

doi:10.3969/j.issn.1003-2029.2020.06.015

杭州湾南部海域背景冲刷对海底管线 安全性影响分析

王恒波^{1,2}, 李海东^{1,3*}, 刘伯然¹, 钟贵才¹, 郑江龙¹, 张汉女¹

(1. 自然资源部第三海洋研究所 海洋与海岸地质实验室, 福建 厦门 361005;

2. 中国地质大学(武汉) 地球物理与空间信息学院, 湖北 武汉 430074; 3. 吉林大学 地球科学学院, 吉林 长春 130061)

摘要:海底管线的出露和悬空会对其安全性造成很大程度的影响, 而背景冲刷又是导致海管出露和悬空的主要因素, 因此对背景冲刷尤其是强潮海域背景冲刷的研究显得极为重要。本文根据2018年7月—8月在杭州湾南部宁波镇海和舟山马目之间海域所采集的多波束测深、侧扫声呐和浅地层剖面探测等数据资料, 研究了海域的水深地形特征和海域内4条海底管道的埋藏现状, 通过对比2006年和2012年的水深数据, 分析了杭州湾南部海域背景冲刷现状, 并通过对冲刷过程的研究, 分析了影响海底管线安全性的几个主要因素。研究表明: 研究区内4条海底管道均有不同程度的出露, 海域背景冲刷在2006—2018年的12年间发生了很大变化, 西南部大片浅滩区域背景冲刷由淤积状态变为强冲刷状态, 这与潮流的流速流向以及沉积物供应的改变有关, 强背景冲刷会加速海底管道的出露和悬空, 严重影响海底管道的安全性, 同时, 从长期来看, 在强背景冲刷海域, 填土回埋并不是解决问题的有效方法。

关键词:海洋工程; 杭州湾南部; 背景冲刷; 海底管线

中图分类号: P737.27 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-2029(2020)06-0099-08

近年来, 随着经济的快速发展以及人类生活水平持续改善, 人类在海底铺设了越来越多的海底管线。受海流冲刷或者地质灾害等因素的影响, 海底管线会发生出露甚至悬空等状态, 严重的会造成管线的破裂, 轻则影响居民正常的工作生活, 重则会造成巨大的经济损失或生态灾难, 因此海底管线的安全性越来越受到重视。一些学者对海底管线的局部冲刷机制进行了研究, 提出过度的渗流及由此产生的通道系统是导致管道下方冲刷开始的主要因素^[1-5], 在冲刷过程中, 管道附近形成的涡流是关键因素^[6-7], 并有学者提出公式对最

大冲刷深度和冲刷宽度进行了预测^[3,6-10]。然而, 这些研究都是基于实验室设定的特定流场背景, 在实际海洋环境中, 尤其是强潮海域, 水动力条件极其复杂, 冲刷过程也是复杂多变, 无法通过已有的公式进行推测, 需要结合实地情况对海底管线的安全性进行分析。

杭州湾位于浙江省东北部, 是毗邻长江口的一个喇叭形海湾, 有钱塘江、甬江等数条河流流入^[11], 杭州湾平均水深约10 m(本文均采用此1985国家高程基准), 是著名的高含沙量强潮湾, 本文通过对杭州湾南部某海域海底地形以及海域

收稿日期: 2020-06-30

基金项目: 自然资源部第三海洋研究所基本科研业务费专项项目(海三科 2018033)

作者简介: 王恒波(1982-), 男, 硕士, 工程师, 主要从事海洋地球物理和海洋工程地质研究。E-mail: wanghengbo@tio.org.cn

通讯作者: 李海东(1979-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事海洋地球物理和海洋测绘研究。E-mail: lihaidong@tio.org.cn

内海底管道埋藏状况的调查,研究了海底管线埋藏现状,探讨了该海域背景冲刷现状以及对海底管线安全性的影响能力及发展趋势,并提出了改善措施。

1 研究区概况

1.1 研究区位置

研究区位于杭州湾口南部的灰鳖洋海域,处于杭州湾口南部与舟山群岛西部交汇区,为 4 条相互平行的海底管线及向两侧各外扩 100 m 之间的路由区域。4 条海底管线平行排列,管道间距 50 ~ 80 m,均为舟山大陆引水工程所铺设,分为三期工程,自南向北分别为一期管道、二期管道南、二期管道北、三期管道;一期管道管径 1.0 m,设计埋深 1.0 ~ 1.5 m,埋设时间为 2001 年;二期管道南和二期管道北管径 1.2 m,设计埋深 1.0 ~ 1.5 m,埋设时间 2012 年;三期管道管径 1.2 m,设计埋深 1.0 ~ 2.0 m,铺设于 2017 年。研究区位置见图 1。

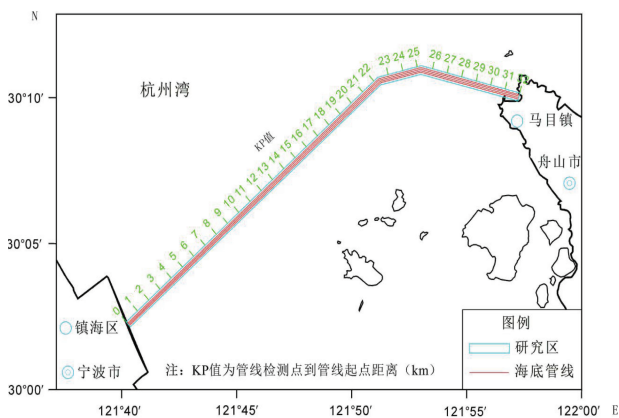


图 1 研究区位置

1.2 沉积物分布

根据舟山大陆引水一期工程海底路由勘察资料,研究区表层沉积物以淤泥、粉质粘土、淤泥质粉质粘土、淤泥质粘土为主。宁波镇海和舟山马目两个近岸段 500 m 左右范围内表层沉积物为淤泥,土质均匀,厚度大于 7 m;西南部灰鳖洋西

部浅滩表层沉积物以粉质粘土和淤泥质粉质粘土为主,水平层理,夹粉土薄层或团块,厚度较大,普遍大于 10 m;东北部潮流冲刷槽位置表层沉积物以淤泥质粘土为主,水平层理,土质均匀,厚度 1 ~ 6 m。

1.3 水文条件

根据舟山大陆引水一期工程路由调查报告中 4 个站位的准同步连续周日海流观测资料,研究区潮流类型以往复流为主,涨潮流向在 344°至 012°间,落潮流在 94°至 164°间,潮流运动受制于水道和沿岸地形。研究区平均含沙量为 0.987 kg/m³,宁波镇海侧为 1.461 kg/m³,舟山马目侧为 0.512 kg/m³,宁波镇海侧大于舟山马目侧。

2 数据与方法

本次研究主要采用了多波束测深、侧扫声呐扫海、浅地层剖面探测等地球物理手段进行综合研究。多波束测深采用 Reson SeaBat 7125 sv2 多波束系统,工作频率 200 kHz,波束 256 束,数据覆盖了管道两侧 100 m 区域,获得了管道位置、管道埋藏状况以及研究区海床地形变化信息。侧扫声呐采用美国 Klein S3000 型旁侧声呐系统,工作频率 100 kHz/500 kHz,单侧扫宽 100 m,数据覆盖整个研究区,可以结合多波束获取管道位置、管道埋藏状况以及海底地貌特征等信息。浅地层剖面探测采用美国 EdgeTech 3200-XS 浅地层剖面系统,工作频率 2 ~ 12 kHz,测线垂直于海底管道布设,测线间隔 50 m,获取垂直管道断面 655 余幅,可以直接获得管道埋深位置信息。数据采集于 2018 年 7—8 月,坐标系统采用 CGCS2000 坐标系,高程系统采用正常高系统、1985 国家高程基准,调查工作满足《海底电缆管道路由勘察规范》(GB/T 17502—2009)等技术标准和规范的要求。

3 结 果

3.1 水深地形

根据多波束测深数据绘制了研究区海底地形图(图2),由图可知,研究区水深变化范围为2~19.5 m,西南侧海底以浅滩为主,沿管道长约

18.5 km,水深2~12.0 m,平均水深7 m,由西南向东南微倾;东北侧为2个凹槽,沿管道长约12.9 km,分别为西堠门潮流冲刷槽的尾梢影响区和茆茨门潮流冲刷槽的尾梢影响区,水深分别为12~19.5 m和12~14 m;舟山登陆段长约1.6 km,为水下岸坡和边滩,水深2~12 m。

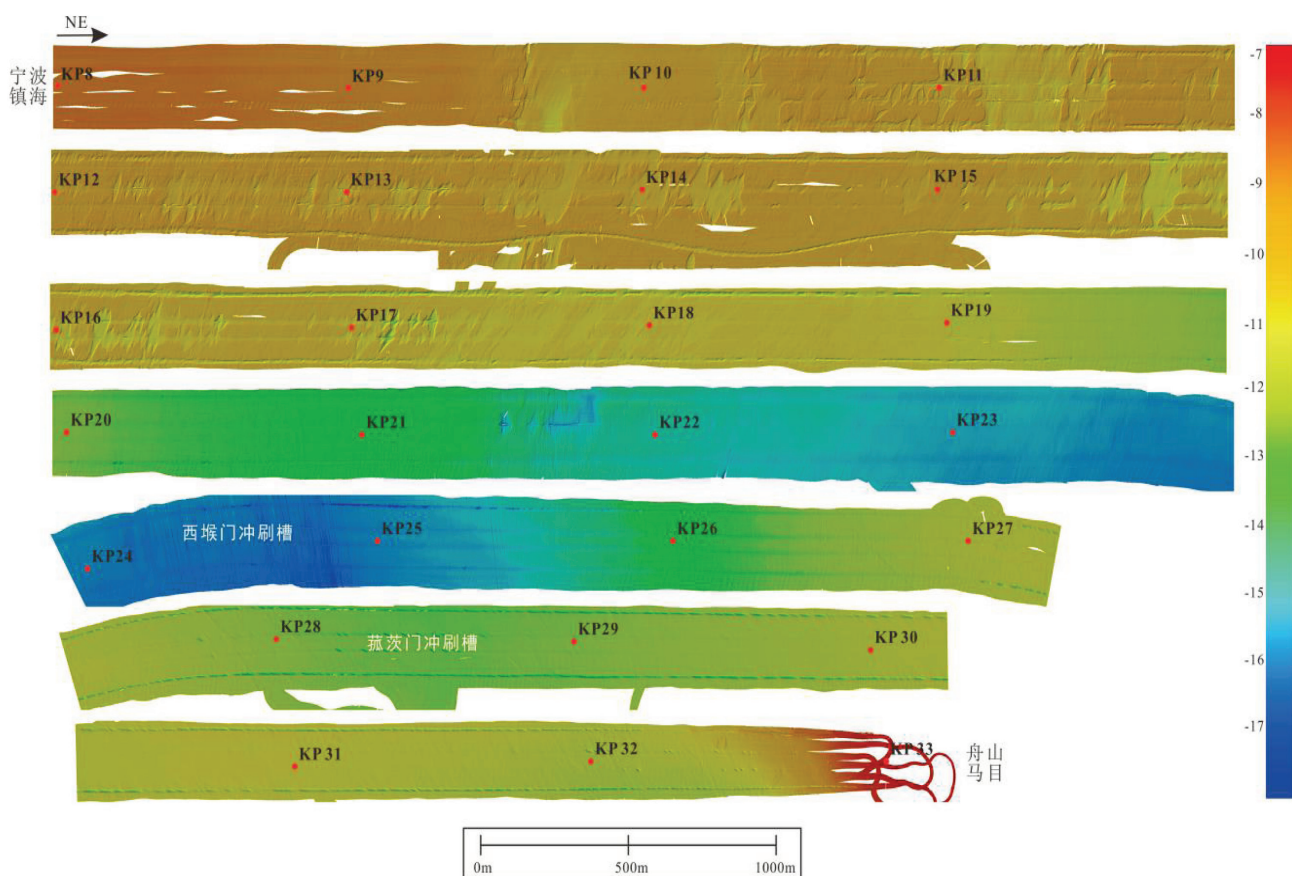


图2 研究区海底地形图

3.2 管道埋藏状况

管道埋藏可分为出露、浅埋和满足设计要求3种状况。管道出露是指管道管顶在海底泥面以上,管道浅埋是指管道管顶在海底泥面以下且小于设计埋深,满足设计要求是指管道管顶在海底泥面以下且大于设计埋深。测量结果(图3)显示,一期管道1.4%出露,10.1%浅埋,未达设计埋深要求,

88.5%埋深满足设计要求,未发现管道悬空现象;二期管道南线10.7%出露,25.6%浅埋,未达设计埋深要求,63.7%埋深满足要求,未发现管道悬空现象;二期管道北线8.2%出露,28.6%浅埋,未达设计埋深要求,63.2%埋深满足要求,未发现管道悬空现象;三期管道4.3%出露,2.1%浅埋,未达设计埋深要求,未发现管道悬空现象。

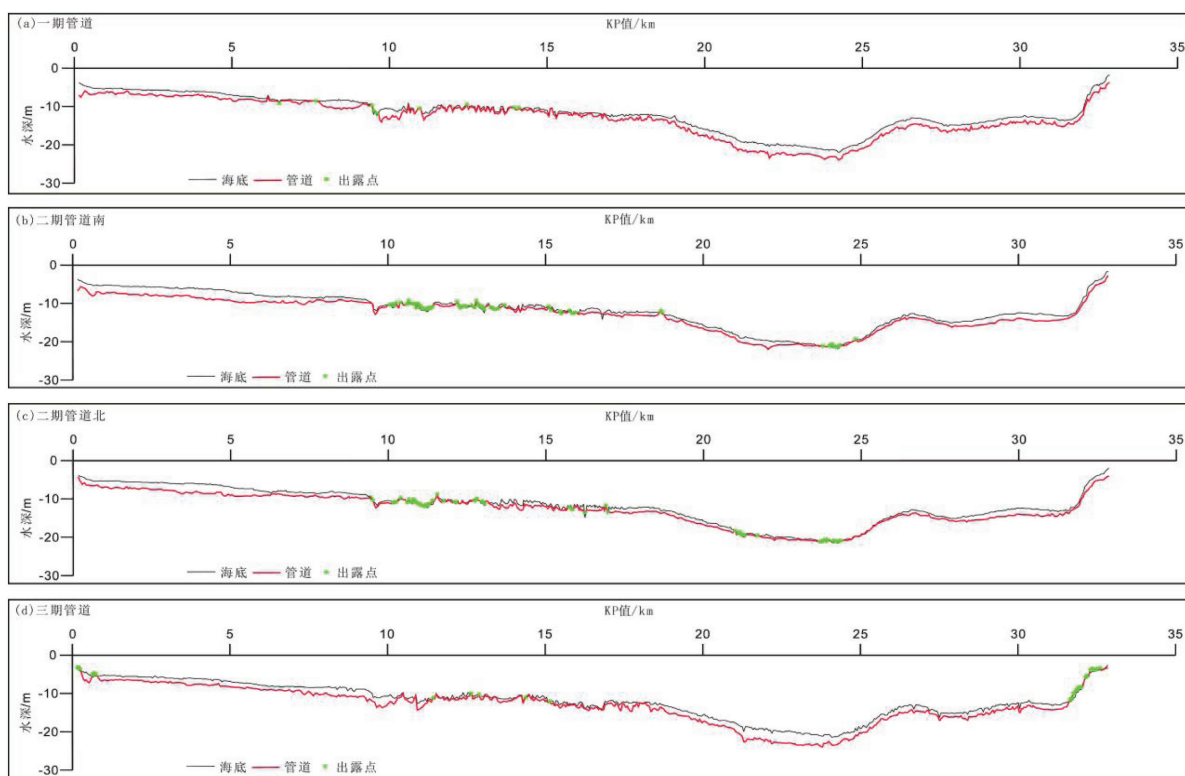


图 3 研究区海底管道埋藏状况图

4 讨论

4.1 研究区背景冲刷现状分析

根据 2012 年 7 月—9 月期间开展的“舟山大陆引水三期工程镇海——马目海底输水管道路由勘测”^[12]的调查结果,与本次研究 2018 年 7 月—8 月期间取得的水下地形资料进行对比分析,按照 50 m 间距提取管道的水深数据,研究一期、二期南线、二期北线和三期管道海底的冲淤变化特征,绘制了研究区 4 条海底管道路由的 2012 年、2018 年沿程水深对比图(图 4)。通过对比分析发现,一、二、三期共 4 根管道海底地形冲淤特征相似,海底整体处于冲刷状态,根据冲刷的程度不同分为 3 种类型:强冲刷区(2018 年水深-2012 年水深 >1 m)、弱冲刷区($1\text{ m}>2018$ 年水深-2012 年水深 >0.5 m)、平衡区(2018 年水深-2012 年水深 <0.5 m)。管道沿着镇海到马目方向,先后穿过平衡区 I $\rightarrow$ 弱冲刷区 I $\rightarrow$ 强冲刷区 $\rightarrow$ 弱冲刷区 II $\rightarrow$ 平衡区 II。其中,管道强冲刷区大约位于 KP9—

KP19 之间的海域;弱冲刷区位于强冲刷区两侧,弱冲刷区 II 对应于西垵门水道和菰茨门水道位置;平衡区位于管道两侧登陆端附近海域,由于水深较浅,冲淤变化特征不明显,基本处于微冲、微淤或冲淤平衡状态。

根据上海英程海洋工程技术有限公司 2013 年 5 月编制的《舟山大陆引水一期工程海底输水管道埋设状态和海底冲淤研究报告》^[13],2006—2012 年,研究区两侧近岸段为冲淤平衡区;西南侧浅滩海底以微淤积为主,淤积厚度 10~40 cm,最大可达约 60~70 cm,局部为冲刷或者微冲微淤相间;东北侧西垵门冲刷槽槽底处于强冲刷状态,冲刷厚度约 10~150 cm,年均 1.7~25 cm,最大冲刷厚度 100~150 cm,年均 16.7~25.0 cm;菰茨门冲刷槽槽底处于一般冲刷状态,槽壁冲刷较轻,冲刷厚度为 1~10 cm,槽底冲刷厚度 30~40 cm,年均 5.0~6.7 cm,最大厚度 60~70 cm,年均 10~11.7 cm。

根据上文分析,研究区东北侧西垵门冲刷槽和菰茨门冲刷槽位置一直处于冲刷状态;西南侧浅滩区域在2006—2012年为微淤积状态,而2012—2018年变为强冲刷状态,海域的背景冲刷状态发生了强烈变化。背景冲刷的状态改变与潮流的流速流向以及沉积物供应有关,杭州湾的沉积物主要受长江泥沙的再悬浮和反复沉积作用影

响^[14],有研究表明,2003年后三峡工程等大型水坝的建设导致长江泥沙负荷的减少,从而引起杭州湾泥沙供应的减少^[15];而近几十年来,大型堤防工程对河口海湾的影响十分显著,它影响了杭州湾内的潮流流向及强度,限制了天然弯曲河口常见的海谷底线迁移、岸坡侵蚀以及边滩淤积^[11],这也是造成研究区背景冲刷状态改变的重要因素。

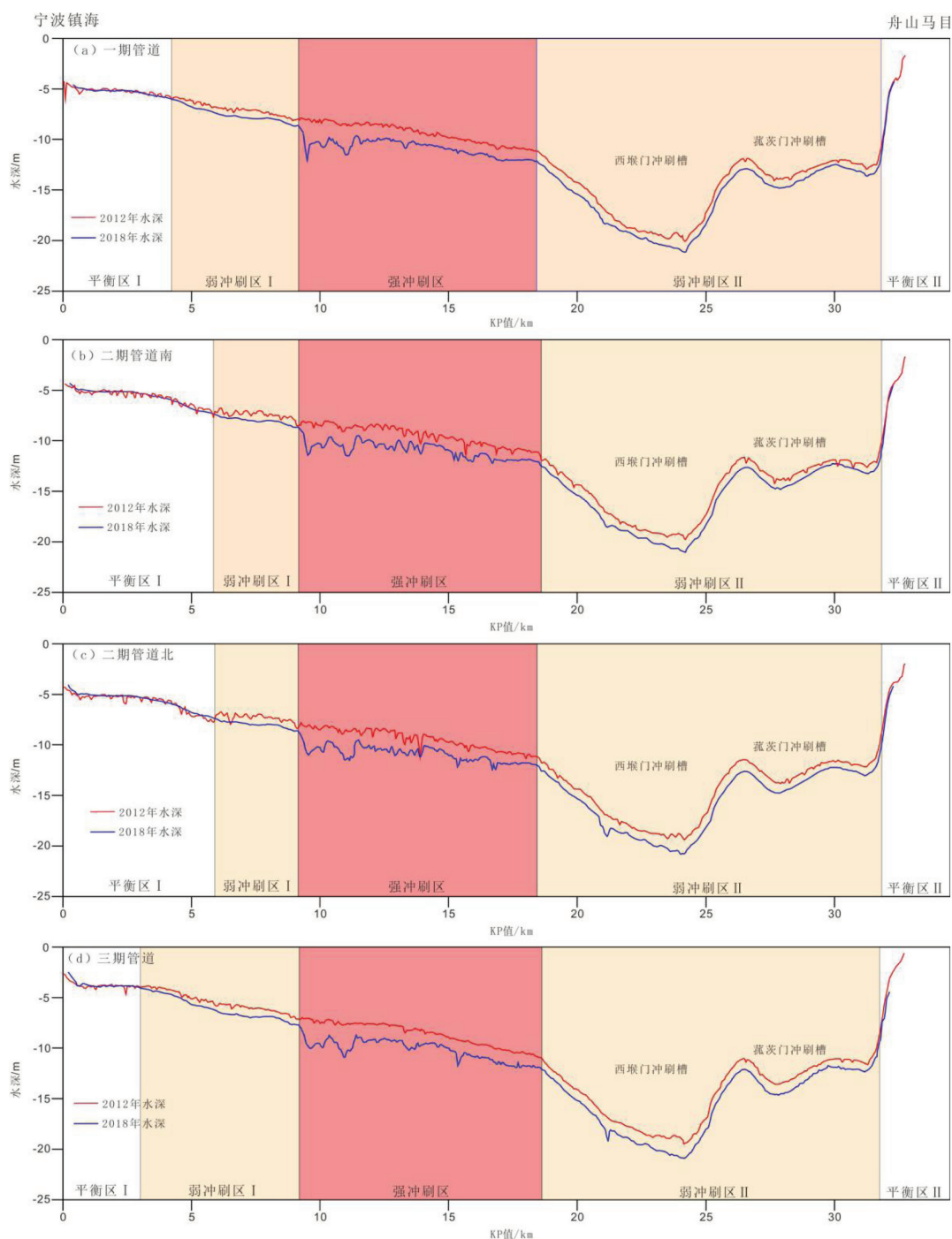


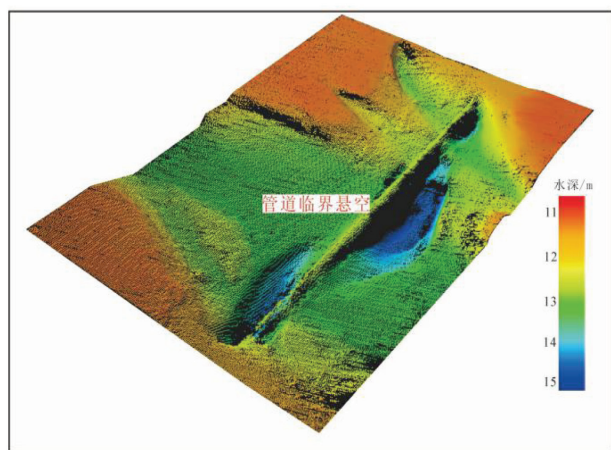
图4 2012年和2018年4条海底管道沿程水深对比图

4.2 背景冲刷对管道埋藏状态的影响

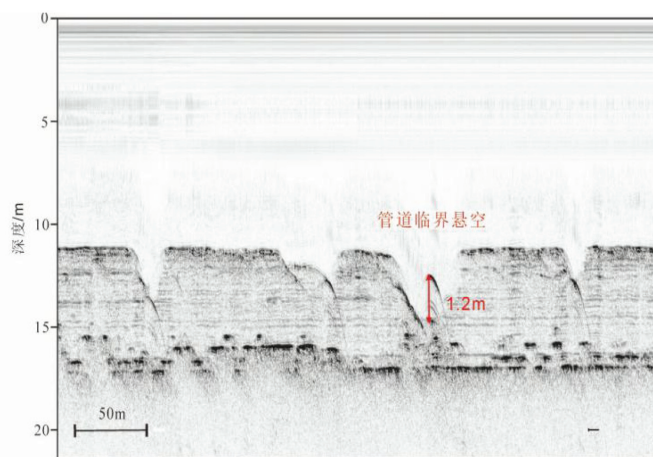
海底管道埋设后, 由于管道路由位置掩埋底土被强烈扰动, 处于不平衡状态, 在潮流的不断冲刷下, 经过一段时间才能达到平衡, 在这个过程中, 掩埋底土不可避免的被潮流大量带走, 造成沿海底管道位置低于管道两侧, 形成管道沟, 这在本次研究中十分常见 (图 5), 在强背景冲刷下, 管道沟中的埋藏管道经过一段时间的冲刷出露海底, 有研究表明, 对于部分掩埋的海底管线, 过度的渗流以及管道附近的涡流是管线底土冲刷的关键因素。在研究区复杂的强背景冲刷下, 这些影响因素也相应变强, 使管道位置的冲刷变得更加迅速。管道出

露位置的底土由于渗流以及涡流的影响, 其冲刷范围要远超出管道未出露位置和管道两侧位置, 这导致管道的更快速出露和悬空, 并快速向两侧发展, 随着管道出露以及悬空长度的增加, 海底管道断裂风险大大增加。本次研究发现, 二期的两条管线在 2012—2018 年的 6 年间出现多处位置的管道出露, 并有一处近乎悬空 (图 6)。

填土回埋是现今解决管道出露和悬空的主要方法, 但是对于强背景冲刷海域, 由于回填底土的流失很快, 只能暂时性解除管道危险, 长期来看并不是解决问题的有效方法, 可能需要考虑其他长效的保护措施。

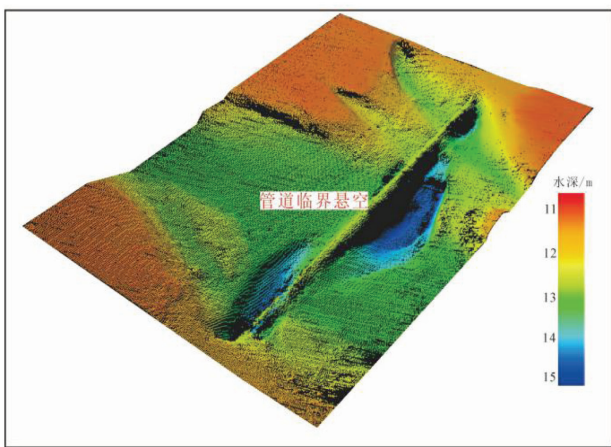


(a) 多波束探测到的管道临界悬空

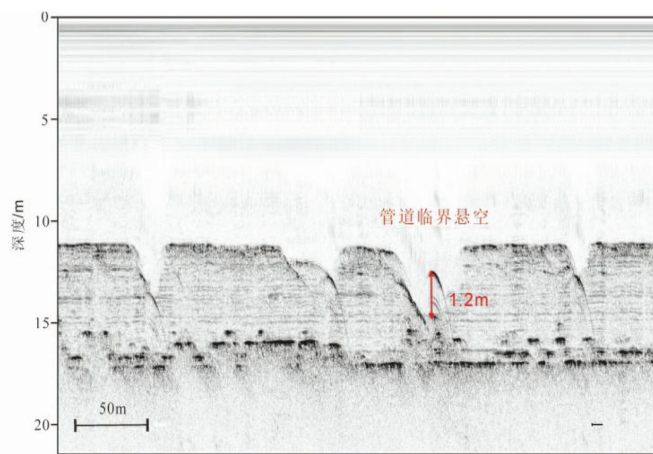


(b) 浅剖探测到的管道临界悬空

图 5 研究区海底管道沟



(a) 多波束探测到的管道临界悬空



(b) 浅剖探测到的管道临界悬空

图 6 研究区出露管道临界悬空

5 结 论

根据2018年7月—8月在杭州湾南部4条海底管道所在海域的现场调查数据,研究了海域水深地形特征及4条海底管道的埋藏状态,讨论了海域背景冲刷现状及对管道安全性的影响。主要结论如下:(1)研究区内4条海底管道均有不同程度的出露,海域背景冲刷在2006—2018年12

年间发生了很大变化,西南部大片浅滩区域背景冲刷由淤积状态变为强冲刷状态;(2)背景冲刷是管道出露和悬空的主要因素,强背景冲刷加速管道悬空的发展,严重影响管道的安全;(3)对于强背景冲刷海域,简单的填土回埋只能暂时性解除危险,长期来看安全风险依然存在,需要考虑长效的保护措施。

参考文献:

- [1] Mao Y. Seabed scour under pipelines[C]//Proceedings of 7th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, Houston, TX, 1988:33-38.
- [2] Chiew Y M. Mechanics of local scour around submarine pipelines [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 1990, 116 (4): 515-529.
- [3] Sumer B M, Truelsen C, Sichmann T, et al. Onset of scour below pipelines and self-burial [J]. Coastal Engineering, 2001, 42 (4): 313-335.
- [4] Sumer B M, Fredsoe J. The mechanics of scour in the marine environment [J]. World Scientific, Singapore, 2002:15-148.
- [5] Guo Zhen, Jeng Dongsheng, Zhao Hongyi, et al. Effect of seepage flow on sediment incipient motion around a free spanning pipeline[J]. Coastal Engineering. 2019, 143:50-62.
- [6] Sumer B M, Fredsoe J. Scour below pipeline in waves[J].Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 1990,116 (3): 307-323.
- [7] Çevik E, Yüksel Y. Scour under submarine pipelines in waves in shoaling conditions[J]. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 1999, 125 (1): 9-19.
- [8] Dey S, Singh N P. Clear-water scour depth below underwater pipelines[J]. Journal of Hydro-Environment Research, 2007, 1 (2): 157-162.
- [9] Yasa R. Prediction of the scour depth under submarine pipelines — in wave condition[J]. Journal of Coastal Research, 2011, 64: 627-630.
- [10] Cataño-Lopera Y A, García M H. Geometry of scour hole around, and the influence of the angle of attack on the burial of finite cylinders under combined flows[J]. Ocean Engineering, 2007, 34 (5): 856-869.
- [11] Xie Dongfeng, Pan Cunhong, Gao Shu, et al. Morphodynamics of the Qiantang estuary, China: controls of river flood events and tidal bores[J]. Marine Geology, 2018, 406:27-33.
- [12] 刘阿成, 邱桔斐, 黄晓琛, 等. 舟山大陆引水三期工程镇海—马目海底输水管道路由勘测报告(报批版) [R]. 上海: 上海东海海洋工程勘察设计院, 2015.
- [13] 刘阿成, 李金铎, 赖纪海, 等. 舟山大陆引水一期工程海底输水管道埋设状态和海底冲淤研究报告 [R]. 上海: 上海英程海洋工程技术有限公司, 2013.
- [14] Liu Jinqing, Cao Ke, Yin Ping, et al. The sources and transport patterns of modern sediments in Hangzhou Bay: Evidence from Clay Minerals[J]. Journal of Ocean University of China, 2018, 17(6):1352-1360.
- [15] Dai Zhijun, Liu James T, Xie Hualiang, et al. Sedimentation in the outer Hangzhou Bay, China: the influence of Changjiang sediment load[J]. Journal of Coastal Research, 2014, 30(6):1218-1225.

Analysis of the Effects of Background Scour on the Safety of Submarine Pipeline in the South of Hangzhou Bay

WANG Heng-bo^{1,2}, LI Hai-dong^{1,3}, ZHONG Gui-cai¹, LIU Bo-ran¹, ZHENG Jiang-long¹, ZHANG Han-nv¹

1. Laboratory of Coastal and Marine Geology, Third Institute of Oceanography, MNR, Xiamen 361005, China;

2. Institute of Geophysics and Geomatics, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

3. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China

Abstract: The safety of submarine pipelines is largely affected by the exposure and free spans, with background scour as the main factor. It is of great significance to study the background scour, especially in the strong tidal areas. According to the data of multi-beam, side-scan and sub-bottom profiles collected in July and August 2018 in the sea area between Ningbo Zhenhai and Zhoushan Mamu in the south of Hangzhou Bay, this paper probes into the bathymetry and topography characteristics of the sea area and the burial status of the four submarine pipelines in the sea area. By comparing the bathymetry data in 2006 and 2012, the background scour status of the sea area in the south of Hangzhou Bay is studied, combined with the analysis of the impact of background scour on the burial status and safety of the submarine pipeline. It is found that the four submarine pipelines in the study area were exposed to different degrees, and the background scour of the sea area changed greatly during the 12 years from 2006 to 2018. In particular, the background scour in the large area of southwest shoals changes from siltation to strong erosion, which can accelerate the exposure and free span of submarine pipelines and seriously affect the safety of submarine pipelines. It can be concluded that in the long term, filling the soil back is not an effective way to solve the problem in the sea area of strong background scour.

Key words: marine engineering; south of Hangzhou Bay; background scour; submarine pipeline