

旋扩工法植桩技术在复杂地层中的应用与研究

曹巍, 马齐, 张非凡

(北京荣创岩土工程股份有限公司, 北京 100085)

摘要: 在深厚砂层、砂卵石层、抛填层等复杂地层中, 直接采用沉桩设备施工预应力管桩经常会出现沉桩难度大、爆桩率高、管桩难以植入等问题, 通常采用长螺旋钻机先引孔后植入管桩的解决方案, 引孔后管桩虽可顺利植入, 但管桩承载力及成桩质量难以保证。本文通过工程实例, 研究出一套适用于该类复杂地层的旋扩工法植桩技术, 该技术不仅可以确保桩身质量, 提高桩基承载力, 同时又可以提高工效, 降低造价, 为今后遇到类似工况提供了一种行之有效的解决方法。

关键词: 旋扩工法; 预应力管桩; 水泥土桩

中图分类号: TU74 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-7195(2020)01-0041-07

作者简介: 曹巍(1980-), 男, 汉族, 吉林省白山市, 高级工程师, 工程硕士, 主要从事岩土工程项目施工及管理工作。E-mail: 79094573@qq.com。

Application and research of rotary expansion construction method of pile-planting technology in complex strata

CAO Wei, MA Qi, ZHANG Fei-Fan

(Beijing Rongchuang Geotechnical Engineering Co. Ltd., Beijing 100085, China)

Abstract: Problems often arise when directly using pile machines in constructing pre-stressed pipe piles in complex strata such as thick sand layer, sand gravel layer and landfill layer. Some problems include the difficulty in sinking piles, the high rates of bursting, and also the difficulty in implanting pipe piles. Generally, a long spiral drilling machine is used to drill a hole first and then the pipe pile is implanted. Although pipe piles can be implanted smoothly after the hole is drilled, it is difficult to guarantee the bearing capacity and the quality of pipe piles. Therefore, in this paper, using various engineering examples, the rotary expansion construction method of pile-planting technology is developed, which is suitable for complex strata. Hence, this technology can not only ensure the quality of pile body, but also improve the bearing capacity of pile foundation, work efficiency and reduce construction costs. Thus the use of this technology generally provides an effective solution for dealing with similar strata in the future.

Key words: rotary expansion construction method; prestressed pipe pile; soil-cement pile

0 引言

旋扩工法是利用特制的螺旋钻杆结合钻具下方冲击器进行钻进, 同时冲击器上部高压水射流切割土体, 在高压水、高压气、冲击器高频振动的联动作用下, 钻杆周围土体迅速崩解, 处于流塑或悬浮状态, 此时喷嘴喷射高压水泥浆对钻杆四周的土体进行二次旋扩切割和搅拌, 使已成悬浮状态的土体颗粒与高压水泥浆充分混合, 形成直径较大、混合均匀、强度较高的水泥土桩。

旋扩工法引孔植桩技术是采用旋扩工法形成水泥土桩后, 在水泥土初凝前, 通过静压或锤击等方法将预制管桩植入已形成的水泥土桩中, 形成水

泥土复合管桩。达到既软化地层顺利植入管桩, 同时又提高单桩承载力的目的。

1 工程概况

福建贝瑞基因项目位于福州市长乐区, 一期工程为 5 万 m² 研发教育组团, 包括 1 号、2 号、3 号、4 号楼和连廊, 地下一层, 地上六层, 采用桩基础, 框架结构。

1.1 工程地质条件

相关地质剖面如图 1 所示。

相关地层参数如表 1 所示。

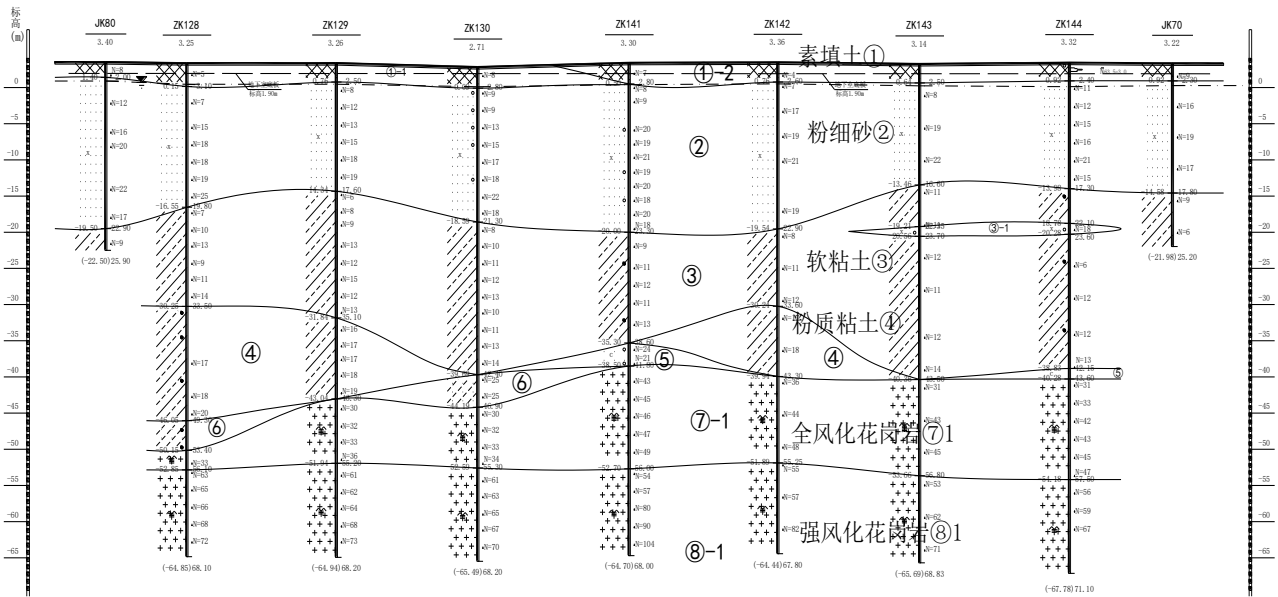


图 1 地质剖面图

Figure 1 Geological profile

表 1 地层参数

Table 1 Formation parameters

岩性及层号	重度 (kN/m^3)	承载力特征值 (kN/m^2)	压缩模量 E_{s12}/MPa	厚度 /m
素填土(填砂)① ₁	17.0	60	$E_{s12-2}=3.0$	1.4~3.2
素填土① ₂	18.0	60	$E_{s12}=3.0$	
粉细砂②	18.0	150	$E_{s12}=3.5$	14.0~21.9
软黏土③	17.6	70	$E_{s12-2}=5.52$	20.1~30.3
粉砂③ ₁	16.0	130	$E_{s12-2}=3.7$	
粉质黏土④	18.6	180	$E_{s12}=5.26$	2.8~15.8
中粗砂⑤	19.0	200	$E_{s12}=7.5$	1.1~5.7
残积砂质黏性土⑥	17.9	220	$E_{s12}=3.2, E_0=14.82$	3.6~11.4
全风化花岗岩⑦ ₁	19.0	300	$E_0=22.0$	2.7~16.8
全风化辉绿岩⑦ ₂	19.0	300	$E_0=22.0$	
砂土状强风化花岗岩⑧ ₁	20.0	450	$E_0=35.0$	
砂土状强风化辉绿岩⑧ ₂	20.0	450	$E_0=35.0$	最大揭露厚度 15.2

1.2 水文地质条件

场地内地下水类型主要为孔隙潜水、孔隙承压水及风化带孔隙裂隙承压水。相关水文参数如表 2 所示。

1.3 旋扩工法引孔植桩设计方案

本工程桩基采用水泥土复合管桩，单桩竖向抗压承载力特征值为 3200 kN。

水泥土复合管桩外桩采用水泥土桩，桩径 1000 mm，桩长 23.5 m，水泥土强度 $\geq 1.2 MPa$ ；芯

桩采用 PHC-600-AB-130 预应力混凝土管桩（桩径 600 mm，壁厚 130 mm），桩长 42 m，由三节组成，采用机械齿合接头，桩尖类型为闭口型十字桩尖。桩端持力层为⑦全风化岩层。桩顶相对标高为 -7.15 m、-7.75 m、-8.45 m，芯桩桩端进入全风化岩层⑦层不小于 1.0 m 且总桩长不小于 42 m。锤击沉桩以标高控制为主，贯入度控制为辅。

设计参数如表 3 与图 2 所示。

表 2 水文参数

Table 2 Hydrological parameters

含水层编号	含水层类型	静止水位埋深/m	赋存地层	水量情况
第一层	孔隙潜水	3.3	素填土 (填砂) ① ₁ 及粉细砂②层	强透水性, 水量丰富。
第二层	孔隙承压水	4.6	中粗砂⑤	透水层不连续, 水量一般。
第三层	风化带孔隙裂隙承压水	5.25~5.70	残积土及风化岩土	富水性、渗透性不均匀, 水量总体较贫乏。

表 3 设计参数

Table 3 Design parameters

项 目	外 桩	内 桩
桩类型	水泥土桩	预应力管桩
主要材料型号	PO 42.5 水泥 (掺量 20%)	PHC-600-AB-130
桩长/m	23.5	42.0
桩径/mm	1000	600
桩顶相对标高/m	-7.15	-7.15
单桩竖向抗压承载力特征值/kN	3200	3200
单桩竖向抗压承载力极限标准值/kN	6400	6400

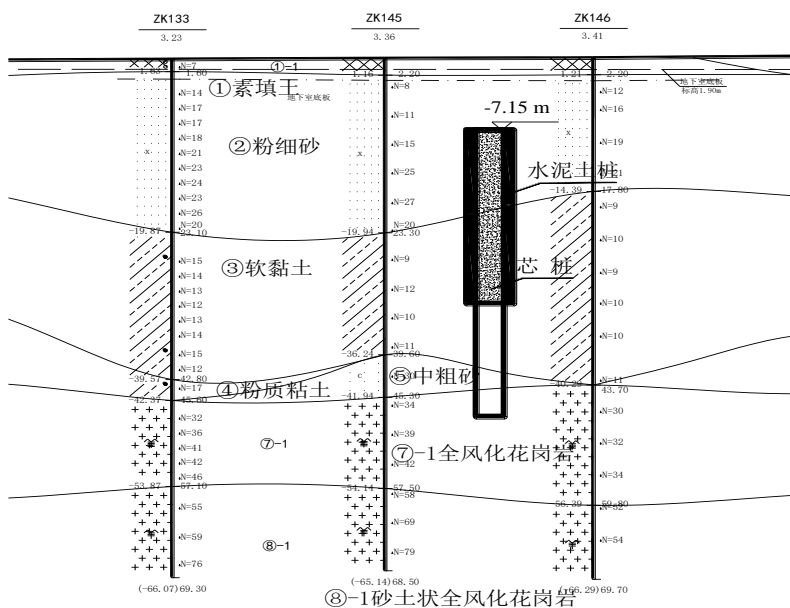


图 2 桩基地质剖面图

Figure 2 Geological profile of pile foundation

2 本工程施工难点分析

2.1 地质条件复杂

施工场区大面积回填, 回填土主要为粉细砂、碎块石, 最大粒径约 800 mm, 最大厚度 3.1 m, 成孔困难; 填土层下分布较厚的粉细砂层, 揭露厚度 14.0~21.90 m, 且底部呈中密饱和状态; 粉细砂层下分布着较厚的软黏土层, 最大厚度达 30.3 m, 易产生塑性变形, 造成钻孔缩径。

含水复杂地层对设备成桩能力要求较高, 既要

保证杂填、砂层及软粘土层的成孔钻进, 又要保证复杂地层中的水泥土外桩直径, 确保管桩后期顺利植入。

2.2 植桩难度大

施工阶段适逢炎热的盛夏, 最高气温达到 38℃, 管桩受阳光曝晒后表面温度超过 40℃, 植入过程中瞬间吸收周围水泥土中的水分, 易产生管桩被抱死无法下放的情况; 场地狭小, 多台钻机交叉作业, 植桩时间要求严格。

3 旋扩工法引孔植桩施工

3.1 工艺流程

施工准备→施放桩位（北斗定位）→旋扩钻机就位→启动钻机、高压泵进行成孔作业→喷射水泥浆或水→外桩成桩→静压桩机或锤击桩机植入芯桩成桩。

旋扩工法引孔植桩工艺流程如图3所示。



图3 旋扩工艺流程图

Figure 3 Process flow diagram of rotary expansion construction method

3.2 技术要求

(1) 水泥土外桩施工

a) 工艺参数

水泥土外桩施工工艺参数见表4。

表4 水泥土桩旋扩工艺施工参数表

Table 4 Parameters of cement soil pile rotation expansion construction method

项目	参数	项目	参数
水灰比	1.0	注浆压力	≥25 MPa
喷水压力	≤20 MPa	提升速度	22~25cm/min
水泥标号	PO42.5	转速	18~21 转/min
水泥掺量	≥20%	喷嘴直径	2.5 mm
水泥土抗压强度	≥1.2 MPa	定位允许偏差	≤10 mm

b) 钻机就位定点

在钻机机身位置安放北斗云工作站（图4），桩机操作机手利用手机中的APP软件，进行坐标的

指示和引导，进行桩点定位。施工时再次复核测量人员施放桩点精准度，定位精度应小于1cm。



图4 旋扩钻机就位定点

Figure 4 Positioning point of rotary expansion drilling rig

c) 垂直度控制

调整钻杆垂直度偏差 ≤0.5%，靠钻机自身配备的双线锤和钻机上自动化垂直系统进行双控。



图5 垂直度双控系统

Figure 5 Dual control system of verticality

d) 钻进成孔作业

钻机就位后，开动动力头转动钻杆，喷水压力 ≤20 MPa，在钻具与高压水的共同作用下，一边破坏土体一边下沉钻进（见图6）。



图6 钻进作业

Figure 6 Drilling operation

e) 制备浆液及注浆设备

水泥采用 PO42.5 普通硅酸盐水泥。采用自动化平台（图7）按照设计水灰比对水、水泥重量进

行计量,在搅浆桶里搅拌均匀后,经60目筛过滤,放入储浆桶中;储浆桶对水泥浆应进行不间断搅拌,防止水泥浆沉淀;注浆泵泵头用细目纱网罩罩住,防止吸入粗颗粒物而堵塞钻头喷嘴。



图7 自动化平台

Figure 7 Automated platform

f) 喷射水泥浆成桩

钻进达到设计深度后,启动高压注浆泵,边提升钻杆边喷射浆液。按设计提升速度提升钻具,控制高压注浆泵压力,喷至设计桩顶标高以上500 mm。

(2) 芯桩作业

a) 混凝土外桩施工完成后3 h内进行管桩施工,采用静压桩机或锤击桩机进行沉桩。

1) 放线定位:根据设计桩位,采用北斗云再次进行芯桩桩位测放;

2) 桩机就位:管桩根据确定的桩位进行准确对位;

3) 钻杆垂直度靠钻机自身配备的线锤和钻机上的水平尺进行双控,必要时用经纬仪双向90°进行校正,垂直度偏差不大于0.5%。

b) 植入作业

1) 吊装喂桩

静压预制桩桩节长度在15 m以内,可直接用压桩机上的工作吊机自行吊装喂桩,也可以配备专门吊机进行吊装喂桩。当桩被运到压桩机附近后,一般采用单点吊法起吊,采用双千斤(吊索)加小扁担(小横梁)的起吊法可使桩身竖直进入夹桩的钳口。

2) 桩身对中调直

当桩被吊入夹桩钳口后,由指挥员指挥司机将桩缓慢降到桩尖离地面10 cm左右为止,然后加紧桩身,微调压桩机使桩尖对准桩位,并将桩压入土中0.5~1.0 m,暂停下压,在从桩的两个正交侧面

校正桩身垂直度,当桩身垂直度偏差小于0.5%时才可正式压桩。

3) 压桩

压桩是通过主机的压桩油缸伸程的力将桩压入土中,压桩油缸的最大行程因不同型号的压桩机而有所不同,一般1.5~2.0 m,所以每一次下压,桩入土深度约为1.5~2.0 m,然后松夹具-上升-再夹紧-再压,如此反复进行,方可将一节桩压下去。当一节桩压到其桩顶离地面80~100 cm时,可进行接桩或放入送桩器将桩压至设计标高。

4) 送桩

本项目±0为5.600 m,有效桩顶标高在-7.15 m(相对标高),需要送桩深度为4.6~4.9 m,送桩采用专门送桩器,将桩送至桩顶标高。

5) 终桩

终桩压力值不小于设计要求6400 kN,稳压时间5 s,稳压次数3次。植桩流程图见图8。

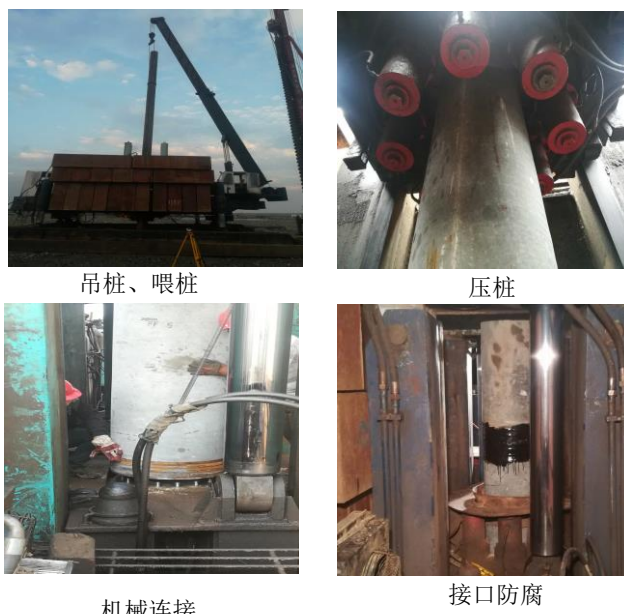


图8 植桩流程图

Figure 8 Flow diagram of pile planting

3.3 成桩效果

基坑开挖后,经现场实测,采用旋扩工法引孔植桩技术施工完成的水泥土复合管桩,外桩桩径在1.2~1.46 m之间,大于设计要求的1.0 m;外桩包裹芯桩(管桩)情况较好,厚度均匀,粗糙度大,强度较高。整体成桩效果良好(见图9)。

4 基桩检测情况及结果分析

4.1 试块强度检测情况及结果

按照设计要求,对旋扩工艺植桩施工的水泥土外桩进行取心取样留置试块,取样数量不少于1%,

本次工程桩共取 9 根，进行 28 d 抗压强度试验，试验结果均大于设计要求的 1.2 MPa。



图 9 成桩效果图

Figure 9 Pile formation effect

4.2 高应变和低应变检测情况及结果

按照规范和设计要求，分别对工程桩进行高应变和低应变试验，以判断桩身完整性。其中一区高应变检测 49 根，低应变检测 242 根，二区高应变检测 76 根，低应变检测 361 根，高应变与低应变之和占工程桩的 100%。检测结果 I 类桩 649 根、II 类桩 79 根，III 类桩 0 根，IV 类桩 0 根。符合规范和设计要求。

4.3 静载荷试验检测情况及结果

按照设计要求，工程桩抽取 2%（16 根）做单桩竖向抗压静载荷试验。受检桩单桩竖向抗压承载力特征值均满足 3200 kN 的设计要求，最大沉降量均满足沉降要求。

试验得到的荷载-沉降关系曲线如图 10 所示。

5 旋扩工法引孔植桩技术的优势及工程应用效果分析

5.1 技术优势

(1) 旋扩工法引孔植桩技术解决了本地区含水复杂地层普通管桩施工无法按设计要求植入的

问题；

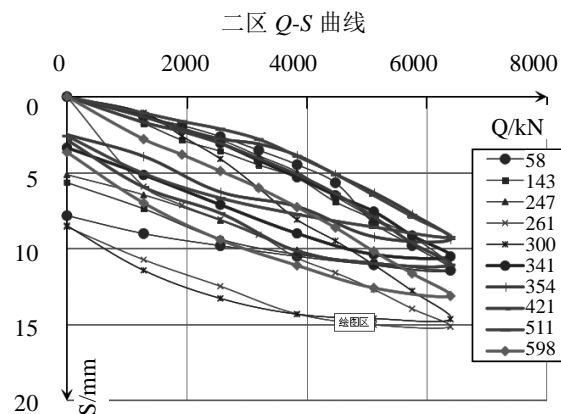
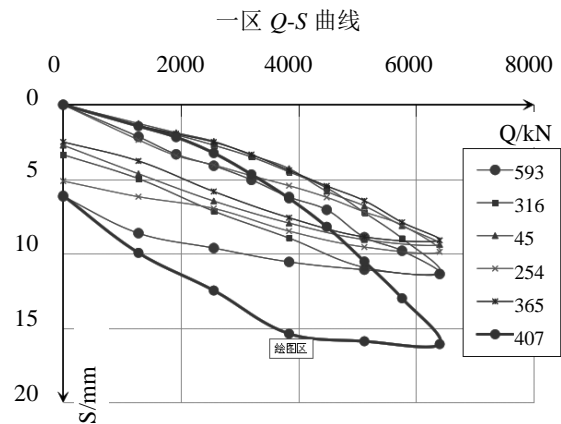


图 10 荷载-沉降关系曲线

Figure 10 Load-settlement curve

(2) 采用旋扩桩工艺对砂层进行引孔同时又对砂层进行加固，水泥浆与原状砂土混合后可形成高强度水泥石，加固桩周土，有利于提高单桩承载力；

(3) 水泥石外桩对管桩的包裹增加了基桩抗水平承载力，同时解决了管桩耐腐蚀问题；

5.2 工程应用效果分析

相关应用效果分析如表 5 所示。

表 5 应用效果分析

Table 5 Analysis of application effect

分析内容	总方案设计桩数 /根	单桩竖向抗压承载力特征值 /kN	工程造价 /元
原普通管桩方案（直径 600 mm，桩长 45 m）	1090	2000	22072500
旋扩工法水泥石复合管桩方案 （水泥石外桩直径 1000 mm，桩长 23.5 m； 芯桩直径 600 mm，桩长 42 m）	689	3200	18116302
优化结果对比	桩数减少 36.7%	单桩承载力提高约 1.6 倍	工程造价节约 18%

6 结 语

通过福建贝瑞基因工程水泥石复合管桩的成功应用, 证明旋扩工法引孔植桩技术适用于深厚砂层等复杂地层, 通过形成的水泥石复合管桩, 可有效的提高桩身承载力、保证成桩质量、降低工程造价, 在类似的工程中值得推广使用。

参考文献:

- [1] 陈伟, 刘宏运, 樊继良, 郇盼, 左祥闯, 王浩浩, 王飞, 戴斌. DJP 复合管桩在填海抛石地层中的工程应用[C]// 全国岩土工程师论坛文集, 北京: 2018.
- [2] 张亮, 朱允伟, 李楷兵, 郭大庆, 刘宏运. 潜孔冲击高压旋喷桩工法原理及特性研究[J]. 施工技术, 2017, 46(19): 59-62.
- [3] JGJ/T 330-2014 水泥石复合管桩基础技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.

简 讯

第十届全国土工合成材料大会暨 2020 年中国国际土工合成材料产品及设备展览会 (一号通知)

2020 年 5 月, 中国 成都

主办单位

中国土工合成材料工程协会

国际土工合成材料学会中国委员会

会议介绍

第十届全国土工合成材料大会将于 2020 年 5 月在成都召开, 欢迎从事土工合成材料产品生产与测试, 工程设计与施工, 科研及相关技术的专家学者、科技人员和企业家踊跃投稿并积极参与会议。本次大会将以“土工合成材料助力西部大开发”和“一带一路”建设为主题, 对我国近年来土工合成材料领域最新研究进展进行广泛的学术交流。

会议同期将举行:

- (1) 中国国际土工合成材料产品及设备展览会;
- (2) 土工合成材料与工程应用技术培训;
- (3) 第四届全国大学生加筋土结构设计大赛(路德杯);
- (4) 中国土工合成材料工程协会科技进步奖颁奖;
- (5) 首届“浩珂”杯土工合成材料摄影大赛颁奖;
- (6) 2020 年度 CTAG 实验室能力验证比对公布。

征文内容

会议主要研讨土工合成材料生产与制造、工程应用的理论与实践、新技术和新方法等。组委会接受全文投稿。

投稿要求

本届学术会将广泛征集未公开发表的有关土工合成材料的理论、计算、测试、产品研发及重大工程实录等内容的中文和英文论文。经学术委员会审核后接受的会议论文将在会前统一印刷, 用于会议交流。同时, 经学术委员会评审后, 将评选优秀

论文, 根据论文的研究内容与学术水平, 分别推荐在《Transportation Geotechnics》、《西南交通大学学报》、《岩土力学》、《水利学报》、《铁道学报》、《铁道建筑》、《路基工程》、《Journal of Modern Transportation》等 SCI、EI 检索期刊或中文核心期刊上发表。

会议也欢迎长摘要投稿, 参加会议交流。热忱欢迎我国从事土工合成材料生产、工程设计、检测监测、科研教学、设备和施工领域的科技工作者踊跃投稿。

论文投稿邮箱: ctag2020@126.com。

- 2020 年 3 月 30 日: 提交论文和摘要截止;
2020 年 4 月 15 日: 通知论文和摘要是否录用;
2020 年 4 月 30 日: 提交修改后论文和摘要;
2020 年 5 月 15 日: 会议论文和摘要集印刷;
2020 年 5 月: 会议召开。

会议联系方式

大会秘书处联系人:

黄俊杰: 15108455204, 刘凯文: 18502821269

王 迅: 13808228499, 陈 德: 17721968243

王武斌: 15908147006, 袁胜洋: 13518199348

大会秘书处邮箱: ctag2020@163.com

协会秘书处联系人:

刘伟超: 15081110150, 王 贺: 15231185928

王志杰: 18332183213, 程凤娟: 17798159532

传 真: 0311-87939520

邮 箱: chinatag@126.com

地 址: 石家庄市北二环东路 17 号

石家庄铁道大学春晖楼 1307 室