

水中倒土筑坝的经验

苏联 C. П. 扎帕罗麦托夫等著

水利电力出版社

目 录

水中倒黃土狀土筑堤的經驗.....	2
用水中倒粘質土的方法修建土工建築物.....	36
用水中倒土的方法修建土堤防滲部分的經驗.....	47
水中倒冰礫土筑堤.....	50

水中倒黃土狀土筑壩的經驗

С. Г. 扎帕羅麥托夫 著

В. И. 庫爾巴諾夫

陳益秋 譯

所敘述的壩系1943~1944年間在烏茲別克共和國建成的，它是用水中倒黃土狀土的方法修建的最大的建築物（高27公尺）。

過去，在中亞細亞曾用這個烏茲別克的土辦法修筑了一些不高的堤和高达15~20公尺的壩，效果很好，它們很穩定，也不漏水。這種施工方法，同輾壓法相比較，具有下列主要的優點：不需要輾壓機械；在中亞細亞條件下，差不多全年都可以進行施工，使相當高的壩可以迅速地修成；可以允許地基發生相當大的變形。

但是，由於對這個施工方法研究得不够，妨礙了它的推廣。

在所研討的工程上，在施工前和施工期間廣泛地進行了專門的科學研究，這在很大程度上彌補了這個缺點。參加這項工作的，除了工地代表 А. И. 阿斯科欽斯基、С. К. 卡里日紐克和本文作者外，尚有中亞細亞水利工程局土工試驗室科學工作者 В. И. 羅日杰斯特威斯基、全蘇水利科學研究院 В. А. 弗洛林和中亞細亞水力發電設計分局 А. В. 塔勒洛夫等人。

在本文中闡述了用水中倒黃土狀土方法修筑的建築物及其施工過程，簡要地敘述了所研究的結果，並對所積累的經驗作

了一些分析和总结。

建筑物的设计尺寸

土坝拦截了古河道的滩地，以便从引水渠中引水。

在筑坝地点，河道深谷穿经宽广的台地。台地为深厚的第四纪沉积黄土状粘壤土层，下面为第三纪红色泥灰岩。

在坝址处，峡谷深达25~26公尺，底宽5~8公尺，上宽达80公尺；峡谷两岸陡立。

地基和两岸距底部7公尺处为泥灰岩，往上为黄土状粘壤土。坝的岸边截水墙嵌入18公尺黄土层中(图1)。

坝所形成的水头为25公尺，最大坝高为27公尺，河床部分坝顶长125公尺，而连同岸边部分则长610公尺，坝顶宽12公尺，上游坝坡介乎1:3.75~1:4.5，下游坡介乎1:4.0~1:4.5。

为了切断黄土状粘壤土中厚达2公尺的砂夹层，在坝前铺筑长约190公尺、厚10~11公尺的铺盖。由于有砂夹层，而且

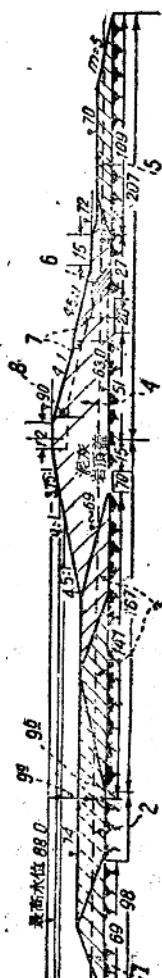


图1 河床部分坝的横断面图

1—1944年7月19日用爆破法筑成的上游第2号圈堤；2—局部爆炸、局部冲填筑成的铺盖；3—1943年11月用爆破法建成并用水中填土加固的上游圈堤；4—用水中倒土法修筑的填筑体；5—1943年11月7日用爆破法筑成的下游圈堤；6—排水设备；7—垂直排水；8—测压管；9—河岸和河底的土壤；(a)黄土状粘壤土；(b)泥灰岩。

两岸沟壑纵横，喀斯特现象发达，使有必要在坝的两端设置长而深的岸边截水墙(利用现有的沟谷)。

在下游坡地基中离河床9公尺处，用圆石铺筑层状排水设备，并作反滤层。排水设备上铺黄土，做成长80公尺的滤水坝趾。

在坝基中修建长180公尺的混凝土管，其泄水流量为50公方/秒。坝的工程量：挖土34万公方，填土43.5万公方，混凝土和钢筋混凝土4,800公方。

取土场土料特性

筑坝材料为淡灰色的第四纪沉积黄土状粘壤土。

按照颗粒组成，这种土料属于粉质粘壤土和粉质砂壤土，其粉土颗粒含量很高，达60~90%。砂粒组($d > 0.05$ 公厘)的含量为3~30%，而粘土粒组($d < 0.005$ 公厘)为6~20%。

土的自然含水量随深度而增大：上层为3%，至深度接近10公尺处为20%。在粘壤土层中，表面上有很明显的一层，其石膏含量达50%。

粘壤土的平均比重为2.7。在天然地层中土的干容重为1.5~1.6吨/公方，孔隙率40~45%。阿特伯的特性含水量：塑性下限的平均值为19.9%(从15.7至22.7%)，塑性上限的平均值为26.2%(从21.4至34.5%)，塑性指数的平均值为6.3(从2.8至13.9%)。内摩擦角的平均值为25°，内摩擦角数值的变化不大，从24°~28°。根据试验成果，凝聚力数值在0.21~0.45公斤/平方公分范围内。

关于土的压缩性质，曾对扰动结构和不扰动结构的试样进行了测定。取自坝体的具有扰动结构的土，其主要变形发生在荷重从0.5至2公斤/平方公分时；在荷重为0.5~2公斤/平方

公分时，壓縮系数介乎0.040至0.067；在2~4公斤/平方公分荷重間隔內，壓縮系数为0.012~0.026。

根据取自河道两岸的整体土样，渗透系数介乎 1.1×10^{-5} 至 2×10^{-4} 公分/秒。

土中水溶盐类的平均含量，根据3小时水浸物的測定，具有如下的指标数字(以絕對干土骨架重量百分数計)：

密实渣滓	1.844	SO ₄ "	1.123
HCO ₃	0.038	Ca"	0.401
Cl'	0.012	Mg"	0.023

易溶的氯化物盐类的含量不大。

土中大半是石英(达70%)；在其余含量較多的矿物中，金属矿物达15%，长石約5%。

专 門 研 究

最初設計的系碾压式坝。虽然在灌溉渠道上曾用水中倒黄土的方法修建了一系列的高堤，但是为了查明对于高27公尺的重要的坝采用这种方法的可能性，进行了专门的研究，并总结了已建成的建筑物的經驗。

在制定用水中倒土法筑坝的方案之前^①，工程局在引水渠堤上开始水中倒土的研究。堤的高度为15公尺，頂寬12公尺，外坡1:6。

根据工地的委托，設計部門(中亚細亚水力发电設計分局)在科学研究单位(全苏水利科学研究所)工作組的参与下，除了研究上述引水渠堤外，还考察了三条灌溉渠堤，其高度分别为12、20和10公尺，也是用水力方法(水中倒土和水力冲填)修建

^① 研究和拟定用水中倒土法筑坝方案的問題系由工程局局长C.K.卡里日紐克、总工程师B.И.庫尔巴諾夫和副总工程师C.Г.扎帕罗托夫提出的。

表 1 用水力方法修建土堤的专门研究的综合资料

序号	名称	高度 (公尺)	坡度		干容重 (吨/公方)	含水量 (%)	内摩阻角 (度)	凝聚力 (公斤/平方公分)	饱和度	施工方法
			外部	内部						
1	引水堤堤	15	1:6	—	1.42~1.56 平均1.52	22.8~29.9 平均25.5	25~28 平均27	0.15~0.23 平均0.20		水中倒土
2	第一号灌溉堤堤	12	—	—	—	—	26~32 平均27	0.17~0.40 平均0.20		水中倒土
3	第二号灌溉堤堤	20	—	—	—	—	26~32 平均27	0.17~0.40 平均0.20		冲填土中倒土(表面发现裂缝,深达2.5公尺,宽达6公厘)
4	第三号灌溉堤堤	10	—	—	—	—	26~32 平均27	0.17~0.40 平均0.20		水中倒土,上部碾压
5	试验性圈堰	14	1:0.5	—	平均1.48	17.0~34.1 平均23.7	24~30	0.10	0.79	水中倒土,越土层厚0.3~0.5公尺;在这些条件下发生第一次坍方
6	试验性圈堰	14	—	1:0.75	平均1.48	17.0~34.1 平均23.7	24~30	0.25		当H=14公尺时,发生第二次坍方
7	第二号圈堰				1.34~1.60 平均1.45	平均26			0.83	水中倒土,层厚0.40~0.60公尺(深达0.5公尺的资料)
8	第三号沟谷的填筑	6	—	—	1.30~1.49 平均1.42	平均28, 经过180 天后为26			0.84	同上,但层厚为0.60~0.80公尺(根据3~6公尺试验的资料)
9	全苏水利科学研究院对坝坡稳定的计算		—	—	1.60	25.5	25	0.15		

的。

为了确定土的計算常数，用水中倒土法修筑了專門的試驗性圍堰(高14公尺，上游坡1:0.5，下游坡1:0.75)，并随后破坏之。在开始修筑河床部分填之前6个月，为了修正其施工技术规范，着手用局部水中倒土和局部冲填的方法修筑两岸部分填的填筑体(第2号圍堰和第3号沟谷的填充)。

表1所示为上述堤、試驗性圍堰、第2号圍堰和第3号沟谷填充的基本指标。根据这些試驗(除了最后两项以外)和全苏水利科学研究所的实验室工作，在計算坝坡运行时期的稳定性时，建議采用下列土壤常数：內摩擦角 25° ，凝聚力0.15公斤/平方公分，平均干容重 $G_H=1.6$ 吨/公方。但是在筑坝过程中，考虑到浇筑体土壤的密度将比 $G_H=1.6$ 吨/公方小得多。这个容重相当于饱和含水容量 $W_n \approx 25.5\%$ 。

在設計时，曾假定往水中填土时饱和度达到1，而且填筑体在上面土层作用下的压实在最初阶段是随着水的挤出而发生的。这同由試驗性圍堰的研究所得的資料大不相同。土在填筑后的平均 $G_H=1.48$ 吨/公方，含水量 $W_B=23.7\%$ ，饱和度 $K=0.79$ (根据E.Д.罗日杰斯特夫斯基和M.П.卡尔維茨基的試驗資料)。这个关于土在填筑后最初时期状况的錯誤結論，反映在設計中对边坡施工时期稳定性的計算上；在計算时根据固結条件来决定最短的施工时期，并在坝体中設置发达的排水設備。排水設備能加速土中多余水份的排除，因而縮短使土壤达到其計算指标所需的固結時間。在水庫充水前，固結排水設備應該停止生效。

根据B.A.弗洛林教授的建議，在坝坡稳定計算中确定摩擦力时，采用到施工时期終了时，在有发达的排水設備的条件下，力系中压力 P ，即土壤骨架所承受的假定压力，达到淨土

重的50%。其余压力由中和压力 W ，即被封閉在土孔隙中的水承受。在 $G_H=1.60$ 吨/公方和 $G_{EP}=2.0$ 吨/公方(含水量等于 W_n)情况下，以上所述的情况提供了下列 P 、 T (全压力)和 W 的相互关系：

$$\frac{P}{T} = \frac{G_H}{2} ; G_{EP} = \frac{0.5 \times 1.60}{2.00} = 0.4$$

由此

$$P = 0.40 T,$$

$$W = T - P = 0.60 T.$$

在这些条件下，設計者认为河床部分坝的施工不能短于150天，因为在施工时期可能有发生坍塌的危险。

施工人员坚持另一种意见。他们认为填筑时土的状况以及設計中所采纳的水中倒土法概念本身，无论同工程实践，或是同1943年在工地試驗性圍堰上所得的資料都不相符。

施工和工作方法

坝的施工可以分成三个主要阶段。

第一阶段是进行准备工作，在往河道中导流前完成。

第二阶段工作是在截流时和截流后进行：用爆破法修建上下游圍堰及其加固，清基，修筑河床部分坝。

第三阶段工作是在坝前水位升高到設計水位时进行：封閉塔的底孔，填筑坝的頂层，修筑鋪盖，填充坝上游附近的冲沟。

第一阶段工作由1943年3月10日至11月7日完成，第二阶段工作由1943年11月7日至1944年8月18日，即9个半月内完成。第三阶段工作在1944年10月結束。

用土质圍堰往管中导流；圍堰系在峡谷两岸高处进行爆炸建成。

上游圍堰承受的水頭約9公尺。

爆落在圍堰中的土的體積為10,000公方。

在進行相當猛烈的爆炸時(8級)，在已建成的兩岸部分填體中沒有發生任何的損壞。

除了地下水位以下的土層和設置混凝土管的地点，全部河床部分填均用水中倒土方法修筑。在基坑的最低部分——沿中央截水槽綫和下游坡脚25公尺長度上，由於大量地下水的緣故，用自然含水量的土填筑夯實，其層厚0.2~0.5公尺。混凝土管附近和混凝土管與基坑左坡之間(高程70.5公尺^①以下)用含水量12~19%的土料填筑，用人工夯實，局部地區用不帶轆子的履帶式拖拉機壓實。

高程70公尺以上的填筑體用水中倒土方法填筑。鋪土層水平，平均層厚0.2公尺(緊密狀態)。整個填筑體面積不同時鋪土。鋪土層主要按工作段邊界沿平行填頂方向劃分。在施工過程中，由於施工強度不同，個別工作段高出相鄰工作段達2公尺。

這些基本工作段又分成較小的地塊，其面積為10~200平方公尺，平均40平方公尺。個別地塊高出工作段表面平均高程一般不超過0.3公尺。工作隊地塊的四周筑土埂，土埂不加夯實，具有取土場含水量。圍埂的尺寸如下：高度隨鋪填層厚度而定，為0.2~0.5公尺，頂寬10~20公分，边坡為自然坡度，接近1:1。為便於測量，地塊最好做成長方形的，但是也允許採用其他不規則的形狀。地塊的平面布置及其數量以便於工作隊和小組進行測量工作為度。上下鋪填層的圍埂應該錯開布置，以避免干土集中。土埂筑好後，往地塊內充水，深7~12

① 高程系假定的，下同。

公分，然后填土。土层厚度(密实状态)为15~30公分，土层和水层之比约为3:1。

地块填土一般由一侧开始，填到全厚度。运来的土料卸在边坡水面处。工人站在堆土处，用脚向水中推土并加以整平，此时水被铺填的土排挤开。

在往地块内填土时，地块中的水位应保持在一定的高度，被土排挤出的多余的水则流入其他的地块中或排走。到填筑快完毕时，在最后5~10%的地块面积上聚集着在铺筑过程中与水一起被排挤出的稀土，通常将这种稀土取出洒在新填土的表面上。去除了稀泥的那一部分地块，用取土场的土补填至与总表面相平。每层填筑完毕后，按同样的顺序继续进行工作，即进行地块放线，筑土埂，往地块内充水和填土。地块充水需时10~30分钟，视流量和地块面积而定。

在新填的土层中，表面土层在某一个时间保持着取土场含水量，因为在填筑时土壤浸湿的厚度不大。在往地块内灌水时，土壤迅速地浸湿。在地块充水后，立即着手往其中填土。

Ⅲ级和Ⅳ级土比较难开挖。用爆破法进行松土。由取土场往填筑地点运土基本上用平均距离为120公尺的输送带，用手推车、马车和少许人力运土。输送带的装土和卸土系用人力和手推两辆车。

浸土用水系沿沟渠网自流供给，部分用泵供给。大约有50%工作面积用明渠进行配水，其余部分则用帆布水龙带和直径50~75公厘的金属管。

为了避免由于等待地块充水而使施工停顿，应该使供水强度比按均匀供水所需水量大2~3倍。

在两个月内在河床部分填筑了93,000公方土。其中由取土场用输送带供给的为33,000公方，用手推车供给的为26,000

公方，用馬車供給的为11,000公方，用人力供給的为23,000公方。一个工人每班平均填土量为0.76公方。一部手推車每班平均工作量，包括装土和填土，在每組为6个人和換算水平运距为170公尺的情况下，为10.6公方，或每人1.77公方。

填筑体平均每昼夜升高35公分，最大为60公分。在这一时期，上坝量平均为1,550公方/日，曾达到2,800公方/日。

填筑体的平均面积約为10,000平方公尺，每班有2,500名工人进行施工，用三条輸送帶、50輛馬車和120輛手推車。有六个行政区所属集体农庄参加施工，在整个施工期間，保持了最初规定的各行政区的填土范围边界。在行政区划內，在填筑每一土层时将工作段划分給各个工作组，工作组总数达200个。

在最不利的季节(1月至3月)进行了填土工作，只有3天由于大气降水的影响而停止工作。在微冻的情况下(-5°)，以及在降雨或降雪后，都照常进行工作。如果用輓压法筑坝，在这个时期实际上是不可能进行施工的。

土壤在填筑后由于工人和运输工具的通行而迅速地压实；在新填土层上手推車和馬車运土所需的牵引力几乎同在踏平的道路上一樣。只有在填筑层往外延伸的长2~3公尺的边緣上，由于土壤松散，車輛的运动阻力提高了。可以用鏟土机和推土机往填土地点运土和平土。为了便于拖拉机的通行，填筑层的厚度应该增加到0.5~1公尺。

总之，可以这样說，用水中倒黃土的方法筑堤解决了在人力施工的条件下以广阔的工作面进行施工的問題，并且可以使施工过程机械化。

应该特別注意大坝与两岸的联結。

由于在两岸有厚达2公尺的砂夹层和砂扁平体，以及在两

岸黃土地層中有喀斯特和洞穴，有必要使填的兩端深嵌入河岸中。嵌入填段用水中倒土方法修筑，既保證了填筑體與嵌入部分兩壁和底部的緊密結合，又保證了在施工過程中發現黃土地層中的洞穴以便及時消除之。

工程質量控制

用水中倒土方法填筑河床部分填體時，工程質量的控制包括：

- 1) 在填筑填體每一土層時，監督技術規範的執行；
- 2) 觀測填筑體表層（深達 3 公尺）的容重和含水量；
- 3) 記錄浸濕的填筑體中土的含鹽量和其他物理力學性質。

施工人員在本文作者參與下所制定的主要技術規範如下：

1) 絕對不允許往填筑體中填筑生草土、膠結土和石膏含量超過 5% 的土；

2) 直徑 5~10 公分的土塊按體積計不得超過 10%，並且絕對不允許採用直徑大於 10 公分的土塊；

3) 填筑時保持規定的水層和土層厚度（施工時土層厚度介乎 0.2~0.3 公尺，水層厚度介乎 0.07~0.12 公尺）；

4) 地塊面積儘可能不小於規定的尺寸（20 平方公尺）；

5) 在劃分地塊時，新填土層的圍埂不得與前填土層重迭。

測定已填土層的含水量和干容重，系用挖試坑取土樣的方法進行。填土每升高一公尺，挖試坑 5 至 9 個，其深度達 3 公尺。在試坑中深 0.5 公尺處取土樣，以下每 0.5 公尺深取一土樣。平均每 1,000 公方填土測定 12 次容重和含水量。由於試坑深 3 公尺，隨著填筑體的升高，已填筑的土壤可以探測三次。

從表面新填土層在泡水前取土樣，雖然測定了這些性質，但是由於不知道土層的形成過程，所以並不能達到目的。在修

筑中央和两岸部分坝体时，曾从表面新填土层在泡水前测定了约130次干容重和含水量。取土样的深度为离表面0.1~0.5公尺，而填土层的厚度为0.15~0.6公尺。所得的数值相差很大，干容重由1.21~1.6吨/公方，含水量由8.2~33.2%。

此外，特别重要的是，在泡水时表层土壤的含水量显著地提高了。少量的观测指出，取土场土的含水量为8%，在填筑后其含水量平均为11%，在泡水后含水量提高到23%，即土料含水量的提高主要是在地块泡水时(4/5)，仅不大的一部分是在填筑时(1/5)。应该注意，这些数据相应于筑坝时的平均施工条件(填筑速度、运输工具、水层和土层的厚度、泡水速度)和前述土的物理性质。

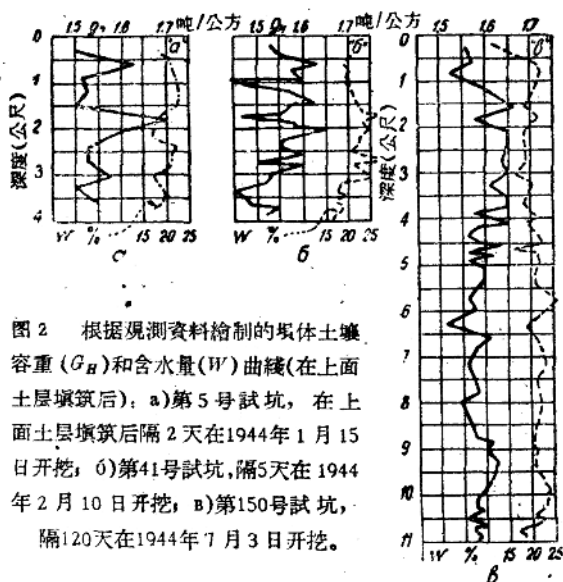


图2 根据观测资料绘制的坝体土壤容重(G_B)和含水量(W)曲线(在上面土层填筑后): a)第5号试坑, 在上面土层填筑后隔2天在1944年1月15日开挖; б)第41号试坑, 隔5天在1944年2月10日开挖; в)第150号试坑, 隔120天在1944年7月3日开挖。

在填筑后很长一段时期內，同一填土层範圍內土的性質是不均勻的，因此为了測定施工过程中土的干容重和含水量，必須进行大量的測定工作。在填土层的接触面上，由于泡水时土的稀釋，其含水量大于填土层的中間部分。图2,a所示为填筑层內含水量和干容重的变化曲綫，其土样是在上面土层填筑后隔2天采取的，而图2,b所示則是隔5天取土样的。在后一种情况下，土的性質比較均匀。填土后隔120天，在試坑壁上就看不出土的层理。发掘了12公尺的填筑层，发现其土質相当均匀(图2,b)。

掌握了离表面1~3公尺深度內土的容重和含水量資料，就可以根据在填筑以后的土层时改变水层和土层的比例，以增加或减小含水量。如果土壤的含水量太小，可以不必反工，可以用延长填筑体表面浸泡時間和增加水层深度的办法来提高其含水量。根据对已有的土壤容重和含水量資料的分析，作者拟定了采用这种施工方法时确定土壤最优含水量的方法。

觀測結果

为了在施工时和水库充水时控制坝的状况，进行了下列研究工作：

1)根据由深达3公尺的試坑所取的土样，确定坝体内土的干容重及其含水量，共做400次測定；根据由深达9公尺的鉆孔(鉆孔数目为20个)所取的土样，确定其含水量，共做436次測定；

2)对坝上所設置的測压管、深层和表面水准标点进行觀測，并在下游觀測地下水和渗透水来源；

3)进行野外和實驗室試驗，測定在含水量增大时填筑体的附加沉降量；

4)根据取自坝体的整体土样进行土的綜合物理力学研究。

茲將這些研究的結果敘述如下。

1. 在水中倒土施工期間，深0.5~3公尺的填土的容重和含水量平均值及其在土中的分布，實際上沒有變化(表2)。

表2 由填體內深達3公尺的試坑中所取土樣的容重和含水量

取土 樣 深度 (公尺)	測定 次數	干 容 重 吨/公方						含 水 量 %					
		平 均	< 1.30 ~ 1.40 ~ 1.50 ~ 1.60 >					平 均	< 20 ~ 22 ~ 24 ~ 26 > 26				
			1.30	1.40	1.50	1.60	1.60		20	22	24	26	26
		所 占 比 例 %						所 占 比 例 %					
0.5	125	1.51	1.4	5.0	35.1	53.7	4.8	23.3	16.0	17.6	22.4	25.4	19.1
1.0	117	1.52	1.7	6.0	22.2	48.8	21.3	23.6	12.2	13.7	27.2	24.8	22.1
1.5	108	1.53	—	2.8	16.8	74.2	6.2	23.8	9.2	14.8	23.1	33.3	19.6
2.0	97	1.535	—	3.1	16.5	69.8	10.6	23.2	13.4	21.6	26.8	21.6	16.6
2.5	72	1.535	—	4.2	12.5	70.7	12.6	23.8	5.6	23.6	22.3	31.9	16.6
3.0	61	1.535	—	—	26.6	59.4	14.0	23.7	6.6	19.7	24.6	36.1	13.0
共計	580	1.53	1.0	3.8	22.0	65.0	8.2	23.55	11.3	18.0	24.7	28.9	17.7

其原因為：填土升高0.5公尺，平均需要一天以上的時間，而在此期間，土塊濕陷了，其初步壓實過程完成了。含水量的進一步調整進行得很慢，而深度不到3公尺的壓力變化，對填土的壓實幾乎不發生影響。在全蘇水利科學研究所的實驗室中檢驗了土塊的泡散速度。土塊的尺寸為4.5×4.5×4.5公分，含水量為8%，放置在含水量為24.8%的土體內，經過一天，其含水量達到23%，但是含水量的進一步調整就進行得極其緩慢了。

根據上述理由，可以從比較小的深度處取控制土樣，而且應該從離表面的第三層取土樣，最早要在泡水後經過一天時間。但是如上所述，不能根據表面層的土樣來控制填築體的質量。松散狀土壤(在位移儀中)的干容重平均等於1.2。同松散狀土壤相比較，第三層填築體的干容重已經壓實了25~30%。這種

压实主要发生在填土过程中泡水时，而工人和运输工具的通行，不论是直接通过填筑的土层，或是在以后土层填筑后，其作用都比較小。但是在表层内初步压实过程并没有完成。

2. 坝内填土含水量和容重的变化范围，以及在填土时土的含水量对容重的作用，如表3所示(根据1944年2月25日状况的资料整理)。

表3 坝内填土土样按含水量和容重的分配(%)
(根据野外控制资料)

含水量 (%)	具有下列干容重的土样所占百分数								共 計
	1.30~ 1.35	1.35~ 1.40	1.40~ 1.45	1.45~ 1.50	1.50~ 1.55	1.55~ 1.60	1.60~ 1.65	1.65~ 1.70	
28	0.3	0.8	2.5	3.9	6.4				13.9
26	0.5	—	—	3.3	14.4	8	—	—	26.2
24	0.3	0.3	0.8	1.7	7.7	10.2	1.1	—	22.1
22	0.3	0.6	0.8	2.5	6.6	7.7	3	—	21.5
20	0.3	0.8	1.4	1.9	1.9	2.2	2	1.1	11.6
18	0.3	0.5	0.6	—	1.1	1.7	0.5	—	4.7
16									
共 計	2	3	6.1	13.3	38.1	29.8	6.6	1.1	100

由表中可以看出，含水量小于20%的土样占16.3%，而含水量大于26%的土样占13.9%。具有这些含水量的土样，容重低的比較多，而且数值比較分散(表4)。

在含水量为20~26%时，土的平均容重比較大。有些土样的容重超过1.6吨/公方，这可能是由于土样中包含有土块^①。

① 根据我們在本坝所进行的研究，以及B.Д.罗日杰斯特威斯和考洛特考夫在其他坝上所进行的专门試驗，在水中倒土填筑后，用人工打夯和履带式拖拉机碾压等办法，并不能增加土壤的压实程度，因此在已经最后成熟的土层中，土壤密度的任何提高是不合情理的。