

**编者按** 本刊近期与美国物理学会的著名杂志 *Physics Today* 达成协议, *Physics Today* 编辑部授权《物理》编辑部摘译或改写其部分文章同期刊登. 为此我们新开辟了这一栏目, 从 *Physics Today* 杂志上精挑细选文章, 请相关领域专家编译后奉献给读者, 期待这样的合作能为读者提供今日物理学进展更丰富的信息.

## A-Train 系列卫星对大气的监测研究计划

2010年7月出版的 *Physics Today* 杂志上刊登了两位大气科学领域的科学家综述性论文, 介绍 A-Train 系列卫星对地球气候系统的监测<sup>[1]</sup>. 从21世纪初到现在, A-Train 已在监测水循环和大气中温室气体浓度等方面取得重要研究进展. 论文第一作者 Tristan L'Ecuyer 是美国科罗拉多大学大气科学系的科学家, 第二作者 Jonathan Jiang 博士来自于加州理工学院喷气推动实验室.

大量的研究表明, 人类活动显著地影响气候变化. 政府间气候变化专门委员会(IPCC)2007年出版的第四次气候变化评估报告指出, 在未来的100年内, 由温室气体浓度增加导致的全球温度升高可达2—5°C<sup>[2]</sup>. 目前的气候预估表明, 区域气候也将发生显著改变, 例如降水频率和强度变化、地表植被变迁以及海平面上升等. 有些变化已非常明显, 很多冰川尺度已急剧缩小, 夏季北极冰盖也迅速消融, 自工业革命前至今海平面已上升了20cm. 未来气候变化的预估主要依赖于气候模式, 科学家们对基本物理过程的认知决定着气候模式的精度, 因而当前的气候变化预估还存在很大的不确定性, 尤其是在区域气候变化方面<sup>[3]</sup>.

气候模式发展的核心问题是如何准确地模拟全球水循环过程以及大气、地表、太空三者之间的能量交换. 反过来, 全球能量和水循环的变化与大气和海洋环流的变化密切相关, 云和降水与大尺度大气和海洋环流耦合, 通过重新分配大气的能量而影响区域气候. 目前气候预估的最大不确定性来源于云对温室气体和气溶胶辐射强迫的响应与反馈<sup>[4]</sup>, 也就是在温室气体和气溶胶影响气候变化的同时, 大气成分浓度和分布会随气候变化而变化. A-Train 系列卫星连续观测的目的在于帮助了解复杂气候系统中大气成分变化以及能量交换和水循环等重要过程.

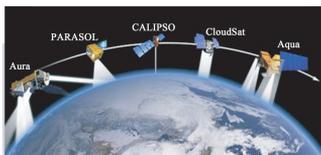


图1 2006—2009年间 A-Train 系列卫星包括5颗卫星和多种观测仪器

A-Train 监测研究计划始于本世纪初, 是美国航空航天局(NASA)的一个地球系统观测计划, 主要测量全球水循环和大气成分. 加入该计划的5颗卫星是 Aura, PARASOL,

CALIPSO, CloudSat 和 Aqua, 如图1所示. 这5颗卫星的运行轨迹一致, 都是太阳同步卫星, 均于当地下午过境, 前后过境时间不超过15分钟. 5颗卫星携带的仪器能测量多个波段的信号, 观测角度和浏览方式也不完全相同, 同时含有主动和被动遥感, 提供广泛详细的气候参数信息<sup>[5]</sup>. Aura 卫星主要测量温室气体的时空分布和垂直廓线<sup>[6]</sup>. PARASOL 卫

星反演的产品有气溶胶颗粒大小、形状和化学组成. CloudSat 和 CALIPSO 利用主动雷达和激光雷达观测气溶胶和云层的垂直结构. Aqua 不仅观测与全球水循环相关的重要参数(例如温度廓线、水汽、地面降水), 还观测影响全球辐射收支的云参数、气溶胶浓度以及大气顶端辐射通量.

A-Train 系列卫星提供全球尺度的观测, 且气候系统重要参数的观测也设计为互相补充. 其成功与重要成就体现在如下几个例子上:

(1) A-Train 卫星观测到了2007年9月北极海冰面积达到430万平方公里的历史最低纪录. 自1979年有卫星观测以来, 北极海冰面积每年以60000平方公里的速度缩减. A-Train 的多项观测表明, 2007年北极海冰的迅速融化与夏季少云的晴天日数增多所导致的反馈过程有关<sup>[7]</sup>. 晴天日数增多, 增加了到达地面的太阳辐射, 不仅使海洋附近地表增温, 还使大气温度升高, 相对湿度减小, 进一步加速了海冰的融化<sup>[8]</sup>.

(2) 目前气溶胶的气候效应研究还有很大的不确定性和挑战性. 一方面, 气溶胶的气候效应与气溶胶成分有关. 散射性气溶胶(如硫酸盐、硝酸盐、铵盐和有机碳)能将太阳光反射回外空, 有致冷效应, 而吸收性气溶胶(如黑碳和沙尘)会导致气候变暖. 另一方面, 气溶胶的气候效应与云有关, 气溶胶作为云凝结核, 影响形成的云的辐射效应、云的寿命和水循环<sup>[9—11]</sup>. A-Train 观测发现, 当云覆盖度小于40%时, 生物质燃烧气溶胶对地球起净冷却作用, 反之则起加热作用<sup>[12]</sup>. A-Train 的多种观测可得到云对气溶胶浓度变化的总体响应. 对于水云的观测研究发现, 小颗粒气溶胶粒子浓度高的区域对应着较小的云滴半径、较高的云反照率和较低的降水频率<sup>[13]</sup>. 而对于冰云, 若以 Aura 观测 CO 数据代表生物质燃烧气溶胶, 通过与 Aqua 观测的云参数比较, 科学家们发现南美旱季污染的冰云云滴有效半径较小, 降水受抑制<sup>[14]</sup>.

(3) 气候预估方面, A-Train 的观测可为评估气候模式模拟的能量、水循环、大气成分和传输等方面提供宝贵数据. 模式以前不能准确模拟赤道高层卷云的含冰量<sup>[15]</sup>, 而 A-Train 对云体温度、含冰量和含水量的测量可改进大尺度模式中卷云形成的参数化过程. 不仅如此, A-Train 的观测资料可得到百公里尺度的云特性与周围环境的定量关系<sup>[16]</sup>. A-Train 还测量了臭氧的耗损和极区平流层的云, 有助于评估模式中极地过程对臭氧形成的影响<sup>[17]</sup>.

A-Train 系列卫星上搭载的各种探测器, 实现了在互不影响的前提下同步观测的构想, 其成功激励着以后持续不断的努力. 预计今年11月, A-Train 将增添一颗新星 Glory,

它将长期观测太阳总辐射以及自然源气溶胶和人为源气溶胶。日本也可能于 2012 年将 GCOM-W 卫星加载到 Aqua 的一个微波辐射计上。虽然 A-Train 计划本身不能永远地持续下去,但它为今后相似的卫星观测计划提供了坚实的基础,为认识和了解大气中的物理和化学过程起着开拓性的重要作用。

#### 参考文献

- [ 1 ] L'Ecuyer T S, Jiang J H. *Physics Today*, 2010, (7):36
- [ 2 ] Solomon S *et al.* eds. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. New York: Cambridge U. Press, 2007, online at <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm>
- [ 3 ] Allan R P, Soden B J. *Science*, 2008, 321:1481; Waliser D E *et al.* *J. Geophys. Res.*, 2009, 114: D00A21
- [ 4 ] Stephens G L. *J. Clim.*, 2005, 18: 237; Bony S *et al.* *J. Clim.*, 2006, 19: 3445
- [ 5 ] Stephens G L *et al.* *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 2002, 83: 1771
- [ 6 ] Schoeberl M R *et al.* *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 2006, 44: 1066
- [ 7 ] Nghiem S V *et al.* *Geophys. Res. Lett.*, 2007, 34: L19504
- [ 8 ] Kay J E *et al.* *Geophys. Res. Lett.*, 2008, 35: L08503
- [ 9 ] Twomey S. J. *Atmos. Sci.*, 1977, 34: 1149
- [ 10 ] Albrecht B. *Science*, 1989, 245: 1227
- [ 11 ] Stevens B, Feingold G. *Nature*, 2009, 461: 607
- [ 12 ] Chand D *et al.* *Nat. Geosci.*, 2009, 2: 181
- [ 13 ] L'Ecuyer T S *et al.* *J. Geophys. Res.*, 2009, 114: D09211 ; Lebsock M, Stephens G L, Kummerow C. J. *Geophys. Res.*, 2008, 113: D15205
- [ 14 ] Jiang J *et al.* *Geophys. Res. Lett.*, 2008, 35: L14804
- [ 15 ] Jiang J *et al.* *J. Geophys. Res.*, in press, doi: 10/1029/2009JD013256
- [ 16 ] Su H *et al.* *Geophys. Res. Lett.*, 2008, 35: L24704
- [ 17 ] Douglass A R *et al.* *Geophys. Res. Lett.*, 2006, 33: L17809; Pitts M C *et al.* *Atmos. Chem. Phys.*, 2007, 7: 5207

(中国科学院大气物理研究所 廖宏、汤金平编译自 *Physics Today*, 2010, (7):36)