

# 北海电厂淤泥土地基振冲加固处理

秦晓东, 王文鹏

(北京振冲工程股份有限公司, 北京 100102)

**摘要:**振冲法是一种应用比较广泛的地基处理方法,具有施工工艺简单、成桩速度快、工程造价低等优点,在处理砂土、粉土、粘土以及人工填土、淤泥等软土地基中都得到了广泛的应用。结合北海电厂一期工程地基振冲加固处理工程实例,对振冲碎石桩在淤泥土地基中的应用及处理效果等进行了分析,以供今后类似工程应用借鉴。

**关键词:**振冲法;碎石桩;淤泥;地基加固;北海电厂

**中图分类号:**TU473 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2011)01-0059-04

**Vibroflotation Reinforcement for Sludge Soil Foundation of Beihai Power Plant/QIN Xiao-dong, WANG Wen-peng**  
(Beijing Vibroflotation Engineering Co., Ltd., Beijing 100102, China)

**Abstract:** With the advantages of simple construction, fast pile completion and low engineering cost, vibroflotation method is widely applied in the ground treatment, such as sand soil, silt soil, clay, artificial filled soil and sludge ground. Based on the ground vibroflotation reinforcement project of Beihai power plant, the paper analyzed the application of vibro-replacement pile in sludge soil and the treatment effect.

**Key words:** vibroflotation method; gravel pile; sludge; ground reinforcement; Beihai power plant

北海电厂位于广西北部湾海岸边,为新建火力发电厂,计划装机容量为 $4 \times 300$  MW,一期工程为 $2 \times 300$  MW。北海电厂位于广西北海铁山港浅海滩地带,人工填土层吹填形成的砂土性状和粒径成分不均,结构较松散,强度低,属高压缩性土。第四系全新统海陆交互相沉积层属海陆交互相沉积,层位不稳定,一般连续性差,以砂土为主,夹淤泥层,强度低,且极不均匀,力学性质不均匀,砂土层强度变化大。根据厂址工程地质条件和加固要求,对各种地基处理技术进行比较后,确定采用振冲法加固地基。

## 1 地质概况

原场地地形为滨海沙滩,后吹砂填海,原地形大部分为浅海滩人工围成的虾塘,场地上覆盖层主要为人工填土、第四系全新统沉积的中粗砂和淤泥,更新统的粘土和中粗砂、上第三系沉积的粉细砂以及覆盖在基岩面上的不整合全风化层。下伏基岩为石炭系下统大唐阶下段( $C_{1d}^1$ )石灰岩、砂页岩和泥岩组成。

### (1) 第四系人工填土层( $Q^*$ )

吹砂填土层(①):成分为粉细砂、粗砂,混杂有砾石及淤泥,灰白色~深灰色,结构松散,均一性差,上部稍经过碾压,为海滩经吹砂填土形成的大面积

填土层,厚度 $3.70 \sim 5.0$  m,平均 $4.25$  m,厚度不均一,地表覆盖有厚约为 $0.3$  m的粉质粘土层。

### (2) 第四系全新统海陆交互沉积层( $Q_4^{mc}$ )

中粗砂层(③):深灰色、灰黑色,成分为石英砂,混粉细砂、淤泥和少量圆砾石,见贝壳碎片,饱和,松散~稍密状,厚度 $0.70 \sim 2.90$  m,平均 $1.98$  m,重型动力触探试验 $N_{63.5} = 3.1 \sim 12.3$  击;

淤泥质土层(④):深灰色、灰黑色,含有有机质及螺壳碎片,上部混有粉砂,局部为淤泥,饱和,软塑~流塑状态,厚度 $4.20 \sim 8.30$  m,平均 $6.68$  m。

### (3) 第四系更新统海相沉积层( $Q_1^m$ )

粉细砂层(⑧<sub>1</sub>):浅灰色,成分为石英砂,混有少量粗砂、圆砾石,砾石粒径 $d = 15 \sim 20$  mm,饱和,松散~稍密状,部分地段厚度 $3.40 \sim 4.50$  m,部分地段钻孔未揭穿;

粉砂层(⑧<sub>1-1</sub>):灰色~灰黄色,成分为石英砂,混有少量细砂和粘性土,饱和、松散。

地基土主要物理力学性质见表1。

## 2 振冲加固原理

振动水冲法简称振冲法,是利用振冲器强烈振动和压力水冲灌入到土层深处,使松砂地基加密,或在软弱土层中填入碎石等无凝聚性粗颗粒料形成强

收稿日期:2010-08-09;修回日期:2010-12-09

作者简介:秦晓东(1978-),男(汉族),黑龙江宾县人,北京振冲工程股份有限公司三分公司副经理、工程师,建筑工程专业,从事振冲法在各类地基土加固处理中的应用以及灌注桩等其它各类桩基在地基与基础工程中的应用工作,北京市朝阳区望京西园221号博泰大厦12层, qinxiaodong6688@163.com。

表1 地基土主要物理力学性质指标实测值

土层名称及代号	天然密度 $\rho$ /( $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ )	压缩模量 $E_{s1-2}$ /MPa	压缩系数 $a_{v1-2}$ /MPa $^{-1}$	抗剪强度		标贯击数 /击	承载力特征值 $f_k$ /kPa
				粘聚力 $c$ /kPa	内摩擦角 $\varphi$ /( $^{\circ}$ )		
①吹砂填土层	1.83	5.69	0.372	0	24	3~11.9	60
③中粗砂层	1.96	6.75	0.199	0	32		183
④淤泥质土层	1.75	3.88	0.542	10	5	0.3~4.4	45
⑧ <sub>1</sub> 粉细砂层	1.95	5.74	0.263	0	30	3.2~24.3	160
⑧ <sub>1-1</sub> 粉砂层	1.90	5.13	0.577	2.5	22	0.7~2.2	65

度大于周围土的桩柱,并和原地地基土组成复合地基,提高地基强度。按不同地基土分类,此法又可分为振冲置换和振冲挤密。

振冲置换是利用振冲器在高压水流下边振边冲,在软弱粘性土地基中成孔,在制桩过程中,填料在振冲器水平向振动力作用下,挤向孔壁的软土中,从而使桩体直径扩大。当这一挤入力与土的约束力平衡时,桩径不再扩大,从而使土体达到均匀密实,桩土复合受载,提高承载力。

振冲挤密是在振冲器重复水平振动和侧向挤压作用下,地基产生周期性剪力,土体内的孔隙水压力迅速增大,砂土的结构逐渐破坏,使砂层发生液化,砂砾向低势能位置转移,砂颗粒重新排列,孔隙减小,这样,土体由松变密。另外,依靠振冲器的水平振动力,在加填料的情况下,还通过填料使砂层挤压密实,从而提高承载力,消除液化。

### 3 振冲加固设计

振冲法是一种简便快捷、工效高、成本低的地基处理方法。循环水排水方沟地基振冲加固处理,开始依照设计单位的要求,采用梅花形布桩,桩距为1.8 m,桩径600 mm,经过与大量的工程实例及早期试桩资料对比表明,该方案实施后不能达到预期效果,还会严重影响工期。经设计单位、监理单位及建设单位共同会审协商,决定采取75 kW(大功率)振冲器进行振冲加固,振冲桩桩距为2.0 m,2.5 m 矩形布桩,桩径1100 mm,桩长15 m,振冲加密电流75 A,加固处理后重II型动力触探检测击数 $\leq 10$ 击,复合地基承载力 $\leq 120$  kPa。

复合地基承载力标准值 $f_{spk}$ 由下面公式求得:

$$f_{spk} = a_c f_{pk} + (1 - m) f_{sk} \quad (1)$$

$$m = d^2 / d_e^2 \quad (2)$$

式中: $f_{spk}$ ——复合地基承载力标准值; $f_{pk}$ ——单桩承载力标准值; $f_{sk}$ ——桩间土承载力标准值; $m$ ——桩土面积比(置换率); $d$ ——桩的直径; $d_e$ ——单桩等效影响圆的直径,矩形布桩 $d_e = 1.13 \sqrt{s_1 s_2}$ ;  $s_1$ 、 $s_2$ ——桩间纵、横向间距。

计算中处理后桩间土承载力按天然土承载力取值,考虑到淤泥质土层④天然承载力较低,故单桩承载力按④层桩土应力比取值计算。各层土处理后复合地基承载力标准值计算见表2。

表2 复合地基承载力标准值计算表

地层	置换率	桩土应力比	天然土承载力/kPa	单桩承载力/kPa	复合地基承载力标准值/kPa
①吹砂填土层	0.19	4	60.0	180	82.8
③中粗砂层	0.19	4	183.0	549	252.5
④淤泥质土层	0.19	4	45.0	135	62.1
⑧ <sub>1</sub> 粉细砂层	0.19	4	160.0	480	220.8
⑧ <sub>1-1</sub> 粉砂层	0.19	4	65.0	195	89.7

因循环水排水方沟基础埋深约4.5 m,因此复合地基承载力设计取值需要修正,复合地基承载力设计值可按如下公式计算:

$$f_s = f_{spk} + \eta_d \gamma (D - m) \quad (3)$$

式中: $f_s$ ——复合地基承载力设计值; $f_{spk}$ ——复合地基承载力标准值; $\eta_d$ ——基础埋深的地基承载力修正系数,粘性土时取1,粉土、细砂、粉砂时取1.5; $m$ ——桩土面积比(置换率); $\gamma$ ——基础底面以上土的加权平均重度; $D$ ——基础埋置深度,m。

各层土处理后复合地基承载力设计值计算见表3。

表3 复合地基承载力设计值计算表

地层	天然土有效重度 $\gamma$ /( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ )	基础埋深/m	深度修正系数	复合地基承载力标准值/kPa	复合地基承载力设计值/kPa
①吹砂填土层	8.3	4.5	1.5	94.2	144.0
③中粗砂层	8.3	4.5	1.5	287.3	337.1
④淤泥质土层	8.7	6.2	1.0	70.7	120.5
⑧ <sub>1</sub> 粉细砂层	8.1	12.9	1.5	251.2	403.1
⑧ <sub>1-1</sub> 粉砂层	8.1	12.9	1.5	102.1	253.9

综合以上计算,最后确定复合地基承载力设计值 $f_s$ 为120 kPa,因此设计要求振冲加固处理后复合地基承载力 $\leq 120$  kPa,重II型动力触探检测击数 $\leq 10$ 击。

### 4 振冲加固施工

振冲加固实际施工时间25天,完成振冲桩

1126 根,总进尺 16890 m,总填料量 26348 m<sup>3</sup>。施工机械主要为 75 kW 振冲器、50 t 吊车、1.0 m<sup>3</sup>装载机、电器自控箱、高压水泵等。施工方法为施工前按照施工图测量定出桩位,施工时用吊车吊起振冲器就位,利用振冲器的强大振动力和自身的重力,并在高压水的冲击下造孔至设计要求的深度,经过清孔后,由装载机回填石料,然后进行振冲密实,当桩体达到加密标准后,逐渐上提振冲器,自下而上分段连续加密成桩,每次加密的长度为 30~50 cm。为保证振冲桩质量,采用一套自动控制系统控制加密电流。

### 5 振冲加固效果检测

本工程检测试验采取复合地基静载荷试验和重 II 型动力触探试验,目的是为了确定加固处理后的复合地基承载力,以及评价桩体的密实度等质量情况。

#### 5.1 重 II 型动力触探试验检测

重 II 型动力触探检测共作了 54 根,击数均大于 10 击,满足设计要求。从表 4 中可知,各深度平均击数最小为 11 击,整体平均击数为 18 击,桩体密实度良好,均满足设计要求。

表 4 重 II 型动力触探检测成果

检 测 成 果					
深度/m	3~3.5	3.5~4	4~4.5	4.5~5	5~5.5
平均击数/击	17	22	16	12	14
深度/m	5.5~6	6~6.5	6.5~7	7~7.5	7.5~8
平均击数/击	11	16	18	20	22
深度/m	8~8.5	8.5~9	9~9.5	9.5~10	10~10.5
平均击数/击	26	27	19	20	16
深度/m	10.5~11	11~11.5	11.5~12	12~12.5	12.5~13
平均击数/击	19	16	14	18	17

#### 5.2 复合地基静载荷试验检测

本次复合地基静载荷试验共进行了 4 组,详细试验结果见表 5。

表 5 复合地基静载荷试验统计

桩号	桩长 /m	最终加载量/kN	最大沉降 /mm	单桩复合地基承载力特征值/kPa	
				$s/d=0.01$	平均值
158	15	800	52.13	143.2	140.1
386	15	800	50.25	132.5	
523	15	800	47.15	138.5	
836	15	1400	71.33	145.7	

静载荷试验曲线图见图 1~4。

复合地基静载荷试验  $P-s$  曲线没有明显拐点,与复合地基的工程特性相符合,按相对变形取值  $s/d$  取 0.01,沉降为  $0.01d$  ( $d$  为压板直径) 时相对应

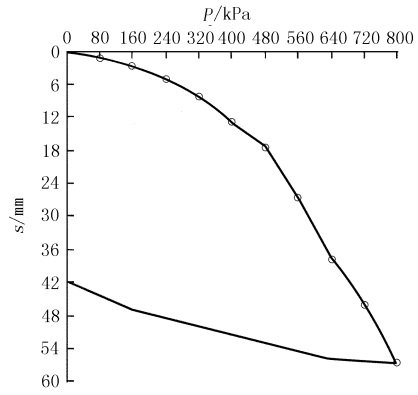


图 1 158 号桩  $P-s$  曲线

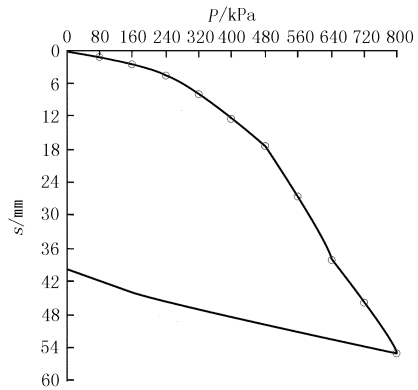


图 2 386 号桩  $P-s$  曲线

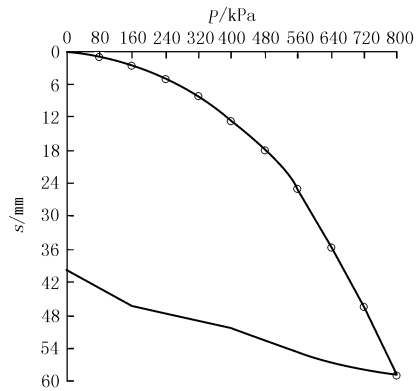


图 3 523 号复合地基静载荷桩  $P-s$  曲线

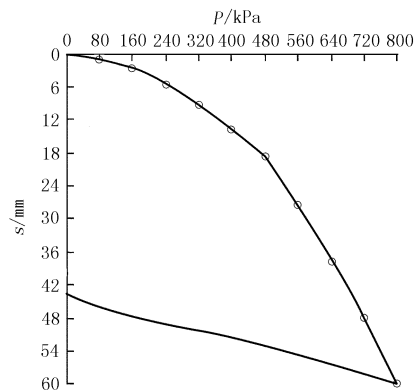


图 4 836 号桩  $P-s$  曲线

的承载力即为该试验复合地基承载力,最后综合评定复合地基承载力特征值为 140.1 kPa。

依据载荷试验结果,结合其它测试方法的检测数据,考虑试验中的奇异结果等各方面因素,综合评定本工程地基振冲加固效果结论为:桩体平均击数 18 击,桩体密实度良好,复合地基承载力特征值 140.1 kPa,满足设计要求(要求大于 120 kPa)。

## 6 结论及建议

(1)从重Ⅱ动力触探法检测结果看,54 根碎石桩桩体击数较为均匀,击数均超过 10 击,振冲碎石桩质量良好,桩体的密实度达到密实,经过计算分析表明,加固后的复合地基承载力超过了 120 kPa。

(2)经过静载荷试验检测后,确定振冲加固处理后地基承载力 130 kPa,大约是原天然地基土的 2 倍,北海电厂地基土采用振冲法加固处理是适合的。

(3)天然地基土为海陆交互相沉积地层,层位不稳定,一般连续性差,以砂土为主,夹淤泥层,强度低,且极不均匀,力学性质不均匀,砂土层强度变化

大,采用振冲法处理加固后,地基强度比较均匀。施工时采用统一的加密电流,当地基土软硬程度不同时,软弱土地区多填料,土质硬地区少填料,通过置换率的大小的变化,使天然状态不均匀地基的强度变得均匀,这是振冲法优于其它地基加固技术的重要方面之一。

(4)振冲碎石桩对粘性土、砂性土地基的加固原理是不同的,对于粘性土,由于振冲不可能使饱和粘性土得到挤密,其主要起置换作用;而对于砂性土主要起挤密作用。

(5)本工程采用振冲法加固处理加密效果好,施工效率高,大大缩短了工期,减少了工程量,降低了工程造价。

## 参考文献:

- [1] DL/T 5101 - 1999,火力发电厂地基振冲处理规范[S].
- [2] TGJ 79 - 2002,建筑地基处理技术规范[S].
- [3] GBJ 50007 - 2002,建筑地基基础设计规范[S].
- [4] DL 5024 - 93,火力发电厂地基处理技术规定[S].

## 2011 年地质调查重点工作

在 2011 年 1 月 15 ~ 16 日召开的全国地质调查工作会议上,国土资源部党组成员、副部长,中国地质调查局局长汪民作了题为《落实新机制 推进“358” 谱写地质调查工作新篇章》的工作报告。报告说:2011 是实施“十二五”规划的第一年,也是落实新机制、实现“358”目标的第一年。围绕上述目标任务,重点将开展以下 6 方面工作:

(1)持续提升矿产资源保障能力。2011 年,我国地质调查工作按照“找新区、上专项、挖老点、走出去,依靠科技和人才”的思路,科学部署,落实新机制,推进“358”,推动实现地质找矿重大突破,以持续提升矿产资源的保障能力。加强能源调查评价;继续开展矿产资源潜力评价;开展重点成矿区带的矿产远景调查;继续推进危机矿山和覆盖区找矿。加强矿产资源综合利用技术攻关;加大国际合作地质调查力度。

(2)建设“四个体系”,服务国计民生。2011 年,全国地质灾害和地质环境调查监测工作,将以促进“四个体系”建设,积极服务国计民生为目标。一是强化地质灾害调查监测;二是推进重点地区水文地质调查评价;三是加强重点地区环境地质调查评价;四是全力做好全球气候变化研究。

(3)更加主动地服务经济社会发展。2011 年,地质调查工作将不断拓展新领域,延长工作链,更加主动服务经济社会发展和国土资源管理。

(4)基础地质工作更加突出资源环境并重。从 2011 年起,“十二五”期间我国每年至少安排 20 万 km<sup>2</sup> 的 1:5 万区调,五年 120 万 km<sup>2</sup>,深化国土认知水平,提高地质工作对资源保障 and 环境保护的基础支撑。加大重要成矿带大比例尺基础地质调查力度;加强成矿带地质背景研究;深化重大基础地质问题调查研究与理论创新;加强立典型性地质调查和研究;推进重要经济区、重大工程建设区地质填图;创新区调工作方法;继续开展海洋地质调查。

(5)加大基础理论和探测技术创新力度。2011 年,围绕全面提升地质调查能力和水平主线,将重点从基础理论和探测技术两方面

加强科技创新的力度。在基础理论创新方面,以重大地质问题和成矿理论研究为重点,开展洲际、全国和跨区域综合地质图件编制。开展主要地质单元演化与成矿作用、地层立典、古生物群起源演化、新构造运动和第四纪地质等研究。加强重要成矿区带地质背景研究、整装勘查区以及重点勘查区成矿规律和找矿方向研究,完善成矿理论和矿床模型,指导找矿突破。开展陆域天然气水合物调查及其基础地质问题研究,探索形成机理和有效的勘查技术方法。

在探测技术方面,将通过采取一系列措施,完善星-空-地立体探测技术体系。加强星载传感器和地面应用系统研发。开发航空物探和机载高光谱传感器等集成技术。完善高精度重力仪、大功率多功能电法仪和高温超导磁强计等仪器,实现产品化。研究典型矿种 300 ~ 500 m 覆盖区深穿透地球化学探测技术方法,建立我国西部典型景观区区域地球化学调查技术方法体系。研发 3000 m 地质岩心钻探等技术方法及装备,推广新型钻探装备。开展矿物物相分析技术和同位素示踪研究,研制钆、铅等同位素标准物质。

(6)加强地质调查工作基础建设。2011 年,以提高地质调查工作能力和管理水平为目的,将从六方面加强基础建设。

一是加强项目管理,按照管理搭台、业务唱戏原则,健全完善项目三级管理体系,抓好项目管理的四个重点环节;简化管理,加强野外监管,加强外协业务管理,实行业务评审、管理验收分开;二是强化业务推进,地调局着力做好顶层设计,科学部署好计划项目;三是强化预算经费管理,要增强预算编制与支出的科学性和合理性,健全完善内部监管制度,管好用好国家资金,提高资金使用效率;四是加强成果管理与服务,加强项目成果总结研究,集成整合,提交整装大成果;实行资料汇交、成果服务与项目立项、绩效考评挂钩;五是修订完善业务技术标准,重点研制专业通用标准,整合、研制、修订、升级一批地、物、化、遥钻和测试等技术标准;六是稳步推进队伍建设,按照规模适度、人员精干、结构合理、装备精良的原则,继续推进中央公益性地质调查队伍建精建强、省级公益性地质调查队伍建实建强。