

工程实例

超深圆形基坑地下连续墙成槽垂直度控制施工措施

沈浩¹, 邹丽敏¹, 王碧波²

(1. 上海市排水管理处, 上海 200001; 2. 上海城投水务工程项目管理有限公司, 上海 201103)

摘要: 结合上海苏州河段深层排水调蓄管道系统试验段工程的圆形基坑特深地下连续墙施工情况, 对超深地下连续墙成槽施工垂直度控制达到 1/1 000 要求的一些技术难点和相应措施进行了深入研究, 可为进一步优化超深地下连续墙施工技术, 指导后续同类工程的施工提供借鉴。

关键词: 深隧; 地下连续墙; 垂直度; 铣槽; 槽壁稳定

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)06-0083-05

Verticality Control Measures of Diaphragm Wall Construction in Ultra-deep Circular Foundation Trench

SHEN Hao¹, ZOU Li-min¹, WANG Bi-bo²

(1. Shanghai Municipal Drainage Administration, Shanghai 200001, China; 2. Shanghai SMI Water Engineering Project Management Co. Ltd., Shanghai 201103, China)

Abstract: Combining with the diaphragm wall construction of ultra-deep circular foundation trench in the test section of Suzhou River deep tunnel in Shanghai, the technical difficulties and measures to control verticality of diaphragm wall up to 1/1 000 were analyzed, which could provide experience for optimizing diaphragm wall construction technology and guiding construction of similar projects.

Key words: deep tunnel; diaphragm wall; verticality; trench with cutter; trench stability

地下连续墙是适合多种地质条件、周边建(构)筑物邻近的城市施工的一种基坑围护结构形式,具有刚度大、整体性好、防渗性能好等诸多优点^[1-5]。上海苏州河段深层排水调蓄管道系统试验段的圆形竖井设计选用了此种基坑围护结构。

1 工程背景

1.1 工程概况

苏州河段深层排水调蓄管道系统试验段工程,拟在苏州河下方建设一根直径为 10 m、埋深为 50 ~ 60 m、长度约 1.67 km 的特大排水隧道(见图 1)。工程量主要包括苗圃、云岭西竖井综合设施和盾构隧道。SS1.2 标段云岭西竖井作为盾构接收井,设计采用深 105 m、厚 1 500 mm,兼具挡土、防渗功能

的地下连续墙作为基坑结构围护形式,具体如图 2 所示。



图1 深隧试验段主隧平面图

Fig.1 General plan of deep tunnel test section

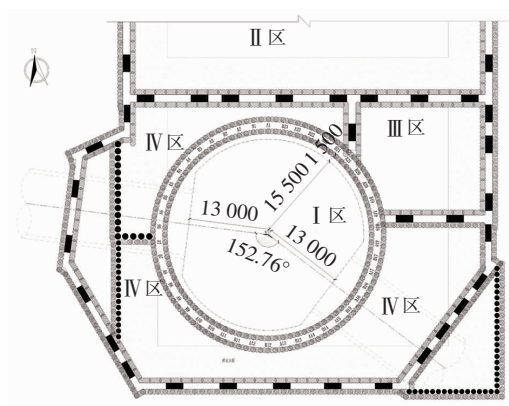


图2 云岭西竖井平面图

Fig.2 Shaft plan of West Yunling

1.2 工程地质特点

工程拟建场地地层属古河道区,起伏较大,根据场地勘探孔揭示的区域153 m深度范围内均属第四纪全新世(Q4)、上更新世(Q3)以及中更新世(Q2)沉积物,主要由黏性土、粉性土和砂土组成。其中②3层砂质粉土、⑨1层粉细砂和⑨2层中砂等区域,地墙成槽过程中容易产生缩径和塌孔情况。

1.3 工程水文特点

潜水:本场地浅部地下水属潜水类型,主要补给来源为大气降水、地表径流。上海市年平均地下水位埋深为地表面下0.5~0.7 m,低地下水位埋深为地表面下1.5 m。

承压水:拟建场地内承压水主要为深部第⑦层、第⑧2层、第⑨层、第⑩A层、第⑪层,竖井基坑坑底位于第⑧2层粉质黏土、粉砂互层中,地下连续墙墙底位于第⑩1粉质黏土层中,已经将第⑦层、第⑧2层和第⑨层承压含水层完全隔断。

2 施工难点

本工程竖井地墙深达105 m、厚为1 500 mm,创目前国内外特深、超厚、地墙槽段呈圆形的地下连续墙施工的先例。工程拟建地区的地质属于典型的软土地基,需穿越十多种软硬性质不同的土层,且需要隔断⑦层和⑨层第一承压含水层和第二承压含水层,⑨层渗透系数特大,其中⑨2-1水平向渗透系数为90~100 m/d,单位涌水量约30 m³/(m·h),为此控制地下连续墙成槽施工的垂直度精度成为该圆形超深地下连续墙施工成败的关键。为确保竖井基坑围护结构的安全和墙缝接头防水性能,地下连续墙施工垂直度控制要求达到1/1 000。要达到如此高的成槽垂直度精度控制要求,施工难点主要有:

采用何种成槽工艺施工;槽壁稳定措施;检测纠偏节点和方法;二期槽套铣施工垂直度控制措施。

3 垂直度控制施工措施

3.1 成槽工艺

① 采用纯铣方式成槽

目前抓槽施工的垂直度精度控制难以达到1/1 000的要求,而采用抓铣结合的成槽方式会大幅增加后期铣槽纠偏时间反而降低成槽效率,为此采用纯铣方式成槽,仅用抓槽机抓去上部杂填土(2~3 m范围),其余全部用双轮铣槽施工。

双轮铣槽机的铣斗高度达到12.6 m,铣槽初期在铣斗还未全部埋入槽孔时,铣槽机的震动抖比较厉害,需要通过固定在导墙上的定位架(见图3)约束铣槽机的震动架辅助精度控制(见图4)。



图3 搁置在导墙上的定位架

Fig.3 Positioning frame on guide wall



图4 铣槽施工

Fig.4 Trench with cutter

② 铣槽动态纠偏

采用德国宝峨BC40双轮铣槽机,拥有精度较高的动态实时纠偏测量系统(见图5)和纠偏装置。

安装在铣斗上的倾角仪,随时将偏斜的情况反映到驾驶室里的电脑上,可以实时监测铣槽机铣斗的姿态偏斜情况。

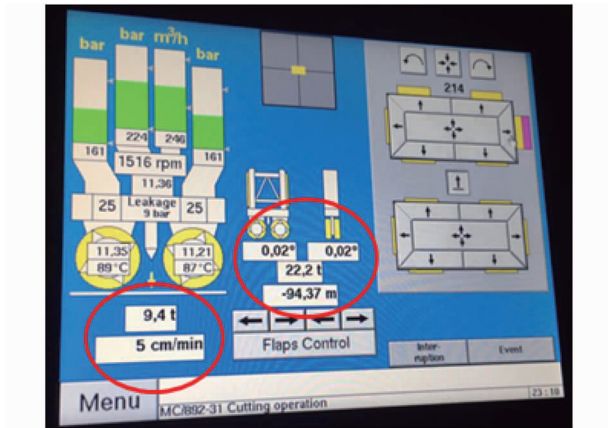


图5 纠偏测量系统

Fig.5 Deviation correction measurement system

当铣槽机显示屏中铣斗的偏斜角度 $> 0.05^\circ$ 时,驾驶员可根据电脑上四个方向动态偏斜情况启动液压成槽机上的液压推板进行动态纠偏。

纠偏液压推板如图6所示。



图6 纠偏液压推板

Fig.6 Deviation correction hydraulic push plate

3.2 槽壁稳定措施

工程施工前,根据工程地质水文数据,运用梅耶霍夫(G. G. Meyerhof)经验公式对不同土层的槽壁稳定性进行核算。当槽壁稳定性不满足要求时,可选用槽壁土加固、降水、改善泥浆性能、限制周边荷载、选择合适的导墙等措施使槽壁稳定。

根据现场实际情况,施工中主要采取以下两方面措施:

① 槽壁加固

本工程所在区域属于典型软土地基,且在地面

以下2~14 m范围的②3层存在松散状的砂质粉土不良土质,如不采取措施,在铣槽施工过程中很容易出现塌孔。为此工程采用三轴水泥土搅拌桩工艺和高压旋喷桩加固措施,有效防止了浅层塌孔情况发生,铣槽施工的垂直度精度也得到了保障。

② 改善泥浆性能

本工程的竖井地下连续墙呈圆弧形,铣槽施工利用一期槽采用2.8 m直线三铣拟合成圆弧形成槽,二期槽宽度为一铣成槽(见图7)。

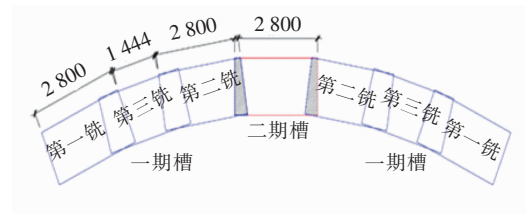


图7 竖井地下连续墙槽段划分

Fig.7 Segmented sketch of diaphragm wall in shaft

由于二期槽切削一期槽内外厚度不同,使得土层受力不均,且在深度70~90 m范围碰到了⑨1~⑨2-2砂性土层,地墙长度方向的槽壁出现了部分塌孔情况。考虑到槽壁塌孔深度,采用了调整泥浆配比、提高泥浆黏度的泥浆改善方案,并在铣槽过程中加强泥浆指标检测,严格控制泥浆密度、黏度、含砂率、pH值、泥皮厚度和失水量等指标,较好地解决了较深砂性土层二期槽施工部分塌孔的问题。

3.3 槽壁超声波检测及纠偏

① 按铣槽节点超声波检测

本工程的地下连续墙深度和厚度超大,铣槽的时间也较长,为此需要将成槽施工分为若干个铣槽节点。一期槽铣槽节点顺序见图8。二期槽铣槽节点顺序见图9。

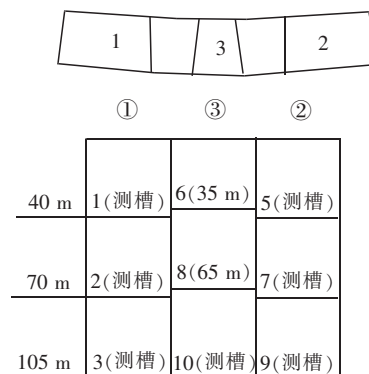


图8 一期槽铣槽节点顺序

Fig.8 Construction sequence of primary panel

①	
20 m	1(测槽)
40 m	2(测槽)
60 m	3(测槽)
80 m	4(测槽)
105 m	5(测槽)

图9 二期槽铣槽节点顺序

Fig. 9 Construction sequence of secondary panel

特别是一期槽三铣成槽时,铣槽节点和顺序需要慎重考虑设置,二铣和三铣应交叉进行,避免中间留土高度过高,导致中间留土失稳倾覆的情况发生,一般留土高度不宜大于40 m,为此本工程的超深地下连续墙的一期槽和二期采用以上的铣槽节点顺序进行施工,并在每个节点进行槽壁超声波检测。

② 检测及纠偏

本工程的地下连续墙一期、二期铣槽按铣槽节点在规定深度进行多次提斗超声波垂直度检测,检测设备见图10。

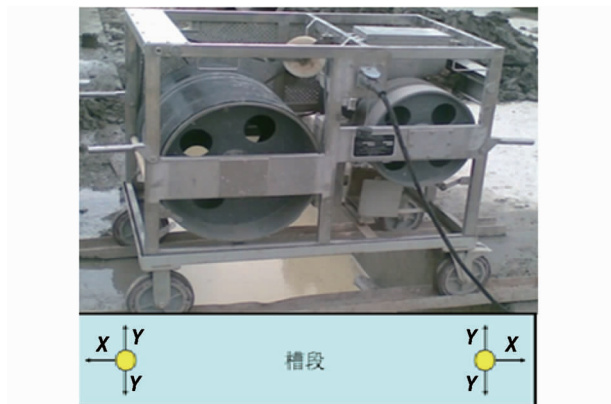


图10 超声波检测仪

Fig. 10 Ultrasound detector

检测包含槽段两个端头的长度方向 X 和厚度方向 Y ,根据超声波检测出的图形来判断槽壁施工垂直度(检测结果见图11)。根据1/1 000垂直精度的施工质量要求,一期槽长度方向成槽垂直度偏差应避免向槽段内倾斜,向内倾斜不得超过100 mm,确保一、二期槽段套铣接头的有效搭接长度不小于100 mm。

如果进行超声波检测时某个铣槽节点发现偏斜,应及时进行纠偏,这样可以避免一铣到底产生较大偏斜以致无法补救或者需要花费较长时间去纠偏的情况。

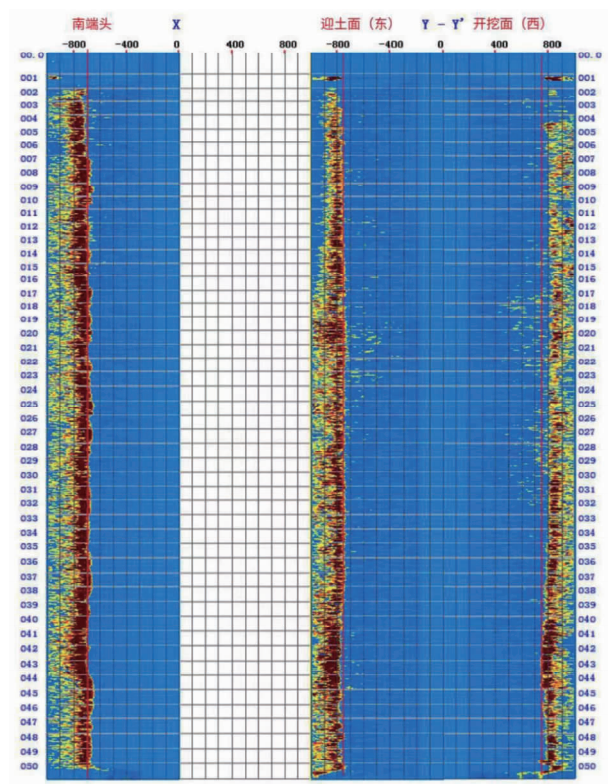


图11 超声波检测结果

Fig. 11 Result diagram of ultrasound detection

3.4 二期槽施工垂直度控制措施

地下连续墙二期槽段铣槽套铣施工需要切削两侧的一期槽混凝土,成槽的垂直度精度控制难度相对较大。

① 二期槽铣槽间隔安排

两侧一期槽混凝土强度相近。双轮铣槽机进行二期槽铣槽时,如两侧一期槽混凝土强度相差过大,铣槽会出现较大抖动,造成铣槽困难甚至无法进行铣槽作业。为此二期的成槽施工时间,原则上安排在两侧一期槽完成混凝土浇筑5 d以上,且两侧的一期槽完成混凝土浇筑时间相差不大。

混凝土强度控制。如地下连续墙使用的混凝土早期强度太高,二期槽的套铣施工会异常困难,垂直度施工精度会难以控制,工效大大降低,铣槽机的机械损耗还会大幅增加。为此通过混凝土配比及性能试验,在混凝土强度按60 d龄期评定结果满足深隧长期运行各种设计工况前提下,有效控制混凝土早期强度,使混凝土强度增长先慢后快、逐级增长,确保地下连续墙二期槽段铣槽套铣施工顺利完成。

② 二期槽铣槽施工其他措施

安放导向插板(钢箱)。二期槽铣槽开孔的精

度对垂直度控制尤为重要,在二期槽段进行混凝土浇灌前,将导向插板以分幅线为基准安放,插板深度15 m为宜,这样可以预留出二期槽孔的准确位置,并可以在二期槽铣槽初期起到限位约束作用,有利于二期槽段铣槽的定位及垂直度控制。

二期槽铣槽控制好最初8~12 m的垂直度精度,非常有利于后面的精度控制。由于二期槽两侧切割的是混凝土,铣槽初期的震抖动较一期槽要厉害得多,且此时铣槽机纠偏液压推板无法发挥作用,因此最初8 m的铣槽速度不宜过快。

4 结语

结合上海苏州河段深层排水调蓄管道系统试验段工程竖井圆形基坑的105 m深地下连续墙施工,对地下连续墙成槽施工达到1/1 000垂直度要求的难点问题和相应措施进行深入研究,主要经验如下:

① 超深地下连续墙选用自带动态实时纠偏、测量系统的双轮铣槽机,采取纯铣方式成槽有利于垂直度施工精度控制。

② 根据工程拟建区域的地质情况,采取一些针对性措施,如水泥土搅拌桩、高压旋喷和改善泥浆性能等,可以有效减少槽壁塌孔情况,有利于成槽垂直度精度控制。

③ 超深地下连续墙应按铣槽节点进行超声波检测,发现偏斜时应及时纠偏。

④ 超深地下连续墙二期槽施工应合理安排施工计划,确保两侧一期槽混凝土强度相近,使用的混凝土早期强度不宜太高。

⑤ 采取导向插板或钢箱、控制铣槽初期速度等措施可以有效地控制二期槽铣槽施工垂直度。

参考文献:

- [1] 丛蔼森. 地下连续墙的设计施工与应用[M]. 北京:中国水利水电出版社,2001.
Cong Aisen. Design, Construction and Application of Diaphragm Wall [M]. Beijing: China Water & Power Press, 2001 (in Chinese).
- [2] 刘国彬,王卫东. 基坑工作手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.

Liu Guobin, Wang Weidong. Excavation Engineering Manual [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009 (in Chinese).

- [3] 李耀良,袁芬. 大深度大厚度地下连续墙的应用与施工工艺[J]. 地下空间与工程学报, 2005, 1(4): 615 - 618.
Li Yaoliang, Yuan Fen. Application and construction techniques of great deep and thick diaphragm wall [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2005, 1(4): 615 - 618 (in Chinese).
- [4] 郑玉辉. 地下连续墙槽壁稳定的研究[J]. 岩土工程技术, 2007, 21(1): 36 - 38, 50.
Zheng Yuhui. Research on groove wall stabilization of diaphragm wall [J]. Geotechnical Engineering Technique, 2007, 21(1): 36 - 38, 50 (in Chinese).
- [5] 雷国辉,王轩,雷国刚. 泥浆护壁开挖稳定性的影响因素及失稳机理综述[J]. 水利水电科技进展, 2006, 26(1): 82 - 86.
Lei Guohui, Wang Xuan, Lei Guogang. Stability influence factors and instability mechanisms of slurry-supported excavations [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2006, 26(1): 82 - 86 (in Chinese).



作者简介:沈浩(1981 -),男,江苏盐城人,大学本科,高级工程师,主要从事排水工程建设管理工作。

E-mail: smda_sh@126.com

收稿日期: 2019 - 07 - 13