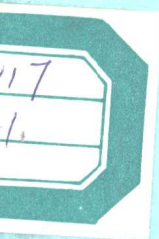


灌排工程工(初、中、高级工)

技术等级考核培训教材

地基与地基处理

张顺联 王永大 编



水利电力出版社

灌排工程工（初、中、高级工）

技术等级考核培训教材

地基与地基处理

张顺联 王永大 编

水利电力出版社

一九九六年一月十八日

(京) 新登字 115 号

灌排工程工 (初、中、高级工)

技术等级考核培训教材

地基与地基处理

张顺联 王永大 编

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号)

各地新华书店经售

北京市密云县印刷厂印刷

*

787×1092 毫米 32 开本 4.75 印张 101 千字

1995 年 7 月第一版 1995 年 7 月北京第一次印刷

印数 0001—5000 册

ISBN 7-120-02082-X/TV · 793

定价 6.60 元

“灌排工程工(初、中、高级工) 技术等级考核培训教材”编委会

顾 问 丁泽民 邹广荣

主任委员 张 岳

副主任委员 戴玉凯 刘汉桂 史梦熊

委 员 (按姓氏笔画排列)

史梦熊 刘汉桂 李永善 张世儒

张 岳 郑哲仁 金兆森 郭永年

唐开骊 顾斌杰 戴玉凯

主 编 张世儒

副 主 编 金兆森

序 言

党的十三届八中全会《关于进一步加强农业和农村工作的决定》指出：“要牢固树立科学技术是第一生产力的马克思主义观点，把农业发展转移到依靠科技进步和提高劳动者素质的轨道上来。”农村水利要走向现代化就必须认真贯彻八中全会《决定》精神，牢固确立振兴水利依靠科技，科技进步依靠人才，人才培养需要教育的思想，只有对人才不断地进行培训和教育才能不断提高广大水利干部，特别是基层水利队伍的科学技术素质和业务水平。目前，全国已建成的各类水利设施中，有堤防 23 万 km，大中小型水库 8 万多座，机电排灌动力 7000 多万 kW，配套机电井 280 多万眼，有效灌溉面积达 7.3 多亿亩。数以万计的水利设施已成为农业、国民经济和社会发展的重要的物质基础。因此，管好、用好这些水利设施对于加快改革开放和现代化建设的步伐关系极大，而用好这些水利设施，关键取决于广大水利基层队伍的科学技术素质和业务水平。据统计，全国乡镇一级的基层水利站有 3 万余个，水利员已达 13.7 万余人，这支庞大的基层水利队伍的状况，不仅直接关系到现有水利设施的经营和管理，而且直接关系到队伍本身的稳定。

为了提高水利基层干部的科学文化和业务水平，早在 1985 年，原水利电力部农田水利司曾会同水利电力出版社共同组织编写了一套《农村水利技术人员培训教材》（共 12 册），并于 1991 年 5 月荣获国家科委颁发的全国“星火计划”丛书优秀图书奖。这套培训教材，对提高县以下农村水

利员的业务素质和推动基层水利建设的发展，发挥了显著作用。应该说这套教材是基层水利人员进行科普性培训的好教材。

不久前，经国务院批准，劳动人事部颁发了《工人考核条例》。《条例》明确规定：在工人中将考核实际技术等级；工人技术考核的成绩将是工人晋级调资的主要依据。根据《条例》的要求，水利行业也将实行工人技术等级考核。

为了适应水利行业技术等级考核的需要，我们组织有经验的同志编写了一套“灌排工程工（初、中、高级工）技术等级考核培训教材”。这套教材为区乡水利员岗前技术等级考核用书。

编写中坚持了以下几个原则：①以灌排工程工技术等级标准为依据，着眼于灌排工程工应知应会的基本概念和操作方法，对于一些偏深的内容不予收入。②我国幅员辽阔，各地区乡水利特点各异，兼顾各地区水利建设和管理的不同要求，防止以偏概全。③在编写中尽力采用新资料，补充新知识，并力求通俗易懂，深浅适度。

我们相信，这套教材的出版对灌排工程工的技术等级培训将起到积极的促进作用。

水利部农村水利司司长

张 岳

1994年1月

前 言

本书是“灌排工程工（初、中、高级工）技术等级考核培训教材”的一个分册。编写过程中遵循“通俗、易懂、实用”的编写原则，并参考了有关的规范、规程、书籍和资料，使内容的选取更切合实际，力求做到以小型、简易为主，在文字的叙述上尽量深入浅出，通俗易懂，同时配以必要的图示和例题，以加深理解和便于自学。

本书由扬州大学水利学院张顺联同志主编，王永大同志参编。江苏省水利勘测设计研究院陈美中同志任主审。原江苏水利工程专科学校张世儒教授对本书也提出了很多宝贵的意见，在此谨表示衷心感谢。

由于编者经验不足，加上深入调查研究不够，所以书中缺点和谬误在所难免，热忱希望读者批评指正。

编 者

1993年11月

目 录

序 言	
前 言	
绪 论	1
第一章 土的物理性质与土的分类	4
第一节 土的组成	4
第二节 土的物理性质指标	11
第三节 砂土的密实度	16
第四节 粘性土的软硬程度和塑性	17
第五节 土的分类	19
第六节 填土的压实性	28
第二章 土的力学性质	34
第一节 土的透水性及渗透破坏	34
第二节 土的压缩性与基础沉降	43
第三节 土的抗剪性与地基承载力	56
第三章 工程地质勘察与施工验槽	76
第一节 工程地质勘察的目的与内容	76
第二节 工程地质勘探方法	77
第三节 工程地质勘察报告	82
第四节 验槽	88
第四章 软弱地基及其处理	94
第一节 软弱地基的类型和工程特性	94
第二节 地基处理方法的分类	97
第三节 换土垫层法	99
第四节 预压加固法	103

第五节 振动水冲法	109
第六节 高压喷射注浆法	113
第七节 软弱地基上的基础结构型式	116
第五章 特殊土地基	121
第一节 黄土地基	121
第二节 膨胀土地基	126
第三节 冻土地基	131
附录 灌排工程工技术等级标准	138

绪 论

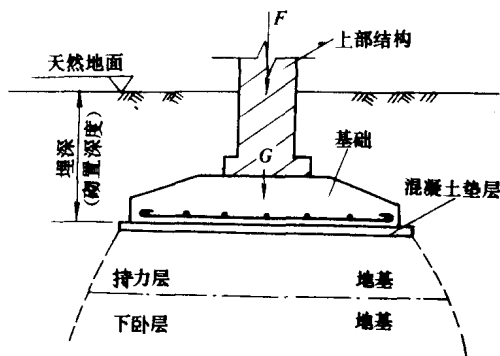
谁都知道，根深才能叶茂。可靠的地基和牢固的基础，可使水工建筑物坚固耐久，经千百年屹立不动。但有的刚刚建成，就险象丛生，甚至失事，究其原因，十之六七，是由于地基软弱、渗流破坏，再加上工程勘察不周，基础失稳所造成。所以，地基基础在建筑物中占有十分重要的地位。它的设计是否合理，施工质量是否合乎标准，不仅直接影响工程造价，而且关系到水工建筑物的安危。

那么，建筑物的地基与基础确切概念是怎样的？水工建筑物与其他建筑物一样，总是由上部结构与基础两部分组成。建筑物的下部结构，即位于地面以下的那部分就是基础，它的功用是把建筑物承受的荷载（包括自重）传递给地基，并与地基协调地共同工作。

所谓地基，是指承受由基础传来荷载的土（岩）层。建造建筑物（包括重物堆载）后，将使基底下一定范围内的土（岩）层的受力状态发生变化，这一范围内的土（岩）层就是建筑物的地基。地基中紧靠基底直接支承基础的土层称为持力层，建筑物荷载的大部分将由这部分土层支承，所以它是主要受力层，是我们研究的重点。持力层以下的土层，称为下卧层。我们的建筑物应设置在良好的持力层上。

地基基础跟上部结构相比，不仅功能不同，而且有下列独特之处。

（1）隐蔽性。地基和基础都在地面以下，有的在水面以下，一旦发生事故，很难补救。因此，必须事先慎重调查，精



建筑物的基础与地基示意图

F —上部结构传至基础顶面的竖向力；

G —基础自重及其上土重

心设计，认真施工，不得马虎，这是建筑工程的一个极其重要的环节。

(2) 多样性。在宏观上，土类众多，各种土的工程特性千差万别，复杂多变；在微观上，别看那么细小的土粒和粒间孔隙，却是一个复杂多样的“大千世界”。人类通过生产实践和科学研究，虽然取得了卓越的成就，而且形成了独立的科学体系，但是，还有许多奥秘没有被揭开。

(3) 没有选择性。构成地基材料的土，虽然复杂多样，但是不能按照设计者的愿望，像使用其他建筑材料那样可以在一定范围内自由选择，建筑场地一经选定，不论“土”的工程特性如何，对地基就没有选择余地。因此，工程技术人员必须具有针对不同特点的地基条件，采用不同的地基处理方法的基本技术知识，以便对“辨证施治”有个基本了解。

本书内容分两大部分，一是土的物理性质与力学性质的基本常识，凡涉及需要进行较深的数学计算，均未列入，仅以阐述基本概念为主；二是介绍软弱地基和其他特殊地基的工程特性、加固处理的各种基本方法。无论是前者，还是后者，都是围绕“土”的工程性状开展讨论的。一个水利工程专业人员成天与“土”打交道，开挖沟渠、整治河道、兴建涵闸、建造挡土结构、打井取水，哪一样离得开土？了解土和认识土的工程特性的重要性是不言而喻的。

第一章 土的物理性质与土的分类

第一节 土的组成

土是岩石经物理风化、化学风化、生物风化而分崩离析形成的大小不同的松散沉积物。与连续的联结牢固的固体物质不同，土是由固体颗粒、粒间孔隙中的水和气体三者组成的松散集合体。在土力学中，称之为三相体系，即固相、液相和气相。各相本身的性质以及它们之间的组合方式，对土的工程性质有着十分重要的影响，所以，土的三相组成是首先要研究的课题。

一、土的固体颗粒

土的固体颗粒，简称土粒，是土的主要组成部分，它构成土的骨架，是影响土的性质最主要因素。

自然界有许多有趣的现象，例如米粒之间无粘性，如果将米粒碾成米粉，它就有粘性和可塑性。土粒也是如此，粗颗粒没有粘性，随着粒径由粗变细，它的性质会相应地发生变化，很细的颗粒如米粉那样，遇水后也会出现粘性和可塑性。粗颗粒透水性强，细颗粒透水性弱，甚至不透水。这说明粗颗粒与细颗粒在性质上是迥然不同的。

(一) 粒组

天然土总是由大大小小的土粒组成的，人们为了研究方便起见，把粒径和性质相近的土粒并成一组，称为粒组。根据粒组在工程性质上的差异，分成若干组（见表 1-1）。

(二) 颗粒级配

土中各种粒组的相对含量称为土的颗粒级配。它反映土

中颗粒大小及其相互搭配的关系。土中各种粒组相对含量不同，则表现出来的工程性质必然不同。

表 1 1 土 的 粒 组 划 分

粒组名称		分界粒径(mm)	一般特征
漂石(块石)		>200	透水性大,无粘性,不能保持水分;压缩性极小,土体强度大
卵石(碎石)		$200\sim20$	
圆砾或角砾	粗	$20\sim10$	透水性大,无粘性,无毛细水
	中	$10\sim5$	
	细	$5\sim2$	
砂 粒	粗	$2\sim0.5$	易透水,无粘性,遇水不膨胀,干燥不收缩,呈松散状,压缩性很小,毛细水上升高度不大
	中	$0.5\sim0.25$	
	细	$0.25\sim0.075$	
粉粒	粗	$0.075\sim0.01$	透水性小,湿润时有微粘性,遇水时的膨胀和干燥时的收缩都不显著,毛细水上升高度较大
	细	$0.01\sim0.005$	
粘 粒 胶 粒		$0.005\sim0.002$ <0.002	基本不透水,潮湿时呈现可塑性,粘性大,遇水膨胀,干收缩;压缩性大,土体强度与湿度密切相关

测定土中粒组相对含量的方法,叫颗粒分析试验。常用的颗粒分析试验有筛析法和比重计法。前者适用于粒径大于 0.075mm 的粗粒土,后者适用于粒径小于 0.075mm 的细粒土。

筛析法采用的一套筛孔由大到小、自上而下叠合的筛,分粗筛与细筛两种。粗筛孔径为 100、80、60、40、20、10、5、2mm;细筛孔径为 1、0.5、0.25、0.075mm。试验时,把风干或烘干的松散的土样放在最上层筛网上,然后,在摇筛机上震摇。大小不同的粒组就被筛分离开,粒组最大的留在最上层的筛子里,直径小于 0.075mm 的颗粒通过各层筛网,最后落到底盘里。分别称量留在各层筛网上的土粒质量,即可

计算出小于（或大于）某一粒径的土粒质量占土样总质量的百分数。表 1-2 为筛析法成果记录示例。比重计法可参阅《土工试验规程》。

颗粒分析的成果，目前广泛用累积曲线来表示，以小于某粒径的土质量占土样总质量的百分数为纵坐标，土粒直径的对数值为横坐标。由累积曲线可求得各粒组的相对含量，所以此曲线又称为颗粒级配曲线。图 1-1 中 03 曲线是由表 1-2 中数据点绘而成，该土样的风干土质量为 3000g。

表 1-2 筛析试验成果表

筛 号	孔 径 (mm)	累积留筛 土质量 (g)	小于该孔径的 土 质 量 (g)	小于该孔径的占 总土质量百分数 (%)
	40	0	3000	100
	20	345	2655	88.4
	10	915	2085	69.5
	5	1585	1415	47.2
	2	2190	810	27.0
	1	2405	595	19.8
	0.5	2735	265	8.8
	0.25	2930	70	2.3
	0.10	2985	15	0.5
底盘总计		3000		

由颗粒级配曲线上可分析出各种粒组的相对含量，例如，图 1-1 (03) 曲线所示土样，砾石组（粒径 2~20mm）的占土样总质量 $(88.4 - 27.0)\% = 61.4\%$ ，砂粒组（粒径 0.075~2.0mm）的占土样总质量 $(27.0 - 0.5)\% = 26.5\%$ ，土样以砾为主，兼含砂粒，按水利电力部 1984 年规程可命名为良好级配砾。

由颗粒级配曲线上可看出土样中各种粒组搭配的情况。

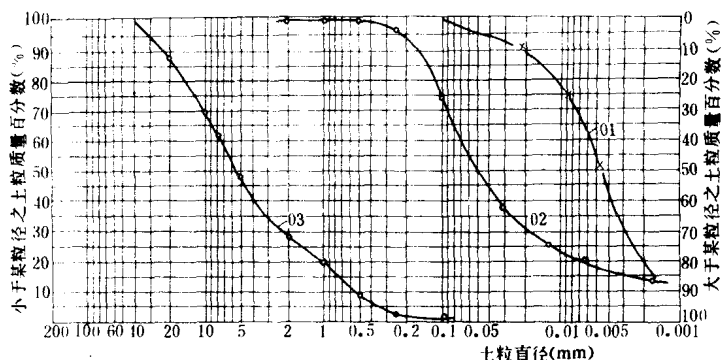


图 1-1 颗粒级配曲线图

曲线坡度平缓且延伸范围较大，表示土样中粗、中、细颗粒都有，粒径不单一，即不均匀，级配良好，例如 (03) 土样就是级配良好的砾。反之，曲线坡度较陡，表示土样中粒径变化范围小，比较均匀，级配不良。

粗粒土的级配在工程上有重要意义，级配良好的粗粒土，在大颗粒孔隙中充填着细颗粒，土的密实度较大，压缩性小，稳定性好。此外，级配良好的粗粒土，还可作为工程建筑的填料，有的可作混凝土的骨料。

为了定量判别粗粒土的级配优劣，采用不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c 两个指标，分别反映土中大小颗粒搭配情况和颗粒粒径分布范围，即

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (1-1)$$

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \cdot d_{60}} \quad (1-2)$$

式中 d_{10} 、 d_{30} 、 d_{60} 分别为级配曲线上颗粒含量小于 10%、30%、60% 的粒径，工程上称 d_{10} 为有效粒径， d_{60} 为控制粒径。

C_u 值愈大，级配曲线愈平缓，粒径分布范围大，土粒不均匀；反之， C_u 值愈小，则曲线陡峻，粒径分布范围小，土粒均匀。当遇到缺乏中间粒径的土，级配曲线呈台阶状，尽管其 C_u 值不大，实际上颗粒级配未必良好，为此再用曲率系数 C_c 来判别。水电部《土工试验规程 SD128—84》规定， $C_u \geq 5$ ， $C_c = 1 \sim 3$ 为良好级配，不能同时满足上述两个条件的，则为不良级配。

二、土中水

孔隙中的水，主要有三种类型：结合水、毛细水和重力水。

（一）结合水

结合水是指颗粒表面分子引力紧紧地吸附的水分。土粒表面带有负电荷，在它周围形成一个静电引力场。水分子是偶极体，一端带正电荷，另一端为负电荷。因而，靠近颗粒表面的水分子被颗粒所吸附，被吸附在土粒表面的水分子不能在重力作用下运动，失去自由活动的能力。但随着与颗粒表面的距离增大，分子引力逐渐减小，大约相距 $0.5\mu\text{m}$ ，分子引力已经很微小，一般认为水分子不再受颗粒表面分子引力支配了。根据水分子与颗粒表面结合的紧密程度可分为强结合水和弱结合水。

强结合水 它牢固地吸附在颗粒表面上，性质接近于固体，比重大于 1，具有一定的抗剪性和较高的粘滞性。据研究，它所受到的分子引力相当于几千甚至一万个大气压强，只有在 $100 \sim 105^\circ\text{C}$ 时，分子扩散才能使它脱离颗粒而逸出。

弱结合水 它位于强结合水的外围，占有结合水膜的绝