



跨越海底管道的引桥工程施工关键技术

卢玉敏, 高 林, 许建武

(中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510290)

摘要: 针对海洋工程中新建工程施工对已有海底管缆的破坏风险等问题, 以跨越海底管道的引桥工程施工为例, 围绕现场施工过程中对海底管道的保护, 系统阐述和分析了跨越管道工程的施工关键思路和技术应用。结论表明: 海底管道的水下探摸仍然是确定管道位置的最直接和有效的方式, 探摸前应对管道资料进行充分分析, 并采取安全的表面清淤工艺; 确定管道位置后, 施工前应在海上设置准确清晰的管道标记和船舶行驶路标, 做到海底管道和海上交通的可视化; 综合考虑多种作业工况的预抛固定锚可大大减小船舶抛锚的风险, 多层次的施工安全监测也是保障管道安全的重要措施。

关键词: 跨海底管道; 引桥工程; 水下探摸; 海上标记; 船舶路标; 预抛固定锚

中图分类号: U656

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)07-0215-06

Key technologies for construction of approach bridge crossing submarine pipelines

LU Yumin, GAO Lin, XU Jianwu

(CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510290, China)

Abstract: To risk of damage to existing submarine pipelines and cables during the construction of new projects in marine engineering, this paper takes the construction of approach bridge crossing submarine pipelines as an example, and systematically elaborates and analyzes the key construction ideas and technical applications of crossing pipeline engineering around the protection of submarine pipelines during on-site construction. The conclusion indicates that underwater exploration of submarine pipelines is still the most direct and effective way to determine the location of pipelines. Before exploration, sufficient analysis for pipeline information should be conducted, and safe techniques to pipeline surface dredging should be adopted. After determining the location of the pipeline, accurate and clear pipeline markings and vessel traffic signs should be set up at sea before construction to achieve visualization of the underwater pipeline and maritime traffic. Considering account various working conditions, Pre-fixed anchors can greatly reduce the risk of ship anchoring, and multi-level monitoring during construction is also an important measure to ensure pipeline safety.

Keywords: crossing submarine pipeline; approach bridge; underwater exploration; maritime marking; vessel traffic sign; pre-fixed anchor

随着我国海洋工程行业如港口码头、海洋油气等的快速发展^[1-4], 近岸海底管缆互相跨越^[5-6]的现象也愈发普遍, 很多新建的码头航道等水工程与现有管缆交叉的情况也逐渐增多^[7-8]。尤其是水工结构中的桩基, 入土深度往往在 10 m 以上^[9-10], 而管缆铺设埋深一般不足 3 m, 若在已建

管缆区域新建水工结构, 管缆将面临极大的破坏风险和由此带来的巨额经济损失。

为了降低工程交叉建设对海底管缆造成的破坏风险, 最直接的措施是对管缆进行加固保护。在设计上, 常用的保护措施有压块垫防护法、桥梁结构(支墩)法、枕木型支墩法等^[11-12]。容易被

收稿日期: 2024-10-14

作者简介: 卢玉敏 (1993—), 男, 硕士, 工程师, 从事港口、海岸及近海工程相关工作。

忽略的是,在对已建管缆的保护中,即使已经有了多种可行的设计方案,但已有管缆保护方案的实施本身就存在着极大的施工风险,如抛锚、拖锚、锚链磨损、落物等^[13-14],均有可能对管缆造成损伤和破坏。因此,一套完善和系统的管缆施工保护方案尤为重要。不过,关于该方面的技术应用和研究尚不多见。

基于此,本文以成功建设完成的跨越海底管缆引桥工程为例,围绕施工阶段对海底管道的保护,从管道的识别、探摸、定位、标识和警戒以及安全监测,系统阐述和分析了管道保护施工的关键思路和技术应用,为类似跨越海底管道的交叉工程施工提供有价值的经验和参考。

1 工程概况

本工程为某化工项目超大超重设备的配套水运重件码头,新建1座长约300 m接岸引桥和1个泊位长约200 m的5 000吨级重件码头,以及陆域重件道路、靠船结构和其他配套工程。其中,接岸引桥需跨越3条已有的海底管缆:1条为光电复合缆,见图1中①;另外2条则为石油输送管道,见图1中②和③。

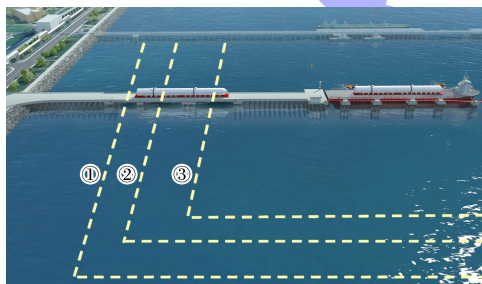


图1 跨越管缆的接岸引桥三维图

Fig. 1 Three-dimensional diagram of approach bridge crossing pipelines

接岸引桥施工中,若桩基施工、船舶抛锚等作业控制不当,极易破坏现有的海底管缆,其造成的环境污染和经济损失将难以估量。因此项目签署了涉及巨额赔偿风险的协议,对管缆的保护也成为整个工程建设重中之重。以跨越管缆中的管道②为例,分析管道保护过程中关键施工思路和技术的应用,如水下探摸、海上标识、警戒

和安全监测等。

2 水下探摸定位

2.1 竣工资料分析

根据管道②的竣工资料,该管道建成于2008年,全长约8.95 km,设计寿命40 a。管道管径0.86 m,外表面包裹10 cm水泥配重层,加上包裹层的管道外径为1.06 m。

管道上方覆盖土层为淤泥自然回淤所形成,覆土厚度约2 m。但在工程附近的登陆点区域部分管道使用了3.1 m×4.2 m×0.3 m(长×宽×厚)的水泥压块进行了覆盖保护(图2)。

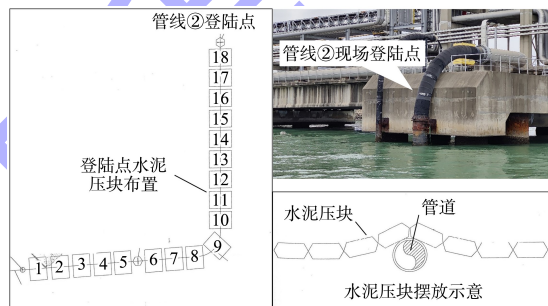


图2 水泥压块布置

Fig. 2 Layout of cement blocks

根据所覆盖的水泥压块尺寸计算,水泥压块覆盖区间的最大长度为 $4.2\text{ m} \times 8 = 33.6\text{ m}$ (小于50 m),本工程引桥距离管道登陆点约250 m,远大于覆盖区间的最大长度,可判断引桥施工区的管道未覆盖保护用的水泥压块,覆土均为自然回淤的软质土层。

2.2 探摸点位计划

在设计阶段,已对管道进行位置探测,并与管道竣工资料进行了对比。结果显示,仅竣工资料与探测数据在引桥区域内的最大偏差就已经超过10 m,而在工程设计方案中,管道与引桥施工桩基的最近距离也仅为10 m左右。

考虑海底管道已建成有十余年时间,管道位置或埋深相比铺设初期常常会有不同程度的移动,加上竣工图绘制误差,以及探测技术精度受不同地质和管道材料的影响较大,管道位置无法准确确定。在无法承受管道破坏风险的前提下,最保

险的做法仍是探摸出管道的实际位置，并采取有效的保护措施后方可进行后续施工。

参考设计方案中的管道保护范围为 60 m×20 m(引桥方向)，因此在竣工图的参考路由上，于引桥中点、引桥上方 20 m、下方 20 m 处各取 1 点，作为探摸的 3 个计划点，见图 3。

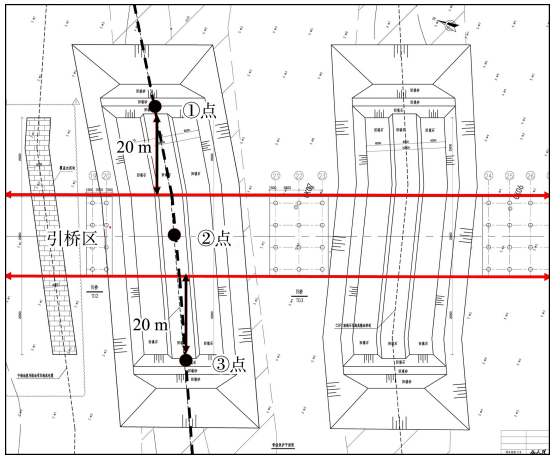


图 3 管道探摸计划点平面

Fig. 3 Plan of pipeline exploration plan points

2.3 管道表面清理和探摸

管道埋深约 2 m，表面覆盖的土层主要为淤泥质土，标贯击数小于 4 击，属于较软的土层。但由于管道保护区禁止船舶抛锚和使用尖锐设备施工，常规的港池或航道挖泥工艺如抓斗船、耙吸船等无法用于管道表面的淤泥清理作业。经多次讨论后，最终决定选用吸淤工艺，对管道上方的淤泥进行清理，清淤的主要设备见图 4。



图 4 清淤使用的吸泥泵

Fig. 4 Suction pump used for dredging

吸泥泵底部带有防护罩的铰刀头，可以在不伤害管道的前提下，依靠自重力不断往下搅动和吸泥。搅动土层开始吸泥后，再通过海上连接的输泥管，不断将淤泥输送至管道保护区外停靠的泥驳中(图 5)，待泥驳装满后再运至指定的抛泥地点。



图 5 淤泥输送过程

Fig. 5 process of silt transport

单个探摸点的尝试清淤深度不大于 3.5 m，若未发现管道，则在原点位周围扩大清淤范围继续寻找。初步探摸到管道后，首先清理出管道上方约 1/8 的管身，潜水测量管道弧度、外径，确认包裹材质等参数，通过与管道竣工资料的信息对比核验，确定是否为所寻找的管道。

管道探摸的最终结果(表 1)显示：管道覆土厚度为 2.2~3.1 m，相比竣工资料有所增加；管道已有资料相比于实际探摸的最大位置偏差为 16.35 m，超过了设计桩基与管道最小距离，更加证明了管道实际探摸的重要性和必要性。

表 1 现有数据与实际探摸位置的最大偏差
Tab. 1 Max location deviations between existing data and underwater exploration result

资料来源	与探摸位置最大偏差/m
管道竣工资料	4.83
地球物理探测结果 1	8.29
地球物理探测结果 2	16.35

3 海上标记和施工警戒

3.1 管道定位

通过清淤探摸确定管道实际位置后，选取管道最高点中心位置，配合海上 GPS 接收器进行定

位, 逐个记录所探摸管道的深度和坐标数据, 以供后续管道标识的定期检查和校核, 见图 6。

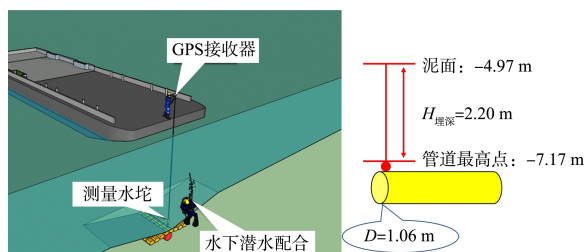


图 6 管道位置定位

Fig. 6 Pipeline positioning

3.2 管道标记

虽然通过探摸和定位获得了管道的位置数据, 但对于船舶移动、抛锚、起重等施工作业, 最有效的参照信息依旧是现场的可视化标识。工程采用锚定浮球的方式, 即在管道中间处放置沙袋制作的锚点, 上方系挂带有夜间警示功能的浮球置于海面, 以此显示探摸管道的所在位置。现场定期对浮球位置进行复测, 监测浮球是否受风浪等外力作用发生偏移; 若发生偏移, 则重新进行定位和锚固。

3.3 施工警戒

根据我国海底电缆管道保护规定, 管道保护区的范围为“海港区区内为海底电缆管道两侧各 50 m”。现场据此划分 50 m 的管道保护区海上警示边界, 并在边界处每隔 50 m 设置了同样具备夜间警示功能的锚标, 见图 7。

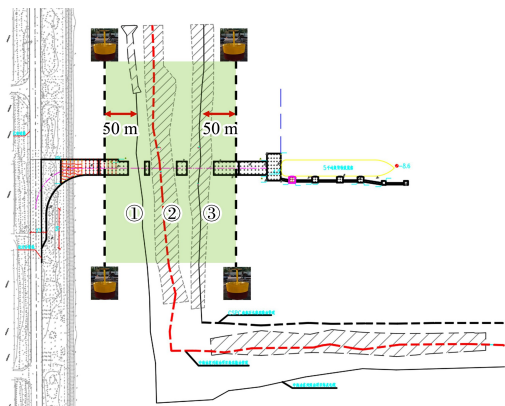


图 7 管道保护区和警示锚标

Fig. 7 Pipeline protection area and warning anchor signs

现场定期对施工区域进行巡检, 检查锚标的状态以及监视周围船舶的抛锚是否具有进入管道保护区等危险情况。除此之外, 现场还对各分项工程进行多次安全和技术交底, 重点强调警示锚标的设置及用途; 通知周边码头的相关运营方, 互相保持顺畅的沟通。

4 施工期管道保护系统

4.1 海上交通路标

为了使船舶在移动和抛锚过程中时刻注意到与管道的安全距离, 现场借助海上标识, 建立了用于施工区域船舶参照的“海上交通路标”, 即在管道标识和警戒的基础上, 增加固定的引导措施, 组成施工区域的船舶交通引导路线, 见图 8。

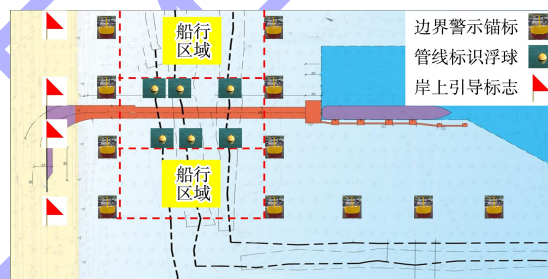


图 8 海上交通路标

Fig. 8 Maritime traffic signs

“海上交通路标”的建立, 一方面能够帮助船舶操作人员随时确认管道的位置, 保持对管道的保护意识; 另一方面也能使船舶的行驶路线、活动范围更加有序、可控, 降低船舶移动对管道带来的破坏风险。

4.2 船舶预抛固定锚

海上施工中, 船舶经常需要配合作业的内容、位置和方向进行调整, 对锚位的需求变化较大, 而船舶的抛锚又是破坏海底管道的主要风险之一。为此, 现场提前设置了安全丰富的预抛固定锚(图 9): 通过对近 30 种施工工况的分析, 在管道保护区(岸上和海上)沉设多个锚块, 以方便船舶进行锚缆的系挂和解钩, 消除每次锚位调整带来的安全风险。

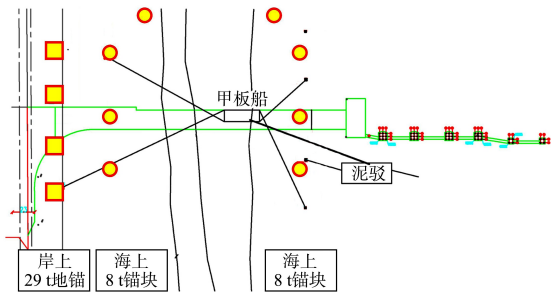


图9 船舶预抛固定锚

Fig. 9 Vessel pre-fixed anchors

4.3 多层次的监测

4.3.1 现场巡检和维护

成立管道保护施工专项小组,每天对海上的标识浮球、警戒锚标进行巡检,1周进行1次管道标识的位置复测,对标识有偏位或损坏的情况及时调整和修复。

4.3.2 安全技术交底和监督

不同区域的施工执行分级交底,管道保护区内的施工交底由专项小组负责,交底后指定对接人,组建沟通群,每天及时反馈现场的作业信息、船舶使用情况,让现场作业时处于可控状态。

4.3.3 监测桩基施工振动影响

管道周围的桩基类型主要为灌注桩,选用的施工工艺为冲孔,振动影响较大。为了评估对管道的影响,在管道保护区设置振动监测点。监测结果(图10)显示:监测周期内,监测点位的最大加速度均远小于 $0.1g$ 。由于海底管道到最近灌注桩的距离远大于监测点位到作业灌注桩的距离。可判断灌注桩施工对海底管道的振动影响远小于设计所要求的 $0.1g$,满足管道安全保护要求。

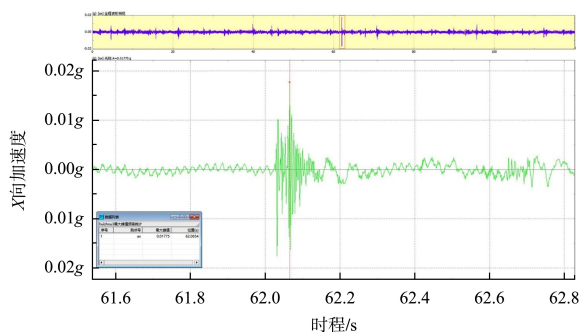


图10 管道沿引桥方向(X向)的振动监测结果

Fig. 10 Vibration monitoring results of pipeline along approach bridge direction (X direction)

5 结论

1) 虽然探测技术不断进步,但在复杂的工程环境下,海底管道的探测误差仍然难以准确评估,而管道遭受破坏所造成的经济和环境损失巨大。因此,现场探摸和定位仍然是确定管道位置最直接和有效的方式。管道的水下探摸,首先应对已有管道资料进行分析,如竣工资料、现场信息、探测数据等,以此缩小探摸的范围,选择合适的探摸方式,制定高效的探摸计划和方案,并能根据探摸情况随时判断探摸结果和调整探摸方案。

2) 管道的海上标记应以准确、清晰和便于现场观察和应用为目的,即做到管道标记的“可视化”。在此基础上,加强工程相关人员的安全技术交底,将因不能识别管道标记而导致的破坏风险降至最低。

3) 根据预期作业工况设计安全的海上交通路标和预抛固定锚,可有效避免管道保护区施工中因遇到障碍或困难而引起的风险,如船舶的随意穿行和抛锚等,多层次的施工监测也是保障管道安全的重要措施。

参考文献:

- [1] 靳廉洁,姚海元,胡贵麟,等.我国沿海集装箱运输及码头能力适应性分析[J].水运工程,2022(5):44-49.
JIN L J, YAO H Y, HU G L, et al. Adaptability analysis of container transportation and terminal capacity for coastal ports in China [J]. Port & waterway engineering, 2022 (5): 44-49.
- [2] 谢凌峰,陈有文.新时期广东省沿海港口发展环境分析与发展战略思路探讨[J].水运工程,2012(5):1-7.
XIE L F, CHEN Y W. Discussion on development environment and strategy analysis of coastal port in Guangdong province in new era [J]. Port & waterway engineering, 2012(5): 1-7.
- [3] 周守为,李清平,朱海山,等.海洋能源勘探开发技术现状与展望[J].中国工程科学,2016,18(2):19-31.
ZHOU S W, LI Q P, ZHU H S, et al. The current state and future of offshore energy exploration and development technology [J]. Strategic study of CAE, 2016, 18 (2): 19-31.

- [4] 张志宏, 王丽娟, 李可夫, 等. 我国油气储运技术发展趋势分析[J]. 石油科技论坛, 2012, 31(1): 1-6, 68.
- ZHANG Z H, WANG L J, LI K F, et al. Development trend of oil & gas storage and transportation technology in China[J]. Petroleum science and technology forum, 2012, 31(1): 1-6, 68.
- [5] 汤乾宇, 陈大江, 周声结, 等. 海底软管跨越已建管道技术及工程应用[J]. 石油工程建设, 2016, 42(6): 22-26.
- TANG Q Y, CHEN D J, ZHOU S J, et al. Technique and engineering application of submarine flexible pipeline overcrossing existing pipeline [J]. Petroleum engineering construction, 2016, 42(6): 22-26.
- [6] 汪建明, 周声结, 李天斌, 等. 基于跨越保护架的海管交叉跨越技术[J]. 船海工程, 2017, 46(5): 22-25.
- WANG J M, ZHOU S J, LI T B, et al. Design and installation technology for cross over existing pipeline base on cross over protector [J]. Ship & ocean engineering, 2017, 46(5): 22-25.
- [7] 崔占明, 黄峰, 宏常军, 等. 海底管道跨航道改造施工可行性研究 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2018, 38(5): 127-128.
- CUI Z M, HUANG F, HONG C J, et al. Feasibility study on cross-channel reconstruction construction of submarine pipeline[J]. China petroleum and chemical standard and quality, 2018, 38(5): 127-128.
- [8] 蔡丽丽, 张晓. 穿越航道海底输气管线风险评估方法[J]. 石油矿场机械, 2012, 41(6): 54-57.
- CAI L L, ZHANG X. Risk analysis of submarine pipeline traversing sea-route[J]. Oil field equipment, 2012, 41(6): 54-57.
- [9] 方育平, 何文钦. 大中型高桩码头不同类型桩基结构的应用与分析[J]. 水运工程, 2009(7): 87-92.
- FANG Y P, HE W Q. Application analysis of pile foundation structure of large and medium open type wharf on piles [J]. Port & waterway engineering, 2009 (7): 87-92.
- [10] 吴林键, 舒丹, 王明祥, 等. 竖向弹性地基梁法与假想嵌固点法在砂性地基高桩码头设计中的应用[J]. 水运工程, 2013(4): 155-161.
- WU L J, SHU D, WANG M X, et al. Application of vertical elastic foundation beam method and illusion embedded solid point method in design of high-pile wharf in sandy foundation soil [J]. Port & waterway engineering, 2013(4): 155-161.
- [11] 高嵩, 钱玲玲, 杨芬, 等. 海底管道的交越防护措施研究[J]. 石油和化工设备, 2022, 25(5): 137-141.
- GAO S, QIAN L L, YANG F, et al. Research on crossing protection measures for submarine pipelines. [J]. Petro & chemical equipment, 2022, 25(5): 137-141.
- [12] 季磊, 李旭, 付强, 等. 海底管道跨越方法研究[J]. 海洋工程装备与技术, 2015, 2(5): 316-319.
- JI L, LI X, FU Q, et al. Investigation on subsea pipeline crossing methods [J]. Ocean engineering equipment and technology, 2015, 2(5): 316-319.
- [13] 余建星, 孙大军. 原油管道跨越段的风险评估方法[J]. 油气储运, 2004, 23(12): 8-11.
- YU J X, SUN D J. Risk evaluation method research on the large and/or medium traversing and span crude oil pipeline [J]. Oil & gas storage and transportation, 2004, 23(12): 8-11.
- [14] 汪长永, 杨卫, 殷焕召, 等. 模糊综合评价法在油气管道跨越工程风险评价中的应用[J]. 中国安全生产科学技术, 2010, 6(3): 143-146.
- WANG C Y, YANG W, YIN H Z, et al. Application of fuzzy comprehensive evaluation in risk evaluation of pipeline crossing engineering [J]. Journal of safety science and technology, 2010, 6(3): 143-146.

(本文编辑 赵娟)