

# T/GEDA

团体标准

T/GEDA xxx-2024

## 夯实地基检测技术规范

Technical code for testing of compacted foundation soils

征求意见稿

XX-XX-XX 发布

XX-XX-XX 实施

xxxx 发布

# 前 言

根据广西勘察设计协会《关于同意<夯实地基检测技术规范>团体标准立项的通知》（桂设协〔2023〕4号）的要求，编制组经深入调查研究，认真总结实践经验，参考国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规范。

本规范共分8章，主要内容包括：总则、术语和符号、基本规定、浅层平板载荷试验、瞬态面波法、标准贯入试验、动力触探试验、数据整理等。

本规范的某些内容可能涉及专利，本规范的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规范由广西勘察设计协会归口管理，由广西华南岩土工程集团有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中，如有意见或建议，请反馈给广西华南岩土工程集团有限公司（地址：南宁市西乡塘区北湖北路18号昌泰尊府10栋八层，邮政编码：530001）。

**主编单位：**广西华南岩土工程集团有限公司  
广西华安建设工程质量检测有限公司  
广西有色勘察设计研究院

**参编单位：**广西基础勘察工程有限责任公司  
广西安健检测技术有限公司  
广西建大勘测设计有限公司  
广西工勘岩土工程有限公司  
玉林市建标工程咨询有限公司  
广西金海洋勘察设计有限公司  
核工业（桂林）基础工程有限公司  
南宁市建测建设工程质量检测有限公司  
中建六局第八建设有限公司

**主要起草人：**陈道松 左述明 唐 甫 梁清潭 王 洋 李 朕 师虎峰 玉剑兵  
潘奎之 蒋达澧 马旭山 周永炼 林树荣 甘以津 谢海波 黎健江  
张 齐 莫少梦 张广辉 蒙正宁 黄文化 张金纯 纪 超 谢梁军  
任荣敏 蒙射程 韦 伟 宋亚平 李志垚 任志涛 徐海标 郭号号  
甘斌强 韦宏华 钟 晶

**主要审查人：**

# 目 录

1 总 则 .....	1
2 术语和符号 .....	2
2.1 术语 .....	2
2.2 符号 .....	2
3 基本规定 .....	4
4 浅层平板载荷试验 .....	5
4.1 一般规定 .....	5
4.2 仪器设备及安装 .....	5
4.3 现场检测 .....	6
4.4 检测数据分析与判定 .....	7
5 多道瞬态面波试验 .....	9
5.1 一般规定 .....	9
5.2 仪器设备与处理软件 .....	9
5.3 现场检测 .....	10
5.4 检测数据分析与判定 .....	11
6 标准贯入试验 .....	12
6.1 一般规定 .....	12
6.2 仪器设备 .....	12
6.3 现场检测 .....	13
6.4 检测数据分析与判定 .....	14
7 圆锥动力触探试验 .....	17
7.1 一般规定 .....	17
7.2 仪器设备 .....	17
7.3 现场检测 .....	18
7.4 检测数据分析与判定 .....	18
8 成果分析与检测报告 .....	20
8.1 一般规定 .....	20
8.2 评价模型的建立 .....	20
8.3 检测数据分析与判定 .....	21
用词说明 .....	20
引用标准名录 .....	20
附：条文说明 .....	20

# Contents

1	General provisions .....	1
2	Terms and symbols .....	2
2.1	Terms .....	2
2.2	Symbols .....	2
3	Basic requirements .....	4
4	Shallow plate load test .....	5
4.1	General requirements .....	5
4.2	Equipments and installation .....	5
4.3	Field test .....	6
4.4	Test data interpretation .....	7
5	Multi-channel transient surface wave exploration test .....	9
5.1	General requirements .....	9
5.2	Equipments and processing software .....	9
5.3	Field test .....	10
5.4	Test data interpretation .....	11
6	Standard penetration test .....	12
6.1	General requirements .....	12
6.2	Equipments .....	12
6.3	Field test .....	13
6.4	Test data interpretation .....	14
7	Dynamic penetration test .....	17
7.1	General requirements .....	17
7.2	Equipments .....	17
7.3	Field test .....	18
7.4	Test data interpretation .....	18
8	Result analysis and testing report .....	20
8.1	General requirements .....	20
8.2	Establishment of evaluation model .....	20
8.3	Data analysis and judgment .....	21
	Explanation of wording .....	20
	List of quoted standards .....	20
	Addition:Explanation of provisions.....	20

# 1 总 则

**1.0.1** 为了在夯实地基检测中贯彻执行国家的技术经济政策，规范夯实地基处理的设计、施工和质量检测，做到安全适用、技术先进、确保质量、保护环境，制定本规范。

**1.0.2** 本规范适用于广西壮族自治区房屋建筑、市政和水利水电基础设施工程等夯实地基性状及施工质量的检测和评价。

**1.0.3** 夯实地基检测方法的选择应根据各种检测方法的特点和适用范围，考虑地质条件及施工质量可靠性、使用要求等因素因地制宜、综合确定。

**1.0.4** 夯实地基检测除应符合本规范外，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 夯实地基 Rammed ground, Rammed earth

反复将夯锤提到高处使其自由落下，给地基以冲击和振动能量，将地基土密实处理或置换形成密实墩体的地基。

#### 2.1.2 地基检测 Foundation soil test

在现场采用一定的技术方法，对建筑地基性状、设计参数、地基处理的效果进行的试验、测试、检验，以评价地基性状的活动。

#### 2.1.3 置换深度 Displacement depth

夯实地基有效加固深度。

#### 2.1.4 平板载荷试验 Plate load test

在现场模拟建筑物基础工作条件的原位测试。可在试坑、深井或隧洞内进行，通过一定尺寸的承压板，对岩土体施加垂直荷载，观测岩上体在各级荷载下的下沉量，以研究岩土体在荷载作用下的变形特征，确定岩土体的承载力、变形模量等工程特性。

#### 2.1.5 标准贯入试验 Standard penetration test

简称 SPT 法，指质量为 63.5kg 的穿心锤，以 76cm 的落距自由下落，将标准规格的贯入器自钻孔孔底预打 15cm，测记再打入 30cm 的锤击数的原位试验方法。

#### 2.1.6 圆锥动力触探试验 Dynamic penetration test

简称 DPT 法，用一定质量的击锤，以一定的自由落距将一定规格的圆锥探头打入土中，根据打入土中一定深度所需的锤击数，判定土的性质的原位试验方法。

#### 2.1.7 多道瞬态面波试验 Multi-channel transient surface wave exploration test

采用多个通道的仪器，同时记录震源锤击地面形成的完整面波(特指瑞利波)记录，利用瑞利波在层状介质中的几何频散特性，通过反演分析频散曲线获取地基瑞利波速度来评价地基的波速、密实性、连续性等的原位试验方法。

### 2.2 符号

$F$	——锤击力；
$f_{ak}$	——地基承载力特征值；
$E_0$	——地基变形模量；
$I_0$	——刚性承压板的形状系数；
$b$	——承压板直径或边宽；
$p$	——p-s曲线线性段的压力值；
$s$	——与p对应的沉降量；

$f_0$	——检波器固有频率(Hz);
$H$	——需要检测的最大深度(m);
$V_c$	——检测深度范围内预计平均瑞利波相速度的最 小值(m/s);
$\beta_t$	——波长深度转换系数;
$V_s$	——剪切波速、横波速度;
$V_R$	——面波速度;
$\mu$	——泊松比;
$N$	——标准贯入试验实测锤击数;
$N'$	——标准贯入试验修正锤击数;
$N_k$	——标准贯入试验锤击数标准值;
$N_k'$	——标准贯入试验修正锤击数标准值。
$N_{10}$	——轻型圆锥动力触探锤击数;
$N_{63.5}$	——重型圆锥动力触探修正锤击数;
$N_{120}$	——超重型圆锥动力触探修正锤击数;
$\Phi$	——内摩擦角;
$\alpha$	——摩阻比;
$\delta$	——原位试验数据的变异系数;
$\eta$	——温漂系数;
$S$	——标准差;

## 3 基本规定

**3.0.1** 夯实地基检测应包括施工前为设计提供依据的试验检测、施工过程的质量检验以及施工后为验收提供依据的工程检测。需要验证承载力及变形参数的地基应按设计要求或采用载荷试验进行检测。

**3.0.2** 检测前应进行现场调查，现场调查应根据检测目的和具体要求对岩土工程情况和现场环境条件进行收集和分析。

**3.0.3** 检测单位应根据现场调查结果，编制检测方案。检测方案应包含下列内容：

- 1 工程概况；
- 2 检测内容及其依据的标准；
- 3 检测数量，抽样方案；
- 4 检测方法；
- 5 所需的仪器设备和人员及试验时间计划；
- 6 试验点开挖、加固、处理；
- 7 场地平整，道路修筑，供水供电需求；
- 8 安全措施等要求。

**3.0.4** 检测试验点的数量应满足设计要求并符合下列规定：

- 1 根据设计要求，采用不同的检测方法，抽检数量满足设计要求；
- 2 工程验收检验的抽检数量应按单位工程计算；
- 3 当结合多道瞬态面波试验现场检测，承压板载荷试验检测数量可适当减少，且不低于3个点。

**3.0.5** 检测用计量器具必须在计量检定或校准周期的有效期内。仪器设备性能应符合相应检测方法的技术要求。仪器设备使用时应按校准结果设置相关参数。检测前应对仪器设备检查调试，检测过程中应加强仪器设备检查，按要求在检测前和检测过程中对仪器进行率定。

**3.0.6** 当现场操作环境不符合仪器设备使用要求时，应采取保证仪器设备正常工作条件的措施。

**3.0.7** 检测报告应包含下列基本内容：

- 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、结构形式，层数，设计要求，检测目的，检测依据，检测数量，检测日期；
- 2 地基条件描述；
- 3 受检位置的坐标、标高和相关施工记录；
- 4 检测方法，检测仪器设备和人员，检测过程叙述。



## 4 浅层平板载荷试验

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 强夯地基浅层平板载荷试验适用于检测强夯处理后的人工地基的承压板下应力影响范围内的承载力和变形参数。

**4.1.2** 强夯地基工程验收检测的浅层平板载荷试验最大加载量不应小于设计承载力特征值的 2 倍。

**4.1.3** 夯实地基的抽检数量应符合下列规定：

1 强夯地基其竣工后的结果（地基强度或承载力）必须达到设计要求的标准，强夯地基承载力检验的数量，应根据场地复杂程度和建筑物的重要性确定，对于简单场地上的一般建筑，每个建筑地基载荷试验检验点不应少于 3 点；对于复杂场地或重要建筑地基应增加检验点数。检测结果的评价，应考虑夯点和夯间位置的差异；

2 强夯置换地基单墩载荷试验数量不应少于墩点数的 1%，且不少于 3 点；对饱和粉土地基，当处理后墩间土能形成 2.0m 以上厚度的硬层时，其地基承载力可通过现场单墩复合地基静载荷试验确定，检验数量不应少于墩点数的 1%，且每个建筑载荷试验检验点不应少于 3 点。

**4.1.4** 强夯地基浅层平板载荷试验的加载方式应采用慢速维持荷载法。

### 4.2 仪器设备及安装

**4.2.1** 强夯地基浅层载荷试验的承压板可采用圆形、正方形钢板或钢筋混凝土板。强夯地基承压板面积不应小于 2.0m<sup>2</sup>。

**4.2.2** 承压板应有足够强度和刚度。在拟试压表面和承压板之间应用粗砂或中砂层找平，其厚度不应超过 20mm。

**4.2.3** 强夯地基浅层平板载荷试验的试坑标高应与地基设计标高一致。当设计有要求时，承压板应设置于设计要求的受检土层上。

**4.2.4** 试验前应采取措施，保持试坑或试井底强夯土湿度不变。当试验标高低于地下水位时，应将地下水位降至试验标高以下，再安装试验设备，待水位恢复后方可进行试验。

**4.2.5** 试验加载宜采用油压千斤顶，且千斤顶的合力中心、承压板中心应在同一铅垂线上。当采用两台或两台以上千斤顶加载时应并联同步工作，且千斤顶型号、规格应相同。

**4.2.6** 加载反力宜选择压重平台反力装置。压重平台反力装置应符合下列规定：

- 1 加载反力装置能提供的反力不得小于最大加载量的 1.2 倍；
- 2 应对加载反力装置的主要受力构件进行强度和变形验算；
- 3 压重应在试验前一次加足，并应均匀稳固地放置于平台上；
- 4 压重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。

4.2.7 荷重测量可采用放置在千斤顶上的荷重传感器直接测定;或采用并联于千斤顶油路的压力表或压力传感器测定油压, 并应根据千斤顶率定曲线换算荷载。

4.2.8 沉降测量宜采用位移传感器或大量程百分表, 位移传感器或大量程百分表安装应符合下列规定:

- 1 应在其两个方向对称安置 4 个位移测量仪表;
- 2 位移测量仪表应安装在承压板上, 各位移测量点距承压板边缘的距离应一致, 宜为 25mm~50mm; 对于方形板, 位移测量点应位于承压板每边中点;
- 3 应牢固设置基准桩, 基准桩和基准梁应具有一定的刚度基准梁的一端应固定在基准桩上, 另一端应简支于基准桩上;
- 4 固定和支撑位移测量仪表的夹具及基准梁应避免太阳照射、振动及其他外界因素的影响。

4.2.9 试验仪器设备性能指标应符合下列规定:

- 1 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;
- 2 试验用千斤顶、油泵、油管在最大试验荷载时的压力不应超过规定工作压力的 80%;
- 3 荷重传感器、千斤顶、压力表或压力传感器的量程不应大于最大加载量的 3. 倍, 且不应小于最大加载量的 1.2 倍;
- 4 位移测量仪表的测量误差不应大于 0.1%FS, 分辨力应优于或等于 0.01mm。

4.2.10 浅层平板载荷试验的试坑宽度或直径不应小于承压板边宽或直径的 3 倍。

4.2.11 当加载反力装置为压重平台反力装置时, 承压板、压重平台支墩和基准桩之间的净距应符合表 4.2.11 规定:

表 4.2.11 承压板、压重平台支墩和基准桩之间的净距

承压板与基准桩	承压板与压重平台支墩	基准桩与压重平台支墩
$>b$ 且 $>2.0m$	$>b$ 且 $>B$ 且 $>2.0m$	$>1.5B$ 且 $>2.0m$

注:  $b$  为承压板边宽或直径 (m),  $B$  为支墩宽度 (m)。

4.2.12 对大型平板载荷试验, 当基准梁长度不小于 12m, 但其基准桩与承压板、压重平台支墩的距离仍不能满足本规范表 4.2.11 的规定时, 应对基准桩变形进行监测。监测基准桩的变形测量仪表的分辨力宜达到 0.1mm。

## 4.3 现场检测

4.3.1 正式试验前宜进行预压. 预压荷载宜为最大加载量的 5%, 预压时间宜为 5min. 预压后卸载至零, 测读位移测量仪表的初始读数并应重新调整零位。

4.3.2 试验加卸载分级与施加方式应符合下列规定:

- 1 强夯地基浅层平板载荷试验的分级荷载宜为最大试验荷载的 1/8~1/12;
- 2 加载应分级进行, 采用逐级等量加载, 第一级荷载可取分级荷载的 2 倍;

3 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；当加载等级为奇数级时，第一级卸载量宜取分级荷载的 3 倍；

4 加、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 $\pm 10\%$ 。

**4.3.3** 强夯地基浅层平板载荷试验的慢速维持荷载法的试验步骤应符合下列规定：

- 1 每级荷载施加后应按第 10min、20min、30min、45min、60min 测读承压板的沉降量，以后应每隔半小时测读一次；
- 2 承压板沉降相对稳定标准：在连续两小时内，每小时的沉降量应小于 0.1mm；
- 3 当承压板沉降速率达到相对稳定标准时，应再施加下一级荷载；
- 4 卸载时，每级荷载维持 1h，应按第 10min、30min、60min 测读承压板沉降量；卸载至零后，应测读承压板残余沉降量，维持时间为 3h，测读时间应为第 10min、30min、60min、120min、180min。

**4.3.4** 当出现下列情况之一时，可终止加载：

- 1 当浅层载荷试验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；
- 2 本级荷载的沉降量大于前级荷载沉降量的 5 倍，荷载与沉降曲线出现明显陡降；
- 3 在某一级荷载下，24 内沉降速率不能达到相对稳定标准；
- 4 浅层平板载荷试验的累计沉降量已大于等于承压板边宽或直径的 6%或累计沉降量大于等于 150mm；
- 5 加载至要求的最大试验荷载且承压板沉降达到相对稳定标准。

## 4.4 检测数据分析与判定

**4.4.1** 强夯地基承载力确定时，应绘制压力-沉降 (p-s)、沉降-时间对数 (s-lgt) 曲线，可绘制其他辅助分析曲线。

**4.4.2** 地基极限荷载可按下列方法确定：

- 1 出现本规范第 1.3.4 条第 1、2、3 款情况时，取前一级荷载值；
- 2 出现本规范第 1.3.4 条第 5 款情况时，取最大试验荷载。

**4.4.3** 单个试验点的地基承载力特征值确定应符合下列规定：

- 1 当 p-s 曲线上有比例界限时，应取该比例界限所对应的荷载值；
- 2 强夯地基平板载荷试验，当极限荷载小于对应比例界限荷载值的 2 倍时，应取极限荷载值的一半；
- 3 当满足本规范第 1.3.5 条第 5 款情况，且 p-s 曲线上无法确定比例界限，承载力又未达到极限时，强夯地基浅层平板载荷试验应取最大试验荷载的一半所对应的荷载值；
- 4 当按相对变形值确定强夯地基承载力特征值时，可按 0.010b 取值，且所取的承载力特征值不应大于最大试验荷载的一半。

**4.4.4** 单位工程的强夯地基承载力特征值确定应符合下列规定：

1 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  $f_{ak}$ ；

2 当极差超过平均值的 30%时，应分析原因，结合工程实际判别，可增加试验点数量。

**4.4.5** 强夯地基浅层平板载荷试验应给出每个试验点的承载力检测值和单位工程的地基承载力特征值并应评价单位工程地基承载力特征值是否满足设计要求。

**4.4.6** 强夯地基浅层平板载荷试验确定地基变形模量，可按式 4.4.6 计算：

$$E_0 = I_0 (1 - \mu^2) \frac{pb}{s} \quad (4.4.6)$$

式中： $E_0$ —变形模量（MPa）

$I_0$ —刚性承压板的形状系数，圆形承压板取 0.785，方形承压板取 0.886，矩形承压板当长宽比  $l/b=1.2$  时取 0.809，当 1/5-2.0 时，取 0.626，其余可计算求得，但 1/6 不宜大于 2；

$\mu$ —土的拍松比，应根据试验确定，当有工程经验时，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；

$b$ —承压直或边长（m）；

$p$ — $p$ - $s$  曲线线性段的压力值(kPa)；

$s$ —与  $p$  对应的沉降量(mm)。

**4.4.7** 检测报告除应符合本规范第 3.3.2 条规定外，尚应包括下列内容：

- 1 承压板形状及尺寸、试验点的平面位置图、剖面图及；
- 2 荷载分级及加载方式；
- 3 本规范第 3.4.1 条要求绘制的曲线及对应的数据表；
- 4 承载力特征值判定依据；
- 5 每个试验点的承载力检测值；
- 6 单位工程的承载力特征值。

## 5 多道瞬态面波试验

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 多道瞬态面波试验适用于碎石土、砂土、低饱和度的粉土、湿陷性黄土、素填土和杂填土地基，通过测试获得地基的瑞利波速度和反演剪切波速，评价地基强夯前后效果、地基均匀性及强夯加固所影响的深度和范围。

**5.1.2** 多道瞬态面波试验宜与浅层平板载荷试验、动力触探等测试方法密切配合，正确使用。

**5.1.3** 当采用多种方法进行场地综合判断时，宜先进行面波试验，单位工程检测数量不应少于3条剖面，同一剖面不应少于3个测点，再根据其试验结果有针对性地布置载荷试验、动力触探等测点进行点测。

**5.1.4** 采用面波试验对强夯地基土质量进行验收检测时，单位工程检测数量不应少于10点，当面积超过3000m<sup>2</sup>，应每500m<sup>2</sup>增加1点。检测同一夯能的试验有效数据不应少于6个。

**5.1.5** 现场测试应避开干扰震源。

**5.1.6** 多道瞬态面波试验一般适宜于30米以内的地基土强夯加固效果评价。

### 5.2 仪器设备与处理软件

**5.2.1** 采集仪器应符合下列要求：

1 仪器放大器的通道数不应少于12通道；

2 仪器放大器的通频带应满足采集面波频率范围的要求。对于强夯地基效果评价，仪器放大器的通频带宜为0.5Hz至4000Hz；

3 仪器放大器各通道的幅值偏差不应大于5%，相位差不应大于所用采样时间间隔的一半；

4 仪器采样时间间隔应满足不同面波周期的时间分辨，保证在最小周期内采样4至8点；仪器采样时间长度应满足距震源最远通道采集完面波最大周期的需要；

5 仪器动态范围不应低于120dB，模数转换(A/D)的位数不应小于16位。

**5.2.2** 检波器应符合下列要求：

1 应采用竖直方向的速度型检波器；

2 各检波器应具有相同的频响特性，固有频率应满足探测要求；检波器固有频率 $f_0$ 应按式5.2.2估算：

$$f_0 \leq \beta_t \cdot \frac{V_R}{H} \quad (5.2.2)$$

式中： $f_0$ —检波器固有频率(Hz)；

$H$ —需要检测的最大深度(m)；

$V_R$ —检测深度范围内预计平均瑞利波相速度的最小值(m/s)；

$\beta_t$ —波长深度转换系数。

3 同一排列采集的检波器之间的自然频率差不应大于 0.1Hz，灵敏度和阻尼系数差别不应大于 5%；

4 检波器应具有方便竖直安置的部件，以便与地基土紧密耦合。

#### 5.2.3 处理软件应具有以下功能：

1 具备采集参数的检查与改正、采集文件的正确组合拼接、成批显示及记录中分辨坏道和处理等基本功能；

2 识别和剔除干扰波功能；

3 分辨识别与利用基阶面波成分的功能；

4 提取面波频散曲线的功能；

5 正反演功能，在波速递增及近水平层状地层条件下应能准确反演地层剪切波速度和层厚；

6 分频滤波和检查各分频段面波的发育及信噪比的功能；

7 能调入多条频散曲线，以供研究不同测点或同一测点地层的速度变化。

## 5.3 现场检测

5.3.1 应根据检测要求和现场环境选择震源方式：当勘探深度小于15m时，宜选择大锤激振，不超过30m时，宜采用落重或机械冲击激振，并应保证面波测试所需的频率及激振能量。

5.3.2 面波法检测道间距根据检测深度与精度确定，一般为1-3m，偏移距由现场试验确定，炮点宜在排列首段或末端，现场试验应符合现行行业标准《多道瞬态面波勘察技术规程》JGJ/T143的相关规定，确定满足检测目的和精度要求的采集方案、采集参数和击振方式。

#### 5.3.3 测线、测点的布设应符合下列规定：

1 地基土加固效果检验，应按不同能级夯能，在加固前后应遵循相同测点、相同采集参数的原则；

2 采用面波法对强夯地基进行普测时，根据场地大小应布设不少于 3 条面波法勘探剖面，线距宜为 15-25m，点距宜为 10-15m；

3 多种方法进行场地综合判断时，布设面波法检测点与其它方法检测点重合，或面波排列通过其它检测点。

#### 5.3.4 数据采集应符合下列规定：

1 检波点距或道间距应小于探测深度所需波长的 1/2，检波器排列长度应大于预期面波最大波长的 1/2；

2 记录的近震源道不应出现削波，排列中不宜有坏道；

3 仪器应设置全通状态；遇地基土情况变化时，应及时调整观测参数；

4 多道瞬态面波法采样间隔的选择，应符合现行行业标准《多道瞬态面波勘察技术规程》JGJ/T143 的相关规定；

5 重要异常及发现畸变曲线时应重复观测。

## 5.4 检测数据分析与判定

**5.4.1** 数据预处理应符合以下规定：检查采集记录的质量和现场采集参数的输入是否正确，对错误的输入应予以改正；对合格记录中的坏道，应予以处理，处理完毕后进行存盘，存盘时另起文件名，不得覆盖原始记录文件。

**5.4.2** 数据处理宜借助软件程序完成。处理软件主要功能应包括：时间--空间域提取基阶面波，生成频散曲线，进行频散曲线分层，反演计算剪切波速度，确定地层厚度，利用频散曲线生成速度映像彩色剖面。

**5.4.3** 根据实测瑞利波波速和泊松比，面波速度与横波速度有如下关系式：

$$V_R = \frac{0.87+1.12\mu}{1+\mu} V_S \quad (5.4.3)$$

式中： $V_R$ —面波速度(m/s)；

$V_S$ —剪切波速(m/s)；

$\mu$ —泊松比。

**5.4.4** 对地基处理效果检验时，应进行处理前后对比测试，并保持前后测点测线一致。可不换算成剪切波速，按处理前后的瑞利波速度进行对比评价和分析。

**5.4.5** 当测试点密度较大时，可绘制不同深度的波速等值线，用于定性判断场地不同深度处地基处理前后的均匀性。在波速较低处布置动力触探、静载试验等其他测点。根据各种方法的测试结果对处理效果进行综合判断。

**5.4.6** 多道瞬态面波试验应给出每个试验孔(点)的检测结果和单位工程的主要土层的评价结果。

**5.4.7** 检测报告尚应包括：

- 1 检测点平面布置图，仪器设备一致性检查的原始资料，干扰波实测记录；
- 2 绘制各测点的频散曲线，计算对应土层的瑞利波相速度，根据换算的深度绘制波速深度曲线或地基处理前后对比关系曲线；
- 3 对地基土均匀性做出评价时，绘制场地瑞利波速度平面等值线图；
- 4 根据瑞利波相速度和剪切波速对应关系绘制剪切波速和深度关系曲线或地基处理前后对比关系曲线，面波测试成果图表等；
- 5 结合静载试验、动力触探、土工试验和标贯等其他原位测试结果，分析岩土层的相关参数，判定有效加固深度，综合作出评价。

## 6 标准贯入试验

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 标准贯入试验适用于判定砂土、粉土、黏性土天然地基及其采用换填垫层、压实、挤密、夯实、注浆加固等处理后的地基承载力、变形参数，评价加固效果以及砂土液化判别。也可用于砂桩和初凝状态的水泥搅拌桩、旋喷桩、灰土桩、夯实水泥桩等竖向增强体的施工质量评价。

**6.1.2** 对于强夯地基均匀性检验，检验点的数量可根据场地复杂程度和建筑物的重要性确定，对于简单场地上的一般建筑物，按每400m<sup>2</sup>不少于1个检测点，且不少于3点；对于复杂场地或重要建筑地基，每300m<sup>2</sup>不少于1个检验点，且不少于3点。

### 6.2 仪器设备

**6.2.1** 标准贯入试验设备应由贯入器、落锤系统和钻杆组成，其中贯入器应由具有刃口的贯入器靴、对开管 and 带有排水阀的贯入器头组成，见图 6.2.1；落锤系统应由穿心锤、锤垫、导向杆、自动落锤装置组成。

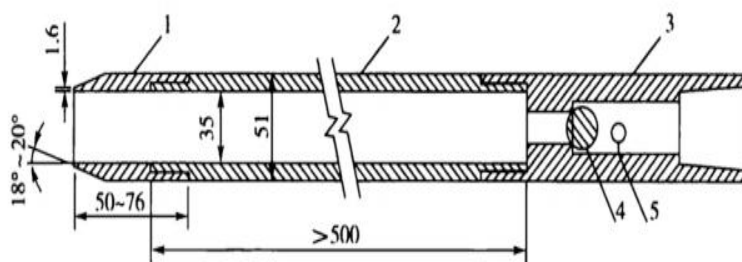


图 6.2.1 标准贯入器结构示意图

注：1—贯入器靴；2—对开管；3—贯入器头；4—钢球排水阀；5—排水孔

**6.2.2** 本试验所用的主要仪器设备应符合下列规定：

- 1 标准贯入器规格应符合表 6.2.2 的要求；
- 2 钻杆应平直光滑，弯曲度超过精度要求时，不得使用；
- 3 对开管的对缝应平直、严密，当出现扭曲、膨胀、错缝等变形时，不得使用；
- 4 贯入器靴的刃口应保持完整，当出现缺口或卷刃等损伤时，不得使用；
- 5 当穿心锤质量和导向杆落距的精度超过允许范围时，不得使用；
- 6 自动落锤装置应保持正常的落锤性能，不得提拔导向杆。



表 6.2.2 标准贯入试验设备规格

部位名称		规格	精度
贯入器	对开管	外径 51mm 内径 35mm —— —— ——	±1mm ±1mm 粗糙度 3.2 椭圆度 0.08mm 同轴度 0.05mm
		长度 >500mm	—
	贯入器靴	长度 50mm~76mm 刃口厚度 1.6mm 刃口角度 18°~20°	—
穿心锤		质量 63.5kg	±0.5kg
导向杆		自由落锤高度 76cm	±2cm
锤垫		外径 100mm~140mm 和导向杆总质量小于 30kg	—
钻杆		直径 42mm、50mm	弯曲度 <1%

6.2.3 标准贯入试验所用穿心锤质量、导向杆和钻杆相对弯曲度应定期标定，使用前应对管靴刃口的完好性、钻杆相对弯曲度、穿心锤导向杆相对弯曲度及表面的润滑程度等进行检查，确保设备与机具完好。

## 6.3 现场检测

6.3.1 标准贯入试验前准备应符合下列规定：

- 1 试验应采用自动脱钩的自由落锤法进行锤击；
- 2 钻孔宜采用回转钻进，钻孔垂直度每 100m 允许偏差不应大于 2°，孔径宜为 76mm~150mm；
- 3 钻具钻进至试验深度以上 15cm 时，应停止钻进并清除孔底残土，残土厚度不得超过 5cm，清孔应避免孔底以下土层被扰动并防止塌孔；
- 4 当在地下水位以下的土层中试验时，应保持孔内水位高于地下水位；当孔壁不稳定时应采用泥浆或套管护壁；采用套管时，套管不应进入到试验段内，试验深度应在套管底端 75cm 以下；
- 5 贯入器、钻杆、锤垫、导向杆各部件的连接应牢固，并保持连接后的垂直度，孔口宜采取导向措施；
- 6 贯入器应平稳放至孔底，不得冲击或压入孔底。

6.3.2 标准贯入试验应在平整的场地上进行，试验点平面布设应符合下列规定：

- 1 测试点应根据工程地质分区或加固处理分区均匀布置，并应具有代表性；
- 2 复合地基桩间土测试点应布置在桩间等边三角形或正方形的中心；复合地基竖向增强体上可布设检测点；有检测加固土体的强度变化等特殊要求时，可布置在离桩边不同距离处；

3 评价地基处理效果和消除液化的处理效果时，处理前、后的测试点布置应考虑位置的一致性。

### 6.3.3 标准贯入试验应符合下列规定：

- 1 贯入器垂直打入试验土层中 15cm 应不计击数；
- 2 继续贯入，应记录每贯入 10cm 的锤击数，累计 30cm 的锤击数即为标准贯入击数；
- 3 锤击速率应宜采用 15/min~30 击/min；
- 4 标准贯入试验点竖向间距应视工程特点、地层情况、加固目的确定，宜为 1.0m；
- 5 同一检测孔的标准贯入试验点间距宜相等；
- 6 当锤击数已达 50 击，而贯入深度未达到 30cm 时，宜终止试验，记录 50 击的实际贯入深度，应按下式换算成相当于贯入 30cm 的标准贯入试验实测锤击数：

$$N = 30 \times \frac{50}{\Delta S} \quad (6.3.1)$$

式中：N——标准贯入击数；

$\Delta S$ ——50 击时的贯入度(cm)。

7 贯入器拔出后，应对贯入器中的土样进行鉴别、描述、记录；需测定黏粒含量时留取土样进行试验分析。

## 6.4 检测数据分析与判定

6.4.1 标准贯入试验成果应绘制以深度标高为纵坐标、击数为横坐标的关系曲线图。

6.4.2 标准贯入试验锤击数值可用于分析岩土性状，判定地基承载力。N值的修正应根据建立的统计关系确定。

6.4.3 当作杆长修正时，锤击数可按下式进行钻杆长度修正：

$$N' = \alpha N \quad (6.4.3)$$

式中：N'——标准贯入试验修正锤击数；

N——标准贯入试验实测锤击数；

$\alpha$ ——触探杆长度修正系数，可按表 6.4.1 确定。

表 6.4.1 标准贯入试验触探杆长度修正系数

触探杆长度 (m)	≤3	6	9	12	15	18	21	25	30
$\alpha$	1.00	0.92	0.86	0.81	0.77	0.73	0.70	0.68	0.65

6.4.4 各分层土的标准贯入锤击数代表值应取每个检测孔不同深度的标准贯入试验锤击数的平均值。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，应取其平均值作为代表值；当极差超过平均值的 30%时，应分析原因，结合工程实际判别，可增加试验点数量。

6.4.5 单位工程同一土层统计标准贯入锤击数标准值与修正后锤击数标准值时，可按《建筑

地基检测技术规范》(JGJ340)的计算方法确定。

**6.4.6** 夯实地基的均匀性和密实度可根据填料的成分、标准贯入试验实测锤击数平均值或标准值和修正后锤击数标准值按下列规定进行评价：

- 1 砂土填料的密实度可按表 6.4.6-1 分为松散、稍密、中密、密实；

表 6.4.6-1 砂土填料的密实度分类

$\bar{N}$ (实测平均值)	密实度
$\bar{N} \leq 10$	松散
$10 < \bar{N} \leq 15$	稍密
$15 < \bar{N} \leq 30$	中密
$\bar{N} > 30$	密实

- 2 粉土填料的密实度可按表 6.4.6-2 分为松散、稍密、中密、密实；

表 6.4.6-2 粉土填料的密实度分类

孔隙比 $e$	$N_k$ (实测标准值)	密实度
-	$N_k \leq 5$	松散
$e > 0.9$	$5 < N_k \leq 10$	稍密
$0.75 \leq e \leq 0.9$	$10 < N_k \leq 15$	中密
$e < 0.75$	$N_k > 15$	密实

- 3 黏性土填料的状态可按表 6.4.6-3 分为软塑、软可塑、硬可塑、硬塑、坚硬。

表 6.4.6-3 黏性土填料的状态分类

$I_L$	$N'_k$ (修正后标准值)	密实度
$0.75 < I_L \leq 1$	$2 < N'_k \leq 4$	软塑
$0.5 < I_L \leq 0.75$	$4 < N'_k \leq 8$	软可塑
$0.25 < I_L \leq 0.5$	$8 < N'_k \leq 14$	硬可塑
$0 < I_L \leq 0.25$	$14 < N'_k \leq 25$	硬塑
$I_L \leq 0$	$N'_k > 25$	坚硬

**6.4.7** 初步判定地基土承载力特征值时，可按表 6.4.7-1~表 6.4.7-3 进行估算。

表 6.4.7-1 砂土承载力特征值  $f_{ak}$  (kPa)

$N'$	10	20	30	50
中砂、粗砂	180	250	340	500
粉砂、细砂	140	180	250	340

表 6.4.7-2 粉土承载力特征值  $f_{ak}$  (kPa)

$N'$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$f_{ak}$	105	125	145	165	185	205	225	245	265	285	305	325	345

表 6.4.7-3 黏性土承载力特征值  $f_{ak}$  (kPa)

$N'$	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21
$f_{ak}$	90	110	150	180	220	260	310	360	410	450

**6.4.8** 采用标准贯入试验成果判定地基土承载力和变形模量或压缩模量时，应与地基处理设计时依据的地基承载力和变形参数的确定方法一致。

**6.4.9** 地基处理效果可依据比对试验结果、地区经验和检测孔的标准贯入试验锤击数、同一土层的标准贯入试验锤击数标准值、变异系数等对夯实地基作出评价。

**6.4.10** 标准贯入试验应给出每个试验孔(点)的检测结果和单位工程的主要土层的评价结果。

**6.4.11** 检测报告应包括下列内容：

- 1 标准贯入锤击数及土层划分与深度关系曲线；
- 2 锤击数成果统计表；
- 3 地基处理效果评价。

## 7 圆锥动力触探试验

### 7.1 一般规定

7.1.1 圆锥动力触探试验根据锤击能量分为轻型 ( $N_{10}$ )、重型 ( $N_{63.5}$ )、超重型 ( $N_{120}$ ) 3 种类型的动力触探。不同类型的触探试验适用范围应符合表 7.1.1 的规定。

表 7.1.1 不同类型动力触探适用范围

动力触探类型	适用范围
轻型 ( $N_{10}$ )	评价黏性土、粉土、粉砂、细砂地基及其人工地基的地基土性状、地基处理效果和判定地基承载力
重型 ( $N_{63}$ )	评价黏性土、粉土、砂土、中密以下的碎石土及其人工地基以及极软岩的地基土性状、地基处理效果和判定地基承载力；检验砂石桩和初凝状态的水泥搅拌桩、旋喷桩、灰土桩、夯实水泥土桩、注浆加固地基的成桩质量、处理效果；评价强夯置换效果及置换墩着底情况

7.1.2 对于强夯地基均匀性检验，检验点的数量可根据场地复杂程度和建筑物的重要性确定，对于简单场地上的一般建筑物，按每  $400\text{m}^2$  不少于 1 个检测点，且不少于 3 点；对于复杂场地或重要建筑地基，每  $300\text{m}^2$  不少于 1 个检验点，且不少于 3 点。可采用超重型或重型动力触探试验等方法，检查强夯置换地基置换墩着底情况及承载力与密度随深度的变化，检验数量不应少于墩点数的 3%，且不少于 3 点。

### 7.2 仪器设备

7.2.1 圆锥动力触探试验设备规格应符合表 7.2.1 的规定。

表 7.2.1 圆锥动力触探试验设备规格

类型		轻型 ( $N_{10}$ )	重型 ( $N_{63}$ )
落锤	锤的质量 (kg)	10	63.5
	落距 (cm)	50	76
探头	直径(mm)	40	74
	锥角( $^{\circ}$ )	60	60
探杆直径(mm)		25	42、50

7.2.2 重型及超重型圆锥动力触探的落锤应采用自动脱钩装置。

7.2.3 触探杆应顺直，每节触探杆相对弯曲宜小于 0.5%，丝扣完好无裂纹。当探头直径磨损大于 2mm 或锥尖高度磨损大于 5mm 时应及时更换探头。

## 7.3 现场检测

**7.3.1** 圆锥动力触探试验点平面布设应符合下列规定：

- 1 测试点应根据加固处理分区均匀布置，并应具有代表性；
- 2 评价强夯置换墩着底情况时，测试点位置可选择在置换墩中心；
- 3 评价夯实地基处理效果时，处理前、后的测试点的布置应考虑前后的一致性。

**7.3.2** 圆锥动力触探测试深度除应满足设计要求外，尚应符合下列规定：

- 1 圆锥动力触探测试深度应达到处理深度以下 0.5m；
- 2 评价强夯置换墩着底情况时检测深度应超过置换墩底 0.5m。

**7.3.3** 圆锥动力触探试验应符合下列规定：

- 1 圆锥动力触探试验应采用自由落锤，要求控制落距，使锤击能量恒定；
- 2 触探杆应垂直，最大偏斜度不应超过 2%，锤击贯入应连续进行；
- 3 地面上触探杆高度不宜超过 1.5m，并应防止锤击偏心、探杆倾斜和侧向晃动；
- 4 保持探杆垂直度，锤击速率宜为 (15~30)击/min（砂土、碎石桩锤击速度可取高值）；
- 5 每贯入 1m，宜将探杆转动一圈半；当贯入深度超过 10m，每贯入 20cm 宜转动探杆一次；
- 6 轻型动力触探应记录每贯入 30cm 的锤击数，重型动力触探应记录每贯入 10cm 的锤击数；
- 7 对轻型动力触探，当贯入 30cm 锤击数大于 100 击或贯入 15cm 锤击数超过 50 击时，可停止试验；
- 8 对重型动力触探，当连续 3 次锤击数大于 50 击时，可停止试验或改用钻探、超重型动力触探；当遇有硬夹层时，宜穿过硬夹层后继续试验。

## 7.4 检测数据分析与判定

**7.4.1** 重型动力触探锤击数应按可按《建筑地基检测技术规范》（JGJ340）的规定进行修正。

**7.4.2** 单孔连续圆锥动力触探试验应绘制锤击数与贯入深度关系曲线。

**7.4.3** 计算单孔分层贯入指标平均值时，应剔除临界深度以内的数值以及超前和滞后影响范围内的异常值。

**7.4.4** 应根据不同深度的动力触探锤击数，采用平均值法计算每个检测孔的各土层的动力触探锤击数平均值（代表值）。

**7.4.5** 夯实地基处理的施工效果可根据单位工程各检测孔的圆锥动力触探锤击数平均值、标准差、变异系数、标准值进行评价。夯实地基处理的施工效果尚宜根据处理前后的检测结果进行对比评价。

**7.4.6** 圆锥动力触探试验应给出每个试验孔(点)的检测结果和单位工程的评价结果。

**7.4.7 检测报告应包括下列内容：**

- 1 圆锥动力触探锤击数与贯入深度关系曲线图(表)；
- 2 圆锥动力触探击数统计值；
- 3 提供下列试验要求的试验结果：
  - 1) 评价地基土的密实程度和均匀性；
  - 2) 结合比对试验结果和地区经验确定的地基土承载力特征值和变形模量建议值。

## 8 成果分析与检测报告

### 8.1 一般规定

8.1.1 夯实地基检测应在夯前夯后选用不少于两种方法进行检测。根据回填土成分的不同，来选择适宜的检测方法。检测方法选择宜符合表 8.1.1：

表 8.1.1 夯实地基检测方法选择

填土类别	检测方法
碎石土	瞬态面波法、浅层平板试验
砂土	瞬态面波法、浅层平板试验、圆锥动力触探试验
粉土	瞬态面波法、浅层平板试验、标准贯入试验
人工填土	瞬态面波法、浅层平板试验
黏性土	瞬态面波法、浅层平板试验、标准贯入试验

8.1.2 载荷试验及各种原位测试均应按本规范相应章节的要求进行检测。

8.1.3 单位工程的夯实地基宜采用两种以上的检测方法进行综合评定。

### 8.2 评价模型的建立

8.2.1 夯实地基检测应先建立场地各参数模型关系式，因场地填土成分的差异，应按土的种类建立不同的模型关系。

8.2.2 夯实地基场地关系模型建立应符合下列规定：

- 1 每个场地应在夯前和夯后各做三个载荷试验点，做到极限承载力；
- 2 载荷试验之前，载荷试验点位置均应进行不少于 1 种原位测试，原位测试的选择参考表 8.1.1；

8.2.3 夯实地基承载力检测应建立适宜评价场地的模型关系：

- 1 承载力与标准贯入试验击数的模型关系，并拟合出计算公式；
- 2 承载力与面波波速值的模型关系，并拟合出计算公式；
- 3 承载力与动力触探试验击数的模型关系并拟合出计算公式。

8.2.4 夯实地基变形模量检测应建立适宜评价场地的模型关系

- 1 变形模量与标准贯入试验击数的模型关系，并拟合出计算公式；
- 2 变形模量与面波波速值的模型关系，并拟合出计算公式；
- 3 变形模量与动力触探试验击数的模型关系并拟合出计算公式。

8.2.5 模型关系的建立，拟合的模型公式相关系数， $R^2$  不小于 0.95。

8.2.6 模型建立的数据统计，统计 2.5 倍压板尺寸深度范围内的各种原位测试成果的平均值。



## 8.3 检测数据分析与判定

**8.3.1** 现场采集的检测数据分析，应按检测方法进行分析，形成成果图表。

**8.3.2** 每个检测点的评价规定：

1 应对每一评价单元的承载力进行评价，每一评价单元判定为合格，即为该测点承载力合格；

2 宜对每一评价单元的变形模量进行评价，每一评价单元判定为合格，即为该测点变形模量合格；

3 每一评价单元的承载力或变形模量评价，只要出现任一评价单元判定为不合格初定为该测点不合格；

4 单位工程中的多种检测方法，各测点评定为合格，则该单位工程评定为合格。

**8.3.3** 单位工程的夯实地基质量评价规定：

1 单位工程内所有测点评价为合格时，单位工程夯实地基评价为合格；

2 单位工程内存在测点评价不合格时，进行加固处理后，对加固处理进行检测，检测结果合格，评价为单位工程夯实地基评价为合格。

**8.3.4** 夯实地基检测报告应包括文字部分，表格，图件，附件。检测报告应资料完整，数据真实，内容可靠，文字、图件互相印证；文字、标点符号、术语、数字和计量单位等应符合国家现行有关标准的规定。检测报告文字部分宜包括下列内容：

1 工程概况；

2 场地地质概况；

3 试验目的；

4 试验依据；

5 仪器设备；

6 试验方法（包括检测原理、检测数量、数据分析、场地关系模型、检测结果）；

7 检测结论；

8 图件应包括检测平面位置示意图，数据分析成果图表，图表中应注明各个测点的坐标及标高。

## 用词说明

为便于在执行本规范条文区别对待，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该这样做的：

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”。

## 引用标准名录

本规范引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用于本规范；不注日期的，其最新版本适用于本规范。

《建筑地基基础设计规范》GB 50007

《岩土工程勘察规范》GB 50021

《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202

《建筑地基处理技术规范》JGJ 79

《建筑地基基础检测技术规范》JGJ 340

《公路工程物探技术规程》JTG/T 3222

《强夯地基处理技术规程》DB37T 5136

广西勘察设计协会团体标准

# 夯实地基检测技术规范

Technical code for testing of compacted foundation soils

T/GEDA XXX-2024

条文说明

# 目 录

1 总则 .....	26
2 术语和符号 .....	27
2.1 术语 .....	27
3 基本规定 .....	28
3.1 一般规定 .....	28
4 浅层平板荷载试验 .....	30
4.1 一般规定 .....	30
4.2 仪器设备及安装 .....	30
4.3 现场检测 .....	32
4.4 检测数据分析与判定 .....	32
5 多道瞬态面波试验 .....	34
5.1 一般规定 .....	34
5.2 仪器设备与处理软件的要求 .....	34
5.3 现场检测 .....	35
5.4 数据处理分析与判定 .....	36
6 标准贯入试验 .....	40
6.1 一般规定 .....	40
6.2 仪器设备 .....	40
6.3 现场检测 .....	400
6.4 检测数据分析与判定 .....	40
7 圆锥动力触探试验 .....	41
7.1 一般规定 .....	41
7.2 仪器设备 .....	41
7.3 现场检测 .....	41
7.4 检测数据分析与判定 .....	42
8 成果分析与检测报告 .....	43
8.1 一般规定 .....	43
8.2 评价模型的建立 .....	43
8.3 数据分析及判定 .....	44

# 1 总 则

**1.0.1** 夯实地基可分为强夯和强夯置换处理地基。强夯处理地基适用于碎石土、砂土、低饱和度的粉土与黏性土、湿陷性黄土、素填土和杂填土等地基；强夯置换适用于高饱和度的粉土与软塑~流塑的黏性土等地基上对变形要求不严格的工程。夯实地基工程是建筑工程的重要组成部分，地基工程质量直接关系到整个建(构)筑物的结构安全和人民生命财产安全。由于我国地缘辽阔，地质条件复杂，基础形式多样，施工及管理水平参差不齐，且地基工程具有高度的隐蔽性，从而使得地基工程的施工比上部建筑结构更为复杂，更容易存在质量隐患。因此，夯实地基检测工作是整个地基工程中不可缺少的重要环节，只有提高夯实地基检测工作的质量和检测结果评价的可靠性，才能真正做到确保地基工程质量与安全。本规范对夯实地基检测方法、检测数量和检测评价作了统一规定，目的是提高夯实地基检测水平，保证工程质量。

**1.0.2** 夯实地基工程质量与地质条件、设计要求、施工因素密切相关，目前各种检测方法在可靠性或经济性方面存在不同程度的局限性，多种方法配合时又具有一定的灵活性，而且由于上部结构的不同和地质条件的差异，不同地区的情况也有差别，对夯实地基的设计要求不尽相同。因此，应根据检测目的、检测方法的适用范围和特点，结合场地条件，考虑上述各种因素合理选择检测方法，实现各种方法合理搭配、优势互补，使各种检测方法尽量能互为补充或验证，在达到安全适用的同时，又要体现经济合理。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

**2.1.4~2.1.7** 夯实地基检测是地基检测中的一部分，针对性比较强，主要的试验类型分成两大类，分为地基承载力检测和地基均匀性检测。地基承载力检测方法包括平板载荷试验、标准贯入试验和圆锥动力触探试验；地基均匀性检测方法包括土工试验、标准贯入试验、圆锥动力触探试验和多道瞬态面波试验。标准贯入试验和圆锥动力触探试验对于夯实地基承载力检测和地基均匀性检测均适用。

## 3 基本规定

### 3.1 一般规定

**3.1.1** 建筑地基工程一般按勘察、设计、施工、验收四个阶段进行，地基试验和检测工作多数情况下分别放在设计和验收两阶段，即施工前和施工后。但对工程量较大、施工周期较长的大型地基工程，比如：夯实地基工程。验收检测应尽可能早在施工过程中穿插进行，而且这种做法应大力提倡。强调施工过程中的检测，以便加强施工过程的质量控制，做到信息化施工，及时发现并解决问题，做到防患于未然，提高效益必须指出：本规范所规定的验收检测仅仅是夯实地基分部工程验收资料的一部分，除应按本规范进行验收检测外，还应该进行其他有关项目的检测和检查；依据本规范所完成的检测结果不能代替其他应进行的试验项目。为设计提供依据的检测属于基本试验，应在设计前进行。夯实地基的承载力和变形参数，当设计有要求需要在施工后进行验证时，也需要进行检测，一般选择载荷试验进行检测。夯实地基检测方法有地基土工试验、平板载荷试验、标准贯入试验、圆锥动力触探试验、多道瞬态面波试验等。本规范的各种检测方法均有其适用范围和局限性，在选择检测方法时不仅应考虑其适用范围，而且还应考虑其实际实施的可能性，必要时应根据现场试验结果判断所选择的检测方法是否满足检测目的，当不满足时，应重新选择检测方法。例如：动力触探试验，应根据检测对象合理选择轻型、重型或超重型。

夯实地基检测工作，应按图 1 程序进行。

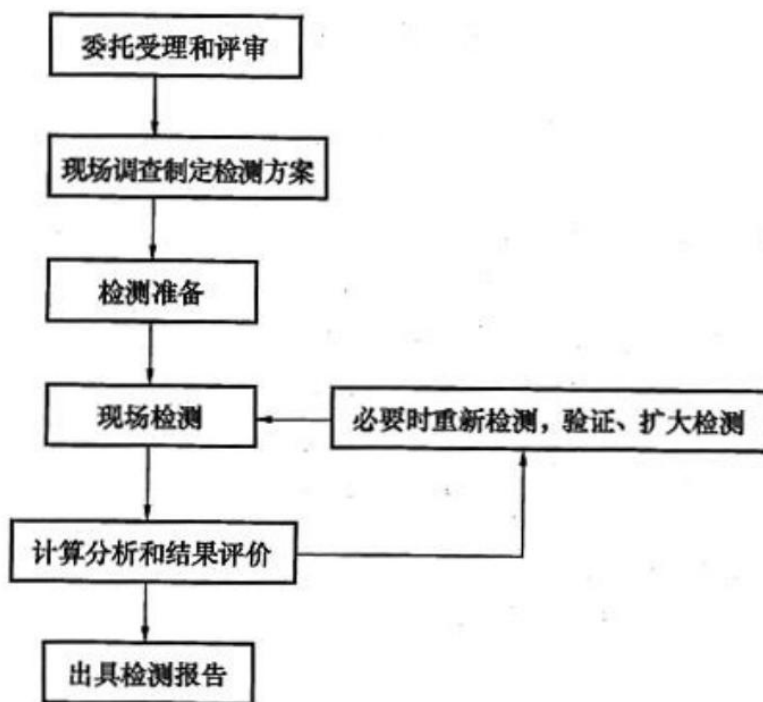


图1 检测工作程序框图

注：图 1 是检测机构应遵循的检测工作基本程序。实际执行检测程序中，由于不可预知的原因，如委托要求的变化、



现场调查情况与委托方介绍的不符，实施时发现原确定的检测方法难以满足检测目的的要求，或在现场检测尚未全部完成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检测数量、检测方法发生变化。

**3.1.2** 建筑地基分部工程抽样验收检测是《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300-2013 以强制性条文的形式规定的。建筑地基应进行地基强度和承载力检验是现行《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202 和《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 以强制性条文的形式规定的，并且也是 GB 50202 质量验收中的主控项目。

**3.1.3** 根据本规范第 1.0.3 条的原则及夯实地基检测工作的特殊性，本条对调查阶段工作提出了具体要求。为了正确地对夯实地基工程质量进行检测和评价，提高夯实地基工程检测工作的质量，做到有的放矢，应尽可能详细地了解 and 搜集有关的技术资料。另外，有时委托方的介绍和提出的要求是笼统的、非技术性的，也需要通过调查来进一步明确检测的具体要求和现场实施的可行性。

**3.1.4** 本条提出的检测方案内容为一般情况下包含的内容，制定检测方案要考虑的因素较多，一是要考虑检测对象特殊性，如 2m 的压板尺寸与 3a 的压板尺寸，对场地条件和试验设备的要求是不一样的或对检测方法的选择有影响。二是要考虑受检工程所在地区的试验设备能力。三是要考虑场地局限性。同时还应考虑检测过程中可能出现的争议，因此，检测方案可能需要与委托方或设计方共同协商制定，尤其是应确定检测点的代表性，有时候委托单位要求检测单位对有疑问的检测对象(如夯实后下暴雨的地基、局部暗沟区域的地基处理效果)进行检测，掌握其质量状况。这类检测对象属于特别的检测对象，不具备正常抽样的样品代表性的特性。

**3.1.5** 根据《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300-2013 规定，具有独立使用功能的单位工程是建筑工程施工质量竣工验收的基础，因此，一般情况下，检测数量应按单位工程进行计算确定。施工过程的质量检验应根据该工程的施工组织设计的要求进行。设计单位根据上部结构和岩土工程勘察资料，可能在同一单位工程中同时采用天然地基和夯实地基、夯实地基和复合地基等不同地基类型，或采用不同的地基处理方法，对于这种情况，应将不同设计参数或不同施工方法的检测对象划为不同的检验批，按检验批抽取一定数量的样本进行检测。

**3.1.6** 检测所用计量器具必须送至法定计量检定单位进行定期检定，且使用时必须在计量检定的有效期之内，这是我国《计量法》的要求，以保证检测数据的可靠性和可追溯性。虽然计量器具在有效计量检定周期之内，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测试，有条件时可建立校准装置进行自校，发现问题后应重新检定。

**3.1.7** 操作环境要求应与测量仪器设备对环境温湿度、电压波动、电磁干扰、振动冲击等现场环境条件的要求相一致，例如使用交流电的仪器设备应注意接地问题。

## 4 浅层平板荷载试验

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 强夯地基浅层平板荷载试验是一种在现场地基基工作条件的原位试验方法，在拟检测的强夯地基上置放一定尺寸的刚性承压板，对承压板逐级加荷，测定承压板的沉降(由于承压板为刚性，因此，承压板的沉降等于拟检测地基的沉降随荷载的变化。以确定强夯地基承载力和变形参数。

承压板下应力主要影响范围根据《建筑地基检测技术规范》JGJ340-2015 条文说明第 4 条规定：承压板下成力主要影响范围为 2.0 倍~2.5 倍承压板直径《或边宽》以内的深度范围。本章的变形参数主要是指地基的变形模量，未涉及地基基床系数。应力主要影响范围的地基土应该为均质地基，而不能是分层地基。

**4.1.2** 对强夯施工后，地基承载力的检测要在施工结束之后保持一定时间的间隔，最佳的间隔时间一般为 7-14d。如果施工的土壤类型为粉土和黏性土，那么间隔时间为 14-28d 适宜。

**4.1.3** 根据《建筑地基基础设计规范》GB 50007 - 2011 规定要求最大加载量不应小于设计要求的地基承载力特征值的 2.0 倍。

**4.1.4** 强夯地基检测数量，应根据场地复杂程度和建筑物的重要性确定。

**4.1.5** 对于地基试验的加方式，加方法为我国惯用的维持荷载法。根据各级荷载维持时间长短及各级荷载作用下地基沉降的相对稳定标准，分为慢速维持荷载法及快速维持荷载法。为了与《建筑地基检测技术规范》JGJ340-2015 的规定取得一致，本规范规定应采用慢速维持荷载法。《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 - 2012 规定对于强夯地基不应小于 2.0m，故作此规定。

### 4.2 仪器设备及安装

**4.2.1** 强夯地基浅层平板荷载试验承压板形状宜采用圆形板和正方形板，不应采用矩形板。浅层平板荷载试验的承压板尺寸大小与需要评价的处理土层的深度有关，深度越深、承压板尺寸则越大，根据本规范第 1.1.1 条条文说明，承压板下应力主要影响范围为 2.0 倍~2.5 倍承压板直径(或边宽)，承压板直径或边宽宜为拟评价处理土层的深度的 1/2 或 2/5。

**4.2.2** 承压板应有足够刚度，保证加载过程不出现翘曲变形是为确保地基尽可能产生均匀沉降，以模拟地基在刚性基础作用下的实际受力变形状况。承压板底面下铺砂，主要是找平作用找平砂层应尽可能薄。

**4.2.3** 当设计有要求时，承压板应设置于设计要求的受检土层。在实际工程中，由于承压板尺寸大小的限制，难以准确评价深部土层(该部分土层仍然是设计需要验算的主要受力土层之一)的承载能力性状，在这种情况下，有必要将承压板设置在一定深度的受检土层上进行试验，获得更完整的试验资料，对地基承载能力进行评价。

**4.2.4** 根据《建筑地基检测技术规范》JGJ340-2015的规定为了防止试验过程中场地地基土含水量的变化或地基土的扰动，影响试验效果，要求保持试坑或试井底岩土的原状结构和天然湿度。必要时，应在承压板周边 2m 范围内覆盖防水布。传统的平板载荷试验适用于地下水位以上的土，对于地下水位以下的土，安装试验设备时可采取降水措施，但试验时应保证试土维持原来的饱和状态，这时试验在浸水或局部浸水状态下进行。

**4.2.5** 当用两台及两台以上千斤顶加时，为防止偏心受荷要求千斤顶活塞直径应一样且应并联同步工作；在设备安装时千斤顶的合力中心、承压板中心、反力装置重心、拟试验区域的中心应在同一铅垂线上。

**4.2.6** 加载反力装置应优先选用压重平台反力装置并且要求压重在试验前一次加足。

**4.2.7** 重传感器直接方式和油表(间接式)两种荷载测量方式的区别在于：前者采用荷重传感器测力，千斤顶仅作为加载设备使用而不是作为测量仪器使用，不需考虑千斤顶活寒摩擦对出力的影响;后者采用并联于千斤顶油路的压力表测量力时，应根据千斤顶的校准结果换算力。同型号千斤顶在保养正常状态下，相同油压时的出力相对误差约为 1%~2%，非正常时可高达 5%。采用传感器测量荷重或油压，容易实现加卸荷与稳压自动化控制，且测量精度较高。采用压力表测定油压时，为保证测量精度，其精度等级应优于或等于 0.4 级，不得使用 15 级压力表控制加载。

**4.2.8** 承压板沉降测量仪表可采用位移传感器或百分表等测试仪表，其性能应满足本规范第 2.2.9 条的规定。

位移测试仪表应安装在承压板上，安装点应在承压板边中而不宜安装在角上且各位移测试仪表在承压板上的安装点距承压板边缘的距离宜为 25mm~50mm。

**4.2.9** 为保证液压系统的安全，在最大试验载时，要求试验用千斤顶、油泵、油管的压力不应超过规定工作压力的 80%。压力表的最佳使用范围为压力表量程的 1/4~2/3，因此，应根据最大试验荷载合理选择量程适当的压力表。调查表明，部分检测机构由于千斤顶或其他仪器设备所限，存在“大秤称轻物”的现象，本规范规定荷重传感器、千斤顶、压力表或压力传感器的量程不应大于最大加载量的 3.0 倍，且不应小于最大加载量的 1.2 倍。

**4.2.10** 试验试宽度或直径不应小于承压板宽度或直径的 3 倍参考了《建筑地基处理技术规范》JGJ 79-2012 的相关规定。

**4.2.11** 承压板、压重平台支墩和基准桩之间的净距：

1 基准桩与压重平台支墩、承压板之间距离的确定：基准桩与压重平台支墩之间的净距离为大于 1.5B 且大于 2m，将基准桩与承压板之间的净距离为大于 6 且大于 2m。

2 承压板与压重平台支墩之间距离的确定：将承压板与压重平台支墩之间的净距离为  $>b$  且  $>B$  且  $>2.0m$ 。

**4.2.12** 根据《建筑地基检测技术规范》JGJ340-2015 规定： $>12m$  长的基准梁也可以使用，但在这种情况下应对基准桩位移进行监测。

当需要对基准桩位移进行监测时，《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 -2014 指出：简易的办法是在远离支处用水准仪或张紧的钢丝观测基准桩的竖向位移。与对受检桩的沉降观测要求

相比，本规范对基准桩位移的监测要求也降低了，但要求位移测量仪表的分辨力宜达到0.1mm。

**4.2.13** 传力装置应采用有足够刚度的传力柱组成，并将传力柱与承压板连接成整体，传力柱的顶部可采用钢筋等斜拉杆固定定位，从而确保安全。

位移传递装置宜采用钢管或塑料管做位移测量杆，位移测量杆的底端应与承压板固定连接，每间隔一定距离位移测量杆应与传力柱滑动相连，以保证位移测量的准确性。

## 4.3 现场检测

**4.3.1** 在所有试验设备安装完毕之后，应进行一次系统检查其方法是施加一较小的荷载进行预压，其目的是消除整个量测系统由于安装等人为因素造成的间隙而引起的非真实沉降；排除千斤顶和管路中之空气；检查管路接头、阀门等是否漏油等。如一切正常，卸载至零，待位移测试仪表显示的读数稳定后，并记录位移测试仪表初始读数，即可开始进行正式加载。

**4.3.2** 《建筑地基基础设计规范》GB 50007 - 2011 规定加荷等级不得少于 8 级，《建筑地基检测技术规范》JGJ340-2015 规定：地基土平板载荷试验的分级荷载宜为最大试验荷载的 1/8~1/12。

**4.3.3** 速维持法的测读数据时间、沉降对定标准与《建筑地基基础设计规范》GB 50007 - 2011 的附录 C、D 的规定。

**4.3.4** 试验终止条件的制定参考了《建筑地基检测技术规范》JGJ340-2015 的规定。

## 4.4 检测数据分析与判定

**4.4.1** 同一单位工程的试验曲线的沉降坐标宜按相同比例绘制压力-沉降 (ps) 沉降-时间对数 (slgt) 曲线，加量的标应为压力，也可在同一图上同时标明荷载量和压力值。

**4.4.2** 地基的极限承力，是指滑动边界范围内的全部体都处于塑性破坏状态，地基丧失稳定时的极限承载力。典型的 S 曲线上可以分成三个阶段：即压密变形阶段、局部剪损阶段和整体剪切破坏阶段。三个阶段之间存在两个界限荷载，前一个称比例界限(临塑荷载)，后一个称极限荷载。比例界限标志着地基土从压密阶段进入局部剪损阶段，当试验荷载小于比例界限时地基变形主要处于弹性状态，当试验荷载大于比例界限时，地基中弹性区和塑性区并存。极限荷载标志着地基土从局部剪损破坏阶段进入整体破坏阶段。按本条第 2 款取值，是偏于安全的取值。

**4.4.3** 根据《建筑地基检测技术规范》JGJ340-2015 规定：当按相对变形值确定人工地基承载力特征值时，可按 0.010b 取值。

**4.4.4** 当极差超过平均值的 30% 时，如果分析能够明确试验结果异常的试验点不具有代表性，可将异常试验值剔除后，再进行统计计算确定单位工程承载力特征值。

**4.4.5** 强夯地基浅层平板载荷试验不仅要求给出每点的承载力特征值，而且要求给出单位工

程的承载力特征值是否满足设计要求的结论。

**4.4.6** 强夯地基浅层平板载荷试验需计算出强夯后地基土的变形模量及压缩模量。

**4.4.7** 强夯地基浅层平板载荷试验报告应根据《建筑地基检测技术规范》JGJ340-2015 第 3.3.2 条和本规范相应要求编写。

## 5 多道瞬态面波试验

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 多道瞬态面波检测方法是一种快捷高效的检测技术，其测试方法简便，仪器轻便，适用于各类地基土等优点，在地基处理检测中得到推广应用；如碎石土地基，因其颗粒粒径大、不均匀，在其它检测方法或原位测试不能取得检测效果时，运用多道瞬态面波法可以部分替代其它试验。多道瞬态面波法对地基进行大面积普查，既能降低成本、扩大检测面，又能提高检测速度和精度，在检测地基均匀性方面有独到优势。目前均匀性还停留在宏观定性判断，还不能进行定量判定。

**5.1.2** 多道瞬态面波法是一种物探手段，用于宏观定性判别岩土体的密实情况和均匀性。采用多种方法相结合，可以更有效的对强夯加固效果进行评定。

**5.1.3** 本条对面波法普测检测数量进行了规定，从检测次序角度来讲，宜先采用面测方法，尤其是常规检测方法难以判定的碎石土地基，如多道瞬态面波法，通过该方法首先可以找出场地相对薄弱部位，后由薄弱部位的深度与形态来选用点测方法，如动探，静载试验等。常用的检测方法是在地表做平板载荷试验来确定地基的承载力，用钻探、标贯或动力触探试验来确定其深层的加固程度和加固深度。各种方法均有其优缺点和适用性，静载试验和动探方法在抽查数量较少时易漏掉薄弱部位，抽查数量较大时费时费钱，特别是针对大厚度开山碎石回填地基，多道瞬态面波法有其突出的优点。近年国内外围海造田和开山造陆工程的大量开展形成的大粒径回填地基，更凸显了多道瞬态面波法效率高、速度快、精度高等优点。

**5.1.4** 本条对面波法检测数量进行了规定。

**5.1.5** 此条指对面波成果质量有影响的干扰震源，只能避开，如检测现场的强夯机、打桩机等大型机械产生的震动。在震动噪音过大的环境下，虽采取措施仍不能克服干扰波影响的，应视为不宜采用此物探方法。对于测区内位置固定的干扰波震源，可采用排列延长线通过该干扰源、并选择面波震源在干扰源一侧激震的布置，形成干扰波同向叠加在面波记录上，即可实现规避干扰的目的，也具有丰富面波震源频率成分的作用。

**5.1.5** 目前工程检测中用的激震方式多为大锤或落重，激发出较低频率面波和得到较深处的频散信息一般不超过 30m。

### 5.2 仪器设备与处理软件的要求

**5.2.1** 本条是对目前地基检测中多道瞬态面波勘察方法所需仪器设备性能的基本条件。对波速差别大的地层，或具有低速夹层，宜采用更多的通道，以保证空间分辨率。多道瞬态面波勘察仪器的主要技术参数如下：

通道数：24 道(12、24 道或更多通道)；

采样时间间隔：一般为 10、25、50、100、250、500、1000、2000、4000、8000 ( $\mu\text{s}$ )；

采样点数：一般分 512、1024、2048、4096、8192 点等；

模数转换： $\geq 16$  位；

动态范围： $\geq 120\text{dB}$ ；

模拟滤波：具备全通、低通、高通功能；

频带宽度：0.5~4000Hz。

**5.2.2** 本条是对检波器的基本要求。检波器是面波勘察的重要组成部分，它的频响特性、灵敏度、相位的一致性以及与地面(或被测介质表面)的耦合程度，都直接影响面波记录的质量。任何检波器都有其特定的频响和灵敏度。固有频率不同，其频响特性(或称带宽)也不一样，而灵敏度则取决于材料与制作工艺。检波器对于输入信号来说，相当于一个滤波器，不同的频响其输出是不一样的。一般说来，接收低频信号(反映较深部信息)就要选择具有较低固有频率的检波器;反之，接收高频信号(反映浅部信息)，就要选择具有较高固有频率的检波器。因此，合理选择检波器，对于面波勘察来说，是非常重要的。例如某工程需要检测 25m 范围内地基土的均匀性，通过 2.2.1.2 公式可以估算检波器频率， $\beta_t$ 取 0.5，面波速度根据地基土类别约为 200m/s，根据公式计算可以得到检测器固有频率为 4Hz。

多道瞬态面波检测，是采用了多个检波器来拾取不同频率(不同深度)的面波信号的，所以，各检波器之间的一致性十分重要。如果检波器的固有频率、灵敏度、阻尼等相差太大，会直接导致接收信号的相位发生畸变，从而导致面波信息的错误计算。

检波器的安装，也是面波勘察的一个重要环节。因为不正确的安装会改变检波器的频率响应。安装原则是：一般条件下检波器的尾锥能满足与地表的牢固安装;在特殊条件下，例如：在松散的地表可改换长尾锥来保证检波器与地表牢固插接;在坚硬的地表条件下，可采用托盘或单向磁座使检波器与地表牢固接触;在风噪音大或松散耕植土地表，可挖深 20~30cm 埋置检波器，以改善接收条件。检波器与电缆连接要正确，不应出现故障。

**5.2.3** 本条主要对面波法处理软件进行规定，处理软件具有具有输入多测点面波记录和编辑功能，具有基本的剔除干扰波、剔除坏道或插值功能，具有时域波型分析与基阶波时窗选择、F—K 域频散数据分离与基阶提取、深度—速度域地质分层及反演 VS 波层速度、面波频散曲线对比分析等功能。对频散曲线和波速分层反演结果能够多格式储存。目前国内广泛应用的软件有北京水电物探研究所研制的 SWS 面波处理软件、加拿大 (Geogiga Technology Corp.) 公司开发的 Seismic Pro 瞬态瑞利面波数据处理专用软件等。

## 5.3 现场检测

**5.3.1** 本条强调人工激发震源的基本要求，锤击激发的频率高，采用大锤敲击地面（铁板），可获得深度 15m 以内的面波频散信息，落重激发的频率相对较低，可采用 40-80kg 金属圆球或其它重物，提升至一高度，自由下落，可获得 30m 以内的频散信息，在下落激震后应避免重物的二次激发对面波数据采集造成的影响。

**5.3.2** 本条主要规定了在面波检测数据采集前，应进行试验工作，确定各项参数，试验工作主要包括仪器各道的一致性检查，将仪器输入端各道并联后接入信号源，采集与工作记录参数相同的记录并存储，利用软件分析频响与幅度的一致性；检波器的一致性检查，选择介质均匀的地点，将检波器密集地安插牢固，在大于 10m 外激振，采集面波记录并存储，利用软件分析频响与幅度的一致性；仪器通道和检波器的频响与幅度特性，应符合一致性要求。随后在进行干扰波调查，在工区选择有代表性的地段进行干扰波调查，干扰波调查应通过排列采集的方式进行。采集面波在时空域传播的特征，根据基阶面波发育的强势段确定偏移距、道间距、排列长度和记录长度，一般排列长度应与检测深度相当；检波器的选择应符合 2.2.1.2 相关要求，再根据检测深度及相关要求选择最佳激振方式。

**5.3.3** 本条主要对面波测点测线布设进行规定，利用面波法检测地基加固效果，主要是检测地基加固前后地基土的面波速度变化，同测点、同参数和重复检测尤为重要；面波检测点的多少直接关系到检测的质量，在合理的范围内，布设检测点越多，所反映的地下岩土层性状就越直观、详细，对项目的设计与建设提供有效的依据；各种检测方法选点的位置应尽量保持一致，一是能够提高资料解释的精度，二是标贯、动探与横波波速、地基承载力有着密切的关联，可以通过这些参数建立相关关系。

**5.3.4** 本条主要是对面波法数据采集进行规定，野外数据采集的质量关乎检测报告的可靠性和准确性。

## 5.4 数据处理分析与判定

**5.4.1** 本条利用软件完成。首先在面波记录文件的记录头中检查采集时输入的偏移距、道间距、采样间隔和记录长度是否正确，对错误的输入应予以改正；对合格记录中的坏道采取先将坏道充零，然后利用其相邻的左右道内插生成新道，处理完毕进行存储，并另起文件名。条文中强调未超过坏道数目的合格记录才能用上述方法处理坏道，并且不得覆盖原始面波数据记录，强调了原始数据保存的重要性。

**5.4.2** 本条主要强调了面波法利用软件进行数据处理的流程，时间--空间域提取基阶面波获得频散曲线尤为关键。

**5.4.3** 面波法通过检测地基土的瑞利波速度，利用数学计算得到地下介质的横波速度，土层的 $\mu$ 为 0.45~0.49 之间。因此，对于土体而言，可认为  $V_R$  与  $V_s$  大致相等。从该点出发，进行土体勘探可根据面波速度得到横波速度，两者的误差约为 5%左右，依据《建筑抗震设计规范》（GB 50011-2010）表 4.1.3“土的类型划分和剪切波速度范围表”，对场地进行定性判断。

**5.4.4** 地基土在强夯前松散软弱，面波速度低，在经过强夯过后，地基土逐渐紧密，面波速度明显升高，通过强夯过后瑞利波速度的变化来评价和分析工区的地基土处理效果，（图 2 为钦州市某工地一面波测试点在强夯前后地基土面波频散曲线对比图），强夯过后地基土深度范围内波速提升 50m/s-200m/s；在测试点较密的情况下，可以生成面波视速度等值线图，



以此来评价地基土强夯效果。图 3、4 为夯前夯后面波视速度等值线断面对比图，从图 3 可以看出地基土在强夯前面波视速度相对较低，等值线呈凹凸形态，局部呈“U”字形，强夯过后视速度明显增加，各深度等值线平缓圆滑、层次分明，利用面波波速等值线图更能直观的判定场地岩土层均匀性。

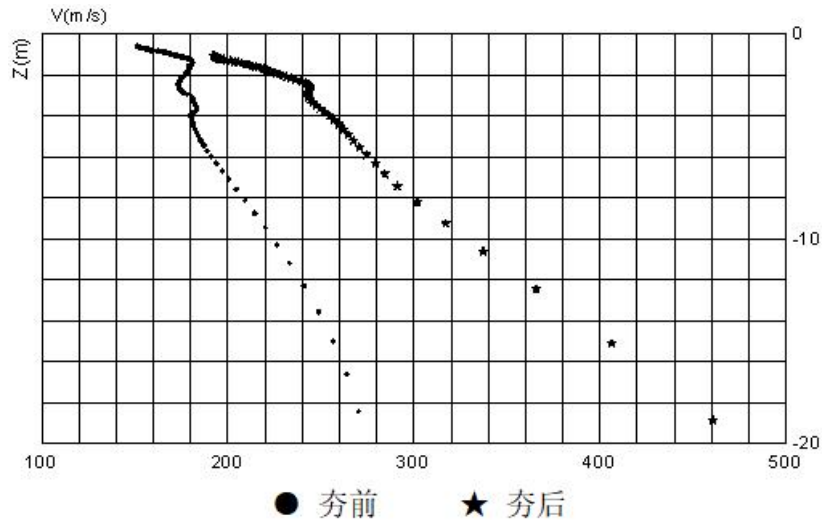


图 2 面波检测点夯前夯后频散曲线对比图

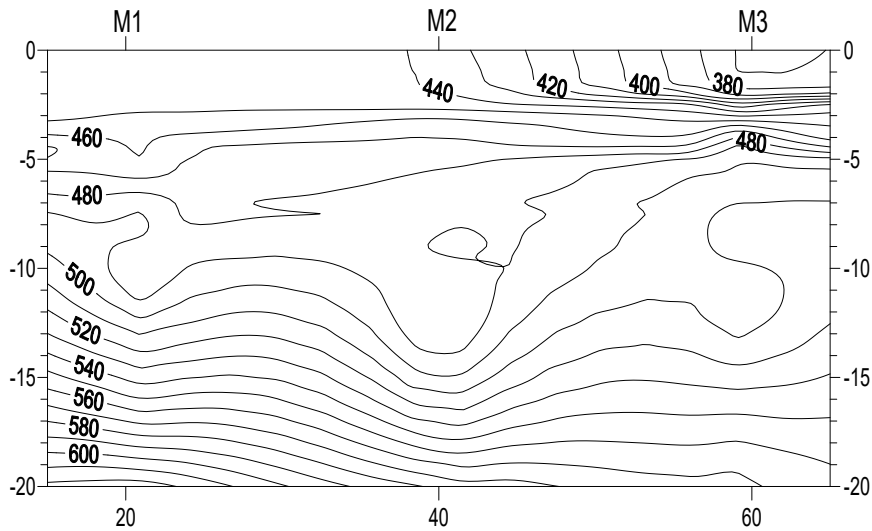


图 3 面波法检测夯前面波视速度等值线图

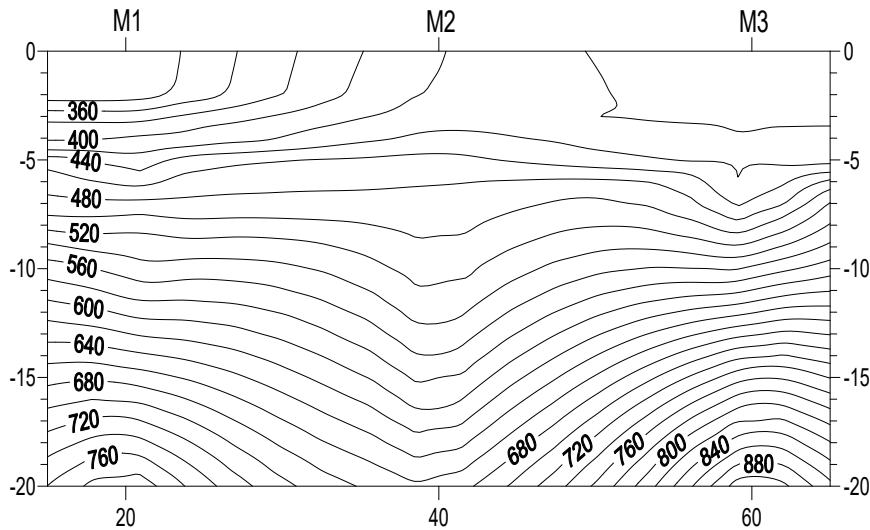


图 4 面波法检测夯后面波视速度等值线图

**5.4.5** 当某工区面波检测点较多时，通过对检测点数据的处理与分析成像，可以利用面波法有针对性的对场地薄弱位置进行其它试验，更能有效的判断强夯加固效果是否满足设计要求。国内外大量实验研究表明，横波速度和标贯击数都反映了土层的软硬程度，横波速度和标贯击数之间可以建立一个经验公式。与此同时，标贯击数又反映了承载力的大小，工程中标贯击数和承载力已有转换关系式。因此，可以通过大量实验数据求出横波速度与标贯击数的经验公式，再通过标贯击数与承载力的既有转换关系，建立横波速度与承载力之间的关系式，从而快速计算承载力的大小，给设计提供依据。

在广西南宁隆安县一工地，地基土为砂土，面波法抽检为 10 点，利用前期钻孔动探资料，得到承载力与横波速度、动探之间的关系如下：

$$V_s = aN^b \quad (\text{式 1})$$

其中， $V_s$  是横波速度值； $N$  是动探击数； $a$  和  $b$  是待求的经验公式系数。由动探数据我们可以求出：

$$V_s = 97.858N^{0.3115} \quad (\text{式 2})$$

$$N = 10^{\frac{\lg V_s - \lg 97.858}{0.3115}} \quad (\text{式 3})$$

根据《工程地质手册》表 3-2-37 中，铁道部第三勘测设计院测量总结的承载力与标贯击数的转换公式

$$f_k = 72 + 9.4N^{1.2} \quad (\text{式 4})$$

将式 (3) 带入式 (4)，可得本场地承载力与横波速度的转换公式：

$$f_k = 72 + 9.4 \times \left[ 10^{\frac{(\lg V_s - \lg 97.858)}{0.3115}} \right]^{1.2} \quad (\text{式 5})$$

经验公式只适用于该工区的同等条件的地基土，在其他地区应用时 需结合标准贯入试验或动力触探来重新标定系数。

**5.4.6** 本条规定了面波法试验解释的要求。在解释时，通过观察各测点频散曲线特征，明确的给出测点下方岩土层性状。如频散曲线上的“之”字形(锯齿状)异常，则反映了测点下部某一深度地基土存在软弱夹层。

**5.4.7** 本条规定了面波法检测报告更具体的要求，给出检测点平面图，方便后期对面波法检测有异常的测点进行加固处理或利用其它检测方法验证。

## 6 标准贯入试验

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 标准贯入试验适用于评价砂土、低饱和度的粉土、湿陷性黄土、素填土的夯实地基，评价加固效果以及砂土液化判别。

**6.1.2** 夯实地基除应进行地基载荷试验外，还应进行其他原位试验。对检测点数量进行了细化。

### 6.2 仪器设备

**6.2.1** 标准贯入试验设备规格主要参考《岩土工程勘察规范》GB50021-2001(2009年版)确定。《岩土工程勘察规范》GB50021-2001(2009年版)规定标准贯入试验钻杆直径采用42mm，贯入器管靴的刃口单刃厚度修改为1.6mm。

**6.2.2** 本条明确规定试验仪器的穿心锤质量、导向杆和钻杆相对弯曲度应定期标定；并规定其他需要定期检查的部分。

### 6.3 现场检测

**6.3.1 ~6.3.2** 本条对试验测试点的平面布置和测试深度的详细规定，主要是配合《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2012关于原位测试手段在地基处理检测中的一些规定，在该基础上进行细化。

### 6.4 检测数据分析与判定

**6.4.3** 标准贯入试验锤击数的修正和使用应根据建立统计关系时的具体情况确定，强调尊重地区经验和土层的区域性。

**6.4.7** 确定砂土密实度，工程勘察、地基基础设计规范均采用未经修正的数值，为实测平均值，因此表6.4.7-1采用实测平均值，与现行规范保持一致。

**6.4.8** 标准贯入试验结果用于评价地基承载力时，应结合其他试验方法和地区经验。

## 7 圆锥动力触探试验

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 圆锥动力触探试验(DPT)是用标准质量的重锤，以一定高度的自由落距，将标准规格的圆锥形探头贯入土中，根据打入土中一定距离所需的锤击数，判定土的力学特性，具有勘探和测试双重功能。

本规范列入了两种圆锥动力触探(轻型、重型)。轻型动力触探的优点是轻便，对于施工验槽、填土勘察、查明局部软弱土层、洞穴等分布，均有实用价值。重型动力触探应用广泛，其规格标准与国际通用标准一致。圆锥动力触探试验设备轻巧，测试速度快、费用较低，可作为地基检测的普查手段。

### 7.2 仪器设备

**7.2.1~7.2.3** 圆锥动力触探试验设备规格主要参考现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 确定。触探杆顺直与否直接影响试验结果，本规范对每节触探杆相对弯曲度作了宜小于 0.5%的规定。圆锥动力触探探杆、锥头的磨损度直接影响试验的准确性，本条对探杆、锥头的容许磨损度作出规定，方便现场检查判断

### 7.3 现场检测

**7.3.2** 本条规定了进行圆锥动力触探试验的试验位置，测试点布置应考虑地质分区或加固处理分区的不同，且应有代表性。

**7.3.3** 本条规定了进行动力触探的测试深度，以便较为全面地评价地基的工程特性。对夯实地基测试应达到加固深度及其主要影响深度以下。

**7.3.4** 本条规定进行圆锥动力触探试验时的技术要求：

1 锤击能量是最重要的因素。规定落锤方式采用控制落距的自动落锤，使锤击能量比较恒定。

2 注意保持杆件垂直，锤击时防止偏心及探杆晃动。贯入过程应不间断地连续击入，在黏性土中击入的间歇会使侧摩阻力增大。锤击速度也影响试验成果，一般采用每分钟 15 击~30 击；在砂土、碎石土中，锤击速度影响不大，可取高值。

3 触探杆与土的侧摩阻力是另一重要因素。试验中可采取下列措施减少侧摩阻力的影响：

1) 探杆直径应小于探头直径，在砂土中探头直径与探杆直径比应大于 1.3；

2) 贯入时旋转探杆，以减少侧摩阻力；

3) 探头的侧摩阻力与土类、土性、杆的外形、刚度、垂直度、触探深度等均有关，很难用一固定的修正系数处理，应采取切合实际的措施，减少侧摩阻力，对贯入深度加以限制。

4 评价夯实地基的施工质量，当处理范围内有硬夹层时，宜穿过硬夹层后继续试验。

## 7.4 检测数据分析与判定

7.4.2~7.4.4 对圆锥动力触探试验成果分析与判定做如下说明：

1 圆锥动力触探试验主要取得的贯入指标，是触探头在地基土中贯入一定深度的锤击数(N10、N63.5)或地基土的动贯入阻力以及对应的深度范围。动贯入阻力可采用荷兰的动力公式：

$$q_d = \frac{M}{M+m} \cdot \frac{M \cdot g \cdot H}{A \cdot e} \quad (\text{式 6})$$

式中： $q_d$ ——动贯入阻力 (MPa)；

$M$ ——落锤质量 (kg)；

$m$ ——圆锥探头及杆件系统(包括打头、导向杆等)的质量 (kg)；

$H$ ——落距 (m)；

$A$ ——圆锥探头截面积 (cm<sup>2</sup>)；

$e$ ——贯入度，等于  $D/N$ ， $D$  为规定贯入深度， $N$  为规定贯入深度的击数；

$g$ ——重力加速度，其值为  $9.81 \text{ m/s}^2$ 。

上式建立在古典的牛顿非弹性碰撞理论(不考虑弹性变形量的损耗)。故限于：

1) 贯入土中深度小于 12m，贯入度 2mm~50mm；

2)  $m/M < 2$ ，如果实际情况与上述适用条件出入大，用上述计算应慎重。

有的单位已经研制电测动贯入阻力的动力触探仪，这是值得研究的方向。本规范推荐的分析方法是对触探头在地基土中贯入一定深度的锤击数(N10、N63.5)及其对应的深度进行分析判定，这种方法在国内已有成熟的经验。

2 根据触探击数、曲线形态，结合钻探资料可进行力学分层，分层时注意超前滞后现象，不同土层的超前滞后量是不同的。上为硬土层下为软土层，超前约为 0.5m~0.7m，滞后约为 0.2m；上为软土层下为硬土层，超前约为 0.1m~0.2m，滞后约为 0.3m~0.5m。

在整理触探资料时，应剔除异常值，在计算土层的触探指标平均值时，超前滞后范围内的值不反映真实土性；临界深度以内的锤击数偏小，不反映真实土性；故不应参加统计。动力触探本来是连续贯入的，但也有配合钻探，间断贯入的做法，间断贯入时临界深度以内的锤击数同样不反映真实土性，不应参加统计。

3 整理多孔触探资料时，应结合钻探资料进行分析，对均匀土层，可用厚度加权平均法统计场地分层平均触探击数值。

7.4.5~7.4.7 动力触探指标可用于推定土的状态、地基承载力、评价地基土均匀性等，本条规定通过对各检测孔和同一土层的触探锤击数进行统计分析，得出其平均值(代表值)和变异系数等指标推定土的状态及地基承载力。进行分层统计时，应根据动探曲线沿深度变化趋势结合勘探资料进行。

## 8 成果分析与检测报告

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 本条主要明确不同的土质组成的夯实地基的原位测试方法适用范围均不相同。对于各种土质组成的夯实地基均可选用瞬态面波法，对于以粗砂土、卵石、角砾、碎石土、块石土为主要回填的夯实地基，可选用重型动力触探试验，以细砂、粉砂、粉土、黏性土为主回填成分的夯实地基，可选用标准贯入试验。

**8.1.3** 单位工程在本规范中以建筑的投影面积进行抽样及评定；建筑群的按每个建筑投影面积进行评定，其余与区域为一个单位工程进行评定。。

**8.1.4** 对于夯实地基夯后质量的检测，静载荷试验虽是检验承载力最可靠、最直接的方法，但由于强夯地基一般为大面积的特点，如果仅采用静载荷试验进行检验，则载荷试验的工作量及试验周期将成为制约工程进度的因素。因此需要简单、快捷的检测试验方法进行大面积强夯地基检验。载荷试验能够直观准确的反应地基的力学性质，但是其影响深度有限，仅能反应承压板下不超过 2.5 倍承压板宽度(或直径)范围内地基土的特性，而大压板载荷试验难度大、费用高，不宜过多采用。瞬态面波法具有设备简单、操作方便、工效较高、适应性广等特点，通过建立的场地各参数之间关系式，间接的得出场地承载力。随后对瞬态面波法检测划分的异常区采取其它方法进行承载力验证，在一定范围内代替载荷试验使用对地基土力学性质进行评价，可以达到缩短工期、降低费用的目的。

### 8.2 评价模型的建立

**8.2.2** 本条主要明确建立关系模型应进行的各种检测方法，依据检测场地的夯实地基填土成分的不同，选择多中的检测方法进行检测，检测的方法可参考表 8.1.1 进行选择；对建立模型需要的检测数量进行了明确，确保分析评价模型的适宜性及合理性。

**8.2.3~8.2.4** 本条主要明确了夯实地基检测的方法，应采用综合检测分析的方法，不同的土质组成的夯实地基，其承载力均不一致。常用的夯实地基承载力检测方法为载荷试验，承载力的判定受压板的尺寸效应的影响，影响的有效深度一般为压板尺寸的 1.5-2.5B 的深度，其下部不能检测到其承载力的情况。其余的检测方法均能检测夯实地基厚度范围的承载力，但原位测试法数据主要依据查表，存在一定误差。近些年，夯实地基事故频出，事故主要表现为地面沉降、墙体开裂、厂房的吊车因差异沉降而不能正常工作，甚至有的在夯实地基上施工了基桩，基桩在填土下拉荷载的作用下，沉降过大，导致上部结构断裂等事故。因此，采用不同的检测方法对夯实地基的质量进行检测及评价是确保工程质量的一种有效手段。

模型的建立可根据设计要求的检测参数进行建立，对承载力有要求的建立承载力与其他原位测试成果之间的关系模型，对变形模量有要求的建立变形模量与原位测试成果的关系模型。承载力及变形模量与原位测试成果一般成正比的关系，标准贯入试验或动力触探试验击数越

高其承载力、变形模量就越大；面波波速越高，其承载力、变形模量就越大。

**8.2.5** 主要要求拟合公式的准确性，确保依据拟合公式计算的成果的准确性。对于离散性比较大或相关系数小于 0.95，应增加检测数量。

**8.2.6** 载荷试验压板影响的有效深度一般不超过 2.5 倍的压板尺寸的深度，为保证建立模型关系拟合的模型公式的准确性，要求以 2.5B 的原位测试成果平均值及对应的载荷试验成果拟合计算公式。

例如：某场地三个测点，其测点 1 承载力极限值为 290kPa，2.5B 深度范围的面波波速平均值为 159m/s；测点 2 承载力极限值为 300kPa，2.5B 深度范围的面波波速平均值为 168m/s；测点 3 承载力极限值为 320kPa，2.5B 深度范围的面波波速平均值为 183m/s。

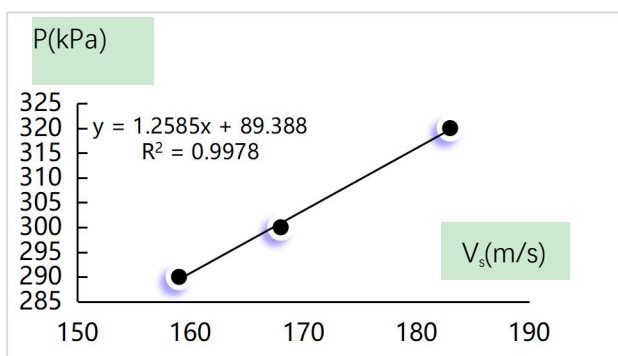


图 5 本场地的波速与承载力的关系图

其模型计算公式为： $f_k = 1.2585V_s + 89.388$ ， $R^2 = 0.9978$

式中： $f_k$ -检测地基的承载力极限值，kPa；

$V_s$ -2.5B 深度范围的面波波速平均值（m/s）。

其余的模型关系的建立及拟合的模型公式，方法均与本例相同。

### 8.3 数据分析及判定

**8.3.1** 数据分析时，应对异常数据进行剔除，不得简单的将低值去除，应结合地质资料分析异常的原因，必要时增加试验数量或采取相应的其他原位测试方法进行检测。夯实地基的检测成果应按最不利的情况考虑，确保建构筑物的使用安全。

**8.3.2** 某纸业中心，填土厚度 5.80~48.60m，采用 3000kN·m 的夯击能进行强夯处理，处理后采用独立柱基或筏板基础，要求持力层承载力特征值为 180kPa。采用多道瞬态面波试验，以评价强夯处理后的承载力是否满足设计要求。依据载荷试验及面波法测试成果，统计 4m 以内的平均波速值  $V_s$ ，并与载荷试验确定的承载力极限值  $f_k$  建立模型关系如图 6。



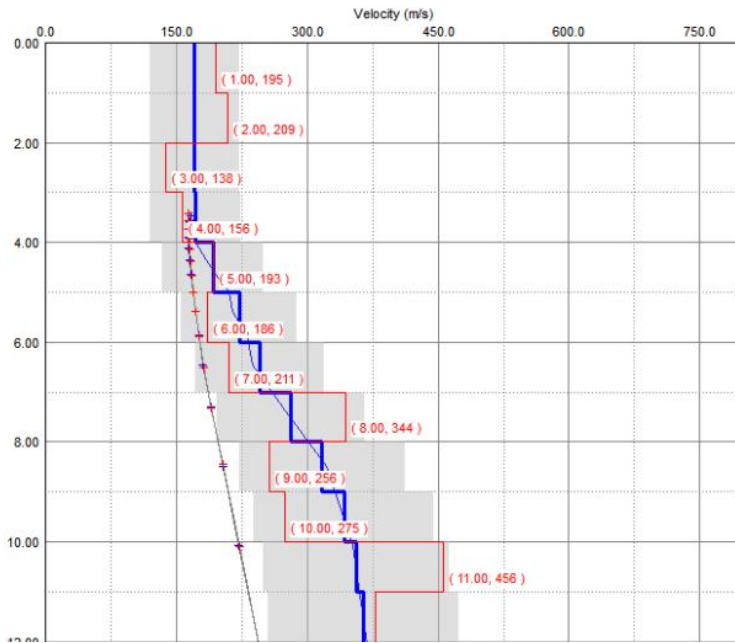


图 6 测试点的频散曲线图

此测试点的不同深度的波速值及依据模型分析的承载力极限值  $f_k$  如表 1。

表 1 测试点不同深度的波速值

深度 (m)	厚度 (m)	$V_s$ (m/s)	$f_k$ (kPa)	$f_{ak}$ (kPa)	结果
1	1	197.6	338	169	不合格
2	1	209.3	353	176	不合格
3	1	137.6	263	131	不合格
4	1	156.4	286	143	不合格
5	1	192.9	332	166	不合格
6	1	185.8	323	162	不合格
7	1	210.6	354	177	不合格
8	1	344.1	522	261	合格
9	1	256.3	412	206	合格
10	1	274.9	435	218	合格
11	1	456.1	663	332	合格

**8.3.3** 本条主要强调单位工程夯实地基的整体评价，对于局部区域不合格的情况，可进行加固处理，处理后再进行检测，检测结果合格，则按整体进行评价。

**8.3.4** 本条概括规定了检测报告的内容组成，将检测报告的内容组成分为文字部分、表格、图件和附件。