

# DB 1310

廊坊市地方标准

DB 1310/T 282—2022

## 刚性桩复合地基检测技术规程

地方标准信息服务平台

2022 - 10 - 12 发布

2022 - 11 - 12 实施

## 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。

本文件由廊坊市广阳区市场监督管理局提出。

本文件起草单位：廊坊卓越工程检测有限公司、河北省地球物理勘查院（河北省浅层地热能研究中心）。

本文件主要起草人：张连琦、岳永、孙红燕、刘艳丽、王鹏、卢小志、袁肖强、李卫东、韩伟鹏、楚福录、孙卫东、侯云廷、王利宅、李文涛、崔立军、赵亚军、王楠、邢瑞、赵海峰、赵艳斌、李汉旭、楚艳峰、高亮、关鉴、刘峥。

地方标准信息服务平台

# 刚性桩复合地基检测技术规程

## 1 范围

本文件规定了刚性桩复合地基检测的术语和定义、基本规定、复合地基载荷试验、单桩载荷试验、地基土载荷试验、低应变法等方面的内容。

本文件适用于廊坊地区建筑工程刚性桩复合地基检测。

## 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。

GB 50026 工程测量标准  
GB/T 50123 土工试验方法标准  
GB/T 50783 复合地基技术规范  
JGJ 52 普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准  
JGJ 106 建筑基桩检测技术规范  
JGJ 340 建筑地基检测技术规范  
JGJ/T 384 钻芯法检测混凝土强度技术规程  
JG/T 518 基桩动测仪  
DB13 (J) 148 建筑地基基础检测技术规程  
DB13 (J) /T 301 基桩内力测试技术规程  
CECS 253 基桩孔内摄像检测技术规程

## 3 术语和定义

GB/T 50783、JGJ 340和JGJ 106界定的术语和定义适用于本文件。

## 4 基本规定

### 4.1 一般规定

4.1.1 刚性桩复合地基检测可分为施工前为设计提供依据而进行的试验检测、施工中为动态控制施工质量而进行的施工检测和施工后为地基验收提供依据而进行的验收检测。

4.1.2 试验检测条件应与实际施工的岩土工程条件、施工技术要求等相一致。

4.1.3 刚性桩复合地基应进行验收检测。对采用多种方法进行地基处理的，验收检测可按处理方法分阶段进行。

4.1.4 刚性桩复合地基应对褥垫层材料、厚度和密实度、复合地基承载力、单桩承载力、桩身完整性进行检测。必要时，尚应对地基土承载力进行检测。

4.1.5 检测工作可按图 1 的程序进行。

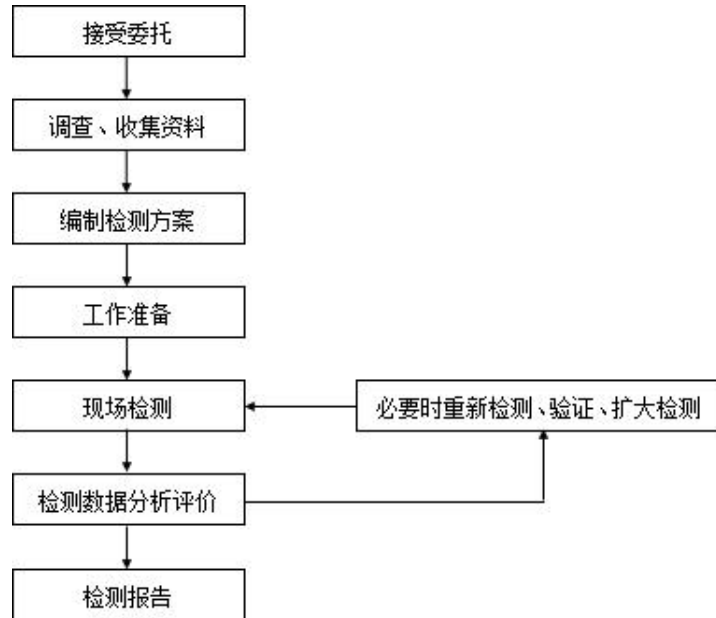


图 1 检测工作程序图

4.1.6 现场调查应收集以下资料：

- a) 工程基本情况，包括工程名称、地点、建筑规模、上部结构和地基基础类型等情况；
- b) 岩土工程勘察报告；
- c) 岩土工程设计文件；
- d) 施工记录，包括施工工艺和施工中的异常情况；
- e) 监理记录；
- f) 场地周边环境、道路、电力等情况；
- g) 其他与检测工作相关的资料。

4.1.7 检测方案应包括下列内容：

- a) 工程概况；
- b) 检测项目、检测方法和检测依据；
- c) 检测数量和抽样方案；
- d) 仪器设备和人员配备；
- e) 检测工作进度计划及进度保障措施；
- f) 检测工作质量、安全、环保等保障措施；
- g) 需委托单位配合的工作要求等。

4.1.8 验收检测应在设计标高处进行，抽检的部位应符合下列规定：

- a) 设计布置的抽检位置；
- b) 同类地基应均匀分布，且应具有代表性；
- c) 应根据低应变法桩身完整性检测结果，确定单桩复合地基和单桩载荷试验桩位；
- d) 宜由委托、监理、检测等单位共同选定。

4.1.9 验收检测的抽检数量应按单位工程、同一条件原则进行确定。

- 4.1.10 检测工作开始的时间应符合下列规定：
- 低应变法桩身完整性检测时，受检桩混凝土强度应大于 8 MPa；
  - 承载力检测时，桩身混凝土龄期宜达到 28 d；
  - 承载力检测开始时的恢复时间，对黏性土地基不宜少于 28 d，对粉土地基不宜少于 14 d，其他地基不应少于 7 d；
  - 当设计对开始检测的时间有明确要求时，应按设计要求进行。
- 4.1.11 当检测出现异常情况时，应分析查找原因，必要时重新检测、验证和扩大检测。
- 4.1.12 对补强加固后的刚性桩复合地基应按设计要求重新进行验收检测。
- 4.1.13 检测原始记录应符合下列规定：
- 原始记录应使用蓝色或黑色墨水笔进行书写；
  - 原始记录应现场即时记录，不得补记和追记；
  - 应使用专用的表格进行记录，且应信息完整、字迹清晰；
  - 其中的笔误应进行杠改，不得涂改；
  - 应由检测人员、记录人员和校核或审核人员签字；
  - 采用自动设备系统形成的电子记录，其采集、存储等应符合相关规定。
- 4.1.14 检测所用仪器设备，其性能应符合相应检测方法的技术要求；其中的计量器具必须具备有效的计量检定或校准证书。检测前、检测中、检测后，应对仪器设备进行检查测试。
- 4.1.15 检测机构应具备资质认定证书和相应检测资质证书，检测人员应经培训合格后持证上岗。
- 4.1.16 在进行刚性桩复合地基检测中，除应符合本文件的规定外，还应符合现行国家、行业和地方标准的相关规定。

## 4.2 检测方法和检测数量

- 4.2.1 应按检测类别、检测项目，并考虑工程重要性、岩土工程实际情况等因素综合确定检测方法和相应检测数量。
- 4.2.2 承载力验收检测一般采用慢速维持荷载法载荷试验。当有成熟的地区经验时，也可采用分级加荷沉降非稳定法（快速法）载荷试验，并符合下列规定：
- 地基基础设计等级为乙级及以下工程；
  - 同一场地，同一条件下应至少有 3 组或一个单位工程采用慢速维持荷载法。
- 4.2.3 复合地基承载力验收检测应进行单桩或多桩复合地基载荷试验，检测数量不应少于总桩数的 0.5%，且总数不应少于 3 点；对于地基基础设计等级为甲级或复合地基承载力特征值超过 400 kPa 的刚性桩复合地基，检测数量不应少于总桩数的 1.0%，且总数不应少于 3 点。
- 4.2.4 单桩承载力验收检测应采用单桩载荷试验，检测数量不应少于总桩数的 0.5%，且总数不应少于 3 根；对于地基基础设计等级为甲级或复合地基承载力特征值超过 400 kPa 的刚性桩复合地基，检测数量不应少于总桩数的 1.0%，且总数不应少于 3 根。
- 4.2.5 当对地基土承载力进行验收检测时，应采用地基土载荷试验，检测数量每 300 m<sup>2</sup>不应少于 1 点（超过 3000 m<sup>2</sup>部分每 500 m<sup>2</sup>不应少于 1 点），且总数不应少于 3 点；对于地基基础设计等级为甲级或复合地基承载力特征值超过 400 kPa 的刚性桩复合地基，检测数量不应少于总桩数的 1.0%，且总数不应少于 3 点。
- 4.2.6 桩身完整性验收检测应采用低应变法，检测数量不应少于总桩数的 20%，且总数不应少于 10 根；每独立基础下不应少于 1 根；对地基基础设计等级为甲级或复合地基承载力特征值超过 400 kPa 的刚性桩复合地基，检测数量不应少于总桩数的 30%，且总数不应少于 20 根。

4.2.7 褥垫层材料检测应符合 JGJ 52 的相关规定。

4.2.8 褥垫层厚度检测可采用钢尺测量或水准测量，应符合 GB 50026 的相关规定。检测数量每 100 m<sup>2</sup> 不应少于 1 点，且总数不应少于 10 点。

4.2.9 褥垫层密实度检测，应符合下列规定：

- a) 当采用水准测量对褥垫层夯填度进行检测时，应符合 GB 50026 的相关规定。检测数量每 100 m<sup>2</sup> 不应少于 1 点，且总数不应少于 10 点。
- b) 当采用环刀法、灌砂法或灌水法对褥垫层压实系数进行检测时，应符合 GB/T 50123 的相关规定。取样点应选择位于垫层厚度的 2/3 深度处。检测数量对条形基础每 10 m~20 m 不应少于 1 点，每独立基础下不应少于 1 点，其他基础下每 50 m<sup>2</sup>~100 m<sup>2</sup> 不应少于 1 点。

### 4.3 验证和扩大检测

4.3.1 当对检测结果存疑时，应根据检测目的选用更准确、更适宜的检测方法进行验证检测，并符合下列规定：

- a) 验证检测数量应根据工程实际情况确定；
- b) 桩身存在浅部缺陷时，可采用开挖验证；
- c) 承载力的验证检测应采用慢速维持荷载法；
- d) 当采用钻芯法、高应变法验证低应变法检测结果，或采用钻芯法验证同桩的邻孔钻芯法检测结果时，应符合 JGJ 106 和 DB13 (J) 148 的相关规定；
- e) 在桩身浅部钻取芯样验证混凝土实体强度时，应符合 JGJ/T 384 的相关规定；
- f) 对管桩和已进行钻孔取芯的灌注桩，可采用孔内摄像的方法进行验证检测，并符合 CECS 253 的相关规定。

4.3.2 当出现下列情形之一时，应进行有针对性的扩大检测：

- a) 施工出现异常情况或对施工质量存疑时；
- b) 局部地质条件复杂或出现异常情况时；
- c) 承载力检测结果不符合设计要求的；
- d) 低应变法检测出现 III 类、IV 类桩的；
- e) 低应变法检测结果发现 II 类桩超过抽检桩总数的 30% 的；
- f) 低应变法检测结果发现存在浅部断裂桩的。

4.3.3 扩大检测应采用原方法或采用更准确可靠的方法进行，并符合下列要求：

- a) 当出现本文件第 4.3.2 条规定的情形之一时，应采用低应变法对单位工程桩进行全数检测；
- b) 对承载力的扩大检测，应结合工程具体情况，经专家论证或工程相关各方确认后进行的。

### 4.4 检测报告

4.4.1 检测报告应用词规范、结论明确。

4.4.2 检测报告应包括下列内容：

- a) 报告编号，委托单位，工程名称、地点，建设、勘察、设计、监理和施工单位，地基和基础类型，结构类型、层数或高度，设计要求，检测目的，检测依据，检测数量，检测日期；
- b) 地层岩性及其物理力学指标；
- c) 检测桩（点）的编号、位置、标高和相关施工记录；
- d) 检测方法，检测仪器设备，检测过程叙述；
- e) 检测数据，实测与计算分析曲线、表格和汇总结果；

- f) 与检测内容相应的检测结论；
- g) 检测现场影像资料。

## 5 复合地基载荷试验

### 5.1 一般规定

- 5.1.1 本方法包括单桩复合地基载荷试验和多桩复合地基载荷试验，适用于测定承压板下应力主要影响范围内复合土层的承载力和变形参数。
- 5.1.2 复合地基载荷试验应在设计标高处进行，试坑尺寸应大于承压板尺寸的3倍。
- 5.1.3 试验前，应对受检土层岩性进行鉴别并采取防止其扰动或含水量发生变化的措施。
- 5.1.4 试验前后除应观测记录受检桩、土状态之外，尚应对受检桩和锚桩进行低应变法桩身完整性检测，必要时还应对受检土层取样进行土工试验。
- 5.1.5 试验最大加载压力，对验收检测不应小于设计要求的复合地基承载力特征值的2倍（当复合地基设计等级为甲级时，应考虑复合地基承载力的折减系数）；对试验检测应加载至极限状态，或设计要求的压力值。

### 5.2 仪器设备及其安装

- 5.2.1 承压板应具有足够的强度和刚度。单桩复合地基载荷试验的承压板可用圆形或方形，多桩复合地基载荷试验的承压板可用方形或矩形。承压板的面积应与实际桩数所承担的处理面积相等。
- 5.2.2 承压板下宜铺设厚度为100 mm~150 mm的中砂或粗砂垫层，铺设范围应超出承压板边不少于200 mm。单桩中心或多桩形心应与承压板中心保持一致，并与上部荷载作用点重合。
- 5.2.3 试验加载宜采用油压千斤顶，且千斤顶的合力作用点、承压板中心应在同一铅垂线上。当采用多台千斤顶加载时应并联同步工作，且千斤顶型号、规格应一致。
- 5.2.4 加载反力装置可选择压重平台反力装置、锚桩横梁反力装置或压重锚桩联合反力装置，并优先选用压重平台反力装置，且符合下列规定：
- a) 加载反力装置所提供的反力不得小于最大加载值的1.2倍；
  - b) 加载反力装置的主要受力构件应进行强度和变形验算；
  - c) 压重应在试验前一次加足，并均匀稳固地放置于平台上，且平台支墩施加于地基的压应力不宜大于地基承载力特征值的1.5倍；
  - d) 应对锚桩抗拔承载力、钢筋及其接头的抗拉力进行验算；工程桩作锚桩时，其数量不宜少于4根，且应监测锚桩上拔量。
- 5.2.5 承压板、压重平台支墩（或锚桩）和基准桩之间的净距应符合表1的规定。

表1 承压板、压重平台支墩（或锚桩）和基准桩之间的净距

反力装置	净距		
	压重平台反力装置或锚桩横梁反力装置	承压板与基准桩 >b且>2.0 m	承压板与压重平台支墩（或锚桩） >b且>B且>2.0 m
注：b为承压板边宽或直径（m），B为支墩宽度（m）。			

- 5.2.6 当基准梁长度不小于12 m，但其基准桩与承压板、压重平台支墩（或锚桩）的距离仍无法满足本文件表1的规定时，应对基准桩的竖向变形进行监测。监测仪表的分辨力宜达到0.1 mm。

5.2.7 荷载测量可采用放置在千斤顶上的荷重传感器直接进行测定。当采用并联于千斤顶油路的压力表或压力传感器测定油压并换算荷载时，应根据千斤顶率定曲线进行。千斤顶、荷重传感器、压力表或压力传感器的性能指标应符合下列规定：

- a) 压力传感器的测量误差不应大于 1%，压力表精度应优于或等于 0.4 级；
- b) 千斤顶、荷重传感器、压力表或压力传感器的量程不应小于最大加载值的 1.2 倍，且不应大于最大加载值的 3.0 倍；
- c) 千斤顶、油泵、油管在最大加载值时的压力不应超过其规定工作压力的 80%。

5.2.8 沉降测量宜采用位移传感器或大量程百分表。位移传感器或百分表的性能指标和安装应符合下列规定：

- a) 位移传感器或百分表的测量误差不应大于 0.1%FS，分辨力应优于或等于 0.01 mm；
- b) 应在承压板两个正交方向对称布置 4 个沉降测量点；
- c) 沉降测量点应布置在承压板上，其与承压板边缘的距离应一致，宜为 25 mm~50 mm；对于方形板，沉降测量点应布置于承压板各边中点；
- d) 基准桩应具有一定的刚度，并牢固设置，其打入土中的深度不应小于 1.0 m；
- e) 基准梁应具有一定的刚度，其一端应固定在基准桩上，另一端应简支于基准桩上；
- f) 固定和支撑位移传感器或百分表的夹具及基准梁应避免遭受气温、振动及其他外界因素的影响。

### 5.3 现场检测

5.3.1 试验前宜进行预压，预压荷载宜为最大加载值的 5%，持荷时间 5 min。卸载至零后测读沉降量，并将沉降测量仪表重新调整至初始位置。

5.3.2 试验加载、卸载应符合下列规定：

- a) 加载应分级进行，分级荷载宜按要求的最大加载量或预估极限承载力等分为 10 级；试验时，第一级荷载可取分级荷载的 2 倍，此后按分级荷载逐级等量加载；
- b) 需要卸载试验数据时，卸载应分级进行，每级卸载量为分级荷载的 2 倍，逐级等量卸载；当加载级数为奇数时，第一级卸载量宜取分级荷载的 3 倍；
- c) 加载、卸载时应使荷载传递均匀、连续、无冲击，每级荷载在维持过程中的变化幅度不得超过分级荷载的  $\pm 10\%$ 。

5.3.3 当采用慢速维持荷载法（慢速法）进行试验时，试验步骤应符合下列规定：

- a) 每加一级荷载前后均应各测读承压板沉降量一次，以后每 30 min 测读一次；
- b) 当承压板沉降速率达到相对稳定标准时，可施加下一级荷载；
- c) 沉降相对稳定标准：沉降速率应小于 0.1 mm/h；
- d) 卸载时，每级荷载维持 1 h，应分别在第 30 min、60 min 测读承压板沉降量；卸载至零后，荷载应维持 3 h，应分别在第 30 min、60 min、180 min 测读承压板沉降量。

5.3.4 当采用分级加荷沉降非稳定法（快速法）进行试验时，试验步骤应符合下列规定：

- a) 每级荷载施加后应至少维持 1 h，应分别在第 5 min、10 min、15 min、30 min 测读承压板沉降量，以后每隔 15 min 测读一次；
- b) 当承压板沉降速率达到相对收敛标准时，可施加下一级荷载；
- c) 沉降相对收敛标准：最后 15 min 时间间隔的沉降增量小于相邻 15 min 时间间隔的沉降增量；
- d) 终止加载条件可按本文件第 5.3.5 条中 a)、b)、d)、e) 的规定执行；



- e) 卸载时，每级荷载维持 15 min，应分别在第 5 min、15 min 测读承压板沉降量；卸载至零后，荷载维持 1 h，应分别在第 15 min、30 min、60 min 测读承压板沉降量。

#### 5.3.5 当出现下列情形之一时，可终止加载：

- a) 承压板周边的土出现明显侧向挤出，周边土体出现明显隆起或径向裂缝持续发展；
- b) 某级荷载作用下，承压板沉降增量大于前一级荷载作用下沉降增量的 5 倍，且承压板累计沉降量符合本条 d) 的规定；
- c) 某级荷载作用下，承压板沉降增量大于前一级荷载作用下沉降增量的 2 倍，且经 24 h 尚未达到相对稳定标准；
- d) 累计沉降量已大于承压板边宽或直径的 6% 或大于 150 mm；
- e) 已达到要求的最大试验荷载，且承压板沉降速率达到相对稳定或相对收敛标准。

#### 5.3.6 试验数据宜按本文件附录 A 表 A.1 规定的格式进行记录。

### 5.4 检测数据分析与判定

5.4.1 对试验数据整理时，应编制压力与沉降量、时间与沉降量汇总表，绘制压力—沉降 (p-s)、沉降—时间对数 (s-lgt) 曲线，也可绘制其他辅助曲线。

#### 5.4.2 复合地基极限承载力的确定应符合下列规定：

- a) 当出现本文件第 5.3.5 条中 a)、b)、c)、d) 规定的情形之一时，取其对应的前一级压力值；
- b) 当出现本文件第 5.3.5 条中 e) 规定的情形时，取最大试验加载压力。

#### 5.4.3 复合地基承载力特征值的确定应符合下列规定：

- a) 当压力—沉降 (p-s) 曲线上有比例界限时，可采用比例界限法，取该比例界限所对应的压力；
- b) 当极限承载力能够确定时，可采用安全系数法，取极限承载力的 1/2；
- c) 当采用相对变形法确定时，对以卵石、圆砾、密实粗中砂为主的地基，可取  $s=0.008b$  所对应的压力；对以黏性土、粉土为主的地基，可取  $s=0.01b$  所对应的压力 ( $s$  为沉降量； $b$  为承压板宽度或直径，大于 2 m 时，按 2 m 计)；对变形控制严格的工程，可取设计要求的沉降允许值所对应的压力；
- d) 按以上方法确定后，取其中的最小值。

5.4.4 试验检测对复合地基承载力特征值进行统计时，试验点的数量不应少于 3 点，当其极差不超过平均值的 30% 时，可取其平均值。当极差超过平均值的 30% 时，应分析离差过大的原因，需要时应增加试验数量，并结合工程具体情况综合确定。对于桩数少于 5 根的独立基础或桩数少于 3 排的条形基础，应取低值。

5.4.5 验收检测应给出每个试验点的承载力检测值，并应评价复合地基承载力特征值是否满足设计要求。

#### 5.4.6 检测报告除应符合本文件第 4.4 条的规定外，尚应包括下列内容：

- a) 受检土层岩性、受检桩桩身完整性情况；
- b) 承压板形状及面积；
- c) 反力装置情况，包括锚桩平面布置、数量、规格、压重总量等；
- d) 荷载分级及荷载维持方式；
- e) 本文件第 5.4.1 条要求绘制的曲线及相应的数据表；
- f) 复合地基承载力特征值判定依据；
- g) 每个试验点的复合地基承载力特征值。

## 6 单桩载荷试验

### 6.1 一般规定

- 6.1.1 本方法适用于测定单桩竖向抗压承载力。
- 6.1.2 单桩载荷试验应在设计标高处进行，试坑尺寸应大于桩径的 3 倍。
- 6.1.3 试验前应对受检桩尺寸进行量测；试验前后除应观测记录受检桩和锚桩状态之外，尚应对其进行低应变法桩身完整性检测。
- 6.1.4 试验最大加载量，对验收检测不应小于设计要求的单桩承载力特征值的 2 倍；对试验检测应加载至极限状态，或设计要求的荷载值。
- 6.1.5 当进行桩身内力测试时应按 JGJ 106 和 DB13 (J) /T 301 的相关规定执行。

### 6.2 仪器设备及其安装

- 6.2.1 受检桩桩头应进行处理，处理方法宜按本文件附录 B 的规定进行。
- 6.2.2 承压板应有足够的强度和刚度，其平面尺寸应等于桩截面尺寸。
- 6.2.3 承压板下应铺设厚度不超过 20 mm 的中砂或粗砂找平层。
- 6.2.4 试验加载设备、加载反力装置应符合本文件第 5.2.3 条、第 5.2.4 条的规定。
- 6.2.5 受检桩、压重平台支墩（或锚桩）和基准桩之间的距离应符合表 2 的规定。

表 2 受检桩、压重平台支墩边（或锚桩）和基准桩之间的距离

反力装置	距离		
	受检桩中心与压重平台支墩边（或锚桩中心）	受检桩中心与基准桩中心	基准桩中心与压重平台支墩边（或锚桩中心）
压重平台反力装置或锚桩 横梁反力装置	$\geq 4(3) D$ 且 $> 2.0m$	$\geq 4(3) D$ 且 $> 2.0m$	$\geq 4(3) D$ 且 $> 2.0m$
注1：D 为受检桩、锚桩的设计直径或边宽(m)，取其较大者； 注2：括号内数值可用于工程桩验收检测时多排桩设计桩中心距离小于4D或压重平台支墩下2倍~3倍宽影响范围内的地基土已进行加固处理的情况。			

- 6.2.6 当基准梁长度不小于 12 m，但其基准桩与受检桩、压重平台支墩（或锚桩）的距离仍无法满足本文件表 2 的规定时，应对基准桩的竖向变形进行监测。监测仪表的分辨力宜达到 0.1 mm。
- 6.2.7 荷载测量及千斤顶、荷重传感器、压力表或压力传感器的性能指标应符合本文件第 5.2.7 条的规定。
- 6.2.8 沉降测量宜采用位移传感器或大量程百分表。位移传感器或百分表的性能指标和安装应符合下列规定：
- 应符合本文件第 5.2.8 条中 a)、d)、e)、f) 的规定；
  - 直径或边宽大于 500 mm 的桩，应在其两个正交方向对称布置 4 个沉降测量点；直径或边宽小于等于 500 mm 的桩，可对称布置 2 个沉降测量点；
  - 沉降测量点应布置于桩顶以下不小于 0.5 倍桩径（或边宽）且不宜小于 200 mm 的位置，测点应固定于桩身之上。

### 6.3 现场检测

- 6.3.1 试验前宜进行预压，预压荷载宜为最大加载值的 5%，持荷时间 5 min。卸载至零后测读沉降量，并将沉降测量仪表重新调整至初始位置。
- 6.3.2 试验加载、卸载应符合本文件第 5.3.2 条的规定。
- 6.3.3 当采用慢速维持荷载法（慢速法）进行试验时，试验步骤应符合下列规定：
- 每级荷载施加后应分别在第 5 min、15 min、30 min、45 min、60 min 测读桩顶沉降量，以后应每隔半小时测读一次；
  - 当桩顶沉降速率达到相对稳定标准时，可施加下一级荷载；
  - 沉降相对稳定标准：每 1 h 内桩顶沉降量应小于 0.1 mm，并应连续出现两次（从分级荷载施加后的第 30 min 开始，按 1.5 h 连续三次每 30 min 的沉降观测值计算）；
  - 卸载时，每级荷载维持 1 h，应分别在第 15 min、30 min、60 min 测读桩顶沉降量；卸载至零后，荷载应维持 3 h，应分别在第 15 min、30 min、60 min、120 min、180 min 测读桩顶沉降量。
- 6.3.4 当采用分级加荷沉降非稳定法（快速法）进行试验时，试验步骤应符合下列规定：
- 每级荷载施加后应至少维持 1 h，应分别在第 5 min、15 min、30 min 测读桩顶沉降量，以后每隔 15 min 测读一次；
  - 当桩顶沉降速率达到相对收敛标准时，可施加下一级荷载；
  - 沉降相对收敛标准：最后 15 min 时间间隔的沉降增量小于相邻 15 min 时间间隔的沉降增量；
  - 终止加载条件可按本文件第 6.3.5 条中 a)、b)、d)、e) 的规定执行；
  - 卸载时，每级荷载维持 15 min，应分别在第 5 min、15 min 测读桩顶沉降量；卸载至零后，荷载维持 2 h，应分别在第 15 min、30 min、60 min、90 min、120 min 测读桩顶沉降量。
- 6.3.5 当出现下列情形之一时，可终止加载：
- 某级荷载作用下，桩顶沉降增量大于前一级荷载作用下沉降增量的 5 倍，且桩顶累计沉降量超过 40 mm；
  - 某级荷载作用下，沉降-时间对数（ $s-lgt$ ）曲线尾部明显向下弯曲；
  - 某级荷载作用下，桩顶沉降增量大于前一级荷载作用下沉降增量的 2 倍，且经 24 h 尚未达到相对稳定标准；
  - 荷载-沉降（ $Q-s$ ）曲线呈缓变型时，可加载至桩顶累计沉降量大于 70 mm~90 mm；当桩长超过 25 m，可加载至桩顶累计沉降量超过 90 mm；
  - 已达到要求的最大试验荷载，且桩顶沉降速率达到相对稳定或相对收敛标准。
- 6.3.6 试验数据宜按本文件附录 A 表 A.1 规定的格式进行记录。

## 6.4 检测数据分析与判定

- 6.4.1 对试验数据整理时，应编制荷载与沉降量、时间与沉降量汇总表，绘制荷载-沉降（ $Q-s$ ）、沉降-时间对数（ $s-lgt$ ）曲线，也可绘制其他辅助曲线。
- 6.4.2 单桩极限承载力的确定应符合下列规定：
- 当出现本文件第 6.3.5 条中 a)、b)、c) 规定的情形之一时，取其对应的前一级荷载值；
  - 当出现本文件第 6.3.5 条中 d) 规定的情形时，取桩顶累计沉降量  $s=40\text{mm}$  和  $s=0.05D$ （ $D$  为桩端直径）中的较大者所对应的荷载值；
  - 当出现本文件第 6.3.5 条中 e) 规定的情形时，取最大试验加载值。
- 6.4.3 单桩承载力特征值应按单桩极限承载力的一半取值。
- 6.4.4 试验检测对单桩承载力特征值进行统计时，试验桩数量不应少于 3 根，当其极差不超过平均值

的 30%时, 取其平均值; 当极差超过平均值的 30%时, 应分析离差过大的原因, 需要时应增加试验数量, 并结合工程具体情况综合确定。对于桩数少于 5 根的独立基础, 以及桩数少于 3 排的条形基础, 或试验数量少于 3 根, 或以后工程桩施工为密集挤土群桩时, 应取低值。

6.4.5 验收检测应给出每根试验桩的承载力检测值, 并应评价单桩承载力特征值是否满足设计要求。

6.4.6 检测报告除应符合本文件第 4.4 条的规定外, 尚应包括下列内容:

- a) 受检桩桩身完整性和状态变化;
- b) 需要时, 受检桩桩位对应的地质柱状图;
- c) 反力装置情况, 包括锚桩平面布置、数量、规格、压重总量等;
- d) 荷载分级和荷载维持方式;
- e) 本文件第 6.4.1 条要求绘制的曲线及相应的数据表;
- f) 单桩承载力特征值判定依据;
- g) 每根试验桩的单桩承载力特征值。

## 7 地基土载荷试验

### 7.1 一般规定

7.1.1 本方法包括天然地基土平板载荷试验和处理后地基土平板载荷试验, 适用于测定浅层地基承压板下应力主要影响范围内土层的承载力和变形参数。

7.1.2 地基土载荷试验应在设计标高处进行, 试坑尺寸应大于承压板尺寸的 3 倍。

7.1.3 试验前, 应对受检土层岩性进行鉴别并采取防止其扰动或含水量发生变化的措施; 试验前后应观测记录受检土层状态, 必要时尚应取样进行土工试验。

7.1.4 试验最大加载压力, 对验收检测不应小于设计要求的地基承载力特征值的 2 倍; 对试验检测应加载至极限状态, 或设计要求的压力值。

### 7.2 仪器设备及其安装

7.2.1 承压板应具有足够的强度和刚度。承压板可用圆形或方形, 其面积对天然地基不应小于  $0.25 \text{ m}^2$ , 为软土时不应小于  $0.5 \text{ m}^2$ ; 对处理后地基应按受检土层厚度确定, 且不应小于  $1.0 \text{ m}^2$ , 对夯实地基不应小于  $2.0 \text{ m}^2$ 。

7.2.2 承压板下应铺设厚度不超过 20 mm 的中砂或粗砂找平层, 铺设范围应超出承压板边不小于 200 mm。

7.2.3 试验加载设备、加载反力装置及承压板、压重平台支墩(或锚桩)和基准桩之间的净距、基准梁长度不小于 12m 仍不满足本文件表 1 要求的情形应符合本文件第 5.2.3 条~第 5.2.6 条的规定。

7.2.4 荷载测量及千斤顶、荷重传感器、压力表或压力传感器的性能指标应符合本文件第 5.2.7 条的规定。

7.2.5 沉降测量宜采用位移传感器或大量程百分表。位移传感器或百分表的性能指标和安装应符合下列规定:

- a) 应符合本文件第 5.2.8 条中 a)、c)、d)、e)、f) 的规定;
- b) 承压板面积大于  $0.5 \text{ m}^2$  时, 应在其两个正交方向对称布置 4 个沉降测量点; 承压板面积小于等于  $0.5 \text{ m}^2$  时, 可对称布置 2 个沉降测量点。

### 7.3 现场检测

- 7.3.1 试验前宜进行预压，预压荷载宜为最大加载值的 5%，持荷时间 5 min。卸载至零后测读沉降量，并将沉降测量仪表重新调整至初始位置。
- 7.3.2 试验加载、卸载应符合本文件第 5.3.2 条的规定。
- 7.3.3 当采用慢速维持荷载法（慢速法）进行试验时，试验步骤应符合下列规定：
- 每级荷载施加后应分别在第 10 min、20 min、30 min、45 min、60 min 测读承压板的沉降量，以后应每隔半小时测读一次；
  - 当承压板沉降速率达到相对稳定标准时，可施加下一级荷载；
  - 沉降相对稳定标准：在连续两小时内，沉降速率应小于 0.1 mm/h；
  - 卸载时，每级荷载维持 1 h，应分别在第 10 min、30 min、60 min 测读承压板沉降量；卸载至零后，荷载应维持 3 h，应分别在第 10 min、30 min、60 min、120 min、180 min 测读承压板沉降量。
- 7.3.4 当采用分级加荷沉降非稳定法（快速法）进行试验时，试验步骤应符合下列规定：
- 每级荷载施加后应至少维持 2 h，应每间隔 15 min 测读承压板沉降量一次；
  - 当承压板沉降速率达到相对收敛标准时，可施加下一级荷载；
  - 沉降相对收敛标准：最后 15 min 时间间隔的沉降增量小于相邻 15 min 时间间隔的沉降增量；
  - 终止加载条件可按本文件第 7.3.5 条中 a)、b)、d)、e) 的规定执行；
  - 卸载时，每级荷载维持 1 h，应分别在第 15 min、30 min、45 min、60 min 测读承压板沉降量；卸载至零后，荷载维持 2 h，应分别在第 15 min、30 min、45 min、60 min、120 min 测读承压板沉降量。
- 7.3.5 当出现下列情形之一时，可终止加载：
- 承压板周边的土出现明显侧向挤出，周边土体出现明显隆起或径向裂缝持续发展；
  - 某级荷载作用下，承压板沉降增量大于前一级荷载作用下沉降增量的 5 倍，且承压板累计沉降量符合本条 d) 的规定；
  - 某级荷载作用下，承压板沉降增量大于前一级荷载作用下沉降增量的 2 倍，且经 24 h 尚未达到相对稳定标准；
  - 累计沉降量已大于承压板边宽或直径的 6% 或大于 150 mm；
  - 已达到要求的最大试验荷载，且承压板沉降速率达到相对稳定或相对收敛标准。
- 7.3.6 试验数据宜按本文件附录 A 表 A.1 规定的格式进行记录。

#### 7.4 检测数据分析与判定

- 7.4.1 对试验数据整理时，应编制压力与沉降量、时间与沉降量汇总表，绘制压力-沉降（p-s）、沉降-时间对数（s-lgt）曲线，也可绘制其他辅助曲线。
- 7.4.2 地基极限承载力的确定应符合下列规定：
- 当出现本文件第 7.3.5 条中 a)、b)、c)、d) 规定的情形之一时，取其对应的前一级压力值；
  - 当出现本文件第 7.3.5 条中 e) 规定的情形时，取最大试验加载压力。
- 7.4.3 地基承载力特征值的确定应符合下列规定：
- 当压力-沉降（p-s）曲线上有比例界限时，可采用比例界限法，取该比例界限所对应的压力；
  - 当极限承载力能够确定时，可采用安全系数法，取极限承载力的 1/2；
  - 当采用相对变形法确定时，对天然地基高压缩性土可取  $s=0.015b$  所对应的压力，对中压缩性土可取  $s=0.012b$  所对应的压力，对低压缩性土和砂土可取  $s=0.010b$  所对应的压力；对处

理后地基中、低压缩性土可取  $s=0.010b$  所对应的压力；当地基土性质不确定时，宜取  $s=0.010b$  所对应的压力（ $s$  为沉降量； $b$  为承压板宽度或直径，大于 2 m 时，按 2 m 计）。

d) 按以上方法确定后，取其中的最小值。

7.4.4 试验检测同一土层参加统计的试验点不应少于 3 点，当其极差不超过平均值的 30% 时，取其平均值作为该土层的地基承载力特征值；当极差超过平均值的 30% 时，应分析离差过大的原因，需要时可增加试验数量或采用其它试验手段相互印证，并结合工程具体情况综合确定。

7.4.5 验收检测应给出每个试验点的承载力检测值，并应评价地基承载力特征值是否满足设计要求。

7.4.6 地基变形模量可按下式计算：

$$E_0 = I_0 (1 - \mu^2) \frac{pb}{s} \dots\dots\dots (1)$$

式中： $E_0$ —变形模量（MPa）；

$I_0$ —刚性承压板形状系数，圆形承压板取 0.785，方形承压板取 0.886；

$\mu$ —土的泊松比，碎石土可取 0.27，砂土可取 0.30，粉土可取 0.35，粉质黏土可取 0.38，黏土可取 0.42，不排水饱和黏性土可取 0.50；

$p$ — $p$ - $s$  曲线线性段的压力值（kPa）；

$b$ —承压板直径或边长（m）；

$s$ —与  $p$  对应的沉降量（mm）。

7.4.7 检测报告除应符合本文件第 4.4 条的规定外，尚应包括下列内容：

- a) 受检土层岩性及试验前后受检土层状态变化；
- b) 承压板形状及面积；
- c) 反力装置情况，包括锚桩平面布置、数量、规格、压重总量等；
- d) 荷载分级及荷载维持方式；
- e) 本文件第 7.4.1 条要求绘制的曲线及相应的数据表；
- f) 地基承载力特征值判定依据；
- g) 每个试验点的地基承载力特征值。

## 8 低应变法

### 8.1 一般规定

8.1.1 本方法适用于检测桩身强度大于 8 MPa、截面规则的刚性桩的桩身完整性，判定缺陷的程度及位置。

8.1.2 低应变法的有效检测长度、截面尺寸范围应通过现场试验确定。

8.1.3 低应变法应在设计标高处进行。

8.1.4 检测前应对受检桩桩顶标高、尺寸、密实度、外观等情况进行测量或观察并记录。

### 8.2 仪器设备

8.2.1 检测仪器应具有信号采集、滤波、放大、显示、储存和处理分析等功能，其主要性能指标应符合 JG/T 518 的相关规定。

8.2.2 激振设备由力锤和锤垫组成，应具有不同的重量和不同的激振频率；力锤可装有力传感器。

### 8.3 现场检测

#### 8.3.1 受检桩应符合下列规定：

- a) 桩体顶面应平整、密实，并与桩轴线垂直；
- b) 桩体顶部材质、强度、截面尺寸应与桩体基本等同。

#### 8.3.2 仪器测试参数的设定应符合下列规定：

- a) 时域信号记录的时间长度应在  $2L/c$  时刻后持续不少于 5 ms；频域信号分析的频率范围上限不应小于 2000 Hz；
- b) 桩长应为测点至桩底的施工桩长；截面尺寸应为桩体顶部施工截面尺寸；
- c) 桩身波速可根据当地同类型桩的实测值初步设定；
- d) 采样时间间隔或采样频率应根据桩长、波速和频率分辨率合理选择；时域信号采样点数不宜少于 1024 点；
- e) 传感器的率定值应采用计量检定或校准结果；
- f) 增益应结合激振方式通过现场对比试验确定。

#### 8.3.3 传感器安装和激振操作应符合下列规定：

- a) 传感器的安装点，对实心桩宜在距桩中心  $2/3$  倍半径处；对空心桩宜在桩壁厚的  $1/2$  处；安装部位应平整；安装后的传感器应与桩顶面垂直；用耦合剂粘接时，应有足够的粘接强度；
- b) 激振点的位置，对实心桩宜为桩中心；对空心桩宜为桩壁厚的  $1/2$  处，且激振点和传感器安装点与桩中心连线形成的夹角宜为  $90^\circ$ ；激振部位应平整；激振方向应沿桩轴线方向；
- c) 激振应根据桩周土层、桩长、缺陷位置，通过现场试验选择合适重量、材质的激振设备，宜用宽脉冲获取桩底部或深部缺陷反射信号，宜用窄脉冲获取桩身上部或浅部缺陷反射信号。

#### 8.3.4 信号采集和筛选，应符合下列规定：

- a) 应根据桩径大小，沿桩周均匀布置 2 个~4 个检测点；对于桩径小于或等于 500 mm 的桩，检测点不应少于 2 个；对于桩径大于 500 mm 的桩，检测点不应少于 3 个；每个检测点记录的有效信号不宜少于 3 个；
- b) 检测中应及时检查采集信号的质量，确保实测信号能反映桩身完整性特征；信号不应失真和产生零漂，信号幅值不应超过测量系统的量程，信号应具有良好的一致性；
- c) 对于同一根桩，不同检测点及多次实测时域信号一致性较差时，应分析原因，增加检测点数量；
- d) 对存在桩身缺陷的桩，应改变检测条件多次检测，以相互验证。

### 8.4 检测数据分析与判定

#### 8.4.1 信号处理参数应在合理范围内选取，并应符合下列规定：

- a) 低通滤波时的频率选择，当采用加速度传感器时不宜小于 2000 Hz；当采用速度传感器时，不宜小于 1000 Hz；
- b) 当采用指数放大时，放大起始点与测点的间距不宜超过施工桩长的  $1/3$ ，放大倍数宜小于 20，放大后的信号幅值不应大于入射波幅值的一半；
- c) 当波形尾部不归零时，可使用旋转处理功能，使波形尾部基本位于零线附近；
- d) 应以时域信号分析为主，必要时结合频域信号辅助分析。

#### 8.4.2 受检桩桩身波速的确定应按下列公式计算：

$$c = \frac{2000L}{\Delta T} \dots\dots\dots (2)$$

$$c = 2L \cdot \Delta f \dots\dots\dots (3)$$

式中：  $c$ —受检桩桩身波速 (m/s)；

$L$ —测点下桩长 (m)；

$\Delta T$ —速度波第一峰与桩底反射波峰间的时间差 (ms)；

$\Delta f$ —幅频曲线上桩底相邻谐振峰间的频差 (Hz)。

#### 8.4.3 桩身波速平均值的确定应符合下列规定：

- a) 应在地质条件、桩型、施工工艺相同的桩中，选取不少于 5 根 I 类桩的桩身波速值，按下式计算：

$$c_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i \dots\dots\dots (4)$$

式中：  $c_m$ —桩身波速平均值 (m/s)；

$c_i$ —第  $i$  根受检桩的桩身波速 (m/s)，且  $|c_i - c_m|/c_m$  不宜大于 5%；

$n$ —参加桩身波速平均值计算的受检桩数量 ( $n \geq 5$ )。

- b) 当无法按本条第 a) 款确定时，桩身波速平均值可根据本地区相同地质条件、桩型及施工工艺的其他工程的实测值，结合桩身混凝土胶结材料、骨料品种和强度等级综合确定。

#### 8.4.4 桩身缺陷位置应按下列公式计算：

$$x = \frac{1}{2000} \cdot \Delta t_x \cdot c_m \dots\dots\dots (5)$$

$$x = \frac{1}{2} \cdot \frac{c_m}{\Delta f'} \dots\dots\dots (6)$$

式中：  $x$ —桩身缺陷至测点的距离 (m)；

$\Delta t_x$ —速度波第一峰与缺陷反射波峰间的时间差 (ms)；

$c_m$ —桩身波速平均值 (m/s)；

$\Delta f'$ —幅频信号曲线上缺陷相邻谐振峰间的频差 (Hz)。

#### 8.4.5 桩身完整性分类原则应符合表 3 的规定。

表 3 桩身完整性分类原则

桩身完整性类别	分类原则
I 类	桩身完整
II 类	桩身存在轻微缺陷
III 类	桩身存在明显缺陷



IV类	桩身存在严重缺陷
-----	----------

8.4.6 桩身完整性类别应结合缺陷出现的深度、测试信号衰减特性以及基础类型、桩型、施工工艺、地质条件、施工情况、本地经验等，按本文件表 3 和表 4 所列时域或幅频实测信号特征进行综合分析判定。

表 4 桩身完整性判定实测信号特征

桩身完整性类别	时域信号特征	幅频信号特征
I 类	当桩底部阻抗与持力层阻抗差异明显时， $2L/c$ 时刻有桩底反射波，之前无缺陷反射波	桩底谐振峰排列基本等间距，其相邻频差 $\Delta f \approx c/(2L)$
II 类	当桩底部阻抗与持力层阻抗差异明显时， $2L/c$ 时刻有桩底反射波，之前出现轻微缺陷反射波	桩底谐振峰排列基本等间距，其相邻频差 $\Delta f \approx c/(2L)$ ，且 $\Delta f' > \Delta f$
III 类	有明显缺陷反射波，其他特征介于 II 类和 IV 类之间	
IV 类	$2L/c$ 时刻无桩底反射波，之前出现严重缺陷反射波或周期性反射波；或因桩身浅部严重缺陷使波形呈现低频大振幅衰减振动，无桩底反射波	无桩底谐振峰，严重缺陷谐振峰排列基本等间距，相邻频差 $\Delta f' > c/(2L)$ ；或因桩身浅部严重缺陷只出现单一谐振峰，无桩底谐振峰
注：对同一场地、地质条件相近、桩型和施工工艺相同的桩，因桩底部阻抗与持力层阻抗相匹配导致实测信号无桩底反射波时，可按本场地同条件下有桩底反射波的其他实测信号判定桩身完整性类别。		

8.4.7 采用时域信号分析判定受检桩的完整性类别时，应结合施工工艺、施工记录和地质条件区分下列情况：

- a) 灌注桩桩身截面渐变后恢复至原直径并在该阻阮突变处的反射，或扩径突变处的一次和二次反射；
- b) 桩侧局部强土阻力引起的预制桩反相反射及其二次反射；
- c) 采用部分挤土方式沉桩的大直径开口预应力管桩，桩孔内土芯闭塞部位的反相反射及其二次反射；
- d) 纵向尺寸效应使桩身阻抗突变处的反射波幅值降低。

8.4.8 当出现下列情形之一时，宜结合其他检测方法评价桩身完整性：

- a) 实测信号复杂，无规律，无法对其进行合理评价；
- b) 桩身截面存在渐变或多变，且变化幅度较大；
- c) 按施工记录桩长计算的桩身波速值明显异常，且又缺乏可靠资料印证；
- d) 预制桩  $2L/c$  时刻前出现异常反射，且不能判断该反射是正常接桩反射的。

8.4.9 低应变法应对每根受检桩的桩身完整性进行评价并给出类别。

8.4.10 检测报告除应符合本文件第 4.4 条的规定外，尚应包括下列内容：

- a) 实测信号曲线；
- b) 桩身波速实测值；
- c) 桩身完整性描述、缺陷的位置、程度及桩身完整性类别；

- d) 时域信号时段所对应的桩身长度标尺、指数或线性放大的范围及倍数；或幅频信号曲线分析的频率范围、桩底或桩身缺陷对应的相邻谐振峰间的频差；
- e) 单位工程同类桩型桩身波速实测值的范围、桩身波速平均值；
- f) 单位工程判定的各类别桩数量及其所占抽检桩总数的比例；
- g) III类、IV类桩平面分布图。

地方标准信息服务平台

附录 A

(资料性)

载荷试验记录表

A.1 载荷试验记录表见表 A.1。

表 A.1 载荷试验记录表

工程名称				点(桩)号				日期		
级数	油压/表压 (MPa)	荷载/压力 (kN/kPa)	测读 时间	读 数				本级 沉降 (mm)	累计 沉降 (mm)	备注
				1 号	2 号	3 号	4 号			

试验：

记录：

校核：

## 附录 B

(资料性)

### 单桩载荷试验混凝土桩桩头处理

- B.1 混凝土桩应剔除桩顶部的破碎层以及软弱或不密实的混凝土，并凿至平整。
  - B.2 桩帽顶面应平整，桩帽中轴线与桩身上部的中轴线应重合。
  - B.3 桩帽高度不宜小于桩径或边宽的 1.0 倍，宜用厚度为 3 mm~5 mm 的钢护筒进行围裹或设置不少于 2 层的水平钢筋网片，间距 60 mm~100 mm。
  - B.4 对钢筋混凝土桩，其主筋应全部直通至桩帽顶部混凝土保护层之下，各主筋应在同一高度上。箍筋间距不宜大于 100 mm。
  - B.5 桩帽混凝土可采用早强剂，其强度等级宜比桩身混凝土提高 1 级~2 级，且不得低于 C25。
  - B.6 桩帽截面尺寸宜与原桩身截面尺寸相同。
- 

地方标准信息服务平台