

埕岛油田海底管道冲刷及工程治理

胡洪勤

(胜利工程设计咨询公司, 山东 东营 257026)

摘要: 埕岛海域地处 1953 年至 1976 年黄河在此入海形成的亚三角洲上, 其特殊的地理位置和动力环境决定该海域有明显的冲刷现象, 工程实测和物模试验结果均表明该区海底管道有冲刷悬空等许多隐患。作者对该海域冲刷机理进行了分析, 并提出了适合本区海底管道冲刷治理的具体措施。

关键词: 海洋环境; 涡激振动; 悬空; 治理
中图分类号: P754 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-3096(2005)06-0013-04

胜利油田埕岛海域是陆地与海洋相接处开发石油的典型滩涂地带。在这里, 有的常年无水, 属低洼滩地; 有的常年有水, 可行船捕鱼; 还有的涨潮时有水, 落潮时无水, 是潮间带; 有的过去是陆地, 如今冲刷成了大海; 这种现象一直在动态变化着。这里还有一特殊条件, 即历史上黄河有一段时间曾在此入海, 黄河带来的大量泥沙在这里淤积, 这些泥沙改变了当地现状并长时间产生着影响。石油开发需要进行工程建设, 该处既有海岸工程也有离岸工程, 这些工程既要满足海洋工程的常规需要, 还要满足黄河泥沙造成的特殊条件。埕岛海域位置见图 1(坐标采用北京 54 坐标系高斯-克吕格投影中央子午线 117°)。

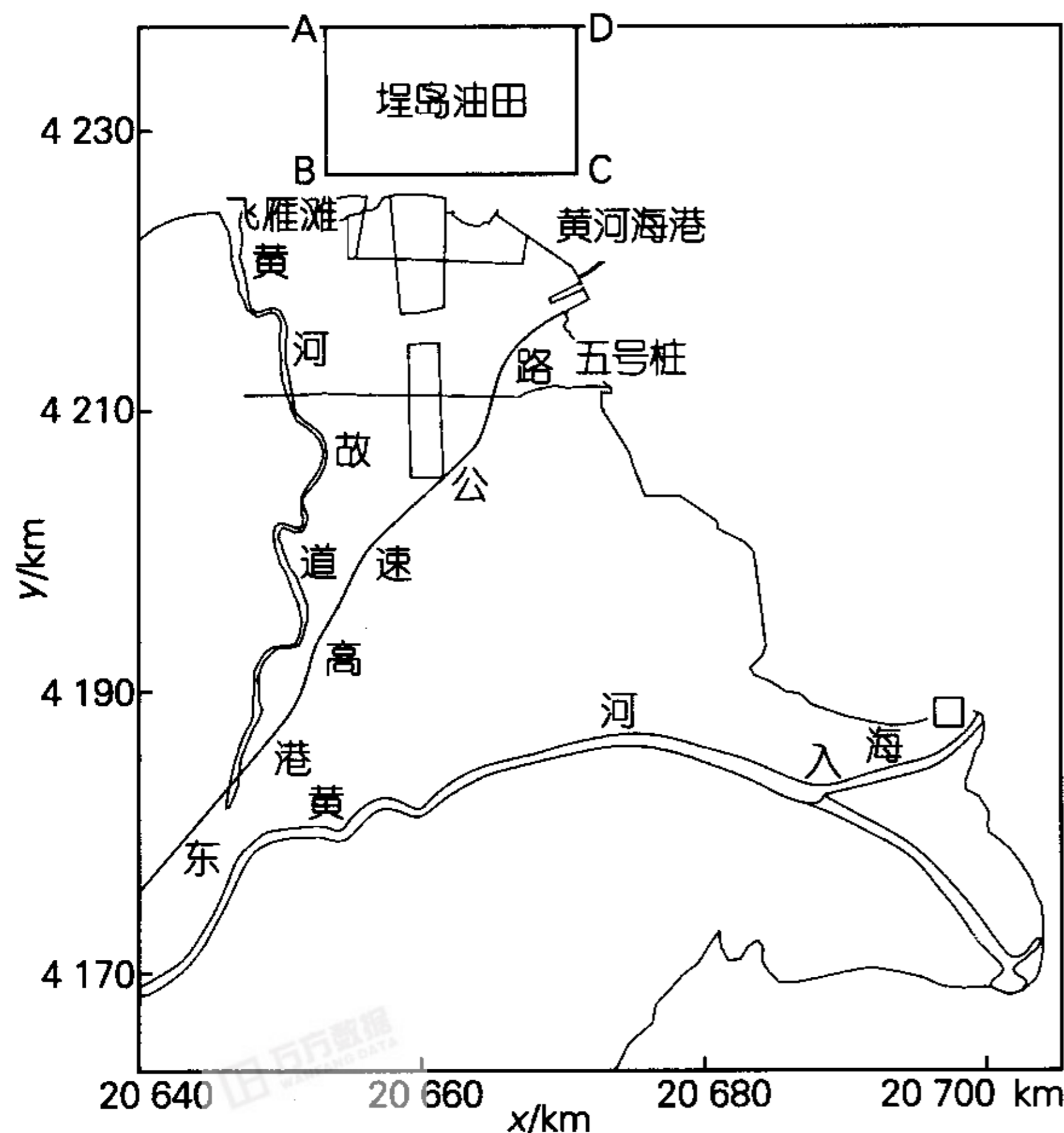


图 1 埕岛海域位置

Fig. 1 Location of Chengdao sea area

胜利油田埕岛海域在石油开发中利用海洋平台和海底管道进行油、气开采和输配, 已有 10 多年时间。目前, 这一海区的石油年产量已达到 200 万 t 多, 在这一引人注目的成绩, 海洋平台和海底管道起了重要作用。埕岛海区主要的石油区块有 200 km² 多, 这里建有 100 多座桩基导管架采油平台, 铺设 100 多条各种海底管道, 管道直径小到 89 mm, 大到 426 mm。这些管道把该海区海洋平台相互串连起来形成网状, 并有部分管道登陆上岸, 登陆管道则受到多种水深下的环境影响。目前, 这一海区已是平台高耸林立, 海底管道纵横交错, 十分壮观。

1 埕岛油田海底冲刷机理

埕岛油田位于渤海南部, 地处 1953 年至 1976 年黄河在此入海形成的亚三角洲。1855 年黄河由苏北改道北流之前, 这里大部分是水深大于 15 m 的渤海陆架区。1855 年黄河在此入海后, 黄河携带的大量泥沙在此沉积, 使海岸线向海推进, 使埕岛海域海底增高。1976 年 5 月, 黄河改道清水沟流路, 至此, 埕岛海域的泥沙来源断绝, 淤进的动力消失。已经淤积变高的海底由于要保持泥沙的动态平衡, 在风浪海流颠选及其它条件作用下, 又转入冲蚀状态, 埕岛海域水深演变频繁。分析 20 多年来埕岛海域有关环境及地质

收稿日期: 2005-03-08; 修回日期: 2005-03-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(40376015)

作者简介: 胡洪勤(1946-)男, 山东临清人, 高级工程师, 研究方向: 海洋工程和港口工程设计, 电话: 0546-8554402,

E-mail: hhq@slof.com

资料,得出埕岛海底冲蚀主要有 3 方面因素^[1, 2]。

1.1 海洋动力因素

海水中夹杂的泥沙经过冲击、悬浮、搬运、沉积等过程,最后处在相对稳定状态。在这一过程中,起作用的主要是风浪,其次是潮流。渤海是一个半封闭浅水海域,无风时平静,有风时波浪翻腾。据现场测定,该海区相对波高值(波高除以水深)大于等于 0.4 时,波浪发生破碎,此时海水能量释放,把沉积物掀起,搬运,侵蚀海底。埕岛海域对侵蚀起重要作用的波高是大于 1.4 m 的波浪,此时相对波高值为 0.4,而引起此波浪的风速为 8 m/s。由埕岛环境资料知道,全年风速大于 10.8 m/s 的时间是 137.5 d,当然,实际大于 8 m/s 的时间就会更多。就是说,波浪引起海底冲刷的机会和条件很多。

埕岛海域潮汐是不规则半日潮。潮流是 SEE-NWW 向往复流,对海底冲刷产生重要影响。还有,无潮点在此海域,众所周知,无潮点附近的海流强于其它地方。该海域海底实测最大流速为 0.61 m/s。根据实验室水槽模型实验,当流速为 0.4 m/s 时,能掀起粉沙颗粒,埕岛海底多为黄河从高原带来的粉沙,抗冲刷力差,很容易被流水掀起搬运他处^[4]。

1.2 地形地貌因素

黄河在此流路行水期间,伸向大海的三角洲生长速度很快,形成凸出的沙体。这种地形地貌的变化,改变了原有的海洋动力环境,在凸出处会出现波浪幅聚,而幅聚会使波浪能量增加,侵蚀作用增强。并且,潮流在凸出处,因集束而流速增大,从而冲蚀加强。有关专家曾预测,这种侵蚀由强变弱会延续 30~50 a,然后进入平衡状态。

1.3 人为地质因素

在埕岛海域这种影响是明显的。在潮间带,有已建造的 100 km 多的防潮大堤,在滩涂有星罗棋布的石油井台,有从岸边通向井台的条条漫水路,有油井密布集中开发的人工岛。在水较深大区域,有众多高耸的采油平台和把平台联系在一起的各种海底管道。这些工程,改变了原始地形地貌,改变了动力环境,对海底冲刷造成影响。一般讲,海中构筑物的设置,会加剧局部冲刷。

从以上可知,埕岛海域存在着大范围大面积冲刷的条件和可能。所以,多年来该海域有的从陆地变成了海洋,从水浅变成水深。这都是冲刷作用的结果。

2 埕岛油田海底管道现状

从上述分析知道,埕岛海域存在冲刷。实际情况也确是如此。有一些明显实例:如桩古 20 井 1976 年是在海的岸边,是陆上开发井,1999 年 12 月,在埕岛水深地形测量图上,该井已处在 7 m 水深线上。埕北 12 井 1990 年水深 6.8 m,现在水深是 8 m。当年有的陆上区块,现在是汪洋一片。

铺设在埕岛海域的 100 多条海底管道,投产最早的已运行 10 年。设计时埋深 1.5 m,1999 年海洋科技人员根据实际水深资料分析,近期埕岛海底将以冲刷为主,水下岸坡的冲淤转换点在 10~12 m 水深附近,基点以上继续侵蚀,以下稍有淤积,15 m 水深处趋于稳定。预测埋深 1.5 m 的管道冲刷出泥面的时间是:2 m 水深处需 6.17 a;5 m 水深处需 3.13 a;10 m 水深处需 5.75 a。还计算得出,已裸露的海底管道在 8~10 m 水深处,最大可能冲刷深度为 0.31 m^[4]。

建设单位根据具体情况,对投产 1 a 多的 15 条管道进行了实地检测,其中 2 条输油管道,1 条输气管道,12 条输水管道。检测结果如下:(1)所有管道埋深都小于设计值 1.5 m,一般是 0.2~0.3 m。登陆管道特别是近岸部位埋深较好,为 0.5~0.7 m。(2)有 8 条管道出现冲蚀悬空。悬空长度多是 20 m 左右,少的 13 m,多的 1 条近 30 m。(3)管道悬空段多数靠近平台桩腿即管道立管部位。(4)水深 8 m 左右的管道区段,水深均匀整体加深,加深量为 0.2~0.3 m/a,有 1 条为 0.3~0.4 m/a。

从海底管道的冲刷模型试验得出:(1)海底管道最大悬空长度为 9.5 m。实测得到的最大悬空长度为 30m~40 m,这一差距主要是由于海床大面积冲刷引起,试验中没有考虑这一因素。(2)对管道冲刷有影响的海洋动力因素中,海流值的大小影响显著。(3)冲刷深度有一极限值,达到平衡后冲刷深度不再加大或缓慢增加。

3 海底管道可能存在的隐患

埕岛海域的海底管道,从理论分析和实际探测,都说明有冲刷悬空现象。悬空管道给其安全运行带来许多隐患。大量的海底管道冲刷悬空是目前埕岛海域较突出的问题,需要认真分析和治理。

3.1 在波流作用下诱发涡激振动

海底管道在自重、波浪、海流等作用下,由于管道悬空产生管道前后上下压差,从而诱发管道振动。一般认为,管道的自振频率 f_0 与管道的水流涡旋释放引起的管道谐振频率 f_s 相近或相等时,就会发生共

振现象, 这时出现的竖向振动振幅可与管径相近, 产生的共振现象很容易导致管道失稳破坏^[3]。

$$f_s = S \frac{U}{D}$$

其中, f_s 为涡旋释放频率; U 为水流速度; D 为圆柱体直径, S 为斯托哈罗数。

$$f_p = \frac{CK^2}{2\pi L^2} \sqrt{\frac{E_1}{M}}$$

其中, f_p 为自振频率; C 为阻尼系数; K 为管道两端支承条件系数; L 为悬跨长度; E_1 为管道刚度; M 为管道单位长度质量。

根据上式可以计算出管道的自振频率和涡流频率, 如果二者相等, 就可能产生共振。由此可得到管道的计算冲刷长度和允许冲刷长度。所谓管道允许冲刷长度是指该冲刷长度避开可能引起共振的冲刷长度。对埕岛油田部分管道进行计算, 其中 3 条管道的计算结果如下: 直径分别是 225, 332, 432 mm, 其计算冲刷长度是 23, 33, 55 m, 允许冲刷长度是 21, 29, 50 m。从计算结果可以看出, 二者非常接近, 而且从实际探测中知道, 现场的冲刷长度不少已经达到 30 m 多, 有的到 40 m。这充分显示埕岛油田海底管道因冲刷悬空存在着隐患和危险。

3.2 管道悬空长度过大将导致断裂

管道悬空长度到一定程度时, 在自重及外力作用下, 会发生酸断裂或弯曲变形。管道在海底由于管径不同, 土质不同, 悬跨端支承形式不同, 管道破坏条件会有所不同。但该海区总的趋势是冲刷, 随着悬空长度的增加, 管道所受弯矩和剪力就会增加, 最后或是断裂破坏, 或是屈曲破坏。此种情况应该避免。

3.3 在波流长期作用下发生疲劳破坏

波流是周期性循环荷载, 会造成结构疲劳损伤, 这种损伤的积累最终会导致结构破坏。结构疲劳寿命分析是结构安全分析的重要方面。疲劳寿命可按下式计算^[5,6]:

$$D = \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_i}$$

其中, D 为累积损伤; m 为所考虑应力范围的数目; n_i 为应力范围内出现的次数; N_i 为应力范围内疲劳破坏需要的循环次数

$$F = 1/D$$

其中, F 为结构的疲劳寿命。

现以埕岛油田 245 m × 10 管道进行计算, 海底水流速为 1.0 m/s。当不考虑涡激共振时, 若悬跨 40 m, 得到的等效应力幅为 24.53 N/mm², 此时结构的疲劳

寿命为 54.8 a。但涡激共振对结构的疲劳寿命影响很大, 涡激共振发生后, 结构应力幅会放大十几倍, 加速疲劳的发生, 缩短疲劳寿命。因此, 防止涡激共振也是增大疲劳寿命的需要。东海平湖油田的海底管道曾由于悬跨超出允许长度及疲劳作用而造成管道损坏, 影响及损失巨大。

埕岛海区的海底管道最早的已运行 10 a, 其中一些悬空管道估计也已出现多年, 应采取措施预防管道因疲劳而破坏。

4 治理措施

悬空海底管道有不同的破坏方式, 也有不同的治理方法。针对埕岛油田管道具体状况, 推荐几种主要的治理措施。

4.1 确定是否发生共振

当自振频率 f_p 和涡旋释放频率 f_s 满足 $f_p \geq 10f_s$ 时, 可防止共振发生。由此可求出防止共振的最大悬

$$\text{空长度: } L \leq K \sqrt{\frac{CD}{20\pi SU}} \sqrt{\frac{DI}{M}}$$

控制悬空长度是几种治理措施的重要参数。

4.2 支撑桩法

在悬空段打入水下支撑桩撑起管道, 桩的顶面要高于管道顶, 桩的间距要小于允许的悬空长度, 同时要满足上述防共振条件。见图 2。此种方法在埕岛海域已处理一批悬空管道, 取得较好效果。

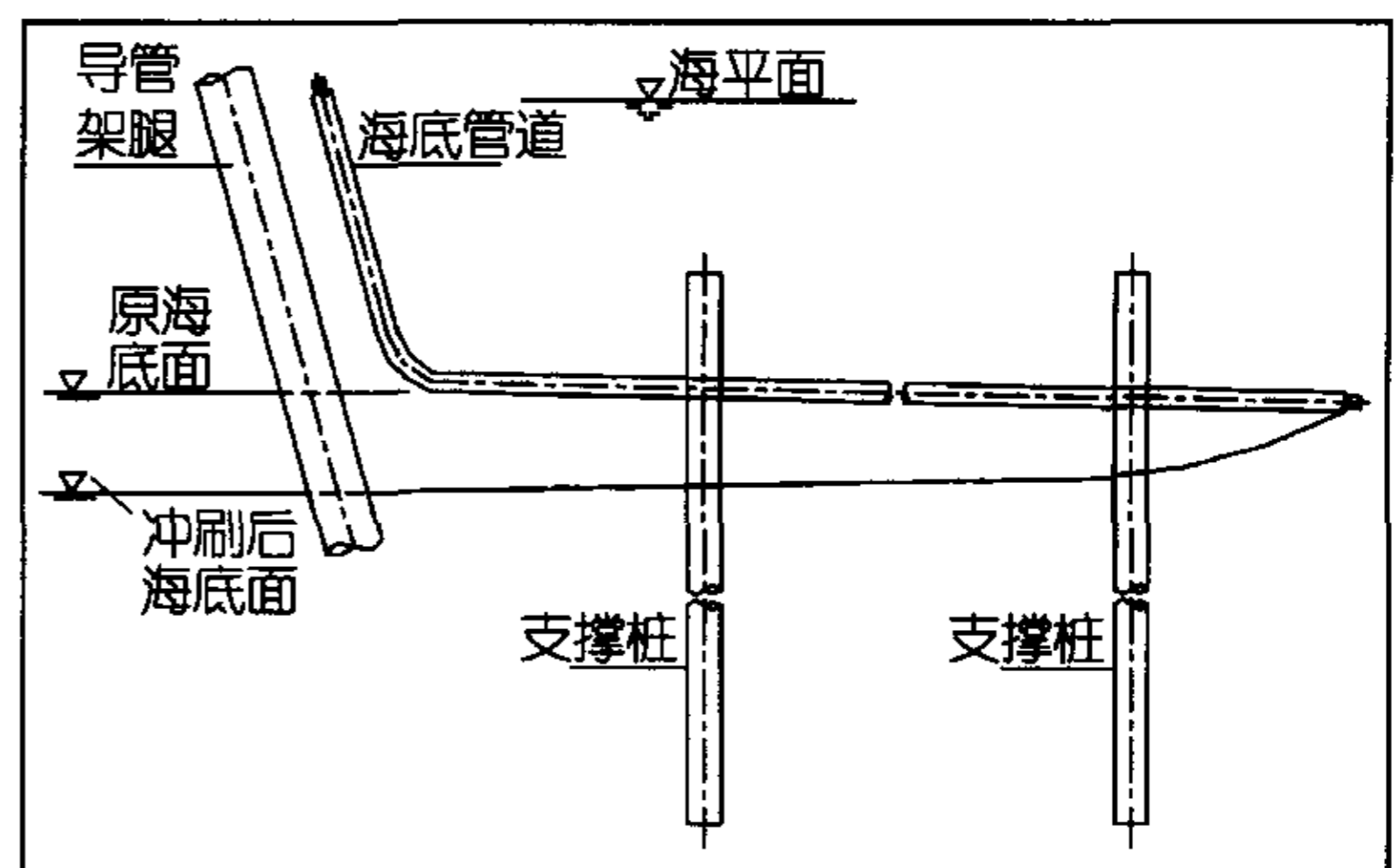


图 2 支撑桩布置

Fig. 2 Disposal of support piles

4.3 压载法

在悬空段上下部位抛填块石, 块石质量由环境条件计算得出, 做到既不被冲刷运移, 又有良好的反滤作用。代替块石的材料可以是砂袋, 砂袋中装一定比例的粗砂和水泥, 并由潜水员在水下抛理规整。砂袋

大小由冲刷条件和施工能力决定。此方法价格便宜、施工方便,常被选用。埕岛海域用压载法也处理过一批悬空管道,效果良好。

4.4 防冲结构覆盖

管道冲刷段上面加盖一层有足够强度的抗冲刷物,目前实际中应用的是FS浆垫,是一种多重聚酯纤维织成的双层土工织物。这种织物连续性好,整体性强,柔性大,使用效果良好。

4.5 柔性管法

使用柔性管在一定程度上是适应冲刷的一个方法。悬空会使管道变形,会承受非设计荷载。柔性管可以顺应变形,减少受力。柔性管主要有两种,一是金属软管,一是带钢丝网夹层的橡胶软管。我国海洋石油开发中柔性管使用较少。

5 结语

埕岛海域的冲刷主要包括两个方面,一是包括埕岛油田在内的渤海南部大面积冲刷,这种冲刷与该区的地理位置、海洋环境有关,如与海底土质、海水深度、黄河流路、黄河水量、黄河含泥沙量及海洋动力条件等有关,这些因素都影响海区的冲刷。二是人为因素改变了海区的水文动力条件,从而引起或加剧冲

刷,如构筑物设置,河道整治等人类活动。

对于埕岛海域,如想要彻底治理,不产生冲刷,可能是效果慢,时间长,投资大,有时甚至不可能。而找出对策抵抗冲刷和消除冲刷带来的危害却是可行的和见效快的。从实际情况看,目前我们采取的治理措施,已经取得了明显的效果。综合考虑解决埕岛海域的冲刷问题,一是要宏观地大范围地总体地解决一些问题,如黄河的影响、地形地貌和构筑物的影响等;二是要不断地进行海上实地探测,及时地进行局部工程处理。

参考文献:

- [1] 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. 32-111.
- [2] 马良. 海底油气管道工程[M]. 北京:海洋出版社,1987.
- [3] 马良. 海底管道在水流作用时诱发的振动效应[J]. 中国海洋平台,2000,4:30-34.
- [4] 阎通,李广雪. 埕北海域海底管线冲刷稳定性研究[J]. 青岛海洋大学学报,1999,10:721-726.
- [5] 美国石油学会,海洋管道工程[M]. 北京:石油工业出版社,1985.
- [6] 摩塞尼AH. 许正名译. 海底管道设计分析及方法[M]. 北京:海洋出版社,1984.

Anti - scouring Engineering for submarine pipeline in marine Chengdao oil field

HU Hong - qin

(Shengli Engineering & Consultation Limited corporation, Dongying 257026, China)

Received: Mar., 8, 2005

Key word: marine environment; vortex vibration; suspension; solution

Abstract: Chengdao oil field is the marine extension of a continental oil field. Scouring often due to specific geograph and results in location. Scour - induced suspension. In this paper, the mechanics of scour which is risky to submarine pipeline. Some solutions were suggested.

(本文编辑:刘珊珊)