



T/CECS XXX—202X

中国工程建设标准化协会标准

地下结构钢筋笼长度检测技术规程

Technical specification for length detection of reinforcement cages in
underground structures

（征求意见稿）

（提交反馈意见时，请将有关专利连同支持性文件一并附上）

中国 XX 出版社

中国工程建设标准化协会标准

地下结构钢筋笼长度检测技术规程

Technical specification for length detection of reinforcement cages in
underground structures

T/CECS XXX-202X

主编单位：上海市建筑科学研究院有限公司

批准部门：中国工程建设标准化协会

施行日期：20×× 年 × 月 1 日

中国 XX 出版社

20×× 北 京

前 言

根据中国工程建设标准化协会关于印发《2018年第二批协会标准制定、修订计划》的通知要求，编制组经过广泛调查研究，结合国内外工程实践经验和科研成果，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分六章和一个附录，主要内容包括：1 总则；2 术语和符号；3 基本规定；4 磁测井法；5 充电法；6 电磁法；附录A。

本规程由中国工程建设标准化协会归口管理，由上海市建筑科学研究院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中，如有意见和建议，请反馈给上海市建筑科学研究院有限公司（地址：上海市闵行区申旺路519号10号楼6楼，邮编：201108，邮箱：jkymarket@sribs.com）。

主 编 单 位：上海市建筑科学研究院有限公司

参 编 单 位：中南大学

上海勘测设计研究院有限公司

上海新地海洋工程技术有限公司

上海申丰地质新技术应用研究所有限公司

华东建筑设计研究有限公司上海地下空间与工程设计
研究院

中国建筑科学研究院有限公司

苏州高新检测有限公司

北京市建设工程质量第三检测所有限责任公司

中科云图科技有限公司

主 要 起 草 人：

主 要 审 查 人：

目 次

1 总 则	1
2 术语和符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	3
3 基本规定	5
4 磁测井法	9
4.1 适用范围	9
4.2 仪器设备	9
4.3 检测方法	9
4.4 数据分析与判定方法	11
5 充电法	12
5.1 适用范围	12
5.2 仪器设备	12
5.3 检测方法	12
5.4 数据分析与判定方法	15
6 电磁法	16
6.1 适用范围	16
6.2 仪器设备	16
6.3 检测方法	17
6.4 数据分析与判定方法	19
附录 A 钢筋笼长度检测原始记录表格式	21
本标准用词说明	22
条文说明	23

Contents

1	General provisions	1
2	Terminology and Symbols	2
2.1	Terminology	2
2.2	Symbols	3
3	Basic regulations	5
4	Magnetism method	9
4.1	Scope of Application	9
4.2	Instruments and Equipment	9
4.3	Detection method	9
4.4	Data analysis and determination method	11
5	Mise-à-la-masse method	12
5.1	Scope of Application	12
5.2	Instruments and Equipment	12
5.3	Detection method	12
5.4	Data analysis and determination method	15
6	Electromagnetic method	17
6.1	Scope of Application	17
6.2	Instruments and Equipment	17
6.3	Detection method	18
6.4	Data analysis and determination method	20
Appendix A	Format of Original Record Table for Reinforcement Cage Length Detection	21
	Explanation of wording in this standards	22
	Explanation of provisions	23

1 总 则

1.0.1 为使地下结构钢筋笼长度检测符合安全适用、技术先进、经济合理、数据可靠、评价正确的要求，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于采用磁测井法、充电法和电磁法的对地下结构钢筋笼长度的检测。

1.0.3 地下结构钢筋笼长度检测方法应根据各种方法的特点和适用范围，结合现场条件因素等进行合理选择。

1.0.4 地下结构钢筋笼长度检测除应符合本规程的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 地下结构 underground structure

本规程中的地下结构特指内部含有钢筋笼的钻孔灌注桩、预制桩和地下连续墙等工程构件。

2.1.2 钢筋笼长度 length of reinforcement cage

桩或墙体等地下结构内钢筋笼受力主筋顶与底之间的标高差。

2.1.3 磁测井法 magnetic logging method

通过测量地下结构与周围介质的磁性沿钻孔深度的分布特征检测钢筋笼长度的方法。

2.1.4 充电法 mise-à-la-masse method

通过观测地下结构的钢筋笼充充电电场分布特征和规律检测钢筋笼长度的方法。

2.1.5 电磁法 electromagnetic method

通过接触式或非接触式测量交变电流激发地下结构的钢筋笼产生电磁响应并在其周边形成的电磁场沿钻孔深度分布特征检测钢筋笼长度的方法。

2.1.6 探地雷达法 ground penetrating radar method

通过孔中雷达天线测量钢筋笼反射或散射的高频电磁波沿钻孔深度分布特征和规律检测钢筋笼长度的一种电磁法。

2.1.7 背景磁场值 background magnetic field value

无人为干扰条件下，测区内由地球磁场，地下结构及其周围岩土等产生的磁场之和。

2.1.8 磁场垂直分量 vertical component of magnetic field

测区内垂直方向实测的磁场值。

2.1.9 归一化电位 normalized potential

供电观测时，测量电极 M 和测量电极 N 之间的电位差与供电电流数值之比。

2.1.10 归一化电位梯度 normalized potential gradient

供电观测时，测量电极 M 和测量电极 N 之间的电位差与供电电流数值之比除以测量极距。

2.1.11 电磁梯度测量 electromagnetic gradient measurement

通过测量两个接收探头电磁响应差值来完成电磁响应测量，计算两个接收探头之间的平均梯度。

2.1.12 频率域电磁法 frequency domain electromagnetic method

以固定频率的电源或电磁源，采用接触或非接触方式激励钢筋笼产生电磁感应，测量并分析电磁感应信号响应幅度和相位等变化特征检测钢筋笼长度的一种电磁法。

2.1.13 时间域电磁法 time domain electromagnetic method

利用不接地回线或接地电极向孔中发送脉冲电磁场，测量地下结构的钢筋笼由该电磁场感应引起的地下涡流而产生的二次电磁场，以探测地下介质特征的方法，又称瞬变电磁法。

2.2 符号

D —灌注桩的直径；

d —检测钻孔轴线至钢筋笼最近距离；

dV_M/dh —测量电极 M 的归一化电位梯度；

dZ/dh —磁场垂直分量梯度；

$d\varepsilon/dh$ —感应电动势梯度；

h —检测埋深；

h_i 、 h_{i+1} —相邻两测点的检测深度；

h_1 —钢筋笼底部位置深度；

h_0 —检测时钢筋笼顶部位置深度；

I —供电电流；

I' —复测电流；

I_i 、 I_{i+1} —相邻两测点测量时的电流；

L —钢筋笼检测长度；

MN — 测量电极 M 、 N 之间的测量电极距；

V_M — 测量电极 M 点电位；

V'_M — 复测测量电极 M 点电位；

V_{M_i} 、 $V_{M_{i+1}}$ — 相邻两测点的测量电极 M 点的电位；

Z_c — 实测磁场垂直分量值；

Z_0 — 地磁场垂直分量背景值；

Z_i 、 Z_{i+1} — 相邻两测点的实测磁场垂直分量值；

Δh — 相邻两测点的点距；

ΔU_{MN} — 测量电极 M 、 N 之间的电位差；

$\Delta U'_{MN}$ — 复测测量电极 M 、 N 之间的电位差；

ε — 感应电动势。

3 基本规定

3.0.1 当需要检测、复核或验证钢筋笼长度时，可进行地下结构钢筋笼长度检测。

3.0.2 地下结构钢筋笼长度检测应符合下列条件：

- 1 地下结构钢筋笼与其周围介质间存在显著的电性、磁性或电磁性差异，地下结构钢筋笼引起的异常场能够从干扰场或背景场中分辨出来；
- 2 检测现场具备实施条件；
- 3 检测深度不宜超过 100m。

3.0.3 地下结构钢筋笼长度检测应充分了解检测需求及原因，分析现场实施的可行性，综合考虑工程地质及水文地质条件、地下结构类型及现状、周边环境影响因素等，选择合理的检测方法，制定检测方案，现场实施检测，结合设计、施工资料等分析判定检测结果。

3.0.4 检测工作的程序，宜按图 3.0.4 执行。

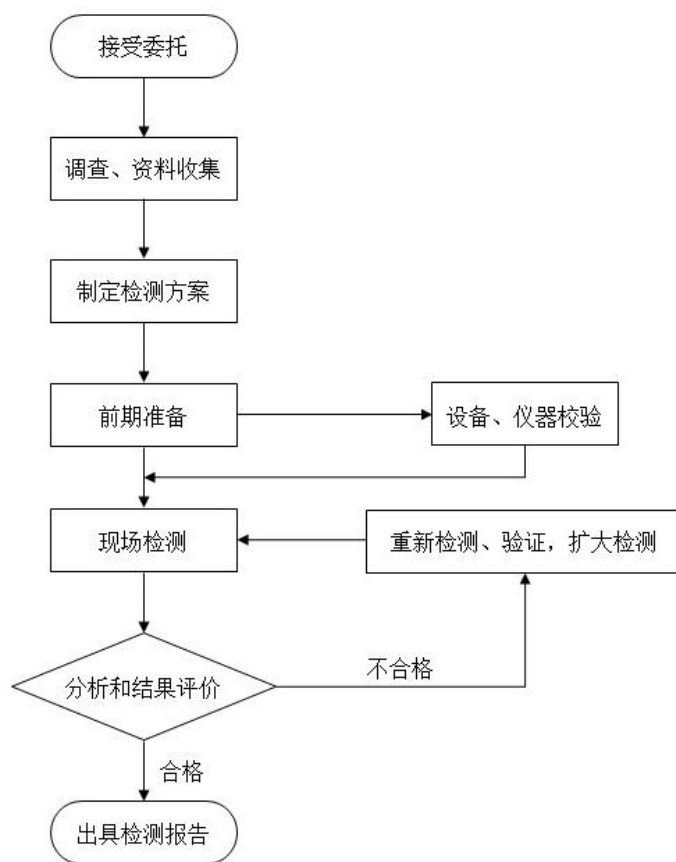


图 3.0.4 检测工作程序框图

3.0.5 检测方法应根据现场环境条件按表 3.0.5 选择，当现场检测环境条件不符合要求时，应采取减小或消除干扰的措施，并对场地条件、地下结构钢筋裸露情况进行处理。

表 3.0.5 检测方法及环境条件

检测方法	环境条件
磁测井法	目标体周边 2m 范围内宜无其他铁磁性干扰体。
充电法	有钢筋裸露或采取措施利用导线能良好连接的钢筋笼。
电磁法	目标体近 10m 内无运营中的高压输电线，近 1m 内无其它大尺度金属结构物。

3.0.6 有下列情形之一时宜进行钢筋笼长度检测，检测数量不宜少于总数量的 1%，且不宜少于 3 根桩或 3 幅墙。

- 1 既有建（构）筑物桩长不详；
- 2 既有建（构）筑物运营期间出现较大沉降或倾斜，对桩长存疑；
- 3 施工资料不全；
- 4 施工质量存疑的地下结构。

3.0.7 调查、资料收集宜包括下列内容：

- 1 收集岩土工程勘察资料，地下结构设计及施工资料，施工或建（构）筑物运营期间是否出现异常情况等资料；
- 2 地下管线、架空线等环境干扰因素；
- 3 其它可能影响检测结果的资料。

3.0.8 地下结构钢筋笼长度检测工作原则应符合下列规定：

- 1 通过方法试验选用有效的检测方法和参数；
- 2 当单一方法不能确定检测结果时，宜采用两种以上方法进行综合检测。

3.0.9 检测方案宜包括下列内容：

- 1 工程概况及委托原因；
- 2 岩土工程勘察资料及环境条件；
- 3 检测现场具备的实施条件；
- 4 检测依据；
- 5 地下结构设计及施工参数、信息；
- 6 抽样方法、检测方法、检测工作周期；
- 7 成孔机械设备、检测仪器设备及人员配置；
- 8 场地条件要求，与相关单位的沟通及配合；

9 资料分析及应提交的成果。

3.0.10 地下结构钢筋笼长度检测钻孔应符合下列规定：

1 当检测钻孔穿过或进入承压含水层、软弱土层等不良地质体或当检测钻孔布设于水上时，应采取有效措施确保钻孔施工安全及成孔质量；

2 当检测钻孔布设在桩身或墙体内时，受检桩身或墙体的混凝土龄期宜不小于 28d，或同条件养护混凝土试块强度达到设计强度；

3 当在地下结构外侧土体钻孔时，检测钻孔宜采用泥浆护壁；钻孔周围存在软土、砂土、卵砾石层及杂填土时，宜在孔中设置 PVC 管或 PPR 管等无磁性护管；

4 检测钻孔孔径或护管内径大于磁测探头、测量电极系、收发探头或天线外径 10mm 以上；

5 检测护管管口应高于地下结构顶面或地面 100mm 以上，检测钻孔深度应满足检测要求，宜达到钢筋笼底 5m 以下；

6 检测钻孔轴线宜与钢筋笼轴线平行；

7 检测钻孔垂直度偏差宜不大于 0.5%，当钻孔垂直度存疑时，应进行钻孔测斜检测；

8 检测开始前，应检查检测钻孔畅通情况，保证磁测探头、测量电极系、收发探头或天线在检测钻孔全程范围内正常升降；

9 检测钻孔内严禁有对钢筋笼长度判定产生影响的铁磁性物体存在；

10 现场检测时应测量记录检测钻孔孔口标高或护管标高；

11 现场检测完成后，桩身或墙体內的检测钻孔应从孔底往上用水泥浆或灌浆料回灌封孔，桩侧、墙侧的检测钻孔宜采用黏土球或水泥浆进行封孔。

3.0.11 检测仪器设备应符合下列规定：

1 满足性能稳定、各组件牢固可靠、防潮、抗震和绝缘性能良好的要求；

2 正确运输、保管、操作和使用，并由专业人员进行定期进行保养和校准。

3.0.12 检测数据采集应符合下列规定：

1 检测前应进行仪器自检，工作正常后方可进行数据采集；

2 数据采集应在背景场相对稳定的时段进行；

3 检测过程中应随时监视采集的数据或曲线，如有异常宜加密检测；

4 磁测探头、测量电极系、收发探头或天线从检测钻孔底向上提升或从顶部下放，速率应满足技术要求及资料解释的需要。

3.0.13 检测的原始记录应齐全完整、数据真实；所有原始记录均应整理保存，电子记录应进行备份。

3.0.14 质量检查应根据具体检测方法选择重复测量、系统检查等方法。当原始数据经质量检查不合格时，应分析原因，制定措施，调整工作方案后再行检测。

3.0.15 数据处理与解释应符合下列规定：

1 对于量值较大的虚假或突变的“尖点”数据，应进行剔除和平滑替换处理；

2 应绘制地下结构位置图、检测孔分布图、实测数据剖面图；同一测区绘制的各类图件应采用相同的比例尺；

3 同一检测剖面应在分析地质条件、环境干扰、已知资料的基础上，研究异常特征及分布规律，区分有意义异常和干扰异常；宜对地下结构布设的多个检测剖面进行对比分析，确定异常的位置；

4 采用多种方法检测时，应结合其它钻孔以及相关工程资料进行综合分析确定。

3.0.16 现场检测期间，除应执行本规程的有关规定外，还应遵守国家有关安全生产的规定。当现场操作环境不符合仪器设备使用要求时，应采取有效的防护措施。

3.0.17 检测报告应包含下列内容：

1 委托方名称、工程名称、地点，建设、勘察、设计、监理和施工单位，基础型式，设计要求，检测目的，检测依据，检测数量，检测日期；

2 岩土工程勘察资料及环境条件描述；

3 受检地下结构的位置信息和配筋相关记录；

4 检测方法、检测仪器设备，检测过程描述；

5 受检地下结构的检测数据、实测与计算分析曲线、表格和汇总结果；

6 检测结论。

3.0.18 根据本规程判定钢筋笼长度的检测误差不应大于 1.0m。

4 磁测井法

4.1 适用范围

4.1.1 磁测井法适用于检测各类灌注桩、预制桩、地下连续墙等地下结构的钢筋笼长度。

4.2 仪器设备

4.2.1 磁测井法仪器设备应符合下列规定：

- 1 具有自动记录、存储、实时显示深度和磁测数据的功能；
- 2 深度编码自动记录器分辨率应优于 10mm，深度误差应不大于 $\pm 0.5\%$ ；
- 3 磁场强度测试范围：-99999nT $\sim$ +99999nT；
- 4 磁场强度分辨率宜小于 50nT，精度宜优于 150nT；
- 5 磁测探头工作温度应符合：-10 $^{\circ}\text{C}$ $\sim$ +50 $^{\circ}\text{C}$ ，水密性应满足 1.5MPa 水压下不渗水。

4.2.2 试验前，应根据场地条件、岩土工程勘察资料和钻进深度要求，选择适宜的钻机、钻具、配套设备和钻进工艺。

4.3 检测方法

4.3.1 检测钻孔布置应符合下列规定：

1 空心预制桩检测钻孔宜布设在预制桩孔内。预制桩底部有封堵、桩孔内无条件钻孔和非空心预制桩等情况下，检测钻孔可布设在受检桩外侧土体内，检测钻孔与受检桩外壁的净距宜不大于 1.0m，并应尽量远离非受检桩（图 4.3.1-1）；

2 灌注桩检测钻孔宜布设在灌注桩桩体内。当检测钻孔无条件布设在桩体内时，可布设在受检桩外侧土体内，检测钻孔与受检钢筋笼边缘的净距离宜不大于 1.0m，并应尽量远离非受检桩（图 4.3.1-2）；

3 地下连续墙检测钻孔宜布设在单幅槽段墙体混凝土浇筑导管安置通道处，应避让地墙钢筋。当检测钻孔无条件布设在墙体内时，可布设在所测单幅

槽段墙体中部外侧土体内，检测钻孔与受检单幅槽段墙体钢筋笼净距离宜不大于 1.0m，并应尽量远离非受检槽段墙体（图 4.3.1-2）。

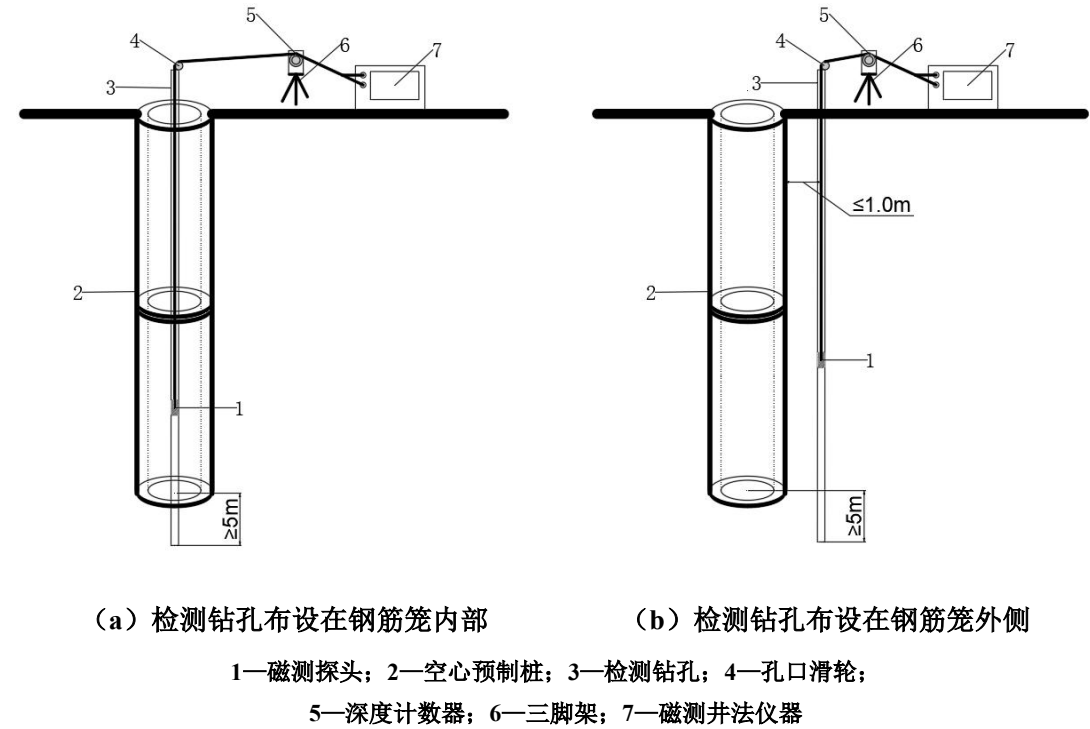


图 4.3.1-1 预制桩磁测井法现场布设示意图

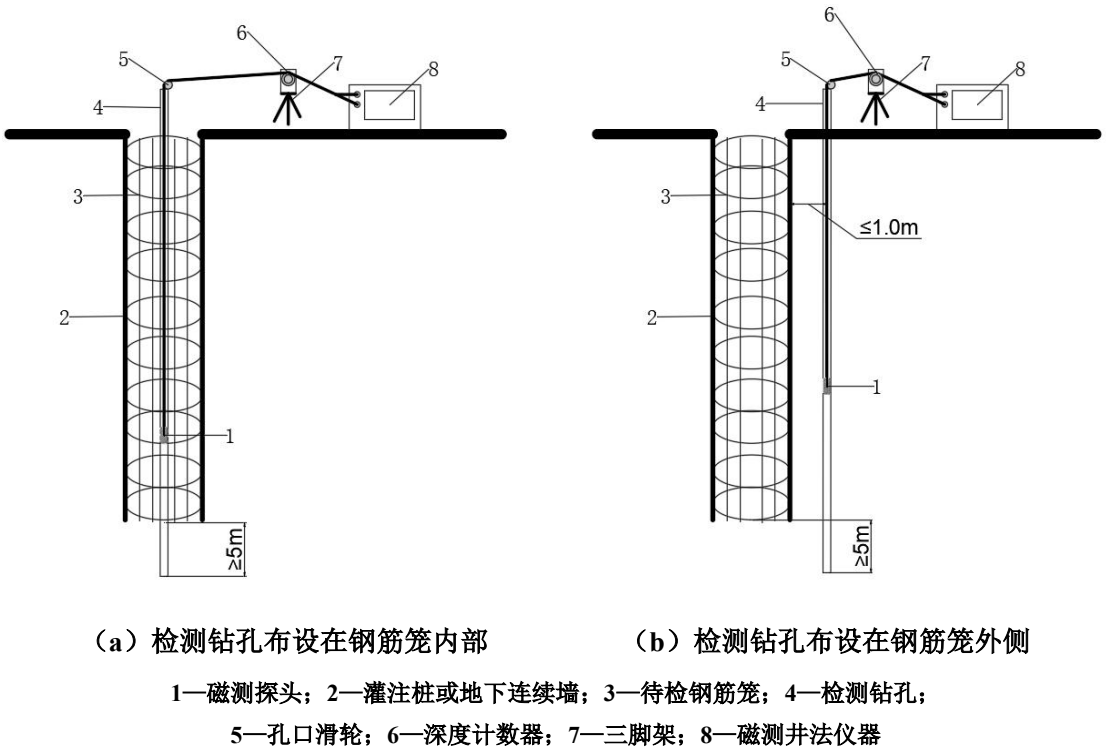


图 4.3.1-2 灌注桩或地下连续墙磁测井法现场布设示意图

4.3.2 现场检测应符合下列规定：

- 1 将磁测探头放入检测钻孔内，从底部向上匀速提升或从顶部匀速下放，

速率不宜大于 10m/min，测点间距不宜大于 200mm；

- 2 现场应记录磁场垂直分量随深度的磁测数据；
- 3 每个检测钻孔检测不应少于 2 次，异常段宜加密检测；
- 4 同一检测钻孔的检测数据和曲线应具有良好的一致性。

4.4 数据分析与判定方法

4.4.1 地磁场垂直分量背景值 Z_0 宜根据检测钻孔底部地层中测得的平缓磁场垂直分量的平均值，结合当地的地磁图确定。

4.4.2 磁场垂直分量梯度应按下式计算：

$$dZ/dh = (Z_i - Z_{i+1}) / (h_i - h_{i+1}) \quad (\text{式 4.4.2})$$

式中： dZ/dh —磁场垂直分量梯度（nT/m）；

Z_i 、 Z_{i+1} —相邻两测点的实测磁场垂直分量值（nT）；

h_i 、 h_{i+1} —相邻两测点的检测深度（m）。

4.4.3 数据处理应绘制实测磁场垂直分量—深度（ $Z_c - h$ ）曲线和磁场垂直分量梯度—深度（ $dZ/dh - h$ ）曲线。

4.4.4 当场地条件复杂，存在磁场干扰、地层变化等造成曲线斜率最大的拐点或极值点难于判读时，可对曲线数据进行平滑滤波处理。

4.4.5 钢筋笼底部位置深度 h_1 应结合实测磁场垂直分量—深度（ $Z_c - h$ ）曲线和磁场垂直分量梯度—深度（ $dZ/dh - h$ ）曲线综合确定，并应符合下列规定：

- 1 根据实测磁场垂直分量—深度（ $Z_c - h$ ）曲线确定时，应取磁场垂直分量异常曲线的拐点所对应位置深度；

- 2 根据磁场垂直分量梯度—深度（ $dZ/dh - h$ ）曲线确定时，应取磁场垂直分量梯度—深度（ $dZ/dh - h$ ）曲线最下端的极值点所对应位置深度。

4.4.6 钢筋笼检测长度应按下式计算：

$$L = h_1 - h_0 \quad (\text{式 4.4.6})$$

式中： L —钢筋笼检测长度（m）；

h_1 —钢筋笼底部位置深度（m）；

h_0 —检测时钢筋笼顶部位置深度（m）。

5 充电法

5.1 适用范围

5.1.1 充电法适用于钢筋笼有裸露或采取措施利用导线能良好连接到钢筋笼的地下结构钢筋笼长度检测。

5.1.2 可选择电位法或电位梯度法，或采用两种方法对比检测。

5.2 仪器设备

5.2.1 充电法仪器设备应符合下列规定：

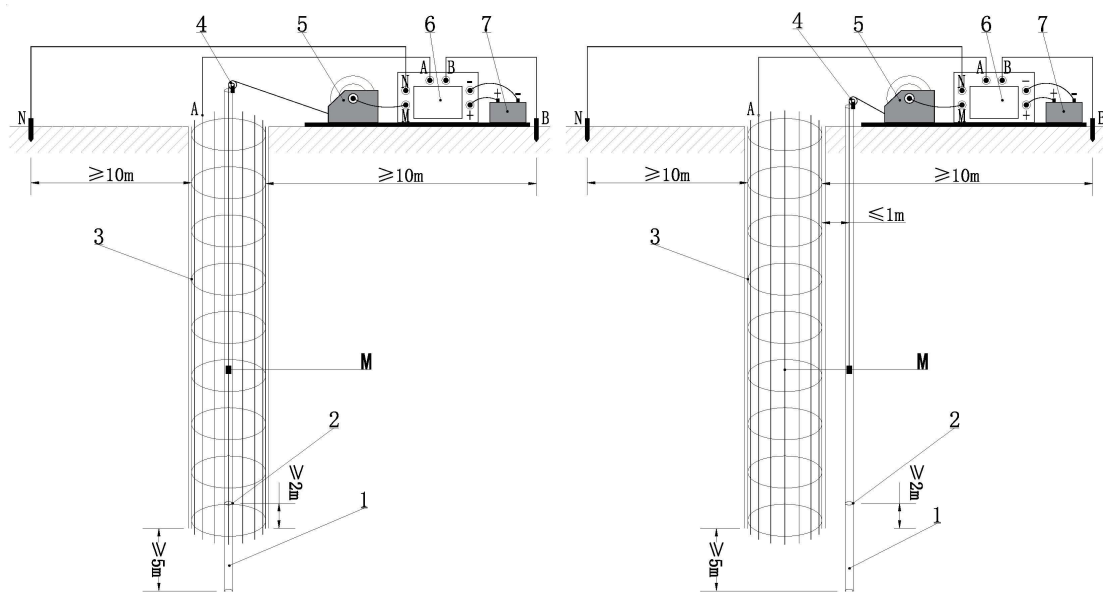
- 1 电压测量范围宜宽于 $\pm 5\text{V}$ ，分辨率应达到 0.1mV ，误差不应大于1%；
- 2 电流测量范围不宜小于 2A ，分辨率应达到 0.1mA ，误差不应大于1%；
- 3 仪器设备对 50Hz 工频干扰抑制应大于 40dB ；
- 4 仪器线路间及对地的绝缘电阻不应小于 $10\text{M}\Omega$ ；
- 5 具有电池反接保护和过流保护的功能；
- 6 具有深度记录功能。

5.2.2 配套的测量电极系、电缆应符合下列规定：

- 1 井下仪器和电缆，在潮湿条件下缆芯间及对地绝缘电阻不应小于 $2\text{M}\Omega$ ；
- 2 水密性应满足 1.5MPa 水压下不渗水。

5.3 检测方法

5.3.1 检测钻孔布设应参照本规程4.3.1条规定，且孔内水位应高于待检测钢筋笼底端高程 2m 以上（图5.3.1-1和图5.3.1-2）。

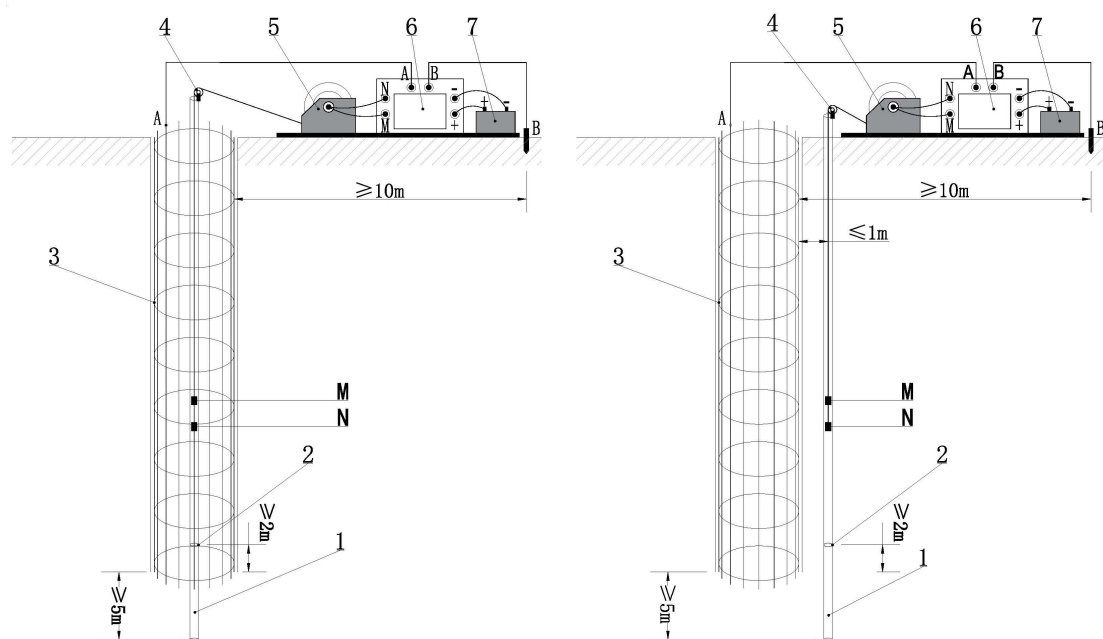


(a) 检测钻孔布设在地下结构内部

(b) 检测钻孔布设在地下结构外侧

1—检测钻孔；2—水位线；3—待检测钢筋笼；4—孔口滑轮；5—电缆绞车；6—充电法仪器；
7—供电电源；A—供电电极正极A；B—供电电极负极B；M—测量电极M；N—测量电极N

图 5.3.1-1 电位法现场布设示意图



(a) 检测钻孔布设在地下结构内部

(b) 检测钻孔布设在地下结构外侧

1—检测钻孔；2—水位线；3—待检测钢筋笼；4—孔口滑轮；5—电缆绞车；6—充电法仪器；
7—供电电源；A—供电电极正极A；B—供电电极负极B；M—测量电极M；N—测量电极N

图 5.3.1-2 电位梯度法现场布设示意图

5.3.2 检测钻孔内设置PVC管或PPR管等无磁性护管时应符合下列规定：

1 护管上应密布透水孔，透水孔直径宜为3mm~7mm，孔间距不应大于

测点间距的1/2;

2 护管外侧应包裹透水滤网滤布。

5.3.3 现场检测准备工作应符合下列规定:

1 仪器与电池置于地面时应使用绝缘胶垫或塑料布;

2 供电电极正极 A 应与钢筋笼连接;

3 供电电极负极 B 应设置在检测钻孔同侧地表土层中, 距离待检测钢筋笼不应小于10m, 电极应接地良好;

4 现场应读取并记录供电电流 I 。

5.3.4 采用电位法检测时, 现场检测应符合下列规定:

1 测量电极 N 应固定设置在供电电极负极 B 对侧的地表土层中, 距离待检测钢筋笼不应小于10m;

2 测量电极 M 应放入检测钻孔内, 从底部向上提升或从顶部下放测量, 测点间距宜为50mm~200mm;

3 现场应读取并存储测量电极 M 点的电位 V_M ;

4 现场应记录测量电极 M 点对应深度作为检测埋深 h ;

5 现场可计算测量电极 M 的归一化电位梯度 dV_M/dh , 应按下式计算:

$$dV_M/dh = (V_{M_{i+1}}/I_{i+1} - V_{M_i}/I_i) / (h_{i+1} - h_i) \quad (\text{式 } 5.3.4)$$

式中: dV_M/dh —测量电极 M 的电位梯度;

V_{M_i} 、 $V_{M_{i+1}}$ —相邻两测点的测量电极 M 点的电位;

I_i 、 I_{i+1} —相邻两测点测量时的电流;

h_i 、 h_{i+1} —相邻两测点的检测深度 (m)。

6 现场应计算并绘制归一化电位—深度 ($V_M/I-h$) 曲线;

7 现场可计算并绘制测量电极 M 的归一化电位梯度—深度 ($dV_M/dh-h$) 曲线。

5.3.5 采用电位梯度法检测时, 现场检测应符合下列规定:

1 测量电极 M 、 N 应同时放入检测钻孔内, 从底部向上提升或从顶部下放测量, 测点间距宜为50mm~200mm;

2 现场应记录测量电极 M 、 N 之间的测量电极距 MN ;

3 现场应读取并存储测量电极 M 、 N 之间的电位差 ΔU_{MN} 或电位梯度

$\Delta U_{MN}/MN$;

4 现场应记录测量电极 M 、 N 点中点位置对应深度作为检测埋深 h ;

5 现场应计算并绘制归一化电位梯度—深度 ($\Delta U_{MN}/(MN \cdot I) - h$) 曲线。

5.3.6 对现场归一化电位—深度 ($V_M/I - h$) 曲线、曲线测量电极 M 的归一化电位梯度—深度 ($dV_M/dh - h$) 曲线或归一化电位梯度—深度 ($\Delta U_{MN}/(MN \cdot I) - h$) 曲线上的特征点、畸变段及有疑义的测段应进行复测, 复测应符合下列规定:

1 复测与初测数据相对误差不应超过 $\pm 5\%$;

2 当复测与初测相对误差超过 $\pm 5\%$ 时, 应进行3次以上的复测, 取剔除相对误差超过 $\pm 5\%$ 的复测值后剩余复测值的算术平均值作为最终的复测值;

3 复测结果证明初测确实有误时, 可用复测数据代替初测数据。

5.3.7 现场发现钢筋笼底端位置无法准确判定时, 应采取加大供电电流复测或加密测量, 进一步确定钢筋笼底端位置。

5.4 数据分析与判定方法

5.4.1 钢筋笼底部位置深度 h_1 应根据归一化电位—深度 ($V_M/I - h$) 曲线、测量电极 M 的归一化电位梯度—深度 ($dV_M/dh - h$) 曲线或归一化电位梯度—深度 ($\Delta U_{MN}/(MN \cdot I) - h$) 曲线确定, 并应符合下列规定:

1 根据归一化电位—深度 ($V_M/I - h$) 曲线确定时, 取电位陡降拐点所对应位置深度;

2 根据测量电极 M 的归一化电位梯度—深度 ($dV_M/dh - h$) 曲线确定时, 取该曲线零值向负值陡降点所对应位置深度或负极值点以上0.7倍检测钻孔轴线至钢筋笼最近距离 d 处所对应位置深度;

3 根据归一化电位梯度—深度 ($\Delta U_{MN}/(MN \cdot I) - h$) 曲线确定时, 取该曲线零值向负值陡降点所对应位置深度或负极值点以上0.7倍检测钻孔轴线至钢筋笼最近距离 d 处所对应位置深度。

5.4.2 钢筋笼检测长度计算同本规程第4.4.6条。

6 电磁法

6.1 适用范围

6.1.1 电磁法包括频率域电磁法、时间域电磁法和孔中探地雷达法，适用于检测各类灌注桩、预制桩、地下连续墙等地下结构钢筋笼长度。

6.2 仪器设备

6.2.1 频率域或时间域电磁法仪器设备的主要性能及技术指标应符合下列规定：

- 1 配备孔中测量用防水抗压收发探头或电极对；
- 2 具备深度记录功能，深度分辨率小于等于10mm；
- 3 发射电源随设备配置，便携式，主电源小于等于36V；
- 4 发射电流或发射功率可调可控，配备大功率激发时的警示标志；
- 5 仪器本底噪声小于等于10 μ V；
- 6 动态范围大于等于120dB；
- 7 具有随探头深度实时显示探头感应电动势衰减曲线、电极对测量电位差曲线等功能。

6.2.2 孔中探地雷达法仪器设备的主要性能及技术指标应符合下列规定：

- 1 配备孔中测量用防水抗压收发天线，水密性应满足1.5MPa水压下不渗水；
- 2 天线频率宜选择100MHz~1.5GHz；
- 3 系统增益大于等于120dB；
- 4 系统信号稳定性变化小于1%；
- 5 系统测距误差小于10mm；
- 6 系统时基精度小于0.02%，计时误差小于1.0ns；
- 7 系统主机分辨率小于5ps、最大扫描速度大于100扫/秒、脉冲重复频率大于100kHz；
- 8 系统A/D转换的动态位数不小于16位；
- 9 具有随天线深度实时显示探地雷达测井剖面的功能。

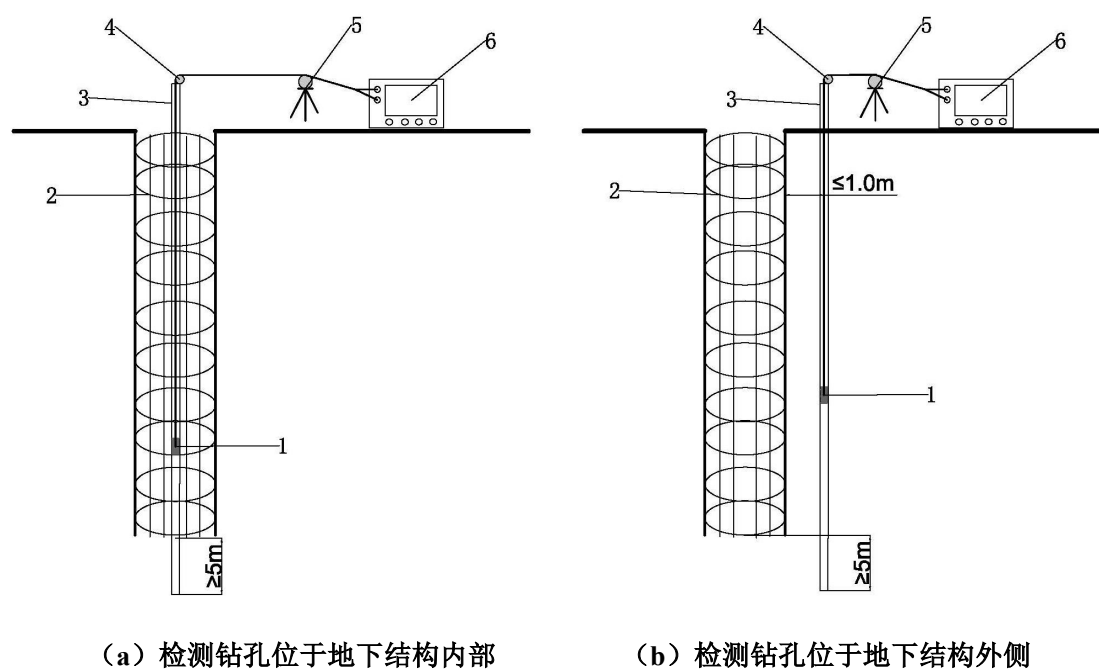
6.2.3 配套的探头、天线和电缆应符合下列规定：

- 1 应适应孔斜 $0^{\circ}\sim 5^{\circ}$ ；
- 2 可检测深度宜大于钻孔深度；
- 3 耐压和防水能力满足检测钻孔孔深需求。

6.3 检测方法

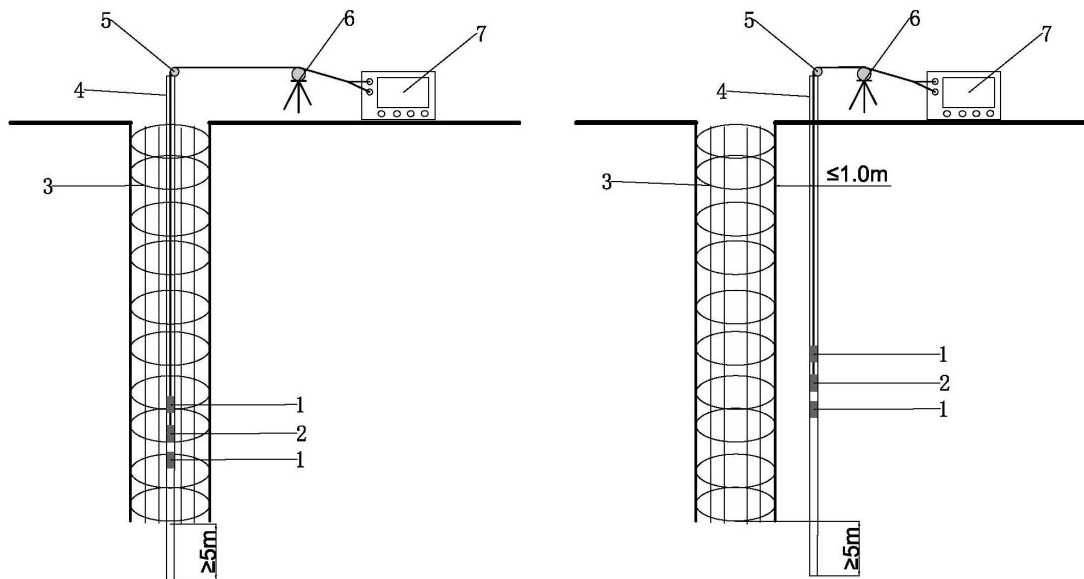
6.3.1 检测钻孔布设应参照本规程 4.3.1 条规定

6.3.2 电磁法现场检测装置应采用一发一收、一发双收、双发双收等方式（图 6.3.2-1～图 6.3.2-3）。



1—收发探头或天线；2—待检测钢筋笼；3—检测钻孔；
4—孔口滑轮；5—三脚架；6—电磁法仪器；

图 6.3.2-1 一发一收电磁法现场检测装置图

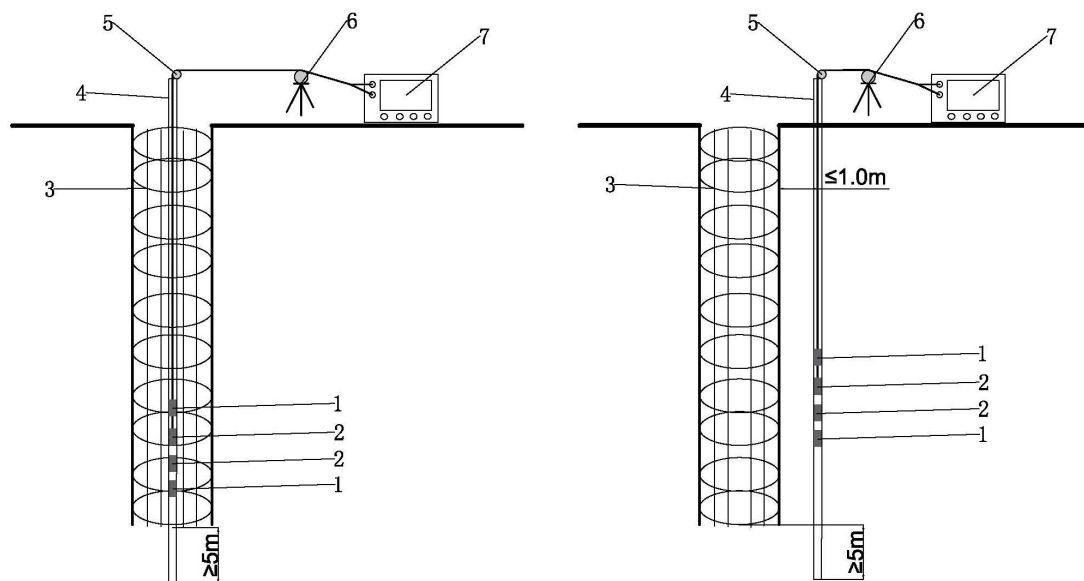


(a) 检测钻孔位于地下结构内部

(b) 检测钻孔位于地下结构外侧

1—接收/发射探头；2—发射/接收探头；3—待检测钢筋笼；4—检测钻孔；
5—孔口滑轮；6—三脚架；7—电磁法仪器；

图 6.3.2-2 一发双收电磁法现场检测装置图



(a) 检测钻孔位于地下结构内部

(b) 检测钻孔位于地下结构外侧

1—接收/发射探头；2—发射/接收探头；3—待检测钢筋笼；4—检测钻孔；
5—孔口滑轮；6—三脚架；7—电磁法仪器；

图 6.3.2-3 双发双收电磁法现场检测装置图

6.3.3 现场检测应符合下列规定：

- 1 设备现场安装启动后，探头或天线准备下放前应该首先进行调试，确保

信号采集正确、测距系统工作正常；

2 将探头或天线放入检测钻孔中，从底部向上提升或从顶部下放测量，测点间距宜为 50mm~500mm；

3 宜在同一深度进行多次测量，测量数据的平均值作为该深度点的原始观测数据；

4 频率域或时间域电磁法现场应绘制孔中各测点的多测道感应电动势—深度（ $\varepsilon-h$ ）曲线或感应电动势梯度—深度（ $d\varepsilon/dh-h$ ）曲线；

5 孔中探地雷达法现场应显示并存储雷达波列图像或数据；

6 对多测道感应电动势—深度（ $\varepsilon-h$ ）曲线、感应电动势梯度—深度（ $d\varepsilon/dh-h$ ）曲线或雷达波列图像上的特征点、畸变段及有疑义的测段应进行复测，复测结果证明原始观测确实有误时，可用复测数据代替原始观测数据；

7 根据多测道感应电动势—深度（ $\varepsilon-h$ ）曲线或雷达波列图像变化特征初步判断钢筋笼底部位置，当检测数据存疑时，应进行复测，进一步确定钢筋笼底端位置，必要时可加密测量。

6.4 数据分析与判定方法

6.4.1 频率域或时间域电磁法钢筋笼底部位置深度 h_1 应根据孔中各测点的多测道感应电动势—深度（ $\varepsilon-h$ ）曲线或感应电动势梯度—深度（ $d\varepsilon/dh-h$ ）曲线确定，且宜符合下列规定：

1 根据感应电动势—深度（ $\varepsilon-h$ ）曲线确定时，对于双峰状异常，取下部感应电动势 ε 峰值点所对应位置深度；

2 根据感应电动势—深度（ $\varepsilon-h$ ）曲线确定时，对于宽峰状异常，取宽峰状异常曲线拐点所对应位置深度；

3 根据感应电动势梯度—深度（ $d\varepsilon/dh-h$ ）曲线确定时，取极值点所对应位置深度。

6.4.2 孔中探地雷达法钢筋笼底部位置深度 h_1 应根据雷达波列图像确定，且宜符合下列规定：

1 雷达波列图中反射波同相轴断开点或消失点所对应位置深度；

2 雷达波列图中绕射弧的顶点所对应位置深度。

6.4.3 钢筋笼检测长度计算同本规程第 4.4.6 条。

附录 A 钢筋笼长度检测原始记录表格式

记录编号：

工程名称				检测日期	
设备名称及编号				天气情况	
现场环境				检测方法 ☐ 磁测井法 ☐ 充电法 ☐ 电磁法	
检测目标体类型 /截面尺寸/长度					
检测依据					
受检孔号		孔口标高 (m)		钢筋笼示意说明	
钻孔孔深 (m)		钢筋笼设计节数			
钢筋笼与钻孔之间水平距离 (m)		钢筋笼设计长度 (m)			
钢筋笼顶与钻孔孔口高差 (m)					
检测钻孔方位布设示意图					
备注					

检测/记录：

复核：

用词说明

为便于在执行本标准条款时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

- 1 表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
- 2 表示严格，在正常情况下均应这样做的：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
- 3 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
- 4 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

中国工程建设标准化协会标准

地下结构钢筋笼长度检测技术规程

(T/CECS ***-20**)

条文说明

制定说明

本规程制定过程中,编制组深入调研分析了我国地下结构钢筋笼长度检测技术现状,系统总结了我国土木工程建设领域地下结构钢筋笼长度检测技术,主要包括磁测井、充电法、电磁法等常用检测技术的适用范围、仪器设备、检测方法和数据分析与判定方法等。本规程的编制遵循了可操作性强、与现行相关标准相协调、安全可靠、技术先进的总体原则。

为便于广大技术和管理人员在使用本规程时能正确理解和执行条款规定《地下结构钢筋笼长度检测技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明,对条款规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项等进行了说明。本条文说明不具备与标准正文及附录同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1 总 则	27
2 术语和符号	29
2.1 术语	29
3 基本规定	32
4 磁测井法	39
4.1 适用范围	39
4.2 仪器设备	39
4.3 检测方法	39
4.4 数据分析与判定方法	41
5 充电法	44
5.1 适用范围	44
5.2 仪器设备	44
5.3 检测方法	44
5.4 数据分析与判定方法	47
6 电磁法	49
6.1 适用范围	49
6.2 仪器设备	49
6.3 检测方法	49
6.4 数据分析与判定方法	50

Contents

1	General provisions	26
2	Terminology and Symbols	28
2.1	Terminology	28
3	Basic regulations	31
4	Magnetism method	38
4.1	Scope of Application	38
4.2	Instruments and Equipment	38
4.3	Detection method	38
4.4	Data analysis and determination method	40
5	Mise-à-la-masse method	43
5.1	Scope of Application	43
5.2	Instruments and Equipment	43
5.3	Detection method	43
5.4	Data analysis and determination method	46
6	Electromagnetic method	48
6.1	Scope of Application	48
6.2	Instruments and Equipment	48
6.3	Detection method	48
6.4	Data analysis and determination method	49

1 总 则

1.0.1 地下结构包括预制桩、结构内部含有钢筋笼的钻孔灌注桩和地下连续墙等是当前我国多高层建筑、地下围护工程、市政工程、桥梁和港口码头等工程的主要基础型式，钢筋笼设置是由设计单位按照规范，根据构造要求、水平荷载、弯矩大小、桩周土情况、抗震设防烈度等计算确定的。各类地下构件良好的受力性能与钢筋笼长度是分不开的。如果钢筋笼长度不满足设计要求，将严重影响基础的稳定性和抗震性能，构成极大的安全隐患，影响建筑物的质量和安全。因此，确保钢筋笼长度满足设计要求至关重要。

老旧房屋加固改造中的基础检测一直是个难点，通过检测老旧基础的钢筋分布位置，有助于获取相关基础形式及埋深等信息。随着科学技术的发展，钢筋笼长度检测方法的研究也已取得长足进步。

为进一步加强地下结构施工质量控制，在地下结构施工完成后，对其钢筋笼长度进行抽样检测是十分必要的。近年来，随着科学技术的发展，工程界逐步研究开发了一些基于物探技术的钢筋笼长度检测技术，并取得较好效果，但相关检测技术标准还比较缺乏。本技术规程是为了规范地下结构钢筋笼长度检测技术，对地下结构钢筋笼长度的检测方法、适用范围、仪器设备和数据分析与判定方法等方面给出了指导性意见，可供相关工程技术人员参考使用。

1.0.2 本条规定了本规程的适用范围。由于钢筋笼与混凝土、岩土体之间存在明显的磁性、电性和电磁性差异，因此采用磁测井法、充电法和电磁法等物理检测方法检测地下结构钢筋笼长度是较为有效的。钢筋笼长度是指设置在预制桩、结构内部含有钢筋笼的钻孔灌注桩或地下连续墙中，钢筋笼顶端与钢筋笼底端之间的标高差，该钢筋笼可能由数节不同配筋的钢筋笼搭接组成，各节钢筋笼由主筋、加劲筋、箍筋组成。对于使用磁测井法、充电法和电磁法检测预制桩、结构内部含有钢筋笼的钻孔灌注桩和地下连续墙等含钢筋的地下结构的钢筋笼长度检测可按本规程执行。

1.0.3 地下结构钢筋笼长度检测方法应根据检测对象的自身的特性、适用范围、检测条件和环境因素等选择。

在检测条件方面，如磁测井法、充电法和电磁法均需要考虑检测钻孔与检

测对象的水平距离问题；充电法需要考虑对检测对象充电的问题，需要将导线连接到钢筋笼上，因而需要钢筋笼存在暴露部分，同时还需要考虑场地内是否有接地条件等。

在环境因素方面，检测得到的数据和信号受到诸如地质条件、现场条件和成桩质量等因素的影响，这些因素也直接决定了检测结果判定是否可靠。由于各检测方法受地质条件和现场条件等因素影响的程度不同，因此应根据检测方法的适用性和特点，合理选择检测方法，以保证检测结果的有效性和可靠性。

1.0.4 地下结构钢筋笼长度检测是建设工程质量检测 and 已建成建筑资料复核补充的重要组成部分。检测工作实施过程中，涉及现场钻孔施工、管理、检测、数据分析等，涉及检测对象相对应的设计、施工等技术标准。因此，地下结构钢筋笼长度检测除遵守本规程外，还应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 本规程所指的地下结构包括结构内部含有钢筋笼的钻孔灌注桩、预制桩和地下连续墙等构件。

2.1.2 钢筋笼长度是指设置在灌注桩、预制桩或地下连续墙中，钢筋笼顶端与钢筋笼底端之间的标高差，该钢筋笼可能由数节不同配筋的钢筋笼搭接组成，各节钢筋笼由主筋、加劲筋、箍筋组成。

2.1.3 在研究钢筋笼长度这些工程问题时，正常场为在钢筋笼设置前该处的地磁场，而异常场即是指由于钢筋笼的存在而产生的局部磁异常，采用磁测井仪测得磁场的垂直分量或磁梯度值，通过对磁异常分析进而确定钢筋笼长度。

2.1.4 充电法是应用较多的一种人工直流电法。在检测钢筋笼长度工作中，在钢筋笼上接一供电电极正极 A ，另一供电电极负极 B 置于远离充电钢筋笼的地方。在 AB 线路里接上电源进行供电，此时电极 B 为一等位体或似等位体，电流由充电钢筋笼流入周围土体中，形成稳定电流场，该电场的分布特征与充电钢筋笼的形态、大小和长度等因素有关。利用该原理，可以有效检测钢筋笼的长度。

2.1.5 电磁法是以介质的电磁性差异为基础，通过观测和研究人工或天然的交变电磁场随空间分布规律或随时间的变化规律，达到某些勘查目的的一类电法勘探方法。按其电磁场随频率和时间的变化规律可分为：频率域电磁法和时间域电磁法。钢筋笼长度检测用电磁法包括频率域电磁法、时间域电磁法和探地雷达法。前两种电磁法以钢筋笼上的钢筋为电极供入交流电，通过孔中不接地线圈、磁棒、霍尔元件等进行电磁法测量；探地雷达为时间域或频率域电磁法的特例，该方法利用高频电磁波的波动学特性结合钢筋笼电磁响应完成钢筋笼长度检测。

2.1.6 探地雷达法是一种利用高频电磁波在孔中发射并传播至周围土体中，通过检测垂直方向介质的反射系数来获取孔周边地下介质性质的工程物探方法。电磁波在传播过程中，发生镜面反射或漫反射，通过测量反射波的强度和时间延

迟，确定发射波的深度和反射系数。本规程采用的工作方式为单孔反射方式，发射天线和接收天线都放置于同一钻孔中，根据反射波的双程走时、振幅和波形来推测出钻孔周围的地下结构，从而完成钢筋笼长度检测。

2.1.7 背景磁场值是指在没有任何人为干扰的情况下，某一地点的自然磁场强度。它是由地球的地磁场和宇宙的宇磁场共同作用而形成的。背景磁场值的大小和方向会随着地点、时间和季节而变化。背景磁场值的单位通常是高斯（G）或者特斯拉（T），其中 $1\text{T}=10000\text{G}$ 。地球的背景磁场值大约为 $0.25\text{G}\sim 0.65\text{G}$ 。

2.1.8 磁场垂直分量背景值是指在没有任何人为干扰的情况下，某一地点的自然磁场的垂直分量即磁场强度矢量在垂直于地表方向上的投影。根据本规程可以认为是测区此处在不受地下结构钢筋笼影响时垂直方向由地球磁场，地下结构及其周围岩土所产生的磁场之和。磁场垂直分量背景值的单位通常是高斯（G）或者特斯拉（T）。

2.1.9 本规程中归一化电位是指供电观测时，测量电极 M 和测量电极 N 之间的电位差与供电电流 I 数值之比。通过归一化电位可以消除不同供电条件的影响，使电位可以进行比较和分析。

2.1.10 电位梯度是指电场中电位沿某一方向的变化率，或者说是两点间电位差与沿场强方向距离的比值。归一化电位梯度是指将电位梯度除以某一参考值，此规程中取供电电流 I 数值，它的好处是可以消除不同电位梯度之间的量纲影响，使得电位梯度可以在同一数量级下进行比较和计算。

2.1.11 电磁梯度测量是测量磁场在空间的变化率，单位为纳特/米（ nT/m ），一般有垂直梯度测量与水平梯度测量两种。

垂直梯度测量的接收部分为两个垂直安置的探头。在测量中，为了克服两个探头激发时产生的磁场相互干扰，常采用上、下两个探头分两次激发读数。用两个探头读数值除以探头间距离即为该点上的垂直梯度。局部磁异常的垂直梯度变化比区域异常的明显，故垂直梯度测量适合于在具有强干扰区域地区实施，以便获得有用的局部异常的信息。水平梯度测量常见于海上，接收部分同样也是两个探头，但为水平放置。同时记录两个探头的读数。其瞬时差就是水平梯度。

2.1.12 频率域电磁法是一种利用频率域电磁场检测地下结构钢筋笼长度的方法。将交变电流通入发射线圈，在其周围空间建立一次交变磁场。在一次交变磁场激发下，地下结构钢筋笼中产生感应电流（涡流），地下结构钢筋笼中的交变涡流又将在其周围空间形成二次磁场。接收线圈同时接收一次磁场和二次磁场，通过观测和分析剖面各点磁场的变化规律便可检测地下结构钢筋笼长度。

根据电磁感应的趋肤效应，电磁法的勘探深度、地下介质的电阻率以及激发频率有密切关系。当地下介质的电阻率值一定时，选用不同的激发频率时可达不同的勘探深度。高频电磁波衰减快，穿透深度小，只反映浅层的地电断面的特点。低频电磁波衰减慢，穿透深度大，可以反映较深层的地电断面的特点。降低激发频率可加大检测深度，但同时也会造成发射装置过于笨重。因此，大多数仪器的工作频率不低于 100Hz。一般选用 800Hz~7000Hz 间的若干个频率，这样可以达到适中的检测深度。

2.1.13 时间域电磁法是在一段时间内通过接触或非接触方式产生覆盖钢筋笼介质的一次电磁场，然后关断一次场，在一次场关断期间利用电磁场接收探头或天线等接收钢筋笼介质产生的感应电磁场信号，根据信号的幅度或频谱特征变化来检测钢筋笼长度的一种电磁法，又称为瞬变电磁法。它是一种借助钻孔中发射线圈产生瞬变的电磁场，利用钢筋笼与周边地层的电阻率差异，测量钻孔中或井旁的电磁响应信号，反演地下的电性结构和检测钢筋笼的地球物理勘探方法。时间域电磁法的优点是可通过变换激发信号的形式来控制检测深度，不受主要噪声源的影响，受地形影响小，检测效率高。

3 基本规定

3.0.1 地下结构钢筋笼长度按有关规范计算确定。如果地下结构内钢筋笼长度不满足设计要求，将直接影响结构使用安全。检测的目的是检测既有地下结构钢筋笼长度，尽早发现某些与设计不符的钢筋笼长度设置，避免结构安全事故的发生。另外，也可以有效震慑偷工减料等行为，更好地保证工程施工质量。

3.0.2 磁测井法主要利用物质的磁性差异和磁信号特征差异来检测目标体，现场检测环境应避免其他强磁干扰。地下结构钢筋笼形成的磁异常是磁测井法的分析对象，其他铁磁性物体、岩石矿石等周围物质形成的磁异常就是干扰磁异常。干扰磁异常强度比钢筋笼磁异常更强时，钢筋笼的磁异常的分布特征被干扰磁异常掩盖，此时不能用磁测井法确定钢筋笼长度。钢筋笼与其周围介质间存在着明显的磁性差异，理论计算和工程实践均表明采用磁测井法检测钢筋笼埋置长度的方法是有效的。但检测工程中需充分考虑实际采样间距和钢筋笼磁场的分布特征。

充电法主要利用物质的电性差异来检测目标体。该方法是一种对良导或导电性较好目标物进行直流充电，测量目标物体周围产生的电场，根据目标物体周围产生电场特征确定目标物特征的一种物探方法。充电法检测地下结构钢筋笼的前提是钢筋笼有裸露或采取凿去钢筋笼顶端混凝土或在地下结构体浅表钻孔至钢筋笼等措施就可以利用导线能良好连接到钢筋笼。否则就不能对钢筋笼进行充电，在钢筋笼周围无法形成人工电场，也就无法用该方法进行钢筋笼长度检测。

电磁法主要利用物质的电磁性差异来检测目标体。电磁法检测要求作业范围 10m 内无电磁干扰，如待检测钢筋笼附近地面或地下的金属物体、高压输电线路或大型作业机械等，以便在检测数据分析解释时予以参考排除。当现场操作环境存在电磁干扰时，应开展试验评估，不符合仪器设备使用要求时，应停止检测，待满足要求后，重新检测。

磁测井法、充电法和电磁法检测钢筋笼长度是通过检测钻孔作为检测剖面。由于检测钻孔距离检测目标体的远近显著影响检测成果，只有保持检测钻孔和受检钢筋笼相互平行，即检测钻孔和受检钢筋笼的距离保持不变时，才有

可能得到较理想的检测成果。

部分工况下检测钻孔也可以设置在钢筋笼内部，如灌注桩的取芯钻孔，或预应力管桩的管内，但同样要求检测钻孔中心线平行于钢筋笼中心线。由于钢筋笼的磁场强度或磁感应强度随检测距离的增加衰减极快，为确保检测曲线满足成果判定，因此要满足本条的要求。当检测钻孔深度过深时，其垂直度的控制难度相对较大，则会对检测成果的影响也较大。如，当钻孔垂直偏差角度达到 1° 时，50m 深度处的水平偏差将达到 0.9m，会显著影响检测曲线的形态。因此，为提高最终的解释精度，当检测钻孔深度超过 50m 时，对检测钻孔的倾斜度进行测试，当检测钻孔的倾角达到 2° 及以上时，应重新布置检测钻孔。考虑到钻孔垂直度精度控制问题，检测钻孔深度不宜超过 100m。

3.0.3 本条规定了在接受任务后的准备工作。检测人员应与有关专业技术人员共同收集资料和现场踏勘，研究检测任务、工作计划和已有资料的解释成果，并组织进行方法试验，制定检测方案，现场检验并编制最终检测成果。

3.0.4 图 3.0.4 是检测机构应遵循的检测工作程序。实际执行检测程序中，由于不可预测的原因，如委托要求的变化、现场调查情况与委托介绍的不符，或在现场检测尚未全部完成时就已发现质量问题而需要进一步排查，都可能使原检测方案中的抽检数量、受检地下结构位置、检测方法发生变化。也即，检测方案并非一成不变，可根据实际情况动态调整。

3.0.5 磁测井法、充电法和电磁法均可以用于钢筋笼长度检测，但是充电法要求有桩头且能暴露钢筋，才能实施对钢筋笼的充电。如果上部结构已建好，暴露钢筋相对较麻烦，且检测完毕后还需修补，则可考虑采用磁测井法。磁测井法仪器设备简易轻便、操作方便，速度快，但磁测井法检测易受浅部地下结构周边不相关的磁性体干扰。电磁法具有较高的检测精度，也无须暴露钢筋，但其探头的直径较大，要求检测钻孔的孔径较大，钻孔成本较高，现场检测速度也相对较慢。因此，在具体选择检测方法时，应根据现场条件，结合检测方法的特点，同时也要兼顾实施中的经济合理性，即在满足正确评价的前提下，做到快速经济。

3.0.6 本条对地下结构钢筋笼长度检测数量及需要检测的情况作了规定。对承受拉拔力、水平力较大的基桩，钢筋笼的长度尤为重要，因此可适当增加检测数

量。当地下结构施工质量有疑问时，为了更好地全面了解施工质量情况应适当增加检测数量。

通常，因初次抽样检测数量有限，当抽样检测中发现钢筋笼长度不满足设计要求时，应会同有关各方分析和判断地下结构钢筋笼整体的质量情况，如果仍存在疑点，应扩大检测数量。倘若初次检测的结果客观地反映了地下结构中钢筋笼长度情况，则不宜盲目扩大检测。

3.0.7 为了选择合适的钢筋笼长度检测方法，保证检测工作质量，做到有的放矢，检测前应尽可能详细地了解 and 搜集有关的技术资料，详实的施工记录，检测人员还需跟建设方、施工方、设计方、监理方充分沟通。

3.0.8 本条规定了地下结构钢筋笼长度检测的工作原则，每一种检测方法都有其局限性。需充分认识地下结构钢筋笼长度检测工作具有如下特点：干扰强且干扰因素多；场地小且不规则，检测钻孔布置受到限制；解决的工程任务繁杂、多样；任务急且要求高。为了获得较好的检测效果，在考虑上述特点的前提下，通过试验合理地选择有效的检测方法和数据采集参数，在认真分析、充分利用已知资料的基础上，从简单到复杂，从已知到未知进行工作，对于复杂工作条件下或重要工程，宜采用多种方法互相补充、互相验证，提高检测结果的可靠性。

本规定涉及的三种钢筋笼长度检测方法均基于物探技术，检测条件、检测方法不同，其检测结果可能存在差异。像所有地球物理方法一样，用这几种方法来检测地下结构钢筋笼长度也会遇到多解性的问题，且在强干扰或物理前提条件不符的情况下，单一方法可能失效。比如，充电法检测的基础是检测对象与周围介质的电性差异，可适应在无水电或淡水条件下，矿化度较低，电阻率 $10\Omega\cdot\text{m}$ 以上土层。但在咸水、海水条件下，土层矿化度较高，电阻率将减小至 $0.1\Omega\cdot\text{m}\sim 1\Omega\cdot\text{m}$ ，与钢筋笼电阻率差异不显著，测得的电位曲线异常幅度将减弱，很难判别是否有钢筋存在，但类似工况采用磁测井法仍然能取得较好的效果。当地下结构附近存在强磁干扰，采用磁测井法会受到明显干扰，用这种方法检测钢筋笼长度较短的地下结构时可能会失效。地下结构处于玄武岩区时，磁测井法也可能会受到干扰，导致钢筋笼底判断困难。但利用充电法仍有较好的效果。因此，对判断有争议时或对采用的一种方法的结果判定有困难时，提

倡采用另一种方法验证，甚至直接开挖验证。

3.0.9 编写检测方案是地下结构钢筋笼长度检测工作的重要组成部分。本条规定了检测方案应在收集资料、现场踏勘和进行必要的方法试验后编写，并对检测方案的内容做了规定，工作规模较小时，可以直接编写施工纲要或工作计划，内容从简。

3.0.10 本条对地下结构钢筋笼长度检测钻孔作了规定。检测时，当检测钻孔穿过或进入承压水层时，尤其在已开挖好的基坑内进行钻孔时，可能会产生突涌、流砂等风险，不进行干预时，可能将地下结构周边土带出，降低地下结构承载力。由于特殊地层条件导致检测钻孔出现成孔困难或护壁失效等问题时，可以考虑将检测孔布置在在桩身或墙体内。

检测时，桩身或墙体应达到一定的强度。混凝土强度低，检测成孔过程可能会引起桩身损伤或破坏。

当在地下结构侧边土体钻孔时，检测钻孔采用泥浆护壁是为了平衡水土压力，避免塌孔；钻孔周围存在软土、砂土、卵砾石层及杂填土时，宜在孔中设置无磁性护管，避免塌孔将磁探头埋入孔内。

检测钻孔是磁测探头、测量电极系、收发探头或天线的通道，为了使井中磁测探头、测量电极系、收发探头或天线在检测钻孔中畅通无阻，钻孔的孔径或孔内安装的护管内径应至少大于磁测探头、测量电极系、收发探头或天线外径 10mm，一般为 60mm~90mm。当检测钻孔孔径过大时，应对磁测探头、测量电极系、收发探头或天线安装扶正器。

为预防泥沙沉积孔底致使磁测探头、测量电极系、收发探头或天线达不到预计的深度，观测数据不完整，检测钻孔应预留一定的深度空间，要求检测钻孔深度大于被检测钢筋笼底部的设计深度 5m 以上。当工程应用中有成熟经验时，也可依据经验确定孔深。孔口一般要求高出地面，能采集到孔口标高，方便后期进行相对位置计算。

由于钢筋笼长度检测是通过检测钻孔作为检测剖面，而检测钻孔距离检测目标体的远近显著影响检测成果，只有保持检测钻孔和受检地下结构相互平行，即检测钻孔和受检地下结构的距离保持不变，才有可能得到较理想的检测成果。

另外检测钻孔也可以设置在地下结构内部，如灌注桩的取芯钻孔，或预应力管桩的管内，但同样要求检测钻孔中心线平行于钢筋笼轴线。

检测钻孔垂直度决定了磁测探头、测量电极系、收发探头或天线与钢筋笼之间的距离，从而对检测信号强度有较大影响。当检测钻孔垂直度偏差大于0.5%且偏向远离地下结构方向时，检测仪器设备接收不到有效的信号，可能会造成误判。因此钻孔垂直度存疑时，通过对钻孔测斜检测数据分析，可以避免上述误判。

检测开始前，应用模拟探头检查检测钻孔畅通情况，保证磁测探头、测量电极系、收发探头或天线在检测钻孔全程范围内可正常升降，避免管孔淤堵或卡孔，造成检测数据不全。

成孔过程中要特别注意不要将铁磁性物质掉入或遗留孔中，以免干扰钢筋笼长度的检测。下放套管要注意连接稳固，严禁铁磁物质掉入孔内。

3.0.11 仪器设备是检测工具，是获得可靠信息和提高工作效率的保证，是确保检测顺利进行的必备条件。因此，本条规定了性能稳定、各组件牢固可靠、防潮、抗震和绝缘性能良好，适应工作环境的温度和湿度条件的仪器设备方能投入实际应用，这是对仪器设备的基本要求。要求仪器操作、维修的人员应该具有相应的能力，确保正确操作和使用各种检测仪器及附件，并使其能保持良好性能状态。对于投入使用的仪器设备在使用前、使用中和使用后均要进行检查，做到定期检验或校准，经常维护保养。

检测所用计量器具必须送至有资格的法定计量检定单位进行定期校检，且使用时必须在计量校检的有效期之内，以保证检测数据的准确可靠性和可追溯性。

虽然计量器具在有效计量校检日期之内，但由于检测工作的环境较差，使用期间仍可能由于使用不当或环境恶劣等造成计量器具的受损或计量参数发生变化。因此，检测前还应加强对计量器具配套设备的检查或模拟检测；有条件时可建立校准装置进行自校，发现问题应重新检定。

3.0.12~3.0.15 本条对检测数据采集及处理作了规定。检测环境影响因素较多，只有外业采集到有效的数据才能得到真实的结果，因此应选择最佳时刻，即在背景场相对稳定的时刻进行检测。

原始记录是联系现场检测与资料成果处理解释的重要纽带，原始记录是检测工作成果的一部分，原始记录应齐全完整，原始记录宜包括：钢筋笼长度检测原始记录表、检测数据或记录、文件号、数据的打印记录和仪器观测过程中的异常情况记录等。

作业单位应该建立质量管理体系，根据不同方法的特点进行全过程质量控制，确保检测数据采集、数据处理及资料解释工作的可靠。一般检测时限较紧，外业质量检查宜与外业检测交叉或同步实施，同步实施时应采用不同人员、不同仪器设备、不同时段进行。现场检查时应查看原始记录，若不符合要求，应查明原因并及时重测。

检测数据处理不得使用未经检查或不合格数据进行处理和解释。在数据处理和解释过程，应使用经过实践检验证明有效的软件或软件系统。检测数据的解释与推断应充分结合工作范围内的地质、设计、施工及已知的资料，对各种异常反复对比分析，得出较为准确的结论；现场应及时对资料进行初步整理和解释，如果发现原始资料有可疑之处或推断的结论不够充分时，应作必要的外业补充工作；解释时应通过资料的综合分析，充分考虑地质情况和检测结果的内在联系与可能存在的干扰因素；解释成果描述应图表结合，直观明了，使用相关的专业用语表达，便于工程技术人员使用。

3.0.16 钢筋笼检测属现场检测，有时需要在水上或深基坑内作业，检测过程中还涉及用电、用水等问题，因此，应认真做好安全防护措施，确保检测工作安全。

3.0.17 检测报告内容应完整、表述须清晰、用词须准确。报告中应包括一些必要的工程信息、检测工作概况、包括实测数据、曲线等的检测结果、包括数据处理方法、分析曲线等的相关分析过程以及检测结论等信息。部分年代较久远的建（构）筑物可能存在部分信息的缺失，在检测报告中应针对缺失情况进行特别说明。

成果报告的插图、插表可包括方法原理图、典型曲线图或图像、对比分析图、工作量表、物性参数表、仪器技术因素、成果解释列表、检测数据列表、精度表等。成果报告的附图、附表应符合工程和检测方法的要求。

报告的文字、术语、代号、符号、数字、计量单位等均应符合国家现行有

关标准的规定。

3.0.18 考虑到实际的采样间距和钢筋笼磁场的分布特征，在实际检测中，受地下结构与检测钻孔的垂直度、各类地下结构的钢筋规格和数量的差异、地下结构与检测钻孔间距不同及环境干扰等因素的影响，另外深度测量、孔口高程测量也有一定的误差，在解释钢筋笼长度时均会带来相应的误差，结合大量工程实例和试验研究，本规程将检测误差定为 $\pm 1.0\text{m}$ 较为合适。

4 磁测井法

4.1 适用范围

4.1.1 由于灌注桩、预制桩、地下连续墙等地下结构内均设置了一定数量的钢筋笼，在检测钻孔的垂直度、地下结构与检测钻孔间距满足要求、环境干扰较小时，钢筋笼引起的异常均能被磁测井仪分辨，从而判定其长度；对于全长配筋的地下结构，可以判定地下结构的深度；该方法也可用于钢板桩或含铁磁性材质的复合型地下结构检测。在实际检测中，受地下结构与检测钻孔的垂直度、钢筋规格和数量、钢筋笼与检测钻孔间距不同等因素的影响，解释钢筋笼长度时会存在一定的误差，结合大量工程实例和试验研究，检测误差一般可控制在 $\pm 0.5\text{m}$ 内，对于长桩一般可控制在 $\pm 1.0\text{m}$ 内。

4.2 仪器设备

4.2.1 测点的深度步距值对后期磁场垂直分量梯度计算及成果解释影响较大，因此需要检测设备有高深度分辨率。

每一观测点的磁场是由该点地磁场以及磁性物体磁场叠加的结果，仪器测量范围在 $-99999\text{nT}\sim+99999\text{nT}$ 能满足我国任一地区磁测工作要求。磁敏元件灵敏度和精度是保证磁测工作精度的基本要求。

测井属于孔内作业，磁测探头的工作环境温度和耐压性能是检测工作的基本保证。

4.2.2 地下结构钢筋笼检测，成孔质量对检测结果影响较大，由于场地大小、平整度、水域、陆域等因素，岩土层的软硬变化、产状变化等对成孔机具要求不同，在保证成孔质量的前提下，宜选择轻便的机具。在黏性土中可采用螺纹提土器回转钻进，粉性土和砂土中应采用泥浆钻进。

4.3 检测方法

4.3.1 成孔位置的选择直接关系到检测成果的有效性，在地下结构内部成孔时，要靠近其中心位置，以确保检测钻孔不偏出地下结构外；在地下结构外侧成孔

时，需要以尽量靠近地下结构且尽量远离非受检地下结构为原则，确保被检测地下结构钢筋笼引起的磁异常信号最强，非受检地下结构钢筋笼的干扰信号最弱，同时考虑成孔的可行性。

研究表明，检测距离对磁场垂直分量强度检测有较大影响，当超过 1.0m 时，磁场强度衰减到非常弱，不利于数据采集和判别。因此对检测钻孔与受检地下结构钢筋笼的距离进行了规定。检测距离对磁场垂直分量强度影响示意如图 1 所示。

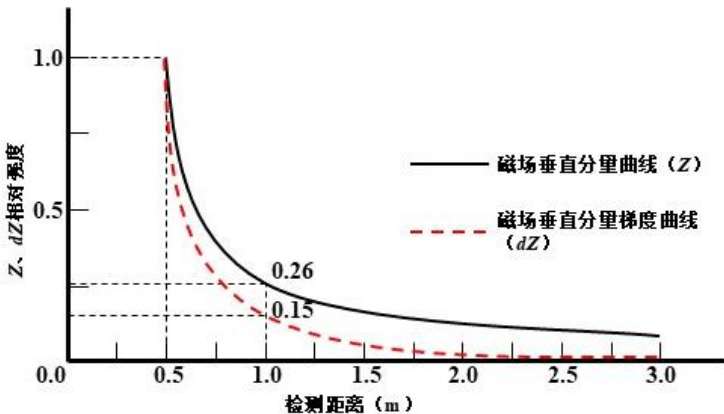


图 4.3.1 检测距离对磁场垂直分量强度影响示意图

预制桩含钢筋数量较少，空心预制桩检测钻孔建议布设在预制桩孔内；在受检桩外侧土体内布孔且检测钻孔与受检桩外壁的净距不大于 1.0m 时，引起的磁异常能够较好的分辨；距离大于 1.0m 时，接收到的磁异常信号微弱且平缓，其拐点不明显，不利于钢筋笼长度判定。

灌注桩含钢筋数量相对较多，在桩截面内布设检测钻孔时，磁测井仪接收的是桩四周钢筋笼引起的叠加异常；在受检桩外侧土体内布设检测钻孔时，磁测井仪接收的是桩一侧钢筋笼引起的异常，检测钻孔与受检钢筋笼边缘的净距离建议不大于 1.0m。

地下连续墙含钢筋数量相对较多，且墙体厚度多数小于 1200mm，地下连续墙截面内布设检测钻孔建议布设在单幅槽段墙体混凝土浇筑导管安置通道处；在受检槽段墙体中部外侧土体内布设测孔时，检测钻孔与受检单幅槽段墙体钢筋笼净距离建议不大于 1.0m。

4.3.2 本条对现场检测进行了规定：

检测中要注意磁测数据的监控，在接近钢筋笼底时应尽量保证显示数据的

稳定，需要适当放慢检测速度。记录每一个测点数据，同时注意记录好检测过程中的特殊情况，为室内分析提供尽可能多的现场信息。

采样间距过大，会使得检测成果的分辨率较低；过小，会导致现场检测工作量较大。建议选择 50mm~200mm 的采样间距。磁测探头移动速率过大会直接影响检测数据的准确性和稳定性，根据经验建议取不大于 10m/min。该速度既能保证测量数据稳定又能达到快速检测的目的。

实时记录（显示）是为了现场可以对检测数据质量和检测结果进行初步评判，也有利于加密位置的确定。

同一受检地下结构仪器设置的参数保持不变，便于不同测次数据的对比分析。

每孔不少于 2 次能较快地校验测量数据的稳定性，减少误判的情况。

可靠的信号是保证正确分析、计算结果的基础，现场重复测量如发现钢筋笼长度检测结果不一致时，需要分析原因，进行复测。确认所测结果是客观、真实、可靠的，消除人为疏忽或仪器设备工作状态有问题造成的不真实数据。保证测量数据可靠，分析结果正确。

4.4 数据分析与判定方法

4.4.1 在实际检测到的磁场垂直分量中，除了钢筋笼产生的磁场强度外，还包含着一个外磁场值（正常场 Z_0 ）。磁场是广泛存在的，影响外磁场值的因素极多，主要有起源于地球内部、比较稳定、变化非常缓慢的基本地磁场，以一个太阳日为周期的太阳静日变化引起的平静变化地磁场，磁暴、地磁亚暴、太阳扰日变化和地磁脉动等引起的干扰变化地磁场，以及发电机、电动机、变压器、电报、电话、收音机以至加速器、热核聚变装置、电磁测量仪表等生产活动引起的生产活动磁场。

在正常开展磁测井工作过程中，一般是选择在检测钻孔周围 20m~30m 范围无磁性干扰的区域，建立正常场值的基准点，实测工区的磁场正常场值。但对于钢筋笼长度检测的场地，包括机械、材料、电子设备等生产活动磁场值很大，且变化剧烈，很难采用现场实测的方法来获取磁场正常场值。

对于地下结构钢筋笼长度检测来说，其检测深度一般不超过 100m，单孔的

检测时间一般小于 10min，在该段时间内地磁场可假设为一个定值。另外在实际工程中，为了可靠判读钢筋笼底面位置，检测钻孔深度一般比钢筋笼底标高深 5m 及以上，而在检测钻孔的底段受地表的生活动磁场影响相对较小。且钢筋笼底一般位于第四系地层，该地层多数为无磁性或弱磁性。因此，建议采用最下端几个磁场垂直分量检测值的平均值作为该检测钻孔的正常磁场垂直分量的 Z_0 值。

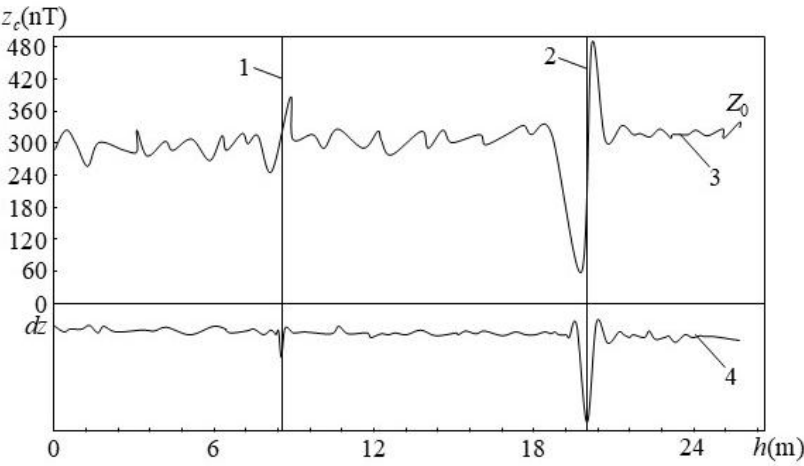
4.4.4 当场地条件复杂，存在磁场干扰、地层变化等造成曲线斜率最大的拐点或极值点难于判读时，对曲线数据进行适宜的平滑滤波处理可以压制或消除外界磁场的干扰，突出有用的磁异常，便于资料解释分析。同一个检测钻孔多次检测的数据，平滑后的曲线特征仍要求有良好的一致性。

4.4.5 钢筋笼在地磁场的作用下产生磁化磁场，钢筋笼底部为磁介质分界面，该界面上部为铁磁性物质，下部为无磁性或素混凝土、岩土层等弱磁性物质，在界面处磁场强度会发生较大变化，超过界面向下逐渐变为稳定的背景场，实测磁场垂直分量—深度（ Z_c-h ）曲线出现由极小值转变成大于背景场的拐点（正向斜率最大处）或由极大值转变成小于背景场的拐点（负向斜率最大处），相应的磁场垂直分量梯度—深度（ $dZ/dh-h$ ）曲线出现极值点，该异常曲线的拐点所对应的位置即为钢筋笼底埋深，但实测工作中发现，实测磁场垂直分量—深度（ Z_c-h ）曲线与背景场值具有较为显著的相关性，判读难度相对较大。

对于两种具有磁性差异的介质，在其分界界面上磁场垂直分量是不连续的，即在分界界面上磁场垂直分量梯度将出现极值点。采用 dZ/dh 异常曲线的相对“极值点”来进行判定更简单易行。但试验表明， dZ/dh 值的灵敏度较高，极易受外界的地磁场和干扰磁场影响，产生较大的波动变化，加大极值点的判断难度。

因此，在实际工程应用中，应同时结合实测磁场垂直分量（ Z_c ）曲线和磁场垂直分量梯度（ dZ/dh ）曲线加以判定。即取实测磁场垂直分量—深度（ Z_c-h ）曲线异常曲线的拐点所对应位置作为钢筋笼底埋深，同时取磁场垂

直分量梯度—深度（ $dZ/dh-h$ ）曲线最下端明显极值点对应的深度位置作为钢筋笼底端位置（图 4.4.5）。当两种方法判定的钢筋笼长度之差小于 1.0m 时，一般取其平均值作为实测钢筋笼长度。



1—钢筋笼接头；2—钢筋笼底端；3—实测磁场垂直分量；4—磁场垂直分量梯度

图 4.4.5 钻孔灌注桩实测磁场垂直分量（ Z_c ）及梯度（ dZ/dh ）随深度变化示意图

当实测磁场垂直分量—深度（ Z_c-h ）曲线和磁场垂直分量梯度—深度（ $dZ/dh-h$ ）曲线各自判定位置偏差大于 1.0m 时，需要重新检测，以进一步查明偏差原因。

另外，实际工作中，部分场地的岩土体会具有较强的磁性，影响到最终检测成果的判定。在该类场地检测，应结合场地地质情况，综合研究判读钢筋笼底部的深度。

5 充电法

5.1 适用范围

5.1.1~5.1.2 充电法是对导电性较好的目标体进行直流充电，测量目标体周围产生的电场，根据其电场特征确定目标体大小、形状、产状等的一种物探方法。充电法检测地下结构钢筋笼的前提是钢筋笼有裸露或采取凿去钢筋笼顶端混凝土或在地下结构体浅表钻孔至钢筋笼等措施就可以利用导线将充电电极良好地连接到钢筋笼，否则，就不能对钢筋笼进行充电，在钢筋笼周围无法形成人工电场，也就无法用该方法进行钢筋笼长度检测。

根据观测装置方式，充电法可分为电位法和电位梯度法，其中，电位法是采用电位观测装置的检测方法，即将测量电极 N 远离充电目标体，另一测量电极 M 放入检测钻孔中测量 M 点的电位值，也称单极法；电位梯度法是采用电位梯度观测装置的检测方法，即将测量电极 M 、 N 一并发入检测钻孔中，测量两者的电位差值，也称双极法。

检测工作可根据工程需要和场地情况选择电位法或电位梯度法，或采用两种方法综合对比检测。

5.2 仪器设备

5.2.1 电压、电流的测量范围、分辨率和测量误差，抗工频干扰，仪器线路间及对地绝缘性能是对电法仪器的基本要求。现场操作员接反供电电源极性是常见的错误操作，这就需要电法仪器具有反接保护功能。同时，由于现场操作时，不能准确掌握供电电极接地电阻的情况，对供电线路的电流强度难以把握，需要电法仪器具有过流保护功能。

5.2.2 充电法进行钢筋笼长度检测时，检测钻孔中应有水，无水需注水。因此，要求测量电极系及连接电缆具有一定的防水绝缘能力。

5.3 检测方法

5.3.1 本条是对检测钻孔布设的规定。

检测钻孔设置在地下结构内部或外侧均可。在地下结构内部钻孔会破坏地下结构，施工难度也相对较大。因此，一般检测钻孔选择地下结构外侧。充电在钢筋笼周边产生的电位与离开钢筋笼的距离成反比，在距离钢筋笼1.0m以上处测得的电位或电位梯度较弱，曲线变化不明显，拐点位置难以确定，容易造成误判。

钢筋笼底端是钢筋与混凝土或岩土层接触部位，测量钢筋笼长度的实质就是确定钢筋笼底端位置。为了利用钢筋笼充电场的分布特征确定钢筋笼底端位置，需要对底端附近充电场的分布进行延伸观测。同时，为预防泥沙沉积孔底致使测量电极系达不到预计的深度，观测数据不完整，钻孔需要预留一定空间，要求钻孔深度达到钢筋笼底端预计深度以下不小于5m。

干燥钻孔中，测量电极系与孔壁耦合较差，甚至可能不接触，导致电位测量错误，或根本无法测量。水是良好的耦合剂，地下水位较深时，需要在孔中注水，使测量电极系与孔壁耦合。为了确定钢筋笼底部界面，孔内水位需要高于钢筋笼底不少于2m。

5.3.2 软弱土层钻孔易缩径或塌孔，使检测工作无法进行。在钻孔中设置带滤网、壁上有透水孔的PVC管既可使测量电极系顺利下放上拉，又不会因PVC管的绝缘性使孔中电位无法测量。管壁透水孔建议设置在管壁一侧，上下孔距一般选3cm，打三排孔径约5mm的小孔，排间横向距离约2cm，三排孔上下依次错位约1cm。下管时，需要将有透水孔的一侧朝向待测钢筋笼。

5.3.3 本条是对现场检测准备工作的基本规定。

为增强抗干扰能力，充电法测量通常需要较大的供电电流，仪器设备和电源等必须做好绝缘防护，防止漏电，影响测量结果。

为了使测量电位尽可能地只反映被充电钢筋笼产生的电场，需要将供电电极负极 B 产生的电场影响降低。理论上，供电电极负极 B 要设置在距离钢筋笼无穷远处。实际工程中，需要将供电电极负极 B 设置在距离检测钢筋笼不小于10m处，其对测量电极 M 点电位的影响已不足充电钢筋笼在测量电极 M 点形成电位的十分之一。

5.3.4 本条是对采用电位法检测时现场检测工作的相关规定。

电位法测量测量电极 M 点的电位，实际上仍然是测量测量电极 M 、 N 之

间的电位差，只是将测量电极 N 设置于远离供电电极处，供电电流在测量电极 N 处产生的电位接近于零。理论上，只有测量电极 N 距离供电电极无穷远，供电电流在测量电极 N 产生的电位值才会为零。但实际上，测量电极 N 设置在测量钻孔与钢筋笼对侧不少于 10m 处，受供电电极 AB 两供电点电流产生的电位值接近于零，对测量电极 M 点的电位测量影响很小。

在现场检测中，电流、电压受环境影响，可能出现一定的波动，影响检测结果的分析。为进一步降低检测误差，提升检测准确性，采用电位的归一化值对检测结果进行描述，以 V_M/I 值作为检测结果，可有效减小系统误差。需要特别说明的是，此类公式中， I 仅取其数值部分，不取单位安培（A）。这种处理方式是为了不改变归一化电位的单位。

部分仪器可自动测量记录电位或电位差，以及供电电流值，并实时计算显示相应的归一化电位—深度（ $V_M/I-h$ ）曲线。对于部分只能测量电位或电位差，以及供电电流值，不能自动计算显示相应曲线的仪器设备，需现场人工计算并绘制归一化电位—深度（ $V_M/I-h$ ）曲线或归一化电位梯度—深度（ $dV_M/dh-h$ ）曲线。

5.3.5 本条是对采用电位梯度检测时现场检测工作的相关规定。

电位梯度法测量电极距 MN 一般固定选择 0.5m 或 1.0m，也可选择与测点间距相同。

5.3.6 本条是对充电法现场检测曲线复测的相关规定。

电位法复测观测值 V'_M/I' 与原始观测值 V_M/I 的相对误差需要满足下式要求：

$$\frac{|V'_M/I' - V_M/I|}{(V'_M/I' + V_M/I)/2} \times 100\% \leq 5\% \quad (\text{式 5.3.6-1})$$

式中： V'_M —复测测量电极 M 点电位；

I' —复测电流；

V_M —测量电极 M 点电位；

I —供电电流。

电位梯度法复测观测值 $\Delta U'_{MN}/I'$ 与原始观测值 $\Delta U_{MN}/I$ 的相对误差需要满足

下式要求：

$$\frac{|\Delta U'_{MN}/I' - \Delta U_{MN}/I|}{(\Delta U'_{MN}/I' + \Delta U_{MN}/I)/2} \times 100\% \leq 5\% \quad (\text{式 5.3.6-2})$$

式中： $\Delta U'_{MN}$ —复测测量电极 M 、 N 之间的电位差；

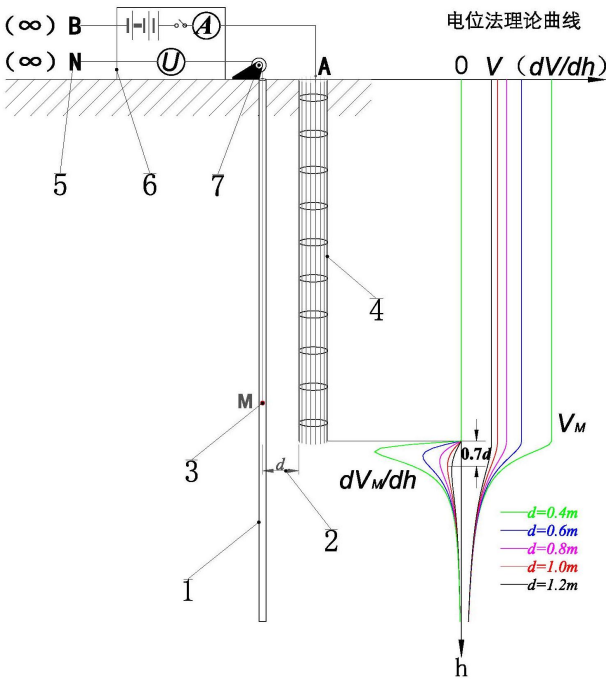
ΔU_{MN} —测量电极 M 、 N 之间的电位差。

5.3.7 根据现场观测的数据，对钢筋笼长度进行初步判断。如现场检测结果无法准确判定钢筋笼底端位置，应查找原因并进行重复测量或加密测量，确保测量数据准确、质量可靠。

5.4 数据分析与判定方法

5.4.1 本条给出了充电法检测地下结构钢筋笼底部位置深度的判定方法。

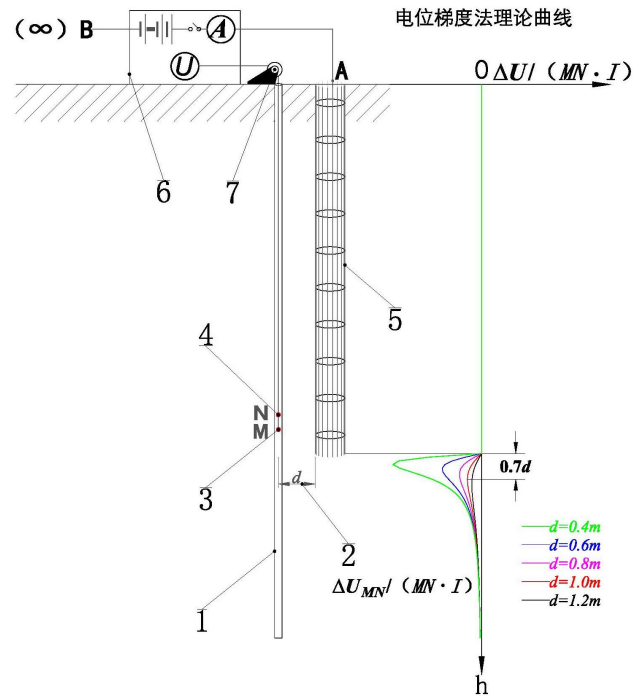
由电位法理论曲线（图 5.4.1-1）可见：钢筋笼底部位置深度对应归一化电位—深度（ $V_M/I-h$ ）曲线降低拐点的深度，对应测量电极 M 的归一化电位梯度—深度（ $dV_M/dh-h$ ）曲线零值向负值陡降点深度或负极值点以上 0.7 倍钻孔轴线至钢筋笼最近距离处的深度。在检测孔与钢筋笼距离小于 1.0m 时，特征点较为显著，可准确确定钢筋笼底端位置。



1—检测钻孔；2—钻孔轴线至钢筋笼最近距离 d ；3—测量电极 M ；4—钢筋笼；
5—测量电极 N ；6—充电法仪器；7—孔口滑轮

图 5.4.1-1 电位法理论曲线示意图

由电位梯度法理论曲线（图 5.4.1-2）可见：钢筋笼底部位置深度对应归一化电位梯度—深度（ $\Delta U_{MN}/(MN \cdot I) - h$ ）曲线零值向负值陡降点深度位置，或负极值点以上 0.7 倍检测孔轴线至钢筋笼最近距离处对应的深度位置。



1—检测钻孔；2—钻孔轴线至钢筋笼最近距离 d ；3—测量电极 M ；4—测量电极 N ；
5—钢筋笼；6—充电法仪器；7—孔口滑轮

图 5.4.1-2 电位梯度法理论曲线示意图

6 电磁法

6.1 适用范围

6.1.1 电磁法特指主动源电磁法，是通过对钢筋笼这一特定金属体的电磁感应信号进行测量，并根据响应信号的变化特征来进行定深解译的一种电法勘探方法，包括频率域电磁法、时间域电磁法和探地雷达法。前两种方法是通过电磁响应感生电动势的幅度变化特征来进行定深解译，后者是通过高频电磁波传播波列图特征来进行定深解译。电磁法具有无需与地下结构接触，检测精度高的特点。

6.2 仪器设备

6.2.1~6.2.3 收发探头和天线的分辨率是保证工作精度的基本要求。本文提到的电磁法皆为孔中作业，收发探头、电极对或天线的工作环境温度 and 防水耐压性能是检测工作的基本保证。为确保检测数据的可靠性，要求能对现场检测数据或波列实时监控和滤波、平滑、梯度计算等基本处理。

6.3 检测方法

6.3.1、6.3.2 由于检测距离对钢筋笼磁场信号的影响，只有控制好检测钻孔垂直度，保持检测钻孔和钢筋笼相互平行，使检测距离保持不变，才可能测得较理想的钢筋笼感应电磁场强度曲线，进而保证检测精度。受检地下结构钢筋笼越长，其检测钻孔的垂直度就越难保证，必要时可以进行测斜，若检测钻孔倾斜度过大影响检测效果，应重新布置检测钻孔。

检测钻孔是检测探头的通道，目前主流的井中探头直径一般在 60mm 左右，为保证探头在检测钻孔内顺畅通行，检测钻孔孔径一般不小于 80mm。综合考虑经济性及适用性、土层塌孔或局部缩孔等因素，一般可选用外径为 91mm~110mm 的钻头钻孔。为保证检测到待检钢筋笼完整的感应电磁异常数据，检测钻孔孔底标高应低于预计钢筋笼底标高 3m 以上。考虑到实际检测中往往在短时间内就会由于孔底泥沙沉积而导致探头达不到预定深度，故检测钻

孔设置深度宜低于预计钢筋笼底 5m 以上。

如果检测钻孔深度范围内存在较厚软弱土层、砂、卵砾石层时，可能会发生塌孔使探头无法到达孔底，或将探头埋于孔底无法取出，因此有必要设置 PVC 管护孔，防止塌孔。为防止管底返砂堵孔，PVC 管宜封底。为保证探头在 PVC 管中的顺畅通行，PVC 管内径需要大于电磁法探头或天线外径 20mm 以上。

6.3.3 当现场操作环境存在电磁干扰时，应开展试验评估，不符合仪器设备使用要求时，应停止检测，待满足要求后，重新检测。所述的电磁干扰包括待检测地下结构钢筋笼附近的空中、地面或地下金属物体、高压电线等。

6.4 数据分析与判定方法

6.4.1 频率域和时间域电磁法需绘制孔中各测点的多测道感应电动势—深度（ $\varepsilon-h$ ）曲线和感应电动势梯度—深度（ $d\varepsilon/dh-h$ ）曲线图。时间域电磁法又称为瞬变电磁法，瞬变电磁法实测感生电动势为一次场关断瞬间开始记录的一段电磁响应，数据分析与判定中所指的电动势或者电动势梯度可以用一次场关断后一个统一时间点上的感生电动势作为解译数据，也可以用一次场关断后一段时间内感生电动势数据的积分值作为解译数据。

当电磁法测量探头和仪器装备选择适当时，钢筋笼长度电磁法测定数据剖面具有明显的强弱变化特征。如频率域和时间域电磁法典型数据剖面特征图（图 6.4.1）所示，采用绝对测量时，响应信号幅度由大到小降低，曲线的拐点为钢筋笼笼底端点；采用相对测量时，响应信号的幅度极大值点对应钢筋笼笼底端点。

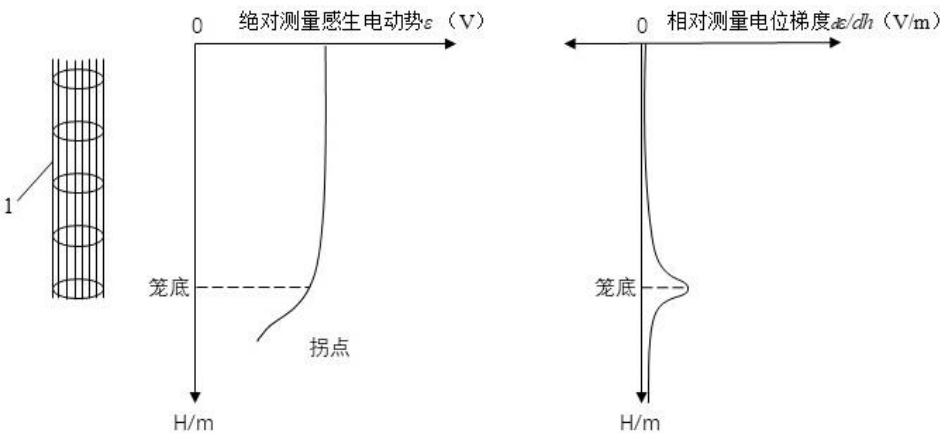


图 6.4.1 频率域和时间域电磁法典型数据剖面特征图

6.4.2 孔中探地雷达法为一种特殊的电磁感应检测方法。雷达天线在检测钻孔中每移动一个深度距离即发射和接收一段高频电磁波回波信号，由于钢筋笼回波具有信号强度大、持续时间长或回波相位突变等特征，以不同深度获得的一段时长回波信号为数据集可以构成以深度、时间为坐标的二维剖面，称为波列图，依据波列图上出现的上述信号突变特征可以直观判定钢筋笼底的深度位置。波列图有曲线、映像、位图等多种表现形式，可以灵活选择。

如有条件，可在远离钢筋笼布设一个参考测孔，孔中实测一条对应现场岩土介质电磁响应特性的背景曲线或雷达波波列图，实际地下结构钢筋笼旁的测量曲线可以与背景曲线或波列图进行对比，以提高钢筋笼长度检测分辨能力和解译精度。