

# 灌浆修复方法在水下裂纹治理中的应用

冯立卫

中海石油(中国)有限公司蓬勃作业公司

DOI:10.12238/etd.v3i3.5017

**[摘要]** 近年来,某海上油田的导管架水下-8米层出现较多小裂纹和较大深度裂纹。经过水下勘测和研究,裂纹形成的原因主要是局部水动力影响水下-8米处井口区域的节点和杆件,导致杆件受周期性载荷而导致节点疲劳。为控制裂纹不再扩大,油田采用在卡箍内灌浆的修复方案。本文以某平台桩腿水下-8米处裂纹修复为例,简要介绍了陆地模拟、水泥选型、灌浆方法、工程应用等内容。该项技术成功应用于实际的海上导管架裂纹补强修复,为导管架隐患治理提供了一种新的思路。

**[关键词]** 裂纹修复; 灌浆; 导管架

中图分类号: TV42+1.3 文献标识码: A

## Application of Grouting Repair Method in Underwater Crack Treatment

Liwei Feng

Pengbo Operating Company of CNOOC (China) Co., Ltd

**[Abstract]** In recent years, there are many small cracks and large depth cracks in the underwater -8 m layer of the jacket in an offshore oil field. After underwater survey and research, the main cause of crack formation is the local hydrodynamic forces influence the nodes and rods in the wellhead area at the -8 m underwater, resulting in the periodic load of the rods and node fatigue. In order to control the crack not to expand, the oil field uses repair plan of grouting in the clamp. This paper takes the crack repair of -8 m underwater crack of a platform pile leg as an example to briefly introduce the land simulation, cement selection, grouting method, engineering application and other contents. The technology is successfully applied to the actual offshore jacket crack reinforcement repair, which provides a new idea for the hidden trouble management of the jacket.

**[Key words]** crack repair; grouting; jacket

### 引言

导管架是海上采油平台、生活平台最主要的支撑结构,经外力影响导致导管架出现裂纹缺陷,会影响整个平台的安全性能,在修复治理方面是一个难题。某海上油田导管架位于我国渤海南部海域,由于水动力影响导致水下-8米处桩腿与水平杆件焊缝处出现2处较大裂纹,为此需要进行修复作业。此次施工采用灌浆卡箍安装加强方法。

### 1 陆地模拟

为了确保海上施工的可操作性和灌浆材料的可靠性,特在陆地进行了等比例模拟实验。通过实验,施工人员熟悉了施工步骤和注意事项,同时通过对不同环境条件下水泥固化后的性能进行测试,确定最佳施工条件。

#### 1.1 卡箍方案设计选型

在卡箍选择时,针对灌浆和非灌浆卡箍来说,考虑到导管架修复节点位置复杂,非灌浆卡箍适用于新建直杆结构(如立管)。由于建造及制作误差的影响,不适用带有支杆的结构。灌浆卡箍

在灌浆之后可修复杆件表面的一些缺陷,尤其适用于可能存在变形的结构杆件,复杂节点的结构强度可通过灌浆卡箍进行修复并提高强度。



图1 灌浆卡箍预制现场

Notes:

- All triangular stiffeners: 10 thk
- All longitudinal stiffeners: 10 thk
- All end stiffeners: 10 thk
- All bolts: M12
- All end seal: hard rubber
- All grout annulus: 37mm thk
- All weld 8mm fillet
- All steel: mild steel G275

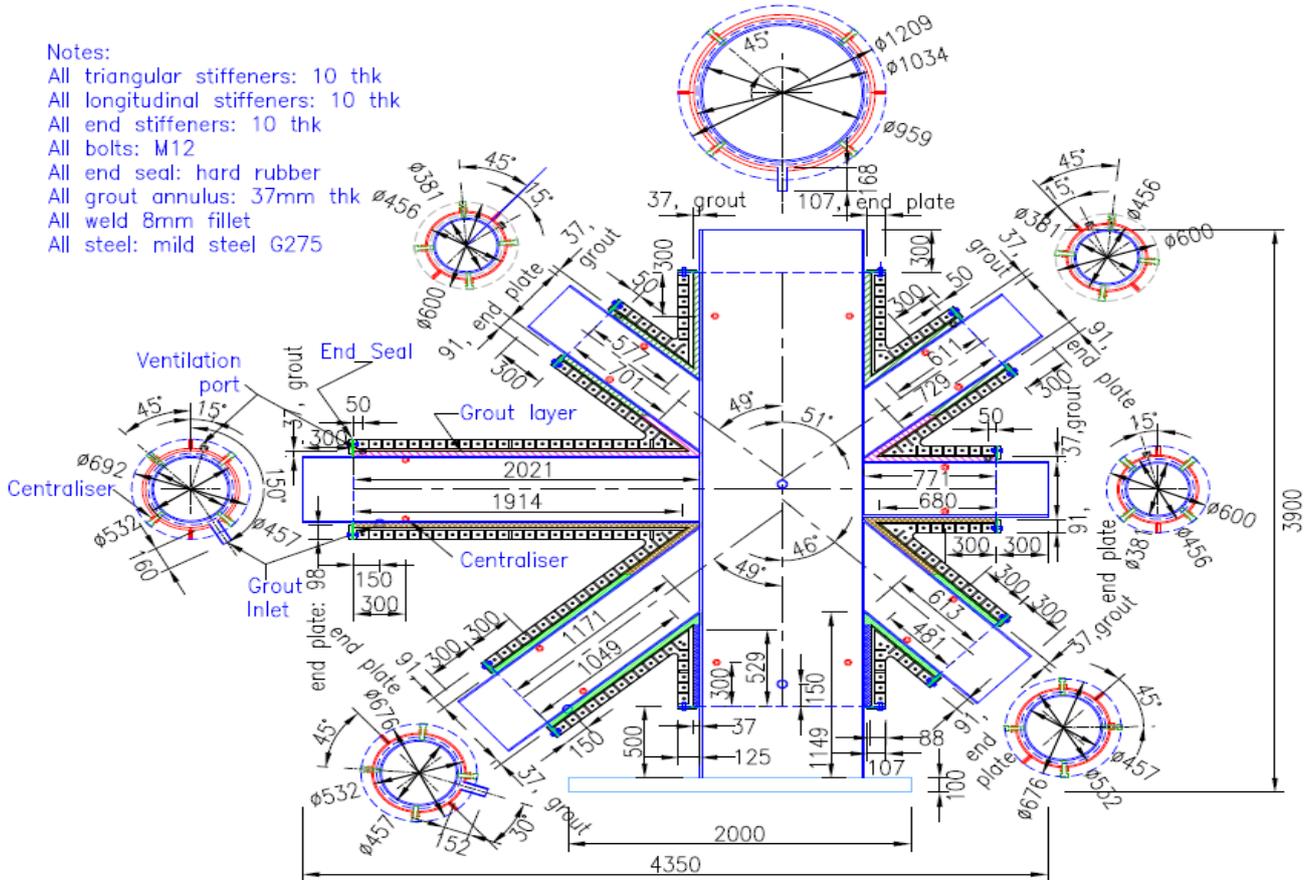


图2 灌浆卡箍螺栓标号图

灌浆卡箍分为自应力灌浆卡箍和非自应力灌浆卡箍。自应力灌浆卡箍原理是包裹在管节点外的环形卡箍安装时先灌浆,在通过螺栓对卡子施加径向载荷。卡箍分片间的连接通过螺栓及较大面板连接。制作和安装较复杂,且安装后需定期维护。施加应力后可提供较强的轴向强度,但是考虑复杂性及成本,通常仅用于无法通过其他方式加强的杆件。

非自应力灌浆卡箍是安装时先通过螺栓连接包裹在管节点外的环形卡箍各个分片,施加足够的预紧力。然后向卡箍与原杆件的环形空间内注入无收缩无膨胀的高强水泥。卡箍和原杆件通过高强水泥的粘接力以及摩擦力提供足够的连接强度,并且杆件表面的缺陷也会被高强水泥填充并提供足够的连接强度。相对于其他修复方式非自应力卡箍对原杆件的质量要求没有那么严苛。因此选用非自应力卡箍。而且非自应力卡箍的安装费用更低。

1.2卡箍预制及安装模拟

考虑避免与导管架结构干涉以及安装可行性,卡箍设计成六片,使用616套螺栓。模型卡箍制作好后,在陆地进行安装演练,潜水员熟悉安装流程,对卡箍设计不合理的地方进行优化,重新加工制作。根据每片卡箍的重量和结构形式,进行吊装计算和设计起吊方案,选择合适吊索具。结合陆地试验对卡箍再次进行优化设计,提高海上安装成功率。如根据卡箍螺栓安装顺序对卡箍所有螺栓进行标号,便于潜水员水下按照顺序进行加力紧固等。

1.3水泥温度选取

根据实验试验方案Nax Q140-E浆液的新鲜特征,性能参数是根据实验室设备混合后进行的测试所得出,在不同的温度下,浆液的性能参数不同,最终选定温度在20℃条件下浆液的性能。

(1) 根据水泥实验数据在测试温度在20℃时

表1 20℃下水泥数据浆卡

测试序号	测试类型	测试方法	测试温度	测试值平均值
FG1	流体测试 (2 min)	ASTM C230/C1437	20℃	300 mm
	流体测试 (30min)			255 mm
	流体测试 (60min)			175 mm
	流体测试 (90min)			125 mm
	流体测试 (120min)			105 mm
FG2	灌浆料密度	EN 12350-6		2510 kg/m <sup>3</sup>
FG3	沁水率	ASTM C940		无
FG4	含气率	EN 12350-7		0.8 %
FG5	初凝时间	EN 196-3 1)		03:38 hh:mm
	终凝时间			05:03 hh:mm

(2)NaxQ140-E相关硬化材料的28天强度,如下,在实验室测试程序中测试所产生的批次同每个单独测试结果的基础相比较得出。

表2 不同温度下抗压强度和弯曲力的对比

材料特性	测试样本	固化/测试温度 [°C]	测试方法	测试值
抗压强度	150 x 300 mm 圆柱体	20	EN 12390-3	140.4 MPa
	75 mm 正方体	20	EN 12390-3	166.0 MPa
	40 x 40 x 160 mm 菱形体	20	EN 196-1	143.9 MPa
	150 x 300 mm 圆柱体	-1	EN 12390-3	111.0 MPa
	40 x 40 x 160 mm 菱形体	-1	EN 196-1	102.3 MPa
	150 x 300 mm 圆柱体	35	EN 12390-3	132.2 MPa
固化后密度	40 x 40 x 160 mm 菱形体	35	EN 196-1	138.1 MPa
		20	EN 12390-7	2512 kg/m <sup>3</sup>
		-1	EN 12390-7	2556 kg/m <sup>3</sup>
		35	EN 12390-7	2481 kg/m <sup>3</sup>

## 2 灌浆方法

### 2.1 高强水泥选型

由于UHPC水泥具有粘性,不易与海水混合。并且灌浆卡箍设计有50~75mm的环形空间和多个出浆口。OPC灌浆倾向于被海水稀释,并通过最薄弱的接头/出口流出,无法完全填充卡箍的环形空间。在裙桩套筒等OPC灌浆的典型应用中,出浆口仅在桩套筒顶部,可通过注入大量溢流,用新注入的灌浆取代稀释的灌浆,来确保灌满。但是对于具有多个复杂杆件和多个出浆口的灌浆卡箍,不可能通过类似方式完全替换稀释灌浆,因为灌浆往往会从最薄弱的出口溢出。因此材料厂家把纳米科技运用于水泥水化反应的研究,研发了新一代灌浆材料,超高性能水泥基(UHPC)灌浆,适用于安装,维修和加固近海和海底结构。



图3 水泥浆 超塑性水泥浆 超强灌浆材料

### 2.2 灌浆方法

灌浆作业方的灌浆材料、灌浆设备等应与粘结试验和流动性试验最终确认的材料工具保持一致。水泥搅拌程序、灌浆程序和应急计划等应有文件审查和批准。

灌浆作业前应确认卡箍定位螺栓的最终位置,以便确保卡箍和导管架结构间腔体间隙满足设计图纸要求。检查卡箍连接螺栓,确保全部安装完成,并对卡箍端部密封橡胶结构进行检查,确保均得到正确安装。灌浆材料应在满足材料要求的前提下与流动性试验和粘结行试样材料保持一致。对于灌浆设备也要求

与上述试验中采用并经过确认合适的设备保持一致。

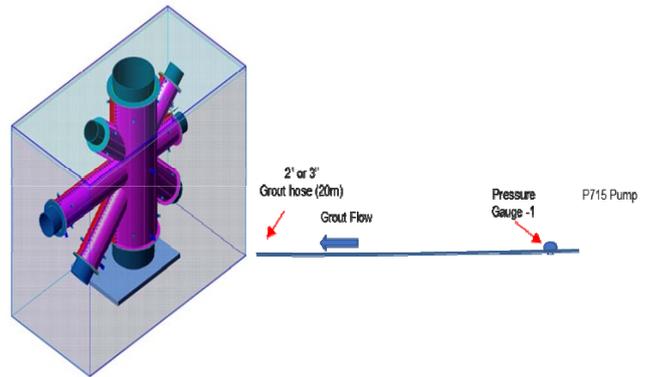


图4 灌浆试验设备安装方法



图5 现场压力表和灌浆现场

根据高性能灌浆材料流动性要求: 初始流动性大于300mm, 120分钟流动性大于280mm, 240分钟流动性大于240mm。以及高性能灌浆材料在环境温度24℃, 初凝时间大于8小时, 终凝时间大于10小时。在灌浆材料满足上述要求的基础上, 需要结合流动性试验和粘结性试验的数据结果及设备的能力, 确认合适的搅拌比例, 满足项目中实际卡箍腔体所需灌浆22吨的要求, 并考虑一定的余量以确保浆料充满全部卡箍节点, 达到强度要求。

开始灌浆作业前, 应将所有卡箍螺栓, 定位螺栓及封板安装调整好。在规划灌浆设备分布时, 应提供一定的冗余, 以便在任何设备发生故障时, 备用设备能够充分快速地运行, 以将停机时间限制在不影响灌浆材料流动的时间范围内。如果停止时间过长, 作业方应冲洗所有灌浆设备, 并丢弃搅拌机中的任何灌浆料。灌浆过程中, 水下人员或者设备需要注意监控水下灌浆的状态, 在每个出浆口有灌浆料溢出后一定时间, 使用盖帽封住出浆口, 以便灌浆料流向其他卡箍分支, 为了确保充满卡箍腔内, 具体溢浆时间应根据浆料性能及流动性试验和粘结强度试验结果数据进行确定, 并体现在灌浆作业方的施工作业程序文件中, 总体溢浆量应不少于卡箍腔体所需浆量的20%。溢出在导管架上的任何灌浆应在硬化前用海水冲洗干净。

## 3 工程应用

发现海上某平台导管架共有9处缺陷。其中两处缺陷为肉眼可见的开裂裂缝,并通过FMD进水构件检测仪对开裂缺陷所在杆件进行检测,确定缺陷所在杆件是否充水。

在卡箍设计和陆地试验时,对卡箍就位的路径进行模拟试验,确保每个分片能够到达安装位置。螺栓安装一般原则先将卡箍远端各端口处成对安装,然后安装各段中间位置螺栓,其他由中间向远端成对安装。安装完成后对卡箍进行灌浆作业,提供一泵两搅拌机进行,灌浆完毕后,需要测量出口的水泥浆密度,满足灌浆要求。

#### 4 结束语

通过在卡箍内灌浆对海洋平台导管架焊道处出现可视化裂纹现象的修复的工程实例,可以看出该项工艺满足海洋平台使用寿命的要求。在陆地进行实操模拟,完善了施工工艺,大大降低了施工难度和风险。灌浆方法在修复结构裂纹缺陷后,能够保

障平台结构强度满足要求,保证海上设施的安全生产。该项技术从治理角度打开了新思路,为水下结构的裂纹修复提供更多的解决方法,希望能为其他项目起到借鉴作用。

#### [参考文献]

[1]袁启东,陈不友.导管架水下桩腿裂纹修复焊接技术[J].石油工程建设,2020,46(S1):84-88.

[2]李聪.短螺栓型膨胀式自应力灌浆卡箍承载性能与设计方法研究[D].中国海洋大学,2014.

[3]杜晓麟,杨雨,孙仲彬.水泥灌浆自动化成套装备的研究[C]//2021水利水电地基与基础工程技术创新与发展,2021:503-508.

#### 作者简介:

冯立卫(1976--),男,汉族,陕西省渭南市人,本科,工程师,从事海洋石油油气生产及设备运维研究。

#### 中国万方数据库简介:

万方数据成立于1993年。2000年,在原万方数据(集团)公司的基础上,由中国科学技术信息研究所联合中国文化产业投资基金、中国科技出版传媒有限公司、北京知金科技投资有限公司、四川省科技信息研究所和科技文献出版社等五家单位共同发起成立——“北京万方数据股份有限公司”。

万方数据是国内较早以信息服务为核心的股份制高新技术企业,经过20年来快速稳定的发展,万方数据目前拥有在职员工近千人,其中硕士以上学历约占25%,专业技术人员占70%,已经发展成为一家以提供信息资源产品为基础,同时集信息内容管理解决方案与知识服务为一体的综合信息内容服务提供商,形成了以“资源+软件+硬件+服务”为核心的业务模式。

万方数据以客户需求为导向,依托强大的数据采集能力,应用先进的信息处理技术和检索技术,为决策主体、科研主体、创新主体提供高质量的信息资源产品。在精心打造万方数据知识服务平台的基础上,万方数据还基于“数据+工具+专业智慧”的情报工程思路,为用户提供专业化的数据定制、分析管理工具和情报方法,并陆续推出万方医学网、万方数据企业知识服务平台、中小学数字图书馆等一系列信息增值产品,以满足用户对深层次信息和分析的需求,为用户确定技术创新和投资方向提供决策支持。

在为用户提供信息内容服务的同时,作为国内较早开展互联网服务的企业之一,万方数据坚持以信息资源建设为核心,努力发展成为中国优质的信息内容服务提供商,开发独具特色的信息处理方案和信息增值产品,为用户提供从数据、信息到知识的全面解决方案,服务于国民经济信息化建设,推动全民信息素质的提升。