

“海洋钢结构物”载体材料应用的探讨

赵耕贤

(中国船舶及海洋工程设计研究院, 上海 200011)



赵耕贤

摘要: 主要从造船业的角度, 聚焦在“船舶”和“海洋工程”油气钻采装置。描述了“海洋钢结构物”的特点、设计准则与钢材选用原则, 并列出了典型运输船舶与海洋油气工程装置载体的钢材用量, 以及海洋油气工程装置中典型钢管材料用量。讲述了造船业中常用的低碳钢、高强度钢、超高强度钢、特殊钢与铸钢5大类材料的共性要求, 并列出了载体特殊要求的超高强度钢与特殊钢(主要是低温钢、耐腐蚀钢、抗层状撕裂钢、抗焊接裂纹钢、铸钢和低磁钢)。介绍了海洋钢结构物中钢管的应用。同时建议对我国造船用钢市场, 应“理顺体系、沟通需求、重点突破、贴近工程”。

关键词: 海洋钢结构物; 海洋工程; 载体

中图分类号: TG 146.4 文献标识码: A 文章编号: 1674-3962(2014)01-0046

-07

‘The Study of the Ocean Steel Structure Thing’ Carries Material Application

ZHAO Gengxian

(Marine Design & Research Institute of China, Shanghai 200011, China)

Abstract: Just like the structure in the aerospace which is defined as aircraft internationally, is divided into aviation and astronavigation, the author divides the structure in the sea which is collectively named as marine steel structure into two branches, i. e. ship and marine engineering. The author focuses on marine and offshore oil and gas drilling equipment mainly from the perspective of the shipbuilding industry, describes the features, design criteria and steel selection principles of marine steel structures, and lists the steel amount of typical transport ships and the carriers of offshore oil and gas engineering plants, as well as the mount of the typical steel pipes on the offshore oil and gas engineering plants. The author tells about the special requirements for Extra High Strength Steel and Special Steel (including Low Temperature Steel, Corrosion-Resistant Steel, Lamellar-Tearing-Resistance Steel, Welding-Crack-Resistance Steel, Cast and Low Magnetic Steel mainly) on carriers. The author also introduces the applications of steel pipe on marine steel structures. For becoming the powerful country on shipbuilding and marine industry, Chinese metallurgical industry is to contribute. The author also suggests that Chinese shipbuilding steel market should rationalize the system and communication needs, stand out essentials and get close to projects.

Key words: marine steel structure thing; marine engineering; carries body

1 前言

十多年前, 世界上比较发达的海洋国家已将“海洋钢结构物”划分为“船舶”与“海洋工程”两大独立体系, 专门成立了“船舶(事业)部”与“海洋工程(事业)部”。近年来, 我国也开始接受这一划分法, “海洋工程装

备”已成为我国一个独立的支柱产业。“海洋工程”是一个内涵极其丰富、体系十分庞大的产业, 有: 海洋资源勘探、海底采矿、海上施工、海上潜水、海上服务、海上抢险、海上救助、海洋渔业、海洋盐业、海洋生物、海洋能源、海洋化学资源、海洋综合利用、海洋空间利用等等。而“海洋油气钻采装置”是“海洋工程”的重要标志, 它们的设计、建造、海上安装与使用, 是衡量一个海洋大国的重要标志之一。

“海洋钢结构物”设计与制造归属于造船业。造船业在国民经济发展中占有极其重要的位置, 而“海洋钢

收稿日期: 2013-08-15

作者简介: 赵耕贤, 男, 1941年生, 中国船舶设计大师, Email: zhaogengxian@126.com

DOI: 10.7502/j.issn.1674-3962.2014.01.08

结构物”极大促进了我国造船和相关行业的技术进步,特别是大(超大)型船舶、新颖的特殊船舶、海洋油气工程装置已经成为我国造船业利润的新增长点。它们的自主研制,是国家综合国力的象征,更是衡量一个国家能否跻身于世界海洋大国的标准。

2 海洋钢结构物特点

人们要从波涛汹涌、深远海的大洋底下的数千上万里地壳深处开采出石油和天然气,非常艰难而又非常复杂。风险程度甚高,资金投入巨大,多行业技术大量密集。尽管海洋油气钻采装置大都是没有动力的,需要由拖轮将它拖到指定的工作海域,系固在浩瀚大洋上,或在海洋深处的环境中工作。然后它们明显具有“高风险、高投入、高技术、高回报”的特征。基本特点如下^[1]:

作业范围广、质量要求高 既有固定的,也有可移动的。能在不同海域、不同水深作业。因此,要适应较宽广海域的环境条件。同时,工况亦多,有移位、就位、生产作业、风暴自存等。所以,质量要求特别高。

使用期长、可靠性指标高 一般要求25~40年,极少进坞维修,或不进坞维修,可靠性指标高。结构防腐十分重要。如Spar在海域一旦就位后,水下的绝大部分,根本无法检修。

结构强度要求高 长久系固在海上,除了要经受风、浪、流的作用外,还要考虑台风、冰、地震等灾害性环境载荷作用。

疲劳寿命要求高、建造工艺要求高 为了保证海洋钻采装置功能的最大化,采用了高强度或超高强度钢的特殊钢材,包括Z向钢材。而且是大厚度板材和大厚度大直径的管材。从而突显结构连接部位的疲劳问题。因此对应力集中区构造以及焊接工艺等提出了极高的要求。

生产管理要求高 海洋油气装置的建造、下水、海上运输、海上安装甚为复杂,生产管理明显地高于常规船舶。

安全性要求高 是危险性高度集中的复杂载体,鉴于人们现有的认识还存在着许多不确定的因素,以及可能操作上的问题,其海损事故时有发生,所产生的后果相当严重。所以,有特殊要求和更高的安全标准。

学科交叉、技术复杂 海洋油气钻采装置的结构分析不仅要考虑流固耦合,甚至还要考虑流、固、土的耦合响应,它涉及了海洋流体力学、环境学、结构力学、土力学、材料学等诸多领域,它的技术理论呈现了多学科交叉的复杂问题。

承包商多、界面复杂 配套设备非常广泛,国内外的分包商极多,分包商所需的技术参数相互制约,界面十分复杂。配套设备的运输、仓储、保管、安装、调试等十分繁复。

3 载体设计准则与钢材选用原则

3.1 载体设计准则

“船舶”设计遵守的基本准则有:船东/业主的使用要求,船级社的规范,导文件/指南,国际海事组织的公约、规则,国家主管机关的法规。

“海洋工程”设计中除了上述准则外,还有:API(American Petroleum Institute,美国石油学会)、AISC(American Institute of Steel Construction Inc.,美国钢结构学会)、ANSI(American National Standards Institute,美国国家标准学会)、ASTM(American Society for Testing Materials,美国材料试验学会)、ASTM(American Standard of Testing Materials,美国材料试验标准)、AWS(American Welding Society,美国焊接协会)、ASCE(American Society of corrosion Engineering,美国腐蚀工程学会)、NACE(国际工程师防腐协会)等的规则、准则/指导文件/指南。

船东/业主的使用要求最为基本。除非它与国际海事组织的公约、规则,国家主管机关的法规,或船级社的规范相抵触,或在设计上不合理,或因生产条件的限制不能制造,应及时同船东/业主协商,取得一致的修改意见,否则,均应予以满足。

3.2 载体钢材选用原则

“海洋钢结构物”载体都是由板材、型材构成的空间复杂结构,海洋环境千变万化,使用条件十分苛刻。所以,它的设计、建造、安装、调试、运营、管理等技术复杂,自动化程度高,质量要求严格,耗资巨大,有的投资达到50多亿人民币。为了确保载体安全、可靠,避免恶性事故的发生,应选用合适的载体材料,解决好结构形式、构件尺度、相互连接以及工艺等问题。其中“钢材”是制造“海洋钢结构物”载体最理想的金属材料。

“海洋钢结构物”载体钢材选用涉及构件类型、受力特征、使用部位、环境温度、构件参数、使用性能、生产工艺、制造工艺、经济成本等因素^[3]。

钢材的具体规格与等级,主要是由构件类型、使用部位、环境温度、构件参数(板厚值/型材模数)根据船级社或国际标准要求加以确定,选择强度、韧性等指标合适的钢材。“海洋钢结构物”载体可以采用同一钢种、不同级别的钢材,也可以使用不同强度、不同钢种。所

以，海洋钢结构物用钢的特点是：品种杂、规格多、数量少。钢材产品必须由船级社认可，出具产品合格证书。钢厂除了出具钢材产品炉批号及其性能指标外，在具体的钢材产品上还要提供编码记号（船级社的钢印、钢级、尺寸规格等）。

4 我国海洋工程用钢的现状

进入 21 世纪以来，我国造船业的完工量与接单量已处于世界前列。至今，我国的造船总量已超越日本、韩国，成为世界第一。另据国家海洋局 2009 年发布的《中国海洋发展报告》，我国的海洋勘探处在早期阶段，主要分布在渤海、东南盆地、东海盆地、莺歌海盆地、北部湾盆地、珠江口盆地。原油只占储量的 17.6%，天然气只占储量的 11.9%，所以，我国造船业发展空间极大。

造船业与冶金材料业关系非常密切，相互依赖、相互促进。造船业设计与建造“海洋结构物”都是利用冶金业提供的各种钢材；冶金业根据造船业的需求，研制并生产符合造船领域所需的特殊钢材。造船市场的用钢量巨大，我国的年需求量可达数千万吨以上。例如：5~20 mm 钢板（低碳钢）约占一艘 10 万 t 级的运输船的用钢量在 90% 左右，而海洋工程中的半潜式钻井平台出于功能需要，要求 100% 使用高强度钢材料。表 1 和表 2 列出了典型“船舶”与“海洋工程”载体结构的用量。造船业的“钢材”货源，如能绝大部分立足于国内，则可进一步促进我国材料业的发展，对我国经济发展有着积极意义。

表 1 典型“船舶”船体的钢材用量^[4]

Table 1 Number used steel for typical ship hull structure^[4]

No.	Ship type	Name	Total/ × 10 ³ t
1	Bulk Carrier	170 000 DWT Bulk Carrier	19
2		320 000 DWT ore-cum ship	32. 6
3		3 500 DWT	1. 26
4		10 000 DWT	3. 6
5	Crude Carrier	35 000 DWT	8. 9
6		100 000 DWT	15
7		150 000 DWT	21. 5
8		300 000 DWT	39. 4
9	Container Ship	300 TEU	2. 55
10		650 TEU	3. 24
11		4 250 TEU	13
12		9 160 TEU	28. 6
13	Liquefled petroleum gas vessel	2 000 m ³ LPG	0. 99
14		3 000 m ³ LPG	1. 2
15		16 500 m ³ LPG	5. 4
16		22 000 m ³ LPG	5. 95
17	Roll on/Roll off	220 000 m ³ LNG	29. 89
18		5 000	9. 89
19		6 000	13

表 2 典型“海洋工程”载体的钢材用量^[4]

Table 2 Number used steel for Typical marine engineering structure^[4]

No.	Type	Name	Total / × 10 ³ t	Note
1	Fixed	Fixed Platform	3	Only 24 m water depth
2		Bottom Supported Platform	3. 1	
4		Jack-Up	9. 5	
5	Mobile	FPSO	4	130 ft water depth
6		Semi	11	350 ft water depth
7		TLP	50	400 ft water depth
9		Spar	18	300 000 DWT
			—	3 000 m water depth
			—	Blank in China
			—	blank in China

Note: Don't be included up and downstream equipment of the ocean oil industry chain & kit ships for sea the oil-field serve.

4.1 载体用钢材

“海洋钢结构物”载体对材料的基本要求是：能有效地进行冷(热)加工、装配、焊接，确保载体的安全、可靠，以保证最大的发挥各种功能。造船业常将钢材分为低碳钢、高强度钢、超高强度钢、特殊钢与铸钢五大类。

低碳钢 是造船业用的最基本材料，都是按我国冶标 YB“造船用碳素钢及普通低合金钢技术条件”生产的镇静钢，通常以热轧状态供应。原冶金标准中 2C，3C 和 4C 相当于船级社规定的 A，B，D 级钢。其化学成分相同，只是所要求的冲击值不同。造船界中还规定了更低温度冲击值的 E 级钢。

高强度钢 广泛应用于大(超)型船舶和海洋工程。其钢级见表 3。也有用 16Mn、16MnC、15MnTi、15MnTiC、14MnVTiXtC 等^[3]。

表 3 高强度调质钢的化学成分

Table 3 Higher strength steel grade

Minimum yield stress/N · mm ⁻²	Steel grades
315	AH32
	DH32
	EH32
	FH32
355	AH36
	DH36
	EH36
	FH36
390	AH40
	DH40
	EH40
	FH40

超高强度钢 造船设计师十分关注超高强度钢(Extra High Strength Steel)与特殊钢，它们有别于上述钢种，用量相对来说要少得多，但必不可少。

超高强度钢是经过调质处理的高强度钢 (High Strength Quenched and Tempered Steel)，造船界用超高强度钢的其化学成分和机械性能见表 4 和表 5。

特殊钢 特殊钢主要包括低温钢、耐腐蚀钢、抗层状撕裂钢、抗焊接裂纹钢和高强度铸钢、低磁钢 (Low-Magnet Steel or Non-Magnetic Steel)。

(1)低温钢。低温钢的需求量日益增多。低温钢一般是指工作温度在 -20 ℃ ~ -269 ℃ 之间的低合金高强

表 4 超高强度钢的化学成分^[5]

Table 4 Extra high strength steel chemical composition ^[5]							
Yield stress /N · mm ⁻²	Steel grades	Chemical composition/%					
		C	Si	Mn	P	S	N
420 ~ 690	AQ43 ~ AQ70	0. 21	0. 55	1. 70	0. 035	0. 035	0. 02
	DQ43 ~ DQ70	0. 20	0. 55	1. 70	0. 030	0. 030	0. 02
	EQ43 ~ EQ70	0. 20	0. 55	1. 70	0. 030	0. 030	0. 02
	FQ43 ~ FQ70	0. 18	0. 55	1. 60	0. 025	0. 025	0. 02

表 5 超高强度钢的机械性能^[5]

Table 5 Extra high strength steel mechanical properties^[5]

mechanical properties				Impact test		mechanical properties				Impact test	
Steel grades	Yield stress /N · mm ⁻²	Tensile strength /N · mm ⁻²	Elongation (5. 65 \sqrt{A})	Test temperature (0 ℃)	Impact energy/J	Steel grades	Yield stress /N · mm ⁻²	Tensile strength /N · mm ⁻²	Elongation (5. 65 \sqrt{A})	Test temperature (0 ℃)	Impact energy/J
AQ43	420	530 ~ 680	18	0		AQ56	550	670 ~ 835	16	0	
DQ43				- 20	41 (L direction)	DQ56				- 20	55 (L direction)
EQ43				- 40	or 27 (T direction)	EQ56				- 40	or 37 (T direction)
FQ43				- 60		FQ56				- 60	
AQ47	460	570 ~ 720	17	0		AQ63	620	720 ~ 890	15	0	
DQ47				- 20	46 (L direction)	DQ63				- 20	62 (L direction)
EQ47				- 40	or 31 (T direction)	EQ63				- 40	or 41 (T direction)
FQ47				- 60		FQ63				- 60	
AQ51	500	610 ~ 770	16	0		AQ70	690	770 ~ 940	14	0	
DQ51				- 20	50 (L direction)	DQ70				- 20	69 (L direction)
EQ51				- 40	or 33 (T direction)	EQ70				- 40	or 46 (T direction)
FQ51				- 60		FQ70				- 60	

度钢。目前，我国的低温钢，分为 -40 ℃， -70 ℃， -90 ℃， -120 ℃， -196 ℃ 和 -253 ℃ 共 6 个温度等级。低温钢的钢号有：16MnR，09Mn2VR，09MnTiCuRe，06MnNb，06A1N6CuN，20MN23A1，15Mn26A1。

值得注意的是，液化天然气 (LNG) 船成为造船与航运界的热点。它的材料是特殊的超低温钢，见表 6。图 1 和图 2 是 LNG 运输船中 CS1 薄模型维护系统和 Ni 钢板板。

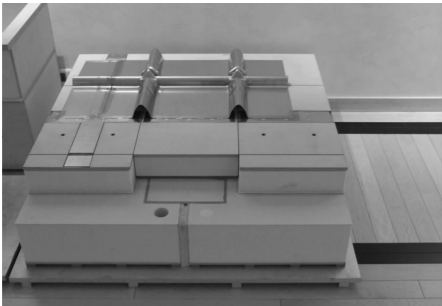


图 1 LNG 运输船 CS1 薄模型维护系统中 Ni 钢板板
Fig. 1 Ni Steel of CS1 thin film type supports system used in LNG vessel

表 6 LNG 船的超低温钢

Table 6 Low-temperatures steel of LNG vessel

Lowest design temperatures/℃	Liquid cargo saving tank, pressure, pipeline, gasification equipments, valve, pump	
- 60	1. 5% Ni Steel	
- 65	2. 25% Ni Steel	2. 25% Ni Steel
- 70	3. 5% Ni Steel	
- 90	3. 5% Ni Steel	
- 105	5% Ni Steel	3. 5% Ni Steel
- 165	9% Ni Steel, Aluminium alloy, 36% Ni Steel	

(2)耐腐蚀钢。随着海洋勘探、钻井与采油生产装置、海岸设施以及海上建筑等的发展，耐腐蚀钢越来越重要。它们长期不进坞维修，防腐蚀要求相当高。通常在载体钢结构上采取油漆、外加电流或电化学方式的保护措施。油漆使用寿命要达到 30 年，国内外的油漆供应商提供了特种油漆——玻璃鳞片漆。尽管如此，钢材本身应有良好的抗蚀性能。

(3)耐大气腐蚀钢。最早的有美国铬 - 铜 - 磷钢，



图 2 LNG 运输船中用的 Ni 钢板

Fig. 2 Ni Steel used in LNG vessel



图 3 管节点铸件(英国 Sheffield 公司产品)

Fig. 3 Steel casting of Pipe node

其含碳 $\leq 0.12\%$, 耐腐蚀性为普通碳钢的 5~8 倍。在此基础上又发展了铬-铜-钒钢, 这类钢表面形成一层密致而附着力强的锈层, 阻止腐蚀进一步发展, 可以无保护涂层时使用, 当涂漆使用时, 涂层与钢材附着力强, 耐腐蚀性比碳钢提高很多。法国发展了铬-铝系耐大气腐蚀钢, 英、德都有专用的耐大气腐蚀钢。国外这类钢种基本上属于铬、镍系统。目前国外发展这类钢的趋势是力求锈层性能稳定, 不涂漆直接使用的低合金钢。

我国发展了 Mn-Cu 系和 Cu-P 系列的耐大气腐蚀钢。这类钢号有: 09MnCuPTi, 10MnSiCu, 10MnPbRe, 16MnCu, 10PcuRe 等。

(4) 耐海水腐蚀钢。我国也开发过的耐海水腐蚀用钢有: 10MnCu, 10MnPbRe, 10CrMoAl, 15NiCuP 等钢号。

除了上述的特殊钢外, 还有抗层状撕裂的 Z 向钢、低磁钢、铸钢。“海洋工程”中一些构件截面很大, 构造上又存在较多的 T 型、K 型、十字型接头, 诸如: 克令与甲板的连接、导管架节点等, 在厚度方向(Z 向)承受着拉应力, 容易在厚度方向出现剥离性的焊接裂纹, 一般称为层状撕裂。调查结果表明, 它与含硫量有极大关系。所以, 抗层状撕裂钢的含硫量都控制在 0.20% 以下。国外已有专业公司生产工业界的特殊铸钢件。图 3 所示为英国 Sheffield Forge Masters International 的产品, 已广泛用于水电站、核工业、海洋工程(如 Spar、TLP、FPSO 以及导管架平台等)。

4.2 载体用钢管

海洋结构物“钢管”的应用非常普遍。大致有 3 种类型的“钢管”: 功能系统中的“钢管”、构造中用的“钢管”、特殊用途的“钢管”。

“海洋结构物”钢管的设计与选用, 都是按船级社的“海洋工程钢结构规范”, 并参照 API、AISC、ASTM 等规范、准则。钢管材料的要求与载体钢材要求相同。在这里主要提两点:

一是“海洋工程”进口设备极多。有时要求英制的钢管。钢管制作质量要求特别高。在“海洋工程”上属于特殊区域的钢管, 其所有的焊缝要求 100% 超声波探伤(UT—Ultrasonic Testing)和磁性探伤(MT—Magnetic Testing)。列入主要结构的钢管, 在纵向焊缝两端 300 mm 的范围内要求 100% UT 和 MT。

二是管节点的制作属于“海洋工程”中重要内容。国外有专门的管节点工厂, 而国内都是自己解决。例如, 载重量 52 000 t“渤海友谊号”浮式生产储卸装置(FPSO, 中国十大名船之一)的特殊软刚臂(YOKE)系泊系统中的 YOKE 与支撑支架、火炬塔架、直升机平台支架等有 221 个管节点, 要满足 AISC、AWS 的要求。管路长 59 Km(其中遥控液压管 28 Km, 遥控阀 119 只。油舱甲板 48 路)。船厂为了保证建造质量, 从千余名焊工中挑选数十名优秀焊工, 最后 15 名取得船级社的 6GR 资格。“海洋工程”中为了防止系统中油气泄漏, 钢管不采用法兰连接, 而采用氩弧焊对接。船厂又专门培养了培养三批 TIG 焊工。

4.2.1 功能系统中的“钢管”

为了保证海洋结构物功能的实现, 既有常规系统, 又有专用系统中用的钢管。

“船舶”的常规系统甚多, 主要有: 舱底水、压载、疏排水、生活污水、空气、测量、注入、生活用水、消防、货油、扫舱、透气、惰气、加热、洗舱、泡沫灭火、洒水、蒸发气、液位遥测、阀门遥控等系统, 特种运输船的专用系统, 诸如: 运输液化石油气(LPG)、液化天然气(LNG)等的专用系统。

“海洋工程”除了与“船舶”相似的常规系统之外, 还有特殊的钻采设备系统、原油处理流程系统、液化石油气处理流程系统、液化天然气处理流程系统、特殊的系泊系统、火炬系统等。

曾有人统计过: 运输船的钢管年消耗量达 450 万 t, 约 44 万根, 其标准是 GB、YB、CB。其中 70% “钢管”之间用法兰连接。一艘 30 万吨级的超大型油船(VLCC)

管材用量达数十公里，仅“钢管”用量(包括不锈钢管)也有 1 500 t 左右，相对于 4 万 t 的船体结构用量。而且一艘 30 万吨级超大型 FPSO 管材数量超过 3 万根，长度超过 90 Km^[6]，是同吨位级别的 2~3 倍。造船业也就成为“钢管”市场的一个大用户。

4.2.2 构造中的“钢管”

“海洋工程”除了功能系统中的“钢管”外，还有许多构造中大量采用的“钢管”。如：导管架、水下钢桩、隔水套管、系泊支架、直升机平台、火炬塔架等。这类“钢管”的特点：规格多、材质高、比较杂，有同径、异径，不同壁厚，还有大量的 Y、K、T 型的管节点。如导管架、钢桩、井口隔水套等，多为大直径尺寸的“钢管”，一般都是用钢板卷制而成。它们的材质为 E36-Z35，D36-Z35，E36，D36^[2]，见表 7。这类“钢管”的标准本身，已不是用 YB、CB，主要是 GB712-2000。“钢管”的制作，是按我国石油工业标准技术委员会(CPSC)制定的“结构钢管制造规范”SY/T10002-2000。由于我国没有专门企业，所以，通常都是由建造单位购置钢板后，自行加工成型。

表 7 典型导管架结构用钢^[7]

Table 7 Number used steel for Typical Jacket type structure^[7]

	Name platform (water depth)	Typical scantling /mm	Total /t	Steel grades
Typical Jacket type structure	Jin Zhou 9-3 platform(6.4 m)	1710×55, 1700×50 1676×38, 914×25 610×22, 406×16	340.63	EH36 - Z35, DH36
	Lv Da 5-2 platform(32 m)	2005×50, 1955×25 914×38, 762×25 610×22, 406×13	3 000	EH36 - Z35, DH36
	Lu Feng 13-2 platform(132 m)	2750×80, 2438×80 1829×60, 1219×55 914×16, 610×19	6 000	DH36- Z35
	PanYu 30-1 platform(200 m)		16 216	EH36 - Z35, DH36
	Li Wan 3-1 platform(205 m)		36 500	EH36 - Z35, DH36

4.2.3 特殊用途的“钢管”

特殊用途的“钢管”是指特定工作环境和工作介质下使用的特种钢管。海底输油管就是典型特种钢管，它的需求量较大(见表 8)。它的特点：强度高、公差小、抗腐蚀性好。我国还只是处于起步阶段。原因在于要解决焊接材料、抗腐蚀性能或规格少(注：管径与壁厚)、价格贵等方面的问题^[3]。

海上原油都需要保温输送。以往采用双层钢管保温结构，而用钢管作为保护管很不经济。而且海上铺管作业前，先要进行内外管焊接，铺管效率很低，安装费用成倍增加。进入 21 世纪后，人们推出了一种如图 4 所

示的混凝土配重钢管^[9]。这一类特种钢管，我国曾从国外进口，如渤海的蓬莱 19-3 油田一期工程，采用马来西亚 BREDERO PRICE 公司的产品。我国经过研究与试验，2002 年在塘沽建成国内第一条混凝土配重钢管的生产线，已为海上多个油田提供了数千公里的管道产品。参考文献[10]指出，采用这种钢管，每公里海底管线可降低 50~100 万元。大大降低了海上油田的开发成本，使一批边际油田得以经济有效地开发。

表 8 典型海底管道及支架结构用钢^[7]

Table 8 Number used steel for Typical submarine pipeline & supporting structure^[7]

	Project/sea water area	Typical scantling /mm	Total (km/Number)
Submarine pipeline	BoHai		1220 km/134
	South china sea the west	219×14.5, 355×12.7	1 542 km /35
	South china sea the east	406×22, 508×12.7	592 km /28
	East china sea	609×27, 655×13	1 160 km/8
	Total amount		4 514 km /205
Single point moored structure ^[a]	“Hai yang shi you 117” FPSO	35×22.35 ×22.35	1 000×25, 1 400×30 1 900×20, 2 000×55 2 000×65, 2 000×75 1 000
			600×22, 457×12.7, 159×11, 273×12 100
Flare tower ^[b]	“Nan Hai Fen Jin” FPSO	8.4× 9.9×60	508×25.4, 406×12.7, 324×9.53, 273×12.7 50.4
Flare tower ^[c]	“Bo Hai Ming Zhu” FPSO	4.6×5.3 ×44.73	

Notes: [a] 300 000DWT FPSO Single point moored structure. [b] four leg , height 60m Flare tower(Straighten) . The size means long multiply by breadth to multiply by Gao. [c] three leg , height 35 m Flare tower(Present 60 degrees to tilt to one side) . The size means long multiply by breadth to multiply by Gao.

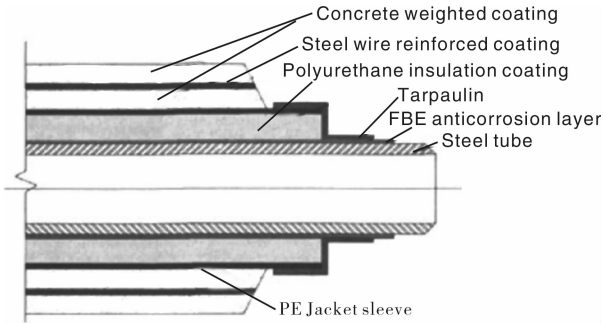


图 4 混凝土配重钢管构造与端部形式

Fig. 4 Steel pipe together with to weigh construct and both ends form

在海底管道铺设过程中，两端钢管焊接后，接口处由热收缩带、防水帽和填充物构成(见图 5)。参考文献[12]还指出：填充物通常用沥青玛蹄脂，其缺点是现场

熔化玛蹄脂严重污染环境、工作条件差、速度慢、熔化炉易出故障、能源消耗高。另外,熔化需要加热,温度高,易烫坏接头部位防腐保温层和防水端帽。所以,研究高密度聚氨酯泡沫取代传统的沥青玛蹄脂可能是未来发展方向。

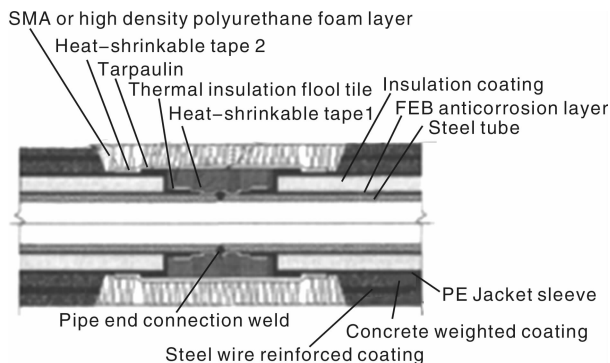


图 5 两端钢管接口处剖面

Fig. 5 Conjunction of both ends steel pipe

还有,如涂敷工艺、混凝土涂层的开裂、水泥的选择、牺牲阳极的安装等问题还需进一步研究。另外参考文献[4]对水深小于 20 m,泡沫密度建议取为 $60 \sim 80 \text{ kg/m}^3$;水深大于 20 m 取为 $80 \sim 100 \text{ kg/m}^3$ 。那么水深再深,泡沫密度应为多少,值得研究。还有海上 LNG 的输送管道,已成为世界级的难题。

5 结 语

本文仅涉及“海洋钢结构物”载体和海洋油气工程装置钢管用钢问题。目前,我国造船界的钢材,包括某些特殊钢,还有相当大的数量依赖进口,产生这一现象,值得深思。事实上,我国在超级双向不锈钢、钛合金、铬钼合金、镍合金等这些特殊材料及其焊接工艺也在研发,同时还需要进行开发与生产。

另外,国外经验也值得借鉴,诸如:韩国批量建造 LNG 船,其中管线、气化设备、阀门、泵以及储存罐内壁金属材料等必须具备超低温的性能也是依赖进口。但近年来,由韩国的中央政府、地方政府、研究机构、大学共同投资 38.6 亿韩元,在庆尚南道设立“造船海洋配套中心”,在 2009 年 4 月 22 日正式运营。该中心主要业务是对超低温设备和材料进行超低温试验以及质量评估、认证。我国在建 LNG 船存在同样问题。韩国经验,我国可以借鉴。建议如下^[6]:

理顺体系 在上级有关部门的领导下,加强资金投入,有序地组织人力,根据行业产品功能特点与现行国际标准,审视已有的材料体系,进一步理顺、修订与增补产品规格,尽快建立与国际接轨的相应的国

家标准。

沟通需求 国内钢铁企业应把海洋用钢列为主要经营方向之一,不能在“无米下锅”之时,才回过头来关注这一市场,有些教训人们还是记忆犹新。在跟踪海洋用钢市场,做好销售服务的同时,应采取必要措施,扩大与客户之间的沟通。

重点突破 对缺失的材料(包括焊接材料与工艺),尽快立项,争取国家支持,进行必要的前瞻性研究与开发。重点突破耐蚀性能和超低温性能。

贴近工程 有针对性地与造船界、石油界的特定工程项目相结合,制定具体规划,以点带面。同时,呼吁尽快创建地域性的包括钢管在内的“钢材集配中心”。

参考文献 References

- [1] Zhao Gengxian(赵耕贤). 我国海洋钢结构现状与展望[J]. *Chinese 2005 of Steel Structure Yearbook* (中国钢结构 2005 年年鉴), 2005; 146 ~ 159.
- [2] Zhao Gengxian(赵耕贤). *Accelerate Kit Equipments Construction in Ocean Oil and Gas Equipments*[C]. Zhejiang: The 6th Triangle Region in Yangtze River the Forum of Ships Industry Development Collection, 2010; 37 ~ 43.
- [3] Zhao Gengxian(赵耕贤). *The Request and Market Analysis of Ocean Steel Material* (海洋用钢要求及市场分析)[R]. Shanghai: Marine Design & Research Institute of China, 2002, 12.
- [4] Zhao Gengxian(赵耕贤). 关于船用材料需求及发展趋势的探讨[J]. *Ship & Boat* (船舶), 2001, 5; 10 ~ 12.
- [5] ABS, Rules for Building and Classing 'Mobile Offshore Drilling Units', 2006.
- [6] Zhu Jun(朱 军), Pan Wei(潘 玮). *Bohai Sea The Second Stage Oil-Field, 2 000 000 Barrels FPSO Especially Ji* (渤海二期油田 200 万桶 FPSO 特辑)[R]. TianJin: Offshore Oil Engineering Co. Ltd. Installation Company, 2007.
- [7] Xu Tiantian(徐田甜). *Jacket Material for LV DA 5 - 2, LU FENG 13 - 1, JIN ZHOU 5 - 2 Platform* (旅大 5 - 2 平台、陆丰 13 - 2 平台、锦州 5 - 2 平台的导管架材料)[R]. TianJin: CNOOC Ltd. TianJin Branch, 2010.
- [8] Su Jing(粟 京). *The Bottom of Sea Piping, Steel Pipe, the National Product Turns, Problem, Study* (海底管道钢管国产化问题探讨)[R]. BeiJing: CNOOC Research Institute, 2005.
- [9] Zhang Xiaoling(张晓灵). 单层钢管保温配重新产品在海洋油田中的应用[J]. *Petroleum Engineering Constructs* (石油工程建设), 2009, 35 (3): 22 ~ 26.
- [10] Liu Jieming(刘杰鸣). 海管结构国产钢材应用研究[J]. *China Offshore Oil and Gas: Engineering* (中国海上油气: 工程), 2001, 13 (1): 54 ~ 56.