

X37  
高等学校教材

# 土力学地基与基础

(修訂版)

馮 国 栋 主編



中国工业出版社

高等学校教材



# 土力学地基与基础

(修訂版)

馮 国 栋 主編

中国工业出版社

本书系按照水利电力部1963年新訂的高等工业学校本科(五年制)河川  
樞紐及水电站建筑专业的土力学及地基基础教学大綱(草案)編写的,并經  
地基、地質及測量教材編审小組审閱,同意出版,作为高等工业学校水利  
工程各专业(河川樞紐及水电站建筑、农田水利工程、沿河防洪工程、水利  
工程施工与水道及港口的水工建筑)的教材。

本书包括土力学原理以及土质地基和土工建筑物的設計原理。全书共  
分十一章,分別論述了土的物理力学性质,土中应力分布,地基变形,土  
压力計算,土坡稳定性分析,地基稳定性,土质地基的规划与設計,桩基  
础及地基处理等問題。此外,还附有习题,供教学使用。

## 土力学地基与基础

(修訂版)

馮国栋 主編

水利电力部办公厅图书編譯部編輯(北京阜外月坛南書房)

中国工业出版社出版(北京佟麟閣路內15号)

北京市书刊出版业营业許可証出字第211号

中国工业出版社第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

开本 $787 \times 1092\frac{1}{16}$ •印張 $16\frac{1}{8}$ •字跡273,000

1961年7月北京第一版

1964年10月北京第二版•1964年10月北京第五印刷

印数10,644—14,853•定价(科五)1.50元

統一书号: K15165•318(水电-48)

## 編者的話

一九六二年十二月水利电力部召开了高等工业学校水利电力类专业教学會議，修訂出河川樞紐及水电站建筑与农田水利工程两个专业的土力学及地基基础教学大綱(草案)。会上由地基、地质及測量教材編审小組指定我們負責根据新訂的河川樞紐及水电站建筑专业的土力学及地基基础教学大綱(草案)將我們在一九六一年所編的高等学校試用教科書“土力学地基与基础”进行改寫，作为高等工业学校水利工程各专业(河川樞紐及水电站建筑、农田水利工程、水利工程施工、江河防洪工程及水道及港口的水工建筑)的教材。

由于得到教育部和水利电力部有关教材編写的指示，并蒙各兄弟院校对我們前編試用教科書提出了不少宝贵意見，地基、地质及測量教材編审小組在工作安排上也給予了我們不少的指导，加以我院领导的大力支持，使得我們能够順利地进行編写工作，并使本书得以按时写出。

在編写过程中，我們虽然力图争取本书能够較好地贯彻少而精的教学原則，力图符合教育部对編写教科書的各项基本要求，但限于我們的思想認識与业务水平，遺漏与錯誤之处，在所难免，尚希讀者大力指正。

由于我国尚未有統一的土力学地基及基础方面的符号与术语，故本书尽量使用了国际土力学与基础工程学会于1961年公布的符号与术语，土名則采用我国水利电力部土工試驗操作規程的譯名。这样，本书的符号术语不可避免地將与国内其他书刊所用者不完全一致，可能会使讀者感到不方便，但这只好等待国家加以統一后再行修改。

本书由馮国栋同志主編，第一、二、七、十及十一各章由馮国栋同志編写，第四、六、九各章由陈震同志編写，第五章由陳震、刘祖德同志合編。第三、八两章由馮国栋、陈震同志合編。在編写过程中，武汉水利电力学院土力学教研室的全体同志都給予了大力支持和帮助，他們分別参加了初稿討論、抄写、繪圖、校对及例題、习題的試算工作。

本书承大連工学院章守恭同志、成都工学院胡延同志和华东水利学院錢家欢同志詳加审閱，并提出了很多宝贵意見，又承他們撥冗派遣前來我院召集本书的审查會議，对保証本书的质量，起了很大的作用。仅在此对他们表示謝意。

編者

一九六三年十二月

# 目 录

## 編者的話

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 第一章 緒論 .....                      | 1  |
| §1-1 土与土力学的概念 .....               | 1  |
| §1-2 地基与基础的概念 .....               | 1  |
| §1-3 本課程的任务、内容和特点 .....           | 2  |
| §1-4 本門学科的发展簡史 .....              | 3  |
| §1-5 我国这門学科的发展概况与主要成就 .....       | 4  |
| 第二章 土的物理性质 .....                  | 6  |
| §2-1 土的組成 .....                   | 6  |
| I. 土的固相 .....                     | 6  |
| II. 土的液相 .....                    | 10 |
| III. 土的气相 .....                   | 13 |
| §2-2 土的物理性质及物理状态指标 .....          | 13 |
| I. 与土中各相相对含量有关的物理性质及指标 .....      | 13 |
| II. 粘性土的土粒与水相互作用所引起的物理性质及指标 ..... | 17 |
| III. 土的物理状态指标 .....               | 19 |
| §2-3 土的分类 .....                   | 21 |
| I. 按試驗成果对土进行分类 .....              | 21 |
| II. 土的現場分类法 .....                 | 24 |
| 习題 .....                          | 24 |
| 第三章 土的力学性质 .....                  | 26 |
| §3-1 概述 .....                     | 26 |
| §3-2 土的渗透性 .....                  | 26 |
| I. 达西定律 .....                     | 26 |
| II. 粘土中的起始水力梯度 .....              | 27 |
| III. 影响土的渗透性的因素 .....             | 27 |
| §3-3 土的压縮性 .....                  | 28 |
| I. 基本概念 .....                     | 28 |
| II. 土的側限压縮試驗 .....                | 29 |
| III. 影响土压縮性的主要因素 .....            | 30 |
| IV. 土的側限压縮性指标和最終压縮量及其計算 .....     | 31 |
| V. 土的变形模量 .....                   | 33 |
| VI. 飽水土的固結及固結时土中的应力及其轉化情况 .....   | 36 |
| §3-4 土的抗剪强度 .....                 | 38 |
| I. 基本概念 .....                     | 38 |
| II. 土的抗剪强度构成因素与庫倫定律 .....         | 39 |
| III. 土的极限应力状态 .....               | 40 |
| IV. 室內抗剪試驗的常用仪器及試驗原理 .....        | 42 |

|                                                   |     |
|---------------------------------------------------|-----|
| V. 土的抗剪强度試驗方法                                     | 44  |
| VI. 影响土的抗剪强度的主要因素                                 | 46  |
| VII. 抗剪强度的現場測定                                    | 50  |
| §3-5 粘性土的触变性、蠕变性及其对土的强度的影响                        | 51  |
| I. 粘性土的触变性                                        | 51  |
| II. 粘性土的蠕变性                                       | 52  |
| §3-6 动荷对土的力学性质的影响                                 | 54  |
| I. 概述                                             | 54  |
| II. 动荷对压缩性的影响                                     | 54  |
| III. 动荷对抗剪强度的影响                                   | 55  |
| §3-7 土的击实性                                        | 57  |
| I. 概述                                             | 57  |
| II. 击实試驗与击实特性及其解釋                                 | 57  |
| III. 影响土的击实性的因素                                   | 60  |
| IV. 击实土的一些特性与室内击实試驗的用途                            | 60  |
| 习题                                                | 60  |
| 第四章 土中应力及其計算                                      | 63  |
| §4-1 基底压力                                         | 63  |
| §4-2 均质地基中的附加应力                                   | 65  |
| I. 集中力作用在半无限的直綫变形体表面时所引起的附加应力——基本課題               | 65  |
| II. 半无限直綫变形体表面的有限面积上, 受有分布荷载作用时所引起的附加应力——空間問題     | 67  |
| III. 半无限直綫变形体表面的无限长条形荷载面上, 受分布荷载作用时所引起的附加应力——平面問題 | 74  |
| IV. 均质土中附加应力的实测資料                                 | 83  |
| §4-3 非均质与各向异性地基中附加应力的計算                           | 83  |
| I. 双层地基的情况                                        | 84  |
| II. 基土变形模量随深度增大的情况                                | 85  |
| III. 各向异性地基的情况                                    | 85  |
| §4-4 土的自重应力                                       | 86  |
| I. 地基中土的自重应力                                      | 86  |
| II. 土工建筑物中的自重应力                                   | 87  |
| §4-5 土中的动水应力                                      | 87  |
| 习题                                                | 90  |
| 第五章 地基的变形                                         | 92  |
| §5-1 地基变形概論                                       | 92  |
| §5-2 地基最終变形量的計算                                   | 93  |
| I. 单向压缩分层綜合法                                      | 94  |
| II. 三向与双向变形分层綜合法                                  | 102 |
| III. 彈性理論法                                        | 104 |
| IV. 相邻基础荷载对地基变形的影响                                | 108 |
| V. 最終变形量計算問題的簡單討論                                 | 108 |
| §5-3 地基中的孔隙水应力分布状态和地基的变形过程及其計算                    | 109 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| I. 单向渗透固結理論.....             | 110 |
| II. 渗透固結平面問題.....            | 118 |
| III. 关于渗透固結理論的討論.....        | 124 |
| IV. 地基变形与時間关系的經驗估算法.....     | 125 |
| §5-4 湿陷性黃土地基的变形.....         | 127 |
| I. 概述.....                   | 127 |
| II. 湿陷性的測定.....              | 127 |
| III. 湿陷性黃土地基变形量的計算.....      | 129 |
| §5-5 地基的容許变形量与变形差及其观测.....   | 129 |
| I. 容許变形量与变形差.....            | 129 |
| II. 地基的变形观测.....             | 130 |
| 习题.....                      | 130 |
| 第六章 擋土墙及埋管的土压力計算原理.....      | 133 |
| §6-1 擋土墙土压力及其产生条件.....       | 133 |
| §6-2 庫倫土压力理論.....            | 135 |
| I. 主动土压力計算原理.....            | 135 |
| II. 复杂情况下主动土压力的近似求法.....     | 141 |
| III. 被动土压力計算.....            | 144 |
| §6-3 朗肯土压力理論.....            | 145 |
| I. 主动土压力的計算.....             | 146 |
| II. 被动土压力的計算.....            | 149 |
| §6-4 关于擋土墙土压力的一些問題.....      | 150 |
| I. 土压力理論与土压力計算中存在的一些問題.....  | 150 |
| II. 填土的力学性质及其指标的选定.....      | 152 |
| III. 其他因素对土压力的影响.....        | 152 |
| IV. 减低作用于擋土墙上主动土压力的一些措施..... | 152 |
| §6-5 高平行墙的土压力計算.....         | 154 |
| I. 高平行墙間填土中鉛直应力的計算.....      | 154 |
| II. 高平行墙背上土压力的計算.....        | 155 |
| §6-6 埋管上土压力的計算.....          | 155 |
| I. 概說.....                   | 155 |
| II. 填埋式涵管上的土压力計算.....        | 156 |
| 习题.....                      | 160 |
| 第七章 土坡的稳定性分析.....            | 162 |
| §7-1 概述.....                 | 162 |
| §7-2 简单土坡的稳定性分析.....         | 163 |
| I. 粘性土坡的稳定性分析——圓弧法.....      | 163 |
| II. 无粘性土坡的稳定性分析.....         | 171 |
| III. 改良圓弧法.....              | 173 |
| IV. 常見的土坡的稳定坡度.....          | 174 |
| §7-3 土坡稳定性計算中的一些問題.....      | 174 |
| I. 关于圓弧法的問題.....             | 174 |
| II. 影响分析結果的某些因素.....         | 175 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 习题                          | 176 |
| 第八章 地基的稳定性                  | 176 |
| §8-1 基本概念                   | 178 |
| I. 地基的失稳型式                  | 178 |
| II. 地基的深层滑动稳定性              | 180 |
| §8-2 按塑性变形区开展法估算地基的承载力      | 181 |
| I. 地基中塑性变形区范围的确定            | 181 |
| II. 按塑性变形区范围或它的最大深度确定地基的承载力 | 183 |
| §8-3 假定滑动面的地基稳定性计算          | 186 |
| I. 全苏水工科学研究院(БНННН)公式       | 186 |
| II. 圆弧滑动法                   | 188 |
| §8-4 散体极限平衡理论法              | 191 |
| I. 理论的概念简介                  | 191 |
| II. 索科洛夫斯基和别列赞切夫公式          | 192 |
| III. 叶夫道基莫夫图解法              | 193 |
| §8-5 地基表层滑动与混合滑动的稳定性计算      | 198 |
| I. 表层滑动                     | 198 |
| II. 混合滑动                    | 198 |
| §8-6 地基的容许承载力               | 199 |
| §8-7 关于确定地基稳定性的一些问题         | 200 |
| I. 关于计算方法                   | 200 |
| II. 影响地基极限荷载值的一些因素          | 200 |
| III. 稳定安全系数的选用              | 201 |
| IV. 空间问题的近似考虑               | 201 |
| V. 非均质地基的影响                 | 201 |
| 习题                          | 202 |
| 第九章 天然土质地基的规划与设计            | 203 |
| §9-1 概述                     | 203 |
| §9-2 地基勘探工作概要               | 203 |
| I. 勘探工作的一般要求                | 203 |
| II. 勘探工作                    | 203 |
| III. 地基土的试验及成果的整理           | 204 |
| IV. 地基勘探报告                  | 206 |
| §9-3 基础的类型及其应用              | 206 |
| I. 构造型式不同的基础类型              | 207 |
| II. 埋置深度不同的基础类型             | 207 |
| §9-4 天然地基的设计工作概要            | 211 |
| I. 概述                       | 213 |
| II. 基础高程及其平面尺寸的确定           | 213 |
| III. 地基的计算                  | 213 |
| 第十章 桩基础                     | 214 |
| §10-1 概述                    | 217 |
| I. 桩基础及其应用                  | 217 |



|                           |     |
|---------------------------|-----|
| II. 桩和桩基础的分类·····         | 217 |
| III. 沉桩方法及打桩设备·····       | 219 |
| §10-2 桩和桩基础的承载力·····      | 219 |
| I. 单桩的轴向承载力·····          | 219 |
| II. 单桩的横向承载力·····         | 225 |
| §10-3 群桩作用及桩基础的计算·····    | 227 |
| I. 群桩的作用·····             | 227 |
| II. 桩基础的地基验算·····         | 228 |
| §10-4 低桩台桩基础中各桩受力的计算····· | 229 |
| §10-5 低桩台桩基础的设计·····      | 231 |
| 习题·····                   | 233 |
| 第十一章 地基处理·····            | 234 |
| §11-1 概述·····             | 234 |
| §11-2 使基土变密的方法·····       | 235 |
| I. 表层夯实法·····             | 235 |
| II. 饱和松砂的深层振密法·····       | 235 |
| III. 砂桩挤密法·····           | 235 |
| IV. 预压法·····              | 237 |
| §11-3 使基土胶结的方法——硅化法·····  | 242 |
| §11-4 砂垫层法与反压法·····       | 243 |
| I. 砂垫层法·····              | 243 |
| II. 反压法·····              | 245 |
| III. 其他的一些地基处理方法·····     | 246 |
| 习题·····                   | 247 |
| 主要符号表·····                | 248 |
| 主要参考书目·····               | 250 |

# 第一章 緒 論

## §1-1 土与土力学的概念

土是母岩經受强烈风化的产物，由各种矿物顆粒(土粒)所組成。土粒間的联結强度远比土粒本身的强度小，甚至沒有联結。故一般认为，土是松散的顆粒集合体。土粒間存在大量的孔隙，孔隙中常有水和空气。

按土粒間有无联系，土可分为无粘性土及粘性土两大类。前者是母岩主要經受物理风化的产物，而后者则为母岩主要經受化学风化(包括生物风化)的产物。由于所受风化作用不同，无粘性土与粘性土的工程性质很不一样。在自然界中，土的形成过程极为复杂。各种风化作用可以同时或交錯进行，相互影响。故在自然界中土的种类繁多，性质各异。我国的情况也是如此。例如我国西北及华北地区的黄土及其亚类；北部和西部边疆某些地区的冻土；西南地区的殘积粘土以及沿海地区的軟粘土等，就各有其特殊的性质。

在工程建筑中，土常被用作各种建筑物的地基、环境或材料。如在土层上修建堤坝、涵閘、桥梁和房屋等建筑物时，土就被用作为地基；如修建渠道、隧洞、地下建筑物以及地下管道等，則利用土作为环境(或介质)；此外，土还可用作堤坝、路基和其他土工建筑物的建筑材料。当土被用为建筑物的地基时，称为基土；用为建筑材料时，則称为土料。

由于土是自然历史产物，且經常受着自然条件的影响，因之，研究土的工程性质时，就必须从发展观点出发，紧密結合土的生成历史、自然环境以及使用条件来进行。

土力学是利用力学規律和土工試驗技术来研究土的强度和变形及其規律性的科学。它是研究地基与基础問題所必需具备的一門技术科学。

## §1-2 地基与基础的概念

从力学的观点說来，建筑物的修建，将会改变地层某一範圍內原有的应力状态。这一範圍称为該建筑物的地基。对水工建筑物來說，有时把由于修建建筑物而引起水文地质条件发生变化的全部地层，叫做建筑物的地基。

建筑物的基础是建筑物的一个組成部分。它位于建筑物的下部，通常埋設在地下，又

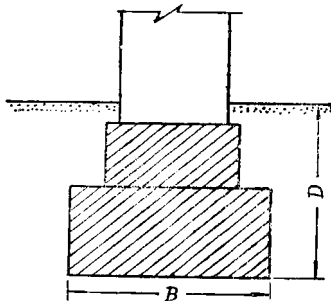


图 1-2-1 柱基础或墙基础

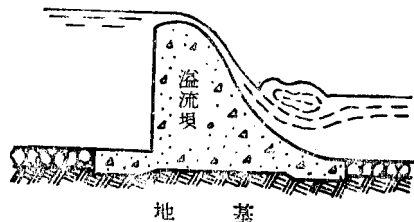


图 1-2-2 坝基础

称为下部结构。基础的作用是承受建筑物本身重量以及作用在建筑物上的所有荷载，并将其传递给地基。

一般建筑物都是由上部结构及基础两部分组成，而整个建筑物则是建造在地基上。

图1-2-1的阴影线部分是常见的柱子或墙的下部结构(基础)示意图。图中  $D$  表示基础对地面的埋置深度， $B$  为基础宽度。

图1-2-2表示一个重力式混凝土溢流坝。坝的上部结构常与基础联成一个整体，而没有明显的分界。

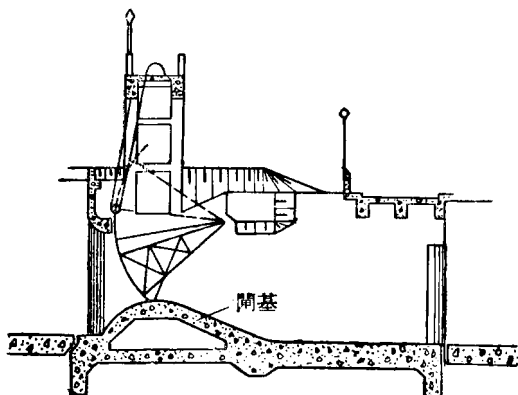


图 1-2-3 閘基础

图1-2-3为水闸基础的一种结构示意图。

按地基是否经过人工处理而分为天然地基与人工地基两种。前者是指在天然情况下，不必经过人工处理就已可满足建筑物要求的地基；后者则指在天然情况下不能满足建筑物要求，而必须先经过人工处理，才能在它上面修造建筑物的地基。

建筑物上部结构、基础与地基是共同工作而又相互影响的三个部分。因此设计时，必须把这三个部分统一起来进行全面考虑，

才有可能得出最经济合理的设计方案。

### §1-3 本课程的任务、内容和特点

本课程的任务是使学生具备土力学及其应用于水利工程建设的知识，并为学生后来全面掌握水工建筑物的土质地基与基础的规划、设计、施工及处理等知识打下基础。

本课程的主要特点是研究对象(土)的复杂性与易变性。前已指出，土是自然历史的产物，组成复杂，种类繁多，且又经常受着外界条件如温度、湿度、周围介质以及建筑物的作用等的影响而发生变化。我国幅员广阔，不少地区的自然条件差别很大，土的复杂性与易变性问题尤为突出，更值得注意。

此外，土是矿物颗粒的松散集合体，其力学性质与刚体、弹性体及流体等都有所不同。本学科中的现有理论尚未足以全面反映土在建筑物作用下的客观规律。因此，为了解决工程实际问题，就不能单纯依靠数理的推导，而必须密切结合实践经验，以寻求合理而又实用的答案。

课程的内容牵涉较广，这也是本课程特点之一。诸如对土的物理力学性质、土的应力与变形的关系、地基与土工建筑物的规划、勘探与施工等都有所论及。故学习时应应对各方面内容加以全面照顾综合考虑。

研究水利工程中的地基和土工建筑物以及与本课程有关的问题时，还应对下列特点予以充分重视：

一般说来，水工建筑物地基范围大，土工建筑物所用的土方量多，因而所遇到的土的情况会更为复杂。且水工建筑物的修建，常会大为改变地基原有的水文地质条件，给建筑物的稳定问题带来不利的影响。

水工建筑物除承受垂直荷载外，还经常承受巨大的水平荷载的作用。这就使土体中的应力与变形关系更为复杂。

水的作用常是使土的性质发生巨大变化的主要因素，而对水工建筑物的地基或土工建筑物说来，又无法避免这一主要因素的影响。

地基或土工建筑物本身的设计与施工是否合理，必然直接影响水工建筑物的安危，而水工建筑物的破坏会给国家的建设和人民生命财产带来极大的损害，必须加以重视。

## §1-4 本門学科的发展簡史

本門学科的发展大致可分为三个阶段。

远古古代，由于发展生产和生活上的需要，人們已懂得广泛利用土进行工程建设。例如我国很早就修建了万里长城、大运河、灵渠和大型宫殿等偉大建筑物；古埃及和巴比伦也修建过不少农田水利工程；古羅馬在桥梁工程和腓尼基在海港工程方面的工作，也都具有重要的意义。但由于受到当时社会生产发展水平和技术条件所限，直到十八世紀中叶，这门学科和其他学科一样，还停留在感性的認識阶段，发展极慢。这是本門学科发展的第一阶段。

第二阶段开始于十八世紀产业革命以后，大型建筑物的兴建以及有关科学的发展，为人们提供了对地基与基础問題作进一步研究的条件和起了推动作用，开始从已得的感性認識来寻求理論的解釋。在这个阶段里，不少人从工程建设观点来进行本学科的理論和試驗研究。例如，法国科学家C.A.庫倫 (Coulomb, 1773) 发表了著名的土的抗剪强度和土压力理論公式。英国学者W.J.M.朗肯 (Rankine, 1857) 发表了土压理論。到目前这两个理論还被广泛应用。俄国学者B.И.庫尔鳩莫夫 (Курилюмов, 1889) 根据砂土在荷载作用下破坏的模型試驗成果，确定了地基滑动面的曲綫性质。

在十九世紀中叶及廿世紀初期，随着生产的发展，基础工程也有了很大的进步。桩工和深基础的理論与施工方法也大有发展。

从上面这些簡單叙述可見，这一阶段的特点是：一方面人們在建设实践中积累了一些土的实际观测与模型試驗研究資料；一方面又对土的强度、变形性质以及滲流等課題作了理論的探討，同时还科学地进行了某些基础工程問題的研究。可是由于受到当时生产力以及其他有关学科的发展水平的限制，加以当时的研究工作者一般都受到形而上学的思想影响，故对土是自然历史产物这一概念沒有正确的認識或認識不足，未能运用辯証唯物主义观点来正确地認識土的物理力学現象的本质，更未研究到建筑物与地基的共同工作問題。因之，在这一阶段里，虽有本門学科的某些方面获得一定的成就，但仍未足以形成一門独立的学科，理論与实践尚有很大距离。因而在这段时期內，由于地基設計不周而引起的建筑事故特别多。

从本世紀初期到現在是本門学科发展的第三阶段。这门学科近代的发展与現代的生产水平的提高和其他科学技术的新发展有着密切关系。本世紀以来，由于許多更为巨大的建筑物的建造，促使人們全面而又系統地去进行本門学科領域內的理論与实践的研究，不断发展地基勘探和土工試驗兩方面的設備与技术，同时又重視了对建筑物工作情况的現場观测。所有这些方面工作的成就，都对本門学科的发展提供了更有利的条件。

在这阶段里不少科学工作者在总结前人研究成果和实践經驗的基础上，对本門学科的

发展,作出了很多宝贵的贡献。其中如奥地利人K.太沙基(Terzaghi)于1925年写出了第一本土力学专著,苏联学者H.M.格尔谢万诺夫(Герсеванов)于1931年出版了他的“土体动力学原理”,这些名著的问世,有力地带动了后来各国学者对本门学科各方面的研究工作。

在这一阶段里,除了更深入地继续探索上一阶段已开始研究的课题外,有关土的勘探、试验及现场观测的设备与技术,几乎全都是这一阶段所创立的。这方面的成就,对验证和发展土力学与基础工程的理论,尤其是使理论联系实际,起了极重要的作用。随着本世纪以来各种基础科学(例如现代物理学、物理化学与胶体化学、塑性力学等)的发展,近二、三十年来开辟了更多新的研究途径。诸如对细粒土微观结构的研究,对土的物理化学性质的研究,用流变学对软粘土及黄土的应力应变特性的研究,用塑性力学理论对土体稳定性的研究,对土体中振动波传播规律的研究,在土的勘探试验工作中使用现代物理方法(如放射性同位素、超声波等)的研究,都正方兴未艾,并已累积了不少经验。

世界各国由于各自在不同土质地区进行各种规模的工程建设,因而对某些地区特有的土的物理力学性质,以及在这些土上修建各种建筑物的方法都作了深入的研究。诸如苏联对冻土、黄土的研究,北欧一些国家对软粘土等的研究,无论在理论上或工程实践经验上都获得了丰硕的成果。

还值得提及的是,1936年成立了国际土力学及基础工程学会。迄今已举行了五次国际性的学术讨论会。每次会后出版了内容丰富的论文集,对这门学科的发展起了很大的促进作用。

### §1-5 我国这门学科的发展概况与主要成就

我国劳动人民早就懂得在工程建设中使用土,而且在生产建设中累积了丰富的经验。但由于我国的封建社会历时过长,近百年来又历受帝国主义的压迫,加之国民党几十年的反动统治,使得政治经济极为落后,生产发展长期陷于停滞状态,科学技术也就难以发展。就本门学科的情况来说,解放前不久,全国只有几个规模极小的土工试验室,几乎没有可满足工程要求的钻探设备,大学里开设这门课程的寥寥无几。这种落后面貌直到中华人民共和国成立后,才发生了根本的变化。

中华人民共和国成立后,在中国共产党和毛主席的英明领导下,随着社会主义建设事业的飞跃发展,在水利水电建设、工业与民用房屋建筑以及道路桥梁建设等方面,都迫切需要解决很多与本门学科有关的问题,这就大大推动了这门学科向前发展。除生产建设部门进行了大量的地基基础及土工科学试验研究工作,对解决工程实际问题起了良好作用外,同时为了适应建设需要,在水利、建筑等专业的大专学校中,普遍开设了“土力学及地基基础”课程,并建立了土工试验室。

解放以来,特别是在党的社会主义建设总路线、大跃进、人民公社三面红旗的光辉照耀下,在技术力量的培养、勘探观测技术、各种土的物理力学性质的研究、地基与基础以及土工建筑物的设计与施工等各项工作上,都取得了显著的成就。解放以来,先后由有关机构举办了许多与本学科有关的学术讨论会。其中如1953年中国科学院与建筑工程部召开的地基土壤检验会议,1956年前水利部召开的土工试验研究会议,1959年建筑工程部召开的全国地基基础会议,1962年中国土木工程学会与天津市地基土壤学会联合召开的土力学与基础工程学术讨论会等,都标志着我国这门学科正在迅速发展。1957年以后,我国加入

了国际土力学与基础工程学会，并曾派出代表和选送論文参加这个国际性組織的学术會議。其中如黃文熙教授关于砂土液化，陈宗基教授关于土体蠕变理論的研究成果，已为各国学者所重視。

和其他学科一样，我国在本門学科上取得上述巨大发展和成就的主要原因是：党和毛主席的英明領導，社会主义制度的优越性。由此可見，在中国共产党和毛主席的英明领导下，在党的社会主义建設总路綫、大跃进、人民公社三面紅旗的光輝照耀下，只要我們繼續努力学习毛泽东思想，坚决貫徹党的羣众路綫和各項方針政策，紧密联系生产实际，奋发图强，自力更生，并认真学习世界各国的先进經驗，实事求是，循序前进，在这門学科上我們就一定能够很快达到更高的水平，为祖国偉大的社会主义建設事业作出更多的貢獻。

## 第二章 土的物理性质

### §2-1 土的組成

前已述及，土是土粒的集合体。按土所处的状态不同，土中孔隙可能为水或空气，或水与空气两者所填充，故土是两相或三相組成物。例如在绝对干燥状态时，土是由固相(矿物颗粒)及气相(多为空气)构成的两相物；而在湿润状态时，土是由固相、液相与气相所构成的三相物。

显而易见，土的性质将受其各相的特性、各相的相对含量以及各相之间互相作用所产生的特性所影响。故有必要分别对組成土的各相物质加以研究。

#### I. 土的固相

土中矿物颗粒組成土的固相。

1. 土的矿物成分 土的矿物成分主要决定于母岩的成分及母岩所经受的风化作用。其风化作用不同，所生成的矿物也不同，因而对土的物理力学性质的影响便不一样。組成土的矿物可分为：

(1) 原生矿物。常见的有长石、石英及云母等。

(2) 不溶于水的次生矿物。常见的有高岭土、蒙脱土与伊利土等。这些矿物又通称为粘土矿物。

(3) 溶于水的次生矿物。常见的有方解石、白云石、石膏与岩盐等。

(4) 有机化合物。

矿物对土的性质影响，属土质学研究内容，这里不作介绍。

2. 土粒的级配 在自然界中任何一种土都由很多大小不同的土粒所组成，很难逐粒测定其尺寸。根据研究结果，可以把构成土在性质上有较显著差别的土粒大小，作为分界尺寸，将土粒按大小划分为若干组别，叫做粒组。表 2-1-1 中列出了各种粒组的范围和相应的特性。土中各粒组的相对含量(以占干土总重的百分数计)，称为土的颗粒级配。测定土样中各种粒组的含量的试验方法，称为土的颗粒大小分析试验。

工程实践中最常用的颗粒大小分析方法有筛分法和比重计法两种<sup>①</sup>。前者适用于分析粒径大于 0.1 毫米的土，而后者则适用于小于 0.1 毫米的土。如土中同时含有大于和小于 0.1 毫米的土粒时，则应并用上述两种方法进行试验。

颗粒大小分析结果常用如图 2-1-1 的粒径曲线表示，该线横坐标表示颗粒粒径<sup>②</sup> (用对数尺度)，纵座标表示所有小于某一粒径的土粒占全部土粒重量的百分数。利用粒径曲线和表 2-1-1 的规定(已绘入图 2-1-1 中)，可以统计出所试验的土样含有那些粒组和各组的相对含量百分数。例如从图 2-1-1 的粒径曲线可知，所试验的土样含有粘粒、粉粒及砂粒

① 本章所提到的各种土工试验方法，可参看我国水利电力部：“土工试验操作规程”，中国工业出版社，1962。

② 用比重计法测得的土的粒径，系指土粒的水力当量直径。用筛分法测得者，则为等于通过某一筛孔的最大土粒的尺寸，以该筛孔孔径表之。

三种粒組，各組的含量分別为11%、57%和32%(見图 2-1-1 右側数字)。

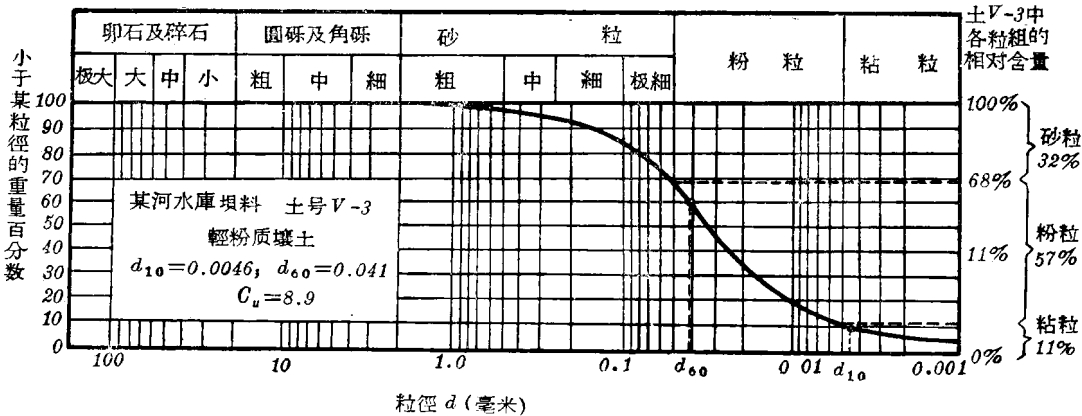


图 2-1-1 粒徑曲綫

表2-1-1 土 的 粒 組

| 粒 組 名 称 | 亚 类 | 分 界 粒 徑<br>(毫米) | 一 般 特 性                                           |
|---------|-----|-----------------|---------------------------------------------------|
| 漂石及块石   | 大   | 800             | 透水性大，无粘性，毛細水上升高度极微，不能保持水份。                        |
|         | 中   | 400             |                                                   |
|         | 小   | 200             |                                                   |
| 卵石及碎石   | 极大  | 100             |                                                   |
|         | 大   | 60              | 易透水，无粘性，毛細水上升高度不大，遇水不膨胀，干燥不收缩，干燥时松散，不表現可塑性，压缩性甚微。 |
|         | 中   | 40              |                                                   |
|         | 小   | 20              |                                                   |
| 圆砾及角砾   | 粗   | 10              |                                                   |
|         | 中   | 5               | 透水性小，湿润时能出現微粘性，遇水时膨胀与干燥时收缩都不显著，毛細水上升較快，上升高度較大。    |
|         | 細   | 2               |                                                   |
| 砂 粒     | 粗   | 0.5             |                                                   |
|         | 中   | 0.25            |                                                   |
|         | 細   | 0.10            | 几乎不透水，薄膜水作用显著，潮湿时呈可塑性，粘性大，遇水时膨胀与干燥时收缩都較显著，压缩性大。   |
|         | 极細  | 0.05            |                                                   |
| 粉 粒     | 粗   | 0.01            |                                                   |
|         | 細   | 0.005           |                                                   |
| 粘 粒     | 粒   | 0.002           |                                                   |
| 胶 粒     | 粒   |                 |                                                   |

根据粒徑曲綫还可以决定在工程中对砂土常用的与顆粒級配有关的下列两个指标：  
(1)有效粒徑。它是指土中某一土粒的尺寸，比該尺寸小的土粒重占土粒 总重量 的



10%。在粒徑曲線上，有效粒徑就是相對於縱坐標為10%的橫坐標所示的粒徑數值。通常用  $d_{10}$  表示。圖2-1-1中曲線所代表的土樣，其  $d_{10}=0.0046$  毫米。有用  $d_{10}$  值來概估砂土的滲透性的。

(2) 不均勻系數。工程中常用不均勻系數以反映土中所含土粒的大小差異情況。不均勻系數用  $C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$  表之。式中  $d_{60}$  是指某一土粒尺寸，比該尺寸小的土粒重占土粒總重量的60% (圖2-1-1中土樣的  $d_{60}=0.041$  毫米)。不均勻系數越大時，表示土中粗細土粒混雜，土粒大小越不均勻。這樣的土稱為級配良好的土；如土中所含土粒大小均勻，則叫做勻粒土。習慣上當土的  $C_u$  值小於4~5時，稱為勻粒土； $C_u$  大於10時，稱為級配良好的土。土的級配對無粘性土的工程性質很有影響。如土的級配良好，則其粗顆粒之間的大孔隙就會被細顆粒所填塞。因而土的密度較大，透水性也小些，在壓力作用下，這種土的壓縮性就會小些，其抗剪能力也較大。

3. 土粒粒組與礦物成分的關係 各級粒組的形成和性質上的變化主要決定於土粒的礦物成分。

(1) 大於砂粒的土粒，其礦物成分與母岩相似。

(2) 由原生礦物組成的砂粒，其大小和形狀與礦物成分、土的成因有關。較粗砂粒含長石、黑雲母等礦物，易於風化變質，故粗砂粒的成分是不均質的。但在細砂中，則以不易風化的石英粒占絕大多數。因此，粗、細砂在物理力學性質上是不同的。

(3) 粉粒主要由化學穩定的（如石英）或強度較小的原生礦物（如白雲母、長石）組成的。

(4) 粘粒主要是由次生礦物所組成。這些礦物有蒙脫土、伊利土和高嶺土三類。屬於膠粒尺寸的粘土粒，主要由蒙脫土類礦物組成。較大的粘土粒則主要由高嶺土類礦物所組成。

粘土礦物各具有不同程度的親水性，蒙脫土類最高，高嶺土類較低，而透水性則相反。伊利土的性質介於前兩組礦物性質之間。由於顆粒愈小，其比表面積愈大，粒間的聯結力也較強，這就使得粘粒含量對土的性質影響很大。

4. 土粒形狀 粘粒的形狀都為扁平狀或針狀，顆粒極細，故顆粒形狀對粘性土的力學性質影響不甚顯著。粗粒土（砂類土以上）的土粒則為各種形狀的顆粒，土粒形狀不同對粗粒土力學性質的影響較大，例如多角狀石英粒組成的砂土，由於土粒間咬合得較緊密，故其強度遠大於由渾圓狀石英組成的砂土。又如，砂土中若存在片狀的雲母，可使砂土中孔隙增多，且因雲母的彈性較大，致使砂土的壓縮性增大。此外，砂粒表面的粗糙度也對砂的性質有影響，粗糙表面的砂粒不易產生相對位移，故其強度較大。

5. 土的結構 結構是土粒在其沉積過程中所形成的空間排列，其基本類型有下列三種：

(1) 單粒結構。在沉積過程中，較粗的礦物顆粒在重力作用下沉落后，每個顆粒都受到周圍各個顆粒的支承，如圖2-1-2a所示。單粒結構常見於較粗的粉土、砂土以及礫石等土類中。

砂土中可分為疏松的及密实的兩種結構。在疏松的砂土中，砂粒處於較不穩定的狀態，並可能具有超過土粒尺寸的較大孔隙。密实砂土則相反。砂土的結構與沉積條件和土