



中國建築科學研究院
China Academy of Building Research

《建筑地基基础设计规范》 GB50007-2011理解与应用

《建筑地基基础设计规范》修订组
2012年5月22日



- 一 修订工作整体情况介绍
- 二 具体修订内容

- 修订工作整体情况
- 规范修订面对的新需求
- 修订工作过程
- 主要修订内容
- 待解决的主要问题





- 规范修订面对的新需求
- 1. 中国的城镇化进程
- 可使用建设用地紧张
- 地下空间的开发利用
- 房屋建设的“高、深、大”引起的地基基础设计问题





- 同一大面积整体基础上建有多个高层或多层建筑的基础设计
- 深、大基础的地基变形计算及回弹再压缩变形计算-----可能成为变形控制工况
- 建筑物和基础抗浮设计----不仅是稳定性验算，还增加结构验算工况。
-
-



- 单体高层建筑
- 反力：“鞍形”分布
- 地基承载力按平均值验算
- 边端柱荷载放大1.1或1.2倍
- 内筒冲剪力平均值的0.7~0.8平均值
- 大底盘高层建筑-----增加整体挠度控制，
- 地基变形和地基反力值降低
- 反力：“盆形”
- 地基承载力按平均值0.7~0.8验算
- 边端柱荷载无需放大
- 内筒冲剪力平均值的0.7~0.8平均值



- 2. 耐久性设计带来的新问题
- 混凝土工作环境
- 混凝土材料设计
- 污染土、干湿交替环境、含盐类土
- 结构裂缝控制
- 施工技术、检测技术、验收条件有缺欠





- 地基基础的设计使用年限不应小于建筑结构设计使用年限，是其耐久性设计的最基本要求。
- 对于建筑地基基础在规定的建筑寿命完成后，不论是拆除重建，还是鉴定加固后再使用，其特殊性应赋予耐久性设计新的内容。





- 首先，上部结构需拆除重建时，地下结构拆除对周边环境的影响大，采取保护措施的费用高，工期长；
- 其次，既有建筑的桩基础，拆除难度大，对于长桩基础是几乎办不到的；
- 其三，对于既有建筑的地基基础再利用，应在充分鉴定分析基础上设计，要求既有建筑的地基基础有更长的使用年限；
- 其四，从工程建造的工期、费用考虑，应充分考虑原地基基础再利用。





- 3. 面向未来的地基基础设计要求
- 更高的耐久性要求
- 地基基础工程的不可逆性





- 4. 建设节约型社会的要求
- 设计理论与土力学基本特性的符合性
- 地基基础设计对各种作用认识的局限性
- 节约与安全的关系
- 更精准的设计----试验和工程实践基础





任务来源

- 根据住房和城乡建设部建标[2008]102号文要求，中国建筑科学研究院会同有关勘察、设计、施工、科研、大专院校等单位对国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007-2002进行了全面修订。





中國建築科學研究院
China Academy of Building Research

参编单位（25个）

- 其中：工程设计单位 14 个，研究单位、高校 11个
- 中国建筑科学研究院
- 建设综合勘察设计研究院
- 北京市勘察设计研究院
- 中国建筑西南勘察设计研究院
- 贵阳建筑勘察设计有限公司
- 北京市建筑设计研究院
- 中国建筑设计研究院





中國建築科學研究院
China Academy of Building Research

参编单位（25个）

- 上海现代建筑设计集团有限公司
- 中国建筑东北设计研究院
- 辽宁省建筑设计研究院
- 云南怡成建筑设计公司
- 中南建筑设计院
- 湖北省建筑科学研究院
- 广州市建筑科学研究院
- 黑龙江省寒地建筑科学研究院
- 黑龙江省建筑工程质量监督总站





中國建築科學研究院
China Academy of Building Research

参编单位（25个）

- 中冶北方工程技术有限公司
- 中国建筑工程总公司
- 天津大学
- 同济大学
- 太原理工大学
- 广州大学
- 郑州大学
- 东南大学
- 重庆大学



修订组成员

- 修订组由33人组成：
- 顾问：黄熙龄 院士
- 成员：滕延京、王曙光、宫剑飞、顾宝和、杨敏、陈祥福、张成金、白晓红、唐孟雄、武威、周同和、林立岩、薛慧立、侯光瑜、张季超、潘凯云、顾晓鲁、任庆英、康景文、刘松玉、张丙吉、袁内镇、郝江南、王小南、胡岱文、裴捷、王公山、沈小克、王卫东、郑刚、梁志荣、朱磊





修订工作过程

- 修订组共召开全体会议4次：
- 2008年10月召开了修订组成立暨第一次工作会议，住房和城乡建设部标准定额司派员出席了会议，宣读编制组组成名单。会上讨论和安排了本规范的修订内容、工作分工及进度计划。
- 2009年4月10日召开《建筑地基基础设计规范》修订编制组第二次全体工作会议。学习了解《工程结构可靠性设计统一标准》与《欧洲规范》中有关地基基础的设计原则；各小组介绍各部分的初稿；修订组对修订意见进行了讨论。



修订工作过程

- 2009年8月召开了《建筑地基基础设计规范》修订编制组第三次全体工作会议，对征求意见稿的初稿进行了讨论，形成征求意见稿。
- 2009年10月形成规范征求意见稿，规范征求意见稿发往全国有关勘察、设计、施工、检测、科研、大专院校单位和个人共计**350**份，并在网上发布征求意见通知和征求意见稿，共征集到单位和个人对规范修订的意见和建议**607**条。
- 2010年3月召开《建筑地基基础设计规范》修订组第四次工作会议，对征求意见的相关内容进行讨论，提出处理意见，形成送审稿初稿。





修订工作过程

- 修订组还召开专题讨论会议**13**次，
- 其中基本原则小组召开专题讨论会**1**次，
- 山区地基小组召开专题讨论会**1**次，
- 复合地基小组召开专题讨论会**2**次，
- 桩基工程小组召开专题讨论会**4**次，
- 基坑工程小组召开专题讨论会**4**次，
- 检验与监测小组召开专题讨论会**1**次。





修订工作过程

- 修订组根据征集到的意见进行了修改，于2010年7月形成了送审稿，并通过了主编单位的审查。
- 2010年9月9日~10日《建筑地基基础设计规范》GB 50007-2002修订送审稿审查会在北京召开。
- 2011年七月二十六日公告，《建筑地基基础设计规范》为国家标准，编号为GB50007-2011，自2012年8月1日起实施。





- 修订工作过程和基本情况
- 修订原则和主要修订内容
- 规范理解与应用





修订原则

- 1. 保持规范体系不变，提高变形计算和耐久性设计水平；
- 2. 反映近十年来地基基础领域科研方面成熟的成果，反映原规范实施以来设计和工程实践的成功经验；
- 3. 补充完善充实原设计规范中的部分内容。



主要修訂內容

- 1. 增加地基基礎設計等級中基坑工程的相關內容；
- 2. 地基基礎設計使用年限不應小於建築結構的設計使用年限；
- 3. 增加泥炭、泥炭質土的工程定義；
- 4. 增加回彈再壓縮變形計算方法；
- 5. 增加建築物抗浮穩定計算方法；



主要修訂內容

- 6. 增加当地基中下卧岩面为单向倾斜，岩面坡度大于10%，基底下的土层厚度大于1.5m的土岩组合地基设计原则；
- 7. 增加岩石地基设计内容；
- 8. 增加岩溶地区场地根据岩溶发育程度进行地基基础设计的原则；
- 9. 增加复合地基变形计算方法；
- 10. 增加扩展基础最小配筋率不应小于0.15%的设计要求；



主要修訂內容

- 11. 增加当扩展基础底面短边尺寸小于或等于柱宽加2倍基础有效高度的斜截面受剪承载力计算要求；
- 12. 对桩基沉降计算方法，经统计分析，调整了沉降经验系数；
- 13. 增加对高地下水位地区，当场地水文地质条件复杂，基坑周边环境要求高，设计等级为甲级的基坑工程，应进行地下水控制专项设计的要求；
- 14. 增加对地基处理工程的工程检验要求；
- 15. 增加单桩水平载荷试验要点，单桩竖向抗拔载荷试验要点。





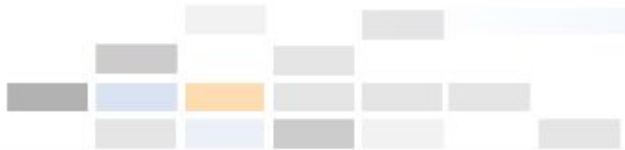
建筑地基基础的特点

- 1. 建筑地基基础一般指具有建筑结构的地基和基础，区别于公路、铁路、水工建筑物、港口工程等的地基基础，除稳定性要求和承载力要求外，其对由于**地基变形引起的结构承载力和变形**有严格要求。



建筑地基基础的特点

- 2. 设计流程:
- 作用-----基础-----地基
- 作用：上部结构荷载或变形通过不同结构的荷载传递路径传至基础，但**传至基础的荷载不是地基反力**。
- 地基反力：根据土性及上部结构、基础刚度及变形，**符合共同作用的地基反力分布**。
- 基础：在结构作用力及地基反力作用下的结构分析及刚度、强度设计。





地基基础设计的特点

- 3. 设计的完整控制
- 地基变形计算：准永久组合，不考虑风荷载和地震作用。
- 地基承载力计算：标准组合，考虑风荷载和地震作用。
- 基础结构计算：基本组合，考虑风荷载和地震作用。
- 地基基础设计应同时满足地基承载力和变形设计要求。按共同作用的变形计算结果应同时符合风荷载或地震荷载下的地基承载力设计要求。





具体修订内容

总 则

- 4个主要原则

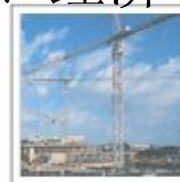
- 1. 地基基础设计的总原则

- 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。
- 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。“安全适用、技术先进、经济合理”随时代发展、科技进步和经济实力提高在不同时期的内容也在不断变化，地基基础设计规范目前已有1974年版、1989年版、2002年版和2011年版四个版本。
- 根据地基工作状态地基设计时应当考虑：1、在长期荷载作用下，地基变形不致造成承重结构的损坏；2、在最不利荷载作用下，地基不出现失稳现象；3、基础结构具有足够的耐久性能。



总 则

- **2. 地基基础设计的技术先进性、施工可行性和经济性指标**
- 地基土随**成因、应力历史**、颗粒组成、化学成分等不同，即使原位测试指标相同，其力学性质也有很大差异；可能存在同一地基内，土的力学指标离散性较大的情况，加上暗塘、古河道、山前洪积、岩溶等许多不良地质条件，必须强调因地制宜原则。本规范对总的设计原则、计算均作出了通用规定，也给出了许多参数，各地区可根据土的特性，地质情况作具体补充。
- 地基基础设计水平评价，应该采用技术经济评价方法，即技术先进性、施工可行性和经济合理性指标。各地区的原材料情况、成熟施工技术和设备情况的各异，必须因地制宜，一部好的地基基础设计成果，必须满足**技术先进、施工可行、经济合理**三项指标。





总 则

- **3. 本规范的适用范围**
- 中国幅员广阔，**湿陷性黄土、膨胀土、多年冻土**等特殊土分布各异。根据多年建设经验，已编制了湿陷性黄土设计规范、膨胀土设计规范、冻土地基设计规范等。本规范基于这种情况，主要针对工业与民用建筑(包括构筑物)的地基基础设计提出设计原则和计算方法，对于特殊土地基基础设计应符合相应规范的规定，地基基础抗震原则列入抗震设计规范，机械动力基础设计列入动力基础设计规范。
- 这里指出，某些特殊土地基设计，还没有专门规范规定，在这些特殊土地基的基础设计应根据原位测试结果和当地工程经验，结合工程特性要求进行设计。





总 则

4. 地基基础设计规范与相关规范的协调原则

- 本规范的使用条件，必须结合相应规范配套使用，荷载取值应符合《建筑结构荷载规范》GB50009的规定；基础的计算尚应符合《混凝土结构设计规范》GB50010和《砌体结构设计规范》GB50003的规定。其他结构的地基基础设计，应结合结构特性和对变形的适应能力，满足相关规范标准的要求。
- 本次规范修订，已全面列入耐久性设计概念。按本规范设计的地基基础应满足建筑物设计使用年限的要求，其结构重要性系数取值不能小于1.0，其他有关构造要求见具体条文。
- 地基基础设计计算结果的**安全性**，**应考虑结构、基础、地基共同作用的概念**和满足建筑在长期荷载作用下、地基的变形对上部结构的影响程度。





基本规定

- 5个问题
- 1. 按变形控制设计的原则
- 地基设计时应当考虑：
 - 1) 在长期荷载作用下，地基变形不致造成承重结构的损坏；
 - 2) 在最不利荷载作用下，地基不出现失稳现象；
 - 3) 具有足够的耐久性能。
- 地基基础设计应注意区分上述三种功能要求，在满足第一功能要求时，地基承载力选取应以不使地基中出现过大塑性变形为原则，同时考虑在此条件下各类建筑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。从已有的大量地基事故分析，绝大多数事故皆由地基变形过大或不均匀所造成。地基基础设计按变形控制的总原则已成为工程界认可正确的地基基础设计原则。





基本规定

- **2. 地基基础设计两种极限状态的作用组合和抗力条件**
- 《建筑地基基础设计规范》目前已有四个版本：**1974**年版规范是安全系数法的设计准则；**1989**年版规范第一次采用了概率极限状态设计方法；**2002**年版规范在**1989**年版规范基础上根据地基特征和国内外概率极限状态设计方法及对地基基础设计研究的现状，进行了修订。**2011**年版规范的极限状态设计方法与**2002**年版保持一致。



基本规定

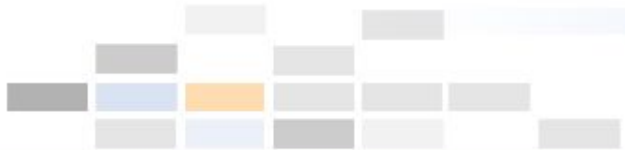
地基基础设计两种极限状态作用组合和使用范围

设计状态	作用组合	设计对象	适用范围
承载力 极限状态	基本组合或 简化基本组合	基础	基础的弯曲、剪切、冲切计算
		地基	滑移、倾覆或稳定问题
正常使用 极限状态	标准组合 频遇组合 准永久组合	基础	裂缝宽度等
		地基	沉降、差异沉降、倾斜等





- 《工程結構可靠性設計統一標準》對兩種極限狀態採用的荷載組合：
- 承載能力極限狀態：基本組合
- 偶然組合
- 地震組合
- 正常使用極限狀態：標準組合
- 頻遇組合
- 准永久組合





- **3.0.5** 地基基础设计时，所采用的作用效应与相应的抗力限值应符合下列规定：
 - **1** 按地基承载力确定基础底面积及埋深或按单桩承载力确定桩数时，传至基础或承台底面上的作用效应应按正常使用极限状态下作用的标准组合。相应的抗力应采用地基承载力特征值或单桩承载力特征值；
 - **2** 计算地基变形时，传至基础底面上的作用效应应按正常使用极限状态下作用的准永久组合，不应计入风荷载和地震作用。相应的限值应为地基变形允许值；
 - **3** 计算挡土墙、地基或滑坡稳定以及基础抗浮稳定时，作用效应应按承载能力极限状态下作用的基本组合，但其分项系数均为**1.0**；
 - **4** 在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内力、确定配筋和验算材料强度时，上部结构传来的作用效应和相应的基底反力、挡土墙土压力以及滑坡推力，应按承载能力极限状态下作用的基本组合，采用相应的分项系数。当需要验算基础裂缝宽度时，应按正常使用极限状态作用的标准组合；
 - **5** 基础设计安全等级、结构设计使用年限、结构重要性系数应按有关规范的规定采用，但结构重要性系数（ γ_0 ）不应小于**1.0**。

基本规定

- **3. 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，减少设计失误，本次规范修订根据地基变形、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3个设计等级，对不同设计等级的建筑物地基基础设计对地基承载力取值方法、勘探要求、变形控制原则等在有关条文里进行了规定。
- 对在复杂地质条件和软土地区开挖较深的基坑工程，由于基坑支护、开挖和地下水控制等技术复杂、难度较大；挖深大于15m的基坑以及基坑周边环境条件复杂、环境保护要求高时对基坑支档结构的位移控制严格，也列入甲级。

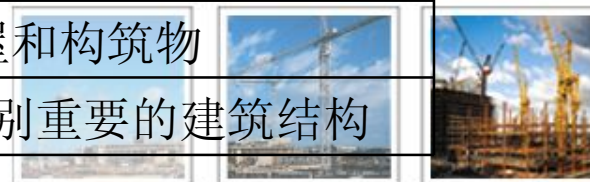


基本规定

- **4. 设计使用年限（第3.0.7条）**
- 地基基础作为房屋建筑结构的一部分，其设计使用年限不应小于建筑结构设计使用年限。地基基础的耐久性设计应根据环境类别符合现行的有关国家标准的规定。大量工程实践证明，地基在长期荷载作用下承载力有所提高，基础材料应根据其工作环境满足耐久性设计要求。

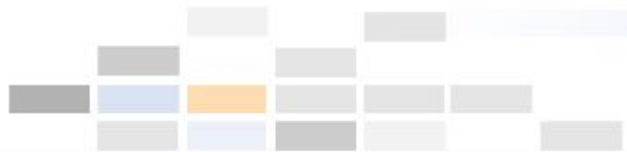
房屋建筑结构的设计使用年限

类别	设计使用年限(年)	示 例
1	5	临时性建筑结构
2	25	易于替换的结构构件
3	50	普通房屋和构筑物
4	100	标志性建筑和特别重要的建筑结构



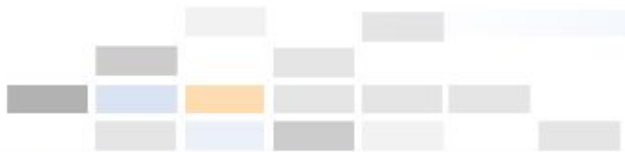


- 5. 设计依据和参数:
- 岩土工程勘察报告数据分析和使用
- 土层分布和均匀性
- 场地地下水条件
- 地基土的成因和应力历史
- 地基承载力特征值的确定
- 地基土变形计算参数
- 地基稳定性条件
- 抗浮设防水位
- 抗震设防设计和场地条件





- 总体评价我国地基基础设计规范的设计总原则全面、具体，可操作性强；体现了以**经验为主的设计流程和理念**；荷载组合和抗力分项系数设置原则与国际相关标准接轨，体现了我国的技术经济政策；地基基础设计的安全度设置水平基本合理。





- 规范使用问题：
 - 1. 抗震设计-----满足抗震设计规范
 - 2. 耐久性设计----仅提出原则
 - 3. 防倒塌设计的地基基础验算
 - 4. 冻土地基设计原则---未来需求
 - 5. 其他需进一步研究的问题，包括扩展基础单项剪切验算（目前偏于安全）

地基岩土的分类及工程特性指标

- 本次修订增加了泥炭和泥炭质土的定义。随着城市建设的需要，有些工程遇到泥炭或泥炭质土。泥炭或泥炭质土是在湖相和沼泽静水、缓慢的流水环境中沉积，经生物化学作用形成，含有大量的有机质，具有含水量高，压缩性高，孔隙比高和天然密度低，抗剪强度低，承载力低的工程特性。泥炭、泥炭质土不应直接作为建筑物的天然地基持力层，工程中遇到时应根据地区经验处理。





地基岩土的分类及工程特性指标

- 4.1.12 淤泥为在静水或缓慢的流水环境中沉积，并经生物化学作用形成，其天然含水量大于液限、天然孔隙比大于或等于 1.5 的粘性土。当天然含水量大于液限而天然孔隙比小于 1.5 但大于或等于 1.0 的粘性土或粉土为淤泥质土。
。含有大量未分解的腐殖质，有机质含量大于 60% 为泥炭，有机质含量大于等于 10% 且小于等于 60% 为泥炭质土。





地基岩土的分类及工程特性指标

- 4. 2. 4 土的抗剪强度指标，可采用原状土室内剪切试验、无侧限抗压强度试验、现场剪切试验、十字板剪切试验等方法测定。当采用室内剪切试验确定时，宜选择三轴压缩试验的自重压力下预固结的不固结不排水试验。经过预压固结的地基可采用固结不排水试验。每层土的试验数量不得少于六组。室内试验抗剪强度指标 c_k 、 ϕ_k ，可按本规范附录E确定。在验算坡体的稳定性时，对于已有剪切破裂面或其它软弱结构面的抗剪强度，应进行野外大型剪切试验。



地基計算

- 9个问题
- 1. 高层建筑基础埋置深度
- 除岩石地基外，位于天然土质上的高层建筑筏形或箱形基础应有适当的埋置深度，以保证筏形和箱形基础的抗倾覆和抗滑移稳定性，否则可能导致严重后果。
- 随着我国城镇化进程，建设土地紧张，高层建筑设地下室，不仅满足埋置深度要求，还增加使用功能，对软土地基还能提高建筑的整体稳定性，所以一般情况下高层建筑宜设地下室。



地基計算

- **5. 1. 3** 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。





地基計算

- **2. 季节性冻土地区基础埋置深度**
- 2002年版规范称场地冻结深度为“设计冻深”，其值是根据当地标准冻深，考虑建设场地所处地基条件和环境条件，经修正后采取的更接近实际的冻深值。本次修订将“设计冻深”改为“**场地冻深**”，以使概念更加清晰准确。
- 季节冻土地区基础合理浅埋在保证建筑安全方面是可以实现的，为此冻土学界从上世纪**70**年代开始做了大量的研究实践工作，取得了一定的成效，并将浅埋方法编入规范中。本次规范修订保留了原规范基础浅埋方法，但缩小了应用范围，**将基底允许出现冻土层应用范围控制在深厚季节冻土地区的不冻胀、弱冻胀和冻胀土场地。**



地基計算

- 5.1.8 季节性冻土地区基础埋置深度宜大于**场地冻结深度**。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结深度，基底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本规范附录G查取。此时，基础最小埋深 d_{\min} 可按下式计算：

- $$d_{\min} = z_d - h_{\max} \quad (5.1.8)$$

- 式中： h_{\max} ——基础底面下允许冻土层的最大厚度（m）。





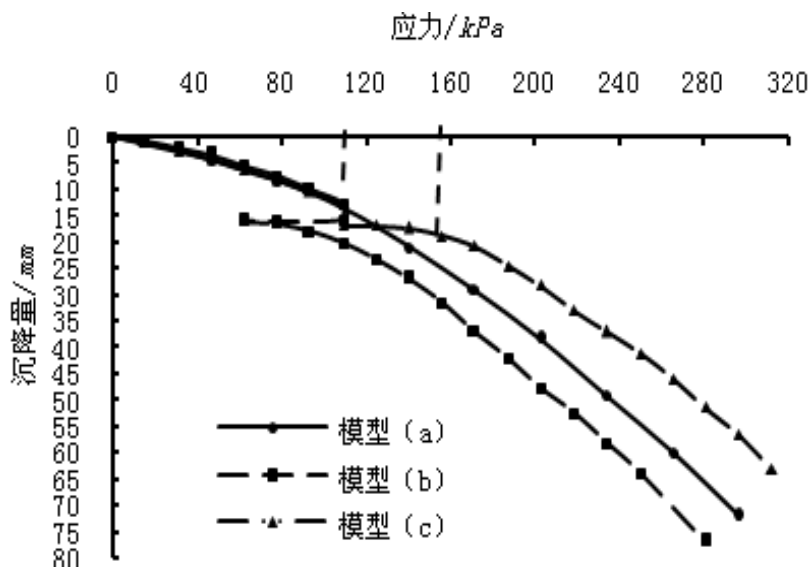
地基計算

- **3. 岩石地基承载力的确定**
- 岩石地基的承载力一般较土高得多。本条规定：“用岩基载荷试验确定”。但对完整、较完整和较破碎的岩体可以取样试验时，可以根据饱和单轴抗压强度标准值，乘以折减系数确定地基承载力特征值。
- 由于情况复杂，折减系数的取值原则上由地方经验确定，无经验时，按岩体的完整程度，给出了一个范围值。经试算和与已有的经验对比，条文给出的折减系数是安全的。
- 至于“破碎”和“极破碎”的岩石地基，因无法取样试验，故不能用该法确定地基承载力特征值。



地基计算

- 4. 沉降已稳定的建筑物或经过预压地基的地基承载力
- 5. 2. 8 对于沉降已经稳定的建筑或经过预压的地基，可适当提高地基承载力。



地基計算

• 5. 地基回彈變形計算

- 高层建筑由于基础埋置较深，基础的总沉降量应由地基土的回弹再压缩量与附加压力引起的沉降量两部分组成，地基回弹再压缩变形往往在总沉降中占重要地位，甚至某些高层建筑设置3层~4层（甚至更多层）地下室时，总荷载有可能等于或小于该深度土的自重压力，这时高层建筑地基沉降变形将由地基回弹变形决定。公式(5.3.10)中， E_{ci} 应按现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T50123进行试验确定，计算时应按回弹曲线上相应的压力段计算。沉降计算经验系数 ψ_c 应按地区经验采用。





地基計算

- 5.3.10 当建筑物地下室基础埋置较深时，地基土的回弹变形量可按下式进行计算：

- $$s_c = \psi_c \dot{\mathbf{a}} \sum_{i=1}^n \frac{p_c}{E_{ci}} (z_i \bar{a}_i - z_{i-1} \bar{a}_{i-1}) \quad (5.3.10)$$

- 式中： s_c ——地基的回弹变形量（mm）；
- ψ_c ——回弹量计算的系数，无地区经验时可取1.0；
- p_c ——基坑底面以上土的自重压力(kPa)，地下水位以下应扣除浮力；
- E_{ci} ——土的回弹模量（kPa），按现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T50123中土的固结试验回弹曲线的不同应力段计算。





地基計算

- **6. 地基回彈再壓縮變形計算**
- 地基土回彈再壓縮量計算目前研究成果較少。根據室內壓縮試驗和現場載荷試驗結果，地基土回彈再壓縮量大於回彈量。中國建築科學研究院地基基礎研究所根據室內壓縮試驗統計，增大系數對黏性土其值為**1.19**，對砂土其值為**1.10**，工程應用時應根據試驗確定。
- 根據土的固結回彈再壓縮試驗或平板載荷試驗卸荷再加荷試驗結果，地基土回彈再壓縮曲線在再壓縮比率與再加荷比關係中可用兩段線性關係模擬。



地基計算

- 5.3.11 回彈再壓縮變形量計算可採用再加荷的壓力小於卸荷土的自重壓力段內再壓縮變形線性分布的假定計算：

$$s'_c = \begin{cases} r'_0 s_c \frac{p}{p_c R'_0} & p < R'_0 p_c \\ s_c \left[r'_0 + \frac{r'_{R'=1.0} - r'_0}{1 - R'_0} \left(\frac{p}{p_c} - R'_0 \right) \right] & R'_0 p_c \leq p \leq p_c \end{cases} \quad (5.3.11)$$

- 式中： s'_c ——地基土回彈再壓縮變形量（mm）；
- s_c ——地基的回彈變形量（mm）；
- r'_0 ——臨界再壓縮比率，相對於再壓縮比率與再加荷比關係曲線上兩段線性交點對應的再壓縮比率，由土的固結回彈再壓縮試驗確定；
- R'_0 ——臨界再加荷比，相應在再壓縮比率與再加荷比關係曲線上兩段線性交點對應的再加荷比，由土的固結回彈再壓縮試驗確定；
- p ——再加荷過程中的荷載壓力(kPa)；
- p_c ——基坑底面以上土的自重壓力(kPa)，地下水位以下應扣除浮力。





- 土样卸荷回弹过程中，当卸荷比 $R < 0.4$ 时，已完成的回弹变形不到总回弹变形量的10%；当卸荷比增大至0.8时，已完成的回弹变形仅约占总回弹变形量的40%；而当卸荷比介于0.8~1.0之间时，发生的回弹量约占总回弹变形量的60%。

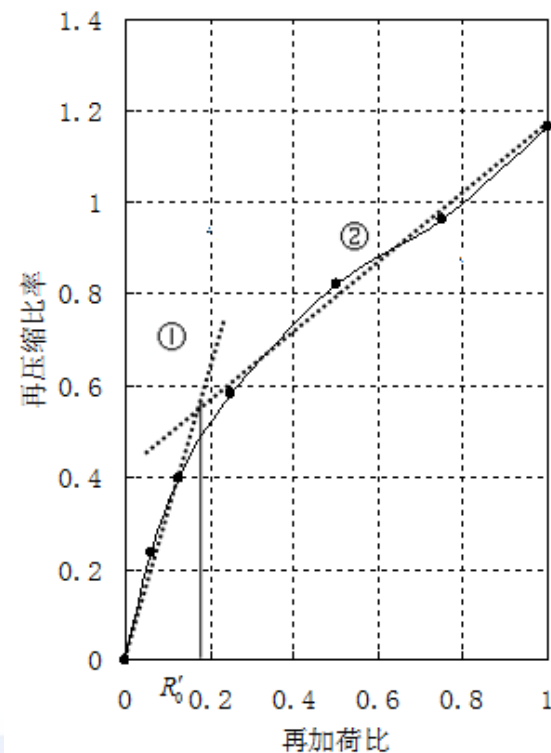
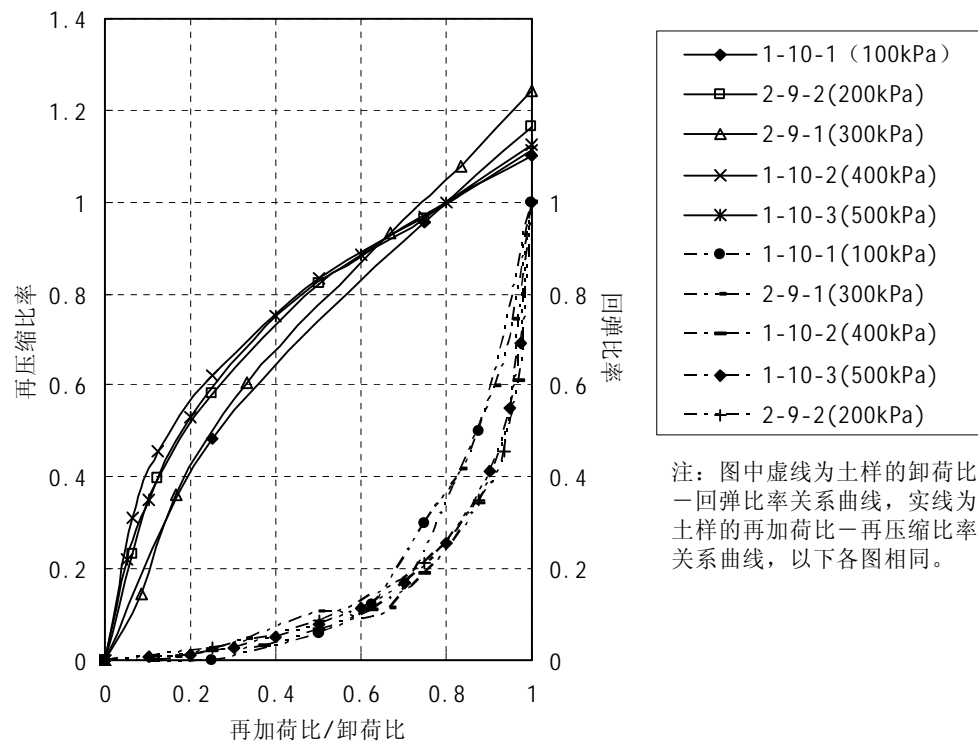




- 土样再压缩过程中，当再加荷量为卸荷量的20%时，土样再压缩变形量已接近回弹变形量的40%~60%；当再加荷量为卸荷量40%时，土样再压缩变形量为回弹变形量的70%左右；当再加荷量为卸荷量的60%时，土样产生的再压缩变形量接近回弹变形量的90%。



地基計算



土樣卸荷比—回彈比率、再加荷比—再壓縮比率關係曲線（粉質黏土）

再壓縮比率與再加荷比關係



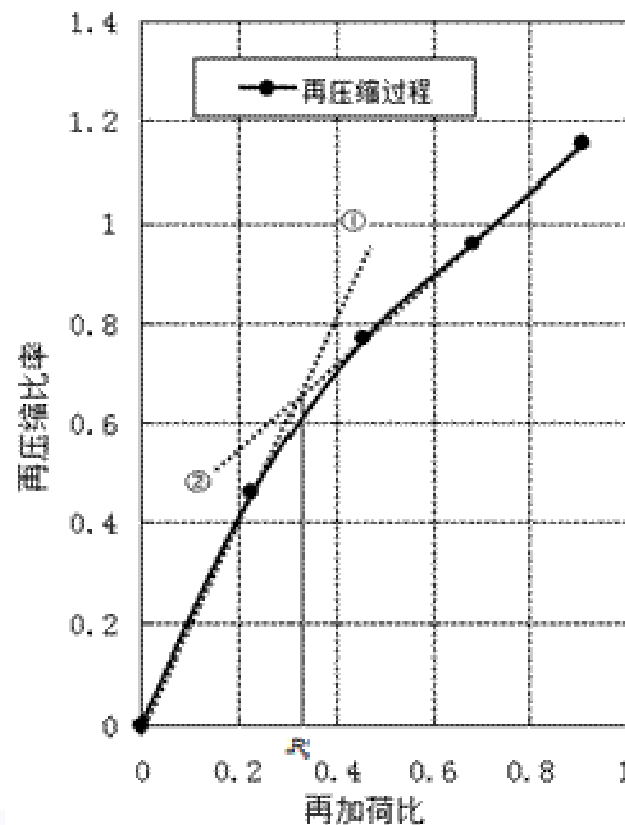
地基計算

- 【地基回彈再壓縮變形計算算例】
- 上海華盛路高層住宅工程，基坑中部的地基回彈變形為4.5cm，地基回彈再壓縮變形為54.9mm。

$$r'_0 = 0.64$$

$$R'_0 = 0.32$$

$$r'_{R'=1.0} = 1.2$$



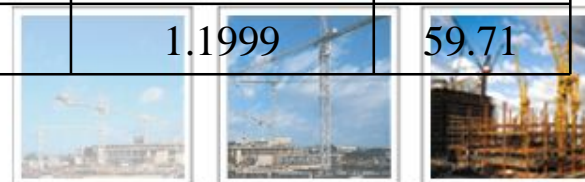
土樣固結回彈試驗成果再壓縮變形分析



地基計算

再壓縮變形沉降計算表

工况序号	再加荷量 p (kPa)	再加荷量 p_c (kPa)	計算回彈變形量 s_c (mm)	再加荷比 R'	$p < R'_0 \cdot p_c$		$R'_0 \cdot p_c \leq p \leq p_c$	
					$\frac{p}{p_c \cdot R'_0}$ $= \frac{p}{106 \times 0.32}$	再壓縮變形量 (mm)	$r'_0 + \frac{r'_{R'=1.0} - r'_0}{1 - R'_0} (\frac{p}{p_c} - R'_0)$ $= 0.64 + 0.8235 (\frac{p}{p_c} - 0.32)$	再壓縮變形量 (mm)
1	12	106	49.76	0.1132	0.3538	11.27	-	-
2	32			0.3018	0.9434	30.10	-	-
3	-			0.32	-	-	0.64	31.85
4	59			0.5566	-	-	0.8348	41.54
5	60			0.5660	-	-	0.8426	41.93
6	61			0.5754	-	-	0.8503	42.31
7	78			0.7358	-	-	0.9824	48.88
8	113			1.0	-	-	1.1999	59.71



地基計算

- **7. 整体大面积基础的变形计算**
- 在目前的结构设计中，一般不计算建筑物在施工和使用过程中产生的地基变形所引起的结构附加应力。实际上，上部结构与地基基础在荷载作用下产生变形的过程是作为一个整体，其各个部分是相互影响，相互制约的。适当增加基础刚度可以调整不均匀沉降，并减小上部结构中的附加应力。因之，在同一整体大面积基础上建有多栋高层和底层建筑，应该按照上部结构、基础和地基的共同作用，做沉降和差异沉降计算分析，进行整体设计。力求在规范允许的范围内，达到设计既经济又合理的目的。



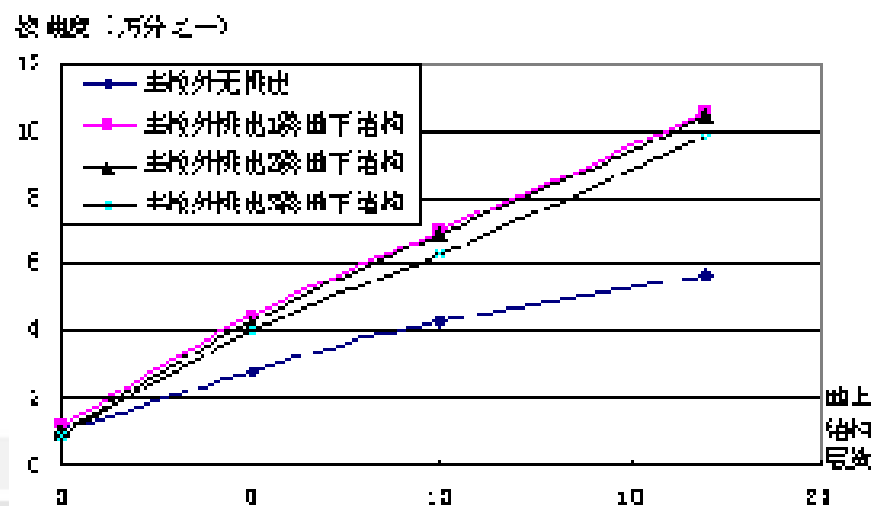
地基計算

- 5.3.12 在同一整體大面積基礎上建有多棟高層和低層建築，宜考慮上部結構、基礎與地基的共同作用進行變形計算。

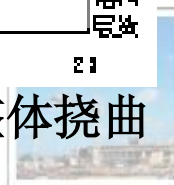


地基计算

- 中国建筑科学研究院通过十余组大比尺模型试验和三十余项工程测试，得到大底盘高层建筑地基反力、地基变形的规律，提出该类建筑地基基础设计方法。
- 大底盘高层建筑由于外挑裙楼和地下结构的存在，使高层建筑地基基础变形由刚性、半刚性向柔性转化，基础挠曲度增加，设计时应加以控制。

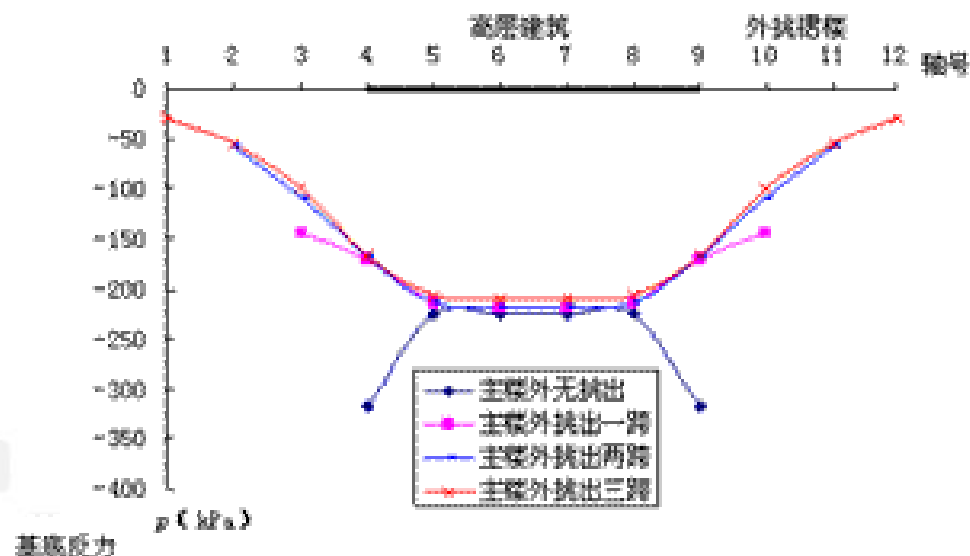


大底盘高层建筑与单体高层建筑的整体挠曲
(框架结构, 2层地下结构)



地基計算

- 主樓外挑出的地下結構可以分担主樓的荷載，降低了整個基礎範圍內的平均基底壓力，使主樓外有挑出時的平均沉降量減小。
- 裙房擴散主樓荷載的能力是有限的，主樓荷載的有效傳遞範圍是主樓外1~2跨。超過3跨，主樓荷載將不能通過裙房有效擴散。



大底盘高层建筑与单体高层建筑的基底反力
(内筒外框结构20层, 2层地下结构)





地基計算

- 单体高层建筑的地基承载力在基础刚度满足规范条件时可按平均基底压力验算，角柱、边柱构件设计可按内力计算值放大1.2或1.1倍设计；大底盘地下结构的地基反力在高层内筒部位与单体高层建筑内筒部位地基反力接近，是平均基底压力的0.7~0.8倍，且高层部位的边缘反力无单体高层建筑的放大现象，可按此地基反力进行地基承载力验算；角柱、边柱构件设计内力计算值无需放大，但外挑一跨的框架梁、柱内力较不整体连接的情况要大，设计时应予以加强。
- 增加基础底板刚度、楼板厚度或地基刚度可有效减少大底盘结构基础的差异沉降。
- 试验证明大底盘结构基础底板出现弯曲裂缝的基础挠曲度在0.5‰~1‰之间。工程设计时，大面积整体筏形基础主楼的整体挠度不宜大于0.5‰，主楼与相邻的裙楼的差异沉降不大于其跨度1‰可保证基础结构安全。



8. 地基整体稳定性计算

- 圆弧滑动法----瑞典圆弧法
- 安全系数与计算方法的一致性

地基計算

- **9. 基础抗浮稳定性**
- 随着大规模现代化建设的发展，充分利用土地资源，开发地下空间已成为基础部分首要考虑的问题。建筑基础埋深越来越大，地下车库、地下商场等地下结构越来越多，由于地下水浮力引起的工程事故时有发生，建（构）筑物的抗浮问题越来越突出。
- 对于**简单的浮力作用情况**，基础浮力作用可采用阿基米德原理计算。
- 抗浮稳定性不满足设计要求时，可采用增加压重或设置抗浮构件等措施。在整体满足抗浮稳定性要求而局部不满足时，也可采用增加结构刚度的措施。



地基計算

- 5.4.3 建築物基礎存在浮力作用時應進行抗浮穩定性驗算，並应符合下列規定：
- 1 對於簡單的浮力作用情況，基礎抗浮穩定性应符合下式要求：

$$\frac{G_k}{N_{w,k}} \geq K_w \quad (5.4.3)$$

- 式中： G_k ——建築物自重及壓重之和（kN）；
- $N_{w,k}$ ——浮力作用值（kN）；
- K_w ——抗浮穩定安全係數，一般情況下可取1.05。
- 2 抗浮穩定性不滿足設計要求時，可採用增加壓重或設置抗浮構件等措施。在整體滿足抗浮穩定性要求而局部不滿足時，也可採用增加結構剛度的措施。





地基计算

- 抗浮设防水位是很重要的设计参数，影响因素众多，不仅与气候、水文地质等自然因素有关，有时还涉及地下水开采、上下游水量调配、跨流域调水和大量地下工程建设等复杂因素。对情况复杂的重要工程，要在勘察期间预测建筑物使用期间水位可能发生的变化和最高水位有时相当困难。故现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021规定，对情况复杂的重要工程，需论证使用期间水位变化和需提出抗浮设防水位时，应进行专门研究。
- 采用增加压重的措施，可直接按式（5.4.3）验算。采用抗浮构件（例如抗拔桩）等措施时，由于其产生抗拔力伴随位移发生，过大的位移量对基础结构是不允许的，抗拔力取值应满足位移控制条件。采用本规范附录T的方法确定的抗拔桩抗拔承载力特征值进行设计对大部分工程可满足要求，对变形要求严格的工程还应进行变形计算。



山区地基

- **1. 山区地基设计应考虑的因素**
- 山区（包括丘陵地带）在我国分布很广，其气候多变，地形、地貌复杂，故其工程地质条件和水文地质条件亦很复杂，在山区进行工程建设，选择适宜的建设场地和建筑物地基尤为重要。
- 山区各种不良地质现象，对工程建设危害性大。以往在建设过程中由于对不良地质现象缺乏认识，工程建成后，有的被迫迁移，有的长期治理，给国家和人民造成巨大损失。
- 山区地基设计应重视潜在的地质灾害对建筑安全的影响，国内已发生几起滑坡引起的房屋倒塌事故，必须引起重视。





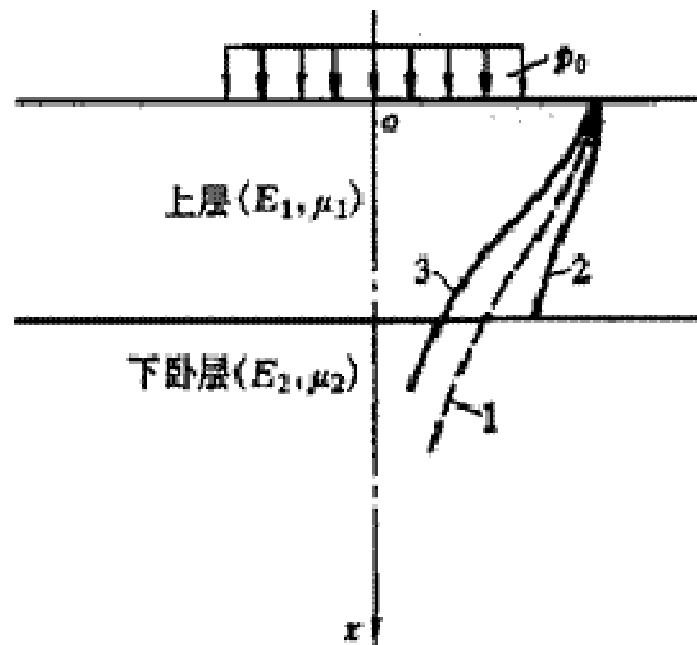
山区地基

- 6. 1. 1 山区（包括丘陵地带）地基的设计，应对下列设计条件分析认定：
 - 1 建设场区内，在自然条件下，有无滑坡现象，有无影响场地稳定性的断层、破碎带；
 - 2 在建设场地周围，有无不稳定的边坡；
 - 3 施工过程中，因挖方、填方、堆载和卸载等对山坡稳定性的影响；
 - 4 地基内岩石厚度及空间分布情况、基岩面的起伏情况、有无影响地基稳定性的临空面；
 - 5 建筑地基的不均匀性；
 - 6 岩溶、土洞的发育程度，有无采空区；
 - 7 出现危岩崩塌、泥石流等不良地质现象的可能性；
 - 8 地面水、地下水对建筑地基和建设场区的影响。



山区地基

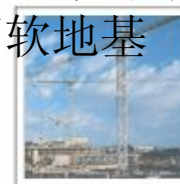
- **2. 土岩组合地基**
- 土岩组合地基是山区常见的地基形式之一，其主要特点是不均匀变形。当地基受力范围内存在刚性下卧层时，会使上覆土体中出现应力集中现象，从而引起土层变形增大。本次规范修订增加考虑刚性下卧层计算地基变形的一种简便方法，即先按一般土质地基计算变形，然后按本条所列的变形增大系数进行修正。



双层地基竖向附加应力分布的比较

1- 均质土地基； 2- 上软下硬地基；

3- 上硬下软地基

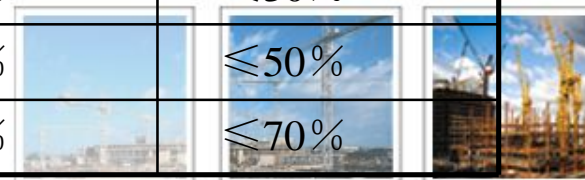


山区地基

- 6.2.2 当地基中下卧基岩面为单向倾斜、岩面坡度大于10%，基底下的土层厚度大于1.5m时，应按下列规定进行设计：（共3款）
 - 1 当结构类型和地质条件符合表6.2.2-1的要求时，可不作地基变形验算。

• 表6.2.2-1 下卧基岩表面允许坡度值

地基土承载力特征值 f_{ak} (kPa)	四层及四层以下的砌体承重结构，三层及三层以下的框架结构	具有150kN和150kN以下吊车的一般单层排架结构	
		带墙的边柱和山墙	无墙的中柱
≥ 150	$\leq 15\%$	$\leq 15\%$	$\leq 30\%$
≥ 200	$\leq 25\%$	$\leq 30\%$	$\leq 50\%$
≥ 300	$\leq 40\%$	$\leq 50\%$	$\leq 70\%$



山区地基

- 不满足上述条件时，应考虑刚性下卧层的影响，按下列公式计算地基的变形：

$$s_{gz} = \beta_{gz} s_z \quad (6.2.2)$$

- 式中： s_{gz} ——具刚性下卧层时，地基土的变形计算值（m）；
- β_{gz} ——刚性下卧层对上覆土层的变形增大系数，按表6.2.2-2采用；
- s_z ——变形计算深度相当于实际土层厚度按第5.3.5条计算确定的地基最终变形计算值（m）。



山区地基

- 表6.2.2-2 具有刚性下卧层时地基变形增大系数 β_{gz}

h/b	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
β_{gz}	1.26	1.17	1.12	1.09	1.00

- 注： h —基底下土层厚度； b —基础底面宽度。
- 2 在岩土界面上存在软弱层（如泥化带）时，应验算地基的整体稳定性。
- 3 当土岩组合地基位于山间坡地、山麓洼地或冲沟地带，存在局部软弱土层时，应验算软弱下卧层的强度及不均匀变形。





山区地基

• 3. 压实填土地基

- 近几年城市建设高速发展，在新城区的建设过程中，形成了大量的填土场地，但多数情况是未经填方设计，直接将开山的岩屑倾倒入填筑到沟谷地带的填土。当利用其作为建筑物地基时，应进行详细的工程地质勘察工作，按照设计的具体要求，选择合适的地基方法进行处理。**不允许对未经检验查明的以及不符合要求的填土作为建筑工程的地基持力层。**
- 为节约用地，少占或不占良田，在平原、山区和丘陵地带的建设中，已广泛利用填土作为建筑或其它工程的地基持力层。填土工程设计是一项很重要的工作，只有在精心设计、精心施工的条件下，才能获得高质量的填土地基。
- 有机质的成分很不稳定且不易压实，其土料中含量大于5%时不能作为填土的填料。





山区地基

- **6. 3. 1** 当利用压实填土作为建筑工程的地基持力层时，在平整场地前，应根据结构类型、填料性能和现场条件等，对拟压实的填土提出质量要求。未经检验查明以及不符合质量要求的压实填土，均不得作为建筑工程的地基持力层。
- **6. 3. 2** 当利用未经填方设计处理形成的填土作为建筑物地基时，应查明填料成份与来源，填土的分布、厚度、均匀性、密实度与压缩性以及填土的堆积年限等情况，根据建筑物的重要性、上部结构类型、荷载性质与大小、现场条件等因素，选择合适的地基处理方法，并提出填土地基处理的质量要求与检验方法。



山区地基

- **4. 滑坡防治**

- 滑坡是山区建设中常见的不良地质现象，有的滑坡是在自然条件下产生的，有的是在工程活动影响下产生的。滑坡对工程建设危害极大，山区建设对滑坡问题必须重视。

-

- **6. 4. 1 在建设场区内，由于施工或其他因素的影响有可能形成滑坡的地段，必须采取可靠的预防措施。对具有发展趋势并威胁建筑物安全使用的滑坡，应及早采取综合整治措施，防止滑坡继续发展。**



山区地基

- **5. 岩石地基**
- **6.5.1 岩石地基基础设计应符合下列要求：（共7款）**
- 1 置于完整、较完整、较破碎岩石上的地基上的建筑物地基可仅进行地基承载力计算；
- 2 地基基础设计等级为甲、乙级的建筑物，同一建筑物的地基存在坚硬程度不同，两种或多种岩体变形模量差异达2倍及2倍以上，应进行地基变形验算；
- 3 地基主要受力层深度内存在软弱下卧岩层时，应考虑软弱下卧岩层的影响进行地基稳定性验算；
- 4 桩孔、基底和基坑边坡开挖应控制爆破。到达持力层后，对软岩、极软岩表面应及时封闭保护；





山区地基

- 5 当基岩面起伏较大，且都使用岩石地基时，同一建筑物可以使用多种基础形式；
- 6 当基础附近有临空面时，应验算向临空面倾覆和滑移稳定性。存在不稳定的临空面时，应将基础埋深加大至下伏稳定基岩；亦可在基础底部设置锚杆，锚杆应进入下伏稳定岩体，并满足抗倾覆和抗滑移要求。同一基础的地基可以放阶处理，但应满足抗倾覆和抗滑移要求；
- 7 对于风化裂隙发育、破碎程度较高的不稳定岩体，可采用注浆加固和清爆填塞等措施。
- 6.5.2 对遇水易软化和膨胀、曝露后易崩解的岩石，应采取有效保护措施减少其对岩体承载力的影响。



山区地基

- 由于岩石地基刚度大，故同一建筑物中允许使用多种基础形式，如桩基与独立基础并用，条形基础、独立基础与桩基础并用等。
- 在满足抗滑移要求的前提下，岩石地基上的基础可以尽量浅埋。
- 为确保建筑物的安全，应高度重视岩体的结构面与临空面的位置关系以及岩体中是否存在的地应力，以判定岩石地基的稳定程度。





山区地基

- 对于遇水易软化或膨胀、暴露后易崩解的软岩、极软岩等岩石，开挖至持力层后应采取封闭等有效保护措施以减少其对岩体承载力的影响。
- 由于一般岩石地基的强度都很高，桩孔、基底和基坑边坡开挖较困难，进行爆破作业时应选择合理的爆破方式，控制爆破药量，减少对地基岩体的破损以及对基坑边坡稳定造成影响。



山区地基

- **6. 岩溶发育程度分级**
- 由于岩溶发育具有严重的不均匀性，为区别对待不同岩溶发育程度场地上的地基基础设计，将岩溶场地划分为岩溶强发育、中等发育和微发育三个等级，用以指导勘察、设计、施工。
- 由于一个建筑场地常常有较大的占地面积，基岩面相对高差就整个场地而言可能较大，但就局部来看，对地基稳定性并不构成影响，故基岩面相对高差以相邻钻孔的高差确定更加合理。



山区地基

- 6.6.2 岩溶场地可根据岩溶发育程度划分为三个等级，设计时应根据具体情况，按表6.6.2选用。

岩溶发育程度

等级	岩溶场地条件
岩溶强发育	地表有较多岩溶塌陷、漏斗、洼地、泉眼 溶沟、溶槽、石芽密布，相邻钻孔间存在临空面、且基岩面高差大于5m 地下有暗河、伏流 钻孔见洞隙率大于30%或线岩溶率大于20% 溶槽或串珠状竖向溶洞发育深度达20m以上
岩溶中等发育	介于强发育和微发育之间
岩溶微发育	地表无岩溶塌陷、漏斗 溶沟、溶槽较发育 相邻钻孔间存在临空面、且基岩面相对高差小于2m 钻孔见洞隙率小于10%或线岩溶率小于5%





山区地基

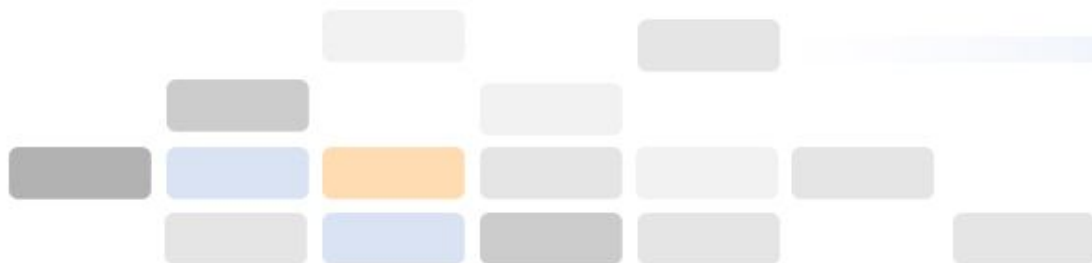
• 7. 岩溶地区建筑的选址

- 在选址和初勘阶段，一般侧重查明岩溶的发育规律、分布特征及稳定程度，对场地的岩土工程条件进行评价。根据建筑场地形成岩溶的岩性和水的运动规律，结合岩溶地区的地貌、地质构造、岩溶发育过程以及岩溶的分布等进行综合分析。在拟建场地范围内，按岩溶的发育程度在平面上划分出有无影响场地稳定性的地段，作为选择建筑场地和总图布置的依据。
- 地基基础设计等级为甲、乙级的建筑物主体宜避开岩溶强发育地段。
- 存在6.6.4条情况之一且未经处理的场地，不应作为建筑物地基。



山区地基

- 6.6.3 地基基础设计等级为甲、乙级的建筑物主体宜避开岩溶强发育地段。
- 6.6.4 存在下列情况之一且未经处理的场地，不应作为建筑物地基：
 - 1 浅层溶洞成群分布，洞径大，且不稳定的地段；
 - 2 漏斗、溶槽等埋藏浅，其中充填物为软弱土体；
 - 3 土洞或塌陷等岩溶强发育的地段；
 - 4 岩溶水排泄不畅，有可能造成场地暂时淹没的地段。



山区地基

• 8. 岩溶地基稳定性评价

- 详勘阶段，主要针对具体建筑物下及其附近地段对稳定性有影响的个体岩溶形态进行评价，依据评价结论确定是否需要工程处理。由于影响岩溶稳定性的因素很多，现行勘探手段一般难以完全查明岩溶特征和围岩的边界条件，目前对岩溶稳定性的评价，仍然是以定性和经验为主。定量评价仍处于探索阶段。
- 定性评价主要分析岩溶形态及各种地质条件，并考虑建筑物的荷载影响判定其稳定性。若为溶洞，则应了解洞体大小、顶板厚度和形状，顶板岩体的强度、结构面的特征，研究洞体内充填情况以及水的活动等因素，并结合洞体的埋深、上覆土层的厚度，建筑物的基础形式、荷载分布情况进行综合分析。定性评价主要依据类似工程经验进行比拟。



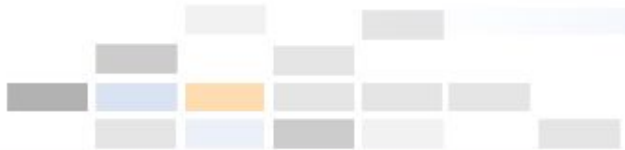
地基处理的基本特性

- 1. 处理后的地基，其承载力和变形的测试指标与天然地基基本一致时，长期荷载作用的变形比天然地基要大；
- 2. 由于土的成因或历史不同，相同的天然地基土性指标，采用相同的地基处理工艺，处理后的地基性状不近相同，可能存在较大差异；
- 3. 采用多种地基处理方法综合使用，其最终结果不一定是“1+1”；
- 4. 地基处理的效果，在竖向承载力、变形的检验结果满足设计要求时，工程不一定不存在问题，平面或竖向的不均匀也可能引起建筑物开裂等问题，检测技术的局限性可能使工程存在某些隐患；
- 5. 地基处理工艺较成熟，不同的施工队伍的施工质量不尽相同；



地基處理的基本概念

- 處理後的地基應進行：
 - 1. 地基承載力和變形評價；
 - 2. 處理範圍和有效加固深度內地基均勻性評價；
 - 3. 複合地基增強體的成樁質量和承載力評價。



软弱地基

- 1. 复合地基设计的基本原则
- 复合地基是指由地基土和竖向增强体（桩）组成、共同承担荷载的人工地基。复合地基按增强体材料可分为刚性桩复合地基、粘结材料桩复合地基和无粘结材料桩复合地基。
- 当地基土为欠固结土、膨胀土、湿陷性黄土、可液化土等特殊土时，设计时应综合考虑土体的特殊性质，选用适当的增强体和施工工艺，以保证处理后的地基土和增强体共同承担荷载。



软弱地基

- **7. 2. 7** 复合地基设计应满足建筑物承载力和变形要求。当地基土为欠固结土、膨胀土、湿陷性黄土、可液化土等特殊土时，设计采用的增强体和施工工艺应满足处理后地基土和增强体共同承担荷载的技术要求。



软弱地基

• 2. 复合地基的承载力

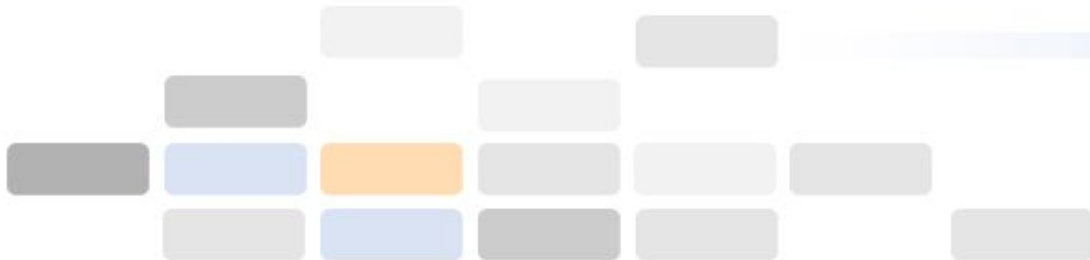
- 复合地基的承载力特征值应通过载荷试验确定。可直接通过复合地基载荷试验确定，或通过增强体载荷试验结合土的承载力特征值和地区经验确定。
- 桩体强度较高的增强体，可以将荷载传递到桩端土层。当桩长较长时，由于单桩复合地基载荷试验的荷载板宽度较小，不能全面反映复合地基的承载特性。因此单纯采用单桩复合地基载荷试验的结果确定复合地基承载力特征值，可能由于试验的荷载板面积或由于褥垫层厚度对复合地基载荷试验结果产生影响。必要时应进行多桩复合地基载荷试验确定。有地区经验时也可采用单桩载荷试验结果和其周边土承载力特征值结合经验确定。
- 复合地基的承载力计算应同时满足轴心荷载和偏心荷载作用的要求。





软弱地基

- **7. 2. 8** 复合地基承载力特征值应通过现场复合地基载荷试验确定，或采用增强体载荷试验结果和其周边土的承载力特征值结合经验确定。
- **7.2.9** 复合地基基础底面的压力除应满足本规范公式（**5.2.1-1**）的要求外，还应满足本规范公式（**5.2.1-2**）的要求。

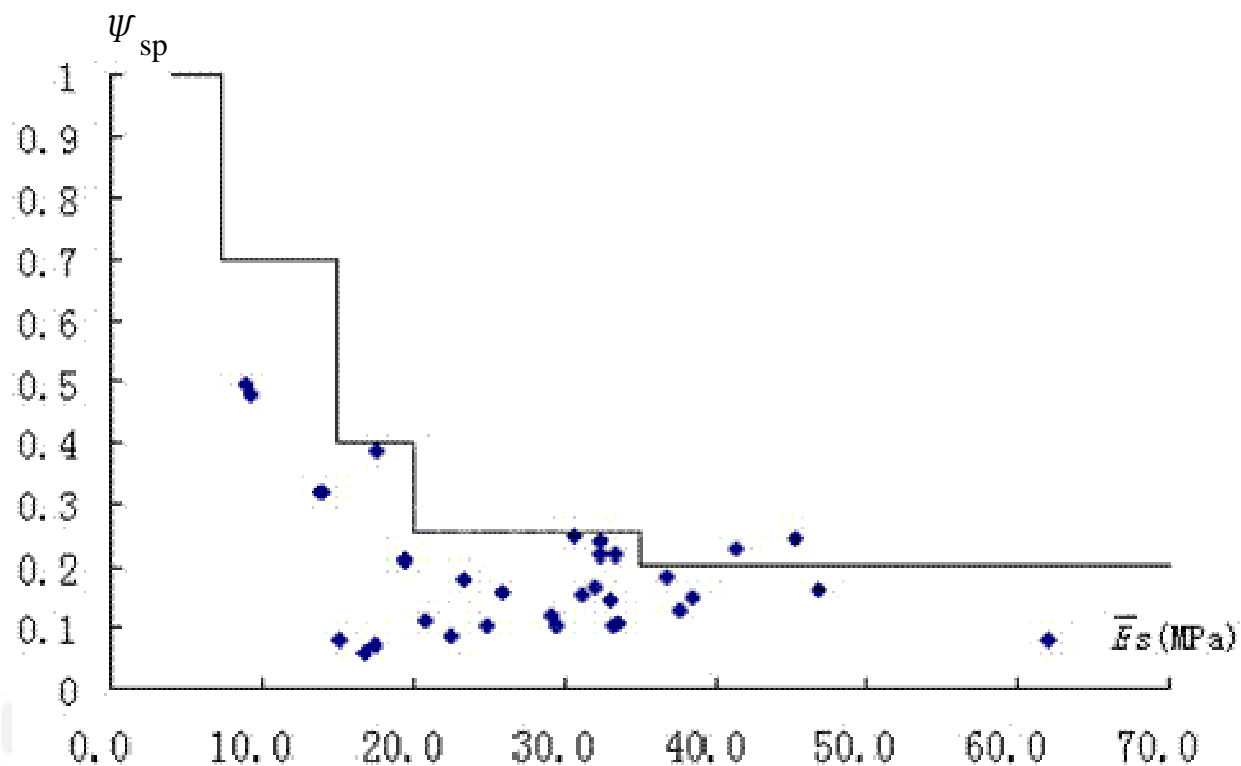


软弱地基

- **3. 复合地基的变形计算**
- 复合地基的地基计算变形量可采用单向压缩分层总和法按本规范第5.3.5条至第5.3.8条有关的公式计算，加固区土层的模量取桩土复合模量。
- 由于采用复合地基的建筑物沉降观测资料较少，一直沿用天然地基的沉降计算经验系数。各地使用对复合土层模量较低时符合性较好，对于承载力提高幅度较大的刚性桩复合地基出现计算值小于实测值的现象。本次规范修订通过对收集到的全国**31**个**CFG**桩复合地基工程沉降观测资料分析，得出地基的沉降计算经验系数与沉降计算深度范围内压缩模量当量值的关系，本次修订对于当量模量大于**15MPa**的沉降计算经验系数进行了调整。



软弱地基



沉降计算经验系数与当量模量的关系





软弱地基

- 7.2.10复合地基的最终沉降量可按式（7.2.10）计算：

- $$s = \psi_{sp} s' \quad (7.2.10)$$

- 式中： s ——复合地基最终变形沉降量（mm）；
- ψ_{sp} ——复合地基沉降计算经验系数，根据地区沉降观测资料经验确定，无地区经验时可根据变形计算深度范围内压缩模量的当量值按表7.2.10取值；
- s' ——复合地基计算变形量（mm），可按本规范公式（5.3.5）计算。加固土层的压缩模量可取复合土层的压缩模量，可按本规范第7.2.12条确定；地基变形计算深度应大于加固土层的厚度，并应符合本规范第5.3.7条的规定。



软弱地基

- 表7.2.10 复合地基沉降计算经验系数

\bar{E}_s (MPa)	4.0	7.0	15.0	30.0	35.0
y_{sp}	1.0	0.7	0.4	0.25	0.2

- 7.2.11 变形计算深度范围内压缩模量的当量值，应按下式计算：

$$\bar{E}_s = \frac{\sum A_i + \sum A_j}{\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{E_{spi}} + \sum_{j=1}^m \frac{A_j}{E_{sj}}} \quad (7.2.11)$$

- 式中： E_{spi} ——第*i*层复合土层的压缩模量（MPa）；
- E_{sj} ——加固土层以下的第*j*层土的压缩模量（MPa）。





基础

• 1. 扩展基础的构造要求

- 扩展基础系指柱下钢筋混凝土独立基础和墙下钢筋混凝土条形基础。
- 由于基础底板中垂直于受力钢筋的另一个方向的配筋具有分散部分荷载的作用，有利于底板内力重分布，因此各国规范中基础板的最小配筋率都小于梁的最小配筋率。美国ACI318规范中基础板的最小配筋率是按温度和混凝土收缩的要求规定为0.2% ($f_{yk}=275\sim345\text{MPa}$)和0.18% ($f_{yk}=415\text{MPa}$)；英国标准BS8110规定板的两个方向的最小配筋率：低碳钢为0.24%，合金钢为0.13%；英国规范CP110规定板的受力钢筋和次要钢筋的最小配筋率：低碳钢为0.25%和0.15%，合金钢为0.15%和0.12%。



基础

- 我国《混凝土结构设计规范》规定对卧置于地基上的混凝土板受拉钢筋的最小配筋率不应小于0.15%。
- 本规范此次修订，明确了柱下独立基础的受力钢筋最小配筋率为0.15%，此要求低于美国规范，与我国《混凝土结构设计规范》对卧置于地基上的混凝土板受拉钢筋的最小配筋率以及英国规范对合金钢的最小配筋率要求相一致。
- 为减小混凝土收缩产生的裂缝，提高条形基础对不均匀地基土适应能力，本次修订适当加大了分布钢筋的配筋量，条形基础每延米分布钢筋的面积由原先规定不小于受力钢筋面积的1/10修订为不小于受力钢筋面积的15%。



基 础

- **8.2.2** 扩展基础的构造，应符合下列要求：
 - **1** 锥形基础的边缘高度不宜小于200mm，且两个方向的坡度不宜大于1:3；阶梯形基础的每阶高度，宜为300mm~500mm；
 - **2** 垫层的厚度不宜小于70mm，垫层混凝土强度等级不宜低于C10；
 - **3** 扩展基础受力钢筋最小配筋率不应小于0.15%，底板受力钢筋的最小直径不宜小于10mm，间距不宜大于200mm，也不宜小于100mm。墙下钢筋混凝土条形基础纵向分布钢筋的直径不小于8mm；间距不大于300mm；每延米分布钢筋的面积应不小于受力钢筋面积的15%。当有垫层时钢筋保护层的厚度不小于40mm；无垫层时不小于70mm；
 - **4** 混凝土强度等级不应低于C20；
 - **5** 当柱下钢筋混凝土独立基础的边长和墙下钢筋混凝土条形基础的宽度大于或等于2.5m时，底板受力钢筋的长度可取边长或宽度的0.9倍，并宜交错布置(图8.2.2a)；
 - **6** 钢筋混凝土条形基础底板在T形及十字形交接处，底板横向受力钢筋仅沿一个主要受力方向通长布置，另一方向的横向受力钢筋可布置到主要受力方向底板宽度1/4处(图8.2.2b)。在拐角处底板横向受力钢筋应沿两个方向布置(图8.2.2b)。

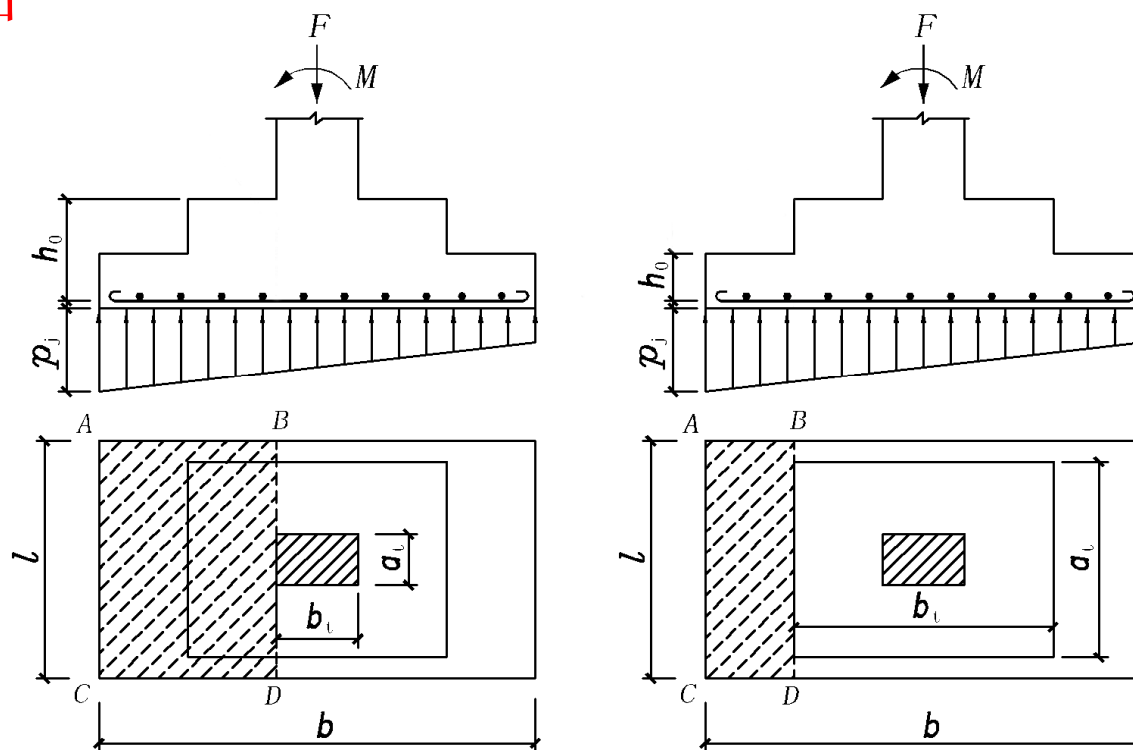


基础

- 2. 扩展基础的设计内容
- 扩展基础的设计内容：受冲切承载力计算、受剪切承载力计算、抗弯计算、受压承载力计算。
- 8.2.7 扩展基础的计算应符合下列规定：
 - 1 对柱下独立基础，当冲切破坏锥体落在基础底面以内时，应验算柱与基础交接处以及基础变阶处的**受冲切承载力**；
 - 2 对基础底面短边尺寸小于或等于柱宽加两倍基础有效高度的柱下独立基础，以及墙下条形基础，应验算柱（墙）与基础交接处的基础**受剪切承载力**；
 - 3 基础底板的配筋，应按抗弯计算确定；
 - 4 当基础的混凝土强度等级小于柱的混凝土强度等级时，尚应验算柱下基础顶面的局部受压承载力。

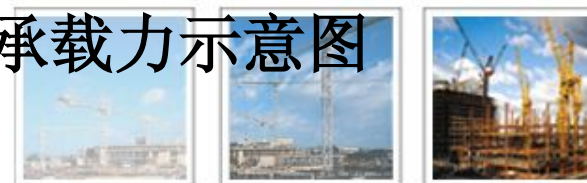


基础

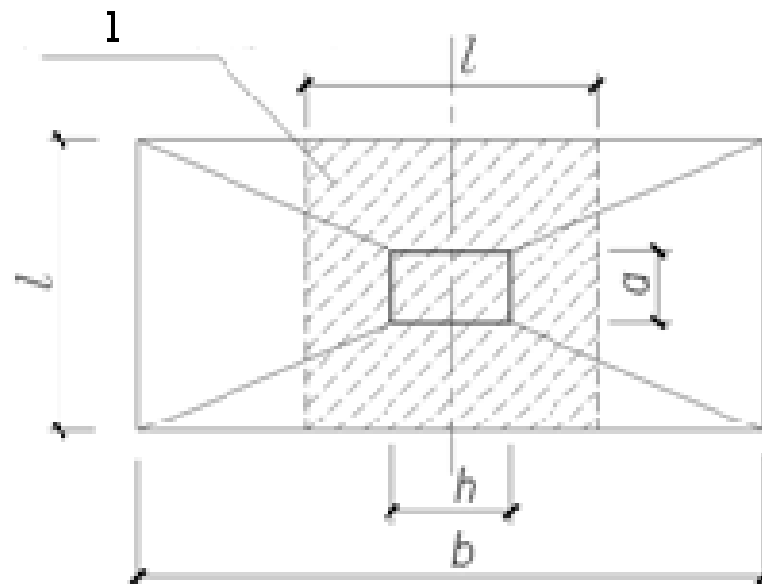


- (a) 柱与基础交接处 (b) 基础变阶处

• 图8.2.10 验算阶形基础受剪切承载力示意图

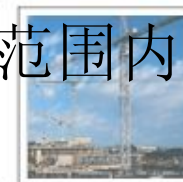


基础



• 图8.2.13 基础底板短向钢筋布置示意图

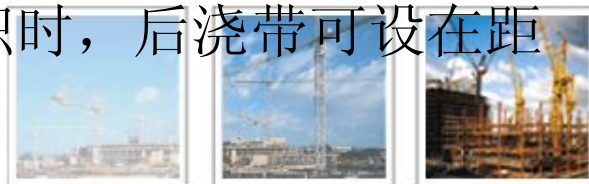
- 1- λ 倍短向全部钢筋面积均匀配置在阴影范围内



基础

• 3. 主裙楼的连接问题

- 当高层建筑筏形基础与相连的裙房基础之间是否设置沉降缝应通过计算确定。当设置沉降缝时，高层建筑的基础埋深应大于裙房基础埋深至少2m，沉降缝地面以下应用粗砂填实，以保证高层建筑基础具有可靠的侧向约束和地基的稳定性。
- 当高层建筑筏形基础与相连的裙房基础之间不设置沉降缝时，宜在裙房一侧设置用于控制沉降差的后浇带，以解决施工阶段的差异沉降问题。后浇带的位置应根据高层建筑基础是否满足地基承载力和变形要求而定。当高层建筑基础面积满足地基承载力和变形要求时，后浇带的位置宜设在距主楼边柱的第一跨内。当需要满足高层建筑地基承载力、降低高层建筑沉降量,减小高层建筑与裙房间的沉降差而增大高层建筑基础面积时，后浇带可设在距主楼边柱的第二跨内。





基础

- 中国建筑科学研究院地基所对塔裙一体大底盘平板式筏形基础进行的室内模型系列试验，以及实际工程的原位沉降观测结果表明：厚筏基础（厚跨比不小于 $1/6$ ）具备扩散主楼荷载的作用，扩散范围与相邻裙房地下室的层数、间距以及筏板的厚度有关。
- 当高层建筑与相连的裙房之间不设沉降缝和后浇带时，与高层建筑紧邻的裙房基础下的地基反力相对较大，该范围内的裙房基础板厚度突然减小过多时，有可能出现基础板的截面因承载力不够而发生破坏或其因变形过大出现裂缝。因此高层建筑与相连的裙房之间不设沉降缝和后浇带时，高层建筑及与其紧邻一跨裙房的筏板应采用相同厚度，裙房筏板的厚度宜从第二跨裙房开始逐渐变化，并应同时满足主、裙楼基础整体性和基础板的变形要求；此外，应进行地基变形和基础内力的验算，验算时应分析地基与结构间变形的相互影响，并采取有效措施防止产生有不利影响的过大差异沉降。





基础

- 当不允许设置沉降缝时，经地基变形验算的差异沉降不能满足要求，应采取相应的有效措施，如在高层建筑基础下设置以控制沉降为目的桩基。此外，为减小因不设缝带来的沉降差对裙房的影响，与高层建筑相连的上部结构框架梁，其节点可设计成具有较好变形能力的半刚接或铰接节点。



基础

- **8.4.20** 带裙房的高层建筑筏形基础应符合下列规定：（共3款）
- **1** 当高层建筑与相连的裙房之间设置沉降缝时，高层建筑的基础埋深应大于裙房基础的埋深至少2m。地面以下沉降缝的缝隙应用粗砂填实(图8.4.20a)；

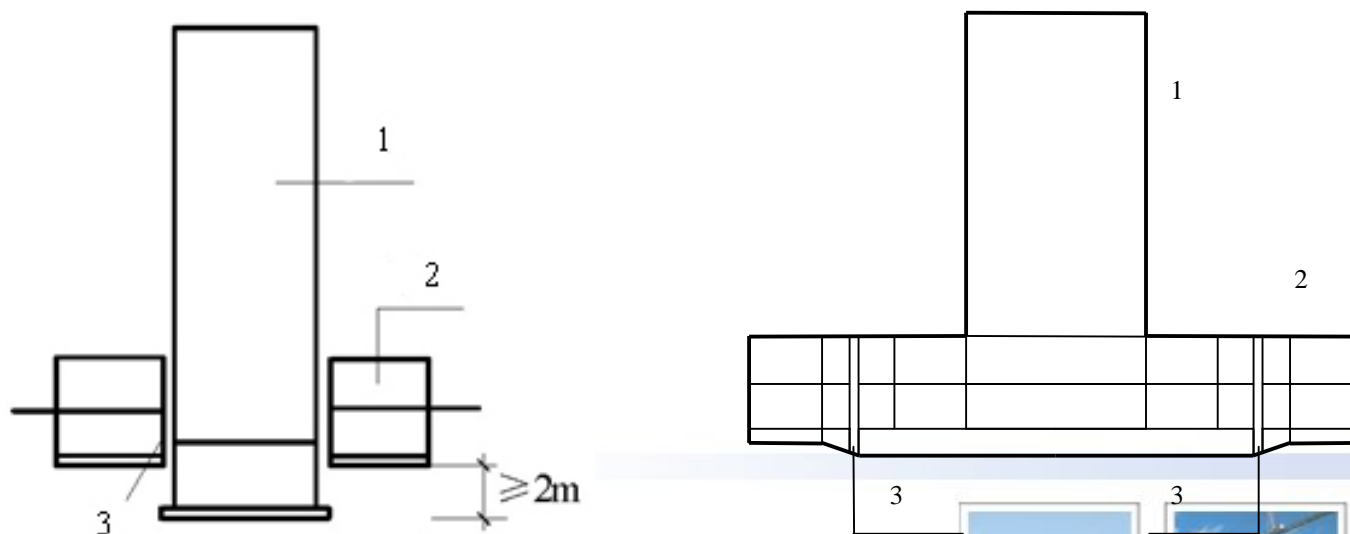
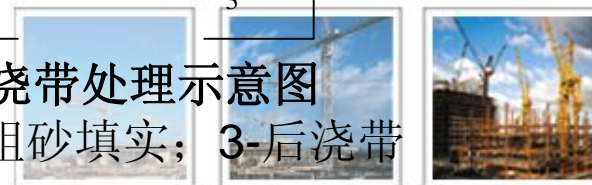


图8.4.20 高层建筑与裙房间的沉降缝、后浇带处理示意图
1-高层；2-裙房及地下室；3-室外地坪以下用粗砂填实；3-后浇带





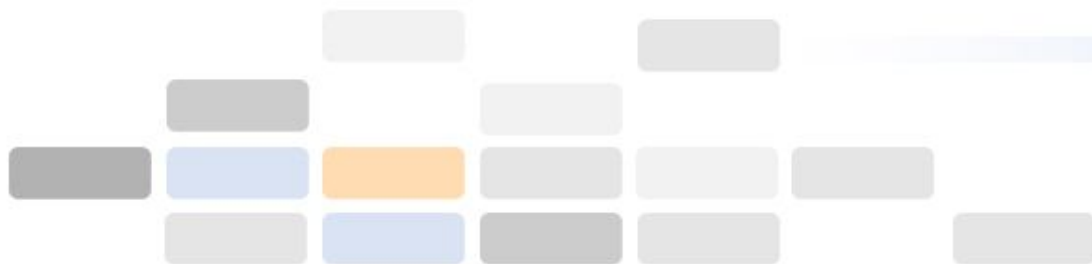
基础

- **2** 当高层建筑与相连的裙房之间不设置沉降缝时，宜在裙房一侧设置用于控制沉降差的后浇带，当沉降实测值和计算确定的后期沉降差满足设计要求后，方可进行后浇带混凝土浇筑。当高层建筑基础面积满足地基承载力和变形要求时，后浇带宜设在与高层建筑相邻裙房的第一跨内。当需要满足高层建筑地基承载力、降低高层建筑沉降量，减小高层建筑与裙房间的沉降差而增大高层建筑基础面积时，后浇带可设在距主楼边柱的第二跨内，此时应满足以下条件：
 - 1) 地基土质较均匀；
 - 2) 裙房结构刚度较好且基础以上的地下室和裙房结构层数不少于两层；
 - 3) 后浇带一侧与主楼连接的裙房基础底板厚度与高层建筑的基础底板厚度相同(图8.4.20b)。



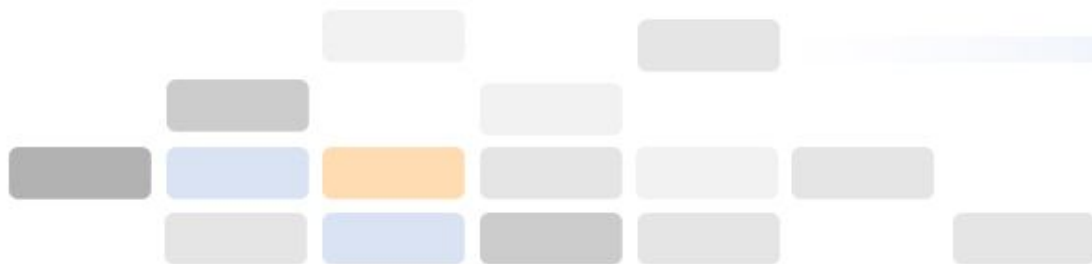
基础

- 3 当高层建筑与相连的裙房之间不设沉降缝和后浇带时，高层建筑及与其紧邻一跨裙房的筏板应采用相同厚度，裙房筏板的厚度宜从第二跨裙房开始逐渐变化，应同时满足主、裙楼基础整体性和基础板的变形要求；应进行地基变形和基础内力的验算，验算时应分析地基与结构间变形的相互影响，并采取有效措施防止产生有不利影响的差异沉降。



基础

- **4. 大面积整体筏形基础的共同作用分析**
- 室内模型试验和工程沉降观察以及反算结果表明，在同一大面积整体筏形基础上有多幢高层和低层建筑时，筏形基础的结构分析宜考虑上部结构、基础与地基土的共同作用，否则将得到与沉降测试结果不符的较小的基础边缘沉降值和较大的基础挠曲度。
- **8.4.21** 在同一大面积整体筏形基础上建有多幢高层和低层建筑时，筏板厚度和配筋宜按上部结构、基础与地基土的共同作用的基础变形和基底反力计算确定。





基础

• 5. 大面积整体筏形基础的变形控制

- 高层建筑基础不但应满足强度要求，而且应有足够的刚度，方可保证上部结构的安全。本规范基础挠曲度 Δ/L 的定义为：基础两端沉降的平均值和基础中间最大沉降的差值与基础两端之间距离的比值。本条款给出的基础挠曲 $\Delta/L = 0.5\%$ 限值，是基于中国建筑科学研究院地基所室内模型系列试验和大量工程实测分析得到的。试验结果表明，模型的整体挠曲变形曲线呈盆形状，当 $\Delta/L > 0.7\%$ 时，筏板角部开始出现裂缝，随后底层边、角柱的根部内侧顺着基础整体挠曲方向出现裂缝。

- **8.4.22** 带裙房的高层建筑下的大面积整体筏形基础，其主楼下筏板的整体挠度值不宜大于 0.5% ，主楼与相邻的裙房柱的差异沉降不应大于其跨度的 1% 。



基础

- **6. 地下室楼板配筋应注意的问题**
- 中国建筑科学研究院地基所对大底盘框架-核芯筒结构筏板基础进行了室内模型试验，试验结果显示：
 - 1. 当筏板发生纵向挠曲时，在上部结构共同作用下，外扩裙房的角柱和边柱抑制了筏板纵向挠曲的发展，柱下筏板存在局部负弯矩，同时也使顺着基础整体挠曲方向的裙房底层边、角柱下端的内侧，以及底层边、角柱上端的外侧出现裂缝。
 - 2. 裙房的角柱内侧楼板出现弧形裂缝、顺着挠曲方向裙房的外柱内侧楼板以及主裙楼交界处的楼板均发生了裂缝，图48及图49为1层和2层楼板板面裂缝位置图。本条款的目的旨在从构造上加强此类楼板的薄弱环节。





基 础

- **8.4.23** 采用大面积整体筏形基础时，与主楼连接的外扩地下室其角隅处的楼板板角，除配置两个垂直方向的上部钢筋外，尚应布置斜向上部构造钢筋，钢筋直径不应小于10mm、间距不应大于200mm，该钢筋伸入板内的长度不宜小于1/4的短边跨度；与基础整体弯曲方向一致的垂直于外墙的楼板上部钢筋以及主裙楼交界处的楼板上部钢筋，钢筋直径不应小于10mm、间距不应大于200mm，且钢筋的面积不应小于现行国家标准《混凝土结构设计规范》中受弯构件的最小配筋率，钢筋的锚固长度不应小于30d。



基础

- 7. 基础对上部结构的嵌固
- 通常在设计中都假定上部结构嵌固在基础结构上，实际上这一假定只有在刚性地基的条件下才能实现。对绝大多数都属柔性地基的地基土而言，在水平力作用下结构底部以及地基都会出现转动，因此所谓嵌固实质上是指接近于固定的计算基面。
- 实测表明：地震作用下，四周与土壤接触的具有外墙的地下室其变形与刚体变形基本一致，那么在抗震设计中可假设地下结构为一刚体，上部结构嵌固在地下室的顶板上，而在嵌固部位处增加一个大小与柔性地基相同的转角。





基础

- 对有抗震设防要求的高层建筑基础和地下结构设计中的一个重要原则是，要求基础和地下室结构应具有足够的刚度和承载力，保证上部结构进入非弹性阶段时，基础和地下室结构始终能承受上部结构传来的荷载并将荷载安全传递到地基上。因此，当地下一层结构顶板作为上部结构的嵌固部位时，为避免塑性铰转移到地下一层结构，保证上部结构在地震作用下能实现预期的耗能机制，本规范规定了地下一层的层间侧向刚度大于或等于与其相连的上部结构楼层刚度的1.5倍。地下室的内、外墙与主楼剪力墙的间距符合条文中表8.4.25要求时，可将该范围内的地下室的内、墙的刚度计入地下室层间侧向刚度内，但该范围内的侧向刚度不能重叠使用于相邻建筑，6度区和非抗震设计的建筑物可参照表8.4.25中的7、8度区的要求适当放宽。





基础

- 当上部结构嵌固于地下一层结构顶板上时，为保证上部结构的地震等水平作用能有效通过楼板传递到地下室抗侧力构件中，地下一层结构顶板上开设洞口的面积不宜大于该层面积的**30%**；沿地下室外墙和内墙边缘的楼板不应有大洞口；地下一层结构顶板应采用梁板式楼盖；楼板的厚度、混凝土强度等级及配筋率不应过小。本规范提出地下一层结构顶板的厚度不应小于**180mm**的要求，不仅旨在保证楼板具有一定的传递水平作用的整体刚度，还旨在充分发挥其有效减小基础整体弯曲变形和基础内力的作用，使结构受力、变形更为合理、经济。试验和沉降观察结果的反演均显示了楼板参与工作后对降低基础整体挠曲度的贡献，基础整体挠曲度随着楼板厚度的增加而减小。
- 当不符合本条款要求时，建筑物的嵌固部位可设在筏基的顶部，此时宜考虑基侧土对地下室外墙和基底土对地下室底板的抗力。





基础

- **8.4.25** 采用筏形基础带地下室的高层和低层建筑、地下室四周外墙与土层紧密接触且土层为非松散填土、松散粉细砂土、软塑流塑粘性土，上部结构为框架、框剪或框架-核心筒结构，当地下一层结构顶板作为上部结构嵌固部位时，应符合下列规定：（共4款）
 - 1 地下一层的结构侧向刚度大于或等于与其相连的上部结构底层楼层侧向刚度的**1.5**倍；
 - 2 地下一层结构顶板应采用梁板式楼盖，板厚不应小于**180mm**，其混凝土强度等级不宜小于**C30**；楼面应采用双层双向配筋，且每层每个方向的配筋率不宜小于**0.25%**；
 - 3 地下室外墙和内墙边缘的板面不应有大洞口，以保证将上部结构的地震作用或水平力传递到地下室抗侧力构件中。





基础

• 8. 剪力墙底部加强

- 国内震害调查表明，唐山地震中绝大多数地面以上的工程均遭受严重破坏，而地下人防工程基本完好。这不仅仅由于地下室刚度和整体性一般较大，还由于土层深处的水平地震加速度一般比地面小，因此当结构嵌固在基础顶面时，剪力墙底部加强部位的高度应从地下室顶板算起，但地下部分也应作为加强部位。
- 国内震害还表明，个别与上部结构交接处的地下室柱头出现了局部压坏及剪坏现象。这表明了**在强震作用下，塑性铰的范围有向地下室发展的可能**。因此，与上部结构底层相邻的那一层地下室是设计中需要加强的部位。有关地下室的抗震等级、构件的截面设计以及抗震构造措施参照现行国家标准《建筑抗震规范》GB50011有关条款使用。



基 础

- **8.4.26** 地下室的抗震等级、构件的截面设计以及抗震构造措施应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》**GB50011**的有关规定。剪力墙底部加强部位的高度应从地下室顶板算起；当结构嵌固在基础顶面时，剪力墙底部加强部位的范围尚应延伸至基础顶面。



基础

- 9. 桩基设计内容
- 8.5.2 桩基设计应符合下列规定：（共12款）
- 1 所有桩基均应进行承载力和桩身强度计算。对预制桩，尚应进行运输、吊装和锤击等过程中的强度和抗裂验算；
- 2 桩基础沉降验算应符合本规范第8.5.15条的规定；
- 3 桩基础的抗震承载力验算应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011的有关规定；
- 4 桩基宜选用中、低压缩性土层作桩端持力层；



基础

- **5** 同一结构单元内的桩基，不宜选用压缩性差异较大的土层作桩端持力层，不宜采用部分摩擦桩和部分端承桩；
- 同一结构单元的桩基，由于采用压缩性差异较大的持力层或部分采用摩擦桩，部分采用端承桩，常引起较大不均匀沉降，导致建筑物构件开裂或建筑物倾斜；在地震荷载作用下，摩擦桩和端承桩的沉降不同，如果同一结构单元的桩基同时采用部分摩擦桩和部分端承桩，将导致结构产生较大的不均匀沉降。
- **6** 由于欠固结软土、湿陷性土和场地填土的固结，场地大面积堆载、降低地下水位等原因，引起桩周土的沉降大于桩的沉降时，应考虑桩侧负摩擦力对桩基承载力和沉降的影响；
- **7** 对位于坡地、岸边的桩基，应进行桩基的整体稳定验算。桩基应与边坡工程统一规划，同步设计；



基础

- **8** 岩溶地区的桩基，当岩溶上覆土层的稳定性有保证，且桩端持力层承载力及厚度满足要求，可利用上覆土层作为桩端持力层。当必须采用嵌岩桩时，应对岩溶进行施工勘察；
- 岩溶地区的嵌岩桩在成孔中常发生漏浆、塌孔和埋钻现象，给施工造成困难，因此应首先考虑利用上覆土层作为桩端持力层的可行性。利用上覆土层作为桩端持力层的条件是上覆土层必须是稳定的土层，其承载力及厚度应满足要求。上覆土层的稳定性的判定至关重要，在岩溶发育区，当基岩上覆土层为饱和砂类土时，应视为地面易塌陷区，不得作为建筑场地。必须用作建筑场地时，可采用嵌岩端承桩基础，同时采取勘探孔注浆等辅助措施。基岩面以上为粘性土层，粘性土有一定厚度且无土洞存在或可溶性岩面上有砂岩、泥岩等非可溶岩层时，上覆土层可视为稳定土层。当上覆粘性土在岩溶水上下交替变化作用下可能形成土洞时，上覆土层也应视为不稳定土层。



基础

- **9** 应考虑桩基施工中挤土效应对桩基及周边环境的影响；在深厚饱和软土中不宜采用大片密集有挤土效应的桩基；
- **10** 应考虑深基坑开挖中，坑底土回弹隆起对桩身受力及桩承载力的影响；
- 在深厚软土中，当基坑开挖较深时，基底土的回弹可引起桩身上浮、桩身开裂，影响单桩承载力和桩身耐久性，应引起高度重视。设计时应考虑加强桩身配筋、支护结构设计时应采取防止基底隆起的措施，同时应加强坑底隆起的监测。





基础

- **11** 桩基设计时，应结合地区经验考虑桩、土、承台的共同工作；
- 关于桩、土、承台共同工作问题，各地区根据工程经验有不同的处理方法，如混凝土桩复合地基、复合桩基、减少沉降的桩基、桩基的变刚度调平设计等。实际操作中应根据建筑物的要求和岩土工程条件以及工程经验确定设计参数。无论采用哪种模式，承台下土层均应当是稳定土层。液化土、欠固结土、高灵敏度软土、新填土等皆属于不稳定土层，当沉桩引起承台土体明显隆起时也不宜考虑承台底土层的抗力作用。
- **12** 在承台及地下室周围的回填中，应满足填土密实度要求。
- 承台及地下室周围的回填土质量对高层建筑抗震性能的影响较大，规范均规定了填土压实系数不小于**0.94**。除要求施工中采取措施尽量保证填土质量外，可考虑改用灰土回填或增加一至两层混凝土水平加强条带，条带厚度不应小于**0.5m**。





基础

- **13. 桩身混凝土强度**
- 为避免基桩在受力过程中发生桩身强度破坏，桩基设计时应进行基桩的桩身强度验算，确保桩身混凝土强度满足桩的承载力要求。
- **8.5.10 桩身混凝土强度应满足桩的承载力设计要求。**





基础

- **14. 按桩身混凝土强度验算桩的承载力**
- 鉴于桩身强度计算中并未考虑**荷载偏心、弯矩作用、瞬时荷载的影响**等因素，因此，桩身强度设计必须留有一定富裕。在确定工作条件系数时考虑了承台下的土质情况，抗震设防等级、桩长、混凝土浇注方法、混凝土强度等级以及桩型等因素。
- 本次修订中适当提高了灌注桩的工作条件系数，补充了预应力混凝土管桩工作条件系数。考虑到高强度离心混凝土的延性差、加之沉桩中对桩身混凝土的损坏、加工过程中已对桩身施加轴向预应力等因素，结合日本、广东省的经验，将工作条件系数规定为0.55~0.65。





基 础

- **8.5.11** 按桩身混凝土强度计算桩的承载力时，应按桩的类型和成桩工艺的不同将混凝土的轴心抗压强度设计值乘以工作条件系数，桩轴心受压时桩身强度应符合式(8.5.11)的规定。当桩顶以下5倍桩身直径范围内螺旋式箍筋间距不大于100mm且钢筋耐久性得到保证的灌注桩，可适当计入桩身纵向钢筋的抗压作用。

- $$Q \leq A_p f_c \phi_c \quad (8.5.11)$$

- 式中： f_c —混凝土轴心抗压强度设计值（kPa），按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010取值；

- Q —相应于作用的基本组合时的单桩竖向力设计值（kN）；

- A_p —桩身横截面积（ m^2 ）；

- ϕ_c —工作条件系数，非预应力预制桩取0.75，预应力桩取0.55~0.65，灌注桩取0.6~0.8(水下灌注桩、长桩或混凝土强度等级高于C35时用低值)。





基础

- **15. 桩身抗裂验算**
- **8.5.12**非腐蚀环境中的抗拔桩应根据环境类别控制裂缝宽度满足设计要求，预应力混凝土管桩应按桩身裂缝控制等级为二级的要求进行桩身混凝土抗裂验算。**腐蚀环境中的抗拔桩和受水平力或弯矩较大的桩应进行桩身混凝土抗裂验算，裂缝控制等级应为二级；**预应力混凝土管桩裂缝控制等级应为一级。





基 础

- 非腐蚀性环境中的抗拔桩，桩身裂缝宽度应满足设计要求。预应力混凝土管桩因增加钢筋直径有困难，考虑其钢筋直径较小，耐久性差，所以裂缝控制等级应为二级，即混凝土拉应力不应超过混凝土抗拉强度设计值。
- 腐蚀性环境中，考虑桩身钢筋耐久性，抗拔桩和受水平力或弯矩较大的桩不允许桩身混凝土出现裂缝。预应力混凝土管桩裂缝等级应为一级(即桩身混凝土不出现拉应力)。





基础

- 预应力管桩作为抗拔桩使用时，近期出现了数起桩身抗拔破坏的事故，主要表现在主筋墩头与端板连接处拉脱，同时管桩的接头焊缝耐久性也有问题，因此，在抗拔构件中应慎用预应力混凝土管桩。必须使用时应考虑以下几点：
 - 1、预应力筋必须锚入承台；
 - 2、截桩后应考虑预应力损失，在预应力损失段的桩外围应包裹钢筋混凝土；
 - 3、宜采用单节管桩；
 - 4、多节管桩可考虑通长灌芯，另行设置通长的抗拔钢筋，或将抗拔承载力留有余地，防止墩头拔出。
 - 5. 端板与钢筋的连结强度应满足抗拔力要求。





基础

- **16. 桩基沉降计算**
- 地基基础设计强调变形控制原则，桩基础也应按变形控制原则进行设计。**8.5.13**条规定了桩基沉降计算的适用范围以及控制原则。**8.5.14**条规定了可不进行桩基沉降计算的情况。**8.5.15**条规定了桩基沉降计算方法。





基础

- **8.5.13** 桩基沉降计算应符合下列规定：
- **1** 对以下建筑物的桩基应进行沉降验算；
 - **1)** 地基基础设计等级为甲级的建筑物桩基；
 - **2)** 体形复杂、荷载不均匀或桩端以下存在软弱土层的设计等级为乙级的建筑物桩基；
 - **3)** 摩擦型桩基。
- **2** 桩基沉降不得超过建筑物的沉降允许值，并应符合本规范表**5.3.4**的规定。





基础

- **8.5.14** 嵌岩桩、设计等级为丙级的建筑物桩基、对沉降无特殊要求的条形基础下不超过两排桩的桩基、吊车工作级别A5及A5以下的单层工业厂房且桩端下为密实土层的桩基，可不进行沉降验算。当有可靠地区经验时，对地质条件不复杂、荷载均匀、对沉降无特殊要求的端承型桩基也可不进行沉降验算。
- **8.5.15** 计算桩基沉降时，最终沉降量宜按单向压缩分层总和法计算。地基内的应力分布宜采用各向同性均质线性变形体理论，按实体深基础方法或明德林应力公式方法进行计算，计算按本规范附录R进行。



基础

- 软土中摩擦桩的桩基础沉降计算是一个非常复杂的问题。土体中桩基沉降实质是由桩身压缩、桩端刺入变形和桩端平面以下土层受群桩荷载共同作用产生的整体压缩变形等多个分量组成。摩擦桩基础的沉降是历时数年、甚至更长时间才能完成的过程，加荷瞬间完成的沉降只占总沉降中的小部分。大部分沉降都是与时间发展有关的沉降，也就是由于固结或流变产生的沉降。因此，摩擦型桩基础的沉降不是用简单的弹性理论就能描述的问题，这就是为什么依据弹性理论公式的各种桩基沉降计算方法，在实际工程的应用中往往都与实测结果存在较大的出入，即使经过修正，两者也只能在某一范围内比较接近的原因。



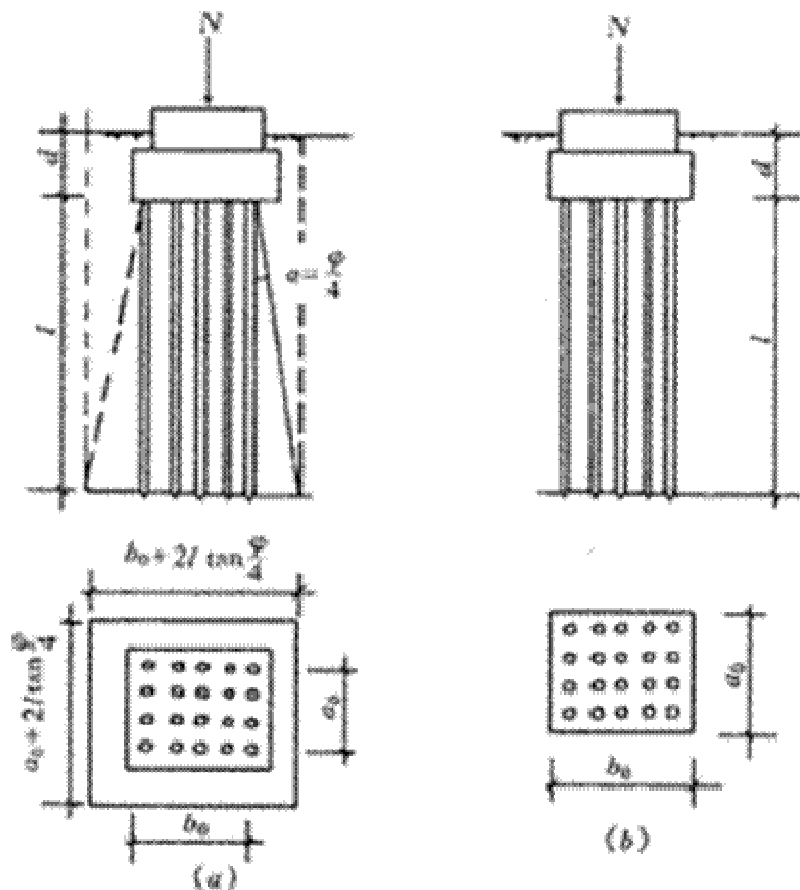
基础

- 近年来越来越多的研究人员和设计人员理解了，目前借用弹性理论的公式计算桩基沉降，实质是一种经验拟合方法。
- 从经验拟合这一观点出发，本规范推荐Mindlin方法和考虑应力扩散以及不考虑应力扩散的实体深基础方法。修订组收集了部分软土地区**62**栋房屋沉降实测资料和工程计算资料，将大量实际工程的长期沉降观测资料与各种计算方法的计算值对比，经过统计分析，最后推荐了桩基础最终沉降量计算的**经验修正系数**。考虑应力扩散以及不考虑应力扩散的实体深基础方法计算沉降量和沉降计算深度都有差异，从统计意义上沉降量计算的**经验修正系数**差异不大。





基础



实体深基础的底面积



基础

- R.0.3 本规范（5.3.5）公式中附加压力计算，应为桩底平面处的附加压力。实体基础的支承面积可按图R.0.3采用。实体深基础桩基沉降计算经验系数 ψ_{ps} 应根据地区桩基础沉降观测资料及经验统计确定。在不具备条件时， ψ_{ps} 值可按表R.0.3选用。

- 表R.0.3 实体深基础计算桩基沉降经验系数 ψ_{pm}

\bar{E}_s (MPa)	≤ 15	25	35	≥ 45
ψ_{pm}	0.5	0.4	0.35	0.25

- 注：表内数值可以内插。



基础

- R.0.5 采用明德林应力公式计算桩基础最终沉降量时，相应于作用效应准永久组合时，轴心竖向力作用下单桩附加荷载的桩端阻力比和桩基沉降计算经验系数 ψ_{pm} 应根据当地工程的实测资料统计确定。无地区经验时， ψ_{pm} 值可按表R.0.5选用。
 - 表R.0.5 明德林应力公式方法计算桩基沉降经验系数 ψ_{ps}

\bar{E}_s (MPa)	≤ 15	25	35	≥ 40
ψ_{ps}	1.00	0.8	0.6	0.3

- 注：表内数值可以内插。





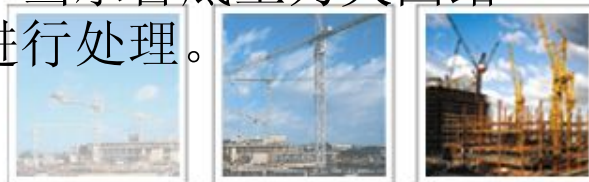
基础

- **17. 控制沉降为目的的桩基**
- 八十年代上海市开始采用为控制沉降而设置桩基的方法，取得显著的社会经济效益。目前天津、湖北、福建等省市也相继应用了上述方法。开发这种方法是考虑桩、土、承台共同工作时，基础的承载力可以满足要求，而下卧层变形过大，此时采用摩擦型桩旨在减少沉降，以满足建筑物的使用要求。以控制沉降为目的设置桩基是指直接用沉降量指标来确定用桩的数量。能否实行这种设计方法，必须要有当地的经验，特别是符合当地工程实践的桩基沉降计算方法。直接用沉降量确定用桩数量后，还必须满足规定的使用条件和构造措施。



基础

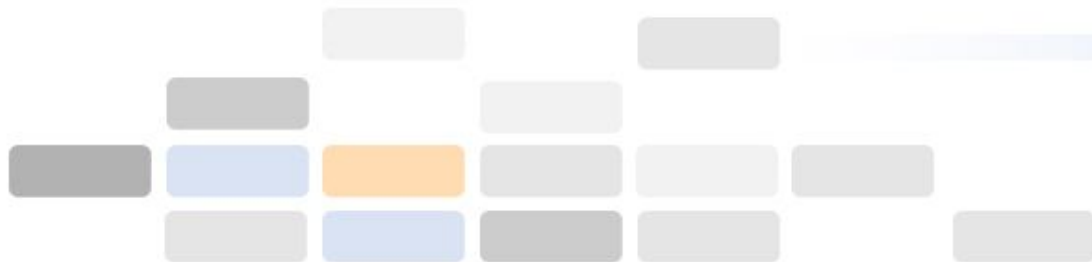
- 控制沉降而设置桩基方法的基本原则有三点：
 - 1. 设计用桩数量可以根据沉降控制条件，即允许沉降量计算确定；
 - 2. 基础总安全度不能降低，应按桩、土和承台共同作用的实际状态来验算。桩土共同工作是一个复杂的过程，随着沉降的发展，桩、土的荷载分担不断变化，作为一种最不利状态的控制，桩顶荷载可能接近或等于单桩极限承载力。为了保证桩基的安全度，规定按承载力特征值计算的桩群承载力与土承载力之和应大于等于作用的标准组合产生的作用在桩基承台顶面的竖向力与承台及其上土自重之和；
 - 3. 为保证桩、土和承台共同工作，应采用摩擦型桩，使桩基产生可以容许的沉降，承台底不致脱空，在桩基沉降过程中充分发挥桩端持力层的抗力。同时桩端还要置于相对较好的土层中，防止沉降过大，达不到预期控制沉降的目的。为保证承台底不脱空，当承台底土为欠固结土或承载力利用价值不大的软土时，尚应对其进行处理。





基 础

- 8.5.16 以控制沉降为目的设置桩基时，应结合地区经验，并满足下列要求：
 - 1 桩身强度应按桩顶荷载设计值验算；
 - 2 桩、土荷载分配应按上部结构与地基共同作用分析确定；
 - 3 桩端进入较好的土层，桩端平面处土层应满足下卧层承载力设计要求；
 - 4 桩距可采用4倍~6倍桩身直径。



基坑工程

• 1. 基坑设计的内容

- 基坑支护应确保基坑支护结构基坑周边环境的安全。基坑支护结构设计应从稳定、强度和变形等三个方面满足设计要求：
 - 1 稳定：指基坑周围土体的稳定性，即不发生土体的滑动破坏，因渗流造成流砂、流土、管涌以及支护结构、支撑体系的失稳。
 - 2 强度：支护结构，包括支撑体系或锚杆结构的强度应满足构件强度和稳定设计的要求。
 - 3 变形：因基坑开挖造成的地层移动及地下水位变化引起的地面变形，不得超过基坑周围建筑物、地下设施的变形允许值，不得影响基坑工程基桩的安全或地下结构的施工。



基坑工程

- 基坑工程施工过程中的监测应包括对支护结构和对周边环境的监测，并提出各项监测要求的报警值。随基坑开挖，通过对支护结构桩、墙及其支撑系统的内力、变形的测试，掌握其工作性能和状态。通过对影响区域内的建筑物、地下管线的变形监测，了解基坑降水和开挖过程中对其影响的程度，做出在施工过程中基坑安全性的评价。





基坑工程

- **2. 土的抗剪强度指标**
- 基坑工程设计时，对土的强度指标的选用，主要应根据现场土体的排水条件及固结条件确定。
- 三轴试验受力明确，又可控制排水条件，因此，在基坑工程中确定土的强度指标时规定应采用三轴剪切试验方法。
- 软粘土灵敏度高，受扰动后强度下降明显。这种粘土矿物颗粒在一定条件下从凝聚状态迅速过渡到胶溶状态的现象，称为“触变现象”。深厚软粘土中的基坑，在扰动源作用下，随着基坑变形的发展，灵敏粘土强度降低的现象是不可忽视的。





基坑工程

- 9.1.6 基坑工程设计采用的土的强度指标，应符合下列规定：
- 1 对淤泥及淤泥质土，应采用三轴不固结不排水剪强度指标；
- 2 对正常固结的饱和粘性土应采用在土的有效自重应力下预固结的三轴不固结不排水剪强度指标；当施工挖土速度较慢，排水条件好，土体有条件固结时，可采用三轴固结不排水剪强度指标；
- 3 对砂类土，采用有效强度指标；
- 4 验算软粘土隆起稳定性时，可采用十字板剪切强度或三轴不固结不排水剪强度指标；
- 5 灵敏度较高的土，基坑临近有交通频繁的主干道或其他对土的扰动源时，计算采用土的强度指标宜适当进行折减；
- 6 应考虑打桩、地基处理的挤土效应等施工扰动原因造成对土强度指标降低的不利影响。



基坑工程

- 9.4.4 根据基坑周边环境的复杂程度及环境保护要求，可按下列规定进行变形控制设计，并采取相应的保护措施：
- 1 根据基坑周边的环境保护要求，提出基坑的各项变形设计控制指标；
- 2 预估基坑开挖对周边环境的附加变形值，其总变形值应小于其允许变形值；
- 3 应从支护结构施工、地下水控制及开挖等三个方面分别采取相关措施保护周围环境。





基坑工程

- 2 目前预估基坑开挖对周边环境的附加变形主要有两种方法：
- 一种是建立在大量基坑统计资料基础上的经验方法，该方法预测的是地表沉降，并不考虑周围建（构）筑物存在的影响，可以用来间接评估基坑开挖引起周围环境的附加变形。
- 另一种方法是有限元法，但在应用时应有可靠的工程实测数据为依据。且该方法分析得到的结果宜与经验方法进行相互校核，以确认分析结果的合理性。采用有限元法分析时应合理地考虑分析方法、边界条件、土体本构模型的选择及计算参数、接触面的设置、初始地应力场的模拟、基坑施工的全过程模拟等因素。



基坑工程

- **3. 地下水专项控制设计**
- 地下水抽降，将引起大范围的地面沉降。基坑围护结构渗漏亦易发生基坑外侧土层坍塌、地面下沉，引发基坑周边的环境问题。因此，为有效控制基坑周边的地面变形，在高地下水位地区的甲级基坑或基坑周边环境保护要求严格时，应进行基坑降水和环境保护的地下水控制专项设计。
- 深基坑降水和环境保护的专项设计，是一项比较复杂的设计工作。与基坑支护结构（或隔水帷幕）周围的地下水渗流特征及场地水文地质条件、支护结构及隔水帷幕的插入深度、降水井的位置等有关。



基坑工程

- 9.9.6 高地下水位地区，当水文地质条件复杂，基坑周边环境要求高，设计等级为甲级的基坑工程，应进行地下水控制专项设计，并应包括下列内容：
 - 1 应具备专门的水文地质勘查资料、基坑周边环境调查报告及现场抽水试验资料；
 - 2 基坑降水风险分析及降水设计；
 - 3 降水引起的地面沉降计算及环境保护措施；
 - 4 基坑渗漏的风险预测及抢险措施；
 - 5 降水运营、监测与管理措施。



检验与监测

• 1. 基本试验

- 为设计提供依据的试验为基本试验，应在设计前进行。基本试验应加载到极限或破坏，为设计人员提供足够的设计依据。

- **10.1.1** 为设计提供依据的试验应在设计前进行，平板载荷试验、基桩静载试验、基桩抗拔试验及锚杆的抗拔试验等应加载到极限或破坏，必要时，应对基底反力、分深层沉降、桩身内力和桩端阻力等进行测试。



检验与监测

• 2. 验收检验

- 为验证设计结果或为工程验收提供依据的试验为验收检验。
- 验收检验是利用工程桩、工程锚杆等进行试验，其最大加载量不应小于设计承载力特征值的2倍。
- 抗拔桩的验收检验应控制裂缝宽度，满足耐久性设计要求。
- **10.1.2** 验收检验静载荷试验最大加载量不应小于承载力特征值的2倍。
- **10.1.3** 抗拔桩的验收检验应采取工程桩裂缝宽度控制的措施。



检验与监测

- 3. 基槽（坑）检验
- 10.2.1 基槽（坑）开挖到底后，应进行基槽（坑）检验。当发现地质条件与勘察报告和设计文件不一致、或遇到异常情况时，应结合地质条件提出处理意见。





检验与监测

• 4. 地基处理的检验

- 复合地基提高地基承载力、减少地基变形的能力主要是设置了增强体，与地基土共同作用的结果，所以复合地基应对增强体施工质量进行检验。复合地基载荷试验由于试验的压板面积有限，考虑到大面积荷载的长期作用结果与小面积短时荷载作用的试验结果有一定的差异，故需要对载荷板尺寸有限制。条形基础和独立基础复合地基载荷试验的压板宽度的确定宜考虑面积置换率和褥垫层厚度，基础宽度不大时应取基础宽度，基础宽度较大，试验条件达不到时应取较薄厚度褥垫层。
- 对遇水软化、崩解的风化岩、膨胀性土等特殊土层，不可仅根据试验数据评价承载力等，尚应考虑由于试验条件与实际施工条件的差异带来的潜在风险，试验结果宜考虑一定的折减。





检验与监测

- **10.2.2** 地基处理的效果检验应符合下列规定：
- 1 地基处理后**载荷试验**的数量，应根据场地复杂程度和建筑物重要性确定。对于简单场地上的一般建筑物，每个单体工程载荷试验点数不宜少于**3**处；对复杂场地或重要建筑物应增加试验点数；
- 2 处理地基的**均匀性检验**深度不应小于设计处理深度；
- 3 对回填风化岩、山坯土、建筑垃圾等特殊土，应采用波速、超重型动力触探、深层载荷试验等多种方法综合评价；
- 4 对遇水软化、崩解的风化岩、膨胀性土等特殊土层，除根据试验数据评价承载力外，尚应评价由于试验条件与实际条件的差异对检测结果的影响；
- 5 复合地基除应进行静载荷试验外，**尚应进行竖向增强体及周边土的质量检验**；
- 6 条形基础和独立基础复合地基载荷试验的压板宽度宜按基础宽度确定。





检验与监测

- **5. 复合地基的检验**

- 刚性桩复合地基单桩的桩身完整性检测可采用低应变法；单桩竖向承载力检测可采用静载荷试验；刚性桩复合地基承载力可采用单桩或多桩复合地基载荷试验。当施工工艺对地基土承载力影响较小时，可采用单桩静载荷试验和桩间土静载荷试验结果确定刚性桩复合地基承载力。

-

- **10.2.10 复合地基应进行桩身完整性和单桩竖向承载力检验以及单桩或多桩复合地基载荷试验，施工工艺对桩间土承载力有影响时还应进行桩间土承载力检验。**



检验与监测

• 6. 基坑工程监测

- 由于设计、施工不当造成的基坑事故时有发生，人们认识到基坑工程的监测是实现信息化施工、避免事故发生的有效措施，又是完善、发展设计理论、设计方法和提高施工水平的重要手段。
- 根据基坑开挖深度及周边环境保护要求确定基坑的地基基础设计等级，依据地基基础设计等级对基坑的监测内容、数量、频次、报警标准及抢险措施提出明确要求，实施动态设计和信息化施工。本条列为强制性条文，使基坑开挖过程必须严格进行第三方监测，确保基坑及周边环境的安全。

- **10.3.2 基坑开挖应根据设计要求进行监测，实施动态设计和信息化施工。**



检验与监测

- 7. 沉降变形观测
- 建筑物沉降观测包括从施工开始，整个施工期内和使用期间对建筑物进行的沉降观测。并以实测资料作为建筑物地基基础工程质量检查的依据之一，建筑物施工期的观测日期和次数，应根据施工进度确定，建筑物竣工后的第一年内，每隔2~3月观测一次，以后适当延长至4~6月，直至达到沉降变形稳定标准为止。



检验与监测

- **10.3.8** 下列建筑物应在施工期间及使用期间进行沉降变形观测：
 - **1** 地基基础设计等级为甲级建筑物；
 - **2** 软弱地基上的地基基础设计等级为乙级建筑物；
 - **3** 处理地基上的建筑物；
 - **4** 加层、扩建建筑物；
 - **5** 受邻近深基坑开挖施工影响或受场地地下水等环境因素变化影响的建筑物；
 - **6** 采用新型基础或新型结构的建筑物。



附 录

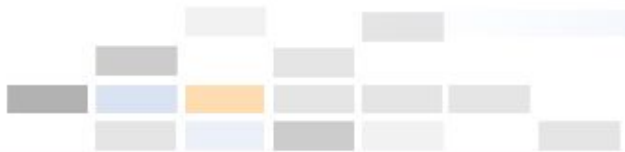
- 增加附录
- 附录S 单桩水平载荷试验要点
- 附录T 单桩竖向抗拔载荷试验要点





有待解决的问题

1. 地基基础设计的总原则对不同极限状态验算应满足功能要求的条款；
2. 地震作用组合的建筑物整体稳定分析方法及最小安全系数的确定；
3. 对重要的或损伤后难于修复的建筑物地基基础设计的作用组合条件和抗力分项系数确定；
4. 不同边界（包括不同断面形状）条件的基础冲剪验算的计算方法及抗力取值；
5. 多层地下结构的裂缝验算条件及内力计算方法；
6. 地基基础耐久性设计的具体内容；





中國建築科學研究院
China Academy of Building Research



谢谢
THANKS

