

沙袋抛填处理海底管道悬跨的施工方法浅析

生宏，邓平，张大伟，陈勇，于春涛，黄一峰

海洋石油工程股份有限公司，天津 300451

摘要：海底管道长距离的悬跨给管道设施安全运营造成了极大的隐患，考虑到渤海海区管道悬跨的特点，一般考虑采用沙袋抛填法进行治理。对海底管道悬跨成因及主要处理方法进行了简单介绍，并结合工程经验，对沙袋耗用量估算及沙袋抛填方法进行了比较，并综合分析，以便提高今后悬跨处理的效率和可靠性。

关键词：海底管道；悬跨处理；沙袋抛填；施工方法

引言

在海底管道服役中，海底管道由于海流冲刷、海底沙坡移动及海底管道自身变形等因素，易出现悬跨现象。当海底管道悬跨超过一定长度之后，因为受到其自重及潮流冲击的作用，容易断裂，对海底管道的安全运营带来了诸多危险，并容易造成危害较大的原油、天然气泄漏事故。目前，主要的悬跨处理方式包括沙袋回填、灌浆填充、机械结构支撑、抛填石块、重物压载及人工海草等方法。本文主要叙述的是利用沙袋抛填，对悬跨位置进行支撑和掩埋处理。在沙袋抛填过程中，受到涌浪水流等因素影响，如何实现精确抛投是影响施工效率及处理效果的关键因素。本文介绍了几种常用的沙袋抛填方法，并对其特点做了对比分析。

1 海底管道悬跨成因及主要处理方法

海洋环境变化及人类渔业、航运等生活活动增加，均会造成海底管道悬跨，主要成因主要包括海床稳定性差、海底地形地貌不平坦、海床收到潮流冲刷、结构物存在应力导致变形等。

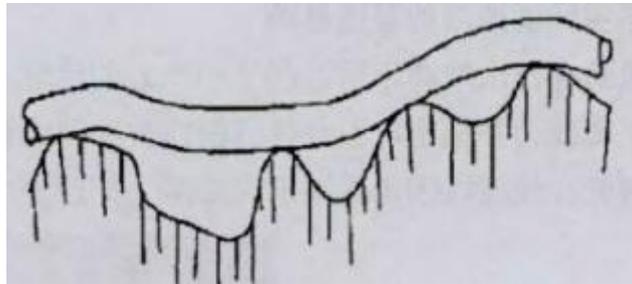


图1 海底地形形成的多段不连续悬跨

目前，主要的悬跨处理方式包括沙袋回填、灌浆填充、机械结构支撑、抛填石块、重物压载及人工海草等方法。沙袋回填采用抛放沙袋，是沙袋在管道底部行程支撑。灌浆填充采用灌浆设备，在管带底部填充一个砂浆袋形成支撑。这两种方法形成的效果详见图2所示。机械支架采用专门设计的钢结构支架，在管道底部行程支撑，如图3所示。抛填石块是采用砾石、石子等材料抛填，在管线周围分布放置管道涡旋冲刷。重物压载是采用压块等物体压住管线，使得管线贴近泥面，减小悬跨。人工海草则是铺装仿生草垫，汇集泥沙，使得管道悬跨位置行程回淤，减轻悬跨。

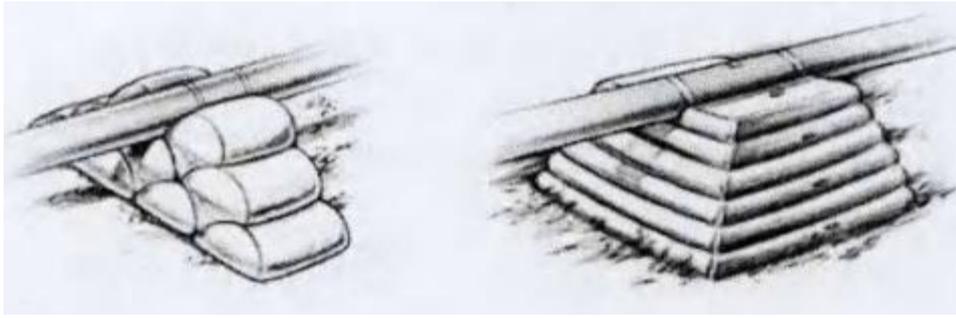


图2 沙袋回填及灌浆填充示意图

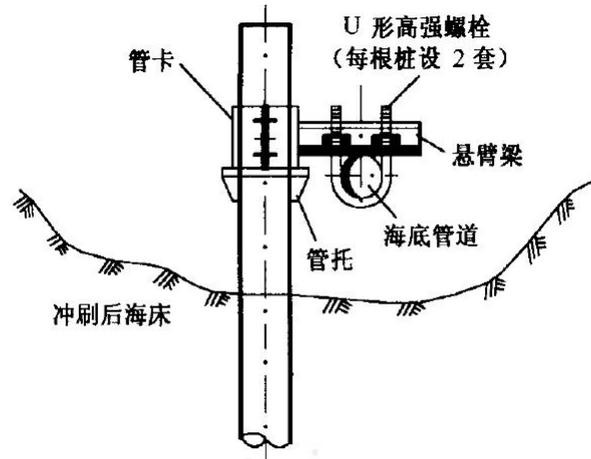


图3 机械支架处理悬跨示意图

2 沙袋抛填介绍

沙袋抛填是指使用沙袋对悬跨海底管道的底部进行支撑充填，并对管线进行覆盖。沙袋内一般是沙子与水泥混合物，便于混合物遇水凝固成型，形成不易被冲刷的海底支撑物。沙袋抛填之前，需要预先定位管道悬跨的精确位置并掌握悬跨情况。一般采用差分定位系统、侧扫声呐、浅地层剖面仪等设备，预先对目标区域进行调查。同时，可利用潜水员在悬跨位置进行水下探摸调查，确定悬跨情况，用于抛投施工方案的决策。

在渤海海域，这种方法容易施工且成本较低。同时，在某些海域，由于海底冲刷严重，也容易因为沙袋的流失而造成二次悬跨。因此，此方法的优点是施工作业相对简单，可以在管道不停产的情况下实施，对管道保护的覆盖范围较大，对同一平台周围的数条管道均可以起到一定保护作用。这种方法的缺点是可靠性不高，易受较多不确定因素的影响，抛填的沙袋有再次被冲刷淘走的可能，造成管道再次悬空。

3 沙袋用量估算

根据相关施工经验，沙袋将海底管道悬跨位置填充之后，还会在海底管道两侧及上表面形成一个覆盖层。我们假设抛填之后形成一个梯形的截面，如下图4所示。图中，梯形截面角度为 30° ， H_0 为海底管道悬跨高度， H_1 为在海底管道上表面形成的覆盖层，一般为0.5米， H_2 为沙袋抛投形成截面梯形的上表面。某段海底管道外径为 D ，其悬跨距离为 L ，沙袋中沙子水泥混合物密度为 ρ ，则该段管道所需抛填沙袋理论质量 M_0 为。

$$M_0 = \left(\sqrt{3} \cdot (H_0 + H_1 + D) + 0.5 \cdot H_2 \right) \cdot (H_0 + H_1 + D) \cdot L \cdot \rho$$

因为沙袋在抛投过程中，必然有一定的损耗。我们根据上述计算的理论质量，需要考虑一定损耗系数 K ，因此实际质量 M_1 为：

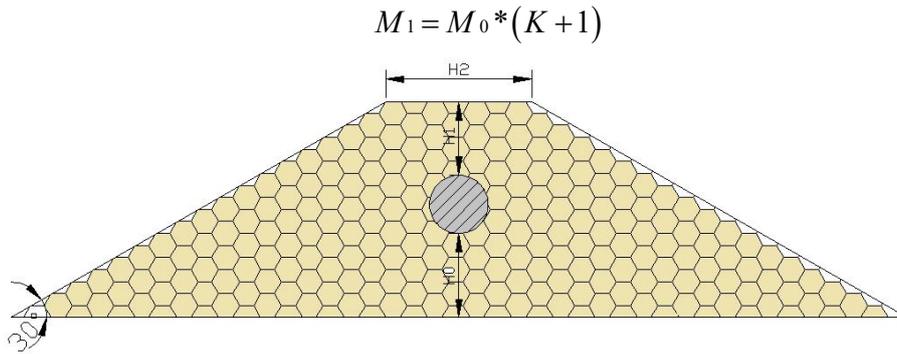


图 4 抛填截面示意图

4 沙袋抛填主要方法

根据海底管道悬跨长度及高度，综合考虑抛投准确率、沙袋耗用量、施工效率等因素，施工机具、设备之间有不同组合方式，沙袋抛填施工具有多种方法。按照主作业船舶分类，可分为拖轮、浮吊船、自航驳（具有抛锚能力）施工；按照沙袋下放方式，可分为人工抛投法、浮吊网兜投放法、传送带抛投法、导管抛投法。下文主要介绍不同的沙袋投放方法在施工中的应用。

4.1 人工抛投法

人工抛投法主要是作业人员将沙袋预先码放在工作船的船尾，形成一堵墙体，然后将工作船调整到需要抛投预定位置后，作业人员迅速将沙袋墙体推入水中。一般在使用拖轮进行作业时采用这种抛投方式。这种作业方式适用于悬空量较小，且在平台附近位置作业。首先，拖轮船艏在合适位置抛锚，然后船尾在平台导管架上带缆，从而实现船舶的定位。在拖轮就位之后，根据定位图纸，潜水员下水对水下海底管道的悬空情况进行探摸调查，并在管道悬跨的两端位置拴上浮标。根据潜水员探摸调查结果，制定抛填数量及走船速度。拖轮船尾调整至两个浮标所形成直线附近时，完成沙袋的抛投。这种作业方式，沙袋损耗量较大，同时对船舶操作及抛投时机选择要求较高，但由于所需资源少，相对施工成本较低。

4.2 浮吊网兜投放法

浮吊网兜投放法，主要是由作业船吊机辅助，将装载沙袋的网兜下放到海底管道的悬跨位置。首先，潜水员在水下进行海底管道悬跨情况探摸，在确定悬跨位置之后，水上人员通过吊机和网兜将沙袋吊放到潜水员引导的位置，潜水员在水下指挥水面吊机操作人员，对沙袋投放位置进行微调，并在沙袋到位后解扣。这种作业方法，通过潜水员的精确调查，可以准确估算沙袋用量，有利于制定科学合理的抛填施工计划。这种作业方法，可以比较准确的将沙袋投放到悬跨位置，较少受到水流影响。但是由于大量的沙袋装在网兜中，抛投到水下后，沙袋往往聚集在一起，不能沿着管线悬空位置进行均匀填充支撑，因此沙袋损耗量较大，通过潜水员水下辅助对沙袋进行小范围的搬运、码放，可以形成较好的支撑面。如下图 5 所示，采用网兜将沙袋吊放的水中。采用这种方式作业，一般在浮吊船上作业。在浮吊船作业，一般在远离平台的空旷海域，浮吊船抛锚就位于管道悬跨段的侧上方，然后通过浮吊配合投放沙袋。



图5 吊机投放沙袋

4.3 传送带抛投法

传送带抛投法，是利用布设在船舶甲板的传送带，将沙袋连续不断的抛向水下。这种作业方法，适用于浮吊船、自航驳联合施工，也适用于具有抛锚能力的自航驳单独施工。一般情况下，浮吊船预先就位，然后装载沙袋的驳船侧靠在浮吊船一侧，两船通过缆绳固定。传送带安装在驳船合适位置，操作人员将沙袋码放在传送带上，随着船舶的移动，沙袋连续的抛投在海底管道悬空处。采用浮吊船作为主施工船进行抛投作业，是最为稳妥的作业选择。一方面浮吊船具有良好的抛锚就位能力，不容易走锚溜锚；另一方面浮吊船型一般较大，具有较强的抗风能力。浮吊船在管线悬跨一侧就位，运输沙袋的驳船在浮吊船舷一侧就位；驳船提供沙袋存放及抛投施工的场所。采用浮吊船作为主工作船，船舶具有良好的抛锚就位及绞锚能力，可以方便的沿着管线方向走船，实现较长距离的沙袋连续抛填作业。在整个抛投作业步骤中，抛投试验比较关键。通过试验，掌握作业现场海流流速、涌浪等因素对抛投落点位置的影响；并且通过这个抛投试验，掌握移船速度与沙袋抛投速度之间的关系，找到两者合适的对应关系，使得抛入水中的沙袋能够按照预定计划，落到海底管道悬空位置。

4.4 导管抛投法

导管抛投法是在传送带抛投法的基础上，在船舷侧沙袋入水位置增加导管的一种改进施工方法，如下图6所示。通过这种改进，可以降低沙袋落入水中后海流的影响，提高抛投到位的准确率和效率。这种作业方式，船舶就位与4.3节所述就位形式基本一致，仅需要在驳船一侧增加导管。在驳船航行就位过程中，导管如图6左侧所示，固定在船舷侧；在船舶就位之后，如图6右侧所示，布置如图所示传送带，两者组成一个抛投系统。需要注意的是，导管长度需要综合考虑，确保导管下端离管道上部具有3米左右的安全距离，以免导管下端对水下海底管道产生损害。



图6 导管抛投法的主要结构

5 抛投方法比较

海上施工具有高投入、高风险的特性，不同的施工方法在安全风险、成本、效率等方面有较大差异。因此，对上述作业方法进行分析比较，从适用性、项目施工安全、工期、费用等方面综合考虑，选择一种合理的施工方案，是项目实施成功的关键。在沙袋抛填施工中，根据不同抛投方法来划分，主要有上述四种方案，其具有不同的施工特点，应该根据不同的工作场合进行选择。

5.1 从施工通用性方面考虑

由于人工抛投法和浮吊网兜投放法都是不连续抛投作业，所以这两种方法适用于海底管道悬跨位置较短，抛投方量较小的情况。传送带抛投法和导管抛投法，是一种连续抛投作业，因此这两种方法，可以较好的完成长距离悬跨及大方量的悬跨处理工作。

5.2 从施工安全方面考虑

从施工安全方面考虑，无论采用哪一种作业方式，作业船舶是最大的风险点，需要控制船舶对海洋平台、海底管道及电缆等设施的危害性。浮吊船结合传送带抛投或者导管抛投施工具有较大的优势：浮吊船船体一般较大，具有良好的抛锚就位能力及抗风浪能力。因此，在海底管道附近就位时，考虑到船舶走锚对管道的潜在威胁，浮吊船相对自航驳来说，具有一定优势。

在这些施工方法中，吊装及潜水作业也是较大的风险点。通过网兜进行沙袋吊放，需要确认网兜的完好性及挂扣情况；同时水下工作的潜水员也需要注意合理站位，避免磕碰及挤压伤害。

5.3 从施工效率方面考虑

从施工作业效率方面考虑，采用传送带抛投法及导管法，效率比较高。通过试抛投掌握走船速度、抛投速度与海流影响之后，船舶可以按照一定连续往前走船，沙袋沿着传送带连续抛投。沙袋落入水中后，抛填连续性也好于人工抛投及网兜吊放。因此，整体而言，传送带抛投及导管法的效率较高，抛投效果较好。

5.4 从潜水作业考虑

在上述几种作业方法中，潜水员水下预调查是保障抛填方案制定、沙量估算的重要手段。其中，在人工抛投法、浮吊网兜投放法作业中，潜水员可以在水下完成沙袋码放作业，有助于形成较好的支撑面和减低沙袋损耗量，有助于降低项目施工费用。

6 结论与展望

在实际项目中，由于管道悬跨长度、深度、所在海域位置、风浪流及施工季节等情况不一样，具体选择哪一种施工方法需要综合考虑，并结合具体施工资源及工期，考虑工程成本之后进行选择。为了进一步增加沙袋抛填的准确性及施工效率，可以对专业成套的抛沙船舶和设备进行研究。

参考文献

- [1] 王利金, 刘锦昆, 埕岛油田海底管道冲刷悬空机理及对策[J] 油气储运, 2004, 23 (1) 44~48.
- [2] 唐晓旭, 胡国后, 海底输油管道悬跨的综合治理[J] 集输处理, 2011, 07: 38-39.
- [3] 梁富浩, 张印桐, 刘春厚等, 落石管抛石技术的发展及在我国深水油气田开发中的应用前景[J], 中国海上油气, 2011, 4, 135-139.
- [4] 奉虎, 王彦红, 王靖, 海底管道悬跨处理方法及其适用性分析[J] 中国造船, 2012 (a02) :74-81.