

# 第一章 绪 论

## 第一节 本课程的任务和特点

本课程面向公路与桥梁工程、市政工程、道路工程检测专业的专科学学生，系统地介绍桥梁及其他人工构造物地基与基础的有关设计基本理论、实用的计算方法和基本的施工程序。

在学习中 应该理解问题的实质 掌握原理 搞清方法、步骤。其中天然地基的浅基础、桩基础、沉井基础 应了解其类型、构造特点和适用条件 理解其设计原理、计算方法 掌握其施工内容 做到知其然 亦知其所以然。

另外，本课程主要侧重于桥梁基础，但其中阐述的理论和方法，也适用于其他土建工程有关基础工程的问题。这就需要同学们在学习和实践中灵活掌握。

按教学计划，本课程应属于专业课范畴，因此必须要有专业基础课和其他专业课的支持，例如工程地质、土质学与土力学、桥涵水文、材料力学、结构力学、结构设计原理、桥梁工程等。尤其是土质学与土力学为本课程的重要理论基础，应注意前后联系、衔接。

众所周知，基础是修筑在地基之上的工程构造物。而承载基础的地基土又因不同的地区、不同的地层、不同的局部环境 其物理、力学性质又是复杂多变的 另外 基础的受力情况和施工条件也是千差万别的，这些就给我们有关基础的设计、施工带来很大的困难。如何能够切合实际、合理、完善地解决这些困难？这就要求同学们在掌握丰富理论的基础上，不断加强实践锻炼 在理论指导下进行实践 反过来在实践中丰富、升华基础理论。这也是我们这个专业、职业特点。

通过本课程的学习，希望同学们在工作中能够设计、建造出质量一流的桥梁基础，同时也希望每个人也成为交通建设事业的坚实基础、中流砥柱。

## 第二节 地基与基础的概念

### 一、地基和基础的概念

基础即桥梁 其他建筑物 中 与地基接触的那部分构造物。从其作用来看 基础承受上部结构和墩、台作用的全部荷载，并将其传递、扩散到地基土中。它的强度与稳定性是整个桥梁正常使用和安全稳定的根本保证。

地基即基础下面的地层。作为整个桥梁的载体，地基承受基础传来的荷载，为了保证结构物安全和正常使用 因此要求地基必有足够的强度、稳定性 同时 变形也应在容许范围之内。对于浅基础而言，从地基的层次和位置看，它有持力层和下卧层之分。如图 1-1 所示 持力层即与浅基础底面相接触的那部分地层，直接承受基底压应力作用 持力层以下的地层称为下卧层。

要保证建筑物的质量，首先必须保证有可靠的地基与基础，否则，整个建筑物就可能遭到损坏或影响正常使用。从实践来看，建筑工程质量事故往往是地基与基础的失稳、破坏造成的，究其原因也是多方面的：一方面从客观上看，地基和基础属于隐蔽工程，施工条件差，并且一旦出现问题很难发现也很难处理、修复；另一方面地基与基础在地下或水下，往往导致主观上的轻视；再者，地基和基础所占造价比重较大。因此，要求充分重视地基和基础的设计、施工质量，严格执行部颁公路桥涵设计、施工技术规范、标准。

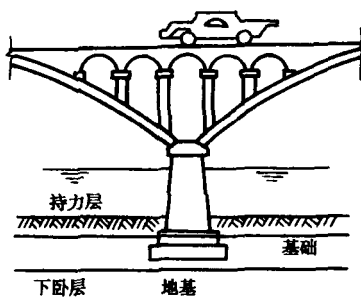


图 1-1 地基与基础

## 二、地基与基础的类型

地基可分为天然地基和人工地基。直接修筑基础的天然地层称为天然地基；如天然地层土质过于软弱或有不良的工程地质问题，则需要经过人工加固或处理后才能修筑基础，这种地基称为人工地基。在一般情况下，应尽量采用天然地基。

基础的类型，可按基础的刚度、埋置深度、构造形式及施工方法来分类。目的在于了解各种类型基础的特点，以便在设计时，根据具体情况合理地加以选用。

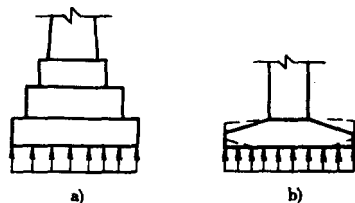


图 1-2  
a)刚性基础 b)柔性基础

1.按基础的刚度分类。受力后基础的变形情况，分为刚性和柔性基础如图 1-2所示 受力后 不发生挠曲变形的基础称为刚性基础，一般可用抗弯拉强度较差的圬工材料（如浆砌块石、片石混凝土等）做成。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（图 1-2a）容许发生较大挠曲变形的基础称为柔性基础或弹性基础，通常须用钢筋混凝土做成。由于钢筋可以承受较大的弯拉应力和剪应力，所以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 1-2b）。

在桥梁工程中，一般情况下 多数采用刚性基础。

2.按埋置深度分类。有浅基础（5m 以内）和深基础两种。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 是桥梁基础首选方案。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 因此 现在高等级公路上也普遍应用。常见的形式有沉井、管柱和桩基础。

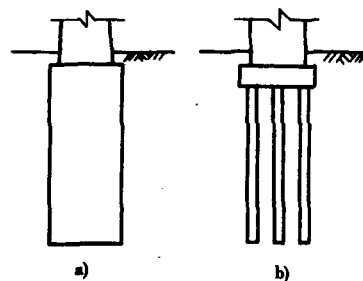


图 1-3  
a)实体式基础 b)桩柱式基础

3.按构造形式划分。对桥梁基础来说，可归纳为实体式和桩柱式两类。当整个基础都由圬工材料筑成时，称为实体式基础。其特点是基础整体性好 自重较大 所以对地基承载力要求也较高 如图 1-3a)所示 由多根桩或小型管桩组成 并用承台联结成为整体的基础 称为桩柱式基础 如图 1-3b)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.按施工方法进行分类。如明挖法、沉井、沉箱、沉桩、沉管灌注桩、就地钻挖孔灌注桩等。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。目前我国公路构造物基础大多采用混凝土或钢筋混凝土结构,少部分采用钢结构。在石料丰富地区,按照因地制宜、就地取材的原则,也常用砌石基础。只有在特殊情况下(如抢修林区便桥)才采用临时的木结构。

### 第三节 基础工程设计与施工时所需资料 及计算荷载的组合

地基与基础的设计方案、计算参数的选用都要根据实际情况全面考虑,如上部结构型式、荷载特征、施工要求及当地的地质条件、水文条件和材料资源等。施工方案和方法也应结合设计要求、现场地形、地质条件、施工设备和技术水平、施工季节、气候和水文等情况来研究确定。因此,无论设计或施工,事先都应通过详细的调查研究,充分掌握必要的切合实际的资料。本节对桥梁基础工程所需资料及设计荷载的组合原则作简要介绍。

#### 一、基础工程设计和施工所需资料

桥梁的地基与基础在设计及施工之前,除了应掌握有关全桥的资料,如上部结构型式、跨径、荷载等级、墩台结构等之外,还应注意地质、水文资料的搜集和分析,做好土质和建筑材料的调查与试验,再次就是要查阅并遵循国家或部门最新颁发的设计、施工技术规范,详见表1-1。其中各项资料内容范围可根据桥梁工程规模、重要性以及桥位处具体的水文、地质条件和设计阶段确定取舍。资料取得的具体方法和规定可参阅工程地质、土质学与土力学及桥涵水力、水文等有关教材和手册。

##### (一) 桥位 包括桥头引道 平面图及拟建上部结构及墩台型式、总体构造及有关设计资料

大中型桥梁基础在进行初步设计时,应该掌握经过实地测绘和调查取得的桥位地形、地物、洪水泛滥线、河道主河槽和河床位置等资料以及绘成的地形平面图(比例为1:500~1:5000),测绘范围应根据桥梁工程规模、重要性和河道情况确定。若桥址有不良工程地质现象,如滑坡、崩塌和泥石流等以及河道弯曲、主支流会合、河岔、河心滩和活动沙洲等,均应在图上示出。

桥梁上部结构的型式、跨径和墩台的结构型式、高度、平面尺寸对地基与基础设计方案的选择、具体的设计计算都有很大的制约作用,如超静定结构的上部结构对地基、基础的沉降有较严格的要求,上部结构、墩台的恒载、活载是地基基础的主要荷载,除了特殊情况,基础工程的设计荷载标准、等级应与上部结构一致,因此应全面取得上部结构及墩台的总体设计资料、数据、设计等级、技术标准等。

##### (二) 桥位工程地质勘测报告及桥位地质纵剖面图

这是对桥位地质构造进行工程评价的主要资料,它包括河谷的地质构造,桥位及附近地层的岩性(如地质年代、成因、层序、分布规律及其工程性质、产状、构造、岩层完整及破碎程度、风化程度等),以及覆盖层厚度和土层变化关系等资料,应说明建桥地点一定范围内各种不良工程地质现象或特殊地貌如溶洞、冲沟、陡崖等的成因、分布范围、发展规律及对工程的影响(小型桥梁及地质条件单一的地点,勘测报告可以省略)。

### (三) 地基土质调查实验报告

在进行施工详图及施工设计时，应该掌握地基土层的类别及物理力学性质，它是在工程地质勘测时通过调查、钎挖、取各层地基土足够数量的原状土、岩样，用室内或原位实验方法得到各层土的物理力学指标，如粒径级配、塑性指数、液性指数、天然含水量、容重、孔隙比、抗剪强度指标、压缩特性、渗透性指标以及必要时的荷载实验、岩石抗压强度实验等的结果。并将这些结果编制成表，在绘制成的土（岩）层柱状剖面图中予以说明。

因为需要根据土质调查实验报告评定各土层的强度和稳定性，报告中应有各层土的颜色、结构、密实度和状态等的描述资料，对岩石还应包括有关风化、节理、裂隙和胶结质等情况的说明。地基土质调查资料还应包括地下水及其随季节升降的标高，在冰冻地区应掌握土层的冻结深度、冻融情况及有关冻土力学数据。

如地基内遇到湿陷性黄土、多年冻土、软粘土、含大量有机质土或盐碱土、膨胀土时，对这些土层的特性还应有专门的实验资料，如湿陷性指标、冻土强度、可溶盐和有机质含量等。

### (四) 河流水文调查资料

设计桥梁墩台基础，要有通过计算和调查取得的比较可靠的设计冲刷深度数据，并了解设计洪水频率的最高洪水位、低水位和常年水位及流量、流速、流向变化情况，河流的下蚀、侧蚀和河床的稳定性，架桥地点河槽、河滩、阶地淹没情况，并应注意收集河流变迁情况和水利设施及规划资料。在沿海地区尚应了解潮汐、潮流有关资料及对桥梁的影响关系。另外，还应有河水及地下水侵蚀的检验资料。详见表 1-1。

基础工程有关设计和施工需要的地质、水文、地形及现场各种调查资料表 1-1

资料种类	资料主要内容	资料用途
1. 桥位平面图(或桥址地形图)	(1)桥位地形 (2)桥位附近地貌、地物 (3)不良工程地质现象的分布位置 (4)桥位与两端路线平面关系 (5)桥位与河道平面关系	(1)桥位的选择、下部结构位置的研究 (2)施工现场的布置 (3)地质概况的辅助资料 (4)河岸冲刷及水流方向改变的估计 (5)墩台、基础防护构造物的布置
2. 桥位工程地质勘测报告及工程地质纵剖面图	(1)桥位地质勘测调查资料包括河床地层分层土、(岩)类及岩性,层面标高,钻孔位置及钻孔柱状图 (2)地质、地史资料的说明 (3)不良工程地质现象及特殊地貌的调查勘测资料	(1)桥位、下部结构位置的选定 (2)地基持力层的选定 (3)墩台高度、结构型式的选定 (4)墩台、基础防护构造物的布置
3. 地基土质调查试验报告	(1)钻孔资料 (2)覆盖层及地基土(岩)层状生成分布情况 (3)分层土(岩)质物理、力学试验资料 (4)荷载试验报告 (5)地下水位调查	(1)分析和掌握地基的层状 (2)地基持力层及基础埋置深度研究与确定 (3)地基各土层强度及有关计算参数的选定 (4)基础类型和构造的确定 (5)基础下沉量的计算
4. 河流水文调查报告	(1)桥位附近河道纵横断面图 (2)有关流速、流量、水位调查资料 (3)各种冲刷深度的计算资料 (4)通航等级、漂浮物、流冰调查资料	(1)根据冲刷要求确定基础的埋置深度 (2)桥墩身水平作用力计算 (3)施工季节、施工方法的研究

续上表

资料种类	资料主要内容	资料用途	
5.其他调查资料	地震	(1)地震记录 (2)震害调查	(1)确定抗震设计强度 (2)抗震设计方法和抗震措施确定 (3)地基土振动液化和岸坡滑移的分析研究
	建筑材料	(1)就地可采取、供应的建筑材料种类、数量、规格、质量、运距等 (2)当地工业加工能力、运输条件有关资料 (3)工程用水调查	(1)下部结构采用材料种类确定 (2)就地供应材料的计算和计划安排
	气象	(1)当地气象台有关气温变化、降水量、风向风力等记录资料 (2)实地调查采访记录	(1)气温变化的确定 (2)基础埋置深度确定 (3)风压的确定 (4)施工季节和方法的确定
	附近桥梁的调查	(1)附近桥梁结构型式、设计书、图纸、现状 (2)地质、地基土(岩)性质 (3)河道变动、冲刷、淤积情况 (4)营运情况及墩台变形情况	(1)掌握架桥地点地质、地基土情况 (2)基础埋置深度的参考 (3)河道冲刷和改道情况的参考
	施工调查资料		(1)施工方法及施工适宜季节的确定 (2)工程用地的布置 (3)工程材料、设备供应、运输方案的拟定 (4)工程动力及临时设备的规划 (5)施工临时结构的规划

## 二、计算荷载的组合

桥梁的地基与基础承受着整个建筑物的自重及所传递的各种荷载，这些荷载有各自不同的特征，且各种荷载出现的机率作用时间也不相同，因此需将作用荷载按机率和作用时间进行分类，并将实际与可能同时出现的作用荷载组合起来，从而确定设计时的计算荷载。

### (一) 荷载分类与计算

为了便于设计时应用，将作用于桥梁及道路构造物上的各种荷载，根据其性质分为永久荷载、可变荷载和偶然荷载三类。

#### 1. 永久荷载

又称恒载，指在设计使用期内，其值不随时间变化，或其变化值与平均值相比可忽略不计的荷载。

#### 2. 可变荷载

在设计使用期内，其量值和作用位置随时间变化，且其变化值与平均值相比不可忽略的荷载。按其影响程度又分为基本可变荷载、活载和其他可变荷载。

#### 3. 偶然荷载

在设计使用期内不一定出现，但一旦发现，其值很大且持续时间很短的荷载。

以上各种荷载及其计算方法在《公路桥涵设计通用规范》(JTJ 021—89)中有具体规定,《桥梁工程》和《土质学与土力学》教材中也有介绍 详见表 1-2。

荷 载 分 类 表 表 1-2

编 号	荷载分类		荷载名称
1	永久荷载 (恒载)		结构重力
2			预加应力
3			土的重力及土侧压力
4			混凝土收缩及徐变影响力
5			基础变位影响力
6			水的浮力
7	可变荷载	基本 可变 荷载 (活载)	汽 车
8			汽车冲击力
9			离心力
10			汽车引起的土侧压力
11			人 群
12			平板挂车或履带车
13		平板挂车或履带车引起的土侧压力	
14		其他 可变 荷载	风 力
15			汽车制动力
16			流水压力
17	冰压力		
18	温度影响力		
19	支座摩阻力		
20	偶然荷载		地震力
21			船只或漂流物撞击力

注 如构件主要为承受某种可变荷载而设置 则计算该构件时 所承受荷载作为基本可变荷载。

对于水下的土中结构物和地基土的浮力计算,是一个至今还存在不同意见的问题。从安全角度出发,基础工程设计时对浮力的计算可作如下处理:

1. 置于透水性地基上的桥梁墩台基础,当验算稳定性时应考虑设计水位的浮力;当计算基底应力时 仅考虑低水位 包括地表水和地下水 时的浮力 或不考虑水浮力。

2. 基础埋入或嵌入不透水性地基 密实粘土地基 较完整的岩石地基 时 可不考虑水的浮力。

3. 当不能肯定地基是否透水时,应以透水和不透水两种情况与其他荷载组合,取其最不利者。

4. 作用于桩基础承台底面的浮力,应考虑全部底面积;但桩嵌入岩层并灌注混凝土者,在计算承台底面浮力时,应扣除桩的截面积。

## (二 荷载组合原则

按照各种荷载特性及出现的机率不同,在设计计算时应考虑将各种可能出现的荷载加以

组合，一般有以下几种：

组合 I 由恒载中的一种或几种与活载（平挂车或履带车除外）中的一种或几种相组合。如该组合中不包括混凝土收缩、徐变及水的浮力引起的影响力时，习惯上也称为主要组合。

组合 II 由恒载中的一种或几种与活载（平板挂车或履带车除外）中的一种或几种以及其他可变荷载中的一种或几种相组合。

设计弯桥 当离心力与制动力组合时 制动力仅按 70% 计算。

组合 III 由平板挂车或履带车与结构重力、预应力、土的重力及土的侧压力中的一种或几种相组合。

组合 IV 由恒载中的一种或几种与活载（平板挂车与履带车除外）的一种或几种以及偶然荷载中的船只或漂流物撞击力相组合。

组合 V：施工阶段验算荷载组合，包括可能出现的施工荷载如结构重力、脚手架、材料机具、人群、风力以及拱桥的单向推力等。

组合 VI 结构重力、预应力、土重及土侧压力中的一种或几种与地震力的组合。

组合 II - VI 习惯上也称为附加组合。当组合 I 中包括混凝土收缩、徐变及水浮力引起的荷载效应时，也称为附加组合。因为附加组合中考虑的荷载同时出现的机率比主要组合小些，设计时不必要求过大的安全储备，所以当按容许应力法计算时，设计规范在取安全系数时均比主要组合小些，地基容许承载力也允许提高一定数值。

为使设计比较合理 切合实际情况在荷载的组合中 有些荷载不需同时考虑 详见表 1-3。

其他可变荷载不同时组合表 表 1-3

编号	荷载名称	不与该荷载同时参与组合的荷载号	编号	荷载名称	不与该荷载同时参与组合的荷载号
14	风力	—	17	冰压力	15, 16
15	汽车制动力	16, 17, 19	18	温度影响力	—
16	流水压力	15, 17	19	支座摩阻力	15

除上表外 地震力、船只或漂浮物撞击力、施工荷载三者不同时考虑 它与恒载、可变荷载的组合方法，各种抗震规范都有具体规定。

对一定的验算项目，应按实际与可能情况从中选取最不利的荷载组合。几种组合之间不容易判断究竟哪个最不利，在这种情况下，几种组合就要同时进行验算。

此外 许多荷载都可分为纵桥向和横桥向 因此，一般也需按此两个方向进行地基与基础的验算，并考虑其最不利荷载组合，比较出最不利者，来控制设计。但对于大多数桥梁基础来说，往往以纵向验算来控制设计，因为通常纵向水平力较大，而基础的纵桥向尺寸又比横桥向尺寸小，明显处于不利地位。

当横桥向水平力（风力、船只撞击力、冰压力等）较大时，

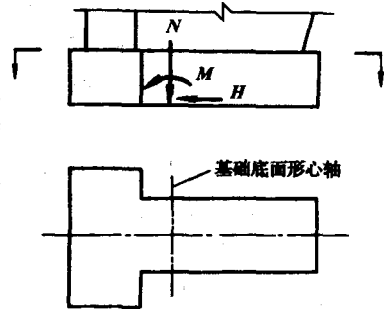


图 1-4 荷载简化

也需只进行横桥向验算。

另外 在进行具体验算时 需将各种荷载组合的合力简化到基础底面形心处 用竖向力、水平力和力矩表示 如图1-4中的  $N$ 、 $H$  和  $M$ 。

## 第四节 基础工程学科发展情况简介

基础工程与其他技术学科一样，是人类在长期的生产实践中不断发展完善起来的。

在世界数千年的建筑活动中，都能发现有关基础工程的工艺技术成就，但由于受当时生产力和技术条件的限制，在相当长的时期内发展缓慢，仅停留在经验积累的感性认识阶段。国外在 18 世纪产业革命以后，由于对城建、水利、道路建筑规模的需求，促进了对基础工程的研究，在基础理论（如土力学）上有了局部的突破。20 世纪 20 年代，基础工程有比较系统、完整的专著问世，1936 年召开的第一届国际土力学与基础工程会议，标志着土力学与基础工程也成为一门独立的学科。在以后的发展过程中，随着现代科学成就的融入渗透，使基础工程在理论和技术上得到更充分的发展，逐渐成为一门较成熟的现代学科。

我国古代劳动人民在基础工程方面，也早就表现出高超的技艺和创造才能，许多宏伟壮丽的中国古代建筑千百年来仍安然无恙的事实，充分说明了这一点。例如，远在 1300 多年前隋朝时所修建的赵州桥，不仅在建筑结构上有独特的技艺，而且在地基与基础的处理上也非常合理。该桥桥台坐落在较浅的密实砂土层上，沉降很小。现反算其基底压应力约为 500 ~ 600kPa，与现行规范中所采用的该土层容许承载力数值（550kPa）极为接近。

在桩基础和地基加固方面，我国自古已有广泛运用，具有悠久的历史。

我国封建社会历时漫长，且近百年来遭受帝国主义侵略和压迫，再加上当时国内统治阶级的腐败，本学科和其他技术学科一样，长期陷于停滞状态，落后于同时代的工业发达国家。中华人民共和国成立以后，在中国共产党的领导下，社会主义大规模的经济建设事业迅速发展，促进了本学科的快速的发展，取得了辉煌的成就。例如，在桥梁基础工程方面，为充分利用天然地基承载力，改进和发展了多种结构型式的浅基础，以适应不同地质土质、不同荷载性质及上部结构使用要求；为缩短工期、降低造价和适应大型与大跨度桥梁的建设，大力发展了深基础技术。桩基础尤其是钻孔灌注桩成为我国最广泛采用的深基础。沉井基础在轻型、薄壁、助沉技术、机械化施工及沉井与桩、管柱组合式深水基础等方面开展了很多工作。近年来我国高等级公路迅速发展，在长江、黄河和近海域修建的大型桥梁工程中成功采用了一系列新型深基础、深水基础。如大直径钻孔灌注桩、预应力桩、管柱、钢管桩。多种型式的浮运沉井、组合式沉井。各类型单壁、双壁钢围堰等。并解决了复杂地质、深水条件下大型桥梁基础工程问题。在软土地基方面，我国人工地基及地基加固技术发展较快。在吸收国外成就的基础上，发展了一些符合我国国情，充分利用我国材料资源的新的施工工艺。如堆载预压、深层挤压、深搅拌、强夯等。

在基础工程结构设计方面，我国许多设计单位都已具备较完备的计算机辅助设计系统，基本上实现了设计电算化。

国外近年来基础工程学科发展也较快，在设计理论上许多国家采用了概率极限状态设计方法。将高强度预应力混凝土应用于基础工程，基础结构向薄壁空心、大直径方向发展。在施工技术方面，也实现了许多新的工艺和方法。

随着大型和重型建筑物的发展，对基础工程又提出了更新、更高的要求。为适应这些要

求，我国基础工程科学技术在设计理论、施工技术及测试手段上都必须进一步完善，着重要开展以下工作：

- 1.开展地基的强度、变形特性的基本理论研究；
- 2.开展各类基础型式设计理论和施工方法的研究；
- 3.提高和改善人工地基的设计理论，发展施工方法；
- 4.进行基础结构抗震设计研究。

## 第二章 天然地基上刚性浅基础

在建筑物的设计和施工中，地基和基础占有很重要的地位，它对建筑物的安全使用和工程造价有着很大的影响，因此，正确选择地基基础的类型十分重要。在选择地基基础类型时，主要考虑两个方面的因素：一是建筑物的性质（包括它的用途、重要性、结构型式、荷载性质和荷载大小等）；二是地基的地质情况（包括土层的分布、土的性质和地下水等）。

如果地基内部是良好的土层或者上部有较厚的良好土层，能承受基础传来的全部荷载时，一般将基础直接做在天然土层上，这种地基叫做天然地基。做在天然地基上、埋置深度小于5m的基础称为浅基础。

浅基础由于埋入土层较浅，在计算中基础的侧面摩擦力不必考虑，施工方法也较简单，故在条件适宜时应是首先考虑采用的基础形式。

### 第一节 刚性浅基础的构造

桥梁墩台的体积一般比较庞大，故其基础常用大块实体基础型式，采用块石或混凝土等圬工材料做成。基础平面形状常为矩形，基础平面尺寸，一般均较墩、台底面扩大，每边扩大的尺寸最小为0.2~0.50m，视土质、基础厚度、埋置深度及施工方法而定。当基础底面为满足地基强度要求需要扩大时，则基础将悬出墩、台身外。这样在地基反力 $\sigma$ 作用下，基础的悬出部分将受挠曲产生拉应力（如图2-1a所示）。由于一般基础所用的圬工材料，其抗压强度大，而抗拉强度很小，为防止基础的悬出段因受挠曲开裂破坏，其悬出段长度应控制在一定范围内，这种基础则称为刚性基础。

刚性基础的悬出段长度通常用压力分布角 $\alpha$ 来控制， $\alpha$ 角是自墩、台身底的边缘与基底边缘的连线和竖直线间的夹角（如图2-1b所示）。即使 $\alpha \leq \alpha_{\max}$ ，其中 $\alpha_{\max}$ 称为刚性角。刚性角 $\alpha_{\max}$ 与基础圬工材料的强度有关。现行桥涵规范考虑到在一般墩、台基底反力的变化范围内，对各种圬工材料的刚性角作如下经验规定：

砖、片石、块石、粗料石砌体 当用5号以下砂浆砌筑时  $\alpha_{\max} \leq 30^\circ$ ；

砖、片石、块石、粗料石砌体 当用5号以上砂浆砌筑时  $\alpha_{\max} \leq 35^\circ$ ；

混凝土浇筑时  $\alpha_{\max} \leq 40 \sim 45^\circ$ 。

因此，在设计刚性基础底面尺寸时，凡满足 $\alpha \leq \alpha_{\max}$ 条件，即可认为基础刚度很大，它在荷载作用下的挠曲变形很小，不会受拉开裂破坏，基础本身强度可得到充分保证，可不予验算。若 $\alpha > \alpha_{\max}$ 时，则不是刚性基础，一般称为柔性基础，应验算基础的弯曲拉应力和剪应力强度，并设置必要的钢筋。

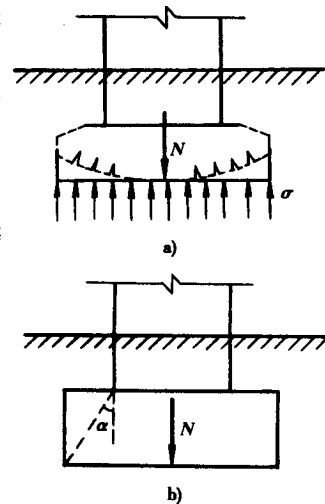


图 2-1 基础挠曲变形

当基础较厚时可在纵横两个剖面上都砌筑成台阶形以减少基础自重,节省材料(如图 2-2 所示)。

台阶形基础由于可节省材料,施工立模砌筑也比较方便,故采用较多。对于桥梁墩台基础,当基础高度  $H$  较大时,一般可分为 2~3 级等高的台阶,每一台阶高度  $h_i = 1 \sim 1.5\text{m}$  小桥有时可减为  $0.6\text{m}$ 。台阶宽度  $c_i$  通常可取与襟边  $c_1$  相同,即  $c_i = c_1$ 。襟边  $c_1$  是指在基础顶面较所支撑的墩台身底面外形轮廓大出一个距离,其作用是考虑到基础施工时工作条件较差,定位尺寸可能有所偏差,留有襟边后可作调整余地;另外也便于墩台施工时作为模板支架的支撑点。因此襟边大小须视施工情况而定,一般可取  $0.2 \sim 1.0\text{m}$ 。基础顶面一般置于地面或最大冲刷线以下不小于  $0.15\text{m}$  这样有利于保护基础且防止加大冲刷。

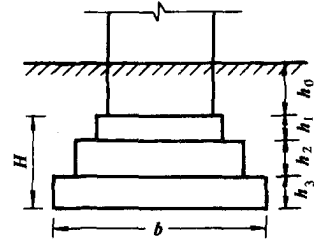


图 2-2

## 第二节 浅基础的设计计算

桥梁墩台基础的设计与其他设计项目一样,设计之前必须明确设计任务和掌握必要的原始资料,然后进行方案比较,选定一个技术上安全、经济上合理、实施上可行的方案,最后进行详细的设计计算。

桥梁墩台扩大刚性浅基础的设计计算,一般包括下述内容。

- (1) 初步确定基础埋置深度;
- (2) 初步拟定基础尺寸;
- (3) 地基与基础的验算,内容包括:基底应力计算、地基强度验算、基底偏心验算、基础稳定性;地基的沉降及稳定性验算。

### 一、基础埋置深度的确定

基础底面放在河床冲刷线(或地面)以下多深?亦即基础埋置深度如何确定?是基础设计中首先要解决的重要问题,它涉及到建筑物建成后的牢固、稳定及正常使用问题。在确定基础的埋置深度时,必须考虑把基础设置在变形较小,而强度又比较大的持力层上,以保证地基强度满足要求,而且不致产生过大的沉降或沉降差。此外还要使基础有足够的埋置深度,以保证基础的稳定性,确保基础安全。因此,必须综合考虑桥跨结构特性和要求、地地质质、河流水文、冲刷情况、冻结深度、施工条件、以及保证持力层稳定所需的最小埋深等因素。并且注意找出某一具体工程各因素中的主要因素,首先予以充分考虑,进行分析研究,确定合理的埋置深度。

#### (一) 地基的地质条件与荷载作用情况

这是确定基础埋深的基本因素,因为根据各土层界面情况及土的不同性质,可以大致估计出它们的允许承载力,再结合建筑物荷载大小,就可大体上判断哪一层可作为持力层,从而可初步确定埋置深度。土层的好坏及其能否作为持力层是相对一定荷载而言的,同一种土层如对轻型建筑来说,作为持力层可以完成不成问题,但对重型建筑物则可能不行。因此地质条件和建筑物荷载大小一定要结合起来考虑。显然,根据这两方面综合条件来确定基础的埋深,主要是考虑地基的强度和变形必须符合要求。从这一角度出发,有时可作为持力层的土层不只

一个且各有利弊 这就应当结合不同的基础类型 选取不同的埋置深度 经过比较分析 再最后确定。一般应首先选用埋置深度小的基础，因为浅基础具有施工简便，造价低廉的明显优点。

对于无覆盖或覆盖层较薄的岩石地基，一般应清除覆盖土和风化层，将基础直接修建在新鲜岩层上。如风化层较厚，全部清除风化层有困难，在保证安全的条件下，基础也可设在风化层内，但埋深要根据风化程度及其相应的承载力予以确定。当岩层倾斜时，要切忌将基础一部分置于岩层上，另一部分置于土层上，以防基础由于不均匀沉降而发生倾斜甚至断裂。

### (二) 上部结构的型式

上部结构的型式不同，对基础产生的位移也不同。如静定结构对地基变形要求不太高，超静定结构如无铰拱桥对地基变形则很敏感 为减少可能产生的水平位移和沉降差 有必要将基础埋置在较深的坚实土层上。

### (三) 水流的冲刷影响

桥梁墩台的修建 往往使流水面积缩小 流速增大 引起水流冲刷河床 特别是在山区和丘陵地区的河流，更应考虑季节性洪水的冲刷作用。

在有冲刷的河流中，为了防止桥梁墩、台基础四周和基底下土层被水流淘空冲走，不致使墩、台基础失去支持而倒塌，基础必须埋置在设计洪水的最大冲刷线以下一定深度，以保证基础的稳定。在一般情况下，小桥涵的基底应设置在设计洪水的冲刷线以下不小于 1m。

基础在局部冲刷线以下的最小埋置深度不应是一个定值。它与河床地层的抗冲刷能力、计算设计流量的可靠性、选用计算冲刷深度的方法、桥梁的重要性，以及破坏后修复的难易等因素有关。因此，对于大、中桥基础的基底在局部冲刷线以下的最小埋置深度，可参照表 2-1 采用。

大中桥基底最小埋置深度安全值

表 2-1

冲刷总深度(m)		0	<3	≥3	≥8	≥15	≥20
安全值(m)	一般桥梁	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
	技术复杂修复困难的大桥和重要大桥	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0

冲刷总深度 即一般冲刷 不计水深 加局部冲刷深度 由河床面算起。

在计算冲刷深度时，尚应考虑其他可能产生的不利因素，如由于规划的变更使河道变迁等 表列数值为最小值 如水文资料不足 河床为游荡性和不稳定河段等时 上值应适当加大。

修筑在覆盖层较薄的岩石地基上，且河床冲刷又较严重的大桥墩台基础，除应清除风化层外，尚应根据基岩的强度将基础嵌入岩石一定深度，或用其他锚固等措施，使基础与岩层联成整体 以保证整个基础的稳定性。

### (四) 当地的冻结深度

在寒冷地区，应考虑由于季节性的冰冻和融化对地基土引起的冻胀影响。

产生冻胀和融化的原因是由于，地面以下一定范围内，土层的温度随气候而变化。冬季时，上层土中，水因温度降低而冻结。而且冻结的土会产生一种吸力，吸引附近水分渗向冻结区并一起冻结。因此 土冻结后 含水量增加 体积膨胀 这种现象称为冻胀现象。如果冻胀层离地下水位较近 冻结产生的吸力和毛细力吸引地下水 源源不断进入冻土区 形成冰晶体 严重时可形成冰夹层，地面则因土的冻胀而隆起。春季气候回升解冻，冻土层不但体积缩小而且含水量显著增加，强度大幅度下降而产生融陷现象。冻胀和融陷都是不均匀的，如果基底下面

有冻土层 就将产生难预估的冻胀和融陷变形 这些都可能使基础遭受损坏。因此,《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTJ 024—85) 规定:

1. 当上部结构为超静定时,除了非冻胀土外,桥涵基础底面均应埋入冻结线以下不小于 0.25m;

2. 当墩台基础设置在季节性冻胀土层中时,基底最小埋置深度  $h$  可按下式确定:

$$h = z_0 m_t - h_d \quad (2-1)$$

式中:  $z_0$ ——标准冻深 我国一些城市的  $z_0$  值大致如表 2-2 所示 (m);

我国部分城市  $z_0$  值

表 2-2

城市	北京	济南	西安	天津	大连	太原	锦州	沈阳	长春	牡丹江	哈尔滨	满洲里
$z_0$ (m)	0.8~1.0	0.5	0.6	0.6~0.7	0.7	1.0	1.1	1.2	1.7	2.0	2.2	2.5

其他地区如无实例资料可参照有关标准冻结线图,结合实地调查确定。也可按下式计算:

$$z_0 = 0.28 \sqrt{\sum T + 7} - 0.5 \quad (2-2)$$

式中:  $\sum T$ ——低于 0 的月平均气温的累计值 (取连续十年以上的年平均值) 以正号代入;

$m_t$ ——标准冻深修正系数 可取 1.15;

$h_d$ ——基底下容许残留冻土层厚度 (m)。当为弱冻胀土时,  $h_d = 0.24z_0 + 0.31$ ; 当为冻胀土时,  $h_d = 0.22z_0$  当为强冻胀土时,  $h_d = 0$ 。

#### (五 保证地基稳定所需的最小埋置深度)

地表土在温度和湿度的变化影响下,会产生一定的风化作用,其性质是不稳定的。加上人类和动物的活动以及植物生长作用,也会破坏地基表土层的结构,影响其强度和稳定。所以,为了保证地基和基础的稳定,不宜将基础直接放在地面上。基础的埋置深度,除岩石地基外,应在地面或无冲刷河流的河底以下不小于 1m。

#### (六 施工条件)

在确定基础埋置深度时,还应考虑邻近结构物的影响,新结构物基础如比原有结构物基础深,施工开挖有可能影响原有基础的稳定。另外,施工技术条件,如施工设备、施工期限、经济性等,对基础采用的埋置深度也有一定的影响。

### 二、基础尺寸的拟定

基础尺寸的拟定是基础设计中重要内容之一,拟定尺寸恰当,可以减少重复的计算工作。刚性浅基础的尺寸拟定包括基础的高度、平面尺寸和立面尺寸。

基础高度,一般要考虑墩台身结构型式,荷载大小,基础材料等来确定。具体做法:首先根据基础埋置深度的要求,确定基底标高;再按照水中基础顶面不高于最低水位,在季节性河流或旱地上的墩台基础顶面不高出地面,则可定出基顶标高。那么,基础顶、底标高之差即为基础高度  $H = h - h_0$  (见图 2-3)。在一般情况下,大、中桥墩、台基础的高度为 1.0~2.0m 左右。

基础的平面尺寸,应根据墩、台身底面形状而确定。虽然墩、台身底面形状以圆端形居多,但考虑到施工的方便,基础平面仍采

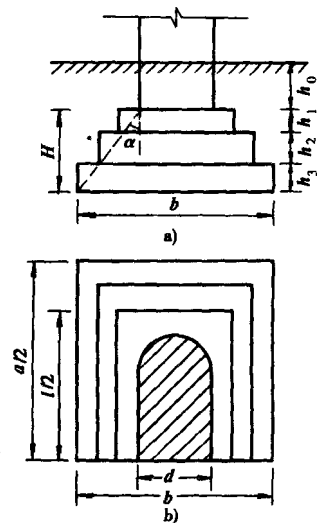


图 2-3 基础立面、平面图

用矩形。基础底面长、宽尺寸与基础高度关系如下 (如图 2-3):

$$\left. \begin{aligned} a &= l + 2H \tan \alpha \leq l + 2H \tan \alpha_{\max} \\ b &= d + 2H \tan \alpha \leq d + 2H \tan \alpha_{\max} \end{aligned} \right\} \quad (2-3)$$

式中:  $a$ ——基础长度 (横桥向) (m);

$b$ ——基础宽度 (顺桥向) (m);

$l$ ——墩、台身底截面长度 (m);

$d$ ——墩、台身底截面宽度 (m);

$H$ ——基础高度 (m);

$\alpha$ ——墩、台底面边缘至基础底边缘的连线与垂线的夹角;

$\alpha_{\max}$ ——基础材料的刚性角。

基础的立面形式应力求简单, 主要考虑既便于施工, 又能节省圬工材料, 一般做成矩形或台阶形 (如图 2-3)。在确定基础立面尺寸时, 只需定出两方面的尺寸: 一是确定襟边宽和台阶宽度 (两者宜取同宽, 即  $c_1 = c_2$ ) 墩、台基础的襟边最小值为  $0.2 \sim 0.5\text{m}$ ; 二是基础台阶厚度  $h_i$  当基础较厚时 (超过  $1\text{m}$ ) 可将基础做成台阶形, 每层台阶厚度通常为  $h_i = 1.0 \sim 1.5\text{m}$  各台阶宜做成等厚。

### 三、地基与基础的验算

在基础的埋置深度和尺寸初步拟定后, 是否符合各项设计要求, 还必须通过具体验算加以证实。先应根据最不利荷载组合, 计算出基础底面的应力, 然后进行地基的强度、地基的沉降, 以及基础的合力偏心距和稳定性的验算。

#### (一) 基底应力计算

计算由外力 (包括基础自重) 在基底产生的应力。基底应力分布用弹性理论可解得较精确的结果, 但计算繁琐。实际工作中常采用简化方法, 按材料力学中心或偏心受压公式来计算基底应力。由于刚性扩大基础埋置深度较小, 在计算中不考虑基础四周土的嵌固作用。

##### 1. 中心荷载作用时

当基础底面只承受中心荷载时, 基底为均匀受压, 其应力分布是矩形的 (如图 2-4) 基底应力计算式为:

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{N}{ab} \quad (2-4)$$

式中:  $N$ ——作用于基底中心的竖向荷载 (kN);

$A$ ——基底面积 ( $\text{m}^2$ );

$a, b$ ——基底的长度和宽度 (m)。

##### 2. 偏心荷载作用时

当基础底面受竖向力  $N$  和弯矩  $M$  共同作用时, 基底应力分布形状视偏心距  $e_0$  的大小而定, 为梯形或三角形 (如图 2-5a、b),

基底应力计算式为:

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{W} \quad (2-5)$$

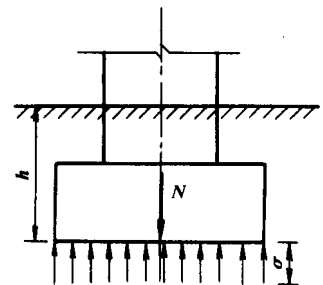


图 2-4 中心荷载基底应力分布

式中： $N$ ——作用于基底中心的竖向荷载 (kN)；

$A$ ——基底面积 ( $m^2$ )；

$M$ ——作用于基底中心的弯矩， $M = Ne_0$  其中  $e_0$  为合力偏心距；

$W$ ——基础底面的截面模量 ( $m^3$ )。对矩形基础  $W = \frac{ab^2}{6}$  代

入式 2-5)得：

$$\sigma_{\min}^{\max} = \frac{N}{A} \left( 1 \pm \frac{6e_0}{b} \right) \quad (2-6)$$

对偏心荷载作用时基底应力图的分析，由式 (2-6) 可知：

当  $e_0 = 0$  时  $\sigma_{\max} = \sigma_{\min} = \frac{N}{A}$ ，即中心受压 应力均匀分布 (如图 2-4)；

当  $e_0 < \frac{b}{6}$  时，( $\rho = \frac{W}{A} = \frac{b}{6}$  截面核心半径)， $\sigma_{\max} > 0$  基底应力分布图为梯形 (如图 2-5a)

当  $e_0 = \frac{b}{6}$  时， $\sigma_{\min} = 0$ ， $\sigma_{\max} = 2 \frac{N}{A}$  基底应力分布图为三角形 (如图 2-5b)；

当  $e_0 > \frac{b}{6}$  时 (如图 2-5c 所示) 若按式 (2-6) 计算，则  $\sigma_{\min} < 0$  即产生拉应力，但基底与地基土之间是不能承受任何拉力的，所以基底压力必将重新分布。略去受拉区不计，基底应力假定在受压区仍按三角形分布，则根据静力平衡关系，可求得重分布后的  $\sigma'_{\max}$  值：

$$\therefore \frac{1}{2} \sigma'_{\max} b' a = N \quad (\text{根据力的平衡条件})$$

$$\text{又} \therefore b' = 3d \quad (\text{由合力 } N \text{ 的位置而得})$$

$$d = \frac{b}{2} - e_0$$

$$\therefore \frac{1}{2} \sigma'_{\max} 3 \left( \frac{b}{2} - e_0 \right) a = N$$

$$\text{则} \quad \sigma'_{\max} = \frac{2N}{3 \left( \frac{b}{2} - e_0 \right) a} \quad (2-7)$$

式中： $a$ 、 $b$ ——基底的长度和宽度 (m)。

基底的应力计算，由于基础顺桥向的宽度  $b$  常比横桥向长度  $a$  小得多，所以一般由顺桥向 (即纵向) 控制设计。但当横桥向有较大的水平力作用 (如河流中的船撞力、漂流物的冲击力) 时，也应计算横向基底的应力，并与纵向基底应力值比较，取其大者作为控制值。

在曲线上修筑的弯桥，除顺桥向引起的力矩  $M_x$  外，还有离心力在横桥向产生力矩  $M_y$  或桥面上活载考虑偏心距时，则偏心竖力在基底两个中心轴上均有偏心距，如图 2-6 所示。在计算基底应力时，可采用下式计算：

$$\sigma_{\min}^{\max} = \frac{N}{A} \pm \frac{M_x}{W_x} \pm \frac{M_y}{W_y} \quad (2-8)$$

式中： $M_x$ 、 $M_y$ ——偏心竖力对基底中心轴  $x$  和  $y$  的力矩， $M_x = Ne_y$ ， $M_y = Ne_x$ ；

$W_x$ 、 $W_y$ ——基础底面对  $x$ 、 $y$  轴的截面模量。

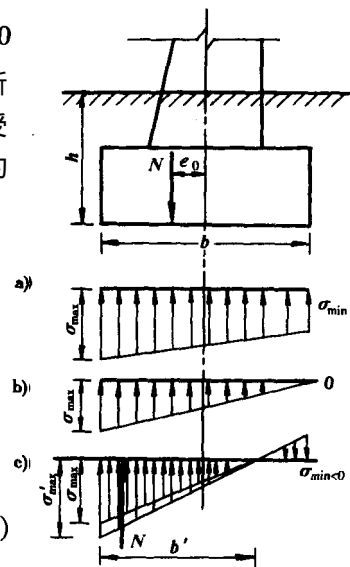


图 2-5 偏心荷载基底应力分布

由式 2-5 可知 当基础底面尺寸为定值时,  $N$  和  $M$  值愈大,  $\sigma_{\max}$  愈大。因此在计算基底应力时应选用能使  $N$  和  $M$  值尽可能大的荷载组合为最不利荷载组合。

### 3. 考虑台背填土对桥台的基底应力计算

在计算基底应力时, 当桥台台背填土的高度在 5m 以上 如图 2-7 所示即  $H_1 \geq 5\text{m}$  除了按式 (2-5) 或式 (2-7) 计算基底应力外, 还应考虑填土对桥台基底处的附加压应力, 按下式计算。

$$\sigma'_1 = \alpha_1 \gamma_1 H_1 \quad (2-9)$$

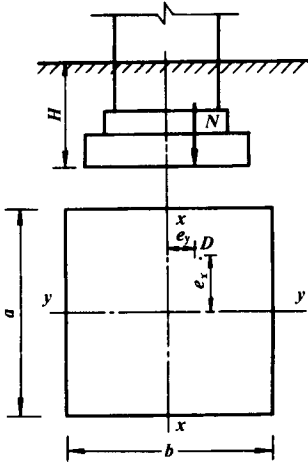


图 2-6 偏心荷载作用在基底任意点

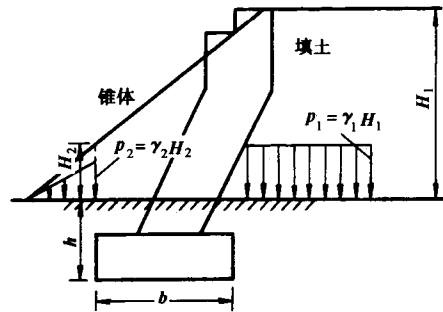


图 2-7 台背填土对基底的附加压应力

对埋置桥台, 应按下式加算由台前锥体对基底处前边缘引起的附加压应力  $\sigma'_2$ :

$$\sigma'_2 = \alpha_2 \gamma_2 H_2 \quad (2-10)$$

式中和图 2-7 中:

$p_1$ ——台背路基填土产生的土压 (kPa);

$p_2$ ——台前锥体产生的土压力 (kPa);

$\gamma_1$ ——路基填土的天然容重  $\text{kN/m}^3$ );

$\gamma_2$ ——锥体填土的天然容重  $\text{kN/m}^3$ );

$H_1$ ——台背路基填土的高度 (m);

$H_2$ ——基础底面前边缘上的锥体高度 (m);

$b$ ——基础的宽度 (m);

$h$ ——厚地面到基底的深度 (m);

$\alpha_1, \alpha_2$ ——附加竖向压应力系数, 见表 2-3、表 2-4。

系数  $\alpha_1$

表 2-3

基础埋置深度 $h$ (m)	填土高度 $H_1$ (m)	系数 $\alpha_1$ (对于桥台边缘)			
		后边缘	前边缘, 当基底平面的基础宽为 $b$		
			5(m)	10(m)	15(m)
5	5	0.44	0.07	0.01	0
	10	0.47	0.09	0.02	0
	20	0.48	0.11	0.04	0.01

续上表

基础埋置深度 $h$ (m)	填土高度 $H_1$ (m)	系数 $\alpha_1$ (对于桥台边缘)			
		后边缘	前边缘,当基底平面的基础宽为 $b$		
			5(m)	10(m)	15(m)
10	5	0.33	0.13	0.05	0.02
	10	0.40	0.17	0.06	0.02
	20	0.45	0.19	0.08	0.03
15	5	0.26	0.15	0.08	0.04
	10	0.33	0.19	0.10	0.05
	20	0.41	0.24	0.14	0.07
20	5	0.20	0.13	0.08	0.04
	10	0.28	0.18	0.10	0.06
	20	0.37	0.24	0.16	0.09
25	5	0.17	0.12	0.08	0.05
	10	0.24	0.17	0.12	0.08
	20	0.33	0.24	0.17	0.10
30	5	0.15	0.11	0.08	0.06
	10	0.21	0.16	0.12	0.08
	20	0.31	0.24	0.18	0.12

注 路基断面按粘土路堤考虑。

系数  $\alpha_2$

表 2-4

基础埋置深度 $h$ (m)	系数 $\alpha_2$ ,当台背路基填土高度为 $H_1$		基础埋置深度 $h$ (m)	系数 $\alpha_2$ ,当台背路基填土高度为 $H_1$	
	10(m)	20(m)		10(m)	20(m)
5	0.4	0.5	20	0.1	0.2
10	0.3	0.4	25	0	0.1
15	0.2	0.3	30	0	0

## (二) 地基强度验算

地基强度验算,主要是使基底应力和下卧各土层中的应力不超过地基土的容许承载力  $[\sigma]$ ,以保证基础不因其地基的强度不足而危及到桥跨结构的安全和使用,其验算包括基础底面下地基持力层强度和受压层范围内软弱下卧层强度验算。

### 1. 持力层强度验算

持力层强度验算主要步骤,先确定地基的容许承载力  $[\sigma]$ ,再计算在最不利荷载组合作用下的基底应力  $\sigma_{\max}$  然后比较是否满足  $\sigma_{\max} \leq k[\sigma]$ 。

确定地基容许承载力,有以下几种途径:(1)借鉴邻近建筑物的经验;(2)利用理论公式计