

# 地基基础工程



化学工业出版社

## 施工现场

## 细节详解

DJJI JICHU GONGCHENG

SHIGONG XIANCHANG

XIJIE XIANGJIE

黄梅 ● 主编

施  
工  
现  
场  
细  
节  
详  
解  
从  
书



# 地基基础工程

## 施工现场 细节详解

黄梅○主编

施工现场  
细节  
详解  
丛书



化学工业出版社  
· 北京 ·

黄心管 黄心管

本书以现行国家标准、行业规范为依据,详细介绍了地基基础工程施工人员应掌握的施工细节以及施工过程中应避免的问题。主要内容包括基础知识、地基工程、桩基础工程、土方工程、基坑工程等。

本书可供从事地基基础工程施工技术人员、施工现场管理人员以及大中专院校相关专业师生学习参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

地基基础工程施工现场细节详解/黄梅主编. —北京:  
化学工业出版社, 2013. 1  
(施工现场细节详解丛书)  
ISBN 978-7-122-15574-0

I. ①地… II. ①黄… III. ①地基-基础(工程)-施  
工现场-施工管理 IV. ①TU753

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 244214 号

---

责任编辑: 徐 娟  
责任校对: 蒋 宇

装帧设计: 刘丽华

---

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码  
100011)

印 刷: 北京市振南印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

850mm×1168mm 1/32 印张 8½ 字数 232 千字

2013 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

# 编写人员名单

主    编：黄  梅

参编人员：王文胜  王  霞  代  斌  田文静  
            刘  怡  吕  军  孙奇涵  朱永新  
            吴善喜  张文权  金  慧  杨丕鑫  
            解兆谦  黄  梅

## 前言

随着我国经济的快速发展,建筑物的设计和架构日新月异,在满足人们的行为所需的同时,也给人类的进步和发展提供了依据。虽然各种各样的建筑物在人们强大的想象力下被建造了起来,但每个建筑物都少不了一个重要的工程施工,那便是地基基础工程,它是建筑工程的重要组成部分,施工技术复杂、难度大、工期长。近几年全国各地兴建起了大量现代化建筑,促进了建筑施工领域新技术、新工艺的不断发展。与此同时,许多新的设计规范、施工规范、技术规程及有关规定相继发布实施。每一位施工人员的技术水平、处理现场突发事件的能力直接关系着施工现场工程施工的质量、进度、成本、安全以及工程项目的按期完成。为了满足广大从事地基基础工程施工技术人员的实际要求,我们编写了此书。

本书以“细节”为主线对内容进行编排和组织。全书共分为五章,主要内容包括基础知识、地基工程、桩基础工程、土方工程、基坑工程。本书具有很强的针对性,注重实际经验的运用;结构体系上重点突出、详略得当,注重知识的融贯性,突出了整合性的编写原则。

编者在编写本书的过程中参考了许多优秀书籍、专著等资料,并得到了有关业内人士的大力支持,在此表示衷心的感谢。由于编者的经验和学识有限,尽管编者尽心尽力、反复推敲核实,但仍不免有疏漏之处,恳请广大读者提出宝贵意见,以便做进一步修改和完善。

编者

2012年10月

|                  |    |
|------------------|----|
| <b>1 基础知识</b>    | 1  |
| 1.1 土的工程性质       | 1  |
| 细节 1 土的组成        | 1  |
| 细节 2 土的分类        | 2  |
| 细节 3 土的相关工程性质    | 3  |
| 1.2 常用建筑材料要求     | 6  |
| 细节 4 水泥质量标准      | 6  |
| 细节 5 粉煤灰质量标准     | 9  |
| 细节 6 混凝土用砂、石质量标准 | 9  |
| <b>2 地基工程</b>    | 16 |
| 2.1 地基工程特点       | 16 |
| 细节 7 地基分类及特点     | 16 |
| 细节 8 常见不良地基      | 21 |
| 细节 9 地基处理的原则     | 24 |
| 2.2 灰土地基         | 25 |
| 细节 10 灰土地基材料要求   | 25 |
| 细节 11 灰土地基作业条件   | 26 |
| 细节 12 灰土地基施工工艺   | 26 |

|       |                      |    |
|-------|----------------------|----|
| 细节 13 | 灰土地基施工注意要点 .....     | 29 |
| 2.3   | 砂和砂石地基 .....         | 29 |
| 细节 14 | 砂和砂石地基材料要求 .....     | 30 |
| 细节 15 | 砂和砂石地基作业条件 .....     | 30 |
| 细节 16 | 砂和砂石地基施工工艺 .....     | 31 |
| 细节 17 | 砂和砂石地基施工注意要点 .....   | 33 |
| 2.4   | 土工合成材料地基 .....       | 33 |
| 细节 18 | 土工合成材料地基材料要求 .....   | 33 |
| 细节 19 | 土工合成材料地基基层处理 .....   | 34 |
| 细节 20 | 土工合成材料铺放 .....       | 34 |
| 细节 21 | 土工合成材料地基的回填 .....    | 35 |
| 细节 22 | 土工合成材料地基施工注意要点 ..... | 36 |
| 2.5   | 粉煤灰地基 .....          | 37 |
| 细节 23 | 粉煤灰地基材料要求 .....      | 37 |
| 细节 24 | 粉煤灰地基施工工艺 .....      | 38 |
| 细节 25 | 粉煤灰地基施工注意要点 .....    | 38 |
| 2.6   | 强夯地基 .....           | 39 |
| 细节 26 | 强夯地基施工参数选择 .....     | 39 |
| 细节 27 | 强夯地基施工机具设备 .....     | 43 |
| 细节 28 | 强夯地基施工工艺 .....       | 46 |
| 细节 29 | 强夯地基施工注意要点 .....     | 48 |
| 2.7   | 注浆地基 .....           | 49 |
| 细节 30 | 注浆地基分类及特点 .....      | 49 |
| 细节 31 | 水泥注浆地基 .....         | 50 |
| 细节 32 | 硅化注浆地基 .....         | 52 |
| 细节 33 | 注浆地基施工注意要点 .....     | 55 |
| 2.8   | 预压地基 .....           | 55 |
| 细节 34 | 预压地基材料要求 .....       | 55 |
| 细节 35 | 预压地基作业条件 .....       | 56 |
| 细节 36 | 堆载预压法 .....          | 57 |

|       |                         |    |
|-------|-------------------------|----|
| 细节 37 | 真空预压法 .....             | 65 |
| 细节 38 | 预压地基施工注意要点 .....        | 70 |
| 2.9   | 振冲地基 .....              | 70 |
| 细节 39 | 振冲地基施工机具要求 .....        | 71 |
| 细节 40 | 振冲地基作业条件 .....          | 72 |
| 细节 41 | 振冲密实法 .....             | 73 |
| 细节 42 | 振冲置换法 .....             | 75 |
| 细节 43 | 试桩 .....                | 76 |
| 细节 44 | 造孔 .....                | 77 |
| 细节 45 | 填料 .....                | 78 |
| 细节 46 | 加密 .....                | 78 |
| 细节 47 | 振冲地基施工注意要点 .....        | 79 |
| 2.10  | 高压喷射注浆地基 .....          | 80 |
| 细节 48 | 高压喷射注浆地基施工机具要求 .....    | 81 |
| 细节 49 | 高压喷射注浆地基施工工艺 .....      | 82 |
| 细节 50 | 高压喷射注浆地基施工注意要点 .....    | 84 |
| 2.11  | 水泥土搅拌桩地基 .....          | 85 |
| 细节 51 | 水泥土搅拌桩地基施工机具要求 .....    | 86 |
| 细节 52 | 水泥土搅拌桩地基湿法作业 .....      | 87 |
| 细节 53 | 水泥土搅拌桩地基干法作业 .....      | 88 |
| 2.12  | 土和灰土挤密桩复合地基 .....       | 89 |
| 细节 54 | 土和灰土挤密桩复合地基施工机具要求 ..... | 89 |
| 细节 55 | 成孔 .....                | 90 |
| 细节 56 | 桩孔夯填 .....              | 95 |
| 2.13  | 水泥粉煤灰碎石桩复合地基 .....      | 96 |
| 细节 57 | 水泥粉煤灰碎石桩复合地基作业条件 .....  | 97 |
| 细节 58 | 钻孔施工 .....              | 97 |
| 细节 59 | 混凝土搅拌 .....             | 98 |
| 细节 60 | 地泵输送混凝土 .....           | 98 |
| 细节 61 | 压灌混凝土成桩 .....           | 98 |



|       |                          |     |
|-------|--------------------------|-----|
| 细节 62 | 开槽挖土 .....               | 99  |
| 细节 63 | 桩头处理 .....               | 99  |
| 细节 64 | 铺设褥垫层 .....              | 100 |
| 细节 65 | 水泥粉煤灰碎石桩复合地基施工注意要点 ..... | 101 |
| 2.14  | 夯实水泥土桩复合地基 .....         | 102 |
| 细节 66 | 夯实水泥土桩复合地基作业条件 .....     | 102 |
| 细节 67 | 夯实水泥土桩复合地基施工工艺 .....     | 103 |
| 细节 68 | 夯实水泥土桩复合地基施工注意要点 .....   | 103 |
| 2.15  | 砂桩地基 .....               | 104 |
| 细节 69 | 砂桩地基施工机具要求 .....         | 104 |
| 细节 70 | 砂桩地基作业条件 .....           | 105 |
| 细节 71 | 砂桩地基施工工艺 .....           | 106 |
| 细节 72 | 砂桩地基施工注意要点 .....         | 107 |

---

### ③ 桩基础工程 .....

---

|       |                  |     |
|-------|------------------|-----|
| 3.1   | 概述 .....         | 109 |
| 细节 73 | 桩的分类 .....       | 109 |
| 细节 74 | 桩的选型 .....       | 114 |
| 细节 75 | 影响桩型选择的因素 .....  | 115 |
| 3.2   | 静力压桩 .....       | 118 |
| 细节 76 | 静力压桩材料要求 .....   | 118 |
| 细节 77 | 静力压桩作业条件 .....   | 119 |
| 细节 78 | 压桩机就位 .....      | 119 |
| 细节 79 | 吊桩插桩 .....       | 120 |
| 细节 80 | 静压成桩 .....       | 120 |
| 细节 81 | 接桩 .....         | 121 |
| 细节 82 | 终止压桩 .....       | 121 |
| 细节 83 | 静力压桩施工注意要点 ..... | 122 |
| 3.3   | 先张法预应力管桩 .....   | 123 |

|        |                          |     |
|--------|--------------------------|-----|
| 细节 84  | 先张法预应力管桩构造与质量要求 .....    | 124 |
| 细节 85  | 先张法预应力管桩施工工艺 .....       | 126 |
| 细节 86  | 先张法预应力管桩施工注意要点 .....     | 128 |
| 3.4    | 混凝土预制桩 .....             | 130 |
| 细节 87  | 混凝土预制桩主要机具 .....         | 130 |
| 细节 88  | 起吊、运输和堆放 .....           | 138 |
| 细节 89  | 混凝土预制桩打桩顺序 .....         | 139 |
| 细节 90  | 混凝土预制桩施工工艺 .....         | 140 |
| 细节 91  | 混凝土预制桩施工注意要点 .....       | 142 |
| 3.5    | 钢桩 .....                 | 143 |
| 细节 92  | 钢桩材料要求 .....             | 144 |
| 细节 93  | 钢桩制作 .....               | 144 |
| 细节 94  | 钢桩的吊运 .....              | 145 |
| 细节 95  | 钢桩的堆放 .....              | 146 |
| 细节 96  | 钢桩打设 .....               | 146 |
| 细节 97  | 钢桩焊接 .....               | 146 |
| 3.6    | 混凝土灌注桩 .....             | 147 |
| 细节 98  | 钢筋笼制作与安装 .....           | 147 |
| 细节 99  | 混凝土灌注 .....              | 148 |
| 细节 100 | 冲击成孔灌注桩施工 .....          | 151 |
| 细节 101 | 振动沉管灌注桩施工 .....          | 153 |
| 细节 102 | 锤击沉管灌注桩施工 .....          | 155 |
| 细节 103 | 套管夯扩灌注桩施工 .....          | 155 |
| 细节 104 | 挤扩多分支承载力盘与多支盘灌注桩施工 ..... | 157 |
| 细节 105 | 长螺旋钻成孔灌注桩施工 .....        | 158 |
| 细节 106 | 人工挖孔混凝土灌注桩施工 .....       | 160 |
| 细节 107 | 旋挖成孔灌注桩施工 .....          | 165 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 4.1 土方开挖 .....          | 169 |
| 细节 108 常用土方机械 .....     | 169 |
| 细节 109 土方开挖作业条件 .....   | 171 |
| 细节 110 场地开挖 .....       | 172 |
| 细节 111 边坡开挖 .....       | 173 |
| 细节 112 基坑槽开挖 .....      | 173 |
| 细节 113 岩石基坑开挖 .....     | 176 |
| 细节 114 土方开挖施工注意要点 ..... | 176 |
| 4.2 土方回填 .....          | 178 |
| 细节 115 土方回填作业条件 .....   | 178 |
| 细节 116 填方压实方法 .....     | 179 |
| 细节 117 土方回填施工工艺 .....   | 180 |
| 细节 118 土方回填施工注意要点 ..... | 184 |

---

## 5 基坑工程 ..... 185

---

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 5.1 概述 .....                 | 185 |
| 细节 119 基坑工程的特点 .....         | 186 |
| 细节 120 基坑的支护结构的类型 .....      | 188 |
| 5.2 排桩墙支护工程 .....            | 190 |
| 细节 121 钢板桩排桩墙施工 .....        | 190 |
| 细节 122 灌注桩排桩墙施工 .....        | 194 |
| 细节 123 预制桩排桩墙施工 .....        | 195 |
| 细节 124 排桩墙支护工程施工注意要点 .....   | 197 |
| 5.3 水泥土桩墙支护工程 .....          | 198 |
| 细节 125 水泥土桩墙支护工程、材料要求 .....  | 198 |
| 细节 126 水泥土桩墙支护工程、作业条件 .....  | 201 |
| 细节 127 水泥土搅拌法施工 .....        | 201 |
| 细节 128 水泥土旋喷法施工 .....        | 202 |
| 细节 129 水泥土桩墙支护工程施工注意要点 ..... | 203 |

|        |                        |     |
|--------|------------------------|-----|
| 5.4    | 锚杆及土钉墙支护工程 .....       | 204 |
| 细节 130 | 锚杆及土钉墙支护工程作业条件 .....   | 205 |
| 细节 131 | 锚杆施工 .....             | 205 |
| 细节 132 | 土钉墙施工 .....            | 208 |
| 细节 133 | 锚杆及土钉墙支护工程施工质量控制 ..... | 211 |
| 5.5    | 钢或混凝土支撑系统 .....        | 213 |
| 细节 134 | 支撑系统构造 .....           | 213 |
| 细节 135 | 钢支撑施工 .....            | 217 |
| 细节 136 | 混凝土支撑系统施工 .....        | 218 |
| 5.6    | 地下连续墙 .....            | 219 |
| 细节 137 | 地下连续墙构造要求 .....        | 220 |
| 细节 138 | 地下连续墙施工机械 .....        | 221 |
| 细节 139 | 坡下连续墙作业条件 .....        | 225 |
| 细节 140 | 导墙施工 .....             | 225 |
| 细节 141 | 槽段开挖 .....             | 226 |
| 细节 142 | 泥浆的配制与使用 .....         | 227 |
| 细节 143 | 清底换浆 .....             | 229 |
| 细节 144 | 钢筋笼的制作与安放 .....        | 230 |
| 细节 145 | 施工接头 .....             | 230 |
| 细节 146 | 水下混凝土灌注 .....          | 231 |
| 细节 147 | 地下连续墙施工注意要点 .....      | 234 |
| 5.7    | 沉井与沉箱 .....            | 235 |
| 细节 148 | 沉井与沉箱作业条件 .....        | 235 |
| 细节 149 | 沉井(箱)制作 .....          | 235 |
| 细节 150 | 沉井(箱)下沉 .....          | 239 |
| 细节 151 | 沉井(箱)封底 .....          | 243 |
| 细节 152 | 沉井与沉箱施工注意要点 .....      | 244 |
| 5.8    | 降水与排水 .....            | 246 |
| 细节 153 | 降水与排水的作用及适用条件 .....    | 246 |
| 细节 154 | 降水与排水材料要求 .....        | 248 |

|            |                   |     |
|------------|-------------------|-----|
| 细节 155     | 降水与排水作业条件 .....   | 249 |
| 细节 156     | 轻型井点降水的施工 .....   | 249 |
| 细节 157     | 喷射井点降水的施工 .....   | 251 |
| 细节 158     | 管井井点降水的施工 .....   | 252 |
| 细节 159     | 深井井点降水的施工 .....   | 253 |
| 细节 160     | 电渗井点降水的施工 .....   | 254 |
| 细节 161     | 降水与排水施工注意要点 ..... | 254 |
| 参考文献 ..... |                   | 257 |

# 1

## 基础知识

### 1.1 土的工程性质

土是尚未固结成岩的松、软堆积物，主要为第四纪的产物。土与岩石的根本区别是土不具有刚性的联结、物理状态多变、力学强度低等。土由各类岩石经风化作用而成。土位于地壳的表层，是人类工程经济活动的主要地质环境。土与岩石一起是工程岩土学的研究对象。

本节主要介绍了土的组成、分类以及相关工程性质等。

#### 细节 1 土的组成

土是一种松散物质，由土颗粒（固相）、水（液相）和空气（气相）三部分组成。

土的三相组成部分质量和体积之间的比例关系，随着各种条件的变化而改变。例如，地下水位的升高或降低，都将改变土中水的含量；经过压实的土，其孔隙体积将减小。这些变化都可以通过相应指标的具体数字来反映。

三者相互间比例不同，反映出土的不同物理状态，如干燥、稍湿或很湿、密实、稍密或松散。这些指标是最基本的物理性质指标，对于评价土的物理力学和工程性质，进行土的工程分类具有重要意义。表示这三部分之间关系的指标，称为土的物理性质指标。

## 细节 2 土的分类

在建筑施工中按土开挖的难易程度将土分为松软土、普通土、坚土、砂砾坚土、软石、次坚石、坚石、特坚石八类，前四类属于一般土，后四类属岩石。土的工程分类及现场鉴别方法见表 1-1。

表 1-1 土的工程分类及现场鉴别方法

| 土的分类         | 土的名称                                                 | 现场鉴别方法                  | 最初可松性参数 $K_s$ | 最后可松性参数 $K'_s$ |
|--------------|------------------------------------------------------|-------------------------|---------------|----------------|
| 一类土<br>(松软土) | 砂土，严砂土，冲击砂土层，种植土，泥炭（淤泥）                              | 能用锹、锄头挖掘                | 1.08~1.17     | 1.01~1.03      |
| 二类土<br>(普通土) | 亚黏土，潮湿的黄土，夹有碎石、卵石的砂，种植土，填筑土及亚砂土                      | 用锹、锄头挖掘，少许用镐翻松          | 1.14~1.28     | 1.02~1.05      |
| 三类土<br>(坚土)  | 软及中等密实黏土，重亚黏土，粗砾石，干黄土及含碎石、卵石的黄土，亚黏土，压实的填筑土           | 主要用镐，少许用锹、锄头挖掘，部分用撬棍    | 1.24~1.30     | 1.04~1.07      |
| 四类土<br>(砂坚土) | 重黏土及含碎石、卵石的黏土，粗卵石，密实的黄土，天然级配砂石，软的石灰岩及蛋白石             | 整个用镐、撬棍，然后用锹挖掘，部分用楔子及大锤 | 1.26~1.32     | 1.06~1.09      |
| 五类土<br>(软石)  | 硬质黏土，中等密实的页岩，泥灰岩，白垩土，胶结不紧的砾岩，软的石灰岩                   | 用镐或撬棍、大锤挖掘，部分使用爆破方法     | 1.30~1.45     | 1.10~1.20      |
| 六类土<br>(次坚石) | 泥岩、砂岩、砾岩，坚实的页岩，泥灰岩，密实的石灰岩，风化花岗岩，片麻岩                  | 用爆破方法开挖，部分用风镐           | 1.30~1.45     | 1.10~1.20      |
| 七类土<br>(坚石)  | 大理岩，辉绿岩，玢岩，粗、中粒花岗岩，坚实的白云石，砂岩，砾岩，片麻岩，石灰岩，风化痕迹的安山岩，玄武岩 | 用爆破方法开挖                 | 1.30~1.45     | 1.10~1.20      |
| 八类土<br>(特坚石) | 安山岩，玄武岩，花岗片麻岩，坚实的细粒花岗岩，闪长岩，石英岩，辉长岩，辉绿岩，玢岩            | 用爆破方法开挖                 | 1.45~1.50     | 1.20~1.30      |

### 细节 3 土的相关工程性质

#### (1) 土的可松性

自然状态下的土，经过挖掘以后，其体积因松散而增加，虽然经过回填压实，仍不能恢复其原来的体积，这种性质称为土的可松性。土的可松性程度可用可松性系数表示，即

$$\text{最初可松性系数} \quad K_s = \frac{V_2}{V_1} \quad (1-1)$$

$$\text{最后可松性系数} \quad K'_s = \frac{V_3}{V_1} \quad (1-2)$$

式中  $V_1$ ——土在自然状态下的体积， $\text{m}^3$ ；

$V_2$ ——土挖出后的松散状态下的体积， $\text{m}^3$ ；

$V_3$ ——土经回填压实后的体积， $\text{m}^3$ 。

土的可松性与土质有关。可松性系数对场地平整、土方的调配、土方量的计算、运输和填筑，以及土方挖掘机械和运输机械的数量、斗容量的确定，都有很大影响。可松性系数可参考表 1-1。

#### (2) 土的渗透性

土体孔隙中的自由水在重力作用下会透过土体而运动，这种土体被水透过的性质称为土的渗透性。渗透系数  $K$  表示土透水性的能力，其物理意义是：当水力坡度等于 1 时的渗透速度。一般通过室内渗透试验或者现场抽水或压水试验确定。渗透系数的大小对土方工程中施工降水与排水的影响较大，施工时应加以注意。

渗透系数  $K$  按下式计算：

$$K = \frac{Q}{AI} = \frac{u}{I} \quad (1-3)$$

式中  $K$ ——渗透系数， $\text{cm/s}$  或  $\text{m/d}$ ；

$Q$ ——单位时间内渗透通过的水量， $\text{cm}^3/\text{s}$  或  $\text{m}^3/\text{d}$ ；

$A$ ——通过水量的总横断面积， $\text{cm}^2$  或  $\text{m}^2$ ；

$u$ ——渗透水流的速度， $\text{cm/s}$  或  $\text{m/d}$ ；



$I$ ——水力坡度，高水位  $h_1$  与低水位  $h_2$  之差与渗透距离  $s$  的比值，见式(1-4)。

$$I = \frac{h_1 - h_2}{s} = \frac{h}{s} \tag{1-4}$$

土的渗透系数  $K$  由试验确定，也可参考表 1-2。

表 1-2 土的渗透系数

| 名称   | 渗透系数 $K/(m/d)$    | 名称     | 渗透系数 $K/(m/d)$   |
|------|-------------------|--------|------------------|
| 黏土   | $<0.005$          | 中砂     | $5.0 \sim 20.00$ |
| 粉质黏土 | $0.005 \sim 0.10$ | 均质中砂   | $35 \sim 50$     |
| 轻亚黏土 | $0.10 \sim 0.50$  | 粗砂     | $20 \sim 50$     |
| 黄土   | $0.25 \sim 0.50$  | 圆砾石    | $50 \sim 100$    |
| 粉砂   | $0.50 \sim 1.00$  | 卵石     | $100 \sim 500$   |
| 细砂   | $1.00 \sim 5.00$  | 无充填物卵石 | $500 \sim 1000$  |

(3) 土的含水量

土中水的质量与颗粒质量之比（用百分数表示），称为土的含水量，用符号  $w$  表示。

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100\% = \frac{m_w}{m_s} \times 100\% \tag{1-5}$$

式中  $m_1$ ——含水状态时土的质量，kg；

$m_2$ ——烘干后土的质量，kg；

$m_w$ ——土中水的质量，kg；

$m_s$ ——固体颗粒的质量，kg。

土方的含水量随气候条件、雨雪和地下水的影响而变化，对土方边坡的稳定性及填方密实程度有直接的影响。各类土都存在一个最佳含水量，当土的含水量处于最佳时，回填土的密实度最大。

(4) 土的天然密度

土在天然状态下单位体积的质量，称为土的天然密度，单位为  $g/cm^3$  或  $t/m^3$ 。土的天然密度用  $\rho$  表示，按下式计算：

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{1-6}$$