

# 钻孔灌注桩在软土地区深大基坑围护工程中的应用

谢石连<sup>1</sup>, 丁其锋<sup>2</sup>, 卢玉南<sup>3</sup>

(1. 上海城市管理学院, 上海 200438; 2. 上海市人民防空工程公司, 上海 200030; 3. 广西华蓝岩土工程有限公司, 广西南宁 530001)

**摘要:**上海市某基坑工程开挖深度与开挖面积均较大, 周边环境复杂, 变形要求高。基坑围护工程采用钻孔灌注桩加双头水泥土搅拌桩隔水加二道支撑的方案, 分层分区、限时开挖支撑, 信息化施工, 保证了基坑的顺利开挖, 取得了令人满意的工程效果。

**关键词:**深大基坑; 钻孔灌注桩; 水泥土搅拌桩隔水; 支撑; 围护结构; 软土地区

**中图分类号:** TU473.1<sup>+</sup>4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2010)05-0059-05

**Application of Cast-in-place Bored Pile for in Soft Soil Area/XIE Shi-lian<sup>1</sup>, DING Qi-feng<sup>2</sup>, LU Yu-nan<sup>3</sup>** (1. Shanghai Urban Management College, Shanghai 200438, China; 2. Shanghai People's Air Defense Engineering Companies, Shanghai 200030, China; 3. Guangxi Hualan Geotechnical Engineering Co., Ltd., Nanning Guangxi 530001, China)

**Abstract:** In Shanghai, a great depth and large scale excavation engineering of complex environment and high deformation requirement was constructed with water insulation by cement-soil mixing pile + two-floor support, hierarchical partition, excavating in limited interval and information construction, the engineering was carried smoothly with satisfactory project results.

**Key words:** deep and large foundation pit; cast-in-place bored pile; water insulation by cement-soil mixing pile; support; enclosure structure; soft soil area

基坑的设计施工成败关系到周边环境、经济安全, 举足轻重、事关重大。基坑围护设计方案, 根据地质条件、周边环境、基坑深浅的不同而异。深基坑的围护主要有: 地下连续墙、钻孔灌注桩、SMW 工法等<sup>[1-7]</sup>。

本文介绍了钻孔灌注桩在某基坑围护工程的设计、施工及实施效果。

## 1 工程概况

某工程位于上海闵行区, 地面建筑主要包括 2 幢 38 层的办公楼和 2~4 层裙房; 地面以下设有 2 层地下车库; 基坑周长约 678 m, 开挖面积为 23156 m<sup>2</sup>, 呈不规则多边形; 工程场地略有起伏, 场地内绝对标高为 +3.99~+4.93 m, 本工程 +0.000 = 5.200 m。主楼区基坑挖深为 -10.75、-11.45 m、裙楼基坑开挖深度为 -9.85 m。

拟建建筑物基坑东侧地下室边线距离道路红线约 3.5~10.6 m, 红线外约 5.0 m 为雨水、电力等管线。南侧地下室距用地道路红线约 5~7 m, 道路上有雨水、污水、电力等管线。基坑西侧有一 35 kV 变

电站, 地下室边线距离红线 3.2 m。基坑北侧地下室边线距道路离红线远近不一, 近处仅 4 m。基坑周边邻近市政道路、地下管线众多, 基坑周边环境复杂, 保护要求较高。

本基坑具有以下特点: (1) 周边均为市政道路、地下管线众多, 周边环境复杂; (2) 开挖面积大, 开挖深度较深。

## 2 工程地质条件

场地在地貌上属长江三角洲入海口滨海平原, 地基土按成因类型、形成时代、工程性质等自上而下可分为 7 层。场地地层情况及物理力学性质见表 1。

浅部土层分布有潜水, 主要补给来源为大气降水和地表径流, 地下水稳定水位埋深 0.50 m。承压水主要有中部第⑤<sub>2</sub>层中的微承压含水层和深部第⑦、⑨层中的承压水含水层。对本工程有直接影响的是第⑤<sub>2</sub>层中微承压水, 水头埋深在 3.3 m。经验算, 承压水与第⑤<sub>2</sub>层土压力比值小于 1.05, 应考虑承压含水层突涌问题。本场地第⑧层粘性土层缺

收稿日期: 2010-01-09; 修回日期: 2010-02-09

**作者简介:** 谢石连(1956-), 男(汉族), 江西于都人, 上海城市管理学院市政工程研究中心主任、高级工程师、注册土木工程师(岩土)、一级建造师, 岩土工程专业, 从事岩土、市政工程等领域的教学与科研工作, 上海市军工路 2360 号, ydxsl@yahoo.com.cn; 丁其锋(1977-), 男(汉族), 河南人, 上海市人民防空工程公司工程师, 岩土工程专业, 从事建设工程生产与科研工作, 上海市番禺路 1000 号, dingqf@hotmail.com。

表1 土层及主要物理力学性质表

层次	地基土名称	粘聚力 $c$ /kPa	内摩擦角 $\varphi$ /(°)	重度 /( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ )	土层厚度 /m	渗透系数 /( $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ )
①	杂填土	0	10.0	18.0	1.4	
②	褐黄色粉质粘土	17	14.5	18.1	1.7	2.0E-06
③	淤泥质粉质粘土	11	18.0	17.2	3.7	5.0E-05
④	灰色淤泥质粘土	13	12.0	16.6	9.6	7.0E-06
⑤ <sub>1</sub>	灰色粉质粘土	11	17.0	18.0	5.9	5.0E-05
⑤ <sub>2</sub>	灰色粉砂夹粉质粘土	5	19.5	18.1	6.9	4.0E-04
⑥	暗绿色粉质粘土			19.3	1.4	
⑦	草黄色砂质粘土			18.3	3.57	

失,第⑦层和第⑨层承压水相互连通,局部与第⑤<sub>2</sub>层直接连通,水量补给丰富,应采取减压井进行降压措施。

场地第①层填土厚度在 1.4 m,该层土工程性质较差,成分复杂。场地第③层夹多量粉性土,渗透性强,在钻孔灌注桩施工时易产生坍孔、孔斜等不良现象,并影响灌注桩及水泥土搅拌桩桩体成桩质量;基坑开挖时,在水头差的作用下极易产生管涌及流砂现象。场地内有 2 条暗浜分布,一条位于场地中偏东侧呈南北向横亘场地,宽约 19 m,另一条位于场地西南侧宽约 18 m,见图 1。

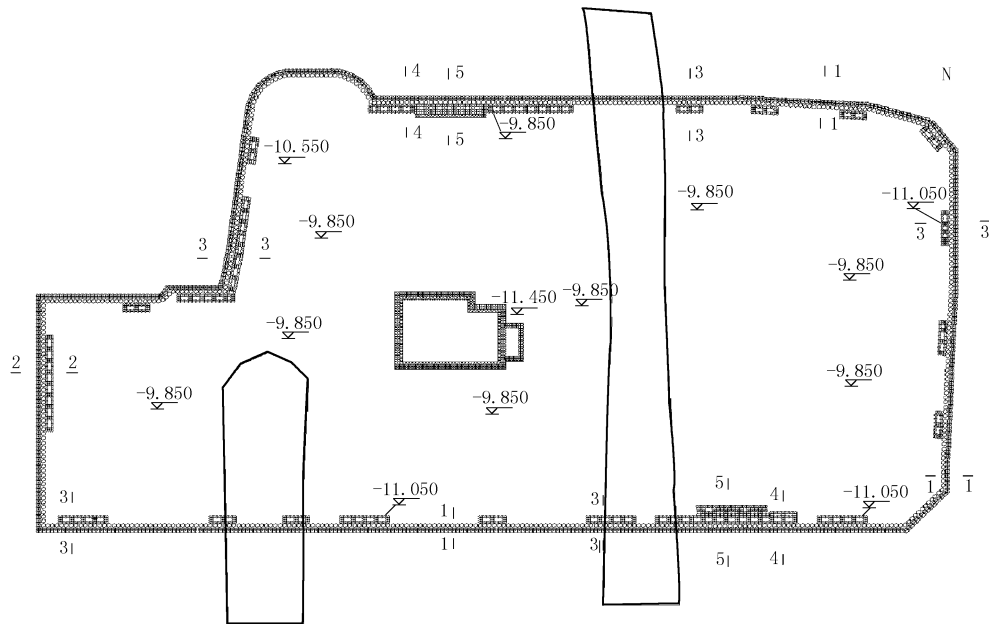


图1 基坑围护平面布置图

### 3 基坑围护设计方案

#### 3.1 基坑安全等级及变形控制指标

根据本基坑工程的挖深、规模和基坑周边道路、地下管线和周围建筑物等情况,本基坑按一级基坑进行设计,要求围护结构变形控制在 40 mm 以内。

#### 3.2 基坑围护与支撑方案

基坑围护的意义在于保障基坑工程的安全,确保地下结构的顺利施工;同时,也必须考虑对周边环境的保护。在满足安全和环境保护要求的前提下,基坑围护结构的设计应造价经济合理、尽可能的节约工期。

经设计方案的安全性、经济性、施工工期及其它等方面进行综合比选,选定的基坑围护方案为:整体开挖,钻孔灌注桩+双头水泥土搅拌桩隔水+2道支撑(第二道支撑为对撑+角撑+斜抛撑)。

由于本基坑挖深较深,为防其管涌坑内采用暗墩式进行加固土体,对于主楼电梯井落深区域采用高压旋喷桩满堂打并在落深区设一周  $\text{Ø}700$  mm 钻孔灌注桩一道型钢支撑以保护其坑底土体稳定。

#### 3.2.1 隔水体系

上海属于高地下水位软土地区,深基坑降水对工程安全至关重要。因此采用双排  $\text{Ø}700$  mm 双头水泥土搅拌桩进行隔水。搅拌桩间距 1000 mm,搭接 200 mm,根据开挖深度的不同,搅拌桩桩端入土深度分别为 16.0 m 和 18.0 m。 $\text{Ø}700$  mm 双头水泥土搅拌桩水泥掺入量为 13%,暗浜区域提高至 16%。

#### 3.2.2 挡土体系

在挖深 9.0 m 和 10.4 m 的区域,分别采用  $\text{Ø}800@1000$  和  $\text{Ø}900@1100$  钻孔灌注桩进行挡土,灌注桩桩端入土深度为 19.0 m 和 22.0 m;钻孔灌

注桩混凝土设计强度等级 C30(水下混凝土提高一级),具体见表 2、图 1。

表 2 钻孔灌注桩挡土体系参数类型表

剖面	挖深/m	钻孔灌注桩类型	入土深度/m	有效桩长/m
1-1	9.0	Ø800@1000	19.0	16.1
2-2	9.0	Ø800@950	19.0	16.1
3-3	10.4	Ø900@1100	22.0	19.1
4-4	10.4	Ø900@1050	22.0	19.1
5-5	9.0	Ø900@1100	19.0	16.1

### 3.2.3 内支撑系统

基坑内共设置 2 道内支撑。根据基坑实际形状,第一道支撑采用对撑+角撑+边桁架,第二道支撑采用对撑+角撑、局部加斜抛撑,斜抛撑位置对应第一道支撑的对撑节点处。混凝土支撑及围檩的设计强度等级为 C35。

钢立柱截面尺寸为 460 mm × 460 mm,采用 4L140 × 14 钢格构柱,立柱桩采用 Ø700 mm 灌注桩,顶部 3.5 m 扩径至 Ø800 mm,桩端入土深度为 31.0 m,斜抛撑支点处加深至 36.0 m(进入第⑦层)。

### 3.3 计算模型与计算结果

#### 3.3.1 计算模式和假定

(1) 围护挡墙按竖向弹性地基梁的基床系数法(m 法)计算,内支撑作为弹性支撑;

(2) 坑内外土体土压力按朗肯土压力模式计算,水土分算, $c$ 、 $\varphi$  值取固结快剪指标;

(3) 地面附加荷载取 20 kPa。

#### 3.3.2 主要计算结果

本工程采用同济启明星基坑分析软件,计算工况模拟施工流程逐步进行,具体计算结果见表 3。

表 3 计算结果汇总表

剖面	开挖深度 /m	定性验算					位移、内力计算			
		抗倾覆	整体稳定性	墙底土体抗隆起	坑底抗隆起	抗管涌	水平位移 /mm	支撑轴力/(kN·m <sup>-1</sup> )		墙体弯矩 /[(kN·m)·m <sup>-1</sup> ]
1-1	9.0	2.00	1.73	3.89	2.28	2.32	26.4	235.5	312.3	-160.6~594.8
2-2	9.0	2.00	1.73	3.89	2.28	2.32	27.9	259.6	220.7	-152.6~631.7
3-3	10.4	2.35	1.79	4.12	2.30	2.42	30.7	267.5	431.5	-351.1~1052.5
4-4	10.4	2.35	1.79	4.12	2.30	2.42	32.9	307.6	301.5	-392.6~1104.7
5-5	9.0	1.86	1.73	3.89	2.12	2.32	31.2	334.9		-190.0~1111.2

## 4 基坑施工技术要点<sup>[8,9]</sup>

### 4.1 施工流程与支撑要求

- (1) 施工搅拌桩、灌注桩,施工立柱桩、立柱;
- (2) 设置井点降水,进行坑内降水;
- (3) 开挖第一层土体,进行分区开挖,第一层开挖至相对标高 -3.800 m,施工第一道圈梁和支撑;
- (4) 第一道支撑养护到期后,继续基坑开挖至第二道支撑底,施工第二道圈梁和支撑;
- (5) 第二道支撑养护到期后,继续基坑进行分区开挖,开挖至基坑底,及时施工基础垫层,垫层浇筑至围护边;
- (6) 浇筑地下室结构底板,底板和围护间空隙采用黄砂回填,设置底板传力带;
- (7) 待底板传力带达到设计强度的 80% 后,拆除第二道支撑;
- (8) 继续施工地下二层结构,在地下二层顶板处设置楼板传力带,当地下二层楼板处传力带达到养护期后,拆除第一道支撑;
- (9) 继续施工地下一层结构,待地下室顶板施

工完成、地下结构达到养护期后,围护墙体和地下结构间空隙采用素土回填并压实,继续施工主体结构。

### 4.2 灌注桩施工技术

(1) 抓好桩孔定位、钻进成孔、灌注成桩 3 个管理点。桩孔定位采用经纬仪,用坐标法测点,用极坐标法复核,提高定位精度。认真做好护筒标高记录,使其作为计算孔深和孔底沉淤依据准确可靠,经复核校正无误后,方可进行下一道工序。其次把成孔关,在针对不同地层采取不同钻进参数的基础上,确保泥浆性能良好,并且对孔径、孔斜和孔深进行认真的质量检查。第三,严格控制沉淤厚度,钻进成孔后,用大泵量进行清孔,使孔口返出泥浆密度  $\geq 1.30$  kg/L,用标准测绳锤测定其沉淤不大于 30 cm 可终止清孔。成孔质量通过验收合格后,才能进行下一道工序。

(2) 灌注成桩。应严格按设计图纸进行钢筋笼制作,采用单面搭接焊 10d,为了起吊方便和防止弯曲变形,单节笼长按 8~9 m 考虑;灌注混凝土用导管选用 250 mm 内插外套接并有橡胶密封圈,以确保其牢靠、密封、垂直、无缺陷;水下混凝土灌注是确

保成桩质量的关键,必须高度重视,认真作业;做坍落度测试和试块制作,提高灌注质量和速度,尽量缩短灌注时间,一般不宜超过3 h;充盈系数应保持在1.05~1.15之间;浇注混凝土时导管应提升平稳,避免撞击或钩挂钢筋笼。为保证钢筋保护层厚度,钢筋笼上应放保护层垫块。垫块每隔5 m设一组,每组3块,匀称地分布在同一截面主筋上,垫块尺寸:外径100 mm,内径20 mm。或按设计要求设置钢性垫块。

(3)质量检测。通过按设计要求进行质量检测,对工程进行合理和科学的评价。抗压强度与混凝土标号:钻孔灌注桩的荷载主要是以垂直方向的压力作用于桩身,即将100 mm×100 mm×100 mm的立方体试块在温度20+3℃,相对湿度95%以上的条件下养护28天,而在材料试验机上作抗压强度试验,至破坏为止。所得立方体的极限抗压强度即为该配合比条件下的混凝土抗压强度。

(4)泥浆护壁成孔时,发生斜孔、弯孔、缩孔和塌孔或沿套管周围冒浆以及地面沉陷等情况,要停止钻进。经采取措施后,方可继续施工。清孔过程中,必须及时补给足够的泥浆,保持孔内浆面稳定。钻进速度要根据土层情况、孔径、孔深、供水或供浆量的大小、钻机负荷以及成孔质量等具体情况确定。水下混凝土面平均上升速度 $\leq 0.25 \text{ m}^3/\text{h}$ 。浇筑前,导管中要设置球、塞等物隔水,浇筑时,导管插入混凝土的深度 $\leq 1 \text{ m}$ 。施工中要经常测定泥浆密度,并定期测定粘度、含砂率和胶体率。泥浆粘度18~22 s,含砂率 $\geq 4\%$ ~8%,胶体率 $\leq 90\%$ 。

#### 4.3 高压旋喷桩施工工艺

(1)根据设计图纸准确定位。引孔钻机就位应准确,钻机架设应平稳坚实,就位偏差 $\leq 50 \text{ mm}$ 。引孔孔径300 mm,成孔偏斜率应控制在1.5%以内。

(2)下放注浆管前应先检查水、气、浆的喷射情况,各密封圈是否封闭,完好后将浆管置于引孔中心缓慢下放。如遇有阻力,以1 MPa的压力注入清水,边旋转,边下沉,缓慢下至设计孔深。注浆管下沉至设计孔深前,应及时按设计配合比制备好水泥浆液,然后按设计要求输入气和水泥浆液,待泵压、风压升至设计值后,按规定的提升速度提升注浆管,进行由下而上的喷射注浆。旋喷开始后应连续作业。

(3)水泥浆液应随配随用,并应在喷射注浆过程中连续不停地搅拌。制备好的水泥浆液应严格过滤。高压旋喷注浆作业时,供气、送风应连续,一旦中断,应将注浆管下沉至停供点0.30 m以下,待恢

复供应后再旋转提升。注浆管拆卸后重新喷射作业的搭接长度 $\leq 0.30 \text{ m}$ 。

(4)高压喷射注浆过程中,当冒浆量小于注浆量的20%时为正常现象。如果发现超过20%或完全不冒浆时,应采取措施。地层中空隙大而引起不冒浆时,应加大注浆量,并增加水玻璃掺入量,待填满空隙后继续喷浆。冒浆量过大时,可提高注浆压力或加快转速,以减少冒浆量。在施工过程中如发现缩径现象,在该部位应复喷。

喷射注浆接近桩顶时,应从桩顶以下1 m开始慢速提升旋喷至桩顶,旋喷数秒,再向上慢速提升旋喷0.8~1.0 m的桩身。

#### 4.4 土方开挖技术

本基坑选择分区开挖。分区开挖即为先施工对整个工程施工工期影响较大的主楼地下室以及对应部分的地下车库,这样对整个工程的施工总工期更有利于控制,同时可更加有效地布置施工场地。

(1)本基坑单边长度达200 m以上,应分区分块分段开挖。不得超挖,开挖面的高差应控制在2 m以内,并宜按1:2放坡。

(2)基坑边严禁大量堆载,地面超载应控制在20 kPa以内。机械进出口通道应铺设路基扩散压力,或局部加固地基。

(3)开挖最下一层土方时,混凝土垫层应随挖随浇,无垫层坑底最大暴露面积不得大于200 m<sup>2</sup>,暴露时间不得超过12 h,混凝土垫层需直接浇捣至围护桩内侧面。

(4)电梯井、集水井等局部落深区必须先挖至浅坑标高,待大面积垫层形成后才能向下开挖。

#### 4.5 坑内降水技术

(1)土方开挖前要进行基坑降水,本工程采用轻型井点结合深井降水,降水深度控制在坑底或局部落深区以下1.0 m。降水井点相对均匀布置于基坑内。

(2)除坑内降水措施外,地面及坑内应设排水措施,及时排除雨水及地面流水。

(3)降水期间应及时测报抽水量及坑内外水位。

#### 4.6 监测技术要求

基坑监测包括对周边环境的保护监测和对本围护体系的安全监测,及时预报施工过程中可能出现的问题,通过信息反馈法指导施工,根据监测资料及时控制和调整施工进度和施工方法。

##### 4.6.1 监测内容

- (1) 围护墙体顶端水平位移及沉降;
- (2) 邻近地下管线、构筑物的水平位移及沉降;
- (3) 围护墙体测斜;
- (4) 支撑轴力;
- (5) 坑内外地下水位,每日抽水量;
- (6) 立柱水平位移、沉降监测。

#### 4.6.2 监测要求

(1) 围护结构施工前,须测得初读数。

(2) 在基坑降水开挖期间,须做到一日一测。在基坑施工期间,可视测得的位移及内力变化情况加密或减少。测得的数据应及时上报业主及围护设计单位。

(3) 报警值:一般情况下,水平、垂直位移  $> 5 \text{ mm/d}$  或累计大于  $35 \text{ mm}$ ; 管线大于  $2 \text{ mm/d}$  或累计大于  $10 \text{ mm}$ ; 坑外地下水位降达  $500 \text{ mm}$ 。

若测试值达到上述界限须及时报警,以引起各方面重视,施工单位应会同设计单位一起进行分析,并考虑采取相应的控制位移及沉降的措施。

## 5 实施效果

经几月的开挖施工、基础底板浇注,从本工程监测数据可知:基坑周边最大累积沉降  $33 \text{ mm}$ , 沉降速率  $\leq 5 \text{ mm/d}$ , 沉降、位移均在规范范围内,控制效果良好,满足要求。

监测结果说明本工程在计算理论和设计参数的选取以及施工工艺上是合理的。同时表明严格按照设计意图要求施工,并做好施工质量管理,实时监测,完全可以将施工期间基坑的变形和对周围环境

的影响控制在允许范围内。

## 6 结语

本深基坑工程采用钻孔灌注桩+双头水泥土搅拌桩隔水+2道支撑进行围护,设计施工方案合理,施工控制到位,取得了令人满意的效果。

由于地下工程的复杂性与不可预见性,应做到信息化施工,在施工过程中,根据实测数据综合分析,及时调整与优化施工。

## 参考文献:

- [1] 胡建华,谢石连,付奕.复杂环境下的某深大基坑工程设计施工[J].建筑施工,2009,31(5):336-337.
- [2] 阳吉宝,谢石连,崔永高.软土地区采用复合土钉墙进行浅基坑围护的工程实例分析[J].地下空间与工程学报,2005,1(6):1132-1134.
- [3] 杨永宁.上海九百城市广场深大基坑围护成套施工技术[J].建筑施工,2004,26(3):185-187.
- [4] 杨林德,仇圣华,杨志锡.基坑围护位移量及其稳定性预测[J].岩土力学,2001,22(3):266-270.
- [5] 陈朝辉,高伟.旧城区改造中深大基坑围护的设计与施工优化[J].建筑施工,2004,26(5):376-377.
- [6] 梁志荣.“深坑化浅坑”应用于深大基坑围护结构的实践[J].地下空间,2004,24(5):708-712.
- [7] 史世雍,李烈刚,刘涛.深基坑围护墙与支撑体系相互作用有限元分析[J].地下空间与工程学报,2007,3(2):294-301.
- [8] 谢石连,刘颖.土力学与基础工程[M].海口:海南出版社,2007.
- [9] 编写组.基础工程施工手册[M].北京:中国计划出版社,2002.

致谢:本文还参考了上海市闵行区、徐汇区有关场地的资料,没能注明出处,谨此致谢。

(上接第58页)

## 4 结语

(1) 本工程地质条件、工程环境复杂,整个基坑处于软土地区中,且地下水丰富,水位较高,采用钻孔咬合桩有较强的针对性,加快了施工进度,保证了施工质量,效果明显。

(2) 采用全套管钻机成孔,噪声底,振动小,无需排放泥浆,施工现场文明,环保效果好,很适合于在市区内施工。

(3) 采用全套管钻机成孔,可在各种杂填土(含有砖渣、石渣及混凝土块等)中施工,适合旧城改造工程。

(4) 采用全套管护壁,无缩孔、断桩等常见的钻孔灌注混凝土桩的通病。

(5) 采用全套管护壁,可靠近既有建筑物施工

而不用担心常规泥浆护壁成孔桩塌孔引起地表沉降问题。

实践证明,咬合桩具有施工便捷,投资节省的优点,能取得较好的经济和社会效益。

## 参考文献:

- [1] 沈保汉,刘富华,刘波,等.捷程Mz系列全套管钻孔咬合桩[J].建筑技术,2006,(8).
- [2] JGJ 120-99,建筑基坑支护技术规程[S].
- [3] 刘建航,侯学渊.基坑工程手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1997.
- [4] 宋志彬,冯起赠,王年友,等.CG型全套管冲抓成孔设备在桩工程中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(9).
- [5] 宋志彬,冯起赠,和国磊,等.CG型全套管搓管成孔设备的研究和应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(S1).