

答复审稿人 1:

作者已经根据审稿意见对全文进行了修改，文章质量有了显著提升，但是仍有以下两点建议供作者参考：

**答复：**非常感谢宝贵建议。论文根据建议进行了仔细修改，以下是逐点的详细答复。

1. 作者在介绍简化模式结果时，提到简化模式目前主要应用于讨论热盐环流的平衡态、稳定性和多百年变化两方面的问题，但是二者间有何联系？

**答复：**它们之间是有显著差别的。事实上是 3 个非常不同的问题，但都是很重要的问题。

热盐环流的平衡态问题的提出基于以下的假设：即热盐环流可能有多个平衡态，现今的热盐环流的只是一种平衡态而已。在强的外部强迫的情况下，热盐环流可以迁移到另外的平衡态。如较近期的末次最大冰期（LGM），那时的热盐环流被认为可能处于关闭状态，即处于另外的一种平衡态。在侏罗纪时代，地球处于一个非常温暖的时期，那时的热盐环流可能比现在强很多，也是一种平衡态。在更早期的 10 亿年前，有所谓的“冰雪地球”状态，热盐环流是否存在还不清楚。不管怎么说，这几种平衡态之间的具有巨大的差别，需要非常强的外部强迫的改变才能导致不同平衡态之间的迁移。

热盐环流的稳定性问题探讨的是：在外部强迫逐渐改变的时候，热盐环流是如何改变的。当外部强迫达到一定程度后，热盐环流是否会进入到另外一个平衡态。

关于热盐环流的多平衡态和稳定性的研究非常非常多。在热盐环流理论的建立之初，这两个问题就一直是海洋学家研究的核心问题之一。所以本文无意在这方面再画蛇添足。

我们关心的是在一个稳定的热盐环流背景下，热盐环流本身的内部变率的问题，特别是它的多百年际内部变率。从全新世中期到现在，地球整体气候是非常稳定的。大西洋热盐环流的强度大概在 18-22 Sv 之间变化，其变动范围大约不超过其平均值的 10%。我们想搞清楚这种内部振荡产生的机制，时间尺度由什么物理过程来决定。这与热盐环流平衡态及稳定性之类的问题完全不一样。平衡态及稳定性的外部强迫机制是已知的，也不涉及时间尺度的问题。在热盐环流长期内部低频变率研究中，多百年际变率又是研究得最少的。其原因在正文中已有说明。热盐环流的年代际及多年代际研究研究得非常多，不是本文关注的重点。

2. 另外，以往关于热盐环流长期变率的研究，很多集中于 60-80 年周期，作者这里讨论的是多百年尺度变率。作为综述性文章，建议作者对两者的时空特征和物理机理最进一步的对比分析。

**答复：**非常感谢您的建议。热盐环流年代际及多年代际变率有大量的研究，也有很多综述性文章。本文无意在这方面画蛇添足，否则本文的主题将不能聚焦。如以下工作对太平洋年代际变率和大西洋热盐环流多年代际变率的综述：

1. Yang, H. and Q. Zhang, 2003: On the decadal and interdecadal variability in the Pacific Ocean. *Adv. Atmos. Sci.*, 20(2), 173-184.
2. Liu Z., 2012: Dynamics of Interdecadal climate variability: a historical perspective. *J Clim.* 25(6): 1963–95. <https://doi.org/10.1175/2011jcli3980.1>.
3. Liu Z. and E. Di Lorenzo, 2018: Mechanisms of predictability of Pacific Decadal variability. *Current Climate Change Reports*, 4(11): 1-17. Doi: 10.1007/s40641-018-0090-5.
4. Li S., Y. Wang and Y. Gao, 2009: A review of the researches on the Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) and its climate influence. *Transactions of Atmospheric Sciences*. 32(3), 458-465.
5. Buckley M. and J. Marshall, 2016: Observations, inferences and mechanisms of the Atlantic Meridional Overturning Circulation: A review. *Review of Geophysics*, 54, 5–63, doi:10.1002/2015RG000493
6. Zhang R., Sutton R., Danabasoglu G., Kwon Y.-O., Marsh R., Yeager S. G., et al., 2019: A review of the role of the Atlantic Meridional Overturning Circulation in Atlantic Multidecadal Variability and associated climate impacts. *Reviews of Geophysics*, 57, 316 – 375. <https://doi.org/10.1029/2019RG000644>.

热盐环流的多百年际变率问题是最近一两年才得到关注，所以本文的综述只能是提出问题，并不能回答这方面的重要研究进展，因为严格来说，暂无重要进展，因此对多百年际变率的时空特征、物理机制暂无太多可说之处。

**编辑意见:**

1. 文中图 2 涉及的地图建议更换为表格表述, 以免出现地图错误;

**答复:** 修改稿图 2 已改。

2. 扩充文章的英文摘要至 600 词左右, 不限于对中文摘要的翻译, 可稍详细的介绍研究的方法, 结果和结论。

**答复:** 英文摘要扩充到将近 500 字。