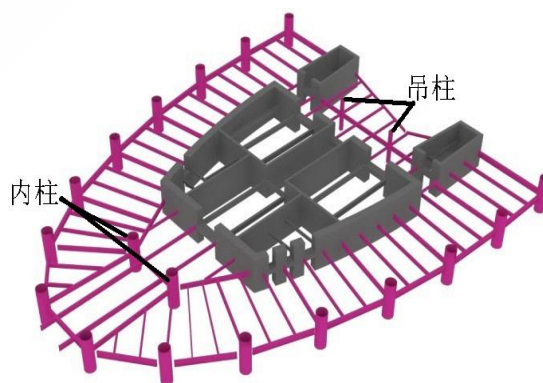


图 3.2 塔楼标准层计算模型

4 监测内容

本监测工程是对主体结构在施工阶段，对安装施工偏差或温度等可能引起结构作用变化的情况进监测，监测具体项目为：

- (1) 应力应变及温度监测；
- (2) 结构水平位移及垂直度监测；
- (3) 结构标高控制监测。

4.1 应力应变监测

应力应变监测一般是指在建筑物施工过程中，如钢结构安装、提升、卸载、改造、加固，混凝土浇筑等过程，采用监测仪器对受力结构的应力应变变化进行监测的技术手段，在监测值接近控制值时发出报警，用来保证施工的安全性，也可用于检查施工过程是否合理。

应力应变监测的目的：

- (1) 静态应力应变测试目的：获得结构或构件的应力应变分布规律及应力集中状况；检验结构或构件的强度储备；验证结构或构件设计的合理性。
- (2) 动态应力应变测试目的：确定动态应变随时间变化的规律，并对其进行频谱分析，根据统计特性研究结构或构件强度、刚度；验证结构或构件设计的合理性。

4.1.1 监测点布置原则

应力应变的监测点布置原则如下：

- (1) 有限元软件模拟计算的施工过程中受力比较大的点作为应力应变监测控制点；
- (2) 结构重要构件：某些非主要受力构件，虽不一定是整体结构受力最大的杆件，但这些构件的损坏将对提升过程带来灾难性的后果，故应将其作为重点监测控制点；
- (3) 监测控制点要具有代表性和规律性：监测点组合起来要能对结构的整体安全性进行评估，体现施工过程中整个结构的应力分布。

4.1.2 监测点位置及数量

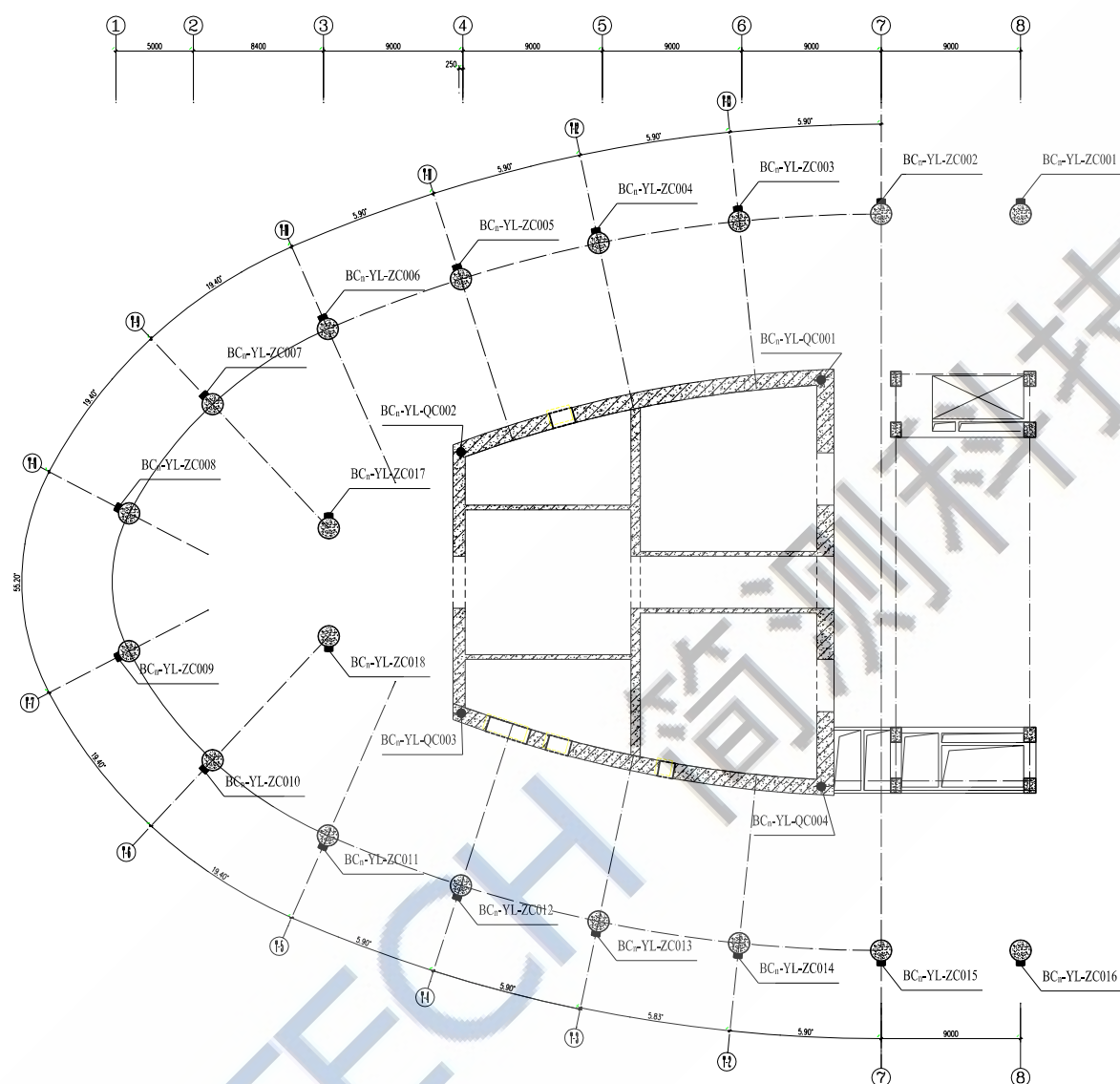
(1) 塔楼剪力墙、钢管混凝土柱

塔楼结构剪力墙、钢管混凝土柱部分应力应变监测点共 110 个，应力应变传感器共计 200 个。其中，剪力墙部位布置监测点 20 个，每个监测点布置 1 个传感器；钢管混凝土柱部位布置监测点 90 个，每个监测点布置传感器 2 个。

表 5.1 超高层建筑塔楼墙、柱监测单元应力应变测点一览表

序号	监测单元	编号	测点布置（剪力墙、钢管混凝土柱）
1	-3 层 （标准层）	BC ₃	墙：BC ₃ -YL-QC01~ BC ₃ -YL-QC04 柱：BC ₃ -YL-ZC01~ BC ₃ -YL-ZC018 应力应变测点布置见图5.1。
2	1 层 （标准层）	BC ₁	墙：BC ₁ -YL-QC01~ BC ₁ -YL-QC02 柱：BC ₁ -YL-ZC01~ BC ₁ -YL-ZC09 应力应变测点布置见图5.2。
3	6 层 （标准层）	BC ₆	墙：BC ₆ -YL-QC01~ BC ₆ -YL-QC02 柱：BC ₆ -YL-ZC01~ BC ₆ -YL-ZC09 应力应变测点布置见图5.1.2.2。
4	12 层 （加强层）	JC ₁₂	墙：JC ₁₂ -YL-QC01~ JC ₁₂ -YL-QC04 柱：JC ₁₂ -YL-ZC01~ JC ₁₂ -YL-ZC018 应力应变测点布置见图5.1.2.1。
5	20 层 （标准层）	BC ₂₀	墙：BC ₂₀ -YL-QC01~ BC ₂₀ -YL-QC02 柱：BC ₂₀ -YL-ZC01~ BC ₂₀ -YL-ZC09 应力应变测点布置见图5.1.2.2。
6	27 层 （加强层）	JC ₂₇	墙：JC ₂₇ -YL-QC01~ JC ₂₇ -YL-QC02 柱：JC ₂₇ -YL-ZC01~ JC ₂₇ -YL-ZC09 应力应变测点布置见图5.1.2.2。
7	35 层 （标准层）	BC ₃₅	墙：BC ₃₅ -YL-QC01~ BC ₃₅ -YL-QC02 柱：BC ₃₅ -YL-ZC01~ BC ₃₅ -YL-ZC09 应力应变测点布置见图1.2。
8	42 层 （加强层）	JC ₄₂	墙：JC ₄₂ -YL-QC01~ JC ₄₂ -YL-QC02 柱：JC ₄₂ -YL-ZC01~ JC ₄₂ -YL-ZC09 应力应变测点布置见图5.1.2.2。

备注：表中“BC”表示标准层，“JC”表示加强层，“YL”表示应力测试，“QC”表示剪力墙测点，“ZC”表示钢管混凝土柱测点。



**图 4.1 监测单元 BC-3、JC₁₂ 剪力墙、钢管混凝土柱
应力应变测点布置图 (n: 层数)**

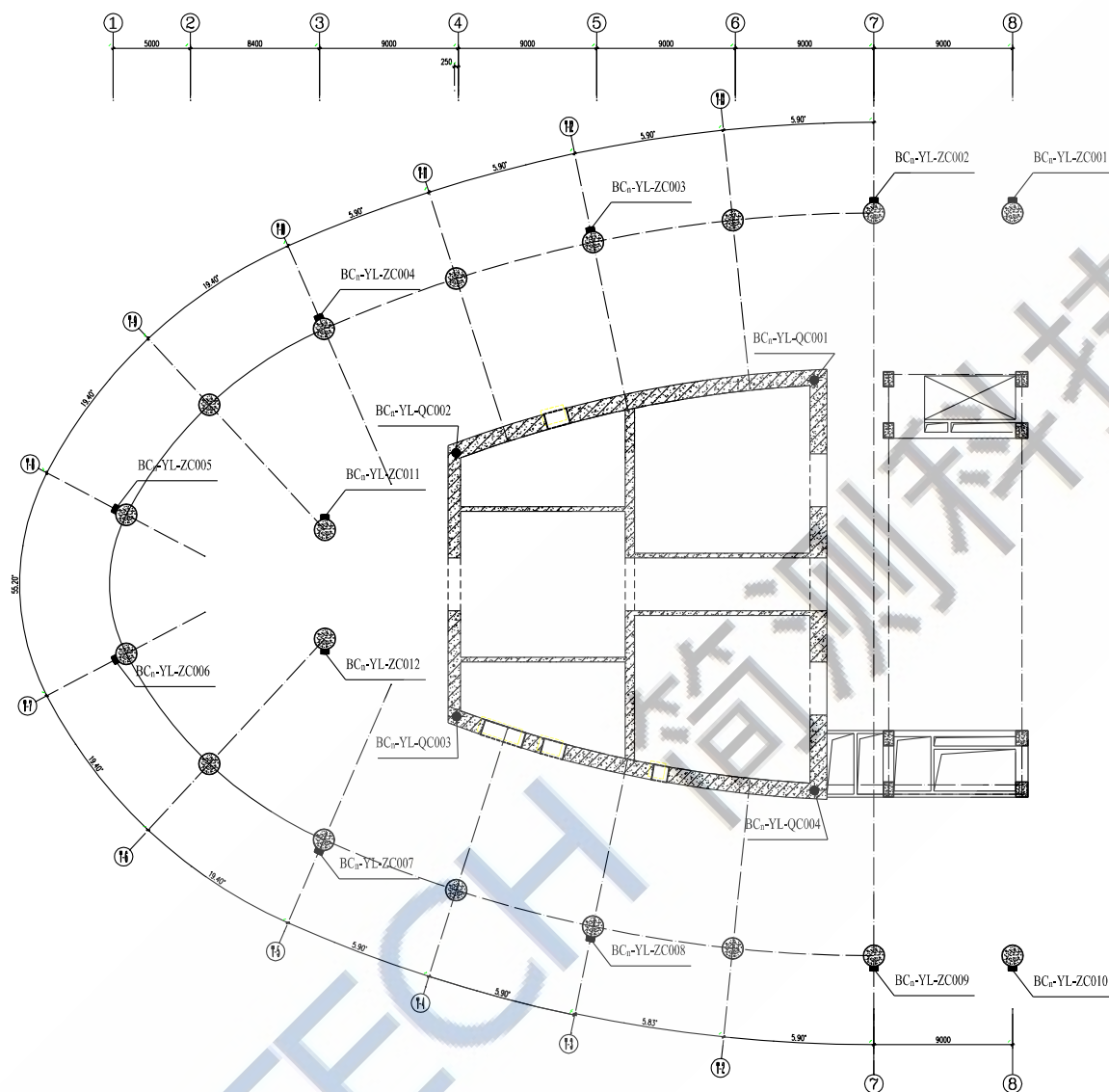


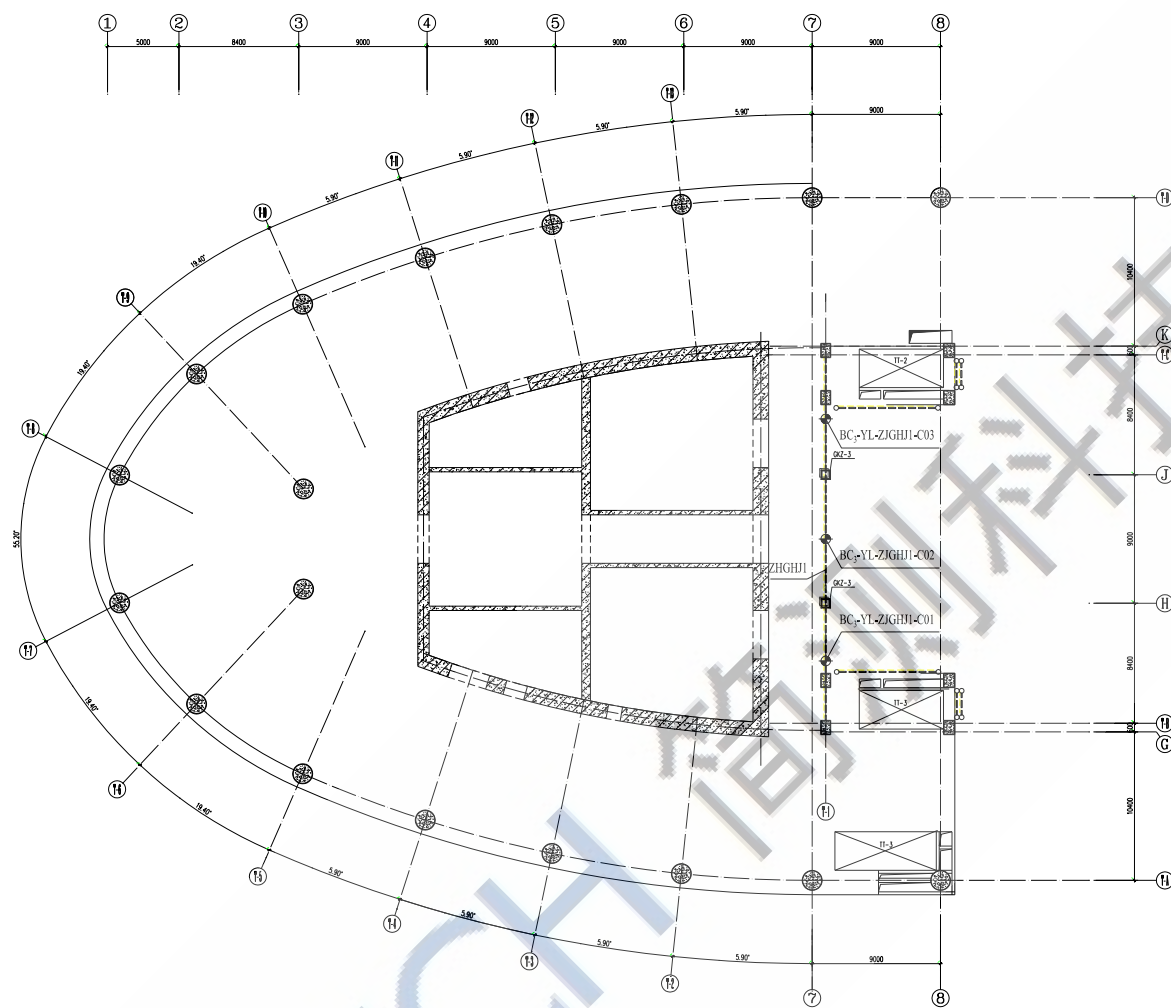
图 4.2 监测单元 BC₁、BC₆、BC₂₀、JC₂₇、BC₃₅、JC₄₂
剪力墙、钢管混凝土柱应力应变测点布置图 (n: 层数)

(2) 塔楼钢桁架（伸臂桁架、腰桁架及转换桁架）

塔楼结构钢桁架主要包括3个部分：伸臂桁架、腰桁架及转换桁架，主要分布在3层、12层、27层及42层。钢桁架部分共布置应力监测点57个，其中转换桁架部分25个测点，伸臂桁架部分14个测点，腰桁架部分18个测点，所有钢桁架每个测点均布置1个应力应变传感器。

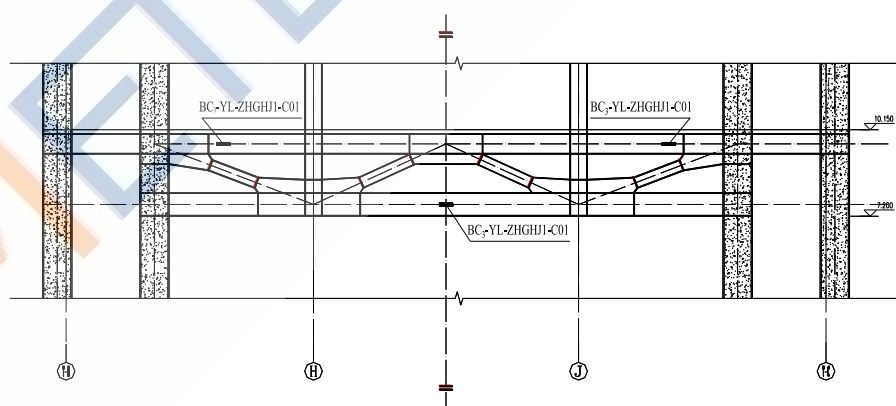
表 5.2 超高层建筑塔楼钢桁架监测单元应力应变测点一览表

序号	监测单元	编号	测点布置
1	3层 (标准层)	BC ₃	转换钢桁架： ①ZHGHJ1 BC ₃ -YL-ZHGHJ1-C01~BC ₃ -YL-ZHGHJ1-C03 应力应变测点布置见图5.1.2.3，共计3个。
2	12层 (加强层)	BC ₁₂	转换钢桁架： ①ZHGHJ2 BC ₁₂ -YL-ZHGHJ2-C01~BC ₁₂ -YL-ZHGHJ2-C03 ②ZHGHJ3 BC ₁₂ -YL-ZHGHJ3-C01~BC ₁₂ -YL-ZHGHJ3-C05 腰桁架： ①YHJ1 BC ₁₂ -YL-YHJ1-C01~BC ₁₂ -YL-YHJ1-C09 应力应变测点布置见图5.1.2.4，共计17个。
3	27层 (加强层)	BC ₂₇	转换钢桁架： ①ZHGHJ4 BC ₂₇ -YL-ZHGHJ4-C01~BC ₂₇ -YL-ZHGHJ4-C03 ②ZHGHJ5 BC ₂₇ -YL-ZHGHJ5-C01~BC ₂₇ -YL-ZHGHJ5-C05 腰桁架： ①YHJ2 BC ₂₇ -YL-YHJ2-C01~BC ₂₇ -YL-YHJ2-C09 伸臂桁架： ①SBHJ1 BC ₂₇ -YL-SBHJ1-C01~BC ₂₇ -YL-SBHJ1-C07 ②SBHJ2 BC ₂₇ -YL-SBHJ2-C01~BC ₂₇ -YL-SBHJ2-C07 应力应变测点布置见图5.1.2.5，共计31个。
4	42 (加强层)	BC ₄₂	转换钢桁架： ①ZHGHJ4 BC ₄₂ -YL-ZHGHJ6-C01~BC ₄₂ -YL-ZHGHJ6-C03 ②ZHGHJ5 BC ₄₂ -YL-ZHGHJ7-C01~BC ₄₂ -YL-ZHGHJ7-C03 应力应变测点布置见图 5.1.2.6，共计 6 个。



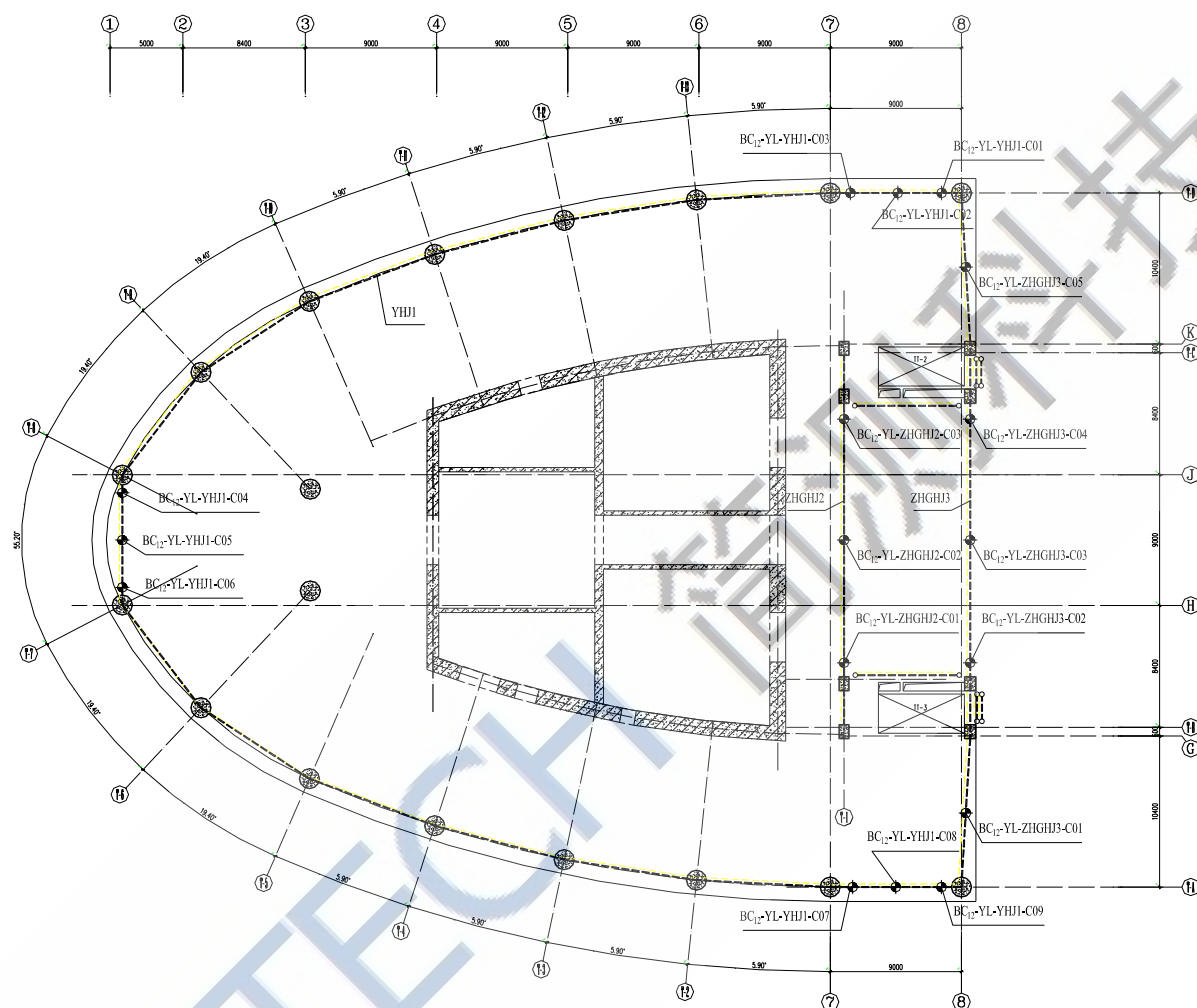
(a) 测点布置平面示意

(b)

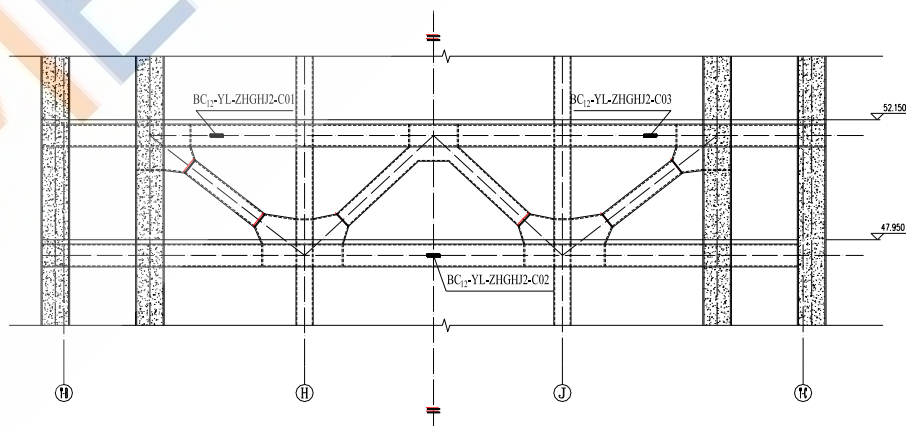


(b) 测点布置立面示意

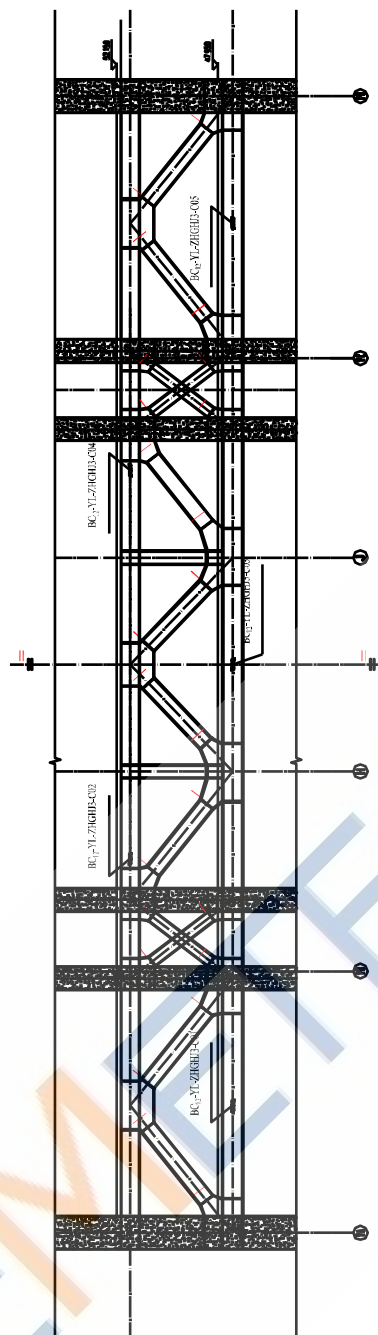
图 4.3 监测单元 BC₃ 钢桁架（转换桁架 ZHGHJ1）应力应变测点布置示意图



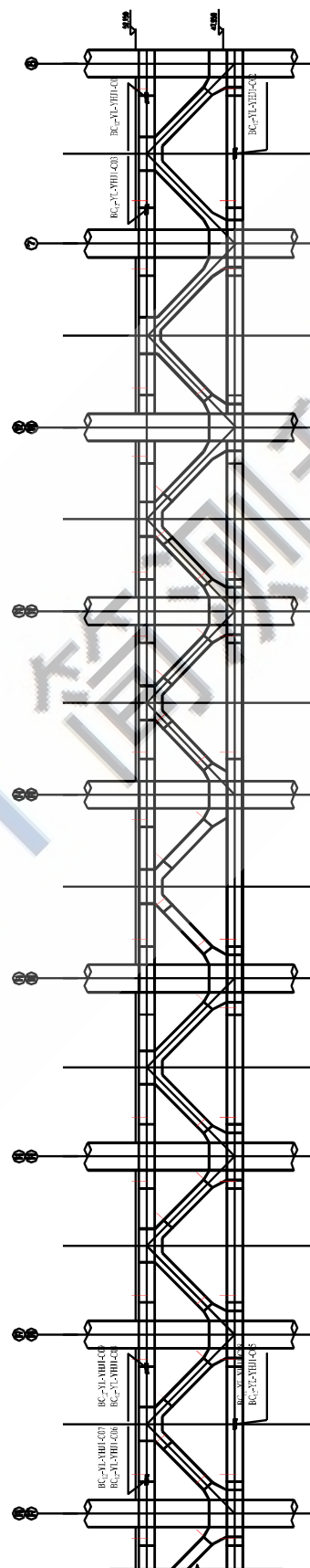
(a) 测点布置平面示意



(b) 转换桁架 (ZHGHJ2) 测点布置立面示意

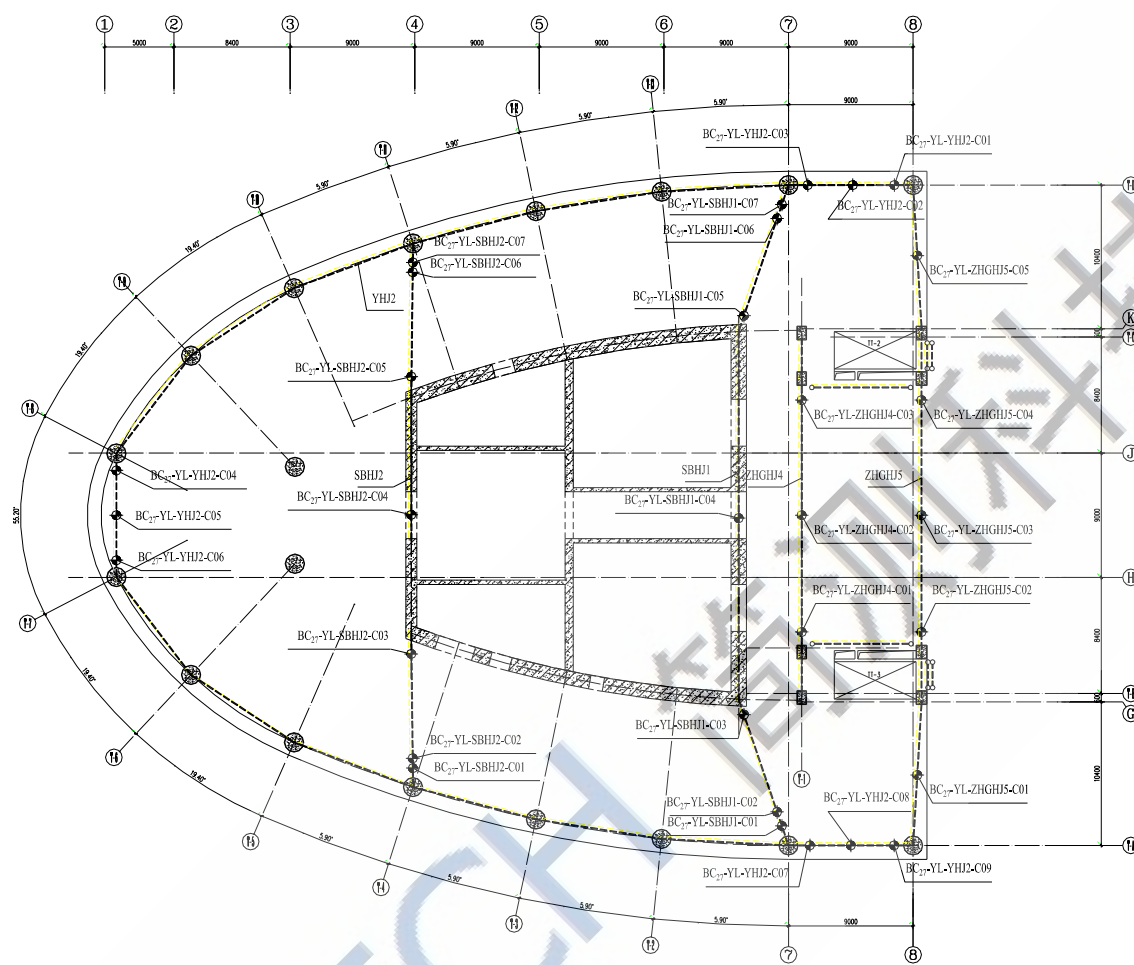


(c) 转换桁架 (ZHGHJ3) 测点布置立面示意

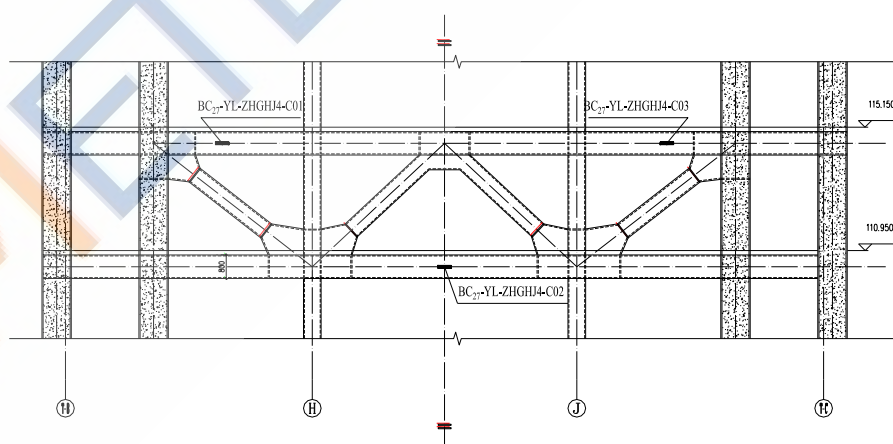


(d) 腰桁架 (YHJ1) 测点布置立面示意

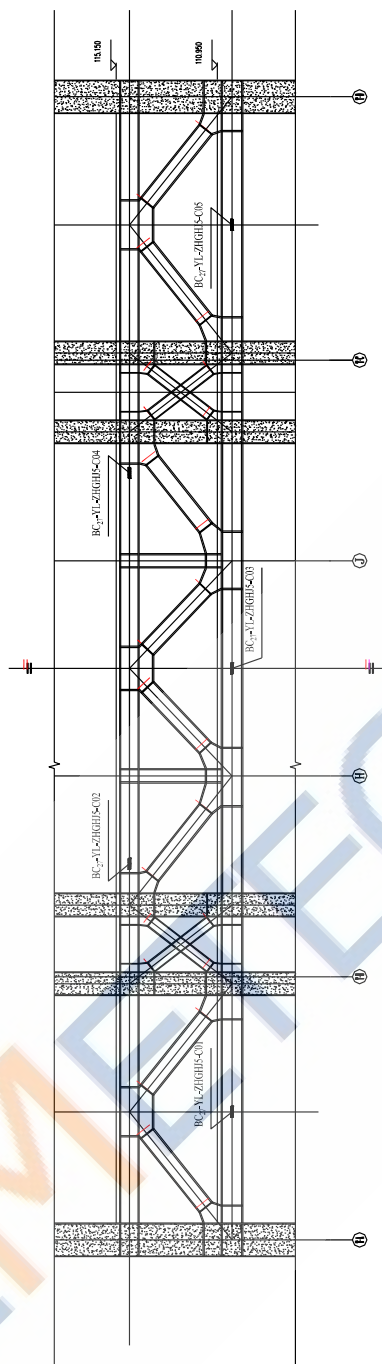
图 4.4 监测单元 BC₁₂ 钢桁架（转换桁架 ZHGHJ2、ZHGHJ3；腰桁架 YHJ1）
应力应变测点布置示意图



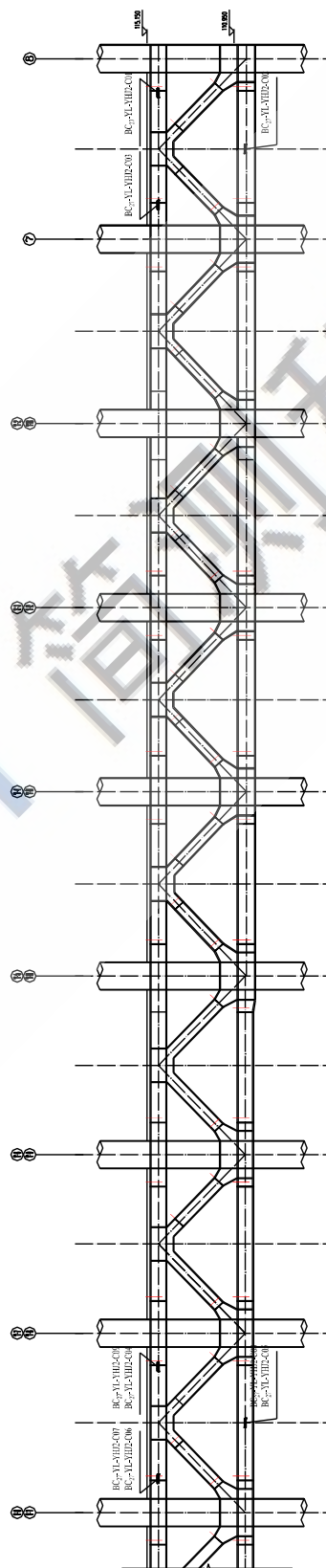
(a) 测点布置平面图



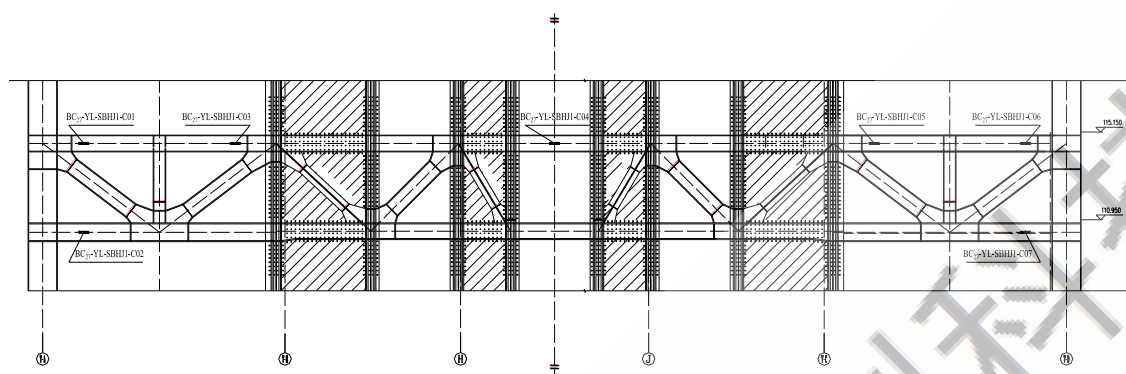
(b) 转换桁架 (ZHGHJ4) 测点布置立面示意



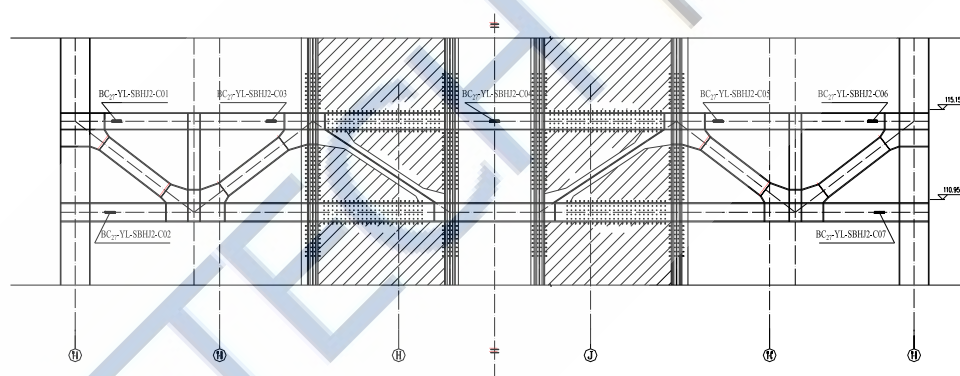
(c) 转换桁架 (ZHGHJ5) 测点布置立面示意



(d) 腰桁架 (YHJ2) 测点布置立面示意

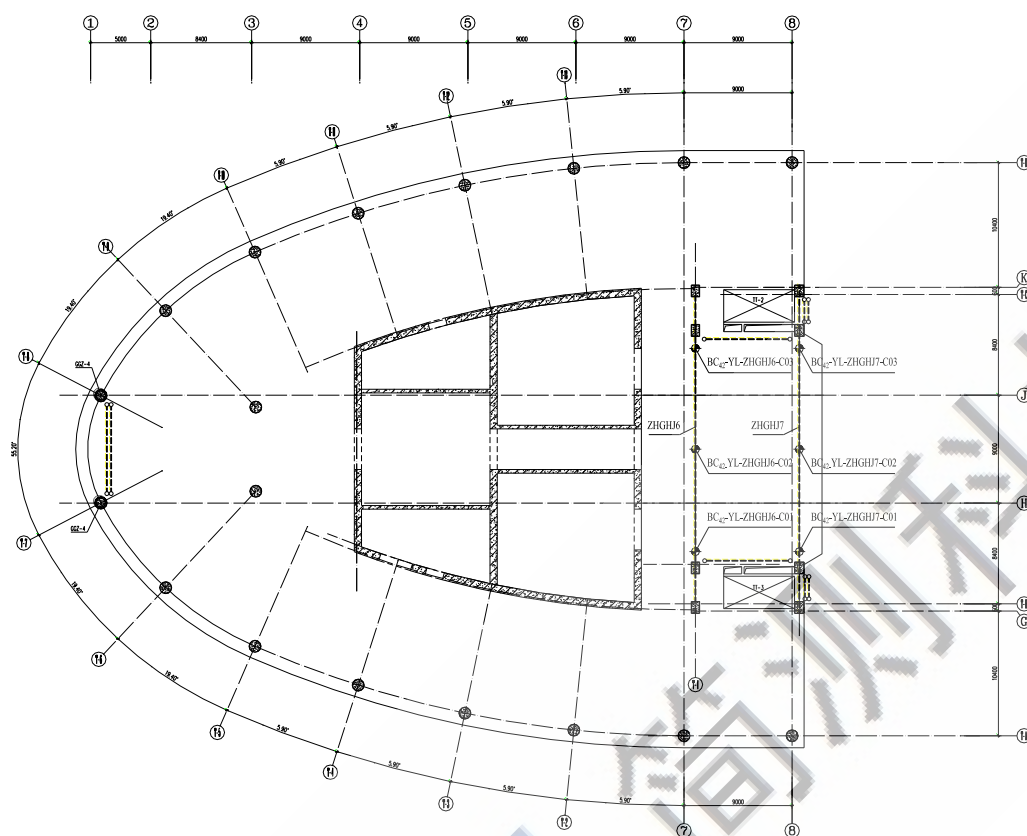


(e) 伸臂桁架 (SBHJ1) 测点布置立面图

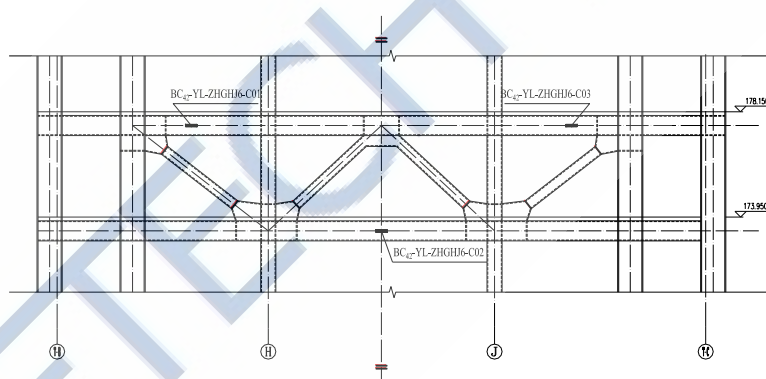


(f) 伸臂桁架 (SBHJ2) 测点布置立面图

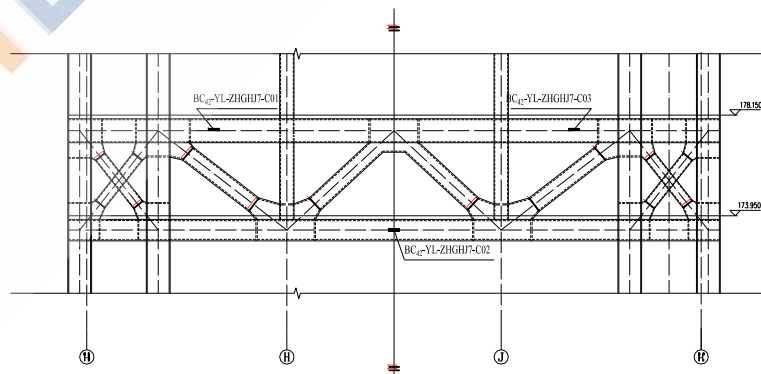
图 4.5 监测单元 BC₂₇ 钢桁架（转换桁架 ZHGHJ4、ZHGHJ5；腰桁架 YHJ2；伸臂桁架 SBHJ1、SBHJ2）应力应变测点布置示意图



(a) 测点布置平面图



(b) 转换桁架 (ZHGHJ6) 测点布置立面示意



(b) 转换桁架 (ZHGHJ7) 测点布置立面示意

图 5.6 监测单元 BC₄₂ 钢桁架 (转换桁架 ZHGHJ6、ZHGHJ7) 应力应变测点布置示意图

(3) 裙房连廊（连廊 1、连廊 2、连廊 3）

裙房结构连廊主要包括连廊1、连廊2、连廊3三个部分。连廊1、连廊3各10个测点，连廊2为12个测点，共计32个应力测点，每个测点均布置1个应力应变传感器。

表 4.3 超高层建筑塔楼钢桁架监测单元应力应变测点一览表

序号	监测单元	编号	测点布置
1	1号连廊	LL ₁	LL1-YL-1~10
2	2号连廊	LL ₂	LL3-YL-1~12
3	3号连廊	LL ₃	LL3-YL-1~10

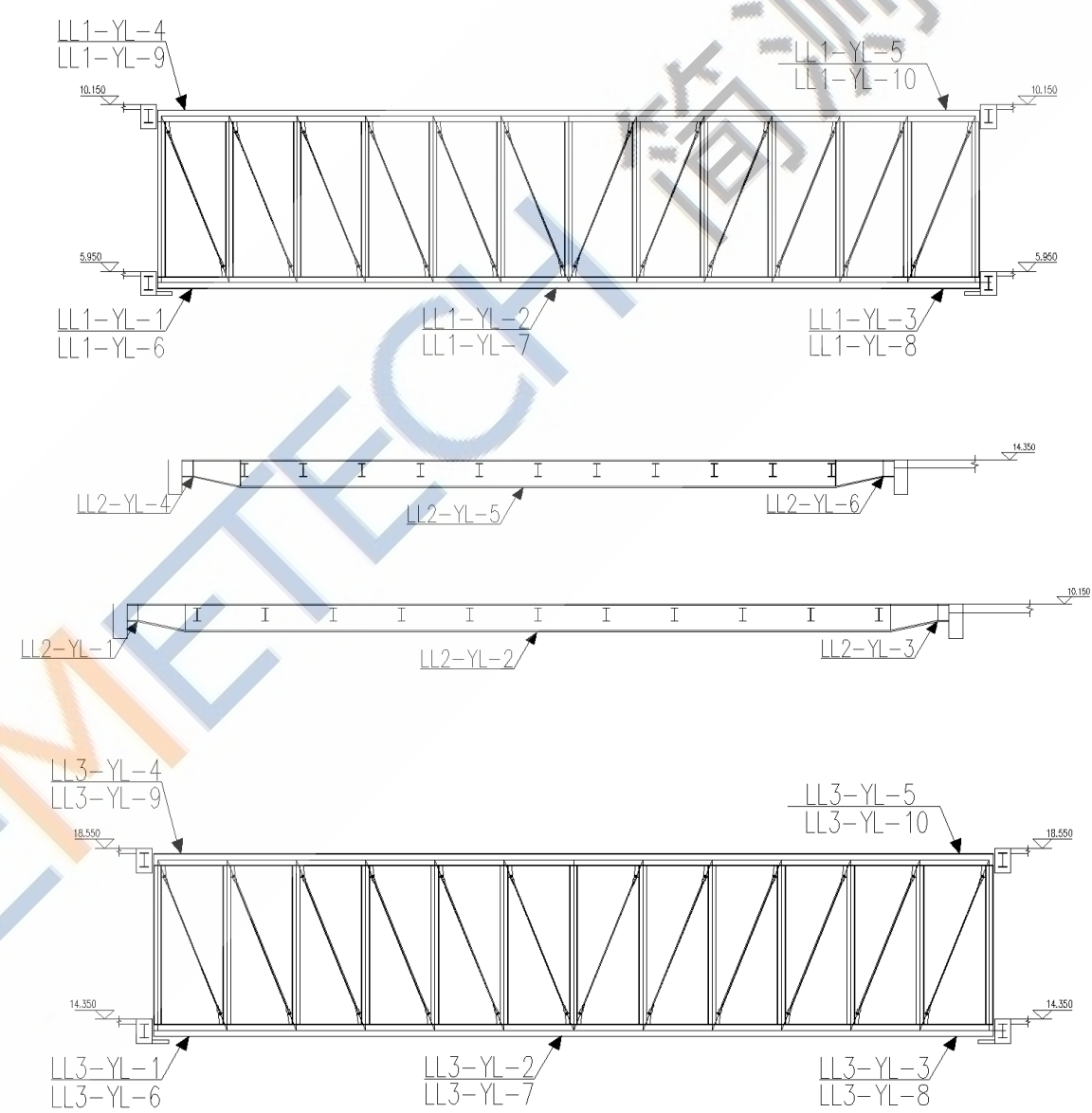


图 4.7 监测单元 LL1、LL2、LL3 应力应变测点布置示意图

(4) 塔楼玻璃幕墙一段门式刚架

塔楼幕墙一段共有9个门式刚架，其中1~2号刚架各有5个应力监测点，3~9号刚架各有3个应力监测点，共31个监测点，每个监测点布置1个应力传感器。

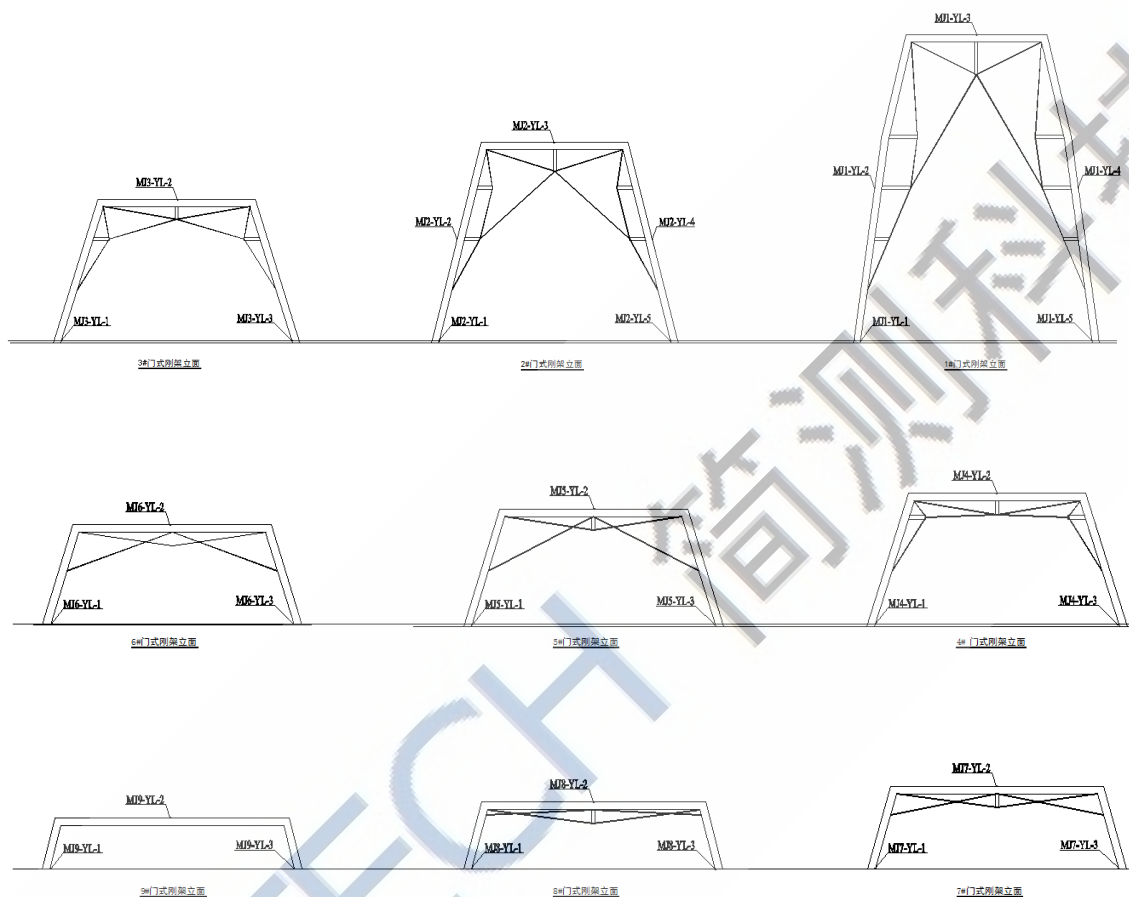


图 4.8 监测单元 MJ 应力应变测点布置示意图

(5) 主入口雨棚钢桁架

主入口雨棚刚桁架主要监测桁架2和桁架3，两榀桁架各布置3个应力监测点，共6个监测点，每个监测点布置1个应力传感器。

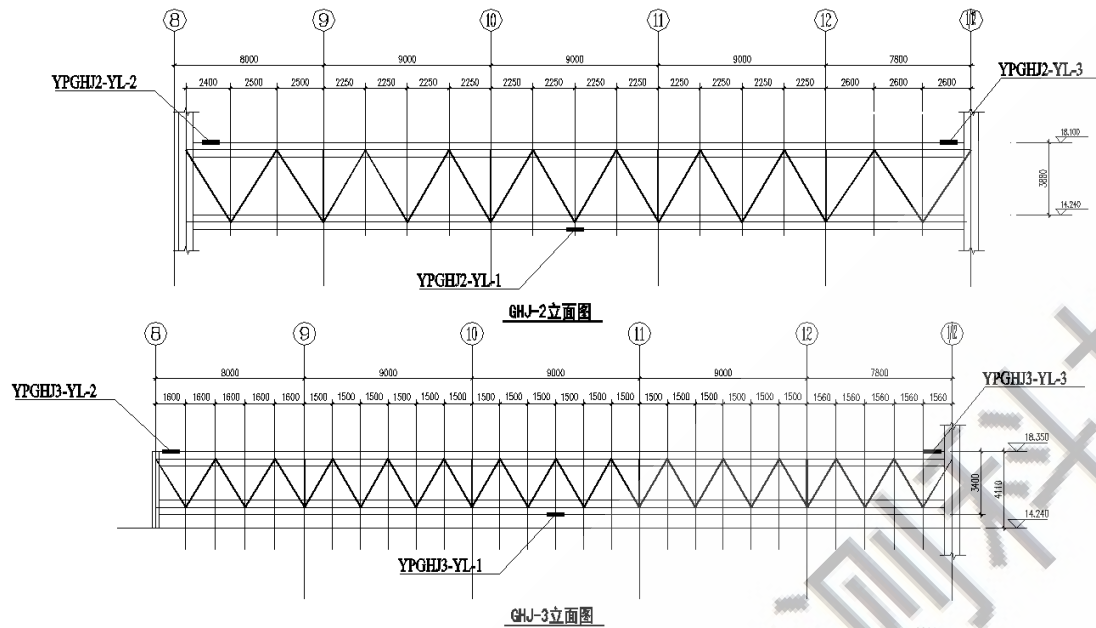


图 4.9 监测单元 YPGHJ 应力监测点布置示意图

4.1.3 应力应变监测传感器

结构健康监测项目需要利用大量的高性价比传感器,实现对结构性能实时监测,为结构或构件的损伤识别、功能评价等提供信息。结构健康监测所采用的各种类型传感器的核心功能是获取各种准确、有效和可靠的结构及周边环境信息。

下表为主要应变传感器特性对比:

表 A.1 各种传感器特性

类型 特性	钢弦式应变计	电阻应变计	光纤光栅应变计
传感器体积	大	小	小
蠕变	较小, 适宜长期测量	较大, 需提高制作技术、工艺解决	较小, 适宜长期测量
测量灵敏度	较高	较高	高
温度变化的影响	温度变化范围较大时需要修正	可以实现温度变化的自补偿	温度变化范围较大时需要修正
长导线影响	不影响测量结果	需进行长导线电阻影响的修正	不影响测量结果
信号传输距离	较长	短, 小于 100 米	长, 可达 10 公里
抗电磁干扰能力	差	差	好

对绝缘的要求	要求不高	要求高	无需绝缘
动态响应	差	好	好

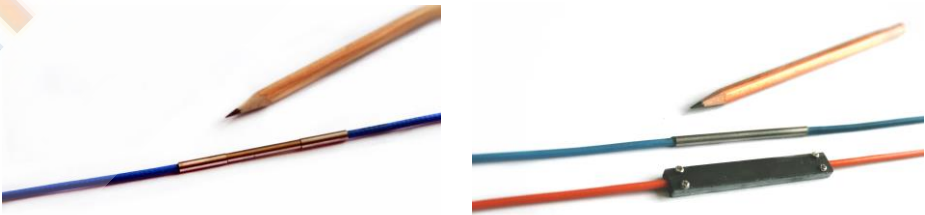
充分考虑本项目测量结构在制作、养护、施工及服役阶段的环境条件，对于长期监测优先采用光纤光栅传感器；光纤光栅传感器具有其独特的优点：

- 1. 传感头结构简单、体积小、重量轻、外形可变，适合埋入大型结构中，可测量结构内部的应力、应变及结构损伤等，稳定性、重复性好；
- 2. 与光纤之间存在天然的兼容性，易与光纤连接、低损耗、光谱特性好、可靠性高；
- 3. 具有非传导性，对被测介质影响小，又具有抗腐蚀、抗电磁干扰的特点，适合在恶劣环境中工作；
- 4. 轻巧柔软，可以在一根光纤中写入多个光栅，构成传感阵列，与波分复用和时分复用系统相结合，实现分布式传感；
- 5. 测量信息是波长编码的，所以，光纤光栅传感器不受光源的光强波动、光纤连接及耦合损耗、以及光波偏振态的变化等因素的影响，有较强的抗干扰能力；
- 6. 高灵敏度、高分辩力。

5.1.3.1 监测仪器

本项目应力监测拟采用深圳市简测科技有限公司光纤光栅应变传感器进行监测，并建立相应的检测系统，以更好的完成检测工作，实现预期的检测目的。产品型号为：JFSS-02。

光纤光栅应变计如图 5.10 所示



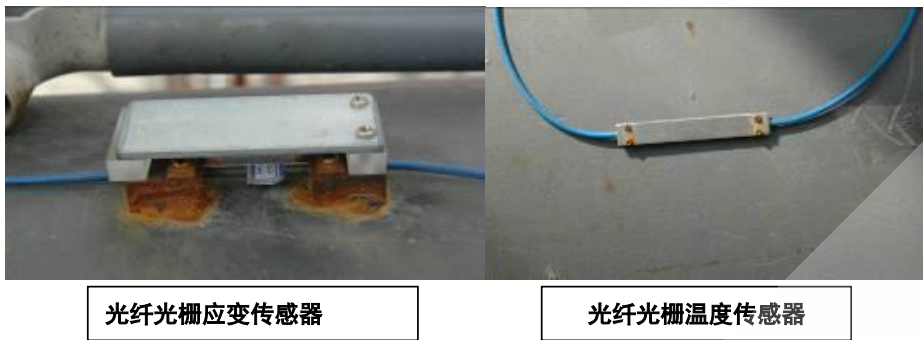


图 4.10 应力应变监测传感器及工程照片

光纤光栅应变传感器基于一种光纤光栅应变增/减灵敏度的封装机制，采用独特封装工艺有效的消除了胶粘剂对传感器应变传递的影响；通过调节封装工艺中的参数，可以改变传感器的应变灵敏度系数；同时兼有细径管保护式和夹持式的优点，既可以直接埋入结构中也可以通过辅助构件构成夹持式传感器。其技术指标如表 4.4 所示。

表 4.4

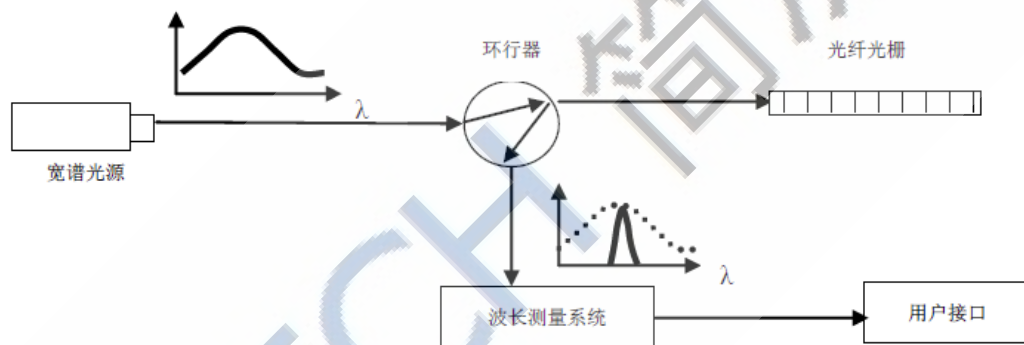
光纤光栅应变传感器	
量程	±2000 $\mu\epsilon$
分辨率	1 $\mu\epsilon$ (可定制)
波长范围	1510~1590nm
工作温度范围	-30~120℃
重量	5 克
规格尺寸	外径 4mm，测量标距 30mm (可定制)
尾纤规格	聚合物软管或铠装管(Φ3mm)
连接方式	熔接或 FC/APC 连接头
安装方式	焊接、胶粘接、直接埋入

5.1.3.2 工作原理

光纤光栅是将通信用光纤的一部分利用掺铈光纤非线性吸收效应的紫外全息曝光法而制成的一种称为 Bragg Grating 的纤芯折射率周期性变化光栅。通常的光会全部穿过此 Bragg Grating 而不受影响，只有特定波长的光（波长为）在

布拉格光栅处反射后会再返回到原来的方向(参照图 1.2)。在布拉格光栅处施加外力,光栅的间隔产生变化后,反射回来的光的波长也会相应发生变化。Bragg 波长同时受布拉格光栅周期和纤芯有效折射率扰动的影响,因而通过监测布拉格波长的变化即可测出应变和温度扰动。

光纤光栅传感器的原理结构如下图 2.5,包括:宽谱光源(如 SLED 或 ASE)将有一定带宽的光通过环行器入射到光纤光栅中,由于光纤光栅的波长选择性作用,符合条件的光被反射回来,再通过环行器送入解调装置测出光纤光栅的反射波长变化。当光纤光栅做探头测量外界的温度、压力或应力时,光栅自身的栅距发生变化,从而引起反射波长的变化,解调装置即通过检测波长的变化推导出外界温度、压力或应力。



5.1.3.3 采集设备

对该项目结构健康监测采用深圳市简测科技有限公司的基于嵌入式硬件平台和实时操作系统的多通道光纤光栅同步解调仪,型号为: JEME-iFBG-S15,采用波长扫描型光纤激光器作为光源,具有多路同步采集及单光路高信号增益能力。2Hz 采样频率可以测量低速变化的温度、应变等物理参数。每个光学通道具有 80nm 波长范围(1510~1590nm),单通道可同时连接多个光纤光栅传感器。

系统软件将以嵌入式实时操作系统硬件结构体系为基础,以状态机和循环事件结构为基本思想,适合于结构健康监测的状态机和循环事件结构互耦合的软件架构,实现与嵌入式硬件平台系统无缝结合、程序功能模块化和多线程运行,使系统具备数据采集、实时信号处理、存储、网络通信、实时数据显示、历史数据

查看、数据管理及任务配置的功能，软件功能框架，基于状态机架构的多线程、模块化结构健康监测软件系统流程。

主要技术指标要求如下：

■ 光纤光栅解调部分：

- ★ 15 路同步采集，大功率波长扫描型激光光源
- ★ 单通道 20dB 信号增益
- ★ 光纤光栅反射光功率可达-5dBm
- ★ 80nm 波长解调带宽
- ★ 内置绝对波长参考，不需要外部波长校准
- ★ 具备传感节点冗余备份设计，同时具备 15 路备用通道

■ 硬软件系统部分：

- ★ 以太网接口，系统支持远程工作方式
- ★ 内嵌 VxWorks 实时操作系统提供工业级的系统稳定性能
- ★ 内嵌资源丰富的 FPGA 硬件逻辑芯片
- ★ 可定制的信号实时处理功能
- ★ 低功耗，可支持移动电源

4.1.4 监测方法及过程

监测时首先将光纤光栅传感器焊接在刚杆上，再接好传输线（根据现场情况确定最为方便的线路）。测量时将传输线另一头接至传感解调系统中，完成数据采集。把所采集的数据传至微机中，通过配套的软件系统进行数据分析处理，得到应力变化成果图及相关的检测结果。

4.1.5 监测成果

结构施工过程中，监测所选择构件的应变变化情况，主体结构完成后提交监测成果。如在监测过程中出现异常情况，可及时提供临时监测数据以供参考分析。

4.2 位移监测

位移观测（displacement observation），是对被观测物体的平面位置变化所进行的测量。

4.2.1 监测点布置原则

位移监测点布置的原则如下：

- （1）理论计算位移较大点；
- （2）重要的节点（如支座节点，暗柱柱顶等）；
- （3）监测控制点要具有代表性和规律性：监测点组合起来要能对结构的整体安全性进行评估，体现整个结构的位移分布。

4.2.2 监测点位置及数量

（1）塔楼水平位移及垂直度监测

水平位移及垂直度从地面±0.000m 以上开始，每 5 层为一个监测单元，共 10 个监测单元,每个单元 18 个测点，共计 180 个水平位移及垂直度监测点。

表 4.5 超高层建筑塔楼水平位移及垂直度监测点一览表

序号	监测单元	编号	测点布置
1	5 层（+18.550m）	SY ₅	SY ₅ -1~18
2	10 层（+39.550m）	SY ₁₀	SY ₁₀ -1~18
3	15 层（+60.550m）	SY ₁₅	SY ₁₅ -1~18
4	20 层（+81.550m）	SY ₂₀	SY ₂₀ -1~18
5	25 层（+102.550m）	SY ₂₅	SY ₂₅ -1~18
6	30 层（+123.550m）	SY ₃₀	SY ₃₀ -1~18
7	35 层（+144.550m）	SY ₃₅	SY ₃₅ -1~18
8	40 层（+165.550m）	SY ₄₀	SY ₄₀ -1~18
9	45 层（+186.550m）	SY ₄₅	SY ₄₅ -1~18
10	屋面平台（+203.400m）	SY _{WM}	SY _{WM} -1~18

备注：表中“SY”表示水平位移监测点，“角标”表示层号，“WM”表示屋面层。

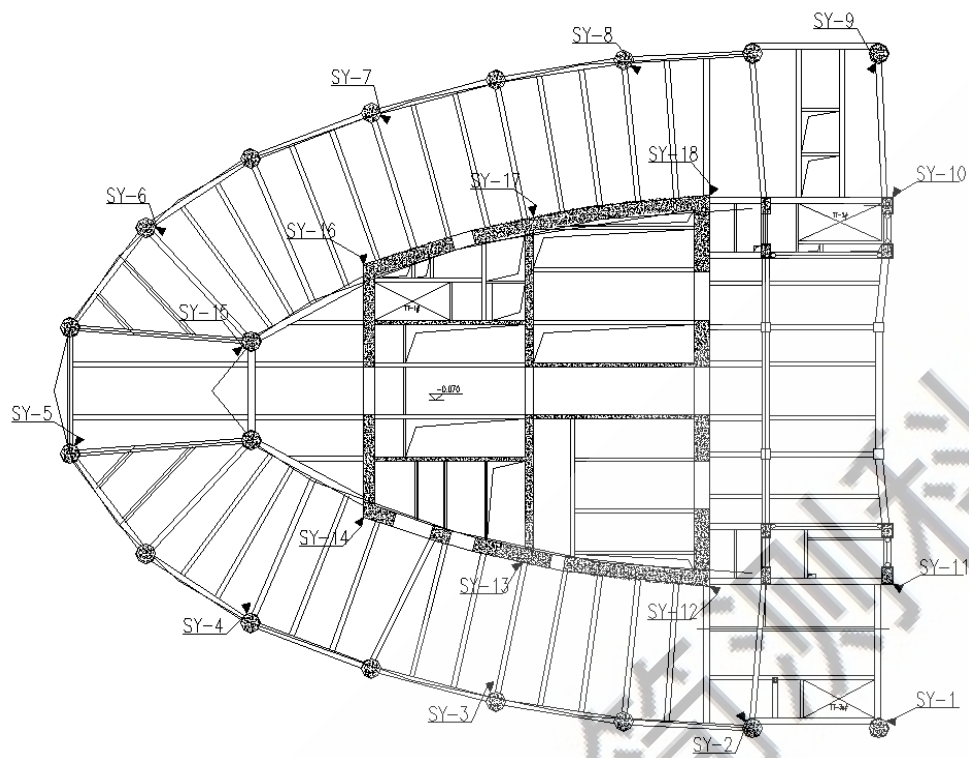


图 4.15 塔楼水平位移及垂直度监测点布置图

(2) 塔楼标高控制监测

标高控制从地面±0.000m 以上开始，每 5 层为一个监测单元，共 11 个监测单元，每个监测单元 16 个监测控制点，共计 176 个标高控制监测点。

表 4.6 超高层建筑塔楼标高控制监测点一览表

序号	监测单元	编号	测点布置
1	1层（±0.000m）	BG1	BG1-1~16
2	5层（+18.550m）	BG5	BG5-1~16
3	10 层（+39.550m）	BG ₁₀	BG ₁₀ -1~16
4	15 层（+60.550m）	BG ₁₅	BG ₁₅ -1~16
5	20 层（+81.550m）	BG ₂₀	BG ₂₀ -1~16
6	25 层（+102.550m）	BG ₂₅	BG ₂₅ -1~16
7	30 层（+123.550m）	BG ₃₀	BG ₃₀ -1~16
8	35 层（+144.550m）	BG ₃₅	BG ₃₅ -1~16
9	40 层（+165.550m）	BG ₄₀	BG ₄₀ -1~16
10	45 层（+186.550m）	BG ₄₅	BG ₄₅ -1~16
11	屋面平台（+203.400m）	BG _{WM}	BG _{WM} -1~16

备注：表中“BG”表示标高控制监测点，“角标”表示层号，“WM”表示屋面层。

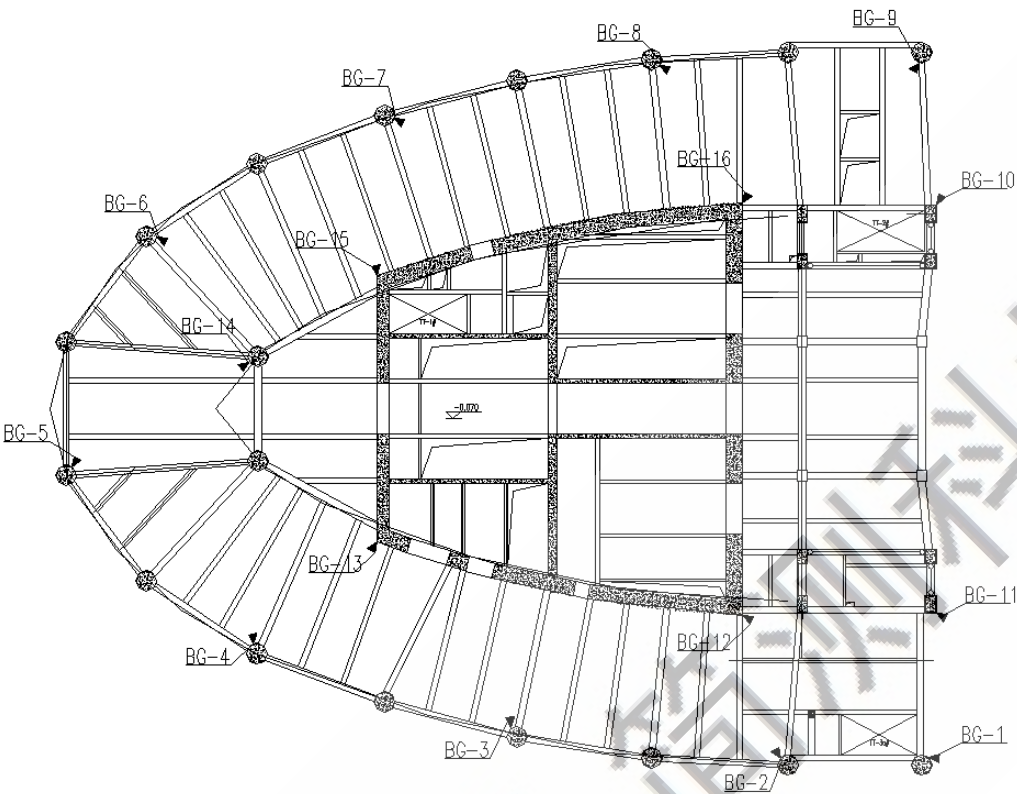


图 4.16 塔楼标高控制监测点布置图

(3) 钢桁架挠度监测

钢桁架在拼装过程中由于施工偏差、温度应力等导致桁架发生变形，因此对每榀桁架的挠度变形进行监控，对变形超出规范要求的及时进行调整。塔楼钢桁架共有 17 个挠度监测点，每个监测点 3 个小测点。

表 4.7 超高层建筑钢桁架挠度监测点一览表

序号	监测单元	编号	测点布置
1	塔楼 3 层	ND-ZHHJ1	ND-ZHHJ1-1~3
2	塔楼 12 层	ND-YHJ1	ND-YHJ1-1~9
		ND-ZHHJ2	ND-ZHHJ2-1~3
		ND-ZHHJ3	ND-ZHHJ3-1~3
3	塔楼 27 层	ND-SBHJ1	ND-SBHJ1-1~6
		ND-SBHJ2	ND-SBHJ2-1~6
		ND-YHJ2	ND-YHJ2-1~9
		ND-ZHHJ4	ND-ZHHJ4-1~3
		ND-ZHHJ5	ND-ZHHJ5-1~3
4	塔楼 42 层	ND-ZHHJ6	ND-ZHHJ6-1~3
		ND-ZHHJ7	ND-ZHHJ7-1~3
5	裙房连廊	ND-LL1	ND-LL1-1~6
		ND-LL2	ND-LL2-1~6

		ND-LL3	ND-LL3-1~6
6	主入口雨棚	ND-YPGHJ	ND-YPGHJ2-1~3
			ND-YPGHJ3-1~3

备注：表中“ND”表示挠度监测点。

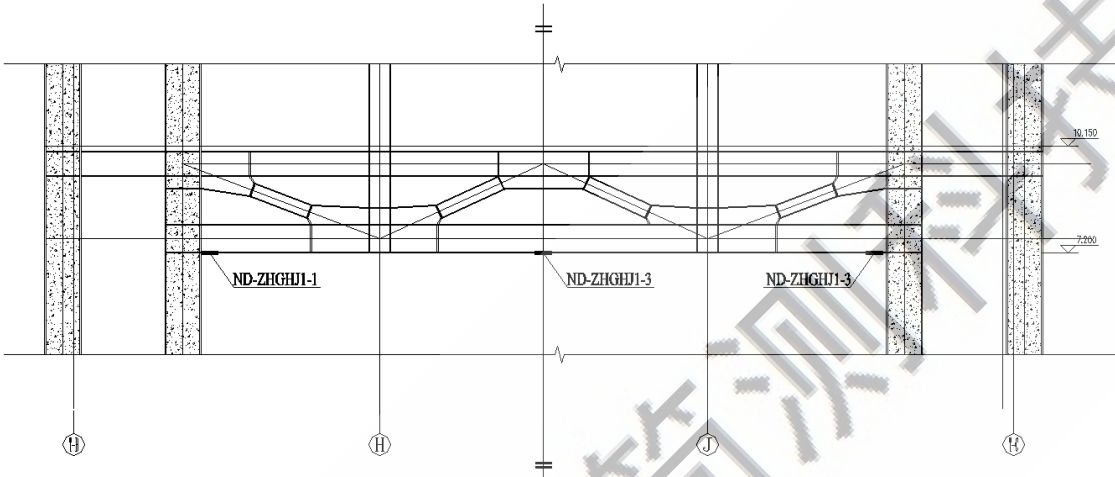


图 4.17 ZHHJ1 挠度监测点布置图

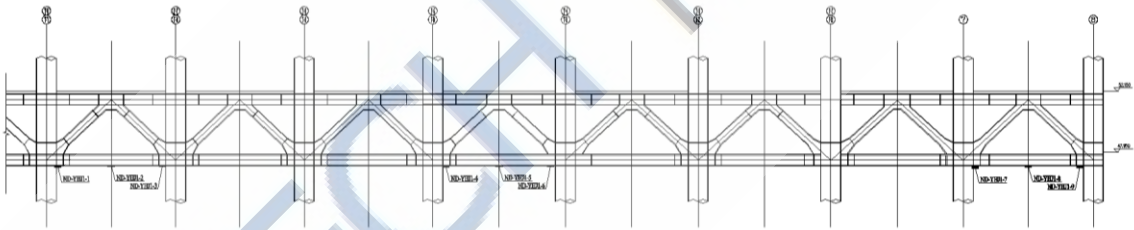


图 4.18 YHJ1 挠度监测点布置图

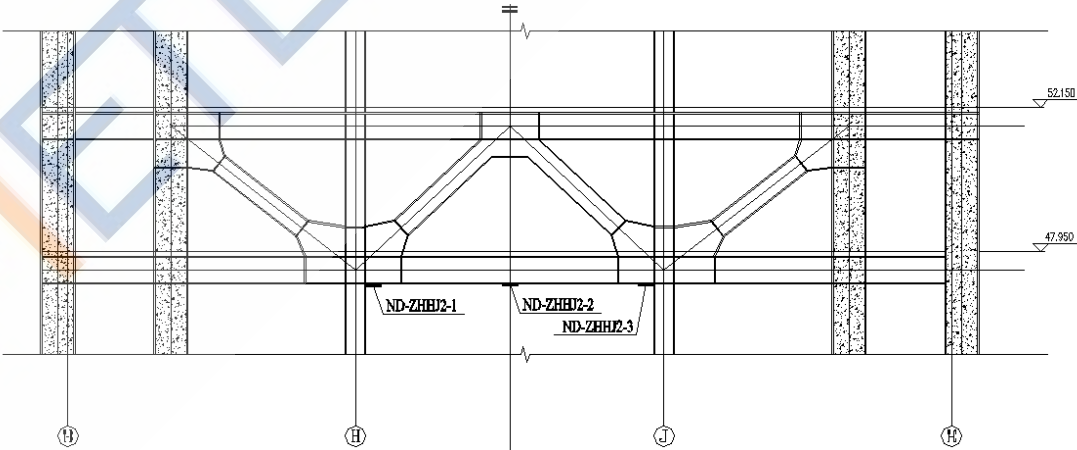


图 4.19 ZHHJ2 挠度监测点布置图

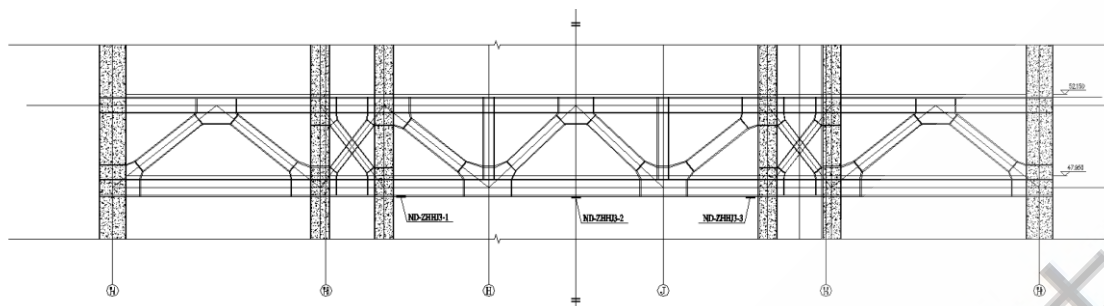


图 4.20 ZHHJ3 挠度监测点布置图

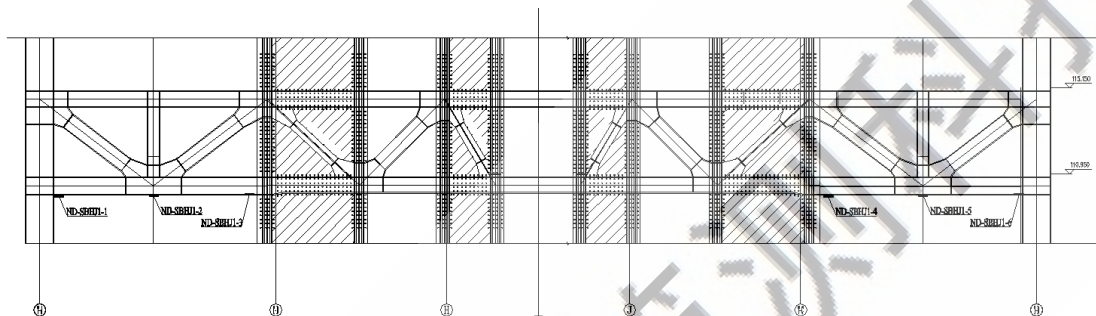


图 4.21 SBHJ1 挠度监测点布置图

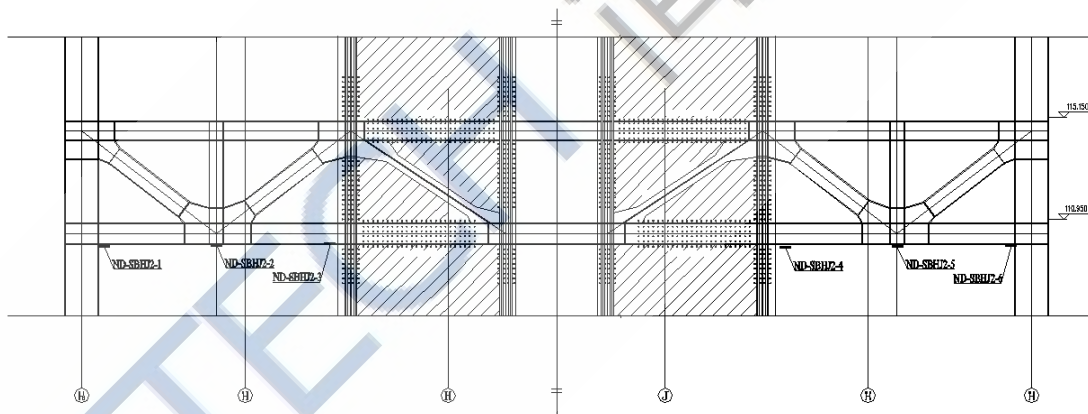


图 4.22 SBHJ2 挠度监测点布置图

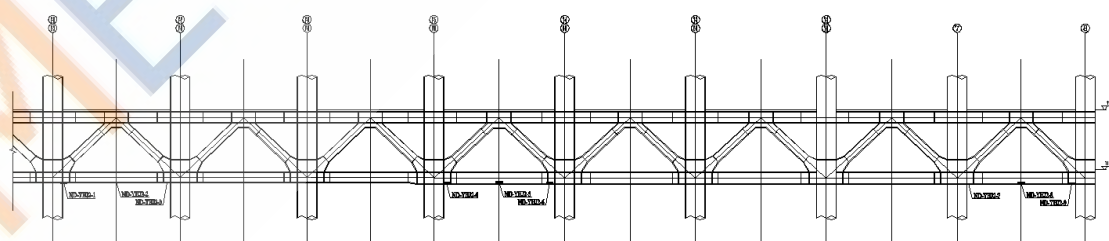


图 4.23 YHJ2 挠度监测点布置图

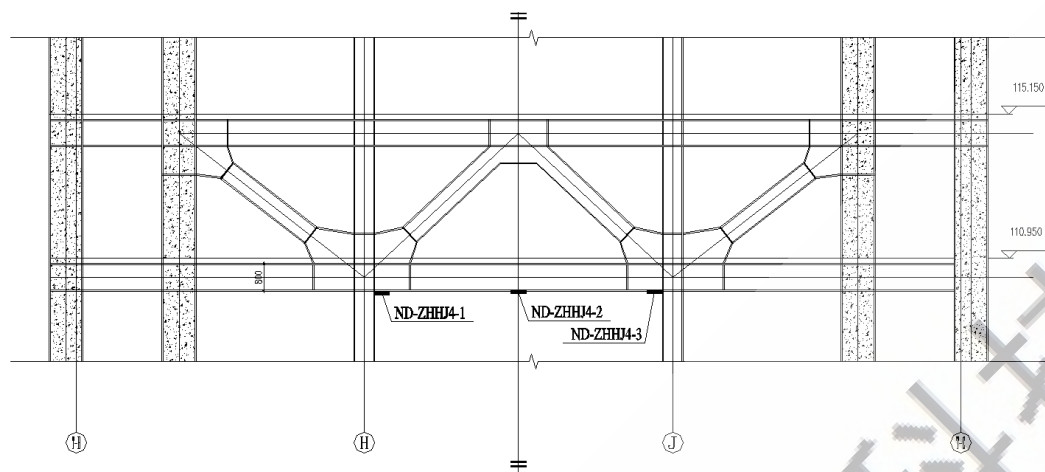


图 4.24 ZHHJ4 挠度监测点布置图

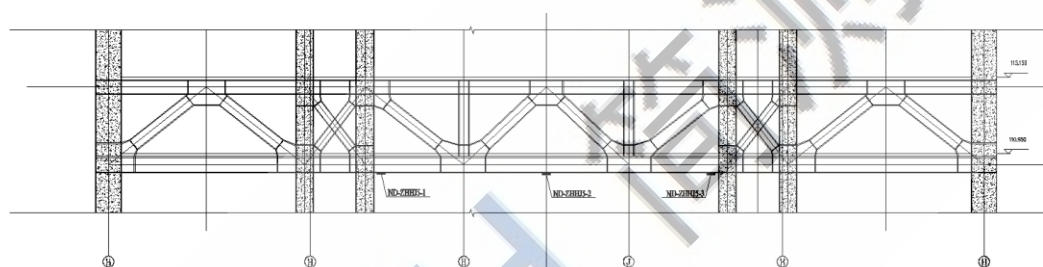


图 4.25 ZHHJ5 挠度监测点布置图

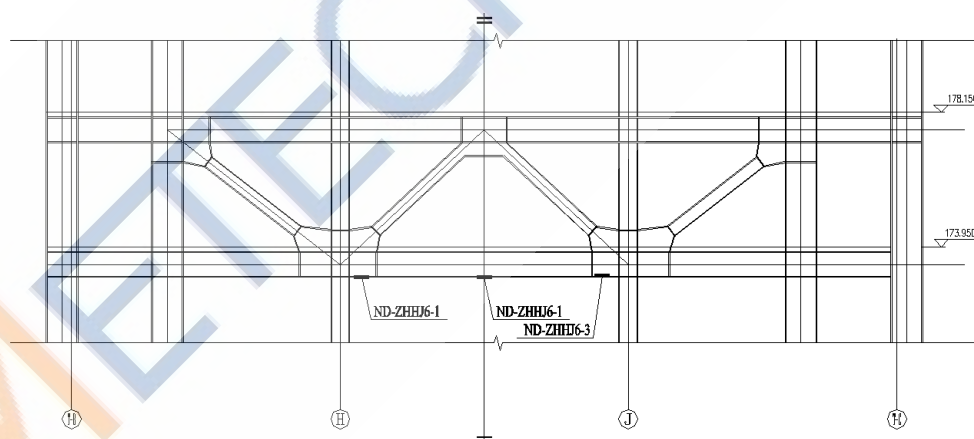


图 4.26 ZHHJ6 挠度监测点布置图

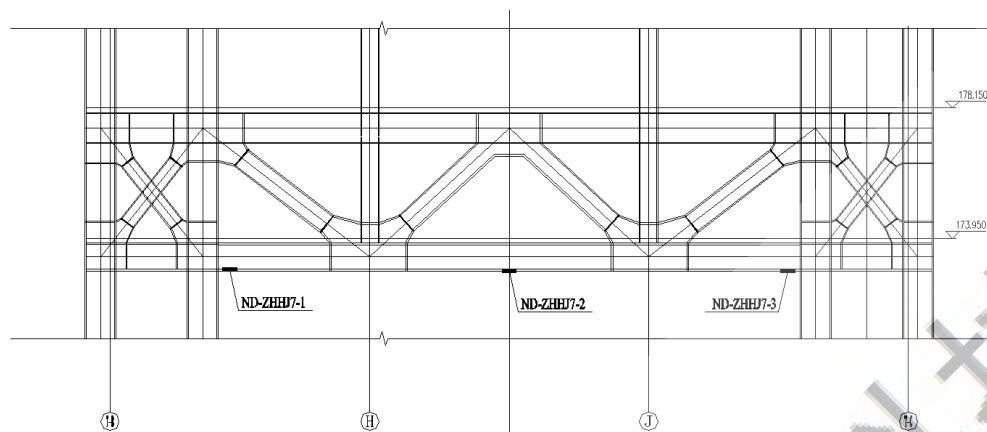


图 4.27 ZHHJ7 挠度监测点布置图

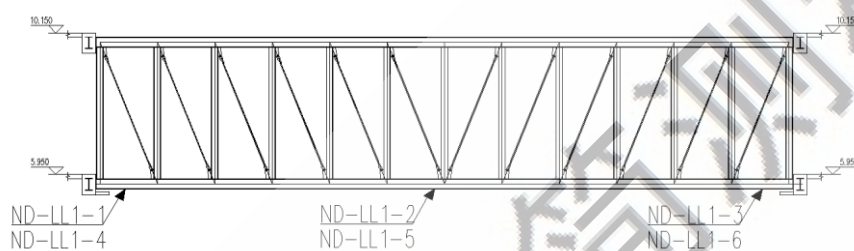


图 4.28 LL1 挠度监测点布置图

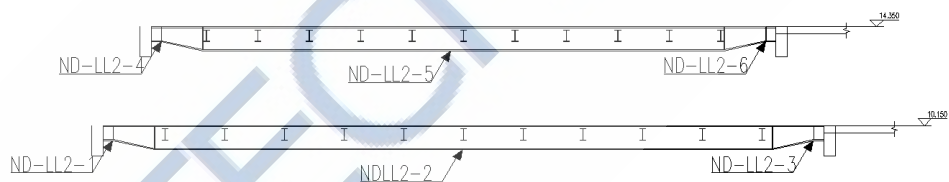


图 4.29 LL2 挠度监测点布置图

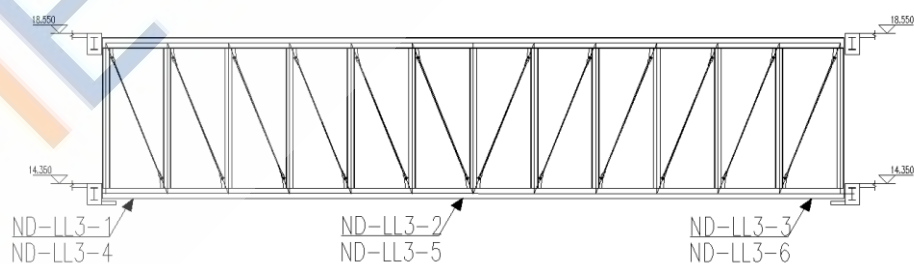


图 4.30 LL3 挠度监测点布置图

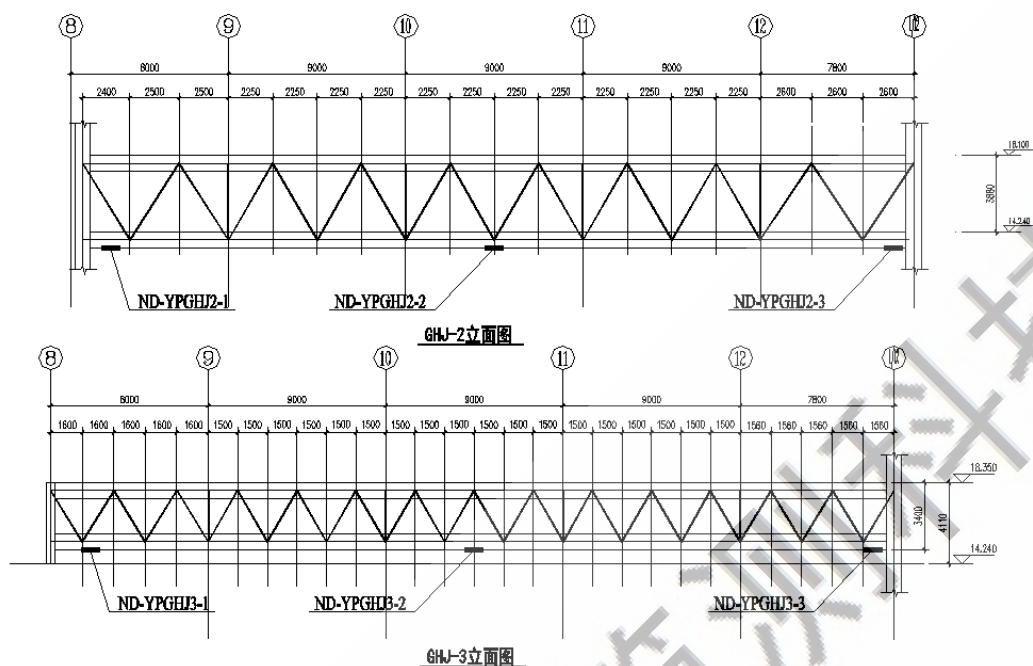


图 4.31 YP 挠度监测点布置图

(4) 幕墙钢结构变形监测

幕墙变形监测根据幕墙钢结构划分为四段，其中一段幕墙区域的变形监测以 1~9 号门式刚架所在位置为变形控制监测的重点部位（6 号门式刚架为伸缩缝位置），每榀门架设 3 个监测控制点，共 27 个监测控制点；第二~四段分别以加强层幕墙结构着力点为重点变形监测部位，分别设在第 12 层、27 层以及 42 层，各设 5 个控制点，共 15 个变形监测控制点；在第 11 层至 44 层之间，间隔 4.2m 即每楼层位置处（加强层除外）布置 3 个变形监测控制点，共 93 个变形监测控制点。幕墙钢结构变形监测合计 135 个监测点。

表 4.8 超高层建筑幕墙钢结构变形监测点一览表

序号	监测单元	编号	测点布置
1	幕墙一段	MJ-BX	MJ _{1~9} -BX-1~3
2	加强层	JQC-BX	JQC _{12、27、42} -BX-1~5
3	标准层	BZC-BX	BZC _{11~44} -BX-1~3

备注:表中“MJ”表示门式刚架,“BX”表示变形监测点。

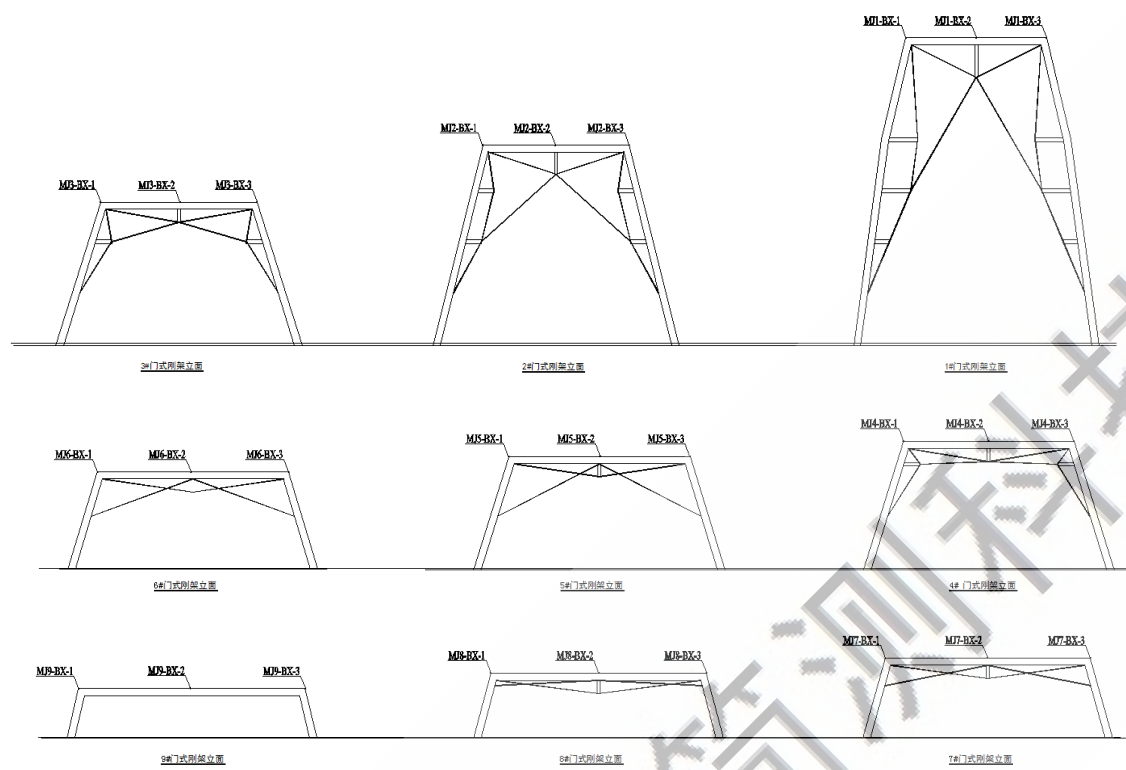


图 4.32 幕墙一段门式刚架变形监测点布置图

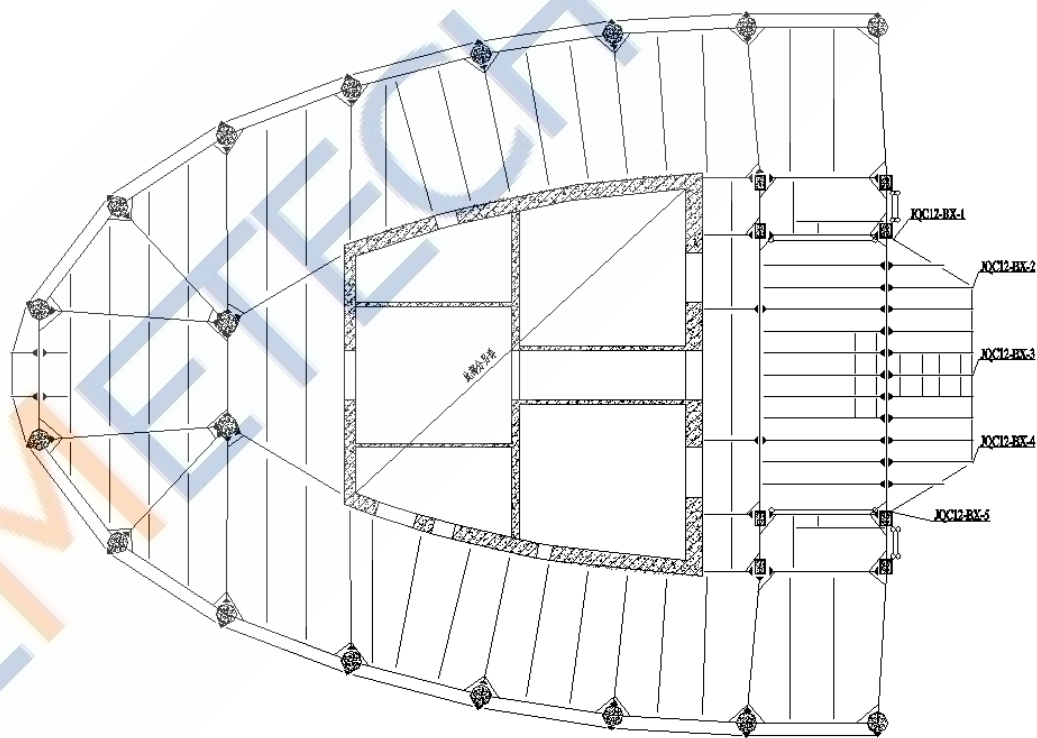


图 4.33 幕墙加强层 12 变形监测点布置图

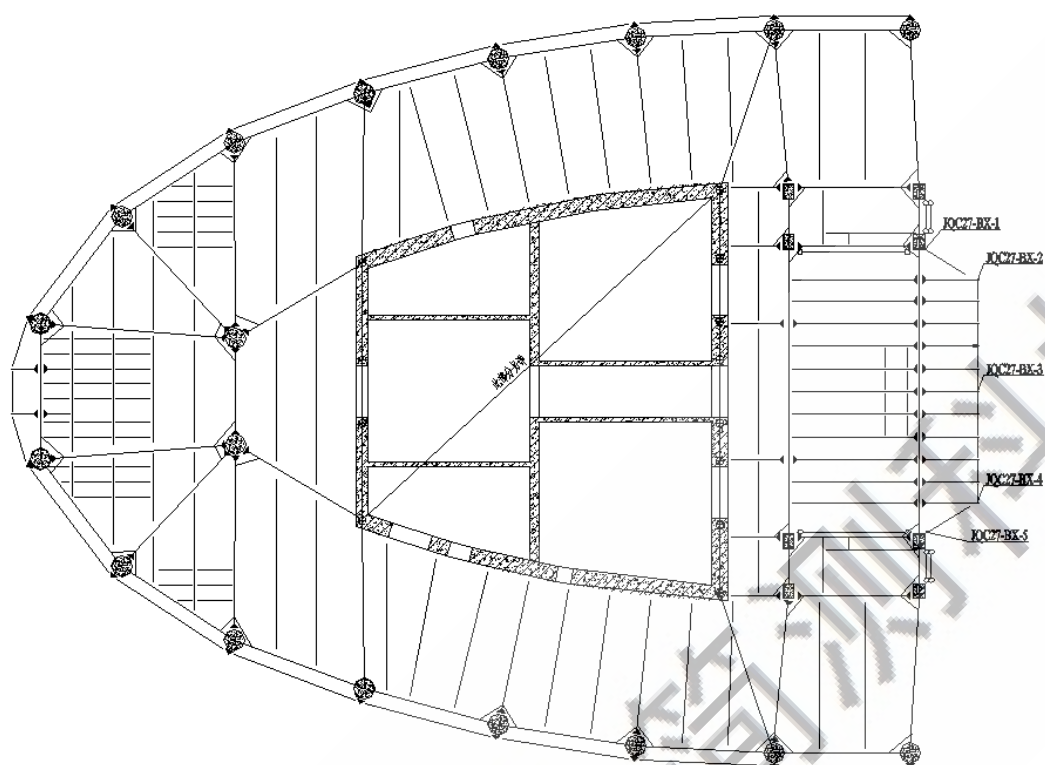


图 4.34 幕墙加强层 27 变形监测点布置图

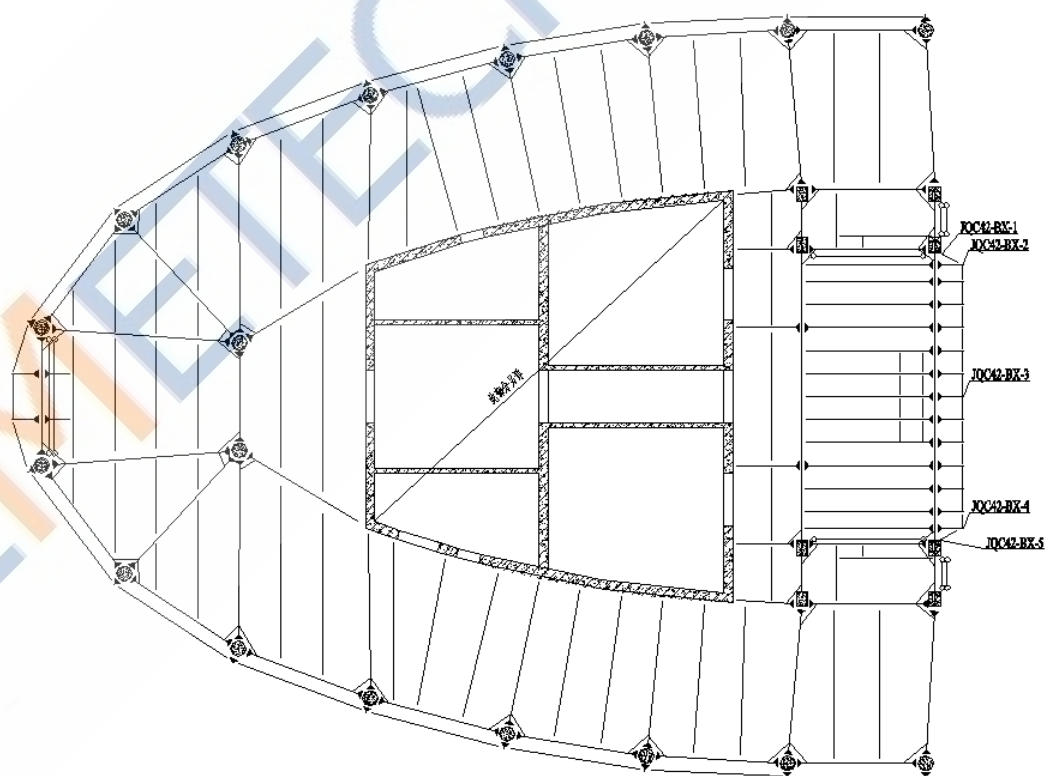


图 4.35 幕墙加强层 42 变形监测点布置图

4.2.3 位移监测设备

结构施工阶段位移监测需要得到选定点三个方向的位移数据，重点是竖向位移，进行静态观测。计算理论模型，得出施工过程的位移控制点，布设位移监测传感器，本工程拟采用 GPS、全站仪等配合进行。



图 5.36 全站仪



图 5.37 GPS

4.2.4 监测成果

在以下各时期监测所选择构件的位移变化情况，提交监测成果：

结构施工过程中，根据施工进度每月进行 1~2 次位移监测，每月提交一次位移检测成果，并在主体结构封顶后提交总的位移监测成果。

4.3 温度监测

由于太阳辐射的作用钢结构的温度明显不同于大气环境温度，其直接影响是在高次超静定结构中产生温度应力，因此在钢结构施工过程中，需要在特定的阶段下对钢结构的温度进行实时监测，为科学地组织施工和结构温度应力的计算提供技术依据。

4.3.1 监测内容

温度监测的主要内容为混凝土及钢结构在施工过程中温度的变化。

4.3.2 监测点布置

塔楼混凝土结构的温度监测点，每个监测单元 5 个，共 40 个。塔楼及裙房每榀钢桁架各布置一个温度监测点，共 11 个。合计温度监测点 51 个。温度监测点位图如下：

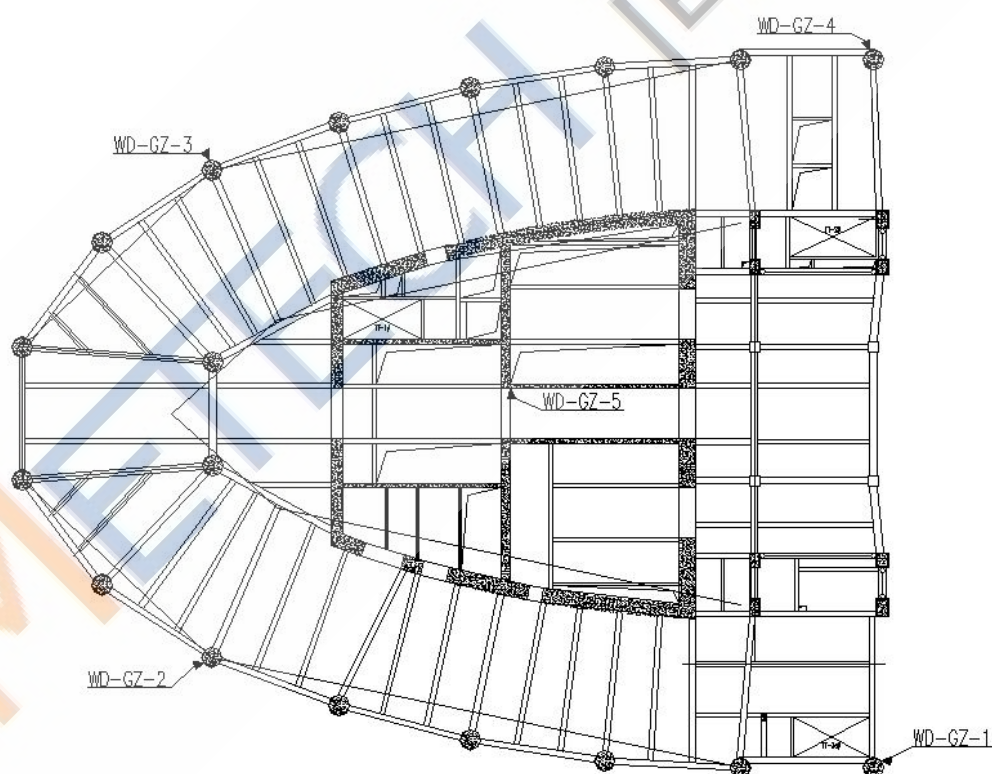


图 4.38 塔楼主体温度监测点布置图

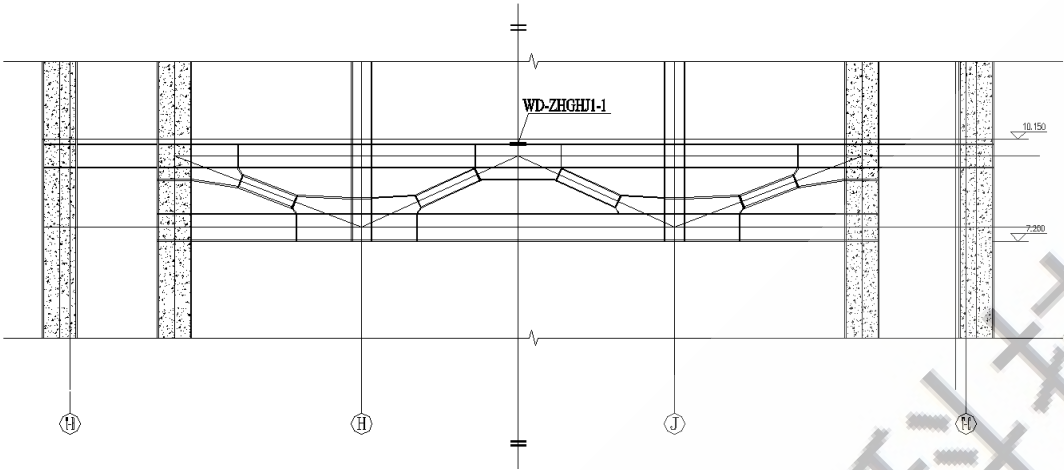


图 4.39 ZHHJ1 温度监测点布置图

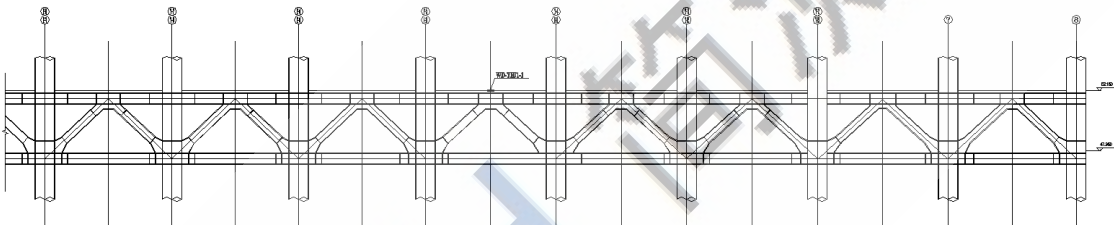


图 4.40 YHJ1 温度监测点布置图

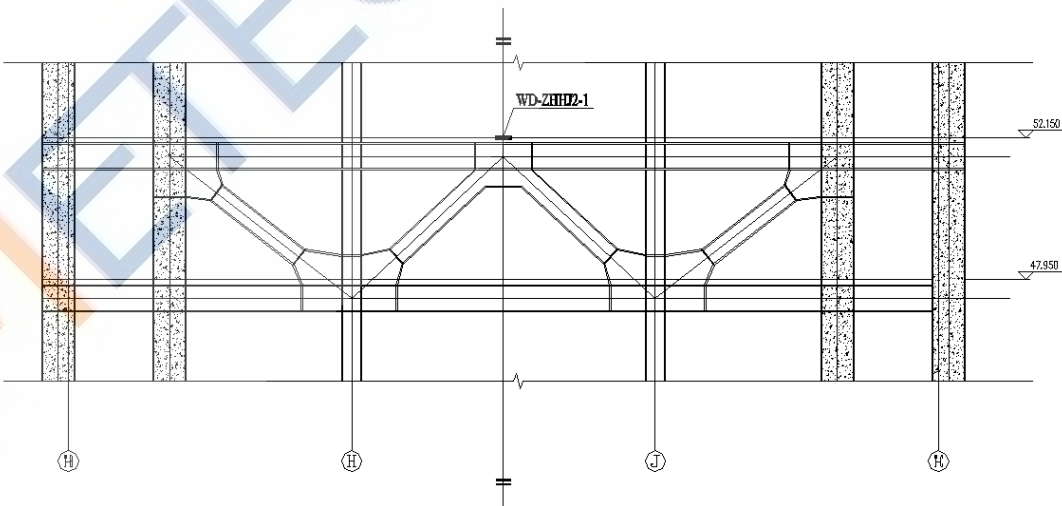


图 4.41 ZHHJ2 温度监测点布置图

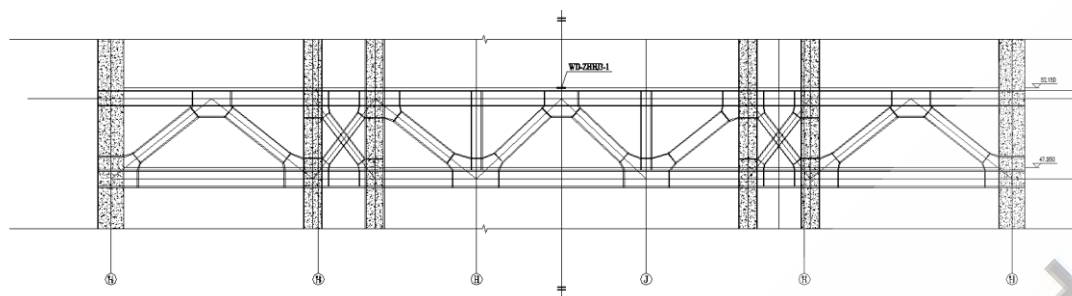


图 4.42 ZHHJ3 温度监测点布置图

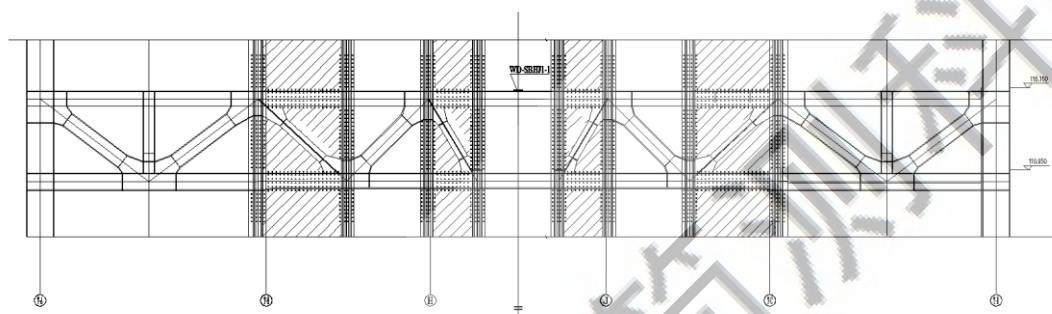


图 4.43 SBHJ1 温度监测点布置图

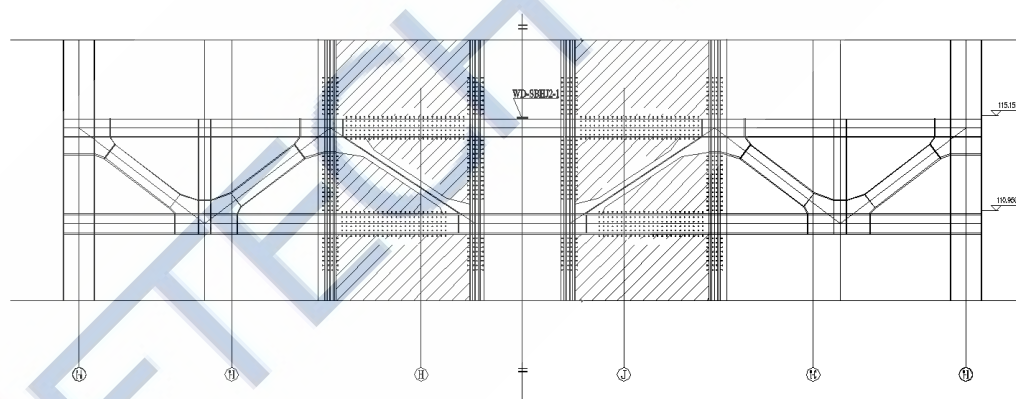


图 4.44 SBHJ2 温度监测点布置图

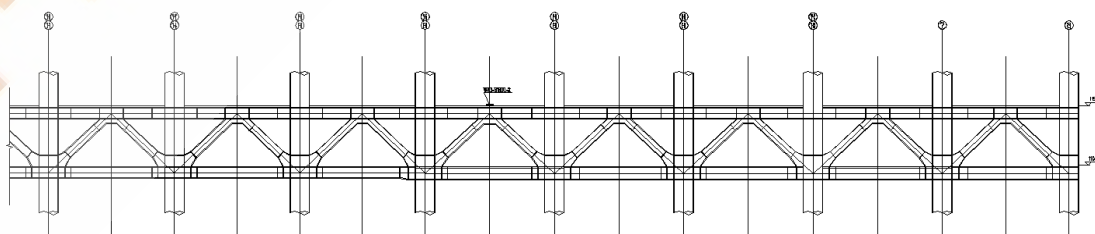


图 4.45 YHJ2 温度监测点布置图

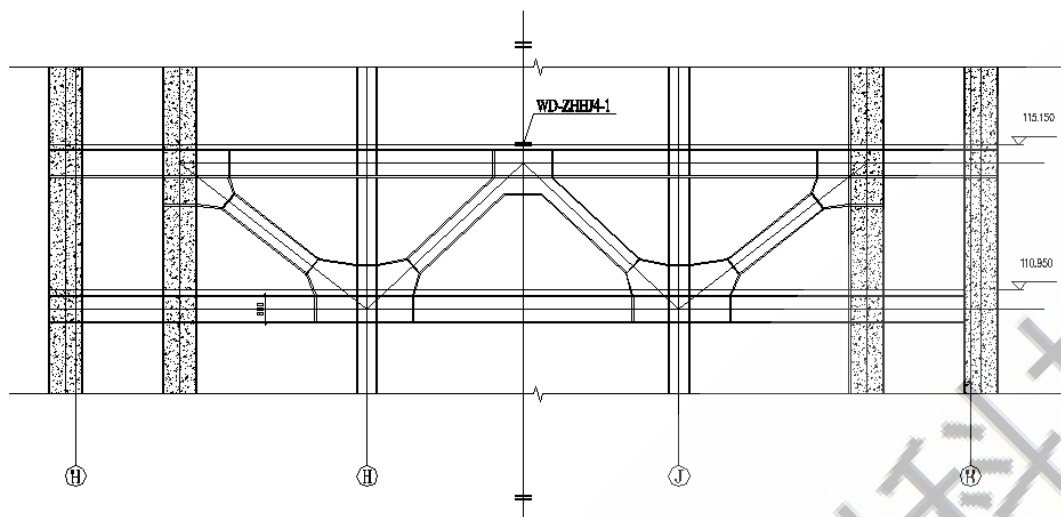


图 4.46 ZHHJ4 温度监测点布置图

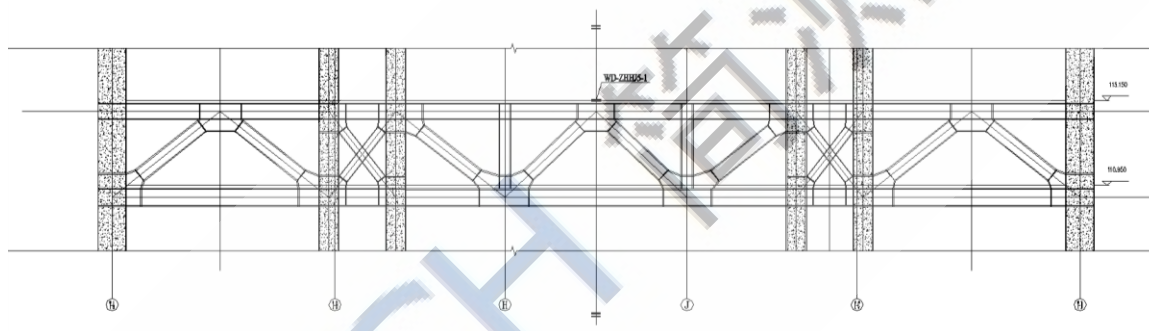


图 4.47 ZHHJ5 温度监测点布置图

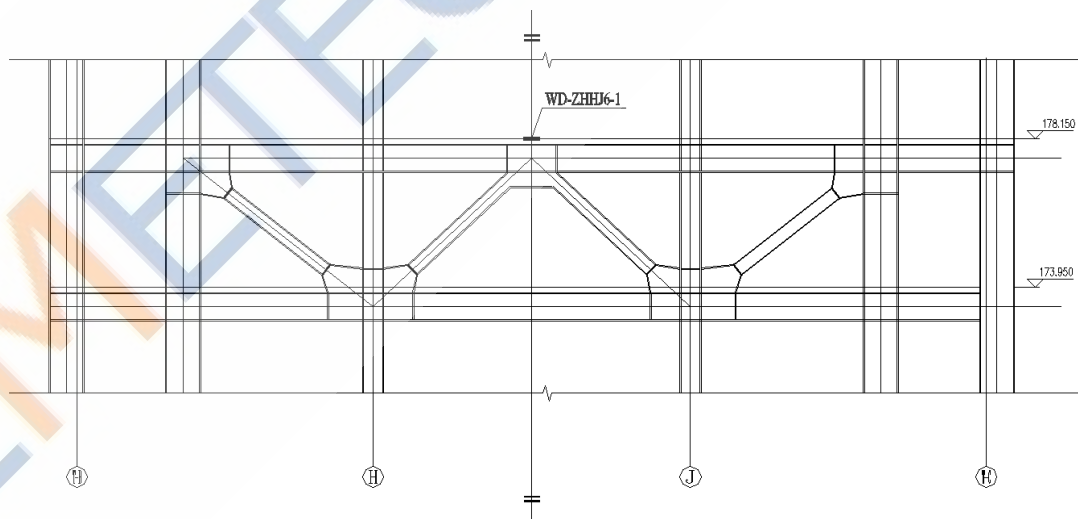


图 4.48 ZHHJ6 温度监测点布置图

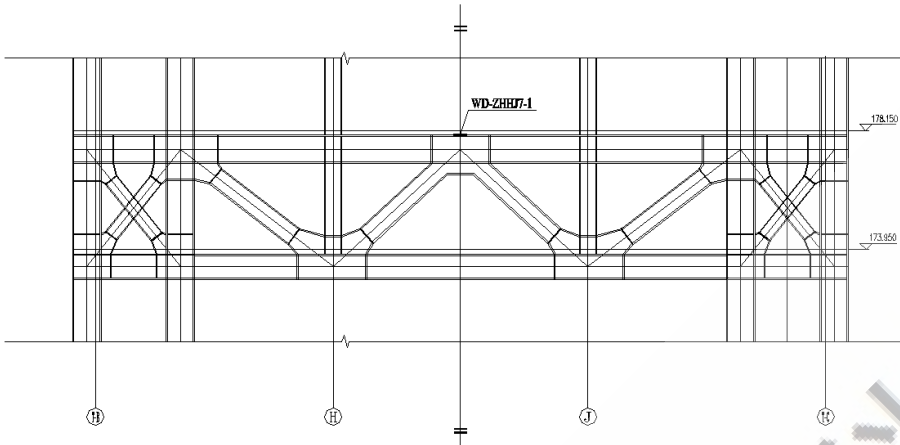


图 5.49 ZHHJ7 温度监测点布置图

4.3.3 监测设备

采用光纤光栅温度传感技术，整体工作原理及安装实施调试等与应变传感器一致，并采用同台光纤光栅解调仪作为数据采集系统

采用深圳市简测科技有限公司光纤光栅温度传感器，按封装方式分为增敏型（型号为：JTFS-02）与无增敏型（型号为：JTFS-01）封装结构，按外形可分为管式和方形两种。传感器采用了独特的双层钢管封装技术，不仅可以有效的提高了传感器的温度灵敏度，使传感器能自由的感应结构对象的温度变化，而且消除了外界应变影响，使传感器免受外界应力的冲击。

产品要求主要如下：

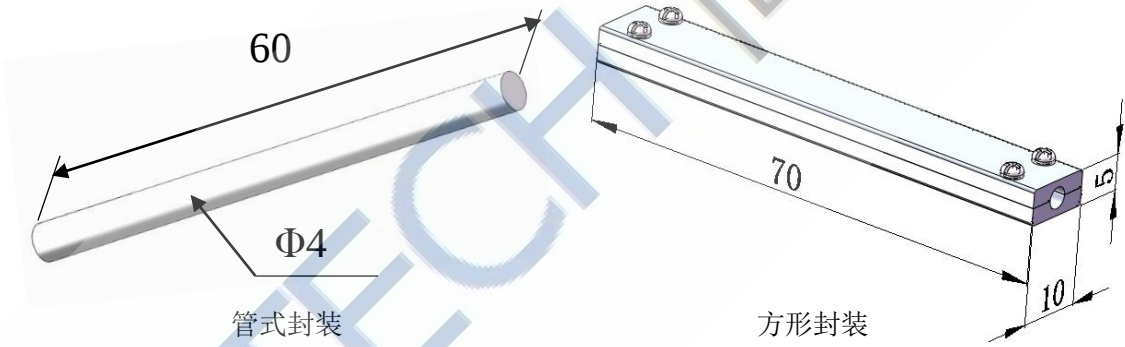
- 有良好的热传导性和耐腐蚀性。
- 可直接埋入结构内部或粘贴于结构表面，可重复使用，拆卸安装方便简单。
- 增敏型温度传感器用于高精度温度测量需求，工程结构内部温度测量等。
- 无增敏型温度传感器适用于各种光纤光栅传感器测量的温度补偿需求。

主要技术参数如下：

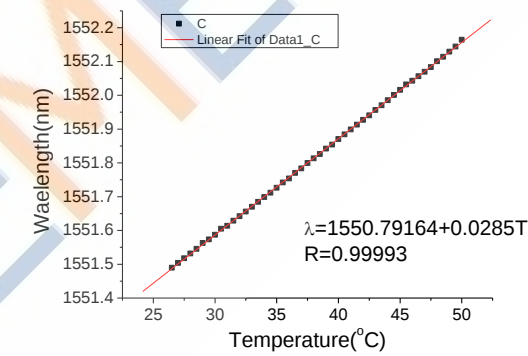
传感器	增敏型光纤光栅温度传感器	无增敏型光纤光栅温度传感器
量程	-30℃~+120℃	-30℃~+120℃

分辨率	0.05℃	0.1℃
波长范围	1510~1590nm	1510~1590nm
重量	20 克	22.8 克
规格尺寸	3.6mm 外径	5mm×10mm
安装方式	表面粘接或埋入被测材料中	表面粘接或埋入被测材料中
应用范围	高精度温度测量	低精度温度测量及光纤光栅传感器温度补偿

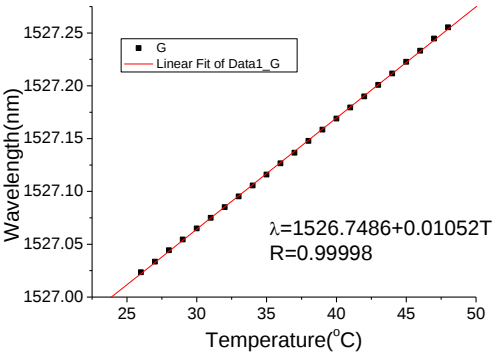
规格尺寸



传感器标定图



增敏型温度传感器



无增敏型温度传感器

4.3.4 监测成果

在以下各时期监测所选择构件的温度变化情况，提交监测成果：

结构施工过程中，监测施工过程中所选择构件的温度变化情况，主体结构完成后及屋面施工完成后各提交一次监测成果。

5 监测成果

在结构施工阶段的相关时期，提交结构监测的分析结果报告，验证结构在施工阶段的安全性。成果提交共计 4 次，每次一式 4 份。监测报告分别为：

（1）结构施工过程中在第 12 层、27 层、42 层及主体完工，4 个阶段分 4 次分别向业主提供监测数据；

（2）整个监测完成后，监测单位向业主提交一份完整的监测报告。

监测报告主要包括：

（1）关键构件的应力、应变等的监测成果：比较关键构件的应力应变与计算分析的一致性程度，是否满足设计要求；给出关键构件的预警信息；科学地指导使用和维护，实施有效的保养、维修工作；

（2）结构变形监测成果：验证其是否满足设计、使用要求，并得出结论；

（3）温度作用监测成果，为大型超高层结构的温度引起的应力变化分析提供依据。

附件：

超高层应力监测点一览表

序号	监测参数	监测部位	监测点数量	备注
1	应力	塔楼钢管柱	90	基础筏板每个测点布置10个传感器；钢管柱每个监测点布置2个传感器；其余监测点各布置1个传感器。
		塔楼剪力墙	20	
		塔楼钢桁架	57	
		裙房连廊	32	
		一段玻璃幕墙 门式刚架	31	
		主入口雨棚钢 桁架	6	
合计			244	传感器共390个

超高层位移监测点一览表

序号	监测参数	监测部位	监测点数量	备注
2	塔楼水平位移 及垂直度	塔楼主体	180	
	塔楼标高控制	塔楼主体	176	
	钢桁架挠度	加强层、连廊、 雨棚	25	每个监测点3个小测点
	瀑布式玻璃幕 墙变形	幕墙 钢结构	135	
合计			516	

超高层温度监测点一览表

序号	监测参数	监测部位	监测点数量	备注
3	温度	塔楼主体结构	40	每个监测点布置1个传感器
		加强层钢桁架	11	
合计			51	传感器共51个