

輥压式土壩和土堤 压 实 規 范

(草 案)

全苏給水、排水、水工建筑物及工程水文地質科学研究院

水 利 出 版 社

目 錄

1. 序言	5
2. 建筑物中土料所必需的压实程度的确定	7
3. 压实机械类型的选择	8
苏联用各种机械压实土料的实例	10
4. 土料的压实試驗	12
A. 土料輾压試驗	13
B. 土料夯实試驗	17
B. 振动压实試驗	18
Г. 根据压实試驗成果选择合理的土料压实方法	18
5. 施工条件下土的压实	19
A. 土料压实工作的工序	19
B. 需要的压实机械数量	20
B. 压实前土料含水量的处理及控制	20
Г. 建筑物中土的压实	23
Д. 在冬季条件下土的鋪填及压实	26
6. 土料压实的檢查性觀測	28
A. 野外試驗室的任务和設備，試驗室的人員及其职责	28
B. 需要檢驗的土样指标及所需土样的数量	29
B. 采取粘性土及砂土的容重与含水量試样的方法	32
Г. 礫、卵石土的取样方法及其容重与含水量的測定	34
Д. 建筑物中已填筑及压实好的土的其它指标的檢查測定方法	36
附錄一 压实机械及其規格	37
附錄二 各种因素对土的压实的影响	68
附錄三 在負气温下土的压实的特性	87
附錄四 土壩及土堤中土的压实的檢查觀測	93

苏联冶金企业及化学工业建筑工程部

技 術 管 理 局

全苏給水、排水、水工建筑物及工程水文地質科学研究院

(В О Д Г Е О)

輾压式土壩和土堤压实规范

(草 案)

本规范草案总结了苏联在碾压土壩、土堤方面的經驗，对土工建筑物中所需压实程度的确定、压实机械的选择、土料压实試驗及压实方法的选择以及土料压实的檢查等給予了原則性的指示，在附錄中并对压实机械，影响土料压实的各种因素、在負气温下压实土料的特点以及压实檢查等作了詳尽的敘述。本规范草案可供水利、水电部門的施工和設計人員参考。

碾压式土壩和土堤压实规范（草案）

原 書 名 ИНСТРУКЦИЯ ПО УПЛОТНЕНИЮ
ГРУНТА В ПАСЫННЫХ ЗЕМЛЯ-
НЫХ ПЛОТИНАХ И ДАМБАХ(ПРО-
ЕКТ) .
原 著 者 [苏联]ВОДГЕО
原 出 版 处 МОСКВА
原出版年份 1956年
譯 者 長江水利科學研究院土工試驗室
出 版 者 水利出版社(北京西郊科學路二里溝)
北京市書刊出版營業許可証出字第080号
印 刷 者 水利出版社印刷厂(北京西城成方街13号)
發 行 者 新華書店

80千字 850×1168 1/32开 3 3/16印張
1958年3月第一版 北京第一次印刷 印数1—2,100
統一書号: 15047·144 定价: (10)0.55元

这本“碾压式土壩和土堤压实规范（草案）”是全苏給水、排水、水工建筑物及工程水文地质科学研究所水工实验室技术科学副博士С.И. 米金諾依編制的，業經研究所科学技术委员会審定并同意付印。

編 輯

В.В. 布杰諾普

1. 序 言

輾压式土壤及土堤的压实，無論从建筑物質量的观点或資金消耗以及施工時間的观点來看，都有着很重要的意义。如所周知，土壤及土堤的建造費用，基本上决定于建筑物合理的断面及建造时所采用的合理的施工方法。当建造輾压式土壤及土堤时，建筑物中土的填筑及压实为同样重要的施工因素，它們应该保証所建造的建筑物具有相当的质量，特别是应该保証土的设计密度及建筑物在使用过程中的穩固可靠的状态。

由于輾压机械的荷重作用于土上的結果，造成了土的压实，亦即礦物顆粒間的孔隙体積减小和土的干容重增加。由于压实而使土料發生的变化会引起它的作为建筑材料的性質的改变：第一，土料在自重及外加荷重作用下沉陷的性能减低；第二，当有外部的或發生于土料本身中的切应力时，土的抗剪强度增高；第三，当有渗透水流通过建筑物时，土的透水性减低。

在建造过程中將建筑物中的土料压实并因此而使其沉陷量达到最小值以后，建筑物在使用过程中的許多不利的及危險的情况就会消除了。在被消除的不利情况中，最重要的是建筑物頂部与边坡的下沉和变形以及所有安置于其上的建筑結構可能遭到的破坏。如果在建造擋水土堤时，沒有專門將土料压实，那末，为了实现其设计断面，就必须使土的堆筑高度大大地超过其实际需要的高程；由于难以确定可能的沉陷量，可能引致多余的土方工作或不能保証建筑物的设计高度，因而在其使用过程中必需作一些补修工作。此外，沿着松散堤頂筑成的道路可能遭受到嚴重的损坏，需要加以翻修，而这实际上等于重新建造。

由于松散填筑的土坡的沉陷与变形，使土坡的护面发生了破坏。为了修理护面需要降低水库中的水位，并需在修理工作上花费附加的资金。

如在建筑物的建造过程中进行压实，所有这些不良后果都可避免。

土壤的抗剪强度随密度的增加而提高的现象，可以由试验室的粘壤土剪力试验结果看出，这些试验系在各种空隙比 e 值即各种土壤密度的情况下进行的。

表 1

土的含水量 $w = 9\%$		土的含水量 $w = 18\%$	
孔 隙 比 e	抗 剪 强 度 τ 公斤/平方公分	孔 隙 比 e	抗 剪 强 度 τ 公斤/平方公分
0.79	2.70	0.79	2.55
0.71	3.10	0.70	2.85
0.65	3.60	0.64	3.17

显然，可以意料，将紧密状态与松散状态下的土的抗剪强度相比较，它们的抗剪强度间的差别还要大。

压实过的土比松散土具有较高的抗剪强度，这一现象在天然条件下亦可根据土坡的稳定性及其坡度的大小而观察出来。例如，在天然条件下埋藏的即已被压实过的粘性土壤往往具有直立的边坡，甚至是反坡。而同样的土，在松散状态时则具有比较平缓的边坡，它相当于该土壤埋藏条件下的休止角。

因此，在建造壩与堤时如已将土料压实，则建筑物及其各组成部分将具有较高的抗剪强度，并且它们的边坡可以比未经压实的壩与堤者来得陡，而且较为稳定。

最后，正如以上所曾指出过的，由于压实的缘故，减少了土的孔隙，并且特别重要的是，减少了作为自由水流过建筑物的通路的所谓土的可变孔隙。根据试验室试验的结果，在 0.5~4.0 公斤/平

方公分的荷重下使密度發生变化时，粘性土壤的滲透系数將改变好几倍。因而，对土質建筑物的透水性來說，土的压实亦起着良好的作用，使可能流經建筑物的滲漏水量及滲透水流的出逸速度减少几倍。

由以上所述可以看出，在建造土壩及土堤时，土料压实的問題对建筑物的安全状态及正常利用來說具有何等重要的意义。有鑒于此，乃編寫出了这本规范。在规范中包括了关于确定輾压式堤壩中土料所必需的压实程度和用现有各种机械以求得所采用的密度而必須采用的压实土料的合理方法的指示，以及与建筑物中土料压实和压实的檢查观测有关的施工方面的指示。

2. 建筑物中土料所必需的压实程度的确定

§1. 当建造土壩与土堤时必需的土料密度（以土的干容重表示）应在与建筑物設計时所采用的密度相差 0.05 克/立方公分的范围内來拟定[●]。

当选定要求的土料密度时，必須遵循如下的見解：

（a）因为主要的土料計算指标滲透系数和抗剪强度随土的密度而变，所以被选定的最小密度應該滿足在設計建筑物橫断而时所采用的上述土料指标数值以及对此建筑物在允許沉陷方面提出的要求。

（b）在一切情况下，选定的土的密度（最小的）应不低于取土場中土的密度以及各土層在建筑物中由于上盖荷重而可能獲得的密度。

（c）含有腐植質的土比不含腐植質的同类土压实得較差。土

-
- 填筑于壩及堤中的土的主要計算指标：干容重，抗剪强度，滲透系数和压实系数是相互关联的，因为，所有上述指标的数值均与一定的干容重相适应。建筑物的橫断面，就是利用上述各个指标与土壤干容重或其密度之間的关系（試驗室測定的），并考慮到其它施工技术因素及經濟因素而設計的。

中含腐植質愈多，所能達到的緊密程度（干容重）愈低。

（r）在選定必需的壓實程度時，也應該考慮到可能在施工中所採用的土料壓實機械的壓實能力。

注：公路建設部門在規定土的壓實程度時系以在實驗室條件下用夯實法進行的標準壓實所得到的土壤密度為據。這種選定密度的方法是沒有道理的，因為在應用它時沒有考慮到建築物以及其設計和施工的特點。

§2. 在屬於Ⅲ級和Ⅳ級建築物並且不是用大孔土填筑的壩與堤中，如進行建築物設計時不擬進行穩定與滲透計算，則在施工中土的密度（最小的）可以採用與取土場中天然土層的密度一樣。

3. 壓實機械類型的選擇

§3. 在建造輾壓式土壩及土堤時，可以使用下列機械壓實方法：

- （a）輾壓法（利用短時間內對土料的靜荷重作用）。
- （b）夯實法（利用下落的動荷重對土料的作用）。
- （в）振動法（利用專門的機械振動器）。

上面所列举的土料壓實方法均系借助於具有各種不同構造和功率的壓實機械來實現的。

§4. 土料壓實的方法及壓實機械的類型系由該建築物的施工設計來規定。

選擇壓實機械時主要的標準是：

（a）被壓實土料的指標（粘性或無粘性土料，顆粒組成的均勻性，土的含水量等）及所要求的壓實程度。

（б）現場的壓實條件，如：工程量、施工強度與工作面、施工季節等。

§5. 粘性土——粘壤土及砂壤土的壓實，可以使用平輾、羊足輾、肋形輾、氣胎輾等一切現有類型的輾壓方法，及使用爆炸動力夯、挖土機式夯板與打夯機等夯擊作用的機械壓實方法。用振動法

來压实粘性土，效果很小。

在所列举的适合于压实粘性土的各类压实机械中，應該着重于具有較高生產率并能沿压实土層高度造成不同程度的密度的羊足輥。用气胎輥压实土料同样可以得到高的生產率。

注：1. 由于黃土的粘性較小，用羊足輥來進行压实，其效果較一般粘壤土为低，因为在土層上面相当大的部分依然沒有得到压实。为了消除这种情况，適当地采用联合压实法，即先用羊足輥然后再用平輥或气胎輥進行压实。

2. 在建造壩与堤时，对难处理的和不常用的粘土同样可以使用本節所列举的机械來压实，这些机械是在每一具体情况中根据粘土的状态及稠度來选定的。

§6. 無粘性土，即砂、礫石及卵石的压实，可以用各种夯击作用的工具及振动器來進行。顆粒大小不等的無粘性土（不均匀系数 $\frac{d_{60}}{d_{10}} > 6 \sim 8$ ）同样可以用气胎輥及平輥來压实，而較均匀的土則只能用气胎輥進行压实。

若無粘性土具有很小的含水量（ $w < 3 \sim 4\%$ ），或者相反的具有高的含水量（ $w > 10 \sim 12\%$ ），即当土粒具有最小的粘性及易流动性时，最好用振动器來進行压实。

在別的含水量情況下，無粘性土的压实以用輥子及夯击机械为佳。

注：根据第聶普罗彼特罗夫斯克铁路运输工程师学院的資料，当飽和度 $G = 0.8$ 时，用震动法可达到砂的最好的压实。

§7. 由大塊碎石材料与砂質粘土所構成的土，把粗料（尺寸大于 $15 \sim 20$ 公分）剔除以后，可以用平輥与气胎輥以及夯击机械來压实。

§8. 在选择压实机械时，必須同时考慮到設計所規定的土料压实程度及天然地層中土的含水量。作用于土上的單位荷重較大的、比較重的机械，比輕型机械能压实得較緊密些，并且可以采用較厚的土層，因而其生產率也比后者为高。

当土的天然含水量很小并且难以保证土的补充润湿时，利用比較重型的机械同样是合適的。相反地，当土的含水量很大时，必須使用較輕型的工具，例如履帶式拖拉机，Д-126А型轆子等。

注：当具备適合的条件（特别是如果建筑物所要求的压实程度較低时）而且对建筑物中的土料压实來說又具有合適的施工組織时，可以利用运输工具——自卸汽車、拖拉机等作为所采用的压实机械的补充工具，或甚至將它們作为压实土料的主要工具以代替压实机械。

§9. 在工作面狹小的情况下，或由于某种原因（例如在負气温的情况下）適宜于鋪填較厚的土層时，建議使用夯击机械——夯板，重型爆炸夯及打夯机來進行粘性土的压实。而在压实無粘性土时則建議使用振动器。

注：在冬季条件下土的压实也可以应用另外的一些压实机械。

§10. 与混凝土建筑物銜接处的土料压实，可以用气夯及輕型和中型的爆炸夯來進行。

苏联用各种机械压实土料的实例

1. 卡拉岡达大水库（杰米尔-塔烏山）的土壩，系以在天然地層中具有干容重 $1.63 \sim 1.80$ 克/立方公分及含水量約 7 % 的当地輕粘壤土建成的。粘壤土的搓滾限度为 11 %。土料系以沿窄軌鐵路运行的斗車由取土場运至建筑物中，人工鏟平为厚 20 ~ 22 公分的土層，再用齒耙或圓盤耙耙平并且施行补充潤湿以使之达到最优含水量 $w_{opt} = 9\%$ 。間歇三小时后，以 4Т3 型履帶式拖拉机輻压 2 遍，然后以 10 噸摩托轆輻压 6 ~ 7 遍，这样就达到了設計密度 $\gamma_c = 1.85$ 克/立方公分。在鋪填新的土層以前，早先鋪填及压实过的土層用水澆洒并將表面耙松。由于压实情况良好，在建筑物完工后，壩頂呈現的沉陷很小。

2. 德热茲卡茲岡斯克壩系以在天然地層中干容重为 $1.50 \sim 1.60$ 克/立方公分及含水量 $w = 12 \sim 23\%$ 的粉狀粘壤土建成。此种粘壤

土的搓滾限度为 19~23 %，土料由自卸汽車运至壩上，以推土机平整为厚 23 公分的土層，必要时用水龍帶進行补充潤湿，然后用挂于 C-80 型履帶式拖拉机后的双联 Д-130А 型羊足轆進行压实。土料在最优含水量的情况下压实达干容重 $\gamma_c = 1.67$ 克/立方公分，平均比取土場中土的密度高 8 %。壩完工后的使用情况証实了施工时的工程質量是良好的。

3. 在伏尔加-頓列寧运河的建筑物施工中，还曾使用过重 10 噸及 25 噸的曳引式气胎轆來進行土的压实。气胎轆表現出了良好的性能，在炎热与嚴寒的天气下都能保証將深达 20~30 公分厚的土層压实。

4. 在用当地的粘壤土建造斯杰尔里塔馬克泥沙池的围堤时，堤的上部成功地用裝于挖土机上的夯板進行了压实，所压实的土層厚度約 60 公分。

在同一地方，曾利用裝于挖土机上的夯板在負气温的情况下進行含有冻土塊的粘壤土的压实。夯板重 1.7~3.5 噸，落距 2~6 公尺，夯击遍数 2~5 次，被夯压土層的厚度为 40~45 公分。

同时还曾証明，对于粘壤土的压实來說，具备有重 1.7 噸的夯板及落距 2 公尺已足够了。夯击次数增加超过 4~5 次后，土的密度不再有什么提高。

5. 用全苏建筑組織及机械化科学研究所 (ВНИОМС) 的振动夯实机 (重 2.8 噸，功率 70 匹馬力) 成功地進行了回填壠壕时的土料压实工作。当压实回填的砂料时，机械通过 2 遍后，在 1.0 公尺深处达到了在天然地層条件下的土的密度 (在結構未被擾动的情况下)，而在机械通过 4 遍以后，在 1.5 公尺的深度处也可达到同样的密度。在压实回填的粘壤土时，机械通过 2 遍后，僅在 0.4 公尺深度以內达到了土在天然地層中的密度。

6. 在建造某一壩时曾利用当地的剔除去粒徑大于 10 公分的粗礫的礫石冲積土。首先將其平整为厚 15 公分的土層，用水澆洒，然后以帶有重 4 噸的拖轆的 6 噸轆子 (ТЗ) 或以帶有同样拖轆的

НД-7 型履帶式拖拉機（重 7.5 噸）進行壓實。在輾壓 5~7 遍以後，密度達到 2.2~2.3 噸/立方公尺，即比取土場中的密度高 6%。

7. 根據在西費洛波略山區筑壩時所進行的壓實試驗的優良成果，П. Д. 羅巴索夫提出了如下的壓實很難壓實的亞普斯粘土（Апские глины）的方法。土料（多半是成塊的）被整平為 20 公分厚的土層，使其潤濕，然後用履帶式拖拉機輾壓數遍，未達到充分的壓實即繼續鋪土以增加建築物的高度。發現曾被潤濕的土塊在上蓋土重作用下得到了壓實，並且經過一些時候，土料就可獲得足夠均勻的整體緊密狀態。

8. 應用於奧爾托托科依壩中的土，在取土場地層中混雜有大塊碎石材料。採挖時使土料通過一活動的篩斗，因而除去了大於 20 公分的粒徑組。

土料由 ЗИС-585 自卸汽車運至壩上，用 Д-271 型推土機及 Д-20-Б 型平土機整平，以洒水汽車把鋪好的土層補充潤濕達到最優含水量 $w_{\text{опт}} = 6 \sim 8\%$ ，松散狀態時土層的厚度為 35 公分。曾試圖用羊足輾來壓實，但未獲得成功。此後，改用不帶輪箍及羊足的 Д-220 型輾輾壓 4 遍或以 Д-263 型氣胎輾（重 25 噸）輾壓 6 遍，輾壓結果甚為成功。

4. 土料的壓實試驗

§11. 為了查明能保證建築物設計所規定的密度的最合理的壓實方法，應在施工條件下，即直接在施工現場使用施工機械進行土料壓實試驗。

§12. 下面敘述的土料壓實試驗方法，無論對粘性土或無粘性土均同樣適用。

在建築物的建造中使用不同的土料時，對每一種土料須單獨進行壓實試驗。同樣，如果在施工中具備有一些不同類型的壓實工具，亦要分別地進行壓實試驗。

A 土料輾压試驗

§13. 在進行輾压試驗時，應查明下列各種可變因素對土料压實效果的影响：

- (a) 松散狀態時的鋪土厚度 h ；
- (6) 輾子在同一地點的輾压遍數 n ；
- (B) 土的含水量 w 。

根據現有的使用輾子压實土料的經驗，建議在如下的 h 及 n 值時進行輾压試驗。

表 2

压 实 机 械 名 称	鋪 土 厚 度 (松散狀態) h 公分	在 同 一 地 點 的 輾 压 遍 數 n	
		粘 性 土	無 粘 性 土
C-80型履帶式拖拉机	10-13-16	6-8-10-12	4-6-8-10
重5噸的平輾	12-15-18	6-8-10-12	4-6-8-10
重10噸的平輾	16-20-24	4-6-8-10	2-4-6-8
重5噸的羊足輾 (羊足高度17公分)	19-23-27	8-11-14-18	6-8-10-12
重30噸的羊足輾 (羊足高度40公分)	50-58-65	4-6-8-10	2-4-6-8
重10噸的气胎輾	16-20-24	4-6-8-10	2-4-6-8
重25噸的气胎輾	28-34-40	4-6-8-10	2-4-6-8

注：1. 表中所推荐的数值是近似的，在每一情形下，須依照設計要求及當地土料压實的具体条件再行明确規定。

2. 在上表所列数值中，層厚 h 及輾压遍數 n 的平均值採用得最为普遍。在設計建築物土料压實方法時也應該採用这些数值。

3. 用輾压法压實無粘性土比压實粘性土效果較差，特別是用羊足輾。因為羊足翻松了不帶粘性的土層的上部。

§14. 作為有效含水量或最优含水量的第一次近似值可採用：對粘性土來說——相當于搓滾限度的含水量，而對無粘性土來說——相當于流性限度的 0.75。

最优含水量应当由輾压試驗來明确規定，此时建議輾压試驗大體在如下的含水量数值下進行：

(a) 粘性土料：

$$w_1 = w_p - 4\%, \quad w_2 = w_p - 2\%,$$

$$w_3 = w_p, \quad w_4 = w_p + 2\%,$$

式中 w_p 为相当于搓滾限度的含水量。

(6) 無粘性土：

$$w_1 = w - 2\%, \quad w_2 = w - 1\%,$$

$$w_3 = w, \quad w_4 = w + 1\%,$$

式中 $w = 0.75w_T$, w_T 为流性限度。

注：土中含有腐植質时，最优含水量数值增大，并且腐植質愈多，增加的程度愈大。

§15. 土料輾压試驗的場地可選擇于所建造的建筑物旁边或在建筑物本身的場地上，但須在較不重要的部分。

試驗場地的地基應該按適當的方式加以处理，也就是說应当進行平整，并且將地基压实至不低于建筑物中土的設計密度。如果試驗場地布置于建筑物本身地段上，則应按建造該建筑物的技術規範中所規定的那样來進行地基的处理。

§16. 進行一項輾压試驗时，整个試驗地段內的鋪土厚度采用为一常数，即 $h = \text{常数}$ ，而在平面上則將試驗地段划分为若干区，各区土料配以不同的含水量 w ，并且在經過不同的輾压遍数 n 之后，于每个区取样進行容量及含水量試驗。

試驗地段的尺寸可以大致地推荐如下，其簡圖如圖 1 所示：

試驗地段寬度 6~8 公尺；

每一含水量固定的地区的

長度 $l \approx 15$ 公尺；

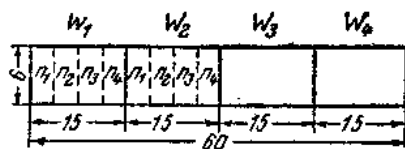


圖 1 試驗地段簡圖

試驗地段總長 $L \approx 60$ 公尺。

當必須確定土層厚 h 時，輾壓試驗在具有各種鋪土厚度的地段上重複進行。

§17. 被運送到試驗場的土按所採用的厚度用平土機平整之，而當缺乏平土機時則可用推土機來代替。鋪土厚度可以很容易地以標有所採用層厚（或每隔 $2 \sim 5$ 公分劃上一刻度）的杆子進行插量的方法來控制。

當大土塊相當多時，建議進行土的耙松。

§18. 若用於壩體中的土的含水量很小（與 §14 中所推薦的比較），可用洒水汽車或接于臨時引水管上的水龍帶進行土的補充潤濕。花費于土料補充潤濕的水量及潤濕方法的確定與土料在施工压实条件下所採用的一樣（參閱 §41）。

§19. 若取土場中的土料具有高的含水量，則在進行压实試驗之前，須適當地觀察土中水分的蒸發過程。為此，將所擬觀察的土按照採用的層厚鋪于不大的場地（ $4 \sim 6$ 平方公尺）上。每經過一定的時間（30 分鐘到 2 小時，視土的性質及含水量而定），即由土層的中部（沿高度及在平面上）取樣進行含水量試驗。應用上述方法可對於每一被觀察的（在压实試驗中）土層厚度確定其含水量隨時間而發生的變化。

注：為了加速土中水分的蒸發，特別是當鋪土厚度相當大時，可採用下面 §44 中所建議的措施。

§20. 土料在試驗場中每一分區（具有不同的含水量）的停置時間按照所得到的水分蒸發成果來規定。

為了沿整個試驗場長度同時進行土的压实，每一分區的土料供應應該與事先擬定好的土料压实時間相適應。

§21. 無論是經過干燥的土或是經過補充潤濕的土，均須在試驗場中所有各區同時進行輾壓。

輾子行進的第一條路綫從試驗地段的邊緣開始，隨後的每一條