

[船舶舾装 / 特种装置]

浅水铺管船铺管作业系统设计简述^{*}

潘 雲 程 峰 金瑞健 齐金龙

(七〇八研究所 上海 200011)

[关键词] 铺管船; 铺管作业系统; 系统配置; 设计; 功能

[摘 要] 以国内首艘独立设计 1 200 t 浅水铺管船 / 海洋石油 2020 号为设计实例, 简要介绍铺管船核心系统之一铺管作业系统的配置、设计及主要功能, 以及主要的铺管设备和其他主要辅助系统和设备等主要结构及工作原理。

[中图分类号] U674.34 [文献标识码] A [文章编号] 1001-9855(2010)03-0049-06

Pipelaying System of a Shallow Water Pipelaying Vessel

Pan Yun Cheng Feng Jin Ruijian Qi Jinlong

Keywords pipelaying vessel; pipelaying system; system arrangement; design; function

Abstract With example of / CFD 2020 project, the first independent design of 1 200 t shallow water pipelaying vessel, this paper introduces the arrangement, design and main functions of pipelaying system, one of her core system, as well as the structure and principles of the primary pipelaying equipments and other assistant systems and equipments.

0 引 言

铺管船是用于铺设海底管道专用的大型海洋工程船舶, 多用于海底输油管道、海底输气管道、海底输水管道的铺设。铺管船根据水深可分为深水 (> 300 m) 铺管船和浅水 (< 300 m) 铺管船两种, 根据航行能力分为自航式和非自航式。深水铺管船大多为自航式; 浅水铺管船大多为非自航式, 也称驳船。铺管船其船体是铺管设备的载体, 铺管船的核心是铺管设备和铺管工艺。

铺管设备有钢管滚轮输送及对中站系统、搬运吊机、张紧器、A/R 绞车、船舷吊、坡口机、对中器、探伤器、消磁器、加热器、电焊机、行车系统及其他主

要辅助系统和设备等。

铺管工艺是综合理论分析。根据铺管的环境、管子规格等要求, 结合实践经验, 应用先进的计算机软件, 做出较切合实际的分析报告, 制定铺管施工工艺流程。

/ 海洋石油 2020 号浅水铺管船 (见图 1) 是由中国海洋石油工程股份有限公司委托七〇八研究所进行方案设计、详细设计的一艘大型海洋工程船。该船为七〇八研究所开拓了新的设计领域, 代表了该所在工程船舶方面的研发技术实力。

该船为非自航浅水铺管船, 设计铺管能力为 3 km/d (20 in 钢管), 能够铺设水深达 300 m 的海底管线。在主甲板右舷设有铺管作业线, 在主甲板左舷设置管线储存区, 船艉设有固定式托管架。主甲

* [收稿日期] 2009-08-26

[作者简介] 潘 雲 (1965-11-), 男, 汉族, 上海人, 工程师, 主要从事船舶特种机械研究工作。

程 峰 (1974-12-), 男, 汉族, 湖北武汉人, 高级工程师, 主要从事船舶特种机械研究工作。

金瑞健 (1976-06-), 男, 汉族, 天津人, 海油工程海洋石油 202 浅水铺管船项目组。

齐金龙 (1976-09-), 男, 汉族, 天津人, 海油工程海洋石油 202 浅水铺管船项目组。

板上能储藏约 5 000 t管子。管子的装卸和移动由舷侧 1台搬运吊机和多台滚轮传送装置完成。该船另一个重要功能是进行海洋工程起重作业, 设有全

回转起重能力 800 t的重型起重机 (船艏固定模式下起重能力可达 1 200 t), 安装在船艏纵向中心线上的支座上。

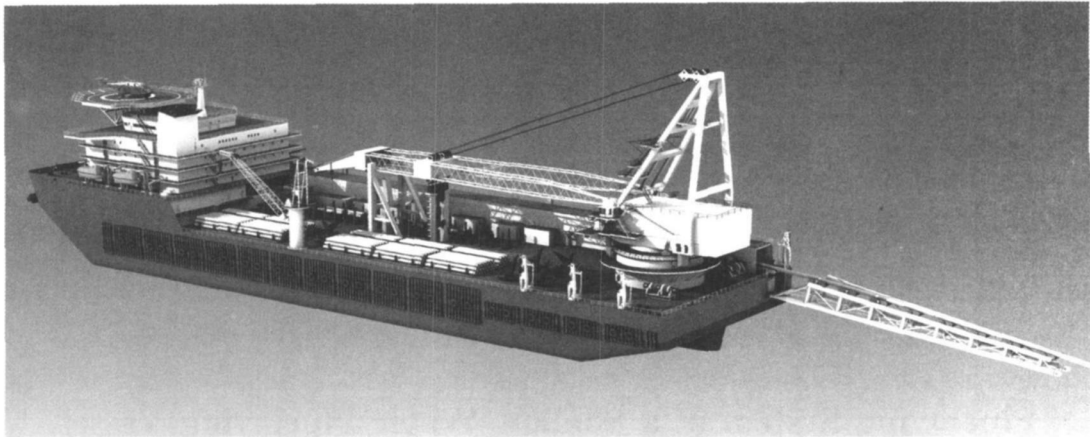


图 1 /海洋石油 2020号浅水铺管船

表 1 铺管能力

管线尺寸	外径 (mm)	壁厚 (mm)	水深 (m)	船上管线曲率 半径 (m)	托管架上管线曲率 半径 (m)	张力 (kN)	管线最大应力 (% SMYS)	
							上弯段	下弯段
4 in	114.3	7.1	300	210	150	200	74.02	20.59
		11.1	300	210	150	300	77.44	20.60
6 in	168.3	11.1	300	210	180	300	51.35	14.47
		15.87	300	210	190	550	61.98	19.16
8 in	219.1	14.3	300	210	160	400	48.59	13.63
		20.62	300	210	160	750	54.57	18.58
10 in	273.1	18.3	300	210	170	700	54.58	15.17
		25.4	300	210	160	1100	60.14	16.70
12 in	323.9	8.4	300	210	200	800	75.19	26.56
		14.3	300	210	190	1200	69.54	23.48
16 in	406.4	10.3	300	205	190	1100	76.67	26.59
		14.3	300	205	200	1300	70.86	23.08
20 in	508.0	14.3	270	205	190	1660	84.15	27.45
		17.5	300	205	195	1660	76.75	22.60
24 in	610.0	15.9	240	205	185	1660	83.56	27.19
		20.62	300	205	200	1660	78.58	21.27
28 in	711.0	19.1	180	205	205	1660	83.97	33.00
		20.62	215	205	200	1660	83.39	28.37
32 in	813.0	20.6	125	220	230	1660	83.35	43.67
36 in	914.0	23.8	105	240	245	1660	84.79	55.56
		25.4	120	240	240	1660	83.90	47.85

铺设钢管基本参数:

管径范围 (包括涂层外径): 4d~ 60d in

管节长度, 单节点 (通常): 12 2 ? 0.5 m

双节点 (通常): 24 4 ? 0.5 m

最大钢管重量: 30 t (单、双节)

本文试以最近建成的一艘浅水铺管船为例, 简要介绍铺管船铺管作业系统的设计。

1 铺管作业系统设计特点

1.1 钢管滚轮输送及对中站系统

本系统设置在主甲板的右弦, 通过纵向输送线、横向输送线和主作业线完成管段的焊接和输送。

该系统包含以下主要组成部分:

1 条纵向传输线: 纵向传输机包括固定纵向传输机和可调纵向传输机, 共 26 台; 其中, 以代号 LC01~ LC22 为固定纵向传输机, LC22~ LC26 为高度可调纵向传输机。LC01~ LC10 为装料区域、LC11~ LC21 为缓冲区域、LC22~ LC26 为转移区域。功能为把管节从纵向传输线的储存区域输送到转移区域; 从纵向传输线转移区域输送到横向输送导轨左舷端;

1 套横向传输线 (包含水平储管平台): 横向输送导轨是将管节从纵向传输线输送到横向输送小车上。在横向输送导轨上主要完成管节的坡口、消磁、加热等管端处理工序和管节的储存 (设计有 3 根 60 管的缓冲区)。横向输送小车用来完成横向输送导轨和对中站之间的管节输送;

1 个对中站: 对中站用于向主作业线焊接第一焊接站管段输送, 并完成焊接前管段对口工作;

1 个管端活动支撑: 自由端支撑滚轮用于支撑管段自由端, 防止管段自由端下垂, 影响管线末端对中;

6 个固定高度滚轮支撑: 固定式管段支撑滚轮用于对中站和第 1 台张紧器之间管段的支撑和导向;

3 个可调高度履带支撑: 用在最后一台张紧器后部支撑和引导管段;

1 个尾部可调高度履带支撑: 位于船艏部, 用于支承和引导管线进入船艏斜坡;

1 个送管系统液压动力站: 为纵向传输机、可

调纵向传输机、横向输送导轨、横向输送小车、对中站和自由端支撑滚轮的执行元件提供液压动力源; 用于可调高度履带支撑和尾部可调高度履带支撑的履带升降操作;

1 个顶升系统液压动力站: 为 3 个可调式管段支撑滚轮、尾部可调支撑滚轮的执行元件提供液压动力源;

1 个系统中央操作台: 中央控制柜布置在主作业线第一焊接站对中控制室内, 操作者通过它控制铺管作业线工作。中央控制台还包括 PLC 可编程控制和文本显示屏, 用于工况监控和故障检测等;

1 个系统分区操作台: 对纵向传输机各输送单元进行单独控制;

1 个纵向送管传输现场操作柜: 用于液压动力站的现场控制与状态显示;

1 个尾部载荷测量系统: 尾部可调支撑滚轮装有载荷测量装置, 可测定垂直载荷; 用于测量尾部可调高度履带支撑的垂直方向外载荷大小。

1.2 搬运吊机

吊机安装于浅水铺管船左舷甲板, 主要用于钢管的过驳、摆放作业, 保证铺管船大量、快速用管的需求, 同时兼做工作锚的吊运及其他散件物品的吊运。

最大起吊重量	50 t
满负载时起吊速度 (50 t)	18.0 m/min
空钩时起吊速度	40.0 m/min
工作半径	最小 7.5 m 至最大 40 m

1.3 张紧器、收放绞车 (A&R 绞车) 系统

张紧器主要完成海底管道在铺设过程当中的输送及张紧。在管线上保持张力可以防止管线在沉到海底之前由于自重作用下产生扭曲和弯曲变形。张紧器的主要特点是使用一上一下两个履带将管子垂直夹持住, 这个特点使张紧器能够适应弯曲度比较大的管子, 一上一下的两个轨道可根据角度调节位置以适应不同铺设角度。为了减少管线弯曲, 利用张紧器履带装置给管线一个反弯矩, 从而抑制管线下垂度。两个履带的制动作用使管线内产生张力。张紧器会起刹车的作用, 并在管线沉到海底之前支承它的重量。张紧器对管线作用一个向上的拉力, 来平衡管线自重的向下的拉力。在管线上保持张力可以防止管线在沉到海底之前由于自重作用下产生扭

曲和弯曲变形。动力来自独立的数控变频器和液压动力站。

A&R 绞车作为整个系统中不可分割的一个部分, A&R 绞车是与张紧器配合使用的设备, 主要完成海底管道的释放及收绞工作。将来自一台或者多台张紧器上的张力自动(持续)转换为绞车的拉力。A&R 绞车刹车系统能够承受相当于钢丝绳破断负荷的载荷。钢丝绳要求最小破断力为 500 t。A&R 绞车安装自动排缆器。通过独立的电驱系统, 滚筒前的排缆器可使钢缆缠绕正确。排缆器配有垂直滑轮, 这样不管缠绕的层数有多少, A&R 绞车钢缆出绳点始终与甲板保持同一水平高度。排缆系统在钢缆缠绕的最外层设置有方便顺畅的缠绕装置, 使钢缆顺利过渡到下一层钢缆。A&R 绞车不配置集成的负载感应装置, 而使用单独的测量滑轮来测量绞车作用在管线上的实际张紧力。特配备一个单独的测量滑轮用于测量 88 mm 钢丝绳的速度、放缆长度和张紧力。测量滑轮安装在倾斜底座上。它由一个高强度钢结构和中心轴(也是负载定位轴)组成。一旦海上起风暴, A&R 绞车立即将管线脱离船体以保证铺管船及管线安全的紧急脱离, 通过 A&R 绞车钢丝绳连接管线。

张紧器性能参数

张紧能力(收绳)

100 t at 20 m/m in(混凝土涂层管道)

张紧能力(放绳)

100 t at 40 m/m in(混凝土涂层管道)

管道底部(B.O.P) 1.8 m(假设管道直径/00)

管道位置 水平

A&R 绞车性能参数

最大张力(收绳) 200 t at 20 m/m in

最大张力(放绳) 200 t at 40 m/m in

钢丝绳直径 88 mm

滚筒能力 1 200 m(7层)

测量滑轮性能参数

型式 卧式

最大载荷 200 t(接触角 90°时)

导向滑轮直径 1 800 mm

1.4 管段储存区

管段堆放在木甲板的堆场中, 可拆卸式支柱进行限位, 支柱安装在储存区的外侧。

1.5 行车系统

作业线的行车系统位于封闭作业线内的滚轮传送系统的上方, 与滚轮传送系统相对应, 主要用于局部滚轮系统不能完成管线传送时, 通过行车系统进行应急的管线传送, 保证铺管作业的连续性。

通过封闭作业线内的行车系统, 能够将一根管子从管子纵向运送线运送到准备区侧, 再横向运送到管子准备区的另一侧, 又纵向运送到张紧器前。主作业线的行车系统在第一个张紧器上方断开, 过了第二个张紧器后, 行车系统可连续到船尾。

电动行车的动力电缆采用滚筒张力形式。

电动行车采用无线遥控, 并且每一台行车都有自己的独立代码, 避免不同的行车在同时使用时误动作。

电动行车要有充分的保护措施, 包括钩头限位开关、行走到头限位开关, 钩头机械缓冲限位和行走到头缓冲限位。所有行车配备锁定机构, 以便在船舶航行时将行车固定在轨道上。

本船设置起重量分别为 20 t(单轨 8台)、10 t(双轨 2台)。

1.6 焊接系统

铺管主作业线焊接系统的所有设备, 适合于单节管、双节管的手动和自动焊接。

自动焊机: 双火焰焊接技术, 这个自动焊机系统能提供恒定的焊接参数控制, 能进行水平和垂直跟踪以维持在焊枪坡口的中心和导电嘴的工作距离。这就是利用弧长控制技术进行自动跟踪, 以纠正坡口或轨道的偏差。结合了带焊枪的小车、机载跟踪控制、外部送丝机、外部电源控制器等。适合于 GMAW 焊接过程。能完成外根焊和标准的热、填充和盖面焊。

消磁机: 现有的管线存在静电现象, 会导致管线产生钢材磁化效果。磁场会影响管线的焊接质量, 引起电弧偏斜。利用物理原理磁滞现象充分地去除钢材的磁化现象, 消除管线的磁场。

管线坡口机 PFM: 机械加工尺寸, O J0形, 管端对齐无间隙时, 两管端部形成 U0形窄间隙, 经过几道焊接和填充后, 最终可形成焊缝帽。PFM 是专门为海上铺管设计的。它可以保证快速的高质量的开坡口, 一种规格的 PFM 可以适合几种不同大小的管子, 避免了为不同的管子储备不同的 PFM。规格

4 in~12 in 8 in~24 in 24 in~42 in 32 in~64 in
PFM 和 HPU 能够处理的最大管子壁厚不小于 1.25 in

焊接保护气: 焊接系统从根焊到焊缝帽的焊接只需要一种保护气, 即 50% 氩 50% 二氧化碳混合气。可以在工程船舶上分别由氩气罐和二氧化碳气罐直接混合而成。

预热: 目的为焊接时预热和应力消除。维持均衡加热, 在材料内部使用感应加热需要加热的区域。局部传导更高温度的热量而不损伤部件的表面。使用预热毯和软加热电缆与用户容易掌握使用的绝缘毯结合完成加热过程。

内对中对器: 内对中对器驱动方式为气动, 配备铜靴。一种规格的内对中对器可以适合几种不同大小的管子。

1.7 托管架系统

托管架是铺管船必不可少设备, 托管架铺管船又称下水托架式铺管, 是当今世界海上油田施工中采用得最多的一种铺管方法。

托管架是长度为 50 m~250 m 的桁架, 两铰接点铰接在船艏。铰接点同艏部结构形成一个整体, 与艏封板完全平齐。托管架装配有完整的托管架调节系统。固定式托管架调节升降系统一般采用绞车控制。浮式托管架调节升降系统, 它设置几百个阀门以控制上百个注排水浮箱。

托管架的上面有滚轮组作为管线的支承, 当被铺管线从船上徐徐向下进入托管架时, 该滚轮组即为管线的下水滑道, 管线通过托管架即敷设于海底。当敷设水深增加时, 则托管架用于支撑管线离开船艏后的上弯段部分, 而下弯段部分则仍按管线自然下垂弯曲敷至海底。

托管架的作用是保护管线沉没在海底之前, 控制其一定的挠度, 不使管壁承受过大的弯曲应力, 同时也承受管线在水中的颤动。为减少管壁的弯曲应力, 在托管架上还设置有张力装置, 并有测斜仪以控制托管架的斜度。托管架与水面的夹角是根据管线容许弯曲半径而定, 一般为 $30^\circ \sim 35^\circ$ 而随着管壁加厚, 水深增加而角度减少。

1.8 铺管控制设备

控制铺管的主操作中心放置在驾驶桥楼甲板上的铺管控制室内。控制台有一个带红绿灯的模

拟面板, 以显示每个工作站的情况, 来自张紧器、A&R 绞车、对中站及托管架最后滚轮组的 TV 监视器, 都集成在铺管控制室内。作业线上的工作站都装有由控制台操作的声光报警系统。管段移动过程中控制系统与电子报警系统相连 (灯光与警铃)。张紧器及收放绞车也在铺管控制室和 DP 控制室控制。

1.9 无损检验 (NDT) 设备和铅房

NDT 检验设备安装在主作业线上。NDT 设备包括传感器、显示器、打印机及数据存储器。使用超声法进行无损检验。

超声波检验所用的水应为淡水, 可以从管下回收, 淡水可循环使用。

铺管作业时, 为了集中控制射线对周围的放射影响, 放射源为 60 居里铯 ^{137}Cs 源。铅房作用: 用于管件焊接成形后, 移动到位拍片。根据输送滚轮中心高度设计的管筒体铅房、铅房平车, 根据管径不同尺寸更换不同型号前后封头盖板, 确保射线对周围的放射影响, 达到规定范围内的防护要求。

1.10 涂敷设备

涂敷设备主要用于海上管道接口填充的设备, 涂层材料选择如下:

防腐涂层材料 可用作防腐层的防腐涂料很多, 如环氧类、聚氨酯类、玻璃鳞片等, 各种防腐涂料的差异又很大。为保证防腐层的使用寿命, 对防腐涂料一般都有最低要求, 但对涂料品种不作使用规定, 根据目前国内外防腐管线的情况和涂敷施工效果来看, / 环氧底漆 + 热收缩带 0 防腐层在海上接口接口上应用广泛, 而且防腐能力、运行环境、使用寿命等方面均表现良好, 可选用作为防腐涂层。

保温层材料 保温材料采用聚氨酯泡沫, 其原料主要由甲、乙两种材料化合反应而成的保温半瓦, 起到对接头保温的性能。甲组份为多异氰酸酯, 乙组份为组合聚醚, 其主要性能指标满足标准 SY/T 0415296、CJ11422000 和 ASIM 相关标准的要求。

保温半瓦层防护层 保温层的防护层采用热收缩带, 它所起的作用包括: 保护保温层, 使之不受或少破坏; 防止水等介质进入保温层。

补口带、补口套及防水 它所起的作用包括: 保护接口不受进水, 不受腐蚀; 保护保温层, 使之不受或少破坏; 防止水等介质进入保温层。

开孔聚氨酯泡沫层 主要用于海上管道接口的填充, 为开孔类聚氨酯泡沫, 有较高的强度, 便于海上安装。

1.11 移位锚绞车和船舷吊

移位锚绞车是铺管船在施工中移位的动力设备, 每艘铺管船至少有 8 台移位锚绞车, 分布在船的艏艉两舷处, 控制船只的前进、后退及左右移位。主要完成铺管船沿铺设管线的方向移位。本船设置 12 台 1100 kN 电动变频定位锚绞车。

船舷吊是铺管船上辅助设备, 专用于海上对口、海上作立管、海上管道移位等。本船设置安全工作载荷分别为 1 台 50 t 3 台 30 t 船舷吊。

1.12 其他主要辅助系统和设备

压缩空气

设置一个压缩空气配气系统。压缩空气应从中央压缩空气供应站分配到各个使用设备, 可以向管表面处理机、对中站、焊接站、NDT 站、涂装站、管清洁站、冷却站或维修站等其他设备供气。

可燃气体 (奥博气) & 氧气集配系统

在主甲板室外布置可燃气体 (奥博气)、氧气存放站; 在横移区、各焊接站、防腐站配备气体出口。

液压夹紧输送钢管机

用于双层管外管的脱管和推拉作业, 液压系统控制两组液压油缸的运动, 来实现夹钳对钢管的径

向夹紧和轴向输送, 并可用丝杠和垫块对夹钳中心进行垂直方向的调整。

报警 & 监控系统

报警 & 监控系统的设计基于西门子或 ABB 生产的 PLC 控制系统。每个工作站都装有声光报警系统。这套报警的状态用于当管节完成了焊接、NDT、修补和涂装工序, 给出允许管子移动的信号。

2 结 语

这艘国内首次自主设计的功能较全、能力较强、技术先进的多功能铺管起重船, 结束了多年来国外垄断设计的局面。目前该船已交付船东使用, 并将替代国外铺管船在辽东半岛海域渤海油田铺设长约 87 km 的双节双层海底管线。

大型综合铺管船是中海油 / 十一五 0 期间重大投资项目之一, 它的成功建造填补了我国在该领域完全自主研发的空白, 提高了我国海洋工程作业能力, 同时还将为我国研制更大型的铺管船系列, 及海洋铺管设备等海洋石油工程关键设备国产化奠定基础。它必将会为中海油在海洋工程方面的生产发挥巨大的作用。

本文对铺管船铺管作业系统的设计作了浅述, 供读者参考, 不妥之处, 欢迎指正。

[书 讯]

高速艇与游艇设计手册

5 高速艇与游艇设计手册 6 是 5 船艇丛书 6 系列的第一部书, 于 2008 年 11 月出版问世。该书从实用角度出发, 介绍了高速艇与现代游艇的船型特征、设计要素的选择、实用的设计公式和图表、中国船级社有关高速艇与游艇结构设计方面的要求、游艇的布置、装备、动力装置和推进系统的设计知识, 并附有大量的设计案例, 是一本非常实用的设计工具书。

全书共 262 页, 共分十章, 外加一个规范性附录。该书目录简介: 第一章 世界的高速艇; 第二章 无断级艇设计; 第三章 滑行艇水动力计算; 第四章 阻力、功率、航速的估算; 第五章 滑行艇的受力和强

度计算; 第六章 滑行艇艇体结构设计; 第七章 游艇设计; 第八章 深 V 型艇设计; 第九章 高速艇推进装置设计; 第十章 游艇的布置和装置; 附录 高速艇船体结构设计的规范要求。

该书作者朱珉虎先生曾担任江苏省造船工程学会会刊 5 江苏船舶 6 杂志主编, 以及中国造船工程学会会刊 5 船舶工程 6 杂志的执行副主编等职。该书很适合高速艇和游艇设计工作者、游艇爱好者、游艇制作人员和维护保养人员阅读及参考。如需购买, 可直接致电朱珉虎先生咨询, 联系电话 13045698318。