

研究简报

窄急流模式在黑潮双流态中应用的进一步研究*

董昌明 张庆华

(国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266003)

提要 日本南部黑潮处于半封闭的海域,是一种下游受伊豆诸岛约制的强迫急流,本文在 Masuda 工作基础上讨论两种边界条件:解出了最终路径曲线,由两种边界条件结果的比较可知,选取第二种边界条件结果更符合实际;与无外强迫的解对照,说明了伊豆诸岛在双流态形成中的贡献。这两方面结论都反映出局地效应和非线性效应对双流态形成的重要作用。

关键词 双流态 局地效应

黑潮在日本以南出现了两种准稳定的路径(双流态):弯曲路径和平直路径。自70年代以来,许多海洋学家对这一现象作了动力学研究,其中一种研究方法是运用 Robinson 等(1967)导出的窄急流模式(thin-jet Model),将黑潮看作海洋中急流体处理,讨论其路径的变化。Robinson 等(1972)和 Masuda(1982)(以下简称M文)将窄急流模式运用到黑潮双流态的研究中。前者是运用数值方法讨论地形的影响,后者将路径方程作一系列简化后,获得解析解。Masuda 在简化的基础上仍然获得双流态,这说明其简化(包括忽略地形)后的方程仍包含了形成双流态的物理机制,这正是 Masuda 工作值得我们进一步研究的物理基础所在。但是他的工作没有给出最终路径方程的解,即 $x-y$ 关系图,这一点使得他无法判断最后解与实际相符的程度,也就无法判断其选择的边条件的正确与否。也许正因为如此,他没有充分讨论各种边界条件的作用。由本文得出的结果我们可以看到 Masuda 未讨论的一种情形更接近实际状态。

目前对黑潮双流态形成机制的解释存在着局地和非局地两种观点。本文试图通过对窄急流模式在黑潮双流态中应用的进一步讨论,和与无下游约束的自由急流解的对照,阐述局地效应在形成双流态中的作用。

1 简化的窄急流模式

简化的窄急流模式如M文(2.4)式所示。

由于日本以南黑潮上游入口在吐噶喇海峡,其多数路径在伊豆诸岛北端离开日本南部海域(孙湘平等,1987),因而将坐标系原点取在吐噶喇海峡,上下游边界条件分别为:

(i) $x = 0, y = 0$;

(ii) $x = 1, y = y_1$ (水平方向用吐噶喇海峡到伊豆诸岛的距离作为水平特征尺度);

* 国家自然科学基金资助项目,49136140号。董昌明,男,出生于1967年3月,博士,助研。

收稿日期:1993年8月11日,接受日期:1994年4月11日。

$$(iii) \theta|_{s=0} = \theta_0; \quad (iv) \left. \frac{d\theta}{ds} \right|_{s=0} = k_{00}$$

将坐标原点取在入口, 上游条件 (i) 是自然满足的, 于是整个边界条件可能的取法有两种:

$$1) \begin{cases} \left. \frac{d\theta}{ds} \right|_{s=a} = k_0 \\ x = 1, y = y_1 \end{cases} \quad 2) \begin{cases} \theta|_{s=0} = \theta_0 \\ x = 1, y = y_1 \end{cases} \quad (1)$$

2 两种边值问题的求解

简化的窄急流路径方程的通解如M文(3.3), (3.4), (3.5)式所示。下面分别讨论两种边界条件。

2.1 第一种边界条件 这正是M文所讨论的问题。这里取 $y_1 = 0.33$, 绘出路径曲线 $x-y$ 如图 1a, 图 1b 所示。

2.2 第二种边界条件 $\theta|_{s=0} = \theta_0$, 由M文(3.3)式 $\sin \frac{\theta}{2} = k \operatorname{sn}(c)$ (2)

当 $y = y_1$, 存在 S_0 , 满足:

$$as + c = 4nK(k) + S_0 \quad (3)$$

将(3)式代入M文(3.4)式得:

$$y = -\frac{2k}{a} [cn(s) - cn(c)] \quad (4)$$

根据 $x = 1$, 由M文(3.5)式得:

$$\frac{4n}{a} (2E(k) - K(k)) + \frac{1}{a} [(2E(am(S_0), k) - S_0) - (E(am(c), k) - c)] = 1 \quad (5)$$

下面讨论 $\theta_0 = 0$ 的特殊情形, 当 $\theta_0 = 0$ 时, 由(2)知 $c = 0$, 于是(4), (5)式化为:

$$y_1 = -\frac{2k}{a} [cn(S_0) - 1] \quad (6)$$

$$a = 4n(2E(k) - K(k)) + [2E(am(S_0), k) - S_0] \quad (7)$$

$$(1) y_1 = 0 \text{ 时, 由(6)得 } S_0 = 0, \text{ 代入(7)式得: } a = 4n(2E(k) - K(k)) \quad (8)$$

此为 a, k 关系式。但这种情形不是我们讨论日本南部黑潮所感兴趣的, 故不作讨论。

(2) $y_1 \neq 0$, 由(6)式知 S_0 的变化范围为 $0 < S_0 < 4K$ (一个周期), 由(6), (7)联立, 令 S_0 由 0 变到 $4K(k)$, 由两式交点轨迹得到 k 与 a 关系, (如图 2)。取 $y_1 = 0.33$, 对图 2 作一些分析。

令 a 值逐渐增大时, 即速度减小, 当落在 T 以下时, 对应 k 值在 $n = 0$ 曲线上, 此时路径曲线 $x-y$ 如图 3a 所示, 为平直路径; 当超过 T , 对应 k 值跳跃到曲线 $n = 1$ 上, 此时对应路径曲线如图 3b, 为弯曲路径。

3 讨论

比较一下由两种边条件得出的路径(图 1、图 3), 可以看到图 1b 的弯曲路径在 $x = 0$

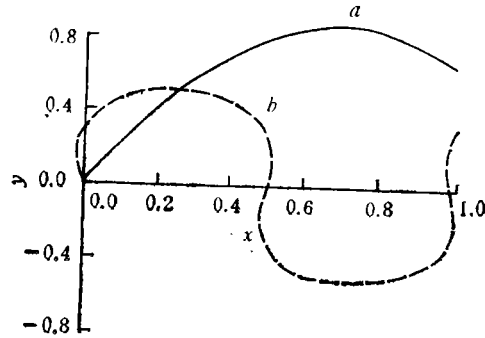


图 1 第一类边界条件下 x 和 y 关系图 (路径图)
Fig.1 Distribution of x and y (path) for the first kind of boundary condition
— $a < T$; --- $a > T$.

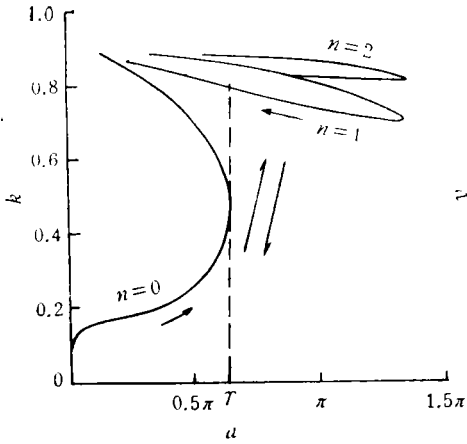


图2 第二类边界条件下 a 和 k 关系图

Fig.2 Distribution of a and k for the second kind of boundary condition

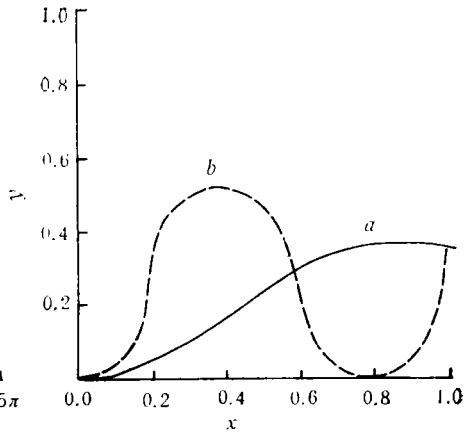


图3 第二类边界条件下 x 和 y 关系图

Fig.3 Distribution of x and y (path) for the second kind of boundary condition
a. $a < T$; b. $a > T$.

附近向西突出(出现 $x < 0$ 的解),另外向南弯曲的弯幅过大,超过 $y = 0$ 轴,这两点与实际弯曲路径是不相符的。图 3b 中没有这种情形出现,其弯曲和平直路径与观测情形基本相符(见M文图 1),这说明选取第二种边条件更符合实际。

当黑潮从吐噶喇海峡进入日本南部海域时,在 $x = 0$ 处即受到科氏力的作用。即要求 θ 在 $x = 0$ 处有非零的变化率,故 $\left. \frac{d\theta}{ds} \right|_{s=0} = 0$ 从物理意义上讲是不适当的; θ 的变化与科氏力作用有关,而科氏力与速度成正比,因而当我们讨论将速度作为参数变化时(即 a 变化), $\left. \frac{d\theta}{ds} \right|_{s=0} = k_0$ 为常数的取法也是不妥当的。而 $\theta|_{s=0} = \theta_0$ 则不存在上述不恰当性。上述这种上游边条件的改变导致的物理结果的变化反映出黑潮双流态对局地效应的响应。

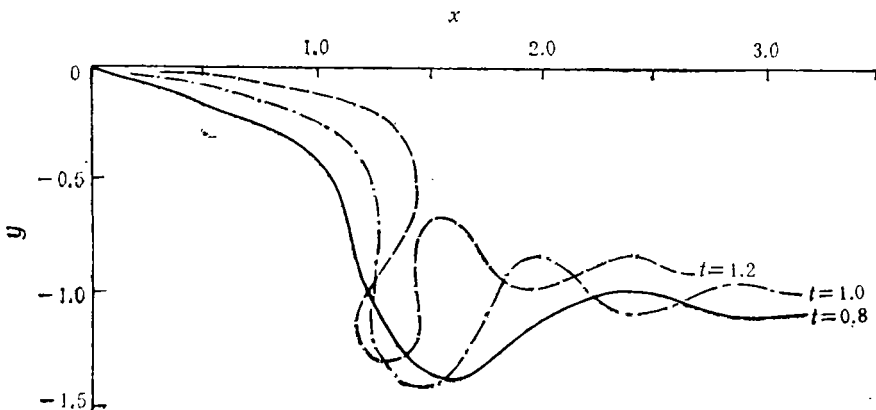


图4 无下游约束的自由急流路径

Fig.4 The paths of free jet with no limit downstream

从上面我们看到存在下游约束的解,当解除下游约束时会出现什么情况呢?Robinson等(1975)讨论了自由急流(无下游约束)的解。考虑定常情形,即时间导数项为零,忽略地形,则该文(4.4)式退为本文的模型方程,这里引用其解如图4所示,可以看出无下游约束时路径呈现剧烈“抖动”,扭曲,没有出现规则的双流态现象。这与有下游约束的解比较可以看到边界约束的强烈影响。

由上述两方面可以看到,局地效应在黑潮双流态形成中的重要作用。

参 考 文 献

- 孙湘平、王元培、袁启科,1987,黑潮下游段表层流路(途径)的初步分析,黑潮调查论文选(一),海洋出版社(北京),1—14。
- Masuda, A., 1982, An interpretation of the bimodal character of the stable kuroshio path, *Deep Sea Res.*, **29**:471—484.
- Robinson, A. K. et al., 1975, On the theory of thin rotating jets: a quasigeostrophic time dependant model, *Geoph. Fluid Dyn.*, **6**:211—244.
- Robinson, A. R. and Niiler, P. P., 1967, The theory of free inertial currents I. path and structure, *Tellus*, **19**:269—291.
- Robinson, A. R. and Taft, B. A., 1972, A numerical Experiment for the Path of the Kuroshio, *J. Mar. Res.*, **30**:65—101.

ON FURTHER APPLICATION OF THE THIN-JET MODEL INTO THE BIMODALITY OF KUROSHIO

Dong Changming, Zhang Qinghua

(First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266003)

ABSTRACT

Flowing in a semi-enclosed sea, the Kuroshio south of Japan is a jet forced by Isu Islands downstream. Based on Masuda's work, the present paper discusses two kinds of boundary conditions, $\left. \frac{d\theta}{ds} \right|_{s=0} = k_0$ and $\theta|_{s=0} = \theta_0$, for the path curves, study of which show that the second one is more resonable than the first one. Comparison of the results with the force of Isu Islands and with no force downstream reveals that attribution of Isu Islands as the downstream external forece leading to the formation of the bimodality is important. The results of study on the above two aspects reflect that both the local factor and nonlinearity exert important effects on the formation of the bimodality of the Kuroshio south of Japan.

Key words Bimodality Local factor