



石家莊鐵道大學
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

网络精品课程

第三节 路基工程质量现场 试验检测（第一讲）

主讲：严战友

目录

- 地基地质核查
- 地基处理质量检测
- 路基填筑质量检测

一、地基地质核查

- 根据铁路路基验收标准规定，地基处理施工前应对**天然地基进行地质资料核查**，特别是软土、松软土、水塘、洞穴等不良地质地基。主要核查软土、松软土厚度、不良地质条件是否与设计提供的资料相符。
- 动力触探
- 静力触探
- 标准贯入试验

动力触探

- 动力触探试验是利用一定的锤击动能，将一定规格的圆锥探头打入土中，然后依据贯入击数或动贯入阻力判别土层的变化，确定土的工程性质，对地基土做出岩土工程评价。

- 圆锥动力触探适用于黏性土、砂类土和碎石类土原位测试。
- 动力触探试验的类型，按贯入能力的大小可分为轻型、重型和超重型3种。
- 轻型动力触探可确定一般黏性土地基承载力，重型和特重型动力触探可确定中砂以上的砂类土和碎石类土地基承载力，测定圆砾土、卵石土的变形模量。动力触探还可以用于查明地层在垂直和水平方向的均匀程度。

表11- 2动力触探设备类型和规格

类型及代号	重锤质量	重锤落距	探头截面积	探杆外径	动力触探击数	
	()	()	()	()	符号	单位
轻型DPL	10 ± 0.2	50 ± 2	13	25		击/30
重型DPH	63.5 ± 0.5	76 ± 2	43	42、50		击/10
超重型DPSH	120 ± 1.0	100 ± 2	43	50		击/10

- 圆锥动力触探的**优点**是设备简单、操作方便、工效较高、适应性广，并具有连续贯入的特性。
- 对**难以取样**的砂土、粉土、碎石类土等，对静力触探难以贯入的土层，**动力触探**是十分有效的勘探测试手段。
- 圆锥动力触探的**缺点**是不能采样对土进行直接鉴别描述，实验误差较大，直观性差。

1. 指标应用

- 动力触探试验指标主要用于以下几个目的：
 1. 评定砂土的孔隙比或相对密实度、粉土及黏性土的状态。
 2. 估算土的强度和变形模量。
 3. 评定场地地基的均匀性及承载力。
 4. 探查土洞、滑动面、软硬土层界面等。
 5. 估算桩基持力层和承载力。
 6. 检验地基加固与改良的质量效果。

2.动力触探实测击数处理

- 动力触探记录应在现场进行初步整理，并对记录的击数和贯入尺寸进行校核和换算。轻型动力触探应以每层实测击数的算术平均值作为该层的触探击数平均值，重型动力触探实测击数，应按式（11-13）进行杆长击数修正，

$$N_{63.5} = 3N_{120} - 0.5$$

$$N'_{63.5} = \alpha N_{63.5}$$

3.动力触探成果的应用

- » 1) 确定岩土地基基本承载力
- 黏性土地基的基本承载力，当贯入深度小于4.0m时，可根据场地土层按表11- 4确定

表11- 4黏性土值(kPa)

(击/30)	15	20	25	30
	100	140	180	220

- 冲积、洪积成因的中砂~砾砂土地基和碎石类土地基的基本承载力，当贯入深度小于20m时，可根据场地土层的按表11- 5确定。

表11- 5中砂—砾砂土、碎石类土值(kPa)

(击/10)	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14
中砂~砾砂土	120	150	180	220	260	300	340	380		
碎石类土	140	170	200	240	280	320	360	400	480	540
(击/10)	16	18	20	22	24	26	28	30	35	40
碎石类土	600	660	720	780	830	870	900	930	970	1000

(2) 确定岩土地基极限承载力

- 黏性土地基极限承载力，当贯入深度小于4m时，可根据场地土层的按表11- 8确定。

表11- 8 一般黏性土值()

(击/30)	15	20	25	30
P	180	260	330	400

- 冲积、洪积成因的**中砂~砾砂土地基**和**碎石类土地基**的极限承载力，当贯入**深度小于20m**时，可根据场地土层的按表11- 9确定。

表11- 9 中砂一砾砂土、碎石类土值()

(击/10)	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14
中砂一砾砂土	240	300	360	440	520	600	680	760		
碎石类土	320	390	460	550	645	740	835	930	110 0	125 0
(击/10)	16	18	20	22	24	26	28	30	35	40
碎石类土	139 0	153 0	167 0	181 0	193 0	202 0	209 0	216 0	226 0	233 0

(3) 确定地基的变形模量

- 冲、洪积卵石土和圆砾土地基的变形模量，当贯入深度小于12m，可根据场地土层的按表11- 10取值。

表11- 10 卵石土、圆砾土值()

(击/10)	3	4	5	6	8	10	12	14	16
E0	9.9	11.8	13.7	16.2	21.3	26.4	31.4	35.2	39.0
(击/10)	18	20	22	24	26	28	30	35	40
E0	42.8	46.6	50.4 J	53.6	56.1	58.0	59.9	62.4	64.3

静力触探

- 静力触探试验简称静探，是利用静力以一恒定的贯入速率将圆锥探头通过一系列探杆压入土中，根据测得的探头贯入阻力大小来间接判定土的物理力学性质的原位试验。静力触探适用于软土、黏性土、粉土、砂类土及含少量碎石的土层，可划分土层界面、土类定名、确定地基承载力和单桩极限荷载、判定地基土液化可能性及测定地基土的物理力学参数等。

标准贯入试验

- 标准贯入试验是用**质量为63.5kg的重锤**按照规定的落距（76cm）自由下落，将**标准规格的贯入器**打入土层，根据贯入器在贯入一定深度得到的**锤击数**来判定土层的性质，简称标贯，主要适用于一般黏性土、粉土和砂类土。
- 标准贯入试验可**判断砂土密实程度或黏性土的塑性状态**，评定砂类土、粉土的地震液化，确定**土层剖面**并可取扰动土样进行一般物理性试验。

二、地基处理质量检测

- 钻孔取芯试验
- 低应变反射波法
- 单桩载荷试验
- 复合地基载荷试验

钻孔取芯试验

- 钻芯法是检测混凝土灌注桩、复合地基桩体成桩质量的一种有效手段，不受场地条件的限制，适用于检测桩长、桩身材料强度、灌注桩桩底沉渣厚度，鉴别桩端岩土性状，判定或验证桩身完整性类别。主要步骤：
 - 现场记录
 - 芯样试件制作与抗压试验
 - 检测数据分析与判定
 - 成桩质量评价

(1) 现场记录

- 钻取的芯样应由上而下按回次顺序放进芯样箱中，芯样侧面上应清晰标明回次数、块号、本回次总块数，钻机操作人员应及时记录钻进情况和钻进异常情况，并对芯样质量做初步描述。

(2) 芯样试件制作与抗压试验

- 当桩长小于10m时，每孔截取2组芯样；当桩长为10~30m时，每孔截取3组；当桩长大于30m时，不少于4组。上部芯样位置距桩顶设计标高不大于1倍桩径或1m，下部芯样位置距桩底不大于1倍桩径或1m，中间芯样一般按等间距截取。

- 混凝土芯样的抗压强度试验应按《普通混凝土力学性能试验方法》(GB/T50081)的有关规定执行。抗压强度试验后，当发现芯样试件平均直径小于2倍试件内混凝土粗骨料最大粒径，且强度值异常时，则该试件的强度值无效，不参与统计平均。

(3) 检测数据分析与判定

» 混凝土质量评定

- 每组混凝土芯样试件抗压强度代表值应按一组三块试件强度换算值的平均值确定；
- 同一受检桩同一深度部位有两组或多组以上混凝土芯样试件抗压强度代表值时，取其平均值为该桩该深度处混凝土芯样试件抗压强度代表值。
- 钻芯孔偏出桩外时，仅对钻取芯样部分进行评价。

- 单桩混凝土芯样试件抗压强度代表值为该桩不同深度位置的混凝土芯样试件抗压强度代表值中的最小值。

- 桩端持力层性状应根据芯样特征，岩石单轴抗压强度试验，动力触探或标准贯入试验结果，综合判定桩端持力层岩土性状
- 桩身完整性应结合钻芯孔数，现场混凝土芯样特征、芯样单轴抗压强度试验结果，按表11- 13进行综合判定。

表11- 13混凝土桩身完整性判定

类别	特征
I	混凝土芯样连续、完整、表面光滑、胶结好、骨料分布均匀、呈长柱状、断口吻合，芯样侧面仅见少量气孔
II	混凝土芯样连续、完整、胶结较好、骨料分布基本均匀、呈柱状、断口基本吻合，芯样侧面局部见蜂窝、麻面、沟槽
III	大部分混凝土芯样胶结较好，无松散、夹泥、或分层现象， 但有下列情况之一： 芯样局部破碎且破碎长度不大于10cm； 芯样骨料分布不均匀； 芯样多呈短柱状或块状； 芯样侧面蜂窝麻面、沟槽连续
IV	钻进很困难； 芯样任一段松散、夹泥或分层； 芯样局部破碎且破碎长度大于10cm

(4) 成桩质量评价

- 成桩质量评价应按单桩进行。当出现下列情况之一时，应判定该受检桩不满足设计要求：
 1. 桩身完整性类别为IV类的桩；
 2. 受检桩混凝土芯样试件抗压强度代表值小于混凝土设计强度等级的桩；
 3. 桩长、桩底沉渣厚度不满足设计或规范要求的桩；
 4. 桩底持力层岩土性状(强度)或厚度未达到设计或规范要求的桩。

低应变反射波法

- 低应变反射波法采用瞬态激振方式，通过实测桩顶加速度或速度信号的时域、频域特征，采用一维弹性波动理论分析判定基桩桩身完整性质量，即桩身存在的缺陷位置及其影响程度。
- 本方法检测的基桩桩径应小于2.0m，桩长一般不大于40m。当现场组织试验时，其桩长标准可根据现场试验数据确定。

(1) 基桩检测前准备

- 受检桩桩顶的混凝土质量、截面尺寸应与桩身设计条件基本相同；灌注桩应凿去桩顶浮浆或松散破损部分，并露出坚硬的混凝土表面；对CFG桩头宜采用切割机处理。桩顶表面应平整干净且无积水；在实心桩的中心位置打磨出直径约为10cm的平面；在距桩中心2/3半径处，均匀布置打磨2~4处，直径约为6cm的平面，打磨面应平顺光洁密实。

(2) 现场检测

- 检测前受检桩桩身混凝土强度应达到设计强度的70%或桩身混凝土龄期不少于14天，打入或静压式预制桩的检测应在相邻桩打完后进行。

①传感器安装及激振操作规定

- 传感器安装部位应清理干净，不得有浮动砂土颗粒存在；不得安装于松动的石子上；传感器安装应与桩轴线平行。用黄油或其它黏结耦合剂黏结时，应具有足够的黏结强度，传感器底面黏结剂越薄越好。在信号采集过程中，传感器不得产生滑动或松动。

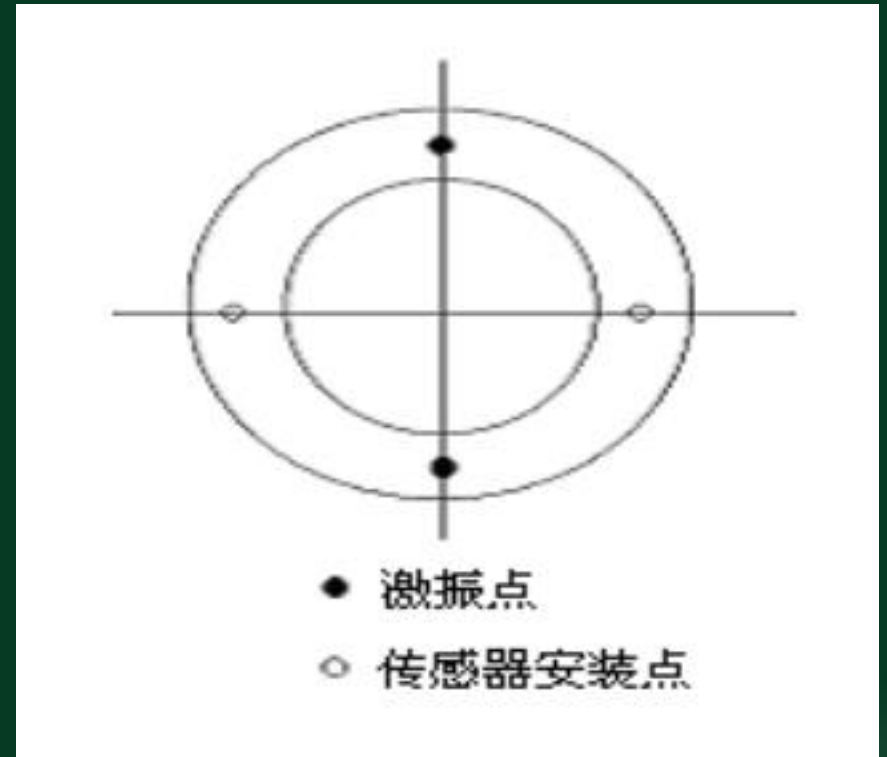
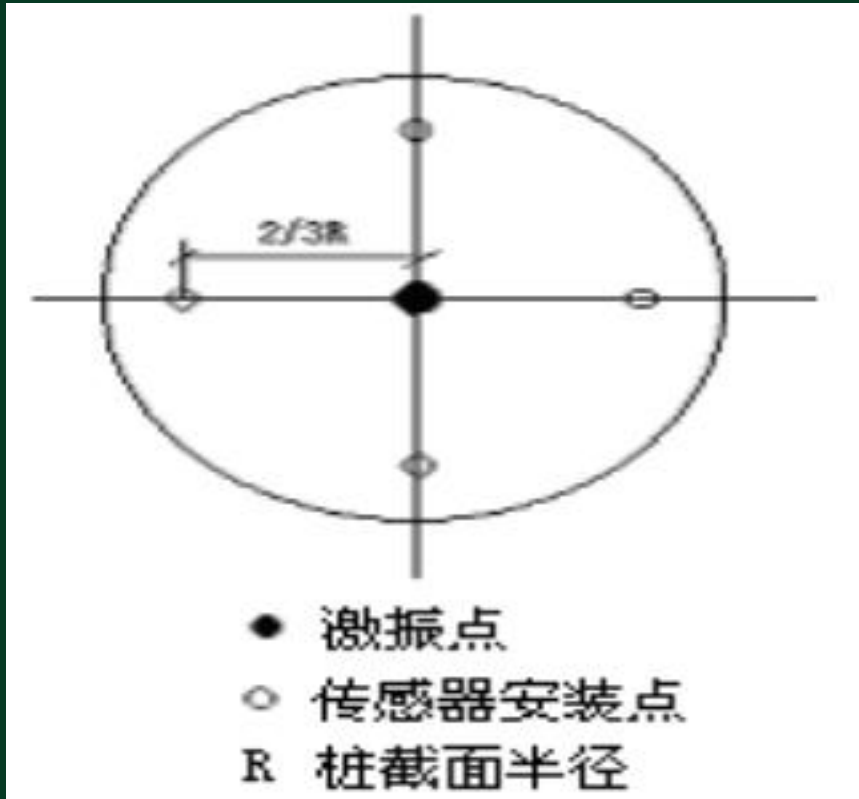


图11- 6 实心桩点位布置示意图

图11- 7 空心桩点位布置示意图

②信号采集和筛选规定

- 根据桩径大小，桩心对称布置2~4个检测点；各检测点重复检测次数不宜少于3次，且检测波形应具有良好的一致性。当信号干扰较大时，可采用信号增强技术进行重复激振，提高信噪比。不同检测点及多次实测时域信号一致性较差时，应分析原因，排除人为和检测仪器等干扰因素，增加检测点数量，重新检测。信号不应失真和产生零漂，信号幅值不应超过测量系统的量程。对存在缺陷的桩应改变检测条件重复检测，相互验证。

③资料处理

- 桩身完整性分析宜以时域曲线为主，辅以频域分析，并结合地质资料、施工资料和波形特征等因素进行综合分析判定。

①桩身波速平均值的确定

- 当桩长已知、桩底反射信号明显时，选取相同条件下不少于5根 I 类桩的桩身波速按下式计算桩身平均波速：

$$C_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i$$

$$C_i = \frac{2L \times 1000}{\Delta T} = 2L \cdot \Delta f$$

- 当桩身波速平均值无法按上述方法确定时，可根据本地区相同桩型及施工工艺的其它基桩工程的测试结果，并结合桩身混凝土强度等级与实践经验综合确定。
- 如具备条件，可制作同混凝土强度等级的模型桩测定波速，也可根据钻取芯样测定波速，确定基桩检测波速时应考虑土阻力及其它因素的影响。

桩身缺陷位置应按下列公式计算

$$L' = \frac{1}{2000} \cdot \Delta T' \cdot c = \frac{c}{2\Delta f}$$

(4) 桩身完整性判定

- 桩身完整性类别应结合缺陷出现的深度、测试信号衰减特性以及设计桩型、成桩工艺、地质条件、施工情况，按规定和表11- 14所列实测时域或幅频信号特征进行综合判定。

表11- 14桩身完整性判定

类别	时域信号特征	幅频信号特征
I	时刻前无缺陷反射波，有桩底反射波	桩底谐振峰排列基本等间距，其相邻频差
II	时刻前出现轻微缺陷反射波，有桩底反射波	桩底谐振峰排列基本等间距，轻微缺陷产生的谐振峰之间的频差
III	有明显缺陷反射波，其它特征介于II类和IV类之间	
IV	时刻前出现严重缺陷反射波或周期性反射波，无桩底反射波； 或因桩身浅部严重缺陷使波形呈现低频大振幅衰减振动，无桩底反射波； 或按平均波速计算的桩长明显短于设计桩长	桩底谐振峰排列基本等间距，相邻频差，无桩底谐振峰； 或因桩身浅部严重缺陷只出现单一谐振峰，无桩底谐振峰

- 对同一场地、地质条件相近、桩型和成桩工艺相同的基桩，因桩端部分桩身阻抗与持力层阻抗相匹配导致实测信号无桩底反射波时，可按本场地同条件下有桩底反射波的其他桩实测信号判定桩身完整性类别。
- 对于混凝土预制桩和预应力管桩，若缺陷明显且缺陷位置在接桩位置处，宜结合其它检测方法进行评价。
- 不同地质条件下的桩身缺陷检测深度和桩长的检测长度应根据试验确定。

本讲小结

1. 动力触探
2. 静力触探
3. 钻孔取样试验
4. 低应变反射法

第三节 路基工程质量现场 试验检测（第二讲）

主讲：严战友

单桩载荷试验

- 单桩竖向抗压静载试验是模拟基桩实际受力状态的一种试验方法。试验时，通过安装在桩顶的油压千斤顶，油压表或压力表，百分表或位移传感器，锚桩或压重反力装置，对桩施加荷载，加载最大值为设计荷载的2倍，分级加载，加载方式分慢速维持荷载法和快速维持荷载法，测读分级荷载下的压力及所对应的桩顶位移，获得压力~位移曲线，从而分析判定桩的承载能力。



单桩静载试验实例图

(1) 检测仪器设备

- ①压力测量装置
- 根据试验荷载要求，选择千斤顶的规格，最大试验荷载对应的千斤顶出力宜为千斤顶量程的30%~80%。
- ②沉降测量装置
- 基准桩用来固定和支撑基准架。基准桩与试桩、锚桩的中心距应符合规范有关规定。

- ③加载装置
- 试验加载装置使用一台或多台油压千斤顶并联同步加载，采用两台以上千斤顶加载时，要求千斤顶型号、规格相同，且合力中心与桩轴线重合。

- ④反力装置
- 试验反力装置可采用堆载压重平台、锚桩横梁反力装置和锚桩压重联合反力装置。试验时，要求加载反力装置提供的反力不得小于最大加载量的**1.3**倍。采用锚桩反力装置应对锚桩抗拔力进行检算，并监测锚桩上拔量。

(2) 检测前准备

① 锚桩的设计施工

锚桩不同于一般工程桩，需承受较大的上拔力。施工前应根据试桩荷载要求考虑每根锚桩的上拔力，根据上拔力要求设计钢筋直径、长度、数量及锚桩桩长。

- ②桩头处理
- 混凝土桩头处理应先凿除桩顶的松散破碎层和低强度混凝土，露出主筋，冲洗干净后再浇注桩帽。桩帽顶面应水平、平整，桩帽中轴线与原桩身上部的中轴线严格一致，桩帽面积大于或等于原桩身截面积，桩帽截面可为圆形或方形。
- ③现场设备安装
- 设备安装前应进行试验场地平整，并有大型吊车进出通道。

(3) 现场检测

- ①试验开始时间规定
 - 预制桩施工后在砂土中不得少于7天，黏性土不得少于15天，对于饱和软黏土不得少于25天；灌注桩应在桩身混凝土达到设计强度后方能进行试验。
- ②试验加卸载规定
 - 加载应分级进行，加载分级不应小于8级，分级荷载宜为最大加载量或预估极限承载力的 $1/8\sim 1/10$ ，其中第一级可取分级荷载的2倍。

- ③慢速维持荷载法
- 为设计提供依据的**竖向抗压静载试验**应采用**慢速维持荷载法**。慢速维持荷载法试验每级荷载施加后第**1小时**按第**5、15、30、45、60min**测读桩顶沉降量，以后每隔**30min**测读一次。

- ④快速维持荷载法
- 施工后的工程桩验收检测宜采用慢速维持荷载法；在具有成熟地区经验时，可采用快速维持荷载法。快速维持荷载法试验每级荷载施加后维持时间至少1h，按第5、15、30min测读桩顶沉降量，以后每隔15min测读一次。

(4) 载荷试验终止加载条件

- 符合下列条件之一时即可终止加载试验。
 - 当荷载-沉降 (Q-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40mm，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。
 - 某级荷载作用下，桩顶沉降量大于前一级荷载作用下沉降量的2倍，且经24h尚未达到相对稳定标准。
 - 25m以上的非嵌岩桩，Q-s曲线呈缓变型时，桩顶总沉降量大于60~80mm；
 - 已达到设计要求的最大加载量。
 - 当工程桩作锚桩时，锚桩上拔量已达到允许值。

(5) 单桩竖向抗压承载力确定

- 1) 根据沉降随荷载变化的特征确定
- 2) 根据沉降随时间变化的特征确定
- 3) 根据终止加载试验条件确定
- 4) 按上述方法判断有困难时，可结合其他辅助分析方法综合判定；

三、路基填筑质量检测

- 1. 压实度（压实系数）
- 压实系数是填料压实后的干密度与击实试验得出的最大干密度的比值。
 - （1）环刀法
 - （2）灌砂法
 - （3）灌水法
 - （4）核子射线法

2.地基系数试验

- 地基系数为通过试验测得的直径30cm荷载板下沉1.25mm时对应的荷载强度()与其下沉量1.25mm的比值。 K30为地基系数试验方法，下沉量测试仪器应精确至0.01mm，压力测试装置最小压力精确至0.01。

- (1) 检测仪器
- 本试验采用仪器包括：刚性承压板、千斤顶、百分表或位移传感器、基准支架和反力装置。
- (2) 现场检测
- ①场地测试面应进行平整，并使用毛刷扫去表面松土。当测试面处于斜坡上时，应将承载板支撑面做成水平面。
- ②安装加载装置和测量装置

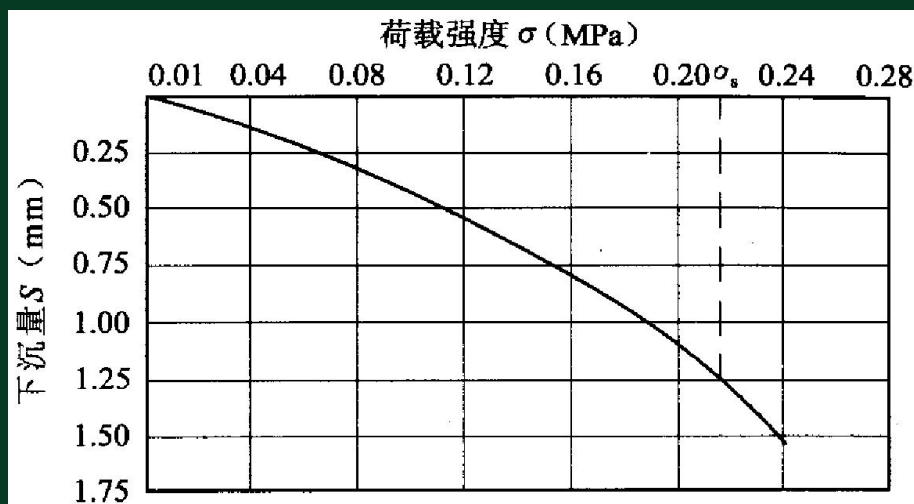
- ③ 加载试验
- 预先加0.01荷载约30s，稳定后卸除荷载，读取百分表读数作为下沉量的初始读数或将百分表调零；以0.04的增量逐级加载，每增加一级荷载，当1min的沉降量不大于该级荷载产生的沉降量的1%时，读取荷载强度和下沉量读数，然后增加下一级荷载。

(3) 试验场地及环境条件

- ①对于水分挥发快的均粒砂，表面结硬壳、软化或因其他原因表层扰动的土，平板荷载试验应置于扰动带以下进行。
- ②对于粗、细粒均质土，宜在压实后2~4h内开始进行。
- ③测试面必须是平整无坑洞的地面。对于粗粒土或混合料造成的表面凸凹不平，应铺设一层2~3mm的干燥中砂或石膏腻子。
- ④雨天或风力大于6级的天气，不得进行试验。

资料处理

- ①绘图及计算工作
- 根据试验结果绘制荷载强度与下沉量()关系曲线。



—下沉量 S 关系曲线

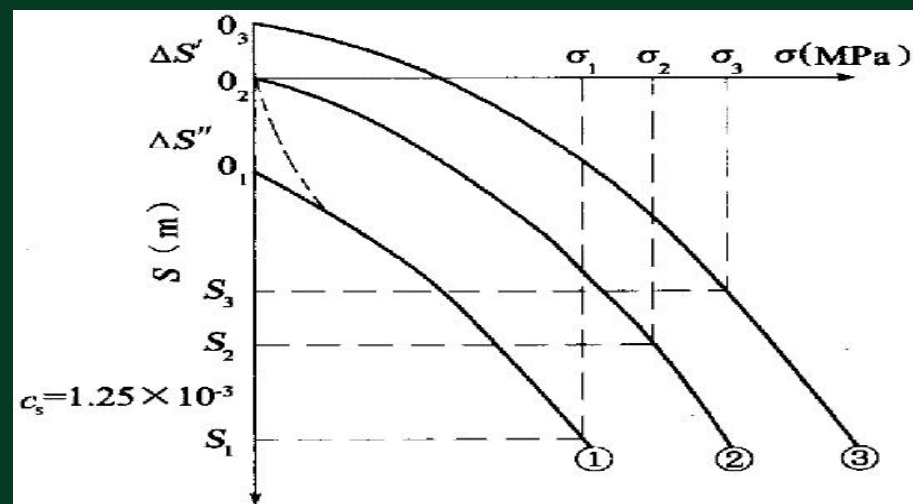


图11- 10随机误差的校正示意图

3. 变形模量试验

- 变形模量 E_{V2} ，由平板荷载试验第二次加载测得的土体变形模量。变形模量和试验也属于平板荷载试验，在圆形荷载板上分级施加静荷载，测试荷载强度与沉降变形的关系，由此计算地基的变形模量。

- (1) 检测仪器
- 变形模量测试仪器应包括承载板、反力装置、加载装置、荷载量测装置及沉降量测装置。
- 沉降量测装置应由测桥和测表组成。

- (2) 现场检测
- ①场地测试面应进行平整，并使用毛刷扫去表面松土。当测试面处于斜坡上时，应将承载板支撑面做成水平面。
- ②测试仪器安装
- 根据测试要求合理选择测点位置，将承载板放置于测试点上，使承载板与地面完全接触，必要时可铺设一薄层干燥砂(2~3mm)，同时利用承载板上水准泡来调整承载板水平，安装时不得对测点表面进行压实。

- ③ 加载与卸载要求
- 预加载时，应预先加0.01荷载约30s，待稳定后卸除荷载，将沉降量测表读数调零。
- 变形模量试验第一次加载应至少分6级，并以大致相等的荷载增量(0.08)逐级加载，达到最大荷载为0.5或沉降量达到5mm时所对应的应力后，再进行卸载。

(3) 资料处理

- 根据试验结果绘制应力沉降量曲线，应力沉降量曲线上应用箭头标明受力方向

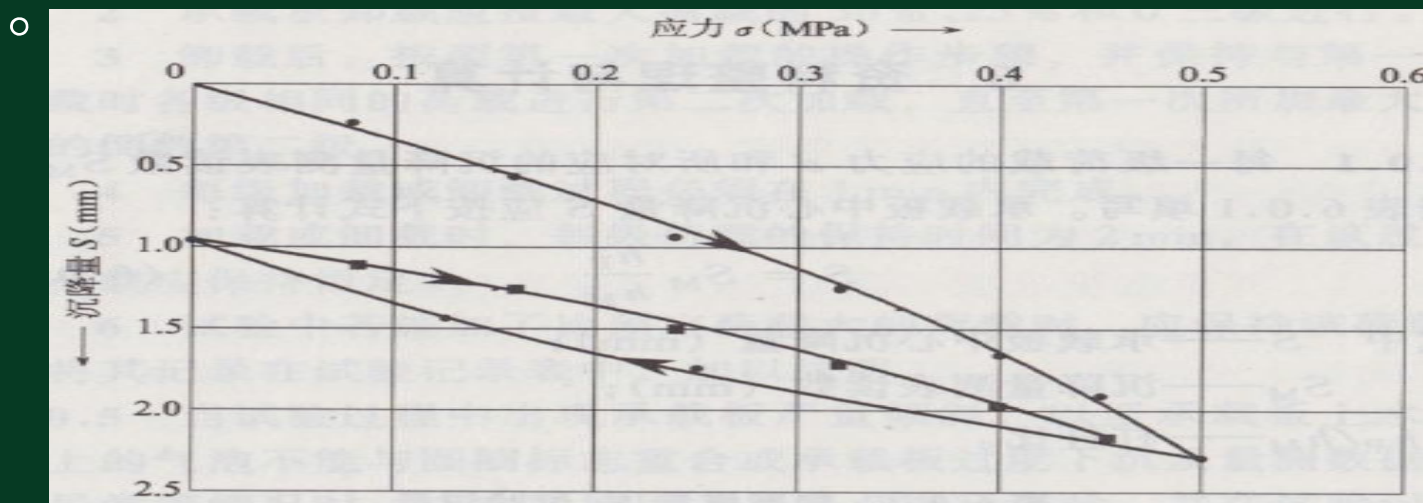
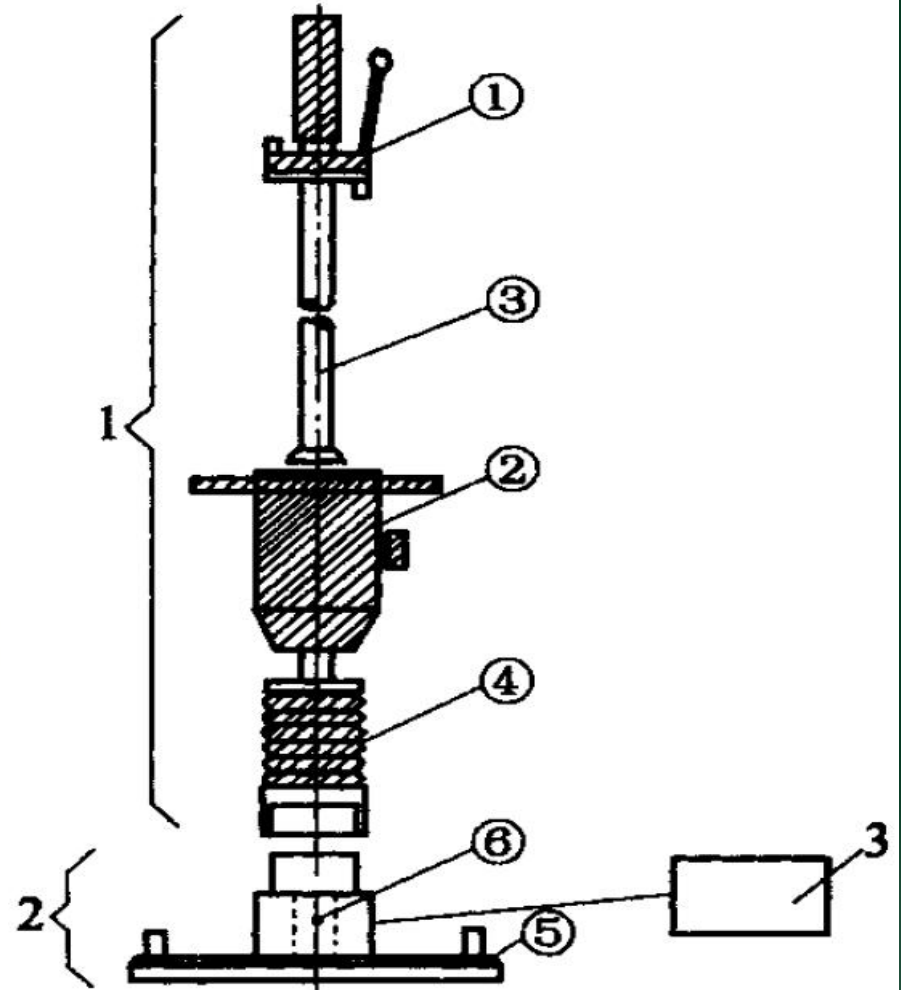


图11- 12 应力-沉降量曲线

- 变形模量计算
- 变形模量是基于一次加载和二次加载所得到的应力~沉降曲线，通过二次多项式计算得到的。
- 一次变形模量和二次变形模量分别由第一次和第二层加载的应力~沉降量曲线在0.3和0.7之间割线的斜率确定。

4.动态变形模量试验

- 动态变形模量，由落锤冲击施加一定大小和作用时间荷载的平板试验测得的土体变形模量。动态平板载荷试验是采用动态变形模量测试仪来监控检测土体承载力指标—动态变形模量的试验方法。它通过落锤试验和沉陷测定来直接测出反映土体动态特性的指标，计量单位MPa。



本讲小结

- 单桩载荷试验
- 压实度试验
- 地基系数试验
- 变形模量EV2试验
- 动态变形模量EVd试验