

UDC

中华人民共和国行业标准

TB

TB 10218 — 2019

J 808 — 2019

P

铁路工程基桩检测技术规程
Technical Specification for Testing of Railway Piles

2019-04-18 发布

2019-08-01 实施

国 家 铁 路 局 发 布

中华人民共和国行业标准

铁路工程基桩检测技术规程

Technical Specification for Testing of Railway Piles

TB 10218—2019

J 808—2019

主编单位：中国铁道科学研究院集团有限公司

批准部门：国家铁路局

施行日期：2019年8月1日

中国铁道出版社有限公司

2019年·北京

中国铁道出版社

铁路工程基桩检测技术规程

Technical Specification for Detection of Foundation Piles in Railway Engineering

1000—11000000

0100—0000

中华人民共和国行业标准
铁路工程基桩检测技术规程

TB 10218—2019

J 808—2019

*

中国铁道出版社有限公司出版发行
(100054,北京市西城区右安门西街8号)

出版社网址: <http://www.tdpress.com>

中国铁道出版社印刷厂

开本: 850 mm × 1168 mm 1/32 印张: 3.125 字数: 77千

2019年7月第1版 2019年7月第2次印刷

书号: 15113·5771 定价: 20.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社发行部联系调换。

发行部电话: 路(021)73174, 市(010)51873174

国家铁路局关于发布铁道行业标准的公告

(工程建设标准 2019 年第 1 批)

国铁科法[2019]19 号

现公布《铁路工程地质勘察规范》(TB 10012—2019)等 8 项铁路工程建设标准(详见附表 1),自 2019 年 8 月 1 日起实施。《铁路工程地质勘察规范》(TB 10012—2007)等 7 项铁路工程建设标准(详见附表 2)同时废止。

以上标准由中国铁道出版社出版发行。

附表 1 新发布标准目录

序号	标准名称	标准编号
1	铁路工程地质勘察规范	TB 10012—2019
2	铁路工程岩土分类标准	TB 10077—2019
3	铁路瓦斯隧道技术规范	TB 10120—2019
4	铁路工程基桩检测技术规程	TB 10218—2019
5	铁路工程爆破振动安全技术规程	TB 10313—2019
6	铁路建设工程监理规范	TB 10402—2019
7	铁路工程结构混凝土强度检测规程	TB 10426—2019
8	客货共线铁路工程动态验收技术规范	TB 10461—2019

附表 2 废止标准目录

序号	标准名称	标准编号
1	铁路工程地质勘察规范	TB 10012—2007
2	铁路工程岩土分类标准	TB 10077—2001
3	铁路瓦斯隧道技术规范	TB 10120—2002
4	铁路工程基桩检测技术规程	TB 10218—2008
5	铁路建设工程监理规范	TB 10402—2007
6	铁路工程结构混凝土强度检测规程	TB 10426—2004
7	客货共线铁路工程竣工验收动态检测指导意见	铁建设〔2008〕133号

国家铁路局

2019年4月18日

废止标准目录

序号	标准名称	标准编号	备注
1	铁路工程地质勘察规范	TB 10012—2007	废止
2	铁路工程岩土分类标准	TB 10077—2001	废止
3	铁路瓦斯隧道技术规范	TB 10120—2002	废止
4	铁路工程基桩检测技术规程	TB 10218—2008	废止
5	铁路建设工程监理规范	TB 10402—2007	废止
6	铁路工程结构混凝土强度检测规程	TB 10426—2004	废止
7	客货共线铁路工程竣工验收动态检测指导意见	铁建设〔2008〕133号	废止

前 言

《铁路工程基桩检测技术规程》规范了铁路工程基桩检测方法,为提高检测技术水平、确保基桩施工质量提供重要技术支撑。在全面总结近年来铁路工程基桩检测实践经验和科研成果的基础上,本次对《铁路工程基桩检测技术规程》TB 10218—2008 进行了全面修订。

本规程分为 10 章,主要内容包括:总则、术语和符号、基本规定、低应变反射波法、声波透射法、高应变法、单桩竖向抗压静载试验、单桩竖向抗拔静载试验、单桩水平静载试验、钻芯法,另有 3 个附录。

本次修订的主要技术内容如下:

1. 修订了桩身检测评定完整性分类原则。
2. 增加了低应变反射波法检测信号处理及辅助验证的相关规定。
3. 修订了声测管埋设的相关规定,完善了声波透射法完整性判定标准。
4. 修订了高应变法检测适用范围,适用于检测预制桩及混凝土灌注桩的竖向抗压承载力和桩身完整性。
5. 增加了快速维持荷载法进行单桩竖向抗压静载试验的相关规定。
6. 修订了静载试验反力装置安全系数,明确了抗压、抗拔、水平容许承载力取值。
7. 修订了钻芯法钻孔数量的相关规定,明确了钻芯法检测的强度和龄期要求。

在执行本规程过程中,希望各单位结合工程实践,认真总结经

验,积累资料。如发现需要修改和补充之处,请及时将意见及有关资料寄中国铁道科学研究院集团有限公司铁道建筑研究所(北京市海淀区大柳树路2号,邮政编码:100081),并抄送中国铁路经济规划研究院有限公司(北京市海淀区北蜂窝路乙29号,邮政编码:100038),供今后修订时参考。

本规程由国家铁路局科技与法制司负责解释。

主编单位:中国铁道科学研究院集团有限公司。

参编单位:中铁西北科学研究院有限公司、中铁四局集团有限公司。

主要起草人:胡在良、张伯战、李晋平、高策、周勇政、王军东、熊昌盛、孟军涛、颜胜才、陈辉、崔雍、徐世春、章国辉、王岭、乔保卫。

主要审查人:钱春阳、薛吉岗、刘燕、余鹏、柳曦利、杨鹏健、杨怀玉、李永杰、谢昭辉、任为东、马远刚、黄直久、矫恒信、李祺。

本规程的历次版本发布情况:《铁路工程基桩无损检测规程》TB 10218—99;《铁路工程基桩检测技术规程》TB 10218—2008。

目 次

1 总 则	1
2 术语和符号	2
2.1 术 语	2
2.2 符 号	3
3 基本规定	6
3.1 一般规定	6
3.2 检测结果评定	7
3.3 检测报告	7
4 低应变反射波法	9
4.1 适用范围	9
4.2 仪器设备	9
4.3 现场检测	9
4.4 数据分析与判定	11
5 声波透射法	15
5.1 适用范围	15
5.2 仪器设备	15
5.3 现场检测	16
5.4 数据分析与判定	18
6 高应变法	22
6.1 适用范围	22
6.2 仪器设备	22
6.3 现场检测	22
6.4 数据分析与判定	25
7 单桩竖向抗压静载试验	30

7.1	适用范围	30
7.2	仪器设备及安装	30
7.3	现场检测	32
7.4	数据分析与判定	34
8	单桩竖向抗拔静载试验	36
8.1	适用范围	36
8.2	仪器设备及安装	36
8.3	现场检测	37
8.4	数据分析与判定	37
9	单桩水平静载试验	39
9.1	适用范围	39
9.2	仪器设备及安装	39
9.3	现场检测	40
9.4	数据分析与判定	41
10	钻芯法	44
10.1	适用范围	44
10.2	仪器设备	44
10.3	现场操作	44
10.4	芯样试件截取与加工	46
10.5	芯样试件抗压强度试验	47
10.6	数据分析与判定	48
附录 A	混凝土桩桩头处理	50
附录 B	静载试验记录表	51
附录 C	钻芯法检测记录表	52
	本规程用词说明	54
	《铁路工程基桩检测技术规程》条文说明	55

1 总 则

- 1.0.1** 为贯彻国家有关法规和铁路技术政策,统一铁路工程基桩检测方法,提高检测技术水平,确保基桩施工质量,制定本规程。
- 1.0.2** 本规程适用于铁路工程基桩的承载力和桩身完整性的检测与评定。
- 1.0.3** 铁路工程基桩检测应根据检测方法的适用范围和特点、检测目的,结合地质条件、桩型及结构尺寸等因素,合理选择检测方法,做到安全可靠、先进成熟、经济适用。
- 1.0.4** 铁路工程基桩检测除应符合本规程外,尚应符合国家、铁路行业现行的有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

- 2.1.1 基桩 foundation pile
桩基础中的单桩。
- 2.1.2 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。
- 2.1.3 桩身缺陷 pile defects
桩身存在断裂、裂缝、缩颈、夹泥、离析、空洞、蜂窝、松散等现象的统称。
- 2.1.4 低应变反射波法 low strain reflected wave method
采用低能量瞬态激振方式对桩顶施加冲击荷载,实测桩顶部的加速度(或速度)时程曲线,通过波动理论的时域频域分析,对桩身完整性进行判定的检测方法。
- 2.1.5 声波透射法 cross-hole sonic logging
在桩身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,对桩身完整性进行判定的检测方法。
- 2.1.6 高应变法 high strain dynamic testing
在桩顶施加高能量冲击荷载,实测桩顶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。
- 2.1.7 静载试验 static loading test
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或单桩水平承载力的试验方法。

2.1.8 钻芯法 core drilling method

用钻机钻取芯样,检测桩长、桩身缺陷、桩底沉渣厚度以及桩身混凝土强度,判定或鉴别桩端岩土性状的方法。

2.2 符 号

- a ——信号首波峰值电压
- a_0 ——零分贝信号峰值电压
- A ——桩身截面面积
- A_m ——声波波幅平均值
- A_p ——声波波幅值
- b_0 ——桩身计算宽度
- B ——矩形桩的桩宽
- c ——桩身一维纵向应力波传播速度(简称桩身波速)
- c_m ——桩身波速平均值
- d ——芯样试件的平均直径
- d_1 ——声测管的内径
- d' ——换能器的外径
- D ——桩身直径
- D_1 ——声测管的外径
- E ——桩身材料弹性模量
- f ——频率、声波信号主频
- f_{ca} ——混凝土芯样试件抗压强度换算值
- Δf ——幅频曲线上桩底相邻谐振峰间的频差(完整桩特征频率)
- $\Delta f'$ ——幅频曲线上缺陷相邻谐振峰间的频差(缺陷部位特征频率)
- F ——锤击力
- H ——单桩水平静载试验中作用于地面的水平力

- I ——桩身换算截面惯性矩
 J_c ——凯司法阻尼系数
 l' ——每检测剖面相应两声测管的外壁间净距离
 L ——测点下桩长
 L' ——测点至桩身缺陷的距离
 m ——地基土水平抗力系数的比例系数
 P ——芯样抗压试验测得的破坏荷载
 Q ——单桩竖向抗压静载试验中施加的竖向荷载、桩身轴力
 R_c ——由凯司法判定的单桩竖向抗压承载力
 ΔR ——缺陷以上部位土阻力的估计值
 s ——桩顶竖向沉降、桩身竖向位移
 t ——时间、声时测量值
 t' ——声测管及耦合水层声时修正值
 t_0 ——仪器系统延迟时间
 t_1 ——速度第一峰对应的时刻
 t_c ——声时
 t_x ——缺陷反射峰对应的时刻
 T ——信号周期
 ΔT ——时域信号第一峰与桩底反射波峰间的时间差
 $\Delta T'$ ——时域信号第一峰与缺陷反射波峰间的时间差
 U ——单桩竖向抗拔静载试验中施加的上拔荷载
 v ——桩身混凝土声速
 v_D ——声速临界值
 v_l ——声速低限值
 v_m ——声速平均值
 v_t ——声波在声测管管壁厚度方向的传播速度
 v_w ——声波在水中的传播速度
 V ——质点运动速度
 x ——桩身缺陷至传感器安装点的距离

Y_0 ——水平力作用点的水平位移

z ——测点深度

Z ——桩身截面力学阻抗

α ——桩的水平变形系数

β ——高应变法桩身完整性系数

δ ——桩顶上拔量

ν_y ——桩顶水平位移系数

ρ ——桩身材料质量密度

σ_s ——钢筋应力

σ_v ——标准差

ξ ——混凝土芯样试件抗压强度折算系数

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 基桩完整性及承载力检测宜在桩顶设计标高位置进行。

3.1.2 基桩检测开始时间应符合下列规定：

1 当采用低应变反射波法或声波透射法检测时，受检桩桩身混凝土强度不应低于设计强度的70%且不应低于15 MPa，或桩身混凝土龄期不小于14 d。

2 单桩静载试验与高应变法检测前，除桩身混凝土强度应达到设计强度外，桩侧和桩端土应满足最小间歇时间要求：打入桩，砂土7 d，粉土10 d，非饱和黏性土15 d，饱和黏性土25 d；混凝土灌注桩28 d。

3 当采用钻芯法进行强度检测时，桩身混凝土龄期不宜小于28 d或预留试件强度达到设计强度要求；当钻芯法仅作为无损检测的缺陷验证时，其龄期可按照无损检测的龄期要求进行。

3.1.3 基桩完整性及承载力检测数量应符合铁路工程设计和相关验收标准的要求。对于抽样检测工程，检测前应制订明确的抽样原则或方法。

3.1.4 对检测结果有怀疑或争议时，可进行验证检测。验证检测应符合下列规定：

1 对低应变反射波法检测结果有怀疑或争议时，可采用钻芯法、高应变法或直接开挖进行验证。

2 对声波透射法检测结果有怀疑或争议时，可采用钻芯法或直接开挖进行验证。

3 对高应变法提供的单桩承载力有怀疑或争议时，应采用静

载试验验证。

4 采用钻芯法进行验证时,可辅以孔内摄像进行分析验证。

3.1.5 当抽样检测结果不满足设计要求时,应对同一批次进行扩大抽检。扩大抽检应符合下列规定:

1 采用低应变反射波法检测桩身完整性时,按所发现Ⅲ、Ⅳ类桩的桩数加倍抽检。

2 单桩承载力或钻芯法抽检结果不满足设计要求时,应分析原因并按不满足设计要求的桩(点)数加倍抽检。

3.2 检测结果评定

3.2.1 桩身完整性检测评定应提出每根受检桩的桩身完整性类别。桩身完整性分类应符合表 3.2.1 和本规程第 4 章~第 6 章、第 10 章的有关规定。

表 3.2.1 桩身完整性类别表

桩身完整性类别	分类原则
I	桩身完整
II	桩身存在轻微缺陷,不会影响桩身结构承载力的正常发挥
III	桩身存在明显缺陷,对桩身结构承载力有影响
IV	桩身存在严重缺陷

3.2.2 I、II类桩为合格桩;III类桩需由工程建设方与设计方等单位研究,以确定处理方案或继续使用;IV类桩为不合格桩。

3.3 检测报告

3.3.1 检测报告应数据真实,结论准确,用词规范。

3.3.2 检测报告应包含下列内容:

1 委托方名称,工程名称,建设单位、设计单位、监理单位、咨询单位(如有)、施工单位。

2 工程概况,地质概况,设计与施工概况,受检基桩相关参

数,桩位布置图。

3 检测方法、依据、数量、日期、仪器设备。

4 受检桩的检测数据,实测与计算分析曲线,检测结果汇总表,检测结论,相关图片。

检测桩号	检测日期
1	2011.11.15
2	2011.11.15
3	2011.11.15
4	2011.11.15
5	2011.11.15

4 低应变反射波法

4.1 适用范围

- 4.1.1 本方法适用于检测混凝土桩桩身缺陷位置和程度,判定桩身完整性类别。
- 4.1.2 本方法检测的基桩桩径应小于 2.0 m,桩长不宜大于 40 m。当现场组织试验时,桩长标准可根据现场试验数据确定。
- 4.1.3 对桩身截面多变或变化幅度较大的灌注桩,应采用其他方法辅助验证低应变反射波法检测结果的有效性。

4.2 仪器设备

- 4.2.1 检测仪器应具有信号采集、滤波、放大、显示、储存、信号处理分析功能。
- 4.2.2 激振设备宜根据桩型及检测目的进行选择,以获得所需的激振频带和冲击能量。
- 4.2.3 检测仪器的主要技术性能指标应符合现行《基桩动测仪》JG/T 518 的有关规定。

4.3 现场检测

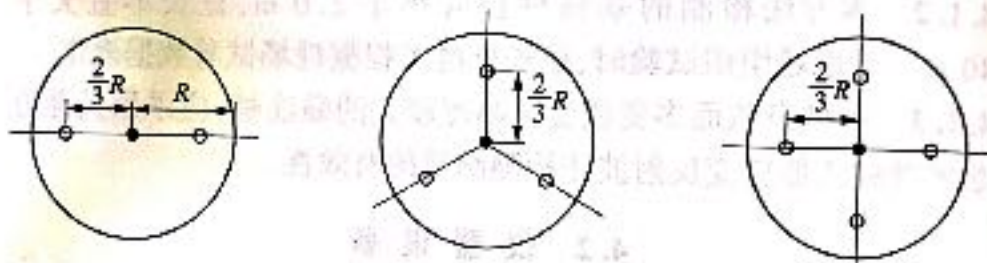
- 4.3.1 检测前受检桩应符合下列规定:
- 1 桩身强度或龄期应符合本规程第 3.1.2 条的规定。
 - 2 桩头的材质、强度应与桩身相同,桩头的截面尺寸不宜与桩身有明显差异。
 - 3 桩顶检测面应平整、密实,并与桩轴线垂直,传感器安装点和激振点应打磨光滑。

4 打入或静压式预制桩的检测应在相邻桩打完后进行。

4.3.2 传感器安装和激振操作应符合下列规定：

1 传感器应安装在桩顶面，传感器安装点及其附近不得有裂缝或浮动砂粒。传感器应与桩顶面保持垂直，且紧贴桩顶表面，在信号采集过程中不应产生滑移或松动。

2 对于实心桩，当激振点在桩顶中心时，传感器安装点与桩中心的距离宜为桩半径的 $\frac{2}{3}$ ，如图 4.3.2—1 所示；当激振点不在桩顶中心时，传感器安装点与激振点的距离不宜小于桩半径的 $\frac{1}{2}$ 。



(a) $D \leq 0.8 \text{ m}$

(b) $0.8 \text{ m} < D \leq 1.25 \text{ m}$

(c) $1.25 \text{ m} < D < 2.0 \text{ m}$

图 4.3.2—1 实心桩不同桩径激振点和传感器安装点布置示意图

●—激振点；○—传感器安装点

3 对于空心桩，激振点和传感器宜安装在桩壁厚 $\frac{1}{2}$ 处，传感器安装点、锤击点与桩顶面圆心构成的平面夹角宜为 90° ，如图 4.3.2—2 所示。

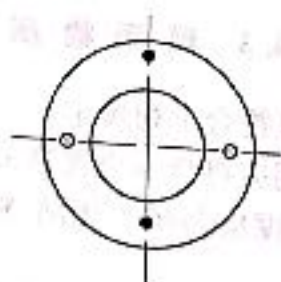


图 4.3.2—2 空心桩激振点和传感器安装点布置示意图

●—激振点；○—传感器安装点

- 4 激振点与传感器安装位置应避开钢筋笼的主筋影响。
- 5 激振方向应沿桩轴线方向。
- 6 应根据缺陷所在位置的深浅,及时改变锤击脉冲宽度。应采用宽脉冲检测长桩桩底或深部缺陷,窄脉冲检测短桩或桩的浅部缺陷。

4.3.3 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 5 ms;幅频信号分析的频率范围上限不应小于 2 000 Hz。
- 2 设定桩长应为桩顶测点至桩底的施工桩长。
- 3 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确定;时域信号采样点数不应少于 1 024 点。
- 4 传感器的灵敏度值应按计量校准结果设定。
- 5 采样频率、增益、指数放大、数字滤波等参数应根据桩长设置。

4.3.4 信号采集和筛选处理应符合下列规定:

- 1 各检测点重复检测次数不应少于 3 次,且检测波形应具有良好的一致性,信号不应失真或产生零点漂移。
- 2 当信号干扰较大时,可采用信号增强技术或多次信号叠加方式,提高信噪比。
- 3 不同检测点多次实测信号一致性较差时,应分析原因,排除人为和检测仪器等干扰因素,增加检测点数量,重新检测。

4.4 数据分析与判定

4.4.1 信号处理应符合下列规定:

- 1 低通滤波不宜低于 2 000 Hz。
- 2 指数放大倍数不宜大于 15 倍,放大范围不宜小于桩长的 $2/3$ 。
- 3 测试信号曲线尾部应基本归零。

4.4.2 桩身完整性分析宜以时域分析为主,以频域分析为辅,并

结合地质资料、施工资料和波形特征等进行综合分析判定。

4.4.3 桩身波速平均值应按下列方法确定：

1 桩长已知、桩底反射信号明显时，应选取相同条件下不少于5根Ⅰ类桩的桩身波速值，按下列公式计算桩身波速平均值：

$$c_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_i \quad (4.4.3-1)$$

$$c_i = \frac{2L \times 1000}{\Delta T} \quad (4.4.3-2)$$

$$c_i = 2L \cdot \Delta f \quad (4.4.3-3)$$

式中 c_m ——桩身波速平均值(m/s)；

c_i ——参与统计的第*i*根桩的桩身波速值(m/s)，且

$|c_i - c_m| / c_m$ 不宜大于5%；

L ——测点下桩长(m)；

ΔT ——时域信号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 ——参与波速平均值计算的基桩数量， $n \geq 5$ 。

2 桩身波速平均值无法按前款确定时，可根据本地区相同桩型及施工工艺的其他桩基工程的测试结果，结合桩身混凝土强度等级与实践经验综合确定。

3 有条件时，可制作相同混凝土强度等级的短桩模型测定波速，确定桩身波速时，应考虑土阻力等相关因素的影响。

4.4.4 桩身缺陷位置应按下列公式计算：

$$L' = \frac{1}{2000} \cdot \Delta T' \cdot c \quad (4.4.4-1)$$

$$L' = \frac{1}{2} \cdot \frac{c}{\Delta f'} \quad (4.4.4-2)$$

式中 L' ——测点至桩身缺陷的距离(m)；

$\Delta T'$ ——时域信号第一峰与缺陷反射波峰间的时间差(ms)；

$\Delta f'$ ——幅频曲线上缺陷相邻谐振峰间的频差(Hz)；

c ——桩身波速(m/s),无法确定时用 c_m 值替代。

4.4.5 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、设计桩型、成桩工艺、地质条件、施工情况,按表4.4.5进行综合判定。

表 4.4.5 桩身完整性判定

时域信号特征	解频信号特征	完整性类别
$2L/c$ 时刻前无缺陷反射波,有桩底反射波	桩底谱振峰排列基本等间距,其相邻频差 $\Delta f' \sim \frac{c}{2L}$	I
$2L/c$ 时刻前出现轻微缺陷反射波,有桩底反射波	桩底谱振峰排列基本等间距,轻微缺陷产生的谱振峰之间的频差 $\Delta f' > \frac{c}{2L}$	II
$2L/c$ 时刻前有明显缺陷反射波	缺陷谱振峰排列基本等间距,相邻频差 $\Delta f' > \frac{c}{2L}$	III
$2L/c$ 时刻前出现严重缺陷反射波,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; 或按平均波速计算的桩长明显短于设计桩长	缺陷谱振峰排列基本等间距,相邻频差 $\Delta f' > \frac{c}{2L}$,无桩底谱振峰; 或因桩身浅部严重缺陷只出现单一谱振峰,无桩底谱振峰	IV

4.4.6 出现下列情况之一时,桩身完整性判定应结合其他检测方法进行:

- 1 实测信号复杂、无规律,无法对其进行准确分析和评定。
- 2 桩长的推算值与实际桩长明显不符,且又缺乏相关资料加以解释或验证。
- 3 桩身截面渐变或多变,且变化幅度较大的混凝土灌注桩。
- 4 某一场地多数桩底反射不明显,无法对桩身完整性和桩长做出判定。

5 柱桩(端承桩)桩底反射信号出现明显与入射波同相的反射特征。

4.4.7 检测报告除应包括本规程第 3.3.2 条规定的内容外,还应包括下列内容:

- 1 实测信号曲线。
- 2 桩身波速及检测时桩身混凝土龄期。
- 3 桩身完整性描述、缺陷的位置及桩身完整性类别。
- 4 时域信号时段所对应的桩身长度标尺、指数或线性放大的范围及倍数、低通滤波频率;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 声波透射法

5.1 适用范围

- 5.1.1 本方法适用于检测混凝土灌注桩桩身缺陷位置、范围和程度,判定桩身完整性类别。
- 5.1.2 桩径大于等于 2 m 或桩长大于 40 m 或特殊结构物或复杂地质条件下的基桩应采用声波透射法检测。

5.2 仪器设备

- 5.2.1 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 谐振频率宜为 30 kHz ~ 60 kHz。
 - 3 收、发换能器的导线均应有长度标注,其标注允许偏差不应大于 10 mm。
 - 4 水密性满足 1 MPa 水压下不渗水。
 - 5 外径不大于 30 mm,有效工作长度不大于 150 mm。
- 5.2.2 声波检测仪的技术性能应符合下列规定:
- 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功能。
 - 2 声时显示范围应大于 2 000 μs ,测量精度应优于或等于 0.5 μs ,声波幅值测量范围不应小于 60 dB,声时声幅测量相对误差应小于 5%,系统频带宽度应为 1 kHz ~ 200 kHz。
 - 3 声波发射脉冲宜为阶跃或矩形脉冲,电压幅值不应小于 500 V。
 - 4 采集器模 - 数转换精度不应低于 16 位,采样间距应小于

等于 $0.5 \mu\text{s}$, 采样长度不应小于 1024 点。

5.3 现场检测

5.3.1 声测管的埋设应符合下列规定:

1 桩身直径小于等于 0.8 m 时, 应埋设不少于 2 根管; 桩身直径大于 0.8 m 且小于等于 1.6 m 时, 应埋设不少于 3 根管; 桩身直径大于 1.6 m 时, 应埋设不少于 4 根管; 桩身直径大于 2.5 m 时, 宜增加声测管的埋设数量。

2 声测管应采用金属管, 内径不应小于 40 mm , 壁厚不应小于 3.0 mm 。

3 声测管下端封闭、上端加盖, 管内无异物, 连接处应光滑过渡, 不漏水。管口应高出混凝土顶面 100 mm 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, 固定牢靠, 保证浇筑混凝土后相互平行。

5 声测管以线路大里程方向的顶点为起始点, 按顺时针旋转方向呈对称形状布置并进行编号, 如图 5.3.1 所示。

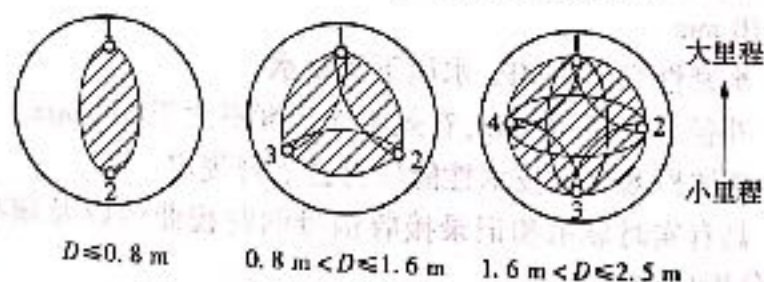


图 5.3.1 声测管布置示意图

5.3.2 现场检测准备工作应符合下列规定:

1 受检桩的桩身混凝土强度或龄期应符合本规程第 3.1.2 条的规定。

2 声测管管口应高出桩顶设计标高 100 mm 以上。

- 3 将各声测管内灌满清水,管内不得堵塞。
- 4 采用标定法确定仪器系统延迟时间。
- 5 在桩顶准确测量相应声测管外壁间净距离。
- 6 检查换能器的完好状态。

5.3.3 现场检测应符合下列规定:

1 将发射与接收声波换能器以相同标高分别置于声测管中的测点处,同步升降,测点间距不应大于 200 mm,不宜小于 100 mm。检测过程中应校核换能器深度。

2 合理设置延时、放大倍数等采集参数,实时显示和记录接收信号的时程曲线,读取声时、首波幅值,当需要采用信号主频值作为声波透射法检测的辅助判据时,尚应读取信号的主频值。

3 在桩身质量可疑的测点周围,应加密测点,或采用斜测、扇形扫测进行复测,进一步确定桩身缺陷的位置和范围(图 5.3.3)。采用斜测法时,两个换能器中点连线与水平面的夹角不宜大于 40° 。

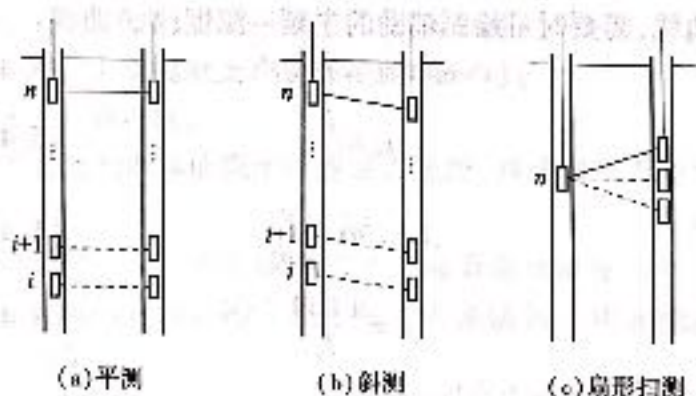


图 5.3.3 平测、斜测和扇形扫测示意图

4 在同一根桩不同剖面的检测过程中,声波发射电压和仪器设置参数应保持不变。

5.4 数据分析与判定

5.4.1 声测管及耦合水层的声时修正值 t' 应按下式计算:

$$t' = \frac{D_1 - d_1}{v_1} + \frac{d_1 - d'}{v_w} \quad (5.4.1)$$

式中 t' ——声测管及耦合水层声时修正值,精确至 $0.1 \mu\text{s}$;

D_1 ——声测管的外径(mm);

d_1 ——声测管的内径(mm);

d' ——换能器的外径(mm);

v_1 ——声波在声测管管壁厚度方向的传播速度(km/s),精确至小数点后三位;

v_w ——声波在水中的传播速度(km/s),精确至小数点后三位。

5.4.2 各测点的声时 t_{ci} 、声速 v_i 、波幅 A_{pi} 及主频 f_i 应根据现场检测数据,按下列各式计算,并绘制声速—深度(v - z)曲线和波幅—深度(A_p - z)曲线,需要时可绘制辅助的主频—深度(f - z)曲线:

$$t_{ci} = t_i - t_0 - t' \quad (5.4.2-1)$$

$$v_i = \frac{l'}{t_{ci}} \quad (5.4.2-2)$$

$$A_{pi} = 20 \lg \frac{a_i}{a_0} \quad (5.4.2-3)$$

$$f_i = \frac{1000}{T_i} \quad (5.4.2-4)$$

式中 t_{ci} ——第 i 测点声时(μs);

t_i ——第 i 测点声时测量值(μs);

t_0 ——仪器系统延迟时间(μs);

l' ——每检测剖面相应两声测管的外壁间净距离(mm);

v_i ——第 i 测点声速值(km/s);

A_{pi} ——第 i 测点波幅值(dB);

α_i ——第 i 测点信号首波峰值(V);

α_0 ——零分贝信号幅值(V);

f_i ——第 i 测点信号主频值(kHz),也可由信号频谱的主频求得;

T_i ——第 i 测点信号周期(μs)。

5.4.3 桩身混凝土缺陷应根据下列方法综合判定:

1 声速判据

声速临界值采用正常混凝土声速平均值与 2 倍声速标准差之差,即

$$v_D = v_m - 2\sigma_v \quad (5.4.3-1)$$

$$v_m = \sum_{i=1}^n \frac{v_i}{n} \quad (5.4.3-2)$$

$$\sigma_v = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(v_i - v_m)^2}{n-1}} \quad (5.4.3-3)$$

式中 v_D ——声速临界值(km/s);

v_m ——正常混凝土声速平均值(km/s);

σ_v ——正常混凝土声速标准差(km/s);

n ——测点数。

实测混凝土声速值低于声速临界值时,声速可判为异常。

$$v_i < v_D \quad (5.4.3-4)$$

当检测剖面 n 个测点的声速值普遍偏低且离散性很小时,宜采用声速低限值判据。即实测混凝土声速值低于声速低限值时,可判定为异常。

$$v_i < v_L \quad (5.4.3-5)$$

式中 v_L ——声速低限值(km/s)。

声速低限值应由预留同条件混凝土试件的抗压强度与声速对比试验结果,结合本地区实际经验确定。

2 波幅判据

波幅异常时的临界值判据应按下列公式计算:

$$A_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{pi} \quad (5.4.3-6)$$

$$A_{pi} < A_m - 6 \quad (5.4.3-7)$$

式中 A_m ——波幅平均值(dB)。

当式(5.4.3-7)成立时,波幅可判定为异常。

3 PSD 判据

采用斜率法的 PSD 值作为辅助异常点判据时,PSD 值应按下列公式计算:

$$PSD = K \cdot \Delta t \quad (5.4.3-8)$$

$$K = \frac{t_{ei} - t_{ei-1}}{z_i - z_{i-1}} \quad (5.4.3-9)$$

$$\Delta t = t_{ei} - t_{ei-1} \quad (5.4.3-10)$$

式中 t_{ei} ——第 i 测点声时(μs);

t_{ei-1} ——第 $i-1$ 测点声时(μs);

z_i ——第 i 测点深度(cm);

z_{i-1} ——第 $i-1$ 测点深度(cm)。

根据 PSD 值在某深度处的突变,结合波幅变化情况进行异常点判定。

5.4.4 采用信号主频值作为辅助异常点判据时,主频—深度曲线上主频值明显降低可判定为异常。

5.4.5 桩身完整性类别应结合桩身混凝土各声学参数临界值、PSD 判据、混凝土声速低限值以及桩身可疑点加密测试(包括斜测或扇形扫测)后确定的缺陷范围按表 5.4.5 进行综合判定。

表 5.4.5 桩身完整性判定

特 征	完整性类别
各检测剖面的声学参数均无异常; 或某一检测剖面个别测点的声学参数出现轻微异常,且其他剖面声学参数均无异常	I

续表 5.4.5

特 征	完整性类别
某一检测剖面连续多个测点的声学参数出现轻微异常; 或某一检测剖面个别测点的声学参数出现明显异常	II
某一检测剖面连续多个测点的声学参数出现明显异常; 或 50% 及以上检测剖面在同一深度测点的声学参数出现明显异常; 或局部混凝土声速低于低限值	III
50% 及以上检测剖面在同一深度测点的声学参数出现严重异常; 或桩身混凝土声速普遍低于低限值或无法检测首波或声波接收信号严重畸变	IV

注:完整性类别由 IV 类往 I 类判定。

5.4.6 声测管出现堵管情况时,应按下列规定执行:

1 出现个别声测管桩底附近堵管时,可采用斜测法检测,且两个换能器中点连线的水平夹角不应大于 40° 。

2 不满足本条第 1 款的规定时,可在所堵声测管附近钻芯,检测桩身混凝土完整性,并用钻芯孔作为通道进行声波透射法检测。

3 声测管无法疏通或在声测管附近无法形成整桩检测通道时,可采用钻芯法检测桩身混凝土完整性,并应符合本规程第 10 章“钻芯法”的相关规定,声波透射法仅对检测部分进行评价。

5.4.7 检测报告除应包括本规程第 3.3.2 条规定的内容外,还应包括下列内容:

1 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。

2 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。

3 桩身完整性类别、缺陷位置、范围和程度。

6 高 应 变 法

6.1 适用 范 围

6.1.1 本方法适用于检测预制桩及混凝土灌注桩的竖向抗压承载力和桩身完整性;检测预制桩打入时的桩身应力和锤击能量传递比,为沉桩工艺参数及桩长选择提供依据。

6.1.2 进行灌注桩的竖向抗压承载力检测时,应有现场实测经验和本地区相近条件下的可靠验证资料。

6.2 仪 器 设 备

6.2.1 检测仪器的主要技术性能指标应符合现行《基桩动测仪》JG/T 518 的有关规定,且应具有保存并显示实测力与速度信号、信号处理分析功能。

6.2.2 锤击设备应具有稳固的导向装置。除导杆式柴油锤外,打桩机械或类似的装置都可作为锤击设备。重锤应材质均匀、形状对称、锤底平整,高径(宽)比不应小于1。

6.2.3 进行承载力检测时,锤重应大于单桩容许承载力的2.0%,当需要检测单桩竖向极限承载力时,锤重应大于预估单桩极限承载力的1.0%。

6.2.4 桩的贯入度可采用精密水准仪等仪器测定。

6.3 现 场 检 测

6.3.1 检测前受检桩应符合下列规定:

1 桩顶面应平整,桩顶高度应满足锤击装置的要求,桩锤重心应与桩顶对中,锤击装置架立应垂直稳固。

2 对不能承受锤击的桩头应做加固处理,混凝土桩桩头加固可参照本规程附录 A 执行;预应力管桩宜选择桩顶有端头板的桩作为试验桩。

3 桩身强度和间歇时间应符合本规程第 3.1.2 条的规定。

6.3.2 传感器安装应符合下列规定:

1 加速度传感器和应变传感器应分别中心对称安装在桩顶下两侧表面处,传感器与桩顶的距离不宜小于 2.0 倍的桩径(宽),对于大直径桩,距离可适当减小,但不宜小于 1.0 倍的桩径(宽)。传感器安装面应平整,所在截面的材质和尺寸与桩身相同。

2 加速度传感器与应变传感器的中心应位于同一水平线上,同侧传感器间水平距离不宜大于 100 mm,传感器中轴线应与桩轴线平行。

3 传感器应紧贴桩身表面,锤击时不得松动。安装应变传感器时,应对传感器初始变形量进行监测,初始变形量应在仪器规定的范围内。

4 锤头测力只适用于整体锤自由落体,测力的加速度传感器应为冲击型加速度传感器,且信号必须正常归零。传感器必须安装在整体锤的形心部位。

5 桩头顶部应设置桩垫,桩垫宜采用 10 mm ~ 30 mm 厚的干木板或干胶合板等匀质材料,必要时可用细砂找平。对于大直径混凝土灌注桩,桩头处理宜采用接桩方式。

6.3.3 检测仪器参数设定应符合下列规定:

1 采样时间间隔宜为 100 μ s ~ 200 μ s,信号采样点数不应少于 1024 点。

2 传感器的设定值应按计量校准结果设定。

3 测点处的桩截面尺寸应按实际测量确定,波速、质量密度和弹性模量应按实际情况设定。

4 测点以下桩长和截面积可采用设计文件或施工记录提供的数据作为设定值。

5 桩身材料质量密度的取值:混凝土预制桩 $2\ 450\text{ kg/m}^3 \sim 2\ 500\text{ kg/m}^3$,管桩 $2\ 550\text{ kg/m}^3 \sim 2\ 600\text{ kg/m}^3$,混凝土灌注桩 $2\ 350\text{ kg/m}^3 \sim 2\ 400\text{ kg/m}^3$ 。

6 桩身波速可结合本地区经验或按同场地同类型已检桩的平均波速初步设定,现场检测完成后应按本规程第 6.4.1 条第 2 款调整。

7 桩身材料弹性模量应按下式计算:

$$E = \rho \cdot c^2 \quad (6.3.3)$$

式中 E ——桩身材料弹性模量(kPa);

c ——桩身波速(m/s);

ρ ——桩身材料质量密度(kg/m^3)。

6.3.4 现场检测应符合下列规定:

1 检测前应检查传感器、连接电缆及接插件,确认测试系统处于正常状态,并按本规程第 6.3.3 条的规定设定参数。

2 每根受检桩记录的有效锤击信号应根据桩顶最大动位移、最大速度、桩身最大压应力、锤击能量、贯入度、信号质量,以及缺陷程度及其发展情况等综合确定,不宜采用桩土系统反复扰动、承载力下降后的记录信号。

3 重锤和锤架安装应保证锤的重心与桩顶对中,锤架中轴线竖直。自由落锤时,宜重锤低击,最大锤击落距不应大于 2.5 m。

4 检测时应及时检查采集数据的质量,实测力与速度曲线峰值比例失调时,应分析原因,必要时重新测试;两侧力信号幅值相差 1 倍时,应调整锤击设备重新测试;测试波形紊乱或四通道信号不全时,应分析原因后重新测试;桩身有明显缺陷或缺陷程度加剧时,应停止检测。

6.3.5 承载力检测时应实测桩的贯入度,单击贯入度宜在 2 mm ~ 6 mm 之间。

6.4 数据分析与判定

6.4.1 锤击信号选取与调整应符合下列规定：

- 1 检测承载力时宜选取锤击能量较大击次的锤击信号。
- 2 桩身波速可根据下行波波形起升沿的起点到上行波波形下降沿的起点之间的时差与已知桩长值确定(图 6.4.1)；桩底反射信号不明显时,可结合桩长、混凝土波速的合理取值范围以及邻近桩的桩身波速值确定。

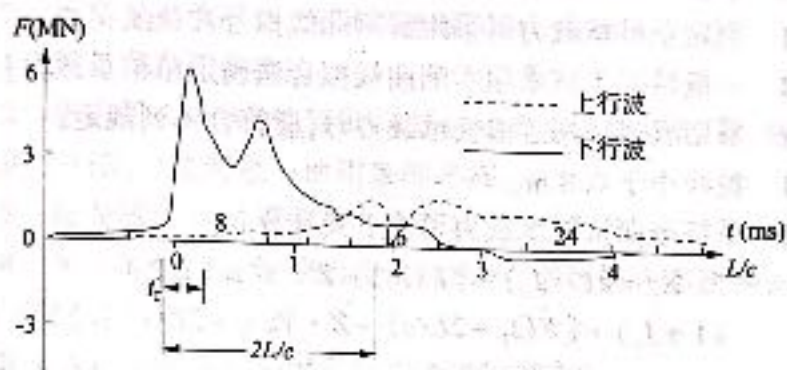


图 6.4.1 桩身波速的确定

3 当测点处原设定波速随调整后的桩身平均波速改变时,相应的桩身材料弹性模量应按式(6.3.3)重新计算,并对原实测力值进行校正。

4 力和速度信号第一峰起始比例失调时,应分析原因,不应进行比例调整。

6.4.2 出现下列情况之一时,高应变锤击信号不应作为承载力分析计算的依据：

- 1 传感器安装处混凝土开裂或出现严重塑性变形使力曲线最终未归零。
- 2 锤击偏心导致两侧力信号幅值相差超过 1 倍。
- 3 由于桩侧土和桩端土扰动的影响,预制桩在多次锤击下承

承载力下降。

4 四通道测试数据不全。

6.4.3 承载力分析计算前,应结合地质条件、设计参数,对下列实测波形特征进行定性检查:

1 实测曲线特征反映出的桩承载性状。

2 观察桩身缺陷程度和位置,连续锤击时缺陷的扩大或逐步闭合情况。

6.4.4 单桩承载力的判定应符合下列规定:

1 判定单桩承载力可采用实测曲线拟合法或凯司法。

2 一般情况下宜采用实测曲线拟合法确定单桩承载力。

6.4.5 采用凯司法判定单桩承载力时,应符合下列规定:

1 桩径小于0.8 m。

2 单桩竖向抗压承载力可按下式计算:

$$R_c = (1 - J_c) \cdot [F(t_1) + Z \cdot V(t_1)]/2 + (1 + J_c) \cdot [F(t_1 + 2L/c) - Z \cdot V(t_1 + 2L/c)]/2 \quad (6.4.5-1)$$

$$Z = A \cdot E/c \quad (6.4.5-2)$$

式中 R_c ——由凯司法判定的单桩竖向抗压承载力(kN);

J_c ——凯司法阻尼系数;

t_1 ——速度第一峰对应的时刻(ms);

$F(t_1)$ —— t_1 时刻的锤击力(kN);

$V(t_1)$ —— t_1 时刻的质点运动速度(m/s);

Z ——桩身截面力学阻抗(kN·s/m);

A ——桩身截面面积(m²);

L ——测点下桩长(m)。

6.4.6 采用实测曲线拟合法判定单桩承载力时,应符合下列规定:

1 桩土力学模型物理意义明确,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 20 ms(柴油锤信号为 30 ms)。

3 拟合分析选用的拟合参数应在岩土工程的合理范围内。

4 各计算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。

5 拟合完成时,土阻力响应区段的计算曲线应与实测曲线吻合,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。

6.4.7 出现下列情况时,宜采用静载法进一步验证:

1 桩身存在严重缺陷。

2 单击贯入度大,桩底同向反射强烈且反射峰较宽,侧阻和端阻的上行阻力波明显与地质条件不符。

3 桩身缺陷对水平承载力有影响。

4 由于桩侧上和桩端土扰动的影响,预制桩在多次锤击下承载力下降。

6.4.8 桩身完整性可采用下列方法进行判定:

1 采用实测曲线拟合法判定时,拟合时所选用的桩土参数应符合本规程第 6.4.6 条第 1 款和第 3 款的规定;根据桩的成桩工艺,拟合时可采用桩身阻抗拟合模型、桩身裂隙模型(包括混凝土预制桩的接桩缝隙)和桩端缝隙模型拟合。

2 桩顶下第一个缺陷可用 β 法并参照表 6.4.8 判定。桩身完整性系数 β 和桩身缺陷位置 x 应分别按下列公式计算:

$$\beta = \{ [F(t_1) + Z \cdot V(t_1)]/2 - \Delta R + [F(t_2) - Z \cdot V(t_2)]/2 \} / \{ [F(t_1) + Z \cdot V(t_1)]/2 - [F(t_2) - Z \cdot V(t_2)]/2 \} \quad (6.4.8-1)$$

$$x = c \cdot (t_2 - t_1) / 2000 \quad (6.4.8-2)$$

式中 β ——桩身完整性系数;

t_2 ——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);

ΔR ——缺陷以上部位土阻力的估计值,等于缺陷反射起始点的锤击力与速度乘以桩身截面力学阻抗之差值,取值方法见图 6.4.8。

表 6.4.8 桩身完整性判定

完整性类别	β 值
I	$\beta = 1.0$
II	$0.8 \leq \beta < 1.0$
III	$0.6 \leq \beta < 0.8$
IV	$\beta < 0.6$

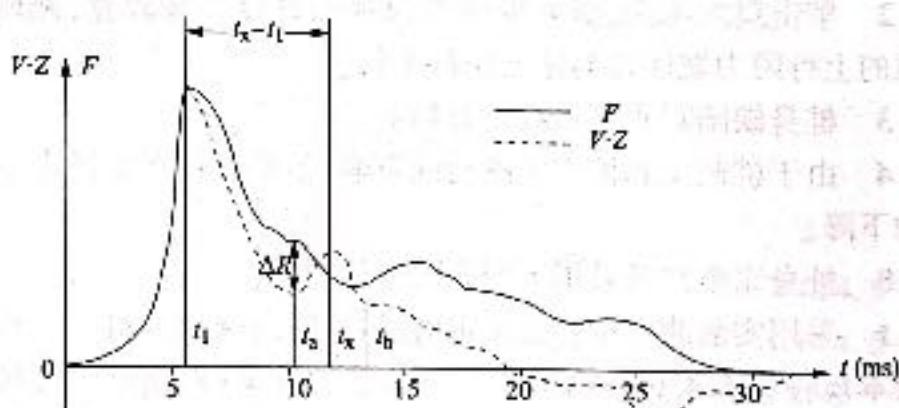


图 6.4.8 桩身完整性系数计算

6.4.9 出现下列情况之一时,桩身完整性宜根据工程地质条件和施工工艺,结合实测曲线拟合法或其他检测方法进行综合判定:

- 1 力和速度曲线在峰值附近比例失调,桩身有浅部缺陷。
- 2 锤击力波上升缓慢,力与速度曲线比例失调。

6.4.10 检测报告除应包括本规程第 3.3.2 条规定的内容外,还应包括下列内容:

- 1 实测的力和速度曲线。
- 2 计算中实际采用的桩身波速值。
- 3 桩身完整性描述、缺陷的位置及桩身完整性类别。

4 实测曲线拟合法所选用的各单元桩土模型参数、拟合曲线、模拟静载 $Q-s$ 曲线、桩侧阻力分布图。

5 凯司法计算所选用的 J_s 值。

7 单桩竖向抗压静载试验

7.1 适用范围

7.1.1 本方法适用于检测单桩的竖向抗压承载力。

7.1.2 试验方法分为慢速和快速维持荷载法。为设计提供依据的单桩竖向抗压静载试验应采用慢速维持荷载法；当有成熟的地区经验时，工程桩验收检测可采用快速维持荷载法。

7.1.3 埋设有相应的测试元件时，本方法也可用于桩身应力、桩侧摩阻力和桩端阻力的测试。

7.2 仪器设备及安装

7.2.1 试验加载装置一般使用一台或多台油压千斤顶并联同步加载，采用两台及以上千斤顶加载时，要求千斤顶型号、规格相同，且合力中心与桩轴线重合。

7.2.2 静载试验加载反力装置可根据现场条件选择，主要有锚桩横梁反力装置、压重平台反力装置和锚桩压重联合反力装置三种模式，并应符合下列规定：

1 加载反力装置应按预估最大荷载量的 1.2 倍设计，在最大试验荷载作用下，加载反力装置的全部构件不应产生过大的变形，应有足够的安全储备。

2 工程桩作锚桩时，锚桩数量不宜少于 4 根，且应对锚桩上拔量进行监测。

3 锚桩抗拔力、钢筋与焊缝的抗拉强度应满足抗拔承载力要求。

4 压重宜在检测前一次加足，并均匀稳固地放置于平台上。

且压重施加于地基的压应力不宜大于地基容许承载力的 1.5 倍。

7.2.3 荷载测量可用放置在千斤顶上的荷重传感器直接测定;或采用并联于千斤顶油路的压力表或压力传感器测定油压,根据千斤顶率定曲线换算荷载。传感器的测量误差不应大于 1%,压力表精度应优于或等于 0.4 级。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%。

7.2.4 沉降测量宜采用位移计或大量程百分表,并应符合下列规定:

- 1 测量误差不大于 0.1%FS,分辨率优于或等于 0.01 mm。
- 2 直径或桩宽大于 500 mm 的桩,应在其两个方向对称安置 4 个位移计(百分表);直径或桩宽小于等于 500 mm 的桩,可对称安置 2 个位移计(百分表)。
- 3 沉降测定平面宜设置在桩顶 200 mm 以下的位置,测点应固定于桩身。
- 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。

7.2.5 试验桩、锚桩(或压重平台支墩边)和基准桩之间的中心距离应符合表 7.2.5 的规定。试验桩或锚桩为扩底桩或多支盘桩时,试验桩与锚桩的中心距离不应小于 2 倍的扩大端直径。软土场地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验桩中心之间的距离,并在试验过程中观测基准桩的竖向位移。

表 7.2.5 试验桩、锚桩(或压重平台支墩边)和基准桩之间的中心距离

反力装置	距 离		
	试验桩中心与锚桩中心 (或压重平台支墩边)	试验桩中心与 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 > 2.0 m	$\geq 4(3)D$ 且 > 2.0 m	$\geq 4(3)D$ 且 > 2.0 m

续表 7.2.5

距 离			
反力装置	试验桩中心与锚桩中心 (或压重平台支墩边)	试验桩中心与 基准桩中心	基准桩中心与锚桩中心 (或压重平台支墩边)
压重平台	$\geq 4(3)D$ 且 > 2.0 m	$\geq 4(3)D$ 且 > 2.0 m	$\geq 4(3)D$ 且 > 2.0 m
地锚装置	$\geq 4D$ 且 > 2.0 m	$\geq 4(3)D$ 且 > 2.0 m	$\geq 4D$ 且 > 2.0 m

注:1 D 为试验桩、锚桩或地锚的设计直径或桩宽,取其较大者。

2 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。

7.3 现场检测

7.3.1 工程桩验收检测时,最大有效加载量不应小于设计要求的单桩容许承载力的 2.0 倍;为设计提供依据的试验桩,应加载至破坏;设计有规定时,按设计规定执行。

7.3.2 试桩应符合下列规定:

1 试验桩宜结合设计、施工等因素合理选择。为设计提供依据的工艺性试验桩,其成桩工艺和质量控制标准应与工程桩一致。

2 试验桩桩顶部宜高出试坑底面 100 mm,试坑底面宜与桩承台底标高一致,混凝土桩桩头加固可参照本规程附录 A 执行。

3 试桩前后宜对试验桩进行桩身完整性检测。

4 灌注桩或有接头的混凝土预制桩作为锚桩时,试桩前后应进行桩身完整性检测。

7.3.3 试验加、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;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应超过分级荷载的10%。

7.3.4 慢速和快速维持荷载法试验应符合下列规定:

1 慢速维持荷载法每级荷载施加后按第5 min、15 min、30 min、45 min、60 min 测读桩顶沉降量,以后每隔30 min 测读一次。

2 慢速维持荷载法沉降相对稳定标准:每1 h 内的桩顶沉降量不超过0.1 mm,并连续出现两次(从分级荷载施加后第30 min 开始,按1.5 h 连续三次每30 min 的沉降观测值计算),当桩顶沉降速率达到相对稳定标准时,再施加下一级荷载。

3 慢速维持荷载法卸载时,每级荷载维持1 h,按第15 min、30 min、60 min 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3 h,测读时间为第15 min、30 min,以后每隔30 min 测读一次。

4 快速维持荷载法每级荷载施加后按第5 min、15 min、30 min 测读桩顶沉降量,以后每隔15 min 测读一次;每级荷载施加后维持时间至少1 h,若最后15 min 时间间隔的桩顶沉降增量与相邻15 min 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15 min 的沉降增量小于相邻15 min 的沉降增量为止。卸载时,每级荷载维持15 min,按第5 min、15 min 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1 h,测读时间为第5 min、15 min、30 min,以后每隔15 min 测读一次。

7.3.5 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,且总沉降量大于40 mm。

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24 h 尚未达到相对稳定标准。

3 已达到设计要求的最大加载量。

4 工程桩作锚桩时,锚桩上拔量已达到允许值。

5 荷载—沉降曲线呈缓变型时,可加载至桩顶总沉降量 60 mm ~ 80 mm;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 80 mm。

7.3.6 检测数据记录格式可参照本规程附录 B 表 B.0.1“单桩竖向抗压(抗拔)静载试验记录表”。

7.3.7 测试桩身应变和桩身截面位移时,测试数据的测读时间应符合本规程第 7.3.4 条中慢速维持荷载法的规定。

7.4 数据分析与判定

7.4.1 检测数据的整理应符合下列规定:

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

2 进行桩身应变和桩身截面位移测定时,应整理有关数据,并绘制桩身轴力分布图,计算不同土层的分层侧阻力和端阻力。

7.4.2 单桩竖向抗压极限承载力 Q_u 应按下列方法确定:

1 根据沉降随荷载变化的特征确定:对于陡降型 $Q-s$ 曲线,应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:应取 $s-\lg t$ 曲线尾部出现明显向下弯曲的前一级荷载值。

3 符合本规程第 7.3.5 条第 2 款情况时,宜取前一级荷载值。

4 对于缓变型 $Q-s$ 曲线,宜根据桩顶总沉降量确定,取 s 等于 40 mm 对应的荷载值;桩长大于 40 m 时,宜考虑桩身弹性压缩量;对直径大于或等于 800 mm 的桩,可取 $s = 0.05D$ (D 为桩端直径)对应的荷载值。

5 按上述 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宜取最大试验荷载值。

7.4.3 为设计提供依据的单桩竖向抗压极限承载力取值,应符合

下列规定:

1 参加统计的试桩结果,满足其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,必要时可增加试桩数量。

3 试验桩数量小于 3 根或桩基承台下的桩数不大于 3 根时,应取低值。

7.4.4 单桩竖向抗压容许承载力应按单桩竖向抗压极限承载力的 50% 取值。

7.4.5 检测报告除应包括本规程第 3.3.2 条规定的内容外,还应包括下列内容:

1 受检桩及锚桩的尺寸、材料强度、锚桩数量、配筋情况。

2 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。

3 加、卸载方法,荷载分级。

4 本规程第 7.4.1 条要求绘制的曲线及对应的数据表。

5 承载力判定依据。

6 当进行分层侧阻力测试时,还应有传感器类型、安装位置、轴力计算方法,各级荷载下桩身轴力变化曲线,各土层的桩侧摩阻力和桩端阻力。

8 单桩竖向抗拔静载试验

8.1 适用范围

8.1.1 本方法适用于检测单桩的竖向抗拔承载力,试验方法为慢速维持荷载法。

8.1.2 桩身埋设应力、应变测量传感器或桩端埋设位移测量杆时,可直接测量桩侧抗拔侧阻力或桩端上拔量。

8.2 仪器设备及安装

8.2.1 抗拔桩试验加载装置宜采用油压千斤顶,加载方式应符合本规程第7.2.1条的规定。

8.2.2 试验反力装置宜采用反力桩(或工程桩)提供支座反力,也可根据现场情况采用天然地基提供支座反力。反力架系统安全系数不应小于1.2,并符合下列规定:

1 采用反力桩(或工程桩)提供支座反力时,反力桩顶面应平整并具有足够的强度。

2 采用天然地基提供反力时,施加于地基的压应力不宜超过地基容许承载力的1.5倍;反力梁的支点重心应与支座中心重合。

8.2.3 荷载测量及其仪器的技术要求应符合本规程第7.2.3条的规定。

8.2.4 桩顶上拔量测量及其仪器的技术要求应符合本规程第7.2.4条的相关规定。上拔量测量点宜设置在桩顶以下不小于1倍桩径的桩身上,不应设置在受拉钢筋上;对于大直径灌注桩,可设置在钢筋笼内侧的桩顶面混凝土上。

8.2.5 试验桩、支座和基准桩之间的中心距离应符合本规程

第7.2.5条的规定。

8.3 现场检测

8.3.1 对工程桩验收检测时,加载量不应小于设计要求的单桩抗拔容许承载力的2.0倍。为设计提供依据的试验桩应加载至桩侧岩土阻力达到极限状态或桩身材料达到设计强度。当抗拔承载力受抗裂条件控制时,可按设计要求确定最大加载值。预估的最大试验荷载不应大于钢筋的设计强度。

8.3.2 对混凝土灌注桩、有接头的预制桩,宜在抗拔试验前及试验后采用低应变反射波法检测受检桩及反力桩的桩身完整性。为设计提供依据的抗拔灌注桩施工时应进行成孔质量检测,发现桩身中、下部位有明显扩径的桩不宜作为抗拔试验桩;对有接头的预制桩,应验算接头强度。

8.3.3 加卸载分级、试验方法及稳定标准应符合本规程第7.3.3条、第7.3.4条的相关规定,并观察、记录桩身混凝土开裂情况。

8.3.4 出现下列情况之一时,可终止加载:

1 某级荷载作用下,桩顶上拔量大于前一级上拔荷载作用下的上拔量5倍。

2 按桩顶上拔量控制时,累计桩顶上拔量超过100mm。

3 按钢筋抗拉强度控制时,桩顶上拔荷载达到钢筋强度设计值或某根钢筋拉断。

4 工程桩验收检测时,达到设计要求的最大上拔量或上拔荷载值。

8.3.5 检测数据记录格式可参照本规程附录B表B.0.1“单桩竖向抗压(抗拔)静载试验记录表”。

8.3.6 测试桩侧抗拔侧阻力或桩端上拔量时,测试数据的测读时间宜符合本规程第7.3.4条的规定。

8.4 数据分析与判定

8.4.1 数据整理应绘制上拔荷载—桩顶上拔量($U-s$)关系曲线和

桩顶上拔量—时间对数(δ - $\lg t$)关系曲线。

8.4.2 单桩竖向抗拔极限承载力应按下列方法确定:

1 根据上拔量随荷载变化的特征确定;对于陡变型 U - δ 曲线,应取陡升起始点对应的荷载值。

2 根据上拔量随时间变化的特征确定;应取 δ - $\lg t$ 曲线斜率明显变陡或曲线尾部明显弯曲的前一级荷载值。

3 在某级荷载下抗拔钢筋断裂时,应取其前一级荷载值。

8.4.3 验收检测的受检桩在最大上拔荷载作用下未出现本规程第 8.4.2 条所列情况时,单桩竖向抗拔极限承载力应按下列情况对应的荷载值取值:

1 设计要求最大上拔量控制值对应的荷载。

2 施加的最大荷载。

3 钢筋应力达到设计强度值时对应的荷载。

8.4.4 为设计提供依据的单桩竖向抗拔极限承载力取值应符合本规程第 7.4.3 条的规定。

8.4.5 单桩竖向抗拔容许承载力应按单桩竖向抗拔极限承载力的 50% 取值。工程桩不允许带裂缝工作时,取极限荷载的 50% 和桩身开裂的前一级荷载中的低值,作为单桩竖向抗拔容许承载力。

8.4.6 检测报告除应包括本规程第 3.3.2 条规定的内容外,还应包括下列内容:

1 受检桩尺寸及配筋情况。

2 加、卸载方法,荷载分级。

3 本规程第 8.4.1 条要求绘制的曲线及对应的数据表。

4 承载力判定依据。

5 当进行抗拔侧阻力测试时,应有传感器类型、安装位置,轴力计算方法,各级荷载下桩身轴力变化曲线,各土层中的抗拔极限侧阻力。

9 单桩水平静载试验

9.1 适用范围

9.1.1 本方法适用于检测桩顶自由时单桩的水平承载力,推定地基土水平抗力系数的比例系数。

9.1.2 埋设桩身应变测量传感器时,可测量相应水平荷载作用下的桩身应力,并计算桩身弯矩。

9.2 仪器设备及安装

9.2.1 水平推力加载装置宜采用油压千斤顶,加载能力应大于最大试验荷载的1.2倍。

9.2.2 水平推力的反力可由相邻桩或现有结构物提供;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。

9.2.3 荷载测量及其仪器的技术要求应符合本规程第7.2.3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支座,以确保千斤顶作用力水平通过桩身轴线;千斤顶与试验桩接触面的混凝土不密实或不平整时,应进行补强或补平处理。

9.2.4 桩的水平位移测量及其仪器的技术要求应符合本规程第7.2.4条的相关规定。在水平力作用平面的受检桩两侧应对称安装两个位移计;测量桩顶转角时,尚应在水平力作用平面以上500 mm的受检桩两侧对称安装两个位移计。

9.2.5 位移测量的基准点设置不应受试验和其他因素的影响,基准点宜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(桩宽)。

9.2.6 测量桩身应力或应变时,各测试断面的测量传感器应沿受力方向对称布置在远离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应大于 10° 。在地面下10倍桩径(桩宽)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(桩宽);超过此深度,测试断面间距可加大。

9.3 现场检测

9.3.1 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;对工程桩验收检测,可按设计要求的水平位移允许值控制加载。

9.3.2 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程第7章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。需要测量桩身应力或应变的试桩,宜采用慢速维持荷载法。

9.3.3 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(图9.3.3)的分级荷载应小于预估单桩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4 min后可测读水平位移,然后卸载至零,停2 min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。试验不应中间停顿。

2 慢速维持荷载法的加卸载分级、试验方法及稳定标准应符合本规程第7.3.3条、第7.3.4条的相关规定。

9.3.4 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30 mm~40 mm(软土中的桩或大直径桩时可取高值)。
- 3 水平位移达到设计要求的水平位移允许值。

9.3.5 检测数据记录格式可参照本规程附录B表B.0.2“单桩水

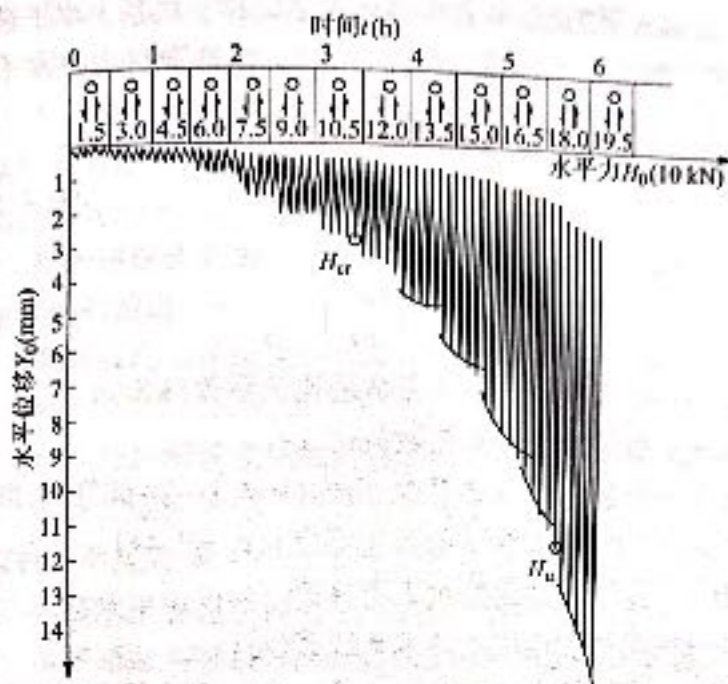


图 9.3.3 单向多循环加卸载示意图

平静载试验记录表”。

9.3.6 测量桩身应力或应变时,测试数据的测读宜与水平位移测量同步。

9.4 数据分析与判定

9.4.1 检测数据的整理应符合下列规定:

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 值应按下列公式确定:

$$m = \frac{(\nu_y \cdot H)^{\frac{5}{3}}}{b_0 Y_0^{\frac{5}{3}} (EI)^{\frac{2}{3}}} \quad (9.4.1-1)$$

$$\alpha = \left(\frac{mb_0}{EI} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (9.4.1-2)$$

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(9.4.1-2)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:当桩宽 $B \leq 1 \text{ m}$ 时, $b_0 = 1.5B + 0.5$;当桩宽 $B > 1 \text{ m}$ 时, $b_0 = B + 1$ 。

9.4.2 进行桩身横截面弯曲应变测定的试验,应绘制下列曲线并给出相应的数据表:

1 各级水平力作用下的桩身弯矩分布图。

2 水平力—最大弯矩截面钢筋拉应力($H-\sigma_s$)曲线。

9.4.3 单桩的水平临界荷载可按下列方法确定:

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。

3 取 $H-\sigma_s$ 曲线第一拐点对应的水平荷载值。

9.4.4 单桩的水平极限承载力可按下列方法确定:

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水平荷载值,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 取桩身折断或受拉钢筋屈服时的前一级水平荷载值。

9.4.5 为设计提供依据的单桩水平极限承载力和水平临界荷载取值应符合本规程第 7.4.3 条的规定。

9.4.6 单桩水平容许承载力取值应符合下列规定:

1 水平承载力按桩身强度控制时,取水平临界荷载作为单桩水平容许承载力。

2 受长期水平荷载作用且不允许开裂时,取水平临界荷载的 0.75 倍作为单桩水平容许承载力。

3 水平承载力按设计要求的水平允许位移控制时,可取设计要求的水平允许位移对应的水平荷载作为单桩水平容许承载力,并应满足相关规范抗裂设计要求。

9.4.7 检测报告除应包括本规程第 3.3.2 条规定的内容外,还应包括下列内容:

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 本规程第 9.4.1 条规定的曲线及数据表。

5 承载力判定依据。

6 钢筋应力测试并计算桩身弯矩时,应有传感器类型、安装位置,内力计算方法和本规程第 9.4.2 条规定的曲线及数据表。

10 钻 芯 法

10.1 适用范围

10.1.1 本方法适用于检测混凝土灌注桩桩长、桩身混凝土强度、桩底沉渣厚度,鉴别桩端岩土性状,判定或验证桩身完整性类别。

10.1.2 判定或鉴别桩端持力层岩土性状时,钻探深度应满足设计要求。

10.2 仪器设备

10.2.1 钻取基桩芯样应采用液压操纵的高速钻机。钻机应配备单动双管钻具以及相应的孔口管、扩孔器、卡簧和扶正稳定器,钻杆应顺直。钻机设备参数应符合下列规定:

- 1 额定最高转速不应低于 790 r/min。
- 2 转速调节范围不应少于 4 挡。
- 3 额定配用压力不应低于 1.5 MPa。

10.2.2 钻头应采用金刚石钻头,外径不宜小于 100 mm。钻头胎体不应有肉眼可见的裂纹、缺边、少角、倾斜及喇叭口变形。钻头胎体对钢体的同心度偏差不应大于 0.3 mm,钻头的径向跳动不应大于 1.5 mm。

10.2.3 锯切机应具有冷却系统和夹紧固定装置,配套使用的金刚石圆锯片应有足够刚度。

10.2.4 芯样补平装置(或磨平机)应满足芯样制作的要求。

10.3 现场操作

10.3.1 每根受检桩的钻芯孔数和钻孔位置宜符合下列规定:

1 桩径不大于 1.25 m 的桩宜钻 1~2 孔,桩径大于 1.25 m 且小于等于 2.0 m 的桩宜钻 2 孔,桩径大于 2.0 m 的桩宜钻 3 孔。

2 钻芯孔为 1 个时,宜在距桩中心 100 mm~150 mm 的位置开孔;钻芯孔为 2 个及以上时,开孔位置宜在距桩中心 0.15~0.25 倍桩径范围内均匀对称布置。

3 对桩底持力层的钻探,每根受检桩不应少于 1 孔。

10.3.2 钻机设备应安放平稳、牢固、底座水平。钻机立轴中心、天轮中心(天车前沿切点)与孔口中心应在同一垂线上。钻芯过程中不应发生倾斜、移位,钻芯孔垂直度偏差不应大于 0.5%。

10.3.3 桩顶面与钻机底座距离较大时,应安装孔口管,孔口管应垂直、牢固。

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

10.3.5 提钻卸取芯样时,应采取相应措施,确保芯样完整。

10.3.6 每回次钻孔进尺宜控制在 1.5 m 内。钻至缺陷处,或下钻速度快的位置,应及时量测钻杆深度,确定缺陷位置、程度;钻至桩底时,应采取适宜的钻芯方法和工艺钻取沉渣,测定沉渣厚度并进行桩端持力层岩土性状鉴别。

10.3.7 钻取的芯样应由上而下按回次顺序放进芯样箱中,芯样侧面上应标明回次数、块号、本回次总块数。及时记录钻进情况,初步描述芯样质量,详细编录混凝土、桩底沉渣以及桩端持力层。现场操作记录、芯样编录和综合柱状图可参照本规程附录 C“钻芯法检测记录表”执行。

10.3.8 钻芯结束后,应对芯样和标有工程名称、桩号、钻芯孔号、芯样试件选取位置、桩长、孔深、检测单位名称的标示牌进行拍照。

10.3.9 钻取芯样且评定合格后,钻芯孔应采用压力灌浆回灌封闭。

10.4 芯样试件截取与加工

10.4.1 混凝土抗压芯样试件应符合下列规定:

1 桩长小于等于 30 m 时,每孔截取 3 组;桩长大于 30 m 时,不少于 4 组。

2 上部芯样位置距桩顶不大于 2 m 或 1 倍桩径,下部芯样位置距桩底不大于 2 m 或 1 倍桩径,中间芯样宜等间距截取。

3 缺陷位置能取样试验时,应截取 1 组芯样进行混凝土抗压试验;同一根桩钻芯孔数大于 1 个时,其中一孔在某深度存在缺陷,则应在其他孔的该深度处取样进行混凝土抗压试验。

4 每组芯样应制作 3 个芯样抗压试件。

10.4.2 桩端持力层为中、微风化岩层且岩芯可制作成试件时,应在接近桩底部位截取一组岩石芯样,如遇分层岩性时宜在各层取样。

10.4.3 芯样不能满足平整度和垂直度要求时,宜在磨平机上磨平,或采用水泥砂浆(或水泥净浆)、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)补平厚度不宜大于 4 mm,硫磺胶泥(或硫磺)补平厚度不宜大于 1.5 mm,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应提前破坏。

10.4.4 进行抗压强度试验前,应对芯样几何尺寸进行测量,并应符合下列规定:

1 测量平均直径时,应采用游标卡尺测量芯样中部,在相互垂直的两个位置上,取其两次测量的算术平均值,精确至 0.5 mm。

2 测量芯样高度时,可用钢卷尺或钢板尺测量,精确至 1 mm。

3 测量垂直度时,宜用角度尺测量两个端面与母线的夹角,精确至 0.1°。

4 测量平整度时,可用钢板尺紧靠在芯样端面上,一面转动钢板尺,一面用塞尺测量钢板尺与芯样断面之间的缝隙。

10.4.5 芯样试件的尺寸偏差及外观质量应符合下列规定:

- 1 试件高度应为 $0.95d \sim 1.05d$ (d 为芯样试件平均直径)。
- 2 沿试件高度任一直径与平均直径相差应小于 2 mm 。
- 3 试件端面平整度应小于 0.05 mm 。
- 4 试件端面与轴线的不垂直度应小于 1° 。
- 5 试件不应有裂缝或其他较大缺陷,且不得含有钢筋。
- 6 试件平均直径宜大于 3 倍混凝土粗骨料最大粒径。

10.5 芯样试件抗压强度试验

10.5.1 芯样试件的混凝土抗压强度试验应符合现行《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081 中圆柱体试件抗压强度试验的相关规定。

10.5.2 芯样试件应在 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的清水中浸泡 $40\text{ h} \sim 48\text{ h}$, 从水中取出后立即进行试验。

10.5.3 芯样试件的混凝土强度换算值是指将芯样抗压强度换算成相应龄期的、边长为 150 mm 立方体试块的抗压强度,并按下式计算:

$$f_{cu}^c = \frac{4\xi P}{\pi d^2} \quad (10.5.3)$$

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

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);

ξ ——混凝土芯样试件抗压强度折算系数,宜考虑芯样尺寸效应、钻机扰动和混凝土成型条件的影响,通过试验统计确定;当无统计试验资料时宜取 1。

10.5.4 每组试件强度代表值的取值应符合下列规定:

- 1 取一组 3 个试件换算值的平均值作为该组试件的强度代表值 (精确至 0.1 MPa)。

2 同一受检桩同一深度部位有多组混凝土芯样试件抗压强度代表值时,取其平均值作为该基桩该深度处混凝土芯样试件抗压强度代表值。

10.5.5 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作为该桩混凝土芯样试件抗压强度代表值。

10.5.6 桩底岩芯单轴抗压强度试验应符合现行《铁路工程岩石试验规程》TB 10115 的相关规定。

10.6 数据分析与判定

10.6.1 桩端持力层岩土性状应根据持力层芯样特征,结合岩石芯样单轴抗压强度检测值进行综合判定或鉴别;当持力层是强风化岩或土层时应结合动力触探或标准贯入试验结果,进行综合判定或鉴别。

10.6.2 应根据桩的钻芯孔数、混凝土芯样特征及抗压试验结果,参照表 10.6.2 对桩身完整性进行分类。

表 10.6.2 桩身完整性分类表

混凝土芯样特征	完整性类别
混凝土芯样连续、完整、表面光滑、胶结好、骨料分布均匀、呈长柱状、断口吻合,仅见少量气孔	I
混凝土芯样连续、完整、胶结较好、骨料分布基本均匀、呈柱状、断口基本吻合,局部见蜂窝、麻面、沟槽	II
大部分混凝土芯样胶结较好,无松散、夹泥、严重高折或分层现象,但有下列情况之一: 局部混凝土芯样破碎且破碎长度小于 100 mm; 骨料分布不均匀; 多呈短柱状或块状; 蜂窝、麻面、沟槽连续	III
局部混凝土芯样破碎且破碎长度大于 100 mm; 混凝土芯样任一段松散、夹泥、严重高折或分层; 钻进困难或无法钻进	IV

10.6.3 基桩成桩质量应按单根受检桩进行评定。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 桩长、桩底沉渣厚度不满足设计或规范要求。
- 4 桩端持力层岩土性状(强度)或厚度未达到设计或规范要求。

10.6.4 钻芯孔偏出桩外时,仅对钻取芯样部分进行评价。当需开展进一步钻芯检测时,应重新钻取芯样进行评价。

10.6.5 检测报告除应包括本规程第3.3.2条规定的内容外,还应包括下列内容:

- 1 钻芯设备情况。
- 2 检测桩数、钻孔数量,混凝土芯进尺、岩芯进尺、总进尺,混凝土试件组数、岩石试件组数。
- 3 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。

附录 A 混凝土桩桩头处理

- A.0.1** 混凝土桩应凿掉桩顶部的破碎层以及软弱或不密实的混凝土。
- A.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。
- A.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。
- A.0.4** 距桩顶 1 倍桩径范围内,宜用厚度为 3 mm ~ 5 mm 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 100 mm。桩顶应设置 1 层或 2 层钢筋网片,间距 60 mm ~ 100 mm。
- A.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。
- A.0.6** 高应变检测的桩头测点处截面尺寸应与原桩身截面尺寸相同。
- A.0.7** 桩顶应用水平尺找平。

表 C.0.1—2 钻芯法检测芯样编录表

工程名称		日期		
桩号/钻芯孔号		桩径	混凝土设计强度等级	
项目	分段(层)深度(m)	芯样描述	取样编号 取样深度	备注
桩身混凝土		混凝土钻进深度,芯样连续性、完整性、胶结情况、表面光滑情况、断口吻合程度,混凝土芯样是否为柱状,骨料大小分布情况,以及气孔、空洞、蜂窝麻面、沟槽、破碎、夹泥、松散的情况		
桩底沉渣		桩端混凝土与持力层接触情况、沉渣厚度		
持力层		持力层钻进深度,岩土名称,芯样颜色、结构构造、裂隙发育程度、坚硬及风化程度; 分层岩层应分层描述	强风化或土层时的动力触探或标贯结果	
检测单位:		记录员:	检测人员:	

表 C.0.1—3 钻芯法检测芯样综合柱状图

桩号/孔号		混凝土设计强度等级		桩顶标高	开孔时间		
施工桩长		设计桩径		钻孔深度	终孔时间		
层序号	层底标高(m)	层底深度(m)	分层厚度(m)	混凝土/岩土芯样柱状图(比例尺)	桩身混凝土、持力层描述	芯样强度深度(m)	备注
检测单位:		编制:		校核:			

本规程用词说明

执行本规程条文时,对于要求严格程度不同的用词说明如下,以便在执行中区别对待。

(1)表示很严格,非这样做不可的用词:

正面词采用“必须”;

反面词采用“严禁”。

(2)表示严格,在正常情况均应这样做的用词:

正面词采用“应”;

反面词采用“不应”或“不得”。

(3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的用词:

正面词采用“宜”;

反面词采用“不宜”。

(4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

《铁路工程基桩检测技术规程》 条文说明

本条文说明系对重点条文的编制依据、存在的问题以及在执行过程中应注意的事项等予以说明,不具备与规程正文同等的法律效力,仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。为了减少篇幅,只列条文号,未抄录原条文。

1.0.1 随着铁路建设工程的快速发展,桩基础得到了广泛的应用。基桩可以把上部荷载传递到较深和较好的土层,但它是隐蔽工程,施工难度大,质量问题较多,尤其是灌注桩;由于地质条件、地下水、施工工艺、施工管理水平和人员素质的差异等因素,更容易发生一些质量问题。因此,基桩检测工作是整个桩基工程中不可缺少的环节。

铁路工程基桩,特别是桥梁基桩,多属于长大桩,承载力高、地域跨度大、地质条件复杂,质量控制与检测技术难度较大。2008版《铁路工程基桩检测技术规程》实施以来,成功应用于京沪、京沈、沪昆、杭甬、吉图珲、兰新、南广、贵广、拉林、郑徐、郑万等全国范围的铁路工程基桩检测,取得了较好的应用效果。同时,各条线在基桩检测方面开展了大量的对比验证工作,部分单位针对铁路工程长大桩检测开展了相关课题研究,丰富和积累了大量的实践经验和试验成果,为本次修订提供了技术保障。在全面总结铁路工程基桩检测实践经验的基础上,广泛征求意见,对《铁路工程基桩检测技术规程》进行修订完善,进一步提高铁路行业基桩检测水平,促进铁路工程基桩检测的健康发展。

1.0.2 本规程所指的基桩是混凝土灌注桩、混凝土预制桩。基桩的承载力和桩身完整性是基桩质量检测中的两项重要内容。地基处理刚性桩、抗滑桩、锚固桩检测可以参考本规程有关规定。

1.0.3 桩基工程的质量,除和基桩本身的质量有关外,还与地质条件、桩的承载性状、桩型、基础和上部结构类型,以及施工工艺、施工质量控制、施工方法的可靠性等因素密切相关。另外,检测数据和信号也包括了诸如地质条件、桩身材料、桩周土的间歇时间等设计和施工因素的影响,这些也直接决定了所选择的检测方法是否适用和经济。本规程所列的7种方法是基桩检测中最常用的检测方法,在具体选择检测方法时,需根据检测目的、内容和要求,结合各检测方法的适用范围和检测能力,考虑设计、地质条件、施工因素和工程重要性等情况确定。

3.1.1 为保证检测结果的准确性与可靠性,避免因桩顶超灌部分的质量问题造成误判或检测完毕后机械开挖等因素对桩头的破坏,从工程安全的角度出发,本条规定基桩完整性及承载力检测在桩顶设计标高位置进行。对于跨江、跨河等工程的桥梁基桩,通常为长大桩,承台的埋深较深,基坑支护围护结构复杂,为保障工程安全,也可将声测管引至原地面进行完整性检测,为确保检测效果,声测管管口需高出护筒顶面以上,且各声测管管口高度保持一致。

3.1.2 混凝土强度随时间的增加而增加,其物理力学、声学参数随龄期与强度的增加而趋于稳定,混凝土龄期过短或强度过低,应力波或声波在其中的传播衰减加剧,声速的变异性增大。铁路工程桩基施工受到季节气候、周边环境或工期等因素的影响,往往不会等到全部工程桩施工完并都达到标准龄期及设计强度后再开始检测,考虑到低应变反射波法和声波透射法检测内容是桩身完整性,对混凝土强度的要求可适当放宽。对于低应变反射波法或声波透射法的测试,规定受检桩桩身混凝土强度不低于设计强度的70%且不低于15 MPa,或桩身混凝土龄期不小于14 d。对于高应

变法和静载试验,由于试验中桩身产生的应力水平高,若桩身混凝土强度低,有可能引起桩身损伤或破坏,同时避免桩身混凝土强度过低,也可能出现桩身材料应力—应变关系的严重非线性,使高应变测试信号失真;同时,桩在施工过程中不可避免地扰动桩周土,降低土体强度,引起桩的承载力下降,单桩静载试验与高应变法检测前需同时满足桩周土间歇时间和桩身混凝土强度的双重规定。对于钻芯法检测,桩身混凝土强度是其检测评价指标之一,因此检测前桩身混凝土龄期不小于 28 d 或预留试件强度达到设计强度要求,当钻芯法仅作为无损检测的缺陷验证时,其龄期可按照无损检测的龄期要求进行。

3.1.4 低应变反射波法、声波透射法和高应变法都属于间接法,方法本身存在一定局限性,遇到难于定论的情况时,采用准确、可靠度高、直观的检测方法验证可靠度低的检测方法。孔内摄像具有直观、定量化等优点,可作为钻芯法检测的辅助分析验证的手段。

3.2

表 3.2.1 统一了桩身完整性类别划分标准,有利于对完整性检测结果的判定。本规程规定“Ⅰ、Ⅱ类桩为合格桩;Ⅲ类桩需由工程建设方与设计方等单位研究,以确定处理方案或继续使用;Ⅳ类桩为不合格桩”。

3.3.2 检测报告需根据所采用的检测方法和相应的检测内容出具检测结论。为使报告内容完整和具有较强的可读性,报告中要包括常规内容及受检桩的实测数据和曲线。

4.1.1 低应变反射波法(瞬态激振时域频域分析法)是目前国内外使用最广泛的一种基桩无损检测方法,它采用瞬态激振方式,通过实测桩顶加速度或速度信号的时、频域特征,基于一维弹性波动理论分析来判定基桩桩身完整性,其中包括桩身存在的缺陷位置及其影响程度。

假设桩为一维线弹性杆件模型,可推导出—维波动方程 $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} =$

$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$, 结合边界条件可对一维波动方程采用波动法求解。桩顶激振产生的下行压缩波在桩身波阻抗发生变化处会产生上行反射波。在某一桩身截面处波阻抗降低, 如缩颈、松散、离析、夹泥或断裂等缺陷, 反射波与入射波的相位相同; 在某一桩身截面处波阻抗增大, 如扩径或桩身嵌岩等, 反射波与入射波的相位相反。对于桩身不同类型的缺陷, 低应变测试信号主要反映桩身波阻抗减小的信息, 缺陷的具体类型较难区分。应结合地质、施工情况综合分析。由于桩的尺寸效应、测试系统的幅频相频响应、高频波的弥散、测试误差等造成的实测波形畸变, 以及桩侧土阻力和桩身阻尼的耦合影响因素的存在, 本方法对桩身缺陷只做定性判定。一维理论要求应力波在桩身中传播时平截面假定成立, 低应变反射波法适用于检测规则截面混凝土桩; 对混凝土竹节桩、挤扩支盘灌注桩和类似于 H 型钢桩的异型桩, 本方法不适用; 采用本方法检测螺杆桩时, 需通过现场试验确定本方法是否适用。

4.1.2 由于受桩周土约束、激振能量、桩身材料阻尼和桩身截面阻抗变化等因素的影响, 应力波能量将逐渐衰减。若桩过长, 不易测得清晰易辨的深部桩身缺陷和桩底反射波, 从而无法评定整根桩的完整性。影响低应变反射波法检测的因素较多, 除桩长以外, 还与地质条件、长径比等因素有关。为了确保低应变反射波法检测的准确性和可靠性, 对于桥梁基桩, 本规程规定低应变反射波法检测的桩长一般不大于 40 m, 对于桩长大于 40 m 的基桩能否采用低应变反射波法检测需经现场试验确定。一般情况下, 采用低应变反射波法检测 CFG 桩、管桩等中小直径桩时, 当桩长大于 20 m 或长径比大于 40 时, 其桩底反射信号较弱, 对于具体工程的有效检测桩长, 依据能否识别桩底反射信号, 确定该方法是否适用。

4.1.3 对于桩身截面多变或幅度变化较大的灌注桩, 由于阻抗变化会引起应力波多次反射, 且距离桩顶越近, 反射越强, 当多个阻抗变化截面的一次或多次反射相互叠加时, 检测到的波形难以判

别,需采用其他方法辅助验证低应变反射波法检测结果的有效性。当桥梁穿越软土地区时,常出现扩孔或塌孔现象,个别地区在桩浅部严重扩径,低应变反射波信号呈现大幅振荡特征,无法准确识别桩深部缺陷和桩底信息信号。当此类基桩数量较多时,验证的工作量大,经济性差,可埋设声测管,采用声波透射法检测。

4.2.1 检测仪器需具有信号滤波、放大、显示、储存、信号采集处理分析的基本功能,以确保检测结果分析的准确性。

4.2.2 低应变反射波法检测桩身完整性时,通过选择不同材质的激振头和不同质量的激振设备,获得不同大小能量的低频宽脉冲或高频窄脉冲。检测短桩或桩身浅部缺陷时,冲击脉冲的有效高频分量可选择2 kHz左右,采用手锤激振可满足检测要求;检测长桩或桩身深部缺陷时,选用激振能量大、低频宽脉冲的力棒或力锤等设备进行激振。

4.3.1 桩顶面条件和桩头处理的好坏直接影响测试信号的质量,受检桩顶面的混凝土质量、截面尺寸需与桩身设计条件基本相同。灌注桩检测前,凿去桩顶浮浆或松散、破损部分,露出坚硬混凝土面,并将激振点、传感器安装点打磨光滑,检测前可用与激振设备类似的工具进行敲击检查打磨质量,防止在桩头凿除时产生浅部裂纹造成对检测结果的误判。对于预应力管桩,法兰盘与桩身混凝土之间结合紧密时,可不进行处理,否则需将其截除磨平后方可进行检测。还应注意,混凝土灌注桩成桩后过早检测,将会因桩身混凝土强度低而造成波速明显偏低,桩身内部材料阻尼和桩侧土阻尼偏高,难以得到清晰可辨的深部缺陷和桩底反射信号。

4.3.2 本条是为保证获得高质量检测信号而提出的措施:

1 为获得较好的测试信号,避免产生寄生振荡信号,需选用适当的耦合剂将传感器与桩顶粘结,保证传感器底面与桩顶紧密接触,且粘结层要薄,不可采取手按住传感器的方法进行检测,激振点和传感器安装点尽量远离钢筋笼主筋,以减少其对测试的干扰。

2 相对桩顶截面尺寸而言,激振点处为集中力作用,在桩顶部位可能出现与桩的横向振型相应的高频干扰,传感器安装点与激振点距离和位置不同,所受干扰程度各异。将传感器安装于桩的 $1/2 \sim 2/3$ 半径处,在桩中心激振,由激振引起的表面波从桩侧来回反射产生的干扰信号相对较小。对应于矩形截面桩,传感器安装点与激振点的布置参照圆形实心桩的布置形式,传感器安装点与激振点的距离可为桩宽的 $1/3 \sim 1/4$,对于空心桩,传感器安装点与激振点与桩顶面中心的连线夹角不小于 45° 。为了避免桩顶面材料不均匀所产生的不利影响及桩身可能存在局部缺陷的遗漏,随着桩径的增大,桩身混凝土在横向和纵向上的不均匀性均会增加,桩浅部的阻抗变化往往表现出明显的方向性,增加桩顶测点的数量,可以使检测结果更全面地反映出桩身完整性的整体情况。每个测点重复检测次数不少于3次,旨在确认检测信号的一致性并提高有效信号的信噪比。

6 瞬态激振通过改变锤的重量和锤头材料,可以改变初始入射波的脉冲宽度和频率成分。刚度较小的重锤,入射波脉冲较宽,低频成分较多,当冲击力大小相同时,其激振能量较大,弹性波衰减较慢,适合于获取长桩深部缺陷或桩底反射信号;刚度较大的轻锤,入射波脉冲较窄,高频成分较多,激振能量较小,适合于桩身浅部缺陷的识别和定位。

4.4.1 由于多种干扰成分的存在,通常采用滤波、平滑、指数放大等手段来突出时域信号中的有效信息。低应变信号处理时,规定指数放大倍数不大于15倍,放大范围不小于桩长的 $2/3$,低通滤波不低于 2000 Hz ,是为了避免过度处理造成波形畸变或出现虚假桩底信号,对基桩完整性产生误判。

4.4.2 本方法判定桩身完整性,是以时域波形为主、频域分析为辅。在保证受检桩检测波形信号真实、有效的基础上,有必要结合地质资料、施工资料和波形特征等进行桩身完整性综合分析判定。

4.4.3 当桩底反射信号不明显时,可参考说明表4.4.3“不同混

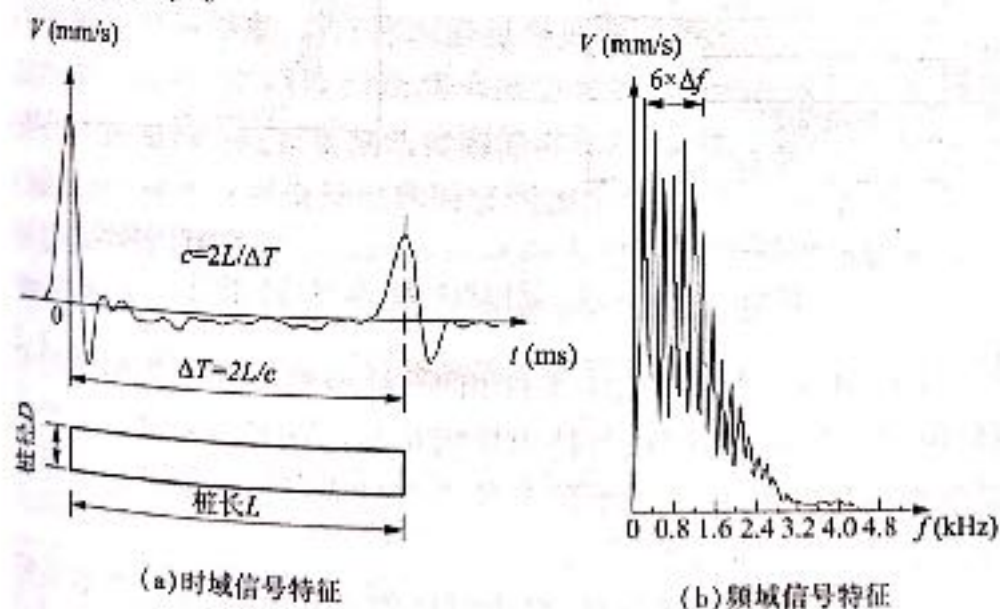
混凝土强度等级的反射波波速经验值”确定桩身波速。

说明表 4.4.3 不同混凝土强度等级的反射波波速经验值

混凝土强度等级	反射波波速经验值 (m/s)
C20	3 400 ~ 3 800
C25	3 600 ~ 4 000
C30	3 700 ~ 4 100
C40	3 900 ~ 4 300

4.4.5 本条列出了不同类型桩的时域、频域信号特征,给出了桩身完整性判定标准,检测分析时尚需考虑施工情况、成桩工艺、地质条件等因素进行综合判定,以提高检测判定的准确度。

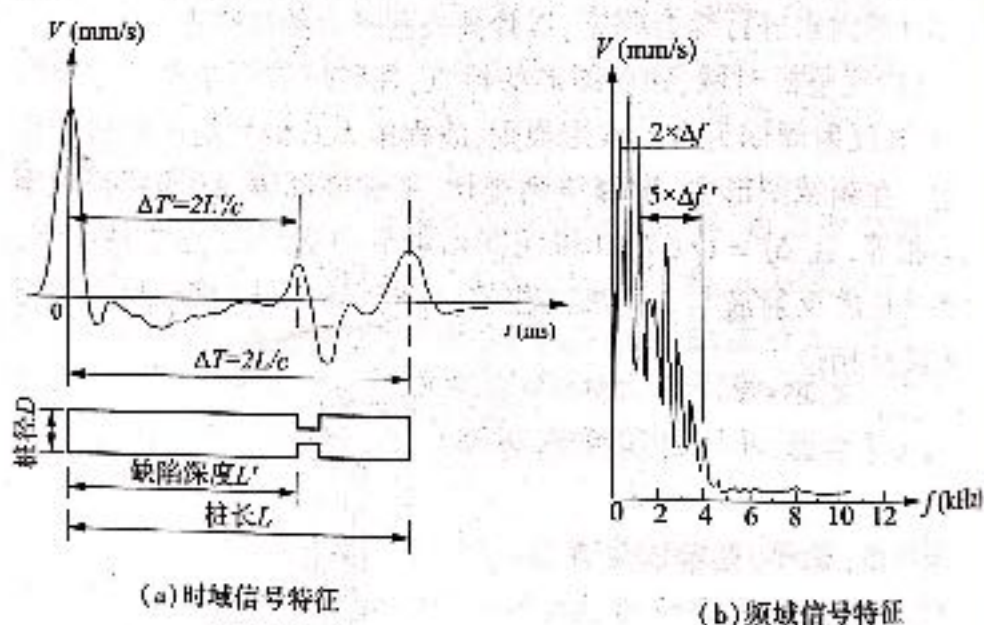
(1)完整桩时域、频域图形的特点:在时域波形中有桩底反射信号,其反射周期为 ΔT ,波形规则,波程中无其他明显的阻抗变化反射。在频域图形中,谱峰排列规律,相邻峰间隔 Δf 即特征频率基本相等,且 $\Delta f = 1/\Delta T$,如说明图 4.4.5—1 所示。通常情况下,摩擦桩桩底反射波与入射波同相位,柱桩(端承桩)桩底反射波与入射波反相位。



说明图 4.4.5—1 完整桩时域、频域信号特征

(2) 断桩时域、频域图形的特点:时域波形和频域波形规则。在时域波形中,反射信号明显并与入射波同相位,反射波周期为 $\Delta T'$ 。在频域图形中,相邻峰间隔 $\Delta f'$ 也基本相等。但由平均波速 c_m 与 $\Delta T'$ 算出的桩长 L' 比施工桩长要短,即 $L' < L$,在时域、频域图形中无桩底反射信号。

(3) 其他缺陷桩时域、频域图形的特点:时域波形中有桩底反射信号,有完整桩的反射波周期 ΔT ;缺陷反射与入射波同相位,缺陷的反射波周期为 $\Delta T'$ 。频域图形中既有完整桩的特征频率 Δf ,也有缺陷部位的特征频率 $\Delta f'$,如说明图 4.4.5—2 所示。可根据式(4.4.4—1)或式(4.4.4—2)求出缺陷沿桩长所在位置 L' 。



说明图 4.4.5—2 缺陷桩时域、频域信号特征

(4) 对同一场地、地质条件相近、桩型和成桩工艺相同的基桩,因桩底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,可参照本场地同条件下有桩底反射波的其他桩实测信号来判定桩身完整性类别。

(5) 对于混凝土灌注桩,采用时域信号分析时,需结合有关

工和地质资料进行辅助分析,同时要正确区分混凝土灌注桩桩身截面渐扩后陡缩恢复至原桩径产生的同相反射,或由扩径产生的二次反射(与首波同相),以避免对桩身完整性的误判。

(6)避免对桩身完整性的误判,要正确区分浅部缺陷反射和因桩顶直径扩大部分恢复至原桩径产生的同相反射,必要时可采取开挖方法查验。

4.4.6 低应变反射波法是假定桩为一维弹性杆件模型,适用于规则截面,应力波传递过程中受地质条件、桩身截面变化、土阻力、桩长、长径比、桩端约束条件等多种因素影响。对于工程基桩,常出现低应变实测信号复杂、紊乱或者难以解释的现象,为确保工程质量,有效降低工程风险,当出现信号复杂,又缺乏相关资料验证解释,无法或难以进行准确分析与评价时,尚需开展必要的验证工作。

《高速铁路桥涵工程施工质量验收标准》TB 10752 规定:“浇筑水下混凝土前应清底,孔底沉渣厚度应符合设计要求。当设计无具体要求时,对于柱桩不应大于 50 mm,摩擦桩不应大于 200 mm。”柱桩(端承桩)承载力主要以端承为主,桩底质量控制要比摩擦桩严格得多,当桩底沉渣过厚或受力影响区域存在溶洞引起的临空面时,则可能影响其承载力发挥,严重时导致承载力失效。为提高低应变反射波法检测的可靠性,确保工程安全,当柱桩(端承桩)桩底反射信号出现明显同相信号时,需开展必要的钻芯法验证工作,核验桩端沉渣厚度和持力层岩土性状是否满足设计要求,核验桩端在受力影响范围内是否存在临空面。

5.1.1 声波透射法是在桩身预埋一定数量的声测管,通过水的耦合,声波从一根声测管中发射,在另一根声测管中接收,可测出被测混凝土介质的声学参数。当桩身混凝土质量存在缺陷时,接收波的声时、波幅、主频及波形特征会发生变化,通过对波的声学参数进行分析,判断混凝土桩的完整性及缺陷的位置、范围和程度。

5.1.2 声波透射法检测准确可靠,不受桩长、长径比的限制,可准

确评价长大桩的完整性。为了确保检测的准确性以及经济合理性,一般情况下,桩径大于等于 2 m 或桩长大于 40 m 或复杂地质条件下的基桩,采用声波透射法进行检测,当现场组织试验时,也可根据试验数据确定桩长标准。矩形截面桩的检测参照圆形桩的标准进行,当桩宽(长边)大于等于 2 m 时,需埋设声测管,采用声波透射法检测。

5.2.1 声波换能器有效工作面长度是指起到换能作用的部分的实际轴向尺寸,该长度过大将夸大缺陷实际尺寸并影响测试结果。提高换能器谐振频率,可使其外径减小,利于换能器在声测管中升降顺畅,但因声波发射频率的提高,使长距离声波穿透能力下降。本规程推荐采用谐振频率范围为 30 kHz ~ 60 kHz 的换能器。

5.3.1 声测管的内径不小于 40 mm,是为了便于换能器在管中能顺畅地上下移动,当换能器加设定位器时,声测管内径可比换能器外径大 15 mm ~ 20 mm。铁路基桩大多数是长大桩,由于混凝土的水化热作用及钢筋笼安放和混凝土浇筑过程中存在较大的作用力,容易造成声测管变形甚至断裂。为保证声测管畅通,本规程对声测管的埋设作出具体的规定,需采用强度较高的金属管,壁厚不小于 3.0 mm。为便于了解桩身缺陷的方位,本规程规定:声测管以线路大里程方向的顶点为起始点,按顺时针旋转方向呈对称形状布置并进行编号。

5.3.2 为保证检测结果的可靠性,本规程提出了检测前准备工作的要求,如声波透射法检测时混凝土的强度或龄期要求。另外,声测管中的浑浊水将明显甚至严重加大声波衰减,延长传播时间,给声波检测结果带来误差。因此,检测前应冲洗声测管并灌满清水,在检测过程中,时刻注意往声测管内补充清水,确保在整个剖面检测过程中换能器始终有清水作为耦合剂。检测前,尚需对系统延迟时间进行标定,系统延迟时间 t_0 的标定方法为:将收、发换能器平行置于清水中的同一高度,逐次改变点源距离,测量相应的声时,以声时为横坐标、间距为纵坐标绘制线性回归曲线,交横坐标

于 t_0 , 即为系统延迟时间。

5.3.3 为提高检测结果的准确度,对测点间距进行了修订,规定两相邻测点的间距不大于 200 mm、不小于 100 mm,在同一根桩检测时,接收与发射探头需同步升降,为避免收、发换能器过大的高差而产生测试误差,检测过程中还需及时校核换能器深度。考虑换能器在铅垂面上存在明显的指向性,接收信号的幅度随两个换能器中点连线与水平面夹角的增大而减小,为保证测试系统具有足够的接收灵敏度,采用斜测法时,两个换能器中点连线与水平面的夹角不大于 40° 。通常情况下,采用平测法进行声波检测,当对质量有怀疑或需要详测时,可在桩身质量可疑的测点周围加密测点,采用加密测、斜测或扇形扫测进行细测,也可采用斜测、平测综合判定缺陷范围和程度。同时,为使各检测剖面的检测数据具有可比性,各检测剖面的声波发射电压和仪器参数设置需保持不变。

5.4.3 声速、波幅和主频都是反映桩身质量的声学参数。实测经验表明,声速的变化规律性比较强,在一定程度上反映了桩身混凝土的均匀性,而波幅的变化较灵敏,主频在保持测试条件一致的前提下也有一定规律。在确定测点声学参数测量值的判据时,采用了三种不同的方法。

1 声速判据:声速临界值的确定基于概率法,即无缺陷的混凝土声速测量值虽因其本身的不均匀性造成一定的离散性,但符合正态分布;由缺陷造成的低声速异常值不符合正态分布,确定临界值时必须采用正常混凝土的声速平均值及标准差。具体判定方法如下:

将同一根桩混凝土的各测点声速值按从大到小排列,即 $v_1 > v_2 > v_3 > \dots > v_n > v_{n+1} > v_{n+2} > \dots$;将排在后面明显小的数据视为可疑值,如果 $v_n > v_{n+1} > v_{n+2} > \dots$ 测值可疑,先予以剔除,然后以 v_n 及其以前点按本规程式(5.4.3—1)~式(5.4.3—3)计算声速平均值 v_m 、标准差 σ 和声速临界值 v_D 。此时,若 $v_n > v_D$ 而 $v_{n+1} < v_D$,则表明计算的 v_m 、 σ 为符合正态分布的正常混凝土平均声速

及标准差;若 $v_n < v_0$, 说明 v_n 也是缺陷点声速, 不应参加统计而应予以剔除, 再以 v_{n-1} 及其以上点统计计算新的 v_m 、 σ_v 及 v_D , 再作判断, 此后依次类推, 直至计算出符合正态分布的正常混凝土平均声速、标准差值。

声速是材料的基本物理量之一, 它与混凝土强度相关。实测声速需大于或等于声速低限值, 声速低限值由同条件混凝土试件做强度和速度对比试验, 结合地区经验确定。声速低限值相对应的混凝土强度不宜低于 $0.9R$ (R 为混凝土设计强度), 若试件为钻孔芯样, 则不宜低于 $0.85R$ 。

2 波幅判据: 波幅临界值判据式为 $A_{nc} < A_m - 6$, 即选择当信号首波幅值衰减量为其平均值一半时的波幅分贝数为临界值。在具体应用中应注意: 因波幅的衰减受桩材质不均匀性、声波传播路径和点源距离的影响, 需考虑声测管间距较大时波幅分散性而采取适当的调整, 且需考虑仪器、传感器灵敏度及发射能量对波幅的分贝数影响, 当波幅差异性较大时, 与声速变化及主频变化情况相结合进行综合分析。

3 PSD 判据: PSD 法是基于缺陷处声时的变化引起声时深度曲线的斜率明显增大, 而声时差的大小又与缺陷程度密切相关, 因此二者之积对缺陷的反映更加明显。

5.4.4 实测信号的主频值与诸多影响因素有关, 仅作辅助声学参数选用。在使用中确保声波换能器具有单峰的幅频特性和良好的耦合一致性; 采用 FFT 方法计算主频值, 要保证足够的频率分辨率。

5.4.5 为便于操作, 通常情况下, 测点数小于 3 个点可视为个别测点, 测点数大于等于 3 个点可视为多个测点; 当采用 200 mm 的测点间距时, 某一检测剖面连续多个测点声学参数异常, 对应的缺陷长度大于 400 mm。桩身完整性判定除依据声速、波幅等变化规律和借助其他辅助方法外, 还与诸多复杂因素有关, 故在使用中应注意以下几点:

(1) 可结合钻芯法将其结果进行对比,从而得出更符合实际情况的分类。

(2) 可将实测时程曲线的畸变、PSD 值的变化相结合,进行综合判定与分类。

(3) 可结合施工工艺和施工记录等有关资料具体分析。

(4) 当声速明显偏高或偏低时,需分析原因并结合波形特征和施工工艺综合判定。

6.1

高应变法用于检测预制桩的承载力和完整性在国内外有比较成熟的应用经验,检测结果可靠性较高。当用于混凝土灌注桩的承载力检测时,需结合现场实测经验和本地区相近条件下的可靠验证资料。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的竖向抗压承载力检测,本方法不适用。

6.2.1 本条对仪器的主要技术性能指标要求是按建筑工业行业标准《基桩动测仪》提出的,大部分型号的国产和进口仪器能满足。由于动测仪器的使用环境恶劣,所以仪器的环境性能指标和可靠性也很重要。本条对加速度计的量程未作具体规定,原因是对于不同类型的桩,各种因素影响使最大冲击加速度变化很大,建议根据实测经验来合理选择,且选择的量程大于预估最大冲击加速度值的 1 倍以上。

6.2.3 为获得可靠的单桩极限承载力,首先必须使桩产生一定的位移,以充分激发桩土间摩阻力,为此,锤重须与桩身重量、设计或预估极限承载力的大小相匹配。锤重及锤击落距选择是否合适,以能否有效和充分激发试验桩的桩侧和桩端土阻力为准。若选择的锤重和锤击落距不能充分激发出桩侧和桩端土阻力,测试得到的承载力只能认为是“被激发的承载力”,而非桩的极限承载力。选择锤重主要考虑以下因素:

(1) 检测承载力及桩的承载性状的影响。承载力越大,锤重越重;承载力构成中,端阻力所占的比例越大,则要求锤重越重。

(2) 桩径的影响。桩径越大,桩本身的惯性越大,锤与桩匹配能力下降,要求锤重越重。对于灌注桩,桩径大于 600 mm 时,需对桩径增加引起的桩—锤匹配能量下降进行补偿,可取高值。此外,桩径的增大也会增大土的弹限,导致对锤重的要求增加。

(3) 桩长的影响。桩越长,应力波在传播过程中的衰减越大,桩中下部及端阻力就越难激发,因而要求的锤重越重。对于灌注桩,桩长大于 30 m 时,需对桩长增加引起的桩—锤匹配能量下降进行补偿,可取高值。

(4) 岩土弹限的影响。桩侧、桩端土的弹限极限较大,土的弹限越大,意味着激发岩土阻力所需的桩上相对位移越大,要求锤重越重。

(5) 桩垫的影响。桩垫太软,锤激发岩土阻力的能力下降;桩垫太硬,则达不到调整、缓冲桩顶均匀受力,保护桩头的目的。因此,桩垫的选择在保证充分激发岩土阻力前提下,尽量选择较软的桩垫。

(6) 提倡“重锤低击”。“轻锤高击”虽然可以提高锤击能量,但常会打碎桩头。实际应用中,自由落锤的常用落锤高度范围一般为 1.2 m ~ 2.2 m。

6.2.4 贯入度的大小是反映桩侧、桩端土阻力是否充分发挥的一个重要信息,因此实测桩的贯入度是十分必要的,但这一工作常常被忽略。在现场检测时若发现单击贯入度较大,必须进行实测。桩的贯入度除采用精密水准仪等仪器测定外,还可在距试桩 4D 外设置两根对称基准桩,拉测量试桩贯入度的弦线,并在桩侧标上测量基线。

6.3.2 锤击装置垂直、锤击平稳对中、桩头加固和加设桩垫,是为了减小锤击偏心和避免击碎桩头。在距桩顶规定的距离下的合适部位对称安装传感器,是为了减小锤击在桩顶产生的应力集中和对偏心进行补偿。所有这些措施都是为了保证测试信号质量提出的。选择合适的桩垫的作用主要有两个:一是起到滤波器的作用,

可滤掉锤击力的高频分量,同时使锤击力分布均匀,将锤击能量更有效地传递到桩上;二是缓冲锤击力,保护桩头,使桩头不易被打碎。桩垫材料可用胶合板、木板和纤维板等,质地要干,不能用湿板作桩垫。桩垫的厚度要选择合适的,桩垫过厚,滤掉的锤击力太多,降低锤击能量的传递,使桩贯入困难;桩垫过薄,则起不到作用。桩垫厚度一般取 10 mm ~ 30 mm,可根据经验来定。锤重较轻或锤击落距较低时,选用较薄的桩垫;锤重较重或锤击落距较高时,选用较厚的桩垫。桩垫厚度也可根据第一锤的波形加以调整,桩垫尺寸可略大于桩顶截面尺寸。

6.3.3 采样时间间隔为 100 μs ,对常见的铁路基桩是合适的,但对于超长桩,例如桩长超过 60 m,采样时间间隔可放宽为 200 μs ,当然也可增加采样点数。

测点下桩长是指桩头传感器安装点至桩底的距离,一般不包括桩尖部分。

对于混凝土预制桩,桩身波速取决于混凝土的骨料品种、粒径级配、制造工艺及龄期,其值变化范围大多为 3 800 m/s ~ 4 500 m/s,也可在沉桩前实测无缺陷桩的桩身平均波速作为设定值,但一般情况下,此波速要比沉桩后的波速略高。

6.3.4 信号质量以及信号中的信息是否充分是高应变试验成功的关键。根据每锤信号质量以及动位移、贯入度和大致的土阻力发挥情况,初步判别采集到的信号是否满足检测要求。同时,也要检查混凝土桩锤击拉、压应力和缺陷程度大小,以决定是否进一步锤击,以免桩头或桩身受损。自由落锤锤击时,锤的落距由低到高;打入式预制桩则按每次采集一阵(10 击)的波形进行判别。

根据波动理论分析,若视锤为一刚体,则桩顶的最大锤击应力只与锤冲击桩顶时的初速有关,落距越高,锤击应力和偏心越大,越容易击碎桩头。“轻锤高击”并不能有效提高桩锤传递给桩的能量和增大桩顶位移,这是因为力脉冲作用持续时间不仅与锤垫有关,还主要与锤重有关;锤击脉冲越窄,波传播的不均匀性,即桩

身受力和运动的不均匀性(惯性效应)越明显,实测波形中土的动阻力影响加剧,而与位移相关的静土阻力呈明显的分段发挥态势,使承载力的测试分析误差增加。因此,“重锤低击”是保障高应变法检测承载力准确性的基本原则。

锤击落距与锤重是相辅相成的。在锤重得到保证的情况下,锤击落距不宜过高,一般情况下,控制落距在 2.0 m 以内就能产生足够的冲击能量,否则需增加锤重。在条件容许时尽量采用重锤低击。对桩身质量较差的桩,锤重宜取上限而落距宜取得更低一些为好。现场测试时锤击落距一般在 1.0 m - 2.0 m 之间,重锤低击的效果较好,锤重和落距的选择还要满足贯入度的要求,即单击贯入度不宜小于 2.0 mm,但也不要大于 6.0 mm。贯入度过小,不能充分激发土阻力;贯入度过大,易引起实测波形失真。

当检测仅为检验桩的完整性时,减轻锤重,降低落距,减少锤垫厚度,以便能测到明显的桩底反射信号。

检测工作现场情况复杂,经常产生各种不利影响,为确保采集到可靠的数据,检测人员要正确判断波形质量,熟练地诊断测量系统的各类故障,排除干扰因素。

6.3.5 贯入度的大小与桩尖刺入或桩端压密塑性变形量相对应,是反映桩侧、桩端土阻力是否充分发挥的一个重要信息。贯入度小,使检测得到的承载力低于极限值。本条是从保证承载力分析计算结果的可靠性出发,给出的贯入度合适范围,不能片面理解成减小锤重使单击贯入度不超过 6 mm。贯入度大且桩身无缺陷的波形特征是 $2L/c$ 处桩底反射强烈,其后的土阻力反向或桩的回弹不明显。贯入度过大造成的桩周土扰动大,高应变法承载力分析所用的土的力学模型,对真实的桩—土相互作用的模拟接近程度变差。据国内发现的一些实例和国外的统计资料:贯入度较大时,采用常规的理想弹塑性土阻力模型进行实测曲线拟合分析,不少情况下预示的承载力明显低于静载试验结果,统计结果离散性很大;贯入度较小,甚至桩几乎未被打动时,静动对比的误差相对较

小,且统计结果的离散性也不大。若采用考虑桩端土附加质量的能量耗散机制模型修正,与贯入度小时的承载力提高幅度相比,会出现难以预料的承载力成倍提高,原因是桩底反射强意味着桩端的运动加速度和速度强烈,附加土质量产生的惯性力和动阻力恰好分别与加速度和速度成正比。对于长细比较大、摩阻力较强的摩擦型桩,上述效应就不会明显。此外,6 mm 贯入度只是一个统计参考值。

6.4.1、6.4.2 包含以下几方面内容:

(1)理想的高应变波形信号特征:力和速度的时程一致,上升峰值前二者重合,峰值后二者协调,力曲线应在速度曲线之上(除非桩身有缺陷),两曲线间距离随桩侧土阻力增加而增大,其差值等于相应深度的总阻力值,能真实反映桩周土阻力的实际情况;力和速度时程曲线最终归零;锤击没有严重偏心,对称的两个力或速度传感器的测试信号不应相差太大,两组力信号不出现受拉;波形平滑,无明显高频干扰杂波,桩底反射明显;有足够的采样长度,保证曲线拟合时间段长度不少于 $5L/c$,并在 $2L/c$ 时刻后延续时间不小于 $20\text{ ms} \sim 30\text{ ms}$;贯入度适中,一般单击贯入度不宜小于 2 mm ,也不宜大于 6 mm 。

(2)从测试锤击信号中选取分析有用信号时,除要考虑有足够的锤击能量使桩周岩土阻力充分发挥外,还应注意:连续打桩时桩周土的扰动及残余应力;锤击使缺陷进一步发展或拉应力使桩身混凝土产生裂隙;在桩易打或难打以及长桩情况下,速度基线修正带来的误差;对桩垫过厚和柴油锤冷锤信号,加速度测量系统的低频特性所造成的速度信号误差或严重失真。

(3)可靠的信号是得出正确分析计算结果的基础。除柴油锤施打的长桩信号外,力的时程曲线需最终归零。对于混凝土桩,高应变测试信号质量不但受传感器安装好坏、锤击偏心程度和传感器安装面处混凝土是否开裂的影响,也受混凝土的不均匀性和非线性的影响。这种影响对应变式传感器测得的力信号尤其敏感。

混凝土的非线性一般表现为:随应变的增加,弹性模量减小,并出现塑性变形,使根据应变换算到的力值偏大且力曲线尾部不归零。本规程所指的锤击偏心相当于两侧力信号之一与力平均值之差的绝对值超过平均值的33%。通常锤击偏心很难避免,因此严禁用单侧力信号代替平均力信号。

(4) 桩底反射明显时,桩身平均波速也可根据速度波形第一峰起升沿的起点和桩底反向峰的起点之间的时差与已知桩长值确定。对桩底反射峰变宽或有水平裂缝的桩,不应根据峰与峰间的时差来确定平均波速。桩较短且锤击力波上升缓慢时,可采用低应变反射波法确定平均波速。

(5) 测点处设定的应力波速,用于计算弹性模量,只与桩材料有关。通常,当平均波速按实测波形改变后,测点处的原设定波速也按比例线性改变,弹性模量则按平方的比例关系改变。当采用应变式传感器测力时,多数仪器并非直接保存实测应变值,如有些是以速度($V=c \cdot \epsilon$)的单位存储。若弹性模量随波速改变后,仪器不能自动修正以速度为单位存储的力值,则需对原始实测力值进行校正。

(6) 在多数情况下,正常施打的预制桩,力和速度信号第一峰基本成比例,但以下几种情况下会引起力和速度信号第一峰比例失调:①桩浅部阻抗变化;②桩浅部侧土阻力很大;③采用应变式传感器测力时,测点处混凝土的非线性造成力值明显偏高;④锤击力波上升缓慢或桩很短时,土阻力波或桩底反射波的影响;⑤锤垫过厚。除第③种情况减小力值,可避免计算的承载力过高外,其他情况的随意比例调整均是对实测信号的歪曲,并产生虚假的结果。因此,禁止将实测力或速度信号重新标定。这一点必须引起重视,因为有些仪器具有比例自动调整功能。

6.4.3 高应变分析计算结果的可靠性高低取决于动测仪器、分析软件和检测人员素质三个要素,其中起决定作用的是具有坚实理论基础和丰富实践经验的高素质检测人员。高应变法之所以有生

命力,表现在高应变信号不同于随机信号的可解释性,即使不采用复杂的数学计算和提炼,只要检测波形质量有保证,就能定性地反映桩的承载性状及其他相关的动力学问题。

6.4.4 实测曲线拟合法对承载力分析结果的精度和可靠性要比凯司法高。由于现代计算机速度的提高,拟合操作时间已大大缩短,所以本规程推荐采用实测曲线拟合法进行结果分析。

6.4.5 凯司法采用理想刚塑性力学模型,模型中假设全部动阻力集中在桩端。其定义的动阻力为

$$R_d = J_u \cdot Z \cdot V_b(t_1 + L/c) \quad (\text{说明 6.4.5})$$

式中 Z ——桩身阻抗;

$V_b(t_1 + L/c)$ ——桩端速度;

按凯司法的假定,动阻力只与桩端速度和桩端岩土黏滞阻尼特性有关,即与地区岩土特性有关。公式中的唯一未知数——凯司法无量纲阻尼系数 J_u 定义为仅与桩端土性有关,一般遵循随土中细粒含量增加阻尼系数增大的规律。 J_u 的取值是否合理在很大程度上决定了计算承载力的准确性。所以,当缺乏同条件下的静动对比校核,或大量相近条件下的对比资料时,其使用范围将受到限制。最近几年,随着高应变法动测技术研究的深入和测试经验的积累,许多技术人员对传统理论认为 J_u 值只和桩端土特性有关的看法提出了异议,现在,越来越多的人认为, J_u 值就像是一个静载试验结果与凯司法动测结果的经验比例系数,桩端土质特性仅供参考。为防止凯司法的不合理应用,应采用静动对比或实测曲线拟合法校核 J_u 值。

式(6.4.5—1)适用于 $t_1 + 2L/c$ 时刻桩侧和桩端土阻力均已充分发挥的摩擦型桩。对于土阻力滞后于 $t_1 + 2L/c$ 时刻明显发挥,适当将 t_1 延时,确定 R_d 的最大值进行提高修正;对先于 $t_1 + 2L/c$ 时刻发挥并造成桩中上部强烈反弹这种情况,考虑卸载回弹部分土阻力对 R_d 值进行修正。阻尼系数 J_u 宜根据同条件下静载试验结果校核,或在已取得相近条件下可靠对比资料后,采用实测

曲线拟合法确定 J_0 值,拟合计算的桩数不少于检测总桩数的 50%,且不少于 5 根。在同一场地,桩型和截面积相同情况下, J_0 值的极差不宜大于平均值的 30%。由于式(6.4.5—1)给出的 R_0 值与位移无关,仅包含 $t_2 = t_1 + 2L/c$ 时刻之前所发挥的土阻力信息,通常除桩长较短的摩擦型桩外,土阻力在 $2L/c$ 时刻不会充分发挥,尤以端承型桩显著。所以,需要采用将 t_1 延时求出承载力最大值的最大阻力法(RMX 法),对与位移相关的土阻力滞后 $2L/c$ 发挥的情况进行提高修正。桩身在 $2L/c$ 之前产生较强的向上回弹,使桩身从顶部逐渐向下产生土阻力卸载(此时桩的中下部土阻力属于加载),这对于桩较长、摩阻力较大而荷载作用持续时间相对较短的桩较为明显。因此,需要采用将桩中上部卸载的土阻力进行补偿提高修正的卸载法(RSU 法)。

RMX 法和 RSU 法判定承载力,体现了高应变法波形分析的基本概念——充分考虑与位移相关的土阻力发挥状况和波传播效应,这也是实测曲线拟合法的精髓所在。另外,还有几种凯司法的子方法可在积累成熟经验后采用:(1)在桩尖质点运动速度为零时,动阻力也为零,此时有两种与 J_0 无关的计算承载力“自动”法,即 RAU 法和 RA2 法,前者适用于桩侧阻力很小的情况,后者适用于桩侧阻力适中的场合;(2)通过延时求出承载力最小值的最小阻力法(RMN 法)。

6.4.6 实测曲线拟合法是通过波动问题数值计算,反演确定桩和土的力学模型及其参数值的分析方法。其分析是以高应变法动力试桩实测到的力或速度(也可以是上、下行波)数据作为输入边界条件,按照一定力学模型,假设一组桩、土参数,通过数值方法解波动方程,拟合计算出桩顶的速度、力(或下、上行波),然后比较计算曲线和实测曲线是否吻合,以确定所选的参数是否合理,如果不吻合,需再调整参数再进行拟合计算,直到计算曲线与实测曲线满足一定的拟合质量系数为止。此时,可以得出一组拟合出来的桩的静态承载力、桩侧和桩端的阻力大小和分布,以及模拟静载试验

的 $Q-s$ 试验曲线等。这种拟合计算由专门的计算程序执行。目前,国内外应用最广泛的拟合计算程序是由美国 PDI-GRL 联合公司研究开发的 CAPWAPC 程序,其中文全称为 CASE 基桩波动方程分析程序。实测曲线拟合法克服了高应变法动力试桩 CASE 法的几个不足:(1)桩土力学模型过于简化;(2)CASE 法桩端阻尼系数 J 的取值难以把握;(3)CASE 法无法得到桩侧和桩端的阻力分布;(4)CASE 法无法对试桩的桩身阻抗变化进行模拟。该技术自问世以来,已经在世界上许多国家得到应用。从原理上来说,实测曲线拟合法是高应变法测桩中确定承载力最为合理和准确的分析方法。其关键技术具体阐述如下:

1 桩土力学模型

(1)桩侧和桩端土采用理想的弹塑性模型。在加载阶段,土体变形小于或等于最大弹性位移时,土体在弹性范围工作。变形超过最大弹性位移后,进入理想塑性变形阶段,静阻力达到最大值后不再随位移增加而变化。对于卸载阶段,同样要规定卸载路径的斜率和卸荷最大弹性位移值。

(2)桩侧和桩端土的动阻力模型采用与桩单元运动速度成正比的线性黏滞阻尼模型。

(3)桩的力学模型采用连续一维杆件模型,单元划分采用等时单元(实际为连续模型或特征线法求解的单元划分模式),即应力波通过每个桩单元的时间相等。

(4)桩单元除考虑 A 、 E 、 c 等参数外,也可考虑桩身结构阻尼和裂隙模型。另外,也可考虑桩端的缝隙、开口桩或异型桩的土塞、残余应力影响和辐射阻尼等。

(5)所用模型的物理力学概念明确,参数取值取限定;避免采用可使承载力计算结果产生较大变异的桩土模型及参数。

2 本款考虑两点原因:一是自由落锤产生的力脉冲持续时间通常不超过 20 ms(除非采用很重的落锤),但柴油锤信号在主峰过后的尾部仍能产生较长的低幅值延续;二是与位移相关的总静

阻力一般会不同程度地滞后于 $2L/c$ 发挥,当端承型桩的端阻力发挥所需位移很大时,土阻力发挥将产生严重滞后,因此规定 $2L/c$ 后延时足够的时间,使曲线拟合能包含土阻力响应区段的全部土阻力信息。

3 拟合时应根据波形特征,结合施工和地质条件合理确定桩土参数取值。因为拟合所用的桩土参数的数量和类型繁多,参数各自和相互间耦合的影响非常复杂,而拟合结果并非唯一解,需通过综合比较判断进行取舍。正确判断取舍条件的要点是参数取值在岩土工程的合理范围内。

4 为防止土阻力未充分发挥时的承载力外推,设定的最大弹性位移值不应超过对应单元的最大计算位移值。若桩、土间相对位移不足以使桩周岩土阻力充分发挥,则给出的承载力结果只能验证岩土阻力发挥的最低程度。

5 土阻力响应区是指波形上呈现的静土阻力信息较为突出的时间段。所以本款特别强调此区段的拟合质量,避免只重视波形头尾,忽视中间土阻力响应区段拟合质量的错误做法,并通过合理的加权方式计算总的拟合质量系数,突出其影响。

拟合收敛标准:拟合分析计算过程的收敛标准常用计算曲线和实测曲线的拟合程度来评定,拟合程度用拟合质量系数 MQN 来衡量。MQN 值是根据实测曲线和计算曲线在四个区段的拟合差值计算出来的。另外,还常常用计算得到的贯入锤击数与实测贯入锤击数进行比较来校核计算过程的收敛情况。

6 贯入度的计算值与实测值是否接近,是判断拟合选用参数,特别是最大弹性位移值是否合理的辅助指标。

6.4.7 当出现本条所述四款情况之一时,因高应变法难以分析判定承载力和预示桩身结构破坏的可能性,建议采用其他方法验证检测。

6.4.8 高应变法检测桩身完整性具有锤击能量大,可对缺陷程度定量计算,连续锤击可观察缺陷的扩大和逐步闭合情况等优点。

但和低应变反射波法一样,检测的仍是桩身阻抗变化,一般不判定缺陷性质。在桩身情况复杂或存在多处阻抗变化时,可优先考虑采用实测曲线拟合法判定桩身完整性。式(6.4.8—1)适用于截面基本均匀桩的桩顶下第一个缺陷的程度定量计算。当有轻微缺陷,并确认为水平裂缝(如预制桩的接头缝隙)时,裂缝宽度 δ ,可按下式计算:

$$\delta_x = \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_h} \left(V - \frac{F - R_x}{Z} \right) \cdot dt \quad (\text{说明 } 6.4.8)$$

6.4.9 采用实测曲线拟合法分析桩身扩径、桩身截面渐变或多变的情况,需注意合理选择上参数。高应变法锤击的荷载上升时间一般不小于2ms,对桩身浅部缺陷位置的判定存在盲区,也无法根据式(6.4.8—1)来判定缺陷程度。只能根据力和速度曲线的比例失调程度来估计浅部缺陷程度,不能定量给出缺陷的具体部位,尤其是锤击力波上升非常缓慢时,还大量耦合有土阻力的影响。对浅部缺陷桩,采用低应变反射波法检测并进行缺陷定位。

7.1.1、7.1.2 单桩抗压静载试验是公认的检测基桩竖向抗压承载力最直观、最传统的方法。试验方法分为慢速和快速维持荷载法,当有成熟的地区经验时,工程桩验收检测可采用快速维持荷载法。

铁路工程基桩多为长大桩,设计荷载大且多处于复杂地理环境,传统的静载方法难于适应。因此,一种新的静载试验方法——自平衡法应运而生。与传统的静载方法不同,不需要大型反力设备,通过在桩身下部(或底部)埋设加载箱测量压力、位移来完成静载试验。对于设计荷载大、地理环境复杂的桩,可采用自平衡法试验。

7.2.1 为防止加载偏心,千斤顶的合力中心应与反力装置的重心、桩轴线重合,并保证合力方向垂直。

7.2.3 采用荷重传感器(直接方式)和油压表(间接方式)两种荷载测量方式的区别在于:前者采用荷重传感器测力,不需考虑千斤

顶活塞摩擦对出力的影响;后者需通过率定换算千斤顶出力。同型号千斤顶在保养正常状态下,相同油压时的出力相对误差约为1%~2%,非正常时可高达5%。采用传感器测量荷重或油压,容易实现加卸荷与稳压自动化控制,且测量精度较高。采用压力表测定油压时,为保证测量精度,其精度等级要优于或等于0.4级,不得使用1.5级压力表控制加载。当油路工作压力较高时,有时出现油管爆裂、接头漏油、油泵加压不足造成千斤顶出力受限、压力表线性度变差等情况,因此需选用耐压高、工作压力大和量程大的油管、油泵和压力表。

7.2.4 对于机械式大量程(50 mm)百分表,《大量程百分表检定规程》JJG 379规定的1级标准为:全程示值误差和回程误差分别不超过40 μm 和8 μm ,相当于满量程测量误差不大于0.1%FS。沉降测定平面应在千斤顶底座承压板以下的桩身位置,即不得在承压板上或千斤顶上设置沉降观测点,避免因承压板变形导致沉降观测数据失实。基准桩打入地面以下足够的深度,一般不小于1 m。基准梁应一端固定,另一端简支,这是为减少温度变化引起的基准梁挠曲变形。在满足第7.2.5条的规定条件下,基准梁不宜过长,并采取有效遮挡措施,以减少温度变化和刮风下雨的影响,尤其在昼夜温差较大且白天有阳光照射时更应注意。

7.2.5 在试桩加卸载过程中,荷载将通过锚桩(地锚)、压重平台支墩传至试验桩、基准桩周围地基土并使之变形。随着试验桩、基准桩和锚桩(或压重平台支墩)三者间相互距离缩小,地基土变形对试验桩、基准桩的附加应力和变位影响加剧。

7.3.1 本条明确规定为设计提供依据的静载试验需加载至破坏,即试验进行到能判定单桩极限承载力为止。对于以桩身强度控制承载力的端承型桩,当设计另有规定时,从其规定。

7.3.2 为便于沉降测量仪表安装,试验桩顶部宜高出试坑地表;为使试验桩受力条件与设计条件相同,试坑底面宜与桩承台底标高一致。对于工程桩验收检测,当桩身荷载水平较低时,允许采用

高标号水泥砂浆将桩顶抹平的简单桩头处理方法。单桩竖向抗压静载试验中,有时会因桩身缺陷、桩身截面突变处应力集中、桩身强度不足造成桩身结构破坏,有时也因锚桩质量问题而导致试桩失败或中途停顿,故建议在试桩前后对试验桩和锚桩进行完整性检测,为分析桩身结构破坏的原因提供证据和确定锚桩能否正常使用。对于混凝土桩的抗拔静载、水平静载或高应变试验,常因拉应力过大造成桩身开裂或破损,因此承载力检测完成后的桩身完整性检测比检测前更有价值。

7.3.3.7.3.4 慢速维持荷载法是我国公认且已沿用多年的标准试验方法,也是铁路工程桩竖向抗压承载力验收检测的标准试验方法。对于工程桩验收,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根据桩顶沉降收敛情况确定。

7.3.7 测试桩侧阻力和桩端阻力时,测试数据的测读时间宜符合本规程第7.3.4条的规定。当采用人工读数时,可在每级加载后15min及加载结束前各测读一次。

7.4.1 除 $Q-s$ 、 $s-lgt$ 曲线外,还有 $s-lgQ$ 曲线。同一工程的一批试桩曲线按相同的沉降纵坐标比例绘制,满刻度沉降值不小于40mm,使结果直观、便于比较。

7.4.3 本规程单桩竖向抗压承载力的统计按《建筑地基基础设计规范》GB 50007的规定执行。也有根据统计承载力标准差大于15%时,采用极限承载力标准值折减系数的修正方法。实际操作中对桩数大于等于4根时,折减系数的计算比较繁琐,且静载检测本身是通过小样本来推断总体,样本容量愈小,可靠度愈低,而影响单桩承载力的因素复杂多变。当一批受检桩中有一根桩承载力过低,若恰好不是偶然原因造成,则该验收批一旦被接受,就会增加使用方的风险。因此规定极差超过平均值的30%时,分析、查明原因,结合工程实际综合确定。应查明是否出现桩的质量问题或场地条件变异。若低值承载力出现的原因并非偶然的施工质量

造成,则按本例依次去掉高值后取平均,直至满足极差不超过平均值30%的条件。此外,试验桩数量小于3根或桩基承台下的桩数不大于3根时,采用低值,对于仅通过少量试桩无法判明极差大的原因时,可增加试桩数量。

7.4.5 本条对检测报告中应包含的一些内容作了规定,避免检测报告过于简单,同时也有利于委托方、设计及检测部门对报告的审查和分析。

8.1.1 单桩竖向抗拔静载试验是检测单桩竖向抗拔承载力最直观、可靠的方法。试验方法为国内外惯用的慢速维持荷载法。

8.2.1 本条的要求基本同第7.2.1条。因拔桩试验时千斤顶安放在反力架上,当采用两台以上千斤顶加载时,应采取一定的安全措施,防止千斤顶倾倒或其他意外事故发生。

8.2.2 为避免加载过程中两边沉降不均造成试桩偏心受拉,当采用天然地基提供反力时,两边支座处的地基强度要相近,支座与地面的接触面积相同。为保证反力梁的稳定性,反力桩顶面直径(或桩宽)不小于反力梁的梁宽。

8.2.3~8.2.5 这三条基本参照本规程第7.2.3条~第7.2.5条执行,但要注意以下两点:

(1) 桩顶上拔量测量平面必须在桩身位置,上拔量测量点设置在桩顶以下不小于1倍桩径的桩身上,不能设置在受拉钢筋上;对于大直径灌注桩,可设置在钢筋笼内侧的桩顶面混凝土上。严禁在混凝土桩的受拉钢筋上设置位移观测点,避免因钢筋变形导致上拔量观测数据失实。为防止混凝土桩保护层开裂对上拔量测试的影响,上拔量观测点避开混凝土明显破裂区域设置。

(2) 在采用天然地基提供支座反力时,拔桩试验加载相当于给支座处地面加载。支座附近的地面也因此会出现不同程度的沉降。荷载越大,这种变形越明显。为防止支座处地基沉降对基准梁的影响,一是使基准桩与支座、试桩各自之间的间距满足第7.2.5条的规定;二是基准桩需打入试坑底面以下一定深度(一

般不小于1 m)。

8.3.1 为设计提供依据时,加载到能判别单桩抗拔极限承载力为止,或加载到桩身材料设计强度限值,这里所说的限值是对钢筋混凝土桩而言,实则为钢筋的强度设计值。考虑到可能出现承载力变异和钢筋受力不均等情况,最好适当增加试桩的配筋量。工程桩验收检测时要求加载量不低于单桩竖向抗拔容许承载力的2倍,旨在保证桩侧岩土阻力具有足够的安全储备。桩侧岩土阻力的抗力分项系数比桩身混凝土要大,比钢材要大很多,因此时常出现设计对抗拔桩有裂缝控制要求时,抗裂验算给出的荷载可能小于或远小于单桩竖向抗拔容许承载力的2倍,因此试验时的最大上拔荷载只能按设计要求确定。设计对桩上拔量有要求时也如此。对于钢筋混凝土桩,最大试验荷载不得超过钢筋的强度设计值,以避免因钢筋拔断提前中止试验或出现安全事故。除此之外,建议检测单位尽量了解设计条件,如抗裂或裂缝宽度验算、作用和抗力的考虑(如抗浮桩设计时的设防水位、桩的浮容重、抗拔阻力取值等),这些因素将对抗拔桩的配筋和承载力取值产生影响。

8.3.2 本条包含以下三个方面内容:

(1)在拔桩试验前,对混凝土灌注桩及有接头的预制桩采用低应变反射波法检查桩身质量,目的是防止因试验桩自身质量问题而影响抗拔试验成果。在静载试验中,有时会因桩身缺陷、桩身截面突变处应力集中、桩身强度不足造成桩身结构破坏,有时也因锚桩质量问题而导致试桩失败或中途停顿,故建议在试桩前后对试验桩和锚桩进行完整性检测,为分析桩身结构破坏的原因提供证据和确定锚桩能否正常使用。对于混凝土桩的抗拔静载、水平静载或高应变试验,常因拉应力过大造成桩身开裂或破损,因此承载力检测完成后的桩身完整性检测比检测前更有价值。

(2)对抗拔试验的钻孔灌注桩在浇筑混凝土前进行成孔检测,目的是查明桩身有无明显扩径现象或出现扩大头,因这类桩的抗拔承载力缺乏代表性,特别是扩大头桩及桩身中下部有明显扩

径的桩,其抗拔极限承载力远远高于长度和桩径相同的非扩径桩,且相同荷载下的上拔量也有明显差别。

(3)对有接头的PHC、PTC和PC管桩需进行接头抗拉强度验算。对电焊接头的管桩除验算其主筋强度外,还要考虑主筋墩头的折减系数以及管节端板偏心受拉时的强度及稳定性。墩头折减系数可按有关规范取0.92,而端板强度的验算则比较复杂,可按经验取一个较为安全的系数。

8.3.3 单桩竖向抗拔静载试验宜采用慢速维持荷载法。需要时,也可采用多循环加、卸载方法。

8.3.4 本条规定出现所列四种情况之一时,可终止加载。但若在较小荷载下出现某级荷载的桩顶上拔量大于前一级荷载下的5倍时,需综合分析原因。若是试验桩,必要时可继续加载,因混凝土桩当桩身出现多条环向裂缝后,其桩顶位移可能会出现小的突变,而此并非达到桩侧土的极限抗拔力。

8.4.1 拔桩试验与压桩试验一样,绘制 $U-\delta$ 曲线和 $\delta-\lg U$ 曲线。但当上述两种曲线难以判别时,也可辅以 $\delta-\lg U$ 曲线或 $\lg U-\lg \delta$ 曲线,以确定拐点位置。

8.4.2 本条前两款确定的抗拔极限承载力是土的极限抗拔阻力与桩(包括桩向上运动所带动的土体)的自重标准值两部分之和。第3款所指的“断裂”是因钢筋强度不够情况下的断裂。如果因抗拔钢筋受力不均匀,部分钢筋因受力太大而断裂,视该桩试验无效并进行补充试验,不能将钢筋断裂前一级荷载作为极限荷载。

8.4.3 工程桩验收检测时,混凝土桩抗拔承载力可能受抗裂或钢筋强度制约,而土的抗拔阻力尚未发挥到极限,一般取最大荷载或取上拔量控制值对应的荷载作为极限荷载,不能轻易外推。

9.1.1 桩的水平承载力静载试验除了桩顶自由的单桩试验外,还有带承台桩的水平静载试验(考虑承台的底面阻力和侧面抗力,以便充分反映桩基在水平力作用下的实际工作状态)、桩顶不能自由转动的不同约束条件及桩顶施加垂直荷载等试验方法,也有循环

荷载的加载方法。这些都可根据设计的特殊要求给予满足,并参考本方法进行。桩的抗弯能力取决于桩和土的力学性能、桩的自由长度、抗弯刚度、桩宽、桩顶约束等因素。试验条件要尽可能和实际工作条件接近,将各种影响降低到最小的程度,使试验成果能尽量反映工程桩的实际情况。通常情况下,试验条件很难做到和工程桩的情况完全一致,此时通过试验桩测得桩周土的地基反力特性,即地基土的水平抗力系数。它反映了桩在不同深度处桩侧土抗力和水平位移之间的关系,可视为土的固定特性。根据实际工程桩的情况(如不同桩顶约束、不同自由长度),用它确定土抗力大小,进而计算单桩的水平承载力和弯矩。因此,通过试验求得地基土的水平抗力系数具有更实际、更普遍的意义。

9.2.3 水平力作用点位置高于基桩承台底面标高,试验时在相对承台底面处产生附加弯矩,影响测试结果,也不利于将试验成果根据实际桩顶的约束予以修正。球形支座的作用是在试验过程中保持作用力的方向始终水平和通过桩轴线,不随桩的倾斜或扭转而改变。

9.2.6 为保证各测试断面的应力最大值及相应弯矩的测量精度,试桩设置时要严格控制测点的纵剖面与力作用方向之间的偏差。对承受水平荷载的桩而言,桩的破坏是由于桩身受弯矩引起的结构破坏,因此对中长桩而言,浅层土的性质起了重要作用,在这段范围内的弯矩变化也最大,为找出最大弯矩及其位置,需加密测试断面。

9.3.2 单向多循环加载法,主要是为了模拟实际结构的受力形式。由于结构物承受的实际荷载异常复杂,所以当需考虑长期水平荷载作用影响时,建议采用第7章规定的慢速维持荷载法。由于单向多循环荷载的施加会给内力测试带来不稳定因素,需要测量桩身应力或应变的试桩,采用慢速维持荷载法。

9.3.4 对抗弯性能较差的长桩或中长桩而言,承受水平荷载桩的破坏特征是弯曲破坏,即桩身发生折断,此时试验自然终止。在工

程桩水平承载力验收检测中,终止加荷条件可按设计要求或规程规定的水平位移允许值控制。

9.4.1 本条中的地基土水平抗力系数随深度增长的比例系数 m 值的计算公式仅适用于水平力作用点至试坑地面的桩自由长度为零时的情况。按桩、土相对刚度不同,水平荷载作用下的桩—土体系有两种工作状态和破坏机理:一种是“刚性短桩”,因转动或平移而破坏,相当于 $\alpha h < 2.5$ 时的情况;另一种是工程中常见的“弹性长桩”,桩身产生挠曲变形,桩下段嵌固于土中不能转动,即本条中 $\alpha h \geq 4.0$ 的情况。在 $2.5 \leq \alpha h < 4.0$ 范围内,称为“有限长度的中长桩”。《建筑桩基技术规范》JGJ 94 对中长桩的 ν_y 变化给出了具体数值(说明表 9.4.1)。在按式(9.4.1—1)计算 m 值时,先试算 αh 值,以确定 αh 是否大于或等于 4.0,若在 2.5~4.0 范围以内,调整 ν_y 值重新计算 m 值。当 $\alpha h < 2.5$ 时,式(9.4.1—1)不适用。试验得到的地基土水平抗力系数的比例系数 m 不是一个常量,而是随地面水平位移及荷载而变化。

说明表 9.4.1 桩顶水平位移系数 ν_y

桩的计算埋深	4.0	3.5	3.0	2.8	2.6	2.4
桩顶自由或铰接时的 ν_y 值	2.441	2.502	2.727	2.905	3.163	3.526

注:当 $\alpha h > 4.0$ 时取 $\alpha h = 4.0$ 。

9.4.3 对于混凝土长桩或中长桩,随着水平荷载的增加,桩侧土体的塑性区自上而下逐渐开展扩大,最大弯矩断面下移,最后形成桩身结构的破坏。所测水平临界荷载 H_{cr} 为桩身产生开裂前所对应的水平荷载。因为只有混凝土桩才会产生开裂,故只有混凝土桩才有临界荷载。

9.4.4 单桩水平极限承载力是对应于桩身折断或桩身钢筋应力达到屈服时的前一级水平荷载。

9.4.6 单桩水平容许承载力除与桩的材料强度、截面刚度、入土深度、土质条件、桩顶水平位移允许值有关外,还与桩顶边界条件

(嵌固情况和桩顶竖向荷载大小)有关。由于铁路工程的基桩桩顶嵌入承台长度通常较短,其与承台连接的实际约束条件介于固接与铰接之间,这种连接相对于桩顶完全自由时可减少桩顶位移,相对于桩顶完全固接时降低桩顶约束弯矩并重新分配桩身弯矩。如果桩顶完全固接,水平承载力按位移控制时,是桩顶自由时的2.60倍;对较低配筋率的灌注桩按桩身强度(开裂)控制时,由于桩顶弯矩的增加,水平临界承载力是桩顶自由时的0.83倍。如果考虑桩顶竖向荷载作用,混凝土桩的水平承载力将会产生变化,桩顶荷载是压力,其水平承载力增加,反之减小。

桩顶自由的单桩水平试验得到的承载力和弯矩仅代表试桩条件的情况,要得到符合实际工程桩嵌固条件的受力特性,需将试桩结果转化,而求得地基土水平抗力系数是实现这一转化的关键。考虑到水平荷载—位移关系的非线性且 m 值随荷载或位移增加而减小,有必要给出 $H-m$ 和 Y_0-m 曲线并确定 m 值;可按设计给出的实际荷载或桩顶位移确定 m 值;设计未作具体规定的,可取本条确定的水平容许承载力对应的 m 值;对低配筋率灌注桩,水平承载力多由桩身强度控制,按试验得到的 $H-m$ 曲线取水平临界荷载所对应的 m 值;对于高配筋率混凝土桩或钢桩,水平承载力按允许位移控制时,可按设计要求的水平允许位移选 m 值。

与竖向抗压、抗拔桩不同,混凝土桩在水平荷载作用下的破坏模式一般为弯曲破坏,极限承载力由桩身强度控制。所以,本条在确定单桩水平容许承载力时,未采用按试桩水平极限承载力除以安全系数的方法,而按照桩身强度、开裂或允许位移等控制因素来确定。不过,也正是因为水平承载桩的承载能力极限状态主要受桩身强度制约,通过试桩给出极限承载力和极限弯矩对强度控制设计是非常必要的。抗裂要求不仅涉及桩身强度,也涉及桩的耐久性。本条虽允许按设计要求的水平位移确定水平承载力,但根据《混凝土结构设计规范》GB 50010,只有裂缝控制等级为三级的构件,才允许出现裂缝,且桩所处的环境类别至少是二级以上(含

二级),裂缝宽度限值为 0.2 mm。因此,当裂缝控制等级为一、二级时,按本条确定的水平容许承载力就不应超过水平临界荷载。

10.1.1 钻芯法是一种微破损或局部破损检测方法,可以检测桩身混凝土质量、强度,可准确检测施工桩长、桩底沉渣厚度和桩端持力层岩土性状及厚度。

10.2.1 采用岩芯钻探的液压钻机,并配有相应的钻塔和牢固的底座,机械技术性能良好,不得使用立轴旷动过大的钻机。孔口管、扶正稳定器(又称导向器)及可捞取松软渣样的钻具根据需要选用。桩较长时,应使用扶正稳定器确保钻芯孔的垂直度。

10.2.2 为保证芯样的直径和质量要求,采用金刚石钻头进行取样,外径不小于 100 mm。另外,如钻头胎体有裂缝、缺边、少角、倾斜及喇叭口变形或径向跳动过大,不仅降低钻头寿命,而且会影响钻芯质量。

10.2.3 为了把芯样加工成符合试验要求的芯样试件,建议采用锯切方法。芯样必须用夹紧装置固定,锯切用的锯片,采用人造金刚石锯片。

10.2.4 芯样试件进行抗压强度试验时,对端面平整度及垂直度有很高的要求。为保证芯样的补平效果,满足平整度及垂直度的要求,补平器和磨平机要满足芯样制作的要求。

10.3.1 混凝土桩在浇筑混凝土时存在浇捣不均现象,不同深度或同一深度的不同位置混凝土浇捣质量可能不同,合理布置孔位,才能客观反映桩身混凝土的实际情况。考虑成孔的垂直度和钻芯孔的垂直度很难控制以及导管附近的混凝土质量相对较差,不具有代表性,本规程给出了钻芯取样的孔位布置。

10.3.2 设备安装后进行试运转,在确认正常后方能开钻。如果发现芯样侧面有明显的波浪状磨痕,或芯样端面有明显磨痕,检查塔座是否牢固稳定或重新调整钻头、扩孔器、卡簧的搭配。

10.3.3 桩顶面与钻机塔座距离大于 2 m 时,需安装孔口管。采用合金钻头开孔,开孔深为 0.3 m ~ 0.5 m 后安装孔口管,孔口管

下入时严格测量垂直度,然后固定。

10.3.4 钻机通过钻孔内循环水流,才能达到冷却钻头和排出混凝土碎屑的目的。钻进过程中,要随时观察冲洗液量和泵压的变化,正常泵压为 0.5 MPa ~ 1.0 MPa,当发现异常,查明原因后立即处理。

10.3.5 提钻卸取芯样时,使用专门的自由钳拧卸钻头和扩孔器,确保芯样完整。严禁敲打卸样,因敲打可能导致芯样损坏。

10.3.6 钻至桩底及桩身缺陷位置时,为检测桩底沉渣厚度或桩身缺陷位置及程度,采取减压、慢速的方式钻进。若遇钻具突降,立即停钻,及时测量机上余尺,准确记录孔深及有关情况。当桩端持力层为强风化岩层或土层时,可采用干钻等适宜的钻芯方法和工艺钻取沉渣并测定沉渣厚度。

10.3.7 芯样取出后,及时记录孔号、回次数、起至深度、块数、总块数、芯样质量的初步描述及钻进异常情况。芯样钻取时,对芯样混凝土、桩底沉渣、桩端持力层进行详细编录。对桩身混凝土芯样的描述包括混凝土钻进深度,芯样连续性、完整性、胶结情况、表面光滑情况、断口吻合程度,混凝土芯样是否为柱状,骨料大小分布情况,气孔、蜂窝、麻面、沟槽、离析、破碎、夹泥、松散的情况,以及取样编号和取样位置。对持力层的描述包括持力层钻进深度,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,以及取样编号和取样位置。分层岩层需分层描述。

10.3.8 截取芯样试件之前,进行芯样及标识牌拍照,取芯现场的全部记录及芯样抗压记录一起存档。

10.3.9 钻芯取样评定合格后,及时对基桩钻芯孔进行压力灌浆。

10.4.1 混凝土桩作为受力构件,薄弱部位的强度(结构承载能力)能否满足使用要求,直接关系到结构安全。综合考虑多种因素,本条规定了按上、中、下截取芯样试件的原则,同时对缺陷和多孔取样作了规定。

10.4.2 为保证岩石原始性状,选取的岩石芯样应及时包裹浸泡

在水中,避免芯样受损;根据钻取芯样和岩石单轴抗压强度试验结果综合判断岩性。

10.4.3 芯样在锯切过程中,由于受到振动、夹持不紧、偏斜等原因的影响,芯样端面的平整度和垂直度有时不能满足试验要求,需采用专门的机具进行磨平或补平。补平的厚度对芯样抗压强度会产生一些影响,补平层愈厚强度愈低,因此本规程对补平层厚度作出了限制。

10.4.4、10.4.5 芯样试件的直径、高度、垂直度、平整度均会对抗压强度试验结果产生影响,抗压强度试验前要进行芯样几何尺寸测量,其精度和偏差范围需符合相关要求。观察芯样侧面的表观混凝土粗骨料粒径,确保芯样试件平均直径大于3倍表观混凝土粗骨料最大粒径。试件若有裂缝或其他较大缺陷,对芯样抗压强度有较大的影响,不能作为抗压试验的试件。

10.5.1 芯样试件抗压强度试验对压力机及承压板的精度要求和试验步骤,与圆柱体试件是相同的,按现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081 中圆柱体试件抗压强度试验的有关规定执行。

10.5.2 芯样试件抗压状态根据基桩所处环境决定,试件在 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的清水中浸泡40 h - 48 h,从水中取出后立即进行抗压强度试验。关于芯样在水中浸泡时间的规定,主要是为了使芯样试件中的含水量达到饱和。

10.5.3 在《铁路混凝土强度检验评定标准》TB 10425 中,是以边长为150 mm 立方体试块的强度作为混凝土强度验收与评定的标准,因此芯样强度必须换算成边长150 mm 立方体试块的强度。

10.5.4 由于混凝土芯样试件抗压强度的离散性比混凝土标准试件大得多,采用《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T 50081 来计算每组混凝土芯样试件抗压强度代表值有时会出现无法确定代表值的情况,为了避免这种情况,取3个试件测值的算术平均值作为该组试件的强度值。同一根桩有2个或2个以上钻芯孔时,

综合考虑各孔芯样强度来评定桩身承载力。取同一深度部位各孔芯样试件抗压强度的平均值作为该深度的混凝土芯样试件抗压强度代表值。

10.5.5 在桩身受力过程中,桩身承载力受最薄弱部位的混凝土强度控制。因此,取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。

10.5.6 岩石芯样试件数量按每组芯样3个芯样试件进行抗压试验。当岩石芯样抗压强度试验仅仅是配合判断持力层岩性时,检测报告可不给出岩石饱和单轴抗压强度标准值,只给出平均值;当需要确定岩石饱和单轴抗压强度标准值时,按《铁路工程岩石试验规程》TB 10115 执行。

10.6.2 单桩的钻芯孔为2个或2个以上时,需按各个钻芯孔芯样质量综合评定受检基桩质量。如果不同钻芯孔的芯样在同一深度部位均存在缺陷,桩身缺陷类别判重一些;如果不同钻芯孔的芯样在同一深度,只有一个孔存在缺陷,其他孔芯样良好,桩身缺陷类别判轻一些。按芯样特征判定完整性和通过芯样试件抗压试验判定桩身强度是否满足设计要求在内容上相对独立。但是,除桩身裂隙外,根据芯样特征描述,不论缺陷属于哪种类型,都指明或相对表明桩身混凝土质量差,即存在低强度区这一共性。

(1) 蜂窝、麻面、沟槽、离析等缺陷程度根据其芯样强度试验结果判断。若无法取样或不能加工成试件,缺陷判重一些。

(2) 芯样连续、完整、胶结好或较好、骨料分布均匀或基本均匀、断口吻合或基本吻合;芯样侧面无表观缺陷,或虽有气孔、蜂窝、麻面、沟槽,但能够截取芯样制作成试件;芯样试件抗压强度代表值不小于混凝土设计强度等级,则判定基桩的混凝土质量满足设计要求。

(3) 芯样任一段松散、夹泥、严重离析或分层,钻进困难或无法钻进,则判定基桩的混凝土质量不满足设计要求;若仅在一个孔

中出现前述缺陷,而在其他孔同深度部位未出现,为确保质量,仍需进行工程处理。

(4)局部混凝土破碎、无法取样或虽能取样但无法加工成试件,一般判定为Ⅲ类桩。但是,当钻芯孔数为3个时,若同一深度部位芯样质量均如此,判为Ⅳ类桩;如果仅一孔的芯样质量如此,且长度小于100mm,另两孔同深度部位的芯样试件抗压强度较高,判为Ⅱ类桩。

10.6.3 基桩成桩质量按单桩进行评价,不应根据几根桩的钻芯结果对整个工程桩基础进行评价。钻芯法检测时,对混凝土单桩进行成桩质量评定,除桩身完整性和芯样试件抗压强度代表值外,根据需要判断桩底沉渣厚度、桩端持力层岩土性状是否满足或达到设计及规范要求。