

87.36

S7.36
AMS

061835

道路工程中的冻渗问题

鲁特格斯大学土木工程教授 A.R. 裴米斯基 著
翁朝庆 陈本端 徐崑生 合译



人民交通出版社

道路工程中的冻渗问题

留特格诺夫大学土木工部教授 A.R. 苏米斯基，著
翁明庆 陈本端 徐益佳 合译

人民交通出版社

本书除附录外，其余按理论和试验两部分编写。第一部分系统地介绍了有关冻胀问题的最新研究成果、冻胀的解法和防止能力理论。第二部分介绍了作者自己的试验结果，试验结果对第一部分作了重要的校核。

此书可供道路工程技术和科学研究工作者参考。

道路工程中的冻胀问题

ALFRED S. JUMIKIS

Professor of Civil Engineering
Rutgers University

The Frost Penetration Problem IN HIGHWAY ENGINEERING

RUTGERS UNIVERSITY PRESS
New Brunswick, New Jersey 1025

本书根据美国鲁特格斯大学出版社（新布隆斯威克、新泽西）1955年版本译出

翁朝庆 陈本端 孙邕生 合译

人民交通出版社出版

（北京安定门外三里）

北京市书刊出版业营业许可出字第（京）六号

新华书店发行

人民交通出版社印刷厂印刷

1959年10月北京第一版 1959年10月北京第一次印刷

开本：850×1168毫米 印张：4.5张共11

全书：110,000字 印数：1—1,500册

统一书号：15044·1359

定价（9）：0.51元

譯 者 的 話

這是一本偏重於從熱學理論來講道路工程中凍滲問題的著作。書中首先介紹了基本的熱流理論和溫度變化問題。然後，系統地闡明了三大凍滲問題的諸接變理論、斯蒂芬解法和抽吸力理論。在這些章節里，也列舉了一些算例，俾使讀者對理論的应用有較明確的了解。最後，還扼要地談到了對凍害的补救措施以及冰凍的評定方式。

本書的特點是把熱學理論和凍滲問題较好地联系起來。這樣就使研究凍滲問題的道路工程師們對熱學理論有較多的了解，在研究時可以更多地從熱學理論出發，對凍滲問題的解決，前者提供了有益的論據。

可是，書中太偏重於理論方面，太偏重於數學分析，因為對於實際的物理現象不免過份地簡化，以致在實際应用上還有一定的距離，例如，把土中水份的冰點取為 32°F ($=0^{\circ}\text{C}$)，事實上，土中薄膜水冰點在 $-3^{\circ}\sim-4^{\circ}\text{C}$ 冰凍的。關於溫度突變，則取定一次變流的影响去研究，而沒有考慮到幾次變流的迭加影响。在討論水份的流動時，則單純地考慮了液態水份的流動，事實上，氣態水份的流動對於凍脹也有或多或少的影響。

此外，對於抽吸力理論的說明也是不夠的。因此，書中所說的情況只限於與地下水位相關的問題；對於具有與地下水位不相干的懸掛水生的情況，就未說明。

書中所列舉的觀測數據是很少的。這就必然嚴重地影响到所做的各項結論。

在預防與补救措施方面，談得太少了。對於冰凍的評定方式，也還有可以商榷之處。

總之，本書雖有缺點，但尚有可取之處；同時，我們要以批判的態度來閱讀，從中吸取有益的部分，俾使我們能更完善地解決道路工程中的凍滲問題。

譯 者

1950年5月

目 录

第 一 篇

第一章 引言	4
第二章 道路及其设计	5
道路的各身——道路设计的因素——土壤因素——气候表现	
第三章 冰冻问题	9
第四章 理论基础	13

第 二 篇

第五章 热的传导	15
热传导理论在冻胀问题中的应用——传热物体——通过单层的传热——温度差或——热流——热的单位——冻胀深度——通过复合层的传热——热阻——接触面的热阻——冻胀深度——实际应用——当量层——冻胀图解——其他应用——摘要	
第六章 不稳定状态下的传热	26
不稳定状态热流微分方程式的求导——一般情况——一般方程式的特殊情况——单向热流方程式的解答——周期性的温度变化——温度波动方程式的分析——冻胀深度	
第七章 温度的突变	63
在某段时间内的冻胀——特殊情况——热流率——接触厚度——热流——摘要	
第八章 F. 诺埃曼理论	75
方程式——边界条件——热平衡——冻胀率——超越函数的解答——温度方程式	
第九章 斯蒂芬的解法	87
一般情况——特殊情况——摘要	

第十章 考慮土壤中水分分流的冻滲情况

——諾埃曼理論的簡化 93

假設——簡化方法的建立——不考慮時間因素——考慮時間因素

——冰凍区的溫度分布曲線——未凍区的溫度分布曲線——微分方

程式——冰凍区冷却而散出的熱——未凍区冷却而散出的熱——由

于孔隙水分冰凍而得的融熱——由于水分分流而得的融熱——總熱

量——冻滲率微分方程式的討論—— m 的求導——冻滲的积分

第十一章 抽吸力理論 107

一般說明——熱滲透現象——假設——向上的水流——抽吸力的存

在——抽吸力的定义——实际的应用——作为流动力的毛細作用

——土壤中水分向冰囊的流动——冻脹

第三編

第十二章 对于道路冻害的一些补救措施 132

改鑿——化学处理——排水——可受冻害的土壤的更換——隔离层

或垫层和隔离薄层

第十三章 冰冻作用研究中要研究的因素 133

土壤的土力学性質——水文地质情况——土壤的热性質——气候条

件

第十四章 冰冻的評定 137

第十五章 簡述 142

附 錄 145

I、若干材料的热性質——II、高斯誤差积分或概率积分的数組

——III、魯克利微分方程式的解答

第 一 篇

第一章 引 言

人类文化历史証明：在很久以前，道路就在人們的思想上已存在了。道路可以把距离很远的地方联系起来，可以作为一种交通的方式，可以运输货物及人群，可以加强国防以及在和平时期作为維持經濟和商业的途徑。因此在一个国家的发展过程中，道路是一个最重要的因素。道路不仅能反映出工程技术上的进展，而且是衡量文化水平和文明标准的一个方式。

近来，良好的运输，特别是良好的道路运输，在我们日常生活上是最基本的。道路网能把每一个大都市，城镇和农村连接起来。大量車輛进出于大企业区，其中一部分来自乡間道路，另一部分来自市郊。由此可以看出，道路运输对于一个现代国家的生活来講是完全不可缺少的。事实上，很大一部分的經濟活动是和道路运输的速度及它的互相通达的程度有关，并取决于这种速度与通达程度。道路网犹如人身的血脈系統。如果人的血脈停止流通，人即死亡。在一个国家内，如果停止了交通和運輸，那么这个国家将无法生存。

由于汽車运输数量的大量增加及其重要性日益显著，必須修筑更稳固的道路和質量更好的路面，因而道路工程师就应当負責研究最好的工程技术和改进实际筑路的方法。一条好的道路必須滿足两个基本要素，即坚固的基础和良好的排水状况。羅馬及西班牙帝国时代的筑路工作者，都是普遍知道这些要素的，直到現在人們仍然称讚这些筑路工作者。这就是說，在修筑良好的道路时，必須对土壤、路基及路面方面加以重視，以使道路达到可能的最大强度。

我們必須記着，路基土壤强度的最大威胁是自由水份、土内水份及气候情况，冰冻湿度就是一个例子。强度与排水的要素是不可过份強調的，因为很多路面虽然具有透水的底层和基础，如果没有周密的排水方式，必然仍会在气候条件和目前的运量下遭致破坏的。除非十分了解道路下面土壤的物理性質，浸水后或受其他因素影响后所发生的情况，否则是不可能修好一条道路的。土壤的复杂性以及水份和气候对道路的不利影响，使道路工程技术发

生很大困難并使工程費用大大地增加。正因為水和冰凍影響的威脅，在道路工程中，可以認為水是頭號敵人。

第二章 道路及其設計

幾乎沒有任何其他建築物，所受到高度機械的和氣候變化的影響要比狹窄的一條道路所受到的再嚴重了。就道路的整体而言，與必須建築在冰凍深度線以下的其他建築物來比較，道路是不利的，因為它的上部結構和下部結構（路床土壤、填土、底層和基層）都受到強烈的气候影響。同樣地，薄薄的路面受到氣候變化和下承土壤性質變化的影響時，它是沒有能力來防止冰凍作用的（不能防止傳熱）。

道路的路身

道路的路身包括兩個主要部分，即上部結構和下部結構。下部結構包括支撐路身的天然土基以及路塹、和夯實路堤等人工土工結構和毛細水隔離層、底層和基層等等。這些部分具有兩種作用，第一，它們支撐著的並承受路面行駛車輛的荷重而傳布到較深的土層中去。同時，它們把各層的水份排掉，有時候在路面下需要一個特別的排水層和一個清潔的層次；有時為了代替回填而採用涵洞、橋梁、排架及土壤等等道路上用的人工結構物，在其基礎下也需要有排水的設施。

因此，為了修築一條好的道路所需巨大的資金和精力，在表面上是看不出來的。所能看到的僅僅是面層、邊溝、路欄、路志及色燈而已。一條道路的真正價值是在路面以下的下部結構，而這是看不見的。

道路的上部結構包括鋪砌層、防凍層以及道路的各种附屬物，如路志、路號和其他等等。鋪砌層的作用是接受車重和把它傳布到下部結構中去，從而得到平順適于行駛的表面。人工結構物的作用是使道路能够跨越天然的及人工的阻礙物，或是給予排水的便利。

我們可以看出：道路本身的全部重量以及行駛車輛的重量，都是由土壤所支承的。加之，行駛的車重給予路面以動能，因而在路面和路面附近的土壤中引起震動。

很明显，一條好的道路的性能及其穩固性，在很大程度上決定于天然土壤本身的性質以及路面下所建築的路基的性質。對於路基來講，在道路及基礎工程中，是以土壤作為一種建築材料，用它或在其上面來修築公路及城市道路（除去土壤之外，還可以用土塊、磚、石、混凝土和瀝青作為路面材料）。

道路設計的因素

道路設計技術的因素，除了交通以外，還可以分為兩大部分：1) 土壤及路面；2) 氣候情況，包括水份及冰凍。

土 壤 因 素

土壤不是一種組織均勻的材料，它的性質不可能準確地控制和確定，不過需要費力一些。更有甚者，路基工程師所常處理的土壤材料是在各種不同情況下存在着並且組成很複雜與不同的系統，使控制它的人遭到很大的困難。正因為土壤有這種複雜性質，每一個有關土壤的工程問題是一個單獨的問題，而且應當單獨地去解決。在土壤及基礎工程中，沒有一種能夠適用的藥方或通用的固定方法。

關於土壤的因素，目前普遍地承認：了解土壤在靜荷載和動荷載下以及在各種含水量條件下的活動情況，最主要的知識是屬於土力學的範疇。幾世紀以來，雖然土木工程師們對於土壤在各種不同情況下的變化是清楚的，但是在1923年以前對於它的性質只有点滴的知識。然而，自從汽車發明以後，在廿世紀的20及30年代中，人們迫切要求修築更多的道路，但是由於各種土壤的不同情況導致了很多工程結構的失敗，這就給予很大的壓力而不得不對路基及結構物下的土壤進行深入周密的研究。這些研究的成果形成了土壤工程技術的新型部分，叫作土力學。

直到目前，我們以土壤作為一種材料來講，對於它的物理性能和它的作用，已有可能得到比較正確的概念。在設計及修築問題上，現在已有許多解決的方法和技術，可供土木工程師採用。他們現在能夠很準確地處理土壤的穩定問題；他們根據土壤承載情況能夠安排路線的適宜地位，對於路基土壤能夠徹底加以處治備用以及對於路堤能夠選用適宜的土壤材料。尤其是他們能夠按照土壤性質，採用靜荷載及動荷載方法壓實土壤，以增加鬆土的密實度而提高它的抗剪力及承載力。排水設備的適當採用，例如在需要時使用垂直砂樁排水方法加速土壤的沉落率以及各種土壤試驗和分析的方法等等，在工程上皆作出了巨大的成果。

氣 候 情 況

氣候情況的含義是氣象學的及水文學的因素，即：

1) 風：

- 2) 大气降水及干旱；
- 3) 洪水；
- 4) 地下水（水的流动受地心吸力的影响）；
- 5) 土壤孔隙内的水份（水的流动不受地心吸力影响）；
- 6) 气温；
- 7) 冰冻。

风可以促进土壤内水份的蒸发；也可使水成为流动的浪波而冲刷路堤和路基。

各种形态的水份，在雨湿及干燥互相作用下，特别是在冰冻的情况下，对于土壤性能的影响，可以达到很严重的程度，它的抗剪力、承载力和稳定性受到很大损害。因此，必须在道路上设置好的和有效的排水设备。对于排水的理解，不仅是排除路面上的水、过境水流、洪水和地下水，而且还要排除路面下土壤内融解的冰水。在实际工作中，对排水的因素常常估计过低或者忽略了。任何人必须承认这种重要性并且必须牢牢记住：不仅路面下土壤中多余水份会降低它的承载力，而且路面上的水和洪流对于道路本身会给人以机械性的损毁，形成严重的冲毁。

气温与土壤水份结合起来，真正是影响道路使用情况和土壤性能的主要原因。气温的突然升降，随着土壤内水份的增减，会导致材料的机械应力的变化。这样，路面就会断裂、脱裂或使路面板挤眼而裂折。在干燥时期，会使土壤收缩，特别是粘性的土壤。土壤收缩而又会使它开裂，开裂的裂缝在下一期雨季时会被水所灌注。这种情况的后果，能使土壤承载力有所丧失或是使路堤的边坡坍落。缝隙中的水份在冰冻温度时，会结冰而使土体胀裂。低温会使水的稠度增高，因而降低了土壤的透水性。结果，为了得到试验室在温度环境下所预定的密实度，在工地上压实时，就必须大大地增加压实的功能。

土体遇到温度的差别，会使土内水份开始由热的地带向冷的地带流动。这样，就使土内水份的分布起了变化。倘若冷的地带的温度达到冰点温度（32°F以下）时，流动水就会成为路面下冰囊增大的来源，因而可以使路面由于冰冻而破坏。这样，就可理解：温度及水份的变化是互相作用的现象，从而使土壤的性能变得非常复杂。

在冬季常常扫除公路上的积雪，把雪堆积在路肩之上或在边沟中。雪层是一种良好的隔温物体，但是在解冻时期，它在这些地方堆积着，可能是不利的。其原因是：排水设备和排水基层仍在冰冻的时候，而路面下的土壤已

受到日光温暖而融解，因而有大量融化的水集存在路面之下，形成一个水槽（参阅图 II-1）。車輛駛过这些地方之后，路面就破裂了，形成所謂的“泉裂”（即翻漿——譯者注）。

“冻害”这个名詞应该理解为对城市道路及公路的灾害。“冰冻”这个名詞常常表現两种概念，即：

1) 冰冻温度在 $32^{\circ}\text{F}=0^{\circ}\text{C}$ 之下时的存在情况，这也叫作“气温冰冻”；

2) 冰冻温度或冰冻以下温度时对于土的作用情况，这就称为“冻土”。

当土壤遇到冰冻温度时，会发生許多現象，其程度視冰冻温度的高低而定。

1) 地下水向上移动，向冰囊供給水份，使其增大；

2) 在普通气压及 32°F 时，水結成冰。水由液态变成固态时，它的单位体积的密度减小了，同时体积膨大了。水結冰后，体积膨大 9 %；

3) 原来在土壤空隙中的水份和由下面向冷帶供給的水份开始結冰，并形成冰囊；

4) 冰冻温度渗透到土內；

5) 冰冻温度渗透到土內之后，冰冻促成土壤、地面及路面的冻脹現象。

因为水份向上升，土壤的冻脹較在冰冻前土壤空隙內水份增大 9 % 的体积还要大些。因此，冰冻作用首先表现为把水轉变为冰。

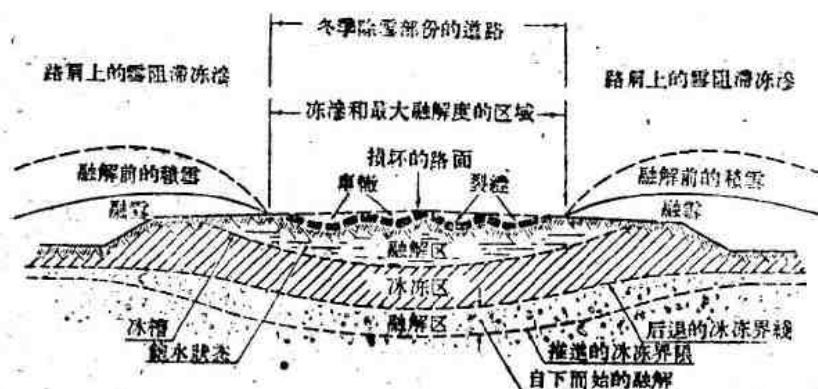


图 II-1 道路冻融灾害示意图。融解促成“泉裂”

所有这些現象就組成我們所理解的“冰冻作用”。凡在冰冻时水份結成冰层的土壤，叫作冻害土壤，这与无冻害土壤是有区别的，因为前者对于道路路面有很大的危害。

对于土壤有冰冻影响作用的一些因素是：土壤本身的种类，土內的有机

物質、原始的土壤溫度、土壤上面空氣的溫度、日照、植物复盖（倘若有的話）、路面類型、土面上的蓋層、土上積雪（雪蓋層）深度以及雪的密實度。因為有這麼多的因素，所以這種“土壤-水份-溫度”的系統，具有極其複雜的性質。

公路上冰凍的主要作用是水的結冰和冰的融解。結冰產生凍脹，可以使土壤面層或路面高高地隆起；此種隆起是由于土壤空隙內冰囊的增大所引起的。不均勻的隆起是最不利的；在可能冰凍的土壤形成囊袋狀時常常發生不均勻的隆起，或是在凍害土壤中因挖土而有暴露面的地方也會發生不均勻隆起。

融解產生翻漿。它是由于土壤的軟化，或是由于基層在冰融時為自由水份所飽和而促成的。融解是由上向下發生的，也可由下面未解凍的凍土向上發生。融解對於道路的影響時常是較凍脹還要嚴重。這兩種現象的相互作用產生不適合行車條件的情況，並且影響行車安全；因為路面上每一個發生位移的地方，車速必然不同於新設計的道路的車速，因而降低了安全的行駛速率。

冰凍作用不僅導致局部的隆起和導致混凝土路面接縫的破裂，而且還會因為土壤以後的軟化，而使承載力的喪失，並導致局部下沉。這樣就轉而加速剛性和柔性路面的嚴重破壞；當然沒有路面的土路也會同樣地破壞。在混凝土路面上，其接縫下的土壤結冰後，會形成高縫（即隆起的接縫——譯者注）。行駛的車輛經過高縫時，對混凝土給以有節奏的沖擊力量；在這種情況下，路面即被破裂。在夏季，路面板如在細粒不透水的土壤上，壓擠作用會導致路面的“濺漿”（由縫內濺出）。

更有甚者，冰凍可以搞亂路下排水管道的位置，並且使之破裂。這就是很多道路結構物如橋涵、排架和引道所發生的不均勻隆起和沉陷的原因。冰凍的災害也常常由于不正確的除雪和不正確的排水而引起。

路面的破壞，附帶着的路面碎裂、翻漿泉裂和種種其他的有關冰凍季節影響的因素，使處理冰凍的技術在道路工程上成為重要問題，並且日益引起道路工程師的重視。對全國來講，這種凍滲問題在道路工程上已是很重要的了。

第三章 冰凍問題

每年冬春兩季，道路和機場路面及承載路面的土基所發生的破壞程度表現凍害問題的尖銳化，並且在數量上顯得很嚴重。在過去，這種災害對於城

市道路及公路常常被認為僅是在美國北部或其他“北部地區國家”的實際問題，而在其他地方則是在理論上對此感到興趣。但無論如何，根據最近T. E. 薛爾波恩統計的征詢問答而載於美國公路研究所1952年刊印的專題報告第2號“土壤冰凍作用”一文內，曾提出這樣一個詢問：“凍害對於路面、路基及土基的影響，在你的州內是否是一個問題？”大多數的用公路局（48州內有40州）的答复是“是的”。還有其他地方的最近的經驗，也指出在道路設計的許多因素中，冰凍是一個很重要的因素而且是不容忽略的。

冰凍作用對於道路的嚴重災害，可以由觀察戴拉威爾州公路的報告中可以看出。這些觀察指出：有些路段在一般氣候情況下，很多年內皆營運得很好，但在1947~1948年的嚴冬遭到了很大的災害。在這個地區的很多州內，道路受到長時期的冰凍溫度，而且在冬季冰凍是滲透得異常深的。

圖III-1至III-4示出戴拉威爾州在1947~1948年冬季的凍害類型和其程度。凍害是這樣的嚴重，以致328.63英里的道路皆受到嚴重的破壞，這個數字約為該州總里程的8.4%，而且為了修復，投了一筆很大的費用。

冰凍問題是：冰凍情況愈甚，則其災害愈為嚴重。較長的冰凍時期、冰凍的嚴重程度以及在有凍害可疑土壤下的異乎常規的冰凍深度，會使道路受到一般所估計不到的較大的災害。從經濟上看，這就意味著在每年的道路改建及養護費用上是一個很大的支出。

由於國內公路運輸需要常年不斷地通車的事實，使得公路的冰凍問題在國民經濟上感到非常重要。為了使公路不受各種氣候的影響，公路上應當不存積雪。但是，自路面上消除了這種隔濕的積雪，又會使冰凍容易深深地滲透到裸露的路面下的土壤內。由於存在這些問題，所以道路工程師和公路所有者在實際上常常考慮如何以及在何地能多找出切實可行的預防方法——包括所用的材料和应用情況。真正的問題在於“知道怎樣去減少凍害”對於道路的影響，去設計它們而使行車可以保持安全和在我們經濟周轉要求的標準下保持經常可靠的營運，並且保證將來的發展以及國防上的需要。很明顯，技術問題的解決是多方面的，需要徹底了解土力學及熱力學的重要意義。

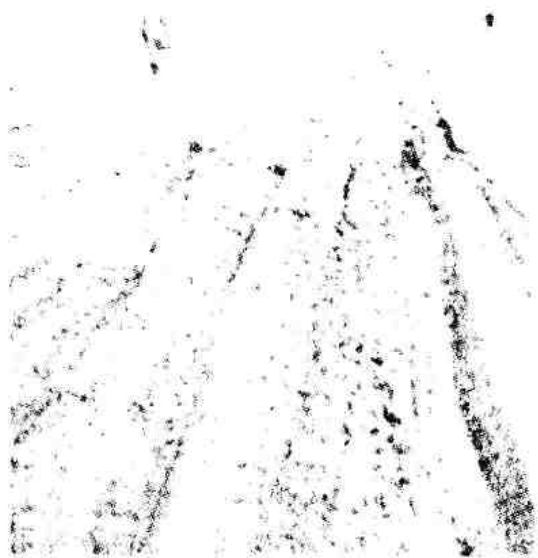
那種所謂用礫石填換可疑土壤的實際方法，在大部分的文例中並沒有得到理想的結果。對於這種辦法，第一個疑問就是從路基中要挖去多少和多深的可疑土壤，予以替換。最近有極可注意的報導說：在某些地區，用來替換可疑土壤和道路上其他用途的礫石是愈來愈少了，將來可能得不到礫石了。現在正在考慮用其他材料來代替礫石。有些地區，所有道路上選用的材料，皆



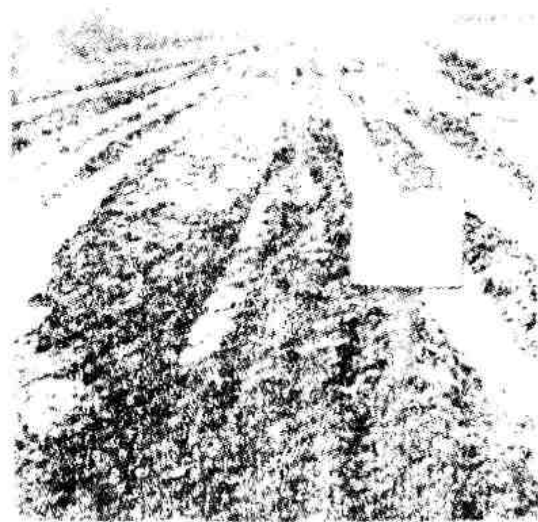
图Ⅲ-1 蒙拉威尔州新堡鎮14号公路上的鹽土路況情形。
图中中間部分有黑略色或地方是鹽土，下雨時，鹽土依雨水上。



图Ⅲ-2 蒙拉威尔州新堡鎮132号公路在1943年2月14日下雨后的情况。
值得注意的是边沟中没有水流



图Ⅲ-3 有良好断面及边沟的土路的恶劣情况（戴拉威尔州肯特镇277号公路）。冻渗及土壤含水量过高是其失败的原因



图Ⅲ-4 戴拉威尔州肯特镇330号公路因为边沟不良而产生不良的情况。注意左边边沟储满水流

須由鄰近的州內運進來。

其次，考慮的是：為了使冰凍不滲透到抽吸土中水份的區界，不使土中水分結冰以及不使路面凍脹，那麼，路面下隔溫層的厚度，需要多少呢？換句話說，就是如何去保護路基而使其不受冰凍的惡劣影響呢？

再則，如何保證道路建築材料的堅固性，使之不受冰凍和其他氣候（包括水份）的影響而不分裂、軟化、膨脹、翻漿和被沖刷呢？

如果希望使道路能很好地起作用，肯定必須對所有這些問題深入地去調查研究和了解。如果任何人認識到美國公路里程在繼續增加和運輸速度及載重在增高，那末這些問題就更引人注意了。道路土壤中的凍滲問題不僅是力學問題，主要的是熱的傳導問題，其中牽涉到複雜的土壤-水份-溫度的系統。因此，為了切實解決道路土壤的凍滲問題，道路工程師必須熟悉土壤熱力學的理論基礎（道路土壤熱傳導的理論）。

第四章 理論基礎

任何熱傳導問題的解答，若無理論基礎是不可能的，舉例來說，道路土壤凍滲問題必須有土體傳熱及散熱以及熱流基本規律的知識。

因此，本書第二部分是論述和採用各國文獻中有关熱傳導的知識。這些文獻大部分是為了各種企業而編寫的。但本書的目的則是整理及發展其中最普遍的而適于解決路面-土壤係系中某些凍滲問題的熱傳導理論。也准嘗試圖解釋其中所牽涉到的基本原理，並指出實際的應用方法。但是不准許討論形成土中冰囊及促成凍脹的力學問題。理論探討及實際經驗兩方面均指出：必須通過試驗，提供能表征土壤性能的數據，才有可能用分析方法來處理凍滲問題。在分析研究之後，凍滲的部分問題還須通過試驗來解決。但在本書中，則只作理論上的探討，並利用各種有关文獻中所估計的數據。

為了明確土壤凍滲問題及溫度的分布情況，很多研究工作根據各自不同情況採用了不同的方法，進行探討與分析。這些方法，彼此之間有很大差異。有些工作者重視問題的理論解答，有些工作者重視試驗分析，还有一些工作者則偏重於實際問題的解決。

無論是哪一種方式，問題總是集中在下列幾方面：

- 1) 各種土壤的凍滲深度；
- 2) 寒冷季節的冰凍程度和冰凍持續時間；
- 3) 空氣的、路面的和土壤內的溫度變化；

4) 地下水的設置及其他水源的接近情况。

因为有许多因素和土壤的性质永远不能直截了当地及完全地简单化，所以近年以来，在道路工程上很少有人注意和进行冰冻问题的分析工作。虽然用数学分析确实会受到一定的限制，但是由于数学上的分析，对于这个问题可以导致一个明确的概念，从而在道路工程上对于冰冻问题，可以得到进一步的了解。

对于在冰冻区域内形成冰囊的有关因素，除了土壤本身外，还有冰冻温度、土中水份及根据温度而变的土与水的亲和性。道路土壤冻渗问题还决定于土壤的各种土力学性质，例如土的结构、颗粒、密度、含水量、分布水份能力及传热的性质。因此，可以说道路土壤冻渗问题既是土力学问题，同时也是热传导问题。

热的传导是把热由物体的这一部分传导至另一部分（土壤或混凝土路面板），或是由一个物体传导至另一个接触的物体（由板至土壤或由土的这一层至另一层）^①。

分析冰冻问题时，常常采用下列方法和理论：

- 1) 热在稳定状态下的传导；
- 2) 热在不稳定状态下的传导；
- 3) F. 半曼的理论；
- 4) J. 斯梯范的理论；
- 5) 相吸力理论。

应用下列定律是分析这些理论的普遍基础：

- 1) 微分土壤体中的热含量是与土的质量及它的温度成正比；
- 2) 在同一物体中，如这一点与另一点的温度发生差别，或是两个物体具有不同温度而相接触时（例如混凝土路面与土基），则热的传导即开始；
- 3) 热是由温度较高的地方传至温度较低的地方；
- 4) 热的流率是与传导断面的面积和该断面上某点的温度差（温度距断面的垂直距离成比例的，温度变化率）成正比例。

进而言之，我们假定土壤或路面板微分圆柱体的垂直边是不导热的，因而热的流綫是平行的，并且与断面 A 是垂直的（参阅图 7-1）。

① 此种定义是根据 W. H. 莫克丹編的“热的传导”，1933年版，紐約莫哥銳一希洛書局印行，第一頁。