

# 大型泵房沉井在深厚软土层中的下沉控制应用研究

黄文贺, 钟香兰, 张力

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

**摘要:** 某大型火力发电厂的循环水泵房沉井位于软弱土层上, 软土层厚度达到了 20~30 m, 采用刃脚下施打水泥搅拌桩控制沉井下沉, 沉井外壁附近施打水泥搅拌桩防止井内涌水涌泥; 泵房地基处理采用管桩刚性地基处理方案, 同时采用格构式水泥搅拌桩保护管桩基础。文章对深厚软土层中的大型泵房沉井设计和下沉控制进行了详细介绍, 可对类似工程设计和施工提供参考和借鉴。

**关键词:** 大型泵房沉井; 深厚软土层; 下沉控制; 地基处理; 应用研究

中图分类号: TU753

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2015)S1-0123-05

## Application Research of Sinking Control of Large Pump House Open Caisson in Deep Thick Soft Soil Layer

HUANG Wenhe, ZHONG Xianglan, ZHANG Li

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

**Abstract:** Circulating water pump house open caisson of a larger thermal power plant is built on a 20~30m depth soft soil layer. Use cement mixing piles under the blade feet for controlling open caisson sinking, and pile cement mixing piles around the open caisson in case water and mud flow into the open caisson. Pump room ground treatment uses rigid pipe pile foundation treatment scheme, at the same time, uses lattice type cement mixing pile to protect pipe pile foundation. This paper introduces the design of large pump house open caisson and controlling sinking in deep soft soil layer in details. It could provide a reference for similar engineering and construction.

**Key words:** large pump house open caisson; deep soft soil layer; sinking controlling; foundation treatment; applied research installation

沉井是修建深基础和地下深构筑物的主要施工方法之一。它是在地面上或地坑中, 先制作钢筋混凝土井身, 达到一定强度后, 在井筒内分层挖土, 随着井内土面逐渐降低, 使筒身借其自重克服其与土壁之间的摩擦阻力, 不断下沉就位的一种地下构筑物或地下工程施工工艺。由于其截面尺寸和刚度大。承载力高, 抗渗及耐久性好, 内部空间可资利用, 因此可用于很深的地下工程的施工; 同时沉井施工不需要复杂的机械设备, 在排水和不排水情况下, 均能施工, 从而可用于各种复杂地形、地质和场地狭窄条件下施工, 并且沉井对邻近建筑物影响较小, 可在地下水很丰富、土的渗透系数大, 难以

将地下水排干, 地下有流沙或有其它不利的土层情况下施工, 与大开挖施工方法相比, 可大大减少挖、运、回填土方量, 加快施工进度, 降低施工费用。不过沉井施工方法也存在如下问题: 施工工序较多, 施工工艺较为复杂, 技术要求高, 质量控制要求严。

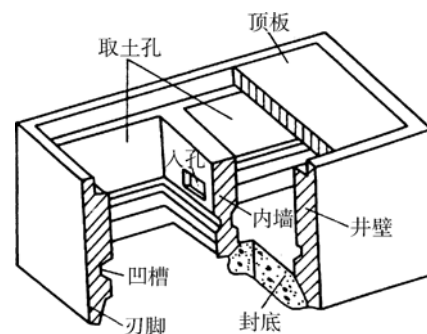


图 1 沉井结构构造图

Fig. 1 Structural Map of Open Caisson

收稿日期: 2015-12-01

作者简介: 黄文贺(1984), 男, 江西吉安人, 高级工程师, 工程硕士, MBA, 主要从事电力工程和建筑工程的结构及水工结构设计工作(e-mail)huangwenhe@gedi.com.cn。

沉井一般由井壁、刃脚、底板(封底)、内隔墙、顶板以及附属设施等部分组成。图1为沉井结构构造图。

## 1 工程概况

某热电联产工程是在电厂已有一期 $2 \times 125$  MW汽轮发电机组和二期 $2 \times 390$  MW(F级)的基础上扩建3套390 MW F级改进型(燃机型号为M701F4)热电联产燃气蒸汽联合循环机组。新建三套F级改进型的高效一拖一双轴联合循环发电机组,每套机组包括一台低 $\text{NO}_x$ 燃气轮机、一台燃机发电机、一台蒸汽轮机、一台汽机发电机、一台无补燃三压再热型余热锅炉及其相关的辅助设备。

根据厂区总平面布置方案,本期工程循环水泵房合建为一座,布置在主厂房固定端西面。循环水泵与出口液控蝶阀采用户内布置,其附属设备采用带顶棚的半敞开式布置。循环水泵房及进水前池下部的总体尺寸为: $39.4 \text{ m} \times 33.4 \text{ m} \times 11.7 \text{ m}$ (深)。

### 1.1 工程地质条件

厂址位于珠江三角洲的珠江口海岸冲积平原区,场地地貌原为滩涂和一级阶地,地面高程 $0.27 \sim 1.40 \text{ m}$ ,河流纵横,地形平坦。拟建场地已回填整平至 $2.70 \sim 4.50 \text{ m}$ 高程。场地原为水稻田和香蕉地,现为一期工程油罐区场地,部分为绿化带和一期电厂自来水厂用地。厂区各岩土层的物理力学性质指标见表1。

根据钻探揭示,泵房所处场地岩土层按其性质和成因可分为4大类,分别为第四系人工成因的素填土、冲填土;海积成因的流塑淤泥和淤泥质土、可塑粘土及粉质粘土、松散~稍密粉砂和稍密~中

密中砂;残积砂质粘性土;下伏基岩为加里东期混合花岗岩及燕山晚期花岗斑岩。地基从上而下分别为:填土,淤泥质土,淤泥,淤泥质土,粉质粘土,全风化岩,强风化岩,中风化岩。淤泥和淤泥质土的软弱地基层厚约 $20 \sim 30 \text{ m}$ ,地下水位埋深约 $1.5 \text{ m}$ 左右。泵房沉井设计

### 1.3 设计综述

如果采用自然放坡大开挖方法进行施工,则泵房基坑深度将达到 $13 \text{ m}$ ,需要采取稳定的基坑支护措施,由于地下水位埋深较浅,基坑开挖时需同时做好基坑降水措施,综合现场施工条件等多方面因素,我们最终没有采用大开挖施工方案。

我们对泵房预制沉井方案和地下连续墙施工方案进行了综合技术经济比选:如果采用预制沉井方案,则泵房沉井整体预制高度为 $14.7 \text{ m}$ ,分2节预制、下沉,沉井侧壁厚度为 $1.2 \text{ m}$ ,底板厚度为 $1 \text{ m}$ ,沉井施工到位后封底,现浇施工泵房内部结构。预制沉井方案在地面预制沉井,混凝土施工质量好,工程造价较低,但是大型沉井下沉较难控制,对施工单位的施工技术和施工经验要求较高;如果采用地连墙方案,则泵房四周外壁采用地下连续墙结构,厚度为 $1.2 \text{ m}$ ,连续墙的墙身可兼作侧壁结构的一部分,侧壁内衬厚 $0.3 \text{ m}$ ,泵房采用逆作法施工,一边开挖一边浇筑混凝土水平支撑,开挖深度为 $13 \text{ m}$ 。该方案利用墙身作为泵房侧壁结构的一部分,施工技术比较成熟。但是在泵房内需设多层临时横撑,施工空间狭窄,施工较复杂,造价高。地下连续墙方案与沉井方案相比较,地下连续墙方案的施工工艺较复杂,而且造价较高,比预制沉井方案高出约327万;同时根据场地的地质条件,经过对

表1 厂区各岩土层物理力学性质指标建议值

Table 1 Suggested Value of Physical Mechanical Properties Index in Different Rock-Soil Layers at Site

岩土名称及编号	土层厚度/m	湿密度( $\text{kN}/\text{m}^3$ )	天然孔隙比	天然含水量/%	内聚力 $c/\text{kPa}$	压缩模量 $E_s/\text{MPa}$	承载力特征值 $f_{ak}/\text{kPa}$
冲填土① <sub>2</sub>	0.4~10.0	20.4	—	—	—	—	—
淤泥②	1.0~12.8	16.5	1.659	62.2	5.1	2.00	50
淤泥质土② <sub>1</sub>	0.9~17.6	17.1	1.330	50.4	4.6	2.40	65
粘土③	0.6~9.6	19.6	0.692	27.3	15.0	5.09	150
粉质粘土③ <sub>1</sub>	0.6~9.0	20.0	0.656	22.4	7.6	4.88	150
中砂④	0.5~3.9	20.9	—	—	—	10.00	180
粉砂④ <sub>1</sub>	0.5~2.7	20.3	—	—	—	4.00	160
砂质粘性土⑤	0.5~18.2	19.3	0.770	26.7	14.3	5.15	250
全风化混合花岗岩⑥ <sub>1</sub>	0.5~24.6	19.7	0.676	24.0	10.2	5.85	300

两种施工方案进行技术和经济的综合比较, 我们最后推荐循环水泵房下部结构采用沉井施工方案。

### 1.3 泵房沉井下沉控制方案

泵房沉井平面内净空尺寸 37 m × 31 m, 沉井深 11.7 m, 沉井底板下约有 8 ~ 10 m 深的软土。在软土地基上采用沉井施工, 极易产生突沉、偏沉滑移、井内涌水涌泥和超沉不止, 沉井下沉速度和方向难以控制, 因此如何控制沉井下沉成为工程关键。

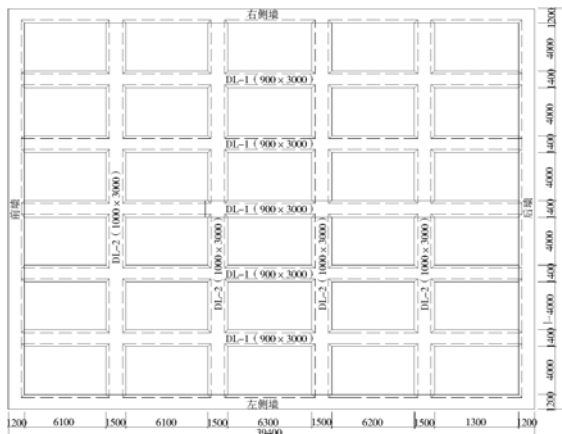


图 2 沉井底梁平面布置图

Fig. 2 Layout Plan of Open Caisson's Mudsill

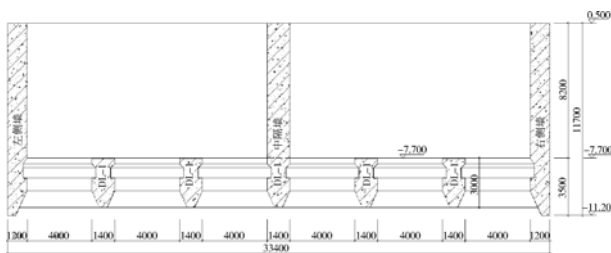


图 3 沉井横向剖面图

Fig. 3 Cross-section View of Open Mudsill

根据前面章节提到的沉井下沉系数和沉井下沉稳定系数计算公式, 我们经过计算, 当采用排水下沉时, 泵房沉井的下沉系数达到了 4.2, 远远超过了规程规范的最小要求  $k_{st} \geq 1.05$ ; 下沉稳定系数大于 1.0, 超出规范建议取值。因此需要采取措施控制沉井下沉, 防止沉井下沉过快、超沉等问题发生, 沉井设计时在沉井刃脚下布置了一排  $\Phi 600$  水泥搅拌桩, 桩顶标高为泵房沉井预制场地标高, 桩底标高为硬质土层顶标高。采取该项措施后, 可以确保泵房沉井预制过程中的自身稳定, 同时可以预防沉井下沉过程中的突沉、偏沉滑移和超沉不止, 更好的控制泵房沉井下沉速度和方向, 同时对泵房地基也起到了一定的加固作用。

由于泵房浅表地基承载能力差, 为防止沉井下沉时挤土作用对桩基产生不良影响, 尤其是沉井下部布置有管桩, 在沉井下沉施工过程中, 将会对管桩产生挤压, 容易出现倾斜、断桩和浮桩, 因此施工过程中需要对桩基进行保护。为了进一步的确保管桩得到有效保护, 我们在设计时采取了相应的方法和措施, 在管桩基础周围采用格构式的  $\Phi 600$  水泥搅拌桩进行保护, 水泥搅拌桩应穿越软土层, 进入粉质粘土层, 确保泵房沉井施工过程中, 软土层不会对管桩产生挤压。格仓内格构式布置的水泥搅拌桩, 桩顶标高  $-7.20$  m, 平均桩长 10 m。

为了防止沉井外部的软土涌入沉井内部, 防止沉井内部发生涌水涌泥导致安全事故发生, 设计时绕沉井井壁外侧一周也布置了双排水泥搅拌桩, 双排水泥搅拌桩的中心线位置与沉井井壁外侧距离为 3 m, 桩顶标高  $-0.80$  m, 桩端进入粉质粘土层不小于 500 mm, 平均桩长 15 m。

### 1.4 泵房沉井地基处理方案

泵房沉井到位后, 采用干封底施工泵房底板。由于泵房底板置于淤泥或者淤泥质土层上, 经过深度修正, 地基承载力特征值可以达到 180 kPa, 而泵房下部结构自重和上部结构传递荷载形成的地基应力达 210 kPa, 由于泵房前池有循环水管接入, 因此泵房的主要控制因素是地基沉降问题, 经过计算, 地基沉降远远超过规范允许范围, 因此天然地基无法满足泵房上部结构对地基的强度和变形要求, 必须进行地基处理。

泵房地基处理方案比选: 经过分析比较, 我们对刚性地基和复合地基处理方案进行了综合分析比较, 刚性地基方案就是采用钻孔灌注桩或者高强预应力管桩进行地基处理, 由于全厂地基处理均采用高强预应力管桩, 为了节约投资, 因此泵房部位也统一采用管桩; 复合地基处理方案就是采用高压旋喷桩或者水泥搅拌桩进行大面积地基处理, 但是本工程软弱土层深厚, 水泥搅拌桩的处理深度达不到设计要求, 同时超长水泥搅拌桩的施工质量也很难保证。因此我们经过综合比较, 认为刚性地基处理方案较复合地基处理方案施工方便快捷, 工程造价也较低, 最终我们设计选用了刚性地基处理方案。

管桩单桩竖向承载力计算: 泵房管桩采用  $\Phi 600$  高强预应力管桩, 管桩入强风化岩不小于 1 m, 根据工程地质报告, 管桩有效桩长约 20 m,

经过计算，管桩侧阻力  $Q_{sk}=4\ 100\ \text{kN}$ ；管桩端阻力计算， $\zeta_r \times f_{rk} \times A_p = 0.810\ 0 \times 9\ 000.000\ 0 \times 0.282\ 7 = 2\ 060$ ，最后端阻  $Q_{pk}=2\ 060\ \text{kN}$ ，因此管桩竖向承载力特征值计算如下：

根据《桩基规范》5.2.2 及 5.2.3。

$$R_a = \frac{Q_{uk}}{K} \quad (1)$$

式中： $R_a$  为单桩竖向承载力特征值； $Q_{uk}$  为单桩竖向极限承载力标准值； $K$  为安全系数，取  $K=2$ 。

经计算，单桩竖向极限承载力标准值  $Q_u = 6\ 160\ \text{kN}$ ，单桩竖向承载力特征值  $R_a = 3\ 080\ \text{kN}$ 。同时根据试桩报告结果，本工程推荐管桩竖向承载力特征值取  $3\ 000\ \text{kN}$ 。

最终经过计算泵房下部结构荷载和泵房上部结构下传荷载，泵房沉井每个格仓均匀布置 4 根管桩，总共布置了 120 根高强预应力管桩。详见图 4 沉井桩基平面布置图、图 5 沉井桩基剖面示意图。

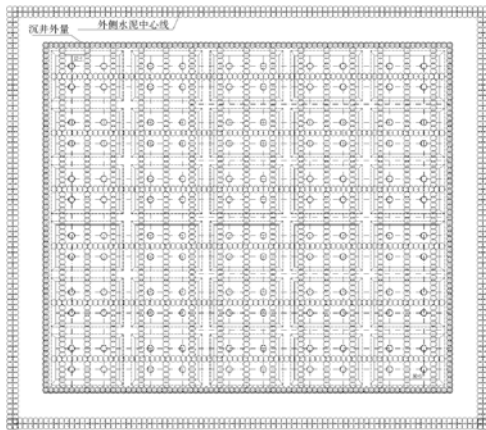


图 4 沉井桩基平面布置图

Fig. 4 Layout Plan of Open Caisson's Pile Foundation

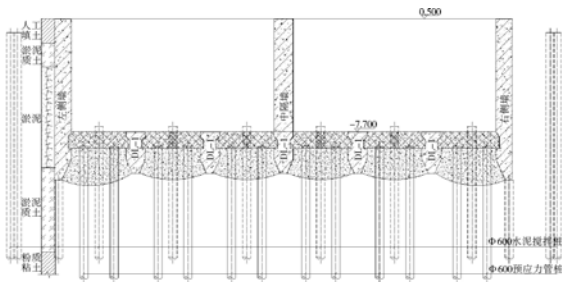


图 5 沉井桩基剖面示意图

Fig. 5 Cross-section View of Caisson's Pile Foundation

## 2 泵房沉井施工

### 2.1 基坑开挖及沉井预制阶段

桩基工程施工完成后，工程现场立即开始一次

开挖，顺利完成泵房沉井结构的地面预制作业。泵房沉井作业部分的地下结构由侧壁和刃脚及中隔墙组成，在刃角部位被分隔成 30 个格仓，作为取土仓。为减少沉井下沉深度，相应的缩短工期，沉井制作在地下水位线以上的基坑内完成。砂垫层换填方式为振冲回填，增加分布均匀的地基承载力，来避免沉井制作中出现自沉。垫层施工的同时完善基坑内的明排水措施，四角设集水坑，每个集水坑内装  $100\ \text{m}^3/\text{h}$  泥浆泵，排水沟和集水坑侧壁采用  $500\ \text{mm}$  宽沙袋堆砌维护，一系列措施的充分实施才得以耐受夏初暴雨的严峻考验。



图 6 沉井制作完成

Fig. 6 Completing of Open Caisson's Construction

### 2.2 沉井初沉阶段

本阶段是在结构预制完成后，安装封门板、破除下部素混凝土垫层、开挖锅底、完成泥水沉淀池、安装调试完成水力机械化下沉设备、井点降水试验得出结论后，由缓沉到具备正常下沉的时间段。



图 7 沉井初沉阶段

Fig. 7 Primary Sedimentation Stage of the Open Caisson

沉井结构完成上述准备后, 确定采用水力机械及挖掘机械相结合的取土下沉法施工。于 2013 年 5 月 12 日开始初步下沉, 采用水力机械吸除砂垫层及零星建筑垃圾碎渣, 有意识地形成锅底开挖。5 月 16 日始, 采用 5 台风镐开始凿除外露的水泥搅拌桩。5 月 24 日, 沉井中间格仓区域 3.5 m 深锅底形成, 具备机械挖掘空间, 将小型挖机(0.15 m<sup>3</sup>)吊至井内, 吊车配合将破除的桩体及沉井内存在的大块建筑垃圾挖放至吊篮, 再吊出井身, 组织外运。

### 2.3 沉井正常下沉阶段

5 月 25 日始, 外围配合吊运桩头工作的 50 吨移动式吊车, 和沉井内挖除碎桩的挖掘机均始终保持各 2 台, 以此来保持沉井下沉的作业效率。至 6 月 18 日, 沉井穿越素填土层(刃脚高程▽ 0.5 m ~ ▽ -4.2 m)。6 月 19 日至 6 月 28 日, 沉井穿越淤泥质粘土层、淤泥层(刃脚高程▽ -4.2 m ~ ▽ -5.9 m), 其中东北侧(沉井 1/2 区域)出现淤泥质粘土, 西南侧(沉井 1/2 区域)出现淤泥。这段时期下沉节奏控制稳定。6 月 29 日至 7 月 14 日, 由于沉井下沉遭遇到富含贝类硬壳的淤泥层, 现场观察淤泥中贝类含量达到约 70%(刃脚高程▽ -5.9 m ~ ▽ -8.8 m)。其中东北侧(沉井 1/2 区域)出现淤泥质粘土, 西南侧(沉井 1/2 区域)出现淤泥。大量的贝类淤积导致水力下沉效率大幅降低, 机械开挖、吊运、外运压力骤增。此时的作业施工中又制定了特殊操作要求: 减小沉井支撑区及中间区域的土体高差(控制锅底深度在 3.5 m 以内), 对周边支撑区土体分层剥离, 使管桩周边淤泥分布均匀, 相对放缓沉井下沉速度、杜绝突沉现象发生。为了确保沉井质量, 我们决定停止机械开挖的方式, 转而以水力机械下沉, 人工代替机械出渣的低效方式组织稳步推进。

### 2.4 沉井终沉阶段

7 月 16 日, 将锅底内的小型挖机吊至井外, 自此开始进入沉井以水力机械下沉, 人工代替机械出渣的终沉阶段。在 7 月 20 日应业主及监理方要求, 我们基本调平井体结构后作了一天的自沉试验, 试验结果是井体四角能够比较均匀的自沉 9 ~ 13 mm。

7 月 15 日至 8 月 6 日期间, 沉井结构缓慢的穿越富含贝壳的淤泥质粘土(边部刃脚高程▽ -8.8 ~ ▽ -10.9 m), 8 月 10 日, 沉井结构下沉距离最终下沉标高仅剩 25 cm 左右。



图 8 沉井终沉阶段

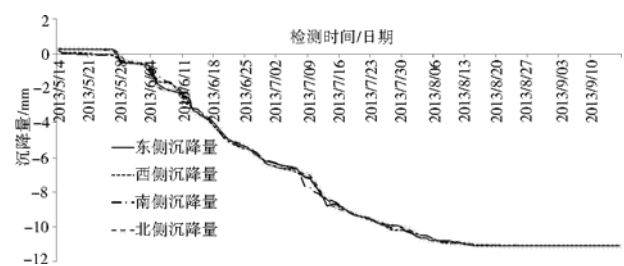
Fig. 8 Final Sedimentation of the Open Caisson

### 2.5 沉井封底阶段

自 8 月 10 日起, 在完成最后的下沉阶段的同时, 完成了对所有管桩的状态监测, 检测结论是: I 类桩共 75 根, II 类桩 45 根, 全部满足规范要求。

8 月 20 日起, 在结构沉井下沉达到设计标高以上 100 mm, 静止观测 3 天沉降量符合规范要求以后, 开始素混凝土封底工作; 8 月 26 日至 9 月 2 日期间顺利完成了钢筋混凝土底板浇筑工作。

泵房沉井沉降曲线图的沉降曲线实测数据连续到 9 月末, 现场实测四边刃脚间高差控制在 20 mm 以内, 刃脚平均标高误差控制在 100 mm 以内, 水平位移控制在 100 mm 以内。远优于规范控制要求的数据, 因此本工程中所选用沉井下沉控制方案和地基处理方案是合理的, 达到了设计预期目的。



注: 现场实测四边刃脚间高差控制在 20 mm 以内, 刃脚平均标高误差控制在 100 mm 以内, 水平位移控制在 100 mm 以内, 优于规范控制要求。

图 9 泵房沉井沉降曲线

Fig. 9 Settlement Curve of Pump House Open Caisson

## 3 结论

在软土地基上采用沉井施工, 极易产生突沉、  
(上转第 49 页 Continued on Page 49)

于海床下，海缆路径处在航道上时，敷设深度应不小于 3.0 m，海缆路径不在航道上时，敷设深度应不小于 2.5 m；在通过礁石区时，埋设前应进行清理并开设沟槽，敷设深度不小于 1.0 m，并覆盖水泥砂袋进行保护。

(2) 登陆段敷设方式：沙滩沙堤段至低潮水位段，采用穿不锈钢关节套管、埋深 2 m、上覆钢筋混凝土保护板的组合保护方案；拟建接头工井至沙滩沙堤段，采用电缆沟敷设，每隔一定距离采用单相固定夹固定。

## 5 结论

柔性直流输电技术的工程化应用，将会带来巨大的经济效益和社会效益，有助于提高现有输配电网的安全稳定水平，促进可再生能源低成本规模化开发利用，促进产业结构升级与优化，对于建设坚强的电网有着显著的促进作用。

海岛一般远离电网，具有负荷轻而且日负荷波动大的特点，经济因素及线路输送能力低是限制架设交流输电线路发展的主要因素，制约了偏远地区经济的发展和人民生活水平的提高。

采用柔性直流输电技术不仅可满足海岛的供电需求，也可保障海岛所在区域电网的供电稳定性，

并支持各类新能源的接入，也可实现潮流反转，将岛上剩余电力反送至大陆主网，具有多重作用。目前世界范围内已有多个对海岛或弱电网供电的柔性直流输电系统顺利建成并投入使用，工程技术经验丰富，系统运行情况良好。可以预见，采用柔性直流输电技术对海岛进行供电将发挥很好的经济效益和社会效益，为我国沿海发展提供重要的助力。

### 参考文献：

- [1] 徐政, 陈海荣. 电压源换流器型直流输电技术综述[J]. 高电压技术, 2007, 33(1): 1-10.
- [2] 李懿, 马振会. 浅谈柔性直流技术在海岛输电中的推广应用[J]. 浙江电力, 2011(7): 26-29.
- [3] 梁旭明, 张平, 常勇. 高压直流输电技术现状及发展前景[J]. 电网技术, 2012, 36(4): 1-9.
- [4] 文俊, 张一工, 韩民晓, 等. 轻型直流输电——一种新一代的 HVDC 技术[J]. 电网技术, 2003, 27(1): 47-52.
- [5] 马为民, 吴方劫, 杨一鸣, 等. 柔性直流输电技术的现状及应用前景分析[J]. 高电压技术, 2014, 40(8): 2429-2439.
- [6] 汤广福. 基于电压源换流器的高压直流输电技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2010: 72-76.
- [7] 刘钟淇, 宋强, 刘文华. 新型模块化多电平变频器的控制策略研究[J]. 电力电子技术, 2009(10): 5-8

(责任编辑 林希平)

(下接第 127 页 Continued from Page 127)

偏沉滑移、井内涌水涌泥和超沉不止，沉井下沉速度和方向难以控制，因此如何控制沉井下沉成为工程关键。本文对沉井下沉控制研究主要是在刃脚下预先施打一排水泥搅拌桩，用来支撑沉井墙体自重，在软土层中形成一道强度适宜的连续承载墙体，在沉井下沉过程中就像形成了一道可靠导轨。通过分节，分部位凿除搅拌桩桩头来调节支撑力，准确控制沉井姿态和下沉速度、深度，但该道水泥搅拌桩的布置要合理，参数设计要适当，否则将不能达到控制下沉的目的，反而增加下沉难度，通过搅拌桩现场试验，总结得出了刃脚下水泥搅拌桩的设计施工参数，建议水泥掺入比取 6%~10%，在保持水泥总掺量不变的情况下，搅拌桩下部三分之一桩长水泥掺量可适当加大，上部三分之二桩长水泥掺量可适当减少。与此同时，我们在离沉井外壁 3 m 位置施打双排水泥搅拌桩，用来止於，防止井

外淤泥涌入井内，工程应用实践证明，井外止於的水泥搅拌桩起到了很好的效果。

### 参考文献：

- [1] DL/T 5024-2005, 电力工程地基处理技术规程[S]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [2] JGJ79-2012, 建筑地基处理技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [3] CECS 137-2002, 给水排水工程钢筋混凝土沉井结构设计规程[S]. 北京: 中国工程建设标准化协会, 2002.
- [4] 黄海松, 臧华, 胡燕红. 水泥桩和钻孔桩联合在控制沉井下沉中的应用[J]. 中国市政工程, 2008(131): 86-87.
- [5] 陈江峰. 浅谈软土地基中沉井施工相关技术的应用[J]. 建筑发展导向, 2011(23): 64-65.
- [6] 周文芳, 秦亚琼. 复杂地基土上的沉井施工中遇到的问题分析[J]. 城市道桥与防洪, 2013(11): 128-129.

(责任编辑 高春萌)