ICS XX.XXX
CCS P 30

DB24

黑 龙 江 省 地 方 标 准

DB23/T XXXX —2024

黑龙江省建筑地基基础检测技术标准

Technical Standard for Building Foundation Testing in Heilongjiang Province

（征求意见稿）

联系人：李超

地址：黑龙江省哈尔滨市南岗区清滨路 60 号

邮编：150080

电话：13704887770

邮箱：hdydjjc2023@163.com

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上

2024-XX-XX 发布　　2024-XX-XX 实施

黑 龙 江 省 市 场 监 督 管 理 局　发布

目　　次

目　　次 I
前　　言 IV
引　　言 V
1 范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和符号 1
3.1 术语 1
3.2 符号 5
4 基本规定 7
4.1 一般规定 7
4.2 地基检测 9
4.3 基桩与基础锚杆检测 11
4.4 支护工程检测 14
4.5 验证检测与扩大检测 14
4.6 检测结果评价和检测报告 15
5 平板载荷试验 16
5.1 一般规定 16
5.2 仪器设备及其安装 16
5.3 现场检测 17
5.4 检测数据分析与判定 18
6 岩石地基载荷试验 20
6.1 一般规定 20
6.2 仪器设备及其安装 20
6.3 现场检测 20
6.4 检测数据分析与判定 21
7 多年冻土地基静载荷试验要点 22
7.1 一般规定 22
7.2 仪器设备及其安装 22
7.3 现场检测 22
7.4 检测数据分析与判定 22
8 标准贯入试验 23
8.1 一般规定 23
8.2 设备 23
8.3 现场检测 23
8.4 检测数据分析与判定 24
9 圆锥动力触探试验 26
9.1 一般规定 26
9.2 设备 26
9.3 现场检测 26
9.4 检测数据分析与判定 27
10 静力触探试验 28
10.1 一般规定 28
10.2 仪器设备 28

10.3 现场检测 29
10.4 检测数据分析与判定 30
11 多道瞬态面波试验 31
11.1 一般规定 31
11.2 仪器设备 31
11.3 现场检测 32
11.4 检测数据分析与判定 32
12 单桩竖向抗压静载试验 33
12.1 一般规定 33
12.2 仪器设备及其安装 33
12.3 现场检测 34
12.4 检测数据分析与判定 35
13 单桩竖向抗拔静载试验 36
13.1 一般规定 36
13.2 仪器设备及其安装 36
13.3 现场检测 36
13.4 检测数据分析与判定 37
14 自平衡静载试验 37
14.1 一般规定 37
14.2 仪器设备 38
14.3 现场检测 40
14.4 检测结果评价及检测报告 42
15 单桩水平静载试验 43
15.1 一般规定 43
15.2 仪器设备及其安装 44
15.3 现场检测 44
15.4 检测数据分析与判定 44
16 低应变法 46
16.1 一般规定 46
16.2 仪器设备及其安装 46
16.3 现场检测 46
16.4 检测数据分析与判定 47
17 钻芯法 47
17.1 一般规定 47
17.2 设备 48
17.3 现场操作 48
17.4 芯样试件截取与加工 50
17.5 芯样试件抗压强度试验 50
17.6 检测数据分析与判定 51
18 低应变法 54
18.1 一般规定 54
18.2 仪器设备 54
18.3 现场检测 54
18.4 检测数据分析与判定 55

19 高应变法 58
19.1 一般规定 58
19.2 仪器设备 58
19.3 现场检测 58
19.4 检测数据分析与判定 59
20 声波透射法 62
20.1 一般规定 62
20.2 仪器设备 62
20.3 声测管埋设 63
20.4 现场检测 64
20.5 检测数据分析与判定 66
21 抗浮锚杆验收试验 71
21.1 一般规定 71
21.2 仪器设备及其安装 71
21.3 现场检测 71
21.4 预应力锚杆现场检测 72
21.5 预应力锚杆锁定值现场检测 72
21.6 检测数据分析与判定 73
22 支护锚杆与土钉验收试验 73
22.1 一般规定 73
22.2 仪器设备及其安装 73
22.3 现场检测 75
22.4 检测数据分析与判定 77
23 锚杆锁定力测试 79
23.1 一般规定 79
23.2 仪器设备及其安装 79
23.3 现场操作 80
23.4 测试数据分析与判定 81
附录 A 建筑地基基础检测记录表格 83
附录 B 地基系数 93
附录 C 地基试验数据统计方法 95
附录 D 圆锥动力触探试验锤击数修正 96
附录 E 静力触探头率定 98
附录 F 桩身内力测试 99
附录 G 等效转换方法 102
附录 H 孔内摄像法 104
附录 J 芯样试件加工和测量 105
附录 K 高应变法传感器安装 106
附录 L 荷载分散性锚杆补偿荷载整体张拉方法 108
附录 M 混凝土桩桩头处理 110

前　　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由黑龙江省住房和城乡建设厅提出并归口，由黑龙江省寒地建筑科学研究院负责具体技术内容的解释。

本文件起草单位：黑龙江省寒地建筑科学研究院，黑龙江省寒地工程质量检测中心

本文件主要起草人：

引　　言

为贯彻落实、推广国家建筑地基基础检测的相关法规政策，规范建筑地基基础检测方法，保证黑龙江省建筑地基基础工程质量，制定本标准。

黑龙江省建筑地基基础检测技术标准

1 范围

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、市政工程地基基础检测方法，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，制定本标准。

本标准适用于黑龙江省建筑、市政地基基础工程验收检测；用于其他目的或其他行业的地基基础检测方法也可按照本标准执行。

建筑及市政工程地基基础检测应根据各种检测方法的特点和适用范围，综合考虑地基基础设计要求、施工工艺和施工质量可靠性、场地地质条件、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，正确判定检测结果。

建筑地基基础检测除应执行本标准外，尚应符合国家和黑龙江省现行有关标准的规定。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 50007	建筑地基基础设计规范
GB 50011	建筑抗震设计规范
GB 50300	建筑工程施工质量验收统一标准
GB 50202	建筑地基基础工程施工质量验收规范
GB/T 50081	普通混凝土力学性能试验方法标准
GB /T 50123	土工试验方法标准
JGJ 94	建筑基桩技术规范
JGJ 123	既有建筑地基基础加固技术标准
JGJ 118	冻土地区建筑地基基础设计规范
JGJ 79	建筑地基处理技术规范
JGJ 106	建筑基桩检测技术规范
JGJ 340	建筑地基检测技术规范
JGJ/T 401	锚杆检测与监测技术规程
JGJ/T518	基桩动测仪
JGJ/T422	既有建筑地基基础检测技术标准

3 术语和符号

3.1 术语

3.1.1

地基 ground

支承基础的土体或岩体。

3.1.2

天然地基 natural ground

自然形成的、未经人工处理的地基。可分为天然土地基和岩石地基。岩石地基亦可简称岩基。

2.1.3

处理地基 treated subsoil

为提高地基的承载力、改善变形特性或渗透性质，对土体进行人工处理后的地基。本标准将处理地基分为处理土地基和复合地基，处理土地基主要包括换填垫层、预压地基、压实地基、强夯处理地基和注浆加固地基等。

2.1.4

复合地基 composite ground

部分土体被增强，而形成的由地基土和增强体共同承担荷载的人工地基。

2.1.5

基桩 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。当杆体采用钢绞线时，称为钢绞线锚杆，亦可称为锚索；当杆体采用钢筋时，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。

2.1.9

土钉 soil nail

植入土中并注浆形成的承受拉力与剪力的杆件。例如钢筋杆体与注浆固结体形成的钢筋土钉，击入土中的钢管土钉。

2.1.10

荷载分散型锚杆 load-dispersive anchor

在同一个钻孔内，由两组或两组以上单元锚杆组成的复合锚固体系，各组单元锚杆的锚固段是相对独立的，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

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，以确定其承载能力与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，对深层地基通常称为深层（深井）平板载荷试验。

2.1.15

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与变形参数的平板载荷试验，又称为岩基载荷试验。

2.1.16

地基系数试验 test for coefficient of subsoil 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；采用直径 30cm 的圆形承压板测定地基系数的试验，也称为 K30 平板载荷试验。

2.1.17

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

在复合地基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。

2.1.18

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。

2.1.19

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。

2.1.20

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。

2.1.21

钻芯法 core drilling method

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

2.1.22

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。

2.1.23

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。

2.1.24

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。

2.1.25

持有荷载试验 load retention test

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。

2.1.26

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。

2.1.27

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。

2.1.28

桩身缺陷 pile defects

桩身断裂、裂缝、缩颈、夹泥（杂物）、空洞、蜂窝、松散等现象的统称。

2.1.29

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。

2.1.30

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。

2.1.31

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。

2.1.32

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

通过验收试验确定的锚杆抗拔承载力。

2.1.33

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。

2.1.34

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。

2.1.35

自平衡静载试验 self-balanced static loading test

在桩身中预埋静载箱，利用桩身自重，桩侧阻力及桩端阻力互相提供乏力的试验方法。

2.1.36

平衡点 balanced position

基桩上段桩桩身自重及极限桩侧摩阻力之和与下段桩极限桩侧摩阻力及极限桩端阻力之和基本相等的位置。

2.1.37

荷载箱 load cell

自平衡静载试验中用于施加荷载的加载装置。

2.1.38

等效转换方法 equivalent conversion method

将自平衡静载试验的荷载箱向上、向下的荷载-位移曲线等效转换为相应传统静载试验的荷载-位移曲线的方法。

3.2 符号

3.2.1 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_t ——土的灵敏度；

C_u ——地基土不排水抗剪强度；

$C_u^{'}$ ——地基土重塑土强度；

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；

K_{30} ——由直径 30cm 的圆形承压板测得的地基系数；

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_s ——单桥探头的比贯入阻力；

q_c ——双桥探头的锥尖阻力；

Q_u ——单桩竖向抗压极限承载力、锚杆极限抗拔承载力；

R ——岩石芯样试件单轴抗压强度；

R_a ——单桩竖向抗压承载力特征值；

R_c ——由凯司法判定的单桩竖向抗压承载力；

R_t ——锚杆抗拔承载力特征值；

R_x ——缺陷以上部位土阻力的估计值；

T_y ——锚杆抗拔承载力检测值；

Z ——桩身截面力学阻抗；

v ——桩身混凝土声速、沉降速率；

μ ——岩土泊松比；

ρ ——桩身材料质量密度。

2.2.2 作用于作用效应

F ——锤击力；

H ——单桩水平静载试验中作用于桩身的水平力；

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 ——地基压应力、基础荷载；

P ——锚杆拉力、轴力、荷载，芯样试件抗压试验测得的破坏荷载；

P_0 ——锚杆锁定力；

P_f ——剪损土体的总作用力；

Q ——施加于单桩、地基的竖向荷载，施加于锚杆的轴向荷载；

$\overline{Q}$ ——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_{max}——最大试验荷载；

ΔQk——第 k 组单元锚杆安装工具锚夹片前，对第（1~k-1）组单元锚杆施加的第 k 级补偿张拉荷载值；k=1，2，…，n；

s ——地基沉降量、桩顶沉降、锚杆位移量、基础沉降量、动态位移值；

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 ——水平力作用平面的桩身水平位移；

Δ ——桩顶上拔量、桩底沉渣厚度。

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 ——承压板直径或边宽；

B ——支墩宽度、支座边宽、十字板板宽；

d ——桩身直径（管桩外径）、芯样直径、锚杆钻孔直径；

L ——桩长、锚杆长度、触探杆杆长、观测点之间的距离；

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；

l' ——每检测剖面相应两声测管的外壁间净距离；

x ——传感器安装点至桩身缺陷或桩身某一位置的距离；

z ——测线深度。

2.2.4 计算系数

f_c ——基础相对弯曲；

I ——声测线的完整性函数值；

J_c ——凯司法阻尼系数；

K ——桩身完整性类别指数；

α ——桩的水平变形系数、触探杆长度修正系数、摩阻比、基础倾斜；

β ——高应变法桩身完整性系数；

λ ——样本中不同统计个数对应的系数；

v_y ——桩顶水平位移系数；

ξ ——芯样试件抗压强度换算系数；

ΔL_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；

ΔL_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_c ——声波透射法波幅异常判断的临界值；

A_m ——某一检测剖面声测线波幅平均值；

A_p ——声波波幅；

a ——声波信号首波峰值电压；

a_0 ——零分贝信号峰值电压；

c_m ——桩身波速的平均值；

f ——频率、声波信号主频；

n ——样本数量、桩数、锚杆根数、单元锚杆组数、钢绞线的束数、声测线总数、钻芯检测孔数、测站数；

PSD——声时-深度曲线上相邻两点连线的斜率与声时差的乘积；

T ——信号周期；

t ——时间、声时；

t_1 ——速度第一峰对应的时刻；

t_c ——声时；

v_0 ——声速异常判断值；

v_{01} ——异常小值判断值；

v_{02} ——异常大值判断值；

v_c ——声速异常判断临界值；

v_L ——声速低限值；

Δf ——频域曲线上相邻峰之间的频率差；

Δt ——入射波波峰与反射波波峰之间的时间差。

4 基本规定

4.1 一般规定

4.1.1 建筑及市政地基基础工程检测宜分为地基检测、基桩检测、基础锚杆检测和支护工程检测。建筑及市政地基基础工程检测应按本标准的规定进行质量检测。

4.1.2 检测工作的程序，应按图 1 进行

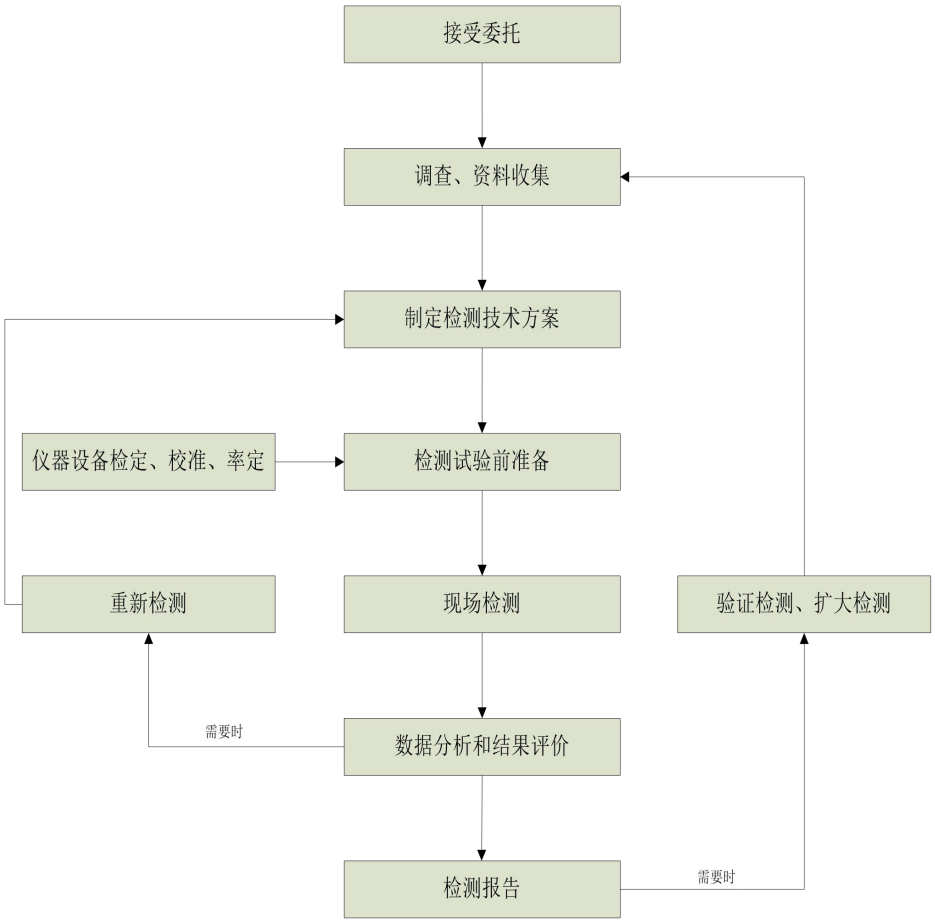


图 1　检测工作流程图

4.1.3　检测前，检测单位应进行资料收集和现场调查。资料收集、调查宜包括下列内容：

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。

4.1.4　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下列内容：

1　工程概况；

2　本标准第 4.1.3 条所规定的内容；

3　相关单位确定的检测方法与检测数量及其检测对象（检测位置），检测对象（检测位置）应利用施工记录编号、平面设计图轴线编号、平面几何坐标等方式进行唯一性标识；

4　检测所依据的规范标准；

5　所需的检测仪器、机械设备和人工配合，试验时间要求；

6　现场安全生产的措施；

7　检测进度计划；

8　桩头及试验点开挖、处理，场地整治，道路修筑，供水供电等要求。

4.1.5　当根据现场试验结果，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，制定检测技术方案。

4.1.6　当通过两种或两种以上检测方法的相互补充、验证，能有效提高检测结果判定的可靠性时，宜选择两种或两种以上的检测方法。

4.1.7　地基基础检测对象或检测位置，应根据下列情况综合确定：

1　当施工场地地质条件变化较大时，局部岩土特性复杂可能影响施工质量的区域；

2 混凝土供应异常、施工设备故障以及气候和环境等原因，施工质量可能偏离正常情况的区域；

3 设计认为重要的部位；

4 外部荷载较大或变形敏感部位；

5 天然地基与处理土地基承载力检测，应根据岩土性状检测结果与地基处理效果确定载荷试验的检测位置；且应对标准贯入试验实测锤击数、圆锥动力触探试验锤击数、静力触探试验比贯入阻力或锥尖阻力、十字板剪切试验不排水抗剪强度等单孔代表值较小的区域进行抽检；

6 复合地基与其增强体承载力检测，应根据复合地基增强体成桩质量或桩身完整性检测结果确定载荷试验的桩号；且应对成桩质量较差的桩或桩身完整性为Ⅲ类的桩进行抽检；

7 工程桩承载力检测宜根据成桩质量或桩身完整性检测结果确定单桩静载试验或高应变法检测的桩号；且应对成桩质量相对较差的桩或桩身完整性为Ⅲ类的桩进行抽检；

8 除符合本条第 1～7 款的规定外，其他检测对象或检测位置宜均匀或随机选择。

4.1.8 地基基础（分部）工程验收检测的检测方法和抽检数量应按单位工程（子单位工程）中的具体分项工程确定。地基基础分项工程的划分除应符合现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 的有关规定外，尚应符合下列规定：

1 同一单位工程，一部分区域采用桩基础，另一部分区域采用天然地基或处理地基时，应划分为若干分项工程；

2 同一单位工程，采用天然地基、处理土地基、复合地基等不同地基类型时，应按地基类型或不同的地基处理方法划分为若干分项工程；

3 同一单位工程，采用不同桩型或不同桩基施工工艺时，应按桩基础类型或不同施工工艺划分为若干分项工程。

4.1.9 地基基础工程检测的抽检数量除应满足本标准 4.1.8 条的规定外，可根据工程具体情况按下列规定作出相应调整：

当配套附属建筑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，可将附属建筑与主体工程合并一起确定抽检数量，且每个附属建筑均应有检测对象或检测位置。

4.1.10 地基基础工程检测的有效抽检数量应根据有效检测结果统计计算，不能完全满足检测目的的检测结果，不应计入地基基础工程检测的抽检数量。

4.1.11 重新检测宜符合下列规定：

1 低应变法和声波透射法宜在原受检桩上重新进行检测；

2 天然地基、处理土地基，宜在原检测位置附近重新选点进行试验；

3 复合地基、桩基、锚杆、地下连续墙等，宜在原检测对象上重新进行检测，也可另选检测对象进行检测。

4.1.12 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 有量值溯源要求的仪器设备应在检定或校准的有效期内；

2 有量值溯源要求的仪器设备应在检测前按相关要求进行率定；

3 检测前，仪器设备应进行检查调试；检测过程中，仪器设备应进行期间核查；

4 有量值溯源要求的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，应采取保证仪器设备正常工作的有效措施。

4.2 地基检测

4.2.1 地基检测应根据地基类型、检测目的、检测方法的适应性、地基的设计要求、地质情况、地基处理工艺等合理选择检测方法，检测技术方案编制可按表 1 选择检测方法。

表 1 地基检测目的与检测方法

检 测 目 的	检测方法
检测天然土地基、处理土地基、复合地基的承载力与变形参数	平板载荷试验

检测岩石地基的承载力与变形参数	岩石地基载荷试验
检测深层地基的承载力与变形参数	平板载荷试验
检测复合地基增强体的单桩、单墩承载力	复合地基单桩载荷试验
推定天然土地基、处理土地基的承载力	标准贯入试验 圆锥动力触探试验 静力触探试验
鉴别天然土地基的岩土性状	标准贯入试验 圆锥动力触探试验 静力触探试验
评价岩石地基的岩体性状	钻芯法
评价处理土地基的施工质量	标准贯入试验 圆锥动力触探试验 静力触探试验 地基系数试验
检测散体材料复合地基增强体密实度	标准贯入试验； 圆锥动力触探试验
检测水泥搅拌桩、旋喷桩的桩身均匀性或完整性	钻芯法； 标准贯入试验； 圆锥动力触探试验
检测水泥粉煤灰碎石桩、素混凝土桩的桩身完整性	低应变法； 钻芯法
检测强夯置换处理地基的墩体质量和着底情况	圆锥动力触探试验
判定砂土、粉土液化	标准贯入试验

4.2.2　地基检测宜先进行天然地基岩土性状、处理土地基与复合地基施工质量检测，后进行地基承载力、增强体单桩承载力检测。

4.2.3　处理土地基和复合地基检测宜在合理休止稳定时间后进行。当无工程实践经验时，稳定时间应符合下列规定：

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

2　有黏性增强体的复合地基承载力宜在施工结束 28d 后进行；

3　强夯置换地基：对于碎石土和砂土地基，稳定时间宜为 7d~14d；粉土和黏性土地基，稳定时间宜为 14d~28d；强夯换置地基，稳定时间宜为 28d；

4　当设计对龄期有明确要求时，应满足设计要求。

4.2.4　天然地基、处理土地基和复合地基的承载力应采用载荷试验进行检测。

4.2.5　岩石地基的检测应符合下列规定：

1　中风化岩、微风化岩，应进行岩石地基载荷试验，抽检数量为每 500m^2 不应少于 1 个点，且总点数不得少于 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，抽检数量为每 500m^2 不应少于 1 个孔，且不得少于 6 个孔；

3　强风化岩、全风化岩地基应按照天然土地基进行检测；

4　复杂场地或重要建筑地基应增加检测数量。

4.2.6　天然土地基与处理土地基应进行平板载荷试验，抽检数量为每 500m^2 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。

4.2.7　天然土地基与处理土地基应进行岩土性状或地基处理效果检测，并应符合下列规定：

1　应根据地基岩土性状或处理土地基类型，选择标准贯入试验、圆锥动力触探试验、静力触探试验等一种或一种以上的方法进行检测；抽检数量为每 200m^2 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；

2　换填垫层/压实（填土）地基每层应进行压实系数试验，抽检数量应按现行行业标准《建筑地基处

理技术规范》JGJ 79 的有关规定执行，试验方法应按现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 的有关规定执行；

3 压实（填土）地基也可选择地基系数试验进行检测；

4 当设计有要求时，应判别砂土、粉土液化状况。

4.2.8 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，散体材料复合地基增强体应进行密实度检验。

4.2.9 复合地基与增强体载荷试验应符合下列规定：

1 散体材料增强体复合地基应进行复合地基平板载荷试验，试验点数量应为总桩数的 1%，且每个单体建筑不得少于 3 点；

2 有粘结强度的增强体复合地基应分别进行复合地基平板载荷试验和单桩载荷试验，试验数量不少于总桩数的 1%，复合地基静载试验数量不少于 3 台（多轴搅拌为 3 组）；

3 当基础设计为多桩型复合地基时，应采用多桩复合地基平板载荷试验；

4 混凝土灌注桩与预制桩复合地基应按本条第 2、3 款的规定执行。

4.2.10 复合地基增强体施工质量的检测应符合下列规定：

1 有粘结强度的复合地基增强体可进行桩身完整性检测，当采用低应变法检测时，检测桩数不应少于总桩数的 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 6 点；

2 散体材料复合地基增强体应进行密实度检测，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 复合地基中的混凝土灌注桩和预制桩应按本标准第 4.3 节的有关规定进行成桩质量检测。

4.2.11 设计有要求时，应对复合地基桩（墩）间土进行抽检，检测方法和抽检数量宜按本标准第 4.2.6、4.2.7 条的规定执行。

4.2.12 强夯置换地基的承载力与均匀性检测应符合下列规定：

1 强夯地基承载力检验的数量，应根据场地复杂程度和建筑物的重要性确定，对于简单场地上的一般建筑，每个建筑地基载荷试验检验点不应少于 3 点；对于复杂场地或重要建筑地基应增加检验点数。检测结果的评价，应考虑夯点和夯间位置的差异。强夯置换地基单墩载荷试验数量不应少于墩点数的 1%，且不少于 3 点；对饱和粉土地基，当处理后墩间土能形成 2.0m 以上厚度的硬层时，其地基承载力可通过现场单墩复合地基静载荷试验确定，检验数量不应少于墩点数的 1%，且每个建筑载荷试验检验点不应少于 3 点。

2 强夯地基均匀性检验，可采用动力触探试验或标准贯入试验、静力触探试验等原位测试，以及室内土工试验。检验点的数量，可根据场地复杂程度和建筑物的重要性确定，对于简单场地上的一般建筑物，按每 400m²不少于 1 个检测点，且不少于 3 点；对于复杂场地或重要建筑地基，每 300m²不少于 1 个检验点，且不少于 3 点。强夯置换地基，可采用超重型或重型动力触探试验等方法，检查置换墩着底情况及承载力与密度随深度的变化，检验数量不应少于墩点数的 3%，且不少于 3 点

4.2.13 地基检测深度应满足设计要求，当选择原位试验（轻型圆锥动力触探除外）与钻芯法进行检测时，尚应符合下列规定：

1 天然地基的检测深度应达到主要受力层深度；

2 处理土地基的检测深度应达到加固深度；

3 复合地基增强体与桩（墩）间土的检测深度应达到增强体底部。

4.2.14 当检测深度未达到本标准 4.2.13 条规定的深度时，检测数量不得计入本标准规定的抽检数量。

4.3 基桩与基础锚杆检测

4.3.1 基桩检测应根据检测目的、检测方法的适应性、桩基的设计要求、地质情况、施工工艺以及场地条件等，按表 2 合理选择检测方法。

表 2 基桩检测目的与检测方法

检 测 目 的	检测方法

检测桩身完整性	低应变法；高应变法 声波透射法 钻芯法 孔内摄像法
判定与鉴别桩底持力层岩土性状	钻芯法 标准贯入试验 圆锥动力触探试验 孔内摄像法
检测桩底持力层桩端阻力	岩石地基载荷试验
	深层平板载荷试验
检测单桩竖向抗压承载力	单桩竖向抗压静载试验 高应变法 自平衡静载试验
检测单桩竖向抗拔承载力	单桩竖向抗拔静载试验
检测单桩水平承载力	单桩水平静载试验

4.3.2　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。

4.3.3　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，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、高应变法或静载试验进行检测时，混凝土灌注桩龄期不得小于 28d 或预留立方体试块强度不得低于设计强度等级；

3　承载力检测休止时间，除应符合本条第 2 款的规定外，桩周土为砂土时休止时间不应少于 7d；粉土不应少于 10d；非饱和黏性土不应少于 15d；饱和黏性土不应少于 25d；桩端持力层为遇水易软化的风化岩层，不应少于 25d；对于泥浆护壁灌注桩，宜延长休止时间。

4.3.4　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。设计对水平承载力有要求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。

4.3.5　混凝土灌注桩的桩身完整性检测应符合下列规定：

1　单位工程抽检桩数不应少于总桩数的 20％，且不得少于 10 根；且当满足下列条件之一时，抽检桩数不应少于总桩数的 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。

2　除符合本条第 1 款的规定外，每个柱下承台抽检桩数不应少于 1 根。

3　对于直径大于 800mm 的端承型混凝土灌注桩，应在本条第 1、2 款规定的抽检桩数范围内，按不少于总桩数 10%的比例采用钻芯法或声波透射法进行检测。

4.3.6　混凝土预制桩的桩身完整性检测应符合下列规定：

1　条件允许时，宜采用孔内摄像法放入管桩内腔对桩身完整性进行检查；

2　采用低应变法时，地基基础设计等级为甲级的桩基工程抽检桩数不应少于总桩数的 30％，其余桩基工程抽检桩数不应少于总桩数的 20％，且不得少于 10 根；

3　当低应变法有效检测深度不满足要求时，尚应采用高应变法进行抽检，抽检桩数不应少于总桩数的 5%，且不得少于 5 根；

4　对已采用孔内摄像法检查桩数超过工程桩总数的20%，或低压灯泡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，可适当减少抽检比例，但不应小于相应规定的抽检比例的 80%。

4.3.7　当同时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。

4.3.8　当采用钻芯法检测长径比大于 30 的混凝土嵌岩灌注桩时，宜采用预埋管钻芯法。

4.3.9　当钻芯法难以准确判定受检桩桩底沉渣厚度或桩身完整性类别时，可同时对该桩进行孔内摄像法检测。

4.3.10　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，抽检桩数不应少于总桩数的 1%，且不得少于 3 根；当总桩数小于 50 根时，抽检桩数不得少于 2 根；

2　采用高应变法时，抽检桩数不应少于总桩数的 5%，且不得少于 5 根；

3　当符合下列条件之一时，混凝土灌注桩的单桩竖向抗压承载力应采用静载试验进行检测：

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。

4　当符合下列条件之一时，混凝土预制桩的单桩竖向抗压承载力应采用静载试验进行检测：

1）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；

2）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）；

3）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；

4）施工过程中产生挤土上浮或偏位的桩基工程；

5）采用"引孔法"施工的桩基工程。

4.3.11　对于直径大于等于 1500mm 的端承型灌注桩，经工程质量各方责任主体共同确认和专家论证，因试验设备能力或现场条件限制，难以进行单桩竖向抗压静载试验检测时，其单桩竖向抗压承载力可采用桩身完整性检测与桩端持力层鉴别相结合的方式进行评定，且桩身完整性检测与桩端持力层鉴别应符合下列规定：

1　检测方法应选择钻芯法、声波透射法、高应变法；

2　抽检桩数应符合本标准第 3.3.5 条的规定，且钻芯法的检测数量不应少于总桩数的 10%，且不得少于 10 根；

当同一单位工程中，仅有部分工程桩为直径大于等于 1500mm 的端承型灌注桩时，应按直径大于等于 1500mm 的端承型灌注桩和其他灌注桩（摩察型灌注桩与直径小于 1500mm 的端承型灌注桩）分别统计工程桩数量，分别制定检测技术方案，且其他灌注桩应执行本标准第 4.3.5 条和 4.3.10 条的规定。

4.3.13　本标准第 4.3.10 条第 3 款、第 4 款规定以外的混凝土灌注桩与混凝土预制桩，可选择单桩竖向抗压静载试验或高应变法进行单桩竖向抗压承载力检测。

4.3.14　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，这类试验桩的桩数的 50%可计入同方法验收抽检数量。

4.3.15　钢桩应采用高应变法进行检测。高应变法抽检桩数不应少于总桩数的 5%，且不得少 5 根；

4.3.16　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；当总桩数小于 50 根时，抽检桩数不得少于 2 根。

4.3.17　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；当总桩数小于 50 根时，抽检桩数不得少于 2 根。

4.3.18　当桩身有明显缺陷，且其对桩身结构承载力的影响程度无法判定时，宜采用静载试验进行单桩承载力抽检。

4.3.19　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 5 根。

4.4 支护工程检测

4.4.1 支护工程检测应根据支护工程类型、检测目的、检测方法的适应性、支护工程的设计要求、施工工艺等，按表 3 合理选择检测方法。

表 3 支护工程检测目的与检测方法关系表

检 测 目 的	检测方法
检测地下连续墙的墙身完整性	钻芯法 声波透射法 孔内摄像法
检测支护桩的桩身完整性	钻芯法 声波透射法 低应变法 孔内摄像法
检测水泥土墙的墙身完整性	钻芯法
检测土钉墙墙面喷射混凝土厚度	钻芯法
判定与鉴别墙底与桩底持力层岩土性状	钻芯法 标准贯入试验 圆锥动力触探试验 孔内摄像法
检测支护锚杆与土钉抗拔承载力检测值与变形参数	支护锚杆与土钉验收试验
检测预应力锚杆锁定力	锁定力测试

4.4.2 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%，且同一岩土层不得少于 5 根。

4.4.3 支护锚杆应进行锁定力测试，抽检数量不应少于锚杆总数的 5%，且同一岩土层不得少于 5 根。

4.4.4 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%，同一土层中的土钉检测数量不得少于 3 根。墙面喷射混凝土应进行厚度检测，厚度平均值不得小于设计值，厚度最小值不得小于设计值的 80%；检测方法可采用钻孔法，抽检数量宜每 500m^2 墙面积一组，每组不少于 3 点。

4.4.5 混凝土灌注支护桩、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；且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。

4.4.6 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。

4.4.7 地下连续墙应进行墙身完整性检测，检测方法可选择声波透射法；检测墙段数量不宜少于同条件下总墙段数的 20%，且不得少于 3 幅，每个检测墙段的预埋超声波管数不应少于 4 个，且宜布置在墙身截面的四边中点处。当根据声波透射法判定的墙身质量不合格时，应采用钻芯法进行验证。

4.4.8 当设计对支护结构有止水要求时，应进行止水效果检测。

4.5 验证检测与扩大检测

4.5.1 当对检测结果有异议时，应进行验证检测。验证检测应符合下列规定：

1 天然地基、处理土地基，宜在原检测位置附近重新选点进行验证检测；

2 桩身浅部缺陷可采用开挖方法进行验证检测；

3 低应变法、可采用高应变法、钻芯法、孔内摄像法进行验证检测；

4 高应变法，完整性检测可采用钻芯法、承载力可采用单桩竖向抗压静载试验进行验证检测；

5 声波透射法，可在原桩上采用声波透射法或钻芯法进行验证检测；

6 钻芯法，宜在原桩上增加钻孔进行验证检测；

7 桩身混凝土实体强度，可采用钻芯法在基桩相应部位钻取芯样进行验证检测；

8　单桩静载试验，可在原受检桩上或另选工程桩进行验证检测；

9　锚杆锁定力可在原受检锚杆上采用持有荷载试验进行验证检测；

10　锚杆抗拔试验，可在原受检锚杆上或另选锚杆进行验证检测；

11　地下连续墙与复合地基，可按照本条第 1~8 款的有关规定进行验证检测。

4.5.2　因预制桩承载力检测结果不满足设计要求，而采用全部复打或复压处理的预制桩工程，应按照本标准第 4.3 节的规定进行重新抽检。

4.5.3　当地基、基桩、锚杆承载力检测结果不满足设计要求，但经设计复核其检测结果可达到设计要求或修改变更后的设计要求时，经建设主体责任方等共同确认，可不进行扩大抽检。

4.5.4　除本标准第 4.5.2、4.5.3 条规定的情况外，当检测结果不满足设计要求时，应采用原检测方法或准确度更高的检测方法进行扩大抽检。扩大抽检应符合下列规定：

1　对平板载荷试验、单桩静载试验、钻芯法、岩基载荷试验、复合地基单桩载荷试验、锚杆与土钉验收试验，应按不满足设计要求的数量加倍扩大抽检；

2　对桩身完整性检测的低应变法、高应变法和声波透射法，应按不满足设计要求的数量加倍扩大抽检；当III、IV类桩之和大于抽检桩数的 20%时，应按原抽检比例在未检桩中扩大抽检，抽检后仍存在III、IV类桩，应全部检测；

3　对标准贯入试验、圆锥动力触探试验、静力触探试验、十字板剪切试验等方法，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的抽检数量；

4　当未埋设声测管而无法采用声波透射法进行扩大检测时，应采用钻芯法进行扩大抽检。

4.5.5　验证检测和扩大抽检后，应根据检测结果，经工程质量各方责任主体共同确定处理方案或进一步抽检的方法和数量。

4.5.6　补桩、加固处理后的桩，应全部检测；重新处理后的地基，按 4.2 规定检测数量重新检测。

4.6　检测结果评价和检测报告

4.6.1　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。

4.6.2　平板载荷试验和岩基载荷试验，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。

4.6.3　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 4 的规定。

表 4　桩身完整性分类表

桩身完整性类别	分类原则
	缺陷程度
I 类桩	桩身完整
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
III 类桩	桩身有明显缺陷，对桩身结构承载力有影响
IV 类桩	桩身存在严重缺陷

注：1 应进一步确定III类桩桩身缺陷对桩身结构承载力的影响程度；

2 IV类桩不满足验收要求，应进行工程处理。

4.6.4　桩、基础锚杆承载力检测结果应给出每根桩、锚杆的承载力是否满足设计要求的结论。支护锚杆、土钉验收试验应给出锚杆、土钉的验收试验结果是否满足设计要求的结论。

4.6.5　锁定力检测应提供每根受检锚杆的锁定力值，并给出是否满足设计要求的结论。

4.6.6　当部分检测结果有效时，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。

4.6.7 检测报告应结论准确、用词规范。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 代表性岩土工程勘察资料；

3 检测对象或检测位置的唯一性标识和相关施工记录；

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。

5 平板载荷试验

5.1 一般规定

5.1.1 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。

5.1.2 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。

5.1.3 地基系数试验宜按照本标准附录 B 执行。

5.1.4 平板载荷试验分为浅层平板载荷试验、深层平板载荷试验。浅层平板载荷试验适用于确定浅层地基土、破碎、极破碎岩石地基的承载力和变形参数；深层平板载荷试验适用于确定深层地基土和大直径桩的桩端土的承载力和变形参数，深层平板载荷试验的试验深度不应小于 5m。

5.2 仪器设备及其安装

5.2.1 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，承压板底面下应用粗砂或中砂层找平，其厚度不超过 20mm；复合地基试验时，承压板底面下宜铺设粗砂或中砂垫层，垫层厚度可取 100mm~150mm，桩身强度高时取大值。

5.2.2 承压板应有足够刚度，可采用圆形、正方形、矩形钢板或钢筋混凝土板。承压板尺寸与面积的选取，应符合下列规定：

1 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；

2 承压板面积：浅层平板载荷试验承压板面积不应小于 0.25m^2，换填垫层和压实地基承压板面积不应小于 1.0m^2，强夯地基承压板面积不应小于 2.0m^2，深层平板载荷试验的承压板直径不应小于 0.8m，紧靠承压板周围外侧的土层高度应不少于 80cm。

3 复合地基的承压板面积应等于受检桩（1 根或 1 根以上）所承担的处理面积，承压板形状宜根据受检桩的分布确定。

5.2.3 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。

5.2.4 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。

5.2.5 基准系统的安装应符合下列规定：

1 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；

2 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。

5.2.6 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 0.5m^2 时，应在其两个方向对称安置 4 个位移测量仪表，承压板面积小于等于 0.5m^2 时，可对称安置 2 个位移测量仪表；

2 位移测量仪表应安装在承压板上；各位移测量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 25mm～50mm；对于方形板，位移测量点应位于承压板每边中点。

5.2.7 荷载测量可采用压力表或压力传感器测定千斤顶油路的油压，根据千斤顶校准结果换算荷载；也可采用放置在千斤顶上的荷重传感器直接测定。

5.2.8 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 0.4 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应与测量范围相适应，量程不应大于最大加载量得 3.0 倍，且不应小于最大加载量的 1.2 倍；

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

5.2.9 承压板、压重平台支墩和基准桩之间的距离应符合表 5 的规定。

表 5 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＞2.0m	＞1.5B 且＞2.0m

注：b 为承压板边宽或直径；B 为支墩宽度。

5.2.10 对大型平板载荷试验，当基准梁长度不小于 12m，但其基准桩与承压板、压重平台支墩的距离仍不能满足本标准表 5 的规定时，应对基准桩变形变形进行监测。监测基准桩的变形测量仪表的分辨力宜到 0.1mm。

5.2.11 试验前应采取措施，保持试坑或试井底岩土的原状结构和天然湿度不变。当试验标高低于地下水位时，应将地下水位降至试验标高以下，再安装试验设备，待水位恢复后方可进行试验。

5.3 现场检测

5.3.1 平板载荷试验最大加载量不应小于设计承载力特征值的 2 倍，为设计提供依据的载荷试验应加载至极限状态。

5.3.2 正式试验前应进行预压，预压载荷宜为最大试验荷载的 5%，预压时间宜为 5min；预压后卸载至零，应测读位移测量仪表的初始读数并应重新调整零位。

5.3.3 试验加卸载方式应符合下列规定：

1 浅层平板载荷试验分级荷载宜为最大试验荷载的 1/8~1/12；深层平板载荷试验分级可按预估极限承载力的 1/10~1/15 分级施加。

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±10%。

5.3.4 试验步骤应符合下列规定：

1 每级荷载施加后，应分别按第 10min、20min、30min、45min、60min 测读承压板的沉降量，以后每隔 30min 测读 1 次；

2　承压板沉降相对稳定标准：在连续两小时内，每小时的沉降量应小于 0.1mm；

3　当承压板沉降速率达到相对稳定标准时，可施加下一级荷载；

4　卸载时，每级荷载维持 1h，应分别按第 10min、30min、60min 测读承压板沉降量；卸载至零后，应测读承压板残余沉降量，维持时间为 3h，测读时间应分别为第 10min、30min、60min、120min、180min。

5.3.5　当执行本标准第 5.2.10 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。

5.3.6　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，荷载与沉降曲线出现明显陡降；

2　承压板周围的土明显地侧向挤出，周边土体出现明显隆起；

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　浅层平板载荷试验的累计沉降量已大于等于承压板边宽或直径的 6%或累计沉降量大于等于 150mm；深层平板载荷试验的累计沉降量与承压板径之比大于等于 0.04；

5　加载至要求最大试验荷载且承压板沉降达到相对稳定标准。

5.3.7　试验过程中，当出现异常情况而被迫终止试验时，试验结果不得作为验收依据。

5.3.8　平板载荷试验检测数据可按本标准表 A.0.1 的格式记录。

5.4　检测数据分析与判定

5.4.1　确定地基承载力时，应绘制荷载–沉降（Q–s）或压力-沉降（p-s）曲线、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。

5.4.2　单个试验点的地基承载力特征值应按下列方法综合分析确定：

1　当能确定比例界限，极限荷载大于对应比例界限的 2 倍时，取该比例界限；极限荷载小于对应比例界限的 2 倍时，取极限荷载的 50%；

2　当满足本标准第 5.3.6 条第 5 款情况，且 p-s 曲线上无法确定比例界限，承载力又未达到极限时，地基土平板载荷试验应取最大试验荷载的一半所对应的荷载值；

3　当按相对变形值确定天然地基及处理地基承载力特征值时，可按表 6 规定的地基变形取值确定，且所取得承载力特征值不应大于最大试验荷载的一半。当地基土性质不确定时，对应变形值宜取 0.010b。

表 6　天然地基、处理土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	高压缩性土为主的地基	0.015
	中压缩性土为主的地基	0.012
	低压缩性土、砂土为主的地基	0.010
人工地基	中、低压缩性土为主的地基	0.010
强夯置换墩复合地基	以黏性土、粉质黏土为主的地基	0.010
沉管挤密砂石桩、振冲挤密碎石桩、柱锤冲扩桩、强夯置换墩	以黏性土、粉土、砂土为主的地基	0.010
灰土挤密桩	以黏性土、粉土、砂土为主的地基	0.008
水泥粉煤灰碎石桩、混凝土桩、夯实水泥土桩、树根桩	以黏性土、粉土为主的地基	0.010
	以卵石、圆砾、密实粗中砂为主的地基	0.008
水泥搅拌桩、旋喷桩	以淤泥和淤泥质土为主的地基	0.008~0.010
	以黏性土、粉土为主的地基	0.006~0.008

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 宜按上表相应地基类型取小值；

5.4.3 单位工程的地基承载力特征值的确定应符合下列规定：

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。

5.4.4 地基的变形模量可按下式计算：

$$E_0=I_0（1-\mu^2）f_{ak}b/s \quad （1）$$

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；

b ——承压板边宽或直径（m）；

p ——p-s 曲线线性段的压力值（kPa）；

s ——与 p 对应的沉降量（mm）；

μ ——岩土泊松比，宜根据试验确定，不能根据试验确定时，可采用经验值（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表 8 取值）。

5.4.5 深度平板载荷试验确定地基变形模量，可按下式计算：

$$E_0=\omega\cdot\frac{pd}{s} \quad （2）$$

式中：

ω ——与试验深度和土类有关的系数，可按标准第 5.4.6 条确定；

d ——承压板直径（m）；

p ——p-s 曲线线性段的压力值（kPa）；

s ——与承载力特征值对应的沉降量（mm）；

5.4.6 与试验深度和土类有关的系数 ω 可按下列规定确定：

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

$$\omega=I_0I_1I_2(1-\mu^2) \quad （3）$$

$$I_1=0.5+0.23\frac{d}{z} \quad （4）$$

$$I_2=1+2\mu^2+2\mu^4 \quad （5）$$

式中：

I_1 ——刚性承压板的深度系数；

I_2 ——刚性承压板的与土的泊松比有关的系数；

z ——试验深度（m）；

2 深度平板载荷试验确定地基变形模量的系数 ω 可按表 7 选用。

表 7 深度平板载荷试验确定地基变形模量的系数 ω

d/z \ 土类	碎石土	砂土	粉土	粉质黏土	黏土
0.30	0.477	0.489	0.491	0.515	0.524
0.25	0.469	0.480	0.482	0.506	0.514
0.20	0.460	0.471	0.474	0.497	0.505
0.15	0.444	0.454	0.457	0.479	0.487
0.10	0.435	0.446	0.448	0.470	0.478
0.05	0.427	0.437	0.439	0.461	0.468

0.01	0.418	0.429	0.431	0.452	0.459

5.4.7 检测报告除应符合本标准第 4.6.7 条规定外，尚应包括下列内容：

1 承压板形状及尺寸；

2 荷载分级及加载方式；

3 本标准第 5.4.1 条要求绘制的曲线及对应的数据表；

4 承载力特征值判定依据；

5 每个试验点的地基承载力特征值；

6 单位工程的地基承载力特征值。

6 岩石地基载荷试验

6.1 一般规定

6.1.1 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。

6.1.2 全风化岩、强风化岩，破碎、极破碎岩石的地基承载力应按照本标准第 5 章的规定进行平板载荷试验。

6.2 仪器设备及其安装

6.2.1 试验场地应符合下列规定：

1 试验标高应与地基设计标高相一致；

2 试坑开挖时，应减少对岩土的扰动和破坏，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，其厚度不宜超过 20mm。

6.2.2 承压板应采用直径为 30cm 的圆形钢板，且应有足够刚度。

6.2.3 加载反力装置应符合本标准第 5.2.3 条的规定。

6.2.4 试验加载应采用单台油压千斤顶，且应符合本标准第 5.2.4 条的规定。

6.2.5 基准系统的安装应符合本标准第 5.2.5 条的规定。

6.2.6 沉降测量应符合本标准第 5.2.6 条的规定。

6.2.7 荷载测量应符合本标准第 5.2.7 条的规定。

6.2.8 试验仪器设备性能指标应符合本标准第 5.2.8 条的规定。

6.2.9 承压板、压重平台支墩和基准桩之间的距离应符合本标准第 5.2.9 条的规定。

6.2.10 试验前应采取措施，保持试坑或试井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，在安装试验装备，待水位恢复后方可进行试验。

6.2.11 干作业成孔桩桩底、深井井底岩基载荷试验，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，位移测量杆的顶部高出地面不宜少于 20cm。

6.3 现场检测

6.3.1 最大试验压力不应小于设计要求的承载力特征值的 3 倍。

6.3.2 正式试验前，宜按本标准第 5.3.2 条的规定进行预压。

6.3.3 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 1/10，试验加卸载方式应符合本标准第 5.3.3 条的规定。

6.3.4 试验步骤应符合下列规定：

1 测量系统的初始稳定读数观测应在加压前，每隔 10min 读数一次，连续三次读数不变可开始试验；

2 加载应采用单循环加载，荷载逐级递增直到破坏，然后分级卸载；

3 加载时，第一级加载值应为预估设计荷载的 1/5，以后每级应为预估设计荷载的 1/10；

4 沉降量读数应在加载后立即进行，以后每 10min 读数一次。连续三次读数之差均不大于 0.01mm，可视为达到稳定标准，可施加下一级荷载；

5 每级卸载为加载时的两倍，如为奇数，第一级可为 3 倍。每级卸载后，隔 10min 测读一次，测读三次后可卸下一级荷载。全部卸载后，当测读到半小时回弹量小于 0.01mm 时，即认为达到稳定。

6.3.5 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 沉降量读数不断编号，在 24h 内，沉降速率有增大的趋势；

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。

6.3.6 岩石地基载荷试验数据可按本标准表 A.0.1 的格式记录。

6.4 检测数据分析与判定

6.4.1 确定岩石地基承载力时，应绘制竖向压力–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。

6.4.2 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 当能确定比例界限，极限荷载大于对应比例界限的 3 倍时，取该比例界限；极限荷载小于对应比例界限的 3 倍时，取极限荷载的 1/3。

2 当不能确定比例界限时，取极限荷载的 1/3。

6.4.3 单位工程的岩石地基承载力特征值的确定应符合本标准第 5.4.3 条的规定，岩石地基的泊松比按表 8 取值。

表 8 岩石地基的泊松比

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

6.4.4 岩石地基的变形模量可按本标准第 5.4.4 条的规定确定。。

6.4.5 检测报告除应符合本标准第 4.6.7 条规定外，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 6.4.1 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。

7 多年冻土地基静载荷试验要点

7.1 一般规定

7.1.1 多年冻土地基载荷试验适用于检测承压板下应力影响范围内冻土层的承载力和变形参数。

7.1.2 多年冻土地基载荷试验应选择在冻土层（持力层）温度最高的月份进行，当在地温非最高月份进行试验时，对试验结果应进行温度修正。

7.1.3 试验土层应保持原状结构和天然温度，在整个试验期间应保持其冻土层温度场的稳定。

7.1.4 多年冻土地基载荷试验应同时对地基温度场进行监测。

7.2 仪器设备及其安装

7.2.1 承压板面积不应小于 0.25m^2，试坑宽度不应小于承压板宽度或直径的 3 倍，且应有足够刚度。

7.2.2 试验时，承压板底部应铺中、粗砂找平层（厚度为 20mm）。

7.2.3 加载反力装置应符合本标准第 5.2.3 条的规定。

7.2.4 试验加载应采用单台油压千斤顶，且应符合本标准第 5.2.4 条的规定。

7.2.5 基准系统的安装应符合本标准第 5.2.5 条的规定。

7.2.6 沉降测量应符合本标准第 5.2.6 条的规定。

7.2.7 荷载测量应符合本标准第 5.2.7 条的规定。

7.2.8 试验仪器设备性能指标应符合本标准第 5.2.8 条的规定。

7.2.9 承压板、压重平台支墩和基准桩之间的距离应符合本标准第 5.2.9 条的规定。

7.3 现场检测

7.3.1 多年冻土地基载荷试验加荷级数不应小于 8 级；第一级宜为预估极限荷载的 15%～30%，以后每级宜为预估极限荷载的 10%～15%。

7.3.2 试验步骤应符合下列规定：

1 每级加荷后均应测读 1 次承压板沉降，以后应每隔 1h 测读 1 次；

2 当累计 24h 的沉降量：砂土不大于 0.5mm 或黏性土不大于 1.0mm 时，可认为地基土处于第一蠕变阶段（蠕变速率减少阶段），即下沉稳定，可加下一级荷载。

7.3.3 当出现下列情况之一时，可终止加载：

1 某级荷载作用下，连续 10d 未能达到相对稳定标准；

2 总沉降量已大于承压板宽度或直径的 6%。

7.3.4 对承压板下深度为 1.5 倍承压板边宽或直径范围的冻土温度，应每 24h 测读一次。

7.3.5 多年冻土地基载荷试验检测数据可按本标准表 A.0.1 的格式记录。

7.4 检测数据分析与判定

7.4.1 确定多年地基承载力时，应绘制压力–沉降（p–s）、沉降–时间对数（s–lg$t$）曲线，也可绘制其他辅助分析曲线。

7.4.2 当出现本标准第 7.3.3 条情况时，其对应的前一级荷载即为极限荷载。

7.4.3 多年冻土地基承载力的特征值应按下列规定确定：

1 当 p–s 曲线上有比例界限时，取该比例界限所对应的荷载值；

2 当极限荷载小于对应比例界限荷载值的 2 倍时，取极限荷载值的一半；

3 当以上两个基本值可同时取得时应取低值。

7.4.4 单位工程的多年地基承载力特征值的确定应符合下列规定：

1 同一土层参加统计的试验点不应少于 3 点，当试验实测值的极差不超过其平均值的 30%时，取此平

均值作为该土层冻土地基承载力的特征值；

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。

7.4.5 多年冻土地基的变形模量可按本标准第5.4.5条的规定确定。

7.4.6 检测报告除应符合本标准第4.6.7条规定外，尚应包括下列内容：

1 承压板形状及尺寸、试验点的平面位置图、剖面图及标高试验；

2 荷载分级及加载方式；

3 本标准第7.4.1条要求绘制的曲线及对应的数据表；

4 承载力特征值判定依据；

5 每个试验点的承载力检测值；

6 单位工程的承载力特征值；

7 地基土温度监测数据。

8 标准贯入试验

8.1 一般规定

8.1.1 标准贯入试验适用于以下地基检测：

1 鉴别砂土、粉土、黏性土岩土性状；推定砂土、粉土、黏性土等天然地基的地基承载力；

2 评价砂土、粉土、黏性土等处理土地基的地基处理效果，推定处理土地基的地基承载力；

3 评价散体材料复合地基增强体密实度；评价水泥搅拌桩、旋喷桩等复合地基增强体的施工质量；

4 判别粉土、砂土液化级别。

8.1.2 标准贯入试验鉴别混凝土灌注桩桩端持力层岩土性状应按本方法的规定执行。

8.2 设备

8.2.1 标准贯入试验设备规格应符合表9的规定。

表 9 标准贯入试验设备规格

落　　锤		锤的质量（kg）	63.5
		落　　距（cm）	76
贯入器	对开管	长　　度（mm）	＞500
		外　　径（mm）	51
		内　　径（mm）	35
	管　靴	长　　度（mm）	50~76
		刃口角度（°）	18~20
		刃口单刃厚度（mm）	1.6
钻　　杆		直　　径（mm）	42
		相对弯曲	＜1/1000
穿心锤导向杆		相对弯曲	＜1/1000

8.2.2 标准贯入试验的落锤应采用自动脱钩装置。

8.2.3 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。

8.3 现场检测

8.3.1 标准贯入试验应采用自动脱钩的自由落锤方式进行试验。

8.3.2 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，钻至试验点标高以上 15cm 处，清除孔底残土后，测得深度尺寸再进行试验。

8.3.3　标准贯入试验落锤高度为 76cm，锤击速率应小于 30 击/min。试验时，应保持贯入器、钻杆、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。

8.3.4　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，按下式计算标准贯入试验实测锤击数（N），并终止试验。

$$N = 30 \times \frac{50}{\Delta s} \tag{6}$$

式中：

N —— 标准贯入试验实测锤击数；

Δs —— 50 击的总贯入深度（cm）。

8.3.5　贯入器拔出后，应对贯入器中的土样进行鉴别描述。

8.3.6　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。

8.3.7　标准贯入试验数据可按本标准表 A.0.2 的格式记录。

8.4　检测数据分析与判定

8.4.1　检测数据的分析处理应剔除异常值。

8.4.2　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、粉土液化和分析岩土性状时，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：

$$N' = \alpha N \tag{7}$$

式中：

N' —— 标准贯入试验修正锤击数；

N —— 标准贯入试验实测锤击数；

α —— 触探杆长度修正系数，可按表 10 确实。

表 10　标准贯入试验触探杆长度修正系数

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

8.4.3　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。

8.4.4　各层土的标准贯入锤击数代表值应取每个检测孔不同深度的标准贯入试验锤击数的平均值。同一土层参加统计的试验点不应少于 3 点，当其极差不超过平均值的 30%时，应取其平均值作为代表值；当极差超过平均值的 30%时，应分析原因，结合工程实际判别，可增加试验点数量。

8.4.5　单位工程同一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'），应按本标准附录 C 的统计方法确定。

8.4.6　砂土、粉土、黏性土等岩土性状可根据标准贯入试验实测锤击数的平均值、标准值及修正值按下列规定进行评价：

1　砂土的密实度可按表 11 分为松散、稍密、中密、密实。

表 11　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
$15< N_{k\,k} \leq 30$	中密
$N_k^{'} > 30$	密实

2　粉土的密实度可按表 12 分为松散、稍密、中密、密实。

表 12　粉土的密实度分类

孔隙比 e	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
$e>0.9$	$5< N_k \leq 10$	稍密
$0.75 \leq e \leq 0.9$	$10< N_k \leq 15$	中密
$e<0.75$	$N_k > 15$	密实

3　黏性土的状态可按表 13 分为流塑、软塑、可塑、硬塑、坚硬。

表 13　黏性土的状态分类

I_L	标准贯入试验实测锤击数修正标准值 $N_k^{'}$	状态
$0.75< I_L \leq 1$	$2< N_k^{'} \leq 4$	软塑
$0.5< I_L \leq 0.75$	$4< N_k^{'} \leq 8$	软可塑
$0.25< I_L \leq 0.5$	$8< N_k^{'} \leq 14$	硬可塑
$0< I_L \leq 0.25$	$14< N_k^{'} \leq 25$	硬塑
$I_L \leq 0$	$N_k^{'} > 25$	坚硬

8.4.7　砂土、粉土、一般黏性土等地基土承载力特征值可根据标准贯入试验修正后锤击数（$N^{'}$）按表 14～16 的规定进行推定。

表 14　砂土承载力特征值 f_{ak}（kPa）

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

表 15　粉土承载力特征值 f_{ak}（kPa）

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

表 16　黏性土和承载力特征值 f_{ak}（kPa）

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

8.4.8　处理土地基可按本标准第 8.4.7 条的规定推定地基承载力和本标准第 8.4.6 条的规定判断岩土性状。

8.4.9　判定处理后的砂土、粉土液化应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 的有关规定执行。

8.4.10　复合地基竖向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。

8.4.11　检测报告除应符合本标准第 4.6.7 条规定外，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　每个检测孔同一土层标准贯入锤击数的平均值；

3　同一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 对地基（土）检测时，可根据地区经验或现场比对试验结果提供土层的变形参数和强度指标建议值。

9 圆锥动力触探试验

9.1 一般规定

9.1.1 圆锥动力触探试验适用于以下地基检测：

1 鉴别天然地基的岩土性状，判定其地基承载力；

2 评价处理土地基的处理效果，判定其地基承载力；

3 评价复合地基增强体的施工质量；

4 评价强夯置换墩施工质量和着底情况。

9.1.2 圆锥动力触探试验类型的选择，应符合下列规定：

1 换填地基，黏性土、粉土、粉砂、细砂等天然地基及其处理地基，可选择轻型圆锥动力触探试验。

2 黏性土、粉土、砂土、中密以下的碎石土、极软岩等天然地基及其处理地基，可选择重型圆锥动力触探试验。

3 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。

4 振冲碎石桩、沉管砂石桩等复合地基增强体，强夯置换墩，可选择重型圆锥动力触探试验。

9.1.3 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。

9.2 设备

9.2.1 圆锥动力触探试验的设备规格应符合表 17 的规定。

表 17 圆锥动力触探试验设备规格

类型		轻型	重型	超重型
落锤	锤的质量（kg）	10	63.5	120
	落距（cm）	50	76	100
探头	直径（mm）	40	74	74
	锥角（°）	60	60	60
探杆	直径（mm）	25	42、50	50~60

9.2.2 重型及超重型圆锥动力触探试验的落锤应采用自动落锤装置。

9.2.3 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。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。

9.3 现场检测

9.3.1 圆锥动力触探试验应采用自动脱钩的自由落锤方式进行试验。

9.3.2 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，地面上触探杆高度不宜超过 1.5m，并应防止锤击偏心、探杆倾斜和侧向晃动；

4 每贯入 1m，应将探杆转动一圈半；当贯入深度超过 10m，每贯入 20cm 宜转动探杆一次；

5 应及时记录试验点深度和锤击数；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}）。

9.3.3 对于轻型动力触探，当贯入 30cm 锤击数大于 100 击或贯入 15cm 锤击数超过 50 击时，可终止试验。

9.3.4 重型动力触探试验，当连续三次锤击数大于 50 击时，可停止试验或改用超重型动力触探；当遇有硬夹层时，宜穿过硬夹层后继续试验。

9.3.5 圆锥动力触探试验数据可按本标准表 A.0.3 的格式记录。

9.4 检测数据分析与判定

9.4.1 检测数据的分析处理应剔除异常值；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 D 的规定。

9.4.2 圆锥动力触探试验结果，宜绘制每个检测孔的圆锥动力触探试验锤击数与试验深度关系曲线图表。

9.4.3 圆锥动力触探试验锤击数的单孔代表值，应取该检测孔不同深度的圆锥动力触探试验锤击数的算术平均值。

9.4.4 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，并应符合下列规定：

1 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 C 的统计方法确定；

2 统计计算时，除应剔除本标准第 9.4.1 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。

9.4.5 砂土密实度、碎石土密实度，可根据同一分类土层重型或超重型圆锥动力触探试验修正后击数，按表 18～20 的规定进行评价。

表 18 砂土的密度分类

$N_{63.5,\ k}$	$N_{63.5,\ k}\leq4$	$4<N_{63.5,\ k}\leq6$	$6<N_{63.5,\ k}\leq9$	$N_{63.5,\ k}>9$
密实度	松散	稍密	中密	密实

表 19 碎石土密实度 $N_{63.5}$，k 分类

$N_{63.5,\ k}$	$N_{63.5,\ k}\leq5$	$5<N_{63.5,\ k}\leq10$	$10<N_{63.5,\ k}\leq20$	$N_{63.5,\ k}>20$
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 20 碎石土密实度 N_{120}，k 分类

$N_{120,\ k}$	$N_{120,\ k}\leq3$	$3<N_{120,\ k}\leq6$	$6<N_{120,\ k}\leq11$	$11<N_{120,\ k}\leq14$	$N_{120,\ k}>14$
密实度	松散	稍密	中密	密实	很密

9.4.6 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 21 的规定进行推定。

表 21 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	90	115	135	160	180	200	220	240
黏性素填土地基	60	80	95	110	120	130	140	150	160	170
粉土、粉细砂土地基	55	70	80	90	100	110	125	140	150	160

9.4.7 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 22 的规定进行推定。

表 22 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	13	14	15	16
一般黏性土地基	120	150	180	210	240	265	290	320	350	375	400	425	450	475	500
中砂、粗砂土地基	80	120	160	200	240	280	320	360	400	440	480	520	560	600	640
粉砂、细砂土地基	-	75	100	125	150	175	200	225	250	-	-	-	-	-	-

9.4.8　处理土地基的地基承载力特征值可按本标准第 9.4.6、9.4.7 条的规定进行推定。

9.4.9　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；其中碎石桩的密实度分类，可按表 23 的规定进行评价。

表 23　碎石桩的密实度分类

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

9.4.10　强夯置换墩着底情况可根据单位工程试验数据进行评价。

9.4.11　检测报告除应符合本标准第 4.6.7 条规定外，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　根据委托要求评价地基土的密实度和均匀性、评价复合地基竖向增强体的施工质量评价；

5　结合比对试验结果和地区经验确定的地基土承载力特征值和变形模量建议值。

10　静力触探试验

10.1　一般规定

10.1.1　静力触探试验以下地基检测：

1　推定软土、一般黏性土、粉土和砂土等天然地基的承载力和变形参数；

2　评价软土、黏性土、粉土和砂土的地基处理效果，推定其地基承载力和变形参数。

10.2　仪器设备

10.2.1　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。

10.2.2　单桥触探头和双桥触探头的规格应符合表 24 的规定，且触探头的外形尺寸和结构应符合下列规定：

1　锥头与摩擦筒应同心；

2　双桥探头锤头等直径部分的高度，不应超过 3mm，摩擦筒与锥头的间距不应大于 10mm；

表 24　单桥和双桥静力触探规格

锥底截面积（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（cm^2）	摩擦筒长度（mm）
10	35.7	60	57	150	133.7
				200	178.4
15	43.7	60	70	300	218.5

10.2.3　触探主机应符合下列规定：

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

2　贯入和起拔时，施力作用线应垂直基座基准面，垂直度应小于 30′；

3 额定起拔力应大于额定贯入力的 120%。

10.2.4 记录仪应符合下列规定：

1 仪器显示的有效最小分度值不应大于 0.05%FS；

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

3 工作环境温度应为-10℃~45℃；

4 记录仪和电缆用于多功能探头触探时，应保证各传输信号互不干扰。

10.2.5 探头的技术性能应符合下列规定：

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

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

3 探头在工作状态下，各部传感器的互扰值应小于本身额定测值的 0.3%；

4 探头应能在-10℃~45℃的环境温度中正常工作，由于温度漂移而产生的量程误差，可按下式计算，不应超过满量程的±1%。

$$\frac{\Delta V}{V} = \Delta t \cdot \eta \tag{8}$$

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 ——温漂系数，一般采用 0.0005/℃。

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

10.2.7 探头存储应配备防潮、防震的专用探头箱（盒），并应存放于干炸、阴凉的处所。

10.3 现场检测

10.3.1 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。

10.3.2 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。率定方法应符合本标准附录 E 的规定。

10.3.3 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，不得转动触探头；

3 将触探头贯入土中 0.5m～1.0m 后，再提升 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±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

10.3.4 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，应测读零漂值；

2 应及时测读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。

10.3.5 当出现下列情况之一时，应重新选点进行检测：

1 触探头的贯入阻力过大，可能超过额定荷载值；

2 反力装置失效；

3 静力触探孔倾斜度大于 2%。

10.3.6 静力触探试验数据可按本标准表 A.0.4 的格式记录。

10.4 检测数据分析与判定

10.4.1 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±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±1%时，可在出现误差的深度范围内，等距离调整。

10.4.2 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：

$$p_s=K_p\bullet(\varepsilon_p-\varepsilon_0) \quad (9)$$

$$q_c=K_q\bullet(\varepsilon_q-\varepsilon_0) \quad (10)$$

$$f_s=K_f\bullet(\varepsilon_f-\varepsilon_0) \quad (11)$$

$$\alpha=f_s/q_c \quad (12)$$

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）；

α —— 摩阻比（%）；

K_p —— 单桥触探头率定系数（kPa/με）；

K_q —— 双桥触探头的锥尖阻力率定系数（kPa/με）；

K_f —— 双桥触探头的侧壁摩阻力率定系数（kPa/με）；

ε_p —— 单桥触探头的比贯入阻力应变量（με）；

ε_q —— 双桥触探头的锥尖阻力应变量（με）；

ε_f —— 双桥触探头的侧壁摩阻力应变量（με）；

ε_0 —— 触探头的初始读数或零读数应变量（με）。

10.4.3 对每个检测孔，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。

10.4.4 比贯入阻力或锥尖阻力的单孔代表值，应取该检测孔不同深度的静力触探试验结果的算术平均值。

10.4.5 土层力学分层的划分，应符合下列规定：

1 单桥触探头测试，应根据比贯入阻力与深度的关系曲线进行划分；

2 双桥触探头测试，应以锥尖阻力与深度的关系曲线为主，结合侧壁摩阻力和摩阻比与深度的关系曲线进行划分；

3 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；

10.4.6 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，并应符合下列规定：

1 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 C 的统计方法确定；

2 统计计算时，除应剔除本标准第 10.4.1 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。

10.4.7　初步判定地基土承载力特征值和压缩模量时，可根据比贯入阻力或锥尖阻力标准值按表 25 估算。：

表 25　地基土承载力特征值 f_{ak} 和压缩模量 $E_{s0.1\text{-}0.2}$ 与比贯入阻力标准值的关系

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

注：当采用 q_c 值时，取 $p_s=1.1q_c$。

10.4.8　静力触探试验应给出每个试验孔（点）的检测结果和单位工程的主要土层的评价结果。

10.4.9　检测报告除应符合本标准第 3.6.7 条规定外，尚应包括下列内容：

1　锥尖阻力、侧壁摩阻力、摩阻比随深度的变化曲线，或比贯入阻力随深度的变化曲线；

2　每个检测孔的比贯入阻力或锥尖阻力的单孔代表值；

3　同一分类土层的比贯入阻力或锥尖阻力的标准值；

4　结合对比试验结果和地区经验的地基土承载力和变形模量值。

5　对检验地基处理加固效果的工程，应提供处理前后的锥尖阻力、侧壁摩阻力或比贯入阻力的对比曲线。

11　多道瞬态面波试验

11.1 一般规定

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

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

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

11.1.4　当采用多种方法进行场地综合判断时，宜先进行瑞利波试验，在根据其试验结果有针对性地布置载荷试验、动力触探等测点进行点测。

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

11.2 仪器设备

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

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

11.2.3　检波器及安装应符合下列规定。

1　应采用垂直方向的速度型检波器；

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

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

4　检波器按竖直方向安插，应与地面密切接触。

11.2.4　放大器与记录系统应符合下列规定：

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

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

一半；

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

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

11.2.5 采集与记录系统处理软件应具备下列功能：

1 具有采集、存储数字信号和对数字信号处理的智能化功能；

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

3 识别和剔除干扰波功能；

4 对波速处理成图的文件格式和成图功能，并应为通用计算机平台所调用的功能；

5 分辨滤波和检查各分频率有效波的发育及信噪比的功能；

6 分辨识别及利用基态面波成分的功能，反演地层剪切波速和层厚的功能。

11.3 现场检测

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

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

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

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

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

1 应采用线性等道间距排列方式，震源应在检波器排列以外延长线上激发；

2 道间距应小于最小测试深度所需波长的 1/2；

3 检波器排列长度应大于预期面波最大波长的一半，且大于最大检测深度；

4 偏移距的大小，应根据任务要求通过现场试验确定。

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

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

11.4 检测数据分析与判定

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

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

11.4.3 根据实测瑞利波波速和动泊松比，可按下列公式计算剪切波波速：

$$V_s = V_R / \eta_s \tag{13}$$

$$\eta_s = (0.87 - 1.12\mu_d)/(1 + \mu_d) \tag{14}$$

式中：

V_s ——剪切波速度（m/s）；

V_R ——面波速度（m/s）；

η_s ——与泊松比有关的系数；

μ_d ——动泊松比。

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

$$V_{se} = d_0 / t \tag{15}$$

$$t = \sum_{i=1}^{n} (d_i / V_{si}) \tag{16}$$

式中：

V_{se} ——土层等效剪切波速（m/s）；

d_0 ——计算深度（m），一般取2m~4m；

t ——剪切波在计算深度范围内的传播时间（s）；

d_i ——计算深度范围内第i层土的厚度（m）；

V_{si} ——计算深度范围内第i层土剪切波速（m/s）；

n ——计算深度范围内土层的分层数。

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

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

11.4.7 瑞利波波速与承载力特征值和变形模量的对应关系应通过现场试验比对和地区经验积累确定；初步判定碎石土地基承载力特征值和变形模量，可按表 26 估算。

表 26 瑞利波波速与碎石土地基承载力特征值和变形模量的对应关系

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

注：表中数据可内插求得。

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

11.4.9 检测报告处应符合本标准第 4.6.7 条规定外，尚应包括下列内容。

1 检测点平面布置图，仪器设备一致性检查的原始资料，干扰波实测记录；

2 绘制各测点的频散曲线，计算对应土层的瑞利波相速度，根据换算的深度绘制波速-深度曲线或地基处理前后对比关系曲线；

3 根据瑞利波相速度和剪切波速对应关系绘制剪切波速和深度关系曲线或地基处理前后对比关系曲线，面波测试成果图表等；

4 结合钻探、静载试验、动力触探和标贯等其他原位测试结果，分析岩土层的相关参数，判定有效加固深度，综合作出评价。

12 单桩竖向抗压静载试验

12.1 一般规定

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

12.1.2 场地地质条件复杂的桩基工程与验证检测，其单桩竖向抗压静载试验应采用慢速维持荷载法。

12.1.3 复合地基增强体载荷试验可按本方法的规定执行。

12.2 仪器设备及其安装

12.2.1 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，锚桩数量不宜少于 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。

12.2.2　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。

12.2.3　基准系统的安装应符合本标准第 5.2.5 条的规定。

12.2.4　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；当有承台时，位移测量仪表也可直接安装在承台上；

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。

12.2.5　荷载量测应符合本标准第 5.2.7 条的规定。

12.2.6　试验仪器设备性能指标应符合本标准第 5.2.8 条的规定。

12.2.7　加载反力装置的安装，应符合下列规定：

1　受检桩、锚桩（或压重平台支墩）和基准桩之间的距离应符合表 27 的规定：

表 27　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	距　　离		
	试桩中心与锚桩中心（或压重平台支墩边）	试桩中心与基准桩中心	基准桩中心与锚桩中心（或严重平台支墩边）
锚桩横梁	≥4（3）D 且＞2.0m	≥4（3）D 且＞2.0m	≥4（3）D 且＞2.0m
压重平台	≥4（3）B 且＞2.0m	≥4（3）B 且＞2.0m	≥4（3）B 且＞2.0m
锚桩压重	≥4D、B 且＞2.0m	≥4（3）D、B 且＞2.0m	≥4D、B 且＞2.0m

注：1　*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。

12.2.8　对大直径桩静载试验，当基准梁长度已达到 12m，且基准桩和受检桩、锚桩、压重平台支墩之间的距离仍不能满足表 12.2.7 的规定时，支撑固定基准梁的基准桩的间距可取 12m，但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

12.2.9　测试桩侧抗拔侧阻力分布和桩端上拔位移时，桩身内传感器、位移杆的埋设应符合本标准附录 F 的规定。

12.3 现场检测

12.3.1　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。

12.3.2　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；对影响试验结果的桩头应加固处理。

12.3.3　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。

12.3.4　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，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%。

12.3.5　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、10min、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 15min、30min，以后每隔 30min 测读一次。

12.3.6　快速维持荷载法的试验步骤应符合下列规定：

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

2　测读时间累计为 1h 时，若最后 15min 时间间隔的桩顶沉降增量与相邻 15min 时间间隔的桩顶沉降增量相比未明显收敛时，应延长维持荷载时间，直至最后 15min 的沉降增量小于相邻 15min 的沉降增量为止。

3　终止加荷条件可按本标准第 11.3.8 条第 1、3、4、5 款执行。；

4　卸载时，每级荷载维持 15min，按第 5min、15min 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 1h，测读时间为第 5min、15min、30min。

12.3.7　当执行本标准第 12.2.8 条规定时，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。

12.3.8　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　已达到设计要求的最大加载值且桩顶沉降达到相对稳定标准；

4　工程桩作锚桩时，锚桩上拔量已达到允许值。

5　当荷载—沉降曲线呈缓变型时，可加载至桩顶总沉降量 60mm~80mm；在桩端阻力未充分发挥等特殊情况下，可加载至桩顶累计沉降量 80m。

12.3.9　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：

1　由于加载系统漏油等原因，无法继续施加荷载；

2　堆载平台弯曲变形或倾斜明显等原因，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承载能力；

4　当工程桩作锚桩时，锚桩上拔量已达到允许值。

12.3.10　单桩静载试验数据可按本标准表 A.0.5 的格式记录。

12.4 检测数据分析与判定

12.4.1　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。

12.4.2　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 12.3.8 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=40mm 对应的荷载值；对 d 大于等于 800mm 的桩，可取 s=0.05d（d 为桩端直径）且 s 不大于 80mm 对应的荷载值；

2）当桩长大于 40m 时，宜考虑桩身弹性压缩量。

5 出现本标准第 12.3.8 条第 3 款情况，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 复合地基增强体，宜符合本条第 1～5 款的规定。

12.4.3 单桩竖向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。

12.4.4 检测报告除应符合本标准第 4.6.7 条规定外，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 本标准第 12.4.1 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 单桩竖向抗压极限承载力。

13 单桩竖向抗拔静载试验

13.1 一般规定

13.1.1 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。

13.2 仪器设备及其安装

13.2.1 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。

13.2.2 试验加载宜采用油压千斤顶，且应符合本标准第 12.2.2 条的规定。

13.2.3 基准系统的安装应符合本标准第 5.2.5 条的规定。

13.2.4 桩顶上拔量测量及其位移测量仪表安装应符合本标准第 12.2.4 条的规定。

13.2.5 荷载量测应符合本标准第 5.2.7 条的规定。

13.2.6 试验仪器设备性能指标应符合本标准第 5.2.8 条的规定。

13.2.7 受检桩、反力桩（或反力支墩）和基准桩之间的距离应符合表 12.2.7 的规定。

13.2.8 测试桩侧阻力、桩端阻力、桩身截面位移时，桩身内传感器、位移杆的埋设应符合本标准附录 F 的规定。

13.3 现场检测

13.3.1 对工程桩抽样检测时，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。

13.3.2 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大于 1.5 倍桩径。

13.3.3 试验加卸载方式应符合本标准第 12.3.4 条的规定。

13.3.4 单桩竖向抗拔静载试验，慢速维持荷载法的试验步骤应符合本标准第 12.3.5 条的规定，快速维持荷载法的试验步骤应符合本标准第 12.3.6 条的规定。对不允许带裂缝工作的工程桩，试验过程中应仔细观察桩身混凝土开裂情况。

13.3.5 当执行本标准第 13.2.8 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。

13.3.6 当最大试验荷载取不小于设计要求的单桩竖向抗拔承载力特征值的 2.0 倍时，符合下列条件之一时，即可终止加载：

1 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 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；

3 当累计桩顶上拔量超过 100mm 时。

13.3.7 对不允许带裂缝工作的工程桩，符合下列条件之一时，即可终止加载：

1 已达到最大试验荷载，桩顶上拔量速率达到相对稳定（收敛）标准，且桩身混凝土未出现开裂情况；

2 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；

3 在某级荷载作用下，桩身混凝土出现开裂情况。

13.3.8 试验过程中，当出现本标准第 12.3.9 条第 1、3 款所规定的情形及钢筋断裂时，试验结果不得作为验收依据。。

13.3.9 单桩静载试验数据可按本标准表 A.0.5 的格式记录。

13.4 检测数据分析与判定

13.4.1 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–δ）关系曲线和桩顶上拔量－时间对数（δ–lg$t$）关系曲线，也可绘制其他辅助分析曲线。

13.4.2 单桩竖向抗拔极限承载力可按下列方法综合分析确定：

1 当出现本标准第 13.3.6 条第 1 款情况时，可取最大试验荷载值；

2 当出现本标准第 13.3.6 条第 2 款情况时，可取前一级荷载值；

3 当某级荷载作用下，桩顶上拔量大于前一级荷载作用下的上拔量的 5 倍，可不按陡升段处理。

13.4.3 单桩竖向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。

13.4.4 对不允许带裂缝工作的工程桩，试验结果的判定应符合下列规定：

1 当出现本标准第 13.3.7 条第 1 款情况时，可判定单桩竖向抗拔静载试验结果满足设计验收要求；

2 当出现本标准第 13.3.7 条第 2、3 款情况之一时，可判定单桩竖向抗拔静载试验结果不满足设计验收要求。

13.4.5 检测报告除应符合本标准第 4.6.7 条规定外，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 单桩竖向抗拔极限承载力或单桩竖向抗拔承载力检测结果是否满足设计要求的结论。

14 自平衡静载试验

14.1 一般规定

14.1.1 本方法适用于传统静载试验条件受限时的基桩竖向承载力检测和评价。

14.1.2　自平衡静载试验的检测数量应满足设计要求，不应少于同一条件下桩基分项工程总桩数的 1%，且不应少于 3 根；当总桩数小于 50 根时，检测数量不应少于 2 根。

14.1.3　自平衡静载试验最大加载值应满足设计对单桩极限承载力的检测与评价要求。

14.1.4　大直径灌注桩自平衡检测前，应先进行桩身声波透射法完整性检测，后进行承载力检测。

14.1.5　工程桩承载力检测应给出受检桩的承载力检测值，并应评价单桩承载力是否满足设计要求。

14.1.6　当单桩承载力不满足设计要求时，应分析原因，并经工程建设有关方确认后扩大检测。

14.1.7　工程桩承载力试验完毕后应在荷载箱位置处进行注浆处理。

14.1.8 检测开始时间应符合下列规定：

1　混凝土强度不应低于设计强度的 80%；

2　土体的休止时间不应少于表 28 规定的时间；

3　当采用后注浆施工工艺时，注浆后休止时间不宜少于 20d。

表 28　休止时间

土的类别		休止时间（d）
砂土		7
粉土		10
黏性土	非饱和	15
	饱和	25

注：对于泥浆护壁灌注桩，宜适当延长休止时间。

14.2 仪器设备

14.2.1　基桩自平衡静载试验装置可由下列系统组成（图 2）：

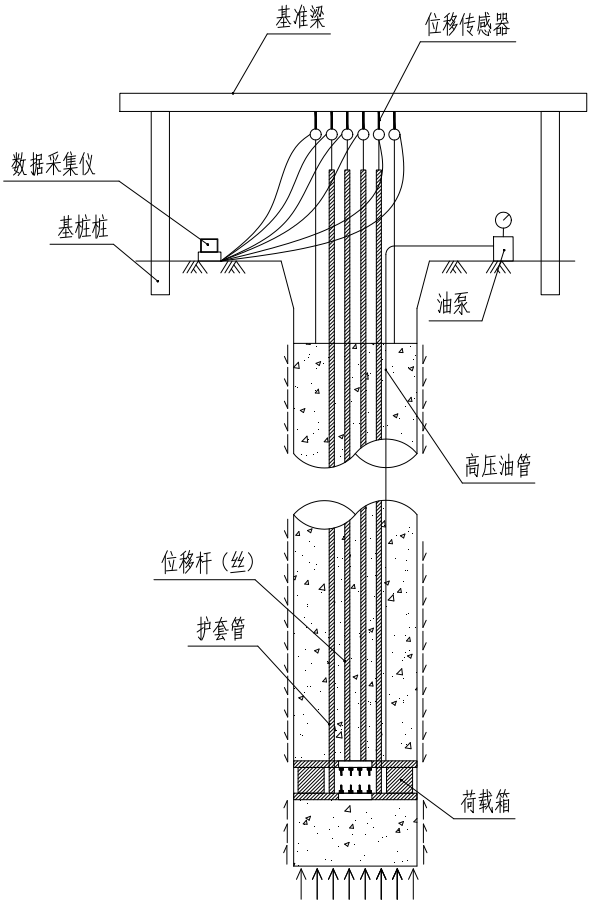


图 2　基桩自平衡静载试验系统

1　荷载箱、高压油管、加载油泵、油压测量仪表组成的加载系统；

2　位移传递装置、位移传感器、位移基准装置组成的位移测量系统；

3　采集压力和位移数据并据此对加载进行控制的数据采集与控制系统。

14.2.2　检测用仪器设备应在检定或校准的有效期内，检测前应对仪器设备检查调试。

14.2.3　检测所使用的仪器仪表及设备应具备检测工作所必需的防尘、防潮、防振等功能，并应能在适用温度范围内正常工作。

14.2.4　荷载箱应按基桩类型、检测要求及基桩施工工艺正确选用。荷载箱的技术要求应符合下列规定：

1　荷载箱宜进行整体检定，加载分级数不宜少于五级，当无法进行整体检定时，可对组成荷载箱的液压缸逐一进行检定，液压缸应为同型号，且相同油压时的液压缸出力相对误差应小于 3%；

2　荷载箱的极限输出推力不应小于额定输出推力的 1.2 倍；

3　荷载箱检定或校准值重复性不应大于 3%；

4　荷载箱空载启动压力应小于额定压力的 4%；

5　荷载箱在 1.2 倍额定压力下持荷时间不应小于 30min，在额定压力下持荷时间不应小于 2h，持荷过程中荷载箱不应出现泄漏、压力减小值大于 5%等异常现象；

6　荷载箱有效面积比应按下式计算。钻孔灌注桩荷载箱的有效面积比应为 45%＜ρ＜60%（荷载箱放置桩底时 45%＜ρ≤100%），挖孔灌注桩荷载箱的有效面积比应为 45%＜ρ≤100%。

$$\rho = \frac{A_{\mathrm{h}}}{A_{\mathrm{p}}} \times 100\% \tag{17}$$

式中：

A_{h}　——荷载箱的面积（m^2）；

A_{P}　——桩身截面面积（m^2）。

14.2.5　采用连接于荷载箱油路的压力传感器或压力表测定油压，压力传感器或压力表精度均不应低于 0.5 级，量程不应小于 60MP，压力表、油泵、油管在最大加载时的压力不应超过额定工作压力的 80%。

14.2.6　位移传感器宜采用电子百分表，测量误差不得大于 0.1%FS，分辨率不得低于 0.01mm。荷载箱处的向上、向下位移应各自采用一组位移传感器，每组不应少于 2 个，且应对称布置。

18.2.7　测试桩侧阻力、桩端阻力、桩身截面位移时，桩身内传感器位移杆（丝）的埋设应符合下列规定：

1　自平衡静载试验基桩内力测试适用于桩身横截面尺寸基本恒定或已知的桩，可得到桩侧各土层的分层摩阻力及端阻力。相关传感器选用及埋设要求应符合现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ106 的规定；

2　传感器测量断面应设置在两种不同性质土层的界面处，且距桩顶和桩底的距离不宜小于 1 倍桩径。在荷载箱附近应设置一个测量断面作为传感器标定断面。传感器标定断面处应对称设置 4 个传感器，其他测量断面处可对称埋设 2 个 4 个传感器，当桩径较大或试验要求较高时宜取高值。

3　当桩身应变与桩身位移需要同时测量时，桩身位移测试应与桩身应变测试同步。

14.2.8　测试数据整理应符合下列标准：

1　采用电阻应变式传感器测量时，应按下列公式对应测应变值进行导线电阻修正：

采用半桥测量时：

$$\varepsilon = \varepsilon'\left(1 + \frac{r}{R}\right) \tag{18}$$

采用全桥测量时：

$$\varepsilon = \varepsilon'\left(1 + \frac{2r}{R}\right) \tag{19}$$

式中：

ε　——修正后的应变值；

ε'　——修正前的应变值；

R　——导线电阻（Ω）；

R ——应变计电阻（Ω）；

2 采用振弦式传感器测量时，应根据率定系数将钢筋计实测频率换算成荷载，再将荷载值换算成钢筋计断面处的混凝土应变相等的钢筋应变量；

3 在数据整理过程中，应将零点漂移大、变化无规律的测点删除，求出同一断面有效测点的应变平均值，并应按下式计算该断面处桩身轴力：

$$Q_i = \varepsilon_i \cdot E_i \cdot A_i \tag{20}$$

式中：

Q_i —— 桩身第 i 断面处轴力（kN）；

E_i —— 第i断处桩身材料弹性模量（kPa），当混凝土桩身断面、配筋一致时，宜按标定断面处的应力与应变比值确定；

A_i —— 第i断处桩身截面面积（m^2）。

4 将桩身不同断面处在每级试验荷载下得轴力值制成表格，并绘制轴力分布图。桩侧土的分层极限摩阻力和极限端阻力应按下列公式计算：

$$q_{si} = \frac{|Q_{i+1} - Q_i|}{u \cdot l_i} \tag{21}$$

$$q_{\mathrm{P}} = \frac{Q_{\mathrm{b}}}{\mathrm{A}_0} \tag{22}$$

式中：

q_{si} —— 桩身第 i 断面与第 i+1 断面间侧摩阻力（kPa）；

q_p —— 桩的端阻力（kPa）；

Q_b —— 桩端轴力（kN）；

i —— 桩检测断面顺序号，i=1,2，…，n，并自桩顶以下从 小到大排列；

u —— 桩身周长（m）；

l_i —— 第 i 断面与第 i+1 断面之间的桩长（m）；

A_0 —— 桩端面积（m^2）；

5 桩身第 i 断面处的钢筋应力可按下式计算：

$$\sigma_{si} = E_s \cdot \varepsilon_{si} \tag{23}$$

式中：

σ_{si} —— 桩身第 i 断面处的钢筋应力（kPa）；

E_s —— 钢筋弹性模量（kPa）；

$\varepsilon_{\mathrm{si}}$ —— 钢筋弹性模量（kPa）；

14.3 现场检测

14.3.1 荷载箱的埋设位置应符合下列规定：

1 当受检桩为抗压桩，预估极限端阻力小于预估极限侧摩阻力时，应将荷载箱置于桩身平衡点处；

2 当受检桩为抗压桩，预估极限端阻力大于预估极限侧摩阻力时，可将荷载箱置于桩端，并在桩顶采取一定量的配重措施；

3 当受检桩为抗拔桩时，荷载箱应置于桩端；下部提供的反力不够维持加载时，可采取加深桩长或后注浆措施；

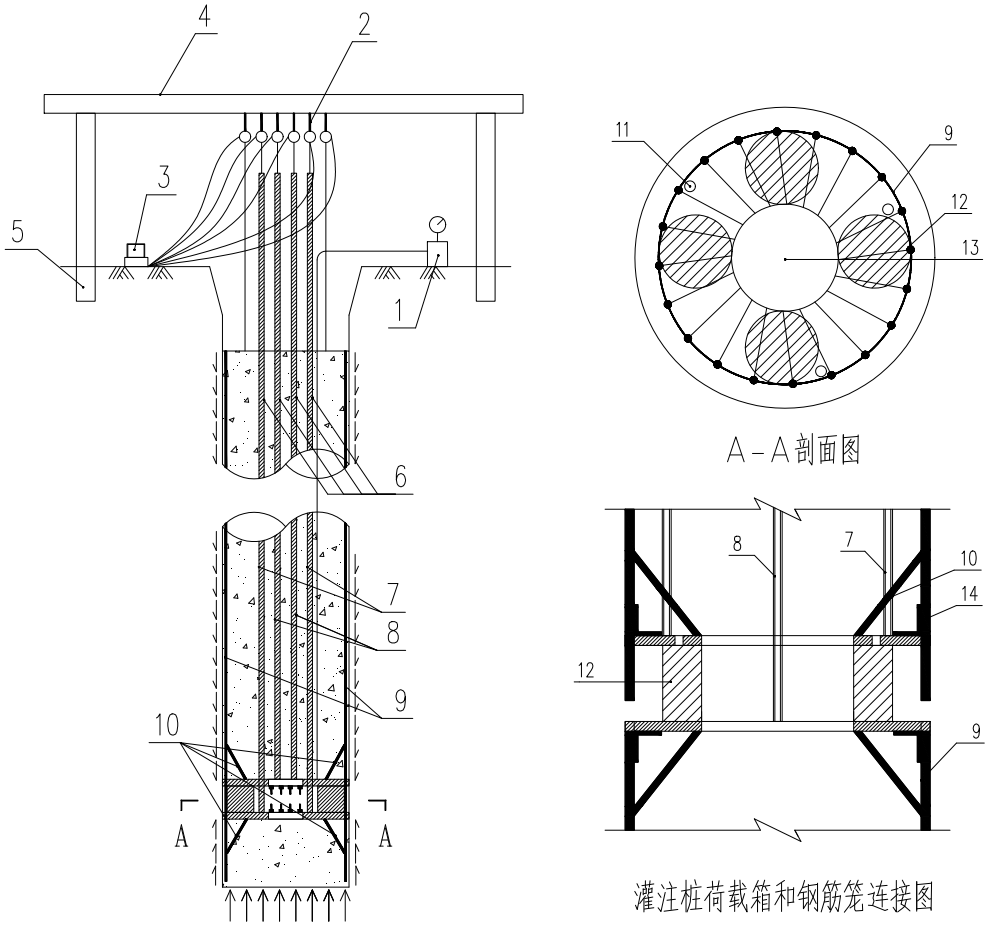
4 当需要测试桩的分段承载力时，可布置双层荷载箱，埋设位置应根据检测要求确定。

14.3.2 荷载箱的连接应符合下列规定：

1　荷载箱应平放于桩身的中心，荷载箱位移方向与桩身轴线夹角不应大于 1°；

2　对于预制混凝土管桩和钢管桩，荷载箱与上、下段桩应采取可靠的连接方式；

3　对于灌注桩导向钢筋一端宜与环形荷载箱内圆边缘处焊接，另一端宜与钢筋笼主筋焊接；导向钢筋的数量和直径宜与钢筋笼主筋相同；导向钢筋与荷载箱平面的夹角宜大于 60°。荷载箱的顶部和底部应分别与上下钢筋笼的主筋焊接在一起，焊缝应满足足够强度。自平衡静载试验中受检灌注桩检测系统的安装于连接情况（图 3）。



1-加压系统；2-位移传感器；3-静载试验仪（压力控制和数据采集）；
4-基桩梁；5-基准桩；6-位移杆（丝）护筒；7-上位移杆（丝）；
8-下位移杆（丝）；9-主筋；10-导向筋（喇叭筋）；11-声测管；
12-千斤顶；13-导管孔；14-L形加强筋

图 3　灌注桩检测系统的安装与连接

14.3.3　位移杆（丝）与护套管应符合下列规定：

1　位移杆应具有一定的刚度，确保将荷载箱处的位移传递到地面；

2　保护位移杆（丝）的护套管应与荷载箱焊接，多节护套管连接时可采用机械连接或焊接方式，焊缝应满足强度要求，并确保不渗漏水泥浆；

3　当护套管兼作注浆管时，尚应满足注浆管的要求。

14.3.4　基准桩和基准梁应符合下列规定：

1　基准桩与受检桩之间的中心距离不应小于 3 倍的受检桩直径，且不应小于 2.0m；基准桩应打入地面已下足够的深度，不宜小于 1.0m；

2　基准梁应具有足够的刚度，梁的一端应固定在基准桩上，另一端应简支于基准桩上；

3　固定和支撑位移传感器的夹具及基准梁应减小受气温、振动及其他外界因素的影响，当基准梁暴露在阳光下时，应采取有效措施。

14.3.5　自平衡静载试验应采用慢速维持荷载法。

14.3.6　试验加载卸载应符合下列规定：

1　加载应分级进行，采用逐级等量加载，每级荷载宜为最大加载值的 1/10，其中，第一级加载量可取分级荷载的 2 倍；

2　卸载应分级进行，每级卸载量宜取加载时分级荷载的 2 倍，且应逐级等量卸载；

3　加、卸载时，应使荷载传递均匀、连续、无冲击，且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%；

4　采用双层荷载箱时，宜先进行下荷载箱测试，后进行上荷载箱测试。

14.3.7　慢速维持荷载法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 测读位移，以后每隔 30min 测读一次位移；

2　位移相对稳定标准：从分级荷载施加后的第 30min 开始，按 1.5h 连续三次每 30min 的位移观测值计算，每小时内的位移增量不超过 0.1mm，并连续出现两次；

3　当位移变化速率达到相对稳定标准时，再施加下一级荷载；

4　卸载时，每级荷载维持 1h，分别按第 15min、30min、60min 测读位移量后，即可卸下一级荷载；卸载至零后：应测读残余位移，维持时间不得小于 3h，测读时间分别为第 15min、30min，以后每隔 30min 测读一次残余位移量。

14.3.8　荷载箱上段或下段位移出现下列情况之一时，即可终止加载：

1　某级荷载作用下，荷载箱上段或下段位移增量大于前一级荷载作用下位移增量的 5 倍，且位移总量超过 40mm；

2　某级荷载作用下，荷载箱上段或下段位移增量大于前一级荷载作用下位移增量的 2 倍，且经 24h 尚未达到本规程第 14.3.7 条第 2 款相对稳定标准；

3　已达到设计要求的最大加载量且荷载箱上段或下段位移达到本规程第 14.3.7 条第 2 款相对稳定标准；

4　当荷载-位移曲线呈缓变型时，向上位移总量可加载至 40mm~60mm；向下位移总量可加载至 60mm~80mm；当桩端阻力尚未充分发挥时，可加载至总位移量超过 80mm；

5　荷载已达荷载箱加载极限，或荷载箱上、下段位移已超过荷载箱行程，即可终止加载。

14.3.9　测试桩应变和桩身截面位移时，数据的测读时间宜符合本规程第 14.3.7 条的规定。

14.3.10　自平衡静载检测数据记录表宜按本规程附录 A.0.6 的规定；自平衡静载试验结果表宜按本规程附录 A.0.7 的规定；自平衡静载试验荷载箱参数宜按本规程附录 A.0.8 的规定。

14.4 检测结果评价及检测报告

14.4.1　检测数据的处理应符合下列规定：

1　应绘制荷载与位移量的关系曲线和位移量与加荷时间的单对数曲线，也可绘制其他辅助分析曲线；

2　当进行桩身应变和桩身截面位移测定时，应按本规程第 14.2.7 与 14.2.8 的规定整理测试数据，绘制桩身轴力分布图，计算不同土层的桩侧阻力和桩端阻力。

14.4.2　上段桩极限加载值 Q_{uu} 和下段桩极限加载值 Q_{ud} 应按下列方法综合确定：

1　根据位移随荷载的变化特征确定时，对于陡变型曲线，应取曲线发生明显陡变的起始点对应的荷载值；

2　根据位移随时间的变化特征确定极限承载力，应取位移量与加载时间的单对数曲线尾部出现明显弯曲的前一级荷载值；

3　当出现本规程第 14.3.8 条第 1、2 款情况时，宜取前一级荷载值；

4　对缓变型曲线可根据位移量确定，上段桩极限加载值取对应位移为 40mm 时的荷载，当上段桩长大于 40m 时，宜考虑桩身的弹性压缩量；下段桩极限加载值取位移为 40mm 对应的荷载值，对直径大于或等于 800mm 的桩，可取荷载箱向下位移量为 0.05D（D 为桩端直径）对应的荷载值；

5　当按本条第 1~4 款不能确定时，宜分别取向上、向下两个方向的最大试验荷载作为上段桩极限加载

值和下段桩极限加载值。

14.4.3 自平衡静载试验测得的荷载-位移曲线宜等效转换为传统静载试验的荷载-位移曲线，转换方法宜符合本规程附录 G 的规定。

14.4.4 单桩竖向抗压极限承载力，应按下列公式计算：

单荷载箱：

$$Q_{\mathrm{u}} = \frac{Q_{uu} - W}{\gamma_1} + Q_{ud} \tag{24}$$

双层荷载箱：

$$Q_{\mathrm{u}} = \frac{Q_{uu} - W}{\gamma_1} + Q_{u\mathrm{m}} + Q_{\mathrm{ud}} \tag{25}$$

式中：

Q_{u} ——单桩竖向承载力极限值（kN）；

Q_{uu} ——上段桩的承载力极限值（kN）；

Q_{um} ——中段桩的承载力极限值（kN）；

Q_{ud} ——下段桩的承载力极限值（kN）；

W ——荷载箱上段桩的自重与附加重量之和（kN），附加重量应包括设计桩顶以上超灌高度的重量、空桩段泥浆或回填砂、土自重，地下水位以下应取浮重度计算；

γ_1 ——受检桩的抗压摩阻力转换系数，宜根据实际情况通过相近条件的比对试验和地区经验确定。当无可靠对试验资料和地区经验时，γ_1可取0.8~1.0，长桩及黏性土取大值，短桩或砂土取小值。

14.4.5 单桩竖向抗拔极限承载力，应按下式计算：

$$Q_{\mathrm{u}} = \frac{Q_{uu}}{\gamma_2} \tag{26}$$

式中：

γ_2 —— 受检桩的抗压摩阻力转换系数；承压型抗拔桩应取1.0，对于承拉型抗拔桩，应根据实际情况通过相近条件的比对试验和地区经验确定，大不得小于1.1。

14.4.6 单桩竖向抗压（抗拔）承载力特征值应按单桩竖向抗压（抗拔）极限承载力的 50%取值。

14.4.7 检测报告应结论准确、用词规范。检测（测试、观测）报告应包含以下内容：

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

2 地基条件描述、相应的地质柱状图；

3 受检桩的桩型、尺寸、桩号、桩位、桩顶标高、荷载箱参数、荷载箱位置以及相关施工记录；

4 加、卸载方法，检测仪器设备，检测过程描述及承载力判定依据；

5 受检桩的检测数据表、结果汇总表和相应的曲线；

6 当进行分层侧阻力和端阻力测试时，应包括传感器类型、安装位置、轴力计算方法、各级荷载下桩身轴力变化曲线、各土层的桩侧极限侧阻力和桩端阻力；

7 与检测内容相应的检测结论。

15 单桩水平静载试验

15.1 一般规定

15.1.1 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。

15.1.2 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。

15.2 仪器设备及其安装

15.2.1 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。

15.2.2 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；受检桩与千斤顶接触的位置宜适当补强。

15.2.3 基准系统的安装应符合本标准第 5.2.5 条的规定。

15.2.4 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。

15.2.5 荷载量测应符合本标准第 5.2.7 条的规定。

15.2.6 试验仪器设备性能指标应符合本标准第 5.2.8 条的规定。

15.2.7 测量桩身应变时，各测试断面的测量传感器应沿受力方向对称布置在原理中性轴的受拉和受压主筋上；埋设传感器的纵剖面与受力方向之间的夹角不得大于 10°。地面下 10 倍桩径或桩宽的深度范围内，桩身的主要受力部分应加密测试断面，断面间距不宜超过 1 倍桩径；超过 10 倍桩径或桩宽的深度，测试断面间距可以加大。桩身内传感器、位移杆的埋设应符合本标准附录 F 的规定。

15.3 现场检测

15.3.1 单桩水平最大试验荷载可按最大水平位移控制值进行预估，并宜由设计确定。

15.3.2 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标准第 16 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。

15.3.3 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。

15.3.4 当出现下列情况之一时，可终止加载：

1 桩身折断；

2 当最大试验荷载按本标准第 14.3.1 条第 1 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；

3 当设计未规定水平位移最大控制值时，水平位移超过 30mm～40mm，对软土中的桩或大直径桩可取高值；

4 荷载已达到本标准第 15.3.1 条规定的最大试验荷载值，并完成了加卸载全过程。

15.3.5 单向多循环加载法的单桩水平静载试验检测数据可按本标准表 A.0.9 的格式记录；慢速维持荷载法的单桩静载试验数据可按表 A.0.5 的格式记录。

15.4 检测数据分析与判定

15.4.1 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–lgt）关系曲线和水平力–水平位移双对数（lgH–$\lg Y_0$）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。

15.4.2 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：

$$m=\frac{(v_y\cdot H)^{\frac{5}{3}}}{b_0Y_0^{\frac{5}{3}}(EI)^{\frac{2}{3}}} \tag{27}$$

$$\alpha=\left(\frac{mb_0}{EI}\right)^{\frac{1}{5}} \tag{28}$$

式中：

m —— 地基土水平土抗力系数的比例系数（kN/m^4）；

α —— 桩的水平变形系数（m^{-1}）；

v_y —— 桩顶水平位移系数，由式（27）试算α，当$\alpha h\geq4.0$ 时（h 为桩的入土深度），其值为 2.441；

H —— 作用于地面的水平力（kN）；

Y_0 —— 水平力作用点的水平位移（m）；

EI —— 桩身抗弯刚度（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（m）；对于圆形桩：当桩径 $d\leq1$m 时，$b_0=0.9(1.5d+0.5)$；当桩径 $d>1$m 时，$b_0=0.9(d+1)$；对于矩形桩：当边宽 $b\leq1$m 时，$b_0=1.5b+0.5$；当边宽 $b>1$m 时，$b_0=b+1$。

15.4.3 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 lgH–$\lg Y_0$ 曲线上第一拐点对应的水平荷载值。

15.4.4 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 lgH–$\lg Y_0$ 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；

5 当出现本标准第 15.3.4 条第 4 款时，可取最大试验荷载值。

15.4.5 单桩水平承载力特征值可按下列方法综合分析确定：

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；

2 当桩身允许开裂或灌注桩的桩身配筋率不小于 0.65%时，可取水平临界荷载；且桩身裂缝宽度应满足相关规范标准要求；

3 可取设计要求的水平允许位移对应的荷载，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规定值所对应荷载的 0.75 倍；水平位移可按下列规定取值：

1）对水平位移敏感的建筑物取 6mm；

2）对水平位移不敏感的建筑物取 10mm。

5 当最大试验荷载取设计要求的单桩水平承载力特征值的2.0倍时，也可取单桩水平极限承载力的1/2。

15.4.6 检测报告除应符合本标准第 4.6.7 条规定外，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 14.4.1 条要求绘制的曲线及对应的数据表；

4　单桩水平承载力特征值或单桩水平极限荷载

16　低应变法

16.1 一般规定

16.1.1　本方法适用于多年冻土地区地基土按保持冻结状态进行设计时的单桩竖向承载力检验。
16.1.2　单桩静载荷试验过程中应对基桩影响范围内地基土温度进行监测。
16.1.3　多年冻土中试验桩施工后，应待冻土地温恢复后方可进行载荷试验。试验桩宜经过一个冬期后再进行试验。
16.1.4　试桩时间宜选在夏季末冬季初多年冻土地温出现最高值的一段时间内进行。
16.1.5　按保持冻结状态进行处理的多年冻土复合地基，其增强体单桩静载荷试验可按本方法的规定执行。

16.2 仪器设备及其安装

16.2.1　加载反力装置应符合本标准第 12.2.1 条的规定。
16.2.2　试验加载应符合本标准第 12.2.2 条的规定。
16.2.3　基准系统的安装应符合本标准第 5.2.5 条的规定。
16.2.4　桩顶沉降测量应符合本标准第 12.2.4 条的规定。
16.2.5　荷载量测应符合本标准第 5.2.7 条的规定。
16.2.6　试验仪器设备性能指标应符合本标准第 5.2.8 条的规定。
16.2.7　加载反力装置应符合本标准第 12.2.7 条的规定。
16.2.8　测试桩侧阻力、桩端阻力、桩身截面位移时，桩身内传感器、位移杆的埋设应符合本标准附录 F 的规定。

16.3 现场检测

16.3.1　试验桩的桩型尺寸、成桩工艺和质量控制标准应与工程桩一致。
16.3.2　试验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；混凝土桩头应进行加固。
16.3.3　试验前，应挖出桩周的季节冻土，或采取措施消除季节冻土对试验桩的冻结力。
16.3.4　试验前，应对试验桩桩身完整性进行检测。
16.3.5　单桩静载荷试验可根据试验条件和试验要求，选用慢速维持荷载法或快速维持荷载法进行试验。
16.3.6　采用慢速维持荷载法时，应符合下列要求：

1　加载级数不应少于 6 级，第一级荷载应为预估极限荷载的 25%。以后各级荷载可为极限荷载的 15%，累计试验荷载不得小于设计荷载的 2 倍；

2　在某级荷载作用下，当桩在最后 24h 内的下沉量不大于 0.5mm 时，应视为下沉已稳定，方可施加下一级荷载；

3　在某级荷载作用下，连续 10 昼夜达不到稳定。应视为桩-地基系统已破坏，可终止加载；

4　测读时间应符合下列规定：

1）沉降：加载前读一次，加载后读一次，此后每 2h 读一次。在高载下，当桩下沉快速时观测次数应增加，缩短间隔时间。

2）地温：每 24h 观测一次。

16.3.7　采用快速维持荷载法时，应符合下列要求：

1　快速加载时，每级荷载的间隔时间应视桩周冻土类型和冻土条件确定，一般不得小于 24h，且每级荷载的间隔时间应相等；

2　加载的次数不得少于 6 级，荷载级差可选择预估极限荷载的 15%；当桩在某级荷载作用下产生迅速下沉时，或桩头总下沉量超过 40mm 时，即可终止试验；

3　快速加载时，沉降观测和地温观测的应与慢速加载时相同。

16.3.8　单桩静载试验数据可按本标准表 A.0.5 的格式记录。

16.4 检测数据分析与判定

16.4.1　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、沉降–时间对数（s–lg$t$）关系曲线和荷载–稳定下沉速度（Q–v）流变曲线，也可绘制其他辅助分析曲线。

16.4.2　单桩竖向极限承载力的确定应符合下列规定：

1　慢速加载时，破坏荷载的前一级荷载即为桩的极限承载力；

2　快速加载时，找出每级荷载下桩的稳定下沉速度（即稳定蠕变速率），并绘制桩的流变曲线图（图 4），曲线延长线与横坐标的交点应作为桩的极限承载力；

3　参加统计的试桩，当满足其极差不超过平均值的 30％时，可取其平均值为单桩竖向极限承载力。当极差超过平均值的 30％时，宜增加试桩数量并分析极差过大的原因，结合工程具体情况确定极限承载力，对桩数为 3 根及 3 根以下的柱下承台，应取低值。

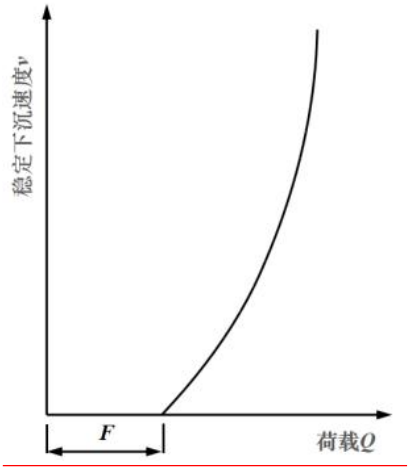


图 4　桩的流变曲线图

16.4.3　单桩竖向承载力特征值 R_a 应按单桩竖向极限承载力的一半取值。

16.4.4　检测报告除应符合本标准第 4.6.7 条规定外，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　加载方法，荷载分级；

4　本标准第 12.4.1 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　单桩竖向抗压极限承载力；

6　地基土温度监测数据。

17 钻芯法

17.1 一般规定

17.1.1　钻芯法适用于下列情况的成桩（成墙）质量检测与岩石地基性状检测：

1　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；

2　检测地下连续墙墙深、墙身混凝土强度、墙身完整性、墙底沉渣厚度，判定或鉴别墙底岩土性状；

3　检测有粘结强度的复合地基增强体的桩长、桩身强度、桩身完整性，判定或鉴别桩底持力层岩土性状；

4　检测水泥土墙墙深、墙身水泥土强度、墙身完整性，判定或鉴别墙底岩土性状；

5 检测岩石地基的岩石强度，判定或鉴别岩性及风化程度。

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

17.1.3 孔内摄像法适用于检测灌注桩桩身缺陷、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标准附录 H 的规定。

17.1.4 钻芯法对下列情况进行验证检测时，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。

1 当按照本标准第 4.5.1 条的规定，采用钻芯法对其他检测方法的检测结果、桩身混凝土实体强度进行验证检测时；

2 当出现本标准第 18.4.6 条第 2 款的情况或第 19.4.12 条的情况，采用钻芯法对嵌岩桩桩底情况进行验证检测时；

3 当出现本标准第 20.1.3 条第 1 款情况，采用钻芯法对桩底混凝土质量进行抽检时；

4 当选择钻芯法对桩底沉渣、桩端持力层进行验证检测时。

17.2 设备

17.2.1 钻取芯样应采用液压操纵的钻机，并配置适宜的水泵。

17.2.2 钻具的选取应符合下列规定：

1 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、扶正稳定器和可捞取松软渣样的钻具；

2 钻杆应顺直，直径宜为 42mm 或 50mm；

3 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；

4 对有粘结强度的复合地基增强体、水泥土墙钻取芯样时，宜选用单动双管钻具。

17.2.3 钻头的选取应符合下列规定：

1 混凝土桩应根据混凝土设计强度等级选用合适粒度、浓度、胎体硬度的金刚石钻头，且外径不宜小于 100mm；

2 有粘结强度的复合地基增强体、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；

3 钻取岩石抗压强度芯样时，宜选用外径为 76mm 的金刚石钻头。

17.2.4 锯切芯样的锯切机应具有冷却系统和夹紧固定装置。芯样试件端面的补平器和磨平机，应满足芯样制作的要求。

17.3 现场操作

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

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的超前钻结果表明，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可为 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。

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

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；当钻芯孔数大于两个时，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 持力层的钻探，每个槽段不应少于一孔钻至设计要求的深度，且每个钻芯孔钻入持力层的深度不应少于 0.5m；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。

17.3.3 有粘结强度的复合地基增强体（含钢筋混凝土灌注桩），混凝土灌注支护桩，每根受检桩的钻芯孔数、钻孔位置和钻探深度应符合下列规定：

1 每根受检桩应钻 1 孔；

2 钻孔位置宜在桩中心开孔；

3 对桩底持力层的钻探深度应满足设计要求，且不应小于 0.5m。

17.3.4 混凝土灌注承重支护桩，对桩底持力层的钻探深度应满足设计要求，且不应小于 2 倍桩径。

17.3.5 岩石地基的钻探深度应符合下列规定：

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。

17.3.6 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 130mm、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；

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。

17.3.7 钻机设备安装必须周正、稳固、底座水平。钻机在钻芯过程中不得发生倾斜、移位，钻芯孔垂直度偏差不得大于 0.5%。

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

17.3.9 正常钻进时，对混凝土和岩石每回次进尺宜控制在 1.5m 内；对有粘结强度的复合地基增强体、水泥土墙和土层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。

17.3.10 当桩（墙）底持力层为强风化岩层或土层时，应采用标准贯入试验或圆锥动力触探试验对持力层的岩土性状进行鉴别。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。

17.3.11 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，并应按本标准表 A.0.10 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。

17.3.12 混凝土灌注桩与地下连续墙芯样混凝土、桩（墙）底沉渣和桩（墙）端持力层可按本标准表 A.0.11 的格式进行详细编录；水泥搅拌桩与水泥土墙的水泥土芯样、桩（墙）底沉渣和桩（墙）端持力层可按本标准表 A.0.12 的格式进行详细编录；其他有粘结强度的复合地基增强体可按本标准表 A.0.11 的格式进行详细编录。

17.3.13 芯样全貌应在截取芯样前进行拍照，并应包含工程名称、检测对象编号、钻芯孔号、芯样试件拟截取位置、桩长（墙深）、孔深、检测单位名称等信息。

17.3.14 抗压强度试验的复合地基增强体芯样，作为桩端持力层或作为天然地基的岩石芯样，应采取避免

失水或吸水等适宜的保护措施。

17.3.15　当单桩质量评价满足设计要求时，应采用水泥浆从钻芯孔孔底往上进行回灌封闭处理；当单桩质量评价不满足设计要求时，应封存钻芯孔，留待处理。取样完毕剩余的芯样应移交委托单位妥善保存。

17.4 芯样试件截取与加工

17.4.1　当根据芯样试件抗压强度确定受检桩、地下连续墙、水泥土墙和复合地基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；

2　每组芯样应制作三个芯样抗压试件；对于混凝土芯样，一组三个芯样抗压试件应由一段完整芯样切割制作而成；对于水泥搅拌桩、旋喷桩芯样，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；当其长度为 30m～60m 时，每孔截取 4 组芯样；当其长度大于等于 60m 时，每孔截取芯样不少于 5 组；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。

17.4.2　当需要结合混凝土强度判断桩身完整性时，应在缺陷位置截取一组芯样或在同一受检桩其他钻芯孔同一深度部位截取一组芯样进行混凝土抗压试验。

17.4.3　桩（墙）端持力层岩石芯样的截取，应符合下列规定：

1　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，可截取一个或一组芯样进行抗压强度试验；且取样位置距桩（墙）端部不宜大于 1m；

2　当设计要求确定桩端持力层岩石强度标准值时，每根受检桩应截取一组芯样进行抗压强度试验。

17.4.4　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。

17.4.5　芯样试件应按本标准附录 J 进行加工和测量。

17.5 芯样试件抗压强度试验

17.5.1　芯样试件制作完毕可立即进行抗压强度试验。

17.5.2　芯样试件的破坏荷载应按国家现行标准《混凝土物理力学性能试验方法标准》GB/T 50081 的有关规定确定。芯样试件抗压强度应按下式计算。

$$f_{\mathrm{cu}} = \frac{4P}{\pi \mathrm{d}^2} \tag{29}$$

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）；

17.5.3　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。

17.5.4　岩石芯样试验时的含水状态，应根据需要选择天然含水状态或饱和状态。天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 24h 后进行试验。

17.5.5　岩石芯样试件单轴抗压强度应按下列公式计算：

$$R = \frac{4P}{\pi\, \mathrm{d}^2} \tag{30}$$

式中：

R ——　岩石芯样试件单轴抗压强度（MPa），精确至 0.1MPa；

P ——　岩石芯样试件抗压试验测得的破坏荷载（N）；

d ——　岩石芯样试件的平均直径（mm）

17.6 检测数据分析与判定

（I）基桩

17.6.1 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 取一组三个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；

2 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；

3 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；

4 按本标准第 17.4.2 条规定确定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。

17.6.2 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可根据钻芯法检测结果和孔内摄像法检测结果综合判定。

17.6.3 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：

$$\delta_1 \le \delta_2, \cdots\cdots \le \cdots\cdots \delta_n \tag{31}$$

按下式计算桩底沉渣厚度加权平均值：

$$\delta = \delta_1 + 2\delta_2 + \cdots\cdots + n\delta_n / (1 + 2 + \cdots + n) \tag{32}$$

式中：

δ —— 受检桩的桩底沉渣厚度；

δ_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。

17.6.4 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，按本标准表 4.6.3 的规定和表 17.6.4 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：当设计对单桩水平计承载力有要求时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。

17.6.5 当根据钻芯法检测结果和预埋管钻芯法检测结果综合判定成桩质量时，应根据钻芯法检测结果和预埋管钻芯法检测结果，按照本标准第 17.6.5 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。

表 29 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；局部芯样侧表面有气孔、蜂窝麻面		
		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；芯样侧表面有沟槽		
	局部芯样侧表面有严重蜂窝、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	局部芯样侧表面有严重蜂窝、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； 局部芯样侧表面有严重蜂窝、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； 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	局部芯样侧表面有严重蜂窝、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； 芯样侧面有严重蜂窝、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； 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
III	有下列情况之一：局部混凝土芯样破碎段长度不大于 10cm；芯样特征介于II类和IV类之间	有下列情况之一：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； 芯样特征介于II类和IV类之间	有下列情况之一：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； 芯样特征介于II类和IV类之间
IV	有下列情况之一： 因混凝土胶结质量差而难以钻进； 局部混凝土芯样破碎长度大于 10cm； 混凝土芯样任一段松散； 混凝土芯样任一段出现局部夹泥	有下列情况之一： 任一孔因混凝土胶结质量差而难以钻进； 任一孔局部混凝土芯样破碎长度大于 20cm； 任一孔局部混凝土芯样松散长度大于 10cm； 任一孔混凝土芯样局部夹泥、泥块粒径大于 5cm； 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	有下列情况之一： 任一孔因混凝土胶结质量差而难以钻进； 任一孔局部混凝土芯样破碎长度大于 30cm； 任一孔局部混凝土芯样松散长度大于 20cm； 任一孔混凝土芯样局部夹泥、泥块粒径大于 10cm； 其中两孔在同一深度部位的混凝土芯样同时出现松散、夹泥； 三孔在同一深度部位的混凝土芯样同时出现破碎

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。

17.6.6 当根据钻芯法检测结果和孔内摄像法检测结果综合判定成桩质量时，除应符合本标准第 16.6.5 条的规定外，尚应符合下列规定：

1 桩底沉渣厚度可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，并结合孔内摄像法检测结果，

综合分析确定；

3 连续沟槽、裂缝应依据钻芯法检测结果，并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。

17.6.7 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标准要求；

4 桩端持力层岩土性状不满足设计要求。

17.6.8 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。

17.6.9 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代表值取一组三个试件的强度平均值。

（II）地下连续墙

17.6.10 单个槽段的混凝土芯样试件抗压强度代表值可按本标准第 17.6.1 条的规定确定。

17.6.11 单个槽段的持力层岩土性状可按本标准第 17.6.2 条的规定确定。

17.6.12 单个槽段的沉渣厚度可按本标准第 17.6.3 条的规定确定。

17.6.13 单个槽段的墙身完整性可按本标准第 17.6.4 条的规定进行评价。

（III）有粘结强度的复合地基增强体

17.6.14 桩身芯样试件抗压强度代表值可按本标准第 17.6.1 条的规定确定。

17.6.15 桩底持力层岩土性状可按本标准第 17.6.2 条的规定确定。

17.6.16 桩身完整性类别的确定，应符合下列规定：

1 水泥搅拌桩与高压旋喷桩，应按表 30 的芯样特征综合判定。

表 30 水泥搅拌桩、高压旋喷桩桩身完整性判定

类别	特征
I	芯样呈长柱状、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，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 1 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、呈软塑状或流塑状

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。

2 混凝土灌注桩，可按本标准第 17.6.1～17.6.7 条有关混凝土灌注桩的规定进行评价。

3 除水泥搅拌桩、高压旋喷桩和混凝土灌注桩外，其他以混凝土为主要粘结材料的复合地基增强体，可按本条第 1 款和第 2 款的规定进行综合评价。

17.6.17 复合地基增强体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，应判定该受检桩成桩质量不满足设计要求：

1 桩身芯样试件抗压强度代表值不满足设计要求；

2 桩身完整性类别为IV类的桩；

3 桩底未进入设计要求的持力层。

（IV）水泥土墙

17.6.18 水泥土墙单孔的芯样试件抗压强度代表值可按本标准第 17.6.1 条的规定确定。

17.6.19　水泥土墙单孔的持力层岩土性状可按本标准第 17.6.2 条的规定确定。水泥土墙的墙身完整性可按本标准第 17.6.16 条的规定进行评价。

（V）岩石地基

17.6.20　每个检测孔的岩石单轴抗压强度代表值取一组三个试件的强度平均值。

17.6.21　单位工程岩石地基的岩石单轴抗压强度标准值，应根据本标准第 15.6.20 条确定的各检测孔的岩石单轴抗压强度代表值，按本标准公式（B.7）计算确定。

17.6.22　钻芯孔偏出桩（墙）外时，仅对钻取芯样部分进行评价。

17.6.23　检测报告除应符合本标准第 3.6.7 条规定外，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　按本标准表 A.0.13 的格式编制的每孔柱状图；

3　芯样单轴抗压强度试验结果；

4　芯样彩色照片。

18　低应变法

18.1 一般规定

18.1.1　低应变法适用于检测混凝土桩、水泥粉煤灰碎石桩的桩身完整性，判定桩身缺陷的程度及位置；不适用于咬合桩、支盘桩等桩身截面多变及变化幅度较大的桩身完整性检测，以及长径比小于 5 的大直径混凝土桩的桩身完整性检测。

18.1.2　低应变法的有效检测深度应通过现场试验确定。

18.1.3　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。

18.2 仪器设备

18.2.1　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/T518 的有关规定。

12.2.2　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。

18.3 现场检测

18.3.1　受检桩的桩头处理应符合下列规定：

1　应凿去桩顶浮浆、松散或破损部分，桩顶面应平整、密实，并与桩轴线垂直；当预应力管桩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　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。

18.3.2　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，锤重可适当加大，且宜大于 10kg。

18.3.3　测量传感器安装和激振操作，应符合下列规定：

1　安装传感器部位的混凝土应平整，且应与桩轴线垂直；用耦合剂粘结时，应具有足够的粘结强度；

2　传感器安装点（检测点）与激振锤击点的选取，应符合下列规定：

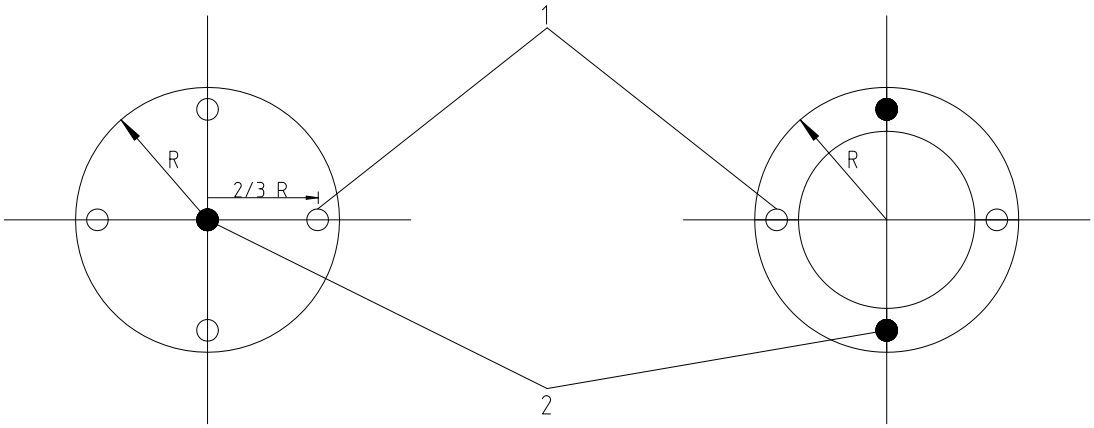
1）实心桩，传感器安装点与激振锤击点的距离宜不小于桩径或矩形桩边宽的四分之一；当激振锤击点在桩顶中心时，传感器安装点与桩中心的距离宜为桩半径的三分之二（图 5a）；

2）空心桩，激振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、激振锤击点与桩顶面圆心构成的平面夹角宜为 90°（图 5b）；

3　激振点与传感器安装点应避开钢筋笼的纵筋影响；

4　激振方向应与桩轴线平行；

5　激振脉冲宽度应根据桩长、缺陷所在位置的深浅进行调整；宜采用宽脉冲获取长桩的桩底或深部缺陷反射信息；宜采用窄脉冲获取短桩、桩的浅部缺陷以及预制桩的浅部水平裂缝反射信息。



a）实心桩　　b）空心桩

1—传感器安装点　　2—激振锤击点

图 5　传感器安装点与激振锤击的布置示意图

18.3.4　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在 $2L/c$ 时刻后延续不应少于 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长度；

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。

18.3.5　信号采集和筛选应符合下列规定：

1　应通过对同一传感器安装点和激振点进行多次激振，每个检测点记录有效信号数量不宜少于 3 个；

2　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；

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。

18.4 检测数据分析与判定

18.4.1　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。

18.4.2　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类桩的桩身波速值，按下列公式计算其平均值：

$$c_{\mathrm{m}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} c_i \tag{33}$$

$$c_i = \frac{2000L}{\Delta t} \tag{34}$$

$$c_i = 2L \bullet \Delta f \tag{35}$$

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）；

Δt —— 桩底反射波波峰与入射波波峰之间的时间差（ms）（图 6）；

Δf —— 频域曲线上桩底对应的相邻峰之间的频率差（Hz）（图 7）；

n —— 参加波速平均值计算的桩数（n≥5）；

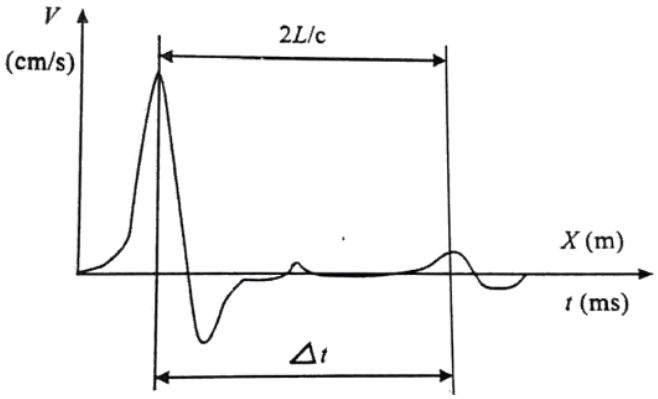


图 6 纵波波速时域计算示意图

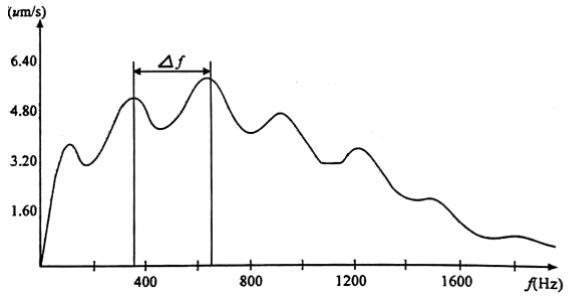


图 7 纵波波速频域计算示意图

2 当预制桩最上面一节桩接桩位置反射信号明确时，可根据接桩反射信号，按本条第 1 款的规定确定桩身纵波波速平均值；

3 桩身纵波波速平均值，预制桩 $|c_i-c_m|/c_m$ 不宜大于 5%，混凝土灌注桩、水泥粉煤灰碎石桩、素混凝土桩，$|c_i-c_m|/c_m$ 不宜大于 10%；

4 当波速平均值不能满足本条第 1 款~3 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。

18.4.3 桩身缺陷位置应按下列公式计算：

$$x_i = \frac{1}{2000} \cdot \Delta t_i \cdot c \tag{36}$$

$$x_i = \frac{1}{2} \cdot \frac{c}{\Delta f_i} \tag{37}$$

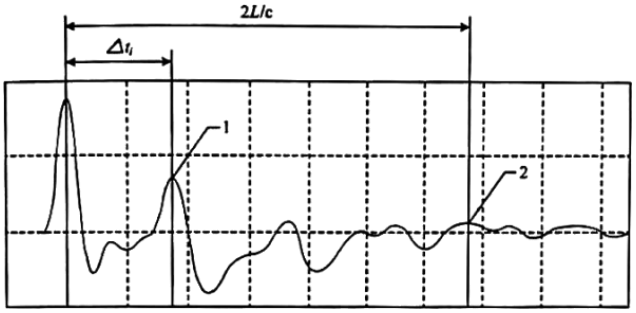
式中：

x_i —— 第 i 个桩身缺陷至传感器安装点的距离（m）；

Δt_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 8）；

c —— 受检桩的桩身波速（m/s），无法确定时用 cm 值替代；

Δf_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 9）。



1　缺陷位置；2　桩底反射图

图 8　缺陷位置时域计算示意图

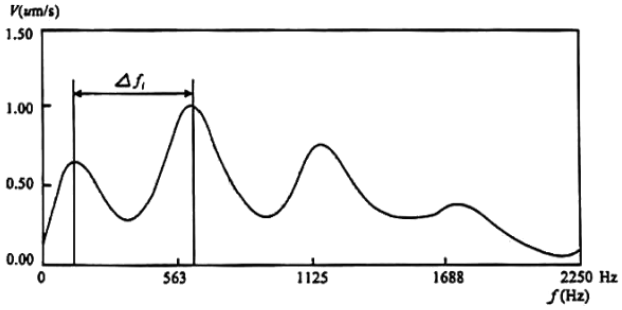


图 9　缺陷位置频域计算示意图

18.4.4　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，按本标准表 4.6.3 的规定和表 18.4.4 所列实测时域或频域信号特征进行综合分析判定。

表 31　桩身完整性判定

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

注：对同一场地、地质条件相近、桩型和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。

18.4.5　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　桩侧岩土阻力突变引起的负向反射及其二次反射；

3　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；

4 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。

18.4.6 当出现下列情况时，桩身完整性应结合其他检测方法综合判断；不能结合其他方法进行判断时，桩身完整性宜判为III类桩：

1 混凝土预制桩，反射波明显且反射波位置在接桩位置处；应结合高应变法或单桩静载试验综合判断；

2 嵌岩桩桩底有同向反射信号，可结合钻芯法综合判断。

18.4.7 当实测波形复杂、无规律，无法对桩身完整性进行准确评价时，应按本标准第 4.1.5 条的规定，重新选择检测方法进行检测；也可按本标准第 4.1.11 条的规定，进行重新检测。

18.4.8 检测报告除应符合本标准第 4.6.7 条规定外，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。

19 高应变法

19.1 一般规定

19.1.1 高应变法适用于检测桩的竖向抗压承载力和桩身完整性。

19.1.2 对于大直径扩底桩和预估 Q-S 曲线具有缓变型特征的大直径灌注桩，不宜采用高应变法进行竖向抗压承载力检测。

19.2 仪器设备

19.2.1 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/T518 规定的 2 级标准。

19.2.2 高应变法检测的锤击设备应符合下列规定：

1 应采用专用的锤击设备，且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；

2 锤击设备可采用筒式柴油锤、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；

3 当进行承载力检测时，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；

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。

19.2.3 桩的贯入度可采用精密水准仪等仪器测定。

19.2.4 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标准第 19.2.2 条的规定，但应大于单桩竖向抗压承载力特征值的 0.02。

19.3 现场检测

19.3.1 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；

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标准附录 L 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。

19.3.2 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 32 取值。

表 32　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/m³）	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标准第 18.4.2 条进行调整；

8　桩身材料弹性模量应按下式计算：

$$E = \rho \cdot c^2 \tag{38}$$

式中：

E　——　桩身材料弹性模量（kPa）；

c　——　桩身应力波传播波速（m/s）；

ρ　——　桩身材料质量密度（t/m³）。

19.3.3　现场检测应符合下列规定：

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，应实测桩的贯入度，单击贯入度宜在 2mm～6mm 之间；

3　现场检测过程中，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。

19.3.4　当出现下列情况之一时，不得提供承载力检测结果：

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。

19.4 检测数据分析与判定

19.4.1　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。

19.4.2　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 10）；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。

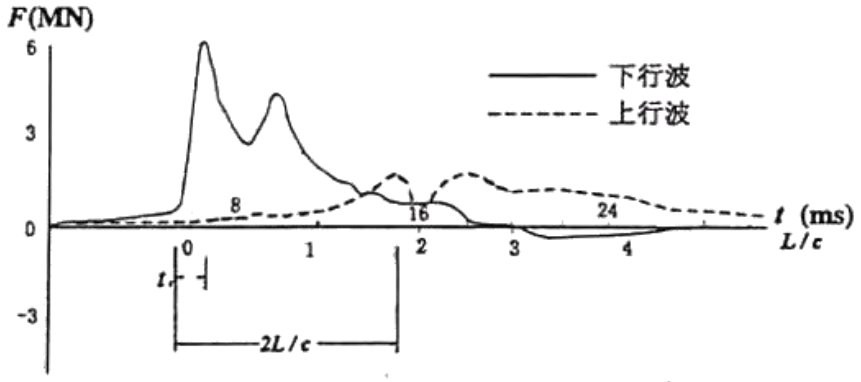


图 10　桩身波速的确定

19.4.3 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初步分析，分析内容宜包括：

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；

3 桩底软弱，动位移大，桩底同向反射明显；

4 因触变效应使预制桩在多次锤击下承载力下降。

19.4.4 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标准公式（38）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进行校正；

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，但应对响应传感器安装面以上的桩头惯性力进行修正。

19.4.5 高应变实测的力与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。

19.4.6 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。

19.4.7 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 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；

6 贯入度的计算值应与实测值接近。

19.4.8 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 Jc 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：

$$R_c = \frac{1}{2}(1 - J_c)\cdot[(F(t_1) + Z\cdot V(t_1)] + \frac{1}{2}(1 + J_c)\cdot[(F(t_1 + \frac{2L}{c}) - Z\cdot V(t_1 + \frac{2L}{c})] \quad (39)$$

$$Z = \frac{E\cdot A}{c} \quad (40)$$

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（m2）；

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 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。

19.4.9 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标准第 19.4.7 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β按下式计算：

$$\beta=Zx/Z \tag{41}$$

式中：

β —— 桩身完整性系数；

Zx —— 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β和桩身缺陷位置 x 应按下列公式计算：

$$\beta=\frac{[F(t_1)+Z\cdot V(t_1)]-R_X+[F(t_X)-Z\cdot V(t_X)]}{[F(t_1)+Z\cdot V(t_1)]-[F(t_X)-Z\cdot V(t_X)]} \tag{42}$$

$$x=c\cdot\frac{t_x-t_1}{2000} \tag{43}$$

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。

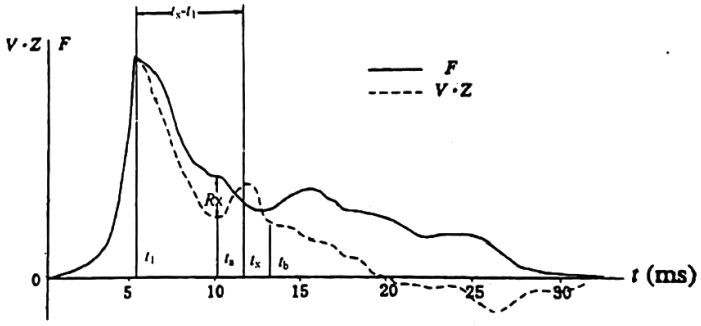


图 11 桩身完整性系数计算示意图

3 桩身完整性类别可按表 33 的规定并结合经验判定。

表 33 桩身完整性类别判定

类别	β值
I	B=1.0
II	0.8≤β＜1.0
III	0.6≤β＜0.8
IV	β＜0.6

19.4.10　出现下列情况之一时，宜采用实测曲线拟合法和合理的力学模型，或结合其他检测方法，对桩身完整性和承载力进行综合判定：

1　桩身有扩径；

2　桩身截面渐变或多变；

3　力和速度曲线在峰值附近比例失调，桩身浅部有缺陷；

4　锤击力波上升缓慢，力与速度曲线比例失调；

5　桩身存在明显或严重缺陷；

6　桩底软弱，动位移大，桩底同向反射明显。

19.4.11　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　本标准第 19.3.4 条规定中要求重新检测，而现场不具备重新检测条件时。

19.4.12　当出现本标准第 19.4.11 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。

19.4.13　检测报告除应符合本标准第 4.6.7 条规定外，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。

20　声波透射法

20.1　一般规定

20.1.1　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。

20.1.2　因声测管严重弯曲或扭弯导致声速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。

20.1.3　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，不应对整桩（墙）的桩（墙）身完整性进行评定：

1　声波透射法检测深度与施工记录桩底标高明显不符；

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标准第 20.3.2 条的规定。

20.2　仪器设备

20.2.1　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　换能器外径应小于声测管内径，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。

20.2.2　换能器宜配置扶正器。

20.2.3　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。

20.2.4　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，且宜采用一发两收或一发多收声波检测仪。

20.3 声测管埋设

20.3.1　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。

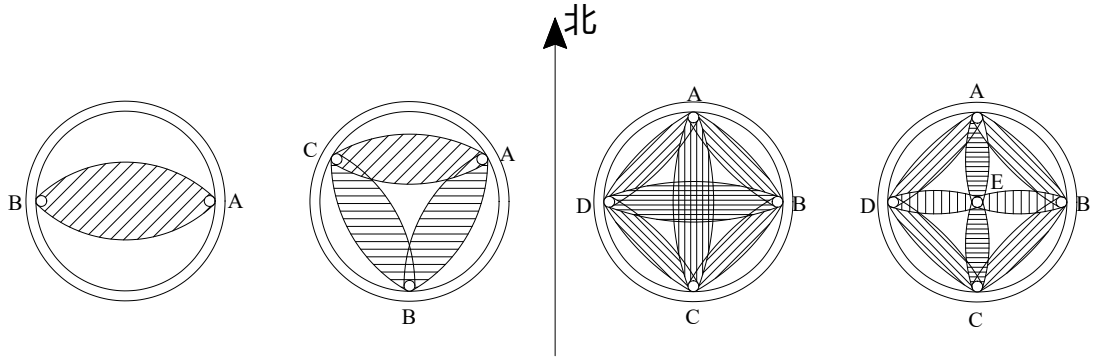
20.3.2　混凝土灌注桩中的声测管应呈对称形状布置（图 12），声测管间距不应大于 2500mm，当声测管数量为 5 根及以上时，其中 1 根声测管应埋设在桩轴心附近（或用钻芯孔替代），声测管埋设数量应符合下列规定：

1　d≤800mm 时（d 为桩径），不得少于 2 根声测管；

2　800mm＜d≤1600mm 时，不得少于 3 根声测管；

3　1600mm＜d≤2500mm 时，不得少于 4 根声测管；

4　d＞2500mm 时，不得少于 5 根声测管。



（a）二管　　（b）三管　　（c）四管　　（d）五管

图 12　混凝土灌注桩声测管布置图

20.3.3　灌注桩声测管应自正北方向顺时针旋转依次编号（图 12），检测剖面编号应符合下列规定：

1　2 根声测管时，AB 剖面（j=1）；

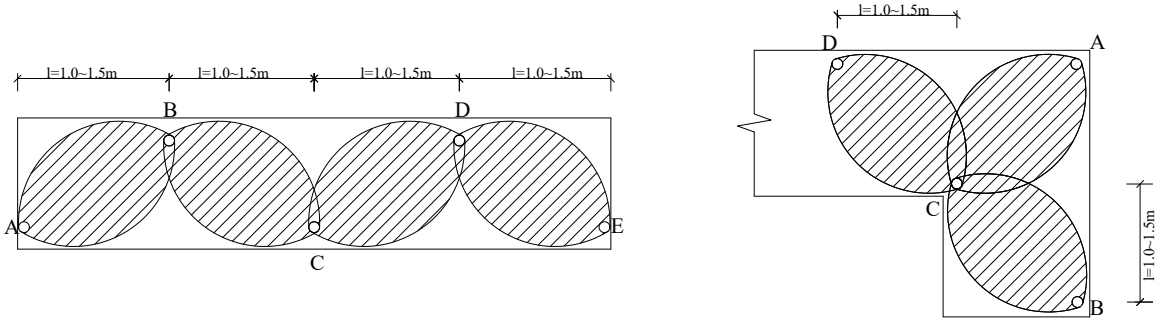
2　3 根声测管时，AB 剖面（j=1），BC 剖面（j=2），CA 剖面（j=3）；

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）；

4　5 根声测管其中 1 根布置在桩中心，其余 4 根沿桩周布置时，AB 剖面（j=1），BC 剖面（j=2），CD 剖面（j=3），DA 剖面（j=4），AE 剖面（j=5），BE 剖面（j=6），CE 剖面（j=7），DE 剖面（j=8）。

20.3.4　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 L 型槽段，声测管埋设数量不应少于 4 根，且应在阴角处、阳角处各布设 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（图 13），直槽段检测剖面编组（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）…；L 型槽段检测剖面编组（检测剖面序号记为 j）分别为：AC 剖面（j=1），BC 剖面（j=2），CD 剖面（j=3）…。



（a）直槽段　　（b）L 型槽段

图 13　地下连续墙声测管布置示意图

20.3.5　钻芯孔或预埋管钻芯法中的预埋管可作为声测通道。

20.4 现场检测

20.4.1　现场检测前准备工作应符合下列规定：

1　仪器系统延迟时间应采用率定法确定；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：

$$t=t_0+b\cdot l \tag{44}$$

式中：

t —— 声时（μs）；

t_0 —— 仪器系统延迟时间（μs）；

b —— 直线斜率（μs/mm）；

l —— 换能器表面净距离（mm）。

2　几何因素声时修正值应按下式计算：

$$t' = \frac{d_1 - d_2}{v_t} + \frac{d_2 - d'}{v_w} \tag{45}$$

式中：

t' —— 几何因素声时修正值（μs）；

d_1 —— 声测管外径（mm）；

d_2 —— 声测管内径（mm）；

d' —— 换能器外径（mm）；

v_t —— 声测管材料声速（km/s）；

v_w —— 水的声速（km/s）。

3　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。

20.4.2　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 14a）；斜测时，发射与接收声波换能器应始终保持固定高差（图 14b），且声测线与水平面的夹角不应大于 30°；

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 100mm，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；

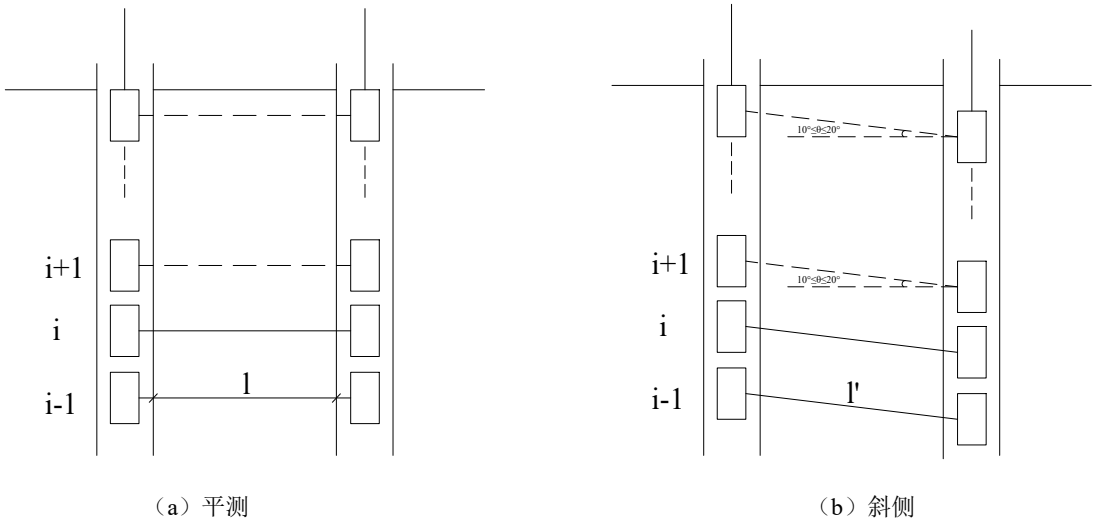
5　当采用具有信号自动采集功能的声波检测仪时，换能器移动速度不宜大于 0.5m/s，并应确保测试

信号的一致性；

6　混凝土灌注桩完整性检测时，应对本标准第 20.3.2 条规定的所有检测剖面，逐一完成检测工作；

7　地下连续墙墙身完整性检测时，应对本标准第 20.3.4 条规定的所有检测剖面，逐一完成检测工作；

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。



（a）平测　　（b）斜侧

图 14　平测与斜侧示意图

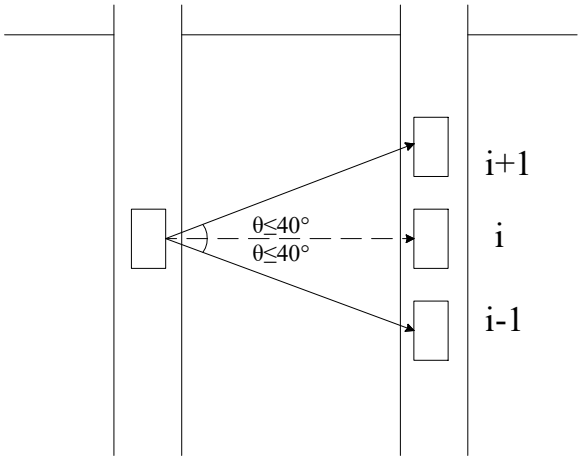


图 15　扇形扫测示意图

20.4.3　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 15）或声波层析成像法等方式进行复测和加密测试。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°。

20.4.4　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 个对称分布的斜测信号；

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、相邻接收点的深度间距应分别相等；

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　测试轴向区域应完全覆盖可疑区域；

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。

20.5 检测数据分析与判定

20.5.1 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；不能对管距进行合理修正的情况，应按本标准第 20.1.2 条的规定执行。

20.5.2 平测或斜测的各声测线的声时、声速、波幅及主频， 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：

$$t_{ci}(j)=t_i(j)-t_0-t' \tag{46}$$

$$v_i(j)=\frac{l_i'(j)}{t_{ci}(j)} \tag{47}$$

$$A_{pi}(j)=20\lg\frac{a_i(j)}{a_0} \tag{48}$$

$$f_i(j)=\frac{1000}{T_i(j)} \tag{49}$$

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；

$t_{ci}(j)$ —— 第 j 检测剖面第 i 声测线声时（μs）；

$t_i(j)$ —— 第 j 检测剖面第 i 声测线声时测量值（μs）；

$t_0(j)$ —— 仪器系统延迟时间（μs）；

t' —— 几何因素声时修正值（μs）；

$l_i'(j)$ —— 第 j 检测剖面第 i 声测线的两声测管的外壁间净距离（mm）；平测时，可取两声测管管口的外壁间净距离；斜测时，可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；

$v_i(j)$ —— 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（μs）。

20.5.3 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 $v_i(j)$由大到小依次按下式排序：

$$v_1(j)\geq v_2(j)v_1(j)\ldots v_i(j)\geq\ldots v_{i-1}(j)\geq v_i(j)\geq v_{i+1}(j)\geq\ldots v_{n-k}(j)\geq\ldots v_{n-1}(j)\geq v_n(j) \tag{50}$$

式中：

$v_i(j)$ —— 第 j 检测剖面第 i 声测线声速，i 为 1~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，…；

l —— 拟去掉的高声速值的数据个数，l=0，1，2，…。

2 对逐一去掉 $v_i(j)$中 k 个最小数值和 l 个最大数值后的其余数据，按下列公式进行统计计算：

$$v_{01}(j)=v_m(j)-\lambda\cdot s_x(j) \tag{51}$$

$$v_{02}(j)=v_m(j)-\lambda\cdot s_x(j) \tag{52}$$

$$v_m(j)=\frac{1}{n\text{-}k\text{-}l}\sum_{i=l+1}^{n-k}v_i(j) \tag{53}$$

$$s_x(j)=\sqrt{\frac{1}{n\text{-}k\text{-}l\text{-}1}\sum_{i=l+1}^{n-k}\left(v_i(j)-v_m(j)\right)^2} \tag{54}$$

$$C_V(j)=\frac{s_x(j)}{v_m(j)} \tag{55}$$

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；

λ —— 由表 34 查得的与（$n-k-l$）相对应的系数。

表 34 统计数据个数（n－k－l）与对应的λ值

$n-k-l$	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38
λ	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
λ	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
λ	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
λ	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
λ	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
λ	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
λ	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
λ	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
λ	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与 $v_{n-k}(j)$异常判断值 $v_{01}(j)$进行比较，当 $v_{n-k}(j)\le v_{01}(j)$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 $v_{l+1}(j)\ge v_{02}(j)$时去掉最大数据；每次剔除一个数据，对剩余数据构成的数列重复式（51）~（54）的计算步骤，直到下列两式成立：

$$v_{n-k}(j)\succ v_{01}(j) \tag{56}$$

$$v_{l+1}(j)\succ v_{02}(j) \tag{57}$$

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：

$$v_0(j)=\begin{cases} v_m(j)(1-0.015\lambda) & \text{当} C_V(j)\prec 0.015 \text{ 时} \\ v_m(j) & \text{当} 0.015\le C_V(j)\le 0.045 \text{ 时} \\ v_m(j)(1-0.045\lambda) & \text{当} C_V(j)\succ 0.045 \text{ 时} \end{cases} \tag{58}$$

式中：

$v_0(j)$ —— 第 j 检测剖面的声速异常判断概率统计值。

20.5.4 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 3600m/s 且小于 4500m/s 时

$$v_c(j) \succ v_0(j) \tag{59}$$

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 3600m/s 或大于 4500m/s 时，应分析原因，$v_c(j)$的取值可参考同一桩（同一槽段）的其他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（或同一工程其他质量稳定的槽段）的声速异常判断临界值综合确定；

3 对单个检测剖面的桩（墙），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（墙）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（墙）各声测线声速异常判断临界值（v_c）。

20.5.5 声测线声速异常程度可按表 35 进行判定。

表 35 声测线声速异常程度判定表

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

20.5.6 波幅异常判断的临界值应按下列公式计算：

$$A_m(j)=\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}A_{pi}(j) \tag{60}$$

$$A_c(j)=A_m(j)-6 \tag{61}$$

波幅异常的临界值判据为：

$$A_{pi}(j) \prec A_c(j) \tag{62}$$

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

20.5.7 声测线波幅异常程度可按表 36 进行判定。

表 36 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）≤A_c（j）-12	严重异常

20.5.8　各个检测剖面的各条声测线的完整性函数值，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 37 所描述的特征确定。

表 37　声测线的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

20.5.9　桩身各检测横截面的完整性类别指数应按下式确定：

$$K(i)=\mathrm{INT}\left[\frac{\sum_{j=1}^{n} I(j,\ i)\cdot I(j,\ i)}{\sum_{j=1}^{n} I(j,\ i)}+0.5\right] \tag{63}$$

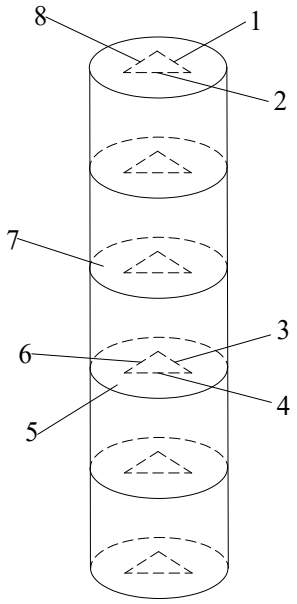
式中：

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；

N　——　检测剖面数；

INT　——　取整函数。



1—j=1（检测剖面 1）；2—j=2（检测剖面 2）；3—声测线（1，i）；4—声测线（2，i）5—检测截面 i；
6—声测线（3，i）；7—检测截面 i+1；8—j=3（检测剖面 3）

图 16　检测剖面、声测线、检测横截面划分示意图

20.5.10　桩身完整性类别宜根据声波层析成像法检测结果和本标准表 4.6.3 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，尚应按照表 38 的规定进行判定。

表 38　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。

20.5.11　地下连续墙单个检测剖面的完整性类别可按本标准单剖面灌注桩的规定进行判定，当槽段某剖面出现Ⅳ类桩特征时应判为IV类，其他情况应按式（63）确定受检槽段完整性类别。

20.5.12　当采用斜率法的 PSD 值作为辅助异常点判据时，应根据 PSD 值在某深度处的突变值，并结合波幅变化情况，进行异常声测线判定。PSD 值应按下式计算：

$$PSD=(j,i)=\frac{\left[t_{ci}(j)-t_{ci-1}(j)\right]^2}{z_i-z_{i-1}} \tag{64}$$

式中：

t_{ci}（j）　——　第 j 检测剖面第 i 声测线声时（μs）；

$T_{ci\text{-}1}$（j）——　第 j 检测剖面第 i-1 声测线声时（μs）；

Z_i　——　第 i 声测线深度（m）；

$Z_{i\text{-}1}$　——　第 i-1 声测线深度（m）。

20.5.13　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；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。

20.5.14　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应与测点间距一致；

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标准表 4.6.3 的规定和表 39 所描述的特征进行判定。

表 39　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 1/2 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按本标准表 19.5.5 的规定进行确定。

20.5.15　当出现本标准第 20.1.3 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。

20.5.16　检测报告除应符合本标准第 4.6.7 条规定外，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 各检测剖面实测波列图；

6 采用加密测试、扇形扫测的有关情况；

7 采用声波层析成像法检测的数据分析图表

21 抗浮锚杆验收试验

21.1 一般规定

21.1.1 抗浮锚杆的验收检测应采用接近抗浮锚杆实际工作条件的试验方法。

21.1.2 验收试验应抽取每种类型锚杆总数的 5%且不少于 5 根。对有特殊要求的工程，可按设计要求增加验收抗浮锚杆的数量。

21.1.3 锚固体灌浆强度达到设计强度的 90%后，方可进行锚杆试验。

21.1.4 试验时最大的试验荷载不宜超过锚杆杆体承载力标准值的 0.9 倍，使用期抗浮锚杆的最大试验荷载不宜超过抗浮锚杆轴向拉力设计值的 1.5 倍，施工期抗浮锚杆的最大试验荷载不宜超过抗浮锚杆轴向拉力设计值的 1.2 倍。

21.1.5 荷载分散型抗浮锚杆的试验宜采用等荷载法。

21.2 仪器设备及其安装

21.2.1 试验反力装置宜采用反力锚杆（工程锚杆可用作反力桩）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 采用反力锚杆提供支座反力时，反力锚杆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。

21.2.2 试验用加荷装置（千斤顶、油泵）的额定压力必须大于试验压力。试验用计量仪表（压力表、测力计、位移计）应满足测试要求的精度。

21.2.3 基准系统的安装应符合本标准第 5.2.5 条的规定

21.2.4 锚杆顶部上拔量测量及其位移测量仪表安装应符合本标准第 12.2.4 条的规定。

21.2.5 荷载量测应符合本标准第 5.2.7 条的规定。

21.2.6 试验仪器设备性能指标应符合本标准第 5.2.8 条的规定。

21.2.7 受检锚杆、反力锚杆（或反力支墩）和基准桩之间的距离应大于或等于 5 倍锚杆孔径。

21.3 现场检测

21.3.1 验收试验应分级加荷，并应符合下列规定：

1 初始荷载宜取试验最大荷载的 0.10 倍，分级加荷值宜取 试验最大荷载的 0.50 倍、0.75 倍、1.00 倍、1.20 倍、1.33 倍和 1.50 倍；

2 每级荷载均宜稳定 5min~10min,，并记录位移增量；

3 最后一级试验荷载应维持 10min，当 10min 内锚头位移增量超过 1.0mm 时应再维持 60min，并在 15min、20min、25min、30min、45min 和 60min 时记录锚头位移增量；

4 位移稳定后，应卸载到试验最大荷载值的 10%观测 10min 并测计锚头位移。

21.3.2 在每级加荷等级观测时间内位移增量不超过 0.1mm 并连续出现两次，或位移增量在 2h 内小于 2mm

时，方可施加下一级荷载。

21.3.3 当试验出现下列情况之一时，可终止加荷：

1 锚杆杆体破坏或从锚固体中拔出，或锚固体从土层中拔出；

2 锚头变形量达到前一级荷载作用下的 5 倍；

3 锚头位移不收敛，且在 1h 内未出现稳定；

4 锚头总位移量超过设计允许值。

21.3.4 验收合格标准应符合下列规定：

1 加荷到设计荷载后变形稳定；

2 锚杆弹性变形不小于自由段长度变形计算值的 80%，且不大于自由段长度与 1/2 锚固段长度之和的弹性变形计算值；

3 在最后一级荷载作用下 1min～10min 抗浮锚杆蠕变量不大于 1mm，当超过时，6min～60min 内抗浮锚杆蠕变量不大于 2mm。

21.4 预应力锚杆现场检测

21.4.1 位移观测期间应维持荷载稳定。

21.4.2 预应力锚杆验收试验加卸载及锚头位移测读应符合下列规定：

1 初始荷载宜为试验最大荷载的 0.10 倍，分级加荷值宜为试验最大荷载的 0.4 倍、0.6 倍、0.8 倍、1.0 倍、1.2 倍荷 1.5 倍；

2 每级加荷稳定后的第 1min、10min 测读锚头位移；

3 第 10min 内测读锚头位移增量小于或等于 1mm 时视为位移收敛，直接施加下一级荷载；或延长观测时间至 60min，并记录第 15min、30min、45min 和 60min 时锚头位移；

4 锚杆最大试验荷载加荷结束后，卸荷至初始荷载，荷载稳定后第 10min 测读锚头位移量。

21.4.3 验收合格标准应符合下列规定：

1 拉力型锚杆最大试验荷载所测得的弹性位移量不超过杆体自由段长度理论弹性伸长值的 80%，且小于自由段长度与 1/3 锚固段长度之和的杆体理论弹性伸长值；

2 压力型锚杆弹性变形不超过杆体自由段长度理论弹性伸长值的±20%；

3 最后一级荷载作用下第 1 个 10min 锚头位移增量小于或等于 1min，或第一个 60min 锚头位移增量小于或等于 1.8mm。

21.5 预应力锚杆锁定值现场检测

21.5.1 锚杆锁定值验收试验用于检验锚杆预应力施工 控制过程及锁定力与设计要求的符合程度。

21.5.2 锁定值验收检验的锚杆应随机抽样，对质量有疑问的锚杆应抽样检验。

21.5.3 锁定值验收检验锚杆的数量不应少于锚杆总数的 5%，且不得少于 5 根；对有特殊要求的工程，应按设计要求的检验数量进行检验。锚杆锁定力控制操作过程和检验应有完整记录。

21.5.4 锚杆张拉锁定宜采用整体张拉锁定，且宜采用测力仪检验锚杆锁定力。锁定过程宜符合表 40 的规定。

表 40 锚杆锁定荷载分级及变形观测控制

荷载分级	变形观测时间（min）		加荷速率（kN/min）
	岩层	土层	
$0.10N_t$	5	10	不大于 100
$0.50N_t$	5	5	
$0.75N_t$	5	5	
$1.00N_t$	5	10	不大于 50

$1.05N_t$~$1.10N_t$	10	15	
卸载至锁定荷载设计值（N_t）	5	5	不大于 100

21.5.5　锚杆锁定过程中应测量每级荷载下锚头的变形值。锚头变形值的测量宜符合下列规定：

1　锚头变形测量基点应符合国家现行有关标准的规定；

2　在初始荷载 $0.10N_t$ 作用下变形稳定后，测量锚头变形初始值；

3　加荷过程中应测量锚头变形值，在恒载过程中应按 0min、5min、10min、15min 测读锚头变形值，当实测值在允许偏差范围内（-5%，+10%）时可张拉下一级荷载；

4　卸载至锚杆锁定值时，应测量锚头预应力筋的回缩值；

5　读数不应少于 3 次，当 3 次读数的最大差值符合测力仪允许误差时，取 3 次读数的平均值作为检验基准值。

6　锚杆锁定 10min 后测定锚杆锁定值。

21.5.6　锚杆锁定值合格标准应符合下列规定：

1　在各级加荷、卸载作用下所测锚头变形值、回缩值满足设计要求；

2　实测锁定值与设计锁定值的绝对偏差不大于 8%。

21.6 检测数据分析与判定

21.6.1　确定受检锚杆竖向抗拔承载力时，试验结果应按每级荷载对应的锚杆顶部位移列表整理。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。

21.6.2　参与统计的试验锚杆，当其极差值不大于平均值的 30%时，应取平均值作为承载力特征值；当极差超过 30%时，应增加试验数量并分析极差过大的原因，且按 95%保证概率计算抗浮锚杆的承载力特征值。

21.6.3　检测报告除应符合本标准第 4.6.7 条规定外，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　受检锚杆的孔径、长度、杆体直径、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　本标准第 21.6.1 条要求绘制的曲线及对应的数据表；

5　锚杆验收标准与评定依据、抗拔承载力检测值。

22 支护锚杆与土钉验收试验

22.1 一般规定

22.1.1　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。

22.1.2　支护锚杆与土钉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。

22.1.3　支护锚杆验收试验应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 15MPa 或设计强度的 70%后进行。

22.1.4　支护锚杆检测数量不应少于锚杆总数的 5%，且同一土层锚杆检测数量不应少于 3 根；土钉检测数量不应少于土钉总数的 1%，且同一土层土钉检测数量不应少于 3 根。

22.2 仪器设备及其安装

22.2.1　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。

22.2.2　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。

22.2.3　锚杆试验加载反力装置可根据试验条件选择支撑凳式反力装置（图 17）或承压板式反力装置（图 18），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；支护型岩石锚杆与锚杆支护结构体系中设置有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。

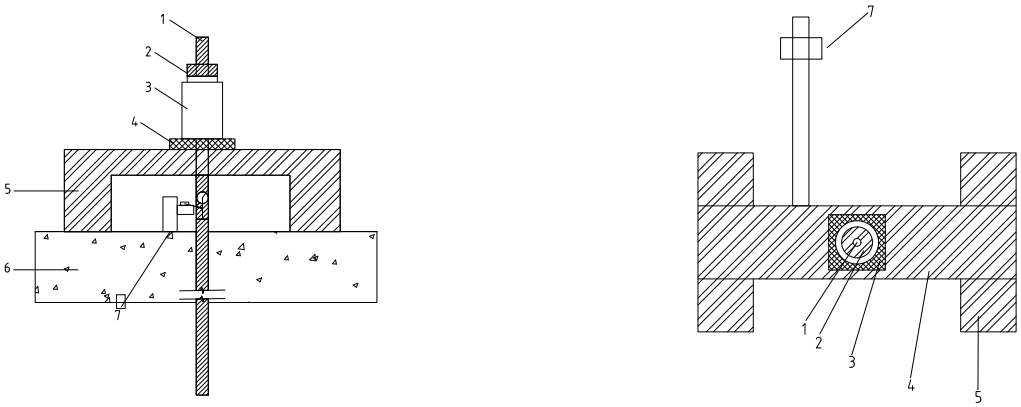


图 17　　支撑凳式反力装置安装示意图

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

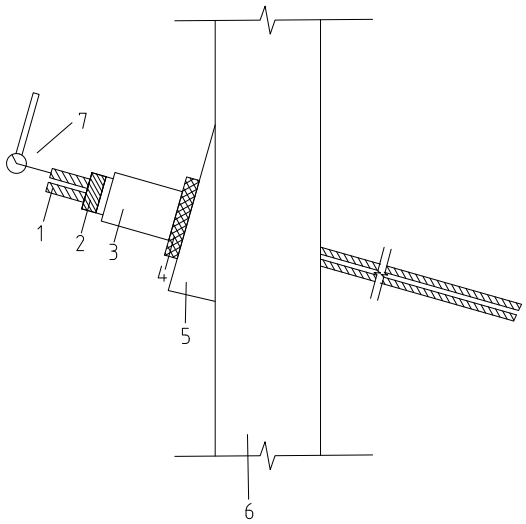


图 18　　承压板式反力装置安装示意图

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

22.2.4　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。

22.2.5　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。

22.2.6　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。

22.2.7　荷载量测应符合本标准第 5.2.7 条的规定。

22.2.8　试验仪器设备性能指标应符合本标准第 5.2.8 条的规定。

22.2.9　锚杆中心、支座（承压板）、基准桩中心之间的距离应符合表 41 的规定。

表 41　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	≥4*B*≥6*d* 且＞2.0m	＞2.0m	≥1.5*B* 且＞2.0m
支撑凳式反力装置	≥3.0*d*	＞1.0m	≥1*B* 且＞1.0m
承压板式反力装置	-	＞1.0m	≥1*B* 且＞1.0m

注：1　*B* 为支座宽度或承压板边宽；*d* 为锚杆钻孔直径。

2　当按本标准第 22.2.6 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 22.2.9 的规定。

22.3 现场检测

22.3.1　支护锚杆与土钉验收荷载应按设计要求确定，或按相应设计规范标准确定。

22.3.2　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，当采用本标准第 22.4.7~22.4.8 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。

22.3.3　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 19）；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。

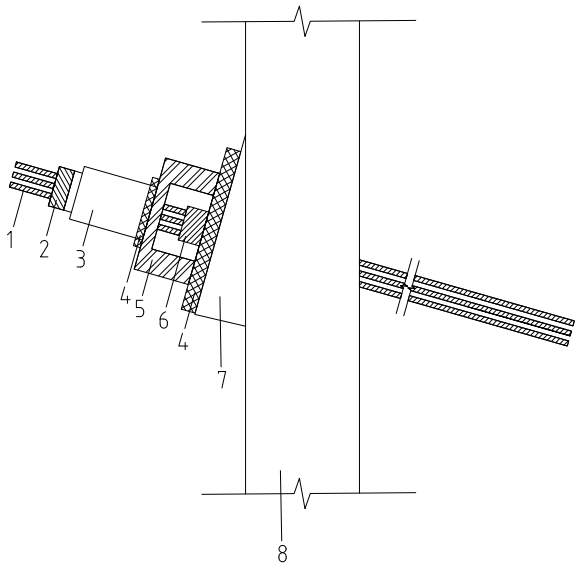


图 19　锚杆卸锚装置示意图

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

22.3.4　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%。

22.3.5　试验中加荷速度与卸荷速度应符合本标准第 20.3.2 条的规定。

22.3.6　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。

22.3.7　荷载分散型锚杆的张拉方法应符合下列规定之一：

1　宜采用本标准附录 K 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　当试验条件满足本标准第 22.2.5 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。

22.3.8　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 42 的规定；

表 42　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	50
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　卸载时，每级荷载持荷 5min，并在第 0min、5min 测读锚头位移；

6　当出现本标准第 22.3.10 条规定的终止加载情况时，可终止加载。

22.3.9　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 43 的规定；

表 43　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　当出现本标准第 22.3.10 条规定的终止加载情况时，可终止加载。

22.3.10　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收敛标准；

5　已加载至最大试验荷载值，且锚头位移达到相对收敛标准。

22.3.11　预应力锚杆在试验完成后应按设计要求进行锁定。

22.3.12　支护锚杆验收试验数据可按本标准表 A.0.15 的格式记录。

22.4　检测数据分析与判定

22.4.1　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。

22.4.2　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　当出现本标准第 22.3.10 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　当出现本标准第 22.3.10 条第 5 款情况时，取最大试验荷载值。

22.4.3　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，应按本标准第 21.4.2 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标准第 22.4.2 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。

22.4.4　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：

$$\Delta L_1 = \frac{(Q_{\max} - Q_0)\ L_{tf}}{EA_S} \tag{65}$$

式中：

ΔL_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(m2)。

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，可按下式计算：

$$\Delta L_2 = \frac{(Q_{\max} - Q_0)\ \ (L_{tf} + L_{tb}/2)}{EA_S} \tag{66}$$

式中：

ΔL_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（ΔL_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（ΔL_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（ΔL_1）的 80%，且应小于杆体自由段长度的理论弹性伸长值（ΔL_1）的 120%。

22.4.5　对荷载分散型支护锚杆，每组单元锚杆均应按本标准第 22.4.4 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标准第 J.0.6 条的规定取值。

22.4.6　单根受检锚杆的评价，当满足下列条件时，可判定所检测的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不应小于锚杆验收荷载；

2　锚杆变形应符合本标准第 22.4.4、22.4.5 条的规定；

3　当设计有要求时，锚杆的总位移量应不超过设计限值。

22.4.7　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，可判定所检测的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　锚杆变形应符合本标准第 21.4.4、21.4.5 条的规定；

4　当设计有要求时，锚杆的总位移量应不超过设计限值。

22.4.8　土钉验收试验，应对同一条件的土钉抗拔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验收试验结果满足设计要求：

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荷载值的 0.8 倍；

3　当设计有要求时，土钉的总位移量应不超过设计限值。

22.4.9　检测报告除应符合本标准第 4.6.7 条规定外，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　受检锚杆的孔径、长度、杆体直径、自由段长度和角度，受检土钉的直径、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 本标准第 22.4.1 条要求绘制的曲线及对应的数据表；
5 支护锚杆、土钉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。

23 锚杆锁定力测试

23.1 一般规定

23.1.1 锚杆锁定力测试适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。

23.1.2 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。

23.1.3 当需要进行锚杆拉力监测时，可按《锚杆检测与监测技术规程》JGJ/T 401 的有关规定执行。

23.2 仪器设备及其安装

23.2.1 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 $\mu\varepsilon$；
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。

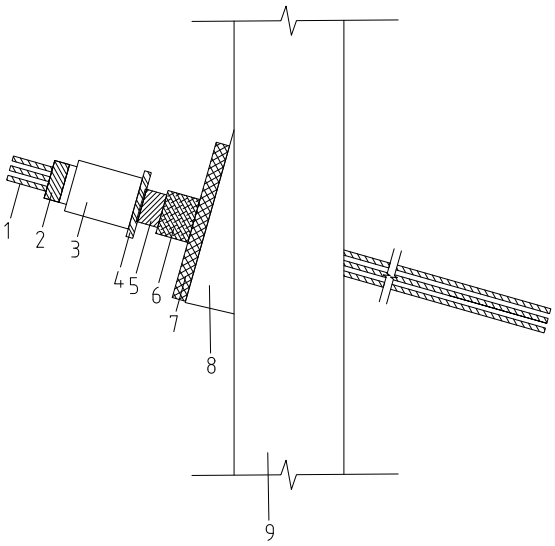


图 20 安装锚杆测力计的锚杆张拉锁定装置示意图

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

23.2.2 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，测力计应安装在工作锚与垫板之间（图 20）；
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。

23.2.3 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标准第 5.2.7、5.2.8 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 21）；
4 锚杆卸锚装置可选用本标准第 22.2.3 条规定的支撑凳式加载反力装置（图 21）。

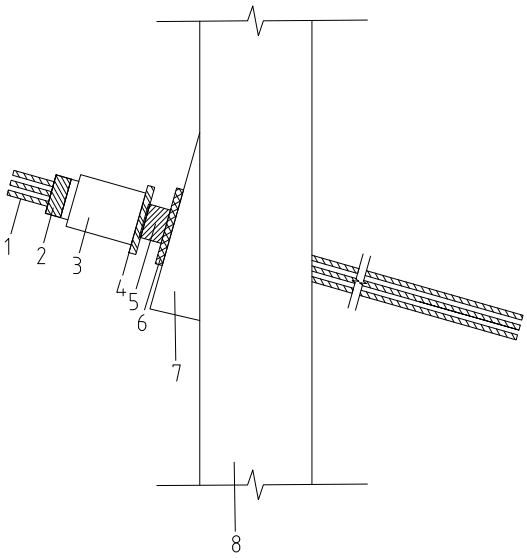


图 21　锚杆的张拉锁定装置示意图

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

23.2.4　当采用持有荷载试验进行锁定力测试时，持有荷载试验装置应采用支撑凳式反力装置（图 22），其仪器设备及其安装应符合本标准第 22.2 节的有关规定。

23.2.5　测力计安装记录可按本标准表 A.0.15 的格式记录。

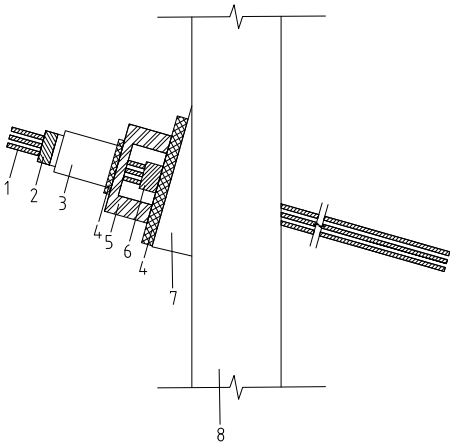


图 22　持有荷载试验装置示意图

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

23.3 现场操作

23.3.1　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具锚后，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。

23.3.2　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

的测读应符合本标准第 22.3.2 条的规定。

23.3.3 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 0.5mm~1mm 塞尺插入工作锚与垫板之间的间隙（图 22），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。

23.3.4 持有荷载试验每级荷载施加完成后，应维持荷载 5min，宜在第 0min、5min 测读锚头位移。

23.3.5 持有荷载试验完成后应按设计要求进行重新锁定。

23.3.6 预应力锚杆锁定力测试数据可按本标准表 A.0.16 的格式记录，持有荷载试验数据可按本标准表 A.0.17 的格式记录。

23.4测试数据分析与判定

23.4.1 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。

23.4.2 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。

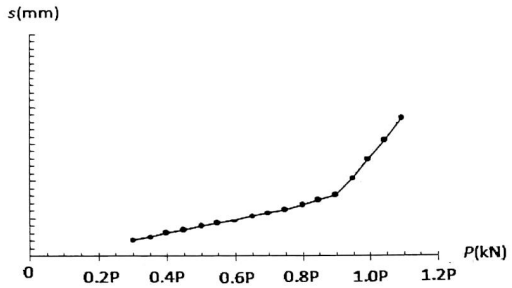
23.4.3 持有荷载应按下列方法分析确定：

1 当荷载-位移（*P-s*）关系曲线（图 23a）上位移突变明显时，应取其陡升起始点所对应的荷载值；

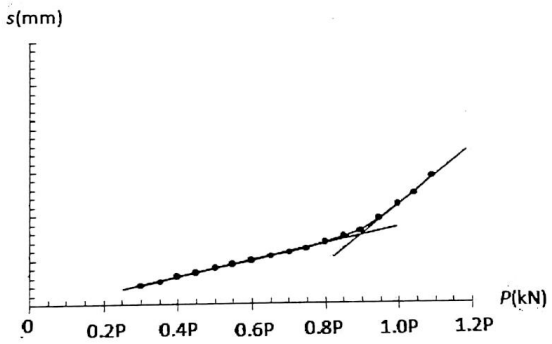
2 当荷载-位移（*P-s*）关系曲线（图 23b）难以准确确定其陡升起始点时，应取曲线两侧拟合直线的交汇点所对应荷载值的前一级荷载；

3 当出现本标准第 23.3.3 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 23 持有荷载试验荷载~位移（P-s）关系曲线示意图

23.4.4　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。

23.4.5　测试报告除应符合本标准第 4.6.7 条规定外，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　本标准第 23.4.2 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。

附录 A　建筑地基基础检测记录表格

A.1　平板载荷试验/岩石地基载荷试验数据可按表 A.1 的格式记录。

表 A.1　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.2　标准贯入试验数据可按表 A.2 的格式记录。

表 A.2　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.3　圆锥动力触探试验数据可按表 A.3 的格式记录。

表 A.3　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：口 N_{10} 口 $N_{63.5}$ 口 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.4　静力触探试验数据可按表 A.4 的格式记录。

表 A.4　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：Kp=　　Kq=　　Kf=				
深度（m）	εp	εq	ε	备注

记录：　　校核：　　第　页　共　页

A.5　单桩静载试验数据可按表 A.5 的格式记录。

表 A.5　单桩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.6　自平衡静载试验的检测数据可按表 A.6 的格式记录。

表 A.6　自平衡静载试验数据记录表

受检桩编号		受检桩类型		桩径（mm）		桩长（m）	
桩端持力层		成桩日期		测试日期		加载方法	

荷载编号	压力表读数（MPa）	荷载值（kN）	记录时间	间隔（min）	位移计（百分表）读数（mm）						平均位移（mm）			温度（℃）
					1	2	3	4	5	6	向上	向下	桩顶	

记录：　　校核：　　第　页　共　页

A.7　自平衡静载试验的结果可按表 A.7 的格式记录。

表 A.7　自平衡静载试验结果汇总表

<table>
<tr><td colspan="2">工程名称</td><td colspan="2"></td><td>桩号</td><td></td><td colspan="2">工程地点</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="4"></td><td colspan="2">施工单位</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>桩型</td><td></td><td>桩径
（mm）</td><td></td><td>桩长</td><td></td><td colspan="2">桩顶标高（mm）</td><td></td></tr>
<tr><td>成桩日期</td><td></td><td>测试
日期</td><td></td><td>加载方法</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td colspan="10"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">荷载编号</td><td rowspan="2">加载值（kN）</td><td colspan="2">加载历时
（mm）</td><td colspan="2">向上位移
（mm）</td><td colspan="2">向下位移
（mm）</td><td colspan="2">桩顶位移
（mm）</td></tr>
<tr><td>本级</td><td>累计</td><td>本级</td><td>累计</td><td>本级</td><td>累计</td><td>本级</td><td>累计</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

记录：　　校核：　　第　页　共　页

A.8　自平衡静载试验的荷载箱宜按表 A.8 的格式记录。

表 A.8　自平衡静载试验荷载箱参数表

<table>
<tr><td rowspan="2">序号</td><td rowspan="2">桩号</td><td rowspan="2">桩径
（mm）</td><td rowspan="2">荷载箱
型号</td><td colspan="5">荷载箱参数</td></tr>
<tr><td>外径
（mm）</td><td>内径
（mm）</td><td>高度
（mm）</td><td>额定加载能力（kN）</td><td>荷载箱距桩底距离（m）</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

记录：　　校核：　　第　页　共　页

A.9　单向多循环加载法的单桩水平静载试验数据可按表 A.9 的格式记录。

表 A.9　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.5 的格式记录。

A.10　钻芯法检测现场操作记录可按表 A.10 的格式记录。

表 A.10　钻芯法检测现场操作记录表

桩（墙）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）	残留芯样	芯样初步描述（包括每回次芯样块数）及异常情况记录
自	至	自	至	计				

记录：　　校核：　　第　页　共　页

A.11　钻芯法检测混凝土桩（墙）芯样编录可按表 A.11 的格式记录。

表 A.11　钻芯法检测混凝土桩（墙）芯样编录表

工程名称：		桩径（墙厚）：		
桩（墙）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	备注
桩（墙）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（墙）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

A.12　钻芯法检测水泥搅拌桩与水泥土墙芯样编录可按表 A.12 的格式记录。

表 A.12　钻芯法检测水泥搅拌桩与水泥土墙芯样编录表

工程名称：		桩径：		
桩（墙）号：　　钻芯孔号：　　年　月　日				
项目	分段（层）深度（m）	芯样描	取样编号 取样深度	备注
桩（墙）身水泥土		水泥土钻进深度，芯样连续性、完整性胶结情况、表面光滑情况、断口吻合程度、水泥土芯是否为柱状、水泥分布及含量情况，以及软硬程度、松散情况		
桩（墙）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	（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

A.13　钻芯法检测芯样综合柱状图可按表 A.13 的格式记录和描述。

表 A.13　钻芯法检测芯样综合柱状图记录和描述表

桩（墙）号/孔号		混凝土设计强度等级		桩（墙）顶标高		开孔时间	
施工桩长（墙深）		设计桩径（墙厚）		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（墙）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.14　支护锚杆验收试验/基础锚杆抗拔试验数据可按表 A.14 的格式记录。

表 A.14　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：　　反力装置：

□锚杆轴向拉力标准值□锚杆承载力特征值（kN）：　　最大试验荷载（kN）：

□多循环加卸载法口单循环加卸载法□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：　　校核：　　第　页　共　页

A.15　锚杆测力计安装记录可按表 A.15 的格式记录。

表 A.15　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（℃）	张拉前测力计读数（基准值）	备注

记录：　　校核：　　第　页　共　页

A.16　预应力锚杆锁定力测试数据可按表 A.16 的格式进行记录

表 A.16　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（℃）	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：　　校核：　　第　页　共　页

A.17　锚杆持有荷载试验数据可按表 A.17 的格式记录。

表 A.17　锚杆持有荷载试验检测数据记录表

工程名称：									
序号：　　锚杆　　检测日期：　　年　　月　　日									
锚杆类型：　　试验加载反力装置： 设计锁定力（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：　　校核：　　第　页　共　页

A.18　地基系数试验数据可按表 A.18 的格式记录。

表 A.18　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：　　承压板直径：								
加载	荷载强度 σ（MPa）	荷载（kN）	油压（MPa）	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			

记录：　　校核：　　第　页　共　页

A.19　荷载分散型锚杆补偿荷载张拉数据可按表 A.19 的格式记录。

表 A.19　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：　　校核：　　第　页　共　页

附录 B　地基系数

B.1　一般规定

B.1.1　地基系数（K_{30}）试验（也称 K_{30} 平板载荷试验），可采用直径为 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。

B.1.2　地基系数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的压实地基，测试有效深度范围约为 2.0 倍承压板直径。

B.2　仪器设备及其安装

B.2.1　试坑底部应刮平，承压板底部可铺设 2mm～3mm 细砂找平层。

B.2.2　地基系数（K_{30}）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。

B.2.3　试验加载应采用油压千斤顶，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。

B.2.4　沉降测量应符合本标准第 5.2.6 条的规定，其中百分表的量程不应小于 10mm。

B.2.5　载荷测量应符合本标准第 5.2.7 条的规定。

B.2.6　试验仪器设备性能指标应符合本标准第 5.2.8 条的规定。

B.2.7　沉降测量的基准桩与承压板的净距不应小于 1.0m；承压板与反力支点之间的水平净距不应小于 0.75m。

B.2.8　试验时试验土体的含水率应与使用期间土体的含水率基本相同。

B.3　现场操作

B.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。

B.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。

B.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。

B.4　检测数据分析与判定

B.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 B.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。

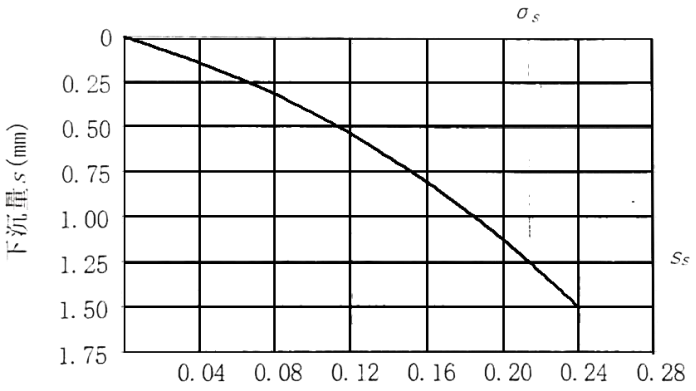


图 B.1　荷载强度—下沉量（$\sigma - s$）关系曲线

B.4.2　地基系数应按下式计算确定：

$$K_{30} = \sigma_s / s_s \tag{B.1}$$

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；

σ_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 1.25×10^{-3}m。

附录 C　地基试验数据统计方法

C.0.1　本统计计算方法适用于计算天然土地基和处理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。

C.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。

C.0.3　按本方法统计计算和划分土层时，应剔除异常值。

C.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。

C.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，但应满足本标准第 C.0.7 条试验数据数量的规定。

C.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标准第 B.0.7 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。

C.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：

$$\phi_k = \gamma_s \phi_m \tag{C.1}$$

$$\gamma_s = 1 - \left\{ \frac{1.704}{\sqrt{n}} + \frac{4.678}{n^2} \right\} \delta \tag{C.2}$$

$$\phi_m = \frac{\sum_{i=1}^{n} \phi_i}{n} \tag{C.3}$$

$$\delta = \frac{\sigma_f}{\phi_m} \tag{C.4}$$

$$\sigma_f = \sqrt{\frac{1}{n-1\left[\sum_{i=1}^{n} \phi_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} \phi_i\right)^2}{n}\right]}} \tag{C.5}$$

式中：

ϕ_s —— 同一分类土层的原位试验数据抗压强度的标准值；

γ_s —— 统计修正系数；

ϕ_i —— 参与统计的试验数据，按本标准第 C.0.4 条和第 B.0.5 条确定；

ϕ_m —— 检测数据的平均值；

σ_f —— 检测数据的标准差；

δ —— 检测数据的变异系数；

n —— 统计样本数，且 $n \geq 6$。

附录 D　圆锥动力触探试验锤击数修正

D.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：

$$N_{63.5} = \alpha \cdot N'_{63.5} \tag{D.1}$$

式中：

$N63.5$——　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；

α　——　修正系数，按表 D.1 取值

表 D.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	≥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	0.85	0.79	0.75	0.70	0.67	0.64	0.61	0.59
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。

D.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：

$$N_{63.5} = \alpha \cdot N'_{63.5} \tag{D.2}$$

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；

A　——　修正系数，按表 D.2 取值。

表 D.2　超重型圆锥动力触探试验锤击数修正系数

N'_{120} / 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	068	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 E　静力触探头率定

E.0.1　静力触探头率定前的准备工作应符合下列规定：

1　率定用测力计或传感器，精度不应低于 0.5%FS；

2　连接触探头和记录仪并统调平衡，当确认正常后，方可正式进行率定作；

3　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粘贴的电阻应变片的灵敏系数相同；

4　触探头应垂直稳固放置在率定架上；

5　对于新的触探头应反复（3~5）次预压到额定载荷。

E.0.2　触探头的率定应采用固定桥压法，其率定方法与数据分析应符合下列规定：

1　选定量测仪器的供桥电压，且供桥电压应在率定过程中保持恒定；

2　逐级加荷，每级宜为最大贯入力的 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；

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）为横坐标的率定直线；

6　触探头的率定系数可按下列公式回归计算获得：

$$K = \frac{P}{A\varepsilon} \tag{E.1}$$

或

$$K = \frac{P}{AU_p} \tag{E.2}$$

式中：

K —— 触探头的率定系数（MPa/με或 MPa/mV）；

P —— 率定时所施加的压力（N）；

A —— 触探头截面积或摩擦筒面积（mm^2）；

ε —— P 所对应的应变量（με）；

U_p —— P 所对应的输出电压（mV）。

附录F　桩身内力测试

F.0.1　桩身内力测试适用于桩身横截面尺寸基本恒定或已知的桩。

F.0.2　桩身内力测试宜根据测试目的、试验桩型及施工工艺选用电阻应变式传感器、振弦式传感器、滑动测微计或光纤式应变传感器。

F.0.3　传感器测量断面应设置在两种不同性质土层的界面处，且距桩顶和桩底的距离不宜小于1倍桩径。在地面处或地面以上应设置一个测量断面作为传感器标定断面。传感器标定断面处应对称设置4个传感器，其他测量断面处可对称埋设2个~4个传感器，当桩径较大或试验要求较高时取高值。

F.0.4　采用滑动测微计时，刻在桩身内通长埋设1根或1根以上的测管，测管内宜每隔1m设测标或测量断面一个。

F.0.5　应变传感器安装，可根据不同桩型选择下列方式：

1　钢桩可将电阻应变计直接粘贴在桩身上，振弦式和光纤式传感器可采用焊接或螺栓连接固定在桩身上；

2　混凝土桩可采用焊接或绑焊工艺将传感器固定在钢筋笼上；对采用蒸汽养护或高压蒸养的混凝土预制桩，应选用耐高温的电阻应变计、粘贴剂和导线。

F.0.6　电阻应变式传感器及其连接电缆，应有可靠的防潮绝缘防护措施；正式测试前，传感器及电缆的系统绝缘电阻不得低于200MΩ。

F.0.7　应变测量所用的仪器，宜具有多点自动测量功能，仪器的分辨力应优于或等于1με。

F.0.8　弦式钢筋计应按主筋直径大小选择，并采用与之匹配的频率仪进行测量。频率仪的分辨力应优于或等于1Hz，仪器的可测频率范围应大于桩在最大加载时的频率的1.2倍。使用前，应对钢筋计逐个标定，得出压力（拉力）与频率之间的关系。

F.0.9　带有接长杆的弦式钢筋计宜焊接在主筋上，不宜采用螺纹连接。

F.0.10　滑动测微计测管的埋设应确保测标同桩身位移协调一致，并保持测标清洁。测管安装可根据下列情况采用不同的方法：

1　对钢管桩，可通过安装在测管上的测标与钢管桩的焊接，将测管固定在桩壁内侧；

2　对非高温养护预制桩，可将测管预埋在预制桩中；管桩可在沉桩后将测管放入中心孔中，用含膨润土的水泥浆充填测管与桩壁间的空隙；

3　对灌注桩，可在浇筑混凝土前将测管绑扎在主筋上，并应采取防止钢筋笼扭曲的措施。

F.0.11　活动测微计测试前后，应进行仪器标定，获得仪器零点和标定系数。

F.0.12　当桩身应变与桩身位移需要同时测量时，桩身位移测试应有桩身应变测试同步。

F.0.13　测试数据整理应符合下列规定：

1　采用电阻应变式传感器测量，但未采用六线制长线补偿时，应按下列公式对实测应变值进行导线电阻修正：

采用半桥测量时：$$\varepsilon = \varepsilon' \cdot \left(1 + \frac{r}{R}\right) \tag{F.1}$$

采用全桥测量时：$$\varepsilon = \varepsilon' \cdot \left(1 + \frac{2r}{R}\right) \tag{F.2}$$

式中：

ε　——修正后的应变值；

ε'　——修正前的应变值；

r　——导线电阻（Ω）；

R　——应变计电阻（Ω）。

2 采用弦式钢筋计测量时，应根据率定系数将钢筋计的实测频率换算成力值，再将力值换算成与钢筋计断面处混凝土应变相等的钢筋应变量。

3 采用滑动测微计测量时，应按下列公式计算应变值：

$$e=\left(e^{'}-z_0\right)\cdot K \tag{F.3}$$

$$e=e-e_0 \tag{F.4}$$

式中：

e ——仪器读数修正值；

e' ——仪器读数；

z_0 ——仪器零点；

K ——率定系数；

ε ——应变值；

ε_0 ——初始测试仪器 读数修正值。

4 数据处理时，应删除异常测点数据，求出同一断面有效测点的应变平均值，并应按下式计算该断面处的桩身轴：

$$Q_i=\bar{\varepsilon}_i\cdot E_i\cdot A_i \tag{F.5}$$

式中：

Q_i ——桩身第 i 断面处轴力（kN）；

$\bar{\varepsilon}_i$ ——第i断面处应变平均值，长期监测时应消除桩身徐变影响；

E_i ——第i断面处桩身材料弹性模量（kPa）；当混凝土桩桩身测量断面与标定断面两者的材质、配筋一致时，应按标定断面处的应力与应变的比值确定；

A_i ——第i断面处桩身截面面积（m^2）。

5 每级试验荷载下，应将桩身不同断面处的轴力值制成表格，并绘制轴力分布图。桩侧土的分层侧阻力和桩端阻力应分别按下列公式计算：

$$q_{si}=\frac{Q_i-Q_{i+1}}{u\cdot l_i} \tag{F.6}$$

$$q_{\mathrm{p}}=\frac{Q_n}{A_0} \tag{F.7}$$

式中： q_{si} ——桩第 i 断面与 i+1 断面间侧阻力（kPa）；

q_{p} ——桩的端阻力（kPa）；

i ——桩检测断面序号，i=1,2，……，n，并自桩顶以下从小到大排序；

u ——桩身周长（m）；

l_i ——第i断面与第i+1断面之间的桩长（m）；

Q_n ——桩端的轴力（kN）；

A_0 ——桩端面积（m^2）；

6 桩身第 i 断面处的钢筋应力应按下式计算：

$$\sigma_{si}=E_s\cdot\varepsilon_{si} \tag{F.8}$$

式中：

σ_{si} ——桩身第 i 断面处的钢筋应力（kPa）；

E_{S} ——钢筋弹性模量（kPa）；

ε_{si} ——桩身第i断面处的钢筋应变。

F.0.14 指定桩身断面的沉降以及两个指定桩身断面之间的沉降差，可采用位移杆测量。位移杆应具有一定的刚度，宜采用内外管形式：外管固定在桩身，内管下端固定在需测试断面，顶端高出外管100mm~200mm，

并能与测试断面同步位移。

F.0.15　测量位移杆位移的检测仪器应符合本标准第 F.0.16 条的规定。数据的测读应与桩顶位移测量同步。

F.0.16　沉降测量宜采用大量程的位移传感器或百分表，且应符合系列规定：

1　测量误差不得大于 0.1%FS，分度值/分辨力应优于或等于 0.01mm；

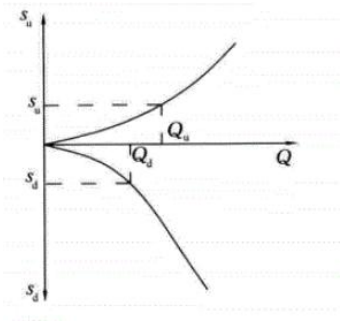
2　直径或边宽大于 500mm 的桩，应在其两个方向对称安装 4 个位移测试仪表，直径或边宽小于等于 500mm 的桩可对称安装 2 个位移百分表；

3　基准梁应具有足够的刚度，梁的一端应固定在基准桩上，另一端应简支于基准桩上；

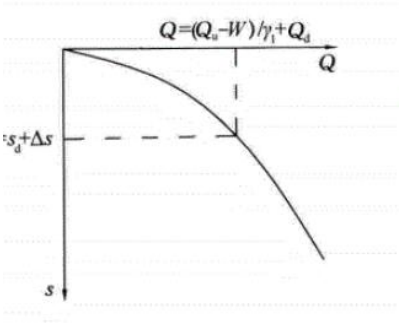
4　固定和支撑位移计（百分表）的夹具及基准梁不得受气温、振动及其他外界因素的影响；当基准梁暴露在阳光下时，应采取遮挡措施。

附录 G　等效转换方法

G.0.1　桩身无内力测试元件时，桩顶等效荷载、位移应按下列公式计算（G.1）：



（a）基桩自平衡静载试验曲线



（b）等效转换曲线

图 G.1　基桩自平衡静载试验结果转换示意

$$Q=\frac{Q_{\mathrm{u}}-W}{\gamma_1}+Q_{\mathrm{d}} \tag{G.1}$$

$$s=s_{\mathrm{d}}+\Delta s \tag{G.2}$$

$$\Delta s=\frac{\left[\left(Q_{\mathrm{u}}-W\right)/\gamma_1+2Q_{\mathrm{d}}\right]L_{\mathrm{u}}}{2E_{\mathrm{p}}A_{\mathrm{p}}} \tag{G.3}$$

式中：

Q　——桩顶等效荷载（kN）；

S　——桩顶等效位移（m）；

$\triangle s$ ——桩身压缩量（m）；

L_{u}　——上段桩长度（m）；

E_{p}　——桩身弹性模量（kPa）；

A_{p}　——桩身截面面积（m^2）。

G.0.2　桩身有内力测试元件时的计算应符合下列规定：

1　将荷载箱以上部分分割成 n 个单元，任意单元 i 的桩轴线力 Q（i）和变位量 s（i）可用下列公式表示：

$$Q(i)=Q_{\mathrm{d}}+\frac{1}{2}\sum_{m=i}^{n}q_{\mathrm{sm}}\left\{U(m)+U(m+1)\right\}\mathrm{h}(m) \tag{G.4}$$

$$s(i)=s_{\mathrm{d}}+\sum_{m=i}^{n}\frac{Q_{(m)}+Q_{(m+1)}}{A_p(m)E_p(m)+A_p(m+1)E_p(m+1)}h\text{（}m\text{）} \tag{G.5}$$

式中：

Q_{sm}　——m 点（i~n 之间的点）的桩侧摩阻力（假定向上为正值）（kPa）；

U（m）　——m点处桩周长（m）；

A_p（m）　——m点处桩弹性模量（kPa），宜采用标定断面法确定；

h（m）　——分割单元 m 的长度（m）。

2　由基桩自平衡静载试验测出的桩侧摩阻力 q（si）与单元中点变位量 s_m（i）的曲线，转换为传统桩顶加载的桩侧摩阻力与位移的曲线，采用荷载传递法进行迭代计算可获得等效桩顶荷载及桩顶位移。对于荷载还没有传到荷载箱处时，直接采用荷载箱上段曲线 Q_{u}-S_{u} 曲线进行转换。

G.0.3　对于双层荷载箱，宜按本规程第 G.1 或 G.2 条的方法将每层荷载箱从下往上依次进行转换。

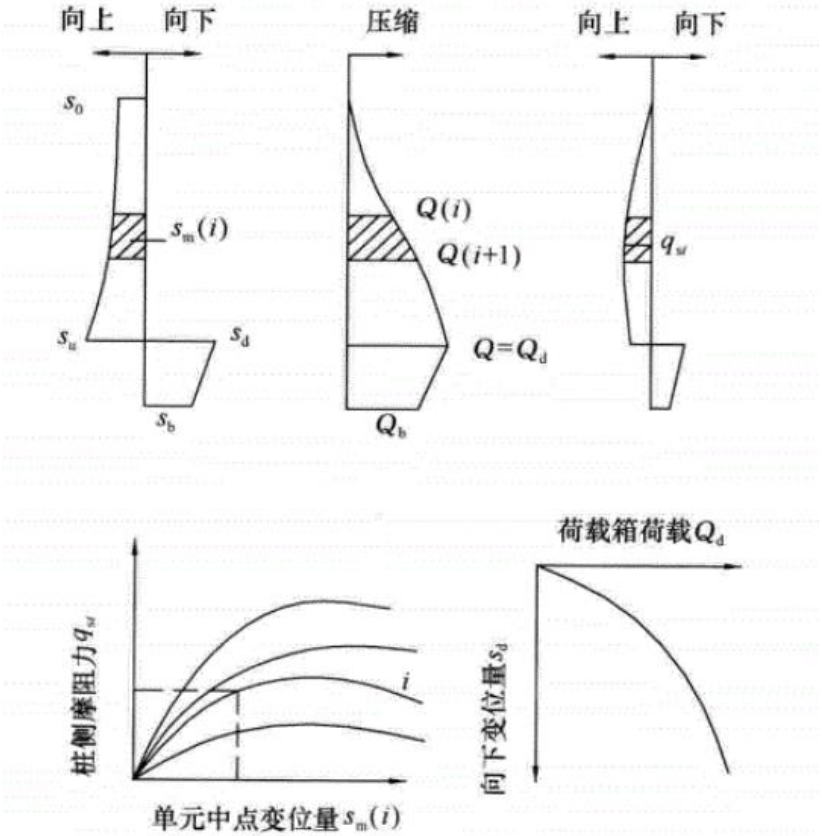


图 G.2　基桩自平衡静载试验的轴向力、桩侧摩阻力与变位量得关系

s_0--桩顶变位；s_u，s_d--荷载箱向上和向下变位量；s_h--桩端变位量；
Q_d--荷载箱荷载；Q_b--桩端轴向力；s_m（i）--i单元中点的变位量；
q_{si}（i）--i单元额桩侧摩阻力

附录H　孔内摄像法

H.1　一般规定

H.1.1　本方法适用于辅助钻芯法进行灌注桩质量验证检测，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。

H.1.2　预制管桩孔内摄像法可按本方法执行。

H.2　仪器设备

H.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。

H.2.2　孔内摄像头的性能指标应符合下列规定：

1　摄像头视角应覆盖 360°；

2　照度应满足检测需求；

3　应具有方位角识别记录功能；

4　1MPa 水压下能正常工作；

5　成像分辨率不宜低于 1920×1080 万像素。

H.2.3　信号采集仪的性能指标应符合下列规定：

1　应能实时采集、传输图像及视频信息；

2　图像及视频信息应有深度标识和方位角数据；

3　应具有显示和播放功能。

H.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%。

H.2.5　图像分析软件的功能应符合下列规定：

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。

H.3　现场检测

H.3.1　受检钻芯孔应进行清洗，清洗效果和范围应满足检测要求。

H.3.2　孔内摄像检测系统的图像几何尺寸应进行标定。

H.3.3　摄像头光源亮度应根据孔内环境合理确定，且在同一孔检测过程中宜保持不变。

H.3.4　摄像头宜平稳、匀速移动，采集的图像及视频数据宜清晰、连续完整，对疑似缺陷位置应进行重点检测。

H.4　检测数据分析与判定

H.4.1　当需要确定检测对象的几何尺寸时，试验记录的整理分析应符合下列规定：

1　应将 360°图像展开为二维平面图像；

2　将检测对象的区域划分为 10×10 等间距网格，等间距量测缺陷对象水平尺寸 10 个读数、竖向尺寸 10 个读数；

3　舍去水平与竖向各 4 个较小读数值，取剩余 6 个读数值的算术平均值分别作为缺陷对象缺陷水平尺寸值与竖向尺寸值，精确至 1mm；

4　缺陷的方位角可用水平夹角表示，精确至 1°。

H.4.2　桩底沉渣厚度、桩身缺陷几何尺寸可根据本标准第 H.4.1 条的检测数据分析结果确定。

H.4.3　裂隙发育情况应根据图像和视频信息进行判断，持力层岩土性状应结合芯样进行综合鉴别。

附录 J　芯样试件加工和测量

J.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。

J.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。

J.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。

J.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。

J.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　试件端面的平整度在 100mm 长度内超过 0.1mm 时；

5　试件端面与轴线的垂直度超过 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K　高应变法传感器安装

K.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。

K.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 K.1）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 80mm；

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 1000με；

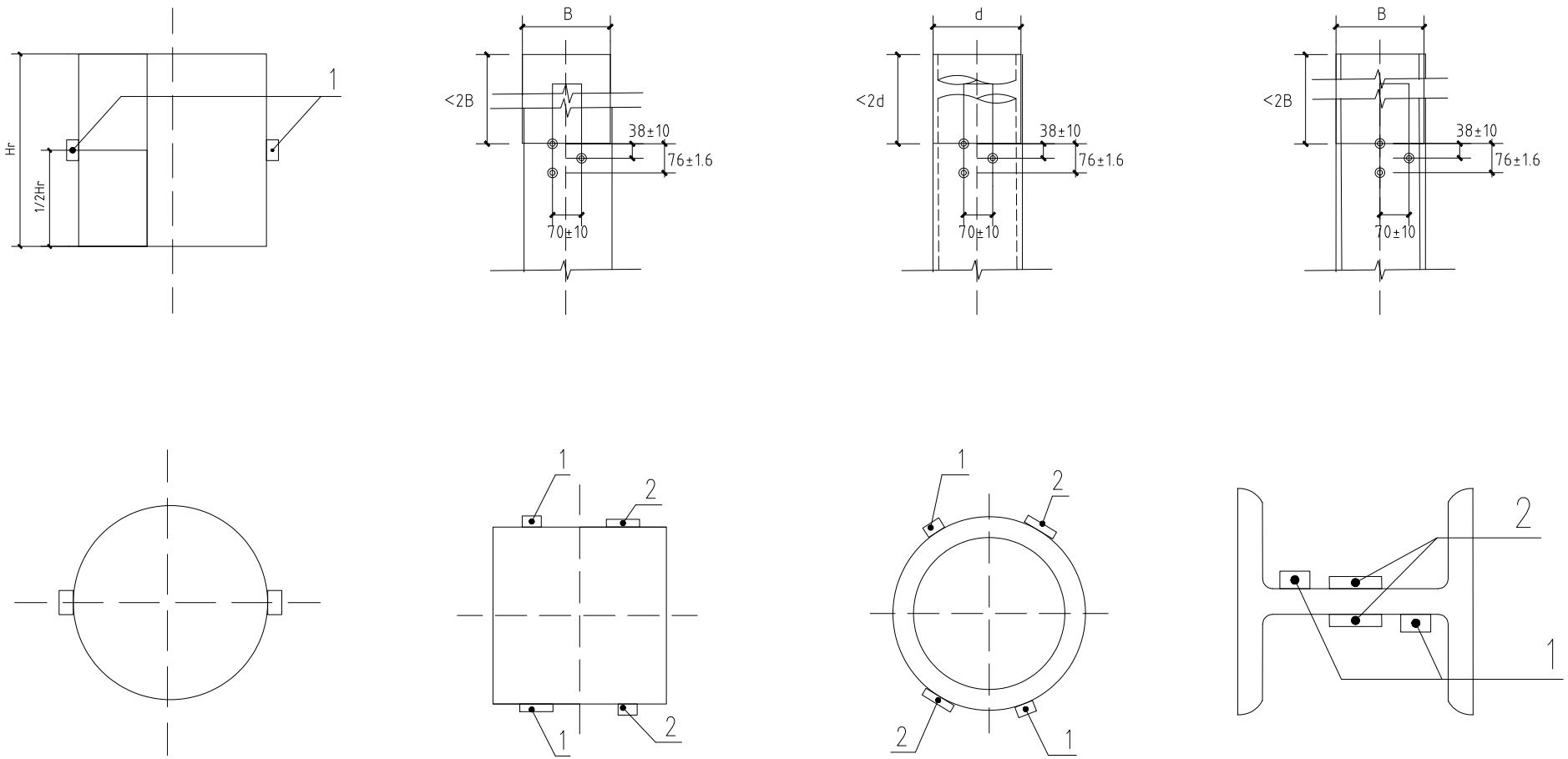
2）钢桩不得小于 1500με。

K.0.3　自由落锤锤体上安装加速度传感器（图 K.1）时，除应符合本标准第 K.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　0.4Hr（锤体高度）；

2　1d 或 1B。

K.0.4　当连续锤击监测时，应将传感器连接电缆有效固定。



（a）落锤　　（b）混凝土方桩　　（c）管桩　　（d）H 型钢桩

图 K.1　传感器安装示意图（mm）

1—加速度传感器；2—应变传感器

附录L　荷载分散性锚杆补偿荷载整体张拉方法

L.0.1　本方法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，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。

L.0.2　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。

L.0.3　第 k 组单元锚杆安装工具锚夹片前，对第 1~(k-1)组单元锚杆施加的第 k 级补偿荷载值（ΔQ_k），可按下列公式计算：

压力型锚杆：

$$\Delta Q_k = \sum_{i=1}^{k}\left(\frac{L_{tfi} - L_{tfk}}{L_{tfi}}\right)\overline{Q} \tag{L.1}$$

$$\overline{Q} = \frac{Q_{\max}}{n} \tag{L.2}$$

拉力型锚杆：

$$\Delta Q_k = \sum_{i=1}^{k}\left(\frac{L_{tfi} - L_{tfk}}{L_{tfi} + L_{tbi}/2}\right)\overline{Q} \tag{L.3}$$

式中：

ΔQ_k —— 第 k 组单元锚杆安装工具锚夹片前，对第 1~(k-1)组单元锚杆施加的第 k 级补偿荷载值（kN）；k=1，2，…，n，且当 k=1 时，取ΔQ_1=0kN；

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）；

$\overline{Q}$ —— 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。

L.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（ΔQ_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（ΔQ_2），安装第二组单元锚杆工具锚夹片；

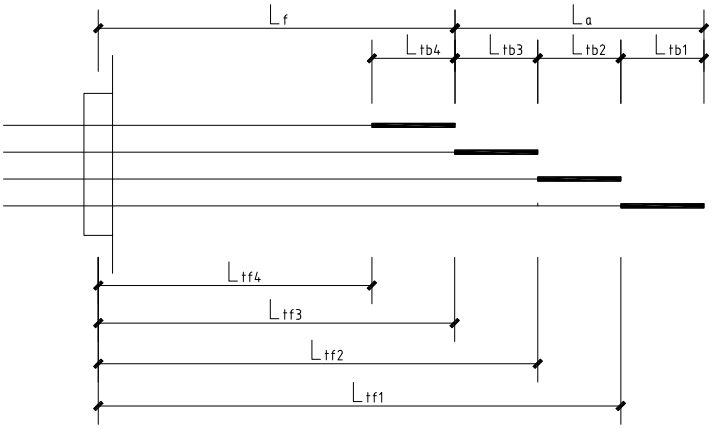
3　第 1~2 组单元锚杆共同张拉至第 3 级补偿张拉荷载（ΔQ_3），安装第三组单元锚杆工具夹片；

4　第 1~3 组单元锚杆共同张拉至第 4 级补偿张拉荷载（ΔQ_4），安装第四组单元锚杆工具夹片；

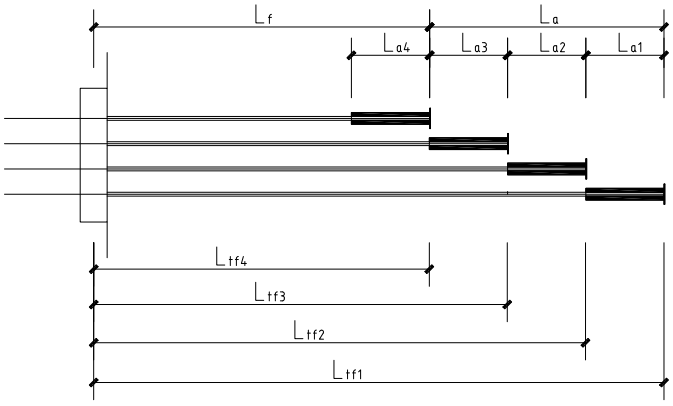
5　依次将第 1~（n-1）组单元锚杆共同张拉至第 n 级补偿张拉荷载（ΔQ_n），安装第 n 组单元锚杆工具夹片；

6　将 1~n 组单元锚杆整体张拉至初始荷载（Q_0）。

L.0.5　由四组单元锚杆组成的荷载分散型锚杆（图 L.1），可按图 L.2 的规定进行补偿荷载张拉管理。



（a）拉力型



（b）压力型

图 L.1　荷载分散性锚杆示意图

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_{ai}—第 i 组单元锚杆锚固段长度；

L_{tbi}—第 i 单元锚杆杆体粘结段长度（i=1,2,3,4）

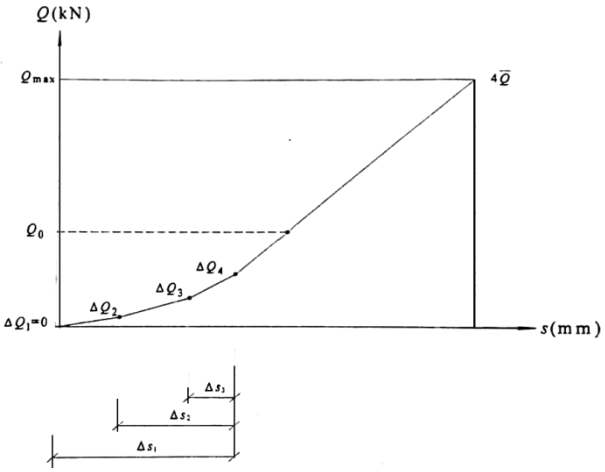


图 L.2　荷载分散型锚杆张拉管理示意图

Q_{max}—锚杆的最大试验荷载；Q_0—锚杆的初始荷载；

$\overline{Q}$—最大试验荷载状态各个单元锚杆的理论荷载

L.0.6　按本标准第 L.0.3 条和第 L.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

$$Q_{0i}=\left(\frac{L_{tfi}-L_{tfn}}{L_{tfi}+L_{tbi}/2}\right)\overline{Q}+\frac{Q_0-\Delta Q_n}{\sum_{k=1}^{n}\frac{L_{tfi}+1/2L_{tbi}}{L_{tfk}+1/2L_{tbk}}} \tag{L.4}$$

2　压力分散型锚杆

$$Q_{0i}=\left(\frac{L_{tfi}-L_{tfn}}{L_{tfi}}\right)\overline{Q}+\frac{Q_0-\Delta Q_n}{\sum_{k=1}^{n}\frac{L_{tfi}}{L_{tfk}}} \tag{L.5}$$

式中：

Q_{0i} ——　第 i（i=1，2，…，n）组单元锚杆的初始荷载（kN）。

L.0.7　荷载分散型锚杆补偿荷载张拉测试数据可按表 A.0.19 的格式进行记录。

附录 M　混凝土桩桩头处理

M.0.1　混凝土桩应先凿掉桩顶部的破碎层和软弱混凝土。

M.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。

M.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。

M.0.4　距桩顶 1 倍桩径范围内，宜用厚度为 3~5mm 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 2~3 层，间距 60~100mm。

M.0.5　桩头混凝土强度等级宜比桩身混凝土提高 1~2 级，且不得低于 C30。

M.0.6　高应变法检测的桩头测点处截面尺寸应于原桩身截面尺寸相同。