

筑路材料试验

湖南公路学会道路专业委员会 编

筑路材料试验

湖南公路学会道路专业委员会

内 容 提 要

本书介绍道路中常用各种建筑材料的试验方法，内容包括土工试验，砂石材料、石灰、水泥、混凝土及砂浆、沥青材料、沥青混合料的试验方法，所需仪器设备及记录表式等。

前 言

为了满足道路工程技术人员的需要，加强业务培训工作，我们组织编写了《筑路材料试验》这本书。全书分土工试验，砂石材料试验，石灰、水泥、混凝土及砂浆试验，沥青及沥青混合料试验等四章。对于各种建筑材料的试验方法、所需仪器设备以及记录表式等均作了较为详尽的介绍。本书可供交通部门作为培训道路工程技术人员的教材，也可作为大专院校有关专业的教学参考书。

书中所列规定如与现行国家标准或部颁规程有抵触者，应以国家标准或技术规程为准。

本书系由本会约请湖南省交通科学研究所习应祥、徐先海收集资料并整理编写，西安公路学院陶家朴审阅定稿。

由于我们技术水平不高，排印时间仓促，错误和缺点在所难免，希望读者批评指正，意见送寄湖南公路学会道路专业委员会。

湖南公路学会道路专业委员会

1982年8月

目 录

第一章 土工试验	1
第一节 土样和试样制备	1
第二节 含水量试验	6
烘干法	6
酒精燃烧法	7
比重法	8
炒干法	9
第三节 容重试验	9
环刀法	9
蜡封法	11
灌砂法	12
〔附〕量砂制备方法及其容重校验	15
第四节 比重试验	17
比重瓶法	17
虹吸筒法	19
〔附〕比重瓶校正	21
第五节 颗粒大小分析试验	24
筛析法	24
比重计法	28
〔附〕比重计校正	33
第六节 液限试验	40
第七节 塑限试验	41
〔附〕液限塑限联合试验方法	42
第八节 天然稠度试验	46
第九节 缩限试验	48
第十节 膨胀试验	50
第十一节 毛管水上升高度试验	52
直接观测法	52
土样管法	54
第十二节 渗透试验	55
土样管法	55
南55型渗透仪试验法	59
第十三节 压缩试验	62
第十四节 无侧限抗压强度试验	69

第二章 砂石材料试验	72
第一节 石料(原石)试验	72
石料比重、容重和孔隙率试验.....	73
石料吸水率和饱水率试验.....	76
石料耐冻性和坚固性试验.....	79
石料抗压强度试验.....	82
第二节 粗集料试验	83
粗集料视比重、容重和空隙率试验.....	84
粗集料含水率和饱和面干吸水率试验.....	87
粗集料筛析试验.....	89
粗集料针状和片状含量试验.....	90
粗集料磨耗试验.....	92
第三节 细集料试验	94
细集料视比重、容重和空隙率试验.....	94
细集料含水率和饱和面干吸水率试验.....	97
细集料筛析试验.....	99
细集料尘屑、淤泥和粘土总含量试验.....	100
细集料有机物质含量试验.....	102
细集料云母含量试验.....	103
第四节 矿粉试验	104
矿粉颗粒组成试验(水洗法).....	104
矿粉容重试验.....	105
矿粉空隙率试验.....	106
矿粉亲水系数试验.....	106
第三章 石灰、水泥、混凝土及砂浆试验	108
第一节 石灰试验	108
石灰的未消解颗粒含量试验.....	108
石灰的活性氧化钙和氧化镁的含量试验.....	109
〔附〕 盐酸浓度标定.....	110
活性氧化钙和氧化镁简易试验方法.....	111
第二节 水泥试验方法	112
水泥细度试验.....	112
水泥标准稠度用水量、凝结时间和安定性试验.....	114
水泥胶砂强度检验方法.....	117
水泥胶砂强度简易检验方法.....	121
第三节 水泥混凝土的拌制和物理性能试验	123
水泥混凝土混合料的试验室拌制方法.....	123
坍落度试验.....	124
水泥混凝土混合料工作度试验.....	125
〔附〕 混凝土混合料工作度简易试验.....	127

试件成型与养护方法	128
第四节 水泥混凝土力学试验	128
水泥混凝土抗压强度试验	128
水泥混凝土轴心抗压强度试验	130
水泥混凝土静力抗压弹性模量试验	131
水泥混凝土抗折强度试验	134
混凝土抗拉强度试验 (用劈裂法测定)	135
混凝土抗渗性试验	137
混凝土抗冻性试验	139
第五节 建筑砂浆试验	141
建筑砂浆稠度试验	142
建筑砂浆分层度试验	142
建筑砂浆抗压强度试验	143
第四章 沥青及沥青混合料试验	145
第一节 沥青材料的取样和制样方法	145
第二节 石油沥青及煤沥青试验方法	146
沥青针入度试验	146
沥青软化点试验 (环球法)	148
沥青延度试验	150
沥青粘滞度试验	152
沥青加热损失试验	154
沥青比重试验	155
沥青闪点及燃点试验 (开口杯法)	157
沥青含水量试验	159
液体石油沥青蒸馏试验	161
溶解度或游离炭含量试验	163
软煤沥青分馏试验	165
软煤沥青酚含量试验	168
软煤沥青萘含量试验	170
沥青含蜡量试验	171
沥青化学组分试验	173
沥青脆点试验	180
沥青薄膜烘箱试验	182
沥青粘附性试验 (水煮法)	183
〔附〕 静态浸水染色分析法	185
第三节 乳化沥青试验方法	188
沥青乳液筛上残留物试验	188
沥青乳液电荷试验	189
沥青乳液的 pH 值测定	190
沥青乳液分散均匀性试验	190

沥青乳液粘度试验.....	191
沥青乳液的附着度试验.....	192
沥青乳液贮存稳定度试验.....	193
沥青乳液拌和稳定度试验.....	194
沥青乳液水泥拌和性试验.....	195
沥青乳液蒸发残留量试验.....	196
沥青乳液蒸发残留物性能试验.....	197
沥青乳液冻融稳定性试验.....	197
第四节 沥青混合料试验.....	199
沥青混合料试件制备方法.....	199
沥青混合料的容重和剩余孔隙率试验.....	202
沥青混合料的饱水率和膨胀率试验.....	203
沥青混合料抗压强度试验.....	205
马歇尔稳定度试验.....	206
沥青混合料三轴试验.....	211
沥青混合料组成分析试验.....	215
〔附〕 沥青混合料工地快速分析法.....	218
参考文献.....	220

第一章 土工试验

第一节 土样和试样制备

土样在试验前必须经过制备程序,包括土的风干、碾散、过筛、匀土、分样和贮存等预备程序以及制备试样程序。

土样制备程序视需要的试验而异。故在土样制备前应拟定土工试验计划。

对密封的原状土样除小心搬运和妥善存放外,在试验前不应开封。试验前如需进行土样鉴别和分类而必须开封时,则在检查后应迅速妥善封好贮藏,尽量使土样少受扰动。

扰动土试样的制备,视工程实际情况,分别按击实试验规程中的标准击实方法制样。对中小型填方工程,可按击样法或压样法进行。

试样饱和方法,视土的性质可选用浸水饱和法、毛管饱和法及真空抽气饱和法。

一、仪器设备

土样制备需用下列仪器设备:

- 1.细筛:孔径5、2、0.5毫米。
- 2.洗筛:孔径0.1或0.074毫米。
- 3.台秤:称量10~40公斤。
- 4.天平:称量1000克,感量0.1克;称量200克,感量0.01克。
- 5.碎土机:磨土机。
- 6.击实器:包括活塞、导筒和环刀。
- 7.抽气机(附真空测压表)。
- 8.饱和器(附金属或塑料的真空缸)。
- 9.其他:烘箱、干燥器、保土器、研钵、木锤、木研、橡皮板、玻璃瓶、玻璃缸、修土刀、钢丝锯、凡士林、土样标签以及其他盛土器等。

二、扰动土样预备程序

1.对扰动土样进行土样描述,如颜色、土类、气味及杂物等。如有需要,将扰动土样充分拌匀,取代表性土样进行含水量测定。

2.将块状扰动土放在橡皮板上,用木碾或碎土机碾散(切勿压碎颗粒)。如含水量较大,则需先行风干。

3.根据试验所需土样数量,将碾碎后的土样过筛。物理性试验土样(如液限、塑限、缩限等试验),需过0.5毫米筛;水性及力学性试验土样,需过2毫米筛;击实试验土样,需过5毫米筛。土样过筛后,用四分对角取样法取出足够数量的代表性土样,分别装入玻璃缸内,标以标签①,以备进行各项试验之用。对风干土,需测定风干含水量。若含有多量粗砂

① 标签应注明工程名称、土样编号、过筛孔径、用途、制备日期和人员等。

及少量细粒土（如泥砂或粘土）的松散土样，应加水润湿，待松散后，用四分对角取样法取出代表性土样。如系净砂，则可用匀土器取代表性土样。

4. 为配制一定含水量的土样，取过 2 毫米筛的足够试验用的风干土 1~5 公斤，按公式（见本方法计算部分之 2）计算所需的加水量，将土样平铺在不吸水的盘内，用喷雾器喷洒预计的加水量，并充分拌和，然后装入玻璃缸内并盖紧，润湿一昼夜备用（砂性土浸润时间可酌量减少）。

5. 测定湿润土样不同位置的含水量（至少两个以上），要求差值不大于 $\pm 1\%$ 。

6. 对不同土层的土样制备混合土样时，应根据各土层厚度，按比例计算相应的重量配合。然后按第 2 至 4 条进行扰动土的制备工作。

7. 对砂及砂砾土，按第 3 条的四分法或用分砂器预备土样，然后取代表性的足够试验用的土样做颗粒大小分析用，其余过 5 毫米筛。筛上筛下土样分别贮存，供作比重及最大最小孔隙比等试验用。取一部分过 2 毫米筛的土样作力学性试验用。

三、砾石土样的预备程序

1. 无凝聚性的松散砂土、砂砾、粉砾及砾石的制备方法同上述 7 条步骤。

2. 如砂砾土有部分粘土粘附在砾石上，可用毛刷仔细刷尽并捏碎过筛，或先用水浸泡，将浸泡过的土样在 2 毫米筛上冲洗，取筛上及筛下代表性的土样作颗粒大小分析用。

3. 将冲洗下来的土浆风干至易碾散为止，再按前述第 2 至第 4 条步骤进行操作。

四、扰动土试样的制备

试样制备的数量视试验需要而定，一般应多做 1~2 个备用，平行试验或一组内的试验容重、含水量与制备标准之差值，应分别在 ± 0.1 克/厘米³ 或 $\pm 2\%$ 范围之内。本试验称量均准确至 0.1 克。

（一）击实法

1. 根据试样所要求的干容重、含水量，按本方法“计算”中第 1 条和第 2 条计算的结果，制备湿土样，并称取制备好的湿土重，准确至 0.1 克。

2. 将湿土全部倒入试筒，击实至原定高度，用推土器将试件推出。

3. 将试验用的切土环刀内壁涂一层凡士林，刃口向下，放在土样上。用切土刀将土样削成略大于环刀直径的土柱。然后将环刀垂直向下压，边压边削，至土样伸出环刀为止。削去两端余土并修平，擦净环刀外壁，称环土总重，并测定环刀两端削下土样的含水量●。

（二）击样法

1. 根据环刀的容积及所要求的干容重，按本方法“计算”中第 1 条和第 2 条计算的结果，制备湿土样。

2. 将湿土倒入预先装好环刀、并固定在底板上的击实器内，用击实方法将土击入环刀内。

3. 取出环刀，称取环、土重量。

（三）压样法

1. 按“击样法”第 1 条称出所需的湿土重。将湿土倒入预先装好环刀的压样器内，拂平土样表面，以静压力将土压至一定高度，用推土器将土样推出。

● 试样制备，应在保湿间内进行，否则应尽量迅速操作。

2.按“击实法”第2条和第3条的规定进行操作。

五、原状土试样制备

1.小心开启原状土包装皮,辨别土样上下和层次,整平土样两端。无特殊要求时,切土方向与天然层次垂直。

2.按“击实法”第8条的操作步骤,切取试样。试样与环刀要密合,同一组试样的容重的差值不宜大于0.1克/厘米³,含水量差值不大于2%。

3.切削过程中,应细心观察试样的情况,并描述它的层次、气味、颜色、有无杂质、土质是否均匀及有无裂缝等。

4.切取试样后剩余的原状土样,应用蜡纸包好并置于保湿器内,以备补作试验之用,切削的余土作物理性试验。

5.视试样本身及工程要求,决定土样是否进行饱和。如不立即进行试验或饱和时,则将试样暂存于保湿器内。

六、试样饱和

1.土的孔隙逐渐被水填充的过程称为饱和。当孔隙被水充满时的土,称为饱和土。

2.根据土的性质,选定饱和方法。

1)砂土:可直接在仪器内浸水饱和。

2)较易透水的粘性土,渗透系数大于 10^{-4} 厘米/秒时,采用毛细管饱和法较为方便。

3)不易透水的粘性土:渗透系数小于 10^{-4} 厘米/秒时,采用真空饱和法;如土的结构性较弱,抽气可能发生扰动者,不宜采用。

(一)毛细管饱和法操作步骤

1.如用重叠式饱和器(图1-1之a),则在下板正中放置稍大于环刀直径的透水石和过滤纸,将装有试样的环刀放在滤纸上,试样上面再放一张滤纸和一块透水石。按这样的顺序重复,由下向上,重叠至适当的高度,将饱和器上板放在最上部的透水石上,旋紧拉杆上端螺丝,将各个环刀在上下板间夹紧。

2.如用框式饱和器(图1-1之b),则在装有试样的环刀两面贴放滤纸,再放两块大于环刀的透水石于滤纸上,通过框架两端的螺丝将透水石、环刀夹紧。

3.将装好试样的饱和器放入水箱中,注清水入箱,水面不宜将试样淹没,使土中气体得

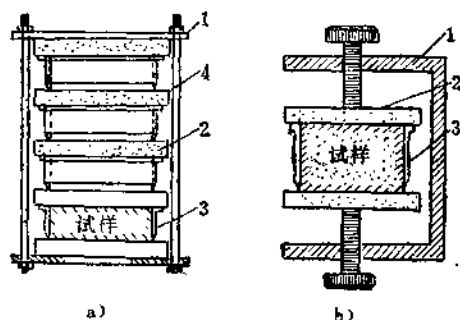


图1-1 饱和器

a)重叠式饱和器; b)框式饱和器

1-夹板, 2-透水石, 3-环刀, 4-拉杆

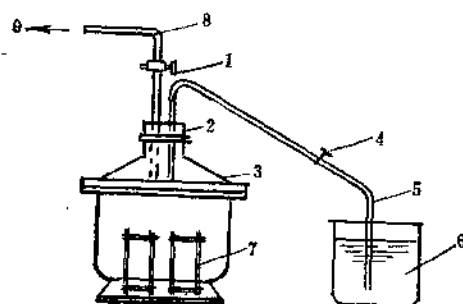


图1-2 真空饱和器装置

1-三通阀; 2-橡皮塞; 3-真空缸; 4-管夹; 5-引水管; 6-水缸; 7-饱和器; 8-排气管; 9-接抽气机

以排出。关上箱盖，防止水分蒸发，借土的毛细管作用，使试样饱和，一般约需3天。

4. 取出饱和器，松开螺丝，取出环刀，擦干外壁，吸去表面积水，取下试样上下滤纸，称环、土总重，准确至0.1克，按本方法“计算”之第5条计算饱和度。如果饱和度小于95%，将环刀装入饱和器，浸入水内重新延长饱和。

(二) 真空饱和法

1. 本试验按“毛管饱和法”之第1条和第2条，将试样装入饱和器。

2. 将装好试样的饱和器放入真空缸内（图1-2），盖口应涂一薄层凡士林，以防漏气。

3. 关管夹，开二通，将抽气机与真空缸接通。开动抽气机，抽除缸内及土中的气体。当真空压力表达达到当地一个大气压力值后，稍微开启管夹，使清水由引水管徐徐注入真空缸内。在注水过程中，应调节管夹，使真空压力表上的数值基本上保持不变。

4. 待饱和器完全淹没于水中后，即停止抽气。将引水管自水缸中提出，开管夹，使空气进入真空缸内，待静一定时间，借大气压力使试样饱和。

本试验按“毛管饱和法”之第4条取出试样，称重和计算饱和度。

七、计 算

1. 按下式计算干土重：

$$G_s = \frac{g_s}{1 + 0.01 W_o}$$

式中： G_s ——干土重，克；

g_s ——风干土重（或天然湿土重），克；

W_o ——风干土含水量（或天然含水量），%。

2. 按下式计算土样制备含水量所加水重：

$$g_w = \frac{g_s}{1 + 0.01 W_o} \times 0.01 (W' - W_o)$$

式中： g_w ——土样所需加水重，克；

g_s ——风干含水量时的土样重量，克；

W_o ——风干土含水量，%；

W' ——土样所要求的含水量，%。

3. 按下式计算制备扰动土样所需总土重：

$$G = (1 + 0.01 W_o) \gamma_d V$$

式中： G ——制备试样所需总土量，克；

γ_d ——制备试样所要求的干容重，克/厘米³；

V ——计算出击实土样体积或压样器所用环刀容积，厘米³；

W_o ——风干土含水量，%。

4. 按下式计算制备扰动土样应增加的水量：

$$\Delta g_w = 0.01 (W' - W_o) \gamma_d V$$

式中： Δg_w ——制备扰动土样应增加的水量，厘米³；

其余符号同前。

5. 按下式计算饱和度：

扰动土试样制备记录

表 1-1

[illegible]

原为土乐土歌

表 1-2

[illegible]

记录者:

$$S_v = \frac{(\gamma - \gamma_d)\Delta_s}{e\gamma_d} \quad \text{或} \quad S_v = \frac{W\Delta_s}{e}$$

式中: S_v ——饱和度, %;
 γ ——饱和后的容重, 克/厘米³;
 γ_d ——土的干容重, 克/厘米³;
 e ——土的孔隙比;
 Δ_s ——土粒比重;
 W ——饱和后的含水量, %。

八、记 录

扰动土试样制备和原状土开工记录格式如表1-1和表1-2所示。

第二节 含水量试验

烘 干 法

一、仪 器 设 备

1. 烘箱: 可采用电热烘箱, 保持温度100°~105°C, 也可采用红外线烘箱。
2. 天平: 称量500克, 感量0.01克。
3. 其他: 干燥器、固定重量的称量盒及与盒重相等的特定砝码等。

二、操 作 步 骤

1. 选取具有代表性的试样15~20克(砂土应多取), 放入称量盒内^①, 立即盖好盒盖, 称重。称重时, 可在天平一端放上与盒重相等的砝码, 这样称量的结果即为湿土重。
2. 揭开盒盖, 放入烘箱, 在温度100°~105°C下烘至恒重^②。为加速水分的挥发, 以减少烘焙时间, 在放入烘箱前, 可加酒精于土样中, 至全部浸润为止。
3. 将烘干后的试样取出, 冷却后称重, 放入干燥器内冷却(盖好盒盖)。称重时, 同样在天平一端放上与盒重相等的砝码, 称重结果即为干土重。
4. 按下式计算含水量:

$$W = \left(\frac{g}{g_s} - 1 \right) \cdot 100$$

式中: W ——含水量, %;
 g ——湿土重, 克;
 g_s ——干土重, 克。

计算到0.1%。

5. 本试验需进行二次平行测定, 取其算术平均值, 以整数表示。如系风干土, 以一位小数(%)表示。其平行差值视含水量高低而不同, 但不得大于下列规定:

① 称量盒的重量应每3~6个月校正一次。

② 烘到恒重的时间因土的性质及土重不同而异, 各地可根据比较试验决定。一般在土重为15~30克时, 砂土约需1~2小时, 粉土及粘质粉土约需6~8小时, 粘土约需10小时。风干土及含水量低的土可缩短烘焙时间。红外线烘箱因热源特点, 亦应较其他烘箱的烘焙时间为短。块状的及水分不易挥发的土, 应适当延长烘焙时间。

含水量 (%)

允许平行差值 (%)

5 以下

0.3

10 以下

1.0

40 以上

2.0

三、记 录

含水量试验

表1-3

工程编号: _____		钻孔编号: _____		试验日期: ____年____月____日	
试验者: _____		计算者: _____		校核者: _____	
试验方法: _____		土样类别: _____			

土样 编号	土样 说明	盒号	盒重 (克)	盒湿土重 (克)	盒干土重 (克)	湿土重 (克)	干土重 (克)	含水量 (%)	平均 (%)

酒精燃烧法

一、仪器及试剂

- 1.称量盒: 盒重固定, 并附盒重特定砝码。
- 2.天平: 称量 500 克, 感量 0.01 克。
- 3.酒精: 浓度 96% 以上。
- 4.其他: 滴管、火柴、调土刀等。

二、操作步骤

- 1.选取有代表性的试样若干克 (粘性土 3~5 克), 放入称量盒内, 按烘干法操作步骤称湿土重。
- 2.揭开盒盖, 用滴管将酒精滴入试样, 到土面出现自由液面时为止。为使酒精充分浸透试样, 混合均匀, 可将盒底在桌面上轻轻敲击。
- 3.点燃盒中酒精, 烧到火焰熄灭。
- 4.将试样冷却数分钟, 按上述两步骤再重复燃烧两次 (砂土重复试验一次)。当第三次火焰熄灭后, 盖好盒盖, 立即称重, 准确到 0.01 克。
- 5.按烘干法计算含水量。
- 6.本试验需进行二次平行测定, 取其算术平均值, 以整数 (%) 表示。记录格式与烘干法相同。

比 重 法

一、仪 器 设 备

- 1.玻璃瓶：容积 500 毫升以上。
- 2.天平：称量1000克，感量0.5克。
- 3.其他：漏斗、小勺、吸水球、玻璃片、土样盘与玻璃棒等。

二、操 作 步 骤

- 1.称取代表性砂性土样200~300克，放入土样盘。
- 2.向玻璃瓶中倒清水至容积三分之一左右。然后用漏斗将土样盘中的土样倒入瓶中，并用玻璃棒搅拌1~2分钟，直到含气完全排出为止。
- 3.向瓶中加入清水，至全部充满，静置一分钟后用吸水球吸去泡沫，再加清水，使其充满，盖上玻璃片，擦干瓶外壁，称重(g_1)。
- 4.倒去瓶中的混合液，洗净，再向瓶中加入满清水，盖上玻璃片，擦干外壁，称重(g_2)。
- 5.按下式计算含水量：

$$W = \left[\frac{g(\Delta - 1)}{\Delta(g_1 - g_2)} - 1 \right] \cdot 100, \%$$

式中： W——砂性土的含水量，%；

g——湿土重，克；

g_1 ——瓶、水、土、玻璃片合重，克；

g_2 ——瓶、水、玻璃片合重，克；

Δ ——砂性土的比重。

- 6.本试验称重准确至0.5克，计算至0.1%，并需进行二次平行测定，取其算术平均值，以整数(%)表示。

三、记 录

含水量试验记录

(比重法)

表1-4

工程编号：_____		土样说明：_____		试验日期：_____	
试验者：_____		计算者：_____		校核者：_____	
土样编号					
瓶 号					
湿 土 重 (g)	克				
瓶、水、土、玻璃片合重(g_1)	克				
瓶、清水、玻璃片合重(g_2)	克				
土样比重(Δ)					
含 水 量 (W) (%)					
平 均 值 (%)					

炒 干 法

一、仪 器 设 备

- 1.电炉或火炉。
- 2.金属盘：附与盘重相等的特定砝码。
- 3.台秤：称量5000克，感量1克。
- 4.天平：称量1000克，感量0.5克。
- 5.其他：铲、刀等。

二、操 作 步 骤

- 1.取具有代表性的试样，其数量按粒径范围规定如表1-5。

表1-5

粒 径 范 围 (毫米)	试 样 数 量 (克)	粒 径 范 围 (毫米)	试 样 数 量 (克)
5 以 下	500	40 以 下	3000
10 以 下	1000	40 以 上	3000以上
20 以 下	1500		

2.将试件放入金属盘内称重，称重时，在天平砝码一端放一与盘重相等的特定砝码，故称重结果为湿土重。

3.将金属盘放置于电炉或火炉上，将土炒干。在炒干过程中，随时翻拌试样，待试样表面完全干燥后继续炒数分钟。炒干时间与试样数量及炉温有关，一般约10分钟左右。

4.取下金属盘，按本试验第2条方法称干土重。

5.按烘干法计算含水量。

6.本试验称重应准确至0.5克（称重小于1000克）或1克（称重大于1000克，计算至0.1%），并需进行二次平行测定，取其算术平均值，以整数（%）表示。

7.本试验记录格式与烘干法的相同。

第三节 容 重 试 验

环 刀 法

一、仪 器 设 备

- 1.环刀：内径6~8厘米，高2~3厘米。
- 2.天平：称量500克，感量0.01克。
- 3.其他：修土刀、钢丝锯、凡士林等。

二、操 作 步 骤

- 1.按工程需要取原状土或配制所需状态的扰动土，整平其两端，将环刀内壁涂一薄层凡