

前 言

根据住房和城乡建设部《〈关于印发 2010 年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》(建标 [2010] 43 号) 的要求, 规范编制组经过广泛调查研究, 认真总结实践经验, 参考有关国际标准和国外先进标准, 并在广泛征求意见的基础上, 编制本规范。

本规范的主要技术内容是: 1 总则; 2 术语和符号; 3 基本规定; 4 土(岩)地基载荷试验; 5 复合地基载荷试验; 6 竖向增强体载荷试验; 7 标准贯入试验; 8 圆锥动力触探试验; 9 静力触探试验; 10 十字板剪切试验; 11 水泥土钻芯法试验; 12 低应变法试验; 13 扁铲侧胀试验; 14 多道瞬态面波试验。

本规范中以黑体字标志的条文为强制性条文, 必须严格执行。

本规范由住房和城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释, 由福建省建筑科学研究院负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议, 请寄送福建省建筑科学研究院(地址: 福建省福州市杨桥中路 162 号, 邮编: 350025)。

本 规 范 主 编 单 位: 福建省建筑科学研究院

福州建工(集团)总公司

本 规 范 参 编 单 位: 福建省建筑工程质量检测中心有限公司

建研地基基础工程有限责任公司

广东省建筑科学研究院

建设综合勘察研究设计院有限公司

机械工业勘察设计研究院

上海岩土工程勘察设计研究院有限公司

同济大学

深圳冶建院建筑技术有限公司

中国科学院武汉岩土力学研究所

现代建筑设计集团上海申元岩土工程
有限公司

深圳市勘察研究院有限公司

福建省永固基强夯工程有限公司

本规范主要起草人员：侯伟生 施 峰 许国平 高文生

刘越生 徐天平 刘艳玲 李耀刚

张继文 陈 晖 叶为民 杨志银

汪 稳 水伟厚 梁 曦 严 涛

刘小敏 简浩洋 陈利洲 曾 文

本规范主要审查人员：龚晓南 滕延京 顾宝和 张 雁

张永钧 王卫东 戴一鸣 刘国楠

康景文 朱武卫

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	6
3.1	一般规定	6
3.2	检测方法	7
3.3	检测报告	8
4	土（岩）地基载荷试验	10
4.1	一般规定	10
4.2	仪器设备及其安装	10
4.3	现场检测	13
4.4	检测数据分析与判定	15
5	复合地基载荷试验	19
5.1	一般规定	19
5.2	仪器设备及其安装	19
5.3	现场检测	20
5.4	检测数据分析与判定	21
6	竖向增强体载荷试验	23
6.1	一般规定	23
6.2	仪器设备及其安装	23
6.3	现场检测	24
6.4	检测数据分析与判定	25
7	标准贯入试验	27
7.1	一般规定	27

7.2	仪器设备	27
7.3	现场检测	28
7.4	检测数据分析与判定	29
8	圆锥动力触探试验	33
8.1	一般规定	33
8.2	仪器设备	33
8.3	现场检测	34
8.4	检测数据分析与判定	35
9	静力触探试验	39
9.1	一般规定	39
9.2	仪器设备	39
9.3	现场检测	41
9.4	检测数据分析与判定	42
10	十字板剪切试验	45
10.1	一般规定	45
10.2	仪器设备	45
10.3	现场检测	46
10.4	检测数据分析与判定	47
11	水泥土钻芯法试验	51
11.1	一般规定	51
11.2	仪器设备	51
11.3	现场检测	51
11.4	芯样试件抗压强度	52
11.5	检测数据分析与判定	53
12	低应变法试验	55
12.1	一般规定	55
12.2	仪器设备	55
12.3	现场检测	55
12.4	检测数据分析与判定	57
13	扁铲侧胀试验	62

13.1	一般规定	62
13.2	仪器设备	62
13.3	现场检测	62
13.4	检测数据分析与判定	63
14	多道瞬态面波试验	66
14.1	一般规定	66
14.2	仪器设备	66
14.3	现场检测	67
14.4	检测数据分析与判定	68
附录 A	原始记录图表格式	71
附录 B	地基土试验数据统计计算方法	80
附录 C	圆锥动力触探锤击数修正	82
附录 D	静力触探头率定	84
	本规范用词说明	86
	引用标准名录	87

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Basic Requirements	6
3.1	General Requirements	6
3.2	Test Methods	7
3.3	Test Report	8
4	Loading Test for Foundation Soils (Rock)	10
4.1	General Requirements	10
4.2	Equipments and Installation	10
4.3	Field Test	13
4.4	Test Data Interpretation	15
5	Loading Test for Composite Foundation	19
5.1	General Requirements	19
5.2	Equipments and Installation	19
5.3	Field Test	20
5.4	Test Data Interpretation	21
6	Loading Test for Vertical Reinforcement	23
6.1	General Requirements	23
6.2	Equipments and Installation	23
6.3	Field Test	24
6.4	Test Data Interpretation	25
7	Standard Penetration Test	27
7.1	General Requirements	27

7.2	Equipments	27
7.3	Field Test	28
7.4	Test Data Interpretation	29
8	Dynamic Penetration Test	33
8.1	General Requirements	33
8.2	Equipments	33
8.3	Field Test	34
8.4	Test Data Interpretation	35
9	Cone Penetration Test	39
9.1	General Requirements	39
9.2	Equipments	39
9.3	Field Test	41
9.4	Test Data Interpretation	42
10	Vane Shear Test	45
10.1	General Requirements	45
10.2	Equipments	45
10.3	Field Test	46
10.4	Test Data Interpretation	47
11	Core Drilling Method for Cement-soil Piles	51
11.1	General Requirements	51
11.2	Equipments	51
11.3	Field Test	51
11.4	Compressive Strength Testing of Core Specimen	52
11.5	Test Data Interpretation	53
12	Low Strain Integrity Test	55
12.1	General Requirements	55
12.2	Equipments	55
12.3	Field Test	55
12.4	Test Data Interpretation	57
13	Dilatometer Test	62

13.1	General Requirements	62
13.2	Equipments	62
13.3	Field Test	62
13.4	Test Data Interpretation	63
14	Multi-channel Transient Surface Wave	
	Exploration Test	66
14.1	General Requirements	66
14.2	Equipments	66
14.3	Field Test	67
14.4	Test Data Interpretation	68
Appendix A	Figure and Table Format of Records	71
Appendix B	Statistical Calculating Method of Data Obtained from Foundation Soils Experiments	80
Appendix C	Modification Coefficient of Cone Penetrating Number	82
Appendix D	Calibration Coefficient of Static Penetration Test	84
	Explanation of Wording in This Code	86
	List of Quoted Standards	87

1 总 则

1.0.1 为了在建筑地基检测中贯彻执行国家的技术经济政策，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 本规范适用于建筑地基性状及施工质量的检测和评价。

1.0.3 建筑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 建筑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 人工地基 artificial ground

为提高地基承载力，改善其变形性质或渗透性质，经人工处理后的地基。

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 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，观测岩土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。

2.1.4 单桩复合地基载荷试验 loading test on single column composite foundation

对单个竖向增强体与地基土组成的复合地基进行的平板载荷试验。

2.1.5 多桩复合地基载荷试验 loading test on multi-column composite foundation

对两个或两个以上竖向增强体与地基土组成的复合地基进行的平板载荷试验。

2.1.6 竖向增强体载荷试验 loading test on vertical reinforcement

在竖向增强体顶端逐级施加竖向荷载，测定增强体沉降随荷载和时间的变化，据此检测竖向增强体承载力。

2.1.7 标准贯入试验 standard penetration test (SPT)

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。

2.1.8 圆锥动力触探试验 dynamic penetration test (DPT)

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，判定土的性质原位试验方法。

2.1.9 静力触探试验 cone penetration test (CPT)

以静压力将一定规格的锥形探头压入土层，根据其所受抗阻力大小评价土层力学性质，并间接估计土层各深度处的承载力、变形模量和进行土层划分的原位试验方法。

2.1.10 十字板剪切试验 vane shear test

将十字形翼板插入软土按一定速率旋转，测出土破坏时的抵抗扭矩，求软土抗剪强度的原位试验方法。

2.1.11 扁铲侧胀试验 dilatometer test

将扁铲形探头贯入土中，用气压使扁铲侧面的圆形钢膜向孔壁扩张，根据压力与变形关系，测定土的模量及其他有关工程特性指标的原位试验方法。

2.1.12 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

2.2.1 作用与作用效应

F ——锤击力；

P ——芯样抗压试验测得的破坏荷载；

Q ——施加于单桩和地基的竖向压力荷载；

s ——沉降量；

V ——质点振动速度；

γ_0 ——结构重要性系数。

2.2.2 抗力和材料性能

c ——桩身一维纵向应力波传播速度（简称桩身波速）；

c_u ——地基土的不排水抗剪强度；

E ——桩身材料弹性模量；

E_0 ——地基变形模量；

E_s ——地基压缩模量；

f_{ak} ——地基承载力特征值；

f_{cu} ——混凝土芯样试件抗压强度；

f_s ——双桥探头的侧壁摩阻力；

f_{spk} ——复合地基承载力特征值；

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；

p_s ——单桥探头的比贯入阻力；

q_c ——双桥探头的锥尖阻力；

Z ——桩身截面力学阻抗；

φ ——内摩擦角；

v ——桩身混凝土声速；

μ ——土的泊松比；

ρ ——桩身材料质量密度；

γ_R ——抗力分项系数。

2.2.3 几何参数

A ——桩身截面面积；
 b ——承压板直径或边宽；
 D ——桩身直径（外径），芯样试件的平均直径；
 L ——测点下桩长；
 x ——传感器安装点至桩身缺陷的距离。

2.2.4 计算系数

α ——摩阻比；
 δ ——原位试验数据的变异系数；
 η ——温漂系数。

2.2.5 岩土侧胀试验参数

E_D ——侧胀模量；
 I_D ——侧胀土性指数；
 K_D ——侧胀水平应力指数；
 U_D ——侧胀孔压指数。

2.2.6 其他

c_m ——桩身波速的平均值；
 f ——频率；
 Δf ——幅频曲线上桩底相邻谐振峰间的频差；
 $\Delta f'$ ——幅频曲线上缺陷相邻谐振峰间的频差；
 s_x ——标准差；
 T ——首波周期；
 Δt ——触探过程中气温与地温引起触探头的最大温差；
 ΔT ——速度波第一峰与桩底反射波峰间的时间差；
 ΔT_x ——速度波第一峰与缺陷反射波峰间的时间差。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 建筑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。

3.1.2 人工地基应进行施工验收检测。

3.1.3 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。

3.1.4 检测单位应根据现场调查结果，编制检测方案。检测方案应包含以下内容：

- 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 所需的仪器设备和人员及试验时间计划；
- 5 试验点开挖、加固、处理；
- 6 场地平整，道路修筑，供水供电需求；
- 7 安全措施等要求。

3.1.5 检测试验点的数量应满足设计要求并符合下列规定：

- 1 工程验收检验的抽检数量应按单位工程计算；
- 2 单位工程采用不同地基基础类型或不同地基处理方法时，应分别确定检测方法和抽检数量。

3.1.6 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。

3.1.7 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。

3.1.8 检测机构应具备计量认证，检测人员应经培训方可上岗。

3.2 检测方法

3.2.1 建筑地基检测应根据检测对象情况，选择深浅结合、点面结合、载荷试验和其他原位测试相结合的多种试验方法综合检测。

3.2.2 人工地基承载力检测应符合下列规定：

1 换填、预压、压实、挤密、强夯、注浆等方法处理后的地基应进行土（岩）地基载荷试验；

2 水泥土搅拌桩、砂石桩、旋喷桩、夯实水泥土桩、水泥粉煤灰碎石桩、混凝土桩、树根桩、灰土桩、柱锤冲扩桩等方法处理后的地基应进行复合地基载荷试验；

3 水泥土搅拌桩、旋喷桩、夯实水泥土桩、水泥粉煤灰碎石桩、混凝土桩、树根桩等有粘结强度的增强体应进行竖向增强体载荷试验；

4 强夯置换墩地基，应根据不同的加固情况，选择单墩竖向增强体载荷试验或单墩复合地基载荷试验。

3.2.3 天然地基岩土性状、地基处理均匀性及增强体施工质量检测，可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，应选择标准贯入试验、静力触探试验、圆锥动力触探试验、十字板剪切试验、扁铲侧胀试验、多道瞬态面波试验等一种或多种的方法进行检测，检测结果结合静载荷试验成果进行评价。

3.2.4 采用标准贯入试验、静力触探试验、圆锥动力触探试验、十字板剪切试验、扁铲侧胀试验、多道瞬态面波试验方法判定地基承载力和变形参数时，应结合地区经验以及单位工程载荷试验比对结果进行。

3.2.5 水泥土搅拌桩、旋喷桩、夯实水泥土桩的桩长、桩身强度和均匀性，判定或鉴别桩底持力层岩土性状检测，可选择水泥土钻芯法。有粘结强度、截面规则的水泥粉煤灰碎石桩、混凝土桩等桩身强度为 8MPa 以上的竖向增强体的完整性检测可选择低应变法试验。

3.2.6 换填地基的施工质量检验必须分层进行，预压、夯实地基可采用室内土工试验进行检测，检测方法应符合现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 的规定。

3.2.7 人工地基检测应在竖向增强体满足龄期要求及地基施工后周围土体达到休止稳定后进行，并应符合下列规定：

1 稳定时间对黏性土地基不宜少于 28d，对粉土地基不宜少于 14d，其他地基不应少于 7d；

2 有粘结强度增强体的复合地基承载力检测宜在施工结束 28d 后进行；

3 当设计对龄期有明确要求时，应满足设计要求。

3.2.8 验收检验时地基测试点位置的确定，应符合下列规定：

1 同地基基础类型随机均匀分布；

2 局部岩土条件复杂可能影响施工质量的部分；

3 施工出现异常情况或对质量有异议的部分；

4 设计认为重要的部分；

5 当采取两种或两种以上检测方法时，应根据前一种方法的检测结果确定后一种方法的抽检位置。

3.3 检测报告

3.3.1 检测报告应用词规范、结论明确。

3.3.2 检测报告应包括下列内容：

1 检测报告编号，委托单位，工程名称、地点，建设、勘察、设计、监理和施工单位，地基及基础类型，设计要求，检测目的，检测依据，检测数量，检测日期；

2 主要岩土层结构及其物理力学指标资料；

- 3 检测点的编号、位置和相关施工记录；
- 4 检测点的标高、场地标高、地基设计标高；
- 5 检测方法，检测仪器设备，检测过程叙述；
- 6 检测数据，实测与计算分析曲线、表格和汇总结果；
- 7 与检测内容相应的检测结论；
- 8 相关图件或试验报告。

住房和城乡建设部信息公开
浏览专用

4 土（岩）地基载荷试验

4.1 一般规定

4.1.1 土（岩）地基载荷试验适用于检测天然土质地基、岩石地基及采用换填、预压、压实、挤密、强夯、注浆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 土（岩）地基载荷试验分为浅层平板载荷试验、深层平板载荷试验和岩基载荷试验。浅层平板载荷试验适用于确定浅层地基土、破碎、极破碎岩石地基的承载力和变形参数；深层平板载荷试验适用于确定深层地基土和大直径桩的桩端土的承载力和变形参数，深层平板载荷试验的试验深度不应小于 5m；岩基载荷试验适用于确定完整、较完整、较破碎岩石地基的承载力和变形参数。

4.1.3 工程验收检测的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，岩石地基载荷试验最大加载量不应小于设计承载力特征值的 3 倍；为设计提供依据的载荷试验应加载至极限状态。

4.1.4 土（岩）地基载荷试验的检测数量应符合下列规定：

1 单位工程检测数量为每 500m² 不应少于 1 点，且总点数不应少于 3 点；

2 复杂场地或重要建筑地基应增加检测数量。

4.1.5 地基土载荷试验的加载方式应采用慢速维持荷载法。

4.2 仪器设备及其安装

4.2.1 土（岩）地基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。浅层平板载荷试验承压板面积不应小于 0.25m²，换填垫层和压实地基承压板面积不应小于 1.0m²，强

夯地基承压板面积不应小于 2.0m^2 。深层平板载荷试验的承压板直径不应小于 0.8m 。岩基载荷试验的承压板直径不应小于 0.3m 。

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 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，保持试坑或试井底岩土的原状结构和天然湿度不变。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 承压板面积大于 0.5m^2 时，应在其两个方向对称安置 4 个位移测量仪表，承压板面积小于等于 0.5m^2 时，可对称安置 2

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 3.0 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。深层平板载荷试验的试井直径宜等于承压板直径，当试井直径需要大于承压板直径时，紧靠承压板周围土的高度不应小于承压板直径。

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。

4.2.13 深层平板载荷试验应采用合适的传力柱和位移传递装置，并应符合下列规定：

1 传力柱应有足够的刚度，传力柱宜高出地面 50cm；传力柱宜与承压板连接成为整体，传力柱的顶部可采用钢筋等斜拉杆固定；

2 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，位移测量杆宜每隔一定距离与传力柱滑动相连，位移测量杆的顶部宜高出孔口地面 20cm。

4.2.14 孔底岩基载荷试验采用孔壁基岩提供反力进行试验时，孔壁基岩提供的反力应大于最大试验荷载的 1.5 倍。

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 试验加卸载分级及施加方式应符合下列规定：

1 地基土平板载荷试验的分级荷载宜为最大试验荷载的 $1/8 \sim 1/12$ ，岩基载荷试验的分级荷载宜为最大试验荷载的 $1/15$ ；

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 地基土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 岩基载荷试验的试验步骤应符合下列规定：

1 每级加荷后立即测读承压板的沉降量，以后每隔 10min 应测读一次；

2 承压板沉降相对稳定标准：每 0.5h 内的沉降量不应超过 0.03mm，并应在四次读数中连续出现两次；

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 每级卸载后，应隔 10min 测读一次，测读三次后可卸下一级荷载。全部卸载后，当测读 0.5h 回弹量小于 0.01mm 时，即认为稳定，终止试验。

4.3.5 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；岩基载荷试验的荷载无法保持稳定且逐渐下降；

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，24h 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；深层平板载荷试验的累计沉降量与承压板径之比大于等于 0.04；

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 土（岩）地基承载力确定时，应绘制压力-沉降（ $p-s$ ）、沉降-时间对数（ $s-\lg t$ ）曲线，可绘制其他辅助分析曲线。

4.4.2 土（岩）地基极限荷载可按下列方法确定：

1 出现本规范第 4.3.5 条第 1、2、3 款情况时，取前一级荷载值；

2 出现本规范第 4.3.5 条第 5 款情况时，取最大试验荷载。

4.4.3 单个试验点的土（岩）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 地基土平板载荷试验，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；岩基载荷试验，当极限荷载小于对应比例界限荷载值的 3 倍时，应取极限荷载值的 1/3；

3 当满足本规范第 4.3.5 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，地基土平板载荷试验应取最大试验荷载的一半所对应的荷载值，岩基载荷试验应取最大试验荷载的 1/3 所对应的荷载值；

4 当按相对变形值确定天然地基及人工地基承载力特征值时，可按表 4.4.3 规定的地基变形取值确定，且所取的承载力特征值不应大于最大试验荷载的一半。当地基土性质不确定时，对应变形值宜取 0.010 b ；对有经验的地区，可按当地经验确定对应变形值。

表 4.4.3 按相对变形值确定天然地基及人工地基承载力特征值

地基类型	地基土性质	特征值对应的变形值 s_0
天然地基	高压缩性土	$0.015b$
	中压缩性土	$0.012b$
	低压压缩性土和砂性土	$0.010b$
人工地基	中、低压压缩性土	$0.010b$

注： s_0 为与承载力特征值对应的承压板的沉降量； b 为承压板的边宽或直径，当 b 大于 2m 时，按 2m 计算。

4.4.4 单位工程的土（岩）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 土（岩）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 浅层平板载荷试验确定地基变形模量，可按下式计算：

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

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 $l/b=2.0$ 时，取 0.626，其余可计算求得，但 l/b 不宜大于 2；

μ ——土的泊松比，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 ——承压板直径或边长（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 深层平板载荷试验确定地基变形模量,可按下列式计算:

$$E_0 = \omega \frac{pd}{s} \quad (4.4.7)$$

式中: ω ——与试验深度和土类有关的系数,按本规范第 4.4.8 条确定;

d ——承压板直径 (m);

p —— p - s 曲线线性段的压力值 (kPa);

s ——与 p 对应的沉降量 (mm)。

4.4.8 与试验深度和土类有关的系数 ω 可按下列规定确定:

1 深层平板载荷试验确定地基变形模量的系数 ω 可根据泊松比试验结果,按下列公式计算:

$$\omega = I_0 I_1 I_2 (1 - \mu^2) \quad (4.4.8-1)$$

$$I_1 = 0.5 + 0.23 \frac{d}{z} \quad (4.4.8-2)$$

$$I_2 = 1 + 2\mu^2 + 2\mu^4 \quad (4.4.8-3)$$

式中: I_1 ——刚性承压板的深度系数;

I_2 ——刚性承压板的与土的泊松比有关的系数;

z ——试验深度 (m)。

2 深层平板载荷试验确定地基变形模量的系数 ω 可按表 4.4.8 选用。

表 4.4.8 深层平板载荷试验确定地基变形模量的系数 ω

土类 d/z	碎石土	砂土	粉土	粉质黏土	黏土
0.30	0.477	0.489	0.491	0.515	0.524
0.25	0.469	0.480	0.482	0.506	0.514
0.20	0.460	0.471	0.474	0.497	0.505

续表 4.4.8

土类 d/z	碎石土	砂土	粉土	粉质黏土	黏土
0.15	0.444	0.454	0.457	0.479	0.487
0.10	0.435	0.446	0.448	0.470	0.478
0.05	0.427	0.437	0.439	0.461	0.468
0.01	0.418	0.429	0.431	0.452	0.459

4.4.9 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、剖面图及标高；
- 2 荷载分级及加载方式；
- 3 本规范第 4.4.1 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 复合地基载荷试验

5.1 一般规定

5.1.1 复合地基载荷试验适用于水泥土搅拌桩、砂石桩、旋喷桩、夯实水泥土桩、水泥粉煤灰碎石桩、混凝土桩、树根桩、灰土桩、柱锤冲扩桩及强夯置换墩等竖向增强体和周边地基土组成的复合地基的单桩复合地基和多桩复合地基载荷试验，用于测定承压板下应力影响范围内的复合地基的承载力特征值。当存在多层软弱地基时，应考虑到载荷板应力影响范围，选择大承压板多桩复合地基试验并结合其他检测方法进行。

5.1.2 复合地基载荷试验承压板底面标高应与设计要求标高相一致。

5.1.3 工程验收检测载荷试验最大加载量不应小于设计承载力特征值的 2 倍，为设计提供依据的载荷试验应加载至复合地基达到本规范第 5.4.2 条规定的破坏状态。

5.1.4 复合地基载荷试验的检测数量应符合下列规定：

1 单位工程检测数量不应少于总桩数的 0.5%，且不应少于 3 点；

2 单位工程复合地基载荷试验可根据所采用的处理方法及地基土层情况，选择多桩复合地基载荷试验或单桩复合地基载荷试验。

5.1.5 复合地基载荷试验的加载方式应采用慢速维持荷载法。

5.2 仪器设备及其安装

5.2.1 单桩复合地基载荷试验的承压板可用圆形或方形，面积为一根桩承担的处理面积；多桩复合地基载荷试验的承压板可用方形或矩形，其尺寸按实际桩数所承担的处理面积确定，宜采用

预制或现场制作并应具有足够刚度。试验时承压板中心应与增强体的中心（或形心）保持一致，并与与荷载作用点相重合。

5.2.2 试验加载设备、试验仪器设备性能指标、加载方式、加载反力装置、荷载测量、沉降测量应符合本规范第 4.2.5 条～第 4.2.9 条的规定。

5.2.3 承压板底面下宜铺设 100mm～150mm 厚度的粗砂或中砂垫层，承压板尺寸大时取大值。

5.2.4 试验标高处的试坑宽度和长度不应小于承压板尺寸的 3 倍。基准梁及加荷平台支点宜设在试坑以外，且与承压板边的净距不应小于 2m。

5.2.5 承压板、压重平台支墩边和基准桩之间的中心距离应符合本规范表 4.2.11 规定。

5.2.6 试验前应采取措施，保持试坑或试井底岩土的原状结构和天然湿度不变。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。

5.3 现场检测

5.3.1 正式试验前宜进行预压，预压荷载宜为最大试验荷载的 5%，预压时间为 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。

5.3.2 试验加卸载分级及施加方式应符合下列规定：

1 加载应分级进行，采用逐级等量加载；分级荷载宜为最大加载量或预估极限承载力的 $1/8 \sim 1/12$ ，其中第一级可取分级荷载的 2 倍；

2 卸载应分级进行，每级卸载量应为分级荷载的 2 倍，逐级等量卸载；

3 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 $\pm 10\%$ 。

5.3.3 复合地基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 每加一级荷载前后均应各测读承压板沉降量一次，以后每 30min 测读一次；

2 承压板沉降相对稳定标准：1h 内承压板沉降量不应超过 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 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 30min、60min、180min。

5.3.4 当出现下列情况之一时，可终止加载：

1 沉降急剧增大，土被挤出或承压板周围出现明显的隆起；

2 承压板的累计沉降量已大于其边长（直径）的 6% 或大于等于 150mm；

3 加载至要求的最大试验荷载，且承压板沉降速率达到相对稳定标准。

5.4 检测数据分析与判定

5.4.1 复合地基承载力确定时，应绘制压力-沉降（ $p-s$ ）、沉降-时间对数（ $s-\lg t$ ）曲线，也可绘制其他辅助分析曲线。

5.4.2 当出现本规范第 5.3.4 条第 1、2 款情况之一时，可视为复合地基出现破坏状态，其对应的前一级荷载应定为极限荷载。

5.4.3 复合地基承载力特征值确定应符合下列规定：

1 当压力-沉降（ $p-s$ ）曲线上极限荷载能确定，且其值大于等于对应比例界限的 2 倍时，可取比例界限；当其值小于对应比例界限的 2 倍时，可取极限荷载的一半；

2 当 $p-s$ 曲线为平缓的光滑曲线时，可按表 5.4.3 对应的相对变形值确定，且所取的承载力特征值不应大于最大试验荷载的一半。有经验的地区，可按当地经验确定相对变形值，但原地基土为高压缩性土层时相对变形值的最大值不应大于 0.015。对

变形控制严格的工程可按设计要求的沉降允许值作为相对变形值。

表 5.4.3 按相对变形值确定复合地基承载力特征值

地基类型	应力主要影响范围 地基土性质	承载力特征值对应的 变形值 s_0
沉管挤密砂石桩、振冲挤 密碎石桩、柱锤冲扩桩、强 夯置换墩	以黏性土、粉土、砂土为主的 地基	$0.010b$
灰土挤密桩	以黏性土、粉土、砂土为主的 地基	$0.008b$
水泥粉煤灰碎石桩、混凝 土桩、夯实水泥土桩、树 根桩	以黏性土、粉土为主的地基	$0.010b$
	以卵石、圆砾、密实粗中砂为 主的地基	$0.008b$
水泥搅拌桩、旋喷桩	以淤泥和淤泥质土为主的地基	$0.008b \sim 0.010b$
	以黏性土、粉土为主的地基	$0.006b \sim 0.008b$

注： s_0 为与承载力特征值对应的承压板的沉降量； b 为承压板的边宽或直径，当 b 大于 2m 时，按 2m 计算。

5.4.4 单位工程的复合地基承载力特征值确定时，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，可取其平均值为复合地基承载力特征值。

5.4.5 复合地基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；
- 2 荷载分级方式；
- 3 本规范第 5.4.1 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。

6 竖向增强体载荷试验

6.1 一般规定

6.1.1 竖向增强体载荷试验适用于确定水泥土搅拌桩、旋喷桩、夯实水泥土桩、水泥粉煤灰碎石桩、混凝土桩、树根桩、强夯置换墩等复合地基竖向增强体的竖向承载力。

6.1.2 工程验收检测载荷试验最大加载量不应小于设计承载力特征值的 2 倍；为设计提供依据的载荷试验应加载至极限状态。

6.1.3 竖向增强体载荷试验的单位工程检测数量不应少于总桩数的 0.5%，且不得少于 3 根。

6.1.4 竖向增强体载荷试验的加载方式应采用慢速维持荷载法。

6.2 仪器设备及其安装

6.2.1 试验加载宜采用油压千斤顶，加载方式应符合本规范第 4.2.5 条规定。

6.2.2 加载反力装置应符合本规范第 4.2.6 条规定。

6.2.3 荷载测量可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。

6.2.4 沉降测量宜采用位移传感器或大量程百分表，沉降测定平面宜在桩顶标高位置，测点应牢固地固定于桩身上。

6.2.5 试验仪器设备性能指标应符合本规范第 4.2.9 条规定。

6.2.6 试验增强体、压重平台支墩边和基准桩之间的中心距离应符合表 6.2.6 的规定。

表 6.2.6 增强体、压重平台支墩边和基准桩之间的中心距离

增强体中心与压重 平台支墩边	增强体中心与 基准桩中心	基准桩中心与压重 平台支墩边
$\geq 4D$ 且 $> 2.0\text{m}$	$\geq 3D$ 且 $> 2.0\text{m}$	$\geq 4D$ 且 $> 2.0\text{m}$

注：1 D 为增强体直径 (m)；

2 对于强夯置换墩或大型荷载板，可采用逐级加载试验，不用反力装置，具体试验方法参考结构楼面荷载试验。

6.3 现场检测

6.3.1 试验前应对增强体的桩头进行处理。水泥粉煤灰碎石桩、混凝土桩等强度较高的桩宜在桩顶设置带水平钢筋网片的混凝土桩帽或采用钢护筒桩帽，加固桩头前应凿成平面，混凝土宜提高强度等级和采用早强剂。桩帽高度不宜小于一倍桩的直径，桩帽下桩顶标高及地基土标高应与设计标高一致。

6.3.2 试验加卸载方式应符合下列规定：

1 加载应分级进行，采用逐级等量加载；分级荷载宜为最大加载量或预估极限承载力的 $1/10$ ，其中第一级可取分级荷载的 2 倍；

2 卸载应分级进行，每级卸载量取加载时分级荷载的 2 倍，逐级等量卸载；

3 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 $\pm 10\%$ 。

6.3.3 竖向增强体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 5min、15min、30min、45min、60min 测读桩顶的沉降量，以后应每隔半小时测读一次；

2 桩顶沉降相对稳定标准：每 1h 内桩顶沉降量不超过 0.1mm，并应连续出现两次，从分级荷载施加后的第 30min 开始，按 1.5h 连续三次每 30min 的沉降观测值计算；

3 当桩顶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 15min、30min、60min 测读桩顶沉降量；卸载至零后，应测读桩顶残余沉降量，维持时间为 3h，测读时间应为第 15min、30min、60min、120min、180min。

6.3.4 符合下列条件之一时，可终止加载：

1 当荷载-沉降 ($Q-s$) 曲线上有可判定极限承载力的陡降段，且桩顶总沉降量超过 40mm~50mm；水泥土桩、竖向增强体的桩径大于等于 800mm 取高值，混凝土桩、竖向增强体的桩径小于 800mm 取低值；

2 某级荷载作用下，桩顶沉降量大于前一级荷载作用下沉降量的 2 倍，且经 24h 沉降尚未稳定；

3 增强体破坏，顶部变形急剧增大；

4 $Q-s$ 曲线呈缓变型时，桩顶总沉降量大于 70mm~90mm；当桩长超过 25m，可加载至桩顶总沉降量超过 90mm；

5 加载至要求的最大试验荷载，且承压板沉降速率达到相对稳定标准。

6.4 检测数据分析与判定

6.4.1 竖向增强体承载力确定时，应绘制荷载-沉降 ($Q-s$)、沉降-时间对数 ($s-\lg t$) 曲线，也可绘制其他辅助分析曲线。

6.4.2 竖向增强体极限承载力应按下列方法确定：

1 $Q-s$ 曲线陡降段明显时，取相应于陡降段起点的荷载值；

2 当出现本规范第 6.3.4 条第 2 款的情况时，取前一级荷载值；

3 $Q-s$ 曲线呈缓变型时，水泥土桩、桩径大于等于 800mm 时取桩顶总沉降量 s 为 40mm~50mm 所对应的荷载值；混凝土桩、桩径小于 800mm 时取桩顶总沉降量 s 等于 40mm 所对应的荷载值；

4 当判定竖向增强体的承载力未达到极限时，取最大试验

荷载值；

5 按本条 1~4 款标准判断有困难时，可结合其他辅助分析方法综合判定。

6.4.3 竖向增强体承载力特征值应按极限承载力的一半取值。

6.4.4 单位工程的增强体承载力特征值确定时，试验点的数量不应少于 3 点，当满足其极差不超过平均值的 30% 时，对非条形及非独立基础可取其平均值为竖向极限承载力。

6.4.5 竖向增强体载荷试验应给出每个试验增强体的承载力检测值和单位工程的增强体承载力特征值，并应评价竖向增强体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规范第 3.3.2 条规定外，尚应包括下列内容：

- 1 加卸载方法，荷载分级；
- 2 本规范第 6.4.1 条要求绘制的曲线及对应的数据表，土层剖面图；
- 3 承载力特征值判定依据；
- 4 每个试验增强体的承载力检测值；
- 5 单位工程的承载力特征值。

7 标准贯入试验

7.1 一般规定

7.1.1 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。

7.1.2 采用标准贯入试验对处理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 3000m² 应每 500m² 增加 1 点。检测同一土层的试验有效数据不应少于 6 个。

7.2 仪器设备

7.2.1 标准贯入试验设备规格应符合表 7.2.1 的规定。

表 7.2.1 标准贯入试验设备规格

落锤		锤的质量（kg）	63.5
		落距（cm）	76
贯入器	对开管	长度（mm）	>500
		外径（mm）	51
		内径（mm）	35
	管靴	长度（mm）	50~76
		刃口角度（°）	18~20
		刃口单刃厚度（mm）	1.6
钻杆		直径（mm）	42
		相对弯曲	<1/1000

注：穿心锤导向杆应平直，保持润滑，相对弯曲<1/1000。

7.2.2 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。

7.3 现场检测

7.3.1 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。

7.3.2 标准贯入试验的检测深度除应满足设计要求外，尚应符合下列规定：

1 天然地基的检测深度应达到主要受力层深度以下；

2 人工地基的检测深度应达到加固深度以下 0.5m；

3 复合地基桩间土及增强体检测深度应超过竖向增强体底部 0.5m；

4 用于评价液化处理效果时，检测深度应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的规定。

7.3.3 标准贯入试验孔宜采用回转钻进，在泥浆护壁不能保持孔壁稳定时，宜下套管护壁，试验深度须在套管底端 75cm 以下。

7.3.4 试验孔钻至进行试验的土层标高以上 15cm 处，应清除孔底残土后换用标准贯入器，并应量得深度尺寸再进行试验。

7.3.5 试验应采用自动脱钩的自由落锤法进行锤击，并应采取减小导向杆与锤间的摩阻力、避免锤击时的偏心和侧向晃动以及

保持贯入器、探杆、导向杆连接后的垂直度等措施。

7.3.6 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 锤击速率应小于 30 击/min；
- 4 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：

$$N = 30 \times \frac{50}{\Delta S} \quad (7.3.6)$$

式中：N——标准贯入击数；

ΔS ——50 击时的贯入度 (cm)。

- 5 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。

7.3.7 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。

7.3.8 同一检测孔的标准贯入试验点间距宜相等。

7.3.9 标准贯入试验数据可按本规范附录 A 的格式进行记录。

7.4 检测数据分析与判定

7.4.1 天然地基的标准贯入试验成果应绘制标有工程地质柱状图的单孔标准贯入击数与深度关系曲线图。

7.4.2 人工地基的标准贯入试验结果应提供每个检测孔的标准贯入试验实测锤击数和修正锤击数。

7.4.3 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，判别砂土和粉土的液化，评价成桩的可能性、桩身质量等。N 值的修正应根据建立的统计关系确定。

7.4.4 当作杆长修正时，锤击数可按式进行钻杆长度修正：

$$N' = \alpha N \quad (7.4.4)$$

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；

α ——触探杆长度修正系数，可按表 7.4.4 确定。

表 7.4.4 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
α	1.00	0.92	0.86	0.81	0.77	0.73	0.70	0.68	0.65

7.4.5 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。

7.4.6 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，可按本规范附录 B 的计算方法确定。

7.4.7 砂土、粉土、黏性土等岩土性状可根据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 砂土的密实度可按表 7.4.7-1 分为松散、稍密、中密、密实；

表 7.4.7-1 砂土的密实度分类

$\bar{N}$ (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 粉土的密实度可按表 7.4.7-2 分为松散、稍密、中密、密实；

表 7.4.7-2 粉土的密实度分类

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 黏性土的状态可按表 7.4.7-3 分为软塑、软可塑、硬可塑、硬塑、坚硬。

表 7.4.7-3 黏性土的状态分类

I_L	N'_k (修正后标准值)	状态
$0.75 < I_L \leq 1$	$2 < N'_k \leq 4$	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

7.4.8 初步判定地基土承载力特征值时，可按表 7.4.8-1~表 7.4.8-3 进行估算。

表 7.4.8-1 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 7.4.8-2 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 7.4.8-3 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

7.4.9 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。

7.4.10 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、变异系数等对下列地基作出相应的评价：

1 非碎石土换填垫层（粉质黏土、灰土、粉煤灰和砂垫层）的施工质量（密实度、均匀性）；

2 压实、挤密地基、强夯地基、注浆地基等的均匀性；有条件时，可结合处理前的相关数据评价地基处理有效深度；

3 消除液化的地基处理效果，应按设计要求或现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 规定进行评价。

7.4.11 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。

7.4.12 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 标准贯入锤击数及土层划分与深度关系曲线；
- 2 每个检测孔同一土层的标准贯入锤击数平均值；
- 3 同一土层标准贯入锤击数标准值；
- 4 岩土性状分析或地基处理效果评价；
- 5 复合地基竖向增强体施工质量或桩间土处理效果评价；
- 6 对地基（土）检测时，可根据地区经验或现场比对试验结果提供土层的变形参数和强度指标建议值。

8 圆锥动力触探试验

8.1 一般规定

8.1.1 圆锥动力触探试验应根据地质条件，按下列原则合理选择试验类型：

1 轻型动力触探试验适用于评价黏性土、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；

2 重型动力触探试验适用于评价黏性土、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；也可用于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、处理效果以及评价强夯置换效果及置换墩着底情况；

3 超重型动力触探试验适用于评价密实碎石土、极软岩和软岩等地基土性状和判定地基承载力，也可用于评价强夯置换效果及置换墩着底情况。

8.1.2 采用圆锥动力触探试验对处理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 3000m² 应每 500m² 增加 1 点。检测同一土层的试验有效数据不应少于 6 个。

8.2 仪器设备

8.2.1 圆锥动力触探试验的设备规格应符合表 8.2.1 的规定。

表 8.2.1 圆锥动力触探试验设备规格

类型		轻型	重型	超重型
落锤	锤的质量 (kg)	10	63.5	120
	落距 (cm)	50	76	100

续表 8.2.1

类型		轻型	重型	超重型
探头	直径 (mm)	40	74	74
	锥角 (°)	60	60	60
探杆直径 (mm)		25	42、50	50~60

8.2.2 重型及超重型圆锥动力触探的落锤应采用自动脱钩装置。

8.2.3 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。

8.3 现场检测

8.3.1 经人工处理的地基，应根据处理土的类型和增强体桩体材料情况合理选择圆锥动力触探试验类型，其试验方法、要求按天然地基试验方法和要求执行。

8.3.2 圆锥动力触探试验应在平整的场地上进行，试验点平面布置应符合下列规定：

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 复合地基的增强体施工质量检测，测试点应布置在增强体的桩体中心附近；桩间土的处理效果检测，测试点的位置应在增强体间等边三角形或正方形的中心；

3 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；

4 评价地基处理效果时，处理前、后的测试点的布置应考虑前后的一致性。

8.3.3 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 天然地基检测深度应达到主要受力层深度以下；

2 人工地基检测深度应达到加固深度以下 0.5m；

3 复合地基增强体及桩间土的检测深度应超过竖向增强体底部 0.5m。

8.3.4 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；

2 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；

3 锤击贯入应连续进行，保持探杆垂直度，锤击速率宜为 (15~30) 击/min；

4 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；

5 应及时记录试验段深度和锤击数。轻型动力触探应记录每贯入 30cm 的锤击数，重型或超重型动力触探应记录每贯入 10cm 的锤击数；

6 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；

7 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。

8.3.5 圆锥动力触探试验数据可按本规范附录 A 的格式进行记录。

8.4 检测数据分析与判定

8.4.1 重型及超重型动力触探锤击数应按本规范附录 C 的规定进行修正。

8.4.2 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。

8.4.3 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。

8.4.4 应根据各孔分层的贯入指标平均值，用厚度加权平均法计算场地分层贯入指标平均值和变异系数。

8.4.5 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）。

8.4.6 统计同一土层动力触探锤击数平均值时，应根据动力触探锤击数沿深度的分布趋势结合岩土工程勘探资料进行土层划分。

8.4.7 地基土的岩土性状、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、同一土层的圆锥动力触探锤击数统计值、变异系数进行评价。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。

8.4.8 当采用圆锥动力触探试验锤击数评价复合地基竖向增强体的施工质量时，宜仅对单个增强体的试验结果进行统计和评价。

8.4.9 初步判定地基土承载力特征值时，可根据平均击数 N_{10} 或修正后的平均击数 $N_{63.5}$ 按表 8.4.9-1、表 8.4.9-2 进行估算。

表 8.4.9-1 轻型动力触探试验推定地基承载力特征值 f_{ak} (kPa)

N_{10} (击数)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
一般黏性土地基	50	70	90	115	135	160	180	200	220	240
黏性素填土地基	60	80	95	110	120	130	140	150	160	170
粉土、粉细砂土地基	55	70	80	90	100	110	125	140	150	160

表 8.4.9-2 重型动力触探试验推定地基承载力特征值 f_{ak} (kPa)

$N_{63.5}$ (击数)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
一般黏性土	120	150	180	210	240	265	290	320	350	375	400	425	450	475	500
中砂、粗砂土	80	120	160	200	240	280	320	360	400	440	480	520	560	600	640
粉砂、细砂土	—	75	100	125	150	175	200	225	250	—	—	—	—	—	—

8.4.10 评价砂土密实度、碎石土（桩）的密实度时，可用修正后击数按表 8.4.10-1～表 8.4.10-4 进行。

表 8.4.10-1 砂土密实度按 $N_{63.5}$ 分类

$N_{63.5}$	$N_{63.5} \leq 4$	$4 < N_{63.5} \leq 6$	$6 < N_{63.5} \leq 9$	$N_{63.5} > 9$
密实度	松散	稍密	中密	密实

表 8.4.10-2 碎石土密实度按 $N_{63.5}$ 分类

$N_{63.5}$	密实度	$N_{63.5}$	密实度
$N_{63.5} \leq 5$	松散	$10 < N_{63.5} \leq 20$	中密
$5 < N_{63.5} \leq 10$	稍密	$N_{63.5} > 20$	密实

注：本表适用于平均粒径小于或等于 50mm，且最大粒径小于 100mm 的碎石土。

对于平均粒径大于 50mm，或最大粒径大于 100mm 的碎石土，可用超重型动力触探。

表 8.4.10-3 碎石桩密实度按 $N_{63.5}$ 分类

$N_{63.5}$	$N_{63.5} < 4$	$4 \leq N_{63.5} \leq 5$	$5 < N_{63.5} \leq 7$	$N_{63.5} > 7$
密实度	松散	稍密	中密	密实

表 8.4.10-4 碎石土密实度按 N_{120} 分类

N_{120}	密实度	N_{120}	密实度
$N_{120} \leq 3$	松散	$11 \leq N_{120} \leq 14$	密实
$3 < N_{120} \leq 6$	稍密	$N_{120} > 14$	很密
$6 < N_{120} \leq 11$	中密	—	—

8.4.11 对冲、洪积卵石土和圆砾土地基，当贯入深度小于 12m 时，判定地基的变形模量应结合载荷试验比对试验结果和地区经验进行。初步评价时，可根据平均击数按表 8.4.11 进行。

表 8.4.11 卵石土、圆砾土变形模量 E_0 值 (MPa)

$\bar{N}_{63.5}$ (修正锤击数平均值)	3	4	5	6	8	10	12	14	16
E_0	9.9	11.8	13.7	16.2	21.3	26.4	31.4	35.2	39.0
$\bar{N}_{63.5}$ (修正锤击数平均值)	18	20	22	24	26	28	30	35	40
E_0	42.8	46.6	50.4	53.6	56.1	58.0	59.9	62.4	64.3

8.4.12 对换填地基、预压处理地基、强夯处理地基、不加料振冲加密处理地基的承载力特征值和处理效果做初步评价时，可按本规范第 8.4.9 条和第 8.4.10 条进行。

8.4.13 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主要土层的评价结果。

8.4.14 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 圆锥动力触探锤击数与贯入深度关系曲线图（表）；
- 2 同一土层的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) 评价复合地基竖向增强体的施工质量；
 - 3) 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。

9 静力触探试验

9.1 一般规定

9.1.1 静力触探试验适用于判定软土、一般黏性土、粉土和砂土的天然地基及采用换填垫层、预压、压实、挤密、夯实处理的人工地基的地基承载力、变形参数和评价地基处理效果。

9.1.2 对处理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，检测同一土层的试验有效数据不应少于 6 个。

9.2 仪器设备

9.2.1 静力触探可根据工程需要采用单桥探头、双桥探头，单桥可测定比贯入阻力，双桥可测定锥尖阻力和侧壁摩阻力。

9.2.2 单桥触探头和双桥触探头的规格应符合表 9.2.2 的规定，且触探头的外形尺寸和结构应符合下列规定：

- 1 锥头与摩擦筒应同心；
- 2 双桥探头锥头等直径部分的高度，不应超过 3mm，摩擦筒与锥头的间距不应大于 10mm。

表 9.2.2 单桥和双桥静力触探头规格

锥底截面积 (cm^2)	锥底直径 (mm)	锥角 ($^\circ$)	单桥触探头	双桥触探头	
			有效侧壁长度 (mm)	摩擦筒表面积 (cm^2)	摩擦筒长度 (mm)
10	35.7	60	57	150	133.7
				200	178.4
15	43.7	60	70	300	218.5

9.2.3 静力触探的贯入设备、探头、记录仪和传送电缆应作为整个测试系统按要求进行定期检定、校准或率定。

9.2.4 触探主机应符合下列规定：

1 应能匀速贯入，贯入速率为 (20 ± 5) mm/s，当使用孔压探头触探时，宜有保证贯入速率 20mm/s 的控制装置；

2 贯入和起拔时，施力作用线应垂直机座基准面，垂直度应小于 $30'$ ；

3 额定起拔力应大于额定贯入力的 120%。

9.2.5 记录仪应符合下列规定：

1 仪器显示的有效最小分度值不应大于 0.05%FS；

2 仪器按要求预热后，时漂应小于 0.1%FS/h，温漂应小于 0.01%FS/℃；

3 工作环境温度应为 $-10^{\circ}\text{C} \sim 45^{\circ}\text{C}$ ；

4 记录仪和电缆用于多功能探头触探时，应保证各传输信号互不干扰。

9.2.6 探头的技术性能应符合下列规定：

1 在额定荷载下，检测总误差不应大于 3%FS，其中线性误差、重复性误差、滞后误差、归零误差均应小于 1%FS；

2 传感器出厂时的对地绝缘电阻不应小于 500MΩ；在 300kPa 水压下恒压 2h 后，绝缘电阻应大于 300MΩ；

3 探头在工作状态下，各部传感器的互扰值应小于本身额定测值的 0.3%；

4 探头应能在 $-10^{\circ}\text{C} \sim 45^{\circ}\text{C}$ 的环境温度中正常工作，由于温度漂移而产生的量程误差，可按式计算，不应超过满量程的 $\pm 1\%$ ：

$$\frac{\Delta V}{V} = \Delta t \cdot \eta \quad (9.2.6)$$

式中： ΔV ——温度变化所引起的误差 (mV)；

V ——全量程的输出电压 (mV)；

Δt ——触探过程中气温与地温引起触探头的最大温差 ($^{\circ}\text{C}$)；

η ——温漂系数，一般采用 $0.0005/^{\circ}\text{C}$ 。

9.2.7 各种探头，自锥底起算，在 1m 长度范围内，与之连接的杆件直径不得大于探头直径；减摩阻器应在此范围以外（上）的位置加设。

9.2.8 探头储存应配备防潮、防震的专用探头箱（盒），并应存放于干燥、阴凉的处所。

9.3 现场检测

9.3.1 静力触探测试应在平整的场地上进行，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；当评价地基处理效果时，处理前、后的测试点应考虑前后的一致性。

9.3.2 静力触探测试深度除应满足设计要求外，尚应按下列规定执行：

- 1 天然地基检测深度应达到主要受力层深度以下；
- 2 人工地基检测深度应达到加固深度以下 0.5m；
- 3 复合地基的桩间土检测深度应超过竖向增强体底部 0.5m。

9.3.3 静力触探设备的安装应平稳、牢固，并应根据检测深度和表面土层的性质，选择合适的反力装置。

9.3.4 静力触探头应根据土层性质和预估贯入阻力进行选择，并应满足精度要求。试验前，静力触探头应连同记录仪、电缆在室内进行率定；测试时间超过 3 个月时，每 3 个月应对静力触探头率定一次；当现场测试发现异常情况时，应重新率定。率定方法应符合本规范附录 D 的规定。

9.3.5 静力触探试验现场操作应符合下列规定：

- 1 贯入前，应对触探头进行试压，确保顶柱、锥头、摩擦筒能正常工作；
- 2 装卸触探头时，不应转动触探头；
- 3 先将触探头贯入土中 0.5m～1.0m，然后提升 5cm～10cm，待记录仪无明显零位漂移时，记录初始读数或调整零位，方能开始正式贯入；

4 触探的贯入速率应控制为 $(1.2 \pm 0.3) \text{ m/min}$ ，在同一检测孔的试验过程中宜保持匀速贯入；

5 深度记录的误差不应超过触探深度的 $\pm 1\%$ ；

6 当贯入深度超过 30m，或穿过厚层软土后再贯入硬土层时，应采取防止孔斜措施，或配置测斜探头，量测触探孔的偏斜角，校正土层界线的深度。

9.3.6 静力触探试验记录应符合下列规定：

1 贯入过程中，在深度 10m 以内可每隔 2m~3m 提升探头一次，测读零漂值，调整零位；以后每隔 10m 测读一次；终止试验时，必须测读和记录零漂值；

2 测读和记录贯入阻力的测点间距宜为 0.1m~0.2m，同一检测孔的测点间距应保持不变；

3 应及时核对记录深度与实际孔深的偏差；当有明显偏差时，应立即查明原因，采取纠正措施；

4 应及时准确记录贯入过程中发生的各种异常或影响正常贯入的情况。

9.3.7 当出现下列情况之一时，应终止试验：

1 达到试验要求的贯入深度；

2 试验记录显示异常；

3 反力装置失效；

4 触探杆的倾斜度超过 10° 。

9.3.8 采用人工记录时，试验数据可按本规范附录 A 的格式进行记录。

9.4 检测数据分析与判定

9.4.1 出现下列情况时，应对试验数据进行处理：

1 出现零位漂移超过满量程的 $\pm 1\%$ 且小于 $\pm 3\%$ 时，可按线性内插法校正；

2 记录曲线上出现脱节现象时，应将停机前记录与重新开机后贯入 10cm 深度的记录连成圆滑的曲线；

3 记录深度与实际深度的误差超过 $\pm 1\%$ 时,可在出现误差的深度范围内,等距离调整。

9.4.2 单桥探头的比贯入阻力,双桥探头的锥尖阻力、侧壁摩阻力及摩阻比,应分别按下列公式计算:

$$p_s = K_p \cdot (\epsilon_p - \epsilon_0) \quad (9.4.2-1)$$

$$q_c = K_q \cdot (\epsilon_q - \epsilon_0) \quad (9.4.2-2)$$

$$f_s = K_f \cdot (\epsilon_f - \epsilon_0) \quad (9.4.2-3)$$

$$\alpha = f_s / q_c \times 100\% \quad (9.4.2-4)$$

式中: p_s ——单桥探头的比贯入阻力 (kPa);

q_c ——双桥探头的锥尖阻力 (kPa);

f_s ——双桥探头的侧壁摩阻力 (kPa);

α ——摩阻比 ($\%$);

K_p ——单桥探头率定系数 (kPa/ $\mu\epsilon$);

K_q ——双桥探头的锥尖阻力率定系数 (kPa/ $\mu\epsilon$);

K_f ——双桥探头的侧壁摩阻力率定系数 (kPa/ $\mu\epsilon$);

ϵ_p ——单桥探头的比贯入阻力应变量 ($\mu\epsilon$);

ϵ_q ——双桥探头的锥尖阻力应变量 ($\mu\epsilon$);

ϵ_f ——双桥探头的侧壁摩阻力应变量 ($\mu\epsilon$);

ϵ_0 ——触探头的初始读数或零读数应变量 ($\mu\epsilon$)。

9.4.3 对于每个检测孔,采用单桥探头应整理并绘制比贯入阻力与深度的关系曲线,采用双桥探头应整理并绘制锥尖阻力、侧壁摩阻力、摩阻比与深度的关系曲线。

9.4.4 对于土层力学分层,当采用单桥探头测试时,应根据比贯入阻力与深度的关系曲线进行;当采用双桥探头测试时,应以锥尖阻力与深度的关系曲线为主,结合侧壁摩阻力和摩阻比与深度的关系曲线进行。划分土层力学分层界线时,应考虑贯入阻力曲线中的超前和滞后现象,宜以超前和滞后的中点作为分界点。

9.4.5 土层划分应根据土层力学分层和地质分层综合确定,并应分层计算每个检测孔的比贯入阻力或锥尖阻力平均值,计算时应剔除临界深度以内的数值和超前、滞后影响范围内的异常值。

9.4.6 单位工程同一土层的比贯入阻力或锥尖阻力标准值，应根据各检测孔的平均值按本规范附录 B 计算确定。

9.4.7 初步判定地基土承载力特征值和压缩模量时，可根据比贯入阻力或锥尖阻力标准值按表 9.4.7 估算。

表 9.4.7 地基土承载力特征值 f_{ak} 和压缩模量 $E_{s0.1-0.2}$
与比贯入阻力标准值的关系

f_{ak} (kPa)	$E_{s0.1-0.2}$ (MPa)	p_s 适用范围 (MPa)	适用土类
$f_{ak}=80p_s+20$	$E_{s0.1-0.2}=2.5\ln(p_s)+4$	0.4~5.0	黏性土
$f_{ak}=47p_s+40$	$E_{s0.1-0.2}=2.44\ln(p_s)+4$	1.0~16.0	粉土
$f_{ak}=40p_s+70$	$E_{s0.1-0.2}=3.6\ln(p_s)+3$	3.0~30.0	砂土

注：当采用 q_c 值时，取 $p_s=1.1q_c$ 。

9.4.8 静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主要土层的评价结果。

9.4.9 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 锥尖阻力、侧壁摩阻力、摩阻比随深度的变化曲线，或比贯入阻力随深度的变化曲线；
- 2 每个检测孔的比贯入阻力或锥尖阻力平均值；
- 3 同一土层的比贯入阻力或锥尖阻力标准值；
- 4 结合比对试验结果和地区经验的地基土承载力和变形模量值；
- 5 对检验地基处理加固效果的工程，应提供处理前后的锥尖阻力、侧壁摩阻力或比贯入阻力的对比曲线。

10 十字板剪切试验

10.1 一般规定

10.1.1 十字板剪切试验适用于饱和软黏性土天然地基及其人工地基的不排水抗剪强度和灵敏度试验。

10.1.2 对处理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，检测同一土层的试验有效数据不应少于 6 个。

10.2 仪器设备

10.2.1 十字板剪切试验可分为机械式和电测式，主要设备由十字板头、记录仪、探杆与贯入设备等组成。

10.2.2 十字板剪切仪的设备参数及性能指标应符合表 10.2.2-1～表 10.2.2-4 的规定。

表 10.2.2-1 十字板头主要技术参数

板宽 B (mm)	板高 H (mm)	板厚 (mm)	刃角 (°)	轴杆直径 (mm)	面积比 (%)
50	100	2	60	13	14
75	150	3	60	16	13

表 10.2.2-2 扭力测量设备主要技术指标

扭矩测量范围 (N·m)	扭矩角测量范围 (°)	扭转速率 (°/min)
0~80	0~360	6~12

表 10.2.2-3 电测式十字板剪切仪的扭力传感器性能指标

检测总误差	传感器出厂时的 对地绝缘电阻	现场试验传感器 对地绝缘电阻	传感器 护套外径
不应大于 3% FS (其中非线性误差、 重复性误差、滞后 误差、归零误差均 应小于 1% FS)	不应小于 500M Ω (在 300kPa 水压下 恒压 1h 后，绝缘电 阻应大于 300M Ω)	$\geq 200\text{M}\Omega$	不宜大于 20mm

表 10.2.2-4 电测式十字板记录仪性能指标

时漂	温漂	有效最小分度值
应小于 0.1%FS/h	应小于 0.01%FS/℃	应小于 0.06%FS

10.2.3 加载设备可利用地锚反力系统、静力触探加载系统或其他加压系统。

10.2.4 十字板头、记录仪、探杆、电缆等应作为整个测试系统按要求进行定期检定、校准或率定。

10.2.5 现场量测仪器应与探头率定时使用的量测仪器相同；信号传输线应采用屏蔽电缆。

10.3 现场检测

10.3.1 场地和仪器设备安装应符合下列规定：

- 1 检测孔位应避开地下电缆、管线及其他地下设施；
- 2 检测孔位场地应平整；

3 试验过程中，机座应始终处于水平状态；地表水体下的十字板剪切试验，应采取必要措施，保证试验孔和探杆的垂直度。

10.3.2 机械式十字板剪切试验操作应符合下列规定：

- 1 十字板头与钻杆应逐节连接并拧紧；
- 2 十字板插入至试验深度后，应静止 2min~3min，方可开始试验；

3 扭转剪切速率宜采用 $(6\sim12)^{\circ}/\text{min}$ ，并应在 2min 内测得峰值强度；测得峰值或稳定值后，继续测读 1min，以便确认峰值或稳定值；

4 需要测定重塑土抗剪强度时，应在峰值强度或稳定值测试完毕后，按顺时针方向连续转动 6 圈，再按第 3 款测定重塑土的不排水抗剪强度。

10.3.3 电测式十字板剪切仪试验操作应符合下列规定：

- 1 十字板探头压入前，宜将探头电缆一次性穿入需用的全

部探杆；

2 现场贯入前，应连接量测仪器并对探头进行试力，确保探头能正常工作；

3 将十字板头直接缓慢贯入至预定试验深度处，使用旋转装置卡盘卡住探杆；应静止 3min~5min 后，测读初始读数或调整零位，开始正式试验；

4 以 $(6\sim12)^{\circ}/\text{min}$ 的转速施加扭力，每 $1^{\circ}\sim2^{\circ}$ 测读数据一次。当峰值或稳定值出现后，再继续测读 1min，所得峰值或稳定值即为试验土层剪切破坏时的读数 P_f 。

10.3.4 十字板插入钻孔底部深度应大于 3 倍~5 倍孔径；对非均质或夹薄层粉细砂的软黏性土层，宜结合静力触探试验结果，选择软黏土进行试验。

10.3.5 十字板剪切试验深度宜按工程要求确定。试验深度对原状土地基应达到应力主要影响深度，对处理土地基应达到地基处理深度；试验点竖向间距可根据地层均匀情况确定。

10.3.6 测定场地土的灵敏度时，宜根据土层情况和工程需要选择有代表性的孔、段进行。

10.3.7 十字板剪切试验应记录下列信息：

- 1 十字板探头的编号、十字板常数、率定系数；
- 2 初始读数、扭矩的峰值或稳定值；
- 3 及时记录贯入过程中发生的各种异常或影响正常贯入的情况。

10.3.8 当出现下列情况之一时，可终止试验：

- 1 达到检测要求的测试深度；
- 2 十字板头的阻力达到额定荷载值；
- 3 电信号陡变或消失；
- 4 探杆倾斜度超过 2%。

10.4 检测数据分析与判定

10.4.1 出现下列情况时，宜对试验数据进行处理：

1 出现零位漂移超过满量程的 $\pm 1\%$ 时,可按线性内插法校正;

2 记录深度与实际深度的误差超过 $\pm 1\%$ 时,可在出现误差的深度范围内等距离调整。

10.4.2 机械式十字板剪切仪的十字板常数可按下式计算确定:

$$K_c = \frac{2R}{\pi D^2 \left(\frac{D}{3} + H \right)} \quad (10.4.2)$$

式中: K_c ——机械式十字板剪切仪的十字板常数 ($1/\text{m}^2$);

R ——施力转盘半径 (m);

D ——十字板头直径 (m);

H ——十字板板高 (m)。

10.4.3 地基土不排水抗剪强度可按下列公式计算确定:

$$c_u = 1000K_c(P_f - P_0) \quad (10.4.3-1)$$

或

$$c_u = K(\epsilon - \epsilon_0) \quad (10.4.3-2)$$

或

$$c_u = 10K_c\eta R_y \quad (10.4.3-3)$$

式中: c_u ——地基土不排水抗剪强度 (kPa), 精确到 0.1kPa;

P_f ——剪损土体的总作用力 (N);

P_0 ——轴杆与土体间的摩擦力和仪器机械阻力 (N);

K ——电测式十字板剪切仪的探头率定系数 ($\text{kPa}/\mu\epsilon$);

ϵ ——剪损土体的总作用力对应的应变测试仪读数 ($\mu\epsilon$);

ϵ_0 ——初始读数 ($\mu\epsilon$);

K_c ——十字板常数; 当板头尺寸为 $50\text{mm} \times 100\text{mm}$ 时, 取 0.00218cm^{-3} ; 当板头尺寸为 $75\text{mm} \times 150\text{mm}$ 时, 取 0.00065cm^{-3} ;

R_y ——原状土剪切破坏时的读数 (mV);

η ——传感器率定系数 ($\text{N} \cdot \text{cm}/\text{mV}$)。

10.4.4 地基土重塑土强度可按下列公式计算:

$$c'_u = 1000K_c(P'_f - P'_0) \quad (10.4.4-1)$$

或

$$c'_u = K(\epsilon' - \epsilon'_0) \quad (10.4.4-2)$$

或

$$c'_u = 10K_c\eta R'_y \quad (10.4.4-3)$$

式中： c'_u ——地基土重塑土强度 (kPa)，精确到 0.1kPa；

P'_f ——剪损重塑土体的总作用力 (N)；

ϵ' ——剪损重塑土对应的最大应变值；

P'_0 、 ϵ'_0 ——重塑土强度测试前的初始读数；

R'_y ——重塑土剪切破坏时的读数 (mV)。

10.4.5 土的灵敏度可按下式计算：

$$S_t = c_u / c'_u \quad (10.4.5)$$

式中： S_t ——土的灵敏度。

10.4.6 对于每个检测孔，应计算不同测试深度的地基土的不排水剪切强度、重塑土强度和灵敏度，并绘制地基土的不排水抗剪强度、重塑土强度和灵敏度与深度的关系图表。需要时可绘制不同测试深度的抗剪强度与扭转角度的关系图表。

10.4.7 每个检测孔的不排水抗剪强度、重塑土强度和灵敏度的代表值应取根据不同深度的十字板剪切试验结果的平均值。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。

10.4.8 软土地基的固结情况及加固效果可根据地基土的不排水抗剪强度、灵敏度及其变化进行评价。

10.4.9 初步判定地基土承载力特征值时，可按下式进行估算：

$$f_{ak} = 2c_u + \gamma h \quad (10.4.9)$$

式中： f_{ak} ——地基承载力特征值 (kPa)；

γ ——土的天然重度 (kN/m³)；

h ——基础埋置深度 (m)，当 $h > 3.0\text{m}$ 时，宜根据经验进行折减。

10.4.10 十字板剪切试验应给出每个试验孔（点）主要土层的检测和评价结果。

10.4.11 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 每个检测孔的地基土的不排水抗剪强度、重塑土强度和灵敏度与深度的关系曲线（图表），需要时绘制抗剪强度与扭转角度的关系曲线；

2 根据土层条件和地区经验，对实测的十字板不排水抗剪强度进行修正；

3 同一土层的不排水抗剪强度、重塑土强度和灵敏度的标准值；

4 结合比对试验结果和地区经验所确定的地基承载力、估算土的液性指数、判定软黏性土的固结历史、检验地基加固改良的效果。

11 水泥土钻芯法试验

11.1 一般规定

11.1.1 水泥土钻芯法适用于检测水泥土桩的桩长、桩身强度和均匀性，判定或鉴别桩底持力层岩土性状。

11.1.2 水泥土钻芯法试验数量单位工程不应少于 0.5%，且不应少于 3 根。当桩长大于等于 10m 时，桩身强度抗压芯样试件按每孔不少于 9 个截取，桩体三等分段各取 3 个；当桩长小于 10m 时，桩身强度抗压芯样试件按每孔不少于 6 个截取，桩体二等分段各取 3 个。

11.1.3 水泥土桩取芯时龄期应满足设计的要求。

11.2 仪器设备

11.2.1 钻取芯样宜采用液压操纵的高速工程地质钻机，并配备相应的水泵、孔口管、扩孔器、卡簧、扶正稳定器及可捞取松软渣样的钻具。宜采用双管单动或更有利于提高芯样采取率的钻具。钻杆应顺直，钻杆直径宜为 50mm。

11.2.2 钻取芯样钻机应根据桩身设计强度选用合适的薄壁合金钢钻头或金刚石钻头，钻头外径不宜小于 91mm。

11.2.3 锯切芯样试件用的锯切机应具有冷却系统和夹紧牢固的装置；芯样试件端面的补平器和磨平机应满足芯样制作的要求。

11.3 现场检测

11.3.1 钻机设备安装应稳固、底座水平。钻机立轴中心、天轮中心（天车前沿切点）与孔口中心必须在同一铅垂线上。应确保钻机在钻芯过程中不发生倾斜、移位，钻芯孔垂直度偏差小于 0.5%。

11.3.2 每根受检桩可钻 1 孔，当桩直径或长轴大于 1.2m 时，宜增加钻孔数量。开孔位置宜在桩中心附近处，宜采用较小的钻头压力。钻孔取芯的取芯率不宜低于 85%。对桩底持力层的钻孔深度应满足设计要求，且不小于 2 倍桩身直径。

11.3.3 当桩顶面与钻机底座的高差较大时，应安装孔口管，孔口管应垂直且牢固。

11.3.4 钻进过程中，钻孔内循环水流应根据钻芯情况及时调整。钻进速度宜为 50mm/min~100mm/min，并应根据回水含砂量及颜色调整钻进速度。

11.3.5 提钻卸取芯样时，应采用拧卸钻头和扩孔器方式取芯，严禁敲打卸芯。

11.3.6 每回次进尺宜控制在 1.5m 以内；钻至桩底时，可采用适宜的方法对桩底持力层岩土性状进行鉴别。

11.3.7 芯样从取样器中推出时应平稳，严禁试样受拉、受弯。芯样在运送和保存过程中应避免压、震、晒、冻，并防止试样失水或吸水。

11.3.8 钻取的芯样应由上而下按回次顺序放进芯样箱中，芯样牌上应清晰标明回次数、深度。

11.3.9 及时记录钻进及异常情况，并对芯样质量进行初步描述。应对芯样和标有工程名称、桩号、芯样试件采取位置、桩长、孔深、检测单位名称的标示牌的全貌进行拍照。

11.3.10 钻芯孔应从孔底往上用水泥浆回灌封孔。

11.4 芯样试件抗压强度

11.4.1 试验抗压试件直径不宜小于 70mm，试件的高径比宜为 1:1；抗压芯样应进行密封，避免晾晒。

11.4.2 芯样试件的加工和测量可按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的有关规定执行。芯样试件制作完毕可立即进行抗压强度试验。

11.4.3 试验机宜采用高精度小型压力机，试验机额定最大压力

不宜大于预估压力的 5 倍。

11.4.4 芯样试件抗压强度应按下列公式计算确定：

$$f_{cu} = \frac{4P}{\pi d^2} \quad (11.4.4)$$

式中： f_{cu} ——芯样试件抗压强度 (MPa)，精确至 0.01MPa；

P ——芯样试件抗压试验测得的破坏荷载 (N)；

d ——芯样试件的平均直径 (mm)。

11.5 检测数据分析与判定

11.5.1 桩身芯样试件抗压强度代表值应按一组三块试件强度值的平均值确定。水泥土芯样试件抗压强度代表值应取各段水泥土芯样试件抗压强度代表值中的最小值。

11.5.2 桩身强度应按单位工程检验批进行评价。对单位工程同一条条件下的受检桩，应取桩身芯样试件抗压强度代表值进行统计，并按下列公式分别计算平均强度、标准差和变异系数，并按本规范附录 B 规定计算桩身强度标准值。

$$\bar{q}_{uf} = \frac{\sum_{i=1}^n q_{ufi}}{n} \quad (11.5.2-1)$$

$$\sigma_{uf} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{q}_{uf} - q_{ufi})^2} \quad (11.5.2-2)$$

$$\delta_{uf} = \frac{\sigma_{uf}}{\bar{q}_{uf}} \times 100\% \quad (11.5.2-3)$$

式中： q_{ufi} ——单桩的芯样试件抗压强度代表值 (kPa)；

$\bar{q}_{uf}$ ——检验批水泥土桩的芯样试件抗压强度平均值 (kPa)；

σ_{uf} ——桩身抗压强度代表值的标准差 (kPa)；

δ_{uf} ——桩身抗压强度代表值的变异系数；

n ——受检桩数。

11.5.3 桩底持力层性状应根据芯样特征、动力触探或标准贯入

试验结果等综合判定。

11.5.4 桩身均匀性宜按单桩并根据现场水泥土芯样特征等进行综合评价。桩身均匀性评价标准应按表 11.5.4 规定执行。

表 11.5.4 桩身均匀性评价标准

桩身均匀性描述	芯样特征
均匀性良好	芯样连续、完整，坚硬，搅拌均匀，呈柱状
均匀性一般	芯样基本完整，坚硬，搅拌基本均匀，呈柱状，部分呈块状
均匀性差	芯样胶结一般，呈柱状、块状，局部松散，搅拌不均匀

11.5.5 桩身质量评价应按检验批进行。受检桩桩身强度应按检验批进行评价，桩身强度标准值应满足设计要求。受检桩的桩身均匀性和桩底持力层岩土性状按单桩进行评价，应满足设计的要求。

11.5.6 钻芯孔偏出桩外时，应仅对钻取芯样部分进行评价。

11.5.7 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 钻芯设备及芯样试件的加工试验情况；
- 2 水泥土桩施工日期，取芯日期，抗压试验日期，芯样所在桩身位置及取样率，芯样彩色照片，异常情况说明；
- 3 检测桩数、芯样进尺、持力层进尺、总进尺、芯样尺寸，芯样试件组数；
- 4 地质剖面柱状图和不同标高桩身芯样抗压强度试验结果、重度、水泥用量等；
- 5 受检桩桩身强度、桩身均匀性和桩底持力层岩土性状评价。

12 低应变法试验

12.1 一般规定

12.1.1 低应变法适用于检测有粘结强度、规则截面的桩身强度大于 8MPa 竖向增强体的完整性，判定缺陷的程度及位置。

12.1.2 低应变法试验单位工程检测数量不应少于总桩数的 10%，且不得少于 10 根。

12.1.3 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。

12.1.4 低应变法检测开始时间应在受检竖向增强体强度达到要求后进行。

12.2 仪器设备

12.2.1 低应变法检测仪器的主要技术性能指标应符合现行行业标准《基桩动测仪》JG/T 3055 的有关规定，且应具有信号采集、滤波、放大、显示、储存和处理分析功能。

12.2.2 低应变法激振设备宜根据增强体的类型、长度及检测目的，选择不同大小、长度、质量的力锤、力棒和不同材质的锤头，以获得所需的激振频带和冲击能量。瞬态激振设备应包括能激发宽脉冲和窄脉冲的力锤和锤垫；力锤可装有力传感器。

12.3 现场检测

12.3.1 受检竖向增强体顶部处理的材质、强度、截面尺寸应与增强体主体基本等同；当增强体的侧面与基础的混凝土垫层浇筑成一体时，应断开连接并确保垫层不影响检测结果的情况下方可进行检测。

12.3.2 测试参数设定应符合下列规定：

- 1 增益应结合激振方式通过现场对比试验确定；
- 2 时域信号分析的时间段长度应在 $2L/c$ 时刻后延续不少于 5ms；频域信号分析的频率范围上限不应小于 2000Hz；
- 3 设定长度应为竖向增强体顶部测点至增强体底的施工长度；
- 4 竖向增强体波速可根据当地同类型增强体的测试值初步设定；
- 5 采样时间间隔或采样频率应根据增强体长度、波速和频率分辨率合理选择；
- 6 传感器的灵敏度系数应按计量检定结果设定。

12.3.3 测量传感器安装和激振操作应符合下列规定：

- 1 传感器安装应与增强体顶面垂直；用耦合剂粘结时，应有足够的粘结强度；
- 2 锤击点在增强体顶部中心，传感器安装点与增强体中心的距离宜为增强体半径的 $2/3$ 并不应小于 10cm；
- 3 锤击方向应沿增强体轴线方向；
- 4 瞬态激振应根据增强体长度、强度、缺陷所在位置的深浅，选择合适重量、材质的激振设备，宜用宽脉冲获取增强体的底部或深部缺陷反射信号，宜用窄脉冲获取增强体的上部缺陷反射信号。

12.3.4 信号采集和筛选应符合下列规定：

- 1 应根据竖向增强体直径大小，在其表面均匀布置 2 个~3 个检测点；每个检测点记录的有效信号数不宜少于 3 个；
- 2 检测时应随时检查采集信号的质量，确保实测信号能反映增强体完整性特征；
- 3 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；
- 4 对于同一根检测增强体，不同检测点及多次实测时域信号一致性较差，应分析原因，增加检测点数量。

12.4 检测数据分析与判定

12.4.1 竖向增强体波速平均值的确定应符合下列规定：

1 当竖向增强体长度已知、底部反射信号明确时（图 12.4.1-1、图 12.4.1-2），应在地质条件、设计类型、施工工艺相同的竖向增强体中，选取不少于 5 根完整性为Ⅰ类的竖向增强体按式（12.4.1-2）或按式（12.4.1-3）计算波速值，按式（12.4.1-1）计算其平均值：

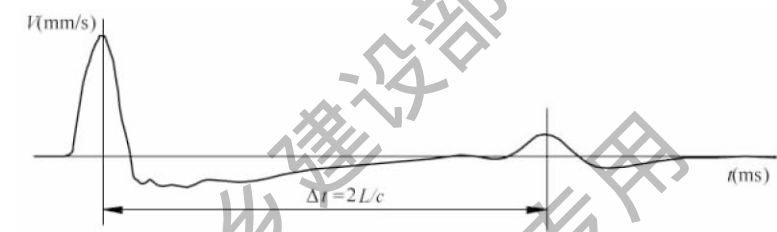


图 12.4.1-1 完整的增强体典型时域信号特征

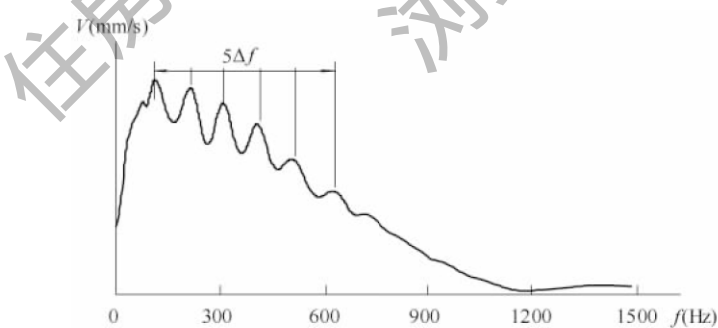


图 12.4.1-2 完整的增强体典型幅频信号特征

$$c_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i \quad (12.4.1-1)$$

$$\text{时域} \quad c_i = \frac{2000L}{\Delta t} \quad (12.4.1-2)$$

$$\text{频域} \quad c_i = 2L \cdot \Delta f \quad (12.4.1-3)$$

式中： c_m ——竖向增强体波速的平均值（m/s）；

c_i ——第 i 根受检竖向增强体的波速值（m/s），且 $|c_i - c_m| / c_m \leq 10\%$ ；

L ——测点下增强体长度（m）；

Δt ——速度波第一峰与竖向增强体底部反射波峰间的时间差（ms）；

Δf ——幅频曲线上竖向增强体底部相邻谐振峰间的频差（Hz）；

n ——参加波速平均值计算的竖向增强体数量（ $n \geq 5$ ）。

2 当无法按 1 款确定时，波速平均值可根据当地相同施工工艺的竖向增强体的其他工程的实测值，结合胶结材料、骨料品种和强度综合确定。

12.4.2 竖向增强体缺陷位置应按式（12.4.2-1）或式（12.4.2-2）计算确定：

$$\text{时域} \quad x = \frac{1}{2000} \cdot \Delta t_x \cdot c \quad (12.4.2-1)$$

$$\text{频域} \quad x = \frac{1}{2} \cdot \frac{c}{\Delta f'} \quad (12.4.2-2)$$

式中： x ——竖向增强体缺陷至传感器安装点的距离（m）；

Δt_x ——速度波第一峰与缺陷反射波峰间的时间差（ms）
（图 12.4.2-1）；

c ——受检竖向增强体的波速（m/s），无法确定时用 c_m 值替代；

$\Delta f'$ ——幅频信号曲线上缺陷相邻谐振峰间的频差（Hz）
（图 12.4.2-2）。

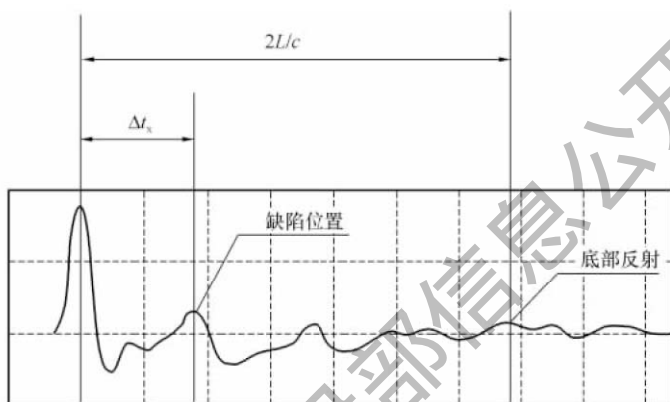


图 12.4.2-1 缺陷位置时域计算示意图

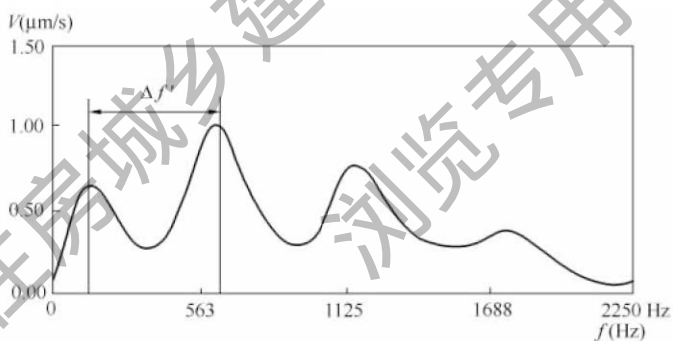


图 12.4.2-2 缺陷位置频域计算示意图

12.4.3 信号处理应符合下列规定：

1 采用加速度传感器时，可选择不小于 2000Hz 的低通滤波对积分后的速度信号进行处理；采用速度传感器时，可选择不小于 1000Hz 的低通滤波对速度信号进行处理；

2 当竖向增强体底部反射信号或深部缺陷反射信号较弱时，可采用指数放大，被放大的信号幅值不应大于入射波幅值的一半，进行指数放大后的波形尾部应基本回零；指数放大的范围宜大于 $2L/c$ 的 $2/3$ ，指数放大倍数宜小于 20；

3 可使用旋转处理功能，使测试波形尾部基本位于零线附近。

12.4.4 竖向增强体完整性分类应符合表 12.4.4 的规定。

表 12.4.4 竖向增强体完整性分类表

增强体完整性类别	分类原则
I 类	增强体结构完整
II 类	增强体结构存在轻微缺陷
III 类	增强体结构存在明显缺陷
IV 类	增强体结构存在严重缺陷

12.4.5 竖向增强体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设计竖向增强体类型、施工工艺、地质条件、施工情况，按本规范表 12.4.4 的分类和表 12.4.5 所列实测时域或幅频信号特征进行综合分析判定。

表 12.4.5 竖向增强体完整性判定信号特征

类别	时域信号特征	幅频信号特征
I	除冲击入射波和增强体底部反射波外，在 $2L/c$ 时刻前，基本无同相反射波发生；允许存在承载力有利的反相反射（扩径）； 增强体底部阻抗与持力层阻抗有差异时，应有底部反射信号	增强体底部谐振峰排列基本等间距，其相邻频差 $\Delta f \approx c/(2L)$
II	$2L/c$ 时刻前出现轻微缺陷反射波； 增强体底部阻抗与持力层阻抗有差异时，应有底部反射信号	增强体底部谐振峰排列基本等间距，其相邻频差 $\Delta f \approx c/(2L)$ ，轻微缺陷产生的谐振峰之间的频差（ $\Delta f'$ ）与增强体底部谐振峰之间的频差（ Δf ）满足 $\Delta f' > \Delta f$
III	有明显同相反射波，其他特征介于 II 类和 IV 类之间	

续表 12.4.5

类别	时域信号特征	幅频信号特征
IV	$2L/c$ 时刻前出现严重同相反射波或周期性反射波，无底部反射波； 或因增强体浅部严重缺陷使波形呈现低频大振幅衰减振动，无底部反射波	缺陷谐振峰排列基本等间距，相邻频差 $\Delta f' > c/(2L)$ ，无增强体底部谐振峰； 或因增强体浅部严重缺陷只出现单一谐振峰，无增强体底部谐振峰

注：对同一场地、地质条件相近、施工工艺相同的增强体，因底部阻抗与持力层阻抗相匹配导致实测信号无底部反射信号时，可按本场地同条件下有底部反射波的其他实测信号判定增强体完整性类别。

12.4.6 低应变法应给出每根受检竖向增强体的完整性情况评价。

12.4.7 出现下列情况之一，竖向增强体完整性宜结合其他检测方法进行判定：

- 1 实测信号复杂，无规律，无法对其进行准确评价；
- 2 增强体截面渐变或多变，且变化幅度较大。

12.4.8 低应变法检测报告应给出增强体完整性检测的实测信号曲线。

12.4.9 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 增强体波速取值；
- 2 增强体完整性描述、缺陷的位置及增强体完整性类别；
- 3 时域信号时段所对应的增强体长度标尺、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、增强体底部或增强体缺陷对应的相邻谐振峰间的频差。

13 扁铲侧胀试验

13.1 一般规定

13.1.1 扁铲侧胀试验适用于判定黏性土、粉土和松散~中密的砂土、预压地基和注浆加固地基的承载力和变形参数,评价液化特性和地基加固前后效果对比。在密实的砂土、杂填土和含砾土层中不宜采用。

13.1.2 对处理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,检测同一土层的试验有效数据不应少于6个。

13.1.3 采用扁铲侧胀试验判定地基承载力和变形参数,应结合单位工程载荷试验比对结果进行。

13.2 仪器设备

13.2.1 扁铲侧胀试验设备应包括扁铲测头、测控箱、率定附件、气-电管路、压力源和贯入设备。应按要求定期检定、校准或率定。

13.2.2 扁铲测头外形尺寸和结构应符合下列规定:

1 长应为230mm~240mm、宽应为94mm~96mm、厚应为14mm~16mm;

2 探头前缘刃角应为 $12^{\circ}\sim 16^{\circ}$;

3 探头侧面钢膜片的直径应为60mm,厚宜为0.2mm。

13.2.3 测控箱与1m长的气-电管路、气压计、校正器等率定附件组成率定装置。气-电管路的直径不宜超过12mm。压力源可采用干燥的空气或氮气。贯入设备可采用静力触探机具或液压钻机。

13.3 现场检测

13.3.1 试验前准备工作应符合下列规定:

1 应先将气-电管路贯穿在静力触探探杆中，或直接用胶带绑在钻杆上；

2 气-电管路贯穿探杆后，一端应与扁铲测头连接；

3 应检查测控箱、压力源设备完好连接，并将气-电管路另一端与测控箱的测头插座连接；

4 应将地线接到测控箱的地线插座上，另一端连接于探杆或压机的机座。

13.3.2 扁铲侧胀试验应符合下列规定：

1 每孔试验前后均应进行探头率定，以试验前后的平均值为修正值；

2 探头率定时膜片的合格标准，率定时膨胀至 0.05mm 的气压实测值 5kPa~25kPa，率定时膨胀至 1.10mm 的气压实测值 10kPa~110kPa；

3 应以静力匀速将探头贯入土中，贯入速率宜为 2cm/s；试验点间距宜取 20cm~50cm；用于判断液化时，试验间距不应大于 20cm；

4 探头达到预定深度后，应匀速加压和减压测定膜片膨胀至 0.05mm、1.10mm 和回到 0.05mm 的压力 A、B、C 值；砂土宜为 30s~60s、黏性土宜为 2min~3min 完成；A 与 B 之和必须大于 ΔA 与 ΔB 之和。

13.3.3 进行扁铲侧胀消散试验时，应在测试的深度进行。测读时间间距可取 1min、2min、4min、8min、15min、30min、90min，以后每 90min 测读一次，直至消散结束。

13.4 检测数据分析与判定

13.4.1 出现下列情况时，应对现场试验数据进行处理：

1 出现零位漂移超过满量程的 $\pm 1\%$ 时，可按线性内插法校正；

2 记录曲线上出现脱节现象时，应将停机前记录与重新开机后贯入 10cm 深度的记录连成圆滑的曲线；

3 记录深度与实际深度的误差超过 $\pm 1\%$ 时,可在出现误差的深度范围内等距离调整。

13.4.2 扁铲侧胀试验成果分析应包括下列内容:

- 1 对试验的实测数据应按下列公式进行膜片刚度修正:

$$P_0 = 1.05(A - Z_m + \Delta A) - 0.05(B - Z_m - \Delta B) \quad (13.4.2-1)$$

$$P_1 = B - Z_m - \Delta B \quad (13.4.2-2)$$

$$P_2 = C - Z_m + \Delta A \quad (13.4.2-3)$$

式中: P_0 ——膜片向土中膨胀之前的接触压力 (kPa);

P_1 ——膜片膨胀至 1.10mm 时的压力 (kPa);

P_2 ——膜片回到 0.05mm 时的终止压力 (kPa);

Z_m ——调零前的压力表初读数 (kPa)。

- 2 应根据 P_0 、 P_1 和 P_2 计算下列指标:

$$E_D = 34.7(P_1 - P_0) \quad (13.4.2-4)$$

$$K_D = (P_0 - u_0) / \sigma_{v0} \quad (13.4.2-5)$$

$$I_D = (P_1 - P_0) / (P_0 - u_0) \quad (13.4.2-6)$$

$$U_D = (P_2 - u_0) / (P_0 - u_0) \quad (13.4.2-7)$$

式中: E_D ——侧胀模量 (kPa);

K_D ——侧胀水平应力指数;

I_D ——侧胀土性指数;

U_D ——侧胀孔压指数;

u_0 ——试验深度处的静水压力 (kPa);

σ_{v0} ——试验深度处土的有效上覆压力 (kPa)。

- 3 绘制 E_D 、 K_D 、 I_D 、 U_D 与深度的关系曲线。

13.4.3 天然地基和人工地基的地基承载力及进行液化判别可根据扁铲侧胀的试验指标和载荷试验的对比试验或地区经验进行判定。

13.4.4 扁铲侧胀试验应给出每个试验孔 (点) 主要土层的检测和评价结果。

13.4.5 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 扁铲侧胀试验 E_D 、 K_D 、 I_D 、 U_D 与深度及土层分类与深度关系曲线；

2 每个检测孔的扁铲模量、水平应力指数代表值；

3 同一土层或同一深度范围的扁铲模量、水平应力指数标准值；

4 岩土性状分析或地基处理效果评价。

14 多道瞬态面波试验

14.1 一般规定

14.1.1 多道瞬态面波试验适用于天然地基及换填、预压、压实、夯实、挤密、注浆等方法处理的人工地基的波速测试。通过测试获得地基的瑞利波速度和反演剪切波速，评价地基均匀性，判定砂土地基液化，提供动弹性模量等动力参数。

14.1.2 多道瞬态面波试验宜与钻探、动力触探等测试方法密切配合，正确使用。

14.1.3 采用多道瞬态面波试验判定地基承载力和变形参数时，应结合单位工程地质资料和载荷试验比对结果进行。

14.1.4 当采用多种方法进行场地综合判断时，宜先进行瑞利波试验，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。

14.1.5 现场测试前应制定满足测试目的和精度要求的采集方案，以及拟采用的采集参数、激振方式、测点和测线布置图及数据处理方法等。测试应避开各种干扰震源，先进行场地及其邻近的干扰震源调查。

14.2 仪器设备

14.2.1 多道瞬态面波试验主要仪器设备应包括振源、检波器、放大器与记录系统、处理软件等。

14.2.2 振源可采用 18 磅大锤、重 60kg~120kg 和落距 1.8m 的砂袋或落重等激振方式，并应保证面波测试所需的频率及激振能量。

14.2.3 检波器及安装应符合下列规定：

- 1 应采用垂直方向的速度型检波器；

2 检波器的固有频率应满足采集最大面波周期（相应于测试深度）的需要，宜采用频率不大于 4.0Hz 的低频检波器；

3 同一排列检波器之间的固有频率差应小于 0.1Hz，灵敏度和阻尼系数差别不应大于 10%；

4 检波器按竖直方向安插，应与地面接触紧密。

14.2.4 放大器与记录系统应符合下列规定：

1 仪器放大器的通道数不应少于 12 通道；采用的通道数应满足不同面波模态采集的要求；

2 带通 0.4Hz ~ 4000Hz；示值（或幅值）误差不大于 $\pm 5\%$ ；通道一致性误差不大于所用采样时间间隔的一半；

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

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

14.2.5 采集与记录系统处理软件应具备下列功能：

1 具有采集、存储数字信号和对数字信号处理的智能化功能；

2 采集参数的检查与改正、采集文件的组合拼接、成批显示及记录中分辨坏道和处理等功能；

3 识别和剔除干扰波功能；

4 对波速处理成图的文件格式和成图功能，并应为通用计算机平台所调用的功能；

5 分频滤波和检查各分频率有效波的发育及信噪比的功能；

6 分辨识别及利用基态面波成分的功能，反演地层剪切波速和层厚的功能。

14.3 现场检测

14.3.1 有效检测深度不超过 20m 时宜采用大锤激振，不超过 30m 时宜采用砂袋和落重激振。

14.3.2 现场检测时，仪器主机设备等应有防风沙、防雨雪、防晒和防摔等保护措施。

14.3.3 多道瞬态面波测试记录通道应为 12 道或 24 道，道间距宜为 1.0m~3.0m，偏移距根据现场试验确定；宜在排列延长线方向，距排列首端或末端检波器 1.0m~5.0m 处激发，具体参数由现场试验确定。

14.3.4 多通道记录系统测试前应进行频响与幅度的一致性检查，在测试需要的频率范围内各通道应符合一致性要求。

14.3.5 在地表介质松软或风力较大条件下时，检波器应挖坑埋置；在地表有植被或潮湿条件时，应防止漏电。检波器周围的杂草等易引起检波器微动之物应清除；检波器排列布置应符合下列规定：

1 应采用线性等道间距排列方式，震源应在检波器排列以外延长线上激发；

2 道间距应小于最小测试深度所需波长的 $1/2$ ；

3 检波器排列长度应大于预期面波最大波长的一半，且大于最大检测深度；

4 偏移距的大小，应根据任务要求通过现场试验确定。

14.3.6 对大面积地基处理采用普测时，测点间距可按半排列或全排列长度确定，一般为 12m~24m。

14.3.7 波速测试点的位置、数量、测试深度等应根据地基处理方法和设计要求确定。遇地层情况变化时，应及时调整观测参数。重要异常或发现畸变曲线时应重复观测。

14.4 检测数据分析与判定

14.4.1 面波数据资料预处理时，应检查现场采集参数的输入正确性和采集记录的质量。采用具有提取频散曲线功能的软件，获取测试点的面波频散曲线。

14.4.2 频散曲线的分层，应根据曲线的曲率和频散点的疏密变化综合分析；分层完成后，可反演计算剪切波层速度和层厚。

14.4.3 根据实测瑞利波波速和动泊松比,可按下列公式计算剪切波波速:

$$V_s = V_R / \eta_s \quad (14.4.3-1)$$

$$\eta_s = (0.87 - 1.12\mu_d) / (1 + \mu_d) \quad (14.4.3-2)$$

式中: V_s ——剪切波速度 (m/s);

V_R ——面波速度 (m/s);

η_s ——与泊松比有关的系数;

μ_d ——动泊松比。

14.4.4 对于大面积普测场地,对剪切波速可以等厚度计算等效剪切波速,并应绘制剪切波速等值图,分层等效剪切波速可按下列公式计算:

$$V_{se} = d_0 / t \quad (14.4.4-1)$$

$$t = \sum_{i=1}^n (d_i / V_{si}) \quad (14.4.4-2)$$

式中: V_{se} ——土层等效剪切波速 (m/s);

d_0 ——计算深度 (m),一般取 2m~4m;

t ——剪切波在计算深度范围内的传播时间 (s);

d_i ——计算深度范围内第 i 层土的厚度 (m);

V_{si} ——计算深度范围内第 i 层土剪切波速 (m/s);

n ——计算深度范围内土层的分层数。

14.4.5 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。

14.4.6 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。

14.4.7 瑞利波波速与承载力特征值和变形模量的对应关系应通过现场试验比对和地区经验积累确定;初步判定碎石土地基承载力特征值和变形模量,可按表 14.4.7 估算。

**表 14.4.7 瑞利波波速与碎石土地基承载力
特征值和变形模量的对应关系**

V_R (m/s)	100	150	200	250	300
f_{ak} (kPa)	110	150	200	240	280
E_0 (MPa)	5	10	20	30	45

注：表中数据可内插求得。

14.4.8 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。

14.4.9 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 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；有地质钻探资料时，应绘制波速分层与工程地质柱状对比图；

3 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；

4 结合钻探、静载试验、动力触探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。

附录 A 原始记录图表格式

A.0.1 标准贯入试验记录表应符合表 A.0.1 的规定。

A.0.1 标准贯入试验记录表

合同编号 _____ 第 _____ 页 共 _____ 页
 工程名称 _____ 地基类型 _____
 钻孔编号 _____ 钻孔标高 _____
 试验日期 _____ 地下水位 _____
 仪器设备编号 _____ 标定时间 _____

序号	试验深度 (m)	贯入度 Δ (cm)			对应于 Δ_i 的击数 N_i			实测 击数 N	修正 击数 N'	探杆 长度 (m)	土层定 名及 描述	备 注
		Δ_1	Δ_2	Δ_3	N_1	N_2	N_3	(击/30cm)				
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												

项目负责人：

校对：

检测：

A.0.2 动力触探试验记录表应符合表 A.0.2 的规定。

A.0.2 动力触探记录表

合同编号 _____ 第 _____ 页 共 _____ 页
 工程名称 _____ 地基类型 _____
 钻孔编号 _____ 钻孔标高 _____
 试验日期 _____ 地下水位 _____
 仪器设备编号 _____ 标定时间 _____

探杆总长 (m)	试验深度 (m)	贯入度 (cm)	锤击数 n (击)	$N_{10}=n\times 30/\Delta s$ (击/10cm)	土层定名 及描述	备注	
探杆 总长 (m)	试验 深度 (m)	贯入 度 (cm)	锤击 数 n (击)	$N'_{63.5}=n\times 10/\Delta s$ (击/10cm)	修正后击数 $N_{63.5}=\alpha \cdot N'_{63.5}$ (击/10cm)	土层定 名及 描述	备注
探杆 总长 (m)	试验 深度 (m)	贯入 度 (cm)	锤击 数 n (击)	$N'_{120}=n\times 10/\Delta s$ (击/10cm)	修正后击数 $N_{120}=\alpha \cdot N'_{120}$ (击/10cm)	土层定 名及 描述	备注

项目负责人：

校对：

检测：

A.0.3 静力触探试验记录表及成果图应符合表 A.0.3-1~表 A.0.3-4 的规定。

表 A.0.3-1 探头标定记录表

探头号	标定内容	工作面积 A (cm ²)	电缆规格	电缆长 (m)	应变计灵敏度	仪器号	仪器型号	率定系数	率定桥压 (V)	仪表示值	标定系数 ξ	质量评定			
N	各级荷载 P_i (kN)	仪表读数			卸荷			读数平均			运算	偏差值			
		加荷						加荷 x_i^+	卸荷 x_i^-	加卸荷 $\bar{x}_i$		重复性 Δx_i^+	非线性 $\bar{x}_i - x_i^-$	非线性 $\bar{x}_i - x_i^+$	滞后 $x_i^+ - x_i^-$
0															
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															
		$\xi = \Sigma(\bar{x}_i P_i) / A \Sigma(\bar{x}_i)^2 =$			$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \Sigma(x_{\max}^{\pm} - \bar{x}_i)^2}$			Σ							
		$\delta_e = (\Delta x_{10}^+)_{\max} / FS =$			起始感量 $Y_0 = \xi \Delta x$			评定意见： 其他说明：							
		$\delta_1 = x_1^+ - \bar{x}_1 _{\max} / FS =$													
		$\delta_5 = x_5^+ - \bar{x}_5 _{\max} / FS =$													
		$\delta_0 = x_0 / FS =$													

率定：

计算：

复核者：

率定日期：

表 A.0.3-2 静力触探记录表

合同编号_____第____页 共____页
 工程名称_____地基类型_____
 钻孔编号_____钻孔标高_____
 试验日期_____地下水位_____
 仪器类型及编号_____率定系数_____
 探头类型及编号_____标定时间_____

深度 (m)	读数	校正后 读数	阻力 (kPa)	初读数 及备注	深度 (m)	读数	校正后 读数	阻力 (kPa)	初读数 及备注

项目负责人：

校对：

检测：

表 A.0.3-3 单桥静力触探测试成果图

编号_____编制_____
 位置_____复核_____
 高程_____日期_____

层序	层底深度 d (m)	层面高程 (m)	土名	$\frac{p_s}{E_0}$ (MPa)	$\frac{\sigma_0}{c_u}$ (kPa)	备注

0

P_s (MPa)

d (m)

表 A.0.3-4 双桥静力触探测试成果图

编号_____

编制_____

位置_____

复核_____

高程_____

日期_____

层序	层底深度 d (m)	层面高程 (m)	土名	端阻 q_c (kPa)	侧阻 f_s (kPa)	摩阻比 R_f	总锥尖 阻力 q_T (MPa)	备注

0 f_s (kPa), q_c (kPa), q_T (MPa)

0 R_f (%)

d (m)

A.0.4 十字板剪切试验记录表及成果图应符合表 A.0.4-1、表 A.0.4-2 的规定。

表 A.0.4-1 十字板剪切试验记录表

工程名称		仪器型号		原状土强度 s_u		(kPa)					
试验地点		传感器(钢环)号		重塑土强度 s'_u		(kPa)					
试验深度(d)		(m)		率定系数 ξ		灵敏度 $s_t = s_u/s'_u$					
孔口高程		(m)		板头规格、类型		残余强度 s_{rt}					
试验日期				地下水位		(m)					
原状土剪切						重塑土剪切					
序数 j	转角修正量 $\Delta\theta$	修正后转角 θ	仪表读数 ϵ	修正后读数 (ϵ)	剪应力 τ (kPa)	序数 j	转角修正量 $\Delta\theta$	修正后转角 θ	仪表读数 ϵ'	修正后读数 (ϵ')	剪应力 τ (kPa)
仪器初读数						$\tau_j = K\xi(\epsilon_j - \epsilon_0) =$					
读数计量单位						$\tau'_j = K\xi(\epsilon'_j - \epsilon'_0) =$					
轴杆摩擦读数						算式					
						原状					
						强度 $s_u = (\tau_j)_{\max} = s'_u = (\tau'_j)_{\max} = s_{ur} = (\tau_j)_{\min} =$					
						转角修正量 $\Delta\theta_j = \frac{7.2 \times 10^{-5} L(M_1) j}{\pi^2 (d_1^4 - d_2^4)}$; 修正后转角 $\theta_j = j^\circ - \Delta\theta_j$					

试验:

校对:

项目负责:

0.5-2 的规定。

表 A.0.5-1 扁铲侧胀试验记录表

工程名称_____	试验者_____
测点编号_____	记录者_____
测点标高_____	测头号_____
压入方式_____	试验日期_____

试验深度 (m)	测试压力 (bar)		
	A	B	C

0.5-2 的规定。

表 A.0.5-1 扁铲侧胀试验记录表

工程名称_____	试验者_____
测点编号_____	记录者_____
测点标高_____	测头号_____
压入方式_____	试验日期_____

试验深度 (m)	测试压力 (bar)		
	A	B	C

试验者

记录者

测头号

试验日期

0.5-2 的规定。

表 A.0.5-1 扁铲侧胀试验记录表

工程名称_____	试验者_____
测点编号_____	记录者_____
测点标高_____	测头号_____
压入方式_____	试验日期_____

试验深度 (m)	测试压力 (bar)		
	A	B	C

检测:

表 A.0.5-2 扁铲侧胀试验成果图

孔深	土层名称	标高	层底深度 (m)	层底标高 (m)	水位埋深	初始压力 P_0 (kPa)	膨胀压力 (kPa)	测头号	ΔP (kPa)	率定值 Z_a	率定值 Z_b	水平应力指数 K_D	零读数 Z_m	P_0 、 P_1 、 $\Delta P \sim H$ 曲线	试验日期	
	土层编号		层底深度 (m)	层底标高 (m)	厚度 (m)		膨胀压力 (kPa)			土类指数 I_D	侧胀模量 E_D (MPa)		深度 (m)		I_D 、 $U_D \sim H$ 曲线	E_D 、 $K_D \sim H$ 曲线

附录 B 地基土试验数据统计计算方法

B.0.1 本附录方法适用于天然土地基和处理后地基的标准贯入、动力触探、静力触探等原位试验数据的标准值计算。

B.0.2 标准贯入、动力触探、静力触探等原位试验数据的标准值,应根据各检测点的试验结果,按单位工程进行统计计算。当试验结果需要进行深度修正时,应先进行深度修正。

B.0.3 原位试验数据的平均值、标准差和变异系数应按下列公式计算:

$$\phi_m = \frac{\sum_{i=1}^n \phi_i}{n} \quad (\text{B.0.3-1})$$

$$\sigma_f = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n \phi_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n \phi_i)^2}{n} \right]} \quad (\text{B.0.3-2})$$

$$\delta = \frac{\sigma_f}{\phi_m} \quad (\text{B.0.3-3})$$

式中: ϕ_i ——原位试验数据的试验值或试验修正值;当同一检测孔的同一分类土层中有多个检测点时,取其平均值;当难以按深度划分土层时,可根据原位试验结果沿深度的分布趋势自上而下划分(3~5)个深度范围进行统计;

ϕ_m ——原位试验数据的平均值;

σ_f ——原位试验数据的标准差;

δ ——原位试验数据的变异系数;

n ——参与统计的个数。

B.0.4 单位工程同一土层或同一深度范围的原位试验数据的标

准值应按下列方法确定：

$$\phi_k = \gamma_s \phi_m \quad (\text{B.0.4-1})$$

$$\gamma_s = 1 - \left\{ \frac{1.704}{\sqrt{n}} + \frac{4.678}{n^2} \right\} \delta \quad (\text{B.0.4-2})$$

式中： ϕ_k ——原位试验数据的标准值；

γ_s ——统计修正系数。

附录 C 圆锥动力触探锤击数修正

C.0.1 当采用重型圆锥动力触探推定地基土承载力或评价地基土密实时，锤击数应按式修正：

$$N_{63.5} = \alpha_1 N'_{63.5} \quad (\text{C.0.1})$$

式中： $N_{63.5}$ ——经修正后的重型圆锥动力触探锤击数；

$N'_{63.5}$ ——实测重型圆锥动力触探锤击数；

α_1 ——修正系数，按表 C.0.1 取值。

表 C.0.1 重型触探试验的杆长修正系数 α_1

α_1 杆长 (m)	$N'_{63.5}$ 5	10	15	20	25	30	35	40	≥ 50
≤ 2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
4	0.96	0.95	0.93	0.92	0.90	0.89	0.87	0.86	0.84
6	0.93	0.90	0.88	0.85	0.83	0.81	0.79	0.78	0.75
8	0.90	0.86	0.83	0.80	0.77	0.75	0.73	0.71	0.67
10	0.88	0.83	0.79	0.75	0.72	0.69	0.67	0.64	0.61
12	0.85	0.79	0.75	0.70	0.67	0.64	0.61	0.59	0.55
14	0.82	0.76	0.71	0.66	0.62	0.58	0.56	0.53	0.50
16	0.79	0.73	0.67	0.62	0.57	0.54	0.51	0.48	0.45
18	0.77	0.70	0.63	0.57	0.53	0.49	0.46	0.43	0.40
20	0.75	0.67	0.59	0.53	0.48	0.44	0.41	0.39	0.36

C.0.2 当采用超重型圆锥动力触探评价碎石土（桩）密实时，锤击数应按式修正：

$$N_{120} = \alpha_2 N'_{120} \quad (\text{C.0.2})$$

式中： N_{120} ——经修正后的超重型圆锥动力触探锤击数；

N'_{120} ——实测超重型圆锥动力触探锤击数；

α_2 ——修正系数，按表 C.0.2 取值。

表 C.0.2 超重型触探试验的杆长修正系数 α_2

α_2 杆长(m)	N'_{120} 1	3	5	7	9	10	15	20	25	30	35	40
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	0.96	0.92	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	0.89	0.89	0.88	0.88	0.88
3	0.94	0.88	0.86	0.85	0.84	0.84	0.84	0.83	0.82	0.82	0.81	0.81
5	0.92	0.82	0.79	0.78	0.77	0.76	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.72
7	0.90	0.78	0.75	0.74	0.73	0.71	0.71	0.70	0.68	0.68	0.67	0.66
9	0.88	0.75	0.72	0.70	0.69	0.67	0.67	0.66	0.64	0.63	0.62	0.62
11	0.87	0.73	0.69	0.67	0.66	0.64	0.64	0.62	0.61	0.60	0.59	0.58
13	0.86	0.71	0.67	0.65	0.64	0.61	0.61	0.60	0.58	0.57	0.56	0.55
15	0.86	0.69	0.65	0.63	0.62	0.59	0.59	0.58	0.56	0.55	0.54	0.53
17	0.85	0.68	0.63	0.61	0.60	0.57	0.57	0.56	0.54	0.53	0.52	0.50
19	0.84	0.66	0.62	0.60	0.58	0.56	0.56	0.54	0.52	0.51	0.50	0.48

附录 D 静力触探头率定

D.0.1 探头率定可在特制的率定装置上进行,探头率(标)定设备应符合下列规定:

1 探头率定用的测力(压)计或力传感器,其公称量程不宜大于探头额定荷载的两倍,精度不应低于Ⅲ级;

2 探头率定达满量程时,率定架各部杆件应稳定;

3 率定装置对力的传递误差应小于0.5%。

D.0.2 率定前的准备工作应符合下列规定:

1 连接触探头和记录仪并统调平衡,当确认正常后,方可正式进行率定工作;

2 当采用电阻应变仪时,应将仪器的灵敏系数调至与触探头中传感器所贴的电阻应变片的灵敏系数相同;

3 触探头应垂直稳固旋转在率定架上,率定架的压力作用线应与被率定的探头同轴,并应不使电缆线受压;

4 对于新的触探头应反复预压到额定载荷,反复次数宜为3次~5次,以减少传感元件由于加工引起的残余应力。

D.0.3 触探头的率定可分为固定桥压法和固定系数法两种,其率定方法和资料整理应符合下列规定:

1 当采用固定桥压法时,可按下列要求执行:

1) 选定量测仪器的供桥电压,电阻应变仪的桥压应是固定的;

2) 逐级加荷,一般每级为最大贯入力的1/10;

3) 每级加荷均应标明输出电压值或测记相应的应变值;

4) 每次率定,加卸荷不得少于3遍,同时对顶柱式传感器还应转动顶柱至不同角度,观察载荷作用下读数的变化,其测定误差应小于1%FS;

- 5) 计算每一级荷载下输出电压（或应变量）的平均值，绘制以荷载为纵坐标，输出电压值（或变量值）为横坐标的率定曲线，其线性误差应符合本规范第 9.2.6 条的规定；
- 6) 按式 (D. 0. 3-1) 计算触探头的率定系数：

$$K = \frac{P}{A\epsilon} \text{ 或 } K = \frac{P}{AU_p} \quad (\text{D. 0. 3-1})$$

式中：K —— 触探头的率定系数 (MPa/ $\mu\epsilon$ 或 MPa/mV)；

P —— 率定时所加的总压力 (N)；

A —— 触探头截面积或摩擦筒面积 (mm^2)；

ϵ —— P 所对应的应变量 ($\mu\epsilon$)；

U_p —— P 所对应的输出电压 (mV)。

- 2 当采用固定系数法时，可按下列要求执行：

- 1) 指定一个标定系数 K，当输出电压每 mV 或画线长每 cm 表示贯入阻力 1MPa、2MPa、4MPa，按式 (D. 0. 3-2) 计算出输出电压为满量程时，所需加的总荷载：

$$P = KAl \quad (\text{D. 0. 3-2})$$

式中：P —— 总荷载 (N)；

A —— 探头截面积或摩擦筒面积 (mm^2)；

l —— 满量程的输出电压值 (mV) 或记录纸带的宽度 (cm)。

- 2) 输入一个假设的供桥电压 U，并施加荷载为 P/2，记录笔指针未达满量程的一半处，则调整供桥电压，使其指针指于满量程的一半处。然后卸荷，指针应回到零位。如不归零则调指针归零。如此反复加卸荷，使记录笔指针从零位往返至满量程的一半处。
- 3) 在调整后的供桥电压下，按 P/10 逐级加荷至满量程，分级卸荷使记录笔返回零点。
- 4) 按上述步骤，其测试误差应符合本规范第 9.2.6 条的规定，调整后的供桥电压即为率定的供桥电压值。

本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，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”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 1 《建筑抗震设计规范》GB 50011
- 2 《土工试验方法标准》GB/T 50123
- 3 《建筑地基处理技术规范》JGJ 79
- 4 《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106
- 5 《基桩动测仪》JG/T 3055