

水泥穩定土壤路面工程

B.M.別茲魯克, K.A.克尼亞久克著

中央交通部公路總局譯

人民交通出版社

水泥穩定土壤路面工程

B.M.別茲魯克, K.A.克尼亞久克著
中央交通部公路總局譯

人民交通出版社

就地採用各種土壤作為主要築路材料，以水泥穩定土壤路面，利用土壤的活性作用來提高土壤的力學強度與耐水性，可以迅速而經濟地修建符合現代公路技術要求的基層與鋪砌層。還可以用於飛機場、水利工程、鐵路及房屋的建築。本書綜述蘇聯道路科學研究所在這方面的理論研究，以及用水泥穩定土壤的試驗性施工的多年經驗。

水泥穩定土壤路面工程

ЛАУРЕАТ СТАЛИНСКОЙ ПРЕМИИ, В. М. БЕЗРУК

и К. А. КНЯЗЮК

УСТРОЙСТВО ЦЕМЕНТНО-ГРУНТОВЫХ

ОСНОВАНИЙ И ПОКРЫТИЙ

ИЗДАТЕЛЬСТВО ДОРОЖНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

ГУШОСДОРА МВД СССР

МОСКВА—1951

本書根據蘇聯道路出版社1951年出版，斯大林獎金獲得者В.М.別茲魯克和К.А.克尼亞久克所著的“水泥穩定土壤路面工程”一書譯出。翻譯者，戚立德。校核者，潘維燾。

人民交通出版社出版

(北京北民惠司·觀)

新華書店發行

(全國各地)

北京市印刷一廠印刷

編輯：符浩 定稿：郭秉誠

開本33.5"×46" 1/32 印張5 1/4

全書1088×162=176000字 定價12000元

1954年9月第一版第一次印刷 1—4000冊

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇〇六號)

目 錄

緒 言

第一章 水泥土壤是一種新的築路材料

1. 問題概述..... 3
2. 水泥土壤性質與混凝土性質的對比..... 6
3. 在研究中使用的土壤與波特蘭水泥的特性..... 10

第二章 波特蘭水泥的礦質成份和土壤的成因對水泥土壤強度的影響

1. 水泥的性質和數量與土壤的成因對水泥土壤強度的影響..... 15
2. 水泥在微細分散性土壤混合料中的水解和水化作用..... 26
3. 土壤交換陽離子對水泥土壤性質的影響..... 32

第三章 土壤的腐植質和膠體—化學性質對水泥土壤強度的影響

1. 關於土壤有機物質的簡要知識..... 35
2. 黑土穩定的實驗研究結果..... 39
3. 土壤的膠體—化學性質及其改善的可能途徑..... 47

第四章 水泥土壤的力學強度，耐凍性和耐水性

1. 試件製備和硬化時的水量對水泥土壤強度的影響..... 54
2. 結合料用量，硬化時間和壓實程度對水泥土壤強度的影響..... 68
3. 水泥土壤的耐凍性和耐水性..... 74

第五章 土壤微集合性及水泥在穩定的土壤中分佈的研究

1. 土壤的微集合性及其對水泥土壤性質的作用..... 83
2. 水泥土壤顯微結構的研究..... 93

第六章 土壤穩定原理的基本要素..... 98

第七章 使用低活度無機結合料穩定道路鋪砌層的土壤

1. 水泥土壤混合料的試驗室研究..... 105
2. 用羅馬水泥穩定土壤..... 112
3. 試驗性施工..... 115

4.試驗方法及對水泥土壤的要求.....	121
第八章 修築水泥土壤基層的施工	
1.一般介紹.....	125
2.材料.....	126
3.建築新路時的施工.....	127
4.改建原有道路時的施工.....	140
5.施工檢查.....	142
6.水泥土壤基層在使用上的經濟評價.....	146
7.水泥劑量的選擇及水泥土壤的試驗.....	147
結 論	158
參考書籍一覽表	161
主要譯名對照表	166

緒 言

蘇聯人民在共產黨、蘇聯政府及人民領袖偉大的共產主義建築師斯大林同志的領導下，實現了我國國民經濟不斷的增長。

以國民經濟所有部門中技術裝備不斷增長為基礎的、巨大的斯大林共產主義的建設計劃，將需要大量的建築材料。

任務被提出來要求建設者的重大責任，就是把任何工程建築物正確地設計、修建和首先利用當地建築材料。

利用土壤作為當地築路材料這一觀念，在實現斯大林五年計劃時期進行了許多理論上的研究，並在施工中進行了廣泛的試驗。

蘇聯的科學研究和實踐在這方面所獲得的巨大成就，說明了廣泛採用土壤作為修築道路基層和鋪砌層的主要材料是必要的，也是合理的。

由於汽車運輸的發展和公路網必須大量擴充的關係，採用土壤作為修築道路基層和鋪砌層的材料，在國民經濟上具有更重要的意義。

如果考慮到，為修築幹線之類的道路，每公里需要1,200~1,500立方公尺碎石和大約相等數量的砂，而此種材料往往必須由數十甚至數百公里以外運來時，那末就很清楚，當石料和砂用當地土壤代替後，如此巨大數量的鐵路運輸和汽車運輸就可以騰出來另作別用。

如很好的利用土壤性質時，用無機結合料穩定土壤的方法，很快的修建造價低廉和強度足夠的道路基層及鋪砌層是成為完全可能和有效果的一件事情。現代築路方法都依據這樣的原則，即道路鋪砌層的強度和穩定性首先決定於基層的強度和穩定性。實際經驗證明，在鬆軟的基層上不可能建立起堅固的鋪砌層。

由此可以得出結論，建築穩固基層的一切措施，在公路及飛機場建築中，均應佔主要的地位。

土壤學是一門新的科學，由於蘇聯科學家、教授和技術科學博士M.M. 費拉道夫，B.B. 奧郭金，H.H. 伊萬諾夫，H.B. 奧爾那斯基及其他等人努力工作的結果，已為道路建築開闢了新的前途。目前憑着對於土壤性質的深入的知識已研究出各種不同的方法，使我們可能藉土壤的活性作用徹底地改變和提高土壤的力學強度和耐水性，因而為利用土壤作為當地築路材料創造了鞏固的基礎。用結合料穩定的土壤，可以修築符合現代公路技術要求的基層或鋪砌層。將土壤作為當地建築材料使用，從經濟上看來，是一件極為有利的事情，因為土壤是最普遍和最便宜的建築材料，在挖掘和運輸上，均不需要巨大的費用。所有以結合料穩定

土壤的工程操作容易做到廣泛的機械化。這就可能在極短的時期內修築成廉價的道路。

關於土壤與無機結合料拌合時所發生的物理化學及化學現象可以肯定說，如對土壤加以各種化學和物理的影響及技術性的處治時，則其對道路的有害性質（浸透、潤濕時穩定性和膠結性的消失，膨脹、塑性和粘性）完全可以消除。

土壤膠體—化學性質的活性作用和徹底改變及使土壤具有在時間上不可變的與穩固的膠結性和力學強度這一原則，乃是對大多數土壤穩定方法的一個總的主導思想。

本書中綜合了蘇聯內務部公路總局道路科學研究所所進行的理論研究以及在以水泥穩定土壤方面試驗性施工的多年經驗。

書中將最不利於公路方面的土壤穩定問題作了研究，例如：在其來源和性質上不同的粘土、粘土質壤母和粉砂土等。

編著本書時，作者曾力求將研究築路材料水泥土壤性質的新穎的、最重要的資料予以敘述。

書中所引關於水泥土壤的力學強度，耐凍性和耐水性的資料證明，用水泥穩定土壤的方法可以成功地應用於其他建築部門中——飛機場、水利工程、鐵路及房屋建築。

有一切理由斷定，以水泥或其他結合料穩定土壤，在偉大共產主義建設的許多工程對象中，例如在古比雪夫和斯大林格勒水力發電站以及土庫曼大運河工程中，可以，並且應當得到大量的使用。

為此，必須如同建築材料一樣，規定採用水泥土壤的最合理的形式。

必須指出，在最近幾年中，道路科學研究所除繼續研究土壤性質對水泥土壤強度之影響外，並進行了以水泥穩定土壤的科學研究，同樣對這種材料中的主要成份——水泥的研究也已經給予重視。

這樣的工作方向，是根據C.B. 舍斯道畢羅夫技術科學碩士的倡議確定的。

本書各章，除第七章外，皆由B. M. 別茲魯克所著和定稿付印。第七章「使用低活度無機結合料穩定道路鋪砌層土壤」則由烏克蘭蘇維埃社會主義共和國所屬烏克蘭公路總局道路科學研究所科學工作者К. Д. 克尼亞久克所著。

在進行研究的過程中，曾經屢次採用C.B. 舍斯道畢羅夫的寶貴意見，於此，著者對他表示由衷的感謝。

著者認為應同樣表示感謝的，還有Д. К. 比魯爾亞教授和М. И. 伏爾高夫教授，他們曾對本書作出評論並提出寶貴的意見。

第一章 水泥土壤是一種新的築路材料

1 問題概述

使用各種結合料穩定土壤是建築道路與飛機場基層和簡易式鋪砌層，在技術上合理和在經濟上有利的一種新方法。在土壤穩定的概念中，必須有技術操作和施工順序的全部措施，這些措施使處治的土壤對荷載具有足夠的強度，不論其潤濕程度如何。

為取得在土壤穩定方面目前所有的正確結果，已經進行了長期的，已有其自己歷史的艱巨工作。

研究改變和改善道路土壤性質的方法的第一次試驗室試驗，是在1952年地方法運輸總局的科學研究所，由功勳技術科學工作者 M. M. 費拉道夫教授於莫斯科和 B. B. 奧郝金教授於列寧格勒開始進行的(1)。

精確的定義和有科學根據的敘述，以道路為對象的土壤穩定原理，於1932年由 M. M. 費拉道夫教授所作出(2)。

M. M. 費拉道夫根據 K. K. 傑得洛依茲院士的學說指出：

“土壤中高度分散性部分對土壤在道路方面的重要性質引起巨大的影響。”
“這一部分土壤有如中心點，組成土壤過程中的物理化學，化學和吸附現象都集中於這一中心點中。

以某種方法對土壤高度分散性部分施以影響後，我們可以徹底改變土壤的性質。這種情況在目前對土壤所有的物理，物理化學和技術操作影響的系統中，該認為是主要的，築路技術正在利用這些影響，以從事土壤穩定。”

所指的情形乃成為今後道路科學研究所在土壤穩定方面進行的科學研究工作的基礎。

M. M. 費拉道夫教授所定的土壤穩定原理，按其實質說來，直至目前尚未失其意義，雖然近年來這原理獲得了進一步的發展和更明確的敘述。

發展和論證各種土壤穩定方法的主要著作，以及闡述在公路建築中採用這些方法的試驗施工，已在道路科學研究所個別選集和許多論文中發表(3、4、5、6)。

(1)(2)……均為參考書籍一覽表的順序號碼該表附於書後。

在建築砂漿和混凝土方面所進行的各別工作，是發展用水泥穩定土壤方法的前提，在這些工作中，指出了加入粘土的良好作用是能提高建築砂漿和混凝土的塑性、密度和強度。

例如，還在 1904~1905 年期間拉赫金(7)教授已經確定，若於水泥砂漿中加入砂重達 20% 的粘土時，則可提高其抗壓強度極限和抗拉強度極限。

在許多其他研究工作者的著作中(阿列克謝耶夫(8)，布列捷(9)等)也指出了對混凝土和建築砂漿加入粘土的良好作用。

以砂-粘土混合料添加 12% 水泥，實際使用水泥土壤係於 1912~1914 年為修築果園道路時開始的(10)，由此可見，開始利用水泥土壤作為建築材料，在俄國比在外國特別是美國，早得多。

一方面，沒有考慮各種土壤的膠體化學性質的特點，另一方面沒有考慮在活性介質條件下(微細分散性土壤就是這樣的介質)水泥水化作用和水解作用時所發生的膠體化學現象，以致在粘土添加料的良好作用的同時，又發現粘土對混凝土和砂漿性質多次起不良作用的情況。關於粘土顆粒對混凝土和砂漿性質有害影響的指示，以後已變成定論並收入到許多的正式文件中，在這些文件裏限制了砂和碎石中粘土顆粒的數量，而不考慮所指的高度分散性顆粒的礦質成份，成因和膠體化學性質。

В.П. 涅格拉索夫教授(11)，Н.А. 波波夫教授(12)，М. И. 希傑洛維赤(13)等所進行關於拌合的水泥粘土砂漿和石灰粘土砂漿的研究工作在相當程度上更精確了這一問題，並充分準確地規定出條件，在這些條件下粘土添加料發生良好的或不良的影響。

研究各種拌合的多成份的水泥，其水化和水解作用的過程不是在非活性介質中發生(例如，在標準砂漿中)而是在較大或較小的活性介質中發生(14)，研究水泥如同特殊的「微細混凝土」(榮格教授及其他的著作(15))，在相當程度上已證明了關於以水泥穩定各種微細分散性土壤這一假定的正確性。

在蘇聯所進行的創造土壤穩定方法的工作，是建立在正確的理論基礎上。

在許多研究工作中所獲得的成果，使 М. М. 費拉道夫得於 1934 年定出穩定土壤的基本原則：「對土壤高度分散性部分加以活性影響，能徹底改變土壤的物理化學性質」(16)。

В. В. 奧邵金教授(17)，С. С. 莫洛卓夫(18)，В. В. 托爾斯托皮亞道夫(19)，А. М. 雷西希娜(20)，В. М. 別茲魯克(21)，А. С. 馬秋林(22)及其他等所作許多研究中曾利用這一原則，使有可能在以後年代中確定出土壤穩定後的許多性質，這

些性質無論在理論方面或在實踐方面都是極有價值的。

在 A.C. 耶列諾維赤(23) 和 B.Г. 沙莫依洛夫(24) 最近幾年來對以水泥穩定土壤問題所完成的及所貢獻的著作中,根據這一問題所進行的多年研究工作作出結論。上述著者取得了關於研究水泥土壤性質的新的有價值的實際資料,並作介紹了在理論上和實踐上都有用的總結。

由此可見,在蘇聯進行的土壤穩定研究工作中,對於這一問題的理論研究及查明對土壤與結合料相互作用的良好或不良影響的原因和條件,從最初就是,現在仍然是極為重視的。

研究土壤穩定的工作,近幾年來,在許多其他國家中,也在進行①。

在英美及其他國家發表的論文,不同於蘇聯的研究,而含有濃厚的經驗性質。這些論文裏通常未找出現象的原因,而僅僅就單純的事實進行引證和推測。

土壤與水泥相互作用的複雜過程,以及水泥在土壤中即活性介質中的水化和水解情形,他們都不予研究,往往完全置之不顧。而且常常這樣的斷言:「……波特蘭水泥在土壤中的作用的理論很簡單。土壤在潤濕時的惡劣性質係由大量的膠體顆粒所引起。水泥能將此種顆粒膠結成更大的顆粒」(《道路與街道》雜誌, 1946 年 8 月)。這樣的斷言是不符合實際的,因為正如下面援引的資料所示,水泥土壤的強度,不僅與粘土-膠體顆粒的量的成份有關,而更主要的是與其質的成份有關。

凱通和費爾特的著作《土壤及氯化鈣添加料對水泥土壤混合料的影響》,可作為以《徐變經驗主義》為依據的研究範例(25)。

在這一著作中記載着極有趣味的自相矛盾的事實。在美國的許多州內某些砂質土壤按其物理性質,是非常相似的,為了其本身的穩定,須要加入 8~10% 的水泥,可是另一些土壤只有加入 16~26% 的水泥後,始可得到必要的強度。著者敘述這種凝固不好的砂質土壤的改正方法,是引用添加粘土顆粒和氯化鈣的辦法。

但是,對於現象的全面分析,個別砂質土壤凝固不好的原因的辨別與研究及使此種土壤轉變為正常凝固土壤時的過程,在這一著作中完全沒有寫出。為了改正所得的令人不滿意的土壤膠結結果,美國專家們不得不應用蘇聯科學家 Д.И. 西得拉氏(26)的著作為其理論基礎,來提出凝固不好的水泥土壤的改正方法。

在美國研究土壤穩定問題的文獻中,對於以水泥穩定土壤時所發生的現象,

① 詳細論述見 В. М. 別茲魯克和 И. Я. 杜拉耶夫所著《以穩定土壤作成的道路基層》一書,道路出版社, 1948 年。

缺乏深刻的認識。在所引的著作中，感覺不到對降低水泥劑量，提高其膠結性質的傾向。這完全符合資本主義水泥公司的利益，他們對水泥的最大銷路與獲得最高的利潤感到興趣。

我們社會主義經濟在使用水泥上是完全另外一種方向，既然認識了土壤穩定方法對於缺乏砂石材料地區的巨大的經濟利益和發展前途，我們就應該為使用水泥的最大的節約而進行不斷的和堅持的鬥爭。

在水泥用量上的最大的節約，完全利用水泥的膠結性質及創造對水泥、水及土壤相互作用上，恰好有影響的條件——就是我們在土壤穩定工作上的任務和總的目的性。

道路科學研究所在水泥研究方面由 C.B. 舍斯道畢羅夫所進行的工作，在土壤研究方面由 B.M. 別茲魯克所進行的工作，其結果都說明，最合理的土壤穩定方法，基本上不外：

1) 正確考慮穩定土壤所用水泥的礦質與化學成份和物理性質；

2) 考慮所處治的土壤之膠體—化學的和成因的特徵。

同時確定了，為增加穩定的土壤的力學強度和耐水性起見，必須力求：

1) 對水泥的比面加大，以便最大的利用其膠結性質；

2) 用微細集合土壤的微細分散部分和改變水泥硬化過程中有利一面的膠體—化學性質的方法，使土壤的比面減少。

2 水泥土壤性質與混凝土性質的對比

土壤在目前作為一種或多或少零碎性的聚合分散系來研究，其性質（力學的，物理的和化學的）可能是極多種多樣的。同時土壤性質的不同，基本上由分散性的程度預為確定，這種分散性通常以土壤的比面數值和各別組份的礦質成份表示的。

理論的計算和實驗的測定指出，最小組份的比面（粘土的和膠體的），對於一克土壤而論，可被量得數十甚至數千平方公尺。與這一數值相較所有其他較大顆粒土壤組分的（尤其是砂質土壤）總面積，是極其微小的。

因為土壤顆粒與其周圍介質的相互作用或者與加入土壤中之結合料的相互作用，僅在其接觸表面發生，或在與液體狀態的接觸表面發生，所以土壤粘土膠體部分表面的巨大意義，成為完全可以理解的了，土壤與結合料相互作用的一切過程也就在這樣的表面上發生。

除存在巨大的比面外（純粹量的特徵），這種表面的本質，對土壤的物理、化

學及力學性質具有莫大的影響。

根據 K.K.傑得洛茨院士關於土壤吸收能力的著作 Д. Н. 普連尼式尼潤夫院士說明土壤與加入其中的鹽質肥料存在活性的化學和物理-化學相互作用的著作, И. Н. 安吉保夫-加拉達耶夫教授及其同事們的多數實驗工作, 這些著作和實驗工作極為深入地使關於土壤吸收能力學說的基本論題和規律性更加精確了, 和最後根據 П. Д. 列賓德爾院士及 Д. В. 杜曼斯基關於處在膠體零碎性的各種物質的分子力及表面自由能的著作, 有必要作出以下的結論: 微細分散性土壤對於與無機及有機結合料的活性化學和物理化學相互作用的能力乃是完全實在的和被證明了的事實。

由此, 必須承認, 對於穩定土壤的任何方法說來, 土壤膠體-化學性質的活性作用和變化原理應認為是基本的原理, 這種土壤膠體-化學性質預先決定了土壤與加入其中之結合料相互作用的特性和動力。

只有藉土壤膠體-化學性質活性變化的力量, 始可徹底地變更其天然的物理力學性質, 使成為新的有利於建築的目的。以上所定的原理是任何微細分散性土壤穩定方法的基本主導原理。

我們認為必須再次強調以上所指的原理, 因為當以結合料, 特別是水泥, 處治微細分散性土壤(粘土和其他土壤)時, 我們使用水泥的情況是最複雜的, 即是當水泥在活性介質中水解和硬化時使用水泥。

由此可見, 水泥混凝土與水泥土壤間原則性的區別就在於: 在混凝土中, 水泥在粗填充料, 即比面不大, 活性小的介質, 圍繞它的條件下, 受水解和水化作用。

按其實質來講, 混凝土中的水泥係在其本身的水解作用結果中硬化起來的。與混凝土相反, 在水泥土壤中水泥的水解和水化作用是在活性介質土壤圍繞下發生的在這一過程的進行中起着影響的無疑是土壤。

混凝土中粗填充料的比面大家都知道約等於 $3 \sim 4$ 平方公分/克, 而水泥的比面平均等於 $3,000 \sim 4,000$ 平方公分/克, 即混凝土中填充料的比面與水泥的比面之比將等於 $1:1,000$ 。在水泥土壤中這種比例將是相反的。

例如, 根據加邦氏(27)的資料, 黑粘土的比面可能有(概略地)由 $4,400,000 \sim 9,900,000$ 平方公分/克的變化。這樣, 在水泥土壤中微細填充料(黑土和任何其他土壤均是這樣的填充料)的比面與水泥的比面之比將等於 $1,000:1$ 。

由這一實例中, 可以清楚地看出, 水泥土壤中的水泥在其比面關係上是處在如此不尋常的情形中。以下將指出, 這個比面的相互關係在自然條件下, 由於土壤微集合體的結構, 將有若干不同, 但是這種情況絲毫也消除不了水泥土壤或

石灰土壤混合料的基本特徵——圍繞結合料的活性介質的存在。

水泥在各種介質中硬化的特性，列於表 1。

土壤的種類和性質是非常多種多樣與非常複雜的。從利用土壤充作築路材料或基層的觀點上來看，此種性質多半是不適合的。

研究各種土壤穩定方法，已在我們的面前提出了極其複雜，但在國民經濟上又極其重要的任務——改造土壤的自然性質，徹底改變這些性質使其達到這樣一種程度，可以利用當地的土壤作為道路構造中的主要建築材料。

在這裏把 И. В. 米丘林院士的格言恰當的提醒一下：「我們不能等待自然的恩賜，我們要從它那裏取得它們——這就是我們的任務」。

目前這一格言已成為動員科學工作者和農業實際工作人員為改造有生命的自然界而鬥爭的主要號召。這一格言道路工程工作人員也應該完完全全地採納。我們已經走上了這條道路，下面所敘述的第一次工作結果證明這條道路的正確性。

在我們所進行的用水泥穩定土壤的研究過程中已確定了，水泥土壤的力學強度和耐水性是根據兩個可變的因素：(1)穩定土壤用的水泥性質及(2)被處治的土壤性質。

由此可以得出結論，最合理的土壤穩定方法在力學於使水泥的膠粘性質與被處治土壤的物理性質及膠體-化學性質得到正確的結合。

關於建築砂漿和混凝土力學強度的普通概念一般拿下列關係來說明：

$$R_G = \left(R_H \frac{B}{H} \right), \quad (1)$$

實際上這種關係是相當複雜的，它有如 С. В. 舍斯道畢羅夫著作中所示(28)，可以下列方程式表示出來：

$$R_G = f(M; S_{1-n}; B_{CB}; x), \quad (2)$$

式中：M——水泥的鹽質成份；

S_{1-n} ——水泥的比面，其顆粒為由 1 至 n 密克龍；

B_{CB} ——結合水（為潛在形式及硬化條件）；

x——用以調整水泥水解作用和水化作用的加添料（石膏，亞硫酸鹽水液等）。

上式所示的關係對於水泥混凝土也是有效的，也就是說，當填充料——石料的性質顯然可以滿足耐凍性，耐水性和力學強度的要求時是有效的。

在水泥土壤這一材料中，其填充料乃係當地的土壤，即在自然狀態下顯然是

水泥在不同介質中的硬化 表 1

使用添補水泥作成的 的混凝土	使用混合的多成份的 水泥作成的混凝土	水泥粘土漿	水泥土磚 (水泥-土漿-混凝土)
基本質量—低活性粗顆粒，比面小於水泥許多倍，對於水化和水解幾無影響。水泥漿填滿大空隙，水在本身水解作用的結果中硬化。 $\frac{B}{H} < 0.8$ 水泥水解和水化時所用的水為游離水	基本質量—低活性粗顆粒填水料，其比面小於水泥。水泥水解和水化作用是在與微細分散性添料間的活性物理化學相互作用條件下發生。水泥漿中所充滿的基本質，是大的空隙：$\frac{B}{H}$ 或 $\frac{B}{K}$—比使用不帶添料水泥作成的混凝土更高一些。水泥水解和水化時所用的水為游離水。部分水轉變為含有微細分散性添料的結合水和疏鬆結合水。	基本質量—比面不大的材料。粘土加添料比水泥水化作用是在與粘土加添料間的活性物理化學相互作用條件下發生。水解作用下的產物一小部分為粘土所吸收(吸附)。孔隙尺寸比混凝土所有者小得多：$1 < \frac{B}{H} < 2$。 水泥水解時所用的水為游離水，一小部分疏鬆結合水。部分水轉變為含有粘土加添料的結合水和疏鬆結合水。	基本質量—土塊，其比面大於水泥比面數十倍。與水泥水解和水化作用是在與微細分散性土壤部分間的活性物理化學相互作用條件下發生的。水泥的一般硬化過程被破壞，土壤孔隙可能有的尺寸相當小於水泥顆粒直徑：$1 < \frac{B}{H} < 4$。 水泥水解和水化時用的水為疏鬆結合水和結合水。時微是含有「泥」的水份貯藏，其範圍可達土壤最大吸濕性的1.5~2.0。

散佈性作用的增長

* 此處 K —磨細的純水泥塊

實用性低微的建築材料，那麼以上所示的強度關係就更加複雜化了（見表1）。

水泥土壤的強度，有如以上所述，既與水泥性質有關又與土壤性質有關，因此在示例式中可以下列關係表示：

$$R_{\text{HT}} = f(R_{\text{H}}; R_{\text{T}}), \quad (3)$$

這一水泥土壤強度關係的展開式可以下列方式表出：

$$R_{\text{HT}} = f \left\{ \begin{array}{l} (M; S_{1-n}; B_{\text{CB}}; x, \\ (M_{\text{T}}; S_{\text{n}}; \theta_{\text{CB}}; \Pi_{\text{K-X}}; pH) \end{array} \right\} \quad (4)$$

公式上行表示水泥的性質和其他的因素，基本上是預先決定水泥土壤的強度。

對水泥性質所用的符號與公式(2)中所用者相同。

公式(4)下行所表示的是土壤的最主要性質，這些性質影響着用水泥穩定土壤的程度。在這種情況下，公式(4)下行中的符號所表示者為：

M_{T} ——土壤礦質成份；

S_{n} ——土壤比面，並考慮土壤的級配及微集合體成份；

B_{CB} ——土壤含水量，並考慮為水泥水化作用所不能利用的水份「死的」貯藏量；

$\Pi_{\text{K-X}}$ ——土壤膠體化學性質，並考慮交換陽離子的成份和數量；

pH ——水抽取作用的反應和化學成份。

在水泥混凝土中水泥將石料膠結成抗壓甚為堅固的整體。因此混凝土強度完全取決於水泥石料的強度及性質。

在水泥土壤中水泥水解和水化的產物在混合料中與土壤顆粒形成一個複雜的和交錯的水泥土壤骨架，這個骨架的強度不可比擬地高於各別的散佈在這一骨架中的土壤微集合體的膠粘性和強度。由此整個水泥土壤強度不僅取決於被水化的水泥強度，並且取決於被處治的土壤性質的變化程度。

3 在研究中使用的土壤與波特蘭水泥的特性

由以上所述的理由出發，我們在道路科學研究所中按照不同礦質成份的水泥水解和水化作用的研究，以及按照當水泥與不同來源的土壤的相互作用時（也就是水泥與土壤的不同物理-力學性質和化學性質的相互作用時）的物理性質和比面的研究做了試驗。

試驗室的研究工作是在使用不同礦質成份的典型水泥塊來進行的，即使用：

1) 具有不同比面和不同數量石膏加添料的矽酸三鈣波特蘭水泥；

- 2) 具有不同比面和不同石膏加添料的矽酸二鈣——礬土波特蘭水泥；
- 3) 具有 6,280 平方公分/克比面的礬土波特蘭水泥(I)；
- 4) 具有 3,120 平方公分/克比面並含有約 2% 游離石灰的礬土波特蘭水泥，且曾在試驗施工中得到應用(II)；
- 5) 具有 4,600 平方公分/克比面，以亞硫酸紙漿殘渣加添料塑化的矽酸三鈣——礬土波特蘭水泥；

水泥化學成份

表 2

水泥塊名稱	含量的百分比						焙燒時 損失的 百分比
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	
矽酸三鈣水泥	21.05	5.21	6.09	63.70	1.50	0.45	2.60
矽酸二鈣—礬土水泥	21.98	7.15	3.67	60.78	3.04	0.39	2.61
礬土水泥 I	22.90	6.40	3.09	65.20	0.50	0.14	2.54
礬土水泥 II	19.79	7.65	3.21	60.12	2.26	2.15	5.03
矽酸三鈣—礬土水泥	21.40	6.62	3.28	64.90	2.64	0.57	0.06
矽酸三鈣—矽酸二鈣 水泥	22.40	4.90	1.90	59.50	1.50	1.20	9.3

計算的礦質成份

表 3

水泥塊名稱	礦質含量百分比					磨細後的比 面以平方公 分/克計
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaSO ₄	
矽酸三鈣水泥	56.01	18.11	3.50	18.53	0.77	3000、4000、5100
矽酸二鈣—礬土水泥	25.80	43.60	12.70	11.20	0.70	4620
礬土水泥 I	42.65	33.49	11.74	9.40	0.24	6280
礬土水泥 II	31.05	33.55	14.60	10.82	3.60	3120
矽酸三鈣—礬土水泥	53.50	20.00	12.00	10.00	1.20	4600
矽酸三鈣—矽酸二鈣水泥	36.35	36.80	9.78	5.73	2.04	3000、4000

附註：1. $C_3S=3CaO \cdot SiO_2$ ； $C_2S=2CaO \cdot SiO_2$ ； $C_3A=3CaO \cdot Al_2O_3$ ； $C_4AF=4CaO \cdot Al_2O_3$ ； Fe_2O_3 ；

2. 水泥比面是用 Гипроцемент 型 1 表面測量儀求出。

土 壤 總 化 學 成 份

表 4

土壤及發生層的名稱	採取試樣公深計	組成部分與乾劑量之百分比(%)								K ₂ O _{氏式}	CO ₂	
		SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	SO ₃	P ₂ O ₅			
黑土, 普通的和粘土質的 (坡爾塔瓦州) 腐植層 A ₁	5~25	6.31	75.62	3.60	10.07	2.39	0.87	0.15	0.34	0.12	4.83	0.01
同上轉變層 A ₂ /B ₁	50~70	2.67	77.25	4.30	12.20	1.91	0.86	0.07	0.27	0.02	0.47	0.01
同上 C 層 (碳酸鹽黃土)	110~130	9.64	63.56	4.00	11.36	9.30	1.31	0.15	0.35	0.09	0.45	5.06
浸出的粘土質黑土 (圖拉州普拉夫斯基區) 腐植層 A ₁	5~25	9.10	69.80	4.48	12.24	2.63	0.92	0.07	0.35	0.11	6.32	0.01
同上, 轉變腐植層 A ₁ /B ₁	30~45	5.22	72.42	4.50	13.12	2.47	1.13	0.18	0.27	0.13	2.97	0.05
同上 B ₁ 層	50~80	4.00	73.99	4.10	13.45	2.28	1.01	0.11	0.60	0.05	1.43	0.07
同上 B ₃ 層 (表面碳酸粘土)	100~120	8.80	62.66	4.48	10.48	10.70	1.61	0.18	0.63	0.07	1.13	6.87
草皮-灰質粘土質 腐植層 土塹 (莫斯科州, 格拉斯諾高爾斯克區) 腐植層 A ₁	3~15	6.37	77.30	2.62	10.56	1.54	0.67	0.18	0.31	0.02	4.03	無
同上, 灰質層 A ₁	15~25	1.61	84.60	2.03	8.99	1.07	0.58	0.26	0.40	0.02	0.65	無
同上 B ₃ 層 (水質粘土質 腐植層)	80~100	2.00	80.02	3.68	10.89	1.82	0.67	0.18	0.28	0.01	0.17	0.04
表層無碳酸鹽粘土 (莫斯科州波道立斯基區)	120~160	3.78	71.88	5.28	13.82	2.91	1.36	0.18	0.33	0.08	0.41	0.10