

# 超深软土基坑开挖与支护措施探讨

赵金金

杭州市建设工程质量安全监督总站 浙江杭州 310000

**摘要:** 随着我国经济的不断发展和城市发展需求,提出了对地下空间的开发利用,特别是近几年,对地下空间利用提出了更高要求。而地下基坑工程特别是深基坑工程则是地下空间开发绕不开的课题,因而其施工工艺成功与否至关重要。本文结合杭州地铁某车站项目超深软土基坑项目顺利实施,介绍了一种超深软土基坑开挖与支护措施。

**关键词:** 超深软土基坑; 地中壁; 地下连续墙; MJS 桩; 支撑轴力伺服系统; 板撑

## 1. 工程概况

### 1.1 工程概况

杭州地铁某车站位于文晖路与中山北路路口东侧,沿文晖路东西向布置,为机场快线与1、3号线换乘站,其中1号线已运营,3号线在建,地下五层,双柱三跨箱形框架结构,采用明挖顺做法(地下一~三层)+盖挖顺作法(地下四层及地下五层)施工,车站总长168.7m,标准段宽23.9m,基坑开挖深度34.2m。



车站围护结构采用1500mm地下连续墙(十字型钢接头)+内支撑系统。支撑采用2道混凝土撑+2道板撑+6道钢支撑,钢支撑全部采用钢支撑轴力伺服系统。地墙底嵌入中风化凝灰岩2m。地墙底嵌入中风化凝灰岩2m,(22)3-1中风化上段凝灰岩岩石强度30~55mpa,平均强度42.9Mpa,(22)3-2中风化下段凝灰岩岩石强度35~99.8Mpa,平均强度58.8Mpa。

车站靠近1号线端头井设置1道封堵墙将主体基坑分为东西两个基坑,西基坑内设置1道地中壁边挖边凿控制基坑变形,西基坑设置3道地中壁边挖边凿控制基坑变形。

### 1.2 工程地质

车站工程地质层特征按从上到下的顺序评述如下表:

#### 1.3 水文地质

##### 1.3.1 地表水

拟建场区范围内无地表水,拟建场地西侧约450m处为京杭大运河,京杭大运河河宽约55m,水深2~4m,两岸为块石驳坎,地表水与地下水的连通性差,仅在上部填土层内有较好的水力联系。

##### 1.3.2 地下水

场地地下水类型主要是第四纪松散土层孔隙水,根据地下水的含水介质、赋存条件、水理性质和水力特征,可划分为孔隙潜水、承压水和基岩裂隙水三大类。

#### 1.4 周边环境

车站文晖路红线宽约43~45m,中山北路红线宽约42m,河东路红线宽32~37.5m。本站场地范围内地势较平坦。本站周边地块为已建、在建用地,且以居住、商业为主,并已实现规划。车站小里程端头井西侧下覆已运营地铁1号线隧道,车站基坑边距离已运营1号线右线隧道外轮廓(右K16+559.650)最小距离约为15.87m(地墙N-1幅处),轨面标高约为-18.981m,车站基坑边距离已运营1号线左线隧道外轮廓(左K16+557.948)最小距离约为30.73m(地墙S-1幅处),轨面标高为-10.769m,主体基坑距离A出入口结构最近处7.4m。

主体基坑北侧朝晖一区,地墙外边距离邻近北侧35#、27#、16#、9F房屋距离为26~32m,地上5或6层,浅基础形式。

车站主体基坑东南侧杭州市电力局变电运行管理所4

层号	土层名称	地层时代	层厚 (m)	层顶埋深 (m)	层顶高程 (m)	分布情况
① 1	块石填土	mlQ4	1.40 ~ 4.80	0.00 ~ 0.00	3.31 ~ 5.31	全场分布
③ 4	砂质粉土	al-mQ42	2.30 ~ 11.00	1.40 ~ 4.80	-0.25 ~ 3.01	局部分布
④ 1	淤泥质粉质粘土	mQ42	0.70 ~ 8.30	3.70 ~ 12.00	-7.76 ~ 0.43	局部缺失
④ 2	淤泥质粉质粘土		4.20 ~ 8.80	11.30 ~ 13.50	-8.99 ~ -7.01	全场分布
⑥ 1	淤泥质粉质粘土	mQ41	2.30 ~ 9.70	16.30 ~ 21.30	-17.07 ~ -15.13	全场分布
⑥ 2	淤泥质粉质粘土		1.80 ~ 14.60	24.00 ~ 27.30	-22.94 ~ -19.09	全场分布
⑧ 1	粉质粘土	mQ32-2	0.90 ~ 7.50	31.20 ~ 38.40	-34.28 ~ -27.07	大部分布
⑨ 3	砂混砾石	al-lQ32-1	0.30 ~ 4.00	29.60 ~ 42.70	-38.08 ~ -25.63	大部分布
⑩ 1	粉质粘土	mQ32-1	1.30 ~ 5.70	31.50 ~ 38.10	-33.75 ~ -27.53	零星分布
(11) 1	粉质粘土	al-lQ31	0.50 ~ 6.10	32.80 ~ 39.60	-35.82 ~ -28.54	零星分布
(22)1	全风化凝灰岩	J31	0.40 ~ 4.60	32.00 ~ 43.00	-38.87 ~ -27.58	大部分布
(22)2	强风化凝灰岩		0.40 ~ 10.80	31.40 ~ 47.10	-42.48 ~ -27.16	大部分布
(22)3-1	中风化上段凝灰岩		0.60 ~ 5.00	31.80 ~ 52.40	-47.88 ~ -27.56	全场分布
(22)3-2	中风化下段凝灰岩		最大揭露厚度为 10.0	32.60 ~ 53.80	-49.56 ~ -28.36	全场分布

层高办公楼, 距离地墙外边约为 24.31m, 推测为浅基础形式。

车站主体基坑南侧春雨巷以西至中山北路, 为越都商务大厦, 地面以上 24 或 25 层 (局部裙楼 5 或 7 层), 地面以下共 2 层地下室, 地下室深约为 8.5m。结构为框架结构, 基础形式为群桩基础, 桩长为 32~35m。距离该大厦地下室轮廓边约为 4.45~15.02m, 距离大厦地上建筑轮廓边约为 19.0~23.35m。

车站主体基坑南侧春雨巷以东为通盛嘉苑住宅楼, 地面以上 22 层 (裙楼地上 3 层), 结构为框架结构, 基础形式为群桩基础, 距离地墙外边约为 33.57~40.09m。

车站主体基坑西侧毗邻已运营 1 号线区间隧道、已运营车站 (1 号线) A 号出入口、未施工 3 号线区间隧道。距离 1 号线右线区间隧道外轮廓最小距离为 15.86m, 距离 1 号线左线区间隧道外轮廓最小距离为 22.64m, 均位于小里程端头井西北角; 距离 3 号线左右线区间隧道 (未施工) 约 46.7~50.0m; 距离已运营车站 (1 号线) A 号出入口最小距离为 5.63m。

车站换乘厅西南角 (换乘通道西侧) 为晶辉商务大厦, 地面以上 22 层, 两层地下室, 结构为框架结构, 基础形式为群桩基础, 基坑距离地下室约为 3.2m, 基坑距离地上建筑物约为 1.3m。东南侧为越都商务大厦, 基坑距离地下室约为 3.4m, 基坑距离地上建筑物约为 15.1m。

车站换乘厅西北角为文晖园, 邻近北侧 3#、4# 房屋距离为 23.7m, 地上 7 层, 浅基础形式。

车站换乘大厅 D、E 区基坑上跨已运营 1 号线区间隧道、毗邻已运营车站 (1 号线) A 号出入口。距离 1 号线左线 (上行线) 竖向约 1.89m~2.68m; 3 号线区间下穿换乘大厅 A、B、C 区基坑, 距离 3 号线左区间约 0.68m~2.12m; 距离已运营车站 (1 号线) A 号出入口最小距离为 1.82m。换乘大厅 F 区基坑与车站主体端头井紧邻。

## 2. 施工难点分析

2.1 车站基坑为地下五层钢筋混凝土箱型结构, 基坑标准段深度为 34.2m, 端头井深 35.7m, 为超深基坑。

2.2 开挖区均为软土层, 施工变形大。在车站基坑开挖范围内主要有① 1 杂填土、④ 0 层状淤泥质粉质粘土、④ 1 淤泥质粉质粘土、④ 2 淤泥质粉质粘土、⑥ 1 淤泥质粉质粘土、⑥ 2 淤泥质粉质粘土、⑧ 1 粉质粘土、(11) 1 粉质粘土。主体基坑位于软土层, 土层具有高含水量、高压缩性、易蠕变等特点, 自稳能力差, 易坍塌。

2.3 周边建筑物密集, 包括居民区、商铺和市政设施等, 位于市中心区域, 北侧朝晖一区与文晖园房屋建造年代久远、房屋基础及结构形式较差; 南侧为晶辉商务大厦和越都商务大厦, 距离基坑最近处为 4.45m。主体基坑西侧毗邻已运营 1 号线区间隧道、已运营车站 (1 号线) A 号出入口、

未施工3号线区间隧道。距离1号线右线区间隧道外轮廓最小距离为15.86m,距离1号线左线区间隧道外轮廓最小距离为22.64m,均位于小里程端头井西北角;距离3号线左右线区间隧道约46.7~50.0m;距离已运营车站(1号线)A出入口最小距离为5.63m。基坑施工变形对周边构筑物影响较大。

### 3. 车站基坑支护措施

车站基坑采用地下连续墙围护结构形式,10道内支撑:2道混凝土撑+2道板撑+6道钢支撑,钢支撑全部采用钢支撑轴力伺服系统。

基坑围护结构采用1500mm厚地下连续墙,为减少开挖

坑内支撑设置概况表

位置	第一道	第二道	第三道	第四道	第五道	第六道	第七道	第八道	第九道	第十道	备注
西端盾构井	钢筋砼支撑	Φ609 钢支撑	Φ609 钢支撑	钢筋砼支撑	Φ800 钢支撑	砼板撑	Φ800 钢支撑	砼板撑	Φ800 钢支撑	Φ800 钢支撑	
标准段	钢筋砼支撑	Φ609 钢支撑	Φ609 钢支撑	钢筋砼支撑	Φ800 钢支撑	砼板撑	Φ800 钢支撑	砼板撑	Φ800 钢支撑		
东端盾构井	钢筋砼支撑	Φ609 钢支撑	Φ609 钢支撑	钢筋砼支撑	Φ800 钢支撑	砼板撑	Φ800 钢支撑	砼板撑	Φ800 钢支撑	Φ800 钢支撑	

### 4. 基坑开挖措施

#### 4.1 基坑开挖次序

车站主体基坑分两个坑开挖,开挖方式分为半盖挖、全盖挖两种形式。地下一~三层为半盖挖形式,地下四、五层为全盖挖形式。

半盖挖开挖方式:西基坑较小整体开挖,东基坑由东向西方向放坡开挖,在西基坑钢支撑全部拆除前,东基坑在西基坑东侧留置30m长基坑土方不开挖。

全盖挖开挖方式:西基坑留置了1个出土孔,通过出土孔将要开挖的单层土方全部开挖后架设本层土方。东基坑留置了6个出土口,为加快盖板下支撑架设进度,减小基坑变形,每个出土口开挖两个出土孔之间一半长度的土方开始架设本层钢支撑。

主体结构分两个基坑共10段施工,西基坑2段,东基坑8段,基坑开挖具体施工流程如下:

(1)分段长度视周围环境、工程地质、水文地质综合考虑确定,分层视支撑间距、盖板出土孔位置及机械工作能力确定。

(2)土方分基坑东西两个基坑开挖,西基坑地下一~三层由东向西后退挖土,地下四、五层由西向东前进开挖。东基坑地下一~三层由东向西后退挖土,地下四、五层由西向

过程中变形,在基坑内增设了地中壁。地中壁采用1000mm厚地下连续墙,在西端头井纵向设置了一道,标准段基坑设置了3道地中壁。

基坑基底采用MJS桩加固,MJS桩径2800mm,搭接800mm,水泥掺量建议不宜小于700kg/m<sup>3</sup>,水灰比为0.8~1.3,28d无侧限抗压强度为1.2Mpa。

基坑第二、第三、第五、第七、第九、第十道支撑采用钢支撑,基坑钢支撑采用Φ609、t=16mm钢管支撑、Φ800、t=20mm钢管支撑。第一、第四道支撑采用砼支撑,第六、第八道支撑采用砼板撑。详见坑内支撑设置概况表。

东或东向西前进开挖。所挖出的土方经挖机直接装车外运。

#### 4.2 钢支撑安装及轴力施加

钢管支撑在基坑旁提前拼装,开挖到钢管支撑标高时,半盖挖部分用50t履带吊装安设钢管支撑;全盖挖部分每开挖段开挖完成后,挖机将钢支撑拼段、伺服端等配件转移至作业面,挖机分段吊装架设支撑,利用钢系梁、牛腿等设施做为拼装平台拼装支撑。在基坑开挖中将充分利用“时空效应”,半盖挖部分钢支撑的安装、轴力的施加控制在8小时以内。

通过伺服端按设计要求对钢管支撑活动端施加轴力,开挖全程轴力控制采用轴力自动伺服系统进行轴力自动补偿。开挖前,准备好合格的支撑以及轴力伺服接头,对轴力伺服系统的油泵装置要经常检查,使之运行正常。支撑预应力施加顺序为:0→100%设计轴力。支撑伺服接头采用320t(Φ609)、500t(Φ800)千斤顶。千斤顶及高压油泵车使用前必须检定合格后方可使用,施工中需定期进行校验。

### 5. 基坑变形监测情况

在开挖前完成监测点验收及初始值采集,施工期间对监测点位进行跟踪监测。主要监测基坑周边地表沉降、墙顶沉降、墙顶水平位移、立柱沉降、支撑轴力、墙体及土体深层水平位移等项目。至底板施工完成,基坑变形基本稳定。

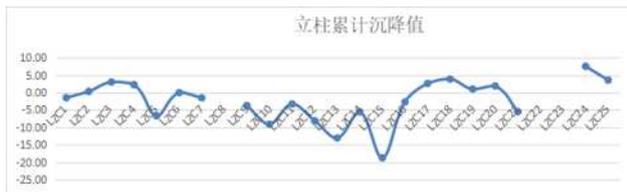
5.1 基坑周边地表沉降符合一般规律，第二个监测点沉降值最大。累计最大沉降 82.83mm，主要是受地面堆载影响，沉降较大。



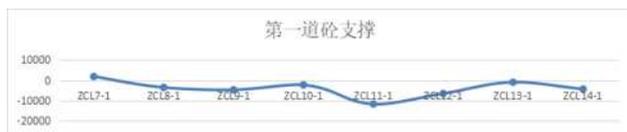
5.2 墙顶沉降较为稳定，本站地墙墙趾全部入中风化下段凝灰岩，基坑开挖期间沉降变化不大，累计最大为上浮 4.37mm。

5.3 墙顶水平位移变化较小，主要表现为收敛，基坑开挖期间最大水平位移累计值为内移 4.1mm。

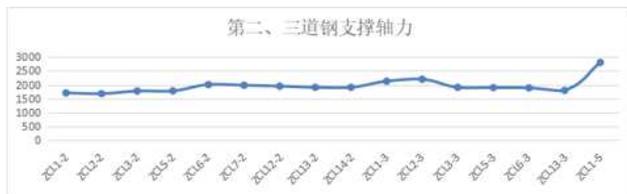
5.4 立柱沉降整体变形较小，个别点存在沉降偏大的情况，主要受场地限制在基坑北侧设置了铺盖板，施工荷载对立柱桩产出了影响。



5.5 第一道砼支撑主要表现为受拉，第四道砼支主要表现为受压，砼支撑轴力基本在控制范围内。

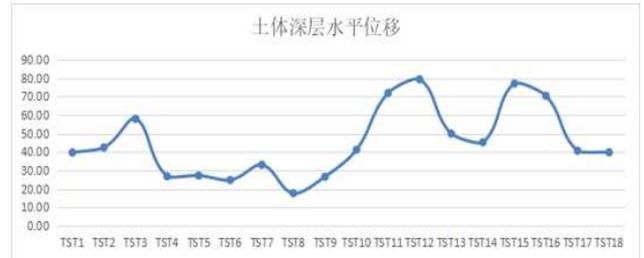
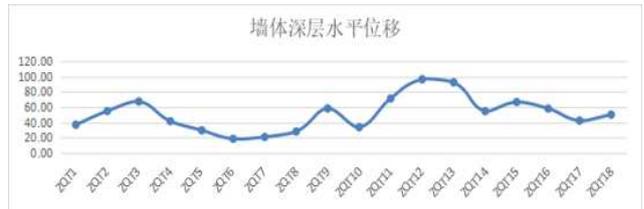


第二、三道钢支撑轴力基本在 2000kN 左右，第五、七~十道钢支撑轴力在 3500kN 左右，采用伺服系统，钢支撑轴力较为均匀。



5.6 墙体及土体深层水平位移变形趋势一致，受基坑边荷载影响，表现为北侧变形小于南侧，基坑变形整体可控，

墙体深层水平位移累计最大值 96.67m。



5.7 基坑变形数据好与南侧变形数据，标准段变形数据好与端头井变形数据，南侧为施工便道、材料堆场和履带吊行走区域，整体变形交大。

5.8 从时间曲线上看，6 月份第六道板撑施工完成后，相对应的位置变形数基本有所收敛并趋于稳定，未发生突变，7 月份至 9 月 20 日封底完成期间平均单日平均变化量均小于 0.31mm，底板全部封底完成后，监测数据趋于稳定，呈波动状态。

5.9 从施工阶段上看，变形主要发生在土方开挖期间至支撑架设完成前阶段，支撑架设完成后基坑变形立即趋于稳定。

## 6. 结语

本项目从基坑开挖至完成，根据监测数据，整体变形不大，期间对于个别点累计变形值较大问题也进行了分析研究，主要是基坑周边临时荷载影响。工程顺利实施完成后，与类似地质其他基坑工程进行了变形对比，本基坑工程施工变形控制效果较好。结合其他项目采取的开挖与支护措施比较，对于软土地区的超深基坑，采取地下连续墙、地中壁、自动伺服系统钢支撑、板撑以及 MJS 地基基础加固组成的围护体系能很好的解决基坑开挖过程安全。结合实际施工经验，对软土区基坑开挖设计和施工有如下建议：

6.1 对于软土地区深基坑，特别是含有大厚度淤泥质土层的基坑，在基坑中下部设置板撑，能很好的抑制基坑变形。

6.2 含有大断面淤泥质土层的基坑，在基坑内合理设置地中壁结构，能很好抑制架设钢支撑过程产生的基坑变形。

6.3 基坑开挖过程中，由于基坑变形造成钢支撑不能起

到设计工况理想条件,采用自动伺服系统,实时监控支撑轴力和基坑变形,能够根据基坑变形数据,调控支撑轴力,全方位控制基坑和保护对象的安全和变形。在基坑开挖过程中严格按照施工组织设计的施工程序进行,充分考虑土层、支护桩、支撑体系三者的“时空效应”,分层、分段挖土,要求做到随挖随撑,并按规定及时施加支撑预应力。每段开挖

及架设支撑的时间控制在8~16h之内,最大限度地减小基坑开挖所引起的结构、地表变形,减小对建(构)筑物的影响。

#### 参考文献

- [1] 建筑深基坑工程施工安全技术规范 .JGJ133-2013.
- [2] 城市轨道交通工程监测技术规范 .GB50911-2013.
- [3] 上海市 . 基坑工程技术标准 .DG/TJ 08-61-2018.