

地下结构 防水工程

A. H. 尼古拉也夫 著

建筑工程出版社

房屋地下結構防水工程

陳 繹 勤 譯

建筑工程出版社出版

• 1958 •

內容提要 本书研究了关于水分影响房屋地下结构的各个过程，并且提供了保护这些结构及消除这些结构中发生的损坏现象的各项措施。

本书可供房屋设计、施工和管理方面的专业人员参考之用。

原本說明

书 名 ЗАЩИТА ПОДЗЕМНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
ЗДАНИЙ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЛАГИ

著 者 А. И. Николаев

出 版 者 Государственное издательство литературы
по строительству и архитектуре

出版地点 与 年 份 Ленинград-1955

房屋地下结构防水工程

陳 澤 勤 譯

建筑工程出版社出版 (北京市阜成門外大街)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第052号)

建筑工程出版社印刷厂印刷·新华书店发行

书号804 155千字 950×1168 $\frac{1}{32}$ 开本6

1958年8月第1版 1953年8月第1次印刷

印数：1—2,360册 定价(10) 1.00元

目 录

序 言	5
第一章 地下水的来源	7
1. 地下水的成因和种类	7
A. 結合水——吸着水和薄膜水	9
B. 自由水——毛細管水和重力水	10
B. 水蒸汽	18
2. 土壤孔隙中和水中的气体	19
3. 在負温度情况下土壤和材料中水分的徙动与冰的生成	19
4. 地下水对房屋地基和結構的侵蝕影响	22
第二章 地下水状况变化时房屋地基的性状	28
5. 影响地下水状况的因素	28
A. 冬季条件和其他因素对地下水状况的影响示例	29
B. 大气水的渗入和蒸发过程对地下水状况的影响示例	30
B. 大气压力在地下水状况中的作用	32
Г. 排水設備对地下水状况的影响	32
Д. 由地下水中析出的气体对地下水状况的影响	35
E. 地下水位变动的几个补充实例	37
6. 地下水分对房屋地基影响的形象	38
A. 水流渗入地下时的现象	38
B. 水流側面渗透时的水动力现象	53
B. 水流由下向上渗透时的现象	55
Г. 粘性土壤中渗透的特殊性	60
7. 地下水冻结时房屋中的膨胀现象	61
第三章 保护房屋地下結構免受地下水影响的措施	76
8. 概 論	76
9. 采用降低地下水位的排水設備	77

A. 排水设备的型式	77
B. 排水设备设计的基本资料	87
B. 水平式排水设备的计算原理	89
(1) 系统式排水设备的水文地质计算	89
(2) 环式和头部式排水设备的水文地质计算	92
(3) 水力计算	95
(4) 排水设备的计算示例	96
Г. 垂直式排水设备的计算原理	104
Д. 排水设备设计的补充说明	112
10. 房屋地下部分的防水层	116
A. 概 論	116
B. 刚性防水层	118
B. 采用瀝青质建筑材料为基础的防水层	124
(1) 防水材料	124
(2) 基面的处理	138
(3) 防水工程施工的基本知识	140
(4) 用瀝青材料做成的个别防水层的特性	146
Г. 消除防水层中损坏的方法	161
11. 房屋结构由于地下水作用的损坏示例及消除损坏的措施	165
参考书籍	185
技术名词对照表	187

序 言

在我們辽闊的祖国的各个角落里，都在进行着巨大的建設。許多新的工廠、公共文化福利机关正在建立。每天都有为劳动人民建造的設備完善的居住房屋竣工动用。

从事設計和建筑新房屋以及管理现有房屋的工作者，往往面臨着这样一个問題：如何保証房屋达到預期的耐久性。为延长房屋使用期限創造条件，同时在室内确保应有的清洁卫生状况，乃是需要我們經常注意的一項重要的国民經济任务。

众所周知，水分的作用是使結構物过早损坏的主要因素之一。这种作用可以引起砖石結構和金属結構的腐蝕、木构件的腐朽以及地基强度的降低等等。我們知道，凡是由于水分的作用而引起的各种破坏过程，都可以使房屋丧失稳定性。

必須及时地采取有效的措施，来防止房屋遭受水分的作用。这种措施的種類是很多的。究竟采用哪种，則决定于水分来源的性質、結構材料的特性和已建或拟建房屋所在地区的具体情况。

水分的来源可以分为地下的和地上的两种。这些水分来源都能以不同的方式作用于房屋的結構。它們所产生的作用是不間斷的，但作用的性質和强度，則决定于当地的水文地质条件、气象和气候因素、季节、房屋的高度及其地下部分的埋置深度。作用程度則取决于房屋的平面輪廓、屋頂的形状、各个围护結構在方位关系上配置的特点，而主要是取决于設計的方案，建筑材料和竣工工程的质量，以及房屋的使用性質。

在本书中研究了保护房屋地下結構免受水分作用的各項有关問題。这些問題向来都是迫切的問題，而在目前，由于我国宏伟的

水工建設，已引起許多地区气候和水文地質条件的变化，这些問題更具有特殊重大的意义。

所研究的問題均以居住建筑及无特殊結構物的工业建筑为对象；特殊結構物是指往往建造于地面以下很深，而且具有各自的特殊性的結構物。但是这并不意味着本书中所述及的各项建議不适用于这些特殊結構物的設計与建造。

著者不拟叙述与房屋基础、地下室的設計和建造有关的全部問題，而仅限于探討其中的某些問題，这些問題在其它书籍中闡明得不够充分，但与保护地下結構物不受水分作用有着直接关系：地下水的性質和动态，在地下水不同性状和特性的情况下，地下結構地基中和結構本身中的物理——力学作用，地下室进水原因的調查方法以及預防和消除結構损坏的各项措施。

各个結論和原理都利用具体的示例和附图加以說明。各种通用类型的管式排水設備的設計問題，以及地下室防水层的建造与修理的問題在本书中占有很多篇幅，因为这些保护房屋地下結構的方法，都是采用得最为普遍的。

第一章 地下水的來源

1. 地下水的成因和种类

当温度高于 0° 时，土壤中的水呈液态和汽化状态。由于物理——力学因素的不同，特别是由于土壤的固体矿物微粒和水的相互作用，可使水从一种形态转变为另一种形态。

为了正确理解和说明发生变化的地下水状况的特性（这种变化能引起地下水对房屋结构构件产生不同程度的影响），就必须知道地下水形成的条件、它们的种类和特性。

过去曾有外国人提出形成地下水的两种基本理论，这两种理论存在至今已有很长的一段时期。

1) 馬尔克·維特路威·鮑立叶的理论解释地下水的形成仅仅是由于大气水渗入地下的结果。以后，这一种理论曾由法国物理学家馬利奥特和迭·拉·麦特尔进一步予以发展。

2) 福立戈尔的理论否认地下水形成中的渗入作用，而解释地下水的成因是由于大气中水蒸汽在地面下的一定深度凝聚而成的。

为了平衡这两种都不能详尽解释与地下水形成有关的许多现象的理论，俄罗斯学者 A. φ. 列別捷夫教授在 1918 年曾提出一种新的理论，这种理论基本上完全符合关于这个问题的现代概念。

A. φ. 列別捷夫所提出的原理，可归纳为以下各项：

1. 泥土和土壤中的补给，既要依靠降雨量^①，也要依靠大气中水蒸汽和由地下深处移向地表面的蒸汽的凝结水。

2. 土壤中水蒸汽向上和向下的移动，是按照土壤中蒸汽压

① 此處所稱降雨量包括雨、雪、霰、露、霜等的降落量——譯者注。

力量夜和季节的变化而进行的,这种变化主要与温度的变化有关。

3. 凝結于土壤微粒表面上的水,直到在这些微粒的周围形成厚度为一排分子的薄膜层以前,乃是吸着水^①。所指薄膜层的形成,則与土壤的最大潮解湿度及其近于100%的空气相对湿度的发生相适应。吸着水只有在变为蒸汽时,才能进行移动。

4. 較厚的薄膜层的水,由于土壤微粒和水分子之间的分子粘着力的作用,象液体那样地移动。它由湿度較大的各层移动到湿度較小的各层,而重力并不影响到移动的速度。

5. 如果土壤的湿度超过它的最大分子水容度,也就是超过分子引力所能保持的最大量的水分,則薄膜水即变为重力的自由水:悬着水或毛细管水及固有的重力水——受水力渗透定律约束的地下水。

根据A.Φ.列別捷夫教授的理論和一些苏联学者(И.В.戈萊賓西柯夫、Н.Я.丹尼索夫、П.А.萊賓捷尔、Б.В.迭尔亚金等)后来的著作,地下水(图1)的主要类别,当温度高于0°时可以规定如下:

- A) 結合水;
- B) 自由水;

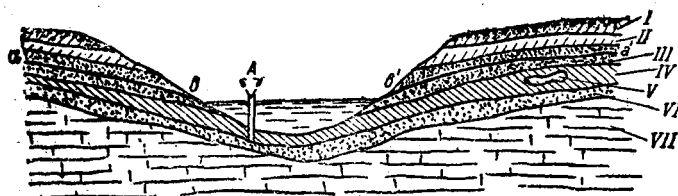


图1 具有地下水带的地区的地质断面

I—湿度升降幅度最大的包氣帶,其中水分是由强結合水到重力水不等;II—薄膜水帶和毛细管水帶,土壤是透水的;III—地下重力水層, $ae-a'e'$ 是地下水面;
IV—不透水的粘土層;V—透鏡狀的聚集水;VI—水壓層,土壤是中粒砂,A表示由人工鑽井流出的自流水的露頭;VII—不透水的岩石土壤

^① 根据 C.К.雷吉夫、П.В.維尔申寧、B.П.康士坦丁諾夫和其他一些研究者的資料,吸着水也發生在多層吸收的場合。

B) 水蒸汽。

A. 結合水——吸着水和薄膜水

由于引力所保持的水，称为結合水。土壤微粒表面本身的这种引力，每平方公分可以达到几千公斤。包围土壤微粒的水分子，在这种引力的作用下，形成第一层結合水——吸着水的强結合水。这层水的厚度不超过 0.15μ 。第二层結合水紧贴到第一层，而形成弱結合水——吸液的水膜；这层水的厚度约为 0.35μ 。

由上可见，水分子的电分子引力的作用距离很短——大約 0.5μ ，在它的界限以外，則散布着自由水。結合水不同于自由水而具有內聚力，也就是对位移的抵抗力，并且具有較小的饱和蒸汽压力，同时它的蒸发，需要較高的温度，但对于冻结，则需要較低的温度。

按照本身的特性，强結合水接近于固体，因为它的分子没有流动性，而且它具有大于1的密度。它不能传送电流，但含有可溶解的物质；当这种水結合时，能量被析出而形成潤湿热。在强結合水的全部特性中，弱結合水只具有其中的某些特性，如冰点低、溶解可溶物质的能力低和活性弱。但是，由于分子力作用的强度随着矿物微粒的脱离而逐漸降低，所以强結合水和弱結合水之間的界限明确的划分是頗为困难的。

取决于土壤溶液渗透压力的弱結合水量通常可以超过强結合水量的許多倍；所以在物理和土壤力学中，主要是考虑弱結合水。

在强結合水的有关特性中，土壤骨架的化学成分（矿物成分）也起着很大的作用。譬如，在泥质岩的結合状态中，发生在矽酸盐材料表面上的矽酸胶体薄膜，有时可以起着主要的作用。土壤的吸水能力（形成吸着的結合水的能力），則依周围空气的湿度、土壤的温度和物理性能而轉移，因之不是不变的。吸水量随着土壤温度的增高而减低着。

土壤在最大吸着度时达到极限吸附收湿；最大吸着度与土壤中的含水量同空气中近于饱和的蒸汽的压力間的平衡相符。

茲將一些個別土壤的最大吸着度列之如下：按照干燥土壤材料的重量，對於砂約為1%，對於尘土可達7%，對於粘土可達17%。

一些個別土壤的高度的吸附性能，可以利用來作為保持房屋地下室中正常濕度狀況的方法之一。吸水問題對於房屋地上結構，特別是牆壁圍護結構的建築材料，有着非常重要的意義。

B. 自由水——毛細管水和重力水

{毛細管水}也和一切自由水一樣，能承受壓應力和拉應力，它與結合水之不同處在於不能抵抗切力，因而也就沒有內聚力。毛細管水可以部分或全部地充滿離地下水流動面一定高度的土壤孔隙。毛細管現象是在分子力的基礎上產生的，這種力一方面作用於液體分子之間，另一方面則作用於液體和固體的分子之間。

毛細管水的移動和毛細管平衡狀態，都是由於表面壓力現象而產生的，表面壓力的大小，隨著毛細管中液體表面的形狀而變化，但這種形狀是由固體的潤濕度和毛細管的直徑而決定的。

當水柱重量和力求收縮毛細管彎月面的力達於平衡時，毛細管水的上升（吸入現象）即告停止。這個力就是毛細管中的水在平面與曲面上分子壓力的差數。毛細管水上升的高度（ h_k ）和速度（ v_k ），則依土壤的孔隙和顆粒的大小及其分布性質、以及水的溫度和粘度而轉移。

在砂質土壤中，毛細管水上升的高度大約與孔隙率 ϵ 和顆粒有效直徑 d_{10} ①成反比例，但數值是不大的；例如，當毛細管直徑等於細砂顆粒直徑 $d=0.01$ 公分時，毛細管水上升的高度 $h_k \approx 30$ 公分。同時，如所周知，若將少量粉狀微粒摻入砂中，則可引起毛細管帶顯著的增高；譬如，根據B.B.阿浩庭教授的資料，將20%的粉狀微粒摻入配比为60%的8~4公厘粒徑+40%的0.5~0.25公厘

① 在砂質土壤中，毛細管水上升的高度 $h_k \approx \frac{c}{\epsilon d_{10}}$ ，式中 $c=0.1 \sim 0.5$ 平方公分。

在粉狀土壤、粘土質土壤中， h_k 值可以利用流體壓力計得出〔6〕。

粒径的砂質土壤中，毛細管水上升的高度几乎和单纯由粉狀微粒所构成的土壤中毛細管水上升的高度相同，也就是到达 $h_k = 200$ 公分。如果毛細管的直径 $d = 0.005$ 公厘，而这个直径符合于粘土微粒的尺寸，則 $h_k \cong 600$ 公分^①。

当地下水位升高时，毛細管水位^②上升很快，特别是在最初阶段。

毛細管水上升的强度，也視位于地下水位以上的土壤顆粒的潤湿度和土壤的最初湿度而定。在潤湿土壤中，毛細管水吸入现象可以活潑地进行，但在不太潤湿的土壤中，則呈现毛細管水迟滞不往上升的现象。

在最初湿度接近最大吸附潤湿化的土壤中，毛細管水吸入现象也可活潑地进行。

图 2 所示为地下水位和毛細管水位的位置示意图。

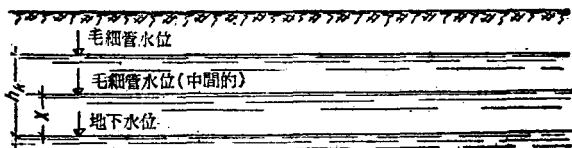


图 2 毛細管水位的变化

毛細管水位上升的时间 t ，可用下列方程式表明：

$$t = \left(2.303 \lg \frac{p_k}{p_k - \Delta_0 x} - \frac{\Delta_0 x}{p_k} \right) \frac{p_k}{\Delta_0} \times \frac{\epsilon}{(1 + \epsilon)k}, \quad (1)$$

式中 $\frac{p_k}{\Delta_0} = h_k$ ——毛細管水上升的总高度(公分)；

p_k ——相应的毛細管压力(公斤/平方公分)；

Δ_0 ——水的密度； $\Delta_0 = 0.001$ 公斤/立方公分；

x ——毛細管水上升的中間高度(公分)；

① 根据П. А. 蔡宾捷尔的資料，如果毛細管直径 $d = 0.1 \mu$ ，則毛細管水上升的高度可達14公尺。

② 毛細管壁的上部邊界。

ϵ ——土壤的孔隙率^①；

k ——土壤的滲透係數^② (公分/秒)。

如果公式(1)中的 $x = h_k$ ，則 $t = \infty$ ；土壤中如有剩餘的壓力 p'_k (超過大氣壓力者)，則在公式(1)中應將 p_k 替換成 $p_k - p'_k$ 。

圖3舉例示出適于下列各值的一個曲線圖 $x = f(t)$ ：

$h_k = 63.2$ 公分； $\epsilon = 0.5$ ； $k = 0.01$ 公分/秒。

由曲線圖中可以看出，毛細管水上升的速度在最初階段是非常快的，但在上升的半途中比在 $x = (0.05 - 0.1)h_k$ 的地段的平均速度要少到 $1/26$ ，而在 $x = 0.95h_k$ 時要少到 $1/430$ ，相應地約為0.05公分/秒和0.003公分/秒。

但是，即使最小的速度(0.003公分/秒)實際上也超過了所觀測的地下水的滲透速度，這個速度按照C.A.索維托夫教授的資料是0.0012~0.0023公分/秒。

在滲透係數較小的粘性土壤中， t 值將要大些，但其中毛細管水上升的速度仍將超過地下水的滲透速度。在土壤各孔隙間所擠緊的空氣，有力地阻礙着細散土壤中毛細管水的升進。這在很大程度上也可說明為何靠近地下水位被水飽和的毛細管帶在上面的濕度反而很低的緣故。

土壤中毛細管水的上升(吸入)，也可傳布到與地下水或土

① 孔隙率

$$\epsilon = \frac{\gamma(1+0.01)w}{\Delta} - 1, \quad (2)$$

式中 γ ——土壤的比重；

w ——土壤的含水量(%)；

Δ ——土壤的容重。

② 根據H.A.崔托維奇教授的資料，一些個別土壤的 k 值如下：

砂 $k = i \cdot 10^{-2} - i \cdot 10^{-4}$ 公分/秒

砂質壤土 $k = i \cdot 10^{-3} - i \cdot 10^{-6}$ 公分/秒

砂質粘土 $k = i \cdot 10^{-5} - i \cdot 10^{-8}$ 公分/秒

粘土 $k = i \cdot 10^{-7} - i \cdot 10^{-10}$ 公分/秒

i 值 = 1~9

對於各層厚度為 $h_1, h_2, h_3, \dots, h_n$ 而總的層厚為 h 的層狀土壤，滲透係數是：

$$k = \frac{1}{h} (k_1 h_1 + k_2 h_2 + k_3 h_3 + \dots + k_n h_n) \quad (3)$$

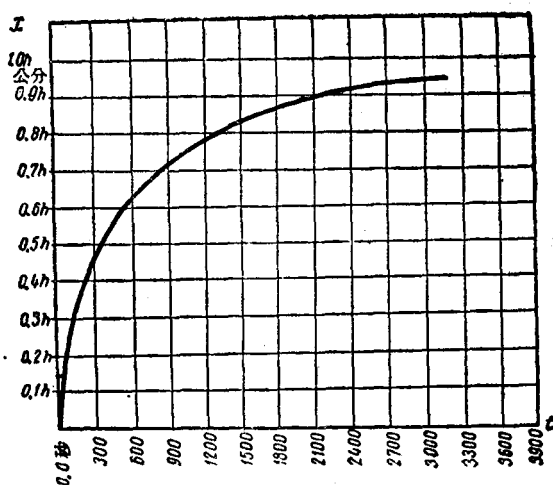


图 3 毛细管水上升曲线图, $x=f(t)$

壤的毛细管水相接触的房屋结构, 假如缺少防水层或没有采取其他防止潮湿的措施的话。这种现象的性质, 与土壤中毛细管水的上升相类似。在房屋中, 毛细管水吸入现象在砖石基础和墙壁中最常遇见。毛细管水在无阻碍移动的情况下, 能上升到一层楼的高度以上, 它延及墙壁的全部截面, 并出现在墙的表面, 从而成为房屋中潮湿来的源。

用于基础和墙壁的一些个别材料, 其毛细管一昼夜的平均吸水速度如下:

毛石.....	0.56×10^{-3} 公分/分钟
1:4水泥砂浆.....	约 3.05×10^{-3} 公分/分钟
红砖.....	约 2.32×10^{-3} 公分/分钟

在水分蒸发的过程中(经过土壤、房屋结构), 我们可以遇到另一种水分移动的现象——毛细管扩散。

房屋各部分毛细管扩散的水分的来源, 不仅有由土壤透入房中的毛细管水分, 而且房屋结构表面上的凝结水和内部水蒸汽凝结的水分, 也都可能成为它的来源。

关于土壤中毛细管扩散的现象，所知道的还是比较少。根据 O.E. 伏拉索夫的理论，建筑材料中的毛细管扩散，可以用系数来说明，这个系数表示在已定的、建筑材料中水分移动过程与水分由表面蒸发之间平衡的条件下，一昼夜中由 1 平方公尺面积所蒸发掉的水量(以公斤计)。

水的表面张力、容重、材料湿度和湿度梯度愈大，则毛细管扩散系数(k_0)也就愈大。

扩散系数 k_0 有着下列一个方程式：

$$k_0 = \frac{1}{3bm} \times \frac{\sigma}{\eta} = \frac{200g}{3r_0 \sqrt{\omega} \frac{\partial \omega}{\partial x}} \text{ 平方公尺/昼夜} \quad (4)$$

式中 b, m ——所引用的液相系数；

σ ——在水与空气的边界上水的表面张力；

η ——水的粘度；

ω ——材料的含水量(%)；

x ——材料的长度(厚度)，(公尺)；

g ——一昼夜中由 1 平方公尺面积所蒸发的水蒸汽数量(公斤)；

r_0 ——材料的容重(公斤/立方公尺)。

用于基础和墙壁的一些个别材料的系数 k_0 等于：

毛石..... 0.25×10^{-4} 平方公尺/昼夜

1:4 水泥砂浆..... 25.3×10^{-4} 平方公尺/昼夜

红砖..... 7.7×10^{-4} 平方公尺/昼夜

土壤中毛细管吸入与毛细管扩散的现象，首先影响到土壤的力学强度。

土壤的毛细管湿化，特别是高度分散的土壤，可以引起它们的承载力下降。由于土壤的干燥而引起的毛细管扩散现象，在粘性土壤中同时会有土壤的收缩发生。结构中的若干毛细管现象，都能随着材料种类和温度条件的不同而引起物理、化学或生物学上的破坏作用。

但对于房屋结构说来，所研究的这些问题也有着另外一种意义，就是：凡有强烈毛细管吸入作用的材料，通常都拥有较大的毛细管扩散系数，而能迅速将水分减退；但具有微弱毛细管吸入作用的材料，则均有很弱的出水率。

有时对于某些材料，在毛细管扩散和毛细管吸入的指标间的关系上，未能发现出规律，但综合研究材料的这些特性，毕竟可以得出材料中关于毛细管水移动的充分概念。

应该指出：在毛细管很细的情况下，这些徒动水分的方式一般是不易划分的。

地下流动的重力水可以分为土壤水、地下水^①、层间水、裂隙水、泉水、人工成因地下水。

土壤水是完全位于泥土深处的重力水，能够由断面中流出，但与位置较低的地下水并无水力上的关系；同时，多余的水还能流入下伏的岩层。土壤水的一种变态是上层滞水^②，也就是因泥土中分布有粘土构成的弱透水层、灰化土的淤积层、碱土的淤积层等所引起的聚集水。决定于水文气象因素的土壤水，通常都带有季节性。

地下水埋藏在泥土层下面，距离地表第一个土壤隔水层的上面，它没有不透水的岩层复盖着。适于饮用和杂用的地下水，是一个很普遍的给水水源。同时，与毛细管水合在一起，尤其在有可溶解的侵蚀性盐类的场合，它可能成为房屋结构潮湿和破坏的主要根源之一。

地下水在重力的作用下受到移动，但这只是在彼此相隔为 L 的两个相邻地点中具有压力差 $H_1 - H_2$ 时才是可能的。地下水的流向，可用向量来决定，向量的大小，可用比率 $i = \frac{H_1 - H_2}{L}$ 来表示，这个比率就称为水力梯度。

以上曾经指出：地下水移动的速度是不大的，而且在细粒土壤

① 地下水或称潜水——译者注。

② 上层滞水或称季节水——译者注。

中,地下水的运动通常是片流运动,也就是不越出所谓临界速度界限以外的运动,有时,这一运动可以变为紊流运动(具有局部的涡流)。

这种情况具有重要的意义,因片流运动转变为紊流运动,可能就是土壤冲毁的开始。

临界渗透速度与土壤颗粒直径成反比例,同时,可以根据例如 H.H.巴甫洛夫斯基院士的公式予以确定。如果 $t = 1^\circ$, 则该公式为:

$$v_{1kp} \textcircled{1} = 0.002(0.75n + 0.23) \frac{R}{d}, \quad (5)$$

式中 n ——土壤的孔隙率;

R ——紊流的准数;

d ——土壤的平均粒径(公分)。

当温度增高时,水的粘度 η 就要减小,而相应地 v_{1kp} 也要减小:

如果 $t = 5^\circ$ $v_{5kp} = 0.882v_{1kp}$

如果 $t = 10^\circ$ $v_{10kp} = 0.759v_{1kp}$

如果 $t = 15^\circ$ $v_{15kp} = 0.661v_{1kp}$

下面在表 1 中举出一些 v_{kp} ② 的数值,这些数值是在 $R = 0.1$ 的场合就粉砂土壤的某些 n 值和 d 值而算出的③。

表 1

$d(\text{公分})$	$n = 0.415$				$n = 0.473$			
	1°	5°	10°	15°	1°	5°	10°	15°
0.0025	0.043	0.038	0.033	0.028	0.047	0.042	0.036	0.031
0.005	0.022	0.019	0.017	0.015	0.023	0.02	0.018	0.015
0.01	0.011	0.01	0.008	0.007	0.012	0.011	0.009	0.008

① v_{1kp} 指温度为 1° 时的临界渗透速度——译者注。

② v_{kp} 指临界渗透速度——译者注。

③ 对于 $t = 1^\circ$, 可根据下列公式得出大致相同的各 v_{kp} 值:

$$v_{kp} \leq \frac{0.001}{d} \text{公分/秒。}$$