

# 无基准梁静载试验液位线位移测试方法研究

隋文伟<sup>1</sup> 陈放鸣<sup>2</sup>

广州市番禺区建设工程质量检测中心, 广东广州, 510000;

**摘要:** 本文介绍了无基准梁静载试验中的液位线位移测试方法, 该方法通过在试验桩两侧安装测点容器和距试验桩一定距离的基点容器, 利用液体流动性和激光位移传感器来测量试验桩在加载过程中的沉降位移。文章详细阐述了试验设备的选择和配置, 包括激光位移传感器的原理和选择标准、容器的容积要求以及液体和软管的选择。此外, 还讨论了液位线位移量的换算系数, 以及如何通过修正系数将液位线位移量转换为试验桩的实际沉降位移量。

**关键词:** 无基准梁静载试验; 液位线位移测试法; 激光位移传感器; 容器容积; 液体流动性; 沉降位移; 修正系数

DOI: 10.69979/3029-2727.24.10.057

## 前言

无基准梁静载试验, 又称液位线位移测试法静载试验。在试验桩两侧安装基点容器, 距试验桩以外大于 2.0m 处的地面安置基点容器, 用软管连通两个容器, 并注入液体。当试验桩未加荷载的时, 测点容器内液位线称初始液位线。用初始液位线代替基准梁, 当试验桩加荷载下沉时, 测点容器内液位降低, 基点容器内的液体流入测点容器内, 测点容器内液位线上升, 测点容器内的液位线相对初始液位线的变化, 就是试验桩加荷载的沉降位移变化。

液体流动性的特征, 在 2 个或多个容器内的液体相通时, 只要固定 1 个容器不动, 另一容器升降变化, 液体会流入或流出保持多个容器内液位平衡。容器内初始液位线标高相对地面的标高稳定不变。把安装在试验桩两侧的容器称为测点容器。把安置在距试验桩外大于 2.0m 处地面上的容器称为基点容器。2 个容器管道连通(见图 1)。

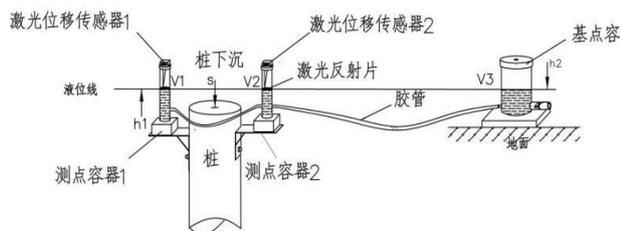


图1 桩位移液位线位移观测装置图

容器内灌入适当液体。当试验桩加载下沉位移时, 基点容器内液体流入测点容器内, 测点容器内液位线上升, 基点滴容器内液位线下降。安装在测点容器顶部的

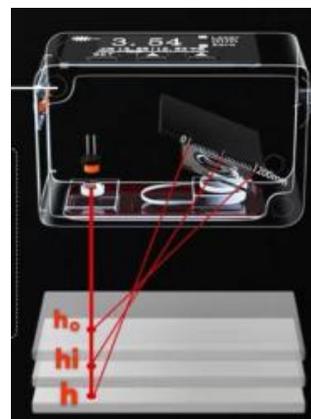
激光位移传感器测量液位线位移变化, 就能确定试验桩沉降位移变化。但试验桩的沉降位移量与液位线上升位移量是不相等的, 后者是基点与测点两容器内液体平值, 液位线上升位移量需要乘以修正系数后, 才与试验桩沉降位移量相等, 而修正系数值的大小与基点和测点的容积比有关。

## 1 技术方法研究

### 1.1 试验设备

观测容器内液位升降位移变化, 是静载试验液位线位移测试法最主要技术方法。如何能精准测量容器内微小液位线位移升降变化, 取决于测点容器上的激光位移传感器的观测精度。准确测量验桩位沉降移量, 在于液位线位移量的修正系数可靠性。

因此, 液体容器(基点容器、测点容器)、激光位移传感器、流动液体和容器连通软管是该技术方法的重要试验设备。



1.1.1 激光位移传感器

激光位移传感器用三角测量的测定原理(见图2),当目标物液位线位置发生变化时,CMOS上的入光位置即会移动。通过检测入光位置,来测定目标物液位线位移量,通过采集芯片的算法转换成模拟图2激光位移传感器结构示意图信号。液位线位移信号得到放大,提高了测试灵敏度和测试精度。

激光位移传感器的品牌多,如“硕尔泰”STJ-10-M0型检测范围10mm,精度0.001mm;“楠能”NA-W3101型检测范围25~35mm,重复精度0.01mm、NA-W3203型检测范围35~65mm,重复精度0.03mm、NA-W3307型检测范围60~140mm,重复精度0.07mm等等。

一般选择激光位移传感器参数:检测范围 $H_i=60\sim 140$ mm,精度0.07mm,可满足检测要求。即激光位移传感器检测液位有效最小高度 $h_0=60$ mm,最大高度 $h=140$ mm,检测量程 $0\sim 80$ mm。

### 1.1.2 容器的容积要求

容器也是静载试验液位线位移测试法的重量要设备,涉及液位线位移量的修正系数可靠性。容器的加工规格有严格要求。

容器加工制造,一般选择亚克力透明材料。单个测点容器的容积不论大小,均设为1个单元。基点容器加工制造时,容积要以单个测点容器的容积大小为准,容积大小必须是1个单元或2个单元、3个单元、4个单元等等。

基点容器容积与测点容器容积比是整数。即设 $V_1$ 、 $V_2$ 为试验桩两个测点容器,设容积各为1个单元或级1升。 $V_3$ 为基点容器容积,容积大小应是测点容器容积的倍数关系,如以下关系式:

$$V_1=V_2 \quad (1)$$

$$V_3=2V_1 \text{ 或 } V_3=4V_1 \quad (2)$$

为满足式(1)、式(2)要求,可按图3要求制做。

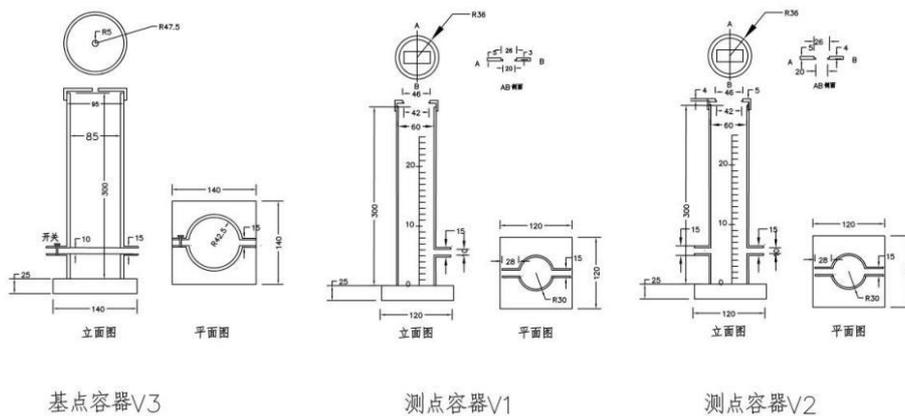


图3 测点容器、基点容器加工要求图

### 1.1.3 液体与软管

注入容器内液体具备流动好、冬天防冻结冰、夏天防高温膨胀的特征。一般选择汽车用的防冻液。

连通容器的软管,内径不小于10mm,内径太小会影响的流速。软管外加保温防冻的保护材料,减小试验过程中温差变化影响。

## 1.2 液位线位移量的换算系数

基点容器固定在距试验桩以外大于2.0m的地面上,距地面相对标高与试验桩顶面标高相等。固定在试验桩两侧的测点容器与基点容器用软管连通。未桩加载试验前,容器内液位线称初始液位线,是激光位移传感器测量液位变化的基准线。

当基点容器( $V_3$ )等于测点容器( $V_1$ )时,桩加载受力下沉10mm,测点容器、激光位移传感器跟随下沉1

0mm,基点容器内液体流入测点容器内,测点滴容器液位线上升5mm,基点容器液位线下降5mm。两个容器内的液位平衡。

试验桩沉降量与试验桩上的测点容器液位上升量永不相等,而试验桩沉降量( $S$ )等于测点容器液位上升量( $h_1$ )与基点容器液位下降量( $h_2$ )之和。

$$\text{即: } s=h_1+h_2 \quad (3)$$

但也满足以下关系式:

$$s=k h_1 \quad (4)$$

$$k = \frac{n+b}{n} \quad (5)$$

$$n = \frac{V_3}{V_i} \quad (6)$$

- 式中： $s$  试验桩下沉量 (mm)；  
 $h_1$  测点容器内液位线上升量 (mm)；  
 $h_2$  基点容器内液位线下降量 (mm)；  
 $V_3$  基点容器容积 (kg/cm<sup>3</sup>)；  
 $V_1$  单个测点容器容积 (kg/cm<sup>3</sup>)，设定为 1 单元；  
 $k$  液位线上升量换算成桩下沉量的换算系数；  
 $n$  基点容器容积与测点容器容积的比值，为整数；  
 $b$  激光位移传感器测点数，取值为 1、2、4。

加工制做的测点容器和基点容器的外观形状，应是圆柱形或方柱形。如果外观形状尺寸大小不均匀，液体流入或流出单位流量不相等，容器液位变化无规律，液位线位移量换算系数  $K$  不可靠，造成换算误差大，测试结果不准确。

实际工作中，小直径试验桩安装 2 个测点容器 ( $b=2$ )，大直径试验桩安装 4 个测点容器 ( $b=4$ )。

当安装 1 个测点容器 ( $b=1$ )，基点容器容积越大，液位移升降换算系数值越小。

当  $V_3=V_1$  时， $n=1$ ， $k=2$ 。

当  $V_3=2V_1$  时， $n=2$ ， $k=3/2$ 。

当  $V_3=3V_1$  时， $n=3$ ， $k=4/3$ 。

当  $V_3=4V_1$  时， $n=4$ ， $k=5/4$ 。

基点容器容积  $V_3=4V_1$  时，适应于大直径桩试验 ( $b=4$ )，换算系数  $k=2$ 。

测点容器不变，基点容器越大，换算系数越小，测点容器内液位线上升量 ( $h$ ) 越接近于桩下沉量 ( $s$ ) 值，但液位线上升量永远小于桩下沉量。

### 1.3 干扰因素分析

液位线位移测试的干扰主要两方面，一是气候环境，二是试验场地环境。

气候环境冬天冷，气温零下 0°C 几度，液体结冰。夏天气温高达 40°C 以上，液体受高温膨胀产生测试误差。为克服气候环境影响，液体使用防冻液，连接容器的胶管加隔热保温材料做好防护，容器加工制做成双层隔热保温，基点容器可放保温箱中。这是液位线位移测试静载试验最大干扰因素，非常恶劣气候环境不适应。

试验场地环境，如试验桩附近的重车、挖机行走时地面震动，造成液体平面波浪起伏，造成传感器测试误差。为了减小外部因素的干扰，禁止重型机械设备试验桩附近作业，把传感器安装在试验桩测点容器上，大大减小了地面震动的干扰。

## 2 桩沉降模拟试验结果分析

### 2.1 模拟测试目的

试验桩的沉降量与安装在试验桩测点容器液位上升量是不相等的。桩下沉等于测点容器内液位下降，基点容器中液体流入测点容器内，测点容器内液位上升，基点容器内液位下降，使 2 个容器内的液位平衡。测点容器内液位上升量与基点容器的容积大小有关。通过对桩模拟桩沉降的测试试验的数据分析，论证换算系数  $K$  公式 5 的准确性。基点和测点不同容积比的情况下，了解测试桩沉降与容器内液位变化。

### 2.2 桩沉降模拟试验设备

#### 2.2.1 激光位移传感器

选择型号 LC-S050 桶能激光位移传感器，测试范围 65~135 mm，数显灵敏度 0.01 mm。测试精度 0.1 mm；用于测试容器内液位变化。

#### 2.2.2 液体与容器规格

基点容器与测点容器的规格相同，透明亚克力透明琉璃订制加工，内径 60 mm，高 300 mm，圆柱形。基点容器、测点容器用内径直 15 mm 胶管连接相通。液体是水，容积约 1 升。容器上标示有厘米刻度，用于人工观测容器内液位变化。

#### 2.2.3 模拟桩位移升降器

模拟桩位移升降器为 300x300 mm 的升降平台，丝杆控制平台升降，最大升降 120 mm。用数字百分表测试平台的升降量。

### 2.3 模拟桩沉降测试试验

#### 2.3.1 模拟测试方法

模拟桩位移升降器与基点容器放置在试验台上，测点容器放置在升降器平台上，测点容器顶端安装激光位移传感器，升降器平台上安装数字百分表。容器内注入液体水，测点容器内放入激光反射片。调节丝杆平台升高高度，使激光照射在激光反射片上，激光位移传感器显示数字在 120~130 内，并清零。数字百分表行程调到最大，并清零。调节丝杆使平台下降，并观测基点容器内液位，每下降 50 mm 时，记录激光位移传感器和数字百分表的读数 (见图 4)。



图4 V3=V1, 模拟测试图

2.3.2 基点与测点容器容积相等

基点容器与测点容器的容积比为1, 容器容积均为1个单元, 假设容积为1升。此时,

$$\text{公式 } k = \frac{n+b}{n} \text{ 中, } b=1, n=1,$$

测点液位线上升位移量乘系数 (k=2) 为桩位移量。基点液位线下降与测点液位线上升量相等。模拟桩沉降试验数据见 (表1、图5-1、图5-1)。

表1 容器 (基点1升、测点1升) 液位、桩位移测试数据表

基点1升容器	测点1升容器	模拟桩位移	初始归零、乘系数	
基点液位 (mm)	测点液位 (mm)	拟桩位移 (mm)	基点液位 *2	测点液位 *2
225	0.3	0.02	0	0
220.5	4.49	8.7	-9	8.38
215	11.12	21.13	-20	21.64
210	15.63	29.91	-30	30.66
205	20.82	40.23	-40	41.04
210	15.69	29.44	-30	30.78
215	9.98	18.8	-20	19.36
220	4.85	8.68	-10	9.1
225	0.23	-1.09	0	-0.14

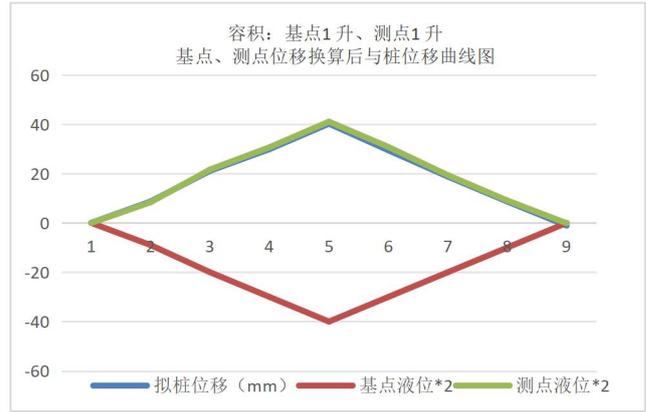


图5-2

2.3.3 基点容积大于测点容器容积2倍

基点容器与测点容器的容积比为2, 此时,

$$\text{公式 } k = \frac{n+b}{n} \text{ 中, } b=1, n=2,$$

测点液位线上升位移量乘系数 (k=1.5) 为桩位移量。基点液位线下降位移变化也反映了桩位移的变化, 将基点视为测点, 公式中 b=2, n=1, 基点液位线下降位移量乘系数 (k=3) 为桩位移量。模拟桩沉降试验数据见 (表2、图6-1、图6-2)。

表2 容器 (基点2升、测点1升) 液位、桩位移测试数据表

基点容器2升	测点容器1升	模拟桩位移	初始归零、乘系数	
基点液位 (mm)	测点液位 (mm)	拟桩位移 (mm)	基点液位 *3	测点液位 *1.5
220	0.19	0.2	0	0
217	5.63	7.24	-9	8.16
215	10.7	15.47	-15	15.765
212.5	16.22	23.79	-22.5	24.045
210	21.53	31.16	-30	32.01
207	25.85	38.41	-39	38.49
205	31.21	45.54	-45	46.53
210	20.9	30.55	-30	31.065
215	10.96	15.58	-15	16.155
220	0.41	0.21	0	0.33

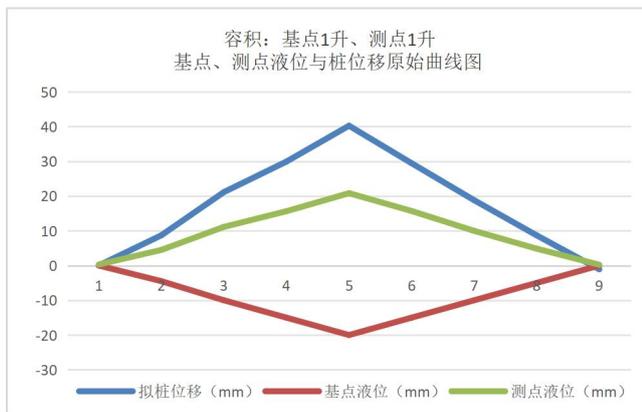


图5-1

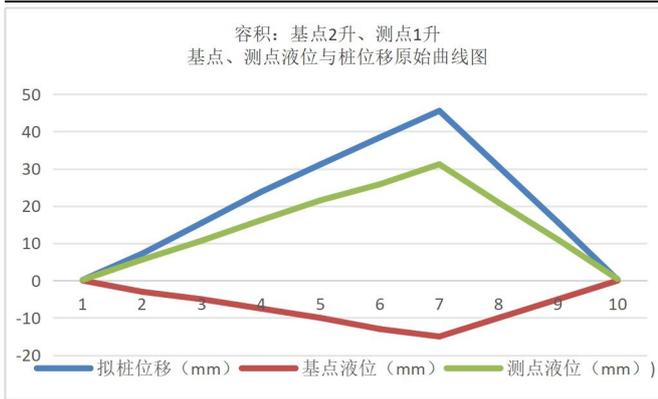


图 6-1

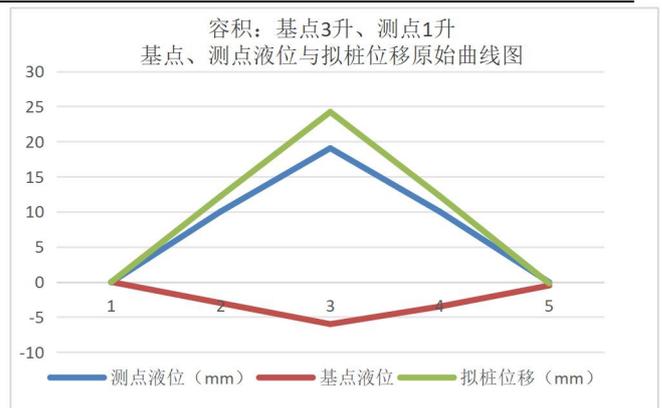


图 7-1



图 6-2

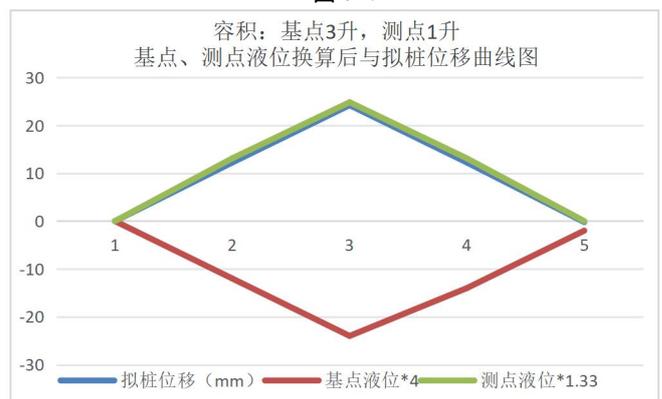


图 7-2

### 2.3.4 基点容积大于测点容器容积 3 倍

基点容器与测点容器的容积比为 3，此时，

$$\text{公式 } k = \frac{n+b}{n} \quad \text{中, } b=1, n=3,$$

测点液位线上升位移量乘系数 (k=1.33) 为桩位移量。基点液位线下降位移变化也反映了桩位移的变化，将基点视为测点，公式中 b=3, n=1, 基点液位线下降位移量乘系数 (k=4) 为桩位移量。模拟桩沉降试验数据见 (表 3、图 7-1、图 7-2)。

表 3 容器 (基点 3 升、测点 1 升) 液位、桩位移测试数据表

基点 3 升容器	测点 1 升容器	模拟桩位移	初始归零、乘系数	
			基点液位*4	测点液位*1.33
基点液位 (mm)	测点液位 (mm)	拟桩位移 (mm)		
243.5	-0.05	-0.01	0	0
240.5	10.04	12.24	-12	13.117
237.5	19.06	24.23	-24	24.843
240	10.03	12.24	-14	13.104
243	-0.05	-0.21	-2	0

## 3 结束语

长期以来静载试验桩沉降位移量测试，是以基准梁做参考点，支撑基准梁的基准桩，因试验荷载支承板沉降，使地面土层出现下沉或上拱现象，影响基准桩的稳定性。特别超大吨位静载试验，配重堆载的试验平台达 12×12 m<sup>2</sup>，支承板沉降影响范围大，基准梁长度有限，基准桩很容易受干扰，影响试验数据的可靠性。静载试验采用液位线位移测试技术方法，通过桩上测点容器内液位线升降量换算成桩的沉降位移量，而基测容器安置在距试验桩 3~20 m 以外的地面上，彻底解决了上术难题。

静载试验采用液位线位移测试方法，要确保试验数据的准确、可靠性，对试验设备有严格要求：

1. 基点容器容积大小必须是测点容器容器的整数倍，确保换算系数的准确性；
2. 容器形状必须是圆柱形或方柱形。基点容器内的液体流入测点容器内时，单位流量均匀不变，确保液位升降变化稳定，测试数据可靠性；
3. 每个容器顶部应有透气小孔，确保每个容器内气压均匀；
4. 液体必须是冷冻液，不能用水代潜，尽量减少气温变化的干扰；

5. 连通基点、测点和测点之间的容器软管内径不宜太小, 影响液体在管内的流速。

通过基点容器的容积大小变化的模拟桩沉降位移与容器内液位线升降位移规律可知, 基点容器容积越大, 液位线位移量换算系数值越小, 测点容器内液位线位移量越接近桩的沉降位移量。而观测基容器内有液位线位移量乘换算系数, 同样得出桩的沉降位移量。

假如观测基点液位线位移量, 乘系数换算成桩位移量, 就不能完全模拟传统静载试验方法一样, 在试验桩两侧或四周安装位移百分表。而在验桩上测点容器内液

位线升降变化, 不但现场观看直观, 桩施工进入岩层稳定性好, 不容易晃动, 抗地面震动干扰强。

#### 参考文献

- [1] 肖艺光, 谢永桥, 刘捷华. 静载试验基准系统的轻量化设计与应用[J]. 广东土木与建筑, 2023, 30(12): 79-81. DOI: 10. 19731/j. gdtmyjz. 2023. 12. 021.
- [2] 陈杰杰. 浅谈静载试验中基准系统受外界因素的影响[J]. 江西建材, 2021, (12): 85-86+89+92.