

观测北大西洋湾流

佛罗里达海峡输运

佛罗里达海峡的海底电缆测量的输运可能是最好的和最连续的海洋输运记录，它在佛罗里达沿岸（迈阿密）到巴哈马（Bimini）之间，并已经被“修正”过（Baringer 和 Larsen, 2001, GRL, 3179-3182）。时间序列从 1982 年开始，在上述文献中一直到 1998 年。佛罗里达海流输运的日估计已经计算出很多年的（下面图 2），清晰的发现与北大西洋风驱动强度有关的年际变化（图中用到了 NAO 指数，见海洋环流课本，p139 中 NAO 示意图）。

考虑到版权，图片被删除。

这个输运量是用来评价所有海洋数值模式一个主要的“基准”：他们算的输运对还是不对？算出来同样的时间变化了吗？得到正确的季节循环了吗？可以看到输运的季节变化（见下面图 3，上述文献）

考虑到版权，图片被删除。

在这个记录的前半段和后半段表现出不同的年循环。年循环的振幅（2-3Sv.）和年际变化的振幅差不多。在这个纬度（26N，作业）的平均值（32.2Sv）比用 Sverdrup 输运算得稍大一点。这种差异一部分是由于一些流经佛罗里达海峡的水是从南大西洋热盐环流中来的，本课程之后会讨论。当靠近哈特勒斯角的时候 Sverdrup 平衡在中纬度不成立就更明显，如另一门“经典”研究中所示。佛罗里达海峡海流输运的测量已用“电缆”电压进行，因为带电微粒在地球磁场中的洛仑兹力使其运动向磁场的右方。磁场向上的分量使带正电的离子偏向流场右边，负离子偏向左边，使穿过海流存在潜在的不同，可以用潜艇电话电缆来测量（不再使用了！）。需要对海底处的电阻做一些修正，一旦做好了，电缆测量会提供最连续的海水输运测量。

湾流哈特勒斯角的输运

Halkin 和 Rossby（1985, JPO, 1439-1452）研究了 1980 年 9 月到 1983 年 5 月横截湾流的 16 个重复的断面，在湾流离开哈特勒斯角海岸的地方。他们用了仪器（Pegasus）本质上是一个声学轨迹探头，测量温度和压强，和轨迹上产生的水平速度。在一些预设的深度，这个仪器释放重物然后返回海表面，重新获得重物，并被船只在另一个地方的再次布放。这个工作得到这样几件事：流向平均的重要，上 2000 米总输运，流入湾流的流，增加了下游的流

量。下图是流平均的示意图（我们将在课堂上讨论）。

考虑到版权，图片被删除。

应用了沿流向的坐标系，来模拟湾流的结构，不考虑断面和流间的夹角，也不考虑断面上不同地点上最大速度的位置。下图展示了测量的平均速度和温度，之后是沿流向的坐标系的平均特性。

考虑到版权，图片被删除。

沿流向的平均得到了更强的流动（比较中间的图与上面两张图）和流动在断面有面夹角的有趣的结果（下图），显示出两面都有流入湾流的流动，下游增加的流量大约为 15Sv 每 100km 距离。上 2000 米总的输运大约为 88Sv，整个水柱为 94Sv。可以看到，这个输运远远超过了 Sverdrup 算得的佛罗里达海峡输运。湾流两侧流入的流动是由于湾流两侧的两个旋转方向相反的涡旋。这被称为回流，因为流动被限制在湾流北面和南面的区域。

在我们有这些研究之前，另一个“长”时间的湾流测量在 68W，上述哈特勒斯断面（73W）的更下游，这次用的是锚定一起，而不是从科考船上扔下的探头。数据用相同的方法来处理（定义了沿流向的坐标系）结果由 Johns 等发表（1995, JGR, C1, 817-838）。有从 1988 年 6 月到 1990 年 8 月两年多的记录。令人惊讶的图片（见他们的图 9）显示在哈特勒斯的结构在下游又重现了，量处海流的宽度是一样（160km）。但是海表最大流速增加了，流的深度也增加了，一直到还都可见（>4000 米）。68W 断面的总输运是 113Sv，大约比 73W 处大 20Sv。

更下游（60-65W）湾流达到了它的最大流量，大约 150Sv，然后流量开始减少。造成这种输运变化的流动不是风生环流而是非线性的现象，由于在湾流处 Rossby 数变得显著，平稳的和依赖于时间的流动都对这个环流有贡献；这超出了我们目前考虑的简单动力学。这个区域的强涡旋是造成平均流变大的一个机制。事实上，Hogg（1992, Deep-Sea Research, 39, 1231-1246）所示输运结构示意图中大部分输运可能是涡驱动的。

考虑到版权，图片被删除。

上图中（摘自 Hogg 一文），这两个回流在湾流的两侧。在北边，北回流（NRG）由地形限制，位于哈特勒斯角东北的坡水和 Grand Banks 后面之间。在南面，南回流（SRG）一般归因于瓦尔 沃辛顿（沃辛顿环流或 WG），不总是固定的，但被限制在马尾藻海北部。NRG 沿着逆时针流动，SRG 顺时针转动。这些环流有很强的正压和斜压信号：从海表延伸到海底。尽管是在北大西洋定义的，在所有海盆的西边界流中都有，但有小的变动，它们的存在都是由于强的涡旋运动来产生它们。在这个情况下，涡旋不只能耗散海流平均流动，也

能产生它们！

在湾流区发现的一种重要的涡是湾流环，成为一个环是因为，湾流的流动形成了弯曲，在两侧收成了两个大涡。有代表性的，湾流这个区域每年要形成 4-6 个这样的涡，能够存在超过一年。在海流北边的涡（暖核环）的生命期比南边的冷核环要短。