

SMW工法用于深基坑中的研究与实践

陈晓飞, 李庆刚, 唐伟华, 颜庭成, 李有军

(江苏省有色金属华东地质勘查局, 江苏 南京 210007)

摘要:通过对排桩支护、地下连续墙和SMW工法几种深基坑(12~20 m)支护工法的适用条件及优缺点对比, 突显SMW工法的优越性, 并结合工程实例从设计和施工方面介绍这一新型工法, 为SMW工法作为深基坑支护提供可借鉴的成功经验。

关键词:深基坑支护; SMW工法; 抗弯刚度; 施工要点

中图分类号: TU473.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2009)02-0043-03

Research and Application of SMW Method in Deep Excavation/CHEN Xiao-fei, LI Qing-gang, TANG Wei-hua, YAN Ting-cheng, LI You-jun (Easten China Geological and Mining Organization for Non-ferrous Metal of Jiangsu Province, Nan-jing Jiangsu 210007, China)

Abstract: Advantages of SMW engineering method were highlighted through the comparison with row-pile supporting, diaphragm wall and several deep excavation (12~20 m) supporting. Overall introduction of this new method was made on design and construction.

Key words: deep excavation support; SMW engineering method; flexural rigidity; construction point

随着城市建设规模的不断升级, 地面空间的日趋饱和, 人们开始把目光转向地下寻求城市发展的空间, 即进行城市地下空间的开发利用。伴随着地下空间开发层次的不断深入, 基坑工程规模越来越大, 对施工技术要求越来越高, 特别是在各种复杂的地质条件和水文环境下, 如何经济合理地解决好基坑支护方面的问题, 工程界学者和技术人员进行了不懈的探索, 取得了许多成果, 积累了丰富的经验, 促使新工艺不断涌现。

1 几种深基坑(12~20 m)支护工法的适用条件及优缺点

1.1 排桩支护

排桩支护是指柱列式间隔布置钢筋混凝土挖孔、钻(冲)孔灌注桩作为主要挡土结构的一种支护形式。柱列式间隔布置包括桩与桩之间有一定净距的疏排布置形式和桩与桩相切的密排布置形式。柱列式灌注桩作为挡土围护结构有很好的刚度, 适合各种地层。但各桩之间的联系必须在桩顶浇注较大截面的钢筋混凝土帽梁加以可靠联接。为了防止地下水并夹带土体颗粒从桩间孔隙流入(渗入)坑内, 应同时在桩间或桩背采用高压注浆、设置深层搅拌桩、旋喷桩等措施, 或在桩后专门构筑防水帷幕。当

要求灌注桩围护结构起到抗水防渗作用时, 必须做好桩间和桩背的深层防水搅拌桩或旋喷桩。当周围环境保护要求严格时, 为减少排桩的变形, 在软土地区有时对基坑底沿灌注桩周边或部分区域, 用水泥搅拌桩或注浆进行被动区加固, 以提高被动区的抗力, 减少支护结构的变形。排桩支护是挡土系统和止水系统两独立结构配套使用。实际施工时, 不管是先施工钻孔桩再施工搅拌桩, 还是先施工搅拌桩再施工支护桩, 止水搅拌桩客观上都不可能与支护钻孔桩紧贴, 开挖时桩间砂土坍塌, 造成止水桩直接承担水土压力, 因而搅拌桩首先被剪断产生漏水, 导致基坑失稳。

1.2 地下连续墙

地下连续墙是用特制的成槽机械, 在泥浆护壁的作用下, 开挖一定深度的沟槽, 然后清除槽段内沉淀的沉渣, 吊装钢筋笼后浇筑混凝土所形成的墙体。整个槽段地下连续墙具有整体刚度大的特点和良好的止水防渗效果, 既挡土又挡水, 极少发生地基沉降或塌方事故。

适用于软粘土和砂土等多种地层条件和复杂的施工环境, 尤其是基坑底面以下有深层软土需将墙体插入很深的情况。因此在国内外的地下工程中得到广泛的应用。但是在一些特殊的地质条件下(如

收稿日期: 2008-07-25

作者简介:陈晓飞(1979-), 男(汉族), 安徽人, 江苏省有色金属华东地质勘查局工程师, 地质工程专业, 从事岩土工程施工方面的研究工作, 江苏省南京市白下区大光路26号, handsomechxf@126.com; 李庆刚(1978-), 男(汉族), 山东泰安人, 江苏省有色金属华东地质勘查局, 材料学专业, 硕士, 从事岩土工程施工方面的研究工作, shx_lqg@126.com。

很软的淤泥质土,含漂石的冲积层和超硬岩石等),施工难度很大。地下连续墙作为临时的支护结构,比其它工法的费用要高得多。在施工中泥浆污染施工现场,造成场地泥泞不堪,泥浆废后处理比较麻烦。

1.3 SMW 工法

SMW (Soil Mixing Wall) 工法是水泥土混合体未结硬前插入 H 型钢或钢板作为其应力补强材料,至水泥结硬,便形成一道具有一定强度和刚度的、连续完整的、无接缝的地下墙体。水泥与土得到充分的强化搅拌,墙体无论在纵向与横向都没有接缝,具有高止水性;在插入 H 型钢后使其形成一复合墙体,具有抗侧压强度。因此,SMW 墙具有挡土与止水双重作用,适用于任何土层,对周围地基影响小,插入水泥土中的 H 型钢或钢板可以拔出重复使用,大大降低了施工成本。由于 H 型钢刚度随长度增长而降低,从而使得插入 H 型钢的水泥土墙强度降低,故不适合超深基坑。据查阅有关资料,国内最深基坑记录为南京地铁工程(20 m)。

2 工程实例

苏州火车站改造工程车站站房基础与多条地铁线交错施工,车站线路呈弧形,其改造工程采用明挖顺作法施工。车站分主体和附属工程两部分,主体结构基坑采用地下连续墙围护,附属结构采用 SMW 工法桩作为围护结构,附属工程包括出入口及两组风井、风亭,附属结构开挖深度约为 16 m。

SMW 工法作为深基坑支护在国内可以借鉴的成功经验较少,本文结合苏州火车站改造工程实例,从刚度设计、工艺流程和技术要点方面对工法作一介绍。

2.1 SMW 工法的刚度

荷载较小时水泥土受拉区还未出现开裂,组合结构全截面均参与工作。此时组合结构截面抗弯刚度为:

$$B = E_s I_s + \xi E_c I_c \quad (1)$$

式中: E_s 、 E_c ——型钢与水泥土的弹性模量; I_s 、 I_c ——型钢与水泥土对中心轴的惯性矩; ξ ——考虑水泥土缺陷的折减系数,取 0.5~1.0。

水泥土开裂前的弯矩极限为:

$$M_{ct} = 2f_t [(E_s/E_c)I_s + I_c]/h \quad (2)$$

式中: h ——截面高度; f_t ——水泥土的抗拉强度。

受拉区部分水泥土开裂后,开裂部分即退出工作,而受压区水泥土承受了更大的压应力,截面的中

性轴将向受压区偏移。假设型钢截面尺寸较小,在计算水泥土截面面积时可忽略,则组合截面中性轴偏离型钢中心轴的距离为:

$$t = h_t E_c (A_c - bh_t) / 2 [E_s A_s + E_c (A_c - bh_t)] \quad (3)$$

式中: A_s 、 A_c ——型钢和水泥土的全截面面积; b ——截面宽度; h_t ——受拉区开裂深度。

此时截面的抗弯刚度为:

$$B = E_s (I_s + A_s t^2) + E_c (\xi I_{ct} + A_{ct} t_c^2) \quad (4)$$

式中: A_{ct} ——参与工作的水泥土截面面积, $A_{ct} = A_c - bh_t$; I_{ct} ——参与工作的水泥土截面对其自身中心轴的惯性矩, $I_{ct} = b(h - h_t)^3 / 12$; t_c ——参与工作的水泥土中心轴与截面中性轴间的距离, $t_c = h_t / 2 - t$ 。

此时在水泥土受拉区未开裂部分边缘处的应力应为 f_t ,故:

$$f_t = (E_c M / B) (h / 2 + t - h_t) \quad (5)$$

将(3)式代入(4)、(5)两式得:

$$B = E_s I_s + \xi E_c \frac{b(h - h_t)^3}{12} + \frac{h_t^2 E_s A_s E_c (A_c - bh_t)}{4 [E_s A_s + E_c (A_c - bh_t)]} \quad (6)$$

$$f_t = \frac{E_c M}{B} \left[\frac{h}{2} - \frac{h_t}{2} \frac{2E_s A_s + E_c (A_c - bh_t)}{E_s A_s + E_c (A_c - bh_t)} \right] \quad (7)$$

在已知截面内力(弯矩)时,可利用(6)、(7)两式迭代计算出截面刚度,从这两式可看出截面的抗弯刚度与内力(弯矩)密切相关。

继续加载,型钢将屈服,组合结构体刚度将降低。由于工程中不允许应力达到这一程度,因此,型钢屈服后的刚度不再分析。

2.2 施工工艺流程

SMW 工法围护结构施工主要包括开挖导沟、桩机定位、搅拌施工、泥浆制作、型钢的插入与拔除等工艺,具体工艺流程如图 1 所示。

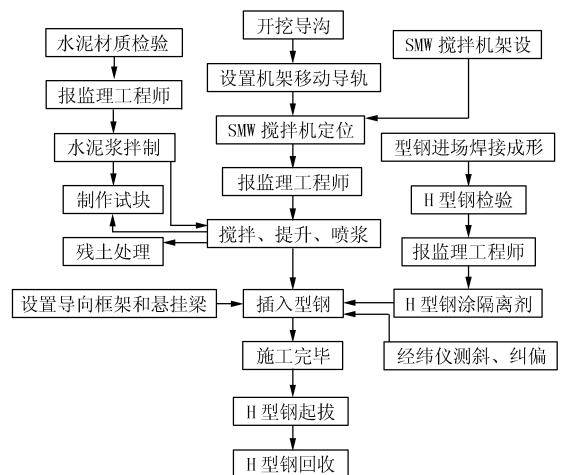


图1 SMW 围护结构施工流程图示意图

2.3 施工过程中的技术要点

(1) 如机械施工区域有软土,则桩机施工道路需铺设 30 cm 厚的碎石垫层,并在桩机施工时局部铺设 30 mm 钢板,以确保桩机的安全与施工质量,并按照设计图进行定位及高程引测工作。

(2) 采用挖机开挖导沟,沟槽宽度为 1 m、深度为 0.6 m。为确保桩位以及为安装 H 型钢提供导向装置,平行沟槽方向放置 2 根 300 mm × 300 mm 工字钢,定位型钢上设桩位标志和插 H 型钢的位置。

(3) 搅拌机就位操作人员根据确定的位置严格控制钻机桩架的移动,确保钻孔轴心就位不偏。同时控制钻孔深度的达标,利用钻杆和桩架相对定位原理,在钻杆上划出钻孔深度的标尺线,严格控制下钻、提升速度和深度。

(4) 搅拌桩成桩

① 制备水泥浆:深层搅拌机预搅下沉的同时,按水灰比 1.5 ~ 1.6 拌制水泥浆液,搅拌桩采用 32.5 新鲜普通硅酸盐水泥,每次投料后拌合时间 \leq 3 min,但是搅拌时间 \geq 2 h,防止水泥浆产生离析。待压浆前将浆液倒入集料斗中。在水泥浆液中加 0.5% ~ 1.0% 高效减水剂,以减少水泥浆液在注浆过程中的堵塞现象,并掺入 1% ~ 3% 的膨润土,利用其保水性提高水泥土的变形能力,减少墙体开裂,提高 SMW 墙的抗渗性能很有效果。

② 喷浆、搅拌、提升:深层搅拌机下沉到设计深度后,开启灰浆泵。待浆液到达喷浆口,再严格按设计确定的提升速度边喷浆边提升深层搅拌机。严格控制水泥质量及水泥掺量,确保水灰比。注浆时要保证单位时间内注浆相等,不得中断注浆。

③ 重复搅拌:深层搅拌桩采用“二喷四搅”。深层搅拌机喷浆提升至设计顶面标高后,为使软土和浆液搅拌均匀,再次将深层搅拌机边搅拌喷浆边下沉至设计深度后,再严格按设计确定的提升速度提升深层搅拌机至地面。“二喷四搅”二次喷浆后保证水泥掺入量满足 18% 的设计要求,同时施工中注意控制下沉及提升速度并注意孔底重复搅拌。

(5) H 型钢安放与回收

① 型钢加工时一般 H 型钢长度为 12 m/根,施工中单根长度不能满足要求的将需 2 根或多根进行焊接。型钢具体焊接采用双面切口满焊,焊接前要先进行除渣、除湿、除锈等,对焊焊缝高度要高于型钢平面约 2 mm。焊缝不得有漏焊。从外观来看,要达到焊缝饱满、无裂纹。焊接完成后,要用砂轮机进行打磨,使接口处型钢保持平整。

② H 型钢插入在钻孔的水泥土充分搅拌均匀后,开始初凝硬化之前,采用大型吊装机械将定尺的 H 型钢吊起,插入指定位置,靠型钢自重插入。型钢上涂减摩擦材料(上海隧道研究所研制的减磨剂涂层,单位面积静磨阻力平均为 0.04 MPa)减少阻力。涂层厚度控制在不小于 1 mm,以保证型钢的回收再利用。型钢应平直、光滑、无弯曲、无扭曲。在孔口设定向装置,型钢插到设计规定深度,然后进行换钩,使 H 型钢脱离吊钩,固定在钩槽两侧铺设的定位型钢上直至孔内的水泥土凝固。

③ H 型钢回收:当施工完毕后进行 H 型钢回收,在施工前应进行型钢抗拔验算与拉拔试验,以确保型钢的顺利回收。H 型钢回收后注浆:注浆选用 \varnothing 10 mm 钢管顺水泥土壁插入桩底,钢管采用焊接。注浆材料采用细砂掺加 0.5% ~ 1.0% 高效减水剂及 3% ~ 7% 膨润土,水灰比控制在 0.7,通过高效减水剂及膨润土调整水泥砂浆的流动性。注浆时采用压力 \leq 1.0 MPa 的注浆泵。

(6) 桩与桩之间衔接时间 \geq 24 h。因为冷缝处易漏水降低止水效果,常用旋喷桩在外侧进行处理,施工成本增加。

3 结语

SMW 工法集合了排桩支护和地下连续墙的优点,并以低成本、施工周期短、环境污染小,尤其是 H 型钢的可回收再利用独特之处,展现骄人魅力,是符合建设节约型社会和发展循环经济这一国家政策的良好基坑围护形式。随着 SMW 工法的设计规范和施工规范的编制推出,以及 SMW 工法理论的完善,相信 SMW 工法会凭借其独特的优势在软土地区的地下空间资源开发中发挥空前作用。

参考文献:

- [1] 王梦恕.我国地铁施工方法综述与展望[J].地下空间,1998,(6).
- [2] 夏明耀,曾进伦.地下工程设计施工手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1998.
- [3] 刘建航,侯学渊.基坑工程手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1997.
- [4] 徐源.SMW 工法设计与施工关键技术难点研究[J].徐州工程学院学报,2007,22(2).
- [5] 李凤明,倪西民.SMW 工法的设计与应用[J].市政技术,2007,25(1).
- [6] 王俊平.SMW 工法桩在地下工程中的应用[J].科技信息,2008,(1).