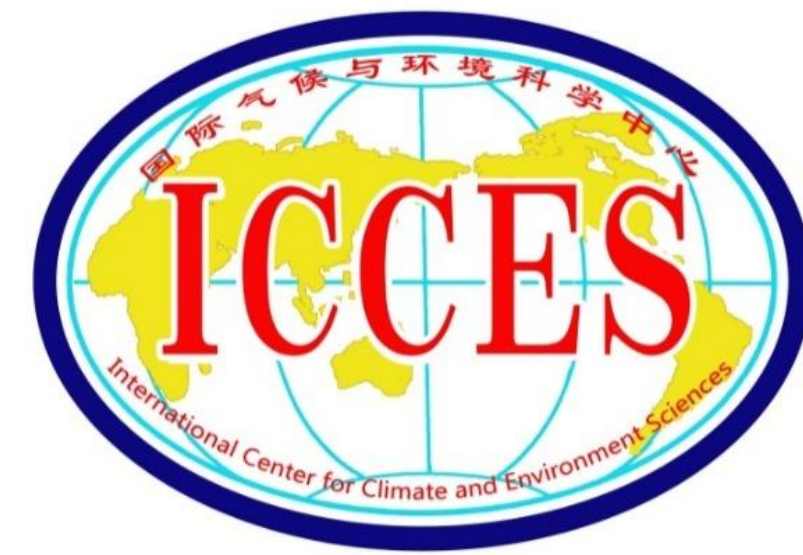




CAS-ESM2大气CO₂全耦合模拟研究

朱家文¹ 何卷雄^{1*} 纪多颖² 李阳春¹ 张贺¹ 张明华³ 曾晓东¹ 费可测¹ 靳江波¹

¹中国科学院大气物理研究所, ²北京师范大学, ³Stony Brook University



研究背景

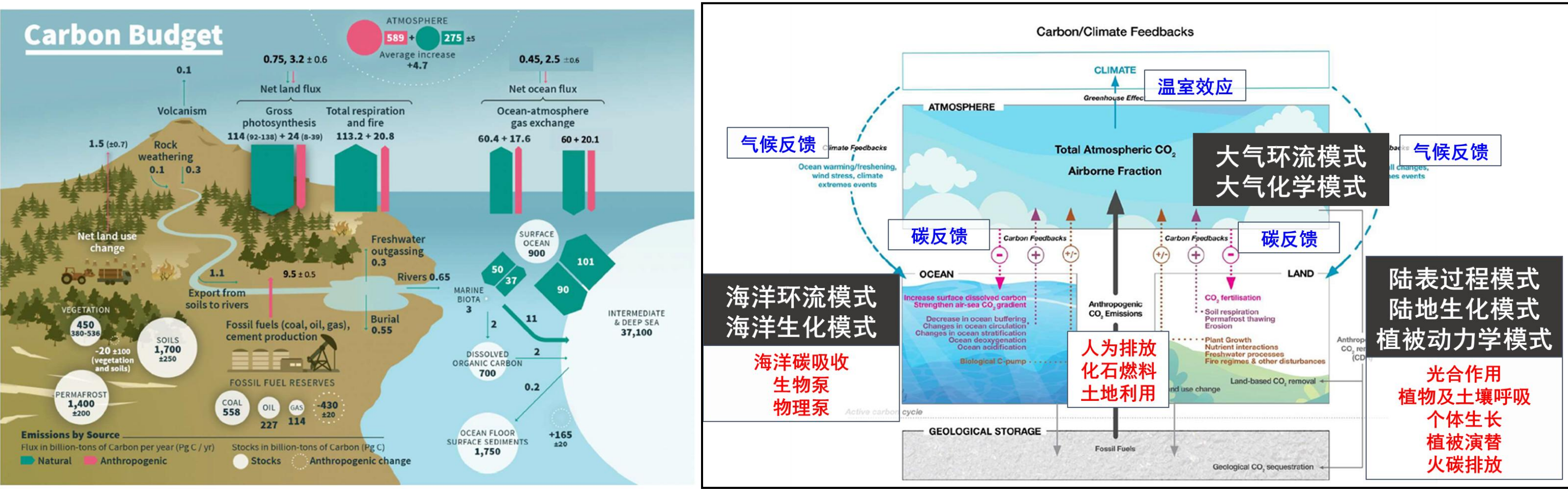


图1 全球碳循环过程 (IPCC, 2021)

图2 地球系统模式碳循环-气候耦合示意图 (IPCC, 2021)

- ◆ 大气CO₂是导致全球变暖的关键温室气体，它涉及碳循环和气候的多尺度相互作用，是全球气候与生态环境研究的核心之一
- ◆ 地球系统模式可以通过把碳循环和气候系统耦合来研究碳循环-气候的相互作用过程和机制，是研究大气CO₂变化及影响的重要工具
- ◆ 但是，目前实现碳循环-气候全耦合的地球系统模式还比较少，且模拟结果存在很大的不确定性。因此，发展具有自主知识产权的碳循环-气候全耦合的地球系统模式具有重要研究意义

CAS-ESM2简介

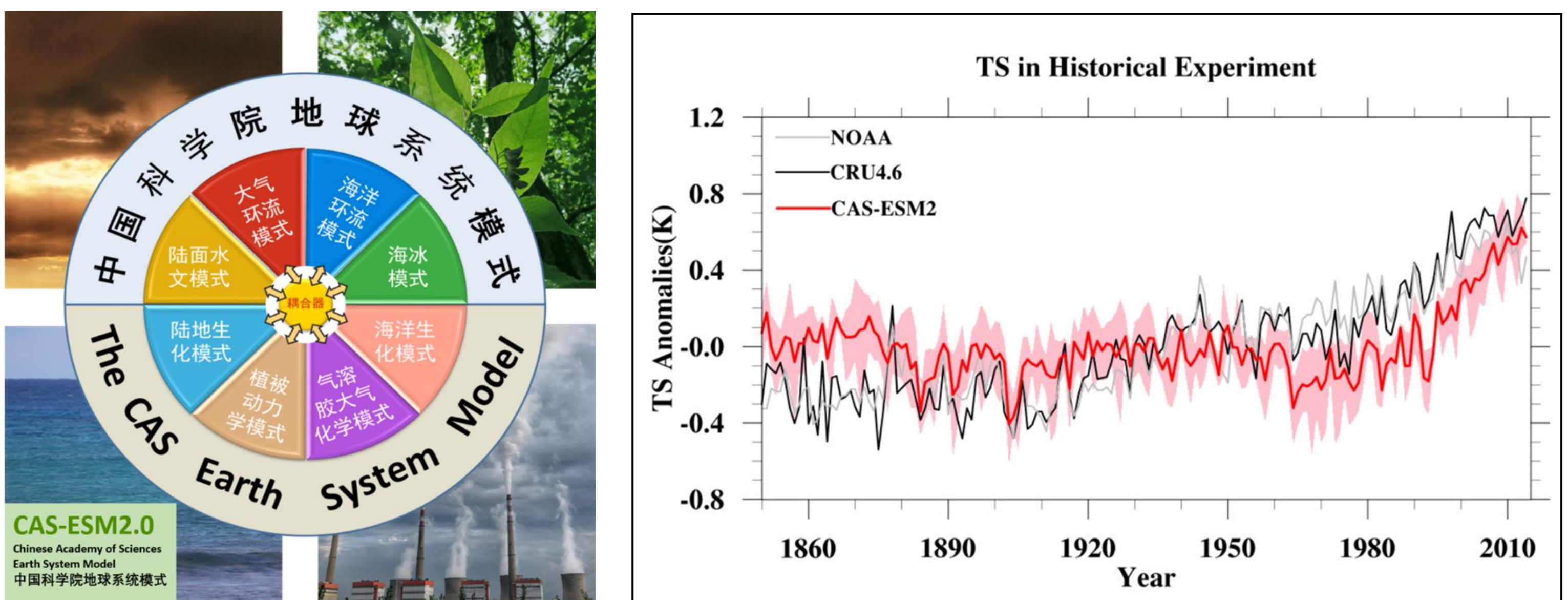


图3 CAS-ESM2框架示意图

图4 CAS-ESM2参加CMIP6模拟的地表气温 (Zhang et al., 2020)

- ◆ 中国科学院地球系统模式 (CAS-ESM) 是我国具有自主知识产权的地球系统模式，主要包括8个分量模式和一个耦合器
- ◆ CAS-ESM2已经完成CMIP6核心试验的模拟和数据提交，且能够很好的模拟气候系统的历史变化及响应

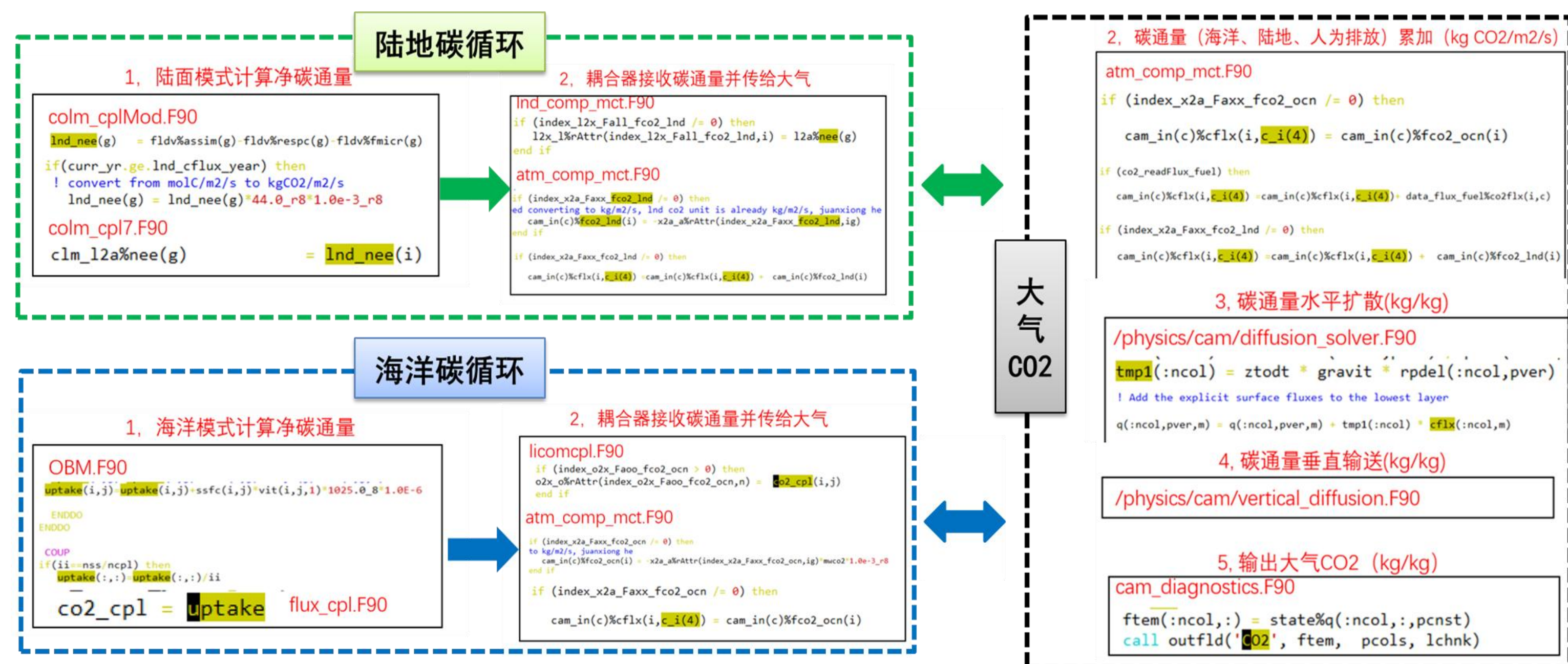


图5 CAS-ESM2大气CO₂-碳循环双向耦合示意图

- ◆ CAS-ESM2已经成功实现大气CO₂与陆地碳循环、海洋碳循环的双向耦合，且能计算大气CO₂的时空变化

试验设计

试验名称	大气CO ₂	大气模式	陆地模式	动态植被模式	海洋模式
B1850_CO2C	模式计算	IAP-AGCM5.0	CoLM	IAP-DGVM1.0	LICOM2.0
B20TR_CO2C	模式计算	IAP-AGCM5.0	CoLM	IAP-DGVM1.0	LICOM2.0

- ◆ B1850_CO2C : CO₂排放驱动的工业革命前试验 (1850年)
- ◆ B20TR_CO2C : CO₂排放驱动的历史试验 (1850-2014年)

模拟结果

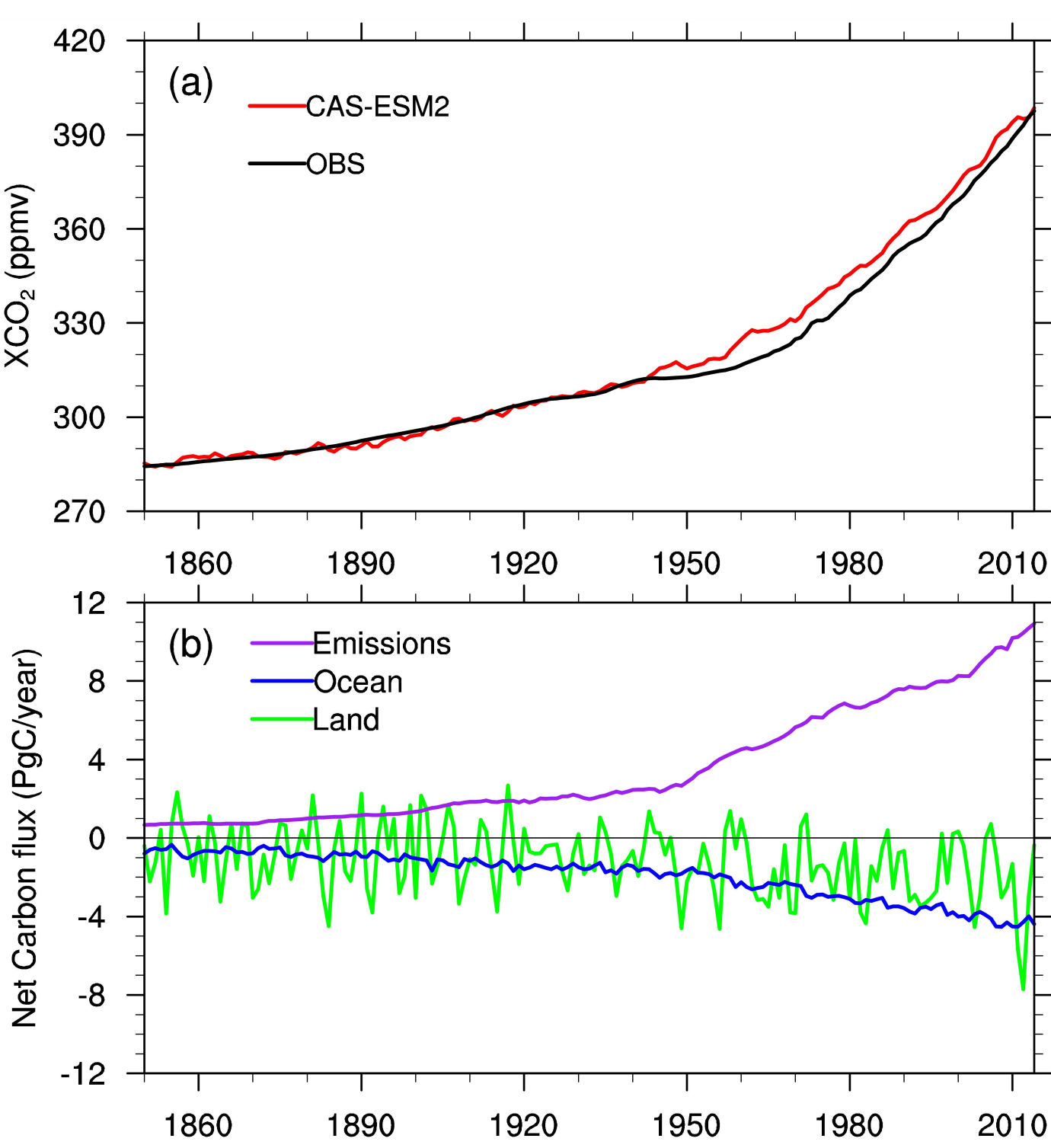


图6 (a) 全球平均的大气CO₂浓度 (单位: ppmv); (b) 下垫面净碳通量 (单位: PgC/yr)

- ◆ CAS-ESM2能够准确模拟出两个基准站大气CO₂的历史增加趋势，模拟的2014年CO₂浓度分别是399.84 ppmv (BRW)，398.02 ppmv (MLO)，非常接近观测 (400.31 ppmv, 399.81 ppmv)
- ◆ CAS-ESM2模拟的两个基准站大气CO₂季节变化与观测结果整体一致，但在季节变化幅度等方面也存在差异

- ◆ CAS-ESM2能够准确模拟出全球平均大气CO₂的历史增加趋势，模拟的2014年CO₂浓度是398.50 ppmv，非常接近观测值397.55 ppmv
- ◆ CAS-ESM2能够合理模拟出历史时期陆地和海洋净固碳量的增加趋势，这主要是由大气CO₂浓度增加引起的施肥效应所致

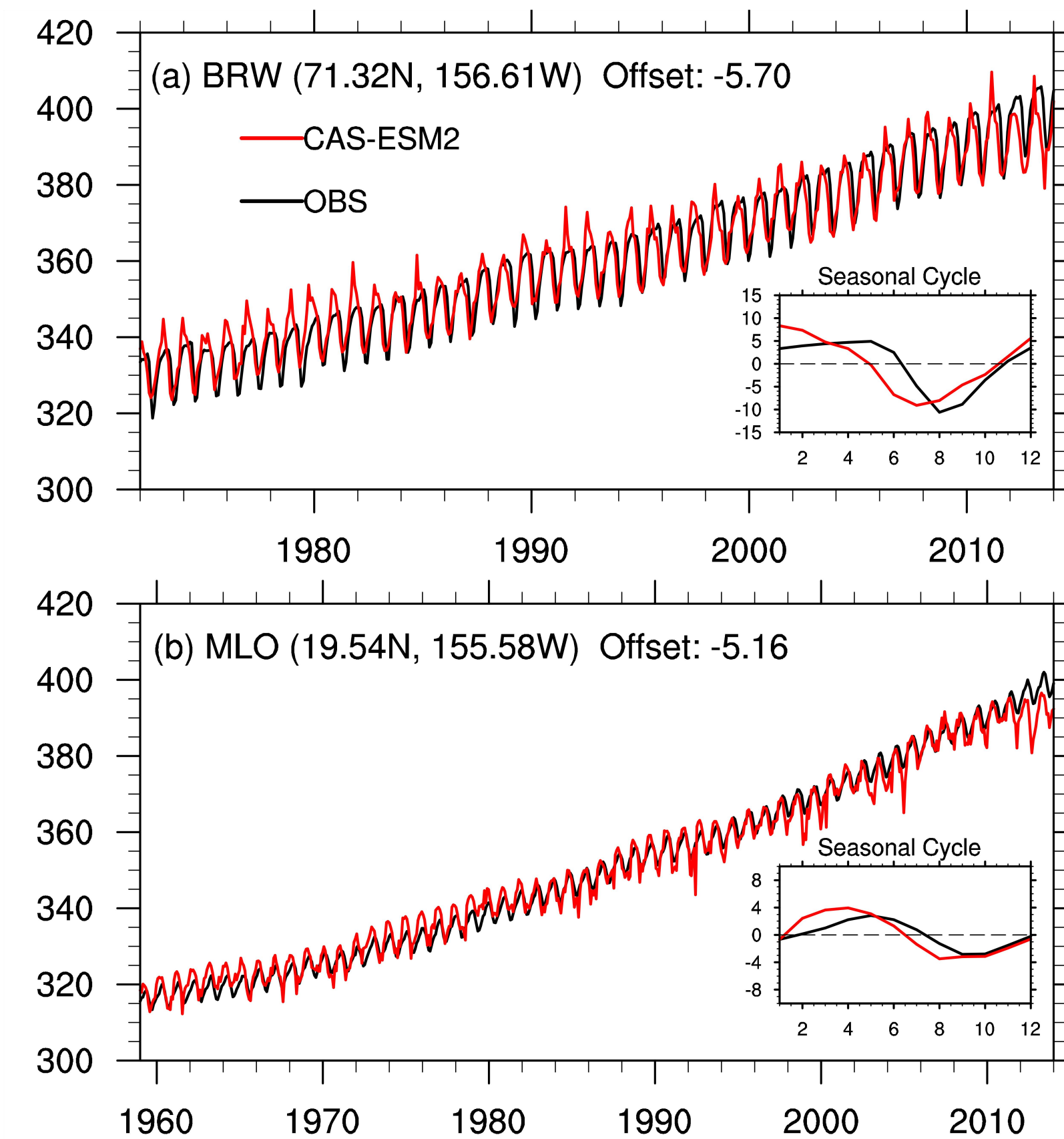


图7 CAS-ESM2模拟的和观测的在站点 (a) Barrow和 (b) Mauna Loa的大气CO₂浓度 (单位: ppmv)

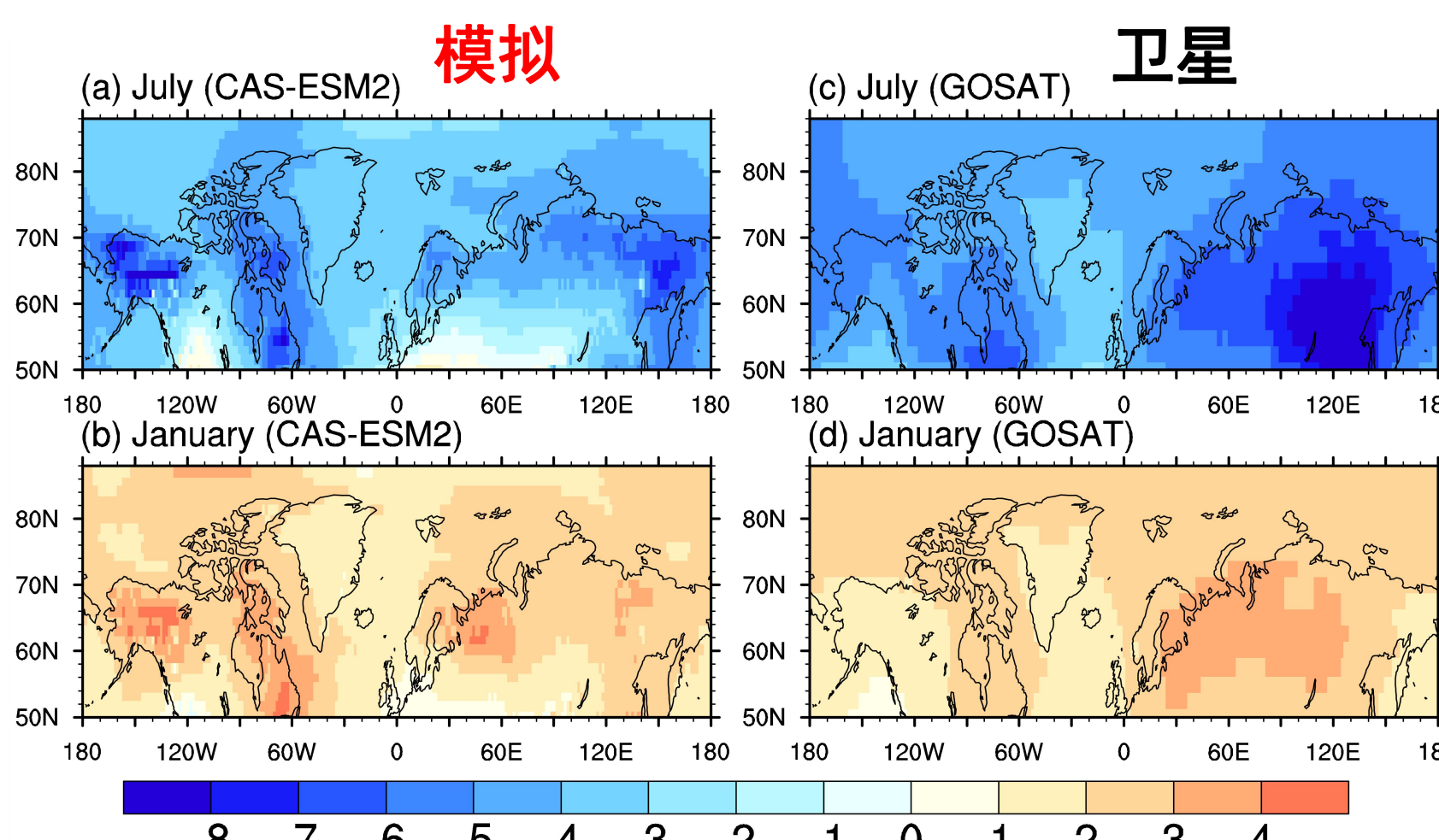


图8 (a) - (b) CAS-ESM2模拟的7月和1月500hPa以下大气CO₂在北半球高纬度的空间分布; (c) - (d) 是对应GOSAT卫星产品的结果。数据是相对年平均的异常，单位: ppmv

- ◆ CAS-ESM2能够正确模拟北半球高纬度大气CO₂夏季低、冬季高的基本特征，这主要与陆地生态系统季节性生长有关
- ◆ CAS-ESM2模拟的北半球高纬度大气CO₂空间形态与GOSAT卫星产品存在一定的差异，这说明不确定性仍存在

总结

- ◆ CAS-ESM2已经成功实现大气CO₂与陆地碳循环、海洋碳循环的双向耦合，且能计算大气CO₂的时空变化
- ◆ CAS-ESM2完成了CMIP6大气CO₂排放驱动工业革命前试验和历史试验，能够准确模拟出历史时期全球平均大气CO₂的增加趋势以及陆地、海洋净固碳量的增加趋势
- ◆ CAS-ESM2能够合理模拟出两个基准站及北半球高纬度地区大气CO₂的季节变化形态，但不确定性仍存在
- ◆ 实现CAS-ESM2大气CO₂全耦合模拟具有重要的应用价值：研究碳循环与气候的相互作用过程和机制；科学支撑“双碳”战略国策

参考文献

Jiawen Zhu, Juanxiong He*, Duoying Ji, Yangchun Li, He Zhang, Minghua Zhang, Xiaodong Zeng, Kece Fei, Jiangbo Jin, 2023: CAS-ESM2 successfully reproduces historical atmospheric CO₂ in a coupled carbon-climate simulation. Advances in Atmospheric Sciences, under second review (minor revision).