

广东省标准

**GD**

DBJ15—60-2008

备案号 Jxxxx—201x

# **建筑地基基础检测规范**

**Code for Testing of Building Foundation**

(征求意见稿)

建筑地基基础检测规范编制组

**2017.3**

## 前 言

根据广东省住房和城乡建设厅关于发布《2012年广东省工程建设标准制订和修订计划》的通知粤建科函〔2012〕797号文的要求，广东省建筑科学研究院集团有限公司会同有关单位经过广泛调查研究，认真总结建筑地基基础检测的实践经验和科研成果，收集分析了《建筑地基基础检测规范》DBJ15-60-2008实施以来的意见和建议，参考有关国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，修订了《建筑地基基础检测规范》DBJ15-60-2008。

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. 标准贯入试验；5. 圆锥动力触探试验；6. 静力触探试验；7. 十字板剪切试验；8. 平板载荷试验；9. 岩石地基载荷试验；10. 低应变法；11. 高应变法；12. 声波透射法；13. 钻芯法；14. 单桩竖向抗压静载试验；15. 单桩竖向抗拔静载试验；16. 单桩水平静载试验；17. 支护锚杆和土钉抗拔验收试验；18. 基础锚杆抗拔试验；19. 锚杆锁定力测试；20. 沉降观测；21. 灌注桩成孔与地下连续墙成槽质量检测。

本规范修订的主要技术内容是：1. 基本规定根据现行国家标准作了相应的补充和协调；2. 平板载荷试验增加了地基系数试验、地基二次变形模量试验、地基动态变形模量试验等内容；3. 增加了岩石地基载荷试验；4. 声波透射法中增加声波层析成像法；5. 钻芯法增加了预埋管钻芯法，并完善了岩石地基钻芯法、复合地基竖向增强体和水泥土墙钻芯法；6. 增加了孔内摄像法；7. 修改了水平静载试验要求以及水平承载力特征值的判定方法；8. 补充完善了支护锚杆和土钉抗拔验收试验的相关条款；9. 增加了荷载分散型锚杆抗拔试验；10. 增加了锚杆锁定力测试；11. 增加了灌注桩成孔与地下连续墙成槽质量检测。

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。

本规范由广东省住房和城乡建设厅负责管理和对强制性条文的解释，由广东省建筑科学研究院集团有限公司负责具体技术内容的解释。在执行过程中，请各单位结合工程实践，认真总结经验，并将意见和建议寄送广州市先烈东路121号广东省建筑科学研究院集团有限公司（邮编：510500，传真：02087256379，Email：xtp@163.net）。

本规范主编单位：

本规范参编单位：

本规范主要起草人员：

本规范主要审查人员：

# 目 次

1	总则.....	1
2	术语和符号.....	2
2.1	术语.....	2
2.2	符号.....	6
3	基本规定.....	10
3.1	一般规定.....	10
3.2	地基检测.....	15
3.3	基桩及基础锚杆检测.....	17
3.4	支护工程检测.....	21
3.5	基础检测和沉降观测.....	22
3.6	验证检测与扩大检测.....	22
3.7	检测结果评价和检测报告.....	24
4	标准贯入试验.....	26
4.1	一般规定.....	26
4.2	设备.....	26
4.3	现场检测.....	27
4.4	检测数据分析与判定.....	27
5	圆锥动力触探试验.....	32
5.1	一般规定.....	32
5.2	设备.....	32
5.3	现场检测.....	33
5.4	检测数据分析与判定.....	33
6	静力触探试验.....	37
6.1	一般规定.....	37
6.2	仪器设备.....	37
6.3	现场检测.....	38
6.4	检测数据分析与判定.....	39
7	十字板剪切试验.....	42
7.1	一般规定.....	42
7.2	仪器设备.....	42
7.3	现场检测.....	43

7.4	检测数据分析与判定.....	45
<b>8</b>	<b>平板载荷试验 .....</b>	<b>47</b>
8.1	一般规定 .....	47
8.2	仪器设备及其安装.....	47
8.3	现场检测 .....	49
8.4	检测数据分析与判定.....	51
<b>9</b>	<b>岩石地基载荷试验 .....</b>	<b>54</b>
9.1	一般规定 .....	54
9.2	仪器设备及其安装.....	54
9.3	现场检测 .....	55
9.4	检测数据分析与判定.....	56
<b>10</b>	<b>低应变法 .....</b>	<b>58</b>
10.1	一般规定 .....	58
10.2	仪器设备 .....	58
10.3	现场检测 .....	58
10.4	检测数据分析与判定.....	60
<b>11</b>	<b>高应变法 .....</b>	<b>66</b>
11.1	一般规定 .....	66
11.2	仪器设备.....	66
11.3	现场检测.....	67
11.4	检测数据分析与判定.....	68
<b>12</b>	<b>声波透射法 .....</b>	<b>74</b>
12.1	一般规定 .....	74
12.2	仪器设备 .....	74
12.3	声测管埋设 .....	75
12.4	现场检测 .....	76
12.5	检测数据分析与判定.....	79
<b>13</b>	<b>钻芯法 .....</b>	<b>89</b>
13.1	一般规定 .....	89
13.2	设备 .....	89
13.3	现场操作 .....	90
13.4	芯样试件截取与加工.....	93
13.5	芯样试件抗压强度试验.....	94

13.6	检测数据分析与判定.....	95
(I)	基桩 .....	95
(II)	地下连续墙 .....	98
(III)	水泥搅拌桩与高压旋喷桩.....	98
(IV)	水泥土墙 .....	100
(V)	岩石地基 .....	100
14	<b>单桩竖向抗压静载试验 .....</b>	<b>102</b>
14.1	一般规定 .....	102
14.2	仪器设备及其安装.....	102
14.3	现场检测 .....	104
14.4	检测数据分析与判定.....	106
15	<b>单桩竖向抗拔静载试验 .....</b>	<b>108</b>
15.1	一般规定 .....	108
15.2	仪器设备及其安装.....	108
15.3	现场检测 .....	109
15.4	检测数据分析与判定.....	110
16	<b>单桩水平静载试验 .....</b>	<b>112</b>
16.1	一般规定 .....	112
16.2	仪器设备及其安装.....	112
16.3	现场检测 .....	113
16.4	检测数据分析与判定.....	113
17	<b>支护锚杆和土钉验收试验 .....</b>	<b>116</b>
17.1	一般规定 .....	116
17.2	仪器设备及其安装.....	116
17.3	现场检测 .....	120
17.4	检测数据分析与判定.....	123
18	<b>基础锚杆抗拔试验 .....</b>	<b>126</b>
18.1	一般规定 .....	126
18.2	仪器设备及其安装.....	126
18.3	现场检测 .....	127
18.4	检测数据分析与判定.....	128
19	<b>锚杆锁定力测试 .....</b>	<b>129</b>
19.1	一般规定 .....	129

19.2	仪器设备及其安装.....	129
19.3	现场操作 .....	131
19.4	测试数据分析与判定.....	132
20	沉降观测 .....	134
20.1	一般规定 .....	134
20.2	观测等级及仪器设备.....	134
20.3	水准基点和观测点设置.....	136
20.4	现场观测 .....	138
20.5	数据分析与评价.....	139
21	灌注桩成孔与地下连续墙成槽质量检测 .....	141
21.1	一般规定 .....	141
21.2	仪器设备 .....	141
21.3	现场操作 .....	142
21.4	检测数据分析与判定.....	143
附录 A	建筑地基基础检测记录表格 .....	145
附录 B	地基土试验数据统计计算方法 .....	155
附录 C	圆锥动力触探试验锤击数修正 .....	157
附录 D	静力触探头率定.....	159
附录 E	地基系数与二次变形模量试验 .....	162
附录 F	地基动态变形模量试验 .....	166
附录 G	混凝土桩桩头处理.....	169
附录 H	高应变法传感器安装.....	170
附录 J	高应变法试打桩与打桩监控 .....	172
附录 K	孔内摄像法.....	174
附录 L	芯样试件加工和测量.....	177
附录 M	补偿荷载整体张拉方法 .....	178
	本规范用词说明 .....	181
	引用标准名录 .....	182
附：	条文说明 .....	183

# Contents

1	General Provisions.....	1
2	Terms and Symbols.....	2
2.1	Terms.....	2
2.2	Symbols.....	6
3	Basic Requirements.....	10
3.1	General.....	10
3.2	Foundation soils.....	15
3.3	Foundation pile and anchor.....	17
3.4	Retaining engineerings.....	21
3.5	Foundation testing and settlement monitoring .....	22
3.6	Verification and extended tests .....	22
3.7	Test results assessment and report.....	24
4	Standard Penetration Test .....	26
4.1	General requirements.....	26
4.2	Equipments .....	26
4.3	Field test.....	27
4.4	Test data interpretation .....	27
5	Dynamic Penetration Test .....	32
5.1	General requirements.....	32
5.2	Equipments .....	32
5.3	Field test.....	33
5.4	Test data interpretation .....	33
6	Cone Penetration Test.....	37
6.1	General requirements.....	37
6.2	Equipments.....	37
6.3	Field test.....	38
6.4	Test data interpretation .....	39
7	Vane Shear Test.....	42
7.1	General requirements.....	42
7.2	Equipments .....	42
7.3	Field test.....	43

7.4	Test data interpretation .....	45
8	Plate Loading Test.....	47
8.1	General requirements.....	47
8.2	Equipments and installation.....	47
8.3	Field test.....	49
8.4	Test data interpretation .....	51
9	Loading Test of Batholith.....	54
9.1	General requirements.....	54
9.2	Equipments and installation.....	54
9.3	Field test.....	55
9.4	Test data interpretation .....	56
10	Low-strain Integrity Test .....	58
10.1	General requirements .....	58
10.2	Equipments .....	58
10.3	Field test .....	58
10.4	Test data interpretation .....	60
11	High-strain Dynamic Test.....	66
11.1	General requirements.....	66
11.2	Equipments .....	66
11.3	Field test .....	67
11.4	Test data interpretation .....	68
12	Cross-hole Sonic Logging .....	75
12.1	General requirements.....	75
12.2	Equipments.....	75
12.3	Installation of access tubes .....	76
12.4	Field test.....	77
12.5	Test data interpretation .....	79
13	Core Drilling Method .....	89
13.1	General requirements.....	89
13.2	Equipments .....	89
13.3	Field test .....	90
13.4	Interception and processing of core sample.....	93
13.5	Compressive strength testing of core specimen .....	94



13.6	Test data interpretation.....	95
( I )	Foundation pile.....	95
( II )	Diaphragm wall.....	98
( III )	Cement deep mixed columns & jet grouting columns.....	98
( IV )	Soil cement wall.....	100
( V )	Batholith.....	100
14	Vertical Compressive Static Load Test on Single Pile .....	102
14.1	General requirements .....	102
14.2	Equipments and installation.....	102
14.3	Field test .....	104
14.4	Test data interpretation .....	106
15	Vertical Uplift Static Load Test on Single Pile .....	108
15.1	General requirements.....	108
15.2	Equipments and installation.....	108
15.3	Field test .....	109
15.4	Test data interpretation .....	110
16	Lateral Static Load Test on Single Pile .....	112
16.1	General requirements .....	112
16.2	Equipments and installation .....	112
16.3	Field test .....	113
16.4	Test data interpretation .....	113
17	Acceptance Test of Anchor and Soil Nailing.....	116
17.1	General.....	116
17.2	Equipments and installation .....	116
17.3	Field operations.....	120
17.4	Test data analysis and evaluation.....	123
18	Pulling Test of Foundation Anchor.....	126
18.1	General.....	126
18.2	Equipments and installation .....	126
18.3	Field Operations.....	127
18.4	Test data analysis and evaluation.....	128
19	Lock-off Load Test of Anchor.....	129
19.1	General.....	129

19.2	Equipments and installation .....	129
19.3	Field operations.....	131
19.4	Test data analysis and evaluation.....	132
20	Foundation Settlement Monitoring.....	134
20.1	General.....	134
20.2	Monitoring grade and equipments .....	134
20.3	Layout for datum mark (benchmark) and measuring point .....	136
20.4	Field operations.....	138
20.5	Test data analysis and evaluation.....	139
21	Quality Test for Pile drilling Hole & Diaphragm Wall Trenching.....	141
21.1	General.....	141
21.2	Equipments and installation .....	141
21.3	Field operations.....	142
21.4	Test data analysis and evaluation.....	143
Appendix A	Test Record Table of Building Foundation.....	145
Appendix B	Statistical Calculating Method of Data Obtained from Foundation Soils Experiments.....	155
Appendix C	Modification Coefficient of Cone Penetrating Number .....	157
Appendix D	Calibration Coefficient of Static Penetration Test.....	159
Appendix E	Test for Coefficient of Subgrade Reaction & the Second Strain Modulus.....	162
Appendix F	Test for Dynamic Modulus of Deformation.....	166
Appendix G	Head Treatment of Concrete Piles .....	169
Appendix H	Sensor Attachment for High-strain Dynamic Testing.....	170
Appendix J	Trial Pile Driving and Driven Pile Installation Monitoring.....	172
Appendix K	Testing Method with Video Monitor through Hole.....	174
Appendix L	Processing and Measurement of Core Specimens .....	177
Appendix M	Stressing Method of Differential Loads.....	178
	Explanation of Wording in This Code.....	181
	List of Quoted Standards.....	182
	Explanation of Provisions.....	183

# 1 总则

**1.0.1** 为了在建筑地基基础检测中贯彻执行国家的技术经济政策，规范建筑地基基础检测方法，做到安全适用、技术先进、数据准确、评价正确、经济合理、保护环境，制定本规范。

**1.0.2** 本规范适用于广东省的建筑工程地基基础验收检测。用于其他目的或其他行业的地基基础检测方法可按照本规范执行。

**1.0.3** 建筑地基基础检测应根据各种检测方法的特点和适用范围，综合考虑场地地质条件、地基基础设计等级和设计要求、地基基础类型、施工工艺和施工质量可靠性、场地的试验设备安装条件等因素，合理选择检测方法、确定检测数量。

**1.0.4** 建筑地基基础检测除应执行本规范外，尚应符合国家和广东省现行有关标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 地基 subgrade, foundation soils

支承基础的土体或岩体。

#### 2.1.2 天然地基 natural foundation, natural subgrade

在未经人工处理的天然岩土层上直接修筑基础的地基。可分为岩石地基和天然土地基。岩石地基亦可简称岩基。

#### 2.1.3 处理土地基 treatment subgrade, improvement subgrade

为提高地基的承载力、改善变形性质或渗透性质，对土进行人工处理后的地基。处理土地基包括换填地基、预压地基、强夯地基、压实地基、注浆地基和不加填料振冲密实处理地基等；换填地基包括换土垫层，素土、灰土地基，砂和砂石地基，粉煤灰地基等。

#### 2.1.4 复合地基 composite subgrade, composite foundation

部分土体被增强或被置换形成增强体，由增强体和周围地基土共同承担荷载的地基。

#### 2.1.5 桩基 foundation pile

桩基础中的单桩。

#### 2.1.6 锚杆 anchor

一端与外部承载构件连接，另一端锚固在稳定岩土体内，将拉力传递到岩土层中的一种受拉构件。杆体可选用钢绞线、预应力螺纹钢筋、普通钢筋或钢管等。当杆体采用钢绞线时，称为钢绞线锚杆，亦可称为锚索；杆体采用钢筋时，称为钢筋锚杆。

#### 2.1.7 支护锚杆 retaining anchor

将围护结构承受的侧向荷载，通过锚杆的拉结作用传递到周围的稳定岩土层中去的锚杆。

#### 2.1.8 基础锚杆 foundation anchor

将基础承受的向上竖向荷载，通过锚杆的拉结作用传递到基础下部的稳定

岩土层中去的锚杆。主要承受地下水浮力的基础锚杆也称作抗浮锚杆。

#### **2.1.9 土钉 soil nail**

用来加固并同时锚固现场原位土体，依靠与土体之间的界面粘结力或摩擦力，在土体发生变形的条件下被动受力，并主要承受拉力和剪力作用的细长构件。

#### **2.1.10 荷载分散型锚杆 load-dispersed anchor**

在一个钻孔内，由两组或两组以上单元锚杆组成的复合锚固体系，各组单元锚杆的注浆固结体是独立的，且分布在锚杆总锚固段的不同空间部位。

#### **2.1.11 标准贯入试验 standard penetration test (SPT)**

用质量为63.5kg的穿心锤，以76cm的落距，将标准规格的贯入器，自钻孔底部预打15cm，记录再打入30cm的锤击数，判定土的物理力学特性的一种原位试验方法。

#### **2.1.12 圆锥动力触探试验 dynamic penetration test (DPT)**

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，判定土的物理力学特性的一种原位试验方法。

#### **2.1.13 静力触探试验 cone penetration test (CPT)**

通过静力将标准圆锥形探头匀速压入土中，根据测定触探头的贯入阻力，判定土的物理力学特性的一种原位试验方法。

#### **2.1.14 十字板剪切试验 vane shear test (VST)**

用插入土中的标准十字板探头，以一定速率扭转，量测土破坏时的抵抗力矩，测定土的不排水抗剪强度的一种原位试验方法。

#### **2.1.15 平板载荷试验 plate loading test (PLT)**

对天然地基、处理土地基、复合地基的表面逐级施加竖向压力，测量其沉降随时间的变化，以确定其承载能力和变形参数的试验方法。对天然地基与处理土地基也称为浅层平板载荷试验，对复合地基通常称为复合地基平板载荷试验。

#### **2.1.16 岩石地基载荷试验 static loading test of batholith**

确定完整、较完整、较破碎岩基作为天然地基或桩基础持力层承载力和变

形参数的平板载荷试验。

**2.1.17 地基系数试验      test for coefficient of subgrade reaction**

测定土体在荷载作用下，下沉量基准值所对应的荷载强度与下沉量基准值的比值的试验方法。

**2.1.18 地基二次变形模量试验      test for the second strain modulus**

测定第二次加载承载板下应力和与之相对应的承载板沉降量之间关系的试验方法。

**2.1.19 地基动态变形模量试验      test for dynamic modulus of deformation**

测量土体在一定大小的冲击荷载作用下，抵抗变形能力的参数的试验方法。

**2.1.20 复合地基单桩载荷试验      loading test for single column of composite foundation**

在复合地基有粘结强度的竖向增强体顶部逐级施加竖向荷载，测量增强体顶部随时间产生的沉降，以确定复合地基增强体单桩竖向抗压承载力的试验方法。

**2.1.21 低应变法      low strain integrity testing**

采用低能量瞬态激振方式在桩顶激振，实测桩顶部的速度时程曲线，或实测桩顶部的速度时程曲线和力时程曲线，通过波动理论分析，对桩身完整性进行判定的检测方法。

**2.1.22 高应变法      high strain dynamic testing**

用重锤冲击桩顶，实测桩上部的速度和力时程曲线，通过波动理论分析，对单桩竖向抗压承载力和桩身完整性进行判定的检测方法。

**2.1.23 声波透射法      cross hole sonic logging**

在预埋声测管之间发射并接收声波，通过实测声波在混凝土介质中传播的声时、频率和波幅衰减等声学参数的相对变化，对混凝土灌注桩和地下连续墙墙体施工质量进行判定的检测方法。

**2.1.24 钻芯法      core drilling method**

用钻机钻取芯样，通过芯样特征、芯样试件抗压强度判定混凝土灌注桩、地下连续墙、复合地基竖向增强体、水泥土墙的施工质量，确定桩长、桩（墙）底沉渣厚度，鉴别岩石地基性状、桩（墙）持力层岩土性状的检测方法。

**2.1.25 孔内摄像法      testing method with video monitor through hole**

利用灌注桩（墙）的钻芯孔或管桩内腔，对孔壁进行摄影，判别桩（墙）身缺陷、确定桩（墙）底沉渣厚度、鉴别持力层岩土性状的检测方法。

#### **2.1.26 预埋管钻芯法      core drilling method through guide-hole**

在灌注桩中自桩顶预先埋设一定长度的钢管，作为钻芯法钻头、钻杆的通道，采用钻芯法检测预埋管管底以下部分的桩身混凝土质量、桩底沉渣厚度、鉴别桩端持力层岩土性状的检测方法。

#### **2.1.27 单桩静载试验      static loading test of single pile**

在桩顶部逐级施加竖向压力、竖向上拔力或水平推力，测量桩顶部随时间产生的沉降、上拔位移或水平位移，以确定相应的单桩竖向抗压承载力、单桩竖向抗拔承载力和单桩水平承载力的试验方法。

#### **2.1.28 锚杆验收试验      anchor acceptance test**

在锚头逐级施加轴向拉力荷载至验收荷载，测量锚头随时间产生的轴向位移，以确定工程锚杆承载力是否符合设计要求的试验方法。

#### **2.1.29 锚杆锁定力测试      lock-off load test of anchor**

对预应力锚杆张拉锁定完成时的初始预应力进行测试的方法。

#### **2.1.30 持有荷载试验      load retention test**

采用液压千斤顶加载，对已锁定的预应力锚杆的锚头进行分级加载，以确定锚杆自由段杆体拉力的试验方法。

#### **2.1.31 补偿荷载整体张拉方法      stressing method of differential loads**

对荷载分散型锚杆，依据各组单元锚杆的差异荷载，从杆体最长的单元锚杆开始，依次张拉至各级补偿荷载，完成荷载补偿后再整体张拉，以实现在最大试验荷载时，各组单元锚杆的理论荷载相等的一种张拉方法。

#### **2.1.32 沉降观测      settlement monitoring**

测定建（构）筑物的沉降随时间的变化的观测方法。

#### **2.1.33 桩身完整性      pile integrity**

反映桩身截面尺寸相对变化、桩身材料密实性和连续性的综合定性指标。

#### **2.1.34 桩身缺陷      pile defects**

桩身断裂、裂缝、缩径、夹泥（杂物）、空洞、蜂窝、松散等现象的统称。

#### **2.1.35 声测线      wave measure line**

在声波透射法检测中，声波发射换能器与声波接收换能器之间的连线。

**2.1.36 声测线完整性函数值** the function value of wave measure line's integrity

依据所接收声波的声参数及波形畸变程度确定的、与声测线声场辐射区域的混凝土质量好坏相关联的数值，取值范围为1~4。

**2.1.37 桩身横截面完整性类别指数** the exponent of pile cross section's integrity grade

综合横截面上各声测线的完整性函数值而得到的反映该横截面桩身混凝土完整性状况的指标，取值范围为1~4。

**2.1.38 锚杆抗拔承载力检测值** proof load of anchor pull bearing capacity

通过验收试验获得的锚杆抗拔承载力。

**2.1.39 锚杆验收荷载** load of anchor acceptance test

满足锚杆抗拔承载力设计验收要求的荷载值。

**2.1.40 锚杆锁定力** anchor lock-off load

预应力锚杆张拉锁定完成时的初始预应力。

## 2.2 符号

### 2.2.1 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）；

$c_u$ ——地基土不排水抗剪强度；

$E$ ——桩身、杆体弹性模量；

$E_0$ ——地基变形模量；

$f_{ak}$ ——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；

$m$ ——地基土水平抗力系数的比例系数；

$N$ ——标准贯入试验实测锤击数；

$N_k$ ——标准贯入试验实测锤击数的标准值；

$N'$ ——标准贯入试验修正锤击数；

$N'_k$ ——标准贯入试验修正锤击数的标准值；



$N_{10}$ ——轻型圆锥动力触探试验锤击数；  
 $N_{63.5}'$ ——重型圆锥动力触探试验锤击数；  
 $N_{120}'$ ——超重型圆锥动力触探试验锤击数；  
 $p$ ——地基承载力特征值；  
 $p_s$ ——单桥探头的比贯入阻力；  
 $q_c$ ——双桥探头的锥头阻力；  
 $Q_u$ ——单桩竖向抗压极限承载力；锚杆极限抗拔承载力；  
 $R_a$ ——单桩竖向抗压承载力特征值；  
 $R_t$ ——锚杆抗拔承载力特征值；  
 $T_y$ ——锚杆抗拔承载力检测值；  
 $v$ ——桩身混凝土声速；  
 $Z$ ——桩身截面力学阻抗；  
 $\mu$ ——泊松比；  
 $\rho$ ——桩身质量密度；  
 $K_{30}$ ——地基系数；  
 $E_{v2}$ ——二次变形模量；  
 $E_{vd}$ ——动态变形模量。

### 2.2.2 作用与作用效应

$F$ ——锤击力；  
 $H$ ——单桩水平静载试验中作用于桩身的水平力；  
 $Q_{\max}$ ——最大试验荷载；  
 $P_f$ ——剪损土体的总作用力；  
 $Q$ ——施加于单桩和地基的竖向压力荷载，施加于锚杆的轴向荷载；  
 $s$ ——沉降量；  
 $U$ ——单桩竖向抗拔静载试验中施加的上拔荷载；  
 $V$ ——质点运动速度；  
 $Y_0$ ——单桩水平静载试验中水平力作用平面的桩身水平位移；  
 $\delta$ ——单桩竖向抗拔静载试验中的桩顶上拔量、锚头位移；  
 $N_k$ ——荷载标准组合的锚杆轴向拉力值，或锚杆轴向拉力标准值；

$P$ ——锚杆拉力、轴力；

$P_0$ ——锚杆锁定力；

$\bar{Q}$ ——最大试验荷载状态下各组单元锚杆的理论荷载；

$Q_0$ ——锚杆试验的初始荷载；

$Q_{0i}$ ——第  $i$  组单元锚杆的初始荷载；

$\Delta Q_k$ ——第  $k$  组单元锚杆安装工具锚夹片前，对第  $(1 \sim k-1)$  组单元锚杆施加的第  $k$  级补偿张拉荷载值； $k=1, 2, \dots, n$ 。

### 2.2.3 几何参数

$A$ ——桩身横截面面积；

$A_s$ ——锚杆杆体的截面面积；

$b$ ——矩形桩的边宽，承压板直径或边宽；

$b_0$ ——桩身计算宽度；

$B$ ——支墩宽度，支座边宽；

$d$ ——桩身直径（管桩外径），芯样试件的平均直径；锚杆锚固段钻孔直径；

$L$ ——桩长，锚杆长度；

$L_a$ ——锚杆锚固段长度；

$L_f$ ——锚杆自由段长度；

$L_{tb}$ ——杆体粘结段长度；

$L_{tf}$ ——杆体自由段长度；

$s$ ——沉降量，位移量，蠕变量；

$s_e$ ——锚杆弹性位移；

$s_p$ ——锚杆塑性位移。

### 2.2.4 计算系数

$A_c$ ——声波透射法波幅异常判断的临界值；

$J_c$ ——凯司法阻尼系数；

$\alpha$ ——修正系数，摩阻比(%)；桩的水平变形系数；

$\beta$ ——高应变法桩身完整性系数；

$\lambda$ ——样本中不同统计个数对应的系数；

$v_y$ ——桩顶水平位移系数；

$\xi$ ——芯样试件抗压强度换算系数；

$\Delta L_1$ ——从初始荷载至最大试验荷载，杆体自由段长度的理论弹性伸长值；

$\Delta L_2$ ——从初始荷载至最大试验荷载，杆体自由段长度与1/2杆体粘结段长度之和的理论弹性伸长值。

#### 2.2.5 其他

$A_p$ ——声波波幅；

$a$ ——声波信号首波峰值电压；

$f$ ——频率；

$n$ ——样本数量；锚杆根数、荷载分散型锚杆的单元锚杆组数、钢绞线的束数；

$T$ ——信号周期；

$t$ ——时间；

$v_0$ ——声速的异常判断值；

$v_{01}$ ——异常小值判断值；

$v_{02}$ ——异常大值判断值；

$v_c$ ——声速的异常判断临界值；

$\Delta f$ ——频域曲线上相邻峰之间的频率差；

$\Delta t$ ——入射波波峰与反射波波峰之间的时间差。

## 3 基本规定

### 3.1 一般规定

**3.1.1** 建筑地基基础工程应按本规范的规定进行验收检测。

**3.1.2** 建筑地基基础工程验收检测宜分为地基检测、基桩及基础锚杆检测、支护工程检测和基础检测。

**1** 地基检测。检测内容包括天然地基承载力、变形参数及岩土性状评价，处理土地基承载力、变形参数及施工质量评价，复合地基承载力、变形参数及复合地基增强体的施工质量评价；检测方法可选择平板载荷试验、地基系数试验、地基二次变形模量试验、地基动态变形模量试验、深层平板载荷试验、岩石地基载荷试验、复合地基单桩载荷试验、标准贯入试验、圆锥动力触探试验、静力触探试验、十字板剪切试验、钻芯法、低应变法、压实系数试验、土工试验等。

**2** 基桩及基础锚杆检测。检测内容包括工程桩的桩身完整性检测，单桩承载力检测，基础锚杆抗拔承载力检测，灌注桩成孔质量检测等；检测方法可选择低应变法、声波透射法、钻芯法、孔内摄像法、预埋管钻芯法、高应变法、单桩竖向抗压静载试验、单桩竖向抗拔静载试验、单桩水平静载试验、基础锚杆抗拔试验等。

**3** 支护工程检测。检测内容包括支护桩的桩身完整性检测，地下连续墙、土钉墙、水泥土墙墙身质量检测，支护锚杆抗拔力检测，土钉抗拔力检测，锚杆锁定力测试，地下连续墙成槽质量检测等；检测方法可选择钻芯法、孔内摄像法、声波透射法、低应变法、土钉与支护锚杆验收试验、锚杆锁定力测试等。

**4** 基础检测。检测内容包括各类基础及桩基础承台的施工质量检测和建筑物沉降观测；混凝土强度可选择结构钻芯法和回弹法。

**3.1.3** 检测工作的程序，应按图 3.1.3 进行。

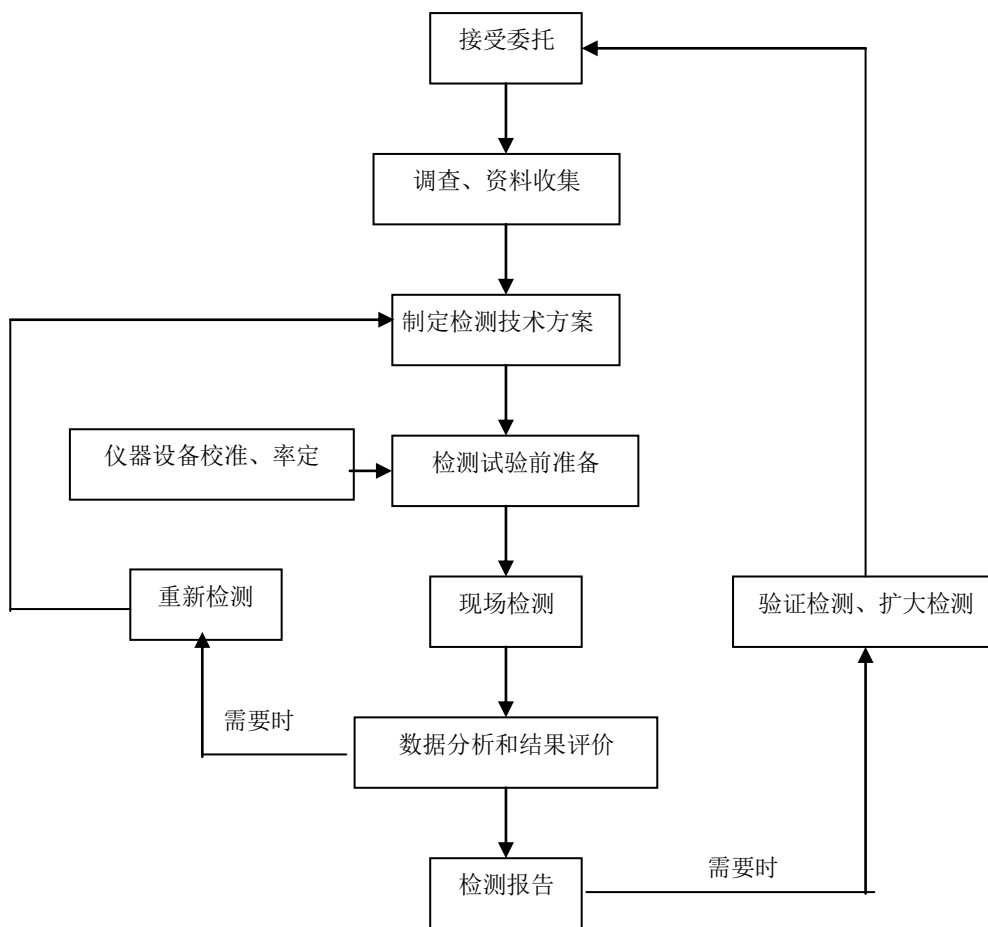


图 3.1.3 检测工作程序框图

**3.1.4** 检测前，检测单位应进行现场调查和收集资料。调查、资料收集宜包括下列内容：

- 1 收集被检测工程的岩土工程勘察资料、地基基础设计及施工资料；了解施工工艺和施工中出现的异常情况。
- 2 确定检测目的，并进一步明确委托方的具体要求。
- 3 分析检测项目现场实施的可行性。

**3.1.5** 检测单位应根据调查结果和检测目的制定检测技术方案，检测技术方案宜包含以下内容：

- 1 工程概况；
- 2 本规范第3.1.4条所规定的内容；
- 3 检测方法及其所依据的规范标准；
- 4 相关单位确定的检测数量及检测对象，检测对象应利用施工记录、平面轴线、平面几何坐标等方式进行唯一性标识；

5 所需的检测仪器、机械设备和人工配合，试验时间要求；

6 现场安全生产措施；

7 尚宜包括桩头开挖、处理，场地整治，道路修筑，供水供电等要求。

**3.1.6** 当根据现场试验结果（情况），判断所选择的检测方法不能满足检测目的时，应重新选择检测方法，制定检测方案。

**3.1.7** 检测对象或检测位置的确定，应综合考虑下列因素：

1 因气候原因、混凝土供应异常、施工设备故障等原因，施工质量可能偏离正常情况；

2 设计认为重要的部位；

3 局部岩土特性复杂可能影响施工质量区域；

4 外部荷载较大的部位；

5 应根据地基原位试验结果确定平板载荷试验点，在原位试验单孔代表值较小的区域必须有平板载荷试验点；

6 宜根据桩身完整性检测结果确定承载力检测桩位。当桩身完整性检测结果有Ⅲ类桩时，单桩竖向抗压静载试验应适当选择桩身完整性为Ⅲ类的桩；

7 宜根据复合地基增强体桩身完整性检测结果确定承载试验的桩位。当复合地基增强体桩身完整性检测结果有Ⅲ类桩时，复合地基单桩载荷试验或复合地基平板载荷试验应适当选择桩身完整性为Ⅲ类的桩；

8 在兼顾本条第1～7款的规定外，其他抽检对象或位置宜均匀分布。

**3.1.8** 地基基础工程验收检测的抽检数量应按单位工程计算，当单位工程由若干个子单位工程组成时，抽检数量宜按子单位工程或子分项工程计算，且应符合下列规定：

1 同一单位工程中，采用天然地基、处理土地基、复合地基和桩基础等不同地基基础类型时，应按地基基础类型分别确定检测方法和抽检数量；同一地基基础类型中采用不同施工工艺的桩型或不同的地基处理方法时，宜针对不同施工工艺或地基处理方法分别确定检测方法和抽检数量；

2 对地基处理面积超过20000m<sup>2</sup>或工程桩总数超过2000根的大型单位工程，地基处理面积超过20000m<sup>2</sup>或工程桩总数超过2000根的部分，抽检数量可适当减少但不应少于相应规定最低抽检数量的50%；

**3** 小区工程中，地基基础设计等级为丙级，且各单位工程的工程桩总数少于50根或地基处理面积小于 $500\text{m}^2$ ，经工程质量各方责任主体共同确认，可将地质条件相近、施工工艺相同的若干个单位工程合并起来确定抽检数量，且应对每个单位工程进行承载力抽检，承载力检测抽检数量：当采用单桩静载试验时不得少于1根、当采用高应变法时不得少于2根、当采用平板载荷试验时不得少于2点；

**4** 当配套附属设施工程的地基基础与主体工程采用同一施工工艺同时进行施工时，可将附属设施工程与主体工程合并一起确定抽检数量，且各个附属设施工程应有检测资料。

**3.1.9** 当通过两种或两种以上检测方法的相互补充，能有效提高检测结果判定的可靠性时，应选择两种或两种以上的检测方法。当同一单位工程同时采用两种或两种以上的检测方法进行检测时，总抽数量除应符合本规范第 3.1.7~3.1.8 条规定和本规范第 3.2 节至第 3.5 节有关规定外，尚应符合下列规定：

**1** 当同时采用标准贯入试验、圆锥动力触探试验、静力触探试验、十字板剪切试验等两种或两种以上检测方法进行检测时，每种检测方法的检测数量不应少于10个孔，且参与统计计算的有效检测数据样本数量不应少于6个。

**2** 当同时选择钻芯法、声波透射法、高应变法和低应变法等两种或两种以上检测方法进行桩身完整性检测时，每种检测方法的检测数量不应少于6根桩。

**3** 当同时选择单桩竖向抗压静载试验和高应变法进行单桩竖向抗压承载力检测时，应符合下列规定之一：

- 1)** 当受检桩既可以选择单桩竖向抗压静载试验确定单桩竖向抗压承载力又允许选择高应变法判定单桩竖向抗压承载力时，应按不应少于  $1\% n_1$  且不得少于 3 根确定静载试验抽检数量，按不应少于  $5\% n_2$  且不得少于 5 根确定高应变法抽检数量，且  $n_1+n_2$  应大于等于工程桩总数  $n$ ；
- 2)** 当单桩竖向抗压静载试验的抽检数量已满足本规范第 3.3 节的规定，采用高应变法进行补充检测时，高应变法的检测数量可根据实际情况确定且不宜少于 5 根；
- 3)** 当高应变法的抽检数量已满足本规范第 3.3 节的规定，采用单桩竖向抗压静载试验进行验证检测时，单桩竖向抗压静载试验的检测数量可

根据实际情况确定且不宜少于 2 根；

**4** 当桩身有明显缺陷，对桩身结构承载力有影响，根据完整性检测结果难以确定其是否满足设计要求时，宜采用静载试验进行单桩承载力抽检。

**5** 当采用两种或两种以上检测方法对同一根受检桩进行桩身完整性检测时，应根据所有的检测数据综合分析提供检测结果，检测数量应按1根桩计算，并应符合下列规定：

- 1) 可采用一种方法对受检桩的中上部桩身完整性进行检测，采用另一种方法对受检桩的中下部桩身完整性进行检测，并应综合两种检测方法的检测结果评价受检桩的桩身完整性；
- 2) 当采用预埋管钻芯法时，可根据预埋管钻芯法和声波透射法检测结果评价桩身完整性，也可根据钻芯法和预埋管钻芯法检测结果评价桩身完整性；
- 3) 当同时采用钻芯法和孔内摄像法进行检测时，应根据钻芯法和孔内摄像法检测结果综合评价桩身完整性；
- 4) 验证检测后，应根据所有的检测数据综合分析提供检测结果。

**3.1.10** 应根据有效检测结果统计计算实际检测数量，确定检测结果的有效性应符合下列规定：

**1** 根据已有检测数据能够判定桩身完整性类别为Ⅲ类桩或Ⅳ类桩时，应判定检测结果满足检测目的的要求，其检测数量应计入本规范规定的抽检数量。

**2** 当出现下列情况之一时，检测数量不得计入本规范规定的抽检数量。当部分检测结果是有效时，应在检测报告中提交部分检测结果，作为验收资料的一部分；当不能提供检测结果时，宜在检测报告中予以说明。

- 1) 原位试验的检测深度未达到规定的深度，设计单位认为满足设计要求的除外；
- 2) 对岩石地基、桩端持力层的钻芯法深度未达到规定的深度；
- 3) 桩身完整性检测时，只能评价受检桩的一部分桩身完整性类别为Ⅰ类或Ⅱ类而不能评价整根桩的桩身完整性，委托单位只要求检测桩上部、中上部桩身质量的除外；
- 4) 承载力检测时，未获得受检桩极限承载力且检测结果不满足设计要求。



3 检测数据不全、检测数据异常、检测波形复杂无规律。

**3.1.11** 当需要进行重新检测时,宜按下列原则确定重新检测的检测孔或试验点:

1 标准贯入试验、静力触探试验,圆锥动力触探试验、十字板剪切试验宜在原检测孔附近重新选点进行试验;

2 平板载荷试验、岩基载荷试验宜在原试验点附近重新选点进行试验;

3 低应变法宜在原受检桩上重新进行检测;

4 单桩静载试验、钻芯法、高应变法、声波透射法宜在原受检桩上重新进行检测,也可另选工程桩进行检测;

5 锚杆和土钉宜在原受检锚杆和土钉上重新进行检测,也可另选锚杆和土钉进行检测。

**3.1.12** 仪器设备性能应符合相应检测方法的技术要求,并应符合下列规定:

1 仪器设备应在检定或校准的有效期内;

2 当本规范对仪器设备有率定要求时,应在检测前对仪器设备进行率定;

3 检测前应对仪器设备检查调试,检测过程中应判断确认仪器设备处于正常工作状态;

4 仪器设备使用时应按校准结果设置仪器设备相关参数;

5 当现场操作环境不符合仪器设备使用要求时,应采取有效的措施,保证仪器设备的正常工作。

**3.1.13** 现场检测的安全控制,除应执行本规范的有关规定外,尚应遵守国家有关安全生产的规定。

## **3.2 地基检测**

**3.2.1** 处理土地基和复合地基的承载力验收检测应采用静载荷试验。

**3.2.2** 地基检测应合理选择两种或两种以上的检测方法进行地基检测。宜先进行分层压实系数试验、密实度检测,标准贯入试验、圆锥动力触探试验、静力触探试验、十字板剪切试验等原位试验,复合地基增强体桩身完整性检测,然后进行单桩载荷试验、平板载荷试验。

**3.2.3** 处理土地基和复合地基检测宜在合理间歇时间后进行。

**3.2.4** 岩石地基的检测应符合下列规定:

1 对中风化岩、微风化岩的岩石地基应进行岩石地基载荷试验，单位工程抽检数量为每1000m<sup>2</sup>不应少于1个点，且不得少于3点；

2 岩石地基载荷试验前，应采用钻芯法对岩石地基性状进行普查，单位工程抽检数量为每500m<sup>2</sup>不应少于1个孔，且不得少于6个孔；

3 对强风化岩、全风化岩的岩石地基应按天然土地基进行检测。

### 3.2.5 天然土地基、处理土地基的检测应符合下列规定：

1 天然土地基、处理土地基应进行平板载荷试验，单位工程抽检数量为每500m<sup>2</sup>不应少于1个点，且不得少于3点，对于复杂场地或重要建筑地基应增加抽检数量；

2 应根据地基岩土性状选择标准贯入试验、圆锥动力触探试验、静力触探试验、十字板剪切试验等一种或一种以上的方法对天然土地基、处理土地基进行检测，单位工程抽检数量为每200m<sup>2</sup>不应少于1个孔，且不得少于10孔，每个独立柱基不得少于1孔，基槽每20延米不得少于1孔；

3 换填地基每层应进行压实系数试验，抽检数量应按国家现行标准《建筑地基处理技术规范》JGJ79的有关规定执行，试验方法应按国家现行标准《土工试验方法标准》GB/T50123的有关规定执行；

4 对换填地基可进行地基系数检测、二次变形模量试验和地基动态变形模量试验；

5 当设计有要求时，应判别砂土、粉土液化状况。

3.2.6 复合地基应进行复合地基平板载荷试验，单位工程平板载荷试验的试验点数量散体材料复合地基应为总桩数的1%、有粘结强度的复合地基0.5%~1%，且不得少于3试验点。同一单位工程复合地基平板载荷试验的试验形式应根据设计资料确定，可选择多桩复合地基平板载荷试验或单桩（墩）复合地基平板载荷试验，也可一部分试验点选择多桩复合地基平板载荷试验而另一部分试验点选择单桩复合地基平板载荷试验；当基础设计为多桩复合地基时，应采用多桩复合地基平板载荷试验。

3.2.7 对有粘结强度的复合地基增强体应进行单桩静载荷试验和桩身完整性检测，对散体材料复合地基增强体应进行密实度检验。

3.2.8 复合地基的增强体施工质量的抽检数量应符合下列规定：

1 有粘结强度的复合地基增强体的单桩载荷试验抽检数量不应少于总桩数的0.5%~1%，且不得少于3根；

2 有粘结强度的复合地基增强体桩身完整性检测，当采用低应变法检测时，检测桩数不得少于总桩数的10%，且不得少于10根；当采用钻芯法时，抽检数量不应少于总桩数的0.5%，且不得少于3根；

3 散体材料复合地基增强体密实度抽检数量应为总桩（墩）数的2%，且不得少于6根，检测方法可选择标准贯入试验、圆锥动力触探试验等方法。

**3.2.9** 复合地基中的混凝土灌注桩和预制桩应按照本规范第 3.2.7、3.2.8 条的规定进行单桩静载荷试验和桩身完整性检测。也可采用高应变法，抽检数量不应少于总桩数的 1%，且不得少于 5 根。

**3.2.10** 强夯置换处理地基除应进行单墩复合地基平板载荷试验和单墩载荷试验外，尚应检查墩体质量和着底情况，检验数量不应少于墩点数的 3%，且不少于 3 点，检测方法可采用超重型或重型圆锥动力触探试验等方法。

**3.2.11** 当设计有要求时，应对复合地基桩间土和强夯置换墩墩间土进行抽检，检测方法和抽检数量宜按本规范第 3.2.5 条的规定执行。

**3.2.12** 当选择标准贯入试验、圆锥动力触探试验、静力触探试验、十字板剪切试验进行检测时，检测深度应满足设计要求，当设计无要求时，检测深度应符合下列要求：

- 1 天然地基的检测深度应达到主要受力层深度；
- 2 处理土地基的检测深度应达到加固深度；
- 3 复合地基桩间土和强夯置换墩墩间土的检测深度应达到竖向增强体底部；
- 4 复合地基竖向增强体的检测深度应达到竖向增强体底部。

### **3.3 基桩及基础锚杆检测**

**3.3.1** 施工完成后的工程桩应进行桩身完整性检验和竖向承载力检验。承载水平力较大的桩应进行水平承载力检验，抗拔桩应进行抗拔承载力检验。

**3.3.2** 工程桩验收检测宜先进行桩身完整性检测，后进行承载力检测；进行检测时的桩顶标高宜与桩顶设计标高相同。

**3.3.3** 从成桩到开始检测的混凝土强度和间歇时间应符合下列规定：

1 当采用低应变法或声波透射法检测时，受检桩桩身混凝土强度不得低于设计强度等级的70%或预留立方体试块强度不得小于15MPa；

2 当采用钻芯法检测时，受检桩的混凝土龄期不得小于28d或预留立方体试块强度不得低于设计强度等级；

3 当采用高应变法和静载试验检测时：混凝土灌注桩的混凝土龄期不得小于28d。预制桩（钢桩）在施工成桩后的间歇时间，对于砂土，不宜少于7d；对于粉土，不宜少于10d；对于非饱和黏性土，不宜少于15d；对于饱和黏性土，不宜少于25d；对于桩端持力层为遇水易软化的风化岩层，不应少于25d。

**3.3.4** 对施工质量有疑问的工程桩、工程锚杆，当需要通过检测来判断能否验收或是否满足设计要求时，须由工程质量各方责任主体共同确认该检验批的工程桩桩号和锚杆编号，并应符合下列规定：

1 该检验批的所有工程桩均应进行桩身完整性和单桩承载力检测，该检验批的所有锚杆均应进行锚杆验收试验；

2 应单独划分检验批，检测数量不列入正常抽检的数量中；

3 该检验批的工程桩桩号、锚杆编号，应在本规范第3.1.5条检测技术方案中予以明确；

4 当检测结果不满足设计要求时，不执行本规范扩大检测的规定，但应对该工程桩、锚杆进行工程处理。

**3.3.5** 混凝土灌注桩的桩身完整性检测的抽检数量应符合下列规定：

1 每个承台抽检桩数不得少于1根；

2 单位工程抽检桩数不应少于总桩数的20%，且不得少于10根；其中，当满足下列条件之一时，抽检比例不应少于总桩数的30%，且不得少于20根；

1) 地基基础设计等级为甲级的桩基工程；

2) 场地地质条件复杂的桩基工程；

3) 施工工艺导致施工质量可靠性低的桩基工程；

4) 本地区采用的新桩型或采用新工艺施工的桩基工程；

3 对于直径大于等于800mm的端承型混凝土灌注桩，应在上述两款规定的检测桩数范围内，按不少于总桩数10%的比例采用钻芯法或声波透射法检测；当

同一单位工程中，仅有部分工程桩为直径大于等于800mm的端承型混凝土灌注桩时，应划分两个检验批，分别确定桩身完整性抽检数量和检测方法。

**3.3.6** 当采用钻芯法对灌注桩进行桩身完整性检测时，宜同时进行孔内摄像法检测。当钻芯法难以准确判定受检桩桩底沉渣厚度或桩身缺陷程度时，应同时对该桩进行孔内摄像法检测。

**3.3.7** 当采用钻芯法检测长径比大于等于 25 的混凝土灌注桩时，宜采用预埋管钻芯法。对同一受检桩，当采用预埋管钻芯法检测预埋管管底以下部分的桩身混凝土质量、桩底沉渣厚度和桩端持力层岩土性状时，应同时采用声波透射法或钻芯法检测预埋管管底以上部分的桩身混凝土质量。

**3.3.8** 混凝土灌注桩的单桩竖向抗压承载力检测应符合下列规定：

1 采用静载试验时，抽检数量不应少于总桩数的1%，且不得少于3根；当总桩数在50根以内时，不得少于2根；采用高应变法时，抽检数量不应少于总桩数的5%，且不得少于5根。

2 当符合下列条件之一时，应采用静载试验进行单桩竖向抗压承载力检测：

- 1) 地基基础设计等级为甲级的桩基工程；
- 2) 场地地质条件复杂的桩基工程；
- 3) 施工工艺导致施工质量可靠性低的桩基工程；
- 4) 本地区采用的新桩型或采用新工艺施工的桩基工程。

3 对于直径大于等于1500mm的端承型混凝土灌注桩，经工程质量各方责任主体共同确认，因试验设备或现场条件限制，难以进行单桩竖向抗压承载力检测时，应进行桩身完整性检测和桩端持力层鉴别；检测方法应选择钻芯法、声波透射法、高应变法，抽检桩数应符合本规范第3.3.5条的规定，其中，钻芯法的检测数量不应少于总桩数的20%，且不少于20根。

**3.3.9** 预制桩桩身完整性和单桩竖向抗压承载力检测应符合下列规定：

1 检测方法和抽检数量应符合下列规定之一：

1) 采用低应变法进行桩身完整性检测和静载试验进行单桩竖向抗压承载力检测，低应变法检测数量不应少于总桩数的 20%，静载试验抽检数量不少于总桩数的 1%，且不少于 3 根，当总桩数小于 50 根时，不得少于 2 根；

2) 采用高应变法同时进行桩身完整性检测和单桩竖向抗压承载力检测，

抽检桩数不应少于总桩数的8%，且不得少于10根；

- 3) 采用低应变法进行桩身完整性检测和高应变法进行单桩竖向抗压承载力检测，低应变法检测数量不应少于总桩数的 20%，高应变法抽检桩数不应少于总桩数的 5%，且不得少于 10 根；

- 4) 单桩竖向抗压承载力检测可执行本规范第 3.1.9 条第 3 款的规定。

2 符合下列条件之一的预制桩工程，单桩竖向抗压承载力应采用静载试验进行检测：

- 1) 场地地质条件为岩溶的桩基工程（岩溶地区的摩擦型桩除外）；
- 2) 非岩溶地区上覆土层为淤泥等软弱土层，其下直接为中风化岩或微风化岩、或中风化岩面上只有较薄的强风化岩；
- 3) 施工过程中产生挤土上浮或偏位的群桩；
- 4) 采用“引孔法”施工的桩基工程。

3 条件允许时，宜采用孔内摄像法或将低压灯泡放入管桩内腔对桩身完整性进行检查；

4 地基基础设计等级为甲级和地质条件较为复杂的乙级管桩基础工程，高应变法抽检桩数应增加一个百分点；对于已采用孔内摄像法或低压灯泡进行桩身完整性检查、检查桩数超过工程桩总数的80%且未发现明显质量缺陷的预应力管桩工程，高应变法抽检桩数可减少一个百分点。

**3.3.10** 钢桩应采用高应变法和静载试验进行检测。高应变法抽检数量不应少于总桩数的 5%，且不得少于 10 根；静载试验抽检数量不应少于总桩数的 0.5%，且不得少于 3 根，当总桩数小于 50 根时，不得少于 2 根。

**3.3.11** 采用高应变法进行打桩过程监测的工程桩或施工前进行静载试验的试验桩，当其施工工艺与工程桩施工工艺相同，桩身未破坏且单桩竖向抗压承载力大于等于 2 倍单桩竖向抗压承载力特征值时，这类桩的桩数的 50%可计入同方法验收抽检数量。

**3.3.12** 对竖向抗拔承载力有设计要求的桩基工程，应进行单桩竖向抗拔静载试验。抽检桩数不应少于总桩数的 1%，且不得少于 3 根。

**3.3.13** 对水平承载力有设计要求的桩基工程，应进行单桩水平荷载静载试验。抽检桩数不应少于总桩数的 1%，且不得少于 3 根。

**3.3.14** 基础锚杆应进行验收试验，抽检数量不应少于锚杆总数的 5%，且不得少于 6 根。

**3.3.15** 灌注桩成孔后宜进行成孔质量检测，检测数量不宜少于成孔数的 20%，且不宜少于 10 孔。

### **3.4 支护工程检测**

**3.4.1** 支护锚杆应进行验收试验，抽检数量不应少于锚杆总数的 5%，且不应少于 6 根。对施工质量有疑问的支护锚杆，可执行本规范第 3.3.4 条的规定。

**3.4.2** 预应力锚杆应进行锁定力测试，抽检数量均不应少于锚杆总数的 5%，且不得少于 6 根。

**3.4.3** 土钉墙质量验收应进行土钉验收试验，抽检数量应为土钉总数的 1%，且不得少于 10 根。墙面喷射混凝土厚度应进行检测，检测方法可采用钻孔法，抽检数量宜每 500m<sup>2</sup> 墙面积一组，每组不少于 3 点。

**3.4.4** 用于支护的混凝土灌注桩、桩墙合一的灌注桩排桩应进行桩身完整性检测，抽检数量不宜少于总桩数的 20%，且不得少于 10 根。其中，桩墙合一的灌注桩排桩宜采用钻芯法或声波透射法进行桩身完整性检测。

**3.4.5** 水泥土墙应进行墙身完整性检测，检测方法可采用钻芯法，抽检数量不宜少于总桩数的 1%，且不得少于 6 根，并应截取芯样进行抗压强度试验。

**3.4.6** 地下连续墙墙体完整性应选择声波透射法或钻芯法检测。当地下连续墙作为永久性结构的一部分时，抽检数量不应少于总槽段数的 20%，且不得少于 6 个槽段；当地下连续墙作为临时性结构时，抽检数量不应少于总槽段数的 10%，且不得少于 3 个槽段。

**3.4.7** 对有承重要求的支护桩，应按设计要求进行竖向抗压承载力抽检，检测方法宜采用单桩竖向抗压静载试验。

**3.4.8** 地下连续墙成槽后应进行成槽质量检测，检测数量不宜少于槽段数的 20%，且不宜少于 10 个槽段；支护桩成孔后应进行成孔质量检测，检测数量不宜少于成孔数的 20%，且不宜少于 10 孔。

### 3.5 基础检测和沉降观测

**3.5.1** 扩展基础、柱下条形基础、筏形基础和桩基础承台应进行混凝土强度检测，单位工程抽检数量不应少于构件总数的 10%，且不应少于 3 个构件。检测方法可选择钻芯法和回弹法；采用钻芯法检测时，每个构件钻孔不应少于 3 个，每孔截取 1 个芯样试件，对于截面尺寸较小的构件不应少于 2 个孔。

**3.5.2** 钢筋混凝土基础和桩基础承台宜进行保护层厚度检测，单位工程抽检数量不宜少于构件总数的 10%。

**3.5.3** 下列建筑物应进行沉降观测直至沉降达到稳定标准：

- 1 地基基础设计等级为甲级的建筑物；
- 2 软弱地基上的地基基础设计等级为乙级的建筑物；
- 3 处理地基上的建筑物；
- 4 基础有严重质量问题并经工程处理的建筑物；
- 5 受施工影响的邻近建筑物；
- 6 受场地地下水等环境因素变化影响的建筑物；
- 7 采取新型基础或新型结构的建筑物；
- 8 设计要求进行沉降观测的建筑物。

### 3.6 验证检测与扩大检测

**3.6.1** 当对检测结果有异议时，应进行验证检测。检测方法和检测数量宜根据实际情况协商确定，并应符合下列规定：

1 对于标准贯入试验、静力触探试验，圆锥动力触探试验、十字板剪切试验宜在原检测孔附近重新选点进行验证检测，检测方法应选择原检测方法，也可选择平板载荷试验，并根据平板载荷试验结果，综合分析评价标准贯入试验、静力触探试验、圆锥动力触探试验、十字板剪切试验等地基承载力检测结果；

2 对于平板载荷试验和岩基载荷试验宜在原试验点附近重新选择1-2点进行验证检测；

3 桩身浅部缺陷可采用开挖验证；

4 低应变检测结果提供桩身存在水平裂缝或接头存在缝隙的预制桩，可采用高应变法进行验证，管桩可采用孔内摄像法进行验证；



5 对低应变法检测中不能明确桩身完整性类别的桩或Ⅲ类桩，可根据实际情况采用静载法、钻芯法、高应变法、开挖等方法进行验证检测；

6 对于声波透射法，可重新组织声波透射法检测，或在同一基桩进行钻芯法验证；

7 可在同一基桩增加钻孔验证钻芯法检测结果，并根据前、后钻芯结果对受检桩重新评价；

8 桩身混凝土实体强度可采用基桩钻芯法在桩上部钻取芯样验证；

9 单桩竖向抗压承载力验证应采用单桩竖向抗压静载试验；

10 锚杆锁定力可采用持有荷载试验进行验证检测。

**3.6.2** 当预制桩检测结果不满足设计要求时，可采用全部复打或复压，然后重新按照本规范第 3.3 节的规定进行抽检。

**3.6.3** 当检测结果满足修改变更后的设计要求或设计复核检测结果满足要求时，可不进行扩大抽检。

**3.6.4** 除本规范第 3.3.4、3.6.2 和 3.6.3 条规定的情况外，当检测结果不满足设计要求时，应进行扩大抽检。扩大抽检应采用原检测方法或准确度更高的检测方法。当因未埋设声测管而无法采用声波透射法扩大检测时，应采用钻芯法。扩大抽检的数量应符合下列规定：

1 当平板载荷试验、岩基载荷试验、复合地基单桩载荷试验、锚杆及土钉承载力验收试验、单桩承载力检测或钻芯法检测结果不满足设计要求时，应按不满足设计要求的数量加倍扩大抽检；

2 当采用低应变法、高应变法和声波透射法抽检桩身完整性，所发现的Ⅲ、Ⅳ类桩之和大于抽检桩数的20%时，应按原抽检比例扩大抽检；

3 标准贯入试验、圆锥动力触探试验、静力触探试验、十字板剪切试验等方法抽检孔数超过30%不满足设计要求时，应按不满足设计要求的孔数加倍扩大抽检，或适当增加平板载荷试验数量；

4 当扩展基础、柱下条形基础、筏形基础和桩基础承台的混凝土强度检测结果不满足设计要求时，应按不满足设计要求的数量加倍扩大抽检。

**3.6.5** 验证检测和首次扩大抽检后，应根据检测结果，由监理单位或建设单位会同检测、勘察、设计、施工单位共同研究确定处理方案或进一步抽检的方法

和数量。

当对检测结果有争议但又不具备重新检测和验证检测条件时，应由监理单位或建设单位会同检测、勘察、设计、施工等单位共同研究确定处理方案。

**3.6.6** 对补桩、加固处理后的桩、重新处理后的地基应进行抽检。

### 3.7 检测结果评价和检测报告

**3.7.1** 标准贯入试验、静力触探试验，圆锥动力触探试验和十字板剪切试验应给出每个试验孔的检测结果和单位工程的主要土层的评价结果。

**3.7.2** 平板载荷试验、岩基载荷试验应给出每个点的承载力特征值和单位工程的地基承载力特征值，并给出单位工程的地基承载力特征值是否满足设计要求的结论。

**3.7.3** 桩身完整性检测结果应给出每根受检桩的桩身完整性类别。桩身完整性类别应根据桩身缺陷对桩身结构承载力的影响程度进行分类并应符合表 3.7.3 的规定。

表 3.7.3 桩身完整性分类表

桩身完整性类别	分类原则	
	缺陷程度	桩身完整性检测结果
I 类桩	桩身完整	满足验收要求
II 类桩	桩身有轻微缺陷，不会影响桩身结构承载力的正常发挥	满足验收要求
III 类桩	桩身有明显缺陷，对桩身结构承载力有影响	应进一步确定桩身缺陷对桩身结构承载力的影响程度
IV 类桩	桩身存在严重缺陷	不满足验收要求

注：IV 类桩应进行工程处理。

**3.7.4** 桩、锚杆或土钉承载力检测结果应给出每根桩、锚杆或土钉的承载力是否满足设计要求的结论。

**3.7.5** 锁定力检测应提供每根受检锚杆的锁定力值。

**3.7.6** 检测报告应结论准确、用词规范，对容易混淆的术语和概念应以本规范

为准。

**3.7.7 检测报告应包含以下内容：**

- 1** 委托方名称，工程名称、工程地点，建设、勘察、设计、监理和施工单位，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** 主要岩土工程勘察资料；
- 3** 检测对象的编号、位置和相关施工记录；
- 4** 主要检测仪器设备；
- 5** 检测方法；
- 6** 检测过程叙述及异常情况描述；
- 7** 实测与计算分析图表和检测数据汇总结果；
- 8** 与检测内容相应的结论。

## 4 标准贯入试验

### 4.1 一般规定

4.1.1 标准贯入试验可用于以下地基检测：

- 1 鉴别砂土、粉土、黏性土、花岗岩残积土、花岗岩全风化岩与强风化岩的岩土性状；
- 2 推定砂土、粉土、黏性土、花岗岩残积土等天然地基及其处理土地基的地基承载力；
- 3 评价处理土地基的地基处理效果；
- 4 评价复合地基增强体的施工质量；
- 5 判别粉土、砂土液化级别。

4.1.2 采用标准贯入试验鉴别混凝土灌注桩桩端持力层岩土性状时，标准贯入试验应按本章的规定执行。

### 4.2 设备

4.2.1 标准贯入试验的设备应符合表 4.2.1 的规定。

表 4.2.1 标准贯入试验设备规格

落    锤		锤的质量（kg）	63.5±0.5
		落    距（cm）	76±2
贯入器	对开管	长    度（mm）	>500
		外    径（mm）	51±1
		内    径（mm）	35±1
	管    靴	长    度（mm）	50～76
		刃口角度（°）	18～20
		刃口单刃厚度（mm）	2.5/1.6
钻    杆		直    径（mm）	42/50
		相对弯曲	<0.5%

穿心锤导向杆	相对弯曲	<1/1000
--------	------	---------

**4.2.2** 标准贯入试验应采用自动脱钩的自由落锤方式进行试验。

**4.2.3** 标准贯入试验前应对锤的质量、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进行检查。

### 4.3 现场检测

**4.3.1** 标准贯入试验孔应采用回转钻进。标准贯入试验孔钻进时，应保持孔内水位略高于地下水位。当孔壁不稳定时，可用泥浆护壁，在泥浆护壁不能保持孔壁稳定时，宜下套管护壁，首个试验点应在套管底端 75cm 以下。钻至试验点标高以上 15cm 处，清除孔底残土后再进行试验。

**4.3.2** 标准贯入试验落锤高度为 76cm±2cm，锤击速率应小于 30 击/min。试验时，应保持贯入器、探杆、导向杆联接后的垂直度，减小导向杆与锤间的摩阻力，避免锤击偏心和侧向晃动。

**4.3.3** 贯入器打入土中 15cm 后，开始记录每打入 10cm 的锤击数，累计打入 30cm 的锤击数为标准贯入试验实测锤击数  $N$ 。

当锤击数已达 50 击，而贯入深度未达 30cm 时，应记录 50 击的总贯入深度，按式（4.3.3）计算标准贯入试验实测锤击数  $N$ ，并终止试验。

$$N = 30 \times \frac{50}{\Delta s} \quad (4.3.3)$$

式中： $N$ ——标准贯入试验实测锤击数；

$\Delta s$ ——50 击的总贯入深度（cm）。

**4.3.4** 贯入器拔出后，应对贯入器中的土样进行鉴别描述。

**4.3.5** 每个检测孔的标准贯入试验点数量不应少于 3 点，同一检测孔的标准贯入试验点间距宜为等间距，深度间距宜为 1.0m~1.5m。达到本规范第 3.2.12 条规定的检测深度时，应在其附近进行一次标准贯入试验。

**4.3.6** 标准贯入试验数据可按本规范表 A.0.1 的格式记录。

### 4.4 检测数据分析与判定

**4.4.1** 对检测数据进行分析处理时，应剔除异常值。

**4.4.2** 当确定地基承载力特征值时宜采用标准贯入试验修正锤击数  $N'$ ，当判别砂土、粉土液化和鉴别岩土性状时宜采用标准贯入试验实测锤击数  $N$ 。当须作杆长修正时，锤击数应按下式进行钻杆长度修正：

$$N' = \alpha N \quad (4.4.2)$$

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4.4.2确定。

**表 4.4.2 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

**4.4.3** 对于天然土地基和处理土地基，标准贯入试验结果应提供每个检测孔的标准贯入试验修正锤击数  $N'$ （或标准贯入试验实测锤击数  $N$ ）及土层分类与深度的关系曲线或表格。对于复合地基增强体，标准贯入试验结果应提供每个检测孔的标准贯入试验修正锤击数  $N'$  与深度的关系曲线或表格。

**4.4.4** 对每个检测孔，应根据不同深度的标准贯入试验实测锤击数，采用算术平均值法计算标准贯入实测锤击数的单孔代表值。

**4.4.5** 单位工程同一分类土层的标准贯入试验实测锤击数的标准值  $N_k$  和标准贯入试验修正锤击数的标准值  $N'_k$ ，应按本规范附录 B 的统计计算方法确定。

**4.4.6** 砂土、粉土、黏性土、花岗岩残积土等岩土性状可根据标准贯入试验实测锤击数的标准值  $N_k$  按下列规定进行评价：

**1** 砂土的密实度可按表4.4.6-1分为松散、稍密、中密、密实。

**表 4.4.6-1 砂土的密实度分类**

标准贯入试验实测锤击数标准值 $N_k$	密实度
$N_k \leq 10$	松散
$10 < N_k \leq 15$	稍密
$15 < N_k \leq 30$	中密
$N_k > 30$	密实

2 粉土的密实度可按表4.4.6-2分为松散、稍密、中密、密实。

表 4.4.6-2 粉土的密实度分类

标准贯入试验实测锤击数标准值 $N_k$	密实度
$N_k \leq 5$	松散
$5 < N_k \leq 10$	稍密
$10 < N_k \leq 15$	中密
$N_k > 15$	密实

3 黏性土的状态可按表4.4.6-3分为流塑、软塑、可塑、硬塑、坚硬。

表 4.4.6-3 黏性土的状态分类

标准贯入试验实测锤击数标准值 $N_k$	状态
$N_k \leq 2$	流塑
$2 < N_k \leq 4$	软塑
$4 < N_k \leq 18$	可塑
$18 < N_k \leq 35$	硬塑
$N_k > 35$	坚硬

4 花岗岩类岩石的风化程度可按表4.4.6-4分为残积土、全风化岩和强风化岩。风化软岩的风化程度分类也可按本款的规定执行。

表 4.4.6-4 花岗岩类岩石的风化程度

标准贯入试验实测锤击数标准值 $N_k$	风化程度
$N_k < 30$	残积土
$30 \leq N_k < 50$	全风化
$N_k \geq 50$	强风化

4.4.7 砂土、粉土、黏性土、花岗岩残积土等地基土承载力特征值可根据标准贯入试验修正锤击数标准值  $N'_k$  按表 4.4.7-1~4.4.7-4 的规定进行推定。

表 4.4.7-1 砂土承载力特征值  $f_{ak}$  (kPa)

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

表 4.4.7-2 粉土承载力特征值  $f_{ak}$  (kPa)

$N'_k$	4	6	8	10	12	15	18	20	22	25	28	30
$f_{ak}$	100	128	150	170	185	213	240	260	280	310	335	350

表 4.4.7-3 黏性土承载力特征值  $f_{ak}$  (kPa)

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

表 4.4.7-4 花岗岩残积土（全风化岩）承载力特征值  $f_{ak}$  (kPa)

$N'_k$	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23
$f_{ak}$	100	150	200	240	280	320	360	420	500	580	660

**4.4.8** 处理土地基可按本规范第 4.4.7 条的规定推定地基承载力和本规范第 4.4.6 条的规定判断岩土性状。

**4.4.9** 处理土地基的地基处理效果宜根据处理前后的试验数据进行评价。判定处理后的砂土、粉土液化应按《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定执行。

**4.4.10** 复合地基增强体的施工质量应按单桩进行评价，可根据检测孔的标准贯入试验实测锤击数对增强体的均匀性和密实程度进行评价。

**4.4.11** 检测报告除应包括本规范第 3.7.7 条内容外，尚应包括下列内容：

- 1 标准贯入锤击数及土层分类与深度关系曲线；
- 2 每个检测孔的标准贯入试验实测锤击数的单孔代表值；
- 3 同一分类土层的标准贯入试验实测锤击数标准值和标准贯入试验修正



锤击数标准值；

- 4 岩土性状分析或地基处理效果评价；
- 5 对天然地基、处理土地基检测时，提供地基承载力特征值。

## 5 圆锥动力触探试验

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 圆锥动力触探试验可用于鉴别天然地基的岩土性状，推定其地基承载力；评价处理土地基的地基处理效果，推定其地基承载力；评价复合地基增强体的施工质量；评价强夯置换墩着底情况。

**5.1.2** 圆锥动力触探试验的类型有轻型、重型和超重型三种。应根据地质条件合理选择圆锥动力触探试验类型。

**5.1.3** 对于换填地基、黏性土、粉土、粉砂、细砂等地基，可选择轻型圆锥动力触探试验；对于黏性土、粉土、砂土、中密以下的碎石土、极软岩等地基，可选择重型圆锥动力触探试验；对于密实碎石土、极软岩、软岩等地基，可选择超重型圆锥动力触探试验。对于振冲桩、砂石桩等复合地基增强体，可选择重型圆锥动力触探试验。

**5.1.4** 圆锥动力触探试验鉴别混凝土灌注桩桩端持力层岩土性状可按本方法的规定执行。

### 5.2 设备

**5.2.1** 圆锥动力触探试验的设备规格应符合表 5.2.1 的规定。

表 5.2.1 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)	10.0±0.2	63.5±0.5	120±1
	落 距 (cm)	50±2	76±2	100±2
探 头	直 径 (mm)	40±1	74±1	74±1
	锥 角 (°)	60±2	60±2	60±2
探 杆	直径 (mm)	25±1	42/50	50~60

**5.2.2** 重型及超重型圆锥动力触探试验的落锤应采用自动脱钩装置。

**5.2.3** 探杆应顺直，每节探杆相对弯曲宜小于 0.5%，丝扣完好无裂纹。

## 5.3 现场检测

**5.3.1** 圆锥动力触探试验应采用自由落锤。

**5.3.2** 圆锥动力触探试验应符合下列规定：

- 1 应连续锤击贯入，锤击速率宜为（15~30）击/min；
- 2 轻型圆锥动力触探锤的落距应为50cm，重型动力触探锤的落距应为76cm，超重型动力触探锤的落距应为100cm；
- 3 试验时，应避免锤击偏心和侧向晃动，圆锥动力触探杆倾斜度不应大于2%；
- 4 每贯入1m，应将探杆转动一圈半；
- 5 应及时记录试验点深度和锤击数；轻型圆锥动力触探记录每贯入30cm的锤击数（记为 $N_{10}$ ）；重型圆锥动力触探记录每贯入10cm的锤击数（记为 $N_{63.5}'$ ）；超重型圆锥动力触探记录每贯入10cm的锤击数（记为 $N_{120}'$ ）；
- 6 当检测深度满足本规范第3.2.12条的规定时，可终止试验。

**5.3.3** 当检测深度未满足本规范第3.2.12条的规定，应执行下列规定：

- 1 当有硬夹层时，宜穿过硬夹层后继续试验；
- 2 当连续三次轻型圆锥动力触探试验锤击数超过 50 击时，应改用重型圆锥动力触探继续进行试验；
- 3 当连续三次重型圆锥动力触探试验锤击数大于 30 击时，应改用超重型圆锥动力触探继续进行试验；
- 4 执行本规范第 5.3.4 条的规定。

**5.3.4** 当少数检测孔的检测深度不能满足本规范第 3.2.12 条的规定时，应按本规范第 3.1.12 条的规定进行重新检测；当多数检测孔的检测深度不能满足本规范第 3.2.12 条的规定时，应按本规范第 3.1.6 条的规定重新选择检测方法或与设计协商解决办法。

**5.3.5** 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。

**5.3.6** 圆锥动力触探试验数据可按本规范表 A.0.2 的格式记录。

## 5.4 检测数据分析与判定

**5.4.1** 检测数据进行分析处理时，应剔除异常值；轻型圆锥动力触探试验采用实测锤击数，重型和超重型圆锥动力触探试验采用修正锤击数，重型和超重型圆锥动力触探试验修正锤击数应符合附录 C 的规定。

**5.4.2** 对于每个检测孔，圆锥动力触探试验结果宜绘制圆锥动力触探试验锤击数与试验深度关系曲线图表。

**5.4.3** 对每个检测孔，应根据不同深度的圆锥动力触探试验锤击数，采用平均值法计算圆锥动力触探试验锤击数的单孔代表值。当同一检测孔同时有轻型、重型、超重型圆锥动力触探试验时，应分别计算其单孔代表值。

**5.4.4** 土层分类应根据圆锥动力触探试验锤击数的空间分布规律、结合岩土工程勘察资料综合确定。单位工程同一分类土层的轻型圆锥动力触探试验锤击数、重型圆锥动力触探试验锤击数或超重型圆锥动力触探试验锤击数的标准值，应按附录 B 的统计计算方法确定。统计计算时，除应剔除本规范第 5.4.1 条所规定的异常值外，尚应剔除临界深度以内的数值、超前和滞后影响范围内的异常值。

**5.4.5** 一般黏性土、黏性素填土、粉土和粉细砂土地基的承载力特征值，可根据同一分类土层的轻型圆锥动力触探试验锤击数标准值，按表 5.4.5 的规定进行推定。

**表 5.4.5 轻型动力触探试验推定地基承载力特征值  $f_{ak}$  (kPa)**

$N_{10, k}$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
一般黏性土地基	50	70	100	140	180	220	-	-	-	-
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

**5.4.6** 黏性土状态、砂土密实度、碎石土（桩）密实度，可根据同一分类土层重型或超重型圆锥动力触探试验锤击数标准值，按表 5.4.6-1~5.4.6-5 的规定进行评价；碎石土地基承载力特征值可按表 5.4.6-6 的规定进行推定。

**表 5.4.6-1 黏性土的状态分类**

$N_{63.5, k}$	$N_{63.5, k} \leq 1.5$	$1.5 < N_{63.5, k} \leq 3$	$3 < N_{63.5, k} \leq 7.5$	$7.5 < N_{63.5, k} \leq 10$	$N_{63.5, k} > 10$
状态	流塑	软塑	可塑	硬塑	坚硬

表 5.4.6-2 砂土的密实度分类

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

表 5.4.6-3 碎石土密实度按  $N_{63.5}$  分类

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

注：本表适用于平均粒径等于或小于 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，可用超重型圆锥动力触探。

表 5.4.6-4 碎石土密实度按  $N_{120}$  分类

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

表 5.4.6-5 碎石桩的密实度分类（待核实）

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

表 5.4.6-6 碎石土承载力特征值  $f_{ak}$  (kPa)

密实度 土的名称	稍密	中密	密实
卵石	300~500	500~800	800~1000
碎石	200~400	400~700	700~900
圆砾	200~300	300~500	500~700
角砾	150~200	200~400	400~600

**5.4.7** 一般黏性土、中砂、粗砂、粉砂、细砂土地基的承载力特征值，可根据同一分类土层的重型圆锥动力触探试验锤击数标准值，按表 5.4.7 的规定进行推定。

表 5.4.7  $N_{63.5}$  重型圆锥动力触探试验推定地基承载力特征值  $f_{ak}$  (kPa)

$N_{63.5,k}$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
一般黏性土地基	120	150	180	210	240	265	290	320	350	375	400
中砂、粗砂土地基	-	120	160	200	240	280	320	360	400	-	-
粉砂、细砂土地基	-	75	100	125	150	175	200	225	250	-	-

**5.4.8** 处理土地基的地基承载力特征值可按本规范第 5.4.5~5.4.7 条的规定推定。

**5.4.9** 处理土地基的地基处理效果宜根据处理前后的试验数据进行评价。

**5.4.10** 复合地基增强体的施工质量应接单桩进行评价，可根据检测孔的圆锥动力触探试验锤击数对增强体的均匀性和密实程度进行评价。

**5.4.11** 强夯置换墩着底情况可根据单位工程试验数据进行评价。

**5.4.12** 检测报告除应包括本规范第 3.7.7 条内容外，尚应包括下列内容：

- 1 圆锥动力触探试验锤击数与贯入深度关系曲线图（表）；
- 2 每个检测孔的圆锥动力触探试验锤击数的单孔代表值；
- 3 同一分类土层的圆锥动力触探试验锤击数的标准值；
- 4 地基（土）密实度和承载力特征值。

## 6 静力触探试验

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 静力触探试验可用于推定软土、一般黏性土、粉土和砂土的天然地基及其采用强夯、预压、压实、挤密、夯实处理的处理土地基的地基承载力和变形参数，评价处理土地基的地基处理效果。

### 6.2 仪器设备

**6.2.1** 静力触探可根据工程需要采用单桥触探头或双桥触探头，采用单桥触探头时应测定比贯入阻力，采用双桥触探头时应测定锥尖阻力和侧壁摩阻力。

**6.2.2** 单桥触探头和双桥触探头的规格应符合表 6.2.2 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 双桥触探头的摩擦筒应紧挨锥头，当联结部位有倒角时，其倒角应为45°，且摩擦筒与锥头的间距不应大于10mm；
- 3 双桥触探头锥头等直径部分的高度，不应超过3mm。

表 6.2.2 单桥和双桥静力触探头规格

锥底截面积 ( $\text{cm}^2$ )	锥底直径 (mm)	锥角 (°)	单桥触探头	双桥触探头	
			有效侧壁长度 (mm)	摩擦筒表面积 ( $\text{cm}^2$ )	摩擦筒长度 (mm)
10	35.7	60	57	150	133.7
15	43.7	60	70	300	218.5
20	50.4	60	81	300	189.5

**6.2.3** 静力触探试验量测仪器的性能指标应符合下列规定：

- 1 温度漂移误差应小于0.01%FS/°C；
- 2 现场归零误差应小于3%；
- 3 绝缘电阻不小于500MΩ；
- 4 应能在温度-10℃～45℃的环境中工作。

**6.2.4** 静力触探试验的数据传输线应采用屏蔽电缆，双桥触探头两组桥路的数

据传输线宜分别屏蔽。

**6.2.5** 静力触探试验的量测仪器宜采用专用的静力触探试验记录仪。

**6.2.6** 探杆直径应小于触探头的锥底直径。

**6.2.7** 探杆应顺直，每节探杆相对弯曲宜小于 0.5%，丝扣完好无裂纹。

## **6.3 现场检测**

**6.3.1** 静力触探试验设备的安装应符合下列要求：

- 1 检测孔应避开地下电缆、管线及其他地下设施；
- 2 应根据检测深度和表面土层的性质，选择适应的反力装置；
- 3 静力触探设备安装应平稳、牢固。

**6.3.2** 静力触探头的选择与率定应符合下列要求：

- 1 应根据土层性质和预估静力触探试验贯入阻力，选择分辨率合适的静力触探头；
- 2 试验前，静力触探头应连同仪器、电缆在室内进行率定；测试时间超过三个月时，每三个月应对静力触探头率定一次；当发现异常情况时，应重新率定。率定方法应符合本规范附录D的规定。

**6.3.3** 静力触探试验现场操作应符合下列规定：

- 1 现场量测仪器应与率定触探头时的量测仪器相同；贯入前，应连接量测仪器对触探头进行试压，检查顶柱、锥头、摩擦筒是否能正常工作；
- 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，待量测仪器无明显零位漂移时，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在  $(1.2 \pm 0.3)$  m/min 范围内；在同一检测孔的试验过程中宜保持匀速贯入；
- 5 试验点间距宜为 0.1m~0.2m，同一检测孔的试验点间距应保持不变；
- 6 达到本规范第3.1.12条规定的测试深度时，可终止试验。

**6.3.4** 静力触探试验记录应符合下列规定：

- 1 贯入过程中，可每隔 2m~3m 提升探头一次，测读零漂值或调整零位；终止试验时，必须测读和记录零漂值；



- 2 应及时测读和记录每个试验点的贯入阻力;
- 3 应核对实际孔深与记录深度的偏差;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。

**6.3.5** 当出现下列情况之一时,应终止试验:

- 1 触探头的贯入阻力达到额定荷载值;
- 2 反力装置失效;
- 3 静力触探孔倾斜度大于2%。

**6.3.6** 试验完成后,触探头应及时起拔,并清洗干净,妥善保存,不应使触探头暴晒。不得用电缆线提拉触探头。

**6.3.7** 静力触探试验数据可按本规范表 A.0.3 的格式记录。

## 6.4 检测数据分析与判定

**6.4.1** 试验数据的处理应符合下列规定:

- 1 应剔除异常值;
- 2 当出现零位漂移超过满量程的 $\pm 1\%$ 时,可按线性内插法校正;
- 3 当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;
- 4 当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。

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

$$p_s = K_p \cdot (\varepsilon_p - \varepsilon_0) \quad (6.4.2-1)$$

$$q_c = K_q \cdot (\varepsilon_q - \varepsilon_0) \quad (6.4.2-2)$$

$$f_s = K_f \cdot (\varepsilon_f - \varepsilon_0) \quad (6.4.2-3)$$

$$\alpha = f_s / q_c \quad (6.4.3-4)$$

式中:  $p_s$ ——单桥触探头的比贯入阻力 (kPa);

$q_c$ ——双桥触探头的锥尖阻力 (kPa);

$f_s$ ——双桥触探头的侧壁摩阻力 (kPa);

$\alpha$ ——摩阻比 (%)；

$K_p$ ——单桥触探头率定系数 (kPa/ $\mu\epsilon$ )；

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

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

$\epsilon_p$ ——单桥触探头的比贯入阻力应变变量 ( $\mu\epsilon$ )；

$\epsilon_q$ ——双桥触探头的锥尖阻力应变变量 ( $\mu\epsilon$ )；

$\epsilon_f$ ——双桥触探头的侧壁摩阻力应变变量 ( $\mu\epsilon$ )；

$\epsilon_0$ ——触探头的初始读数或零读数应变变量 ( $\mu\epsilon$ )。

**6.4.3** 对于每个检测孔，单桥触探头应整理并绘制比贯入阻力与深度的关系曲线，双桥触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。

**6.4.4** 当采用单桥触探头测试时，应根据比贯入阻力与深度的关系曲线进行土层力学分层。当采用双桥触探头测试时，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土层力学分层。

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。

进行土层力学分层时，每层土层中最大贯入阻力与最小贯入阻力之比，不应超过表6.4.4的规定。

**表 6.4.4 土层力学分层按贯入阻力变化幅度的分层标准**

$p_s$ 或 $q_c$ (MPa)	最大贯入阻力与最小贯入阻力之比
$\leq 1.0$	1.0~1.5
1.0~3.0	1.5~2.0
$\geq 3.0$	2.0~2.5

**6.4.5** 对每个检测孔，应根据不同深度的静力触探试验结果，采用平均值法计算比贯入阻力或锥尖阻力的单孔代表值。

**6.4.6** 土层分类应根据土层力学分层和岩土工程勘察资料综合确定。单位工程同一分类土层的比贯入阻力或锥尖阻力的标准值，应按附录 B 的统计计算方法确定。统计计算时，除应剔除本规范第 6.4.1 条所规定的异常值外，尚应剔除临界深度以内的数值、超前和滞后影响范围内的异常值。

**6.4.7** 天然土地基的承载力特征值  $f_{ak}$  和变形模量  $E_0$  的推定应符合下列规定：

- 1 可根据比贯入阻力标准值，按表6.4.7-1、6.4.7-2的规定进行推定；
- 2 当采用锥尖阻力值时，可按  $p_s=1.1q_c$  的关系换算比贯入阻力标准值，按表6.4.7-1、6.4.7-2的规定进行推定；
- 3 静力触探结果宜结合平板载荷试验结果对天然土地基承载力特征值作出评价。

**表 6.4.7-1 天然土地基承载力特征值  $f_{ak}$  与比贯入阻力标准值的关系（单位：kPa）**

$f_{ak}$	$p_s$ 适用范围	适用土类
$0.112p_s+5$	85~800	软土(淤泥、淤泥质土)
$0.02p_s+59.5$	1000~15000	粉细砂
$0.036p_s+76.6$	1000~10000	中粗砂
$0.036p_s+44.6$	-	粉土
$5.8p_s^{0.5}-46$	$\leq 6000$	一般黏性土
$0.094p_s+18.8$	2000~6000	老黏性土

**表 6.4.7-2 变形模量  $E_0$  与比贯入阻力标准值的关系（单位：MPa）**

$E_0$	$p_s$ 适用范围	适用土类
$6.03p_s^{1.45}+0.8$	0.085~2.5	软土、饱和黏性土(Q <sub>4</sub> )
$11.78p_s-4.69$	3~6	黏性土(Q <sub>1</sub> ~Q <sub>4</sub> )
$3.57p_s^{0.684}$	1~20	细砂、粉砂、粉土

**6.4.8** 处理土地基可按本规范第 6.4.7 条的规定推定地基承载力和变形模量。

**6.4.9** 处理土地基的地基处理效果宜根据处理前后的试验数据进行评价。

**6.4.10** 检测报告除应包括本规范第 3.7.7 条内容外，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的单孔代表值；
- 3 同一分类土层的比贯入阻力或锥尖阻力的标准值；
- 4 地基变形模量和承载力特征值。

## 7 十字板剪切试验

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 十字板剪切试验可用于检测软黏性土及其预压处理地基的不排水抗剪强度和灵敏度。

### 7.2 仪器设备

**7.2.1** 十字板剪切仪可根据实际情况选择机械式十字板剪切仪或电测式十字板剪切仪。

机械式十字板剪切仪是利用蜗轮旋转插入土层中的十字板头，由开口钢环测出抵抗力矩，计算土的抗剪强度。

电测式十字板剪切仪是通过在十字板头上连接处贴有电阻片的受扭力矩的传感器，用电阻应变仪测剪切扭力。

**7.2.2** 十字板形状宜为矩形，其规格应符合表 7.2.2 的规定。

表 7.2.2 十字板主要规格

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

**7.2.3** 扭力测量设备的主要技术指标应符合表 7.2.3 的规定。

表 7.2.3 扭力测量设备主要技术指标

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

**7.2.4** 十字板剪切仪的性能指标应符合下列规定：

- 1 温度漂移应小于0.01%FS/°C，绝缘电阻不小于500MΩ。
- 2 十字板剪切仪的测量精度应达到1kPa。
- 3 仪器应能在温度-10°C~45°C的环境中工作。

**7.2.5** 十字板剪切试验的数据传输线应采用屏蔽电缆。

**7.2.6** 十字板剪切试验的量测仪器宜采用专用的试验记录仪。

**7.2.7** 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。

### **7.3 现场检测**

**7.3.1** 仪器设备安装应符合下列规定：

- 1 检测孔应避开地下电缆、管线及其他地下设施；
- 2 检测孔附近的地面应平整；
- 3 设备安装应平稳。

**7.3.2** 试验前，十字板探头应连同量测仪器、电缆进行率定。现场量测仪器应与率定探头时的量测仪器相同。

**7.3.3** 机械式十字板剪切仪试验操作应符合下列规定：

- 1 利用钻孔辅助设备成孔，将套管下至试验点以上3倍~5倍套管直径处，并清除孔内残土；
- 2 将十字板头、轴杆与探杆逐节连接并拧紧，然后下放十字板头至孔底；
- 3 接上导杆，将底座穿过导杆固定在套管上，用制紧螺丝拧紧，然后将十字板头压至试验点处；十字板插入至试验点后，静止时间不应少于3min，方可开始试验；当有较硬夹层时，应穿过该夹层后再进行试验；
- 4 先提升导杆（2~3）厘米，使离合器脱离，用旋转手柄快速旋转导杆十余圈，使轴杆摩擦减至最低值，然后再合上离合器；
- 5 安装扭力测量设备，测读轴杆与土体间的摩擦力和仪器机械阻力的初始读数（ $P_0$ ）；
- 6 施加扭力，以  $6^\circ \sim 12^\circ/\text{min}$  的转速旋转，每  $1^\circ \sim 2^\circ$  测读数据一次；当出现峰值或稳定值后，再继续测读 1min；其扭力峰值或稳定值读数即为原状土剪切破坏时的剪损土体的总作用力（ $P_f$ ）；
- 7 松开导杆夹具，测读扭力初始读数（即重塑土强度测试前的初始读数  $P_0'$ ）或调整零位，再用扳手或管钳快速将钻杆反方向转动6圈，使十字板头周围土充分扰动，进行重塑土的试验，测得稳定值读数（即剪损重塑土体的总作用力  $P_f'$ ）；
- 8 依次进行下一个试验点的剪切试验；

9 待全孔试验完毕后，逐节提取探杆与十字板头，清洗干净，检查各部件的完好程度，妥善保存，不应使板头暴晒。

**7.3.4 电测式十字板剪切试验操作应符合下列规定：**

1 十字板探头压入前，宜将探头的电缆线一次穿入需用的全部探杆；

2 试验前，十字板探头应连同量测仪器、电缆进行率定。现场量测仪器应与率定探头时的量测仪器相同；贯入前，应连接量测仪器对探头进行试力，检查探头是否能正常工作；

3 将十字板头直接缓慢压入至试验点处，使用旋转装置卡盘卡住探杆；静止时间不应少于3min后，测读应变初始读数（ $\varepsilon_0$ ）或调整零位，方可开始正式试验；

4 施加扭力，以（6~12）度/min 的转速旋转，每（1~2）度测读数据一次；当出现峰值或稳定值后，再继续测读 1min；应变测试仪的峰值或稳定值读数即为原状土剪切破坏时的应变读数（ $\varepsilon$ ）；

5 松开导杆夹具，测读应变初始读数（ $\varepsilon'_0$ ）或调整零位，再用扳手或管钳快速将钻杆反方向转动6圈，使十字板头周围土充分扰动，进行重塑土的试验，测得最大应变读数（ $\varepsilon'$ ）；

6 依次进行下一个试验点的剪切试验；

7 待全孔试验完毕后，逐节提取探杆与十字板头，清洗干净，检查各部件的完好程度，妥善保存，不应使探头暴晒，不得用电缆线提拉探头。

**7.3.5** 每个检测孔的十字板剪切试验点数不应少于 3 次，深度间距宜为 1.5m~2.0m，深度间距最小值不应小于 0.8m。达到本规范第 3.1.12 条规定的检测深度时，应在其附近进行一次十字板剪切试验。

**7.3.6 十字板剪切试验记录应符合下列规定：**

1 应记录初始读数、扭矩的峰值或稳定值；

2 十字板探头的编号、十字板常数（ $K_c$ ）、率定系数；

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。

**7.3.7 当出现下列情况之一时，可终止试验：**

1 十字探头的阻力达到额定荷载值；

- 2 电信号陡变或消失;
- 3 探杆倾斜度超过2%。

7.3.8 十字板剪切试验数据可按本规范表 A.0.4 的格式记录。

## 7.4 检测数据分析与判定

7.4.1 试验数据的处理应符合下列规定:

- 1 应剔除异常值;
- 2 当出现零位漂移超过满量程的 $\pm 1\%$ 时, 可按线性内插法校正;
- 3 当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。

7.4.2 机械式十字板剪切仪的十字板常数  $K_c$  可按下式计算:

$$K_c = \frac{2R}{\pi B^2 \left( \frac{B}{3} + H \right)} \quad (7.4.2)$$

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

$R$ ——施力转盘半径(mm);

$B$ ——十字板板宽(mm);

$H$ ——十字板板高(mm)。

7.4.3 地基土不排水抗剪强度  $C_u$  可按下列公式计算:

$$C_u = 1000K_c (P_f - P_0) \quad (7.4.3-1)$$

或

$$C_u = K (\varepsilon - \varepsilon_0) \quad (7.4.3-2)$$

式中:  $C_u$ ——地基土不排水抗剪强度 (kPa), 精确至 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 ( $\text{kPa}/\mu\varepsilon$ );

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

$\varepsilon_0$ ——应变测试仪初始读数 ( $\mu\varepsilon$ )。

7.4.4 地基土重塑土强度  $C'_u$  可按下列公式计算:

$$C_u' = K_c (P_f' - P_0') \quad (7.4.4-1)$$

或

$$C_u' = (\varepsilon' - \varepsilon_0') \quad (7.4.4-2)$$

式中：  $C_u'$ ——地基土重塑土强度（kPa），精确至 0.1kPa；

$P_f'$ ——剪损重塑土体的总作用力（N）；

$\varepsilon'$ ——剪损重塑土对应的最大应变值（ $\mu\varepsilon$ ）；

$P_0'$ ——重塑土强度测试前的扭力初始读数（N）；

$\varepsilon_0'$ ——重塑土强度测试前的应变初始读数（ $\mu\varepsilon$ ）。

**7.4.5** 土的灵敏度  $C_t$  可按下式计算：

$$C_t = C_u / C_u' \quad (7.4.5)$$

式中：  $C_t$ ——土的灵敏度。

**7.4.6** 对于每个检测孔，应计算各试验点的地基土的不排水抗剪强度、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；也可绘制各试验点的抗剪强度与扭转角度的关系图表。

**7.4.7** 对每个检测孔，应根据不同深度的十字板剪切试验结果，采用平均值法计算不排水抗剪强度、重塑土强度和灵敏度的单孔代表值。

**7.4.8** 单位工程同一分类土层的不排水抗剪强度、重塑土强度和灵敏度的标准值，应按本规范附录 B 的统计计算方法确定。

**7.4.9** 十字板剪力试验结果宜结合平板载荷试验结果对地基土承载力特征值作出评价。当单独采用十字板剪力试验统计结果评价地基（土）时，可根据不排水抗剪强度的标准值，推定同一分类土层的地基土承载力特征值。

**7.4.10** 处理土地基的地基处理效果宜根据处理前后的试验数据进行评价。

**7.4.11** 检测报告除应包括本规范第 3.7.7 条内容外，尚应包括下列内容：

- 1 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；
- 2 每个检测孔的不排水抗剪强度、重塑土强度和灵敏度的单孔代表值；
- 3 同一分类土层的不排水抗剪强度、重塑土强度和灵敏度的标准值。



## 8 平板载荷试验

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 平板载荷试验适用于检测天然土地基、处理土地基和复合地基以及强风化岩和全风化岩岩石地基的承载力和变形参数，也可检测破碎或极破碎岩石地基的承载力和变形参数。

**8.1.2** 平板载荷试验可确定承压板下应力主要影响范围内地基的承载力特征值和变形参数。

**8.1.3** 地基系数试验和地基二次变形模量试验宜按照本规范附录 E 执行，地基动态变形模量试验宜按照本规范附录 F 执行。

**8.1.4** 地基深部土层和大直径桩的桩端土层的承载力可采用深层平板载荷试验，试验方法可按《建筑地基检测技术规范》JGJ340 的规定执行。

### 8.2 仪器设备及其安装

**8.2.1** 试验试坑宽度或直径不应小于承压板边宽或直径的三倍。试坑试验标高应与地基设计标高、或复合地基桩顶设计标高一致。天然地基和处理土地基试验时，承压板底面下宜用中粗砂找平，其厚度不超过 20mm；复合地基试验时，承压板底面下应铺设中粗砂垫层，当设计无要求时，其厚度取 50mm~150mm，桩身强度高时取大值。

**8.2.2** 承压板应有足够刚度。承压板可采用圆形、正方形、矩形钢板或钢筋混凝土板。天然地基和处理土地基的承压板尺寸应根据所需评估的地基土的应力主要影响深度范围确定，天然地基承压板面积不应小于  $0.5\text{m}^2$ ，其中，对于软土地基承压板面积不应小于  $1.0\text{m}^2$ ；处理土地基承压板面积不应小于  $1.0\text{m}^2$ ，其中，对于强夯地基、预压地基承压板面积不应小于  $2.0\text{m}^2$ 。复合地基的承压板面积应等于受检桩（1 根或 1 根以上）所承担的面积，承压板形状宜根据受检桩的分布确定。

**8.2.3** 加载反力装置宜选择压重平台等反力装置，并应符合下列规定：

- 1 加载反力装置能提供的反力不得小于最大试验荷载的 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 压重应在检测前一次加足, 并均匀稳固地放置于平台上;
  - 4 压重平台支墩施加于地基土上的压应力不宜大于地基土承载力特征值的1.5倍。
- 8.2.4** 试验加载应采用油压千斤顶。当采用单台千斤顶加载时, 千斤顶应位于承压板的几何中心。当采用两台及两台以上千斤顶加载时, 应符合下列规定:
- 1 千斤顶的规格、型号相同;
  - 2 千斤顶的合力中心、承压板几何中心应在同一铅垂线上;
  - 3 千斤顶应并联同步工作。
- 8.2.5** 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, 根据千斤顶校准结果换算荷载。
- 8.2.6** 承压板沉降宜采用位移传感器或大量程百分表进行测量, 其安装应符合下列规定:
- 1 承压板面积大于 $1\text{m}^2$ 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 $1\text{m}^2$ 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。各位移测量仪表在承压板上的安装点距承压板边缘的距离应一致, 宜为 $25\text{mm}\sim 50\text{mm}$ ;
  - 3 基准桩应牢固设置, 基准桩和基准梁应具有一定的刚度, 梁的一端应固定在基准桩上, 另一端应简支于基准桩上;
  - 4 基准桩、基准梁和固定沉降测量仪表的夹具应避免太阳照射、振动及其他外界因素的影响。
- 8.2.7** 试验仪器设备性能指标应符合下列规定:
- 1 荷重传感器、压力传感器或压力表的准确度应优于或等于0.5级;
  - 2 在最大试验荷载时, 试验用油泵、油管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试验荷载的2.5倍, 且不应小于最大试验荷载的1.2倍;
  - 4 位移测量仪表的测量误差不大于0.1%FS, 分辨力优于或等于0.01mm。
- 8.2.8** 承压板、压重平台支墩和基准桩之间的距离应符合表 8.2.8 的规定。

**表 8.2.8 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；B 为支墩宽度。

**8.2.9** 对大型平板载荷试验，当基准梁长度达到 12m，但基准桩和承压板、压重平台支墩之间的距离仍不能满足表 8.2.8 的规定时，基准梁长度可取 12m，此时，应对基准桩竖向位移进行监测，监测基准桩竖向位移的位移测量仪表的分辨力宜达到 0.1mm。

**8.2.10** 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。

### 8.3 现场检测

**8.3.1** 最大试验荷载等于最大试验压力与承压板面积的乘积，最大试验压力不应小于设计要求的地基承载力特征值的 2.0 倍。

**8.3.2** 正式试验前应进行预压。预压荷载为最大试验荷载的（5~10）%。预压后卸载至零，应测读位移测量仪表的初始读数或重新调整零位。

**8.3.3** 试验加卸载方式应符合下列规定：

1 当最大试验压力为设计要求的地基承载力特征值的 2.0 倍时，分级荷载宜为最大试验荷载的 1/8 或 1/10；

2 加载应分级进行，且采用逐级等量加载；其中第一级荷载可取分级荷载的 2 倍，以后的每级荷载取为分级荷载；

3 卸载应分级进行，每级卸载量取分级荷载的 2 倍，逐级等量卸载；当终止试验荷载为分级荷载的奇数倍数时，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  $\pm 10\%$ 。

**8.3.4** 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，应分别按第 0min、5min、15min、30min、45min、60min 测读承压板的沉降量，以后每隔 30min 测读一次；

2 承压板沉降相对稳定标准：每一小时内的承压板沉降量不得超过0.1mm，并连续出现两次（从荷载施加后的第30min开始，按1.5h连续三次每30min的沉降观测值计算）；

3 当承压板沉降速率达到相对稳定标准时，可施加下一级荷载；

4 卸载时，每级荷载应维持1h，分别按第15min、30min、60min测读承压板沉降量后，即可卸下一级荷载；卸载至零后，应测读承压板残余沉降量，维持时间为3h。测读时间分别为第15 min、30min，以后每隔30min测读一次。

**8.3.5 平板载荷试验的快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，应分别按第0min、5min、15min、30min、45min、60min测读承压板的沉降量，以后每隔30min测读一次；

2 承压板沉降相对稳定标准：试验荷载小于等于特征值对应的荷载时每一小时内的承压板沉降量不超过0.1mm，试验荷载大于特征值对应的荷载时每一小时内承压板沉降量不超过0.25mm；

3 当承压板沉降速率达到相对稳定标准时，可施加下一级荷载；

4 卸载时，每级荷载维持30min，按第5、15、30min测读承压板沉降量；卸载至零并测读一次，2h后再测读一次。

**8.3.6 复合地基载荷试验的加载方式应采用慢速维持荷载法。**

**8.3.7** 当执行本规范第 8.2.9 条的规定时，承压板的实际沉降量应根据基准桩的竖向位移测读值和承压板沉降量的测读值进行确定。

**8.3.8** 当出现下列情况之一时，可终止加载：

1 承压板周围的土明显地侧向挤出；

2 某级荷载作用下，承压板沉降量大于前一级荷载作用下的沉降量的5倍；

3 某级荷载作用下，24小时内沉降速率未能达到相对稳定标准；

4 累计沉降量与承压板直径或宽度（矩形承压板取短边）之比大于或等于0.06，或承压板的累计沉降量大于等于150mm；

5 加载至最大试验荷载，承压板沉降速率达到相对稳定标准。

**8.3.9** 试验过程中，当出现下列情况之一而被迫终止试验时，试验结果不得作为验收依据，应按本规范第 3.1.12 条的规定进行重新检测：

1 由于加载系统漏油等原因，无法施加荷载；

- 2 由于反力支墩下沉等原因，继续施加荷载可能导致反力装置系统失稳；
- 3 已达加载反力装置的最大反力，继续加载可能导致反力装置破坏。

**8.3.10** 平板载荷试验检测数据可按本规范表 A.0.5 的格式记录。

## 8.4 检测数据分析与判定

**8.4.1** 确定地基承载力时，应绘制荷载—沉降（ $Q-s$ ）、沉降—时间对数（ $s-\lg t$ ）曲线，需要时也可绘制其他辅助分析曲线。

**8.4.2** 地基极限承载力，当出现本规范第 8.3.8 条第 1、2、3 款情况时，取为前一级荷载值；出现本规范第 8.3.8 条第 5 款情况时，取最大试验荷载。

**8.4.3** 确定单个试验点的地基承载力特征值应符合下列规定：

1 当能确定极限荷载和比例界限，如果极限荷载大于对应比例界限的荷载值的2倍时，取该比例界限所对应的荷载值；如果极限荷载小于对应比例界限的荷载值的2倍时，取极限荷载值的50%；

2 出现本规范第8.3.8条第5款情况，且 $Q-s$ 曲线无法确定比例界限，承载力又未达到极限时，取最大试验荷载的50%所对应的荷载值；

3 当地基承载力特征值需要按地基变形取值时，可按表8.4.3对应的地基变形取值，但所取的承载力特征值不应大于最大试验荷载的1/2。

**表 8.4.3 天然地基、处理土地基及复合地基承载力特征值**

地基类型	地基土性质	特征值对应的相对变形值（ $s/b$ ）
天然地基、处理土地基	高压缩性土	0.015
	中压缩性土	0.012
	低压缩性土和砂土	0.01
	强风化岩、全风化岩、破碎或极破碎岩石地基	0.01
强夯置换墩复合地基	以黏性土、粉质黏土为主的地基	0.01
振冲碎石桩复合地基、 砂石桩复合地基	以黏性土为主的地基	0.013
	以粉土、砂土为主的地基	0.009

水泥粉煤灰碎石桩复合地基、素混凝土桩复合地基	以卵石、圆砾、密实粗中砂为主	0.008
	以黏性土、粉土为主的地基	0.01
旋喷桩复合地基、水泥搅拌桩复合地基	以黏性土、粉质黏土为主的地基	0.007

注：1  $s$  为与承载力特征值对应的承压板的沉降量； $b$  为承压板的宽度或直径，当  $b$  大于 2m 时，按 2m 计算；

2 当地基土性质不确定时， $s/b$  宜取 0.01；

3 水泥搅拌桩复合地基用于小区道路工程时， $s/b$  可取 0.01。

#### 8.4.4 确定单位工程的地基承载力特征值应符合下列规定：

1 同一条件下参加统计的试验点不应少于 3 点，当满足其极差不超过平均值的 30% 时，取其平均值作承载力的特征值；

2 当极差超过平均值的 30% 时，应分析极差过大的原因，结合工程具体情况综合确定；也可增加试验点数量。

#### 8.4.5 地基的变形模量可按下式计算：

$$E_0 = I_0 (1 - \mu^2) pb/s \quad (8.4.5)$$

式中： $E_0$ ——变形模量（MPa）；

$I_0$ ——承压板形状系数，圆形取 0.785，方形取 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；

$\mu$ ——岩土泊松比（碎石土取 0.27，砂土取 0.30，粉土取 0.35，粉质黏土取 0.38，黏土取 0.42；岩石地基泊松比可按本规范第 9.4.5 条取值）；

$b$ ——承压板边宽或直径（m）；

$p$ ——地基承载力特征值（kPa）；

$s$ ——与承载力特征值对应的沉降量（mm）。

#### 8.4.6 检测报告除应包括本规范第 3.7.7 条内容外，尚应包括下列内容：

1 承压板形状及尺寸；

2 荷载分级；

3 本规范第 8.4.1 条要求绘制的曲线及对应的数据表；

4 承载力判定依据；

- 5 每个试验点的地基承载力特征值；
- 6 单位工程的地基承载力特征值。

## 9 岩石地基载荷试验

### 9.1 一般规定

**9.1.1** 岩石地基载荷试验适用于检测完整、较完整、较破碎岩石作为天然地基和桩端持力层时的承载力和变形参数。

**9.1.2** 全风化岩、强风化岩，破碎、极破碎岩石的岩石地基承载力应按照本规范第 8 章的规定进行平板载荷试验。

### 9.2 仪器设备及其安装

**9.2.1** 试验场地应符合下列规定：

- 1 试验标高应与地基设计标高或桩底设计标高一致；
- 2 试坑开挖时，应减少对岩土土的扰动和破坏，试坑底面应平整且宽度或直径不应小于承压板直径的4倍；
- 3 承压板下的岩石表面应修凿平整，表面平整度不宜大于承压板直径的1%；
- 4 试验时，承压板底面应找平，其厚度不超过20mm。

**9.2.2** 承压板应采用直径为 30cm 的圆形钢板，且应有足够刚度。

**9.2.3** 加载反力装置应符合本规范第 8.2.3 条的规定。

**9.2.4** 试验加载应采用单台油压千斤顶，且应符合本规范第 8.2.4 条的规定。

**9.2.5** 荷载测量应符合本规范第 8.2.5 条的规定。

**9.2.6** 沉降测量应符合本规范第 8.2.6 条的规定。

**9.2.7** 试验仪器设备性能指标应符合本规范第 8.2.7 条的规定。

**9.2.8** 承压板、压重平台支墩和基准桩之间的距离应符合本规范第 8.2.8 条的规定。

**9.2.9** 试验时，地基的岩土状态应符合设计要求，可在天然状态下进行试验，也可在泡水状态下进行试验。当在天然状态下进行试验时，应采取措施，保持岩土的原状结构和天然湿度不变。

**9.2.10** 孔底（包括干作业成孔桩桩底、深井井底）岩基载荷试验可采用试坑坑底测试方式和地面测试方式，尚应符合下列规定：



1 当采用试坑坑底测试方式,可采用孔壁基岩提供反力,孔侧壁岩石提供的反力应大于最大试验荷载的1.5倍,设置位移测量基准点应避免试验荷载和反力的影响;

2 当采用地面测试方式,可采用荷载传力柱和位移测量杆等辅助装置,并应符合下列规定:

- 1) 荷载传力柱应有足够的刚度,荷载传力柱宜高出地面 50cm;荷载传力柱宜与承压板连接成为整体,荷载传力柱的顶部可采用钢筋等斜拉杆固定;
- 2) 位移测量杆应有足够的刚度,材质可采用钢管或硬塑管,位移测量杆的底端应与承压板固定连接,位移测量杆应每间隔一定距离与荷载传力柱滑动相连,位移测量杆的顶部宜高出地面 20cm 左右。

### 9.3 现场检测

9.3.1 最大试验荷载不应小于设计要求的承载力特征值的 3 倍。

9.3.2 正式试验前,宜按本规范第 8.3.2 条的规定进行预压。

9.3.3 岩石地基载荷试验的分级荷载宜为最大试验荷载的 1/9 或 1/12,试验加卸载方式应符合本规范第 8.3.4 条的规定。

9.3.4 试验步骤应符合下列规定:

- 1 每级荷载施加后,立即测读承压板的沉降量,以后每隔10min测读一次;
- 2 承压板沉降相对稳定标准:每半小时内的沉降量不超过0.03mm,并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,可施加下一级荷载;
- 4 每级卸载后,立即测读承压板的沉降量,以后每隔10min测读一次,累计测读三次后可卸下一级荷载。卸载至零后,每隔10min测读一次,当半小时回弹量小于0.01mm时,即认为稳定,终止试验。

9.3.5 当出现下列情况之一时,可终止加载:

- 1 某级荷载作用下,承压板沉降量大于前一级荷载作用下的沉降量的5倍;
- 2 某级荷载作用下,3小时内沉降速率未能达到相对稳定标准;
- 3 某级荷载作用下,荷载无法保持稳定且逐渐下降;

4 加载至最大试验荷载，承压板沉降速率达到相对稳定标准。

9.3.6 岩石地基载荷试验数据可按本规范表 A.0.5 的格式记录。

## 9.4 检测数据分析与判定

9.4.1 确定岩石地基承载力时，应绘制竖向荷载-沉降( $Q-s$ )或压力-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。

9.4.2 岩石地基极限承载力，当出现本规范第 9.3.5 条第 1、2、3 款情况时，取前一级荷载值；当出现本规范第 9.3.5 条第 4 款情况时，取最大试验荷载。

9.4.3 单个试验点的岩石地基承载力特征值的确定应符合下列规定：

1 当 $Q-s$ 曲线上有比例界限时，取该比例界限所对应的荷载值；

2 当能确定极限承载力和比例界限，且极限承载力小于对应比例界限荷载值的3倍时，取极限承载力的1/3；

3 出现本规范第9.3.5条第4款情况，且 $Q-s$ 曲线上无法确定比例界限或最大试验荷载小于对应比例界限载值的3倍时，取最大试验荷载的1/3。

9.4.4 单位工程的岩石地基承载力特征值的确定应符合符合本规范第 8.4.4 条的规定。

9.4.5 岩石地基的变形模量可按本规范公式 (8.4.5) 进行计算，岩石地基的泊松比可按表 9.4.5 取值。

表 9.4.5 岩石地基的泊松比

岩石种类	$\mu$	岩石种类	$\mu$	岩石种类	$\mu$
闪长岩	0.26~0.37	正长岩	0.18~0.26	中灰岩	0.18~0.35
细粒花岗岩	0.24~0.29	片岩	0.12~0.25	石英岩	0.12~0.27
斜长花岗岩	0.19~0.22	玄武岩	0.23~0.32	粗砂岩	0.10~0.45
斑状花岗岩	0.13~0.23	安山岩	0.21~0.32	片麻岩	0.20~0.34
花岗闪长岩	0.20~0.23	花岗岩	0.17~0.36	页岩	0.09~0.35
石英砂岩	0.12~0.14	细砂岩	0.15~0.25	大理岩	0.06~0.35
片麻花岗岩	0.16~0.18	中砂岩	0.10~0.22	炭质砂岩	0.08~0.25
				泥灰岩	0.30~0.40

**9.4.6** 检测报告除应包括本规范第 3.7.7 条内容外，尚应包括下列内容：

- 1** 承压板形状及尺寸、试验标高；
- 2** 荷载分级；
- 3** 第9.4.1条要求绘制的曲线及对应的数据表；
- 4** 承载力判定依据；
- 5** 每个试验点的承载力特征值；
- 6** 单位工程的承载力特征值。

## 10 低应变法

### 10.1 一般规定

**10.1.1** 低应变法适用于检测钢筋混凝土桩、水泥粉煤灰碎石桩、素混凝土桩的桩身完整性，判定桩身缺陷的程度及位置。不适用于扩底桩桩底部分、咬合桩、支盘桩，以及长径比小于 5 的大直径钢筋混凝土桩的检测。

**10.1.2** 低应变法的有效检测深度应通过现场试验确定。

**10.1.3** 对桩身截面多变且变化幅度较大的灌注桩，应采用其他方法辅助验证低应变法检测的有效性。

### 10.2 仪器设备

**10.2.1** 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。

**10.2.2** 瞬态激振设备应包括能激发宽脉冲和窄脉冲的锤和锤垫；锤体可装有力传感器。

### 10.3 现场检测

**10.3.1** 受检桩的桩头处理应符合下列规定：

1 凿去桩顶浮浆、松散或破损部分，露出坚硬的混凝土表面，桩顶表面应平整、干净、无积水且与桩轴线基本垂直；对于预应力管桩，当端板与桩身混凝土之间结合不紧密时，应对桩头进行处理；

2 桩头的材质、强度、截面尺寸应与桩身基本等同；

3 妨碍正常测试操作的桩顶外露钢筋应割掉；

4 当受检桩的桩侧与基础的混凝土垫层浇注成一体时，应在确保垫层不影响检测结果的情况下方可进行检测。

**10.3.2** 锤型、锤重、锤垫材料和传感器安装方式，应通过现场对比测试进行选择。当需要进一步检测判断桩身深部缺陷时，锤重可在高应变法和低应变法的锤重之间进行选择，且宜大于 100N；也可采用本规范第 11.2.8 条的规定进行检测。

### 10.3.3 测量传感器安装和锤击操作，应符合下列规定：

1 传感器应安装在桩顶面，传感器安装点及其附近不得有缺损或裂缝；传感器可用黄油、石膏等材料作为耦合剂与桩顶面粘接，或采取冲击钻打眼安装方式，不得采用手扶方式；安装完毕后的传感器应与桩顶面保持垂直，且紧贴桩顶表面，在信号采集过程中不得产生滑移或松动；

2 对于实心桩，传感器安装点与锤击点的距离不宜小于桩径或矩形桩边宽的四分之一；当锤击点在桩顶中心时，传感器安装点与桩中心的距离宜为桩半径的三分之二（图10.3.3-1）；对于空心桩，锤击点和传感器安装点宜在桩壁厚的1/2处，传感器安装点、锤击点与桩顶面圆心构成的平面夹角宜为90°（图10.3.3-2）；

3 锤击点与测量传感器安装点应避开钢筋笼的纵筋影响；

4 锤击方向应沿桩轴线方向；

5 锤击脉冲宽度应根据桩身长度、缺陷所在位置的深浅进行调整；当检测长桩的桩底反射信息或深部缺陷时，冲击入射波脉冲应较宽；当检测短桩、桩的浅部缺陷以及预制桩的浅部水平裂缝时，冲击入射波脉冲应较窄。

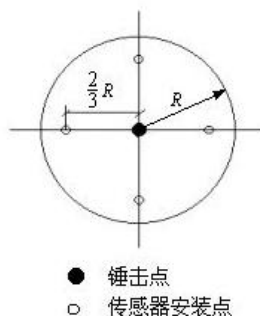


图 10.3.3-1 混凝土灌注桩传感器安装点（检测点）、锤击点布置示意图

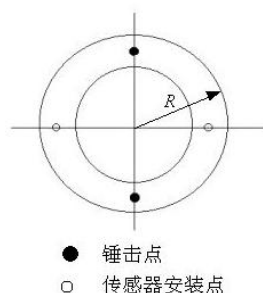


图 10.3.3-2 管桩传感器安装点（检测点）、锤击点布置示意图

#### 10.3.4 测试参数设定应符合下列规定：

1 合理设置采样时间间隔或采样频率，采样点数不宜少于1024点，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；

- 2 设定桩长应为桩顶测点至桩底的施工桩长；
- 3 桩身波速可根据本地区同类型桩的测试值初步设定；
- 4 传感器的灵敏度系数应按计量校准结果设定。

#### 10.3.5 信号采集和筛选应符合下列规定：

1 每根受检桩，用于分析桩身完整性的实测检测信号不应少于2个，桩直径大于1200mm时，不应少于3个；

2 应通过多次锤击，对同一检测点（即传感器安装点）的采集信号进行叠加平均处理后，得到本条第1款的实测检测信号，参与叠加平均处理的信号数量不宜少于3个；

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 检测时应随时检查采集信号的质量，判断实测信号是否反映桩身完整性特征；

5 对于同一根受检桩，不同检测点及多次实测时域检测信号的一致性较差时，应分析原因，增加检测点数量。

### 10.4 检测数据分析与判定

#### 10.4.1 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 当桩底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50%，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 $2L/c$ 的三分之二，指数放大倍数宜小于20；

3 也可根据信号处理要求，使用旋转处理功能，使测试波形尾部基本位于零线附近。

**10.4.2** 同一单位工程的桩身纵波波速平均值的确定应符合下列规定：

1 当桩长已知、桩底反射信号明确时，在地质条件相近、设计桩型、成桩工艺相同、同一单位施工的受检桩中，选取不少于5根 I 类桩，按式（10.4.2-2）或（10.4.2-3）计算纵波波速，然后按式（10.4.2-1）计算桩身纵波波速平均值：

$$c_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i \quad (10.4.2-1)$$

$$c_i = \frac{2000 L}{\Delta t} \quad (10.4.2-2)$$

$$c_i = 2L \cdot \Delta f \quad (10.4.2-3)$$

且，对于预制桩，

$$|c_i - c_m| / c_m \leq 5\% \quad (10.4.2-4)$$

对于混凝土灌注桩、水泥粉煤灰碎石桩、素混凝土桩，

$$|c_i - c_m| / c_m \leq 10\% \quad (10.4.2-5)$$

式中： $c_m$ ——桩身纵波波速平均值（m/s）；

$c_i$ ——第  $i$  根桩的桩身波速值（m/s）；

$L$ ——测点下桩长（m）；

$\Delta t$ ——桩底反射波波峰与入射波波峰之间的时间差（ms）（图 10.4.2-1）；

$\Delta f$ ——频域曲线上桩底对应的相邻峰之间的频率差（Hz）（图 10.4.2-2）；

$n$ ——参加波速平均值计算的桩数（ $n \geq 5$ ）；

2 当预制桩首节桩桩长已知，首节桩接桩位置反射信号明确时，可根据首节桩桩长及其反射时间，按本条第1款方法确定桩身纵波波速平均值；

3 当无法满足本条第1款、第2款要求时，波速平均值可根据本地区相同桩

型及成桩工艺的其他桩基工程的实测值，结合桩身混凝土的骨料品种和强度等级综合确定。

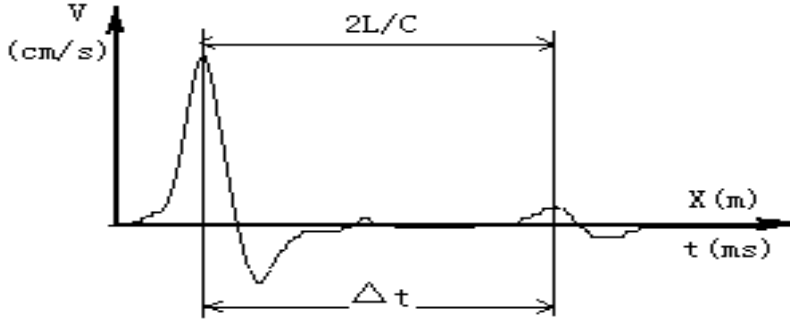


图 10.4.2-1 纵波波速时域计算示意图

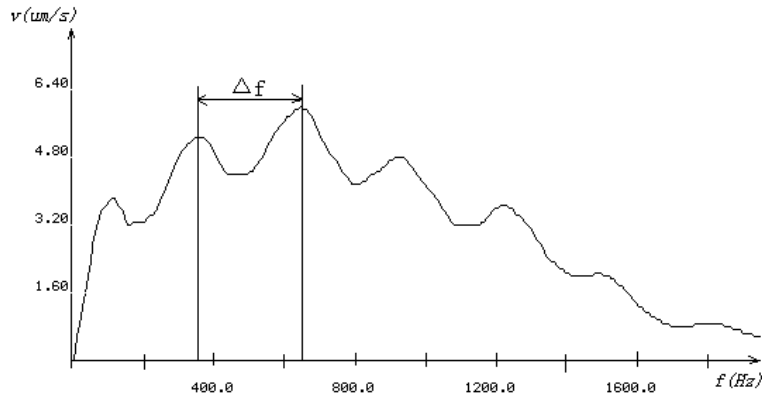


图 10.4.2-2 纵波波速频域计算示意图

**10.4.3** 桩身缺陷位置应按下列公式计算：

$$x_i = \frac{1}{2000} \cdot \Delta t_i \cdot c \quad (10.4.3-1)$$

$$x_i = \frac{1}{2} \cdot \frac{c}{\Delta f_i} \quad (10.4.3-2)$$

式中： $x_i$ ——第  $i$  个桩身缺陷至传感器安装点的距离（m）；

$\Delta t_i$ ——入射波波峰与第  $i$  个缺陷反射波波峰之间的时间差（ms）（图 10.4.3-1）；

$c$ ——受检桩的桩身波速（m/s），无法确定时用  $c_m$  值替代；

$\Delta f_i$ ——频域曲线上第  $i$  个缺陷对应的相邻峰之间的频率差（Hz）（图 10.4.3-2）。



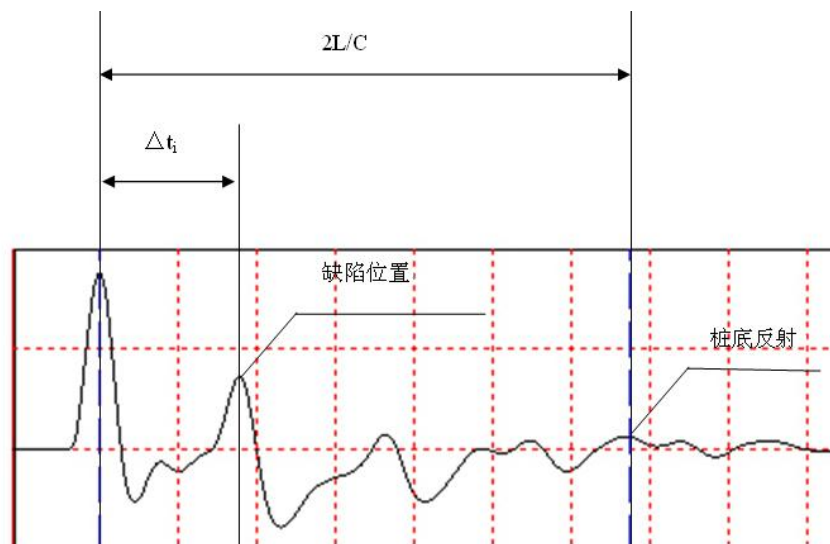


图 10.4.3-1 缺陷位置时域计算示意图

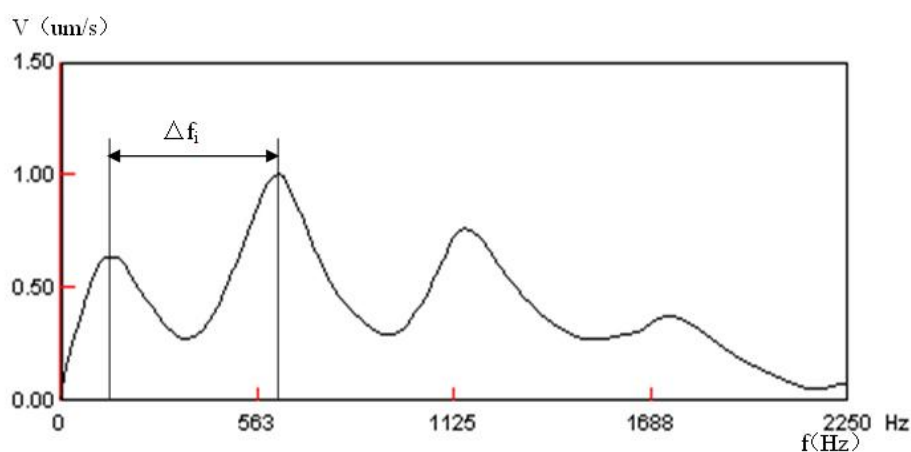


图 10.4.3-2 缺陷位置频域计算示意图

**10.4.4** 桩身完整性类别应结合缺陷出现的深度、测试信号衰减特性以及设计桩型、成桩工艺、地质条件、施工情况，按本规范表 3.7.3 的规定和表 10.4.4 所列实测时域或频域信号特征进行综合分析判定。

表 10.4.4 桩身完整性判定

类别	时域信号特征	频域信号特征
I	$2L/c$ 时刻前无缺陷反射波，有桩底反射波且波速正常	桩底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，有桩底反射波且波速正常	桩底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与桩底谐振峰之间的频差 $\Delta f_i > c/2L$
III	有明显缺陷反射波，其他特征介于 II 类和 IV 类之间	

IV	<p>有下列情况之一者：</p> <p>波速明显偏高；</p> <p>波形呈现低频大振幅衰减振荡，无桩底反射波；</p> <p>周期性缺陷反射波，无桩底反射波；</p> <p><math>2L/c</math> 时刻前出现幅值很大的缺陷反射波，无桩底反射波</p>	<p>缺陷谐振峰排列基本等间距，相邻频差 <math>\Delta f_i &gt; c/2L</math>，无桩底谐振峰；</p> <p>或因桩身浅部严重缺陷只出现单一谐振峰，无桩底谐振峰</p>
----	--	---

注：对同一场地、地质条件相近、桩型和成桩工艺相同的基桩，因桩端部分桩身阻抗与持力层阻抗相匹配导致实测信号无桩底反射波时，可依据本场地同条件下有桩底反射波或深部缺陷反射波的其他桩实测信号判定桩身完整性类别。

**10.4.5** 采用时域信号分析判定受检桩的完整性类别时，应结合成桩工艺和地质条件区分下列情况：

- 1 混凝土灌注桩桩身截面渐变后恢复至原桩径并在该阻抗突变处的反射，或扩径突变处的一次和二次反射；
- 2 嵌岩桩入岩部位的桩身岩土侧阻力突变引起的负向反射及其二次反射；
- 3 桩侧局部强土阻力引起的混凝土预制桩负向反射及其二次反射；
- 4 采用部分挤土方式沉桩的大直径开口预应力管桩，桩孔内土芯闭塞部位的负向反射及其二次反射；
- 5 纵向尺寸效应使混凝土桩桩身阻抗突变处的反射波幅值降低。

**10.4.6** 出现下列情况时，桩身结构完整性应结合其他检测方法综合判断，否则宜判为Ⅲ类：

- 1 对于混凝土预制桩，反射波明显且反射波位置在接桩位置处；
- 2 嵌岩桩桩底有同向反射信号。

**10.4.7** 当实测波形复杂、无规律，无法对桩身结构完整性进行准确评价时，应根据本规范第 3.1.6 条的规定，重新选择检测方法进行检测；或应根据本规范第 3.1.12 条的规定，进行重新检测。

**10.4.8** 检测报告除应包括本规范第 3.7.7 条内容外，尚应包括下列内容：

- 1 速度信号曲线；
- 2 桩身波速取值；
- 3 桩身完整性描述、缺陷的位置及桩身完整性类别；

**4** 时域信号时段所对应的桩身长度标尺、指数或线性放大的范围及倍数；  
或幅频信号曲线分析的频率范围、桩底或桩身缺陷对应的相邻谐振峰间的频差。

## 11 高应变法

### 11.1 一般规定

**11.1.1** 高应变法适用于检测桩的竖向抗压承载力和桩身完整性；监测预制桩打桩过程中的桩身应力、锤击能量传递比，为选择沉桩设备、确定施工工艺参数和承载力的时间效应及施工桩长提供依据。

**11.1.2** 对于非嵌岩的大直径扩底桩，不宜采用高应变法进行竖向抗压承载力检测。

### 11.2 仪器设备

**11.2.1** 检测仪器的主要技术性能指标不应低于现行行业标准《基桩动测仪》JG/T 3055 规定的 2 级标准。

**11.2.2** 高应变法检测应采用专用的锤击设备；锤击设备也可采用筒式柴油锤、液压锤、蒸汽锤等具有导向装置的打桩机械，但不得采用导杆式柴油锤、振动锤。

**11.2.3** 高应变检测专用锤击设备应具有稳固的导向装置。重锤应形状对称，高径（宽）比不得小于 1。

**11.2.4** 当采取重锤锤体上安装加速度传感器的方式实测锤击力时，重锤的高径（宽）比应为 1.0~1.5，重锤应整体铸造。

**11.2.5** 采用高应变法进行承载力检测时，锤的重量与单桩竖向抗压承载力特征值的比值不得小于 0.02。

**11.2.6** 当桩径大于 500mm 或桩长大于 25m 时，尚应对桩径或桩长增加引起的桩-锤匹配能力下降进行补偿，在符合本规范第 11.2.5 条规定的前提下进一步提高检测用锤的重量。

**11.2.7** 桩的贯入度可采用精密水准仪测定。

**11.2.8** 当高应变法仅用于判定大直径混凝土灌注桩桩身完整性时，锤的重量可不执行本规范第 11.2.5 条的规定，但应大于单桩竖向抗压承载力特征值的 0.3% 且大于 20kN。

## 11.3 现场检测

### 11.3.1 检测前的准备工作应符合下列规定：

1 桩顶面应平整，桩头应有足够的强度，确保在冲击过程中不发生开裂，对不能承受重锤冲击的桩头应加固处理，混凝土桩的桩头处理可按本规范附录G的规定执行；

2 露出的桩顶高度应满足传感器安装和锤击装置架设的要求，重锤纵轴线应与桩身纵轴线基本重合，重锤导向装置应竖直架立；

3 传感器的安装应符合本规范附录H的规定；

4 桩顶面与重锤之间应设置桩垫，桩垫可采用10mm~30mm厚的木板或胶合板等材料。

### 11.3.2 参数设定和计算应符合下列规定：

1 采样时间间隔宜为50μs~200μs，信号采样点数不宜少于1024点；

2 传感器的灵敏度系数应按计量校准结果设定；

3 在锤体上安装加速度传感器测力时，冲击力等于实测加速度与重锤质量的乘积；

4 测点处的桩横截面尺寸应按实测值确定；

5 测点以下桩身截面积和桩长可采用设计文件或施工记录提供的数据作为设定值；

6 桩身材料质量密度可按表11.3.2取值；

表 11.3.2 桩身材料质量密度

桩的类型	钢桩	预制方桩	预应力管桩	混凝土灌注桩
质量密度 (t/m <sup>3</sup> )	7.85	2.45~2.50	2.55~2.60	2.40

7 桩身波速可根据经验或按同场地同类型已检桩的平均波速初步设定，现场检测完成后应按本规范第11.4.2条进行调整；

8 桩身弹性模量应按下列公式计算：

$$E = \rho \cdot c^2 \quad (11.3.2)$$

式中： $E$ ——桩身材料弹性模量（kPa）；

$c$ ——桩身应力波传播波速（m/s）；

$\rho$ ——桩身材料质量密度（t/m<sup>3</sup>）。

**11.3.3** 试验目的为检测预制桩打桩过程中的桩身应力、沉桩设备匹配能力，确定施工工艺参数、承载力的时间效应以及选择桩长时，应按本规范附录 J 执行。预制桩承载力的时间效应宜通过复打确定。

**11.3.4** 现场检测应符合下列要求：

- 1 采用自由落锤为锤击设备时，应重锤低击，最大锤击落距不宜大于2.5m；
- 2 承载力检测时，宜实测桩的贯入度，单击贯入度宜在2mm~6mm之间；
- 3 现场检测时，应及时检查采集数据的质量，桩身有明显缺陷或冲击使缺陷程度加剧时，应停止检测；
- 4 每根受检桩记录的有效实测信号应根据桩顶实测信号特征、最大动位移、贯入度以及桩身最大拉、压应力和缺陷程度及其发展情况综合确定；
- 5 当出现本规范第11.4.3条第3、4款所规定的情形时，前两击锤击能量应足够大。

**11.3.5** 当出现下列情况之一时，不得提供承载力检测结果，宜对受检桩重新试验：

- 1 实测力与速度曲线峰值比例失调时；
- 2 两侧力信号峰值相差一倍以上时；
- 3 传感器安装处混凝土开裂或出现严重塑性变形使力曲线明显未归零；
- 4 四通道测试数据不全；
- 5 测试波形紊乱。

## 11.4 检测数据分析与判定

**11.4.1** 判定单桩竖向抗压承载力时宜选取锤击能量较大的实测信号。

**11.4.2** 桩身波速可根据下行波波形起升沿的起点到上行波下降沿的起点之间的时差与已知桩长值确定（图 11.4.2）；桩底反射信号不明显时，可根据桩长、混凝土波速的合理取值范围以及邻近桩的桩身波速值综合确定。

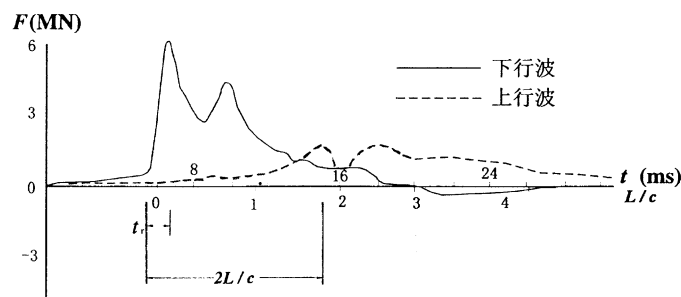


图 11.4.2 桩身波速的确定

**11.4.3** 承载力分析计算前，应结合地质条件、设计参数和成桩工艺，对实测波形特征进行定性检查：

- 1 实测波形曲线特征反映出的桩承载性状；
- 2 桩身缺陷程度和位置，多次锤击时缺陷的扩大或逐步闭合情况；
- 3 对于桩端持力层为遇水易软化的风化岩层，预制桩施工过程中出现隆起上浮等情形，宜结合最大动位移等试验参数进行定性判断；
- 4 因触变效应使预制桩在多次锤击下承载力下降。

**11.4.4** 桩身材料弹性模量和锤击力信号的调整应符合下列规定：

- 1 当测点处原设定波速随调整后的桩身波速改变时，相应的桩身材料弹性模量应按本规范公式（11.3.2）重新计算；
- 2 对于采用应变传感器测量应变并由应变换算冲击力的方式，当原始力信号按速度单位存储时，桩身材料弹性模量调整后尚应对原始实测力值校正；
- 3 对于采用自由落锤安装加速度传感器实测锤击力的方式，当桩身材料弹性模量或桩身波速改变时，不得对原始实测力值进行调整。

**11.4.5** 高应变实测的力和速度信号第一峰起始段不成比例时，不得对实测力或速度信号进行调整。

**11.4.6** 判定单桩竖向抗压承载力可采用实测曲线拟合法和凯司法。

应从同一工程的各种桩型、各种施工工艺以及实测曲线中反映出来的各种完整性类别和承载性状的桩中分别选取有代表性的桩进行曲线拟合分析，拟合分析的桩数不应少于检测总桩数的50%，且不得少于5根；其余检测桩可采用凯司法判定桩的承载力。

**11.4.7** 采用实测曲线拟合法判定桩承载力，应符合下列规定：

- 1 桩土力学模型的物理意义明确，应能反映桩土的实际力学性状；
- 2 曲线拟合时间段长度在  $t_1+2L/c$  时刻后延续时间不应小于 20ms；对于柴油锤打桩信号，在  $t_1+2L/c$  时刻后延续时间不应小于 30ms；
- 3 各单元所选用的土的最大弹性位移值不应超过相应桩单元的最大计算位移值；
- 4 土阻力分布应能体现受检桩的实际承载性状，拟合分析选用的参数应限定在岩土工程的合理范围内；
- 5 在同一场地，地质条件相近，桩型、施工工艺及桩截面积相同时，各受检桩的桩侧土弹限  $Q_{skn}$ 、桩侧土阻尼  $J_{skn}$ 、桩底土弹限  $Q_{toe}$ 、桩底土阻尼  $J_{toe}$  的极差不宜大于其平均值的 30%；
- 6 拟合完成时，土阻力响应区段的计算曲线与实测曲线应吻合，其他区段的曲线应基本吻合；
- 7 贯入度的计算值应与实测值接近。

**11.4.8** 采用凯司法判定桩承载力，应符合下列规定：

- 1 桩径小于800mm；
- 2 桩身材质、横截面应基本均匀；
- 3 阻尼系数  $J_c$  宜根据同条件下静载试验或实测曲线拟合法结果综合确定；
- 4 在同一场地、地质条件相近，桩型、施工工艺及其截面积相同情况下，各受检桩的  $J_c$  值的极差不宜大于其平均值的 30%；
- 5 对于  $t_1+2L/c$  时刻桩侧和桩端土阻力均已充分发挥的摩擦型桩，单桩竖向抗压承载力可按下列公式计算：

$$R_c = \frac{1}{2}(1-J_c) \cdot [F(t_1) + Z \cdot V(t_1)] + \frac{1}{2}(1+J_c) \cdot \left[ F\left(t_1 + \frac{2L}{c}\right) - Z \cdot V\left(t_1 + \frac{2L}{c}\right) \right] \quad (11.4.8-1)$$

$$Z = \frac{E \cdot A}{c} \quad (11.4.8-2)$$

式中： $R_c$ ——由凯司法判定的单桩竖向抗压承载力（kN）；

$J_c$ ——凯司法阻尼系数；



$t_1$ ——速度第一峰对应的时刻 (ms);

$F(t_1)$  —— $t_1$  时刻的锤击力 (kN);

$V(t_1)$  —— $t_1$  时刻的质点运动速度 (m/s);

$Z$ ——桩身截面力学阻抗 (kN s/m);

$A$ ——桩身横截面面积 (m<sup>2</sup>);

$L$ ——测点下桩长 (m);

6 对于土阻力滞后于  $t_1+2L/c$  时刻明显发挥或先于  $t_1+2L/c$  时刻发挥并造成桩中上部侧阻力卸荷这两种情况, 宜分别采用以下两种方法对  $R_c$  值进行增值修正:

1) 适当将  $t_1$  延时, 确定  $R_c$  的最大值;

2) 考虑卸载回弹部分土阻力对  $R_c$  值进行修正。

#### 11.4.9 桩身完整性类别判定应符合下列规定:

1 采用实测曲线拟合法判定时, 拟合分析选用的桩土参数应符合规范第 11.4.7 条的规定, 根据桩的成桩工艺, 拟合时可采用桩身阻抗拟合或桩身裂隙(包括混凝土预制桩的接桩缝隙)拟合; 桩身完整性系数  $\beta$  按下列公式计算:

$$\beta = Z_x / Z \quad (11.4.9-1)$$

式中:  $\beta$ ——桩身完整性系数;

$Z_x$ ——桩身缺陷处的阻抗;

2 当采用凯司法时, 对于等截面桩, 当缺陷深度  $x$  以上部位的土阻力  $R_x$  未出现卸载回弹时, 桩身完整性系数  $\beta$  和桩身缺陷位置  $x$  应分别按下列公式计算:

$$\beta = \frac{[F(t_1) + Z \cdot V(t_1)] - 2R_x + [F(t_x) - Z \cdot V(t_x)]}{[F(t_1) + Z \cdot V(t_1)] - [F(t_x) - Z \cdot V(t_x)]} \quad (11.4.9-2)$$

$$x = c \cdot \frac{t_x - t_1}{2000} \quad (11.4.9-3)$$

式中:  $t_x$ ——缺陷反射峰对应的时刻 (ms);

$x$ ——桩身缺陷至传感器安装点的距离 (m);

$R_x$ ——缺陷以上部位土阻力的估计值, 等于缺陷反射波起始点的力与速度乘以桩身截面力学阻抗之差值, 取值方法见图 11.4.9;

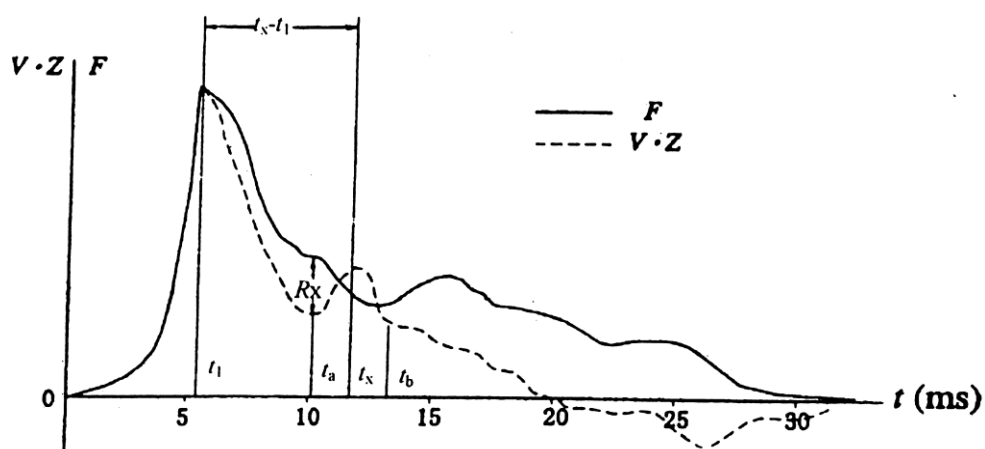


图 11.4.9 桩身完整性系数计算示意图

3 桩身完整性类别可按表11.4.9的规定并结合经验判定。

表 11.4.9 桩身完整性类别判定

类别	$\beta$ 值
I	$\beta=1.0$
II	$0.8 \leq \beta < 1.0$
III	$0.6 \leq \beta < 0.8$
IV	$\beta < 0.6$

**11.4.10** 出现下列情况之一时，宜采用实测曲线拟合法或结合其他检测方法对桩身完整性进行综合判定：

- 1 桩身有扩径的桩；
- 2 桩身截面渐变或多变的混凝土灌注桩；
- 3 力和速度曲线在峰值附近比例失调，桩身浅部有缺陷的桩；
- 4 锤击力波上升缓慢，力与速度曲线比例失调的桩。

**11.4.11** 出现下列情况之一时，不宜提供高应变法承载力检测结果，应采用静载试验确定或验证单桩承载力。

- 1 桩身存在严重缺陷，无法判断桩的竖向承载力；
- 2 桩身缺陷对水平承载力有影响；

3 单击贯入度大，桩底同向反射强烈，且反射峰较宽，侧阻力波、端阻力波反射弱；

4 嵌岩桩桩底同向反射强烈，且在时间 $2L/c$ 后无明显端阻力反射；

5 本规范第11.3.5条规定中要求重新检测，而现场不具备重新检测条件时。

**11.4.12** 当出现本规范第 11.4.11 条第 4 款描述的高应变信号特征时，也可采用钻芯法对受检桩进行核验。

**11.4.13** 桩身最大锤击拉、压应力和桩锤实际传递给桩的能量应分别按本规范附录 J 相应公式计算。

**11.4.14** 检测报告除应包括本规范第 3.7.7 条内容外，尚应包括下列内容：

1 力与速度的实测信号；

2 桩身波速值和 $J_c$ 值；

3 实测曲线拟合法所选用的各单元桩土模型参数、拟合曲线、模拟的静荷载—沉降曲线、土阻力沿桩身分布图；

4 试打桩和打桩监控所采用的桩锤型号、落距（或冲程）、锤垫类型，以及监测得到的锤击数、桩侧和桩端静阻力、桩身锤击拉应力和压应力、桩身完整性以及能量传递比随入土深度的变化。

## 12 声波透射法

### 12.1 一般规定

**12.1.1** 声波透射法适用于检测混凝土灌注桩的桩身完整性、地下连续墙的墙身完整性，判定桩身或墙身缺陷的位置、范围和程度。

**12.1.2** 因声测管严重弯曲或扭曲导致数据明显偏离正常值而又未能进行合理修正，检测数据不得作为评价完整性的依据。

**12.1.3** 当出现下列情况之一时，可对测试区域的混凝土质量进行评价，不应对待测桩的桩身完整性进行评定：

- 1 施工记录桩长与声波透射法有效检测深度的差值大于1m；
- 2 声测管堵塞导致检测数据不全；
- 3 声测管埋设数量或布置不符合本规范第12.3.2条的规定。

### 12.2 仪器设备

**12.2.1** 声波发射与接收换能器应符合下列规定：

- 1 换能器应采用圆柱状径向换能器，且沿径向振动无指向性；
- 2 换能器外径不应大于30mm，有效工作段长度不大于150mm；
- 3 谐振频率应为30kHz～60kHz；
- 4 水密性应满足1MPa水压不渗水；
- 5 当测距较大时，宜选用带前置放大器的换能器。

**12.2.2** 换能器宜配置扶正器。

**12.2.3** 声波检测仪应符合下列要求：

- 1 具有实时显示和记录接收信号的时程曲线，并具有频率测量或频谱分析功能；
- 2 最小采样时间间隔应小于等于0.5μs，声波幅值测量相对误差小于5%，系统频带宽度为1kHz～200kHz，系统最大动态范围不小于100dB；
- 3 声波发射脉冲为阶跃或矩形脉冲，电压幅值为200V～1000V；
- 4 应自动记录声测线的深度。

12.2.4 声波透射法检测应采用具有信号自动采集功能的声波检测仪。

12.2.5 声波透射法检测宜采用一发两收或一发多收声波检测仪。

### 12.3 声测管埋设

12.3.1 声测管及其埋设应符合下列规定：

- 1 声测管应有足够的径向刚度，声测管宜采用钢管；
- 2 声测管内径宜比换能器外径大15mm且不大于25mm；
- 3 声测管应下端封闭、上端加盖、管内无异物；声测管连接处的内壁应光滑过渡，管口应高出混凝土顶面100mm以上，且各声测管管口高度宜一致；
- 4 声测管应沿钢筋笼内侧布置，浇灌混凝土前应采取适宜方法固定声测管，使之在浇灌混凝土后相互平行。

12.3.2 混凝土灌注桩中的声测管应呈对称形状布置（图 12.3.2），声测管埋设数量和编号应符合下列要求（ $d$  为受检桩设计桩径）：

- 1  $d \leq 800\text{mm}$  时，不得少于2根声测管；
- 2  $800\text{mm} < d \leq 1600\text{mm}$  时，不得少于3根声测管；
- 3  $d > 1600\text{mm}$  时，不得少于4根声测管；
- 4  $d > 2500\text{mm}$  时，宜增加预埋声测管数量；
- 5 声测管应自正北方向顺时针旋转依次编号（图12.3.2），检测剖面编组（检测剖面序号记为 $j$ ）分别为：2根声测管时，AB剖面（ $j=1$ ）；3根声测管时，AB剖面（ $j=1$ ），BC剖面（ $j=2$ ），CA剖面（ $j=3$ ）；4根声测管时，AB剖面（ $j=1$ ），BC剖面（ $j=2$ ），CD剖面（ $j=3$ ），DA剖面（ $j=4$ ），AC剖面（ $j=5$ ），BD剖面（ $j=6$ ）。

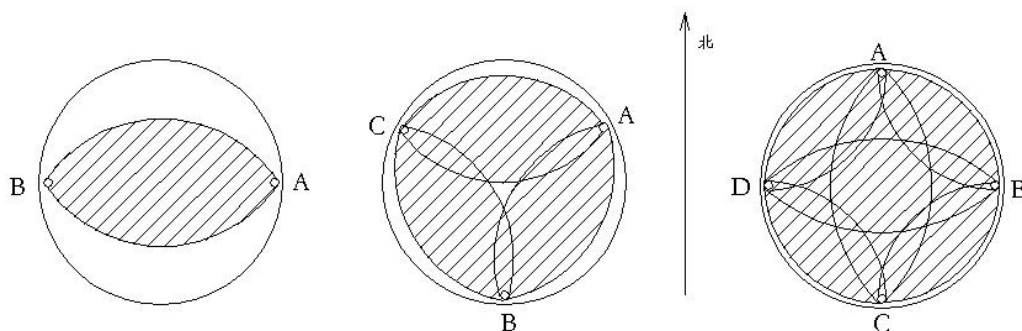


图 12.3.2 混凝土灌注桩声测管布置示意图

**12.3.3** 地下连续墙声测管间距不宜大于 1.5m 且不宜小于 1.0m。对于单个直槽段，声测管埋设数量不应少于 4 根；对于转角槽段，声测管埋设数量不应少于 3 根，且应在阳角处布设 1 条声测管。

应沿基坑的顺时针旋转方向对声测管依次编号（如图12.3.3所示），检测剖面编组（检测剖面序号记为*j*）分别为：AB剖面（*j*=1），BC剖面（*j*=2），CD剖面（*j*=3）。

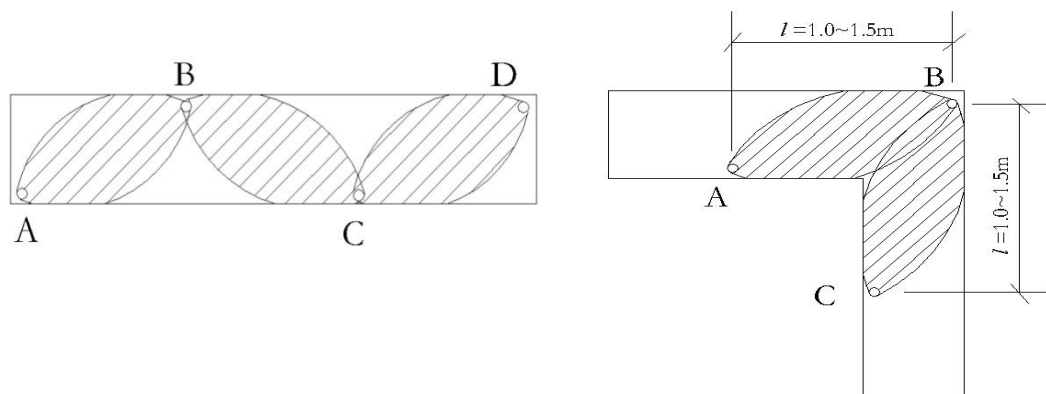


图 12.3.3 地下连续墙声测管布置示意图

**12.3.4** 可利用钻芯孔或预埋管钻芯法中的预埋管作为声测通道，对局部桩身混凝土的质量进行检测，此时，可不执行本规范第 12.3.1～12.3.3 条的规定。

## 12.4 现场检测

**12.4.1** 现场检测前准备工作应符合下列规定：

1 应采用率定法确定仪器系统延迟时间；将发射、接收换能器置于清水中且处于同一水平面上，逐次改变点源距离并测量相应声时，记录不应少于 5 点的声时数据并作线性回归的时距曲线，仪器系统延迟时间应按下式计算：

$$t = t_0 + b \cdot l \quad (12.4.1-1)$$

式中： $t_0$ ——仪器系统延迟时间（ $\mu\text{s}$ ）；

$b$ ——直线斜率（ $\mu\text{s}/\text{mm}$ ）；

$l$ ——换能器表面净距离（ $\text{mm}$ ）；

$t$ ——声时（ $\mu\text{s}$ ）。

2 应计算几何因素声时修正值；几何因素声时修正值应按下式计算：

$$t' = \frac{d_1 - d_2}{v_t} + \frac{d_2 - d'}{v_w} \quad (12.4.1-2)$$

式中： $t'$ ——几何因素声时修正值（ $\mu\text{s}$ ）；

$d_1$ ——声测管外径（ $\text{mm}$ ）；

$d_2$ ——声测管内径（ $\text{mm}$ ）；

$d'$ ——换能器外径（ $\text{mm}$ ）；

$v_t$ ——声测管材料声速（ $\text{km/s}$ ）；

$v_w$ ——水的声速（ $\text{km/s}$ ）；

3 在桩（墙）顶测量相应声测管外壁间净距离；

4 将各声测管内注满清水，检查声测管畅通情况，换能器应能在全程范围内正常升降。

#### 12.4.2 现场平测和斜测应符合下列规定：

1 发射与接收声波换能器应通过深度标志分别置于两个声测管道中；

2 平测时，发射与接收声波换能器应始终保持相同深度（图12.4.2a）；斜测时，发射与接收声波换能器应始终保持固定高差（图12.4.2b），且声测线与水平面的夹角不应大于 $20^\circ$ 且不应小于 $10^\circ$ ；

3 检测过程中，应将发射与接收声波换能器同步升降，声测线间距不应大于 $200\text{mm}$ 且不宜小于 $100\text{mm}$ ，并应及时校核换能器的深度；

4 对于每条声测线，应实时显示和记录接收信号的时程曲线，读取声时、首波幅值，当需要采用信号主频值作为异常点辅助判据时，尚应读取信号主频值；保存检测数据的同时，应保存波列图信息；

5 当采用具有信号自动采集功能的声波检测仪时，换能器移动速度不宜大于 $0.5\text{m/s}$ ，并确保测试波形的稳定性；

6 混凝土灌注桩完整性检测时，任意两根声测管组合成一个检测剖面，分别对所有检测剖面完成检测工作；

7 地下连续墙墙身完整性检测时，将同一槽段的相邻两根声测管组成一个检测剖面进行检测；

8 在同一受检桩（槽段）各检测剖面的平测或斜测过程中，声测线间距、声波发射电压和仪器设置参数应保持不变。

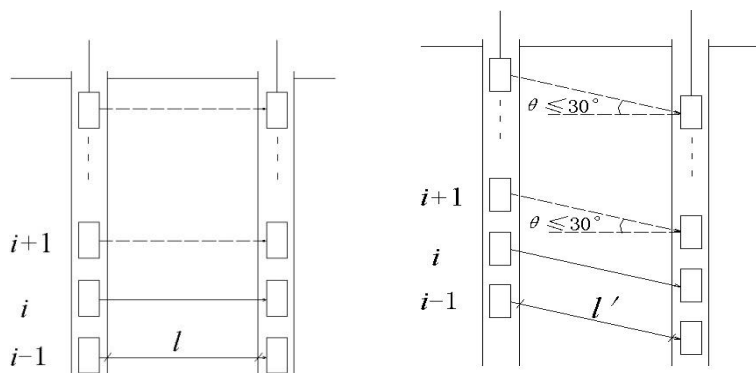


图 12.4.2 平测、斜测示意图

**12.4.3** 根据平测或斜测的检测结果，在桩身（墙身）质量可疑的声测线附近，应采用减小声测线间距、扇形扫测（图 12.4.3）或声波层析成像法等方式进行复测和加密测试，排除因声测管耦合不良等非桩身缺陷因素导致的异常声测线，进一步确定缺陷的空间分布范围和缺陷程度。采用扇形扫测时，同一检测剖面的两根声测管应交替作为发射换能器通道，且声测线与水平面的最大夹角不应大于  $40^\circ$ 。

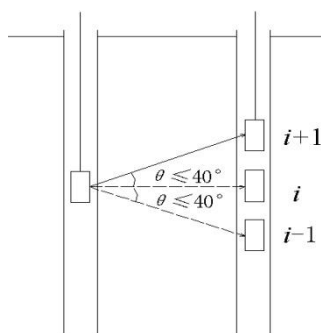


图 12.4.3 扇形扫测示意图

**12.4.4** 声波层析成像法测试应符合下列规定：

- 1 同一个发射点，应采集1个平测信号和不少于6个斜测信号，斜测信号应对称分布；
- 2 相邻发射点的深度间距宜为5cm~10cm，相邻接收点的深度间距宜为10cm~20cm，同一个测试区域，相邻发射点的深度间距应相等，相邻接收点的深度间距应相等；
- 3 宜通过多次重复斜测的方式获得所需要的全部检测分析数据，也可通过多次重复扇形扫测的方式获得所需要的全部检测分析数据；



- 4 测试区域应完全覆盖可疑区域且应大于可疑区域的1倍声测管间距；
- 5 宜采用一发多收声波检测仪或具备声波层析成像功能的声波检测仪。

## 12.5 检测数据分析与判定

**12.5.1** 当因声测管弯曲导致声速数据有规律地偏高或偏低变化时，应先对管距进行合理修正，然后对数据进行统计分析，否则，应执行本规范第 12.1.2 条的规定。

**12.5.2** 当采用平测时，各声测线的声时  $t_{ci}(j)$ 、声速  $v_i(j)$ 、波幅  $A_{pi}(j)$  及主频  $f_i(j)$  应根据现场检测数据，按下列公式计算，并绘制声速—深度（ $v_i(j)-z$ ）曲线和波幅—深度（ $A_{pi}(j)-z$ ）曲线，也可绘制辅助的主频—深度（ $f_i(j)-z$ ）曲线：

$$t_{ci}(j) = t_i(j) - t_0 - t' \quad (12.5.2-1)$$

$$v_i(j) = \frac{l'_i(j)}{t_{ci}(j)} \quad (12.5.2-2)$$

$$A_{pi}(j) = 20 \lg \frac{a_i(j)}{a_0} \quad (12.5.2-3)$$

$$f_i(j) = \frac{1000}{T_i(j)} \quad (12.5.2-4)$$

式中： $i$ ——声测线编号，应对每个检测剖面自下而上（或自上而下）进行连续编号；

$j$ ——检测剖面编号，按本规范第 12.3.2、12.3.3 条进行编号；

$t_{ci}(j)$ ——第  $j$  检测剖面第  $i$  声测线声时（ $\mu s$ ）；

$t_i(j)$ ——第  $j$  检测剖面第  $i$  声测线声时测量值（ $\mu s$ ）；

$t_0$ ——仪器系统延迟时间（ $\mu s$ ）；

$t'$ ——几何因素声时修正值（ $\mu s$ ）；

$l'_i(j)$ ——第  $j$  检测剖面第  $i$  声测线的两声测管的外壁间净距离（mm），当两声测管基本平行时取为两声测管管口的外壁间净距离；

$v_i(j)$ ——第  $j$  检测剖面第  $i$  声测线声速（km/s）；

$A_{pi}(j)$ ——第  $j$  检测剖面第  $i$  声测线的首波幅值（dB）；

$a_i(j)$ ——第  $j$  检测剖面第  $i$  声测线信号首波峰值 (V);

$a_0$ ——零分贝信号幅值 (V);

$f_i(j)$ ——第  $j$  检测剖面第  $i$  声测线信号主频值 (kHz), 或由信号频谱分析求得主频;

$T_i(j)$ ——第  $j$  检测剖面第  $i$  声测线首波周期 ( $\mu\text{s}$ )。

当采用斜测时,  $l'_i(j)$  取声波换能器发射点对应的声测管外壁处与声波换能器接收点对应的声测管外壁处之间的净距离, 由两声测管的外壁间净距离和发射接收声波换能器的高差计算得到。

**12.5.3** 当采用平测或斜测时, 第  $j$  检测剖面的声速异常判断的概率统计值应按下列方法确定:

**1** 将第  $j$  检测剖面各声测线的声速值  $v_i(j)$  由大到小依次排序, 即:

$$v_1(j) \geq v_2(j) \geq \cdots v_l(j) \geq \cdots v_{i-1}(j) \geq v_i(j) \geq v_{i+1}(j) \geq \cdots v_{n-k}(j) \geq \cdots v_{n-1}(j) \geq v_n(j) \quad (12.5.3-1)$$

式中:  $v_i(j)$ ——第  $j$  检测剖面第  $i$  声测线声速,  $i$  为  $1 \sim n$ ;

$n$ ——第  $j$  检测剖面的声测线总数;

$k$ ——拟去掉的低声速值的数据个数,  $k=0,1,2,\dots$ ;

$l$ ——拟去掉的高声速值的数据个数,  $l=0,1,2,\dots$ 。

**2** 对去掉  $v_i(j)$  中  $k$  个最小数值和  $l$  个最大数值后的其余数据进行统计计算:

$$v_{01}(j) = v_m(j) - \lambda \cdot s_x(j) \quad (12.5.3-2)$$

$$v_{02}(j) = v_m(j) + \lambda \cdot s_x(j) \quad (12.5.3-3)$$

$$v_m(j) = \frac{1}{n-k-l} \sum_{i=l+1}^{n-k} v_i(j) \quad (12.5.3-4)$$

$$s_x(j) = \sqrt{\frac{1}{n-k-l-1} \sum_{i=l+1}^{n-k} (v_i(j) - v_m(j))^2} \quad (12.5.3-5)$$

$$C_v(j) = \frac{s_x(j)}{v_m(j)} \quad (12.5.3-6)$$

式中： $v_{01}(j)$ ——第  $j$  剖面的声速异常小值判断值；

$v_{02}(j)$ ——第  $j$  剖面的声速异常大值判断值；

$v_m(j)$ —— $(n-k-l)$  个数据的平均值；

$s_x(j)$ —— $(n-k-l)$  个数据的标准差；

$C_v(j)$ —— $(n-k-l)$  个数据的变异系数；

$\lambda$ ——由表 12.5.3 查得的与  $(n-k-l)$  相对应的系数。

表 12.5.3 统计数据个数  $(n-k-l)$  与对应的  $\lambda$  值

$n-k-l$	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38
$\lambda$	1.64	1.69	1.73	1.77	1.80	1.83	1.86	1.89	1.91	1.94
$n-k-l$	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58
$\lambda$	1.96	1.98	2.00	2.02	2.04	2.05	2.07	2.09	2.10	2.11
$n-k-l$	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78
$\lambda$	2.13	2.14	2.15	2.17	2.18	2.19	2.20	2.21	2.22	2.23
$n-k-l$	80	82	84	86	88	90	92	94	96	98
$\lambda$	2.24	2.25	2.26	2.27	2.28	2.29	2.29	2.30	2.31	2.32
$n-k-l$	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145
$\lambda$	2.33	2.34	2.36	2.38	2.39	2.41	2.42	2.43	2.45	2.46
$n-k-l$	150	160	170	180	190	200	220	240	260	280
$\lambda$	2.47	2.50	2.52	2.54	2.56	2.58	2.61	2.64	2.67	2.69
$n-k-l$	300	320	340	360	380	400	420	440	470	500
$\lambda$	2.72	2.74	2.76	2.77	2.79	2.81	2.82	2.84	2.86	2.88
$n-k-l$	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
$\lambda$	2.91	2.94	2.96	2.98	3.00	3.02	3.04	3.06	3.08	3.09
$n-k-l$	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
$\lambda$	3.12	3.14	3.17	3.19	3.21	3.23	3.24	3.26	3.28	3.29

3 按  $k=0$ 、 $l=0$ 、 $k=1$ 、 $l=1$ 、 $k=2$ 、 $l=2$ .....的顺序，将参加统计的数列的最

小数据  $v_{n-k}(j)$  与异常判断值  $v_{01}(j)$  进行比较, 当  $v_{n-k}(j) \leq v_{01}(j)$  时, 则去掉最小数据; 将最大数据  $v_{l+1}(j)$  与  $v_{02}(j)$  进行比较, 当  $v_{l+1}(j) \geq v_{02}(j)$  时去掉最大数据, 然后对剩余数据构成的数列重复式 (12.5.3-2) ~ (12.5.3-5) 的计算步骤, 直到下列两式成立:

$$v_{n-k}(j) > v_{01}(j) \quad (12.5.3-7)$$

$$v_{l+1}(j) < v_{02}(j) \quad (12.5.3-8)$$

**4** 第  $j$  检测剖面的声速异常判断概率统计值, 应按下式计算:

$$v_0(j) = \begin{cases} v_m(j)(1-0.015\lambda) & C_v(j) < 0.015 \\ v_{01}(j) & 0.015 \leq C_v(j) \leq 0.045 \\ v_m(j)(1-0.045\lambda) & C_v(j) > 0.045 \end{cases} \quad (12.5.3-9)$$

式中:  $v_0(j)$ ——第  $j$  检测剖面的声速异常判断概率统计值。

**12.5.4** 受检桩 (槽段) 的声速临界值应按下列方法确定:

**1** 当  $v_0(j)$  值大于 3700 m/s 且小于 4500 m/s 时,

$$v_c(j) = v_0(j) \quad (12.5.4-1)$$

式中:  $v_c(j)$ ——第  $j$  检测剖面的声速异常判断临界值;

**2** 当  $v_0(j)$  值小于 3700 m/s 或大于 4500 m/s 时, 应分析原因,  $v_c(j)$  的取值可参考同一桩 (同一槽段) 的其它检测剖面的声速异常判断临界值或同一工程相同桩型的混凝土质量较稳定的受检桩 (或同一工程其它质量稳定的槽段) 的声速异常判断临界值综合确定;

**3** 对单个检测剖面的桩, 其声速异常判断临界值等于检测剖面声速异常判断临界值; 对于三个及三个以上检测剖面的桩应取各个检测剖面声速异常判断临界值的平均值作为该桩各声测线声速异常判断临界值;

$$v_c = \frac{\sum_{j=1}^m v_c(j)}{m} \quad (12.5.4-2)$$

式中:  $v_c$ ——受检桩桩身混凝土声速异常判断临界值;

$m$ ——受检桩的检测剖面总数。

**12.5.5** 声测线声速异常程度可按表 12.5.5 进行判定。

**表 12.5.5 声测线声速异常程度判定表**

声测线声速 $v_i(j)$ (m/s)	声速异常程度
$v_i(j) > v_c$	无异常
$0.85 v_c < v_i(j) \leq v_c$	轻微异常
$0.75 v_c < v_i(j) \leq 0.85 v_c$	较明显异常
$0.65 v_c < v_i(j) \leq 0.75 v_c$	明显异常
$v_i(j) \leq 0.65 v_c$	严重异常

**12.5.6** 波幅异常判断的临界值应按下列公式计算：

$$A_m(j) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n A_{pi}(j) \quad (12.5.6-1)$$

$$A_c(j) = A_m(j) - 6 \quad (12.5.6-2)$$

波幅异常的临界值判据为：

$$A_{pi}(j) < A_c(j) \quad (12.5.6-3)$$

式中：  $A_m(j)$ ——第  $j$  检测剖面各声测线波幅平均值 (dB)；

$A_{pi}(j)$ ——第  $j$  检测剖面第  $i$  声测线的波幅值 (dB)；

$A_c(j)$ ——第  $j$  检测剖面波幅异常判断的临界值 (dB)；

$n$ ——第  $j$  检测剖面的声测线总数。

**12.5.7** 声测线波幅异常程度可按表 12.5.7 进行判定。

**表 12.5.7 声测线波幅异常程度判定表**

声测线波幅 $A_{pi}(j)$ (dB)	波幅异常程度
$A_{pi}(j) > A_c(j)$	无异常
$A_c(j) - 4 < A_{pi}(j) \leq A_c(j)$	轻微异常

$A_c(j) - 8 < A_{pi}(j) \leq A_c(j) - 4$	较明显异常
$A_c(j) - 12 < A_{pi}(j) \leq A_c(j) - 8$	明显异常
$A_{pi}(j) \leq A_c(j) - 12$	严重异常

**12.5.8** 应依据桩身（墙身）混凝土声速和波幅参数的异常程度，结合实测波形的畸变程度，按表 12.5.8 所描述的特征确定各个检测剖面的各条声测线的完整性函数值。

**表 12.5.8 声测线完整性函数值判定表**

声测线完整性 函数 $I(j, i)$ 值	具备下列特征之一
1	声速和波幅参数均无异常，实测波形正常； 声速或波幅存在轻微异常，实测波形畸变不明显。
2	声速和波幅参数均存在轻微异常，实测波形畸变较明显； 声速或波幅存在较明显异常，实测波形畸变较明显。
3	声速和波幅参数均存在较明显异常，实测波形畸变明显； 声速或波幅存在明显异常，实测波形畸变明显。
4	声速和波幅参数均存在明显异常，实测波形畸变严重； 声速或波幅存在严重异常，实测波形畸变严重。

**12.5.9** 桩身（墙身）各检测横截面（图 12.5.9）的完整性类别指数应按下列方法确定：

**1** 当仅有一个检测剖面时：

$$K(i) = I(1, j) \quad (12.5.9-1)$$

地下连续墙每个槽段各个检测剖面对应的墙身横截面的完整性类别指数按式（12.5.9-1）确定。

**2** 当桩身有三个检测剖面时：

$$K(i) = INT \left[ \frac{\sum_{j=1}^3 I(j, i)}{3} + \frac{a}{3} \right] \quad (12.5.9-2)$$

3 当桩身有六个检测剖面时：

$$K(i) = INT \left[ \frac{2INT \left[ \frac{1}{2} \{I(5,i) + I(6,i) + 1\} \right] + \sum_{j=1}^4 I(j,i)}{6} + \frac{a}{3} \right] \quad (12.5.9-3)$$

4 当桩身有十个检测剖面时：

$$K(i) = INT \left[ \frac{5INT \left[ \frac{1}{5} \left\{ \sum_{j=6}^{10} I(j,i) + 2 \right\} \right] + \sum_{j=1}^5 I(j,i)}{10} + \frac{a}{3} \right] \quad (12.5.9-4)$$

5 当桩身有八个检测剖面（四管均匀分布，一管居桩中心）时：

$$K(i) = INT \left[ \frac{4INT \left[ \frac{1}{4} \left\{ \sum_{j=5}^8 I(j,i) + 2 \right\} \right] + \sum_{j=1}^4 I(j,i)}{10} + \frac{a}{3} \right] \quad (12.5.9-5)$$

式中：  $K(i)$  ——受检桩第  $i$  个检测横截面的桩身完整性类别指数；

$I(j, i)$  ——第  $j$  个检测剖面第  $i$  条声测线的完整性函数值；

$a$ ——受检桩第  $i$  个检测横截面内各条声测线完整性函数值的极差；

$INT$ ——取整函数。

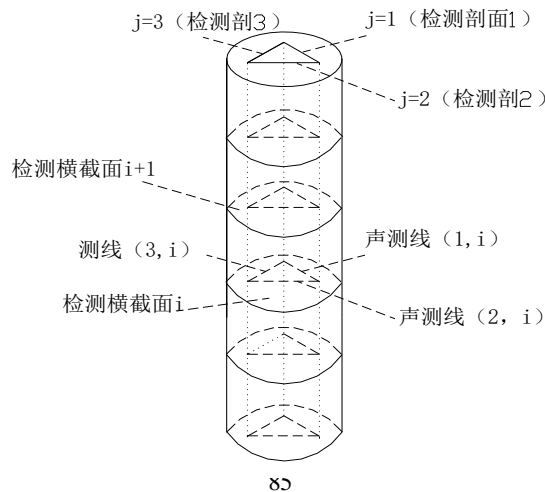


图 12.5.9 检测剖面、声测线、检测横截面划分示意图

**12.5.10** 当桩身有八个检测剖面（四管均匀分布，一管居桩中心）时，宜划分四个测试区，按式（12.5.10-1）计算各测区的完整性类别指数，桩身各检测横截面（图 12.5.10）的完整性类别指数应按式（12.5.10-2）确定：

$$Km(i) = INT \left[ \frac{2INT[\frac{1}{2}\{I(1,i) + I(2,i) + 1\}] + I(3,i)}{3} + \frac{a}{3} \right] \quad (12.5.10-1)$$

$$K(i) = INT \left[ \frac{\sum_{m=1}^4 Km(i)}{4} + \frac{b}{3} \right] \quad (12.5.10-2)$$

式中： $Km(i)$ ——受检桩第*i*个检测横截面 *m* 测区的桩身完整性类别指数；

$I(j, i)$ ——第*j*个检测剖面第*i*条声测线的完整性函数值；

*a*——受检桩第*i*个检测横截面内 *m* 测区各条声测线完整性函数值的极差；

*b*——受检桩第*i*个检测横截面内四个测区的桩身完整性类别指数的极差；

**12.5.10** 桩身完整性类别宜根据声波层析成像法检测结果和本规范表 3.7.3 的规定进行判定，也可结合对桩身质量可疑区域加密测试后确定的缺陷范围、程度和本规范表 3.7.3 的规定进行判定。当仅依据平测、斜测数据对桩身完整性进行判定时，可按本规范表 3.7.3 的规定和表 12.5.10 所描述的特征进行判定。

表 12.5.10 桩身完整性类别判定表

类别	特 征
I	桩身各检测横截面完整性类别指数均为 1。
II	桩身存在完整性类别指数为 2 的检测横截面。
III	桩身存在完整性类别指数为 3 的检测横截面； 在某深度 50cm 范围内检测横截面完整性类别指数均为 2。
IV	桩身存在完整性类别指数为 4 的检测横截面；



	在某深度 50cm 范围内检测横截面完整性类别指数均为 3。
--	--------------------------------

注：完整性类别由IV类往 I 类依次判定。

**12.5.11** 地下连续墙完整性类别的判定应符合下列要求：

- 1 以各槽段内的每一个检测剖面为基本单元进行完整性判定；
- 2 每一个检测剖面的完整性判定可依据本规范第12.5.8至12.5.10条的规定

按仅有一个检测剖面的桩的完整性判别方法进行判定。

**12.5.12** 当采用斜率法的  $PSD$  值作为辅助异常点判据时， $PSD$  值应按下列公式计算：

$$PSD(j,i) = \frac{[t_{ci}(j) - t_{ci-1}(j)]^2}{z_i - z_{i-1}} \quad (12.5.11)$$

式中：  $t_{ci}(j)$ ——第  $j$  检测剖面第  $i$  声测线声时 ( $\mu s$ )；

$t_{ci-1}(j)$ ——第  $j$  检测剖面第  $i-1$  声测线声时 ( $\mu s$ )；

$z_i$ ——第  $i$  声测线深度 (m)；

$z_{i-1}$ ——第  $i-1$  声测线深度 (m)。

根据  $PSD$  值在某深度处的突变，结合波幅变化情况，进行异常声测线判定。

**12.5.13** 当采用信号主频值作为异常点辅助判据时，主频-深度曲线上主频值明显降低可判定为异常。

**12.5.14** 当采用接收信号的能量作为辅助异常声测线判据时，能量-深度曲线上接收信号能量明显降低可判定为异常。

**12.5.15** 采用声波层析成像法分析判定桩身完整性时，应符合下列规定：

- 1 反演分析的数学模型应科学、合理，能反映声波在混凝土中的传播性状；
- 2 网格单元的几何尺寸不应大于5mm；
- 3 当埋设两根声测管时，可采用二维网格；当埋设三根以上声测管时，宜采用三维网格，也可采用二维网格分别对每个检测剖面进行分析；
- 4 反演计算得到的声速值应在合理区间范围内；
- 5 宜以声时分析为主；
- 6 桩身完整性类别应结合声波层析成像法反演分析所确定的缺陷范围和状况按本规范表3.7.3的规定和表12.5.15所描述的特征进行判定。

表 12.5.15 声波层析成像法桩身完整性类别判定表

类别	特征
II	声速明显异常区域的水平方向尺度小于 1/5 倍桩径且深度方向尺度小于 1 倍桩径，且没有或仅有个别声速严重异常点或水平方向尺度小于 1/2 倍桩径且深度方向尺度小于 1/2 倍桩径，且没有或仅有个别声速严重异常点
III	介于 II 类和 IV 类之间
IV	声速严重异常区域的水平方向尺度大于 1/2 倍桩径或深度方向尺度大于 30cm

注：声速明显异常和严重异常应参考本规范表 12.5.5 进行判断。

**12.5.16** 当出现本规范第 12.1.3 条第 1 款情况时，宜采用钻芯法对桩底混凝土质量进行抽检。

**12.5.17** 检测报告除应包括本规范第 3.7.7 条内容外，尚应包括下列内容：

- 1 声测管布置图，受检桩桩顶设计标高和桩底设计标高；
- 2 受检桩每个检测剖面声速—深度曲线、波幅—深度曲线，并将相应判据临界值所对应的标志线绘制于同一个坐标系；
- 3 当采用主频值或 $PSD$ 值进行辅助分析判定时，绘制主频—深度曲线或 $PSD$ 曲线；
- 4 检测横截面完整性指数—深度曲线；
- 5 加密测试、扇形扫测的有关情况；
- 6 声波层析成像法的数据分析图表；
- 7 各检测剖面实测波列图。

## 13 钻芯法

### 13.1 一般规定

**13.1.1** 桩基工程、支护工程和复合地基中的钢筋混凝土灌注桩钻芯法适用于检测混凝土灌注桩的桩长、桩身混凝土强度、桩身完整性、桩底沉渣厚度，判定或鉴别桩底持力层岩土性状。

**13.1.2** 地下连续墙钻芯法适用于检测地下连续墙墙深、墙身混凝土强度、墙身缺陷及其位置、墙底沉渣厚度，判定或鉴别墙底岩土性状。

**13.1.3** 复合地基增强体钻芯法适用于检测有粘结强度的复合地基竖向增强体的桩长、桩身强度、桩身完整性，判定或鉴别桩底持力层岩土性状。

**13.1.4** 水泥土墙钻芯法适用于检测水泥土墙墙深、墙身水泥土强度、墙身质量，判定或鉴别墙底岩土性状。

**13.1.5** 岩石地基钻芯法适用于检测岩石强度，判定或鉴别岩性及风化程度。

**13.1.6** 预埋管钻芯法适用于检测混凝土灌注桩桩长、预埋管管底以下混凝土灌注桩的桩身混凝土强度、桩身完整性、桩底沉渣厚度，判定或鉴别桩底持力层岩土性状。

**13.1.7** 水泥粉煤灰碎石桩、素混凝土桩的钻芯法检测可按本规范的规定执行。

**13.1.8** 当依据本规范第 3.6.1 条对其他检测方法的检测结果、桩身混凝土实体强度、依据本规范第 10.4.6 条和第 11.4.12 条对嵌岩桩桩底情况等钻芯法验证检测时，钻芯法检测应按本方法的规定执行，受检桩的钻芯孔数可为 1 孔，钻孔深度应满足验证检测要求。

**13.1.9** 孔内摄像法与钻芯法结合进行检测时，可判别灌注桩桩身缺陷、确定沉渣厚度和鉴别桩端持力层岩土性状。孔内摄像法检测应符合本规范附录 K 的规定。

### 13.2 设备

**13.2.1** 钻取芯样应采用液压操纵的钻机。钻机设备参数应符合以下规定：

- 1 额定最高转速不低于 790r/min；

2 转速调节范围不少于4档;

3 额定配用压力不低于1.5MPa。

**13.2.2** 钻具应根据检测对象合理选用单动三管钻具、单动双管钻具或单管钻具,并配备相应的孔口管、扩孔器、卡簧、扶正稳定器、及可捞取松软渣样的钻具。钻杆应顺直,直径宜为 42mm~50mm。

对混凝土正常钻取芯样时,应选用单动三管钻具或单动双管钻具,当混凝土局部松散时,可选用单管钻具。对复合地基有黏结强度的竖向增强体、水泥土墙钻取芯样时,宜选用单动双管钻具,也可选用单管钻具。

**13.2.3** 钻头应根据检测对象选用合适粒度、浓度、胎体硬度的金刚石钻头,且外径不宜小于 100mm。钻头胎体不得有肉眼可见的缺陷。

对复合地基有黏结强度的竖向增强体、水泥土墙、持力层为强风化(土),可选用合金钻头,钻头外径可为91mm。钻取岩石芯样时,宜选用外径为70mm的金刚石钻头。

**13.2.4** 钻机应配备排水量为(50~160)L/min、泵压为 1.0MPa~2.0MPa 的水泵。

**13.2.5** 锯切芯样试件用的锯切机应具有冷却系统和牢固夹紧芯样的装置,配套使用的金刚石圆锯片应有足够刚度。

**13.2.6** 芯样试件端面的补平器和磨平机应满足芯样制作的要求。

### **13.3 现场操作**

**13.3.1** 桩基工程中的钢筋混凝土灌注桩,每根受检桩的钻芯孔数、钻探深度和钻孔位置应符合下列规定:

1 桩径小于1.2m的桩,不得少于 1 孔;桩径为1.2m~1.6m的桩,不得少于 2孔;桩径大于1.6m的桩,不得少于3孔;

2 当钻芯孔为一个时,宜在距桩中心10cm~15cm的位置开孔;当钻芯孔为两个或两个以上时,开孔位置宜在距桩中心0.15d~0.25d内均匀对称布置;

3 对竖向抗压桩,桩底持力层的钻探应符合下列规定:

1) 每根受检桩不得少于一孔,其钻探深度应满足设计要求,当设计无明确要求时,桩底持力层的钻探深度不应小于 3 倍桩径,且不应少于 5m;

其他钻芯孔不宜少于 1.0m;

- 2) 对桩底持力层有夹层或岩溶的工程, 每根受检桩的每个钻芯孔对桩底持力层的钻探深度均不应小于 3 倍桩径, 且不应少于 5m;
- 3) 当岩土工程勘察资料和已进行超前钻结果表明, 桩底持力层为单一的稳定岩土层, 没有夹层或互层的情况时, 每个钻芯孔对桩底持力层的钻探深度宜为 0.5m, 当需要对岩石芯样取样时, 钻探深度应满足取样要求;

4 对于仅承受抗拔荷载和水平荷载的工程桩, 桩底持力层的钻探深度宜为 0.5m。

**13.3.2** 地下连续墙, 每个槽段的钻芯孔数、钻探深度和钻孔位置应符合下列规定:

1 槽段长度小于 4m, 每槽段钻 1 孔; 槽段长度为 4m~6m, 每槽段钻 2 孔; 槽段长度大于 6m, 每槽段钻 3 孔;

2 当钻芯孔仅为一个时, 宜在槽段中心位置开孔; 当钻芯孔为两个时, 宜在距槽段接头 1000mm~1500mm 的范围内开孔; 当钻芯孔数大于 2 个时, 两端孔宜在距槽段接头 1000mm~1500mm 的范围内开孔, 其他钻孔宜在两端孔之间均匀布置;

3 对地下连续墙持力层的钻探, 每个钻芯孔均不得少于 0.5m; 地下连续墙每个槽段至少应有一孔钻至设计要求的深度; 如设计未有明确要求时, 对于承重地下连续墙, 宜钻入持力层 3 倍墙厚且不应少于 3m; 对于非承重地下连续墙, 每个钻孔钻入持力层的深度不应少于 0.5m。

**13.3.3** 复合地基有黏结强度的竖向增强体, 每根受检桩的钻芯孔数、钻探深度和钻孔位置应符合下列规定:

- 1 每根受检桩应钻 1 孔;
- 2 开孔位置宜符合本规范第 13.3.1 条第 2 款的规定;
- 3 对桩底持力层的钻孔深度应满足设计要求, 且不应小于 0.5m。

**13.3.4** 对支护工程和复合地基中的混凝土灌注桩, 每根受检桩的钻芯孔数、钻探深度和钻孔位置应符合本规范第 13.3.3 条的规定, 其中, 对支护工程的承重支护桩, 宜符合本规范第 13.3.1 条的规定。

**13.3.5** 岩石地基的钻探应符合下列规定：

- 1 钻探深度应满足设计要求，当设计无明确要求时，钻探深度不应少于5m；
- 2 当有夹层时，应增加钻探深度。

**13.3.6** 当采用预埋管钻芯法时，预埋管及其埋设应符合下列规定：

- 1 预埋管应采用钢管，内径不宜小于150mm、壁厚不宜小于4mm；
- 2 预埋管管底应设置在拟检测段的顶面位置，当仅检测桩底沉渣和桩端岩土性状时，管底与桩底的间距宜为1m左右；
- 3 预埋管应下端封闭、上端加盖、管内无异物；预埋管连接处应光滑过渡，管口高出混凝土顶面不应小于100mm；
- 4 预埋管应沿钢筋笼内侧布置，且应采取适宜方法固定预埋管；
- 5 浇筑混凝土前，预埋管内宜注满清水。

**13.3.7** 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）与孔口中心应在同一铅垂线上，并确保钻机在钻芯过程中不发生倾斜、移位。

**13.3.8** 钻芯孔垂直度偏差应不大于 0.5%。当出现钻芯孔偏离桩身或墙体时，应立即停机，并查找原因。

**13.3.9** 当桩（墙）顶混凝土面与钻机底座距离较大时，应安装孔口管，孔口管应垂直且牢固。

**13.3.10** 钻进过程中，钻孔内循环水流不得中断，应根据回水含砂量及颜色调整钻进速度。

**13.3.11** 提钻卸取芯样时，应拧卸钻头和扩孔器，不得敲打卸芯。对复合地基有黏结强度的竖向增强体芯样，应从取样器中平稳推出，芯样不得受拉、受弯。

**13.3.12** 对混凝土和岩石钻芯时，每回次进尺宜控制在 1.5m 内；对复合地基有粘结强度的竖向增强体、水泥土墙和土层钻芯时，每回次进尺宜控制在 1.2m 内。钻至桩（墙）底时，应采取减压、慢速钻进、干钻等适宜的钻芯方法和工艺钻取沉渣并测定沉渣厚度。

**13.3.13** 钻取的芯样应由上而下按回次顺序放进芯样箱中，芯样侧面上宜清晰标明回次数、块号、本回次总块数，并按本规范表 A.0.6-1 的格式及时记录钻进情况和钻进异常情况，对芯样质量做初步描述。

**13.3.14** 芯样质量可按本规范表 A.0.6-2 的格式进行详细编录。混凝土芯样编录内容宜包括混凝土的胶结情况、粗骨料分布情况、断口吻合程度、芯样表面光滑程度、气孔、蜂窝麻面、沟槽、破碎、松散、夹泥、混凝土与持力层的接触情况、沉渣厚度等。

**13.3.15** 对拟取样进行抗压强度试验的岩石芯样和复合地基增强体芯样，应采取适宜的措施防止芯样因失水和吸水而影响强度试验结果。

**13.3.16** 检测人员应采用适宜的方法对桩（墙）底持力层岩土性状进行鉴别。当需要通过综合判断方法对桩（墙）底持力层岩土性状进行鉴别时，对持力层为微风化岩和中风化岩层且岩芯可制作成试件时，可截取一个/一组芯样进行抗压强度试验；对持力层为强风化岩层或土层时，可进行标准贯入试验和圆锥动力触探试验。当采用标准贯入试验鉴别持力层岩土性状时，宜在距桩底 1m 内进行 1 次标准贯入试验，标准贯入锤击数应达 100 击方可终止试验。

**13.3.17** 在截取芯样前，应对芯样全貌进行拍照，照片中应有工程名称、检测对象唯一性编号、钻芯孔号、芯样试件截取位置、桩长或墙深、孔深、检测单位名称等信息。

**13.3.18** 当芯样质量、沉渣厚度和持力层满足设计要求时，应采用水泥浆从钻芯孔孔底往上回灌封闭，灌浆压力不小于 0.3MPa；否则应封存钻芯孔，留待处理。当需要进行孔内摄像法检测时，应先进行孔内摄像法检测。取样完毕剩余的芯样应移交委托单位妥善保存。

## **13.4 芯样试件截取与加工**

**13.4.1** 当根据芯样试件抗压强度确定受检桩、地下连续墙和水泥土墙、复合地基有粘结强度的竖向增强体的芯样试件抗压强度代表值时，每个钻芯孔的芯样试件截取应符合下列规定：

**1** 芯样宜在表观质量较好的部位截取，截取的芯样应能够制作芯样抗压试件；对于混凝土芯样，不应在表观粗骨料粒径大于 2 倍芯样直径的部位截取芯样试件；

**2** 每组芯样应制作三个芯样抗压试件；对于水泥土墙、混凝土芯样，一组三个芯样抗压试件应由一段完整芯样切割制作而成，对于复合地基有粘结强度

的竖向增强体，可一段芯样截取一个芯样试件；

**3** 应根据拟截取芯样试件组数，将芯样等分成若干部分，每部分截取一组芯样试件；当单孔的芯样长度小于10m时，每孔截取2组芯样；当其长度为10m～30m时，每孔截取3组芯样；当其长度大于30m时，每孔截取芯样不少于4组；其中，对于工程桩检测，上部芯样位置距桩顶设计标高不宜大于1倍桩径或2m，下部芯样位置距桩底不宜大于1倍桩径或2m。

**13.4.2** 当需要结合混凝土强度判断混凝土质量时，应在缺陷位置截取一组芯样进行混凝土抗压试验、或在同一受检桩其它钻芯孔同一深度部位截取一组芯样进行混凝土抗压试验。

**13.4.3** 桩（墙）端持力层岩石芯样可按本规范第 13.3.16 条的规定，进行取样，且取样位置距桩（墙）端部不宜大于 1m。当设计要求确定持力层岩石强度标准值时，应按本规范第 13.6.9 条的规定进行取样。

**13.4.4** 岩石地基，应在每个钻芯孔的中上部芯样中截取一组岩石芯样试件；岩石性状不同时，应分别取样。

**13.4.5** 芯样试件应按附录 L 进行加工和测量。

## **13.5 芯样试件抗压强度试验**

**13.5.1** 芯样试件制作完毕可立即进行抗压强度试验。

**13.5.2** 芯样试件的破坏荷载应按国家现行标准《普通混凝土力学性能试验方法》GB / T 50081 的有关规定确定。

芯样试件抗压强度应按下列公式计算：

$$f_{cu} = \xi \cdot \frac{4P}{\pi d^2} \quad (13.5.2)$$

式中：  $f_{cu}$ ——芯样试件抗压强度（MPa），精确至 0.1MPa；

$P$ ——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）；

$\xi$ ——芯样试件抗压强度换算系数，对混凝土芯样取 1/0.88，对水泥土墙、有粘结强度竖向增强体芯样取 1，对岩石芯样取 1。

**13.5.3** 混凝土芯样试件抗压强度试验后，若发现芯样试件平均直径小于 2 倍试



件内混凝土粗骨料最大粒径，且强度值异常时，该试件的强度值无效，不参与本规范第 13.6.1 条的统计平均。

## 13.6 检测数据分析与判定

### ( I ) 基桩

**13.6.1** 受检桩混凝土芯样试件抗压强度代表值的确定应符合下列规定：

1 芯样取样应符合13.4.1规定；本规范第13.4.2条的芯样试件强度值不参与受检桩混凝土芯样试件抗压强度代表值的计算；

2 取一组三块试件强度值的平均值为该组混凝土芯样试件抗压强度代表值；当一组芯样试件，仅有两个有效强度值时，可取其平均值为该组混凝土芯样试件抗压强度代表值；

3 同一受检桩有两孔或两孔以上芯样时，应对不同孔的上中下芯样强度分别计算其算术平均值，得到该桩上中下的混凝土芯样试件抗压强度代表值；

4 取受检桩上中下的混凝土芯样试件抗压强度代表值中的最小值为该桩混凝土芯样试件抗压强度代表值。

**13.6.2** 判定或鉴别桩底持力层岩土性状应符合下列规定：

1 应根据持力层芯样特征和钻芯记录鉴别桩底持力层岩土性状；

2 当有岩石芯样单轴抗压强度试验、圆锥动力触探或标准贯入试验的试验结果时，应根据试验结果，结合持力层芯样特征和钻芯记录综合判定桩底持力层岩土性状；

3 当进行了孔内摄像法检测时，桩底持力层岩土性状应根据钻芯法检测结果和孔内摄像法检测结果综合判定。

**13.6.3** 当同一受检桩的钻芯检测孔为两个或两个以上时，桩底沉渣厚度宜按加权平均的计算方法确定。加权平均法计算确定桩底沉渣厚度应符合下列规定：

将各钻芯孔的桩底沉渣厚度从小到大依次按下式排序：

$$\delta_1 \leq \delta_2, \dots \leq \dots \leq \delta_n \quad (13.6.3-1)$$

按下式计算桩底沉渣厚度加权平均值：

$$\delta = (\delta_1 + 2\delta_2 + \dots + n\delta_n) / (1 + 2 + \dots + n) \quad (13.6.3-2)$$

式中： $\delta$ ——受检桩的桩底沉渣厚度；

$\delta_i$ ——第  $i$  钻芯孔的桩底沉渣厚度；

$n$ ——同一受检桩的钻芯检测孔数。

**13.6.4** 每根受检桩的桩身完整性类别应结合钻芯孔数、现场混凝土芯样特征、芯样试件抗压强度试验结果，按本规范表 3.7.3 的规定和表 13.6.4 的芯样特征进行综合判定；且应符合下列规定：

**1** 当混凝土出现分层现象时，宜截取分层部位的芯样进行抗压强度试验。当混凝土抗压强度满足设计要求时，可判为Ⅱ类；当混凝土抗压强度不满足设计要求或不能制作成芯样试件时，应判为Ⅳ类；当未进行芯样抗压强度试验时，宜判为Ⅲ类。

**2** 当存在水平裂缝时，可结合水平荷载设计要求和水平裂缝的深度位置进行综合判断：当桩水平设计承载力较大且水平裂缝位于桩上部时应判为Ⅳ类桩；当设计对水平承载力无要求且水平裂缝位于桩中下部时可判为Ⅱ类桩；其他情况宜判为Ⅲ类桩。

**3** 当同一深度部位的钻芯孔数超过3个时，其混凝土芯样外观判定完整性类别按任3孔组合的最不利类别确定，受检桩桩身完整性类别应按不同深度部位的混凝土芯样外观判定完整性类别的最不利类别确定。

**表 13.6.4 桩身完整性判定**

类别	特征		
	单孔	两孔	三孔
Ⅰ	混凝土芯样呈长柱状、连续、完整、胶结好，芯样断口吻合，芯样侧表面粗骨料分布基本均匀。局部芯样侧表面有少量气孔。		
		局部芯样侧表面有蜂窝麻面、沟槽，但在两孔的同一深度部位的芯样中未同时出现，否则应判为Ⅱ类。	局部芯样侧表面有蜂窝麻面、沟槽，但在三孔的同一深度部位的芯样中未同时出现，否则应判为Ⅱ类。
Ⅱ	混凝土芯样大多呈柱状或长柱状、少数呈短柱状、连续、完整、胶结较好，芯样断口基本吻合，芯样侧表面粗骨料分布基本均匀。局部芯样侧表面有气孔、蜂窝麻面、沟槽。		

	<p>局部芯样侧表面有严重蜂窝麻面、连续沟槽或粗骨料分布极不均匀，但对应部位的混凝土芯样试件抗压强度满足设计要求，否则应判为Ⅲ类。</p>	<p>局部芯样侧表面有严重蜂窝麻面、连续沟槽或粗骨料分布极不均匀，但在两孔的同一深度部位的芯样中未同时出现。</p> <p>局部芯样侧表面有严重蜂窝麻面、连续沟槽或粗骨料分布极不均匀，且在两孔的同一深度部位的芯样中同时出现，但该深度部位的混凝土芯样试件抗压强度代表值满足设计要求，否则应判为Ⅲ类。</p> <p>任一孔局部混凝土芯样破碎段长度不大于 10cm，且在另一孔同一深度部位的局部混凝土芯样的外观判定完整性类别为Ⅰ类或Ⅱ类，否则应判为Ⅲ类。</p>	<p>局部芯样侧表面有严重蜂窝麻面、连续沟槽或粗骨料分布极不均匀，但在三孔的同一深度部位的芯样中未同时出现。</p> <p>芯样侧面有严重蜂窝麻面、连续沟槽或粗骨料分布极不均匀，且在三孔的同一深度部位的芯样中同时出现，但该深度部位的混凝土芯样试件抗压强度代表值满足设计要求，否则应判为Ⅲ类。</p> <p>任一孔局部混凝土芯样破碎段长度不大于 10cm，且在另两孔同一深度部位的局部混凝土芯样的外观，按两孔综合判定完整性类别为Ⅰ类或Ⅱ类，否则应判为Ⅲ类。</p>
Ⅲ	<p>有下列情况之一：</p> <p>局部混凝土芯样破碎段长度不大于 10cm。</p> <p>芯样特征介于Ⅱ类和Ⅳ类之间。</p>	<p>有下列情况之一：</p> <p>任一孔局部混凝土芯样破碎长度不大于 20cm 或松散长度不大于 1 倍芯样直径或芯样局部夹泥、泥块粒径不大于 0.5 倍芯样直径，且在另一孔同一深度部位的局部混凝土芯样的外观判定完整性类别为Ⅰ类或Ⅱ类，否则应判为Ⅳ类。</p> <p>芯样特征介于Ⅱ类和Ⅳ类之间。</p>	<p>有下列情况之一：</p> <p>任一孔局部混凝土芯样破碎长度不大于 30cm 或松散长度不大于 20cm 或芯样局部夹泥、泥块粒径不大于 10cm，且在另外两孔同一深度部位的局部混凝土芯样的外观，按两孔综合判定完整性类别为Ⅰ类或Ⅱ类，否则应判为Ⅳ类。</p> <p>芯样特征介于Ⅱ类和Ⅳ类之间。</p>
Ⅳ	<p>有下列情况之一：</p> <p>因混凝土胶结质量差而难以钻进。</p> <p>局部混凝土芯样破碎长度大于 10cm。</p> <p>混凝土芯样任一段松散。</p> <p>混凝土芯样任一段出现局部夹泥。</p>	<p>有下列情况之一：</p> <p>任一孔因混凝土胶结质量差而难以钻进。</p> <p>任一孔局部混凝土芯样破碎长度大于 20cm。</p> <p>任一孔局部混凝土芯样松散长度大于 10cm。</p> <p>任一孔混凝土芯样局部夹泥、泥块粒径大于 5cm。</p> <p>两孔在同一深度部位的混凝土芯样同时出现破碎和/或松散和/或夹泥。</p>	<p>有下列情况之一：</p> <p>任一孔因混凝土胶结质量差而难以钻进。</p> <p>任一孔局部混凝土芯样破碎长度大于 30cm。</p> <p>任一孔局部混凝土芯样松散长度大于 20cm。</p> <p>任一孔混凝土芯样局部夹泥、泥块粒径大于 10cm。</p> <p>其中两孔在同一深度部位的混凝土芯样同时出现松散和/或夹泥。</p> <p>三孔在同一深度部位的混凝土芯样同时出现破碎。</p>

注：如果上一缺陷的底部位置标高与下一缺陷的顶部位置标高的高差小于 30cm，则定为两缺陷处于同一深度部位或相同深度部位。

**13.6.5** 当根据钻芯法检测 results 和预埋管钻芯法检测 results 综合判定成桩质量时，应根据钻芯法检测 results 和预埋管钻芯法检测 results，按照本规范第 13.6.4 条的规定，分别判定不同深度部位的芯样外观完整性类别，受检桩桩身完整性类别应按不同深度部位的混凝土芯样外观判定完整性类别的最不利类别确定。

**13.6.6** 当根据钻芯法检测 results 和孔内摄像法检测 results 综合判定成桩质量时，应执行本规范第 13.6.4 条的规定，且应符合下列规定：

- 1 桩底沉渣厚度应依据孔内摄像法检测结果确定；
- 2 粗骨料分布情况、气孔、蜂窝麻面、胶结状态应依据钻芯法检测结果、参考孔内摄像法检测结果确定；
- 3 连续沟槽、裂缝应依据钻芯法检测结果，结合孔内摄像法检测结果，综合分析确定；
- 4 含泥、松散、破碎等缺陷性质和缺陷大小应依据钻芯法检测结果和孔内摄像法检测结果，综合分析确定。

**13.6.7** 成桩质量评价应按单根受检桩进行。当出现下列情况之一时，应判定该受检桩不满足设计要求：

- 1 桩身完整性类别为Ⅳ类；
- 2 受检桩混凝土芯样试件抗压强度代表值小于混凝土设计强度等级；
- 3 桩底沉渣厚度不满足设计或规范要求；
- 4 桩端持力层岩土性状不符合设计要求。

**13.6.8** 当受检桩桩长与施工记录明显不符时，应在检测报告中予以说明。

**13.6.9** 当设计要求确定持力层岩石强度标准值时，应对每根受检桩提供检测结果并给出评价意见。受检桩桩端持力层岩石单轴抗压强度值可按本规范第 13.6.24～13.6.26 条的规定确定。

## （Ⅱ）地下连续墙

**13.6.10** 地下连续墙单个槽段的混凝土芯样试件抗压强度代表值可按本规范第 13.6.1 条的规定确定。

**13.6.11** 地下连续墙单个槽段的持力层岩土性状可按本规范第 13.6.2 条的规定确定。

**13.6.12** 地下连续墙单个槽段的沉渣厚度可按本规范第 13.6.3 条的规定确定。

**13.6.13** 地下连续墙单个槽段的混凝土质量可按本规范第 13.6.4 条的规定进行评价。

## （Ⅲ）水泥搅拌桩与高压旋喷桩

**13.6.14** 水泥搅拌桩与高压旋喷桩桩身芯样试件抗压强度代表值可按本规范第

13.6.1 条的规定确定。

**13.6.15** 当水泥搅拌桩与高压旋喷桩桩身强度按单位工程检验批进行评价时，可对单位工程同一条件下的全部受检桩，依据本规范第 13.6.14 条确定的桩身芯样试件抗压强度代表值，按本规范公式（B.0.7-1）计算单位工程桩身强度标准值。

**13.6.16** 桩底持力层性状可按本规范第 13.6.2 条的规定确定。

**13.6.17** 水泥搅拌桩与高压旋喷桩桩身完整性类别应按表 13.6.17 的芯样特征综合判定。

**表 13.6.17 水泥搅拌桩与高压旋喷桩桩身完整性判定**

类别	特征
I	芯样呈长柱状、连续、完整，断口吻合，芯样胶结好、坚硬
II	芯样大多呈柱状或长柱状、少数呈短柱状或个别呈块状、连续、完整，断口基本吻合，大多数芯样胶结好或较好、坚硬或较硬。局部芯样松散或芯样水泥含量少、呈可塑状且其芯样长度小于 0.5 倍桩径
III	芯样特征介于 II 类和 IV 类之间
IV	多处芯样或较大深度范围的芯样松散或芯样水泥含量少、呈可塑状，不能取样制作芯样试件

注：芯样坚硬、较硬、可塑状况可以手指压入难易程度判断，坚硬状况无压痕、较硬状况有轻微压痕、可塑状况可捏成团。

**13.6.18** 水泥搅拌桩与高压旋喷桩成桩质量宜按单根受检桩进行评价。当出现下列情况之一时，应判定该受检桩不满足设计要求：

- 1 依据本规范第13.6.14条确定的受检桩桩身芯样试件抗压强度代表值不满足设计要求；
- 2 依据本规范第13.6.17条确定为受检桩桩身完整性类别为IV类的桩；
- 3 当设计对桩底持力层岩土性状有要求时，桩底持力层岩土性状不满足设计要求。

**13.6.19** 水泥搅拌桩与高压旋喷桩成桩质量可按单位工程进行评价。当符合下列规定时，可判定该检验批受检桩成桩质量满足设计要求：

- 1 依据本规范第13.6.15条确定的单位工程桩身强度标准值满足设计要求；
- 2 依据本规范第13.6.17条确定的受检桩桩身完整性类别，少数为IV类桩且

III类桩和IV类桩的数量不超过20%，且IV类桩的数量不超过5%；

3 当设计对桩底持力层岩土性状有要求时，桩底持力层岩土性状不满足设计要求的受检桩数不超过20%。

#### （IV）水泥土墙

**13.6.20** 水泥土墙单孔的芯样试件抗压强度代表值可按本规范第 13.6.1 条的规定确定。

**13.6.21** 水泥土墙单孔的持力层岩土性状可按本规范第 13.6.2 条的规定确定。

**13.6.22** 单位工程水泥土墙墙身强度标准值可按本规范第 13.6.15 条的规定确定。

**13.6.23** 依据单孔芯样特征评价水泥土墙墙身质量可按本规范第 13.6.17 条的规定进行评价。单位工程水泥土墙墙身质量可按本规范第 13.6.19 条的规定进行评价。

#### （V）岩石地基

**13.6.24** 岩石芯样试件应为圆柱形，高度与直径之比应为 2.0~2.5。芯样试件加工和测量应符合附录 L 的规定。

**13.6.25** 试验的含水状态，可根据需要选择自然含水状态和饱和状态。自然含水状态的芯样试件制作完毕可立即进行抗压强度试验；饱和状态的芯样试件应在清水中浸泡不少于 12h 后进行试验。

**13.6.26** 岩石地基每个钻芯孔应截取一组 3 个试件，每个检测孔的岩石单轴抗压强度代表值取一组 3 个试件的强度平均值。

对于混凝土灌注桩，每根受检桩应截取一组 3 个试件，受检桩桩端持力层岩石单轴抗压强度代表值取一组 3 个试件的强度平均值。

**13.6.27** 单位工程岩石地基的岩石单轴抗压强度标准值，应根据本规范第 13.6.26 条确定的各检测孔的岩石单轴抗压强度代表值，按本规范公式（B.0.7）计算确定。

单位工程混凝土灌注桩桩端持力层的岩石单轴抗压强度标准值，应根据本规范第 13.6.26 条确定的各受检桩桩端持力层的岩石单轴抗压强度代表值，按本规范公式（B.0.7）计算确定。

**13.6.28** 其他复合地基有粘结强度的竖向增强体的钻芯法检测可按本规范第 13.6.14~13.6.19 条有关水泥搅拌桩与高压旋喷桩的规定进行评价，或按本规范第 13.6.1~13.6.8 条有关混凝土灌注桩的规定进行评价。

**13.6.29** 复合地基中的混凝土灌注桩的钻芯法检测评价可按本规范第 13.6.1~13.6.8 条有关混凝土灌注桩的规定进行评价。

**13.6.30** 钻芯孔偏出桩（墙）外时，仅对钻取芯样部分进行评价。

**13.6.31** 检测报告除应包括本规范第 3.7.7 条内容外，尚应包括下列内容：

1 检测桩数或槽段数、钻孔数量、开孔相对位置，架空、芯样进尺、持力层进尺、总进尺，桩身墙身芯样试件组数、岩石芯样试件组数、圆锥动力触探或标准贯入试验结果；

2 按本规范表A.0.6-3的格式编制每孔的柱状图；

3 芯样单轴抗压强度试验结果；

4 芯样彩色照片。

## 14 单桩竖向抗压静载试验

### 14.1 一般规定

**14.1.1** 单桩竖向抗压静载试验适用于检测单桩的竖向抗压承载力，试验方法分为慢速维持荷载法和快速维持荷载法。

**14.1.2** 复合地基单桩（墩）载荷试验可按本方法执行。

### 14.2 仪器设备及其安装

**14.2.1** 加载反力装置可根据现场条件选择锚桩横梁反力装置、压重平台反力装置、锚桩压重联合反力装置，并应符合下列规定：

- 1 加载反力装置能提供的反力不得小于最大试验荷载的1.2倍；
- 2 应对加载反力装置的主要构件进行强度和变形验算；
- 3 应对锚桩抗拔力（地基土、抗拔钢筋、桩的接头）进行验算；采用工程桩作锚桩时，锚桩数量不应少于4根，并应监测锚桩上拔量；
- 4 压重宜在检测前一次加足，并均匀稳固地放置于平台上；
- 5 压重平台支墩施加于地基土上的压应力不宜大于地基土承载力特征值的1.5倍。

**14.2.2** 试验加载宜采用油压千斤顶。当采用单台千斤顶加载时，千斤顶的中心应与桩轴线重合；当采用两台及两台以上千斤顶加载时，应符合下列规定：

- 1 千斤顶规格、型号相同；
- 2 千斤顶的合力中心应与桩轴线重合；
- 3 千斤顶应并联同步工作。

**14.2.3** 荷载量测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，根据千斤顶校准结果换算荷载。

**14.2.4** 桩顶沉降宜采用位移传感器或大量程百分表进行测量，其安装应符合下列规定：

- 1 沉降测定平面宜在桩顶200mm以下位置，测点应固定于桩身混凝土上，位移测量仪表应固定于基准梁上；当有桩帽时，位移测量仪表也可直接安装在



桩帽上；

2 直径或边宽大于500mm的桩，应在其两个方向对称安置4个位移测量仪表，直径或边宽小于等于500mm的桩可对称安置2个位移测量仪表；

3 基准桩应牢固设置，基准桩和基准梁应具有一定的刚度，梁的一端应固定在基准桩上，另一端应简支于基准桩上；

4 基准桩、基准梁和固定位移测量仪表的夹具应避免太阳照射、振动及其他外界因素的影响。

#### 14.2.5 试验仪器设备性能指标应符合下列规定：

1 荷重传感器、压力传感器或压力表的准确度应优于或等于0.5级。

2 在试验荷载达到最大试验荷载时，试验用油泵、油管的工作压力不应超过额定工作压力的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试验荷载的2.5倍，也不应小于最大试验荷载的1.2倍。

4 位移测量仪表的测量误差不大于0.1%FS，分辨力优于或等于0.01mm。

#### 14.2.6 受检桩、锚桩（或压重平台支墩）和基准桩之间的距离应符合下列规定：

1 应优先符合表14.2.6的规定。

表 14.2.6 受检桩、锚桩（或压重平台支墩）和基准桩之间的距离

反力装置	受检桩中心与锚桩中心	受检桩与压重平台支墩净距	受检桩中心与基准桩中心	基准桩中心与锚桩中心	基准桩与压重平台支墩净距
锚桩横梁	$\geq 3d$ 且 $> 2.0\text{m}$	-	$\geq 3d$ 且 $> 2.0\text{m}$	$\geq 3d$ 且 $> 2.0\text{m}$	$\geq 1.5B$ 且 $> 2.0\text{m}$
压重平台	-	$\geq 1B$ 且 $> 1.5\text{m}$		-	
锚桩压重联合	$\geq 3d$ 且 $> 2.0\text{m}$			$\geq 4d$ 且 $> 2.0\text{m}$	

注： $d$  为受检桩或锚桩的设计直径或边宽，取其较大者； $B$  为支墩宽度。

2 当受检桩或锚桩为扩底桩时，受检桩与锚桩的中心距不应小于2倍扩大端直径。

3 当支墩宽度 $B$ 大于2.5m时，受检桩与压重平台支墩之间的净距可取2.5m。

4 对大直径桩静载试验，当基准梁长度达到12m，但基准桩和受检桩、锚桩、压重平台支墩之间的距离仍不能满足表14.2.6的规定时，基准梁长度可取12m，

此时，应对基准桩竖向位移进行监测，监测基准桩位移的位移测量仪表的分辨力宜达到0.1mm。

**14.2.7** 宜采用自动化静载试验专用测试仪器，其性能指标应符合本规范第14.2.5条的规定。

### **14.3 现场检测**

**14.3.1** 对工程桩和复合地基单桩（墩）抽样检测时，最大试验荷载不应小于设计要求的单桩竖向抗压承载力特征值的2.0倍。

**14.3.2** 受检桩桩顶部宜高出试坑底面，试坑底面宜与桩承台底标高一致。混凝土桩头加固可按本规范附录G执行，承台设计应按国家现行标准《混凝土结构设计规范》GB 50010、《建筑桩基技术规范》JGJ94的规定执行。复合地基受检桩桩顶宜用水平钢丝网和水泥砂浆找平。

**14.3.3** 对工程桩用作锚桩的灌注桩和有接头的混凝土预制桩，静载试验前宜对其桩身完整性进行检测。

**14.3.4** 试验加卸载方式应符合下列规定：

- 1 分级荷载宜为最大试验荷载的1/10；
- 2 加载应分级进行，且采用逐级等量加载；其中慢速维持荷载法第一级荷载可取分级荷载的2倍，快速维持荷载法第一级荷载和第二级荷载可取分级荷载的2倍，以后的每级荷载取为分级荷载；
- 3 卸载应分级进行，每级卸载量取分级荷载的2倍，逐级等量卸载；当终止试验荷载为分级荷载的奇数倍数时，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±10%。

**14.3.5** 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，应分别按第5min、15min、30min、45min、60min测读桩顶沉降量，以后每隔30min测读一次；
- 2 沉降相对稳定标准：每一小时内的桩顶沉降量不得超过0.1mm，并连续出现两次（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，可施加下一级荷载；

4 卸载时，每级荷载维持1h，分别按第15min、30min、60min测读桩顶沉降量后，即可卸下一级荷载；卸载至零后，应测读桩顶残余沉降量，维持时间为3h，测读时间为第15、30min，以后每隔30min测读一次。

**14.3.6** 快速维持荷载法的试验步骤应符合下列规定：

1 每级荷载施加后按第5min、15min、30min测读桩顶沉降量，以后每隔15min测读一次；

2 沉降相对收敛标准：加载时每级荷载维持时间不应少于一小时，最后15min时间间隔的桩顶沉降增量小于相邻15min时间间隔的桩顶沉降增量；

3 当桩顶沉降速率达到相对收敛标准时，可施加下一级荷载；

4 卸载时，每级荷载维持15min，按第5min、15min测读桩顶沉降量；卸载至零后，应测读桩顶残余沉降量，测读时间为第5min、15min、30min，以后每隔30min测读一次；当达到本条第2款沉降相对收敛标准时，可终止试验。

**14.3.7** 试验过程中，预测位移测量仪表的量程不够时，可对位移测量仪表重新安装，位移测量仪表重新安装后，应及时进行补充读数。

**14.3.8** 当执行本规范第14.2.6条第4款规定时，应同时测读桩顶沉降量和基准桩的竖向位移，桩顶的实际沉降量应根据基准桩的竖向位移测读值和桩顶沉降量的测读值进行确定。

**14.3.9** 当出现下列情况之一时，可终止加载：

1 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5倍，且桩顶总沉降量超过40mm；

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尚未达到稳定（收敛）标准；

3 当达不到极限荷载，已达到最大试验荷载，桩顶沉降速率达到相对稳定（收敛）标准；

4 当荷载-沉降曲线呈缓变型时，可加载至桩顶总沉降量60mm~80mm；在特殊情况下，可根据具体要求加载至桩顶累计沉降量80mm~100mm。

**14.3.10** 复合地基单桩载荷试验的加载方式宜采用慢速维持荷载法。

**14.3.11** 试验过程中，当出现下列情况之一而提前终止试验时，试验结果不得

作为验收依据，应按本规范第 3.1.12 条的规定进行重新检测：

- 1 由于加载系统漏油等原因，无法施加荷载；
- 2 由于反力支墩下沉等原因，继续施加荷载可能导致反力装置系统失稳；
- 3 已达加载反力装置的最大反力，继续加载可能导致反力装置破坏；
- 4 当工程桩作锚桩时，锚桩上拔量已达到允许值。

**14.3.12** 单桩竖向抗压静载试验数据可按本规范表 A.0.7 的格式记录。

## **14.4 检测数据分析与判定**

**14.4.1** 确定单桩竖向抗压承载力时，应绘制竖向荷载-沉降（ $Q-s$ ）关系曲线和沉降-时间对数（ $s-\lg t$ ）关系曲线，也可绘制  $s-\lg Q$  和  $\lg s-\lg Q$  等其他辅助分析曲线。

**14.4.2** 单桩竖向抗压极限承载力  $Q_u$  可按下列方法综合分析确定：

- 1 根据沉降随荷载变化的特征确定：对于陡降型  $Q-s$  曲线，取其发生明显陡降的起始点所对应的荷载值；
- 2 根据沉降随时间变化的特征确定：取  $s-\lg t$  曲线尾部出现明显向下弯曲的前一级荷载值；
- 3 出现第 14.3.9 条第 2 款情况，取前一级荷载值；
- 4 对于缓变型  $Q-s$  曲线，当根据桩顶沉降量确定单桩竖向抗压极限承载力时，应符合下列规定：
  - 1) 宜根据桩顶总沉降量，取  $s=40\text{mm}$  对应的荷载值；对  $d$ （ $d$  为桩端直径）大于等于  $800\text{mm}$  的桩，可取  $s=0.05d$ （ $d$  为桩端直径）且  $s$  不大于  $80\text{mm}$  对应的荷载值；
  - 2) 当桩长大于  $25\text{m}$  时，宜考虑桩身弹性压缩量，但竖向抗压极限承载力对应的总沉降量不得大于  $100\text{mm}$ ；
- 5 出现本规范第 14.3.9 条第 3 款情况，桩的竖向抗压极限承载力可取最大试验荷载值，且桩顶总沉降量不得超过本条第 4 款的规定；
- 6 对于复合地基单桩（墩）载荷试验，单桩（墩）竖向抗压极限承载力宜取  $s=40\text{mm}$  对应的荷载值；对于桩（墩）径较大的复合地基竖向增强体，可取  $s=0.05d$  且  $s$  不大于  $60\text{mm}$  对应的荷载值。对于复合地基的刚性桩，确定单桩竖

向抗压极限承载力应符合本条第 1 款~5 款的规定。

**14.4.3** 受检桩单桩抗压承载力特征值应按单桩竖向抗压极限承载力的 50%取值。

**14.4.4** 复合地基单桩（墩）载荷试验应提供单位工程的复合地基单桩（墩）竖向抗压承载力特征值；单位工程的复合地基单桩（墩）竖向抗压承载力特征值应按本规范第 8.4.4 条的规定进行确定。

**14.4.5** 检测报告除应包括本规范第 3.7.7 条内容外，尚应包括下列内容：

- 1 受检桩及锚桩的设计与施工资料、锚桩数量；
- 2 加载反力装置类型，堆载法应指明堆载重量，锚桩法应有反力梁布置示意图；
- 3 加卸载方法，荷载分级；
- 4 本规范第14.4.1条要求绘制的曲线及对应的数据表；与承载力判定有关的曲线及数据；
- 5 受检桩单桩竖向抗压极限承载力。

## 15 单桩竖向抗拔静载试验

### 15.1 一般规定

**15.1.1** 单桩竖向抗拔静载试验适用于检测单桩的竖向抗拔承载力。

### 15.2 仪器设备及其安装

**15.2.1** 试验反力装置宜采用反力桩（工程桩可用作反力桩）提供支座反力，也可根据现场情况采用天然地基或处理地基提供支座反力。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试验荷载的1.2倍；
- 2 应对加载反力装置的主要构件进行强度和变形验算；
- 3 采用反力桩提供支座反力时，反力桩顶面应平整并具有足够的强度；
- 4 采用天然地基或处理地基提供反力时，施加于地基土上的压应力不宜大于地基土承载力特征值的1.5倍。

**15.2.2** 试验加载宜采用油压千斤顶，且应符合本规范第 14.2.2 条的规定。

**15.2.3** 荷载量测应符合本规范第 14.2.3 条的规定。

**15.2.4** 桩顶上拔量测量及其位移测量仪表安装应符合本规范第 14.2.4 条的规定。

**15.2.5** 试验仪器设备性能指标应符合本规范第 14.2.5 条的规定

**15.2.6** 受检桩、反力桩（或反力支墩）和基准桩之间的距离应符合表 15.2.6 的规定。

表 15.2.6 受检桩、反力桩、反力支墩边和基准桩之间的距离

反力装置	受检桩中心 与反力桩中心	受检桩中心 与反力支墩边	受检桩中心 与基准桩中心	基准桩中心 与反力桩中心	基准桩中心 与反力支墩边
反力桩装置	$\geq 3d$ 且 $> 2.0\text{m}$	-	$\geq 3d$ 且 $> 2.0\text{m}$	$\geq 3d$ 且 $> 2.0\text{m}$	-
反力支墩 装置	-	$\geq 2B$ 且 $> 2.0\text{m}$		-	$\geq 1.5B$ 且 $> 2.0\text{m}$

注：1  $d$ —受检桩的设计直径，如受检桩为扩底桩时， $d$ 为扩大端直径； $B$ —反力支墩宽度。

- 2 对大直径桩静载试验，当基准梁长度达到 12m，但基准桩和受检桩、锚桩、压重平台支墩之间的距离仍不能满足表 15.2.6 的规定时，基准梁长度可取 12m，此时，应对基准桩竖向位移进行监测，监测基准桩位移的位移测量仪表的分辨力宜达到 0.1mm。

## 15.3 现场检测

**15.3.1** 对工程桩抽样验收检测时，单桩竖向抗拔最大试验荷载应符合下列规定：

- 1 最大试验荷载不应小于设计要求的单桩竖向抗拔承载力特征值的 2.0 倍；
- 2 对不允许带裂缝工作的工程桩，可按设计要求确定最大试验荷载。

**15.3.2** 试验前，受检桩桩头处理应符合下列规定：

- 1 受检混凝土灌注桩应预留出足够主筋长度；也可根据具体试验要求，制作受检桩钢筋混凝土抗拔测试承台；
- 2 受检管桩可进行插筋填芯处理；
- 3 试坑底面宜与桩承台底标高一致；受检桩顶露出试坑底面的高度不宜小于 600mm。

**15.3.3** 试验加卸载方式应符合本规范第 14.3.4 条的规定。

**15.3.4** 单桩竖向抗拔静载试验可采用慢速维持荷载法也可采用快速维持荷载法，试验步骤应符合本规范第 14.3.5 条和第 14.3.6 条的规定。

当最大试验荷载按本规范第 15.3.1 条第 2 款的规定取值时，试验过程中应仔细观察桩身混凝土开裂情况。

**15.3.5** 试验过程中，预测位移测量仪表的量程不够时，可对位移测量仪表重新安装，位移测量仪表重新安装后，应及时进行补充读数。

**15.3.6** 当执行本规范第 15.2.7 条的规定时，应同时测读桩顶上拔量和基准桩的竖向位移，桩顶的实际上拔量应根据基准桩的竖向位移测读值和桩顶上拔量的测读值进行确定。

**15.3.7** 符合下列条件之一时，即可终止加载：

- 1 当已达到最大试验荷载，且桩顶上拔量速率达到相对稳定（收敛）标准；
- 2 按桩顶上拔量增量控制，在某级荷载作用下，桩顶上拔量大于前一级荷载作用下上拔量的 5 倍，且累计上拔量大于 15mm；

3 按桩身主筋抗拉强度控制，在某级荷载作用下，钢筋应力达到或超过钢筋强度标准值的0.9倍，或部分钢筋被拉断；

4 按桩顶上拔量总量控制，在某级荷载作用下，当累计桩顶上拔量超过100mm时；

5 当最大试验荷载按本规范第15.3.1条第2款的规定取值时，在某级荷载作用下，桩身混凝土出现开裂情况；

6 当最大试验荷载按本规范第15.3.1条第2款的规定取值时，已达到最大试验荷载，桩顶上拔量速率达到相对稳定标准，且桩身混凝土未现开裂情况。

**15.3.8** 试验过程中，当出现本规范第 14.3.11 条所规定的情形时，应按本规范第 3.1.12 条的规定进行重新检测：

**15.3.9** 单桩竖向抗拔静载试验数据可按本规范表 A.0.7 的格式记录。

## **15.4 检测数据分析与判定**

**15.4.1** 确定受检桩单桩竖向抗拔承载力时，应绘制上拔荷载—桩顶上拔量（ $U-\delta$ ）关系曲线和桩顶上拔量—时间对数（ $\delta-\lg t$ ）关系曲线，也可绘制其他辅助分析曲线。

**15.4.2** 受检桩单桩抗拔极限承载力可按下列方法确定：

1 出现本规范第15.3.7条第1款情况，桩的竖向抗拔极限承载力取等于最大试验荷载值；

2 出现本规范第15.3.7条第2、3款情况，取前一级荷载。

**15.4.3** 受检桩单桩抗拔承载力特征值应按单桩竖向抗拔极限承载力的 50%取值。

**15.4.4** 符合下列情况之一时，判受检桩单桩竖向抗拔静载试验结果满足设计要求：

1 当最大试验荷载按本规范第15.3.1条第1款的规定取值，出现本规范第15.3.7条第1款情况；

2 当最大试验荷载按本规范第15.3.1条第2款的规定取值，出现本规范第15.3.7条第6款情况。

**15.4.5** 检测报告除应包括本规范第 3.7.7 条内容外，尚应包括下列内容：

1 受检桩的桩径尺寸、材料强度、主筋情况；



- 2** 加载反力装置类型、反力装置布置示意图；
- 3** 受检桩单桩竖向抗拔承载力检测值或受检桩单桩竖向抗拔承载力是否满足设计要求的结论。

## 16 单桩水平静载试验

### 16.1 一般规定

**16.1.1** 单桩水平静载试验适用于检测单桩的水平承载力，推定地基土水平抗力系数的比例系数。

**16.1.2** 本方法适用于桩顶自由时的单桩水平静载试验；其他形式的水平静载试验也可按本方法执行。

### 16.2 仪器设备及其安装

**16.2.1** 水平推力的反力可由相邻桩提供；当专门设置反力结构时，其承载能力应大于最大试验荷载的 1.2 倍，且应有足够的刚度。反力桩与受检桩之间的净距不宜小于 2 倍受检桩直径。

**16.2.2** 试验加载宜采用油压千斤顶。水平力作用点宜与实际工程的桩基承台底面标高一致；受检桩和千斤顶接触处应安置球形铰支座，千斤顶作用力应水平通过桩身轴线；与千斤顶接触的受检桩处宜适当补强。

**16.2.3** 荷载量测应符合本规范第 14.2.3 条的规定。

**16.2.4** 桩的水平位移测量宜采用位移传感器或大量程百分表，安装应符合下列规定：

1 在水平力作用平面的受检桩两侧应对称安装两个位移测量仪表；当需要测量桩顶转角时，尚应在水平力作用平面以上 50cm 的受检桩两侧对称安装两个位移测量仪表；

2 基准桩应设置在与加载时受检桩位移方向相反的受检桩侧面，基准桩与受检桩净距不应小于 1 倍桩径且不宜小于 2m；

3 基准桩应牢固设置，基准桩和基准梁应具有一定的刚度，梁的一端应固定在基准桩上，另一端应简支于基准桩上；基准梁宜与水平作用力方向平行；

4 基准桩、基准梁和固定位移测试仪表的夹具应避免太阳照射、振动及其他外界因素的影响。

**16.2.5** 试验仪器设备性能指标应符合本规范第 14.2.5 条的规定。

## 16.3 现场检测

**16.3.1** 对工程桩抽样验收检测时，单桩水平最大试验荷载应符合下列规定之一：

- 1 最大试验荷载不应小于设计要求的单桩水平承载力特征值的2.0倍；
- 2 可按最大水平位移控制值预估最大试验荷载，水平荷载试验的最大水平位移控制值宜由设计确定。

**16.3.2** 加载方法应根据工程桩实际受力特性选用单向多循环加载法或本规范第15章规定的慢速维持荷载法，分级荷载应取承载力特征值的1/8。

**16.3.3** 采用单向多循环加载法时，试验加卸载方式和水平位移测量应符合下列规定：

- 1 加载应分级进行，采用逐级等量加载；
- 2 每级荷载施加后，维持荷载4min后可测读水平位移，然后卸载至零，停2min测读残余水平位移，至此完成一个加卸载循环；每级荷载如此循环5次后再施加下一级荷载；试验不得中间停顿。

**16.3.4** 当出现下列情况之一时，可终止加载：

- 1 桩身折断；
- 2 水平位移超过30mm~40mm（对软土中的桩或大直径桩可取高值）；
- 3 当最大试验荷载按本规范第16.3.1条第1款的规定取值时，完成了加卸载全过程；
- 4 当最大试验荷载按本规范第16.3.1条第2款的规定取值时，水平位移达到设计要求的最大水平位移控制值。

**16.3.5** 单向多循环加载法的单桩水平静载试验检测数据可按本规范表 A.0.8 的格式记录；慢速维持荷载法的单桩水平静载试验数据可按表 A.0.7 的格式记录。

## 16.4 检测数据分析与判定

**16.4.1** 检测数据应按下列要求整理：

- 1 采用单向多循环加载法时应绘制水平力-时间-水平位移（ $H-t-Y_0$ ）关系曲线和水平力-位移梯度（ $H-\Delta Y_0/\Delta H$ ）关系曲线；
- 2 采用慢速维持荷载法时应绘制水平力-水平位移（ $H-Y_0$ ）关系曲线、水

平力—位移梯度 ( $H-\Delta Y_0/\Delta H$ ) 关系曲线、水平位移—时间对数 ( $Y_0-\lg t$ ) 关系曲线和水平力—水平位移双对数 ( $\lg H-\lg Y_0$ ) 关系曲线;

3 也可绘制水平力—地基土水平抗力系数的比例系数 ( $H-m$ ) 关系曲线、水平位移—地基土水平抗力系数的比例系数 ( $Y_0-m$ ) 关系曲线。

**16.4.2** 当桩顶自由且水平力作用位置位于地面处时,  $m$  值可按下列公式确定:

$$m = \frac{(v_y \cdot H)^{\frac{5}{3}}}{b_0 Y_0^{\frac{5}{3}} (EI)^{\frac{2}{3}}} \quad (16.4.2-1)$$

$$\alpha = \left( \frac{mb_0}{EI} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (16.4.2-2)$$

式中:  $m$ ——地基土水平土抗力系数的比例系数 ( $\text{kN/m}^4$ );

$\alpha$ ——桩的水平变形系数 ( $\text{m}^{-1}$ );

$v_y$ ——桩顶水平位移系数, 由式 (16.4.1-2) 试算  $\alpha$ , 当  $\alpha h \geq 4.0$  时 ( $h$  为桩的入土深度), 其值为 2.441;

$H$ ——作用于地面的水平力 ( $\text{kN}$ );

$Y_0$ ——水平力作用点的水平位移 ( $\text{m}$ );

$EI$ ——桩身抗弯刚度 ( $\text{kN m}^2$ ); 其中  $E$  为桩身弹性模量,  $I$  为桩身换算截面惯性矩;

$b_0$ ——桩身计算宽度 ( $\text{m}$ ); 对于圆形桩: 当桩径  $d \leq 1\text{m}$  时,  $b_0 = 0.9(1.5d + 0.5)$ ;

当桩径  $d > 1\text{m}$  时,  $b_0 = 0.9(d + 1)$ ; 对于矩形桩: 当边宽  $b \leq 1\text{m}$  时,

$b_0 = 1.5b + 0.5$ ; 当边宽  $b > 1\text{m}$  时,  $b_0 = b + 1$ 。

**16.4.3** 单桩水平临界荷载可按下列方法综合确定:

1 取单向多循环加载法时的  $H-t-Y_0$  曲线或慢速维持荷载法时的  $H-Y_0$  曲线出现拐点的前一级水平荷载值;

2 取  $H-\Delta Y_0/\Delta H$  曲线或  $\lg H-\lg Y_0$  曲线上第一拐点对应的水平荷载值。

**16.4.4** 单桩水平极限承载力可按下列方法综合确定:

1 取单向多循环加载法时的  $H-t-Y_0$  曲线出现明显陡降的前一级荷载, 或慢速维持荷载法时的  $H-Y_0$  曲线产生明显陡降的起始点对应的水平荷载值;

2 取慢速维持荷载法时的  $Y_0-\lg t$  曲线尾部出现明显弯曲的前一级水平荷载

值；

3 取  $H-\Delta Y_0/\Delta H$  曲线或  $\lg H-\lg Y_0$  曲线上第二拐点对应的水平荷载值；

4 取桩身折断或受拉钢筋屈服时的前一级水平荷载值。

**16.4.5 单桩水平承载力特征值的确定应符合下列规定：**

1 当桩身不允许开裂或灌注桩的桩身配筋率小于 0.65% 时，可取水平临界荷载的 0.75 倍作为单桩水平承载力特征值；

2 当桩身允许开裂或灌注桩的桩身配筋率大于 0.65% 时，可取水平临界荷载作为单桩水平承载力特征值；也可取单桩水平极限承载力的 1/2 作为单桩水平承载力特征值，且桩身裂缝宽度应满足相关规范要求；

3 可取设计要求的水平允许位移对应的荷载作为单桩水平承载力特征值，且应满足桩身抗裂要求；

4 对钢筋混凝土预制桩、钢桩和桩身配筋率不小于 0.65% 的灌注桩，也可取设计桩顶标高处水平位移所对应荷载的 0.75 倍作为单桩水平承载力特征值；水平位移可按下列规定取值：

1) 对水平位移敏感建筑物取 6mm；

2) 对水平位移不敏感建筑物取 10mm。

**16.4.6 检测报告除应包括本规范第 3.7.7 条内容外，尚应包括下列内容：**

1 受检桩的截面尺寸及配筋情况；

2 试验方法，荷载分级；

3 第 15.4.1 条要求绘制的曲线及对应的数据表；

4 受检桩单桩水平极限荷载或单桩水平承载力特征值。

## 17 支护锚杆和土钉验收试验

### 17.1 一般规定

**17.1.1** 本方法适用于确定验收荷载作用下支护锚杆的工作性状，判定支护锚杆抗拔性能是否满足设计要求，为工程验收提供依据。土钉验收试验应符合支护锚杆验收试验的规定，当对土钉有具体规定时，应符合其规定。

**17.1.2** 支护锚杆验收试验加卸载方式的选择宜符合下列规定：

- 1 支护锚杆宜采用单循环加卸载法，也可采用多循环加卸载法；
- 2 土钉宜采用单循环加卸载法；
- 3 荷载分散型锚杆宜采用多循环加卸载法，也可采用单循环加卸载法。

**17.1.3** 支护锚杆验收试验宜在锚固段注浆体强度达到设计强度的 75% 后进行，土钉验收试验可在注浆体强度达到 10MPa 后进行。

### 17.2 仪器设备及其安装

**17.2.1** 试验加载装置安装前，应采取措施确保试验锚杆处于独立受力状态，不应受支撑构件、垫层或混凝土面层的影响。

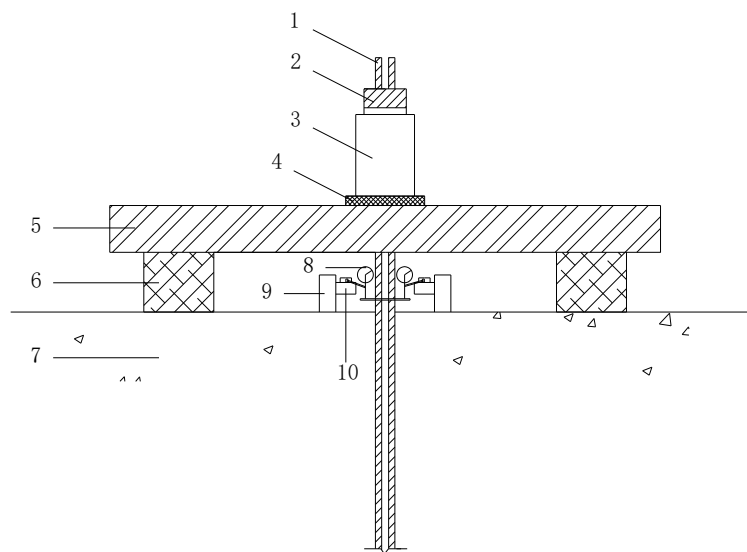
**17.2.2** 锚杆试验加载反力装置应符合下列规定：

- 1 加载反力装置提供的反力不得小于最大试验荷载的 1.2 倍；
- 2 加载反力装置的构件应满足承载力和变形的要求。

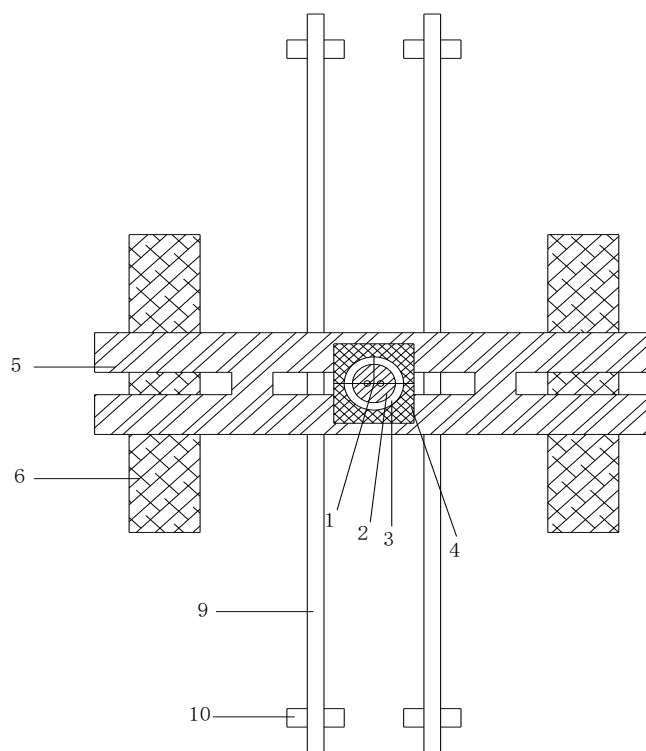
**17.2.3** 锚杆试验加载反力装置可根据试验条件选择支座横梁反力装置（图 17.2.3-1）、支撑凳式反力装置（图 17.2.3-2）或承压板式反力装置（图 17.2.3-3），加载反力装置的选择应符合下列规定：

1 支护锚杆可采用支座横梁反力装置、支撑凳式反力装置；支护型岩石锚杆和锚杆支护结构体系中设置有连续墙、排桩、腰梁、圈梁等支撑构件的土层锚杆，也可采用承压板式反力装置；

2 土钉宜采用支撑凳式反力装置、支座横梁反力装置；当设置有喷射混凝土面层时，也可采用承压板式反力装置。



(a) 立面图



(b) 平面图

图 17.2.3-1 支座横梁反力装置示意图

1—试验锚杆；2—工具锚；3—穿心式千斤顶；4—垫板；5—主梁；6—反力支座；  
7—垫层；8—位移测量仪表；9—基准梁；10—基准桩

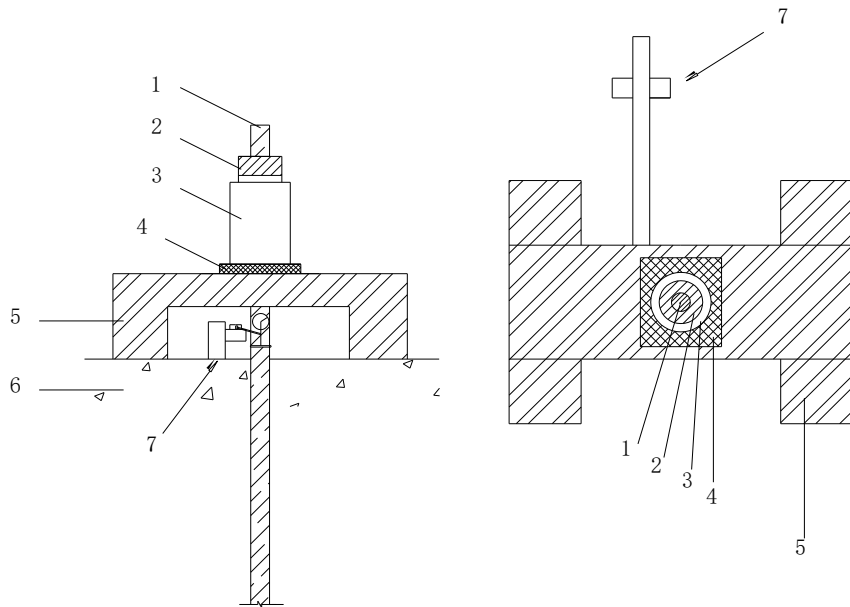


图 17.2.3-2 支撑凳式反力装置安装示意图

1—试验锚杆或土钉；2—工具锚；3—穿心式千斤顶；4—垫板；  
5—支撑凳；6—喷射混凝土面层、岩土层；7—基准梁与基准桩

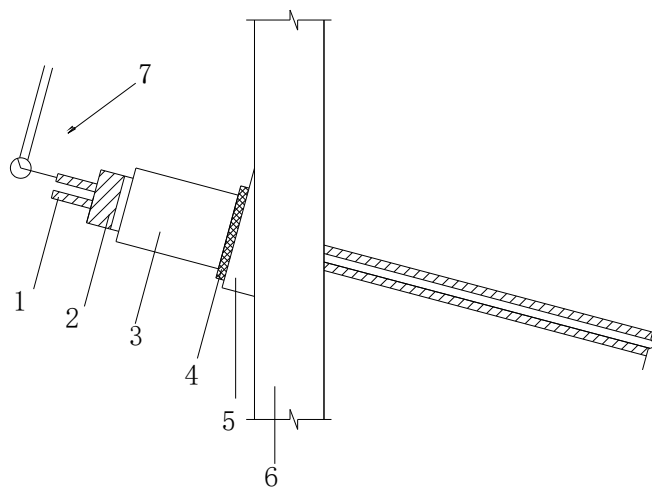


图 17.2.3-3 承压板式反力装置安装示意图

1—试验锚杆；2—工具锚；3—穿心式千斤顶；  
4—承压板；5—腰梁或台座；6—支挡结构；7—位移测量装置

**17.2.4** 提供加载反力的连续墙、排桩、腰梁、圈梁等支撑构件或喷射混凝土面层，其提供的反力不得小于最大试验荷载的 1.2 倍；加载反力装置施加给岩土层



的压应力不宜大于岩土承载力特征值的 1.5 倍。

**17.2.5** 试验宜采用油压千斤顶加卸载，千斤顶的作用力方向应与锚杆轴线重合。对荷载分散型锚杆，当采用并联千斤顶同步张拉法进行试验时，各单元锚杆的作用力方向均应与其单元锚杆的轴线重合。

**17.2.6** 荷载量测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，根据千斤顶校准结果换算荷载。

**17.2.7** 锚头位移宜采用位移传感器或百分表测量，且应符合下列规定：

- 1 位移测量点应选择在锚杆顶部或非受力锚杆杆体上，位移测量方向应与锚杆的轴向变形方向平行；
- 2 应安装1~2个位移测量仪表；对采用并联千斤顶同步张拉法进行试验的荷载分散型锚杆，每组单元锚杆应安装1个位移测量仪表；
- 3 位移测量系统应设置基准桩和基准梁，位移测量仪表的基座应固定在基准梁上，不得使用千斤顶作为位移测量基准点；
- 4 基准桩应优先设置在与试验加载装置不同标高的下一台阶的岩土层中；
- 5 基准桩、基准梁和固定位移测量仪表的夹具应避免太阳照射、振动及其他外界因素的影响。

**17.2.8** 试验仪器设备性能指标应符合下列规定：

- 1 荷重传感器、压力传感器或压力表的准确度应优于或等于0.5级；
- 2 试验用油泵、油管在最大加载时的工作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应与测量范围相适应，最大试验荷载对应的测量值宜控制在全量程的40%~80%范围内；
- 4 位移测量仪表的测量误差不大于0.1%FS，分度值/分辨力应优于或等于0.01mm。

**17.2.9** 锚杆中心、支座（承压板）、基准桩中心之间的距离应符合表 17.2.9 的规定。

表 17.2.9 锚杆中心、支座（承压板）、基准桩中心之间的距离

反力装置类型	距离
--------	----

	两支座净距	基准桩中心与锚杆中心	基准桩中心与支座边（承压板边）
支座横梁反力装置	$\geq 4B$ 且 $\geq 6d$ 且 $> 2.0\text{m}$	$> 2.0\text{m}$	$\geq 1.5B$ 且 $> 2.0\text{m}$
支撑凳式反力装置	$\geq 3.0d$	$> 1.0\text{m}$	$\geq 1B$ 且 $> 1.0\text{m}$
承压板式反力装置	-	$> 1.0\text{m}$	$\geq 1B$ 且 $> 1.0\text{m}$
	-		

注：1  $B$  为支座宽度或承压板边宽； $d$  为锚杆钻孔直径。

- 2 当按本规范第 17.2.5 条第 4 款设置基准桩时，基准桩与锚杆距离、基准桩与反力装置的距离可不执行表 17.2.9 的规定。

### 17.3 现场检测

**17.3.1** 支护锚杆验收荷载应按设计要求确定或按相应设计规范确定。

**17.3.2** 支护锚杆验收试验的最大试验荷载不应小于支护锚杆验收荷载，当采用本规范规范第 17.4.7~17.4.8 条的规定进行检测结果评价时，宜取支护锚杆验收荷载的（1.1~1.2）倍；

最大试验荷载时，钢绞线锚杆杆体应力不应超过杆体极限强度标准值的0.85倍；钢筋锚杆杆体应力不应超过杆体屈服强度标准值的0.90倍。

**17.3.3** 试验前，对已锁定的预应力锚杆应解除预应力，锚杆卸锚装置可选用支撑凳式加载反力装置（图 17.3.3）；对未锁定的钢绞线锚杆，应在试验前对钢绞线进行预紧，预紧应符合下列规定：

1 单束（单组）钢绞线宜进行预紧，预紧荷载宜为（0.1~0.2） $N_k/n$ （ $N_k$  为锚杆轴向拉力标准值， $n$  为钢绞线的束数或组数），当连续两遍预紧伸长增量不超过3mm时，可终止预紧；

2 整束或各组钢绞线宜共同进行预紧，预紧荷载宜为最大试验荷载的15%，荷载施加完成后，持荷5min；卸荷并退出全部工具锚夹片。

**17.3.4** 支护锚杆、土钉验收试验中初始荷载（ $Q_0$ ）宜取最大试验荷载的 30%。

**17.3.5** 试验中加荷速度宜为（0.05~0.10） $N_k/\text{min}$ ，卸荷速度宜为加载速度的 2 倍。

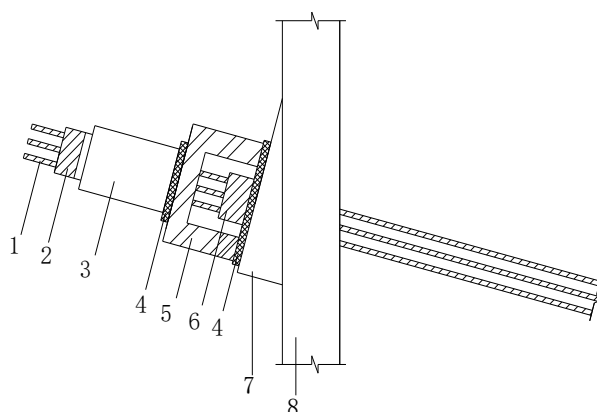


图 17.3.3 锚杆卸锚装置示意图

1—试验锚杆；2—工具锚；3—穿心式千斤顶；4—垫板；  
5—支撑凳；6—工作锚；7—腰梁或台座；8—支挡结构

### 17.3.6 试验中锚头位移基准值的确定应符合下列规定：

- 1 在初始荷载作用下，应每间隔5min测读一次锚头位移；
- 2 当相邻两次锚头位移增量不大于0.01mm时，可视为锚头位移稳定，取最后一次读数值作为锚头位移基准值。

### 17.3.7 荷载分散型锚杆的张拉方法应符合下列规定之一：

- 1 宜采用本规范附录M的补偿荷载整体张拉方法；
- 2 当设计认可时，也可采用单元锚杆逐组张拉方法，且应从最短单元锚杆至最长单元锚杆的顺序对各组单元锚杆进行逐组张拉试验；
- 3 当试验条件满足本规范第17.2.5条的规定时，也可采用并联千斤顶对全部单元锚杆进行同步张拉试验。

### 17.3.8 支护锚杆验收试验的单循环加卸载法应符合下列规定：

- 1 荷载分级和锚头位移观测时间应符合表17.3.8的规定；

表 17.3.8 支护锚杆验收试验的单循环加卸载法的荷载分级与锚头位移观测时间

试验荷载值与最大试验荷载值的比例（%）									
初始荷载	加载过程						卸载过程		
30	50	60	70	80	90	100	70	50	30
观测时间（min）	≥10						5		

- 2 每级荷载施加完成后，应每间隔5min测读一次锚头位移；

3 锚头位移相对收敛标准：当后5min的位移增量小于前5min的位移增量时，可视为锚头位移达到相对收敛标准；

4 锚头位移达到相对收敛标准时，可施加下一级荷载；

5 卸荷时，每级荷载持荷5min，并在0min、5min测读锚头位移；

6 当出现本规范第17.3.10条规定的终止加载情况时，可终止加载。

**17.3.9** 支护锚杆验收试验的多循环加卸载法应符合下列规定：

1 荷载分级和锚头位移观测时间应符合表17.3.9的规定；

**表 17.3.9 支护锚杆验收试验多循环加卸载法的荷载分级与锚头位移观测时间**

循环次数	试验荷载值与最大试验荷载值的比例（%）									
	初始荷载	加载过程						卸载过程		
第一循环	30	-	-	-	-	-	50	-	-	30
第二循环	30	50	-	-	-	-	60	-	-	30
第三循环	30	50	-	-	-	60	70	-	50	30
第四循环	30	50	-	-	60	70	80	-	50	30
第五循环	30	50	-	60	70	80	90	70	50	30
第六循环	30	50	60	70	80	90	100	70	50	30
观测时间(min)	1	1	1	1	1	1	≥10	1	1	1

2 在每一循环的非最大荷载作用下，每级荷载施加或卸载完成后，持荷1min，测读一次锚头位移；

3 锚头位移相对收敛标准：当后5min的位移增量小于前5min的位移增量时，可视为锚头位移达到相对收敛标准；

4 在每一循环的最大荷载作用下，荷载施加完成后，应每间隔5min测读一次锚头位移；当锚头位移达到相对收敛标准时，方可卸载；

5 当出现本规范第17.3.10条规定的终止加载情况时，可终止加载。

**17.3.10** 当出现下列情况之一时，应终止加载：

1 锚杆杆体破坏；

2 多循环加卸载法中，本次循环荷载产生的单位荷载下的锚头位移增量达到或超过前一循环荷载产生的单位荷载下的位移增量的5倍；

3 单循环加卸载法和分级维持荷载法中,本级荷载产生的单位荷载下的锚头位移增量达到或超过前一级荷载产生的单位荷载下的位移增量的5倍;

4 土层锚杆和土钉在3h内、岩石锚杆在2h内,锚头位移未达到相对稳定标准;

5 已加载至最大试验荷载值,且锚头位移达到位移相对收敛标准。

**17.3.11** 预应力锚杆在试验完成后应按设计要求进行锁定。

**17.3.12** 支护锚杆验收试验数据可按本规范表 A.0.9 的格式记录。

## 17.4 检测数据分析与判定

**17.4.1** 试验结果应按每级荷载对应的锚头位移列表整理。多循环加卸载法应绘制锚杆的荷载-位移( $Q-s$ )曲线、荷载-弹性位移( $Q-s_e$ )曲线和荷载-塑性位移( $Q-s_p$ )曲线;单循环加卸载法应绘制锚杆的荷载-位移( $Q-s$ )曲线;也可绘制其他辅助分析曲线。

**17.4.2** 支护锚杆抗拔承载力检测值( $T_y$ )应按下列方法分析确定:

1 当出现本规范第17.3.10条第1~4款情况之一时,单循环加卸载法,取前一级荷载值;多循环加卸载法,取前一循环最大试验荷载值;

2 当出现本规范第17.3.10条第5款情况时,取最大试验荷载值。

**17.4.3** 荷载分散型锚杆的抗拔承载力检测值( $T_y$ )应按下列方法分析确定:

1 当采用补偿荷载整体张拉方法进行试验时,应按本规范第17.4.2条的规定取值;

2 当采用单元锚杆逐组张拉方法、并联千斤顶组同步张拉方法进行试验时,单元锚杆的抗拔承载力检测值应按本规范第17.4.2条的规定取值,锚杆抗拔承载力检测值应取最小单元锚杆抗拔承载力检测值与其单元锚杆组数之乘积。

**17.4.4** 支护锚杆弹性变形验算应符合下列规定:

1 实测弹性位移量可取为锚头总位移与卸载至初始荷载时的塑性位移之差;

2 杆体自由段长度的理论弹性伸长值,可按下式计算:

$$\Delta L_1 = \frac{(Q_{\max} - Q_0)L_{tf}}{EA_s} \quad (17.4.4-1)$$

式中： $\Delta L_1$ ——从初始荷载至最大试验荷载，杆体自由段长度的理论弹性伸长值  
(mm)；

$Q_{\max}$ ——最大试验荷载 (kN)；

$Q_0$ ——初始荷载 (kN)；

$L_{tf}$ ——杆体自由段长度(m)；

$E$ ——杆体弹性模量(MPa)；

$A_s$ ——杆体横截面积(m<sup>2</sup>)。

**3** 拉力型锚杆杆体自由段长度与1/2杆体粘结段长度之和的理论弹性伸长值，可按下列式计算：

$$\Delta L_2 = \frac{(Q_{\max} - Q_0)(L_{tf} + L_{tb}/2)}{EA_s} \quad (17.4.4-2)$$

式中： $\Delta L_2$ ——从初始荷载至最大试验荷载，杆体自由段长度与 1/2 杆体粘结段长度之和的理论弹性伸长值(mm)；

$L_{tb}$ ——杆体粘结段长度(m)；

**4** 拉力型支护锚杆实测锚头弹性位移量应大于杆体自由段长度的理论弹性伸长值 ( $\Delta L_1$ ) 的80%且应小于杆体自由段长度与1/2杆体粘结段长度之和的理论弹性伸长值 ( $\Delta L_2$ ) ；

**5** 压力型支护锚杆实测锚头弹性位移量应大于杆体自由段长度的理论弹性伸长值 ( $\Delta L_1$ ) 的80%且应小于杆体自由段长度的理论弹性伸长值 ( $\Delta L_1$ ) 的120%。

**17.4.5** 对荷载分散型支护锚杆，每组单元锚杆均应按本规范第 17.4.4 条的规定逐组进行弹性变形验算。当采用补偿荷载整体张拉方法进行试验时，其单元锚杆初始荷载可按本规范第 M.0.6 条的规定取值。

**17.4.6** 当对单根受检锚杆进行评价时，合格锚杆的判定应符合下列规定：

- 1** 锚杆抗拔承载力检测值不小于锚杆验收荷载；
- 2** 锚杆变形应符合本规范第17.4.4、17.4.5条的规定；
- 3** 当设计有要求时，锚杆的总位移量应满足设计要求。

**17.4.7** 系统锚杆承载力检测值宜采用统计评价，当满足下列条件时，判定所检测的工程锚杆验收试验结果满足设计要求：

- 1** 锚杆抗拔承载力检测值的平均值不应小于锚杆验收荷载；

- 2 锚杆抗拔承载力检测值的最小值不应小于锚杆验收荷载的0.9倍；
- 3 锚杆变形应符合本规范第17.4.4、17.4.5条的规定。
- 4 当设计有要求时，锚杆的总位移量应满足设计要求。

**17.4.8** 土钉验收试验，应对同一条件的土钉承载力检测值进行统计评价，当满足下列条件时，可判定所检测的土钉满足验收要求：

- 1 土钉抗拔承载力检测值的平均值不应小于土钉验收试验荷载值；
- 2 土钉抗拔承载力检测值的最小值不应小于土钉验收试验荷载值的0.8倍；
- 3 当设计有要求时，土钉的总位移量应满足设计要求。

**17.4.9** 检测报告除应包括本规范第 3.7.7 条规定的内容外，尚应包括下列内容：

- 1 受检锚杆孔位对应的地质剖面图或柱状图；
- 2 受检支护锚杆的尺寸（支护锚杆孔径、锚杆长度和杆体直径、自由段长度和角度），受检土钉的尺寸（土钉直径、长度），杆体材料及材料强度；
- 3 加载反力装置，锚杆试验方法，张拉方法；
- 4 本规范第17.4.1条要求绘制的曲线及对应的数据表；
- 5 支护锚杆验收标准与评定依据、抗拔承载力检测值；
- 6 支护锚杆变形验算结果。

## 18 基础锚杆抗拔试验

### 18.1 一般规定

**18.1.1** 本方法适用于基础锚杆的抗拔承载力验收检测。

**18.1.2** 基础锚杆试验加卸载方式应采用分级维持荷载法，也可采用多循环加卸载法。

**18.1.3** 基础锚杆检测开始时间，锚固段注浆体强度不应低于设计强度的 90%，或锚固段注浆体的龄期应达到 28d。

**18.1.4** 主要锚固段设置于强风化岩中的锚杆应按土层锚杆进行检测。

### 18.2 仪器设备及其安装

**18.2.1** 试验加载装置安装前，应采取措施确保试验锚杆处于独立受力状态，不应受支撑构件、垫层或混凝土面层的影响。

**18.2.2** 基础锚杆抗拔试验的加载反力装置应选用支座横梁反力装置，并应符合下列规定：

- 1 加载反力装置能提供的反力不得小于最大试验荷载的1.2倍；
- 2 对加载反力装置的主要构件进行强度和变形验算；
- 3 施加于支座下的地基应力不宜大于地基承载力特征值的1.5倍；
- 4 基础锚杆中心与支座边的距离应大于等于 $2B$ （ $B$ 为支座边宽）且大于2.0m；
- 5 锚杆抗拔试验加载反力装置可按本规范第17.2.3条规定的形式（图

17.2.3-1）进行安装。

**18.2.3** 试验宜采用油压千斤顶加卸载，千斤顶的作用力方向应与锚杆轴线重合。

**18.2.4** 荷载量测应符合本规范第 17.2.6 条的规定。

**18.2.5** 锚头位移宜采用位移传感器或百分表测量，且应符合下列规定：

1 位移测量点应选择在锚杆顶部或非受力锚杆杆体上，位移测量方向应与锚杆的轴向变形方向平行；

2 应对称安装2个位移测量仪表；

3 基准桩中心与基础锚杆中心的距离应大于等于 $6d$ （ $d$ 为锚杆孔直径）且



大于2.0m, 基准桩中心与反力支座边的距离应大于等于1.5B (B为反力支座边宽) 且大于2.0m。

4 位移测量系统应设置基准桩和基准梁, 位移测量仪表的基座应固定在基准梁上, 不得使用千斤顶作为位移测量基准点;

5 基准桩、基准梁和固定位移测量仪表的夹具应避免太阳照射、振动及其他外界因素的影响。

**18.2.6** 试验仪器设备性能指标应符合本规范第 17.2.8 条的规定。

### **18.3 现场检测**

**18.3.1** 基础锚杆抗拔试验的最大试验荷载不应小于设计要求的基础锚杆抗拔承载力特征值的 2.0 倍。

**18.3.2** 试验中加荷速度和卸荷速度应符合本规范第 17.3.4 条的规定。

**18.3.3** 分级维持荷载法的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, 分级荷载宜为最大试验荷载的1/10。
- 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该级增减量的 $\pm 10\%$ 。

**18.3.4** 分级维持荷载法的试验步骤应符合下列规定:

- 1 每级荷载施加完成后, 应每间隔5min测读一次移量。
- 2 位移相对稳定标准: 当岩石锚杆/土层锚杆30min内的锚头位移增量不大于0.05mm/0.10mm时, 可视为锚头位移达到相对稳定。
- 3 锚头位移达到相对稳定标准时, 可继续施加下一级荷载。
- 4 卸载时, 每级荷载维持15min, 按第0、5、10、15min测读锚头位移。
- 5 当出现本规范第18.3.5条规定的终止加载情况时, 可终止加载。

**18.3.5** 当出现下列情况之一时, 即可终止加载:

- 1 锚杆杆体破坏;
- 2 本级荷载产生的单位荷载下的锚头位移增量达到或超过前一级荷载产生的单位荷载下的位移增量的5倍;
- 3 土层锚杆在3h内、岩石锚杆在2h内, 锚头位移未达到相对稳定标准;

4 已加载至最大试验荷载值，且锚头位移达到位移相对收敛标准。

**18.3.6** 基础锚杆抗拔试验采用多循环加卸载法进行试验时，其操作应符合本规范第 17 章的有关规定。

**18.3.7** 基础锚杆抗拔试验数据可按本规范表 A.0.9 的格式记录。

## **18.4 检测数据分析与判定**

**18.4.1** 试验结果应按每级荷载对应的锚头位移列表整理，并应绘制锚杆的荷载—位移( $Q-s$ )曲线、位移—时间对数( $s-\lg t$ )曲线；也可绘制其他辅助分析曲线。

**18.4.2** 基础锚杆极限抗拔承载力和抗拔承载力特征值的确定应符合下列规定：

1 当符合本规范第18.3.5第1、2、3款时，应取终止加载的前一级荷载为该基础锚杆的极限抗拔力。

2 当符合本规范第18.3.5第4款时，应取最大试验荷载为该基础锚杆的极限抗拔力。

3 将基础锚杆极限抗拔力除以安全系数2即为该基础锚杆抗拔承载力特征值 $R_t$ 。

4 当设计有要求时，极限抗拔承载力或抗拔承载力特征值对应的位移量应满足设计要求。

**18.4.3** 检测报告除应包括本规范第 3.7.7 条内容以外，尚应包括下列内容：

1 受检锚杆孔位对应的地质剖面图或柱状图；

2 受检基础锚杆的尺寸（锚杆孔径、锚杆长度和杆体直径），杆体材料及材料强度，锚杆类型；

3 加载反力装置；

4 加卸载方法，荷载分级；

5 第18.4.1条要求绘制的曲线及对应的数据表；

6 基础锚杆抗拔承载力特征值。

## 19 锚杆锁定力测试

### 19.1 一般规定

**19.1.1** 锚杆锁定力测试可用于测定预应力锚杆的初始预应力，为锚杆张拉锁定工艺提供依据。

**19.1.2** 锚杆锁定力测试宜选用锚杆测力计进行测试，也可采用持有荷载试验进行验证测试。采用持有荷载试验测定预应力锚杆锁定力时，应在张拉锁定后 12h 内完成试验。

### 19.2 仪器设备及其安装

**19.2.1** 锚杆测力计及测试仪表组成的测量系统应符合下列规定：

- 1 测量值宜控制在测量系统全量程的25%~80%范围内；
- 2 振弦式测试系统测量误差不得大于2.5%FS，分辨力宜为1Hz；
- 3 电子应变测试系统测量误差不得大于1%FS，分辨力宜为  $1\ \mu\epsilon$ ；
- 4 光纤光栅测试系统测量误差不得大于1%FS，分辨力宜为1pm。

**19.2.2** 锚杆测力计的安装应符合下列规定：

- 1 测力计安装前应进行校准；
- 2 测力计受力方向应与锚杆轴线重合；
- 3 锚杆锁定力测试时，测力计应安装在工具锚与垫板之间（图19.2.2）；
- 4 测力计、观测电缆和集线箱应设置保护装置；
- 5 锚杆测力计安装情况应进行记录。

**19.2.3** 锚杆张拉锁定装置与卸锚装置应符合下列规定：

- 1 荷载测量及其仪器的技术性能指标应符合本规范第17.2.6、17.2.8条的规定；
- 2 位移测量可用钢板尺进行测量，精确至1mm；
- 3 锚杆张拉锁定装置可选用带有限位板的加载反力装置（图19.2.3）；
- 4 锚杆卸锚装置可选用本规范第17.3.3条规定的支撑凳式加载反力装置（图17.3.3）。

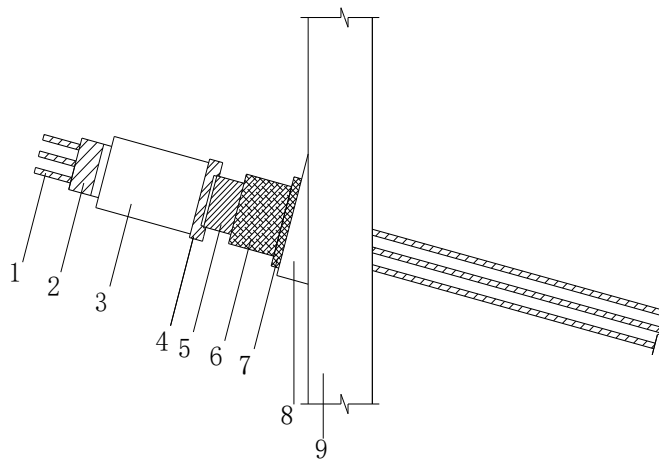


图 19.2.2 安装锚杆测力计的锚杆张拉锁定装置示意图

1—试验锚杆；2—工具锚；3—穿心式千斤顶；4—限位板；5—工作锚；  
6—测力计；7—垫板；8—腰梁或台座；9—支挡结构

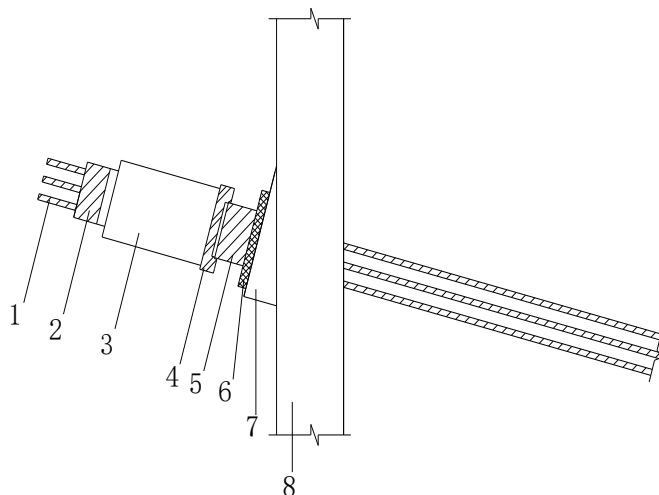


图 19.2.3 锚杆的张拉锁定装置示意图

1—试验锚杆；2—工具锚；3—穿心式千斤顶；4—限位板；  
5—工作锚；6—垫板；7—腰梁或台座；8—支挡结构

**19.2.4** 当采用持有荷载试验进行锁定力测试时，持有荷载试验应采用支撑凳式反力装置，其仪器设备及其安装应符合本规范第 17.2 节的有关规定。

**19.2.5** 测力计安装记录可按本规范表 A.0.10 的格式记录。

## 19.3 现场操作

**19.3.1** 当采用锚杆测力计进行锁定力测试时，锚杆锁定力测试应按下列步骤进行：

1 测力计安装就位并在加载张拉前，应进行观测基准值读数；每隔5min读数1次，当相邻2次读数的差值不大于测试仪器的分度值时，取最后一次读数值作为观测基准值；

2 应在卸除张拉千斤顶和工作锚后，10min内测读测力计数据；

3 每次测读时，测力计观测应读数2次，相邻两次读数间隔宜为2min，取2次读数的平均值作为观测值；

4 记录工程施工或运行情况。

**19.3.2** 持有荷载试验的最大试验荷载不应大于验收荷载。持有荷载试验中加卸荷速度、锚头位移基准值的测读应符合本规范第 17.3.5、17.3.6 条的规定。

**19.3.3** 持有荷载试验加载方式应符合下列规定：

1 初始荷载宜为锚杆设计锁定力值的30%；

2 加载应分级进行，采用逐级等量加载，分级荷载宜为锚杆设计锁定值的5%；

3 位移观测期间，荷载变化幅度不应超过分级荷载量的±10%；

4 宜采用厚度0.5mm~1mm塞尺插入锚具与承压板之间的间隙，判断锚头是否松动；

5 当出现锚头位移突变或锚具松动时，应继续（2~4）级加载后终止试验；

6 当试验荷载加载至验收荷载，且未出现锚头位移突变或锚具松动时，应终止试验。

**19.3.4** 持有荷载试验每级荷载施加完成后，应维持荷载 5min，宜在第 0、5min 测读锚头位移。

**19.3.5** 持有荷载试验完成后应按设计要求进行重新锁定。

**19.3.6** 预应力锚杆锁定力测试数据可按本规范表 A.0.11 的格式记录，持有荷载试验数据可按本规范表 A.0.12 的格式记录。

## 19.4 测试数据分析与判定

**19.4.1** 锚杆锁定力应根据测量参数(频率、应变、波长)的量值由锚杆测力计荷载~测量参数的标定关系进行确定。

**19.4.2** 持有荷载试验数据宜按荷载与对应的锚头位移列表整理，并应绘制荷载-位移 ( $P-s$ ) 关系曲线。

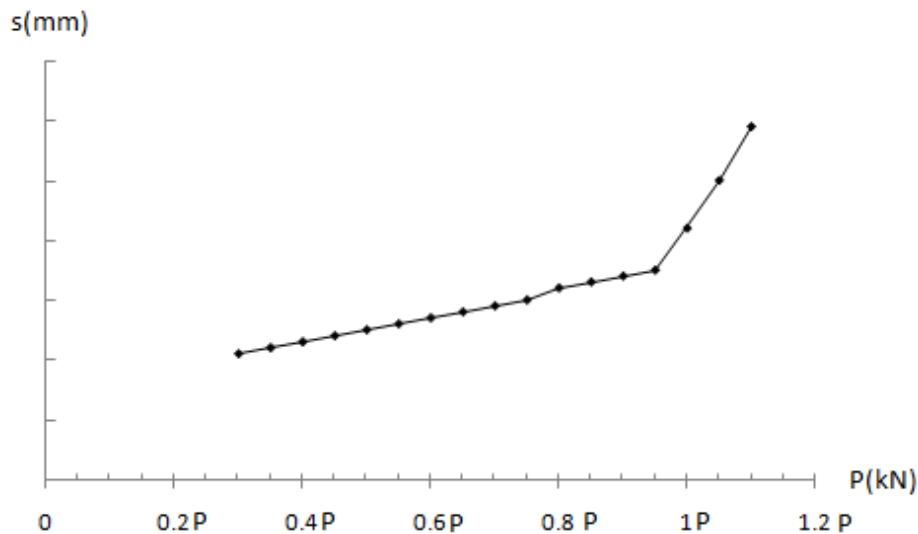
**19.4.3** 持有荷载应按下列方法分析确定：

1 当荷载-位移 ( $P-s$ ) 关系曲线 (图19.4.3) 上位移突变明显时，应取其陡升起始点所对应的荷载值；

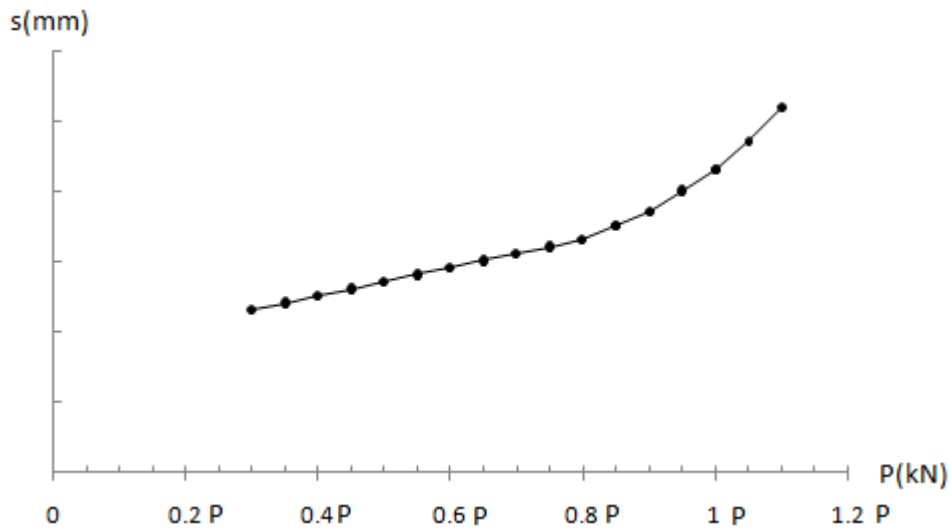
2 当荷载-位移 ( $P-s$ ) 关系曲线 (图19.4.3) 难以准确确定其陡升起始点时，应取曲线两侧拟合直线的交汇点所对应荷载值的前一级荷载；

3 当出现本规范第19.3.3条第5款时，应取大于等于最大试验荷载；

4 当按本条第1款、第2款难以确定持有荷载时，可用1mm塞尺尝试塞入工作锚下面，取工作锚松动位移为1mm时对应荷载的前一级荷载。



(a) 位移突变明显



(b) 位移突变不明显

图 19.4.3 持有荷载试验荷载~位移 ( $P\sim s$ ) 关系曲线示意图

**19.4.4** 当实测锁定力值为设计值的 80%~110%时,可判定该锚杆锁定力值满足设计要求;否则,应对该批次锚杆重新张拉锁定。当设计有要求时,应按设计要求进行判定。

**19.4.5** 测试报告除应包括本规范第 3.7.7 条规定的内容外,尚应包括下列内容:

- 1 测试锚杆孔位对应的地质剖面图或柱状图;
- 2 锚杆张拉锁定记录;
- 3 锚杆测力计安装记录;
- 4 测点布置图;
- 5 本规范第19.4.2条要求绘制的曲线及对应的数据表;
- 6 数据处理依据和必要的分析过程;
- 7 每根受检锚杆的锁定力确定依据。
- 8 锚杆锁定力测试结果。

## 20 沉降观测

### 20.1 一般规定

**20.1.1** 沉降观测适用于建筑工程地基基础和场地的沉降测量。

**20.1.2** 当预制桩施工过程中出现隆起、上浮时，应采用沉降观测对预制桩施工进行监测。

**20.1.3** 沉降观测能测定地基基础的沉降量，计算沉降差、沉降速度、基础倾斜，可反映地基基础实际变形。

### 20.2 观测等级及仪器设备

**20.2.1** 沉降观测的等级划分及其精度要求应符合表 20.2.1 的规定。

表 20.2.1 沉降观测等级划分及其精度要求

观测等级	观测点测站高差中误差	适用范围
特等	$\pm 0.05\text{mm}$	特高精度要求的特种精密工程的沉降测量
一等	$\pm 0.15\text{mm}$	地基基础设计为甲级的建筑物的沉降测量；重要古建筑、历史建筑和特大型市政桥梁的沉降测量等
二等	$\pm 0.50\text{mm}$	地基基础设计为甲、乙级的建筑物的沉降测量，重要管线的沉降测量，地下工程施工及运营的沉降测量，场地滑坡测量和大型市政桥梁的沉降测量等
三等	$\pm 1.50\text{mm}$	地基基础设计为乙、丙级的建筑物的沉降测量，建筑地面的沉降测量、一般管线的沉降测量和中小型市政桥梁的沉降测量等
四等	$\pm 3.00\text{mm}$	精度要求较低的变形测量

**20.2.2** 沉降观测宜采用几何水准测量方法，各观测等级几何水准测量的技术要求应符合表 20.2.2-1、20.2.2-2 的规定。

表 20.2.2-1 水准观测的仪器、视线长度、前后视距差和视线高度

观测等级	水准仪型号	水准尺	测量方法	视线长度	前后视距差(m)	前后视距累积差(m)	视线高度
------	-------	-----	------	------	----------	------------	------



				(m)			(m)
特等	DSZ05 DS05	钢瓦合金 标尺、条 码尺	光学测微 法往返测 或单程双 测站	≤10	≤0.3	≤0.5	≥0.8
一等				≤30	≤0.7	≤1.0	≥0.5
二等	DS1、DS05			≤50	≤2.0	≤3.0	≥0.3
三等	DS1、DS05、 DS3、DSZ3	区格式木 质标尺或 钢瓦合金 标尺、条 码尺	中丝读数 法或光学 测微法进 行往返测	≤75	≤5.0	≤8.0	≥0.2
四等	DS3、DSZ3		中丝读数 法进行单 程测量	≤100	≤6.0	≤10.0	三丝能读 数

表 20.2.2-2 水准观测的限差 (mm)

观测等级		基辅分划 读数之差	基辅分划 所测高差 之差	往返较差及 附和或环线 闭合差	单程双测 站所测高 差之差	检测已测段 所测高差之 差
特等		0.15	0.2	$\leq 0.1 \sqrt{n}$	$\leq 0.07 \sqrt{n}$	$\leq 0.15 \sqrt{n}$
一等		0.3	0.5	$\leq 0.3 \sqrt{n}$	$\leq 0.2 \sqrt{n}$	$\leq 0.45 \sqrt{n}$
二等		0.5	0.7	$\leq 1.0 \sqrt{n}$	$\leq 0.7 \sqrt{n}$	$\leq 1.5 \sqrt{n}$
三等	光学测微法	1.0	1.5	$\leq 3.0 \sqrt{n}$	$\leq 2.0 \sqrt{n}$	$\leq 4.5 \sqrt{n}$
	中丝读数法	2.0	3.0			
四等	中丝读数法	3.0	5.0	$\leq 6.0 \sqrt{n}$	$\leq 4.0 \sqrt{n}$	$\leq 8.5 \sqrt{n}$

注：表中  $n$  为测站数

**20.2.3** 水准仪、水准标尺除按 3.1.13 条的规定送检外，在使用前应进行检查，使用过程中也应定期检查。检查结果应符合下列要求：

**1**  $i$ 角对用于特等水准观测的仪器不得大于 $10''$ ，对用于一、二等水准观测的仪器不得大于 $15''$ ，对用于三、四等水准观测的仪器不得大于 $20''$ ；补偿式自动安平水准仪的补偿误差 $\Delta_a$ 绝对值不得大于 $0.2''$ ；

**2** 水准标尺分划线的分米分划线误差和米分划线间隔真长与名义长度之差，对于线条式钢瓦合金标尺不应大于 $0.1\text{mm}$ ，对于区格式木质标尺不应大于

0.5mm。

## **20.3 水准基点和观测点设置**

### **20.3.1 水准基点的设置应符合下列要求：**

**1** 在一个观测区内，特等观测等级的水准基点应不少于四个，其他观测等级不应少于三个；

**2** 水准基点应设置在建筑物所产生的应力影响范围以外；不应埋设在道路、仓库、河岸、新填土、拟建建筑或堆料的地方以及受震动影响的范围之内；水准基点与建筑物之间的水平净距离宜为20m~40m，对普通工业与民用建筑物不应小于15m，对较大型并略有振动的工业与民用建筑物不应小于25m，对高层建筑不应小于30m；

水准基点应根据现场条件设置在进入基岩或低压缩性土层的基准桩上、附近沉降稳定的建（构）筑物上，也可利用附近已有的永久水准点；

**3** 水准基点的帽头宜用不锈钢或铜材制成，如用普通钢代替，应采取防锈措施；

**4** 水准基点应达到稳定后方可开始观测。

### **20.3.2 观测点应根据地基基础施工工况、建筑结构特点和建筑地基变形特征并结合地质情况确定。观测点宜设在下列位置：**

**1** 建筑物的四角、核心筒的四角、大转角处及沿外墙每10m~20m处或每隔2根~3根柱基上；

**2** 宽度大于等于15m或小于15m但地质复杂地区的建筑物，在承重内隔墙中部设内墙点，在室内地面中心及四周设地面点；

**3** 框架结构建筑物的每个或部分柱基上或沿纵横轴线上；

**4** 筏形基础或接近基础的结构部分之四角处及其中部位置；

**5** 重型设备基础和动力设备基础的四角、基础型式或埋深改变处以及地质条件变化处两侧；

**6** 底板抗浮观测点应沿相互垂直的两个跨度方向或主曲率方向布置；

**7** 对于挤土效应较明显或大面积群桩基础的管桩基础，观测点应设置在管桩顶部；

8 对于场地隆起或沉降,观测点应设置在基准桩上,基准桩入土深度不应少于1m;

9 设计有要求时按设计要求。

20.3.3 观测点数量应符合下列规定:

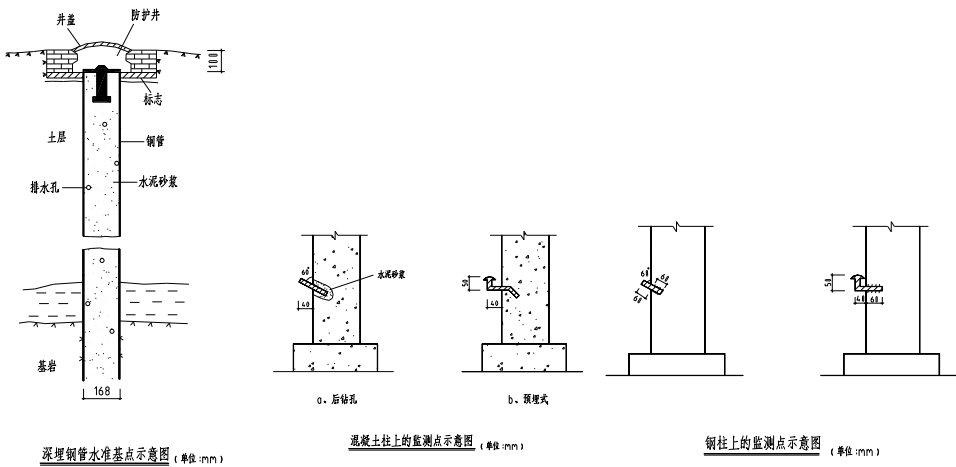
1 依据本规范第20.3.2条第1~5款进行基础沉降观测时,观测点不应少于6点,如有特殊要求,宜增设观测点;

2 依据本规范第20.3.2条第6款进行底板抗浮观测时,沿任一方向的观测点数量不应少于5个;

3 依据本规范第20.3.2条第7款进行管桩上浮观测时,在管桩施工过程中,应抽样监测已施工工程桩的桩顶上浮量及偏位值,工程桩的监测数量不应少于1%且不得少于10根;

4 依据本规范第20.3.2条第8款进行场地隆起或沉降观测时,观测点数量不应少于6个。

20.3.4 沉降观测的标志,可根据不同的建筑结构类型和建筑材料,采用墙(柱)标志、基础标志和隐蔽式标志等型式。标志的埋设位置应避开有碍设标与观测的障碍物,并应视立尺需要离开墙(柱)面和地面一定距离。观测点宜采用铆钉、膨胀螺栓、角钢等设置在混凝土柱(底板顶面、承台表面)中、钢柱底座、突出的角隅、管桩顶部、基准桩上(图 20.3.4)。各类标志的立尺部位应加工成半球形或有明显的突出点,并采取防腐防锈措施。



## 20.4 现场观测

**20.4.1** 首次测量（即零周期）应连续进行两次的独立观测，并取观测结果的中数作为测量初始值。首次测量的时间应符合下列规定：

- 1 依据本规范第20.3.2条第1~5款进行基础沉降观测时，应在基础施工完成后开始；
- 2 依据本规范第20.3.2条第6款进行底板抗浮观测时，应在底板施工完成后开始；
- 3 依据本规范第20.3.2条第7款进行管桩上浮观测时，应在管桩早期施工开始；
- 4 依据本规范第20.3.2条第8款进行场地隆起或沉降观测时，应在地基基础早期施工开始。

**20.4.2** 施工阶段的沉降观测频次应根据建筑物的地基类型和加荷情况确定：

- 1 在地基基础施工过程中进行观测时，应根据施工工况合理确定监测频次。对管桩上浮观测、场地隆起或沉降观测时，宜每天观测一次；
- 2 装配式钢筋混凝土结构、砖砌外墙的单层或多层的工业厂房，按不同施工阶段，分别进行一次观测；
- 3 多层民用建筑物及其他工业建筑物，每施工完毕1层~3层楼后观测一次；高层建筑物，每增加3层~5层观测一次；
- 4 建筑物设备安装和装修各测一次；
- 5 建筑物完工交付使用前观测一次；
- 6 加固地基上的多层建筑逐层监测，高层每增加2层~3层观测一次；
- 7 对于改扩建工程逐层监测；
- 8 施工过程中如出现停工，在停工时及重新开工时各观测一次。停工期间，视需要进行观测；
- 9 有特殊荷载要求的，视具体情况确定观测频次。

**20.4.3** 建筑物使用阶段观测频次应视地基类型和沉降速度大小而定。第一年观测频次宜为3次~4次，第二年观测频次宜为2次~3次，以后每年观测1次，直至稳定为止。有特殊要求者可调整观测频次。

**20.4.4** 在观测过程中，如有基础附近地面荷载突然增减、基础四周大量积水、长时间连续降雨等情况，应增加观测次数。当建筑物突然发生急剧沉降、不均匀沉降或严重裂缝时，应立即进行逐日或几天一次的连续观测。

**20.4.5** 现场观测应符合下列要求：

1 对同一观测对象宜采用相同的观测路线和观测方法，使用同一仪器和设备，并固定人员，在基本相同的环境和条件下工作；

2 应在标尺划分线呈像清晰和稳定的天气条件下进行观测，不得在日出后或日落前半个小时内、中午前后、风力大于四级、气温突变时进行观测。晴朗天气观测时，应采取遮阳措施；

3 数字水准仪使用前应进行预热，使用中应避免望远镜直接对着太阳，应避免振动等外界因素的影响；

4 每测段往测与返测的测站数均应为偶数，否则应加入标尺零点差改正。由往测转向返测时，两标尺应互换位置，并应重新整置仪器；在同一测站上观测时，不得两次调焦。转动仪器的倾斜螺旋和测微鼓时，其最后旋转方向，均应为旋进；

5 观测过程中应及时记录点位变动迹象、建筑物基础和墙体的裂缝等情况，并画出草图。

**20.4.6** 建筑物沉降稳定标准：应根据沉降量与时间关系曲线判定建筑物沉降稳定与否，具体取值宜参考地基土的压缩性确定。当最后 100d 的沉降速率小于  $(0.01 \sim 0.04) \text{ mm/d}$ ，可认为已进入稳定阶段。

## **20.5 数据分析与评价**

**20.5.1** 每一次观测结束后，应及时整理观测数据，并提交阶段沉降观测报告；工程竣工后，应提交工程竣工沉降观测报告；终止观测后，应提交沉降观测最终报告。

**20.5.2** 检测人员应以表格的形式整理全部观测点的观测数据，绘制时间—沉降曲线，并计算每个观测点的本次观测结果和累计沉降量，沉降速度；也可计算建筑物平均沉降、基础倾斜，局部倾斜、沉降差、基础相对弯曲等。

**20.5.3** 基础倾斜可按下式计算：

$$\alpha = (s_i - s_j) / L \quad (20.5.3)$$

式中： $\alpha$ ——基础倾斜；

$s_i$ ——基础倾斜方向观测点  $i$  的沉降量（mm）；

$s_j$ ——基础倾斜方向观测点  $j$  的沉降量（mm）；

$L$ ——观测点  $i, j$  之间的距离（mm）。

基础局部倾斜也可按上式计算。此时取砌体承重结构沿纵墙 6m~10m 内基础上两观测点  $i, j$  的沉降量为  $s_i, s_j$ ，两点  $i, j$  间的距离为  $L$ 。

**20.5.4** 基础相对弯曲可按下式计算：

$$f_c = [2s_k - (s_i + s_j)] / L \quad (20.5.4)$$

式中： $f_c$ ——基础相对弯曲

$s_k$ ——基础中观测点  $i, j$  之间的中点  $k$  的沉降量（mm）；

$L$ ——观测点  $i$  与  $j$  之间的距离（mm）。

注：1 弯曲量以向上凸起为正，反之为负。

2 柱基间吊车轨道等构件的倾斜也按上式计算。

**20.5.5** 根据建筑物基础的沉降量、沉降差、倾斜、局部倾斜，按照国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB50007 所规定的地基变形允许值，评价观测结果。

**20.5.6** 观测工作结束后，应将观测结果编写出沉降观测报告，沉降观测报告除应包括本规范第 3.3.7 条相关内容外，尚宜包括下列内容：

- 1 沉降观测方法；
- 2 沉降观测结果表；
- 3 沉降观测结果分析及评价；
- 4 沉降观测点位分布图；
- 5  $v-t-s$ （沉降速度、时间、沉降量）曲线图；
- 6  $p-t-s$ （荷载、时间、沉降量）曲线图；
- 7 建筑物沉降等值线图。

## 21 灌注桩成孔与地下连续墙成槽质量检测

### 21.1 一般规定

**21.1.1** 本方法可用于检测灌注桩成孔孔径、孔壁垂直度、孔深及沉渣厚度，以及地下连续墙的槽宽、槽壁垂直度、槽深及沉渣厚度。

**21.2.2** 灌注桩成孔与地下连续墙成槽质量检测可采用超声波法或接触式仪器组合法。

### 21.2 仪器设备

**21.2.1** 检测仪器设备应具有良好的稳定性、水密性和绝缘性，且应具备防尘、防潮、防震功能，在 $-10\sim+50^{\circ}\text{C}$ 温度范围内能正常工作。

**21.2.2** 超声波法检测仪器设备应符合下列规定：

- 1 孔径（槽宽）的检测精度不应低于满量程的 0.2%；
- 2 应具有自校功能；
- 3 测量系统应为超声波脉冲系统；
- 4 记录方式可为模拟式或数字式；
- 5 超声波仪器的探头应能同时对十字正交的四个方向进行检测；
- 6 当从绞车悬挂下来的超声波探头遇到护筒（槽壁）或孔（槽）底时，应能自动控制停机；超声波探头升降速度应可调节。

**21.2.3** 接触式仪器组合法采用的仪器设备应包括伞形孔径仪、专用测斜仪、沉渣测定仪和主机，且应符合以下规定：

- 1 伞形孔径仪应配备校准装置，且应符合以下规定：
  - 1) 被测孔孔径小于 1.5m 时，孔径测量误差不应大于 15mm；孔径不小于 1.5m 时，孔径测量误差不应大于 25mm；
  - 2) 孔深检测误差应不大于 0.1%；
  - 3) 测量杆不应少于 4 根，测量时应能同时张开且在水平投影方向互呈  $90^{\circ}$  角，且应具备足够的长度和张紧力，确保末端能接触孔壁。
- 2 专用测斜仪应符合以下要求：

- 1) 测量范围应为  $0^{\circ} \sim 10^{\circ}$ ;
- 2) 测量误差不大于  $0.1^{\circ}$ ;
- 3) 分辨率不大于  $0.05^{\circ}$ ;
- 4) 孔深测量精度不低于  $0.3\%$ 。

3 沉渣测定仪可采用检测精度满足要求的不同方法、原理的仪器。当采用基于视电阻率法的沉渣测定仪时, 视电阻率测量误差不大于  $5\%$ 。

4 主机应具备及时显示和储存实测数据、曲线的功能。

**21.2.4** 超声波法检测仪器在检测工作之前应进行自校; 伞形孔径仪、专用测斜仪等进入现场检测前进行标定。

## **21.3 现场操作**

**21.3.1** 超声波法检测应符合下列规定:

1 灌注桩成孔质量检测应在清孔完毕、孔中泥浆内气泡消散后进行; 仪器探头宜对准护筒中心; 检测宜自孔口至孔底或自孔底至孔口连续进行; 应按正交  $x-x'$ 、 $y-y'$  二方向检测, 直径大于  $4m$  的桩孔、支盘桩孔、试成孔及静载荷试桩孔应增加检测方位; 应标明检测剖面  $x-x'$ 、 $y-y'$  等走向与实际方位的对应关系;

2 地下连续墙成槽检测应在清槽完毕、相邻槽段接头拔出、泥浆内气泡消散后进行; 仪器探头宜对准导墙中心轴线, 用于检测的一组探头超声波发射面应与导墙平行; 一般二方向检测, 在两槽段端头连接部位可做三方向检测; 检测宜自槽底至槽口连续进行; 应标明检测断面  $x-x'$  在槽段平面图的具体位置。

**21.3.2** 接触式仪器组合法检测应符合下列规定:

1 孔径检测应符合下列要求:

- 1) 测量应在清孔完毕后进行;
- 2) 孔径检测应自孔底向孔口连续进行;
- 3) 检测中探头应匀速上提, 提升速度不宜大于  $15m/min$ , 孔径变化较大处, 应降低探头提升速度;
- 4) 孔径记录图像应有明显孔径及深度的刻度标记, 能准确显示任何深度截面的孔径; 有设计孔径基准线、基准零线及同步记录深度标记。



**2 垂直度检测应符合下列要求：**

- 1) 测量应采用顶角测量方法，且宜在孔径检测完成后进行；
- 2) 测量可在钻孔内直接进行，并选择合适的扶正器；对大直径桩孔，测量宜在一次清孔完毕后，在未提钻的钻具内进行；
- 3) 测量应避开明显扩径段；
- 4) 测量应自孔口向下分段检测，测点距不宜大于5m，在顶角变化较大处加密检测点数，必要时应重复检测。

**3 沉渣厚度检测应符合下列要求：**

- 1) 在沉渣测定仪探头下放过程中，通过探头缆绳由张紧到松弛的变化判断沉渣面位置；
- 2) 充分放松探头缆绳，然后提升探头至沉渣面上方约两米，令探头自由下落，穿透沉渣层达到原土层；
- 3) 开始检测沉渣厚度：提升沉渣测定仪探头的同时观察泥浆视电阻率-深度曲线，将沉渣测定仪探头缓慢提升至泥浆视电阻率-深度曲线拐点以上约两米；
- 4) 泥浆视电阻率-深度曲线拐点以下部分可判断为沉渣厚度，厚度值由深度坐标量取。

## **21.4 检测数据分析与判定**

**21.4.1 超声波法检测的测量数据处理应符合下列规定：**

**1 在泥浆介质中传播速度可按下式计算：**

$$c=2(d-d')/(t_1+t_2) \quad (21.4.1-1)$$

式中：c——超声波在泥浆介质中传播的速度(m/s)；

d——护筒直径或导墙宽度（m）；

d' ——两方向相反换能器的发射（接收）面之间的距离（m）；

t——对称探头的实测声时（s）。

**2 孔径（槽宽）可按下式计算：**

$$d=d'+c(t_1+t_2)/2 \quad (21.4.1-2)$$

式中：d——实测孔径或槽宽（m）。

3 孔（槽）垂直度可按下式计算：

$$K=(E/L) \times 100\% \quad (21.4.1-3)$$

式中：K——孔（槽）垂直度（°）；

E——孔（槽）的偏心距(m)；

L——实测孔（槽）深度(m)。

21.4.2 接触式仪器组合法检测的测量数据处理应符合下列规定：

1 孔径可按下式计算：

$$D=D_0+k \times \Delta V/I \quad (21.4.2-1)$$

式中：D<sub>0</sub>——起始孔径（m）；

k——仪器常数（m/Ω）；

ΔV——信号电位差（V）；

I——恒定电流源电流（A）。

2 桩孔垂直度可按下式计算：

$$K=(E/L) \times 100\% \quad (21.4.2-2)$$

$$E=d/2-\phi/2+\sum h_i \times \sin[(\theta_i+\theta_{i-1})/2] \quad (21.4.2-3)$$

式中：E——桩孔偏心距(m)；

L——实测桩孔深度(m)；

d——孔径或钻具内径(m)；

φ——测斜探头或扶正器外径(m)；

h<sub>i</sub>——第 i 段测点距(m)；

θ<sub>i</sub>——第 i 测点实测顶角（°）；

θ<sub>i-1</sub>——第 i-1 测点实测顶角（°）。

3 沉渣厚度取 3 次有效检测数据的平均值为最终检测结果。

21.4.3 检测报告除应包括本规范第 3.7.7 条规定的内容外，尚应包括下列内容：

1 桩孔（槽段）编号；

2 孔（槽）设计参数；

3 检测仪器设备型号；

4 各项检测内容的检测结果。

## 附录 A 建筑地基基础检测记录表格

**A.0.1** 标准贯入试验数据可按表 A.0.1 的格式记录。

**表 A.0.1 标准贯入试验数据记录表**

工程名称：		地基类型：			
检测孔编号：		工程地点：		年	月 日
深度 (m)	实际贯入深度 (cm)	实测锤击数	修正锤击数	土样鉴别描述	备注

记录：                      校核：                      第    页    共    页

**A.0.2** 圆锥动力触探试验数据可按表 A.0.2 的格式记录。

**表 A.0.2 圆锥动力触探试验数据记录表**

工程名称：		地基类型：		
检测孔编号：		工程地点：		年    月    日
触探类型： <input type="checkbox"/> $N_{10}$ <input type="checkbox"/> $N_{63.5}$ <input type="checkbox"/> $N_{120}$				
深度 (m)	实测锤击数	修正锤击数	土层描述	备注

记录：                      校核：                      第    页    共    页

**A.0.3** 静力触探试验数据可按表 A.0.3 的格式记录。

**表 A.0.3 静力触探试验数据记录表**

工程名称：		地基类型：		
检测孔编号：		工程地点：		年    月    日
设备名称及编号：		探头编号及率定系数： $K_p$ = $K_q$ = $K_{f=}$		

深度 (m)	$\varepsilon_p$	$\varepsilon_q$	$\varepsilon_f$	备注

记录: 校核: 第 页 共 页

**A.0.4** 十字板剪切试验数据可按表 A.0.4 的格式记录。

**附表 A.0.4 十字板剪切试验数据记录表**

工程名称:				地基类型:			
工程地点:				检测孔编号:		年 月 日	
十字板规格: $D$ _____ (mm) $H$ _____ (mm) $K_c$ 或 $K$ _____ ( $1/\text{mm}^2$ , $\text{kPa}/\mu\text{m}$ )							
稳定水位:				钢环/传感器编号:			
深度 (m)	原状土			重塑土			备注
	$P_0/\varepsilon_0$	$P_f/\varepsilon$	$C_u$	$P'_0/\varepsilon'_0$	$P'_f/\varepsilon'$	$C'_u$	

记录: 校核: 第 页 共 页

**A.0.5** 平板载荷试验/岩石地基载荷试验数据可按表 A.0.5 的格式记录。

**表 A.0.5 平板载荷试验/岩石地基载荷试验数据记录表**

工程名称:				地基类型:						
检测点编号:				压板尺寸:				年 月 日		
荷载 级别	油压 (MPa)	荷载 (kN)	测读 时间	位移测量仪表读数 (mm)				本级沉 降 (mm)	累计沉 降 (mm)	备注
				表 1	表 2	表 3	表 4			


记录:

校核:

第 页 共 页

**A.0.6** 钻芯法检测现场操作记录和芯样编录可分别按表 A.0.6-1、A.0.6-2 的格式记录;检测芯样综合柱状图可按表 A.0.6-3 的格式记录和描述。

表 A.0.6-1 钻芯法检测现场操作记录表

桩号					工程名称	
孔号					检测日期	
时间		钻进 (m)			芯样 编号	芯样长度 (m)
自	至	自	至	计		
						残留 芯样
						芯样初步描述及 异常情况记录
						包括每回次芯样块数

记录:

校核:

第 页 共 页

表 A.0.6-2 钻芯法检测芯样编录表

工程名称:		桩径:		
桩号:		钻芯孔号:		年 月 日
项 目	分段 (层) 深度 (m)	芯样描述		取样编号 取样深度
桩身混凝土		混凝土钻进深度, 芯样连续性、完整性、胶结情况、表面光滑情况、断口吻合程度、混凝土芯是否为柱状、骨料大小分布情况, 以及气孔、空洞、蜂窝麻面、沟槽、破碎、夹泥、松散的情况		
桩底沉渣		桩端混凝土与持力层接触情况、沉渣厚度		

持力层		持力层钻进深度，岩土名称、芯样颜色、结构构造、裂隙发育程度、坚硬及风化程度； 分层岩层应分层描述	（强风化或土层时的圆锥动力触探或标贯结果）	
-----	--	---	-----------------------	--

记录： 校核： 第 页 共 页

表 A.0.6-3 钻芯法检测芯样综合柱状图记录和描述表

桩号/孔号			混凝土设计强度等级			桩顶标高		开孔时间	
施工桩长			设计桩径			钻孔深度		终孔时间	
层序号	层底标高(m)	层底深度(m)	分层厚度(m)	混凝土/岩土芯柱状图(比例尺)	桩身混凝土、持力层描述	序号	芯样强度深度(m)	备注	
				□ □ □					

记录： 校核： 第 页 共 页

注：□代表芯样试件取样位置。

**A.0.7** 单桩竖向抗压/抗拔静载试验数据可按表 A.0.7 的格式记录。

表 A.0.7 单桩竖向抗压/抗拔静载试验数据记录表

工程名称：				桩号：				年 月 日		
荷载级别	油压(MPa)	荷载(kN)	测读时间	位移测量仪表读数(mm)				本级位移(mm)	累计位移(mm)	备注
				表 1	表 2	表 3	表 4			

记录： 校核： 第 页 共 页

注：1 对抗压桩表中位移可更换为沉降，对抗拔桩表中位移可更换为上拔量；

2 对锚桩法中的锚桩上拔位移监测也可按本表格进行记录；

3 采用慢速维持荷载法的单桩水平静载试验数据可按此表的格式记录。

**A.0.8** 单向多循环加载法的单桩水平静载试验数据可按表 A.0.8 的格式记录。

**表 A.0.8 单桩水平静载试验数据记录表**

工程名称:				桩号:		上下表距:		年 月 日				
油压 (MPa)	荷载 (kN)	观测 时间	循环 数	加载		卸载		水平位移 (mm)		加载上下表读数差	转角	备注
				上表	下表	上表	下表	加载	卸载			

记录: 校核: 第 页 共 页

注: 采用慢速维持荷载法时, 单桩水平静载试验数据可按表 A.0.7 的格式记录。

**A.0.9** 支护锚杆验收试验/基础锚杆抗拔试验数据可按表 A.0.9 的格式记录。

**表 A.0.9 支护锚杆验收试验/基础锚杆抗拔试验数据记录表**

工程名称:									
序号:		锚杆编号:			检测日期: 年 月 日				
锚杆类型:					加载反力装置:				
<input type="checkbox"/> 锚杆轴向拉力标准值 <input type="checkbox"/> 锚杆承载力特征值 (kN): 最大试验荷载 (kN): <input type="checkbox"/> 多循环加卸载法 <input type="checkbox"/> 单循环加卸载法 <input type="checkbox"/> 分级维持荷载法									
千斤顶编号及型号:			压力表编号:			百分表编号:			
荷载 级别	荷载 (kN)	油压 (MPa)	测读时间 (min)	位移测量仪表读数 (mm)			位移 (mm)		备注
				表 1	表 2	平均	增量	累计	

记录: 校对: 第 页 共 页

A.0.10 锚杆测力计安装记录可按表 A.0.10 的格式记录。

表 A.0.10 锚杆测力计安装记录表

工程名称：							
锚杆测力计类型：		测试项目：		安装日期：		年 月 日	
其他信息：							
序号	锚杆编号	测点位置	锚杆测力计编号	安装时间	环境温度(°C)	张拉前测力计读数(基准值)	备注
记录：		校对：		第 页 共 页			

A.0.11 预应力锚杆锁定力测试数据可按表 A.0.11 的格式进行记录。

表 A.0.11 预应力锚杆锁定力测试数据记录表

工程名称：										
锚具型号：			张拉设备编号：							
测力计类型：			标定情况：							
其他信息：										
检测日期： 年 月 日										
序号	锚杆编号	测力计编号	测力计基准值	环境温度(°C)	测读时间	测力计读数	力值(kN)	力值平均值(kN)	实测锁定力值(kN)	备注



记录： 校对： 第 页 共 页

**A.0.12** 锚杆持有荷载试验数据可按表 A.0.12 的格式记录。

**表 A.0.12 锚杆持有荷载试验检测数据记录表**

工程名称：									
序号：		锚杆编号：			检测日期：		年 月 日		
锚杆类型：				试验加载反力装置：					
设计锁定力值（kN）：				验收荷载（kN）：					
压力表编号：		千斤顶编号及型号：			百分表编号：				
荷载 级别	油压 (MPa)	荷载 (kN)	测读 时间	位移测量仪表读数(mm)			位移(mm)		备注
				表 1	表 2	平均	增量	累计	

记录： 校对： 第 页 共 页

**A.0.13** 地基系数试验数据可按表 A.0.13 进行记录

荷载 级别	油压 (MPa)	荷载 (kN)	测读 时间	位移测量仪表读数 (mm)				本级沉 降 (mm)	累计沉 降 (mm)	备注
				表 1	表 2	表 3	表 4			

**表 A.0.13 地基系数试验数据记录表**

试验编号：				工程名称：				
检测里程：				检测部位：				
填层厚度：				检测标高：				
填料类型：				填料最大粒径：				
仪器型号：				承载板直径：				
加载 顺序	荷载强度 $\sigma$ (MPa)	荷载 (kN)	油压 (MPa)	位移测量仪表 读数 (mm)		本级沉 降 (mm)	累计平均 沉降量 (mm)	备注
				表 1	表 2			


记录： 校核： 第 页 共 页

#### A.0.14 地基二次变形模量 $E_{v2}$ 试验数据可按表 A.0.14 进行记录

表 A.0.14 地基二次变形模量  $E_{v2}$  试验数据记录表

试验编号：		工程名称：		
检测里程：		检测部位：		
填层厚度：		检测标高：		
填料类型：		填料最大粒径：		
仪器型号：		杠杆比 $h_p/h_M$ ：		
加载顺序	荷载 $F$ (kN)	应力 $\sigma$ (MPa)	沉降测表读数 $s_M$ (mm)	承载板中心沉降量 $s$ (mm)
预压				
复位				
第一次加载	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
卸载	8			
	9			
	10			
第二次加载	11			
	12			
	13			
	14			
	15			
	16			

记录： 校核： 第 页 共 页

**A.0.15** 地基动态变形模量试验数据可按表 A.0.15 进行记录

表 A.0.15 地基动态变形模量试验数据记录表

试验编号:	工程名称:
检测里程:	检测部位:
填层厚度:	检测标高:
填料类型:	填料最大粒径:
仪器型号:	

冲击顺序	竖向动位移 $s_i$ (mm)	平均竖向动位移 $s$ (mm)	动态变形模量 $E_{vd}$ (MPa)	备注

附：动态变形模量测试仪打印的实测结果及实测  $s-t$ （沉陷-时间）曲线：

记录: 校核: 第 页 共 页

**A.0.16** 荷载分散型锚杆补偿荷载张拉数据可按表 A.0.16 的格式记录。

表 A.0.16 补偿荷载张拉数据记录表

工程名称:			工点名称:		
锚杆类型:		单元锚杆组数:		试验加载反力装置:	
最大试验荷载(kN):		初始荷载(kN):		分级补偿张拉荷载(kN):	
千斤顶编号及型号:			压力表编号:		钢板尺编号:
补偿荷载张拉日期:			年      月      日		
锚杆 编号	分级补偿荷载 (kN)	油压表读数 (MPa)	测读时间 (min)	分级位移 (mm)	备注


记录：

校对：

第 页 共 页

## 附录 B 地基土试验数据统计计算方法

**B.0.1** 本统计计算方法适用于计算天然地基和处理土地基的标准贯入试验、圆锥动力触探试验、静力触探试验、十字板剪切试验等原位试验数据的标准值。

**B.0.2** 当原位试验的试验结果需要进行深度修正时，应先进行深度修正。

**B.0.3** 按本方法统计计算和划分土层时，应剔除异常值。

**B.0.4** 单位工程的土层应根据原位试验结果沿深度的分布趋势，并结合岩土工程勘探资料进行分类。

当土层难以划分时，可根据原位试验结果沿深度的分布趋势自上至下划分（3~5）个土层。

**B.0.5** 同一分类土层的原位试验的标准值，应按单位工程进行统计计算。当同一分类土层原位试验的检测数据离散性较大时，可将单位工程划分为两个或两个以上检测区域（即两个或两个以上验收批）分别进行统计计算，但应满足本规范第 B.0.7 条试验数据数量的规定。

**B.0.6** 当同一检测孔的同一分类土层中有两个或两个以上有效检测数据时，应先计算其算术平均值，再用该算术平均值参与本规范第 B.0.7 条的统计计算。当检测孔缺少该分类土层检测数据时，则不参与统计。

**B.0.7** 当参与统计计算的试验数据个数不少于 6 个时，同一分类土层的原位试验数据标准值应按下列公式计算：

$$\phi_k = \gamma_s \phi_m \quad (\text{B.0.7-1})$$

$$\gamma_s = 1 - \left\{ \frac{1.704}{\sqrt{n}} + \frac{4.678}{n^2} \right\} \delta \quad (\text{B.0.7-2})$$

$$\phi_m = \frac{\sum_{i=1}^n \phi_i}{n} \quad (\text{B.0.7-3})$$

$$\delta = \frac{\sigma_f}{\phi_m} \quad (\text{B.0.7-4})$$

$$\sigma_f = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[ \sum_{i=1}^n \phi_i^2 - \frac{\left( \sum_{i=1}^n \phi_i \right)^2}{n} \right]} \quad (\text{B.0.7-5})$$

式中：  $\phi_k$  ——同一分类土层的原位试验数据的标准值；

$\gamma_s$  ——统计修正系数；

$\phi_i$  ——参与统计的试验数据，按本规范第 B.0.4 条和第 B.0.5 条确定；

$\phi_m$  ——检测数据的平均值；

$\sigma_f$  ——检测数据的标准差；

$\delta$  ——检测数据的变异系数；

$n$  ——统计样本数，且  $n \geq 6$ 。

## 附录 C 圆锥动力触探试验锤击数修正

**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度时，锤击数应按下式修正：

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

式中： $N_{63.5}$ ——修正后的重型圆锥动力触探试验锤击数；

$N'_{63.5}$ ——实测重型圆锥动力触探试验锤击数；

$\alpha$ ——修正系数，按表 C.0.1 取值。

**表 C.0.1 重型圆锥动力触探试验锤击数修正系数**

$N'_{63.5}$ $L$ (m)	5	10	15	20	25	30	35	40	$\geq 50$
2	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

注：表中  $L$  为杆长。

**C.0.2** 当采用超重型圆锥动力触探评价碎石土（桩）密实度时，锤击数  $N_{120}$  应按下式修正：

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

式中： $N_{120}$ ——修正后的超重型圆锥动力触探试验锤击数；

$N'_{120}$ ——实测超重型圆锥动力触探试验锤击数；

$\alpha$ ——修正系数，按表 C.0.2 取值。

表 C.0.2 超重型圆锥动力触探试验锤击数修正系数

$N_{63.5}$ $L_{(m)}$	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	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.72
7	0.90	0.78	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70	0.68	0.68	0.67	0.66
9	0.88	0.75	0.72	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66	0.64	0.63	0.62	0.62
11	0.87	0.73	0.69	0.67	0.66	0.66	0.64	0.62	0.61	0.60	0.59	0.58
13	0.86	0.71	0.67	0.65	0.64	0.63	0.61	0.60	0.58	0.57	0.56	0.55
15	0.84	0.69	0.65	0.63	0.62	0.61	0.59	0.58	0.56	0.55	0.54	0.53
17	0.85	0.68	0.63	0.61	0.60	0.60	0.57	0.56	0.54	0.53	0.52	0.50
19	0.84	0.66	0.62	0.60	0.58	0.58	0.56	0.54	0.52	0.51	0.50	0.48

注：表中  $L$  为杆长。



## 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量；

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 6.2.3 条的规定；

6) 触探头的率定系数按下式计算：

$$K = \frac{P}{A\varepsilon} \text{ 或 } K = \frac{P}{AU_p} \quad (\text{D.0.3-1})$$

式中：  $K$  ——触探头的率定系数（MPa/ $\mu\varepsilon$  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（ $\text{mm}^2$ ）；

$\varepsilon$  —— $P$  所对应的应变变量（ $\mu\varepsilon$ ）；

$U_p$  —— $P$  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（ $\text{mm}^2$ ）；

$l$  ——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 6.2.3 条的规定，调整后的

供桥电压即为率定的供桥电压值。

**3** 触探头的适用温度为-10~+45℃，由于温度漂移而产生的量程误差，不应超过满量程的±1%；可按下式计算：

$$\frac{\Delta V'}{V} = \Delta t \cdot \eta \quad (\text{D.0.3-3})$$

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（℃）；

η——温飘系数，一般采用 0.0005/℃；

**4** 探头一般在3个工程大气压（即294kPa）下，保持2h，其绝缘度不得小于500MΩ；

**5** 对于探头的分辨率，当采用电子电位差计测试时，每伏桥路电压下，仪器指针画线长度应不小于0.05mm；当以应变值显示时，仪表的显示值应不小于10με；

**6** 双桥探头的两组桥路应互不干扰。触探过程中，上提触探头时，两个传感器均应处于不受力状态。摩擦筒应滑动灵活，不因侧向受力而被卡住。

## 附录 E 地基系数与二次变形模量试验

### E.1 一般规定

**E.1.1** 地基系数 ( $K_{30}$ ) 试验 (也称  $K_{30}$  平板载荷试验) 是采用直径为 30cm 圆形承压板, 测定土体在荷载作用下, 下沉量基准值为 1.25mm 所对应的荷载强度与下沉量基准值的比值的试验方法。

**E.1.2** 二次变形模量 ( $E_{v2}$ ) 试验是采用直径为 30cm 圆形承压板, 测定第二次加载承压板下应力和与之相对应的承压板沉降量的试验方法。

**E.1.3** 地基系数试验、二次变形模量试验适用于最大粒径不大于承压板直径 1/4 的各类土和土石混合填料, 测试有效深度范围约为 2.0 倍承压板直径。

### E.2 仪器设备及其安装

**E.2.1** 试坑底部应刮平, 承压板底部可铺设 2mm~3mm 细砂找平层。

**E.2.2** 地基系数 ( $K_{30}$ ) 与二次变形模量试验的承压板应采用直径为 300mm, 板厚为 25mm 的圆形钢板。承压板应水平放置, 试验前应用水准尺或承压板上自带的水准泡检查承压板的水平状态。

**E.2.3** 试验加载应符合本规范第 8.2.4 条的规定, 千斤顶顶端应设置球型铰座, 并应配置可调节丝杆和加长杆件。

**E.2.4** 载荷测量应符合本规范第 8.2.5 条的规定。

**E.2.5** 沉降测量应符合本规范第 8.2.6 条的规定, 其中百分表的量程应不小于 10mm。

**E.2.6** 试验仪器设备性能指标应符合本规范第 8.2.7 条的规定。

**E.2.7** 沉降测量的基准桩与承压板的净距不应小于 1.0 米; 承压板与反力支点之间的水平净距不应小于 0.75m。

**E.2.8** 试验时试验土体的含水率应和使用期间土体的含水率基本相同。

### E.3 现场操作

**E.3.1** 正式试验前应进行预压。预压荷载强度应为 0.04MPa, 持续约 30 秒钟后卸载至零, 应测读位移百分表初始读数或重新调整零位。

**E.3.2** 地基系数试验应符合下列规定:

- 1 地基系数 ( $K_{30}$ ) 试验预估最大试验荷载不应小于设计要求的地基系数

( $K_{30}$ ) 值所对应承压板下地基荷载强度的1.3倍;

2 应分级逐级加载, 分级荷载应为0.04MPa;

3 每级荷载稳定后, 测读承压板沉降量, 然后加下一级荷载。

**E.3.3** 地基系数试验达到下列条件之一时, 试验即可终止:

1 当累计总下沉量超过基准值;

2 荷载强度达到预估的最大试验荷载;

3 某级荷载作用下, 承压板沉降量大于前一级荷载作用下的沉降量的5倍。

**E.3.4** 二次变形模量试验应符合下列要求:

1 二次变形模量试验的预估最大试验荷载应取承压板下地基荷载强度为0.50MPa时所对应的荷载;

2 试验应按0.08、0.16、0.24、0.32、0.40、0.45、0.50MPa逐级加载; 每级荷载加载完成后持荷2min, 测读承压板沉降量, 再施加下一级荷载; 加载到最大荷载0.5Mpa或总沉降量大于等于5mm后, 按0.32、0.16、0MPa逐级卸载, 每级卸载持荷2min, 测读承压板沉降量; 每级加载和卸载时间应在1min内完成;

3 第一次加载试验的最大荷载强度的确定应符合下列规定:

1) 当沉降量超过 5mm 且该级荷载强度小于 0.5Mpa, 取该级荷载为最大荷载强度;

2) 当最大荷载强度为 0.5MPa 且沉降量不大于 5mm 时, 最大荷载强度取 0.5MPa;

4 第一次加卸载完成后, 重新按第一次加载和卸载程序进行第二次逐级加载、持荷、测读承压板沉降量, 直至第一次所加最大荷载的倒数第二级, 然后卸载、持荷、测读承压板沉降量。

**E.3.5** 试验过程中, 当出现本规范第 8.3.9 条所规定的情形时, 应按本规范第 3.1.12 条的规定进行重新检测。

**E.3.6** 地基系数试验检测数据可按本规范表 A.0.13 的格式记录, 二次变形模量试验检测数据可按本规范表 A.0.14 的格式记录。

## **E.4 检测数据分析与判定**

**E.4.1** 确定地基系数时, 应根据试验结果绘出荷载强度与下沉量关系曲线 (图 E.4.1); 当曲线的开始段呈凹形或不经过坐标原点时, 应对坐标原点进行修正。

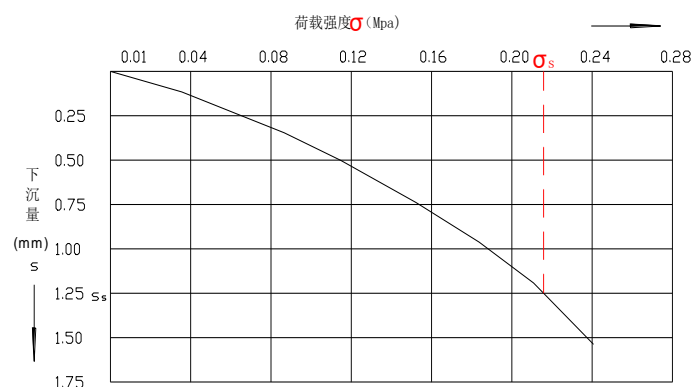


图 E.4.1 荷载强度-下沉量 ( $\sigma-s$ ) 关系曲线

**E.4.2** 地基系数应按下式计算确定：

$$K_{30} = \sigma_s / s_s \quad (\text{E.4.2})$$

式中： $K_{30}$ ——由直径 30cm 的圆形承压板测得的地基系数 (MPa/m)，精确至 1MPa/m；

$\sigma_s$ ——荷载强度-下沉量 ( $\sigma-s$ ) 关系曲线中下沉量基准值对应的荷载强度 (MPa)；

$s_s$ ——下沉量基准值，取  $1.25 \times 10^{-3} \text{m}$ 。

**E.4.3** 确定二次变形模量时，应根据试验结果绘制应力—沉降曲线 (图 E.4.3)，曲线上应用箭头标明受力方向。

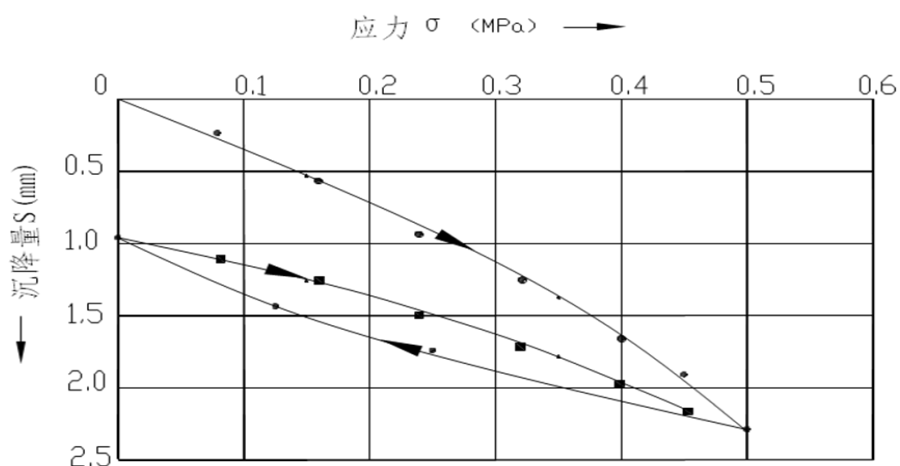


图 E.4.3 二次模量试验的应力-沉降曲线

**E.4.4** 二次变形模量的确定应符合下列规定：

**1** 数据处理应采用二次曲线方程式，对第二次加载所得到的应力—沉降曲线进行拟合，方程式中的系数应按最小二乘法由下式拟合确定：

$$s = a_0 + a_1 \cdot \sigma + a_2 \cdot \sigma^2 \quad (\text{E.4.4-1})$$

式中： $\sigma$ ——承载板下应力（MPa）；

$s$ ——承载板沉降量（mm）；

$a_0$ ——常数项（mm）；

$a_1$ ——一次项系数（mm/MPa）；

$a_2$ ——二次项系数（mm/MPa<sup>2</sup>）；

**2** 二次变形模量（ $E_{V2}$ ），应由第二循环的应力—沉降量曲线在 $0.3\sigma_{\max}$ 和 $0.7\sigma_{\max}$ 之间的曲线割线斜率确定，可按下式计算：

$$E_{V2} = 1.5r \frac{1}{a_1 + a_2 \sigma_{\max}} \quad (\text{E.4.4-2})$$

式中： $E_{V2}$ ——为二次变形模量（MPa）；

$\sigma_{\max}$ ——为第一次加载的最大荷载强度（Mpa）；

$r$ ——承压板半径（mm）；

**3** 二次变形模量（ $E_{V2}$ ），也可由应力—沉降量曲线上 $0.5\sigma_{\max}$ 对应的斜率倒数来确定，可按下式计算：

$$E_{V2} = 0.6\sigma_{\max} \cdot r / (s_2 - s_1) \quad (\text{E.4.4-3})$$

式中： $s_1$ ——为第二次加载时， $0.3\sigma_{\max}$ 所对应的沉降量（mm）；

$s_2$ ——为第二次加载时， $0.7\sigma_{\max}$ 所对应的沉降量（mm）。

# 附录 F 地基动态变形模量试验

## F.1 一般规定

**F.1.1** 地基动态变形模量（ $E_{vd}$ ）试验是测量在自由落锤冲击载荷作用下，直径为 30cm 承压板的竖向动态位移量，据此计算土体动态变形模量的试验方法。

**F.1.2** 地基动态变形模量试验适用于各类土和土石混合填料，其最大粒径不宜大于承压板直径的 1/4，测试有效深度约为承压板直径的 2 倍。

## F.2 仪器设备及其安装

**F.2.1** 地基动态变形模量试验仪器设备应由自由落锤冲击荷载装置、荷载板、测试仪三部分组成（图 F.2.1）。

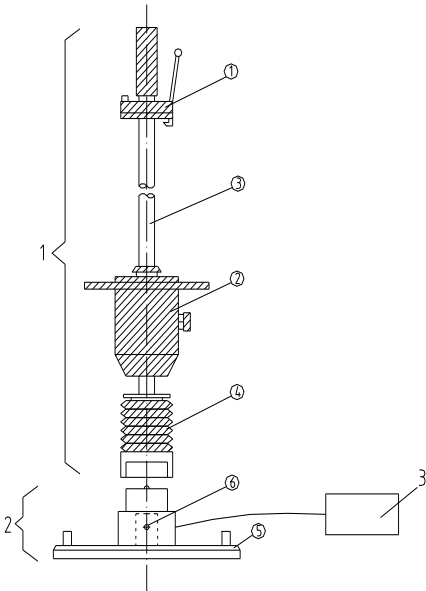


图 F.2.1 动态变形模量测试仪

1—自由落锤冲击荷载装置（①挂（脱）钩装置；②落锤；③导向杆；④阻尼装置）；

2—荷载板（⑤圆形钢板；⑥传感器）；3—测试仪

**F.2.2** 自由落锤冲击荷载装置应由挂（脱）钩装置、落锤、导向杆、阻尼装置等部分构成。落锤锤重应为 10kg，自由落锤冲击在一个圆形弹簧设备上，自由落锤产生的冲击脉冲应符合下列规定：

- 1 最大冲击力应为  $(7.07 \pm 0.07)$  kN；
- 2 冲击力持续时间（脉冲宽度）应为  $(18 \pm 2)$  ms；
- 3 导向杆应保持垂直、光洁。



**F.2.3** 荷载板应由承压板和传感器构成。承压板应为直径 300mm、厚度 20mm 的圆形钢板；传感器应牢固安装在承压板的中心位置上。

**F.2.4** 测试仪应具有信号采集、显示、存储和数据处理功能，仪器设备性能应符合下列规定：

- 1 竖向动位移测试范围应为  $(0.1 \pm 0.02) \text{ mm} \sim (10.0 \pm 0.02) \text{ mm}$ ；
- 2 动态变形模量测试范围应为 10MPa~225MPa。

**F.2.5** 试验前，地基动态变形模量试验仪器设备应进行标定，标定时承压板应放置在刚性基础上。

**F.2.6** 地基动态变形模量试验的试验场地及环境条件应符合下列规定：

- 1 承压板应水平放置，其倾斜度不应大于 5°；
- 2 承压板下地基表面应平整无坑洞。当粗粒土或混合料造成的表面凹凸不平，可用少量细中砂来补平；
- 3 试验时、应避免外界震源对检测结果的影响。

### **F.3 现场操作**

**F.3.1** 现场测试步骤应符合下列规定：

- 1 放置荷载板，安装导向杆且导向杆应保持垂直。
- 2 将落锤提升至挂（脱）钩装置上挂住，然后使落锤脱钩并自由落下，当落锤弹回后将其抓住并挂在挂（脱）钩装置上。按此操作进行三次预冲击。
- 3 三次预冲击完成后，开启测试仪开始正式测试。正式测试按本条第2款的方式进行三次冲击测试，测试仪采集三次数据作为正式测试记录，测试时应避免荷载板的移动和跳跃。

**F.3.2** 测试时，应记录每个测点的工程名称、检测部位、试验时间、土的种类、含水率以及相关的参数。地基动态变形模量试验数据可按本规范表 A.0.15 的格式记录。

### **F.4 检测数据分析与判定**

**F.4.1** 试验数据的整理应符合下列规定：

- 1 取三次冲击测得的最大动态位移值的平均值  $s$ ，作为该检测点的测试值；
- 2 在试验记录表格中应附有打印的实测结果及实测  $s-t$ （动位移-时间）曲线。

**F.4.2** 地基动态变形模量应按下列公式计算确定：

$$E_{vd}=1.5r\sigma/s \quad (\text{F.4.2-1})$$

式中： $E_{vd}$ ——动态变形模量（MPa），精确至 0.1MPa；

$r$ ——承压板半径（mm），取 150mm；

$\sigma$ ——承压板下的最大动应力幅值， $\sigma=0.1\text{Mpa}$ ，由冲击力幅值  $F_s=7.07\text{kN}$  除以承压板面积算出；

$s$ ——三次冲击测得的最大动态位移值的平均值（mm）。

## 附录 G 混凝土桩桩头处理

- G.0.1** 混凝土桩应凿掉桩顶部的破碎层以及软弱或不密实的混凝土。
- G.0.2** 桩头顶面应平整，桩头中轴线与桩身上部的中轴线应重合。
- G.0.3** 桩头主筋应全部直通至桩顶混凝土保护层之下，各主筋应在同一高度上。
- G.0.4** 距桩顶 1 倍桩径范围内，宜用厚度为 3mm~5mm 的钢板围裹或距桩顶 1.5 倍桩径范围内设置箍筋，间距不宜大于 100mm。桩顶应设置钢筋网片 1 层~2 层，间距 60mm~100mm。
- G.0.5** 桩头混凝土强度等级宜比桩身混凝土提高1级~2级，且不得低于C30。
- G.0.6** 高应变法检测的桩头测点处截面尺寸应与原桩身截面尺寸相同。
- G.0.7** 单桩抗压静载试验的预应力管桩宜进行填芯处理。
- G.0.8** 桩顶应用水平尺找平。

## 附录 H 高应变法传感器安装

**H.0.1** 高应变法检测时的冲击响应可采用对称安装在桩顶下桩侧表面的加速度传感器测量；冲击力可按下列方式测量：

- 1 采用对称安装在桩顶下桩侧表面的应变传感器测量测点处的应变，并将应变换算成冲击力；
- 2 在自由落锤锤体顶面下对称安装加速度传感器直接测量冲击力。

**H.0.2** 在桩顶下桩侧表面安装应变传感器和加速度传感器（图 H.0.2）时，应符合下列规定：

- 1 应变传感器和加速度传感器，宜分别对称安装在距桩顶不小于 $2d$ 或 $2B$ 的桩侧表面处；对于大直径桩，传感器与桩顶之间的距离可适当减小，但不得小于 $1d$ ；传感器安装面处的材质和截面尺寸应与原桩身相同，传感器不得安装在截面突变处附近；

- 2 应变传感器与加速度传感器的中心应位于同一水平线上；同侧的应变传感器和加速度传感器间的水平距离不宜大于 $80\text{mm}$ ；

- 3 各传感器的安装面材质应均匀、密实、平整；当传感器的安装面不平整时，可采用磨光机将其磨平；

- 4 安装传感器的螺栓钻孔应与桩侧表面垂直；传感器的敏感轴应与桩中心轴平行；安装完毕后的传感器应紧贴桩身表面，锤击时传感器不得产生滑动；

- 5 安装应变式传感器时，应对其初始应变值进行监视；安装后的传感器初始应变值不应过大，锤击时传感器的可测轴向变形余量的绝对值应符合下列规定：

- 1) 混凝土桩不得小于  $1000\mu\epsilon$ ；
- 2) 钢桩不得小于  $1500\mu\epsilon$ 。

**H.0.3** 自由落锤锤体上安装加速度传感器（图 H.0.2）时，除应符合本规范第 H.0.2 条的有关规定外，尚应保证安装在桩侧表面的加速度传感器距桩顶的距离，不小于下列数值中的较大者：

- 1  $0.4H_r$ ；
- 2  $1d$  或  $1B$ 。

**H.0.4** 当连续锤击监测时，应将传感器连接电缆有效固定。

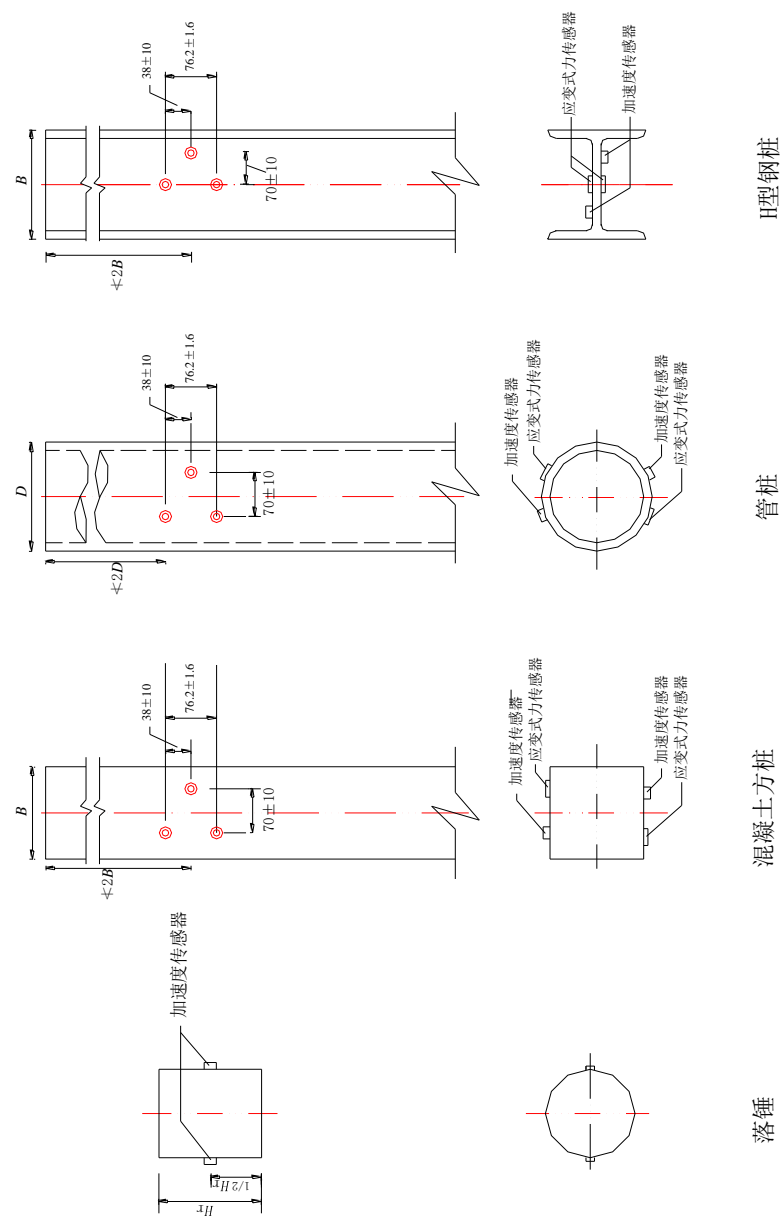


图 H.0.2 传感器安装示意图 (单位: mm)

## 附录 J 高应变法试打桩与打桩监控

### J.1 试打桩

**J.1.1** 为选择工程桩的桩型、桩长和桩端持力层进行试打桩时，应符合下列规定：

- 1 试打桩位置的工程地质条件应具有代表性；
- 2 试打桩过程中，应按桩端进入的土层逐一进行测试；当持力层较厚时，应在同一土层中进行多次测试。

**J.1.2** 桩端持力层应根据试打桩结果的承载力与贯入度关系，结合场地岩土工程勘察报告综合判定。

**J.1.3** 采用试打桩预估桩的承载力应符合下列规定：

- 1 应通过试打桩复打试验确定桩的承载力恢复系数；
- 2 复打至初打的间歇时间应符合本规范第 3.3.3 条的规定；
- 3 试打桩数量不应少于 3 根。

### J.2 桩身锤击应力监测

**J.2.1** 桩身锤击应力监测应符合下列规定：

- 1 被监测桩的桩型、材质应与工程桩相同；施打机械的锤型、落距和垫层材料及状况应与工程桩施工时相同；
- 2 应包括桩身锤击拉应力和锤击压应力两部分。

**J.2.2** 为测得桩身锤击应力最大值，监测时应符合下列规定：

- 1 桩身锤击拉应力宜在预计桩端进入软土层或桩端穿过硬土层进入软夹层时测试；
- 2 桩身锤击压应力宜在桩端进入硬土层或桩周土阻力较大时测试。

**J.2.3** 传感器安装点以下深度的桩身锤击拉应力应按下列公式计算：

$$\sigma_t = \frac{1}{2A} \left[ F(t_1 + \frac{2L}{c}) - Z \cdot V(t_1 + \frac{2L}{c}) + F(t_1 + \frac{2L-2x}{c}) + Z \cdot V(t_1 + \frac{2L-2x}{c}) \right] \quad (\text{J.2.3})$$

式中： $\sigma_t$ ——深度  $x$  处的桩身锤击拉应力（kPa）；

$x$ ——传感器安装点至计算点的深度 (m);

$A$ ——桩身截面面积 (m<sup>2</sup>)。

**J.2.4** 最大桩身锤击拉应力出现的深度, 应与式 (J.2.3) 确定的最大桩身锤击拉应力相对应。

**J.2.5** 最大桩身锤击压应力可按下式计算:

$$\sigma_p = \frac{F_{\max}}{A} \quad (\text{J.2.5})$$

式中:  $\sigma_p$ ——最大桩身锤击压应力 (kPa);

$F_{\max}$ ——实测的最大锤击力 (kN)。

当打桩过程中突然出现贯入度骤减甚至拒锤时, 应考虑与桩端接触的硬层对桩身锤击压应力的放大作用。

**J.2.6** 桩身最大锤击应力控制值应符合行业现行标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定。

### **J.3 锤击能量监测**

**J.3.1** 桩锤实际传递给桩的能量应按下式计算:

$$E_n = \int_0^{t_e} F \cdot V \cdot dt \quad (\text{J.3.1})$$

式中:  $E_n$ ——桩锤实际传递给桩的能量 (kJ);

$t_e$ ——采样结束的时刻 (s)。

**J.3.2** 桩锤最大动能宜通过测定锤芯最大运动速度确定。

**J.3.3** 桩锤传递比应按桩锤实际传递给桩的能量与桩锤额定能量的比值确定; 桩锤效率应按实测的桩锤最大动能与桩锤的额定能量的比值确定。

## 附录 K 孔内摄像法

### K.1 一般规定

**K.1.1** 本方法适用于有竖向钻芯孔的灌注桩质量检测，判别灌注桩桩身缺陷，确定沉渣厚度，鉴别桩端持力层岩土性状。

**K.1.2** 预应力管桩孔内摄像法可按本方法执行。

### K.2 仪器设备

**K.2.1** 孔内摄像检测系统应包括孔内摄像头、信号采集仪、深度测量装置、连接电缆、图像分析软件，并宜配置扶正器。

**K.2.2** 孔内摄像头应符合下列规定：

- 1 应采用宽视角 360° 全景彩色摄像头，成像分辨率不应低于 100 万像素，可使用高清摄像头；
- 2 应自带光源，亮度应连续可调，应满足检测的照度需求；
- 3 应具有方位角识别记录功能；
- 4 水密性应满足 1MPa 水压不渗水。

**K.2.3** 信号采集仪应符合下列规定：

- 1 应能实时采集、存储摄像头传输的图像及视频数据；
- 2 记录的图像及视频数据应有深度标识和方位角信息；
- 3 采集系统仪应具有显示和播放功能。

**K.2.4** 图像和视频标识深度与实际深度的偏差值不应大于总测试深度的 0.5%。

**K.2.5** 连接电缆应符合下列规定：

- 1 电缆线应具备\*信号传输指标\*；
- 2 电缆线应具有用于校正深度的深度标识，深度标识的间距不应大于 50cm；
- 3 电缆线应具备足够的抗拉强度或配置辅助钢丝线，确保正常测试时不产生较大变形；
- 4 电缆线的水密性应符合本规范第 K.2.2 第 4 款的规定。

**K.2.6** 图像分析软件应符合下列规定：

- 1 应具备图像分析、描述、编辑、转换输出及打印等功能；
- 2 应具备几何尺寸和角度的量测功能，分辨率不宜小于 1mm，角度分辨率



不宜小于1°；

3 应具有深度修正及方位角修正功能；

4 在图像分析处理过程中，应保证源文件数据的完整性。

### **K.3 现场检测**

**K.3.1** 检测前，应对仪器设备进行检查调试。当需要定量确定缺陷大小时，应对测试系统进行标定。

**K.3.2** 检测前，应使用清水对钻芯孔进行清理，清理范围应满足检测深度的要求，并且应该保证孔内成像环境清晰。

**K.3.3** 摄像头光源亮度应合理确定，在同一孔检测过程中，摄像头光源亮度宜保持不变。

**K.3.4** 检测过程中摄像头应平稳、匀速移动，采集的图像及视频数据应清晰、连续完整。

**K.3.5** 对可能的缺陷位置应放慢摄像头移动速度进行重点拍摄。

**K.3.6** 当图像和视频清晰度不满足检测要求时，应查找原因、重新检测。

**K.3.7** 若按本规范第 K.3.2 条的规定进行反复清孔，受检桩中下部图像和视频清晰度仍不满足检测要求时，应及时记录相关情况。

### **K.4 检测数据分析与判定**

**K.4.1** 孔内摄像法检测数据分析与判定应符合本规范第 13.6.6 条的规定。

**K.4.2** 当需要量测桩底沉渣厚度、孔洞和缝隙等缺陷几何尺寸时，确定缺陷几何尺寸应符合下列规定：

1 应将360°图像展开为二维平面图像。

2 将缺陷区域划分为10×10等间距网格，等间距量测缺陷水平尺寸和竖向尺寸各10个数（图K.4.2），舍去4个较小读数，取剩余6个值的平均值分别作为缺陷水平尺寸和竖向尺寸值；精确至0.1mm。

3 缺陷的方位角可用水平夹角表示，精确至1°。

图 K.4.2 图名

**K.4.3** 当上部图像和视频清晰度满足检测要求而下部图像和视频清晰度不满足

检测要求时，宜仅对有效测试深度范围进行评价。

**K.4.4** 当出现本规范第 K.3.6 条的情况，图像和视频清晰度不满足检测要求时，不得提供检测结果。

**K.4.5** 当出现本规范第 K.3.7 条的情况，可结合钻芯法检测结果，判定受检桩桩身完整性为Ⅲ类或Ⅳ类。

**K.4.6** 检测报告除应包括本规范第 3.3.7 条内容以外，尚应包括：

- 1 符合本规范第 K.4.2 条规定的判定受检桩桩身完整性类别的缺陷典型图片；
- 2 受检桩的桩号、钻芯孔号；
- 3 检测方法，检测仪器设备，检测过程叙述；
- 4 检测结果描述。

## 附录 L 芯样试件加工和测量

**L.0.1** 芯样加工时应将芯样固定，锯切平面垂直于芯样轴线。锯切过程中应淋水冷却金刚石圆锯片。

**L.0.2** 锯切后的芯样试件，当试件不能满足平整度及垂直度要求时，应选用以下方法进行端面加工：

1 在磨平机上磨平；

2 用水泥砂浆、水泥净浆、硫磺胶泥或硫磺等材料在专用补平装置上补平；水泥砂浆或水泥净浆的补平厚度不宜大于5mm，硫磺胶泥或硫磺的补平厚度不宜大于1.5mm。

**L.0.3** 补平层应与芯样结合牢固，受压时补平层与芯样的结合面不得提前破坏。

**L.0.4** 试验前，应对芯样试件的几何尺寸做下列测量：

1 平均直径：在相互垂直的两个位置上，用游标卡尺测量芯样表观直径偏小的部位的直径，取其两次测量的算术平均值，精确至0.5mm；

2 芯样高度：用钢卷尺或钢板尺进行测量，精确至1mm；

3 垂直度：用游标量角器测量两个端面与母线的夹角，精确至0.1°；

4 平整度：用钢板尺或角尺紧靠在芯样端面上，一面转动钢板尺，一面用塞尺测量与芯样端面之间的缝隙。

**L.0.5** 芯样试件出现下列情况时，不得用作抗压强度试验：

1 混凝土芯样试件高度小于 $0.95d$ 或大于 $1.05d$ 时（ $d$ 为芯样试件平均直径）；

2 岩石芯样试件高度小于 $2.0d$ 或大于 $2.5d$ 时；

3 沿试件高度任一直径与平均直径相差达2mm以上时；

4 试件端面的不平整度在100mm长度内超过0.1mm时；

5 试件端面与轴线的不垂直度超过2°时；

6 表观混凝土粗骨料最大粒径大于芯样试件平均直径0.5倍时。

## 附录 M 补偿荷载整体张拉方法

**M.0.1** 本方法可用于荷载分散型锚杆，为实现在最大试验荷载状态下各组单元锚杆理论荷载相等，而进行的各组单元锚杆的差异荷载补偿张拉，包括补偿荷载计算、补偿荷载张拉步骤和补偿荷载张拉管理。

**M.0.2** 由  $n$  组单元锚杆组成的荷载分散型锚杆，补偿荷载整体张拉应从最长（第一组）单元锚杆开始，依次分别对各组单元锚杆进行差异荷载张拉。

**M.0.3** 第  $k$  组单元锚杆安装工具锚夹片前，对第  $1\sim(k-1)$  组单元锚杆施加的第  $k$  级补偿荷载值（ $\Delta Q_k$ ），可按下列公式计算：

压力型锚杆：

$$\Delta Q_k = \sum_{i=1}^k \left( \frac{L_{tfi} - L_{tfk}}{L_{tfi}} \right) \bar{Q} \quad (\text{M.0.3-1})$$

$$\bar{Q} = \frac{Q_{\max}}{n} \quad (\text{M.0.3-2})$$

拉力型锚杆：

$$\Delta Q_k = \sum_{i=1}^k \left( \frac{L_{tfi} - L_{tfk}}{L_{tfi} + L_{tbi}/2} \right) \bar{Q} \quad (\text{M.0.3-3})$$

式中： $\Delta Q_k$ ——第  $k$  组单元锚杆安装工具锚夹片前，对第  $1\sim(k-1)$  组单元锚杆施加的第  $k$  级补偿荷载值（kN）； $k=1, 2, \dots, n$ ，且当  $k=1$  时，取  $\Delta Q_1=0\text{kN}$ ；

$L_{tfi}$ ——第  $i$  组单元锚杆的杆体自由段长度（m）；

$L_{tbi}$ ——第  $i$  组单元锚杆的杆体粘结段长度（m）；

$\bar{Q}$ ——最大试验荷载状态下各单元锚杆的理论荷载（kN）；

$Q_{\max}$ ——最大试验荷载（kN）；

$n$ ——荷载分散型锚杆的单元锚杆组数。

**M.0.4** 补偿荷载张拉的实施步骤应符合下列规定：

- 1 第1级补偿张拉荷载（ $\Delta Q_1=0$ ），安装第一组单元锚杆工具锚夹片；
- 2 第一组单元锚杆张拉至第2级补偿张拉荷载（ $\Delta Q_2$ ），安装第二组单元锚杆工具锚夹片；
- 3 第1~2组单元锚杆共同张拉至第3级补偿张拉荷载（ $\Delta Q_3$ ），安装第三组

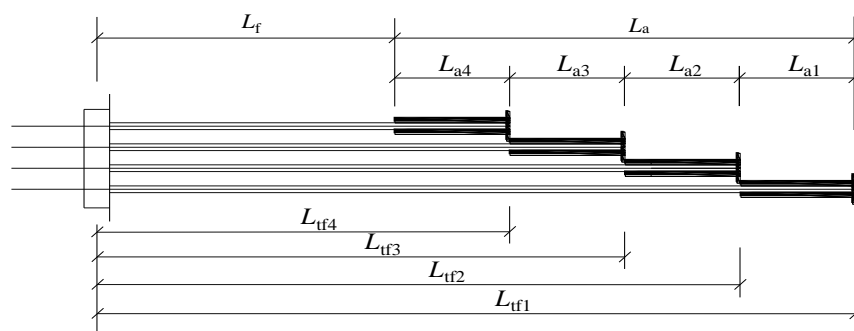
单元锚杆工具夹片；

4 第1~3组单元锚杆共同张拉至第4级补偿张拉荷载 ( $\Delta Q_4$ )，安装第四组单元锚杆工具夹片；

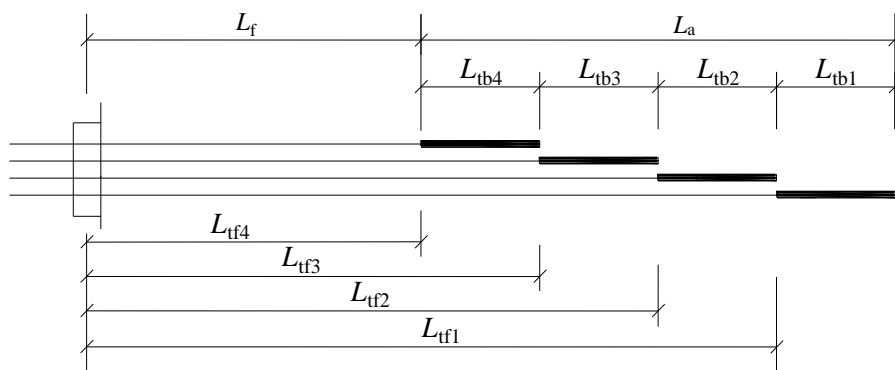
5 依次将第1~( $n-1$ )组单元锚杆共同张拉至第 $n$ 级补偿张拉荷载 ( $\Delta Q_n$ )，安装第 $n$ 组单元锚杆工具夹片；

6 将1~ $n$ 组单元锚杆整体张拉至初始荷载 ( $Q_0$ )。

**M.0.5** 由四组单元锚杆组成的荷载分散型锚杆 (图 M.0.5-1)，可按图 M.0.5-2 的规定进行补偿荷载张拉管理。



(a) 压力型



(b) 拉力型

图 M.0.5-1 荷载分散型锚杆示意图

$L_f$ —锚杆自由段长度； $L_a$ —锚杆锚固段长度；

$L_{tfi}$ —第  $i$  单元锚杆杆体自由段长度； $L_{tbi}$ —第  $i$  单元锚杆杆体粘结段长度

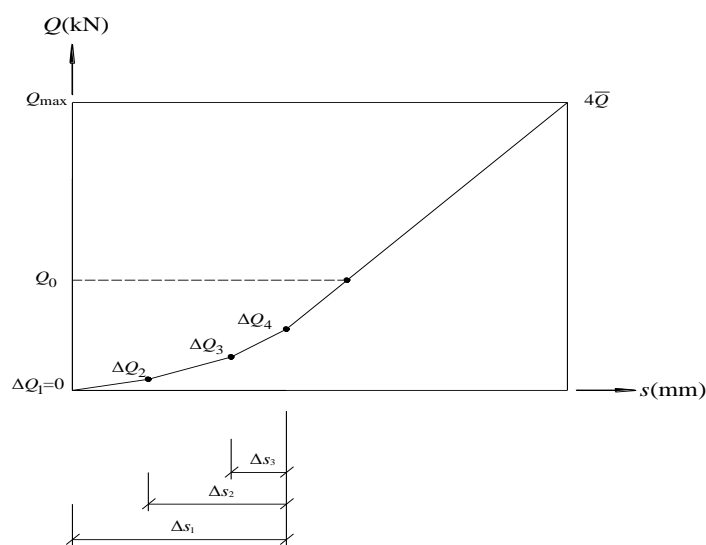


图 M.0.5-2 荷载分散型锚杆张拉管理示意图

$Q_{\max}$ —锚杆的最大试验荷载； $Q_0$ —锚杆的初始荷载；

$\bar{Q}$ —最大试验荷载状态下各单元锚杆的理论荷载；

$\Delta Q_k$ —第  $k$  ( $k=1\sim 4$ ) 级补偿张拉荷载； $\Delta s_k$ —第  $k$  ( $k=1\sim 3$ ) 组单元锚杆的差异伸长量。

**M.0.6** 按本规范第 M.0.3 条和第 M.0.4 条的规定进行补偿荷载张拉，且整体张拉至锚杆初始试验荷载时，其单元锚杆初始荷载可按下列公式计算：

1 拉力分散型锚杆：

$$Q_{0i} = \left( \frac{L_{tfi} - L_{tfn}}{L_{tfi} + L_{tbi} / 2} \right) \bar{Q} + \frac{Q_0 - \Delta Q_n}{\sum_{k=1}^n \frac{L_{tfi} + 1/2 L_{tbi}}{L_{tfk} + 1/2 L_{tbk}}} \quad (\text{M.0.6-1})$$

2 压力分散型锚杆：

$$Q_{0i} = \left( \frac{L_{tfi} - L_{tfn}}{L_{tfi}} \right) \bar{Q} + \frac{Q_0 - \Delta Q_n}{\sum_{k=1}^n \frac{L_{tfi}}{L_{tfk}}} \quad (\text{M.0.6-2})$$

式中： $Q_{0i}$ ——第  $i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) 组单元锚杆的初始荷载 (kN)。

**M.0.7** 本规范第 M.0.3 条和第 M.0.6 条确定的补偿张拉荷载值和单元锚杆初始荷载值，适用于由锚固段长度相同、设计荷载相同、杆体面积相同的  $n$  组单元锚杆组成的荷载分散型锚杆；当各组单元锚杆的设计参数不同时，补偿张拉荷载值和单元锚杆初始荷载值的计算方法应按本规范第 M.0.1 条的原则确定。

**M.0.8** 荷载分散型锚杆补偿荷载张拉测试数据可按表 A.0.16 的格式进行记录。

## 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，非这样做不可的用词：

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用词：

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，首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 本规范中指明应按其他有关标准、规范执行的写法为“应符合……要求或规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

- 1 《建筑抗震设计规范》 GB 50011
- 2 《建筑地基基础设计规范》 GB50007
- 3 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》 GB50202
- 4 《普通混凝土力学性能试验方法标准》 GB / T 50081
- 5 《工程岩体试验方法规范》 GB / T 50233
- 6 《土工试验方法标准》 GB/T 50123
- 7 《混凝土结构设计规范》 GB 50010
- 8 《建筑桩基技术规范》 JGJ94
- 9 《建筑地基处理技术规范》 JGJ79
- 10 《建筑基桩检测技术规范》 JGJ106
- 11 《建筑地基检测技术规范》 JGJ340
- 12 《锚杆检测与监测技术规程》 JGJ/T401



## 附：条文说明