

T/EJCCCSE

团 体 标 准

T/EJCCCSE XXXX-XXXX

桩身完整性检测数据分析系统 应用技术规范

Application technical specification of data analysis system for pile
integrity detection

(征求意见稿)

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国商业股份制企业经济联合会 发布

目 次

前言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本规定 1

5 数据采集模块 2

6 数据传输与处理模块 7

7 数据分析模块 7

8 报告生成模块 10

9 质量控制 11

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由杭州大地工程测试技术有限公司提出。

本文件由中国商业股份制企业经济联合会归口。

本文件起草单位：杭州大地工程测试技术有限公司。

本文件主要起草人：×××

桩身完整性检测数据分析系统应用技术规范

1 范围

本文件规定了桩身完整性检测数据分析系统的基本规定、数据采集模块、数据传输与处理模块、数据分析模块、报告生成模块、质量控制。

本文件适用于检测桩身完整性、判定桩身缺陷及整体质量控制的数据分析系统的应用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

JGJ 106-2014 建筑基桩检测技术规范

JG/T 518-2017 基桩动测仪

3 术语和定义

JGJ 106-2014 界定的术语和定义适用于本文件。

4 基本规定

4.1 基本原则

4.1.1 科学性

4.1.1.1 桩身完整性检测应基于科学原理，选择适合的检测方法。

4.1.1.2 检测方法应包括但不限于下列各项：

- a) 低应变反射波法；
- b) 钻芯法；
- c) 声波透射法；
- d) 高应变法；
- e) 孔中摄像法；
- f) 旁孔透射波法。

4.1.2 规范性

4.1.2.1 桩身完整性检测应遵循合理的流程，包括现场调查、检测方案的制定、检测设备的准备、检测实施以及数据处理等。

4.1.2.2 应符合 JGJ 106-2014 中的规定。

4.1.3 全面性

- 4.1.3.1 桩身完整性检测应涵盖桩身的各个方面。
- 4.1.3.2 对于大直径灌注桩等复杂桩型，应同时选用两种或多种检测方法，以相互补充和验证。
- 4.1.4 安全性
 - 4.1.4.1 检测过程中，应采取必要的安全措施。
 - 4.1.4.2 检测人员应接受专业的安全培训。

4.2 系统组成

应包括但不限于下列各项：

- a) 数据采集模块；
- b) 数据传输与处理模块；
- c) 数据分析模块；
- d) 报告生成模块。

4.3 性能指标

应符合表 1 中的要求。

表 1 数据分析系统性能指标

指标名称	指标详情	指标参数
数据采集精度	传感器分辨率(应变测量)	不低于 1 $\mu\epsilon$ (微应变)
	传感器分辨率(声波测量)	不低于 0.1 μs (微秒)
	采样频率(低应变法)	不低于 5 kHz(千赫兹)，对于大直径桩或长桩建议不低于 10 kHz
	采样频率(声波透射法)	不低于 20 kHz，根据桩长和检测要求可适当提高至 50 kHz以上
数据处理速度	单次数据处理时间(低应变法，单桩数据量约 1 000 个采样点)	不超过 1 min
	单次数据处理时间(声波透射法，单桩数据量约 5 000 个采样点)	不超过 5 min
系统稳定性	连续工作时长(无故障)	不少于 8 h
	数据传输误码率	小于 1×10^{-6}
	系统崩溃或异常退出概率(每 100 次数据处理操作)	小于 1%

5 数据采集模块

5.1 采集设备

5.1.1 低应变反射波法采集设备

- 5.1.1.1 应采用基桩动测仪，应符合 JG/T 518-2017 中的规定。
- 5.1.1.2 激振设备应包括能激发宽脉冲和窄脉冲的力锤和锤垫。
- 5.1.1.3 传感器应变测量范围 $\pm 3\,000\,\mu\epsilon$ 。
- 5.1.1.4 加速度测量范围 $\pm 200\,m/s^2$ 。
- 5.1.1.5 固有频率 $\geq 5\,kHz$ 。
- 5.1.1.6 灵敏度 $\geq 3\,mV/\mu\epsilon$ 或 $100\,mV/g$ 。

5.1.1.7 线性度 $\leq 3\%$ 。

5.1.1.8 数据采集仪采样频率 ≥ 20 kHz，分辨率 ≥ 24 位，通道数 ≥ 2 ，动态范围 ≥ 100 dB。

5.1.2 钻芯法采集设备

5.1.2.1 钻取芯样宜采用液压操纵的高速钻机，应符合包括但不限于下列各项：

- a) 额定最高转速不低于 790 r/min；
- b) 转速范围 300 ~ 1 000 r/min；
- c) 进给速度范围 50 ~ 200 mm/min；
- d) 转速调节范围不少于 4 档；
- e) 额定配用压力不低于 1.5 MPa；
- f) 钻头直径偏差 ± 2 mm；
- g) 可采集芯样长度范围 0.5 ~ 2 m；
- h) 拍照设备分辨率 ≥ 20 MP，应可拍摄芯样全貌及细节。

5.1.2.2 钻机应配备单动双管钻具以及相应的孔口管、扩孔器、卡簧、扶正稳定器和可捞取松软渣样的钻具；

5.1.2.3 钻杆应顺直，直径不宜小于 50 mm。

5.1.2.4 应采用单动双管钻具钻取芯样，严禁采用单动单管钻具钻取芯样。

5.1.2.5 钻头应根据混凝土设计强度等级选用合适粒度、浓度、胎体硬度的金刚石钻头，且外径不宜小于 100 mm。

5.1.2.6 锯切芯样的锯切机应具有冷却系统和夹紧固定装置。芯样试件端面的补平器和磨平机应满足芯样制作的要求。

5.1.3 声波透射法采集设备

5.1.3.1 应采用换能器，应符合包括但不限于下列各项：

- a) 应采用圆柱状径向换能器，其沿径向振动应无指向性；
- b) 外径应小于声测管内径，有效工作段长度不大于 150 mm；
- c) 谐振频率应为 30 kHz ~ 60 kHz，当接收信号较弱时，宜选用带有前置放大器的接收换能器；
- d) 水密性应满足 1 MPa 水压不渗水；
- e) 对于桩长超过 100 m 的超长桩，应选用水密性要求更高的换能器；
- f) 换能器连接导线上应有深度标记，其刻度偏差不应大于 10 mm，换能器两端宜安装扶正器；
- g) 扶正器的尺寸应与声测管内径相适应。

5.1.3.2 应采用声波检测仪，应符合包括但不限于下列各项：

- a) 实时显示和记录接收信号时程曲线以及频率测量或频谱分析；
- b) 最小采样间隔应不大于 0.5 μ s；
- c) 系统频带宽度应为 1 kHz ~ 200 kHz；
- d) 声波幅度测量相对误差应小于 5%；
- e) 系统最大动态范围应不小于 100 dB；
- f) 声波发射脉冲应为阶跃或矩形脉冲，电压幅值应为 200 V ~ 1 000 V；
- g) 首波实时显示；
- h) 自动记录声波发射和接受换能器深度位置。

5.1.3.3 数据采集仪采样频率 ≥ 200 kHz，通道数 ≥ 4 ，动态范围 ≥ 120 dB。

5.1.4 高应变法采集设备

- 5.1.4.1 应采用基桩动测仪,应符合 JG/T 518-2017 中的规定。
- 5.1.4.2 检测的专用锤击设备应具有稳固的导向装置。
- 5.1.4.3 重锤应形状对称、材质均匀,高径(宽)比应不小于 1。
- 5.1.4.4 锤的重量应能使实测信号有明显的桩底反射波出现。
- 5.1.4.5 应变传感器:测量范围 $\pm 5\,000\ \mu\epsilon$,灵敏度 $\geq 2\text{ mV}/\mu\epsilon$,线性度 $\leq 2\%$,固有频率 $\geq 500\text{ Hz}$ 。
- 5.1.4.6 加速度传感器:测量范围 $\pm 1\,000\text{ m/s}^2$,灵敏度 $\geq 100\text{ mV/g}$,线性度 $\pm 3\%$,固有频率 $\geq 500\text{ Hz}$ 。
- 5.1.4.7 数据采集仪采样频率 $\geq 10\text{ kHz}$,分辨率 ≥ 24 位,通道数 ≥ 2 ,动态范围 $\geq 100\text{ dB}$ 。

5.1.5 孔中摄像法采集设备

- 5.1.5.1 用于孔中摄像法检测的仪器采用的视频端的成像分辨率宜不低于 $1\,024 \times 768$ 像素,应具有彩色显示功能,成像应清晰,视角范围 90° ,防水深度 $\geq 100\text{ m}$,自带照明系统,亮度可调节。
- 5.1.5.2 检测仪器应带有深度记录功能和摄像头定位装置,摄像头应具有焦距调整功能。
- 5.1.5.3 深度测量装置测量精度 $\pm 0.1\text{ m}$,可实时记录摄像头深度位置。
- 5.1.5.4 数据传输线缆应满足数据和控制信号的稳定传输,抗拉伸强度 $\geq 1\,000\text{ N}$ 。

5.1.6 旁孔透射波法采集设备

- 5.1.6.1 测试系统应包括但不限于下列各项:

- a) 钢索;
- b) 信号线;
- c) 测绳三合一的专用铠甲电缆线;
- d) 井中三分量传感器;
- e) 波形显示记录器;
- f) 数字记录器;
- g) 其他专用附件。

- 5.1.6.2 钢索、信号线、测绳三合一的专用铠甲电缆线应符合下列要求:

- a) 可检测深度不宜小于 100 m ,深度分辨率不大于 10 mm ;
- b) 耐水压不小于 1 MPa 。

- 5.1.6.3 井中三分量传感器应符合下列要求:

- a) 自然频率范围宜为 $10\text{ Hz} \sim 100\text{ Hz}$;
- b) 灵敏度不宜小于 $250\text{ mV}/(\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$;
- c) 阻尼系数宜为 $0.65 \sim 0.70$;
- d) 惯性系数不宜大于 0.2% 。

- 5.1.6.4 检测仪器应符合下列要求:

- a) 放大器通频带应满足所采集信号的频率范围要求,系统 A/D 转换器分辨率不宜小于 12 bit ,并满足宽动态范围的信号记录要求;
- b) 最小采样间隔不宜大于 $10\ \mu\text{s}$;
- c) 采样长度应满足距离震源最远的通道采集信号长度的需要;
- d) 系统的触发误差、放大器相位误差不应大于 5 个采样间隔,累计误差不应大于 8 个采样间隔。

- 5.1.6.5 数据采集仪采样频率 $\geq 150\text{ kHz}$,通道数 ≥ 2 ,动态范围 $\geq 100\text{ dB}$ 。

5.2 数据采集参数设置

5.2.1 低应变反射波法

5.2.1.1 采样频率：5 ~ 20 kHz（应根据桩长调整，一般桩长小于 20 m 可适当降低，大于 20 m 取高值）。

5.2.1.2 采集时长：5 ~ 10 ms/m。

5.2.1.3 触发方式：信号幅值触发，触发阈值应根据背景噪声调整，一般为噪声幅值的 2 ~ 5 倍。

5.2.2 钻芯法

5.2.2.1 钻进参数：应根据桩身混凝土强度和地质条件调整。

5.2.2.2 采样间隔：每钻进 1 m 采集一次芯样及相关数据。

5.2.3 声波透射法

5.2.3.1 采样频率：100 ~ 200 kHz。

5.2.3.2 采集时长：应根据声测管长度和声波传播速度确定。

5.2.3.3 发射电压：500 ~ 1 000 V。

5.2.4 高应变法

5.2.4.1 采样频率：5 ~ 10 kHz。

5.2.4.2 采集时长：10 ~ 20 ms。

5.2.4.3 触发方式：力信号或加速度信号幅值触发，触发阈值应根据预估的锤击能量和背景噪声确定。

5.2.5 孔中摄像法

5.2.5.1 图像采集帧率：5 ~ 10 帧/s。

5.2.5.2 采样深度间隔：每 0.1 m 采集一帧图像并记录深度位置。

5.2.6 旁孔透射波法

5.2.6.1 采样频率：80 ~ 150 kHz。

5.2.6.2 采集时长：应根据旁孔深度和波速估算，一般为旁孔深度 2 倍或波速 + 5 ~ 10 ms。

5.2.6.3 发射电压：300 ~ 800 V。

5.3 数据存储

5.3.1 低应变反射波法

5.3.1.1 存储格式：二进制或通用文本格式(如 CSV)。

5.3.1.2 存储信息应包括但不限于下列各项：

- a) 桩号；
- b) 采集时间；
- c) 传感器类型及编号；
- d) 采集仪设置参数；
- e) 采集数据序列等。

5.3.2 钻芯法

5.3.2.1 存储格式：图像格式(如 JPEG、PNG)和文本记录格式(记录芯样位置、长度、外观描述等)。

5.3.2.2 存储信息应包括但不限于下列各项：

- a) 桩号;
- b) 钻芯位置;
- c) 钻进深度;
- d) 芯样图像;
- e) 芯样描述;

5.3.2.3 应按桩号和钻进深度建立文件夹存储。

5.3.3 声波透射法

5.3.3.1 存储格式: 二进制或 WAV 音频格式(存储声波信号数据)及文本格式(记录检测参数、桩号等)。

5.3.3.2 存储信息应包括但不限于下列各项:

- a) 桩号;
- b) 声测管编号;
- c) 采集时间;
- d) 声波信号数据序列;
- e) 发射与接收换能器位置。

5.3.4 高应变法

5.3.4.1 存储格式: 二进制或通用数据格式。

5.3.4.2 存储信息应包括但不限于下列各项:

- a) 桩号;
- b) 锤击编号;
- c) 采集时间;
- d) 传感器类型及编号;
- e) 采集仪设置参数;
- f) 应变和加速度数据序列。

5.3.4.3 应按桩号和锤击次数建立文件夹存储。

5.3.5 孔中摄像法

5.3.5.1 存储格式: 视频格式(如 MP4)或图像序列格式(如 JPEG 序列)。

5.3.5.2 存储信息应包括但不限于下列各项:

- a) 桩号;
- b) 孔号;
- c) 采集时间;
- d) 摄像头深度位置;
- e) 图像或视频数据。

5.3.5.3 应按桩号和孔号建立文件夹存储。

5.3.6 旁孔透射波法

5.3.6.1 存储格式: 二进制或 WAV 音频格式(存储透射波信号数据)及文本格式(记录检测参数、桩号等)。

5.3.6.2 存储信息应包括但不限于下列各项:

- a) 桩号;
- b) 旁孔编号;
- c) 采集时间;

- d) 透射波信号数据序列;
- e) 探头深度位置。

6 数据传输与处理模块

应符合表 2 中的要求。

表 2 系统数据处理

检测方法	数据传输	预处理	特征提取
低应变反射波法	采用有线或无线传输，数据传输应稳定、完整，传输速率不低于 100 kb/s，传输过程中数据校验准确率达 99.9%以上	a. 去除信号中的高频噪声，应采用 50 ~ 200 Hz 的低通滤波； b. 对信号进行基线校正，使基线漂移控制在 ± 5 mV 以内； c. 对信号进行放大或衰减处理，使反射波信号幅值在-10 V 至 10 V 之间便于观察与分析。	a. 提取反射波的初至时间，精度达 0.1 ms； b. 计算反射波幅值与入射波幅值之比，精确到 0.01； c. 分析反射波频率，范围一般在 50 Hz ~ 2 000 Hz，频率分辨率为 1 Hz。
钻芯法	通过数据采集设备与计算机直接连接传输，数据传输错误率低于 0.1%	a. 对芯样照片的分辨率进行统一调整，应不低于 300 dpi； b. 对芯样描述文字信息进行格式标准化处理。	a. 识别芯样中的裂缝宽度，测量精度为 0.1 mm； b. 统计芯样中不同强度等级混凝土的长度占比，精确到 1%
声波透射法	应采用专用电缆数据传输，传输应不失真，传输过程中的信号衰减率低于 5%	a. 对声时数据进行异常值剔除，剔除范围为超出平均值 ± 3 倍标准差的数据； b. 对波幅数据进行归一化处理，使其在 0 ~ 1 之间。	a. 计算声速，精确到 1 m/s，声速正常范围在 3 800 ~ 4 200 m/s； b. 提取波幅衰减量，精度 0.1 dB。
高应变法	利用高速数据传输线传输，传输带宽不低于 5 MHz，力和速度信号应同步传输	a. 对力信号进行平滑处理，采用 5 点移动平均法； b. 对速度信号进行零漂校正，使零漂值小于 0.05 m/s。	a. 提取力的峰值，精确到 1kN； b. 获取速度峰值，精度 0.01 m/s； c. 计算力与速度曲线的比例系数，精确到 0.001。
孔中摄像法	通过数据线传输视频数据，帧率不低于 25 帧/秒，传输过程中数据丢包率低于 1%	a. 对视频图像进行灰度化处理，增强图像对比度； b. 对图像进行裁剪，去除边缘无效区域。	a. 提取图像中缺陷的轮廓，计算缺陷面积，精度为 1cm²； b. 统计图像中缺陷的数量，精确到 1 个。
旁孔透射波法	采用无线传输模块传输，传输距离应不低于 50 m，数据传输稳定性达到 99%以上	a. 对旁孔透射波信号进行去趋势项处理，使趋势项变化斜率小于 0.01； b. 对信号进行重采样，采样频率调整为 10 kHz。	a. 提取旁孔透射波的主频率，精度为 1 Hz； b. 计算波传播的时间延迟，精确到 0.01 ms。

7 数据分析模块

7.1 分析模型

7.1.1 低应变反射波法

采用一维波动方程模型，桩身视为一维弹性杆件，考虑桩周土阻力的影响，土阻力模型可采用 Smith 阻尼模型等，模型计算中桩身弹性模量取值误差控制在 $\pm 5\%$ 以内。

7.1.2 钻芯法

以芯样的实际外观表现、混凝土强度测试结果为基础建立分析模型，芯样抗压强度测试相对误差控制在 $\pm 10\%$ 以内。

7.1.3 声波透射法

基于声波在混凝土中的传播理论构建模型，考虑声波在不同强度混凝土及缺陷处的传播衰减特性，模型中声波在正常混凝土中的声速理论值误差应不超过 $\pm 2\%$ 。

7.1.4 高应变法

采用 Case-Gillespie 波动方程分析模型，模型中桩土参数如桩身阻抗、土的极限阻力等取值误差在 $\pm 10\%$ 以内。

7.1.5 孔中摄像法

依据图像识别与分析技术建立模型，对孔壁图像进行二值化处理，模型对缺陷图像识别准确率应不低于 98%。

7.1.6 旁孔透射波法

采用波动理论的旁孔透射模型，考虑旁孔与桩身的相对位置关系及周围介质对波传播的影响，模型中波传播路径计算误差应不超过 $\pm 3\%$ 。

7.2 分析处理

应按 JGJ 106-2014 中规定的进行分析处理。

7.3 缺陷判断

7.3.1 低应变反射波法

7.3.1.1 当反射波初至时间对应的桩身深度位置出现反射波幅值大于入射波幅值 20% 且反射波相位与入射波相反时，判断为缩径或离析缺陷。

7.3.1.2 若反射波相位与入射波相同且幅值较大，则可能为扩径。

7.3.1.3 反射波频率明显降低，如低于正常频率 30%，可判断桩身存在严重缺陷，缺陷位置计算误差不得超过桩长的 $\pm 3\%$ 。

7.3.2 钻芯法

7.3.2.1 芯样中裂缝宽度大于 0.5 mm 且连续长度超过 0.3 m，或局部混凝土疏松、夹泥厚度超过 5 cm 判定为明显缺陷。

7.3.2.2 若芯样完整性较好，但局部存在少量气孔或轻微离析现象，视为轻微缺陷，缺陷判断符合率达 95% 以上。

7.3.3 声波透射法

7.3.3.1 当某一检测剖面声速低于正常声速平均值 20% 且波幅低于正常波幅平均值 30% 时, 判断为该剖面存在缺陷。

7.3.3.2 若多个剖面在同一深度处均出现声速和波幅异常, 可确定桩身在此深度存在缺陷, 缺陷定位误差不超过 0.2 m。

7.3.4 高应变法

根据实测力和速度曲线, 若力曲线峰值与速度曲线峰值对应的时间差超出正常范围(如大于 3 ms), 且力与速度曲线不匹配, 表明桩身存在缺陷。

通过计算桩身完整性系数 β , 当 β 小于 0.6 时判断为 III 类或 IV 类桩, 缺陷位置判断误差不超过桩长的 $\pm 5\%$ 。

7.3.5 孔中摄像法

通过图像分析, 若孔壁存在孔洞、裂缝宽度大于 0.3 mm 且长度超过 0.2 m、混凝土严重剥落等情况判定为缺陷桩, 缺陷类型识别准确率达 95% 以上。

7.3.6 旁孔透射波法

当旁孔透射波传播时间延迟超过正常延迟时间的 30% 且波幅衰减大于正常衰减值的 40% 时, 判断桩身存在缺陷, 缺陷深度定位误差不超过 0.3 m。

7.4 结果评估

7.4.1 低应变反射波法

应将桩身完整性分为下列四类:

- I 类桩, 反射波无明显异常, 桩身完整;
- II 类桩, 有轻微反射信号, 桩身存在轻微缺陷;
- III 类桩, 反射信号较强, 桩身有明显缺陷但仍有一定承载能力;
- IV 类桩, 反射信号强烈且桩身缺陷严重, 几乎丧失承载能力, 评估准确率不低于 90%。

7.4.2 钻芯法

应将桩身完整性分为下列四类:

- I 类桩: 芯样连续、完整, 混凝土强度满足设计要求;
- II 类桩: 芯样有少量不连续面, 但不影响桩身结构强度, 混凝土强度达到设计值的 85% 以上;
- III 类桩: 芯样存在明显缺陷, 影响桩身部分承载能力, 混凝土强度在设计值的 60% ~ 85% 之间;
- IV 类桩: 芯样严重破碎, 混凝土强度低于设计值的 60%, 桩身完整性类别判断错误率不超过 5%。

7.4.3 声波透射法

应将桩身完整性分为下列四类:

- I 类桩: 各检测剖面声速和波幅均正常, 无明显缺陷;
- II 类桩: 个别检测剖面有轻微声速和波幅异常, 但整体桩身质量尚可;
- III 类桩: 有较多检测剖面存在较明显声速和波幅异常, 桩身存在较严重缺陷;

- d) IV类桩：大部分或全部检测剖面声速和波幅严重异常，桩身缺陷极其严重，评估结果与实际情况的吻合度不低于92%。

7.4.4 高应变法

应将桩身完整性分为下列四类：

- a) I类桩：桩身完整性系数 β 大于0.8，桩身完整；
- b) II类桩： β 在0.6 ~ 0.8之间，桩身有轻微缺陷；
- c) III类桩： β 在0.4 ~ 0.6之间，桩身有明显缺陷；
- d) IV类桩： β 小于0.4，桩身严重缺陷，评估的可靠度达90%以上。

7.4.5 孔中摄像法

应将桩身完整性分为下列四类：

- a) I类桩：孔壁图像完整，无明显缺陷；
- b) II类桩：孔壁有少量细微裂缝或局部轻微不平整；
- c) III类桩：孔壁存在明显裂缝、孔洞等缺陷；
- d) IV类桩：孔壁严重破损，桩身完整性类别判断的正确率不低于93%。

7.4.6 旁孔透射波法

应将桩身完整性分为下列四类：

- a) I类桩：旁孔透射波传播正常，无明显异常；
- b) II类桩：有轻微的波传播时间延迟和波幅衰减；
- c) III类桩：波传播时间延迟和波幅衰减较明显；
- d) IV类桩：波传播时间延迟大且波幅衰减严重，结果评估的准确率不低于90%。

8 报告生成模块

8.1 报告格式

应符合包括但不限于下列各项：

- a) 报告应采用规范的格式，排版整齐、内容清晰；
- b) 图表应具有明确的标注和说明；
- c) 文字表述应准确、简洁、易懂；
- d) 报告应由系统自动生成，并可根据需要的人工审核和修改；
- e) 最终报告应具备电子签名和盖章功能，保证报告的真实性和法律效力。

8.2 报告内容

8.2.1 工程概况

应包括工程名称、地点、桩型、桩径、桩长、设计要求等基本信息。

8.2.2 检测依据

应详细列出所依据的相关文件以及检测合同等。

8.2.3 检测设备

应详细说明数据采集和分析所使用的设备名称、型号、性能参数以及校准情况。

8.2.4 检测数据

应清晰展示经过处理和分析后的关键检测数据，如图形、表格、特征参数等。

8.2.5 分析结果

应给出桩身完整性的评估结果、缺陷描述以及分析过程和依据。

8.2.6 结论与建议

应对桩身完整性检测结果进行总结，提出关于桩的使用、处理或进一步检测的建议。

9 质量控制

9.1 系统校准

9.1.1 校准周期

9.1.1.1 数据分析系统中的数据采集设备(如传感器、数据采集仪等)应每半年进行一次全面校准。

9.1.1.2 数据处理与分析软件模块应每年进行一次功能校准与验证。

9.1.1.3 涉及到关键参数测量的部分(如声波透射法中声时测量模块)应每季度进行一次专项校准。

9.1.2 校准内容

9.1.2.1 低应变反射波法

9.1.2.1.1 校准传感器的灵敏度偏差应控制在 $\pm 5\%$ 以内。

9.1.2.1.2 频率响应范围与标称范围偏差应不超过 $\pm 10\%$ 。

9.1.2.1.3 数据采集仪的采样频率误差应不超过 $\pm 0.1\%$ 。

9.1.2.1.4 采样精度相对误差应小于 $\pm 0.5\%$ 。

9.1.2.2 钻芯法

9.1.2.2.1 钻芯设备的垂直度偏差应在 $\pm 1^\circ$ 以内。

9.1.2.2.2 转速测量装置误差应不超过 $\pm 5\%$ 。

9.1.2.2.3 芯样抗压强度试验机的力值精度示值相对误差应在 $\pm 1\%$ 以内。

9.1.2.3 声波透射法

9.1.2.3.1 超声检测仪的声时测量精度误差应不超过 $\pm 0.1 \mu s$ 。

9.1.2.3.2 波幅测量精度误差应在 $\pm 1 \text{ dB}$ 以内。

9.1.2.3.3 换能器的频率与标称频率偏差应不超过 $\pm 2\%$ 。

9.1.2.4 高应变法

9.1.2.4.1 锤击设备的能量测量装置误差应小于 $\pm 5\%$ 。

9.1.2.4.2 力传感器线性度的非线性误差应不超过 $\pm 1\%$ 。

9.1.2.4.3 速度传感器的灵敏度偏差应在 $\pm 3\%$ 以内。

9.1.2.5 孔中摄像法

9.1.2.5.1 摄像设备的分辨率与标称分辨率偏差应不超过 $\pm 5\%$ 。

9.1.2.5.2 图像畸变率已经小于 $\pm 3\%$ 。

9.1.2.6 旁孔透射波法

9.1.2.6.1 旁孔成孔设备的孔径测量装置误差应不超过 $\pm 5\text{ mm}$ 。

9.1.2.6.2 透射波测试设备的发射与接收频率偏差应在 $\pm 2\%$ 以内。

9.1.2.6.3 数据采集仪的传输稳定性数据丢包率应低于 0.1% 。

9.1.3 校准记录

每次校准均需形成详细的校准报告，报告应包括校准时间、校准设备名称与型号、校准项目、校准结果、校准人员签名等信息，校准报告需保存至少 5 年。

9.2 数据审核

9.2.1 审核流程

9.2.1.1 数据采集完成后，应先由数据采集人员进行初步自查，检查数据是否完整、有无明显异常值。

9.2.1.2 自查结束后应交由数据处理人员进行二次审核，审核数据预处理过程是否正确、特征提取是否准确。

9.2.1.3 最后由专业技术负责人进行最终审核，从整体上把控数据的可靠性与分析结果的合理性。

9.2.2 审核要点

9.2.2.1 低应变反射波法

应审核反射波波形的完整性、反射波初至时间的准确性(误差应不超过 $\pm 0.2\text{ ms}$)以及反射波幅值的合理性(与同类型桩对比偏差在 $\pm 30\%$ 以内)。

9.2.2.2 钻芯法

应审核芯样照片的清晰度、芯样描述与照片的一致性以及芯样抗压强度试验数据的可靠性(离散系数小于 15%)。

9.2.2.3 声波透射法

应审核声时-深度曲线和声幅-深度曲线的连续性(无明显跳跃或中断)、声速和波幅统计数据的异常值(超出平均值 ± 3 倍标准差的数据需复查)。

9.2.2.4 高应变法

应审核力-时间曲线和速度、时间曲线的匹配性(力与速度峰值时间差在正常范围内)、桩身完整性系数计算的正确性(计算参数取值合理)。

9.2.2.5 孔中摄像法

应审核图像分析结果与视频图像的相符性、缺陷识别的准确性。

9.2.2.6 旁孔透射波法

应审核旁孔透射波波形的稳定性、波传播特征参数的合理性(如传播时间与理论值偏差应不超过 $\pm 10\%$)。

9.2.3 异常处理

对于审核过程中发现的数据异常情况,须详细记录异常现象、可能原因,并及时采取重新采集数据、更换检测设备或采用其他检测方法进行对比验证等措施,处理过程与结果均需记录在案。

9.3 人员培训

9.3.1 培训内容

应包括但不限于下列各项:

- a) 桩身完整性检测的专业理论知识(各类检测方法的原理、适用范围、局限性等);
- b) 数据分析系统的操作技能(软件功能模块使用、数据处理流程、报告生成操作等);
- c) 相关规范的解读;
- d) 职业道德与质量意识教育。

9.3.2 培训方式

应采用集中授课、线上学习、实际操作演练、案例分析讨论等多种方式相结合,每年培训时间应不少于 40 学时,其中实际操作演练时间应不少于 10 学时。

9.3.3 培训考核

培训结束后应进行理论知识考试(满分 100 分,及格线为 60 分)和实际操作考核(根据操作的准确性、规范性、效率等进行评分,及格线为 60 分),考核结果应记录在个人培训档案中,对于考核不合格者需进行补考或重新培训,直至合格为止。

9.3.4 培训记录

应建立完善的人员培训档案,记录培训时间、培训内容、培训师资、学员名单、考核成绩等信息,培训档案需长期保存,作为人员资质管理与能力评估的重要依据。