

高等职业教育规划教材

# 桥梁下部施工技术

郭梅 姜仁安 主编



 **机械工业出版社**  
CHINA MACHINE PRESS

高等职业教育规划教材

# 桥梁下部施工技术

主 编 郭 梅 姜仁安  
副主编 慕 平 申 建 于 辉  
参 编 汤红丽 张玉华 李 杨  
刘仲波  
主 审 沈艳东



机械工业出版社

本书按工作过程导向、任务驱动的教学模式,以工作项目和工作任务的结构体系进行编写。全书共分为6个项目:项目1 认知桥梁下部结构的基本组成及构造要求,包括的工作任务有:认知桥梁基础的分类与构造,认知桥梁墩台的分类与构造;项目2 下部结构常用知识,包括的工作任务有:下部常用材料的物理力学性质,作用及作用效应组合;项目3 桥梁地基处理技术,包括的工作任务有:常用的地基处理技术,特殊土地基处理技术;项目4 桥梁的施工准备与测量,包括的工作任务有:施工准备工作,桥位施工测量、桥涵施工放样;项目5 桥梁基础的施工,包括的工作任务有:刚性浅基础的施工,桩基础的施工,沉井基础的施工;项目6 桥梁墩台施工技术,包括的工作任务有:混凝土墩台、石砌墩台施工,桩柱式墩台施工,常规薄壁墩台施工,特殊模板系统下的高墩施工,墩台附属工程及支座施工。

本书主要作为高职院校或应用型本科院校的公路工程测量、公路工程管管理、公路工程造价、公路工程养护及其他相关专业的教学用书,也可供公路工程管管理与技术人员参考使用。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

桥梁下部施工技术/郭梅,姜仁安主编. —北京:机械工业出版社,2015.6  
高等职业教育规划教材  
ISBN 978-7-111-49855-1

I. ①桥… II. ①郭… ②姜… III. ①桥梁结构-下部结构-桥梁施工-高等职业教育-教材 IV. ①U443.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 067181 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)  
策划编辑:李莉 责任编辑:李莉  
版式设计:霍永明 责任校对:刘秀丽  
封面设计:陈沛 责任印制:刘岚  
北京京丰印刷厂印刷  
2015 年 5 月第 1 版·第 1 次印刷  
184mm×260mm·14 印张·342 千字  
0 001—2 000 册  
标准书号:ISBN 978-7-111-49855-1  
定价:32.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

# 前 言

随着高等职业教育教学改革不断深化，各高职院校相继进行了基于工作过程的课程改革，课程体系、内容以及教学方法等都发生了很大变化，传统的教材模式已不能满足教学需要。鉴于此，编者根据多年的教学和实践经验，以现行的设计规范和最新的施工规范为依据编写了本书。

本书围绕岗位工作需求，紧扣学生职业能力培养目标，按工作过程导向、任务驱动、理实一体化的教学模式进行编写。融理论知识、实践知识、职业素养为一体，强调理论在实践中的应用。

本教材打破了传统的内容体系和组织编排形式，按照桥梁下部施工的实际工作过程创建工作项目，每个项目下设立若干相对独立而又具有内在联系的工作任务，围绕工作任务组织教学内容，通过完成工作任务来达到学习目的。全书共设置了6个项目，即：项目1 认知桥梁下部结构的基本组成及构造要求；项目2 下部结构常用知识；项目3 桥梁地基处理技术；项目4 桥梁的施工准备与测量；项目5 桥梁基础的施工；项目6 桥梁墩台施工技术。6个项目下共设立了17个工作任务，每个任务下设“学习目标”“任务要求”“任务指导”三个栏目。全书内容简明扼要，条理清晰，通俗易懂，实用性强，具有鲜明的职业特色。

参加编写的人员及分工为：吉林交通职业技术学院郭梅编写项目1、项目2、项目3任务3.2，吉林交通职业技术学院姜仁安编写项目4、项目5，吉林交通职业技术学院慕平和申建编写项目3 基础知识和项目3 任务3.1，吉林交通职业技术学院张玉华编写项目6 基础知识，吉林交通职业技术学院于辉编写项目6 任务6.1，吉林交通职业技术学院汤红丽编写项目6 任务6.2，吉林交通职业技术学院李杨和刘仲波编写项目6 任务6.3~6.5。

本书由吉林交通职业技术学院郭梅、姜仁安主编并最后统稿，由吉林交通职业技术学院沈艳东教授担任主审。

由于编者水平有限，书中错误和不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 前言

<b>项目 1 认知桥梁下部结构的基本组成及构造要求</b> .....	1
基础知识 .....	1
任务 1.1 认知桥梁基础的分类与构造 .....	3
任务 1.2 认知桥梁墩台的分类与构造 .....	19
<b>项目 2 下部结构常用知识</b> .....	36
基础知识 .....	36
任务 2.1 下部常用材料的物理力学性质 .....	39
任务 2.2 作用与作用效应组合 .....	60
<b>项目 3 桥梁地基处理技术</b> .....	70
基础知识 .....	70
任务 3.1 常用的地基处理技术 .....	74
任务 3.2 特殊土地基处理技术 .....	92
<b>项目 4 桥梁的施工准备与测量</b> .....	104
任务 4.1 施工准备工作 .....	104
任务 4.2 桥位施工测量 .....	107
任务 4.3 桥涵施工放样 .....	114
<b>项目 5 桥梁基础的施工</b> .....	119
基础知识 .....	119
任务 5.1 刚性浅基础的施工 .....	121
任务 5.2 桩基础的施工 .....	138
任务 5.3 沉井基础的施工 .....	170
<b>项目 6 桥梁墩台施工技术</b> .....	178
基础知识 .....	178
任务 6.1 混凝土墩台、石砌墩台施工 .....	186
任务 6.2 桩柱式墩台施工 .....	192
任务 6.3 常规薄壁墩台施工 .....	197
任务 6.4 特殊模板系统下的高墩施工 .....	202
任务 6.5 墩台附属工程及支座施工 .....	211
<b>参考文献</b> .....	217

# 项目 1 认知桥梁下部结构的基本组成及构造要求

## 【项目描述】

本项目主要学习桥梁下部结构的基本组成及构造，主要包括：基础知识、认知桥梁基础的组成与构造、认知桥梁墩台的组成与构造。在理论学习的基础上，通过具体工作任务的学习和训练，使学生学会桥梁下部结构的基本知识。

## 【能力目标】

通过学习，使学生具备如下能力：

1. 知道桥梁的基本组成部分。
2. 看图时明确知道基础的类型和适用条件。
3. 看图时明确知道墩台的类型和适用条件。

## 基础知识

### 1.0.1 桥梁的基本组成

桥梁一般由三个基本部分组成，即上部结构、下部结构和支座。如图 1-1 和图 1-2 所示，分别为公路桥中的梁式桥和拱式桥的概貌。

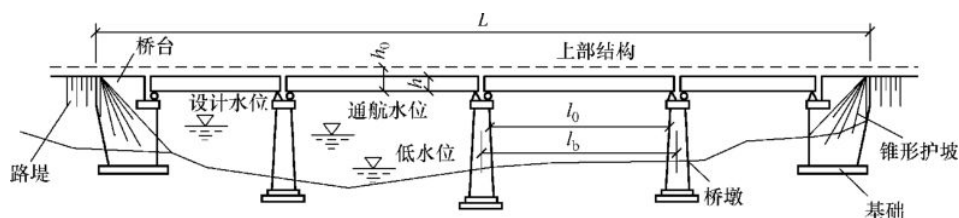


图 1-1 梁式桥概貌

上部结构（或称桥跨结构）是桥梁支座以上（拱桥起拱线或刚架桥主梁底线以上）跨越桥孔的总称，是线路中断时跨越障碍的主要承重结构。

下部结构包括桥墩、桥台和基础。

支座设置在墩台的顶部，用于支承上部结构的传力装置，它不仅要传递很大的荷载，还要保证上部结构能按设计要求产生一定的变位。

在桥梁建筑工程中，除了上述基本组成部分外，在路堤与桥台衔接处，一般在桥台两侧

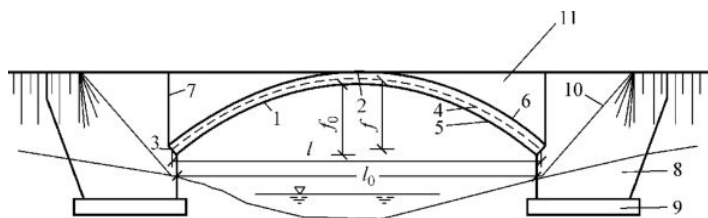


图 1-2 拱式桥概貌

- 1—拱圈 2—拱顶 3—拱脚 4—拱轴线 5—拱腹 6—拱背  
7—变形缝 8—桥台 9—基础 10—锥坡 11—拱上结构

设置石砌的锥形护坡，如图 1-1 所示，以保证迎水部分路堤边坡的稳定。另外，根据需要还常常有修筑护岸、导流结构物等附属工程。

### 1.0.2 桥梁墩台的概念

桥墩和桥台用来支承上部结构，并将其传来的恒载和车辆活载传至基础。设置在桥跨中间部分的称为桥墩，设置在桥跨两端与路堤相衔接的称为桥台。单孔桥只有两端的桥台，没有中间的桥墩。桥墩除承受上部结构作用力外，还承受风力、流水压力及可能发生的冰压力、船只和漂流物的撞击力等。桥台设置在桥的两端，除了承受桥跨结构作用力外，还是与两岸接线路堤衔接的构造物；既要挡土护岸，又能承受台背填土及填土上车辆作用所产生的附加土侧压力。因此，桥墩和桥台不仅自身应具有足够的强度、刚度和稳定性，而且对地基的承载能力、沉降量、地基与基础之间的摩擦阻力等提出一定的要求，以避免产生危害桥梁整体结构的位移。这一点对超静定结构桥梁尤为重要。

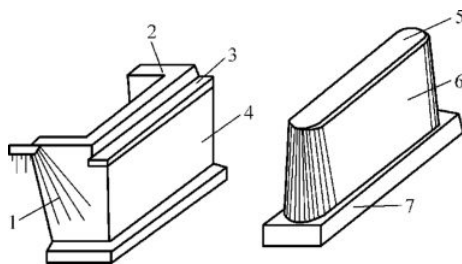


图 1-3 重力式墩台

- 1—锥坡 2—侧墙 3—台帽 4—台身  
5—墩帽 6—墩身 7—基础

桥梁墩台是桥梁的重要组成部分，称为桥梁的下部结构。它主要由墩台帽、墩台身和基础三部分组成图 1-3。

桥梁墩台承担着桥梁上部结构所产生的作用力，并将作用力有效地传递给地基，墩台主要决定着桥梁的高度和平面上的位置，受地形、地质、水文和气候等自然因素影响。

桥梁墩台结构应遵循安全耐久、满足交通要求，造价低、养护费用少、施工方便、工期短、与周围环境协调、造型美观等原则。桥梁墩台设计与桥跨结构形式及其受力有关；与地质构造和土质条件有关；与水文、水流流速和河床性质有关。因此，桥梁墩台要置于稳定可靠的地基上，应考虑各种因素的综合作用，通过设计和计算确定基础形式和埋置深度，确保墩台在洪水、地震、桥梁活载等动力作用下安全、耐久。

墩台的造价通常在桥梁总造价中占有很大的比例。同时墩台的修建，在很多情况下较之建造桥跨结构更为复杂和艰巨。

### 1.0.3 基础的概念

在桥梁工程中桥墩和桥台底部与地基相接触的部分，称为基础。基础承受从桥墩或桥台传来的全部荷载，包括竖向荷载以及地震力、船舶撞击墩身等引起的水平荷载。基础起着“承上启下”的作用，也就是承受其上部作用的全部荷载，并将其传递、扩散到地基中。所以要求基础必须具有足够的强度与稳定性，以保证整个建筑物的安全和正常使用。

由于基础往往深埋于水下土层之中，是桥梁施工中难度较大且施工复杂的部分，也是确保桥梁安全的关键之一。

### 1.0.4 地基的概念

任何建筑物都建造在一定的地层上，建筑物的全部荷载都由它下面的地层来承担，并使地层中的应力状态发生改变。一般把承受整个建筑物荷载而应力状态发生改变的那一部分地层称为地基，如图1-4所示。

地基承受着由基础传来的整个建筑物荷载，它对整个建筑物的安全和正常使用起着根本作用，所以要求地基必须具有足够的强度与稳定性，并且变形（主要指沉降）也应在允许范围以内。

对于浅基础而言，地基可分为持力层和下卧层。持力层为直接与基础底面相接触的那部分地层，它直接承受基底压应力作用。持力层以下的地层称为下卧层。

地基可分为天然地基与人工地基。直接砌筑基础不需人工处理的地基称为天然地基。如果天然地层土质过于软弱或存在不良工程地质问题，需要经过人工加固或处理后才能修筑基础，这种经过人工加固处理的地基称为人工地基。在一般情况下，应尽量采用天然地基。

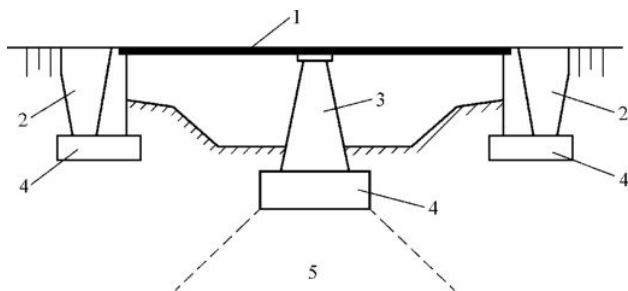


图1-4 桥梁结构立面示意图

1—上部结构 2—桥台 3—桥墩 4—基础 5—地基

## 任务1.1 认知桥梁基础的分类与构造

### 【学习目标】

本任务主要介绍了基础的分类、刚性浅基础的形式与构造、桩基础的形式与构造、沉井基础的形式与构造。在进行桥梁下部基础施工之前，应该了解要施工结构的基本形式及构造，每一种基础形式都有其特点。本任务主要要求掌握好基础的分类和构造，这样才能更好地完成基础施工。

### 【任务要求】

本任务要求学生根据所学桥梁分类和构造知识，针对教师所提供的桥梁基础施工图，撰

写一份该基础的分析材料。

## 【任务指导】

### 1.1.1 基础的分类

根据地层变化情况、上部结构的要求、荷载特点和施工技术水平，可采用不同类型的基础。

基础的类型可按基础的埋置深度、刚度、构造形式、施工方法及材料等来分类。

#### 1. 按埋置深度分类

基础按埋置深度可分为浅基础（5m 以内）和深基础两种。

1) 浅基础：当浅层地基承载力较大时，可采用埋深较小的浅基础。浅基础施工方便，通常用明挖法从地面开挖基坑后，直接在基坑底面砌筑、浇筑基础。桥梁及各种人工构造物常采用天然地基上的浅基础。

2) 深基础：如果浅层土质不良，需将基础埋置于较深的良好土层上，这种基础称为深基础。深基础设计和施工较复杂，但具有良好的适应性和抗震性，常见的形式有桩基础、沉井和管柱基础，而我国公路桥梁应用最多的深基础是桩基础。

#### 2. 按基础的刚度分类

按基础的刚度即受力后基础的变形情况，可分为刚性基础和柔性基础。

1) 采用圬工材料（浆砌块石、混凝土等）砌筑，刚度极大的基础称为刚性基础（见图 1-5a）。它是桥梁、涵洞和房屋等建筑物常用的基础类型。由于圬工材料的抗压强度大而抗弯拉强度小，所以基础受力后不容许发生挠曲变形，否则将产生开裂破坏。这种基础不需要钢材，造价较低，但圬土体积较大，且支承面积受一定限制。

2) 采用钢筋混凝土砌筑，具有一定刚度和弹性的基础称为柔性基础或弹性基础（见图 1-5b）。由于钢筋可以承受较大的弯曲拉应力和剪应力，所以基础受力后容许发生一定挠曲变形。当地基承载力较小时，采用这种基础可以有较大的支承面积。

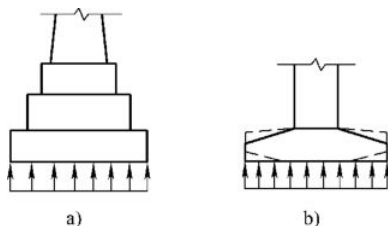


图 1-5 按基础刚度分类

a) 刚性基础 b) 柔性基础

#### 3. 按构造形式分类

对于桥梁基础，按构造形式可分为实体式和桩柱式基础两类。

1) 当整个基础都由圬工材料筑成时，称为实体式基础，如图 1-6a 所示。其特点是基础整体性好，自重较大，对地基承载力要求也较高。

2) 由多根基桩或小型管桩组成，并用承台联结成为整体的基础，称为桩柱式基础，如图 1-6b 所示。这种基础较实体式基础圬工体积小，自重较轻，对地基强度的要求相对较低。桩柱本身一般要用钢筋混凝土制成。

#### 4. 按施工方法分类

基础按施工方法分为明挖法、沉井、沉桩、沉管灌注桩、就地钻（挖）孔灌注桩以及钻（挖）孔埋置桩等。

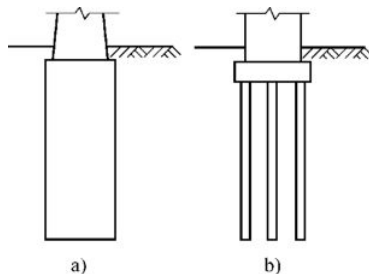


图 1-6 按基础构造形式分类

a) 实体式基础 b) 桩柱式基础

明挖法最为简单,但只适用于浅基础,其他方法均用于深基础。本教材将在后续章节中分别介绍明挖法、沉井、沉桩、就地钻(挖)孔灌注桩等的施工方法。

### 5. 按基础的材料分类

目前我国公路建筑物基础大多采用混凝土或钢筋混凝土结构,少部分用钢结构。在石料丰富的地区,可就地取材,采用石砌基础。

## 1.1.2 刚性浅基础的形式与构造

### 一、刚性基础的受力要求和特点

基础在外力(包括基础自重)作用下,对地基表面产生压应力,反之,基底受到同样大小的反作用力 $p$ ,此时基础的悬出部分即 $a-a$ 截面左端(见图1-7a),相当于承受着强度为 $p$ 的均布荷载的悬臂梁。在荷载作用下, $a-a$ 截面是所有截面中最不利的截面,将产生弯曲拉应力和剪应力,随着基础悬出部分长度的增加而增大,随着基础截面面积的增加而减小。

由于圬工材料的抗弯抗拉强度较差,为了防止基础的悬出部分发生挠曲开裂破坏,应使基础圬工具有足够厚的截面,使弯曲拉应力和剪应力均小于材料强度设计值。当截面厚度一定时,其悬出部分长度应控制在一定范围内。否则,就需加入受力钢筋而成为柔性基础(图1-7b)。

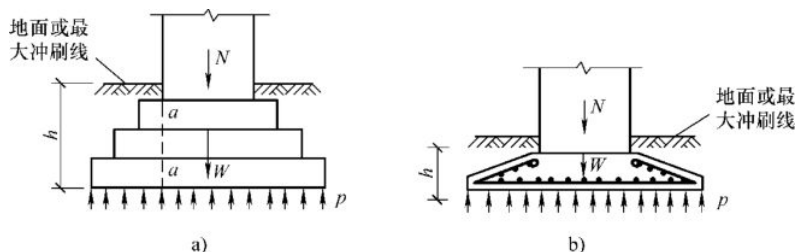


图1-7 刚性基础和柔性基础的受力要求

a) 刚性基础 b) 柔性基础

刚性基础的优点是稳定性好、施工简便、能承受较大的荷载。所以只要地基强度能满足要求,它是桥涵等结构物首先考虑的基础形式。

刚性基础的主要缺点是自重大,并且当持力层为软弱土时,由于扩大基础面积有一定限制,需要对地基进行处理或加固后才能采用,否则会因所受的荷载压力超过地基强度而影响建筑物的正常使用。所以对于荷载大或上部结构对沉降较敏感的建筑物,当持力层的土质较差又较厚时,刚性浅基础是不适宜的。

### 二、刚性基础的形式与构造

#### 1. 刚性基础的形式

为满足地基强度要求,需将基础平面尺寸扩大,这种刚性基础又称刚性扩大基础。桥涵、挡土墙中的刚性基础一般均为刚性扩大基础,其形式主要有:实体墩台下的刚性扩大基础(图1-8)、墙

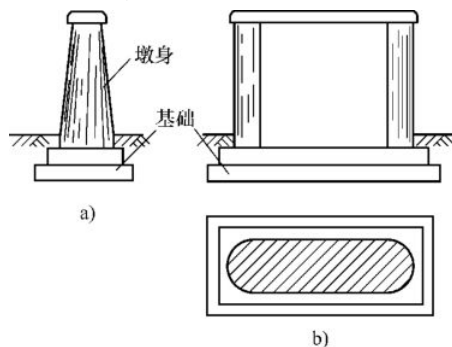


图1-8 实体墩台下的刚性扩大基础

a) 纵向图 b) 横向及平面图

下条形基础（图 1-9）、柱下刚性基础（图 1-10）等。

墙下条形基础是挡土墙下或涵洞下常用的基础形式。其横剖面可以是矩形或将一侧筑成台阶形。如挡土墙很长，为了避免在沿墙长方向因沉降不匀而开裂，可根据土质和地形予以分段，设置沉降缝。

有时为了增强桥柱下基础的承载能力，可将同一排若干个柱子的基础联合起来，也就成为柱下条形基础（图 1-10b）。

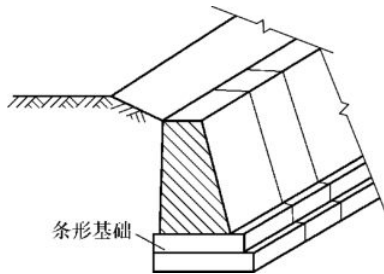


图 1-9 墙下条形基础

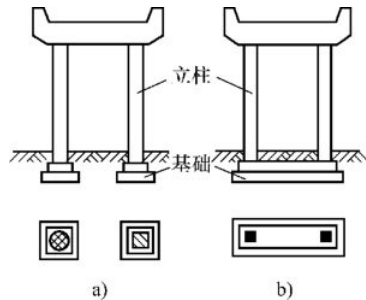


图 1-10 柱下刚性基础

a) 柱下单独基础 b) 柱下条形基础

## 2. 刚性基础的构造

刚性基础的平面形状常为矩形，每边较墩台底面扩大一部分，为了防止基础的悬出部分发生开裂破坏，每边扩大的尺寸应限制在一定范围内，具体尺寸应视土质、基础厚度、埋置深度和施工方法经验算而定。

基础顶面超出墩台底部边缘的部分，称为襟边。襟边的主要作用为：

1) 考虑到基础施工条件较差，基础砌成后的位置可能会有所偏差，襟边的设置可以有调整余地，弥补这种偏差，使墩台仍能按正确的位置定位。

2) 便于施工操作和搭置墩台模板。因此，在拟定襟边大小时应考虑施工情况，一般可取 0.2 ~ 1.0m。

当基础较厚时，可在纵横两个剖面上都做成台阶形，以减少基础自重和节省材料。台阶形基础是桥涵及其他建筑物常用的基础形式。

## 3. 砌筑材料

刚性基础一般采用混凝土浇筑或石砌，砌筑材料主要有混凝土或各种石材。

(1) 混凝土 混凝土是修筑基础最常用的材料，它的优点是强度高、耐久性好，可浇筑成任意形状的砌体，混凝土强度等级一般不宜小于 C20。对于大体积混凝土基础，为了节约水泥用量，可掺入不多于砌体体积 20% 的片石（称片石混凝土），片石强度等级不应低于混凝土强度等级和规范规定的石材最低强度等级。

(2) 石材 刚性基础常用的石材主要有各种料石、块石和片石。

1) 料石外形方正，厚度为 200 ~ 300mm，宽度为厚度的 1.0 ~ 1.5 倍，长度为厚度的 2.5 ~ 4.0 倍。根据表面平整情况可分为细料石、半细料石和粗料石。

2) 块石要求外形大致方正，厚度和宽度要求与料石相同，长度约为厚度的 1.5 ~ 3.0 倍。

3) 片石为不规则石块,使用时形状不受限制,但厚度不得小于 150mm,卵石和薄片不得采用。

采用石材砌筑时应错缝,并用水泥砂浆填缝。

(3) 砌筑材料的最低强度等级要求 砌筑刚性基础所采用的圬工材料的最低强度等级要求见表 1-1。

表 1-1 圬工材料的最低强度等级

结构物类型	材料最低强度等级	砌筑砂浆最低强度等级
大、中桥墩台及基础, 轻型桥台	石材为 MU40 混凝土(现浇)为 C25 混凝土(预制块)为 C30	M7.5
小桥涵墩台、基础	石材为 MU30 混凝土(现浇)为 C20 混凝土(预制块)为 C25	M5

### 1.1.3 桩基础的形式与构造

#### 一、桩基础的受力要求和特点

##### 1. 桩基础的组成

桩基础是常用的桥梁基础类型,由埋于地基土中的若干根桩及将所有桩联成一个整体的承台(或盖梁)两部分所组成,如图 1-11a 所示。桩身可以全部或部分埋入地基土中,当桩身外露在地面上较高时,在桩之间还应加横系梁,以加强各桩之间的横向联系。

若干根桩在平面上可排列为一排或几排,所有桩的顶部由承台联成一体,在承台上修筑桥墩、桥台及上部结构。桩可以先预制好,再将其运至现场沉入土中;也可以就地钻孔(或人工挖孔),然后在孔中浇筑水泥混凝土或置入钢筋骨架后再浇灌混凝土而成桩。

##### 2. 桩基础的作用原理

桩基础的作用是将承台以上结构物传来的外力通过承台,由桩传到较深的地基持力层中去。

承台将外力传递给各桩并箍住桩顶使各桩共同承受外力。

各桩所承受的荷载由桩通过桩侧土的摩阻力及桩端土的抵抗力将荷载传递到地基土中,如图 1-11b 所示。

##### 3. 桩基础的特点

1) 承载力高、稳定性好、沉降量小而均匀。当地基浅层土质不良时,它能穿越浅层土发挥地基深层土承载力的作用,以满足桥梁上部结构物荷载的要求。

2) 在深水河道中施工要比其他基础形式简便。桩基础可以借桩群穿过水流将荷载传到地基中,避免(或减少)水下工程,简化施工设备和技术要求,

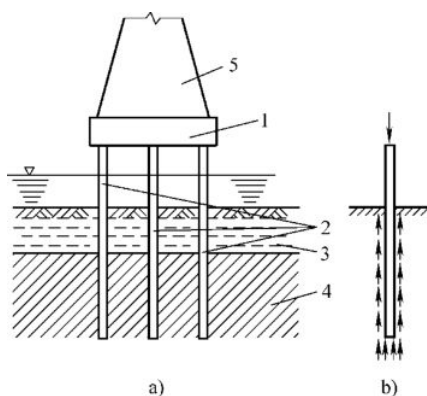


图 1-11 桩基础

a) 桩基础的组成 b) 桩的作用原理  
1—承台 2—基桩 3—松软土层 4—持力层 5—墩身

加快施工速度并改善劳动条件。

3) 与其他深基础形式相比耗用材料少。

4) 具有较好的适应性。目前, 桩基础的类型多种多样, 成桩机具种类繁多, 施工工艺完善, 施工经验成熟, 施工方法灵活。所以, 可以采用不同类型的桩基础和施工方法以适应不同的水文地质条件、荷载性质和上部结构特征。

4. 桩基础的适用条件

桩基础是一种深基础, 主要适用于下列条件:

1) 荷载较大, 地基上部土层软弱, 适宜的地基持力层位置较深, 采用浅基础或人工地基在技术上、经济上不合理时。

2) 河床冲刷较大, 河道不稳定或冲刷深度不易计算正确, 如采用浅基础施工困难或不能保证基础安全时。

3) 当地基计算沉降过大或结构物对不均匀沉降敏感时, 采用桩基础穿过松软(高压缩性)土层, 将荷载传到较坚实(低压缩性)土层, 减少结构物沉降并使沉降较均匀。

4) 当施工水位或地下水水位较高时, 采用桩基础可以减少施工困难。

5) 在地震区可液化地基中, 采用桩基础穿越可液化土层, 可消除或减轻地震对结构物的危害, 增强结构物的抗震能力。

以上情况也可以采用其他形式的深基础, 但桩基础由于具有耗料少、自重轻、施工简便等优点, 往往是优先考虑的深基础方案。总之, 当采用浅基础无法满足结构物对地基强度、变形和稳定性方面的要求时, 常常采用桩基础。

当上层软弱土层很厚, 桩底不能达到坚实土层时, 就需要用较多、较长的桩来传递荷载, 这时的桩基础稳定性较差, 沉降量也较大; 当覆盖层很薄时, 桩的稳定性也有问题。此时, 桩基础就不一定是最佳的基础形式。

因此, 在考虑采用桩基础时, 必须根据上部结构特征与使用要求, 认真分析研究建桥地点的工程地质与水文地质资料, 考虑不同桩基类型特点和施工环境条件, 经过多方面的技术经济比较分析, 来选择确定合理可行的方案。

## 二、桩和桩基础的类型

为满足结构物的要求, 适应地基的特点, 随着科学技术的发展, 在工程实践中已形成了多种类型的桩基础, 它们在本身构造上和桩土相互作用性能上都具有各自的特点。学习桩和桩基础的分类及其构造, 目的是掌握其特点, 以使设计和施工时能更好地发挥桩基础的作用。

### 1. 按成桩挤土效应分类

大量工程实践表明, 成桩挤土效应对桩的承载力、成桩质量控制和环境等有很大影响, 因此, 根据成桩方法和成桩过程的挤土效应, 将桩分为非挤土桩、部分挤土桩和挤土桩(排土桩)三大类。

(1) 非挤土桩 也称为置换桩, 施工时, 用钢筋混凝土或钢材将与桩基体积相同的土置换出来, 因此桩身下沉对周围土体很少扰动, 但缺点是有应力松弛现象。非挤土桩包括钻(挖)孔灌注桩、抓斗挖掘成孔桩等。

(2) 部分挤土桩 在成桩过程中, 周围土体仅受到轻微挤压扰动, 土体原状结构及工程性质没有大的变化。部分挤土桩包括冲孔灌注桩、挤扩孔灌注桩、预钻孔沉桩、打入式敞

口桩和敞口预应力混凝土管桩等。

(3) 挤土桩(排土桩) 在成桩过程中, 桩周围的土被挤密或挤开, 桩周围的土受到严重的扰动, 土的原始结构遭到破坏, 土的工程性质发生很大变化。这类桩主要包括各种沉桩, 如锤击、静压、振动沉入的预制桩及闭口预应力混凝土管桩等。

在饱和软土中设置挤土桩, 如设计和施工不当, 就会产生明显的挤土效应, 导致未初凝的灌注桩桩身缩小乃至断裂、桩上浮和移位、地面隆起等, 从而降低桩的承载力; 有时还会损坏邻近建筑物; 桩基施工后, 还可能因饱和软土中孔隙水压力消散, 土层产生再固结沉降, 使桩产生负摩阻力, 降低桩基承载力, 增大桩基沉降。挤土桩只有设计和施工得当, 才可收到良好的技术经济效果。

在非饱和松散土中采用挤土桩, 其承载力明显高于非挤土桩。因此, 正确地选择成桩方法和工艺, 是桩基设计中的重要环节。

## 2. 按承载性状分类

按桩的承载性状可分为摩擦型桩和端承型桩。

(1) 摩擦型桩 摩擦型桩又分为摩擦桩和端承摩擦桩。

1) 摩擦桩指在极限承载力状态下桩顶荷载由桩侧阻力承受的桩, 如图 1-12a 所示。

2) 在极限承载力状态下, 桩顶荷载主要由桩侧阻力承受, 桩端阻力很小, 这种桩称为端承摩擦桩, 如图 1-12b 所示。

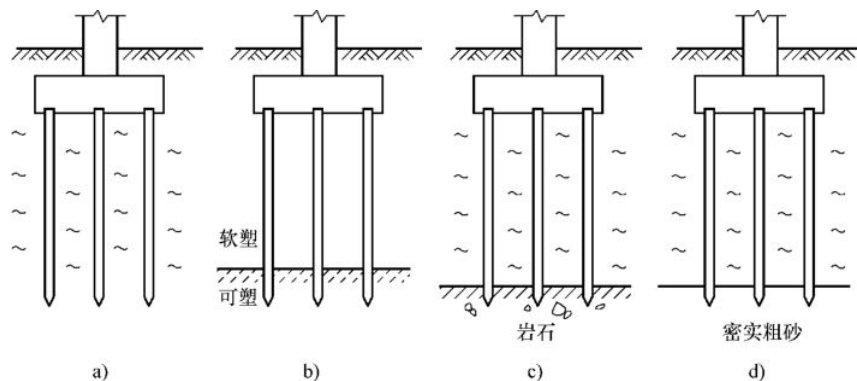


图 1-12 摩擦桩与端承桩

a) 摩擦桩 b) 端承摩擦桩 c) 端承桩 d) 摩擦端承桩

(2) 端承型桩 端承型桩又分为端承桩和摩擦端承桩。

1) 端承桩指在极限承载力状态下, 桩顶荷载由桩端阻力承受的桩。例如通过软弱土层桩端嵌入基岩的桩, 桩的承载力由桩的端部承受, 桩侧摩擦阻力很小, 不予考虑, 如图 1-12c 所示。

2) 摩擦端承桩在极限承载力状态下, 桩顶荷载主要由桩端阻力承受, 桩侧摩擦力很小。如图 1-12d 所示的预制桩, 桩周土为流塑状态黏性土, 桩端土为密实状态粗砂, 桩侧摩擦力约占单桩承载力的 20%。

通常端承桩承载力较大, 基础沉降小, 较安全可靠。但若岩层埋置很深, 沉桩困难时, 则应采用其他几种类型的桩。

摩擦桩的沉降一般大于端承桩的沉降，为防止桩基产生不均匀沉降，在同一桩基中，不宜同时采用摩擦桩和端承桩。在同一桩基中，采用不同直径、不同材料和桩端深度相差过大的桩，不仅设计复杂，施工中也易产生差错，故不宜采用。

### 3. 按承载类别分类

按桩的承载类别，桩分为竖向抗压桩、竖向抗拔桩、水平受荷桩和复合受荷桩。

#### (1) 竖向抗压桩

主要承受上部结构传来的竖向荷载，绝大部分建筑桩基都为竖向抗压桩。

#### (2) 竖向抗拔桩

竖向抗拔桩主要承受竖向拉拔荷载，如高耸结构物、地下抗浮结构及板桩墙后的锚桩等。

#### (3) 水平受荷桩

如基坑支护、港口码头等工程中的各种支护桩主要承受水压力、土压力等水平荷载，其垂直荷载很小。

#### (4) 复合受荷桩

如高耸建筑（构造）物的桩基，既要承受很大的垂直荷载，又要承受很大的水平荷载（风荷载和地震力）。

### 4. 按桩轴方向分类

按桩轴方向可分为竖直桩和斜桩（单向斜桩和多向斜桩），如图 1-13 所示。斜桩的特点是能承受较大的水平荷载，但需要有相应的施工设备和工艺。因此，在桩基础中是否需设斜桩和确定怎样的斜度，应根据荷载的具体情况和施工的设备条件而定。

一般来说，当作用于承台板底面处的水平外力和外力力矩不大，或桩的自由长度不长，或桩身截面较大时，可考虑采用竖直桩桩基础，反之宜采用带有斜桩的桩基础。

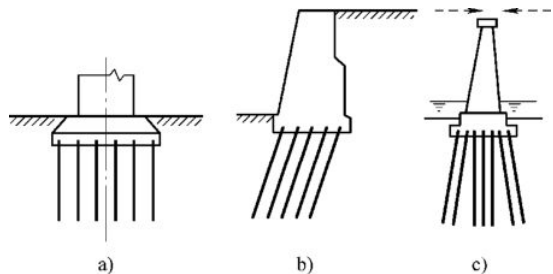


图 1-13 竖直桩和斜桩

a) 竖直桩 b) 单向斜桩 c) 多向斜桩

对于拱桥墩台等推力体系结构物的桩基础，一般应设置斜桩，以承受上部结构传来的较大水平推力，减小桩身弯矩、剪力和整个基础的侧向位移。

目前，我国桥梁钻、挖孔灌注桩由于施工设备和工艺问题，斜桩用得很少，只有预制桩才采用斜桩。

### 5. 按桩的断面尺寸分类

按桩的断面尺寸可分为小直径桩、中等直径桩和大直径桩。

(1) 小直径桩： $d \leq 250\text{mm}$ ，适用于中小型工程和基础加固。

(2) 中等直径桩： $250\text{mm} < d < 800\text{mm}$ ，采用最多。

(3) 大直径桩： $d \geq 800\text{mm}$ ，通常用于高层建筑、重型设备基础，并可实现一柱一桩的结构形式。大直径桩每一根桩的施工质量都必须切实保证，要求对每一根桩做施工记录。桩孔成孔后，应有专业人员下孔底检验桩端持力层土质是否符合设计要求，并将虚土清除干净

再下钢筋笼，用混凝土一次浇筑完成，不得留施工缝。

#### 6. 按承台位置分类

根据桩基承台底面位置的不同可将桩基础分为低承台桩基础和高承台桩基础。

(1) 低承台桩基础的承台底面位于地面（或局部冲刷线）以下，基桩全部埋入土中。低承台桩基础受力性能好，能承受较大的水平外力，如图 1-14a 所示。

(2) 高承台桩基础的承台底面位于地面（或局部冲刷线）以上，基桩部分入土，部分外露在地面以上，如图 1-14b 所示。

高承台桩基础由于承台位置较高或设在施工水位以上，可减少墩台圯工数量，可避免或减少水下作业，施工较为方便。但高承台桩在水平力作用下，由于承台及基桩露出地面的一段自由长度周围无土体来共同承受水平外力，基桩的受力情况较为不利，桩身内力和位移都将大于在同样水平外力作用下的低承台桩，在稳定性方面低承台桩较高承台桩要好。

一般对旱桥、季节性河流、冲刷深度较小的河床上的桥梁，大多采用低承台桩；对常年有水且水位较高，施工时不宜排水或冲刷较深的河床上的桥梁，则多采用高承台桩。近年来由于大直径钻孔灌注桩的采用，桩的刚度、强度都较大，因而高承台桩在桥梁基础工程中已得到广泛采用。

#### 7. 按施工方法分类

桩的施工方法种类较多，基本方法有沉入法和成孔灌注法。所以，按桩的施工方法可将桩分为沉桩（预制桩）、灌注桩两种基本类型，另外还有管桩和钻孔埋置桩等类型。

##### (1) 沉桩（预制桩）

沉桩的施工方法为将各种预制桩以不同的沉入方式（设备）沉入地基内，达到所需要的深度。

预制桩是按设计要求预先制作好的桩。长桩可在桩端设置钢板、法兰盘等接桩构造分节制作，施工时再接长。预制桩的桩体质量高，可大量工厂化生产，加快施工进度。

预制桩按材料的不同分为钢筋混凝土桩、预应力混凝土桩、钢桩、木桩和组合材料桩等，其中组合材料桩由两种以上的材料组成，如钢管混凝土桩或上部为钢管下部为混凝土的桩；按截面形状的不同分为方形（实心）和圆形（实心或空心管桩）桩两种。

预制桩适用于一般土地基，但较难沉入坚实地层。沉桩有明显的排挤土体作用，应考虑对邻近结构（包括邻近基桩）的影响。在运输、吊装和沉桩过程中应注意避免损坏桩身。

沉桩可以采用斜桩来抵抗较大的水平力，在某些情况下要比采用竖直的钻孔桩有利。

1) 当桩数量较多，而现场又有打桩设备和搬移桩架等有利条件，可以考虑采用沉桩。

2) 在有严重流砂的河床内，若采用钻孔桩施工比较困难，也可以采用沉桩。

3) 碎、卵石类土地基可采用射水沉桩方法施工。

按不同的沉桩方式，沉桩又可分为下列几种类型：

1) 打入桩（锤击桩）。通过锤击（或以高压射水辅助）将预制桩沉入地基。

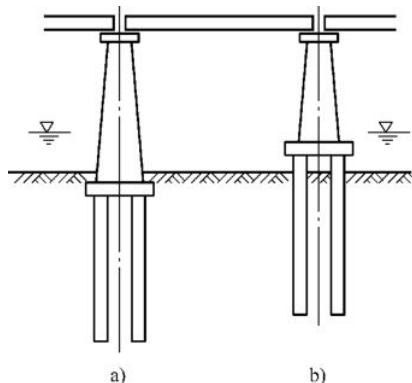


图 1-14 高承台桩和低承台桩

a) 低承台桩 b) 高承台桩

这种施工方法适用于桩径较小（一般直径在 0.6m 以下，但国内最大管桩直径已达 1m），地基土质为可塑状黏性土、砂性土、粉土、细砂以及松散的不含大卵石或漂石的碎卵石类土的情况。打入桩伴有较大的振动和噪声，在城市建筑密集地区施工，须考虑对环境的影响。

2) 振动下沉桩。振动法沉桩是将大功率的振动打桩机安装在桩顶，一方面利用振动以减小土对桩的阻力，另一方面用向下的振动力使桩沉入土中。

振动下沉桩适用于可塑状黏性土和砂土，用于土的抗剪强度受振动时有较大降低的砂土等地基和自重不大的钢桩，其效果更为明显。沉桩困难时可采用射水辅助振动沉桩。

3) 静力压桩。借助桩架自重及桩架上的压重，通过液压或滑轮组提供的静反力（见图 1-15）将预制桩压入土中的桩。

它适用于较匀质的可塑状黏性土地基，对于砂土及其他较坚硬土层，由于压桩阻力大而不宜采用。

静力压桩在施工过程中无振动、无噪声，并能避免锤击时桩顶及桩身的损伤，但较长桩分节压入时受压桩架高度的限制，使接头变多会影响压桩的效率。

## (2) 灌注桩

灌注桩是在现场地基中按一定方法成孔，然后形成钢筋混凝土或混凝土桩，如图 1-16 所示。

灌注桩有多种不同的成孔设备和施工方法，可以适用于各种类型的地基土，并可做成较大直径以提高桩的承载力。

在施工时可避免或减轻预制桩沉桩时对周围土体的挤压影响及产生的振动和噪声。但在成孔成桩过程中应采取相应的措施和方法保证孔壁的的稳定和提高桩体的质量。

根据成孔方法的不同，可以将灌注桩分为泥浆护壁钻（冲）孔灌注桩、干作业成孔灌注桩和沉管灌注桩等几大类。

1) 泥浆护壁钻（冲）孔灌注桩。泥浆护壁钻（冲）孔灌注桩是指用钻（冲）孔机具钻（冲）进土中，边破碎土体边排出土渣而成孔，然后在孔内放入钢筋骨架，灌注混凝土而形成的桩。桩的直径一般为 0.8 ~ 1.5m 左右。

在成孔过程中，为防止孔壁坍塌和顺利成孔，需采用泥浆护壁和灌注水下混凝土等相应的施工工艺和方法。

钻孔灌注桩的施工设备简单，操作方便。它适用于各种黏性土、砂性土以及碎、卵石类土和岩层。对于易坍孔土质及可能发生流沙或有承压水的地基，施工难度较大，施工前应做

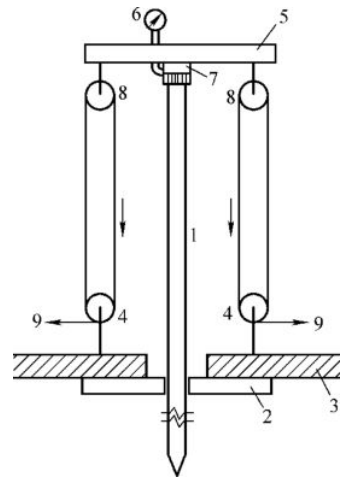


图 1-15 滑轮组压桩法示意图

1—桩身 2—锚梁 3—压桩架底梁  
4—定滑轮 5—压梁 6—压力表  
7—测力计 8—动滑轮  
9—接绞车钢丝绳

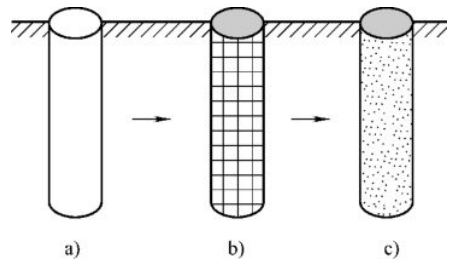


图 1-16 灌注桩成桩过程示意图

a) 成孔 b) 下放钢筋骨架  
c) 灌注混凝土成桩