

第2章 地基处理监测与检验方法

2.1 概述

目前各种地基处理方法在工程实践中得到了大量应用,取得了显著的技术效果和经济效益。但是由于地基处理问题的复杂性,一般还难以对每种方法进行严密的理论分析,还不能在设计时作精确的计算与设计,往往只能通过施工过程中的监测和施工后的质量检验来保证工程质量。因此,地基处理现场监测和质量检验测试是地基处理工程的重要环节。

地基处理施工过程中的现场监测对某些地基处理方法来说是很重要的,有时甚至是必不可少的。例如强夯处理施工时的振动监测和排水固结法施工中的孔隙水压力监测。

为有效控制地基处理的施工质量,规范对每一种地基处理方法都规定了施工过程中的检测方法。例如,石灰桩的施工检测可采用静力触探、动力触探试验,检测部位为桩中心及桩间土。

对地基处理的效果检验,应在地基处理施工结束后,经过一定时间休止恢复后再进行。因为地基加固后有一个时效作用,复合地基的强度和模量的提高往往需要一定的时间。效果检验的方法有:载荷试验、钻孔取样、静力触探试验、动力触探试验、标准贯入试验、取芯试验等。有时需要采用多种手段进行检验,以便综合评价地基处理效果。

2.1.1 现场监测与质量检验的目的

- (1) 为工程设计提供依据;
- (2) 作为大面积施工的控制和指导;
- (3) 为地基处理工程验收提供依据;
- (4) 为理论研究提供实验依据。

2.1.2 现场监测与质量检验的内容与方法

- (1) 地基与桩体强度:包括单桩和复合地基静载荷试验、标准贯入试验、静力触探与动力触探试验、桩身高应变检测、钻芯法等;
- (2) 地基变形:包括地基沉降与水平位移测试;
- (3) 应力监测:包括土压力和孔隙水压力测试;
- (4) 桩身完整性:采用桩身低应变检测和声波透射法测试;
- (5) 动力特性:采用波速测试、地基刚度测试等。

监测项目见表 2-1,对于软土地基加固试验工程,监测仪器的布置见图 2-1。

表 2-1 常用监测项目一览表

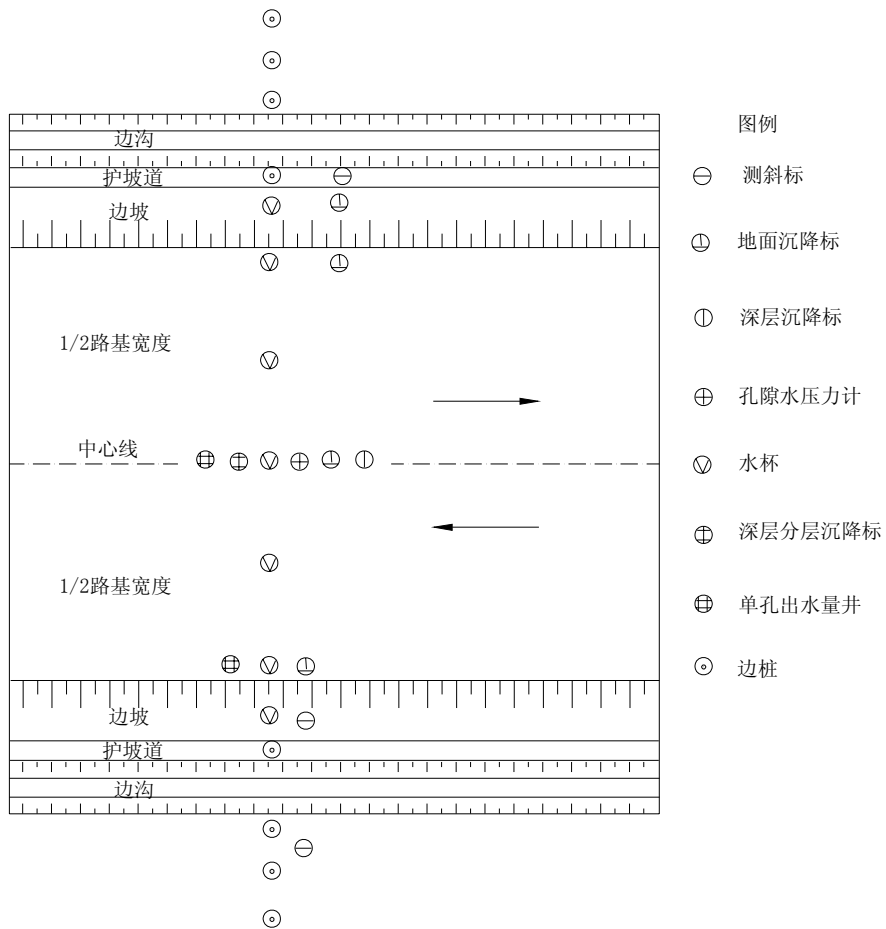
监测项目		仪器名称
沉降	地表沉降	地表型沉降仪(沉降板)
	地基深层沉降	深层沉降标
	地基分层沉降	深层分层沉降标
水平位移	地面水平位移	水平位移边桩
	地基土体水平位移	地下水平位移标
应力	地基孔隙水压力	孔隙水压力计
	土压力	土压力盒

	承载力	载荷试验仪
其他	地下水位	地下水位观测仪
	出水量	单孔出水量计

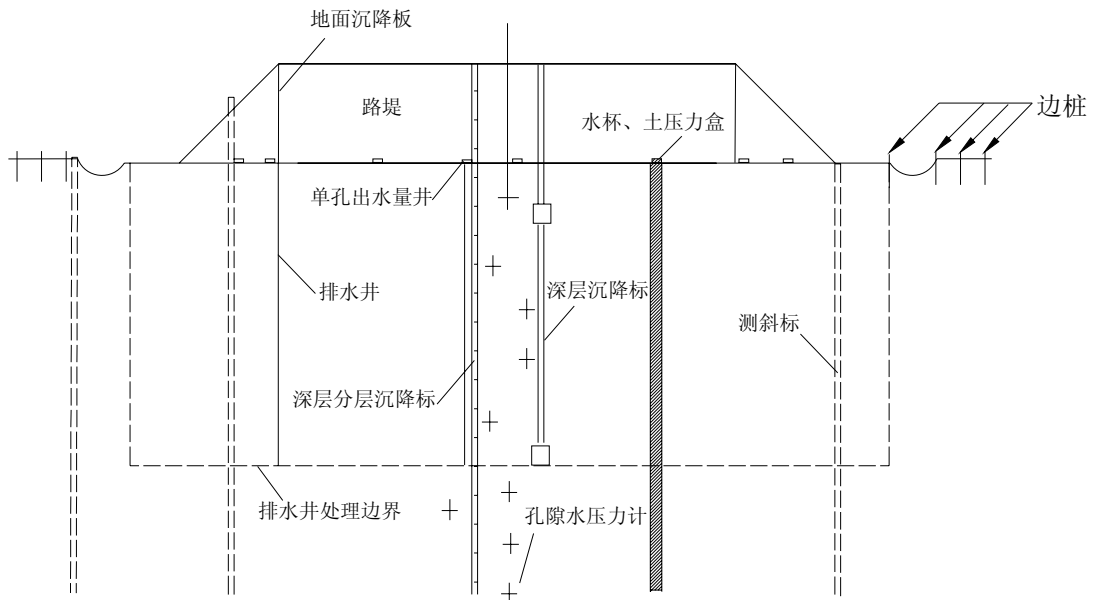
2.1.3 现场监测与质量检验应注意的问题

为了检验地基处理的效果，通常在同一地点分别在处理前后进行测试，以进行对比，并注意以下问题：

- (1) 前后两次测试应尽量使用同一仪器、同一标准进行；



(a)



(b)

图 2-1 监测仪器的布置

a) 观测断面仪标平面布设 b) 观测仪标立面布设

(2) 由于各种测试方法都有一定的适用范围，因此必须根据测试目的和现场条件，选择最有效的方法；

(3) 无论何种方法，都有一定的局限性，故应尽可能采用多种方法，进行综合评价；

(4) 测试位置应尽量选择有代表性的部位，测试数量按有关规定要求进行。

现场测试一般具有直观、代表性强、工效高、避免取样运输过程中的扰动等优点，但也有不能测定土的基本参数和不易控制应力状态等不足之处，故有时仍需辅以一定的室内试验。

2.2 地基水平位移及沉降观测

2.2.1 测斜仪

一、测斜仪的用途

测斜仪是一种有效且精确地测量土层内部水平位移或变形的工程监测仪器。应用其工作原理同样可以监测临时或永久性地下结构周壁的水平位移。

测斜仪分为固定式和活动式两种。固定式系将测头固定埋设在结构物内部的固定点上；活动式即先埋设带导槽的测斜管，间隔一定时间将测头放入管内沿导槽滑动，测定斜度变化，计算水平位移。

二、测斜仪的分类及特点

活动式测斜仪按测头传感元件不同，可细分为滑动电阻式、电阻应变片式、钢弦式及伺服加速度计式。

滑动电阻式测斜仪的特点是测头坚固可靠，缺点是测量精度不高；电阻应变片式测斜仪的优点是产品价格便宜，缺点是量程有限，耐用时间不长；钢弦测斜仪的特点是受湿度、湿度和外界环境的干扰影响较小；伺服加速度计式测斜仪具有精度高、量程大和可靠性好等特点。

三、测斜仪的组成

活动式测斜仪由四大部分组成：

- (1) 装有重力式测斜传感元件的测头
- (2) 测读仪
- (3) 电缆
- (4) 测斜管

四、埋设与观测要点

(1) 导管的埋设

① 首先用钻探工具钻成合适口径的孔，然后将导管放入孔内。导管连接部分应防止污泥进入，导管与钻孔壁之间用砂填充。

② 在连接导管时，应将孔槽对准，使纵向的扭曲减小到最小程度。放入导管时，应注意十字形槽口对准所测的水平位移。

③ 为了消除土的变形对导管产生的负摩擦的影响，除使导管接头处相对移动外，还可在管外涂润滑剂等。

④ 在可能的情况下，应尽量将导管埋入硬层中，作为固定端。否则导管顶端应校正。

⑤ 管子埋好后，需停留一段时间，使钻孔中的填土密实，帖紧导管。

(2) 测定方法

- ① 将测头的感应方向对准水平位移方向的导槽，放至导管的最底部。
- ② 将电缆线与接收指示器连接，打开开关。
- ③ 指示器读数稳定后，提升电缆线到欲测位置。每次应保证在同一位置处进行测读。
- ④ 将测头提升至管口处，旋转 180°，再按上述步骤进行测量，这样可消除测斜仪本身的固有误差。

五、资料整理

根据指示器反映的倾斜角进行计算，得出每个区段的位移量 δ_i ，以底部固定端或管口校正值为基点，将各区段的位移量累计起来，得出水平位移曲线，见图 2-2。

为了了解水平位移随地面荷载变化的趋势，应将相应的观测值绘于同一图上，以便分析水平位移的趋势。图 2-2 反映了实测的大面积加荷引起水平位移沿深度分布的情况，以 10 月 16 日为基准线，11 月 2 日地面荷载为 100kPa，11 月 12 日地面荷载为 140kPa。

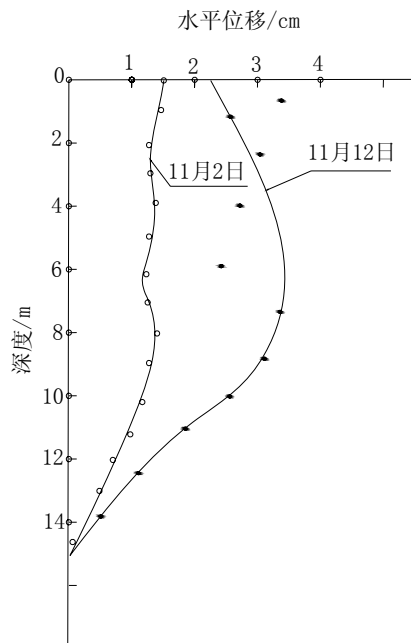


图 2-2 土体水平位移图

2.2.2 分层沉降仪

分层沉降仪可用来监测由开挖、打桩等地下工程引起的周围深层土体的垂直位移(沉降或隆起)的变化。

一、分层沉降仪的组成

分层沉降仪由两大部分组成：地面接收仪器和地下材料埋入部分：

- (1) 测头部分；
- (2) 测量电缆部分；
- (3) 接收系统；
- (4) 绕线磁环。

二、使用方法(以 CJY80 沉降仪为例)

测量时,拧松绕线盘后面的止紧螺丝,让绕线盘转动自由后,按下电源按钮,手持电缆,将测头放入沉降管中,缓慢地向下移动。当测头穿过土层中的磁环时,接收系统的蜂鸣器便会发出连续不断的蜂鸣声,此时读出电缆在管口处的深度数值,向这样由上向下地测量到孔底,称为进程测读。当从该沉降管内收回测量电缆时,测头也会通过土层中的磁环,接收系统的蜂鸣器再次发出蜂鸣声,此时需读出测量电缆在管口处的深度数值,如此测量到孔口,称为回程测读。磁环在土层中的实际深度 S_i 可用下式计算:

$$S_i = (J_i + H_i) / 2 \quad (2-1)$$

式中 S_i —— i 测点孔口的实际深度;

J_i —— i 测点在进程测读时距孔口的深度;

H_i —— i 测点在回程测读时距孔口的深度。

2.3 地基土应力测试

2.3.1 土压力计

地基中的应力测试,是测定土体在受力情况下土压力和孔隙水压力值及其消散速度和程度,以便计算地基土的固结度,推算土体强度随时间变化的规律,控制施工速度。

一、土压力计的基本条件

- (1) 必须要有足够的强度和耐久性;
- (2) 能够灵敏、准确地反映土压力的变化,并具有再现性;
- (3) 加压、减压时线性良好;
- (4) 应力集中的影响要小;
- (5) 对温度变化的影响要稳定;
- (6) 在整个测量过程中,土压力计和二次仪表均应稳定可靠。

二、土压力计的分类

按原理来分,有液压式、气压平衡式、电气式(包括差动电阻式、电阻应变式、电感式等)、钢弦式。

目前国内常用的有差动电阻式和钢弦式。

三、埋设要点

(1) 埋设土压力计时,应该注意对土体的扰动,与结构物固定的程度(接触式土压力计),膜盒与土的接触情况,并作记录。

(2) 埋设土中土压力计时,要注意回填土的性状应与周围土体一致,否则会引起土压力的重新分布,见图 2-3。

(3) 接触式土压力计埋设方法,应根据不同工程对象采用不同的方法,在结构物侧面安装土压力计时,应在混凝土浇筑到预定标高处,将土压力计固定到预测的位置上,土压力计承压面必须与结构物表面齐平。在结构物基底上埋设土压力计时,要先将土压力计埋设在预测的混凝土块内,整平地面,然后将土压力计放上,并将预制块浇筑在基底内。

(4) 除膜盒的埋设外,电缆线的埋设也是至关重要的,否则在施工中容易遭受破坏。各测头电缆按一定路线集中于观测站中,并将土压力计的编号、规格及埋设位置、时间等记入考证表内。

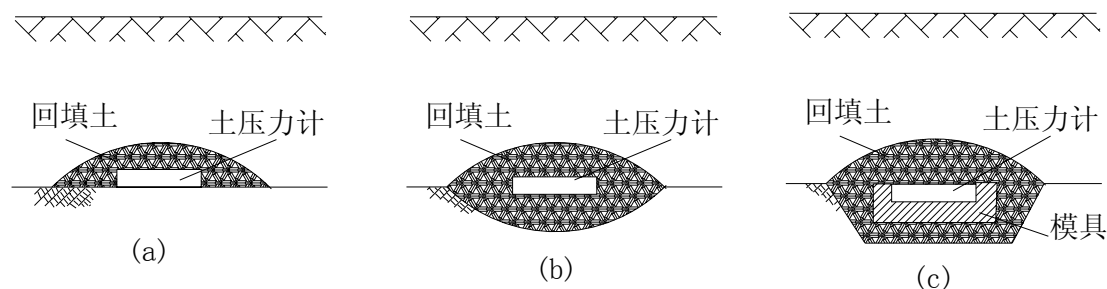


图 2-3 土中土压力计的埋设方法

四、观测和资料整理

(1) 差动电阻式土压力计

① 将比例电桥安放平稳，逐个接通集线箱上各个电缆插头，按操作步骤读电阻值及电阻比；

② 测量时，在调节电桥平稳过程中，如检流计指针有反常情况，或与前次观测值相差很大时，应中止观测，进行检查。检查内容有：电桥本身、集线箱接线处是否接触良好、总电阻和分线电阻等。

③ 将观测的数据记入记录表中。

④ 将观测及计算数据，以土压力为纵坐标，时间为横坐标绘制土压力变化过程线。

(2) 钢弦式土压力计

① 钢弦式土压力计的观测，一般采用频率接收器。

② 按动电钮，交流电源向土压力计内电磁铁输入瞬时脉冲电流，起振钢弦。同时，电钮接通标准钢弦的电磁铁电路，标准钢弦也起振。电磁振荡通过电子射线管，反映到荧光屏上。调节测微螺旋，通过杠杆装置改变标准钢弦的张力，使其振荡平稳的变化。当两钢弦同频率振动时，荧光屏上的呈象由椭圆变成一条静止的直线，这时从测微圆盘上的刻度读出频率数，从而换算出土压力计所受的应力。

③ 整理资料，绘制土压力变化过程线。

2.3.2 孔隙水压力计

一、理想孔隙水压力计具备的条件

- (1) 必须有足够的强度和耐久性；
- (2) 要求测头处的孔隙水体积不改变或改变不大，亦即测量的延滞时间要短；
- (3) 读数稳定，这对长期观测的仪器特别重要；
- (4) 测头体积要小，外形平整光滑，以便在压入埋设时尽可能地减小对土体的扰动和原有应力的改变；
- (5) 测量方便，设备费用低廉。

二、孔隙水压力的主要类型

孔隙水压力计的形式有：液压式、电气式(包括粘着型电阻式、电感式及差动电阻式)、钢弦式及气压平衡式等。

三、埋设要点

一般采用以下三种方法：

(1) 钻孔埋设法

在埋设地点用钻探机具钻孔，达到要求的深度或标高后，先在孔底填入部分干净砂，将测头放入，再在测头周围填砂，最后用膨胀性粘土将上部钻孔全部封好。

(2) 压入法

如果土质较软，可将测头缓缓压入埋设标高。若有困难时，可先成孔至埋设标高以上1m处，再将测头压入。上部也全部严密封好。

(3) 设置法

此法适用于填土工程中，在填土过程中随时埋入。

采用钻孔法时，土体的原有孔隙水压力降至零。同时测头周围填砂，不可能达到原有土的密度。因此，测头周围土体产生变形，这就大大地影响了孔隙水压力测量精度。而压入法对土体的局部扰动相当大，所引起的超孔隙水压力也很大。不论哪一种方法，都不可避免地要改变土体中的孔隙水压力。因此最好是在施工前较早地埋好仪器。

四、观测和资料整理

(1) 差动电阻式和钢弦式孔隙水压力计的观测和土压力计的观测相同。

(2) 液压封闭双管式孔隙水压力计。观测前，先用无气水充水排气。为了避免气泡溶入水中，可在压力库中放一球胆，充水时将气压入球胆。充水压力不宜过大，否则测头附近的土产生冲刷。在连续观测中，若有气泡产生，也要适当排除。

应用连接器时，要采用合理的操作方法。首先，参考上次的读数，估计预测的压力进行预调，并给以一定的平衡时间，才能得出准确的数据。

(3) 将观测的成果及时记入记录表内，并随时计算、校核、整理分析，绘制孔隙水压力与荷载关系曲线以及孔隙水压力等值线，提出对设计、施工的意见和建议。

2.4 载荷试验

载荷试验是在一定面积的承压板上（或桩顶上）向地基土（或桩）逐级施加荷载，并观测每级荷载下地基土（或桩）的变形特征。其优点是对地基土基本不产生扰动。利用其成果确定地基（或桩）的承载力是可靠的，既可直接用于工程设计，也可用于检验施工效果，另外对于预估建筑物的沉降也很有效。

载荷试验可分为地基载荷试验和单桩载荷试验。

单桩载荷试验分为单桩竖向静载荷试验和单桩水平向静载荷试验。由于单桩水平向静载荷试验在地基处理工程中应用较少，因此，本书仅介绍单桩竖向静载荷试验。

地基载荷试验可分为天然地基载荷试验和复合地基载荷试验。天然地基载荷试验按试验深度分为浅层载荷试验和深层载荷试验。深层载荷试验按承压板形状分为深层平板载荷试验和螺旋板载荷试验。由于深层载荷试验在地基处理工程中应用较少，因此，本书仅介绍天然地基的浅层平板载荷试验和复合地基载荷试验。

2.4.1 单桩竖向静载荷试验（Vertical Static Load Test of Pile）

一、试验开始时间

(1) 预制桩

如果地基土为砂土，则应在预制桩打入或压入7天后，方可进行载荷试验。如果地基土为粘性土，则视土的强度恢复情况而定，一般应在15天后方可进行载荷试验。对于饱和软粘土，不得少于25天。

(2) 灌注桩

对灌注桩进行静载荷试验，应在桩身混凝土达到设计强度后才能进行。这样，试验结果才符合桩的实际情况。

二、 试验加载装置

加载反力装置宜采用锚桩，当采用堆载时应遵守以下规定。

- (1) 堆载加于地基的压应力不宜超过地基承载力特征值。
- (2) 堆载的限值可根据其对试桩和对基准桩的影响确定。
- (3) 堆载量大时，宜利用桩(可利用工程桩)作为堆载的支点。
- (4) 堆装置的最大抗拔或承重能力应满足试验加载的要求。

压力由千斤顶提供，千斤顶的反力由锚桩承担，或由压重平台的重物施加。试桩、锚桩(压重平台支座)和基准桩之间的中心距离应符合表 2-2 的规定。

表 2-2 试桩、锚桩和基准桩之间的中心距离

反力系统	试桩和锚桩(或压重平台 支座墩边)	试桩与基准桩	基准桩与锚桩(或压重平 台支座墩边)
锚桩横梁反力装置	$\geq 4d$ 且	$\geq 4d$ 且	$\geq 4d$ 且
压重平台反力装置	> 2.0 m	> 2.0 m	> 2.0 m

注：d——试桩或锚桩的设计直径，取其较大者（如试桩或锚桩为扩底桩时，试桩与锚桩的中心距尚不应小于 2 倍扩大端直径）。

三、 试验加载方式

单桩竖向静载荷试验的加载方式，应按慢速维持荷载法。

四、 荷载分级

(1) 加载分级

加载时，荷载分级不应小于 8 级，每级加载量宜为预估极限荷载的 1/8~1/10。

(2) 卸载分级

卸载时，每级卸载值为加载值的两倍。

五、 沉降测读及稳定标准

桩顶沉降观测宜用百（千）分表。

(1) 加载时沉降测读

每级加压后，测读桩沉降量的间隔时间，初始为 5、10、15 min 时各测读一次，以后每 15 min 读一次，累计一小时后每隔半小时读一次。

(2) 稳定标准

在每级荷载作用下，桩的沉降量连续两次在每小时内小于 0.1 mm 时可视为稳定。

(3) 卸载时沉降测读

卸载后隔 15 min 测读一次，读两次后，隔半小时再读一次，即可卸下一级荷载。全部卸载后，隔 3~4 小时再测读一次。

六、 试验终止加载的条件

符合下列条件之一时可终止加载：

- (1) 当荷载~沉降 ($Q \sim s$) 曲线上有可判定极限承载力的陡降段，且桩顶总沉降量

超过 40 mm;

(2) $\frac{\Delta s_{n+1}}{\Delta s_n} \geq 2$, 且经 24 小时尚未达到稳定;

(3) 25m 以上的非嵌岩桩, $Q \sim s$ 曲线呈缓变型时, 桩顶总沉降量大于 60~80mm;

(4) 在特殊条件下, 可根据具体要求加载至桩顶总沉降量大于 100mm。

注: 1. Δs_n ——第 n 级荷载的沉降增量; Δs_{n+1} ——第 $n+1$ 级荷载的沉降增量;

2. 桩底支承在坚硬岩(土)层上, 桩的沉降量很小时, 最大加载量不应小于设计荷载的两倍。

七、单桩竖向极限承载力的确定

单桩竖向极限承载力应按下列方法确定:

(1) 作荷载~沉降 ($Q \sim s$) 曲线和其他辅助分析所需的曲线。

(2) 当曲线陡降段明显时, 取相应于陡降段起点的荷载值作为极限承载力。

(3) 当 $\frac{\Delta s_{n+1}}{\Delta s_n} \geq 2$, 且经 24 小时尚未达到稳定时, 取第 n 级荷载值作为极限承载力。

(4) 当 $Q \sim s$ 曲线呈缓变型时, 取桩顶总沉降量 $s = 40 \text{ mm}$ 所对应的荷载值作为极限承载力。当桩长大于 40 m 时, 宜考虑桩身的弹性压缩。

(5) 按上述方法有困难时, 可结合其他辅助分析方法综合判定。对桩基沉降有特殊要求者, 应根据具体情况选取。

(6) 参加统计的试桩, 当满足其极差不超过平均值的 30% 时, 可取其平均值为单桩竖向极限承载力。极差超过平均值的 30% 时, 宜增加试桩数量并分析离差过大的原因, 结合工程具体情况确定极限承载力。

(7) 将单桩竖向极限承载力除以安全系数 2, 为单桩竖向承载力特征值 R_a 。

2.4.2 天然地基平板载荷试验 (Plate Loading Test of Natural Foundation)

浅层平板载荷试验的目的是确定地基土层的层压板下应力主要影响范围内的承载力。浅层平板载荷试验只适用于地表浅层地基和地下水位以上的地层。

一、试验设备

(1) 承压板

为符合轴对称的弹性理论解, 平板载荷试验宜采用圆形刚性承压板。板的尺寸应根据土的软硬或岩体裂隙密度来选用。国外采用的标准承压板直径为 0.305 m。土的浅层平板载荷试验的承压板面积不应小于 0.25 m^2 , 根据国内的实际经验, 一般采用 $0.25 \sim 0.5 \text{ m}^2$ 。对软土和粒径较大的填土, 其承压板面积不应小于 0.5 m^2 , 否则, 容易发生歪斜。对碎石土, 要注意碎石的最大粒径, 对硬的裂隙性粘土及岩层, 要注意裂隙的影响。

(2) 加载装置

加载装置包括压力源、载荷台架或反力构架。加载方式有两种, 即堆重加荷和油压千斤顶反力加载。

(3) 沉降观测装置

沉降观测装置有百分表、沉降传感器或水准仪等, 其精度不应低于 $\pm 0.01 \text{ mm}$ 。要满足所规定的精度要求和线性特性等条件。承压板的沉降量测精度影响沉降稳定标准。

二、试验方法

(1) 试坑

浅层平板载荷试验的试坑宽度或直径不应小于承压板宽度或直径的三倍，试坑底的试验土层应避免扰动，保持其原状结构和天然湿度，并在承压板下铺设不超过 20 mm 的砂垫层找平，保证承压板与土之间有良好的接触，并尽快安装试验设备。

为了保证试验的地基土的天然湿度与原状结构，应注意以下几点：

① 试验前应在坑底预留 20~30cm 的原土层，待试验开始时再挖去，并立即放下荷载板。

② 对软粘土或饱和的松散砂，在承压板周围应预留 20~30cm 厚的原土作为保护层。

③ 在试坑底板标高低于地下水位时，应先将水位降到坑底标高以下，并在坑底铺设 2cm 厚的砂垫层，再放下承压板，等水位恢复以后进行试验。

(2) 加荷方式

加荷方式应采用分级维持荷载沉降相对稳定法（常规慢速维持荷载法）。有地区经验时，可采用分级加荷沉降非稳定法（快速法）或等沉降速率法。加荷等级宜取 10~12 级，并不应少于 8 级，荷载量测精度不应低于最大荷载的 $\pm 1\%$ 。

(3) 沉降测读

① 加荷沉降观测时间间隔：对慢速维持荷载法，每级荷载施加后，间隔 5 min、5 min、10 min、10 min、15 min、15 min 测读一次沉降，以后间隔 30 min 测读一次沉降。

② 沉降稳定标准：当在连续两小时内，即 4 次测读的沉降量使得每小时的累计沉降量不大于 0.1 mm 时，则认为沉降已达相对稳定标准，方可施加下一级荷载。

③ 卸荷沉降测读：当需要卸载观测回弹时，每级卸载量可为加荷增量的 2 倍，历时 1 h，每隔 15 min 观测一次。荷载完全卸载后，继续观测 3h。

(4) 试验终止条件

一般情况下，载荷试验应做到破坏，获得完整的 $p \sim s$ 曲线，以便确定承载力特征值。只有试验目的为检验地基土的性质时，加荷至设计要求承载力的两倍可终止。其他情形应尽可能加荷至地基土的极限承载力，以评价承载力的安全度。

当试验出现下列情况之一时，即认为地基土已达到极限状态，可终止试验：

① 承压板周围的土出现明显侧向挤出，周边岩土出现明显隆起或径向裂缝持续发展；

② 本级荷载的沉降量大于前级荷载沉降量的 5 倍， $p \sim s$ 曲线出现明显的陡降；

③ 在某级荷载下 24 小时沉降速率不能达到相对稳定标准；

④ 总沉降量与承压板直径（或宽度）之比超过 0.06。

当满足前三种情况之一时，其对应的前一级荷载定为极限荷载。

三、资料整理

(1) 绘制压力—沉降量（ $p \sim s$ ）关系曲线

(2) 由 $p \sim s$ 曲线确定地基承载力特征值

① 当 $p \sim s$ 曲线具有明显直线段及转折点时，一般将转折点所对应的压力定为比例界限值，取该比例界限所对应的荷载值为地基承载力特征值；

② 当曲线无明显直线段及转折点时，可用下述方法确定比例界限：

a.在某一级荷载下,其沉降增量超过前一级荷载压力下的沉降增量的 2 倍的点所对应的压力,即为比例界限;

b.绘制 $\log p \sim \log s$ 曲线,曲线上的转折点所对应的压力即为比例界限;

③ 将曲线陡降段的渐近线和横坐标的交点定为极限荷载值。当极限荷载值小于对应比例界限的荷载值的两倍时,取极限荷载值的一半作为地基承载力特征值;

④ 当不能按上述要求确定时,若承压板面积为 $0.25 \sim 0.5 \text{ m}^2$,可取 $s/b = 0.01 \sim 0.015$ 所对应的荷载,但其值不应大于最大加载量的一半。

(3) f_{ak} 值的确定

同一土层参加统计的试验点不应少于 3 点,当试验实测值的极差不超过其平均值的 30 %时,取此平均值作为该土层的地基承载力特征值 f_{ak} 。

(4) 计算变形模量 E_0

变形模量 E_0 可由载荷试验成果 $p \sim s$ 曲线的直线变形段,按弹性公式求得:

$$E_0 = \omega B(1 - \mu^2) \frac{P}{s} \quad (2-2)$$

式中 p, s ——分别为 $p \sim s$ 曲线直线段内一点的压力值及相应沉降值;

β ——承压板的宽度或直径(cm);

ω ——承压板的形状系数。刚性方板取 0.88,刚性圆板取 0.79;

μ ——土的泊松比。

四、成果应用

(1) 确定地基土承载力特征值;

(2) 确定湿陷性黄土的湿陷起始压力;

(3) 计算基础的沉降量;

五、影响试验精度的主要因素

(1) 承压板尺寸

不同的承压板尺寸对土层的沉降量和极限压力均有一定的影响,一般用面积为 $1000 \sim 5000 \text{ cm}^2$ 的承压板所得的成果可靠。

(2) 沉降稳定标准

每级荷载作用下的沉降稳定标准不同,则所观测的沉降量及所得的 $p \sim s$ 曲线和变形模量也不同。

(3) 承压板埋深

承压板埋深应与基础埋深一致。埋深越小, $P \sim s$ 曲线界限值越小。

(4) 地基土的均匀性

载荷试验的影响深度为 1.5~2 倍承压宽度,在这个影响范围内,土层的成因、类型、含水量一般是相同的。只有这样,试验成果才能反映同一土层的真实工程性质。如果土层较多,且为重要建筑物的持力层,则要分层做载荷试验。

2.4.3 复合地基载荷试验(Static Load Test of Composite Foundation)

复合地基载荷试验用于测定承压板下应力主要影响范围内复合土层的承载力和变形参数。复合地基载荷试验一般包括单桩复合地基载荷试验和多桩复合地基载荷试验。

一、试验要点

(1) 复合地基荷载试验的承压板应为刚性。单桩复合地基荷载试验的承压板可采用圆形或方形,面积为一根桩承担的处理面积;多桩复合地基荷载试验的承压板可用方形或矩形,其尺寸按实际桩数所承担的处理面积确定。桩的中心(或形心)应与承压板的中心保持一致,并与荷载作用点相重合。

(2) 承压板高程宜接近基础底面设计高程。承压板底面下宜铺设与设计复合地基垫层相应的垫层,垫层厚度宜取 50~150mm,桩身强度高时宜取大值。垫层上宜设中砂或粗砂找平层。试验标高处的试坑长度和宽度,应不小于承压板尺寸的 3 倍。基准梁的支点应设在试坑之外。

(3) 加荷等级可分为 8~12 级,最大加载压力不宜小于设计要求压力值的 2 倍。

(4) 每加一级荷载前后均应测读承压板的沉降量一次,以后每半小时测读一次。当一小时内沉降量小于 0.1 mm 时,即可加下一级荷载。

(5) 当出现下列现象之一时可终止试验:

- ① 沉降急剧增大,土被挤出或承压板周围出现明显的隆起;
- ② 承压板的累计沉降量已大于其宽度或直径的 6%;
- ③ 当达不到极限荷载,而最大加载压力已大于设计要求压力值的 2 倍。

(6) 卸载级数可为加载级数的一半,等量卸载,每卸一级,间隔半小时,测读回弹量,待卸完全部荷载后间隔三小时测读总回弹量。

二、复合地基承载力特征值的确定

(1) 当压力—沉降曲线上能确定出极限荷载,而其值不小于对应比例界限的 2 倍时,可取比例界限作为复合地基承载力特征值;当其值小于对应比例界限的 2 倍时,可取极限荷载的一半作为复合地基承载力特征值。

(2) 当压力—沉降曲线是平缓的光滑曲线时,可按相对变形值确定复合地基承载力特征值:

① 对于砂石桩、振冲桩或强夯置换墩:当以粘性土为主的地基,可取 s/b 或 s/d 等于 0.015 所对应的压力(s 为荷载试验承压板的沉降量; b 和 d 分别为承压板宽度和直径,当其值大于 2 m 时,按 2 m 计算);当以粉土或砂土为主的地基,可取 s/b 或 s/d 等于 0.01 所对应的压力。

② 对土挤密桩、石灰桩或柱锤冲扩桩复合地基,可取 s/b 或 s/d 等于 0.012 所对应的压力。对灰土挤密桩复合地基,可取 s/b 或 s/d 等于 0.008 所对应的压力。

③ 对水泥粉煤灰碎石桩或夯实水泥土桩复合地基,当以卵石、圆砾、密实粗中砂为主的地基,可取 s/b 或 s/d 等于 0.008 所对应的压力;当以粘性土、粉土为主的地基,可取 s/b 或 s/d 等于 0.01 所对应的压力。

④ 对水泥土搅拌桩或旋喷桩复合地基,可取 s/b 或 s/d 等于 0.006 所对应的压力。

⑤ 对有经验的地区,也可按当地经验确定相对变形值。

按相对变形值确定的承载力特征值不应大于最大加载压力的一半。

(3) 复合地基荷载试验的试验点的数量不应少于 3 点,当满足其极差不超过平均值的 30% 时,可取其平均值作为复合地基承载力特征值。

2.5 静力触探试验

静力触探试验 (CPT) (cone penetration test) 是用静力匀速将标准规格的圆锥形探头按一定的速率压入土 (或其他介质) 中, 同时量测探头阻力, 测定土 (或其他介质) 的力学特性。静力触探试验具有勘探和测试双重功能。

在地基处理过程中, 可用静力触探试验对灰土桩、石灰桩等桩体进行触探, 由量测到的探头阻力来推求桩身强度, 进而判断桩身质量。

一、静力触探的具体用途

- (1) 划分土层;
- (2) 确定地基处理前后砂土的密度和粘性土的状态;
- (3) 判断地基处理后桩身强度及成桩质量;
- (4) 评价地基处理前后土的承载力、压缩性质、不排水强度、砂土液化等特性;
- (5) 检查人工填土的质量;
- (6) 探测桩基持力层, 预估沉桩可能性和单桩承载力。

二、试验设备

(1) 加压系统

包括主机和触探杆。

(2) 反力系统

反力系统可以采用三种形式: 仪器自重、外加重物、地锚。

(3) 探头

分为单桥和双桥探头。

(4) 量测和记录仪器

有两种方式:

- ① 间断测记。采用人工记录, 一般每 5cm 记录一次;
- ② 连续自动记录。用电子电位差计自动记录贯入阻力随深度的变化曲线。

三、试验要点

- (1) 整平场地, 设置反力装置, 安装触探机, 以保证探杆垂直贯入;
- (2) 选用适当探头, 检查探头和量测仪器是否合格和正常, 接通电源;
- (3) 贯入土中 0.5~1.0 m, 然后提升 5 cm 左右, 静置约 10 分钟, 调整零位或测记初读数;
- (4) 正式开始贯入, 并记录贯入阻力, 标准贯入速率为 $1.2 \pm 0.3 \text{ m/min}$ 。在 6 m 以内, 每 1~2 m 测记一次零读数; 超过 6 m 后每 5~6 m 测记一次零读数;
- (5) 到达预计深度后, 测记零读数, 提升探杆和探头, 拆除设备。

四、资料整理

- (1) 原始记录误差和异常现象的改正和处理;
- (2) 算出各点的比贯入阻力 p_s (单桥探头)、锥头阻力 q_c 及侧摩阻力 f_s (双桥探头);
- (3) 绘制单孔静力触探曲线图;
- (4) 根据静力触探成果, 分析地基处理效果。

五、在石灰桩桩身质量检测中的应用

- (1) 石灰桩施工检测

石灰桩施工检测可采用静力触探的手段对成桩质量和桩体密实度进行检验。一般在成桩后 7~10 天内进行桩体静力触探检验。成桩的其他条件相同,土质和配合比不同时,桩身 p_s 值将不尽相同,其数据表明:成桩质量符合要求的桩,7~10 天内桩身 p_s 值的变化范围在 2.5~4.0MPa 之间。表 2-3 列出了桩身质量的判别标准。

表 2-3 石灰桩桩身质量标准

天然地基承载力特征值 f_{ak} / kPa	桩身 p_s 值 / MPa		
	不合格	合格	良
$f_{ak} < 70$	< 2.0	2.0~3.5	> 3.5
$f_{ak} > 70$	< 2.5	2.5~4.0	> 4.0

p_s 值不合格的桩,参考施工记录确定补桩范围,在施工结束前完成补桩,如用 N_{10} 轻便触探检验,以每 10 击相当于 $p_s = 1\text{MPa}$ 按上表换算。试验证明当底部桩身具有一定强度时,由于化学反应的结果,其后期强度可以提高,但当 7~10d 比贯入阻力很小 (p_s 值小于 1MPa) 时,其后期强度的提高有限。

(2) 石灰桩复合地基竣工验收检测

按《建筑地基处理技术规范》JGJ79—2002,石灰桩复合地基竣工验收检测应采用复合地基载荷试验。经验尚不成熟的地区可同时采用载荷试验与静力触探(或动探、轻便触探)等方法,待积累到较多的数据足以得到两种方法判定复合地基承载力的相关关系以后,即可以用静力触探一种方法进行复合地基加固效果检测。

用静力触探来确定石灰桩复合地基的加固效果是较简捷的方法。它主要通过和载荷试验对比来间接地得到 p_s 值与复合地基承载力 f_{spk} 及压缩模量 E_{sp} 值的关系。静力触探应在地基加固区的不同部位随机抽样进行测试,检测部位为桩中心及桩间土,每两点为一组,检测组数不少于总桩数的 1%。静力触探检测深度应大于桩长,如有异常情况,应增加测点并判明原因(如探头是否偏出桩体等)。关于桩体强度的确定,可取 $0.1 p_s$ 为桩体比例界限,这是经过桩体取样在试验机上作抗压试验求得比例界限与原位静力触探 p_s 值对比的结果。根据比例极限值及桩间土承载力可用石灰桩复合地基的承载力公式(10-2)来计算复合地基承载力。但仅适用于掺合料为粉煤灰、煤渣的情况。

2.6 圆锥动力触探试验

圆锥动力触探试验(DPT)(Dynamic penetration test)是用一定质量的重锤,以一定高度的自由落距,将标准规格的圆锥形探头贯入土(或其他介质)中,根据打入土(或其他介质)中一定距离所需的锤击数,判定土(或其他介质)的力学特性。圆锥动力触探试验具有勘探和测试双重功能。

圆锥动力触探试验的类型可分为轻型、重型和超重型三种。锤重分别为 10kg、63.5kg 和 120kg。轻型动力触探可应用于石灰桩的施工检测,即通过锤击数来判定石灰桩桩体的密实度。重型动力触探可应用于碎石桩的桩体密实度检验。通过对碎石桩轴心处采用重型动力触探试验进行桩的密实程度检测,采用的判别准则见表 2-4。当连续出现下沉量大于 7cm 的桩长达 0.5m,或间断出现大于 7cm 下沉量的累计桩长在 1m 以上的桩,应采取补强措施。

表 2-4 碎石桩密实程度判别准则

连续 5 击下沉量 / cm	密实程度
<7	密实
7~10	不够密实
10~13	不密实
>13	松散