

使用疏水网技术进行溢油清理

目前使用的溢油清理及封拦法成本很高，但成功率却并不理想。Amphos 21 的工程师们开发了一款数值仿真 App 来测试新型的疏水网溢油清理技术。

作者 LEXI CARVER

原油泄露一向以其突发性和不可预见性而臭名昭著，它会给海洋环境和海洋生物带来严重的破坏，因此必须在它造成长期灾难之前迅速封拦。当前的溢油封拦和回收技术使用围油栏和用于集油的撇油器，但它们很难彻底解决溢油问题。

围油栏用于阻止溢油范围的进一步扩大，防止溢油流向敏感的海岸线地带。有些设计还会通过吸油来清除溢油，或使用撇油器来清除溢油。在其他情况下，也会通过可控燃烧来清除水中的溢油，但这会产生其他污染物；或是向水中投入化学分散剂，以此加速油分子的分解。

虽然这些方法都可以帮助清理溢油，但在清理过程中回收的溢油有限，而且只有在漏油发生后迅速在泄漏地点采取行动才能发挥作用。大部分油会沉到海底。例如，1989 年埃克森油轮瓦迪兹号在距阿拉斯加港湾较远处发生漏油事故，大部分的漏油最终都无法收回。

回收物通常只是部分可用的水油

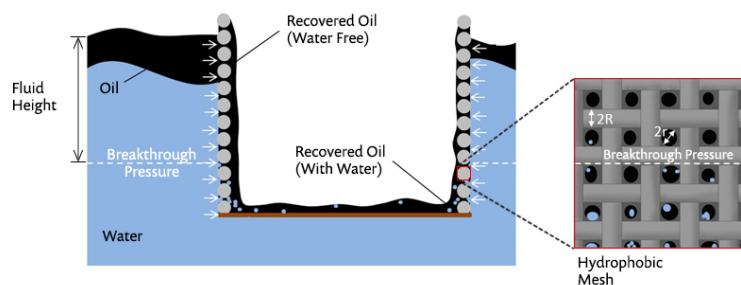


图 1. 疏水网的工作原理。图注：Fluid Height - 液体高度；Oil - 油；Breakthrough Pressure - 突破压力；Water - 水；Recovered Oil (Water Free) - 回收油（不含水）；Recovered Oil (With Water) - 回收油（含水）；Hydrophobic Mesh - 疏水网

混合物。换言之，除了明显的环境问题，当在清理完成后尝试从废油中提取原始数量的原油时，还要进行更多的泵吸。

所以，我们需要一种同时能防止生态灾难发生，还可避免石油浪费的清理方法。专注于环境技术领域的咨询公司 Amphos 21 积极开发了疏水网数值模型。疏水网是科学家和技术人员正在研究的一种全新的溢油收集技术。他们的目标是什么呢？就是为这一难题找出一个快捷、简单易用的环保解决方案。

他们将疏水网定义为一种多孔介质，并开发了计算机仿真及定制 App，以便分发给产品开发、灾害应对及环境组织的相关人员使用。他们希望能通过仿真 App 为工程师、研究人员和清理团队提供虚拟测试的能力，使他们在争分夺秒地防止溢油破坏的同时，能对特定溢油场景做出恰当的处理。

⇒ 新型溢油回收方法的潜力

Amphos 21 正在研究的疏水网由不锈钢或铜制成，表面涂有疏水性聚合

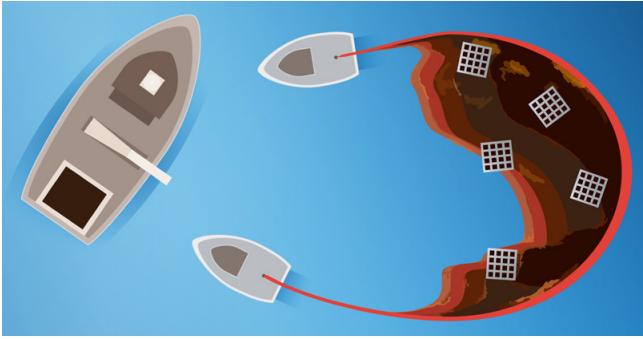


图2. 概念：轮船拖动围油栏将油污限制在一定范围内，然后使用疏水网进行采集。

物，以便将油引入并排出水分。工作方式类似于过滤网：水会留在外侧，石油则可以渗入（见图1）。石油流经网眼的速率取决于水深、原油属性（因泵吸油位置而异）和金属上的涂层。

“除了能有效从水中分离出石油外，它还提供了无需再加工即可回收溢油的可能性，省去了加工这一成本高昂的清理步骤。” Amphos 21 公司的顾问 Emilie Coene 说，“这些网可以连续使用，很干净，具有很好的潜在回收效果和性能。”

假定疏水网能够与封阻设备配合使用来阻挡溢油的进一步扩散。例如，在使用拦油索围住溢油的同时，直接向油中部署疏水网和采油箱（见图2）；然后，定期将收集到的油从采油箱中泵出，保证网两侧维持正确的压力差。

在采油时持续抽取。它们还可以针对多种不同的工作条件进行定制。”他继续说，“我们希望能为正在设计各类清理工具的研发工程师、正在进行相关研究的环境公司，以及正努力为一些大型问题寻找解决方案的石油公司提供帮助。”

液体高度是疏水网收集方法面临的一个难题。在特定水深下，静水压力会达到“突破”，水将侵入网和集油器内部。如果打捞的石油中混入了过多的水，在使用前就必须先进行加工和处理。

网的留存属性与油-空气和水-空气的表面张力、网表面上油水的接触角相关。表面涂层会产生疏水性，但这种疏水性在特定的水深下会被破坏。流体属性（因油的类型而异，比如粘度、密度和表面张力等）、网格孔隙率和渗透

“您不妨这样设想，我们在海洋中布下一个大的圆柱形容器（网），直到网中充满石油后再将油排空。”高级顾问兼项目经理 Orlando Silva 说，“您也可以部署采油器，将它连在泵上，以便

率都将影响通过网的油流和水流。

那么，Amphos 21 的团队如何才能针对不同的水位和原油类型设计疏水网呢？各类疏水涂层在不同海洋深度下的表现又如何呢？

答案是要根据不同的溢油条件找出网疏水属性的最优组合。团队借助数值仿真进行了研究，希望找出能收集最多溢油的最佳设计。

⇒ 网的设计如何影响油通量？

即使大体知道应从哪里开始，但要攻克这个目前还没人能解决的难题，也无从下手。不过，数学建模极大地简化了这一过程。

Coene、Silva 和他们在 Amphos21 公司的合作伙伴兼建模解决方案主管 Jorge Molinero 使用 COMSOL Multiphysics® 软件为疏水网开发了一个仿真模型，用来分析网的设计在不同水深下的表现，评估各种可能影响网的性能的因素。

疏水网的成功与否最终可以根据测量油的回收率及回收油的纯度进行评估。因此，团队在建模时还需要测试聚合物涂层的不同属性及网在各种海洋深度下的工作情况，并分析不同种类油的流量。

为了查看不同几何构造对油通量的影响，他们还对面网半径、网眼大小及间距施行了参数化分析。在 COMSOL® 软

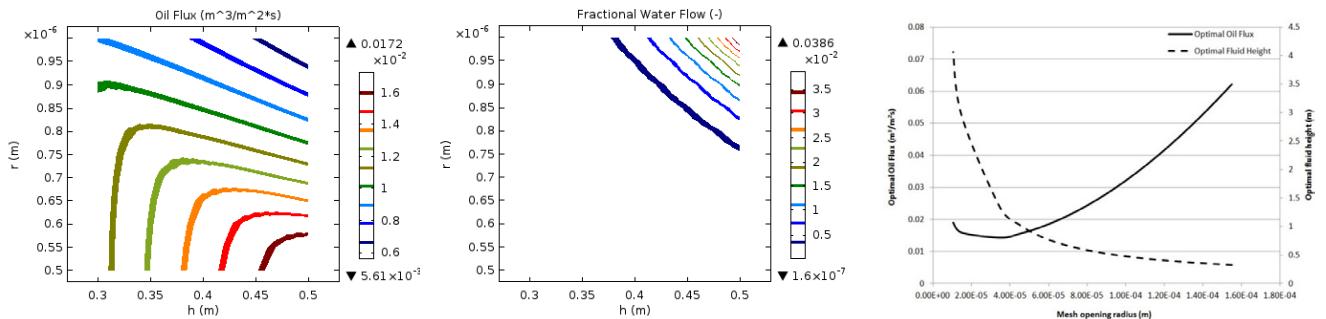


图3. COMSOL® 软件结果显示了油通量如何渗入网内（左）、水分分数随网线半径和水深的变化（中），多孔分析显示了流体高度、网眼半径及油通量之间的关系（右）。

件中,他们将网定义为一种多孔介质,并耦合两相流来表征穿过网的水和油。之后,Coene、Molinero 和 Silva 能够计算出含油饱和度、油和水的流量速率,以及渗入网内的油中含水的比例(见图 3 左及中部)。“这些结果有助于网眼半径尺寸的选择,特别是在设计用于特定深度的网时。”Molinero 评论道。

在研究最大油通量和最优流体高度的相关性后,他们还基于给定的最高含水比例在模型中运行了一个多孔分析(见图 3 右),最高水分数是指不需要再对原油进行处理时混合物中允许的含水量。

“我们可以从模型结果中提取不同网孔尺寸下的油通量及与期望的油纯度对应的最高液柱高度。”Coene 继续说,“例如,假设我希望将网用于水平面下至少半米处,并希望混合物中的水分最多为 1%,它就可以显示需要哪种网眼半径。”

⇒ 仿真 App 提供设计能力

借助 COMSOL 软件,我们可以轻松与他人共享仿真结果,而无需分享整个模型。“我们通过 COMSOL Multiphysics 中的 App 开发器将模型封装在一个定制的用户界面内。”Silva 解释说,“仿真 App 使我们能向用户分发仿真结果,而不必将整个模型交给他们。公司可以借

“借助 COMSOL 模型及基于模型开发的定制 App,我们终于在新型溢油清理技术的开发中取得了突破。”

— JORGE MOLINERO, AMPHOS 21 合作伙伴兼建模解决方案主管

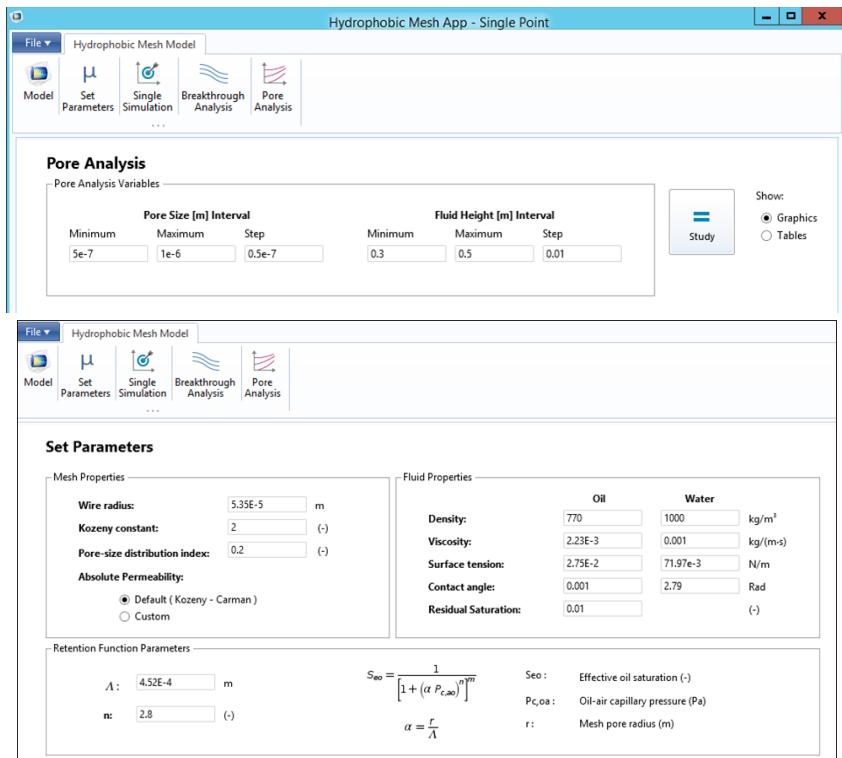


图 4. Amphos 21 疏水网 App 的部分界面截图,分别为多孔分析的输入项(上)、网格和流体属性(下)。

助这些 App 来减少实验次数、节省测试成本,他们可以只模仿网的一小部分,然后放大结果,最终设计出需要的产品。这是疏水网设计中一项非常有前景的进步。”

Amphos 21 的 App(见图 4)支持用户预测网的性能,并能通过更改网和流体属性来快速检查各种设计在不同工作条件下的表现。只要不到 30 秒,用户就可以对一系列的网眼尺寸和水深进行分析,并能基于给定的最高含水比例找出特定水深下的最佳疏水网。

App 还能够计算不同的网属性(比如绝对渗透率)和其他与突破压力相关的物理量,从而帮助设计人员选出能满足不同环境要求的理想选择。

“我们认为,对研发部门、环境团体及其他正在努力解决该问题的相关领域人员而言,这一方法会非常具有吸引

力。”Molinero 说,“借助 COMSOL 模型及基于模型开发的定制 App,我们终于在新型溢油清理技术的开发中取得了突破。”

接下来,他们会将制作好的 App 分发给工程师,实现对疏水网模型的大规模应用,由此,工程师将能针对给定情况设计出最理想的疏水网,最终通过部署这些新工具实现实时应用。❖



Amphos 21 的团队正在开发仿真 App。从左到右: Orlando Silva、Emilie Coene 和 Jorge Molinero。