

黃土類土的砂化

B·B·阿斯卡倫諾夫著

建 築 工 程 出 版 社

黃土類土的砂化

中華人民共和國建築工程技術司 譯

建築工程出版社出版

• 一九五五 •

內容提要 本書敘述技術科學碩士 B. B. 阿斯卡倫諾夫所研究的黃土類土加固的新方法。此方法是向土中壓入一種矽酸鹽溶液，當溶液與黃土相互作用時，就使黃土具有許多良好的性質：耐水性、強度、不下沉性及不透水性。書中闡明了黃土類土單液矽化法的原理，敘述了黃土加固後的主要性質，引證了技術經濟指標和提供了應用此方法的方案及實例。

這一方法廣泛地推廣到建築工程中去，可作為防止黃土類土下沉的更加完善的措施。

本書可供工程技術人員在建築工程中應用黃土矽化法的參考資料。

原本說明

書 名 Силикатизация лёссовых грунтов

編 著 者 В. В. Аскалонов

出版者 Издательство министерства строительства предприятий машиностроения

出版地點
及日期 Москва—1949

書號 183 27 千字 787×1092 $\frac{1}{32}$ 印張 $1\frac{1}{2}$ 插頁

譯 者 中華人民共和國建築工程技術司
出版者 建 築 工 程 出 版 社
(北京市東單區大方家胡同 32 號)

北京市書刊出版業營業許可證出字第 052 號

發行者 新 華 書 店
印刷者 建 築 工 程 出 版 社 印 刷 廠
(北京市安定門外和平里地壇)

印數 0001—1,300 冊

一九五五年九月第一版

每冊定價 (9) 0.33 元

一九五五年九月第一次印刷

目 錄

序 言	4
第一章 單液矽化法的物理化學原理和黃土類土加固後的各種性質	6
1. 黃土類土的簡要特徵	6
2. 單液矽化法的實質	7
3. 黃土試樣的指標	8
4. 涇化性	12
5. 膨 脹	12
6. 下沉性	13
7. 在各種侵蝕性介質中的強度及穩定性	14
8. 透水性	16
9. 矽酸鹽溶液的各種性質和溶液與黃土反應的物理化學過程	17
10. 矽酸鹽溶液的黏滯度	21
11. 加固半徑	22
第二章 黃土單液矽化法的野外試驗	27
1. 加固半徑的研究	27
2. 確定加固的整體性	29
3. 確定黃土加固後的穩定性	30
第三章 單液矽化法的技術經濟指標	32
1. 施工的主要部分和設備	32
2. 方法的應用範圍和各種方案	34
3. 應用實例	37
4. 造 價	42
附錄 1. 參考文獻	44
附錄 2. 中俄文單字對照表	46

序 言

大家知道，在荷重下，黃土類土浸水時就發生極大的下沉，因而引起建築在黃土類土上的建築物的變形甚至於破壞。防止這種現象是極困難的，所有防水與結構措施以及採用各種不同類型的樁都不能完全解決上述問題。這些措施對消滅原有建築物附近或下面的下沉也沒有什麼幫助。由於蘇聯在廣大的黃土類土地區進行大規模的建設，因而與這種現象作鬥爭，特別是當建築和使用有潮濕技術操作過程的大型工業建築物時，就具有極其迫切而巨大的國民經濟意義。

1944年，本書作者就提出了用單液矽化加固黃土類土的方法。這一方法是經作者在機器製造企業建造部、地基和基礎科學研究所的土加固實驗室中詳細研究過的。

1948年，矽化法在現場試驗成功並且獲得良好效果。

同年，基礎建築勘察設計室，曾將此方法作為增強高120公尺的鋼筋混凝土煙囪基礎下面的地基的設計組織依據，1949年初，在取得以作者為首的科學研究所工作隊的科學技術指導下，由建築公司完成了設計工作。現在正在進行着第二個鋼筋混凝土煙囪的地基的矽化工作。

方法的實質就是將灌注管打入黃土類土中至所需深度^①，並通過這些灌注管在不大的壓力（2~3個大氣壓）下壓入一種矽酸鹽溶液。這種溶液，由於黏滯度很小和黃土中很好地分佈着大小

① 矽化土所採用的現代設備的效能可使加固工作深達30公尺。

毛細管網，就很容易而均勻地浸透黃土，當溶液與含有大量水溶性鹽類的土相互作用時，就立刻由矽酸鹽溶液中析出矽酸鹽凝膠薄膜，此薄膜將土膠結，使土甚至在浸透期間就具有許多良好性質：耐水性、強度（抗壓強度 6~10 公斤/平方公分）、不下沉性及不透水性。

這種方法的施工和設備很簡單，可用於任何條件下，既可在露天場地用作預防損壞，也可用在已經損壞的原有建築物下。此外，應用此方法可以與建造建築物同時進行，這將大大加速新的大型工業建築物的開工生產。

由於這種方法在黃土類土上的建築工程中具有廣泛運用的遠景，因此就完全有必要將此方法介紹給工程技術工作者們。

作 者

第一章 單液矽化法的物理化學原理和 黃土類土加固後的各種性質

1. 黃土類土的簡要特徵

黃土類土在蘇聯有着廣泛的分佈：分佈在烏克蘭、中亞細亞、高加索、西伯利亞等地區；埋藏深度自表面起有時深達 50 公尺。

作為地質層系的黃土類土具有下列各種特徵：

1. 高度的孔隙率（自 40% 至 55%），具有直徑 0.2 至 2.0 公厘的大孔隙“大孔”（自 5% 至 30%）；
2. 在水中很快的溼化並形成很大的下沉；
3. 含有大量（60~80%）的粉土顆粒（自 0.05 至 0.005 公厘）及少量（10% 以下）的黏土顆粒（小於 0.005 公厘）；
4. 含有大量（15% 以下）碳酸及硫酸鈣、鎂等鹽類；
5. 沒有固定的結構；
6. 較小的滲透係數——自 0.1 至 1 公尺/晝夜；
7. 顏色鮮明（自淡黃色至棕黃色）；以及其他各種性質 [3、8、21]。

黃土類土的成因是極複雜的，現今約有十種黃土形成的說法 [8、9、10、11、21]。最近黃土類土形成條件的研究，證明了利用最普遍的風成（風力的）學說（26）可以最好地解說黃土類土的各種性質，特別是其浸濕時的變形。可以認為黃土類土浸濕時，其變形機構是因為薄水膜的楔離作用和黏土顆粒的水化作用而發生的。這種現象是與擴散膜的增加以及使土膠結的鹽類的可能溶解同時發生的。所有這些作用，使在乾燥條件下形成的疏鬆構造的土顆粒

間的凝聚力及磨擦力降低，並使其自趨密實。

現今幾乎大家都承認，當黃土被水溼潤時，其主要的下沉是由大孔隙的破壞及孔隙為土所填充而引起的 [1、2]。黃土類土所謂“崩壞性”的特別迅速下沉的性質，當土上有荷重及自上而下浸溼時就能出現 [2]。

由於黃土類土浸溼時的不均勻下沉及可達 1~2 公尺的極大下沉量，就使建築在這些土上的建築物發生危險性的變形。要防止這些下沉，無論是在建造建築物（特別是帶潮濕技術操作過程的建築物），或者是使用建築物期間都是有很大困難的。

到目前為止，所有提出防止下沉的方法可以分成三類：

1. 一般建築措施（防水措施及結構措施）；

2. 消滅黃土大孔性的機械壓實法：夯實，用爆炸或用鐵杆鑽孔，最後用土填充鑽孔的所謂“土樁”的加固 [1、2]，用鋼筋混凝土樁加固 [17] 等，以及事先在荷重下用水浸溼。

3. 物理化學加固法：熱處理法 [2]；瀝青處理法 [16]；雙液矽化法 [2]；電化學法 [13]；鹽漬法 [25] 等。

上述這些方法中在現場應用的最現實的是土樁法 [2]。但此方法要在已有建築物下面加以應用是不可能的。

2. 單液矽化法的實質

矽化法的實質 [5~6] 是通過打入的灌注管網將一種溶液壓入土中。此溶液係由濃度 10—15% 的矽酸鈉溶液，摻入 2.5% 的氯化鈉組成。由於溶液壓入土中的結果，使土具有以下各種性質：充分的耐水性、很大的強度、不下沉性及不透水性。

黃土加固的物理化學過程，一方面是以黏滯度很小（1.5—2.5 厘泊）的矽酸鹽溶液很好地透過分佈着大小毛細管網的土為根據，另一方面是以溶液與土中水溶性鹽類相反應，而迅速析出使土膠

結的矽酸凝膠薄膜為依據。所以第二種溶液——矽酸鹽溶液凝結劑的作用在此情況下就由土本身(主要是水溶性硫酸鈣化合物)來完成。

矽酸鹽加固黃土的過程是用以下方法完成的。在平面上相隔一定的距離，將下部帶孔的灌注管打入土中至所需深度。然後在三個大氣壓以內的壓力下將矽酸鹽溶液壓入土中，此溶液很快地通過大小毛細管網進入土中。當溶液與土接觸時，由於化學反應的結果，在土顆粒及毛細管壁上立即形成矽酸凝膠薄膜。最初這種薄膜厚度只有幾個微米，所以並不妨礙被壓入溶液底通過，僅經過幾小時，由於凝膠性形成過程更加劇烈，藉擴散作用而使毛細管為矽酸凝膠所堵塞，同時土的透水性即猛烈減低。雖然矽酸凝膠薄膜厚度很小，但已相當牢固，能使土在溶液飽和的初期，就可保持土天然的不搖動狀態。因而也就使黃土類土的膨脹很小。以後大約經過 1~3 晝夜，土中的全部溶液都變成凝膠狀態。

接着不斷的增加着薄膜厚度並增強其強度。向土中壓入溶液到轉變為凝膠，基本上在頭 3 晝夜完成。凝膠薄膜的加強在頭 15 晝夜極強烈，經過 30 晝夜全部完成。因此黃土加固後的強度，也在 30 晝夜內繼續增長着。

3. 黃土試樣的指標

以矽酸鹽溶液穩定黃土類土的試驗，是取自烏克蘭的三個地方和部分取自中亞細亞的黃土試樣進行的。

今將實驗室中所得上述土的物理力學性及化學性指標列於表 1 及表 2。

為了確定最適當的溶液配方和鑑定矽化後的黃土類土的性質，進行了加固後土試樣的溼化、膨脹、下沉性、強度和透水性的試驗。

黃土類土的物理力學性質的分析

表 1.

試 樣 編 號	土 名 稱	比 重	單 位 容 量	孔 隙 率	最大 分子 吸 水 量	機 械 組 成				顆粒以公厘計		阿特別格 塑性		塑 性 指 數
						1—0.5	0.5—0.25	0.25—0.05	0.05—0.01	0.01—0.005	0.005—0.001	圓形	角形	
1	1 號黃土試樣, 取土深度 5.5 公尺.....	2.71	1.62	40%	14.0	—	—	18.8	63.2	5.8	4.7	7.5	23.4	19.0
2	2 號黃土試樣, 取土深度 14 公尺.....	2.73	1.63	36%	13.0	—	2.3	15.6	45.8	12.7	18.8	5.3	34.5	16.4
3	3 號黃土試樣, 取土深度 2.5 公尺.....	2.68	1.65	46.9	12.3	—	0.6	19.9	42.9	12.1	15.8	8.7	27.6	19.6
4	4 號黃土試樣, 取土深度 7.0 公尺.....	2.69	1.65	44.9	11.5	—	0.2	37.8	41.7	7.0	6.5	6.8	24.3	19.3
5	5 號黃土試樣, 取土深度 15 公尺.....	2.72	—	—	11.8	—	1.2	25.0	49.6	6.5	10.5	7.2	29.4	17.1
6	6 號黃土試樣 (砂質土), 取土深度 9 公尺.....	2.69	—	—	13.3	—	—	29.9	60.7	3.6	2.0	3.8	25.6	20.0

用各種模數及濃度的矽酸鈉溶液處理

後的黃土在水中的溼化

表 3.

模 數	矽 酸 鈉 濃 度 以 % 計				
	5	10	15	20	30
	在 水 中 溼 化 的 特 點				
2.0	試樣崩解成粉末	試樣崩解成小塊及中塊；摻加 2.5—5% NaCl 的土塊則稍為大些			
2.5	試樣崩解成粉末	無變化，部分稍有崩塌			
3.5	試樣崩解成塊狀， 部分成粉末	試樣保持完整			

附註：試樣在水中試驗 1 年，定期換水。

用摻入各種不同鹽類的矽酸鈉溶液(模數 = 2.5)

處理後的黃土在水中的溼化

表 4.

鹽類摻料名稱	矽 酸 鈉 濃 度 以 % 計					
	10			20		
	鹽 類 摻 料 以 % 計					
	1	2.5	5	1	2.5	5
NaCl	試樣稍有崩塌	無 變 化		試樣稍有裂縫	無 變 化	
Na ₂ CO ₃	無 變 化			無 變 化		
Na ₂ SO ₄	試樣崩解成大塊			無 變 化		
Na ₂ HPO ₄	試 樣 有 很 大 崩 塌					

4. 溼化性

各種試驗按以下方法進行：將風乾狀態不搖動結構的黃土試樣摻入帶有各種鹽類摻料的不同模數及不同濃度的矽酸鈉溶液中。按一定時間（15 分鐘、1 小時、3 小時、24 小時）將試樣自溶液中取出放入水中。觀察試樣在矽酸鹽及水中的裂縫、崩塌等狀況。今將試驗結果列於表 3 及表 4。

由表 3 及表 4 可作出以下結論：

1) 用 10—20% 的矽酸鈉溶液浸透後的黃土類土在水中失去溼化能力；

2) 將矽酸鈉溶液濃度提高到 30%，並不增加黃土在水中試驗時的穩定性；

3) 將矽酸鈉溶液的模數自 2.5 提高到 3.5，很少影響黃土耐水性的提高；

4) 在矽酸鈉溶液中摻入 NaCl , Na_2CO_3 型的鹽類，數量不少於 2.5%，就能提高土的耐水性，同時能完全消滅試樣的崩塌，而這種崩塌在純矽酸鹽溶液中尚能發現。

除風乾狀態的試樣外，在實驗室中還研究了土含水量對加固的影響。由試驗確定，具有含水量 15—18% 的黃土類土，可用矽酸鹽溶液有效的加固，並正如下面指出的，具有足夠的強度。

5. 膨脹

研究膨脹量是用 A. M. 華西列也夫儀器進行的。為此由風乾的不搖動結構的土樣中切成厚 1 公分、直徑 5 公分的試樣，放入儀器的環中，以測定無荷重的自由狀態下的土膨脹。在儀器中倒入試驗溶液和作為比較用的水。

膨脹記錄藉測微儀進行。

所得黃土膨脹的結果列於圖1。在類黃土砂質黏土的試驗中表明着同樣的膨脹性質，僅有一點差別，即其膨脹百分數約比黃土高出一倍。

根據膨脹試驗可以指出如下幾點：

1) 黃土類土在矽酸鹽溶液中的膨脹是極小的，約為0.5—2.0%，可是在水中則為8—16%，而且以類黃土砂質黏土為上限，以黃土為下限。

2) 將鹽類(NaCl)加入矽酸鈉溶液中就能使膨脹比純矽酸鹽溶液縮小約一半。

3) 將矽酸鹽溶液濃度增加一倍(自10%至20%)，在膨脹的減少上很少有反映。

為了比較起見，我們用同一儀器作試驗，確定了一般砂質黏土類土的膨脹在15—40%的範圍內變動，而黏土類土的膨脹則自40%至120%。

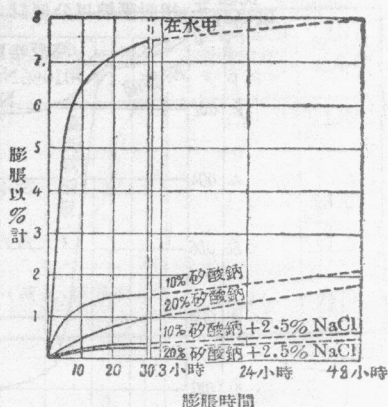


圖1. 天然結構黃土的膨脹。

6. 下沉性

在實驗室中黃土類土下沉性的研究是在壓縮儀中進行的。在儀器中，試樣用水及矽酸鹽溶液在相同的荷重下浸溼。今以黃土試驗結果為例(圖2)，根據已有的壓縮試驗資料可以作出以下結論：

1) 在荷重下，黃土類土浸水時，在最初階段就具有極陡的沉陷曲線，這種沉陷的“崩壞”性質，以前曾多次地在文獻中指出過。黃土浸水時的總沉陷約為15%，而類黃土砂質黏土約為8—10%。

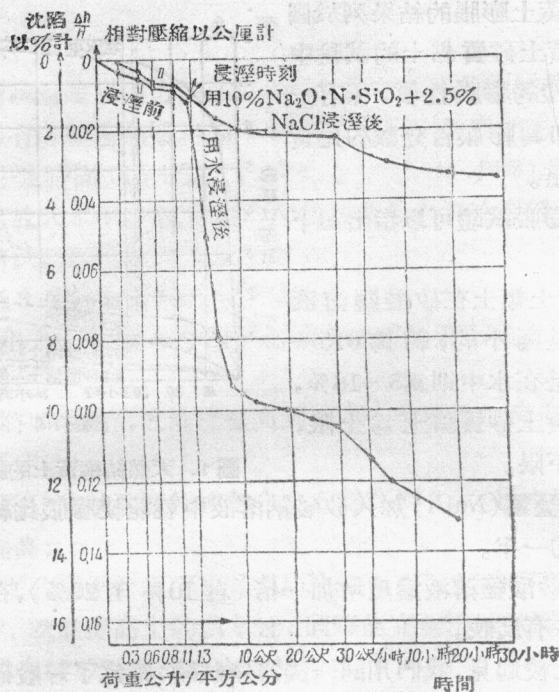


圖 2. 在荷重下的黃土用水及矽酸鹽溶液浸溼時的沉陷。

2) 當黃土類土用矽酸鹽溶液浸溼時，其沉陷實際上降低到零。

7. 在各種侵蝕性介質中的強度及穩定性

爲了說明以矽酸鹽溶液處理能否加強黃土類土的問題，除耐水性外，還進行了矽酸鹽溶液處理前後土試樣的力學強度試驗。

今將試驗結果列於表 5。

今將與矽酸鹽溶液濃度有關的矽化過的黃土的強度試驗和它在侵蝕性介質中穩定性的試驗列於表 6。

矽酸鹽溶液處理前後的黃土試樣的力學強度

表 5.

試樣編號	溶 液 配 方	浸透後的保存條件	極限抗壓強度公斤/平方公分	含水量以%計
1.	未經處理	風乾狀態	3.5	1.5
2.	未經處理	在水中	0	—
3.	10% 矽酸鹽 + 2.5% NaCl	在水中 24 小時	4.1	25.0
4.	10% 矽酸鹽 + 2.5% NaCl	在水中 1 年(黃土)	4.5	31.3
5.	10% 矽酸鹽 + 2.5% NaCl	在水中 1 年(黃土, 砂質黏土)	8.7	29.0

與矽酸鹽溶液濃度及保存條件有關的矽化過的

黃土的強度(最初含水量 1.5%)

表 6.

加固劑的濃度	保 存 條 件	1晝夜	14晝夜	18晝夜	3個月	6個月	1.5年
矽酸鈉10%+NaCl 2.5%	水	4.3	5.1	5.8	6.6	6.5	5.8
	0.1 nHCl	9.7	8.0	6.7	0.1	4.9	1.6
	0.1 nNa ₂ SO ₄	3.6	6.0	6.3	5.5	5.3	5.0
	0.1 nNaOH	2.7	3.6	3.7	3.8	崩解成大塊	
矽酸鈉20%+NaCl 2.5%	水	4.1	4.9	5.4	3.3	2.8	—
	0.1 nHCl	7.7	7.1	4.7	3.2	3.1	—
	0.1 nNa ₂ SO ₄	3.4	4.3	5.5	3.1	2.5	—
	0.1 nNaOH	3.3	4.6	3.5	2.8	崩解成大塊	
矽酸鈉30%+NaCl 2.5%	水	4.0	3.1	2.7	2.7	2.7	—
	0.1 nHCl	3.6	4.3	4.5	3.0	2.2	—
	0.1 nNa ₂ SO ₄	2.5	3.5	4.2	3.5	2.8	—
	0.1 nNaOH	2.7	3.2	3.0	2.5	崩解成大塊	
矽酸鈉10%+NaCl 2.5%	空氣溼度的介質	4.2	4.9	5.6	6.3	—	—

根據表 5 及表 6 所列舉的資料可作出以下結論：

1) 用矽酸鹽溶液處理後的黃土類土，保存於水中很長時期（試驗一年半）後，仍具有抗壓強度 6~8 公斤/平方公分。同時強度增長的過程基本上在第一個月內就結束了。

2) 矽化過的黃土在侵蝕性介質——苛性鈉、鹽酸及硫酸鈉 (0.1N) 中，雖然強度有些降低，但其穩定性仍應認為是極高的。試樣在鹼性溶液中經 6 個月而崩解的情況是例外現象。

3) 土的強度與溶液的配製有很大關係，最好的指標是採用 10—15% 矽酸鈉溶液，另加 2.5% 的 NaCl。矽酸鹽溶液的濃度提高到 20% 或提高到 30%，強度會相應地降低，這在最初時期以及特別在過程中間都會表現出來的。

4) 土的最初含水量在 1.5% 至 18% 的範圍內，很少影響到加固質量，而顆粒組成的影響較顯著，因為隨着黏性的增加而使強度稍有降低。

5) 矽化過的土，保存在空氣溼度中與保存在水中的強度很相近。

6) 由於矽酸凝膠的吸水作用，矽化過的黃土具有高度的含水量 (25~30%)，這是矽化過的黃土的特性。

爲了說明交替的乾燥及溼潤對矽化過的黃土的影響，進行了多次試驗，試驗結果證明了這種乾溼不定的影響具有不良的效果——土試樣具有裂縫及崩解成大塊。這種現象完全與矽酸凝膠的一般性質相一致，就像大家所知道的，當矽酸凝膠失去一定的水分後就改變本身的結構，同時就產生裂縫，所以不僅是單液矽化就是雙液矽化，都不適用於沒有保護層的土。

8. 透水性

黃土的滲透試驗是在特殊的儀器中進行的。試驗結果證明矽