

901326

高等学校教材

水工建筑物软基处理

河海大学 俞仲泉



水利电力出版社

内 容 提 要

本书是高等学校水利工程类专业的选修教材。全书共分五章，内容包括：水上建筑物地基设计，软粘土地基处理，松砂地基处理，桩与板基的设计以及沉井基础等。书中着重阐述了软粘土地基和松砂地基处理的方法，列举了大量国内外工程实例，介绍了欧洲及日本等软土地基处理的新方法。

本书也可供从事水利、港工、交通与建筑结构设计、施工的工程技术人员参考。

前 言

本书自1978年以来，经历10年试教、3次改写而编成。

建国以来，在国内的水利、交通、工业与民用建筑工程中，已对多种新的软土地基处理技术进行过研究，世界各国在同期对软土地基处理技术也作了许多研究工作，在国内外的实际工程中应用了不少新的软基处理方法，积累了丰富的经验。本书是对目前工程界常用的垫层法、砂井预压法、生石灰桩法、深层搅拌法、强夯法以及桩基等软基处理方法的加固机理、设计程序作一较为详细的阐述，对施工中的注意事项也作了简要的说明。书中列举了国内外的许多工程实例，同时介绍了国外的一些软基处理新技术。

本书编写过程，得到过钱家欢教授和该教研室其他同志的指导和帮助；盛崇文、潘贤德、程美中等高级工程师为本书提供了有关工程实际资料；王正宏、陈环两位教授对本书作了全面认真的审阅，提出了许多宝贵意见；杨海华、艾英钵两同志担任本书的绘图工作。在此，一并表示感谢。

本书为高等学校水利工程类专业的选修课教材。也可供从事水利、港工、交通、建筑结构等工程的软基处理工作的科研、设计和施工的技术人员参考。编者恳请使用本书的各方面同志对书中的错误和不妥之处不吝指正，以便继续加以修改、充实和提高。

编 者

1988年8月

目 录

前言

第一章 水工建筑物地基设计	1
第一节 概述	1
第二节 地基勘探与现场试验	1
第三节 地基与基础设计的程序和方法	10
第四节 地基的验算	18
第五节 考虑上部结构、基础与地基的共同作用	28
第二章 软粘土地基处理	30
第一节 概述	30
第二节 垫层法	32
第三节 镇压层法	45
第四节 砂井预压法	48
第五节 石灰桩法	70
第六节 深层搅拌法	75
第七节 化学加固法	78
第八节 土坝劈裂灌浆加固法	81
第三章 松砂地基处理	83
第一节 概述	83
第二节 爆炸法(爆破加固法)	85
第三节 振动加固法	88
第四节 强夯法(强力夯实法、动力固结法)	100
第五节 其它方法	106
第四章 桩与桩基的设计	109
第一节 概述	109
第二节 单桩垂直承载力计算	111
第三节 单桩水平承载力计算	115
第四节 负摩阻力的近似计算	131
第五节 群桩的承载力	133

第五章 沉井基础.....	138
第一节 沉井的运用条件及其种类.....	138
第二节 沉井的构造.....	140
第三节 沉井的设计.....	143
第四节 井桩简介.....	149
附录 常用工程单位与国际单位的换算.....	151
参考文献.....	152

第一章 水工建筑物地基设计

第一节 概 述

地基设计的任务是,根据上部结构的情况与地基土的具体条件,选择恰当的设计方案,以保证建筑物的稳定性和变形都能符合规范的技术要求,并且在施工方面是切实可行,做到整个工程安全适用、经济合理。

根据工程实践,大部分水工建筑物的事故是由于地基或基础不好引起的,且这类工程事故一旦发生很难补救,而造成灾难性的后果。例如,一些修建在粉砂或极细砂地基上的水闸,若不做好防渗排水处理,会引起渗透变形,使地基淘空而引起整个水闸的倾覆。又如在软粘土地基上修建土坝,若不采取相应的地基处理措施,则在施工期或使用期就有可能造成坝基的滑动事故。因此,我们对地基与基础的设计应予以足够的重视。

在进行水工建筑物地基设计时,应注意到以下特点:

1) 作用于基础底面上的荷载比较复杂,它不仅有垂直荷载,还经常有水平荷载,且各种荷载的大小和分布也不尽相同;

2) 地基中的渗流作用以及水位的变化,对地基(特别是松软土地基)的稳定性有着很大影响;

3) 水工建筑物常建在沿海、河流中下游或湖泊附近,经常遇到软粘土、淤泥或粉砂等不良土层,地基条件比较复杂。

由此可见,水工建筑物地基与基础的设计较之一般的工业与民用建筑要复杂得多。

地基与基础设计的主要内容是:①选择地基与基础的型式;②选择基础(底板)的高程;③拟定基础的尺寸和埋置深度;④进行地基的验算。这些问题的解决,不能只从地基方面去考虑,而应和水工建筑物整体规划设计紧密地结合在一起,综合地加以考虑。

勘探、试验、设计、施工和观测等工作,在工程实践中是相关联的,必须密切配合。设计和施工人员应根据地质特征、结构类型、材料情况与施工条件等因素,全面地加以考虑。我们应以科学的态度,实事求是的精神,正确地应用土力学原理,认真地学习国内外的先进经验,才能更好地完成水工建筑物地基处理及基础的设计任务。

本章的内容是,应用已学的土力学原理(如渗流、沉降和地基稳定等),对水工建筑物地基设计程序和方法作简要的讨论。

第二节 地基勘探与现场试验

对于不同的设计阶段有不同的勘探和试验要求。初步设计(或扩大初步设计)阶段,要求从勘探和试验中取得一些必要的基本资料,对建筑场地的地基有一定的了解,以便进

行大致的整体布置和估算；由于技术设计（或施工图设计）阶段需要对各个结构进行详细的设计和计算，故要求更深入细致地勘探和试验，以取得设计所必须的全部土层资料和试验指标。

一、勘探范围与钻孔布置

（一）勘探范围

在拟建的水工建筑物场地进行勘探的平面范围，应包括建筑物的各个部分与其平面轮廓线之外的适当范围，以了解该范围内的土层条件。按一般地基勘探规程，勘探范围通常应不小于建筑物宽度的2倍，并大于建筑物的长度。对于各种坝型，勘探范围是坝底宽度的2倍，即上下游各延伸到坝底外0.5倍宽度处。坝的纵轴线两端的坝头部分，还要勘探岸坡的稳定情况。

（二）钻孔间距

钻孔间距应根据工程等级与重要性及不同设计阶段而有所不同。在初步设计阶段，为了预估地质条件，钻孔间距为50~150m。对地质变化较大地段，如河川、湖泊、河口与冰碛区等，钻孔间距可缩短为10~20m。

几种典型的水工建筑物钻孔布置，如图1-1所示。

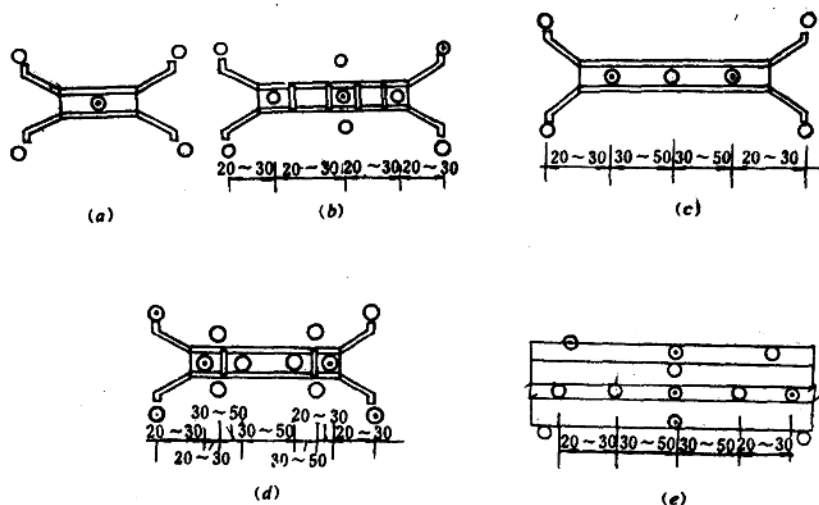


图1-1 钻孔布置图（单位：m）

（a）单孔涵洞；（b）大中型涵洞；（c）较长的涵洞、渡槽；（d）大型涵洞；（e）中小型土坝

●——组合孔；○——贯入孔

（三）钻孔深度

确定钻孔深度的基本原则是：

1) 能够了解地基有效压缩层范围内的土质情况；

2) 能够了解岸坡(或建筑物)可能滑动的最大深度范围内的土质情况;

3) 能够了解冲刷深度和开挖层范围内的土质情况。

具体地确定钻孔深度时,可按以下要求进行:

1) 一般水工建筑物地基钻探时,孔深由基底起按基础宽度1~1.5倍估计;

2) 桥梁、房屋、渡槽等建筑物地基钻探时,孔深一般应超过基础底面5~10m;

3) 深基或桩基钻探时,一般情况下,孔深可按基础底面(或桩尖)下5~10m估计;

4) 堤坝地基钻探时,除按边坡可能滑动的最大深度决定外,一般情况下,孔深可按堤坝高度的1.5~2.0倍估计;

5) 当建筑场地内分布有软弱上层时,各钻孔(或部分钻孔)必须尽设备能力钻穿该层,进入相对的坚硬层中数米深处;

6) 地基如为坚硬土层又无软弱夹层时,对于中小型工程,一般钻至基础底面下5~10m即可。

二、地基勘探方法

(一) 钻探

钻探是目前最主要、最直接采用最广泛的勘探手段。它利用各种钻探设备,如大型钻机以至小的麻花钻头,钻入土层中了解土的分层情况,并通过采集原状或扰动土样,观察、鉴别和试验、分析地基土的物理、力学和化学特性。

原状土样是指尽可能保持天然结构、含水量与组成的土样。使用原状土样进行试验所得的成果,较能代表天然状态土的特性。为此,国内外不断研制和试用多种原状取土器。例如:

(1) 球形阀门薄壁取土器[图1-2(a)] 当取土器压入土中后,钻杆内便充满着泥浆水,如果不把水和土样隔绝,当提升取土器时,水柱重量就会使土样压掉。为此,在提升前将一个钢球投入钻杆内,正好堵住取土器内的阀门,使水土隔绝,从而减少土样下滑力量。

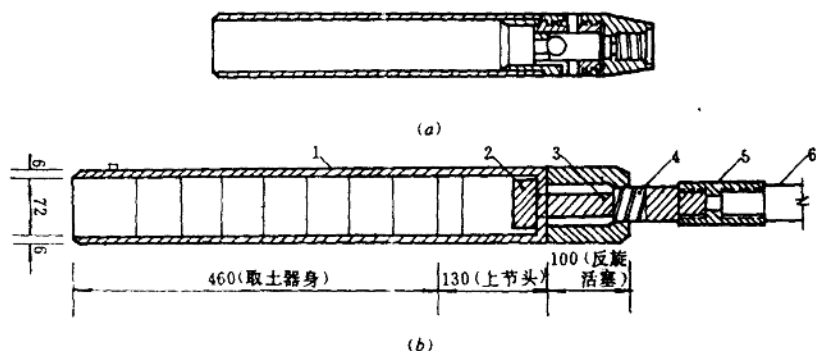


图 1-2 两种薄壁取土器示意图(单位: mm)

(a) 球形阀门薄壁取土器; (b) 反旋活塞薄壁取土器

1—分节土样管; 2—活塞头; 3—活塞杆; 4—反丝; 5—节头; 6—钻杆

(2) 反旋活塞薄壁取土器 [图1-2(b)]球形阀门薄壁取土器虽然消除了水柱压力,但当遇到松砂或淤泥时,土样仍难取上来,因这时土样自重大于土样四周与管壁的摩阻力。有鉴于此,在取土器上节设计一副反旋活塞机构,活塞与钻杆相接。当取土器压入土层后,在孔口正转钻杆,此时钻杆是紧丝,但活塞杆则因反丝而上旋;旋紧后活塞将土与水隔绝,同时在活塞室内造成负压,将土样吸住,这时再提升钻杆就可把土样取出。

反旋活塞薄壁取土器内装分节土样管(直径72mm,高50mm)。取砂土时,推出分节土样管,削平两端后称重,即可算得天然容重;连同土样管放入特制的渗透仪内,即可测定土的渗透系数。如取粘性土,将土样从土样管内推出,就可进行剪力试验和压缩试验等。这种取土器是江苏省水利勘测总队等单位研制的,它特别适用于松软土的取样,取土率达98%左右。

(二) 坑槽探

1. 坑探 在建筑场地的地基内开挖一个宽度(或直径)1~2m的试坑(探井),深度一般为2~5m、深度较大(尤其是在地下水位以下时,要求支撑和排水等)时,在技术和经济上就会受到限制。在试坑中可以直接观察土层变化,也可以用环刀(或取土筒)在坑内采取原状土样。坑探最适用于小型涵闸和房屋地基等。

2. 槽探 多用于地层内有不同的构造,沿着构造走向挖一条沟槽,以判明土层变化和断层情况。或者用于滑坡,沿滑坡方向挖一条深槽,观察滑动面预测滑动底线,亦可用环刀法取土试验。

此外,还有地球物理勘探(简称物探)。它通过物理学的方法,利用专门仪器测定地层的某项物理特性(如地电阻、地震波等),并借助于已知的地质资料来推测地层变化或地层的某种特性。近年来出现的电视测井(钻孔电视机),则可直接观察地层岩土性质及构造。

三、现场试验

现场试验亦称原位测试。由于这类方法有很多优点,所以新的方法与测试手段不断增多,原有方法也正在改进。

以下介绍工程中常用的几种现场试验。

(一) 标准贯入试验

标准贯入试验装置如图1-3(a)和1-3(b)所示。它是用63.5kg的穿心锤,以76cm的自由落距,将一定规格尺寸的标准贯入器(外径51mm,长700mm的开口取土管)先打入土中15cm,不计击数,后打30cm记录锤击次数,此即为标准贯入击数 N ,由于击数 N 的多少反映了土层抵抗力的大小,故根据经验由标准贯入击数 N 值来确定地基的密实程度(见表1-1)或粘性土的稠度(见表1-2),评定砂土的振动液化及估计单桩的承载力等。同时从贯入器内取出的土样,可用作鉴别描述,也可测天然容重、含水量和无侧限抗压强度等。

标准贯入试验是动力触探法之一种。由于此法简易、迅速和有效,故在水利工程中应用最为广泛。

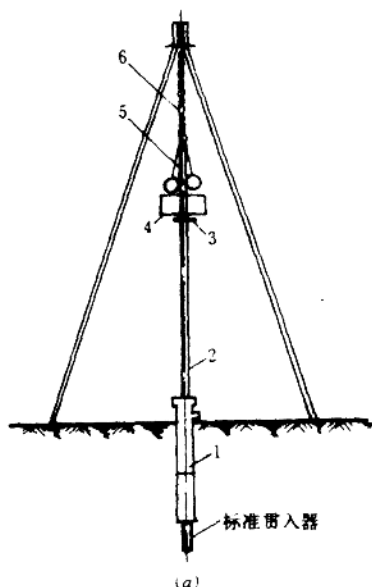


图 1-3(a) 标准贯入试验装置

1—导杆；2—导杆；3—木桩；4—62.5kg落锤；5—导杆；6—钢丝绳（与卷扬机相接）

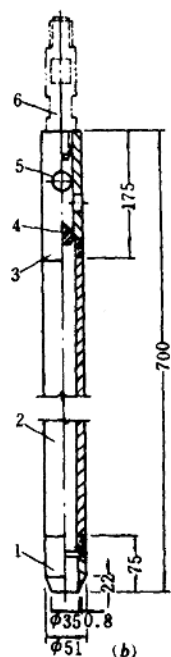


图 1-3(b) 标准贯入器结构图

1—贯入器靴；2—贯入器身；3—贯入器头；4—钢球；5—排水孔；6—钻杆接头

表 1-1

根据 N 确定砂土的密实程度

紧 密 状 态		相对密度 D_r	标 准 贯 入 击 数 N				
国 际 标 准	国 内 标 准		国 际 标 准	南京水科院 江苏省水利厅	水利水电科研院		
					粉 砂	细 砂	中 砂
极 松	松 散	0 ~ 0.2	3 ~ 4	10	< 4	< 13	< 10
			4 ~ 10				
稍 密	稍 密	0.2 ~ 0.33	10 ~ 15	10 ~ 30	> 4	13 ~ 23	10 ~ 26
中 密	中 密	0.33 ~ 0.67	15 ~ 30				
密 实	密 实	0.67 ~ 1.0	30 ~ 50	30 ~ 50	> 23	> 26	
极 密			50	50			

表 1-2

N 与 I_L 的经验关系

N	2	2 ~ 4	4 ~ 7	7 ~ 18	18 ~ 35	> 35
I_L	1	1 ~ 0.75	0.75 ~ 0.5	0.5 ~ 0.25	0.25 ~ 0	< 0
状态	流动	软可塑	可塑	可塑-硬塑	硬塑	坚硬

(二) 静力触探试验

静力触探是利用机械或油压装置将带有探头的触探杆以一定的速率（例如 0.5~1.0m/min）贯入土中，用电阻应变仪测出土对探头的贯入阻力，并借用理论公式或半经验公

式求得地基土的承载力或变形模量等指标。

探头是静力触探机械的一个关键部件。探头的种类很多，国内常用的两种，如图1-4所示。

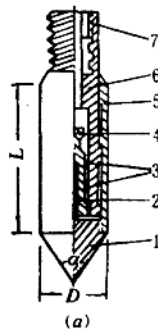


图 1-4 (a) 单桥探头示意图

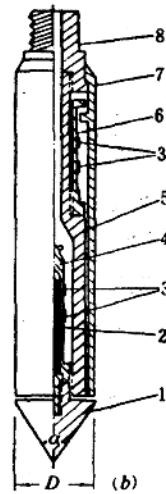


图 1-4 (b) 双桥探头示意图

静力触探可采用以下两类指标：

(1) 比贯入阻力 p_s 系采用图1-4(a) 所示的单桥探头 (技术规格见表1-3)，在贯入土层过程中，测得探头的单位面积阻力，即

$$p_s = \frac{P}{A} \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (1-1)$$

式中 P ——总贯入阻力 (包括锥尖阻力与侧壁总摩阻力)，等于施加的总压力，kN；

A ——探头锥底面积， m^2 。

(2) 锥尖阻力 q_c 和侧壁摩阻力 f_s 系采用图1-4 (b) 所示的双桥探头 (技术规格见表1-3)。在贯入土层过程中，分别测得的锥尖单位阻力和摩擦筒侧壁单位摩阻力。

表 1-3 静力触探探头技术规格

单 桥 探 头	型 号	锥头直径 D (mm)	锥头截面积 A (cm^2)	有效侧壁长度 l (mm)		锥 角 α (°)
	I-1	35.7	10	57		60
	I-2	43.7	15	70		60
	I-3	50.4	20	81		60
双 桥 探 头	型 号	锥头直径 D (mm)	锥头截面积 A (cm^2)	有效摩擦筒 长度 L (mm)	摩擦筒表面积 S (cm^2)	锥 角 α (°)
	II-1	35.7	10	179	200	60
	II-2	43.7	15	219	300	60
	II-3	50.4	20	189	300	60

$$q_c = \frac{Q_c}{A} \quad (\text{kN/m}^2) \quad (1-2)$$

$$f_s = \frac{R_f}{F_s} \quad (\text{kN/m}^2) \quad (1-3)$$

式中 Q_c ——锥尖总阻力, kN;

A ——探头锥底面积, m^2 ;

R_f ——摩擦筒侧壁总摩阻力, kN;

F_s ——摩擦筒表面积, m^2 。

用比贯入阻力与深度 (即 $p_s \sim h$) 曲线进行土的力学分层时, 实测的 p_s 值不超过表 1-4 所列变动幅度者为一层。

另外, 利用静力触探试验也能预估单桩承载力 (见第四章桩和桩基的计算), 为设计选择桩基持力层、桩长和桩径等提供依据。

(三) 旁压试验

旁压试验就是在钻孔内通过对孔壁逐级施加侧向压力, 并量测其相应变形, 以测定地基土的容许承载力和变形模量等力学指标的一种现场试验方法。

旁压试验及其仪器, 最初是由德国的寇克劳 (Kogler, 1933) 研制和试用, 随后经法国的梅纳 (Manard, 1957) 改进和推广, 现已广泛应用于地基的现场测试。我国使用的一种旁压仪, 其形式与梅纳所提供的大体相同。

1. 旁压仪的构造与性能 旁压仪由旁压器、水箱、变形测量系统和加压稳压装置 4 部分组成 (图 1-5)。以麻花钻和勺形钻等配合钻孔。

(1) 旁压器。是旁压仪的主要部件, 为三腔式圆柱形骨架, 外套有弹性膜。分上、中、下三腔: 中腔为测试腔; 上下腔相互沟通但与中腔隔离, 为辅助腔。中央有导水管, 用以排泄地下水, 使旁压器能顺利地置于测试深度。旁压器外径 50mm, 测试腔长 250mm, 上下腔各长 100mm, 其总长度为 450mm。

(2) 水箱。主要用于试验前的注水, 试验时不变压力。为避免胀裂, 装有安全阀。

(3) 变形测量系统。包括测管和辅管, 均为透明有机玻璃管 (内截面积为 15.28cm^2)。测管侧面安有测水位的标尺, 最小刻度为 1mm, 其精度为: 当水位每下降 1mm, 相当于原钻孔直径为 50mm 时孔壁径向位移 0.04mm。通过测管内液面的变化可以量测旁压器在钻孔内的径向变形。

表 1-4 按 p_s 值并层容许变动幅度

实测 p_s 范围值 (kN/m^2)	容许变动幅度 (kN/m^2)
$p_s < 1000$	$\pm 100 \sim 300$
$1000 \sim p_s < 3000$	$\pm 300 \sim 500$
$3000 \sim p_s < 6000$	$\pm 500 \sim 1000$

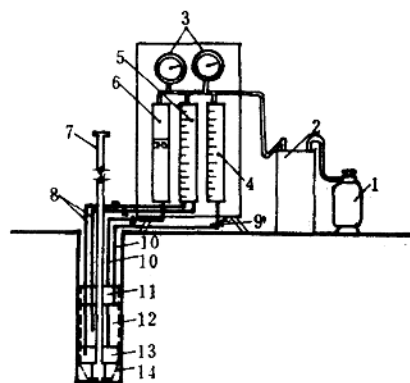


图 1-5 旁压仪示意图

1—压缩空气瓶; 2—稳压罐; 3—压力表; 4—量压管; 5—水容器; 6—蓄水管; 7—导管; 8—注水管; 9—控制阀; 10—导压管; 11—上腔; 12—中腔 (测量室); 13—下腔; 14—旁压器。

(4) 加压稳压装置。加压方式有高压氮气加压和手动加压两种。稳压均采用调压阀。

2. 试验数据的校正和计算

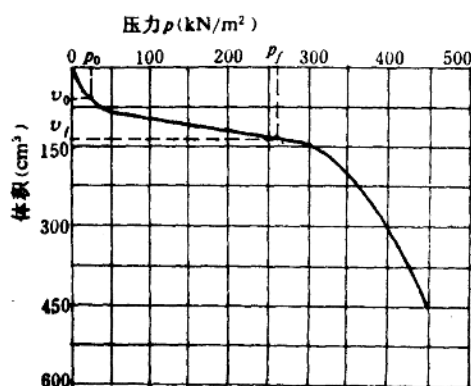


图 1-6 旁压曲线

(4) 计算地基土的变形模量 E_M 。按下列公式计算地基土的变形模量 E_M ：

$$E_M = 2(1 + \mu) \left(V_c + \frac{V_f + V_0}{2} \right) \cdot \frac{p_f}{V_f - V_0} \quad (\text{kN/m}^2) \quad (1-4)$$

式中 μ ——粘性土的侧膨胀系数（泊松比）；

V_c ——测试腔的初始体积；

V_f ——与旁压曲线的直线末端 p_f 对应的测试腔体积变化值；

V_0 ——旁压曲线直线段，与纵轴相交的截距；

p_f ——旁压曲线上求得的临塑压力。

旁压试验的似弹性阶段的变形模量 E_M ，称为土的旁压标准变形模量（或Menard模量）。其值与土的变形模量 E 相接近。

旁压试验适用于一般第四纪粘性土。对于成层极明显、水平向与竖直向压缩性有较大差别的如带状粘土等，则不能用此成果去计算在垂直荷重下的变形问题。

旁压试验因具有设备轻便、操作简易、迅速有效等优点，故便于推广与应用。目前已发展有自钻式自动记录旁压仪、静力压入式扁平旁压仪等等。

(四) 十字板剪力试验

十字板剪力试验是用插入软土中的十字板头，以一定的速率旋转，根据土体剪损时的抵抗力矩，求得土的抗剪强度。

十字板剪力试验没有考虑摩擦强度，故只适用于内摩擦角 $\varphi_u = 0$ 的饱和软粘土，尤其适用于难于取样的流塑状软粘土。测得的抗剪强度相当于 $\varphi_u = 0$ 时的凝聚力 C_u 值。

1. 仪器构造与性能

十字板剪力仪是由转动部分、底座部分和十字板头三部分组成，见图 1-7。

(1) 传动部分。是地面上的主要部分，包括转动扭矩的蜗轮、底板、固定套等等。一般十字板剪力仪是以开口钢环作为测力装置，而电测式十字板剪力仪则是以电阻应变仪或自动记录仪测力的。

(2) 底座部分 系由底座、导杆、支圈等组成, 以联结传动部分及钻探套管。

(3) 十字板头 下部由十字板头通过接杆及离合齿与钻杆联接, 板头沿离合齿可自由离合。电测式十字板剪力仪则在板头轴杆贴电阻应变片作为测力元件。

2. 试验成果校正及计算

(1) 轴杆摩擦校正。十字板剪力仪试验时, 应同时测定轴杆旋转摩擦, 并在由开口钢环测得的扭矩中予以扣除

(2) 转径校正。十字板扭转剪切土体时, 所形成的土圆柱的直径与十字板的直径并不相等。根据经验, 可取转径校正系数 $\alpha = 1.05$

(3) 计算土的抗剪强度。当转动插入土层中的十字板头时, 在土层中产生的破坏状态接近一个圆柱体。假定: ①剪破面为一圆柱面, 圆柱的直径和高度等于十字板的宽度和高度; ②圆柱侧面和上下端面上的抗剪强度均相等。于是, 根据作用力矩应等于圆柱侧面和上下端面上的抗力矩之和来推算土的十字板抗剪强度 S_r 。(即不排水抗剪强度 C_u) 值。

$$S_r = \frac{2R(p_f - f)}{\alpha^2 \pi d^2 h \left(1 + \frac{d}{3h}\right)} \quad (\text{kN/m}^2) \quad (1-5)$$

式中 R ——开口钢环扭力矩力臂长, m;

p_f ——土体剪破时最大扭力, kN;

f ——轴杆摩擦扭力, kN;

d ——十字板直径, m;

h ——十字板高度, m;

α ——十字板转径校正系数。

用十字板剪力仪测定深层软粘土的强度, 由于它避免了取土扰动的影响, 同时是在土的天然应力状态下进行扭剪, 所以它是一种较为有效的现场测试方法。此外, 还可用十字板剪力试验测定土的残余抗剪强度。

对于正常固结的饱和软粘土, 用十字板剪力试验能反映出其天然强度随深度 h 而增大的规律。根据我国沿海地区, 如浙江、上海及福建等地某些工程的原位十字板剪力试验资料, 均表明饱和软粘土的天然强度随深度的变化是有规律的, 如图1-8所示, 其变化关系式为:

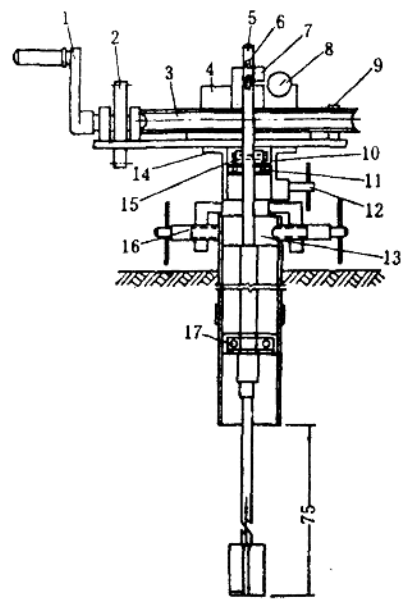


图 1-7 十字板剪切仪示意图

1—手柄; 2—齿轮; 3—蜗轮; 4—开口钢环;
5—导杆; 6—特制链; 7—固定夹; 8—量表;
9—支座; 10—压圈; 11—平面弹性盘; 12—制紧轴;
13—底座; 14—固定套; 15—横轴; 16—制紧轴; 17—导轮

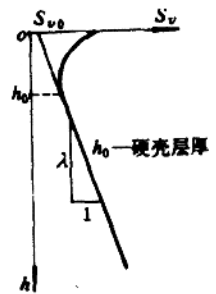


图 1-8 饱和软粘土 $S_r \sim h$ 曲线

$$S_{\lambda} = S_{\lambda_0} + \lambda h \quad (\text{kN/m}^2) \quad (1-6)$$

式中 h ——深度, m;
 $S_{\lambda}, S_{\lambda_0}$ ——十字板抗剪强度, kN/m^2 ;
 λ —— $S_{\lambda} \sim h$ 曲线的斜率, kN/m^3 。

第三节 地基与基础设计的程序和方法

地基与基础设计是建筑物设计的一个重要组成部分, 应与结构设计及施工方法紧密配合。其目的在于使所设计的地基与基础既能保证建筑物的稳定性与工作条件, 又能降低工程造价。

一、设计依据

搜集并分析下列资料作为地基与基础设计的依据:

- 1) 详细的地基勘探资料和土工试验指标;
- 2) 建筑物的上部结构图 (包括平面布置图与结构物的主要部分剖面图), 建筑物的等级和某些特殊的要求 (如防空、防震等的要求);
- 3) 建筑物的荷载分布、大小、性质和设计所依据的几种荷载组合情况;
- 4) 施工技术条件、施工工期以及建筑材料来源和运输条件等等。

必须指出, 调查研究、搜集资料、摸清情况, 这是做好地基与基础设计的先决条件。一个正确的设计首先来源于对客观外界的正确认识, 掌握设计所必须的第一手资料, 结合具体情况, 才能因地制宜地确定设计方案。

二、选择地基与基础的型式

(一) 选择水工建筑物地基与基础型式应注意的问题

(1) 在一般情况下, 应该尽量采用天然地基和浅埋基方案 (即浅基础方案), 因为那样可使施工简便, 而且造价经济。为此, 应进行详细的勘探, 对几个可能的位置进行方案比较, 从中选择土质良好的地基作为建筑物地址。但在实际工程中, 往往遇到松软土地基, 由于它的承载力较低, 必要时可考虑地基的局部加固或从结构上采取措施, 以便保证建筑物的安全使用。例如, 水闸的两岸岸墙较重时, 可以采取局部的地基处理, 或者将岸墙做成轻型结构 (如江苏的水闸岸墙常做成空箱式连拱挡土墙等) 以适应松软土地基承载力较低的情况。

(2) 应该结合工程总体布置, 并考虑到建筑物整体工作的条件。例如, 水利枢纽工程是由轻重不同的各个建筑物组合而成的, 而地基土质在建筑物范围内也往往是软硬不一的。由于地基是连续整体, 相邻的建筑物会通过地基相互影响, 产生沉降差。因此, 尽可能将主要建筑物布置在土质良好的地基上, 或者改变部分基础的刚度、形式、尺寸与埋置深度来改善地基内的应力条件, 使建筑物各部分之间不产生过大的沉降量和沉降差, 从而保证建筑物的安全和正常使用。

(3) 应该从实际情况出发, 考虑到当地材料供应, 施工技术条件和施工工期等, 同时尽量采用国内外的先进经验。

根据以上各点, 初步拟出几个可能的地基基础的设计方案, 进行反复比较, 据此选定最合适的方案。

基础选型是十分重要的。通常将基础分为两大类: 浅基础与深基础。浅基础与深基础之间, 并无严格的划分尺度。刚性基础(包括用混凝土、毛石混凝土、砖、石等材料作成的基础)、钢筋混凝土板式基础、反拱底板、筏基、短桩等, 一般都视为浅基础。箱形基础、沉井、沉箱、桩基等, 都视为深基础。可以看出, 浅基础比深基础的造价要经济, 施工简便和迅速。所以, 除了因地质条件太差不能满足上部结构荷载的要求时, 一般都采用浅基础。

(二) 水闸基础(底板)

常用的有平底板、钻孔灌注桩底板和拱底板等。在特定的条件下, 也可采用其它型式的底板。

1. 平底板

按其分缝(沉降缝)布置, 分为:

(1) 整体式。在闸墩处分缝, 取1孔、2孔或3孔为一块底板。一般适用于孔径8~12m的较松软地基或地震烈度较高的地区。

(2) 分离式。在闸室底板中间分缝, 隔1孔或2孔设一道直缝, 一般适用于孔径等于或小于8m和中等密实以上的地基。分缝在闸室底板两侧, 隔1孔或2孔设两道搭接缝, 中间做小底板, 一般适用于孔径大于8m和密实的地基。

2. 钻孔灌注桩底板

一般的布置型式为墩底板稍向两侧闸孔挑出, 与中间小底板设沉降缝分开, 结构的自重、水重、水压力等主要由墩底板下的钻孔灌注桩承担, 适用于松软地基、孔径较大或地震区的地基。图1-9所示为某闸的钻孔灌注桩底板。

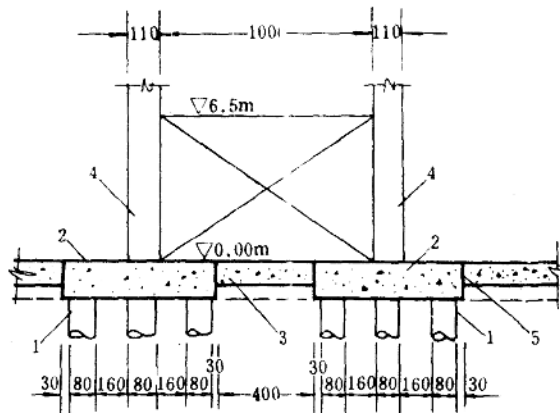


图 1-9 某闸钻孔灌注桩底板(单位: mm)

1—灌注桩; 2—墩底板; 3—中底板; 4—闸墩; 5—板间止水带

3. 反拱底板

因为反拱底板是以承受压力为主, 故可以充分发挥圬工砌体和混凝土材料的抗压性能, 从而能减薄底板的厚度, 不用钢筋或用少量钢筋。与整体式平底板相比, 可大大地节省钢筋和水泥。反拱底板适用于中等密实以上地基的中小型水闸工程, 但要注意施工程序的安排。例如, 在粘性土地基上, 采用闸墩与底板分期施工, 即先浇筑闸墩至一定高度, 然后

浇筑反拱，使闸墩与底板连成整体〔图 1-10 (a)〕，这样能减少闸墩不均匀沉降对反拱的影响，可改善反拱的受力。又如在砂性土地基上，可采用闸墩基础与反拱一次浇筑法，但为减少闸墩的不均匀沉降对反拱的影响，可在拱端预留沉降缝（也可每隔 3~4 孔做一道沉降缝），待水闸建成放水前将沉降缝封闭，使底板与闸墩连成整体〔图 1-10 (b)〕。由于反拱底板受力复杂，在重要的大型水闸工程中采用时，必须慎重考虑。

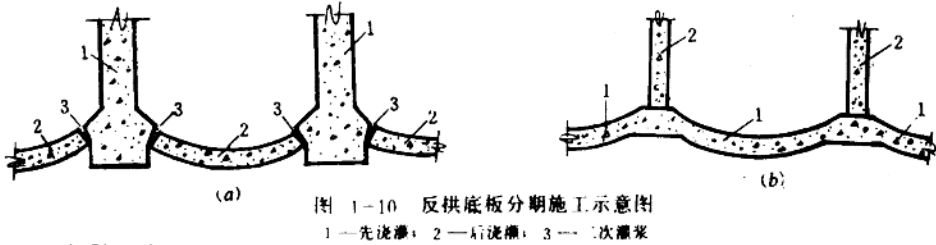


图 1-10 反拱底板分期施工示意图
1—先浇拱；2—后浇墩；3—二次灌浆

4. 其它型式底板

(1) 低堰底板。当上游水位与闸后河底高差较大，而必须限制单宽流量，或由于地基表层松软，需要降低底板高程，避免地基处理或在多泥沙河道上有拦沙要求时，可考虑采用低堰底板。

(2) 箱式底板。当地基松软、荷载较大，采用整体式平底板仍不足以避免基础各部位的不均匀沉降时，可以考虑采用箱式底板。由于它具有较大的刚度，可以使闸室结构的沉降差大大减小。

(3) 斜底板。当闸室高度不大，地基又不松软时，可考虑采用斜底板。它可以作为消力池的一部分，缩短了消力池长度。

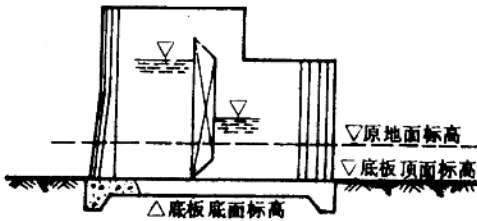


图 1-11 水闸底板高程

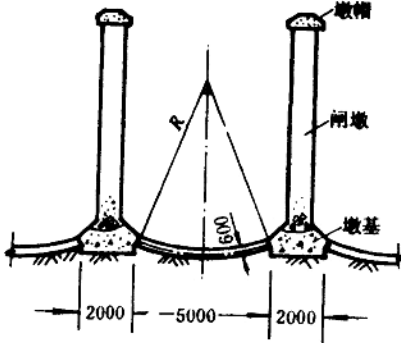


图 1-12 水闸反拱底板 (单位: mm)

三、选择基础（底板）的高程

水工建筑物基础（底板）的顶面高程主要取决于水利和水力计算的结果。例如，水闸要满足规定的泄洪任务，同时要保证建筑物的正常使用，故底板的顶面高程与地基的关系不大。确定底板的底面高程(图1-11)，亦即确定底板的厚度或埋置深度，应考虑建筑物的荷载大小、地基许可承载力以及底板所用的材料等因素。例如，钢筋混凝土水闸平底板的厚度为1.0~2.0m左右。又如江苏、安徽和山东等省修建的水闸曾广泛采用的反拱底板，其厚度一般为0.6m左右(图1-12)，且不用或很少用钢筋，比较经济合理。

在选择基础的埋置深度时，还应考虑到下列因素：

(1) 水流的冲刷影响。水流的冲刷会淘空基础周围的土，引起基础的沉降或倾斜，