

# 渠式切割水泥土连续墙的应用和发展

李瑛<sup>1</sup>, 刘兴旺<sup>1\*</sup>, 何一飞<sup>2</sup>, 胡琦<sup>3</sup>

(1. 浙江省建筑设计研究院, 浙江 杭州 310006; 2. 浙江大通建设科技有限公司, 浙江 杭州 310000;  
3. 东通岩土科技股份有限公司, 浙江 杭州 310000)

**摘要:** 作为超深、等厚、连续、可靠的截水挡土帷幕, 渠式切割水泥土连续墙在国内有广泛应用。本文概括了渠式切割水泥土连续墙在国内的引进、应用和发展历程。结合对国内 200 多个既有应用案例的统计分析, 研究了渠式切割水泥土连续墙的施工设备保有情况、成墙深度范围、常用墙体厚度和主要应用场景; 罗列了渠式切割水泥土连续墙在复杂地层施工的辅助措施以及典型案例; 指出了渠式切割水泥土连续墙在敏感环境微扰动施工的控制要点; 介绍了渠式切割预制装配式混凝土连续墙的设计要求和用途, 尤其是内插预制板材的截面设计和制造工艺; 最后用工程实例表明渠式切割预制装配式混凝土连续墙同时继承了渠式切割微扰动和地下连续墙支护刚度好的特点, 无论是切割成墙期间还是土方开挖期间, 施工对周边环境的影响都较小。

**关键词:** 渠式切割; 复杂地层; 敏感环境; 装配式连续墙; 引孔; 微扰动; 混合泥浆

中图分类号: TU47

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2024)02-0154-08

## Application and development of trench cutting re-mixing deep wall

LI Ying<sup>1</sup>, LIU Xing-wang<sup>1\*</sup>, HE Yi-fei<sup>2</sup>, HU Qi<sup>3</sup>

(1. Zhejiang Institute of Architectural Design and Research, Hangzhou 310006, Zhejiang, China;  
2. Zhejiang Datong Construction Technology Co., Ltd., Hangzhou 310000, Zhejiang, China;  
3. Dongtong Geotechnical Technology Co., Ltd., Hangzhou 310000, Zhejiang, China)

**Abstract:** Trench cutting re-mixing deep walls (TRD) have gained extensive utilization in China as an ultra-deep, uniform-thickness, continuous, and dependable waterproof and retaining structure. This work presented a summary of the introduction, application, and developmental progression of TRD in China. A comprehensive statistical analysis of over 200 existing domestic applications was conducted, examining the distribution of construction equipment, wall depth ranges, typical wall thickness, and primary application scenarios for TRD. Auxiliary measures and illustrative cases of TRD in intricate geological strata were documented. Key control points for executing low-disturbance construction of TRD in environmentally sensitive areas were highlighted. Subsequently, the work introduced the design principles and primary applications of trench cutting assembled diaphragm walls (TAD), with a particular focus on section design and the manufacturing process of interpolated prefabricated plates. Lastly, a case study demonstrates that TAD exhibits low disturbance characteristics and substantial retaining stiffness, with minimal environmental deformations during remixing and excavation operations.

**Key words:** trench cutting; complex strata; sensitive environment; assembled diaphragm wall; guiding hole; low disturbance; mixing mud

## 0 引言

渠式切割水泥土连续墙(简称为 TRD)是从日本引进,经国内不断消化、改进后发展起来的技

术。该技术通过链状刀具的横向移动和刀具链条上刀头对地基土的切割开挖,同时在竖直方向上通过固化液与切割地基土的混合与搅拌,形成墙壁状的固化体(水泥土连续墙)。引进该技术的初衷是为

收稿日期: 2023-06-18

基金项目: 浙江省建设科研项目(2019K003; 2021K220)。

作者简介: 李瑛(1985—),男,江西九江人,博士,正高级工程师,主要从事岩土工程的设计、咨询和研究工作。E-mail: liying3104@163.com。

\*通信作者: 刘兴旺(1969—),男,江苏兴化人,博士,正高级工程师,主要从事建筑结构及岩土工程的设计与科研工作。E-mail: liuxingwang@ziad.cn。

深大基坑工程建造超深可靠的截水挡土帷幕。与三轴水泥搅拌桩和现浇钢筋混凝土地下连续墙相比,其具有设备稳定性高、施工精度高、墙体质量均匀、墙体连续性好、环境友好等优点<sup>[1-2]</sup>。

该技术在国内的首次应用是在2009年杭州市下沙镇智格村商业综合用房项目,并取得了成功。2012年,国内首部相关标准浙江省标准《渠式切割水泥土连续墙技术规程》(DB33/T 1086—2012)<sup>[3]</sup>颁布实施。2013年,国家行业标准《渠式切割水泥土连续墙技术规程》(JGJ/T 303—2013)<sup>[4]</sup>发布。这两本标准促进和规范了渠式切割水泥土连续墙的应用,该技术目前已广泛应用于国内基坑工程,在截水挡土方面具有明显的技术优势。但工程实践也暴露了该工法的不足之处,概括起来主要有两方面,其一为在深厚卵砾地层、上软下硬地层、埋藏地下障碍物地层等复杂地层施工困难<sup>[5]</sup>,其二为单独作为截水挡土帷幕的成本较高,而内插H型钢形成的渠式切割型钢水泥土连续墙存在成本受租赁期控制、墙体刚度有限等问题。

2016年以来,由于施工工艺创新和施工装备性能提升,渠式切割水泥土连续墙应用量呈爆发性增长,且应用场景显著扩大。近年来对渠式切割水泥土连续墙的技术创新主要包括:(1)借助引孔措施在深厚卵砾地层<sup>[6]</sup>、复杂深层地下障碍物、软岩等地层建造可靠截水挡土帷幕;(2)通过精细化操作实现微扰动施工<sup>[7-8]</sup>,已在地铁控制保护区内工程项目中得到大量应用;(3)内插混凝土预制板材形成渠式切割预制装配式混凝土连续墙<sup>[9-11]</sup>(简称为TAD),可部分替代现浇钢筋混凝土地下连续墙。

结合浙江省标准《渠式切割水泥土连续墙技术规程》(DB33/T 1086—2012)<sup>[3]</sup>的修订,在前期

对国内大量工程案例调研的基础上,本文介绍渠式切割水泥土连续墙的应用和发展,为拟应用该技术的工程项目提供参考。

## 1 对既有应用的统计分析

随着工程需求的不断提高,渠式切割机不断改进,最大成墙深度已超过60 m,如南京华润国际社区成墙深度为67 m,南昌赣江抚河下游尾闾综合整治工程成墙深度为90 m,目前渠式切割成墙理论深度最大可达100 m,宽度最大可达1 200 mm。截至2022年8月底,全国保有渠式切割机约84台,各种型号渠式切割机的主要施工参数列于表1。作为渠式切割水泥土连续墙的国内发源地,杭州施工企业共保有47台渠式切割机,而且保有设备数量超过9台的企业有多家。图1为杭州某渠式切割水泥土连续墙施工企业近十年的年施工方量曲线,可证实该技术在2016年后呈高速发展趋势,该企业保有的渠式切割机数量也从3台增长到9台,包含日本进口设备和国产设备。

对国内200多个重大应用项目的统计结果如图2所示。按成墙深度统计,20~30 m的项目占比近50%,30~40 m的项目占比约25%,超过50 m的项目较少;按墙体厚度统计,800~900 mm的项目占比超过80%,700~800 mm的项目占比近15%,小于700 mm和超过900 mm的只有个别项目。统计结果与工程实践经验吻合,目前仅有少量设备可施工厚度超过900 mm的渠式切割水泥土连续墙,插入型钢或混凝土预制板材的渠式切割水泥土连续墙厚度一般为850 mm,仅作为截水挡土帷幕时,渠式切割水泥土连续墙厚度一般为700 mm。

表1 渠式切割机主要施工参数  
Table 1 Main construction parameters of trench cutters

型号	发动机	主机尺寸/(m×m×m)	重量/t	行走方式	最大成墙深度/m	墙体厚度/mm
LSJ35-UF	电动机	5×8.5×8.7	110	履带	35	600~850
LSJ60	柴油机	9×11×10.8	230	履带	60	600~850
TRD-III	柴油机	8.5×10.3×10.5	230	履带	45	600~850
CMD850/950	柴油机	8.5×10.3×10.8	230	履带	60	600~950
TRD-60D	电动机	6.8×11.1×11.4	230	步履	60	600~850
TRD-60E	电动机	6.8×11.1×11.4	165	步履	60	600~850
TRD-70E	电动机	6.8×12×12	165	步履	70	600~850
TRD-80E	油电混合	7×12×11.5	200	步履	80	900~1 000
CMD1200	柴油机	8.9×12×10(双链条)	230	履带	90	1 200

注:渠式切割机重量不包括切割箱。

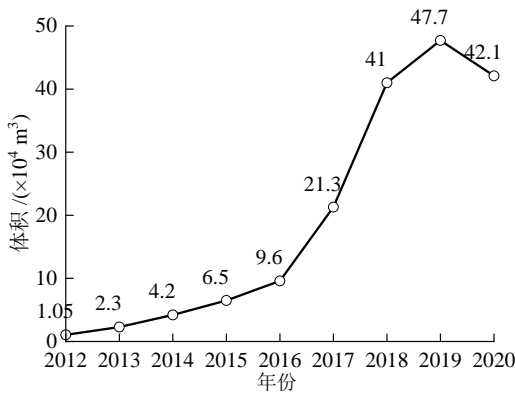


图1 杭州某渠式切割水泥土连续墙施工企业年施工方量

Fig. 1 Annual TRD volumes of a Hangzhou construction company in the last decade

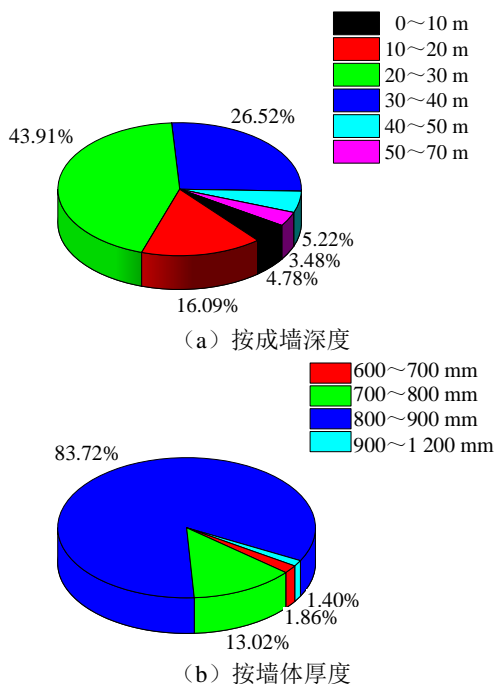


图2 渠式切割水泥土连续墙应用项目调查结果

Fig. 2 Survey results of TRD application projects

TRD 的成墙深度和墙体厚度与地层分布、基坑开挖深度、周边环境、设备能力等有关。钱塘江边粉砂土地层在成墙期间容易塌孔,且已多次导致链状刀具被埋,因此墙体厚度要随成墙深度增加而增大。有些开发项目为了控制成本,刻意减少墙体厚度,导致渗漏水,修补成本远远高于建造成本。如杭州大江东某设置两层地下室的项目,选用墙体厚度为600 mm的渠式切割水泥土连续墙作为截水挡土帷幕,且采取一步法施工,因切割搅拌不均匀,开挖到底后墙体出现贯通斜裂缝,坑外地下水向坑内严重渗漏,导致邻近地铁设施沉降过大。

渠式切割水泥土连续墙目前在国内的主要应用场景有:(1)深基坑工程截水挡土帷幕;(2)插入型钢或混凝土预制板材后作为深基坑围护墙;(3)敏感环境的现浇钢筋混凝土地下连续墙的槽

壁加固;(4)敏感环境的地基加固;(5)水库大坝的防渗墙;(6)垃圾填埋场的污染物阻断墙;(7)潮湿环境地下遗址的永久防渗墙<sup>[12]</sup>。

## 2 复杂地层施工

渠式切割水泥土连续墙的适用地层一般为人工填土、淤泥和淤泥质土、黏性土、粉土、砂土、碎石土、软岩等地层,超出此范围需采用其他处理措施。应用于人工填土或杂填土时,对长度大于30 cm的障碍物应提前清障;应用于卵石、碎石土等地层时,最大粒径不宜超过50 cm,必要时需借助引孔措施。在采用合适的引孔措施后,渠式切割水泥土连续墙曾成功应用于混有少量大粒径(80~100 cm)漂石的卵石层,也曾成功应用于单轴抗压强度约5 MPa的基岩。表2列举了渠式切割水泥土连续墙在复杂地层施工典型案例,除了项目信息还说明了采用的引孔措施。

对于混有较大粒径卵石、砾石的地层,渠式切割搅拌速度变得极其缓慢,并且刀头磨损严重,因此施工前应试成墙,以便对施工速度和刀头磨损进行评估。渠式切割机可借助旋挖桩机、地质钻机等装备先行引孔以提高施工能力和效率。2015年,杭州市上城区南星桥某项目渠式切割搅拌遇到困难,后采用渠式切割搅拌和旋挖桩机联合作业,并取得成功<sup>[6]</sup>。

对于开挖面以下为软岩的地层,渠式切割水泥土连续墙底端到达中风化岩层面即可。如需要在墙体内插入型钢作为基坑围护墙,则可在成墙前用旋挖桩机在型钢插入位置引孔,南昌新洪城大市场长薪河项目首次采用该做法。该项目是在既有两层地下室的中间开挖人工河道,河底比既有地下室基底深7~9 m。既有地下室底部土层自上而下依次为:中砂,层厚为2.9 m;砾砂,层厚为6.4 m;强风化泥质粉砂岩,层厚为1.9 m;中风化泥质粉砂岩,钻探厚度为8.5 m。河道底(坑底)处于中风化泥质粉砂岩层,基坑围护结构采用墙体厚度为850 mm、以600 mm等间距内插H700×300×13×24型钢的渠式切割型钢水泥土连续墙,设计要求水泥土墙底进入强风化泥质粉砂岩层的深度不小于50 mm,型钢进入中风化泥质粉砂岩层的长度不小于2.6 m。图3为该项目渠式切割水泥土连续墙在软岩施工的流程示意,主要步骤为:

### (1) 清水切割

将链状刀具下切至强风化泥质粉砂岩层顶部,进行第一步切割,并添加主要成分为膨润土的切

割液;

(2) 旋挖引孔

链状刀具原地上下转动, 在型钢插入位置采用旋挖桩机引孔至设计深度, 岩渣在地面弃置外运;

(3) 搅拌成墙

实施第二步回切和第三步注浆;

(4) 插入型钢

按既定位置依次插入 H 型钢。

该项目实施过程顺利, 型钢顶、底标高均可按设计要求控制, 土方开挖过程中基坑侧壁无渗漏。

表 2 渠式切割混凝土连续墙在复杂地层施工典型案例  
Table 2 Typical TRD construction cases in complex strata

工程名称	地点	切割土层	基坑深度/m	成墙深度/m	墙体厚度/mm	用途	备注
赣江下游尾闾综合整治工程	南昌	粗砂、砾砂、强风化泥岩	—	47.0	800	永久防渗墙	三步法
黄山中路提升改造工程	黄山	卵石层、强风化泥质粉砂岩	8.3	13.5	850	基坑围护墙	内插型钢, 旋挖桩机引孔, 三步法
新洪城大市场长薪河项目	南昌	粗砂、强风化泥岩	13.0~16.0	19.5	850	基坑围护墙	内插型钢, 旋挖桩机引孔, 三步法
世茂 G11 项目	南京	粉细砂、含砾粗砂、中风化粉砂质泥岩	20.5	62.5	700	截水挡土帷幕	回转桩机引孔, 三步法
集成电路研发园项目	南京	含砾粗砂、强风化粉砂质泥岩	16.0	61.5	800	截水挡土帷幕	成槽机引孔, 三步法
景芳园地下立体车库项目	杭州	粉土、粉质黏土、圆砾	46.2	60.0	850	截水帷幕	旋挖桩机引孔, 三步法
浙江第一码头旧址项目	杭州	粉土、粉砂、卵石	13.7	34.1	850	基坑围护墙	内插型钢, 旋挖桩机引孔, 三步法

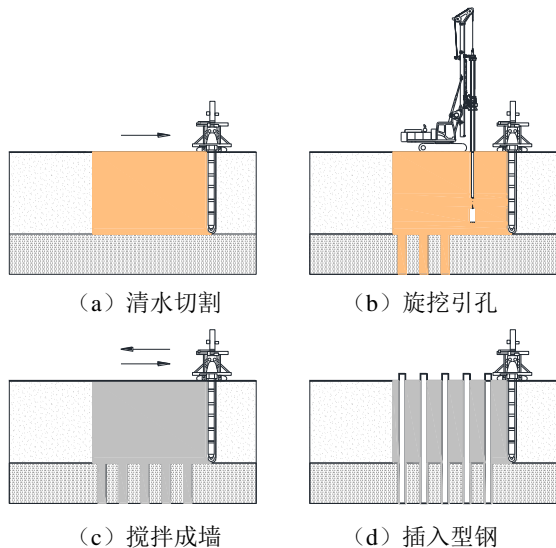


图 3 渠式切割混凝土连续墙在软岩施工的流程示意  
Fig. 3 TRD construction process in soft rock

对于较硬土层, 渠式切割机水平推进力较大, 刀具系统易产生变形, 此时可采取刀头底板排列加密、刀头加长等措施, 以增强每次步进的切割能力。当土质较硬且成墙深度较大时, 切割箱底端阻力大, 在运行过程中易产生较大水平偏位和变形, 导

致操作不当甚至损害设备, 此时也可考虑利用引孔来减小渠式切割的难度。

目前渠式切割采用的引孔方式有长螺旋桩机、回转桩机、旋挖桩机和成槽机。表 3 为不同引孔方式的适用土层, 其中长螺旋桩机的适用深度不超过 28 m, 其他引孔方式对成墙深度不限。

表 3 不同引孔方式的适用土层  
Table 3 Applicable soil layers for different guiding hole methods

土层	长螺旋桩机	回转桩机	旋挖桩机	成槽机
密实砂层	√	√	√	√
卵砾石	√	√	√	√
卵石	×	×	√	√
胶结碎石土	×	√	√	√
强风化岩层	×	√	√	√
中风化岩层	×	×	√	√

注: √表示适用, ×表示不适用。

### 3 敏感环境微扰动施工

大量的工程实践<sup>[13]</sup>表明: 如采用合理的工艺,

渠式切割搅拌对周边环境的影响可控制在毫米级,即可实现微扰动施工。而减少周边环境变形的措施有:(1)施工场地保持平整,遇到较差地质条件时采取地基加固;(2)施工前通过原位试成墙确定适合的施工参数;(3)施工时不断优化施工参数来保持槽段内外的水土平衡;(4)第一步切割时,切割液注入量应控制到最小,可预先回填黏土,使混合泥浆保持高浓度和高黏度状态,以便应对急剧的地层变化;(5)适当减小每次横向切割长度,做到慢速均匀切割搅拌,并控制开放长度,做到“少量多次”。

图4所示为杭州某项目渠式切割水泥土连续墙成墙期间地铁设施沉降监测数据,墙体厚度为700 mm,成墙深度为21.0 m,与盾构隧道的水平距离约10.0 m,与盾构隧道和地铁车站的平行长度约200 m。地基土层以砂质粉土和粉砂为主。监测数据显示渠式切割搅拌对盾构隧道和地铁车站的影响以沉降为主,数值为1~2 mm。除了作为截水挡土帷幕,渠式切割水泥土连续墙还可作为敏感环境的槽壁加固和地基加固。杭州大会展新城某明挖隧道项目,上跨地铁盾构隧道,基坑开挖深度约5 m,坑底与隧道顶的垂直距离约7.0 m,采用渠式切割水泥土连续墙进行坑底满堂加固,成墙期间盾构隧道各向变形均小于3 mm。

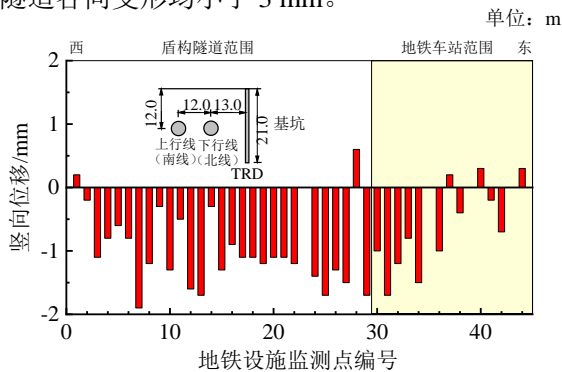


图4 渠式切割搅拌引起的盾构隧道竖向变形

Fig. 4 Vertical deformation of shield tunnels caused by TRD construction

根据渠式切割机的施工步序和喷浆时段,渠式切割水泥土连续墙的施工工法分为一步法和三步法。一步法即通过单向一步成墙的施工方法,在切割和搅拌土体的过程中同时注入切割液和固化液。三步法即通过往(切割)→返(回切)→往(注浆)三步成墙的施工方法,第一步切割时注入切割液,切割一定距离后原位旋转;第二步主机反向回切,对切割土进一步混合搅拌,可根据土层性质选择是否再次注入切割液;第三步主机正向回位,切割箱

底端注入固化液,使切割土与固化液混合搅拌。

土体已进行渠式切割搅拌而未固化的最大平面长度称为开放长度。开放长度越大,渠式切割机回行搭接切割的次数就越少,效率越高,但对周边环境的影响越大。因此邻近保护对象时,开放长度应加以限制,必要时进行现场试验和分析。

渠式切割成墙速度,即每次横向切割长度,也应控制。横向切割长度过大,容易造成墙体偏位、卡链等现象,不仅影响成墙质量,而且对设备损伤大。每次的横向切割长度一般控制在50 mm以内。

在敏感环境下进行渠式切割搅拌,混合泥浆比重控制十分重要。第三步注浆时混合泥浆比重要大于1.6,必要时可添加置换土。置换土应为初凝后的水泥土,挖掘机捣碎后,倒入沟槽内与固化液混合泥浆搅拌均匀。而且水泥土试块24 h强度要大于50 kPa,基本达到地层原状土的强度。根据工程实践总结的浆液比重指标要求和混合泥浆性能指标要求分别列于表4和表5。

表4 成墙方法以及浆液比重指标

Table 4 Trench cutting methods and grout specific gravity index

周边环境条件	三步法			一步法
	切割	回切	注浆	
	切割液混合泥浆	水泥土浆	水泥土浆	
一般环境	>1.4	>1.6	>1.5	>1.5
敏感环境	>1.5	>1.7	>1.6	>1.6

表5 成墙方法以及混合泥浆性能指标

Table 5 Trench cutting methods and performance index of mixing mud

泥浆指标	三步法			一步法
	切割	回切	注浆	
漏斗黏度/s	>40	>45	>40	>45
流动度/mm	135~240	135~240	150~280	150~280

## 4 预制装配式混凝土连续墙

渠式切割预制装配式混凝土连续墙是在渠式切割水泥土连续墙内连续插入钢筋混凝土预制板材,并通过可靠连接形成的集挡土与截水功能于一体的围护墙,下文简称为装配式连续墙。装配式连续墙以标准化设计、工厂化生产、装配式施工为研发目标,要求以有限型号的混凝土预制板材应用于多样化的场景,因此对混凝土预制板材的截面特性和制造工艺有要求。

现阶段混凝土预制板材的生产工艺主要有离



心成型和振捣成型。离心成型的预制板材表面光洁、成型效果好,但要求截面形状相对规则,其典型截面如图 5 (a) 所示。为提高横向连接刚度和止水效果,可增加预制板材截面长宽比,并设置凹凸榫,而这超出了离心成型的适用范围,需要采用振捣成型。振捣成型可克服离心成型存在的中心孔单一、重量大等问题,其典型截面如图 5 (b) 所示。

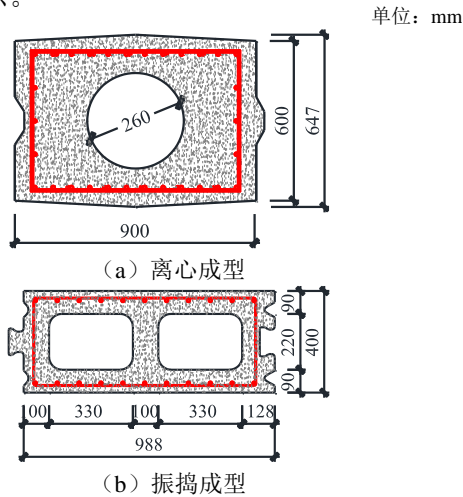


图 5 混凝土预制板材典型截面

Fig. 5 Typical sections of prefabricated reinforced-concrete slab

因采用标准化设计,混凝土预制板材截面型号有限,在基坑转角等不规则部位可采用定制的异形截面,以便形成整体封闭围护结构。混凝土预制板材以及两侧一定厚度的水泥土形成装配式地下连续墙的 3 道止水帷幕。

混凝土预制板材的竖向连接目前主要采用端板焊接和螺锁式机械连接。端板焊接在实际施工期间存在一些问题,如对称焊接工作量大、作业时间长;雨天焊接难;端板易腐蚀;端板与预应力钢棒易拉断;在高温、高湿度环境下焊接端板,钢棒墩头易受热脆断等。螺锁式机械连接<sup>[14]</sup>无需通过端板焊接即可实现快速接桩,但对施工精度要求较高。

装配式连续墙既可用作基坑围护墙,也可“两墙合一”用作地下室结构外墙。“两墙合一”在现阶段主要采用单一墙或复合墙的形式。叠合墙的技术尚不成熟,主要难点在于混凝土预制板材与地下室结构的结合。单一墙是指预制板材全部承担地下结构施工阶段和使用阶段的外部作用,对预制板材的垂直度和横向连接要求较高。复合墙是指预制板材在地下结构施工阶段全部承担外部作用而在使用阶段部分承担外部作用。装配式连续墙用作复合墙的施工流程与现浇钢筋混凝土地下连续墙基本

相同,即:基坑土方开挖→基础防水施工,并延伸至混凝土预制板材表面→以混凝土预制板材为模板,施工钢筋混凝土内衬墙。混凝土预制板材与内衬墙之间的结合面不承受剪力,使用阶段的墙体内力可按刚度比例分配。

### 5 工程案例

杭州市富阳区某项目<sup>[10]</sup>,整体设一层地下室,邻近已运营地铁盾构隧道,基坑面积约 4 200 m<sup>2</sup>,周长 347 m,开挖深度为 6.05 m,基础形式为桩筏基础。隧道外径为 6.2 m,埋深约 17.63~18.80 m。地铁侧基坑围护结构采用装配式连续墙结合一道钢筋混凝土水平内支撑。混凝土预制板材的长度为 21.0 m,采用振捣成型,截面如图 5 (b) 所示。连续墙外边线与隧道的最小水平净距为 27.0 m,基坑支护结构典型剖面图如图 6 所示。

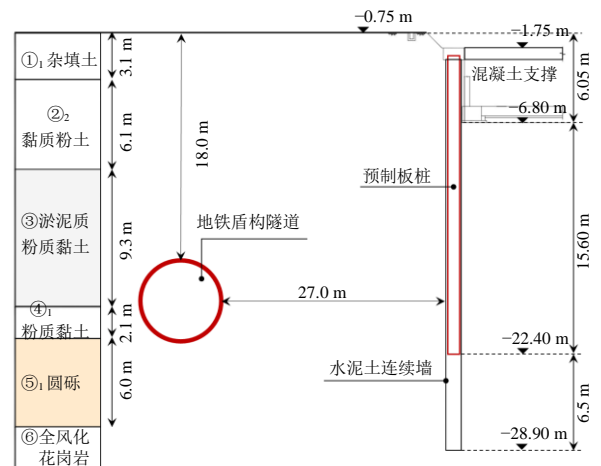


图 6 基坑支护结构典型剖面图

Fig. 6 Typical profile of retain wall

场地潜水位埋深 0.80~2.30 m,承压水对工程影响较小。场地土层由上至下依次为①<sub>1</sub>杂填土、②<sub>2</sub>黏质粉土、③淤泥质粉质黏土、④<sub>1</sub>粉质黏土、⑤<sub>1</sub>圆砾、⑥全风化花岗岩,地基土层主要物理力学性质指标如表 6 所示。

地铁盾构隧道在项目施工全过程中均采用自动化监测。图 7 所示为渠式切割搅拌导致的盾构隧道变形,显示的是成墙 10 d 后的监测结果,横坐标为隧道里程号,基坑正对范围每隔 6 m (5 环)布置一组监测断面,其余范围每隔 12 m (10 环)布置一组监测断面。渠式切割搅拌成墙导致的隧道水平位移、道床沉降和水平收敛的变化量均小于 1.0 mm,表明装配式连续墙成墙施工对周边环境影

响较小。

基坑开挖后混凝土预制板材排列整齐,墙面光洁平整,如图8所示。

表6 地基土层主要物理力学性质指标

Table 6 Physical and mechanical parameters of soil layers

土层	重度 $\gamma$ / ( $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$ )	含水量/ %	孔隙比	状态描述	固快峰值	
					$c/\text{kPa}$	$\phi/(\text{^\circ})$
① <sub>1</sub>	22.5	—	—	松散-稍密	10.0	12.5
② <sub>2</sub>	18.6	29.4	0.847	稍密	8.6	25.9
③	17.3	41.7	1.192	流塑, 饱和	10.1	8.5
④ <sub>1</sub>	19.0	28.1	0.800	可塑, 饱和	40.3	16.0
⑤ <sub>1</sub>	(20.5)	—	—	中密, 饱和	(2.0)	(30.0)
⑥	18.6	29.9	0.859	—	30.9	12.7

注: 表中 ( ) 内为经验值。

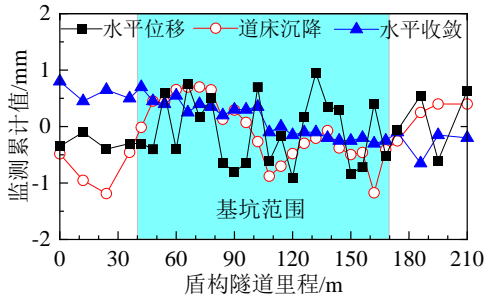


图7 渠式切割搅拌导致的盾构隧道变形

Fig. 7 Deformation of shield tunnels caused by TRD construction



图8 开挖后装配式连续墙照片

Fig. 8 Photo of trench cutting assembled diaphragm wall after excavation

图9为基坑开挖完成后地铁侧深层土体水平位移和坑外地表沉降监测情况,由图9可知:深层土体水平位移最大值为10~15mm,变形最大深度约3m;地表沉降随与地连墙的水平距离增大而减小,最大沉降在坑边,约10.6mm,与地连墙水平距离大于10m后地表沉降趋于稳定,约6.0mm。基坑施工完成后,隧道最大竖向位移为2.8mm(隆

起),最大水平位移为1.0mm(向基坑侧),水平收敛为-1.2mm(缩径),均满足地铁控制保护要求。

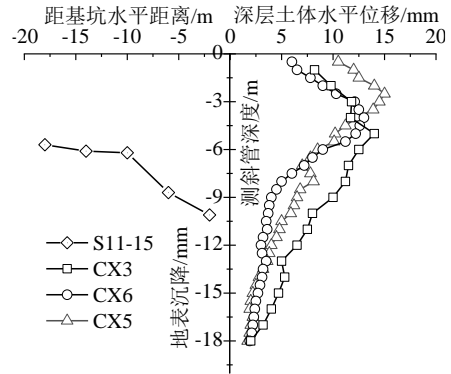


图9 基坑开挖完成后变形曲线

Fig. 9 Curves of deformation after excavation

### 6 结论

(1) 渠式切割混凝土连续墙技术发展迅速,应用场景显著扩大,包含复杂地层和敏感环境,还可内插混凝土预制板材作为基坑围护墙、两墙合一和竖向承重构件。

(2) 渠式切割搅拌结合引孔的组合方法可在复杂地层建造可靠截水挡土帷幕和基坑围护墙,且已在圆砾、卵石、软岩等地层成功应用。

(3) 渠式切割混凝土连续墙在敏感环境施工时,可通过调整成墙速度、混合泥浆比重等实现微扰动施工。

(4) 工程实例表明渠式切割预制装配式混凝土连续墙成墙和基坑土方开挖对周边环境均影响较小。

(5) 用作水利工程、垃圾填埋场等工程的永久防渗墙时,渠式切割混凝土连续墙的固化液配比应进行研究,以满足相应的渗透性和耐久性要求。

### 参考文献

[1] 王卫东,常林越,谭轲. 超深 TRD 工法控制承压水的邻近地铁深基坑工程设计与实践[J]. 建筑结构, 2014, 44(17): 56-62.  
WANG Wei-dong, CHANG Lin-yue, TAN Ke. Design and practice of a deep foundation pit project adjacent to subway tunnel using super deep TRD construction method to control confined water[J]. Building Structure, 2014, 44(17): 56-62.

[2] 姜叶翔,李瑛,顾翀. 不同地基加固工艺对周边环境

- 变形影响分析[J]. 地基处理, 2020, 2(4): 335-339.
- JIANG Ye-xiang, LI Ying, GU Chong. Analysis of soil disturbance for different ground improvement methods[J]. Chinese Journal of Ground Improvement, 2020, 2(4): 335-339.
- [3] 浙江省住房和城乡建设厅. 渠式切割水泥土连续墙技术规程: DB33/T 1086—2012[S]. 杭州: 浙江工商大学出版社, 2012.
- Zhejiang Provincial Department of Housing and Urban-Rural Development. Technical Specification for Trench Cutting Re-Mixing Deep Wall: DB33/T 1086—2012[S]. Hangzhou: Zhejiang Gongshang University Press, 2012.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 渠式切割水泥土连续墙技术规程: JGJ/T 303—2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Technical Specification for Trench Cutting Re-Mixing Deep Wall: JGJ/T 303—2013[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2013.
- [5] 李瑛, 陈东, 刘兴旺, 等. 悬挂式止水帷幕深基坑减压降水的简化计算方法[J]. 岩土力学, 2021, 42(3): 826-833.
- LI Ying, CHEN Dong, LIU Xing-wang, et al. Simplified calculation method of decompression dewatering for deep excavation with suspended waterproof curtain[J]. Rock and Soil Mechanics, 2021, 42(3): 826-833.
- [6] 李瑛, 邓以亮, 胡琦, 等. 卵砾地层中 TRD 工法水泥土连续墙施工方法研究[J]. 施工技术, 2018, 47(1): 28-31.
- LI Ying, DENG Yi-liang, HU Qi, et al. Research on construction method of trench cutting re-mixing deep wall (TRD) in cobble and gravel layers[J]. Construction Technology, 2018, 47(1): 28-31.
- [7] 王卫东, 陈永才, 吴国明. TRD 水泥土搅拌墙施工环境影响分析及微变形控制措施[J]. 岩土工程学报, 2015, 37(增刊 1): 1-5.
- WANG Wei-dong, CHEN Yong-cai, WU Guo-ming. Impact analysis and macro-deformation control measures of TRD construction cement-soil mixing walls[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2015, 37(S1): 1-5.
- [8] 吴国明, 章兆熊, 谢兆良. TRD 工法在上海国际金融中心 56.73 m 非原位成墙试验中的应用[J]. 岩土工程学报, 2013, 35(增刊 2): 814-818.
- WU Guo-ming, ZHANG Zhao-xiong, XIE Zhao-liang. Application of TRD method in non-in-situ tests on 56.73 m-wall of Shanghai International Financial Center[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2013, 35(S2): 814-818.
- [9] 刘兴旺, 潘黎芳, 李瑛, 等. 渠式切割装配式地下连续墙设计与施工技术[J]. 地基处理, 2019, 1(3): 53-57.
- LIU Xing-wang, PAN Li-fang, LI Ying, et al. Design and construction technology of trench cutting assembled diaphragm wall[J]. Chinese Journal of Ground Improvement, 2019, 1(3): 53-57.
- [10] 谢锡荣, 苏凤阳, 李瑛, 等. 装配式地连墙力学性能分析及应用范围研究[J]. 地基处理, 2023, 5(4): 323-331.
- XIE Xi-rong, SU Feng-yang, LI Ying, et al. Study on mechanical properties and application scope of trench cutting assembled diaphragm wall[J]. Journal of Ground Improvement, 2023, 5(4): 323-331.
- [11] 洪哲明, 俞峰, 陈鑫, 等. 渠式切割装配式地下墙围护开挖环境影响原位试验研究[J]. 地下空间与工程学报, 2019, 15(增刊 2): 942-950.
- HONG Zhe-ming, YU Feng, CHEN Xin, et al. In-situ tests on the environmental effect of excavation supported by trench cutting assembled diaphragm wall[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2019, 15(S2): 942-950.
- [12] 李瑛, 李淳学, 马永华, 等. 德寿宫遗址展示工程永久防渗墙的研究与应用[J]. 地基处理, 2022, 4(1): 58-64.
- LI Ying, LI Chun-xue, MA Yong-hua, et al. Research and application of permanent cutoff wall in Deshou Palace site[J]. Journal of Ground Improvement, 2022, 4(1): 58-64.
- [13] 李星, 谢兆良, 李进军, 等. TRD 工法及其在深基坑工程中的应用[J]. 地下空间与工程学报, 2011, 7(5): 945-950.
- LI Xing, XIE Zhao-liang, LI Jin-jun, et al. TRD method and its applications in the deep excavation engineering[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2011, 7(5): 945-950.
- [14] 齐金良, 龚顺风, 周兆弟, 等. 螺锁式预应力混凝土异型方桩连接接头受弯性能研究[J]. 建筑结构, 2021, 51(8): 105-109.
- QI Jin-liang, GONG Shun-feng, ZHOU Zhao-di, et al. Study on flexural behavior of prestressed concrete special-shaped square pile connection joint with bolt-shackle[J]. Building Structure, 2021, 51(8): 105-109.