

海上输油漂浮胶管的研制

郝 伟

(河北宇通特种胶管有限公司, 河北 衡水 053500)

摘要:介绍海上输油漂浮胶管的研制。主体材料采用丁腈橡胶、氯丁橡胶、高强度聚酯浸胶帘布、高强度钢丝、闭孔聚乙烯泡沫板及锻造法兰接头。产品主要由内层胶、增强层、外层胶、漂浮层、外覆层及两端法兰组成。生产工艺采用两次成型和硫化,第 1 次成型硫化的是胶管的内层胶、增强层和外层胶,第 2 次成型硫化的是胶管的漂浮层和外覆层。胶管的耐压强度、最小拉伸力、漂浮能力及成品性能均达到了设计和相关标准要求。

关键词:输油漂浮胶管;丁腈橡胶;氯丁橡胶;配方设计;结构设计

中图分类号:TQ336.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-890X(2014)12-0741-05

随着我国经济的快速发展,对石油产品的需求使得近海石油勘探和开发已成必然趋势,目前我国已在东海海域进行了石油勘探和开发,而我国南海海域有着丰富的石油资源需要开发。因此在海上石油开采使用的专用设备方面,海上输油漂浮胶管是不可缺少的重要配套产品,是浮式储油轮(FPSO)上原油外输的唯一通道。

油轮与输油平台之间连接的输油管线一般由全漂浮、半漂浮和水上输油胶管组成。其主要用于环境温度为 $-29\sim+52\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的海域输送温度为 $-20\sim+82\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的芳香烃质量分数不超过 0.25 的原油或液体石油产品。这就要求其具有良好的抗风浪、耐海水侵蚀、耐老化、自漂浮能力以及使用寿命长、易弯曲、便于组装的特性。对输油胶管的具体要求如下:①具有优良的密封性能;②能够承受压力及轴向拉伸负荷;③能够满足腐蚀控制要求;④必须达到使用环境要求;⑤使用寿命期间内性能稳定。该产品应满足 OCIMF—1991 国际海洋石油论坛《海洋系泊排吸油橡胶软管的采购、生产和测试指南》和 GB/T 10541—2003《近海停泊排吸油橡胶软管》要求。

目前国外有能力生产海上输油漂浮胶管的公司有英国邓禄普公司、法国 Kleber 公司、意大利 Uniroyal Manuli 公司以及日本横滨公司。国内

厂家现大多处在研究和试制阶段,尽管有少数企业可以生产,但仍满足不了国内市场需求,还需要大量的进口。

本文介绍海上输油漂浮胶管的研制,包括主体材料的选择、结构和工艺设计等。

1 结构设计

胶管主要由内层胶、增强层、外层胶、漂浮层、外覆层和两端法兰接头组成,其增强层之间缠绕有骨架钢丝、中层胶及导电连接线,漂浮胶管及其结构示意见图 1 和 2。

胶管主要技术指标为:内径 300 mm;长度 12.2 m;工作压力 $-0.085\sim+1.5\text{ MPa}$;额定压力 1.5 MPa;静压试验伸长率 永久伸长率 $\leq 0.7\%$,暂时伸长率 $\leq 2.5\%$;最小爆破压力 7.5 MPa;最小弯曲半径 1.8 m;最大流速 $21\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;环境温度 $-29\sim+52\text{ }^{\circ}\text{C}$;输送介质温度 $-20\sim+82\text{ }^{\circ}\text{C}$;输送介质 芳香烃质量分数不超过 0.25 的原油或液体石油产品;漂浮能力 最小储备浮力不低于 20%;设计寿命 5 年。

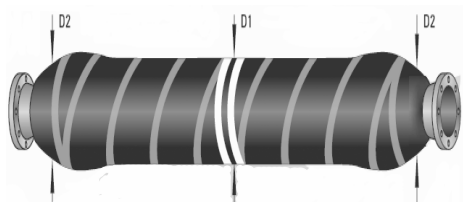
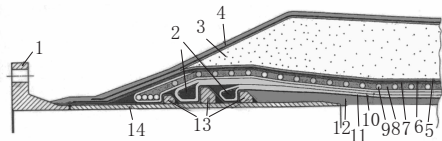


图 1 漂浮胶管示意

作者简介:郝伟(1963—),男,山西汾阳人,河北宇通特种胶管有限公司工程师,学士,主要从事胶管的生产工艺技术管理及新产品的研制开发。



1—法兰;2—短节缠绕钢丝;3—漂浮层;4—外层胶;5—管体外层;6—帘布外增强层;7—橡胶层;8—填充橡胶;9—缠绕钢丝;10—帘布内增强层;11—中层胶;12—内衬;13—筋骨;14—短节。

图2 漂浮胶管结构示意图

海上输油漂浮胶管主要是在海上输油管线上使用,要求具有良好的抗击风浪能力,且能承受压力及轴向拉伸负荷,容易弯曲,便于组装,自漂浮能力和使用寿命长。因此,在产品的结构设计上采用胶管及法兰接头的结构,并通过胶管的设计计算确定了胶管的内/外层胶厚度、增强层数和漂浮层数。海上输油漂浮胶管的结构设计主要依据产品的相关标准:GB/T 10541—2003《近海停泊排吸油橡胶软管》及国际海洋石油论坛 OCIMF—1991《海洋系泊排吸油橡胶软管的采购、生产和测试指南》。设计主要包括胶管的耐压强度、最小拉伸力及最小储备浮力。胶管设计计算的理论依据如下。

胶管的耐压强度(P_B)按下式计算:

$$P_B = \frac{1.33K_B i C'}{D_C C_3} \quad (1)$$

式中 K_B ——单根帘线拉断力与每厘米宽度内帘线根数之积;

i ——增强帘布层数;

C' ——综合修正因数,当 $i=2$ 时 $C'=0.85\sim 0.95$, $i=4$ 时 $C'=0.75\sim 0.85$, $i=6$ 时 $C'=0.65\sim 0.75$;

D_C ——胶管的计算直径,即为胶管的内径与2倍内层胶厚度之和,cm;

C_3 ——胶管增强层材料伸长率变化影响系数,即为 $1 + \text{增强层材料的拉断伸长率}$ 。

胶管最小拉伸力($F_{\min}$)计算公式为

$$F_{\min} = \frac{K_B \pi D_C C' \cos 2\alpha}{C_3} \quad (2)$$

胶管最小储备浮力(F)计算公式如下:

$$F = \frac{D_H - (W_H - W_w)}{W_H - W_w} \times 100\% \quad (3)$$

式中 D_H ——胶管完全浸入海水时排出海水的质量(包括整个浮体排出的海水和管内的海水),g;

W_H ——胶管在空气中的质量,g;

W_w ——胶管中容纳的海水质量,g。

根据式(1),(2)和(3)分别计算出 $\Phi 300 \times 12.2 \text{ m}$ -1.5 MPa 海上输油漂浮胶管的耐压强度为 7.9 MPa,最小拉伸力为 112.7 kN,最小储备浮力为 30%。

2 胶料配方设计

2.1 主体材料

根据对海上输油漂浮胶管的性能要求、使用环境和用途等方面的综合考虑,确定胶管各部分的主体材料如下。

内层胶采用耐油性能优异的丁腈橡胶(NBR,牌号 2665E,俄罗斯西布尔集团公司产品)。NBR 还具有优良的耐介质腐蚀和密封性能。

增强层采用高强度浸胶聚酯帘布(牌号 2000D/3,青州龙星布业有限公司产品)。高强度浸胶聚酯帘布具有强力高、伸长率低的特点,可提高胶管的承压能力和抗拉强度,使用的浸胶聚酯帘线单根断裂强力大于 410 N,断裂伸长率小于 14%。

骨架材料采用高强度弹簧钢丝(直径为 10 mm,南通华星钢丝制品有限公司产品)。采用高强度弹簧钢丝主要是为了提高胶管的整体性能,即胶管在承受拉伸及负压(-0.085 MPa)的作用下不会损坏,同时还可以有效提高胶管的弯曲性能,钢丝的质量应符合 BS 3952《软管增强钢丝第1部分——橡胶软管增强用镀层的圆状和扁平状钢丝规范》标准规定,抗拉强度大于 $650 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$,所有的骨架钢丝材料应由单根的、连续的钢丝组成,不允许有焊接点。

漂浮层采用聚乙烯闭孔发泡板(厚 25 mm,章丘市吉成橡塑制品厂产品)。聚乙烯闭孔发泡板具有密度小、质量小、不吸水、弯曲不断裂且有一定的伸长率等特性,密度一般为 $0.100\sim 0.108 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$,使胶管具有自漂浮的能力。

外层胶采用氯丁橡胶(CR,牌号 322,重庆长

寿化工有限责任公司产品)。CR 具有优良的耐天候老化性能、耐油性能、耐海水腐蚀性能、耐臭氧老化性能和耐紫外线照射性能,其作用是保护漂浮材料不受损坏。

法兰接头包括法兰(ANSI B16. 5 CLASS 150 12"WNFF A 105,上海东皇锻造有限公司产品)和连接短管,法兰为锻造制成,法兰和连接短管材质应符合 ASTM 105《锻件、碳钢、管体部件标准规范》要求,最大碳质量分数不超过 0. 25,法兰的规格尺寸应满足 ASIN B16. 5 150 级规定,法兰和短管的连接采取焊接,焊接质量应通过 X 射线检测。

2.2 内/外层胶配方

为了保证海上输油漂浮胶管的技术指标和性能满足相关标准规定,根据胶管内外层各起的作用不同,对胶料的物理性能及硫化工艺特性要求也有所差异。因此,在主体材料及硫化体系的选择上将有所区别。内层胶是胶管的工作面,必须具有优异的耐介质腐蚀性能和气密性能。而外层胶则是胶管的外保护层,必须具备优异的耐天候老化、耐海水侵蚀性能。因此在胶管的内/外层胶料配方设计上有所不同,通过多次试验考核,确定胶管的内/外层胶料配方。

内层胶配方为:NBR 100,炭黑 N660 80,氧化锌 5,硬脂酸 1,防老剂 D 2,邻苯二甲酸二丁酯 20,硫黄 2,促进剂 DM 1. 2,其他 15。内层胶性能如表 1 所示。

表 1 内层胶性能

项 目	测试结果	指标 ¹⁾
邵尔 A 型硬度/度	70	70±5
拉伸强度/MPa	10. 5	≥10. 0
拉断伸长率/%	380	≥300
拉断永久变形/%	25	≤30
脆性温度/℃	-40	不高于-38
C 液体浸泡后 ²⁾		
体积变化率/%	28	≤60

注:1)企业或国家标准;2)40℃×48 h。

从表 1 可以看出,胶管内层胶的各项性能均符合企业标准和 GB/T 10541—2003 要求。

外层胶配方为:CR 100,炭黑 N660 70,氧化锌 4,氧化镁 6,硬脂酸 2,防老剂 4010NA

2,邻苯二甲酸二丁酯 15,促进剂 DM 2,其他 20。外层胶性能如表 2 所示。

从表 2 可以看出,胶管外层胶的各项性能均符合企业标准和 GB/T 10541—2003 要求。

表 2 外层胶性能

项 目	测试结果	指标 ¹⁾
邵尔 A 型硬度/度	72	70±5
拉伸强度/MPa	9. 0	≥8. 0
拉断伸长率/%	320	≥250
拉断永久变形/%	20	≤25
脆性温度/℃	-40	不高于-40
体积磨耗量/mm ³	150	≤250
耐臭氧性能 ²⁾	无龟裂	无龟裂

注:1)同表 1 注 1);2)臭氧体积分数为(50±5)×10⁻⁸,温度为 40℃,拉伸率为 10%,时间为 72 h,采用两倍放大镜进行观察。

3 生产工艺

海上输油漂浮胶管的重要特点是必须具备海上自漂浮能力。为了满足上述要求,胶管的结构上增加了漂浮层和外覆层。由于漂浮材料耐高温性能差,高温硫化时易出现收缩变形,因此胶管的生产工艺采取二次成型和二次硫化,而且法兰接头采取同时成型热硫化工艺,可有效提高金属接头与橡胶的粘接力,增强胶管抗轴向拔脱的能力。主要的加工过程如下。

(1)海上输油漂浮胶管分为二次成型和二次硫化。第 1 次成型内层胶、增强层骨架钢丝、外层胶;第 2 次成型漂浮层、缓冲层、外覆层。二次成型的硫化条件不同,第 1 次以较高温度和蒸汽压力进行硫化,第 2 次以较低温度和蒸汽压力进行硫化。

(2)法兰接头处理包括酸洗、刷胶浆、贴胶。

(3)浸胶聚酯帘布压延贴胶后,按工艺要求进行裁剪拼接准备。

(4)在胶管成型机上完成内/外层胶铺放、按一定螺旋角度缠绕帘布增强层、骨架钢丝以及缠水布、绳子等操作。

(5)法兰接头处用钢丝将帘布增强层紧固在法兰短管上筋骨之间的沟槽内。

(6)骨架钢丝两端头部应进行焊接,使其固

定,并铺放中层胶来填充螺旋钢丝间隙。

(7)外覆层铺放完后,需在管体上贴上橘红色螺旋标志条。

(8)胶管硫化后解水布、绳子,并进行脱芯试压。

海上输油漂浮胶管生产一次成型和二次成型的工艺流程如图 3 和 4 所示。

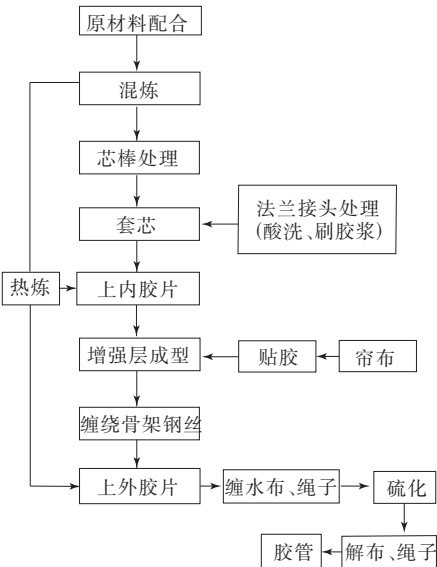


图 3 海上输油漂浮胶管生产一次成型工艺流程

4 成品性能

海上输油漂浮胶管的成品性能如表 3 所示。

从表 3 可以看出,成品胶管的静压试验、爆破试验、粘合性能、真空试验、弯曲试验、挺性试验、耐煤油浸泡试验、电性能试验和浮力恢复试验结果均符合 GB/T 10541—2003《近海停泊排吸油橡胶软管》和 OCIMF—1991《海洋系泊排吸油橡胶软管的采购、生产和测试指南》的要求。

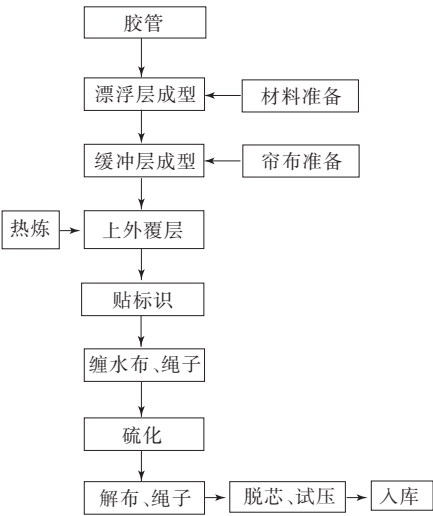


图 4 海上输油漂浮胶管生产二次成型工艺流程

表 3 海上输油漂浮胶管的成品性能

项 目	测试结果	指标要求	测试标准
静压试验			GB/T 5563—2006
永久伸长率/%	0.4	≤0.7	
暂时伸长率/%	2.0	≤2.5	
爆破压力/MPa	8.0(未破)	≥7.5	GB/T 10541—2003
层间粘合强度/(kN·m ⁻¹)			GB/T 14905—2009
内层胶与增强层	12	≥6	
外层胶与增强层	10	≥6	
漂浮层与漂浮层	8	≥4	
真空试验	无内、外部扭曲、层间分离、起泡等缺陷	在-0.085 MPa下目视检查胶管内外部扭曲、层间分离、起泡等缺陷	GB/T 5567—2006
弯曲试验	无破坏或永久变形	将胶管弯曲到 6 倍于胶管的直径弯曲半径,重复 5 次后,恢复到直线状态,胶管应无破坏或永久变形	GB/T 10541—2003
挺性试验	10%	平均挺性不应超过规定值的 15%	GB/T 10541—2003
耐煤油试验	无泄漏、起泡或其他缺陷	胶管应放直,充满煤油并排出全部空气,将内压升至额定压力 1.5 MPa,保持 6 h,再将内压降至额定压力一半(0.75 MPa)保持 12 h,观察胶管和连接件是否有泄漏、起泡或其他缺陷	GB/T 10541—2003
电性能试验	灯亮	试验时使用试验灯来进行,配备一节 4.5 V 电池和 4 V/0.3 A 试验灯,连接两端法兰观察是否灯亮	GB/T 9572—2001
浮力恢复试验	30%	将胶管在水深 10 m 处浸泡 24 h,并通过 24 h 恢复期之后保留的最小储备浮力为 20%	GB/T 10541—2003

5 结论

通过合理设计结构及准确选择主体材料和配方研制海上输油漂浮胶管,该胶管的静压、爆破压力、粘合、真空、弯曲、挺性、耐煤油、电性能和浮力恢复试验结果均满足相应标准要求,已获得国家发明专利(公开号为 CN 102537539A)和实用新型专利(公开号为 CN 202418949U)。该胶管具有先进的生产工艺、稳定的质量和优异的性能,为今后开发双管体漂浮胶管提供了技术保障。

第 7 届全国橡胶工业用织物和骨架材料技术研讨会论文

Development of Offshore Floating Oil Hose

HAO Wei

(Hebei Yutong Special Rubber Hose Co.,Ltd,Hengshui 053500,China)

Abstract: The development of offshore floating oil hose was introduced. NR,CR,high tenacity dipped polyester cord,high tensile steel wire,closed cell PE foam board and forged flange were used as main materials. The hose consisted of inner layer, reinforcement layer, outer layer, floating layer, coating layer and flange ends. Two-stage molding and curing processes were designed. In the first stage the inner layer, reinforcement layer and outer layer were molded and cured. In the second stage the floating layer and coating layer were added and cured. The experimental test results showed that the hydrostatic strength,the minimum tensile force and floatability of the hose met the requirements of design and corresponding standards.

Key words:offshore floating oil hose;NBR;CR;formula design;structure design

第 14 届全国橡胶工业新材料技术论坛暨
2014 年橡胶助剂专业委员会会员大会
在宁波召开

中图分类号:TQ330.38 文献标志码:D

2014 年 10 月 23—26 日,由中国橡胶工业协会(简称中橡协)橡胶助剂专业委员会主办、科迈化工股份有限公司承办的第 14 届全国橡胶工业新材料技术论坛暨 2014 年橡胶助剂专业委员会会员大会在宁波召开。来自全国橡胶助剂生产企业、相关原材料和设备制造企业、高等院校、科研院所及媒体的近百名代表出席了会议。

中橡协橡胶助剂专业委员会理事长王树华致词。他介绍,2014 年前三季度橡胶助剂产量 67.71 万 t,同比增长 20%,出口量 19.85 万 t,同比增长 24.5%,实现销售收入 119 亿元,同比增长 20%。2013 年我国橡胶助剂产量突破 100 万 t,已超过世界橡胶助剂总产量的 70%;助剂行业多年推行的国际化、信息化、自动化和清洁化生产的步伐加快;绿色发展、清洁生产成为助剂行业各生产企业自我约束、健康发展的主旋律。目前轮胎行业由于受到诸多不利因素影响,开工率仅

65%左右,库存压力极大,因此助剂行业应在提升产品质量、服务质量和行业整体竞争力方面加强。

中国汽车工业协会副秘书长顾祥华介绍,2013 年我国汽车销售量为 2 198.4 万辆,同比增长 13.9%,连续 5 年世界第一,预计 2014 年我国汽车销售量的增长率将在 5%左右。中橡协橡胶助剂专业委员会秘书长高波宣读了 2014 年度高热稳定性不溶性硫黄行业自律报告,并对使用企业提出了建议:加硫混炼胶应用于轮胎半成品部件时,加工温度尽量控制在 120℃以下;对不溶性硫黄高热稳定性的测试至少重复两次以上,偏差率控制在 10%以内;105℃×15 min 的高热稳定性数据只适用于加硫混炼胶硫化前的工艺温度低于 105℃的情况。

提高自动化生产水平,向信息化、智能化发展是我国橡胶助剂行业为取得持续发展而作出的重要决策。与会有关专家介绍了橡胶工业信息化、自动化的进展及橡胶助剂生产过程自动化和产品包装至仓库的现代化管理技术,并与代表进行了广泛交流。

(本刊编辑部 储 民)