

# Research on the Application of Domestic Materials of Skirt Pile Gripper Claw of Jacket

Shunqing Liu<sup>1</sup>, Tao Liu<sup>1</sup>, Jun Li<sup>2</sup>, Su Hu<sup>2</sup>, Guoqing Shao<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Offshore Oil Engineering Co., Ltd., Tianjin

<sup>2</sup>Dalian Shipbuilding Industry Outfitting Co., Ltd., Dalian Liaoning

Email: wf\_890154@sina.com

Received: Mar. 9<sup>th</sup>, 2020; accepted: Mar. 23<sup>rd</sup>, 2020; published: Mar. 30<sup>th</sup>, 2020

---

## Abstract

By analyzing the working characteristics of the claw of jacket skirt pile gripper, referring to the composition and relevant performance indexes of claw materials abroad, the paper explores suitable materials in the normalized steel, and through the test verification, realizes the replacement application of domestic materials for the claw of skirt pile gripper claw of jacket.

## Keywords

Skirt Pile Gripper Claw, Test Verification, Domestic Materials

---

# 导管架裙桩夹桩器卡爪国产化材料应用研究

刘顺庆<sup>1</sup>, 刘涛<sup>1</sup>, 李军<sup>2</sup>, 胡苏<sup>2</sup>, 邵国庆<sup>2</sup>

<sup>1</sup>海洋石油工程股份有限公司, 天津

<sup>2</sup>大连船舶重工集团舾装有限公司, 辽宁 大连

Email: wf\_890154@sina.com

收稿日期: 2020年3月9日; 录用日期: 2020年3月23日; 发布日期: 2020年3月30日

---

## 摘要

通过分析导管架裙桩夹桩器卡爪的工作特点, 参考国外卡爪材料成分及相关性能指标, 探索在规范化钢种中选取合适材料, 并经过试验验证, 实现卡爪国产化材料的替代应用。

文章引用: 刘顺庆, 刘涛, 李军, 胡苏, 邵国庆. 导管架裙桩夹桩器卡爪国产化材料应用研究[J]. 机械工程与技术, 2020, 9(2): 69-75. DOI: 10.12677/met.2020.92007

## 关键词

夹桩器卡爪, 试验验证, 国产化材料

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

导管架裙桩夹桩器是较深水裙桩导管架安装必不可少的专用夹具, 起到临时固定连接导管架和钢桩的作用。长期以来, 夹桩器产品依赖进口, 是海洋工程装备领域典型的“卡脖子”技术产品。近些年, 为推进夹桩器国产化制造, 海洋石油工程股份有限公司联合哈尔滨工程大学海洋智能机械研究所、大连船舶重工集团舾装有限公司, 先后完成设计改进、工程样机的完整试制及中国船级社 CCS 认证, 在国产化道路上迈出了坚实的一步(见图 1)。



Figure 1. A prototype of the homemade 84" pile gripper

图 1. 国产 84" 夹桩器工程样机

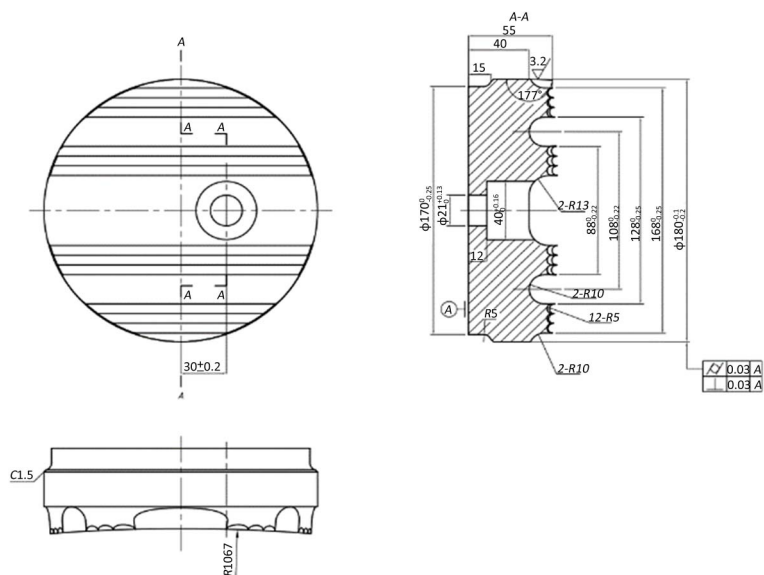
其中, 卡爪作为夹桩器和钢桩的接触结构, 是夹桩器的核心部件[1], 也是夹桩器产品实施国产化的重点和难点。

本文通过分析卡爪的工作特点[2] [3] [4], 参考国外卡爪材料成分及相关性能指标, 探索在规范化钢种中选取合适材料, 经过实际工件的性能测试及载荷试验验证, 实现卡爪国产化材料的替代应用。

## 2. 卡爪的工作特点

### 2.1. 卡爪的结构

卡爪外形尺寸  $\phi 180 \text{ mm} \times 55 \text{ mm}$ , 安装于液压缸活塞的前端, 卡爪二维图如图 2。卡爪的齿面具有弧度, 根据所应用的钢桩外径确定, 卡爪实物如图 3、图 4 所示。



**Figure 2.** Two-dimensional claw diagram  
**图 2.** 卡爪二维图



**Figure 3.** Claw object  
**图 3.** 卡爪实物



**Figure 4.** The clam fixed on the front end of the piston of the hydraulic cylinder  
**图 4.** 卡爪固定于液压缸活塞前端

## 2.2. 卡爪的工作过程

卡爪的工作过程有两个阶段:

第一阶段, 抱紧钢桩。导管架海上安装施工, 利用调平器完成导管架调平作业, 此时导管架重量由调平器承担。立即驱动夹桩器执行卡桩作业, 夹桩器周向均布的多个液压缸活塞向内侧顶出, 固定于活塞前端的卡爪, 其组齿在液压系统强推力下能够嵌入钢桩, 牢牢抱紧钢桩。为了保证卡爪的组齿能够嵌入钢桩, 组齿需具有高硬度。

第二阶段, 承载重量。卡爪抱紧钢桩后, 松开并撤出调平器, 卡爪依靠嵌入钢桩的齿所承受的剪切力来支撑导管架重量, 直至灌浆固化期结束。为了保证卡爪的组齿能够承受足够的剪切力, 卡爪需具备高强度以及一定的韧性。

通过分析卡爪的工作过程与特点, 明确了卡爪材料选择的方向和要求, 下一步具体量化卡爪材料性能指标。卡爪性能指标的确定需要两方面工作:

- 1) 通过计算机模拟载荷, 计算分析卡爪的受力, 为卡爪材料选择提供理论依据;
- 2) 通过测试国外材料的性能指标, 为卡爪材料选择提供参考数据。

## 2.3. 卡爪的应力应变

根据卡爪的工作过程与特点, 按照夹桩器最大承载设计条件(液压系统压力 28 MPa, 单卡爪承受剪切载荷 156.25 t), 利用计算机模拟载荷, 对卡爪进行有限元仿真, 得到卡爪应力图 5 和应变图 6。

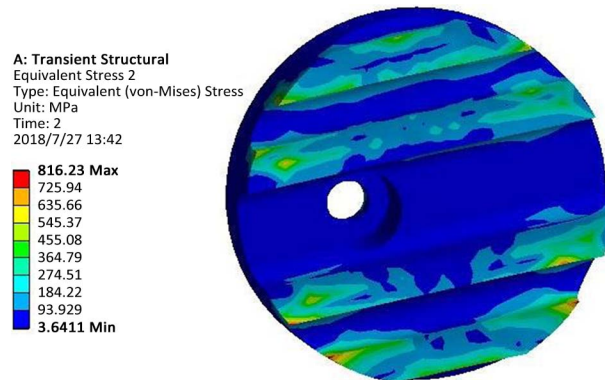


Figure 5. Claw stress diagram  
图 5. 卡爪应力图

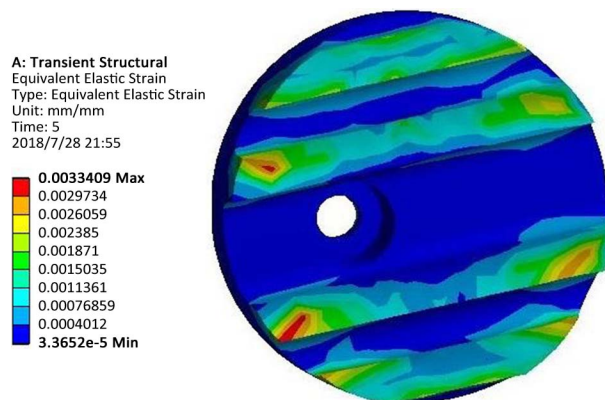


Figure 6. Claw strain diagram  
图 6. 卡爪应变图

从应力分布来看,卡爪组齿承受的剪切应力大部分在 200~600 MPa 区间,只有在局部的齿边缘部位形成应力集中,达到 800 MPa 左右。按照产品设计要求,取 1.5 倍安全系数,卡爪材料的屈服强度要求达到 1200 MPa。

### 3. 国外卡爪的材料成分与性能指标

采用直读光谱对国外夹桩器卡爪试样进行成分分析,其化学成分如表 1 所示。

**Table 1.** Chemical composition of foreign claw materials

**表 1.** 国外卡爪材料化学成分

成分	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Mo	S	Fe
含量(wt%)	0.49	0.22	0.40	1.57	4.0	0.30	0.012	0.015	余量

通过切样试验,获得国外卡爪材料的相关性能指标:

- 1) 卡爪工作面(齿面)硬度平均值 56 HRC;
- 2) 屈服强度平均值 1160 MPa, 抗拉强度平均值 1600 MPa;
- 3) 延伸率平均值 3.8%。

冲击韧性无试验数据。

根据卡爪受力分析,并参照国外卡爪材料测试结果,设计方确定卡爪国产化材料的性能指标要求:

- 1) 卡爪工作面(齿面)硬度  $\geq 56$  HRC;
- 2) 屈服强度  $\geq 1200$  MPa, 抗拉强度  $\geq 1600$  MPa;
- 3) 延伸率  $\geq 4\%$ ;
- 4) 冲击韧性值(V 型缺口试块)  $\geq 5$ J。

### 4. 替代材料的选取与试验

#### 4.1. 材料选取与试验方法

根据以上相关性能指标,初步选取了 4 种模具钢材料进行工艺试验,分别是 DC53、5CrNiMo、FS438 和 Unimax (进口材料)。

四种材料分别做成卡爪样件,经过真空热处理[5],然后在样件中采用线切割制作拉伸试样和冲击试样。采用 CMT5305 微机控制电子万能试验机进行强度检测。根据 GB/T229-2007《金属材料夏比摆锤冲击试验方法》中  $10 \times 10 \times 55$ J 的 V 型缺口标准冲击试样,采用 B-W500YD 型微机控制低温全自动冲击试验机进行冲击韧性检测。采用洛氏硬度计进行硬度检测。

#### 4.2. 材料性能测试结果分析

四种材料化学成分如表 2,可以看出,DC53 模具钢为高碳冷作模具钢[6],其他材料碳含量同国外材料相近。因材料含碳量越高,其硬度和强度就会越高,但其塑性和韧性降低。

**Table 2.** Chemical composition of the four materials

**表 2.** 四种材料化学成分

钢种	化学成分(wt.%)						
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V
DC53	0.99	0.89	0.39	8.19	2.18		0.36
5CrNiMo	0.55	0.35	0.67	0.8	0.16	1.47	
FS438	0.4	0.22	0.5	5	1.8	0.12	0.5
Unimax	0.5	0.2	0.5	5	2.3		0.5

四种材料性能测试结果如表 3，从测试结果中可以看出：

在硬度方面，DC53 模具钢最高，是因为材料本身的高碳和高合金含量；5CrNiMo 模具钢正常使用热处理硬度为 44~47 HRC，采用改进热处理工艺，使之淬回火后热处理硬度也能达到 56 HRC 以上；FS438 模具钢正常使用热处理硬度 50~52 HRC [7] [8]，接近 56HRC；Unimax 模具钢正常使用硬度为 56~58 HRC，满足硬度要求。

从屈服强度、抗拉强度和冲击韧性结果看出，DC53 材料脆性过大，在拉伸试验过程中没有出现屈服强度值；5CrNiMo 模具钢的屈服强度低于 1200 MPa [9]，且延伸率相对较低。FS438 和 Unimax 模具钢都满足强度和延伸率指标。

**Table 3.** Performance test results of the four materials

**表 3.** 四种材料性能测试结果

钢种	硬度平均值(HRC)	屈服强度平均值(MPa)	抗拉强度平均值(MPa)	延伸率平均值(%)	冲击韧性平均值(J/cm <sup>2</sup> )
DC53	60.2		1410		4.37
5CrNiMo	56.6	1129	1540	2.0%左右	9.34
FS438	50.0	1501	1792	5.1%左右	10.2
Unimax	56.7	1715	2108	6.0%左右	9.5

综合来看，Unimax 满足卡爪材料各项性能指标要求，是理想的替代材料，可以进入下一阶段的载荷试验验证；相比之下，FS438 硬度指标略低于目标值，其强度和延伸率指标比较良好，经过对卡爪的工作特点分析，提出两项改进方案，将 FS438 也可作为备选替代材料进入载荷试验验证，两项改进方案分别是：

- 1) 对 FS438 卡爪表面作二次硬化(氮化)处理，提高齿面硬度；
- 2) 优化 FS438 卡爪组齿设计，将原设计组齿(2 整齿 + 2 半齿)，改进为 3 个整齿结构。

### 4.3. 载荷试验的验证

根据国产化应用要求，卡爪国产化材料的选择需要得到载荷试验的验证。

选用 FS438 和 Unimax 模具钢两种材料各制备一套卡爪，其中：Unimax 卡爪按照原设计方案和正常热处理工艺处理；FS438 卡爪按照改进齿型和表面二次硬化(氮化)处理；两种材料的性能指标均达到设计要求。将两种材料的卡爪分别安装到图 7 所示的 42 寸夹桩器上进行载荷试验，夹桩器试验载荷为 600T，持续时间 2 小时。



**Figure 7.** 42-inch pile gripper and load test

**图 7.** 42 寸夹桩器及载荷试验

经载荷试验, 两种材料卡爪均无明显损伤, 满足夹桩器实际使用要求, 获得中国船级社 CCS 认证。

## 5. 结束语

以上通过分析导管架裙桩夹桩器卡爪工作过程与特点, 利用计算机模拟载荷进行卡爪受力分析, 并参考国外卡爪材料指标, 量化卡爪国产化材料的性能指标要求。在此基础上, 在规范化钢种中选取了四种合适的替代材料, 经过材料性能测试及载荷试验验证, FS438 和 Unimax 模具钢材料性能均满足夹桩器使用要求, 可以作为夹桩器卡爪国产化的替代材料。相对而言, Unimax 材料性能更优秀, FS438 模具钢则更具有成本优势。

## 参考文献

- [1] 孙志娟. 海洋石油平台水下夹桩器研究与设计[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2007.
- [2] 姜沛然, 房晓明. 水下夹桩器夹持性能分析及实验研究[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2011, 32(9): 1228-1232.
- [3] 孟庆鑫, 孙志娟, 周到. 海洋石油平台水下夹桩器压块齿接触有限元分析[J]. 机械, 2006, 33(12): 1-4.
- [4] 谢永春, 魏彦, 于成龙. 裙桩卡桩器的应用[J]. 中国造船, 2007(11): 11-14.
- [5] 严超峰, 包耀宗, 王欢锐, 等. 模具钢的渗碳-碳氮共渗改性热处理[J]. 金属加工(热加工), 2018(3): 53-56.
- [6] 周建, 万德宏, 王化胜, 等. 一种新型冷作模具钢 DC53 钢试验研究[J]. 锻压装备与制造技术, 2016, 51(5): 92-94.
- [7] 刘宝石, 牟风, 黄艳玲, 等. 高品质热作模具钢 FS438 组织及性能研究[J]. 模具制造, 2018(3): 84-87.
- [8] 牟风, 康爱军, 刘明, 等. 新型压铸模具钢 FS438 高温拉伸性能研究[J]. 模具制造, 2019(6): 85-88.
- [9] 童高鹏. 5CrNiMo 模具钢的热处理新工艺研究[J]. 热加工工艺, 2016(12): 170-173.