

◀ 钻井完井 ▶

doi:10.3969/j.issn.1001-0890.2014.01.008

## 南海深水表层导管水下打桩安装技术适应性分析

刘正礼<sup>1</sup>, 叶吉华<sup>1</sup>, 田瑞瑞<sup>2</sup>, 严 德<sup>2</sup>

(1. 中海石油(中国)有限公司深圳分公司, 广东深圳 518000; 2. 中海油能源发展工程技术公司深圳分公司, 广东深圳 518000)

**摘 要:** 为了提高深水钻井表层导管施工的安全性和时效性, 针对深水浅层钻井难题, 基于锤击沉桩原理, 通过理论分析和工艺研究, 对深水钻井表层导管水下打桩安装技术进行了分析。深水钻井表层导管水下打桩安装技术采用水下液压打桩锤系统将表层导管锤入地层, 可在工作船上实施作业, 不占用钻机时间。针对我国南海深水浅层地质特点和油气开发需求, 对该技术在南海深水钻井表层导管施工作业中的适应性进行了研究。结果表明, 与目前采用的表层导管钻孔/固井和喷射法安装技术相比, 水下打桩技术可分别节省 65% 和 43% 的作业时间、79% 和 46% 的作业费用。表层导管水下打桩安装技术可有效提高深水浅层钻井的安全性和经济性, 对我国南海深水钻井表层导管施工具有很好的适应性。

**关键词:** 深水钻井 表层导管 水下打桩 南海

**中图分类号:** TE245 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0890(2014)01-0041-05

### Adaptability of Underwater Tamping for Deepwater Drilling Conductor Installation in South China Sea

Liu Zhengli<sup>1</sup>, Ye Jihua<sup>1</sup>, Tian Ruirui<sup>2</sup>, Yan De<sup>2</sup>

(1. CNOOC Shenzhen Branch, Shenzhen, Guangdong, 518000, China; 2. CNOOC Energy Engineering Company, Shenzhen Branch, Shenzhen, Guangdong, 518000, China)

**Abstract:** In order to improve the safety and efficiency of deepwater drilling conductor installation operation, underwater tamping technique was studied. In view of the deepwater shallow formation drilling problem and based on the pile driving method, the underwater tamping technique for deepwater drilling conductor installation was analyzed through theoretical analysis and process research. This technique uses underwater hydraulic pile system to drive surface conductor into deepwater formation from the working ship, without taking the rig time. According to the geological characteristic of deepwater shallow zone in South China Sea and the requirement of oil and gas exploitation, the adaptability of the underwater tamping technique applied in South China Sea deepwater drilling operation was analyzed. Compared with the conductor drilling/cementing and jetting technique, underwater tamping can save 65% and 43% of operation time, and 79% and 46% of operation costs, respectively. Conductor underwater tamping technique can significantly improve the safety and economics of deepwater shallow drilling operation, is suitable for the deepwater surface conductor installation in South China Sea.

**Key words:** deepwater drilling; surface conductor; underwater tamping; South China Sea

表层导管是深水钻井过程中安装的第一层套管, 它为水下防喷器系统和套管悬挂等提供支撑<sup>[1-2]</sup>。由于深水海洋环境和作业工况复杂, 表层导管的安装具有施工风险高、作业难度大等特点。常规钻孔/固井的导管安装方式存在固井质量无法保证和钻孔后找不到井眼等风险, 且无法实现导管批钻安装, 作业时效低。喷射法下入导管方式克服了常规钻孔/固井安装方式的不足, 但技术要求较高,

收稿日期: 2013-03-19; 改回日期: 2013-12-06。

作者简介: 刘正礼(1974—), 男, 河南郸城人, 1996年毕业于西南石油学院石油工程专业, 2010年获长江大学石油与天然气工程专业硕士学位, 高级工程师, 主要从事海洋钻井技术研究和管理工作。

联系方式: (0755)26022353, liuzl@cnooc.com.cn。

基金项目: 国家自然科学基金项目“深水钻井表层导管喷射钻进机理研究”(编号: 51274215)和国家科技重大专项“深水钻完井及其救援井应用技术研究”(编号: 2011ZX05026-001-04-20120523)资助。

设计不合理时容易导致导管下不到位、井口偏角过大或井口下沉甚至井眼报废等严重后果<sup>[3-5]</sup>,且同样无法实现导管批钻安装。深水钻井表层导管水下打桩锤入技术是一种新的导管安装方法,具有可避免浅层地质灾害、井口稳定性高和可实现批钻等优势。目前,对于深水表层导管安装技术的研究主要集中在导管入泥深度设计、导管强度校核和井口稳定性研究等方面<sup>[6-8]</sup>,而对于表层导管水下打桩锤入技术研究尚处于空白。为此,笔者拟通过分析深水浅层钻井难点,介绍表层导管水下打桩锤入技术原理、工艺特点和国外应用情况等,研究表层导管水下打桩锤入技术的特点和应用效果,并对该技术在我国深水钻井完井作业中的适应性进行分析,为深水表层导管和水下井口安装提供一种新的思路。

## 1 表层导管水下打桩锤入技术

与浅水区导管架平台桩基和隔水导管的水上打桩锤入不同,深水钻井表层导管打桩锤入采用工作船和水下打桩锤系统打桩锤入,如图1所示。

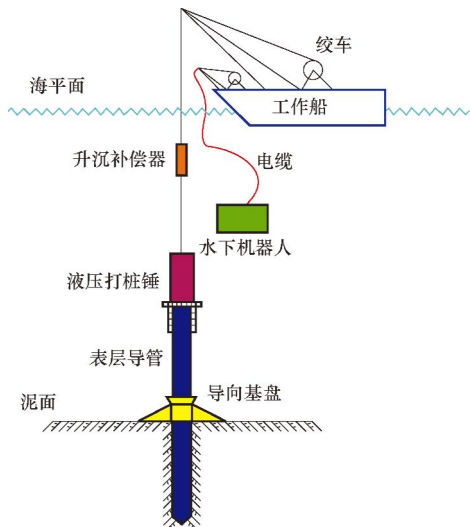


图1 深水钻井表层导管水下打桩锤入工艺示意

Fig. 1 Underwater tamping process diagram for deep-water drilling conductor installation

该安装工艺主要由工作船、液压打桩锤、升沉补偿器、导向基盘、水下机器人、表层导管、绞车和钢电缆等配合完成。其中液压打桩锤安装在导管顶部,由电-液系统控制提供导管打桩锤入所需锤击能量。美国 A & M 大学科研人员对于打桩锤安装在导管底部的方案进行了研究,通过对比分析指出,在相同锤击能量下将打桩锤安装在导管底部能增大入泥深度,对有效避免浅层地质灾害更有利<sup>[9]</sup>。导向基盘安装在

海底泥面上,为导管下入提供扶正力,以保证导管的垂直度,导管安装完成后可回收。升沉补偿器安装在连接工作船与打桩锤的钢电缆上,以补偿工作船因海浪升沉对水下打桩作业的影响。水下机器人主要对打桩过程进行监控,并在打桩作业结束后,解锁打桩锤与导管的连接。导管底部安装有圆锥形的由可钻材料制成的导管鞋,可提高导管的穿透能力,并可避免在导管内形成土塞。表层导管-打桩锤系统可预先在工作船上连接好,由绞车送入水下,也可先将导管下入水中,再下入打桩锤与导管对接。

整个导管打桩锤入的主要程序如图2所示。

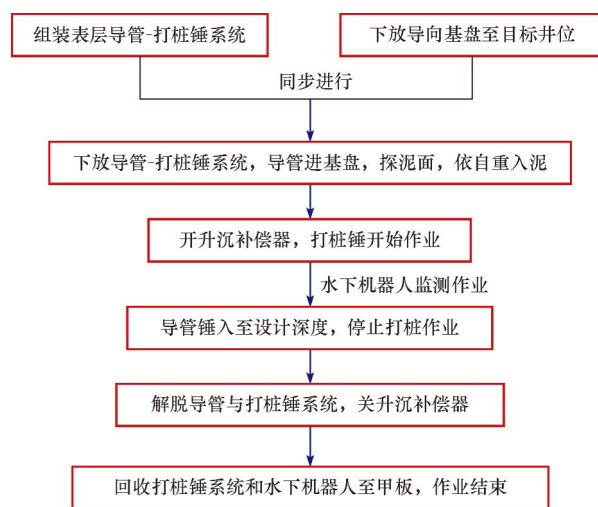


图2 表层导管水下打桩安装主要程序

Fig. 2 Main program sequence for underwater tamping of conductor

## 2 表层导管水下打桩锤入技术优点及不足

深水钻井表层导管水下打桩锤入技术由于工艺的特殊性,能有效克服深水浅层钻井技术难点<sup>[10-13]</sup>,归纳起来,主要具有以下技术优势:

1) 导管安装作业可在日费较低的工作船上完成,无需动用日费高的半潜式平台或钻井船,并可实现导管批钻安装,不占用钻机作业时间,具有很强的经济性。表1为3种深水表层导管安装方式的作业费用对比。由表1可知,采用水下打桩锤入技术安装表层导管比常规钻孔/固井和喷射下入分别节省了79%和46%的作业费用。

2) 与目前深水钻井导管常规钻头钻孔或水力喷射下入相比,导管通过打桩锤入,可减少海底土体的扰动,使导管入泥后能获得充分的地层承载力,

表 1 3 种深水表层导管安装工艺费用对比

Table 1 Cost comparison of three deepwater conductor installation processes

表层导管安装方式	作业平台	平均作业时间/h	作业服务费/万元	平台费用/万元	费用合计/万元
钻孔/固井方式	钻井平台/船	48	50	200	250
喷射法	钻井平台/船	30	80	125	205
水下打桩	锚固工作船	17	120	20	140

提高井口稳定性。

3) 深水浅部地层土质非常松软,采用大功率的水下打桩锤可将导管锤入至泥线以下几百米的地层,墨西哥湾已成功将导管锤入至泥线以下 300.00 m 的深度,有效封隔了浅部地层<sup>[14]</sup>,防止了浅层地质灾害的发生,甚至可免下表层套管。

4) 水下导向基盘实现了对导管安装垂直度的人工控制,确保了导管安装后井口的垂直度,有利于后续防喷器系统、采油树的安装和井下工具的顺利下入,同时有利于提高井口-导管系统的强度和稳定性。

5) 导管安装过程中,无需循环钻井液,避免了因深水浅部地层破裂压力低造成的漏失。无需水泥浆固井,避免了深水海底低温对固井质量的影响。

深水钻井表层导管水下打桩锤入技术对水下打桩锤系统的性能要求较高,水下打桩锤系统的设计和研制难度大,租用国外公司的水下打桩锤系统费用高和打桩锤水下作业控制要求高是该技术的不足之处,也是该技术推广应用的主要技术瓶颈。

### 3 国外应用情况

近年来,深水钻井表层导管水下打桩锤入技术已在美国墨西哥湾<sup>[15]</sup>、巴西坎普斯深水盆地<sup>[16]</sup>和加拿大东海域<sup>[17]</sup>等多个海上油气区块得到了成功应用,应用最大水深达到 1 950.00 m,锤入导管及桩基的直径 609.6~1 219.2 mm,并且该技术已应用到人工举升管汇基盘和浮式平台锚固基础等深水水下桩基的安装作业中。应用实践表明,该技术能有效提高表层导管或水下桩基的安装时效,尤其是在导管或桩基的批量安装施工中效果更明显。导管或桩基安装到位后,稳定性能良好,未出现下沉或井口失稳现象,满足了海上钻井作业的安全性要求。

### 4 我国深水钻井导管安装作业的适应性分析

我国南海深水区域蕴含丰富的油气资源,开采潜力巨大,目前正处于油气勘探阶段,并已经钻了数

口探井。井场调查资料显示,南海深水浅层土质非常疏松,不排水抗剪强度小于 200 kPa,有利于表层导管水下打桩锤入技术的实施。南海已钻深水探井的表层导管均由日费高的浮式钻井平台采用喷射法下入,经济性不高。将来进行大规模油气开发时,对于生产井表层导管及水下生产系统基盘等水下桩基的安装可采用水下打桩技术批量安装,一方面不必占用浮式钻井平台的作业时间,大大提高作业效率;另一方面,采用打桩方式安装,可减少浅层土体的扰动,提高导管或桩基的承载能力和稳定性,作业更加安全,并能避免因深水浅层土质抗剪强度低而对水下井口稳定性带来的不利影响。

笔者以我国南海某深水区块(水深 2 500 m)为例,通过地层土质承载力和井口载荷分析,分别计算了 3 种常用外径为 762.0、914.4 和 965.2 mm,壁厚均为 25.4 mm 的表层导管采用水下打桩所需最小入泥深度。该深水区块浅层土质参数见表 2。

采用 API RP 2A 规范中描述的桩基承载力计算模型,可求得导管不同入泥深度时所获承载力  $Q$ 。

$$Q = Q_f + Q_p = fA_s + q_u A_p \quad (1)$$

式中: $Q$  为导管所获承载力, kN;  $Q_f$  为导管桩侧壁摩阻力, kN;  $Q_p$  为导管桩端阻力, kN;  $A_s$  为导管桩侧壁表面积,  $m^2$ ;  $A_p$  为导管桩底部截面积,  $m^2$ ;  $f$  为导管桩侧壁单位表面摩擦力,  $kN/m^2$ ;  $q_u$  为导管桩底部单位极限阻力,  $kN/m^2$ 。

图 3 为 3 种尺寸( $\phi 762.0$ 、 $\phi 914.4$  和  $\phi 965.2$  mm)表层导管在泥线以下不同深度处的地层承载力。从图 3 可看出:导管外径一定时,所获地层承载力与入泥深度成正比;导管入泥深度一定时,所获地层承载力与导管外径成正比。

根据工程实践,井口载荷分别取 1 960、2 450 和 2 940 kN,与图 3 结合计算 3 种尺寸导管的最小入泥深度,结果见表 3。

由表 3 可知, $\phi 762.0$ 、 $\phi 914.4$  和  $\phi 965.2$  mm 表层导管采用水下打桩技术锤入的最小入泥深度最大不超过 68.00 m,与目前喷射下入  $\phi 914.4$  mm 表层导管入泥深度 70.00~100.00 m 相比,表层导管入泥深度减小,节省了材料,降低了成本。

表 2 南海某深水区块浅层土质参数

Table 2 Shallow soil parameters of one of the deepwater zone in South China Sea

层名	土质	深度/m		有效重度/ ( $\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$ )	不排水抗剪强度/ kPa	单位表面摩擦力/ ( $\text{kPa} \cdot \text{m}^{-2}$ )
		层顶	层底			
1	非常软的黏土	0	2.0	3.5	3	0
2	非常软到软的黏土	2.0	13.0	4.0	5	3.2
3	软的粉质黏土	13.0	21.0	5.0	8	4.0
4	软到稍硬的粉质黏土	21.0	28.0	6.0	15	16.7
5	稍硬到硬的粉质黏土	28.0	50.0	6.0	18	18.2
6	硬的粉质黏土	50.0	100.0	7.0	30	31.2
				7.0	30	31.2
				7.5	42	43.8
				7.5	46	45.8
				8.0	78	83.6
				8.0	90	89.8
				8.5	135	162.6

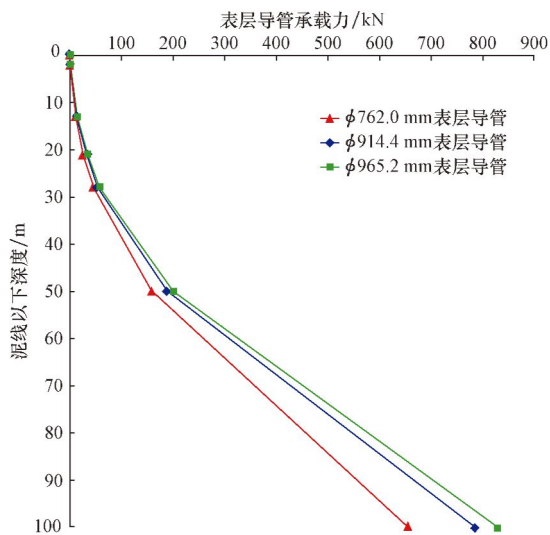


图 3 不同尺寸表层导管所获地层承载力

Fig. 3 Bearing capacity for different size conductors

表 3 南海某深水区块 3 种尺寸表层导管的最小入泥深度

Table 3 Minimum setting depth of different size conductors in one of the deepwater zone in South China Sea

表层导管外径/ mm	最小入泥深度/m		
	1 960 kN	2 450 kN	2 940 kN
762.0	59.0	65.0	68.0
914.4	55.0	59.0	64.0
965.2	54.0	57.0	62.0

## 5 结论及建议

1) 深水钻井表层导管水下打桩锤入技术能克服深水浅层土质承载能力低、海底低温和地层破裂压力低等技术难点,可以有效地解决浅层地质灾害难题,且不必占用浮式平台的作业时间,可由工作船

实现表层导管或水下桩基的批量安装,相比目前采用的常规钻孔/固井和喷射法安装工艺具有明显的技术和经济优势。

2) 深水钻井表层导管水下打桩锤入技术对水下打桩锤系统性能要求较高,水下打桩锤系统设计和研制难度大、作业控制要求高。

3) 我国南海深水浅层土质疏松,随着深水勘探开发步伐的加快,将来表层导管或水下桩基安装作业量大,采用水下打桩技术安装表层导管或水下桩基在南海深水区具有较强的适应性,应着手加强对该技术的研究,研制水下打桩锤等关键设备,形成具有自主知识产权的深水钻井表层导管打桩锤入技术,提高我国深水油气资源的勘探开发能力。

## 参 考 文 献

### References

- [1] 刘正礼,唐海雄,王跃曾,等.深水喷射导管实用设计方法[J].长江大学学报:自然科学版:理工卷,2010,7(1):189-191.  
Liu Zhengli, Tang Haixiong, Wang Yuezheng, et al. Deepwater conductor jetting design method[J]. Journal of Yangtze University: Natural Science Edition: Science Engineering Volume, 2010, 7(1): 189-191.
- [2] 杨进,严德,田瑞瑞,等.深水喷射下表层导管合理钻头伸出量计算[J].石油勘探与开发,2013,40(3):367-370.  
Yang Jin, Yan De, Tian Ruirui, et al. Bit stick-out calculation for the deepwater conductor jetting technique[J]. Petroleum Exploration and Development, 2013, 40(3): 367-370.
- [3] Akers T J. Jetting of structural casing in deepwater environments: job design and operational practices[R]. SPE 102378, 2006.
- [4] 孙宝江,曹式敬,李昊,等.深水钻井技术装备现状及发展趋势[J].石油钻探技术,2011,39(2):8-15.  
Sun Baojiang, Cao Shijing, Li Hao, et al. Status and development trend of deepwater drilling technology and equipment[J].



- Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(2): 8-15.
- [5] 王友华, 王文海, 蒋兴迅. 南海深水钻井作业面临的挑战和对策[J]. 石油钻探技术, 2011, 39(2): 50-55.  
Wang Youhua, Wang Wenhai, Jiang Xingxun. South China Sea deepwater drilling challenges and solutions[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(2): 50-55.
- [6] Yang Jin, Liu Shujie, Zhou Jianliang, et al. Research of conductor setting depth using jetting in the surface of deepwater[R]. SPE 130523, 2010.
- [7] 管志川, 柯珂, 苏堪华. 深水钻井井身结构设计方法[J]. 石油钻探技术, 2011, 39(2): 16-21.  
Guan Zhichuan, Ke Ke, Su Kanhua. Casing design and optimization for deepwater drilling[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(2): 16-21.
- [8] 路保平, 李国华. 西非深水钻井完井关键技术[J]. 石油钻探技术, 2013, 41(3): 1-6.  
Lu Baoping, Li Guohua. Key technologies for deepwater drilling & completion in West Africa[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013, 41(3): 1-6.
- [9] George H M Jr. Shallow water flow technology update[R]. OTC 8731, 1998.
- [10] 王晓亮, 许明标, 王清顺, 等. 深水表层固井硅酸盐水泥浆体系研究[J]. 石油钻探技术, 2010, 28(6): 11-14.  
Wang Xiaoliang, Xu Mingbiao, Wang Qingshun, et al. Research on G-class portland cementing slurry in surface casing in deep water[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 28(6): 11-14.
- [11] 席方柱, 屈建省, 吕光明, 等. 深水低温固井水泥浆的研究[J]. 石油钻采工艺, 2010, 32(1): 40-44.  
Xi Fangzhu, Qu Jiansheng, Lü Guangming, et al. Study of deepwater low-temperature cement slurry[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2010, 32(1): 40-44.
- [12] 叶志, 樊洪海, 张国斌, 等. 深水钻井地质灾害浅层水流问题研究[J]. 石油钻探技术, 2010, 38(6): 48-52.  
Ye Zhi, Fan Honghai, Zhang Guobin, et al. Investigation of shallow water flow in deepwater drilling[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(6): 48-52.
- [13] 刘正礼, 王跃曾, 唐海雄, 等. 深水无隔水管固井设计与应用[J]. 石油天然气学报, 2010, 32(6): 438-440.  
Liu Zhengli, Wang Yuezeng, Tang Haixiong, et al. No riser deepwater well cementing design and application[J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2010, 32(6): 438-440.
- [14] Choe J, Hans C. Unconventional method of conductor installation to solve shallow water flow problems[R]. SPE 38625, 1997.
- [15] Doyle E H. Pile installation performance for four TLP's in the gulf of Mexico[R]. OTC 10826, 1999.
- [16] van Noort R, Murray R, Wise J, et al. Conductor pre-installation, deepwater Brazil[R]. OTC 20005, 2009.
- [17] Harris D, Adams P G, Bell D. Unusual underwater pile driving in "iceberg ally" off Newfoundland, Canada[R]. IADC/SPE 128193, 2010.

[编辑 刘文臣]

## 石油工程科技名词的规范化使用——黏土与黏度

在《现代汉语词典》中,“黏”的读音为 nián;“粘”的读音为 zhān, 用作姓氏时读 nián。根据其对这两个字的释义,“黏”与“粘”二字的释义是不同的:“粘”字一般作使动词用,具有外部物质使物体相互连接的意义;“黏”则是指像糰糊或胶水等所具有的、能使一个物体附着在另一个物体上的性质。1955 年《第一批异体字整理表》将“黏”作为“粘”的异体字淘汰,1988 年《现代汉语通用字表》确认“黏”为规范字。据此,凡是表示具有黏糊意义的合成词中的 nián, 均应为“黏”, 而不应再用“粘”字。因此,要正确使用“黏”及“粘”,就要弄清其真正含义及读音。

(1)黏土。目前,仍在使用“粘土”的期刊大约有 10 种,以地质类期刊为主。黏土是指黏粒含量大于 30% 或塑性指数大于 17 的黏性土,主要由黏土矿物(含水的铝硅酸盐)组成。可见,其意义是突出土的性质,这与《现代汉语词典》中“黏”字的意义一致,全国科学技术名词审定委员会也将“黏土”作为规范科技术语。因此,“黏土”是规范的,而“粘土”是不规范的。值得注意的是,GB/T 28911—2012(石油天然气钻井工程术语)虽然已经将“黏土侵”“黏附系数”等作为规范用法,但在其汉语拼音索引中,却将与“黏”字有关的术语放到首字读音为“Z”的部分中,显然,这是将“黏”读作了“zhān”,是错误的,其原因是未真正理解“黏”与“粘”读音与含义。

(2)黏度。目前,仍在使用“粘度”的期刊大约有 20 种,以地质类和化工类期刊为主。《现代汉语词典》收录“黏度”一词,并将其解释为液体或半流体流动难易的程度,越难流动的物质黏度越大。与黏度有关的石油天然气钻井工程术语主要有“塑性黏度”“表观黏度”“漏斗黏度”等,主要用来反映钻井液或水泥浆的流性。这与《现代汉语词典》中“黏度”意义一致,全国科学技术名词审定委员会将“黏度”作为规范科技术语,GB/T 28911—2012(石油天然气钻井工程术语)也明确将“塑性黏度”“表观黏度”“漏斗黏度”等作为规范术语。因此,“黏度”是规范的,而“粘度”是不规范的。

[供稿 陈会年]