

高等学校教材

# 基础工程

池淑兰 张国林 主编



中国铁道出版社

高等学校教材

# 基础工程

池淑兰 张国林 主编



中国铁道出版社

2004年·北京

## 内 容 简 介

本书重点介绍了桥梁基础的设计和施工,内容包括:浅基础的设计与施工,桩和桩基础的设计与施工,沉井基础的设计与施工,地基基础的抗震设计和地基处理。在介绍基础设计理论的同时还重视理论联系实际,力求易懂、实用。为了便于学习,各章均列有例题、习题和思考题,使学生通过学和练,加强对课程内容的理解和应用。

本书除作为土木工程专业的教材外,也可供有关专业工程技术人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

基础工程/池淑兰,张国林主编. —北京:中国铁道出版社,2003.10  
ISBN 7-113-05520-6

I.基… II.①池…②张… III.桥梁基础 IV.U443.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 086813 号

书 名:基础工程

作 者:池淑兰 张国林 主编

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

责任编辑:程东海

封面设计:马 利

印 刷:北京市彩桥印刷厂

开 本:787×1092 1/16 印张:19.25 字数:479 千

版 本:2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~3 000 册

书 号:ISBN 7-113-05520-6/TB·58

定 价:28.50 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

编辑部电话 (010)51873135 发行部电话 (010)51873171

# 前 言

基础工程是土木工程专业的一门重要课程。随着我国高速公路、高速铁路和高层房屋建筑的兴建,地基基础的计算理论与技术日益显出其重要作用。成功的地基基础设计与施工不仅能确保建筑物的安全可靠,同时也可节省资金。基础工程属于隐藏工程,工程艰苦,修建基础时未知因素较多,诸如水文、地质的变化都将直接影响工程的质量、安全和工期。地基基础事故一旦发生,补救相当困难。因此,基础的勘测设计和施工质量直接关系到整体建筑物的安危。近年来,我国在设计、修建基础工程的实践中积累了丰富的经验,在总结经验的基础上,我国陆续颁布了一些行业标准、规范,供设计施工时遵守。土木工程专业学生只有熟练掌握本课程内容,了解规范中规定的原则方法及依据,才能在实践中灵活运用。

本书是按土木工程类本科及技术应用型本科教学计划要求编写的。其内容主要包括:天然地基上的浅基础、天然地基上浅基础的施工、桩和桩基础的设计与计算、桩基础的施工、沉井基础的设计计算与施工、地基基础的抗震设计和地基处理七部分。

本书较系统地阐述了桥梁基础的设计与施工的基本理论、原则和方法。内容上依据了《铁路桥涵地基和基础设计规范》(TB10002.5—99)(简称《铁路桥基规》)和《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTJ028—85)(简称《公路桥基规》)等规范中的有关规定,使学用紧密结合。本书重视理论联系实际,力求易懂、实用。各章均列有算例、习题和思考题,使学生通过学、练,加深对课程内容的理解 and 应用。

全书由西南交通大学峨眉校区池淑兰、张国林主编,其中池淑兰编写绪论、第一、五章,曾裕平编写第二章,张国林编写第三、四章,夏雄编写第六章,孔书祥编写第七章。

由于时间仓促,不当之处在所难免,热切希望读者批评指正。

编者

2003年12月

# 目 录

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| 绪 论 .....                       | 1   |
| 第一章 天然地基上的浅基础 .....             | 5   |
| 第一节 天然地基上浅基础的类型及构造 .....        | 5   |
| 第二节 基础埋置深度的确定及刚性扩大基础尺寸的拟定 ..... | 8   |
| 第三节 刚性扩大基础的验算 .....             | 11  |
| 第四节 桥涵基础计算荷载 .....              | 24  |
| 第五节 浅平基础设计计算算例 .....            | 41  |
| 思考题及习题 .....                    | 61  |
| 第二章 天然地基上浅基础的施工 .....           | 63  |
| 第一节 基坑开挖与基坑护壁 .....             | 63  |
| 第二节 基坑排水和降低水位 .....             | 68  |
| 第三节 水中围堰和水下挖土 .....             | 70  |
| 第四节 基底处理、基础圬工与灌注水下混凝土 .....     | 72  |
| 第五节 基坑支撑的计算 .....               | 79  |
| 思考题及习题 .....                    | 87  |
| 第三章 桩和桩基础的设计与计算 .....           | 88  |
| 第一节 桩基础的组成及适用条件 .....           | 88  |
| 第二节 桩和桩基础的类型及构造 .....           | 89  |
| 第三节 基桩内力和位移计算 .....             | 95  |
| 第四节 单排桩基础的设计 .....              | 106 |
| 第五节 多排桩基桩内力与位移计算 .....          | 110 |
| 第六节 单桩竖向承载力 .....               | 123 |
| 第七节 水平力作用下单桩的承载力 .....          | 148 |
| 第八节 桩基础按实体基础的检算 .....           | 151 |
| 第九节 承台的计算 .....                 | 153 |
| 第十节 桩基础的设计 .....                | 155 |
| 思考题及习题 .....                    | 159 |
| 第四章 桩基础施工 .....                 | 161 |
| 第一节 预制桩的施工 .....                | 161 |
| 第二节 灌注桩施工 .....                 | 167 |
| 第三节 水中修筑桩基础 .....               | 177 |
| 思考题及习题 .....                    | 183 |
| 第五章 沉井基础的设计计算与施工 .....          | 184 |
| 第一节 沉井的类型和构造 .....              | 185 |
| 第二节 沉井的施工 .....                 | 188 |
| 第三节 沉井的设计与计算 .....              | 196 |
| 第四节 沉井基础算例 .....                | 213 |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 思考题及习题 .....               | 231 |
| <b>第六章 地基基础的抗震设计</b> ..... | 232 |
| 第一节 地震的基本知识 .....          | 232 |
| 第二节 地震作用的计算 .....          | 238 |
| 第三节 地震土压力的计算 .....         | 243 |
| 第四节 桥梁墩台基础的抗震验算及抗震措施 ..... | 245 |
| 第五节 饱和土的地震液化 .....         | 249 |
| 第六节 算    例 .....           | 254 |
| 思考题及习题 .....               | 257 |
| <b>第七章 地基处理</b> .....      | 258 |
| 第一节 概    述 .....           | 258 |
| 第二节 换土(垫层)法 .....          | 258 |
| 第三节 挤(压)密法 .....           | 262 |
| 第四节 排水固结法 .....            | 270 |
| 第五节 化学加固法 .....            | 271 |
| 第六节 复合地基 .....             | 278 |
| 第七节 算    例 .....           | 281 |
| 思考题及习题 .....               | 282 |
| 附表 .....                   | 283 |
| 参考文献 .....                 | 299 |

# 绪 论

## 一、概 述

任何结构物都建造在一定的地层上,结构物的全部荷载都由它下面的地层来承担。受结构物影响的那一部分地层称为地基(ground),结构物与地基接触的部分称为基础(foundation)。桥梁上部结构为桥跨结构(bridge superstructure),而下部结构包括桥墩(bridge pier)、桥台(abutment)及其基础,如图1所示。基础工程包括结构物的地基与基础的设计与施工。

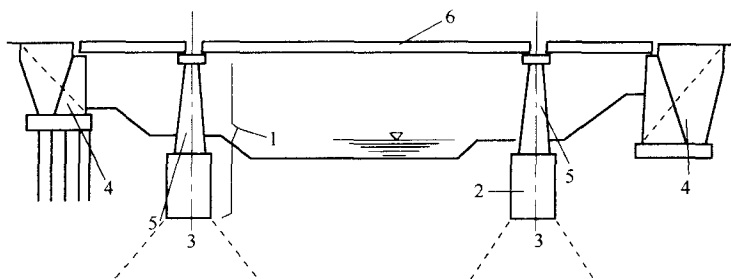


图1 桥梁结构各部立面示意图

1—下部结构;2—基础;3—地基;4—桥台;5—桥墩;6—上部结构。

地基与基础受到各种荷载后,其本身将产生附加的应力和变形。为了保证建筑物的使用与安全,地基与基础必须具有足够的强度和稳定性,变形也应在允许范围之内。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,可采用不同类型的地基和基础。

地基可分为天然地基与人工地基。直接放置基础的天然土层称为天然地基(natural subsoil)。如天然地层土质过于软弱或有不良的工程地质问题,需要经过人工加固或处理后才能修筑基础,这种地基称为人工地基(artificial ground)。

基础根据埋置深度分为浅基础(shallow foundation)和深基础(deep foundation)。将埋置深度较浅(一般在数米以内),且施工简单的基础称为浅基础;由于浅层土质不良,需将基础置于较深的良好土层上,且施工较复杂的基础称为深基础。基础埋置在土层内深度虽较浅,但在水下部分较深,如深水中桥墩基础,称为深水基础,在设计和施工中有些问题需要作为深基础考虑。桥梁及其人工结构物常用天然地基上的浅基础。当需要设置深基础时常采用桩基础(pile foundation)或沉井基础(open caisson foundation),我国桥梁现今最常用的深基础是桩基础。目前我国桥梁墩台基础大多采用混凝土或钢筋混凝土结构,在石料丰富的地区,按照就地取材原则,也常用石砌基础。只有在特殊情况下(如抢修、建临时便桥)采用木结构。

工程实践表明:结构物的地基与基础的设计和施工质量的优劣,对整个结构物的质量和正常使用起着根本的作用。基础工程是隐蔽工程,如有缺陷,较难发现,也较难弥补和修复,而这些缺陷往往直接影响整个结构物的使用甚至安全。基础工程的进度,经常控制整个结构物的

施工进度。下部工程的造价,通常在整个结构物造价中占相当大的比例,尤其是在复杂的地质条件下或在深水中修建基础更是如此。因此,对基础工程必须做到精心设计、精心施工。

本课程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、计算方法和施工要点。

我国现行的地基基础设计规范,除个别的已采用概率极限状态设计方法(如1995年7月颁布的建筑桩基技术规范JGJ94—94)外,桥涵地基基础设计规范等均还未采用极限状态设计。

我国桥涵地基设计规范尚未采用极限状态设计,主要原因是岩土设计参数的概率特性比上部结构材料要复杂得多,需要大量的测试与分析工作,以积累足够的数据和经验。我国在这方面起步较晚,但工作已较快开展。

学习中应理解问题的实质,掌握原理,搞清方法步骤,其中天然地基浅基础、桩基础和沉井基础,应较全面掌握其设计基本理论、具体计算方法。教材中所述的理论和方法,虽多以桥梁的基础工程问题举例说明,但一般也适用于道路及其他土建工程的有关基础工程问题。

### 二、基础设计步骤及所需的资料

地基与基础的设计方案、计算中有关参数的选用,都需要根据当地的地质条件、水文条件、上部结构型式、荷载特性、材料情况及施工要求等因素全面考虑。施工方案和方法也应该结合设计要求、现场地形、地质条件、施工技术设备、施工季节、气候和水文等情况来研究确定,因此,应在事前通过详细的调查研究,充分掌握必要的、符合实际情况的资料。

基础设计前必须收集有关资料如下:

地形地质:桥址平面图,桥位纵断面图,桥墩(台)处横断面图。除地形、地貌外,这些图上应详细绘出地质界线,标明钻孔或其他勘探点位置,注明岩层产状,不同层次的高程或层厚等。另外还应说明各土层的物理力学性质、颗粒大小、地下水活动及渗透情况等资料。

水文、气象:设计水位、常水位、施工水位、低水位的高程;设计和施工水位的流量和流速;流冰和流水情况;洪水季节和施工季节;当地最大风速、气温及冻结线深度等。注意根据水文、河床情况及桥梁孔径,正确地确定一般冲刷和局部冲刷深度。

线路:线路等级、股道数目、线路平面及纵断面设计图、轨底高程,公路桥梁的桥面宽度、公路设计荷载、人群荷载等。

桥跨和墩台的构造形式:跨长、全长、梁高、支座形式、墩台截面尺寸等。

当地的施工力量情况:技术水平、机具配备等。

当地情况:可供使用的建筑材料及工程用水、地方交通、电力供应等。

根据上述资料,通过计算以保证基础的安全使用。

基础设计步骤:

(1)拟定基础的埋置深度;选择基础类型;拟定有关尺寸。

(2)地基的强度。为了保证地基具有足够的强度,应验算基底压应力;当基底以下有软弱土层时,还应检算该软弱土层面的压应力。

(3)基础本身的强度。桥梁墩台下的基础,特别是明挖基础多为刚性基础,只要满足刚性角的要求,基础本身的强度即可得到保证。

(4)基底偏心距的检算。为了使基底应力分布较为均匀,避免出现基底两侧过大的不均匀下沉而使墩台倾斜,应检算基底合力对基底重心的偏心距。

(5)基础的倾覆、滑动稳定性。为保证基础具有足够的稳定性,应检算基础的倾覆稳定性

和滑动稳定性。

(6)地基稳定性。当墩台是修筑在较陡的土坡上,或桥台筑于软土上且台后填土较高时,还应检算墩台连同土坡或路基沿滑动弧面的滑动稳定性。

(7)沉降。过大的沉降或沉降差会影响结构物的正常使用,甚至会破坏上部结构,要特别注意那些对沉降差特别敏感的超静定结构,如连续梁、拱桥等。

(8)水平位移。当墩台很高时,需要检算墩台顶的水平位移。

当然满足上述要求的基础方案一般都不止一个,这就需要从技术、经济和施工方案等方面作综合比较,择优选用。

### 三、基础工程学科发展概况

基础工程与其他学科一样,是人类在长期的生产实践中不断发展起来的。在世界各文明古国数千年前的建筑活动中,就能发现有关基础工程的工艺技术成就,但由于当时受社会生产力和技术条件的限制,在相当长的时期内发展很缓慢,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,城建、水利、道路建筑规模的扩大,促使人们对基础工程的重视与研究,对有关问题开始寻求理论上的解答。此阶段在作为本学科的理论基础的土力学方面,如土压力理论、土的渗透理论等有局部的突破。基础工程也随着工业技术的发展而得到新的发展,如19世纪中叶利用气压沉箱法修建深水基础。20世纪20年代,基础工程有比较系统、比较完整的专著问世,1936年召开第一届国际土力学与基础工程会议后,土力学与基础工程作为一门独立的学科取得不断的发展。20世纪50年代起,现代科学新成就的渗入,使基础工程技术理论与理论更得到进一步的发展与充实,成为一门较成熟的独立的现代学科。

我国是一个具有悠久历史的文明古国,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逾千百年仍留存至今安然无恙的事实就充分说明了这一点。例如,远在1300多年前隋朝时所修建的赵州安济石拱桥,不仅在建筑结构上有独特的技艺,而且在地基基础的处理上也非常合理。该桥桥台座落在较浅的密实粗砂土层上,沉降很小,现反算其基底压力约为500~600 kPa,与现行的各设计规范中所采用的该土层容许承载力的数值(550 kPa)极为接近。在当时就能如此充分利用天然地基的承载力,真令人赞叹不已。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。随着我国经济建设事业飞速发展,促进了本学科迅速发展,并取得了辉煌的成就。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,以适应不同地基土质和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及大跨度桥梁的建设,大力发展了深基础技术。随着在各种土层、不同深度中施工经验和设计技术的积累,桩基础尤其是钻孔灌注桩成为我国最广泛采用的深基础。已建成的桥梁钻孔桩最大桩径达2.6 m,钻孔深度超过百米;在保证基桩质量及动力方法测定轴向承载能力方面也取得了可喜成就;对提高基桩承载能力,减少沉降采扩底和压浆等措施也取得了很好的经验。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许多工作。近年来我国铁路、高速公路发展迅速,在长江、黄河等大江大河和近海区域修筑的大型桥梁工程中采用了大直径钻孔灌注桩、预应力管桩、管柱、钢管桩、多种形式的浮运沉井、组合式沉井、各种结构类型的单壁、双壁钢围堰等一系列新型深基础、沉水基础,成功地解决了复杂地质、深水、大型桥梁基础工程问题。在软土地基上修筑桥梁等结构物,结合软土特性处理沉降和稳定问题取得了丰富经验。近几十年来我国人工地基及地基加固技术发展较快,在吸收国外新成就的基础上,发展了符合我国国情,充分利用我国材料特点,采用新的施工工艺的堆载

预压,深层挤压、搅拌桩、强夯(动力加固法)等,并在地下连续墙、深基坑支护、新材料应用等方面取得了丰富经验。

我国许多设计单位对常用的主要基础类型结构设计已有较完备的计算机辅助设计系统,基本上实现了电算化。

国外近年来基础工程科学技术发展也较快,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、大直径发展,采用的管柱直径达6 m,沉井直径达80 m(水深60 m)并以大口径磨削机对基岩进行处理,在水深流速较大处采用水上自升式平台进行深桩(管柱)施工等。

基础工程既是一项古老的工程技术又是一门年轻的应用科学,发展至今在设计理论和施工技术 & 测试工作中都存在不少有待进一步完善解决的问题,随着祖国现代化建设,大型和重型建筑物的发展将对基础工程提出更高的要求。我国基础工程科学技术可着重开展如下工作:

#### (一)开展地基的强度、变形特性的基本理论研究

由于天然地基中土层较复杂,具有明显的非线性和各向异性,黏性土更具有回滞性及时间效应,因此,地基土的强度、变形的基本理论及计算方法的研究,应结合岩土力学的新成果、现代计算方法和计算工具的发展而提高。同时要加强地基土的试验研究,尤其是原位测试的研究。考虑土的不均匀性,采用数理统计的分析方法,使其具有较大的实用价值。

我国土地辽阔,幅员广大,地基土的种类繁多,性质相差悬殊,很多土具有区域性特征,因此,应加强对软土、黄土、膨胀土和多年冻土等区域性特殊土的基本理论、特性和处理措施的研究。

#### (二)进一步开展各类基础型式设计理论和施工方法的研究

桩基础是我国采用较多的深基础型式,其结构轻巧且形式多样,便于因地制宜,适应性较强,也便于机械化施工。因此,应大力发展桩基础技术,进一步发展各种桩基础结构形式,通过试验和理论研究进一步明确各种条件下荷载传递机理,桩土共同作用关系,桩基础沉降计算,完善桩基础的设计计算理论。

采用新材料和新工艺,发展便于施工和使用的新型、轻型基础结构,是基础工程在发展中的重要方面。采用新的结构理论和符合实际状态的力学分析方法是日益增长的大型、重型深水桥梁基础设计工作的重要环节。

基础施工方面,应加强施工机械化、自动化及各种新技术应用于施工工艺的研究,以提高施工效率、缩减工期和改善劳动条件;为保证工程质量应进行隐蔽工程质量检查的可靠简便方法的研究。

由于电子计算机的发展与运用,可研究应用最优化方法来设计基础,求得在技术上先进可靠,经济上合理,施工方便的设计方案。

地基加固目前发展动向为:加固方法和应用范围不断的扩大;由于静力加固向动力加固发展,向机械化施工发展以达到快速和经济效果;设计理论进一步提高和完善。

上部结构与基础(对桥梁为下部结构)与地基是既相互影响又协同工作的,应根据地基土的性状,上部结构及基础的结构特性,三者在各部接触处的受力和变形协调关系,通过测试和理论分析,逐步提出考虑地基——基础——上部结构共同工作的设计计算关系。

结构抗震理论当前正在不断发展,对建筑物抗震性能至关重要的地基基础抗震理论现在还不太成熟,落后于建设的需要,应进一步运用现代化计算工具和测试手段开展各类基础和地基土的动力分析的理论和科学试验。

# 天然地基上的浅基础

凡是直接在未加固过的地基土上修筑基础,该地基土能保持其自然形成的土质结构和特性,不需要进行人工加固,就具有良好的稳定性,称为天然地基。当地基土的土质很差,不经过人工加固处理,就不能达到设计要求,称为人工地基。也有局部地区遇到的地基土土质特殊,如湿陷性黄土、多年冻土、压缩性强的软土等,这些地基均需做特殊的设计和施工,称为特殊地基(special ground)。

基础可分为两大类:平基(plane foundation)和桩基(pile foundation)。平基的基底一般为平面,即使有些基础建筑在倾斜的岩面上,需将基底做成台阶状,也属平基之列。工程界常把平基按其基底埋置深度,大致分为浅平基(shallow plane foundation)和深平基两类。由于浅平基一般是在露天开挖的基坑内直接修筑基础,故有时称按此法施工的基础为明挖基础。如用沉井和沉箱等特殊施工方法修筑的基础,则称为深平基(deep plane foundation)。

天然地基浅基础由于埋深浅,结构形式简单,施工方法简便,造价也较低,成为建筑物最常用的基础类型。

支承在地基上的所有建筑物,如桥梁、房屋等,都是由暴露在地面上的上部结构和埋在地下的下部结构,即基础组成,基础的作用,就是要承受由上部结构传来的全部重量与其他各种外力,并将它们可靠地传递到地基中去。本章将介绍浅基础的设计与计算。

## 第一节 天然地基上浅基础的类型及构造

### 一、浅基础常用类型及适用条件

天然地基浅基础,根据受力条件及结构可分为刚性基础(rigidity foundation)和柔性基础(flexible foundation)两大类。当基础在外力(包括基础自重)作用下,基底承受着强度为 $\sigma$ 的地基反力,基础的悬出部分[图 1-1(b)], $a-a$ 断面左端,相当于承受着强度为 $\sigma$ 的均布荷载的悬臂梁,在荷载作用下, $a-a$ 断面将产生弯曲拉应力和剪应力。基础圬工具有足够的截面

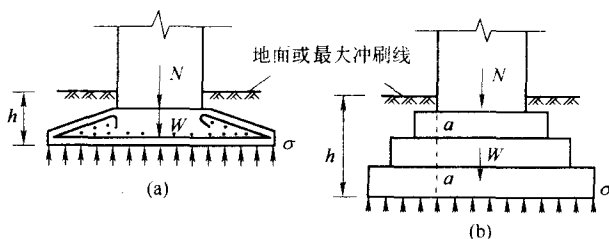


图 1-1 基础类型

使材料的容许应力大于由地基反力产生的弯曲拉力和剪应力时,  $a-a$  断面不会出现裂缝, 这时, 基础内不需配置受力钢筋, 这种基础称为刚性基础[图 1-1(b)]。它是桥梁、涵洞和房屋等建筑物常用的基础类型。其形式有: 刚性扩大基础(rigidity spread foundation)(图 1-2)及单独柱下基础(图 1-3)、条形基础(strip foundation)(图 1-4)等。

结构物基础在一般情况下均砌筑在土中或水下, 经常受潮, 容易受侵蚀, 而且它是建筑物的隐蔽部分, 破坏了不容易发现, 也不容易修复, 所以必须保证基础的材料有足够的强度和耐久性。因此, 对于基础材料要有一定的要求。刚性基础常用的材料如下:

混凝土是修筑基础最常用的材料。它的优点是抗压强度高、耐久性好, 可浇筑成任意形状的砌体, 等级一般不宜小于 C15。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 25% 的片石(称片石混凝土), 但片石的强度等级不应低于 C25, 也不应低于混凝土等级。

粗料石或片石。采用粗料石砌筑桥、涵和房屋等基础时, 要求石料外形大致方整, 厚度约 20~30 cm, 宽度和长度分别为厚度 1.0~1.5 和 2.5~4.0 倍, 石料强度等级不应小于 MU25, 砌筑时应错缝, 一般采用 M5 水泥砂浆。片石常用于小桥涵基础, 石料厚度不小于 15 cm, 等级不小于 MU25, 一般采用 M5 或 M2.5 砂浆砌筑。

钢筋混凝土。它是质量很好的基础材料, 用于荷载大、土质软弱或地下水位以下的基础。

此外, 砖也可用作基础材料, 但因其强度较低, 多用于修筑轻型工业与民用建筑中的砖柱或砖墙基础。

刚性基础的特点是稳定性好、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, 它是桥梁和涵洞等结构物首先考虑的基础形式。它的主要缺点是自重较大, 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结构物的正常使用。所以对于荷载大或上部结构对沉降差较敏感的结构物, 当持力层的土质较差又较厚时, 刚性基础作为浅基础是不适宜的。

基础在基底反力作用下, 在图 1-1(b) 的  $a-a$  断面产生弯曲拉应力和剪应力若超过了基础圬工的强度极限值, 为了防止基础在  $a-a$  断面开裂甚至断裂, 必须在基础中配置足够数量的钢筋, 这种基础称为柔性基础, 如图 1-1(a) 所示。

柔性基础主要是用钢筋混凝土灌注, 常见的形式有柱下扩展基础、条形和十字形基础(图 1-5)筏板及箱形基础(图 1-6、图 1-7), 它整体性能较好, 抗弯刚度较大, 如筏板和箱形基础, 在外力作用下只产生均匀沉降或整体倾斜, 这样对上部结构产生的附加应力比较小, 基本上消除了由于地基沉降不均匀引起结构物损坏的影响。所以在土质较差的地基上修建高层建筑时, 采用这种基础形式是适宜的。但上述基础形式, 特别是箱形基础, 钢筋和水泥的用量较大, 施工技术的要求也较高, 所以采用这种基础形式应与其他基础方案(如采用桩基础等)比较后再确定。

## 二、浅基础的构造

### (一) 刚性扩大基础(rigidity spread foundation)

由于地基强度一般较墩台或墙柱圬工的强度低, 因而需要将其基础平面尺寸扩大以满足地基强度要求, 这种刚性基础又称刚性扩大基础。它是桥涵及其它构造物常用的基础形式, 其平面形状常为矩形。其每边扩大的尺寸最小为 0.20~0.50 m, 视土质、基础厚度、埋置深度和施工方法而定。作为刚性基础, 每边扩大的最大尺寸应受到材料刚性角的限制。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, 节省材料, 如图 1-2 所示。

## (二) 单独和联合基础 (individual and composite foundation)

单独基础是立柱式桥墩和房屋建筑常用的基础形式之一。它的纵横剖面均可砌筑成台阶式 [图 1-3(a)、(d)], 但柱下单独基础用石或砖砌筑时, 则在柱子与基础之间用混凝土墩连接。个别情况下柱下基础用钢筋混凝土浇注时, 其剖面也可浇筑成锥形, 如图 1-3(c) 所示。

当为了满足地基强度要求, 必须扩大基础平面尺寸, 而扩大结果使相邻的单独基础在平面上相接甚至重叠时, 则可将它们连在一起成为联合基础, 如图 1-3(b)。

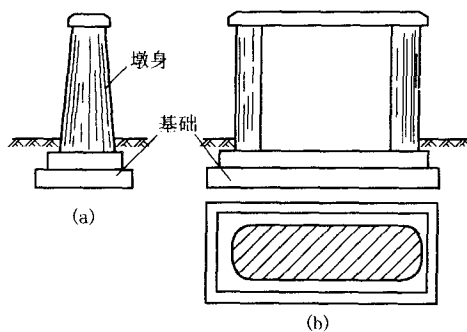


图 1-2 刚性扩大基础

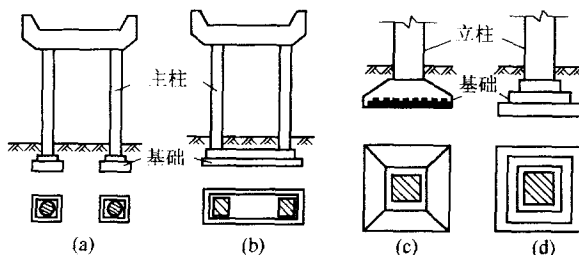


图 1-3 单独和联合基础

## (三) 条形基础 (strip foundation)

条形基础是指基础长度远大于其宽度的一种基础形式。按上部结构形式, 可分为墙下条形基础和柱下条形基础。墙下条形基础是挡土墙下或涵洞下常用的基础形式, 在横剖面可以是矩形或将一侧筑成台阶形。有时为了增强桥、墙柱下基础的承载力, 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 1-4)。其结构与倒置的 T 形截面梁相类似, 在沿柱子的排列方向的剖面可以是等截面的, 也可以在柱位处做成加肋的。在桥梁基础中, 它一般是做成刚性基础, 个别的也可做成柔性基础。

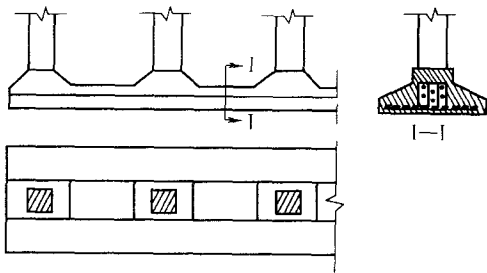


图 1-4 柱下条形基础

如地基土很软, 基础在宽度方向需进一步扩大面积, 同时又要求基础具有空间的刚度来调整不均匀沉降时, 可在柱下纵、横两个方向均设置条形基础, 这便成为十字型基础。这是房屋建筑常用的基础形式, 它也是一种交叉条形基础, 如图 1-5 所示。

## (四) 筏板和箱形基础

筏板和箱形基础都是房屋建筑常用的基础形式。

当立柱或承重墙传来的荷载较大, 地基土质软弱又不均匀, 采用单独或条形基础均不能满足地基承载力或沉降的要求时, 可采用筏板式钢筋混凝土基础, 这样既扩大了基础底面积又增强了基础的整

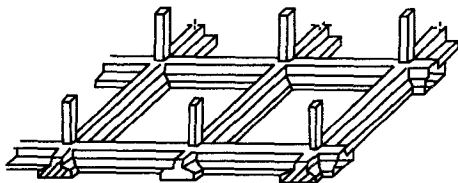


图 1-5 柱下十字形基础

体性,并避免结构物局部发生的不均匀沉降。

筏板基础在构造上类似于倒置的钢筋混凝土楼盖,它可以分为平板式[图 1-6(a)]和梁板式[图 1-6(b)]。平板式常用于柱荷载较小而且柱子排列较均匀和间距也较小的情况。

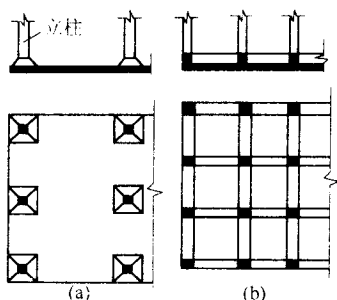


图 1-6 筏板基础

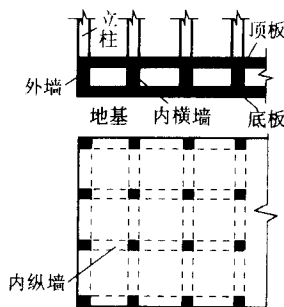


图 1-7 箱形基础

为增大基础刚度,可将基础做成由钢筋混凝土顶板、底板及纵横隔墙组成的箱形基础(图 1-7),它的刚度远大于筏板基础,而且基础顶板和底板间的空间常可利用作地下室。它适用于地基较弱土层厚,建筑物对不均匀沉降较敏感时或荷载较大而基础建筑面积不太大的高层建筑。

以上仅对较常见的浅基础形式的构造作了概括的介绍,在实践中必须因地制宜地选用。有时还必须另行设计基础的形式,如在非岩石地基上修筑拱桥桥台基础时,为了增加基底的抗滑能力,基底在顺桥方向剖面做成齿坎状或斜面等。

## 第二节 基础埋置深度的确定及刚性扩大基础尺寸的拟定

### 一、基础埋置深度的确定

基础的埋置深度指的是基础底面的埋置深度,其确定原则是在保证安全可靠的前提下,尽量浅埋,但也要有一定的埋置深度。因为表土一般都松软,由于被植物根系所削弱,不宜作为基础的持力层。确定基础的埋置深度时,必须综合考虑地基的地质、地形条件、河流的冲刷程度、当地的冻结深度、上部结构形式,以及保证持力层稳定所需的最小埋深和施工技术条件、造价等因素。对于某一具体工程来说,往往是其中一、二种因素起决定性作用,所以在设计时,必须从实际出发,对主要因素进行分析研究,确定合理的埋置深度。

影响基础最小埋置深度的因素,主要有以下几方面:

#### (一) 保证持力层稳定所需的最小埋置深度

地表土在温度和湿度的影响下,会产生一定的风化作用,其性质是不稳定的。加上人类和动物活动以及植物的生长作用,也会破坏地表土层的结构,影响其强度和稳定,所以一般地表土不宜作为持力层。为了保证地基和基础的稳定性,基础的埋置深度(除岩石地基外)应在天然地面或无冲刷河流的河底以下不小于 1.0 m。我国《公桥基规》规定:

① 小桥涵基础,在无冲刷处,除岩石地基外,应在地面或河床底以下至少埋深 1 m;如有冲刷,基底埋深应在局部冲刷线以下不小于 1 m。

② 小桥涵的基础底面,如河床上有铺砌层时,宜设置在铺砌层顶面以下 1 m。

我国《铁桥基规》规定:在无冲刷处或设有铺砌防冲时,应不小于地面以下 2.0 m,特殊困

难情况下不小于 1.0 m。

## (二)当地的冻结深度

在严寒地区,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。

产生冻胀的原因是由于冬季气温下降,当地面下一定深度内土中的温度达到冰冻温度时,土中孔隙水分开始冻结,体积增大,使土体产生一定的隆胀。对于冻胀性土,如土温在较长时间内保持在冻结温度以下,水分能从未冻结土层不断地向冻结区迁移,引起地基的冻胀和隆起,导致地基遭受损坏。当冻土融化时,土层将发生局部过分潮湿,致使土的承载力降低。为保证结构物不受地基土季节性冻胀的影响,除地基为非冻胀性土外,基础底面应埋置在天然最大冻结线以下一定深度。我国《公桥基规》规定:当上部为超静定结构,地基为冻胀性土时,均应将基底埋入冻结线以下不小于 0.25 m;当墩台基底设置在不冻胀土层中,基底埋深可不受冻深的限制;当墩台基础设置在季节性冻胀土层时,基底的最小埋置深度由计算确定;涵洞基础设置在季节冻土地基上时,出入口和自两端洞口向内各 2 m 范围内涵身基底的埋置深度也应计算确定。我国《铁桥基规》规定:除不冻胀土外,对于冻胀、强冻胀土时,基底应在冻结线以下不小于 0.25 m;对于弱胀土,应不小于冻结深度的 80%。

## (三)河流的冲刷深度

在有水流的河床上修建墩台基础时,必须审慎地考虑洪水的冲刷作用。整个河床断面被洪水冲刷后要下降,这叫一般冲刷。被冲刷下去的深度叫一般冲刷后的深度。同时在墩台四周还冲出一个深坑,如图 1-8 所示,叫局部冲刷坑,该坑的深度叫局部冲刷深度。

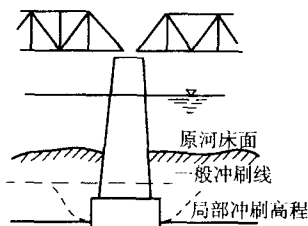


图 1-8 河水的冲刷作用

### 1. 公路墩台基础埋置深度

在有冲刷处,大、中桥基底埋置在局部冲刷线以下的安全值,应按表 1-1 规定选用。

表 1-1 公路大、中桥基底最小埋深安全值

| 冲刷总深度 (m)  |                  | 0   | <3  | ≥3  | ≥8  | ≥15 | ≥20 |
|------------|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 安全值<br>(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 |

### 2. 铁路墩台基础埋置深度

在有冲刷处,基底应在墩台附近最大冲刷线以下,不小于下列安全值:对于一般桥梁安全值为 2 m 加冲刷总深度 10%;对于特大桥(或大桥)属于技术复杂、修复困难或重要者,安全值为 3 m 加冲刷总深度的 10%,如表 1-2 所示。

表 1-2 铁路桥基底埋深安全值

| 冲刷总深度 (m)  |                         | 0      | 5   | 10  | 15  | 20  |
|------------|-------------------------|--------|-----|-----|-----|-----|
| 安全值<br>(m) | 一般桥梁                    | 2.0    | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 |
|            | 特大桥(或大桥)属于技术复杂、修复困难或重要者 | 设计频率流量 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 |
|            |                         | 检算频率流量 | 1.5 | 1.8 | 2.0 | 2.3 |

注:冲刷总深度为自河床面算起的一般冲刷深度与局部冲刷深度之和。

建于抗冲性能强的岩石上的基础,可不考虑上列规定,对于抗冲性能较差的岩石,应根据

具体情况确定基底埋置深度。

上述说明,确定基底埋置深度,必须使地基土不受外界因素的影响,这是保证基础安全的先决条件和最低要求,这样确定的埋深称为最小埋深。设计时,除了必须满足最小埋深外,持力层的地基承载力则是确定基底埋深的重要因素。因此,设计步骤应该首先根据有关要求得出的最小埋置深度,初步拟定几种可行方案,然后进行有关检算,再从技术、经济和施工条件上进行比较,最后确定基础的埋置深度。

某河流的水文资料和土层分布及其容许承载力如图 1-9 所示。

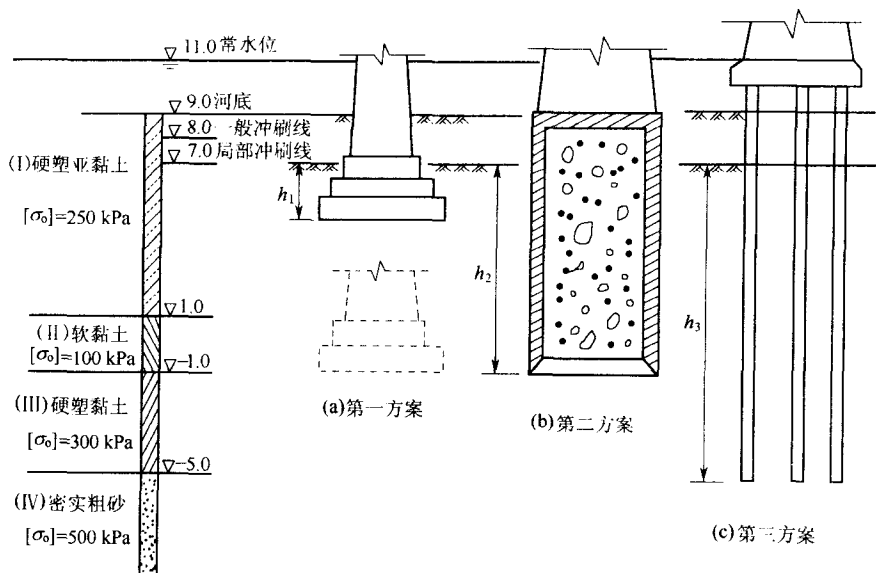


图 1-9 基础埋深的不同方案

基础修建在常年有水的河中,上部为静定结构。从土质条件来看,土层(I)、(III)、(IV)均可作为持力层,所以第一方案采用浅基础,其埋置深度,只需根据最大冲刷线确定其最小埋置深度,即在最大冲刷线以下  $h_1 = 2\text{ m}$ ,然后验算上层(I)、(II)的承载力是否满足要求。如这一方案不能通过,就应按土质条件将基底设置在土层(III)上,但埋深  $h_2$  达 8 m 以上,若仍采用浅基础开挖施工方案则要考虑技术上的可能性和经济上的合理性,这时也可考虑沉井基础(第二方案)或桩基础。如荷载大,要求基础埋得更深时,则可考虑第三方案采用桩基础,将桩底设置在土层(IV)中。采用这一方案时,可以避免水下施工,给施工带来便利。

## 二、刚性扩大基础尺寸的拟定

基础顶面一般应低于设计地面 10 cm 以上,以免基础外露,遭受外界影响而破坏。

基底形状一般应大致和墩台形状相符,例如墙下基础可用条形基础,圆墩下用圆形或八角形基础。矩形墩下用矩形基础。为便于施工,圆形墩和圆端形墩以及形状较为复杂的墩台,也多采用矩形。

由于地基土的强度比墩台圬工的强度低,上述各种形状基底的平面尺寸都需要稍大于墩台底平面尺寸。要扩大多少,则决定于上部荷载和地基土的强度。

刚性扩大基础的剖面形式一般做成矩形或台阶形,如图 1-10 所示。自墩、台身底边缘至基顶边缘的距离  $c_1$  称襟边,其作用一方面是扩大基底面积增加基础承载力,同时也便于调整

基础施工时在平面尺寸上可能发生的误差,也为了支立墩、台身模板的需要。其值应视其底面积的要求、基础厚度及施工方法而定。桥梁墩台基础襟边最小值为 20~30 cm。

基础较厚(超过 1 m 以上)时,可将基础的剖面浇砌成台阶形,如图 1-10(b)所示。

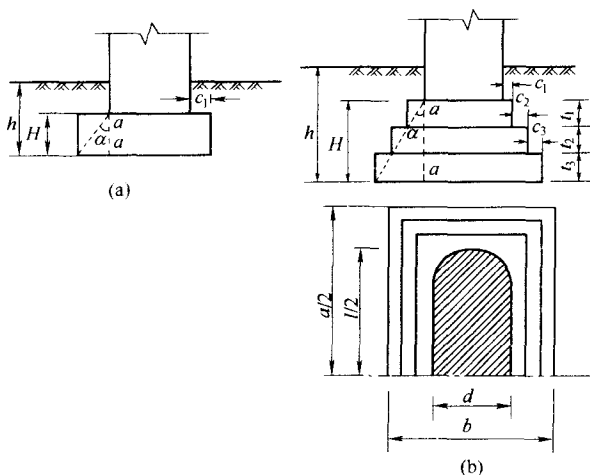


图 1-10 刚性扩大基础剖面、平面图

基础悬出总长度(包括襟边与台阶宽度之和)按刚性基础的定义,应使悬出部分在基底反力作用下,在  $a-a$  截面(图 1-10)所产生的弯曲拉应力和剪应力不超过基础圬工的强度限值。所以满足上述要求时,就可得到自墩台身边缘处的垂线与基底边缘的连线间的最大夹角  $\alpha_{\max}$ ,称为刚性角。在设计时,应使每个台阶宽度  $c_i$  与厚度  $t_i$  保持在一定比例内,使其夹角  $\alpha_i \leq \alpha_{\max}$ ,这时可认为属刚性基础,不必对基础进行弯曲拉应力和剪应力的强度验算,在基础中也可不设置受力钢筋。刚性角  $\alpha_{\max}$  的数值是与基础所用的圬工材料强度有关。根据实验,常用的基础材料的刚性角  $\alpha_{\max}$  值可按下面提供的数值取用:

砖、片石、块石、粗料石砌体,当用 M5 以下砂浆砌筑时,  $\alpha_{\max} \leq 30^\circ$ ;

砖、片石、块石、粗料石砌体,当用 M7.5 以下砂浆砌筑时,  $\alpha_{\max} \leq 35^\circ$ ;

混凝土浇筑时,公路  $\alpha_{\max} \leq 40^\circ$ ;铁路  $\alpha_{\max} \leq 45^\circ$ 。我国《铁桥基规》规定:双向受力矩形墩台的各种形状基础以及单向和双向受力的圆端形桥墩采用的明挖基础,其最上一层石砌  $\alpha_{\max} \leq 30^\circ$ ,混凝土  $\alpha_{\max} \leq 35^\circ$ ,其下各层石砌  $\alpha_{\max} \leq 35^\circ$ ,混凝土  $\alpha_{\max} \leq 45^\circ$ 。

基础每层台阶高度通常为 0.5 m~1.0 m,在一般情况下各层台阶宜采取相同厚度。

所拟定的基础尺寸,应是在可能的最不利荷载组合的条件下,能保证基础本身有足够的结构强度,并能使地基与基础的承载力和稳定性均能满足规定要求,并且是经济合理的。

### 第三节 刚性扩大基础的验算

在基础埋置深度和构造尺寸确定以后,就应根据可能产生的最不利荷载组合对地基与基础进行验算,从而保证结构物的安全和正常使用,并使设计经济合理。主要验算地基承载力、基底合力偏心距、地基与基础稳定性、基础沉降等。

#### 一、地基承载力验算

地基承载力验算包括持力层强度验算、软弱下卧层验算和地基容许承载力的确定。