

土力学原理

第一卷

〔苏联〕B·A·弗洛林 著

同济大学土力学及地基基础教研室 译

中国工业出版社

19

27

土 力 学 原 理

第 一 卷

一般的关系式与建筑物地基的应力状态

〔苏联〕 B·A·弗洛林 著

同济大学土力学及地基基础教研室 译

中 国 工 业 出 版 社

本书系根据苏联B.A. 弗洛林的遗著“土力学原理”第一卷1959年第一版译出。

本书阐述了现代土力学的基本原理和关系式，按极限应力状态或按直线变形介质理论计算的适用条件，地基应力分布计算，以及基础底面应力分布计算等。为了照顾到一般工程技术人员的理论水平和实践中的需要，本书对于各种计算方法的基本概念及数学、力学理论的应用讲得比较深透，并给出了不少图表。

本书是土建工程设计人员的一本很好的参考书；同时也可供研究工作者、教师和学生参考。

* * *

本书由同济大学土力学及地基基础教研室集体翻译与校订。并由郑大同、俞调梅等复校。

В. А. Флорин
ОСНОВЫ МЕХАНИКИ ГРУНТОВ
Том I
общие зависимости и
напряженное состояние
оснований сооружений
Госстройиздат
ЛЕНИНГРАД 1959 МОСКВА

* * *

土 力 学 原 理 第 一 卷

一般的关系式与建筑物地基的应力状态
同济大学土力学及地基基础教研室 译

*

建筑工程部图书编辑部编辑（北京西郊百万庄）
中国工业出版社出版（北京佟麟阁路丙10号）
北京市书刊出版业营业许可证出字第110号
人民铁道出版社印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

3/00 10
开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张19·插页2·字数422,000
1965年3月北京第一版·1965年3月北京第一次印刷
印数0001—5,760·定价（科六）3.10元

*

统一书号：15165·3453（建工-404）

序 言

作者认为在现代土力学中，系统叙述计算水工建筑物及工业建筑物地基的应力状态、沉降和稳定性，计算土堤及土坝的边坡稳定性，确定作用于各种刚性和柔性挡土建筑物的压力，以及研究土力学中某些专门课题所采用的基本方法，是适时和有益的。从保证建筑物的可靠性、降低造价及缩短施工期限的角度来看，上述问题在设计中具有很大的实际意义。

为了尽量使这些资料被具有相当于设计-施工单位工程师内中等数学水平的人们初次接触时易于理解，须作十分详细的阐述。

因此，在第一卷中仅介绍土力学的基本概念和关系式，以及确定地基应力状态和刚性与柔性建筑物基础底面接触应力的不同方法。

在第二卷中则介绍建筑物地基的最终沉降量及稳定性的确定，极限平衡理论以及它在地基计算中的应用，含水饱和土的压密理论以及它在未稳定状态计算的各种问题的应用，关于水蒸汽形成和气体析出的问题，以及关于土的流变 (реология) 和蠕变 (ползучесть) 问题的基本概念。

应当指出，以上提出的大多数问题，无论是对于水工建筑物，还是对于大型的工业、交通运输、民用及其它建筑物的建造，都是很有意义的。

作者对 В. П. 锡皮金 (Сипидин)、П. И. 克卢宾 (Клубин)、И. Е. 鲁德涅娃 (Руднева)、В. Г. 科罗特金 (Короткин) 及 Б. Ф. 列利托夫 (Рельтов) 在本书编写过程中提出的宝贵意见和帮助表示感谢。

目 录

序 言

第一章 土力学的任务及其发展問題	1
§ 1 土力学的任务以及土力学和邻近学科間的联系	1
§ 2 土力学的发展問題	3
第二章 关于土的一些基本概念	7
§ 1 “土”的定义	7
§ 2 关于土中液体及气体成分的基本概念	8
一、土中的液体成分 (8)；二、土中的气体成分 (12)	
§ 3 关于土中固体成分的基本概念	12
一、土的机械成分 (粒度成分) (13)；二、关于土的结构和骨架的概念 (15)；三、土的粘性 (Связность) (16)	
§ 4 土的基本的物理特征	18
一、孔隙性特征 (18)；二、基本的比重和容重 (19)；三、土的計重含水量及其同其它特征間的关系 (20)；四、特征含水量和土的塑性指数 (21)；五、土的密度和稠度的特征 (22)	
§ 5 土的压缩性現象	23
一、土的压缩性計算特征 (23)；二、决定砂类土和粘土类土某种压缩特性的一些現象 (25)	
§ 6 土的抗剪强度	27
关于砂类土和粘土类土抗剪强度的基本概念	28
一、砂类土 (28)；二、粘土类土 (29)；三、抗剪强度的計算指标 (31)	
§ 7 土的渗透性	35
一、土骨架的刚性的影响 (36)；二、达西关系式的适用范围以及起始水头梯度的概念 (38)；	
三、电渗渗流 (40)	
第三章 基本的計算关系式和計算图式	42
§ 1 土的应力状态和压缩性特征間的关系	42
一、侧压力系数的概念 (42)；二、孔隙比与主应力和之間的关系 (44)；三、孔隙比变化与体积形变之間的关系 (46)；四、弹性模量、形变模量及泊桑比 (47)	
§ 2 土的极限应力状态的条件	51
一、极限平衡条件的主要形式 (51)；二、主应力間的极限比例值 (54)；三、内摩擦力、内聚力及土的极限抗压或极限抗拉强度之間的关系 (56)	
§ 3 关于計算模型 (图式) 的基本概念	58
一、二相和三相土的計算模型 (58)；二、直綫变形体和极限平衡理論的計算模型 (58)；三、关于直綫变形体和极限平衡理論的計算模型的几点概括 (63)	
§ 4 模拟条件	64
第四章 建築物地基的应力状态的确定	72
§ 1 土的自重应力的确定	72
§ 2 給定外荷載作用下的地基应力状态	76
I、平面課題	77

一、集中力法向作用于地基表面的情况(77)；二、均布条形荷载的情况(79)；三、三角形荷载的情况(82)；四、梯形荷载的情况(84)；五、抛物线形荷载的情况(85)；六、地基表面上分布着任意竖向荷载的情况(85)；七、地基表面上作用着水平集中力的情况(87)；八、地基表面上作用着均布的水平荷载(87)；九、地基表面上作用着梯形分布的水平荷载(89)；十、组合荷载的情况(89)；十一、影响线法(89)	
II、空间课题	93
一、地基表面上作用着竖向集中力(93)；二、地基表面的长方形面积上作用着均布荷载的情况(96)；三、地基表面的长方形面积上作用着三角形分布的荷载的情况(100)；四、圆形面积上作用着均布荷载的情况(103)；五、法向作用于地基表面的任意荷载(水电比拟法的应用)(104)；六、作用于任意形状的建筑物基底的任意荷载以及对于邻近建筑物的影响的考虑(105)；七、作用在地基表面上的水平荷载(108)；八、集中力作用于地基内部的情况(109)	
III、对于地基不均匀性的考虑	114
IV、对于地基各向异性的考虑	119
V、弹性理论的解不适用的情况	120
§ 3 土中的渗透力和渗透应力	124
一、渗透力强度的确定(125)；二、渗透应力的确定(127)	
§ 4 极限应力状态区发生的条件及其外形轮廓的确定	131
一、发生极限平衡状态的条件的确定(131)；二、极限应力状态区的外形轮廓的确定(137)	
第五章 有限刚度建筑物的基础底面反力的确定	140
§ 1 基座系数法	141
一、基座系数法概说(141)；二、通解(142)；三、无限长梁的情况(144)；四、半无限长梁的情况(149)；五、有限长度的梁的情况(151)；六、变刚度截条的情况(160)；七、基座系数法的适用范围(168)	
§ 2 直线变形的地基	171
一、基本原理(171)；二、对于截条的变刚度的考虑(187)	
§ 3 用契貝謝夫多項式求直线变形地基的反力	193
一、均布荷载的情况(199)；二、对称的集中荷载及不連續荷载的情况(202)；三、反对称荷载的情况(205)；四、具有刚性端末区段的截条的情况(207)	
§ 4 计算参数的确定	211
第六章 刚性与绝对柔性建筑物基础底面应力的确定	214
§ 1 确定刚性建筑物基础底面应力的最简单方法	214
一、偏心压缩公式的应用(214)；二、基座系数为常数而地基表面为平面时的基座系数法(215)；三、基座系数为变数而地基表面为平面时的基座系数法(216)	
§ 2 弹性理论的解答的应用	219
一、平面课题情况的解(219)；二、空间课题情况的解(226)；三、关于刚性建筑物基础底面上切向应力对于法向应力分布的影响(229)；四、什塔耶尔曼的计算模型(232)	
§ 3 极限应力状态区对于基础底面应力分布的影响	233
§ 4 对于建筑物的浮力的考虑	239
§ 5 刚性建筑物具有非平面的基础底面时地基反力的确定	246
§ 6 水工建筑物地基反力及锚定鋪盖应力的确定	256
一、在鋪盖的全长上完全没有极限应力状态的情况(259)；二、鋪盖的一部分进入极限应力状态的情况(265)	
参考书目	269
附录。表 I—X X VII	274
原版本重要誤正表补遺	294
譯者的話	297

第一章

土力学的任务及其發展問題

§ 1 土力学的任务以及土力学和邻近学科間的联系

众所周知，任何工程建筑物，当然也包括水工建筑物在內的設計和施工，应当滿足下列基本条件：

- 1) 建筑物应当符合它的任务和使用上的要求；
- 2) 建筑物应当在各种条件下保証它的强度和可靠性；
- 3) 施工期限、建筑物造价以及使用时期的开支应当是最少的。

关于第一个条件，应当指出：如果拟建的建筑物的豎向沉降、水平位移或傾斜太大时，或者建筑物各部分的不均匀沉降很大时，就可能影响建筑物的正常使用。因此，拟建的建筑物可能发生的位移和不均匀位移，不应当超过从这种或那种建筑物正常使用的观点确定了容許极限。按变形（恰当地說，是按位移）的极限状态計算时，这种条件就得到了保証。因为拟建建筑物的位移在很大程度上取决于其地基的性质，所以全面地研究建筑物的地基当然具有首要的意义。

关于第二个条件，即保証拟建的建筑物在荷載作用下的强度及可靠性的条件，应当指出：在許多情况下，特别是在水工建筑物中，从建筑物內部发生的应力来看，作用于建筑物的土压力（其中也包括地基反力）是最重要的荷載之一。

众所周知，采用按强度极限状态計算的方法，就可以保証拟建的建筑物在外荷載作用下有足够的强度。

然而，除了研究拟建的建筑物各部分的强度以外，研究建筑物地基的强度和可靠性的問題也是很重要的，因为在許多情况下地基的各种毛病会引起事故，甚至是毁灭性的。可能引起建筑物地基强度和可靠性破坏的原因是各种各样的。有时是因为地基的一部分和建筑物一起沿着地基的另一部分发生位移，即所謂地基稳定性破坏。在这种情况下，根据所謂稳定性极限状态計算，就可以保証地基的强度和可靠性。

关于第三个条件，应当指出，在拟建的建筑物的形式及施工方法方面，按地基的性质及其它当地条件选择某种滿足第一、第二条件的工程方案，会直接影响施工期限和建筑物的造价。因此，根据这个观点来看，上述問題是具有重要意义的。

从上所述，可以看出：全面研究建筑物的地基，研究建筑物的强度和可靠性，确定建筑物在地基上可能发生的位移量，以及由于拟建的建筑物和与它接触的土体互相作用而在建筑物內部发生的內力等問題，具有多么重大的意义。

要滿足对拟建的建筑物提出的基本要求，是与上述問題分不开的，而这些問題的研究在下列学科中是从不同观点进行研究的：

工程地质学及水文地质学；
土质学；
渗透理論；
土力学。

工程地质学、水文地质学和土质学是属于地质学范畴的学科，而土力学和渗透理論是力学的一个分支。工程地质学，按該学科創造人之一的Ф. П. 薩瓦連斯基(Саваренский)下的定义[1]，“是地质学的一个分支，說明地质在工程建筑事业中应用的問題”。因此，調查建筑物所在地区的地质情况，以及这种地质情况与拟建建筑物的互相作用（不論在施工过程中还是在使用期間）[2]等問題都属于工程地质学范围內。

按Ф. П. 薩瓦連斯基[3]所下的定义，工程水文地质学是“論述地下水，地下水的形成、埋藏、运动、性质，以及决定地下水利用或控制的可能性的条件”的学科。他指出了，“既然地下水依附于具有一定形状和埋藏条件的岩石，那末水文地质学和地质学有着密切联系，沒有地质学的知識就不可能研究水文地质学；另一方面，既然地下水处于运动状态，既然在实践中为了开采和利用地下水等不同目的須获得水力和水文数据，所以地下水学說的发展也要走技术的道路——地下水的水力学基本理論的研究”。在水文地质勘察方面，他指出了，“目的在于查明地下水的存在，地下水的埋藏、补給条件，以及地下水的性质”。

И. В. 波波夫(Попов)[4]指出，“工程土质学是研究岩石（有时为土壤）的成分、构造和性质，确定岩石与工程建筑物互相作用时的性状”。应当特別強調指出，工程土质学最重要的任务是根据現代物理-化学和地质学的概念来研究在土中观测到的現象和过程的本质，研究土的工程性质和特征（这些性质和特征应最符合于土的本质），以及在工程中改变和改良这些性质的可能方法。工程土质学在建筑事业中具有十分重大的意义。这样的說法不仅是由于这种或那种土的研究結果对于相应的条件下的工程具有直接实用的意义。随着新概念的闡明和积累，可以对工程建筑物設計中現代应用的計算图式与計算方法提出必要的改变和改进；而对于土中观测到的現象和过程的本质的研究，就是提出上述改变和改进的基础。

渗透理論是流体力学和水力学的分支，专门研究地下水的运动。它有別于水文地质学，因为水文地质学主要是从地质观点来研究地下水的形成、埋藏、变化和性质等問題；而渗透理論是力学的一部分，从力学概念的观点来研究地下水运动的条件，即液体在土介质中运动的課題。

十分明显，渗透理論和水文地质学應該是彼此紧密依靠着向前发展的，因为它们的研究对象都是地下水。但是不应当把两者混淆起来，或者认为其中一門学科就是另一門的組成部分，因为水文地质学属于地质学的范畴，而渗透理論属于力学的范畴。

土力学的基本任务是：确定和研究建筑物位移的大小，建筑物地基以及土建筑物的土体和边坡的应力状态、稳定性和强度，作用于各种挡土牆和建筑物地下部分的土压力，土体作用于地上或地下建筑物的基础底面或側面的反力。

为了以上計算方法的需要，便形成了現代力学的一个分支，即土力学或土介质力学。土力学中所考虑土的各种性质，在計算中引用着所謂土的計算指标，就是在試驗室或野外条件下由专门試驗研究确定的指标。

应用到土力学中土的各种计算指标是在基本的计算中，用参数表示的数值；在所考虑的现象或过程方面，这些参数以某种近似程度确定土的真实性质。在许多情况下，计算指标或参数和土质学中所确定的物理指标一致；而在某些情况下，必要的计算指标应当用专门实验来研究。

为了使土力学的计算方法和所需计算指标，以足够近似程度符合于在土中观测的真实现象和过程，应当使制订各种计算方法时所采用的基本假定和计算方式尽量符合工程地质学和土质学的最新概念。

这就保证了土力学（力学的一个分支）和地质学科间的联系，这也是使土力学正确反映土中现象和过程的基本条件。这里，一方面可以把土力学和工程地质学（包括土质学）对比，另一方面可以把渗透理论和水文地质学对比。在这两种情况下，虽然都是研究物理对象（土、水），可是不同学科是从不同的角度来进行研究的，采用了本质上不同的研究方法；这当然将反映到它们所考虑的上述问题的特性上。因此，从地质和力学范畴的学科密切联系的必要性来看，无论如何不应得出这些学科可以混淆的结论来。正是从这个观点出发，H. M. 格尔谢瓦诺夫(Герсеванов)[5] 认为所谓“土工学”（有时译作地质工学——译者）不是一门科学的学科，而是象所谓宇宙学（有时译作“宇宙志”或“初等天文学”——译者）那样的学科，包含着不同科学的学科的一系列问题。尤其是不能把属于力学范畴的学科，特别是土力学和渗透理论，当作地质范畴的学科（例如工程地质学，土质学或水文地质学）来研究，或者是相反地把地质部门的学科当作力学范畴的学科来研究；而这种情况有时在文献中看到。

必须注意到，企图不直接按土力学的任务去利用土力学，而用它来解释某种自然现象或过程，特别是地质现象或过程时，必须十分慎重，因为仅从力学概念和力学方法来解释自然现象和过程，在大多数情况下是完全不够的。按这样的企图去利用土力学，或者将导致力学上的某些错误，或者将无根据地得出对于土力学在这方面不满意的看法，认为土力学没有考虑那些不属于这门学科范围内的某些问题。

土力学对于下列各种工程建筑物的建造具有十分重大的意义：河川水利枢纽；海港或军港的码头；内河交通运输用的建筑物；轻、重工业的工厂；各种地下建筑物；农村、城市和居住用的建筑物和房屋等等。

这是由于所有以上建筑物都是在各种各样的条件下，而且常常是在十分复杂的土质条件下建造的，这些土质条件将决定拟建建筑物的可靠性、建筑造价、施工速度，有时甚至决定在给定的具体条件下建造的可能性。

§2 土力学的发展问题

我们不局限于任何工程建筑物设计和施工方面的例子，可以指出，在大规模的建設对土力学提出的要求的影响下，土力学在最近十年間無論在計算理論方面，或是試驗方面，都获得了十分迅速的发展。

土力学的发展与野外試驗或对正在施工的或已建造好的建筑物的观察有着密切的关系，而且与专门試驗研究室的建立有关。实地观察大部分是用以查明被研究的现象或过程的总貌，这对于制订相应的理論，以及对于綜合性地驗證所考虑問題的理論研究結果来

說，都是必要的。試驗室的試驗研究不僅是為了以上的目的，同時還可以研究各種因素對於被研究現象或過程所起的作用和意義，而這些因素由於某些情況，不可能在綜合性的實地觀察中查明；試驗室的試驗研究也是為了查明被研究現象的一些在實地觀察中不能查明的細節，也是為了獲得在建立被研究問題的理論而必需的土的某些函數關係和計算指標。在這方面應當指出：試驗室的研究通常要比在建築物上進行實地試驗經濟得多，所以總的說來，是應當廣泛發展的。

上述的野外和試驗室的觀察與研究，以及由此獲得的結論和結果都是原始試驗資料，根據這些原始資料可以創立和修改土力學中某些問題的理論。因此，正確地提出、運用和整理試驗研究資料，就成為決定這些研究的價值，以及決定由此建立的理論體系的價值的基本因素。

十分明顯，正確地提出、運用和整理的試驗和觀察資料對於建立土力學任何理論是滿意的根據，又是最後確定理論的適用和符合實際程度的準繩。可是，為了摸清任何問題，不正確的提出、運用和整理的試驗資料，就不能反映被研究現象的本質，當然也不能導得正確的結論；在這種情況下，不但不能幫助解釋被研究的問題，反而會把問題攪亂，並使以後的工作沿着不正確的方向發展下去。在進行和評價試驗研究時，不應忘記這種情況。

用很小尺寸的模型研究地基應力狀態的試驗研究工作，可以作為一個例子。在許多情況下，由於不遵循土介質的模擬條件，以這些實驗資料為基礎的結論的定律是不正確的，並且可能陷入迷途。關於這方面的情況，以後將詳細說明。

可是當有足夠正確符合於土力學現代發展水平的試驗資料時，也只不过給予我們關於在土介質中所發生的過程的近似概念而已。那末，它們所描述的關係以及借此建立的理論研究，同樣只是在某種程度上接近於實際情況而已。

這也是由於在土介質中所發生的自然現象和過程如此複雜，以致在研究和建立各種理論時必須用簡單概括的方式來說明，必須拋棄任何被研究問題中的次要因素，而僅保留影響被研究現象和過程的主要因素。當研究不同問題時，自然要採取不同的因素作為主要因素；當研究某一問題時，應當採用某些因素作為主要因素；而對另一問題就要把其它因素作為主要因素，而前者可以忽略。正確地選擇主要因素（即採用的前提）基本上決定了由此建立的理論的滿意程度及其價值；而對於選擇主要因素的正確性的評價，最後應當由相應的慎密而又正確組織的試驗和實地觀察來驗證。

如果在土力學的每一發展階段中，所採用的原始假設和由此建立的理論和計算方法均能滿意地符合於試驗資料，同時隨著這門學科的發展越來越符合於實際情況的話，那末，就認為土力學計算方法的原始假設中抽象和簡化的方向是完全正確的。同時，當出現了一個更符合實際情況的新的計算方式時，舊的計算方式不是失去其作用，就是其應用範圍受到了限制，在這範圍內用它還不致引起很大的錯誤。就上述的論點來說，還應當研究關於土力學發展的問題[6]，同時還要對任何一個被採用的理論和計算方法作出評價。

我們將不局限於土力學發展歷史的問題，可以斷言，隨著土力學的發展，在所研究問題範圍內，概念將隨時變得更明確，更能反映土介質中的真實現象和過程。

這取決於下列情況，隨著對於土介質中各種現象和過程的研究的深入，以前在土力學的計算前提中所採用的某些簡化的假設將逐漸減少，結果就使得以此為基礎的計算方法將

越来越具有普遍性和真实性，借此可以考虑到以前不可能考虑的土介质的真实性质，以及在土介质中观察到的现象和过程。

应当指出，Н. А. 崔托維奇(Цытович)著的土力学教程[7]对于土力学成为一门学科，在苏联起了重大的作用，还有Н. П. 普茲列夫斯基(Пузыревский)和Н. М. 格尔謝瓦諾夫的著作也有重要意义，可以很公正地把他们称为苏联土力学研究的先驱者。也应当指出，苏联地基和地下建筑物科学研究所(НИОСП)，全苏给水、排水、水工建筑物及工程水文地质科学研究所(ВОДГЕО)，全苏水利工程科学研究所(ВНИИГ)，水利设计院，水电设计院，苏联科学院的某些研究所，以及许多高等学校，科学研究、设计和施工等机构在苏联土力学的发展中作出了巨大的贡献。

虽然土力学已获得了很大成就，但是可以断言，实践中的许多重要问题仍然没有理论的及试验的解答和计算方法。因此，必须注意到在今后的工作中把下列问题安排在第一线上：就是对于不同建筑物的型式和构造在提高其可靠性、节省建筑费用和加速施工进度等方面有着重大影响的，以及对于按理想的方向去改变靠近于拟建建筑物的土体内的自然现象和过程的一些措施的特性有着重大影响的，而至今还缺乏计算方法和试验验证的那些问题。

同时应当指出，今后的主要动态，将取决于建立在人们对于自然界更深入的認識以及改进最初计算模型和计算前提的基础上的新方法或新解答的制定，使它们更接近实际情况。根据旧前提的方法，只能是计算技术上的发展或改变。这一类的新研究工作，只有在下列情况下才有用，就是，虽然它们根据旧的假设，但在某些条件下尚能够满足相应的实际情况，并能改善、简化和减轻计算工作。无疑地，不论应用新的或旧的任何计算方法，应当较早地特别注意到它们符合于自然条件的适用范围。

当研究新的计算方法时，自然要力图能够简化数学上的演算，使之更方便和更广泛地应用到设计实践中去。可是，把过去未曾考虑的土介质的性质引入计算中，以及取消不符合实际情况的简化假设，通常会导致土力学计算方法的复杂化。因此，作为解决这种矛盾的合理途径，一方面要有比较复杂的和更全面的反映实际情况的计算方法，这些计算方法的应用在某些情况下可以利用现代化的计算机，另一方面也可以研究简化的，但具有足够根据的计算方法，使广大设计人员容易接受。这里，在尽可能的条件下，基本的简化不应当是对于最初计算假设或基本方程式作一些无根据的简化，而把正确建立了的课题（在它符合于实际的方面）基本上改变了；而应当对相应的方程式采用比较简单的、近似的数字解法。从这一观点来看，应当认清有时不考虑最初假设是否符合于实际，而很不正确地把不同计算方法区分为精确的和近似的；这样，精确方法这一名称的评定仅仅在于解某些方程式时形式上的数学精确性，甚至在最初的前提没有可靠根据时也是如此。这当然可能对各种方法的实际评价造成虚假的概念。十分明显，当最初的计算前提不够精确时，要在形式上提高解的准确性，因而浪费人力，是不可能使人谅解的。

必须注意广泛地应用国外研究的野外试验结果的必要性，同时也必须抛弃一些由于没有批判态度而被应用了的不正确的或错误的概念和观点。

我们将不停留于讨论改善和制订试验室和野外研究的新方法的例子，而只说明在这几方面已获得很大成就。然而应该指出，有时遇到这样的情况，即从试验室获得土的某些计

算指标并不完全符合建筑物地基中的真实现象和过程，同时也不完全符合应用了那些指标的計算方法。必須特別注意消除这样的情况。

土力学的成就能帮助人們正确地解决选择建筑物及其結構的型式問題，确定必要的构造尺寸，采取以消除不利自然条件的作用或者加强有利条件的作用的必要措施等等。这些問題的意义，无庸贅述了。

第二章

关于土的一些基本概念

§ 1 “土” 的 定 义

如果对于“土”这一名词不要求很确切的理解的话，那末这一名词的意义在很大程度上是清楚和明了的。可是如果要准确地对“土”下定义，则可断言现在还没有公认的定义。有些人，例如 Ф. П. 薩瓦連斯基[1]，认为“处于外界的天然或人工作用范围内的任何岩石，不論是松散的（砂、粘土），或者是坚硬的（火成岩或沉积岩）”都叫做土。B. B. 奧霍京 (ОХОТИН)[8] 认为“土应当理解为在现代风化壳内，埋藏在土壤下面的碎屑的、松散的岩石的总称”。H. A. 崔托維奇[9]认为应当把“岩石圈风化壳的所有松散岩石（天然矿物分散体形成的）”正确地称为土。因此，与 Ф. П. 薩瓦連斯基的定义比較，H. A. 崔托維奇在“土”的概念中不包括坚硬岩石（“石质土”）在内，而 B. B. 奧霍京的定义，除了不包括坚硬岩石外，也不包括“土壤”。

有些作者对于“土”的概念下定义时，和“土”作为建造工程建筑物的地基或材料联系起来。这样的定义，正象 H. A. 崔托維奇指出的[9]，是不恰当的，因为这个或那个岩石将因为它上面修造了建筑物（或者有了这种意图）而被称为“土”，而在相反的情况下就不叫“土”。

在 Ф. П. 薩瓦連斯基、H. A. 崔托維奇和 B. B. 奧霍京对土所下的定义中，可以采用任何一个定义。可是，考虑到坚硬岩石（“石质土”）在研究、計算和設計方法方面有本质上的差别，从工程观点来看，最合理的方式是把坚硬岩石划出来，而采用 H. A. 崔托維奇或 B. B. 奧霍京对土所下的定义。因此，我們的意見是，建筑物的岩石地基的力学問題不应列入“土力学”内，应当放在一門專門的学科“岩石力学”内研究。从工程观点来看，由于建筑物通常不是建造在“土壤”上的，故在 H. A. 崔托維奇或 B. B. 奧霍京的定义中选择一個定义的問題不是主要的。然而从土壤学和土质学的观点来看，B. B. 奧霍京把土壤的概念划出去的一个概念是更正确的；按照 B. B. 多庫恰耶夫 (Докучаев) 的定义，“土壤”“是在地表上的矿物-有机质形成物，总是或多或少地被腐殖土染了顏色，經常是活的和死的有机物、母岩、气候和地形起伏相互作用的产物”。

根据上述，我們將采取 B. B. 奧霍京的說法作为“土”这一名词的定义，同时要考虑到当沒有土壤层时即符合于 H. A. 崔托維奇的說法。

正如在序言中所述，假定讀者已熟悉工程地质学、水文地质学和土质学的基本知識，所以我們將认为讀者已經知道在这領域内的基本的必要知識和現代观念，不必再加以討論了。因此，我們在这一章里只限于关于土的組成和性质的某些問題的簡單叙述，这些都是我們希望提一下或补充的。現在把任何土都当作一切由固体的矿物顆粒（固体成分）以及

填充在顆粒空間的液体（液体成分）和气体（气体成分）所組成的各种形成物，在这方面我們將尽早回忆一下某些基本概念。

§ 2 关于土中液体及气体成分的基本概念

土中固体顆粒間的空間，即所謂孔隙，通常在不同程度上被液体（水、石油等）及气体（空气、水蒸汽、甲烷等）所充滿。在极大多数的建筑工程条件下，这种液体是水，而气体是空气和水蒸汽。

一、土中的液体成分

在苏联，对于土中水的状态問題的最早研究工作之一是由 A. Ф. 列別杰夫(Лебедев)完成的[10]。他把土中水区分为下列各种：

1. 蒸汽状态的水，当然属于土的气体成分。
2. 吸着水，这是由于水蒸汽凝結在土的固体顆粒上而形成的。根据 A. Ф. 列別杰夫的想法，吸着水是不能轉变到液体状态的。
3. 薄膜水。薄膜水与固体顆粒間的分子吸引力比重力更处于优势。在不完全飽和的土壤和土中，薄膜水以液体状态从土中的湿度較高处轉移到湿度較低处，而重力对于薄膜水的移动沒有影响。在不飽和的土中，薄膜水不传递靜水压力。
4. 重力水或自由水是以液体状态在重力及压力差的作用下移动的。
5. 固态水（冰），以及結晶水和化学結合水处于不同矿物的結晶格子构造之中，因而成为土的固体成分。

現在，A. Ф. 列別杰夫的分类法和概念已經有一部分是陈旧的了。因为关于土中各种水的較新理論的必要知識是在土质学課程中讲授的，所以我們仅限于对这个領域內的一些近代概念作最簡短的、基本的描述。

水化层及扩散层水。大家知道，中性原子的核的正电荷被負电荷的电子所平衡，当中性原子丧失或获得一个或几个电子时，就使得正的或負的电荷占优势；在这种条件下，这种原子称为离子，又分別称为阳离子或阴离子。

土的固体顆粒的結晶格子是由化学元素組成的；这些元素在結晶格子中表现为离子，也就是說，它們帶有某种电荷。在結晶格子的內部，不同符号离子的电荷是相互平衡的；但是在固体顆粒的表面，它們仅仅是从內部向着表面局部地平衡了。因此，这种土粒作为一个整体不是中性的，而是帶有电荷的物体。在两个电极插入水中而形成的电场中，土中的粘土顆粒通常是由負极移向正极的。这就說明了土粒作为一个整体是帶有負电的，也就是說，土粒表面帶有負电荷。

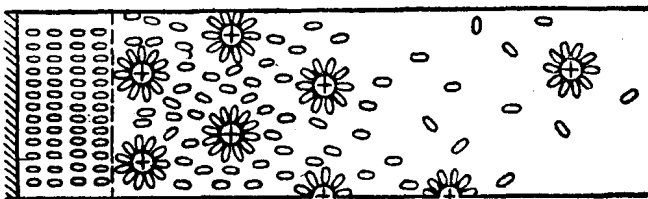


图 1

水的分子作为一个整体是中性的，但是大家知道，它是极性分子，一端为正极，而另一端为負极。因此，在离固体顆粒表面足够远处的水分子排列是无秩序

的，而靠近固体颗粒表面处的水分子定向排列是把正极向着颗粒表面的。B. B. 杰里亚金 (Дерягин) 把分子这样定向排列的总体称为边界相的定向层 (水化层)。根据 B. B. 杰里亚金的意见，这一层具有一个把它和其它部分的水分隔的边界，包括几个乃至几十个分子层，总厚度可达 10^{-6} 甚至 10^{-5} 厘米，视固体颗粒的化学成分、水的化学成分及其它等等而定。

在虚线表示的边界相层以外，即所谓扩散层 (图 1)，在扩散层范围内，固体的粘土颗粒表面的负电荷借相互作用的电力，把正电荷的离子即阳离子吸住并保留在自己的范围内，例如氢、钙、钠等。越接近于固体颗粒的表面，这种阳离子的数目就越多，它们和固体颗粒间的相互作用的力也越大；离开颗粒较远时，阳离子的数目及相互作用的力逐渐减小。至于负电荷的离子即阴离子，由于带负电荷的固体颗粒表面对于它们的排斥作用，所以在接近颗粒表面处它们的浓度是降低了，而在离开颗粒表面时浓度增加，直到在某一个足够远的距离处即与阳离子的浓度相等。分布在扩散层范围内的阳离子，和带有负电荷的固体颗粒表面在一起，称为双电层。在扩散层范围内的阳离子，具有一些对于这些阳离子定向排列的水分子。在扩散层范围内的其余的水是普通的水 (即自由水)，没有任何特殊的性质。

假使把粘性土干燥，那末首先蒸发的是自由水，然后是水化层的外层，最后才是更牢固结合于固体颗粒的水。在这一方面，某些书籍中区分为两种水：强结合水和弱结合水。这里，有些作者，例如 E. M. 谢尔格耶夫 (Сергеев) [11] 认为“强结合水”和“吸着水”，以及“弱结合水”和“薄膜水”是同意义的；另一些作者 [9] 认为 A. Ф. 列别杰夫的所谓薄膜水属于强结合水的范畴。应当指出，对于不同种类的水的各种命名法，其中也包括最通用的“结合水”，很遗憾地是极抽象的，对它们的物理意义没有给出公认的、确切的定义，现在不能认为它们已正确地联系到近代的物理概念。

最近，在 B. B. 杰里亚金的工作的基础上，有一些研究工作者，例如 B. Ф. 列利托夫认为“结合水”和“吸着水”这两个名称相应于 B. B. 杰里亚金的“边界相的定向层” (水化层) 的概念；A. Ф. 列别杰夫所用的名称“薄膜水”相应于 B. B. 杰里亚金的“扩散层”的概念；而“强结合水”及“弱结合水”这两个名称从现代的观点来看是多余的。

我们不停留在水分类的这种命名法的意义怎样相当于另一种命名法的问题上，更不停留在这个或那个术语的物理根据的问题上；在以后的叙述中，我们将以前面所述在这一领域内的近代概念的最简短描述为根据。

应当指出，在含水饱和的土中，扩散层内的自由水是可以重力及压力差的影响下移动的。水化层的水分子也可以被和它们接触的自由水的分子的流动 (即渗透水流) 所带走；这样的水分子的数量取决于渗透水流的速度，即取决于压力梯度的大小。

水化层及扩散层中水的移动，也可以是由于含水饱和土或非饱和土中固体颗粒相互接触而挤压出来的。假如土的矿物颗粒不是被胶结性连接相互联系着的话，那末，两个相邻的固体颗粒完全被某一厚度的水夹层分隔开来。

设有两个固体颗粒，开始时它们之间的距离等于扩散层最大可能厚度 δ 的两倍 (图 2 a)；在这两个颗粒之间施加某一个力 P_1 (图 2 б)，那末，由于这两个带有同样电荷的颗粒的扩散层中阳离子相互接近了，所以就有相斥的电力，此力将与 P_1 平衡。此时接触区

的扩散层中有某一数量的水被挤出来，而这个接触区中的阳离子浓度相应地增加了。

当压缩力继续增加到 P_2 时 (图 2 乙)，就使得固体颗粒的扩散层中阳离子继续相互接近，使得为了与 P_2 平衡而必需的 (颗粒间相互) 排斥力继续增加，也使得接触区域内阳离子浓度继续增加。

假如以后把压缩力减低到 P_1 ，那末，由于相互排斥的电力占着优势，由于电渗现象具有促使接触区中的阳离子浓度与周围水中浓度相等的趋势，所以固体颗粒分离开来，而水分从附近流向接触区。此时接触区的厚度增加，而 (颗粒间的相互) 排斥力减低到和 P_1 相适应的数值。结果是固体颗粒相应地分离开来。可以认为，水把土的固体颗粒分离开来，好象楔体那样把土粒“劈开”。Б. В. 杰里亚金把这个现象称为“劈开效应”(расклинивающий эффект)。

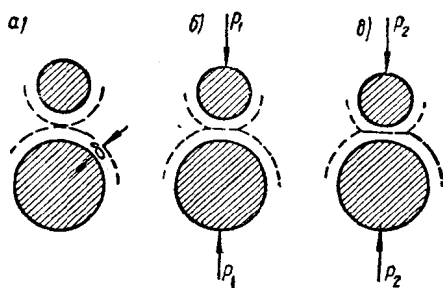


图 2



图 3

假如受着压缩力 P_2 作用的两个固体颗粒被两个不可移动的面 s 所限制而不能分离开来 (图 3)，而压缩力 P_2 被解除了，那末，由于水的劈开作用以及由于接触层企图恢复原来的厚度，固体颗粒将有一个等于 P_2 的压力作用在不可移动的支承面 s 上。在此情况下，如果支承面稍为移开一些，那末作用于它们的压力将相应地减小。固体颗粒由于恢复接触区水夹层原来厚度的趋势而将分离开来；作用于固体颗粒的这种压力，和这种现象的命名相似，称为“劈开应力”。上述现象是首先被 Б. В. 杰里亚金指出的，在考虑一系列问题时具有重要的意义。

以上描述的现象及过程的意义的大小，要视单位体积或单位重量的土中固体颗粒的总表面积以及接触点的数目而定。计算证明[12]，当土粒的尺寸约为 1 毫米时，1 厘米³土的固体颗粒表面总面积约为 60 厘米²。当土粒尺寸约为 0.001 毫米时，总面积约为 6 米²。由此可以清楚地看出，发生于“固体颗粒和水”的分界面的一切表面现象，在主要成分为极小颗粒 (粒径的数量级约为 0.001 毫米) 的粘土类土中，要比在颗粒大得多 (例如，粒径约为 0.1—1.0 毫米) 的砂土具有大到许多倍的意义。与此相适应，在水化层及扩散层限界内的水分的数量，在粘土类土中要比在砂土中大得多；因此，这种水在粘土中具有重要的意义，而在砂土中几乎没有任何作用。

最后要注意到，象前面已经说明了的，改变土孔隙中水的化学成分时，会改变这些水层的厚度。有几种被用于建筑实践中的改变土的建筑性质的方法就是以这一点为根据的。

自由水。土中的自由水主要可以分为重力水及毛细水。重力水具有一般为大家所知道的性质，在重力及压力差的作用下在土孔隙中移动，不需要对它的本质作任何补充描述。

毛细水的基本特点就是，毛细水的位置和它在土孔隙中的移动，以及水压力数值，非但与重力作用有关，和在含水饱和土中与压力分布有关，而且也与表面张力有关。假如毛细水只充满土孔隙的一部分，亦即土为三相系统时，那末毛细水在重力及表面张力的影响下移动。在毛细水充满土的全部孔隙时，亦即土为二相系统时，毛细水是在压力差的影响下移动的；压力差的数值与水压力的分布有关，而水压力又取决于限制着土介质表面的条件，以及取决于重力和表面张力。

大家知道，液体(特别是水)毛细上升的原因是由于润湿作用，使得靠着毛细管壁的液体或者靠着土固体颗粒表面的液体上升了。因此就发生了液体表面的弯曲，使得在越靠近毛细管壁处或者在越靠近土粒表面处，这种上升高度越大，而有较大距离时，这种上升高度很快地减小了；结果使得液体表面通常是向着液体的一方面凸出。液体的弯曲面称为弯液面(膜)。当液体表面为平面时，如果不考虑表面压力的话，那末在这个表面下的液体压力就等于大气压力，因此前面所讲的表面不是平面，而是凸向液体的一方面的，所以从物理学教程知道，在这种表面下的液体压力将低于大气压力，而压力减低的数值与弯液面的弯曲度相适应。

假使毛细管中或土中的水来自某一水体 A (图 4)，而在该水体中，水在大气压力下达到某一平面(例如潜水位)，那末只有在下列条件下液体才可以处于平衡状态：即在毛细管中或土中，在同一水平面上的水压力也等于大气压力。因此在毛细管中或土中的水必须上升到补给水体的水平面以上 h_k 的高度，此时在毛细管中或土中，在补给水体的水平面处的压力将等于大气压力；而在 h_k 范围以内的水压力就小于大气压力。这个高度就称为毛细上升高度。

简单地谈谈弯液膜的“上举力”；设想弯液膜支承在毛细管壁上或土的固体颗粒表面上，而由于水的表面张力，它把水支承着或者悬挂着，把水上升到某一高度，就是毛细上升高度；因此毛细上升高度是由于表面张力的结果。当然，在这个高度范围内，水中具有负压力(低于大气压力)。

不难得到下列结论，因为弯液面支承着高度等于毛细上升高度的水柱，所以它把一个和这样的水柱重量相等的荷载传递给毛细管或土的固体颗粒。这个作用于毛细管壁或土的固体颗粒的荷载称为毛细压力；毛细压力在毛细管中或土中产生相应的压应力。

当土孔隙中的水分并不连续，而仅局部地充满着孔隙，以孤立单个的形式集中于孔隙

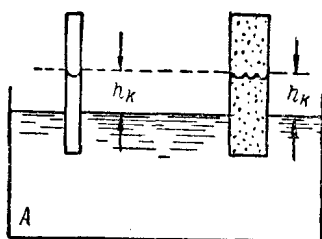


图 4

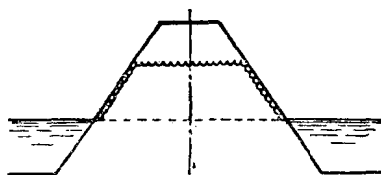


图 5