

建设工程质量检测人员培训教材

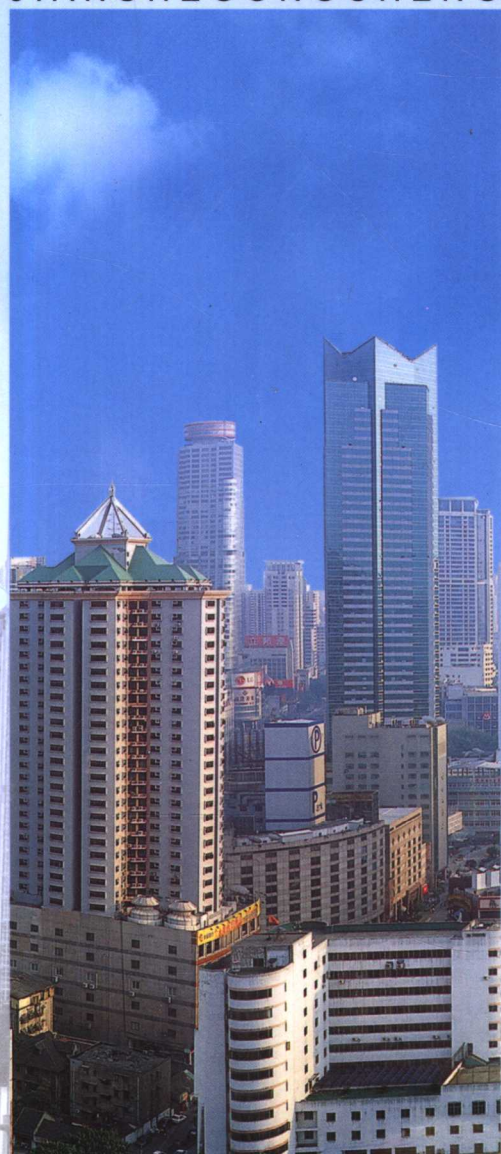
JIANSHENGONGCHENGZHILIANGJIANCEJISHU

建设工程质量 检测技术 (下册)

江苏省建设工程质量监督总站 编

JIANSHENGONGCHENG

ZHILIANGJIANCEJISHU



中国建筑工业出版社

建设工程质量检测人员培训教材

建设工程质量检测技术

(下 册)

江苏省建设工程质量监督总站 编

中国建筑工业出版社

目 录

上 册

第一章 概论	1
第一节 建设工程质量检测的目的和意义.....	1
第二节 建设工程质量检测的机构及人员.....	4
第三节 建设工程质量检测的历史、现状及发展.....	8
第四节 学习方法与要求	11
第二章 工程质量检测基础知识	12
概述	12
第一节 数理统计	12
第二节 误差分析与数据处理	25
第三节 不确定度原理和应用	31
第四节 法定计量单位及其应用	37
第三章 建筑材料检测	43
概述	43
第一节 混凝土拌合物性能和配合比设计	43
第二节 混凝土物理力学性能	66
第三节 砂	85
第四节 石	111
第五节 外加剂	132
第六节 建筑砂浆物理力学性能	151
第七节 砖、瓦	161
第八节 砌块	180
第九节 水泥	198
第十节 建筑钢材	209
第十一节 沥青	222
第十二节 防水卷材	228
第十三节 建筑结构胶	252
第十四节 建筑涂料	260
第十五节 防水涂料	275
第十六节 建筑石灰	304
第十七节 粉煤灰	314
第十八节 水泥化学分析	321
第十九节 钢材化学分析	333
第二十节 混凝土拌合用水	347

第四章 结构工程检测	356
第一节 现场混凝土强度、缺陷检测	357
第二节 混凝土构件结构性能检验	385
第三节 砌体工程现场检测	396
第四节 建筑物沉降观测、垂直偏差检测	409
第五节 钢结构检测（高强度螺栓）	421
第六节 钢结构焊缝无损检测	427
第七节 碳纤维检测	445

下 册

第五章 市政工程检测	451
第一节 土工	452
第二节 土工合成材料	490
第三节 水泥土	498
第四节 沥青混合料	501
第五节 道桥结构	515
第六节 道路砖及混凝土路缘石	559
第七节 埋地排水管	569
第八节 岩石	586
第九节 预应力钢材	593
第十节 预应力锚具、夹具和连接器检测	607
第十一节 预应力混凝土留孔用波纹管	617
第十二节 橡胶支座	623
第十三节 检查井盖	632
第十四节 桥梁伸缩装置	637
第六章 建筑安装工程检测	646
第一节 建筑水电	646
第二节 硬聚氯乙烯（PVC-U）管材、管件检测	650
第三节 聚氯乙烯绝缘电线电缆检测	662
第四节 建筑电气	675
第五节 仪表检测	690
第六节 电梯检测技术	695
第七节 空调系统	707
第八节 火灾自动报警系统	718
第九节 建筑智能化系统检测	728
第七章 建筑装饰与室内环境检测	766
第一节 石膏板检测	766
第二节 墙地饰面砖检测	775
第三节 饰面石材检测	790
第四节 建筑工程饰面砖粘结强度检测	800
第五节 轻钢龙骨力学性能检测	807

第六节	铝合金建筑型材	814
第七节	门、窗用未增塑聚氯乙烯型材	818
第八节	建筑外窗物理性能检测	822
第九节	建筑材料放射性检测	828
第十节	土壤中氡气浓度及氡气析出率测定	832
第十一节	室内环境检测	835
第八章	建设工程检测新技术简介	847
第一节	冲击回波检测技术	847
第二节	结构动力检测技术	850
第三节	红外热像检测技术	854
第四节	雷达检测技术	858
第五节	光纤传感器在工程检测中的应用	862

第五章 市政工程检测

市政工程是现代化城市建设的重要组成部分，市政工程的规划、设计和建设水平最能反映一个城市的形象和现代化气息。由于市政建设项目的资金，一般都是由政府投入为主，并普遍实行招标投标和工程监理制度，形成政府监督、社会监理和施工单位自检的质量保证体系。其质量控制的主要手段是依据国家和建设部颁布的相关法规、技术标准、规范和规程进行试验检测。近几年随着试验检测市场的放开，市场竞争加剧，这对原有质量保证体系和原有检测行业垄断行为产生了一定程度的冲击和不利影响。为此，健全和完善相关管理法规，规范检测市场和检测行为，加大政府对市政建设的监管力度，显得更为重要。

与交通工程和房建工程相比，市政工程项目涉及面更广，施工难度更大，影响工程建设和施工质量的因素更多。如对新建设项目的合理布局和对原有设施的拆迁处理、对地下不明构造物和埋置管线的探测、对地下土层和地质情况的勘探、对地基土的处理、项目施工对周围建筑物的影响以及项目本身的施工质量等，其中若有一个因素考虑不周，都会造成严重后果。试验检测对解决和控制这些因素的影响程度将会发挥重要作用。市政工程涉及的试验检测项目很多，作为质量监督部门和质量检测单位，其主要目的和任务有以下几个方面：

1. 市政工程施工的施工监控：对城市道路、高架桥和立交桥、地铁和地下行车隧道，人行过街通道，各种管道（给排水管、煤气管、通信电缆管等）的埋设等大型项目，试验检测是施工监控的重要手段。为了使建设项目达到设计要求和合理的受力状态，施工各阶段需要对项目的几何位置和受力状态进行监测。根据监测数据，对下一道工序进行预测和制定调整方案，实现对项目的施工监控。

2. 市政工程施工的施工质量控制：对于市政工程的任何一个建设项目，施工前首先对土方和地基工程，对施工所需的原材料、成品和半成品构件等，是否符合国家产品质量标准和设计文件的要求；对路基、路面和桥涵结构、地下行车隧道和地下过街通道等每个项目的每一道施工工序及结构部位的施工质量等，是否满足设计图纸和施工规范要求，均需要通过试验检测手段来判断。因此，试验检测手段对控制施工质量至关重要。由于市政工程施工的复杂性，要做好施工质量控制，其主要检测项目一个不能少，详见表 5-1。

市政工程施工建设项目质量控制有关的检测项目和监测项目一览表

表 5-1

检测类别	检测项目	备注
土方与地基工程	土工试验、土工合成材料、水泥土、二灰碎石、路基压实度、桩基等	施工前和施工过程中
原材料成品或半成品构件	水泥、砂、石料、沥青、沥青混合料、普通钢筋、预应力钢材、锚具、波纹管、道路砖、岩石、混凝土、橡胶支座、桥梁伸缩缝、窨井盖、埋地排水管等	施工过程中
道路、桥梁、隧道及相关结构工程的竣工验收	道桥检测（路面压实度、平整度、弯沉试验、路面摩擦系数、车辙试验、桥梁荷载试验等）和结构混凝土强度	工程竣工验收前的质量检测
施工监测	道路、桥梁、地下行车隧道、地下过街通道、地铁及其他结构工程及相关设施的几何放样位置和轴线控制，高程控制、坡度控制及结构的沉降观测等	施工前和施工过程中

3. 对市政工程项目经常采用的新结构、新材料、新工艺, 必须通过试验检测, 取得可靠的科学实验数据, 经鉴定符合国家相关规范、标准后方可使用。

4. 评价市政工程质量与质量缺陷以及处理工程质量事故, 也主要通过试验检测手段取得实测数据, 为判定工程质量优劣、判别质量缺陷的程度及工程质量事故的性质、范围, 提供依据, 以便确定工程是否满足质量要求并判断能否安全使用。

5. 试验检测的所有原始资料和检测报告, 是工程交工验收和评定工程优良率的主要依据, 同时也作为今后工程维修保养和改扩建的档案备查资料。

第一节 土 工

一、含水率试验

1. 概念

本法所指含水率仅适用于测定粗粒土、细粒土、有机质土和冻土的含水率。含水率为某物质所含水质量与该物质干质量之百分比。含水率是土工试验中的一个基本参数。

2. 检测依据

《土工试验方法标准》GB/T 50123—1999

3. 仪器设备及环境

仪器设备

天平: 称量 200g, 精度 0.01g (10~50g);

称量 600g, 精度 0.1g (50~500g);

称量 6000g, 精度 1g (500~5000g)。

烘箱: 能控制温度在 105~110℃。

铝盒: 大小适当。

料盘: 大小适当。

环境: 在室内常温条件下进行。

4. 取样及制备要求

素土、灰土等细粒土每份一般取 15~30g, 二灰碎石等粗粒土由于含大颗粒, 每份宜取 1000g 以上。取样要有代表性, 宜采用四分法取样。当取样后不立即进行称量测定时, 必须密封防止水分损失。当采用抽样法测定含水率时, 必须抽取两份样品进行平行测定, 平行测定两个含水率的差值应符合以下要求:

含水率 < 40%, 差值 ≤ 1%;

含水率 ≥ 40%, 差值 ≤ 2%;

冻土, 差值 ≤ 3%;

当采用整体法测定含水率时, 则直接测定其含水率。

5. 操作步骤

(1) 素土、灰土取代表性试样或环刀中试样 15~30g, 放入已称重的铝盒, 称重精确至 0.01g; 二灰碎石等粗粒土取代表性试样 1000g 左右, 称重精确至 1g, 放在已称重的料盘中; 整体法测定环刀中土的含水率时, 称重精确至 0.1g。

(2) 将打开盖的铝盒或存料盘放入烘箱, 在 105~110℃ 下烘至恒量 (恒量的概念一般为间隔 2 小时质量差不大于 0.1%)。烘干时间对黏土、粉土不得少于 8 小时, 对砂土不得少于 6 小时, 对有机质含量超过 5% 的土, 应在 65~70℃ 恒温下烘至恒量, 时间需更长一些。

(3) 将铝盒或料盘从烘箱中取出, 铝盒盖上盒盖, 放入干燥容器内冷却至室温, 用天平称

量, 精确至相应的精度 (0.01g、0.1g 或 1g)。

6. 数据处理与结果判定

试样的含水率应按式计算, 准确至 0.1%。

$$W_0 = (m_0 - m_d) / m_d \times 100 \quad (5-1)$$

$$\text{或} \quad W_0 = (m_1 - m_2) / (m_2 - m_3) \times 100 \quad (5-2)$$

式中 m_d ——干土质量;
 m_0 ——湿土质量;
 m_2 ——盒与干土质量之和;
 m_1 ——盒与湿土质量之和;
 m_3 ——盒质量。

当两个平行测定含水率的差值符合误差要求时, 取两个平行测定含水率的平均值作为测定结果。当两个平行测定含水率的差值超出误差要求时, 重新测定。

二、环刀法测密实度试验

1. 概念

所谓环刀法是采用一定体积的不易变形的钢质环刀打入被测土样内, 使土样充满环刀, 修平上下面而测定土样密度的一种方法。本法适用于测定细粒土的密度和压实度。密度为单位体积内物质的质量; 压实度为实测干密度与最大干密度之比。

2. 检测依据

《土工试验方法标准》GB/T 50123—1999

3. 仪器设备及环境

(1) 仪器设备

环刀: ①体积 60cm³, 内径 61.8mm, 高度 20mm;

②体积 100cm³, 内径 79.8mm, 高度 20mm;

手柄: 与环刀相配套;

修土刀: 刀口应锋利平整;

榔头: 打击用;

天平: 称量 500g, 精度 0.1g;

称量 200g, 精度 0.01g;

烘箱: 室温 ~ 300℃, 精度 2℃。

(2) 环境要求: 室内工作在常温下进行。

4. 取样及制备要求

(1) 建筑工程每组 2 点取平均值; 市政工程路基灰土每组 1 点, 其他每组 3 点取平均值。

(2) 取样频率按验收规范执行, 市政工程路基每 1000m² 每层取一组, 沟槽回填每一井段每层取一组。

(3) 取样要有代表性。

5. 操作步骤

(1) 环刀内壁涂一薄层凡士林, 装在手柄内, 刀口向下对准选好的取土部位。

(2) 用榔头垂直向下打击, 直至环刀全部没入土内。

(3) 用铁锹挖去环刀四周的土, 再用铁锹对准环刀下将整个环刀连同土一起铲出, 注意不得扰动环刀内的土。

(4) 用修土刀修去环刀四周多余的土, 修平环刀上下表面土层, 并与环刀口平齐。

(5) 擦净环刀外壁, 放入铝盒带回称量, 称铝盒、环刀和土的总质量 m_1 , 精确至 0.1g。

(6) 测定环刀内土的含水量: 可整个在 105 ~ 110℃ 烘干称重 m_2 测定, 也可取样烘干测定。一般大环刀宜用取样烘干测定含水量, 在环刀内土样中分别取两份土样, 重约 20 ~ 30g, 精确至 0.01g, 分别放入两个铝盒称重 m_4 、烘干称重 m_5 测定其平均值。

保证环刀法测量准确的操作要点:

- ① 环刀体积准确。
- ② 选取的测量部位要有代表性。
- ③ 挖出及修土时不得扰动环刀内的土, 并修平。
- ④ 准确称量。
- ⑤ 烘干到位。

6. 数据处理与结果判定

(1) 计算

$$\text{含水量 } w = (m_1 - m_2) / (m_2 - m_3 - m_6) \quad (5-3)$$

式中, m_3 为环刀重, m_6 为铝盒重。

$$\text{或 } \text{含水量 } w_1 = (m_{4-1} - m_{5-1}) / (m_{5-1} - m_{6-1}) \quad (5-4)$$

$$w_2 = (m_{4-2} - m_{5-2}) / (m_{5-2} - m_{6-2}) \quad (5-5)$$

$$w = (m_1 + m_2) / 2 \quad (5-6)$$

$$\text{湿密度 } \rho = (m_1 - m_3 - m_6) / v \quad (5-7)$$

$$\text{干密度 } \rho_d = (m_2 - m_3 - m_6) / v \quad (5-8)$$

式中, v 为环刀的体积。

$$\text{或 } \text{干密度 } \rho_d = \rho / (1 + w) \quad (5-9)$$

$$\text{平均干密度 } \rho_d = (\rho_{d1} + \rho_{d2} + \rho_{d3}) / 3 \quad (5-10)$$

$$\text{或平均干密度 } \rho_d = (\rho_{d1} + \rho_{d2}) / 2 \quad (5-11)$$

$$\text{压实度} = \rho_d / \rho_{\text{最大}} \quad (5-12)$$

(2) 结果判定

当干密度或平均干密度 $\geq$ 设计要求的干密度时为合格;

当干密度或平均干密度 $<$ 设计要求的干密度时为不合格;

或当压实度 $\geq$ 设计要求的压实度时为合格;

当压实度 $<$ 设计要求的压实度时为不合格。

建筑工程中设计要求的压实系数, 市政工程中称为压实度。

最大干密度由击实试验测得。

7. 例题

市政道路沟槽回填土素土一组三个环刀的试验数据如下:

序号	环刀 + 湿土重 (g)	环刀 + 干土重 (g)	环刀重 (g)	序号	环刀 + 湿土重 (g)	环刀 + 干土重 (g)	环刀重 (g)
1	156.6	134.3	42.4	3	155.4	133.2	43.6
2	156.7	134.5	42.2				

已知所用环刀体积为 60cm³, 该素土的最大干密度为 1.76g/cm³, 设计要求素土沟槽回填压实度 $\geq 85\%$ 。试计算该组环刀的代表密度和压实度, 并作评定。

解:

$$(1) \text{干密度} = [(\text{环刀} + \text{干土重}) - \text{环刀重}] / \text{环刀体积}$$

$$\rho_{d1} = [134.3 - 42.4] / 60 = 1.532 \text{g/cm}^3$$

$$\rho_{d2} = [134.5 - 42.2] / 60 = 1.538 \text{g/cm}^3$$

$$\rho_{d3} = [133.2 - 43.6] / 60 = 1.493 \text{g/cm}^3$$

(2) 平均干密度 = $(1.532 + 1.538 + 1.493) / 3 = 1.52 \text{g/cm}^3$

(3) 压实度 = 平均干密度 / 最大干密度 = $1.52 / 1.76 = 86.4\% \approx 86\%$

(4) 该组素土沟槽回填的压实度符合设计要求。

三、灌砂法测密实度

(一) 国标方法

1. 概念

所谓灌砂法是利用已知密度的砂灌入试坑来测得被测土样试坑的体积，从而测定土样密度的一种方法。本法适用于测定粗粒土的密度和压实度，也可以测定细粒土的密度和压实度。密度为单位体积内物质的质量；压实度为实测干密度与最大干密度之百分比。

2. 检测依据

《土工试验方法标准》GB/T 50123—1999

3. 仪器设备及环境

仪器设备

密度测定器：由容砂瓶、灌砂漏斗和底盘组成（见图 5-1）。

灌砂漏斗高 135mm，直径 165mm，底部有孔径为 13mm 的圆柱形阀门；容砂瓶容积为 4 升，容砂瓶与灌砂漏斗之间用螺纹接头连接；底盘承托灌砂漏斗和容砂瓶。

天平：称量 15kg，精度 5g（1~15kg）；

称量 6000g，精度 1g（1000~5000g）。

烘箱：能控制温度在 105~110℃。

料盘：大小适当。

工具：挖土铲，料勺、尺等。

环境：室内工作在常温下进行。

4. 取样及制备要求

(1) 每组 1 点。

(2) 取样频率按验收规范执行，市政工程路基每 1000m² 每层取一组。

(3) 取样要有代表性。

5. 操作步骤

(1) 标准砂密度的测定

① 标准砂应清洗洁净并烘干，粒径宜选用 0.25~0.50mm，密度宜选用 1.47~1.61g/cm³。

② 组装容砂瓶与灌砂漏斗，螺纹连接处应拧紧，称其总质量。

③ 将密度测定器竖立，灌砂漏斗口向上，关阀门，向灌砂漏斗中注满标准砂，打开阀门使灌砂漏斗内的标准砂漏入容砂瓶中，继续向漏斗内注砂漏入容砂瓶中，当砂停止流动时迅速关闭阀门，倒掉漏斗内多余的砂，称容砂瓶与灌砂漏斗和灌满的标准砂的总质量，准确至 5g，试验中应避免振动。

④ 倒出容砂瓶内的标准砂，通过漏斗向容砂瓶内注水至水面高出阀门，关上阀门，去掉漏斗中多余的水，称容砂瓶与灌砂漏斗和灌满的水的总质量，准确至 5g，并测定水温，准确至 0.5℃。重复测定三次，三次测值之间的差值不得大于 3mL，取三次的平均值。

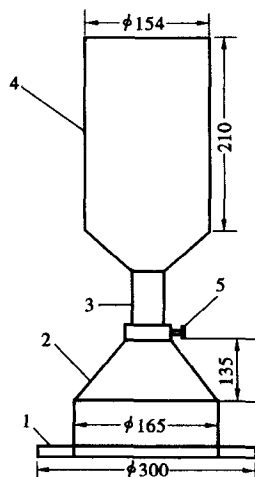


图 5-1 密度测定器

1—底盘；2—漏斗；3—漏斗口；
4—容砂瓶；5—阀门

⑤容砂瓶的容积应按下式计算

$$V_r = (m_{t2} - m_{r1}) / \rho_{wr} \quad (5-13)$$

式中 V_r ——容砂瓶容积 (mL);

m_{t2} ——容砂瓶与灌砂漏斗和灌满的水的总质量 (g);

m_{r1} ——容砂瓶与灌砂漏斗质量 (g);

ρ_{wr} ——不同温度时水的密度 (g/cm^3), 见表 5-2。

不同温度下水的密度

表 5-2

温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	水 的 密 度 (g/cm^3)	温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	水 的 密 度 (g/cm^3)	温 度 ($^{\circ}\text{C}$)	水 的 密 度 (g/cm^3)
4	1.0000	15	0.9991	26	0.9968
5	1.0000	16	0.9989	27	0.9965
6	0.9999	17	0.9988	28	0.9962
7	0.9999	18	0.9986	29	0.9959
8	0.9999	19	0.9984	30	0.9957
9	0.9998	20	0.9982	31	0.9953
10	0.9997	21	0.9980	32	0.9950
11	0.9996	22	0.9978	33	0.9947
12	0.9995	23	0.9975	34	0.9944
13	0.9994	24	0.9973	35	0.9940
14	0.9992	25	0.9970	36	0.9937

⑥标准砂的密度应按下式计算

$$\rho_s = (m_{rs} - m_{r1}) / V_r \quad (5-14)$$

式中 ρ_s ——标准砂的密度 (g/cm^3);

m_{rs} ——容砂瓶与灌砂漏斗和灌满的标准砂的总质量 (g)。

(2) 灌砂法试验步骤

①根据试样最大粒径, 确定试坑尺寸见表 5-3。

②将选定试验处的表面整平, 除去表面松散的土层。

③按确定的试坑直径划出坑口轮廓线, 在轮廓线内下挖至要求深度, 边挖边将坑内挖出的试样装入盛土容器中, 称试样质量 m_p , 精确至 5g, 带回后测定试样的含水率。

④向容砂瓶中注满砂, 关上阀门, 称容砂瓶与灌砂漏斗和灌满的标准砂的总质量 m_0 , 准确至 5g。

⑤将密度测定器倒置 (容砂瓶向上) 于挖好的坑口上, 打开阀门, 使砂注入试坑。在注砂过程中不得有震动。当砂注满试坑时关闭阀门, 称容砂瓶与灌砂漏斗和余砂的总质量 m_1 , 准确至 5g, 并计算注满试坑所用的标准砂质量 m_s 。

(实际上, 仅通过上述方法还无法求得 m_s , $m_0 - m_1 \neq m_s$ 。因为灌入试坑的量砂除了试坑表面以下部分 m_s 外, 由于灌砂漏斗的存在还在试坑表面以上形成一个量砂圆锥体, $m_0 - m_1$ 必须减去该量砂圆锥体的质量才是我们所需要的 m_s 。而该量砂圆锥体的质量只有通过试坑未挖前的

试坑尺寸 表 5-3

试样最大粒径 (mm)	试坑尺寸 (mm)	
	直 径	深 度
5 (20)	150	200
40	200	250
60	250	300

表面上先空灌一次量砂来获得)

6. 数据处理与结果判定

(1) 试样的密度应按下式计算

$$\rho_0 = m_p / (m_s / \rho_s) \quad (5-15)$$

(2) 试样的干密度, 应按下式计算, 准确至 0.01g/cm^3 。

$$\rho_d = \rho_0 / (1 + w_1) \quad (5-16)$$

(3) 试样的压实度, 应按下式计算

$$\text{压实度} = \rho_d / \rho_{\text{最大}} \times 100(\%) \quad (5-17)$$

7. 注意事项

(1) 挖试坑要注意尽量不扰动旁边的土, 挖松的土要全部取出称量, 不得漏掉;

(2) 称量好后要立即装入塑料袋密封, 防止水分蒸发影响试样含水率的测定, 从而影响干密度测定的准确性。

(二) 交通方法

1. 概念

所谓灌砂法是利用已知密度的砂灌入试坑来测得被测土样试坑的体积从而测定土样密度的一种方法。本法适用于测定粗粒土的密度和压实度, 也可以测定细粒土的密度和压实度。测定粒径 $\leq 15 \text{mm}$ 细粒土时用 $\phi 100 \text{mm}$ 灌砂筒, 测定粒径 $\geq 15 \text{mm}$, 达 $40 \sim 60 \text{mm}$ 时, 应用 $\phi 150 \text{mm} \sim \phi 200 \text{mm}$ 的灌砂筒。密度为单位体积内物质的质量; 压实度为实测干密度与最大干密度之百分比。

2. 检测依据

《公路土工试验规程》JTJ 051—93 (T0 111—93)

3. 仪器设备及环境

灌砂筒: 直径 100mm 、 150mm 、 200mm 。(见图

5-2)

标定罐: 直径 100mm 、 150mm 、 200mm 。(见图

5-2)

天平: 称量 $10 \sim 15 \text{kg}$, 精度 5g ($1 \sim 15 \text{kg}$);

称量 6000g , 精度 1g ($500 \sim 5000 \text{g}$)。

烘箱: 能控制温度在 $105 \sim 110^\circ \text{C}$ 。

料盘: 大小适当。

工具: 挖土铲、料勺、尺等。

环境: 室内工作在常温下进行。

4. 取样及制备要求

(1) 每组 1 点。

(2) 取样频率按验收规范执行, 市政工程路基每 1000m^2 每层取一组。

(3) 取样要有代表性。

5. 操作步骤

(1) 确定灌砂筒下部圆锥体内量砂的质量

①在灌砂筒上部储砂筒内装满量砂, 筒内量砂的高度与筒顶的距离不超过 15mm , 称重 m_1 , 准确至 1g 。每次标定及而后的试验都维持这个质量不变。

②将开关打开, 让砂流出, 并使流出砂的体积与工地所挖试坑的体积相当 (或与标定罐体积相当)。然后关上开关, 称量筒及余砂质量 m_5 , 准确至 1g 。

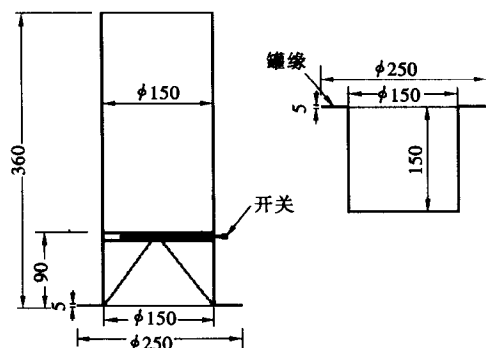


图 5-2 灌砂筒和标定罐

③将灌砂筒放在玻璃板上, 打开开关, 让砂流出, 直到筒内砂不再下流时, 关上开关, 细心取走灌砂筒。

④收集并称量玻璃板上的量砂 m_{2i} 或称量筒及余砂质量 m'_5 , 准确至 1g。($m_{2i} = m_5 - m'_5$) 玻璃板上的量砂就是填满灌砂筒下部圆锥体的量砂。

⑤重复上述过程三次, 取平均值 m_2 , 准确至 1g。

(2) 标定量砂的密度

①在灌砂筒上部储砂筒内装入质量为 m_1 的量砂, 将灌砂筒放在标定灌上, 打开开关, 让砂流出, 直到筒内砂不再下流时, 关上开关, 取下灌砂筒, 称量筒及余砂质量 m_{3i} , 准确至 1g。

②重复上述过程三次, 取平均值 m_3 , 准确至 1g。

③按下式计算填满标定罐所需量砂的质量 m_a :

$$m_a = m_1 - m_2 - m_3 \quad (5-18)$$

④用水确定标定罐的体积。

将空罐放在称台上, 使罐上口处于水平位置, 称量罐重 m_7 , 准确至 1g。罐顶放一直尺, 慢慢加水至水面刚好接触直尺, 移去直尺, 称量罐和水的总重 m_8 , 并测量水温。重复三次, 取平均值。重复测量时仅需用吸管从罐中吸取少量水, 并用滴管重新将水加满至接触直尺。标定罐的体积按下式计算:

$$v = (m_8 - m_7) / \rho_{\text{水}} \quad (5-19)$$

⑤按下式计算量砂的密度 ρ_s (g/cm^3):

$$\rho_s = m_a / v \quad (5-20)$$

(3) 灌砂法试验应按下列步骤进行

①选择一 40cm × 40cm 平坦表面, 清扫干净, 放上基板, 将装有适量量砂的灌砂筒 (重 m_5) 放在基板中心圆孔上, 打开开关, 至筒内砂不再流动, 关上开关, 取走灌砂筒并称重 m_6 , 准确至 1g。

②取走基板, 回收量砂, 重新将表面清扫干净。将基板放在原位上, 沿基板圆孔边凿洞, 直径控制在比基板圆孔直径稍小, 随时取出凿松的料, 小心放入塑料袋中以防丢失, 密封以防失水。洞深控制在标定灌深度左右为宜。凿毕清空松料后, 称全部取出料重 m_1 。

③如果所选表面非常平整, 则可不用基板, 直接挖坑测定。需注意所挖坑要圆整, 直径比灌砂桶稍小。

④从全部取出料中取有代表性样品测其含水量 w 。细粒土不小于 100g, 粗粒土不宜小于 1000g。

$$w = (m_{\text{湿}} - m_{\text{干}}) / m_{\text{干}} \times 100 (\%) \quad (5-21)$$

⑤将灌砂筒 (重 m_1) 放在对准试坑的基板中心圆孔上 (不用基板时直接放试坑上), 打开开关, 至筒内砂不再流动, 关上开关, 取走灌砂筒, 称量筒及余砂质量 m_4 , 准确至 1g。

⑥回收量砂以备后用。若量砂的湿度已变化或混有杂质, 则应烘干过筛, 并放置一段时间与空气湿度平衡后再用。

⑦如试坑中颗粒间有较大孔隙, 量砂可能进入孔隙时, 则应按试坑外形, 松弛地放入一层柔软的纱布, 再进行灌砂测定。

⑧填满试坑所需量砂的质量 m_b 按下式计算:

$$\text{有基板: } m_b = m_1 - m_4 - (m_5 - m_6) \quad (5-22)$$

$$\text{无基板: } m_b = m_1 - m_4 - m_2 \quad (5-23)$$

6. 数据处理与结果判定

(1) 试样的湿密度 ρ (g/cm^3) 应按下式计算, 准确至 $0.01\text{g}/\text{cm}^3$:

$$\rho = m_v / (m_b / \rho_s) \quad (5-24)$$

(2) 试样的干密度 ρ_d (g/cm^3) 应按下式计算, 准确至 $0.01\text{g}/\text{cm}^3$:

$$\rho_d = \rho / (1 + 0.01w) \quad (5-25)$$

(3) 试样的压实度应按下式计算:

$$\text{压实度} = \rho_d / \rho_{\text{最大}} \times 100 (\%) \quad (5-26)$$

7. 例题

某一组二灰碎石灌砂试验数据如下, 要求压实度 95%, 试计算并作判定。(量砂密度为 $1.450\text{g}/\text{cm}^3$)

序号	桩号	1 + 230	序号	桩号	1 + 230	
1	取样位置	第一层	11	试坑体积 (cm ³)	(1669)	
2	试坑深度 (cm)	15.0	12	挖出料质量 (g)	3585	
3	筒与原量砂质量 (g)	11800	13	试样质量 (g)	(3555)	
4	筒与第一次剩余量砂质量 (g)	10930	14	含水量测定	湿样质量 (g)	3585
5	套环内耗量砂质量 (g)	(870)	15		干样质量 (g)	3375
6	量砂密度 (g/cm ³)	1.450	16		含水率 (%)	(6.22)
7	从套环内取回量砂质量 (g)	840	17	试样干密度 (g/cm ³)		(2.005)
8	套环内残留量砂质量 (g)	(30)	18	最大干密度 (g/cm ³)		2.050
9	筒与第二次剩余量砂质量 (g)	8480	19	压实度 (%)		(98)
10	试坑及套环内耗量砂质量 (g)	(3290)				

解: (5) = (3) - (4)

(8) = (5) - (7)

(10) = (3) - (8) - (9)

(11) = [(10) - (5)] / (6)

(13) = (12) - (8)

(16) = [(14) - (15)] / (15)

(17) = (13) / (11) / [1 + (16)]

(19) = (17) / (18)

答: 该组二灰碎石压实度为 98%, 符合要求。

四、标准击实

1. 概念

所谓标准击实试验其目的是求得土样的最大干密度和最佳含水量。最大干密度表示在一定击实功下某土样所能达到的干密度最大值, 而达到最大干密度所对应的含水量即为某土样的最佳含水量。

标准击实分轻型和重型两种, 单位体积击实功分别为: 轻型— $592.2\text{kJ}/\text{m}^3$; 重型— $2684.9\text{kJ}/\text{m}^3$ 。轻型击实适用于粒径小于 5mm 的黏性土, 重型击实适用于粒径不大于 20mm 的土, 当采用三层击实时, 最大粒径不大于 40mm 。

2. 检测依据

《土工试验方法标准》GB/T 50123—1999

3. 仪器设备及环境

(1) 仪器设备

①标准击实仪: 重型、轻型, 由击实筒、击锤和导筒组成。其技术条件见表 5-4, 简图见

图 5-3。

标准击实仪技术条件							表 5-4
试验方法	锤底直径 (mm)	锤质量 (kg)	落 高 (mm)	击 实 筒			护筒高度 (mm)
				内径 (mm)	筒高 (mm)	容积 (cm ³)	
轻 型	51	2.5	305	102	116	947.4	50
重 型	51	4.5	457	152	116	2103.9	50

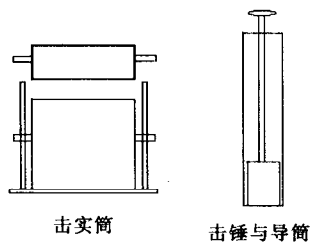


图 5-3 击实仪简图

- ②脱模器。
- ③烘箱：室温 ~ 300℃，精度 2℃。
- ④天平：感量 0.01g。
- ⑤台秤：10kg，感量 5g。
- ⑥其他：喷水设备、盘、铲、量筒、铝盒、修土刀等。

(2) 环境
在室内常温条件下进行。

4. 取样及制备要求

(1) 干土法（土样重复使用）

取有代表性的风干或 50℃ 下烘干试样，碾碎，过筛，用四分法取样，大筒 6.5kg，小筒 3kg。估计土样现有含水量，适量加水至五级含水量中最低一级含水量，充分拌合，闷料一夜备用。

(2) 干土法（土样不重复使用）

用四分法取 5 个样，按 2% ~ 3% 含水量间隔分别加入不同量的水，充分拌合，闷料一夜备用。

(3) 湿土法（土样不重复使用）

对于高含水量土，不用过筛，拣去大于 38mm 粗石子即可。以天然含水量土样作为第一个土样，可直接用于击实。其余几个试样分别风干，使含水量按 2% ~ 3% 递减。

5. 操作步骤

(1) 将准备好的一份试样分 3 ~ 5 次加入装好套模的击实筒内，使每一层击实后的试样层高略高于筒高的 1/3 或 1/5。每一层按规定次数击实后，应拉毛该层表面，再加入下一层料进行下一层击实。击实结束后，试样应高出筒顶 2 ~ 5mm。

- 轻型击实 分三层，每层击实 25 次；
- 重型击实 分五层，每层击实 56 次；
或分三层，每层击实 94 次。

(2) 脱去套筒，用修土刀齐筒顶仔细削平试样表面，拆除底板，擦净筒外壁，称量 m_1 ，精确到 1g。

(3) 用脱模器脱出筒内试样，从试样中心处取样测其含水量。素土一般取 20 ~ 30g 两份，其他试样按最大粒径的大小，适当增加取样数量，取一份。

也可整个试样全部烘干来测其含水量。

称量 100g 以内精确到 0.01g，称量 100g 以上精确到 0.1g，称量 1000g 以上精确到 1g。含水量精确到 0.1%。

(4) 按上述步骤击实其他几个试样。

6. 数据处理与结果判定

(1) 计算

湿密度 $\rho = (m_1 - m_0)/v$ (5-27)

式中 m_0 ——击实筒重；
 v ——体积。

干密度 $\rho_d = \rho / (1 + w)$ (5-28)

(2) 确定最大干密度和最佳含水量

以干密度为纵坐标，含水量为横坐标，绘制干密度与含水量的关系曲线，曲线上峰值的纵、横坐标分别为该试样的最大干密度和最佳含水量。

对于标准击实，GB/T 50123—1999 与 JTJ 051—93 的主要区别在于击实仪尺寸及击实功稍有不同。

7. 例题

某一组素土重型击实试验数据如下，击实筒体积为 997g/cm³，试计算确定最大干密度和最佳含水量。

序 号	试 件 湿土重 (g)	小试样 湿土重 (g)	小试样 干土重 (g)	小试样 含水量 (%)	平均含水量 (%)	试件干重 (g)	试件干密度 (g/cm ³)
1	1885	25.87	23.50	10.09	9.9	1715	1.72
		24.45	22.28	9.74			
2	2025	24.85	22.27	11.58	11.7	1813	1.82
		25.94	23.20	11.81			
3	2105	25.49	22.46	13.49	13.6	1853	1.86
		26.32	23.15	13.69			
4	2110	24.69	21.35	15.64	15.5	1827	1.83
		25.28	21.91	15.38			
5	2030	25.4	21.57	17.76	17.8	1723	1.73
		26.27	22.29	17.86			

解：(1) 含水量 = (小试样湿土重 - 小试样干土重) / 小试样干土重

(2) 平均含水量 = 同组两个含水量之和/2

(3) 试件干重 = 试件湿土重 / (1 + 平均含水量)

(4) 试件干密度 = 试件干重 / 击实筒体积

(5) 根据上表计算结果确定：

最大干密度为 1.86g/cm³

最佳含水量为 13.6%

答：该组素土的最大干密度为 1.86g/cm³；最佳含水量为 13.6%。

五、界限含水率试验（液塑限联合测定法）

1. 概念

界限含水率试验的目的是测定土样的液限和塑限，塑限是土样从固体颗粒不可塑状态变为塑性状态的含水率界限，而液限则是土样从塑性状态变为液性状态的含水率界限。本方法适用于粒径小于 0.5mm 以及有机质含量不大于 5% 的土。

2. 检测依据

《土工试验方法标准》GB/T 50123—1999

3. 仪器设备及环境

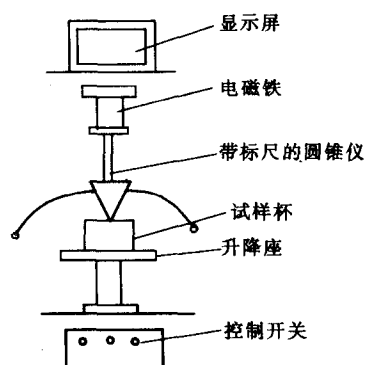


图 5-4 液塑限联合测定仪

(1) 仪器设备:

①液塑限联合测定仪 (见图 5-4): 包括带标尺的圆锥仪、电磁铁、显示屏、控制开关和试样杯。圆锥质量为 76g, 锥角为 30°; 读数显示宜采用光电式、游标式和百分表式; 试样杯内径为 40mm, 高度为 30mm。

②天平: 量程 200g, 最小分度值 0.01g。

(2) 环境: 在室内常温下进行

4. 取样及制备要求

(1) 本试验宜采用天然含水率试样, 当土样不均匀时, 采用风干试样, 当试样中含有粒径大于 0.5mm 的土粒和杂质时, 应过 0.5mm 筛。

(2) 采用天然含水率试样时, 取代表性土样 250g; 采用风干试样时, 取 0.5mm 筛下的代表性土样 200g; 将试样放在橡皮板上用纯水将土样调成均匀膏状, 放入调土皿, 浸润过夜。

5. 操作步骤

(1) 将制备的试样充分调拌均匀, 填入试样杯中, 填样时不应留有空隙, 对较干的试样, 应充分搓揉, 密实地填入试样杯中, 填满后刮平表面。

(2) 将试样杯放在联合测定仪的升降台上, 在圆锥上抹一薄层凡士林, 接通电源, 使电磁铁吸住圆锥。

(3) 调节零点, 将屏幕上的标尺调到零位, 调整升降座, 使圆锥尖接触试样表面, 指示灯亮时圆锥在自重下沉入试样, 经 5 秒后测读下沉深度 (显示在屏幕上), 取出试样杯, 挖去锥尖入土处的凡士林, 取锥体附近的试样不少于 10g, 放入铝盒内, 测定其含水率。

(4) 将试样再加水或吹干并调匀, 重复 (3) ~ (5) 步骤测定第二点、第三点试样的圆锥下沉深度及相应的含水率。液、塑限联合测定应不少于 3 点。三点入土深度宜控制在 3~4mm、7~9mm、15~17mm 左右。

6. 数据处理与结果判定

(1) 以含水率的对数为横坐标, 圆锥入土深度的对数为纵坐标绘制关系曲线 (见图 5-5)。三点应在一直线上如图中 A。当三点不在一条直线上时, 通过高含水率的点分别与其余两点连成两条直线, 在入土深度为 2mm 处查得 2 个含水率, 当这两个含水率的差值小于 2% 时, 应以其平均值与高含水率点再连一条直线作为结果如图中 B; 当这两个含水率的差值 $\geq 2\%$ 时, 应重做试验。

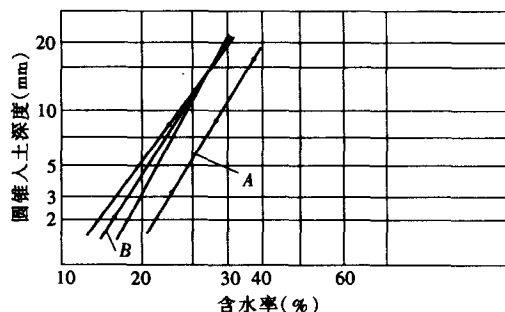


图 5-5 含水率与圆锥入土深度对数关系图

(2) 在含水率与圆锥入土深度对数关系图上查得入土深度为 17mm 所对应的含水率为液限 W_L , 查得入土深度为 10mm 所对应的含水率为 10mm 液限, 查得入土深度为 2mm 所对应的含水率为塑限 W_p , 取值以百分数表示, 准确至 0.1%。

(3) 塑性指数应按下式计算:

$$I_p = W_L - W_p \quad (5-29)$$

(4) 液性指数应按下式计算:

$$I_L = (W_0 - W_p) / I_p \quad (5-30)$$

式中 W_0 ——某一土样的含水率。