

苏联电站部水力发电设计院

水工建筑物的地基土壤

北京水力发电设计院技术处译

电力工业出版社

內 容 提 要

本規範适用于各級水工建築物的各設計階段，同時也适用于建築物天然地基的設計。書中詳細地敘述了土壤的分類及其特性，并說明了水工建築物的地基应符合的條件以及水工建築物穩定性的計算。

本書可供從事水工建築物設計工作的工程人員參考。

МЭС СССР ГЛАВЭНЕРГОПРОЕКТ
ГРУНТЫ КАК ОСНОВАНИЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ
МОСКВА 1952

水工建築物的地基土壤

根據蘇聯電站部水力發電設計院1952年莫斯科打印本翻譯
北京水力發電設計院技術處譯

529877

電力工業出版社出版(北京府右街26號)
北京市書刊出版業營業許可證出字第082號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

787×1092 $\frac{1}{2}$ 開本 * 16印張 * 13千字

1957年2月北京第1版

1957年2月北京第1次印刷(0001—5,100冊)

統一書號:15036·460 定價(第10類)0.14元

627
S736

前 言

本設計規範是根据水电建設总局 1938 年出版的水工建筑物标准 CT-24-4438 “建筑物地基土壤及岩石”經過审查和部份修改而成的。本規範作为电站部設計水工建筑物之用，并在建筑工程規範出版之前作为暫行規範。

从 1943—1944 年开始审查和修改本規範，此項工作是由技术科学博士 M. E. 克諾列根据水电設計院技术援助处設計方法标准室的任务进行的。最后于 1947 年由技术科学博士 A. Л. 罗宾西节宏教授校閱。审查和修改本規範时，曾考虑到已往时期在这方面所获得的新的理論与实践的資料。

本規範草案在 1948 年 10 月 9 日及 1950 年 7 月 29 日經過审查，并得到水电設計院总工程师 П. И. 瓦西林柯的同意。参加审查本規範的有 П. П. 拉烏普曼，Е. В. 勃莉涅克，Б. М. 刘勃欽科，С. Я. 魏戈特斯基，К. П. 托烏斯托塞，С. И. 泰依且尔，А. Л. 巴雷科夫，Б. И. 皮尔曼。在 1951 年本規範草案又得到 Б. Е. 維捷涅也夫全苏水工科学研究所土壤地基实验室的鑑定，参加鑑定的有技术科学博士 Н. Н. 馬斯洛夫，Р. Р. 邱加也夫，技术科学碩士 Г. Б. 雅普及 М. Я. 克罗科夫斯基。

水电設計院副总工程师：**П. П. 拉烏普曼**
技术援助处处长：**Б. М. 刘勃欽科**

目 录

一、规范适用范围	3
二、土壤的分类及其特性	3
三、建筑物地基土体	9
A. 岩性及半岩性土壤	10
B. 非岩性土壤	12
四、开挖斜坡的稳定性	23

附 录

在地基中具有粘性土壤的情况下,当计算滑动时,内摩擦角 φ
及粘結阻力“C”之计算数值的确定(29节(一)項)

苏联电站部 建筑安装生产 技术管理局	設 計 規 范	TY-18-51 代 替
	水工建筑物的地基土壤	CT-24-4438

一、规范适用范围

1. 本规范适用于建筑物天然地基的设计(但修建于永久冰冻地区的建筑物除外); 本规范对各級水工建筑物的各设计阶段均适用。

附註:

(1) 在设计水工建筑物时, 土壤中如含有大量的有机物质(按其重量佔10%以上者), 泥炭、流沙、黄土类土壤及黄土等, 则除了本规范的一般要求外, 必须考虑專門的规范和规程的指示。

(2) 在设计地震区的水工建筑物的地基时, 还应该考虑抗震建筑的要求。

2. 建筑物的分类按照国定全苏标准 ГОСТ-3315-46 “水工建筑物按重要性分类”采用。

二、土壤的分类及其特性

3. 土壤按其特性分为岩性、半岩性及非岩性土壤。非岩性土壤又分为粘性土壤(粘土类、粘壤土及砂壤土)和非粘性土壤(砂土、礫石、卵石、巨礫及大塊碎石)。

4. 岩性土壤是由于各顆粒間的解理或膠結而成的定型固体; 在荷載下产生不大的变形, 而当超过極限强度时, 立即破坏而成碎塊(脆性)。

5. 半岩性土壤(即膠結的岩石): 在水飽和状态下, 其受压極限强度小于 50 公斤/平方公分; 在基础下易于压实(例如: 泥

灰岩、硅質粘土等)；沒有抗水性(石膏、岩鹽、石膏質礫岩等)。

6. 粘性或粘土類土壤的特點在於它含有大量的鱗片狀的極細顆粒($d < 0.005$ 公厘)，有塑性(對某種粘土在一定的含水量範圍內)，有很大的粘着力和微小的滲透系數。

非粘性土壤是由比較大的圓形顆粒或稜角狀顆粒所組成，在顆粒間有內摩擦力，而粘着力接近於零，滲透系數很大。

附註：

在載荷作用下，非粘性土壤由於孔隙體積的變化而變形。而粘性土壤(粘土)在載荷下受到壓縮，但其壓縮發生得較緩慢，並可達到很大的數值。粘性土壤當卸載時體積復又增大。砂土在載荷作用下的壓實以及卸載時的疏松都是不大的，並且發生得較快。

7. 粘土及粘土類土壤按照其不同的濕度具有不同程度的變形性能，這種性能稱為塑性。土壤的塑性是用兩種狀態下的土壤含水量(以重量計)之差數來表示；即流動界限含水量與搓捻界限含水量之差(國定全蘇標準ГОСТ-5184-49及國定全蘇標準ГОСТ-5183-49)。

粘土類土壤按照塑性指數的區分列於表1。

粘土類土壤按照塑性指數的區分

表 1

序 號	粘 土 類 土 壤 名 稱	塑 性 指 數 W_n
1	粘 土	$W_n > 17$
2	粘 壤 土	$7 < W_n \leq 17$
3	砂 壤 土	$1 < W_n \leq 7$

8. 非粘性土壤的特徵是沒有粘着力，而有頗大的內摩擦力，頗大的透水性及比較小的壓縮性，在載荷作用下變形進行得很快。

附註:

在含雜質的砂中可能出現有粘着力，但與粘性土壤比較起來是極小的數值。

9. 為了進一步區分非岩性土壤的種類，用塑性指數作為粘性土壤的主要特徵。用顆粒成份作為非粘性土壤的主要特徵。

附註:

在必要的情况下，對於粘性土壤除求塑性指數外，尚需求顆粒成份。

10. 根據顆粒組成及在土壤中的粘土、粉土、砂土、砂礫和其他成份所確定的土壤名稱如表 2-4 所列。

粘土類土壤

表 2

序 号	土 壤 名 称	顆 粒 含 量 以 % 計		
		粘 土	粉土及砂土一起	砂 礫
1	重 粘 土	>60	≤ 40	} <10
2	粘 土	30—60	≤ 70	
3	重粘壤土	20—30	≤ 80	
4	中粘壤土	15—20	≤ 85	
5	輕粘壤土	10—15	≤ 90	
6	重砂壤土	6—10	≤ 94	
7	輕砂壤土	3—6	≤ 97	

附註:

如果粉土顆粒的數量較砂土顆粒為多，則在土壤的主要名稱前加一“粉”字，例如粉粘土、粉重砂壤土等。

11. 確定土壤特性的主要標誌是：

(一) 粘土的塑性限界；

(二) 顆粒成份；

(三) 稠度；

礫石、卵石、巨礫及大塊碎石土壤

表 3

序 号	土 壤 名 称	按顆粒的粗度区分以干土重的%計
1	巨礫土壤（当非圓形石佔多数时，土壤称为石岩）	尺寸大于100公厘的石料佔总重50%以上
2	卵石土壤（当非圓形顆粒佔多数时，称为碎石）	大于 10 公厘的顆粒佔总重50%以上
3	礫石土壤（当非圓形顆粒佔多数时，称为石屑）	大于 2 公厘的顆粒佔总重 50%以上

砂 土

表 4

序 号	土 壤 名 称	按顆粒的粗度区分以干土重的%計
1	砂 壤	大于 2 公厘的顆粒总重在 25%以上
2	粗 砂	大于 0.5 公厘的顆粒总重在 50%以上
3	中 砂	大于 0.25 公厘的顆粒总重在 50%以上
4	細 砂	大于 0.1 公厘的顆粒总重在 75%以上
5	粉 砂	大于 0.1 公厘的顆粒总重小于 75%

(四)比重及容重;

(五)孔隙率(天然的);

(六)含水量(天然的);

(七)岩石成份;

(八)化学成份;

(九)在載荷作用下的压实性能(压缩特性);

(十)渗透系数;

(十一)摩擦角;

(十二)粘着力;

(十三)砂土的密实度。

12. 粘性土壤的孔隙率、压缩特性、渗透系数、摩擦角及粘着力的确定应该用原状土样进行。

对于砂土的摩擦系数、渗透系数及压缩特性的确定可以用非原状土样进行，但要在将它压实到天然孔隙率的情况下进行。

13. 土壤中孔隙体积对总体积之比称为土壤的孔隙率 n ；而其孔隙体积对土壤颗粒所佔体积之比称为土壤的孔隙系数 ε 。

(一)在所有情况下:

$$n = \frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon}, \quad \varepsilon = \frac{n}{1 - n}. \quad (1)$$

$$\gamma = \gamma_0(1 - n). \quad (2)$$

(二)在孔隙中有水及空气(三相系统)的土壤:

$$n = \frac{\gamma_0(1 + w) - \gamma_w}{\gamma_0(1 + w)}. \quad (3)$$

$$\varepsilon = \frac{\gamma_0(1 + w) - \gamma_w}{\gamma_w}. \quad (4)$$

(三)对于全部孔隙充满水(两相系统)的土壤:

$$n = \frac{w\gamma'_0}{\Delta + w\gamma'_0}. \quad (5)$$

$$\varepsilon = \frac{w\gamma'_0}{\Delta}. \quad (6)$$

$$\gamma_w = \frac{\gamma_0(1 + w)}{w\gamma'_0 + \Delta}. \quad (7)$$

$$\gamma = \frac{\gamma_w}{1+w} \quad (8)$$

$$\gamma_{\text{sat}} = (\gamma_0 - \Delta)(1-n) = \frac{\gamma_0 - \Delta}{1+\varepsilon}, \quad (9)$$

式中 w ——在單位体积內的含水量(以重量計);

n ——在單位体积內土壤的孔隙率;

ε ——在單位体积內孔隙系数;

Δ ——水重, 以吨/立方公尺計;

γ_0 ——土壤粒料的比重, 以吨/立方公尺計;

γ_w ——土壤容量(包括土壤孔隙中的水, 以吨/立方公尺計);

γ_{sat} ——浮在水中土壤的容重, 以吨/立方公尺計。

14. 土壤的饱和系数 g_w 是土壤孔隙中水所佔的容积与全部孔隙容积之比, 它按下式決定:

$$\text{或} \quad g_w = \frac{w\gamma_0}{\varepsilon\Delta} \quad (10)$$

$$g_w = \frac{\gamma_w - \gamma}{n\Delta} \quad (11)$$

按照 g_w 之大小土壤区分为:

稍微潮湿的土壤 $0 < g_w < 0.5;$

潮湿的土壤 $0.5 < g_w < 0.8;$

饱和水的土壤 $0.8 < g_w < 1.0.$

15. 非粘性土壤地層的密实度按照土壤的密实度決定:

$$D = \frac{(n_{\text{max}} - n)(1 - n_{\text{min}})}{(n_{\text{max}} - n_{\text{min}})(1 - n)} = \frac{\varepsilon_{\text{max}} - \varepsilon}{\varepsilon_{\text{max}} - \varepsilon_{\text{min}}}, \quad (12)$$

式中 D ——土壤的密实度;

$n_{\max}$ 及 $\varepsilon_{\max}$ ——土壤最大可能的孔隙率及孔隙系数(將土壤疏松地倒在量皿器中确定);

$n_{\min}$ 及 $\varepsilon_{\min}$ ——土壤最小可能的孔隙率及孔隙系数(用震动或多次輕敲的方法而搗实的土壤确定);

n 及 ε ——所試驗之土样的孔隙率及孔隙系数。

按 D 之大小土壤区分为:

松散土 $0 < D < \frac{1}{3}$;

中实土 $\frac{1}{3} < D < \frac{2}{3}$;

密实土 $\frac{2}{3} < D < 1$.

16. 第四紀沉积的粘土类土壤(非大孔性土壤)按其所測得的稠度数值 B 来区分:

$$B = \frac{w - w_p}{w_n}, \quad (13)$$

式中 w ——在天然状态下的粘土类土壤的含水量;

w_p ——粘土类土壤搓捻界限的含水量;

w_n ——塑性指数。

按照稠度, 粘土类土壤(非大孔性的土壤)区分为:

固体状态的土壤 $B < 0$;

塑性状态的土壤 $0 < B < 1$;

流动状态的土壤 $B > 1$.

三、建筑物地基土体

17. 水工建筑物的地基应该符合下列要求:

(一)土壤不得从建筑物地基下面鼓起;

(二)不允許部份土体同建筑物一起滑动;

(三)不允許由于水压力的作用而使部份土体完全浮起;

(四)在地基中渗透梯度不应超过危險極限;

(五)在岩性土壤的地基中, 不应使土壤有被建筑物压碎的危

險；

(六)不使地基有由于滲透水的化学作用而破坏的危險；

(七)沉陷及其不均匀性，不应超出建筑物使用条件所允許的数值。

附註：

当土工建筑物在其組成中沒有剛性部份(例如混凝土心牆)时，(一)及(七)項中的要求不像对剛性建筑物那样起决定性的作用。

檢定土工建筑物的地基首先要根据土壤与滲透水流的关系以及部份建筑物連同支持建筑物的地基土体一起滑动或沉陷的可能性来进行。

A. 岩性及半岩性土壤

18. 当編制 I、II 及 III 級建筑物的設計时，岩性土壤的極限强度用專門研究的方法确定；即用压碎 $5 \times 5 \times 5$ 公分立方体試件的方法确定。

預先烘干立方体試件是不允許的，在压碎立方体試件前，可把立方体試件浸在有顏色的水中，进行研究，判断其有無隱蔽的裂縫。

19. 在岩性地基中，对極堅固而有裂縫趨勢的岩性土壤，容許压力可采用岩性土壤的受压極限强度的 $1/20$ 到 $1/25$ ；而对于中等品質的岩性土壤可采用 $1/10$ 到 $1/20$ ；对于勻質無裂縫的松軟土壤以及半岩性土層，容許压力为極限强度的 $1/5$ 到 $1/10$ 。

对于風化的岩層，容許压力按照岩層的情况降低25%到50%。

对于IV及V級建筑物，在岩層未被風化破坏的条件下，岩層表面的压力可容許采用表5內所列的範圍。

本节定額中較小的数字應該用于上述各等級中較不堅固的岩層；并在它們最坏的情况下且仅考虑到基本載荷时采用之。而当考虑附加力时則采用較大的数字。

表5列举的資料适用于基础的平面尺寸較小的地基。

在岩層及半岩層上的容許压力

表 5

序 号	岩 層 名 称	容 許 压 力 公斤/平方公分
1	松軟岩層(凝灰岩、密实的白堊、粗面岩)	8—12
2	中等品質岩層(砂岩、石灰岩等)	12—20
3	坚硬岩層(片麻岩、花崗岩、玢岩、密实的砂岩、密实的石灰岩等)	20—40
4	特別坚硬岩層(石英岩、細粒花崗岩等)	40—60

当基底面积較大，且应力梯度無急剧变化时(即当沒有必要大大提高沿基础底部邊緣的抵抗力时)，容許压力可比表中数据提高达25%。

20. 在 19 节中所列的容許压力数值是假定岩層有足够的厚度。如果在岩層下面沉积着松軟的压縮性土壤，那末必須估計到在建筑物的重荷下，岩層可能被压坏。

上述問題每次應該給以專門的研究。

21. 容易溶解的岩層(例如石膏)不允許做水工建筑物的地基。当容易溶解的岩層沉积在其他土壤下面某一深度时，則在建筑物地基中保留有可溶解土壤的問題应予以專門的研究。

22. 在有裂縫的岩層上或卡斯特地基上修建有压力的水工建筑物时，为了防止滲漏以及加固地基起見，必須对地基采取水泥灌漿或瀝青灌漿，或者其他类似的措施。

23. 在計算滑动时，必須考虑到水对于建筑物及岩石地基的浮托力。在良好而裂縫少的岩層中，浮托力的面积系数采用 $\zeta \geq 0.5$ ，对于松軟而裂縫严重的岩層采用 $\zeta = 1$ 。当地基中有分層岩層时，必須驗算沿着最松軟層間的滑动。

24. 如果建築物傳遞水平壓力于岩層上(例如拱壩), 或者緊靠建築物后面的岩層急劇下降(凹部)時, 那末必須驗算岩層可能沿着危險面或者裂縫系的擠出現象, 此時要考慮到順岩層及垂直于岩層的受切極限強度。

25. 半岩性土壤是要用灌漿加固。它与岩性土壤的區別在于塑性變形的性能不同。半岩性土壤根据这个標誌区分, 即其壓縮模數值 <2000 公斤/平方公尺。

根据在浸湿情況下強度的減弱, 半岩性土壤可区分为抗水的和非抗水的。

不溶解的和冲刷的半岩性土壤属于抗水的半岩性土壤, 其軟化系数 $\frac{\sigma_g}{\sigma_0} > 0.75$ 。

此处: σ_0 ——在風干狀態下的土样的受压極限強度;

σ_g ——在飽和狀態下的土样的受压極限強度。

下列土壤属于非抗水的半岩性土壤:

(一)可溶解的半岩性土壤, 当其浸于水中时, 由于膠結岩層的某种鹽类(石膏)的溶解, 其強度將显著下降;

(二)軟化的半岩性土壤, 其軟化系数 $\frac{\sigma_g}{\sigma_0} \leq 0.75$ 。

这类岩石也属于半岩性土壤, 即它們虽是尋常的岩性土壤(在載荷作用下呈現出不大的變形及脆性), 但在水飽和的狀態下(例如松軟的石灰石)具有較低的極限強度——小于 50 公斤/平方公分。或沒有抗水性(如岩鹽)。

半岩性土壤容易很快地, 和大量地風化, 这种特性使其难于用作地基, 所以需要采取專門防止風化的措施。

Б. 非岩性土壤

26. 地基容許壓力決定于建築物地基下面土壤的不鼓起的條件, 滑動的穩定性以及所考慮的建築物的安全沉陷值。

对于 I、II 及 III 級建築物, 容許壓力的選擇應該根据專門的

計算：建築物滑動的穩定性、地基沉陷的驗算、地基土壤對浮動的穩定性、所採用建築物結構的強度以及必須考慮的滲透力。

27. 在垂直力和水平力作用下的水工建築物的穩定性計算如下：

(一)沿建築物地基底的水平面滑動；

當驗算沿着建築物地基底的水平面滑動時，建築物與粘土間的粘着力不予考慮；

(二)假設在地基土壤中有形成滑動面的可能性；

上述的滑動面應該這樣來選擇，即它們是經過最不穩定的土壤中的滑動面。在地基土壤中具有滑動系數較低的水平地層時，應該對建築物沿着這個地層的滑動進行驗算。

28. 穩定性的安全系數應該由設計者根據計算方法及在計算中所採用的土壤數據的可靠性來進行選擇。下列三點建議作為大體的規定。

穩定性的安全系數應該考慮下列因素：

(一)實際作用於該建築物上的力與載荷的可能最危險的組合，即主要的、附加的和特殊的（如果對所研究的建築物可能發生特殊的力與載荷時），及主要的和附加的（如果建築物不可能發生特殊的力與載荷時）；

(二)減低後的抗力（被動力）；

(三)失去穩定性的最危險的計算方案（如 27 節中（一）及（二）項所述）及可能變位的方向。

選擇各部份的安全系數之值和各部份作用力及計算數值的規定分別引述於 29、30、31 及 32 等節。

29. 土壤對滑動載荷的抗力計算值應該按照下述規則決定，這些規則對粘性及非粘性土壤是有區別的：

(一)粘性土壤的抗剪強度應按照庫倫的假設由滑動系數值確

定:

$$f = \operatorname{tg} \varphi + \frac{c}{\sigma}, \quad (14)$$

式中 φ ——土壤內摩擦角;

c ——粘着力(公斤/平方公分);

σ ——垂直于滑动方向的压应力,以公斤/平方公分計。

$f, \operatorname{tg} \varphi$ 及 c 的数值應該根据实驗室中用單剪仪作滑动試驗来决定。

鑒于标准的試驗方法尚未确立,建議用已知强度指数的土壤在仪器中檢定其强度的方法来預先校正仪器及确定利用仪器的方法的适用性。

I、II及III級建筑物的試驗次数应按照地質構造的复杂性来确定。

在技术設計时,当地質条件比較簡單即建筑物地基的生成是單一的地質土層(岩層)时,應該分別进行不少于100、75及50次的实驗室試驗。当地質条件比較复杂时,对于組成地基的并且决定建筑物稳定性的每一主要地質層(岩層)應該分別进行不少于60、45及30次的实驗室試驗。对于次要的岩層,可以根据岩層的性质把試驗次数減少至二分之一到三分之一。

在初步設計阶段,可以將試驗次数減少一半。在更早期的設計阶段(即技术經濟調查报告阶段——校者註),对每一地質層(岩層)的抗剪强度可用一次試驗来决定,仅仅作为岩層的大概特性而已。

对每一 σ 值各別确定的試驗值中,采取其最小平均值作为計算的滑动系数值 f 。

在开始建造之前,應該直接在探坑中进行整体土壤的补充試驗,其数量不少于实驗室的10%,而且在編制施工詳圖时也应该考虑到这一点。滑动系数 f 的計算值應該按照本节的指示用实驗

室試驗及探坑試驗的資料計算出來。

附註：

決定 $\operatorname{tg} \varphi$ 及 c 值的詳細指示列在附錄中。

(二)非粘性土壤的抗剪強度可根據所試驗的土壤在各種密實度下的強度的實驗研究確定之。根據查勘的資料並考慮所採用的工作方法來估計(確定)建築物地基土壤的預計的密實度。

對於密實度已知的土壤，抗剪強度的計算值採取等於平均最小值(即附錄中所述的決定方法)，但同時不能超過強度的算術平均值的 0.9 倍。

試驗次數按照本節(一)項的規定來決定，但當抗剪強度的數值不太零亂時，試驗次數可以減至二分之一到三分之一。

(三)當計算Ⅳ及Ⅴ級建築物時，以及在初步計算中，土壤的抗剪強度值 $(f = \operatorname{tg} \varphi + \frac{c}{\sigma})$ 可以採用表 6 中所示之值：

表 6

序 號	土壤名稱及性質	土壤孔隙 系 數 ε	土壤稠度 指 數 B	摩擦角 φ (計算的) 以度計	粘着力 C 以 $\frac{\text{公斤}}{\text{平方公分}}$ 計
1	到達流動限界的粘土	≥ 1	≥ 1	8	0
2	塑性的粘土	0.75	0.5	12	0.05
3	接近限界的粘土	0.5	0	16	0.2
4	堅硬粘土	< 0.5	-0.5	18	0.4
5	塑性的粘壤土	1	1	14	0
6	耐塑性粘壤土	0.75	0.5	18	0.1
7	堅硬的粘壤土	≤ 0.5	≤ 0	20	0.2
8	疏松的砂壤土	1	< 1	18	0
9	中實的砂壤土	0.7	0.5	22	0
10	密實的砂壤土	0.5	0	25	0
11	中實的細砂	—	—	27	0
12	中實的粗砂	—	—	30	0