

第一章 路基路面强度指标测试方法

1.1 路基路面回弹弯沉测试方法

国内外普遍采用回弹弯沉值来表示路基路面的承载能力，回弹弯沉值越大，承载能力越小，反之则越大。我们通常所说的回弹弯沉值是指标准轴载轮隙中心处的最大回弹弯沉值。在路表进行测试，则反映了路基路面综合承载能力。回弹弯沉值在我国已广泛使用且有很多试验和研究成果，正确的测试路表回弹弯沉具有重要的意义。

1. 利用弯沉仪量测路面表面在标准试验车双后轮垂直静载作用下，轮隙处的回弹弯沉值，用作评定路面强度指标。

2. 根据实测所得的土基或整层路面材料的回弹弯沉值，按照弹性半空间体理论的垂直位移公式，计算土基或路面材料的回弹弯沉模量。

3. 通过对路面结构分层测定所得的回弹弯沉值，根据弹性层状体系垂直位移理论解，反算路面各结构层的回弹模量。

本节主要介绍路基、柔性路面回弹弯沉测试方法和回弹模量测试方法。

1.1.1 贝克曼梁测定路基路面回弹弯沉试验方法

一、适用范围

1. 本方法适用于测定各类路基路面的回弹弯沉，用以评定其整体承载能力，供路面结构设计使用。

2. 沥青路面的弯沉以路表温度 20℃ 时为准，在其他温度测试时，对厚度大于 5cm 的沥青路面，弯沉值应予温度修正。

二、试验原理

利用杠杆原理制成的杠杆式弯沉仪测定轮隙弯沉。

三、仪器与材料

1. 标准车 双轴、后轴双侧 4 轮的载重车，其标准轴荷载、轮胎尺寸、轮胎间隙及轮胎气压等主要参数应符合表 1-1 的要求。测试车可根据需要按公路等级选择，高速公路、一级及二级公路应采用后轴 100kN 的 BZZ-100 标准车；其他等级公路可采用后轴 60kN 的 BZZ-60 标准车。

2. 路面弯沉仪：由贝克曼梁、百分表及表架组成。贝克曼梁由合金铝制成，上有水准泡，其前臂接触路面与后臂装百分表长度比为 2:1。弯沉仪长度有两种：一种长 3.6m 前后臂分别为 2.4m 和 1.2m；另一种加长的弯沉仪长 5.4m 前后臂分别为 3.6m 和 1.8m。当在半刚性基层沥青路面或水泥混凝土路面上测定时，宜采用长度为 5.4m 的贝克曼梁弯沉仪，并采用 BZZ-100 标准车。弯沉采用百分表量得，也可用自动记录装置进行测量。

3. 接触式路表温度计：端部为平头，分度不大于 1℃。

4.其它：皮尺、口哨、白油漆或粉笔、指挥旗等。

测定弯沉用的标准车参数

表 1

标准轴载等级	BZZ-100	BZZ-60
后轴标准轴载 P (kN)	100 ± 1	60 ± 1
一侧双轮荷载 (kN)	50 ± 0.5	30 ± 0.5
轮胎充气压力 (MPa)	0.70 ± 0.05	0.50 ± 0.05
单轮传压面当量圆直径 (cm)	21.30 ± 0.5	19.50 ± 0.5
轮隙宽度	应满足能自由插入弯沉仪测头的测试要求	

四、试验方法

1.准备工作

(1)检查并保持测定用标准车的车况及刹车性能良好，轮胎内胎符合规定充气压力。

(2)向汽车车槽中装载（铁块或集料），并用地磅称量后轴总质量，符合要求的轴重规定。汽车行驶及测定过程中，轴载不得变化。

(3)测定轮胎接地面积：在平整光滑的硬质路面上用千斤顶将汽车后轴顶起，在轮胎下方铺一张新的复写纸，轻轻落下千斤顶，即在方格纸印上轮胎印痕，用求积仪或数方格的方法测算轮胎接地面积 准确至 0.1cm^2 。

(4)检查弯沉仪百分表测量灵敏情况。

(5)当在沥青路面上测定时，用路表温度计测定试验时气温及路表温度（一天中气温不断变化 应随时测定）并通过气象台了解前 5d 的平均气温（日最高气温与最低气温的平均值）。

(6)记录沥青路面修建或改建时材料、结构、厚度、施工及养护等情况。

2.测试步骤

(1)在测试路段布置测点，其距离随测试需要而定。测点应在路面行车车道的轮迹带上，并用白油漆或粉笔画上标记。

(2)将试验车后轮轮隙对准测点后约 $3 \sim 5\text{cm}$ 处的位置上。

(3)将弯沉仪插入汽车后轮之间的缝隙处，与汽车方向一致，梁臂不得碰到轮胎，弯沉仪测头置于测点上（轮隙中心前方 $3 \sim 5\text{cm}$ 处），并安装百分表于弯沉仪的测定杆上。百分表调零，用手指轻轻叩打弯沉仪，检查百分表是否稳定回零。

弯沉仪可以是单侧测定，也可以是双侧同时测定。

(4)测定者吹哨发令指挥汽车缓缓前进，百分表随路面变形的增加而持续向前转动。当表针转动到最大值时，迅速读取初读数 L_1 。汽车仍在继续前进，表针反向回转，待汽车驶出弯沉影响半径（约 3m 以上）后，吹口哨或挥动指挥红旗，汽车停止。待表针回转稳定后，再次读取终读数 L_2 。汽车前进的速度宜为 5km/h 左右。

3.弯沉仪的支点变形修正

(1)当采用长度为 3.6m 的弯沉仪对半刚性基层沥青路面、水泥混凝土路面等进行弯沉测定时，有可能引起弯沉仪支座处变形，因此测定时应检验支点有无变形，此时应用另一台检验用的弯沉仪安装在测定用弯沉仪的后方，其测点架于测定用弯沉仪的支点旁。当汽车开出时，同时测定两台弯沉仪的弯沉读数，如检验用弯沉仪百分表有读数，即应该记录并进行支点变形修正。当在同一结构层上测定时，可在不同位置测定 5 次，求取平均值，以后每次测定时以此

作为修正值。支点变形修正的原理如图 1-1 所示。

(2) 当采用长度为 5.4m 的弯沉仪测定时，可不进行支点变形修正。

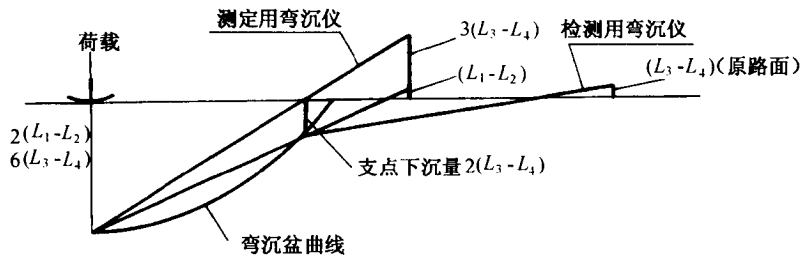


图 1-1 弯沉仪支点变形修正原理

五、结果计算及温度修正

1. 路面测点的回弹弯沉值依下式计算：

$$L_T = (L_1 - L_2) \times 2$$

式中 L_T ——在路面温度 T 时的回弹弯沉值 (0.01mm)；

L_1 ——车轮中心临近弯沉仪测头时百分表的最大读数 (0.01mm)；

L_2 ——汽车驶出弯沉影响半径后百分表的终读数 (0.01mm)。

2. 当需要进行弯沉仪支点变形修正时，路面测点的回弹弯沉值按下式计算：

$$L_T = (L_1 - L_2) \times 2 + (L_3 - L_4) \times 6$$

式中 L_1 ——车轮中心临近弯沉仪测头时测定用弯沉仪的最大读数 (0.01mm)；

L_2 ——汽车驶出弯沉影响半径后测定用弯沉仪的最终读数 (0.01mm)；

L_3 ——车轮中心临近弯沉仪测头时检验用弯沉仪的最大读数 (0.01mm)；

L_4 ——汽车驶出弯沉影响半径后检验用弯沉仪的终读数 (0.01mm)。

注：此式适用于测定用弯沉仪支座处有变形，但百分表架处路面已无变形的情况。

3. 沥青面层厚度大于 5cm 的沥青路面，回弹弯沉值应进行温度修正，温度修正及回弹弯沉的计算宜按下列步骤进行。

(1) 测定时的沥青层平均温度按下式计算：

$$T = (T_{25} + T_m + T_e) / 3$$

式中 T ——测定时沥青层平均温度 (°C)；

T_{25} ——根据 T_0 由图 1-2 决定的路表下 25mm 处的温度 (°C)；

T_m ——根据 T_0 由图 1-2 决定的沥青层中间深度的温度 (°C)；

T_e ——根据 T_0 由图 1-2 决定的沥青层底面处的温度 (°C)。

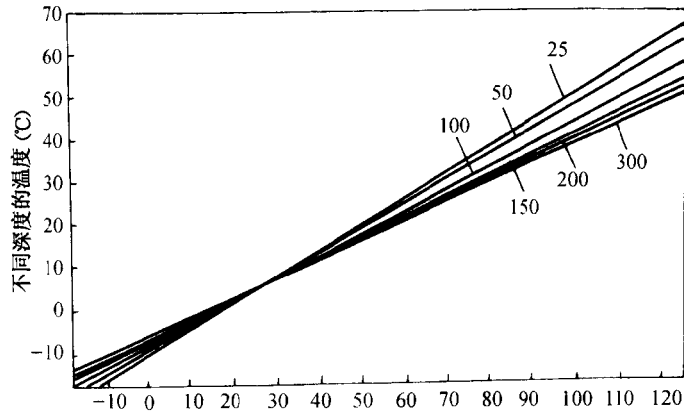
图 1-2 中 T_0 为测定时路表温度与测定前 5d 日平均气温的平均值之和 (°C)，日平均气温为日最高气温与最低气温的平均值。

(2) 采用不同基层的沥青路面弯沉值的温度修正系数 K ，根据沥青层平均温度 T 及沥青层厚度 分别由图 1-3 及图 1-4 求取。

(3) 沥青路面回弹弯沉按下式计算：

$$L_{20} = L_T \times K$$

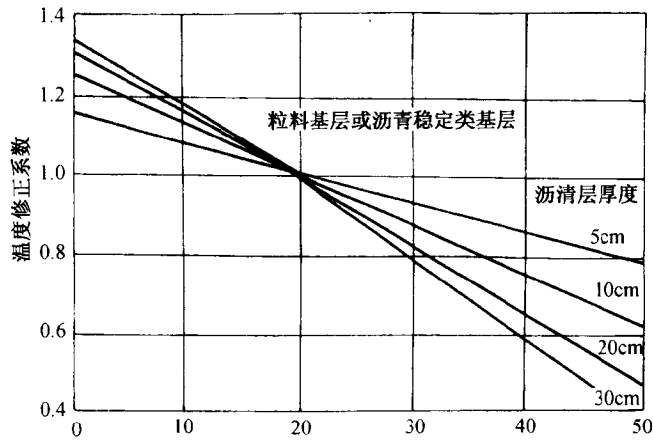
式中 K ——温度修正系数；



T_0 路表温度 + 前 5d 平均气温 ()

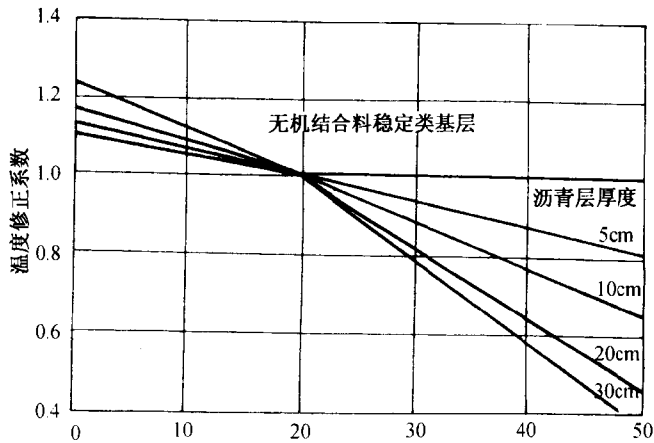
图 1-2 沥青层平均温度的决定

注：线上的数字为从路表下的不同深度 (mm)



测定时沥青面层的平均温度 ()

图 1-3 路面弯沉温度修正系数曲线 (适用于粒料基层及沥青稳定基层)



测定时沥青面层的平均温度 ()

图 1-4 路面弯沉温度修正系数曲线 (适用于无机结合料稳定的半刚性基层)

L_{20} ——换算为 20 的沥青路面回弹弯沉值 (0.01mm);

L_T ——测定时沥青面层内平均温度为 T 时的回弹弯沉值 (0.01mm)。

4. 按下式计算每一个评定路段的代表弯沉 :

$$L_r = L + Z_a S$$

式中 L_r ——一个评定路段的代表弯沉 (0.01mm);

L ——一个评定路段内经各项修正后的各测点弯沉的平均值 (0.01mm);

S ——一个评定路段内经各项修正后的全部测点弯沉的标准差 (0.01mm);

Z_a ——与保证率有关的系数, 采用下列数值 :

高速公路、一级公路 $Z_a = 2.0$

二级公路 $Z_a = 1.645$

二级以下公路 $Z_a = 1.5$

六、报告

报告应包括下列内容 :

1. 弯沉测定表、支点变形修正值、测试时的路面温度及温度修正值。
2. 每一个评定路段的各测点弯沉的平均值、标准差及代表弯沉。

1.1.2 自动弯沉仪测定路面弯沉试验方法

一、适用范围

1. 本方法适用于自动弯沉仪在标准条件下每隔一定距离连续测试路面的总弯沉, 及测定路段的总弯沉值的平均值。

2. 本方法适用于尚无坑洞等严重破坏的道路验收检查及旧路面强度评价, 可为路面养护管理系统提供数据, 经过与贝克曼梁测定值进行换算后, 也可用于路面结构设计。

二、仪器与材料

自动弯沉仪测定车: 洛克鲁瓦型, 由测试汽车、测量机构、数据采集处理系统二部分组成。测量机构如图 1-5 所示, 它安装在测试车底盘下面, 测臂夹在后轴轮隙中间。汽车运行时测量机构提起, 离开路面。

自动弯沉仪测定车的主要技术参数如下:

测试车轴距	6.75m;
测臂长度	1.75 ~ 2.40m;
后轴荷载	100kN;
测定轮对路面的压强	0.7MPa;
最小测试步距	4 ~ 10m;
测试精度	0.01mm;
测试车速度	1.5 ~ 4.0km/h。

三、方法与步骤

1. 将自动弯沉仪测定车开到检测路段的测定车道 (一般为行车道) 上, 测点应在路面行车车道的轮迹带上。

2. 汽车到达测试地点第一个测点位置后, 按下列步骤放下测量机构:

(1) 关闭汽车发动机;

- (2) 松开离合器转盘；
- (3) 放下测量头，测量头位于测定梁（后轴）前方的一定距离上；
- (4) 放下后支点 勾好把手；
- (5) 放下测量架 销好把手；
- (6) 放下导向机构；
- (7) 插上仪器与汽车的连接销杆或开动液压转向同步系统；
- (8) 检查钢丝绳一定要在离合器的槽内；
- (9) 启动汽车发动机，在操作键盘上按动离合器开关，竖测量机构于最前端。

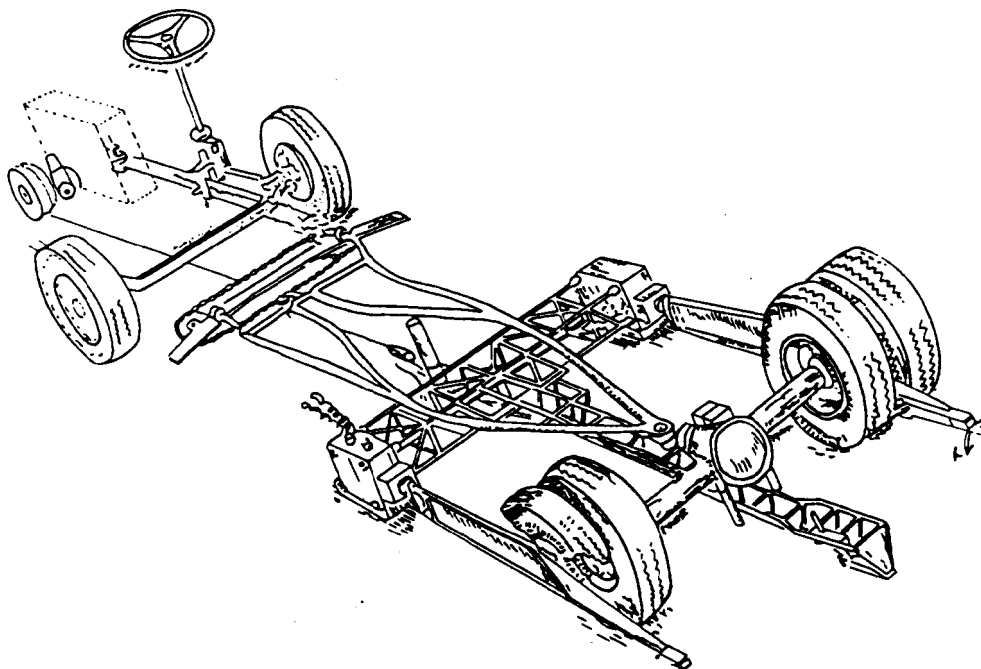


图1-5 自动弯沉仪的测量机构

3. 开始测试时，汽车以一定速度行进，测量头连续检测汽车后轴左右轮隙下产生的路面瞬间弯沉。通过测定梁支点的位移传感器将位移转换为电信号，并传送到数据记录器，待汽车后轮通过测量头后，显示器上显示弯沉盆或弯沉峰值，打印机输出弯沉峰值及测定距离。当第一点测定完毕后，车辆前面的牵引装置以两倍于汽车行进速度的速度把测量机构拉到测定轮前方，汽车继续行进，到达下一测点时，开始第二点测定。周而复始地向前测定，汽车在整个测试过程中应保持在规定的速度范围内稳定行驶，标准的行车速度应为 $3.0 \sim 3.5\text{km/h}$ 。在标准速度下的测试步距不应大于 10m 。

4. 数据采集

(1) 显示器显示弯沉盆或弯沉峰值

测定过程中按相应的功能键，显示器屏幕即可显示每一测点的总弯沉盆。当测定一段距离后，再按此键，将显示路段总弯沉均匀程度的弯沉峰值柱状图。

(2) 打印机输出

在测定车测定工作时，应打印出测点位置和左右弯沉峰值。

5. 测定结束后，汽车停止前进，按下列步骤收起测量机构：

- (1)先提起导向机构；
- (2)提起测量架机构；
- (3)提起后支点；
- (4)最后挂起测头。

四、数据处理

1.测定结构应按计算区间输出计算结果。计算区间长度要根据公路等级和测试要求确定标准的计算区间为 100m。

2.在测定时，随着打印机输出的同时，应将数据用文件方式同时记录在磁带或硬盘上，长期保存。通过计算机输出计算结果，包括每一个计算区间的平均总弯沉值、标准差、代表总弯沉值 示例如表 1-2。其中代表总弯沉值按 $L_r = L + Z_a \cdot S$ 计算。如已进行过自动弯沉仪总弯沉与贝克曼梁回弹弯沉对比试验，则可据此计算出相应的回弹弯沉值。

3.按附录 B 的方法计算一个评定路段的平均值、标准差、弯异系数、代表总弯沉值。

五、自动弯沉仪与贝克曼梁弯沉对比试验步骤

1.针对不同地区选择某种路面结构的代表性路段，进行两种测定方法的对比试验，以便将自动弯沉仪测定的总弯沉换算成贝克曼梁测定的回弹弯沉值。测定路段的长度为 300 ~ 500m，并应使测定的弯沉值有一定的变化幅度。

按计划区间列出的总弯沉测定示例表表 1-2

记录号	路线号	公里桩	百米桩	平均总弯沉值 (0.01mm)	标准差 (0.01mm)	代表总弯沉 (0.01mm)
1	107	1376	100	41	19.256	79
2	107	1376	200	45	9.916	65
3	107	1376	300	55	18.442	92
4	107	1376	400	57	12.739	82
5	107	1376	500	42	9.096	60

注：本表计算区间为 100m 代表总弯沉按平均总弯沉加 2 倍标准差计算。

2.对比试验步骤

- (1)采用同一辆自动弯沉仪测定车，使测定车型、荷载大小和轮胎作用面积完全相同；
- (2)用油漆标记对比路段起点位置；
- (3)用自动弯沉仪按前述的方法进行测定，同时仔细用油漆标出每一测点的位置；
- (4)在每一标记位置用贝克曼梁定点测定回弹弯沉，测点范围准确至 10cm² 以内；
- (5)逐点对应计算两者的相关关系，得出回归方程式 $L_B = a + bL_A$ 式中 L_B 、 L_A 分别为贝克曼梁和自动弯沉仪测定的弯沉值。相关系数不得小于 0.90。

注 由于不同路面结构和材料、路基状况、温度、水文条件、路面使用状况不同 对比关系也有所不同 为了提高数据的准确性，应分别情况作此项对比试验。

六、报告

1.报告应包括下列内容：

- (1)按一个计算区间列出总弯沉测定表及弯沉峰值柱状图。
- (2)每一个评定路段的全部测点总弯沉的平均值、标准差、变异系数及代表弯沉。

2.如与贝克曼梁弯沉仪进行了对比试验，尚应列出相关关系式、相关系数及换算的回弹弯沉。

1.1.3 落锤式弯沉仪测定路面弯沉试验方法

一、适用范围

本方法适用于在落锤式弯沉仪（FWD）标准质量的重锤落下一定高度发生的冲击荷载的作用下，测定路基或路面表面所产生的瞬时变形，即测定在动态荷载作用下产生的动态弯沉及弯沉盆，并可由此反算路基路面各层材料的动态弹性模量，作为设计参数使用。所测结果也可用于评定道路承载能力，调查水泥混凝土路面的接缝的传力效果，探查路面板下的空洞等。

二、仪器设备

落锤式弯沉仪，简称 FWD，由荷载发生装置、弯沉检测装置、运算控制系统与车辆牵引系统等组成。其结构示意图如图 1-6 所示。

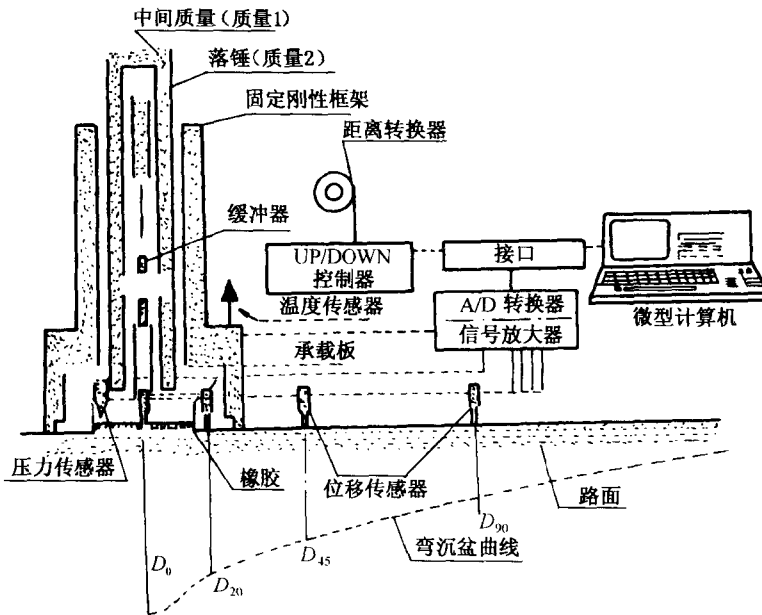


图 1-6 落锤式弯沉仪测量系统示意图

(1)荷载发生装置：重锤的质量及落高根据使用目的与道路等级选择，荷载由传感器测定，如无特殊需要，重锤的质量为 $200 \pm 10\text{kg}$ ，可采用产生 $50 \pm 2.5\text{kN}$ 的冲击荷载。承载板宜为十字对称分开成 4 部分且底部固定有橡胶片的承载板。承载板的直径为 300mm。

(2)弯沉检测装置：由一组高精度位移传感器组成，如图 1-7 所示，传感器可为差动变压器式位移计 (LVDT)。自中心开始，承载板沿道路纵向设置，隔开一定距离布设一组传感器，传感器总数可为 5~7 个，根据需要及设备性能决定。

(3)运算及控制装置：能在冲击荷载作用的瞬间内，记录冲击荷载及各个传感器所在位置测点的动态变形。

(4)牵引装置 牵引 FWD 并安装有运算及控制装置的车辆。

三、评定道路承载能力的方法与步骤

1. 准备工作

(1)调整重锤的质量及落高，使重锤的质量及产生的冲击荷载符合前述仪器的要求。

(2)在测试路段的路基或路面各层表面布置测点，其位置或距离随测试需要而定。当在路

面表面测定时，测点宜布置在行车车道的轮迹带上。测试时，还可利用距离传感器定位。

(3)检查 FWD 的车况及使用性能，用手动操作检查，各项指标符合仪器规定要求。

(4)将 FWD 牵引至测定地点，将仪器打开，进入工作状态。牵引 FWD 行驶的速度不宜超过 50km/h。

(5)对位移传感器按仪器使用说明书进行标定，使之达到规定的精度要求。

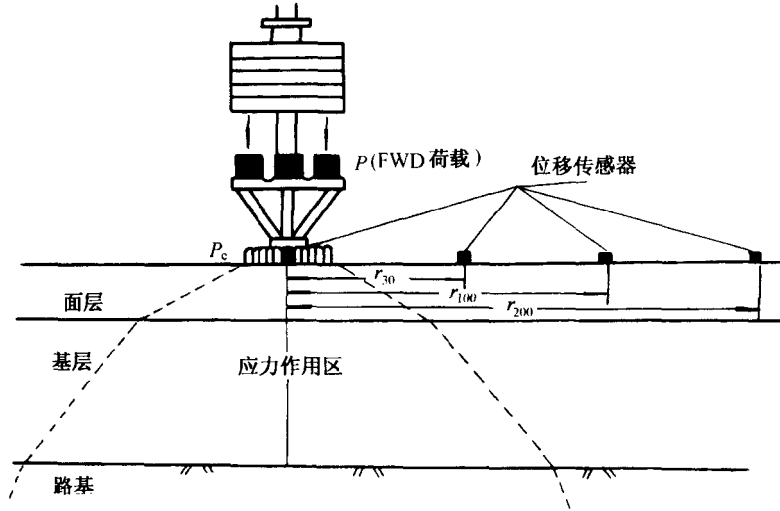


图 1-7 落锤式弯沉仪传感器布置及应力作用范围示例

2.测定方法

(1)承载板中心位置对准测点，承载板自动落下，放下弯沉装置的各个传感器。

(2)启动落锤装置，落锤瞬即自由落下，冲击力作用于承载板上，又立即自动提升至原来位置固定。同时，各个传感器检测结构层表面变形，记录系统将位移信号输入计算机，并得到路面弯沉峰值，同时得到弯沉盆。每一测点重复测定应不少于 3 次，除去第一个测定值，取以后几次测定值的平均值作为计算依据。

(3)提起传感器及承载板，牵引车向前移动至下一个测点，重复上述步骤，进行测定。

四、落锤式弯沉仪与贝克曼梁弯沉仪对比试验步骤

1.路段选择

选择结构类型完全相同的路段，针对不同地区选择某种路面结构的代表性路段，进行两种测定方法的对比试验，以便将落锤式弯沉仪测定的动弯沉换算成贝克曼梁测定的回弹弯沉值。选择的对比路段长度 300~500m，弯沉值应有一定的变化幅度。

2.对比试验步骤

(1)采用与实际使用相同且符合要求的落锤式弯沉仪及贝克曼梁弯沉仪测定车。落锤式弯沉仪的冲击荷载应与贝克曼梁弯沉仪测定车的后轴双轮荷载相同。

(2)用油漆标记对比路段起点位置。

(3)布置测点位置，用贝克曼梁定点测定回弹弯沉，测定车开走后，用粉笔以测点为圆心，在周围画一个半径为 15cm 的圆，标明测点位置。

(4)将落锤式弯沉仪的承载板对准圆圈，位置偏差不超过 30mm 按前述“三”的方法进行测定。两种仪器对同一点弯沉测试的时间间隔不应超过 10min。

(5)逐点对应计算两者的相关关系。

通过对比试验得出回归方程式 $L_B = a + bL_{FWD}$ 式中 L_{FWD} 、 L_B 分别为落锤式弯沉仪及贝克曼梁测定的弯沉值。回归方程式的相关系数应不小于 0.90。

注 由于不同路面结构的材料、路基状况、温度、水文条件、路面使用状况不同 对比关系也有所不同 为了提高数据的准确性，应分别情况做此项对比试验。

五、水泥混凝土路面板调查的方法与步骤

1. 在测试路段的水泥混凝土路面板表面布置测点，当为调查水泥混凝土路面的接缝的传力效果时，测点布置在接缝的一侧，位移传感器分开在接缝两边布置。当为探查路面板下的空洞时，测点布置位置随测试需要而定，应在不同位置测定。

2. 按前述“三”的方法进行测定。

六、计算

1. 按桩号记录各测点的弯沉及弯沉盆数据，按附录 B 的方法计算一个评定路段的平均值、标准差、变异系数。

2. 当为调查水泥混凝土路面接缝的传力效果时，利用分开在接缝两边布置的位移传感器测定值的差异及弯沉盆的形状，进行判断。

3. 当为探查路面板下的空洞时，利用在不同位置测定的测定值差异及弯沉盆的形状，进行判断。

七、报告

1. 报告应包括下列内容：

(1) 各测点的最大弯沉及弯沉盆测定数据。

(2) 每一个评定路段全部测点弯沉的平均值、标准差、变异系数及代表弯沉。

2. 如与贝克曼梁弯沉仪进行了对比试验，尚应列出相关关系式、相关系数和换算的回弹弯沉。

1.2 路基路面回弹模量试验方法

1.2.1 贝克曼梁测定路基路面回弹模量试验方法

一、目的和适用范围

本方法适用于土基和厚度不小于 1m 的粒料整层表面，用弯沉仪测试各测点的回弹弯沉值，通过计算求得该材料的回弹模量值的试验；也适用于在旧路表面测定路基路面的综合回弹模量。

二、仪器和仪具

1. 标准车 按本章 1.1.1 节的规定选用。

2. 路面弯沉仪：由贝克曼梁、百分表及表架组成。贝克曼梁由合金铝制成，上有水准泡，其前臂接触路面与后臂装百分表长度比为 2:1，标准弯沉仪前后臂分别为 240cm 和 120cm，加长弯沉仪分别为 360cm 和 180cm。弯沉采用百分表量得。

3. 路表温度计：分度不大于 1℃。

4. 接长杆 直径 $\phi 16\text{mm}$ 长 500mm。

5. 其它 皮尺、口哨、粉笔、指挥旗等。

三、方法与步骤

1. 准备工作

- (1) 选择洁净的路基路面表面作为测点，在测点处作好标记并编号。
- (2) 无机结合料粒料基层的整层试验段（试槽）应符合下列要求：

整层试槽可修筑在行车带范围内或路肩及其他合适处，也可在室内修筑，但均应适用于汽车测定弯沉。

试槽应选择在干燥或中湿路段处，不得铺筑在软土基上。

试槽面积不小于 $3\text{m} \times 2\text{m}$ 厚度不宜小于 1m 。铺筑时，先挖 $3\text{m} \times 2\text{m} \times 1\text{m}$ 长 \times 宽 \times 深）

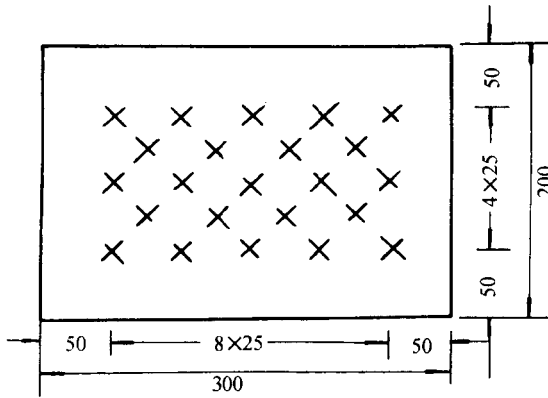


图 1-8 试槽表面的测点布置 (单位:cm)

的坑，然后用欲测定的同一种路面材料按有关施工规范规定的压实层厚度分层铺筑并压实，直至顶面，使其达到要求的压实度标准。同时应严格控制材料组成，配比均匀一致，符合施工质量要求。

试槽表面的测点间距可按图 1-8 布置在中间 $2\text{m} \times 1\text{m}$ 的范围内，可测定 23 点。

2. 测试步骤

按本章 1.1.1 节的方法选择适当的标准车，实测各测点处的路面回弹弯沉值 L_i 。如在旧沥青面层上测定时应读取温度并按 1.1.1

节的方法进行测定弯沉值的温度修正，得到标准温度 20 时的弯沉值。

四、计算

1. 按下列各式分别计算全部测定值的算术平均值 (\bar{L})、单次测量的标准差 (S) 和自然误差 (r_0):

$$\bar{L} = \frac{\sum L_i}{N}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum (L_i - \bar{L})^2}{N - 1}}$$

$$r_0 = 0.675S$$

- 式中 \bar{L} ——回弹弯沉的平均值 (0.01mm);
 S ——回弹弯沉测定值的标准差 (0.01mm);
 r_0 ——回弹弯沉测定值的自然误差 (0.01mm);
 L_i ——各测点的回弹弯沉值 (0.01mm);
 N ——测点总数。

相应于不同观测次数的 d/r 极限值表 1-3

N	5	10	15	20	50
d/r	2.5	2.9	3.2	3.3	3.8

2. 计算各测点的测定值与算术平均值的偏差值 $d_i = L_i - \bar{L}$ ，并计算较大的偏差与自然误差之比 d_i/r_0 。当某个测点观测值的 d_i/r_0 值大于表 1-3 中的 d/r 极限值时则应舍弃该

测点，然后重复上述的步骤计算所余各测点的算术平均值 (\bar{L} 及标准差 S)。

3. 按下式计算代表弯沉值：

$$L_1 = \bar{L} + S$$

式中 L_1 ——计算代表弯沉；
 L ——舍弃不合要求的测点后所余各测点弯沉的算术平均值；
 S ——舍弃不合要求的测点后所余各测点弯沉的标准差。

4.按下式计算路基、整层材料的回弹模量 (E_1) 或旧路的综合回弹模量：

$$E_1 = \frac{2P\delta}{L_1}(1 - \mu^2)\alpha$$

式中 E_1 ——计算的路基、整层材料的回弹模量或旧路的综合回弹模量 (MPa)；
 P ——测定车轮的平均垂直荷载 (MPa)；
 δ ——测定用标准车双圆荷载单轮传压面当量圆的半径 (cm)；
 μ ——测定层材料的泊松比，根据部颁路面设计规范的规定取用；
 α ——弯沉系数为 0.712。

五、报告

报告应包括弯沉测定表、计算的弯沉、采用的泊松比及计算得到的材料回弹模量 E_1 等，对沥青路面应报告测试时的路面温度。

1.2.2 承载板测定路基回弹模量试验方法

一、目的和适用范围

1. 本方法适用于在现场路基表面，通过承载板对路基逐级加载、卸载的方法，测出每级荷载下相应的路基回弹变形值，经过计算求得路基回弹模量。

2. 本方法测定的路基回弹模量可作为路面设计参数使用。

二、仪器与材料

1. 加载设施：载有铁块或集料等重物、后轴重不小于 60kN 的载重汽车一辆，作为加载设备，在汽车大梁的后轴之后约 80cm 处，附设加劲小梁一根作反力架，汽车轮胎充气压力 0.50MPa。

2. 现场测试装置，如图 1-9 所示，由千斤顶、测力计（测力环或压力表）及球座组成。

3. 刚性承载板一块，板厚 20mm，直径为 $\phi 30$ cm，直径两端设有立柱和可以调整高度的支座，供安放弯沉仪测头。承载板安放在路基表面上。

4. 路面弯沉仪两台，由贝克曼梁、百分表及其支架组成。

5. 液压千斤顶一台 (80 ~ 100kN)，装有经过标定的压力表或测力环，其量程不小于路基强度，测定精度不小于测力量程的 1/100。

6. 秒表。

7. 水平尺。

8. 其它 细砂、毛刷、垂球、镐、铁锹、铲等。

三、方法与步骤

1. 准备工作

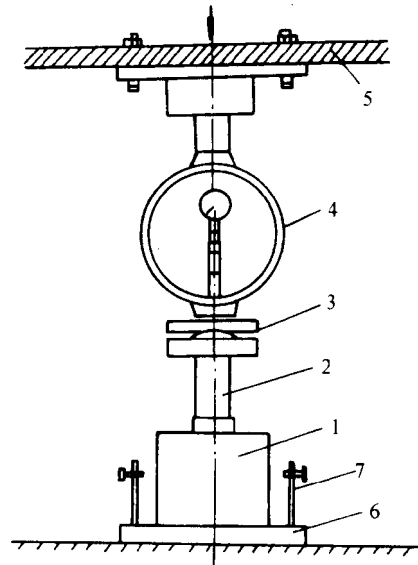


图 1-9 承载板试验现场测试装置

1-加载千斤顶；2-钢圆筒；3-钢板及球座；4-测力计；5-加劲横梁；6-承载板；7-立柱及支座

(1) 根据需要选择有代表性的测点，测点应位于水平的路基上，路基土质均匀，不含杂物。

(2) 仔细平整土基表面 撒干燥洁净的细砂填平土基凹处 砂子不可覆盖全部土基表面 避免形成一层。

(3) 安置承载板，并用水平尺进行校正，使承载板处于水平状态。

(4) 将试验车置于测点上，在加劲小梁中部悬挂垂球测试，使之恰好对准承载板中心，然后收起垂球。

(5) 在承载板上安装千斤顶，上面衬垫钢圆筒、钢板，并将球座置于顶部与加劲横梁接触，如用测力环时，应将测力环置于千斤顶与横梁中间，千斤顶及衬垫物必须保持垂直，以免加压时千斤顶倾倒发生事故并影响测试数据的准确性。

(6) 安放弯沉仪，将两台弯沉仪的测头分别置于承载板立柱的支座上，百分表对零或其他合适的初始位置上。

2. 测试步骤

(1) 用千斤顶开始加载，注视测力环或压力表，至预压 0.05MPa，稳压 1min 使承载板与土基紧密接触，同时检查百分表的工作情况是否正常，然后放松千斤顶油门卸载，稳压 1min 后，将指针对零或记录初始读数。

(2) 测定土基的压力—变形曲线 用千斤顶加载 采用逐级加载卸载法 用压力表或测力环控制加载量。荷载小于 0.1MPa 时 每级增加 0.02MPa 以后每级增加 0.04MPa 左右。为了使加载和计算方便，加载数值可适当调整为整数。每次加载至预定荷载 (P) 后 稳定 1min 立即读记两台弯沉仪百分表数值，然后轻轻放开千斤顶油门卸载至 0 待卸载稳定 1min 后 再次读数。每次卸载后百分表不再对零。当两台弯沉仪百分表读数之差小于平均值的 30% 时 取平均值 如超过 30% 则应重测。当回弹变形值超过 1mm 时，即可停止加载。

(3) 各级荷载的回弹变形和总变形，按以下方法计算：

回弹变形 l) = (加载后读数平均值 - 卸载后读数平均值) × 弯沉仪杠杆比

总变形 l') = (加载后读数平均值 - 加载初始前读数平均值) × 弯沉仪杠杆比

(4) 测定总影响量 α 。最后一次加载卸载循环结束后，取走千斤顶，重新读取百分表初读数 然后将汽车开出 10m 以外，读取终读数，两只百分表的初、终读数差之平均值即为总影响量 α 。

(5) 在试验点下取样，测定材料含水量，取样数量如下：

最大粒径不大于 5mm 试样数量约 120g；

最大粒径不大于 25mm 试样数量约 250g；

最大粒径不大于 40mm 试样数量约 500g。

(6) 在紧靠试验点旁边的适当位置，用灌砂法或环刀法等测定土基的密度。

(7) 试验的各项数值可记录于表 1-5 的记录表上。

四、计算

1. 各级压力的回弹变形值加上该级的影响量后，则为计算回弹变形值。表 1-4 是以后轴重 60kN 的标准车为测试车的各级荷载影响量的计算值。当使用其它类型的测试车时，各级压力下的影响量 α_i 按下式计算：

$$\alpha_i = \frac{(T_1 + T_2)\pi D^2 p_i}{4T_1 Q} \alpha$$

式中 T_1 ——测试车前后轴距 (m)；

- T_2 ——加劲小梁距后轴距离 (m) ;
 D ——承载板直径 (m) ;
 Q ——测试车后轴重 (N) ;
 p_i ——该级承载板压力 (Pa) ;
 α ——总影响量 (0.01mm) ;
 α_i ——该级压力的分级影响量 (0.01mm) 。

各级荷载影响量 (后轴 60kN 车)

表 1-4

承载板压力(MPa)	0.05	0.10	0.15	0.20	0.30	0.40	0.50
影 响 量	0.06 α	0.12 α	0.18 α	0.24 α	0.36 α	0.48 α	0.60 α

承载板测定记录表

表 1-5

路线和编号:					路面结构:					
测定层位:					测定用汽车型号:					
承载板直径(cm)					测定日期: 年 月 日					
千斤顶 读 数	荷载 P (kN)	承载板 压力 p (MPa)	百分表读数 (0.01mm)			总变形 (0.01 mm)	回弹变形 (0.01 mm)	分 级 影响量 (0.01 mm)	计算回 弹变形 (0.01 mm)	E_i (MPa)
			加载前	加载后	卸载后					

总影响量 α

土基回弹模量 E_0 值 (MPa)

2. 将各级计算回弹变形值点绘于标准计算纸上, 排除显著偏离的异常点并绘出顺滑的 $p \sim l$ 曲线, 如曲线起始部分出现反弯, 应按图 1-10 所示修正原点 O, O' 则是修正后的原点。

3. 按下式计算相应于各级荷载下的土基回弹模量 E_i 值:

$$E_i = \frac{\pi D}{4} \cdot \frac{p_i}{l_i} (1 - \mu_0^2)$$

式中 E_i ——相应于各级荷载下的土基回弹模量 (MPa);

μ_0 ——土的泊松比, 根据部颁路面设计规范规定选用;

D ——承载板直径 30cm;

p_i ——承载板单位压力 (MPa);

l_i ——相对于荷载 p_i 时的回弹变形 (cm)。

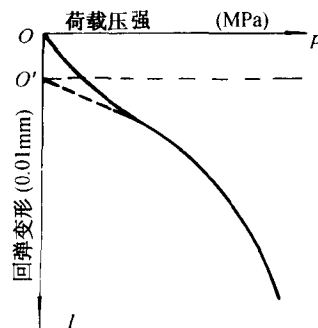


图 1-10 修正原点示意图

4. 取结束试验前的各回弹变形值按线性回归方法由下式计算土基回弹模量 E_0 值:

$$E_0 = \frac{\pi D}{4} \cdot \frac{\sum p_i}{\sum l_i} (1 - \mu_0^2)$$

式中 E_0 ——土基回弹模量 (MPa);
 μ_0 ——土的泊松比, 根据部颁设计规范规定取用;
 l_i ——结束试验前的各级实测回弹变形值;
 p_i ——对应于 l_i 的各级压力值。

五、报告

1. 试验采用的记录格式如表 1-5。
2. 试验报告应记录下列结果
 - (1) 试验时所采用的汽车。
 - (2) 近期天气情况。
 - (3) 试验时土基的含水量 (%)。
 - (4) 土基密度和压实度。
 - (5) 相应于各级荷载下的土基回弹模量 E_i 值。
 - (6) 土基回弹模量 E_0 值 (MPa)。

例: 实测数据见表 1-6, 计算土基回弹模量。

解: 计算结果见表 1-6。

用线性归纳法计算土基回弹模量 E_0 :

$$E_0 = 20.68 \times \frac{(0.05 + 0.10 + 0.15 + 0.20 + 0.30)}{(21.42 + 32.84 + 49.36 + 65.68 + 96.52) \times 10^{-3}} = 62.3 \text{MPa}$$

表 1-6

千斤顶 油压表 读数		荷 载 (kN)	承载板 压 力 (MPa)	百分表读数 (0.01mm)		总弯沉 (0.01mm)		回弹弯沉 (0.01mm)		分级影响量 (0.01mm)	计算回弹 弯 沉 (0.01mm)	备 注
				左	右	左	右	左	右			
0	0	0	0	0								预 压
10	3.53	0.05	15	12	80	24						
0	0	0	2	2			24	20				相差 26.1%
调零	0	0	0	0	0	0	0	0				正式测定
10	8.53	0.05	14	18	28	28						
0	0	0	3	3			22	20	0.06×7 $= 0.42$	21.42		
20	7.07	0.1	31	28	62	56						
0	0	0	14	13			34	30	0.12×7 $= 0.84$	32.84		
30	10.60	0.15	65	54	130	108						
0	0	0	40	31			50	46	0.18×7 $= 1.26$	49.86		
40	1414	0.2	90	83	180	166						

路线和桩号: K79+107 右半幅

路面结构:

7.5cm 沥青贯入式路面

16.5cm 水泥石粉基层

土 基

测定日期: 1994 年 12 月 14 日

测定层位: 土基
 承载板直径: 80cm

路线和桩号: K79 + 107 右半幅

路面结构:

7.5cm 沥青贯入式路面

16.5cm 水泥石粉基层

土 基

测定日期: 1994 年 12 月 14 日

测定层位: 土基
承载板直径: 80cm

千斤顶 油压表 读数	荷 载 (kN)	承载板 压 力 (MPa)	百分表读数 (0.01mm)		总弯沉 (0.01mm)		回弹弯沉 (0.01mm)		分级影响量 (0.01mm)	计算回弹 弯 沉 (0.01mm)	备 注
			左	右	左	右	左	右			
0	0	0	56	53			68	60	0.24×7 = 1.68	65.68	
60	21.21	0.3	148	118	296	236					
0	0	0	98	74			100	88	0.36×7 = 2.52	96.52	
70	24.74	0.35	165	144	310	288					l > 1mm 停止测定
0		0	108	93			114	102			
取走千斤顶		0	103	89							
汽车开走后		0	99	86			8	6			

$$\text{总影响量 } \alpha = \frac{(103 - 99) \times 2 + (89 - 86) \times 2}{2} = 7$$

1.3 承载比 (CBR) 试验方法

CBR 又称加州承载比 是 California Bearing Ratio 的缩写, 由美国加利福尼亚州公路局首先提出来的, 用于评定路基土和路面材料的强度指标。在国外多采用 CBR 作为路面材料和路基土的设计参数。

目前我国已将 CBR 值列入《公路路基设计规范》(JTJ013-95)、《公路路基施工技术规范》(JTJ033-95) 和《公路沥青路面设计规范》(JTJ014-97), 作为路基填料选择的依据。

1.3.1 〈室内〉CBR 试验方法

一、目的和适用范围

1. 本试验方法只适用于在规定的试筒内制件后, 对各种土和路面基层、底基层材料进行承载比试验。

2. 试样的最大粒径宜控制在 25mm 以内, 最大不得超过 38mm。

二、仪器设备

1. 圆孔筛 孔径 38mm、25mm、20mm 及 5mm 筛各 1 个。

2. 试筒: 内径 152mm、高 170mm 的金属圆筒; 套环, 高 50mm; 筒内垫块, 直径 151mm、高 50mm; 夯击底板, 同击实仪。试筒的形式和主要尺寸如图 1-11 所示。

3. 夯锤和导管: 夯锤的底面直径 50mm 总质量 4.5kg。夯锤在导管内的总行程为 450mm,

夯锤的形式和尺寸与重型击实试验法所用的相同。

4. 贯入杆 端面直径 50mm、长约 100mm 的金属柱。

5. 路面材料强度仪或其它荷载装置：能量不小于 50kN，能调节贯入速度至每分钟贯入 1mm 可采用测力计式 如图 1-12 所示。

6. 百分表 :3 个。

7. 试件顶面上的多孔板（测试件吸水时的膨胀量）如图 1-13 所示。

8. 多孔底板（试件放上后浸泡水中）。

9. 测膨胀量时支承百分表的架子，如图 1-14 所示。

10. 荷载板：直径 150mm，中心孔眼直径 52mm，每块质量 1.25kg 共 4 块，并沿直径分为两个半圆块 如图 1-15 所示。

11. 水槽：浸泡试件用，槽内水面应高出试件顶面 25mm。

12. 其它：台秤，感量为试件量量的 0.1%；拌和盘；直尺；滤纸；脱模器等与击实试验相同。

三、试样

1. 将具有代表性的风干试料（必要时可在 50℃烘箱内烘干）用木碾捣碎，但应尽量注意不使土或粒料的单个颗粒破碎。土团均应捣碎到通过 5mm 的筛孔。

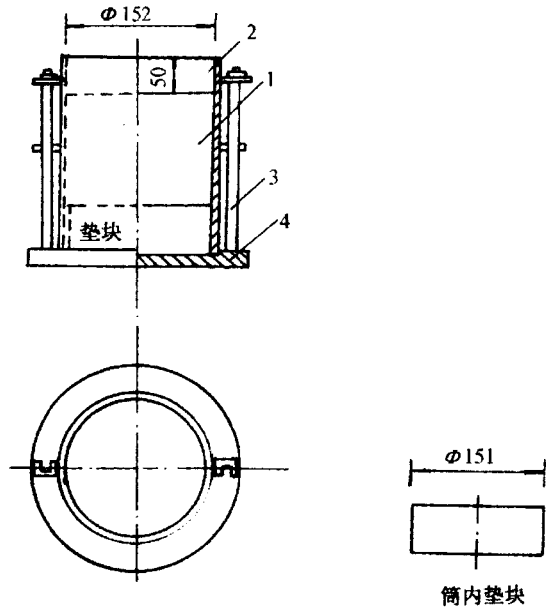


图 1-11 承载比试筒（单位：mm）

1-试筒；2-套环；3-拉杆；4-夯击底板

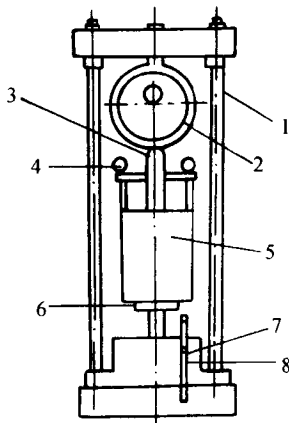


图 1-12 手摇测力计式荷载装置示意图

1-框架；2-量力环；3-贯入杆；4-百分表；5-试件；6-升降台；7-蜗轮蜗杆箱；8-摇把

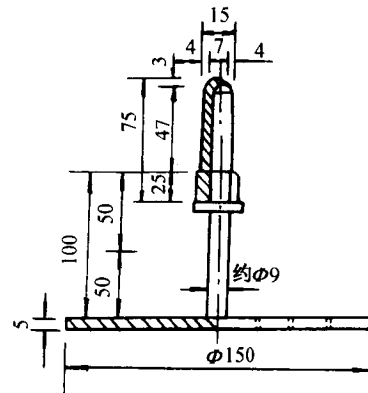


图 1-13 带调节杆的多孔板（单位：mm）

2. 采取有代表性的试料 50kg 用 38mm 筛筛除大于 38mm 的颗粒，并记录超尺寸颗粒的百分数。将已过筛的试料按四分法取出约 25kg，再用四分法将取出的试料分成 4 份，每份质量 6kg，供击实试验和制试件之用。

3. 在预定做击实试验的前一天，取有代表性的试料测定其风干含水量。