劲性水泥土搅拌连续墙在新天地广场（太平桥）109-35a 基坑围护工程中的应用

曾进伦
（同济大学地下建筑与工程系，上海，200092 ）
童海东　　王荣发
（上海凌翌建设工程有限责任公司，上海，200050）[中国建筑第六工程局（沪），上海，200063]

提　要　采用长螺旋三轴搅拌机械施工的既挡土又止水防渗的劲性水泥土连续墙(SMW 工法)应用在上海市新天地广场(太平桥)109-35A 深基坑围护工程中，取得了成功。本文结合工程实际应用，讨论了有关设计、施工的参数取用，分析了施工时对基坑周边环境的影响程度，特别是对其内部芯材 H 型钢的成功回收作了详细的论述。

一　工程概况

上海市新天地广场(太平桥)109-35a 地下室工程位于马当路、兴业路交汇处东北角

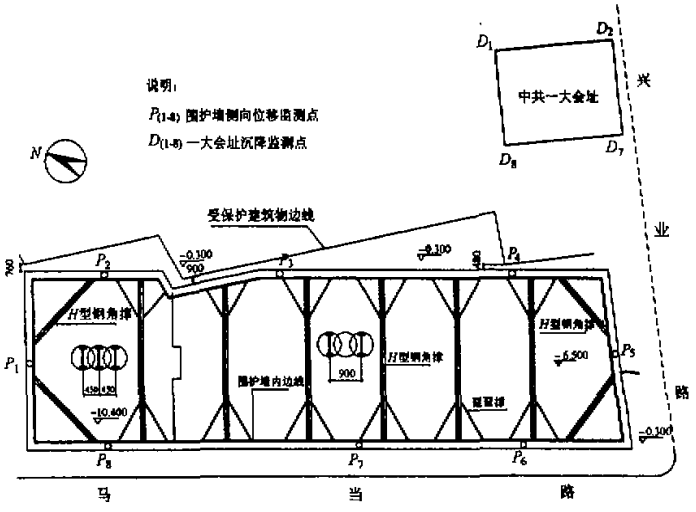


图1　基坑围护结构平面图

的地块内。基地东西宽约 20.0m，南北长 80m 左右，平面为不规则长方形。地下室基坑为南北向长方形，面积 1070.83m²。南端为一层地下室，开挖深度 5.8m～7.0m；北端为二层地下室，开挖深度 10.0m。基坑围护结构周长 163.93m，其中北边二层深坑周长 53.87m，南边一层浅坑周长 110.06m。基坑平面如图 1 所示。

基坑东边紧邻多层受保护建筑物，即基坑围护墙东边距离受保护建筑物(危房)最小处仅为 480mm～900mm；南边紧靠兴业路，西临马当路，北毗太仓路。基坑以东、兴业路以北为中共“一大”会址。马当路、兴业路下均有污水管、煤气管、上、下水管，雨水管，电话和电力电缆等各种管线。

据工程地质勘察报告揭示，该基坑围护结构深度范围内自上而下土层分布如表 1 所示。

表 1

层序	土层名称	土层厚度 (m)	垂直渗透系数 K_v(cm/s)	水平渗透系数 K_H(cm/s)	含水量 W(%)	固结快剪(峰值) c(kPa)	ϕ
1	填土	1.1～1.9		1.0～1.9			
2	粉质粘土	1.1～2.0	1.70×10^{-7}	2.36×10^{-7}	37.8	20	18° 30′
3	淤泥质粉质粘土	4.5～6.2	1.82×10^{-7}	2.84×10^{-7}	44.8	13	19° 00′
4	淤泥质粘土	6.9～9.3	2.00×10^{-7}	3.55×10^{-7}	49.3	13	13° 15′
5-1	灰色粘土	1.5～3.8			41.8		

二 劲性水泥土连续墙围护结构设计

1. 基坑围护结构方案选择

本工程基坑与同类基坑相比较，具有以下特殊性：

(1)由于业主需要充分利用地下室空间，使基坑东边围护墙距离多层受保护建筑物(危房)的最小部位分别为 480mm、760mm、900mm,基坑西边距离马当路红线仅 2.5m，基坑南边距离兴业路红线 3.0m 左右，在基坑设计、施工时场地受到很大限制。

(2)基坑以东、兴业路以北为国家重点文物保护单位中共“一大”会址。“一大”会址要求地面沉降≤3mm，即地面沉降报警值为 3mm。

(3)马当路、兴业路下有污水管、煤气管、上、下水管，雨水管，电话和电力电缆等各种管线。基坑施工时须保证基坑周围各种地下管线、建筑物、周边道路等市政设施的安全。

(4)基坑开挖深度南边为地面以下 5.8m～7.0m，北边为地面以下 10.0m，基坑开挖较深。

根据以上情况，结合上海地区已施工过同类基坑的经验与教训，对各种基坑围护方案经过反复的讨论与比较后，决定采用劲性水泥土搅拌连续墙与钢支撑为围护结构方案。基坑北边深坑部分设置上、中、下三道组合式 H 型钢对撑与角撑；基坑南边浅坑部分设置一道组合式 H 型钢对撑与角撑。深坑与浅坑交界处的围护结构，采用宽 3.35m、浅坑底面

以下深 10.0m 的格栅式水泥土搅拌桩。

2. 围护结构组成

(1)围护结构墙体

本围护结构采用直径 ϕ650mm 水泥土搅拌桩连续墙。中心距@450，水泥掺量 20%，即每立方米土掺入水泥 360kg，水灰比 1.5～2.0。深坑区段桩长(深)21m。浅坑东边(沿受保护建筑物一边)桩长(深)13m。浅坑西边桩长(深)12m。平均有效墙厚 593mm。水泥土搅拌桩内插入 H500×200×10×16 型钢。深坑区段 H 型钢插深 20.0m，中心距@450。浅坑东边区段 H 型钢插深 12.0m，中心距@900。浅坑西边区段 H 型钢插深 11.0m，中心距@900。

(2)基坑平面支撑系统

本基坑工程平面呈不规则长方形，考虑到该基坑平面的体形，在短边方向采用组合 H 型钢对撑。南端浅坑内设置一道组合 H 型钢水平对撑与角撑，标高为-1.35m；北端深坑内设置三道组合 H 型钢水平对撑与角撑，水平对撑与角撑标高第一道为-1.350m，第二道为-3.750m，第三道为-7.200m。H 型钢对撑与角撑的截面尺寸:南边浅坑为 2H600×200，北边深坑第一道为 2H600×300，第二、三道为 2H700×300，围檩为 2H700×300。琵琶撑均为 H400×400。

为严格控制基坑周边位移，在 H 型钢对称施工时预加轴力与复加轴力。上、中、下三道钢支撑的预加轴力、复加轴力为相应支撑设计轴力的 5%～70%，即预加轴力、复加轴力上道钢支撑为 500～800kN/双根撑，中道为 1300kN/双根撑，下道为 1600kN/双根撑。为了加强劲性水泥土搅拌连续墙内 H 型钢连接的整体性，沿围护墙顶部一圈设置顶圈梁(锁口梁)一道，浅坑周围顶圈梁截面尺寸为 b×h=950×700 ，深坑周围顶圈梁截面尺寸为 b×h=1050×700，其锁口梁的混凝土强度等级为 C30。如图 1 、图 2 所示。

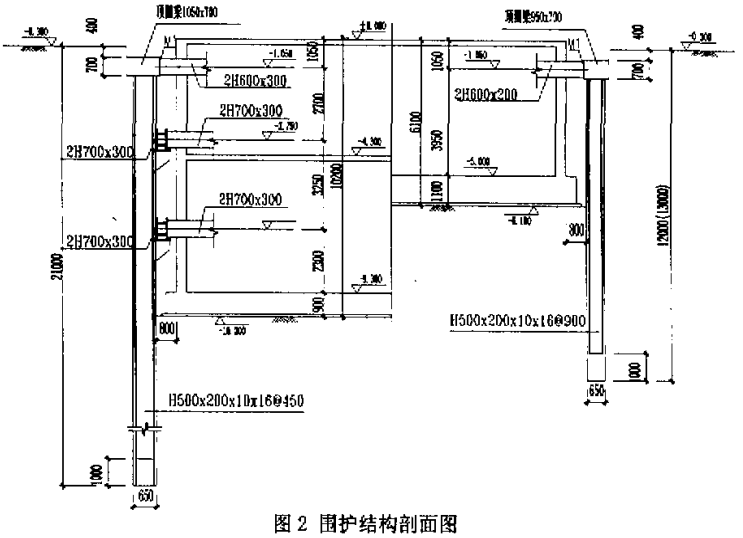


图 2 围护结构剖面图

3. 主要计算成果

(1)围护结构内力及变形

表 2　围护墙内力及变形的计算结果

项目名称	类型	直径(mm)	间距(mm)	长度(m)	基坑挖深(m)	最大弯矩(kN·m)	最大位移(mm)
南边浅坑	围护桩(墙)	650	450	12～13	5.8～7.0	206.8	29.3
北边深坑	围护桩(墙)	650	450	21	9.9	418.2	23.5

(2)支撑内力及位移

表 3

内力及位移	深　坑			浅　坑		
支撑	最大轴力(kN)	最大弯矩(kN·m)	最大位移(mm)	最大轴力(kN)	最大弯矩(kN·m)	最大位移(mm)
第一道	1552	1559	25.943	1406	865	21.0
第二道	2770	1678	26.087			
第三道	3810	1782	28.061			

(3)H 型钢之间水泥土抗剪强度验算

$$S<[f]$$

S 为水泥土的剪应力，$[f]$为允许剪应力。本工程 S =0.031MPa，$[f]$=0.080MPa，满足要求。

(4)基坑整体稳定、抗隆起、抗渗流验算：

表 4

项　目	浅坑安全系数 K	深坑安全系数 K
围护墙稳定验算	1.85	1.47
坑底抗隆起验算	3.60	2.98
抗渗流管涌验算	2.70	2.35

三　H 型钢回收

据测算，H 型钢的费用约占围护结构造价的 40%～50%。对 H 型钢的回收势在必行。本工程在水泥土连续墙中插入 H500×200×10×16 型钢共 242 根，其中长 11.0m 的 72 根，长 12.0m 的 53 根，长 20.0m 的 117 根，总计约 324 吨。99 年 12 月 19 日前基坑内侧回填土结束，12 月 11 日至 12 月 27 日，拔出回收 H 型钢 225 根，其中长 11.0m 的 69 根，长 12.0m 的 51 根，长 20.0m 的 105 根，约 299 吨。由于基坑后浇带尚未完成，另有 17 根型钢暂时未回收。除一根长 20.0m 的型钢在拔除回收过程中变形过大外，其余型钢均基本良好，变形很小。这些型钢于 2000 年元月 21 日至 31 日再次插入新天地广场 109-47#地块基坑的水泥土搅拌连续墙中重复使用。

在拔出 H 型钢的同时，对 H 型钢留下的缝隙进行充填。H 型钢的回收对基坑周围的环境基本没有影响，满足周边环境变形控制要求。

由于 H 型钢的回收成功，降低了围护结构的造价，使劲性水泥土搅拌连续墙工法的成本远低于地下连续墙、钻孔灌注桩排桩加水泥土搅拌桩等基坑围护结构，从而使劲性水泥土搅拌连续墙工法在基坑工程中的应用推广，具有更强大的生命力。

四　监测成果分析

信息化施工是基坑围护工程的重要环节之一。本工程从桩的开钻到拔出 H 型钢的整个施工过程，对基坑工程本体及其周围环境、地下管线，特别是中共“一大”会址，进行了全方位的监测。

(1)在基坑开挖过程中，围护墙体向坑内位移，因而导致周边环境、地下管线变形较大。例如马当路下距离基坑最近的煤气管最大沉降为 8.9mm；基坑东边三层受保护建筑物距离基坑仅 480mm 部位的累计最大沉降为 26.2mm。

围护墙体内各测斜孔的最大位移量及其所在深度如表 5。

表 5

孔　号	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
最大位移(mm)	18.4	26.5	23.6	10.9	14.1	13.6	25.2
所在深度(m)	10	5	7	7	6	6	10
日变化量(mm/d)	0.5	0.72	0.64	0.29	0.38	0.37	0.68

从上表看出，P3、P4 及 P8 的累计变形较大，是因为 P3、P4 孔所在的围护结构紧靠已有三层受保护建筑物，由于这些建筑物的附加压力使围护结构受力增大，从而变形也相应增大。P8 孔位移也较大，主要是此孔所在的基坑开挖深度达 10m ,虽然有三道钢支撑，变形还是较大。

(2)本基坑工程的施工对中共“一大”会址的影响很小。例如距离基坑最近的中共“一大”会址新馆监测点 D8 的累计最大沉降仅为 2.5mm，沉降速率为-0.0136mm/d(包括新建筑物的自身沉降在内)。所有测点沉降大多在 0.5mm～1.9mm 以内，并且随着旧馆距离的增加，累计沉降量进一步减小。所有测点的沉降值均未超过重点文物保护沉降变形警戒值(≤3mm),由此表明本工程的施工对中共“一大”会址影响极小。

(3)在回收起拔 H 型钢期间，由于起拔与回填砂及注浆有时间差，以及砂子的压缩效应，对基坑周边环境沉降有一定影响。由于各测点距离基坑的远近不同，测得的沉降变化也不同。受保护建筑物距离基坑最近的测点变形最大，最大沉降为 4.5mm，如图 3 所示；中共“一大”会址距离拔桩施工点最远，变形最小，最大沉降为 1.9mm。详见图 4。

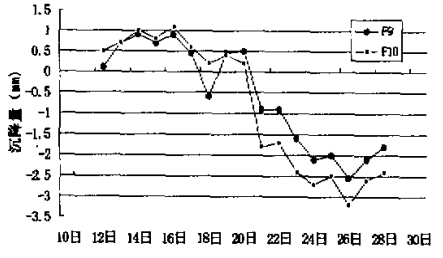


图 3 建筑物沉降历时变化曲线(拔桩期间)

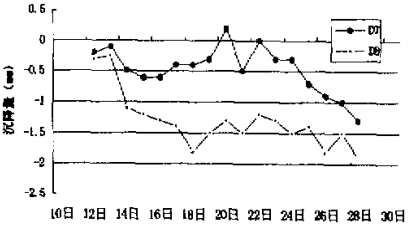


图 4 一大会址沉降历时变化曲线(拔桩期间)

(4)在整个基坑施工过程中，围护结构及周边环境的变形较小，围护结构始终处于正常状态，没有发生任何意外事故。这表明本基坑工程的围护设计、施工、监测是成功的。

五 结束语

本工程的规模不大，开挖深度为 5.8～10.0m，但工程地质条件复杂，周围工程环境对基坑变形的要求很高。经过设计、施工、、监测、监理等单位的共同努力，本工程达到了安全、可行、技术先进、经济合理的效果。

(1)劲性水泥土搅拌连续墙采用围护结构与防渗帷幕相结合形式作为基坑围护结构，且设计按变形控制，符合工程实际。墙体变形设计值为 29.3mm，实测值为 27.2mm，两者基本吻合。

(2)通过该工程的施工实践证明，三轴水泥土搅拌机械施工的水泥土连续墙均匀，防渗止水性能可靠，选用的水泥掺量、水灰比合理、可行。

(3)劲性水泥土搅拌连续墙有效墙厚仅 593mm，且既挡土又止水防渗，有效地解决了围护结构距离受保护建筑物(危房)仅 480mm～900mm 施工场地不足的困难。

(4)该工程的劲性水泥土搅拌连续墙深 12m、13m 与 21m，施工效率可达到 12～16m/日一台，施工顺利，施工时对周围环境几乎无影响。

(5)本工程对劲性水泥土搅拌连续墙中的 H 型钢芯材基本全部回收，节约了围护结构成本 25%左右，为劲性水泥土搅拌连续墙工法的推广，作出了榜样，取得了显著的社会、经济效益。

参考文献

[1] 夏明耀，曾进伦：《地下工程设计施工手册》，北京，中国建筑工业出版社，1999.7。

[2] 上海凌至建设工程有限责任公司：《日本 SMW 工法施工技术与设备引进开发工作简介》，1999.12。

[3] 中国土木工程学会：《第八届土力学及岩土工程学术会议论文集》，北京，万国学术出版社，1999.10。

[4] 水泥土搅拌墙应用技术研究课题组：《水泥土搅拌墙应用技术研究课题材料》，1998.3。

[5] 张冠军，黄均龙等：《SMW 工法 H 型钢回收技术及经济分析》，1999.12。