

115433

基本馆藏

土坝的设计和施工

水利出版社编



教师参考室

陈列图书不得携出室外

水利出版社

目 錄

設計部分

I. 碾压式土壩的設計	1
II. 关于土壩塊石堆坡的設計	67
III. 防止冲刷的壩坡护面	83
IV. 土坡穩定的圖解法	86

施工部分

I. 压实土壤含水量控制	9
II. 土壩和堤壩施工中的土料压实	9
III. 应用夯板夯实黄土性壤土的方法	11
IV. 用戙打法戙实凍結粘壤土的經驗	119

規範部分

I. 土壩排水設備設計規範	123
II. 用普通的非黃土性粘土和砂土干筑土壩和堤的規範	141
III. 冬季干筑壩和堤的技術規範	148
IV. 关于在土建築物 and 混凝土建築物中鋪設反濾層的臨時規範	153
V. 干法建造的填筑物压实檢查暫行規範	158

其 他

滾水土壩設計、施工和管理的經驗	175
-----------------------	-----

設 計 部 分

I、輾壓式土壩的設計

沙巴耶夫著

序 言

本文的目的是將蘇聯設計機關所採用的設計輾壓式土壩的基本方法介紹給同志們。

在這個報告里，我的任務不是講述所有許許多多的各樣土壩及其在水利工程的实际工作中各種具體情況下所應用的各組成部分的設計方法以及最近公布在水利技術定期刊物上的計算土壩的新理論。

本文僅限於分析教科書、規程及其他技術參考書籍中所敘述的以及在設計的实际工作中所採用的最普遍的土壩設計方法。

著 者

一九五二年三月

一、土壩的分類

土壩——是最古代的水工建築物。在紀元前許多世紀內，埃及、印度、阿拉伯、中國就已經有了壩，而現在在世界各國仍普遍地被採用

着。由于它經常能够就地取得建筑材料，所以不須提前开采（在取土場采掘土料时沒有很大困难），而且筑壩时，可采用从最簡單机械开始至最新式的具有高度生產率的各种机械。因为現在有着具有高度生產率的机械，所以可以修筑高达百公尺以上的土壩。

由于許多世紀的工程經驗，人类建造了大量的各种結構的土壩。

按照施工方法，土壩分为：

1. 輾压式；
2. 水填式；
3. 半水填式。

土壩按高度可分为：

1. 低壩或低水头壩——壩高在 10 公尺以下者；
2. 中壩——壩高在 10~25 公尺之間；
3. 高壩——壩高超过 25 公尺者。

由于材料及構造的不同，在筑壩的实际工作中，創造了下列各种基本类型的土壩：

型 1：均匀土質壩，壩体主要是由一种机械組成均匀的土料筑成的。

型 2：多种土質壩，壩断面的各部是由許多不同性質的土料組合而成的。

型 3：硬性斜牆壩，其断面包括用透水性極小的材料（非土質）如混凝土、鋼筋混凝土、金屬、漿砌塊石等筑成的迎水面防滲斜牆。

型 4：塑性斜牆壩，其断面包括由透水性小的土料筑成的迎水面防滲斜牆。

型 5：硬性心牆壩，其断面包括用不透水或透水性極小的材料（例如混凝土、鋼筋混凝土、金屬、木料等）筑成迎水面垂直的防滲心牆；其余部分，用各种粒徑的土料所組成。

型 6：塑性心牆壩，其断面包括由透水性小的土料筑成的垂直的防滲心牆；壩体其他部分是由各种粒度的土料做成的。

上面所指的各种壩的类型，如圖 1 所示：

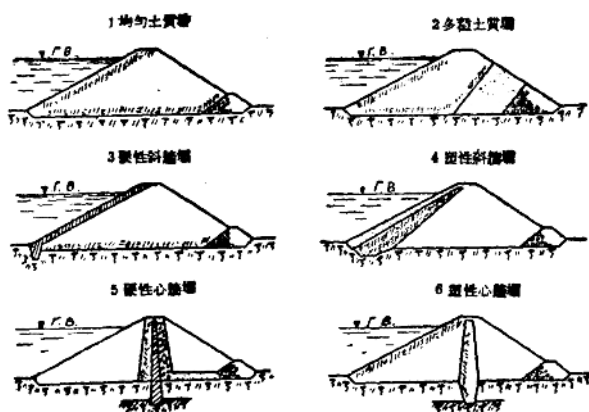


圖 1

二、土壩壩型的抉擇

型 3 和型 5 是非常複雜的建築物，需要熟練的工人及較缺少的材料（Дефицитный материал）（即金屬、水泥等——譯注），因此，只有在非常必要的情形下，當其他方法不可能解決時，才採用型 3 和型 5。

選擇壩型時，主要應根據適合於壩體土料的存在狀況及壩基地質和水文地質等條件。

如果在同一條件下，可能修筑幾種不同類型的壩時，那末，最後的選擇取決於補助條件：經濟、施工、建築期限等。根據地質和水文條件選擇壩型時，應該遵循下列原則：

1. 當基礎以下不深處有由軟土（Мягкий грунт）（粘土、粘壤土）構成的相當厚的不滲透層時，可以採用上面列舉類型中除硬性心牆壩及硬性斜坡壩（型 3 及型 5）以外的任何一種。型 1、2 及型 4，在上述條件下，是最合理的。

2.在地基有軟土質的不滲透層或深处有岩盤時，也可採用上述情況下的這些壩型，將型1、型2及型4的壩加設鋪蓋、深的截水牆或板樁延伸到不透水層，但是，如壩基透水性小，不致有發生管涌沖刷現象的危險時，可不必修筑這些設備。又如，用比較簡單的方法能夠達到不滲透層時，採用型5及型6是最合理的；在岩盤基礎上，應採用型5者，在軟土質的不透水基礎上，應採用型6。

3.如地基不滲透層非常深，可採用帶鋪蓋型的型1、型2和型4，但如壩基範圍較大，地基內沒有因流速過大而引起破壞及大量滲漏損失的危險時，則可不設鋪蓋。

在上述各種地質條件下選擇壩型時，還應以下列要點為準繩：

1.在建築地附近有無便於筑壩的合適的土料，應儘可能利用溢水建築物下的挖基土方；

2.如壩體與其他材料做成的建築物進行聯結時，以壩型1、型5、型6較好。同時應考慮在壩體內是否需要修建泄水建築物；

3.施工條件（例如：為了縮減建造時間是否有冬季堆砌石塊的可能性等）因其過於複雜，這裡不可能完全規定出。

三、土壩各部的設計

在筑造土壩的實際工作中，會碰到復蓋在基礎上的以及做壩身用的各種土料。

這些土料的基本種類是屬岩石的、半岩石的及柔軟的性質。土壩的設計者必須知道下列的土壤：

設計土壩時所應用的土料資料

一、岩石性質和半岩石性質的土料

除了一般的特征（裂隙、破壞性）之外，確定岩性和半岩性的土料的基本性質如下：

1. 容重、比重及孔隙率是确定土料的一般的性質，并能在質量上鑒別其建筑性能。

2. 滲透系数 K ——公分/秒或是在 1 公尺長度上的吸水率，以公升計。这个吸水率是計算經由地基及岸边所滲出的水量及判断地基灌漿的必要性的憑借。

二、軟 土

做土壩时采用軟土的最廣泛，軟土可分为粘性的和散体的兩種，而按其生成的特征，則可分为粘土、粘壤土、砂、砂礫土或碎石土以及黃土和淤泥。

根据軟土的使用及其在壩断面或地基上的位置，設計者應該掌握下列的用于計算上（穩定性、沉陷、土压力）的及其一般建筑特性的資料。

1. 摩擦系数 $\tan \varphi$ 及凝聚力 C 公斤/平方公分，是确定土壤滑动的穩定性，并且是确定斜坡坡度和地基的穩定及对心牆和岸墩等的土压力的基本因素。

2. 壓縮性（表示孔隙比与压力的关系的壓縮曲綫），或彈性系数和柏桑比，这是确定壩基的壓縮性和規定壩身土料的压实限度所必須的。

3. 滲透系数 k ——單位公分/秒或公尺/日，用以計算壩身和壩基的全部滲流。

4. 在自然狀況下的土壤（或在規定的密度下）的比重 γ 、容重 γ_w ，孔隙率 P 或孔隙比 ε 、含水量 W 是決定靜力計算和土壤通性所必須的。

5. 机械組成，是为了約略地評定土壤的基本性質及判定用其筑濾水設備的適合程度。

6. 粘性土壤的塑性限度及塑性指数——用以判別土壤特性及近似地确定出压实的有效含水率。

7. 化学成分——用以确定土壤中易溶于滲漏水中并对混凝土和金屬起危害作用的物質含量。

如系重要的建築物（屬一及二級壩者），應該在試驗室里確定其一般能判斷土壤及計算建築物的一切特性；規定這些化驗工作量時，應該注意到，如為初步設計所用，被化驗的土樣的每一特性應至少做出 2~3 回實驗分析，而對技術設計所用的，則至少要作 5~6 回實驗分析。

如果土質複雜或實驗結果差別很大，實驗分析數目還要增加。

設計不重要的土壩（屬於三級和四級）時，即壩高在 8 公尺以下時，在初步設計階段，不必進行壩附近和取土場的土壤的通性和有關計算用的特性的化驗。在這種情況下，用目測判別土壤的類別，並且應按照下列土壤粒徑分類及土壤機械組成分類。

三、軟土的分類

土 壤 粒 徑 分 類 表

表 1

名 稱	粒 徑 度	粒 徑 (公厘)
漂石及石		200 以上
圓石	大	200~150
圓石	中	150~100
圓石	小	100~60
卵石及碎石	大	60~40
卵石及碎石	中	40~30
卵石及碎石	小	30~20
礫石及砂礫	大	20~10
礫石及砂礫	中	10~4
礫石及砂礫	小	4~2
砂	大	2~1
砂	中	1~0.5
砂	小	0.5~0.25
砂	最小	0.25~0.05
粉土(Илмул)	大	0.05~0.01
粉土	小	0.01~0.005
粘土		少于 0.005
淤泥		少于 0.001

土壤按机械组成的分类表:

1. 土壤的基本种类

表2

土壤名称	成 分 (按重量)		
	粘 土 $d < 0.005$ 公厘, %	粉 土 $d = 0.005 \sim 0.05$ 公厘	砂 $d = 0.05 \sim 2.0$ 公厘
重 粘 土	50	—	—
粘 土	30	少 于 粘 土	少 于 粘 土
重 壤 土	20~30	少 于 粘 土	多 于 粘 土
中 壤 土	15~20	少 于 粘 土	多 于 粉 土
輕 壤 土	10~15	少 于 砂 土	多 于 粉 土
重 砂 壤 土	6~10	少 于 砂 土	多 于 粉 土
輕 砂 壤 土	3~6	少 于 砂 土	多 于 粉 土
砂	<3	—	—

2. 粉 狀 土 壤

表3

土壤名称	成 分 (按重量)		
	粘 土 (%) $d < 0.005$ 公厘	粉 土 $d = 0.005 \sim 0.05$	砂 $d = 0.05 \sim 2.0$ 公厘
粉 狀 粘 土	30	多 于 粘 土	少 于 粘 土
粉 狀 粘 壤 土	10~30	多 于 砂 土	少 于 粉 土
粉 狀 砂 壤 土	3~10	多 于 砂 土	少 于 粉 土
粉 砂	<3	多 于 砂 土	—

3. 砂 土

表4

土壤名称	成 分 (按重量)		
	粘 土 (%) $d = 0.005$ 公厘	粉 土 $d = 0.005 \sim 0.05$	砂 $d = 0.05 \sim 2.0$
粗 砂	3	少 于 砂	50% 1~2公厘
中 等 砂	3	少 于 砂	50% 0.5~1.0公厘
細 砂	3	少 于 砂	50% 0.25~0.5公厘
最 細 砂	3	20%	50% $d < 0.25$ 公厘

4. 礫 石 土

表 5

土 壤 名 稱	成 分 (按重量)	
	大 于 2 公 厘 的 卵 石	由 0.05 ~ 2 公 厘 的 砂 土
礫 石 土	小 于 砂 或 粉 狀 粘 土 的 含 量, 砂 (或 粉 狀 粘 土) 的 含 量 為 10 ~ 50 %	其 重 量 大 于 粉 土 及 粘 土
砂 礫 石	大 于 砂 或 粉 狀 粘 土 的 含 量, 砂 (或 粉 狀 粘 土) 的 含 量 為 33 ~ 50 %	
粉 狀 礫 石	同 上	其 重 量 小 于 粉 粘 土
礫 石	> 50 %	

注解：礫石的成分少于 10% 时，土壤按照表 2 分类，加上“礫石”的名称。

設計小壩时，設計者常常是自已進行勘察及搜集材料，因此，我認在这里介紹野外确定土壤的方法是适当的，虽然这是屬於勘察工作範圍內的（見表 6）。

野 外 确 定 土 壤 的 方 法

表 6

土壤类别	手触时的感觉	目测及用放大鏡观测	土 壤 状 态			其他特征
			干	湿润	潮湿时之状态	
粘 土	手触潮湿土壤时感觉不到砂的成分，小土塊不易压碎	看不見砂	非常硬的層（成塊的）	膠粘的塑性層	搓捻时成長而細的条（1.5公厘）	刻划干粘土時有光亮的痕迹
重粘壤土及輕粘壤土	手触时感觉有少量砂，小土塊易压碎	重粘壤土砂少，輕粘壤土砂多	土塊受錘击即碎	可塑性及粘性弱	能搓成粗而短的条	干燥时無光澤紋路
粉狀粘壤土	手触时感觉有少量砂，类似干粉小土塊易压碎	砂少，看得出細的粉粒	土塊可击成粉末	可塑性及粘性弱	不能搓成長条因易断	同上
沙 壤 土	砂粒很多，土塊不用力即能压碎	砂多于粘土	土塊易捻碎	非塑性	不能搓成条	—
砂	感觉不到有粘土成分，土壤是松散的	只能看見砂	沒有凝聚性	非塑性	不能搓成条	—
礫 石 土	2公厘的土粒相当多	—	土是松散的	—	—	—

四、土壤的基本性能

如果設計小壩需要計算土壤的性能时，可使用下表。

表 7

土 壤 名 称	內摩擦角 (度)	摩 擦 系 数	凝 聚 力 c (公斤/平方公分)	容 重 (噸/立方公尺)	
				飽和土	風干土
粘 土	11~20	0.20~0.35	0~3.0		
粘 壤 土	20~24	0.35~0.45	0~1.0		
粉狀粘壤土	22~24	0.40~0.45	0~0.5		
砂 壤 土	24~27	0.45~0.50	1~0.1		
細 砂	27~31	0.50~0.60	0	1.9~2.0	1.6~1.7
中 等 砂	29~33	0.55~0.65	0		
粗 砂	31~35	0.60~0.70	0		
	33~37	0.65~0.75	0		

最大的凝聚力系指非常密实的土，最小的凝聚力系指不密实的松散土。

五、关于土壤渗透系数的概括資料

小壩及初步計算的渗透系数可参照表 8 采用。

表 8

土 壤 名 称	渗 透 系 数 k			
	最 大 值 (公分/秒)	最 小 值 (公分/秒)	平 均 值 (公分/秒)	平 均 值 (公尺/日)
粘 土	0.000001	0.0000004	0.0000005	0.00043
重 粘 壤 土	0.0000025	0.0000014	0.000002	0.0017
中 粘 壤 土	0.000006	0.000003	0.000005	0.0043
輕 粘 壤 土	0.00005	0.00001	0.00004	0.035
重 砂 壤 土	0.00007	0.00003	0.00006	0.052
輕 砂 壤 土	0.002	0.00005	0.0002	0.17
細 砂	0.005	0.0003	0.003	2.00
細 及 粗 砂	0.05	0.005	0.02	17.00

一、均匀土質壩 (型 1)

均匀土質壩壩体的土料，在采土場進行土料开挖以及运输、壩体碾压等的費用尽可能的低廉的条件下，应该具有足够的不透水性和穩

定性。建筑均匀土質壩最好的土質是粘壤土，它含砂 50~70%，含粘土 50~30%。粘壤土的含砂量增加至 75% 以上时，由实验得知，通过壩的渗透量要顯著地增加。因此，应認為粘土的体積比砂土的孔隙体積少些，即含 25% 左右的粘土，75% 左右的砂土，这样的土壤是最优良的。

含有大量粘土成分的壤土（50~60%），对于壩身同样合適，但使用时必須用砂層盖住迎水坡，免使凍裂和干裂。

壩身采用純粘土是不行的，因为，虽然純粘土也具有不透水性，但它遇潮湿即滑陷，其中水分遇凍即膨脹，而干时則生龜裂。因此，用粘土做壩时，不掺砂子是不合適的。

淤泥土也不能筑壩，因为，只有在斜坡非常平緩时方能安定，并且它的沉陷也不平衡。

砂土是透水的，因此，用砂土筑壩时，其断面須很平緩，將大大增加土方量，因而增加造价。如使用砂土做壩身时，应当將其配置在背水坡方面。在迎水坡方面，應該填以不滲水壤土（約占壩断面面積的 30~40% 左右）。

用粉砂和凍土筑壩是不合適的。根据使用该种土壤的目的及在壩中的配置，如使用该种土壤，应具有下列几种基本条件：

1. 壩內受渗透影响部分所使用的土料，不应含有大量有机混合物和可溶鹽类，因为它们們在長期溶濾作用下能引起顯著的变形。

在下列情況下，可能發生土壤的碱化問題：輕粘壤土、砂壤土、砂等被石膏碱化时；粘壤土、粘土被易溶鹽碱化时（这种易溶鹽在出現溶濾作用时，可能成为土壤地質性質發生各种变化的原因）。

2. 与混凝土建筑物相連接的土壤，不問其机械組成如何，不應該含有大量有机混合物（腐植土）及水溶鹽。被石膏碱化的土及沼澤土，对混凝土說來，是最危險的。

現在還沒有能判断关于上述混合物的限定量的足够資料（在該限定量內的土壤，可認為是合適的）。为了概括的鑒定土壤，可根据下列指示來鑒別：

1. 毫無条件地可以認為含有的有机混合物不超过 2% 的土料是合適的。但如果是被石膏碱化时，則在土壤的渗透系数小的（例如壤土、

粘土)条件下,可用含有大量鹽(2~8%)的土料筑壩。

2. 当含有大量的有机混合物和水溶鹽时,这样的土料,应是令人怀疑的,因之必須具有使用这样土料的証明(証明它与安全使用着的某建筑物的土料相似以及試驗室的試驗証明等)。

規定混凝土建筑物周圍的土壤中的允許含鹽量时,必須根据这些鹽类在混凝土周圍水中的允許含量,以及鹽类溶解并从土壤中移出后可能的含鹽濃度,这些問題要在每种具体情况下个别地解决。

做蓋面和過水壩趾用的石料,應該具有足够的抵抗大气影响的性能(凍融25次时,重量損失不应超过20%)。

滲濾用的砂不应含有淤泥及粘土成分。

如果在筑壩地址近处,沒有能满足上述各条件的均質土料时,則不应做均匀土質壩,而应改做其他类型的壩。在圖2和圖3上,指出

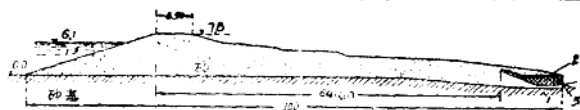


圖2 包路文斯克水电站的均匀砂質壩

1—枝料; 2—藓苔; 3—石料。



詳圖 A

詳圖 B

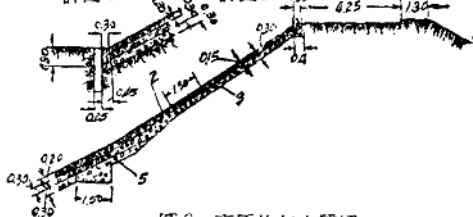


圖3 高压均匀土質壩

1—混凝土保护层; 2—混凝土芯; 3—过滤礫石層; 4—粘土及細砂; 5—未过滤礫石; 6—堆石; 7—排水管 $d=30$ 公分, 卵石填塞。

了建筑均匀土質壩的例子。

二、塑性心牆壩（型6）

为了减少渗透以及降低浸潤綫，应在壩体内設置比較不透水的土質心牆；若与均匀土質壩相比較，它能縮減壩的断面。

建造壩的心牆用粘土、粘壤土或砂和粘土按比例配合的土料，填筑时要分層填土，仔細夯实，層厚8~15公分。心牆为梯形断面，具有由6:1至12:1的陡的坡度；按倒濾原理，用易滲水的土料做心牆的迎水部分及背水部分，就是靠近心牆部分用較細密的土料，离心牆越远，土料顆粒愈大，并且用易透水的材料，做背水坡。按照施工条件及为保証安全性進行心牆的設計时，应该遵循下列基本条件：

1. 应该在具有不透水層（粘土类）或岩盤的地基上采用心牆，而且必須特別注意心牆与基礎的結合，这已成定論。

2. 心牆的軸，或者重疊于壩身横断面的軸上；或者稍偏于上游部方面，不超出壩頂。

3. 心牆的外形应该是梯形的，从上到下加厚而沒有任何突出部分。

4. 心牆上部的厚度，应该不小于0.8~1.0公尺，而下部不小于水头（ H ）的 $1/10$ 。

5. 心牆高出上游最高水位应该不小于0.5公尺。

6. 心牆的上部，应该复盖保护层，其厚度（按其可能）应不小于凍結的深度。

7. 嵌入透水性小的地基的深度，应该不小于0.5公尺。

8. 心牆嵌入地基时，其最低点的厚度不应小于1.0公尺；

心牆与岩盤基礎的結合（例如采用帶突出部分的混凝土基墊或混凝土截水牆或混凝土牆，它伸入坚硬岩盤0.6~1.2公尺）应该特別仔細地進行（見圖4）；

当缺乏合適的建造心牆的天然土（粘土，渗透系数小的壤土）时，可使用粘土与砂和卵石的混合土（三合土）。

通常的三合土，按其体積來說，礫石（粒徑为0.5~2.0公分）为40%，砂和粘土为60%。如果使用優質粘土时，其組合成分：卵石

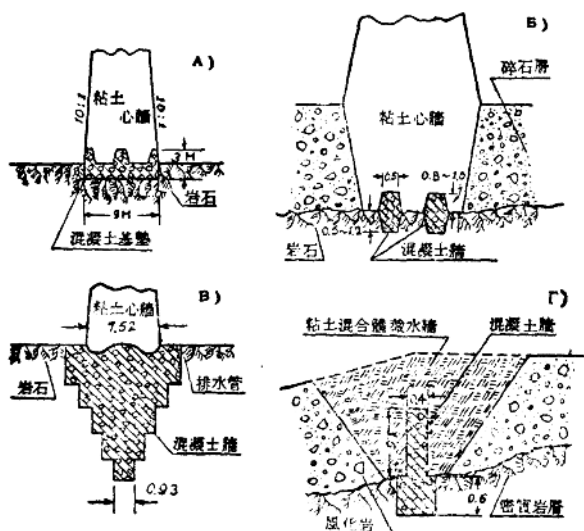


圖 4 岩石基礎上的心牆、截水牆及斜牆詳圖

40%，砂 35% 及粘土 25%。用粘壤土代替粘土時，應該少用砂，而用保持粘土與砂的比例為 1:1.5 的混合土。

三合土正確的組成應在實驗室內經過不透水性試驗來確定。在圖 5 上，舉出了在頓巴斯所建造的高 15 公尺的心牆壩。壩身是由黃壤土筑成的，壩基是粘土頁岩。

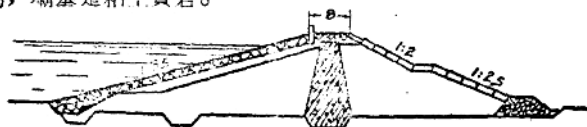


圖 5 粘土心牆壩

三、塑性斜牆壩（型 4）

在土壩內近迎水坡處設置斜牆，借這斜牆可使斜牆後的浸潤綫降得非常低。其他部分（斜牆下游部的壩體）一般是用較易透水的材料做成，其中僅有極小部分被水飽和，因此有着很好的穩定性。

粘土斜牆亦是用做心牆的材料做成的。

建造斜牆時，必須遵守下列基本條件：

1. 粘土、壤土、三合土的斜牆，應該按其高度逐漸向下加厚，要進行這樣的計算，以便壓力坡降即水頭與護牆厚度的比率，在各個斷面上能大致一樣。

2. 斜牆的上部厚（與牆坡垂直）不應小於 1 公尺，而下部不應小於水頭的 $1/10$ ，在任何情形下，都不應小於 2 公尺。通常用截水牆將斜牆與壩的基礎結合在一起。

3. 為使斜牆迎水面不受沖刷、冰凍、脹裂和干縮，以及防止迎水面的裂縫起見，要在斜牆上復蓋保護層。保護層是由砂石土做成的，厚度不小於 1.5 公尺，而在庫水位以上的部分，則不應小於凍層的厚度。

斜牆的頂部，也應該用粒徑大的土料保護，使其免受冰凍，並阻止斜牆上部水分的毛細管作用。

4. 斜牆高出水庫的最高水位應該不小於 0.5 公尺。

5. 直接與斜牆迎水面和背水面連在一起的土壤，應該按照反濾層的原理配合之；對於大中型壩具有按照第 2 個條件所限定的最小尺寸的斜牆，應該特別認真地遵守這個條件。

為了減少經由地基及壩身的滲流，要在壩前部做鋪蓋。這種鋪蓋往往是斜牆的延長或是壩身迎水面的延長。通常，對鋪蓋的那些基本要求，應該同斜牆的一樣。

鋪蓋長度通常應在水頭 3~4 倍之間，但有時可達到水頭的 15~20 倍。

鋪蓋厚度應根據鋪蓋土質的透水性質，以及地基土質的種類和性質來規定，而且在各種有利條件下，低壩的鋪蓋厚度應該不薄於 0.5 公尺，中壩——0.75 公尺及高壩——1.0 公尺。

當鋪蓋設在粗粒土工（礫石、卵石）上時，應該在鋪蓋下面填筑砂層。在可能發生冰凍及因高滲流而發生沖刷的地段（接近泄水底孔處），應該用保護層復蓋作鋪蓋，這已經在斜牆部分指出過了。

在與斜牆相結合的地方，因考慮壩與鋪蓋不均勻沉陷的可能性，鋪蓋應該比上面指出的加厚。

型3 硬性斜牆壩——即混凝土及鋼筋混凝土的建築物，很少被採用。因當壩沉陷時會發生裂痕，其穩定性不可靠，同時費用較大，構造又複雜，所以不建議做這類的壩。在圖6上，提出了粘土斜牆壩。在圖7上，提出了帶鋪蓋的粘土斜牆壩。

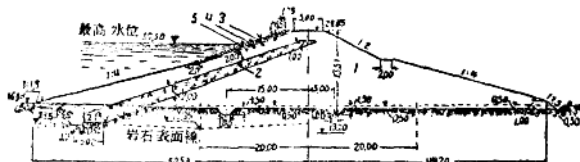


圖6 以斯大林命名的白海-波羅的海運河之粘土斜牆壩

1—砂土；2—粘土斜牆；3—塊石層0.35公尺；4—碎石層0.15公尺；5—沼草0.05公尺。

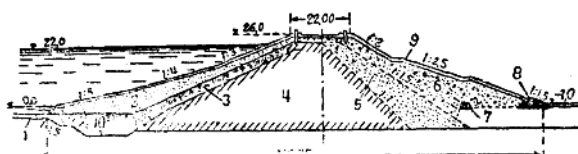


圖7 斜牆及護底壩

1—粘土鋪蓋；2—砂土；3—粘土斜牆；4—壤土；5—砂；6—砂與卵石混合土；7—排水槽；8—排水壩趾；9—腐植土；10—截水牆。

四、硬性心牆壩（型5）

在修築地點缺少適合筑心牆或斜牆的不透水土質時，在壩體內，可用由石、混凝土或鋼筋混凝土、金屬及木料建造的直立硬性心牆（見圖8 混凝土心牆壩）。

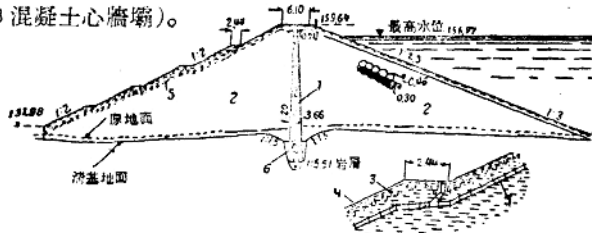


圖8 混凝土心牆壩

1—混凝土心牆；2—振壓壩體；3—厚30公分的粘土層；4—草皮；5—陶管 $d=20$ 公分；6—鋼板槽。