

高等学校教材

基 础 工 程
(第二版)

李克钊 主 编
罗书学 副主编
赵善锐 主 审

中 国 铁 道 出 版 社

2 0 0 0 年 · 北 京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书系统地介绍了建筑工程和交通土木建筑工程中常见的基础类型和它们的设计原理、计算方法和施工技术。全书除绪论外,共分八章,内容包括:浅基础的施工,刚性基础和扩展基础的设计,柱下条形基础,筏形基础和箱形基础,桩和桩基的构造和施工,桩基础的设计计算,沉井、沉箱和地下连续墙并箱基础,深基坑支护结构和降低地下水位,地基基础的抗震设计。其中刚性扩大基础、桩基础、沉井基础附有较全面、详细的算例。

本书为高等学校土木工程专业的教材,也可供广大土木工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

基础工程/李克钊主编 .—2 版 .—北京:中国铁道出版社,2000.11

ISBN 7- 113- 03916- 2

. 基... . 李... . 地基- 基础(工程) . TU4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 49472 号

书 名:基础工程(第二版)

作 者:李克钊 主编 罗书学 副主编

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:李艳阳

印 刷:中国铁道出版社印刷厂

开 本:787× 1092 1/16 印张: 插页: 字数: 千

版 本:1992 年 月第 1 版 年 月第 2 版第 5 次印刷

印 数:1~ 册

书 号:ISBN 7- 113- 03916- 2/TB·44

定 价:25.20 元

版权所有 盗印必究

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。

第二版前言

本教材是根据国家教委批准的“九五”普通高等教育国家级重点教材立项选题的通知, 在由李克钊主编, 中国铁道出版社 1992 年出版的高等学校教材《基础工程》的基础上进行修订的。

第一版教材是按照当时的教学大纲编写的, 符合当时的教学要求。根据目前高等学校教学改革和专业调整的需要, 为了适应大学本科土木工程专业拓宽知识面以及国家有关工程规范和标准的完善和修订, 有必要对第一版教材进行修改和补充。修订后, 全书除绪论外, 共八章。其中绪论, 第三章柱下条形基础、筏形基础和箱形基础以及第七章深基坑支护结构和降低地下水位为新增写的。第二章增加了按建筑地基基础设计规范要求的房屋基础设计计算及地基基础可靠性分析简介等内容。第五章对桩基础的设计计算作了重新改写, 并增加了根据《建筑桩基技术规范》(JGJ 94- 94) 按概率极限法进行桩基计算的内容。第六章则增加了地下连续墙并箱基础一节。第八章地基基础的抗震设计, 增加了房屋建筑地基基础抗震设计的内容, 并根据新的抗震设计规范的设计思想和原则进行了重写。除此以外, 对原书其他章节的内容, 只作局部的更新和增删。从总体上看, 此次修订后在内容上较原书有较大的增加, 各高校教师可根据教学时数有重点地选择适合教学需要的内容。

本书由西南交通大学李克钊主编, 罗书学任副主编, 赵善锐主审。参加编写工作的有: 西南交通大学陈禄生(第一章和第七章), 罗书学(第二章), 夏永承(第三章和第五章), 李克钊(绪论、第四章、第六章和第八章)。

在本书编写过程中, 西南交通大学土木工程学院土力学及基础工程教研室毛坚强、吴兴序等老师提出了很多宝贵意见, 刘成宇教授、周京华教授提供了部分材料, 曾参加第一版编写的北方交通大学吴灿然教授也给予了大力支持, 在此对他们表示衷心的感谢。

由于编者水平所限, 本书不当之处在所难免, 敬请读者批评指正。

编 者
二 年五月

第一版前言

本教材是根据高等学校铁道工程专业“土力学和基础工程”课程教学大纲要求,在1981年刘成宇主编、由中国铁道出版社出版的《土力学和基础工程(下)》试用教材的基础上修订而成的。修订后,上册改名为土力学,下册改名为基础工程。本书为下册。需要讲授60学时左右。

《土力学和基础工程(下)》试用教材出版后,经各铁路院校的使用,认为内容翔实,符合当时的教学大纲要求,选材恰当,反映了我国铁路桥梁基础工程的特点。但由于科技的发展,有关规范的修订,并要使内容能覆盖更大的专业面,以扩大学生的视野,同时,按教学大纲要求,教材应适用于铁道建筑、桥梁、隧道、工业与民用建筑及工程地质等专业,故在内容上作了必要的补充和深化。

修订后的教材,基本上保留了原试用教材的内容,并根据《铁路桥涵设计规范》(TBJ 2-85)和《铁路抗震设计规范》(GBJ 111-87)的要求作了必要的修改和补充。

为了便于教学,修订时,调整了部分章节次序。与原试用教材相比较,内容增加了桩基工程中正在推广应用的桩基承载力的动测新技术及相应的基本理论;根据新的抗震设计理论和工程实践,改写了“墩台基础的抗震设计”一章。

本书由西南交通大学李克钊主编,北方交通大学唐业清主审。参加这次修订编写的有:西南交通大学陈禄生(第一章),北方交通大学吴灿然(第二、三、四章),西南交通大学李克钊(第五、六章)。

在本书的修订工作中,得到了有关兄弟院校同仁们的支持和帮助,提出了宝贵的意见,在此表示感谢。

编者

一九九一年三月

目 录

绪 论	(1)
第一章 浅基础的施工	(6)
第一节 浅基础的类型和施工要点	(6)
第二节 陆地基坑的开挖和支护	(8)
第三节 地下水控制	(12)
第四节 水中围堰的修筑和水下挖土	(14)
第五节 基底处理和灌注水下混凝土	(17)
第六节 基坑支护的计算	(20)
第二章 刚性基础和扩展基础的设计	(31)
第一节 基础设计原则及其砌体的材料和形式	(31)
第二节 基础的埋置深度	(36)
第三节 基础上的荷载	(40)
第四节 基础的设计计算	(47)
第五节 减轻不均匀沉降危害的措施	(66)
第六节 基础的设计算例	(69)
第七节 地基基础可靠性分析简介	(78)
第三章 柱下条形基础、筏形基础和箱形基础	(82)
第一节 概 述	(82)
第二节 地基、基础与上部结构共同作用的概念	(83)
第三节 地基模型	(85)
第四节 文克勒地基上梁的分析	(90)
第五节 柱下条形基础	(93)
第六节 筏形基础	(97)
第七节 箱形基础	(103)
第四章 桩和桩基的构造与施工	(107)
第一节 桩和桩基的作用及使用条件	(107)
第二节 桩和桩基类型	(108)
第三节 承台的类型、构造和桩的布置	(109)
第四节 预制桩的构造和施工	(111)
第五节 钻(挖)孔桩的构造和施工	(118)
第六节 水中修筑桩基	(123)

第五章 桩基础的设计计算.....	(133)
第一节 桩基础的荷载传递及设计的一般原则和要求.....	(133)
第二节 轴向荷载下桩的受力性能.....	(135)
第三节 横向荷载下桩的受力性能.....	(141)
第四节 群桩基础位移及桩顶内力的计算.....	(157)
第五节 单桩承载力的确定.....	(164)
第六节 群桩作用和桩基的竖向承载力.....	(185)
第七节 建筑桩基承台计算.....	(192)
第八节 桩基础设计步骤及算例.....	(196)
第六章 沉井、沉箱基础和地下连续墙井箱基础	(208)
第一节 天然地基上深基础的修筑方法.....	(208)
第二节 沉井的类型和构造.....	(209)
第三节 一般沉井的制造和下沉.....	(212)
第四节 用泥浆套和空气幕下沉沉井.....	(218)
第五节 浮运沉井.....	(222)
第六节 沉箱基础.....	(226)
第七节 地下连续墙井箱基础.....	(230)
第八节 一般沉井的设计和计算.....	(234)
第九节 一般沉井基础设计算例.....	(243)
第七章 深基坑支护结构和降低地下水位.....	(255)
第一节 深基坑非重力式桩墙支护.....	(255)
第二节 深基坑重力式水泥土墙支护的应用.....	(264)
第三节 深基坑喷锚支护和土钉墙.....	(265)
第四节 深基坑施工的地下水控制方法.....	(269)
第五节 降低地下水位设计计算要点.....	(271)
第六节 深基坑工程的监测和控制.....	(275)
第八章 地基基础的抗震设计.....	(277)
第一节 概 述.....	(277)
第二节 地震对地面和工程结构物的破坏作用.....	(282)
第三节 建筑场地类别和抗震设计反应谱.....	(285)
第四节 地基基础的抗震设计和抗震措施.....	(294)
第五节 桥梁墩台基础的抗震验算及抗震措施.....	(307)
主要参考文献.....	(313)

绪 论

一、基础工程的研究对象和重要性

任何建筑物无不修建在地球表面的地层上,建筑物的全部重量最后无不传递给地层,由地层来承受。支承建筑物的地层通常称为“地基”。建筑物在地面以下并将上部结构自重和所承担的荷载传递到地基上的构件或部分结构即为建筑物的“基础”,如图1所示。形象地说基础是建筑物的根脚。基础底面离地面的深度称为基础的埋置深度。地基、基础和上部结构是建筑物的三个组成部分,三者的功能不同,但在荷载作用下,它们是彼此相关,共同作用的整体。在设计和施工时必须统一考虑,尤其在设计计算时,应考虑三部分的作用。

地基可分为天然地基和人工地基。当上部结构的荷载和自重不是很大,天然土层的承载力能满足要求时,建筑物的基础一般就建造在由天然土所构成的地基上,称为天然地基。如果天然地层土质过于软弱,需要先经过人工处理或加固,然后在其上修筑基础,这种地基称为人工地基。如果基岩埋藏很浅,或由于建筑物的要求,把基础建造在基岩上,这种地基称为岩基。

图1 桥墩的地基和基础

根据基础的埋置深度基础分为浅基础和深基础。浅基础施工较方便简单,建筑工程中绝大多数基础属于这一类。由于建筑结构的要求,或结构物的荷重过大,浅层土质不良,需将基础埋置于较深的良好土层上,这类基础称为深基础,其施工要困难复杂很多。如城市中的高层建筑的基础,大跨度桥梁的墩台基础、江河中的大坝基础等属于这一类。常用的深基础有桩基础、沉井基础等。

显然,地基和基础的质量是保证建筑物的安全和正常使用的根本所在。为此,应进行正确的设计和认真的施工。建筑物的地基在建筑物荷载作用下既要保持整体的稳定,又要使其产生的沉降在建筑物的容许范围内。这些问题涉及到土力学中关于土的强度和变形等理论,掌握好这些理论是成功处理好地基问题的必要条件。为了选择良好的地基土层必须预先做好建筑场地的勘探,充分了解地基范围内土层的构成及其在竖向和水平方向上的变化,有无软弱土层以及各层土的物理力学性质,地下水的类型、埋藏深度及其季节性的变化幅度以及水质对建筑材料的腐蚀性,有无影响地基稳定性的不良地质现象如滑坡、岩溶、古河道等。为了满足建筑物对地基的稳定和沉降的要求,可以选择适当的基础埋深和尺寸来保证传递到地基上的荷载不超过地基的承载力,或选用适当的基础类型将建筑物荷载传递到埋藏较深、承载力高的土层上去。和上部结构一样,基础本身应有足够的强度、刚度和耐久性。同时,还要考虑和选择修建基础的施工方法和必要的挡土、挡水的临时结构物以及有关措施。在软弱地基中建造高大建筑和在深水中修筑大型工程结构时,基础工程常常是技术难度大,投资比例高(占工程造价的比例

有时可高达 20% ~ 30%, 因此节约建设资金的潜力也大), 施工工期长(经常控制整个工程的施工进度)的部分。例如, 在江河海峡修建桥梁、水坝和码头等的水下基础时, 其困难和风险尤为突出。建桥工程师都深有感触, 只要桥墩修出了水面, 便如释重负觉得桥已建成一半。即使一般的地基基础也需在地面下的基坑或在水中施工, 施工场地狭小、施工条件差、稍有疏忽容易留下质量隐患, 在施工完成后又被埋在地下或水下, 成为隐蔽部分, 一旦出现事故既不易发现又难于补救。由于地基基础的设计不周、施工不善, 产生过量或不均匀沉降而导致上部结构倾斜、开裂, 影响建筑物正常使用的事例屡见不鲜, 甚至地基滑移, 结构倒塌也时有发生。

综上所述, 必须十分重视地基和基础的勘察、设计和施工工作。但限于篇幅, 本书只着重介绍地基基础的设计和施工。

二、本门学科在我国的成就及发展概况

自人类进行建筑实践以来, 就要处理地基土的各种问题。我国有五千年的文化, 许多建筑遗址说明, 远在新石器时代, 就充分表明我们祖先在土建技术上的聪明才智, 如西安半坡村发掘出来的土台和石础, 在洛阳王湾发掘出来的许多房屋遗址, 其墙基都是先挖沟槽, 再填以红烧土碎块。在古文献《韩非子》中已有记载, 房屋建筑是“堂高三尺、茅茨土阶”, 这反映当时的地基基础建筑已达相当水平。对于人工地基, 像打夯, 加石灰压实, 瓦碴垫层, 撼砂垫层等已有很高水平。这些方法不仅用于地基上, 而且也用于筑土城和河堤等, 如山东龙山镇城子崖就发现有夏代(约 4 000 年前)的古城, 高 6 m, 厚约 10 m, 南北长 450 m, 东西长 390 m。

历史上记载, 西周之初(约 3 000 年前)曾建过 3 次京城, 规模一次比一次大, 直到秦统一中国, 出现了驰名世界蜿蜒数千里的长城, 横贯全国的驰道, 以及隋代建造的大运河, 这些伟大工程的地基及有关边坡肯定都是经过精心规划建造的, 例如驰道工程中就采用“稳以金堆”的路基压实方法。西汉、隋、唐的长安, 东汉、魏、晋的洛阳, 都是当时全国的政治经济中心, 其建筑非常宏伟。近年来对两城的发掘, 发现许多建筑群, 如宫殿, 祭坛的遗址, 其地基和基础做得很坚实, 到现在还保存完好。我国首都北京自辽(公元 1000 年左右)就开始建筑, 直到明初又花了 15 年时间(1406 ~ 1421 年), 经过大规模改造和扩建, 才奠定了现在所见到的古建筑形式, 这些宏伟壮丽的建筑群, 包括故宫, 太庙, 天坛等都有着牢固的地基和基础。

古代建筑除了宫殿、祭坛外, 尚有宗教建筑, 如寺庙和塔等。塔是高层建筑, 荷载很集中而且受到风压的偏心作用, 如地基松软或土层厚薄不匀都可能造成塔的倾斜和倒塌。我国最古的塔是 523 年建造的嵩岳寺砖塔, 高 40 m, 由于地基牢固, 到现在安然无恙。又如据古籍《梦溪笔谈》和《皇朝类苑》的记载, 北宋初(近 1 000 年前), 著名木工喻皓在建开封开宝寺木塔时, 考虑到当地多西北风, 地基为较软的饱和土, 故建塔时使塔身向西北倾斜, 欲藉风力长期作用而使基础产生不均匀沉降, 从而扶正塔身。这说明当时对地基土的力学性质有相当的了解。但也必须看到, 如对地层情况缺乏了解, 也会造成严重后果的。如苏州虎丘砖塔, 建于公元 959 ~ 960 年, 高 47 m, 重 50 MN, 地基最下层为倾斜岩面, 其上覆盖由软到硬的粘土层, 在塔的一侧土层厚 5.8 m, 而另一侧则厚 2.6 m, 因此塔建成后, 产生不均匀沉降, 到现在塔身已倾斜 4.9%, 且以每年 24 (角度)的速度在继续发展, 比世界著名的比萨斜塔的倾斜速度还快 4 倍。不过目前正在用现代技术进行处理中。

桥梁也是一个很复杂的建筑, 其基础荷载大而集中, 且多建于水下, 施工困难, 对地基的沉降和稳定要求甚为严格。我国的桥梁建筑有着悠久的历史, 而且造诣很深, 如隋代李春于公元 595 ~ 605 年建造的河北赵州安济桥, 是世界上首创的石砌敞肩平拱桥。其净跨为 37.02 m, 基

础平面尺寸为 $5.5 \text{ m} \times 10 \text{ m}$, 高 4.4 m , 建在较密实的砂粘土地基上, 拱的最大推力为 24 MN , 地基未产生过大变形, 按照现在的规范检算, 地基承载力和基础后侧的被动土压力均正好能满足设计要求。此桥到现在已 1300 多年, 经无数次地震和洪水考验, 但仍完好无恙。这个工程反映我国在 1000 多年前已能充分利用天然地基承载力, 尤其是敢于利用黏性土地基来支承具有很大推力的拱桥基础, 从现代技术角度来看, 也是使人惊叹的。又如宋代($1053 \sim 1059$ 年)在福建泉州造的万安桥, 为一长 360 丈的 46 孔石板桥, 其址水深流急, 潮汐涨落频繁, 河床变化激烈, 为修建桥基带来很大困难, 故采用特殊修建方法: 即先在江底抛投大块石, 再在其上移殖蛎房(即蚝), 使其繁殖, 将块石胶结成整体, 形成坚实的人工地基, 再在其上建基础。这种独特建造人工地基方法, 实为世界创举, 它反映出我国劳动人民的卓越才能。

至于在软土地基上采用桩基, 在我国也有悠久历史。据古籍《法苑珠林》记载, 隋代郑州的超化寺, 是在淤泥中打下木桩而形成塔基的。又如 1000 多年前的五代时期的杭州湾海塘工程, 为了在软弱地基上修石工岸壁而采用木桩基础。又如宋代(977 年)开始建造的上海龙华塔, 高 40.4 m , 地基为厚 30 m 的淤泥和软黏土, 其承载力按现在的规范计算只有 80 kPa , 非常之低。如采用一般浅基础, 必然会造成地基破坏而导致塔的倾塌, 但该建筑到现在仍安然无恙, 其原因就在于它是建在木梁承台的木桩上的。它比闻名的比萨斜塔尚早建 200 年, 但对地基的处理却大大高明于比萨塔。

以上所述, 反映了我国历史上有关基础工程方面的工艺技术成就, 但也不难发现受当时社会生产力和自然科学发展水平的限制, 还只停留在凭经验的感性认识阶段。此后, 由于我国继续长期处于封建社会阶段, 生产力发展缓慢, 19 世纪中叶更开始遭受帝国主义的入侵, 民族资本主义的发展受到压制。从此, 本学科从理论和实践上未能跟上 18 世纪欧洲工业革命后的资本主义工业化的发展, 大大落后于先进的工业发达国家。这期间 1773 年法国的 $C \cdot A \cdot$ 库仑(Coulomb)提出土的抗剪强度和土压力的滑楔理论到 1925 年 $K \cdot$ 太沙基(Ternaghi)的《土力学》的出版, 基础工程的重要理论基础土力学形成一门系统的学科。 1936 年成立了国际土力学与基础工程学会, 并举行第一次国际学术会议, 从此土力学及基础工程就作为一门独立的现代学科在世界范围内取得不断发展。在我国, 直到新中国成立, 国家开展空前大规模的经济建设, 本学科才得到新的快速发展。反映在桥梁地基基础工程上, 如 20 世纪 50 年代建成的跨越长江第一座大桥——武汉长江大桥, 首先采用新型基础结构管柱基础, 从而克服水深 40 m 的施工困难, 加快了建桥速度。以后又相继建成多座长江大桥, 如 20 世纪 60 年代建成的南京长江大桥桥址水更深, 地质更为复杂, 但我国工程技术人员发扬自力更生精神, 采用气筒浮运沉井、沉井套管柱等一系列施工新工艺及新型基础结构, 使大桥能顺利建成。目前国内外在深基础建筑中, 正普遍推广无振动、埋置又深的钻孔灌注桩和沉井。在我国最长的钻孔灌注桩是山东北镇黄河公路桥的桩基, 长度已达 100 m , 在世上是罕见的; 为了提高桩的承载力, 减少沉降采用扩展和压浆等措施也取得了许多经验; 用桩的动测技术检验桩的质量和确定桩的承载力取得了可喜的成就。而沉井基础在轻型、薄壁方面有很大发展, 主要是由于施工工艺有新的突破, 如下沉时采用泥浆套法, 利用泥浆的触变作用, 使井壁摩阻力减小, 从而加速下沉, 此外还有空气幕法等新工艺。除了桩基础和沉井基础外, 由于施工工艺的完善, 地下连续墙已成为一种深基础型式, 它已有多种结构型式和施工方法。至于工业和民用建筑方面, 广泛运用箱形基础具有较大的抗弯刚度来解决高压缩性地基上建高层建筑的问题, 此外还发展了一些新型基础结构, 如薄壳基础, 具有节省钢筋混凝土、少挖基坑和充分发挥地基承载力的优点。对软土地基的处理加固方面, 近年来更取得不少进展, 如电渗排水, 硅化和电硅化灌浆, 砂井预压或真空排水等,

对于松软地基则采用强夯法,挤实砂桩等各种方法。

另一方面,近半个世纪以来,根据全国和各地区长期积累的工程实践经验和科学研究成果,针对不同行业和地区已编制完成一系列反映我国实际情况的有关地基基础的勘察、设计和施工规范和规程。已摆脱曾经一度长期套用外国规范,脱离本国实际的落后状态。近二十年来许多部门的大型设计单位都已拥有较完备的计算机辅助设计系统。这些都是今后能高质量、高速度完成大量土建工程的良好条件。

但是尽管已取得不少成绩,基础工程学科发展至今在设计理论、施工技术和质量检测方法等方面,仍存在不少有待进一步完善的问题。

1. 计算理论方面,地基、基础和上部结构的共同作用及其系统的可靠性分析等课题。

2. 设计方法方面,在地基基础设计中采用以概率理论为基础的概率极限状态设计方法问题。由于目前多数地基基础设计规范尚未采用概率极限状态设计方法,于是产生了地基基础的设计与上部结构的设计在荷载计算、材料强度、结构安全度等不协调的情况,正待尽快解决。

3. 基础结构方面,应采用新材料,新工艺,发展便于施工和节约资源、有利于环保的新型、轻型结构。

4. 基础施工方面,应加强施工机械化、自动化的研究,以提高施工效率、缩短工期和改善劳动条件。

5. 质量检测技术方面,应研究开发可靠简便的工程质量检测技术,以确保隐蔽工程的质量。

6. 对既有建筑物地基基础的病害诊断技术也有待研究开发,以便及早发现病害,及时采取加固措施,防止发生重大建筑物倒塌和人员伤亡事故。

7. 施工中的监测和信息化施工技术。在大城市里大量高层建筑和地下交通均需充分利用地下空间,基坑开挖越来越深已发展到二、三十米,个别已接近 40 m,如何保证深基坑支护的安全可靠又经济合理、保证基坑和周边环境的安全和正常使用,已是当前城市建设中的一项重要课题,为此需要完善基坑开挖过程中的各项监测技术并进行动态设计和信息化施工。

三、本课程的特点和学习要求

本课程的许多内容涉及工程地质学、土力学、混凝土结构设计和建筑施工等课程,综合性强。学习时必须很好掌握上述先修课程的基本内容和基本原理,才能较好地分析和解决地基基础的设计和施工问题。

全国高等学校自 1999 年秋起实行新的专业目录。本教材是为了适应专业面拓宽后土木工程专业的《基础工程》的教学需要而增补修订的。教材内容已包括土木工程主要行业领域的工程技术要求,学生学后将能适应土木工程技术工作的需要。这也是国内工程设计施工单位不断拓宽业务领域对技术人员的要求。为了给各院校教师选择教学内容时有一定的自由度,本书的内容比较广泛,教师可根据教学时数有重点地选择适合教学需要的内容。

同其他工程结构的设计一样,基础工程的设计和施工必须遵循法定的规范、规程。而不同行业又有不同的专门规范,因此书中涉及的规范比较多,其中主要有:《建筑地基基础设计规范》(GBJ 7- 89)、《铁路桥涵地基和基础设计规范》(TB 10002.5- 99)、《建筑桩基技术规范》(JGJ 94- 94)、《建筑抗震设计规范》(GBJ 11- 89)、《铁路工程抗震设计规范》(GBJ 111- 87)等。在采用上述有关规范时,还必须注意遵循相应的有关规范。如采用 GBJ 7- 89 规范时,则荷载取值应符合《建筑结构荷载规范》(GBJ 9- 87),基础的计算应符合《混凝土结构设计规

范》(GBJ 10- 89)和《砌体结构设计规范》(GBJ 3- 88)的规定。而采用TB 10002.5- 99规范时,荷载应按《铁路桥涵设计基本规范》(TB 10002.1- 99)规定采用,基础结构设计应按《铁路桥涵钢筋混凝土和预应力混凝土结构设计规范》(TB 10002.3- 99)及《铁路桥涵混凝土和砌体结构设计规范》(TB 10002.4- 99)的有关规定进行。学习时应予以充分注意,不能混同,不要发生错用。以上规范随着工程实践经验的积累和技术的进步,会不断地进行修订和完善。例如,新的《建筑地基基础设计规范》已在讨论中,不久即将出版。

由于各个行业的规范出于不同的考虑和习惯,相互之间某些方面差别比较大。例如,各个规范对土的工程分类和名称就有差异(可参阅有关规范的相关条文,或刘成宇主编的《土力学》第一章第九节土(岩)的工程分类)。有的规范采用定值设计法,有的已采用结构可靠度设计方法,于是在设计表达式和计算公式中采用的专业性术语不尽相同。以上这些情况给本书的编写带来不少麻烦和困难。书中引用有关规范时,一般只好沿用其原来的符号,必要时加以注释以免误解。学生学习时应注意了解和区别不同规范各自的规定和特点及相关术语。显然,学生在学习过程中不可能也不必要掌握所有规范的内容,只要了解有关规范的基本精神,懂得在今后的实际工作中如何查阅和使用规范即可。

第一章 浅基础的施工

建筑物的基础通常被分为两大类:浅基础和深基础。浅基础是指其埋置深度或相对埋深(深宽比)不大,一般用基坑法施工的基础。而深基础除少量也用基坑法施工外,一般用特殊的施工方法,如桩基础、沉井基础、沉箱基础、地下连续墙基础等。

第一节 浅基础的类型和施工要点

一、类型

建筑物的浅基础多用砖、石、混凝土或钢筋混凝土等材料做成。除钢筋混凝土外,所砌筑的基础,因材料的抗拉性能差,截面形式要求具有足够的刚度,基础在受力时本身几乎不产生

图 1- 1 桥梁墩台大块实体基础

图 1- 2 柱下刚性基础

变形,这类基础称为刚性基础。如是钢筋混凝土的,则因材料的抗拉、抗压和抗剪性能都好,可根据需要做成各种形状的截面。因钢筋混凝土基础本身可有少量变形,多属于柔性基础。

浅基础按其构造形式主要可分为单独基础、条形基础、筏板基础和箱形基础等。

单独基础有刚性单独基础(如桥梁墩台大块实体基础(图 1- 1)、柱下刚性基础(图 1- 2)等)和钢筋混凝土单独基础(图 1- 3)。

条形基础也有刚性条形基础(图 1- 4)和钢筋混凝土条形基础(图 1- 5)。

图 1- 3 钢筋混凝土单独基础

图 1- 4 刚性条形基础

柱下钢筋混凝土单独基础和墙下钢筋混凝土条形基础统称扩展基础。

筏板基础在构造上像倒置的钢筋混凝土楼盖,可分为平板式和梁板式两种,如图 1- 6。

箱形基础是由底板、顶板、纵横内隔墙和外墙组成的钢筋混凝土整体空间结构,如图 1- 7,它可以是一层或多层的。

图 1- 5 钢筋混凝土条形基础

图 1- 6 筏板基础

图 1- 7 箱形基础

二、施工要点

在陆地上砌筑浅基础的主要施工内容一般是:基坑露天开挖(明挖)和支护(用包括挡墙和撑锚的支挡结构保护坑壁)、地下水控制、基底处理和基础砌筑等。

施工过程中应根据设计要求进行监测,监测要点见第七章第六节。

基坑开挖后如坑壁能保持稳定不坍,可不加支护。但实际上常因坑深土差,甚至还有地下水或坑顶荷载,需要支护坑壁和控制地下水。

如必须在水中修建浅基础,一般要在基坑周围预先建成一道临时性的挡水墙,叫做围堰,然后把堰内的水排干,再挖基坑。如不能排水,可进行水下施工。

基坑开挖至设计标高后,应及时进行坑底土质鉴定,如不能满足设计要求,应加固地基或改变基础设计。基底检查合格后应抓紧处理,并砌筑基础圬工;如在基坑内排水或降水有困难,可进行水下灌注混凝土。

除上述浅基础施工主要内容外,还有一些工作,如施工场地的布置,基础的定位和放样,机具、材料及土方的运输等。

第二节 陆地基坑的开挖和支护

一、基坑开挖

基础开挖前应准确测定基础轴线,边线位置及标高,并根据地质水文资料及现场具体情况,决定坑壁开挖坡度或支护方案,做好防水、排水工作。基坑开挖的深度一般稍大于基础埋深,视对基底处理的要求而定。坑底应在基础的襟边之外每边各增加 30~60 cm 的富余量,为基坑的支护和排水留出必要的空地。

基坑开挖,如是范围较小的桥梁基础施工,常用位于坑顶的吊机操纵的抓斗;开挖面很大的基坑,如是大面积多层地下室和地下铁道明挖工程,还常用各类铲式挖土机、铲运机、推土机和自卸式汽车等。但离基底设计标高 20~40 cm 厚的最后一层土仍要用人工来挖除修整,以保证地基土结构不受破坏。

土质较好、开挖不深、周围无邻近建筑物的基坑有可能采用局部或全深度的放坡开挖方法。其坡度(高宽比)根据岩土类别及其物理状态和坡高等因素而定。如坡高在 5 m 以内,中密以上人工填土的容许坡度可为 1:1.0~1:1.5;硬塑到可塑的黏性土为 1:0.8~1:1.5;饱和度 $S_r < 0.5$ 的粉土为 1:1.0~1:1.25;砂土为 1:1.0 或自然休止角;中密到稍密碎石土(充填硬塑以上黏性土、粉土)为 1:0.5~1:1.0。

坡高大于 5 m 时应分级放坡并设置过渡平台。坡顶有堆积荷载、坡高和坡度大、地层情况不利于边坡稳定时,应进行稳定验算。

放坡开挖宜对坡面采取保护措施,如水泥砂浆抹面、塑料薄膜覆盖、挂铁丝网喷浆等。

放坡开挖基坑必然增加土方量,多占场地。如基坑较深、土质较差或邻近有须保留建筑物,则应采用坑壁支护的方案。

二、基坑支护的类型及特点

(一) 挡板支护及桩板支护

图 1-8 挡板支护

图 1-9 H 型钢桩挡板支护

当地下水位在坑底以下时,可用挡板(衬板)支护。挡板支护一般用水平挡板挡土如图 1-8,用立木、对撑(顶撑)、再加木楔,使之紧贴在坑壁上。挡板是一次挖到坑底设计深度后铺设,还是分层进行;是紧挨着铺设,还是可以间开;都要根据土质和坑深等因素来定。

上述挡板支护在边开挖边支挡的情况下施工是不方便的。图 1-9 表示用宽翼 字钢或 H 型钢桩代替立木的支护,也称桩板支护。在地下水位较低或已降低的地铁工程和一些高层建筑基础施工较为方便:挖坑前先沿基坑两侧边缘把间距 1~2 m 的 H 型钢桩打到坑底以下,使下端能维持稳定,然后边下挖边插挡板,设腰梁固定桩位,用钢管、大规格型钢或组合构件作对撑,在腰梁处顶紧 H 钢桩。或在対撑两端各加设一对对称的短斜撑,也叫八字撑,使对撑两端同时顶紧三对 H 钢桩,如图 1-10,则对撑间距加大,便于施工。较深的基坑可上下设多层对撑。

图 1-10 间隔设置的对撑

图 1-11 土层锚杆

如基坑太宽且坑周地面或地下条件容许,可采用坑外拉锚代替坑内支撑。拉锚的优点是对坑内施工没有干扰。拉锚可由拉杆和锚桩或锚碇板组成顶部拉锚,也可在坑壁钻孔(如在土层中钻孔,当需增加拉锚抗拔力时,可将孔端扩大),放进钢丝束或钢筋,再压注水泥砂浆而成锚杆。锚杆全部设置在土层中者叫土层锚杆(图 1-11)。其深入到破坏棱体外稳定土层中那段叫锚固段。如锚杆锚固在稳定的岩层中,则叫岩层锚杆。锚杆的非锚固段也叫自由段。因锚杆可在坑壁多层设置,故能用于深基坑。

(二) 板桩支护

挡板或桩板支护防渗性差,当基坑在地下水面以下时,可用板桩支护。

基坑开挖前先沿坑周将板桩打入坑底以下一定深度,再在开挖过程中根据需要设撑(锚),因而开挖是在板桩支护下进行的。板桩相互间靠其榫口或锁口连接,以防渗漏。

板桩的撑锚系统也可分为内撑式和拉锚式两类如图 1-12(b)、(c)。

图 1-12 板桩支护类型

板桩支护按是否设置撑锚和设置层数分为悬臂式、单撑(锚)式和多撑(锚)式,如图 1-12。悬臂式板桩的桩顶位移较大,故要求它的自身刚度较大,基坑较浅。单撑(锚)式板桩对施

工干扰较小,但基坑的深度不能很大;多撑(锚)式板桩则相反。

制做板桩的材料有木、钢、钢筋混凝土三种。木板桩成本较低,容易加工制造和施工,断面多为三角形榫口(人字缝)和凹凸榫口(企口缝),后者防渗性较前者好。但木板桩强度较低,不宜用于坚硬土层和较深基坑。

钢板桩的优点较多:板薄强度大,能穿过较坚硬土层,相互间联接的锁口紧密,不易漏水,且能承受很大锁口拉力;断面形状多种多样,如图 1-13,以适应需要,其中槽型钢板桩应用最广;可焊接接长;能多次使用。

钢筋混凝土板桩的耐久性好,刚度大变形小,但笨重且防渗性较差,多用于码头等永久性挡土结构。

(三) 水泥土墙支护

水泥土墙与上述几种非重力式支护不同,一般依靠自身重力维持墙体稳定,故是一种重力式的新型支护。它是用特制的施工机具,在基坑开挖前把一定厚度的坑壁处软弱土同作为固化剂的水泥搅拌均匀,经过一系列物理化学反应,逐渐硬化,形成具有整体性、水稳性和一定强度的厚壁挡墙。

水泥土墙的施工因所用机具不同而有两种基本方法:深层搅拌法和高压喷射注浆法。

图 1-13 钢板桩断面

1. 深层搅拌法是用特制的深层搅拌机施工。搅拌机有可喷浆状固化剂的,也有可喷粉状固化剂的。用作固化剂的水泥掺入比不应小于 10%,一般取 13%~18%,喷浆的掺入比稍大于喷粉的。国内普遍使用的喷浆搅拌机有单轴和双轴两种。

搅拌机工作要点是由电机带动搅拌轴旋转,搅拌机下沉时轴上搅拌叶片切割土体,上升时喷浆(粉)与土搅拌混合,再重复搅拌下沉和上升拌匀,就成水泥土桩。

图 1-14 表示用双轴喷浆搅拌机的施工程序。一个程序可完成互相搭接的一对水泥土桩。

把水泥土桩连续搭接成一排或数排实心壁(图 1-15 a)或格栅状的空腹壁(图 1-15 b),当它具有足够宽度(厚度)时,就可作为基坑的重力式挡土墙和截水(止水)帷幕(防渗墙)。

深层搅拌法是机械强制搅拌,施工时噪音低、振动小,无污染,施工成本低。适用于基坑深度不大于 6~7 m、具有较开阔场地的软弱土地区。此法已得到迅速推广,甚至在较深基坑也已有应用,见第七章。

图 1-14 深层搅拌法施工工艺流程

2. 高压喷射注浆法是用钻机把带有特制喷嘴的注浆管插入土中,到达预定深度后,在定速提升过程中用高压泵等高压发生装置喷射出 20~40 MPa 高压射流,冲击分解土体,使泵入的水泥浆与土混合,见图 1-16,形成水泥土固结体。

注浆管有单管、二重管、三重管等几种。单管的喷嘴喷出 20 MPa 以上高压水泥浆流;二重管的喷嘴是两层同轴圆锥形结构,内层也喷出 20 MPa 以上水泥浆流,外层喷出 0.7 MPa 压力的压缩空气,以减小周围土对高压流的阻力;三重管的两层同轴喷嘴的内层喷出 20 ~ 30 MPa 高压水流,外层也喷出 0.7 MPa 压缩空气,另有一喷浆孔喷出 1 ~ 5 MPa 的水泥浆流(也有同时喷出外包气流的高压浆流者),形成更大固结体。

喷射方式有旋转喷、定向喷、摆动喷三种。旋转喷成桩,叫旋喷桩。定喷和摆喷成壁墙。如同深层搅拌桩,旋喷桩也可连续搭接成墙。

高压喷射注浆管直径小,还可竖直、倾斜、水平喷浆,在工作场地狭窄或地下有障碍物时施工灵活方便,适应性强,用途广。但浆材损耗较多,施工成本较高,在基坑工程中一般多作截水帷幕和局部加固防渗之用。

图 1- 15 深层搅拌桩墙断面

图 1- 16 高压喷射注浆法
三重管工作特点

图 1- 17 喷射混凝土护壁基坑

(四) 喷射混凝土护壁

用喷射混凝土保护松软土层基坑坑壁是一项较新的施工方法,如图 1- 17。陕西阳安线铁路施工单位在地质不良、雨季施工等不利条件下,广泛采用喷射混凝土护壁法,开挖了直径 6 ~ 12 m,深 10 m 以内的圆形基坑,以及深度较浅的矩形基坑,通过了饱和细粉砂、淤泥及高达 60 m³/h 的渗水地层,顺利修建了大量桥梁基础。

喷射混凝土护壁的施工要点是:由上而下开挖一层、随即向坑壁喷射一层含速凝剂的混凝土,再下挖一层、喷护一层,如此分层进行。每层深约 0.5 ~ 1.0 m,视土质情况而定。对无水、少水渗出的坑壁,每层混凝土的喷射是由下向上进行;对涌水坑壁,则由上而下进行,以免新喷的混凝土层被水冲坏。

在极易坍塌的饱和粉砂、淤泥等地层,可在喷护前先在坑壁打进成排短木桩(见图 1- 17),或在可能大量流砂的坑壁处打桩后,再填塞竹片、草袋等物。如基坑有大量渗水或集中的