

文章编号:1001-5132 (2010) 04-0107-05

宁波轨道交通试验段地下连续墙槽段稳定性分析

丁士龙¹, 董建忠¹, 刘干斌²

(1.浙江省大成建设集团有限公司, 浙江 杭州 310012; 2.宁波大学 建筑工程与环境学院, 浙江 宁波 315211)

摘要:以宁波轨道交通试验段车站深基坑地下连续墙为工程背景,采用抛物线柱体模型对有超载工况地下连续墙的槽壁稳定性进行分析.探讨了护壁泥浆作用下,模型参数对槽段稳定的敏感性及安全系数的影响.结果表明:地下连续墙施工槽段是稳定的.对槽段平面位置、深度和垂直度进行的检测也验证了计算结果的正确性,可为宁波地区类似工程提供理论和实践依据.

关键词:轨道交通; 地下连续墙; 超载; 稳定

中图分类号: TU471.2

文献标识码: A

宁波轨道交通试验段位于宁波市东部新城,距宁波市中心约 10 km,场地北侧为建设中的宁波市行政综合楼,南侧为规划的公园,东侧、西侧有代建工程,场地现状地势平坦开阔,北侧行政综合楼作为行政中心区一期工程,和本工程基坑相距约 18 m;其余各侧为农田和空地,并有少量 1~2 层的房屋,东、西两侧有现状河宽 10~20 m,需要回填,河床底绝对标高约 0.0 m.

本工程围护分为两部分.第一部分为车库基坑部分,车库主基坑长 253.1 m,宽 101.6 m,开挖深度至底板垫层底为 8.85 m.采用“钻孔灌注桩+高压旋喷桩止水帷幕”作为围护结构,并设 1 道临时钢筋混凝土内支撑.本工程作为轨道交通试验段工程,局部设置钻孔咬合桩.基坑南侧设锚杆,并局部有土体加固.第二部分为车站基坑,位于车库主基坑内,长 253.1 m,标准段宽 20.7 m,下挖 8.7 m,车站两端端头井段宽 24.2 m,东端头井从车库基坑下挖 11.0 m,西端头井从车库基坑下挖 10.6

m.车站基坑采用地下连续墙作为围护结构,并设 3 道钢支撑加 1 道换撑.标准段北侧地下连续墙墙厚 600 mm,高约 19.0 m,入土深度约 9.6 m,入土比为 1.0.端头井端头墙厚 800 mm,墙高约 25.6 m,入土深度约 14.0 m.

地下连续墙基槽采用泥浆护壁,新鲜泥浆比重比水大,对槽壁的水平静止压力相当于一种液体支撑,与地层土压力和水压力相互平衡;当这种平衡不满足时,会造成槽壁整体失稳破坏或者局部坍塌.针对地下连续墙施工过程中泥浆护壁开挖槽段的稳定性问题,不少学者按平面问题和空间问题开展了研究工作^[1-6].笔者以宁波轨道交通试验段车站为工程背景,对有超载工况的槽壁稳定性进行分析,以确保地下连续墙的安全施工.

1 泥浆制备

(1) 泥浆材料.本地下连续墙工程采用下列材

料配制护壁泥浆: 200 目商品膨润土; 自来水; 分散剂为纯碱(Na_2CO_3); 增黏剂为 CMC (高粘度, 粉末状).

(2) 泥浆性能指标及配合比设计

新鲜泥浆的各项性能指标见表 1, 新鲜泥浆的基本配合见表 2.

表 1 新鲜泥浆性能指标表

指标	粘度/s	比重	pH 值
	21~23	1.04~1.05	8~9

表 2 新鲜泥浆配合比表 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$

投料	膨润土	纯碱	CMC	自来水
	116	4.5	1	950

(3) 各类泥浆性能指标均应符合国家规范、地方规范和设计的规定, 并需经采样试验, 达到合格标准.

(4) 成槽作业工程中, 槽内泥浆液面保持在不自溢的最高液面, 暂停施工时, 浆面不应低于导墙顶面 30 cm.

2 地下墙施工槽段稳定性计算

根据本工程的地质条件、施工工艺、施工进度进行合理分幅施工, 同时合理安排好施工顺序. 地下连续墙施工时应根据设计要求先做试成槽. 根据在宁波市天一广场施工地下墙的经验及宁波市地质情况, 地下墙槽段划分标准段为 6 m, 地下连续墙槽段划分在施工前与设计单位沟通后再行划分出图.

一般认为泥浆护壁有隔离、静液压力和电渗力等三方面的物理作用机理. 但是沟槽开挖后, 尽管有泥浆护壁, 但壁面仍会产生变形, 而且由于地层的流变性, 使壁面变形会随时间而增长. 很明显, 壁面变形的大小与方向视地层性质与泥浆参数而异, 其中向槽内的变形是不利的, 施工中若泥浆管理不周或设计不合理时, 这种变形就可能发展成槽壁坍塌.

由于地层性质、槽内泥浆液面高度、泥浆比重、地下水位、槽边荷载、一次成槽长度、成槽深度等方面构成了对泥浆槽壁稳定性影响的因素. 鉴于此, 以标准槽段为例, 依照选定的分幅长度(该槽段开挖长度 6 m)、槽段深度(成槽深度 32.8 m)、成槽方式及设计提供的地质条件, 采用抛物线柱体模型对本幅槽段施工阶段泥浆槽壁的稳定性进行近似分析, 模型如图 1 所示.

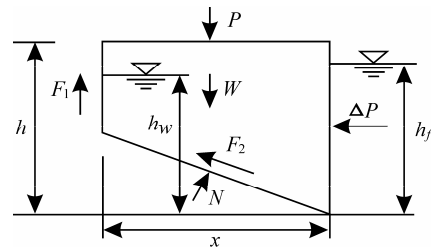


图 1 槽段稳定抛物线柱体计算模型

假设槽壁的破坏体为一具有倾斜滑动面的抛物线柱体, 高度为 h , 滑动面与水平面成 α 角, 抛物线开口朝向泥浆槽, 开口宽度等于泥浆槽段长度 L , 抛物线顶点到泥浆槽壁的距离为 x . 图 1 中 h_w 为地下水位到槽底深度; W 为破坏体自重; h_f 为泥浆到槽底深度; P 为地表荷载; ΔP 为泥水压力合力; N 为滑动面法向反力.

破坏体自重 W :

$$W = \frac{2}{3} Lx \left[(h - h_w) \gamma + (\gamma - \gamma_w) \left(h_w - \frac{2}{5} x \tan \alpha \right) \right]. \quad (1)$$

侧面粘聚力的合力 F_1 :

$$F_1 = c(2hx - x^2 \tan \alpha), \quad (2)$$

式中, c 为土体的粘聚力参数.

滑动面剪力的合力 F_2 :

$$F_2 = [(W + P) \cos \alpha + \Delta P \sin \alpha] \tan \alpha + \frac{2Lxc}{3 \cos \alpha}. \quad (3)$$

泥水压力合力:

$$\Delta P = (h_f^2 \gamma_f - h_w^2 \gamma_w) L / 2, \quad (4)$$

式中, h_f 为泥浆到槽底深度.

考虑坍塌体的极限平衡, 则:

$$(W + P) \sin \alpha = \Delta P \cos \alpha + F_1 + F_2. \quad (5)$$

整理后可得:

$$\gamma_f = \frac{h_w^2}{h_f^2} \gamma_w + \frac{\psi_1 - \psi_2}{h_f^2 L (\cos \alpha + \sin \alpha \tan \phi)},$$

$$\psi_1 = 2(P + W)(\sin \alpha - \cos \alpha \tan \phi), \quad (6)$$

$$\psi_2 = 4xc \left[L / (3 \cos \alpha) + h - x \tan \alpha / 2 \right],$$

式中, ϕ 为土体的内摩擦角.

可定义墙体的稳定系数为:

$$n = (\Delta P \cos \alpha + F_2 + F_1) / (W + P) \sin \alpha. \quad (7)$$

利用土层各参数的加权平均值作为计算参数:

$\gamma = 18.4 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$, $\gamma' = 8.4 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$, $\gamma_w = 10 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$, $P = 20 \text{ kPa}$, $c = 15.6 \text{ kPa}$, $\phi = 10.3^\circ$, $L = 6 \text{ m}$, $h_f = 0.5 \text{ m}$. 根据

朗肯土压力理论, 在主动状态下, 滑动面倾角 α 取 $45^\circ \sim 80^\circ$. 最小泥浆重度随 h 、 α 和滑动体厚度 x 的变化不能在三维空间表示, 为直观起见, 将高度固定, 利用上述参数作不同 α 和 x 条件下的最小泥浆重度.

利用(6)式和(7)式, 对护壁泥浆作用下模型参数的敏感性及其槽段稳定性系数进行计算, 结果如图2和3所示. 由图2可知: 随着槽段深度的增加, 所需泥浆重度也相应增大. 地下水位越深, 泥浆重度减小. 在各工况条件下, 计算得到的泥浆重度均小于实际制备值 $10.4 \sim 10.5 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$, 因此可以满足槽

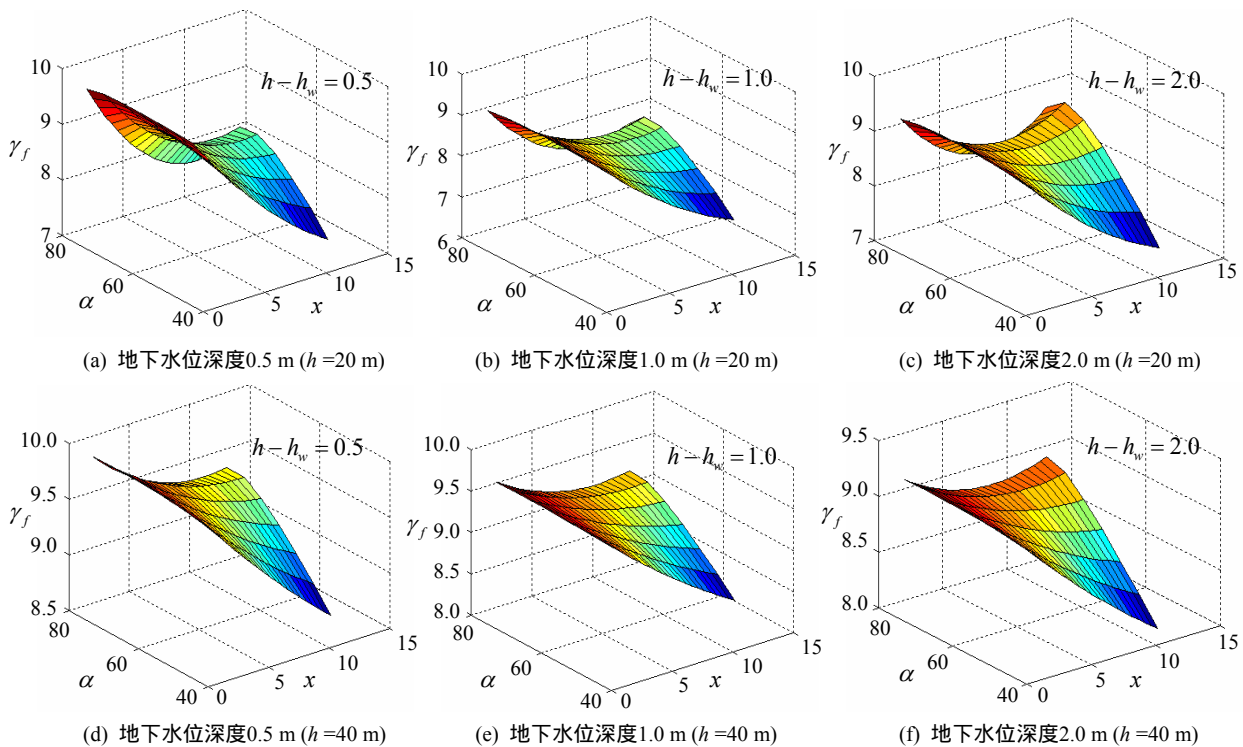


图2 抛物柱体模型参数敏感性分析

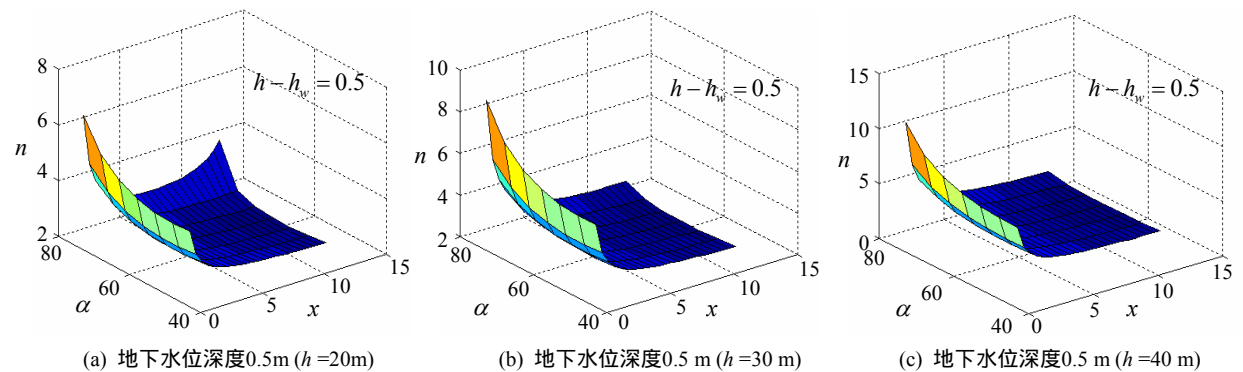


图3 抛物柱体模型稳定性分析

段稳定性的要求. 由图 3 可知, 在地下水位 0.5 m 时, 不同深度条件下的槽段稳定系数值均大于 2.4, 可以判定槽段稳定.

3 地下墙槽段检验结果分析

每幅槽须在成槽(包括清底)完成后进行超声波测深, 每幅均采用 3 点检测, 以及时判定成槽质量情况, 对成槽的垂直度, 平整度进行检测, 检验标准如表 3 所示. 对垂直度不合要求的槽段重新进行修正; 如有坍方现象发生, 则对以后成槽的泥浆进行调整.

表 3 槽段质量标准

序号	项目	质量标准
1	垂直度/‰	3
2	槽深/mm	不小于设计深度
3	槽宽/mm	0~+50
4	沉渣厚度/mm	100

(1) 槽段平面位置偏差检测.

用测锤实测槽段两端的位置, 两端实测位置与该槽段分幅线之间的偏差即为槽段平面位置偏差, 测试结果均小于 30 mm, 满足检验标准.

(2) 槽段深度检测.

用测锤实测槽段左中右 3 个位置的槽底深度, 3 个位置的平均深度即为该槽段的深度, 部分槽段检验结果见表 4.

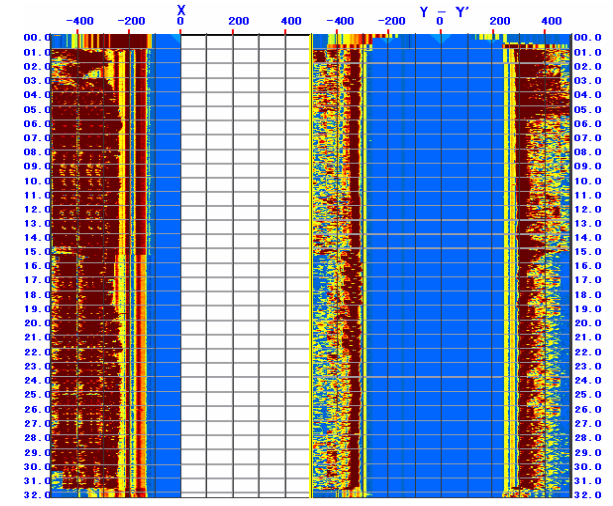
(3) 槽段壁面垂直度检测.

用超声波测壁仪在槽段内左中右 3 个位置上(分幅宽度 6 m 的槽段)分别扫描槽壁壁面, 扫描记录中壁面最底部凸出量或凹进量(以导墙面为扫描基准面)与槽段深度之比即为壁面垂直度, 3 个位置的平均值即为槽段壁面平均垂直度. 槽段垂直度的表示方法为: X/L . 其中 X 为壁面最大凹凸量, L 为槽段深度, 部分检测结果如图 4 所示.

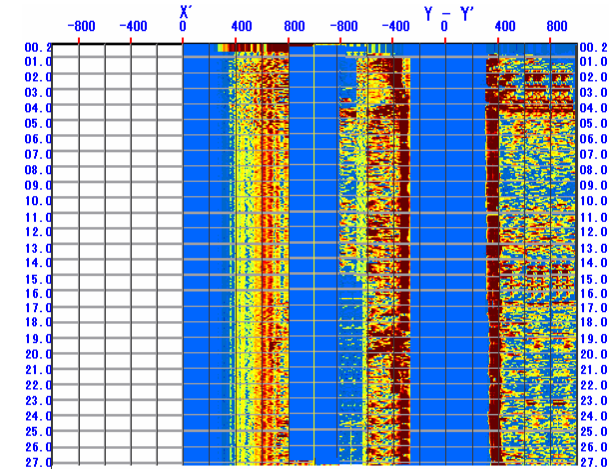
由表 4 和图 4 可知, 实测槽段的各项数据均满足表 3 的检验标准范围, 由此可见, 本工程槽段成

表 4 本项目单元槽段成槽验收表

槽段编号	设计宽度/m	实际深度/m	设计厚度/m	实际槽底标高/m	设计槽底标高/m	导墙顶标高/m
Q ₃ -1	5.5	33.8	0.8	-31.39	-31.3	+2.41
Q ₆ '-1	5	41	0.8	-38.62	-38.3	+2.38
Q ₃ -8	5.67	33.75	0.8	-31.40	-31.3	+2.35
Q ₄ -1	6.85	33.7	0.8	-31.33	-31.3	+2.37
Q ₅ -1	5.57	40.7	0.8	-31.34	-31.3	+2.36
Q ₆ -3	5.00	41.04	0.8	-38.69	-38.67	+2.35
Q ₇ -1	5.40	41.30	0.8	-38.71	-38.67	+2.58
Q ₂ '-1	5	26.9	0.6	-24.50	-24.40	+2.40
Q ₁ '-1	6	27	0.6	-24.48	-24.40	+2.52
Q ₁ -22	6	32	0.6	-29.42	-29.40	+2.58
Q ₂ -4	5	32	0.6	-29.42	-29.40	+2.58



(a) Q1-18(西) 孔深32.01 m, 槽宽600 mm, 垂直度为2.22‰



(b) Q1'-23(西) 孔深26.94 m, 槽宽600 mm, 垂直度为2.11‰

图 4 各槽段垂直度检测结果

槽质量合格, 且槽段处于稳定状态.

4 结论

基于抛物线柱体模型, 以宁波轨道交通建设工程试验段地下连续墙为背景, 研究了超载作用下地下连续墙槽壁的稳定问题。从模型参数角度对槽段稳定的敏感性及安全系数进行计算, 同时对槽段平面位置、深度和垂直度进行成槽质量检测, 理论计算和检测结果均表明: 基于重度 $10.4\sim 10.5\text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$ 护壁泥浆作用下, 本工程地下连续墙具有足够稳定性, 可为类似工程提供了理论和实践依据。

参考文献:

- [1] 杨嵘昌, 刘世同. 地下墙浅表泥浆槽壁的稳定分析—
 塌体底面涉及地表时的泥浆临界相对密度[J]. 南京建筑工程学院学报, 1997, 41(2): 28-34.
- [2] 刘国彬, 黄院雄, 刘建航. 超载时地下连续墙的槽壁稳定分析与实践[J]. 同济大学学报, 2000, 28(3): 267-271.
- [3] 张厚美, 夏明耀. 地下连续墙泥浆槽壁稳定的三维分析[J]. 土木工程学报, 2002(2): 73-76.
- [4] Fox P J. Analytical solutions for stability of slurry trench [J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, American Society of Civil Engineers, 2004, 130(7):749-758.
- [5] 史世雍, 章伟. 深基坑地下连续墙的泥浆槽壁稳定分析[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(sup1):1418-1421.
- [6] 王轩, 雷国辉, 施建勇. 矩形地连墙槽壁整体稳定分析方法的对比研究[J]. 岩土力学, 2006, 27(4):549-555.

Stability of Diaphragm Retaining Wall Trench Construction in Ningbo Urban Rail Transit Project

DING Shi-rong¹, DONG Jian-zhong¹, LIU Gan-bin²

(1.Zhejiang Dacheng Construction Group Co. Ltd., Hangzhou 310012, China;

2.Faculty of Architectural, Civil Engineering and Environment, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: Taking the diaphragm wall slurry trench in Ningbo rail transit test section as the study case, the stability of slurry trench with a surcharge using the paracurve cylinder model is analyzed. The influence of model parameters on the sensitivity and the safety factor of slurry trench stability under the protection of slurry wall are discussed. The detection results of plane position, depth and verticality of slurry trench are used to determine the stability of diaphragm wall. Some measures have been successfully applied to the excavation of slurry wall trench, through which the calculation results are validated. It is expected that this research may offer a reliable reference for other similar engineering projects.

Key words: rail transit; diaphragm wall; surcharge; stability

CLC number: TU471.2

Document code: A

(责任编辑 章践立)