

DOI: 10.11779/CJGE2014S2044

# 止水帷幕的挡土作用对深基坑变形的影响

陈鹏飞<sup>1, 2</sup>, 龚晓南<sup>1, 2</sup>, 刘念武<sup>1, 2</sup>

(1. 浙江大学滨海和城市岩土工程研究中心, 浙江 杭州 310058; 2. 浙江大学软弱土与环境土工教育部重点实验室, 浙江 杭州 310058)

**摘 要:** 基坑围护结构主要起挡土和止水的作用。现行计算方式大多认为挡土结构承担水土压力, 止水帷幕防止地下水渗入坑内, 一般不考虑止水帷幕的挡土作用。实际应用上水土压力首先传递给帷幕, 再间接传递给灌注桩。如果把二者作为一个整体的围护结构, 帷幕的存在增加了整体的刚度和重量, 进而起到增加整体稳定性的作用。理论和实践表明, 帷幕具有一定的挡土作用。分别研究了搅拌桩深度、排数、弹性模量取值以及搅拌桩与灌注桩之间的距离对基坑变形的影响。帷幕深度从基坑开挖深度增加到灌注桩深度的过程中, 基坑侧向位移减小量明显, 帷幕深度继续增加时, 基坑侧向位移会继续减小, 但减小量不明显。帷幕排数的增加使得基坑侧向变形明显减小, 特别是从两排增加到三排时, 侧向变形减小量很大。

**关键词:** 止水帷幕; 挡土作用; 基坑侧壁; 排桩

中图分类号: TU473

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2014)S2-0254-05

**作者简介:** 陈鹏飞(1989-), 男, 硕士研究生, 主要从事基坑工程、地基处理等方面的研究。E-mail: 1275946789@qq.com。

## Effect of curtain's role in retaining on deformation of deep excavations

CHEN Peng-fei<sup>1, 2</sup>, GONG Xiao-nan<sup>1, 2</sup>, LIU Nian-wu<sup>1, 2</sup>

(1. Research Center of Coastal and Urban Geotechnical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 2. MOE Key

Laboratory of Soft Soils and Geoenvironmental Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

**Abstract:** The two main functions of cement mixing piles are retaining and sealing in protecting foundation excavations. The current methods believe that the retaining structures bear the pressure of soil and water and the sealing curtain prevents groundwater from infiltrating pit. Generally they do not consider the effect of curtain on the decreasing deformation. First, soil and water pressure deliver to the curtain, and then pass to the bored pile indirectly. If the two parties are regarded as a whole envelope, the curtain will increase the overall stiffness and weight, thereby increase the overall stability. The effects of various water-resisting curtain depths, water-resisting curtain rows, distances from water-resisting curtain to bored pile and physico-mechanical parameters of water-resisting curtain on normalized wall deflections are studied. When the curtain depth increases from the excavation depth to bored pile length, the lateral displacement of foundation pit decreases significantly. As the curtain depth continues to increase, the lateral displacement of foundation pit will continue to decrease, but the reduction is not obvious. When the rows of curtain increase, the lateral displacement of foundation pit decreases significantly. Especially from two rows to three rows, there is a large percent of decrease.

**Key words:** water-resisting curtain; soil retaining; side of foundation pit; contiguous pile wall

## 0 引 言

近年来, 越来越多的高大建筑出现在我国各大城市的规划中, 想要保证这些高大建筑的施工和使用安全, 就必须开挖更大更深的基坑, 这使得基坑费用在整个建筑的造价中所占的比例越来越大。本文考虑止水帷幕的挡土作用, 为基坑设计提供一些参考, 也为节省基坑造价提供一些参考。

深基坑开挖过程中, 作用在围护结构上的荷载主要有土压力和水压力两类<sup>[1]</sup>, 因此基坑围护的两大主要任务就是挡土和止水。目前深基坑设计中广泛运用

排桩和地下连续墙与内支撑共同来完成挡土的任务。对于水的处理主要是降水和止水两种思路, 大多采用坑内降水井进行降水和坑外止水帷幕隔水相结合的方式。现行计算方式大多认为排桩和内支撑承担水土压力, 根据受力、变形、稳定性进行计算<sup>[2]</sup>, 来控制基坑侧壁变形、坑外沉降和坑内隆起; 止水帷幕防止地下水渗入坑内, 主要根据水力条件计算坑内涌水量, 并进行降水井设置和止水帷幕的设计; 一般不考虑二

者的相互影响。

止水帷幕一般采用深层搅拌桩, 深层搅拌桩是用水泥、石灰等固化材料作为固化剂, 通过固化剂和软土之间产生一系列物理化学反应<sup>[3]</sup>, 使土体硬化形成整体性、低渗透性并具有一定强度的桩体。深基坑开挖常见的支护形式是用钢筋混凝土灌注桩加冠梁和腰梁作为挡土结构, 一排或多排水泥搅拌桩作为止水帷幕。水土压力首先传递给帷幕, 再间接传递给灌注桩。如果把二者作为一个整体的围护结构, 搅拌桩的存在增加了整体的刚度和重量, 进而起到增加整体稳定性的作用。止水帷幕的挡土作用是显而易见的, 邓子胜<sup>[4]</sup>对止水帷幕的挡土作用进行过一些有益的研究, 分析了拱形水泥搅拌桩加灌注桩的基坑支护形式。李欣等<sup>[5]</sup>对悬臂式围护结构中的止水帷幕的挡土作用进行过一些研究。刘溢等<sup>[2]</sup>对被动区坑内深层搅拌桩加固对基坑变形的影响进行了研究。搅拌桩强度应该是介于土体和排桩之间的一种桩体, 邓永峰等<sup>[3]</sup>对水泥搅拌桩桩身合理设计的强度和弹性模量进行了一些有益的研究, 但在止水帷幕设计和计算中, 强度与弹性模量的取值目前还没有统一的认识。

本文以上海陆家嘴塘东总部超大深基坑<sup>[2]</sup>为研究对象, 建立有限元模型, 对止水帷幕的挡土作用进行了探讨。分别研究了搅拌桩深度、排数、弹性模量取值以及搅拌桩与灌注桩之间的距离对深基坑变形的影响。

## 1 工程概况

本项目<sup>[2]</sup>的基坑长约250 m, 宽约190 m, 基坑总面积约 46240 m<sup>2</sup>, 围护总长度约957 m。主楼基坑开挖深度14~15 m, 裙楼基坑开挖深度13.6 m。本工程基坑围护结构采用1.1 m直径的钻孔灌注桩围护, 围护桩外侧采用三轴水泥土搅拌桩作止水帷幕, 钻孔灌注桩与止水帷幕之间采用压密注浆加固填充。水泥土搅拌桩直径 $\Phi 800$ , 搭接宽度150 mm, 采用标号42.5的普通硅酸盐水泥, 水泥掺量为15%, 水灰比0.55。

其他详细工程概况请参考文献[2]。

## 2 模型的建立

本文使用 PLAXIS<sup>2D</sup> 来建立模型 (见图 1), 并对项目进行了适当的简化。模型基坑开挖深度 13.6 m, 灌注桩长 25 m, 基坑侧壁往坑内 50 m, 坑外 100 m。坑外超载取 10 kPa。水位线位于地表以下 5 m, 模型底部选取为地面以下 50 m。由于深基坑开挖土体加载与卸载模量不同, 本文选用了更能反映实际工程施工情况的 HS (harding-soil) 模型。土层分为 6 层, 各土层参数见表 1。基坑内共三道支撑, 分别位于地面以

下 0.575, 5.35, 9.05 m。施工过程采用分步开挖, 每次开挖深度达到下一支撑位置且超挖 1 m, 共 4 次开挖, 即 4 次开挖深度分别为 1.575, 6.35, 10.05, 13.6 m。本文对止水帷幕的模拟进行了多种设置: 为了研究帷幕深度对基坑变形的影响, 帷幕深度分别设置为 15, 17, 19, 21, 23, 25, 35 m 七种; 为了研究帷幕排数不同对基坑变形的影响, 排数分别为三排、两排、单排和无止水帷幕四种。为了研究帷幕与灌注桩之间的距离对基坑变形的影响, 单排的帷幕还设置了到灌注桩的距离分别为 0, 1, 2, 3, 4, 5 m; 为了研究帷幕弹性模量对基坑变形的影响, 分别设置了 4 种参数, 进行了模拟。下面对一些参数取值进行简要说明。

### 2.1 止水帷幕深度的确定

基坑采用竖向止水帷幕时, 当其插入深度达不到含水层底板时, 基坑外围绕过止水帷幕底端渗流入坑内的总涌水量可以用基坑涌水量公式计算。在确定止水帷幕深度时, 往往先根据经验设计, 再按涌水量公式进行验算, 满足总涌水量的要求即可。一般地, 止水帷幕要深入到基坑开挖面以下<sup>[6-7]</sup>, 以保证渗水要求, 但通常不会超过灌注桩的深度。

本文基坑开挖深度为 13.6 m, 灌注桩深度 25 m, 为了研究方便在满足水力要求的条件下, 本文选取了七种不同的帷幕深度进行了分析, 分别是 15, 17, 19, 21, 23, 25, 35 m。因为帷幕深度从 15 m 增加到 25 m (灌注桩长度) 时对基坑变形的影响较大, 所以每次只增加 2 m, 可以详细探究由于帷幕深度变化而引起的基坑变形的变化; 而超过 25 m (灌注桩长度) 后, 帷幕深度对基坑变形的影响很小, 所以一次性增加到 35 m, 以作比较。

### 2.2 止水帷幕物理参数的确定

因为一般深基坑设计时不考虑止水帷幕的挡土作用, 也不进行搅拌桩的模拟, 所以也没有统一的取值要求。计算止水帷幕挡土作用时可以把帷幕模拟为桩体, 也可以把帷幕模拟为等效的土体, 用等效的土体参数来进行计算。根据文献[2, 3], 不同物理参数的取值会影响帷幕的挡土作用, 本文选取了 4 组不同的弹性模量的取值进行了验算, 具体参数取值如表 1 所示。

### 2.3 止水帷幕与灌注桩之间距离和排数的确定

止水帷幕与灌注桩之间的距离分别设为 0, 1, 2, 3, 4, 5 m。这里的距离指的是灌注桩与帷幕之间的土体的宽度, 而不是指的桩体之间的中心距。

帷幕排数设为 0 排、1 排、2 排、3 排四种。0 排是指不设置帷幕, 1 排是指在灌注桩与帷幕距离为 0.5 m 的位置设置 1 排止水帷幕, 2 排、3 排是分别依次紧贴原 1 排帷幕的外侧增加 1 排和 2 排帷幕。



表 1 土层和帷幕物理力学性质指标

Table 1 Physico-mechanical parameters of soil layers and water-resisting curtains

土层编号	名称	厚度 /m	重度 /(kN·m <sup>-3</sup> )	黏聚力 /kPa	摩擦角 /(°)	割线弹性 模量/MPa	切线弹性 模量/MPa	卸载—再加 载模量/MPa	泊松比
1	填土	1	17.6	10.4	17.6	8.00	8.00	24.0	0.28
2	淤泥质黏土	7	17.6	7.0	27.6	6.80	6.80	20.4	0.40
3	粉质黏土	7	18.2	12.0	29.5	8.50	8.50	25.5	0.33
4	黏质粉土	3	19.3	12.7	30.4	20.00	20.00	60.0	0.27
5	砂质粉土	5	18.8	5.0	33.4	25.00	25.00	75.0	0.27
6	粉砂	22	18.8	5.0	34.3	31.00	31.00	93.0	0.27
参数1	帷幕	—	22.0	50.0	40.0	20.00	20.00	60.0	0.20
参数2	帷幕	—	22.0	50.0	40.0	220.00	220.00	660.0	0.20
参数3	帷幕	—	22.0	50.0	40.0	420.00	420.00	1260.0	0.20
参数4	帷幕	—	220	50.0	40.0	620.00	620.00	1860.0	0.20

2.4 分步开挖的模拟

潜水位于地表以下 5 m 处，施工过程采用分步开挖，每次开挖深度达到下一支撑位置且超挖 1 m，并坑内降水至开挖面以下 1 m。以坑外最远处水位为地表以下 5 m，至坑内开挖面以下 1 m 处设置水位线，并进行地下水计算（稳态）。第一次开挖至 1.575 m，在 0.575 m 处设置内支撑，第二次开挖至 6.35 m，在 5.35 m 处设置内支撑，并坑内降水至开挖面以下 1 m，即 6.35 m，进行地下水计算。后续开挖工序以此类推。

3 计算结果与分析

有研究<sup>[8]</sup>表明，采用悬臂式支护结构时，桩顶位移最大。采用排桩进行维护并设置内支撑的深基坑，坑壁侧向位移随开挖深度增加而增加<sup>[9]</sup>，土体侧向位移在开挖面附近达到最大<sup>[10]</sup>。如果考虑止水帷幕的挡土作用，那么帷幕可以分担部分水土压力，使得排桩的变形会有一定的减小<sup>[11]</sup>。帷幕深度越大，帷幕排数越多，帷幕弹性模量越大，那么相应的分担的水土压力也会增加，对排桩变形的影响也应该越大，使得基坑侧向变形更小。帷幕与排桩之间的距离也会影响帷幕分担的水土压力的大小，进而影响排桩变形的减小量。下文计算表明，距离越小，帷幕与排桩的整体性越强，帷幕分担的荷载越多，排桩侧向位移减小量也越多，但是这种影响不显著。下面分别予以具体说明。

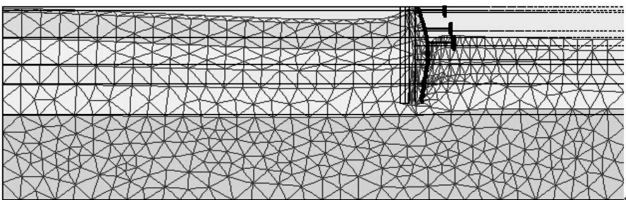


图 1 PLAXIS 模拟的一个典型的基坑变形结果

Fig. 1 Typical results of pit deformation by PLAXIS

3.1 帷幕深度对基坑变形的影响

选择双排帷幕的计算结果进行说明，帷幕参数选

择表 1 中的参数 3，帷幕深度分别设置为 15，17，19，21，23，25，35 m 七种，PLAXIS 模拟的结果如图 2 所示。

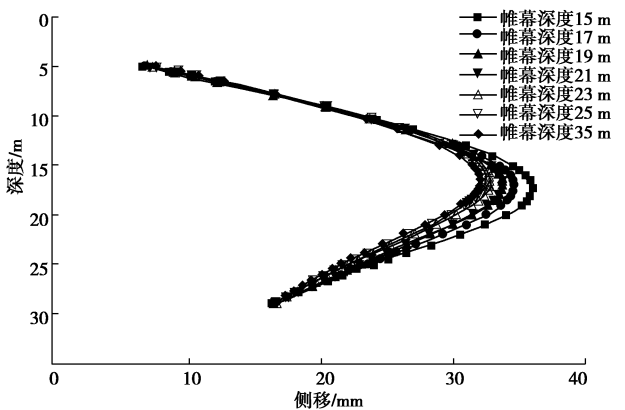


图 2 帷幕深度对土体侧向位移的影响

Fig. 2 Lateral displacement of foundation pit under various water-resisting curtain depths

从图 2 中可以看出，在开挖面附近处桩身侧向位移达到最大值。帷幕深度为 15 m 时，桩体最大侧向位移为 35.6 mm，帷幕深度为 25 m 时，桩体最大侧向位移 32.3 mm，帷幕深度为 35 m 时，桩体最大侧向位移为 32.0 mm。随着帷幕深度的增加，基坑最大侧向位移逐渐减小<sup>[12]</sup>，但是从 15 m 增加到到 25 m（灌注桩的桩长）时，桩体侧向位移明显减小，有 3.3 mm 的减小量；超过 25 m（灌注桩的桩长）后，帷幕深度的增加对桩体侧向位移的减小影响不明显，仅 0.3 mm 的减小量。可见，止水帷幕的存在有减小围护结构侧向位移的作用，同时，可以看出，对于实际工程，止水帷幕存在一个合理的取值<sup>[13]</sup>以更好地发挥控制基坑变形的作用。

3.2 帷幕排数对基坑变形的影响

选择深度为 25 m 的帷幕计算结果进行说明，帷幕参数选择表 1 中的参数 3。帷幕排数分别设置为无帷幕、一排、二排、三排 4 种情况。PLAXIS 模拟的结果如图 3 所示。

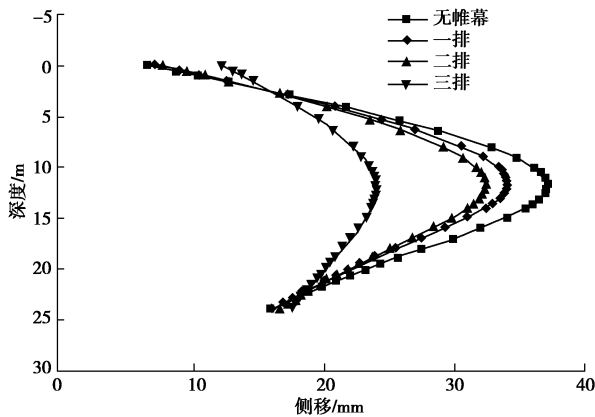


图 3 帷幕排数对土体侧向位移的影响

Fig. 3 Lateral displacement of foundation pit under various water-resisting curtain rows

从图 3 中可以看出, 无帷幕时, 桩体最大侧向位移为 36.9 mm, 一排帷幕时, 桩体最大侧向位移 33.9 mm, 减小了 3 mm; 二排帷幕时, 桩体最大侧向位移为 32.3 mm, 减小了 1.6 mm; 三排帷幕时, 桩体最大侧向位移为 24.0 mm, 减小了 8.3 mm。随着帷幕排数增加, 桩体最大侧向位移逐渐减小, 排数从二排增加到三排时桩体侧向位移减小量非常明显。在我们设计基坑围护结构时, 特别是帷幕排数在 3 排及以上时, 可以适当考虑帷幕分担部分水土压力。

### 3.3 帷幕与灌注桩之间的距离对基坑变形的影响

选择 25 m 深度的止水帷幕的计算结果进行分析, 止水帷幕的强度参数与弹性模量参数取表 1 中的参数 3。止水帷幕与灌注桩之间的距离依次设置为 0, 1, 2, 3, 4, 5 m 六种情况。PLAXIS 模拟的结果如图 4 所示。

从图 4 中可以看出, 止水帷幕离灌注桩距离 0 m 时, 灌注桩桩体最大侧向位移为 32.5 mm; 止水帷幕离灌注桩距离 1 m 时, 灌注桩桩体最大侧向位移为 34 mm, 增加了 1.5 mm; 止水帷幕离灌注桩的距离增加至 5 m 时, 灌注桩桩体最大侧向位移为 34.7 mm, 仅仅增加了 0.7 mm。由此可知, 随着止水帷幕与灌注桩之间距离的增加, 灌注桩桩体侧向位移逐渐增大, 桩体侧向位移的增大量在止水帷幕与灌注桩之间的距离小于 1 m 时比较明显, 止水帷幕继续远离灌注桩, 桩体侧向位移也会增加, 但是这种增加量不明显。由于施工条件的限制, 帷幕与灌注桩之间的距离不可能很小, 但是, 在条件允许的情况下, 应使两者的距离适当的减小, 使得帷幕更好地发挥挡土作用, 来减小基坑侧向变形。

### 3.4 帷幕弹性模量对基坑变形的影响

选择深度为 25 m 的帷幕的计算结果进行说明, 帷幕排数为一排。帷幕的参数取表 1 中参数 1~4。PLAXIS 模拟的结果如图 5 所示。

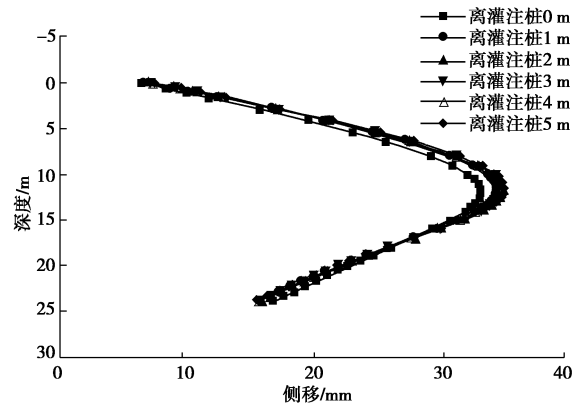


图 4 帷幕与灌注桩距离对土体侧向位移的影响

Fig. 4 Lateral displacement of foundation pit under various distances from water-resisting curtain to bored pile

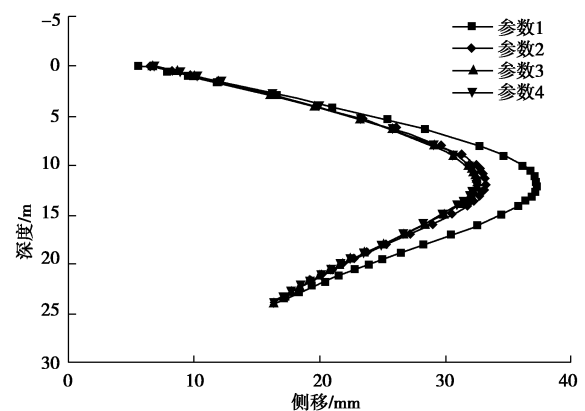


图 5 帷幕模量对土体侧向位移的影响

Fig. 5 Lateral displacement of foundation pit under various physico-mechanical parameters of water-resisting curtain

从图 5 中可以看出, 选择参数 1 时, 桩体最大侧向位移为 37.4 mm, 选择参数 2 时, 桩体最大侧向位移 34.0 mm, 减小了 3.4 mm; 选择参数 3 时, 桩体最大侧向位移为 33.7 mm, 减小了 0.3 mm; 选择参数 4 时, 桩体最大侧向位移为 33.5 mm, 减小了 0.2 mm; 随着帷幕弹性模量的增加, 桩体最大侧向位移逐渐减小, 从参数 1 增大至参数 2 的过程中, 桩体侧向位移减小了 3.4 mm, 减小量明显; 从参数 2 增大至参数 4 的过程中, 桩体侧向位移仅减小了 0.5 mm, 减小量很小。因此, 为了更好地发挥搅拌桩的止水和挡土作用, 要给出合理的止水帷幕的弹性模量的取值。

综上分析, 帷幕深度的增加、帷幕排数的增加、帷幕与灌注桩之间的距离的减小, 帷幕弹性模量的增加都会使帷幕分担的水土压力不同程度的增加, 使得基坑侧向变形量不同程度的减小, 能够在一定程度上限制侧向变形。

## 4 结 论

通过建立 PLAXIS 模型, 分析了止水帷幕深度、排数、弹性模量等的变化对基坑侧向变形的影响, 可

以得到以下4点结论。

(1)在灌注桩和水泥土搅拌桩止水帷幕组成的围护结构中,止水帷幕发挥了一定的挡土作用,在设计中应当予以适当考虑。

(2)帷幕深度从基坑开挖深度增加到灌注桩深度的过程中,基坑侧向位移减小量明显,帷幕深度继续增加,基坑侧向位移会继续减小,但减小量不明显。在帷幕设计中,合理的止水帷幕深度具有重要的现实意义。

(3)帷幕排数的增加使得基坑侧向变形明显减小,特别是从两排增加到三排时,侧向变形减小量很大。在基坑设计中,可以适当增加帷幕排数,以控制围护结构的变形。

(4)帷幕与灌注桩之间的距离,对基坑侧向变形影响较小。随帷幕弹性模量的增加,基坑侧向位移会减小,但帷幕强度增加到一定值后,这种影响将会变得很小。

#### 参考文献:

- [1] 龚晓南. 基坑工程实例[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010. (GONG Xiao-nan. Example of excavation[M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2010. (in Chinese))
- [2] 刘 溢, 李镜培, 陈 伟. 被动区深层搅拌桩加固对超大深基坑变形的影响[J]. 岩土工程学报, 2012, 34(11): 465 - 469. (LIU Yi, LI Jing-pei, CHEN Wei. Effect of reinforcement of deep mixing piles on deformation of ultra-deep excavation in passive zone[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2012, 34(11): 465 - 469. (in Chinese))
- [3] 邓永锋, 刘松玉, 洪振舜. 高速公路工程中水泥搅拌桩桩身合理设计强度研究[J]. 工程地质学报, 2006, 14(4): 538 - 541. (DENG Yong-feng, LIU Song-yu, HONG Zhen-shun. Finite element analysis for optimal design of deep mixed column foundation in highway embankments[J]. Journal of Engineering Geology, 2006, 14(4): 538 - 541. (in Chinese))
- [4] 邓子胜. 考虑止水帷幕挡土作用的基坑支护设计实例[J]. 五邑大学学报(自然科学版), 2007, 21(1): 21 - 24. (DENG Zi-sheng. A case study of foundation pit support design with considerations for the retaining and waterproof wall[J]. Journal of Wuyi University (Natural Science Edition), 2007, 21(1): 21 - 24. (in Chinese))
- [5] 李 欣, 黄 博. 考虑止水帷幕挡土作用的围护结构分析[J]. 低温建筑技术, 2004(2): 55 - 57. (LI Xin, HUANG Bo. Analysis on the retaining structure with consideration of the retaining contribution of water-resisting curtain[J]. Low Temperature Construction Technology, 2004(2): 55 - 57. (in Chinese))
- [6] 丁洲祥, 龚晓南, 俞建霖, 等. 高止水帷幕对基坑环境效应影响的有限元分析[J]. 岩土力学, 2005, 26(5): 146 - 150. (DING Zhou-xiang, GONG Xiao-nan, YU Jian-lin, et al. Finite element analysis of environmental effects of waterproof wall on foundation pit[J]. Rock and Soil Mechanics, 2005, 26(5): 146 - 150. (in Chinese))
- [7] 卢智强, 冯晓腊, 王超峰. 悬挂式止水帷幕对基坑降水的影响[J]. 隧道建设, 2006, 26(5): 5 - 7. (LU Zhi-qiang, FENG Xiao-la, WANG Chao-feng. Effects of pensile curtains on dewatering of foundation pits[J]. Tunnel Construction, 2006, 26(5): 5 - 7. (in Chinese))
- [8] 李彦东, 梁发云, 褚 峰, 等. 软土地区深基坑变形特性三位数值模拟与验证[J]. 地下空间与工程学报, 2011, 7: 74 - 78. (LI Yan-dong, LIANG Fa-yun, ZHU Feng, et al. 3D Numerical Simulation on the Deformation Behaviour of Deep Excavation in Soft Soils and Its Verification[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2011, 7: 74 - 78. (in Chinese))
- [9] 李大勇, 龚晓南, 张士乔. 深基坑工程中地下管线位移影响因素分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20(增刊 1): 1083 - 1087. (LI Da-yong, GONG Xiao-nan, ZHANG Tu-qiao. Analysis on impact of excavation of deep foundation pits on buried pipelines[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2001, 20(S1): 1083 - 1087. (in Chinese))
- [10] 刘建航. 基坑工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997. LIU Jian-hang. Pit engineering manual[M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 1997. (in Chinese))
- [11] 杨 敏, 周洪波, 杨 桦. 基坑开挖与邻近桩基相互作用分析[J]. 土木工程学报, 2005, 38(4): 91 - 96. YANG Min, ZHOU Hong-bo, YANG Hua. Numerical analysis of pile response due to unsupported excavation-induced later soil movement[J]. China Civil Engineering Journal, 2005, 38(4): 91 - 96. (in Chinese))
- [12] 俞建霖, 龚晓南. 基坑工程变形性状研究[J]. 土木工程学报, 2002, 35(4): 86 - 90. (YU Jian-lin, GONG Xiao-nan. Research on deformation of foundation pit engineering[J]. China Civil Engineering Journal, 2002, 35(4): 86 - 90. (in Chinese))
- [13] 黄宏伟. 深基坑内加固与墙体侧向位移的相互影响实测分析[J]. 建筑结构, 2000, 30(11): 55 - 57. (HUANG Hong-wei. Interaction analysis on consolidation of soil and lateral deformation of retaining wall in excavation pit[J]. Building Structure, 2000, 30(11): 55 - 57. (in Chinese))

(本文责编 孙振远)