

DOI: 10.7672/sjgs2022010072

# 复杂条件下超深基坑三排桩支护逆作换撑施工技术

张相平,张满江红,王云鑫,张潇丹

(中国建筑第二工程局有限公司华南分公司,广东 深圳 518048)

[摘要] 星河雅宝高科技创新园四A地块施工总承包工程共5层地下室,基坑开挖深度最大为33.8m,因基坑北侧存在敏感性建筑物,其下方不允许预应力锚索进入。北侧基坑支护采用三排桩+三角内支撑支护体系。三排桩区域外的地下室结构采用顺作法施工,三排桩区域内的地下室采用特殊逆作法施工,以实现三排桩区域内结构施工和拆换撑,为城市中心区地下支护工程锚索不出基坑的施工方法提供了一种解决方案。

[关键词] 深基坑;逆作法;支护;三排桩;换撑结构;施工技术

[中图分类号] TU753

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2022)01-0072-05

## Construction Technology of Three-row Pile Supporting for Super Deep Foundation Excavation Under Complicated Conditions

ZHANG Xiangping, ZHANG Manjianghong, WANG Yunxin, ZHANG Xiaodan

(China Construction Second Engineering Co., Ltd. South China Company, Shenzhen, Guangdong 518048, China)

**Abstract:** The general project of the 4-A Plot of Xinghe Yabao High-tech Innovation Park has 5-floor-basements altogether, and the maximum excavation depth of its foundation excavation is 33.8m. Due to the existence of sensitive buildings on the north of the foundation excavation, pre stressed anchor cables are not allowed to use below it. Thus, a three-row piles + triangular internal support system is applied. A normal process method is adopted in the construction of the basement outside the three-row pile area, and a special reverse process method is adopted in the basement inside it to realize the structural construction and disassembly and replacement of braces in it. Particularly complex as the whole process is, it does provide a solution for the construction scheme of anchor cables in foundation excavation in the underground support project in the central area of the city.

**Keywords:** deep foundation excavation; top-down method; supports; three-row piles; reverse bracing structure; construction

### 1 工程概况

星河雅宝高科技创新园四A地块位于龙岗区坂田街道,占地面积3.88万m<sup>2</sup>,总建筑面积35.44万m<sup>2</sup>,项目由4栋建筑组成,共5层地下室,其中4-1栋为74层超高层塔楼,结构高度为338.1m,结构形式为带加强层的框架-核心筒结构;4-2和4-3栋为6层办公楼,结构高度32.35m,采用框架结构;4-4栋为22层研发楼,结构高度为118.8m,采用框架-核心筒结构。

项目北侧与市政道路相邻,基坑边沿紧贴建筑红线,该区域基坑支护原设计为双排咬合桩+预应

力锚索+腰梁。因基坑北侧存在10m×42m的敏感建筑物,其下方不允许预应力锚索进入。为避免预应力锚索进入敏感建筑物下方,将原本位于基坑边缘的预应力锚索向基坑内侧回退9.2m。预应力锚索的位置变化致使这一区域52.1m×13.6m范围内的基坑支护体系需相应做出重大设计调整,同时这一区域的基坑支护体系拆除和地下室施工方法也需跟随调整。设计了3排支护桩(见图1,2),在该区域基坑内部呈阶梯状分布,其中处最内侧的第3排桩为 $\phi 1.4\text{m}$ 咬合桩,与回退至基坑内的预应力锚索共同形成1道支护结构。在三排桩支护体系中,室外路面相对标高为 $\pm 0.000\text{m}$ ,第1排桩位于基坑边缘,其冠梁顶相对标高为 $-0.500\text{m}$ ;第2排桩位于基坑内侧,距第1排桩4.4m,其冠梁顶标高为

[作者简介] 张相平,项目总工程师,工程师,E-mail:327459360@qq.com

[收稿日期] 2021-11-02

-5.000m。第1排桩与第2排桩之间设有混凝土平台,起水平支撑作用,平台与第2排桩的冠梁高度齐平。第3排桩位于基坑内侧,距第2排桩9.2m,其冠梁顶相对标高为-11.000m。第2排桩与第3排桩之间设有混凝土平台,起水平支撑作用,平台与第3排桩的冠梁高度齐平。基坑底面标高约为-26.800m。第1排桩为直径1400mm、间距1800mm的咬合桩,第2及第3排桩均为直径1400mm、间距2200mm的钢筋混凝土桩,第3排桩设有预应力锚索,锚索从咬合桩之间的素混凝土桩穿过,锚固于第1排支护桩。

至塔楼,整个地下室形成对撑。同时由上至下逐步拆除位于基坑内的第2和第3排桩及相关支护结构。

三排桩围合区域内的地下室逆作时,先从上至下逐层施工水平结构,施工完底板后,再从下至上逐层施工竖向结构。在竖向结构未施工前,梁板水平结构缺少竖向支撑,为弥补梁板承载力不足的问题,需在顺作区的边缘增设一些墙、柱、反梁、斜撑等临时结构,这些临时结构将与后期逆作区的梁板结构相连,为其提供支撑。这部分临时结构需随顺作区各层结构同时施工。

三排桩围合区域与4-1塔楼之间有1道230m长、1m宽的沉降后浇带及2个面积各约30m<sup>2</sup>的洞口。为保证基坑土压力能连续传至塔楼或在地下室范围内形成水平对撑,需要为沉降后浇带和预留洞口安装临时传力钢梁,并加厚结构板。各楼层传力钢梁安装应在该楼层楼板结构强度达到100%,且4-1塔楼外框施工至10层后,因为此时塔楼的整体刚度和承载力可满足抵抗侧向土压力的要求。

1) 逆作区地下1层楼板与顺作区地下1层楼板同时施工至距第2排支护桩400mm处,逆作区地下1层楼板下方设置钢管柱作为竖向临时支撑。

2) 顺、逆作区地下室顶板为一次性施工完毕,结构强度达到100%后,且塔楼外框结构施工至10层以上,塔楼周边沉降后浇带和预留洞口的型钢传力带及楼板加厚范围施工完毕时,破除位于顶板与地下1层楼板之间的第1道平台和第2排支护桩。待支护桩破至地下1层梁板底面标高往下1m位置时暂停,然后施工地下1层逆作区域的结构楼板及临时换撑结构(支撑位于第2排和第3排桩顶硬化底板上)。

3) 逆作区地下1层楼板结构强度达到100%后,破除位于地下1层与地下2层楼板之间的第2排、第3排支护桩和第2道平台。待支护桩破至地下2层梁板底面标高往下1m位置时暂停,然后施工地下2层逆作区域的结构楼板及临时换撑结构。

4) 逆作区地下2层楼板结构强度达到100%后,拆除位于地下2层与地下3层楼板之间的第2排、第3排支护桩和锚索。待支护桩破至地下3层梁板底面标高往下1m位置时暂停,然后进行地下3层逆作区域的结构楼板及临时换撑结构。

5) 以此类推,直至逆作区地下室底板以上的支护结构拆除完毕。

6) 施工逆作区域内的抗浮锚杆、地下室防水、地下室底板。

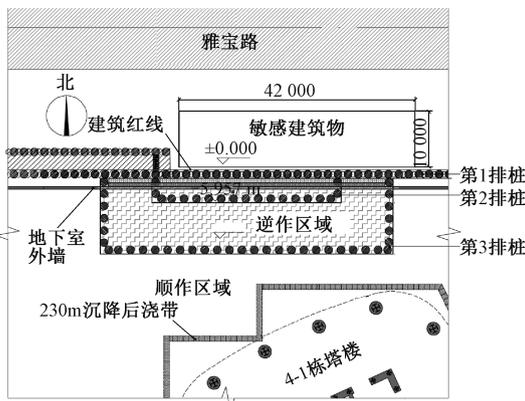


图1 三排桩支护平面

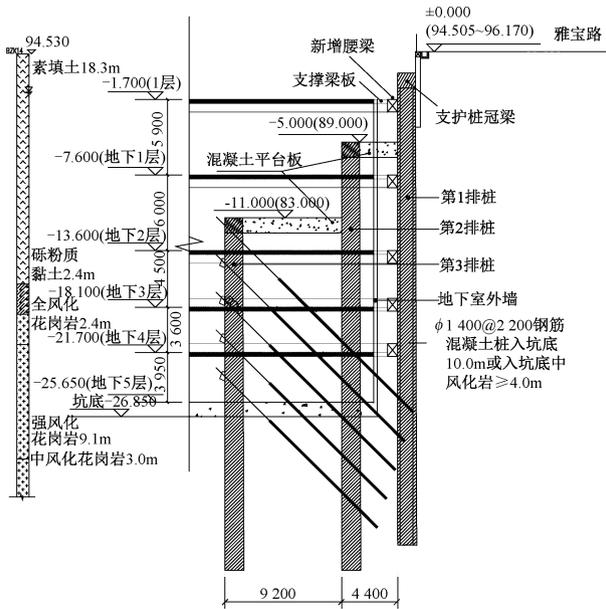


图2 三排桩支护剖面

## 2 三排桩逆作区换撑工程总体施工流程

三排桩围合区域以外的地下室采用顺作法施工,待顺作区域地下室顶板施工完毕,混凝土强度达到100%设计强度后,开始三排桩围合区域内的地下室结构施工。施工采用逆作法,以便将基坑北侧土压力由上至下逐层通过地下室楼板换撑传力

7) 从下至上逐层施工竖向结构,包括地下室墙柱及外墙。

8) 从下至上跟随竖向结构的施工,逐层完成逆作区基坑肥槽回填。

9) 采用绳锯切割拆除逆作区地下室临时换撑结构,通过地下室坡道运出场外。

### 3 临时支撑措施

#### 3.1 第1排桩增设腰梁及传力板

逆作区地下室梁板施工时,由于正式的墙柱尚未施工,所以逆作区的梁板实际处于悬挑状态,为减小逆作结构梁板悬挂荷载,需要在第1排桩与各层楼板标高平齐处增设1道腰梁,将逆作区的梁板结构向外延伸,将梁板与第1排桩及增设的腰梁连接在一起。该做法一方面可为逆作区的梁板结构提供临时支撑,另一方面可将基坑侧向土压力传递至结构楼板。

第1排支护桩上增加的腰梁宽 $\geq 700\text{mm}$ ,腰梁高度 $\geq$ 楼层梁高度 $\geq 1\,000\text{mm}$ ,新增腰梁采用2排 $\phi 28\text{mm}$ 钢筋,植入深度为 $26d$ ,并附加4排 $\phi 28\text{mm}$ 钢筋,植入 $15d$ ,一起用于楼板与支护桩连接。

地下室各楼层梁延伸到支护桩上,地下室梁面筋需穿过腰梁植入支护桩 $26d$ ,梁底筋一半锚入支护桩 $26d$ ,一半则锚入腰梁内(见图3)。

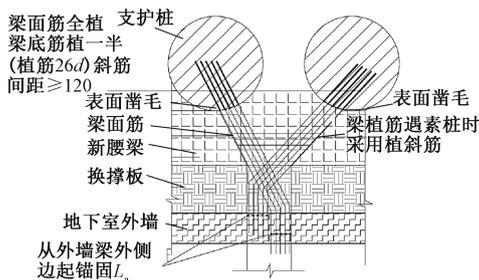


图3 支撑传力梁板与支护桩互锚平面

#### 3.2 顺作区边缘处增设临时墙柱

顺作区结构梁板施工缝设置在距离第3排桩 $400\text{mm}$ 处,顺作区最外缘的1排结构柱与第1排桩的间距为 $16.41\text{m}$ ,为减小逆作区域梁板结构跨度,同时增强顺作区及逆作区结合部位单柱支撑稳定性,在地下1层~地下5层靠近三排桩一侧设置7根 $800\text{mm}\times 800\text{mm}$ 和2根 $600\text{mm}\times 600\text{mm}$ 临时结构柱。在地下1层~地下5层靠近施工电梯一侧设置4道 $400\text{mm}$ 厚临时墙将永久柱与临时柱连接成整体,临时墙与第3排桩进行植筋连接,如图4所示。

#### 3.3 逆作区地下1层增设临时斜撑

由于地下室顶板承受力的侧向土压力在地下

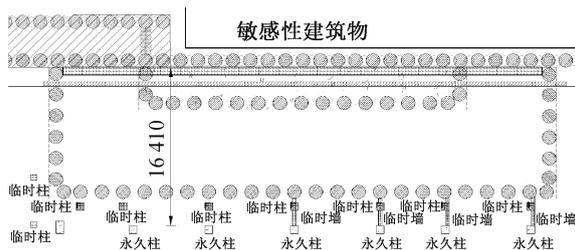


图4 地下1层~地下5层临时墙柱与永久柱定位

室各层楼板中最大,在缺少竖向支撑的情况下,为保证逆作区地下室顶板的承载力,在地下1层设置了2排临时斜撑,用于加固地下室顶板。其中1排斜撑在第3排桩上方,它与地下1层地下室正式结构同时施工。该排斜撑一端与顺作区增设的临时墙柱相连,另一端与逆作区的正式柱相连,因此此处地下室顶板施工时需同时施工1段吊柱。另一排斜撑靠近第1排桩,这排斜撑为后做结构,需通过钻孔植筋,一端与地下室顶板相连,另一端与第1排桩相连。

#### 3.4 后浇带增设水平传力钢梁

环4-1塔楼周边有 $230\text{m}$ 的沉降后浇带,三排桩支护体系拆除前,需确保各层地下室的后浇带处均安装了临时传力钢梁,以实现基坑侧向土压力连续传递至塔楼。临时传力钢梁包括预埋在后浇带两侧楼板或边梁上的 $280\text{mm}\times 280\text{mm}\times 22\text{mm}$ 及 $400\text{mm}\times 400\text{mm}\times 20\text{mm}$ 锚板和 $\text{H}200\times 200\times 16$ 传力用的工字钢梁,钢梁间距为 $1\,500\sim 2\,000\text{mm}$ ,钢梁与锚板采用焊接连接。若后浇带两侧的楼板厚度不及锚板高度时,需增加边梁或加厚楼板,保证锚板顺利预埋,如图5所示。

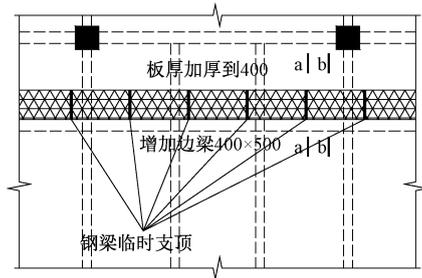


图5 深基坑沉降后浇带传力结构平面

#### 3.5 地下1层逆作区增设钢管柱

三排桩围合区域内地下1层楼板与顺作区地下1层楼板同时施工至距第2排支护桩 $400\text{mm}$ 处,逆作区地下1层楼板下方永久柱位置设钢管柱作为竖向临时支撑。逆作区内先行施工的地下1层楼板,可为地下室顶板的模板支撑架提供支撑面,减小模板支撑架的搭设高度,降低施工危险性。钢管柱设

置于地下2层与地下1层之间的第2道平台上,待第1道平台拆除完成,地下1层楼板剩余部分及相应的换撑板施工完成并达到设计强度100%后拆除圆管钢管柱。

临时钢管柱共8根,底部和顶部用耳板焊接尺寸为400mm×400mm×20mm厚钢板。柱底端钢板上均匀设置8个螺栓孔,与植于排桩上的地脚螺栓相连固定。圆管柱身可根据现场情况焊接加长,焊接处需设置加焊肋板。

### 3.6 地下4层、地下5层楼板增设临时反梁

本工程地下4层、地下5层采用无梁楼盖结构形式,在利用地下4层、地下5层楼板进行换撑时,由于无梁楼板的刚度和承载力不满足传递基坑侧向土压力的要求,需在板面增加临时反梁。临时反梁的一端与顺作区永久柱锚固连接,另一端与第1排桩和新增腰梁锚固连接,以实现水平轴力传递。临时反梁面筋穿过腰梁植入支护桩26d,梁底筋一半锚入支护桩26d,一半则锚入腰梁内。

### 3.7 顺作区地下室地下1层楼板洞口补强

4-1塔楼北侧有2个面积30m<sup>2</sup>的施工电梯预留洞,洞口周边存在应力集中情况,对洞口周边123m<sup>2</sup>范围结构板加厚,厚度由原150mm增加至350mm,并在沉降后浇带中避开梁位置设置1m宽间隔布置混凝土临时传力板(见图6)。

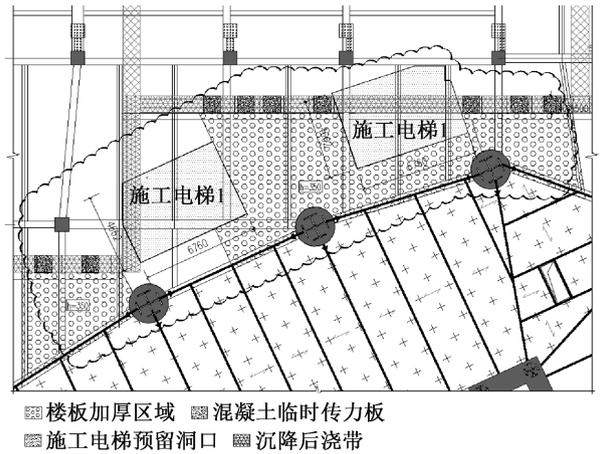


图6 地下1层楼板洞口补强平面布置

## 4 特殊部位施工技术

### 4.1 逆作墙柱施工技术

逆作区的结构柱和地下室外墙由地下5层逐层向上施工。地下室外墙施工需在地下室侧搭设双排钢管架作为操作架,地下室外墙模板采用15mm厚模板,双钢管背楞,止水螺栓间距为458mm×458mm,并用钢管斜撑固定。每根柱子上部设混凝土浇筑洞口和振捣洞口各1个,墙体上部的混凝土浇筑洞口和振捣洞口间隔2m设置1个,洞口紧贴梁下方设置。洞口上方楼板需预留250mm×250mm的操作洞口(见图7),采用一种新型的钢板滑槽以导流的形式进行混凝土浇筑(见图8)。

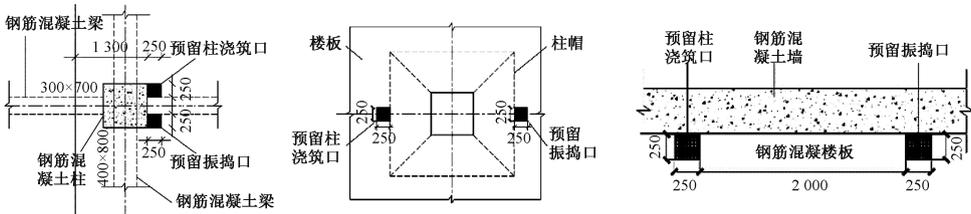


图7 墙柱预留浇筑洞口

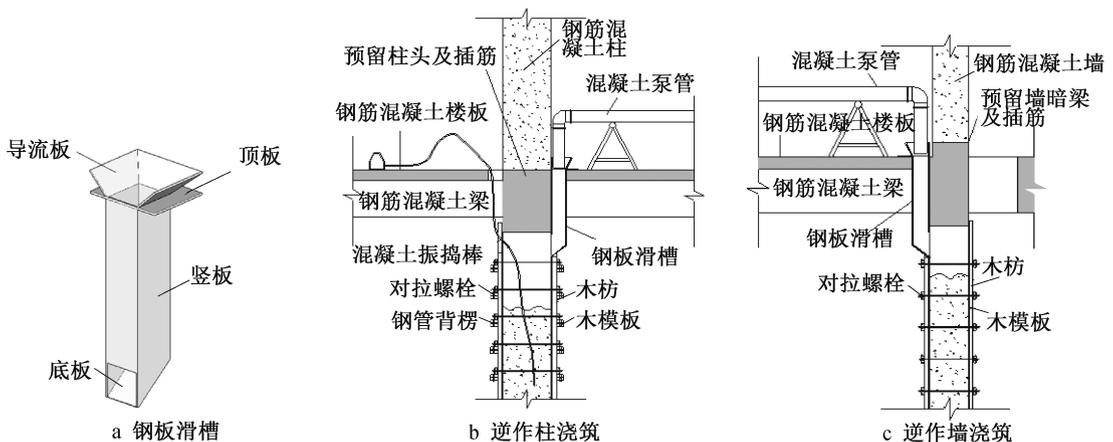


图8 钢板滑槽及逆作墙柱浇筑示意

利用现场钢板废料焊制钢板滑槽,钢板滑槽上部为导流板用以导流混凝土,防止混凝土溅射流失,与其底端焊接的为顶板,用于固定插入预留浇筑洞口的滑槽。滑槽底端为底板,用于将混凝土导入待浇筑墙柱模板内部,如图 8 所示。

#### 4.2 逆作区地下室肥槽回填

地下室各层楼板向地下室外延伸至第 1 排桩,并与第 1 排桩及其腰梁锚固连接,以确保排桩侧推力传导。由于需要设置肥槽回填洞口,在地下室外墙与第 1 排桩腰梁间的传力板并不连续,回填洞口尺寸约为  $1\ 150\text{mm}\times 710\text{mm}$ ,确保开孔率 $\leq 25\%$ 。

地下室外墙封闭后,利用地下室外架进行地下室外墙防水施工,然后在地下室顶板架设地泵直接通过预留肥槽回填口进行 C20 素混凝土回填。

### 5 结语

随着城市土地资源日益稀缺,越来越多项目的基坑边沿紧贴红线,当采用预应力锚索支护技术时,锚索会伸出红线以外,影响相邻的地下建(构)筑物。本工程为避免预应力锚索出红线,采取了三排支护桩结合逆作法换撑的复杂施工技术。经过

设计人员的周密设计以及施工人员的精心部署和实施,该工程地下室顺利施工完毕,基坑肥槽回填完成,整个施工过程中,基坑最大水平位移  $11.7\text{mm}$ ,周边建筑物沉降约为  $2.24\text{mm}$ ,其最大水平位移和沉降均在允许范围内。本工程的实践可对今后项目遇到类似问题提供有益的借鉴。

#### 参考文献:

- [1] 刘嘉东,董军业,赵晓娟,等.印尼一号双塔项目超大深基坑逆作法施工关键技术[J].施工技术,2019,48(13):4-6,32.
- [2] 王允恭.逆作法设计施工与实例[M].北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [3] 宗露丹,徐中华,王卫东.软土超深大基坑工程施工监测分析[J].施工技术(中英文),2021,50(13):163-169,181.
- [4] 黄伟,周建发,高纲要,等.湖南旺旺医院(二期)深基坑水平支撑体系设计及有限元分析[J].施工技术,2020,49(20):80-83.
- [5] 陈平.后浇带施工技术在建筑工程中的应用[J].中外建筑,2008(4):150-152.
- [6] 杨超,杨皓东,程玉柱,等.邻近建筑物逆作法深基坑支护设计与应用[J].施工技术(中英文),2021,50(19):114-118,129.

(上接第 71 页)

### 3 结语

1)等直径桩和扩底桩桩顶沉降在刚开始加载时相差不大,桩顶沉降变化缓慢, $Q-s$ 曲线呈缓变型。桩身受压过程中,随着竖向荷载的增加桩顶沉降逐渐增大,桩顶沉降增量也增大。

2)相较于等直径桩,扩底桩单桩竖向抗压承载力提高了  $10.8\% \sim 22.8\%$ ,而且减小了同荷载条件下桩顶沉降量,使单桩  $Q-s$ 曲线呈现更平稳的变化。

3)桩承受压力都是先激活上部桩土侧摩阻力,再激活下部桩土侧摩阻力和桩端阻力,桩身阻力的发挥是不同步的。

4)与等直径桩相比扩底桩增大了桩身上部的桩侧承载力,将桩端承载力提高了  $20\% \sim 50\%$ ,有效增强了单桩极限抗压承载力,改善了上部桩身受力形式。

5)试桩上部桩身侧阻力为中下部桩身的一半左右,桩身反力主要是由桩身中下部来提供的。相对于等直径桩,扩底桩上部桩身的侧摩阻力提高了  $22\%$ ,而中下部桩身侧摩阻力提高了  $6.4\%$ 。结合典型黏结应力-滑移曲线可知,桩身轴力较大处于滑移段,扩底桩增大了桩端阻力,限制了桩身的位移(尤

其是上部桩身的位移),使桩土黏结应力增大,所以扩底桩桩顶部位摩阻力有明显的增加,桩身中下部摩阻力有少量增加,桩身结构受力形式得到改善。

6)扩底桩施工工期与单位造价与等直径桩相差不大,而单桩抗压承载力则提高了  $10.8\% \sim 22.8\%$ ,桩端阻力提高了  $20\% \sim 50\%$ ,桩顶侧阻力提高了  $22\%$ ,改善了单桩受力形式,其承载特性表现为端承摩擦桩;并且同荷载条件下扩底桩的沉降量比等直径桩有所减小。

#### 参考文献:

- [1] 胡庆红,张土乔,谢新宇.深厚软土中大直径灌注扩底桩受力性状试验研究[J].土木工程学报,2007,40(4):87-91,103.
- [2] 施峰.大直径超长钻孔灌注桩的承载性状研究[J].建筑结构,2003,33(3):3-6.
- [3] 黄生根,彭从文.超长大直径桩的变形特性研究[J].岩土力学,2009,30(2):308-311.
- [4] 黄生根,龚维明.苏通大桥一期超长大直径试桩承载特性分析[J].岩石力学与工程学报,2004,23(19):3370-3375.
- [5] 胡尧,刘注.旋挖钻与回旋钻组合施工工艺在大直径超长桩中的应用[J].施工技术,2021,50(8):73-75.
- [6] 刘金波,柳致富,邓亚光,等.我国岩土工程施工技术的成就——复合桩[J].施工技术(中英文),2021,50(13):69-75,112.