

文章编号: 1004-4353(2016)01-0075-06

# 逆作法中外加环箍套管控制 立柱桩竖向抬升位移的设计与施工

孟令司, 方光秀\*

( 延边大学工学院 结构工程学科, 吉林 延吉 133002 )

**摘要:** 在逆作法施工过程中, 由于结构上部荷载不断增加, 立柱桩会不断地发生沉降; 同时, 由于上方土体不断开挖导致基坑土体产生隆起, 带动立柱桩体上移, 且越靠近基坑中部其抬升量越大(或沉降量越小). 为控制在此种因素影响下立柱桩间的不均匀沉降, 提出一种外加环箍套管法, 即在立柱、立柱桩外侧加设环箍套管, 且立柱、立柱桩与环箍套管间留有一定间隙, 以此避免基坑土体回弹时摩擦力带动立柱、立柱桩上移. 以立柱采用钢管混凝土柱、桩采用钢筋混凝土灌注桩为例, 介绍了该方法的设计方法与施工技术, 最后采用 ANSYS 软件分别对有无环箍套管的立柱桩(其他条件相同情况)进行了沉降量的模拟分析, 以此验证了本文所提出方法的有效性.

**关键词:** 逆作法; 竖向抬升位移; 立柱桩; 钢管混凝土柱

**中图分类号:** TU473.1

**文献标识码:** A

## Design and construction of the vertical lifting displacement of column pile with steel strapped casing pile in Top-down method

MENG Lingsi, FANG Guangxiu\*

( Structural Engineering, College of Engineering, Yanbian University, Yanji 133002, China )

**Abstract:** During the construction of top-down method, with the load from upper structure continuously increasing, the column pile will keep settling. Meanwhile, because of the heave of soil resulted from the excavation of foundation pits, the soil beneath the foundation ditch will make the column pile move up, and more close to the center of the foundation ditch, the heave value is more bigger. For controlling the differential settlement between column pile resulted from the reason above, we put forward the method that adding steel strapped casing pile outside the solid pile, and making a little interval between them to keep them disengaged status, to avoid making the solid pile and stand column move up. In this paper, we introduce the design method and construction technology using concrete filled circular hollow section columns and drilled filling pile, and one columns upported by one pile as example. In the end, to verify the effectiveness of this method for the similar practical engineering, we would made model analysis on the settlement of the solid pile with the adding steel casing pile or not.

**Keywords:** Top-down method; vertical lifting displacement; column pile; concrete filled steel tubular column

在逆作法施工期间, 基坑开挖会引起土体应力释放, 导致坑内土体回弹而带动立柱桩上移; 同

时, 地下室及上部结构施工后, 桩身承受的向下荷载增加会导致立柱桩下沉. 立柱桩之间以及立柱

桩与地下连续墙之间的不均匀沉降常会导致地下室楼板结构开裂,其危害不容忽视<sup>[1]</sup>.从目前相关研究来看,针对土体开挖而引起基坑土体隆起的规律以及立柱桩受力形式的研究比较多,而对于如何控制因基坑土体隆起而使立柱桩产生竖向抬升位移的方法研究较少.研究表明,立柱桩竖向隆沉的产生机制较为复杂,在设计阶段预先计算立柱桩竖向位移难度较大,在实际工程中常采用动态监测的方法进行控制,这给工程的质量和带来了一定的隐患<sup>[2-3]</sup>.为控制基坑土体回弹引起的立柱桩竖向抬升位移,本文提出了一种外加环箍套管的设计方法,即在立柱、立柱桩外侧加设环箍套管.该方法中立柱、立柱桩与套管之间留有一定的间隙,处于一种分离状态,以此消除基坑土体回弹时土体与柱、土体与桩间产生摩擦力而带动立柱、立柱桩的上移,从而减小立柱桩间竖向相对位移,达到控制立柱桩间差异沉降的目的.最后,通过 ANSYS 软件建立立柱、立柱桩与土体模型,模拟真实工作状态下的沉降值变化并进行分析,以此验证本文方法的有效性.

## 1 外加环箍套管设计

### 1.1 设计构思

外加环箍套管的设计主要为控制土体开挖对立柱、立柱桩的抬升所引起的竖向位移.开挖引起的土体回弹通常是通过以下 2 种途径使所处位置的立柱、立柱桩产生一定量的竖向抬升位移:一是立柱桩底端土体发生回弹使立柱桩与立柱抬升;二是由于立柱与立柱桩侧面的土体发生回弹,通过土体与立柱和立柱桩的接触面,以向上的摩擦力将立柱、立柱桩抬升.对此,本文采取如下的设计方法消除土体回弹对立柱、立柱桩的抬升作用:

1) 由于基坑土体逐层开挖,导致下方未开挖部分土体产生回弹,因产生回弹的土体只是一定范围内的土体,故存在一个影响范围.根据文献[4]中的公式可求得基坑回弹影响深度:

$$\begin{cases} \sigma_c = \bar{\gamma}H; \\ \sigma_p = \bar{\gamma}H + \bar{\gamma}'L_0, \end{cases} \quad (1)$$

$$\sigma_c = 0.25\sigma_p,$$

其中  $L_0$  为基坑回弹影响深度,  $\sigma_p$  为  $L_0$  处的自重

应力,  $\sigma_c$  为基坑卸荷的应力,  $\bar{\gamma}$  为基坑开挖范围内土的平均重度,  $\bar{\gamma}'$  为坑底以下基坑回弹影响范围内土的平均重度.

针对该情况,采用调整立柱桩埋深的方法,即根据施工场地土体分布情况,利用公式(1)计算出基坑回弹影响深度,将立柱桩埋深定在基坑回弹影响深度以下,以此消除立柱桩底端土体回弹对立柱、立柱桩产生的抬升作用.

2) 为消除立柱与立柱桩侧面的土体发生回弹而对立柱、立柱桩产生的抬升作用,通过设计外加环箍套管,将立柱、立柱桩与周围土体隔离,即在立柱、立柱桩外侧加设环箍套管,使土体摩擦力直接作用在外侧环箍套管上,以此消除立柱、立柱桩与土体之间的摩擦力,其工作原理如图 1 所示.

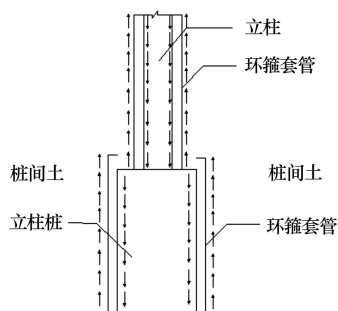


图 1 外加环箍套管的工作原理示意图

另外,根据文献[5]可知,土体回弹变形存在一个强回弹区,在强回弹区内回弹模量急剧降低,且回弹率快速增加,所以此区域内回弹作用最为明显,需要重点控制.利用文献[5]中的公式(2)可求得基坑土体强回弹区下边界,其计算简图如图 2 所示.

$$R = \frac{\alpha\gamma D}{\gamma(D+Z)}, R = \frac{P_{\max} - P_i}{P_{\max}}, \quad (2)$$

公式(2)中  $R$  为卸荷比,  $\gamma$  为土体平均重度,  $D$  为挖土深度,  $Z$  为回弹区土体厚度,  $\alpha$  为矩形面积上均布荷载作用下的基坑中心点竖向应力附加系数(可查附加应力系数表),  $P_{\max}$  为最大预压荷载或初始上部荷载,  $P_i$  为卸荷后上覆荷载.根据公式(2)计算出土体强回弹区下边界后,将环箍套管埋至下边界以下 1 m,这样可以消除强回弹区内土体对立柱、立柱桩的摩擦力.

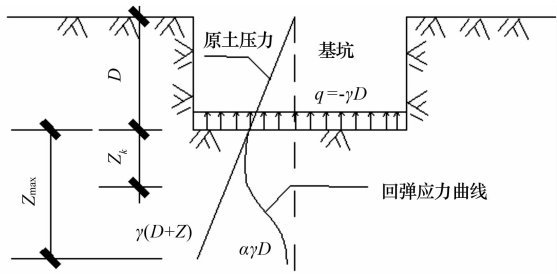


图 2 公式(2)的计算简图

1.2 环箍套管的外形、尺寸设计

本文以立柱采用钢管混凝土柱、立柱桩采用钻孔灌注桩为例,介绍环箍套管的设计方法.环箍套管由套管和环箍两部分组成.

1) 套管的设计. 由于工程中钻孔灌注桩的施工常采用壁厚为 4~6 mm 的钢管作为护筒<sup>[6]</sup>,据此本文设计的环箍套管采用 5 mm 壁厚的圆形钢管,且环箍套管与立柱、立柱桩的间隙均为 20 mm,如图 3(a)所示.为不影响下一步施工,且便于回收再利用,将环箍套管设计为可拆卸的型式,即套管垂直横截面方向分为对称的两部分,如图 3(b)所示.

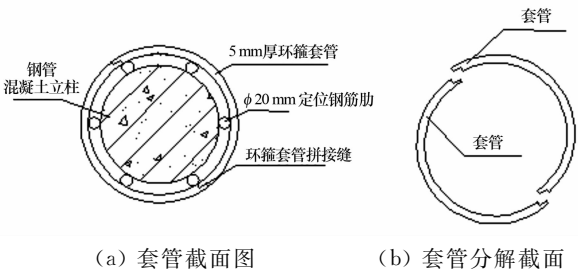


图 3 外加环箍套管截面图

2) 环箍的设计. 为使套管形成牢固的整体,沿套管纵向采用若干个环箍将其两部分箍紧,每 2 个环箍设置的间距小于或等于 1 m,如图 4(a)所示.环箍根据扣件原理制成,其材料采用 3 mm 厚钢板带,分为两部分,其两端的连接方式为:在一端设置一对可用螺栓连接的连接环,作为可拆卸端;另一端处采用螺栓连接轴进行连接,为不可拆卸端,如图 4(b)所示.

1.3 环箍套管的模数设计

支模板时为了赶模数和便于施工,须事先设计好环箍套管的模数.设计原则为每 2 段环箍套管之间的接缝位于结构梁底标高以下,避免环箍

套管占据梁板的位置.考虑地下结构层层高一般为 3.3~4.8 m、梁截面高度一般为 500~2 000 mm,且为满足楼板层标高而施工时常将土挖至梁底、板底以下 250 mm 等工况<sup>[7]</sup>,在设计时将 2 段环箍套管之间的接缝设置于结构梁底标高以下大于或等于 300 mm 的位置.综合以上,本文设计了 6 种套管模数,分别为 2 350、1 200、900、600、450、300 mm.

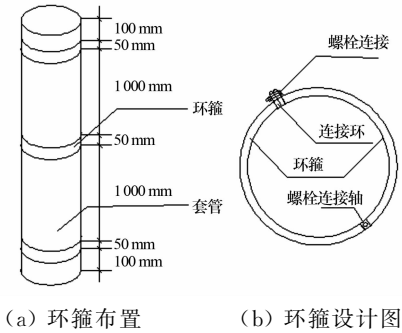


图 4 环箍设计图

2 施工技术

2.1 施工准备

1) 首先,根据地勘报告及设计图纸查取场地土层性质、基础底标高和底板标高等设计参数,然后利用公式(1)和(2)计算出基坑回弹影响深度和基坑土体强回弹区下边界,据此确定立柱桩和环箍套管底标高,供施工使用.

2) 准备好调垂装置、焊接设备和测控装置等施工设备,并组装加工环箍套管.

3) 为了既保证立柱、立柱桩的垂直度,满足相关规范要求,又不增加二者与套管之间的摩擦力,在二者的钢管外壁部位焊接定位钢筋肋(直径 20 mm 的光圆钢筋),沿钢管周围均匀设置 6 根,每根肋长 500 mm,且肋与肋之间纵向中心间距 1 m,如图 5 所示.

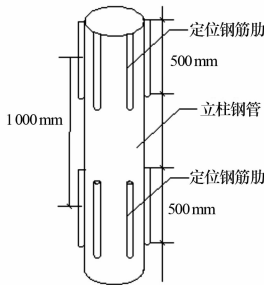


图 5 钢管外壁部位定位钢筋肋的布置图

2.2  施 工 流 程

施 工 工 艺 流 程 如 图 6 所 示, 为 治 理 质 量 通 病、 有 效 保 证 工 程 质 量, 在 施 工 流 程 中 加 设 了 2 个 质 量 控 制 点: 一 是 在 清 孔 施 工 时 要 确 保 孔 底 无 杂 物、

无 疏 松 土 体, 待 清 孔 合 格 后 方 可 进 行 下 一 步 施 工; 二 是 对 底 板 标 高 进 行 校 核, 若 已 施 工 至 地 下 室 地 板 设 计 底 标 高, 则 对 立 柱 桩 桩 端 进 行 注 浆, 完 成 地 下 室 施 工, 否 则 继 续 向 下 挖 土 施 工 下 一 层 梁 板 柱。

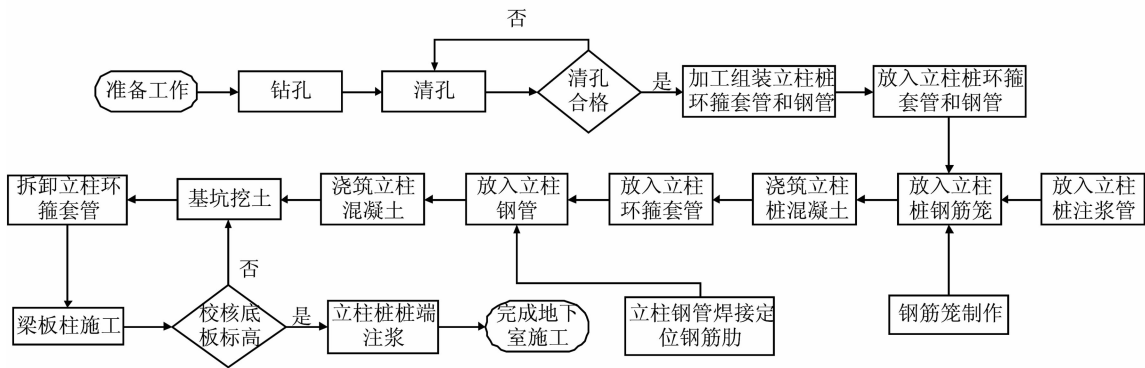


图 6  施 工 流 程 图

2.3  施 工 步 骤

1) 钻 孔 施 工 完 毕 后, 进 行 清 孔 工 作, 待 检 验 合 格 后 方 可 进 行 下 一 步 施 工。

2) 加 工 组 装 立 柱 桩 的 环 箍 套 管 和 钢 管。 首 先, 在 环 箍 套 管 底 端 和 顶 端 焊 接 端 板 (在 地 面 加 工 时), 端 板 为 圆 环 形 钢 板, 两 圆 环 半 径 之 差 为 20 mm, 端 板 大 小 恰 好 遮 挡 住 环 箍 套 管 与 钢 管 之 间 的 缝 隙, 以 免 砂 土 或 浇 筑 混 凝 土 时 部 分 进 入 套 管 与 钢 管 间 的 缝 隙 而 产 生 摩 擦 力。 然 后, 将 已 焊 接 钢 筋 肋 的 立 柱 桩 钢 管 放 入 环 箍 套 管 之 中, 钢 管 长 度 为 贯 穿 立 柱 桩 环 箍 套 管 的 区 域 且 向 下 延 伸 1 m, 并 将 环 箍 的 连 接 螺 栓 拧 紧, 完 成 组 装。 最 后, 将 组 装 好 的 立 柱 桩 的 环 箍 套 管 和 钢 管 一 起 放 入 孔 中, 且 立 柱 桩 环 箍 套 管 底 标 高 为 土 体 强 回 弹 区 下 边 界 以 下 1 m 处, 如 图 7 所 示。

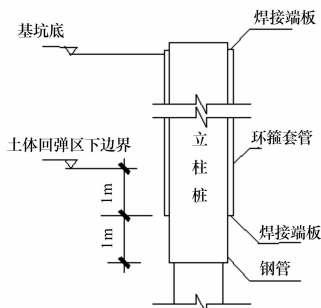


图 7  立 柱 桩 部 位 环 箍 套 管 构 造 图

3) 放 入 立 柱 桩 钢 筋 笼, 并 埋 设 注 浆 管, 注 浆 管 不 少 于 2 根, 且 伸 入 立 柱 桩 根 部, 然 后 浇 筑 立 柱 桩 混 凝 土。

4) 立 柱 桩 混 凝 土 浇 筑 完 毕 后, 按 设 计 好 的 组 合 模 数 将 立 柱 环 箍 套 管 一 次 性 放 入, 然 后 放 入 已 焊 接 钢 筋 肋 的 立 柱 钢 管, 最 后 进 行 立 柱 混 凝 土 浇 筑, 且 必 须 在 立 柱 桩 混 凝 土 达 到 初 凝 前 进 行 立 柱 混 凝 土 浇 筑, 以 保 证 二 者 接 槎 严 密 形 成 整 体。

5) 立 柱、立 柱 桩 施 工 完 毕 后, 进 行 土 体 开 挖。 每 开 挖 完 一 层 土 体 后 将 本 层 立 柱 的 环 箍 套 管 拆 除, 然 后 再 进 行 梁 板 和 柱 的 施 工。 施 工 时, 首 先 将 立 柱 桩 环 箍 套 管 取 出, 并 用 砂 石 填 满 立 柱 桩 与 周 围 土 体 间 的 缝 隙, 然 后 再 进 行 楼 层 梁 板 和 柱 的 施 工。 按 此 循 环 施 工, 直 至 完 成 地 下 最 后 一 层 挖 土。

6) 地 下 室 底 层 底 板 施 工 完 毕 后, 采 用 注 浆 法 对 立 柱 桩 的 根 部 进 行 高 压 注 浆, 以 此 提 高 立 柱 桩 的 承 载 力。

3  ANSYS 分 析

ANSYS 分 析 的 方 法 为: 首 先, 模 拟 完 全 不 考 虑 土 体 开 挖 产 生 回 弹 作 用 的 情 况, 以 此 得 出 在 外 加 荷 载 与 自 重 荷 载 作 用 下 的 立 柱、立 柱 桩 的 竖 向 位 移 值, 并 以 此 作 为 参 照 组; 其 次, 分 别 模 拟 有 无 外 加 环 箍 套 管 两 种 情 况, 以 此 得 出 在 外 加 荷 载 与

自重荷载及土体回弹共同作用下的立柱、立柱桩的竖向位移值;最后,将 3 个值进行对比分析,验证本文方法的有效性。

### 3.1 基本假设

1) 本次建模设计参数如下:设计基坑开挖深

度为 2 m,钢管混凝土立柱直径为 400 mm,钢管壁厚为 8 mm,立柱桩采用直径 400 mm 钻孔灌注桩,混凝土强度均为 C40。土层的物理力学指标参考济南市地铁 1 号线工程中的部分土层参数<sup>[8]</sup>,如表 1 所示。

表 1 土层的物理力学指标

序号	土体名称	厚度/m	重度/(kN/m <sup>3</sup> )	粘聚力/kPa	内摩擦角/(°)	泊松比	弹性模量/MPa
1	素填土	0.8	15.4	15	10.0	0.32	6.01
2	粉土	1.2	16.3	23	23.0	0.18	24
3	粉质黏土	7.8	17.8	28	23.5	0.21	26
4	粉质黏土	12.2	19.5	34	23.4	0.23	35

2) 由公式(1)计算得出基坑回弹影响深度  $L_0=5.07\text{ m}$ ,故为使立柱桩桩端位于土体回弹区以下,本文设计立柱桩埋深为坑底以下 6 m;由公式(2)计算得出土体强回弹区下边界为 0.22 m,故本文立柱桩环箍套管长度按模数设计取为 1.2 m。

3) 水平结构自重以面荷载形式作用于立柱顶端。

### 3.2 有限元模型与参数选取

1) 由于本文分析属于接触分析模型,故桩身和土体均采用六面体 8 节点单元 SOLID45 号实体单元,每个节点都有 X、Y、Z 3 个方向自由度。桩的本构模型为线弹性,土体的本构模型为 Drucker-praper 模型<sup>[8]</sup>。

2) 接触面上的刚体目标面为 TARGE170 单元,接触面为 CONTA173 单元。由于桩相对于土体,其弹性模量超过 100 倍以上,所以定桩的面为刚性面,土体表面为接触面。

3) 采用“单元生死”方法模拟土体开挖过程,即将开挖土体单元杀死,不再参与受力。

4) 本文分析桩体位于基坑中间部位,考虑对称性,取 1/4 桩模型进行分析。

### 3.3 ANSYS 分析结果

经 ANSYS 软件分析得出在外加荷载和自重荷载下,立柱和立柱桩的竖向位移值如图 8—图 10 所示。图 8—图 10 的立柱和立柱桩竖向位移值分别为 5.793、3.995 5、5.344 mm。

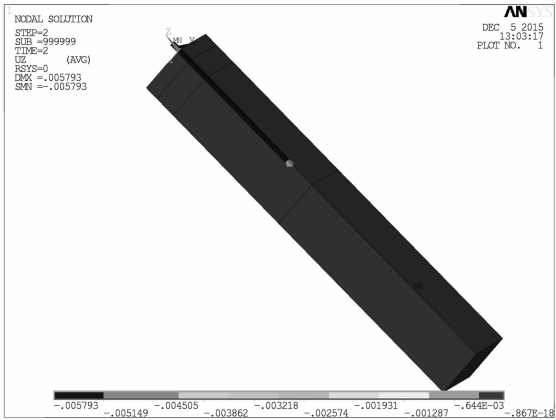


图 8 无土体回弹作用时立柱和立柱桩的竖向位移云图

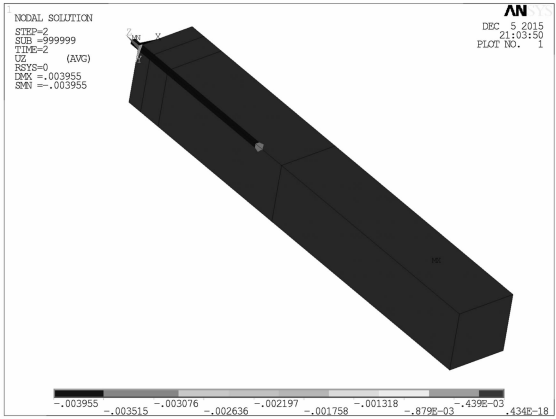


图 9 有土体回弹作用且无环箍套管时立柱和立柱桩的竖向位移云图

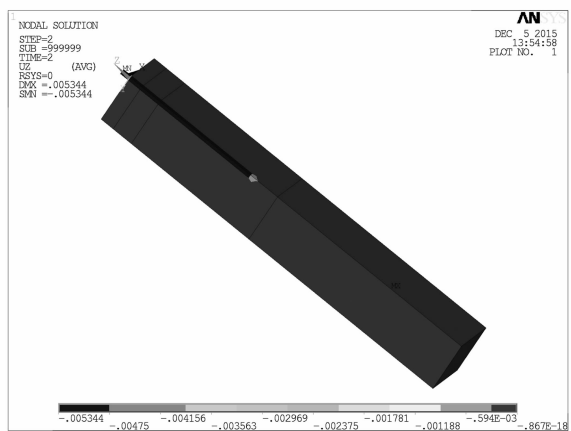


图 10 有土体回弹作用和外加环箍套管时立柱和立柱桩的竖向位移云图

由图 8 和图 9 数据可知,在土体回弹作用下立柱和立柱桩的沉降量减小了 31.7%,即产生了 31.7%的竖向抬升位移;由图 9 和图 10 数据可知,同条件下有无环箍套管的立柱桩沉降量相差 25.2%,即无环箍套管的立柱桩较有环箍套管的立柱桩产生了 25.2%的竖向抬升位移;由图 8 和图 10 数据可知,二者数值相差 7.8%,较为接近,即在外加环箍套管的作用下,立柱、立柱桩的竖向抬升位移基本被消除.由此可以说明,外加环箍套管对控制因土体回弹引起的竖向抬升位移具有较明显的效果.

#### 4 结束语

本文提出的在逆作法中外加环箍套管的方法,其原理可靠,施工简便,且可循环利用.本文所

提出的施工方法有助于保证工程质量,缩短建设工期,降低工程造价. ANSYS 分析表明:在其他条件相同的情况下,有无环箍套管的立柱桩沉降量相差 25.2%,即无环箍套管的立柱桩较有环箍套管的立柱桩产生了 25.2%的竖向抬升位移,且在有无土体回弹作用且均外加环箍套管情况下其竖向位移值相近(相差 7.8%).由此说明,采用外加环箍套管的方法能够有效消除立柱、立柱桩与土体之间的摩擦力,从而可有效控制因基坑开挖导致基底土体回弹而引起的竖向抬升位移.

#### 参考文献:

- [1] 谢小松. 大型深基坑逆作法施工关键技术研究及结构分析[D]. 上海:同济大学,2007.
- [2] 王文灿,仲晓梅,詹学智. 软土地区深基坑逆作法施工下立柱的竖向位移分析[J]. 建筑结构,2010,40(3):49-51.
- [3] 楼晓明,杨晶,李德宁,等. 立柱桩在深基坑分步开挖过程中的上拔位移分析[J]. 岩土工程学报,2013,35(1):193-198.
- [4] 贺翀. 深基坑的立柱桩隆起计算[J]. 岩土工程学报,2010,32(增刊):74-78.
- [5] 张淑朝. 基坑开挖卸荷土体回弹实验研究[J]. 岩土工程学报,2008,30(增刊):426-429.
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 5007—2011 建筑地基基础设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2012:109-111.
- [7] 中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJ 165—2010 地下建筑工程逆作法技术规程[S]. 北京:光明日报出版社,2011.
- [8] 马祥. 超大深基坑工程支护结构水平位移与支撑轴力分析研究[D]. 延吉:延边大学,2014.