

海底管道悬空防护与治理措施浅谈

庄丽华^{1,2}, 阎军^{1,2}, 李成钢³

(1. 中国科学院海洋研究所, 中国科学院海洋地质与环境重点实验室, 山东 青岛 266071; 2. 青岛海洋科学与技术国家实验室, 海洋地质与环境功能实验室, 山东 青岛 266200; 3. 深圳中海油服深水技术有限公司, 广东 深圳 518067)

摘要: 为了治理一直困扰茂名 30 万 t 单点码头的海底管道悬空问题, 首先分析了海底管道埋藏状态的识别方法, 对国内外海底管线各种悬空治理措施的优缺点和适宜海域进行汇总。在对茂名 30 万 t 单点码头海底管道开展了多次路由调查的基础上, 针对悬空路段, 分别采用人工海草、沉排、碎石回填等不同的防护措施。结果表明, 人工海草确实具有明显的降低流速和促进泥沙淤积的功能, 但潜水员水下作业工作量较大, 不宜在水深大于 40 m 的海域进行, 应避免拖网捕捞海域。水泥沉排在水下较稳定, 可有效保护海底管线免受外来损害, 但是回淤促淤缓慢。当海床承载力足够时, 采用碎石回填办法进行海管维护比较有效, 冲刷坑填埋充实, 可广泛用于修正悬空。

关键词: 海底管道; 埋藏状态; 悬空治理措施; 防护效果

中图分类号: P756 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2016)11-0065-09

doi: 10.11759/hyqx20160516002

作为海上油气运输的大动脉, 海底管道安全性成为海洋油气开发的关键问题。在世界近海海域, 由于作为管线依托的海底原始地貌发生变化, 发生了大量海底管线损毁事件。据密西西比三角洲和墨西哥湾海底管线事故统计数据表明, 与海底管线悬空相关的事故占总事故的 44.3%; 2000 年 10 月和 11 月我国东海平湖油气田海底输油管道岱山段先后两次发生波流冲刷疲劳断裂^[1-2]; 埕岛油田 CB251C-CB251D 海底注水管线泄漏也是一起由管线悬空引发事故的典型案例^[3]。海管一旦泄漏, 一方面将造成大量油气泄漏, 维修造价巨大, 另一方面严重损害渔业资源, 破坏海洋生态系统。

针对海底管道悬空问题, 国内不少学者提出了各种治理技术^[4-18], 其中人工海草作为一种柔性仿生措施, 已经在国内第一个单点码头——茂名 30 万 t 级单点码头、埕岛油田实施, 用于海底管道悬空防护治理^[13-15]。本文初步探讨了海底管道埋藏状态的识别方法、综合了国内外海底管线悬空治理措施, 并在多次海底管道路由调查的基础上, 探讨了茂名 30 万 t 单点码头海底管道路由区开展的海底管道悬空防护治理措施的效果, 希望能起到抛砖引玉的作用。

1 海底管道埋藏状态的识别

挪威船级社《海底管道系统规范》(DNV2000) 规定易受损伤的管道部分以及受海底条件变化影响

较大部分(如管道的支撑和埋设段)通常每年都要进行检测, 其他部分至少在 5 a 内检测一次。如果遇到地震、大风暴或遭受严重的机械损伤, 还应进行特殊检测。在海底管道运行期间, 通过对管体与海床相对位置的定期检测可以弄清管体埋深情况, 是否有局部悬空及海床冲淤变化趋势, 能够及时发现管道危险, 它是现今保证海底管道在役期间安全运行的有效手段。海底管道路由调查主要通过采用高分辨海底声学设备如精密测深(多波束)、侧扫声纳、管线仪等, 并进行相关的验潮、声速测量、DGPS 定位等完成, 通过综合地球物理调查可获得管线区海底精确的水深、地形和地貌, 查明全管线的现状如是否出露、悬空以及埋深情况等, 给出裸露区的准确位置、走向、长度和悬空高度及跨距; 查看有无人破坏痕迹; 查明管线区的地质灾害如有无严重冲刷、浅层气等灾害性地质因素; 对海底管线安全现状进行评价,

收稿日期: 2016-05-16; 修回日期: 2016-07-08

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(41576056); 中国科学院战略性先导科技专项(XDA11030301)

[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41576056; Strategic Priority Research Program of the Chinese Academy of Sciences, No.XDA11030301]

作者简介: 庄丽华(1974-), 女, 山东招远人, 高级工程师, 博士, 主要从事海洋沉积、海洋工程地质与灾害地质工作, 电话: 0532-82898669, E-mail: lhzhuang@qdio.ac.cn

为海底管线的安全生产、维护提供科学依据。

在通过多波束和侧扫声纳来获取调查海区地形地貌信息的同时,主要利用海底管线仪测量来调查海底管线的埋藏和出露情况,必要时结合潜水员探摸、ROV 等确认。其基本原理是:仪器探头发出高频声波脉冲信号,形成球面波,当碰到海底管线时,发生反射。在垂直于管线的方向上,连续接受反射波并记录下来,在记录剖面上,会形成一个规则的开口向下的抛物线状记录,抛物线的顶点即为管线的顶部。利用这种特性,很容易把海底管线与周围海底沉积物区分开来,并获得海底管线相对于海底的埋深和出露高度。对海底管线仪剖面记录图谱上出现管线反射特征——抛物线状结构的顶点位置与海底垂向距离进行测量,得出管线坐标与管线埋深数据表。管线的埋深与水深数据结合,编绘出管线埋深剖面图。根据管线在海底管线仪剖面上反射特征的不同,可识别海底管线埋藏状态以及出露高度,结合海底管道自身直径,即可判别海底管道是否悬空(图 1),当出露高度超过海管外径时,海管处于悬空状态。根据管线在海底管线仪剖面上反射特征的不同,可将管线出露情况分为完全埋藏(图 1a)、管线顶脊与海底基本持平(图 1b)、管线出露(两侧出露程度一致)(图 1c)、管线出露(两侧出露程度不一致)(图 1d)、管线出露(一侧形成淘挖浅沟)(图 1e)、管线悬空(图 1f)等几种状态。海底侧扫声纳图像也是识别海底管道悬空与否的主要依据,典型侧扫声纳图像见图 2。

侧形成淘挖浅沟)(图 1e)、管线悬空(图 1f)等几种状态。海底侧扫声纳图像也是识别海底管道悬空与否的主要依据,典型侧扫声纳图像见图 2。

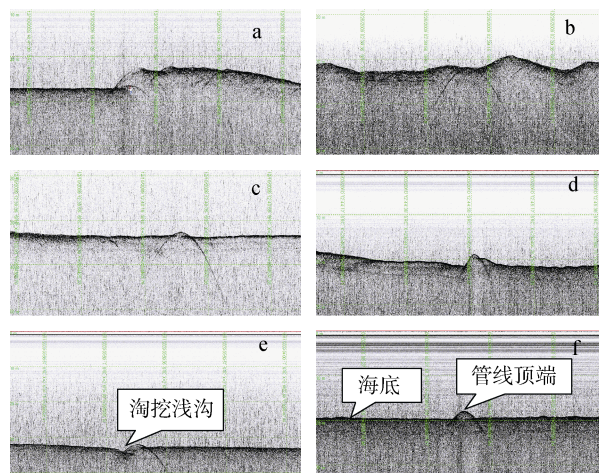


图 1 管线仪剖面记录的海底管道埋藏状态

Fig. 1 Burial states of submarine pipelines recorded by a pipeline profile detection instrument

- a. 完全埋藏; b. 管线顶脊与海底基本持平; c. 管线出露(两侧出露程度一致); d. 管线出露(两侧出露程度不一致); e. 管线出露(一侧形成淘挖浅沟); f. 管线悬空
- a. completely buried pipeline; b. top of the pipeline is on the bottom of seafloor; c. exposed pipeline (identical exposure on both sides); d. exposed pipeline (different exposure on each side); e. exposed pipeline (shallow ditch on one side); f. hanging pipeline

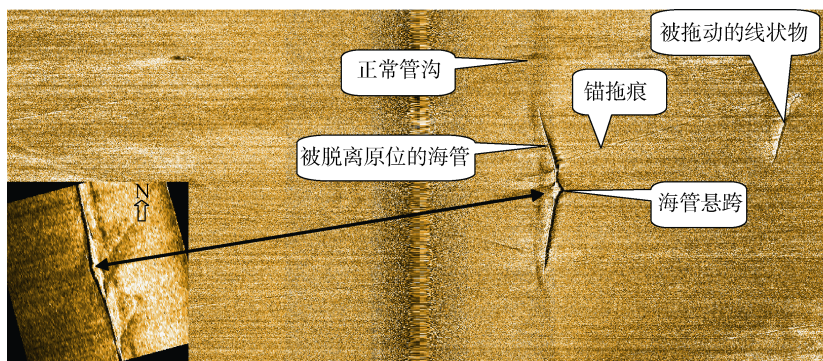


图 2 悬空海底管道典型侧扫声纳图像

Fig. 2 Typical side-scan sonar image of a hanging submarine pipeline

按照国际惯例,管线位置用KP描述,KP指海底管线上某一位置距离单点系泊浮筒的距离,单位为 km。为了能连续追踪几年的海底管道埋藏状态,最好对比分析同一 KP 处多年度管道埋深变化,了解管线运行期内海底的变化趋势,为筛选迫切需要治理的海底管道悬空路段、合适的治理措施提供依据。为方便对比,当海底管道埋深值为负时,表明海底管道出露于海底;反之表明海底管道为埋藏状态。

2 国内外海底管道悬空治理措施与对比

海底管线的安全维护和修复工作,必须考虑到海底水动力环境的特殊性。水下环境的水动力条件是造成海底地貌变化的主要因素之一,因为海底的海流会造成沉积物的侵蚀、搬运和沉积。这些动力过程会严重影响海底管线的安全性。因此在高分辨率海底地球物理调查的基础上,必要时结合潜水员海底

管线探摸资料、海底水动力条件、底质调查、海底管道附近存在的冲刷位置、冲刷坑深度和范围等资料,才能提出合理的海底管线悬空综合治理方案。

为了将潜在危险对管线的危害降低到最低程度,首先要在调查中识别出环境灾害,然后采取相应措施来保护管线不受这些灾害的危害。治理海管附近冲刷,进而减少或消除管道悬空的方法主要有以下几种类型:(1)用沙袋、钢筋笼、灰浆气囊袋、水下短桩、升高枕或机械装置等支撑管道;(2)回填被掏空的海床;(3)在管道上压载保护性沉床;(4)固定管道;(5)柔性保护措施,如人工海草、人工网垫、阻流板等。也可采用复合方法来治理海管悬空,例如抛砂袋结合混凝土覆盖、块体沉床(砾石+过滤布+混凝土块体)、沉床+人工海草等。各种措施优缺点及适宜区域见表1。

3 防护效果对比

保护方法的选择,水深是起决定作用的相关因素之一,必须充分考虑到水深条件。还要考虑到防护效果、成本、海底管道悬空范围、是否有人工潜水作业或遥控系统条件、潜水员水下工作量等,要尽可能做到既解决安全保护问题,又节约开支。下面重点讨论人工海草、沉排、碎石回填的防护效果。

3.1 人工海草防护效果

茂名30万t级单点系泊码头海底管线长15.268 km,铺设至今已安全运行16 a。中国科学院海洋研究所曾分别于2000年、2002年、2004年、2006年、2008年、2010年对茂名30万t级单点系泊码头海底管线进行了6次多波束测深、侧扫声纳和海底管线仪剖面测量工作,其中前4次调查发现出露情况较严重,90%以上的路段海底管线已经出露于海底,出露高度在0.5 m以内。

针对茂名30万t级单点系泊码头海底管线埋藏现状,2006年中国科学院海洋研究所设计并加工定制了两种规格的人工海草,2006年11月中国科学院海洋研究所在茂名海底输油管线悬空路段成功完成人工海草的海底种植安装,2007年4月通过潜水人员水下检测、海流测量等工作,检查了13.5~16.5 m水深处海底人工海草的状态。检测发现,人工海草尚未被破坏时,确实具有明显的降低海流流速和促进泥沙淤积的功能(图3、图4)。1 m高的人工海草实际效果要好于50 cm高的人工海草;尽管海草草体已吸附了大量悬浮泥沙,多数海草出现倒伏和部分掩埋的现象,但仍然可降低流速15%~20%;人工海草垫直接铺设于海底管线之上,比铺设于海底管线之一侧更有利于管线的保护^[13]。

由于人工海草安装所在海域属于传统的渔猎场所,大量的拖网捕鱼船只在此拖网捕鱼、捕虾,对安装种植的人工海草具有致命的、毁灭性的破坏,人工海草已丢失,已不能起到保护海管的作用。人工海草丢失导致2008年管线出露高度增加至0.8 m,至2010年调查发现茂名单点系泊码头L118~L120段(KP=9.48~9.585)海管顶脊出露高度有所降低,为0.53~0.59 m,虽然比2008年情况有所好转,但仍超过海管外径1/2,小于海管外径2/3,海管顶脊出露高度仍较高(图5)。虽然在茂名安装的人工海草系统遭受了严重的人为破坏,但是刘锦坤^[14]等、蒋习民^[15]等在胜利埕岛油田利用仿生防冲刷保护系统,取得了较好的防护效果。

根据国土资源部2004年公布的《海底电缆管道保护规定》,禁止在海底电缆管道保护区范围内(沿海宽阔海域、海湾等狭窄海域、海港区内等分别为海底电缆管道两侧各500, 100, 50 m)从事挖砂、钻探、抛锚、底拖捕捞、张网、养殖或其他可能破坏海底原油输送管线的作业,将有利于保护人工海草,有利于海底管道悬空的治理工作。

总之,人工海草的缓流促淤功能是不容忽视的,但该方法潜水员水下作业工作量较大,不宜在水深大于40 m的海域进行,而且为防止人工海草的丢失,应避免开拖网捕捞海域,这样更有利于海底管道悬空的治理。

3.2 碎石回填防护效果

茂名30万t级单点码头L218~L224段2000年、2002年、2004年管线出露高度分别在0.2~0.4, 0.4~0.7, 0.1~0.8 m变化,2006年该路段3条测线上管线出露高度均为0.7 m,超过海管外径2/3,处于严重出露状态,2007年进行人工海草铺设。由于人工海草丢失,2008年3月到4月管线出露高度为0.5~1.2 m,其中L218(KP=4.585)、L222~L224(KP=4.295~4.392)路段管线出露高度增加,L223(KP=4.335)路段出露高度可达1.2 m,处于悬空状态(图6),对该悬空段采用碎石回填处理。

2008年10月30日潜水员对茂名223线经过砾石填埋处理的线段进行水下检查,确认该段海底管线及管线两侧冲刷形成的凹坑已经全部被小石子填埋,潜水员需扒开石子才能找到管线,石子厚度距离海底管线顶部10~15 cm,石子表明较平整,石子填埋宽度为海底管线两侧各3 m,填埋的效果良好(图7)。经过砾石回填处理的海床稳定、平坦,管线两侧冲刷坑填埋充实,这将对海底管线管体起到良好的衬托作用。

表 1 国内外海底管道悬空治理措施

Tab. 1 Some measures taken to protect submarine pipelines from hanging

防护方式	方法	简介+优缺点	适宜区域
支撑管道	沙袋堆砌 ^[4-5]	水下工作量相当庞大,受潜水作业时间限制,堆砌的沙袋基本呈锥体状态,不牢固,年年维护,年年倒塌,后期修复不便。	管道悬空不太高,水深小于 40 m 的海域。
	钢筋笼 ^[4]	较为牢固可靠,实际作业时可在笼中提前堆放一部分沙袋随着钢筋笼一起释放到水中,钢筋笼到达海床后,通过系在笼上的导向绳下放沙袋到钢筋笼中,从而大大节省潜水员水下的工作量。	水深小于 40 m 的海域。
	水下短桩支撑 ^[5-7]	施工相对简单,便于实施,不影响生产,但不消除悬空;可以有效固定海底管道,减小悬空长度,防治管道横向振动。缺点是保护的围护范围相对小。	管道悬空一般为 0.4~0.6 m,海床有一定的承载力。
	灰浆气囊法 ^[5,8]	由一系列相互连接的气囊组成,每个气囊角有排气孔可以保证管道和气囊型垫接触良好,当气囊中填充灰浆后就形成气囊型垫。织物纤维材料被制成不同的形状,使得它们能够适合管线的尺寸、海底之上的高度及其重量。	潜水员下潜的极限海域。
	升高枕 ^[5,8]	一种大的充水橡胶枕,可将 40 t 的重量升高 1.5 m。安装方便,可以重复使用。	管道悬空 1.5 m 左右。
	自升式支架 ^[9]	专门设计的主动型(可调节高度)支架来缩减悬空段的跨距,很好地适应起伏不平的海底。系统具有千斤顶和压缩空气圆桶,使管线具有最佳结构和应力状态。	借助于深海作业船和载人深潜器或遥控机器人,适合安装在 500 m 以深的海域。
回填管道	水下抛石 ^[9]	往往采用成层铺设的方式,在最下层铺设细颗粒,在最上层铺设块体等粗颗粒。填充材料必须各种环境下都能保留在原地,而且不能妨碍拖网。防止旋涡冲刷,抑制现有悬空段的摆动,相对简单,易于安装,能提供充分的弹性空间来适应长时间的变化。	管道底部悬空不是太高(0.5~1.5 m) ^[8] ,海床的承载力足以支撑倾倒的材料。
	水工布法 ^[10]	砂袋+土工布+砂袋,该方案易施工,造价低,但水工布依靠其上面的砂袋固定,且水工布不具备促淤的作用,在海流的长期冲刷下,水工布被破坏的几率很大,管线将再次被掏空。	立管周围明显的海底冲刷坑。
	重新挖沟填埋 ^[7, 11]	通常选择比原先颗粒粒径稍大的土,此时渗透性较大,孔压消散较快,降低液化风险 ^[7]	海床大范围缓慢移动 ^[11] ,悬空高度小于原始挖沟设计深度。
压载管道	水下沉排(沥青或混凝土) ^[9-10]	常见的沉排主要有:(a)沥青沉排;(b)混凝土沉排,主要为锥形或六边形。要注意垫层的刚性边缘引起的海床冲刷,如果在垫层与海床之间产生了很小的通道,这种小通道会在垫层底部引起很大的冲刷,从而可能造成管道的破坏。如果再次悬空,覆盖的混凝土将对管道产生不利影响。	海底管道底部悬空小、仅有几十厘米、悬空段相当长 ^[8] 。

续表

防护方式	方法	简介+优缺点	适宜区域
固定管道	锚桩锚固定位法 ^[5]	<p>采用高强度机织土工布,内填细粉砂。砂被的制作中,必须注意使其具有足够的柔性,并且厚度适中,若厚度过大将会在边缘处引起新的冲刷。土工布要满足施工起吊中的抗拉强度,砂被内充填的细砂需具备抗冲刷能力并满足吊机的起吊重量要求。砂被具有一定的柔性,与管道、海床吻合较好。</p> <p>靠桩基、深层土壤来承受波浪,海流作用,保持管道稳定。锚桩的形式有两种,一种是用来固定一根管道的“丁”字形锚桩,另一种是用来固定多根管道的“H”形锚桩。它们都是由锚桩体、上横梁、下横梁、固紧件组成。</p>	水深小于 40 m 的海域。
柔性保护措施	人工海草 ^[13-15]	<p>作为一种柔性保护措施,可避免刚性保护措施所引起的新的“二次”冲刷。人工海草原理先进且结构简单。海上施工费用远低于传统防冲刷措施。但水下作业量较大。</p>	<p>易产生较大塌陷 滑坡或冲刷的海床. 尤其是土质较差表面淤泥较厚、而又裸露的管道。</p> <p>潜水员下潜的极限海域,避开传统的拖网捕鱼海域。</p>
	柔性管法 ^[7, 10, 16]	<p>悬空的管道由于自身重力以及底流的作用,会发生变形,柔性管可以顺应变形,减小受力。作为一种适应冲刷的手段,柔性管主要有两种:金属软管和带钢丝网夹层的橡胶软管。可靠性较高。抵抗大变形、抗腐蚀、安装方便、可回收,但抗拉性能较弱。</p>	<p>必须在管线停产的情况下才能实施^[15]且投资较大,在输水管^[10]、立管、跨管中应用。</p>
	阻流板 ^[17-18]	<p>阻流板,一种非金属鳍状装置,由鳍板和底座组成,安装于海底管道正上方,垂直方向上的最大偏差不能超过 10°,阻流板采用μPVC,长度一般在 5.6 m、3.81 m 左右,末端是斜面型的,使其与渔网接触面最小。可促使管线自理^[16-17]。持续运动的水流可加快管线自理。</p>	<p>水流流速较急、冲淤幅度大的海域,例如杭州湾、英国北海。同样适用于裸露管线、电缆。</p>



图3 2006年在茂名海底管线路由区铺设的人工海草
Fig. 3 In 2006 artificial seaweeds were fixed to hanging segments of submarine oil pipelines in Maoming

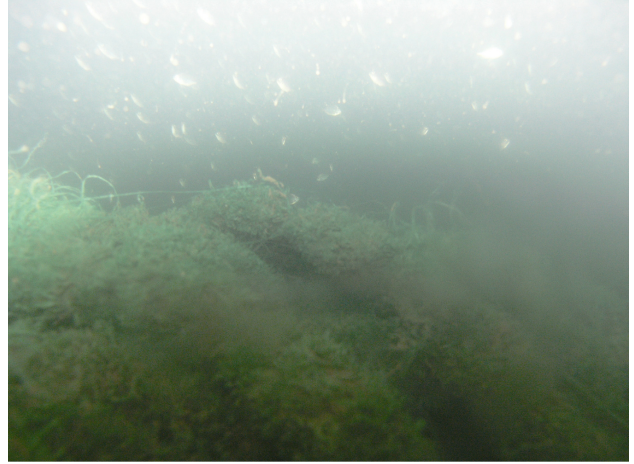


图4 2007年海草已倒伏,海草草体可见吸附大量的淤泥和尘土
Fig. 4 The seaweed absorbed a lot of suspended mud from seawater and were lodged and partly buried by 2007

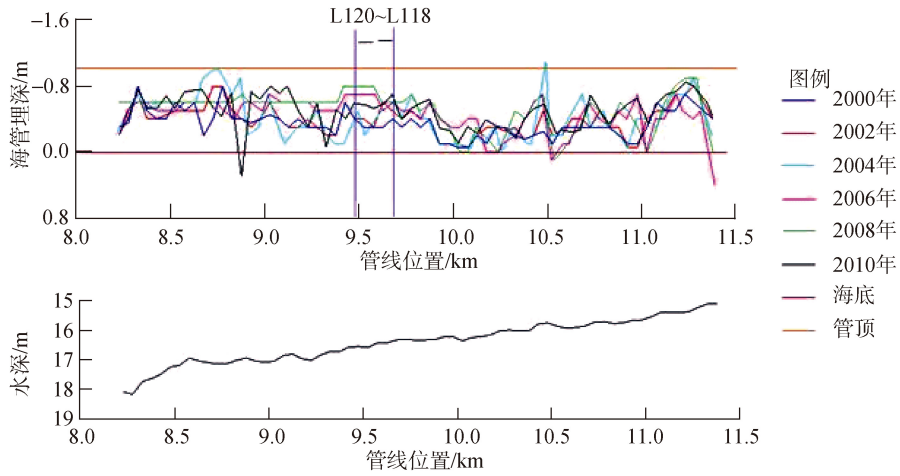


图5 茂名30万吨级单点码头人工海草安装区多年海底管线埋深变化趋势

Fig. 5 Changing trend in the burial depth of pipelines in the vicinity of the artificial seaweeds in Maoming dock

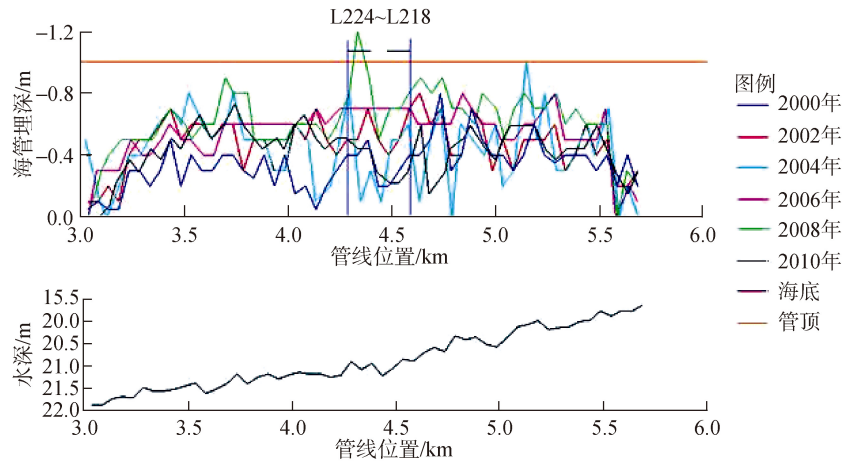


图6 茂名30万吨级单点码头碎石回填区多年海底管线埋深变化趋势

Fig. 6 Changing trend in burial depth of pipelines in the vicinity of the gravel dumping in Maoming dock

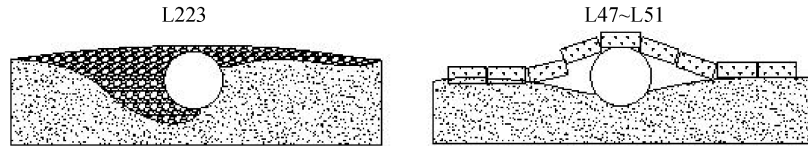


图 7 2008-10-30 日茂名 L223 线(碎石回填)、L47~L51 段(沉排保护)的海底管线海底状态

Fig. 7 Burial state of pipelines in Line 223 (gravel dumping) and from Line 47 to 51 in Maoming dock on October 30, 2008

2009 年对 L218~L224 段(KP=4.28~4.59)全部采用碎石回填, 2010 年调查发现该段可见到成堆的碎石, 海底管线出露程度明显降低, 为 0.22~0.51 m(图 6), 不超过海管外径 1/2, 处于浅出露和中等出露状态, 碎石回填区海管出露程度普遍减轻, 说明采用碎石回填办法进行茂名单点系泊码头海管冲蚀区段维护还是比较有效的。

当海床的承载力足以支撑倾倒材料时, 可广泛用于修正悬空, 也可与钢筋笼等其他方法联合使用, 合适的碎石回填粒径参考海底管线悬空段附近的泥沙启动计算数据, 比泥沙启动粒径略大。

3.3 沉排防护效果

2006 年在茂名 30 万 t 级单点系泊码头 L36~L58 段(KP =12.585~13.69)铺设了水泥沉排, 2008 年 10 月 30 日潜水员进行了水下检查, 确认 L47~L51 段海底管线上铺排的水泥沉排状态完整, 排列整齐(见图 7)。但是 2006 年、2008 年的海底管道检测调查结果对比发现, L36~L47 段(KP =13.69~13.14)管线仍处于比较严重的出露状态, 出露高度分别在 0.1~0.8, 0.5~0.8 m 变化。与 2006 年相比, L36~L58 段管线上大部分路段 2008 年出露高度略高, 管线埋藏状态有所恶化, 仅个别路段, 2008 年出露高度不变或变小一

些, 如 L38(KP=13.585)、L49(KP=13.035)、L51~L54 (KP=12.934~12.785)等。至 2010 年, 管线出露高度在 0.26~1.24 m 之间变化, 部分路段管线出露高度变小, 说明管线埋藏状态开始由恶化向好转的方向发展, 沉排处理发挥了一定的作用。

但个别路段管线沉排治理效果不明显, 出露高度仍然继续增大, 海管仍处于严重的出露状态, 如 L37(KP=13.638)、L41(KP=13.436)、L45(KP=13.236)、L47(KP=13.133)、L52(KP=12.888)、L54(KP=12.79)、L57~L58(KP=12.639~12.586)。其中 2010 年 L45 段管线出露高度最大, 为 1.24 m, 超出管线外径, 处于悬空状态; L37、L41、L47、L52 等路段出露严重, 分别出露 0.97, 0.92, 0.88, 0.73 m, 超过管线外径 2/3, 甚至接近管线外径(图 7), 海管顶脊严重出露, 几乎处于完全裸露状态, 应密切关注其动态。

L54~L58 段(KP=12.58~12.79)2009 年采用沉排处理。该路段海底管线出露情况较轻, 大部分出露高度在管线外径 1/3 之内, 在 0.1~0.36 m 之间变化; 铺设沉排后, 仅沉排中间部位 L55~L56(KP=12.682~12.742)路段管线出露高度从 2008 年的 0.3~0.5 m 减为 0.1~0.24 m, 埋藏状态有所好转, 其他路段出露高度仍增大(见图 8)。

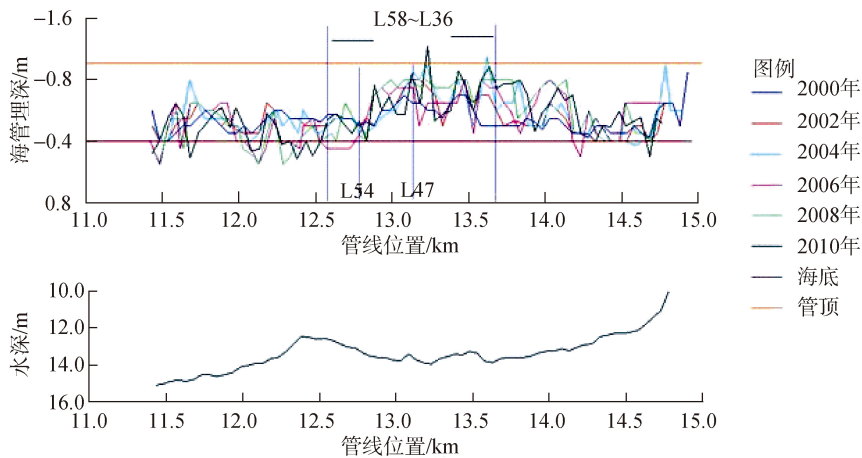


图 8 茂名 30 万吨级单点码头沉排区多年海底管线埋深变化趋势

Fig. 8 Changing trend in the burial depth of pipelines in the vicinity of concrete mattresses in Maoming dock

总体来看虽然 2010 年调查发现部分路段管线出露高度变小, 管线埋藏状态开始由恶化向好转的方向发展, 沉排处理发挥了一定的作用, 但最严重的海管出露段和悬跨段均出现在沉排铺设区, 个别路段管线沉排治理效果不明显, 出露高度仍然继续增大, 海管仍处于严重的出露状态, 如 L45(KP=13.236) 已悬空, L37(KP=13.638)、L41(KP=13.436)、L45(KP=13.236)、L47(KP=13.133) 等路段出露严重。

总之水泥沉排在水下稳定, 可以保护海底管线使其免受外来损害, 但其自身重量和回淤促淤缓慢也是不可忽视的弱点。

4 结论

治理海管附近冲刷, 进而减少或消除管道悬空的方法主要有以下几种类型: (1)用沙袋、钢筋笼、灰浆气囊袋、水下短桩、升高枕或机械装置等支撑管道; (2)回填被掏空的海床; (3)在管道上压载保护性沉床; (4)固定管道; (5)柔性保护措施, 如人工海草、人工网垫、阻流板等。也可采用复合方法来治理海管悬空。

在茂名 30 万 t 单点码头海底管道铺设海域主要开展了人工海草种植、沉排、碎石回填等几种海底管道治理措施, 多年海底管线埋深变化趋势表明: 人工海草确实具有明显的降低流速和促进泥沙淤积的功能, 该方法潜水员水下作业工作量较大, 不宜在水深大于 40 m 的海域进行, 为防止人工海草的丢失, 应避免拖网捕捞海域, 这样更有利于海底管道悬空的治理。铺设于管线上的水泥沉排在水下较稳定, 可有效保护海底管线免受外来损害, 但其自身重量和回淤促淤缓慢是不可忽视的弱点。经过砾石回填处理的海床稳定、平坦, 管线两侧冲刷坑填埋充实, 当海床的承载力足以支撑倾倒材料时, 可广泛修正海管悬空。

参考文献:

- [1] 吴钰骅, 金伟良, 毛根海, 等. 海底输油管道底砂床冲刷机理研究[J]. 海洋工程, 2006, 24(4): 43-48.
Wu Yuhua, Jin Weiliang, Mao Genhai, et al. Study on the scour mechanism of sandy seabed below submarine pipelines[J]. The Ocean Engineering, 2006, 24(4): 43-48.
- [2] 许文兵. 平湖油气田海底输油管线临时修复办法[J]. 中国海洋平台, 2003, 18(2): 37-40.
Xu Wenbing. The temporary repairing method for sub-sea oil pipeline of Ping-hu Oil and Gas Field[J].

- China Offshore Platform, 2003, 18(2): 37-40.
- [3] 邵怀海, 胡鸿勤, 徐政峰, 等. 滩海油田海底管道悬空治理[J]. 石油规划设计, 2003, 14(6), 27-28.
Shao Huaihai, Hu Hongqin, Xu Zhengfeng, et al. Measures for hanging offshore subsea pipeline[J]. Petroleum Plan & Engineers, 2003, 14(6), 27-28.
- [4] 熊文海, 唐光盛, 徐根弟, 等. 海管悬空处理技术新构想[C]//中国航海协会救捞专业委员会、中国潜水打捞行业协会、《中国救助与打捞》编辑部. 2009 年救捞会议论文集. 北京: 中国航海协会救捞专业委员会、中国潜水打捞行业协会、《中国救助与打捞》编辑部, 2009: 171-174.
Xiong Wenhai, Tang Guangsheng, Xugendi, et al. New measures to deal with the hanging sector of submarine pipeline[C]//Rescue and Salvage Committee of China Sailing Association, China Diving Salvage Association, China Rescue Salvage Editorial Department. Proceedings of rescue and salvage in 2009. Beijing: Rescue and Salvage Committee of China Sailing Association, China Diving Salvage Association, China Rescue Salvage Editorial Department, 2009: 171-174.
- [5] 潘学光. 海底管道悬空成因及防治[J]. 中国船检, 2005, 10: 68-69.
Pan Xueguang. Cause of suspending seabed pipeline and ways of prevention[J]. China Ship Survey, 2005, 10: 68-69.
- [6] 肖文功. 海底管道悬空隐患治理技术研究及应用[J]. 中国海洋平台, 2004, 19(6): 36-39.
Xiao Wengong. The research and application of submarine pipeline free span rectification technology[J]. China Offshore Platform, 2004, 19(6): 36-39.
- [7] 夏令. 波浪作用下的泥沙起动及海底管线周围局部冲刷[D]. 杭州: 浙江大学, 2006.
Xia Ling. Sediment threshold and scour stability of submarine pipeline under wave action[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2006.
- [8] 马肇援. 海底管道维修技术设备[J]. 油气田地面工程, 2001, 20(3): 11-13.
Ma Zhaoyuan. Maintenance technology equipment of submarine pipeline[J], Oil-Gas field Surface Engineering, 2001, 20(3): 11-13.
- [9] Colella A. Seafloor morphology and hydrodynamics and their influence of pipeline stability[C]// Prior D B. Marine Engineering Geological Surveys for Developing Countries .USA: Natural Resources and Energy Division Department of Technical Co-operation for Development, United Nations, 1989: 236-254.
- [10] 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, 健康和环境, 2008, 8(3): 20-22.
Lü Mingchun. Discussion about the hanging technology of submarine pipelines and its application in Shengli Chengdao Oilfield[J]. Safety Health & Environment,

- 2008, 8(3): 20-22.
- [11] 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.
Li Junjie. Scour mechanism and protection technology of submarine pipeline on silty seabed[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2008.
- [12] 沈达怡. 东海平湖油气田海底管线保护施工[J]. 水运工程, 2000, 323(12): 73-77.
Shen Dayi. Seabed pipeline protection in Pinghu Oil Gas Field in the East China Sea[J], Port & Waterway Engineering, 2000, 323(12): 73-77.
- [13] 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.
Zhuang Lihua, Yan Jun, Fan Fengxin, et al. Study of artificial seaweeds in hanging segment of submarine pipelines in Maoming single point mooring dock for 30×10^4 t oil unloading[J]. The Ocean Engineering, 2010, 28(2): 76-81.
- [14] 刘锦昆, 张宗峰. 仿生水草在海底管道悬空防护中的应用[J]. 石油工程建设, 2009, 35(3): 20-22.
Liu Jinkun, Zhang Zongfeng. Application of bionic aquatic weed for scour prevention of subsea pipeline[J]. Petroleum Engineering Construction, 2009, 35(3): 20-22.
- [15] 蒋习民, 陈同彦. 仿生水草治理海底管道悬空情况探查及改进措施[J]. 石油工程建设, 2013, 39(5): 15-18.
Jiang Ximin, Chen Tongyan. Investigation on application of bionic aquatic grass for treating subsea pipeline suspension and improvement measure[J]. Journal of Petroleum Engineering Construction, 2013, 39(5): 15-18.
- [16] 王海涛, 王继忠, 熊炜, 等. 埕岛油田海底输油管线悬空治理技术措施[J]. 安全, 健康和环境, 2004, 4(8): 7-10.
Wang Haitao, Wang Jizhong, Xiong Wei, et al. Some technique measures for control suspended sector of seabed oil pipeline in Chengdao Oilfield[J]. Safety Health & Environment, 2004, 4(8): 7-10.
- [17] 孙洪生. 利用自埋技术铺设海底管道[J]. 石油工程建设, 2005, 31(1): 12-13.
Sun Hongsheng. Subsea pipeline laying with self-burial method[J]. Petroleum Engineering Construction, 2005, 31(1): 12-13.
- [18] 夏于飞, 顾建宁. 阻流器技术在海底管道铺设项目中的应用[J]. 石油化工设计, 2008, 25(2): 28-30.
Xia Yufei, Gu Jianning. Application of spoiler technology in Hangzhou Bay offshore pipeline project[J]. Petrochemical Design, 2008, 25(2): 28-30.

Discussion on measures taken to protect submarine pipelines from hanging

ZHUANG Li-hua^{1, 2}, YAN Jun^{1, 2}, LI Cheng-gang³

(1. Institute of Oceanology, Key Laboratory of Marine Geology and Environment, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Function Laboratory of Marine Geology and Environment, Qingdao National Laboratory for Marine Science and Technology, Qingdao 266200, China; 3. COSL Deepwater, Shenzhen 518067, China)

Received: May 16, 2016

Key words: submarine pipeline; buried condition; hanging pipeline; protection effect

Abstract: Based on several pipeline surveys in Maoming single point mooring dock (30×10^4 t oil unloading capacity), we describe the method of identifying the buried state of submarine pipelines and some measures taken to protect them from hanging. Fixing artificial seaweeds to the hanging segments has an obvious effect by slowing the current and promoting siltation. However, the seaweeds can be destroyed by trawls; therefore, this method is not suitable for areas deeper than 40 m due to the large underwater workload of divers during installation. Concrete mattresses slowly promote siltation around hanging pipelines. Gravel dumping can effectively protect submarine pipelines from hanging and is widely used for correcting free spans.

(本文编辑: 刘珊珊)