

# 深圳某复杂环境基坑“部分逆作法”设计施工应用

许开军, 杨红坡, 吴争光

(深圳市岩土工程有限公司, 广东 深圳 518028)

**摘要:** “逆作法”作为基坑支护开挖的一种施工方法, 一般存在基坑支护结构与基础、主体结构结合紧密, 施工组织困难等问题, 一般情况下很少采用, 设计和施工经验不足。本文以深圳市福田区某一周边环境较复杂的基坑为例, 介绍了“部分逆作法”的设计和施工方法, 该基坑工程的安全施工, 体现了该种施工方法, 在设计指导施工、施工监测数据反馈设计、设计优化、简化施工等方面的相互结合, 极大的发挥了设计、施工及监测相互协调优化的信息化施工的作用, 可为今后类似工程的设计施工提供参考。

**关键词:** 逆作法; 部分逆作法; 监测数据; 信息化施工

中图分类号: TU47

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2012)S0-0649-05

**作者简介:** 许开军(1982-), 男, 硕士, 主要从事基坑工程、边坡工程、地基及基础工程等方面的工作。E-mail: kjun\_xu@163.com。

## Application of partial top-down construction of excavations under complex environment

XU Kai-jun, YANG Hong-po, WU Zheng-guang

(Shenzhen Geotechnical Engineering Co., Ltd., Shenzhen 518028, China)

**Abstract:** The top-down construction as an effective method, is rarely used in deep excavation owing to its complexity. The partial top-down construction as an example is introduced. The successful application of this method needs to work together in the design, construction and monitoring. In a word, information alization construction is very important, and it can optimize the design and construction. This study may to provide important and valuable reference for the similar projects.

**Key words:** top-down construction; partial top-down construction; monitoring; information alization construction

## 0 引言

地下空间的发展是现代城市发展的典型代表, 城市的发展也使地下空间的发展变得越来越复杂。建筑物密集、建筑物基础形式差、邻近地下构筑物及管线、周边环境对变形控制严格等, 给地下工程的设计及施工带来了越来越多的难题与挑战, 如何为每个基坑工程选用最为合适的支护方案需要考虑诸多方面的因素。

基坑“逆作法<sup>[1-3]</sup>”施工有诸多其它基坑支护体系无法替代的优势, 如周边环境影响小、施工占用场地少、封闭施工等, 因此在周边条件复杂、繁华中心地段基坑支护施工项目中应用日趋广泛。“逆作法”施工中如何组织土方开挖、如何进行有效支撑是其核心, 也是提高“逆作法<sup>[6]</sup>”施工工效的关键所在。由于这“一挖一撑”在保证“逆作法”施工安全的同时也使得深基坑采用“逆作法”的挖土时间比“顺作法”长, 且采用“逆作法”需要确定基础图纸及相关地下结构设计图纸才能正式开始施工, 而其它开敞式的“顺作

法”则较少受到这方面的限制, 对各项工期安排较为灵活。

本文所采用的“部分逆作法”是在综合考虑了基坑周边环境条件、地层情况, 基础及地下结构等因素而确定的方案, 该方案有效利用了较好的地层条件及邻近建筑物有利的结构, 充分考虑了施工的便捷、结构的可靠程度, 同时在基坑施工过程中注重设计、施工及施工监测的信息化施工理念, 及时进行设计、施工方案的优化调整。

此文中“部分逆作法”一方面是用基坑内四周暂时保留的局部土方对四周围护结构形成水平抵挡, 抵消侧向压力所产生的一部分位移; 另一方面是负二层顶板逆作, 底板及负三层顶板正作。该方法在施工过程中, 监测数据的收集与分析十分重要。

## 1 工程简介

### 1.1 基坑周边环境

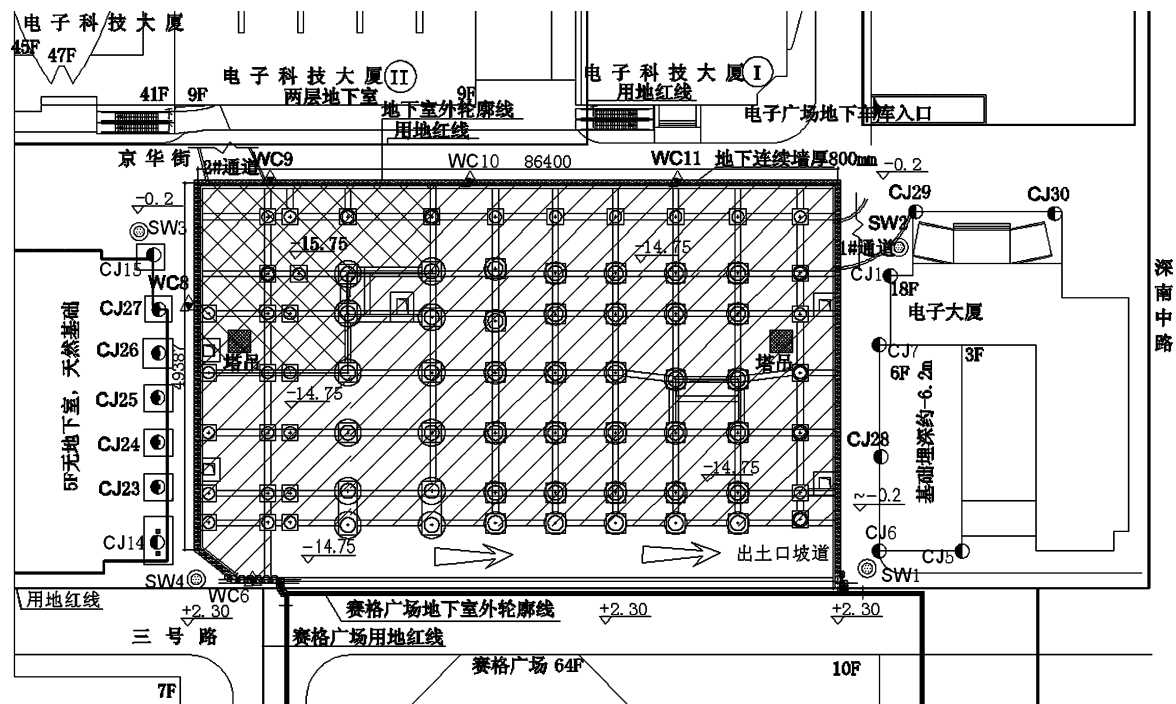


图 1 基坑范围及结构平面图

Fig. 1 Range and structural plan of excavation

基坑场地位于深圳市福田区华强北商业中心区，华发北路与深南中路交汇处，基坑东侧为电子科技大厦 1~3 期，该基坑支护为悬臂桩支护，距离现有基坑约 11 m，基坑开挖深度约 9.6 m，基础为桩基础；南侧为电子大厦楼由 6 层以下部分及 18 层部分组成，6 层以下部分为天然基础，埋深约 6.2 m，18 层部分由两层地下室，地下室底板面标高约为-6.2 m，桩基础，距离现有基坑约 6.0 m；基坑北侧为 5 层多层建筑天然基础，基础埋深约为 2.0 m，距离现有基坑约 4.0 m；基坑西侧紧靠赛格广场，四层地下室，采用地下连续墙形式（该基坑采用“逆作法”），底板面标高约-14.3 m；基坑西北角距离基坑约 16 m 有栋 7 层多层建筑，天然基础，基础埋深约 2.0 m（注：现有场地周边均为过道及周边地下车库入口，局部地面起伏较大，标高约为-0.2 m 至+2.3 m），周边环境相对关系见图 1。

1.2 场地工程地质条件

表 1 岩土层的物理力学性质指标表

Table 1 Physical and mechanical parameters of soils				
地层名称及成因代号	厚度 /m	内摩角 $\varphi /(^{\circ})$	黏聚力 $c/\text{kPa}$	重度 $\gamma /(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$
$Q^{ml}$ 素填土	2.5	10	12	18.5
$Q^{al+pl}$ 砂质黏性土	3.6	15	20	19.0
$Q^{el}$ 砾质黏性土	15.6	20	25	19.5
$\Gamma_5^3$ 全风化花岗岩 强风化花岗岩	5.4	30	30	19.5
	5.6	—	—	—

基坑开挖底面落于砾质黏性土层，厚度为平均厚度。

1.3 主体建筑及地下室概况

拟建工程地下 3 层，开挖深度 14.5~17 m，地上 8 层，地上高度 37.80 m，钢结构，占地面积 4989.59m<sup>2</sup>，总建筑面积为 10.21 万 m<sup>2</sup>，总用地面积 1.529 万 m<sup>2</sup>。基坑呈较规则矩形，长约 87.0 m，宽约 54.0 m。

2 基坑支护方案设计

基坑所处位置条件分析，交通条件复杂，与周边建筑位置关系紧张，因此，支护上首先考虑“一墙二用”的地下连续墙<sup>[2]</sup>方案作为基坑围护及截水墙使用，这样不会占用基坑外太多场地，其次结合总工期的要求及结构图纸设计阶段情况，以及南侧已有地连墙的有力优势，考虑采用“部分逆作法”的形式进行设计及施工。

2.1 围护及截水方案

基坑开挖深度为 14.5~17.0 m，基坑围护采用 0.8 m 厚度的地下连续墙，连续墙深入基坑底 7~9 m，结构设计不考虑连续墙承重，结合周边环境条件，连续墙幅宽按照 4.0 m 及 5.6 m 控制，要求施工按照间隔 2~3 个槽段进行施工。

连续墙搭接采用工字钢搭接，为防止接头漏水影响地下室正常使用，要求在接头处连续墙外采用三管高压旋喷进行止水加强，对于需要与相邻其它建筑物地下室相邻的通道处连续墙槽段，采用封闭钢箱与代替通道标高范围内的钢筋笼，后期施工通道时对钢箱

范围内钢板进行割除施工即可,避免了凿除大量钢筋混凝土的麻烦。

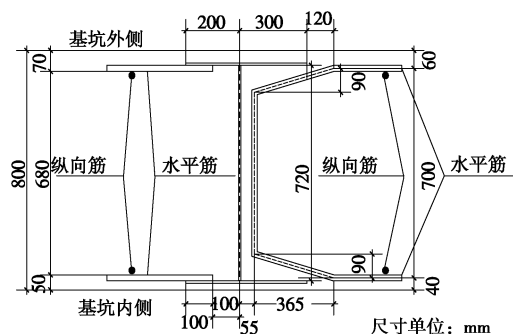


图2 连续墙工字钢接头搭接图

Fig. 2 Joint of diaphragm wall

## 2.2 土方开挖及结构施工

本文中介绍的“部分逆作法”主要是要求土方与结构施工紧密配合,施工以设计及监测数据作为指导。土方开挖前,应先进行连续墙围护结构、截水、基础桩及地下室范围内结构柱的施工及安装,现详述如下。

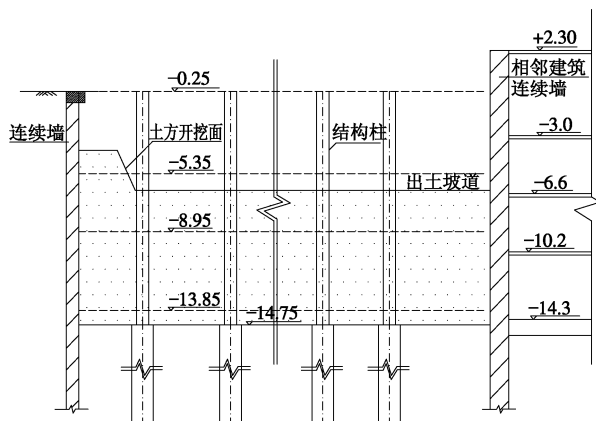


图3 地下一层施工方案示意图

Fig. 3 Construction plan of B1

图3所示为围护结构及相关基础及结构施工完毕后的基坑第一步开挖状态,开挖土方至地下二层顶板标高附近,周边留有2~3m宽度范围的土台作为反压土台(图3左边所示),围护结构处于悬臂状态,由于开挖深度不大及围护结构周边土台的作用<sup>[4]</sup>,围护结构变形很小,此时上图右侧,邻近建筑物外墙(1.2m连续墙)已经随着土方开挖暴露,该侧作为出土坡道。

上图4是在图3土方开挖的基础上,采用顺作依次顺序安装地下二层顶板中部范围内钢梁→地下一层顶板钢梁→挖除土台→安装地下二层顶板周边钢梁→浇筑地下二层及一层顶板混凝土→开挖土方至设计开挖深度,基坑围护结构周边依然保留3~4m宽度土台,高度约3m,其他部位土方依次开挖到底。此时结构上已经浇筑了两层楼板作为支撑结构作用在连续墙围护结构上,靠近就连续墙边跨楼板依然作为出土

坡道使用没有浇注,其他侧土压力完全靠楼板与结构柱来平衡消化,因此该设计施工方案能够实施必须满足梁、板、柱结构计算的要求。

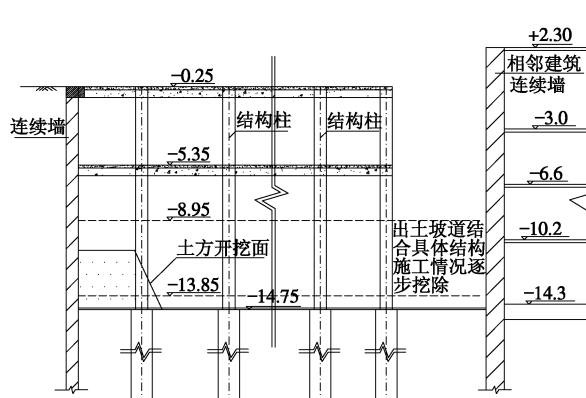


图4 地下二、三层土方开挖方案示意图

Fig. 4 Construction plan of B2 and B3

图5是在图4土方开挖基础上依次进行结构施工,其施工顺序为:施工地下室中部范围底板→施工地下室第三层顶板并与围护结构相接→开挖围护结构边跨范围内的土台土方→施工土台范围内的地下室底板→开挖坡道土方(图5右侧边跨范围)→依次顺作边跨(图5右侧)结构至地下室一层顶板→施工地下室内部衬墙结构→石粉渣回填新施工外墙与邻近建筑外墙之间的空隙。

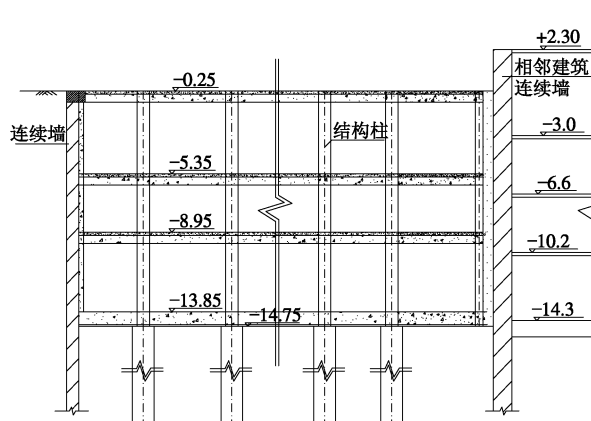


图5 地下二、三层结构施工方案示意图

Fig. 5 Construction plan of structure of B2 and B3

## 2.3 基坑监测情况

下面从基坑施工过程基坑支护结构位移、周边建筑物情况、水位变化几个方面来了解“部分逆作法”设计施工方法对周边环境的影响。

图6中所示为选取的5个基坑围护结构顶位移随时间的变化情况,从图中可以看到,基坑围护结构及基础桩施工完毕后,基坑正式开挖是在2011年1月份,当基坑开挖至图3所示情况时,位移达到较大值,如图6所示2011年3月附近情况,围护结构定出现约10mm左右位移,当施工至图4情况时,继续开挖,

围护结构的位移变化较小，但由于开挖后围护结构受力情况发生变化，大部分围护结构顶位移点的变化有所降低，直至地下室结构施工完毕，整个围护位移均控制在 13 mm 以内，相对于基坑开挖深度，该位移值不到基坑开挖深度的 1%，可见改施作方法对控制结构位移是非常有利的。

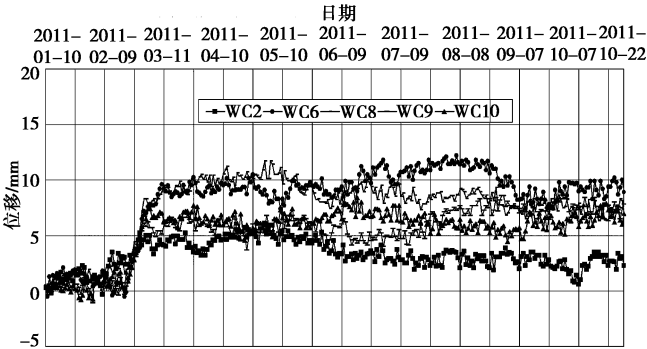


图 6 基坑围护顶部水平位移 - 时间关系图

Fig. 6 Variation of displacement of supporting structure with time

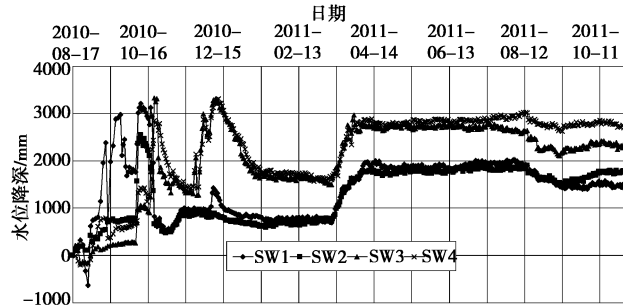


图 7 地下水位降深 - 时间关系图

Fig. 7 Variation of underground water level with time

如图 7 所示为基坑周边地下水水位降深情况，2010 年 8 月起，地下水位开始发生，该阶段对应基坑围护结构施工完毕，采用人工挖孔桩施工基础桩阶段，人工挖孔桩深度开始超过围护结构底标高，挖孔桩降水作用明显，期间采取过回灌措施，且由于降雨的影响，地下水位有所回升，到 2011 年 1 月，水位变化出

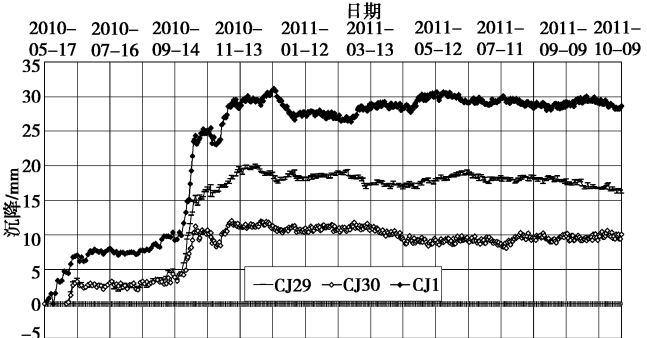


图 8 建筑物沉降 - 时间关系图 (图 1 右侧 18 层建筑)

Fig. 8 Variation of settlement of buildings with time

现一段稳定时期，该时期为基坑表层开挖，处于图 3

施工状态，对地下水位影响较小，后期出现一个变化，正好对应于图 4 开挖状态，后期随着底板的浇筑，水位慢慢有所恢复。

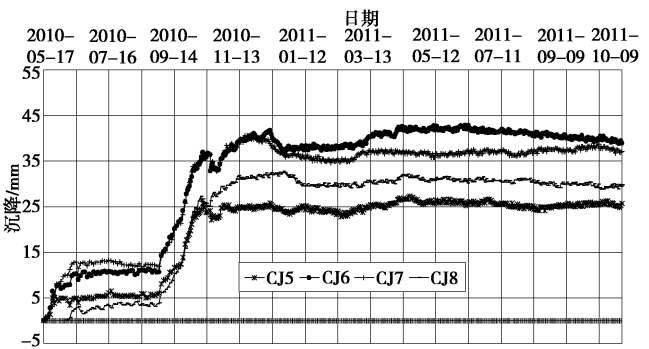


图 9 建筑物沉降 - 时间关系图 (图 1 右侧 5-6 层建筑)

Fig. 9 Variation of settlement of buildings with time

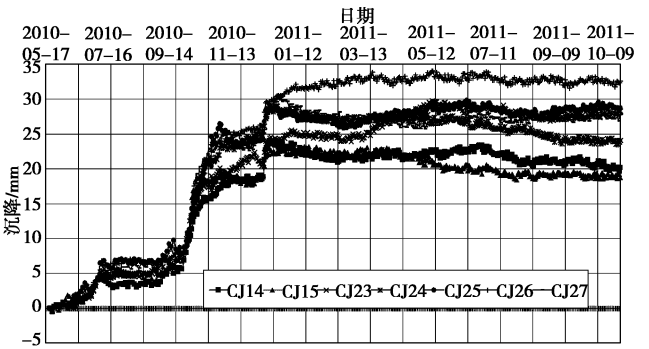


图 10 建筑物沉降 - 时间关系图 (图 1 左侧 5 层建筑)

Fig. 10 Variation of settlement of buildings with time

图 8~10 为周边建筑物沉降 - 时间关系图，可以看出沉降最大发生在 2010 年 8 月后，与地下水变化最大幅度相对应，稍有延迟，引起沉降的主要原因是地下水下降，且这种变形基本上是不可逆的，虽然后期进行回灌，地下水位有所上升，建筑物沉降回弹量也在 2 mm 以内，同时不难发现，沉降大小与基础形式与埋深有关系，基础埋深大，沉降变化相对较小<sup>[5]</sup>，该工程采用“部分逆作法”施工围护结构的变形对建筑物沉降影响很小。

### 3 结 论

(1) 连续墙的幅宽应根据周边环境进行确定，当周边条件复杂，应减小幅宽，同时连续墙的嵌入深度应结合承载力要求进行控制设计，如果结构设计对连续墙有承载力要求，应按照设计承载力要求及建筑桩基相关规范进行设计，确定连续墙的嵌固长度，另外为保证连续墙正常的使用功能，应做好接头处的防水处理，选用何种接头型式及防水型式，应结合具体工程经验进行设计，本工程实例为工字钢的接头设计型

式及外侧加强止水的方式,施工方便,效果也很好,供借鉴参考。

(2) 采用“部分逆作法”施工时,围护结构周边预留土台的宽度及坡度应结合土层性质进行考虑,总体来说,土质条件越好,土台宽度可以适当减小,但宽度不宜小于2 m,同时为保证有较好的反压效果,土台坡度不宜大于1:2,由于采用逆作法施工每一层土方开挖深度不是很大,因此对土台保留高度应结合实际施工需要,同时兼顾围护结构位移及周边环境监测情况进行综合确定,本工程保留高度为2.5~3.0 m,但应该注意,对于土质条件较差的情况,反压土作用有限,此时应考虑采用临时的支撑结构。

(3) 排除施工震动等其它因素影响,地下水下降是建(构)筑物沉降及周边地面沉降的主要影响因素,且这种变形一旦发生基本上可以认为是不可逆的,在本工程实例中尤为明显,因此不难判断,基坑工程中,在保证基坑工程安全的前提下,减小地下水的下降对减小对周边环境的影响很重要,控制地下水的流失是控制沉降的重要环节。

(4) 该工程实例有其特殊性,设计考虑采用“部分逆作法”时,由于紧邻其它建筑连续墙外墙结构,所以在该侧顺作,且作为出土坡道使用,大大提高了土方开挖及地下结构的施工进度,但类似的工程条件很难重现,鉴于该工程,如果针对工程实际情况,创造类似的工程条件,那么该实例采用的方法同样可以适用,针对具体的基坑工程,如果考虑一边采用顺作法,围护结构采用常规的锚、撑或其它支护体系,该侧作为出土坡道使用,然后其它侧就可以类似采用“部分逆作法”来设计施工,这样就可以减少成本的基础上兼顾工期。

(5) 岩土工程、地下工程有其特殊性,虽然我们总是强调信息化施工,但是现行情况往往都是要求施工来满足设计的情况多一点,实际上由于理论的局限性或是岩土体的复杂性,设计中是否合理、经济、是否能满足足够的安全要求,都只能通过逐步的施工来验证,往往发生安全事故、安全储备不足的情况很容易分析验证,如果是工程安全储备过剩,往往设计不得而知,势必造成工期及经济上面的浪费,同样也不利于行业的健康发展,因此,施工与设计的互动信息化施工很重要,即应该遵循从设计→施工→监测→优

化设计→调整施工→监测这样一个循环往复向上的程序,本文介绍的工程实例中连续墙槽段的施工、挖孔桩的施工顺序、土方的开挖深度、土台的留置、楼板的浇筑范围等等都是按照信息化的程序进行的,综合来看,取得了较好的效果。

#### 参考文献:

- [1] 徐至均, 赵锡宏. 逆作法设计与施工[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002. (XU Zhi-jun, ZHAO Xi-hong. Design and construction of top-down technology[M]. Beijing: China Machine Press, 2002. (in Chinese))
- [2] 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 Ai-sen. Design, construction and application of diaphragm wall[M]. Beijing: China Waterpower Press, 2001. (in Chinese))
- [3] 龚晓南, 高有潮. 深基坑工程设计施工手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998. (GONG Xiao-nan, GAO You-chao. Design and construction manual of deep foundation pit[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1998. (in Chinese))
- [4] 郑刚, 陈红庆, 雷杨, 等. 基坑开挖反压土作用机制及其简化分析方法研究[J]. 岩土力学, 2007, 28(6): 1161-1666. (ZHENG Gang, CHEN Hong-qing, LEI Yang, et al. A study of mechanism of earth berm and simplified analysis method for excavation[J]. Rock and Soil Mechanics, 2007, 28(6): 1161 - 1666. (in Chinese))
- [5] 袁聚云, 吴权, 艾智勇. 逆作法基坑围护的变形及邻近建筑沉降实测分析[J]. 地下空间, 2004, 24(3): 44-47. (YUAN Ju-yun, WU Quan, AI Zhi-yong. Analysis on deformation of foundation pit enclosure and settlement of neighboring building in case of top-down technology[J]. Underground Space, 2004, 24(3): 44 - 47. (in Chinese))
- [6] 徐军. 集合“顺作”与“逆作”有点的“半逆作”法工艺设计及施工探索[J]. 建筑工程, 2004, 26(4): 286 - 288. (XU Jun. Study of design and construction with semi-reversed construction method combined with advantages of normal and reversed construction method[J]. Building Construction, 2004, 26(4): 286 - 288. (in Chinese))

(本文责编 黄贤沙)