

建设工程质量检测人员岗位培训教材

INSPECTION OF FOUNDATION  
ENGINEERING

建筑地基基础

工程检测

贵州省建设工程质量检测协会 组织编写

中国建筑工业出版社

建设工程质量检测人员岗位培训教材

# 建筑地基基础工程检测

贵州省建设工程质量检测协会 组织编写

中国建筑工业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

建筑地基基础工程检测/贵州省建设工程质量检测协会组织编写. —北京: 中国建筑工业出版社, 2018.9  
建设工程质量检测人员岗位培训教材  
ISBN 978-7-112-22398-5

I. ①建… II. ①贵… III. ①地基-基础(工程)-质量检验-岗位培训-教材 IV. ①TU47

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 142504 号

本书是建设工程质量检测人员培训丛书的一个分册, 按照国家《建设工程质量检测管理办法》的要求, 依据相关国家技术法规、技术规范及标准等编写完成。主要内容有: 土力学基本知识、地基基础基本知识、地基及复合地基承载力检测、基桩检测基本规定、基桩承载力静载试验、基桩承载力高应变检测、基桩完整性检测、锚杆承载力检测、建筑基坑工程监测和土工试验等。

本书为建设工程质量检测人员培训教材, 也可供从事建设工程设计、施工、质监、监理等工程技术人员参考, 还可作为高等职业院校、高等专科学校教学参考用书。

责任编辑: 胡永旭 范业庶 杨杰

责任设计: 李志立

责任校对: 刘梦然

## 建设工程质量检测人员岗位培训教材 建筑地基基础工程检测

贵州省建设工程质量检测协会 组织编写

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京建筑工业出版社印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 20 $\frac{3}{4}$  字数: 516 千字

2018 年 11 月第一版 2018 年 11 月第一次印刷

定价: 58.00 元

ISBN 978-7-112-22398-5

(31677)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

# 建设工程质量检测人员岗位培训教材 编写委员会委员名单

主任委员：杨跃光

副主任委员：李泽晖 许家强 谢文辉 梁 余 宫毓敏 谢雪梅  
王林枫 陈纪山 姚家惠

委 员：（按姓氏笔画排序）

王 转 王 霖 龙建旭 卢云祥 冉 群 朱 孜  
李荣巧 李家华 周元敬 黄质宏 詹黔花 潘金和

## 本书主编

黄质宏 詹黔花

## 丛书前言

建设工程质量检测是指依据国家有关法律、法规、工程建设强制性标准和设计文件，对建设工程材料质量、工程实体施工质量以及使用功能等进行检验检测，客观、准确、及时的检测数据是指导、控制和评定工程质量的科学依据。

随着我国城镇化政策的推进和国民经济的快速发展，各类建设规模日益增大，与此同时，建设工程领域内的有关法律、法规和标准规范逐步完善，人们对建筑工程质量的要求也在不断提高，建设工程质量检测随着全社会质量意识的不断提高而日益受到关注。因此，加强建设工程质量的检验检测工作管理，充分发挥其在质量控制、评定中的重要作用，已成为建设工程质量管理的重要手段。

工程质量检测是一项技术性很强的工作，为了满足建设工程检测行业发展的需求，提高工程质量检测技术水平和从业人员的素质，加强检测技术业务培训，规范建设工程质量检测行为，依据《建设工程质量检测管理办法》、《建设工程检测试验技术管理规范》和《房屋建筑和市政基础设施工程质量检测技术管理规范》等相关标准、规范，按照科学性、实用性和可操作性的原则，结合检测行业的特点编写本套教材。

本套教材共分6个分册，分别为：《建筑材料检测》、《建筑地基基础工程检测》、《建筑主体结构工程检测》、《建筑钢结构工程检测》、《民用建筑工程室内环境污染检测》和《建筑幕墙工程检测》。全书内容丰富、系统、涵盖面广，每本用书内容相对独立、完整、自成体系，并结合我国目前建设工程质量检测的新技术和相关标准、规范，系统介绍了建设工程质量检测的概论、检测基本知识、基本理论和操作技术，具有较强的实用性和可操作性，基本能够满足建设工程质量检测的实际需求。

本套教材为建设工程质量检测人员培训教材，也可供从事建设工程设计、施工、质监、监理等工程技术人员参考，还可作为高等职业院校、高等专科学校教学参考用书。

本套教材在编写过程中参阅、学习了许多文献和有关资料，但错漏之处在所难免，敬请谅解。关于本教材的错误或不足之处，诚挚希望广大读者在学习使用过程中及时发现的问题函告我们，以便进一步修改、补充。该培训教材在编写过程中得到了贵州省住房和城乡建设厅、和有关专家的大力支持，在此一并致谢。

# 前 言

基础工程是建筑工程的重要组成部分，万丈高楼从地起，地基基础的工程质量直接关系到整个建筑物的结构安全，与人民生命财产安全。

由于受地形、地质条件的影响，建筑地基基础形式多样，且具有高度的隐蔽性，从而使得地基基础工程的施工比上部结构更为复杂，更容易存在安全隐患。大量事实表明，建筑工程质量问题和重大质量事故多与地基基础工程质量有关，地基基础工程质量一直倍受建设、设计、施工、勘察、监理各方及建设行政主管部门的关注，而地基基础工程检测在工程质量控制、评定中将起到重要作用。

本教材为建设工程质量检测人员岗位培训丛书的一个分册，在编写过程中结合行业特点，依据相应的检测标准、规范及规程等，较全面、系统地阐述了土力学、地基基础的基本概念、基本理论、地基基础的检测内容、检测方法及评价原则等内容，读者通过本教材的学习，提高对建筑地基基础工程检测的认识，掌握地基基础工程检测的基本理论、基本知识和基本方法。

本教材的主要内容为：第1、2章简述土力学、地基基础基本知识；第3章介绍地基及复合地基承载力检测；第4章介绍基桩检测基本规定；第5章介绍基桩承载力静载试验方法；第6章介绍基桩承载力高应变检测方法；第7章介绍基桩完整性检测；第8章介绍锚杆承载力检测；第9章介绍建筑基坑工程监测；第10章介绍土工试验。

本教材内容丰富、资料翔实，具有较好的实用性和可操作性，可供建筑地基基础工程检测鉴定及与此相关的设计、施工、科研、监理、大专院校等单位人员使用。

本书由黄质宏、詹黔花、帅海乐、宋勇、戴自然、张克利、韩力、龙举、黄彦森、陆红娜、都璨、王田龙、浦少云、郑红超、陈俊生、穆锐、刘一宏编写。在各章编写的基础上，黄质宏负责1、2、4、5、6、9章的统稿，詹黔花负责3、7、8、10章的统稿。贵州大学土木工程学院硕士研究生浦少云、郑红超、穆锐、陈俊生和刘一宏等同学参加了书稿的编写、整理工作。

本教材的编写过程中尽管参阅、学习了许多文献和有关资料，但错漏之处在所难免，敬请谅解。关于本教材的错误或不足之处，欢迎专家及同行们指正。

# 目 录

<b>第1章 土力学基本知识</b> .....	1
<b>1.1 地基土的物理力学指标</b> .....	1
1.1.1 土的组成 .....	1
1.1.2 土的颗粒级配 .....	1
1.1.3 土的三相基本指标 .....	2
<b>1.2 地基土的工程分类</b> .....	5
1.2.1 岩石 .....	6
1.2.2 碎石土 .....	6
1.2.3 砂土 .....	6
1.2.4 黏性土 .....	7
1.2.5 粉土 .....	7
1.2.6 人工填土 .....	7
<b>1.3 土的压缩性</b> .....	7
1.3.1 土的压缩性与压缩指标 .....	7
1.3.2 土层的压缩性计算 .....	9
1.3.3 应力历史对地基沉降的影响 .....	10
1.3.4 饱和黏土的渗透固结理论 .....	10
<b>1.4 地基土的抗剪强度</b> .....	11
1.4.1 土的抗剪强度测定方法 .....	12
1.4.2 土的抗剪强度理论 .....	15
<b>第2章 地基基础基本知识</b> .....	18
<b>2.1 地基承载力</b> .....	18
2.1.1 地基的失稳破坏 .....	18
2.1.2 地基承载力的确定方法 .....	19
<b>2.2 浅基础</b> .....	22
2.2.1 地基基础方案及其选择 .....	22
2.2.2 浅基础类型 .....	23
2.2.3 基础选型 .....	27
2.2.4 基础底面尺寸的确定 .....	28
2.2.5 软弱下卧层承载力验算 .....	29
<b>2.3 桩基础</b> .....	30

2.3.1	概述	30
2.3.2	桩的分类	31
2.3.3	桩的承载机理	34
2.3.4	桩基设计计算基本知识	37
2.3.5	常见桩的施工基本知识	45
2.3.6	常用桩的常见质量问题	47
<b>2.4</b>	<b>地基处理</b>	<b>50</b>
2.4.1	概述	50
2.4.2	常见不良地基土及其特点	50
2.4.3	换填垫层法	53
2.4.4	压实法与夯实法	53
2.4.5	复合地基法	54
2.4.6	注浆法	56
2.4.7	微型桩法	56
<b>第3章</b>	<b>地基及复合地基承载力检测</b>	<b>57</b>
<b>3.1</b>	<b>基本规定</b>	<b>57</b>
3.1.1	一般规定	57
3.1.2	检测方法	58
3.1.3	检测报告	59
<b>3.2</b>	<b>土(岩)地基载荷试验</b>	<b>59</b>
3.2.1	一般规定	59
3.2.2	试验仪器设备及其安装	60
3.2.3	试验方法	62
3.2.4	现场检测试验要点	63
3.2.5	检测数据分析与判定	64
<b>3.3</b>	<b>复合地基载荷试验</b>	<b>66</b>
3.3.1	一般规定	66
3.3.2	试验仪器设备及其安装	66
3.3.3	现场检测试验要点	67
3.3.4	检测数据分析与判定	67
<b>3.4</b>	<b>竖向增强体载荷试验</b>	<b>68</b>
3.4.1	一般规定	68
3.4.2	试验仪器设备及其安装	68
3.4.3	现场检测试验要点	68
3.4.4	检测数据分析与判定	69
<b>3.5</b>	<b>动力触探试验</b>	<b>69</b>
3.5.1	设备仪器及其安装	70
3.5.2	现场检测	70



3.5.3	检测数据分析与判定	71
3.5.4	试验成果应用	72
<b>3.6</b>	<b>工程实例</b>	<b>73</b>
3.6.1	工程实例一：浅层平板载荷试验	73
3.6.2	工程实例二：深层平板载荷试验	76
<b>第4章</b>	<b>基桩检测基本规定</b>	<b>81</b>
<b>4.1</b>	<b>一般规定</b>	<b>81</b>
4.1.1	检测项目	81
4.1.2	检测方法	81
4.1.3	检测时机	83
4.1.4	检测开始时间	85
<b>4.2</b>	<b>检测工作程序</b>	<b>86</b>
4.2.1	接受委托	86
4.2.2	调查、资料收集	86
4.2.3	制定检测方案	86
4.2.4	检查仪器设备	87
4.2.5	现场准备	87
<b>4.3</b>	<b>检测方法分类</b>	<b>87</b>
4.3.1	基桩完整性检测方法	88
4.3.2	基桩承载力检测方法	88
<b>4.4</b>	<b>检测规则与检测数量</b>	<b>89</b>
4.4.1	检测抽样规则	89
4.4.2	检测抽样数量	90
<b>4.5</b>	<b>验证与扩大检测</b>	<b>93</b>
4.5.1	验证检测	93
4.5.2	扩大检测	94
<b>4.6</b>	<b>检测结果评价和检测报告</b>	<b>94</b>
4.6.1	检测结果评价	94
4.6.2	检测报告	95
<b>4.7</b>	<b>检测的若干问题</b>	<b>96</b>
4.7.1	基桩检测工作的特点	96
4.7.2	各检测方法的优点	97
4.7.3	基桩检测工作中对勘察报告的关注要点	101
<b>第5章</b>	<b>基桩承载力静载试验</b>	<b>103</b>
<b>5.1</b>	<b>概述</b>	<b>103</b>
<b>5.2</b>	<b>单桩竖向抗压静载试验</b>	<b>103</b>
5.2.1	一般规定	103

5.2.2	设备仪器及其安装	103
5.2.3	现场检测	109
5.2.4	检测数据分析与判定	112
<b>5.3</b>	<b>单桩竖向抗拔静载试验</b>	<b>116</b>
5.3.1	一般规定	116
5.3.2	设备仪器及其安装	117
5.3.3	现场检测	118
5.3.4	检测数据分析与判定	120
<b>5.4</b>	<b>单桩水平静载试验</b>	<b>121</b>
5.4.1	一般规定	121
5.4.2	设备仪器及其安装	121
5.4.3	现场检测	123
5.4.4	检测数据分析与判定	124
<b>5.5</b>	<b>自平衡法静载试验</b>	<b>127</b>
5.5.1	概述	127
5.5.2	设备仪器及其安装	128
5.5.3	现场检测	129
5.5.4	检测数据分析与判定	130
5.5.5	工程案例	133
<b>第6章</b>	<b>基桩承载力高应变检测</b>	<b>136</b>
<b>6.1</b>	<b>概述</b>	<b>136</b>
6.1.1	高应变的发展历史	136
6.1.2	高应变与低应变的划分	137
<b>6.2</b>	<b>高应变承载力检测原理</b>	<b>138</b>
6.2.1	利用叠加原理的打桩总阻力估算公式	138
6.2.2	凯司承载力计算方法	139
<b>6.3</b>	<b>高应变基桩完整性检测原理</b>	<b>143</b>
<b>6.4</b>	<b>仪器设备</b>	<b>145</b>
6.4.1	传感器	145
6.4.2	基桩动测仪	147
6.4.3	冲击设备	149
<b>6.5</b>	<b>现场检测技术</b>	<b>151</b>
6.5.1	现场准备与桩身处理	151
6.5.2	传感器安装	153
6.5.3	锤击系统的选择与使用	156
6.5.4	信号采集与信号质量的判断	159
<b>6.6</b>	<b>检测数据的分析与判定</b>	<b>162</b>
6.6.1	分析前的信号选取	162

6.6.2	桩身平均波速的确定以及相应的应变力信号调整 .....	163
6.6.3	实测力和速度信号第一峰比例失调 .....	164
6.6.4	对波形直观判断的重要性 .....	164
6.6.5	实测曲线拟合法判定单桩承载力 .....	165
6.6.6	主要土参数变化对拟合曲线的影响 .....	166
6.6.7	凯司法判定单桩承载力 .....	168
6.6.8	动测承载力的系统和单桩竖向抗压承载力的确定 .....	169
6.6.9	桩身完整性判定 .....	170
6.6.10	桩身最大锤击拉压应力 .....	170
6.6.11	检测报告的要求 .....	171
<b>6.7</b>	<b>工程实例 .....</b>	<b>171</b>
6.7.1	检测实例 .....	171
6.7.2	典型波形 .....	172
<b>6.8</b>	<b>关于高应变法检测的若干问题 .....</b>	<b>175</b>
6.8.1	关于“高应变法动力试桩承载力检测精度”的问题 .....	175
6.8.2	高应变法的适应范围 .....	176
6.8.3	高应变法动力试桩不能解决的桩基工程问题 .....	177
6.8.4	动力试桩中对桩身完整性检测的影响 .....	177
<b>第7章</b>	<b>基桩完整性检测 .....</b>	<b>179</b>
<b>7.1</b>	<b>概述 .....</b>	<b>179</b>
<b>7.2</b>	<b>钻芯法检测 .....</b>	<b>180</b>
7.2.1	概述 .....	180
7.2.2	适用范围 .....	180
7.2.3	设备 .....	181
7.2.4	现场操作 .....	186
7.2.5	芯样试件截取与加工 .....	190
7.2.6	芯样试件抗压强度试验 .....	192
7.2.7	检测数据分析与判定 .....	193
7.2.8	工程实例 .....	196
<b>7.3</b>	<b>应力波基本理论 .....</b>	<b>199</b>
7.3.1	应力波概念 .....	199
7.3.2	直杆一维波动方程 .....	199
7.3.3	直杆一维波动方程的波动解 .....	200
7.3.4	应力波在杆件截面变化处的传播情况 .....	203
<b>7.4</b>	<b>低应变法 .....</b>	<b>207</b>
7.4.1	概述 .....	207
7.4.2	基本原理 .....	208
7.4.3	仪器设备 .....	210

7.4.4	现场检测	211
7.4.5	检测数据分析与结果判定	215
7.4.6	低应变检测工程实例	219
<b>7.5</b>	<b>声波透射法</b>	<b>222</b>
7.5.1	概述	222
7.5.2	仪器设备	222
7.5.3	检测技术	223
7.5.4	检测数据分析与结果判定	229
7.5.5	声波透射法检测混凝土灌注桩工程实例分析	239
<b>第8章</b>	<b>锚杆承载力检测</b>	<b>242</b>
<b>8.1</b>	<b>概述</b>	<b>242</b>
8.1.1	锚杆的定义与分类	242
8.1.2	锚杆的设计	244
8.1.3	锚杆的施工	247
8.1.4	锚杆的检测	248
<b>8.2</b>	<b>仪器设备及其安装</b>	<b>249</b>
8.2.1	仪器设备	249
8.2.2	安装要求	250
<b>8.3</b>	<b>基本试验</b>	<b>253</b>
8.3.1	一般规定	253
8.3.2	现场检测	253
8.3.3	检测数据分析与判断	257
<b>8.4</b>	<b>验收试验</b>	<b>259</b>
8.4.1	一般规定	259
8.4.2	现场检测	260
8.4.3	检测数据分析与判定	261
<b>8.5</b>	<b>蠕变试验</b>	<b>263</b>
8.5.1	一般规定	263
8.5.2	蠕变试验	264
8.5.3	检测数据分析与判定	264
<b>第9章</b>	<b>建筑基坑工程监测</b>	<b>266</b>
<b>9.1</b>	<b>概述</b>	<b>266</b>
<b>9.2</b>	<b>基本规定</b>	<b>267</b>
9.2.1	监测要求	267
9.2.2	监测工作程序	267
9.2.3	监测方案	268
<b>9.3</b>	<b>监测项目</b>	<b>269</b>

9.3.1	监测对象	269
9.3.2	仪器监测	270
9.3.3	巡视检查	270
<b>9.4</b>	<b>监测方法及精度要求</b>	<b>271</b>
9.4.1	水平位移监测	271
9.4.2	竖向位移监测	273
9.4.3	结构内力监测	274
9.4.4	倾斜监测	277
9.4.5	裂缝监测	277
9.4.6	地下水位监测	278
9.4.7	高新技术监测	278
<b>9.5</b>	<b>监测周期频率及预警预报</b>	<b>280</b>
9.5.1	监测周期	280
9.5.2	监测频率	281
9.5.3	预警预报	282
<b>9.6</b>	<b>数据处理与信息反馈</b>	<b>285</b>
9.6.1	数据处理	285
9.6.2	信息反馈	285
<b>第10章</b>	<b>土工试验</b>	<b>287</b>
<b>10.1</b>	<b>土的密度试验、土的比重试验</b>	<b>287</b>
10.1.1	土的密度试验	287
10.1.2	土的比重试验	288
<b>10.2</b>	<b>含水率(含水量)与液塑限试验</b>	<b>290</b>
10.2.1	试验目的	290
10.2.2	试验内容	290
10.2.3	试验方法	290
10.2.4	试验仪器设备	290
10.2.5	试验步骤	291
10.2.6	试验成果整理	292
<b>10.3</b>	<b>土的击实试验</b>	<b>293</b>
10.3.1	试验目的	294
10.3.2	试验内容	294
10.3.3	试验方法	294
10.3.4	试验仪器设备	294
10.3.5	试验步骤	295
<b>10.4</b>	<b>土的渗透试验</b>	<b>297</b>
10.4.1	常水头渗透试验	298
10.4.2	变水头渗透试验	301

---

<b>10.5 土的固结（压缩）试验</b> .....	302
10.5.1 试验目的.....	302
10.5.2 试验方法.....	302
10.5.3 仪器设备.....	302
10.5.4 试验步骤.....	303
10.5.5 成果整理.....	304
<b>10.6 土的直接剪切试验（快剪）</b> .....	306
10.6.1 试验目的.....	306
10.6.2 试验方法.....	306
10.6.3 仪器设备.....	306
10.6.4 试验步骤.....	307
10.6.5 成果整理.....	308
<b>10.7 土的三轴剪切试验</b> .....	309
10.7.1 试验目的.....	310
10.7.2 试验方法.....	310
10.7.3 仪器设备.....	310
10.7.4 试验步骤.....	311
参考文献 .....	317

# 第 1 章 土力学基本知识

## 1.1 地基土的物理力学指标

### 1.1.1 土的组成

土是原岩经过风化（物理、化学、生物）后，在各种地质作用搬运、剥蚀、沉积形成的产物。是由固体土颗粒、水、空气组成的三相体，这三种成分混合分布。为了研究方便，将三相指标分别集中起来考虑，如图 1-1 所示。

图 1-1 中：

$V$ —土的总体积；

$V_v$ —土中孔隙体积；

$V_w$ —土中水的体积；

$V_a$ —土中气体的体积；

$V_s$ —土中固体土粒的体积；

$m$ —土的总质量；

$m_w$ —土中水的质量；

$m_a$ —土中气体的质量， $m_a \approx 0$ ；

$m_s$ —土中固体土颗粒的质量。

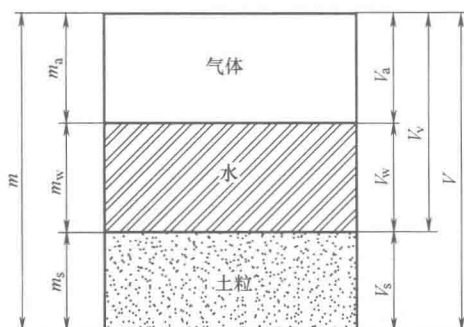


图 1-1 三相草图

固体土颗粒一般由矿物质组成，分为无机矿物颗粒和有机质，其中矿物颗粒的又分为由岩浆在冷凝过程中形成的原生矿物和原岩经过风化作用而形成的次生矿物，土颗粒构成土体骨架，称为土骨架。土骨架间布满相互贯通的孔隙。孔隙中会存在一定量的水，存在的水按照存在形态分为液态水、固态水和气态水三大类。

### 1.1.2 土的颗粒级配

自然界中存在的土，都是由大小不同的土粒组成。绝大多数土粒，大小悬殊、性质各异，直径变化幅度很大，土粒的粒径由粗到细逐渐变化时，土的性质相应地发生变化。为研究土中各种大小土粒的相对含量及其与土的工程地质性质的关系，就有必要将工程地质性质相似的土粒归并成组，按其粒径的大小分为若干组别，这种组别称粒组，划分粒组的分界尺寸称为界限粒径。目前土的粒组划分方法并不完全一致，我国根据界限粒径 200、60、2、0.075 和 0.005mm 把土粒分为六大粒组：漂石（块石）颗粒、卵石（碎石）颗粒、圆砾（角砾）颗粒、砂粒，粉粒及黏粒。

工程上常以土中各个粒组的相对含量（即各粒组占土粒总重的百分数）表示土中颗粒的组成情况，这种相对含量称为土的颗粒级配，土的颗粒级配是通过土的颗粒大小分析试

验测定的，用级配曲线表示，如图 1-2 所示土的颗粒级配曲线级配情况，利用级配曲线可以求得不均匀系数  $C_u$ 、曲率系数  $C_c$  以判断土的级配情况。

不均匀系数：粒径级配曲线上，纵坐标 10% 所对应的粒径称为有效粒径；纵坐标为 60% 所对应的粒径  $d_{60}$  称为限定粒径； $d_{60}$  与  $d_{10}$  的比值称为不均匀系数  $C_u$ ，即

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \tag{1-1}$$

不均匀系数  $C_u$  为表示土颗粒组成的重要特征。当  $C_u$  很小时曲线很陡，表示土均匀；当  $C_u$  很大时曲线平缓，表示土的级配良好。

曲率系数  $C_c$  为表示土颗粒组成的又一特征， $C_c$  按式 (1-2) 计算：

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \times d_{60}} \tag{1-2}$$

式中  $d_{30}$  为粒径级配曲线上纵坐标为 30% 所对应的粒径。

砾石和砂土级配  $C_u \geq 5$  且  $C_c = 1 \sim 3$  为级配良好；级配不同时满足这两个要求则为级配不良。

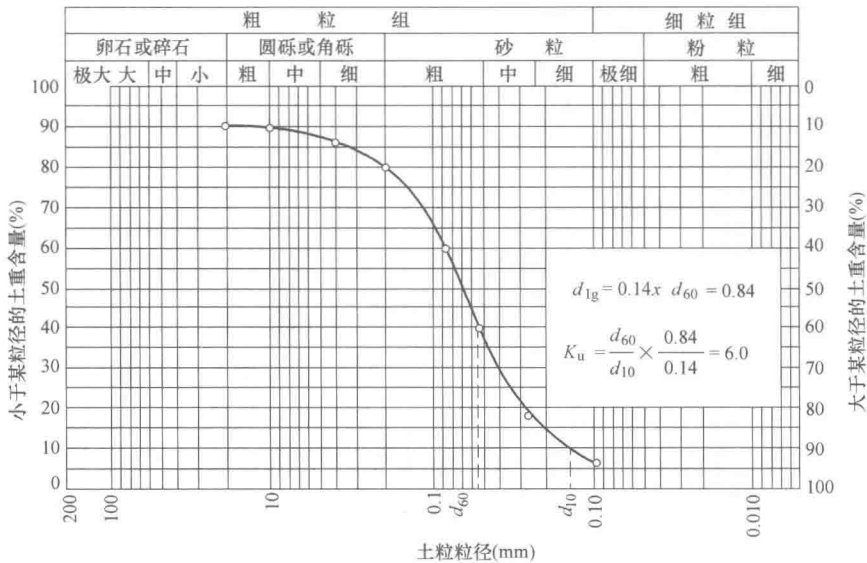


图 1-2 土的颗粒级配曲线

### 1.1.3 土的三相基本指标

#### 1. 直测指标

土的物理指标，就必须通过实验室的试验测定。通常做三个基本物理性质试验，它们是：土的密度试验，土粒比重或相对密度试验，土的含水量试验。

#### (1) 土的密度和重度

土的密度定义为单位体积土的质量，通常用“环刀法”测定该指标，用  $\rho$  ( $\text{mg}/\text{m}^3$  或  $\text{g}/\text{cm}^3$ ) 表示



$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-3)$$

天然状态下土的密度变化范围较大。一般黏性土和粉土  $\rho = 1.8 \sim 2.0 \text{g/cm}^3$ ；砂土  $\rho = 1.6 \sim 2.0 \text{g/cm}^3$ ；腐殖土  $\rho = 1.5 \sim 1.7 \text{g/cm}^3$ 。

土的重度定义为单位体积土的重量，是重力的函数，用  $\gamma$  表示，以  $\text{kN/m}^3$  计：

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{mg}{V} = \rho \cdot g \quad (1-4)$$

式中  $G$  为土的重量， $g$  为重力加速度， $g = 9.80665 \text{m/s}^2$ ，工程上为了计算方便，有时取  $g = 10 \text{m/s}^2$ 。

## (2) 土粒相对密度

土粒密度（单位体积土粒的质量）与  $4^\circ\text{C}$  时纯水密度之比，称为土粒相对密度（过去习惯上叫比重），用  $d_s$  表示，为无量纲量，即

$$d_s = \frac{m_s}{V} \cdot \frac{1}{\rho_{w_1}} = \rho_s / \rho_{w_1} \quad (1-5)$$

式中  $\rho_{w_1}$  为  $4^\circ\text{C}$  时纯水的密度， $\rho_{w_1} = 1 \text{g/cm}^3$ ； $\rho_s$  为土粒的密度，即单位体积土粒的质量。故实用上，土粒相对密度在数值上等于土粒的密度。

土粒相对密度（或比重）可在试验室内用比重瓶法测定。由于土粒相对密度变化不大，通常可按经验数值选用。

## (3) 土的含水量

土的含水量定义为土中水的质量与土粒质量之比，一般用“烘干法”测定，用  $w$  表示，以百分数计，即：

$$w = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% = \frac{m - m_s}{m_s} \times 100\% \quad (1-6)$$

含水量  $w$  是标志土的湿度的一个重要物理指标。天然土层的含水量变化范围很大，它与土的种类、埋藏条件及其所处的自然地理环境等有关。一般说来，对同一类土，当其含水量增大时，则其强度就降低。

## 2. 间接换算指标

在测定土的密度  $\rho$ 、土粒相对密度  $d_s$  和土的含水量  $w$  这三个基本指标后，间接指标就可以通过直测指标换算出来，几种间接换算指标定义如下。

### (1) 表示土中孔隙含量的指标

工程上常用孔隙比  $e$  或孔隙率  $n$  表示土中孔隙的含量。孔隙比  $e$  定义为土中孔隙体积  $V_v$  与土粒体积  $V_s$  之比，即

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (1-7)$$

孔隙比用小数表示，它是一个重要的物理性能指标，可用来评价天然土层的密实程度。一般地， $e < 0.6$  的土是密实的低压缩性土， $e > 1.0$  的土是疏松的高压缩性土。孔隙率  $n$  定义为土中孔隙体积与土总体积之比，以百分数计，即：

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100\% \quad (1-8)$$

### (2) 表示土中含水程度的指标