

绪 论

一、地基基础的概念

支承建筑物荷载的整个地层(土体或岩体)称为地基。在建筑物荷载作用下,地基将产生附加应力和变形,其范围随荷载大小、土层分布和建筑物下部结构的形式不同而变化。虽然地层是广阔的无限大空间体,但从实际意义上来说,地基是指在一定深度范围内产生大部分变形的地层。一般情况下,地基由多层土组成,直接承担建筑物荷载的土层称为持力层,其下的土层称为下卧层。持力层和下卧层都应满足一定的强度要求和变形限制,即地基设计的要求,但对持力层的要求显然比对下卧层的要求要高。地基有土体和岩体之分,本书主要讨论土体地基。

基础是将建筑物荷载传递到地基上的建筑物下部结构,起着承上启下的作用。一般应埋入地下一定深度,进入较好的土层。另外,基础应满足一定的强度和刚度要求。

如果地基是良好的土层,基础可直接做在天然土层上,这种未经人工处理就可以满足设计要求的地基称为天然地基。如果地基软弱,承载力不足或预计变形较大,无法满足设计要求,则需要对地基进行加固处理,如采用换土垫层、深层密实、排水固结以及化学加固等方法,则称为人工地基。

根据基础的埋置深度和施工方法,基础可分为浅基础和深基础。通常把埋置深度不大(一般不超过3~5m),只需经过挖槽、排水等普通施工措施就可建造的基础称为浅基础;反之,若浅层土较软弱,土质不良,需要借助于特殊的施工方法,把基础埋置在较深的土层中,将荷载传递到深部良好土层中,这样所建造的基础称为深基础,如桩基、沉井基础及地下连续墙等。相对深基础而言,浅基础具有施工方法简单、造价较低等优点,因此,在满足地基承载力、变形和稳定性要求的前提下,宜优先考虑采用浅基础。

地基基础设计包括地基设计和基础设计两部分。地基设计包括地基承载力计算、地基沉降验算和地基整体稳定性验算。通过承载力计算来确定基础的埋深和基础底面尺寸,通过沉降验算来控制建筑物的沉降不超过规范规定的允许值,而整体稳定性验算则保证了建在坡上的建筑物不至于发生滑移或倾覆而丧失其整体稳定性。基础设计包括基础的选型、构造设计、内力计算和钢筋混凝土的配筋。由于地基和基础相互作用,基础与上部结构又构成一个整体,因此在地基基础设计时不仅要考虑工程地质和水文地质条件,还要考虑上部结构的特点、建筑物的使用要求以及施工条件等。

在进行地基基础设计时,天然地基上的浅基础是首选方案。此种方案充分利用了天然地基的承载力,可用常规的施工方法来修建,施工比较简单,工程造价较低。如果天然地基的承载力不足或建筑物的沉降不能满足设计要求,则可以考虑采用人工地基或深基础方案。此时,应在综合考虑工程地质条件、结构类型、材料情况、施工条件和工期、环境影响等诸多因素的基础上,因地制宜,从实际出发,在保证安全可靠的前提下,进行技术经济分析后确定。

二、基础工程及其重要性

基础工程是阐述建筑物地基与基础设计和施工问题的技术性学科,是环境岩土工程学的

一个重要组成部分,是土木工程学科的一个重要分支。基础工程的研究对象是地基与基础;研究内容是各类建筑物的地基基础和挡土结构物的设计和施工,以及为满足工程要求进行的地基处理方法与基坑支护技术。基础工程是运用工程地质学、土力学、岩体力学以及结构力学和钢筋混凝土结构等的基本理论和方法来解决土木工程中有关地基基础设计和施工中所遇到的各种问题的应用科学。由于基础是建筑物结构的一部分,在基础设计中需要大量的结构计算,因此基础工程也与结构计算理论和计算技术密切相关。

综合地基基础的设计计算内容即为基础工程所解决的基本问题:强度问题、变形问题和稳定性问题。

强度问题是满足承载力的要求。例如根据地基承载力的大小确定基础埋深和基底面积,要满足正常使用极限状态下建筑物的变形和稳定要求。变形问题即地基变形,是指建筑物的整体沉降量、倾斜值和差异沉降,其限值要满足建筑物的功能和使用要求。稳定性问题即地基稳定性,是要保证建筑物承载能力极限状态下的安全性,防止整体倾覆和滑移。对于基础设计,还要满足结构强度(抗弯、抗剪、抗冲切验算)和变形要求。

在实际工程中,往往地基的强度还有潜力可用,但基础的沉降已达到限值,即需要变形控制设计。随着地基承载力理论的发展,因地基承载力不足而导致建筑物工程事故的工程实例很少,在一定程度上,对建筑工程来说,基础工程的基本问题已转变为沉降变形问题。而基础工程所解决的问题,不是凭空想象出来的,而是为满足工程建设需要,在实践中解决工程建设过程中所遇到的各种各样的地基基础问题。

基础工程作为建筑物的根本,是隐蔽工程,它的勘察、设计和施工质量直接关系到建筑物的安危,一旦失误,难以修复。尤其是在复杂建筑环境条件下建设高层建筑,技术难度大,建筑环境要求严格,投资比例高,施工时间长,正确解决地基基础的设计与施工以及与环境相互作用问题就显得尤为重要。所以,基础工程在整个建筑设计中占有非常重要的地位,必须给予高度的重视。

基础工程是人类在长期的生产实践中发展起来的一门应用学科。巍巍耸立的高塔、宏伟的宫殿寺院,正是由于基础牢固,才历经风雨和地震考验而安然无恙,千百年留存至今。古时人们已认识到基础工程的重要性,但仅停留在能工巧匠的高超技艺上,由于受当时生产力水平的限制,未能形成系统的基础工程科学理论。在18世纪以后,随着规模化的城市建设,兴建水利、道路和桥梁,促使人们开始重视基础工程的研究。随着土力学的发展,土压力理论、砂土抗剪强度公式等相继提出,以及20世纪20年代太沙基(Terzaghi)的《土力学》《工程地质学》等专著的发表,标志着土力学的形成,从而带动了人们对基础工程进行系统地研究和探索。而基础工程学科的迅速发展,则是在近几十年,随着土木工程建设的需要,尤其是城市高层建筑、地铁、大型水坝、大跨度桥梁等的建设,使基础工程无论是在设计理论上,还是施工方法上,都得到了前所未有的发展。

三、基础工程设计

基础工程设计应注意以下几个方面:

(1) 在基础工程设计之前,必须了解和认真分析拟建场地的工程地质和水文地质条件。我国地域辽阔,自然历史环境不同,分布着各种各样的土类,包括一些特殊土,如湿陷性黄土、膨胀土、软土、红黏土和冻土等,所以基础工程的设计与施工带有明显的区域性,必须根据所在地区不同、具体要求不同,考虑不同的设计和施工方法所涉及的问题。即使在同一

地区小范围内,天然土层的性质和分布也可能有很大变化,所以在基础工程设计时,必须具有可靠的工程地质勘察资料,并要正确理解和运用工程地质勘察资料。如勘察的详细程度,所给的土层参数是现场试验或是室内试验得到的,是采用何种试验方法得到的,其可靠性如何等。

(2) 基础工程设计应注重概念设计。概念设计是一种设计思想,其内涵是指综合工程地质条件、上部结构的类型和结构特征以及荷载条件、施工条件与环境条件,牢牢掌握岩土力学和工程的一些基本概念,从分析入手,抓住问题的关键,在定性分析的基础上定量分析,从而制定出设计的总体构思。概念不是直观的感性认识,而是从分散的具体经验中抽象出来的。解决基础工程问题时,既不能仅凭计算结果,也不能仅凭直观或局部经验,应透过现象看本质,举一反三,将基本设计原理与经验相结合。只有基本概念清晰,才能做到理论分析正确,再加上丰富的、有针对性的经验,才能较为完善地解决基础工程中所遇到的各种问题。在《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)中的疏桩减沉设计、多桩调平设计等都是基于这种概念设计的思想。在对大量基础工程事故进行分析时发现,造成事故原因除施工方面的因素外,有些是由于缺乏复杂地质条件下的设计经验,表现为设计计算取值欠慎重;有些是由于对某些设计理论特别是其应用范围、假设条件的理解欠深入和全面,虽然设计计算工作做得很细致精确,但所选定的分析模型却并不合适。

(3) 基础工程设计应正确把握“度”的概念。由于岩土材料性质的复杂性和参数的相关性、现场与试验室试验土体指标的不一致性、现场原位试验与孔隙水压力的不确定性等,再加上设计计算理论并非完善,使基础工程的设计充满风险与挑战。如果设计过于保守,虽然安全性得到保障,但非常不经济;如果过于考虑如何降低投资,很可能导致设计的安全性降低。安全与经济中间有一个“度”的范畴。所以,应遵循地基基础设计的总原则,即地基基础设计应贯彻执行国家的技术经济政策,做到安全适用、技术先进、经济合理、确保质量、保护环境。

(4) 基础工程设计过程中应正确理解和运用规范。基础工程的设计与施工及岩土工程勘察设计都离不开“规范”,“规范”对我国工程建设设计与施工的指导作用举足轻重。国家规范制定的不同时期,体现了国家当时的技术经济水平。我国在20世纪50年代到70年代初使用的是苏联的规范,直到1974年才总结多年的实践经验,结合我国国情,编制了《工业与民用建筑地基基础设计规范》(TJ 7—74)。该规范是按照安全系数法制定的。随着基础工程设计理论与施工方法的发展、科技进步和经济实力的提高,1989年又发布了《建筑地基基础设计规范》(GBJ 7—89),该规范采用了概率极限状态设计方法,通过与1974年版的安全系数2.0的校准,制定了分项安全系数。2002年发布《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002),提出了按变形控制设计的原则,区分了地基基础设计中概率极限状态设计方法的荷载组合条件和适用范围,使地基基础设计的总原则更加明确,也使地基基础的设计与施工跨上了一个新的台阶。在此基础上,总结相关的科研成果和工程实践经验后又进行了修订,形成了现在使用的《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011),它代表了我国地基基础设计的先进水平。基础工程设计所涉及的规范较多,包括地基基础、高层建筑箱基与筏基、建筑桩基、地基处理、基坑支护、抗震等规范,甚至有些规范之间的规定并非一致。一般来说,为了指导全面和适应各种可能的情况,也为了让一般技术人员能够掌握和使用规范进行检验计算,规范所推荐和使用的理论和方法一般是比较成熟的、简易的和偏于保守的。

例如关于承载力的确定问题,土的应力历史给工程特性带来的影响,规范中无法给出表达式,只能给出强调原位试验和室内试验并结合工程经验综合确定的原则,而设计过程中并非不考虑土的应力历史对工程特性的影响。规范规定了“应”“宜”及强制性的条文,应理解其规定的用意,其目的是什么,尤其是要理解规范中公式的来源、使用范围与条件以及该公式所达到的目的,应灵活掌握,而不应死板执行,更不能约束自己对基础工程问题理解的积极性和创造性。

(5) 基础工程设计必须考虑施工技术水平和工期。一个优秀的设计人员,应深入施工现场了解情况,认真听取施工单位和监理单位的意见,熟悉施工流程,采纳施工单位的一些合理性建议,设计图纸应尽可能做到配合施工,方便施工,最大限度地防止设计与施工脱节的情况。

(6) 认知、理解和掌握地基、基础和上部结构共同作用的概念。建筑物的地基、基础和上部结构,虽各自的功能不同、研究方法各异,然而对一个建筑物来说,在荷载作用下,这三个方面是一个彼此联系、相互制约的整体,虽然目前把这三部分完全统一起来进行设计计算还有很大困难,但在基础工程设计时,应从地基、基础和上部结构共同作用的概念出发,全面考虑,才能收到比较理想的效果。

地基基础设计水平的评价,应该采用技术经济评价方法,即技术先进性、施工可行性和经济指标。考虑到各地区原材料情况、成熟施工技术和设备情况各异,必须因地制宜。一个优秀的地基基础设计成果,必须满足技术先进、施工可行、经济三项指标。

四、课程内容及学习要求

基础工程是土木工程和岩土工程专业的一门重要的专业技术课。以往的大学课程,土力学与基础工程合成一门课讲授。随着城市建设的可持续发展,所遇到的基础工程问题日益增多,且越来越复杂。为了加强对基础工程的学习,大多院校将土力学和基础工程分为连续设置的两门课。本书是已出版的《土力学》教材的续篇。

从多年的土木工程专业学生毕业设计中发现,通常学生比较重视上部结构的设计,对地基基础的设计知识往往较难掌握或不太重视。究其原因,一方面基础工程是一门综合性较强的课程;另一方面,大多基础工程教材偏重于讲解设计原理以及在电算中应用的设计计算方法,手算的例题偏少,学生较难参照例题进行实际工程设计,而毕业设计则是要求理解设计全过程,强调手算或借助 Excel 进行简单计算能力的培养。本书正是在这种背景下编写的。在编写过程中,在有限的篇幅内,尽量强调对规范中的一些重要规定的解释,让学生理解其规定的用意和目的,而不盲目死板地执行,以便使学生加强对设计原理和基本概念的理解。书中每个章节讲述完设计原理和方法后,设计了较多具有针对性的典型例题,尤其是难以理解的内容。通过算例解析,引导学生掌握计算过程和方法,培养解决实际问题的能力,从而进一步理解设计原理和设计方法。各章最后均设计了一定数量的思考题和习题,并在书后给出了习题答案与提示,供解题过程中参考。通过解题、解惑、参考解答的过程,启发学生学有所用,用有所疑,疑有所思,从而将所学知识融会贯通。切勿尚未动手做题便直接参考书后答案。另外,基础工程中多数习题计算比较烦琐,建议学生学会采用 Excel 进行计算。

根据基础的形式和基础施工所涉及的技术问题,本书主要向读者系统介绍基础工程的设计原理和方法,从五个方面加以系统讲述:

第一章介绍了地基基础设计的基本原则、内容、方法和程序,属于地基设计的内容,是

学习后续内容的基础。

第二章属于天然地基上浅基础的设计内容，分别讲述了扩展基础、柱下条形基础、筏形基础的设计原理和方法，重点讲述了常规设计方法。内容结合实际工程，参考现行设计规范，分别给出了不同类型基础的构造要求、实用的内力计算方法以及控制配筋的设计表述。

第三章为桩基础的设计内容，介绍了桩基础的设计原理与施工方法。由于桩基础相对比较复杂，本章安排了较多篇幅进行介绍，并就每部分安排了较多的例题，如桩基的沉降计算等。在学习中，可参考例题来体会掌握新的设计计算方法。

第四章系统阐述了基坑工程中常用的支护结构类型的结构特点和设计计算方法、基坑降水设计方法。由于土压力、水压力的计算结果往往与实际测试结果差别较大，书中给出了较多的例题来引导学生对设计过程的理解，并设计了较多的篇幅以及例题讨论来帮助学生认识概念设计。本章是在《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)中的“基坑工程”的基础上，主要参考《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—2012)等相关规范编写而成的。

第五章以复合地基为主线，介绍了地基处理的原理、方法及适用性，属于人工地基的设计内容，对每种软弱地基处理方法基本上都设计了例题，这些例题大多是根据实际工程简化总结而来的。

本课程与工程地质学、土力学和钢筋混凝土设计原理等课程有着密切的关系。在基础工程的学习中，应在对设计原理的理解和设计方法的学习的基础上，加强对设计案例的学习与分析，提高解决实际问题的能力。通过学习例题和完成作业，掌握相应的设计要点，为今后的工作积累经验。

第一章 地基基础设计的基本原则

第一节 浅基础的类型与选用

直接建造在天然地基或经处理的人工地基上,埋置深度较浅,或埋深小于基础宽度的大尺寸的基础,称为浅基础。相对深基础而言,浅基础具有施工方法简单、造价较低等优点,因此,在满足地基承载力、变形和稳定性要求的前提下,宜优先考虑选用浅基础。

浅基础将上部结构传来的应力加以扩散传给地基持力层。设计时,不考虑基础底面以上土的抗剪强度对地基承载力的作用,也不考虑基础侧面与土的摩擦阻力。

一、浅基础的类型

浅基础的分类方法有多种,按照基础的形状、大小和使用的材料与性能,可分为无筋扩展基础、扩展基础、柱下条形基础、筏形基础、箱形基础等。习惯上把柱下条形基础、筏形基础和箱形基础称为连续基础。

1. 无筋扩展基础

无筋扩展基础是指基础截面的台阶宽高比满足表 1-1 允许值,由砖、毛石、混凝土或毛石混凝土、灰土或三合土等材料组成的墙下条形基础或柱下独立基础。其特点是基础材料虽然具有较好的抗压性能,但抗拉、抗剪强度却不高,适用于多层民用建筑和轻型厂房。在地基反力的作用下,该类基础的弯曲拉应力和剪应力小于材料的抗拉强度设计值而无需配置钢筋。

灰土基础是用石灰和黏性土混合材料铺设、压密而成。每层虚铺 220~250mm,压实至 150mm,俗称一步灰。灰土的物理力学性能与其配合比、密实度、含水量及时间等因素有关。试验结果表明,3:7 灰土的物理力学性能较好,4:6 灰土的强度反而不如 3:7 灰土,2:8 灰土强度略低于 3:7 灰土,但具有很好的稳定性。

三合土基础是用石灰、砂、骨料(矿渣、碎砖或碎石)三合一材料铺设、压密而成,其体积比一般为 1:2:4~1:3:6(石灰:砂:骨料)。通常根据夯实厚度,每层约虚铺 220mm,夯实至 150mm。三合土基础的强度与骨料的种类有关,骨料为矿渣的最好(有水硬性),碎砖也较好,较差的是碎石及河卵石。

砖基础是工程中最常见的一种无筋扩展基础,各部分的尺寸应符合砖的模数。砖基础一般做成台阶式,俗称“大放脚”。有等高砌法和二一间隔砌法两种,如图 1-1 所示。在基底宽度相同的情况下,二一间隔砌法可减小基础高度,并节省用砖量。这两种砌法都能符合台阶宽高比的要求。

无筋扩展基础底面的宽度,应满足下式要求

$$b \leq b_0 + 2H_0 \tan \alpha \quad (1-1)$$

式中 $\tan \alpha$ ——基础台阶的宽高比,即 b_2/H_0 (见图 1-2),其允许值可按表 1-1 选用。

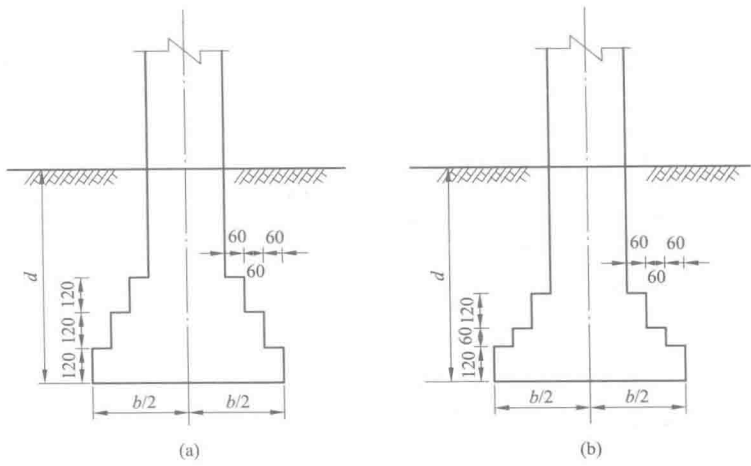


图 1-1 砖基础

(a) 等高切法；(b) 二一间隔砌法

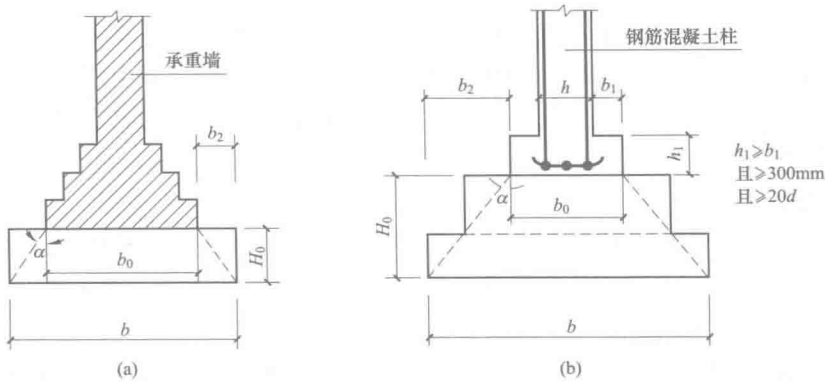


图 1-2 无筋扩展基础

b —基础底面宽度； b_0 —基础顶面的墙体宽度或柱脚宽度； b_2 —基础台阶宽度； H_0 —基础高度

表 1-1 无筋扩展基础台阶宽高比的允许值

基础材料	质量要求	台阶宽高比的允许值		
		$p_k \leq 100$	$100 < p_k \leq 200$	$200 < p_k \leq 300$
混凝土基础	C15 混凝土	1 : 1.00	1 : 1.00	1 : 1.25
毛石混凝土基础	C15 混凝土	1 : 1.00	1 : 1.25	1 : 1.50
砖基础	砖不低于 MU10 砂浆不低于 M5	1 : 1.50	1 : 1.50	1 : 1.50
毛石基础	砂浆不低于 M5	1 : 1.25	1 : 1.50	
灰土基础	体积比 3 : 7 或 2 : 8 的灰土，其最小干密度：粉土 1.55t/m ³ ；粉质黏土 1.55t/m ³ ；黏土 1.45t/m ³	1 : 1.25	1 : 1.50	

续表

基础材料	质量要求	台阶宽高比的允许值		
		$p_k \leq 100$	$100 < p_k \leq 200$	$200 < p_k \leq 300$
三合土基础	体积比为 1 : 2 : 4 ~ 1 : 3 : 6 (石灰 : 砂 : 骨料), 每层虚铺 220mm, 夯至 150mm	1 : 1.50	1 : 2.00	

- 注 1. p_k 为基础底面处平均压力, kPa;
2. 阶梯形毛石基础的每阶伸出宽度不宜大于 200mm;
3. 当基础由不同材料叠合组成时, 应对接触部分作抗压验算;
4. 对混凝土基础、当基础底面处平均压力超过 300kPa 时, 尚应进行抗剪验算。

无筋扩展基础的设计, 首先应根据地基承载力确定基础的宽度, 然后根据式 (1-1) 确定基础的高度, 最后在剖面图上进行基础台阶的设计。

对于砖基础来说, 为了保证其砌筑质量, 并能起到平整和保护基坑的作用, 施工时常在砖基础底面以下先做垫层。垫层材料可选用灰土、三合土和混凝土。垫层每边伸出基础底面 50~100mm, 厚度一般为 100mm。设计时, 这样的薄垫层一般作为构造垫层, 不作为基础结构部分考虑。因此, 垫层宽度和高度都不计入基础构造部分和埋深范围。

在有些情况下, 无筋扩展基础是由两种材料叠合组合而成, 如上层为砖砌体, 下层为混凝土。如果下层混凝土的高度在 200mm 以下, 且符合表 1-1 的要求时, 该混凝土层可作为基础结构部分考虑。

2. 扩展基础

扩展基础系指墙下钢筋混凝土条形基础和柱下钢筋混凝土独立基础。这类基础具有良好的抗弯和抗剪性能, 适用于竖向荷载较大、地基承载力不太高、基础底面较大的情况和需要浅埋的情况, 并能承受一定的水平力和力矩。

现浇柱下钢筋混凝土基础的截面常做成台阶形或角锥形, 预制基础一般做成杯形, 如图 1-3 所示。

墙下钢筋混凝土条形基础有无肋或配筋的两种, 如图 1-4 所示。当基础延伸方向的墙上荷载及地基土的压缩性不均匀时, 为了增强基础的整体性和纵向抗弯能力, 减小不均匀沉降, 常采用带肋的墙下钢筋混凝土条形基础。

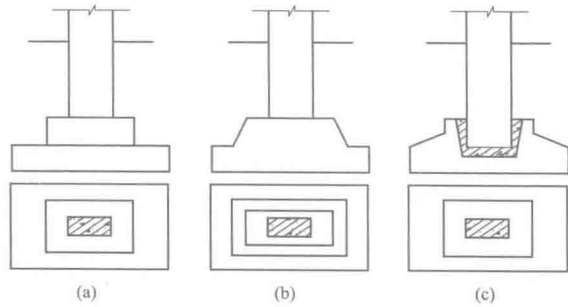


图 1-3 柱下钢筋混凝土独立基础
(a) 阶梯形基础; (b) 锥形基础; (c) 杯形基础

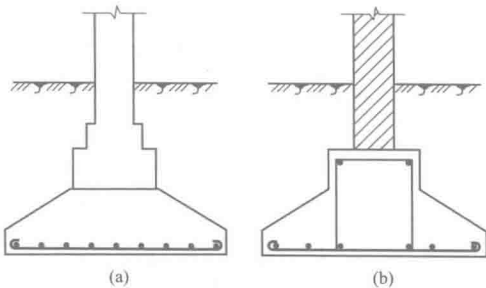


图 1-4 墙下钢筋混凝土条形基础
(a) 无肋式; (b) 有肋式

3. 柱下条形基础

如果柱子的荷载较大而地基的承载力较低,需要较大的基础面积,或相邻柱子的荷载有差异、地基土压缩性不均匀等情况,可将一个方向的柱下独立基础连成一条,形成柱下条形基础 [见图 1-5 (a)];当单向条形基础的底面积仍不能满足地基承载力要求或不均匀沉降不能满足规定的允许值,可将基础沿纵横方向连接,形成十字交叉条形基础 [见图 1-5 (b)]。十字交叉条形基础具有较大的整体刚度,可用于多、高层框架结构和多层厂房。对于无地下室要求时,常根据实际情况选用柱下条形基础或交叉条形基础。

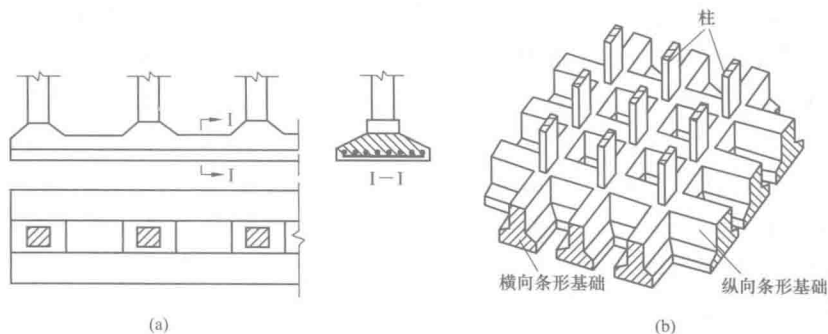


图 1-5 柱下条形基础

(a) 柱下条形基础; (b) 柱下十字交叉条形基础

4. 筏形基础

当十字交叉条形基础的底面积仍不能满足地基设计要求,或相邻基槽距离较小以及地下室需要防水时,可采用筏形基础。筏形基础由于基底面积大,可减小基底压力,并能有效地增强基础的整体性,调整地基的不均匀沉降,是高层建筑常用的结构形式。水池、储料仓等构筑物也适合采用筏基。筏形基础在构造上好像倒置的钢筋混凝土楼盖,可分为平板式和梁板式 (见图 1-6)。

5. 箱形基础

箱形基础是由顶、底板和纵、横墙板组成的盒式结构 (见图 1-7),具有极大的整体刚度,能有效地扩散上部结构传下的荷载,调整地基的不均匀沉降。一般有较大的基础宽度和埋深,能显著地提高地基的承载力,增强整体稳定性。箱形基础具有很大的地下空间,代替被挖除的土,因此具有补偿作用,对减少基础沉降和满足地基的承载力要求很有利。剪力墙结构等落地墙体较多,分布比较均匀的结构可考虑采用箱形基础。

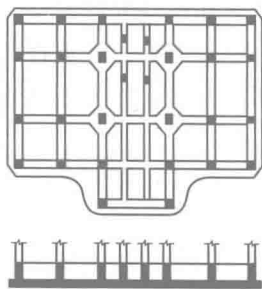


图 1-6 筏形基础

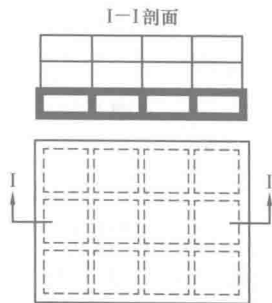
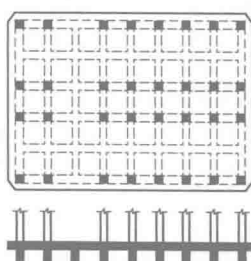


图 1-7 箱形基础

二、浅基础类型的选用

选择基础方案,应根据工程地质和水文地质条件、建筑物的功能要求与体型、荷载的大小和分布情况、相邻建筑基础情况、施工条件、材料供应情况以及抗震设防烈度等综合考虑,做到安全适用,经济合理。以下是基础类型选择的一般原则:

(1) 砌体结构优先采用无筋扩展基础,当基础宽度大于 2.5m 时,可采用扩展基础。

(2) 多层内框架结构,如地基土质较差时,中柱宜选用柱下钢筋混凝土条形基础。

(3) 框架结构,无地下室,地基土质较好,荷载较小,可采用独立柱基,在抗震设防区可按《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010)的规定设柱基拉梁。框架结构,无地下室、地基较差,荷载较大,为增强基础的整体刚度,减少不均匀沉降,可采用交叉条形基础。采用上述结构仍不能满足地基基础强度和变形要求,又不适合采用桩基或人工地基时,可采用筏形基础。

(4) 框架结构,有地下室、上部结构对不均匀沉降要求严、防水要求高、柱网较均匀,可采用箱形基础;柱网不均匀,可采用筏形基础。框架结构,有地下室,无防水要求,柱网、荷载较均匀,地基土较好,可采用独立柱基,抗震设防区设柱基拉梁;也可采用钢筋混凝土交叉条形基础或筏形基础。

(5) 筏形基础上的柱荷载不大、柱网较小或均匀,可采用平板式筏形基础;当柱荷载不同、柱距较大时,宜采用梁板式筏基。

(6) 剪力墙结构,无地下室或有地下室,无防水要求,地基较好,宜采用交叉条形基础。当有防水要求时,宜选用筏形基础或箱形基础。

(7) 高层建筑一般都设有地下室,可采用筏形基础;如地下室设置有均匀的钢筋混凝土隔墙时,可采用箱形基础。

第二节 地基基础设计的原则、方法和内容

地基基础设计时需要综合考虑建筑物情况和场地工程地质条件,并结合施工条件以及工期、造价等各方面的要求,合理选择地基基础方案,因地制宜,精心设计,做到安全适用、技术先进、经济合理。

一、为提高设计质量减少失误的设计原则

地基基础设计,应考虑上部结构和地基基础的共同作用,对建筑物体型、荷载情况、结构类型和地质条件进行综合分析,确定合理的建筑措施、结构措施和地基处理方法。为了满足各类建筑物的设计要求,提高设计质量而减少设计失误,根据地基变形、建筑物规模和功能特点,以及由于地基问题可能造成建筑物破坏或影响正常使用的程度,将地基基础设计分为三个设计等级,见表 1-2。

设计等级的划分,是按照地基基础设计的复杂性和技术难度确定的,综合考虑了建筑物的性质、规模、高度和体型、对地基变形的要求、场地和地基所处条件的复杂程度,以及由于地基问题对建筑物的安全和正常使用可能造成影响的严重程度等因素。体型复杂、层数相差超过十层的高低连成一体建筑物,是指平面上和立面上高度变化较大,体型变化复杂且建在同一地基上的高层宾馆、办公楼、商业建筑等。由于高度相差悬殊,结构刚度和构造变化复杂,地基容易出现不均匀变形,地基基础设计的复杂程度和技术要求难度较大,有时

表 1-2

地基基础设计等级

设计等级	建筑 and 地基类型
甲 级	重要的工业与民用建筑 30 层以上的高层建筑 体型复杂、层数相差超过十层的高低层连成一体建筑物 大面积的多层地下建筑物（如地下车库、商场、运动场等） 对地基变形有特殊要求的建筑物 复杂地质条件下的坡上建筑物（包括高边坡） 对原有工程影响较大的新建建筑物 场地和地基条件复杂的一般建筑物 位于复杂地质条件及软土地区的二层及二层以上地下室的基坑工程 开挖深度大于 15m 的基坑工程；周边环境条件复杂、环境保护要求高的基坑工程
乙 级	除甲级、丙级以外的工业与民用建筑物 除甲级、丙级以外的基坑工程
丙 级	场地和地基条件简单、荷载分布均匀的七层及七层以下民用建筑及一般工业建筑物；次要的轻型建筑物 非软土地基且场地地质条件简单、基坑周边环境条件简单、环境保护要求不高且开挖深度小于 5.0m 的基坑工程

需要采用多种地基基础类型，或考虑上部结构共同作用的变形分析计算来解决不均匀沉降对基础和上部结构的影响问题；大面积的多层地下建筑物（如地下车库、商场、运动场等）存在基坑开挖和降水、支护和对周围邻近建筑物可能造成严重不良影响等问题，增加了地基基础设计的复杂性，可能还存在抗浮验算问题；对原有工程有较大影响的新建建筑物，是指在原有建筑物旁和在地铁、地下隧道、重要地下管道上或旁边新建的建筑，当新建建筑物对原有工程影响较大时，为了保证原有工程的安全和正常使用，增加了地基基础设计的复杂性和难度。所以，它们均列入甲级。设计时，应根据建筑物和地基的具体情况确定地基基础的设计等级。

二、按变形控制设计的原则

地基基础设计包括承载力计算、变形验算、稳定性验算和抗浮验算。应根据上部结构和工程地质条件等情况，确定设计要求。

地基设计时，应注意区分三种功能要求：①在长期荷载作用下，地基变形不至于造成承重结构的损坏；②在不利荷载作用下，地基不出现失稳现象；③具有足够的耐久性能。因此，在满足第一功能要求时，应以不使地基中出现过大的塑性变形为原则，同时考虑在此条件下各类建筑物可能出现的变形特征和变形量。地基土的变形具有长期的时间效应，与钢、混凝土、砖石等材料相比，它属于大变形材料。对已有的大量地基事故进行分析，绝大多数事故皆由地基变形过大或不均匀沉降而造成。地基基础设计按变形控制的总原则已成为工程界认可的地基基础设计原则。

地基基础的设计年限应不小于建筑结构的设计使用年限。根据地基基础设计等级及长期荷载作用下地基变形对上部结构的影响程度，应符合以下规定：

- (1) 基础应有足够的强度，刚度与耐久性。
- (2) 所有建筑物的地基计算均应满足承载力计算的有关规定。
- (3) 设计等级为甲级、乙级的建筑物，均应进行地基变形验算。
- (4) 表 1-3 中所列范围内设计等级为丙级的建筑物可不作变形验算，但有下列情况之

一时，仍应作变形验算。

- 1) 地基承载力特征值小于 130kPa，且体型复杂的建筑；
- 2) 在基础上及其附近有地面堆载或相邻基础荷载差异较大，可能引起地基产生过大的不均匀沉降时；

表 1-3 可不作地基变形计算设计等级为丙级的建筑物范围

地基主要受力层情况	地基承载力特征值 f_{ak} (kPa)			$80\leq f_{ak}<100$	$100\leq f_{ak}<130$	$130\leq f_{ak}<160$	$160\leq f_{ak}<200$	$200\leq f_{ak}<300$
	各土层坡度 (%)			≤ 5	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10
建筑类型	砌体承重结构、框架结构 (层数)			≤ 5	≤ 5	≤ 6	≤ 6	≤ 7
	(6m 柱距) 单层排架结构	单跨	吊车额定起重量 (t)	10~15	15~20	20~30	30~50	50~100
			厂房跨度 (m)	≤ 18	≤ 24	≤ 30	≤ 30	≤ 30
		多跨	吊车额定起重量 (t)	5~10	10~15	15~20	20~30	30~75
			厂房跨度 (m)	≤ 18	≤ 24	≤ 30	≤ 30	≤ 30
	烟囱		高度 (m)	≤ 40	≤ 50	≤ 75		≤ 100
	水塔	高度 (m)	≤ 20	≤ 30	≤ 30		≤ 30	
		容积 (m ³)	50~100	100~200	200~300	300~500	500~1000	

注 1. 地基主要受力层系指条形基础底面下深度为 $3b$ (b 为基础底面宽度)，独立基础下为 $1.5b$ ，且厚度均不小于 5m 的范围 (二层以下一般民用建筑除外)。

2. 地基主要受力层中如有承载力特征值小于 130kPa 的土层时，表中砌体承重结构的设计，应采取地基处理或采取减轻不均匀沉降的一些措施。

3. 表中砌体承重结构和框架结构均指民用建筑，对于工业建筑可按厂房高度、荷载情况折合成与其相当的民用建筑层数。

4. 表中吊车额定起重量、烟囱高度和水塔容积的数值系指最大值。

- 3) 软弱地基上的建筑物存在偏心荷载或相邻建筑距离过近，可能发生倾斜时；
- 4) 地基内有厚度较大或厚薄不均的填土，其自重固结尚未完成时。
- (5) 经常受水平荷载作用的高层建筑、高耸结构、挡土墙等，以及建造在斜坡上或边坡附近的建筑物和构筑物，尚应验算其稳定性。
- (6) 基坑工程应进行稳定性验算。
- (7) 当地下水埋藏较浅，建筑地下室或地下构筑物存在上浮问题时，尚应进行抗浮验算。

三、地基基础设计两种极限状态的荷载组合和抗力条件

基于概率极限状态的设计方法，有以下两种极限状态：

- 承载能力极限状态：对应于结构或构件达到最大承载能力或不适于继续承载的变形；
- 正常使用极限状态：对应于结构或构件达到正常使用或耐久性能的某项规定的限值。

在承载力设计中，有三种设计理论，即正常使用极限状态的允许承载力理论、承载能力极限状态的承载力设计理论——单一安全系数法、承载能力极限状态的承载力设计理论——分项系数法 (又称分项安全系数法)。

对于三种设计理论，虽然“分项系数设计法”更为合理，但对地基的设计计算中是否采用与结构工程一样的分项系数法等设计方法，是由地基土相关问题的不确定性来决定的。如

地层土与地下水分布的不确定性,现场与试验室岩土指标的不确定性,原位应力与孔隙水压力以及上面荷载的不确定性,计算理论与方法的近似以及岩土材料的复杂性等。地基设计的关键是一个“度”的把握,针对不确定性因素,满足正常使用。所以,地基设计采用正常使用极限状态的允许承载力理论。

基础结构设计,即基础高度的确定和配筋计算,则采用承载能力极限状态的承载力设计理论——单一安全系数法。

地基基础设计应满足承载力极限状态和正常使用极限状态,具体规定为:

(1)按地基承载力确定基础底面积及埋深时,传至基础或承台底面上的荷载效应应按正常使用极限状态下荷载效应的标准组合,相应的抗力应采用地基承载力的特征值或单桩承载力特征值;

(2)计算地基变形时,传至基础底面的荷载效应应采用正常使用极限状态下荷载效应的准永久组合值,且不计入风荷载和地震作用;

(3)验算地基稳定性,计算挡土墙土压力、地基或滑坡稳定性及基础抗浮稳定时,荷载效应应采用承载能力极限状态下荷载效应的基本组合值,但其分项系数均为1.0;

(4)确定基础或桩基承台高度、支挡结构截面、计算基础或支挡结构的内力,以及确定配筋和验算材料强度时,传至基础的荷载效应应按承载力极限状态下荷载效应的基本组合值,并采用相应的分项系数。

在基础结构设计即基础的有效高度、剪切和冲切等计算时,需要计算承载能力极限状态下荷载效应的基本组合或简化的基本组合。对于由永久荷载效应控制的基本组合,可采用简化规则,荷载效应基本组合的设计值 S 按式(1-2)确定

$$S = 1.35S_k \leq R \quad (1-2)$$

式中 R ——结构构件抗力的设计值,按有关建筑结构设计规范的规定选用;

S_k ——荷载效应的标准组合值。

天然地基上的浅基础设计可按下列步骤(内容)进行:

- (1)选择基础的材料、类型,确定平面布置方案;
- (2)选择基础的埋置深度,即确定地基持力层;
- (3)确定地基承载力特征值;
- (4)根据传至基础底面上的荷载效应和地基承载力特征值,确定基础底面尺寸;
- (5)根据传至基础底面上的荷载效应进行相应的地基验算(变形和稳定性验算);
- (6)确定基础构造尺寸,进行必要的结构计算;
- (7)绘制基础施工图(包括施工说明)。

上面设计步骤是相互关联的,通常可按顺序逐步进行。当后面的计算出现不能满足设计要求的情况时,应返回前面步骤(1)、(2),重新做出选择后再进行下面的设计,直至完全满足设计要求为止。

第三节 基础的埋置深度

从设计地面到基础底面的深度,称为基础的埋置深度。基础埋置深,基底两侧的超载大,地基承载力高,稳定性好;相反,基础埋置浅,工程造价低,施工期短。选择较适宜的

土层作为持力层,确定基础的埋深,通常应根据建筑物和地层的整体情况,认真分析各方面的因素,进行技术经济比较后确定。

一、建筑物的使用功能设计及基础的形式和构造

确定基础的埋置深度应考虑建筑功能。当建筑物设有地下室时,基础埋深要受地下室底面标高的影响,在平面上仅局部有地下室时,基础可按台阶形式变化埋深或整体加深。当设计冷藏库或高温炉窑时,其基础埋深应考虑热传导引起地基土因低温而冻胀或因高温而干缩的不利影响。

考虑设备条件,如给排水、供热等管道的标高。原则上不允许管道从基础底下通过,一般可以在基础上设洞口,且洞口顶面与管道之间要留有足够的净空高度,以防止基础沉降压裂管道,造成事故。

除岩石地基外,基础埋深不宜小于 0.5m。同时,为保护基础不外露,基础顶面应低于室外地面至少 0.1m。

二、作用在地基上的荷载大小和性质

对于竖向荷载大,地震力和风力等水平荷载作用比较大的高层建筑,基础埋深应适当增大,以满足稳定性要求。在抗震设防区,除岩石地基外,高层建筑箱形和筏形基础的埋深不宜小于建筑物高度的 1/15;桩筏或桩箱基础的埋深(不计桩长)不宜小于建筑物高度的 1/18。对于承受上拔力较大的基础,应具有较大的埋深以提供足够的抗拔力。对于室内地面荷载较大或有设备基础的厂房、仓库,应考虑对基础的不利作用。

三、工程地质条件和水文地质条件

在满足地基稳定性和变形要求的前提下,基础宜浅埋。如果上层土软弱,下层土坚实,需要区别对待。当上层软弱土较薄,可将基础置于下层坚实土层上;当上层软弱土较厚时,可考虑采用宽基浅埋的办法,也可考虑人工加固处理或桩基础方案。必要时,应从施工难易程度,材料用量等方面进行综合分析比较后决定。

基础置于潜水面以上时,无需基坑排水,可避免涌土、流砂现象,施工方便,设计上一般不必考虑地下水的腐蚀作用和地下室的防渗漏问题等。因此,在地基稳定性许可的条件下,基础应尽量置于地下水位面以上。当承压含水层埋藏较浅时,为防止基底因挖土减压而隆起开裂,破坏地基,必须控制基底设计标高。

高层建筑基础的埋置深度应满足地基承载力、变形和稳定性要求。位于岩石地基上的高层建筑,其基础埋深应满足抗滑稳定性要求。位于稳定边坡上的拟建工程,要保证地基有足够的稳定性。

四、相邻建筑物的基础埋深

在城市房屋密集的地方,往往新旧建筑物距离较近。为保证原有建筑物的安全和正常使用,新建建筑物的基础埋深不宜大于原有建筑物基础的埋深,并应考虑新加荷载对原有建筑物的不利作用。当新建基础埋深大于原有建筑物基础埋深时,应根据建筑物的荷载大小、基础形式和土质情况,使基础间保持一定的距离。如果由于地质条件所限,不能达到此要求时,在施工阶段应采用适当措施保证原有建筑物的稳定性。

五、地基土冻胀和融陷的影响

季节性冻土是指一年内冻结与解冻交替出现的土层。在全国分布很广,其厚度一般在

0.5m 以上，最厚达 3m。如果基础埋于冻胀土内，当冻胀力和冻切力足够大时，就会导致建筑物发生不均匀的上抬，门窗不能开启，严重时墙体开裂；当温度升高解冻时，冰晶体融化，含水量增大，土的强度降低，使建筑物产生不均匀的沉陷。

(一) 地基土冻胀性分类

地基土冻结后，体积较冻结前增大的现象称为冻胀，以冻胀率表示。土的平均冻胀率 η 定义为

$$\eta = \frac{V' - V}{V} = \frac{\Delta V}{V}$$
 (1-3)

式中 V ——冻胀前的体积；

V' ——冻胀后的体积。

平面冻结条件下，单层土的平均冻胀率为

$$\eta = \frac{\Delta z}{z}$$
 (1-4)

式中 Δz ——地表最大冻结量；

z ——最大冻层厚度减去最大冻胀量。

影响冻胀性的主要因素是土的类别、土中含水量的多少以及地下水的补给条件。根据野外冻胀观测和建筑物的调查，将季节性冻胀土按土的类别、冻结前天然含水量、冻结期间地下水位距冻结面的最小距离、平均冻胀率等，将土的冻胀性划分为不冻胀、弱冻胀、冻胀、强冻胀和特强冻胀五个等级，见表 1-4。

表 1-4 地基土冻胀性分类

土的名称	冻前天然含水量 w (%)	冻结期间地下水位距冻结面的最小距离 h_w (m)	平均冻胀率 η (%)	冻胀等级	冻胀类别
碎(卵)石, 砾、粗、中砂(粒径小于 0.075mm 颗粒含量大于 15%), 细砂(粒径小于 0.075mm 颗粒含量大于 10%)	$w \leq 12$	>1.0	$\eta \leq 1$	I	不冻胀
		≤ 1.0	$1 < \eta \leq 3.5$	II	弱冻胀
	$12 < w \leq 18$	>1.0			
		≤ 1.0	$6 < \eta \leq 12$	IV	强冻胀
	$w > 18$	>0.5			
		≤ 0.5			
粉砂	$w \leq 14$	>1.0	$\eta \leq 1$	I	不冻胀
		≤ 1.0	$1 < \eta \leq 3.5$	II	弱冻胀
	$14 < w \leq 19$	>1.0			
		≤ 1.0	$6 < \eta \leq 12$	IV	强冻胀
	$19 < w \leq 23$	>1.0			
		≤ 1.0	$\eta > 12$	V	特强冻胀
	$w > 23$	不考虑			

续表

土的名称	冻前天然含水量 w (%)	冻结期间地下水位距冻结面的最小距离 h_w (m)	平均冻胀率 η (%)	冻胀等级	冻胀类别
粉 土	$w \leq 19$	>1.5	$\eta \leq 1$	I	不冻胀
		≤ 1.5	$1 < \eta \leq 3.5$	II	弱冻胀
	$19 < w \leq 22$	>1.5			
		≤ 1.5	$3.5 < \eta \leq 6$	III	冻胀
	$22 < w \leq 26$	>1.5			
		≤ 1.5	$6 < \eta \leq 12$	IV	强冻胀
	$26 < w \leq 30$	>1.5			
		≤ 1.5	$\eta \leq 12$	V	特强冻胀
	$w > 30$	不考虑			
黏 性 土	$w \leq w_p + 2$	>2.0	$\eta \leq 1$	I	不冻胀
		≤ 2.0	$1 < \eta \leq 3.5$	II	弱冻胀
	$w_p + 2 < w \leq w_p + 5$	>2.0			
		≤ 2.0	$3.5 < \eta \leq 6$	III	冻胀
	$w_p + 5 < w \leq w_p + 9$	>2.0			
		≤ 2.0	$6 < \eta \leq 12$	IV	强冻胀
	$w_p + 9 < w \leq w_p + 15$	>2.0			
		≤ 2.0	$\eta > 12$	V	特强冻胀
	$w > w_p + 15$	不考虑			

注 1. w_p —塑限含水量 (%); w —在冻土层内冻前天然含水量的平均值。

2. 盐渍化冻土不在表列。

3. 塑性指数大于 22 时, 冻胀性降低一级。

4. 粒径小于 0.005mm 的颗粒含量大于 60% 时, 为不冻胀土。

5. 碎石类土当充填物大于全部质量的 40% 时, 其冻胀性按充填物土的分类判断。

6. 碎石土、砾砂、粗砂、中砂 (粒径小于 0.075mm 的颗粒含量不大于 15%)、细砂 (粒径小于 0.075mm 的颗粒含量不大于 10%) 均按不冻胀考虑。

(二) 场地冻深和基底下允许残留的冻土层厚度

季节性冻土的场地冻深为

$$z_d = z_0 \psi_{zs} \psi_{zw} \psi_{ze} \quad (1-5)$$

式中 z_d ——场地冻深, 若当地有多年实测资料, 可按 $z_d = h' - \Delta z$ 计算, h' 和 Δz 分别为最大冻深出现时的最大冻土层厚度和地表冻胀量;

z_0 ——标准冻深, 系采用在地表平坦、裸露、城市之外的空旷场地中不少于 10 年实测最大冻深的平均值, 当无实测资料时, 按《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011) 中“中国季节性冻土标准冻深线图”查得;

ψ_{zs} ——土的类别对冻深的影响系数, 按表 1-5 查得;

ψ_{zw} ——土的冻胀性对冻深的影响系数, 按表 1-6 查得;

ψ_{ze} ——环境对冻深的影响系数, 按表 1-7 查得。

季节性冻土地区基础埋置深度宜大于场地冻深。在强冻胀和特强冻胀的地基, 不宜实施基础

浅埋，即基础埋深应控制在场地冻深以下。对于深厚季节冻土地区，当建筑基础底面土层为不冻胀、弱冻胀、冻胀土时，基础埋置深度可以小于场地冻深，基础底面下允许冻土层最大厚度应根据当地经验确定。没有地区经验时可按表 1-8 查取。此时，基础的最小埋深可按下式计算

$$d_{\min} = z_d - h_{\max} \tag{1-6}$$

式中 $h_{\max}$ ——基础底面下允许冻土层的最大厚度，按表 1-8 查得。当有充分依据时，也可按当地经验确定。

表 1-5 土的类别对冻深的影响系数

土的类别	影响系数 ψ_{zs}	土的类别	影响系数 ψ_{zs}
黏 性 土	1.00	中、粗、砾砂	1.30
细砂、粉砂、粉土	1.20	碎 石 土	1.40

表 1-6 土的冻胀性对冻深的影响系数

冻 胀 性	影响系数 ψ_{zw}	冻 胀 性	影响系数 ψ_{zw}
不 冻 胀	1.00	强 冻 胀	0.85
弱 冻 胀	0.95	特强冻胀	0.80
冻 胀	0.90		

表 1-7 环境对冻深的影响系数

周围环境	影响系数 ψ_{ze}	周围环境	影响系数 ψ_{ze}
村、镇、旷野	1.00	城市市区	0.90
城市近郊	0.95		

注 环境影响系数一项，当城市市区人口为 20 万~50 万时，按城市近郊取值；当城市市区人口大于 50 万小于或等于 100 万时，按城市市区取值；当城市市区人口超过 100 万时，按城市市区取值，5km 以内的郊区应按城市近郊取值。

在确定地基冻胀性类别和基础最小埋深时，如果遇有多层地基土的情况，应先根据场地冻深范围内的下层土确定基础埋深。如确定后的基础埋深未至下层土时，则还应按上层土的冻胀性确定其基础埋深。

表 1-8 建筑基底允许残留冻土层厚度 $h_{\max}$ m

冻胀性	基础形式	采暖情况	基底平均压力 (kPa)					
			110	130	150	170	190	210
弱冻胀土	方形基础	采 暖	0.94	0.99	1.04	1.11	1.15	1.20
		不采暖	0.78	0.84	0.91	0.97	1.04	1.10
	条形基础	采 暖	>2.50	>2.50	>2.50	>2.50	>2.50	>2.50
		不采暖	2.20	2.50	>2.50	>2.50	>2.50	>2.50
冻胀土	方形基础	采 暖	0.64	0.70	0.75	0.81	0.86	—
		不采暖	0.55	0.60	0.65	0.69	0.74	—
	条形基础	采 暖	1.55	1.79	2.03	2.26	2.50	—
		不采暖	1.15	1.35	1.55	1.75	1.95	—

- 注 1. 本表只计算法向冻胀力，如果基侧存在切向冻胀力，应采取防切向力措施。
2. 本表不适用于宽度小于 0.6m 的基础，矩形基础可取短边尺寸按方形基础计算。
3. 表中数据不适用于淤泥、淤泥质土和欠固结土。
4. 表中基底平均压力数值为永久荷载标准值乘以 0.9，可以内插。