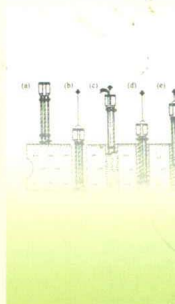




中等职业教育国家规划教材  
全国中等职业教育教材审定委员会审定

# 岩土工程施工

主 编 徐克里



871

747.53-43

X74

中等职业教育国家规划教材  
全国中等职业教育教材审定委员会审定

# 岩土工程施工

主    编    徐克里  
编    者    吴景华    刘占忠  
责任主审    黄润秋  
审  稿  人    李天斌    李渝生

地质出版社

· 北    京    ·

## 内 容 提 要

本书共分九章,主要介绍了岩土工程施工的基本理论和施工方法,如岩土工程施工的钻孔技术、地基加固方法、钻孔灌注桩施工、地下连续墙施工、支护结构的施工、锚固和土钉技术、降排水工程及特种岩土工程施工等等。

本书可作为中等职业学校岩土工程专业教材,也可供高等专科院校的师生和有关技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

岩土工程施工/徐克里主编. —北京:地质出版社,2002.7

中等职业教育国家规划教材

ISBN 7-116-03616-4

I. 岩… II. 徐… III. 岩土工程-工程施工-专业学校-教材 IV. TU751

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 056893 号

---

责任编辑:陈 磊

责任校对:关风云

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号,100083

电 话:(010) 82324508(邮购部);(010) 82324577(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:[zbs@gph.com.cn](mailto:zbs@gph.com.cn)

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京中科印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:11.5

字 数:265 千字

印 数:1—3000 册

版 次:2002 年 7 月北京第一版·第一次印刷

定 价:13.60 元

ISBN 7-116-03616-4/T·102

---

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

## 中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神,落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划,根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》(教职成[2001]1 号)的精神,我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写,从 2001 年秋季开学起,国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲(课程教学基本要求)编写,并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想,从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发,注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本,努力为教材选用提供比较和选择,满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材,并在使用过程中,注意总结经验,对时提出修改意见和建议,使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

二〇〇一年十月

# 前 言

《岩土工程施工》是中等职业技术学校岩土工程专业的主干教材。是“面向 21 世纪职业教育课程改革和教材建设规划研究与开发项目——职业学校国土资源类重点建设专业岩土工程主干专业教材开发项目”的一部分。本书的编写是在整个项目前期研究的基础之上进行的。

根据岩土工程教学大纲的要求，本书主要内容为中初级岩土工程人才所必需的岩土工程施工基础知识，包括了岩土工程施工领域的主要施工方法并介绍了岩土工程施工的一些新技术新工艺。内容的编写上强调基本知识和基本技能，注重培养学生对各种施工方法的应用。此外，编写中同时也兼顾了岩土工程施工人员技术培训的使用的需要。

本教材主要包括：岩土工程施工概论、岩土工程施工的钻孔技术、地基加固、钻孔灌注桩施工、地下连续墙、支护结构、锚固与土钉、降排水工程、特种岩土工程施工，共九章。

《岩土工程施工》由“面向 21 世纪职业教育课程改革和教材建设规划研究与开发项目——职业学校国土资源类重点建设专业岩土工程主干专业教材开发项目”课题组组织编写，主编吉林大学徐克里，参编长春工程学院吴景华、吉林大学刘占忠。

本教材在编写过程中，参考了部分相关教材和近几年科研、设计、施工单位在这方面的研究成果，这些材料对本书的编写起到了很大的帮助作用，在此，对提供有关资料的作用和单位表示感谢！

由于编者水平和时间有限，难免有错误之处，敬请读者批评指正。

编 者

2002 年 6 月

# 目 录

|                       |        |
|-----------------------|--------|
| 第一章 岩土工程施工概论 .....    | ( 1 )  |
| 第一节 岩土工程 .....        | ( 1 )  |
| 第二节 地基与基础 .....       | ( 2 )  |
| 一、浅基础与深基础 .....       | ( 3 )  |
| 二、桩基础 .....           | ( 3 )  |
| 三、沉井基础 .....          | ( 8 )  |
| 四、沉箱基础 .....          | ( 8 )  |
| 五、地下连续墙基础 .....       | ( 8 )  |
| 第二章 岩土工程施工的钻孔技术 ..... | ( 9 )  |
| 第一节 无循环回转钻进 .....     | ( 9 )  |
| 一、螺旋钻进 .....          | ( 10 ) |
| 二、钻斗钻进 .....          | ( 11 ) |
| 第二节 正循环回转钻进 .....     | ( 12 ) |
| 第三节 反循环回转钻进 .....     | ( 13 ) |
| 第四节 钢绳冲击钻进 .....      | ( 15 ) |
| 第五节 振动钻进 .....        | ( 16 ) |
| 第三章 地基加固 .....        | ( 20 ) |
| 第一节 概述 .....          | ( 20 ) |
| 第二节 换土处理 .....        | ( 22 ) |
| 一、施工工艺 .....          | ( 23 ) |
| 二、施工质量和检验 .....       | ( 23 ) |
| 第三节 土桩与灰土桩 .....      | ( 24 ) |
| 一、施工工艺 .....          | ( 24 ) |
| 二、施工质量和检验 .....       | ( 26 ) |
| 第四节 石灰桩 .....         | ( 26 ) |
| 一、施工工艺 .....          | ( 26 ) |
| 二、施工质量和检验 .....       | ( 28 ) |
| 第五节 砂桩 .....          | ( 29 ) |
| 一、施工工艺 .....          | ( 29 ) |
| 二、施工质量和检验 .....       | ( 30 ) |
| 第六节 干法碎石桩 .....       | ( 30 ) |
| 一、施工工艺 .....          | ( 30 ) |
| 二、施工质量和检验 .....       | ( 31 ) |
| 第七节 振动水冲 .....        | ( 32 ) |
| 一、施工工艺 .....          | ( 32 ) |

|                    |      |
|--------------------|------|
| 二、施工质量和检验          | (33) |
| 第八节 深层搅拌和高压喷射注浆    | (33) |
| 一、深层搅拌法基本原理        | (33) |
| 二、施工工艺             | (34) |
| 三、高压喷射注浆法基本原理      | (34) |
| 四、施工工艺             | (34) |
| 五、施工质量和检验          | (34) |
| 第九节 灌浆             | (35) |
| 一、施工工艺             | (35) |
| 二、施工质量与检验          | (36) |
| 第四章 钻孔灌注桩施工        | (38) |
| 第一节 概述             | (38) |
| 一、钻孔灌注桩的类型         | (39) |
| 二、钻孔灌注桩的优缺点和应用     | (39) |
| 第二节 钻孔灌注桩施工组织设计    | (43) |
| 一、施工组织设计的意义及作用     | (43) |
| 二、施工组织设计的编写        | (44) |
| 第三节 钻孔灌注桩施工前的准备    | (47) |
| 一、施工场地准备           | (47) |
| 二、埋置护筒             | (47) |
| 三、制备泥浆             | (49) |
| 四、设备安装             | (49) |
| 五、试成孔              | (50) |
| 第四节 桩孔(亦称钻孔或成孔)的施工 | (50) |
| 一、桩孔施工的一般规定        | (50) |
| 二、桩孔质量标准和检测方法      | (51) |
| 三、钻孔冲洗液            | (52) |
| 四、钻孔灌注桩一般的成孔方法     | (52) |
| 五、钻孔灌注桩其他的施工方法     | (57) |
| 六、水域钻孔灌注桩和斜桩的施工方法  | (59) |
| 第五节 清孔             | (65) |
| 一、清孔的一般规定          | (65) |
| 二、清孔的方法            | (65) |
| 三、换浆清孔             | (66) |
| 第六节 钢筋笼的制作及吊放      | (67) |
| 一、钢筋笼制作的一般规定       | (67) |
| 二、钢筋笼制作            | (68) |
| 三、制作方法             | (68) |
| 四、钢筋笼的吊放           | (68) |
| 第七节 混凝土的配制与灌注      | (69) |
| 一、混凝土配制与灌注的一般要求    | (69) |
| 二、混凝土配制材料          | (70) |

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| 三、混凝土配合比选择 .....        | (71)  |
| 四、混凝土拌制 .....           | (72)  |
| 五、混凝土灌注 .....           | (72)  |
| 六、水下混凝土灌注的注意事项 .....    | (75)  |
| 第八节 钻孔灌注柱的质量监督与检测 ..... | (76)  |
| 一、工程质量事故的实例 .....       | (76)  |
| 二、质量通病 .....            | (77)  |
| 三、常规质量检查 .....          | (77)  |
| 四、桩基工程质量检测 .....        | (79)  |
| 第九节 施工管理 .....          | (81)  |
| 一、施工管理的重要性 .....        | (81)  |
| 二、生产组织管理 .....          | (82)  |
| 第五章 地下连续墙 .....         | (85)  |
| 第一节 地下连续墙的施工方法 .....    | (86)  |
| 第二节 施工中质量要求及检验方法 .....  | (91)  |
| 第三节 验收程序 .....          | (92)  |
| 第四节 地下连续墙施工设计 .....     | (92)  |
| 第六章 支护结构 .....          | (94)  |
| 第一节 基坑的支护结构 .....       | (94)  |
| 一、支护结构的类型及适用条件 .....    | (94)  |
| 二、支护结构的选型 .....         | (95)  |
| 三、常见支护结构的简单设计计算 .....   | (96)  |
| 第二节 基坑支护结构施工 .....      | (97)  |
| 一、钢板桩的特点与施工 .....       | (97)  |
| 二、支撑式结构施工 .....         | (100) |
| 三、锚拉式结构施工 .....         | (101) |
| 四、钢筋混凝土预制板桩施工 .....     | (101) |
| 五、钻孔灌注桩挡土墙 .....        | (101) |
| 六、深层搅拌桩挡土结构施工 .....     | (102) |
| 第三节 基坑支护结构常见事故与对策 ..... | (105) |
| 一、支护结构的破坏形式 .....       | (105) |
| 二、基坑事故防止的对策 .....       | (106) |
| 三、基坑工程中的环境问题及对策 .....   | (107) |
| 第七章 锚固与土钉 .....         | (109) |
| 第一节 锚固技术 .....          | (109) |
| 一、概述 .....              | (109) |
| 二、锚杆 .....              | (112) |
| 三、锚固工程施工 .....          | (116) |
| 四、锚固质量检验方法及验收程序 .....   | (122) |
| 第二节 土钉支护技术 .....        | (123) |
| 一、概述 .....              | (123) |

|                                |              |
|--------------------------------|--------------|
| 二、土钉支护的简单设计计算 .....            | (127)        |
| 三、土钉支护结构的施工技术 .....            | (128)        |
| 四、土钉墙质量检验及工程验收 .....           | (132)        |
| <b>第八章 降排水工程 .....</b>         | <b>(134)</b> |
| 第一节 概述 .....                   | (134)        |
| 一、降水的作用 .....                  | (134)        |
| 二、降水方法的分类及适用条件 .....           | (134)        |
| 三、施工排水及排水方案设计 .....            | (135)        |
| 第二节 降水工程施工方法 .....             | (138)        |
| 一、成井工艺 .....                   | (138)        |
| 二、井点运行与管理 .....                | (140)        |
| 三、施工要点 .....                   | (142)        |
| 四、验收规定 .....                   | (142)        |
| 第三节 降、排水工程对临近建筑物的影响及预防措施 ..... | (142)        |
| <b>第九章 特种岩土工程施工 .....</b>      | <b>(144)</b> |
| 第一节 托换技术 .....                 | (144)        |
| 一、托换概述 .....                   | (144)        |
| 二、坑式托换 .....                   | (147)        |
| 三、桩式托换 .....                   | (149)        |
| 第二节 盾构 .....                   | (150)        |
| 一、盾构概述 .....                   | (150)        |
| 二、盾构掘进施工 .....                 | (152)        |
| 三、衬砌 .....                     | (155)        |
| 第三节 顶管 .....                   | (158)        |
| 一、概述 .....                     | (158)        |
| 二、顶管施工 .....                   | (161)        |
| 三、顶管法施工的主要技术措施 .....           | (163)        |
| 第四节 沉井 .....                   | (165)        |
| 一、概述 .....                     | (165)        |
| 二、沉井的基本构造 .....                | (168)        |
| 三、沉井施工 .....                   | (170)        |
| <b>参考文献 .....</b>              | <b>(174)</b> |

# 第一章 岩土工程施工概论

## 第一节 岩 土 工 程

岩土工程是以岩土体为工作对象，以工程地质学、岩石力学、土力学和基础工程学为基本内容，涉及岩体和土体的利用、整治和改造的一门综合性的技术科学，是土木工程的一个组成部分。

岩土工程包括岩土工程勘察、岩土工程设计、岩土工程施工和岩土工程检测，涉及工程建设的全过程。在房屋、市政、能源、水利、道路、航运、矿山、国防等各种工程建设中，都有十分重要的意义。由于岩土工程与复杂多变的自然条件密切联系，往往成为工程建设的难点，成为保证工程质量、缩短工程周期、降低工程造价、提高工程经济效益和社会效益的关键问题。

岩土工程是一门与时俱进的技术科学。远在古代，我们的祖先已在兴建水利工程、道路桥梁、房屋建筑实践中，积累了许多有关岩土工程方面的经验；作为近代科学一部分的工程地质学、岩石力学、土力学、基础工程学，也已有百余年历史。但是，国际上真正公认岩土工程作为一门技术学科不过三四十年时间，我国引入岩土工程专业体制只是十多年的事。在这十多年里，由于中国建设事业的飞跃发展和带动，我国的岩土工程技术也取得了长足的进步。无论是岩土力学的理论研究、还是在勘察测试技术、地基基础工程、岩土加固与改良、地震岩土工程等方面的实践，其所取得的进步和成就都是十分明显的，许多方面已经达到了或接近于国际先进水平，外国人能做的，我们中国人也都能做到。当然，就中国总体水平来看，和发达国家之间还有一定差距，还需中国岩土工作者的继续努力和不断实践。

在土建工程中，岩土工程的地位非常重要。以建筑为例，岩土工程在总造价和总工期中均占三分之一左右，对某些水利工程和道路工程，有时还会更多一些。岩土不同于混凝土、钢材等人工材料，是自然产物，受自然条件的影响甚大，加上我国的工程地质条件特别复杂，又是多地震国家，所有这些因素都给岩土工程提出了大量的难题。在实际工程中，岩土问题、地基基础问题，往往是影响投资和制约工期的主要因素，如果处理不当，有时会带来灾难性的后果。因此，无论政府主管部门、开发建设单位、设计施工科研单位，都必须十分重视岩土工程问题，也应尊重和支持岩土工程工作者的劳动。

岩土工程是一门实践性很强的应用技术。岩土是一种十分复杂的材料，无论何种力学模型都难以全面而准确地描述它的状况；岩土具有显著的时空变异性，在复杂地质条件下，即使再细致的勘察测试也难以完全查明岩土性状的时空分布；岩土又有很强的地区性特点，不同地区往往形成各种各样的特殊性岩土。因此，单纯的理论计算和试验分析常常解决不了实际问题，而需要岩土工作者根据工程所处位置的工程地质情况和工程的要求，

凭借自己的经验对关键性技术问题的把握,进行临场处置。从这个意义上讲,岩土工程至今还是一门欠严谨、欠完善、欠成熟的技术学科,因而其难度大,但潜力也很大。

岩土工程是一门综合性很强的学科。在理论和方法上,需要工程地质学、岩石力学、土力学、结构力学、土工测试、科研等多学科的相互渗透;在工程实践中,需要勘察、设计、施工、监测、监理、科研等各方面的密切配合。根据国际经验,岩土工程的承担者有两种类型:一类是咨询机构,承担岩土工程的勘察、设计、监测、监理、科研等工作,属知识密集型产业;另一类是承包商,即施工单位,承担岩土工程的具体实施,属劳动密集型产业。

## 第二节 地基与基础

房屋建筑均由上部结构与基础两大部分组成。一般以室外地面整平标高为基准,地面以上部分称为上部结构,地面标高以下部分称为基础。

基础是埋置于地面下承受上部结构荷载,并将荷载传递给下卧土层的人工构筑物。

基础工程是基础的设计与施工工作,以及有关的工程地质勘察、基础施工所需基坑的开挖、支护、降水和地基加固工作的总称。由于工程地质勘察和地基处理已另设课程,本书将不包括这方面的内容。

地基是建筑物荷载作用下产生不可忽略的附加应力与变形的那部分地层。

上部结构的荷载通过基础传至地层,使其产生无建构筑物时原有土压力外附加的应力和变形。同时由于地层是一个半无限空间体,地层中附加应力向四周深部扩散,并迅速减弱。到某一深度后,上部荷载引起之附加应力与变形已甚小,对工程实际已无实际意义而

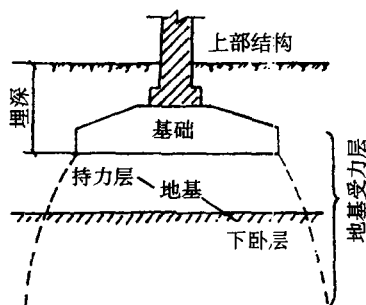


图 1-1 基础与地基示意图

可忽略。故一般将基础底部标高至该深度范围内的地层统称为建筑物的地基。对地基承载力和变形起主要作用的地层,称为地基主要受力层,或简称为地基受力层。对基础面积较大的筏板基础和箱形基础,地基受力层厚度一般为一倍基础短边的宽度;对基础宽度较小而密集的(如独立基础、条形基础)一般将基底标高下 5 m 以内划为地基受力层。在受力层范围内,埋置基础底面处的地层称为持力层,持力层下的地层称为下卧层,强度低于持力层的下卧层称为软弱下卧层(图 1-1)。

基础的主要功能如下:

(1) 扩散压力。地基土的承载力较低时,将基础所受较大荷载转变为较低压力,可用锥形或板式的基础形状。

(2) 传递压力。当上部地层较差时,采用深基础(如桩基、墩基、地下连续墙以及沉井)将荷载传递到深部较好的地层(岩层或砂卵石层)。

(3) 调整地基变形。利用筏形和箱形基础、摩擦桩群等基础所具有的刚度和上部结构共同作用,调整地基的不均匀变形沉降。

此外,采取相应措施,基础还可起到抗滑或抗倾覆及减振的作用。

基础下的未经人工加固处理的地基称为天然地基。若天然地基软弱,不能满足强度和

变形要求,必须进行人工处理的地基则称为人工地基。这种人工地基的处理过程,称为地基处理。地基处理的目的是采取适当的技术措施对地基进行施工,以改善地基土的强度、压缩性、透水性、动力特性、湿陷性和胀缩性等。由于天然地基施工简便造价较低,建筑工程设计一般是优先采用天然地基。

### 一、浅基础与深基础

天然地基上的基础,由于埋置深度的不同,分为浅基础与深基础两类。

#### 1. 浅基础

浅基础一般指基础埋深小于5 m或小于基础宽度,可用一般的施工方法修筑。

#### 2. 深基础

当土层软弱,而现代建筑物对基础变形、荷载与稳定的要求较高,或建筑物有特殊要求以及技术、经济等各种原因,无法或不宜采用人工浅基础时,必须采用深基础。常见的深基础有:桩基础、墩基础、沉井基础、沉箱基础和地下连续墙等;其中以桩、墙基础应用最广。与浅基础比较,深基础有以下特点:

(1) 深基础除由深层较好的土层来承受上部结构的荷载以外,还有深基础周壁的摩阻力共同承受上部的荷载。所以,深基础的承载力大。

(2) 深基础需要用特殊的方法进行施工。例如:预制桩需要有打桩机;沉井需要有现场浇注沉井的设备、井点降水、沉降观测及纠偏等等设备;沉箱需要有专门的密闭气闸、工作室和压缩空气与通风等一整套设备;桩基础和地下连续墙需要有专门的成孔(槽)和成桩(墙)等整套设备、机具和工艺方法等。

(3) 深基础的造价较高。

(4) 深基础的施工周期较长。

(5) 深基础的施工技术较复杂,需要专门技术人员负责施工及质量检测。

### 二、桩基础

桩基础又称桩基,它是由延伸到地层深部的基桩和连结桩顶的承台组成(图1-2)。桩基可以承受竖向荷载,也可以承受横向荷载。承受竖向荷载的桩是通过桩侧摩阻力或桩端摩阻力或两者共同作用,将上部结构的荷载传递到深部土(岩)层,因而桩基的竖向承载力与基桩所穿过的整个土层和桩底地层的性质、基桩的外形和尺寸等密切相关;承受横向荷载的桩基是通过桩身将荷载传给侧面土体,其横向承载力与桩侧土的抗力系数、桩身的抗弯刚度和强度等密切相关。实际工程中,以承受竖向荷载为主的桩基居多。

桩基础可由单根桩构成,如一柱一桩的独立基础;也可由两根以上的基桩构成,形成群桩基础,荷载通过承台1传递给各基桩的桩顶。若桩身全部埋于土中,承台底面与土体接触,则称为低承台桩基;若桩身上部露出地面而承台底位于地面以上,则称为高承台桩基。建筑物桩基通常为低承台桩基础,而桥梁和码头桩基则多为高承台桩基础。

桩基是一种古老、传统的基础型式,又是一种应用广泛、发展迅速、生命力很强的基础型式。早在新石器时代,人类为了防止袭击、猛兽侵犯和不占耕地,就设法在湖上和沼泽地里打木

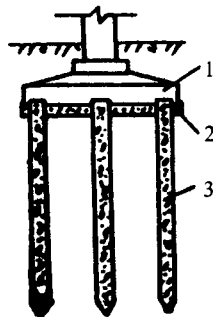


图 1-2 桩基础

1—承台; 2—素混凝土垫层;  
3—基桩

桩,再于其上筑平台修建居住点,俗称湖上住所。我国浙江省河姆渡就发现了这种原始社会遗址,某些国家也有类似发现。古代临水建筑通常都采用桩基,可能就是桩基的起源。宋《营造法式》中就载有“临水筑基”一节。到明、清年代,桩基技术更趋完善,并已广泛应用于桥梁、水利、海塘和房建等各类工程,在清《工部工程做法》等古文献中对桩基选料、排列布置和施工方法等方面都有了具体规定。人类从利用天然木材制桩,至20世纪初开始成功利用热轧型钢制桩,稍后又利用钢筋混凝土制桩,都一直采取先预制后借助某种机具打入土中的办法。1893年美国芝加哥人工挖孔桩的问世,突破了沿袭数千年的传统。挖孔桩问世约50年后,随着大功率钻孔机具研制成功,钻孔灌注桩也首先在美国问世。二次大战后,随着世界各地经济复苏与发展,高层、超高层建筑物和重型构筑物不断兴建,它们中绝大多数采用了钻孔灌注桩。尤其是20世纪70~80年代以来,钻孔灌注桩在世界范围出现了蓬勃发展的局面,其用量逐年上升。

随着人口的增长和人口城市化速度的加快,由于空地的缺乏和有限,为了解决居住、生活、交通和工农业生产现代化,促使现代化建筑立体化,必然向地下空间和地上高空发展。而建筑材料的不断发展进步,也使得高层建筑、地下建筑和重型构筑物的建造成为可能,因而桩基础的使用将更加广泛。但要求桩的长度进一步向地层深处延伸,直至进入基岩数米,桩径进一步加大,以获得大的单桩承载力。

### 1. 桩基础的应用

桩基作为深基础因具有承载力高、稳定性好、沉降量小而均匀、沉降速率低而收敛快等特性,因而桩基几乎可应用于各种工程地质条件和各种类型的建筑工程,尤其适用于建造在软弱地基上的高层、重型建(构)筑物。桩基一般可用于以下几种情况:

- (1) 荷载大,对沉降要求严格限制的建筑物,如大、中城市的高层房屋建筑等。
- (2) 地面堆载过大的单层工业厂房及其露天大跨度仓库等建筑物。
- (3) 解决相邻建(构)筑物因地基沉降而产生的相互影响问题。两个建(构)筑物或建筑物的两相邻单元相接,特别当房屋的类型不同时,往往由于相互影响造成地基沉降不均,引起建筑物相对倾斜或建筑开裂。如其中之一采用了适当深度的桩基,一般可减轻或避免这种危害,因而桩基是一种广义的深基础。
- (4) 对限制倾斜量有特殊要求的建(构)筑物,如电视塔、烟囱等。
- (5) 活载占较大比例的建(构)筑物,如建造油罐、配煤房、化工塔等。
- (6) 配备重型吊车的单层厂房,如冶金厂房等。这类建筑由于吊车起重量大、地面负荷重、地基变形大,且随车间生产任务的繁重程度而增减。对这类车间采用桩基后,虽然下沉量仍较大,但不均匀沉降较小。
- (7) 作为抗地震液化和处理地震区软弱地基的措施。通过对唐山地震的大量实地调查证明,在可液化地基中当桩穿越可液化土层并伸入密实稳定土层足够长度后,能起到减轻震害或防止建筑物震陷的作用。许多资料也证明:增加基础埋深有抗震效果,因为地震震幅随离地表深度增加而迅速衰减,在正常情况下具有抗震效果。
- (8) 有时用于重大或精密机械设备的基础,或用于动力机械基础以降低基础振幅等。

### 2. 桩的类型

桩的类型很多,分类方法也较多,一般按下列规定进行分类。

- (1) 按承载力性状分为摩擦型桩(纯摩擦桩、端承摩擦桩)和端承型桩(纯端承桩、

摩擦端承桩)两类(图 1-3)。端承型桩一般桩端应进入坚硬土层或岩层。①纯摩擦桩(图 1-3a)是指在极限承载力状态下,桩顶荷载由桩侧阻力承受。可以抗压,也可以抗拔;②端承摩擦桩(图 1-3b)是指在极限承载力状态下,桩顶荷载主要由桩侧阻力承受;③纯端承桩(图 1-3c)是指在极限承载力状态下,桩顶荷载由桩端阻力承受;它可以是直桩,也可做成扩底桩(即桩底端直径扩大);④摩擦端承桩(图 1-3d)是指在极限承载力状态下,桩顶荷载主要由桩端阻力承受,它也可做成扩底桩。

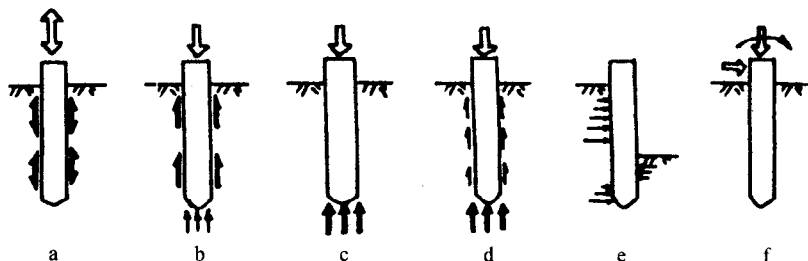


图 1-3 桩按承载力性状和使用功能的分类

(2) 按桩的使用功能分为:竖向抗压桩(抗压桩),如图 1-3a 至 d,竖向抗拔桩(抗拔桩),如图 1-3a;横向受荷桩(主要承受横向荷载)如图 1-3e;组合受荷桩(竖向、横向荷载均较大),如图 1-3f。

(3) 按桩身材料分为:木桩;混凝土或钢筋混凝土桩;钢桩及组合材料桩(图 1-4)。其中木桩基本不用,混凝土或钢筋混凝土桩有灌注桩和预制桩之分,而且后者用量有逐步减少被前者取代的趋势。

(4) 按成桩方法分为非挤土桩、部分挤土桩和挤土桩。其中非挤土桩又分为干作业法(如螺旋钻成孔)、泥浆护壁法(如正、反循环回转钻进成孔)和套管护壁法(如贝诺托施工法);部分挤土桩又可分为部分挤土灌注桩、预钻孔打入式预制桩和打入式敞口桩;挤土桩可分为挤土灌注桩(如振动沉管灌注桩)和挤土预制桩(打入或静压桩)。

(5) 按桩径大小分为小桩( $d \leq 250 \text{ mm}$ )、中等直径桩( $250 \text{ mm} < d < 800 \text{ mm}$ )和大直径桩( $d \geq 800 \text{ mm}$ )三类。随着建筑业的发展,其中大直径桩有不断发展的趋势。

另外桩还可以分为垂直桩和斜桩,陆地成桩和水域成桩,直桩桩和扩底桩,人工挖孔桩和钻孔灌注桩等,但这些均属非规范性的分类。

### 3. 常用桩的类型及其适用性

桩的类型虽然很多,但常用的只有如下几类:

(1) 预制钢筋混凝土桩:它包括实心断面的方桩、用离心法制成的空心断面的圆管桩及预应力混凝土桩。一般管桩都是施加预应力的。这类桩的特点是:桩的制造质量易于控制;承载力较高且易于保证;耐久性好;但打桩噪音大(除静压法施工);挤土量大(敞口管桩小些),难以穿透厚的砂层或硬土层;桩长控制不灵活,桩径选择范围小(一般  $d < 550 \text{ mm}$ ,国外已研制了  $d = 1000 \text{ mm}$  的管桩)等。所以这类桩适用于:对挤土和噪音无严格限制的地区;地下水位高、持力层埋深变化不大且桩穿过地层不夹厚砂层或硬土层的各类工程地质条件;承载力满足要求的各类工程。

(2) 钢桩:它包括钢管桩、H 型钢桩及其他型钢桩。这类桩的特点是:桩身强度

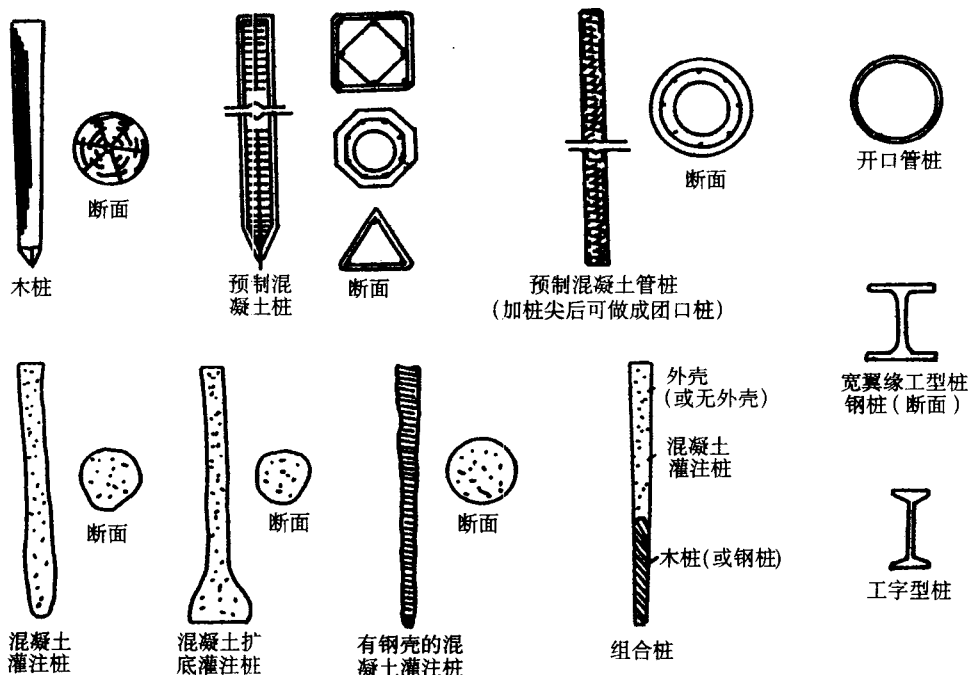


图 1-4 不同桩身材料的桩

高，尤其是抗弯、抗拉强度比混凝土桩高许多；挤土量小，贯入性好，如闭口桩的挤土量为 100%，则直径 400、600 和 900 mm 的开口钢管桩的挤土量分别为 45%、30% 和 15%，所以采用适当功率的桩锤和工艺能使桩穿透相当厚的砂层；承载力高，国外采用直径 1500 mm 的钢管桩，其承载力可达 30000 kN；截接容易，施工方便，施工速度快。这类桩的最大缺点是价格太高、耐腐蚀性差、锤击沉桩时噪音较大。因此，这类桩可用于地下无腐蚀性液体或气体、对挤土无十分严格限制的地区及持力层埋深和起伏较大且桩穿过地层夹有不很厚的砂层和硬土层的工程地质条件。目前钢管桩只用于特别重大的工业与民用建筑、外海高桩码头工程和海洋石油开采平台。H 型钢桩和其他型钢桩很少采用。

(3) 灌注桩：它包括各种钻孔灌注桩、沉管灌注桩和人工挖孔灌注桩。灌注桩的共同特点是可根据地层灵活控制桩长，桩的耐久性好，但成桩质量难以控制。其中沉管灌注桩属挤土桩，因此排土量大，难以穿透厚的砂层和硬土层，桩径变化范围小，施工不当易产生缩颈、桩身错位、断桩和局部夹泥等质量事故，且噪音较大，但成桩速度快。因此，这种桩适用于对噪声和挤土无严格限制的地区，地下水位低、穿过的地层不夹厚的砂层、硬土层和膨胀性大的塑性土层的工程地质条件及桩径较小、承载力不很高的工程。

人工挖孔灌注桩的特点是桩径大、成孔成桩质量好，但施工速度慢，当地下水位高或穿过含水的非粘性土时会遇到一些重大的施工问题。因此，这种桩适用于地下水位低的粘性土层和桩径大、桩长不很大的端承型桩。

钻孔灌注桩的特点是桩长、桩径选择范围大，可以穿过任何地层，噪声较小，但成桩速度较慢，如采用泥浆护孔，则废浆处理是一大难题。钻孔灌注桩适用于各种工程地质条

件和各类工程，是一种广泛采用的桩基形式。

#### 4. 成桩方法及其适用性

工程地质条件的多变性和桩型的多样性决定了成桩方法的多样化。成桩方法应根据桩型、桩穿过的土层、桩端持力层的性质、地下水位、施工环境、施工经验等合理选用。成桩方法及其适用性参见表 1-1。

表 1-1 成桩方法及其适用性

|             |               | 桩 类           | 桩 径       |                     | 桩长<br>m | 穿越土层                       |                                 |        |        |        |                                      |                                                |                                           |                            |                                 |             |                  |        | 桩端进入<br>持 力 层                             | 地下<br>水 位 | 对 环 境<br>影 响 |                       |        |                            |   |
|-------------|---------------|---------------|-----------|---------------------|---------|----------------------------|---------------------------------|--------|--------|--------|--------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------|-------------|------------------|--------|-------------------------------------------|-----------|--------------|-----------------------|--------|----------------------------|---|
|             |               |               | 桩 身<br>mm | 扩大端<br>mm           |         | 一般<br>粘性<br>土<br>及其<br>填 土 | 淤<br>泥<br>和<br>淤<br>泥<br>质<br>土 | 粉<br>土 | 砂<br>土 | 碎<br>石 | 季<br>节<br>性<br>冻<br>土<br>膨<br>胀<br>土 | 黄<br>土<br>非<br>自<br>重<br>湿<br>陷<br>性<br>黄<br>土 | 黄<br>土<br>自<br>重<br>湿<br>陷<br>性<br>黄<br>土 | 中<br>间<br>有<br>硬<br>夹<br>层 | 中<br>间<br>有<br>砾<br>石<br>夹<br>层 | 硬<br>粘<br>土 | 密<br>实<br>砂<br>土 | 碎<br>石 | 软<br>质<br>岩<br>石<br>和<br>风<br>化<br>岩<br>石 | 以<br>上    | 以<br>下       | 振<br>动<br>和<br>噪<br>音 | 排<br>浆 | 孔<br>底<br>有<br>无<br>挤<br>密 |   |
| 非挤土成桩法      | 干作业法          | 长螺旋钻孔灌注桩      | 300~600   | /                   | ≤12     | ○                          | ×                               | ○      | △      | ×      | ○                                    | ○                                              | △                                         | ×                          | △                               | ×           | ○                | ×      | ×                                         | ○         | ×            | 无                     | 无      | 无                          |   |
|             |               | 短螺旋钻孔灌注桩(含钻斗) | 300~800   | /                   | ≤8      | ○                          | ×                               | ○      | △      | ×      | ○                                    | ○                                              | ×                                         | ×                          | △                               | ×           | ○                | ×      | ×                                         | ○         | ×            | 无                     | 无      | 无                          |   |
|             |               | 钻孔扩底灌注桩       | 300~400   | 800~1200            | ≤5      | ○                          | ×                               | ○      | ×      | ×      | ○                                    | ○                                              | ×                                         | ×                          | △                               | ×           | ○                | ×      | ×                                         | ○         | ×            | 无                     | 无      | 无                          |   |
|             |               | 机动洛阳铲成孔灌注桩    | 300~500   | /                   | ≤20     | ○                          | ×                               | △      | ×      | ×      | ○                                    | ○                                              | △                                         | ×                          | △                               | ○           | ×                | ×      | ×                                         | ○         | ×            | 无                     | 无      | 无                          |   |
|             |               | 人工挖孔扩底灌注桩     | 1000~2000 | 1600~3000           | ≤30     | ○                          | △                               | △      | ×      | ×      | ○                                    | ○                                              | ○                                         | △                          | △                               | ○           | ×                | ×      | ○                                         | ○         | △            | 无                     | 无      | 无                          |   |
|             | 泥浆护壁法         | 潜水钻成孔灌注桩      | 500~800   | /                   | ≤50     | ○                          | ○                               | ○      | △      | ×      | △                                    | △                                              | ×                                         | ×                          | △                               | ×           | ○                | ○      | △                                         | ×         | ○            | ○                     | 无      | 有                          | 无 |
|             |               | 反循环钻成孔灌注桩     | 600~1200  | /                   | ≤50     | ○                          | ○                               | ○      | △      | ×      | △                                    | ○                                              | ×                                         | ○                          | ○                               | ×           | ○                | ○      | △                                         | ○         | ○            | ○                     | 无      | 有                          | 无 |
|             |               | 回旋钻成孔灌注桩(含钻斗) | 600~1200  | /                   | ≤50     | ○                          | ○                               | ○      | △      | ×      | △                                    | ○                                              | ×                                         | ○                          | ○                               | ×           | ○                | ○      | △                                         | ○         | ○            | ○                     | 无      | 有                          | 无 |
|             |               | 机挖异型灌注桩       | 400~600   | /                   | ≤12     | ○                          | △                               | ○      | ×      | ×      | △                                    | ○                                              | ×                                         | △                          | △                               | ×           | ○                | ○      | △                                         | △         | △            | ○                     | 无      | 有                          | 无 |
|             |               | 钻孔扩底灌注桩       | 600~1200  | 1000~1600           | ≤20     | ○                          | ○                               | ○      | ×      | ×      | △                                    | ○                                              | ×                                         | ○                          | ○                               | ×           | ○                | ×      | ×                                         | △         | ○            | ○                     | 无      | 有                          | 无 |
| 套护壁法        | 贝诺托灌注桩        | 800~1600      | /         | ≤50                 | ○       | ○                          | ○                               | ○      | ○      | △      | ○                                    | ×                                              | ○                                         | ○                          | ○                               | ○           | ○                | ○      | ○                                         | ○         | ○            | 无                     | 无      | 无                          |   |
|             | 灌注桩           | 短螺旋钻孔灌注桩(含钻斗) | 300~800   | /                   | ≤12     | ○                          | ○                               | ○      | ○      | ×      | △                                    | ○                                              | ×                                         | △                          | △                               | △           | ○                | △      | ×                                         | ○         | ○            | 无                     | 无      | 无                          |   |
|             |               | 冲击成孔灌注桩       | 600~1200  | /                   | ≤50     | ○                          | △                               | △      | △      | ○      | △                                    | ×                                              | ×                                         | ○                          | ○                               | ○           | ○                | ○      | ○                                         | ○         | ○            | 有                     | 有      | 无                          |   |
| 钻孔压注成型灌注桩   |               | 300~1000      | /         | ≤30                 | ○       | △                          | △                               | △      | ×      | ○      | ○                                    | △                                              | △                                         | ×                          | ○                               | ○           | ×                | △      | △                                         | ○         | 无            | 有                     | 无      |                            |   |
| 组合桩         |               | ≤600          | /         | ≤30                 | ○       | ○                          | ○                               | ○      | ×      | ○      | ○                                    | ○                                              | △                                         | ○                          | △                               | ○           | ○                | △      | ○                                         | ○         | 有            | 无                     | 无      |                            |   |
| 预制桩         | 预钻孔打入式预制桩     | ≤500          | /         | ≤30                 | ○       | ○                          | ○                               | △      | ×      | ○      | ○                                    | ○                                              | ○                                         | △                          | ○                               | △           | ○                | △      | △                                         | ○         | 有            | 无                     | 有      |                            |   |
|             | 混凝土(预应力混凝土)管桩 | ≤600          | /         | ≤50                 | ○       | ○                          | ○                               | △      | ×      | △      | ○                                    | △                                              | △                                         | △                          | △                               | ○           | ○                | △      | ○                                         | ○         | 有            | 无                     | 有      |                            |   |
|             | H型钢桩          | 规格            | /         | ≤50                 | ○       | ○                          | ○                               | ○      | ○      | △      | ×                                    | ×                                              | ○                                         | ○                          | △                               | △           | ○                | ○      | ○                                         | ○         | 有            | 无                     | 无      |                            |   |
|             | 敞口钢管桩         | 600~900       | /         | ≤50                 | ○       | ○                          | ○                               | ○      | △      | △      | ○                                    | ○                                              | ○                                         | ○                          | ○                               | ○           | ○                | ○      | ○                                         | ○         | 有            | 无                     | 有      |                            |   |
| 挤土成桩法       | 挤土灌注桩         | 振动沉管灌注桩       | 270~400   | /                   | ≤20     | ○                          | ○                               | ○      | △      | ×      | ○                                    | ○                                              | ○                                         | ×                          | △                               | ×           | ○                | ×      | ×                                         | ○         | ○            | 有                     | 无      | 有                          |   |
|             |               | 锤击沉管灌注桩       | 300~500   | /                   | ≤24     | ○                          | ○                               | ○      | △      | ×      | ○                                    | ○                                              | ○                                         | △                          | △                               | △           | ○                | △      | ×                                         | ○         | ○            | 有                     | 无      | 有                          |   |
|             |               | 锤击振动沉管灌注桩     | 270~400   | /                   | ≤20     | ○                          | ○                               | △      | △      | ×      | △                                    | ○                                              | ○                                         | ○                          | △                               | ○           | ○                | ○      | ○                                         | ○         | ○            | 有                     | 无      | 有                          |   |
|             |               | 平底大头灌注桩       | 350~400   | 450×450<br>~500×500 | ≤15     | ○                          | ○                               | △      | ×      | ×      | △                                    | △                                              | △                                         | ×                          | △                               | ×           | ○                | △      | ×                                         | ×         | ○            | ○                     | 有      | 无                          | 有 |
|             |               | 沉管灌注同步桩       | ≤400      | /                   | ≤20     | ○                          | ○                               | ○      | △      | ×      | ○                                    | ○                                              | ○                                         | ×                          | △                               | ×           | ○                | △      | ×                                         | ×         | ○            | ○                     | 有      | 无                          | 有 |
|             | 夯压成型灌注桩       | 325、377       | 460~700   | ≤20                 | ○       | ○                          | ○                               | △      | △      | ○      | ○                                    | ○                                              | ×                                         | △                          | ×                               | ○           | △                | △      | ×                                         | ○         | ○            | 有                     | 无      | 有                          |   |
|             | 干振灌注桩         | 350           | /         | ≤10                 | ○       | ○                          | ○                               | △      | △      | △      | △                                    | ×                                              | △                                         | △                          | △                               | △           | ×                | ×      | ×                                         | ○         | ×            | 有                     | 无      | 无                          |   |
|             | 爆扩灌注桩         | ≤350          | ≤1000     | ≤12                 | ○       | ×                          | ×                               | ×      | ×      | △      | ○                                    | ○                                              | ×                                         | △                          | ×                               | ○           | ×                | ×      | ×                                         | ×         | ○            | ×                     | 有      | 无                          | 有 |
|             | 弗兰克桩          | ≤600          | ≤1000     | ≤20                 | ○       | ○                          | ○                               | △      | △      | ○      | ○                                    | △                                              | ○                                         | △                          | ○                               | △           | ×                | ○      | ○                                         | ○         | ○            | 有                     | 无      | 有                          |   |
|             | 挤预制土桩         | 打入实心混凝土预制桩    | ≤500×500  | /                   | ≤50     | ○                          | ○                               | ○      | △      | △      | △                                    | ○                                              | ○                                         | ○                          | ○                               | ○           | ○                | ○      | △                                         | △         | ○            | ○                     | 有      | 无                          | 有 |
| 闭口钢管桩、混凝土管桩 |               | ≤600          | /         | ≤40                 | ○       | ○                          | ○                               | △      | △      | ×      | ×                                    | ○                                              | △                                         | △                          | ×                               | ○           | ×                | ×      | ×                                         | ○         | ○            | 无                     | 无      | 有                          |   |
| 静压桩         |               | 100×100       | /         | ≤40                 | ○       | ○                          | △                               | △      | ×      | ×      | ○                                    | △                                              | △                                         | △                          | ×                               | ○           | ×                | ×      | ×                                         | ○         | ○            | 无                     | 无      | 有                          |   |

注:表中符号○表示比较合适;△表示有可能采用;×表示不宜采用。

### 三、沉井基础

在深基础施工中，为减少开挖的大量土方，保证陡坡开挖边坡的稳定性，人们创造了沉井基础。它是一种垂直的筒形结构物，通常用砖、混凝土或钢筋混凝土制成。

施工时从井筒中间挖土，使筒推动支承而下沉，直到设计深度为止，然后封底。整个井筒在施工时作为支撑围壁，也是永久性的深基础。

沉井基础适用于在平面上紧凑的重型建筑物，如高大烟囱、铁塔、重型设备、桥墩等建筑物基础。同时适用于大型取水建筑物、水泵站以及冶金工厂的铁渣井等，如上海宝钢在江边修筑给水引水建筑物，采用  $40\text{ m} \times 40\text{ m}$  的大型沉井。

沉井通常用于粘性土和粗粒的砂土中施工，缺点是土层中夹有石块或其他障碍物时，施工就比较困难。

### 四、沉箱基础

沉箱基础形似有顶盖的沉井，在地下水位下施工时，用压缩空气通入沉箱室（即工作室）内部，排出地下水，使工人可在沉箱室内干土上进行挖土施工，并通过升降筒和气闸，把弃土外运。在沉箱自重和上部砌体重量作用下，沉箱逐渐下沉，直至设计深度后，用混凝土填实工作室，即为沉箱基础。

这种方法是从 13 世纪时的潜水钟发展而来，到 19 世纪中期改进为气压沉箱，应用于德国莱茵河上的一座桥梁的桥墩基础施工中。我国在钱塘江大桥基础施工中，也采用了气压沉箱法。

沉箱法施工中的沉箱下沉可达地下水位以下  $35 \sim 40\text{ m}$ 。此法特别适用于重型设备基础、地质条件不良、土层中有大漂石等障碍物、地下水位较深等，用沉井无法施工时，可用沉箱。例如北京 403 厂地基为砂卵石层夹有大孤石，采用沉箱，解决了施工困难。此外，在江河岸边大型引水结构物，为了节省工程量和资金，防止对邻近建筑物的影响，也可采用沉箱。例如，上海闸北电厂大型水泵房基础，位于黄埔江边，采用气压沉箱基础，比大开挖在江中填筑围堰节省费用，缩短工期一半以上。

### 五、地下连续墙基础

地下连续墙是近代发展起来的一种新的深基础型式。它可以大大节省明槽开挖的土方量，缩短工期，降低造价。尤其是城市建设中，遇到密集建筑，为防止基础开挖施工对邻近建筑安全的影响，地下连续墙更显示出它的优越性。

地下连续墙起初在法国、意大利等国应用，后来墨西哥又有了发展，广泛应用于大坝基础防渗、竖井开挖、工业厂房、设备基础、城市地铁工程、高层建筑基础和地下工程等。

我国早在 1958 年，密云大型水库白河主坝中应用了地下连续墙，作为大坝地基的防渗墙。近年来，地下连续墙在工业建设中得到了广泛应用，详见本书第五章地下连续墙施工所述。