

管道法兰卡爪连接器结构设计毕业论文

摘 要

海洋油气资源开发是海洋资源开发的一个重要方面，而海底输油气管道是油气资源开发的关键设施之一，海底管道回接技术又是水下生产系统的关键所在，主要应用于水下系统海底平台间软管与硬管的连接。国外海洋大国的海底回接技术飞速发展，而我国还没有完善的深水海底的回接施工技术体系。课题内容源于国家863计划项目“深水海底管道水下回接技术”的一部分，主要目的是研制具有自主知识产权的管道法兰卡爪连接器。

本文介绍了国外发展比较成熟的几种连接器形式和海管回接工艺过程，对管道法兰卡爪连接器实际工作原理和回接过程进行了阐述和分析。根据课题的实际要求提出了管道法兰卡爪连接器的整体设计方案和回接方式。

依据美标中对卡箍的设计标准进行分析计算，结合国内石油行业管件的使用标准，再结合实际海况设计要求，利用三维软件Pro/E设计出一套管道卡爪法兰连接机具，包括卡爪连接机构的设计和对接引导装置的设计。

关键词：海管回接技术 卡箍设计 卡爪连接器

ABSTRACT

Offshore oil and gas exploration is one of the important aspects of the marine resources exploitation, and the undersea oil and gas pipeline is the key facility to exploit oil and gas resources. Therefore, submarine pipeline tie-back technology which used to connect the flexible pipe or the rigid pipe is the basic point of Underwater Production System. The submarine pipeline tie-back technology has revealed a rapid development in some Ocean States, whereas there is still a blank in this field in Our country. The research subject comes from the project "The study of offshore pipeline connection technology in deepwater", which is a part of the national "863" program. The purpose of the thesis is to R&D vertical claw flange connector of offshore pipeline with independent intellectual property right.

First, based on research of the development status of the submarine pipeline connection technology in the worldwide, this paper focuses on several mature connection forms and means of pipeline tie-back technology from overseas as well as describes the actual work theory of vertical jaw connector, and analyses the Process of connection Based on the actual needs of the subject, the general scheme and tie-back mod of the equipment is introduced.

Second, the analysis and calculation about the clamp mechanism is executed based on American standard. Based on the pipe fittings standard in domestic oil industry and the design requirements for the actual sea state, the structure design of the equipment is performed with 3D design software of Pro/E, which consists of mechanism design of the jaw connector and alignment device-oriented institutions.

Key words: Offshore Pipeline Connection Technology; Clamp Design; Claw Connector

目 录

中文摘要	I
英文摘要	II
第 1 章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 课题的背景和意义	2
1.3 国内外海底管道连接技术发展概述	2
1.3.1 国外海底管道连接技术发展概况	2
1.3.2 国内海底管道连接技术发展概况	6
1.4 课题的来源及研究目的和意义	6
1.5 设计主要研究内容	7
第 2 章 管道法兰卡爪连接器整体方案	8
2.1 引言	8
2.2 管道法兰卡爪机具设计要求及实现的功能	8
2.2.1 卡爪机具的设计要求	8
2.2.2 卡爪连接器实现的功能	9
2.3 管道法兰卡爪机具回接过程分析	9
2.3.1 管道法兰卡爪机具工作原理	10
2.3.2 管道法兰卡爪连接器回接过程分析	11
2.4 管道法兰卡爪机具总体方案设计	12
2.4.1 卡爪机具的回接方案	12
2.4.2 卡爪连接器作业过程	14
2.5 本章小结	15
第 3 章 管道法兰卡爪连接器结构设计	16
3.1 引言	16
3.2 回接管道设计	16
3.3 卡箍法兰设计	18
3.4 垂直式卡爪回接机具的结构设计	26
3.4.1 总体结构概括	26
3.4.2 卡爪连接器设计	28
3.4.3 对接引导装置结构设计	30
3.5 本章小结	31

结束语	32
参考文献	33
致谢	34

第1章 绪论

1.1 引言

石油是一种重要能源和优质化工原料、是关系国计民生的重要战略物资，石油工业国民经济的重要基础产业。进入21世纪以来，深水油气开发已成为世界石油工业的热点和科技创新的前沿。世界海洋石油资源量占全球石油资源总量34%，全球海洋石油蕴藏量约1000多亿吨，其中已探明的储量约为380亿吨。目前全球已有100多个国家在进行海上石油勘探其中对深海进行勘探的有50多个国家。随着深水油气勘探开发的不断深入，深水油气探明储量和产量不断增加，所占比重越来越大。尽管不同机构和个人对深水区发现储量的估计相差较大，但截止2002年底已有的资料均表明，深水区已发现的油储量至少为580X 108桶油当量。经预测至2015年深水区的石油占世界海洋石油的25%。当前世界三大深水勘探热点地区分别是巴西近海、美国墨西哥湾和西非沿海，世界深水钻探活动84%都集中在这里，其储量占据了全球深水储量的88%。近几年全球不断取得深水油气重大发现，对全球新增探明储量和提高产量起到了主要作用。20世纪70年代末期，开始开发世界深水油气勘探，当时只能在水深数百米的水域进行油气勘探活动，20世纪90年代发展到水深2000m，至今已能在超过3000m深的水域进行油气勘探。目前，世界最大水深钻探纪录为2003年墨西哥湾Toledo1号井创造的3050m^[1]。

若从1956年莺歌海油苗调查算起，我国海洋石油工业已经走过了近50年的发展历程。我国海洋石油工业实现了从合作开发到自主开发的技术突破的标志，是1982年中国海洋石油总公司的成立，当时具备了自主开发水深200m以内海上油气田的技术能力，海上油气田建成投产了45个。国家海洋局海洋发展战略研究所课题组发布的《海洋发展战略》称，至2010年我国海洋油产量将超过5000万吨，海洋原油生产将进入高速发展期。与国外先进技术存在很大差距截至2004年底，国外深水钻探的最大水深为3095m，我国为505m；国外已开发油气田的最大水深为2192m，我国为333m；国外铺管最大水深为2202m，我国为330m^[2]。我国深水油气田开发面临的巨大挑战则是技术上的巨大差距，因此关键所在就是实现深水技术的跨越发展。我国南海具有丰富的油气资源和天然气水合物资源，石油地质储量约为230亿~300亿吨，占我国油气总资源量的三分之一，其970%蕴藏于深海区域^{[3][4]}，目前我国的深海石油作业项目基本上依托国外的技术和装备实现，受到国外公司的垄断，只有少数几个国家手中掌握此项技术，且引进中存在极大的技术壁垒。同时，这些技术往往又是制约整体技术发展甚至产业发展的瓶颈技术。在国家863计划的支持下，正在建设深水油气田开发公用技术平台。

1. 2 课题的背景和意义

我国海洋油气勘探开发技术走过了一条引进、消化吸收国外技术、国际合作、自主研发的道路。随“九五”和“十五”国家863计划海洋资源开发技术主题研究课题的完成，海洋油气资源勘探开发也采用一批具有国际先进水平的高技术成果应用其中并取得明显效益。目前近海油气勘探开发技术体系已初步建立起了，基本具备了一定的深水油气勘探开发技术基础^[5]。

1. 3 国内外海底管道连接技术发展概述

目前，全世界已有2300多套水下生产设施、204座深水平台运行在全世界各大海域，最大工作水深张力腿平台(TLP)已达到1434m、SPAR为2073m、浮式生产储油装置(FPSO)为1900m、多功能半潜式平台达到1920m以上、水下作业机器人(ROV)超过3000m，采用水下生产技术开发油气田最大水深为2192m，最大钻探水深为3095m。恶劣海况和复杂海底地貌及地质情况下的回接设计技术，开发了一系列海底作业的施工技术方法，并形成产品化和系列化。我国油气资源开发当前仍处在200m水深以下的近海海域，目前已经具备了300米水深以内的海洋油田自主开发能力，深水海域油气资源仍处在勘探开发的萌芽。

1. 3. 1 国外海底管道连接技术发展概况

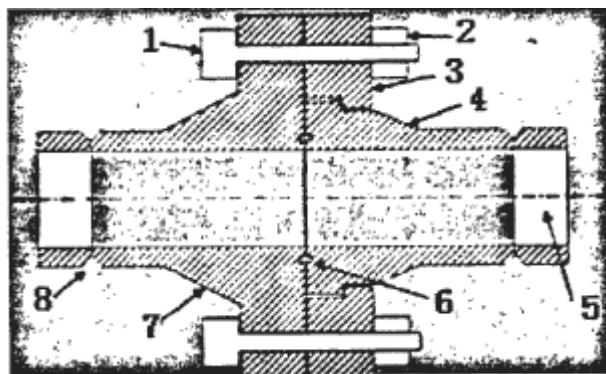
海底管道连接步骤包括：短管尺寸测试、制作、降低、对准、回接、密封测试。此项技术在国外发展比较成熟，其中以美国和挪威为代表的一些公司已经拥有一整套的水下作业系统工具，并在世界上各个海域得到广泛应用。

下面连接器类型和海底管道回接方法两方面说明海底管道连接技术发展现状。

(1) 连接器种类

1) 螺栓法兰连接器

螺栓法兰连接器是由旋转环法兰和对焊颈法兰组成，见图1. 1。其主要特点是：带有螺栓孔的旋转法兰外圈可以转动；在两配合法兰间开有凹槽，通过压缩金属密封件，实现密封；经济成本较低。2001年美国StoltOffshore公司研制出MATIS系统，已成功采用此种连接器应用于海底管道回接。

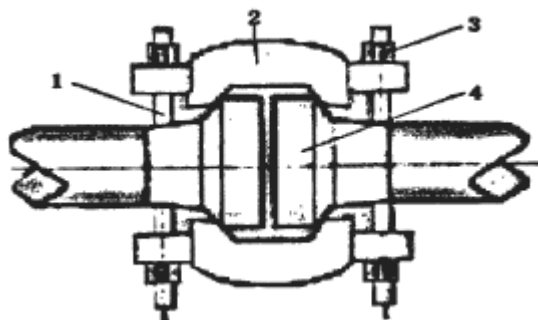


1. 螺栓 2. 螺母 3. 旋转环 4. 旋转环法 5. 管子
6. 密封环 7. 对焊颈法兰 8. 管子与法兰焊接

图1.1 螺栓法兰连接器剖视图

2) 卡箍连接器

卡箍连接器是由上下管接头法兰和带螺栓螺母的卡箍组成，见图1. 2所示。夹紧连接需要的螺栓螺母数较少，一般只需要2~4个。连接轴线在每个管道的末端，其上放置两个被螺栓连接的半圆形的夹子，当紧固螺栓时，夹子的凹槽使螺栓张紧时产生的正交力转化为管道的轴向力，从而使管道合拢。其特点是：快速连接；结构轻易；对准精度高；相对于螺栓螺母连接器费用偏高，广泛应用于无潜连接。美国FMC公司已成功应用此项技术在深水管道的连接当中。

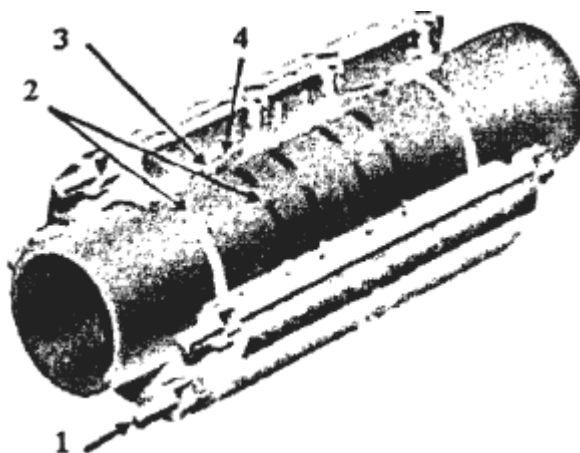


1. 螺栓 2. 卡箍 3. 螺母 4. 管接头法兰

图1.2 卡箍连接器剖视图

3) Morgrip机械连接器，

Morgrip机械连接器是由无焊缝、整体性的机械法兰构成，见图1. 3所示。待回接的管道间分别布置轴承式法兰，在管接头内侧安装一整套带弹簧的球轴承，密封圈镶嵌在其中。通过双头螺栓压紧，推动球轴承顶到法兰外壁，所获得的机械夹紧力压缩凹槽内的密封圈压靠在法兰外壁上，实现密封。美国Hydratight Sweeney Ltd公司研制的Morgrip机械连接器比螺栓法兰连接器价格高，但它安装方便，节省工期。

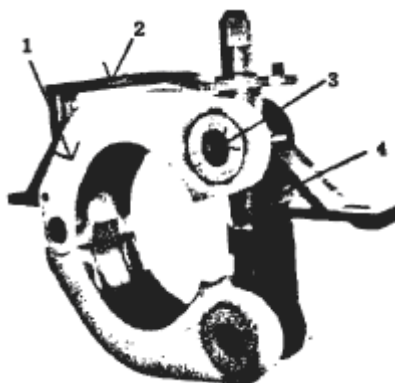


1. 张紧螺栓 2. 密封件 3. 球轴承 4. 弹簧

图1.3 快速接头示意图

4) 夹具连接器

夹具连接器是基于对2分段钳拧在一起围绕两个中心，如图1.4所示，此连接器包括一个两片分段夹具的设计。其特点适合大口径，低压力横向连接的应用，美国FMC公司已经把此项技术标准化。

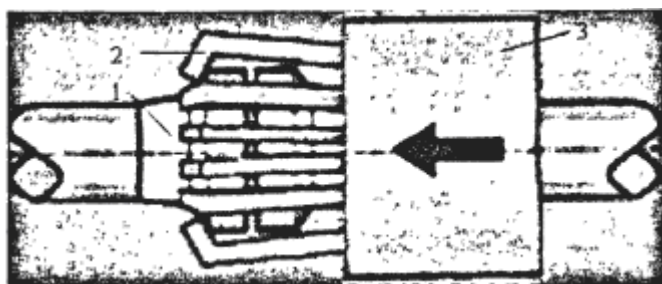


1. 钳夹 2. 锁紧件 3. 杆轴承 4. 夹住

图1.4 夹具连机器示意图

5) 卡爪连接器

卡爪式法兰连接器是用一组置于被连接管道末端轮毂圆周上的夹头连接管道，见图1.5。筒夹绕枢轴移动，卡爪锁在毂的边缘。作用在毂上的筒夹力还供给金属环密封能量，将轴向力施加到毂面上。美国Oil States公司研制的无人液压卡爪式法兰连接器常用于海底生产系统的最终连接及管道维修。



1. 轮毂 2. 卡爪 3. 套筒

图1.5 卡爪连接器示意图

(2) 海底管道回接方法

1) 水下焊接

常用的水下焊接有湿式焊接、局部干式焊接、干式焊接和摩擦焊接等。前两种在40m水深以下适用范围广，而干式焊接多用在500m水深条件下，并且辅助一个高压焊接密封仓，当潜水员施焊时，随时需要提供潜水员呼吸氧气及排烟工作。英国的Stolt Comex SeawayLtd公司在1986首次将环形轨道自动焊接用于水下高压仓焊接，借助ROV利用子系统进行作业，同时由潜水员辅助完成。对于500m甚至1000m以上水深的状况，最具深水应用前景的是英国Cranfield大学研究表明MIG焊接(GMA焊接)，当年在挪威Statoil公司进行了实际710m水深的无潜高压焊接^[6]。

2) 水下机械连接

在浅水一般由潜水员回接，目前潜水650m为极限水深；而深水情况，采用无潜回接的远程系统，借助于ROV在整个回接过程的控制和操作，这样既降低了成本，还确保了人员安全。

有潜机械连接：

由潜水员测量距离和角度偏差，借以来确定回接需要的刚性或柔性短管尺寸。通常都是将短管预制好，安装在船上，将其降低投发到海底，对准与需要回接的管道，然后由潜水员锁紧螺栓和螺母。最常用的机械连接器有螺栓法兰连接器、卡箍连接器和Morgrip机械连接器。

无潜机械连接：

美国Sonsub公司研制出标准组件的管道拉入、对准及连接系统BRUTUS，由ROV安装及操纵，主要连接器是卡爪式连接器、卡箍连接器、螺栓法兰连接器和Morgrip机械连接器。2000年在挪威StatoilNome. Heidrun项目中成功采用BRUTUS系统，实现了对水下400m水深，直径400mm管道进行了Taper-Lok螺栓法兰连接器回接。2001年美国的StoltOffshore公司研制出标准组件高级回接系统MATIS，能够实现3000m、直径120~600mm深水管道的回接^[6]。

美国Oilstates Hydro

Tech公司研制的无潜卡爪连接器组件，借助ROV的辅助引导仅由简单的起重作业就可实现海底管道之间的垂直硬管跳接，如图1.6所示。此外在铺设管道时，首先进行卡爪式法兰连接器与接收器的粗对准，然后借助ROV转动铰链到水平状态实现水平回接，为在海底管道铺设方式提供新的起点。如图1.7所示。美国Oil States公司运用此项技术成功进行了水深396m—640m的回接。

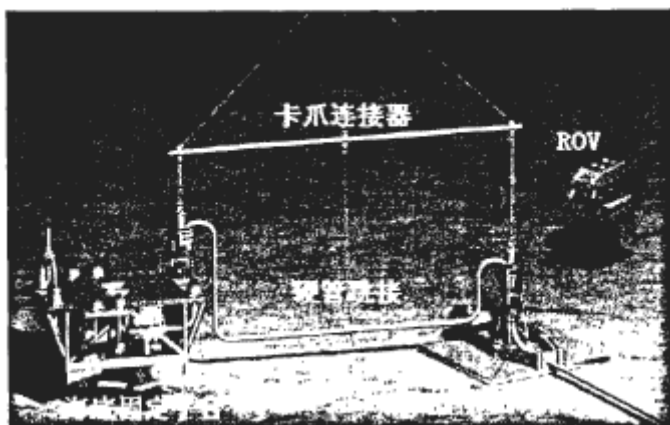


图1.6 硬管跳接示意图

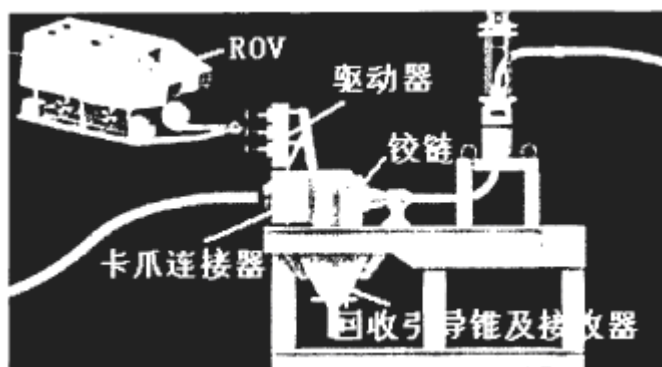


图1.7 垂直引导锥绞接示意图

1.3.2 国内海底管道连接技术发展概况

我国1500米海底管道回接仍处在萌芽期，还没有完整的回接设备，主要回接方式还是租赁国外公司回接设备来完成。管道回接在海中500米以内的，多采取潜水员的直接操作方式来实现海底管道的回接。国内则通常采用将整套管材在船上连接成形，然后将成套设备两端密封住，最后将整套设备拉入海中，借助整套设备的浮力把回接机具拖到指定位置，再将管线头两端打开灌水沉于海中，起重机将整套设备下放预定位置使管线头下落到基槽内实现对接^{[7][8]}。

1.4 课题的来源及研究目的和意义

本课题源于国家“863”项目，是中国海洋石油工程公司承接的项目《水下分离器

及其相关技术研究》当中《水下连接器技术研究》的子项目。

当前，中国海洋石油公司进行海底管道铺设和安装时，完全是靠租借国外设备或直接委托国外施工。不但费用高，而且施工周期也不能自主。因此，本论文研究的目的就是研制具有自主知识产权的海底管道连接机具，既能打破现有国外技术垄断现状，又能节省开发成本，缩减施工时间，大大提高其经济效益。

本课题的研究意义有如下几点：

(1) 经济利益。拥有自主知识产权的水下作业工具，就可以不必租用国外设备和聘用国外人员，可以降低工程成本。同时使用自己设备还能打开国外市场，为国家创造更多利润。

(2) 安装工期。拥有具有自主知识产权的水下作业工具，很容易达到海上施工设备的系统化和配套化，避免担心设备租不来等诸多问题，可以缩减工期，提高工作效率。

(3) 缓解能源危机。通过海底管道法兰对接系统的研制和应用，可以加速深海油气资源的开采，缓解我国对国外石油和天然气的依赖。

(4) 国家利益安全。使用具有自主知识产权的海洋施工设备，可以避免国外公司参与我国的油气资源开采项目，就可以保护我国油气资源数据不被国外所掌握，在大意义上来说，能有效的保证国家利益和安全。

1.5 设计主要研究内容

本设计研究海底管道法兰卡爪连接器，即垂直式卡爪连接器海底管道回接机具的研制，着重在于卡爪回接方式研究和卡爪连接器设计，具体进行如下工作：

初始条件的确定，本课题的初始给定条件为1500米水深和6英寸管道。根据指定参数，依据国内石油行业标准件的选择标准，查阅国外有关资料确定边界条件；

管道法兰卡爪连接器的研究。研究国外海底管道回接方法及连接设备，从而明确管道法兰卡爪连接机具的整体设计方案，管道法兰卡爪连接器回接方式研究；

参照卡箍连接器的设计原理，依据此对整个管道法兰卡爪连接机具进行的整体的结构设计，包括卡爪连接器 and 对接引导装置的设计；还涵盖原理分析，对连接器导向、对中、连接、锁紧和密封机构进行研究和设计。

用三维设计软件Pro/E建立卡爪连接器三维模型。

第2章 管道法兰卡爪连接器整体方案

2.1 引言

管道法兰卡爪连接器主要借助ROV辅助作业，实现深水海底管道之间及管道与井口之间的便于拆卸更换的垂直联接和跨接。该连接器在国外公司通过自主研发，以拥有数类产品成功应用世界各个海况作业，其突出特点是应用的范围广泛，在恶劣的海底进行无潜回接，连接的管径范围大，而且其结构紧凑，连接快捷，经济价值较低。

本章首先根据实际海况作业情况，对垂直式卡爪机具提出的要求，然后在阐述管道法兰卡爪连接机具的工作原理和回接过程，最后明确了管道法兰卡爪机具的总体设计方案。

2.2 管道法兰卡爪机具设计要求及实现的功能

为了更好地实践由浅海到深海的跨越式发展战略，设计深水海底管道的液压垂直式卡爪法兰连接，即液压垂直式卡爪深水管道自动回接机具的研制，其目标是研制出与1500m水深配套的适用于6寸管径的连接器试验样机，操作压力达到5000psi，实现在管线端汇管和其它汇管或产品树之间的硬管或软管跳接。

2.2.1 卡爪机具的设计要求

根据国内实际工作海况情况，设计适用于1500m深水环境的作业样机，试验样机适用于6英寸管径，满足操作压力达到5000psi，并完成样机打压及水池连接试验。

对深水水下管线连接的解决方案进行一般性研究，确定适合的、可靠的、可行的、简单高效的连接方式。提出对水下分离器和海底管道的连接方法研究、卡爪水下接器执行结构、力学分析与仿真研究和密封设计研究等该机具核心技术给予高度重视。

主要研究内容包括以下几个方面：

(1) 水下分离器和海底管道的连接方法研究

刚性管道和柔性管道的连接连接方法研究；

垂直连接方法研究。

(2) 卡爪式水下连接器执行结构

卡箍式法兰设计；

对接引导装置设计。

(3) 卡爪式水下连接器密封技术研究

法兰静密封研究。

2.2.2 卡爪连接器实现的功能

通过对国内外相关资料及相关产品的研究，确定卡爪连接器需要完成对准、推进、夹紧和锁紧这几个重要步骤完成对接任务。

首先，由吊车将机构下放到海底，借助ROV引导，通过套筒对准，进行初对准；然后由推进液压缸整体推进到待连接位置，准备连接；此时液压缸卸荷，弹簧释放力推动驱动环向下从而使卡爪闭合夹紧管套，完成连接；最后，弹簧力仍然作用使驱动环继续向下移动，最终锁紧。

2.3 管道法兰卡爪机具回接过程分析

据资料显示，国外主要公司管道法兰卡爪连接机具的回接技术已经很成熟，特别以美国 Oil Sates /FMC和Sonsub 等率先研制出管道法兰液压卡爪式连接器如图2.1示，其实际回接情况如图2.2所示。

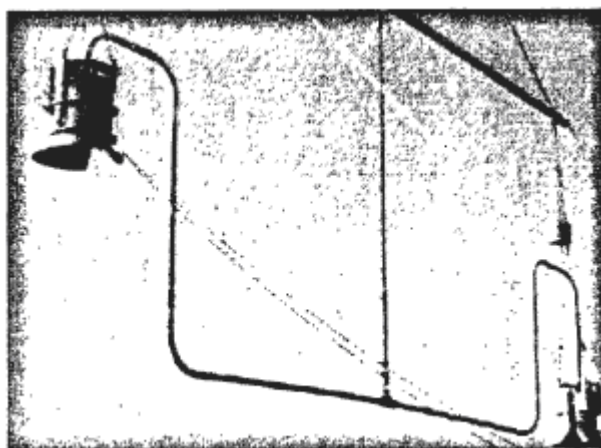


图2.1 垂直式卡爪连接器图

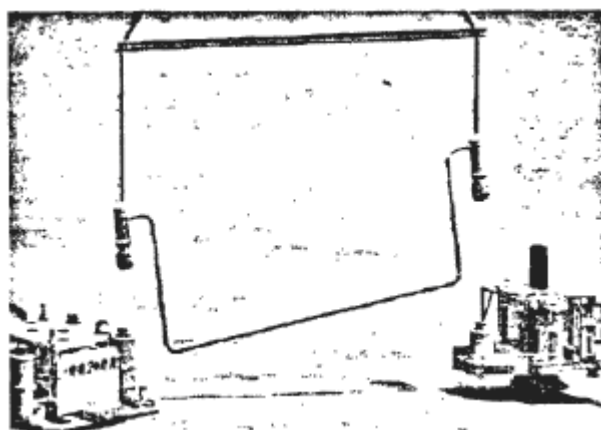


图2.2 垂直式液压卡爪连接器实际回接情况

2.3.1 管道法兰卡爪机具工作原理

其工作原理如下：

首先，卡爪处于开位，弹簧处于压缩蓄能状态，机构由吊车下放到海底，通过套筒对准，进行初对准(如图2.3所示)；

然后下放到待连接位置，准备连接(如图2.4所示)；

弹簧释放力推动驱动环向下运动从而使卡爪闭合夹紧管套，完成连接(如图2.5所示)；

最后弹簧力仍然作用使驱动环继续向下移动，最终锁紧(如图2.6所示)；完成锁紧以后，对准套和控制板收回。

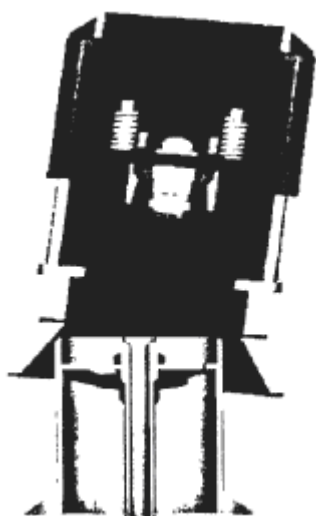
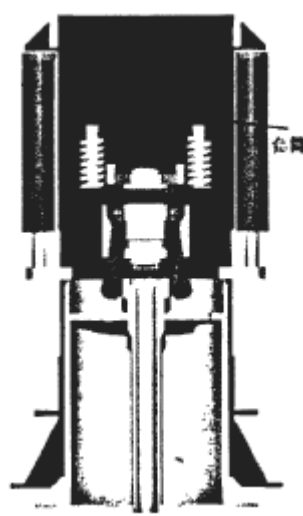


图2.3 初校对图



2.4 整体推进

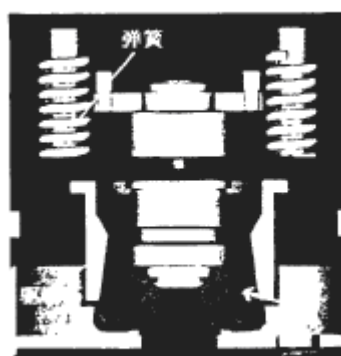


图2.5 夹紧过程

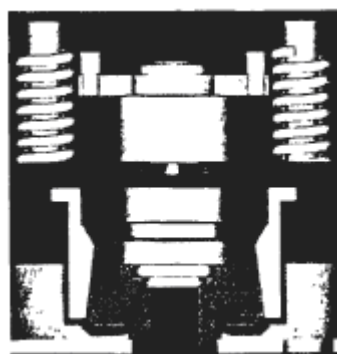


图2.6 锁紧

对准方式初步采用套筒对准，在推进的过程中完成精确对准。推进过程是指初步对准完成后，夹紧部分整体向下推进到夹紧位置的过程。夹紧的过程采用释放弹簧的弹簧力提供夹紧并保持锁紧状态。

2.3.2 管道法兰卡爪连接器回接过程分析

由于机具是在深海作业，潜水员不能够到达的水深，而机具在水下工作适宜携带这么大的油箱，经讨论提出了ROV水下对接平台，即由ROV携带着有油口接头与机具上相对应的油口接头实现水下对接，从而为机具提供油源，而此时油箱只需放在水面上或ROV上。

ROV是远程无人有缆的遥控操作潜器，通过一根电缆和水面船连接从而获得能源，控制命令并进行通^[7]。MAX Rover深潜工作级ROV是由DeepSea Systems International公司研制的，最大下潜深度可以达到水下3000m，有效载荷可以达到90kg，如图2.7。

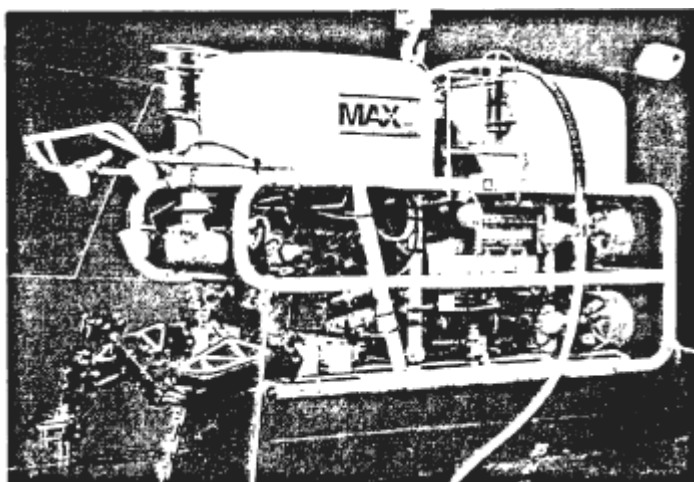
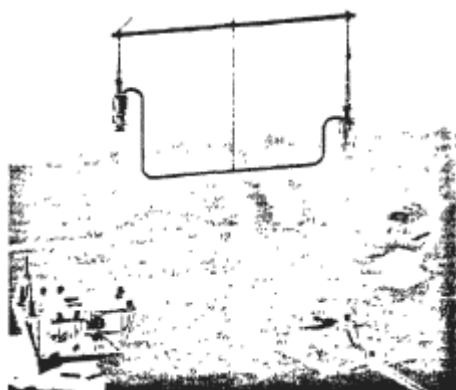
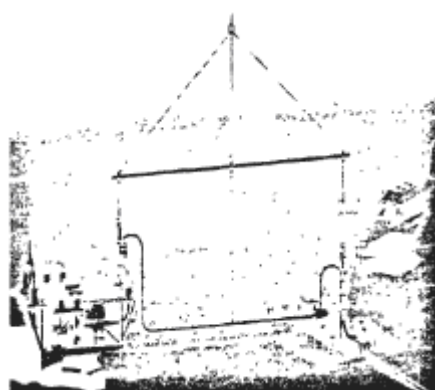


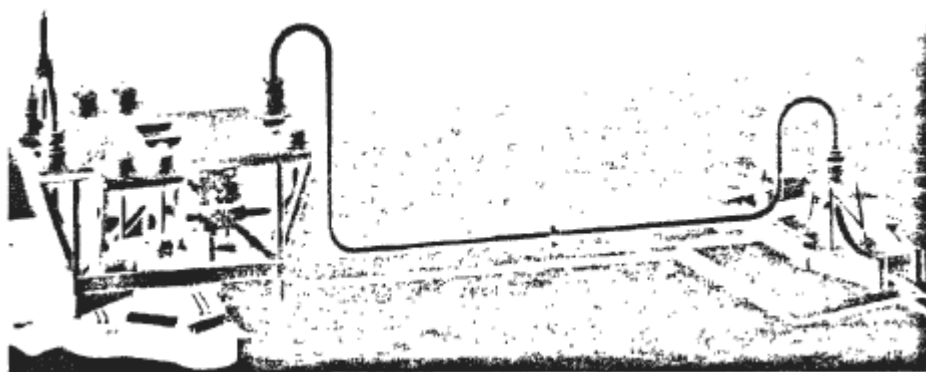
图2.7 美国DSSI公司的Max Rover
由ROV辅助的管道法兰引导卡爪连接机具回接工作过程如下：



(1) 连接器整体下放，进行初校对



(2) ROV辅助连接机具进行粗连接



(3) 完成连接器与平台回接

图2.8 对接完成后海底管道连接图

由图2.8所示，该机具的整体回接过程简易方便，容易操作，但对对准精度要求比较，由于连接器的引导部件可回收的缘故，其经济性相对稍好^[8]。

2.4 管道法兰卡爪机具总体方案设计

2.4.1 卡爪机具的回接方案

通过参阅和研究，国外专利及拥有系列产品公司的资料，依据这些把管道法兰卡爪连机具的研究分为：连接器执行机构和密封结构研究。

(1) 执行机构分为对准机构、推进连接机构、海底平台待连接机构。

1) 对准机构

导向由对准机构完成，如图2.3所示，采用套筒对准方式；对于执行机构，对准是比较关键的技术，对准的精确直接影响连接工作的成功与否，基于此，在用SolidWorks软件进行三维仿真模型设计的同时，计算出机构允许的最大摆动角度。夹紧机构中卡爪和驱动环是关键零件，二者的配合尤为重要，初始状态要求保持卡爪呈张开状态，驱动环呈提拉卡爪的姿态，开始工作时，要保证在整体推进时，驱动环不会受影响而错位，引起某个或某些卡爪闭合。夹紧过程如图2.5所示。

2) 推进连接机构

锁紧功能的实现是推进连接机构由液压缸和弹簧配合完成，其中，难点主要在于弹簧的预压缩与释放，参考国外的产品以后，设计以下两种方式：一纯机械式结构(如图 2.9所示)。在驱动板与弹簧的另一固定端之间安装这样的结构，初始位置为锁紧，开始进行连接时，由外围的液压缸提供动力源，将导向套向下推，同时释放弹簧进行对接，这种机构的优点是结构简单，经济性好；缺点是工作不够稳定；二采用液压缸(如图 2.10所示)。在驱动板与弹簧的另一固定端之间安装液压缸，利用液压缸来压缩和释放弹簧，这种结构的优点是实现容易，稳定性好，缺点是液压缸不能回收，经济性较差。由于弹簧一直处于蓄能状态，如何克服其弹簧力是难点，对液压系统的要求也很高，需要详细计算夹紧瞬间所需的力 F_j 以及夹紧后保持工作状态所需的力 F_b 。根据 $F_j + F_b$ 选择 F_x 为弹簧初始蓄能力，要求 $F_x > F_j + F_b$ ，根据 F_x 选择合适的液压缸。



图2.9 机械式压缩弹簧机构工作原理示意图

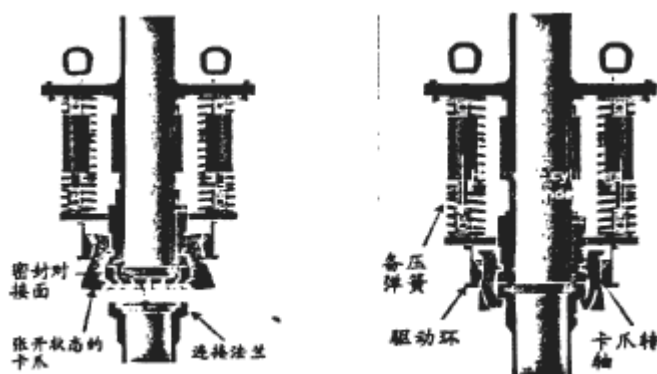


图2.10 液压缸压缩与释放弹簧原理图

3) 海底平台待连接机构

海底平台待连接机构主要由管道、下法兰、对准套筒等组成，要参照现有的海底平台待连接机构进行设计。

(2) 密封结构

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要
下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/157132126103006114>