

基坑工程实例

6

JIKENG GONGCHENG SHILI

《基坑工程实例》编辑委员会
龚晓南 主 编
宋二祥 郭红仙 徐 明 副主编

中国建筑工业出版社

基坑工程实例 6

《基坑工程实例》编辑委员会

龚晓南 主 编

宋二祥 郭红仙 徐 明 副主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

基坑工程实例6/龚晓南主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2016. 8

ISBN 978-7-112-19763-7

I. ①基… II. ①龚… III. ①基坑工程 IV. ①TU46

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 213447 号

本书收集国内近期建成的 42 个基坑工程实例, 遍及全国各地城市。按基坑支护形式分类, 有地下连续墙、桩和土钉支护等。每个基坑工程实例包括: 工程简介及特点、地质条件、周边环境、平面及剖面图、简要实测资料和点评等。本书资料翔实, 技术先进, 图文并茂, 可供建筑结构、地基基础和基坑工程设计施工人员、大专院校师生阅读。

* * *

责任编辑: 蒋协炳

责任设计: 李志立

责任校对: 王宇枢 李欣慰

基坑工程实例 6

《基坑工程实例》编辑委员会

龚晓南 主 编

宋二祥 郭红仙 徐 明 副主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京富生印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 27¼ 字数: 679 千字

2016 年 10 月第一版 2016 年 10 月第一次印刷

定价: 80.00 元

ISBN 978-7-112-19763-7

(29270)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

《基坑工程实例》编辑委员会

主 编：龚晓南

副主编：宋二祥 郭红仙 徐 明

顾 问：钱七虎 陈肇元 周丰峻 唐业清 杨林德 程良奎
马金普 顾宝和 顾晓鲁 刘金砺 王步云 余志成
张旷成 赵锡宏

主 任：龚晓南

副主任：宋二祥 杨光华 徐 伟 王卫东 郑 刚
侯伟生 丘建金 徐杨青 朱彦鹏

秘书长：郭红仙 徐 明

委 员：（按拼音排列）

蔡袁强	陈昌富	陈振建	陈湘生	程学军	崔江余
冯晓腊	龚晓南	郭红仙	侯伟生	黄 强	贾 坚
贾金青	贾立宏	蒋协炳	康景文	雷 用	李保国
李象范	梁志荣	林本海	刘国楠	刘俊岩	刘庭金
刘小敏	刘永超	刘佑祥	柳建国	马永祺	毛念华
彭卫平	秦四清	丘建金	沈贵松	盛宏光	施木俊
施祖元	史海欧	宋二祥	宋建学	孙剑平	唐传政
王洪新	王红雨	王建华	王卫东	魏建华	吴铭炳
吴永红	武思宇	向 艳	徐长节	徐 明	徐水根
徐 伟	徐杨青	徐中华	薛 炜	杨 斌	杨光华
杨素春	杨秀仁	杨志红	杨志银	应宏伟	喻良明
余子华	张长城	张鸿儒	张怀文	张明聚	张信贵
张智浩	张中杰	郑 刚	郑建国	钟显奇	周同和
周载阳	朱彦鹏				

前 言

为了更好地交流基坑工程领域的新鲜经验，2006年起配合中国建筑学会建筑施工分会基坑工程专业委员会两年一次召开学术年会之际，组织全国各地专家编写基坑工程实例，出版《基坑工程实例》系列丛书，至今已出版5册。每个工程实例一般包括以下7个方面内容：工程简介及特点；工程地质条件（含土层物理力学指标表和一典型工程地质剖面）；基坑周边环境情况（应含建筑物基础简况，管线、道路情况等），根据需要附平面图；基坑围护平面图；基坑围护典型剖面图（1~2个）；简要实测资料和点评。今结合第九届全国基坑工程学术讨论会（郑州，2016）出版《基坑工程实例6》。《基坑工程实例6》共收集42个工程实例。在出版《基坑工程实例6》之际，笔者就基坑工程特点、基坑围护体系设计原则及有关设计的几点讨论、基坑工程地下水控制、基坑工程环境效应及对策、基坑工程事故原因分析、基坑工程应重视的几个问题等几个问题谈谈笔者的意见，望能得到广大同行指正。

1. 基坑工程特点

近年来笔者常谈到岩土工程的研究对象“土”（包括岩和土）的工程特性对岩土工程学科特性有着深远且决定性的影响。基坑工程是典型的岩土工程，在讨论基坑工程的特点之前应首先讨论土的特殊性。土与其他土木工程材料的不同之处在于，土是自然、历史的产物。土体的形成年代、形成环境和形成条件的不同都可能使土体的矿物成分和土体结构产生很大的差异，而土体的矿物成分和结构等因素对土体工程性质有很大的影响。土的特殊性主要表现在下述几个方面：

土是自然、历史的产物。这决定了土体性质不仅区域性强，而且即使在同一场地、同一层土，土体的性质沿深度方向和水平方向也会存在差异，有时甚至差异很大。

沉积条件、应力历史和土体性质等对天然地基中的初始应力场的形成均有较大影响，因此地基中的初始应力场分布也很复杂。一般情况下，地基土体中的初始应力随着深度增加不断变大。天然地基中的初始应力场对土的抗剪强度和变形特性有很大影响。地基中的初始应力场分布不仅复杂，而且难以精确测定。

土是一种多相体，一般由固相、液相和气相三相组成。土体中的三相有时很难区分，土中水的存在形态很复杂。以粘性土中的水为例，土中水有自由水、弱结合水、强结合水、结晶水等不同形态。粘性土中这些不同形态的水很难严格区分和定量测定，而且随着条件的变化土中不同形态的水之间可以相互转化。土中固相一般为无机物，但有的还含有有机质。土中有机质的种类、成分和含量对土的工程性质也有较大影响。土的形态各异，有的呈散粒状，有的呈连续固体状，也有的呈流塑状。有干土、饱和状态的土、非饱和状态的土，而且处于不同状态的土因周围环境条件的变化，相互之间还可以发生转化。例如当荷载、渗流、排水条件、温度等环境条件发生变化时，干土、饱和状态的土和非饱和状态的土可以相互转化。

天然地基中的土体具有结构性，其强弱与土的矿物成分、形成历史、应力历史和环境条件等因素有较大关系，对土体性状有较大影响。

土体的强度特性、变形特性和渗透特性需要通过试验测定。在进行室内土工试验时，原状土样的代表性、取样和制样过程中对土样的扰动、室内试验边界条件与现场边界条件的不同等客观因素，会使测定的土性指标与地基中土体的实际性状产生差异，而且这种差异难以定量估计。在原位测试中，现场测点的代表性、埋设测试元件过程中对土体的扰动以及测试方法的可靠性等因素所带来的误差也难以定量估计。

各类土体的应力应变关系都很复杂，而且相互之间差异也很大。同一土体的应力应变关系与土体中的应力水平、边界排水条件、应力路径等都有关系。大部分土的应力应变关系曲线基本上不存在线性弹性阶段。土体的应力应变关系与线弹性体、弹塑性体、粘弹塑性体等都有很大的差距。土体的结构性强弱对土的应力应变关系也有很大影响。

土的上述特性对基坑工程特性有重要影响。笔者认为基坑工程特点可从下述八个方面来分析：

(1) 基坑围护体系是临时结构，设计标准考虑的安全储备较小，因此风险性较大

除少数基坑围护结构同时用作地下结构的“二墙合一”围护结构外，基坑围护结构一般是临时结构。临时结构与永久性结构相比，设计标准考虑的安全储备较小，因此基坑工程与一般结构工程相比具有较大的风险性。因此，对基坑工程设计、施工和管理等各个环节应提出更高的要求。

(2) 岩土工程条件区域性强

场地工程地质条件和水文地质条件对基坑工程性状具有极大影响。软粘土、砂性土、黄土等地基中的基坑工程性状差别很大。同是软粘土地基，天津、上海、杭州、宁波、温州、福州、湛江、昆明等各地软粘土地基的性状也有较大差异。地下水，特别是承压水对基坑工程性状影响很大。笔者曾调查分析武汉、上海、杭州、天津、北京等地的承压水性状，发现区域性差异很大。因此，基坑工程设计、施工一定要因地制宜，重视区域性特点。

(3) 环境条件影响大

基坑工程不仅与场地工程地质条件和水文地质条件有关，还与周围环境条件有关。周围环境条件较复杂时（例如要保护周围的地下建（构）筑物），需要较严格控制围护结构体系的变形，此时基坑工程应按变形控制设计。若基坑处在空旷区，围护结构体系的变形不会对周围环境产生不良影响，则基坑工程可按稳定控制设计。几乎每个基坑工程的周围环境条件都有差异，因此应重视对基坑周围环境条件的调查分析，既要重视周围环境对基坑工程性状的影响，也要重视基坑工程对周围环境的影响。

(4) 时空效应强

基坑工程的空间大小和形状对围护体系的工作性状具有较大影响。在其他条件相同的情况下，面积大，风险大；形状变化大，风险大；面积相同时，正方形比圆形风险大。基坑周边凸角处比凹角处风险大。基坑土方的开挖顺序对基坑围护体系的工作性状也具有较大影响。这些经验表明，基坑工程的空间效应很强。

另外，土具有蠕变性，随着土体蠕变的发展，土体的变形增大，抗剪强度降低，因此基坑工程具有时间效应。在基坑围护结构设计和土方开挖中要重视和利用基坑工程的时空

效应。

(5) 设计计算理论不完善, 基坑工程设计应重视概念设计理念

作用在围护结构上的主要荷载是土水压力。其中, 土压力大小与土的抗剪强度、围护结构的位移、作用时间等因素有关, 其精确计算很困难。另外, 土水压力计算是采用土水合算还是土水分算也很复杂。基坑围护体系是一个很复杂的体系, 其设计计算理论虽然在不断发展与进步, 但不可能完善。作用在围护结构上的荷载需要设计人员认真分析、合理选用。为此, 基坑围护结构设计中应重视地区经验, 采用概念设计的理念进行设计。

(6) 学科综合性强

基坑工程涉及岩土工程和结构工程两个学科, 要求基坑工程设计和施工人员较好掌握岩土工程和结构工程知识。人们常说岩土工程主要有稳定、变形和渗流三个基本课题。基坑工程涉及岩土工程中的稳定、变形和渗流三个基本课题。可以说, 基坑工程是最典型的岩土工程之一。

(7) 系统性强

基坑围护体系设计、围护体系施工、土方开挖、地下结构施工是一个系统工程。围护体系设计应考虑施工条件的许可性, 尽量利于施工。围护体系设计应对基坑工程施工组织提出要求, 对基坑工程监测和基坑围护体系变形允许值提出要求。基坑工程需要加强监测, 实行信息化施工。

(8) 环境效应强

基坑围护体系的变形和地下水位变化都可能对基坑周围的道路、地下管线和建筑物产生不良影响, 严重的可能导致破坏。然而, 对基坑围护体系变形和地下水位变化大小的预估和控制是比较困难的, 特别是在深厚软土地区。基坑工程的环境效应强, 其设计和施工一定要重视环境效应。通过精心设计、认真监测, 实行信息化施工, 合理控制围护体系的变形和地下水位变化, 必要时还需采取工程保护措施, 减少基坑工程施工对周围环境的影响。

不断加深对基坑工程上述特点的认识, 提高风险意识十分重要。通过基坑工程事故分析, 人们不难发现: 绝大多数基坑工程事故都与设计、施工和管理人员对上述基坑工程特点缺乏深刻认识, 未能采取有效措施有关。

2. 基坑围护体系设计原则及有关基坑围护体系设计的讨论

基坑围护体系设计要坚持安全、经济、环境友好、方便施工的原则。

影响基坑性状的因素很多, 主要有场地的工程地质和水文地质条件, 周边环境条件, 基坑的开挖深度、平面形状和面积大小等影响因素。基坑围护设计一定要学会抓住主要矛盾。例如, 要认真分析基坑围护的主要矛盾是围护体系的稳定问题, 还是需要控制围护体系的变形问题? 基坑围护体系产生稳定和变形问题的主要原因是土压力问题, 还是地下水控制问题? 以杭州城区为例, 工程地质分区主要有两类: 一类是深厚软粘土地基, 另一类是砂性土地基。两类地基中的地下水位都很高, 但由于土的渗透系数相差很大, 土中水的性状截然不同。深厚软粘土地基中的基坑围护体系主要解决土压力引起的稳定和变形问题, 该条件下的基坑工程事故往往是工程技术人员对作用在挡墙上的土压力估计不足造成的; 而砂性土(粉性土)地基中的基坑围护体系主要要解决问题是地下水控制问题, 此时基坑工程事故往往是工程技术人员未能有效控制地下水造成的。

在设计基坑工程围护体系时，要重视由于围护体系失败或土方开挖产生的周边地基变形对周围环境和工程施工造成的影响。当场地开阔、周边没有建（构）筑物和市政设施时，基坑围护体系的主要要求是自身的稳定性，此时可以允许围护结构及周边地基发生较大的变形。在这种情况下，可按围护体系的稳定性要求进行设计。当基坑周边有建（构）筑物和市政设施时，应评估其重要性，分析其对地基变形的适应能力，并提出基坑围护结构变形和地面沉降的允许值。在这种情况下，围护体系设计不仅要满足稳定性要求，还要满足变形控制要求。围护体系往往按变形控制要求进行设计。

按稳定控制设计只要求基坑围护体系满足稳定性要求，允许产生较大的变形；而按变形控制设计不仅要求围护体系满足稳定性要求，还要求围护体系变形小于某一控制值。由于作用在围护结构上的土压力值与位移有关，在按稳定控制设计或按变形控制设计时，作为荷载的土压力设计取值是不同的。在选用基坑围护型式时应明确是按稳定控制设计，还是按变形控制设计。当可以按稳定控制设计时，采用按变形控制设计的方案会增加较多的工程投资，造成浪费；当需要按变形控制设计时，采用按稳定控制设计的方案则可能对环境造成不良影响，甚至酿成事故。

基坑围护体系按变形控制设计时，基坑围护变形控制量不是愈小愈好，也不宜统一规定。设计人员应以基坑变形对周围市政道路、地下管线、建（构）筑物不会产生不良影响，不会影响其正常使用为标准，由设计人员合理确定变形控制量。

根据基坑周边环境条件，首先要确定采用按稳定控制设计，还是按变形控制设计。该设计理念至今尚未引起充分重视，或者说尚未提到理论的高度。现有的规程规范、手册，以及设计软件均未能从理论高度给予区分，多数有经验的设计师是通过综合判断调整设计标准来区分的。笔者认为我国已有条件推广根据基坑周边环境条件采用按稳定控制设计还是按变形控制设计的设计理念，从而进一步提高我国的基坑围护设计水平。

基坑围护体系设计应进行优化设计。基坑围护体系优化设计主要分两个层面：一是通过多方案比较分析，选用合理的基坑围护结构类型；二是确定合理的围护结构类型后，对具体的结构体系进行优化。

岩土工程的研究对象“土”，其工程特性决定了岩土工程设计应具有概念设计的特点。基坑工程围护体系很复杂，不确定因素很多。土压力的合理选用，计算模型的选择，计算参数的确定等都需要岩土工程师综合判断，因此基坑围护体系设计的概念设计特性更为明显。太沙基作出的“岩土工程与其说是一门科学，不如说是一门艺术（Geotechnology is an art rather than a science.）”的论述对基坑工程更为适用。岩土工程分析在很大程度上取决于工程师的判断，具有很强的艺术性。这些原则在指导基坑围护体系设计更为重要。

基坑围护体系设计要求详细了解场地工程地质和水文地质条件，了解土层形成年代和成因，掌握土的工程性质；详细掌握基坑周围环境条件，包括道路、地下管线分布、周围建筑物以及基础情况；待建建筑物地下室结构和基础情况。根据上述情况，结合工程经验，进行综合分析，确定是按稳定控制设计还是按变形控制设计。根据综合分析，合理选用基坑围护型式，确定地下水控制方法。在设计计算分析中合理选用土压力值，强调定性分析和定量分析相结合，抓住主要矛盾。在计算分析的基础上进行工程判断，在工程判断时强调综合判断，在此基础上完成基坑围护体系设计。

在基坑围护结构设计中，土压力值的合理选用是首先要解决的关键问题。影响土压力

值合理选用的因素主要有下述几个方面：

在设计基坑围护结构时，人们通常采用库伦土压力理论或朗肯土压力理论计算土压力值。根据库伦或朗肯土压力理论计算得到的主动土压力值和被动土压力值都是指挡墙达到一定位移值时的土压力值。实际工程中挡墙往往达不到理论计算要求的位移值。当位移偏小时，计算得到的主动土压力值比实际发生的土压力值要小，而计算得到的被动土压力值比实际发生的土压力值要大。挡墙实际位移值对作用在挡墙上的土压力值的影响应予以重视。

库伦土压力理论和朗肯土压力理论的建立都先于有效应力原理。在太沙基提出有效应力原理之后，关于在土压力计算中采用水土分算和水土合算的合理性问题才开始讨论，到目前为止该问题在理论上已有很多讨论分析。目前在设计计算中，土压力计算通常采用下述原则：对粘性土采用水土合算，对砂性土采用水土分算。然而，实际工程中遇到的土层是比较复杂的，考虑到采用水土分算与采用水土合算的计算结果是不一样的，因此在复杂土层中如何合理选用计算值，这也是应该重视的问题。

不论是采用库伦土压力理论还是朗肯土压力理论，都需要应用土的抗剪强度指标，而土的抗剪强度指标值与采用的土工试验测定方法有关。如何合理选用土的抗剪强度指标值，这是土压力计算中又一个重要的问题。

基坑工程中影响土压力值的因素还有很多，如土的蠕变、基坑降水引起地下水位的变化、基坑工程的空间效应等。有的影响因素是不利的，有的影响因素是有利的，这些都需要设计人员合理把握。

从土压力的影响因素之多、之复杂，可见合理选用土压力值的难度和重要性。任何“本本”都很难对土压力值的合理选用作出具体的规定，在基坑围护结构设计中土压力值能否合理选用很大程度取决于该地区工程经验的积累，取决于设计工程师的综合判断能力。

如何应用基坑围护设计软件？如何评价基坑围护设计软件的作用？这也是一个重要的问题。笔者曾在一论文中指出：基坑围护设计离开设计软件不行，但只依靠设计软件进行设计也不行。前半句的意思是计算机在土木工程中的应用发展到今天，总应该采用电算取代繁琐的手工计算。在这里笔者要强调的是后半句，只依靠设计软件进行设计也不行。

目前基坑围护设计商业软件很多，读者会发现采用不同的软件进行计算，得到的计算结果往往不同。某大学一位教授曾对同一基坑工程采用7个设计软件进行设计，发现相互差别很大，有的弯矩差一倍以上。这也说明不能只依靠设计软件进行设计。基坑工程的区域性、个性很强，时空效应强，鉴于此编制基坑围护设计软件都要作些简化和假设，不可能反映各种情况。影响基坑工程的稳定性和变形的因素很多、很复杂，设计软件也难以全面反映。而目前大部分设计软件是按稳定控制设计编制的，当需要按变形控制设计时，采用按稳定控制设计编制的软件进行设计可能出现许多不确定因素。

在岩土工程分析中要重视工程经验，并重视各种分析方法的适用条件。岩土工程的许多分析方法都是来自工程经验的积累和案例分析，而不是来自精确的理论推导。因此，具体问题具体分析在基坑工程中更为重要。在应用计算机软件进行设计计算分析时，应结合工程师的综合判断，只有这样才能搞好基坑围护设计。

基坑工程设计管理也很重要。基坑围护设计管理主要包括建立和完善审查制度和招投

标制度。审查制度包括设计资格审查制度和设计图审查制度。各地应结合本地具体情况建立基坑围护设计图专项审查和管理制度。设计图审查专家组应由从事设计、施工、教学科研以及管理工作的专家组成。实行基坑工程设计招投标制度可引进竞争制度，促进技术进步，优化设计方案，从而使社会效益和经济效益最大化。

3. 基坑工程地下水控制

笔者曾多次指出，基坑工程地下水控制和基坑工程环境影响控制是基坑工程的两个关键技术难题，要给予充分重视。当基坑工程影响范围内存在承压水层，或地基土体渗透性好且地下水位高的情况下，地下水控制往往是基坑围护设计中的主要矛盾。对已有基坑工程事故原因的调查分析表明，由于未处理好地下水的控制问题而造成的工程事故在基坑工程事故中占有很大比例。

在进行地下水控制体系设计之前应详细掌握工程地质和水文地质条件，掌握地基中各层土体的渗透性、地下水分布情况，若有承压水层应掌握其水位、流量和补给情况。通过对土层成因、地貌单元的调查，掌握地基中地下水分布特性。详细掌握工程地质和水文地质条件是合理进行基坑工程地下水控制的基础。

控制地下水主要有两种思路：止水和降水。有时也可以采用止水和降水相结合的方式。在控制地下水时采用止水还是降水需要综合分析，有条件降水的就尽量不用止水，一定要采用止水措施时要尽量降低基坑内外的水头差。形成完全不透水的止水帷幕的施工成本较高，而且较难做到。特别当止水帷幕两侧水位差较大时，止水帷幕的止水效果往往难以保证。坑内外高水头差可能造成止水帷幕局部渗水、漏水，处理不当往往会酿成重大事故。止水帷幕两侧保持较低的水头差，既可减小渗水、漏水发生的可能性，也有利于在发生局部渗水、漏水现象后进行堵漏补救。当基坑深度在 18m 以上，地下水又比较丰富时，可通过坑外降水措施使基坑内外的水头差尽量降低，这点十分重要。

基坑止水帷幕外侧降水既有有利的一面也有不利的一面，有利的是可以有效减小作用在围护体系上的水压力和土压力，不利的是水位下降会引起地面沉降，产生不良环境效应。因此，在降水设计时需要合理评估地下水位下降对周围环境的影响。场地条件不同，降水引起的地面沉降量可能有较大的差别。在新填方区降水可能引起较大的地面沉降量，而在老城区降水引起的地面沉降量就要小得多。特别是当降水深度在历史上大旱之年枯水位以上时，降水引起的地面沉降量较小。当基坑外降水可能产生不良环境效应时，也可通过回灌以减小对周围环境的影响。

当基坑较深时，经常会遇到承压水，使地下水控制问题更加复杂。控制承压水有两种思路：止水帷幕隔断和抽水降压。具体采用止水帷幕隔断还是抽水降压需要综合分析确定。在分析中应综合考虑承压水层的特性，如土层特性、承压水头、水量及补给情况，还应考虑承压水层上覆不透水土层的厚度及特性，分析止水帷幕隔断的可能性和抽水降压可能产生的环境效应。

另外，基坑周围地下水管的漏水也会酿成工程事故。为了避免该类事故发生，需要详细了解地下管线分布，认真分析基坑变形对地下管线的影响，以及做好监测工作。

在冻土地区，要十分重视冻融对边坡稳定的影响。冻前挖土形成的稳定边坡，在冻土期表现稳定，而在冻融后发生失稳，此类事故已见多处报道，应予以重视。

总之，要重视基坑工程中地下水控制，尽量减少由于未处理好土中水的问题而造成的

工程事故。

4. 基坑工程环境效应及对策

基坑工程施工对环境产生的不良影响可能发生在基坑工程施工的三个阶段：一是基坑围护结构施工阶段，二是基坑土方开挖阶段，三是基坑土方开挖结束并完成坑底底板浇筑后。基坑工程施工对环境产生的不良影响主要发生在基坑土方开挖阶段，但绝不能轻视一、三两个阶段可能产生的不良影响，特别是对处于深厚软土地基中的基坑而言。

围护桩施工、地下连续墙施工、高压旋喷桩施工、深层搅拌桩施工、注浆法施工等都会对周边环境产生不良影响，有的在施工过程中会对周围土体产生挤压引起地面隆起，有的在施工过程中会对周围土体产生减压造成地面沉降。深厚软粘土地基中邻近既有建筑物近的基坑，要特别重视基坑围护结构施工阶段对环境产生的不良影响。某一案例表明，地下连续墙施工阶段引起的邻近既有建筑物的沉降远比土方开挖阶段引起的沉降要大。

基坑土方开挖阶段对周边环境产生不良影响的原因主要来自下述几个方面：一是降排水引起地下水位改变造成地面沉降；二是挖土卸载引起坑侧土体向坑内方向位移；三是挖土卸载造成坑底土体向上位移，并引起坑侧深层土体向坑内方向位移。为减小基坑工程施工过程中降排水对环境产生的不良影响，应合理控制地下水位变化，具体可采用止水帷幕使坑外地下水位不会产生过大变化，必要时在坑外采用回灌措施合理控制地下水位，可减小基坑工程施工过程中降排水对环境产生的不良影响。通过选用合理的基坑围护结构体系可有效控制由挖土卸载引起的坑侧土体向坑内方向的位移，其中内撑式墙式围护结构体系对较好地减小挖土卸载对环境产生的不良影响的效果较好。合理控制围护墙和支撑体系的刚度、围护墙的插入深度等措施，设计人员能有效减少挖土卸载对基坑周边环境产生的不良影响。若基坑底部土层为软弱土，则加固坑底土体对减小挖土卸载对环境产生的不良影响也有较好的效果。

下面讨论基坑工程环境效应的主要对策，即减小基坑工程施工对环境产生的不良影响的有效措施。

为了有效减小基坑工程施工对环境的不良影响，精心设计是最重要的。首先根据场地工程地质和水文地质条件，基坑形状、深度和面积大小，周边环境，选择合理的基坑围护方案，并决定采用按变形控制设计还是采用按稳定控制设计。

基坑工程应实行“边观察、边施工”的原则，实行信息化施工。在基坑土方开挖中运用基坑时空原理，分层、分块，均匀、对称开挖，能有效减小基坑土方开挖对环境的不良影响。采用内支撑方案时，尽量减少基坑无支撑的暴露时间，严禁超挖，基坑见底应及时浇筑垫层和底板，减少基坑变形量。

在编写基坑工程施工组织设计时，要重视地下水控制方案的合理性、可行性的分析，选择适宜的降水工艺和隔水措施。在基坑工程施工过程中，杜绝渗、漏水现象，有效、合理地控制地下水。

加强基坑工程监测工作，制定完整的基坑监测方案，委托第三方进行监测，及时通报监测数据，根据监测数据分析调整施工参数，实行信息化施工。

基坑工程施工对环境的不良影响只能减小，不可能完全消除。经认真研究认为有必要时，也可对周围被保护的建（构）筑物在基坑工程施工前事先采取保护措施（比如地基加固，隔离保护，管线架空等）。

基坑工程不可预见因素很多，除采取以上措施外，还应制定应急预案和准备应急物资。对基坑工程施工有关人员进行应急培训也很重要。

5. 基坑工程事故及原因分析

基坑工程事故可以分为两大类：一是围护体系失稳产生破坏，二是围护体系变形过大，致使周围管线、建（构）筑物等产生破坏。若基坑周围没有管线、建（构）筑物等，围护体系变形大一点应是允许的，单纯的大变形不是事故，但一定要重视。因为随着围护体系变形的发展，围护体系中的结构内力将不断重分布。因此，一定要保证围护体系在发生较大变形时围护体系是安全的。笔者认为：杭州“11.15”坍塌事故就是由于超挖等原因引起地连墙靠近开挖面附近向内变形较大，导致上下几道支撑的内力产生重分布，有的增大，有的减小，其中最上一道支撑轴力可能产生拉应力。不合理的钢管支撑发生了破坏，进而导致地连墙产生大位移和折断，酿成失稳破坏。

引发基坑工程事故的原因可以分为两大类：一是来自土，二是来自水。前一类工程事故的原因主要是低估了作用在围护体系上的土压力或高估了土的抗剪强度。后一类工程事故的原因是未能控制好地下水。至于哪一类是主要原因，主要取决于工程地质条件。以杭州城区为例，按其工程地质条件可分为两大类：深厚软粘土地基和砂性土地基。深厚软粘土地基中发生的基坑工程事故主要是前一类工程事故，而砂性土地基中发生的工程事故主要是后一类工程事故。引发基坑工程事故的原因也可以分为四类：

（1）计算模式不合适

具体的基坑工程往往是一个形状很复杂的三维问题，有土、有水、还有结构，多数坑中有坑，基坑工程性状非常复杂。在基坑工程事故中，由于基坑围护体系计算模式选用不当造成的工程事故占有一定的比例。如：当“坑中坑”距离大坑的围护墙较近时，由于设计者不能合理评估作用在大坑围护墙上被动土压力的降低，或不能合理评估作用在坑中坑围护墙上主动土压力的增加，均会导致事故的发生；又如：设计者未能抓住最不利工况进行设计，或未在最不利工况时采取必要加强措施，导致事故的发生；又如：设计者低估坑边既有建筑物、堆载、交通荷载的影响，导致事故的发生等。

（2）未能有效控制地下水

在基坑工程事故中，未能有效控制地下水造成的工程事故占有较大的比例。未能有效控制地下水的情况有以下几种：1) 独立的止水帷幕漏水。有的由高压旋喷法、单轴或多轴深层搅拌法、注浆法形成的止水帷幕会漏水。例如采取注浆法很难形成连续的水泥土止水帷幕，尤其是当地质条件复杂，或施工机械不能保证垂直度要求时，往往很难形成连续的水泥土止水帷幕。止水帷幕漏水的后果很严重，往往造成工程事故。为形成连续的水泥土止水帷幕，可采用 TRD 施工技术进行施工。2) 咬合桩墙、地下钢筋混凝土连续墙、通过在排桩间布置水泥土桩（采用高压旋喷法或深层搅拌法施工）形成的连续排桩墙，这些围护结构理论上既可挡土又可阻水，但在用于阻水时往往会产生漏水现象。如咬合桩墙施工过程中，当遇到不良地质时，很难咬合无缝，故咬合桩墙漏水事故不少。采用高压旋喷法或深层搅拌法在排桩间布置水泥土桩形成的连续排桩墙与咬合桩墙一样，当遇到不良地质时，很难搭接无缝。而且当围护墙变形较大时，由于钢筋混凝土桩和水泥土桩在搭接处刚度相差较大，容易产生新的裂缝。地下钢筋混凝土连续墙墙体的阻水效果较好，但若在两段连续墙的连接处处理不好，也容易漏水。3) 场地存在承压水时，处理不好会产生

漏水，引发工程事故。4) 基坑周围地下管线漏水也会引发工程事故。当场地地下水位较深时，基坑围护常采用简易围护型式，此时周围地下管线漏水很容易造成边坡失稳，酿成工程事故。关于未能有效控制地下水的原因，有的来自设计方面，也有的来自施工方面，还有的来自工程勘察方面。基坑工程的地下水控制设计理论有待进一步发展完善。有的设计人员缺乏工程概念，设计的止水帷幕施工质量难以保证。基坑工程地下水控制体系的施工中也存在诸如施工能力、责任和管理方面的问题。缺乏对场地工程地质和水文地质条件的详细了解也是未能有效控制地下水的原因之一。对场地工程地质和水文地质条件详细了解的缺乏有的源自勘察工作的失误，有的源自场地异常复杂的工程地质和水文地质条件。

(3) 采用的围护型式超过适用范围

采用的围护型式超过适用范围也是发生工程事故的原因之一。放坡开挖及简易支护、加固边坡土体形成自立式围护、悬臂排桩式围护等围护型式都有各自的极限围护深度。当超过极限围护深度时边坡将发生失稳破坏。采用放坡开挖、土钉墙围护、重力式水泥土墙围护等围护体系时一定要重视基坑开挖深度不能超过采用的围护型式相应的极限围护深度。

(4) 施工组织不当

另外，施工组织不当也是发生基坑工程事故的主要原因。基坑工程没有坚持“边观察、边施工”的信息化施工原则，没有按照施工组织设计的要求进行开挖施工，“超挖”引发的基坑工程事故常有发生。这些都应当引起充分重视。

基坑工程事故影响较大，往往造成很大的经济损失，并可能破坏市政设施，造成恶劣的社会影响。基坑工程事故重在防治，除对围护体系进行精心设计外，实行信息化施工、加强监测和动态管理也非常重要。施工中应做到发现隐患，及时处理，把事故消除在萌芽阶段。

6. 基坑工程应重视的几个问题

基坑工程是一门综合性、系统性很强的工程学科，涉及岩土工程、结构工程和环境工程等方面。改革开放以来，在基坑工程建设中已累积了许多宝贵的经验，基坑工程理论和技术得到长足的发展，有了很大进步。但与工程建设发展的需要，仍不能满足目前对基坑工程的技术要求。近几年，基坑工程事故仍常有发生，人民的生命财产受到损失。据笔者观察，目前我国基坑工程建设中，不重视安全和不重视节省工程投资的两种倾向同时存在。不重视安全导致基坑工程事故常有发生，不少基坑工程事故源自设计的缺陷；不重视节省工程投资造成资源浪费。目前我国基坑工程建设中如何控制对周围环境的影响，或者说在基坑工程施工过程中，如何保护基坑周围既有建（构）筑物和地下管线的安全尚不能满足工程建设和社会发展的要求，有待进一步提高技术水平。

为了进一步提高基坑工程技术水平，满足工程建设和社会发展的要求，下述几方面的工作要给予充分重视。

(1) 进一步提高基坑工程设计队伍的素质，提高基坑工程设计水平

基坑工程设计人员需要具有岩土工程、结构工程和环境工程等领域的知识结构，需要具有一定的工程经验。目前我国基坑工程设计队伍的设计能力非常参差不齐，不少工程事故源自设计时概念的错误。有的设计过于保守，浪费严重。有的工程人员甚至认为只要买个基坑工程设计软件就可以做基坑工程设计了。为此，必须进一步加强对基坑工程设计的

管理、进一步加强对基坑工程设计人员的技术培训，这有利于进一步提高基坑工程的设计水平。基坑围护设计人员在设计中一定要学会抓主要矛盾，要认真分析被设计基坑的主要矛盾是围护体系的稳定问题，还是变形问题？该基坑围护体系产生稳定或变形问题的主要原因是土压力问题，还是地下水问题？通过不断学习和实践，提高基坑工程的设计水平。

(2) 坚持信息化施工

坚持“边观察、边施工”的信息化施工原则非常重要。在施工组织设计、施工人员培训、施工管理、施工实践等环节都要坚持信息化施工原则。岩土工程对自然条件的依赖性和条件的不确知性、设计计算条件的模糊性和信息的不完全性、设计计算参数的不确定性以及测试方法的多样性，这些岩土工程的特殊性造成岩土工程施工不同于结构工程施工，需要坚持“边观察、边施工”的信息化施工原则。

(3) 提高地下水控制水平

对基坑工程事故原因的分析表明，未能有效控制地下水是基坑工程事故的主要原因之一。基坑工程渗水漏水处理不好，往往会酿成大的工程事故。要重视发展地下水控制设计计算理论和地下水控制技术，重视对地下水控制原则的研究。笔者认为在基坑工程中，能降水就尽量不用止水帷幕堵断水，若必须采用止水措施时也要尽量降低坑内外的水头差。止水帷幕的设计容易，但施工形成不漏水的止水帷幕比较困难，或成本较高。目前只有采用 TRD 技术施工才能确保止水帷幕不漏水。

(4) 加强监测工作

做好监测工作是坚持信息化施工的前提，只有做好监测工作才能做到安全生产。要重视发展基坑工程监测新仪器、新技术，实行全过程监测和远程监测控制。基坑工程技术标准不应统一规定具体的监测报警值，监测报警值应由设计单位在设计文件中提出，并根据实际情况动态控制。监测工作除因施工需要由施工单位进行监测外，还要实行第三方监测制度，由业主委托第三方单位负责基坑工程的监测工作。

(5) 加强基坑工程施工环境效应及对策研究

提高环境保护水平，基坑工程施工环境效应主要指围护结构施工、土方开挖，以及基坑工程施工期间地下水位变化对周边环境造成的影响，其性状十分复杂。基坑工程环境效应主要与场地工程地质和水文地质条件、周边环境、基坑规模及围护结构型式、施工组织等因素有关。许多问题值得进一步研究，特别是当场地具有复杂工程地质和水文地质条件的同时又遇到复杂的周边环境时，这类课题要认真研究，如考虑深厚软粘土地基中深大基坑的施工引起的周边土体位移对既有古建筑的影响。在进一步研究基坑工程施工环境效应的同时，还要加强关于既有建（构）筑物、市政设施对地基土体变形的适应能力，特别是对不均匀沉降的抵御能力的研究。在基坑工程施工环境效应对策研究中，既要重视研究如何减少基坑工程施工环境效应，也要重视研究既有建（构）筑物和市政设施的保护技术。努力做到精心设计、加强监测、坚持信息化施工，不断提高基坑工程的环境保护水平。

(6) 发展按变形控制设计理论

现有的基坑工程围护设计基本上基于按稳定控制设计的理论，被动地进行变形控制。目前基坑工程变形控制设计逐步从概念走向理论，进而到设计规程。发展按变形控制设计的理论非常重要，有助于基坑工程能主动进行变形控制，进一步提高基坑工程的环境保护水平。现在发展按变形控制设计理论已有较好的基础，在理论研究和工程实践两方面已有

较多较好的积累。发展基坑工程按变形控制设计的理论要重点加强对变形控制值、土压力计算、围护体系变形计算、围护体系与地基—围护结构、地基—建（构）筑物共同作用分析等理论和方法的研究，坚持理论与工程实践相结合，不断总结经验。通过发展按变形控制设计的理论，进一步提高基坑工程围护设计水平，满足工程建设需要。

(7) 发展新型基坑围护体系和围护新技术

我国基坑工程的发展促进了一批有中国特色的新型基坑围护体系和围护新技术的出现，如多种型式的复合土钉围护体系、多种组合型围护结构等。我国不少基坑围护新技术处于国际领先地位，引领着基坑工程的发展。近些年许多新技术在基坑工程中得到应用，如 TRD 技术、锚索回收技术、浆囊袋技术等。未来大量基坑工程的建设还会催生新的围护体系和新技术的发展。如何根据工程建设的实际需要发展新型基坑围护体系和围护新技术，将是基坑工程围护技术的重要发展方向。

(8) 加强基坑工程基础理论研究

前面已经谈到基坑工程涉及岩土工程和结构工程两个学科，与岩土工程中的稳定、变形和渗流三个基本课题都密切相关。可以说，基坑工程涉及的基础理论比较广。在基坑工程基础理论研究中既要重视相关领域的基础理论研究，更要重视学科交叉的基础理论研究。下述领域的基础理论研究应给予重视，如：土压力理论，特别是土压力与变形的关系，以及土压力、水压力，及其与土的工程性质之间的关系；地基、围护结构共同作用分析理论；基坑工程围护体系优化设计理论；按变形控制设计理论；基坑工程施工环境效应及对策研究有关的基础理论等等。加强基坑工程相关的基础理论研究，有助于不断提高基坑工程的理论和技术水平。

龚晓南

浙江大学滨海和城市岩土工程研究中心

2016 年 7 月

目 录

前言

一、地下连续墙(墙—撑)支护

上海后世博会央企总部集聚区基坑群工程·····	张中杰	王建华	陈加核	1	
上海地铁某中间风井基坑·····			卫 彬	14	
苏州中心广场项目基坑工程·····	金国龙	汪贵平	周 竝	王 鑫	23
武汉长江航运中心项目基坑工程·····	陶帼雄	梁志荣	魏 祥	37	
泉州南益广场项目基坑工程·····	李成巍	梁志荣	李 伟	魏 祥	49

二、桩—撑支护

上海虹桥商务区 D23 街坊项目基坑工程·····	胡 耘	沈 健	王卫东	60			
深圳市前海深港合作区听海路地下通道基 坑工程·····	李会超	张爱军	贺 文	刘伏志	73		
深圳中星微大厦基坑工程·····	任晓光	姜晓光	张 俊	83			
南京新城科技园国际研发总部园基坑 工程·····	黄广龙	赵升峰	马世强	熊彬涛	91		
南京富克斯高淳店基坑工程·····	黄广龙	赵升峰	章 新	刘 颖	105		
杭州拱墅万达广场东区基坑工程·····	董月英	张开普	徐 枫	118			
杭州密渡桥路井筒式地下立体停车库基坑工程·····		李 瑛	陈 东	131			
苏州百汇国际大酒店基坑围护工程·····	袁 坚	任家佳	王 勇	黄春美	140		
温州永强机场新建航站楼基坑工程·····	黄福明	林 刚	徐长节	148			
厦门轨道交通一号线某车站基坑工程·····	施有志	林树枝	陈昌萍	洪建波	159		
武汉长城汇项目基坑 工程·····	马 郟	郭 运	刘佑祥	倪 欣	易丽丽	朱 佳	172
武汉汉口某基坑工程·····			赵小龙	徐国兴	王华雷	180	
武汉汉口金地名郡项目基坑工程·····	马 郟	刘佑祥	范晓峰	罗春雨	187		
福建某钢厂钢坯打捞项目基坑工程·····	李 昀	林 靖	顾开云	任家佳	197		
荆州北京路地下人防基坑工程·····	马 郟	刘佑祥	龙晓东	周国安	206		
深圳前海听海大道地下综合管廊基坑工程·····				王传智	215		

三、桩—锚支护

西安某商住楼深基坑工程·····	杨丽娜	王勇华	戴彦雄	222
西安中储东兴分公司及周边棚户区改造项目				

基坑工程·····	卜崇鹏	刘拴奇	徐传召	田楠	张斌	王勇华	231
长沙中青广场基坑工程·····					翟博渊	牛辉	239
武汉葛洲坝城市花园二期基坑工程·····			徐国兴	赵小龙	王华雷		250
郑州绿地滨湖国际城项目四区基坑工程·····	宋进京	周同和		郭院成	宋建学		257
郑州宏光协和城邦 C 区基坑 工程·····	潘艳辉	陈德胜	李国强	郑胜	郭新猛	宋建学	270
甘肃某医院住院部二期项目深基坑工程·····					叶帅华	张来安	278
天水时代丽都项目基坑工程·····	杨校辉	朱彦鹏	师占宾	郭楠	高登辉		288
张掖地下商业街基坑工程·····	周勇	王一鸣	朱彦鹏		王振正		297

四、土钉支护或上部土钉、下部桩锚支护

兰州名城广场基坑工程·····	张恩祥	刘冠荣	龙照	孙万胜			307
兰州某棚户区改造和保障房建设项目深基坑工程·····	任永忠	周勇	王正振				321
兰州伊真置业广场基坑工程·····	李元勋	朱彦鹏	叶帅华				331
张掖电厂员工公寓楼基坑工程·····		周勇	徐峰				339

五、联合支护

北京顺义区某基坑支护工程·····	李凌峰	马永琪	吕岱				347	
珠江新城花城湾二期基坑 工程·····	张文超	蔡辉	薛炜	古伟斌	彭卫平	李振浩	于方	360
厦门天地阳光广场基坑工程·····					黄清和	黄建南	369	
长沙运达中央广场加深开挖 基坑工程·····	马郢	郭运	刘佑祥	朱佳	倪欣	易丽丽	376	
兰州某住宅楼地下车库基坑工程·····			叶帅华	王正振	周勇		384	
西宁青藏铁路西格二线改建珍宝岛回迁安置楼 基坑工程·····	杨校辉	郭楠	朱彦鹏	黄雪峰			393	
张掖七一文化商业综合体基坑工程·····	周勇	王正振	叶师华				402	
江门某工业园基坑支护工程·····		陈志平	黄学龙				411	