

目 次

1	总则	(1)
2	术语	(2)
3	基本规定	(4)
3.1	一般规定	(4)
3.2	试验检测目的与方法选择	(4)
3.3	试验检测工作程序	(5)
3.4	试验检测数量	(6)
3.5	验证与扩大检测	(8)
3.6	试验检测报告	(8)
4	轴向抗压承载力	(9)
4.1	一般规定	(9)
4.2	轴向抗压静载荷试验	(10)
4.3	自平衡法	(14)
4.4	高应变法	(17)
5	轴向抗拔承载力	(23)
5.1	一般规定	(23)
5.2	轴向抗拔静载荷试验	(23)
5.3	锚杆嵌岩桩的锚杆抗拔静载荷试验	(24)
6	水平承载力	(27)
6.1	一般规定	(27)
6.2	仪器设备	(27)
6.3	试验方法	(28)
6.4	成果分析	(29)
7	分层侧摩阻力试验	(30)
7.1	一般规定	(30)
7.2	仪器设备	(30)
7.3	试验方法和成果分析	(31)
8	桩身完整性	(33)
8.1	一般规定	(33)
8.2	高应变法	(33)

8.3	低应变法	(34)
8.4	钻芯法	(36)
8.5	声波透射法	(40)
附录 A	打入桩可打性分析	(47)
附录 B	桩的试打测试与打桩过程监测	(50)
附录 C	混凝土桩桩头处理	(52)
附录 D	静载荷试验记录表	(53)
附录 E	水平承载力系数 m 值的计算方法	(55)
附录 F	芯样试件加工和测量	(57)
附录 G	本规范用词说明	(58)
引用标准名录		(59)
附加说明	本规范主编单位、参编单位、主要起草人、主要审查人、总校人员 和管理组人员名单	(60)
条文说明		(63)

1 总 则

- 1.0.1** 为统一水运工程基桩试验检测技术要求,做到技术先进、数据准确、评价正确、安全适用,为设计、施工及验收提供可靠依据,制定本规范。
- 1.0.2** 本规范适用于水运工程基桩的试验和检测。
- 1.0.3** 水运工程基桩试验检测除应符合本规范外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 基桩 Single Pile

桩基础中的单桩。

2.0.2 工程桩 Engineering Pile

在工程中使用的,最终在建、构筑物中受力起作用的桩。

2.0.3 试验桩 Test Pile

在桩基础施工前,用以验证设计参数是否合理或检验桩基极限承载力而安排的桩。试验桩可以是工程桩,也可以是根据设计要求试沉的桩。

2.0.4 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性指标。

2.0.5 桩身缺陷 Pile Defects

在一定程度上导致桩身完整性恶化,引起桩身结构强度和耐久性降低的桩身断裂、裂缝、缩颈、夹泥(杂物)、空洞、蜂窝、松散等不良现象的统称。

2.0.6 分层侧摩阻力试验 Pile Shaft Resistance Test

通过桩身应力应变测试,计算对应荷载作用下桩侧阻力的试验检测方法。

2.0.7 基桩静载试验 Static Loading Test of Foundation Pile

在桩顶部逐级施加轴向压力、轴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,以确定相应的基桩轴向抗压承载力、基桩轴向抗拔承载力、基桩水平承载力的试验。

2.0.8 锚杆抗拔承载力 Pull-out Capacity of Anchorage

锚杆在静荷载作用下达到破坏状态前或出现不可接受继续承载的位移时所对应的荷载。

2.0.9 自平衡法 Self-balanced Method

基桩承载力试验的一种方法。将荷载箱置于桩身平衡点处,通过试验数据绘制上、下段桩的荷载—位移曲线,从而得到基桩轴向承载力。

2.0.10 基桩可打性分析 Drivability Analysis of Pile

打桩施工前,根据地质条件、承载力要求、桩型尺寸、桩端设计高程、打桩锤参数等,模拟计算锤击数、贯入度、基桩承载力、土阻力恢复系数、桩身压应力及拉应力等,从而判断打桩设备的匹配性和基桩的可打入状态。

2.0.11 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的强度,判定或鉴别桩端岩土性状的方法。

2.0.12 低应变法 Low Strain Integrity Testing

采用低能量瞬态或稳态方式在桩顶激振,实测桩顶部的速度时程曲线,或在实测桩顶部的速度时程曲线的同时实测桩顶部的力时程曲线。通过波动理论的时域分析或频域分析,对桩身完整性进行判定的检测方法。

2.0.13 高应变法 High Strain Dynamic Testing

用重锤冲击桩顶,实测桩顶附近或桩顶部的速度和力时程曲线,通过波动理论分析,对基桩轴向抗压承载力和桩身完整性进行判定的检测方法。

2.0.14 声波透射法 Crosshole 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,对桩身完整性进行检测的方法。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 基桩试验检测可分为为设计、施工提供依据的试验桩试验和为工程验收提供依据的工程桩检测。

3.1.2 水运工程基桩试验检测应综合考虑地质条件、桩基类型、成桩工艺、桩身材质、各种试验检测方法的特点和适用范围等因素,合理选择试验检测方法,确定试验检测内容和数量。

3.1.3 根据工程情况和设计要求,试验桩试验宜包括下列内容:

- (1) 打入桩施工前的可打性分析;
- (2) 打入桩的打桩过程监测;
- (3) 基桩完整性检测;
- (4) 基桩承载力试验;
- (5) 分层侧摩阻力试验。

3.1.4 基桩轴向承载力除下列情况外应根据静载荷试验确定:

- (1) 当附近工程有试桩资料,且沉桩工艺相同,地质条件相近时;
- (2) 附属建筑物;
- (3) 桩数较少的建筑物,并经技术论证;
- (4) 有其他可靠的替代试验方法时。

3.1.5 基桩静载荷试验前应先进进行桩身完整性检测。

3.1.6 桩身完整性分类应符合表 3.1.6 的规定,桩身完整性类别为 I 类、II 类的桩应判为“合格”,桩身完整性类别为 III 类、IV 类的桩应判为“不合格”。

表 3.1.6 桩身完整性分类

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

3.2 试验检测目的与方法选择

3.2.1 试验桩和工程桩的试验检测应根据试验检测目的、方法的适应性、桩基的设计条件、成桩工艺等综合确定,按表 3.2.1 合理选择试验检测方法。必要时,应选择两种或两种以上的检测方法。

表 3.2.1 试验检测目的及方法

试验目的	试验检测及分析方法
确定基桩轴向抗压极限承载力	轴向抗压静载荷试验、自平衡法、高应变法
判定轴向抗压承载力是否满足设计要求	轴向抗压静载荷试验、自平衡法、高应变法
验证高应变法的基桩轴向抗压承载力检测结果	轴向抗压静载荷试验、自平衡法
确定基桩轴向抗拔极限承载力	轴向抗拔静载荷试验、自平衡法
判定轴向抗拔承载力是否满足设计要求	轴向抗拔静载荷试验、自平衡法
确定桩的分层侧摩阻力	分层侧摩阻力试验
确定基桩水平临界荷载和极限承载力,推定土抗力参数	水平承载力试验
判定水平承载力或水平位移是否满足设计要求	水平承载力试验
通过桩身应变、位移测试,测定桩身弯矩	水平承载力试验
确定嵌岩桩锚杆的抗拔极限承载力	锚杆抗拔静载荷试验
判定嵌岩桩锚杆的承载力是否满足设计要求	锚杆抗拔静载荷试验
分析基桩轴向极限承载力、总锤击数和终锤贯入度,为选择合理的打桩锤和制定合理的沉桩标准提供依据	可打性分析
检测桩身缺陷及其位置,判定桩身完整性类别	高应变法、低应变法、声波透射法
检测灌注桩桩长、桩身混凝土强度、桩底沉渣厚度,判定或鉴别桩端持力层岩土性状,判定桩身完整性类别	钻芯法
分析桩侧和桩端土阻力	静载荷试验、自平衡法、高应变法
进行打桩过程监测	高应变法

3.2.2 轴向抗压承载力试验宜选择轴向抗压静载荷试验;对于打入桩,试验桩在进行其他荷载试验前应先进行高应变法试验检测。

3.2.3 打入桩打桩施工前,应根据地质条件、承载力要求、桩端设计高程、打桩锤参数等进行可打性分析,分析基桩轴向承载力、总锤击数和终锤贯入度。可打性分析可按附录 A 进行。

3.2.4 有下列情况之一时,应进行桩身的分层侧摩阻力试验:

- (1) 场地地质条件复杂、土层变化大;
- (2) 工程区域分层侧摩阻力的选取缺少工程经验。

3.3 试验检测工作程序

3.3.1 基桩试验检测工作应包括调查和资料收集、制定试验检测方案、实施前准备、现场试验检测、数据分析和结果评价、出具试验检测报告。必要时,还应进行验证检测或扩大检测。

3.3.2 调查、资料收集宜包括下列内容:

- (1) 收集工程的岩土工程勘察资料、桩基设计文件、施工记录,了解施工工艺和施工过程中出现的异常情况;

(2) 委托方的具体要求；

(3) 试验检测项目现场实施的可行性。

3.3.3 试验检测方案的主要内容应包括工程概况、水文地质条件、桩基设计要求、施工工艺、试验检测目的、试验检测方法和数量、受检桩选取原则、试验检测进度,以及所需的其他配合事项。

3.3.4 试验检测用仪器设备应在检定或校准的有效期内。基桩试验检测前,应对仪器设备进行检查调试。

3.3.5 进行基桩试验检测应满足下列要求。

3.3.5.1 采用低应变法或声波透射法检测时,受检桩混凝土强度不应低于设计强度的70%,且不应低于15MPa。

3.3.5.2 采用钻芯法检测时,受检桩的混凝土龄期应达到28d,或受检桩同条件养护试件强度达到设计强度要求。

3.3.5.3 进行嵌岩桩锚杆抗拔承载力检测时,锚固体抗压强度应达到70%标准值以上。

3.3.5.4 进行桩的轴向极限承载力试验检测时,打入桩在沉桩后到进行检测的间歇时间,砂性土中不应少于3d,黏性土中不应少于14d,淤泥或淤泥质土中的摩擦桩不应少于25d,水冲沉桩不应少于28d;对灌注桩,除应满足上述要求外,其桩身混凝土抗压强度应达到设计要求。

3.3.5.5 静载荷试验桩进行复压或抗拔试验时,间歇时间应大于3d。

3.3.6 验收检测的受检桩选择,应考虑下列情况:

- (1) 质量有疑问的桩;
- (2) 局部地基条件出现异常的桩;
- (3) 设计方指定需要检测的桩;
- (4) 施工工艺不同的桩。

3.3.7 发现检测数据异常时,应查找原因,重新检测。

3.3.8 现场操作环境不满足仪器设备使用要求时,应采取有效的防护措施。

3.4 试验检测数量

3.4.1 试验桩的试验应依据设计确定的基桩受力状态,采用相应的静载荷试验方法确定基桩极限承载力或验证基桩承载力。轴向静载荷试验桩的数量应根据地质条件、桩的材质、桩径、桩长、桩端型式和工程桩总数等确定;总桩数在500根以下时,试验桩数量不应少于2根;总桩数每增加500根,宜增加1根试验桩。根据地质条件、桩的类型、当地经验等情况可适当增减。基桩水平承载力试验桩的数量应根据要求和工程地质条件等确定,不宜少于2根。

3.4.2 灌注桩桩身完整性的检测数量应符合下列规定。

3.4.2.1 桩身混凝土完整性检测数量应为100%桩数,检测方法可采用低应变法或声波透射法;对桩径大于1000mm、泥面以下长度大于30m或地质条件复杂的桩,应采用声

波透射法检测。

3.4.2.2 钻芯法检测应在桩身混凝土达到设计强度后进行,检测数量按桩的总数抽取1%~3%,且不少于3根。对于嵌岩灌注桩,钻芯法检测数量宜取桩总数的3%~5%,且不少于2根。对质量有疑问的桩应逐根检查。

3.4.3 混凝土预制桩桩身完整性检测应符合下列规定。

3.4.3.1 对于混凝土预制管桩,条件允许时,宜采用孔内摄像进行桩身完整性检测。

3.4.3.2 混凝土预制桩沉桩后,应采用低应变法对桩身质量进行抽样检测,检测数量不得少于总桩数的10%,且不得少于10根;对于多节预制混凝土桩,检测桩数不得低于总桩数的20%,且不得少于10根;混凝土预制桩有现场接桩、沉桩中发生贯入度过大或存在其他影响桩身结构完整性的异常情况时,应逐根进行检测。

3.4.4 当符合下列条件之一时,应采用静载荷试验进行基桩轴向承载力的验收检测:

(1) 施工前未按第3.4.1条进行试验桩静载荷试验的工程;

(2) 桩身有明显缺陷,对桩身结构承载力有影响,采用完整性检测难以确定其影响程度;

(3) 采用新桩型或新工艺的桩基工程;

(4) 施工前进行了基桩静载荷试验,但施工过程中变更了工艺参数或施工质量出现了异常;

(5) 场地地质条件复杂,桩施工质量可靠性低的桩基工程。

3.4.5 基桩轴向抗压承载力检测数量应符合下列规定。

3.4.5.1 采用静载荷试验时,检测数量和要求应符合第3.4.1条规定。

3.4.5.2 预制桩或满足高应变法适用范围的灌注桩,可采用高应变法检测基桩轴向抗压承载力,检测数量宜取总桩数的2%~5%,且不得少于5根。地质条件复杂、桩的种类较多或其他特殊情况,可适当增加检测数量。

3.4.5.3 对于端承型大直径混凝土灌注桩,受设备或场地条件无法用锚桩法或堆载法等常规方式进行基桩轴向抗压承载力检测时,宜采用自平衡法进行基桩轴向抗压承载力检测。自平衡法无法采用时,可采用钻芯法测定桩底沉渣厚度,并钻取桩端持力层岩土芯样检验桩端持力层,检测数量不应少于总桩数的10%,且不应少于10根。

3.4.6 需要控制打桩过程中的桩身应力、确定沉桩工艺参数、选择沉桩设备或选择桩端持力层时,宜采用高应变法进行试打桩的打桩过程监测。桩的试打测试和打桩过程监测相关要求可参照附录B。在相同施工工艺和相近地基条件下,试打桩数量不应少于3根。需要复打测试校核的,复打桩数不宜少于3根。

3.4.7 对轴向抗拔或水平承载力有设计要求的桩基工程,基桩承载力验收检测应采用基桩轴向抗拔或水平静载试验,检测数量不应少于总桩数的1%,且不应少于3根。

3.4.8 任何一种新型锚杆或未曾使用过锚杆的岩层均应进行破坏性试验,破坏性试验锚杆的数量不宜少于2根。锚杆嵌岩桩应进行验证性试验,验证性试验锚杆的数量,根据桩的使用要求和基岩状况,宜控制在锚杆总数的20%~40%。当该地区基岩层地质条件好,且做过破坏性试验,验证性试验的数量宜取下限,反之宜取上限。

3.5 验证与扩大检测

- 3.5.1 基桩轴向抗压承载力验证应采用基桩轴向抗压静载荷试验。
- 3.5.2 桩身浅部缺陷可采用开挖验证。
- 3.5.3 桩身或接头存在裂隙的预制桩可采用高应变法验证,管桩可采用孔内摄像的方式验证。
- 3.5.4 单孔钻芯检测发现桩身混凝土存在质量问题时,可在同一基桩增加钻孔验证,并根据前、后钻芯结果对受检桩重新评价。
- 3.5.5 低应变法检测中不能明确桩身完整性类别的桩或Ⅲ类桩,可根据实际情况采用静载荷试验法、钻芯法、高应变法或开挖等方法进行验证检测。
- 3.5.6 桩身混凝土实体强度可在桩顶浅部钻取芯样验证。
- 3.5.7 采用低应变法、高应变法和声波透射法检测桩身完整性发现有Ⅲ、Ⅳ类桩存在,且检测数量覆盖的范围不能为补强或设计变更方案提供可靠依据时,宜采用原检测方法,在未检桩中继续扩大检测。当原检测方法为声波透射法时,可改用钻芯法。
- 3.5.8 基桩承载力或钻芯法检测结果不满足设计要求时,应分析原因并扩大检测。
- 3.5.9 验证检测或扩大检测采用的方法和检测数量应得到工程建设有关方的确认。

3.6 试验检测报告

- 3.6.1 试验检测报告应包括下列内容:
 - (1)委托方全称,工程名称、地点,建设、勘察、设计、监理和施工单位,基础、结构形式,层数,设计要求,试验检测目的,试验检测依据,试验检测数量,试验检测日期;
 - (2)地基条件描述;
 - (3)受检桩的桩型、尺寸、桩号、桩位、桩顶高程和相关施工记录;
 - (4)试验检测方法,试验检测仪器设备型号、编号、检定证书号,试验检测过程叙述;
 - (5)受检桩的试验检测数据,实测与计算分析曲线、表格和汇总结果;
 - (6)与试验检测内容相应的试验检测结论。
- 3.6.2 试验检测报告封面应包括报告标题、工程名称、工程地点、报告编号、试验单位名称、试验或检测资质证书编号及出具报告日期。
- 3.6.3 试验检测报告扉页应由试验检测人员、校核人员、审核人员、授权签字人签名。
- 3.6.4 试验检测报告封面的左上角应加盖计量认证章。封面和结论页应加盖试验单位检测报告专用章。

4 轴向抗压承载力

4.1 一般规定

4.1.1 轴向抗压承载力试验检测可用于试验桩轴向抗压极限承载力的确定和工程桩轴向抗压承载力的检测。

4.1.2 确定试验桩轴向抗压极限承载力的试验,宜在初步设计阶段进行;工程桩轴向抗压承载力的检测,可在工程施工期间进行。

4.1.3 确定轴向极限抗压承载力的试验应加载至破坏;工程桩轴向抗压承载力的检测,最大加载量应达到设计要求。

4.1.4 轴向抗压静载荷试验可采用慢速维持荷载法(慢速法)或快速维持荷载法(快速法),有经验时也可采用循环法、恒载法等方法。外海试桩宜采用快速法。载荷试验中需测定桩的轴向刚度系数时,在永久荷载标准值到永久荷载与可变荷载标准值的组合值之间,应至少往复加卸载3次,并应取趋于稳定的一次循环的首尾点进行计算。

4.1.5 试验桩的位置应根据工程总体布置、工程进度、地质、地形、水文条件和设计要求等确定。试验桩的尺寸、入土深度和进入持力层的深度应具有代表性。

4.1.6 距离静载荷试验桩3m~10m的范围内应具有钻孔资料,钻孔底高程应低于桩端高程,试验桩桩端与钻孔孔底的高程差不宜小于3倍桩径或桩宽,对于摩擦桩桩端与孔底的高程差取值,一般黏性土宜取5m~8m;老黏性土、中密和密实砂土宜取3m~5m;碎石类土宜取2m。

4.1.7 试验桩桩身强度及压屈稳定应按预估最大试验荷载进行验算。

4.1.8 地质情况复杂且缺乏沉桩经验时,宜根据相应的钻孔资料,选择有代表性的区域进行可打性分析。必要时应进行试沉桩,其规格应与工程桩一致,且附近应有钻孔资料。

4.1.9 工程桩进行轴向抗压承载力验收检测时,加载量应符合设计要求。设计没有规定时,加载量应满足下列要求:

- (1) 打入桩,加载量不小于设计要求的基桩轴向抗压承载力设计值的1.4倍;
- (2) 灌注桩,加载量不小于设计要求的基桩轴向抗压承载力设计值的1.6倍;
- (3) 嵌岩桩,加载量不小于设计要求的基桩轴向抗压承载力设计值的1.7倍。

4.1.10 在水域进行静载荷试验应搭设牢固的试桩平台。平台不得与试验桩和基准桩相连,其高程应考虑水位和风浪等的影响。平台应设置必要的护栏、人行爬梯、安全标识、信号灯和救生设备等安全设施,并配备通信和交通等设备。

4.1.11 试验检测不得在大风、大浪等气象水文条件恶劣情况下进行。静载荷试验检测

期间,距离桩 50m 范围内不得进行打桩作业,并应避免各种振动影响,严禁船舶碰撞试桩平台。

4.1.12 试验检测前的准备工作应包括下列内容:

- (1) 收集工程总体布置的有关资料;
- (2) 收集工程所在区域的地质、地形、水文和气象等有关资料;
- (3) 收集试验桩、基准桩、锚桩和工程桩的结构图、沉桩资料和动测试验资料;
- (4) 编制试验大纲和进行试验设计;
- (5) 试验检测采用的计量器具和千斤顶应按有关规定进行检定;
- (6) 试验桩内预埋必要的应力应变等测试元件。

4.2 轴向抗压静载荷试验

4.2.1 水上基桩的轴向抗压静载荷试验检测宜采用锚桩法。锚桩应进行抗拔能力验算。当锚桩反力不足时,可叠加部分压载。

4.2.2 锚桩法轴向抗压静载荷试验过程中应对锚桩上拔量进行监测,其上拔量应控制在设计允许范围内。

4.2.3 对于轴向抗压静载荷试验,试验桩、锚桩沉桩的过程应进行沉桩控制,试验桩和锚桩的桩顶偏位不应大于 100mm,试验桩纵轴线倾斜度不应大于 1/200,锚桩纵轴线倾斜度不应大于 1/100,并进行记录。

4.2.4 试验装置应由反力系统、加载系统和观测系统三部分组成。锚桩法轴向抗压静载荷试验装置示意图见图 4.2.4-1,堆载法轴向抗压静载荷试验装置示意图见图 4.2.4-2。

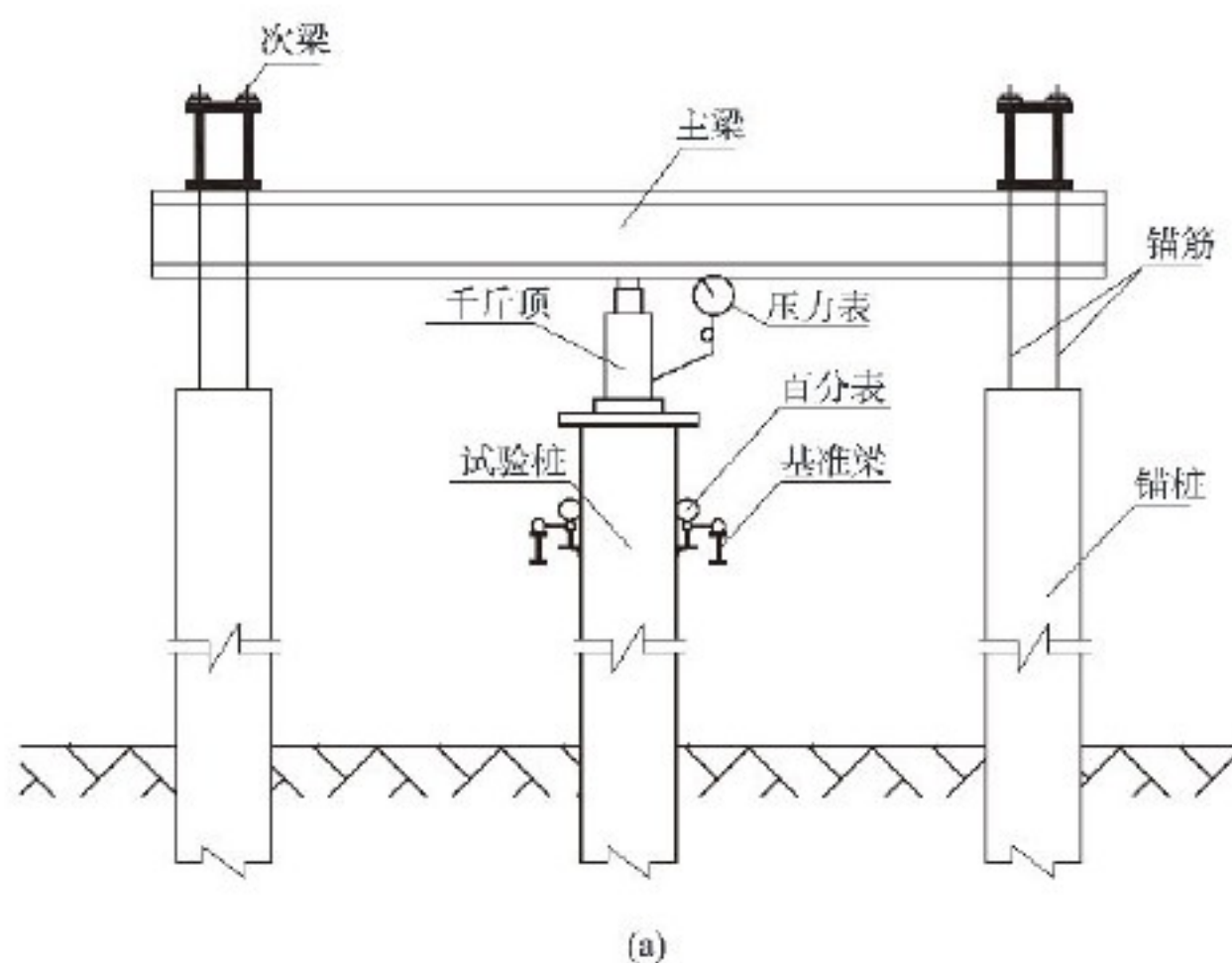


图 4.2.4-1

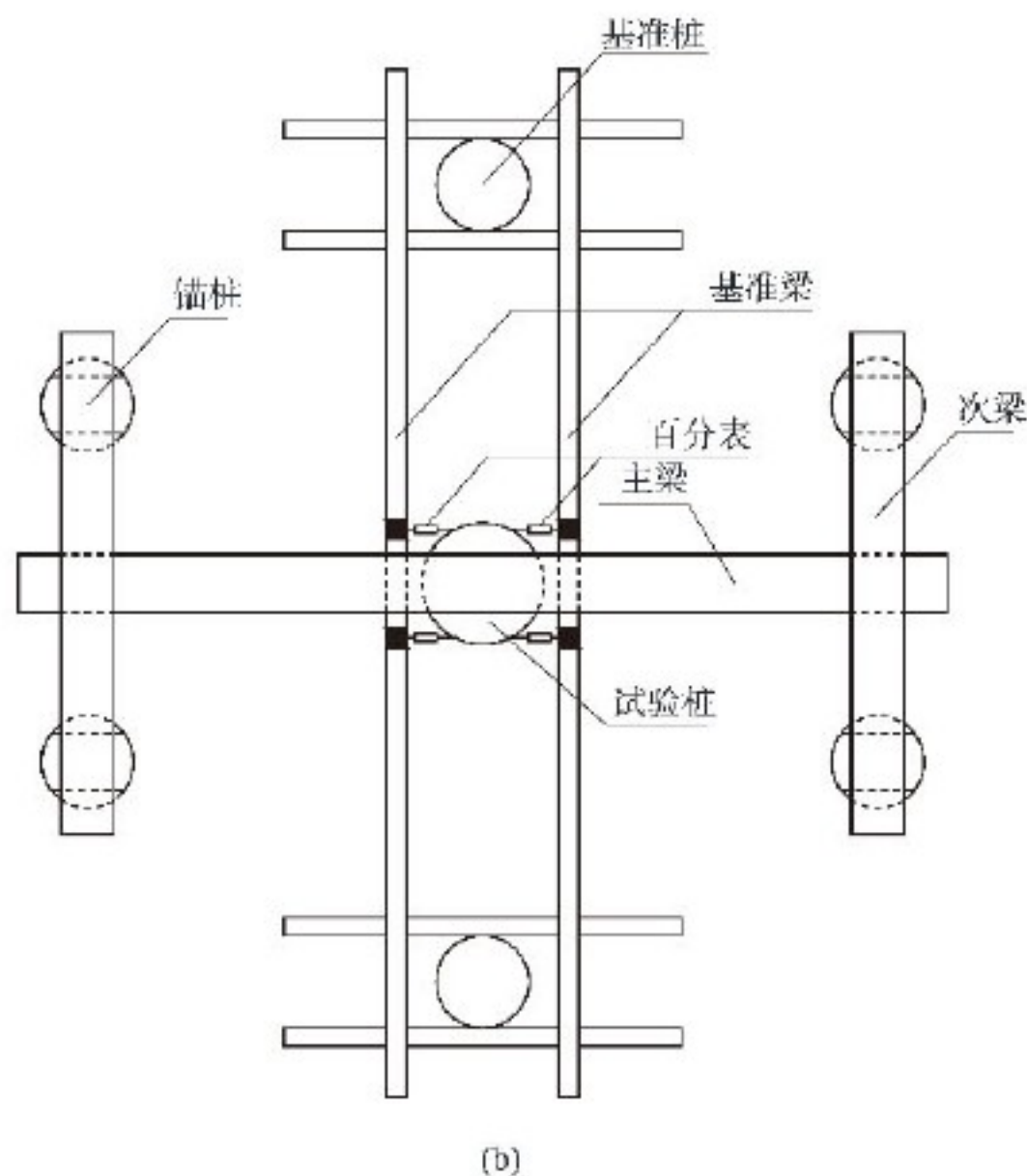


图 4.2.4-1 锚桩法轴向抗压静载荷试验装置示意图
(a)立面图;(b)平面图

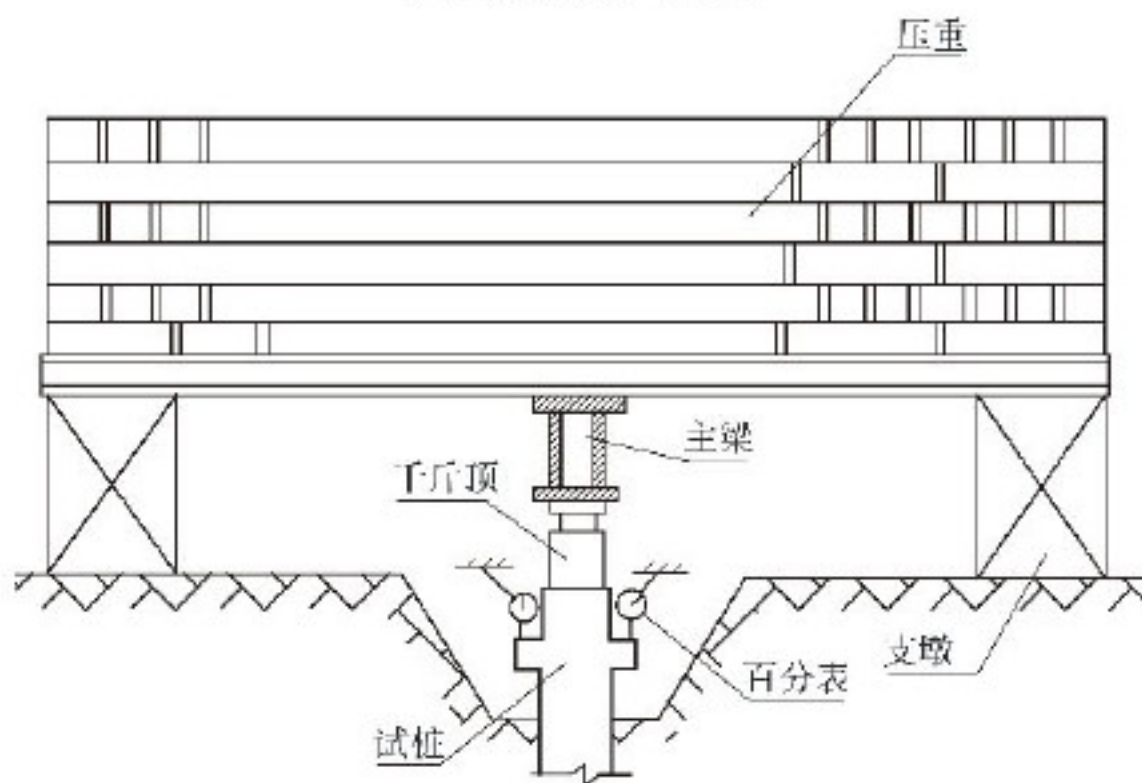


图 4.2.4-2 堆载法加载示意图

4.2.5 反力系统应根据现场条件,选择锚桩反力装置、压重平台反力装置、锚桩压重联合反力装置等,且应符合下列规定。

- 4.2.5.1 承载能力应为预估最大试验荷载的 1.3 倍~1.5 倍。
- 4.2.5.2 受力构件应满足强度和变形要求。
- 4.2.5.3 反力系统应便于安全安装和拆卸。
- 4.2.5.4 压重平台反力装置的压重应在检测前一次加足,并均匀稳固地堆置于平台

上。压重施加于地基的压应力不宜大于地基承载力设计值的 1.5 倍。

4.2.5.5 采用锚桩和压重联合提供反力时,压载重物应对称堆放,并应考虑反力系统的整体稳定。

4.2.6 加载系统应符合下列规定。

4.2.6.1 千斤顶的额定加载能力应为预估最大试验荷载的 1.3 倍~1.5 倍。使用 2 台及以上千斤顶时,应采用同一型号的千斤顶,同步并联。

4.2.6.2 千斤顶加载量的量测宜采用压力表,也可采用压力传感器或者荷载传感器。压力表精度应优于或等于 0.4 级,压力表的额定量程应满足千斤顶额定加载能力的需要,压力传感器或荷载传感器的测量误差不应大于 1%。

4.2.6.3 高压油泵加压时,宜采用自动稳压措施。

4.2.6.4 压力表、油泵、油管在最大试验荷载时的压力不应大于规定工作压力的 80%。

4.2.7 设备安装应符合下列规定。

4.2.7.1 反力系统安装前,应按试验要求对桩头进行处理。混凝土桩头处理可参照附录 C。

4.2.7.2 反力系统应以试验桩为中心对称布置,荷载重心应与试验桩的轴线相吻合。

4.2.7.3 采用 2 台及以上千斤顶时,其合力应通过试验桩的纵轴线。

4.2.7.4 千斤顶与试验桩、反力梁间应设置钢垫块。

4.2.8 观测系统应符合下列规定。

4.2.8.1 基准桩宜采用 2 根,并不得与其他桩相连。基准梁应具有足够的刚度,安设在基准桩上,一端固定,另一端简支。

4.2.8.2 沉降测量宜采用 4 个位移计或百分表,沿两个方向对称布置,沉降测量平面宜设在桩顶下 0.2m~1.0m 的位置。严禁在桩顶钢垫块上设置沉降测量点。

4.2.8.3 锚桩上拔量可采用位移计或百分表进行监测。

4.2.8.4 沉降测量仪表量程应为 30mm~100mm,分辨率应优于或等于 0.01mm,测量误差不得大于 0.1%FS。

4.2.8.5 沉降测量仪表应采用磁性表座固定在基准梁上,测杆轴线应与观测点的位移方向一致。

4.2.8.6 试验过程中,应采取防雨、防晒、防振和防碰撞等措施。

4.2.9 锚桩应以试验桩为中心对称布置。试验桩与锚桩、基准桩的中心距不应小于 4 倍桩径或桩宽,且不应小于 2m;基准桩与锚桩的中心距不应小于 3 倍桩径或桩宽,且不应小于 2m。对于桩端进入良好持力层且桩径大于或等于 1.2m 的大直径试验桩,其与锚桩、基准桩的中心距不应小于 3 倍桩径。采用堆载法试验时,试验桩中心距压重平台支墩边不应小于 4 倍桩径或桩宽,且不应小于 2m;基准桩距压重平台支墩边不应小于 3 倍桩径或桩宽,且不应小于 2m。

4.2.10 加载、卸载均应分级进行,宜采用等量分级。每分级荷载可为预估最大试验荷载的 1/10~1/12,第一级可按 2 倍分级荷载加载;每级卸载可为分级荷载的 2 倍。加载、卸

载时应确保荷载平稳、连续、无冲击和无超载。每级加载、卸载时间不宜少于 1min。

4.2.11 当采用快速法加载时,每级荷载应维持 60min 再施加下一级荷载。在外海气象、水文条件恶劣且桩端进入良好持力层的情况下,快速法也可采用 30min 施加一级荷载。

4.2.12 当采用慢速法加载时,桩顶在某级荷载作用下,60min 内对应的沉降值小于 0.1mm,可定为该级沉降达到稳定。

4.2.13 每一级荷载维持时间应按表 4.2.13 的规定执行。

表 4.2.13 每级荷载维持时间

荷 载	试验方法		
	快速法		慢速法
新加载级	60min	30min	至 60min 内对应的沉降值小于 0.1mm 为止
卸载级	15min	15min	60min
卸载为零	60min	30min	180min
循环加载、卸载的途径荷载级	5min	5min	15min
循环加载、卸载的首尾荷载级	15min	15min	60min

4.2.14 加载时,沉降测读时间依次应为 0min、5min、10min、15min、30min,其后应每隔 30min 测读一次,直至达到荷载维持时间的规定为止。卸载时,快速法测读时间间隔应为 5min;慢速法测读时间依次应为 0min、15min、30min、60min。卸载至零时应测读一次,维持时间结束时再测读一次。

4.2.15 试验中各项观测数据应及时记录,并当场做数据整理汇总。手工记录汇总格式可参照附录 D。异常情况时应及时做详尽记录。汇总后,应绘制荷载—沉降($Q-s$)曲线和沉降—时间对数($s-lgt$)曲线等。

4.2.16 符合下列条件之一时,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 倍或 $Q-s$ 曲线出现可以判断极限承载力的陡降段,且桩顶总沉降量大于 40mm;

(2) 采用慢速维持荷载法试验时,在某级荷载作用下,24h 未达到稳定;

(3) $Q-s$ 曲线没有明显陡降段,桩顶总沉降量达 60mm~80mm 或达到设计要求的最大允许沉降量;

(4) 验证性试验已达到设计要求的最大加载量。

4.2.17 桩的轴向抗压极限承载力判定应符合下列规定。

4.2.17.1 $Q-s$ 曲线有可以判定极限承载力的陡降段时,可取明显陡降段起始点相对应的荷载作为极限承载力。陡降段的起始点可采用下列方法之一确定:

(1) 当 $\frac{\Delta s_n}{\Delta Q_n} \leq f(L)$, 而 $\frac{\Delta s_{n+1}}{\Delta Q_{n+1}} > f(L)$ 时,或 $\frac{\Delta s_{n+1}}{\Delta Q_{n+1}} / \frac{\Delta s_n}{\Delta Q_n} > 5$ 且 $s_{n+1} > 40\text{mm}$ 时, n 点

对应的荷载为极限承载力,见图 4.2.17(a), $f(L)$ 单位为 mm/kN,按下式计算:

$$f(L) = \frac{3.3}{L} - 0.04 \quad (4.2.17)$$

式中 L ——桩长(m);

(2) 当 $Q/Q_{max} - s/d$ 曲线有明显陡降, 挤土桩的曲线斜率开始转变为大于 0.3 或大直径开口管桩等低挤土管桩的曲线斜率开始转变为 0.2 的点对应的荷载为极限承载力, 其中 Q_{max} 为试验所加的最大荷载, s 为沉降, d 为桩径;

(3) 在 $s-lgt$ 曲线中取曲线斜率明显变陡或曲线尾部明显向下曲折的前一级荷载作为极限承载力。

4.2.17.2 加载终止条件符合第 4.2.16 条(2)的情况, 但 $Q-s$ 曲线上没有可判定极限承载力的陡降段时, 可取该不稳定荷载的前一级荷载为极限承载力。

4.2.17.3 $Q-s$ 曲线没有明显陡降时, 在 $Q-s$ 曲线上取桩顶总沉降量 s 达到 40mm 相对应的荷载作为极限承载力, 见图 4.2.17(b)。对于钢管桩或桩长超过 50m 的预应力混凝土大直径管桩所取用的桩顶总沉降量应适当加大, 加大值可取桩身弹性压缩值。

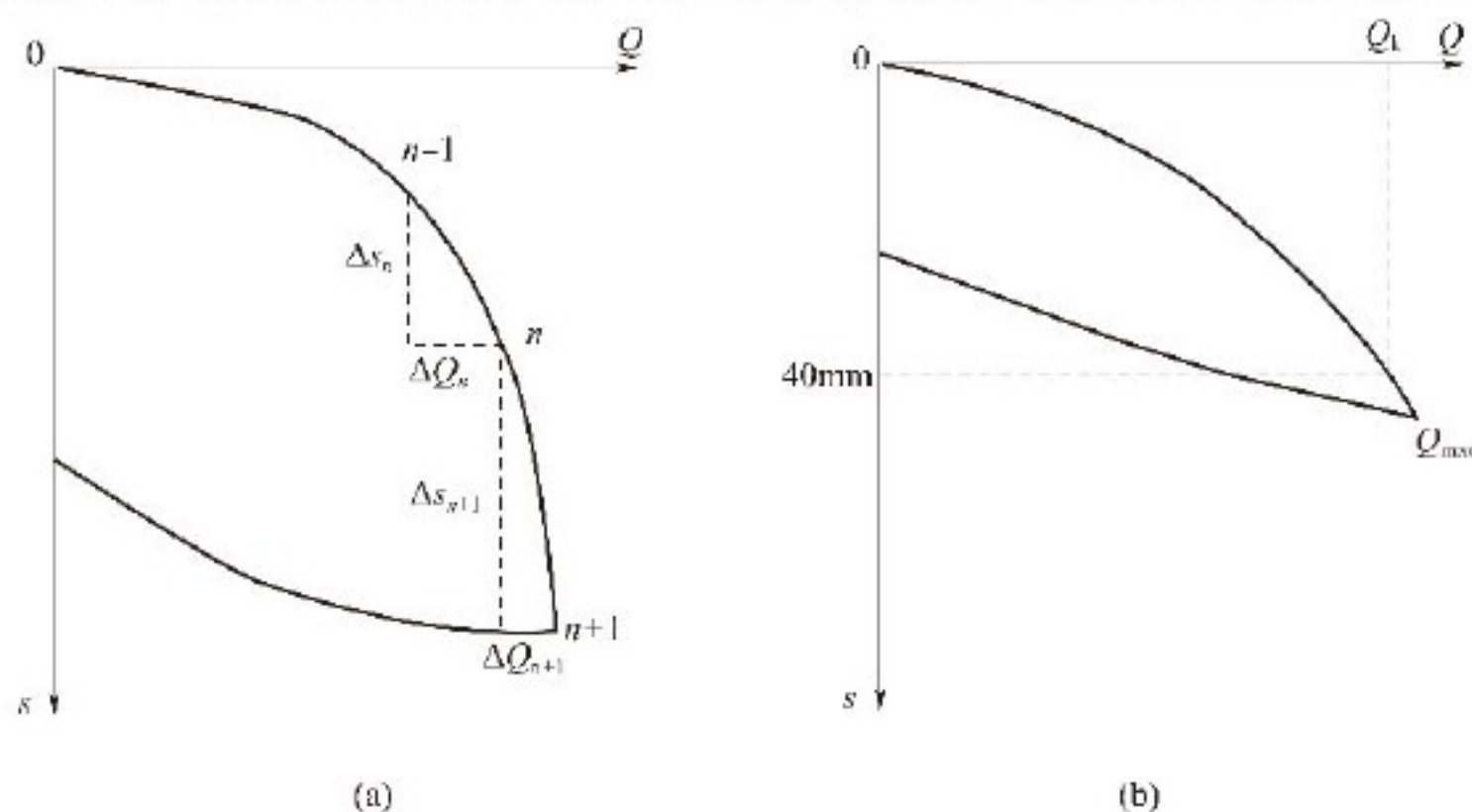


图 4.2.17 $Q-s$ 曲线

(a) 有陡降段的 $Q-s$ 曲线; (b) 无陡降段的 $Q-s$ 曲线

n -加载级; Δs_n - n 级沉降增量; ΔQ_n - n 级荷载增量; Δs_{n+1} - $n+1$ 级沉降增量; ΔQ_{n+1} - $n+1$ 级荷载增量

4.2.17.4 极限承载力宜取初压值。

4.2.18 基桩轴向抗压承载力标准值应根据试验桩位置和地质条件等综合确定。当各试验桩条件基本相同且数量不少于 2 根时, 极限抗压承载力标准值的确定应符合下列规定。

4.2.18.1 桩的极限抗压承载力最大值和最小值之比小于或等于 1.3, 宜取平均值作为基桩轴向极限抗压承载力标准值。

4.2.18.2 桩的极限抗压承载力最大值和最小值之比大于 1.3, 应通过分析确定, 必要时应增加试桩数量。

4.3 自平衡法

4.3.1 自平衡法试验仪器设备(图 4.3.1)应包括荷载箱、位移传感器和数据采集系统等。

4.3.2 荷载箱应符合下列规定。

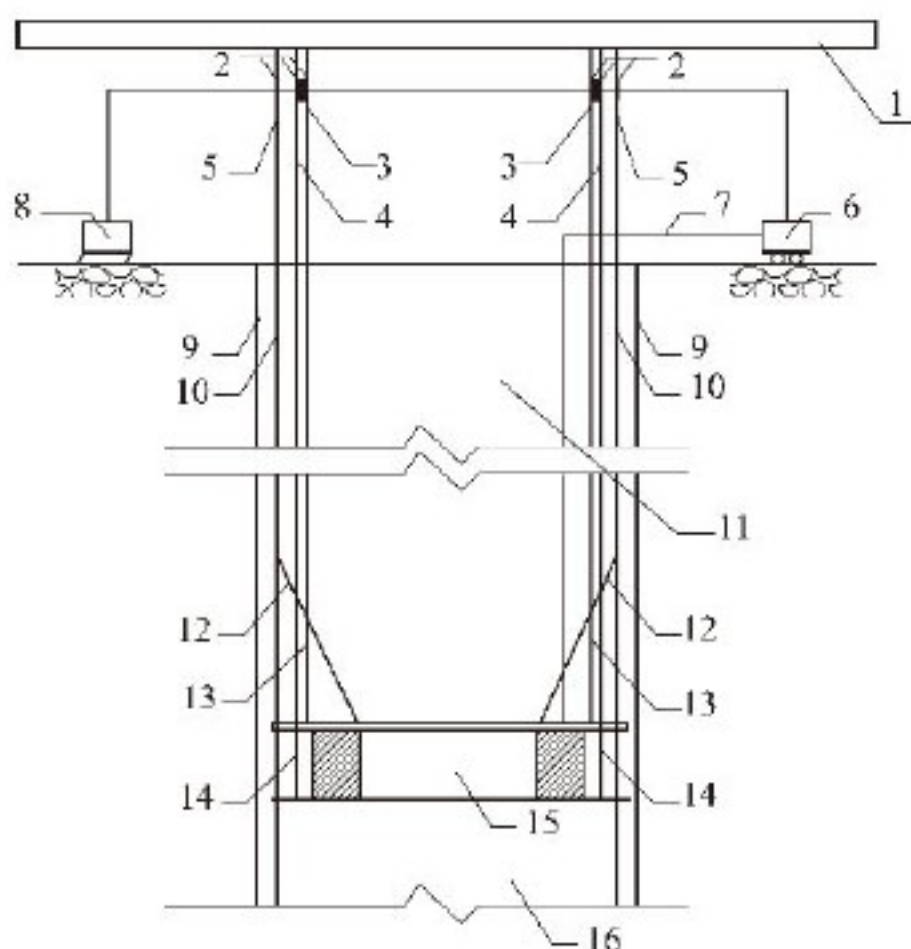


图 4.3.1 试验装置示意图

1-基准梁;2-位移传感器;3-上位移杆(丝);4-下位移杆(丝);5-桩顶位移引测杆;6-油泵;7-油管;8-测桩仪;9-基桩侧壁;10-钢筋笼;11-上部桩;12-喇叭筋;13-上位移护管;14-下位移护管(可兼作注浆管);15-荷载箱;16-下部桩或持力层

4.3.2.1 组成荷载箱的千斤顶应经法定计量单位标定。荷载箱出厂前应试压,试压值不得小于额定加载值,且应维持 2h 以上。

4.3.2.2 荷载箱额定加载值对应的油压值不宜大于 45MPa,最大单向加载值对应的油压值不宜大于 55MPa。

4.3.2.3 荷载箱在工厂试压和现场试验应采用同一型号的压力表。

4.3.2.4 荷载应采用并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。

4.3.2.5 压力表应经法定计量单位标定,且在规定的有效期内使用。压力表精度应优于或等于 0.4 级,压力传感器或荷重传感器的测量误差不应大于 1%。

4.3.3 位移传感器应符合下列规定。

4.3.3.1 位移传感器可采用百分表或电子位移计,分辨率应优于或等于 0.01 mm,测量误差不得大于 0.1% FS。

4.3.3.2 每根试桩应布置两组位移传感器,每组两个,对称布置,分别用于测定荷载箱处的向上、向下位移。桩径较大时应增加传感器数量。

4.3.3.3 每根试桩桩顶应布置一组位移传感器,用来测定桩顶位移。

4.3.3.4 固定和支承位移传感器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,防止发生竖向变位。

4.3.3.5 位移传感器应经法定计量单位标定,且在规定的有效期内使用。

4.3.4 荷载箱的埋设位置应符合下列规定。

4.3.4.1 极限桩端阻力小于极限桩侧摩阻力时,荷载箱宜置于平衡点处,使上、下段桩

的极限承载力基本相等。

4.3.4.2 极限桩端阻力大于极限桩侧摩阻力时,荷载箱宜置于桩底端,根据桩的长径比、地质情况可采取下列措施:

(1) 桩顶提供一定量的配重;

(2) 用小直径桩模拟,先测出极限桩端承载力,再根据实际尺寸换算总的桩端阻力值。

4.3.4.3 试桩为抗拔桩时,荷载箱宜直接置于桩底。对摩擦桩进行抗拔测试时,应对桩底进行加固处理。

4.3.4.4 有特殊需要时,可采用双荷载箱或多荷载箱,分别测试桩的极限桩端阻力和各段桩的极限侧摩阻力。荷载箱的埋设位置应根据特殊需要确定。

4.3.5 位移杆和护套管应符合下列规定。

4.3.5.1 位移杆应具有一定的刚度。桩长小于或等于40m,可用直径25mm~30mm的钢管作为位移杆;桩长大于40m,宜用位移钢丝代替位移杆。

4.3.5.2 保护位移杆的护套管,应与荷载箱顶盖焊接,焊缝应满足强度要求,并确保护套管不渗漏水泥浆。

4.3.5.3 在保证位移传递达到足够精度的前提下,也可采用其他形式的位移传递系统。

4.3.6 基准桩和基准梁应符合下列规定。

4.3.6.1 基准桩与试桩之间的中心距离应大于或等于3倍试桩直径,且不小于4.0m;基准桩应具有充分的稳定性,打入地面或河(海)床面以下足够的深度,陆上不应小于1m。

4.3.6.2 基准桩和基准梁应有一定的刚度。基准梁的截面高度不应小于其跨度的1/40,基准桩的线刚度不应小于基准梁线刚度的3倍。

4.3.6.3 基准梁的一端应固定在基准桩上,另一端应简支在基准桩上。

4.3.7 自平衡法的现场检测应符合下列规定。

4.3.7.1 加卸载应分级进行。每级加载量为预估最大加载量的1/10~1/15。当桩端为巨粒土、粗粒土或坚硬黏质土时,第一级可按两倍分级荷载加载。每级卸载量可取2~3个加载级的荷载值。

4.3.7.2 加卸载应均匀连续,每级荷载在维持过程中的变化幅度不得大于分级荷载的10%。

4.3.7.3 每级加卸载后第1h内应在第0min、5min、10min、15min、30min、45min、60min测读位移,后每隔30min测读一次,达到相对稳定后方可加卸下一级荷载。卸载到零后应至少观测2h,测读时间间隔同加载。

4.3.7.4 自平衡法加卸载的稳定标准应符合下列规定:

(1) 桩端为漂石、碎石或黏性土夹砂,每级加卸载的向上、向下位移量在最后30min内均不大于0.1mm;

(2) 桩端为粉质黏土或细砂,每级加卸载的向上、向下位移量在最后60min内均不大

于 0.1mm。

4.3.7.5 向上、向下两个方向应分别判定和取值,平衡状态下两个方向均宜达到终止加载条件再终止加载。

4.3.7.6 每个方向的加载终止条件和相应极限加载值的取值应符合下列规定:

(1) 总位移量大于或等于 40mm,且本级荷载的位移量大于或等于前一级荷载位移量的 5 倍时,加载即可终止,取终止时荷载前一级的荷载为极限加载值;

(2) 总位移量大于或等于 40mm,且 24h 后未达稳定,加载即可终止,取终止时荷载前一级的荷载为极限加载值;

(3) 巨粒土、密实砂类土以及坚硬的黏质土中,总位移量小于 40mm,且荷载满足设计要求,加载即可终止,取此时的荷载为极限加载值;

(4) 施工过程中的验收性检测,加载量符合第 4.1.9 条的规定,桩的总位移量不大于 40mm,以及最后一级加载引起的位移不大于前一级加载引起的位移的 5 倍,该桩可以验收;

(5) 极限荷载难以确定时,绘制荷载—位移($Q-s$)曲线、位移—时间($s-t$)曲线确定,必要时绘制 $s-\lg t$ 曲线、 $s-\lg Q$ 曲线(单对数法)、 $s-[1-Q/Q_{max}]$ 曲线(百分率法)等进行综合比较,确定比较合理的极限荷载取值。

4.3.8 试验过程中应及时记录或打印各项观测数据,进行数据整理和汇总。

4.3.9 基桩轴向抗压极限承载力和基桩轴向抗拔极限承载力可分别按下列公式确定:

$$Q_{ult} = \frac{Q_n - W}{\gamma'} + Q_1 \quad (4.3.9-1)$$

$$Q_{ult} = Q_n \quad (4.3.9-2)$$

式中 Q_{ult} ——基桩的极限承载力(kN);

Q_n ——上段桩的加载极限值(kN);

Q_1 ——下段桩的加载极限值(kN);

W ——荷载箱上部桩自重(kN);

γ' ——侧摩阻力修正系数,可按地区经验取值;当无地区经验时,根据荷载箱上部土的类型确定:黏性土、粉土 $\gamma' = 0.8$;砂土 $\gamma' = 0.7$;岩层 $\gamma' = 1.0$;上部有不同类型的土层, γ' 取加权平均值。

4.3.10 试验检测报告除应包括第 3.6 节规定的内容外,尚应包括下列内容:

(1) 原始数据记录表、汇总表和相应的 $Q-s$ 、 $s-\lg t$ 、 $s-\lg Q$ 等曲线;

(2) 布置桩身应力传感器时,绘制桩身内力图和各岩土层摩阻力图。

4.4 高应变法

4.4.1 采用高应变法进行灌注桩的轴向抗压承载力检测时,应具有现场实测经验和本地区相近条件下的可靠对比验证资料;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,不宜采用高应变法进行轴向抗压承载力检测。

4.4.2 检测仪器应具有现场显示、记录、存储实测力与加速度信号的功能,并能进行数据

处理、打印和绘图。数据采集的模拟—数字转换器的位数不应小于 16 位,通道之间的相位差应小于 $50\mu\text{s}$ 。

4.4.3 检测仪器应定期进行标定,标定的周期应符合国家法律法规的有关规定。

4.4.4 打桩机械或类似的装置均可作为锤击设备。重锤宜用铸钢或铸铁制作,且应质量均匀、形状对称、锤底平整。采用自由落锤时,锤的重量应不小于预估基桩极限承载力的 1%。

4.4.5 试验检测时,桩的贯入度可采用水准仪等光学仪器测定。

4.4.6 现场试验检测参数的取值应符合下列规定。

4.4.6.1 桩的截面面积、桩材的重度和弹性模量应在测点处取值。

4.4.6.2 桩长应取传感器安装位置至桩底间的距离。

4.4.6.3 桩身应力波波速的设定应符合下列规定:

(1) 钢桩波速值设定为 5120m/s ;

(2) 混凝土桩根据经验波速设定,并根据实测波速进行调整。

4.4.6.4 桩材重度的设定应符合下列规定:

(1) 钢桩重度设定为 78.5kN/m^3 ;

(2) 混凝土预制桩重度设定为 $24.5\text{kN/m}^3 \sim 26.0\text{kN/m}^3$;

(3) 混凝土灌注桩重度设定为 24.0kN/m^3 。

4.4.6.5 桩材弹性模量设定值应按下式计算:

$$E = \frac{\gamma C^2}{g} \times 10^{-3} \quad (4.4.6)$$

式中 E ——桩材弹性模量(MPa);

γ ——桩材重度(kN/m^3);

C ——桩身应力波波速(m/s);

g ——重力加速度(m/s^2)。

4.4.6.6 力传感器和加速度传感器标定系数应采用国家法定计量单位开具的标定系数。

4.4.7 现场检测应符合下列规定。

4.4.7.1 检测桩桩头应能承受重锤的冲击,对已受损或其他原因不能保证锤击能量正常传递的桩头应在检测前进行处理。混凝土桩头的处理方法可按附录 C 的规定执行。

4.4.7.2 桩顶应设置桩垫,桩垫宜采用胶合板、木板或纤维板等材质均匀的材料。

4.4.7.3 采用自由落锤为锤击设备时,应符合重锤低击原则,最大锤击落距不宜大于 1.5m 。

4.4.7.4 承载力检测时应实测桩的贯入度,单击贯入度宜为 $2\text{mm} \sim 6\text{mm}$ 。

4.4.7.5 传感器安装应满足下列要求:

(1) 在桩身两侧沿桩轴线对称安装两只加速度传感器和两只力传感器,见图 4.4.7;传感器的中心处于同一横截面上;传感器与桩顶间的垂直距离,桩径大于 1m 的桩,一般不小于 1 倍桩径;其他桩一般不小于 2 倍桩径或桩宽;

- (2) 安装传感器的桩身表面平整,且其周围无缺陷或截面突变;
- (3) 传感器的安装一般采用膨胀螺栓固定,螺栓孔与桩侧面垂直,安装后的力传感器和加速度传感器紧贴桩身;
- (4) 水上检测时,应采取预防措施防止传感器或导线接头进水;
- (5) 锤击时,将传感器电缆线固定在桩身上,预防振动受损。

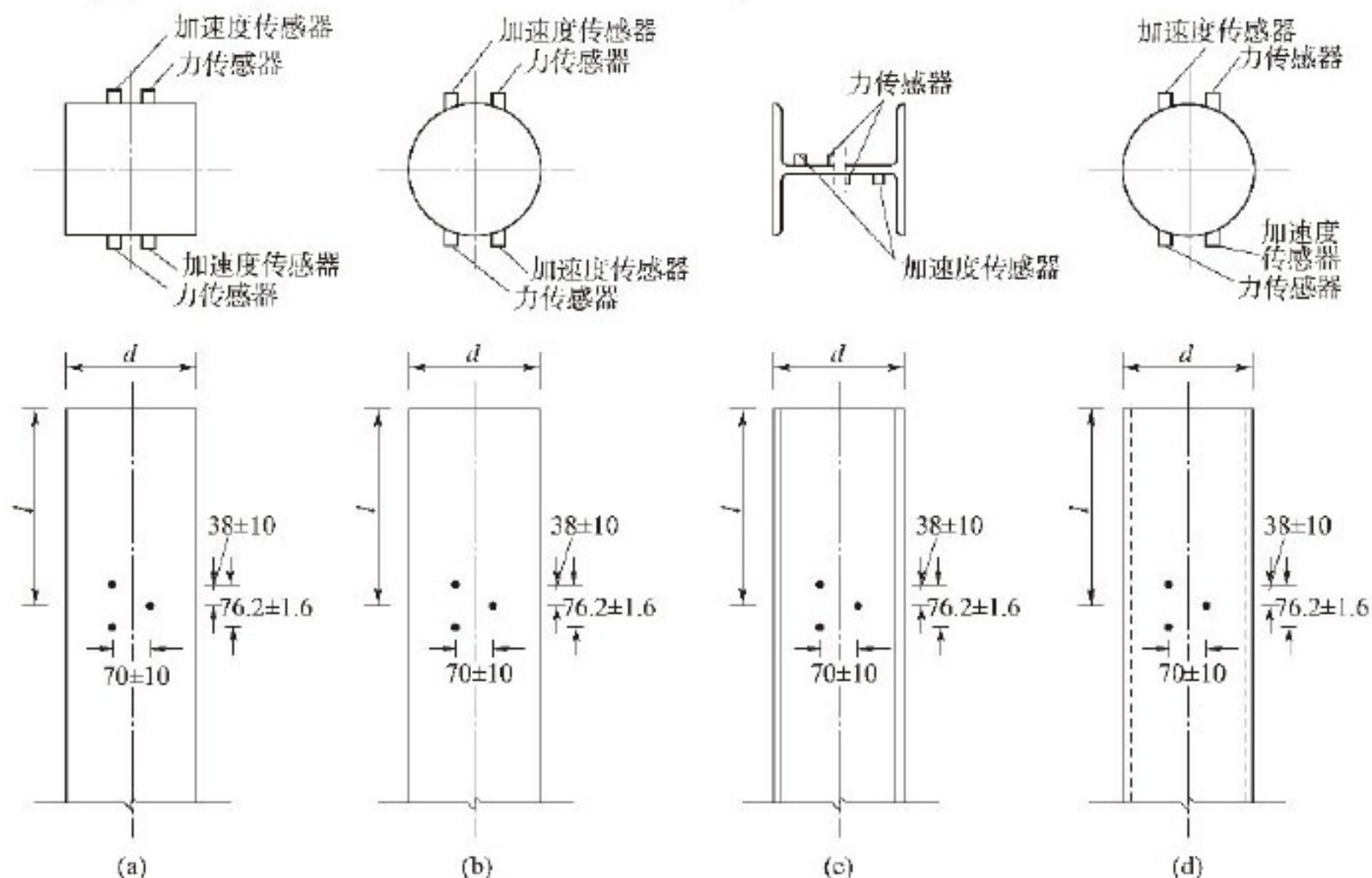


图 4.4.7 测点处传感器安装示意图(尺寸单位:mm)

(a) 混凝土方桩;(b) 混凝土灌注桩;(c) II 型钢桩;(d) 管桩

l -传感器与桩顶间的距离; d -桩径或桩宽

4.4.7.6 当检测出现下列情况之一时,应及时检查、调整或停止检测:

- (1) 测试仪器失灵;
- (2) 传感器松动、测点处混凝土开裂、桩身出现明显缺陷且缺陷程度加剧;
- (3) 测试信号异常或连续采集时信号无规律、离散性较大。

4.4.8 高应变法试验检测数据的选取应符合下列规定。

4.4.8.1 锤击后出现下列情况之一时,其信号不得作为分析计算的依据:

- (1) 力的时程曲线最终未归零;
- (2) 锤击严重偏心,一侧力信号呈现受拉状态;
- (3) 传感器出现故障;
- (4) 测点处桩身混凝土开裂或有明显变形;
- (5) 其他信号异常情况。

4.4.8.2 分析计算轴向抗压承载力的信号,宜取锤击能量较大的测次。

4.4.9 分析计算前,平均波速的确定应符合下列规定。

4.4.9.1 桩底反射信号较明显时,波速确定应满足下列要求:

(1)根据速度波第一峰上升沿的起点到桩底反射峰上升沿的起点之间的时差与已知桩长值确定平均波速,见图 4.4.9-1;

(2)根据实测信号下行波上升沿的起点和上行波下降沿的起点之间的时差与已知桩长值确定平均波速,见图 4.4.9-2,下行波和上行波的幅值按下列公式计算:

$$F_d = \frac{1}{2}(F + V \cdot Z) \quad (4.4.9-1)$$

$$F_u = \frac{1}{2}(F - V \cdot Z) \quad (4.4.9-2)$$

式中 F_d ——某时刻测点处测得的下行波的幅值(kN);
 F_u ——某时刻测点处测得的上行波的幅值(kN);
 F ——某时刻测点处实测的锤击力(kN);
 V ——某时刻测点处实测的速度(m/s);
 Z ——桩身截面力学阻抗(kN·s/m)。

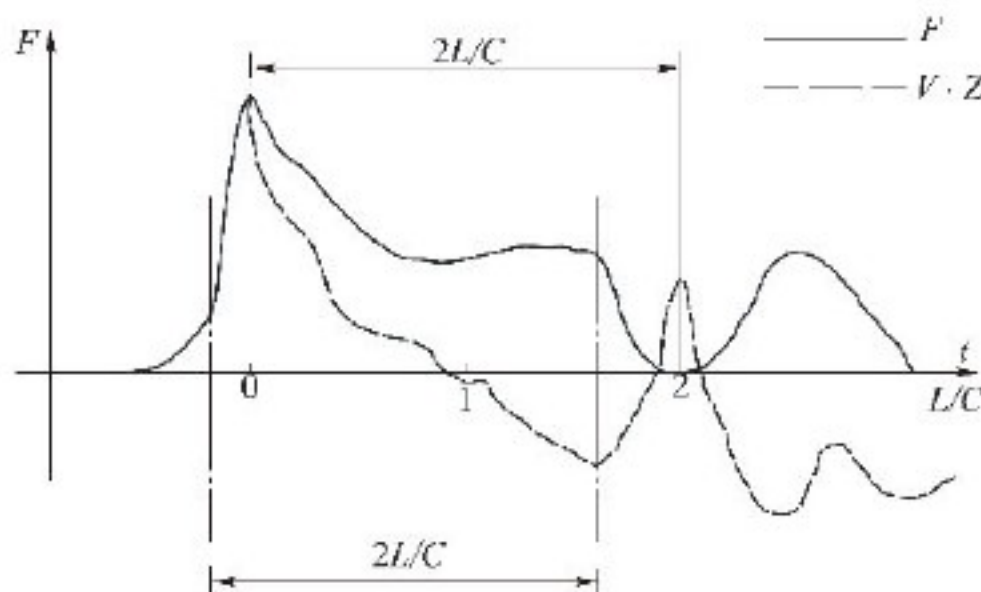


图 4.4.9-1 速度波法桩身波速的确定示意图

F -某时刻测点处实测的锤击力(kN); L -测点以下桩长(m); V -某时刻测点处实测的速度(m/s); Z -桩身截面力学阻抗(kN·s/m); t -锤击力作用下应力反射到测点处的时间(ms); C -桩身应力波波速(m/s)

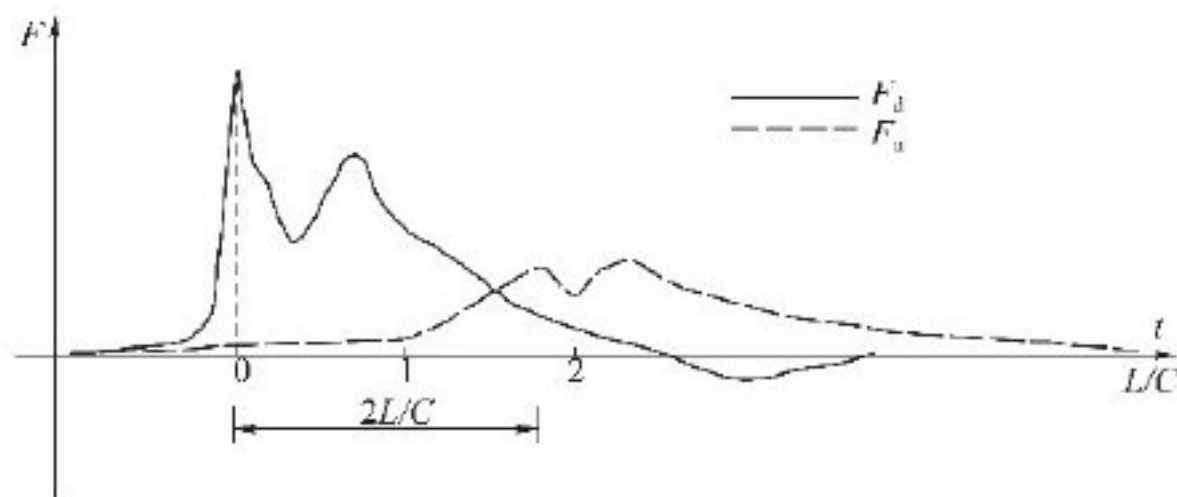


图 4.4.9-2 下行波法桩身波速的确定示意图

F -某时刻测点处实测的锤击力(kN); F_d -某时刻测点处测得的下行波的幅值(kN); F_u -某时刻测点处测得的上行波的幅值(kN); L -测点以下桩长(m); C -桩身应力波波速(m/s); t -锤击力作用下应力波反射到测点处的时间(ms)

4.4.9.2 桩底反射信号不明显时,宜根据桩长、混凝土的经验波速和邻近桩的波速值综合确定。

4.4.10 确定基桩轴向抗压承载力宜采用实测曲线拟合法,并应符合下列规定。

4.4.10.1 桩和土的力学模型应能反映桩土系统应力应变的实际性状。

4.4.10.2 可用实测的速度、力或上行波信号作为边界条件进行拟合。

4.4.10.3 曲线拟合时间段长度,不宜小于 $5L/C$ 。

4.4.10.4 拟合分析所选参数应在岩土工程的合理范围内,各单元所选取的土的最大弹性位移值不得大于相应桩单元的最大计算位移值。

4.4.10.5 最终的拟合曲线应与实测曲线基本吻合。

4.4.10.6 贯入度的计算值应与实测值基本吻合。

4.4.11 采用 CASE 法确定基桩轴向抗压承载力时,应符合下列规定。

4.4.11.1 检测桩应材质均匀、截面相等或基本相等。

4.4.11.2 应根据同一工程中相同类型桩的动、静对比试验确定土的阻尼系数;不具备动、静对比试验条件时,可通过实测曲线拟合法确定土的阻尼系数,其拟合桩数不应少于该工程高应变检测桩数的 30%,且不得少于 3 根。

4.4.11.3 基桩轴向抗压承载力可按下列公式计算:

$$R_C = (1 - J_C)[F(t_1) + Z \cdot V(t_1)]/2 + (1 + J_C)[F(t_2) - Z \cdot V(t_2)]/2 \quad (4.4.11-1)$$

$$Z = A \cdot E/C \quad (4.4.11-2)$$

$$t_2 = t_1 + 2L/C \quad (4.4.11-3)$$

式中 R_C ——CASE 法确定的基桩极限承载力(kN);

J_C ——CASE 法阻尼系数;

F ——某时刻测点处实测的锤击力(kN);

t_1 、 t_2 ——速度第一峰和第二峰对应的时刻(ms);

$F(t_1)$ 、 $F(t_2)$ —— t_1 、 t_2 时刻测点处实测的锤击力(kN);

$V(t_1)$ 、 $V(t_2)$ —— t_1 、 t_2 时刻测点处实测点的速度(m/s);

Z ——桩身截面力学阻抗(kN·s/m);

A ——桩身截面面积(m^2);

E ——桩材的弹性模量(MPa);

L ——测点以下桩长(m);

C ——桩身应力波波速(m/s)。

4.4.12 试验检测报告除应包括第 3.6 节规定的内容外,尚应包括下列内容:

(1) 计算中实际采用的桩身波速值;

(2) 实测曲线拟合法所选用的各单元桩和土的模型参数、拟合曲线、土阻力沿桩身分布图;

(3) 实测贯入度；

(4) 对于试打桩和打桩过程监测,还需包括打桩机械、桩锤、桩垫类型、锤击数、桩周静土阻力、桩身锤击压应力、桩身锤击拉应力、桩锤实际传递给桩的能量与桩入土深度的关系、承载力与相应的贯入度。

5 轴向抗拔承载力

5.1 一般规定

5.1.1 轴向抗拔承载力试验检测可用于试验桩轴向抗拔极限承载力的确定、工程桩轴向抗拔承载力的检验和锚杆抗拔承载力的试验检测。

5.1.2 确定试验桩轴向抗拔极限承载力的试验,宜在设计前进行;工程桩轴向抗拔承载力的检测,可在工程施工期间进行。

5.1.3 工程桩不得用于确定轴向抗拔极限承载力的试验。

5.1.4 轴向抗拔试验桩应满足轴向抗拔试验荷载作用下的强度要求,成桩工艺和质量控制标准应与工程桩一致,主筋应通长布置。

5.1.5 为设计提供依据的试验桩,应加载至桩侧摩阻力达到极限状态或桩身材料达到设计强度。工程桩验收检测时,当设计没有规定时,加载量不得小于基桩轴向抗拔承载力设计值的 2.0 倍或使桩顶产生的上拔量达到设计要求的限值。

5.1.6 基桩轴向抗拔承载力试验检测的其他要求应按第 4.1 节的有关规定执行。

5.2 轴向抗拔静载荷试验

5.2.1 基桩轴向抗拔承载力试验检测的装置(图 5.2.1)应由反力系统、加载系统和测量系统三部分组成。

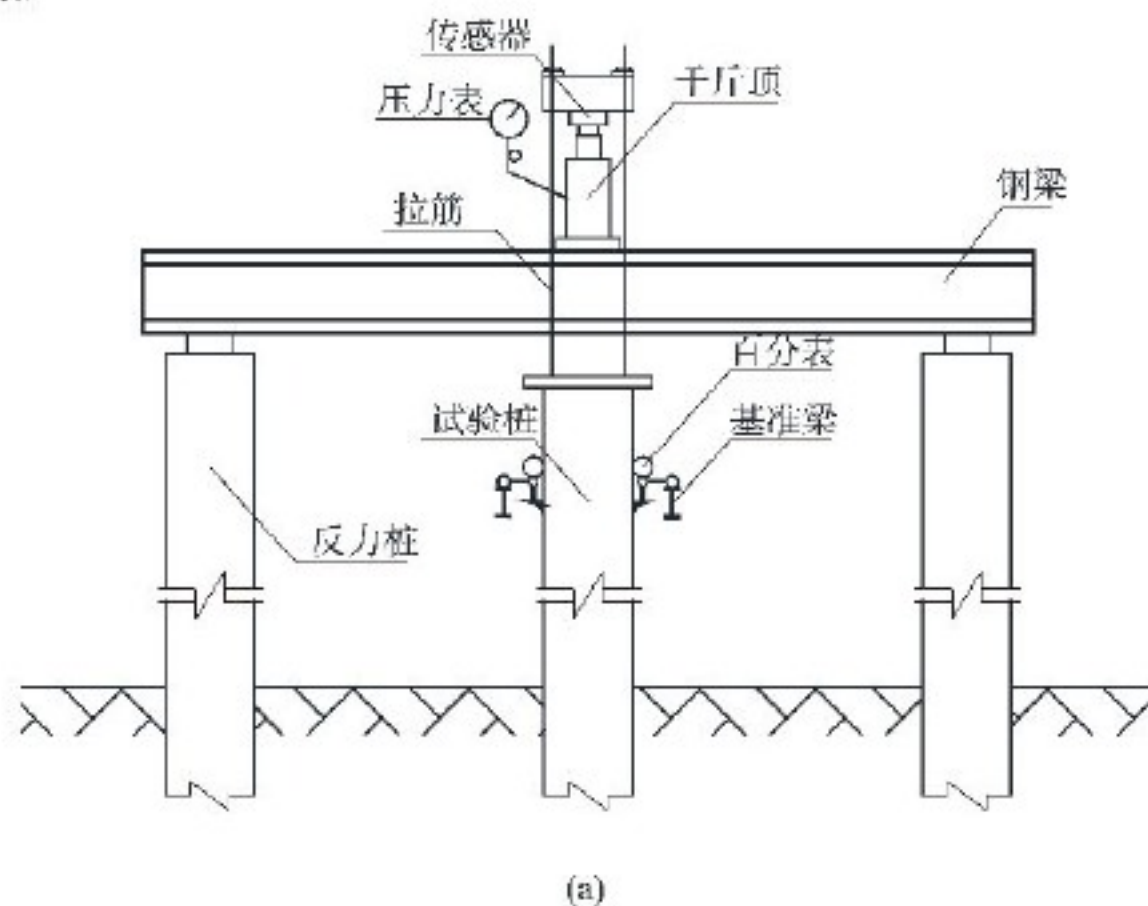


图 5.2.1

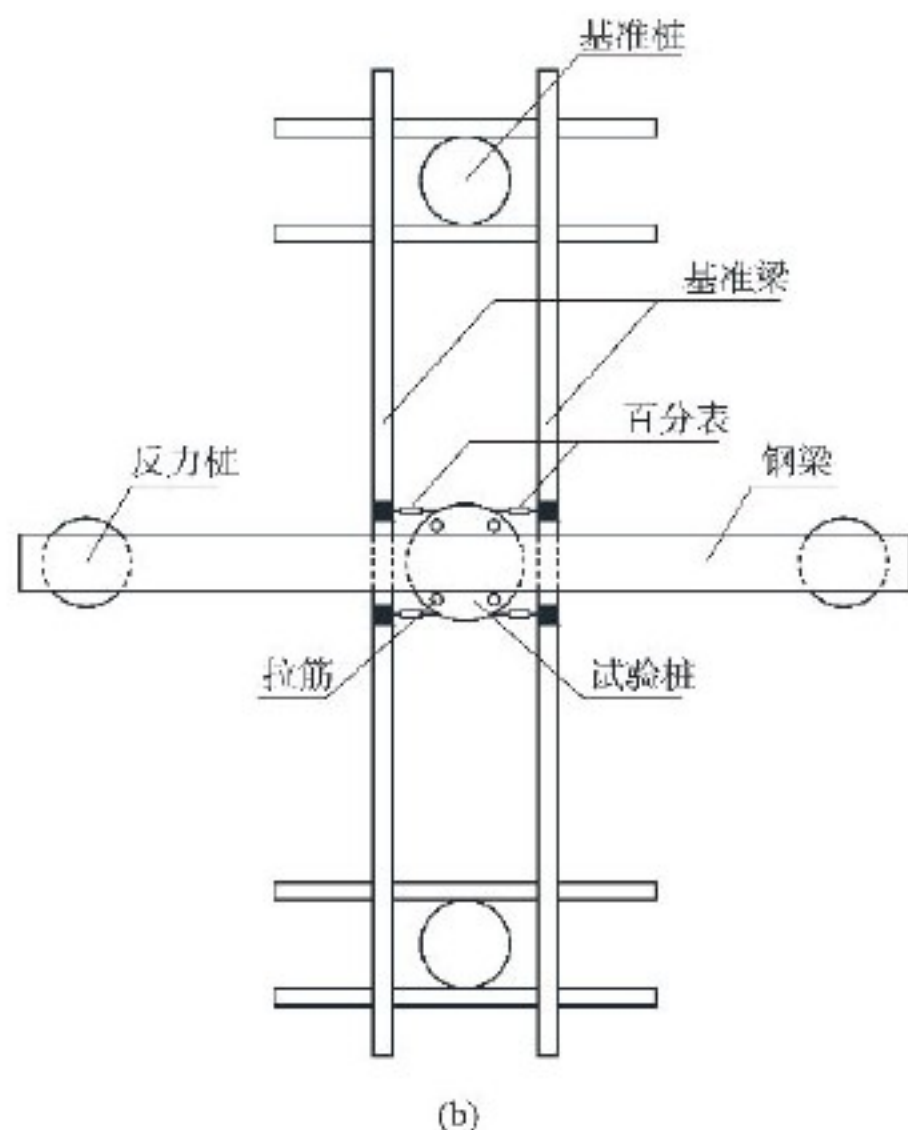


图 5.2.1 轴向抗拔静载荷试验装置
(a) 立面图; (b) 平面图

- 5.2.2 基桩轴向抗拔承载力试验检测宜采用工程桩作为反力支座。
- 5.2.3 试验检测装置的其他要求应按第 4.2 节的有关规定执行。
- 5.2.4 基桩轴向抗拔承载力试验检测方法应按第 4.2 节的有关规定执行。
- 5.2.5 试验检测过程中应及时记录或打印各项观测数据,进行数据整理和汇总,并绘制上拔荷载—桩顶上拔量($Q_{up}-s_{up}$)曲线和桩顶上拔量—时间对数($s_{up}-lgt$)曲线。
- 5.2.6 符合下列条件之一时,可终止加载:
- (1) 在某级荷载作用下,钢筋拉应力达到钢筋抗拉强度设计值;
 - (2) 在某级荷载作用下桩顶上拔量大于前一级荷载作用下的 5 倍;
 - (3) 桩顶累计上拔量大于 100mm;
 - (4) 验证性试验已达到设计要求的最大加载量。
- 5.2.7 基桩轴向抗拔极限承载力确定应满足下列要求:
- (1) 对于陡升的 $Q_{up}-s_{up}$ 曲线,取陡升段起始点荷载;
 - (2) 对无明显陡升的 $Q_{up}-s_{up}$ 曲线,取 $s_{up}-lgt$ 曲线尾部显著弯曲的前一级荷载。
- 5.2.8 当需要进行桩身应力、应变测试时,应对有关资料进行整理,并绘制桩身轴向力分布图。
- 5.2.9 基桩轴向抗拔极限承载力标准值应采用第 4.2.18 条的方法确定。

5.3 锚杆嵌岩桩的锚杆抗拔静载荷试验

- 5.3.1 锚杆嵌岩桩锚杆抗拔静载荷试验可分为破坏性试验和验证性试验;确定锚杆极限

抗拔力的破坏性试验应在非工程桩上进行;确定锚杆设计抗拔力的验证性试验可在工程桩上进行。

5.3.2 锚杆嵌岩桩的锚杆抗拔静载荷试验条件应与实际工程锚杆的使用条件相同。

5.3.3 锚杆抗拔试验加载宜采用穿心式油压千斤顶,加载反力系统可利用嵌岩桩桩身或已浇筑的混凝土平台。

5.3.4 锚杆试验应满足下列要求:

- (1) 加载系统的加载能力为试验荷载的 1.2 倍~1.5 倍;
- (2) 反力系统在最大试验荷载作用下有足够的强度和刚度;
- (3) 试验仪器进行标定,并满足使用精度的要求;
- (4) 试验时锚固体抗压强度达到标准值 70% 以上。

5.3.5 锚杆的破坏性试验应符合下列规定。

5.3.5.1 试验应满足下列要求:

- (1) 采用多循环加载,每级荷载按下式计算确定:

$$\Delta Q = m_1 \cdot A_s \cdot f_{yk} \times 10^{-4} \quad (5.3.5)$$

式中 ΔQ ——每级加载荷载(kN);

m_1 ——破坏性试验加载系数,按表 5.3.5 取值;

A_s ——锚杆公称截面积(mm^2);

f_{yk} ——锚杆钢筋屈服强度标准值(MPa);

- (2) 破坏性试验加载系数和观测时间符合表 5.3.5 的规定;

表 5.3.5 破坏性试验加载系数和观测时间

观测时间(min)		5	5	5	10	5	5	5
破坏性试验加载系数 m_1	初始荷载	—	—	—	1	—	—	—
	第一循环	1	—	—	2	—	—	1
	第二循环	1	—	2	3	2	—	1
	第三循环	1	2	3	4	3	2	1
	第四循环	1	3	4	5	4	3	1
	第五循环	1	4	5	6	5	4	1
							
	第 $n-1$ 循环	1	$n-2$	$n-1$	n	$n-1$	$n-2$	1
	第 n 循环	1	$n-1$	n	$n+1$	n	$n-1$	1

- (3) 每级荷载观测时间内测读位移量不少于 3 次;

(4) 每级荷载观测时间内,位移量不大于 0.1mm 时,可以施加下一级荷载;位移量大于 0.1mm 时,延长观测时间,直至在 2h 内位移量小于 2.0mm,可以施加下一级荷载。

5.3.5.2 出现下列情况之一时,应停止加载:

- (1) 后一级荷载产生的位移增量达到或超过前一级荷载产生的位移增量的 2 倍;
- (2) 位移量不收敛;
- (3) 总位移量大于设计允许值。

5.3.5.3 试验结果的整理与判定应满足下列要求:

(1) 根据试验数据绘制荷载—位移($Q-s$)曲线、荷载—弹性位移($Q-s_e$)曲线和荷载—塑性位移($Q-s_p$)曲线;

(2) 锚杆的总弹性位移量,当超过自由段长度理论弹性伸长量的80%,且小于自由段长度与1/2锚固段长度之和的理论弹性伸长量时,判定试验结果有效;

(3) 锚杆极限抗拔力,按第5.3.5.2款的停止加载条件,取前一级荷载为极限抗拔力。

5.3.6 锚杆的验证性试验应符合下列规定。

5.3.6.1 试验荷载应控制在锚杆抗拔力设计值的1.1倍~1.2倍,且最大试验荷载不应大于锚杆截面积与锚杆钢筋屈服极限强度标准值乘积的0.8倍。

5.3.6.2 试验应满足下列要求:

(1) 每级荷载按锚杆抗拔力设计值与加载系数 m_2 的乘积确定;

(2) 各级加载系数和观测时间满足表5.3.6的要求;

(3) 每级荷载观测时间内测读位移量不少于3次;

(4) 最大试验荷载作用下,观测15min之后,卸载至初始荷载。

表 5.3.6 验证性试验加载系数和观测时间

观测时间(min)	5	5	5	10	10	15	15	5
验证性试验 加载系数 m_2	0.1	0.25	0.5	0.75	1.0	1.1	1.2	0.1

5.3.6.3 试验结果的整理与锚杆合格的判定应满足下列要求:

(1) 根据试验数据绘制荷载—位移($Q-s$)曲线;

(2) 锚杆的总弹性位移量超过自由段长度理论伸长量的80%,且小于自由段长度与1/2锚固段长度之和的理论伸长量,最大试验荷载作用下位移达到稳定状态时,判定锚杆试验合格。

6 水平承载力

6.1 一般规定

- 6.1.1** 基桩水平承载力试验检测可用于试验桩水平极限承载力的确定、工程桩水平承载力及相应的桩顶水平位移的检测。
- 6.1.2** 确定水平地基反力系数和试验桩水平极限承载力的试验,宜在设计前进行;工程桩水平承载力及相应的桩顶水平位移的检测,可在工程施工期进行。
- 6.1.3** 试验桩位置应根据设计要求选取有代表性的地点,也可利用轴向静载荷试验桩进行水平静荷载试验。
- 6.1.4** 在距离试验桩 3m~10m 范围内应具有工程地质钻孔资料。泥面以下 16 倍桩径或桩宽深度范围内,每隔 1m 均应具有土样的物理力学性能指标;16 倍桩径或桩宽以下深度,间距可适当加大。有条件时可进行现场十字板、静力触探或旁压试验。
- 6.1.5** 试验桩沉桩后至加载的间歇时间应符合第 3.3.5.4 款中轴向极限承载力试验的规定,土的类型按泥面以下 16 倍桩径或桩宽深度范围内土的性质综合确定。利用已完成轴向静载荷试验的桩进行水平承载力试验时,其间歇时间不宜少于 3d。
- 6.1.6** 试验桩桩顶应以自由状态进行试验。
- 6.1.7** 桩内埋有测试元件或测斜管的试验桩,应控制沉桩后测试元件或测斜管的方位与试验加载方位一致。
- 6.1.8** 水平荷载作用点高程宜与实际工程桩基承台底面高程一致。水平力的方向应通过试验桩截面中心。
- 6.1.9** 试验桩桩身抗弯和抗变形能力应按预估最大试验荷载进行验算。
- 6.1.10** 试验期间对周围环境条件的要求应按第 4.1.11 条的规定执行。
- 6.1.11** 试验前的准备工作应按第 4.1.12 条的规定执行。
- 6.1.12** 水域试桩应搭设试桩平台。试验桩周边至平台的间隙不应小于预估的最大位移。当利用试桩平台构成反力系统时,应对平台进行结构设计与计算。搭设试桩平台的其他要求应按第 4.1.10 条的规定执行。

6.2 仪器设备

- 6.2.1** 试验装置(图 6.2.1)应由反力系统、加载系统和观测系统三部分组成。
- 6.2.2** 反力系统的水平承载力和水平刚度应取试验桩的 1.3 倍~1.5 倍,采取对顶法时净距不宜小于 6 倍桩径。
- 6.2.3** 推力支承桩与试验桩净距不宜小于 5 倍桩径或桩宽,拉力支承桩与试验桩净距不

宜小于 10 倍桩径或桩宽,且不宜小于 6m,基准桩与试验桩、反力支承结构的净距不宜小于 5 倍桩径或桩宽。

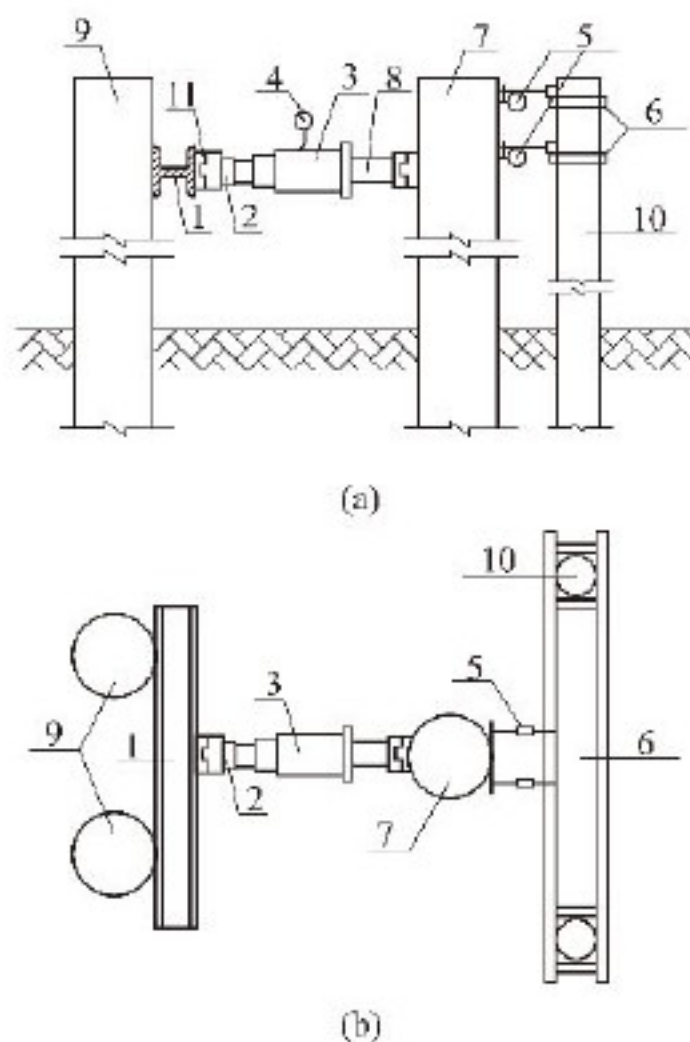


图 6.2.1 水平承载力试验装置

(a) 立面图;(b) 平面图

1-横梁;2-传感器;3-千斤顶;4-压力表;5-百分表;6-基准梁;7-试验桩;8-垫块;9-反力桩;10-基准桩;11-球铰

6.2.4 加载设备应符合下列要求。

6.2.4.1 加载设备宜采用卧式千斤顶、卷扬机或手拉葫芦。

6.2.4.2 加载设备的额定加载能力应为预估最大试验荷载的 1.3 倍~1.5 倍。

6.2.4.3 千斤顶及其配套设施应符合第 4.2.6 条的规定,其与试验桩的接触部位应设置球型铰支座。

6.2.4.4 用卷扬机或手拉葫芦加载时,应配用钢丝绳、卡环、滑轮组等机具和拉力传感器。

6.2.4.5 水平荷载作用部位应局部加强或增大受力面积。

6.2.5 观测系统应符合下列规定。

6.2.5.1 基准桩和基准梁应稳固可靠、自成独立体系。

6.2.5.2 桩顶水平位移测量宜采用位移计或百分表,桩顶转角测试宜采用测斜仪或位移计。水平位移的测试精度不宜低于 0.02mm,截面转角的测试精度不宜低于 5"。

6.3 试验方法

6.3.1 水平承载力试验宜采用单向单循环水平维持荷载法。根据设计要求也可采用单向多循环水平维持荷载法或其他方法。

6.3.2 加载方式可采用水平推力或水平拉力。

6.3.3 水平承载力试验应对试验桩在水平荷载作用高程处的水平位移进行测试。有条

件时,宜测试桩在泥面高程处的水平位移。位移测试方向应与水平荷载方向一致,同一高程设置的测点不应少于2个。

6.3.4 桩顶转角应在水平荷载作用点以上部位测试。当采用固定式测斜仪时,可将仪器安设在桩顶顶面或桩的侧面,测试方向应与桩的位移方向一致;当采用位移计时,两层位移计的间距宜为50cm。

6.3.5 测试桩身弯曲应变时,测点应布置在泥面至设计第一弯矩零点处的区段内,测点间距不宜大于1m。同一截面内的测点,应设在最大拉应变和最大压应变处。应变测试宜采用光纤光栅应变计、电阻应变计或弦式应变计。

6.3.6 桩的挠曲变形可通过在桩内预埋测斜管,采用活动式测斜仪逐段对桩身斜率变化进行测试,预埋测斜管的测斜方向应与桩身挠曲变形方向一致。

6.3.7 加卸载均应分级进行,加载时每级级差可取预估最大荷载的1/10,卸载时可取2倍加载级。

6.3.8 加载每级应维持20min,卸载每级应维持10min;在每级荷载维持时间内,应从0开始每隔5min测读一次。全部卸载后应每隔10min测读一次,测读30min。测读数据应现场记录、整理和汇总。

6.3.9 符合下列条件之一时,可终止加载:

- (1) 达到试验要求的最大荷载或最大位移;
- (2) 在某级荷载作用下,桩顶水平位移急剧增加、位移速率明显增大;
- (3) 地基土出现明显的斜裂缝或桩身断裂。

6.4 成果分析

6.4.1 试验检测结束后,应绘制水平荷载—水平位移($H-Y$)曲线、力作用点荷载—时间—水平位移($H-t-Y$)曲线或力作用点荷载—水平地基反力系数随深度增长的比例系数($H-m$)曲线;埋设量测装置的试桩,应绘制桩身弯矩分布曲线、桩顶或泥面处倾斜角度变化曲线等,可根据实测变形和桩身弯矩,计算并绘制桩身挠曲、桩侧土抗力与变形关系($P-Y$)曲线簇。

6.4.2 基桩水平极限承载力应根据 $H-Y$ 曲线上第二折点前一级荷载(图6.4.2)或 $\lg H-\lg Y$ 曲线上第二折点的前一级荷载等方法综合确定,试验桩为钢桩的应取第一折点。

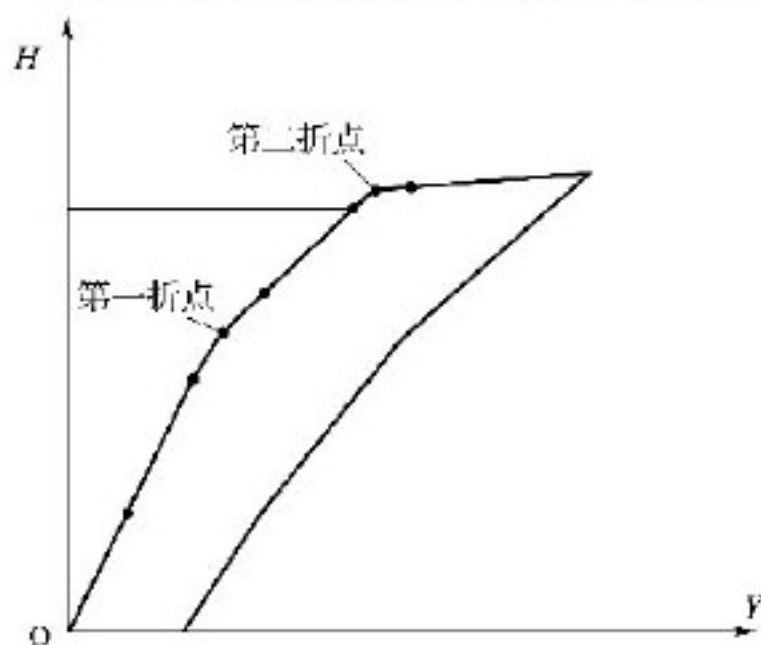


图 6.4.2 $H-Y$ 曲线

7 分层侧摩阻力试验

7.1 一般规定

- 7.1.1 分层侧摩阻力试验可用于桩身横截面尺寸基本恒定或已知的桩。
- 7.1.2 分层侧摩阻力试验采用的传感器应根据测试目的、试验桩型和施工工艺选用电阻应变式传感器、弦式传感器、光纤式应变传感器或滑动测微计。
- 7.1.3 传感器测量断面应设置在两种不同性质土层的界面处,且距桩顶和桩尖的距离不宜小于1倍桩径。在地面处或地面以上应设置一个测量断面作为传感器标定断面。传感器标定断面处应对称设置4个传感器,其他测量断面处可对称设置2~4个传感器,当桩径较大或试验要求较高时取高值。
- 7.1.4 采用滑动测微计时,可在桩身内通长埋设1根或1根以上的测管,测管内宜每隔1m设测标或测量断面一个。

7.2 仪器设备

- 7.2.1 应变式传感器安装,可根据不同桩型选择以下方式。
 - 7.2.1.1 电阻应变计可直接粘贴在钢桩身上,弦式和光纤式传感器可直接焊接或螺栓连接固定在钢桩身上。传感器应有足够的抗锤击能力,且安装完后应采取可靠的防护措施,保证传感器在钢桩沉桩过程中的存活率。
 - 7.2.1.2 传感器可采用焊接或者绑焊工艺固定在混凝土桩的钢筋笼上;对采用蒸汽养护或高压蒸养的混凝土预制桩,应选用耐高温的传感器和导线。
- 7.2.2 传感器及导线连接处应有足够的水密性,保证传感器在高水压测试条件下的存活率和稳定性。
- 7.2.3 电阻应变计及其连接电缆均应有可靠的防潮绝缘防护措施;正式试验前电阻应变计及电缆的系统绝缘电阻不应低于 $200M\Omega$ 。
- 7.2.4 应变测量所用的仪器,宜具有多点自动测量功能,仪器的测试精度应优于或等于 $1\mu s$ 。
- 7.2.5 弦式传感器应按主筋直径大小选择,并采用与之匹配的频率仪进行测量。频率仪的测试精度应优于或等于 $1Hz$,仪器的可测频率范围应大于桩在最大加载时频率的1.2倍。使用前应对传感器逐个检定,得出压力(拉力)与频率之间的关系。
- 7.2.6 带有接长杆弦式传感器可焊接在主筋上,不宜采用螺纹连接。
- 7.2.7 采用光纤式传感器进行分层侧摩阻力试验检测时应符合下列规定。
 - 7.2.7.1 光纤式传感器应用到灌注桩和预制混凝土桩中,应至少布设1条沿桩身中心

对称的 U 形回路测线;有条件时,宜布设多条对称 U 形回路测线。

7.2.7.2 光纤式传感器应用到钢管桩中,植入光纤构成 U 形回路风险较大时,应沿桩身轴线对称布设两条单独的测线;有条件时,宜布设多条对称的测线。

7.2.7.3 测试光纤植入过程中,应采用成熟的布设工艺和保护工艺,保证传感器的存活率。受检桩需要进行桩头处理时,应提前做好桩头光纤引线的保护措施。

7.2.8 滑动测微计测管的埋设应确保测标同桩身位移协调一致,并保持测标清洁。测管安装应符合下列规定。

7.2.8.1 对钢管桩,可通过安装在测管上的测标与钢管桩的焊接,将测管固定在桩内侧壁。

7.2.8.2 对非高温养护预制桩,可将测管预埋在预制桩中;管桩可在沉桩后将测管放入中心孔中,采用膨润土水泥浆填充测管与桩壁间的孔隙。

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

7.2.9 滑动测微计测试前后,应进行仪器标定。

7.3 试验方法和成果分析

7.3.1 桩身分层侧摩阻力试验宜与基桩轴向抗压(抗拔)静载荷试验同步进行。

7.3.2 当桩身应变与桩身位移需要同时测量时,桩身位移测量应与桩身应变测试同步。

7.3.3 指定桩身断面的沉降和两个指定桩身断面间的沉降差,可采用位移杆测量。位移杆应具有一定的刚度,宜采用内外套管形式,外管固定在桩身,内管下端固定在需测试断面,顶端高出外管 100mm~200mm,并可与固定断面位移同步。

7.3.4 测试数据整理应符合下列规定。

7.3.4.1 采用电阻应变式传感器测量,但未采用六线制长线补偿时,应按式(7.3.4-1)或式(7.3.4-2)对实测应变值进行导线电阻修正:

采用半桥测量时:

$$\varepsilon = \varepsilon' \left(1 + \frac{r}{R} \right) \quad (7.3.4-1)$$

采用全桥测量时:

$$\varepsilon = \varepsilon' \left(1 + \frac{2r}{R} \right) \quad (7.3.4-2)$$

式中 ε ——修正后的应变值;

ε' ——修正前的应变值;

r ——导线电阻(Ω);

R ——应变计电阻(Ω)。

7.3.4.2 采用弦式传感器测量混凝土桩桩身应变时,应将传感器实测频率通过率定系数换算成力,再计算成与传感器断面处的混凝土应变相等的钢筋应变值。

7.3.4.3 采用滑动测微计测量时,应按下列公式计算应变值:

$$e = (e' - z_0) \cdot K \quad (7.3.4-3)$$

$$\varepsilon = e - e_0 \quad (7.3.4-4)$$

式中 e ——仪器读数修正值;

e' ——仪器读数;

z_0 ——仪器零点;

K ——率定系数;

ε ——应变值;

e_0 ——初始测试仪器读数修正值。

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

$$Q_i = \bar{\varepsilon}_i \cdot E_i \cdot A_i \quad (7.3.4-5)$$

式中 Q_i ——桩身第 i 断面处轴力(kN);

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

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

A_i ——第 i 断面处桩身截面面积(m^2)。

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

$$q_{si} = \frac{Q_i - Q_{i+1}}{u \cdot l_i} \quad (7.3.4-6)$$

$$q_p = \frac{Q_n}{A_0} \quad (7.3.4-7)$$

式中 q_{si} ——桩第 i 断面与 $i+1$ 断面间侧摩阻力(kPa);

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

Q_i ——桩身第 i 断面处轴力(kN);

Q_{i+1} ——桩身第 $i+1$ 断面处轴力(kN);

u ——桩身周长(m);

l_i ——第 i 断面与第 $i+1$ 断面之间的桩长(m);

q_p ——桩的端阻力(kPa);

Q_n ——桩端的轴力(kN);

A_0 ——桩端面积(m^2),对于开口桩,宜考虑桩端闭塞效应。

7.3.5 测量沉降杆位移的检测仪器应符合轴向抗压静载荷试验的技术要求,数据的测读应与桩顶位移测量同步。

8 桩身完整性

8.1 一般规定

8.1.1 桩身完整性的试验检测,应根据检测目的、检测方法的适应性、基桩的设计条件、成桩工艺等合理选择。

8.1.2 桩身完整性试验检测结果评价,应给出每根受检桩的桩身完整性类别和缺陷位置。桩身完整性分类应符合表 3.1.6 的规定,并按各检测方法的具体技术标准划分。

8.2 高应变法

8.2.1 仪器设备应符合第 4.4.2 条~第 4.4.5 条的规定。

8.2.2 现场试验检测方法应符合第 4.4.6 条和第 4.4.7 条的规定。

8.2.3 测试信号的选取和处理应符合第 4.4.8 条和第 4.4.9 条的规定。

8.2.4 桩身完整性类别判定应结合桩身结构性状,采用 β 值法,按表 8.2.4 进行判定,并符合下列规定。

表 8.2.4 桩身完整性判定

β 值	类 别
$\beta = 1.0$	I
$0.8 \leq \beta < 1.0$	II
$0.6 \leq \beta < 0.8$	III
$\beta < 0.6$	IV

8.2.4.1 桩身完整性系数可按下式计算:

$$\beta = \frac{[F(t_1) + Z \cdot V(t_1)] - 2\Delta R + [F(t_x) - Z \cdot V(t_x)]}{[F(t_1) + Z \cdot V(t_1)] - [F(t_x) - Z \cdot V(t_x)]} \quad (8.2.4-1)$$

式中 β ——桩身完整性系数;

$F(t_1)$ —— t_1 时刻测点处实测的锤击力(kN);

Z ——桩身截面力学阻抗(kN·s/m);

$V(t_1)$ —— t_1 时刻测点处实测点的速度(m/s);

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减去速度与桩身截面力学阻抗的乘积,取值方法见图 8.2.4;

$F(t_x)$ ——缺陷反射峰对应时刻测点处实测的力(kN);

t_x ——缺陷反射峰所对应的时刻(ms);

$V(t_x)$ ——缺陷反射峰对应时刻测点处实测的速度(m/s)。

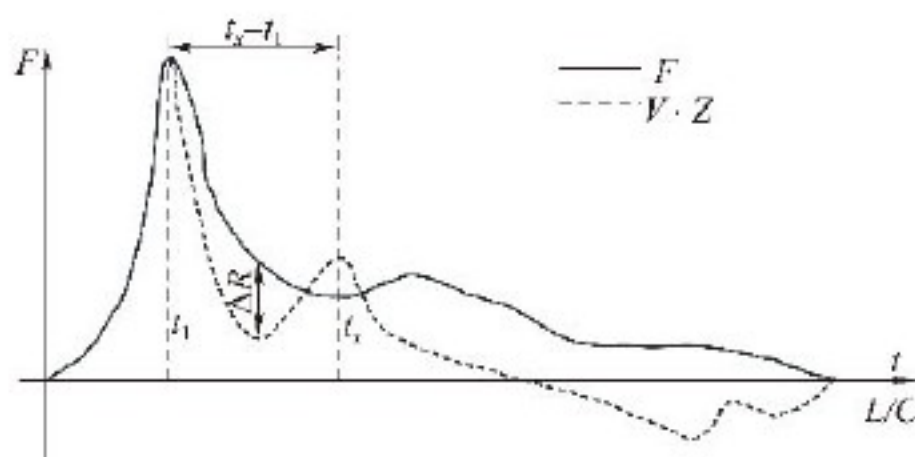


图 8.2.4 桩身结构完整性系数计算示意图

8.2.4.2 桩身缺陷断面位置可按下式计算确定:

$$X = C(t_x - t_1) / 2000 \quad (8.2.4-2)$$

式中 X ——计算点与测点间的距离(m);

C ——桩身应力波波速(m/s);

t_x ——缺陷反射峰所对应的时刻(ms);

t_1 ——速度第一峰所对应的时刻(ms)。

8.2.5 在判别桩的缺陷位置或缺陷程度时,应对实测力信号和速度信号的判别分析,并观测在连续锤击情况下缺陷程度的变化情况。

8.3 低应变法

8.3.1 低应变法检测评价桩身完整性,宜采用反射波法。

8.3.2 检测仪器应具有现场显示、记录、存储实测信号的功能,并能进行数据处理、打印和绘图。

8.3.3 传感器宜选用宽频带的加速度传感器,其灵敏度应大于 100mV/g 。

8.3.4 放大系统的增益应大于 60dB ,长期变化量应小于 1% ;折合输入端的噪声水平应低于 $3\mu\text{V}$;频带宽度应不窄于 $10\text{Hz} \sim 1000\text{Hz}$,滤波频率应能调整。

8.3.5 模拟-数字转换器的位数不应小于 10 位,采样时间宜为 $50\mu\text{s} \sim 1000\mu\text{s}$,应能分挡调整。

8.3.6 激振设备应根据检测需要选择手锤、力棒等激振设备。

8.3.7 混凝土灌注桩的桩身平均波速可通过现场已测的完整桩确定。

8.3.8 检测前应对电源、仪器设备、传感器、连线等逐项进行检查,性能正常方可进行测试。

8.3.9 检测桩的桩顶应密实、平整,桩头处理应符合附录 C 的规定。

8.3.10 传感器应稳固地安置,并宜安装在桩顶上。粘合剂可采用橡皮泥或黄油等材料,粘合效果可通过采集到的波形进行判断。

8.3.11 检测时,最佳激振方式应通过试验选定。实心桩,激振点宜选择在桩顶中部;空心桩,激振点宜选择在桩壁中部;直径大于 1.0m 的桩,激振点不宜少于 4 处。激振点与传感器的距离不宜小于 100mm ,激振应沿轴向进行。

8.3.12 上部有承台的桩的检测,可采用桩侧竖向激振或承台面桩内范围重锤竖向激振,并采用桩侧安装加速度传感器接收信号的方法进行。

8.3.13 信号采集和筛选,应符合下列规定。

8.3.13.1 根据桩径大小,应对称布置 2 个~4 个安装传感器的检测点;实心桩的激振点应选择桩中心,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 1/2 处,激振点和检测点与桩中心连线夹角宜为 90°。

8.3.13.2 桩径较大或桩上部横截面尺寸不规则时,除应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,改变激振点和检测点的位置采集信号。

8.3.13.3 不同检测点或多次实测时域信号一致性较差时,应分析原因,增加检测点数量。

8.3.13.4 信号不应失真或产生零漂,信号幅值不应大于测量系统的量程。

8.3.14 检测桩宜选择 3 锤~6 锤正常信号值并行平均和分析。当桩底反射信号不明显时,可对信号进行放大处理;有疑问的桩应改变激振设备或传感器位置进行多次检测,相互验证。

8.3.15 桩身完整性应根据实测信号的波形、波速、相位、振幅和频率等特征,并结合地质情况和施工过程进行综合判定。

8.3.16 桩身应力波波速可按式(8.3.16-1)或式(8.3.16-2)计算:

$$C = 2000L/t_r \quad (8.3.16-1)$$

$$C = 2L\Delta f \quad (8.3.16-2)$$

式中 C ——桩身应力波波速(m/s);

L ——测点以下桩长(m);

t_r ——桩底反射波到达的时间(ms),可由时域波形图上读取;

Δf ——完整桩的特征频率(Hz),可由频谱图读取。

8.3.17 桩身缺陷的断面位置可按式(8.3.17-1)或式(8.3.17-2)计算:

$$X = \frac{1}{2000}C_m \cdot t'_x \quad (8.3.17-1)$$

$$X = \frac{C_m}{2\Delta f_x} \quad (8.3.17-2)$$

式中 X ——计算点与测点间的距离(m);

C_m ——同一场地内多根已测合格桩桩身的应力波平均波速(m/s);

t'_x ——缺陷部位反射波到达时间(ms),可由时域波形图上读取;

Δf_x ——缺陷的特征频率(Hz),可由频谱图读取。

8.3.18 桩身完整性判定宜按表 8.3.18 进行。

表 8.3.18 桩身完整性判定

完整性状况	类别
检测波无异常反射、波速正常、桩身完好	I
检测波波形有小畸变、波速基本正常、桩身有轻微缺陷、对桩的使用没有影响	II
检测波波形出现异常反射、波速偏低、桩身有明显缺陷、对桩的使用有一定影响	III
检测波波形严重畸变、桩身有严重缺陷或断裂	IV

8.3.19 试验检测报告除应包括第 3.6 节规定的内容外,尚应包括下列内容:

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

8.4 钻 芯 法

8.4.1 钻芯法可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。采用钻芯法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。受检桩桩径不宜小于800mm、长径比不宜大于30。

8.4.2 每根受检桩的钻芯孔数和钻孔位置,应符合下列规定。

8.4.2.1 桩径小于1.2m的桩的钻孔数量可为1个~2个孔,桩径为1.2m~1.6m的桩的钻孔数量宜为2个孔,桩径大于1.6m的桩的钻孔数量应不少于3个孔。

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

8.4.2.3 桩端持力层的钻探,每根受检桩不应少于1个孔,其钻探深度应满足设计要求,其他钻芯孔不宜少于1.0m。对于端承桩、桩底持力层有夹层或岩溶的工程,每根受检桩每个钻芯孔对桩底持力层的钻探深度均应满足设计要求。设计无明确要求时,桩底持力层的钻探深度不应小于3倍桩径,且不应小于3.0m。桩底持力层稳定或已进行超前钻的工程,桩底持力层的钻探数量和深度可适当减少。需检验桩的桩底沉渣与土层结合情况时,其芯样应钻至桩底0.5m以下。

8.4.2.4 选择钻芯法对桩身质量、桩底沉渣、桩端持力层进行验证检测时,受检桩的钻芯孔数可为1孔。

8.4.3 钻芯法的仪器设备应符合下列规定。

8.4.3.1 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。

8.4.3.2 钻取芯样应采用单动三管钻具或单动双管钻具;局部松散时,可选用单管钻具。

8.4.3.3 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。

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

8.4.4 钻芯法现场检测应符合下列规定。

8.4.4.1 钻机设备安装必须周正、稳固、底座水平。钻机在钻芯过程中不得发生倾斜、移位,钻芯孔垂直度偏差不得大于0.5%。钻芯孔垂直度存在争议时,可进行钻芯孔测斜检测。

8.4.4.2 每回次钻孔进尺宜控制在1.5m内;钻至桩底时,宜采取减压、慢速钻进、干钻等适宜的方法和工艺,钻取沉渣并测定沉渣厚度;桩底强风化岩层或土层,可采用标准贯入试验、动力触探等方法对桩端持力层的岩土性状进行鉴别。

8.4.4.3 钻取的芯样应按回次顺序放进芯样箱中,钻机操作人员应记录钻进情况和钻进异常情况,对芯样质量进行初步描述;检测人员应对芯样混凝土、桩底沉渣以及桩端持力层详细编录。

8.4.4.4 钻芯结束后,应对芯样和标有工程名称、桩号、钻芯孔号、芯样试件截取位置、桩长、孔深、检测单位名称的钻探标示牌的全貌进行拍照。

8.4.4.5 基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,灌浆压力不应小于0.3MPa;基桩质量评价不满足设计要求时,应封存钻芯孔,留待处理。

8.4.5 截取混凝土抗压芯样试件应符合下列规定。

8.4.5.1 桩长小于10m时,每孔应截取2组芯样;桩长为10m~30m时,每孔应截取3组芯样,桩长大于30m时,每孔应截取芯样不少于4组。

8.4.5.2 上部芯样位置距桩顶设计高程不宜大于1倍桩径或大于2m,下部芯样位置距桩底不宜大于1倍桩径或大于2m,中间芯样宜等间距截取。

8.4.5.3 缺陷位置能取样时,应截取1组芯样进行混凝土抗压试验。

8.4.5.4 同一基桩的钻芯孔数大于1个,且某一孔在某深度存在缺陷时,应在其他孔的该深度处,截取1组芯样进行混凝土抗压强度试验。

8.4.5.5 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,宜在各分层岩面取样。岩石芯样的加工和测量应符合附录F的规定。

8.4.5.6 每组混凝土芯样应制作3个抗压试件。混凝土芯样试件的加工和测量应符合附录F的规定。

8.4.6 芯样试件抗压强度试验应符合下列规定。

8.4.6.1 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标准》(GB/T 50081)的有关规定执行。

8.4.6.2 在混凝土芯样试件抗压强度试验中,发现试件内混凝土粗骨料最大粒径大于0.5倍芯样试件平均直径,且强度值异常时,该试件的强度值不得参与统计平均。

8.4.6.3 混凝土芯样试件抗压强度应按下列公式计算:

$$f_{cor} = \frac{4P}{\pi d^2} \quad (8.4.6)$$

式中 f_{cor} ——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 ——芯样试件的平均直径(mm)。

8.4.6.4 混凝土芯样试件抗压强度可根据本地区的强度折算系数进行修正。

8.4.6.5 桩底岩芯单轴抗压强度试验以及岩石单轴抗压强度标准值的确定,宜按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》(GB 50007)的有关规定执行。

8.4.7 检测数据分析与判定应符合下列规定。

8.4.7.1 每根受检桩混凝土芯样试件抗压强度的确定应符合下列规定:

(1)取一组3块试件强度值的平均值,作为该组混凝土芯样试件抗压强度检测值;

(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检测值时,取其平均值作为该桩该深度处混凝土芯样试件抗压强度检测值;

(3) 取同一受检桩不同深度位置的混凝土芯样试件抗压强度检测值中的最小值,作为该桩混凝土芯样试件抗压强度检测值。

8.4.7.2 桩端持力层性状应根据持力层芯样特征,并结合岩石芯样单轴抗压强度检测值、动力触探或标准贯入试验结果,进行综合判定或鉴别。

8.4.7.3 桩身完整性类别应结合钻芯孔数、现场混凝土芯样特征、芯样试件抗压强度试验结果,按表 3.1.6 和表 8.4.7 所列特征进行综合判定。混凝土出现分层现象时,宜截取分层部位的芯样进行抗压强度试验。混凝土抗压强度满足设计要求时,可判为Ⅱ类;混凝土抗压强度不满足设计要求或不能制作成芯样试件时,应判为Ⅳ类。多于三个钻芯孔的基桩桩身完整性可类比表 8.4.7 的三孔特征进行判定。

表 8.4.7 桩身完整性判定

特 征			类别
单孔	两孔	三孔	
混凝土芯样连续、完整、胶结好,芯样侧表面光滑、骨料分布均匀,芯样呈长柱状、断口吻合			Ⅰ
芯样侧表面仅见少量气孔	局部芯样侧表面有少量气孔、蜂窝麻面、沟槽,但在另一孔同一深度部位的芯样中未出现,否则应判为Ⅱ类	局部芯样侧表面有少量气孔、蜂窝麻面、沟槽,但在三孔同一深度部位的芯样中未同时出现,否则应判为Ⅱ类	
混凝土芯样连续、完整、胶结较好,芯样侧表面较光滑、骨料分布基本均匀,芯样呈柱状、断口基本吻合。有以下情况之一:			Ⅱ
1. 局部芯样侧表面有蜂窝麻面、沟槽或较多气孔 2. 芯样侧表面蜂窝麻面严重、沟槽连续或局部芯样骨料分布极不均匀,但对应部位的混凝土芯样试件抗压强度检测值满足设计要求,否则应判为Ⅲ类	1. 芯样侧表面有较多气孔、严重蜂窝麻面、连续沟槽或局部混凝土芯样骨料分布不均匀,但在两孔同一深度部位的芯样中未同时出现 2. 芯样侧表面有较多气孔、严重蜂窝麻面、连续沟槽或局部混凝土芯样骨料分布不均匀,且在另一孔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检测值满足设计要求,否则应判为Ⅲ类 3. 任一孔局部混凝土芯样破碎段长度不大于 10cm,且在另一孔同一深度部位的局部混凝土芯样的外观判定完整性类别为Ⅰ类或Ⅱ类,否则应判为Ⅲ类或Ⅳ类	1. 芯样侧表面有较多气孔、严重蜂窝麻面、连续沟槽或局部混凝土芯样骨料分布不均匀,但在三孔同一深度部位的芯样中未同时出现 2. 芯样侧表面有较多气孔、严重蜂窝麻面、连续沟槽或局部混凝土芯样骨料分布不均匀,且在任两孔或三孔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检测值满足设计要求,否则应判为Ⅲ类 3. 任一孔局部混凝土芯样破碎段长度不大于 10cm,且在任两孔同一深度部位的局部混凝土芯样的外观判定完整性类别为Ⅰ类或Ⅱ类,否则应判为Ⅲ类或Ⅳ类	

续表 8.4.7

特 征			类别
单孔	两孔	三孔	
大部分混凝土芯样胶结较好,无松散、夹泥现象..有以下情况之一:		大部分混凝土芯样胶结较好..有以下情况之一:	Ⅲ
1. 芯样不连续、多呈短柱状或块状 2. 局部混凝土芯样破碎段长度不大于 10cm	1. 芯样不连续、多呈短柱状或块状 2. 任一孔局部混凝土芯样破碎段长度大于 10cm 但不大于 20cm 且在另一孔同一深度部位的局部混凝土芯样的外观判定完整性类别为 I 类或 II 类, 否则应判为 IV 类	1. 芯样不连续、多呈短柱状或块状 2. 任一孔局部混凝土芯样破碎段长度大于 10cm 但不大于 30cm,且在另两孔同一深度部位的局部混凝土芯样的外观判定完整性类别为 I 类或 II 类, 否则应判为 IV 类 3. 任一孔局部混凝土芯样松散段长度不大于 10cm,且在另两孔同一深度部位的局部混凝土芯样的外观判定完整性类别为 I 类或 II 类, 否则应判为 IV 类	
有以下情况之一:			Ⅳ
1. 因混凝土胶结质量差而难以钻进 2. 混凝土芯样任一段松散或夹泥 3. 局部混凝土芯样破碎长度大于 10cm	1. 任一孔因混凝土胶结质量差而难以钻进 2. 混凝土芯样任一段松散或夹泥 3. 任一孔局部混凝土芯样破碎长度大于 20cm 4. 两孔同一深度部位的混凝土芯样破碎	1. 任一孔因混凝土胶结质量差而难以钻进 2. 混凝土芯样任一段松散或夹泥段长度大于 10cm 3. 任一孔局部混凝土芯样破碎长度大于 30cm 4. 其中两孔在同一深度部位的混凝土芯样破碎、松散或夹泥	

注:当上一缺陷的底部位位置高程与下一缺陷的顶部位置高程的高差小 30cm 时,可认定两缺陷处于同一深度部位..

8.4.7.4 成桩质量评价应按单桩进行,出现以下情况之一时,应判定该受检桩不满足设计要求:

- (1) 混凝土芯样试件抗压强度检测值小于设计混凝土强度等级;
- (2) 桩长、桩底沉渣厚度不满足设计要求;
- (3) 桩底持力层岩土性状强度或厚度未达到设计要求。

8.4.8 试验检测报告除应包括第 3.6 节规定的内容外,尚应包括下列内容:

- (1) 钻芯设备情况;
- (2) 检测桩数、钻孔数量、开孔位置、架空高度、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、动力触探或标准贯入试验结果;
- (3) 每孔柱状图;

- (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。

8.5 声波透射法

8.5.1 声波透射法可用于桩径不小于0.6m的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。

8.5.2 出现下列情况之一时,不得采用声波透射法对整桩的桩身完整性进行评定:

- (1) 声测管未沿桩身通长配置;
- (2) 声测管堵塞导致检测数据不全;
- (3) 声测管埋设数量不符合第8.5.6条的规定。

8.5.3 声波发射与接收换能器应符合下列规定。

- 8.5.3.1** 圆柱状径向换能器沿径向振动应无指向性。
- 8.5.3.2** 外径应小于声测管内径,有效工作段长度不大于150mm。
- 8.5.3.3** 谐振频率应为30kHz~60kHz。
- 8.5.3.4** 水密性应满足1MPa水压不渗水。

8.5.4 声波检测仪应具有下列功能:

- (1) 实时显示和记录接收信号时程曲线以及频率测量或频谱分析;
- (2) 最小采样时间间隔小于或等于0.5 μ s,系统频带宽度为1kHz~200kHz,声波幅值测量相对误差小于5%,系统最大动态范围不小于100dB;
- (3) 声波发射脉冲为阶跃或矩形脉冲,电压幅值为200V~1000V;
- (4) 首波实时显示;
- (5) 自动记录声波发射与接收换能位置。

8.5.5 声测管埋设应符合下列规定。

- 8.5.5.1** 声测管内径应大于换能器外径。
- 8.5.5.2** 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。
- 8.5.5.3** 声测管下端封闭、上端加盖、管内无异物;声测管连接处应平顺过渡,管口应高出混凝土顶面100mm以上。
- 8.5.5.4** 浇灌混凝土前应将声测管有效固定,各声测管之间基本平行。

8.5.6 声测管埋设数量应符合下列规定。

- 8.5.6.1** 桩径小于或等于800mm时,不得少于2根声测管。
- 8.5.6.2** 桩径大于800mm且小于或等于1600mm时,不得少于3根声测管。
- 8.5.6.3** 桩径大于1600mm时,不得少于4根声测管;
- 8.5.6.4** 桩径大于2500mm时,宜增加预埋声测管数量。

8.5.7 声测管应沿钢筋笼内侧呈对称形状布置(图8.5.7),并依次编号。

8.5.8 现场检测前的准备工作应符合下列规定:

- (1) 受检桩的桩身混凝土强度符合第3.3.5.1款的规定;

- (2) 采用率定法确定仪器系统延迟时间;
- (3) 计算声测管与耦合水层声时修正值;
- (4) 测量桩顶各声测管外壁间的最短距离;
- (5) 将各声测管内注满清水,检查声测管畅通情况;换能器能在声测管全程范围内正常升降。

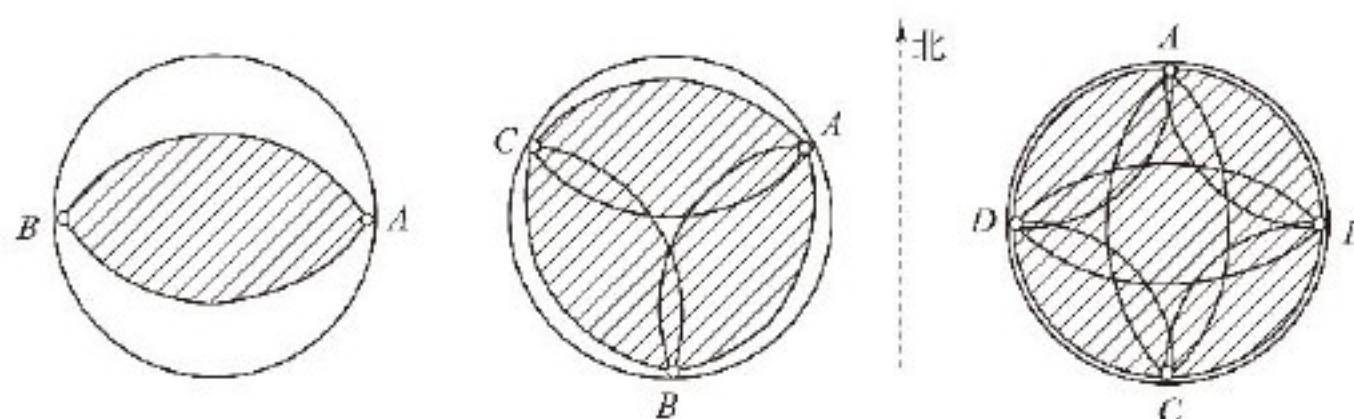


图 8.5.7 声测管布置示意图

注:检测剖面编组(检测剖面序号为 j)分别为:2根管时,A-B剖面($j=1$);3根管时,A-B剖面($j=1$),B-C剖面($j=2$),C-A剖面($j=3$);4根管时,A-B剖面($j=1$),B-C剖面($j=2$),C-D剖面($j=3$),D-A剖面($j=4$),A-C剖面($j=5$),B-D剖面($j=6$)

8.5.9 现场平测和斜测应符合下列规定。

8.5.9.1 发射与接收声波换能器应通过深度标志分别置于两根声测管中。

8.5.9.2 平测时,声波发射与接收声波换能器应始终保持相同深度[图 8.5.9(a)];斜测时,声波发射与接收换能器始终保持固定高差[图 8.5.9(b)],且两个换能器中点连线的水平夹角不应大于 30° 。

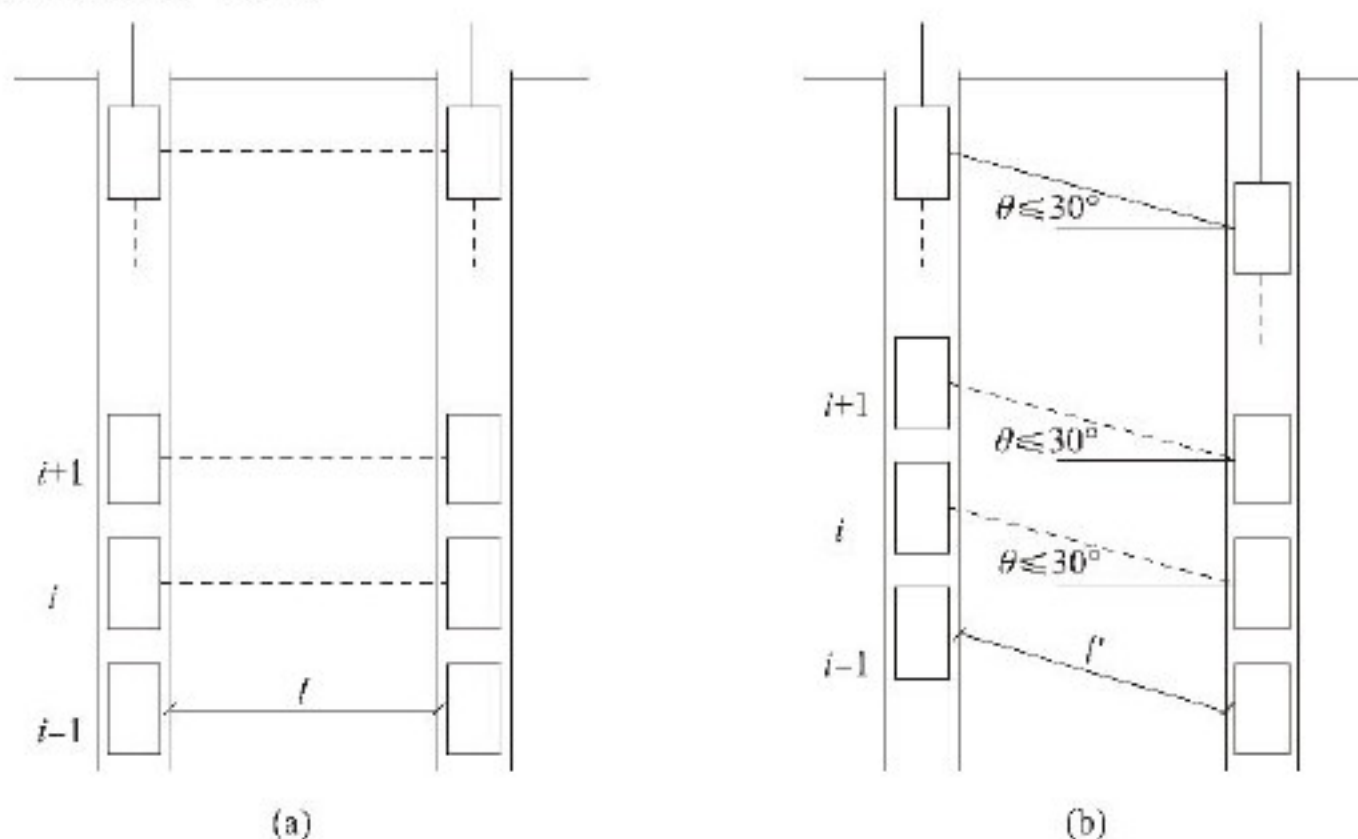


图 8.5.9 平测、斜测示意图

(a)平测;(b)斜测

8.5.9.3 声波发射与接受换能器应从桩底向上同步提升,声测线间距不应大于 100mm ;提升过程中,应校核换能器的深度和校正换能器高差,并确保测试波形的稳定性,提升速度不宜超过 0.5m/s 。

8.5.9.4 应实时显示、记录每条声测线的信号时程曲线,并读取首波声时、幅值;当需要采取信号主频值作为异常声测线辅助判据时,尚应读取信号的主频值;保存检测数据的同时,应保存波列图信息。

8.5.9.5 同一检测剖面的声测线间距、声波发射电压和仪器设置参数应保持不变。

8.5.10 在桩身质量可疑的声测线周围,应采用增加声测线或采用扇形扫测(图 8.5.10)、交叉斜测、CT 影像技术等方式,进行复测和加密测试,确定缺陷的位置和空间分布范围,排除因声测管耦合不良等非桩身缺陷因素导致的异常声测线。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° 。

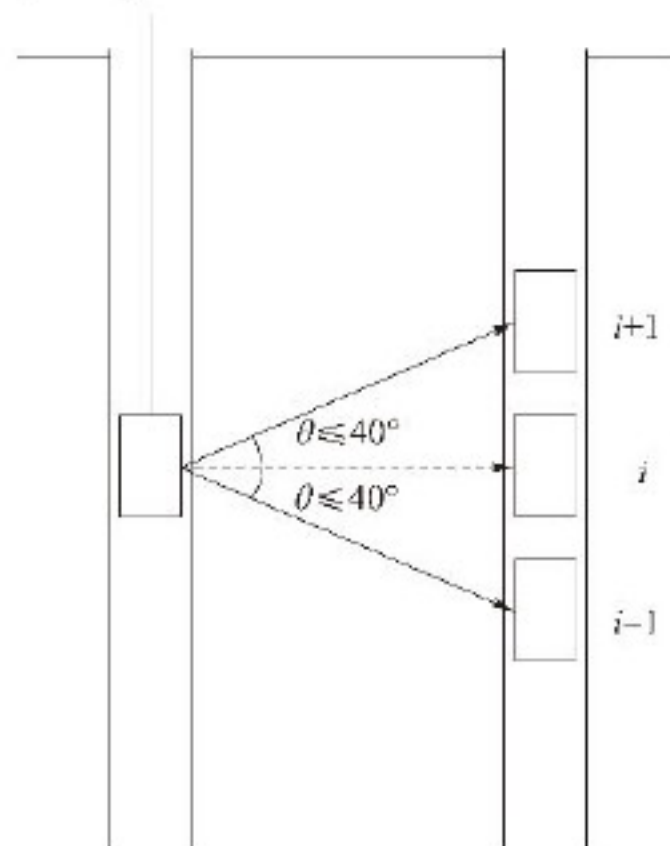


图 8.5.10 扇形扫测示意图

8.5.11 因声测管倾斜导致声测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。实测数据明显偏离正常值而又无法进行合理修正时,检测数据不得作为评价桩身完整性的依据。

8.5.12 平测时各声测线的声时、声速、波幅和主频,应根据现场检测数据分别按式(8.5.12-1)~式(8.5.12-4)计算,并绘制声速—深度曲线和波幅—深度曲线,也可绘制辅助的主频—深度曲线和能量—深度曲线。

$$t_{ci}(j) = t_i(j) - t_0 - t' \quad (8.5.12-1)$$

$$v_i(j) = \frac{t_i(j)}{t_{ci}(j)} \quad (8.5.12-2)$$

$$A_{pi}(j) = 20 \lg \frac{a_i(j)}{a_0} \quad (8.5.12-3)$$

$$f_i(j) = \frac{1000}{T_i(j)} \quad (8.5.12-4)$$

式中 i ——声测线编号,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,按第 8.5.7 条编组;

$t_{ci}(j)$ ——第 j 检测剖面第 i 声测线声时(μs),精确至 $0.1 \mu\text{s}$;

- $t_i(j)$ ——第 j 检测剖面第 i 声测线声时测量值 (μs), 精确至 $0.1 \mu\text{s}$;
- t_0 ——仪器系统延迟时间 (μs), 精确至 $0.1 \mu\text{s}$;
- t' ——声测管及耦合水层声时修正值 (μs), 精确至 $0.1 \mu\text{s}$;
- $l'_i(j)$ ——第 j 检测剖面第 i 声测线的两声测管管口的外壁间净距离 (mm), 精确至 1mm ; 两声测管平行时, 可取为两声测管管口的外壁间净距离; 斜测时, $l'_i(j)$ 为声波发射和接收换能器各自中点对应的声测管外壁之间的净距离, 可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;
- $v_i(j)$ ——第 j 检测剖面第 i 声测线声速 (km/s), 精确至 0.01 km/s ;
- $A_{\mu}(j)$ ——第 j 检测剖面第 i 声测线的首波幅值 (dB), 精确至 1dB ;
- $a_i(j)$ ——第 j 检测剖面第 i 声测线信号首波峰值 (dB), 精确至 1dB ;
- a_0 ——零分贝信号幅值 (dB), 精确至 1dB ;
- $f_i(j)$ ——第 j 检测剖面第 i 声测线信号主频值 (kHz), 可经信号频谱分析得到, 精确至 1kHz ;
- $T_i(j)$ ——第 j 检测剖面第 i 声测线信号周期 (μs), 精确至 $0.1 \mu\text{s}$ 。

8.5.13 采取平测或斜测时, 第 j 检测剖面的声速异常判定概率统计值应按照下列方法确定:

(1) 将第 j 检测剖面各声测线的声速值 $v_i(j)$ 由大到小依次按下式排序:

$$v_1(j) \geq v_2(j) \geq \cdots v_k(j) \geq v_{k+1}(j) \geq v_i(j) \geq v_{i+1}(j) \geq \cdots v_{n-k}(j) \geq \cdots v_{n-1}(j) \geq v_n(j) \quad (8.5.13-1)$$

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

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, $k=0, 1, 2, \cdots$;

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

(2) 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, 按下列公式进行统计计算:

$$v_{01}(j) = v_n(j) - \lambda \cdot s_x(j) \quad (8.5.13-2)$$

$$v_{02}(j) = v_1(j) + \lambda \cdot s_x(j) \quad (8.5.13-3)$$

$$v_m(j) = \frac{1}{n-k-k'} \sum_{i=k'+1}^{n-k} v_i(j) \quad (8.5.13-4)$$

$$s_x(j) = \sqrt{\frac{1}{n-k-k'-1} \sum_{i=k'+1}^{n-k} [v_i(j) - v_m(j)]^2} \quad (8.5.13-5)$$

$$C_v(j) = \frac{s_x(j)}{v_m(j)} \quad (8.5.13-6)$$

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 8.5.13 查得的与 $(n-k-k')$ 相对应的系数;

表 8.5.13 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 $v_{n-k}(j)$ 与异常小值判断值 $v_{01}(j)$ 进行比较, $v_{n-k}(j)$ 小于或等于 $v_{01}(j)$ 时剔除最小数据; 将最大数据 $v_{k'+1}(j)$ 与 $v_{02}(j)$ 进行比较, $v_{k'+1}(j)$ 大于或等于 $v_{02}(j)$ 时剔除最大数据; 每次剔除一个数据, 对剩余数据构成的数列, 重复式(8.5.13-2)~式(8.5.13-5)的计算步骤, 直到以下两式成立:

$$v_{n-k}(j) > v_{01}(j) \quad (8.5.13-7)$$

$$v_{k'+1}(j) < v_{02}(j) \quad (8.5.13-8)$$

(4) 第 j 检测剖面的声速异常判断概率统计值, 按下式计算:

$$v_0(j) = \begin{cases} v_m(j)(1-0.015\lambda) & \text{当 } C_v(j) < 0.015 \text{ 时} \\ v_{01}(j) & \text{当 } 0.015 \leq C_v(j) \leq 0.045 \text{ 时} \\ v_m(j)(1-0.045\lambda) & \text{当 } C_v(j) > 0.045 \text{ 时} \end{cases} \quad (8.5.13-9)$$

式中 $v_0(j)$ ——第 j 检测剖面声速异常判断概率统计值。

8.5.14 受检桩的声速异常判断临界值, 应符合下列规定。

8.5.14.1 应根据本地区经验,结合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,分别确定桩身混凝土声速低限值 v_l 和混凝土试件的声速平均值 v_p 。

8.5.14.2 $v_0(j)$ 大于 v_l 且小于 v_p 时, $v_c(j)$ 可按下式确定:

$$v_c(j) = v_0(j) \quad (8.5.14)$$

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。

8.5.14.3 $v_0(j)$ 小于或等于 v_l 或 $v_0(j)$ 大于或等于 v_p 时,应分析原因;第 j 检测剖面的声速异常判断临界值,可参考同一桩的其他检测剖面的声速异常判断临界值确定,或参考同一工程相同桩型且混凝土质量较稳定的其他被检桩的声速异常判断临界值确定。

8.5.14.4 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;具有 3 个及 3 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数平均值,作为该桩各声测线的声速异常判断临界值。

8.5.15 声速 $v_i(j)$ 异常应按下式判定:

$$v_i(j) \leq v_c \quad (8.5.15)$$

8.5.16 波幅异常判断的临界值,应按式(8.5.16-1)和式(8.5.16-2)计算,波幅 $A_{pi}(j)$ 满足式(8.5.16-3)时应判定为波幅异常。

$$A_m(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_{pi}(j) \quad (8.5.16-1)$$

$$A_c(j) = A_m(j) - 6 \quad (8.5.16-2)$$

$$A_{pi}(j) < A_c(j) \quad (8.5.16-3)$$

式中 $A_m(j)$ ——第 j 检测剖面各声测线波幅平均值(dB),精确至 1dB;

$A_{pi}(j)$ ——第 j 检测剖面第 i 声测线的波幅值(dB),精确至 1dB;

$A_c(j)$ ——第 j 检测剖面波幅异常判断的临界值(dB),精确至 1dB;

n ——检测剖面的声测线总数。

8.5.17 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应判定为异常。

8.5.18 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应判定为异常。

8.5.19 采用斜率法作为辅助异常声测线判据时,声时—深度曲线上相邻两点的斜率与声时差的乘积 PSD 值应按式(8.5.19)计算。PSD 值在某深度处突变时,宜结合波幅变化情况进行异常声测线判定。

$$\text{PSD}(j,i) = \frac{[t_{ii}(j) - t_{i-1}(j)]^2}{z_i - z_{i-1}} \quad (8.5.19)$$

式中 PSD——声时—深度曲线上相邻两点连线的斜率与声时差的乘积($\mu\text{s}^2/\text{m}$);

$t_{ii}(j)$ ——第 j 检测剖面第 i 声测线声时(μs),精确至 0.1 μs ;

$t_{i-1}(j)$ ——第 j 检测剖面第 $i-1$ 声测线声时(μs),精确至 0.1 μs ;

z_i ——第 i 声测线深度(m),精确至 0.01m;

z_{i-1} ——第 $i-1$ 声测线深度(m),精确至 0.01m。

8.5.20 桩身缺陷的空间分布范围,可根据桩身同一深度上各检测剖面桩身缺陷的分布和复测、加密测试的结果确定。

8.5.21 桩身完整性类别应结合桩身缺陷处声测线的声学特征、缺陷的空间分布范围,按表 3.1.6 和表 8.5.21 所列特征进行综合判定。

表 8.5.21 桩身完整性判定

特 征	类 别
所有声测线声学参数无异常,接收波形正常	I
存在声学参数轻微异常、波形轻微畸变的异常声测线,异常声测线在任一检测剖面的任一区段内纵向不连续分布,且在任一深度横向分布的数量小于检测剖面数量的 50%	
存在声学参数轻微异常、波形轻微畸变的异常声测线,异常声测线在一个或多个检测剖面的一个或多个区段内纵向连续分布,或在一个或多个深度横向分布的数量大于或等于检测剖面数量的 50%	II
存在声学参数明显异常、波形明显畸变的异常声测线,异常声测线在任一检测剖面的任一区段内纵向不连续分布,且在任一深度横向分布的数量小于检测剖面数量的 50%	
存在声学参数明显异常、波形明显畸变的异常声测线,异常声测线在一个或多个检测剖面的一个或多个区段内纵向连续分布,但在任一深度横向分布的数量小于检测剖面数量的 50%	III
存在声学参数明显异常、波形明显畸变的异常声测线,异常声测线在任一检测剖面的任一区段内纵向不连续分布,但在一个或多个深度横向分布的数量大于或等于检测剖面数量的 50%	
存在声学参数严重异常、波形严重畸变或声速低于低限值的异常声测线,异常声测线在任一检测剖面的任一区段内纵向不连续分布,且在任一深度横向分布的数量小于检测剖面数量的 50%	
存在声学参数明显异常、波形明显畸变的异常声测线,异常声测线在一个或多个检测剖面的一个或多个区段内纵向连续分布,且在一个或多个深度横向分布的数量大于或等于检测剖面数量的 50%	IV
存在声学参数严重异常、波形严重畸变或声速低于低限值的异常声测线,异常声测线在一个或多个检测剖面的一个或多个区段内纵向连续分布,或在一个或多个深度横向分布的数量大于或等于检测剖面数量的 50%	

注:①完整性类别由 IV 类往 I 类依次判断;

②只有一个检测剖面的受检桩,桩身完整性判断应按该检测剖面代表桩全部横截面的情况对待。

8.5.22 试验检测报告除应包括第 3.6 节规定的内容外,尚应包括下列内容:

- (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坐标系;
- (3) 采用主频值、PSD 值或接收信号能量进行辅助分析判定时,绘制相应的主频—深度曲线、PSD 曲线或能量—深度曲线;
- (4) 各检测剖面实测波列图;
- (5) 加密测试、扇形扫测的有关情况说明;
- (6) 管距进行修正时,注明进行管距修正的范围及方法。

附录 A 打入桩可打性分析

A.0.1 钢管桩、预制混凝土桩等打入桩打桩施工前,应根据地质条件、承载力要求、桩端设计高程、打桩锤参数等,分析基桩轴向极限承载力、总锤击数和终锤贯入度。

A.0.2 基桩轴向极限承载力根据具体情况可采用承载力经验参数法或静力触探等方法确定;采用经验参数法估算基桩轴向极限承载力时,还应满足现行行业标准《码头结构设计规范》(JTS 167)的相关要求。

A.0.3 可打性理论分析应符合下列要求。

A.0.3.1 打桩总锤击数和终锤贯入度宜采用考虑土阻力的一维波动方程,即式(A.0.3-1)进行分析,利用数值差分法求解,有条件时可采用基于考虑土阻力的一维波动方程的可打性分析软件,进行基桩的可打性分析。

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{C} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + \frac{1}{W \cdot C^2} R \quad (\text{A.0.3-1})$$

式中 u —— x 处桩截面的质点位移(m);

x ——桩截面的位置坐标(m);

t ——时间(s);

W ——桩身质量(kg);

R ——桩身土阻力(kN);

C ——弹性应力波波速(m/s), $C = (E/\rho)^{\frac{1}{2}}$;

E ——桩身材料的弹性模量(kPa);

ρ ——桩身材料的密度(t/m^3)。

A.0.3.2 求解考虑土阻力的一维波动方程时,宜将桩锤—垫层—桩—土组成的打桩系统离散为质量块—弹簧—阻尼器模型。其中,桩锤、桩帽、垫层、锤垫、桩垫、桩身的弹性由无质量的弹簧模拟,各部分的质量由不可压缩的刚性块体模拟;桩周土的弹性极限静阻力和塑性动阻力用由弹簧、摩擦键、阻尼壶组成的土体流变模型模拟。

A.0.3.3 桩身宜离散为 N 个长度为 L_i ($i = 1, 2, \dots, N$) 的单元,每个单元由 1 个无质量的弹簧、1 个质量块、1 个阻尼器组成,其中阻尼器可采用黏滞阻尼模型,见下列公式:

$$L_i = a_i \cdot L \quad (\text{A.0.3-2})$$

$$W_i = \rho_i \cdot A_i \cdot L_i \quad (\text{A.0.3-3})$$

$$k_i = E_i \cdot A_i / L_i \quad (\text{A.0.3-4})$$

式中 L_i ——第 i 个桩单元长度(m),宜取 $L_i \leq 1 \text{ m}$,当需增加计算精度或桩身阻抗有变化时应适当减小 L_i 的取值;

- α_i ——第 i 个桩单元长度乘子, $\sum_{i=1}^N \alpha_i = 1.0$;
 L ——桩的总长度(m);
 W_i ——第 i 个桩单元质量(kg);
 ρ_i ——第 i 个桩单元的材料密度(kg/m^3);
 A_i ——第 i 个桩单元横截面面积(m^2);
 k_i ——第 i 个桩单元刚度(kN/m);
 E_i ——第 i 个桩单元桩身材料的弹性模量(kPa)。

A.0.3.4 桩身土阻力应包括土静阻力和土动阻力。土的静阻力可采用无质量的弹簧表示,见式(A.0.3-5);土的动阻力计算可采用 Smith 标准阻尼模型,见式(A.0.3-6);计算结果需与现场打桩监控试验结果对照使用时,也可采用 Case 黏滞阻尼模型计算,见式(A.0.3-6)。

$$\begin{cases} R_{si} = \frac{u_i}{q_i} Q_i & u_i \leq q_i \\ R_{si} = Q_i & u_i > q_i \end{cases} \quad (\text{A.0.3-5})$$

$$R_{di} = j_{si} \cdot |R_{si}| \cdot v_i \quad (\text{A.0.3-6})$$

$$R_{di} = j_{ci} \cdot v_i \cdot \sqrt{Z_i} \quad (\text{A.0.3-7})$$

- 式中 R_{si} ——第 i 个桩单元的极限静土阻力(kN);
 u_i ——第 i 个桩单元的位移(m);
 Q_i ——第 i 个桩单元的极限侧摩阻力或端阻力(kN);
 q_i ——第 i 个桩单元桩侧或桩端土体弹限对应的位移(m),桩侧土可取 $q_i = 2.5\text{mm}$,桩端土为软土时可取 $q_i = D/60$,桩端土致密时可取 $q_i = D/120$, D 为桩径;
 R_{di} ——第 i 个桩单元的动土阻力(kN);
 j_{si} ——第 i 个桩单元的 Smith 阻尼系数;
 v_i ——第 i 个桩单元的速度(m/s);
 j_{ci} ——第 i 个桩单元的 Case 阻尼系数;
 Z_i ——第 i 个桩单元桩身截面力学阻抗($\text{kN} \cdot \text{s}/\text{m}$)。

A.0.3.5 打桩锤宜简化为弹簧和质量块。根据锤芯的长度,可将柴油锤、液压锤或振动锤离散为 M 个长度为 L'_i ($i = 1, 2, \dots, M$) 的单元,每个单元由 1 个无质量的弹簧和 1 个质量块组成,单元刚度和单元重力分别见式(A.0.3-8)和式(A.0.3-9)。

$$k_i = E'_i \cdot A'_i / L'_i \quad (\text{A.0.3-8})$$

$$W'_i = \gamma'_i \cdot A'_i \cdot L'_i \quad (\text{A.0.3-9})$$

- 式中 k_i ——第 i 个打桩锤单元刚度(kN/m);
 E'_i ——第 i 个打桩锤单元材料的弹性模量(kPa);
 A'_i ——第 i 个打桩锤单元横截面面积(m^2);
 L'_i ——第 i 个打桩锤单元长度(m),对于柴油锤和液压锤可取 $L'_i = 1\text{m}$;

W'_i ——第 i 个打桩锤单元重力(kN)；

γ'_i ——第 i 个打桩锤单元的材料重度(kN/m³)。

A.0.3.6 打桩锤对桩的一次锤击可用应力波在桩锤—垫层—桩—土系统中传播所产生的波动分析。分析时宜将一次锤击时间分成若干个时间段 Δt , 可取 $\Delta t = (1/4000 \sim 1/3000)$ s。在 Δt 时间内应力波仅在一个单元内运动, 可做匀速运动处理, 将问题转化为各分离单元的运动问题迭代计算。

A.0.3.7 出现下列情况之一时可终止计算:

- (1) 桩端贯入度即桩端单元的位移已达到最大值, 不再增加;
- (2) 各单元的速度均已等于零或为负值;
- (3) 重复迭代计算次数已达到规定次数。

A.0.4 存在施工间歇、不能连续施打的基桩的可打性分析, 应考虑间歇期土阻力恢复的影响。

A.0.5 管桩的可打性分析应考虑土塞作用对沉桩性状的影响, 大直径管桩尚应考虑桩内侧土阻力对沉桩的影响。

A.0.6 基桩的可打性分析结果宜与打桩过程监测结果对比分析。

A.0.7 可打性分析报告应包括下列内容:

- (1) 基桩轴向承载力;
- (2) 桩身压应力和拉应力;
- (3) 终锤贯入度;
- (4) 基桩轴向承载力—贯入度曲线;
- (5) 总锤击数或振动下沉时间;
- (6) 桩身最大能量;
- (7) 打桩设备。

附录 B 桩的试打测试与打桩过程监测

B.0.1 桩的试打测试可作为工程桩桩型、桩长、桩端持力层和沉桩锤型选择的依据。桩的试打测试,应按实际需要确定所需测试的土层和高程。试打桩位置的工程地质条件应具有代表性。

B.0.2 桩端持力层宜根据试打桩实测承载力与贯入度的关系,并结合场地工程地质勘察资料综合确定。

B.0.3 打桩终锤标准宜通过试打桩测得的承载力与贯入度的关系,以承载力为基准制定。

B.0.4 根据桩的试打测试所估算的桩的承载力值,应为初打测得的静土阻力值与地基土的强度恢复系数的乘积,并应进行复打测试校核,复打桩数不宜少于3根。不同土层内的复打至初打的间歇时间应符合第3.3.5.4款的规定。

B.0.5 试打桩的桩型、材质、沉桩锤型、桩锤落距和垫层材料应与工程桩相同。

B.0.6 桩身锤击应力监测应包括桩身锤击拉应力和锤击压应力两部分。

B.0.7 锤击时桩身应力最大值的监测应符合下列规定。

B.0.7.1 桩身锤击拉应力宜在桩端进入软土层或桩端穿过硬土层进入软土层时测试。

B.0.7.2 桩身锤击压应力宜在桩端进入硬土层或桩周土阻力较大时测试。

B.0.8 最大桩身锤击拉应力可按下列公式计算:

$$\sigma_t = \frac{Z \cdot V(t_2) - F(t_2) - Z \cdot V(t_y) - F(t_y)}{2A} \quad (\text{B.0.8-1})$$

$$t_y = t_1 + \frac{2000(L - X)}{C} \quad (\text{B.0.8-2})$$

式中 σ_t ——最大桩身锤击拉应力(kPa);

Z ——桩身截面力学阻抗(kN·s/m);

$V(t_2)$ —— t_2 时刻测点处实测的速度(m/s);

$F(t_2)$ —— t_2 时刻测点处实测的锤击力(kN);

$F(t_y)$ —— t_y 时刻测点处实测的锤击力(kN);

$V(t_y)$ —— t_y 时刻测点处实测的速度(m/s);

A ——桩身截面面积(m²);

t_1 ——速度第一峰对应的时刻(ms);

L ——测点以下桩长(m);

X ——计算点与测点间的距离(m);

C ——桩身应力波波速(m/s)。

B.0.9 最大桩身锤击压应力可按下式计算:

$$\sigma_p = F_{\max}/A \quad (\text{B.0.9})$$

式中 σ_p ——最大桩身锤击压应力(kPa);

F_{\max} ——力传感器测得的最大锤击力(kN);

A ——桩身截面面积(m^2)。

B.0.10 锤击能量监测应符合下列规定。

B.0.10.1 桩锤传递给桩的能量可按下式计算:

$$E_n = \int_0^T F \cdot V dt \quad (\text{B.0.10})$$

式中 E_n ——桩锤实际传递给桩的能量(kJ);

T ——采样结束的时刻(ms);

F ——某时刻测点处实测的锤击力(kN);

V ——某时刻测点处实测的速度(m/s)。

B.0.10.2 桩锤最大动能宜通过测定锤芯最大运动速度确定。

B.0.10.3 桩锤能量传递比应按桩锤实际传递给桩的能量与桩锤额定能量的比值确定;桩锤效率应按实际的桩锤最大动能与桩锤额定能量的比值确定。

附录 C 混凝土桩桩头处理

- C.0.1 混凝土桩应先凿掉桩顶部的破碎层以及软弱或不密实混凝土。
- C.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。
- C.0.3 桩头主筋应全部包裹在桩顶混凝土保护垫层之下,各主筋应在同一高度上。
- C.0.4 距桩顶 1 倍桩径范围内,宜用厚度为 3mm~5mm 的钢板围裹或距桩顶 1.5 倍桩径范围内设置箍筋,间距不宜大于 100mm。桩顶应设置钢筋网片 2 层~3 层,间距 60mm~100mm。
- C.0.5 桩头混凝土强度等级宜比桩身混凝土提高 1 级~2 级,且不得低于 C30。
- C.0.6 高应变法检测的桩头测点处截面尺寸应与原桩身截面尺寸相同。
- C.0.7 桩顶应与桩身中轴线垂直。

附录 D 静载荷试验记录表

D.0.1 基桩轴向抗压静载荷试验检测宜按表 D.0.1 的格式记录。

表 D.0.1 基桩轴向抗压静载荷试验检测记录表

工程名称:	试验桩类型及规格:	泥面高程:
试验日期:	桩顶高程:	入土深度:
试验桩编号:	桩尖高程:	天气:
仪器名称及编号:		

序号	桩顶荷载(kN)	测读时间(h:min)	间隔时间(min)	读 数					沉降(mm)		备注
				表 1	表 2	表 3	表 4	平均	本次	累计	

试验: _____ 记录: _____ 校核: _____

D.0.2 基桩轴向抗拔静载荷试验检测宜按表 D.0.2 的格式记录。

D.0.2 基桩轴向抗拔静载荷试验检测记录表

工程名称:	试验桩类型及规格:	泥面高程:
试验日期:	桩顶高程:	入土深度:
试验桩编号:	桩尖高程:	天气:
仪器名称及编号:		

序号	桩顶荷载(kN)	测读时间(h:min)	间隔时间(min)	读 数					上拔量(mm)		备注
				表 1	表 2	表 3	表 4	平均	本次	累计	

试验: _____ 记录: _____ 校核: _____

D.0.3 基桩水平静载荷试验检测宜按表 D.0.3 的格式记录。

表 D.0.3 基桩水平静载荷试验检测记录表

工程名称：试验桩类型及规格：泥面高程：
 试验日期：桩顶高程：入土深度：
 试验桩编号：桩尖高程：天气：
 仪器名称及编号：上下表距离：

序号	水平荷载 (kN)	测读时间 (h:min)	读 数						水平位移(mm)				桩顶 转角 θ (m)	备注
			上表			下表			上表		下表			
			1	2	平均	1	2	平均	本次	累计	本次	累计		

试验：记录：校核：

附录 E 水平承载力系数 m 值的计算方法

E.0.1 弹性长桩水平地基反力系数随深度增长的比例系数 m 值的计算,应对弹性长桩在水平荷载下的位移进行分析,位移分析示意图见图 E.0.1。

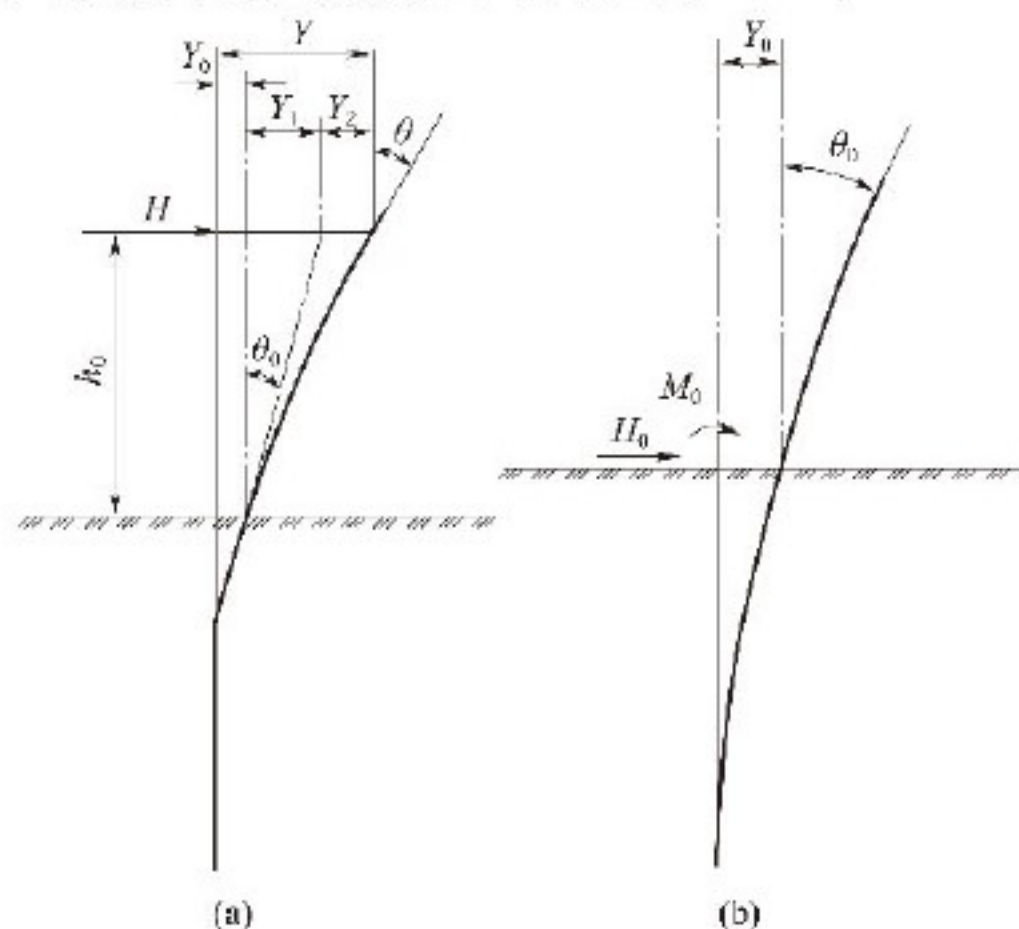


图 E.0.1 弹性长桩在水平荷载作用下的位移分析示意图
(a)位移分析示意图;(b)泥面处水平荷载作用简化示意图

H -水平荷载(kN); H_0 -作用在泥面处的水平荷载(kN); M_0 -作用在泥面处的弯矩(kN·m); Y -水平荷载作用下桩在作用点处的水平位移(m); Y_0 -水平荷载作用下泥面变形引起桩在泥面高程处的水平位移(m); Y_1 -水平荷载作用下桩身泥面处截面转角引起水平荷载作用点处的水平位移(m); Y_2 -假定泥面高程处桩身为固端,水平荷载作用下引起桩身水平荷载作用点处的水平位移(m); θ_0 -水平荷载作用下桩在泥面高程处截面转角(rad); θ -水平荷载作用下桩顶截面转角(rad)

E.0.2 θ_0 和 Y_0 的取值宜采用实测数据,无实测数据时,可按下列公式计算:

$$\theta_0 = \theta - \frac{Hh_0^2}{2E_p I} \quad (\text{E.0.2-1})$$

$$Y_0 = Y - \theta h_0 + \frac{Hh_0^3}{6E_p I} \quad (\text{E.0.2-2})$$

式中 θ_0 ——水平荷载作用下桩在泥面高程处截面转角(rad);
 θ ——水平荷载作用下桩顶截面转角(rad);
 H ——水平荷载(kN);
 h_0 ——水平荷载作用点至泥面的距离(m);

E_p ——桩身材料的弹性模量(kN/m²)；

I ——桩截面的惯性矩(m⁴)；

Y_0 ——水平荷载作用下泥面变形引起桩在泥面高程处的水平位移(m)；

Y ——水平荷载作用下桩在作用点处的水平位移(m)。

E.0.3 m 值应按下列方法进行计算。

E.0.3.1 同级水平荷载作用下,桩的相对刚度系数 T 值应由式(E.0.3-1)计算, m 值应由式(E.0.3-2)计算。

$$Y_0 = 2.441 \frac{H_0 T^3}{E_p I} + 1.621 \frac{M_0 T^2}{E_p I} \quad (\text{E.0.3-1})$$

$$T = \sqrt[5]{\frac{E_p I}{m b_0}} \quad (\text{E.0.3-2})$$

式中 Y_0 ——水平荷载作用下泥面变形引起桩在泥面高程处的水平位移(m)；

H_0 ——作用在泥面处的水平荷载(kN)；

T ——桩的相对刚度系数(m)；

E_p ——桩身材料的弹性模量(kN/m²)；

I ——桩截面的惯性矩(m⁴)；

M_0 ——作用在泥面处的弯矩(kN·m)；

m ——桩侧地基土的水平抗力系数随深度增长的比例系数(kN/m⁴)；

b_0 ——桩的换算宽度(m),等于2倍桩径或桩宽。

E.0.3.2 直接计算 m 值有困难时,可采用试算法进行计算。先假设一个 m 值,由式(E.0.3-2)求得 T 值,由式(E.0.3-1)求得 Y_0 值,与式(E.0.2-2)计算的 Y_0 值比较,反复试算,当两个 Y_0 值相符时,假设的 m 值即为所求值。

附录 F 芯样试件加工和测量

F.0.1 芯样加工时应将芯样固定,锯切平面垂直于芯样轴线。锯切过程中应淋水冷却金刚石圆锯片。

F.0.2 锯切后的芯样试件不满足平整度及垂直度要求时,应在磨平机上磨平;必要时应用水泥砂浆、水泥净浆、硫磺胶泥或硫磺等材料在专用补平装置上补平,水泥砂浆或水泥净浆的补平厚度不宜大于5mm,硫磺胶泥或硫磺的补平厚度不宜大于1.5mm。

F.0.3 补平层应与芯样结合牢固,受压时补平层与芯样的结合面不得提前破坏。

F.0.4 试验前,芯样试件的几何尺寸的测量应满足下列要求:

(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。

F.0.5 芯样试件出现下列情况之一时,不得用作抗压或单轴抗压强度试验:

(1) 试件有裂缝或有其他较大缺陷;

(2) 混凝土芯样试件内含有钢筋;

(3) 混凝土芯样试件高度小于0.95倍芯样平均直径或大于1.05倍芯样平均直径时;

(4) 岩石芯样试件高度小于2.0倍芯样平均直径或大于2.5倍芯样平均直径;

(5) 沿试件高度任一直径与平均直径相差达2mm以上;

(6) 试件端面的不平整度在100mm长度内超过0.1mm;

(7) 试件端面与轴线的不垂直度超过2°;

(8) 表观混凝土粗骨料最大粒径大于芯样试件平均直径0.5倍。

附录 G 本规范用词说明

为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

- (1) 表示很严格,非这样做不可的,正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;
- (2) 表示严格,在正常情况下均应这样做,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,采用“可”。

引用标准名录

1. 《建筑地基基础设计规范》(GB 50007)
2. 《水运工程地基基础试验检测技术规程》(JTS 237)
3. 《码头结构设计规范》(JTS 167)
4. 《码头结构施工规范》(JTS 215)
5. 《水运工程岩土勘察规范》(JTS 133)
6. 《港口工程桩基静载荷试验规程》(JTJ 255)
7. 《港口工程桩基动力检测规程》(JTJ 249)
8. 《桩基静载试验 自平衡法》(JT/T 738)
9. 《建筑基桩检测技术规范》(JGJ 106)
10. 《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120)

目 次

1	总则	(67)
3	基本规定	(68)
3.1	一般规定	(68)
3.2	试验检测目的与方法选择	(68)
3.3	试验检测工作程序	(69)
3.4	试验检测数量	(70)
3.5	验证与扩大检测	(71)
3.6	试验检测报告	(71)
4	轴向抗压承载力	(72)
4.1	一般规定	(72)
4.2	轴向抗压静载荷试验	(72)
4.4	高应变法	(73)
5	轴向抗拔承载力	(74)
5.1	一般规定	(74)
5.3	锚杆嵌岩桩的锚杆抗拔静载荷试验	(74)
6	水平承载力	(75)
6.1	一般规定	(75)
6.3	试验方法	(75)
6.4	成果分析	(75)
7	分层侧摩阻力试验	(76)
7.3	试验方法和成果分析	(76)
8	桩身完整性	(77)
8.2	高应变法	(77)
8.3	低应变法	(77)
8.4	钻芯法	(77)
8.5	声波透射法	(78)
附录 B	桩的试打测试与打桩过程监测	(82)

1 总 则

1.0.1 水运工程建设在近年来得到了蓬勃发展,但水运工程基桩方面没有统一的试验检测规范,迫切需要在行业内统一试验、检测技术要求,这也符合《水运工程标准体系》的要求。

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.4 确定轴向承载力的方法有多种,但最可靠的仍是静载荷试验法。因此,一般情况下需要首先考虑采用静载荷试验法,尤其对于大型或重要工程,更强调采用静载荷试验法,只有在一定的条件下才不进行静载荷试验。

条文中第(4)项其他可靠的替代试验方法,如灌注桩试验的自平衡试桩法等。

3.1.5 桩身完整性对基桩轴向抗压、轴向抗拔和水平承载力存在一定的影响,尤其是完整性为Ⅲ类和Ⅳ类的桩,进行静载试验得到的承载力不能真实反映项目中同类型基桩的承载力情况,同时试验过程中可能存在严重的安全隐患,使静载试验不能安全、顺利地进行。

3.1.6 表 3.1.6 确定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和采用。

桩基整体施工质量问题可以由桩身完整性普测发现,如果不能就提供的完整性检测结果判断对桩承载力的影响程度,进而估计是否危及上部结构安全,那么在很大程度上就减少了桩身完整性检测的实际意义。桩的承载功能是通过桩身结构承载力实现的。完整性类别划分主要是根据缺陷程度,但这种划分不能机械地理解为不需考虑桩的设计条件和施工因素。综合判定能力对检测人员极为重要。

按桩身完整性定义中连续性的含义,只要实测桩长小于施工记录桩长,桩身完整性就判为Ⅳ类。这对桩长虽短、桩端进入了设计要求的持力层且桩的承载力基本不受影响的情况也如此。

3.2 试验检测目的与方法选择

3.2.1 桩基工程一般按勘察、设计、施工、验收四个阶段进行,基桩试验和检测工作多数情况下分别放在设计和验收两阶段,即施工前和施工后。大多数桩基工程的试验和检测工作是在这两个阶段展开的,但对桩数较多、施工周期较长的大型桩基工程,验收检测需要尽早在施工过程中穿插进行,因而大力提倡这种做法。

本条强调检测方法合理选择搭配,目的是提高检测结果的可靠性和检测过程的可操作性。表 3.2.1 所列方法是基桩检测中最常用的检测方法。对于冲钻孔、挖孔和沉管灌注桩以及预制桩等桩型,采用其中多种甚至全部方法进行检测;但对异型桩、组合型桩,表 3.2.1 中的部分方法就不能完全适用(如高、低应变动测法)。因此在具体选择检测方法时,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、地基

条件、施工因素和工程重要性等情况确定,不允许超适用范围滥用。同时也要兼顾实施中的经济合理性,即在满足正确评价的前提下,做到快速经济。

工程桩承载力验收检测方法,根据基桩实际受力状态和设计要求合理选择。以轴向承压为主的基桩通常采用轴向抗压静载荷试验,考虑到高应变法快速、经济和检测桩覆盖面较大的特点,对符合一定条件及高应变法适用范围的桩基工程,也可以选用高应变法作为补充检测。例如条件相同、预制桩量大的桩基工程中,一部分桩可选用静载法检测,而另一部分可用高应变法检测,前者作为后者的验证对比资料。对不具备条件进行静载荷试验的端承型大直径灌注桩,可以采用钻芯法检查桩端持力层情况,也可以采用深层载荷板试验进行核验。对专门承受轴向抗拔荷载或水平荷载的桩基,则选用轴向抗拔静载荷试验方法或水平承载力试验方法。

桩身完整性检测方法有低应变法、声波透射法、高应变法和钻芯法,除中小直径灌注桩外,大直径灌注桩一般同时选用两种或多种的方法检测,使各种方法能相互补充印证、优势互补。另外,对设计等级高、地基条件复杂、施工质量变异性大的桩基,或低应变完整性判定可能有技术困难时,提倡采用直接法(静载荷试验、钻芯和开挖,管桩可采用孔内摄像)进行验证。

3.3 试验检测工作程序

3.3.1 实际执行检测程序中,由于不可预知的原因,如委托要求的变化、现场调查情况与委托方介绍的不符,或在现场检测尚未全部完成就已发现质量问题而需要进一步排查,都可能使原检测方案中的检测数量、受检桩桩位、检测方法发生变化。如首先用低应变法普测(或扩检),再根据低应变法检测结果,采用钻芯法、高应变法或静载荷试验,对有缺陷的桩重点抽测。所以规定必要时,还应进行验证检测或扩大检测。

3.3.2 本条对调查阶段工作提出了具体要求。为了正确地对基桩质量进行检测和评价,详细了解和搜集有关技术资料,检测工作中常按表 3.1 填写受检桩设计施工概况。

表 3.1 受检桩设计施工概况表

桩号	桩横截面尺寸	混凝土设计强度等级(MPa)	设计桩顶高程(m)	检测时桩顶高程(m)	施工桩底高程(m)	施工桩长(m)	成桩日期	设计桩端持力层	基桩承载力特征值或极限值(kN)	备注
工程名称				地点				桩型		

3.3.3 本条提出的检测方案内容为一般情况下包含的内容,条文中所需的其他配合事项是指桩头加固、处理方案以及场地开挖、道路、供电、照明等。

3.3.4 检测所用仪器应进行定期检定或校准,以保证基桩检测数据的准确可靠性和可追溯性。虽然测试仪器在有效计量检定或校准周期之内,但由于基桩检测工作的环境较差,使用期间仍可能由于使用不当或环境恶劣等造成仪器仪表受损或校准因子发生变化。因

此,检测前还应对测试仪器、配套设备进行检查调试。

3.3.5 混凝土的强度随时间的增加而增长,其物理力学性能、声学参数也随之发生变化。桩基工程受季节气候、周边环境或工期紧的影响,往往不允许等到全部工程桩施工完并都达到28d龄期强度后再开始检测。为做到信息化施工,尽早发现桩的施工质量问题并及时处理,同时考虑到低应变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适当放宽。但如果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,或同一场地由于桩的龄期相差大,声速的变异性增大。因此,对于低应变法或声波透射法的测试,规定桩身混凝土强度应不低于设计强度的70%,且不应低于15MPa。

高应变法和静载荷试验在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;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。因此,桩身混凝土应达到28d龄期或设计强度。

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,以高灵敏度饱和黏性土中的摩擦桩最明显。随着休止时间的增加,土体重新固结,土体强度逐渐恢复提高,桩的承载力也逐渐增加。成桩后桩的承载力随时间而变化的现象称为桩的承载力时间(或歇后)效应,我国软土地区这种效应尤为突出。大量资料表明,时间效应可使桩的承载力比初始值增长。其变化规律一般是初期增长速度较快,随后渐慢,待达到一定时间后趋于相对稳定,其增长的快慢和幅度除与土性和类别有关,还与桩的施工工艺有关。

3.3.6 由于检测成本和周期问题,很难做到对桩基工程全部基桩进行检测。施工后验收检测的最终目的是查明隐患、确保安全。为了在有限的检测数量中更能充分暴露桩基存在的质量问题,需要检测施工质量有疑问的桩、局部地基条件出现异常的桩、承载力验收检测时部分选择完整性检测中出现异常的桩、设计方认为重要的桩和施工工艺不同的桩。

3.3.7 测试数据异常通常是因测试人员误操作、仪器设备故障及现场准备不足造成的。用不正确的测试数据进行分析得出的结果必然不正确。对此,需要及时分析原因,组织重新检测。

3.3.8 操作环境要求是按测量仪器设备对使用温湿度、电压波动、电磁干扰、振动冲击等现场环境条件的适应性规定的。

3.4 试验检测数量

3.4.2 随着灌注桩技术的发展,其使用越来越广泛,灌注桩桩身混凝土的质量也越来越受到关注,抽检频率有所提高。本条文是根据多年的工程实践提出的。当采用声波透射法检测发现质量有疑问的桩身,或在施工过程中发现质量可靠性较低的桩,就需逐根检查。

3.4.4 本条文规定了五种情况下,应采用静载荷试验进行基桩轴向承载力的验收检测,作为强制性条文,主要是因为:

在何种条件下工程桩进行单桩竖向抗压静载试验及检测数量低限。采用挤土沉桩工艺时,由于土体的侧挤和隆起,质量问题(桩被挤断、拉断、上浮等)时有发生,尤其是大面

积密集群桩施工,加上施打顺序不合理或打桩速率过快等不利因素,常引发严重的质量事故。有时施工前虽做过静载试验并以此作为设计依据,但因前期施工的试桩数量毕竟有限,挤土效应并未充分显现,施工后的单桩承载力与施工前的试桩结果相差甚远,对此需要给予足够的重视。

3.4.5.3 端承型大直径灌注桩(事实上对所有高承载力的桩),往往不允许任何一根桩承载力失效,否则后果不堪设想。由于试桩荷载大或场地限制,有时很难,甚至无法进行基桩轴向抗压承载力静载检测。本条文规定体现了“多种方法合理搭配,优势互补”的原则,如自平衡法,成桩后的钻芯法沉渣厚度测定、桩端持力层钻芯鉴别。

3.4.6 打桩过程监控可以减少桩的破损率和选择合理的入土深度,进而提高沉桩效率。

3.5 验证与扩大检测

3.5.1 基桩轴向抗压承载力验证应采用基桩轴向抗压静载荷试验,作为强制性条文,主要是因为基桩轴向抗压静载荷试验为最可靠和最准确的方法,验证结果可信度最高。

3.5.3 管桩孔内摄像的优点是直观、定量化,《基桩孔内摄像检测技术规程》(CECS 253)给出了其原理及操作细节。

3.5.8 本条文作为强制性条文,主要是因为基桩承载力或完整性不符合要求时,存在安全性和耐久性方面的隐患。从而严重影响基桩安全和寿命,因此,需扩大检测。

3.6 试验检测报告

3.6.1 本条文的目的是杜绝检测报告仅有检测结果而无任何检测数据和图表的现象。

4 轴向抗压承载力

4.1 一般规定

4.1.1~4.1.3 轴向抗压静载荷试验分为极限承载力试验和检验性试验。检验性试验一般采用工程桩进行,加载量由设计提出,仅检验承载力是否满足设计的要求。极限承载力试验指桩加载到破坏状态前或出现不适于继续承载变位的试验,其加载量比检验性试验大,一般在专供做破坏性试验的桩上进行。

轴向抗压极限承载力试验,主要是为了准确地确定基桩的极限承载能力,给合理进行桩基础设计提供依据,因此该项试验宜在设计阶段进行。

工程桩轴向抗压承载力检验性试验,主要目的是验证工程桩的承载力是否满足设计要求,这样既可利用施工中的现有条件、节省试验费用,又能保证桩基础满足承载力要求,确保工程质量。

4.1.4 快速维持荷载法与慢速维持荷载法是我国目前最为常用的方法,两者所确定的极限承载力大致相同,其误差也被认为能为工程应用所接受。在水域环境较差和外海的情况下,一般多采用快速维持荷载法,以避免可能出现的恶劣气候环境因素对试验造成影响。

4.1.8 要求试验桩位附近有代表性钻孔、具有详细的土层分层和土的物理力学指标,是为了明确试验成果的适用条件。

4.2 轴向抗压静载荷试验

4.2.6 预估最大试验荷载为计划施加于试验桩上的最大荷载,与实际情况可能有一些差异,为使试验不致因反力系统或加载设备能力不足而中断,其加载能力需要考虑一定的富裕量。

4.2.7 为了不使试验桩桩顶承受过大的局部荷载,在千斤顶与试验桩之间应放置钢垫块;同样在千斤顶与反力梁之间也应设置钢垫块。

4.2.8 为确保在试桩过程中,减少外界因素对观测系统的影响,较准确地观测试验桩在载荷作用下的沉降。因此,本条文要求采取防雨、防晒、防振和防碰撞等措施,并规定基准梁一端固定、一端简支,且采用4个位移计或百分表观测沉降,以降低观测误差。

4.2.11、4.2.13 快速维持荷载法一般采用1h加一级荷载,但在外海气象、水文十分恶劣的条件下,当天很难完成试验。为此,对于桩尖进入良好持力层的试验桩,采用0.5h加一级荷载,一般可在8h内完成试验。

4.4 高应变法

4.4.1 除嵌入基岩的大直径桩和摩擦型大直径桩外,大直径灌注桩、扩底桩(墩)由于桩端尺寸效应明显,通常其静载 $Q-s$ 曲线表现为缓变型,端阻力发挥所需的位移很大。而多数情况下高应变检测所用锤的重量有限,很难在桩顶产生较长持续时间的荷载作用,达不到使土阻力充分发挥所需的位移量。

4.4.6 除钢桩的桩身波速可视为定值外,混凝土桩的波速一般在 $3600\text{m/s} \sim 4400\text{m/s}$ 之间,检测时,需要预先设定经验波速,然后根据实测波形计算后加以调整。

4.4.10 本条对曲线拟合时间段长度作出规定,是为了取得必要的计算分析数据。水运工程桩一般以长桩为主,取 $5L/C$ 已能满足上述要求。

4.4.11 CASE 法确定基桩承载力的关键在于选取合理的阻尼系数。本条规定阻尼系数应根据动静对比试验或实测曲线拟合法来确定。阻尼系数只是经验参数,不同地质条件、不同类型的桩,其阻尼系数也不同,因此 CASE 法确定承载力需要谨慎采用。

5 轴向抗拔承载力

5.1 一般规定

5.1.4 为了使轴向抗拔静载荷试验反映工程实际情况,要求试验桩成桩工艺和质量控制标准与工程桩一致。主筋应通长布置,以满足桩身强度的要求。

5.1.5 当为设计提供依据时,应加载到能判别基桩抗拔极限承载力为止,或加载到桩身材料设计强度限值,工程桩验收检测时,要求加载量不低于基桩轴向抗拔承载力设计值2.0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基桩轴向抗拔承载力设计值的2.0倍,因此试验时的最大上拔荷载只能按设计要求确定。

5.3 锚杆嵌岩桩的锚杆抗拔静载荷试验

5.3.6 锚杆验证性试验加载限制在抗拔力设计值的1.1倍~1.2倍,目的是保证工程桩不发生破坏,处于安全状态。

6 水平承载力

6.1 一般规定

6.1.4、6.1.5 对有足够入土深度的长桩,桩周土体与水平荷载试验密切相关的只是土层的上部,根据土层性质的不同,承受水平荷载桩的第一弯矩零点一般在泥面以下 13 倍~16 倍桩径或桩宽之间。因此本条文中对工程地质钻探资料和试验间歇时间的要求,重点关注泥面以下 16 倍桩径或桩宽范围内的土层性质。

6.1.8 本条文规定水平荷载作用点高程宜与实际工程桩基承台底面高程一致,主要是使试验桩尽量符合工程桩承受水平荷载的实际状况,使获得的试验数据更具有代表性。水平力的方向应通过桩截面中心,则是为了避免试验桩受扭而影响试验结果。

6.1.9 水运工程桩基的特点是水平荷载作用点与泥面之间距离较大,故本条规定,对试验桩结构抗弯能力和抗变形能力应按预估最大试验荷载进行验算,其目的是保证试验顺利进行。

6.3 试验方法

6.3.1 根据水运工程试验的特点,单向单循环水平荷载试验方法简捷明了,应用广泛,积累的经验较多,故本条文推荐单向单循环水平荷载试验方法。

6.3.3~6.3.5 条文规定有关水平荷载试验测试桩顶转角、桩身弯曲应变和桩身挠曲变形的的方法,反映了近年来水运工程基桩水平承载力试验常用的测试技术手段。

6.3.9 试验终止加载的条件考虑两个方面:一是因在很多情况下试验桩由工程桩兼用,因此不允许让试验桩承受过大的水平荷载或发生过大的侧向变形,这种情况由最大水平荷载或最大水平变形控制;二是允许进行到破坏的试验情况,这种情况则以试验中出现变形突增、变形速率明显加快以及地基土出现明显斜裂缝等为特征。

6.4 成果分析

6.4.1 P - Y 曲线是水平荷载作用下反映地基土应力—应变特性的关系曲线,它是桩侧土体固有的特性。

7 分层侧摩阻力试验

7.3 试验方法和成果分析

7.3.4 电阻应变测量通常采用四线制,导线长度超过5m~10m就需对导线电阻引起的桥压下降进行修正。采用六线制长线补偿是指通过增加2根导线作为补偿取样端,从而形成闭合回路,消除长导线电阻及温度变化带来的误差。

由于混凝土属于非线性材料,当应变或应力水平增加时,其模量会发生不同程度递减, E_c 并非常数,实则为割线模量。

进行长期监测时,桩体在内力长期作用下除发生弹性应变外,也会发生徐变,若得到的应变中包含较大的徐变量,将影响分析结果。因此,应去除徐变。

8 桩身完整性

8.2 高应变法

高应变法检测桩身完整性,通常随基桩轴向承载力检测同步进行,因其能量较大,在测试深度及准确性方面均优于低应变检测,但与低应变检测相比,费用较大、时间较长,因此一般未普遍采用。

与低应变法检测的快捷、廉价相比,高应变法检测桩身完整性虽然是附带性的,但由于其激励能量和检测有效深度大的优点,特别在判定桩身水平整合型缝隙、预制桩接头等缺陷时,能够在查明这些“缺陷”是否影响轴向抗压承载力的基础上,合理判定缺陷程度。

8.3 低应变法

8.3.1 低应变法检测桩身完整性的方法比较多,本规范主要推荐采用反射波法。近年来,随着波动理论的深入研究和电子技术的进步,反射波法用于检测桩身完整性,已成为当前最重要、最普及的方法之一,与其他方法相比,该方法更适用于水运工程的桩基检测。但是应变法目前只能较准确地确定桩顶下第一个缺陷的位置,对多个缺陷的判断则存在困难,更不能定量地确定缺陷的大小及其危害程度。

8.3.11 最佳激振方式试验的主要目的是选择合适的激振波并确定激振点和传感器安装位置,以便减少表面波及横波的影响,从而获得正常的测试信号。

8.3.12 有承台的桩的检测是水运工程中的一个特殊课题。水运工程的高桩码头在使用或施工过程中,有时会发生海损事故,承台下的桩在事故中会遭受侧向外力撞击而导致桩身损伤,根据反射波法的原理及此前积累的测试经验,证明采用低应变反射波法检测承台下的桩是可行的,而且目前侧向安装的加速度传感器也已面世,因其安装更加方便及灵敏度提高等因素,检测的可靠性会更高。

8.3.14 对实测信号值进行平均处理是提高信噪比的有效手段;选择具有良好的 consistency 且不含零漂及高频干扰成分的信号值进行平均,则效果更佳。

8.4 钻芯法

8.4.1 钻芯法是检测钻(冲)孔、人工挖孔等现浇混凝土灌注桩成桩质量的一种有效手段,不受场地条件的限制,特别适用于大直径混凝土灌注桩的成桩质量检测。

8.4.2 当钻芯孔为一个时,条文规定宜在距桩中心 10cm~15cm 的位置开孔,一是考虑导管附近的混凝土质量相对较差、不具有代表性,二是方便验证时的钻孔位置布置。

8.5 声波透射法

8.5.1 声波透射法是利用声波的透射原理对桩身混凝土介质状况进行检测,适用于桩在灌注成型时已经预埋了两根或两根以上声测管的情况。当桩径小于0.6m时,声测管的声耦合误差使声时测试的相对误差增大,因此桩径小于0.6m时慎用本方法;基桩经钻芯法检测后(有两个以及两个以上的钻孔)需进一步了解钻芯孔之间的混凝土质量时也可以采用本方法检测。

8.5.3 声波换能器有效工作面长度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。

换能器的谐振频率越高,对缺陷的分辨率越高,但高频声波在介质中衰减快,有效测距变小。选配换能器时,在保证有一定的接收灵敏度的前提下,原则上尽可能选择较高频率的换能器。

桩中的声波检测一般以水作为耦合剂,换能器在1MPa水压下不渗水也就是在100m水深能正常工作,这可以满足一般的工程桩检测要求。

8.5.5 声测管内径与换能器外径相差过大时,声耦合误差明显增加;相差过小时,影响换能器在管中的移动,因此两者差值取10mm为宜。声测管管壁太薄或材质较软时,混凝土灌注后的径向压力可能会使声测管产生过大的径向变形,影响换能器正常升降,甚至导致试验无法进行,因此要求声测管有一定的径向刚度,如采用钢管、镀锌管等管材,不宜采用PVC管。由于钢材的温度系数与混凝土相近,可以避免混凝土凝固后与声测管脱离产生空隙。声测管的平行度是影响测试数据可靠性的关键,因此,要保证成桩后各声测管之间基本平行。

8.5.8 率定法测定仪器系统延迟时间的方法是将发射、接收换能器平行悬于清水中,逐次改变点源距离并测量相应声时,记录不少于4个点的声时数据并作线性回归的时距曲线:

$$t = t_0 + b \cdot l \quad (8.1)$$

式中 t ——声时(μs);

t_0 ——仪器系统延迟时间(μs);

b ——直线斜率($\mu\text{s}/\text{mm}$);

l ——换能器表面净距离(mm)。

声测管及耦合水层声时修正值按下式计算:

$$t' = \frac{d_1 - d_2}{v_t} + \frac{d_2 - d'}{v_w} \quad (8.2)$$

式中 t' ——声测管及耦合水层声时修正值(μs);

d_1 ——声测管外径(mm);

d_2 ——声测管内径(mm);

d' ——换能器外径(mm);

v_t ——声测管材料声速(km/s);

v_w ——水的声速(km/s)。

8.5.9 径向换能器在径向无指向性,但在垂直面上有指向性,且换能器的接收响应随着发、收换能器中心连线与水平面夹角 θ 的增大而非线性递减。为达到斜测目的,测试系统应有足够的灵敏度,且夹角 θ 不应大于 30° 。

声测线间距将影响桩身缺陷纵向尺寸的检测精度,间距越小,检测精度越高,但需花费更多的时间。一般混凝土灌注桩的缺陷在空间有一定的分布范围,规定声测线间距不大于100mm,可以满足工程检测精度的要求。当采用自动提升装置时,声测线间距还能够进一步减小。

非匀速下降的换能器在由静止(或缓降)变为向下运动(或快降)时,由于存在不同程度的失重现象,使电缆线出现不同程度松弛,导致换能器位置不准确。因此从桩底开始同步提升换能器进行检测才能保证记录的换能器位置的准确性。

自动记录声波发射与接收换能器位置时,提升过程中电缆线带动编码器卡线轮转动,编码器计数卡线轮转动值换算得到换能器位置。电缆线与编码器卡线轮之间滑动、卡线轮直径误差等因素均会导致编码器位置计数与实际传感器位置有一定误差,因此每隔一定间距进行一次高差校核。此外,自动记录声波发射与接收换能器位置时,如果同步提升声波发射与接收换能器的提升速度过快,会导致换能器在声测管中剧烈摆动,甚至与声测管管壁发生碰撞,对接受的声波波形产生不可预测的影响。因此换能器的同步提升速度不能过快,需要保证测试波形的稳定性。

在现场对可疑声测线应结合声时(声速)、波幅、主频、实测波形等指标进行综合判定。

不仅要求同一检测剖面,最好是一根桩各检测剖面,在检测时都能满足各检测剖面声波发射电压和仪器设置参数不变的条件,使各检测剖面的声学参数具有可比性,利于综合判定。但应注意,4管6剖面时,若采用四个换能器同步提升并自动记录则属例外,此时对角线剖面的测距比边线剖面的测距大1.41倍,而长测距会增大声波衰减。

8.5.10 经平测或斜测普查后,找出各检测剖面的可疑声测线,再经加密平测(减小测线间距)、交叉斜测等方式,既可以检验平测普查的结论是否正确,又可以依据加密测试结果判定桩身缺陷的边界,进而推断桩身缺陷的范围和空间分布特征。

8.5.11 当声测管平行时,构成某一检测剖面的两声测管外壁在桩顶面的净距离 l 等于该检测剖面所有声测线测距,当声测管弯曲时,各声测线测距将偏离 l 值,导致声速值偏离混凝土声速正常取值。一般情况下声测管倾斜造成的各测线测距变化沿深度方向有一定规律,表现为各条声测线的声速值有规律地偏离混凝土正常取值,此时采用高阶曲线拟合等方法对各条测线测距做合理修正,然后重新计算各测线的声速。

如果不对斜管进行合理的修正,将严重影响声速的临界值合理取值,因此本条规定声测管倾斜时进行测距修正。

8.5.14 v_{li} 和 v_p 的合理确定是大量以往检测经验的体现。当桩身混凝土未达到龄期而提前检测时,需要对 v_{li} 和 v_p 的取值做适当调整。

概率法从本质上说是一种相对比较法,它考察的只是各条声测线声速与相应检测剖

面内所有声测线声速平均值的偏离程度。当声测管倾斜或桩身存在多个缺陷时,同一检测剖面内各条声测线声速值离散很大,这些声速值实际上已严重偏离了正态分布规律,基于正态分布规律的概率法判据已失效,此时,不能将概率法临界值 $v_0(j)$ 作为该检测剖面各声测线声速异常判断临界值 v_c ,式(8.5.14)就是对概率法判据值做合理的限定。

声速的测试值受非缺陷因素影响小,测试值较稳定,不同剖面间的声速测试值具有可比性。取各检测剖面声速异常判断临界值的平均值作为该桩各剖面内所有声测线声速异常判断临界值,可以减小各剖面间因为用概率法计算的临界值差别过大造成的桩身完整性判别上的不合理性。另外,对同一根桩,桩身、混凝土设计强度和配合比以及施工工艺都是一样的,应该采用一个临界值标准来判定各剖面所有声测线对应的混凝土质量。当某一剖面声速临界值明显偏离合理取值范围时,应分析原因,计算时应剔除。

8.5.16 波幅临界值判据为 $A_p(j) < A_m(j) - 6$,即选择当信号首波幅值衰减量为对应检测剖面所有信号首波幅值衰减量平均值的一半时的波幅分贝数为临界值,在具体应用中应注意下面几点:

波幅判据没有采用如声速判据那样的各检测剖面取平均值的办法,而是采用单剖面判据,这是因为不同剖面间测距及声耦合状况差别较大,使波幅不具有可比性。此外,波幅的衰减受桩身混凝土不均匀性、声波传播路径和点源距离的影响,故考虑声测管间距较大时波幅分散性而采取适当的调整。

因波幅的分贝数受仪器、传感器灵敏度及发射能量的影响,故在考虑这些影响的基础上再采用波幅临界值判据。当波幅差异性较大时,需要与声速变化及主频变化情况相结合进行综合分析。

8.5.17 声波接收信号的主频漂移程度反映了声波在桩身混凝土中传播时的衰减程度,而这种衰减程度又能体现混凝土质量的优劣。接收信号的主频受诸如测试系统的状态、声耦合状况、测距等许多非缺陷因素的影响,测试值没有声速稳定,对缺陷的敏感性不及波幅。在实用时,作为声速、波幅等主要声参数判据之外的一个辅助判据。

在使用主频判据时,需要保持声波换能器具有单峰的幅频特性和良好的耦合一致性,接收信号不应超量程,否则削波带来的高频谐波会影响分析结果。若采用FFT方法计算主频值,还需要保证足够的频域分辨率。

8.5.18 接收信号的能量与接收信号的幅值存在正相关性,可以将约定的某一足够长时间段内的声波时域曲线的绝对值对时间积分后得到的结果(或约定的某一足够长时段内的声波时域曲线的平均幅值)作为能量指标。接收信号的能量反映了声波在混凝土介质中各个声传播路径上能量总体衰减情况,是测区、混凝土质量的综合反映,也是波形畸变程度的量化指标。使用能量判据时,接收信号通常不超量程(削波)。

8.5.19 在桩身缺陷的边缘,声时将发生突变,桩身存在缺陷的声测线对应声时深度曲线上的突变点。经声时差加权后的PSD判据图更能突出桩身存在缺陷的声测线,并在一定程度上减小了声测管的平行度差或混凝土不均匀等非缺陷因素对数据分析判断的影响。实际应用时可以先假定缺陷的性质(如夹层、空洞、蜂窝等)和尺寸,计算临界状态的PSD值,作为PSD临界值判据,但需对缺陷区的声速做假定。

8.5.20 声波透射法与其他的桩身完整性检测方法相比,具有信息量更丰富、全面、细致的特点;可以依据对桩身缺陷处加密测试(斜测、交叉斜测、扇形扫测以及 CT 影像技术)来确定缺陷几何尺寸;可以将不同检测剖面在同一深度的桩身缺陷状况进行横向关联,来判定桩身缺陷的横向分布。

8.5.21 对于只预埋 2 根声测管的基桩,仅有一个检测剖面,只能认定该检测剖面代表基桩全部横截面,无论是连续多根声测线,还是个别声测线声学参数异常均表示为全断面的异常,相当于表中的“大于或等于检测剖面数量的 50%”。

根据规范规定采用的换能器频率对应的波长以及 100mm 最大声测线间距,使异常声测线至少连续出现 2 次所对应的缺陷尺度一般不会低于 10cm 量级。

8.5.22 实测波形的后续部分反映声波在接、收换能器之间的混凝土介质中各种声传播路径上总能量衰减状况,其影响区域大于首波,因此检测剖面的实测波形波列图有助于测试人员对桩身缺陷程度及位置直观地判定。

附录 B 桩的试打测试与打桩过程监测

B.0.2 通过对实测试打桩的承载力与贯入度的相关分析,可以对地质资料进行校核,并对设计持力层等有关参数提出修正意见。

B.0.3、B.0.4 传统打桩终锤标准由设计人员根据打桩公式及经验确定,通常以贯入度或高程为依据,其理论根据是贯入度或高程与基桩承载力具有某种对应关系,出发点是为确保桩的承载力能满足设计要求。由于设计人员受到经验和方法上的局限,地质资料不够详尽或数据不够准确,对不同的桩锤性能与贯入度的关系考虑得不够全面,有时按设计要求贯入度操作出现沉桩困难现象。由于高应变动力检测技术可以即时、方便而又比较可靠地确定桩的承载力,沉桩过程中对不同贯入度情况下桩的承载力进行测试,可以得到满足承载力的贯入度。在同一场地上选取几根有代表性的桩,测定其承载力相应的贯入度,进而根据贯入度与承载力的关系制定合理的打桩终锤标准。显然,这样的终锤标准将会更加科学并符合实际。

水运工程因施工工期紧、费用高,有时初打后打桩船难以重返原位,不具备复打条件;由于在地质条件相近的情况下,土体恢复系数比较接近,因此,在实际工程检测过程中有选择地对一定数量的桩进行初、复打试验,从而得到该场地土体的平均恢复系数,然后推广到具有相同条件、相同规格的其他初打桩的测试。