

# 地铁车站地下连续墙“二墙合一”深基坑施工技术

唐俊杰, 李克庆, 郑红雷, 叶建良

(浙江省大成建设集团有限公司, 浙江 杭州 310012)

**摘要:**“二墙合一”最大的特点是将单一挡土结构转换为地下室永久性结构的外墙。介绍了在复杂周围环境和地质条件下采用地下连续墙“二墙合一”基坑支护技术的施工实例,在超宽、超深地下墙施工过程中,采用了相应的技术措施,解决了成槽稳定和大量钢筋笼起吊装和锁口管安放、起拔等施工难题,为在闹市区超深地下墙施工提供了经验。

**关键词:**地下连续墙;基坑支护;二墙合一;锁口管;成槽机;钢筋笼起吊

**中图分类号:**TU473.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2009)02-0039-04

**Construction Technology of “Two Walls Combined into One” Diaphragm Wall for Deep Foundation Pit in Subway Station/TANG Jun-jie, LI Ke-qing, ZHENG Hong-lei, YE Jian-liang (Zhejiang Dacheng Construction Group Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang 310012, China)**

**Abstract:** “Two walls combined into one” means that single earth retaining structure is turned to be external wall of permanent basement structure. The paper introduced the construction case in complex surrounding environment and geological conditions with this technology. In super-wide and super-deep diaphragm wall construction, trenching stability, large diameter reinforcement cage hoisting and putting or drawing for fore shaft pipe were successfully performed, the experience was provided for super-deep diaphragm wall construction in downtown area.

**Key words:** underground diaphragm wall; foundation pit retaining; “two walls combined into one”; fore shaft pipe; trenching tool; reinforcement cage hoisting

## 1 工程概况

拟建工程位于上海市黄浦区上海轨道交通9号线西藏南路与M8线进行十字换乘车站,东接中华路站,西至马当路站,位于陆家浜路下,骑跨西藏南路,车站外包总长162.2 m,标准段外包宽度22.9 m,为地下3层结构。地下一层为站厅层,地下二层为设备层,地下三层为站台层,站台宽度为12.5 m,车站结构高度约为19.6 m,基坑开挖深度为22.8 m,顶板覆土厚度2.91 m,车站两端各设一座端头井,端头井平面内净尺寸为12.2 m×23.9 m,基坑开挖深度约为24.5 m,东端头井上、下行线盾构进洞,西端头井上行线盾构进洞后调头,下行线盾构进洞。

地下连续墙采用“二墙合一”,即将单一挡土结构转换为地下室永久性结构的外墙,“二墙合一”东、西端头井各12幅,深44 m;标准段共计36幅,均深42.5 m,厚度均为1000 mm,加7道钢支撑。顶标高均为绝对标高+3.8 m,接头形式为普通锁口管柔性接头,设计要求44 m长钢筋笼分2节吊装。

本基坑工程的周边环境相当复杂,车站位于十

字路口,施工期间保证交通全部畅通无阻,基坑四周埋设了大量的市政、电力、电信和煤气等管道,所以围护设计应合理控制基坑体的变形,确保基坑邻近建筑物以及交通的安全和正常使用。根据《地质勘察报告》,场地地基土分布特征为:上部有较厚的杂填土,第①层成分复杂,结构松散,含多量碎石,还夹有较大的混凝土石块,填土组成复杂,砂质粉土强度高,压缩性低,但渗透性能很强,随后土层多为粘土层,地下墙墙趾插入到⑦<sub>2</sub>层粉细砂。围护设计应对基坑的防渗止水、抗管涌、浅层障碍物及不良地质等对围护体施工的影响等予以充分考虑。

## 2 施工技术难点

(1)地质土以粘性土层为主,但在深40~45 m为第⑦<sub>2</sub>层粉细砂,该土 $N > 50$ ,土质非常硬,同时为保证超深、超宽墙体( $X$ 、 $Y$ )方向垂直度,采用常规成槽机成槽会非常困难。

(2)西侧、东侧端头井地下墙通过地下污水管( $\varnothing 1650$  mm),东区南侧11万V高压电缆仅距地下墙0.5 m,西藏南路地下管线多,保护要求高,而且

收稿日期:2008-07-21

作者简介:唐俊杰(1970-),男(汉族),浙江杭州人,浙江省大成建设集团有限公司工程师,建筑工程专业,浙江省杭州市文三路20号建工大厦副楼4楼基础公司,TWJ513@163.com。

地面交通相当繁忙,处于十字路口,施工期间车辆行走产生的震动对地下墙的稳定产生不利的影 响,尤其是超宽、超深地下墙更是不利,要确保在较短的时间内完成单元槽段。

(3) 钢筋笼高度为 0.88 m,长度为 44 m,质量将近 40 t,为保证钢筋笼吊装安全,特采用分 2 节起吊,主筋接头采用接驳器连接,合理配置吊车、编制吊装方案及吊装管理。

(4) 地下墙采用普通圆形锁口管接头,锁口管为  $\varnothing 1000$  mm,自重近 35 t,它与混凝土接触面 1570 mm,渗透水路径变长,比普通波形锁口管要多出 20%。有利于刷壁形式,同时可以依赖成槽机自身抓斗刮掉接头处的附土,保证刷壁更加干净,圆形锁口管作为地下连续墙柔性接头形式被广泛应用。如果同样制作 1200 mm 厚、超深地下墙接头桩,则会因接头桩太重而使现场仅有的 150 t 吊车无法起吊,如采用更大吨位吊车,会因吊车太重而使现场重要条件不允许,而且不经济。另外使用接头桩还会因接缝多而增加连续墙接缝漏水的可能,再说接头桩拼接时间长而使成槽暴露时间过长也不利于成槽稳定。所以单根锁口管在超深、超宽的地下墙施工过程中,如何保证锁口管安全起拔是地下墙施工成功与否的关键。

### 3 相应的技术措施

#### 3.1 保证成槽效率的技术措施

采用“两钻一抓”的施工工艺成槽,以提高成槽效率,即在成槽液压抓斗全部张开(抓斗张开后宽度为 3.00 m)后的两端各钻一个导向孔,采用 GPS-20 型钻机,钻孔深度 44 m(与成槽深度相同),并确保钻孔垂直度偏差  $< 1/500$ 。通过钻导向孔可以使液压抓斗斗齿在成槽时伸入已钻孔的两孔之中并夹住两孔之间直接将土体抓出,大大降低了成槽过程中土体对液压抓斗产生的阻力,提高了成槽速度,特别是解决了在⑦层粉细砂土层中土质硬的成槽难题,缩短整幅槽段的施工时间,提高了施工效率。

结合本工程实际情况采用了国内先进的利勃海尔 HBS843 型成槽机(备用一台金泰 GB35 型成槽机),通过机械设备探测超深墙身垂直度,随时采用纠偏装置纠正,每幅槽段再进行超声波检测,确保每整幅墙体端头、墙体垂直度。确保下放锁口管的垂直度。

通过本工程实践,提出在下列几种情况需要钻机辅助钻孔成槽“两钻一抓”:

- (1) 地下墙深度  $> 40$  m;
- (2) 地下墙厚度  $> 0.8$  m,且深度  $> 38$  m;
- (3) 异性幅地下墙成槽液压抓斗机械尺寸受到限制的;
- (4) 土体硬,成槽效率低下;
- (5) 在基岩地质中成槽的;
- (6) 在卵砾石层中成槽的;
- (7) 在端头垂直度不宜控制的情况下。

#### 3.2 防止成槽坍方,保证周边管线安全的技术措施

在地下连续墙施工时,必须防止槽壁在挖槽过程中发生严重坍塌,否则,成槽坍方会引起周围地表沉降,直接影响周边管线的安全。为防止成槽坍方,在邻近西藏南路侧的地下墙施工工艺以及有关参数做了适当的调整。

(1) 原地下墙分幅宽度均在 6 m 左右,而抓斗全部张开后的宽度为 3.00 m,这样完成一幅 6 m 的槽段(锁口管直径  $\varnothing 1000$  mm)需要在 3 个位置进行成槽,而每一个位置成槽 44 m 深度需要 12 h 左右,经过修改使邻近西藏南路侧段分幅宽度减少至 5 m 以内,这样完成一幅槽段仅需要在 2 个位置上成槽,一幅槽段缩短了 1/3 成槽时间,降低了成槽坍方的可能性。在最短的时间内完成单元槽段的施工。

(2) 采用高导墙(见图 1),提高泥浆液面:根据槽段稳定性计算,泥浆密度  $> 1.15$  kg/L 时,才能保证成槽稳定,而泥浆密度  $> 1.15$  kg/L 又超过了规范要求,为此经研究决定只能采用提高泥浆液面高度的措施,加高导墙 70 cm,以增大泥浆对槽壁的抗水平侧压力,从而避免槽壁坍塌引起地面沉降,保证周边管线的安全。导墙加高 70 cm 后,泥浆密度控制在 1.1 ~ 1.15 kg/L,就能保证成槽稳定。

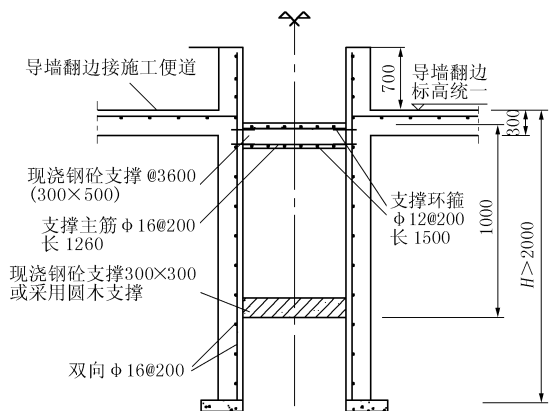


图 1 高导墙钢筋配筋详图

(3) 加强施工管理,禁止在槽段两侧堆放土方、钢筋、锁口管等重物或停置、通行起重机、搅拌车重

型施工机械。

采用以上措施后,效果良好,在地下墙施工过程中,施工起重机械设备行走时,距离导墙中心线 3 m 以上。周围地表最大沉降控制在 5 mm 以内,施工期间邻近建筑物的最大沉降为 3 mm,一般都稳定在 2 mm 以内,确保了周边管线、地面、建筑物的安全。

### 3.3 保证钢筋笼起吊的技术措施

#### 3.3.1 钢筋笼起吊技术措施

由于地下墙钢筋笼的刚度较差,起吊时极易变形散架,发生安全事故,根据以往成功经验和现场实际情况,采取以下技术措施,以确保钢筋笼的安全吊装:合理设置钢筋笼纵、横向桁架、拉结筋、吊点等施工用筋位置及数量,以保证钢筋笼起吊的整体刚度。钢筋吊点分布及起重设备的选择见图 2。

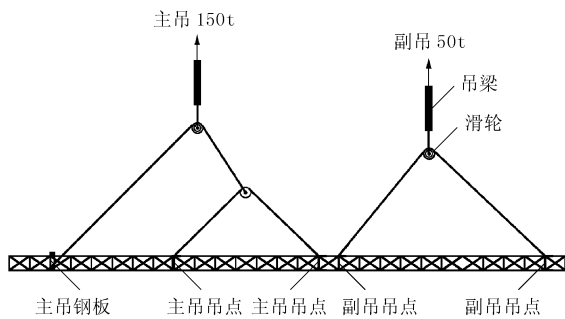


图 2 钢筋笼吊点示意图

#### 3.3.2 异型幅钢筋笼吊装

对于拐角幅钢筋笼,除设置纵、横向起吊桁架和吊点之外,另要增设“人字”桁架和斜拉杆进行加筋,以防钢筋笼在空中翻转时发生变形(见图 3)。

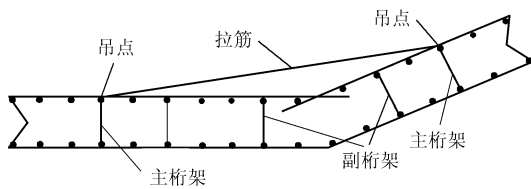


图 3 异型幅钢筋笼吊装示意图

#### 3.3.3 钢筋笼的起吊方法

钢筋笼分 2 节起吊,采用 1 台 150 t 和 1 台 50 t 履带式起重机进行双机抬吊法(见图 4)。

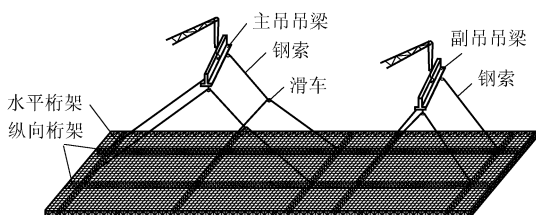


图 4 钢筋笼抬吊方法示意图

#### 3.3.4 钢筋笼的对接方法

钢筋笼对接采用接驳器,要求对钢筋笼起吊垂直度要求较高,针对施工过程中可能发现个别钢筋对接困难,可采用加长接驳器的有效长度,满足主筋的受力要求。

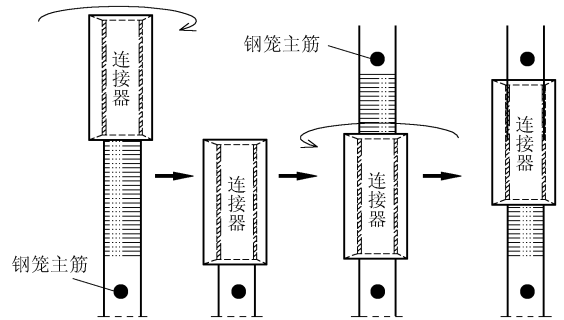


图 5 钢筋笼对接示意图

### 3.4 深 44 m、Ø1000 mm 锁口管起拔技术措施

#### 3.4.1 采取先钻导孔的措施

在锁口管的位置采用 GPS20 型钻机,先钻好导向孔,钻孔深度比成槽深度深 30 cm,钻孔垂直度偏差 < 1/500,钻孔护壁采用普通膨润土泥浆。

#### 3.4.2 在锁口管上涂抹隔膜剂的措施

在锁口管上涂抹隔膜剂,减少锁口管顶拔过程中的摩擦阻力。涂抹隔膜剂由专人负责,严格按照规定进行配制和涂抹,锁口管必须在干燥的情况下全部涂抹,涂抹的隔膜剂只能使用一次,锁口管拔除后清除锁口管上粘附的淤泥及水泥浆,并重新涂抹隔膜剂后方可再使用。为了保证抱箍式液压锁口管顶拔机的顶拔力,在上节锁口管(大约 12 m 左右)不涂抹减摩剂。

#### 3.4.3 在锁口管背侧回填石子的措施

锁口管安放后在管背侧留有空隙处采用回填石子的措施,石子的规格为 5 ~ 40 mm,锁口管安放完成后并立即回填石子,并直至导墙以下 2 m 范围,以避免混凝土的绕流。造成下一幅段成槽困难及钢筋笼下放不到位。

#### 3.4.4 控制混凝土浇灌速度的措施

为减轻后期锁口管顶拔的难度,需要正确控制混凝土浇灌的速度。

(1)底部 15 m 范围混凝土浇灌时间 < 8 h,这样可确保在混凝土浇灌完成后马上拔出底部 15 m 范围的锁口管,为此锁口管连接必须是:(底部)9 m → 10 m → 10 m → 10 m → 3 m → 10 m → 5 m(上部)。

(2)中部 20 m 范围混凝土浇灌时间需放慢,控制在 3 ~ 4 m/h,以延长整幅槽段混凝土浇灌时间,保证上节 15 m 锁口管按时起拔。

(3)顶部10 m范围混凝土按照现场实际情况以正常速度浇灌,并调节控制混凝土的浇灌时间 $\leq 8$  h。

### 3.4.5 控制锁口管顶拔时间

(1)在混凝土浇灌4 h后开始顶拔锁口管,每5 min顶拔一次,每次顶拔的高度在5~10 cm之间,在完成混凝土浇灌后将第一节15 m锁口管拔出,但要保证底部15 m范围的混凝土凝结时间 $\leq 6$  h。同时现场留有混凝土试块,观察试块凝固程度,以此评定槽壁下部混凝土是否凝结和锁口管起拔高度的参考依据之一,也作为参考。

(2)根据混凝土浇灌的速度继续不断的顶松锁口管,保持每5 min顶松一次,并最终将锁口管全部拔出。每一根锁口管的顶拔力始终保持在1000 kN左右,最初最大顶拔力也未超过1800 kN,效果很好。

## 4 几点体会

通过对该工程的施工,我们已积累了在复杂地质条件下和在交通繁忙的交叉路口施工地下连续墙的经验。保证超深、超宽地下连续墙端头与墙体的垂直度、墙面平整度,同时也解决了几个技术难点,供以后类似工程借鉴。同时,积累以下几点体会。

(1)只要施工技术措施得当,就完全能保证超

宽、超深槽壁的单根锁口管的顺利起拔回收。因此,在深度 $\geq 45$  m、厚度 $\geq 1.2$  m的地下连续墙施工中。可不需要再采用钢筋混凝土预制接头桩,这样既确保质量又节约成本。

(2)在以粘性土层为主的地下墙中,一般成槽稳定性较好。但是在超深槽壁施工中,由于各道工序时间较长,沉渣容易积累且不易清除,所以必须要等成槽完毕后停置至少1 h,在确保沉渣基本沉淀后再用抓斗除清孔的办法,对提高地下连续墙的墙体、接头质量是有利的。

(3)保证超长钢筋笼制作、起吊要求,纵、横向桁架、吊点位置设置要求,起吊过程保证钢筋笼的垂直度,满足设计要求变形范围,确保入槽顺利、下放到位。对大型构件吊装,安全第一。

(4)在基坑开挖后,墙面的平整度和垂直度都比较好,这说明采用先进的利渤海成槽机能够满足“二墙合一”的地下室施工工艺要求,超深、超宽的地下连续墙施工对机械设备的选择要求较高。

### 参考文献:

- [1] JTJ 024-85,公路桥涵地基与基础规范[S].
- [2] 丛葛森.地下连续墙的设计施工与应用[M].北京:中国邮电出版社,2000.
- [3] 赵志缙,赵帆.深基坑工程技术的进步与展望[J].建筑,2003,34(2):89-93.

## 上海地铁施工“穿越”世界级难点

新华网2009年2月11日消息 由上海城建隧道股份公司承建的上海轨道交通9号线二期徐家汇站至肇嘉浜路站区间已于近期实现贯通。在这短短1110 m的施工区间里,地下盾构“穿越”的却是几项世界级的难点。

这段施工特殊性在于:盾构需在超浅覆土的条件下近距离穿越上海轨道1号线,盾构与1号线隧道的最小距离仅为0.83 m;而难度最大的是,由于施工条件限制,盾构顶覆土最小深度仅为4.2 m。同时盾构穿越过程中还遭遇了大量公用管线,其中离盾构最近的雨水管道距离仅为0.34 m,施工风险极大。此外还必须在4 m左右的超浅覆土条件下从地下穿越一批20世纪30年代建造的楼房而不损坏房屋。

“我们需要克服的都是世界级的难题,硕大的盾构穿越某些地下设施,留下的空隙只有几厘米,必须高精度施工。”工程项目经理陶育介绍,像这样小于5 m的超浅覆土盾构穿越施工,国内几乎没有先例。由于覆土太浅,压力不够,如果控制不好,盾构掘进姿态可能难以把握,而且建造好的地下隧道也可能上浮,从而威胁地上的建筑和地下的设施,后果

不堪设想。

为了在“几乎不可能”的条件下安全施工,项目团队实行24 h值班,严密监控盾构掘进的各项参数,关注各种环境监测数据,确保盾构掘进的安全。

同时,为了解决覆土太浅压力不够的问题,施工单位还创新使用了“压重”施工的办法,在地面和地下隧道上分别压上了700多吨的钢板和铅块,让盾构在地下安如泰山、平稳掘进,化解了施工风险。

中国工程院院士、软土地下工程专家刘建航说:“如此复杂的工况在国内甚至世界盾构法隧道施工史上都极为罕见。而盾构在穿越施工中还必须确保地面交通正常、轨道交通1号线运营、周围管线的安全,难度更大。”

本次盾构成功穿越,标志着中国对盾构超浅覆土掘进施工及环境保护的科研攻关取得了突破。施工期间积累了大量珍贵的施工数据,为今后国内在超浅覆土条件下穿越大型管线和密集民房施工提供了经验。