

文章编号:1002-3682(2015)03-0077-10

埕岛海域平台周围悬跨海底管线 仿生草治理效果研究^{*}

崔 华¹, 曹立华¹, 陈义兰², 刘 臻¹, 黄 牧²

(1. 中国海洋大学 海洋地球科学学院, 山东 青岛 266100;

2. 国家海洋局 第一海洋研究所, 山东 青岛 266061)

摘 要:埕岛海域平台周围管线悬跨问题突出,近几年来,普遍采用仿生草技术进行治理。通过对实测资料的解译和统计,对仿生草的治理效果进行研究,结果表明:最近几年所调查的 22 个平台端中,18 个平台端有明显泥沙淤积现象,泥沙淤积厚度为 0~1 m,海底管线部分或全部被重新埋藏;19 个平台端在桩脚处涡流区仍存在管线裸露或悬跨现象;仿生草的治理效果受管线走向和潮流方向的影响,与潮流方向一致或与潮流方向夹角较小($<40^\circ$)的海底管线,治理效果良好。

关键词:埕岛海域;管线悬跨;仿生草;治理效果

中图分类号: P756.2

文献标识码: A

埕岛胜利油田是我国极浅海域投入开发的第一个年产量超过 200 万吨级的大油田^[1]。自 1993 年建成投产之后,海上石油平台林立,海底管线纵横交错,至今已有海底输油管线和注水管线共计 100 余条。近几年来,对胜利油田的调查资料显示,埕岛海域平台周围冲刷严重,管线悬跨问题突出^[2]。研究表明,海底管线一旦出现悬跨,在各种水动力因素的联合作用下很容易发生涡激振动,很可能在短时间内发生断裂、损毁,危害海洋生态环境,造成巨大的经济损失^[3]。

早在 20 世纪 80 年代中期国外就已经开始开发仿生草技术。1984 年夏天,英国率先在北海的一条裸露海底管线周围铺设仿生草,一年半后对这条管线进行勘察,发现这条管线已经重新被沉积物完全覆盖,成为世界上运用仿生草技术成功的第一例^[4]。1996 年,英国农业渔业部、美国农牧渔工程局等官方机构批准了仿生草技术的应用,认为其是对海洋植物和鱼类没有任何负面影响的环保技术^[2]。

国内学者焦如义在 1997 年首先提出了用仿生草技术来处理海底悬跨管线的思路,分析了仿生草技术的应用范围和优点,认为仿生草技术在我国具有广阔的发展前景^[4]。李士清等^[5]通过实验建立了仿生草铺设后海床底面的剪应力计算公式,并结合新滩油田海床冲刷的实际情况,阐明仿生草铺设后可以起到降低底床剪应力,促进泥沙淤积的作用。吕明春^[6]分析了传统的海底管线治理方法所存在的弊端,认为仿生草技术具有很明显的

^{*} 收稿日期:2014-05-06

资助项目:海洋公益性行业科研专项——“山东半岛蓝色经济区”建设的海洋空间布局优化技术体系及决策服务系统应用示范(201205001)

作者简介:崔 华(1982-),女,硕士研究生,主要从事海洋地质方面研究。E-mail: dfhtqzy@126.com

(王 燕 编辑)

优势。刘锦昆、文世鹏和庄丽华等^[2,7-8]对埕岛海域的仿生草治理效果研究表明,仿生草可以降低水流流速、减缓海床冲刷,对海底管线保护效果显著。梁富浩等^[9]认为采用抛填沙袋与铺设仿生草相结合的办法,可以起到永久性的防冲刷效果。

自2006年开始,采用抛填沙袋和铺设仿生草相结合的方法对胜利油田平台周围的悬跨海底管线进行治理。本文根据最近几年的治理效果检测资料,对埕岛海域平台周围悬跨海底管线仿生草治理效果进行了初步研究。

1 区域概况

埕岛海域位于黄河三角洲东北部突出渤海的陆海过渡区,其中部和东北部延伸入渤海,东南部延伸入莱州湾,西部延伸入渤海湾,是黄河三角洲最突出于渤海的沿岸部分^[10](图1)。该海域的地形平缓,潮间带宽广,海岸线曲折复杂,水深范围为2~18 m,是胜利油田海上采油的主力区块。

历史上黄河在这一带曾多次改道,三角洲淤积和蚀退交替进行,使得该海域的地层沉积结构特征非常复杂^[11]。自1976年黄河改道清水沟流路以来,黄河三角洲的沉积物来源断绝。在波浪、潮流等水动力的侵蚀作用下,水下岸坡开始了由淤积向蚀退转换的时期,海底表层沉积地貌单元逐渐变为较单一的以粉质黏土和黏土质粉砂为主的沉积物类型^[12]。

黄河中游流经黄土高原,携带了大量的黄土入海,导致黄河三角洲的年输沙量居高不下,海水中悬浮泥沙的浓度很高。悬浮泥沙的组成以粉砂为主,占74.63%~87.09%;其次为黏土,占12.53%~25.37%^[13]。

埕岛海域东临莱州湾,北接渤海,是一个比较封闭的海域,不容易受外来波浪的影响,大多都是风成浪。埕岛海域潮流的运动形式为往复流,受到地形制约,流向大致平行于海岸线,涨潮流和落潮流的方向分别为ESE(约110°)和WNW(约290°)。近岸的流速小,向外海方向流速增加,等深线10~15 m是潮流流速最大的区域。由于受海底复杂地形的影响,水深变化明显,潮流流速通常较大,最大可以达到1.4 m/s^[14]。

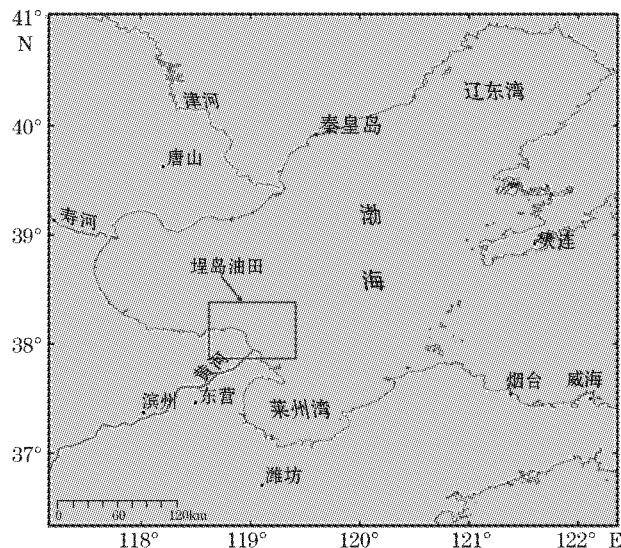


图1 埕岛海域区域位置图

Fig. 1 Location of the Chengdao sea area

2 平台周围海底管线悬跨原因分析

近几年来,随着油田的开发,埕岛海域的近海人工构筑物迅速增加,各种各样的海洋平台工程也随之增加。其海上采油人工构筑物的建设方式主要为桩基导管架方式。群桩的存在影响了此区域原来的水动力场,周围海底水深地形也相应发生变化调整。

平台建立之后,桩柱的存在改变了周围的水动力流场,容易形成漩涡,使作用于海床底面上的剪切应力增加,泥沙更容易起动,被水流携带冲蚀掉,导致桩柱周围出现冲刷凹坑^[15]。仲德林和刘建立分析认为,井组平台建立后,波浪、潮流等水动力对平台底部基础的冲刷是必然的,平台的桩柱周围海底冲刷深度可达 2.5~3.0 m,在海底表层松软区,平台底部冲刷坑可达 3.0~3.5 m,平台附近 50 m 范围内将逐渐形成以平台为中心的低洼盆式地形^[16]。

以 CB25C 平台为例(图 2),平台建立之后,周围水深变化明显,冲刷凹坑迅速形成,深度和范围迅速扩大。达到一定程度之后,侵蚀速度变小,趋于一种平衡状态。平台周围冲刷深度 2.0~2.3 m,冲刷凹坑直径至少 100 m。

由桩柱引起的冲刷凹坑在埕岛海域普遍发育,并且规模都比较大。如 CB26 平台周围形成的椭圆形冲刷凹坑,长轴直径大约 400 m,短轴直径大约 200 m(图 3)。

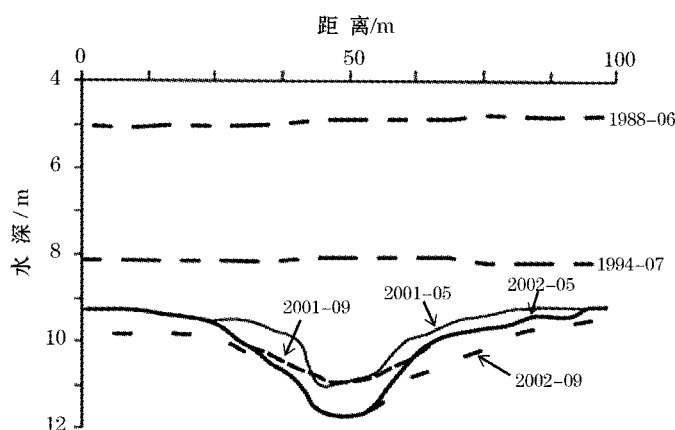


图 2 CB25C 平台周围东西剖面水深变化图

Fig. 2 Water depth variations along the east-west profile around platform CB25C

如此大规模的冲刷凹坑的存在,极易引起平台周围海底管线的悬跨,并且冲刷凹坑增加了周围海床的不稳定性。冲刷凹坑边坡坡度较大,冲刷凹坑内沉积物块体运动较为发育,滑坡体、碎屑流的发育都可能造成海底管线的悬跨,甚至损坏。冯秀丽等^[1]通过分析认为,埕岛海域的管线悬跨情况主要有 3 种:管线与平台连接处悬跨、管线与管线交接处悬跨、海底地形地貌演化导致悬跨。其中平台周围冲刷凹坑导致的管线悬跨是最主要的,管线与平台连接处悬跨的情况在所勘测悬跨管线中占了多数。2007 年,对埕岛油田 CB35-海一站、CB251C-CB251B 等 14 条海底管线的 16 个平台端勘查发现,所有平台端周围都存在明显的冲刷凹坑,每一个平台端附近都有管线裸露或悬跨的现象。平台周围强烈的差异冲蚀作用,不仅严重影响着海底管线的安全运行,给海底悬跨管线的治理也带来了很大的难度。

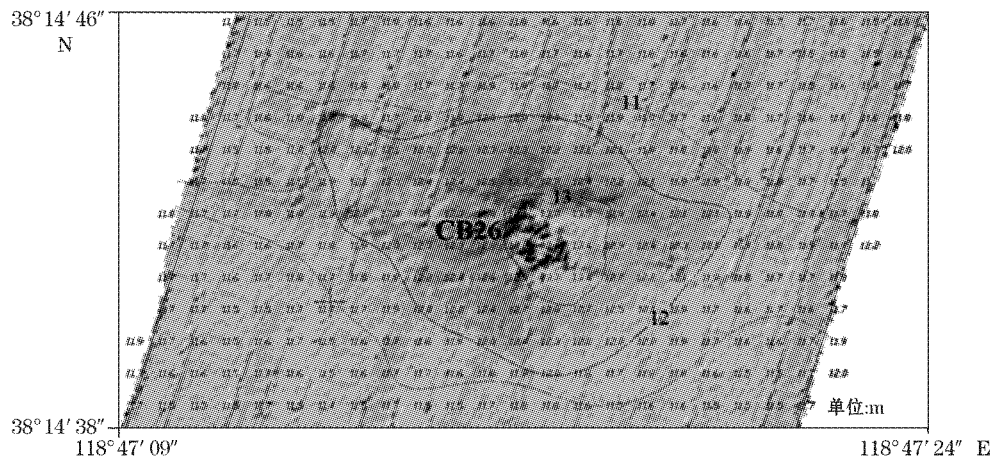


图3 CB26平台周围海底水深立体图

Fig. 3 A 3D bathymorphological map of the seafloor around platform CB26

3 仿生草技术防护原理分析

仿生草技术是基于海洋仿生学原理而开发研制的一种新型海底防冲刷技术。仿生草采用耐海水浸泡、抗长期冲刷的高密度聚乙烯材料制成,其密度小于海水的密度。将它人工“种植”在海底后,会在海水浮力的作用下向上伸展开,很像是生长在海底的水草。仿生草随着水流来回摇摆,可以起到吸收波能、消波的作用^[17],其主要作用机理是:海流流经铺设了仿生草的海底时,受到仿生草的柔性阻滞,流速下降,对海床的冲刷能力减弱^[18]。同时,由于流速下降及仿生草的阻碍,促使水中悬浮的泥沙在自身重力的作用下沉降下来,淤积在仿生草基垫上。不断沉降和淤积的泥沙使铺设了仿生草的海底逐渐形成了一片沙洲,有效地减缓了周围海床的侵蚀、破坏,使悬跨的管线重新被埋没(图4)。

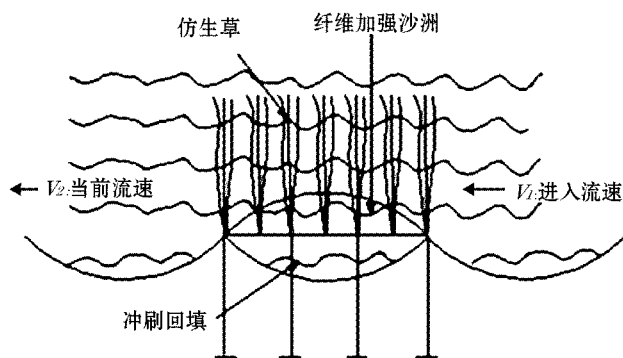


图4 仿生草技术原理图

Fig. 4 A principle scheme of the bionic grass technology

2007年,庄丽华等通过分析茂名海域海底悬跨管线铺设仿生草之后的实测数据发现,高度达到1m的仿生草在沉降了大量泥沙、已经发生倒伏的情况下,仍然可以取得降低海流流速15%~20%的良好效果^[8]。由前面对仿生草防护原理的分析可知,仿生草是

基于自身仿生植物的特性而具有的降低海流流速的作用,在埕岛海域同样可以利用这一特性,起到保护海底管线的作用。

2008 年,李俊杰通过实验证明仿生草技术对砂质和粉砂质海床都可以起到防止管线周围冲刷侵蚀、促进泥沙淤积的效果,尤其对砂质海床的防护效果较好^[19]。埕岛海域的海床表层沉积物以粉砂为主,海水中的泥沙含量大,悬浮泥沙浓度很高,这些条件都有利于仿生草对泥沙的沉降和淤积。在埕岛海域铺设仿生草,可以起到防护海底管线的作用。

4 平台周围仿生草检测效果分析

据 2011 年调查结果显示,埕岛胜利油田 CB11D 平台周围存在一个明显的冲刷凹坑,直径大约 200 m(图 5)。自该平台桩脚开始,沿海底管线 CB11D-CB22A 路由方向有 27.6 m 的管线呈悬跨状态(图 6),最大悬跨高度出现在平台桩脚处,高度达到 1 m 左右。

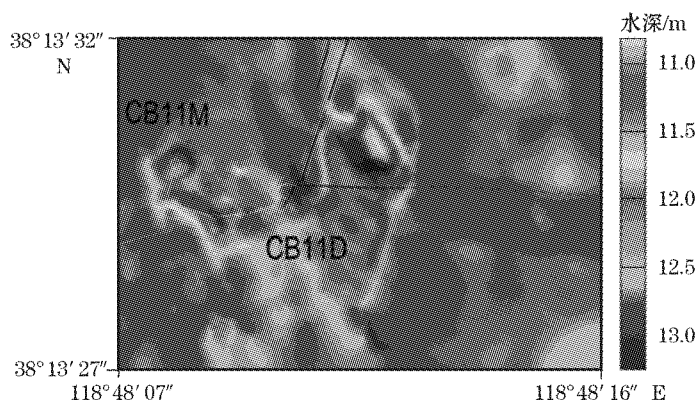


图 5 CB11D 平台端三维地形效果图

Fig. 5 A 3D effect map of the seafloor topography around platform CB11D

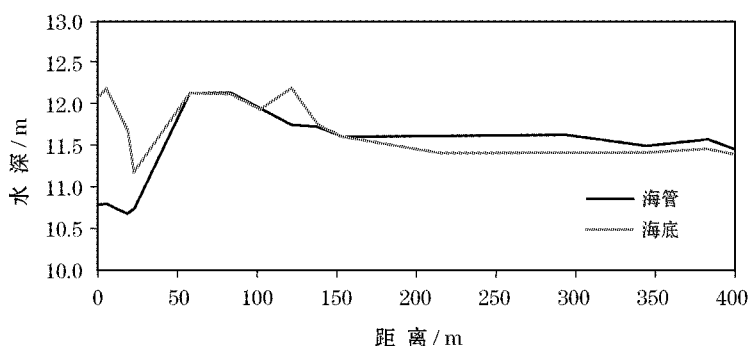


图 6 CB11D-CB22A 输油管线埋深剖面图

Fig. 6 The buried depth profile of oil pipeline CB11D-CB22A

2011-09 中旬,对埕岛胜利油田悬跨管线采用抛填沙袋和铺设仿生草相结合的办法进行了治理,并于 2013-05 采用多波束水深测量(EM3000D 多波束测深仪)、侧扫声呐地貌测量(SIS-1624 双频侧扫声呐系统)及浅地层剖面探测(SES-2000 参量阵浅地层剖面仪系统)对这一区域的治理效果进行了检测。实测结果显示,除在平台进出的海底管线仍有少部分裸

露外,大部分悬跨管线的裸露状态得到了有效改观。从侧扫声呐图上可以看出,自支撑桩开始向东北约 30 m,泥沙淤积明显,管线被完全埋藏,轨迹模糊(图 7)。从水深地形三维图上可以看出,CB11D 平台北侧存在一处明显的长条形突起,长约 30 m,高出周围海底约 1 m。与探测的平台、管线位置相匹配,发现该突起与通过侧扫声呐发现的治理区域相吻合(图 8)。

从侧扫声呐和水深地形三维图上还发现,CB11D 平台周围存在一个明显的冲刷凹坑,在 CB11D 平台进出的海底管线均有小部分出露。仿生草技术未能完全解决这一平台桩脚处的海底管线悬跨问题。

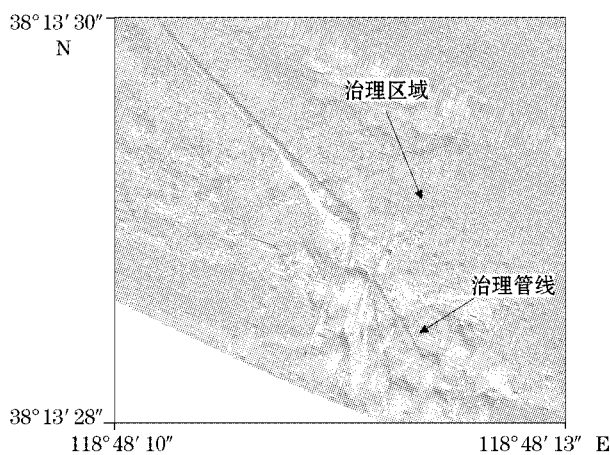


图 7 CB11D 平台周围侧扫声呐图

Fig. 7 A side scan sonar map around platform CB11D

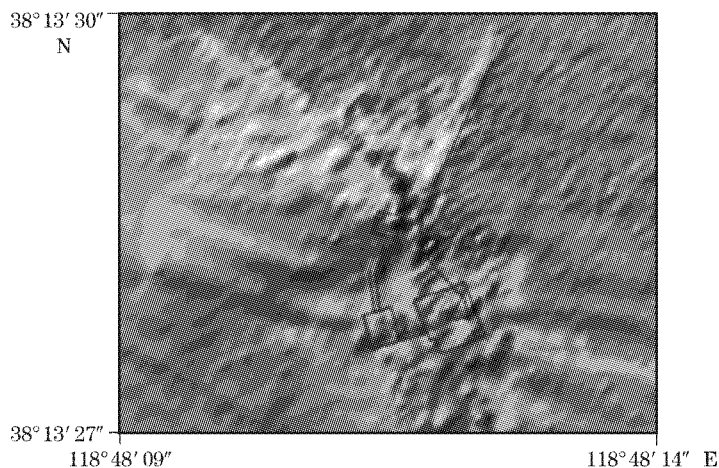


图 8 CB11D 平台周围水深地形三维图

Fig. 8 A 3D bathymorphological map of the seafloor around platform CB11D

2013 年同时期检测的还有 CB351 (CB351-CB30A)、CB30A (CB351-CB30A) 和 CB11A (CB11A-中心一号) 3 个平台端。调查结果表明,这 3 个平台周围的治理区泥沙淤积明显,海底管线上覆沉积物厚度为 0~0.5 m,仿生草的治理效果很好。3 个平台周围

都存在明显的冲刷凹坑,CB11A 平台周围没有发现管线裸露,另外 2 个都在平台桩脚处有小段裸露,管线悬跨问题并没有根除。

2007 年,对 16 个平台端周围的海底悬跨管线采用抛填沙袋和铺设仿生草相结合的方法进行治理,并于 2008 年对治理效果进行了检测。检测结果显示,中心一号、CB12B、CB35 和 CB251D 四个平台端周围的治理区没有明显的泥沙淤积现象,治理管线段仍裸露于海底表面,仿生草治理无效果。其余 12 个平台端周围都有不同程度的泥沙淤积,海底管线部分或全部被重新掩埋,治理区上覆沉积物厚度在 0~0.6 m 之间变化,仿生草治理效果很好。调查同时发现,平台周围都存在规模大小不等的冲刷凹坑,平台桩脚处管线裸露或悬跨现象普遍。调查的所有平台端(16 个)中,仅有 2 个平台端的桩脚处管线完全处于埋藏状态,其余 14 个平台端均有不同程度的裸露或悬跨。

将最近几年的仿生草治理效果检测结果进行统计汇总,见表 1 和表 2。若治理区有明显泥沙淤积,部分或全部管线被重新埋藏,则视为效果良好;若治理区没有明显泥沙淤积现象,管线仍裸露或悬跨,则视为无效果。由表 1 可知,16 个平台端中,有 12 个平台端周围出现了明显的泥沙淤积现象,比例为 81.82%,仿生草铺设后的治理效果良好。这说明,这几年仿生草技术在埕岛海域的海底管线治理中取得了很好的成绩。由表 2 可知,铺设仿生草的 22 个平台端中,仅有 3 个平台端桩脚处完全没有发现管线裸露、悬跨现象,仅占 13.64%,其余 86.36%的平台端周围仍存在管线裸露或悬跨现象。由此来看,大多数平台端桩脚处的管线裸露、悬跨现象并没有根除。

表 1 仿生草治理效果检测结果

Table 1 1 Statistical results of the bionic grass treatment effect

年 份	总平台端数/个	效果良好平台端数/个	无效果平台端数/个
2008 年	16	12	4
2009 年	2	2	0
2013 年	4	4	0
合 计	22	18	4
比 例	100%	81.82%	18.18%

表 2 铺设仿生草后平台桩脚处管线出露情况

Table 2 Pipeline exposing status at the feet of platforms after treating with bionic grass technology

年 份	总平台端数/个	有管线出露平台端数/个	无管线出露平台端数/个
2008 年	16	14	2
2009 年	2	2	0
2013 年	4	3	1
合 计	22	19	3
比 例	100%	86.36%	13.64%

结合前面对平台周围管线悬跨原因的分析可知,平台桩柱的存在会引起平台周围原有水动力环境的改变,容易形成漩涡,水流流速加快,使桩柱周围遭到局部的差异冲刷。受这种强烈冲刷作用的制约,仿生草技术在平台桩脚处的治理效果不是很理想。总体上来说,避开平台桩脚处的涡流区,仿生草技术在埕岛海域的海底管线治理中取得了很好的效果。桩脚处涡流区的海底管线悬跨问题今后还有待深入的研究。

5 讨 论

2008年,对胜利油田16个平台端的仿生草治理效果检测发现,CB251D、CB35、中心一号、CB12B四个平台端周围泥沙淤积厚度分别为 -0.3 、 -0.5 、 -0.4 、 0.0 m,未见泥沙淤积,甚至出现明显冲刷现象,仿生草治理无效果。其余12个平台端周围出现明显泥沙淤积现象,泥沙淤积厚度在 $0.0\sim 0.6$ m之间变化,仿生草治理效果很好。

埕岛海域涨潮流和落潮流的方向分别为ESE(约 110°)和WNW(约 290°)。对16个平台端的管线走向、管线走向与潮流方向的夹角进行统计,结果如表3所示。由表可见,仿生草治理无效果的4个平台端(CB251D、CB35、中心一号、CB12B),管线走向与潮流方向的夹角分别为 61° 、 64° 、 78° 和 84° ,均 $>60^\circ$ 。其余12个治理效果良好的平台端中,除了CB251C,管线走向与潮流方向的夹角均 $<40^\circ$ 。由此推测,仿生草铺设后的治理效果可能受管线走向和潮流方向的影响,海底管线受到的冲刷程度与潮流方向有密切关系:与潮流方向一致或者与潮流方向夹角较小($<40^\circ$)的海底管线,受到的冲刷侵蚀较弱,治理效果良好;而与潮流方向垂直或者与潮流方向夹角较大($>60^\circ$)的海底管线,受到的冲刷侵蚀较强,仿生草治理效果不好或无效。建议今后铺设海底管线时,应尽量与潮流方向一致,或者尽量减小管线走向与潮流方向之间的夹角。管线铺设后,应尽早铺设仿生草,发挥仿生草的预防和保护作用。

表3 平台桩脚处管线走向、管线走向与潮流方向的夹角及泥沙淤积厚度

Table 3 The pipeline strike, the included angle between the pipeline strike and the tidal current direction and the sedimentation thickness at the feet of platforms

序 号	平台端	管线 走向/ $^\circ$	与潮流方向 夹角/ $^\circ$	泥沙淤积 厚度/m
1	CB502(CB502-CB20)	117	7	$0.0\sim 0.5$
2	CB4A(CB4A-CB4B)	298	8	$0.0\sim 0.2$
3	CB4B(CB4B-CB4A)	118	8	$0.2\sim 0.4$
4	CB251C(CB251C-CB251B)	313	23	0.5
5	CB1A(CB1A-中心二号)	143	33	$0.2\sim 0.4$
6	CB25B(CB25B-CB25A)	256	34	$0.4\sim 0.6$
7	CB25A(CB25A-CB25B)	76	34	0.2
8	中心二号(中心二号-CB20A)	147	37	$0.0\sim 0.3$
9	CB27A(CB27A-CB271A)	253	37	0.2
10	中心一号(中心一号-CB11D)	349	39	0.2
11	CB11D(CB11D-中心一号)	149	39	0.3
12	CB251C(CB251C-CB251D)	49	61	0.2
13	CB251D(CB251D-CB251C)	229	61	-0.3
14	CB35(CB35-海一站)	226	64	-0.5
15	中心一号(中心一号-二号)	32	78	-0.4
16	CB12B(CB12B-CB12C)	26	84	0.0

注:表格中括号内为检测管线,淤积厚度为负值的表示出现冲刷

6 结 论

1)埕岛海域平台周围铺设仿生草后 1~1.5 a,治理区有明显泥沙淤积现象的比例为 81.82%。泥沙淤积厚度为 0~1 m,海底管线部分或全部被重新埋藏。总体来看,避开平台桩脚处涡流区,仿生草技术对海底悬跨管线的治理取得了很好的效果。

2)最近几年所调查的平台端中,86.36%的平台端在桩脚处涡流区仍存在管线裸露或悬跨现象,仿生草技术不能根除平台桩脚处涡流区的海底管线悬跨问题。

3)仿生草的治理效果受管线走向和潮流方向的影响:与潮流方向一致或者与潮流方向夹角较小($<40^\circ$)的海底管线,受到的冲刷侵蚀较弱,治理效果良好;反之,受到的冲刷侵蚀较强,治理效果不好或无效。

参考文献:

- [1] 冯秀丽,陈之贺,林霖,等. 黄河水下三角洲埕岛油田海底管线悬空分析[J]. 海岸工程,2008,27(2): 26-31.
- [2] 文世鹏,吴敏,王西岗. 埕岛油田海底管线悬空治理探索[J]. 石油工业技术监督,2008,(7):17-20.
- [3] 蒲进菁. 粉砂质海床对管跨涡激振动响应的研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2012.
- [4] 焦如义. 水下管道“人工草”固定技术及应用[J]. 油气储运,1997,16(11):15-19.
- [5] 李士清,拾兵,初新杰. 海底石油管线防护技术研究[J]. 中国海洋平台,2005,20(3):49-52.
- [6] 吕明春. 胜利埕岛油田海底管线防悬空技术探讨与应用[J]. 安全技术,2008,8(3):20-22.
- [7] 刘锦昆,张宗峰. 仿生防冲刷系统在埕岛油田中的应用[J]. 中国海洋平台,2008,23(6):36-68.
- [8] 庄丽华,阎军,范奉鑫,等. 茂名 30 万吨级单点码头输油海管悬空段人工海草试验研究[J]. 海洋工程,2010,28(2):76-81.
- [9] 梁富浩,张印桐,庄亚锋,等. 基于仿生技术防治平湖油气田外输海底管线冲刷的探讨[J]. 中国海洋平台,2011,26(4):24-29.
- [10] 杨作升,王涛. 埕岛油田勘探开发海洋环境[M]. 青岛:青岛海洋大学出版社,1993.
- [11] 张卫明,梁瑞才,牟晓东,等. 埕岛油田海域海底沉积特征与工程地质特性[J]. 海洋科学进展,2005,23(3):305-312.
- [12] 路国章,王西岗. 埕岛海域浅层粉土土质对桩基工程影响分析[J]. 船海工程,2010,39(2):96-99.
- [13] 樊辉. 黄河口泥沙输移及三角洲的近期演变[D]. 北京:中国科学院研究生院,2005.
- [14] 沈汉红. 埕岛油田海域气象规律研究与应用[J]. 海岸工程,2008,27(4):11-22.
- [15] 杜逢超. 胜利油田作业三号修井平台倾覆地质原因分析[D]. 青岛:中国海洋大学,2012.
- [16] 仲德林,刘建立. 埕岛油田海上石油平台基础冲刷研究[J]. 海岸工程,2003,22(2):37-43.
- [17] 赵冬岩,余建星,李广雪,等. 海底管线防冲刷技术试验研究[J]. 哈尔滨工程大学学报,2009,30(6):597-601.
- [18] 侯志民,张异彪,蔡春麟,等. 仿生草在平湖悬空油管维护中的应用效果[J]. 海洋地质前沿,2013,29(8):53-59.
- [19] 李俊杰. 粉土海床海底管线冲刷机理及防护方法研究[D]. 青岛:中国海洋大学,2008.

Study on the Effect of Bionic Grass Treatment for the Suspended Span of Submarine Pipelines Around the Oil Platforms in the Chengdao Sea Area

CUI Hua¹, CAO Li-hua¹, CHEN Yi-lan², LIU Zhen¹, HUANG Mu²

(1. *College of Marine Geoscience, Ocean University of China, Qingdao 266061, China;*

2. *The First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China*)

Abstract: Suspended span of submarine pipelines around the platforms in the Chengdao sea area is serious. A bionic grass technology introduced by the Shengli Oilfield has been generally applied for treating this problem in recent years. The effect of the treatment with the bionic grass technology is studied based on the interpretation and statistics of measured data. The results show that 18 of the 22 platforms that were investigated in the past few years have an obvious sedimentation phenomenon. The sedimentation thickness is 0 ~ 1 m and the submarine pipelines are reburied partly or completely. There are still pipeline bare or spanning phenomena at the foot vortex regions of 19 platforms. The effect of the bionic grass treatment may be influenced by the strike of pipelines and the direction of tidal currents. Good effect will be achieved if the strike of pipelines is consistent or has a smaller included angle (less than 40°) with the direction of tidal currents.

Key words: the Chengdao sea area; pipeline spanning; bionic grass; treatment effect