

国外石油勘探译文选

海上油、气管线铺设

石油化学工业出版社

国外石油勘探译文选

海上油、气管线铺设

石油化学工业出版社

目 录

控制海底管线砑保护层重量的重要性.....	1
水下管线的设计、铺设与维护.....	10
海洋学在铺设海上管线中的应用.....	18
保持铺管船航道的计算机化微波系统.....	25
海上铺管技术.....	28
浅海铺管挖沟用的控制喷射爆炸头.....	38
水下活动在发展, 工艺继续在提高.....	42
长距离管线拖引安装法.....	49
水下对正管子的装置.....	54
伸张管子的新技术.....	56
海上施工新方法.....	62
自动推进的水下挖沟机.....	65
一条浅海管线的操作系统.....	68
量测管子应力.....	74
提升水下管线的新方法.....	76
声学在浅海设备系统中的应用.....	83
浅海管线的保护.....	88
浅海管线阴极保护的新途径.....	95
垂直铺管修理折断浅海管线法.....	105
海底管线修理方法.....	108
遥控输气.....	111
船装透平动力浅海压缩机站.....	119

控制海底管线砵保护层重量的重要性

在铺设管线的某些阶段，水下管线的重量是很关键的，控制精度需要小于 1%。但人们往往对于为取得这种高精度控制所花的费用和所作的努力，没有充分的认识。本文的目的是验证影响管线浮力的那些因素，并提出一种砵保护层的设计和现场控制的方法。

海底管线加砵保护层的方法，早已被用以控制施工期间管线的重量，保证其使用期间的稳定性，防护其受海底的机械损坏以及保护防腐层免受海洋生物的损坏。

为控制管线重量需用的砵保护层厚度，决定于管线的使用情况和铺设方法。一般采取既考虑施工条件的限制，又考虑管线使用期间稳定性的折衷方案。

在浅水中用铺管船铺设的海底管线，其使用期间的稳定性是控制设计的标准。24 吋充满气体和充满油的海底管线，其对海流的稳定性是有差别的，见图 1 所示。在平坦的海底上，一条充满气的 24 吋管线当海流速度约为 4 呎/秒时就不稳定了，而一条充满油的 24 吋管线在海流速度约为 240 厘米/秒时才不稳定。海流临界速度会导致管线在提升前滑动。

在大多数情况下，用铺管船铺设管线时，可以把砵保护层的厚度增加到可以在最大设计海流时达到稳定时为止。当用海底拖拉法铺设海底管线时，砵保护层的厚度通常不由稳定性指标控制，而由拖拉绞车的牵引力所控制。每呎只有几磅的小负浮力，其所需要的最大绞车牵引力可达好多吨，见

图 2。拖拉 2~3 英里 (3.2~4.8 公里) 长的管线，其设计

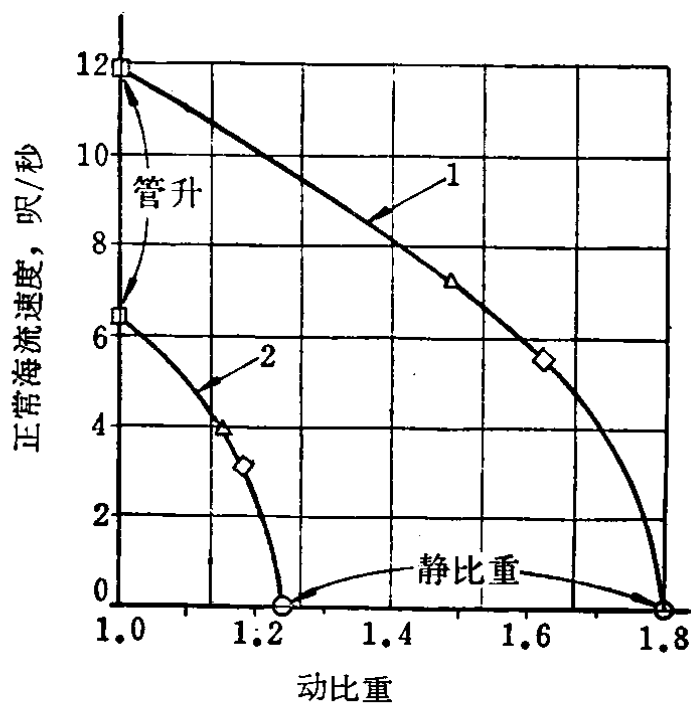


图 1 海流对 24 吋管子(壁厚 0.5 吋, 砵保护层厚 3 吋)的影响
1—充满油的管线; 2—充满气的管线; △— $F=1.0$ 时的管滑; □— $F=0.5$ 时的管滑

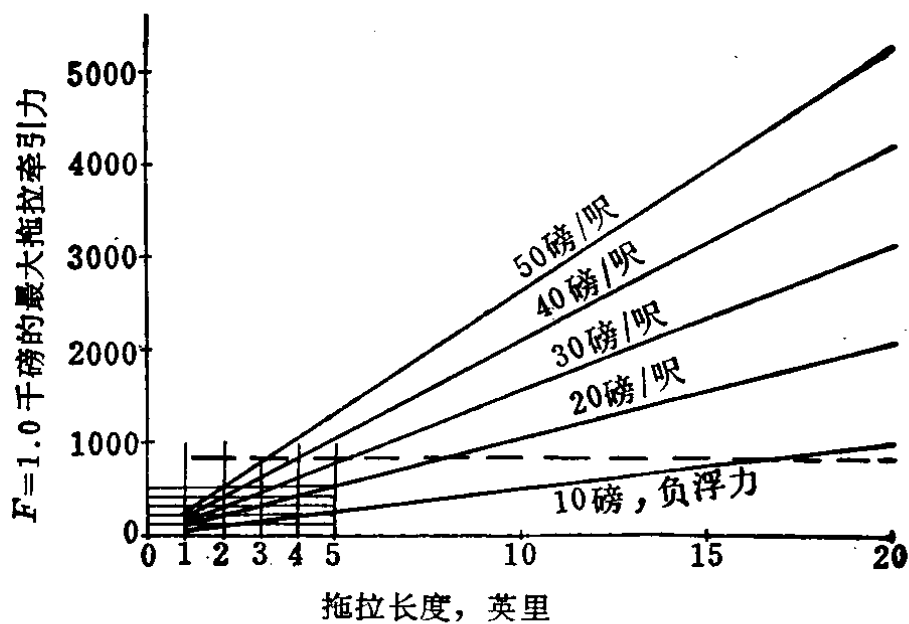


图 2 负浮力对拖拉牵引力的影响
-----通用拖拉系统的限度

分析所要求的负浮力，可高达 50~60 磅/呎(74.4~89.2 公斤/米)。但拖拉比这个长的管线（或者由于可以利用的绞车能力的有限而拖拉比这个短的管线），其管线的负浮力可能就限于 10~20 磅/呎（14.8~29.7 公斤/米）。如采用 10~20 磅（4.536~9.072 公斤）负浮力时，则对砼保护层的设计和现场控制将提出严格的要求，因为精度要求将低于 1%。如果需要这样大小的负浮力，不符合规格的变动会导致管子浮起或使拖拉阻力太大以致绞车无法完成任务。

设计与现场控制问题

当大口径海底管线的负浮力为 15~25 磅/呎（22.32~37.2 公斤/米）时，设计人员要解决的问题就是规定在应用砼保护层的实际限度内所能获得的性能指标。

海底管线的浮力，决定于钢管的尺寸和重量，绝缘层重量和厚度，以及砼保护层的重量和厚度。钢管与绝缘层的重量和尺寸，比砼保护层的重量和厚度容易控制。砼保护层的重量变化，决定于水泥的单位重量、砼保护层的厚度，以及管子在制造与铺设期间水分增加或减少情况。

在一般制造混凝土梁、混凝土板与混凝土桥墩时，混凝土的强度非常重要，其单位重量可以改变而不致严重地影响结构的用途。但是，海底管线上砼保护层的用途，是控制重量而不一定依靠它的强度，对它没有支承结构的要求。砼保护层只要能经得起搬动和防止铺设时变形及碰撞时损坏就够了。

由于这种作用上的变化，砼保护层的单位重量必须妥为保持，因为管线的浮力对于微小的变化是非常敏感的。例如，一条带着 13/4 吋厚砼保护层的 24 吋直径的管子，当砼

保护层的单位重量发生 1 磅/呎³ (4.8825 公斤/米²) 变化时, 其浮力的变化为 2 磅/呎 (0.28 公斤/米) (图 3)。管子直径增大, 这种浮力敏感性也随着增加。一条带着 5 吋厚砼保护层的 48 吋直径的管子, 当砼保护层单位重量发生 1 磅变化时的负浮力变化为 12 磅/呎 (17.86 公斤/米)。

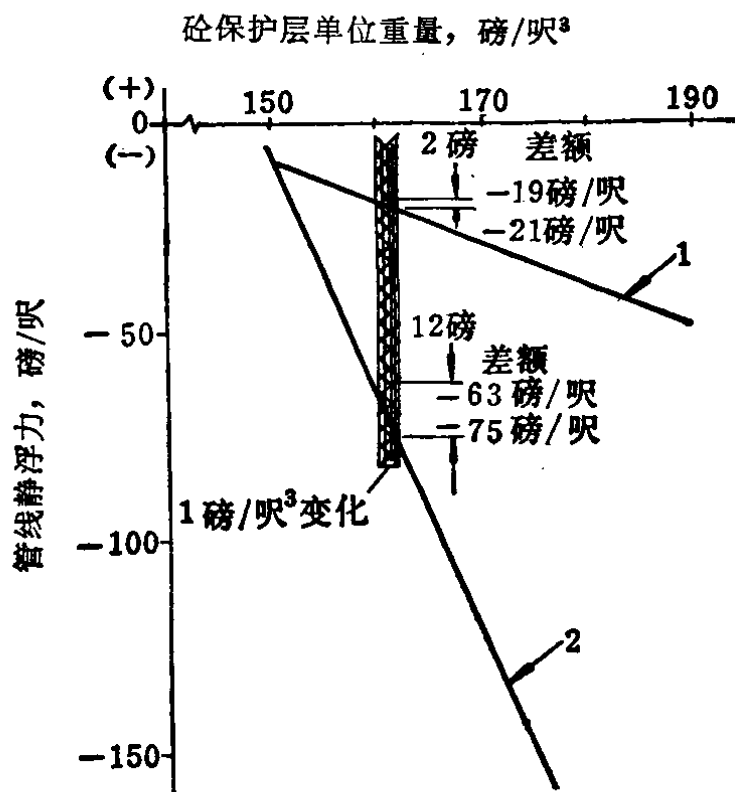


图 3 浮力对砼保护层单位重量的敏感性

1—24 吋管径, 0.5 吋管壁, 砼保护层厚 1³/₄ 吋; 2—48 吋

管径, 5/8 吋管壁, 砼保护层厚 5 吋

注: 砼保护层未计算在内

同控制管子重量的砼保护层单位重量密切有关的, 是砼保护层的厚度。在这里, 砼保护层厚度的微小变化, 也会引起负浮力的巨大变化。砼保护层单位重量为 190 磅/呎³ (3.04 克/厘米³) 的 24 吋直径的管子, 如砼保护层外径增加 1/8 吋, 其负浮力就会增加 5 磅/呎 (7.44 公斤/米) (图 4)。48 吋直径的管子外径增加 1/8 吋, 其负浮力可增加 10 磅

(4.536 公斤)。48 吋管径的管子外径增加 0.22%，其负浮力可增加 100%。因此，在许多情况下，对较大直径管线的误差，现场控制应该低于 1%，也许要低于 1/2%。

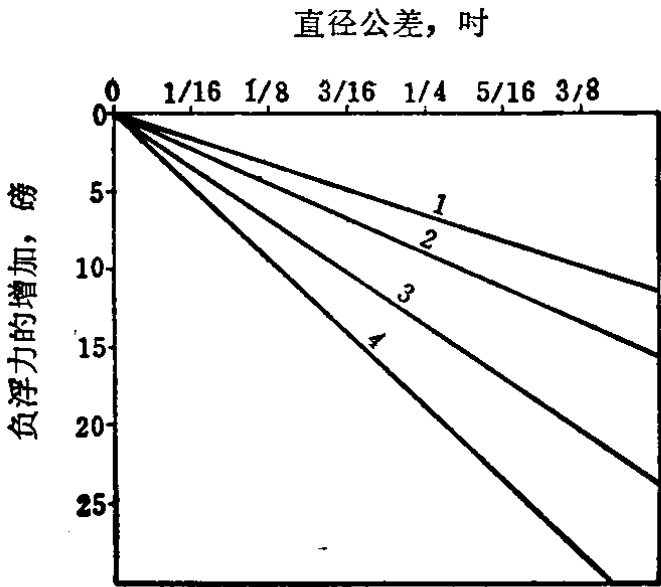


图 4 直径公差对浮力的影响
1—24 吋直径，150 磅/呎³ 砼保护层；2—24 吋直径，190 磅/呎³ 砼保护层；3—48 吋直径，150 磅/呎³ 砼保护层；4—48 吋直径，190 磅/呎³ 砼保护层

在设计和现场控制问题的一个重要方面，就是由于砼保护层吸水引起的负浮力变化。对于用拖拉或深水铺管船铺设管线的方法来说，砼保护层吸水问题是十分重要的。据报道，在一次铺设工程中，由于当时气候干燥，第一批下水的管子是浮在水面的。正当大家在筹谋对策时，管子沉下去了。以后，这个问题就是用预先润湿管子来解决。

图 5 所示为 24 和 48 吋直径的管子因吸水而引起的浮力变化。这些管线都是按完全吸水时负浮力为 10 磅(4.536 公斤)而设计的。另外，还将 3%和 5%吸水度的情况列在图中，以供比较。在各种吸水度下，24 吋的管线总是下沉的，而 48 吋的管线，当吸水度没达到一半时都是浮起的。以上

说明, 虽然设计人员可以提出一种特定的负浮力, 但在现场要满足这种要求有时几乎是不可能的。如能慎重考虑各种因素, 则在浇注砼保护层时可以采取一些控制措施, 以保证在合理范围内能满足要求。

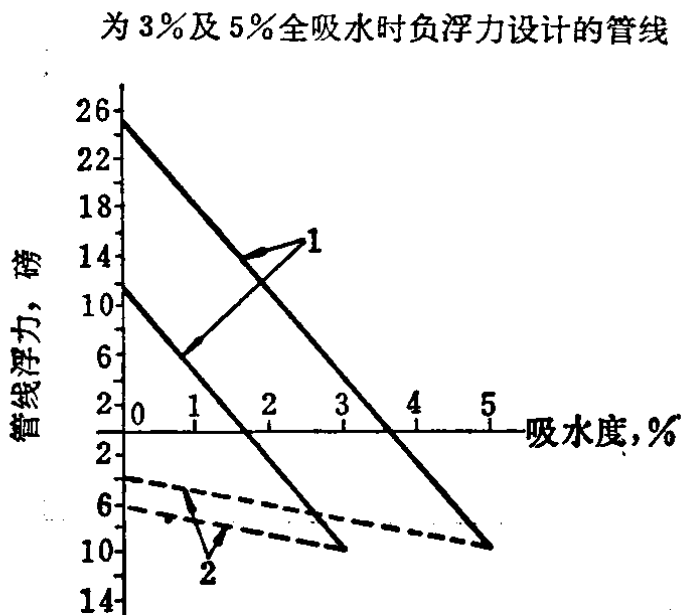


图 5 砼保护层吸水度对管线浮力的影响
1—48 吋管径, 190 磅/呎³砼保护层单位重量; 2—24 吋管径, 190 磅/呎³砼保护层单位重量

现场控制法

在影响砼保护层的三个主要因素之中, 管径的误差是最容易控制的。但是, 比起普通的砼工程来, 这里需要更高的精确度, 而且成本也高得多。例如, 对于 48 吋直径的管子来说, 如果允许有多 10 磅的负浮力, 则直径的误差不能超过 1/8 吋左右(图 4)。因此, 如果是用定形构架而且要求这样的误差, 则这种构架必须是钢的, 有钢筋加固, 有可以调节的紧固系统。此外, 用构架时还必须注意震动, 最好是在预制构架时, 把震动因素考虑进去。

规定管径误差时，要求有一个能取的精确负浮力的绝对最小管径。在这个最小值以外，为承受一点额外的负浮力，只允许一点微小的误差，原则就是宁可让管子稍微重一点，也不能让它浮起来。通常，增加绞车的牵引能力，或者添设辅助牵引系统，比在加上保护层以后再去增加管线重量要容易得多。

对加保护层的管子进行管径控制时，平常是测量管子的圆周。对任一管径都有一个正比。例如，当管径误差为 $1/8$ 吋，则其测量圆周的误差为 $3/8$ 吋。管径误差一经规定之后，剩下下来的就是砼保护层单位重量的控制。与砼层单位重量有联系的，就是在砼在浇注时和铺设管线期间水分增加或减少的情况。在设计砼保护层单位重量时，吸水问题必需估计进去。因此，当砼保护层因长久暴露在干空气中而减失水分时，应把管子预先润湿，可以恢复水分以免其浮起，而在浸没水中之后，其负浮力可以迅速接近设计负浮力。例如将一个砼圆柱体用烘炉烤干，把它露在空气中，然后再浸在水里，就象带砼保护层的海底管线所经历的条件一样。观察到的最重要的事实是，圆柱体浸没后，其单位重量恢复到了理论比重^①，而其湿重比重则非常接近理论比重。根据这一点，设计人员规定的砼单位重量，应该就是现场拌和好的砼理论比重。

理论比重和湿重比重之间的关系在现场一经确定之后，就可以很简便地用湿重比重来控制每浇注一批保护层的砼单位重量。用这种方法，可以把砼保护层单位重量控制在预期精度范围之内，其所得的管线使用时的负浮力，将与管线的

① 砼理论比重指的是，调和好的混凝土组成部分的总重量。

设计负浮力非常接近。

除了采用这些控制之外，在碰到大口径管子和低负浮力时，可以随便挑选一些砼接头样品来称一称它们的重量，进行抽查。由于称重的设备有它的限度，大径接头的空气重量，只能用来进行对比，不能作为衡量负浮力的可靠尺度。为检查负浮力用来称重的接头，必须是浸没在水里的接头。这是一种比较麻烦而耗费时间的办法，所以只能限于抽查接头样品。

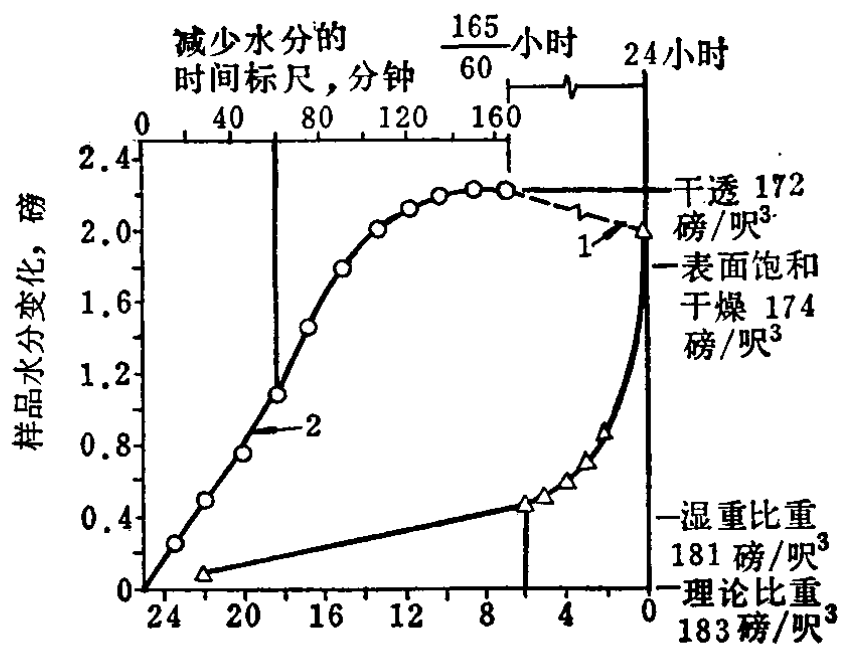
对于要求低浮力的海底管线，砼保护层的控制非常重要，因此需要详细的分析和严格的控制。不宜过分强调负浮力受许多因素的影响。设计、计算和施工人员们必须注意到为控制这些因素需要付出的额外代价。

控制保护层重量的主要项目为，砼保护层厚度和单位重量的误差。设计人员规定的砼保护层单位重量，是在现场确定的混凝土的理论比重。在浇注保护层时用湿混凝土比重检查其单位重量最为方便。水保护层制成后吸收的水分，可以计算在理论比重之内。这样，在管线被浸没之后，就可以取得设计的负浮力。

如果根据某项工程的条件，需要铺一条大口径低负浮力的海底管线，可以考虑用其他的方法。例如，在使用海底拖拉系统时，最好是提高管线的负浮力，以便能增加其浇注时的误差，并规定用提高最大绞车牵引力或增设辅助推-拖系统，以资补偿。

海底管线重量的控制，应现有设备、施工方法和现场条件进行。

如果能把所有的方面都考虑到了，大口径低负浮力管线的设计和控制，是现有技术能力所能达到的事。



增加水分的时间标尺, 小时

图 6 水泥圆柱体湿重试验

1—空气中自然干燥; 2—烘炉烤干

水下管线的设计、铺设与维护

铺管方法可以分以下几大类：1)海底拖拉法；2)漂浮法；3)卷管法；4)铺管船法。

海底拖拉法

采用海底拖拉法时，先把管子在海岸上制成一段或几段，然后下在水里用绞车沿着海底一直拖到它最后的位置。

入水道是一个带有垫座的斜坡，管子就是装在滑轨上放在这里的。如果是要跨一条河，可以把绞车放在远处河岸上，如果是一条长的水下管线，可以把绞车放在抛好锚的船上。由于入水道上地方小，往往有必要把管线分成好几段。在这种情况下，拖拉工作就得分段进行，以便连接，见图1所示。拖拉的长度，决定于绞车的功率、管子的容许拉力和管线的重量。在水里可以用浮架以减轻管线的重量，但如负浮力太小，会使管线受海流和海浪的冲击而移动。

这种方法，主要用在跨越狭的水道和从海岸到浅海设备比较短的管线上。

漂 浮 法

在用漂浮法铺设管线时，先在岸上把管节焊成许多长管串，然后带着浮筒一段一段地把管串拖到规定的位置。用船把放下水的那段的一端支着，等第二段拖来后同它接上（见图2）。浮筒要系统地解开，以便把管子下到海底。就这样重

复进行工作，直至管线完成为止。

漂浮法的优点是，它不象海底拖拉法那样受管线长度的限制。另一方面，这种方法即使在风浪不太大的海上也是很难进行的。在有保护设备的海里铺设长管线时，这种方法用处最大。

卷 管 法

如管径不大、管线比较短，就可以用卷管铺设法。方法就是制成很长的管子，把它卷在一个大直径滚筒上。放下水时，象装海底电缆一样从一只移动的驳船上把管子从滚筒上绕下来。要保持一定的张力，以限制管线在铺设时的松脱现象，特别是在深水里。用这种方法铺管线，可以预先进行试验，用快速进行安装(见图3)。

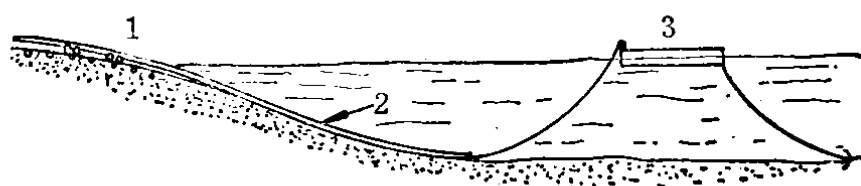


图 1 海底拖拉法
1—入水道；2—管子；3—绞车船

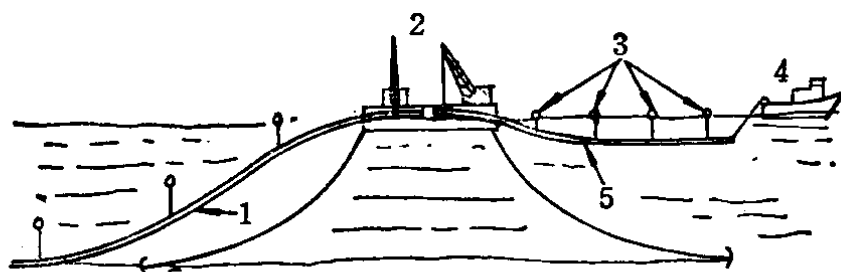


图 2 漂浮法
1—第一管段；2—连接船；3—浮体；4—拖船；5—第二管段

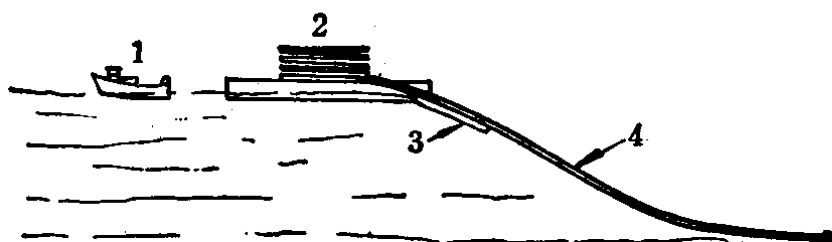


图 3 卷管法

1—拖船；2—卷管船；3—滑管台；4—管子

铺管船法

如管径大、管线长、而且是在公海里铺设管线，那就要用铺管船。

管子接头就在船上焊接，在这船上装有排成组装式的联合焊接站。铺管船定时向前推进，每个接头要经过几个焊接阶段、X-光检验和涂层，然后下入水里，通过滑管架达到海底，不使管子受额外的应力。

滑管架以一定的角度，从船上向海底延伸。这样可以限制管子松弛。

深水铺管船多半是用几根锚绳定位的。随着铺管船向前推进，拖船把抛下的锚往前移动，一次一个。在船上，只能存少量的管子，因此就要有连续不断的运管船供应管子(见图 4、5、6)。

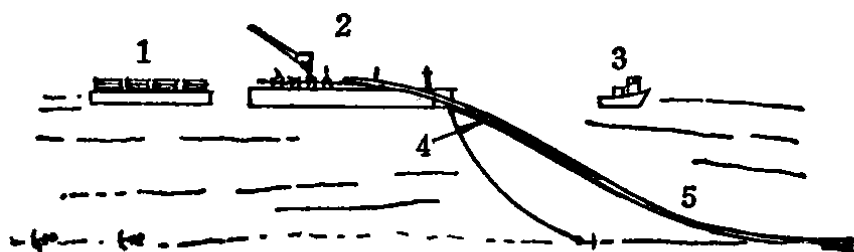


图 4 铺管船法

1—运管船；2—铺管船；3—拖船；4—滑管架；5—管子

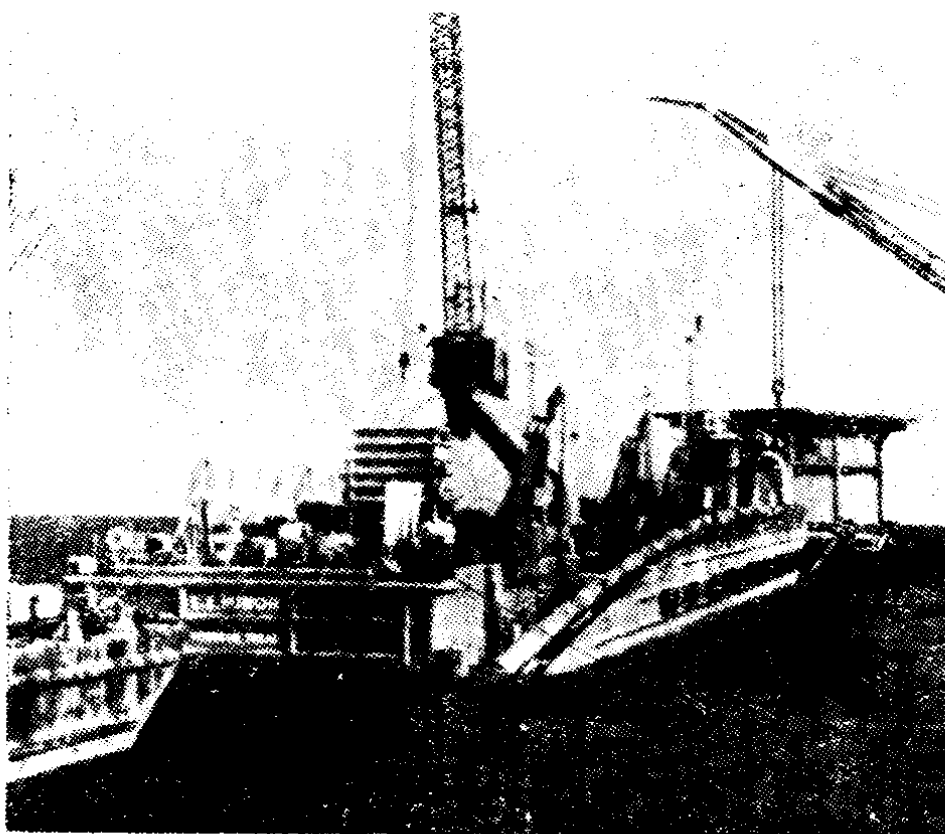


图 5 海底铺管船

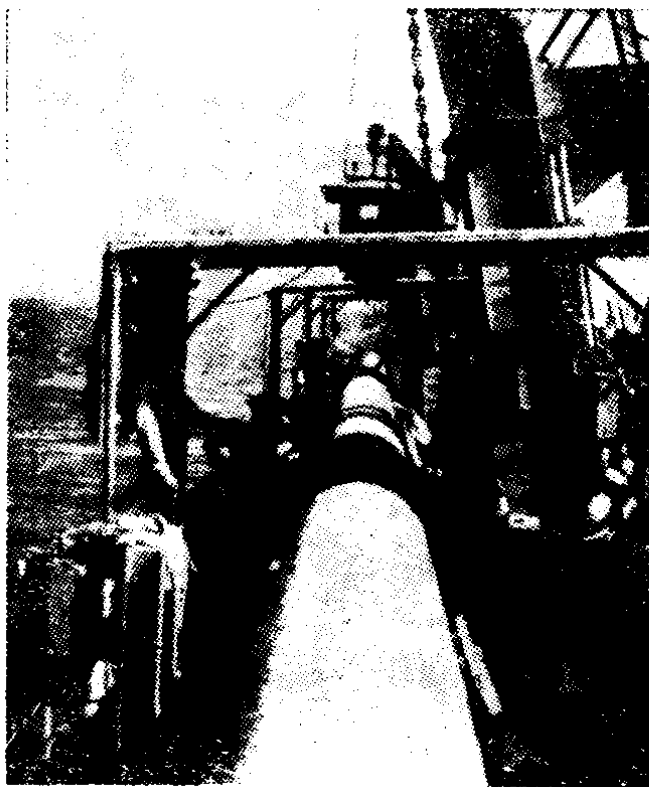


图 6 海底铺管船上的焊接站

管子弯曲应力

设计水下管线时，弯曲应力是个最重要的因素，而且往往是个控制因素。因为钢具有弹性曲线的形状，所以用普通的游梁理论方法，就可以进行分析。一个测定弯曲应力的简单而有用的方法，就是测定管子的弯曲度。最大纤维应力如公式(1)所示：

$$S = \frac{EC}{R} \quad (1)$$

式中 S ——最大纤维应力，磅/吋²；

R ——弯曲半径，吋；

E ——弹性模数，吋^①；

C ——从中立轴到最远纤维(1/2外径)的距离，吋。

有一些例子可以用来确定海底拖拉铺管法的安全情况，或铺管船上管子的过度弯曲度，因为弯曲半径是一个好的设计标准。在图 7 中列着各种管径的弯曲半径和应力。

但有时不便以弯曲度来测定应力。比如象一条放在海底上的管线，它的一头是在海底上方一定距离内被支起来的(见图 8)，这是个简单的例子。这里，被支起来的那一头的高度和坡度是控制条件。

用弹性曲线微分方程式(2)，可以求得图 8 中所示的没有被支架起来的管子跨距的近似值：

$$EI = \frac{d^2 y}{dx^2} = M \quad (2)$$

式中 x ——从游梁左端到任一截面的距离，吋；

y ——垂直挠度，吋；

① 原文有误——译者注