

悬臂式支护结构中几种控制变形的方 法

孙立宝

(浙江有色建设工程有限公司天津分公司,天津 300092)

摘要:悬臂式支护结构是基坑工程中常用的支护形式,多以排桩、地下连续墙、工法桩、钢板桩等形式出现。基坑工程中在条件受限的情况下,无法做内撑,但周边部分建(构)筑物对基坑变形很敏感,需要采取一些辅助措施来控制基坑的变形。结合工程实例介绍了悬臂式支护结构中常用的几种控制变形的方 法,包括双排桩外拉、锚杆(索)加固、基坑内斜撑、基坑内土加固、坑内预留反压土等,并对这几种方法的适用范围、技术要求等进行了分析,为今后类似工程的设计施工提供借鉴。

关键词:悬臂式支护;基坑工程;变形控制;双排桩;锚杆(索);斜撑

中图分类号:TU476 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2015)04-0058-05

Deformation Control Methods in Cantilever Retaining Structure/SUN Li-bao (Zhejiang Nonferrous Construction Engineering Co., Ltd., Tianjin Branch, Tianjin 300092, China)

Abstract: Cantilever retaining structure is a commonly-used retaining form in excavation engineering, which comes in forms of row piles, diaphragm wall, SMW pile and steel sheet pile. The internal bracing is impossible under the confined conditions of excavation engineering, but parts of the peripheral buildings (structures) are sensitive to the excavation deformation. In this case, some auxiliary measures should be taken for excavation deformation. The paper introduces several commonly-used methods of deformation control in cantilever retaining structure with engineering examples, including two-row piles bracing, reinforcement by bolt (cable), inclined brace in foundation pit, soil consolidation in foundation pit and soil reserving for piles stability. Analysis is made on these methods about the application scope and technical requirements to provide the reference for the design and construction of similar engineering.

Key words: cantilever retaining; excavation engineering; deformation control; two-row piles; bolt (anchor); inclined brace

0 引言

近年来,随着城市建设的快速发展,可提供的建筑空间越来越小,尤其是城市的繁华地带,更是寸土寸金。相应的地下空间开发利用逐渐加大,尤其是商业和民建项目,几乎都有地下室,使基坑工程变得越来越普遍。由于受施工空间和周围环境的限制,很多基坑工程无法放坡开挖,必须采取有效的支护措施进行垂直开挖。

有些基坑周边存在有老旧的建筑物或大量的地下管线,对基坑开挖变形很敏感。这就对基坑工程提出了更高的要求,控制基坑的变形变得至关重要。很多基坑工程又是临时工程,建设单位不愿意投入较大的工程成本,因此如何平衡经济与安全这对矛盾,在基坑工程中变得越来越突出。垂直开挖的基坑支护工程从支撑体系来划分,可分为有内撑的和

无内撑的 2 种形式,对于无内撑的支护体系通常称为悬臂式支护结构。

1 悬臂式支护结构概述

悬臂式支护结构是基坑工程中常用的设计形式,可以简单地理解为没有内撑的支护体系,钢筋混凝土排桩、地下连续墙、工法桩、钢板桩、混凝土预制桩等都可以设计成悬臂式支护结构。悬臂式支护结构形式简单、施工方便、占用空间小、施工周期短,有利于基坑采用大型机械开挖和主体结构顺作施工。由于没有内撑体系,因而造价相对低廉。悬臂式支护结构又称为自立式支护结构,适用于一般开挖深度不大,工程地质条件好,土体有较大的 c 、 φ 值,对变形要求不严格的基坑工程。

悬臂式支护结构也有自身的弱点。由于没有内

收稿日期:2014-10-28;修回日期:2015-01-25

作者简介:孙立宝,男,汉族,1970年生,总工程师,高级工程师,从事岩土工程的勘察、设计与施工管理工作,天津市红桥区三条石大街尚都家园 1-1202, suntj66@163.com。

撑体系,相同的开挖深度位移大、内力大、支护结构需采用更大的插入深度,基坑的变形控制相对较难。在实际应用中,有些基坑只是局部对变形要求敏感,或者受到一些自身条件的限制,无法实施局部内撑体系,这类的基坑支护工程往往需要采取一些辅助措施来减小基坑的局部变形,保证周围环境的安全。

2 几种控制变形的办法

对于悬臂式支护结构,常用的控制局部变形的措施有双排桩外拉、锚杆(索)加固、基坑内斜撑、坑内土加固、预留反压土等方法。

2.1 双排桩外拉

双排桩支护是近几年经常采用的一种基坑支护形式,尤其是对控制悬臂式支护结构的局部变形作用显著。双排桩可以理解为将密集的单排支护桩的部分桩向后移,并在前排桩顶用冠梁连接,前后排桩之间用连梁连接,发挥空间组合的整体刚度和空间效应,来维持基坑稳定、控制变形。双排桩支护结构的布桩形式灵活,主要有之字式、双三角式、梅花式、并列式(也可称其为矩形格构式)、丁字式、连拱式等(见图1),其中以并列式和丁字式较为常用。

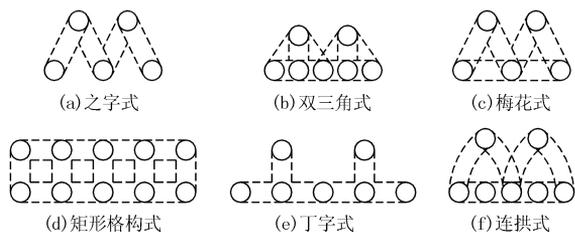


图1 双排桩的主要布桩形式

2.1.1 双排桩支护结构体系特点

(1) 双排桩支护结构中,前后排桩均分担主动土压力,其中前排桩主要起分担土压力的作用,后排桩兼起支挡和拉锚的双重作用。

(2) 悬臂式双排桩支护结构为超静定结构,在复杂多变的外荷载作用下能自动调整结构本身的内力,使之适应复杂而又往往难以预计荷载条件。双排支护结构能形成空间格构,增强支护结构自身稳定性和整体的刚度。

(3) 充分利用桩土共同作用的土拱效应,改变土体侧压力分布,增强支护效果,是代替桩锚支护结构的一种好的支护形式。

(4) 地下水位较高的软土地区采用双排支护桩时,应做好挡土止水措施,避免桩间土流失而造成支

护结构失效。

(5) 双排桩支护体系缺点是基坑周边需要一定的水平空间作业面,当地面有建(构)筑物或有地下管线在施工范围内时,双排桩是无法实施的。

2.1.2 应用实例

某工程有2层地下室,基坑开挖深度为10.7~12.0 m。由于北、西、南3侧均为开阔地带,为后期施工预留地,这3侧均有放坡条件,唯独东侧临既有建筑物,距离为14.7 m,而且是5层砖混结构,对变形要求严格。该侧如果设计为单排灌注桩支护,经验算位移无法满足要求,为此东侧设计成“U”形的悬臂式排桩支护,“U”形的两个转角,采用水平角撑,东侧整个支护边长为161 m,为了控制中间部位的挠曲变形,中间部位采用双排桩,双排桩水平总长度为东侧边长的1/3,前后排间距为4.0 m,布桩形式如图2。

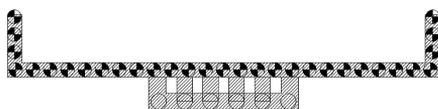


图2 双排桩支护布桩示意图

基坑开挖后,经监测整个东侧的基坑位移均在设计要求的范围内,对周围道路和建筑物没有产生任何影响,该双排桩支护较好地解决了大基坑中局部变形过大的问题。

2.2 锚杆(索)加固

当水平施工空间受限或地表浅层埋有管线时,可采用锚杆(索)加固的方法来控制基坑的变形。土层锚杆(索)是一种埋入土层深处的受拉杆件,它一端与支护结构相连,另一端锚固在土层中,通常对其施加预应力,以承受由土压力、水压力等所产生的拉力,用以维护支护结构的稳定,减少基坑变形。

当锚杆(索)加固用于控制悬臂式支护结构的变形时,对地层是有要求的,锚固段应位于粘性土、粉土、砂土、碎石土中。如位于淤泥质土层、填土层时,应考虑土的蠕变对锚杆(索)预应力损失的影响,并应根据蠕变试验确定锚杆(索)的极限抗拔承载力。

当锚杆(索)穿过的地层上方存在天然地基的建筑物或地下构筑物时,应避开易塌孔、变形的地层。当锚杆(索)穿过的地层附近存在既有地下管线、地下构筑物时,应在调查或探明其位置、走向、类

型、使用状况等情况后再进行锚杆(索)施工。

某公司从国外引进了一台新型的锻压机设备,设备基础埋深为 -17.0 m ,基础筏板厚度为 4.0 m ,为该设备新建的锻压车间与原有锻造车间相连。由于该设备基础埋深 -17.0 m 且紧临现有锻造车间,无法采用放坡开挖,只能采用垂直开挖。对于基坑支护方案的选择,考虑到施工的难易程度、整体性、止水效果、后续生产所产生的震动及噪声的消弭程度,最终选用了地下连续墙的支护方案。

该基坑地下连续墙平面布置呈 $19.7\text{ m}\times 27.7\text{ m}$ 的矩形,周长 94.8 m ,墙厚 800 mm ,墙深 30.0 m ,墙顶设置冠梁一道。该基坑的最大特点是基坑内不能有任何内撑措施,因为基础底板施工完成后,该锻压机设备要吊装入位。经过计算,悬臂支护结构的地下连续墙变形稍大,同时为了控制以后长期震动作用下的持续变形,在地下连续墙上加设了3道预应力锚索,锚索长 20.0 m ,锚索的锚固端分别位于粉质粘土、砾砂、卵石中。从该设备投产以来的监测情况来看,地下连续墙的变形非常微小,锚索发挥了应有的作用(见图3)。

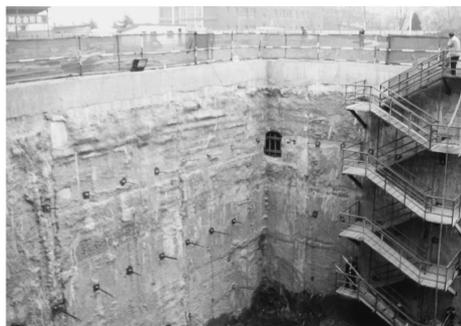


图3 锚索加固悬臂式支护

2.3 基坑内斜撑

当双排桩水平空间受限无法采用,锚杆(索)施工又没有好的锚固地层,但局部对变形要求又比较严格,也可采用坑内斜撑的方法来控制变形。坑内斜撑的设置宜采用钢管支撑,一端架在悬臂式支护结构上,在悬臂式支护结构上宜设置横向腰梁,另一端可支在基础工程桩上。对于基础工程桩所能承受的剪力应进行事先的验算,如不能满足要求,可另行单独设计支撑桩。

基坑开挖时应先预留支护结构附近的土体,然后施工斜撑。在施工斜撑之前一定要把支撑桩周边的基础垫层打上,以防止支撑桩产生水平位移。待斜撑

施工完成后,再将支护结构前的被动土挖走,进行主体结构施工。在绑筋时可将支撑钢管一并绑在钢筋中,在进行侧墙混凝土施工时,可把支撑钢管浇筑在侧墙里面,待整个地下室施工完成后,再将支撑钢管割除,然后对支撑钢管留下的孔洞进行止水封堵。

某基坑工程主体为5栋10~11层的中高层住宅楼,主楼有一半地下室,沿主楼的东侧为一长条形的地下车库,地下车库为2层,车库负一层与主楼电梯间相通。车库基础埋深为 -7.5 m ,与地下车库相连的主楼基础埋深为 -2.4 m ,地面标高为 -1.0 m ,地下车库开挖深度为 6.5 m ,主楼开挖深度为 1.4 m ,二者有 5.1 m 的高差。由于施工场地狭小,地下车库外墙边即为用地界线,因此基坑只能垂直开挖,为此设计采用水泥搅拌桩格构式挡墙作基坑支护。

由于建设单位着急售房,在地下车库的围护桩施工完后就对主楼进行了基坑开挖,施工与车库相邻的主楼主体,直至施工到地上二层,才进行车库的基坑开挖,造成主楼与车库基坑的高差增大了 7.4 m ,这与原先设计的工况相差甚远,对于主楼下的悬臂式支护结构如不采取加固措施将会产生较大变形,甚至有垮塌的可能。

经计算和论证,最后采用了坑内斜撑的方法来加固悬臂支护结构,减少支护体系的水平位移,斜撑采用 $\text{O}200\text{ mm}$ 的钢管,钢管支撑支在地下车库的抗拔桩上,另一端支在悬臂结构的横向腰梁上。最后将支撑钢管浇筑在地下室的侧墙内,待地下室全部完成后再将钢管割除(见图4)。



图4 基坑内钢管斜撑

2.4 基坑内土加固

大量的工程实践证明,被动区土体的加固可以改善土体的物理力学指标,不仅能够减小支护结构的侧向变形和结构外的地面沉降,而且可以增强坑底抗隆起变形的能力,防止被动区土体的破坏,特别

是在软土地区,被动土加固是常用控制基坑变形的办法。

被动土的加固方法可以采用水泥搅拌法或高压旋喷法,加固后的水泥石抗剪强度随抗压强度的增加而提高。当 $f_{cu}=0.3\sim 4.0$ MPa时,其粘聚力 c 的值为 f_{cu} 的20%~30%,其内摩擦角在 $20^\circ\sim 30^\circ$ 之间变化。如果采用 m 法计算基坑的位移时,可适当提高加固土的水平抗力比例系数 m 的值。

软土地区坑内的土体加固能有效地减少围护结构的侧向位移,通过弹性地基梁法分析坑内土体的加固深度及程度对围护结构变形的影响,可以看出加固土体的深度和加固程度均有一个临界值,当超过临界值后,土体加固发挥的作用不明显,因此应当合理确定土体加固的各项设计参数,避免工程浪费,既要达到控制基坑变形的目的,又要节省造价。目前常用的基坑支护设计软件可以自动计算坑内加固土的宽度和厚度及加固后的力学参数。

某工程合围区域内均有1层地下车库,东侧及南侧放坡开挖,西侧距原有2栋6层砖混住宅楼较近,最近处约为11.1 m,距规划用地界线最近处为2.2 m。场地西侧在规划用地界线内只能采用单排桩悬臂支护,北侧距现有5层建筑物最近处约12.0 m,采用格构式水泥石重力式挡墙支护。整个基坑长140 m,宽90 m,东侧、南侧放坡开挖,西侧采用悬臂式排桩支护,北侧采用重力式水泥石挡墙。西侧由于受用地界线的限制,只能采用单排灌注桩加止水帷幕的支护方式,经计算最大水平位移为42.8 mm,考虑到相邻的2栋6层既有建筑物为老式住宅楼,建成有30余年历史,为天然地基浅基础,对基坑变形比较敏感。整个基坑不具备内撑的条件,如果一味地加大支护桩的插入深度,势必造成造价大幅上升,且所得到的改善效果收效甚微。经论证后做坑内土加固,坑内土加固宽度2.5 m,深度5.0 m,采用水泥搅拌法(见图5)。经计算加固后最大水平位移为15.8 mm,完全满足规范要求,且造价增加有限。可见坑内土加固对控制基坑的局部变形性价比还是很高的。该基坑开挖后经实际监测,位移仅12.0 mm,在规范允许的范围内(规范最大位移为40.0 mm)。周边2栋住宅楼的沉降变形只有几个毫米,基坑开挖对其产生的影响微乎其微。

2.5 坑内预留反压土

在悬臂式支护结构中,经常需要采取各种措施

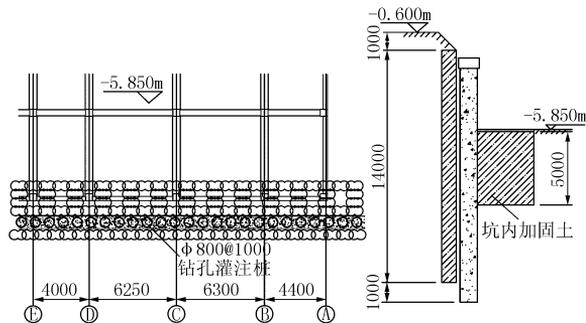


图5 坑内加固土方案图

以提高被动区土的水平抗力,从而减少基坑的变形。目前,预留反压土也是常用的方法之一。在条件允许的情况下,应优先考虑坑内预留反压土的施工方法,以增强坑内土体对挡土结构的支撑作用。由于反压土具有重力作用,因此坑底土体承受的竖向压力不但包括自重,还包括上部土体传递来的反压土重力。根据Rankine土压力理论,并参照《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—2012)中关于对基坑外侧附加荷载的相关计算规定,可以看出竖向压力的增大必然使土体提供更大的被动土压力,从而加大坑底土体对支护结构的水平抗力,进一步强化基坑土体对支护结构的嵌固作用。

预留反压土不但可以省去水平支撑,减小支护结构的变形、位移,而且可以减小支护结构的嵌固深度。特别是对于大型基坑,反压土应作为增强支护结构体系的首选方案,采用预留反压土的方法具有良好的经济效益和社会效益。另外,作为抢险应急手段的一种,反压土还经常被用于处理基坑事故。反压土的土质条件对反压土作用的发挥有着显著影响,因此在开挖前应进行良好的基坑降水,开挖过程中注意不要扰动反压土,并对反压土进行护坡,防止雨水侵入土坡,这些措施均有助于保证反压土作用的充分发挥,必要时也可考虑对反压土进行注浆加固。

预留反压土有2种情况,一种是坑内有空间的可以留置永久反压土;另一种是坑内没有空间,预留的反压土最后还是要被清走,这也正是反压土的弊端,主体结构有时不能一次完成,需要二次施工。一般反压土须预留在坑底边缘,当基坑中间部位施工完毕后,以中间的主体结构作为支撑点,将悬臂式结构与主体结构进行对撑,然后卸走反压土,再施工预留反压土的区域。

某基坑平面尺寸260 m×120 m,大面积开挖深

度为7.8 m,局部开挖深度为9.0 m。基坑四周均临道路,其东侧邻天津地铁一号线区间隧道,隧道侧墙距拟建地下室外墙24.0 m左右。工程实践表明,在天津地区采用单排桩悬臂式支护的开挖深度一般不超过6.0 m,但支护桩桩顶水平位移可达10 cm以上。对于本工程来说,大面积开挖深度达7.8 m,基坑平面尺寸又很大,采用内支撑方案造价将会非常高,同时架设水平支撑又因工期限制而不允许。采用外围设止水帷幕、帷幕内放坡开挖的方案周边条件不允许。综合考虑各种因素,为了解决悬臂支护基坑变形过大的问题,对开挖深度为7.8 m的部位,采用 $\varnothing 600$ mm单排灌注桩加预留反压土的支护方案,排桩外设水泥搅拌桩止水帷幕。排桩支护的悬臂高度为3.2 m,反压土顶宽为1.0 m,高度为4.6 m,底宽为5.0 m。对开挖深度9.0 m处,采用双排桩悬臂式支护加止水帷幕的设计方案。

基坑开挖后经实测,预留反压土部位悬臂式支护结构的最大水平位移为6.1 cm,在规范允许的范围。周围环境的监测结果表明均处于安全状态。由此可见,悬臂支护结构的基坑中在条件允许的情况下,预留反压土的做法可以有效减小基坑的变形,控制支护结构的位移,降低支护工程的造价。

3 结语

控制悬臂式支护结构局部变形的常用措施有双

排桩外拉、锚杆(索)加固、基坑内斜撑、坑内土加固、预留反压土等多种方法。在悬臂式支护结构设计时,可根据工程地质条件、周边环境、基坑的形状与尺寸、施工作业空间的大小、主体施工方案、施工季节变化等各项因素,选择前述的一种或几种方法来满足基坑局部对变形的要求,从而发挥悬臂式支护结构的优势,保证周围环境的安全,使基坑工程既安全可靠,又经济合理、方便施工。

参考文献:

- [1] 陈福全,吴国荣,刘毓胤,等. 基坑内预留土堤对基坑性状的影响分析[J]. 岩土工程学报,2006,28(S1):1470-1474.
- [2] 李顺群,郑刚,王英红,等. 反压土对悬臂式支护结构嵌固深度的影响研究[J]. 岩土力学,2011,32(11):3427-3431.
- [3] 罗战友,夏建中,刘筱. 基坑内土体加固对悬臂式支护结构的影响分析[J]. 岩土力学,2006,27(10):931-934.
- [4] 苏德利. 悬臂式基坑支护结构选型与整体稳定性分析[J]. 河南城建学院学报,2010,19(5):20-23,52.
- [5] 张明中,李江. 不同支护形式在北京西环广场基坑工程中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2003,(S1):61-63.
- [6] 付涛,艾晓辅,池秀文,等. 悬臂式排桩支护结构位移和弯矩的分析研究[J]. 建筑科学,2013,29(3):11-16.
- [7] 杜甫志,王宪章,吴旭君,等. 饱水砂层深基坑中悬臂式双排桩支护及地下水处理方法[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(4):55-59.
- [8] 刘利平,刘晶晶,张鹏,等. 土钉和桩锚组合式支护体系受力和变形的数值模拟[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(8):53-57.

(上接第57页)

(4) 锚杆轴力与作用在支护结构上的土压力以及支护结构变形有关,同时也能间接的反映基坑的整体稳定性。

(5) 通过基坑开挖监测及分析,证明本桩锚支护设计是安全可靠的,并具有一定的安全储备。

(6) 桩锚支护结构能很好有效的控制基坑水平变形,当深基坑周边环境需要对变形进行严格控制时,可选用桩锚支护方案进行处理。

参考文献:

- [1] JGJ 120—2012,建筑基坑支护技术规程[S].
- [2] 桂国庆,涂铿. 深基坑工程的研究现状与发展趋势[J]. 工程力

学,2000,(S1).

- [3] 吴恒,周东,李陶深,等. 深基坑桩锚支护协同演化优化设计[J]. 岩土工程学报,2002,24(4).
- [4] 姜晨光,林新贤,黄家兴,等. 深基坑桩锚支护结构变形监测与初步分析[J]. 矿产勘查,2002,(8).
- [5] 王曙光. 复杂周边环境基坑工程变形控制技术[J]. 岩土工程学报,2013,35(7).
- [6] GB 50497—2009,建筑基坑工程监测技术规范[S].
- [7] ASCE/SEI 7—05, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures[S]. American Society of Civil Engineers,2006.
- [8] 许录明,楚丽爽,戴建阳,等. 桩锚结构在深基坑支护中的应用分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(6):57-60.
- [9] 刘利平,刘晶晶,张鹏,等. 土钉和桩锚组合式支护体系受力和变形的数值模拟[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(8):53-57.