

# RSP组合桩生态护岸 在河道整治工程中的应用

樊佳男<sup>1</sup>,包璐华<sup>2</sup>,孙峰<sup>3</sup>,王强<sup>3</sup>,马天鸣<sup>3</sup>,秦乃卿<sup>4</sup>

(1. 常州市武进水利工程有限公司,江苏常州 213000; 2. 常州市城市防洪工程管理处,江苏常州 213000;  
3. 常州市水利规划设计院有限公司,江苏常州 213000; 4. 常州市天宁区郑陆水利站,江苏常州 213111)

**摘要:** RSP组合桩生态护岸属于生态护岸技术,以新孟河延伸拓浚工程武进区太滆运河工程为例,论述了RSP组合桩生态护岸特点、护岸材料及断面设计、施工工艺、质量控制及工程效益等内容,工程实践效果表明,采用RSP组合桩生态护岸技术,不仅降低了消耗、节约了资源,而且经济效益和社会效益明显。

**关键词:** 生态护岸; RSP组合桩; 生态护岸技术; 河道整治

中图分类号: TV851 文献标识码: A 文章编号: 1007-7839(2023)06-0005-0006

## Application of RSP composite pile ecological bank revetment in river regulation engineering

FAN Jianan<sup>1</sup>, BAO Luhua<sup>2</sup>, SUN Feng<sup>3</sup>, WANG Qiang<sup>3</sup>, MA Tianming<sup>3</sup>, QIN Naiqing<sup>4</sup>

(1. Changzhou Wujin Water Conservancy Engineering Co., Ltd., Changzhou 213000, China;

2. Changzhou Urban Flood Control Engineering Administration Office, Changzhou 213000, China;

3. Changzhou Water Conservancy Planning and Design Institute Co., Ltd., Changzhou 213000, China;

4. Changzhou Tianning District Zhenglu Water Conservancy Station, Changzhou 213111, China)

**Abstract:** RSP combination pile ecological revetment belongs to the ecological revetment technology. Taking Xinmeng River extension dredging engineering Wujin District Taige Canal project as an example, characteristics of the RSP combination pile ecological revetment, revetment material and section design, construction technology and quality control and engineering benefits are discussed. Engineering practice effect shows that the RSP combination pile ecological revetment technology not only reduces the consumption and saves resources, but also has obvious economic and social benefits.

**Key words:** ecological revetment; RSP composite pile; ecological revetment technology; river regulation

“十四五”规划纲要明确指出“我国已转向高质量发展阶段”,水利作为现代化基础设施体系的重要组成部分,应率先实现高质量发展。传统河道治理时多将岸线直线化、断面化,岸坡多采用浆砌或干砌石护坡、现浇混凝土护坡等硬质材料护岸,硬

质护岸优点是抗冲击、防冲刷能力强,缺点是阻断了河道附近水域和陆域天然联系,破坏了河道原有生态系统,因此生态护岸技术成为堤岸整治工程优选治理技术之一<sup>[1-2]</sup>。

常用的生态护岸型式包括干砌石、石笼、三维

收稿日期: 2022-12-14

作者简介: 樊佳男(1993—),男,工程师,本科,主要从事水利工程施工建设管理工作。E-mail: 853701815@qq.com

网植生带、生态混凝土、生态砌块等<sup>[3]</sup>。当河道紧临城镇地段或交通要道时,受拆迁等地理空间限制,无法采用普通斜坡式生态护岸,为了解决护岸耐久性、河道生态环境和施工局限性等问题,同时保证不影响正常的社会交通秩序,RSP组合桩生态护岸应运而生。本文结合工程实际,分析RSP组合桩生态护岸在河道整治工程中的应用。

## 1 工程概况

新孟河延伸拓浚工程武进区太滆运河施工二标工程是新孟河延伸拓浚工程中的一部分,是《太湖流域水环境综合治理总体方案》中的“提高水环境容量(纳污能力)引排工程”实施项目之一,同时也是《太湖流域防洪规划》中确定的流域北排长江的骨干防洪工程之一,是《太湖流域水资源综合规划》中确定实施的流域骨干引水河道之一<sup>[4]</sup>。

本工程等别为Ⅱ等,防洪标准为50年一遇,新建护岸总长7.1 km,其中钢筋混凝土直立挡墙护岸5.33 km,剩余1.77 km的护岸位于河道北侧,紧靠当地交通要道坊东街,考虑到当地交通、施工进度、社会经济性等要求,采用RSP组合桩生态护岸施工。

## 2 RSP组合桩生态护岸的特点

### 2.1 RSP组合桩生态护岸的概念

RSP组合桩生态护岸是一种组合式透水型生态护岸<sup>[5]</sup>，“RSP”指主受力桩混凝土为“H”型离心工艺成型,混凝土强度等级不低于60 MPa的预制桩,组合桩采用预应力桩与预制连接板结合的形式,在连接板内设置动植物生长空间生态仓,外形美观,生态环保;桩板之间具有锁定装置,设置于护岸插板与受力桩相对的部位之间,护岸插板上安装有能够挡土透水的透水部<sup>[5]</sup>,组合桩板以帽梁整体连接,桩板后铺设土工布,回填砂石料;组合桩可以根据现场情况采用陆上施打或水上施打的方式。RSP组合桩结构模型见图1。

### 2.2 RSP组合桩生态护岸的特点

与传统护岸相比,RSP组合桩生态护岸解决了以下问题:①硬质护岸前后水生态无法自然交换;②石笼、木桩护岸耐久性较差,相关资源消耗大;③用地紧张、常规护岸开挖施工面不足;④现状施工条件差、工期短、战线长。

由于采用护岸插板取代大部分受力桩,有效降低了材料、机械成本,施工简便,可操作性强,并且完成后的护岸整齐性、美观性较好,透水效果明显<sup>[5]</sup>;

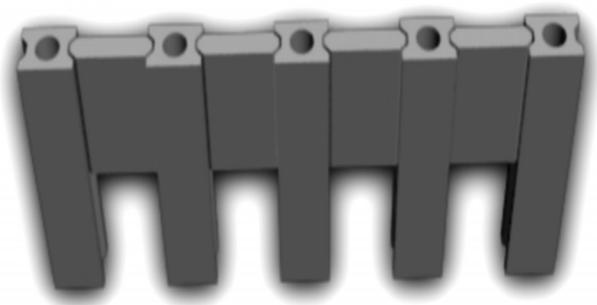


图1 RSP组合桩结构模型

适用于生态要求高、施工红线范围小、无开挖施工作业面、对工期要求紧的城市景观河、航道驳岸等工程。

## 3 RSP组合桩生态护岸材料及断面设计

### 3.1 材料选择

#### 3.1.1 主受力桩

主受力桩型号为RSP40,采用离心预制,蒸汽养护,混凝土强度为60 MPa,桩长8 m,边长400 mm×570 mm,换算截面抗弯刚度为90.1 MN·m<sup>2</sup>,换算截面最大弹性抵抗矩 $W_0$ 为14.6×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>。桩体两端设置桩套箍和18 mm厚钢端板(均采用Q235B钢板),桩套箍与端板接缝处采用焊接,桩中空处设置5 mm厚圆钢托板、直径16 mm的锚筋与直径8 mm箍筋,以加强后期浇筑的帽梁与桩体的结合度。

#### 3.1.2 连接板

连接板型号为B20-106,混凝土强度为30 MPa,板长2.65 m,宽1.06 m,厚0.2 m,抗裂弯矩 $M_{CR}$ 为18.5 kN·m,抗剪承载力为218 kN,桩顶设置直径14 mm的预埋套筒,与后期帽梁内部的锚固钢筋相连接;每块板内布置2个生态仓。

### 3.2 断面设计

本工程包括河道疏浚及支河拉坡、堤防填筑、护岸工程、防汛道路、支河涵洞与桥梁等。其中新建直立墙5.33 km,插板桩1.56 km,新建堤顶防汛沥青路5.14 km,新建支河涵洞4座,支河桥梁1座,河道河底高程-2.00 m,底宽25 m,河道边坡1:2.5,插板桩段具体断面形式见图2。

C2型插板桩护岸:紧邻现状道路段采用此断面,高程2.4 m,设4.2 m宽的平台,平台以上为插板桩组合式护岸(即RSP组合桩生态护岸),护岸顶高程5.0 m,预应力桩长8 m、宽57 cm、厚40 cm,桩间距1.5 m,桩间插预制钢筋混凝土板挡土,插板厚度为20 cm,每块插板设生态仓2个。桩顶用现浇钢筋

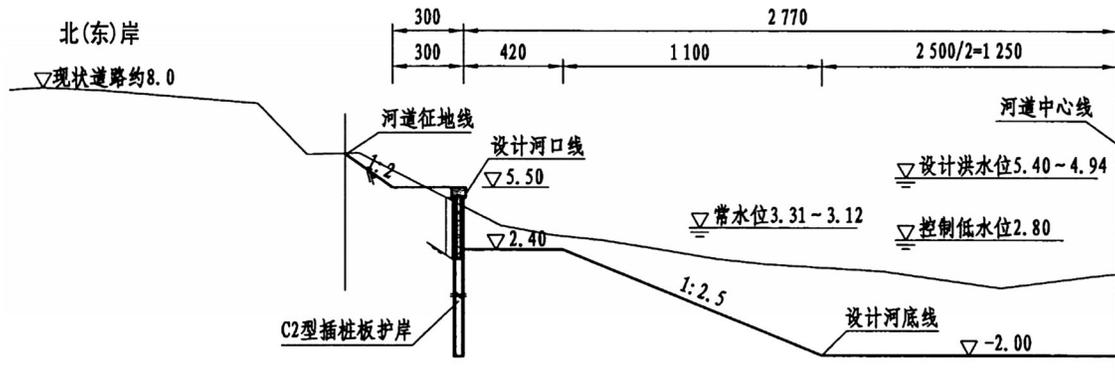


图2 插板桩段河道断面(高程单位:m,尺寸单位:cm)

混凝土帽梁连接。平台宽5 m,其上以边坡1:2接至现状地面。

## 4 施工工艺及质量控制

### 4.1 受力桩施工

**准备工作:**收集工程地质资料,探测地下管线,排查沿线高压线路,结合现场周边状况,确定试桩部位和打桩始末位置。

**测量定位:**利用GPS定位系统准确定位出每根桩位,为防止GPS在施工过程中信号受干扰,沉桩前先测放出施工岸线的外边线,用细绳拉好,再在水中打入钢管桩,在水面上拉设定位线,做到三重控制。

**清淤清杂:**施工轴线的位置位于岸边陆地上,施工前需清表,清理河底淤泥,保证施工岸线满足施工船的停靠要求(吃水深度1.3 m),航道的水深要保证预制桩运输船的行走要求(深度不低于1.8 m)。

**试桩:**锤击桩工程施工船进场,组装好工程施工机械设备后进行试桩,试打不少于5根主受力桩、插不少于4块连接板。试桩标准要求:桩板外观质量良好、轴线偏差小于5 cm、主受力桩间距小于8 cm、连接板桩和主受力桩的缝隙偏差小于4 cm、标高偏差 $\pm 5$  cm、垂直度偏差小于0.5%。若无法满足标准,需分析原因,重新调试设备,调整施打参数,直至满足要求后方可进行正式施工。

**正式施打:**①先将锤击桩工程船停靠在距施工岸线往外约1 m处,船边大致和施工岸线平行,释放4根定位桩,定位桩的下端刺入水底以固定船身,防止在吊桩和击桩的过程中船身产生位移而对沉桩质量产生影响;②打桩时运输船先行紧靠锤击桩工程船,利用工程船吊车将桩吊起,将桩的上端对入

桩帽中,下端对入定位夹具,通过定位夹具确保桩与桩间等距、一线,水平尺调正主受力桩在两个方向的垂直度后适当后倾,预留前倾变形,具体前倾角度根据试打结果确定;③锤头开始击打桩,直至把桩打入预定深度土层中。在打桩过程中要认真记录桩入土深度和贯入度的关系,以判断桩的质量及承载力。当桩的贯入度很小时,要停机对照资料进行分析,判断是否遇到障碍物或产生断桩现象等<sup>[6]</sup>;④在击桩的过程中要时刻观测桩中心的位置,如果桩中心位置与轴线位置相对偏移过大应及时调整;⑤打桩应连续进行,直至施工至设计桩顶标高时停锤,当距桩顶标高1.0 m时,必须调低柴油锤的油门,匀速缓慢地施打,以控制桩端设计标高为主,贯入度为辅;⑥如果遇到土质较硬或者周边有建筑物的,可以采用先引孔再振动的施工工艺,施工震动较小,对周边环境影响较小;⑦转弯处需要结合现场情况进行CAD细化放样,若设计转弯半径过小,再考虑到施工时的误差,应当及时与其他参建单位沟通修正设计线型。组合桩施工平面图见图3。

**截桩:**沉桩过程中如遇无法施工至设计标高时应及时上报并提供当前桩在施工过程中的参数(入土深度、贯入度、桩顶标高等),如需截桩,为确保截桩后RSP组合桩的质量,截桩应采用锯桩器,截桩前预先将桩芯孔做好防护,防止截桩后的渣块堵塞。

### 4.2 连接板施工

RSP组合桩连接板施工时,采用水上船驳从厂家运至施工现场,再采用水上起吊设备配合人工进行吊装,吊装时严格控制连接板的安装精度,连接板的板顶设计标高与主受力桩的标高一致。水上起吊设备使用双吊索,确保起重吊装时施工作业人

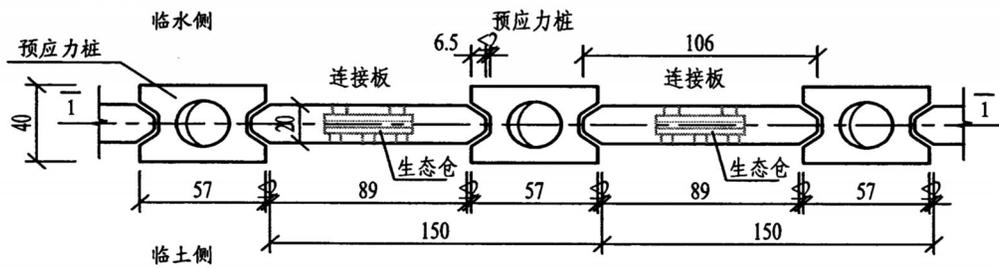


图3 组合桩施工平面图(单位:cm)

员和设备的安全。在最后一根桩与桥台连接处无法与插入连接板,采用与帽梁同强度的素混凝土进行填实。

#### 4.3 回填施工

每一施工段完成桩板施工后及时回填,避免原岸坡发生坍塌。回填施工前在桩板后满铺土工布,相邻土工布搭接不小于30 cm,桩板后30 cm宽度内回填砂石反滤料,以保证护岸前后的水土交换,同时避免临土侧的土方流失。回填土料不得采用前期开挖的淤泥土或含杂质土,根据压实要求开展碾压试验,分析试验结果,确定虚铺厚度、碾压遍数和最优含水量,土料碾压时的含水量控制在最优含水量的 $\pm 3\%$ 。

#### 4.4 帽梁施工

主受力桩与连接板以帽梁连接,帽梁混凝土强度为30 MPa,帽梁每9 m(6根桩)设置1道伸缩缝,缝宽2 cm,伸缩缝填充聚乙烯低发泡板;帽梁施工前必须重新测量放样进行微调,不得直接根据已打的桩板线型进行浇筑。

桩与帽梁连接前,需要先将桩壁内浮浆,渣土

清除干净,在设置托板及放入钢筋骨架后,浇筑填芯混凝土,填芯混凝土强度与帽梁强度一致,桩内锚固钢筋的锚固长度不小于钢筋直径的35倍,板上预埋套筒与锚固钢筋连接时的最小拧紧扭矩值为100 Nm。帽梁连接桩板细节见图4。

#### 4.5 生态仓施工

在连接板内的水上生态仓中设置泄水通道和反滤包,有效防止土体流失;在水下生态仓中设置生态通道,水生动物(黄鳝、泥鳅、龙虾、螃蟹等)可以通过水下生态仓的孔洞,进入后面的土体,达到水体和土体相互交换、相互融通的效果。生态仓见图5。

在桩板结构施工完成后,避开汛期及温度过短的时间段,由专人通过驾驶小船,往连接板内的水上生态仓内种植管培育的植物,根系延伸到后面的土体里,可以达到自然生长的状态,形成绿色护岸长廊。

植物品种选择要求:一般选用四季常青的植物,根系较为粗壮,且有一定的抗涝和抗旱性,具体以设计要求为准。

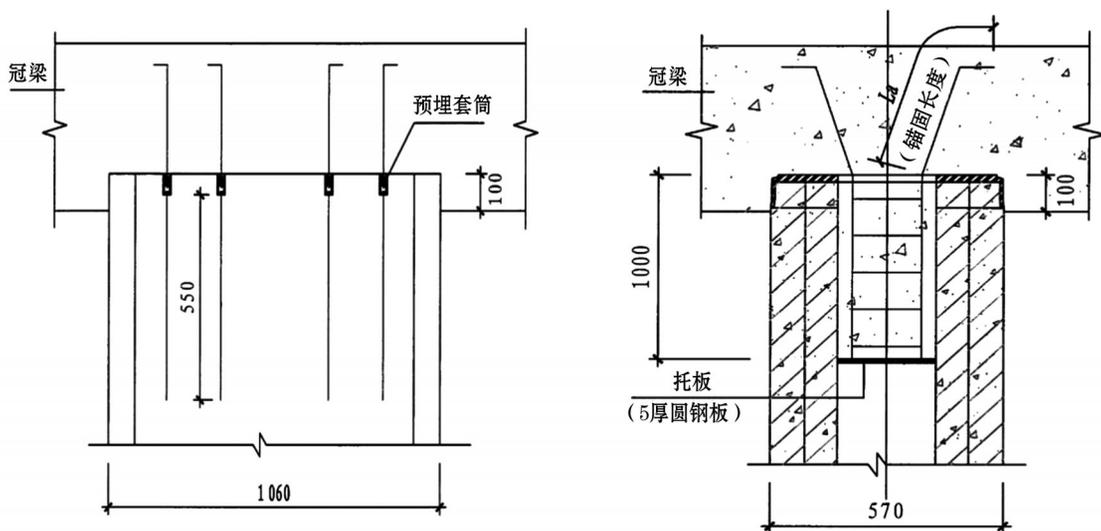


图4 帽梁连接桩板细节图(单位:mm)

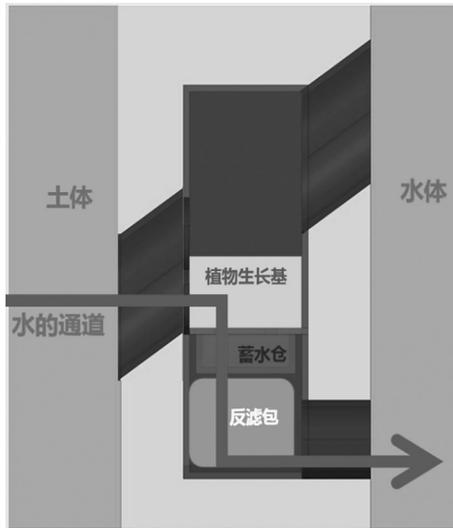


图5 生态仓

培育要求:在专用的种植管培育,且植物的根系需从种植管底部伸出后方可种植,这样可以快速让植物的根系延伸到挡墙后侧的土体里,达到自然生长的状态。植物培育见图6。



图6 植物培育

#### 4.6 质量控制

施工前对现场预制桩板的物理性能(混凝土强度、结构尺寸、桩端面倾斜尺寸、保护层厚度、桩身弯曲度)进行检查,检查结果必须符合表1要求。

工程船需提前铺设好适合锤击桩行走的轨道,满足桩机能够行走和施工的要求,桩机在工程船上安装时,控制好两个纵向行走铁管的安装间距,使桩机能正确对位;打桩过程中结合定位夹具,合理控制桩与桩水平向的间距及垂直度,满足施工精度要求,每根桩减小中间停息时间;击桩时,应按桩机技术教育性能表作业,操作时动作不应过猛,避免冲击,必须保证桩板外观质量(表面露筋、桩身有孔洞、裂缝、桩端缺陷、外表缺陷、平整度等)符合表2要求。

击桩过程中,如遇地下障碍物使桩产生倾斜时,不得采用移动打桩机的方法强行纠正,应先将桩拔起待地下障碍物消除后重新打桩;施工完成后及时按要求进行工序质量检验:轴线偏差小于5 cm、主受力桩间距小于8 cm、连接板桩和主受力桩的缝隙偏差小于4 cm、标高偏差±5 cm、垂直度偏差小于0.5%。

### 5 结语

工程实践效果表明,采用RSP组合桩生态护岸,节省了大量的人工,提高了施工效率,改善了施工质量,确保了施工安全,降低了工程造价;通过采用水上施工的作业方法,有效解决了城镇用地紧张和施工过程中的安全度汛行洪的问题;通过设置水上水下生态仓,优化了河道原始护岸的生态环境,解决了传统硬质护岸无法保持前后水生态互相交换的问题;同时,RSP组合桩生态护岸也实现了较好的景观功能,降低了消耗、节约了资源,经济效益和社会效益明显。经过2年的汛期检验,护岸效果良好,生态仓内植物生长茂盛,与周边的环境融为一体。

表1 组合生态桩的尺寸允许偏差和检验方法

序号	项目	允许偏差	检验方法
1	长度/mm	±0.5%	用钢卷尺测量
2	桩端面倾斜高度/mm	≤0.5%	将直角靠尺一边靠紧桩身侧面,测其最大间隙处
3	宽度/mm	±5	用钢卷尺测量
4	高度/mm	±5	下部用水平尺靠紧,用钢卷尺测量水平尺贴紧面至桩截面上部距离
5	保护层厚度/mm	+5	用深度游标卡尺或钢筋保护层测定仪测量3处不同部位,取平均值
6	桩身弯曲度/mm	≤L/1 000	将拉线紧靠桩身侧面的两端部,用钢直尺测量其弯曲处的最大距离
7	混凝土强度/MPa	≥设计强度	用回弹仪逐根进行检测

表2 组合生态桩的外观质量要求与检验方法

序号	项目	质量要求	检查方法
1	露筋	主筋	不应有
		箍筋	外露总长度不超过500 mm
2	孔洞	任何部位	不应有
3	裂缝	影响结构性能和使用的少量裂缝	不应有
		不影响结构性能的少量裂缝	不宜有,龟裂和水裂纹不在此列
4	桩端缺陷	端头混凝土松动	不应有
5	外形缺陷	缺棱掉角局部磕损	局部磕损深度不应大于5 mm,每处面积不得大于5 000 mm <sup>2</sup>
6	平整度	桩端面	预应力钢筋不得露出桩端面

体,值得在全省乃至全国范围内推广应用,也值得类似工程借鉴,对于推动水利工程的可持续高质量发展具有十分重要的意义。

#### 参考文献:

- [1] 段青梅,陈小丹.生态护岸技术在北海仔河堤岸整治工程中的应用[J].广东水利水电,2021(6):21-25,35.
- [2] 张东艳,宗永臣.高原城镇河道演变与生态护岸措施[J].水资源保护,2021,37(6):157-161.
- [3] 王一航,张金凤,张娜,等.生态护岸在水利工程中的研究及应用进展[J].水道港口,2020,41(2):210-217,230.
- [4] 桂青.新孟河延伸拓浚工程对长江水环境影响研究[J].人民长江,2016,47(19):20-25.
- [5] 吴健.组合式透水型生态护岸[P].江苏省:CN209891154U,2020-01-03.
- [6] 王彦武.宋汤河护坡塌陷处理项目工程设计方案[J].长江技术经济,2022,6(增刊1):107-109.

(上接第4页)

石灰混掺固化土的28 d龄期抗拉强度是其无侧限抗压强度的9%~16%。

(5)基于灰色关联理论,影响固化海相软土抗拉强度的因素依次为初始含水率、养护龄期、固化剂掺量。固化剂掺量中水泥掺量的影响最大,粉煤灰掺量次之,石灰掺量最小。实际工程中,降低土体初始含水率,保证充足的养护时间以及选择合适的固化剂掺量,能提高固化土的抗拉强度

#### 参考文献:

- [1] 聂年圣,牛瑞森.海相软土成因及其工程特性的研究[J].工程建设与设计,2010(12):72-74.
- [2] 邓永锋,吴燕开,刘松玉,等.连云港浅层海相软土沉积环境及物理力学性质研究[J].工程地质学报,2005(1):29-33.
- [3] 李军霞,王常明,张先伟,等.两种滨海相软土固结特性的试验研究[J].水文地质工程地质,2009,36(5):35-39,52.
- [4] 王东星,徐卫亚.固化淤泥长期强度和变形特性试验研究[J].中南大学学报(自然科学版),2013,44(1):332-339.
- [5] 徐超,董天林,叶观宝.水泥土搅拌桩法在连云港海相软土地基中的应用[J].岩土力学,2006(3):495-498.