

重庆市工程建设标准

建筑地基基础检测技术规范
Technical code for testing of building foundation

DBJ50/T -136-2012

主编单位:重庆市建筑科学研究院
批准部门:重庆市城乡建设委员会
施行日期:2 0 1 2 年 3 月 1 日

2012 重 庆

重庆市城乡建设委员会文件

渝建发〔2012〕9 号

重庆市城乡建设委员会 关于发布《建筑地基基础检测技术规范》的通知

各区县(自治县)城乡建委,两江新区、北部新区、高新区、经开区建设局,有关单位:

现批准《建筑地基基础检测技术规范》为我市工程建设推荐性标准,编号为:DBJ50/T-136-2012,自 2012 年 3 月 1 日起实施。

本规范由重庆市城乡建设委员会负责管理,重庆市建筑科学研究院负责具体技术内容解释。

重庆市城乡建设委员会

二〇一二年一月二十日

关于同意重庆市《绿色建筑设计规范》 等三项地方标准备案的函

建标标备〔2012〕09 号

重庆市城乡建设委员会：

你委《关于工程建设地方标准〈绿色建筑设计规范〉备案的申请》、《关于工程建设地方标准〈建筑边坡工程检测技术规范〉备案的申请》、《关于工程建设地方标准〈建筑地基基础检测技术规范〉备案的申请》收悉，经研究，同意该三项标准作为“中华人民共和国工程建设地方标准”备案，其备案号：

《绿色建筑设计规范》 J11967-2012

《建筑边坡工程检测技术规范》 J11968-2012

《建筑地基基础检测技术规范》 J11969-2012

该三项标准的备案公告，将刊登在近期出版的《工程建设标准化》刊物上。

住房和城乡建设部标准定额司

二〇一二年二月三日

前 言

根据重庆市城乡建设委员会城科字 2007 第 15 号任务书的要求,重庆市建筑科学研究院会同有关单位,调查总结了近年来重庆市建筑地基基础检测的实践经验,参考了国内有关技术标准,吸收了国内外相关科技成果,开展了多项专题研究,经过反复讨论、修改,并在充分征求意见的基础上制订了本规范。

本规范的主要技术内容是:总则;术语和符号;基本规定;检测要求;试验方法等。

本规范由重庆市城乡建设委员会负责管理,由重庆市建筑科学研究院负责解释。

为了提高《建筑地基基础检测技术规范》的编制质量和水平,请各单位在执行本规范过程中,注意总结经验,积累资料,并将意见和建议寄至:重庆市江北区建新二村 50 号重庆市建筑科学研究院《建筑地基基础检测技术规范》管理组(邮政编码:400020)。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人和审查专家

主 编 单 位:重庆市建筑科学研究院

参 编 单 位:重庆市都安工程勘察技术咨询有限公司

重庆市市政设计研究院

中铁二院重庆勘察设计研究院有限责任公司

重庆市高新岩土工程勘察设计院

重庆川东南地质矿产检测中心

重庆市渝北区建设工程质监站检测所

重庆创坚建筑工程有限公司

四川永强机械施工有限公司

主要起草人:熊启东 李成芳 孔凡林 杜清超 徐 健

陈国福 何 平 叶林涛 周剑波 李正川

徐海涛 谢常伟 易朋莹 王太春 陈典国

雷 川 晏维江 张灵犀 陶 嘉 李雪梅

肖 荣

审 查 专 家:曾世仁 钱志雄 何沛田 陈希昌 刘新荣

徐 革 况龙川

目次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	4
3	基本规定	7
3.1	一般规定	7
3.2	检测工作程序	8
3.3	验证与扩大检测	9
3.4	检测报告	10
4	检测要求	11
4.1	一般规定	11
4.2	天然地基检测	12
4.3	处理土地基检测	13
4.4	复合地基检测	15
4.5	基础检测	16
4.6	基桩检测	16
5	试验方法	19
5.1	浅层平板载荷试验	19
5.2	深层平板载荷试验	20
5.3	岩基载荷试验	22
5.4	圆锥动力触探试验	23
5.5	多道瞬态面波法	26
5.6	地质雷达法	30
5.7	单桩竖向抗压静载试验	33
5.8	单桩水平静载试验	38
5.9	基桩承载力自平衡测试法	42
5.10	低应变法	45
5.11	声波透射法	49
5.12	钻芯法	60
附录 A	平板载荷试验记录表	67
附录 B	圆锥动力触探试验记录表	68
附录 C	桩基静载试验原始记录表	69
附录 D	低应变法检测基桩完整性原始记录表	72
附录 E	声波透射法检测基桩完整性现场记录表	74
附录 F	钻芯法检测记录表	75
附录 G	芯样试件加工和测量要求	77
	本规范用词说明	79
	引用标准名录	80
	条文说明	81

Contents

1	General principles	1
2	Terms and symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	4
3	Basic rules	7
3.1	General rules	7
3.2	Testing procedures	8
3.3	Verify and expand testing	9
3.4	Testing report	10
4	Testing require	11
4.1	General rules	11
4.2	Subgrade testing	12
4.3	Treatment soil testing	13
4.4	Composite subgrade testing	15
4.5	Foundation testing	16
4.6	Foundation pile testing	16
5	Testing method	19
5.1	Loading test of shallow board	19
5.2	Deep plate loading test	20
5.3	Loading test of batholith	22
5.4	Dynamic penetration test (DPT)	23
5.5	Multi—channel spectral analysis of surface waves (MSASW)	26
5.6	Ground penetrating radar	30
5.7	Vertical static loading test of single pile	33
5.8	Horizontal static loading test of single pile	38
5.9	Self—balanced measurement method of pile bearing ca- pacity	42
5.10	Low strain integrity testing	45
5.11	Cross hole sonic logging	49
5.12	Core drilling method	60
Appendix A	Original record for plate loading test (PLT)	67
Appendix B	Original record for dynamic penetration test (DPT)	68
Appendix C	Original record for static loading test of pile	69
Appendix D	Original record for low strain integrity testing	72
Appendix E	Original record for cross hole sonic logging	74
Appendix F	Original record for core drilling method 75	
Appendix G	Core samples processing and measuring 77	
	Explanation of Wording in this code	79
	Reference	80
	Explanation of provision	81

1 总 则

- 1.0.1 为提高建筑地基与基础工程检测的技术水平,做到安全可靠、技术先进、经济合理,结合重庆市实际,制定本规范。
- 1.0.2 本规范适用于重庆市建筑地基与基础工程的检测。
- 1.0.3 建筑地基与基础工程检测除应执行本规范外,尚应符合国家和地方现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

- 2.1.1 地基 subgrade, foundation soils
支承基础的土体或岩体。
- 2.1.2 天然地基 natural foundation, natural subgrade
在未经人工处理的天然土(岩)层上直接修筑基础的地基。可分为天然土质地基和天然岩质地基。
- 2.1.3 人工地基 artificial foundation
经过地基处理形成的地基。可分为处理土地基和复合地基。
- 2.1.4 处理土地基 the foundation of treatment soils
为提高地基的承载力、改善变形性质或渗透性质,对土进行人工处理后的地基。处理土地基包括强夯地基、注浆地基、换填地基等。
- 2.1.5 复合地基 composite subgrade, composite foundation
地基处理过程中,部分天然土体得到增强、被置换,或在其中设置加筋材料后,与天然土体共同组成的人工地基。
- 2.1.6 强夯地基 dynamic consolidation foundation
经质量为 10t 以上、落距为 10m 以上的夯锤以 $1000\text{kN} \cdot \text{m}$ 以上的能量重复夯击而变密的地基。
- 2.1.7 注浆地基 grouting foundation
土(岩)体与注入的浆液结合所形成的地基。
- 2.1.8 换填地基 cushion foundation
挖去地表浅层软弱土层或不均匀土层,回填坚硬、较粗粒径的材料,并夯压密实后形成的地基。
- 2.1.9 水泥粉煤灰碎石桩复合地基 cement-flyash-gravel pile

composite foundation

竖向增强体为由水泥、粉煤灰、碎石形成粘结材料桩的复合地基。

2.1.10 振冲桩复合地基 vibroflotation pile composite foundation

在振冲器水平振动和高压水的共同作用下,使松砂土层振密,或在软弱土层中成孔,然后回填碎石等粗粒料形成桩柱,并和原地基土形成的复合地基。

2.1.11 旋喷桩复合地基 jet grouting column composite foundation

竖向增强体为高压喷射注浆法在地基中形成圆柱形加固体的复合地基。

2.1.12 平板载荷试验 plate loading test (PLT)

对天然地基、人工地基的表面逐级施加竖向压力,测量其沉降随时间的变化,以确定其承载能力的试验方法。

2.1.13 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。

2.1.14 地质雷达法 georadar method

观察、研究大功率高频电磁脉冲在地下电性界面上产生回波特性的工程电法勘探方法。

2.1.15 面波法 rayleigh wave method

利用瑞利波的频散特性和传播速度与岩土物理力学性质的相关性来探测地表附近岩土层的工程地质性质的勘探方法。

2.1.16 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,通过波动理论分析,对桩身完整性进行判定的检测方法。

2.1.17 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,对桩身和地下连续墙体完整性进行判定的检测方法。

2.1.18 钻芯法 core drilling method

用钻机钻取复合地基竖向增强体、地下连续墙、混凝土灌注桩及其持力层的芯样,判定其完整性、密实性、连续性、芯样试件强度、底部沉渣厚度及持力层岩土性状的检测方法。

2.1.19 单桩静载试验 static loading test of pile

在桩顶部逐级施加竖向压力、竖向上拔力或水平推力,观测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。

2.2 符 号

2.2.1 抗力和材料性能

p ——承压板底面处平均压力;

f_{ak} ——地基承载力特征值;

E_0 ——地基变形模量;

μ ——土的泊松比;

N_{10} ——轻型圆锥动力触探锤击数;

$N'_{63.5}$ ——实测重型圆锥动力触探试验击数;

$N_{63.5}$ ——修正后的重型圆锥动力触探试验击数;

N'_{120} ——实测超重型圆锥动力触探试验击数;

N_{120} ——修正后的超重型圆锥动力触探试验击数;

Q_u ——单桩竖向抗压极限承载力;

R_a ——单桩竖向抗压承载力特征值;

m ——地基土水平抗力系数的比例系数;

E ——桩身弹性模量;

I ——桩身换算截面惯性矩；
 W ——荷载箱上部桩自重；
 $Q_{u上}$ ——荷载箱以上部分桩的极限承载力；
 $Q_{u下}$ ——荷载箱以下部分桩的极限承载力；
 c ——桩身一维纵向应力波传播速度(简称桩身波速)；
 f_{cu} ——混凝土芯样试件抗压强度；
 P ——芯样试件抗压试验测得的破坏荷载；
 v ——桩身混凝土声速；
 Z ——桩身截面力学阻抗；
 ρ ——桩身质量密度。

2.2.2 作用与作用效应

s ——沉降量；
 v_R ——地层面波速度；
 Q ——施加于单桩和地基的竖向压力荷载；
 H ——单桩水平静载试验中作用于桩身的水平力；
 Y_0 ——单桩水平静载试验中水平力作用平面的桩身水平位移；
 V ——质点运动速度。

2.2.3 几何参数

D ——桩身直径(管桩外径)；
 d ——承压板直径或边宽；
 A ——桩身横截面面积；
 L ——桩长；
 l ——发射天线与接收天线的间距；
 d_m ——芯样试件的平均直径。

2.2.4 计算系数

ω ——与试验深度和土类有关的修正系数；
 α ——圆锥动力触探锤击数修正系数,桩的水平变形系数；
 ϵ_r ——材料相对介电常数；
 v_y ——桩顶水平位移系数；

ξ ——混凝土芯样试件抗压强度换算系数；
 A_c ——声波透射法波幅异常判断的临界值。

2.2.5 其他

I_u ——刚性承压板形状对沉降的影响系数；
 f ——频率；
 K ——波数；
 x ——空间分辨率；
 h_{max} ——最大探测深度；
 w ——时窗；
 s_p ——采样率；
 t ——时间；
 ΔT ——入射波波峰与反射波波峰之间的时间差；
 Δf ——频域曲线上相邻峰之间的频率差；
 $\Delta f'$ ——幅频信号曲线上缺陷相邻谐振峰间的频差；
 n ——样本数量；
 Δt_x ——速度波第一峰与缺陷反射波峰间的时间差；
 A_p ——声波波幅；
 v_0 ——声速的异常判断临界值；
 v_c ——声速的异常判断临界值；
 v_L ——桩身混凝土声速低限值；
 T ——信号周期；
 a ——声波信号首波峰值电压。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 建筑地基分为天然地基和人工地基。天然地基分为天然岩质地基和天然土质地基。人工地基分为处理土地基和复合地基。

3.1.2 根据地基基础损坏造成建筑物破坏后果(危及人的生命,造成的经济损失、社会环境影响及修复的可能性)的严重性,将建筑物分为三个安全等级,应符合表 3.1.2 的规定。

表 3.1.2 建筑物安全等级

安全等级	破坏后果
一级	很严重
二级	严重
三级	不严重

3.1.3 建筑地基与基础工程检测应综合考虑建筑物安全等级、地质条件、地基基础类型、施工工艺、各种检测方法的特点及适用范围等因素,合理选择检测方法,确定抽检数量。

3.1.4 检测点的布置宜遵循下列原则:

- 1 一般情况下宜在整个施工场地内均匀布置检测点;
- 2 当施工场地地质条件变化较大时,宜在较差地段增加检测点;
- 3 当对地基基础的施工质量有异议时,宜在有异议部位布置检测点;
- 4 宜在荷载较大或变形敏感部位布置检测点;
- 5 检测点的布置宜由建设或监理单位会同勘察、设计、施工及检测单位共同确定。

3.1.5 检测使用的计量器具必须经计量检定合格并在检定有效期内。

3.2 检测工作程序

3.2.1 检测工作的程序,应按图 3.2.1 进行。

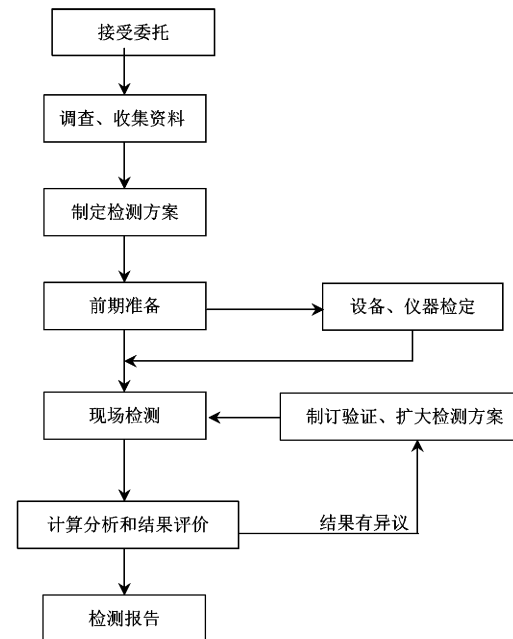


图 3.2.1 检测工作程序框图

3.2.2 调查、收集资料宜包括下列内容:

- 1 工程概况、检测目的及要求;
- 2 检测场地的岩土工程勘察资料、地基基础设计及施工记录;
- 3 施工工艺和施工中出现的异常情况;
- 4 场地环境、通道及电力等情况;
- 5 与检测相关的其它资料。

3.2.3 检测单位应根据调查结果和检测要求,选择检测方法,制定检测方案。检测方案宜包括的内容:工程概况、检测依据、检测方法、抽样方案、检测数量、试验时间及所需的检测设备和人员配备等。

3.2.4 发现检测数据异常或对检测结果有怀疑时,应查找原因,必要时应重新检测。

3.3 验证与扩大检测

3.3.1 对检测结果有异议时,应在有异议点附近采用原检测方法或准确度更高的检测方法进行验证检测。验证检测应符合下列规定:

- 1 宜采用平板载荷试验验证圆锥动力触探试验、静力触探试验、标准贯入试验、室内土工试验推定土质地基承载力的检测结果;
- 2 桩身浅部缺陷可采用开挖验证;
- 3 单孔钻芯检测发现桩身混凝土质量问题时,宜在同一基桩增加钻孔验证;
- 4 宜采用钻芯法验证低应变法、声波透射法检测桩身完整性的结果;
- 5 可采用岩基载荷试验验证岩石单轴抗压强度试验推定岩质地基承载力的检测结果。

3.3.2 当检测结果无异议但不满足设计要求时,应采用原检测方法或准确度更高的检测方法,在未检测点中进行扩大检测。扩大检测应符合下列规定:

- 1 当平板载荷试验、单桩静载试验的检测结果不满足设计要求时,应按原抽检比例扩大抽检;
- 2 当采用低应变法、声波透射法、钻芯法检测桩身完整性所发现的Ⅲ、Ⅳ类桩之和大于抽检桩数的 20%时,该批桩应全数检

测;当Ⅲ、Ⅳ类桩之和不大于抽检桩数的 20%时,应按原抽检比例扩大抽检,若扩大抽检中仍发现有Ⅲ、Ⅳ类桩,则该批桩应全数检测。

3.3.3 验证检测或扩大检测后,由建设单位会同相关各方共同确定处理方案或进一步抽检的方法和数量。

3.4 检测报告

3.4.1 检测报告应包括以下内容:

- 1 工程名称,工程地点,建设、勘察、设计、监理和施工单位,工程地质条件,基础类型,检测日期;
- 2 检测目的,检测依据;
- 3 检测方法,检测仪器设备,检测数量;
- 4 检测对象的编号、位置和相关施工记录;
- 5 检测数据,实测与计算分析曲线、表格和汇总结果;
- 6 检测结论。

3.4.2 检测报告应结论明确、用词规范。

4 检测要求

4.1 一般规定

4.1.1 建筑地基基础工程检测分为地基检测、基础检测及基桩检测,应根据检测目的合理选择检测方法。

4.1.2 地基检测内容包括地基承载力、变形参数检测和天然地基岩土性状或人工地基施工质量评价。检测方法可采用平板载荷试验、岩基载荷试验、钻芯法、圆锥动力触探试验、标准贯入试验、土工试验、多道瞬态面波法、地质雷达法及探井法等。

4.1.3 基础检测内容包括混凝土强度、保护层厚度等结构实体检测。检测方法可采用回弹法、钻芯法、电磁感应法等。

4.1.4 基桩检测内容包括工程桩桩身完整性检测和单桩承载力检测。桩身完整性检测方法可采用低应变法、声波透射法和钻芯法等。单桩竖向抗压(拔)承载力检测方法可采用单桩竖向抗压(拔)静载试验;单桩水平承载力检测方法可采用单桩水平静载试验。

4.1.5 建筑地基与基础工程检测的抽检数量应按单位工程计算。同一单位工程采用不同的地基基础类型、不同的地基处理方式时,应分别确定检测方法和抽检数量。

对于小区工程,当建筑物安全等级为三级且各单位工程的工程桩总数少于 50 根或占地面积小于 300 m² 时,可将基础类型相同、地质条件相近的各单位工程合并起来确定承载力抽检数量,但对每一单位工程,当采用平板载荷试验时不应少于 1 点,当采用单桩竖向抗压静载试验时不应少于 1 根。

4.1.6 人工地基及工程桩检测的间隔时间应符合下列规定:

1 强夯地基承载力检测,应在强夯施工结束后间隔一定时

间进行。对于碎石土和砂土地基间隔时间不宜少于 7d,粉土和粘性土地基间隔时间不宜少于 14d;强夯置换地基间隔时间不宜少于 28d;

2 注浆地基承载力检测宜在注浆施工结束 28d 后进行;

3 水泥粉煤灰碎石桩(CFG 桩)地基承载力检测应在桩身强度满足试验荷载条件时,并宜在施工结束 28d 后进行;

4 振冲桩地基承载力检测,对粉质粘土地基间隔时间可取 21d~28d,对粉土地基可取 14d~21d;

5 旋喷桩地基承载力检测宜在注浆结束 28d 后进行;

6 当采用低应变法或声波透射法检测时,受检桩混凝土强度至少达到设计强度的 70%,且不小于 15MPa;当采用钻芯法或静载试验检测时,受检桩的混凝土龄期达到 28d 或预留同条件养护试块强度达到设计强度。

4.2 天然地基检测

4.2.1 完整、较完整、较破碎天然岩质地基承载力可采用取(钻)芯法进行检测,单位工程抽检数量不应少于 6 组,且每种岩性不应少于 3 组。当岩石芯样无法制作成芯样试件时,应进行岩基载荷试验,单位工程试验点数不应少于 3 点。

破碎、极破碎天然岩质地基可采用平板载荷试验进行检测,单位工程试验点数不应少于 3 点。

4.2.2 天然土质地基承载力及变形模量应采用平板载荷试验进行检测,单位工程试验点数不应少于 3 点。

4.2.3 天然土质地基在进行平板载荷试验前,应选择圆锥动力触探试验、标准贯入试验、土工试验等一种或一种以上的方法对地基土性状进行检测,单位工程抽检数量为条基每 20m 不少于 1 点;筏基每 200m²~400m² 不少于 1 点,每个独立柱基不少于 1 点。检测深度应满足设计要求。

4.3 处理土地基检测

I 换填地基

4.3.1 换填地基承载力及变形模量应采用平板载荷试验进行检测,单位工程试验点数不应少于3点。

4.3.2 换填地基必须分层进行压实系数检测,对细粒土可采用环刀法;对粗粒土可采用灌砂法、灌水法。抽检数量为每100m²不应少于1点。

4.3.3 换填地基在进行平板载荷试验前,应采用圆锥动力触探试验对换填层的施工质量进行检测,单位工程抽检数量为条基每20m不少于1点;筏基每200m²~400m²不少于1点,每个独立柱基不少于1点。检测深度应满足设计要求。

II 强夯地基

4.3.4 强夯地基检测分为施工前为设计提供依据的试夯检测和施工后为验收提供依据的验收检测。

4.3.5 强夯地基的试夯检测应符合下列规定:

1 试夯区的位置、数量应根据建筑场地复杂程度、建筑规模及建筑类型确定,单个试夯区面积不宜小于20m×20m。

2 强夯地基试夯检测内容包括单点夯试验,试夯区地面(深层)变形测试,孔隙水压力测试,有效加固深度检测,试夯前后地基承载力、变形模量及密实度检测等。

3 根据试夯检测结果,应对各种施工工艺、施工参数及相应的质量监控方法进行效果对比,提出夯击能、锤底静接地压力、夯击次数、夯击遍数、间隔时间、夯击点布置和处理范围等强夯设计参数。

4.3.6 强夯地基的验收检测应符合下列规定:

1 地基承载力及变形模量应采用平板载荷试验进行检测,单位工程抽检数量不应少于3点,3000m²以上工程,每增加1000m²增加1个试验点。载荷板尺寸宜根据地基处理深度确定。

2 在进行平板载荷试验前,应采用圆锥动力触探试验或大体积干密度法,结合多道瞬态面波法对强夯地基的施工质量进行检测,必要时可采用探井法,抽检数量如下:

采用圆锥动力触探试验检测时,单位工程抽检数量应符合本规范第4.2.3条的规定,且强夯处理范围内每500m²~1000m²不少于1点,检测深度应满足设计要求;

采用大体积干密度法检测时,试坑尺寸宜根据填料粒径确定,且试坑直径不应小于800mm,深度不应小于1000mm,单位工程抽检数量为每200m²~400m²不少于1点;

采用多道瞬态面波法检测时,单位工程抽检数量不少于4点,且强夯处理范围内每1000m²不少于1点;

采用探井法检测时,单位工程探井数不少于3个,检测深度应满足设计要求。

III 注浆地基

4.3.7 注浆地基承载力及变形模量应采用平板载荷试验进行检测,单位工程试验点数不应少于3点。

4.3.8 注浆地基的注浆体胶结情况可采用开挖探井或钻孔取芯等方法进行检查,单位工程抽检数量不应少于灌浆孔数的1%,且不少于3点。

4.3.9 注浆地基的渗透系数可采用钻孔或试坑注水渗透试验法进行检测,注浆前后单位工程抽检数量均不应少于3点。

4.3.10 注浆地基的密实度可采用圆锥动力触探试验或波速测试进行评定,并应符合下列规定:

1 采用圆锥动力触探试验检测时,单位工程抽检数量应符

合本规范第 4.2.3 条的规定,且不少于灌浆孔数的 3%。

2 采用波速测试时,单位工程抽检数量不少于灌浆孔数的 1%,且不少于 3 点。

4.4 复合地基检测

4.4.1 强夯置换地基应采用单墩载荷试验进行承载力检测。单位工程抽检数量不应少于总墩数的 1%,且不少于 3 点。

置换墩着底情况及承载力和密实度随深度的变化可采用圆锥动力触探试验进行检测,单位工程抽检数量不应少于总墩数的 1%,且不少于 3 点。

4.4.2 旋喷桩地基应采用复合地基载荷试验和单桩载荷试验进行承载力检测,单位工程抽检数量不应少于总桩数的 0.5%~1%,且不少于 3 点。

旋喷桩桩体施工质量可采用钻芯法、开挖法、圆锥动力触探试验或围井注水试验等方法进行检测,单位工程抽检数量不应少于总桩数的 1%,且不少于 3 点。

4.4.3 水泥粉煤灰碎石桩地基应采用复合地基载荷试验进行承载力检测,单位工程抽检数量不应少于总桩数的 0.5%~1%,且不少于 3 点。

水泥粉煤灰碎石桩桩身完整性可采用低应变法进行检测,单位工程抽检数量不应少于总桩数的 10%。

4.4.4 振冲桩地基应采用复合地基载荷试验进行承载力检测,单位工程抽检数量不应少于总桩数的 0.5%,且不少于 3 点。

振冲桩桩体施工质量可采用单桩载荷试验等方法进行检测,单位工程抽检数量不应少于总桩数的 0.5%,且不少于 3 根。

4.5 基础检测

4.5.1 基础工程完工后,应采用非破损、局部破损等方法对混凝土构件进行实体检测,检测项目包括混凝土强度等级、钢筋配置及保护层厚度。

4.5.2 混凝土强度检测可采用钻芯法或回弹法。单位工程抽检数量不应少于构件总数的 10%,且不少于 3 个构件。

4.5.3 钢筋配置及保护层厚度检测可采用电磁感应法,必要时可采用剔凿法进行复核。单位工程抽检数量不应少于构件总数的 10%,且不少于 6 个构件。

4.6 基桩检测

4.6.1 工程桩应进行单桩承载力和桩身完整性检测。

4.6.2 桩身完整性检测宜采用两种或多种合适的检测方法进行。

4.6.3 单柱单桩的大直径嵌岩桩,当建筑场地存在空洞、破碎带和软弱夹层等不良地质条件时,应对桩底下 3 倍桩径或 5m 深度范围内的岩性进行检验。检测方法可采用超前地质钻探或可靠的物探方法。

4.6.4 对竖向抗拔承载力、水平承载力有特殊要求的桩基,应进行单桩竖向抗拔承载力、水平承载力检测。抽检数量不应少于总桩数的 1%,且不少于 3 根。

4.6.5 当传统静载试验实施有困难时,可采用基桩承载力自平衡测试法。

I 人工挖孔灌注桩

4.6.6 人工挖孔灌注桩桩身完整性可采用低应变法进行检测,

抽检数量为每个承台至少 1 根,且不应少于总桩数的 30%和 20 根。并在上述抽检桩数范围内,采用声波透射法或钻芯法对部分受检桩进行检测,抽检数量不应少于总桩数的 10%。

4.6.7 人工挖孔灌注桩的承载力检测应符合下列规定:

1 对建筑物安全等级为一级或地质条件复杂的工程桩,应采用单桩竖向抗压静载试验进行承载力检测。抽检数量不应少于总桩数的 1%,且不少于 3 根;当总桩数在 50 根以内时,不应少于 2 根。

2 除本规范 4.6.7 第 1 款规定条件外的工程桩,当受设备或现场条件限制无法检测单桩竖向抗压承载力时,可根据终孔后桩端持力层的承载力检测结果,并结合成桩后桩身质量检验情况进行核验。

对桩端持力层为完整、较完整及较破碎基岩时,可采用取(钻)芯法进行检测,抽检数量不应少于总桩数的 10%且不少于 10 根;当岩石芯样无法制作成芯样试件时,应进行岩基载荷试验,抽检数量不应少于总桩数的 1%且不少于 3 根。

对桩端持力层为破碎、极破碎基岩及碎石土时,可采用深层平板载荷试验进行检测,抽检数量不应少于总桩数的 1%且不少于 3 根。

II 机械成孔灌注桩

4.6.8 机械成孔灌注桩的桩身完整性检测应符合下列规定:

1 桩身完整性可采用低应变法进行检测,抽测数量为每个承台至少 1 根,且不应少于总桩数的 30%和 20 根。对大直径灌注桩,在上述抽检桩数范围内应采用声波透射法或钻芯法对部分受检桩进行检测,抽检数量不应少于总桩数的 10%。

2 当存在下列条件之一时,桩身完整性应全部采用声波透射法或钻芯法进行检测:

1)桩身穿越较厚的新近填土、欠固结土、软弱土及流砂层

等复杂地质条件时;

2)水下浇筑混凝土时;

3)采用新工艺、新桩型时;

4)桩长大于 15m 时;

5)对桩基施工质量有怀疑时。

4.6.9 机械成孔灌注桩的承载力检测应符合下列规定:

1 对建筑物安全等级为一级、地质条件复杂或施工质量可靠性低的工程桩,应采用单桩竖向抗压静载试验进行检测,抽检数量不应少于总桩数的 1%且不少于 3 根;当总桩数在 50 根以内时,不应少于 2 根。

2 除本规范 4.6.9 第 1 款规定条件以外的工程桩,当受设备或现场条件限制无法检测单桩竖向抗压承载力时,可根据终孔后桩端持力层的承载力检测结果,并结合成桩后桩身质量检验情况进行核验。桩端持力层承载力检验抽检数量为总桩数的 10%且不少于 10 根。

5 试验方法

5.1 浅层平板载荷试验

5.1.1 本方法适用于确定浅部地基土层的承压板下应力主要影响范围内的承载力。承压板可采用正方形或圆形刚性板。承压板面积不应小于 0.25m^2 ，对于软土不应小于 0.5m^2 ，对于填土地基不应小于 1m^2 ，复合地基承压板面积应等于受检桩所承担的处理面积。

5.1.2 试验基坑宽度不应小于承压板宽度或直径(d)的三倍。试坑试验标高宜与地基土基底设计标高一致。应保持试验土层的原状结构和天然湿度。宜在拟试压表面用粗砂或中砂找平，其厚度不超过 20mm ，浅层平板载荷试验加载装置见图 5.1.2。

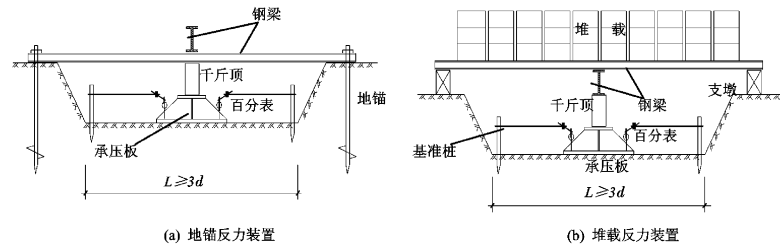


图 5.1.2 浅层平板载荷试验试验加载装置示意图

5.1.3 加载分级不应少于 8 级。试验最大加载量不应小于设计要求的两倍。加载反力装置能提供的反力不得小于试验最大加载量的 1.2 倍。

5.1.4 每级加载后，按间隔 10、10、10、15、15min，以后为每隔半小时测读一次沉降量，当连续两小时内，每小时的沉降量小于 0.1mm 时，则认为已趋稳定，可加下一级荷载。

5.1.5 当出现下列情况之一时，即可终止加载：

- 1 承压板周围的土明显地侧向挤出；
- 2 沉降 s 急骤增大，荷载~沉降($p \sim s$)曲线出现陡降段；
- 3 在某一级荷载下，24h 内沉降速率不能达到稳定；
- 4 沉降量与承压板宽度或直径之比大于或等于 0.06。

当满足前三种情况之一时，其对应的前一级荷载定为极限荷载。

5.1.6 承载力特征值的确定应符合下列规定：

- 1 当 $p \sim s$ 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的荷载值的 2 倍时，取极限荷载的一半；
- 3 当不能按上述二款要求确定时，可取 $s/d = 0.01 \sim 0.015$ 所对应的荷载，但其值不应大于最大加载量的一半。

5.1.7 同一土层参加统计的试验点不应少于三点，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的地基承载力特征值 f_{ak} 。

5.1.8 浅层平板载荷试验的变形模量 E_0 (MPa)，可按下式计算：

$$E_0 = I_u (1 - \mu^2) \frac{pd}{s} \quad (5.1.8)$$

式中： I_u ——刚性承压板形状对沉降的影响系数，圆形承压板取 0.79，方形承压板取 0.88；

μ ——土的泊桑比(碎石土取 0.27，砂土取 0.3，粉土取 0.35，粉质粘土取 0.38，粘土取 0.42)；

p —— $p \sim s$ 曲线线性段的压力(kPa)；

d ——承压板的边长或直径(mm)；

s ——与 p 对应的沉降。

5.2 深层平板载荷试验

5.2.1 本方法适用于确定深部地基土层及大直径桩桩端土层在承压板下应力主要影响范围内的承载力。

5.2.2 深层平板载荷试验的承压板采用直径为 0.8m 的刚性板，紧靠承压板周围外侧的土层高度应不小于 0.8m。试验加载装置见图 5.2.2。

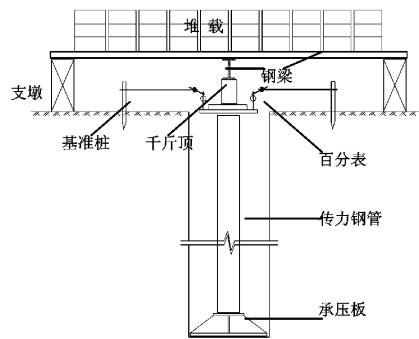


图 5.2.2 深层平板载荷试验加载装置示意图

- 5.2.3 加荷等级可按预估极限承载力的 1/10~1/15 分级施加。
- 5.2.4 每级加载后，第一个小时内按间隔 10、10、10、15、15min，以后为每隔半小时测读一次沉降。当在连续两小时内，每小时沉降量小于 0.1mm 时，则认为已趋于稳定，可加下一级荷载。
- 5.2.5 当出现下列情况之一时，可终止加载：
- 1 沉降 s 急聚增大，荷载~沉降 ($p \sim s$) 曲线上有可判定极限承载力的陡降段，且沉降量超过 0.04d (d 为承压板直径)；
 - 2 在某级荷载下，24h 内速率不能达到稳定；
 - 3 本级沉降量大于前一级沉降量的 5 倍；
 - 4 当持力层土层坚硬，沉降量很小时，最大加载量不小于设计要求的 2 倍。
- 5.2.6 承载力特征值的确定应符合下列规定：
- 1 当 $p \sim s$ 曲线上有比例界限时，取该比例界限所对应的荷载值；
 - 2 满足前三条终止加载条件之一时，其对应的前一级荷载定为极限荷载，当该值小于对应比例界限的荷载值的 2 倍时，取极限荷载值的一半；

3 不能按上述二款要求确定时，可取 $s/d = 0.01 \sim 0.015$ 所对应的荷载值，但其值不应大于最大加载量的一半。

5.2.7 同一土层参加统计的试验点不应少于三点，当试验实测值的极差不超过平均值的 30% 时，取此平均值作为该土层的地基承载力特征值 f_{ak} 。

5.2.8 深层平板载荷试验的变形模量 E_o (MPa)，可按下式计算：

$$E_o = \omega \frac{pd}{s} \tag{5.2.8}$$

式中： ω ——与试验深度和土类有关的系数，可按表 5.2.8 确定；
 p —— $p \sim s$ 曲线线性段的压力 (kPa)；
 d ——承压板的边长或直径 (mm)；
 s ——与 p 对应的沉降。

表 5.2.8 深层载荷试验计算系数 (ω)

土类 d/z	碎石	砂土	粉土	粉质粘土	粘土
0.30	0.447	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

注： d/z 为承压板直径和承压板底面深度之比。

5.3 岩基载荷试验

- 5.3.1 本方法适用于确定完整、较完整、较破碎岩基作为天然地基或桩基础持力层时的承载力。
- 5.3.2 采用圆形刚性承压板，直径为 300mm。当岩石埋藏深度较大时，可采用钢筋混凝土桩，但桩周需采取措施以消除桩身与土之间的摩擦力。
- 5.3.3 测量系统的初始稳定读数观测：加压前，每隔 10min 读数

一次,连续三次读数不变可开始试验。

5.3.4 加载方式:单循环加载,荷载逐级递增直到破坏,然后分级卸载。

5.3.5 荷载分级:第一级加载值为预估设计荷载的 1/5,以后每级为 1/10。

5.3.6 沉降量测读:加载后立即读数,以后每 10min 读数一次。

5.3.7 稳定标准:连续三次读数之差均不大于 0.01mm。

5.3.8 当出现下述现象之一时,即可终止加载:

- 1 沉降量读数不断变化,在 24h 内,沉降速率有增大的趋势;
- 2 压力加不上或勉强加上而不能保持稳定;
- 3 承压板周围的岩体出现隆起现象,或径向裂纹持续发展。

5.3.9 卸载观测:每级卸载为加载时的两倍,如为奇数,第一级可为三倍。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,即为稳定。

5.3.10 岩石地基承载力的确定。

- 1 对应于 $p \sim s$ 曲线上起始直线段的终点为比例界限。符合终止加载条件的前一级荷载为极限荷载。将极限荷载除以 3 的安全系数,所得值与对应于比例界限的荷载相比较,取小值;
- 2 每个场地载荷试验的数量不应少于 3 个,取最小值作为岩石地基承载力特征值;
- 3 岩石地基承载力不进行深宽修正。

5.4 圆锥动力触探试验

5.4.1 圆锥动力触探试验的类型可分为轻型、重型和超重型三种,其规格和适用土类应符合表 5.4.1 的规定。

表 5.4.1 圆锥动力触探试验类型

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	50~60
指标		贯入 30cm 的读数 N_{10}	贯入 10cm 的读数 $N_{63.5}$	贯入 10cm 的读数 N_{120}
主要适用岩土		浅部的素填土、砂土、粉土、粘土	砂土、中密以下的碎石土、极软岩	密实和很密实的碎石土、极软岩

5.4.2 圆锥动力触探试验技术要求应符合下列规定:

- 1 采用自动落锤装置;
- 2 触探杆最大偏斜度不应超过 2%,锤击贯入应连续进行;同时防止锤击偏心、探杆倾斜和侧向晃动,保持探杆垂直度;锤击速率每分钟宜为 15~30 击;
- 3 每贯入 1m,宜将探杆转动一圈半;当贯入深度超过 10m,每贯入 20cm 宜转动探杆一次;
- 4 对轻型动力触探当 $N_{10} > 100$ 或贯入 15cm 锤击数超过 50 时,可停止试验;对重型动力触探,当连续三次 $N_{63.5} > 50$ 时,可停止试验或改用超重型动力触探。

5.4.3 当采用重型圆锥动力触探推定地基土承载力或评价地基土密实时,锤击数 $N_{63.5}$ 应按下式修正:

$$N_{63.5} = \alpha \cdot N'_{63.5} \tag{5.4.3-1}$$

式中: $N_{63.5}$ ——修正后的重型圆锥动力触探锤击数;

$N'_{63.5}$ ——实测重型圆锥动力触探锤击数;

α ——修正系数,应按表 5.4.3-1 取值。

表 5.4.3-1 重型圆锥动力触探锤击数修正系数(α)

$N'_{63.5}$ 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	0.79	0.75	0.70	0.67	0.64	0.61	0.59	0.55
14	0.82	0.76	0.71	0.66	0.62	0.58	0.56	0.53	0.50
16	0.79	0.73	0.67	0.62	0.57	0.54	0.51	0.48	0.45
18	0.77	0.70	0.63	0.57	0.53	0.49	0.46	0.43	0.40
20	0.75	0.67	0.59	0.53	0.48	0.44	0.41	0.39	0.36

注：表中 L 为杆长。

当采用超重型圆锥动力触探评价碎石土密实度时,锤击数 N_{120} 应按下式修正：

$$N_{120} = \alpha \cdot N'_{120} \quad (5.4.3-2)$$

式中： N_{120} ——修正后的超重型圆锥动力触探锤击数；

N'_{120} ——实测超重型圆锥动力触探锤击数；

α ——修正系数,应按表 5.4.3-2 取值。

表 5.4.3-2 超重型圆锥动力触探锤击数修正系数(α)

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	0.68	0.67	0.66
9	0.88	0.75	0.72	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66	0.64	0.63	0.62	0.62
11	0.87	0.73	0.69	0.67	0.66	0.66	0.64	0.62	0.61	0.60	0.59	0.58
13	0.86	0.71	0.67	0.65	0.64	0.63	0.61	0.60	0.58	0.57	0.56	0.55
15	0.86	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。

5.4.4 圆锥动力触探试验成果分析应包括下列内容：

1 单孔连续圆锥动力触探试验应绘制锤击数与贯入深度关系曲线；

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

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

5.4.5 地基土的岩土性状、人工地基的处理效果可根据单位工程各检测孔的动力触探锤击数代表值、同一土层的动力触探锤击数标准值及变异系数进行评价。人工地基的处理效果宜根据处理前后的检测结果进行评价。

5.5 多道瞬态面波法

I 适用范围

5.5.1 本方法适用于检测地基加固效果,探测地下隐埋物体、非金属管道及进行地基动力特性测试等。

5.5.2 多道瞬态面波检测宜与钻探和其他物探方法密切配合,综合分析,正确评价。

II 仪器设备技术指标

5.5.3 多道瞬态面波仪器应符合下列要求：

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

2 仪器放大器的通频带应满足采集面波频率范围的要求,对于岩土工程检测,其通频带低频端不宜高于 0.5Hz,高频端不宜低于 4000Hz；

3 仪器放大器各通道的幅度和相位应一致,各频率点的幅

度差在 5% 以内,相位差不应大于所用采样时间间隔的一半;

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

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

5.5.4 用于多道瞬态面波采集的检波器应符合下列要求:

- 1 应采用垂直方向的速度型检波器;
- 2 检波器的自然频率应满足采集最大面波周期的需要,岩土工程检测宜用自然频率不大于 4.0Hz 的低频检波器;
- 3 用作面波检测,同一排列的检波器之间的自然频率差不应大于 0.1Hz,灵敏度和阻尼系数差别不应大于 10%;
- 4 检波器按竖直方向安插,应与地面(或被测介质表面)接触紧密。

5.5.5 用于多道瞬态面波采集的检波器排列布置应符合下列要求:

- 1 采用线性等间距排列方式,震源在检波器排列以外延长线上激发;
- 2 道间距应小于最小检测深度所需波长的 1/2;
- 3 检波器排列长度应大于预期面波最大波长的 1/2;
- 4 偏移距的大小,需根据任务要求通过现场试验确定。

5.5.6 用于多道瞬态面波的震源应符合下列要求:

- 1 震源方式可采用大锤激振、落重激振或炸药激振。选择震源需保证面波勘察所需的频率及足够的激振能量;
- 2 震源方式的选择应根据检测深度要求和现场环境确定,检测深度在 0~15m 范围内时,宜选择大锤激振;检测深度在 0~30m 范围内时,选择落重激振,检测深度在 0~50m 以上时,选择炸药激振,在无法使用炸药的场地亦可采用加大落锤重量或提高落锤高度的办法加大检测深度;
- 3 激振条件的改善:检测深度小时,震源应激发高频率波;

检测深度大时,震源应激发低频率波。同种震源方式,改变激振点条件和垫板亦可使激发频率改变。

III 现场检测

5.5.7 现场正式检测前,应对仪器设备系统的频响与幅度的一致性进行检查:

- 1 仪器各道的一致性检查:将仪器输入端各道并联后接人信号源,采集与工作记录参数相同的记录并存储,利用软件分析频响与幅度的一致性;
- 2 检波器的一致性检查:选择介质均匀的地点,将检波器密集地安插牢固,在大于 10m 外激振,采集面波记录并存储,利用软件分析频响与幅度的一致性;
- 3 仪器通道和检波器的频响与幅度特性,在测深需要的频率范围内应符合一致性要求。

5.5.8 测线、测点布设应遵循下列原则:

- 1 地基加固效果检验,应在加固前后采取测点、测线位置不变的原则;
- 2 面波排列的中点为面波检测点,面波检测点间距的布置应根据场地地质地形条件的复杂性以及检测目的和精度综合考虑;面波排列的长度不应小于检测深度所需波长的 1/2。

5.5.9 面波的接收应遵循下列原则:

- 1 仪器应设置在全通状态,对定点仪器应设置各道增益一致;
- 2 记录长度为“采样点数”和“采样间隔”的乘积,采样点数可选择 1024 点或 2048 点;采样间隔的选择视采集记录的长度要求,应满足最大源检距基阶面波的采集需要;
- 3 记录的近震源道不应出现削波,排列中不宜有坏道;
- 4 排列方向的设计应视地形条件和规避干扰波的需要确定;排列上的道间距应小于最小检测深度所需波长的 1/2;
- 5 检波器安置的位置应准确;

6 检波器应与地面安置牢固,并使埋置条件一致。

5.5.10 采集记录质量评价

- 1 采集记录中的削波在多道瞬态面波勘察中应视为坏道;
- 2 采集记录的长度满足最大源检距基阶波采集的记录,并视为合格记录,否则为不合格记录;
- 3 采集记录中基阶波应为强势波,否则为不合格记录;
- 4 采集记录中相邻两道为坏道应视为不合格记录;
- 5 采集记录中坏道数大于使用道数 10% 的记录应为不合格记录;
- 6 发现不合格记录,应进行补测。

IV 数据处理

5.5.11 数据资料处理应符合下列要求:

- 1 绘制测线(点)平面布置图和编制测线(点)的高程表,面波数据资料的处理与解释;
- 2 使用软件对面波数据资料进行处理,处理内容包括:面波数据资料预处理、生成面波频散曲线、频散曲线分层反演剪切波速度及确定层厚,利用面波频散曲线生成速度映像彩色剖面,并在此基础上绘制地质剖面图等;
- 3 建立地形高程文件、绘制面波速度映像剖面图和地质解释剖面图。

5.5.12 面波频散曲线提取应符合下列要求:

- 1 面波频散曲线的提取宜在频率—波数($f \sim K$)域中进行;
- 2 在 $f \sim K$ 域进行的二维滤波应突出基阶面波的能量;
- 3 在 $f \sim K$ 域中的等值线图上应确认频散曲线,并转换为速度;
- 4 频散曲线应遵循收敛的原则。在面波频散曲线上若频散点点距过大,不收敛,变化的起点处可解释为地质界线;不收敛的频散曲线段不能用于地层速度的计算;
- 5 频散曲线提取完毕后,应进行存储。

5.5.13 频散曲线的分层应根据曲线的曲率和频散点的疏密变

化综合分析;分层完成后反演计算剪切波层速度和层厚。

1 剪切波层速度和层厚的反演计算可采用两种方式:固定层厚,反演层速度和固定层速度,反演层厚。一般宜选择固定层厚的方式反演剪切波层速度;

2 反演过程宜遵循由浅及深逐层调试,使正、反演结果逼近,完成剪切波层速度和层厚的处理;

3 确认层参数后,存储处理结果。

5.6 地质雷达法

I 适用范围

5.6.1 本方法适用于判定基础持力层有无软弱下卧层、孔洞等不良地质现象,也可用于普查人工地基的密实程度及加固效果。

II 仪器设备技术指标

5.6.2 地质雷达主机技术指标应符合下列要求:

- 1 系统增益不低于 150dB;
- 2 信噪比不低于 60dB;
- 3 模/数转换不低于 16 位;
- 4 信号叠加次数可选择;
- 5 采样间隔一般不大于 0.5ns;
- 6 实时滤波功能可选择;
- 7 具有点测和连续测量功能;
- 8 具有手动或自动位置标记功能;
- 9 具有现场数据处理功能。

5.6.3 地质雷达天线可采用不同频率的天线组合,技术指标应符合下列要求:

- 1 具有屏蔽功能;

- 2 最大探测深度应大于 5m;
- 3 垂直分辨率应高于 2cm。

III 参数选取

5.6.4 天线中心频率应在满足探测深度的前提下,使用较高分辨率的天线,并考虑天线大小是否符合检测场地要求。天线中心频率可按式初步选定:

$$f = \frac{150}{x \sqrt{\epsilon_r}} \quad (5.6.4)$$

式中: x ——空间分辨率(单位:m);

ϵ_r ——材料相对介电常数;

f ——天线中心频率(单位:MHz)。

5.6.5 当采用分离式天线检测时,发射天线与接收天线的间距可由下式确定:

$$l = \frac{2h_{\max}}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (5.6.5)$$

式中: l ——发射天线与接收天线的间距(单位:m);

$h_{\max}$ ——最大探测深度(单位:m)。

当采用一体式天线检测时,发射天线与接受天线的间距是固定的。

5.6.6 时窗可由下式确定:

$$w = 1.3 \times \frac{2h_{\max}}{v} \quad (5.6.6)$$

式中: w ——时窗(单位:ns);

v ——雷达波在被测介质中的波速(单位:m/ns)。

5.6.7 采样率可由下式估算:

$$s_p \geq w \times f \times 10^{-8} \quad (5.6.7)$$

式中: s_p ——采样率。

在保证天线垂直分辨率且在仪器容许情况下,需经过不同的

实验,以达到最清晰的探测要求为准。

5.6.8 测量轮分辨率=测量轮的周长/编码器旋转一周所产生的脉冲数

IV 现场检测

5.6.9 检测开始前,应开展下列准备工作:

- 1 标定地面反射波起始零点(雷达记录时间零点);
- 2 根据检测环境和检测目的合理布设测线;
- 3 检查雷达采集系统,设置检测参数,确保其正常使用;
- 4 对探测区域的雷达波速进行校准。

5.6.10 数据采集应符合下列要求:

- 1 采集的数据应通过接口实时传输到指定存储设备,并可进行实时交换;
- 2 数据采集过程中,天线应沿测线方向匀速移动,同步绘制雷达测线图;
- 3 数据采集时,同类测线的数据采集方向宜一致;
- 4 数据采集时,在场地允许情况下,宜使用天线阵雷达进行网格状扫描,多条测线辅助评定结果。

V 数据处理及图像分析

5.6.11 数据处理前,应对数据进行重新组织,剔除与探测目标无关的数据,同时进行相应的记录;合并因测线过长而造成的不连续数据。

5.6.12 根据探测的实际情况选择合适的滤波方式,滤波方式可选低通、高通、带通滤波等。

- 1 根据不同的天线初选滤波参数;
- 2 对数据进行频谱分析,得到较为准确的频率分布,设定滤波参数,进行滤波处理;

3 对采集的数据进行背景去噪处理。

5.6.13 应根据实际情况对采集的数据进行适当的增益处理,增益方式可选线性增益、平滑增益、反比增益、指数增益、常数增益等方法。

5.6.14 宜根据实际情况对采集的数据有选择地进行反滤波处理(反褶积处理)、偏移处理等。

5.6.15 应对图像进行下列增强处理:

- 1 应进行振幅恢复;
- 2 应将同一通道不同反射段内振幅值乘以不同权系数;
- 3 应将不同通道记录的振幅值乘以不同的权系数。

5.6.16 单个雷达图像分析步骤:确定反射波组的界面特征;识别地表干扰反射波组;识别正常介质界面反射波组;确定反射层信息。

5.6.17 雷达图像数据解释应开展下列工作:

- 1 结合多个相邻剖面雷达图像,找到数据之间的相关性;
- 2 结合现场的实际情况,将探测区域表面情况和实际探测图像进行比对分析;

3 将探测得到的雷达图和经典的经过验证的雷达图比对分析。

5.6.18 基础持力层及人工地基密实程度的主要判定特征应符合以下要求:

- 1 密实、无裂隙:信号幅度较弱,甚至没有反射界面;
- 2 不密实、裂隙发育:强反射信号同相轴呈绕射弧形,且不连续,较分散;
- 3 空洞:反射信号强,三振相明显,在其下部仍有强反射界面信号,而且信号时程差较大。

5.7 单桩竖向抗压静载试验

I 适用范围

5.7.1 本方法适用于检测单桩的竖向抗压承载力。

5.7.2 为设计提供依据的试验桩,应加载至破坏;当桩的承载力以桩身强度控制时,可按设计要求的加载量进行。工程桩验收检测时,加载量不应小于设计要求的单桩承载力特征值的 2.0 倍。

II 仪器设备及其安装

5.7.3 试验加载宜采用油压千斤顶。当采用两台及两台以上千斤顶加载时应并联同步工作,且应符合下列规定:

- 1 采用的千斤顶型号、规格应相同;
- 2 千斤顶的合力中心应与桩轴线重合。

5.7.4 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、地锚反力装置(图 5.7.4),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加载量的 1.2 倍;
- 2 应对加载反力装置的全部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 压重施加于地基的压应力不宜大于地基承载力特征值的 1.5 倍,有条件时宜利用工程桩作为堆载支点。

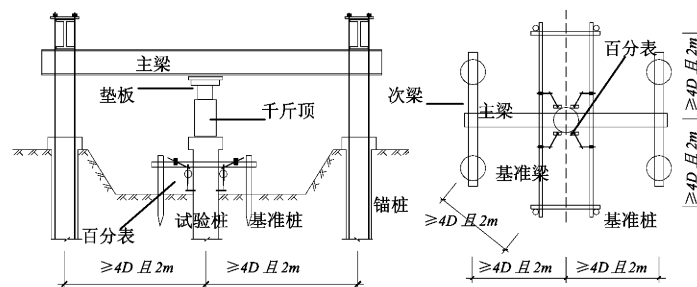


图 5.7.4 竖向静载试验装置

5.7.5 荷载测量可用放置在千斤顶上的荷重传感器直接测定;或采用并联于千斤顶油路的压力表或压力传感器测定油压,根据

千斤顶率定曲线换算荷载。荷重传感器、压力传感器或压力表的准确度等级应优于或等于 0.5 级。试验用压力表、油泵、油管在最大加载时的压力不应超过规定工作压力的 80%。

5.7.6 沉降测量宜采用大量程位移传感器或百分表,并应符合下列规定:

- 1 最大允许误差不大于 0.1%FS,分度值/分辨力优于或等于 0.01mm;
- 2 直径或边宽大于 500mm 的桩,应在其两个方向对称安置 4 个位移测试仪表,直径或边宽小于等于 500mm 的桩可对称安置 2 个位移测试仪表;
- 3 沉降测定平面宜在桩顶 200mm 以下位置,测点应牢固地固定于桩身;
- 4 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;
- 5 固定和支撑位移计(百分表)的夹具及基准梁应避免气温、振动及其他外界因素的影响;当基准梁暴露在阳光下时,应进行有效遮挡。

5.7.7 试桩、锚桩(压重平台支墩边)和基准桩之间的中心距离应符合表 5.7.7 规定。

表 5.7.7 试桩、锚桩(或压重平台支墩边)和基准桩之间的中心距离

距离 反力装置	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(或压重平台支墩 边)
锚桩横梁	$\geq 4(3)D$ 且 $> 2.0m$	$\geq 4(3)D$ 且 $> 2.0m$	$\geq 4(3)D$ 且 $> 2.0m$
压重平台	$\geq 4D$ 且 $> 2.0m$	$\geq 4(3)D$ 且 $> 2.0m$	$\geq 4(3)D$ 且 $> 2.0m$
地锚装置	$\geq 4D$ 且 $> 2.0m$	$\geq 4(3)D$ 且 $> 2.0m$	$\geq 4D$ 且 $> 2.0m$
注: 1 D 为试桩、锚桩或地锚的设计直径或边宽,取其较大者。 2 如试桩或锚桩为扩底桩或多支盘桩时,试桩与锚桩的中心距离不应小于 2 倍扩大端直径。 3 括号内数值可用于工程桩验收检测时多排桩设计桩中心距离小于 4D 或压重平台法支墩下 2~3 倍宽影响范围内的地基土已进行加固处理的情况。 4 软土地场压重平台堆载重量较大时,宜增加支墩边与基准桩中心和试桩中心之间的距离,并在试验过程中观测基准桩的竖向位移。			

III 现场检测

5.7.8 试验加卸载方式应符合下列规定:

- 1 加载应分级进行,采用逐级等量加载;分级荷载宜为最大加载量或预估极限承载力的 1/10,其中第一级可取分级荷载的 2 倍;
- 2 卸载应分级进行,每级卸载量取加载时分级荷载的 2 倍,逐级等量卸载;
- 3 加、卸载时应使荷载传递均匀、连续、无冲击,每级荷载在维持过程中的变化幅度不得超过分级荷载的 $\pm 10\%$ 。

5.7.9 慢速维持荷载法试验步骤应符合下列规定:

- 1 每级荷载施加后按第 5、15、30、45、60min 测读桩顶沉降量,以后每隔 30min 测读一次;
- 2 试桩沉降相对稳定标准:每一小时内的桩顶沉降量不超过 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,再施加下一级荷载;
- 4 卸载时,每级荷载维持 1h,按第 15、30、60min 测读桩顶沉降量后,即可卸下一级荷载。卸载至零后,应测读桩顶残余沉降量,维持时间为 3h,测读时间为第 15、30min,以后每隔 30min 测读一次。

5.7.10 工程桩验收检测宜采用慢速维持荷载法。当有成熟的地区经验时,也可采用快速维持荷载法。

快速维持荷载法的每级荷载维持时间至少为 1h,是否延长维持荷载时间应根据桩顶沉降收敛情况确定。

5.7.11 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 尚未达到相对稳定标准;
- 3 已达加载反力装置的最大加载能力;
- 4 已达到设计要求的最大加载量;

- 5 当工程桩作锚桩时,锚桩上拔量已达到允许值;
- 6 当荷载—沉降曲线呈缓变型时,可加载至桩顶总沉降量 60mm~80mm;在特殊情况下,可根据具体要求加载至桩顶累计沉降量超过 80mm。

5.7.12 检测数据宜按本规范附录 C 附表 C—1、C—2 的格式记录。

IV 检测数据分析与判定

5.7.13 确定单桩竖向抗压承载力时,应绘制竖向荷载~沉降($Q \sim s$)曲线、沉降~时间对数($s \sim \lg t$)曲线,需要时也可绘制其他辅助分析所需曲线。

5.7.14 单桩竖向抗压极限承载力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 $Q \sim s$ 曲线,取其发生明显陡降的起始点对应的荷载值;
- 2 根据沉降随时间变化的特征确定:取 $s \sim \lg t$ 曲线尾部出现明显向下弯曲的前一级荷载值;
- 3 出现本规范第 5.7.11 条第 2 款情况,取前一级荷载值;
- 4 对于缓变型 $Q \sim s$ 曲线可根据桩顶总沉降量确定,宜取 $s = 40\text{mm}$ 对应的荷载值;对直径大于或等于 800mm 的桩,可取 $s = 0.05 D$ (D 为桩端直径)对应的荷载值;当桩长大于 40m 时,宜考虑桩身弹性压缩;

5 当按本规范 5.7.14 条第 1~4 款判定桩的竖向抗压承载力未达到极限时,桩的竖向抗压极限承载力应取最大试验荷载值。

5.7.15 为设计提供依据的试验桩竖向抗压极限承载力统计取值应符合以下规定:

- 1 参加统计的试验结果满足极差不超过平均值的 30% 时,取其平均值为单桩竖向抗压极限承载力;
- 2 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极限承载力,必要时可增加试桩数量。

5.7.16 单桩竖向抗压承载力特征值 R_a 应按单桩竖向抗压极限承载力的一半取值。

5.7.17 检测报告除应包括本规范第 3.4 条内容外,还应包括:

- 1 受检桩桩位对应的地质柱状图;
- 2 受检桩及锚桩的尺寸、材料强度、锚桩数量、配筋情况;
- 3 加载反力种类,堆载法应指明堆载重量,锚桩法应有反力梁布置平面图;
- 4 加卸载方法,荷载分级;
- 5 本规范第 5.7.13 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;
- 6 承载力判定依据。

5.8 单桩水平静载试验

I 适用范围

5.8.1 本方法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。

5.8.2 为设计提供依据的试验桩宜加载至桩顶出现较大水平位移或桩身结构破坏;对工程桩抽样检测,可按设计要求的水平位移允许值控制加载。

II 设备仪器及其安装

5.8.3 水平推力加载装置宜采用油压千斤顶,加载能力不得小于最大试验荷载的 1.2 倍。

5.8.4 水平推力的反力可由相邻桩提供;当专门设置反力结构时,其承载能力和刚度应大于试验桩的 1.2 倍(如图 5.8.4)。

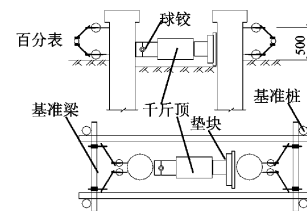


图 5.8.4 水平静载试验装置

5.8.5 荷载测量及其仪器的技术要求应符合本规范第 5.7.5 条的规定;水平力作用点宜与实际工程的桩基承台底面标高一致;千斤顶和试验桩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;千斤顶与试桩的接触处宜适当补强。

5.8.6 桩的水平位移测量及其仪器的技术要求应符合本规范第 5.7.6 条的有关规定。在水平力作用平面的受检桩两侧应对称安装两个位移计;当需要测量桩顶转角时,尚应在水平力作用平面上 50cm 的受检桩两侧对称安装两个位移计。

5.8.7 位移测量的基准点设置不应受试验和其他因素的影响,基准点应设置在与作用力方向垂直且与位移方向相反的试桩侧面,基准点与试桩净距不应小于 1 倍桩径。

III 现场检测

5.8.8 加载方法宜根据工程桩实际受力特性选用单向多循环加载法或本规范第 5.7 节规定的慢速维持荷载法,也可按设计要求采用其他加载方法。

5.8.9 试验加卸载方式和水平位移测量应符合下列规定:

1 单向多循环加载法的分级荷载应小于等于预估水平极限承载力或最大试验荷载的 1/10。每级荷载施加后,恒载 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。如此循环 5 次,完成一级荷载的位移观测。试验不得中间停顿。

2 慢速维持荷载法的加卸载分级、试验方法及稳定标准应按本规范第 5.7.8 条和 5.7.9 条有关规定执行。

5.8.10 当出现下列情况之一时,可终止加载:

- 1 桩身折断;
- 2 水平位移超过 30mm ~ 40mm (软土或大直径桩取 40mm);
- 3 水平位移达到设计要求的水平位移允许值。

5.8.11 检测数据可按本规范附录 C 附表 C-1、C-3 的格式记录。

IV 检测数据分析与判定

5.8.12 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—作用点位移($H-t-Y_0$)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—力作用点位移($H-Y_0$)关系曲线、水平力—位移梯度($H-\Delta Y_0/\Delta H$)关系曲线、力作用点位移—时间对数($Y_0-\lg t$)关系曲线和水平力—力作用点位移双对数($\lg H-\lg Y_0$)关系曲线。

3 绘制水平力、水平力作用点水平位移—地基土水平抗力系数的比例系数的关系曲线($H-m, Y_0-m$)。

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:

$$m = \frac{(\nu_y \cdot H)^{\frac{5}{3}}}{b_0 \cdot Y_0^{\frac{5}{3}} (EI)^{\frac{2}{3}}} \quad (5.8.12-1)$$

$$\alpha = \left(\frac{mb_0}{EI} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (5.8.12-2)$$

式中: m ——地基土水平抗力系数的比例系数(kN/m^4);

α ——桩的水平变形系数(m^{-1});

ν_y ——桩顶水平位移系数,由式(5.8.12-2)试算 α ,当 $\alpha h \geq 4.0$ 时(h 为桩的入土深度), $\nu_y = 2.441$;

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($\text{kN} \cdot \text{m}^2$);其中 E 为桩身材料弹性模量, 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 $D \leq 1\text{m}$ 时, $b_0 = 0.9(1.5D + 0.5)$;

当桩径 $D > 1\text{m}$ 时, $b_0 = 0.9(D + 1)$ 。对于矩形桩:当边宽 $B \leq 1\text{m}$ 时, $b_0 = 1.5B + 0.5$;当边宽 $B > 1\text{m}$ 时, $b_0 = B + 1$ 。

5.8.13 单桩水平临界荷载可按下列方法综合确定:

1 取单向多循环加载法时的 $H-t-Y_0$ 曲线或慢速维持荷载法时的 $H-Y_0$ 曲线出现拐点的前一级水平荷载值。

2 取 $H-\Delta Y_0/\Delta H$ 曲线或 $\lg H-\lg Y_0$ 曲线上第一拐点对应的水平荷载值。

5.8.14 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 $H-t-Y_0$ 曲线产生明显陡降的前一级、或慢速维持荷载法时的 $H-Y_0$ 曲线发生明显陡降的起始点对应的水平荷载值;

2 取慢速维持荷载法时的 $Y_0-\lg t$ 曲线尾部出现明显弯曲的前一级水平荷载值;

3 取 $H-\Delta Y_0/\Delta H$ 曲线或 $\lg H-\lg Y_0$ 曲线上第二拐点对应的水平荷载值;

4 取桩身折断时的前一级水平荷载值。

5.8.15 为设计提供依据的试验桩水平极限承载力和水平临界荷载统计取值应符合本规范第 5.8.14 条的规定。

5.8.16 单桩水平承载力特征值的确定应符合下列规定:

1 当桩身不允许开裂或灌注桩的桩身配筋率小于 0.65% 时,取水平临界荷载的 0.75 倍为单桩水平承载力特征值。

2 当灌注桩身配筋率不小于 0.65% 时,取设计桩顶标高处水平位移为 10mm(对水平位移敏感的建筑取 6mm)所对应荷载的 0.75 倍为单桩水平承载力特征值。

3 按设计要求的水平允许位移对应的荷载作为单桩水平承载力特征值,但应同时满足桩身抗裂要求。

5.8.17 检测报告除应包括本规范第 3.4 条内容外,还应包括:

1 受检桩桩位对应的地质柱状图;

2 受检桩的截面尺寸及配筋情况;

3 加卸载方法,荷载分级;

4 本规范第 5.8.12 条要求绘制的曲线及对应的数据表;

5 承载力判定依据。

5.9 基桩承载力自平衡测试法

I 适用范围

5.9.1 本方法适用于岩石、粘性土、粉土和砂土层中的钻(冲)孔灌注桩,人工挖孔桩、沉管灌注桩等,特别适用于传统静载荷试验相当困难的大直径嵌岩桩、机械钻(冲)孔灌注桩、水上试桩、坡地试桩、基坑试桩、狭窄场地试桩等情况。

5.9.2 当需测定桩的分层侧阻力和桩端阻力或桩身的位移量时,可埋设测量桩身应力、应变、桩底反力的传感器或位移杆。

5.9.3 为设计提供依据的试验桩,应加至破坏。

II 设备仪器及其安装

5.9.4 试验加载采用专用的荷载箱,必须经法定检测单位标定。荷载箱平放于试桩中心;荷载箱极限加载能力应大于估计极限承载力的 1.2 倍。

5.9.5 试验采用联于荷载箱的压力表测定油压,根据荷载箱率定曲线换算荷载。试桩位移一般采用百分表或电子位移计分别测量向上位移和向下位移。固定和支撑百分表的夹具和基准梁在构造上应确保不受气温、振动及其他外界因素的影响以防止发生竖向变位。

5.9.6 试桩和基准桩之间的中心距离应大于等于 3 倍试桩桩径且不小于 2.0m。

5.9.7 荷载箱在成孔以后,混凝土浇捣前设置。护管与钢筋笼焊接成整体,荷载箱与钢筋焊接在一起,护管还应与荷载箱顶盖

焊接,焊缝应满足强度要求,并确保护管不渗漏水泥浆。荷载箱摆放处一般宜有加强措施,可配置加密钢筋网 2 层。在人工挖孔桩孔底用高强度等级的砂浆或高强度等级混凝土将孔底找平。

5.9.8 荷载箱摆设位置应根据地质报告进行估算。当端阻力小于侧阻力时,荷载箱放在桩身平衡点处,使上、下段桩的承载力相等以维持加载。当端阻力大于侧阻力时,可根据桩长径比、地质情况采取以下措施:

- 1 桩顶提供一定量的配重;
- 2 改用大吨位、小直径的荷载箱,加载至侧阻力充分发挥,再根据实际尺寸换算后确定端阻力值。

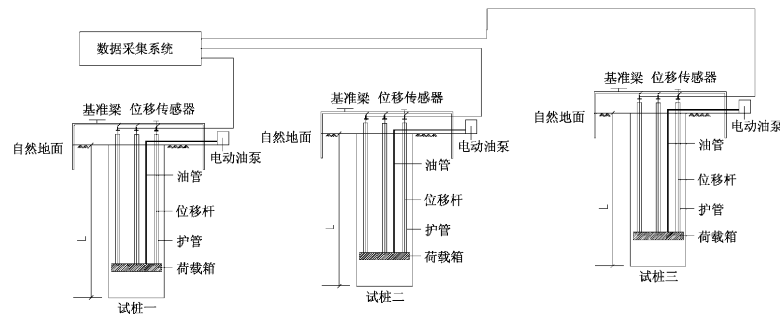


图 5.9.8 荷载试验装置图

III 现场检测

5.9.9 试验加载方式:采用慢速维持荷载法,逐级加载。每级荷载达到相对稳定后方可施加下级荷载,直到试桩破坏,然后分级卸载到零。结合实际工程桩的荷载特征,也可以采用多循环加、卸载法(每级荷载达到相对稳定后卸载到零)。对于工程桩检验性试验,可采用快速维持荷载法,即每隔一小时施加一级荷载。

5.9.10 加载分级:每级加载为预估极限承载力的 $1/10 \sim 1/15$,第一级可按 2 倍分级荷载加载。

5.9.11 位移观测:每级加载后在第 1h 内分别于 5、10、15、30、

45、60min 测读一次。每次读数值记入试验记录表。

5.9.12 位移相对稳定标准:每小时的位移不超过 0.1mm,并连续出现两次(由 1.5h 内连续三次观测值计算),认为测度值已达到相对稳定,可施加下一级荷载。

5.9.13 当出现下列情况之一时,即可终止加载:

- 1 已达到极限荷载值;
- 2 某级荷载作用下,桩的位移量为前一级荷载作用下位移量的 5 倍;
- 3 某级荷载作用下,桩的位移量为前一级荷载作用下位移量的 2 倍,且 24h 未达到相对稳定;
- 4 累计上拔量超过 100mm。

5.9.14 卸载及卸载位移观测:每级卸载值为每级加载值的 2 倍。每级卸载后 15min 测读一次残余沉降,读两次后,隔 30 分钟再读一次,即可卸下一级荷载,全部卸载后,隔 3h~4h 读一次。

IV 检测数据分析与判定

5.9.15 单桩竖向承载力的确定:上、下段桩的极限承载力可以按下列方法综合确定:

- 1 根据位移荷载的变化特征确定极限承载力,对于陡变型 $Q \sim s$ 曲线,取 $Q \sim s$ 曲线发生陡变的起始点。
- 2 对缓变形 $Q \sim s$ 曲线,按位移值确定极限值,极限侧阻值取对应向上位移 $s_L = 40\text{mm} \sim 60\text{mm}$ 对应的荷载;极限端阻取 $s_F = 40\text{mm} \sim 60\text{mm}$ 对应的荷载,或大直径桩的 $s_F = 0.03D \sim 0.06D$ (D 为桩端直径,大桩径取低值,小桩径取高值) 对应的荷载。

3 当按上述两款判定桩的承载力未达到极限时,桩的极限承载力应取最大试验荷载值。

5.9.16 分别求得上、下段桩的极限承载力 Q_{uL} 、 Q_{uL} ,然后考虑桩自重影响,得出单桩竖向抗压极限承载力为:

$$Q_U = \frac{Q_{U上} - W}{\gamma} + Q_{u下} \quad (5.9.16)$$

式中：W——荷载箱上部桩自重；

γ ——系数，对于粘性土、粉土 $\gamma=0.8$ ；对于砂土 $\gamma=0.7$ ；对于岩石 $\gamma=1$ 。

5.10 低应变法

I 适用范围

5.10.1 本方法适用于检测混凝土桩的桩身完整性，判定桩身缺陷的程度及位置。桩长大于 15m 时，宜采用其它检测方法对低应变法的检测结果进行验证。

5.10.2 本方法的有效检测桩长范围应通过现场试验确定。

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

II 仪器设备

5.10.4 检测仪器的主要技术性能指标应符合现行行业标准《基桩动测仪》JG/T 3055 的有关规定。

5.10.5 瞬态激振设备应包括能激发宽脉冲和窄脉冲的力锤和锤垫；力锤可装有力传感器；稳态激振设备应包括激振力可调、扫频范围为 10Hz~2000Hz 的电磁式稳态激振器。

IV 现场检测

5.10.6 受检桩应符合下列规定：

- 1 桩身强度应符合本规范第 4.1.6 条第 6 款的规定；
- 2 桩头的材质、强度、截面尺寸应与桩身基本等同；
- 3 桩顶面应平整、密实，并与桩轴线基本垂直。

5.10.7 测试参数设定应符合下列规定：

1 时域信号记录的时间段长度应在 $2L/c$ 时刻后延续不少于 5ms；幅频信号分析的频率范围上限不应小于 2000Hz。

2 设定桩长应为桩顶测点至桩底的施工桩长，设定桩身截面积应为施工截面积。

3 桩身波速可根据本地区同类型桩的测试值初步设定。

4 采样时间间隔或采样频率应根据桩长、桩身波速和频域分辨率合理选择；时域信号采样点数不宜少于 1024 点。

5 传感器的设定值应按计量检定或校准结果设定。

5.10.8 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不得凹凸不平；传感器安装应与桩顶面垂直；用耦合剂粘结时，应具有足够的粘结强度；

2 激振点与测量传感器安装位置应避开钢筋笼的主筋影响；

3 激振方向应沿桩轴线方向；

4 瞬态激振应通过现场敲击试验，选择合适重量的激振力锤和软硬适宜的锤垫；宜用宽脉冲获取桩底或桩身下部缺陷反射信号，宜用窄脉冲获取桩身上部缺陷反射信号；

5 稳态激振应在每一个设定频率下获得稳定响应信号，并根据桩径、桩长及桩周土约束情况调整激振力大小。

5.10.9 信号采集和筛选应符合下列规定：

1 根据桩径大小，桩心对称布置 2~4 个安装传感器的检测点；实心桩的激振点应选择在桩中心，检测点宜在距桩中心 $2/3$ 半径处；空心桩的激振点和检测点宜为桩壁厚的 $1/2$ 处，激振点和检测点与桩中心连线形成的夹角宜为 90° ；

2 当桩径较大或桩上部横截面尺寸不规则时，除按上款在规定的激振点和检测点位置采集信号外，尚应根据实测信号特征，适当改变激振点和检测点的位置采集信号；

3 不同检测点及多次实测时域信号一致性较差，应分析原因，增加检测点数量；

- 4 检查判断实测信号反映的桩身完整性情况,据此决定是否需要进一步增加检测点数量或变换激振点和检测点位置;
- 5 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;
- 6 每个检测点记录的有效信号数不宜少于 3 个。

V 检测数据的分析与判定

5.10.10 桩身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、设计桩型、成桩工艺相同的基桩中,选取不少于 5 根 I 类桩的桩身波速值按下式计算其平均值:

$$c_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i \tag{5.10.10-1}$$

$$c_i = \frac{2000L}{\Delta \cdot T} \tag{5.10.10-2}$$

$$c_i = 2L \cdot \Delta f \tag{5.10.10-3}$$

式中: c_m ——桩身波速的平均值(m/s);
 c_i ——第 i 根受检桩的桩身波速值(m/s),且 $|c_i - c_m|/c_m$ 不宜大于 5%;
 L ——测点下桩长(m);
 ΔT ——速度波第一峰与桩底反射波峰间的时间差(ms);
 Δf ——幅频曲线上桩底相邻谐振峰间的频差(Hz);
 n ——参加波速平均值计算的基桩数量($n \geq 5$)。

2 当无法按上款确定时,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。

5.10.11 桩身缺陷位置应按下列公式计算:

$$x = \frac{1}{2000} \cdot \Delta t_x \cdot c \tag{5.10.11-1}$$

$$x = \frac{1}{2} \cdot \frac{c}{\Delta f'} \tag{5.10.11-2}$$

式中: x ——桩身缺陷至传感器安装点的距离(m);
 Δt_x ——速度波第一峰与缺陷反射波峰间的时间差(ms);
 c ——受检桩的桩身波速(m/s),无法确定时用 c_m 值替代;
 $\Delta f'$ ——幅频信号曲线上缺陷相邻谐振峰间的频差(Hz)。

5.10.12 桩身完整性类别应结合缺陷出现的深度、测试信号衰减特性以及设计桩型、成桩工艺、地质条件、施工情况,按本规范表 5.10.12-1 的规定和表 5.10.12-2 所列实测时域或幅频信号特征进行综合分析判定。

表 5.10.12-1 桩身完整性分类表

桩身完整性类别	分类原则
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

表 5.10.12-2 桩身完整性判定

类别	时域信号特征	幅频信号特征
I	$2L/c$ 时刻前无缺陷反射波,有桩底反射波。	桩底谐振峰排列基本等间距,其相邻频差 $\Delta f \approx c/2L$ 。
II	$2L/c$ 时刻前出现轻微缺陷反射波,有桩底反射波。	桩底谐振峰排列基本等间距,其相邻频差 $\Delta f \approx c/2L$,轻微缺陷产生的谐振峰与桩底谐振峰之间的频差 $\Delta f' > c/2L$ 。
III	有明显缺陷反射波,其他特征介于 II 类和 IV 类之间	
IV	$2L/c$ 时刻前出现严重缺陷反射波或周期性反射波,无桩底反射波; 或因桩身浅部严重缺陷使波形呈现低频大振幅衰减振动,无桩底反射波。	缺陷谐振峰排列基本等间距,相邻频差 $\Delta f' > c/2L$,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,可按本场地同条件下有桩底反射波的其他桩实测信号判定桩身完整性类别。		

5.10.13 对于混凝土灌注桩,采用时域信号分析时应区分桩身截面渐变后恢复至原桩径并在该阻抗突变处的一次反射,或扩径突变处的二次反射,结合成桩工艺和地质条件综合分析判定受检桩的完整性类别。必要时,可采用实测曲线拟合法辅助判定桩身完整性或

借助实测导纳值、动刚度的相对高低辅助判定桩身完整性。

5.10.14 对于嵌岩桩,桩底时域反射信号为单一反射波且与锤击脉冲信号同向时,应采取其他方法核验桩端嵌岩情况。

5.10.15 低应变检测报告应给出桩身完整性检测的实测信号曲线。

5.10.16 检测报告除应包括本规范第 3.4 条内容外,还应包括:

- 1 桩身波速取值;
- 2 桩身完整性描述、缺陷的位置及桩身完整性类别;
- 3 时域信号时段所对应的桩身长度标尺、指数或线性放大的范围及倍数;或幅频信号曲线分析的频率范围、桩底或桩身缺陷对应的相邻谐振峰间的频差。

5.11 声波透射法

I 适用范围

5.11.1 本方法适用于混凝土灌注桩的桩身完整性检测,判定桩身缺陷的位置、范围和程度。

II 仪器设备

5.11.2 声波发射与接收换能器应符合下列规定:

- 1 圆柱状径向振动,沿径向无指向性;
- 2 外径小于声测管内径,有效工作段长度不大于 150mm;
- 3 谐振频率为 30kHz~60kHz;
- 4 水密性满足 1MPa 水压不渗水。

5.11.3 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以及频率测量或频谱分析的功能;
- 2 最小采样时间间隔小于或等于 $0.5\mu\text{s}$,声波幅值测量相对误差小于 5%,系统频带宽度为 5~200kHz,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 200~1000V;

4 具有首波实时显示功能;

5 具有自动记录声波发射与接收换能器位置功能。

III 声测管埋设

5.11.4 声测管埋设应符合下列规定:

- 1 声测管内径应大于换能器外径;
- 2 声测管应有足够的径向刚度,声测管材料的温度系数应与混凝土接近;
- 3 声测管应下端封闭、上端加盖、管内无异物;声测管连接处应平顺过渡,管口高出混凝土顶面 100mm 以上;
- 4 浇灌混凝土前应将声测管有效固定。

5.11.5 声测管应沿钢筋笼内侧呈对称形状布置(如图 5.11.5),并可按正北方向顺时针旋转依次编号。声测管埋设数量应符合下列要求:

- 1 $D \leq 800\text{mm}$,不少于 2 根管;
- 2 $800\text{mm} < D \leq 1500\text{mm}$,不少于 3 根管;
- 3 $D > 1500\text{mm}$,不少于 4 根管。

当桩径 D 大于 2500mm 时宜增加预埋声测管数量。

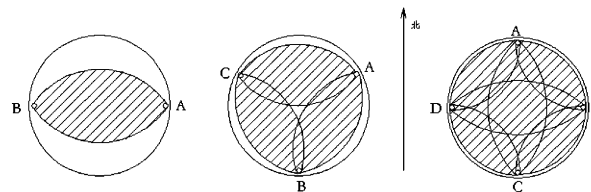


图 5.11.5 声测管布置示意图

注: 检测剖面编组(检测剖面序号为 j)分别为:2 根管时,AB 剖面($j=1$);3 根管时,AB 剖面($j=1$),BC 剖面($j=2$),CA 剖面($j=3$);4 根管时,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($j=6$)。

IV 现场检测

5.11.6 现场检测前准备工作应符合下列规定：

- 1 现场检测开始的时间应符合本规范第 4.1.6 条第 6 款的规定；
- 2 采用率定法确定仪器系统延迟时间；
- 3 计算几何因素声时修正值；
- 4 在桩顶测量相应声测管外壁间净距离；
- 5 将各声测管内注满清水，检查声测管畅通情况；换能器应在声测管全程范围内正常升降。

5.11.7 现场平测和斜测应符合下列规定：

- 1 将发射与接收声波换能器通过深度标志分别置于两个声测管道中。平测时，发射与接收声波换能器始终保持相同深度（如图 5.11.7(a)）；斜测时，发射与接收声波换能器始终保持固定高差（如图 5.11.7(b)），且两个换能器中点连线的水平夹角不应大于 30° ；

- 2 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。检测时应从桩底开始向上同步提升声波发射与接收换能器进行检测，提升过程中应根据桩的长短进行 1~3 次换能器高差校正，提升过程中应确保测试波形的稳定性，同步提升声波发射与接收换能器的提升速度不宜超过 0.5m/s；

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

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

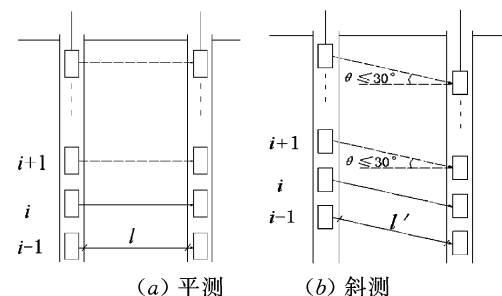


图 5.11.7 平测、斜测示意图

5.11.8 在桩身质量可疑的声测线附近，应采用增加声测线或采用扇形扫测（如图 5.11.8）、交叉斜测、CT 影像技术等方式进行复测和加密测试，进一步确定缺陷的位置和空间分布范围。采用扇形扫测时，两个换能器中点连线的水平夹角不应大于 40° 。

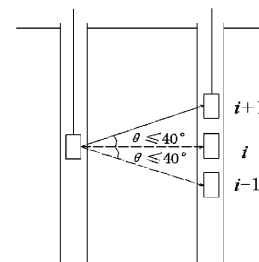


图 5.11.8 扇形扫测示意图

V 检测数据分析与判定

5.11.9 当因声测管倾斜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。当实测数据明显有规律地偏离正常值而又无法进行合理修正，检测数据不得作为评价桩身完整性的依据。

5.11.10 当采用平测时，各声测线的声时 $t_{ci}(j)$ 、声速 $v_i(j)$ 、波幅 $A_{pi}(j)$ 及主频 $f_i(j)$ 应根据现场检测数据，按下列各式计算，并绘制声速—深度（ $v_i(j) - z$ ）曲线和波幅—深度（ $A_{pi}(j) - z$ ）曲

线,需要时可绘制辅助的主频 - 深度 ($f_i(j) - z$) 曲线以及能量 - 深度曲线:

$$t_{ai}(j) = t_i(j) - t_0 - t' \quad (5.11.10-1)$$

$$v_i(j) = \frac{l'_i(j)}{t_{ai}(j)} \quad (5.11.10-2)$$

$$A_{pi}(j) = 20 \lg \frac{a_i(j)}{a_0} \quad (5.11.10-3)$$

$$f_i(j) = \frac{1000}{T_i(j)} \quad (5.11.10-4)$$

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

j —— 检测剖面编号,按本规范第 10.3.2 条编组;

$t_{ai}(j)$ —— 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 —— 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),当两声测管基本平时取为两声测管管口的外壁间净距离;

$v_i(j)$ —— 第 j 检测剖面第 i 声测线声速(km/s);

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

$a_i(j)$ —— 第 j 检测剖面第 i 声测线信号首波峰值(V);

a_0 —— 零分贝信号幅值(V);

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

$T_i(j)$ —— 第 j 检测剖面第 i 声测线首波周期(μs)。

当采用斜测时, $l'_i(j)$ 取声波发射换能器中点对应的声测管外壁处与声波接受换能器中点对应的声测管外壁处之间的净距离,由桩顶面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。

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

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

$$v_1(j) \geq v_2(j) \geq \dots v_k(j) \geq \dots v_{i-1}(j) \geq v_i(j) \geq v_{i+1}(j) \geq \dots v_{n-k}(j) \geq \dots v_{n-1}(j) \geq v_n(j) \quad (5.11.11-1)$$

式中: $v_i(j)$ —— 第 j 检测剖面第 i 声测线声速, $i = 1, 2, \dots, n$;

n —— 第 j 检测剖面的声测线总数;

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

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

2 对逐一去掉 $v_i(j)$ 中 k 个最小数值和 k' 个最大数值后的其余数据进行统计计算:

$$v_{01}(j) = v_m(j) - \lambda \cdot s_x(j) \quad (5.11.11-2)$$

$$v_{02}(j) = v_m(j) + \lambda \cdot s_x(j) \quad (5.11.11-3)$$

$$v_m(j) = \frac{1}{n-k-k'} \sum_{i=k'+1}^{n-k} v_i(j) \quad (5.11.11-4)$$

$$s_x(j) = \sqrt{\frac{1}{n-k-k'-1} \sum_{i=k'+1}^{n-k} (v_i(j) - v_m(j))^2} \quad (5.11.11-5)$$

$$C_v(j) = \frac{s_x(j)}{v_m(j)} \quad (5.11.11-6)$$

式中: $v_{01}(j)$ —— 第 j 剖面的声速异常小值判断值;

$v_{02}(j)$ —— 第 j 剖面的声速异常大值判断值;

$v_m(j)$ —— $(n-k-k')$ 个数据的平均值;

$s_x(j)$ —— $(n-k-k')$ 个数据的标准差;

$C_v(j)$ —— $(n-k-k')$ 个数据的变异系数;

λ —— 由表 5.11.11 查得的与 $(n-k-k')$ 相对应的系数。

表 5.11.11 统计数据个数(n-k-k')与对应的λ值

n-k-k'	10	11	12	13	14	15	16	17	18	20
λ	1.28	1.33	1.38	1.43	1.47	1.50	1.53	1.56	1.59	1.64
n-k-k'	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-k'	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-k'	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-k'	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-k'	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-k'	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-k'	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-k'	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-k'	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 $k=0, k'=0, k=1, k'=1, k=2, k'=2 \dots$ 的顺序,将参加统计的数列最小数据 $v_{n-k}(j)$ 与异常判断值 $v_{01}(j)$ 进行比较,当 $v_{n-k}(j) \leq v_{01}(j)$ 时,则去掉最小数据;将最大数据 $v_{k+1}(j)$ 与 $v_{02}(j)$ 进行比较,当 $v_{k+1}(j) \geq v_{02}(j)$ 时去掉最大数据,每次剔除一个数据,然后对剩余数据构成的数列重复式(10.5.3-2)~(10.5.3-5)的计算步骤,直到下列两式成立:

$$v_{n-k}(j) > v_{01}(j) \quad (5.11.11-7)$$

$$v_{k+1}(j) < v_{02}(j) \quad (5.11.11-8)$$

4 第 j 检测剖面的声速异常判断概率统计值按下列方法确定:

$$v_0(j) = \begin{cases} v_m(j)(1-0.015\lambda) & \text{当 } C_v(j) < 0.015 \text{ 时} \\ v_0(j) & \text{当 } 0.015 \leq C_v(j) \leq 0.045 \text{ 时} \\ v_m(j)(1-0.045\lambda) & \text{当 } C_v(j) > 0.045 \text{ 时} \end{cases} \quad (5.11.11-9)$$

式中: $v_0(j)$ —— 第 j 检测剖面声速异常判断概率统计值。

5.11.12 受检桩的声速临界值应按下列方法确定:

1 根据预留同条件混凝土试件或钻芯法获取的芯样试件的抗压强度与声速对比试验,结合本地区经验,分别确定桩身混凝土声速的低限值 v_L 和平均值 v_p ;

$$2 \text{ 当 } v_L < v_0(j) < v_p \text{ 时, } v_c(j) = v_0(j) \quad (5.11.12-1)$$

式中: $v_c(j)$ —— 第 j 检测剖面的声速异常判断临界值;

$v_0(j)$ —— 第 j 检测剖面的声速异常判断概率统计值。

3 当 $v_0(j) \leq v_L$ 或 $v_0(j) \geq v_p$ 时,应分析原因, $v_c(j)$ 的取值可参考同一桩的其它检测剖面的声速异常判断临界值或同一工程相同桩型的混凝土质量较稳定的受检桩的声速异常判断临界值综合确定。

4 对只有单个检测剖面的桩,其声速异常判断临界值等于检测剖面声速异常判断临界值。对于三个及三个以上检测剖面的桩,应取各个检测剖面声速异常判断临界值的算术平均值作为该桩各声测线声速异常判断临界值。

$$v_c = \frac{\sum_{j=1}^{m_s} v_c(j)}{m_s} \quad (5.11.12-2)$$

式中: v_c —— 受检桩桩身混凝土声速异常判断临界值;

m_s —— 受检桩的检测剖面总数。

5.11.13 声速异常时的临界值判据为:

$$v_i(j) \leq v_c \quad (5.11.13)$$

当式(5.11.13)成立时,声速可判定为异常。

5.11.14 波幅异常判断的临界值应按下列公式计算:

$$A_m(j) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n A_{\cdot pi}(j) \quad (5.11.14-1)$$

$$A_c(j) = A_m(j) - 6 \quad (5.11.14-2)$$

波幅异常的临界值判据为：

$$A_{pi}(j) < A_c(j) \quad (5.11.14-3)$$

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

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

\$A_c(j)\$ ——第 \$j\$ 检测剖面波幅异常判断的临界值；

\$n\$ ——第 \$j\$ 检测剖面的声测线总数。

当式(5.11.14-3)成立时，波幅可判为异常。

5.11.15 当采用信号主频值作为辅助异常声测线判据时，主频—深度曲线上主频值明显降低的声测线可判定为异常。

5.11.16 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。

5.11.17 当采用斜率法的 \$PSD\$ 值 作为辅助异常声测线判据时，\$PSD\$ 值应按下列公式计算：

$$PSD(j,i) = \frac{[t_{ci}(j) - t_{ci-1}(j)]^2}{z_i - z_{i-1}} \quad (5.11.17)$$

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

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

\$z_i\$ ——第 \$i\$ 声测线深度(m)；

\$z_{i-1}\$ ——第 \$i-1\$ 声 测线深度(m)。

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

5.11.18 因声测管严重倾斜扭曲，而不能对测距进行有效修正时，不应提供声波透射法检测结果。

5.11.19 桩身缺陷的空间分布范围可根据以下情况判定：

- 1 桩身同一深度上各检测剖面桩身缺陷的分布；
- 2 复测和加密测试的结果。

5.11.20 桩身完整性类别应结合桩身缺陷的数量、缺陷处声测

线的声学特征、缺陷的空间分布范围按本规范表 5.10.12-1 的规定和表 5.11.20 的特征进行综合判定。

表 5.11.20 桩身完整性判定

类别	情况分组	特 征		
		声测线的声学特征	异常声测线数量	异常声测线空间分布范围
I	两种情况之一	所有声测线声学参数正常，接收波形正常，混凝土声速高于低限值。	/	/
		混凝土声速高于低限值且有下列特征之一： 1 多个声学参数轻微异常； 2 个别声学参数明显异常，其他声学参数正常； 3 接收波形轻微异常。	少	小
		混凝土声速高于低限值且有下列特征之一： 1 多个声学参数轻微异常； 2 个别声学参数明显异常，其他声学参数正常； 3 接收波形轻微异常。	多	小
II	三种情况之一	混凝土声速高于低限值且有下列特征之一： 1 多个声学参数轻微异常； 2 个别声学参数明显异常，其他声学参数正常； 3 接收波形轻微异常。	少	大
		有下列特征之一： 1 个别声学参数严重异常，其他声学参数明显异常； 2 多个声学参数严重异常； 3 接收波形严重畸变，或无法检测首波信号； 4 混凝土声速低于低限值。	少	小
III	四种情况之一	混凝土声速高于低限值且有下列特征之一： 1 多个声学参数轻微异常； 2 个别声学参数明显异常，其他声学参数正常； 3 接收波形轻微异常。	多	大
		混凝土声速高于低限值且有下列特征之一： 1 多个声学参数明显异常； 2 个别声学参数严重异常，其他声学参数正常或轻微异常； 3 接收波形明显畸变。	多	小
		混凝土声速高于低限值且有下列特征之一： 1 多个声学参数明显异常； 2 个别声学参数严重异常，其他声学参数正常或轻微异常； 3 接收波形明显畸变。	少	大

续表 5.11.20

类别	情况分组	特 征		
		声测线的声学特征	异常声测线数量	异常声测线空间分布范围
Ⅲ	四种情况之一	有下列特征之一： 1 个别声学参数严重异常，其他声学参数明显异常； 2 多个声学参数严重异常； 3 接收波形严重畸变，或无法检测首波信号； 4 混凝土声速低于低限值。	少	小
Ⅳ	三种情况之一	有下列特征之一： 1 个别声学参数严重异常，其他声学参数明显异常； 2 多个声学参数严重异常； 3 接收波形严重畸变，或无法检测首波信号； 4 混凝土声速低于低限值。	多	/
Ⅳ	三种情况之一	混凝土声速高于低限值且有下列特征之一： 1 多个声学参数明显异常； 2 个别声学参数严重异常，其他声学参数正常或轻微异常； 3 接收波形明显畸变。	多	大
		有下列特征之一： 1 个别声学参数严重异常，其他声学参数明显异常； 2 多个声学参数严重异常； 3 接收波形严重畸变，或无法检测首波信号； 4 混凝土声速低于低限值。	少	大
注：1 完整性类别由Ⅳ类往Ⅰ类依次判定。 2 对异常声测线数量多或少进行判定时应考虑测试时声测线间距的大小。				

5.11.21 检测报告除应包括本规范第 3.4 节内容外，还应包括下列内容：

- 1 声测管布置图及声测剖面编号；
- 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座标系；
- 3 当采用主频值、PSD 值、接收信号能量进行辅助分析判定时，绘制主频—深度曲线、PSD 曲线、能量—深度曲线；
- 4 各检测剖面实测波列图；

- 5 必要时，对加密测试、扇形扫测的有关情况进行说明；
- 6 当对管距进行修正时，应注明进行管距修正的范围及方法。

5.12 钻芯法

I 适用范围

5.12.1 本方法适用于检测混凝土灌注桩的桩长、桩身混凝土强度、桩底沉渣厚度和桩身完整性，判定或鉴别桩端持力层岩土性状。

II 设 备

- 5.12.2 钻取芯样宜采用液压操纵的高速钻机，并配置适宜的水泵、孔口管、扩孔器、卡簧、扶正稳定器和可捞取松软渣样的钻具。
- 5.12.3 基桩钻芯检测应采用单动双管钻具钻取芯样。
- 5.12.4 钻头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。
- 5.12.5 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。

III 现场检测

- 5.12.6 每根受检桩的钻芯孔数和钻孔位置应符合下列规定：
 - 1 桩径小于 1.2m 的钻 1 孔，桩径为 1.2m～1.6m 的桩钻 2 孔，桩径大于 1.6m 的桩钻 3 孔；
 - 2 当钻芯孔为一个时，宜在距桩中心 10m～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 (0.15～0.25)D 内均匀对称布置；
 - 3 对桩端持力层的钻探，每根受检桩不应少于一孔，且钻探

深度应满足设计要求；

4 当选择钻芯法对桩长、桩底沉渣、桩端持力层进行验证检测时，受检桩的钻芯孔数宜为 1 孔。

5.12.7 钻机设备安装必须周正、稳固、底座水平。应确保钻机在钻芯过程中不发生倾斜、移位，钻芯孔垂直度偏差 $\leq 0.5\%$ 。

5.12.8 当选择钻芯法进行验证检测时，受检桩的钻芯孔数可为 1 孔，检测结果评价可参照本章有关规定。

5.12.9 每回次进尺宜控制在 1.5m 内；钻至桩底时，宜采取适宜的钻芯方法和工艺钻取沉渣并测定沉渣厚度，并采用适宜的方法对桩端持力层岩土性状进行鉴别。

5.12.10 钻取的芯样应按回次顺序放进芯样箱中；钻机操作人员应按本规范附录 F 附表 F-1 的格式及时记录钻进情况和钻进异常情况，对芯样质量进行初步描述；检测人员应按本规范附录 F 附表 F-2 的格式对芯样混凝土，桩底沉渣以及桩端持力层详细编录。

5.12.11 钻芯结束后，应对芯样和钻探标示牌的全貌进行拍照。

5.12.12 当单桩质量评价满足设计要求时，应从钻芯孔孔底往上用水泥浆回灌封闭；否则应封存钻芯孔，留待处理。

IV 芯样试件截取与加工

5.12.13 截取混凝土抗压芯样试件应符合下列规定：

1 当桩长为 10m~30m 时，每孔截取 3 组芯样；当桩长小于 10m 时，可取 2 组；当桩长大于 30m 时，不少于 4 组；

2 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，中间芯样宜等间距截取；

3 缺陷位置能取样时，应截取一组芯样进行混凝土抗压试验；

4 如果同一基桩的钻芯孔数大于一个，其中一孔在某深度

存在缺陷时，应在其他孔的该深度处截取芯样进行混凝土抗压试验。

5.12.14 当桩端持力层为中、微风化岩层且岩芯可制作成试件时，应在接近桩底部位 1m 内截取岩石芯样；遇分层岩性时宜在各层取样。岩石芯样加工和测量应按本规范附录 G 执行。

5.12.15 每组混凝土芯样应制作三个芯样抗压试件。混凝土芯样试件应按附录 E 进行加工和测量。

V 芯样试件抗压强度试验

5.12.16 芯样试件制作完毕可立即进行抗压强度试验。

5.12.17 混凝土芯样试件的抗压强度试验应按现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法》GB/T50081 的有关规定执行。

5.12.18 混凝土芯样试件抗压强度试验后，当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，该试件的强度值不得参与统计平均。

5.12.19 芯样试件抗压强度应按下列公式计算：

$$f_{cu} = \frac{4P}{\pi d_m^2} \quad (5.12.19)$$

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

P ——芯样试件抗压试验测得的破坏荷载(N)；

d_m ——芯样试件的平均直径(mm)。

5.12.20 桩底岩芯单轴抗压强度试验可按《建筑地基基础设计规范》GB50007 执行。

VI 检测数据的分析与判定

5.12.21 每根受检桩混凝土芯样试件抗压强度按下列规定确定：

1 取一组三块试件强度值的平均值为该组混凝土芯样试件抗压强度代表值；

2 同一受检桩同一深度部位有两组或两组以上混凝土芯样试件抗压强度代表值时,取其平均值为该桩该深度处混凝土芯样试件抗压强度代表值;

3 受检桩中不同深度位置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。

5.12.22 桩端持力层性状应根据芯样特征、岩石芯样单轴抗压强度试验、动力触探或标准贯入试验结果,综合判定桩端持力层岩土性状。

5.12.23 每根受检桩的桩身完整性类别可按下列方法综合判定:

1 应结合钻芯孔数、现场混凝土芯样特征、芯样试件单轴抗压强度试验结果,按本规范表 5.10.12-1 的规定和表 5.12.23 的特征进行综合判定;

2 混凝土出现分层现象,宜截取分层部位的芯样进行抗压强度试验。抗压强度满足设计要求的,可判为Ⅱ类;抗压强度不满足设计要求或未能制作成芯样试件的,应判为Ⅳ类;

3 存在水平裂缝的,应判为Ⅲ类;

4 多于三个钻芯孔的桩身完整性可参照本规范表 5.12.23 的三孔特征判定。

表 5.12.23 每根受检桩的桩身完整性判定

类别	特 征		
	单孔	两孔	三孔
I	混凝土芯样连续、完整、胶结好,芯样侧面表面光滑、骨料分布均匀,芯样呈长柱状、断口吻合。		
	芯样侧面仅见少量气孔。	局部芯样侧面有少量气孔、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。	局部芯样侧面有少量气孔、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。

续表 5.12.23

类别	特 征		
	单孔	两孔	三孔
II	混凝土芯样连续、完整、胶结较好,芯样侧面表面较光滑、骨料分布基本均匀,芯样呈柱状、断口基本吻合。		
	局部芯样侧面有蜂窝麻面、沟槽或较多气孔。 芯样骨料分布极不均匀、芯样侧面蜂窝麻面严重或沟槽连续;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。	芯样侧面有较多气孔,连续的蜂窝麻面、沟槽或局部混凝土芯样骨料分布不均匀,但在两孔的同一深度部位的芯样中未同时出现。 芯样侧面有较多气孔,连续的蜂窝麻面、沟槽或局部混凝土芯样骨料分布不均匀,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,且另一孔的同一深度部位的混凝土芯样质量完好,否则应判为Ⅲ类。	芯样侧面有较多气孔,连续的蜂窝麻面、沟槽或局部混凝土芯样骨料分布不均匀,但在三孔的同一深度部位的芯样中未同时出现。 芯样侧面有较多气孔,连续的蜂窝麻面、沟槽或局部混凝土芯样骨料分布不均匀,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,且另外两孔的同一深度部位的混凝土芯样质量完好,否则应判为Ⅲ类。
III	大部分混凝土芯样胶结较好,无松散、夹泥现象,但有下列情况之一: 局部混凝土芯样破碎段长度不大于 10cm。 芯样不连续完整、多呈短柱状或块状。	任一孔局部混凝土芯样破碎段长度大于 10cm 但不大于 20cm,且另一孔的同一深度部位的混凝土芯样质量完好,否则应判为Ⅳ类。	任一孔局部混凝土芯样破碎段长度大于 10cm 但不大于 30cm,且另外两孔的同一深度部位的混凝土芯样质量完好,否则应判为Ⅳ类。 任一孔局部混凝土芯样松散段长度不大于 10cm,且另外两孔的同一深度部位的混凝土芯样质量完好,否则应判为Ⅳ类。

续表 5.12.23

类别	特 征		
	单孔	两孔	三孔
IV	有下列情况之一： 因混凝土胶结质量差而难以钻进。 混凝土芯样任一段松散或夹泥。 局部混凝土芯样破碎长度大于10cm。	有下列情况之一： 任一孔因混凝土胶结质量差而难以钻进。 混凝土芯样任一段松散或夹泥。 任一孔局部混凝土芯样破碎长度大于20cm。 两孔在同一深度部位的混凝土芯样破碎。	有下列情况之一： 任一孔因混凝土胶结质量差而难以钻进。 混凝土芯样任一段夹泥或松散段长度大于10cm。 任一孔局部混凝土芯样破碎长度大于30cm。 其中两孔在同一深度部位的混凝土芯样破碎、夹泥或松散。
注： 1 如果上一缺陷的底部位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。 2 完整性类别由IV类往I类依次判定。			

5.12.24 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 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 桩长、桩底沉渣厚度不满足设计或规范要求。
- 4 桩底持力层岩土性状(强度)或厚度未达到设计或规范要求。

5.12.25 钻芯孔偏出桩外时,仅对钻取芯样部分进行评价。

5.12.26 当委托方要求对单位工程的桩基混凝土施工质量进行整体评价时,可根据单位工程全部受检桩的所有混凝土芯样试件抗压强度值按《混凝土结构现场检测技术标准》GB/T50344 评定单位工程的桩基混凝土强度。

5.12.27 检测报告除应包括本规范第 3.5.5 条内容外,还应包括下列内容:

- 1 钻芯设备情况;
- 2 检测桩数、钻孔数量、开孔相对位置,架空、混凝土芯进

尺、持力层进尺、总进尺,混凝土试件组数、岩石试件个数、圆锥动力触探或标准贯入试验结果;

- 3 按本规范附录 F 附表 F-3 的格式编制每孔的柱状图;
- 4 芯样单轴抗压强度试验结果;
- 5 芯样彩色照片;
- 6 异常情况说明。

表 C-2 基桩竖向抗压静载试验记录表(续页)

附录 C 桩基静载试验原始记录表

表 C—1 基桩竖向抗压静载试验记录表(首页)

工程名称			工程地点		
建设单位			勘察单位		
设计单位			施工单位		
监理单位			质量监督站		
检测依据			检测目的		
桩型			设计桩长		
桩截面尺寸			持力层		
加载反力装置			加载方式		
设计单桩极限承载力 承载力特征值(KN)			最大加载量 (KN)		
加载设备编号	千斤顶		沉降测量 仪表编号	百分表	
	压力表			位移计	
	油压泵			其它	
备注					

记录: 校核: 第 页 共 页

69

工程名称： 试桩编号： 年 月 日

[illegible]

记录： 校核： 共 页 第 页

70

表 F—1 钻芯法检测现场操作记录表

[illegible]

表 F-3 钻芯法检测芯样综合柱状图

76

附录 G 芯样试件加工和测量要求

G.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。

G.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(或水泥净浆)或硫磺胶泥(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)补平厚度不宜大于 5mm,硫磺胶泥(或硫磺)补平厚度不宜大于 1.5mm。

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。

G.3 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。

G.4 试件有裂缝或有其他较大缺陷、混凝土芯样试件内含有钢筋以及试件尺寸偏差超过下列数值时,不得用作抗压强度试验:

1 混凝土芯样试件高度小于 $0.95d_m$ 或大于 $1.05d_m$ 时(d_m 为芯样试件平均直径);

2 岩石芯样试件高度小于 $1.90d_m$ 或大于 $2.10d_m$ 时;

3 沿试件高度任一直径与平均直径相差达 2mm 以上时;

4 试件端面的不平整度在 100mm 长度内超过 0.1mm 时;

5 试件端面与轴线的不垂直度超过 2° 时;

6 芯样试件平均直径小于 2 倍表观混凝土粗骨料最大粒径时。

本规范用词说明

- 1 为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词,说明如下:
- 1)表示很严格,非这样做不可的:
正面词采用“必须”;反面词采用“严禁”。
 - 2)表示严格,在正常情况均应这样做的:
正面词采用“应”;反面词采用“不应”或“不得”。
 - 3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:
正面词采用“宜”;反面词采用“不宜”。
 - 4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。
- 2 条文中指定应按其他有关标准。规范执行的写法为“应按……执行”或“应符合……的要求(或规定)”。

引用标准名录

《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB50202-2002
《建筑基桩检测技术规范》JGJ106-2003
《建筑地基基础设计规范》GB50007-2002
《岩土工程勘察规范》GB50021-2001
《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2002

重庆市工程建设标准

重庆市建筑地基基础检测技术规范

DBJ50/T-136-2012

条文说明

2012 重 庆

目 次

1	总则	85
3	基本规定	86
3.1	一般规定	86
3.2	检测工作程序	87
3.3	验证与扩大检测	87
4	检测要求	89
4.1	一般规定	89
4.2	天然地基检测	90
4.3	处理土地基检测	91
4.4	复合地基检测	94
4.5	基础检测	94
4.6	桩基检测	94
5	试验方法	97

1 总 则

1.0.1 地基与基础工程是建筑工程的重要组成部分。如何保证地基与基础工程的施工质量,一直倍受建设、勘察、设计、施工、监理各方以及建设行政主管部门的关注。

鉴于地基基础工程的复杂性和隐蔽性,各种检测手段均受到一定的局限,目前国内尚无统一的标准,有关规范中对地基基础检测的规定都比较原则,主要侧重于为设计提供依据,尤其重庆为山地城市,岩石地基多、填土地基多,地质条件复杂,目前国内的相关检测方法、检测要求尚不能完全满足重庆工程建设过程中质量检测的需求,使检测人员在方法选用、检测数据的分析及评判时遇到困难,有时显得无所适从。个别检测单位及人员是出于利益驱动,采用不适用的检测方法,出具错误的检测报告,给工程带来了损失,由于检测工作的失误造成的工程事故屡见不鲜。因此,检测立法,势在必行。

本规范的编制目的在于指导检测人员根据检测对象选用适宜的、科学的检测方法,规范检测操作,规定检测数量、数据分析方法及质量判定标准,作到安全适用、保证质量、技术先进。

1.0.2 本规范适用于工业与民用建(构)筑物的地基基础检测,交通、港口、铁路、电力等其它行业的地基基础检测可参照执行。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 为了更系统、科学地确定不同地基的检测方法和抽检数量,本规范将地基分为天然地基和人工地基;将人工地基分为处理土地基和复合地基两类,两者的区别主要在于同一地基中是否存在部分增强体。重庆市常用的处理土地基主要含强夯地基、注浆地基和换填地基,而复合地基主要含强夯置换墩、水泥粉煤灰碎石桩(CFG 桩)、旋喷桩及振冲桩。

3.1.2 为与重庆市地方标准《建筑地基基础设计规范》DBJ50—047 相协调,本规范引用了该地标中 3.0.2 条的规定,根据建筑结构的破坏后果,即危及人的生命、造成经济损失、产生社会影响等的严重程度,将建筑物安全等级分为一、二、三级。根据《建筑结构可靠度设计统一标准》GB50068 规定,大多数工业与民用建筑的安全等级可定为二级,对特殊的建筑物,其安全等级应根据具体情况另行规定。

3.1.3 建筑地基与基础工程质量与设计要求、地质条件、施工因素密切相关。目前各种检测方法在可靠性和经济性方面均存在不同程度的局限性,需要综合考虑各种因素,合理选择检测方法,实现各种方法的合理搭配、优势互补。

建筑地基与基础工程竣工后的验收检测是工程质量保证的重要环节,本规范的相关规定主要针对验收检测,为设计提供依据的检测及鉴定检测可参照执行。

3.1.4 由于检测成本和周期问题,抽检数量不可能无限制增加。为了在有限的抽检数量中更充分地暴露地基基础存在的质量问题,检测点的布置宜根据设计要求、地质条件和施工记录等,合理

选择有代表性的检测点。

3.2 检测工作程序

3.2.1 程序框图描述了一般地基基础检测从接受委托到出具检测报告的各个阶段,这些阶段都是必不可少的。对于特殊情况下地基基础检测,则应根据检测的目的,确定其检测程序框图和相应的检测内容。

3.2.2~3.2.3 开展检测前的现场调查和资料收集是非常重要的,有利于根据委托方的目的及工程实际情况,科学合理地制定检测方案。规范列出了常规检测方案中所包含的基本内容,具体检测时,可根据工程实际情况进行必要的调整。

3.2.4 检测数据异常通常是因测试人员操作失误、仪器设备故障或现场准备不符合检测要求造成的。对此,应及时分析原因,必要时需重新检测。本条所指“重新检测”是指检测报告尚未正式发出,检测单位自己发现检测数据异常或对检测结果有怀疑而进行的检测。

3.3 验证与扩大检测

3.3.1 “验证检测”是指检测报告已正式发出,委托方或者第三方对检测结果有争议而进行的检测,其目的是确认检测结果的可靠性。因此,应在有异议点附近采用原检测方法或准确度更高的检测方法进行。对检测结果产生争议的工程案例时有发生,主要原因在于:(1)检测方法不适合特定的工程;(2)检测所采用的仪器设备精度不能满足要求;(3)检测人员未严格按照规范规程的相关要求进行检测。

本条第五款提到的岩质地基承载力,其特征值在地勘阶段是通过岩石单轴抗压强度标准值折减后得到的,工程实践表明,

该计算值比岩石基载荷试验的结果往往小很多,且载荷试验属原位测试,其测试结果更符合工程实际情况,故当有争议时,可采用现场原位试验来验证岩石根据单轴抗压强度推定得到的岩质地基承载力。

3.3.2~3.3.3 当检测结果不满足设计要求时,如何处理是比较复杂的技术问题,目前各类地基基础标准均未给出统一的处理方案。规范编制组在参考了国家、行业标准及部分省市相关地方标准的基础上,根据重庆地区的经验,提出了一些扩大检测的相关规定,同时也指出扩大检测的数量与处理方案宜根据设计要求、地质条件、施工质量变异性等因素合理确定。

3.4.1~3.4.2 为规范检测报告的格式,提高检测报告的质量,做到系统性、规范性,本条对报告的内容做出了规定,可根据具体工程情况作相应的调整。

4 检测要求

4.1 一般规定

4.1.1 根据检测对象的不同,本规范将地基基础检测类别划分为地基、基础、基桩三类。每一种检测方法都有其适用范围,在选择检测方法时,应根据各种方法的特点及测试目的,选择最优检测方法。

4.1.2~4.1.4 列出了重庆市地基基础工程中常用的检测项目和方法,其中,多道瞬态面波法和地质雷达法检测人工地基的施工质量为近年来发展起来的物探检测方法,用于工程检测时,应结合其它方法检测情况,综合分析后做出评价。

4.1.5 根据《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300,单位工程是具备独立施工条件并能形成独立使用功能的建筑物及构筑物,是施工质量竣工验收的基础,因此,本规范将单位工程作为确定抽检数量的统计单元。

同一单位工程中,存在基础结构形式不同、地基地质条件差异较大的情况,比如,同一单位工程中,设计单位可能会同时采用桩基础和独立基础,也可能存在建筑基础的持力层,部分为天然地基,部分为人工地基,不同的基础形式或地基类别,自然会有不同的设计要求。由于检测对象及设计要求发生了变化,相应的检测方法和检测数量自然应根据变化情况做出调整。

小区工程,尤其是由别墅组成的小区工程,每一单位工程的占地面积小,基桩数量少,如果按常规的抽检数量进行抽样检测,不仅检测费用高,而且检测周期长,对于这种情况,本规范提出将基础类型相同、地质条件相近的各单位工程合并起来确定承载力抽检数量的方法。

4.1.6 人工地基的强度是随着时间增长而逐步恢复和提高的,因此,竣工验收质量检验应在施工结束间隔一定时间后方能进行。其间隔时间可根据土的性质而定。

混凝土及砂浆的强度与龄期有很大的关系,在最初几天内强度增长较快,随后逐渐变缓,其物理力学和声学参数变化趋势亦大体如此。低应变法和声波透射法检测桩身完整性时,对混凝土强度要求可适当放宽,但如果龄期过短或强度过低,应力波或声波在桩身中传播时衰减会加剧,因此,对混凝土强度的最低值作了限定。

4.2 天然地基检测

4.2.1 岩质地基承载力检测的抽检数量一直没有统一的规定,造成在实际操作中存在一些混乱,而我市相当数量的建筑基础持力层为基岩,故对岩质地基的检测方法和抽检数量作出统一的规定就显得非常必要。

钻芯法检测地基承载力是常用的一种测试手段,本条规定了单位工程中岩样的抽检方法,即任一单位工程中,至少应随机选取6个不同的检测点进行钻芯取样,每个检测点应钻取不少于9个 $100\times 50\text{mm}$ 的标准芯样,进行天然湿度条件下的岩石单轴抗压强度试验。

这里要注意区别的是钻芯法和岩基载荷试验与平板载荷试验的适用范围、检测要求的区别。钻芯法和岩基载荷试验适用于确定完整、较完整及较破碎岩基的承载力,平板载荷试验适用于确定破碎及极破碎岩基的承载力。对于破碎及极破碎岩基,一般无法钻取完整芯样,即使通过钻芯取样得到的岩石单轴抗压强度值,也仅是岩块的强度值,不能代表整个地基岩体的承载力,目前的工程经验也没有两者间的对应关系可参考。我市巫山、奉节、云阳一带,分布着大量的破碎岩体,其岩块强度值较高,而整个岩

基受节理、裂隙切割影响,承载力较岩块有大幅降低。

当采用岩石单轴抗压强度标准值确定地基承载力时,应符合重庆市地方标准《工程地质勘察规范》DBJ50—043 的相关要求。

4.2.2~4.2.3 平板载荷试验能较为准确地提供地基土的承载力和变形参数,因此,应采用该方法来确定地基承载力。但考虑到平板载荷试验耗时长、费用高,不可能开展大量的测试,其检测代表性存在一定局限性。而山区地基的主要特点是土的性质差异较大,处理不当易引起建筑不均匀沉降,因此本条规定,在载荷试验前先采用一些简便的原位测试方法,对场地地质情况进行普查,掌握其总体特性,根据普查结果,进而综合确定载荷试验时检测部位。

4.3 处理土地基检测

4.3.1~4.3.3 提出了换填地基施工质量的评价指标,主要包括承载力、变形模量及压实系数。根据换填土粒径大小,将压实系数的检测方法区分为环刀法和灌水(砂)法。

为了使载荷试验的结果具有代表性,提出了在载荷试验前先用圆锥动力触探的方法对整个场地的工程地质特性进行普查的要求。

4.3.4 根据强夯设计要求及我市的普遍做法,本条将强夯地基的检测分为两大类:为设计提供依据的试夯检测及夯后验收检测。

4.3.5 为使试验检测结果具有代表性、可靠性,规范、统一试夯检测的相关要求,本条对强夯试验试夯区的选取、检测内容、试夯检测应提出的相关设计参数等进行了规定。

检测单位应提交试夯成果报告,提出强夯地基处理设计及施工所需的岩土参数建议值,作为设计及施工的参考。

4.3.6 采用平板载荷试验检测地基承载力时,目前各国标、行标

及地标等规范的相关条文通常是规定取不少于 3 个点进行载荷试验,具体操作中,为了节约时间及造价,业主及施工方往往取下限值即一个建筑场地仅取 3 个试验点。考虑到重庆市近年来处理土地基尤其是强夯地基日益增多,不少场地的强夯面积较大,如修建一些大型的工业厂房、小区建筑等,而填料多为开山放炮形成的块石填土,其粒径大小、密实程度等土的性质差异较大,在这样的地基上进行载荷试验确定承载力时,若仅取三个点,代表性明显较差,因此,本条对载荷试验的数量进行了规定。

处理土地基承载力检测所用载荷板直径大小应根据地基的处理深度而定,尤其是强夯地基,其有效加固深度通常在 7~10m 间,通常用的 0.5m² 的承压板,根本不可能反应有效加固深度范围内地基的实际工作状态,而仅能反应板底下 1~2m 深度范围内地基的力学性状,因此,本条提出载荷板直径大小应根据地基的处理深度而定的原则。

山区进行工程建设时常需要挖山填沟,形成大量的填土地基,填土的填料多为开山放炮形成的块石,岩性以砂岩或页岩、灰岩为主,填筑方式为人工无组织抛填。块石填土的工程特性主要表现为:

- 1 高孔隙率、强透水性;
- 2 填料厚薄差异大、不均匀沉降明显;
- 3 粒径极配不良,尤其是大块石含量较高;
- 4 自重沉降的周期较长;
- 5 欠固结填土的湿陷沉降明显。

针对此类地基,目前在重庆地区常用的处理方法为强夯法,取得了良好的效果,但同时在处理效果评价上也暴露出一些问题,主要表现为不同的设计、监理及检测单位,在检测方法、检测数量、检测部位、评价指标等方面的要求存在较大差异。本条的提出,旨在规范此类地基的检测行为,为客观科学地评价地基处理效果提供依据。

针对重庆地区填土地基的实际情况,提出了在载荷试验前,应采用圆锥动力触探、大体积干密度法、多道瞬态面波法等多种方法相结合的手段对强夯地基的施工质量进行普查的要求,主要是考虑到目前还没有一种检测手段能完全满足检测要求,比如,由于填料粒径往往较大,采用圆锥动力触探或大容重法检测过程中遇到较大块石时,检测结果的可靠性较低,甚至无法开展检测工作;开挖探井能直观地反映出填土的密实度、均匀性,但成本较高,耗时较长;多道瞬态面波法成本低及耗时短,但其检测结果受环境、设备、操作人员、地质条件等各种因素的影响较大,检测结果必须与其它手段配合使用。因此,本条提出了应采用多种方法进行检测,综合评价的要求。

采用重型动力触探试验来评价地基加固效果是一种非常普遍的检测手段,本条根据我市的实际情况,对检测数量进行了规定。规定 $500\sim 1000\text{m}^2$ 不少于 1 点,主要是考虑到整个强夯场地,除建筑工程外,还有道路工程、环境工程等,而它们之间的强度及变形要求有所差别,在检测要求上也应区别对待,因此,对于重要的建筑工程,可取低值来增加检测数量,对于相对次要工程,可取高限。

强夯及灌浆地基填料多为块石,通常灌水法及灌砂法的试坑尺寸较小,无法满足此类填土的要求。本条提出的灌水法的试坑直径及深度要求,主要是参考了《公路土工试验规程》JTG E40 的相关规定。

多道瞬态面波法作为人工地基处理效果检测的一种辅助手段,主要用于分析判断地基土的密实程度,对于普查大面积处理土地基的施工质量具有简便、快捷的优点,已在我市的多个强夯工地加以应用,取得了良好效果,故本条将其列入。

4.3.7~4.3.10 提出了注浆效果的评价指标。现有的各种注浆效果检验或检测技术方法还不够成熟,单靠一种检测手段还不能有效地反映地基处理效果,基于此,本条提出了根据地基承载力、

变形模量、注浆体胶结情况及注浆前后地基土的渗透系数、均匀性、密实度等指标进行综合评定。

4.4 复合地基检测

4.4.1 对于强夯置换复合地基,本条提出了其承载力应采用单墩载荷试验法进行检测,密实度、置换墩着底情况可采用圆锥动力触探法进行检测。

4.4.2~4.4.4 旋喷桩、CFG 桩、振冲桩三种复合地基承载力应采用复合地基载荷试验方法进行检测。除承载力外,还应对其桩体的施工质量进行检测,桩体施工质量可采用钻芯法、开挖法、动力触探法及单桩静载试验等方法进行测试。

4.5 基础检测

4.5.1~4.5.3 根据国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB50300—2001 规定的原则,在混凝土结构子分部工程验收前应进行结构实体检验。本条在《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204—2002 的基础上,增加了钢筋配置检测项目,并进一步明确相应检测项目的检测方法及抽检数量。钢筋配置主要含钢筋直径、数量、位置及保护层厚度等。

4.6 基桩检测

4.6.1 工程桩应进行承载力检验是现行《建筑地基基础设计规范》GB50007 和《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB50202 以强制性条文的形式规定的。混凝土灌注桩的桩身完整性检测是 GB50202 质量检验标准中的主控项目,检测的目的是发现某些可能影响单桩承载力的缺陷,减少安全隐患。

4.6.2 桩身完整性检测,应在保证准确全面判定的原则上,首选适用、快速、经济的检测方法。目前,还没有一种检测技术能做到准确、经济、快速地评判基桩的完整性,比如,低应变法检测耗时短、成本低,但其检测结果可靠性相对较低;而钻芯法的检测结果更能反映基桩的施工质量,但全部采用该方法,成本高,耗时长,往往不被业主及施工单位所接受。因此本条提出,宜采用两种以上方法进行补充验证检测,可以实现低应变法与钻芯法、声透法之间的相互补充或验证,优势互补,提高完整性检测的可靠性。

4.6.3 由于勘察阶段的钻孔数量毕竟有限,不能全面地反映每个部位的地质情况,当勘察报告中提到建筑场地存在溶洞、破碎带和软弱夹层等不良地质现象时,为安全起见,应对所有单柱单桩的大直径嵌岩桩的桩端以下一定范围内的岩性进行检验。当勘察报告未提及存在上述不良地质现象时,可不进行该项检测工作。

4.6.4 对于抗浮桩、抗拔桩、抗滑桩、同时承受竖向及水平荷载等条件下的建筑基桩,本条提出了应进行抗拔承载力及水平承载力的要求。

4.6.5 大直径钻孔灌注桩的承载力一般均比较高,常规的堆载法、锚桩法等测试手段施行起来难度较大,而采用桩承载力自平衡测试法进行检测可取得较好的效果,该方法的优点是能比较真实地检测出桩的实际承载力,不足之处是检测费用目前仍比较高,且当桩侧摩阻力较小而端阻力较大时,提供的侧反力较小而无法测试得到桩端极限端阻力,即所加荷载可能无法达到检验荷载的要求,此时可结合堆载等方法进行综合测试。

4.6.6 对于人工挖孔桩,一般而言,其施工质量是有保证的,但考虑到挖孔桩往往为单柱单桩情况,桩的承载力较高,一根破坏则后果比较严重,为加强安全保证,因此规定每个承台下至少选取1根桩采用低应变法进行检测,同时选取部分桩,采用检测结果更为可靠的声波透射法或钻芯法进行检测。

4.6.7 基桩承受竖向抗压时的承载力通常情况下应采用竖向抗

压静载试验进行检测,但对于人工挖孔桩,由于试桩荷载大或场地限制,有时很难、甚至无法进行单桩竖向抗压承载力静载检测,因此,对不具备条件进行静载试验的端承型大直径灌注桩,本规范结合重庆地区多年来的工程实践经验,提出采用钻芯法或载荷试验法来测定桩端持力层情况,结合成桩后桩身质量检测结果对其承载力进行核定的方法。

对于桩端持力层为碎石土或卵石土时,可采用深层平板载荷试验法进行测试。

4.6.8 当桩身穿越下列地质条件时,成桩质量往往可靠性较低:

- 1 桩身穿越较厚的新近填土、欠固结土、软弱土及流砂层时;
- 2 水下浇筑混凝土时;

成桩质量可靠性较高的工程桩,抽检数量、检测方法与国家标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ106的要求保持一致;对于成桩质量可靠性低的工程桩,本规范提出了较JGJ106更为严格的检测要求,要求全部采用声波透射法或钻芯法进行检测,主要是考虑到如下因素:

近年来,在松散回填地层条件下采用钻孔工艺(如旋挖成孔法)浇筑而成的灌注桩,以及水下灌注桩,经多个工程的检测发现,桩底沉渣较厚,成桩质量难以保证,因此,本条对此类建筑场地上浇筑而成的桩提出了更为严格的检测要求。

4.6.9 中小直径钻孔桩其承载力相对较低,目前的加载设备能满足载荷试验的要求,因此本条在参考重庆市地方标准《建筑地基基础设计规范》DBJ50—047及国家标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ106相关条文的基础上,提出对安全等级为一级且桩径不大于600mm的桩,采用静载试验法检测其承载力的要求。

常规静载试验测试承载力无法实施时,对于桩端持力层为基岩的大直径钻孔桩,可通过终孔后采用钻芯法进行检测,此时,同时可对沉渣厚度和桩端持力层的岩性进行检测。抽检数量与《建筑基桩检测技术规范》JGJ106的规定相同。

5 试验方法

本章分别列出了浅层平板载荷试验、深层平板载荷试验、岩石载荷试验、圆锥动力触探试验、多道瞬态面波法、地质雷达法、单桩竖向抗压静载荷试验、单桩水平静载试验、基桩承载力自平衡测试法、低应变法、声波透射法及钻芯法等 12 种方法的试验要点。每种试验方法的试验要点主要参考了《建筑地基基础设计规范》GB50007—2002、《建筑基桩检测技术规范》JGJ106—2003、《岩土工程勘察规范》GB50021—2001、《建筑地基处理技术规范》JGJ79—2002 等相关规范的要求,从适用范围、仪器设备、现场检测 and 数据分析等四方面进行了规定。

为了便于检测人员正确掌握仪器设备的安装要求,绘制了浅层平板载荷试验、深层平板载荷试验、单桩竖向抗压静载荷试验、单桩水平静载试验、基桩承载力自平衡测试法等检测方法的设备安装示意图。

针对不同的地基土层,规定了承压板的最小面积限值。重庆地区的填土地基,粒径一般均较大,部分填土地基(如强夯地基、灌浆地基)的设计有效加固深度通常在 7~10 米左右,采用面积较大的承压板方能有效地检验人工地基的加固效果。

根据重庆地区经验,桩长大于 15 米时,低应变法检测结果的可靠性有所降低,故本条提出应采取其它有效检测方法对低应变法的检测结果进行验证。

声波检测过程中,应给出桩顶及桩底标高。