

辽宁省地方标准

三、岩土静力载荷试验规程

Specification for static load test or rock and soil

DB21/T1564.3 – 2007

主编单位：辽宁有色勘察研究院

批准部门：辽宁省建设厅

施行日期：2008 年 01 月 12 日

2007 沈阳

1 总 则

1.0.1 为适应工程建设和岩土工程的发展，统一岩土工程勘察中静力载荷试验标准，确保工程质量，结合我省工程建设发展的需要，特制定本规程。

1.0.2 静力载荷试验可用来测定主要建（构）筑物岩土地基的承载力和变形模量，可以测定非自重湿陷性黄土的湿陷起始压力和判断黄土的湿陷性。

1.0.3 对于特殊土和有特殊要求的静力载荷试验，应按相关标准或通过专门的试验研究解决。

1.0.4 静力载荷试验确定的地基土承载力特征值和变形模量值，仅代表承压板下 1.5~2.0 倍压板直径（宽度）范围内的指标。

1.0.5 复合地基的载荷试验应根据地基土的置换率选用与基础形式相当的承压板面积及形状，并同时应取得持力层和下卧层深度内的土工试验指标和相关的原位测试指标。

1.0.6 静力载荷试验宜采用沉降相对稳定法（常规慢速法），在有经验地区可采用沉降非稳定法（快速法）。同一层地基土的载荷试验点数量不应少于 3 处。

1.0.7 采用螺旋板载荷试验时，宜在有经验的地区进行，并应与相关的测试结果对比验证。

1.0.8 静力载荷试验除应执行本规程外，尚应符合国家和行业现行的有关标准和规定。

2 术语、符号

2.1 术语

2.1.1 刚性承压板

用钢板或钢筋混凝土等材料制作的承压板，在荷载作用下不产生弯曲变形。

2.1.2 沉降相对稳定法（常规慢速法）

载荷试验加荷方式采用分级维持荷载，按规定的沉降稳定标准进行加荷观测的载荷试验。

2.1.3 沉降非稳定法（快速法）

按规定的时间为标准进行加荷观测而不按沉降稳定标准加荷观测的载荷测验。

2.1.4 地基承载力特征值

指由载荷试验测定的地基土压力—变形曲线线性变形段内规定的变形所对应的压力值，其最大值为比例界限值。

2.1.5 复合地基

部分土体被增强或被置换，而形成的由地基土和增强体共同承担荷载的人工地基。

2.1.6 人工地基

原有土体经人为处理，或全部被置换，或彻底改变原有性能，而形成承担荷载的地基。

2.2 符号

f_{ak} —地基承载力特征值

d —承压板直径或等代直径

b —承压板宽度

F —承压板面积

μ —泊桑比
 E_0 —变形模量
 E_u —不排水变形模量
 E'_u —排水变形模量
 S' —实测沉降值
 S —修正后的沉降值
 C — $P-S'$ 曲线直线段斜率
 S_0 — $P-S'$ 曲线直线段 S' 轴上截距
 S_N —第 N 级荷载下实测沉降值
 t_N —第 N 级荷载下沉降达到稳定标准时所需的时间
 N —加荷级数
 α_N —第 N 级荷载下, $S - \ln t$ 曲线的截距
 β_N —第 N 级荷载下, $S - \ln t$ 曲线的斜率
 $\Delta_{mn}^{(i)}$ —第 m 级荷载对第 n 级荷载第 i 次观测值中应扣除的残余沉降量
 S_s —黄土浸水的湿陷量
 P —承压板的总荷载
 p —单位面积上所受的壓力

3 仪器设备

3.0.1 静力载荷试验的承压板应符合下列规定:

- 1 应采用圆形或方形的刚性承压板;
- 2 平板载荷试验的承压板面积一般为 0.1m^2 、 0.25m^2 或 0.5m^2 。在坚硬的粘性土中作试验时,可采用 0.1m^2 ;在软粘性土和松散—稍密砂类土中做试验时,承压板面积宜采用 0.5m^2 ;在碎石类土中做试验时,承压板直径宜大于受压层碎石最大粒径的 10~20 倍。

3 螺旋板载荷试验应采用标准型螺旋承压板,其规格为:
 I 型 $d = 160 \pm 1\text{mm}$, 投影面积为 0.02m^2 ; II 型 $d = 252 \pm 1\text{mm}$,

投影面积为 0.05m^2 (d 为螺旋板投影面积的直径)。

3.0.2 静力载荷试验宜采用自动加荷测试系统,当采用液压千斤顶加荷时,液压千斤顶的最大使用荷载宜小于额定荷载的 80%,压力表的最大使用量程宜小于额定量程的 70%;压力表的精度等级不应小于 1.5 级。

3.0.3 采用千斤顶加荷时,其反力可由重物、地锚、侧壁支撑装置和洞室顶板等提供。

3.0.4 测量载荷试验承压板的沉降值(变形值)必须保证测量的精度和足够的量程,宜选用精度不小于 0.01mm 的百分表或电测位移传感器。

3.0.5 载荷试验所用的各种仪表,应按有关规定进行检验与标定,检定合格的仪表才能投入试验。千斤顶与压力表应配套校检。

4 操作方法

4.1 一般规定

4.1.1 试验点的选择应考虑建(构)筑物的特点、技术要求、基础埋深、土质条件和勘察阶段等综合确定。

4.1.2 试验点的确定应符合下列要求:

1 试验点应布置在基础砌置的标高处,当地层有变化时,宜进行分层试验;

2 试验点附近应有勘探点,应具有相应的土工试验和原位测试资料;并清楚了解试验点的地层结构和地下水条件。

4.1.3 静力载荷试验必须满足下列要求:

1 承压板的底面与试验面应完全接触;

2 荷载的合力应通过传力系统的轴心;

3 试验期间,试验面应避免阳光照射、雨水浸入及冰冻,必要时搭设防护棚,以保持试验土层的天然结构和天然湿度;

4 所有的试验仪器设备，均应设置必要的防护装置（设施），确保其完好、安全，消除一切影响测试精度和测试效果的因素；

5 沉降值的读数精度应达到 0.01mm。

4.1.4 载荷试验加荷等级不应少于 8 级，最大加荷量不宜小于设计荷载值的 2 倍。第一级施加的荷载（包括设备自重）应接近试坑挖出土的自重，其相应的沉降量可以不计。其后每级荷载的增量，对于低、中等压缩性的较坚硬土层一般采用 50kPa；对于高压缩性土则宜采用 25kPa；特别软弱的土亦可采用 10 ~ 15kPa。

4.1.5 试验完成后，应在承压板中心向下开挖探井或钻探，详细描述岩土特征，采取土试样进行室内土工试验或采用其他原位测试手段与载荷试验前的相关指标进行对比。取样深度应在承压板直径或宽度 1.5 ~ 2.0 倍范围内。

4.1.6 静力载荷试验记录应符合本规程附录 A 要求。

4.2 沉降相对稳定法平板载荷试验

4.2.1 稳定法平板载荷试验适用于各类土和软岩、极软岩。

4.2.2 试坑开挖应符合下列规定：

1 试坑的宽度应大于或等于承压板直径或宽度的 3 倍；
2 对含有碎石的粘性土，承压板下及边缘不应接触大块碎石；

3 试坑挖至距试验面标高 20 ~ 30cm 时应停止挖掘，以保持试验面的天然状态，待安装试验设备时再挖至试验标高；

4 当试验标高低于地下水水位时，应首先将地下水水位降至试验标高之下，然后进行人工挖掘，待承压板和其他试验设备安装完毕之后，恢复水位再开始试验；

5 清理和整平试验面时，应保护试验岩土层的结构不受扰动。

4.2.3 试验设备安装应按下列步骤进行：

1 试面整平后，铺上 10 ~ 20mm 厚的中、粗砂，并用水平尺找平后放上承压板，承压板放置后应在水平方向扭转数次，保证与试验面紧密接触并达到水平；

2 千斤顶应垂直平稳地放置在承压板的中心轴线上，千斤顶与反力中心的接触点应采用球面接触，保持传力中心与轴线垂直，承压板受荷不偏心；

3 埋设量测承压板沉降用的固定点（基准点），应设在离承压板边缘水平距离 1.5 ~ 2.0 倍压板直径的地方；

4 在承压板边缘对称安装 2 ~ 4 个沉降测量仪表（百分表或位移传感器），仪器读数调整为零。

4.2.4 试验加荷观测应按下列步骤进行：

1 根据土的性质确定加荷等级和每级荷载增量；

2 按规定的加荷等级和荷载增量施加每一级荷载，并记录沉降值。每一级荷载的第一小时按 10min、10min、10min、15min、15min 的时间间隔记录沉降值，以后每隔 30min 记录 1 次，直至达到沉降的稳定标准；

3 沉降的稳定标准为连续两小时每小时的沉降量不超过 0.1mm，或连续观测 1 小时内每 30min 的沉降量不超过 0.05mm 此时可加下一级荷载。

4.2.5 随时观测千斤顶的加荷值，确保每级荷载施加后，在沉降过程中保持压力的稳定。

4.2.6 当需要观测试验土层的回弹值时，每级卸荷量为加荷增量的 2 倍。每 10min 观测 1 次，每级卸荷观测 1 个小时。荷载全部卸除后，继续观测 3 个小时，观测时间段分别为 10min、20min、30min、1h、2h 观测记录 1 次。

4.2.7 载荷试验出现下列现象之一时，可认为土体达到破坏阶段，可以终止试验：

1 承压板周围有明显的侧向挤出、隆起或产生裂缝；

2 沉降量急骤增大，压力—沉降（ $P-S$ ）曲线出现陡降段；本级荷载的沉降量大于前级荷载沉降量的 5 倍；

3 荷载不变,在 24h 内沉降速率,不能达到稳定标准;

4 $S/b \geq 0.06$ (b 为承压板的宽度或直径);

满足前三种情况之一者,其相对应的前一级荷载为极限荷载。

4.3 沉降非稳定法(快速法)平板载荷试验

4.3.1 当有地区经验时,可采用快速法载荷试验。快速载荷试验区别于其他方法的载荷试验在于每级荷载的沉降观测时间固定,一般为 2h,每隔 15min 观测 1 次沉降,共 8 次,然后进行下一级荷载的观测。

4.3.2 快速法载荷试验不适用于软粘性土,试验数据不能确定软粘性土的极限承载力和排水条件下的固结变形特征。

4.3.3 快速法载荷试验的试坑开挖与设备安装要求应符合本规程 4.2.2 和 4.2.3 条的规定。

4.4 深井平板载荷试验

4.4.1 深井平板载荷试验适用于各类土、软岩和极软岩。适用于确定深部地基土的承载力。

4.4.2 试验井的形成应符合下列规定:

1 试验井一般为圆形,采用人工挖掘或钻探的方式达到预定的试验深度,并保持试面土层的结构不受扰动。

2 试验井的直径不宜小于 100cm,护壁方式可根据土质条件而确定,距离试验层标高 80cm 以下,井径不宜大于 90cm;

3 当试验土层的标高位于地下水位以下时,应将地下水位降至试面以下,再进行成井,待试验设备安装完毕之后停止降水,恢复地下水位;

4 在试验中的井口处,由自然地面向下 80~100cm 深度范围内采用混凝土加固井壁,并预留传力系统(导管)导正装置的固定位置;

5 如果试面在地下水位之上，成井后的试验过程中要确保试面不浸水。

4.4.3 试验设备安装应按下列步骤进行：

1 清除扰动层，试面整平，铺垫 2cm 左右的中、粗砂，并用水平尺调平；

2 根据试验井的深度确定传力筒的直径和长度，传力筒的材料一般采用厚壁无缝钢管，直径不超过承压板直径；

3 将承压板与传力筒紧密联接（采用法兰盘或焊接），在传力筒的另一端（即井口处）焊接观测平台，平台直径等于承压板直径，观测平台要与承压板保持平行，平台要保持足够的刚度，并设计千斤顶的固定位置，确保承压板中心、传力筒及加压系统中心线重合；

4 将承压板与传力筒整体吊装，安放在试验面上，安装传力筒的导正装置，确保中心轴线与试面垂直，水平向反复扭转传力筒，使承压板与试面紧密接触；

5 试验的反力系统可采用重物法、地锚或锚桩法，在条件允许的情况下，可采用专门设计的混凝土井壁作为反力而进行试验；千斤顶与反力中心的接触点要采用球面接触；

6 沉降观测的基准桩应设在不影响沉降观测精度的位置，在观测平台的边缘对称安装 2~4 块百分表或位移传感器，读数要调到零。

4.4.4 试验加荷观测应符合本规程 4.2.4 条的规定。

4.4.5 在试验过程中，当出现下列现象之一时，可终止试验：

1 当 $P-S$ 曲线出现陡降段，沉降量急剧增大，且 $S/d \geq 0.04$ （ d 为压板直径）；

2 本级荷载的沉降量大于前一级的 5 倍；

3 在某级荷载下，24h 沉降不稳定；

4 试验土层坚硬，沉降量很小，最大的加荷量不小于设计荷载的 2 倍。

4.5 湿陷性黄土平板载荷试验

4.5.1 湿陷性黄土平板载荷试验适用于测定湿陷性黄土的湿陷起始压力和湿陷量。其试验方法可分为单线法和双线法静载荷试验，分述如下：

1 单线法静载荷试验：在同一场地相邻地段的同一标高处设3个静载荷试验点，分级加荷，分别加至各自规定的压力，下沉稳定后向试坑浸水至饱和，附加沉降稳定后试验终止；

2 双线法静载荷试验：在同一场地相邻地段的同一标高处设2个静载荷试验点，其中一个设在天然湿度土层分级加压，加至规定压力，沉降稳定后，试验终止；另一个设在浸水饱和的土层上分级加压，加至规定压力，附加沉降稳定后，试验终止。

4.5.2 湿陷性黄土平板载荷试验承压板面积不宜小于 0.5m^2 。

4.5.3 试坑的开挖，试验设备的安装及加荷、沉降观测应符合本规程4.2节的有关规定。

4.5.4 当荷载达到设计荷载或 200kPa 沉降稳定后，向坑内注水，并保持水头为 $20\sim 25\text{cm}$ 。量测浸水后沉降稳定的沉降值，即为湿陷性黄土的湿陷量。

4.5.5 采用饱水法测定黄土湿陷的起始压力应按下列步骤进行：

1 试验设备安装后，应在压板周围的试坑底铺设 30cm 宽、 5cm 厚的砾石层，然后向坑内注水，水头保持 30cm ，连续浸水 $3\sim 4$ 天，保证 3.5 倍压板直径深度范围内土层达到饱和；

2 按每级荷载不大于 25kPa 的荷载增量加荷，试验的终止压力不宜小于 200kPa ；

3 每级荷载的观测与沉降稳定标准应符合本规程4.2.4条的规定；

4 根据绘制的湿陷量 S_s 与压力 P 曲线图，取曲线转折点所对应的压力作为湿陷起始压力；当曲线上的转折点不明显时，可

取湿陷量 S_s 与压板宽度 b (直径 d) 之比为 0.015 时所对应的压力为湿陷起始压力。

4.6 螺旋板载荷试验

4.6.1 螺旋板载荷试验适用于深层或地下水位以下难以采取原状土试样的砂土、粉土和灵敏度高的软粘性土。

4.6.2 螺旋板载荷试验在钻孔中进行时, 应离试验深度 20 ~ 30cm 处停钻, 并清除孔底受压或受扰动土层。

4.6.3 采用螺旋板载荷试验, 其螺旋板的投影面积为 I 型: 0.02m^2 , $d = 160\text{mm}$; II 型: 0.05m^2 , $d = 252\text{mm}$, 对于灵敏度高的软粘性土宜采用大面积的螺旋板进行试验。

4.6.4 同一钻孔同一土层在垂直方向的试验点间距应大于 1.0m, 同一层位的试验点不应少于 3 个。

4.6.5 试验设备的安装应符合下列要求:

1 采用直径不小于 73mm、壁厚 10mm 的传力杆连接螺旋板, 并通过钻孔施工已确定的试验土层, 达到紧密接触;

2 下反力地锚, 安装反力梁, 下基准桩地锚、安装百分表或位移传感器, 安装千斤顶, 千斤顶与反力梁中心点的接触采用球面接触, 要求传力系统必须垂直。

4.6.6 试验加荷观测应按下列步骤进行:

1 加荷等级不少于 8 级, 每级荷载增量不宜大于 25kPa;

2 每级荷载施加后, 第一小时按 10min、10min、10min、15min、15min 的时间间隔观测沉降, 以后每 30min 观测 1 次;

3 当连续观测 2h 内, 每小时的沉降量小于 0.1mm 时, 则认为趋于稳定, 可以施加下级荷载。

4.6.7 加荷终止条件按本规程 4.4.5 条执行。

4.7 岩基载荷试验

4.7.1 岩基载荷试验适用于确定完整、较完整、较破碎岩

基作为天然地基或桩基持力层时的承载力。

4.7.2 试验设备及规格

- 1 刚性承压板：采用直径为 30cm 的刚性承压板；
- 2 当岩石埋深较大时，可采用钢筋混凝土桩，但桩周需要采取措施以消除桩身与岩土之间的的摩擦力；
- 3 位移、应力观测系统同浅层平板载荷试验；
- 4 岩基载荷试验通常采用堆载或锚杆的方式。

4.7.3 试验要求

- 1 承载板面积不宜小于 0.07m^2 ；
- 2 加荷分级：第一级加载值为预估设计荷载的 $1/5$ ，以后每级 $1/10$ ；
- 3 试验精度同浅层平板载荷试验。

4.7.4 稳定标准

岩基载荷试验采用沉降相对稳定法（常规慢速法）的加荷方式。加压前，每隔 10min 读数 1 次，连续 3 次不变时可开始试验。加载后立即读数，以后每 10min 读数 1 次，连续 3 次读数之差小于 0.01mm 时，可施加下一级荷载。

4.7.5 终止加载条件

- 1 沉降量读数不断变化，在 24h 内，沉降速率有增大的趋势；
- 2 压力加不上或勉强加上而不能保持稳定；
- 3 若限于加载能力，荷载应加到不少于设计要求的 2 倍。

4.7.6 卸载观测

每级卸载为加载的 2 倍，如为奇数级可为 3 倍。每级卸载后，隔 10min 测读 1 次，测读 3 次后可卸下一级荷载。全部卸载后，当测读到 30min 回弹量小于 0.01mm 时，即认为稳定。

5 试验资料整理

5.1 沉降相对稳定法平板载荷试验

5.1.1 稳定法平板载荷试验的资料整理工作应按下列步骤进行：

- 1 原始数据的检查、校对与计算；
- 2 根据原始记录绘制 $P-S'$ 、 $S'-t$ 曲线草图；
- 3 修正沉降观测值，首先应求出校正值 S_0 和 $P-S$ 曲线直线段部分的斜率 C 。求解方法有如下两种：

1) 图解法：在绘制的 $P-S'$ 曲线草图上找出比例界限点，从比例界限点引一条直线，使比例界限点以前的各沉降点均匀靠近这条直线，直线与 S 轴坐标的交点即为 S_0 ，表示直线在 S 轴上的截距。取直线上任一点的 S 、 P 和 S_0 代入比例关系方程式（式 5.1.1-1）可求解 C 值：

$$S = S_0 + CP \quad (5.1.1-1)$$

式中： S —修正后的沉降值（cm）；

S_0 —直线方程在 S 轴上的截距（cm）；

C —直线方程的斜率；

P —单位面积所受的压强（kPa）。

2) 最小二乘法求解 S_0 、 C 值，其计算公式如下：

$$S_0 = \frac{\sum S \sum P^2 - \sum P \sum PS'}{N \sum P^2 - (\sum P)^2} \quad (5.1.1-2)$$

$$C = \frac{N \sum PS' - \sum P \sum S}{N \sum P^2 - (\sum P)^2} \quad (5.1.1-3)$$

式中： S' —各级荷载下原始沉降观测值（cm）；

N —加荷级数。

以上两式除 S' 为变数外，其余均可预先完成计算，详见附

录 B。

4 根据计算的 S_0 、 C ，按式 (5.1.1-4) 和式 (5.1.1-5) 计算各级荷载下的修正沉降值 S ：

$$S = CP \text{ (用于比例界限前)} \quad (5.1.1-4)$$

$$S = S' - S_0 \text{ (用于比例界限后)} \quad (5.1.1-5)$$

5 绘制修正后的 $P-S$ 、 $S-t$ 曲线。

6 确定和计算界限压力 P_0 、 P_u 、地基承载力的特征值 f_{ak} 和变形模量 E_0 值。

5.1.2 界限压力值宜按下列方法确定：

1 当载荷试验 $P-S$ 曲线上直线段转折点比较明显时，可选择转折点所对应压力为比例界限压力。

2 当 $P-S$ 曲线转折点不明显时，可采用 $S-\lg t$ 曲线或 $\lg P-\lg S$ 曲线，取曲线急剧转折点所对应的压力为比例界限压力。

3 当 $P-S$ 曲线上没有明显直线段时，也可绘制 $P-\frac{\Delta S}{\Delta P}$ 曲线，曲线上的转折点对应的压力即为比例界限压力。其中 ΔP 为荷载增量， ΔS 为相应的沉降量。

4 当试验达到本规程 4.2.7 条 1~4 款所述的破坏时，可取破坏前的最后一级荷载为极限荷载 P_u 。

5.1.3 地基承载力特征值宜按下述原则确定：

1 当修正后的 $P-S$ 曲线有明显的直线段和转折点时，取比例界限点所对应的荷载为地基承载力特征值。

2 当极限荷载小于比例界限的荷载的 2 倍时，可取极限荷载值的 1/2 为地基承载力特征值。

3 当 $P-S$ 曲线没有明显的直线段和转折点时，对不同压缩性的天然地基可在 $P-S$ 曲线上按表 5.1.3 中的相对沉降量 S/b (或 S/d) 所对应的荷载值确定地基承载力的特征值。

各类地基 S/b (S/d) 的取值

表 5.1.3

地基土名称	S/b (S/d)
低压缩性粘土和砂类土	0.010 ~ 0.015
高压缩性粘土	0.020
新近堆积黄土和饱和黄土	0.015 ~ 0.020
碎石类土、强风化地层	0.006 ~ 0.010
软质岩石	0.006

5.1.4 当不少于 3 个试验点的地基承载力特征值的极差不超过平均值的 30% 时,可取其平均值为该地基土的承载力特征值。

5.1.5 地基变形模量 E_0 应按式 (5.1.5-1) 计算:

$$E_0 = (1 - \mu^2) \frac{P}{Sd} \quad (5.1.5-1)$$

式中: E_0 —变形模量 (MPa);

P —承压板上的总荷重 (kN), 一般在 $P-S$ 曲线上直线段取值;

S —与 P 荷载对应的沉降值 (cm);

d —圆形承压板直径 (cm), 方形压板取等效直径;

μ —土的泊桑比, 各类土的泊桑比见表 5.1.5-1。

为了简化计算, 地基变形模量的计算公式 (5.1.5-1) 可变换成简化公式 (5.1.5-2):

$$E_0 = (1 - \mu^2) \frac{\pi d}{4C} = \frac{K}{C} \quad (5.1.5-2)$$

式中: K —简化计算参数, 按表 5.1.5-2 确定;

C — $P-S$ 曲线直线段的斜率 (m/kN)。

各类土的泊桑比值

表 5.1.5-1

土的名称	μ	μ^2	$1 - \mu^2$
卵石、碎石土	0.27	0.0729	0.93
砂类土、粉土	0.30	0.0900	0.91
粉质粘土	0.35	0.1225	0.88
粘土	0.42	0.1764	0.82

		简化计算参数 K 值			表 5.1.5-2
d (cm)	土类	卵石、碎石土	砂土、粉土	粉质粘土	粘土
	μ				
	K	0.27	0.30	0.35	0.42
35.7		0.2606	0.2550	0.2466	0.2298
56.4		0.4120	0.4031	0.3898	0.3633
79.8		0.5808	0.5700	0.5497	0.5159
112.8		0.8176	0.8000	0.7797	0.7209

5.2 沉降非稳定法（快速法）平板载荷试验

5.2.1 快速法平板载荷试验资料整理应包括以下内容：

- 1 按外推法推算各级荷载下的沉降速率及达到相对稳定标准所需的时间和沉降量；
- 2 用推算的沉降量绘制 $P-S$ 曲线；
- 3 按本规程 5.1 节的有关规定，确定试验土层的界限压力、地基承载力特征值和变形模量。

5.2.2 外推法是假定沉降与时间的对数呈线性关系，则可按下列步骤计算有关参数：

1 确定线性方程数 α_N 、 β_N 。

$$\alpha_N = \frac{\sum S_i \sum [\ln(t_i + 1)]^2 + \sum \ln(t_i + 1) \sum S_i \ln(t_i + 1)}{8 \sum [\ln(t_i + 1)]^2 - [\sum \ln(t_i + 1)]^2} \quad (5.2.2-1)$$

$$\beta_N = \frac{8 \sum S_i \ln(t_i + 1) + \sum S_i \sum \ln(t_i + 1)}{8 \sum [\ln(t_i + 1)]^2 - [\sum \ln(t_i + 1)]^2} \quad (5.2.2-2)$$

式中： α_N —第 N 级荷载下， $S - \ln t$ 曲线的截距（cm）；

β_N —第 N 级荷载下， $S - \ln t$ 曲线的斜率；

S_i —第 N 级荷载下， t_i 时的沉降实测值（cm）；

t_i —第 N 级荷载下，第 i 次观测时间（ $t_i = i \times 15\text{min}$ ， $i =$

1, 2...8)。

2 计算第 N 级荷载下, 沉降达到相对稳定标准的沉降量 S_N 和所需的时间 t_N 。

$$S_N = \alpha_N + \beta_N \ln(t_N + 1) \quad (5.2.2 - 3)$$

$$t_N = \frac{60}{1 - e^{-0.01/\beta_N}} \quad (5.2.2 - 4)$$

式中: e —自然对数的底;

t_N —当 t_N 不足 30 的倍数时, 可增大为 30 的倍数。

3 计算残留沉降量

由于采用快速法加荷, 每级荷载沉降观测的时间仅为 2h, 前一级荷载作用下的沉降量必然影响后一级荷载的沉降量, 这种由影响产生的沉降量称之为残留沉降量。每次读数的相应残留沉降量可按下式计算:

$$\Delta S_{mn}^{(i)} = \sum_{m=1}^n \beta_m \ln \left[1 + \frac{15i}{120(n-m) + 1} \right] \quad (5.2.2 - 5)$$

式中: $\Delta S_{mn}^{(i)}$ —第 m 级荷载对第 n 级荷载第 i 次观测值中应扣除的残留沉降量 (cm) $i = 1, 2 \dots 8$;

m —第 n 级前的荷载级数。

4 计算各级荷载下的总沉降量

各级荷载下的总沉降量按下式计算:

$$S_i = S'_i + \sum_{j=1}^i \Delta S_{ji} \quad (5.2.2 - 6)$$

式中: S_i —总沉降量 (cm);

S'_i —本级荷载下的沉降量 (cm);

ΔS_{ji} — j 级荷载对 i 级荷载的最终影响。

5.3 深井平板载荷试验

5.3.1 深井平板载荷试验的资料整理应按本规程 5.1.1 条的步骤进行。

5.3.2 比例界限压力的确定可按本规程 5.1.2 条 1~3 条款所规定的方法完成。

5.3.3 当试验出现本规程 4.4.5 条 1~3 条款现象时，可取其前一级荷载有极限荷载。

5.3.4 地基承载力特征值可按下述方法确定：

1 当 $P-S$ 曲线有明显的比例界限时，取比例界限点所对应的荷载值。

2 当极限荷载小于比例界限压力 2 倍时，可取极限荷载的 $1/2$ 。

3 当 $P-S$ 曲线上无明显的拐点时，可取 $S/d = 0.01 \sim 0.02$ 所对应的 P 值，对于粘性土取大值，砂类土取中值，卵碎石、强风化岩取小值。

4 按上述条款确定的地基承载力特征值在使用时不应再进行深度修正。

5.3.5 深井载荷试验地基变形模量 E_0 的计算，可按本规程 5.1.5 条款规定执行，不作埋深的修正。

5.4 螺旋板载荷试验

5.4.1 螺旋板载荷试验资料整理按本规程 5.1.1 条款之规定绘制成 $P-S$ 、 $S-\log t$ 曲线。

5.4.2 螺旋板载荷试验地基承载力特征值的确定方法应执行本规程 5.1.3 条款的规定。

5.4.3 根据螺旋板载荷试验资料、可按式 (5.4.3-1、5.4.3-2) 计算地基的变形模量。

$$E_{\mu} = 0.33 \frac{\Delta p d}{S} \quad (5.4.3-1)$$

$$E'_{\mu} = 0.42 \frac{\Delta p d}{S} \quad (5.4.3-2)$$

式中： E_{μ} —不排水变形模量 (MPa)；

E'_{μ} —排水变形模量 (MPa)；

Δp —压力增量 (MPa);

S —压力 p 作用下固结完成后的最终沉降量 (mm);

d —螺旋板直径 (mm)。

附录 A 静力载荷试验记录表

表 A. 0. 1

[illegible]

记录人:

检查人:

年 月 日

附录 B 不同荷载增量最小二乘法相关计算参数

荷载增量为 25kPa 时计算参数

表 B. 0. 1

P	ΣP	P^2	ΣP^2	$(\Sigma P)^2$	N	$N\Sigma P^2$	$N\Sigma P^2 - (\Sigma P)^2$
25	25	625	625	625	1		
50	75	2500	3125	5625	2		
75	150	5625	8750	22500	3	26250	3750
100	250	10000	18750	62500	4	75000	12500
125	375	15625	34735	140625	5	171875	31250
150	525	22500	56875	275625	6	341250	65625
175	700	30625	87500	490000	7	612500	122500
200	900	40000	127500	810000	8	1020000	210000
225	1125	50625	178125	1265625	9	1600000	337500
250	1375	62500	240625	1890625	10	2406250	515625
275	1650	75635	316250	2722500	11	3478750	756250
300	1950	90000	406250	3802500	12	4875000	1072500

荷载增量为 50kPa 时计算参数

表 B. 0. 2

P	ΣP	P^2	ΣP^2	$(\Sigma P)^2$	N	$N\Sigma P^2$	$N\Sigma P^2 - (\Sigma P)^2$
50	50	2500	2500	2500	1		
100	150	10000	12500	22500	2		
150	300	22500	35000	90000	3	105000	15000
200	500	40000	75000	250000	4	300000	50000
250	750	62500	137500	562500	5	687500	125000
300	1050	90000	227500	1102500	6	1365000	262500
350	1400	122500	350000	1960000	7	2450000	490000
400	1800	160000	510000	3240000	8	4080000	840000
450	2250	202500	712500	5062500	9	6412500	1350000
500	2750	250000	962500	7562500	10	9625000	2060000

荷载增量为 100kPa 时计算参数

表 B. 0. 3

P	ΣP	P^2	ΣP^2	$(\Sigma P)^2$	N	$N\Sigma P^2$	$N\Sigma P^2 - (\Sigma P)^2$
100	100	10000	10000	10000	1	10000	0
200	300	40000	50000	90000	2	100000	10000
300	600	90000	140000	360000	3	420000	60000
400	1000	160000	300000	1000000	4	1200000	200000
500	1500	250000	550000	2250000	5	2750000	500000
600	2100	360000	910000	4410000	6	5460000	1050000
700	2800	490000	1400000	7840000	7	9800000	1960000
800	3600	640000	2040000	12960000	8	16320000	3360000
900	4500	810000	2850000	20250000	9	25650000	5400000
1000	5500	1000000	3850000	30250000	10	38500000	8250000

附录 C 本规程用词说明

C.0.1 为便于在执行本规程条文时区别对待，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，在正常情况下均应这样做的用词：

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”。

表示允许有选择，在一定条件下可以这样做的用词采用“可”。

C.0.2 规程中指定应按其他标准、规范执行时，写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

条 文 说 明

1 总 则

1.0.1 静力载荷试验是地基评价的重要手段之一，规范试验方法，提高勘察质量科学合理地提供地基土的承载力和变形指标，为工程建设创造良好的经济效益和社会效益。

1.0.2 对于地基基础设计等级为甲级的建（构）筑物应采用静力载荷试验方法确定地基土的承载力和变量模量。应根据各地区岩土特点，因地制宜，选择适宜的试验方法，科学评价地基土物理力学特性，达到勘察高质量、高水平。

湿陷性黄土大多分布在我省西部地区，属于中国湿陷黄土分区的边缘地区。采用静力载荷试验方法评价其湿陷性，压缩变形和承载力，有利于合理地采取地基处理措施和预防措施。

1.0.5 复合地基一般指桩土共同作用的地基，如水泥搅拌桩、石灰桩、碎石桩、粉喷桩等地基，采用静力载荷试验进行地基评价是非常重要的手段，但必须正确选择承压板的面积，这样才能满足桩土共同作用的地基条件。

1.0.7 螺旋板载荷试验的安装与试验操作要求非常严格，即要保证螺旋板与试验面的紧密接触，更重要的是要保证试验面不受扰动。对地下水位以下的粉土、粉细砂层或灵敏度较高的淤泥质土、软土等，试验面的扰动对试验成果影响极大，所以要求试验成果应与其他相关试验结果比较后，结合地区的经验采用。

3 仪器设备

3.0.1 承压板必须具有足够的刚度，压板制作要增加竖向强肋板。底板厚度不宜小于 10mm，把承压板的弯曲变形降低到最低限度。

深井平板载荷试验的压板面积不宜小于 0.5m^2 ，一般是根据试验深度与传力筒整体加工制作，除保证承压板刚度之外，传力

筒应具有足够的抗弯（抗挠曲）刚度。

螺旋板载荷试验我省的经验不足，缺少对比资料，其螺旋板的投影面积宜采用 $0.02 \sim 0.05\text{m}^2$ 。

3.0.2 千斤顶、液压表均属液压设备和仪表，均有额定的最大量程，千斤顶的最大用量不宜超过最大量程的 70%，否则会产生液压部件漏油，压力不稳定等故障。千斤顶与压力表的量程选择一般根据试验要求而定，千斤顶加荷应配套稳压装置。压力表的精度采用 1.5 级可以满足试验精度要求。

3.0.3 采用重物加荷，一要控制重心的摆放，二要保证反力梁具有足够的刚度。

采用侧壁支撑法，应事先计算在规定的试验深度内，试坑侧壁的抗剪强度是否能满足所提供的荷载要求。同时在试验过程中要确保两侧应力的平衡。在有经验的地区可采用小面积压板进行试验。

3.0.4 沉降观测仪表一般采用百分表，不仅要满足测量精度的要求，同时应具有较大量程，避免试验过程中第二次调表，减少测量误差。

3.0.5 千斤顶和压力表应配套检定，一般采用已检定合格的测力计或材力试验机检定。通常要绘制两条关系线，一条是计算压力与实测压力比较关系曲线，一条是压力与压力表读数的关系线，或采用对照表。

4 操作方法

4.1 一般规定

4.1.2 试验点应选择在拟建（构）筑物附近，与基础砌置深度相同的同一土层，具有相同的地质条件，试验点附近应有钻孔资料等。

4.1.3 承压板底面要求与试面保证完全的接触，一般采用

铺垫 10 ~ 20mm 厚的中、粗砂垫层增加接触的紧密程度。

荷载的合力中心应通过计算, 摆放(重物)和调整(侧壁支撑)的方法确保与传力系统的轴心重合。

静力载荷试验时间较长, 从试坑的开挖、设备的安装到试验完成的整个过程应针对不同过程实施不同的防护措施, 防雨、防晒、防风、防冻、防外界的振动干扰等, 一般在试验过程中要架设防护棚, 保证设备仪器的安全, 保持试验土层的天然结构和天然湿度。

4.1.4 加荷等级一般不少于 8 级, 有时可达到 12 级, 最大加荷量不宜小于设计荷载的 2 倍。

加荷增量一般根据土的压缩性而定, 常规采用加荷增量为 25kPa, 对于软弱土层或采用螺旋板试验时, 加荷增量一般控制在 10 ~ 15kPa, 不宜过大。

施加的第一级荷载应为土的自重荷载, 其中包括承压板、千斤顶和传力装置的自重。该级荷载施加后保持稳定 1h 后, 再按规定的加荷等级进行加荷和观测沉降。一般情况应重新调整百分表, 从零开始记录。

4.1.5 试验完成后, 应在试面下承压板直径 1 倍的深度采取土试样, 进行相应的室内土工试验, 或采用其他方法的原位测试, 取得相关对比资料, 综合评价。

4.2 沉降相对稳定法平板载荷试验

4.2.1 稳定法平板载荷试验的适用性很强, 是几十年试验成果的肯定, 应用广泛, 效果良好, 满足对地基承载力和排水条件下固结变形的评价。

4.2.2

1 浅层平板试验的假设条件是竖向荷载作用在半无限体表面的弹性理论, 因此试坑的宽度不应小于压板直径的 3 倍, 为便于技术人员的工作, 往往采用长方形的试坑。

2 在卵碎石层做试验, 当发现试验面和压板边缘有较大粒

径的卵碎石时应小心清理和填平，最大粒径的控制标准一般为承压板直径的 1/10。

3 试坑挖至距试验标高 20 ~ 30cm 时，应停止挖掘，待其他准备工作完成后，即将安装压板时再人工小心挖掘至试验面。

4 如果试验面位于地下水位之下，应首先排水，排水方式应保持试验土层不受扰动。待试面挖掘、清理完毕，试验设备安装、调整结束后恢复水位，然后按规定要求进行试验。

4.2.3

1 为保证承压板与试验面紧密接触，在试验整平后要铺设 10 ~ 20mm 中粗砂，用水平尺找平，安放压板要反复水平扭动，然后反复调整压板的水平度，达到要求之后再安装千斤顶和传力装置。

2 千斤顶与反力梁的接触点，或称之为作用力与反作用力的交点应采用球面接触，千斤顶活塞顶端不宜直接顶在反力梁上（反力中心点）。一般将凹形的球面体固定在反力梁或反力中心点上，将凸形的球面体固定在千斤顶端部或传力筒的端部，以此可保持承压板垂直受力，减小由于荷载偏心而引起的不良后果。

3 仪表梁的固定点应选择在不受土体变形影响的范围以外，一般远离压板直径 1.5 倍之外，同时也要考虑不受外界其他因素的干扰。

4.2.4 本规程规定的加荷与观测记录与国标规定基本一致，每级荷载的稳定标准满足现行规范的要求。

4.2.5 沉降过程中要保持压力稳定，一般可采用稳压装置自动控制。如果采用人工补压时应做到及时观测及时补压，操作要平稳，不可超过规定等级的压力。

4.2.7

1 承压板周围的土体明显出现挤出，隆起或产生裂缝，说明试验的土体已经破坏，荷载已达到强度极限。

2 沉降量急剧增大，24h 不稳定，其所承受的荷载已达到极限状态。

3 $s/b \geq 0.06$ 为限制变形的正常使用变形极限状态。

4.3 沉降非稳定法（快速法）平板载荷试验

4.3.1 具有稳定法和快速法两种载荷试验的对比资料，且资料具有一定的规律性，这个地区可称之为有经验的地区，因为快速法平板载荷试验只能确定土的承载力，不能确定土的变形指标，所以采用此法应慎重。

4.3.2 载荷试验的目的是确定土的承载力和排水条件下土的固结变形特征，但是软粘性土不具备快速排水条件，因此快速法试验不能反映软粘性土排水条件下的变形特征，对于软粘性土不宜采用此法进行试验。

4.4 深层平板载荷试验

4.4.2 深层载荷试验的试验井一般为圆形，采用人工挖掘方法成井。

采用 0.5m^2 压板进行试验，试验井的口径应控制在 1m 左右，不宜扩大，尽量保持试验面土层的内部应力状态。

由井口向下 1m 左右宜采用混凝土加固井口和井壁，并预留安装导正装置的固定位置。

4.4.3 传力筒的材料应采用大直径厚壁无缝钢管，保证传力筒的刚度，绝对不能产生弯曲变形，传力筒的长度应按井深设计。

传力筒与刚性承压板的连接，或采用法兰盘式或采用焊接，如采用焊接，压板与传力筒的连接应增加竖向肋钢板。传力筒出露井口的一端，焊接观测平台，直径与承压板直径相同，平台要具备足够的刚度，在垂直荷载的作用下不产生弯曲变形。

4.4.5 沉降量大于等于 $0.04d$ 相当于大直径桩限制变形的正常作用极限状态。现行桩基规范对大直径桩极限承载力的选定采用沉降量为 $0.03 \sim 0.06d$ 之间，直径大取小值。

4.5 湿陷性黄土平板载荷试验

4.5.1 湿陷性黄土平板载荷试验主要适用于评价黄土的湿陷性和测定湿陷起始压力，如果确定其承载力和变形模量应采用本规程 4.2 节稳定法平板载荷试验的有关规定。

4.5.2 湿陷性黄土的荷载达到一定量级后，浸水会引起较大沉降，压板面积小将会因不均匀沉降而产生压板倾斜，甚至侧移。根据经验压板面积不宜小于 0.5m^2 。

4.5.5

1 压板周围铺设 5cm 厚的砾石，目的是防止向坑内注水时对压板周边土层的冲刷。为保证 3.5 倍压板直径深度内土达到饱和状态，其浸水时间应根据随时的检测结果而定，对于透水性较好的黄土，其浸水时间可能会缩短。

2 对于风成黄土及新堆积的黄土进行静力载荷试验时，每级荷载的增量宜采用 25kPa，不宜超过。

4.6 螺旋板载荷试验

4.6.1 采用螺旋板载荷试验法的经验尚不成熟，试验的类比资料较少，当采用此法确定地基土承载力时应对比其他的试验结果和当地经验。

4.6.2 对于饱和砂土、粉土和高灵敏度的软粘性土，钻探方法应采用回转钻探成孔，保持试验土层不受冲击扰动。

4.6.5 与螺旋板连接的传力杆应保证足够的抗弯刚度，其管径与管壁应适当加大。

保持传力杆的垂直度，安装压力系统时，要保证传力杆不受摇动，不受冲击，要求平稳安装。千斤顶与反力中心点的接触应采用球面接触，防止荷载偏心。

4.7 岩基载荷试验

4.7.1 岩基载荷试验大都用于较破碎岩基和桩基上，完整岩基因其承载力大、变形小，不多采用。

4.7.2 桩基载荷试验预取得准确的端承载力，必须采取措施消除桩身上与岩土之间的摩阻力。

4.7.3 因岩基一般承载力大、变形小，故第一级加载值较大。

4.7.5 岩基载荷试验因其加载数量较大，现场施工有一定困难，可在加至两倍设计荷载时终止试验。

4.7.6 卸载观测回弹量十分重要，是测量岩基变形和回弹的必要手段，一定要坚持分级卸荷并认真观测。

5 试验资料整理

5.1 沉降相对稳定法平板载荷试验

5.1.1 稳定法平板载荷试验的资料整理，最关键的步骤是修正实测的 $P-S'$ 曲线，采用最小二乘法进行实测沉降值的修正和曲线拟合是最合适的方法，拟合后的 $P-S$ 曲线能够代表试验土层的应力与应变的关系。

5.1.2 界限值具有明确物理意义，是静力载荷试验所获得的用以确定地基承载力的基本资料。

5.1.3 地基承载力的确定方法包括强度控制法、相对沉降控制法和极限荷载法。对于坚硬的粘性土、碎石类土和软岩，强风化地层宜采用强度控制法，即根据 $P-S$ 曲线比例界限值 P_0 代表地基的临塑荷载。当极限荷载小于 $P-S$ 曲线拐点对应的临塑荷载的 2 倍时，为了安全可取极限荷载的 1/2。对于一般粘性土、黄土和砂类土试验曲线 $P-S'$ 的转折点很不明显，宜采用相对沉降控制法，结合建筑物的特点，考虑变形因素，以相对沉降

量 s/d 来确定地基承载力特征值。

5.1.4 载荷试验的结果受土的均匀性和人为因素影响较大，当试验误差超过 30% 时，应分析试验过程及试验点选择等方面存在的问题，重新选点试验。

5.2 沉降非稳定法（快速法）平板载荷试验

5.2.1 快速法载荷试验的资料整理，首先应将实测的各级荷载下，承压板沉降量 S' 用外推法换算为相对稳定时的沉降量 S ，然后根据 $P-S$ 曲线按平板载荷试验的方法确定 P_0 和 E_0 值。

5.2.2 本规程所采用的外推法数学计算模型是经过大量工程实践的检验，其结果是低于相对稳定法的实测结果，因此具有其实际意义。

5.3 深井平板载荷试验

5.3.1 采用深井平板载荷试验确定深层土的地基承载力特征值的试验资料不多，在研究大直径桩桩端阻力（桩端承载力特征值）时专门设计的一种试验方法，承压板直径不小于 0.5m^2 。

5.3.4 地基承载力特征值的确定方法也可参考大直径桩竖向极限承载力的确定方法，按本条款确定的地基承载力特征值可作为大直径桩桩端土承载力特征值。