

### 钻孔灌注桩成孔、地下连续墙成槽 质量检测技术规程

Technical specification for Testing of boreholes of cast-in-place piles and diaphragm walls

2021-09-16 发布

2022-03-01 实施

---

江苏省市场监督管理局  
江苏省住房和城乡建设厅

发布

## 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	3
2 规范性引用文件 .....	3
3 术语和定义 .....	3
4 基本规定 .....	4
4.1 一般规定 .....	4
4.2 检测数量 .....	4
4.3 检测抽样原则 .....	4
4.4 检测前准备 .....	4
4.5 重复检测与扩大检测 .....	5
5 超声波法 .....	5
5.1 一般规定 .....	5
5.2 检测仪器设备 .....	5
5.3 现场检测技术 .....	6
5.4 检测数据 .....	7
6 机械接触法 .....	8
6.1 一般规定 .....	8
6.2 检测仪器设备 .....	9
6.3 孔（槽）深度检测 .....	9
6.4 孔径检测 .....	9
6.5 成孔垂直度检测 .....	10
6.6 成槽宽度检测 .....	10
6.7 成槽垂直度检测 .....	10
6.8 沉渣厚度检测 .....	10
7 检测报告 .....	11
7.1 一般规定 .....	11
附录 A（资料性）伞型孔径仪校准方法 .....	12
附录 B（资料性）伞形孔径仪孔径计算方法 .....	13
附录 C（资料性）顶角测量法计算成孔垂直度的方法 .....	15
附录 D（资料性）圆心拟合法计算成孔垂直度的方法 .....	16
附录 E（资料性）伞形孔径仪检测槽宽计算方法 .....	17
附录 F（资料性）伞形孔径仪检测成槽垂直度计算方法 .....	20

## 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。

本文件由江苏省住房和城乡建设厅提出并归口。

本文件起草单位：江苏省建筑工程质量检测中心有限公司、江苏省建筑科学研究院有限公司、南京市建筑工程质量安全检测中心、苏州工业园区建设工程质量检测咨询服务有限公司、南京铭创测控科技有限公司、武汉岩海工程技术有限公司。

本文件主要起草人：刘晔、方平、杨勇、陈明珠、于学静、仲海蓓、赵枫、钮慧娟、臧明飞、郑彬、戴飞飞、杨燕军、陈江林、石开金。

# 钻孔灌注桩成孔、地下连续墙成槽质量检测技术规程

## 1 范围

本文件规定了“钻孔灌注桩成孔、地下连续墙成槽质量检测技术”的基本规定、检测内容、检测方法、校准方法和精度要求等内容。

本文件适用于江苏省行政区域内新建、扩建、改建工程的钻孔灌注桩成孔、地下连续墙成槽的质量检测管理。

## 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。

T/CECS 596-2019 《灌注桩成孔质量检测技术规程》

T/CECS 597-2019 《地下连续墙检测技术规程》

JTGT 3512-2020 《公路工程基桩检测技术规程》

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1 钻孔灌注桩 cast-in-place pile

通过机械钻孔（包括旋挖、冲击、挤土）或人力挖掘等手段在地基土中形成桩孔，并在孔内灌注混凝土而形成的桩。

### 3.2 地下连续墙 diaphragm wall

用专用机械在泥浆护壁的条件下，在地下分段成槽、安放钢筋笼、浇筑混凝土所形成的连续的钢筋混凝土墙体，或成槽后放入预制墙段所形成的连续墙体。

### 3.3 沉渣 sediment

灌注桩成孔或地下连续墙成槽后，淤积于孔（槽）底部的非原状沉淀物。

### 3.4 超声波法 ultrasonic testing method

使用超声波探头在孔（槽）内垂直升降并连续发射和接收声波，通过实测不同深度~~的~~发射与接收超声波信号的时间差来检测孔径（槽宽）、垂直度的方法。

### 3.5 机械接触法 mechanical contact method

使用伞形孔径仪、测斜仪、沉渣仪以及深度记录仪与孔（槽）侧壁或底部直接接触，通过测量仪器的几何尺寸、倾斜角、电阻率、压力等参数的变化来检测孔（槽）深、孔径（槽宽）、孔（槽）垂直度和沉渣厚度的方法。

### 3.6 试成孔（槽） experimental drilling hole of cast-in-place pile or groove of diaphragm wall

灌注桩（地下连续墙）在施工前，为核对地层资料和检验所选设备、施工工艺及技术要求是否合适而进行的试验性成孔（槽）。

### 3.7 圆心拟合法 circle center fitting method

通过灌注桩桩孔中各深度横向剖面圆心连成的拟合空间直线,相对重力方向的倾斜角度推算垂直度的检测方法。

### 3.8 顶角测量法 vertex angle measuring method

通过测斜仪测量桩孔中不同深度倾斜角的变化,推算成孔垂直度的检测方法。

### 3.9 电阻率法 resistivity method

通过微电极系在沉渣和均匀泥浆的界面上电阻率变化检测沉渣厚度的方法。

### 3.10 探针法 probe method

通过探针进入沉渣后的伸出长度、压力变化或角度变化检测沉渣厚度的方法。

## 4 基本规定

### 4.1 一般规定

4.1.1 灌注桩成孔、地下连续墙成槽的质量检测应包括孔(槽)深、孔径(槽宽)、孔(槽)垂直度及沉渣厚度。

4.1.2 采用超声波法可以检测孔径(槽宽)和孔(槽)垂直度。采用机械接触法可以检测孔(槽)深度、孔径(槽宽)、孔(槽)垂直度和沉渣厚度。

4.1.3 成孔(槽)质量检验标准应符合国家现行标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202、《建筑地基基础工程施工规范》GB 51004、《建筑桩基技术规范》JGJ94 等有关规定并符合设计的要求。

4.1.4 检测仪器设备应工作稳定,能实时显示和存储实测数据和曲线,且具备防水、绝缘等性能,电缆抗拉强度应能满足仪器在孔内升降的要求。检测仪器设备应经过检定或校准,在检测前应对检测仪器设备进行检查和调试。

### 4.2 检测数量

4.2.1 钻孔灌注桩的成孔质量检测数量不应少于总桩孔数的 10%,且不少于 10 个桩孔;变直径钻孔灌注桩的成孔检测数量不应少于总桩孔数的 30%;一柱一桩的桩孔应 100%检测;采用逆作法施工工艺且有钢柱锚入的大直径桩孔应 100%检测。

4.2.2 地下连续墙成槽质量检测数量不应少于总槽段数的 20%,对于异型槽段应 100%检测,每幅槽段应至少检测 2 个断面。

4.2.3 试成孔(槽)及为设计提供依据的静载试桩应全部进行成孔(槽)检测。

### 4.3 检测抽样原则

4.3.1 检测孔(槽)位应随机抽样、基本均匀分布并结合下列原则确定:

- a) 对施工质量有疑问的孔(槽);
- b) 不同机台或采用不同工艺施工的孔(槽);
- c) 地层性质差异大或容易发生偏斜、坍塌、缩径等不利于施工区段内的孔(槽);
- d) 设计认为重要的部位。

### 4.4 检测前准备

4.4.1 调查与收集资料,宜包括下列内容:

- a) 收集被检测工程的岩土工程勘察资料、设计图纸、施工记录、施工方案;
- b) 了解施工工艺特点和施工中可能出现的异常情况。

4.4.2 应根据检测目的和检测方法的适用性选择检测方法,并制定检测方案。检测方案宜包含下列内

容：

- a) 工程概况；
- b) 检测方法及依据的标准；
- c) 检测进度计划；
- d) 检测中的安全保护措施；
- e) 所需要的配合工作。

4.4.3 现场检测应及时填写检测记录，记录应至少包括下列内容：

- a) 工程名称及桩（槽）位编号；
- b) 孔（槽）设计参数和质量评价标准；
- c) 检测依据和检测方法；
- d) 检测仪器型号、编号及现场仪器标定的结果；
- e) 孔（槽）口高程及设计孔（槽）深度起算面高程。

#### 4.5 重复检测与扩大检测

4.5.1 现场孔（槽）检测完成后应及时提供检测结果。当检测结果不满足检验标准规定时，应在施工处理后进行复测，直至符合要求。

4.5.2 当不合格的孔（槽）数量大于抽检数量的 30%时，除进行复测外，应扩大检测，数量由工程有关方确认。

### 5 超声波法

#### 5.1 一般规定

5.1.1 本方法适用于检测孔径（槽宽）、孔（槽）垂直度。

5.1.2 被检测孔径（槽宽）不宜小于 0.6m。

5.1.3 检测时孔（槽）内泥浆性能指标应满足相关施工规范的要求，检测时应采取有效措施，保证超声波信号清晰有效。

#### 5.2 检测仪器设备

5.2.1 超声波法检测仪器设备应符合下列规定：

- a) 测量精度应不低于 0.2%FS，孔径检测具有自校功能；
- b) 检测仪器应能记录检测时间、孔（槽段）号、孔径或宽度线刻度和深度刻度；
- c) 超声波仪器的探头应能同时对十字正交的四个方向进行检测；
- d) 超声波探头的升降速度应能实时调节，当探头遇到孔壁（槽壁）或孔（槽）底时应能自动停止升降。

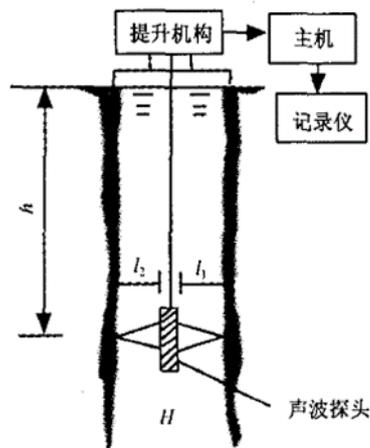


图1 超声波检测仪器示意图

### 5.3 现场检测技术

5.3.1 超声波法检测应在清孔（槽）完毕后、安放钢筋笼之前，且泥浆气泡基本消散后进行。

5.3.2 现场检测步骤应符合下列规定：

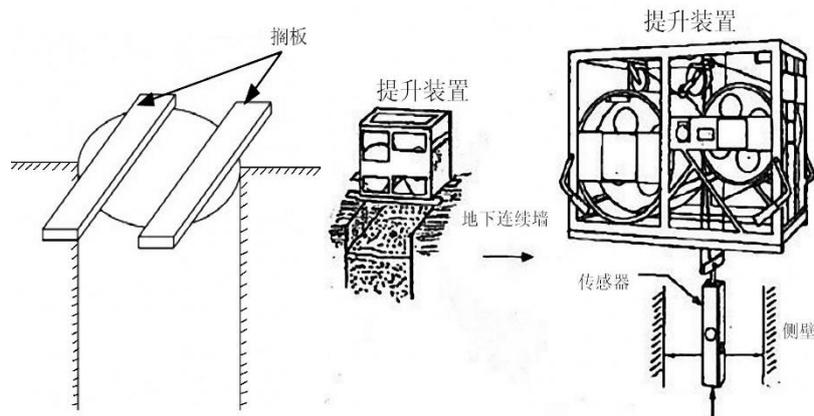


图2 超声波仪器架设示意图

- 将仪器稳固地架设在孔（槽）上方，成孔检测时，探头应对准成孔中心，检测过程中应保持仪器位置固定；成槽检测时，仪器探头起始位置应对准槽的轴线，用于检测的探头超声波发射面应与导墙平行；
- 现场测试前应将超声波探头放入泥浆中，利用已知尺寸的护筒或导墙对仪器系统进行校准，校准后仪器参数应固定不变；
- 成孔检测应同时对孔的两个十字正交剖面进行检测，直径大于 4m 的桩孔、变直径孔应增加检测方向。成槽检测时在槽段端头连接部位宜做三个方向检测，其余位置可做两个方向检测。在孔径（槽宽）可疑测点附近应加密测点或往返重复检测；
- 检测时超声波探头升降宜保持匀速，确保采集到清晰的声波曲线。现场检测的孔（槽）图像应清晰、准确；
- 检测时应记录检测时间、检测剖面与实际方位的关系；

f) 当所测孔（槽）质量不符合设计要求时，应及时通知相关单位进行处理，处理完毕后进行复测。

5.3.3 试成孔（槽）施工质量检测应待孔（槽）壁稳定性后，每间隔 3~4h 检测一次，宜连续检测 12h，每次应定向检测，比较孔径（槽宽）曲线、孔（槽）深度等参数的变化。

5.3.4 挤扩灌注桩的试成孔宜在成孔后 1 小时内等间隔检测不宜少于 3 次，每次应定向检测。

5.4 检测数据

5.4.1 现场检测记录图应符合下列规定：

- a) 有深度和距离刻度标记，能显示各深度截面的断面宽度及孔（槽）壁的形状；
- b) 能显示设计孔径（槽宽）基准线、检测方向及深度标记；
- c) 记录图纵横比例尺，应根据设计孔径（槽宽）及孔（槽）深度设定。

5.4.2 超声波在泥浆介质中的传播速度可根据已知的孔（槽）口尺寸和孔（槽）口所测的声时值进行计算：

$$c = 2(l_0 - d') / (t_1 + t_2) \dots\dots\dots (1)$$

式中：c——超声波在泥浆介质中的传播速度（m/s）；

$l_0$ ——已知的孔（槽）壁净距离（m）；

$d'$ ——两相反方向换能器的发射（接收）面之间的距离（m）；

$t_1$ 、 $t_2$ ——互为反向的换能器在已知距离的孔（槽）壁之间实测声时值（s）。

5.4.3 在任一深度位置，两个互为反向的换能器的中心与孔（槽）壁的净距离可按式计算：

$$l = (c * t + d') / 2 \dots\dots\dots (2)$$

式中：l——换能器中心距某一方向孔（槽）壁的水平距离；

t——某一方向实测的声时值（s）；

$d'$ ——两互为反向换能器的发射（接收）面之间的距离（m）。

5.4.4 任一深度截面，成孔孔径 D 应按式计算：

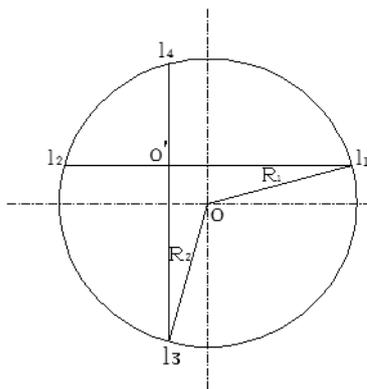


图3 孔径计算示意图

（注：O' 为探头中心； O 为实际圆心）

$$D = R_1 + R_2 \dots\dots\dots (3)$$

$$R_1 = \frac{\sqrt{(l_1+l_2)^2+(l_3-l_4)^2}}{2} \dots\dots\dots (4)$$

$$R_2 = \frac{\sqrt{(l_1-l_2)^2+(l_3+l_4)^2}}{2} \dots\dots\dots (5)$$

式中：D ——桩孔的平均直径(m)；

$R_1$ 、 $R_2$  ——桩孔半径(m)；

$l_1$ 、 $l_2$ 、 $l_3$ 、 $l_4$ ——分别为探头中心距孔（槽）壁四个方向的水平距离。

5.4.5 灌注桩成孔垂直度和偏心距应按下列方法计算：

$$E_n = \sqrt{\left(\frac{l_{10}-l_{20}-l_{1n}+l_{2n}}{2}\right)^2 + \left(\frac{l_{30}-l_{40}-l_{3n}+l_{4n}}{2}\right)^2} \dots\dots\dots (6)$$

$$K_n = (E_n/H_n) \times 100\% \dots\dots\dots (7)$$

式中： $E_n$ ——桩孔在第 n 测点处的偏心距；

$K_n$ ——桩孔在第 n 测点处的垂直度；

$H_n$ ——第 n 个测点处的深度值；

$l_{10}$ 、 $l_{20}$ 、 $l_{30}$ 、 $l_{40}$ ——第 1 测点探头中心距离孔壁四个方向的水平距离(m)；

$l_{1n}$ 、 $l_{2n}$ 、 $l_{3n}$ 、 $l_{4n}$ ——第 n 测点探头中心距离孔壁四个方向的水平距离(m)。

5.4.6 地下连续墙成槽宽度 L 应按下式计算：

$$L = c(t_1 + t_2)/2 + d' \dots\dots\dots (8)$$

5.4.7 地下连续墙成槽偏心距  $E_n$  应按下式计算：

$$E_n = |Y_0 - Y_n| \dots\dots\dots (9)$$

$$Y_0 = (l_0 - l_{20})/2 \dots\dots\dots (10)$$

$$Y_n = (l_{1n} - l_{2n})/2 \dots\dots\dots (11)$$

式中： $Y_0$ 、 $Y_n$ ——分别为第 1 和第 n 测点处超声波探头与槽中心的距离(m)。

$l_{10}$ 、 $l_{20}$ ——第 1 测点处探头中心与两面槽壁的水平距离；

$l_{1n}$ 、 $l_{2n}$ ——第 n 测点处探头中心与两面槽壁的水平距离。

5.4.8 地下连续墙成槽垂直度  $K_n$  按公式(7)计算。

## 6 机械接触法

### 6.1 一般规定

6.1.1 本方法适用于用仪器直接接触孔（槽）壁或孔（槽）底，检测孔（槽）深、孔径（槽宽）、垂直度以及沉渣厚度。

6.1.2 机械接触法检测设备包括主机、绞车、深度记录仪、伞形孔径仪、测斜仪和沉渣仪等。检测仪器设备可根据表 1 结合现场具体条件选用。

表1 检测设备和检测项目

检测项目	仪器名称	检测原理
孔（槽）深度	深度记录仪	通过深度记录仪计算仪器探头或测锤下行时带动滑轮转动圈数测量深度
孔径（槽宽）	伞形孔径仪	通过测量臂的电压变化或倾角变化换算为孔径
孔（槽）垂直度	测斜仪	通过测量顶角计算偏心距，换算为垂直度

	伞形孔径仪	孔径或槽宽检测的同时用拟合法计算垂直度
沉渣厚度	电阻率仪	通过电阻率曲线的变化判定沉渣厚度
	探针式沉渣仪	通过探针的阻力或角度变化判定沉渣厚度

## 6.2 检测仪器设备

6.2.1 深度记录仪应能实时记录检测仪器的深度，记录仪的滑轮应与检测仪器的电缆线保持同步联动，测量精度应不低于 0.3%。

6.2.2 伞形孔径仪除应符合 3.1.4 条的规定，还应符合下列规定：

- a) 测量臂应不少于 4 只，测量臂应能同时张开且在水平投影方向互呈 90°，测量臂张开时应具备合适的长度和张力确保末端能接触孔壁；
- b) 仪器应具备自校装置，校准装置应经法定计量机构检定。被测孔径小于 1.2m 时，孔径检测允许误差±15mm；被测孔径不小于 1.2m 时，孔径检测允许误差±25mm；
- c) 伞形孔径仪的方位角测量精度应不低于 0.1°。

6.2.3 测斜仪除应符合 4.1.4 条的规定，还应符合下列规定：

- a) 角度测量范围 0~15°；
- b) 角度分辨率不低于 36"；
- c) 测量误差不大于±0.1°。

6.2.4 电阻率仪应符合下列规定：

- a) 电极系绝缘电阻不宜小于 50MΩ；
- b) 探头总质量不宜小于 5kg；探头直径不宜大于 100mm，探头总长度不宜小于 800mm；
- c) 探头微电极长度不宜大于 50mm。

6.2.5 探针式沉渣仪应符合下列规定：

- a) 探针最大可伸出长度不宜小于 200mm；
- b) 探头重量、探针刚度和截面尺寸应根据孔（槽）底岩土性状确定，探针应具有刺穿沉渣的能力。

6.2.6 测锤应符合下列规定：

- a) 测锤宜采用质量不小于 2kg 的平底金属锤；
- b) 悬挂绳宜为钢丝绳，长度不小于设计孔深的 1.2 倍。

## 6.3 孔（槽）深度检测

6.3.1 检测应在清孔（槽）完毕后进行。

6.3.2 孔（槽）深度检测可使用深度记录仪进行检测，当仪器探头或测锤落在孔（槽）底部终止下降时，记录仪记录的深度即为孔（槽）深度。

6.3.3 孔（槽）深度测量起算标高应与成孔（槽）起算标高一致。

## 6.4 孔径检测

6.4.1 检测应在清孔完毕后进行。

6.4.2 伞形孔径仪应按照附录 A 的要求进行校准，校准后仪器参数在检测过程中不得变动。当现场检测过程中发现仪器误差不符合本规程第 6.2.2 条规定时，应重新进行校准。

6.4.3 检测前伞形孔径仪应安置于孔口上方，仪器中心宜对准成孔中心，检测过程中仪器滑轮位置应保持固定；测量并记录仪器的起始位置。

6.4.4 孔径检测应自孔底向孔口连续进行。仪器降至孔底后，仪器的四只测量臂应同时张开开始测试，

提升速度应保持匀速且不宜大于 0.2m/s，孔径变化较大处宜降低提升速度。

#### 6.4.5 孔径检测数据应符合下列规定：

- a) 孔径测试数据应和对应的深度同时记录；
- b) 仪器显示的孔径-深度曲线图应能显示任意深度截面的孔径，并显示设计孔径基准线和设计孔口标高；
- c) 现场应记录检测日期、时间、孔号、孔深、实测孔径最大值和最小值以及对应的深度。
- d) 用伞形孔径仪检测孔径时应按本规程附录 B 的规定进行数据计算。

### 6.5 成孔垂直度检测

6.5.1 成孔垂直度检测可采用顶角测量法或圆心拟合法。

6.5.2 顶角测量法检测成孔垂直度时，应使用测斜仪外加扶正器进行检测，扶正器的直径应根据设计孔径及垂直度要求进行选择；也可用测斜仪在未提钻的钻具内进行检测。顶角测量法检测应符合下列规定：

- e) 检测前在仪器主机上设置孔径、扶正器外径等参数；
- f) 将测斜仪放在孔中预设起始深度位置，测斜仪及扶正器不应碰触孔壁、保持自然垂直状态，并在此处将角度示值调零；
- g) 下放测斜仪时，应每间隔一定深度暂停下降，待顶角显示值稳定时记录该测点数据；
- h) 每个测点的间距不宜大于 5m，在顶角变化较大处宜加密检测点数，在接近孔底位置检测最后一个测点；
- i) 检测中应避开局部明显扩径段；未能避开时，应剔除局部明显扩径段数据；当扩径段连续时，应采用其他方法验证；
- j) 顶角测量法检测桩孔垂直度时，应按本规程附录 C 的规定进行数据计算。

6.5.3 采用圆心拟合法进行成孔垂直度检测时，应按本规程 5.4 条的规定在孔径检测时同步进行，并按本规程附录 D 的规定计算垂直度。

### 6.6 成槽宽度检测

6.6.1 采用伞形孔径仪检测地连墙成槽宽度应使用配备方位角传感器的仪器，检测前应在槽口将仪器的标识方向调整为与导墙平行，并将此时的方位角设置为零，检测时还应符合本规程 6.4.1-6.4.4 条的规定。

6.6.2 成槽宽度检测的数据计算应符合本规程附录 E 的规定。

### 6.7 成槽垂直度检测

6.7.1 采用伞形孔径仪检测地连墙成槽垂直度应按本规程 6.6.1 条的规定在成槽宽度检测时同步进行。

6.7.2 成槽垂直度检测的数据计算应符合本规程附录 F 的规定。

### 6.8 沉渣厚度检测

6.8.1 沉渣厚度检测点应在孔底中心或槽宽中心位置，对于大直径桩孔以及宽度超过 800mm 的槽宜增加测点。

6.8.2 使用电阻率仪检测沉渣厚度应符合下列规定：

- a) 将仪器探头对准孔（槽）中心部位下放到底，同时观察视电阻率值变化范围，选取合适的测量量程或放大倍数；
- b) 从孔（槽）底位置将探头提升至约 1 米的高度，让探头自由下落，穿透沉渣层达到持力土层；

- c) 将探头匀速缓慢提升，仪器应实时记录孔底不同深度的电阻率，并绘制“泥浆电阻率-深度”曲线，直到探头提升至距离孔底约 2m 高度停止；
  - d) 泥浆电阻率-深度曲线上的拐点以下部分可判断为沉渣，其厚度由深度坐标量取。
- 6.8.3 使用探针式沉渣仪检测沉渣厚度应符合下列规定：
- a) 将仪器探头下放到孔（槽）底，探头内的探针应归于初始位置；
  - b) 主机控制探针向下伸出，并实时记录探头倾角和探针贯入阻力以及对应的刺入深度；
  - c) 探针伸出达到量程极限时，应能自动停止，并保存数据；
  - d) 探针倾角-深度曲线或阻力-深度曲线出现明显变化的位置可判断为沉渣层底部，其厚度由深度坐标量取，宜以探针阻力-深度曲线为主要判断依据。

## 7 检测报告

### 7.1 一般规定

7.1.1 每孔（槽）检测完毕应及时填写现场检测结果。现场检测结果表应包括以下内容：

- a) 工程名称及桩孔（槽段）编号；
- b) 孔（槽）设计参数；
- c) 检测依据和检测方法；
- d) 检测仪器设备型号、编号及现场标定结果；
- e) 检测结果；
- f) 成孔（槽）质量评定。
- g) 检测人员签名、日期，见证检测应注明见证单位和见证人。

7.1.2 检测报告的内容应包括以下信息：

- a) 工程名称及概况、委托单位、施工单位等基本信息；
- b) 工程地质概况；
- c) 检测机构的名称和地址；
- d) 见证检测应注明见证单位和见证人；
- e) 检测桩孔（槽段）编号、孔（槽）设计参数；
- f) 检测仪器型号、编号、检定情况、现场标定结果；
- g) 检测原理和检测过程；
- h) 检测数据汇总，孔深、孔径（槽宽）和沉渣厚度应精确至 1mm，垂直度应精确至 0.01%；
- i) 检测结论：根据检测结果和相关标准及设计的要求对所测孔（槽）质量进行评价；
- j) 附图应包括孔（槽）平面布置图、每桩孔（槽段）的测试记录图和典型地质柱状图等。

附 录 A  
(资料性)  
伞型孔径仪校准方法

- A.1 伞形孔径仪的校准应在专用校准架上进行，校准架应由法定计量单位定期检定或校准。
- A.2 校准架刻度误差应不大于 $\pm 1\text{ mm}$ ；
- A.3 伞形仪的标定应按下列步骤进行：
- a) 仪器系统连接完毕，打开电源，确认设备工作正常；
  - b) 在仪器量程内，按从大到小的次序，将 4 只测量臂的末端置于标定架至少 5 个已知标准直径对应的校准点处，分别记录仪器每次显示的测量值；
  - c) 将仪器测量值与其对应的已知标准直径作为一组相关参数，采用最小二乘法的方法得到关系式，从而确定孔径标定系数；
  - d) 将孔径标定系数输入仪器系统参数中；
  - e) 将测量臂置于校准架任意不同直径校准点 3 次，分别记录各次测量值；
  - f) 计算校正后的仪器测量值与标准值的相对误差，若误差满足规范精度要求，表明仪器正常，可以进行检测，否则需重新标定，若精度仍不满足要求，仪器必须维修。

附录 B  
(资料性)  
伞形孔径仪孔径计算方法

B.1 方法一：忽略四支测量臂打开时可能存在高度差异，按照附录 A 的方法得到孔径标定系数，由仪器直接测量得到孔径值。

B.2 方法二：

- a) 由于孔壁形状不规则或探头中心位置不居中等因素会导致四个测量臂的端点不在同一高度，因此，对每个测量臂端点所在高度分别进行孔径计算。假设测量臂 1、3 端点的空间轨迹如图 B1 所示，在深度  $h_i$  处，测量臂 1 的端点位置为  $P_1$ ，其在水平面的投影长度  $OP_1$  应按式计算：

$$OP_1 = L \times \sin \theta_1 \quad (\text{B.2-1})$$

式中：L——测量臂固定长度 (m)；

$\theta_1$ ——测量臂 1 与重力线之间的夹角 ( $^\circ$ )；

$OP_1$ ——测量臂 1 在水平面上的投影长度 (m)。

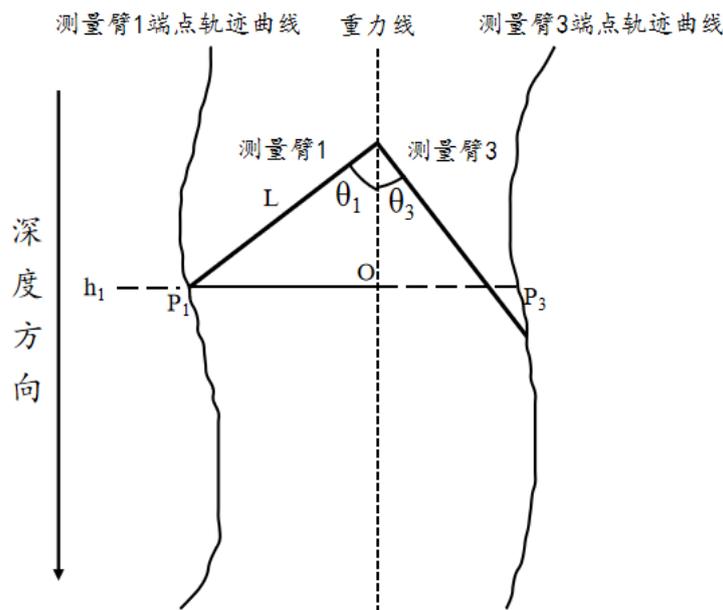


图 1 伞形仪孔径计算示意图

- b) 在深度  $h_i$  处，测量臂 3 端点的位置  $P_3$  由  $h_i$  深度上、下两个相邻实测点的位置线性插值计算得到。同理，由测量臂 2 和 4 端点的空间轨迹计算出深度  $h_i$  处的线性插值点  $P_2$ 、 $P_4$ 。
- c) 假设在深度  $h_i$  处的成孔横截面为理想圆形， $O$  为探头中心， $O'$  为该圆的圆心， $OP_1$ 、 $OP_2$ 、 $OP_3$ 、 $OP_4$  分别为测量臂 1、2、3、4 在该圆中的投影 (图 1)，其长度分别为  $d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$ 、 $d_4$ ，在  $h_i$  深度处的孔径  $D$  按下式计算：

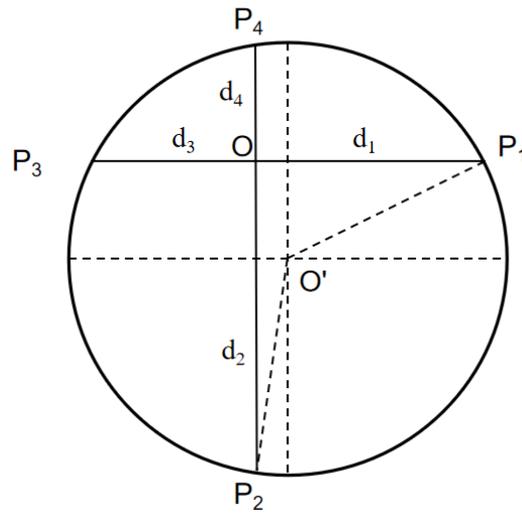


图 2 合成孔径计算示意图

$$D = \sqrt{\left(\frac{d_1 + d_3}{2}\right)^2 + \left(\frac{d_2 - d_4}{2}\right)^2} + \sqrt{\left(\frac{d_2 + d_4}{2}\right)^2 + \left(\frac{d_1 - d_3}{2}\right)^2} \quad (\text{B. 2-2})$$

式中：D ——  $h_i$  深度处的孔径 (m)；

$d_1$ 、 $d_2$ 、 $d_3$ 、 $d_4$  —— 测量臂 1、2、3、4 在  $h_i$  深度的投影长度 (m)。

d) 参照上述步骤，对于测量臂 2、3、4，在其每个实测点所对应的深度位置，均采用线性插值法计算出其它测量臂端点的投影长度，然后计算该深度位置的孔径值。

## 附录 C

(资料性)

## 顶角测量法计算成孔垂直度的方法

C.1 成孔垂直度检测结果以偏心距和垂直度表示。成孔的垂直度 K 应按下式计算：

$$K = (E / H) \times 100\% \quad (\text{C. 1-1})$$

$$E = D / 2 - \psi / 2 + \sum_{i=1}^n H_i \sin\left(\frac{\theta_i + \theta_{i+1}}{2}\right) \quad (\text{C. 1-2})$$

式中：K——成孔垂直度(%)；

E——成孔偏心距(m)；

H——实测桩孔深度(m)；

D——孔径或钻具内径(m)；

$\psi$ ——测斜仪探头或扶正器外径(m)；

i——第 i 个测点；

n——测点总数；

$H_i$ ——第 i 段测点距(m)；

$\theta_i$ ——第 i 测点的实测顶角(°)；

$\theta_{i+1}$ ——第 i+1 测点的实测顶角(°)。

## 附录 D

(资料性)

## 圆心拟合法计算成孔垂直度的方法

D.1 先按照附录 B 的步骤，确定每个深度处的圆心平面位置  $O'_i$ ，如图 D.1 所示：

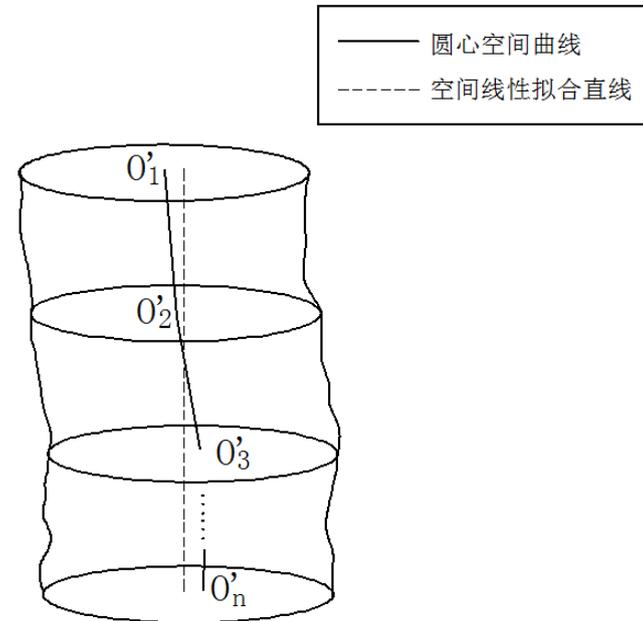


图 D.1 成孔垂直度计算示意图

D.2 在空间坐标系中，圆心的集合为：

$$O'_i(x_i, y_i, h_i) (i=1,2,3,\dots,n) \quad (\text{D.2})$$

D.3 采用最小二乘法计算出空间线性拟合直线，其相对于重力线的斜率为  $k$ ，即成孔的垂直度，其计算公式如下：

$$k = \sqrt{\left( \frac{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}{n \sum x_i h_i - \sum x_i \sum h_i} \right)^2 + \left( \frac{n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2}{n \sum y_i h_i - \sum y_i \sum h_i} \right)^2} \quad (\text{D.3})$$

式中： $x_i$ 、 $y_i$ ——每个深度截面上的圆心的位置（横，纵坐标）；

$h_i$ ——圆心所在截面的深度；

$n$ ——圆心的数量；

$k$ ——成孔垂直度。

附录 E  
(资料性)  
伞形孔径仪检测槽宽计算方法

E.1 当采用伞形孔径仪检测成槽宽度时,先通过测量臂的张开角度判断测量臂与槽壁的接触状态,假设测量臂自由状态下张开角度为 $\phi$ ,当出现某测量臂张开角度接近 $\phi$ 时(如图 E.1 左图所示),可判断该测量臂未与槽壁接触,此时另外一对测量臂必与槽壁接触(如图 E.1 状态 1 所示),其检测数据可用于槽宽计算。

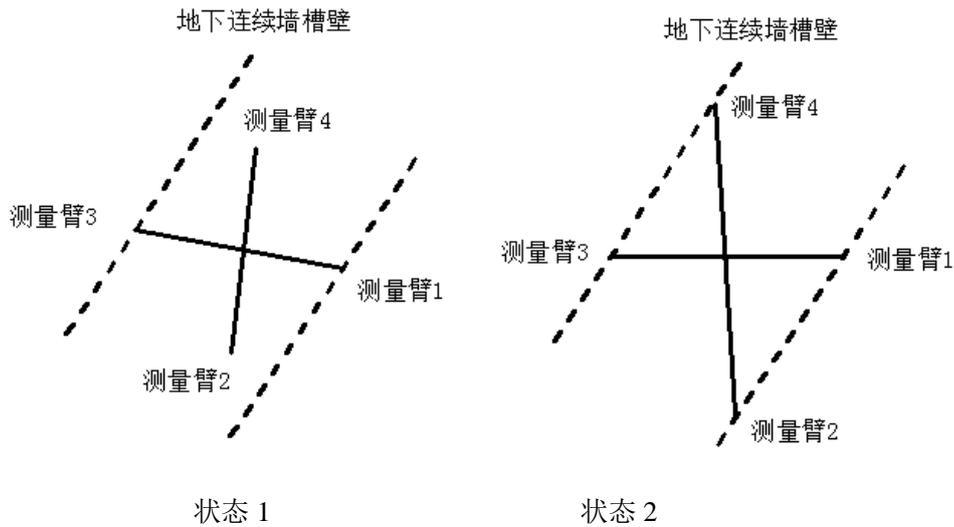


图 E.1 测量臂接触状态示意图

E.2 当伞形孔径仪出现图 E.1 中的状态 1 时,如图 E.2 所示,在深度  $h_i$  位置,测量臂 1 和 3 与槽壁的接触点分别为  $P_{1i}$  和  $P_{3i}$ ,探头的垂直中心线为  $C_0$ 。

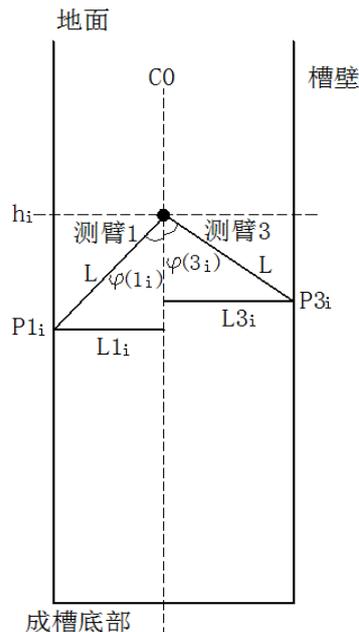


图 E.2 接触点与探头中心距离计算示意图

测量臂接触点与探头中心的距离按下列公式计算：

$$L_{1i} = L * \sin \phi (1_i) \quad (\text{E. 2-1})$$

$$L_{3i} = L * \sin \phi (3_i) \quad (\text{E. 2-2})$$

式中：L —— 测量臂固有长度 (m)；

$\phi (1_i)$ 、 $\phi (3_i)$  —— 测量臂 1 和 3 在  $h_i$  深度的张开角度 ( $^\circ$ )；

$L_{1i}$ 、 $L_{3i}$  ——  $P_{1i}$  和  $P_{3i}$  与探头垂直中心线  $C_0$  的距离 (m)。

E. 3 当伞形孔径仪出现状态 1 时，如图 E. 3 所示，0 点为探头的中心点， $L_{1i}$  和  $L_{3i}$  在槽宽方向上的投影长度  $W_{1i}$  和  $W_{3i}$  按下式计算：

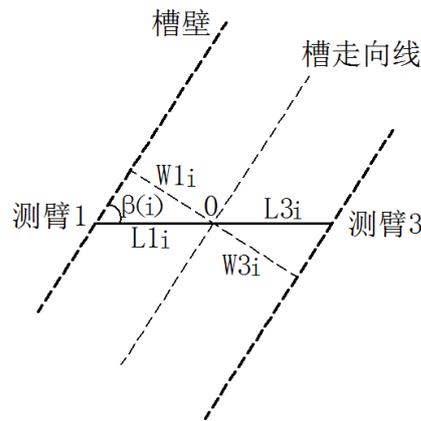


图 E. 3 测量臂投影长度计算示意图

$$W_{1i} = L_{1i} * \sin \beta (i) \quad (\text{E. 3-1})$$

$$W_{3i} = L_{3i} * \sin \beta (i) \quad (\text{E. 3-2})$$

式中： $L_{1i}$ 、 $L_{3i}$  —— 测量臂 1、3 的端到探头垂直中心线的距离 (m)；

$\beta (i)$  —— 深度  $h_i$  位置探头的方位角度 ( $^\circ$ )；

$W_{1i}$ 、 $W_{3i}$  ——  $L_{1i}$ 、 $L_{3i}$  分别在槽宽方向上的投影长度 (m)。

E. 4 当伞形孔径仪出现状态 1 时，按照下列方法计算槽宽：

建立如图 E. 4 平面直角坐标系，其中：X 为槽宽方向距离，Y 为成槽深度。探头的垂直中心线  $C_0$  对应直线为  $X=X_0$ ，测量臂端点  $P_{1i}(X, Y)$  和  $P_{3i}(X, Y)$  的坐标为：

$$P_{1i}(X, Y) = [X_0 - W_{1i}, h_i - L * \cos \phi (1_i)] \quad (\text{E. 4-1})$$

$$P_{3i}(X, Y) = [X_0 + W_{3i}, h_i - L * \cos \phi (3_i)] \quad (\text{E. 4-2})$$

式中： $X_0$  —— 探头垂直中心线在槽宽方向的位置，可给定任意值 (m)；

$H_i$  —— 伞形仪探头中心点的深度 (m)。

当探头由成槽底部向上提升时，测量臂 1、3 端点沿深度方向的运动轨迹如图中圆点所示。

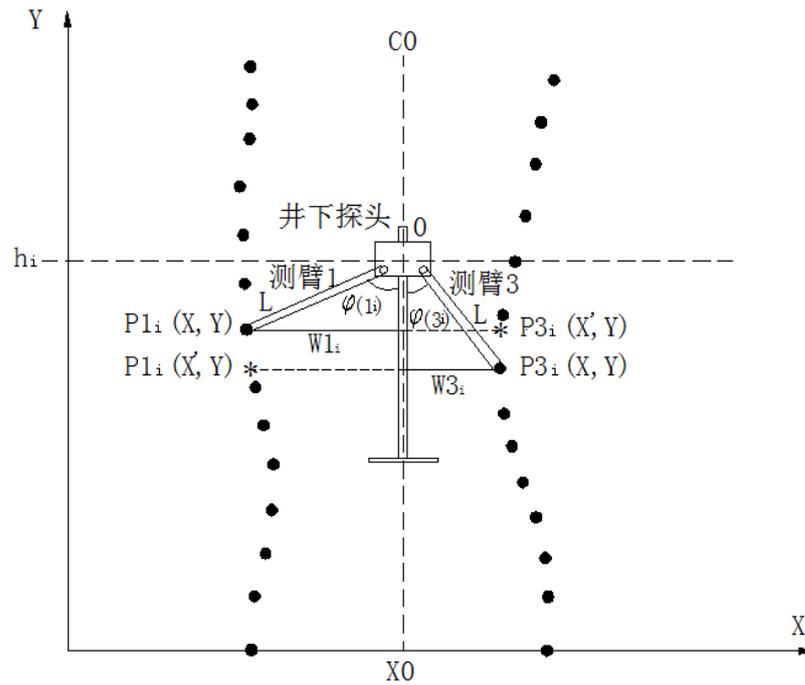


图 E.4 槽宽计算示意图

对上图中的实心圆点数据进行插值计算，对每一个测量臂端点  $P1_i(X, Y)$  或  $P3_i(X, Y)$ ，计算出与之在同一高度的插值端点  $P3_i(X', Y)$  及  $P1_i(X', Y)$ ，槽宽按下式计算：

$$W(Y) = | X - X' | \quad (\text{E. 4-3})$$

式中： $W(Y)$  ——成槽在任意深度下的槽宽 (m)；

$X$  ——当前实测点的横坐标 (m)；

$X'$  ——当前实测点对应的插值点的横坐标 (m)。

**E.5** 当伞形孔径仪出现状态 2 时，可按状态 1 的计算方法，对两组测量臂数据分别进行槽宽计算，然后取平均值做为槽宽计算结果。

附录 F  
(资料性)  
伞形孔径仪检测成槽垂直度计算方法

F.1 在深度  $h_i$  处，成槽中心点  $O'_i$  的坐标为：

$$O'_i \left[ \frac{(x_1 + x'_3)}{2}, h_i \right] \quad (\text{F.1})$$

式中：  $x_1$  —— 深度  $h_i$  位置 P1 实测点的横坐标 (m)；

$x'_3$  —— 深度  $h_i$  位置 P3 插值点的横坐标 (m)。

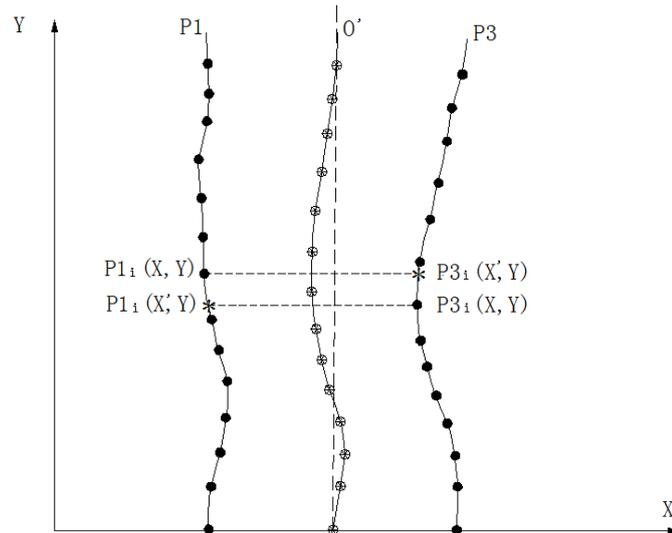


图 F.1 垂直度计算示意图

F.2 沿成槽深度方向的各个中心点集合为：

$$O'_i(x_i, h_i) \quad (i=1, 2, 3 \dots n) \quad (\text{F.2})$$

F.3 对  $O'_i(x_i, h_i)$  ( $i=1 \dots n$ ) 采用最小二乘法得到平面线性拟合直线，其相对重力线的斜率  $k$  即为成槽的垂直度，计算公式如下：

$$k = \frac{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}{n \sum x_i h_i - \sum x_i \sum h_i} \quad (\text{F.3})$$

式中：  $x_i$  —— 当前中心点的横坐标 (m)；

$h_i$  —— 当前中心点的纵坐标 (m)；

$n$  —— 沿深度方向所有中心点的数量。