

DOI: 10.7672/sjgs2026010136

# TRD 工法墙在深厚富水粉砂地层中的应用研究\*

刘杰<sup>1,2,3</sup>, 马超<sup>1,2,3</sup>, 夏欢<sup>1,2,3</sup>, 贺祖浩<sup>1,2,3</sup>, 付金磊<sup>1,2,3</sup>, 周腾龙<sup>4</sup>

(1. 中交第二航务工程局有限公司, 湖北 武汉 430040; 2. 长大桥梁建设施工技术交通行业重点实验室, 湖北 武汉 430040; 3. 交通运输行业交通基础设施智能制造技术研发中心, 湖北 武汉 430040; 4. 中国葛洲坝集团市政工程有限公司, 湖北 宜昌 443002)

[摘要] 以江苏省某大桥锚碇基础 TRD 工法隔离墙在深厚富水粉砂及粉质黏土地层中的施工实例为研究对象, 对施工所遇问题及处理流程、施工工效、施工参数、返浆率和质量检验等方面进行了研究和总结。研究表明: 深厚富水粉砂及粉质黏土地层中容易出现切割箱被抱死的情况; 合理制备和应用切割液, 较长时间停机时适时进行链刀回转及切割箱拔插运动, 可有效预防切割箱被抱死; 先行切割、回撤切割和成墙搅拌速度均值分别为 1.02, 2.74, 2.08m/h, 成墙工效为 4.81m/d, 134.58m<sup>3</sup>/d; 先行切割时设备横推油缸推力、链刀切削力较大, 各项参数均呈现明显的周期性; 成墙搅拌时返浆率在 60%~70%。

[关键词] 桥梁工程; 基础; TRD 工法; 粉砂地层; 返浆率

[中图分类号] TU472.3

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2026)01-0136-05

## Research on Application of TRD Construction Wall in Deep Water-rich Silt Sand Formation

LIU Jie<sup>1,2,3</sup>, MA Chao<sup>1,2,3</sup>, XIA Huan<sup>1,2,3</sup>, HE Zuhao<sup>1,2,3</sup>, FU Jinlei<sup>1,2,3</sup>, ZHOU Tenglong<sup>4</sup>

(1. CCC Second Harbour Engineering Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430040, China; 2. Key Laboratory of Large-span Bridge Construction Technology, Wuhan, Hubei 430040, China; 3. Research and Development Center of Transport Industry of Intelligent Manufacturing Technologies of Transport Infrastructure, Wuhan, Hubei 430040, China; 4. China Gezhouba Group Municipal Engineering Co., Ltd., Yichang, Hubei 443002, China)

**Abstract:** Taking the construction example of the TRD method isolation wall for the anchor foundation of a bridge in Jiangsu Province, which is located in a deep, water-rich silty sand and silty clay stratum, as the research object, this paper studies and summarizes the problems encountered during construction, as well as the handling process, construction efficiency, construction parameters, grout return rate, and quality inspection. The results show that the cutting box is easy to be locked in the deep water rich silty sand and silty clay stratum. The rational preparation and application of cutting fluid, as well as the timely rotation of the chain cutter and the insertion and extraction movement of the cutting box during extended downtime, can effectively prevent the cutting box from being locked. The average speed of advance cutting, rollback cutting and wall mixing is 1.02m/h, 2.74m/h and 2.08m/h respectively, and the efficiency of wall construction is 4.81m/d and 134.58m<sup>3</sup>/d. When advance cutting, the thrust of the horizontal oil cylinder and the cutting force of the chain cutter are large, and each parameter presents obvious periodicity. The replacement rate of slurry is 60%~70% during wall mixing.

**Keywords:** bridges; foundations; TRD construction method; silt sand formation; return rate of mixed slurry

## 0 引言

TRD 工法于 21 世纪初引入我国<sup>[1]</sup>, 该工法使

用链刀式成墙设备施工, 可在地下形成连续、均匀、等厚度的水泥土搅拌墙<sup>[2]</sup>, 以其地层适应性广、施工深度大、成墙质量好和环境影响小等诸多优势而被广泛应用于止水帷幕、防渗加固和围护结构等工程<sup>[1-5]</sup>。

\* 交通运输行业重点科技项目(2022-ZD4-060)

[作者简介] 刘杰, 高级工程师, 硕士, E-mail: 1035616643@qq.com

[收稿日期] 2025-11-15

TRD 工法的研究主要集中在试验研究<sup>[6-7]</sup>、设计方案比选<sup>[8-9]</sup>和施工对环境的影响<sup>[10-11]</sup>等方面,而对于施工中所遇问题及处理流程、施工工效、施工参数(尤其是设备施工参数)和返浆量等方面却鲜有提及。以江苏省某大桥锚碇基础 TRD 工法隔离墙在深厚富水粉砂及粉质黏土地层施工为背景,对相应施工技术和应用效果进行了总结,以期为类似地层项目施工提供参考。

1 工程概况

1.1 项目概况

某大桥采用地下连续墙锚碇基础,长 110m,宽 75m,深 83m。距旧长江大堤最近点 47.6m,在迎大堤侧设置 TRD 工法墙作为隔离措施,以降低施工对长江大堤的影响。TRD 工法墙长 145m,厚 0.7m,深 42.4m(设计标高 -39.600 ~ 0.400m,场地标高 2.800m),水泥掺量 20%,28d 无侧限抗压强度  $\geq 0.8\text{MPa}$ 。设计平面如图 1 所示。

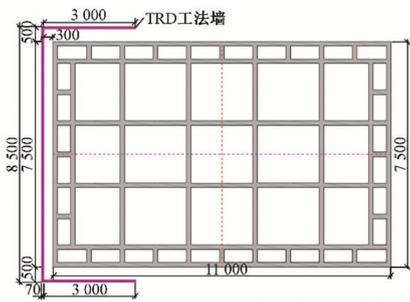


图 1 TRD 工法墙平面(单位:cm)

Fig. 1 Plan of TRD construction method wall(unit:cm)

1.2 地质条件

1) 水文地质条件

场区地形平坦,地表水系主要为长江及沟塘,受潮汐影响较大。勘测期间水位埋深 1.01 ~ 1.56m,潜水层与长江等地表水系通过径流存在水力联系。

2) 工程地质条件

项目位于长江冲积平原,1m 深度范围主要为种植土,1~31m 深度范围分布有松散~中密粉砂,31~46m 深度范围分布有软塑状粉质黏土。地质剖面如图 2 所示,地质参数如表 1 所示。

2 设备配置

选用 LSJ60-A 型链刀式成墙设备施工,主机设备性能参数如表 2 所示。

3 施工工艺

3.1 施工部署

采用 1 台主机施工,从墙位一端向另一端有序推进。

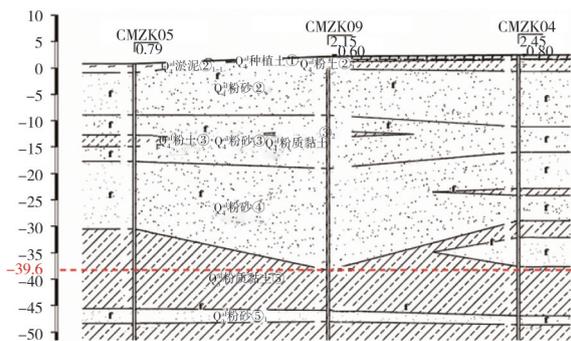


图 2 地质剖面

Fig. 2 Geological section

表 1 地质参数

Table 1 Geological parameters

地层名称	重度/ ( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ )	黏聚力 $c/$ kPa	内摩 擦角 $\varphi/(\text{°})$	标贯 击数/ 击	渗透 系数/ ( $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ )
① 种植土	18.9	17.3	13.7	—	$4.91 \times 10^{-6}$
② 粉砂	19.1	7.0	31.3	8	$2.49 \times 10^{-3}$
② <sub>1</sub> 淤泥质 粉质黏土	17.9	19.5	12.0	2	$5.11 \times 10^{-7}$
② <sub>1-1</sub> 淤泥	16.0	—	—	2	—
② <sub>3</sub> 粉土	19.0	8.7	27.0	6	$1.88 \times 10^{-5}$
③ 粉砂	19.0	7.2	31.5	12	$1.02 \times 10^{-3}$
③ <sub>1</sub> 粉土	18.8	12.5	31.7	10	$9.10 \times 10^{-4}$
③ <sub>2</sub> 粉质黏土	18.2	15.3	9.5	7	$3.60 \times 10^{-7}$
④ 粉砂	18.8	5.5	32.6	18	$1.58 \times 10^{-3}$
④ <sub>2</sub> 粉质黏土	18.1	21.1	13.7	8	$2.46 \times 10^{-6}$
⑤ 粉质黏土	17.9	17.5	16.0	14	$2.26 \times 10^{-6}$

表 2 设备性能参数

Table 2 Equipment performance parameters

序号	项目	参数
1	最大成墙深度/m	60
2	成墙厚度/m	0.55~0.85
3	整机总功率/kW	447
4	驱动方式	燃油
5	链刀回转速度/( $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ )	0~69
6	链刀切削力/kN	0~355
7	链刀升降行程/m	0~6.3
8	水平推进速度/( $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ )	0~3
9	横推油缸推力/kN	0~620
10	横推油缸行程/m	0~2.76
11	整机质量/t	169
12	工作尺寸(长×宽×高)/m	10.25×7.38×12.03

3.2 工艺流程

TRD 工法施工工艺流程如图 3 所示。

3.3 施工参数

根据规范要求及施工经验,本工程预设施工参数如表 3 所示。

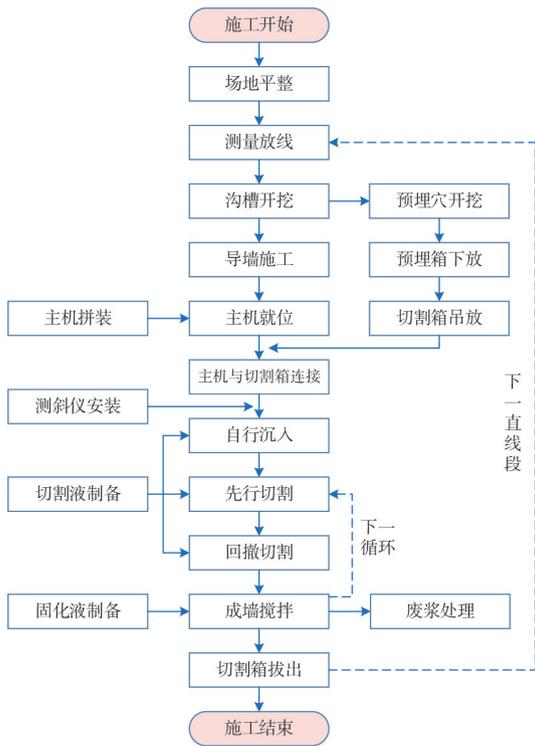


图 3 TRD 工法施工工艺流程

Fig. 3 TRD construction method process

表 3 预设施工参数

Table 3 Preset construction parameters

编号	项目	参数	取值
1	自行沉入	沉入速度/(cm·min <sup>-1</sup> )	4~7
2	先行切割	切割速度/(m·h <sup>-1</sup> )	0.2~2
3		步进距离/cm	≤5
4		开放长度/m	≤10
5		转角延伸长度/m	≥1
6	回撤切割	回撤速度/(m·h <sup>-1</sup> )	5~10
7		回撤搭接长度/m	≥0.5
8	成墙搅拌	推进速度/(m·h <sup>-1</sup> )	1~3

### 3.4 切割箱抱死处理

某日 19:30 开始 T3-2 节段先行切割,至 20:00 无明显进尺,初步判断为切割箱被地层抱死。取切割液和地层混合浆液进行试验,测得相对密度为 1.62,苏氏漏斗黏度为 39s,含砂率为 45%。20:30 在链条上安装刮刀,链条慢速正、反向回转,对淤积在切割箱两侧的土体进行刮除。

翌日 00:45 采用履带式起重机辅助 TRD 主机共同起拔切割箱,履带式起重机提升力达到 333kN,TRD 主机提升力达到 1 360kN,提升油缸负荷已超过预警值,但切割箱仍未拔出。2:35 拆除刮刀,进行下沉切割,但阻力过大无法下沉且左轮履带有抬起现象,切割箱为完全抱死状态,决定保持链刀慢速回转,并交由白班处理。7:30 分离切割箱与驱动总成,并拆除了 1 节 1.22m 的切割箱,并重新安装

了刮刀。

10:00—11:00 链刀慢速正、反向回转,对淤积在切割箱两侧的土体继续刮除。链刀回转时要安排专人查看刮刀位置,一旦露出地面后要立即提示司机停止链刀回转,以防止刮刀卡入驱动总成。回转时观察显示屏链刀切削力变化,未切到淤积处时切削力较小(10~30kN),当切削力突然变大时(≥60kN)证明切到淤积处。通过记录刀具回转下去的个数,大致判断淤积位置在最下方 10m 范围区域,在淤积区域利用刮刀进行反复刮除。

14:00 将刮刀拆除,15:40 由履带式起重机辅助起拔切割箱,刀箱被拔动,然后安装拆下的配长切割箱,链刀正、反向正常速度回转(约 55~60m/min),17:00 设备运转恢复正常,继续进行先行切割,此时链刀切削力为 60~80kN,单提升油缸提升力为 150~500kN。切割箱抱死处理期间链刀切削力和单提升油缸提升力时程分别如图 4,5 所示。

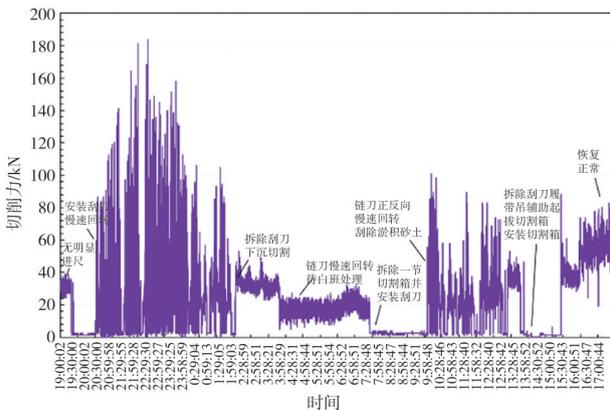


图 4 链刀切削力时程

Fig. 4 Time history chart of chain cutter cutting force

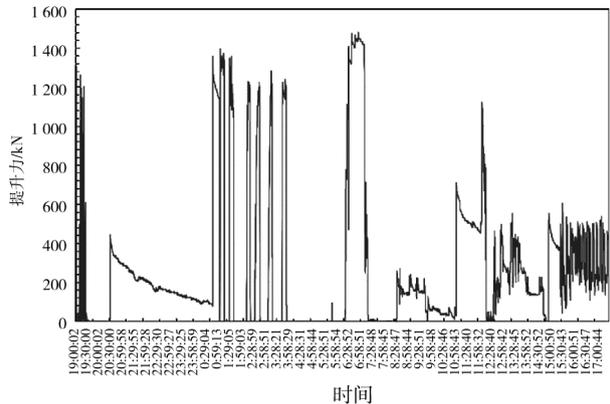


图 5 单提升油缸提升力时程

Fig. 5 Time history chart of single lift cylinder lifting force

经过分析,切割箱抱死的主要原因为地质原因,切割箱所处地层为 30m 厚粉砂和 10m 厚粉质黏

土,深厚粉砂层在切割时若切割液稳定性等性能不良,粉砂会大量沉淀淤积在切割箱侧壁与地层空隙处,造成摩阻力过大。另外,若停机时间较长,切割箱侧壁易被软塑状粉质黏土紧密吸附,造成切割箱阻力过大无法自由移动。

后续施工中,切割液按照规范和实际情况制备和应用,较长时间停机时每隔1~4h进行链刀回转及切割箱拔插运动,未再出现切割箱被抱死的情况。

## 4 试验结果

### 4.1 施工工效

本工程切割箱下沉时间均值为20h,先行切割速度均值为1.02m/h,回撤切割速度均值为2.74m/h,成墙搅拌速度均值为2.08m/h,切割箱拔出时间均值为3.67h。每天白晚班施工,成墙工效为4.81m/d,134.58m<sup>3</sup>/d。

### 4.2 施工参数

#### 1) 长度

本工程三步法典型节段施工中,直线段首节先行切割长度为15m,之后每次先行切割长度为10m,回撤搭接长度为0.5m,搅拌成墙长度为10m,临时停放区长度为5m,转角处延伸长度为1m。

#### 2) 设备

本工程施工前对设备进行了改造,加装了设备施工参数记录仪,在TRD工法墙施工过程中对各项设备主要施工参数进行实时监控,包括链刀参数(切削力、速度、张紧行程、张紧力)、横推油缸参数(推力、速度、行程)、刀箱升降参数(提升力、速度、行程)和倾斜仪参数(倾角和偏位)等。

以T3-1节段为例,对先行切割、回撤切割和成墙搅拌全过程设备横推油缸推力、链刀切削力、提升油缸提升力进行了记录,如图6所示。

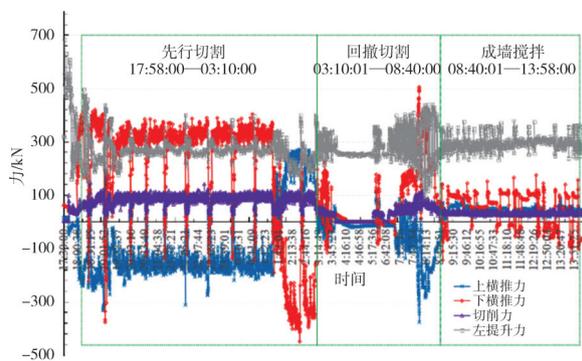


图6 设备施工参数时程

Fig. 6 Time history chart of equipment construction parameters

先行切割时上下横推油缸推力、链刀切削力较

大,又由于为步进式切割,各项参数均呈现明显的周期性。下横推油缸推力主要在300~350kN,上横推油缸推力主要在-200~-150kN,链刀切削力主要在70~110kN,单提升油缸提升力主要在200~400kN。

回撤切割过程中各项参数均较小,回撤切割至先行切割开始区域时由于已注浆墙体已初凝,各项参数均较大,此时减慢回撤切割步进量及速度,避免超过机器预警值(上下横推油缸推力预警值为558kN,链刀切削力预警值为320kN)。

成墙搅拌时上下横推油缸推力、链刀切削力较小,下横推油缸推力主要在-50~100kN,上横推油缸推力主要在20~70kN,链刀切削力主要在25~50kN,单提升油缸提升力主要在250~350kN。

### 4.3 返浆量

三步施工法施工循环中,先行切割和回撤切割时注入切割液,成墙搅拌时注入固化液,由于置换作用会产生返浆,返浆的产生量与地层、浆液注入量等因素密切相关。先行切割和回撤切割时置换出的返浆体量较少,成墙搅拌时置换出的返浆体量较多。返浆量(或返浆率)会影响初步设计,返浆处理会影响工程造价,但相关规范和文献等资料中未见返浆量(或返浆率)相关描述。

本工程统计了3个节段施工中成墙搅拌(每次成墙长度10m)时的返浆量,如表4所示。

表4 返浆量统计

Table 4 Statistics of replacement slurry volume

节段编号	返浆量/m <sup>3</sup>	水泥浆注入量/m <sup>3</sup>	返浆率/%
T2-1	92.8	154.6	60.0
T2-2	107.2	154.6	69.3
T2-8	105.6	154.6	68.3

由表4可知,成墙搅拌返浆率在60%~70%。本工程水泥浆总注入量约2500m<sup>3</sup>,推算成墙搅拌返浆量在1500~1750m<sup>3</sup>。由于地层中有黏土层,返浆不宜过滤作为再生浆液;现场将返浆排放至渣土坑,待初凝后用挖机挖出,作为换填及场平填料使用。

### 4.4 试块强度

采用自主研发的深层取样装置对不同深度水泥土浆液进行了取样,制成的试块水中养护28d后进行了无侧限抗压强度试验,强度满足设计及规范要求。

## 5 结语

本文基于江苏省某大桥锚碇基础TRD工法隔离墙在深厚富水粉砂及粉质黏土地层中的施工实

例,对施工所遇问题及处理流程、施工工效、施工参数、返浆量和质量检验等方面进行了研究和总结,主要得出以下结论。

1) 深厚富水粉砂及粉质黏土地层中容易出现切割箱被抱死的情况,可采用履带式起重机辅助主机共同起拔切割箱和在链条上安装刮刀正反向回转刮除淤积体等方式进行脱困。

2) 切割液应合理制备和应用,较长时间停机时每隔 1~4h 进行链刀回转及切割箱拔插运动,可有效预防切割箱被抱死的情况。

3) 先行切割、回撤切割和成墙搅拌速度均值分别为 1.02, 2.74, 2.08m/h, 成墙工效为 4.81m/d, 134.58m<sup>3</sup>/d。

4) 先行切割时横推油缸推力、链刀切削力较大,由于为步进式切割,各项参数均呈现明显的周期性;回撤切割开始时各项参数均较小,回撤切割至先行切割开始区域时各项参数均较大;成墙搅拌时各项参数均较小。

5) 成墙搅拌时返浆率在 60%~70%,返浆初凝后挖出作为换填及场平填料使用,实现了资源的再生利用。

#### 参考文献:

- [ 1 ] 王卫东. 超深等厚度水泥土搅拌墙技术与工程应用实例 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.  
WANG W D. Technology and practice of uniformly thick cement soil mixing wall [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2017.
- [ 2 ] 刘杰, 姚兆龙, 马超, 等. TRD 工法施工工艺及质量控制技术 [J]. 施工技术(中英文), 2025, 54(19): 71-77.  
LIU J, YAO Z L, MA C, et al. TRD construction method and quality control technology [J]. Construction technology, 2025, 54(19): 71-77.
- [ 3 ] 徐晓兵, 韩小凡, 邓彪, 等. 渠式切割水泥土连续墙 (TRD) 在赣江某综合整治工程中的应用 [J]. 建筑结构, 2023, 53(10): 144-151.  
XU X B, HAN X F, DENG B, et al. Application of trench-cutting re-mixing deep-wall (TRD) in a comprehensive renovation project of Ganjiang River [J]. Building structure, 2023, 53(10): 144-151.
- [ 4 ] 白亦泽, 焦守业, 刘汝超, 等. 沿江超深 TRD 卵石砾石层引孔引槽施工工艺研究 [J]. 施工技术(中英文), 2025, 54(5): 110-114.  
BAI Y Z, JIAO S Y, LIU R C, et al. Study on construction

technology of pore-pilot trenching in super-deep TRD cobble and gravel layers along the river [J]. Construction technology, 2025, 54(5): 110-114.

- [ 5 ] 张锴锋, 夏高翔. TRD 工法水泥土连续墙在富水粉细砂层中的应用 [J]. 南京工程学院学报(自然科学版), 2022, 20(2): 69-73.  
ZHANG K F, XIA G X. Application of TRD cement-soil walls in water-rich silty fine sand layers [J]. Journal of Nanjing Institute of Technology (natural science edition), 2022, 20(2): 69-73.
- [ 6 ] 宗露丹, 张佶, 徐中华, 等. 86m 超深水泥土搅拌墙试验研究与工程应用 [J]. 施工技术(中英文), 2023, 52(19): 10-16.  
ZONG L D, ZHANG J, XU Z H, et al. Experimental investigation and application of 86m deep cement-soil mixing wall [J]. Construction technology, 2023, 52(19): 10-16.
- [ 7 ] 邓武, 刘维正, 陈铁, 等. 海相淤泥水泥石土强度与变形特性试验及相互关系研究 [J]. 中外公路, 2024, 44(2): 91-102.  
DENG W, LIU W Z, CHEN T, et al. Experiment on strength and deformation characteristics of marine silt cement soil and their relationship [J]. Journal of China & foreign highway, 2024, 44(2): 91-102.
- [ 8 ] 王卫东, 翁其平, 孙建军, 等. 软土地层 45m 超深基坑工程设计与实践 [J]. 地下空间与工程学报, 2023, 19(6): 1968-1979.  
WANG W D, WENG Q P, SUN J J, et al. Design and practice of a 45m extreme-deep excavation in soft soil area [J]. Chinese journal of underground space and engineering, 2023, 19(6): 1968-1979.
- [ 9 ] 李东杰, 冯硕, 杨宝森. 故宫博物院北院区基坑支护方案比选 [J]. 建筑结构, 2022, 52(16): 111-115, 36.  
LI D J, FENG S, YANG B S. Comparison and selection of foundation pit support schemes for the north courtyard of the Palace Museum [J]. Building structure, 2022, 52(16): 111-115, 36.
- [ 10 ] 王卫东, 翁其平, 陈永才. 56m 深 TRD 工法搅拌墙在深厚承压含水层中的成墙试验研究 [J]. 岩土力学, 2014, 35(11): 3247-3252.  
WANG W D, WENG Q P, CHEN Y C. Experimental investigation of construction of a 56m deep constant thickness cement-soil wall using trench cutting re-mixing deep wall (TRD) method in deep aquifers [J]. Rock and soil mechanics, 2014, 35(11): 3247-3252.
- [ 11 ] 何平, 徐中华, 王卫东, 等. 基于土体小应变本构模型的 TRD 工法成墙试验数值模拟 [J]. 岩土力学, 2015, 36(S1): 597-601, 663.  
HE P, XU Z H, WANG W D, et al. Numerical simulation of TRD wall-forming test based on small strain constitutive model of soil [J]. Rock and soil mechanics, 2015, 36(S1): 597-601, 663.