

对当前基坑工程中几个主要问题的讨论

郭志昆, 张武刚, 陈妙峰, 李水泉

(解放军理工大学工程兵工程学院, 南京 210007)

【摘要】回顾了基坑工程的发展和现状,对基坑支护结构进行了分类,重点对基坑工程中目前存在的四个主要问题,即土压力、桩—土相互作用、变形控制和空间作用,进行了详细的讨论。

【关键词】基坑工程 支护结构 土压力 桩—土相互作用 变形控制 空间作用

1 基坑工程的发展和现状

根据有关文献^[1,2,3],基坑工程是指在地表以下开挖的一个地下空间及其配套的支护体系;而基坑支护就是为保证基坑开挖、基础施工的顺利进行及基坑周边环境的安全,对基坑侧壁及周边环境采用的支挡、加固与保护措施。

基坑工程研究的主要问题有3个:稳定性、变形和渗流。其主要内容包括:基坑支护体系的强度和变形控制、基坑坑底和挡土墙后土体的安全和变形控制、周围建(构)筑物的安全和变形控制、相关地面地下管线的安全和变形控制、地下水的降水止水措施等。

在国外,二战后的20多年间,欧美地区的发达国家在重建家园的需要和工业化进程的推动下,为兴建高层和超高层大厦,修建城市地铁而出现了大量的基坑工程,基坑支护技术的研究随之开展起来。最早提出基坑分析方法的是Terzaghi和Peck等人,他们早在20世纪40年代就提出了预估挖方稳定程度和支撑荷载大小的总应力法。50年代,Bjerrum和Eide给出了分析深基坑坑底隆起的方法。60年代开始在奥斯陆和墨西哥城的软粘土深基坑中使用了仪器进行监测。这一时期基坑支护技术发展的成就主要表现在:深化并完善了对基坑支护概念的认识,发展了土压力理论,提出了较符合工程实际的挡土结构内力分析模型和计算方法,试验和量测技术以及对土性参数的确定和土体本构模型的研究等都得到了迅速发展。尤其是各种新型挡土结构的出现和应用为基坑支护技术的进一步发展开辟了广阔的前景,并积累了大量的工程经验,形成了较好适用性的半经验的设计、施工和预测基坑变形的方

法。从20世纪70年代到现在的30年间,基坑支护技术的发展进入了一个新的发展阶段。此期间,随着基坑工程的发展,与各种挡土结构相适应的设计理论不断完善,产生了指导基坑开挖的法规;基坑支护的概念也发生了变化,在原来的外部支护设计的基础上,又提出了以加固土体、提高土体自承能力为目的的内部支护的方法;施工机械的发展、施工工艺的不断改进、新型挡土结构材料的应用,为复合型挡土结构在复杂的深大基坑中的应用提供了良好的条件;计算方法上,应用有限元理论对土压力、基坑稳定性和基坑变形等进行联合分析的方法得到了较大发展。目前,发展新型材料用于加固和支挡土体,提高坑壁土体在基坑支护中的利用效果,改进施工工艺和加强施工管理,应用计算机进行计算和分析等,已经成为基坑支护技术新的发展方向。

在我国,从20世纪80年代初开始,基本建设蓬勃发展,高层建筑不断涌现,相应的建筑基础埋深也在不断增加,深层开挖也在逐渐增加。这时我国开始逐渐重视深基坑设计与施工

领域的研究,并逐渐应用于实际工程。在深圳地区的第一个深基坑支护工程率先应用了信息反馈施工法,大大地节省了工程造价。

进入90年代,人们对三维立体化空间的需求不断增长。一方面城市高层建筑成为发展趋势,建筑基坑越挖越深;另一方面,地下空间的开发利用也已成为发展方向之一,地铁、地下商城、地下油库和地下停车场等大型建筑物不断增多。基坑开挖与城市建设密集、地下管线众多、建设场地狭小,周围环境要求高等不利因素的矛盾更加突出。大坡度大深度的基坑开挖给设计、施工及周围环境保护都提出了许多新的问题,使岩土工程的经典理论面临着新的课题。这一阶段,全国各地的科研机构、设计和施工单位,在学习外国先进理论、借鉴外国先进技术的基础上,积极开展了基坑工程的理论研究、试验和实测分析;各种各样的新型支护结构在我国开始大量应用;为总结我国深基坑设计与施工经验,有关深基坑设计与施工的法规规范也开始着手编制或已经完成。

2 基坑支护结构类型及其功能

经过广大科研和工程技术人员的探索和实践,提出了众多的基坑支护结构形式。但基坑支护结构的分类,工程界一直没有统一的分类标准^[1,4,5]。以下是由几个不同方面对基坑支护结构进行的简单分类。

根据支护结构的受力特点来分,主要有:重力式挡土结构、墙板式支护结构(包括地下连续墙、板桩及桩板)、排桩式支护结构、锚杆支护结构、土钉支护及喷锚支护。

根据减小基坑侧移变形的方

法,可将支护结构分为撑式支护和锚式支护两种。撑式支护是在坑内设置一道或几道钢管或钢筋混凝土支撑,以达到增强支护结构整体刚度和稳定性的目的。锚式支护是采用一道或几道锚杆或锚索的拉结来增强支护体系的稳定性,以减小支护结构的变形。

从被支护土体的作用机理,可将基坑支护分为被动支护(亦称外部支护、支挡型支护)和主动支护(亦称内部支护、加固型支护)两种。前面所述的重力式挡土结构、墙板式支护结构、排桩式支护结构属于外部支护,被支护土体被视为作用于挡土结构的主要荷载。锚杆支护、土钉支护和喷锚支护等属于内部支护,被支护土体既是荷载也是承载结构的一部分。

总之,对基坑支护结构进行分类是为了能较充分地了解支护结构的工作性能及其支护原理,从而便于设计人员在选择方案时参考。在选用基坑支护方案时,应遵循因地制宜的原则,选择针对性强、适用性好、安全可靠、经济合理的支护方案,并在必要时辅以适当的地基加固处理手段。

3 当前基坑工程中存在的几个主要问题

尽管基坑工程在我国有了长足的发展,但它毕竟是岩土工程中一个新领域,在国际上发展的时间并不长,在我国的真正发展也不过一二十年时间,有众多的问题值得人们去深入研究。在此,仅讨论其中四个重要问题,即土压力问题、桩—土相互作用问题、变形控制问题和基坑空间作用问题。

3.1 土压力问题

近年来,对于如何计算支护结构上的土压力,岩土工程界存在着激烈的争论。争论的焦点有两个:一是古典的库伦公式或朗肯公式计算土压力的适用性问题,二是水土压力的分算和合算问题。

目前的支护结构设计中,一般都以古典的库伦公式或朗肯公式作为计算土压力的基本公式。应用这两个公式进行基坑土压力计算存在以下问题^[4-8]。

(1) 库伦—朗肯土压力理论所针对的挡土墙问题是平面问题,而深基坑开挖支护问题实际上是空间问题。

(2) 库伦—朗肯土压力理论适用于重力式挡土墙,即先筑墙,然后在墙背后填土,土体的破坏面假定为平面。而基坑挡土结构是先在中土设置挡墙,然后再挖土,墙背后是原状土,土体的破坏面是曲面。因此,基坑挡土结构的结构形式、墙后土的性质、施工次序、变形的发生、土中应力路径等都与库伦—朗肯土压力理论前提假定有很大差异。

(3) 对于粘性土,库伦土压力理论没有考虑土的粘聚力,工程中常用等值内摩擦角计算,结果显示低墙保守,高墙危险。按朗肯土压力理论计算,结果显示主动土压力偏大、被动土压力偏小。

(4) 从理论上讲,静止土压力是指挡土结构静止不动,土体处于弹性平衡状态时的土压力。主动土压力是当挡土结构向离开土体方向位移至土体达到极限平衡状态时的土压力。被动土压力是当挡土结构向压迫土体方向位移至土体达到极限平衡状态时的土压力。无论主动土压力还是被动土压力,都必须有一定的位移量,达到主动土压力的位移量约为 $(0.001 \sim 0.01)H$,达到被动土压力的位移量约为 $(0.02 \sim 0.06)H$, H 为墙高。库伦—朗肯土压力理论计算的就是这种极限平衡状态时的土压力。

但是在实际的基坑工程中,对基坑位移均有严格的控制要求,如此大的位移量是不容许的。因此,基坑挡土结构上实际发生的土压力总是介于静止土压力与主动土压力或静止土压力与被动土压力之间。尤其在开挖过程中,土压力随开挖和支护的进行是一个动态变化过程,应用库伦—朗肯土压力理论无法计算出这一动态过程中相应的土压力。

鉴于库伦—朗肯土压力理论计算支护结构上的土压力存在以上诸多不足,加上基坑工程中常有地下水的存在,岩土工程界便努力去寻求其它计算途径,于是水土压力的分算和合算问题越来越引起人们的重视和讨论^[2, 3, 5, 8-14]。

通常的选用原则是:对于砂土和粉土采用水土压力分算法,对于粘性土则采用水土压力合算法^[2, 7]。

陈国兴、韩爱民^[9]通过土的渗透性的分析,对一土层主要为粉质粘土的工程分别按分算和合算原则进行计算。由理论分析和计算结果的分析比较得出,对于砂土、粉土、粉

质粘土和重粉质粘土宜采用水土压力分算法,对于粘土宜采用水土压力合算法。

龚晓南^[2]指出粘性土的水土压力合算法存在四个问题:(1)计算得出的主动区的水压力偏小,被动区的水压力偏大;(2)不能反映水位高低的区别;(3)无法考虑土压力的渗流效应;(4)在浅层土的粘聚力 c 较大的情况下,合算法计算得出的土压力为零的深度往往大于水位深度,这是不合理的。作者得出结论指出:水土压力合算法,对于土的情况,从理论上说是不成立的。关于“砂土用水土压力分算法,粘性土可用水土压力合算法”的论点应当修改为:除很少的土可以采用水土压力合算法外,一般均应采用水土压力分算法。魏汝龙也有类似的观点。

李广信^[14]对支护结构上水土压力的分算和合算作了系统的分析,提出了以下结论:(1)在原状土中开挖基坑进行支护设计时,其上的水土压力与用经典土压力理论计算的结果有很大差别,涉及许多复杂因素;(2)尽管水土合算可减少支护结构上总荷载,增加其抗力,从而减少了材料的投入和工程造价,但它与土力学的基本原理有冲突,在机理上也有许多模糊之处,是很值得商榷的;(3)水土分算在概念上符合土力学的基本原理,但有时超孔隙压力很难确定,在一些原状粘性土中,可能确实不存在静水压力;(4)关于基坑支护结构上的水土压力问题,涉及到对于原状土中的水土相互作用机理的认识,应当从微观结构、模型试验和现场的实测、使用不同强度指标的计算比较、数值分析等方面进行深入研究。

3.2 桩—土相互作用问题

C.S.Desai^[15]在对砂土中的桩、硬粘土中的桩、群桩等承受垂直荷载的桩与土相互作用进行分析的基础上,分析了影响桩—土相互作用的众多因素。主要有14个方面:

1) 应力解除和拉应力状态; 2) 应力途径; 3) 地层侧压力系数 k_0 的变化; 4) 荷载增量的大小; 5) 打桩应力; 6) 土体扰动; 7) 粘着力,内聚力和粘着力的量级; 8) 土的本构关系; 9) 交界面的特性; 10) 材料参数 K_r 的确定; 11) 直剪试验的局限性; 12) 试验装置的影响; 13) 结构物的柔度; 14) 应变软化。

Desai的分析虽然是针对承受垂直荷载的桩与土相互作用的,但他所分析的许多问题在承受水平荷载桩中同样存在,因此,对研究承受水平荷载的桩与土的相互作用有积极的借鉴作用。

林天健^[8]等分析了影响桩—土相互作用的6个因素: 1) 接触面上的拉剪应力释放与转移; 2) 应力路径与本构模型; 3) 地层侧压力系数 k_0 的变化; 4) 打桩应力; 5) 打桩对周围土体的扰动; 6) 桩—土界面的强度参数。

由以上分析即可以看出桩—土相互作用的复杂性。目前对桩—土相互作用的研究一般集中在两个方面,即模型选取和数值分析。由于桩土是两种不同的材料,分析时既要考虑静力平衡又要考虑变形协调。有限元法能考虑影响桩土工作性能的几乎所有主要因素,如土的非线性性质、土的固结时间效应、土的应变软化、桩的特殊约束边界条件、空间效应、施工过程等,能计算出桩及桩侧土中应力和变形的逐渐发展过程,因此数值分析方法一般采用有限元法来模拟桩土

共同作用的全过程。采用有限元法来模拟桩土共同作用的全过程的重点集中到以下方面。

1) 土体本构模型的选取

土的本构关系可根据土体的具体工作条件进行土的单轴、常规三轴、真三轴、固结、水压或直剪试验得出。常用的模型有 [16]：线弹性模型；弹性非线性模型；弹塑性模型；粘弹性模型。

尽管有如此多的土体力学模型可供选用，但能真正方便应用于基坑数值分析的模型却不多。

2) 接触面性状模拟——接触面单元模型的选取 [8, 16]

接触面单元主要用来模拟桩侧与土体之间的相对滑移，其接触条件可分成四类：固定型、滑动型、张开型和混合型 [8]。常用于基坑工程的接触面单元有两类：层状材料单元(薄单元)和接触摩擦型单元(无厚度单元)。其中应用较广的是古德曼(Goodman)无厚度单元和Desai薄层四边形单元。前者能模拟接触面的滑动和张裂。但对受压情况，为避免桩和土两种材料的重叠，计算时，常取一个很大的法向劲度系数，这样不可避免地会给计算带来一定的误差(特别是应力)。实际上，两种材料间的相互剪切错动未必恰恰沿材料的界面，也可能发生在土体内，这时，无厚度单元就不一定能真实反映接触面的变形特征。后者虽避免了这一缺陷，可较好地反映法向变形和切向变形以及应力的传递，但其单元厚度 d 的选择对计算结果有很大的影响。因此，如何选取合适的单元厚度，使计算结果的物理误差和数学误差都不大，是计算中必须认真考虑的问题。

3) 施工过程的模拟 [17]

施工过程的模拟实质是桩土在不断变化的荷载下的受力和变形协调问题，因此，施工过程的模拟应包括初始应力场的计算、分级增量开挖的计算(工况模拟)、挖去单元和节点的处理等方面。

目前所存在的主要问题就是在工况模拟上。一方面，基坑的设计计算工况不能切实可行地反映基坑的施工，设计人员只是按常规假设工况进行计算，而不管施工的具体工况是否与设计一致。另一方面，基坑施工过程中土方开挖和支撑加设的随意性，造成基坑工程的设计并未真正体现到施工组织设计中去，从而使得绝大多数工程的实际工况与设计计算工况严重不符，加剧了计算的内力、变形与实测的内力、变形的不一致。

3.3 变形控制问题

城市基坑工程往往处于房屋和生命线工程的密集地区。典型的城市基坑工程，其周围不仅有已建房屋或地铁隧道，而且有多种类型的管道和电缆，如供水管、煤气管、高压电缆、通讯电缆等。近几年，在软土地区的施工实践中，由于基坑开挖引起地层变形而损坏地面建筑和地下管线的事故经常发生，往往引起严重后果，而基坑支护结构尚未有破坏迹象。因此，基坑支护结构除满足强度要求外，还须满足变形要求。在软土地区后者往往占主导地位，即设计由变形控制 [18]。

变形控制是现有基坑工程设计理论(强度控制设计)不够重视的一个方面，常规计算方法对支护结构及基坑周围土体的变形未能给出相应的解答，这是导致一些基坑工程失败的主要原因之一。

候学渊 [18]、孙家乐 [19] 等深入探讨了变形控制设计，提出了变形控制设计的基本思想是，支护结构在满足强度的前提下，尚需满足其使用要求。即基坑在施工过程中既要保证其安全、不失稳，又要保证其对周围环境不造成破坏性的影响。作者还对变形控制设计的基本内容和变形控制标准进行了讨论。

刘建航、候学渊 [3] 将基坑变形控制标准分为4个保护等级，因此，按变形控制来设计基坑工程的内力和变形，需从以下几个方面加以研究 [17]：

1) 寻找一种能准确计算支护结构位移的基坑工程设计方法。这是问题的关键。

2) 寻找能准确计算基坑周围土体位移场(包括垂直沉降场和水平位移场)的计算方法。

3) 寻找一种能准确计算基坑开挖面以下任意深度土体回弹量(即回弹变形场)的计算方法。总之，变形控制设计比强度控制设计难度要大，尤其对设计数据、模型、参数的准确与可靠性要求高。在目前控制技术和手段还很少的情况下，真正要做好变形控制设计还要做许多扎实艰巨的工作。

3.4 基坑的空间作用问题

基坑的空间作用从本质上讲应包括两方面的内容，一方面指基坑的空间形状，另一方面是指支护结构的空间效应。

深基坑本身是一个具有长、宽、深尺寸的三维空间结构，其平面形状多为方形、矩形、圆形甚至不规则形状，从而导致支护体系的设计也是一个复杂的三维空间受力问题。Fook-Hou Lee等 [20] 对新加坡的软土基坑所做的监测表明，拐角的强化效应可显著地减少支护墙变形和地层沉降。对基坑所做的反分析也验证了拐角效应的显著性。同时，三维分析比二维分析更能准确地预测位移。作者还指出，基坑的拐角效应取决于三个因素：基坑的长深比；较硬土层的深度；支撑系统的刚度。Chang-Yu Ou等 [21] 也做了类似的工作，得出了一致的结果。在国内，虽然也有学者注意到拐角效应这一现象 [22]，但却未看到从机理上去研究这一现象的报道或文献，国内所关注的是支护结构的空间效应。

支护结构的空间效应指挡土结构和支撑体系共同组成一空间结构体系，来承担坑外侧土压力与地面超载作用。以排桩为例，将各自独立的支护桩通过桩顶圈梁联结成为一个整体，二者再与支撑构成一个空间受力体系，使各构件的受力更合理，提高了基坑的整体稳定性，同时也大大减小了支护结构和坑外土体的变形。对于支护结构的空间效应，国外的St.John、Burland、Poulos等人在70年代就积极展开了研究。90年代后利用有限元进行基坑三维分析更趋成熟 [23-30]。国内的研究始于90年代以后，并取得了可喜的成果 [22-38]。但因为土体力学参数的确定、有限元分析模式的选取等方面仍不能令人满意，所以基坑支护结构的三维有限元分析还处于辅助设计水平。

4 结语

基坑工程是岩土工程中一个新的领域，本文对20世纪基坑工程的兴起和发展作了简要回顾，对基坑支护的现有结构类型进行了分类，重点对基坑工程中目前存在的四个主要问

题作了详细的讨论。相信在新的世纪里,随着科技的发展和现实的要求,基坑工程与其它学科如计算机、神经网络等等的联系会越来越紧密,基坑工程有着广阔的发展空间。

【参考文献】

[1] 中华人民共和国行业标准. 建筑基坑支护技术规程. JGJ 120-99. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999

[2] 龚晓南, 高有潮. 深基坑设计施工手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999

[3] 刘建航, 侯学渊. 基坑工程手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997

[4] 余志成, 施文华. 深基坑支护设计与施工. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999

[5] 张正威, 崔京浩. 基坑支护结构形式及设计计算. 工程力学增刊, 1999, 495-501

[6] 高大钊. 软土深基坑支护技术中的若干土力学问题. 岩土力学, 1985, 18 (3): 178

[7] 建筑基坑边坡稳定与支护. 江苏省人民防空办公室等编印, 1997

[8] 林天健, 熊厚金, 王利群. 桩基础设计指南. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999

[9] 陈国兴, 韩爱民. 关于基坑支护结构土压力计算的若干意见. 工程兵工程学院学报, 1999, 14 (1): 33-37

[10] 周瑞志, 邱高翔, 苏友. Rankine土压力理论现代改进方法. 福州大学学报, 1999, 27 (3): 89-92

[11] 魏汝龙. 总应力法计算土压力的几个问题. 岩土工程学报, 1995, 17 (6): 120-125

[12] 魏汝龙. 深基坑开挖中的土压力计算. 地基处理, 1998, 9 (1): 37-5

[13] 陈愈炯, 温彦锋. 基坑支护结构上的水土压力. 岩土工程学报, 1999, 21 (2): 139-143

[14] 李广信. 支护结构上的水土压力的分算和合算. 岩土工程学报, 2000, 22 (2): 139-143

[15] [原联邦德国] G. 哥德赫. 有限元法在岩土力学中的应用. 北京: 中国铁道出版社, 1983

[16] 钱家欢, 殷宗泽. 土工原理与计算 (第二版). 北京: 中国水利水电出版社, 1989

[17] 侯学渊, 刘国彬, 黄院雄. 城市基坑工程发展的几点看法. 施工技术, 2000, 29 (1): 57

[18] 侯学渊, 刘国彬. 软土基坑支护结构的变形控制设计. 侯学渊, 杨敏主编, 软土地基变形控制设计理论与工程实践: 64-68, 上海: 同济大学出版社, 1996

[19] 孙家乐, 张钦喜, 刘柯. 深基坑支护结构体系变形控制设计. 侯学渊, 杨敏主编, 软土地基变形控制设计理论与工程实践: 138-145, 上海: 同济大学出版社, 1996

[20] Fook-Hou Lee, Kwat-Yew Yong, Kevin C. N. Quan, and Kum-Thong Chee. Effect of corners in strutted excavations: field monitoring and case histories. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 1998, 124(4): 339-348

[21] Chang-Yu Ou, Dar-chang, T.S. Wu. Three-dimensional finite element analysis of deep excavations. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 1996, 122(5): 337-345

[22] 杨雪强, 刘祖德, 何世秀. 论深基坑支护的空间效应. 岩土工程学报, 1998, 20(2): 74-78

[23] Pise, P.J. Laterally fixed-headed piles in a layered soil system. Indian Geotechnical Journal, 1981, 11(2): 142-152

[24] Vaziri, H.H. Numerical study of parameters influencing the response of flexible retaining walls. Canadian Geotechnical Journal, 1996, 33(3): 290-308

[25] Poulos, H.G. and Chen, L.T. Pile response due to unsupported excavation-induced lateral soil movement. Canadian Geotechnical Journal, 1996, 33(6): 670-677

[26] Poulos, H.G. and Chen, L.T. Pile response due to excavation-induced lateral soil movement. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 1997, 123(2): 94-99

[27] Chen, L.T. and Poulos, H.G. Piles subjected to lateral soil movements. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 1997, 123(9): 802-811

[28] Goh, A.T.O., Teh, C.I. and Wong, K.S. Analysis of piles subjected to embankment induced lateral soil movements. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 1997, 123(9): 792-801

[29] Briaud, J.-L., and Kim, N.-K. Beam-column method for tieback walls. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 1998, 124(1): 67-79

[30] Briaud, J.-L., and Lin, Yujin. Tieback walls in earth: numerical simulation and design implications. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 1999, 125(2): 101-110

[31] 曾国熙, 潘状元, 叶一等. 软粘土地基基坑开挖性状的研究. 岩土工程学报, 1988, 10(3): 13-22

[32] 曹双寅, 方东, 蒋永生. 整体式支护结构设计的优化分析. 工业建筑, 1997, 27(10): 37-40

[33] 蒋洪胜, 刘国彬. 软土深基坑支撑轴力的时空效应变化规律研究. 岩土工程学报, 1998, 20(6): 105-107

[34] 俞建霖, 龚晓南. 软土地基基坑开挖的三维性状分析. 浙江大学学报, 1999, 32(5): 552-558

[35] 俞建霖, 龚晓南. 深基坑工程的空间性状分析. 岩土工程学报, 1999, 21(1): 21-25

[36] 杨波, 冯小波. 深基坑支护结构空间效应的三维有限元分析. 岩土工程技术, 1999年第1期: 27-33

[37] 胡孔国, 吴京, 宋启根. 深基坑开挖和支护全过程分析的弹塑性有限元法. 建筑结构, 1999年第3期: 34-36

[38] 曹亮纯, 丁继青, 陈水福, 余华丹, 丁龙章. 深基坑支护结构整体空间有限元分析方法. 建筑结构, 1999年第12期: 29-31



第一作者简介:

郭志昆 (1965年-), 男, 博士, 副教授, 现任解放军理工大学结构爆炸实验室主任, 主要从事结构动力及环境岩土工程的设计、教学和科研工作。
通讯地址: 南京 南京解放军理工大学工程兵工程学院结构爆炸实验室

邮政编码: 210007

THE DISCUSSION OF SOME MAIN PROBLEMS IN THE EXCAVATION ENGINEERING

Abstract: In this paper, the development of excavation engineering is introduced, the retaining structures are classified, and for more, four important problems are discussed here, that is soil pressure, interaction between pile and soil, control of deformation and effects of partial.

Key words: excavation engineering, retaining structure, soil pressure, interaction between pile and soil, control of deformation, effects of partial