

静态柔性软管弯曲加强器的设计

李 兰, 张荫纳

(天津海王星海上工程技术股份有限公司, 天津 300384)

摘要 随着柔性软管的国产化,国内越来越多的油田采用柔性软管输送油品介质。在软管管段之间的连接接头属于刚性结构,而管体属于柔性结构,在接头与管体之间存在刚度的突变,在受到较大弯矩作用时,柔性管体将被破坏,因此需要在管体和接头之间设置弯曲加强器,起到刚度过渡的作用,保护管体。在进行弯曲加强器的设计时,参考国外实例,选用聚氨酯弹性体作为结构主材,并配有连接钢件。结合项目实例,重点介绍了静态柔性软管弯曲加强器的结构形式。该结构可在软管过驳和安装时保护管体。

关键词 海底管道;柔性软管;接头;弯曲加强器;聚氨酯弹性体

中图分类号 TE973;TE42

文献标志码 A

文章编号: 2095-7297(2014)03-0223-04

Design of Static Bend Stiffener for Flexible Pipes

LI Lan, ZHANG Yin-na

(Neptune Offshore Engineering Development Co., Ltd., Tianjin 300384, China)

Abstract With the localization of flexible pipes, more and more oil fields use the flexible pipe as conveying flowline. End fitting whose function is to connect the pipe sections is a rigid structure, while the pipe body is flexible, there is a stiffness mutation between them. When subjected to a large bending moment, the pipe body will be damaged, so it is necessary to set a bend stiffener between the pipe and the end fitting. To design a bend stiffener, an applicable material should be selected. We use polyurethane elastomer as the principal material for the bend stiffener. Besides, some steel interface structures are requisite. We mainly introduce a static bend stiffener design. It can protect the pipe during installation and overboarding.

Key words subsea pipeline; flexible pipe; end fitting; bend stiffener; polyurethane elastomer

0 引 言

21 世纪是开发利用海洋的新时代。我国的海洋石油开发技术正在飞速发展,对海洋石油管道的需求大大增加。目前海底管道分为 2 类,即钢质管道和柔性软管。相对于钢管,柔性软管具有可设计、耐腐蚀、易弯曲、易铺设、可回收、开发更经济、更适应海洋环境等特点。柔性软管最突出的特点是弯曲柔性好,可以承受较大的弯曲变形。在边际油田开发中采用柔性管道,由于易铺设、可回收、工期短,可以显著降低工程建设及运营成本。柔性软管在我国的边际油田已逐步应用。

柔性软管的设计、生产和安装早期基本由国外三大软管公司垄断:法国 Technip,英国

Wellstream,丹麦 NKT。但从 2003 年开始,国内企业也纷纷开始研制国产软管。目前已有应用案例的如天津海王星海上工程技术股份有限公司,其业务包含设计、生产、安装及后期的维护,到目前为止已铺设并投入使用的静态软管共 8 条,含注水管 2 条、输气管 2 条及三相混输管 4 条,共约 48.65 km。以上软管目前都运行正常,表明海洋柔性软管已实现国产化。

在软管的生产过程中,受设备承重能力和空间大小的限制,一根软管不可能是完全连续的,每 1~2 km 就会存在一个连接件,即接头。接头是钢质构件浇筑环氧树脂,接头的刚度基本等同于金属钢件;而柔性软管是由非金属挤塑和金属钢丝缠绕而成,其柔性好,刚度低。这样在接头与软管对接处,就出

收稿日期:2014-08-07

基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05026-005)

作者简介:李兰(1984—),女,助理工程师,主要从事海洋工程和软管方面的研究。

现一个刚度突变区,如果受到过大载荷或者反复的弯曲,在这个突变区就会损坏刚度小的软管,造成软管的失效。为了避免这种情况,可以在接头与软管的连接处设置弯曲加强器(BS),在接头与柔性软管间起到刚度过渡的作用,从而保护软管结构。本文结合项目实例,重点介绍了静态柔性软管 BS 的结构形式。该结构可在软管过驳和安装时保护管体。

1 弯曲加强器简介

在软管的生产过程中,由于设备和空间的限制,所以每 1~2 km 就需要用接头连接^[1-2]。接头连接柔性软管的示意图如图 1 所示。

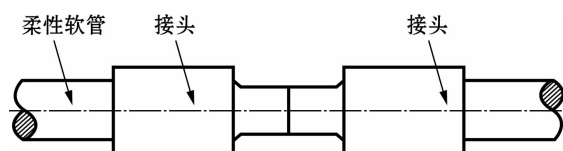


图 1 接头与管体连接示意图

Fig. 1 Schematic diagram of end fitting connecting flexible pipes

在接头与软管对接处有刚度突变区,如果受到过大载荷或者反复的弯曲,在这个突变区就会损坏刚度小的软管,从而破坏软管结构完整,造成软管的失效。设置 BS 就是为了避免这种情况的出现。BS 一般为锥子状,在接头与柔性软管间起到刚度过渡的作用,保护软管结构^[2]。图 2 为相关规范^[3-4]中典型的动态 BS 示意图。

目前 BS 分为两类:静态 BS 和动态 BS^[3]。美国特瑞堡公司是国际上有实力的 BS 设计生产厂家,其产品最长已应用 15 年。图 3 为特瑞堡公司生产的 BS 照片。

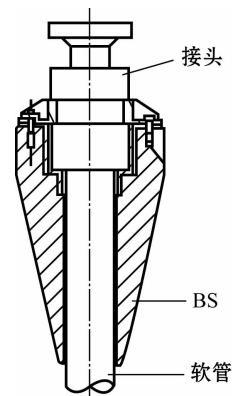


图 2 典型的动态 BS 示意图

Fig. 2 Typical dynamic BS



图 3 特瑞堡公司生产的 BS

Fig. 3 Trelleborg's BS product

静态 BS 主要配合输油管线使用,用于在软管岸边过驳和铺设中的软管保护,防止软管端部过度弯曲。

静态 BS 由聚氨酯浇筑而成,见图 4。一般静态 BS 长度为 1~2 m,其结构形式多样化,主要根据设计和安装需要而定,其作用是增加软管局部刚度。



图 4 BS 浇筑成型照片

Fig. 4 BS casting and molding

动态 BS 主要用于柔性立管和脐带缆,例如立管出浮式生产储油船(FPSO)套筒局部,见图 5。

一般动态应用其要求的寿命都比较长,在 15~25 年之间。动态 BS 与静态 BS 都由聚氨酯浇筑

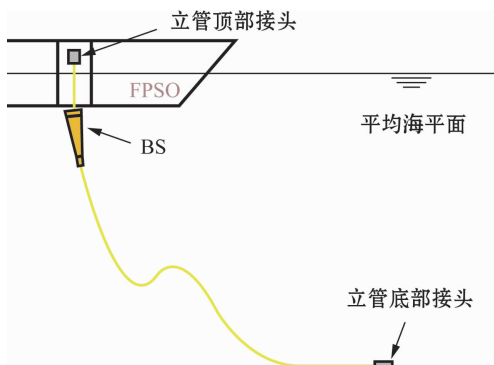


图5 动态BS用于FPSO的示意图

Fig. 5 Application of dynamic BS to FPSO

而成。

动态BS主要是保护立管或者脐带缆,增加其局部刚度,在环境力和船舶运动下,软管所受拉力和曲率下的弯曲半径不超过软管的最小弯曲半径。动态BS都是依据项目需求,经过专业分析软件分析后确定的,都是特制品。

静态BS的作用是过驳和安装时的保护,所以其设计服务寿命一般是半年到一年,一般的聚氨酯弹性体都可达到。下面主要介绍静态柔性软管BS的设计。

2 静态弯曲加强器的设计

BS的设计分为材料选择和结构设计两部分。

2.1 材料选择

BS主要包含非金属聚氨酯主体和钢质连接件。

聚氨酯主体一般是聚氨酯弹性体材料,韧性好,耐用,并且能够很好地适应海底工况。聚氨酯的两大特点是弹性模量低和断裂伸长率高,这样就带来很好的柔性和韧性。

由于钢质连接件需要长期与海水直接接触,所以对钢构件需要进行防腐考虑。钢质连接件分为两种:一种是采用耐海水腐蚀的超级双相不锈钢或者同等材料;另一种采用碳钢材料,但是由于其不耐海水,就需要借助与BS对接的接头防腐阳极保护系统,通过导线连接,进而保护BS的碳钢连接件。

2.2 结构设计

对于静态BS,其作用是过驳和安装时的保护,所以其设计服务寿命一般是半年到一年,一般的聚氨酯弹性体都可达到。

BS的结构设计主要是依据软管和接头的尺寸

以及安装的需要进行设计。基本遵守如下原则:

- (1) 考虑经济性,长度在1~2 m;
- (2) 最大外径尽量不超过接头外径和连接构件的外径,也就是BS、接头和软管不要有凸起的部分,尽量是平滑的过渡,安装方便快捷;
- (3) BS需要与接头进行固定,保证BS在特定载荷(经过多种载荷筛选)下的连接强度;
- (4) 如果采用碳钢的连接构件,那么就需要考虑将其与接头阳极通过导线连接进行保护。

2.3 静态BS设计实例

以某项目8英寸(1英寸=2.54 cm)保温软管为例,简述静态BS的设计成果。

项目软管为8英寸保温软管。为了避免在过驳和安装中损坏软管导致泄漏,可以在接头与软管连接处设计静态BS。图6为8英寸软管接头与管体连接示意图。

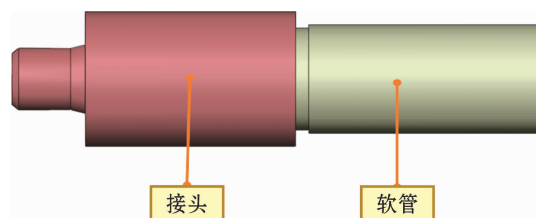


图6 8英寸软管接头与管体连接示意图

Fig. 6 Schematic diagram of the connection between end fitting and 8-inch pipe body

本次设计静态BS结构形式如图7所示。其总长1 000 mm,最大外径600 mm,左端短锥段100 mm,右端长锥段280 mm,平直段620 mm。其非金属主材为聚氨酯弹性体,采用东大一诺威的D2186;钢质连接件采用Q345A,安装完成后采用铜导线与接头阳极连接,进行防海水保护。连接螺栓采用

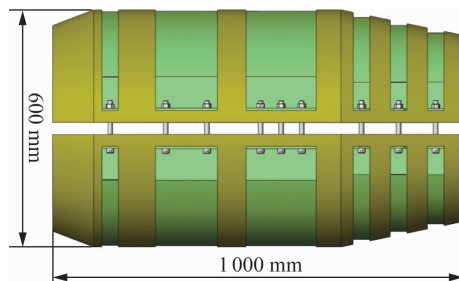


图7 本项目静态BS主尺度示意图

Fig. 7 Principal dimensions of the designed static BS

M12, 12.9 级。BS 各材料如图 8 所示。聚氨酯 D2186 和钢件 Q345A 的性能见表 1、表 2。

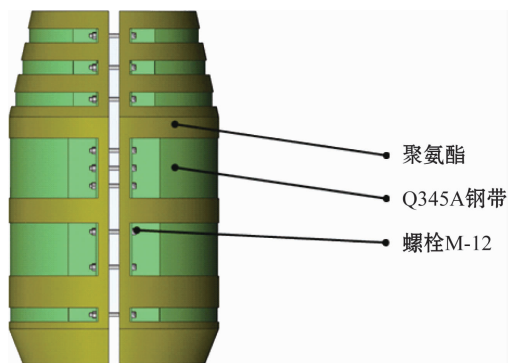


图 8 静态 BS 所用材料

Fig. 8 Materials used in the static BS

表 1 聚氨酯 D2186 性能

Table 1 Properties of polyurethane D2186

参数	取值
硬度/HS-D	65±2
拉伸强度/MPa	44
25 °C 时密度/(g·cm ⁻³)	1.19

表 2 Q345A 性能

Table 2 Properties of Q345A

参数	取值
屈服强度/MPa	≥345
抗拉强度/MPa	470~630
断裂延伸率/%	≥21

BS 与接头和软管的最终组装连接结果如图 9 所示。

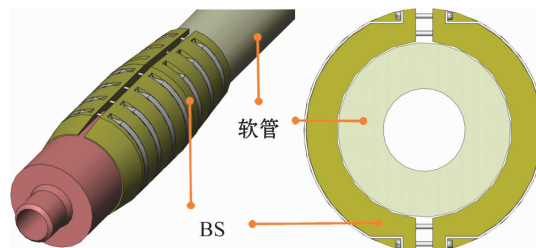


图 9 BS 与接头和软管组装连接示意图

Fig. 9 Assembly schematic diagram of BS with end fitting and pipe body

3 结 语

综上所述,为了更好地保护接头和软管的连接处,避免损坏软管,可以增设静态 BS。静态 BS 在设计时,更多的是考虑安装中保护软管;其形式则是从经济性和结构施工的便利性上择优确定。同时,BS 的主材采用聚氨酯;钢质连接件采用双相不锈钢,也可采用碳钢,但需要考虑其海水保护。

参 考 文 献

- [1] American Petroleum Institute. API SPEC 17J. Specification for unbonded flexible pipe[S]. 2008.
- [2] American Petroleum Institute. API RP 17B. Recommended practice for flexible pipe[S]. 2008.
- [3] American Petroleum Institute. API SPEC 17L1. Specification for flexible pipe ancillary equipment[S]. 2012.
- [4] American Petroleum Institute. API RP 17L2. Recommended practice for flexible pipe ancillary equipment[S]. 2012.