

829

填土压实控制土壤 密度及水分方法

广州铁路管理局工程处編

人民铁道出版社

前 言

我局路堤填土常常沉陷，主要是由於打夯不好。打夯要達到什么样的标准，怎样做才能够达到这个标准，在學習了苏联先进經驗之后，領会到只有运用夯实最佳密度与最佳含水量相适应的理論才能用最少的劳动力做出密实的路基。在貫徹和运用上項理論中我們写出了一些資料。适合一般基層施工人員，掌握路基填土夯实参考之用。由於我們对理論認識得还很膚淺，錯誤在所难免，希望各兄弟單位加以指正。

广州铁路管理局工程处

(一) 土壤夯实的基本知識

1. 夯实要保証路基不沉落或極少沉落。

2. 黏土干燥时很难压碎，填土夯实后孔隙很多，水分容易浸入造成沉落。也就是說土壤內空气佔的成分多，土壤密度就小。

3. 土壤水分过多；打起夯来，夯的地方下沉，旁边凸起来，將來干了，引起收縮。这时候虽然土壤內空气都赶跑了，但是因为水分佔的成分大，土壤密度也小。

4. 密度，指一个立方公尺重多少吨。通常我們說一方土約重多少吨，是包含了土壤內土粒重和水分重，这叫湿密度。如果把这一方土水分除去，只剩下土粒重，就叫干密度。干密度就是平常所說的密度。

5. 含水量，指土壤內水分重佔于土重的百分数，例如：有一方土重1.8吨，其中水分佔0.3吨，干土粒佔1.5吨，我們就說湿密度等於1.8吨/立方公尺，干密度等於1.5吨/立方公尺，含水量等於20%。

6. 最佳密度和最佳含水量。填土夯实意味着把土壤中的空气逐渐赶出去，当土壤含水很少时，夯实就感到困难，不易將空气赶出；当土壤含水很多时，夯实容易將空气赶出，但因水分在夯好的土中佔的位置多，土壤的干密度还是不大。所以对某种土壤來說，必定有一个理想的含水量，只有在这个理想的含水量条件下，才能將土夯至相当好的密度。这样的密度叫做最佳密度，理想的含水量叫做最佳含水量。

7. 各种土壤有不同的最佳密度和不同的最佳含水量，一

序 言

从修筑铁路路基所应用的挖土机、推土机、吸泥船和其他机械的年度产量实际材料的研究，证明这些机械的年度生产率尚有大量潜力未被利用。

目前提高劳动生产率的基本源泉之一，就是要改善机械的时间利用率。

改善机械按日历计算的纯生产时间之利用，可以大大提高这些机械的年产量。

为了达到这个目的，必须极力设法最充分的利用每班的工作时间，必须在工作日内按2~3班的进行工作，并且要保证每年有最大数量的这种工作日。

我国的挖土机械具有极高的技术生产率。这些机械在有效工作的单位时间内，其生产率可以超过目前实施的标准定额两倍及两倍以上。

为了最大限度的利用机械的技术生产率，必须使机械保持良好的状态，在工作时不因消除故障、调整以及其他原因而引起工时的损失。

为了避免挖土机械由于在所谓“工班内的”窝工修理而引起的工时损失，必须严格遵守计划性预防性修理进度表的日期，认真地进行检修。在换班移交机械时，生产队必须对机械进行每日检查性检查和扣紧松动了的联接零件，而且还必须执行操作规程的一切规定，这都是使每台机械能够正常工作的必要条件。

在以最高的生产率进行工作时，为了不致引起机械零件

(2) 需要密度，用最佳密度乘 K （根据路基情况查表三）。

(3) 实际密度，用卡瓦列夫仪测定。

这是保证填土质量和节约劳动力最科学的方法。如水分合适，自可以节约夯实次数；如水分太多太少，设法找干土或洒水，因而避免了盲目工作。例如：在某处专用线一公里地段，填土规定需要密度为1.48吨/立方公尺，因为达不到要求，工人们想多打几遍，然而实际上这是解决不了问题的。因为填土含水量，经用卡瓦列夫仪测为30%，按照计算，这样水分把空气赶光了（残余5%）也只能将密度达到1.43吨/立方公尺，这段工作是劳而无功的。

2. 方法和步骤：

(1) 首先要知道土壤需要密度和最适用的含水量。

(2) 用卡瓦列夫仪测定填土土壤现有水分是否适用，太湿要另找干土或晒干，太干就必须洒水。

(3) 规定夯实工具、土层厚度和打夯次数，例如在某处专用线就地方条件规定如下：

工具：用现有八人台夯，夯重约150公斤，台高5公寸，夯底面积0.1平方公尺。

土层厚度：松土2公寸。

打夯遍数：一般夯三遍，第一遍一夯靠一夯；第二遍仍为一夯靠一夯，但必须压在第一遍相联的四个夯位中间；第三遍同第一遍。

如果经过工地试验，可以适当的减少夯实遍数。

(4) 夯后检查，用卡瓦列夫仪测定是否达到土壤需要密度，分析原因后改正或补足。

(5) 填写记录。在100平方公尺内，每夯实土方三层，

需檢驗一次，並將檢驗結果，做成記錄如表四。

說明：填土前必須把基底上的水分及污泥清除。例如：有些地方把含水量很好的土填上了，但基底原存有水，雖然水看起來很少，但這層松土吸收了它，就無法排出來，結果是浪費勞工。通常我們沒有注意到這是一個浪費，反而把排水和清除污泥所用的勞動力當作浪費來看待，是極端錯誤的。

(三) 常用參考表及計算公式

土壤分類表

表一

次序	名 稱	用手揉的感覺	干土強度	濕 土 狀 況	其 他
1	黏 土	甚細，難於 搓出粉末，指 甲在它表面摩 擦時光潤油滑	堅硬不 易被錘擊 破	潮濕時黏手， 可以搓成細條， 感覺很硬	用刀切割時 表面光滑無沙 粒
2	沙質黏土	在手上揉搓 時微覺有粒 或粉末	不太堅 硬，以錘 擊或手指 壓時易碎 裂	有塑性，可以 搓成細條，感覺 不太硬	用刀切割時 感覺有沙粒存 在
3	沙質壤土	感覺其中有 沙粒存在	以手指 輕壓或擲 於板上即 碎裂	搓成細條，用 手指一擲即散， 搓成球時表面有 裂縫，並不破碎	用刀切割時 表面粗糙
4	沙 土	感覺有沙粒	松的	濕度不大時有 黏着力，不能搓 成圓球	

計算公式：

(1) 含水量計算：應加水分 = 干土重 × 所差含水量%

例如：1,000公斤干土若增加含水量 2 % 應加水 = 1,000 ×

$$\times \frac{2}{100} = 20 \text{ 公斤}$$

(2) 密度和含水量換算：含水量 = $\frac{(\text{濕土重} - \text{干土重})}{\text{干土重}}$

土壤最佳密度和有关性質控制数字表

表二

次序	名 称	最 佳 密 度 (吨/立方公尺)	最佳含水量 (%)	土粒平均比重	空气残余量 (%)
1	黏 土	1.58—1.70	19—23	2.72	5
2	沙質黏土	1.65—1.95	12—21	2.70	4
3	沙質壤母	1.85—2.08	9—15	2.65	3
4	沙 土	1.80—1.88	8—12	2.65	3

各層土壤最佳压实系数表

表三

土層	甲种标准最佳压实系数K		乙种标准最佳压实系数K	
	說 明	K 值	說 明	K 值
上層	路面至路面以下1.2公尺範圍	0.95	路面至基面以下0.5公尺範圍	0.90
中層	路面以下1.2公尺至基面以下10公尺範圍，或路面以下1.2公尺至最高水位以上1.2公尺範圍	0.90	路面以下0.6公尺至基面以下10公尺範圍，或基面以下0.6公尺至最高水位以上1.2公尺範圍	0.85
下層	路面以下10公尺以下，求最高水位以上1.2公尺以下	0.95	路面以下10公尺以下範圍或最高水位以上1.2公尺以下範圍	0.90

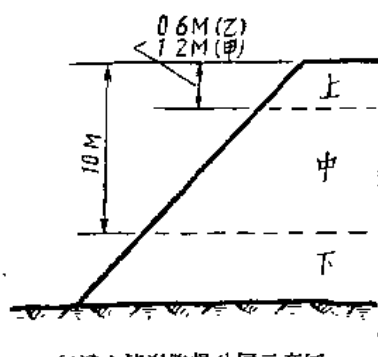
註：採用甲种或乙种K值应由各局就土壤性質事先決定。本局範圍粘土及砂質粘土較多，暫試用乙种K。

填土夯实檢驗記錄表

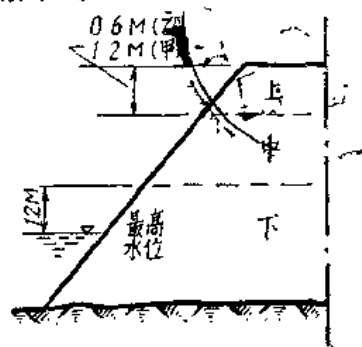
表四

取土地点	土壤名称	距离路面深度	最佳密度	最佳含水量	压实系数	需要密度	实 际			附 註
							湿密度	干密度	含水率	

用下列圖解可減少計算（如附圖）。



無浸水情況路堤分層示意圖



可能浸水情況路堤分層示意圖

空氣量最少時含水量與密度相應關係表

表五

土壤分類	涉及沙質		沙質黏土		黏土	
	比重 2.65	空氣量 3%	比重 2.70	空氣量 4%	比重 2.72	空氣量 5%
	含水量 (%)	干密度 (噸/立方公尺)	含水量 (%)	干密度 (噸/立方公尺)	含水量 (%)	干密度 (噸/立方公尺)
最佳含水量範圍	8	2.12	12	1.95	18	1.74
	9	2.08	13	1.92	19	1.71
	10	2.03	14	1.88	20	1.68
	11	1.99	15	1.85	21	1.65
	12	1.95	16	1.82	22	1.62
	13	1.92	17	1.78	23	1.60
	14	1.88	18	1.74	24	1.57
	15	1.84	19	1.72		
一般參考用圖	16	1.80	22	1.63	25	1.54
	17	1.77	23	1.60	26	1.52
	18	1.74	24	1.58	27	1.50
					28	1.48

$$(3) \text{ 水分与密度的关系: 密度} = \frac{\text{土粒比重}(1 - \text{空气残余量})}{1 + \text{含水量} \times \text{土粒比重}}。 (\text{如表五})$$

(四) 例 題

(1) 在某土丘取土，用卡瓦列夫仪测得湿密度 = 1.92 吨/平方公尺，干密度 = 1.60 吨/平方公尺，求含水量。

$$\begin{aligned} \text{計算: } \quad \text{水分重} &= \text{湿土重} - \text{干土重} \\ &= 1.92 - 1.60 \\ &= 0.32 \text{ 吨} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{含水量} &= \frac{\text{水分重}}{\text{干土重}} \times 100\% \\ &= \frac{0.32}{1.60} \times 100\% \\ &= 20\% \end{aligned}$$

(2) 有湿土一堆，重 3,000 公斤，用卡瓦列夫仪测得其湿密度 = 1.69 吨/平方公尺，干密度 = 1.39 吨/平方公尺，求算干土重。

$$\text{計算: } \quad 3000 \div 1.69 \times 1.39 = 2,460 \text{ 公斤}$$

(3) 有湿土一堆，估計重量为 1.82 吨。已知含水量 18%，求算干土重。

$$\text{計算: } \quad 1.82 \div (1 + 0.18) = 1.54 \text{ 吨}$$

(4) 某段填方高 6 公尺，环境良好，終年不浸水，填土土層为沙質粘土層，最佳密度为 1.70 吨/平方公尺，採用乙种最佳压实系数求需要密度。

$$\begin{aligned} \text{計算: } \quad \text{路堤面下 1.2 公尺以上部分} \quad & 0.9 \times 1.70 = 1.53 \\ & \text{吨/立方公尺} \end{aligned}$$

$$\text{路堤面 1.2 公尺以下部分} \quad 0.85 \times 1.70 = 1.45 \text{ 吨/立方公尺}$$

(5) 上題假設在夏季有一公尺浸在水里，求算需要密度。

計算：路堤面下1.2公尺以上部分仍為1.53噸/立方公尺
路堤面下3.8公尺以上1.2公尺以下部分為1.45噸/立方公尺
路堤面下3.8公尺以下部分為1.53噸/立方公尺

(6) 根據野外鑑定，某種土為粘土，試估算其比重、最佳含水量、最佳密度及最佳密度時允許的空氣含量。

查表二：最佳密度 = 1.58 - 1.70

最佳含水量 = 19 - 23%

比重 = 2.72

空氣殘余量 = 5%

(7) 上題所說的土壤，用來填筑路基，規定需要密度為1.52噸/立方公尺，估算施工時最多允許多少含水量？

查表五：與1.52相應的含水量為26%

(8) 粘土之天然含水量為28%，試驗比重為2.72，需要密度為1.53，試計算用此土填筑路堤，能否達到夯實目的？

查表五：與28%相應的密度為1.48，因為 $1.48 < 1.53$ ，所以說土太濕了。如果這樣填下去是不会有好結果的。

(9) 天然土含水16%，已知最佳含水量18%，在1噸濕土上該加多少水？

計算：干土重 = $1,000 \div (1 + 0.16\%) = 861$ 公斤

加水量 = $861 \times 2\% = 17.2$ 公斤

(10) 填土時從甲地取土水分為10%，從乙地取土水分為25%，設最佳含水量為20%，應如何將兩種土攪合？

計算：甲地取土水分少10%，乙地取土水分多5%，如從乙地取土兩分所多水分剛好彌補從甲地取土一分所多水分，所以担土時從甲地担一担，即需從乙地担兩担。

(五) 卡瓦列夫仪 (見附录一)

1. 仪器的作用:

(1) 測定干密度, (2) 測定湿密度, (3) 推算含水量。有了这个简单的仪器, 一般填土施工控制密度問題就可以解决了。

2. 使用时应注意各点:

(1) 仪器使用前必須校正。

(2) 最长的标尺是湿密度各种土都用它。

(3) 讀干密度时, 要选择标尺。

(4) 土放在浮筒內所測者为湿密度; 土在浮筒外, 在吊桶中浸水所測得者为干密度。

(5) 浮筒与吊桶中間如果存有空气, 讀数就不准确, 掛吊桶浸水时, 最好斜着放进去, 使气泡浮出来。

(6) 粘土放在吊桶中加水后, 要等浸透, 再將气泡攪出来, 否則土成了团狀不好散开来。

(7) 用环刀取土, 需先修土柱以免把土挤紧, 造成偏差。

(8) 压环刀时, 小心不要使环刀托填滿致压紧土壤。

(9) 仪器用过相当次数之后, 要找試驗室鑑定, 以免錯誤。

(10) 用环刀取土时要垂直, 用刀削土时面要平。

(11) 浮筒或吊桶使用时, 小心不要从地上粘着泥污, 否則影响讀数。

(六) 討論題

(1) 目前我們填土夯實，在保證質量上，存在哪些缺點？怎樣來改正？

(2) 在水田中填筑前為什麼一定要把水放干，把淤泥挖清？

(3) 為什麼說推行密度控制質量是最可靠與最先進的辦法？在這裡實行有什麼困難？能否克服？

(4) 怎樣改善勞動組織與操作方法來提高工作效率？

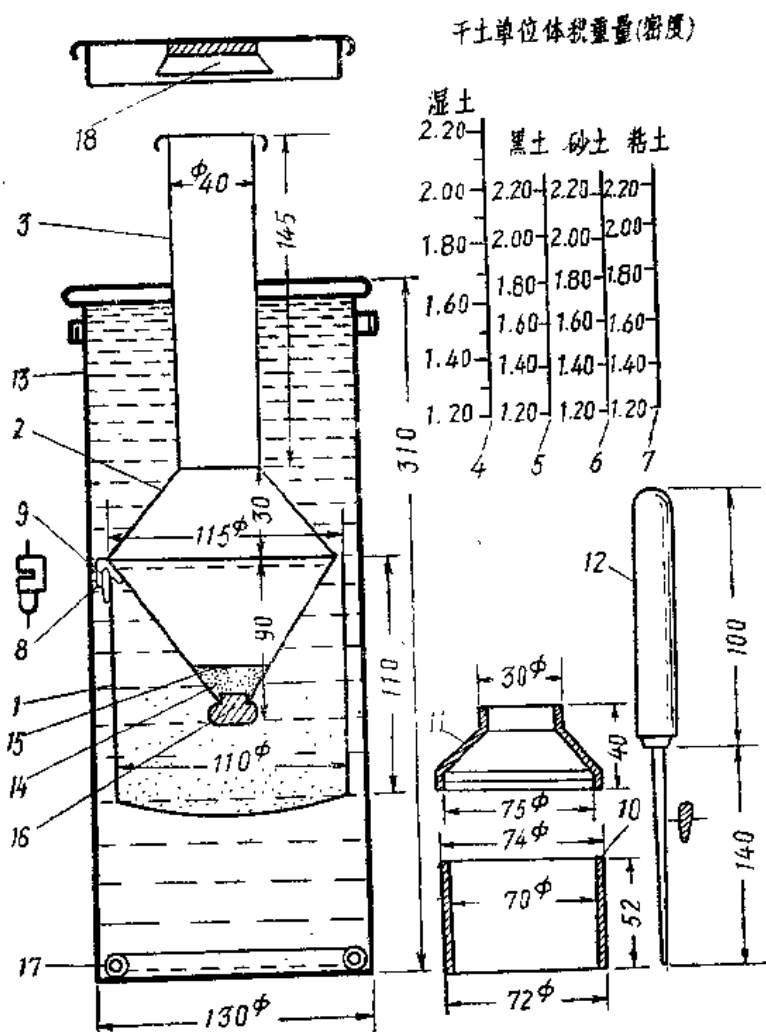
(5) 基底松軟，打夯多次，都不能使土緊密，我們所化的勞動力都到那裡去了？

(6) 稻田淤泥清除了，但是留下來的水沒有清，又填上一層潮濕的松土，我們的勞動有沒有收穫？

(7) 乾燥地區填土要準備什麼洒水工具？

附录一 卡瓦列夫仪仪器及其使用方法

(1) 仪器:



1. 銅制盛水桶 2. 銅制浮筒 3. 直管 4. 5. 6. 7. 标尺 8. 鉤子
9. 弯片 10. 切土圈 11. 漏斗 12. 土刀 13. 套筒
14. 鉄砂 15. 隔板 16. 塞子 17. 橡皮管 18. 凹座

标尺4可用以測定各种湿土單位体积重量。

标尺5可用以測定干黑土單位体积重量(密度黑土比重为2.60)。

标尺6可用以測定干砂土單位体积重量(密度砂土比重为2.65)。

标尺7可用以測定干粘土單位体积重量(密度粘土比重为2.70)。

(2) 測定湿土單位体积重量

用容积200立方公分的切土圈10採取原狀土样，並通过漏斗11和直管3傾入浮筒2，同时將浮筒中的土分布得使重心通过浮筒的豎直軸綫，然后取去盛水桶1，將浮筒沉入有水的套筒13內。

在水面与註有『湿土』的标尺的相交点讀出相应的湿土單位体积重量。

(3) 測定干土單位体积重量

將切土圈取得的土样移到裝水过半的盛水桶1內將土在盛水桶中与水仔細拌勻，直到沒有个别土塊气泡为止。随后，將盛水桶与浮筒連掛起来，並將它沉入有水的套筒13中，經由浮筒与盛水桶之間的空隙，將水注滿盛水桶中保留的空位。在盛水桶內沉到一定水平並呈現平衡状态为止。在水面与直管上的标尺5、6或7的相交处，依所試土壤的类别讀出干土單位体积重量。

(4) 測定土壤含水量

知道湿土單位体积重量 δ_w 和干土單位体积重量 δ 以后，用下列公式求出土壤含水量：

$$W = \frac{\delta_w - \delta}{\delta} 100\%$$

(5) 仪器調整

在开始工作之前，必須进行仪器校正。

标尺『黑土』的校正用加砣碼来进行。砣碼在水中的重量等於切土圈同体积的黑土(当最小單位土重为1.2时)在水中的重量。

当不裝土的仪器沉入水中时，用砣碼將它調整到水面与划綫齐平，

即黑土标尺起点为 1.2。

根据切土圈容积 200 立方公分，單位土重 1.20 和比重 2.60，可以算出砵碼重量应为：

$$200 \times 1.20 = \frac{200 \times 1.20 \times 1}{2.60} = 147.7 \text{ 克}$$

因用取土鋼圈作砵碼最方便，故切土圈的大小应使其在水中的重量为 147.7 克。在校正仪器时，如发现划線偏高偏低，則用鉄砂来調节。鉄砂裝在浮筒下錐体尖端，用隔板 15 和塞子 16 把它与錐体的其余部分隔开。

在調整湿土單位体积的标尺时，必須在浮筒上悬挂砵碼，其在水中的重量等於取土圈内單位体积重量为 1.2 的土的重量，即 $200 \times 1.20 = 240$ 克。

这个加重为浮筒 2 和切土圈 10 的总重，因为切土圈重 147.7 克故浮筒在水中的重量应为 $240 - 147.7 = 92.3$ 克。

用这个方法測定湿土和干土的單位体积重量以及含水量（按計算）需 20~25 分鐘。

附录二 工地决定土壤最佳密度試驗方法

保証填土質量要科学地掌握填土密实度，先具体知道各該土壤的最大密度方可进行。但在目前，如果等待試驗室得出試驗結果后再施工，由於試样的运送及試驗需时，势必延誤，因之工地試驗有其优越性和必要。这样做，却还没有足够經驗，應該一面試行以适应施工的需要，一面仍須取送土样交試驗室試驗，以核對和取得經驗。現將工地决定土壤最佳密度試驗方法簡述於下：

（一）須具备什么条件？

1. 夯土工小組（專業者更好）；
2. 一般填土工具及現有夯实工具資料；
3. 卡瓦列夫仪；
4. 夯实記錄表。

（二）在什么水分下做夯实試驗？

1. 根据表一清楚辨别土壤类别；
2. 依照表二查出最佳含水量范围，取其平均偏低值，作为夯实试验含水量。

（三）怎样控制水分和计算加水量？

1. 先测定取土坑土壤天然含水量——除去取土坑表面干土，取土样用卡瓦列夫仪测定取土坑土壤原有水份。可参考附录一（4）测定土壤含水量方法。

2. 与表二查出最佳含水量范围对比，决定加水或晒干。
3. 计算要加多少水量才能得到最佳密度。

（四）夯实试验前的准备：

1. 找一块密实平整的土地约2~4平方公尺；
2. 按照一般经验确定填土厚度；
3. 按照小组使用的夯实工具和能达到的一般平时提夯高度确定夯的高度和方法；
4. 向小组交代说明试验目的及试验步骤，要求做到和平时工作一样，切勿因试验而做得特别仔细。

（五）夯实步骤：

1. 第一步：①将控制着水分的土壤在平整密实的预先准备的地点，依照规定厚度铺土一层；②依照确定提夯高度和方法打夯一遍；③用卡瓦列夫仪测定填土层，二个上层密度，一个下层密度，湿密度及含水量各一个写入记录。

2. 第二步：在原填土层上重复再夯打一遍做测定记录。

3. 第三步：在原填土层上重复夯打第三遍做测定记录。

4. 第四步：在原填土层上重复打第四遍、第五遍……按次做测定记录。

5. 在记录上绘夯实遍数与密度曲线，如曲线已成水平，土层上下密度均匀，即可停止试验（如土层上紧下松，应减少厚度，重行做试验）。

6. 向左延长水平线，从纵向座标上读最佳密度。

7. 按填土层高度参看表三系数计算需要密度。

8. 在夯實曲線上按需要密度確定夯實遍數，向施工人員交代控制含水量及夯實遍數以提高和保證填土質量。

(六) 舉例說明：

(3) 某某專用綫 K4+200 左右填筑路基工程，決定由對面小丘取土，因急需開工，必須在工地試驗決定最佳密度。步驟如下：①檢查夯實小組工具尺寸、打夯方法、拉夯高度等詳細填入記錄表中。已有卡瓦列夫儀，可向工區借用普通的水桶磅秤等作試驗。②用工地鑑別土樣方法肯定填土土壤系粘土。如果嚴格控制密度可作填筑料，查表最佳含水量在 19~23%，決定採用 20% 來做試驗。③除去取土地點干面層，用卡瓦列夫儀測定原狀土如天然含水率為 18% 必須加 2% 的水。④選擇平整密實地塊一塊，將雜草除去，划一塊方地，長寬各為 1.4 公尺，挑取填土共 28 担，根據經驗每担重 31 公斤，照下列數字加水：

$$\text{應加水分} = \frac{28 \times 31}{1 + 18\%} \times 2\% = \frac{28 \times 31}{1.18} \times 0.2 = 14.7 \text{ 公斤}$$

⑤水分完全浸入後，夯打數遍，直至密度不再升高為止。測定各遍的干濕密度填入記錄表。⑥此時曲綫成水平不再升高，表示這一組試驗當土壤在含水量為 20% 時，最大密度是 1.63 克/立方公分試驗終了。

注意：(1) 1. 平均干密度時，上層密度兩點數值不等時可取小值；
2. 試驗時含水量必須嚴格控制。太大，曲綫已成水平，但土壤並未密實；太小，雖打夯很多遍，但曲綫仍向上升。試驗就沒有好結果。

(2) 本段路堤填高最深 7 公尺，依照路堤压实系数表所列：路基面以下 0.6 公尺內需要密度為最佳密度，乘以系数 0.90，應為 $1.63 \times 0.90 = 1.47$ 克/立方公分。在 0.6 公尺以下部分，經調查無浸水情況，其需要密度為最佳密度乘以系数 0.85，應為 $1.63 \times 0.85 = 1.38$ 克/立方公分。

(3) 從曲綫上查得密度為 1.38 時只需夯打一遍半，因之夯打兩遍就更能保證質量；密度為 1.47 時需夯打兩遍半就可以保證質量。向施工人員交代清楚，說明施工時含水量嚴格控制在 19%~23% 之間。路基面下 0.6 公尺以內打夯 3 遍，0.6 公尺以下打 2 遍就可以得到優良的結果。