

煤田钻探工程

第九分册

钻孔桩基础施工技术

中国煤田地质总局 编著



煤炭工业出版社

煤田钻探工程

第九分册

钻孔桩基础施工技术

中国煤田地质总局 编著

煤炭工业出版社

(京) 新登字042号

内 容 提 要

本书为《煤田钻探工程》的第九分册,它系统地介绍了先钻进成孔后灌注成桩(墙)的钻孔基础工程的施工技术和方法。全书共分为十章,内容包括基础工程概论,钻孔基础工程施工设备,钻孔灌注桩施工准备,钻孔灌注桩成孔施工技术,钻孔灌注桩钢筋混凝土工程以及地下连续墙、旋喷桩、锚固桩、挤密桩和特殊工程的施工等。

本书根据理论联系实际的原则,介绍了国内外有关现代基础工程施工的基本理论和先进技术方法,并系统地分析了若干典型工程实例,内容新颖,实用性强。可供高等院校、成人教育、中等专业学校和专业性短期培训班师生用作教材或参考书,也可供从事基础工程施工的科研、设计和施工单位的技术人员和管理人员学习参考。

煤 田 钻 探 工 程
第 九 分 册
钻 孔 桩 基 础 施 工 技 术

中国煤田地质总局 编著
责任编辑:罗 醒 民

*

煤炭工业出版社 出版
(北京安定门外和平里北街21号)
煤炭工业出版社印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*

开本 787×1092mm^{1/16} 印张 21^{1/2}
字数 503千字 印数 1—4,870
1993年9月第1版 1993年9月第1次印刷
ISBN 7-5020-0857-8/TD·797

书号 3623 G0264 定价 15.50元



《煤田钻探工程》编审委员会

名誉主任 张延滨

主 任 王文寿

副 主 任 金宝昌 杜青荣

委 员 (按姓氏笔划为序)

毛邦倬 汤凤林 关文博 赵运兴

赵贵祥 赵琥芬 黄俊良

前 言

当今钻探工程不仅是矿产资源勘察的重要手段，同时也广泛地应用到工程地质勘察、公路、桥梁、隧道及大型现代化建筑工程的钻孔桩基础工程和矿山立井施工、疏干排水、通风、灾害处理等各个方面。其应用范围将会越来越广。

我国煤田地质钻探工程从无到有，从小到大，40多年来得到了迅速发展。无论是钻探设备还是钻进工艺，都达到了一定的水平，有些已接近或达到国际水平。钻探效率数倍增长，钻探质量显著提高，为煤炭工业的生产建设提供了可靠的地质资料。随着市场经济的发展，煤田钻探工作已面向社会，从单一封闭的煤炭资源勘探走向市场，开展了各种有偿工程技术服务。在激烈的市场竞争中，对钻探工程提出了更高的要求。

几十年来，我们在钻探工程的实践中，创造和积累了丰富的经验，这是一笔宝贵的财富。为了总结、继承和推广这些经验；吸收、引进国内外的先进技术，提高煤田钻探职工队伍素质，增强在市场中的竞争力和战斗力，我们特邀请从事钻探技术工作几十年的专家、教授、学者，编写了《煤田钻探工程》一书。

编写本书的指导思想是，立足于煤田钻探，兼顾其它行业的需要。书中介绍的技术水平，既要满足当前生产的需要，又要适度超前。因此，本书既总结了40年来国内煤田钻探、工程钻探的先进技术，介绍了国内、外的新设备、新技术、新工艺。如近年推出的TK系列液压钻机，绳索取心钻进、冲击回转钻进、空气洗井等高新技术。又为适应市场的需要，特意增加了有关的特种钻探工程，如浅层油气井钻探、大口径深水井钻探、冻结孔施工技术、露天边坡钻探钻孔和矿坑疏干钻孔的施工技术，以及钻孔桩基础施工技术等重要内容。

本书突出了煤田钻探技术特色，理论联系实际，实用性强。全书共分10个分册，即《钻探设备》、《钻探管材与附属机具》、《钻探工艺》、《特种钻探工程》、《钻井液》、《钻探设备使用与维护》、《钻探液压技术》、《微机在钻探中的应用》、《钻孔桩基础施工技术》、《煤田钻探安全技术》。每个分册既独立自成体系，分册之间又互相联系。因此，本书是一套完整地介绍煤田钻探技术及一些特殊工程钻探和工程施工的教学参考书，并可作为现场人员的生产技术用书，既适用于煤田系统，也适用于其它施工单位。

本书在编审过程中得到了广大钻探技术工作者和煤田地质系统各单位、中国地质大学、中国矿业大学北京研究生部、煤炭科学研究总院上海分院、肇州液压机械厂、郑州煤田职工地质学院、重庆煤田地质技工学校等单位的大力支持和协助，在此谨表示衷心的感谢。

中国煤田地质总局

1993年3月

编 者 的 话

随着国民经济建设的迅速发展,钻探技术不仅应用于地质矿产勘探、工程地质与水文地质勘察、地下水和油气开发等项目的施工,也越来越多地应用于工业与民用房屋建筑、公路铁路桥梁、电站坝址、矿山建设、地下隧道和港口码头等基础工程施工。钻孔基础工程施工是钻探工程在地质市场的自然延伸,而且在地质市场得到越来越广泛的应用和发展,已成为钻探工程中一个刚刚发展起来的新领域。尤其是改革开放以来,现代建筑的立体化、大型化、重型化,以及地质灾害的整治和环境保护工程施工的复杂化,各种工程对基础的强度和变形要求越来越高,使钻孔基础工程施工技术日趋专业化,从而初步形成了一门独立的学科。因此,学习和研究钻孔基础工程施工的技术和方法是十分迫切并具有重大意义的。

本书是《煤田钻探工程》的第九分册。为了保证本分册基本内容的完整性、系统性和各章的独立性,在编写过程中,我们广泛参阅了国内外有关文献资料,综合介绍了国内外钻孔基础工程施工的新设备、新技术和新方法,并理论联系实际地分析了若干典型工程实例。

本分册的第一、三、五、六、八章由王长和编写,第二、四、七、九、十章由刘剑峰编写。

本分册在编写过程中得到一些单位和个人帮助和指导,也引用了一些同志的技术成果,在此一并致谢!

编 者

1993年3月

目 录

前言

编者的话

第一章 基础工程概论	1
第一节 地基与基础	1
第二节 地基土的物理、力学性质	2
一、土的密度 γ	2
二、土的含水量 W	2
三、土颗粒的相对密度 G	3
四、孔隙比 e 和孔隙度 n	3
五、饱和度 S_r	3
六、粘性土的可塑性指标	3
七、砂土的密实度指标	3
八、土的渗透性与渗透系数 K	3
九、土的压缩性	4
十、土的抗剪强度	4
第三节 地基土的分类和允许承载力	5
一、地基土的工程分类	5
二、地基土的允许承载力	9
第四节 基础的类型	13
一、桩基础	13
二、沉井基础	18
三、沉箱基础	18
四、地下连续墙	19
第五节 基础承载力的计算与确定	19
一、基础设计应掌握的资料	19
二、荷载的类型	20
三、单桩轴向允许承载力的确定	22
第二章 钻孔基础工程施工设备	25
第一节 转盘式钻机	25
一、GPS-15型钻机	25
二、BRM-2型钻机	27
三、SPC-300H型及其改进型钻机	30
四、SPJ-300型钻机	37
五、S500R型钻机	40
六、L型系列钻机	40
七、TXB-1000型改装钻机	42
第二节 动力头式钻机	43

一、BQZ-Ⅰ型螺旋钻机	44
二、GJD-1500型钻机	47
第三节 潜水钻机	55
一、GZQ-1500型钻机	56
二、RRC型钻机	58
三、BW型钻机	63
第四节 冲击式钻机	65
一、CZ-22型钻机	65
二、GCF-1500型钻机	69
三、KPC-1200型钻机	72
第五节 冲抓式钻机	73
一、MT型钻机	73
二、TH型钻机	76
第六节 振动式钻机	79
一、振动沉管钻机	79
二、ZZ-YⅠ型振动锤	82
三、ZCQ30型振冲器	85
第七节 其他施工设备	86
一、混凝土搅拌机	86
二、混凝土输送泵	90
第三章 钻孔灌注桩施工准备	94
第一节 施工设计	94
一、编制施工设计应掌握的资料	94
二、施工设计应包括的内容	94
第二节 场地准备	95
一、障碍物的拆除	95
二、场地的布置	96
三、测定桩位	96
第三节 护筒的埋设	96
一、护筒的作用和一般要求	96
二、护筒的类型及其制作方法	96
三、护筒埋设的方法	98
第四节 设备的选型及安装	99
一、设备的选型	99
二、设备的安装	100
第五节 泥浆的制备与净化	100
一、泥浆的作用	100
二、泥浆的备料与配制	100
三、泥浆性能及其要求	101
四、泥浆的循环和净化	102
第四章 钻孔灌注桩成孔技术	104
第一节 正循环钻进成孔	104

一、钻头类型	104
二、钻进工艺	109
三、正循环钻进的技术要点	111
四、工程实例	112
第二节 反循环钻进成孔	113
一、泵吸反循环钻进	113
二、气举反循环钻进	117
三、射流反循环钻进	119
四、反循环潜水钻进	121
五、反循环扩底钻进	122
六、工程实例	125
第三节 冲击钻进成孔	128
一、冲击钻头	128
二、冲击钻进工艺	130
三、冲击钻进的技术要点	131
四、冲击反循环钻进	132
五、工程实例	133
第四节 冲抓钻进成孔	134
一、冲抓钻头	135
二、冲抓钻进的技术要点	135
三、冲抓全套管钻进	136
四、工程实例	137
第五节 螺旋钻进成孔	139
一、螺旋钻具	139
二、螺旋钻进工艺	143
三、螺旋钻进的技术要点	145
四、工程实例	146
第六节 振动钻进成孔	147
一、振动沉管钻进	147
二、振动钻进	148
三、振冲钻进	149
四、工程实例	149
第七节 成孔中常见事故的预防和处理	150
一、坍孔	150
二、钻孔漏浆	151
三、钻孔偏斜	151
四、糊钻	151
五、缩径、梅花孔	151
六、卡钻	152
七、钻杆折断	152
八、掉钻落物	152
第八节 钻孔质量检验和清孔	152
一、钻孔质量检验	152

二、清孔	153
第五章 钻孔灌注桩钢筋混凝土工程	156
第一节 钢筋笼的制作与吊放	156
一、钢筋笼的制作要求	156
二、钢筋笼的制作	157
三、保护层的设置	160
四、钢筋笼的安放	161
第二节 混凝土的配制材料	161
一、水泥	161
二、骨料	167
三、水	169
四、混凝土外加剂	170
五、混合材料	171
第三节 混凝土的技术特性与配合比	172
一、混凝土的技术特性	172
二、混凝土的配合比	176
第四节 混凝土的施工	180
一、混凝土的拌制	180
二、混凝土的灌注	180
三、桩头处理	184
四、工程实例	185
第五节 灌注施工中事故的预防和处理	185
一、堵管	186
二、导管进水	186
三、桩身缩径、夹层	186
四、断桩	187
五、混凝土严重离析	187
六、埋管	187
七、钢筋笼错位	188
八、短桩	188
九、压浆补强处理断桩的施工要点	188
第六节 钻孔桩的质量检验和荷载试验	189
一、钻孔取心验桩	189
二、无损检测桩	190
三、试桩的类型和施工	192
四、单桩垂直静载试验	193
五、单桩水平静载试验	195
第六章 地下连续墙	198
第一节 概述	198
一、地下连续墙的定义	198
二、地下连续墙的分类	198
三、地下连续墙的特点	199

四、地下连续墙的用途及其展望	200
第二节 地下连续墙的施工设计	201
一、施工设计的基本要求	201
二、设计的编制	202
第三节 地下连续墙的施工	203
一、地下连续墙的施工程序及施工场地布置	203
二、地下连续墙施工槽段的划分	203
三、导墙及其施工	205
四、泥浆的配制	208
第四节 桩排式地下连续墙的施工	209
一、灌注桩式地下连续墙的施工方法	209
二、桩排及桩的分类	210
三、成墙施工程序	210
四、桩孔式地下连续墙的优缺点	210
第五节 槽式地下连续墙的施工	211
一、槽式连续墙的施工程序	211
二、施工方法	212
三、各种挖槽法的施工作业	214
第六节 清底	217
一、清底的必要性	218
二、清底的方法	218
第七节 地下连续墙接头管的施工	219
一、对接头的要求	219
二、接头管的施工	219
第八节 钢筋笼的加工和吊放	221
一、钢筋笼的制作与吊入要求	221
二、配筋与钢筋笼的制作	222
三、钢筋笼的吊入与接长	222
四、混凝土保护层的设置	223
五、拐角部位钢筋笼的制作、组装与吊入	224
六、新的钢筋笼接头方法	224
第九节 混凝土的配制与灌注	226
一、混凝土的制备与灌注要求	226
二、混凝土的配合比	227
三、混凝土的灌注	227
第十节 地下连续墙的施工管理及验收	230
一、地下连续墙施工管理的特点	230
二、工程的验收	231
第十一节 地下连续墙工程实例	232
第七章 旋喷桩	237
第一节 概述	237
一、旋喷注浆的工艺类型	237

二、旋喷注浆法的特点	237
三、旋喷固结体的特性	239
四、旋喷注浆的适用范围	240
五、旋喷注浆的用途	240
第二节 旋喷注浆的施工设备和机具	243
一、注浆管	243
二、喷嘴	252
三、浆液搅拌设备	254
第三节 旋喷注浆成桩原理	256
一、高压喷射流的基本形态	256
二、高压喷射流的构造	258
三、水(浆)气同轴喷射流的构造	260
四、旋喷注浆的成桩作用原理	262
第四节 旋喷桩的施工	265
一、旋喷注浆材料	265
二、旋喷桩的施工程序	268
三、旋喷桩的施工工艺	269
四、旋喷注浆施工的注意事项	272
五、工程实例	272
第五节 旋喷桩的质量检查	276
一、旋喷固结体质量检查的内容	276
二、旋喷固结体质量检查的方法	276
第八章 锚固桩	280
第一节 概述	280
第二节 土层灌浆锚杆的设计	280
一、基坑支护上的荷载	281
二、锚杆的布置	281
三、锚杆的承载能力	282
四、锚杆的稳定性	284
五、锚杆的蠕变和沉降	285
第三节 土层灌浆锚杆的施工	286
一、施工准备	286
二、成孔	286
三、安放拉杆	289
四、灌浆	289
第四节 土层灌浆锚杆试验	291
一、基本试验	291
二、性能试验	292
三、验收试验	292
四、特殊试验	293
第五节 工程实例	293

第九章 挤密桩	298
第一节 砂桩	298
一、作用原理	298
二、设计计算	298
三、施工工艺	300
四、工程实例	302
第二节 碎石桩	304
一、作用原理	304
二、设计计算	304
三、施工工艺	305
四、工程实例	306
第三节 石灰桩	308
一、作用原理	308
二、设计计算	308
三、施工工艺	310
第四节 土桩和灰土桩	311
一、作用原理	312
二、设计计算	312
三、施工工艺	314
四、工程实例	315
第十章 特殊施工	316
第一节 水域钻孔灌注桩的施工	316
一、水域施工的特点	316
二、水域钻场的设置	317
三、水域施工注意事项	322
四、工程实例	323
第二节 爆扩桩的施工	325
一、爆扩桩的类型	325
二、爆扩桩成孔工艺的选择	325
三、爆扩桩成孔施工的注意事项	325
四、炸药包的制作和引爆的注意事项	326
第三节 斜桩的施工	327
一、斜桩钻孔施工的特殊要求	327
二、斜度和孔径的测定	328
第四节 特殊条件下工程的施工	329
一、靠近现有建筑物的工程施工	329
二、建筑物内地下工程的施工	329
三、交通路面以下工程的施工	330
参考文献	331

第一章 基础工程概论

第一节 地基与基础

高楼大厦、桥梁涵架、海港码头等任何建筑物都是建造在一定的地基基础上的。基础是建筑物直接与地层接触的最下面部分，它是建筑物极其重要的组成部分；而承受由基础传来的载荷那一部分地层（土层或岩层），则称为该建筑物的地基。图1-1是建筑物、基础和地基三者的关系示意图。建筑物的上部结构荷载是通过具有一定埋置深度的基础、传递、扩散到地层中去的。基础一般位于地面以下，是建筑物的下部结构，起着承上启下传递荷载的作用。桥梁的上部结构为桥梁，下部结构包括桥墩、桥台和基础。桥梁的上部结构、下部结构和地基三者的相互关系如图1-2所示。

地基与基础受到各种荷载（静载和动载）后，其本身将产生附加应力和变形。为了保证结构物的安全和正常使用，地基与基础必须具有足够的强度、稳定性和耐久性，其变形与沉降也必须在允许范围内。根据建筑物的性质、特点及荷载的大小，可采用不同类型的地基与基础。

地基分天然地基与人工地基两种。直接承接基础的天然岩土层称为天然地基；若地层的土质过于松软或工程地质条件不佳，需人工加固或处理后才能承接基础，则称为人工地基。一般情况下可采用天然地基，而现代高层建筑、重型构筑物等对基础有严格要求的工程，则需采用人工地基。

基础根据其埋置深度的不同，可分为浅基础与深基础两种类型。通常将埋置深度在5 m以内者称为浅基础；为了将基础置于良好的持力层上，其埋置深度超过5 m时，称为深基础。若基础埋置在深水之下，则称为深水基础。浅基础一般用人工法施工即可；而深基础则多采用钻孔灌注桩、地下连续墙、沉井、沉箱等现代基础工程施工方法。

地基与基础类型方案的选择主要取决于地基岩土层的工程地质与水文地质条件、荷载的特性、构筑物的结构型式、使用目的和要求，以及构筑材料的供应和施工设备条件、工艺技术水平等因素。方案选择的原则是使用上安全可靠，施工上可行，技术上先进，经济上合理。

大量的工程实践表明：构筑物地基与基础的设计及施工质量的优劣，是整个构筑物质量好坏的关键。由于基础工程属于地下隐蔽工程，如有缺陷较难及时发现，也较难弥补

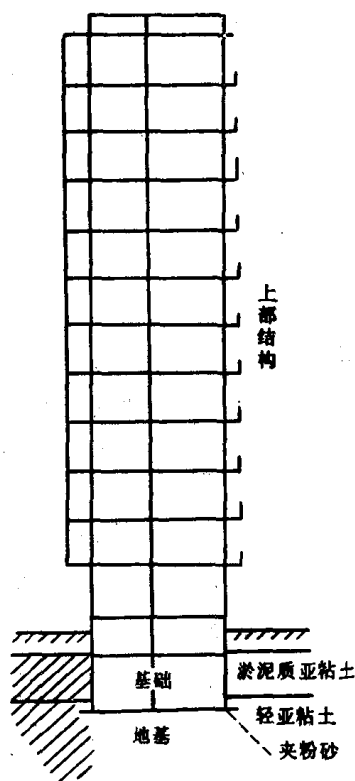


图 1-1 高层建筑的地基与基础

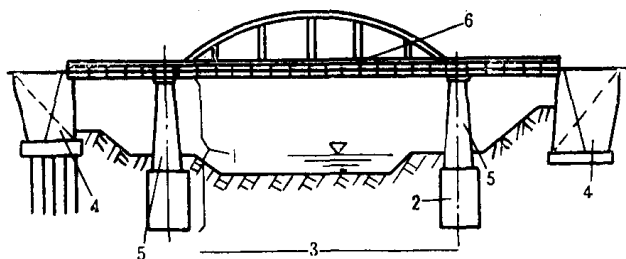


图 1-2 桥梁的地基与基础

1—下部结构；2—基础；3—地基；4—桥台；5—桥墩；6—上部结构

或修复。一旦发生，将直接影响整个构筑物的使用。许多建筑工程的质量事故，问题均出在地基和基础上。如意大利比萨斜塔、我国苏州虎丘塔之所以发生严重的塔身倾斜，就是由于地基不均匀沉降所致。

任何构筑物都是一个整体，上、下部结构和地基是共同工作相互影响的。地基的任何变形都必然引起上、下部结构的相应位移，上、下部结构的力学特征也必然关系到地基的强度和稳定条件。因此，地基与基础的设计和施工必须紧密结合构筑物的特点和要求，全面分析，综合考虑。

第二节 地基土的物理、力学性质

了解各类地基土的性质，对正确选择基础形式及施工工艺方法有着极为重要的意义。土，作为建筑物的地基，其最基本的工程性质，如软或硬，松或实，干或湿，轻或重等，往往可以用土的物理性质指标来反映。即用组成土集合体的三相系——固体颗粒、颗粒间孔隙中的水和气体在重量与体积上所占有的相对比例关系，来作为评定土的工程性质的定量指标。土的物理性质与力学性质之间有着密切的联系。如土松而湿，则强度低、压缩性大；土干且实，则强度高、压缩性小。

现将基础工程施工中常涉及到的土的物理、力学性质的定义及指标，分述如下：

一、土的密度 γ

土在天然状态下单位体积的重量，叫做土的天然密度，单位用“ t/m^3 ”表示。土的密度与土的含水量、密实程度有关，一般土的天然密度为 $1.6 \sim 2.2 t/m^3$ 。密度大的土比较密实，强度也较高。

土的干密度 γ_d 是土在烘干状态下的密度，即单位体积土颗粒的重量。土愈密实，其干密度也愈大，一般为 $1.3 \sim 2.0 t/m^3$ 。

土的饱和密度是指土体中孔隙充满水时，其单位体积的重量。地下水位以下的土，颗粒受到水的浮力作用，其密度称为水下浮密度。

二、土的含水量 W

土的含水量是指土在天然状态下，土中水的重量与土颗粒重量之比，用百分数表示。土的含水量反映土的湿度。含水量愈大说明土愈湿。对于同一种类的土，当含水量增大时，它的强度就会降低。

三、土颗粒的相对密度 G

土颗粒在 $100\sim 105^{\circ}\text{C}$ 下烘至恒重时的重量与同体积蒸馏水在 4°C 时的重量之比值,称为土颗粒的相对密度。它取决于土的矿物成分和有机质含量。一般,土颗粒的相对密度为 $2.65\sim 2.75$ 。

四、孔隙比 e 和孔隙度 n

土的孔隙比 e 是土中孔隙的体积与土颗粒体积之比。土的孔隙度 n 则是指土中孔隙的体积与土的总体积之比,其值恒小于 1。孔隙比与孔隙度都反映土的孔隙特征,间接反映土的密实度和强度。

五、饱和度 S_r

土中孔隙被水充满的程度叫饱和度,以土中水的体积与孔隙体积之比来表示。若 $S_r = 100\%$,则表示土的孔隙中充满着水,土是完全饱和的;若 $S_r = 0$,则表示土中没有水。

六、粘性土的可塑性指标

粘性土的形状与含水量有着密切的关系。对于同一种粘土,当其含水量小于某一限度时,呈坚硬状态。随着含水量的增加,它就会变为塑性状态。所谓塑性状态是指,土体在外力作用下,可塑成任何形状而不开裂、不改变体积,当外力取消后,还可保持变形后所得的形状。如果含水量进一步增大,土体就会由可塑性状态变为流动状态。

可塑性指标主要包括:

塑限 W_p (%) 土由固态变到塑性状态时的分界含水量,系实测指标。

液限 W_L (%) 土由塑性状态变到流动状态时的分界含水量。我国普遍采用液限仪来测定。

塑性指数 I_p 液限与塑限之差的计算指标, $I_p = W_L - W_p$ 。塑性指数的大小,主要与土内所含粘土颗粒的多少有关。土中含粘土颗粒愈多,则其塑性指数愈大,表示土的含水量在相当大的范围内变化时,土仍能保持塑性状态。由于塑性是粘性土的一种特征,故在地基基础规范中以塑性指数作为粘性土的分类标准。

液性指数 I_L 土的天然含水量与塑限之差除以塑性指数的计算指标,即 $I_L = \frac{W - W_p}{I_p}$ 。液性指数表示粘性土的软硬程度。当 $I_L \leq 0$,即 $W \leq W_p$ 时,土呈坚硬状态;当 $I_L > 1$,即 $W > W_p$ 时,土呈流塑状态。

七、砂土的密实度指标

砂土的密实程度是确定其承载力的主要指标。密实的砂土压缩性小,强度较大,结构稳定;而松散的砂土,特别是饱和的细砂、粉砂则相反,结构很不稳定,容易发生流砂现象。

砂土的密实度在地基基础规范中是根据天然孔隙比 e 来分类确定的。在实际工作中也可采用标准贯入试验(锤重 63.5kg ,落距 76cm ,贯入度 30cm)的实测锤击数 $N_{63.5}$ 来判断砂土的密实程度(表1-1)。

八、土的渗透性与渗透系数 K

由于土粒之间孔隙的存在,水在重力作用下,沿土的孔隙渗透流动。渗透系数 K 反映了土的渗透性能,其物理意义按达西公式为:水力坡度为 1 时的渗透速度。土的渗透系数参考值见表1-2。

表 1-1 按标准贯入试验判定砂土的密实程度

分 级	实测平均锤击数 $N_{63.5}$	分 级	实测平均锤击数 $N_{63.5}$
密 实	30~50	稍 密	5~9
中 密	10~29	松 散	< 5

表 1-2 土 的 渗 透 系 数

类 型	渗 透 系 数 K		类 型	渗 透 系 数 K	
	(m/d)	(cm/s)		(m/d)	(cm/s)
粘 土	<0.005	< 6×10^{-8}	中 砂	5~20	$6 \times 10^{-3} \sim 2 \times 10^{-2}$
亚 粘 土	0.005~0.1	$6 \times 10^{-8} \sim 1 \times 10^{-4}$	粗 砂	20~50	$2 \times 10^{-2} \sim 6 \times 10^{-2}$
轻亚粘土	0.1~0.5	$1 \times 10^{-4} \sim 6 \times 10^{-4}$	圆 砾	50~100	$6 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-1}$
粉 砂	0.5~1.0	$6 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-3}$	卵 石	100~500	$1 \times 10^{-1} \sim 6 \times 10^{-1}$
细 砂	1.0~5	$1 \times 10^{-3} \sim 6 \times 10^{-3}$	多裂隙岩石	>60	> 7×10^{-2}

九、土的压缩性

土在压力作用下体积减小的性质叫土的压缩性。土的压缩主要是在荷载作用下，由土中水或气体所占孔隙体积减小而造成的。土的压缩性可通过测定土在不同压力下孔隙体积的变化，由压力与孔隙比之间的关系来确定。

土的压缩性通常用压缩系数 d_{1-2} 来表示， $d_{1-2} = \frac{e_1 - e_2}{p_2 - p_1}$ ，其单位是 $\text{cm}^2/\text{N}(100\text{MPa}^{-1})$ 。

d_{1-2} 表示压力为 $9.8 \sim 19.6 \text{N}/\text{cm}^2$ 作用下的压缩系数。 e_1 、 e_2 分别为在 p_1 、 p_2 压力下的孔隙比。

当 $d_{1-2} < 0.102 \text{MPa}^{-1}$ 时，属低压缩性土；

当 $0.102 < d_{1-2} < 0.510 \text{MPa}^{-1}$ 时，属中压缩性土；

当 $d_{1-2} \geq 0.510 \text{MPa}^{-1}$ 时，属高压缩性土。

工程上也常用室内试验求得的压缩模量 E_s 作为衡量土的压缩性的指标： $E_s =$

$\frac{1 + e_1}{d_{1-2}}$ (MPa)。地基土按 E_s 值划分压缩性等级，参见表 1-3。

表 1-3 地基土按 E_s 值划分压缩性等级

E_s (MPa)	2~4	4~7.5	7.5~11	11~15	>15
压缩性等级	高压缩性	中高压缩性	中压缩性	中低压缩性	低压缩性

十、土的抗剪强度

土的抗剪强度是指土体抵抗剪切滑动的极限强度。土体的抗剪强度与作用在它上面的法向应力及土的内摩擦角 ϕ 有关。土的内摩擦角 ϕ 与土的密实度、颗粒大小、形状、粗糙程度等因素有关。一般来说，土愈密实、土粒愈大、形状愈不规则、表面愈粗糙，则 ϕ 值