

## 冰崩威胁亚洲水安全

高晶及其同事认为，在“第三极”追踪水汽、雪、冰川融水变化，将帮助人类应对气候变化。

“第三极”是除南极和北极以外冰雪储量最大的地区。“第三极”涵盖了喜马拉雅-兴都库什山脉和青藏高原，全球最高的 14 座山峰都聚集于此。此外，第三极还有绵延 100,000 平方公里的冰川（大小相当于冰岛）。这里的冰川融水滋养了 10 条大江大河，其中包括印度河、雅鲁藏布江、恒河、黄河和长江，是全球近五分之一人口的水源地<sup>1</sup>。

气候变化正在威胁这座巨型固体水库（见‘第三极变暖’）。过去 50 年，喜马拉雅山脉和青藏高原的冰川一直在退缩<sup>2</sup>。位于北部的天山山脉冰川总量已减少了四分之一，到本世纪中叶，这一数字会上升为一半<sup>3</sup>。冰川融水使得湖面扩张<sup>4</sup>。初夏的河水流量峰值比 30 年前来得更早了<sup>5</sup>。

天气模式也在发生改变。印度季风变弱，使得喜马拉雅山脉和青藏高原南部的降水减少<sup>6</sup>，而青藏高原西北部和帕米尔山脉雨雪增多<sup>2</sup>。科学家仍不清楚该地区的变化差异为何如此之大，也不知道其未来将如何发展。据预测，中亚的一些河流，如咸海的支流，其下游将逐渐干涸。其它河流，如恒河上游、雅鲁藏布江、萨尔温江和湄公河，则很可能径流增大，至少到 2050 年其趋势是这样 (ref. 7)。

青藏高原社会各界已然开始应对冰崩带来的影响。2018 年 10 月，雅鲁藏布江被冰崩携带的冰碛物堵塞，形成堰塞湖，对下游造成了洪水威胁。

社会各界都需要大量有关风险控制和水资源管理的信息。他们需要知道哪些冰川融化的速度最快；也需要知道降雪变化和气候变暖如何影响冰川积累与消失以及河湖水量变化。

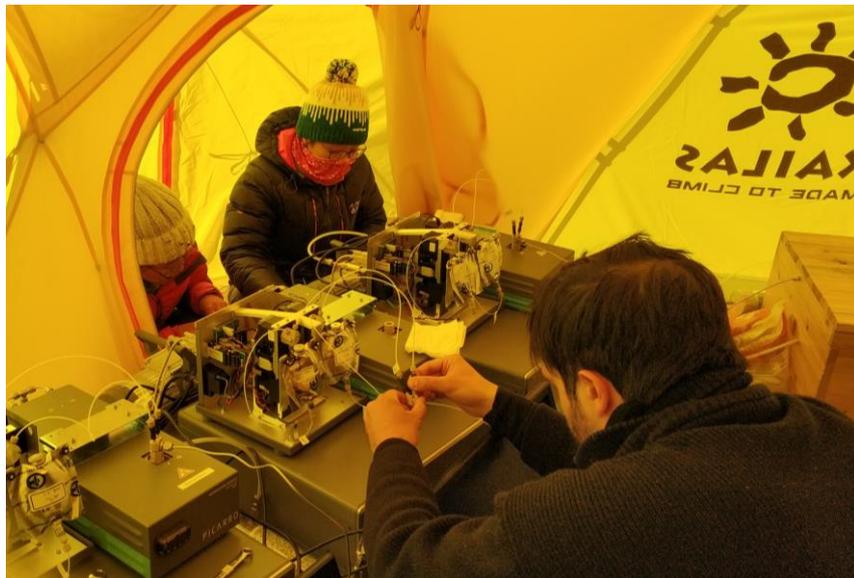
### 观测网络

在广袤、偏远的高原上，开展水循环观测困难重重。目前，卫星图像和气候模型的精度还不能完全解决当地水循环变化的问题。

我们亟需一个覆盖该地区的观测台站网络。该网络必须能跟踪记录传统的气象变量，如气温、湿度、气压、降水和风速风向。这一网络也需要拓展水汽氢氧同位素观测数据来研究水循环。这为我们深入认识大气水汽来源及其传输过程提供了关键视角。

作为第一步，第三极环境国际计划（简称 TPE，由姚檀栋领导）与中国科学院青藏高原研究所一起，自 2014 年以来已经建立了 11 个地面观测站和系留气球观测点。这一观测网络规模已经超过南极和北极的类似网络，其台站数量也几乎是全球其他类似台站总数的两倍。

但需要做的还很多。科学家需要更好地认识第三极复杂地形与天气模式以及其对降雨和冰雪消融过程的影响关系。水循环的追踪必须从三维开展，包括地面至空中液态水、冰和水汽的动态变化监测。模型也需要因地制宜地调整，以实现不同区域的精确预测。



科研人员在珠峰大本营调试水汽稳定同位素观测仪器

## 认知

第三极的水汽主要受印度季风和盛行西风两种模式驱动。随着印度次大陆在春夏

升温，对流将水汽从孟加拉湾、阿拉伯海和印度洋向北传输，在喜马拉雅山脉及更北部形成降雨<sup>8</sup>。在该地区的北部和西部，强劲西风把地中海水汽向高原传输。在整个区域内，地表蒸散发也贡献了水汽。

*“卫星图像和气候模型的精度不足以解决当地的变化问题”*

这些传输模式认知的一个重要节点是水体稳定同位素的观测。在垂直维度上，水体稳定同位素数据揭示了气团水汽如何混合和大气边界层的作用过程。这些数据也记录了冰川表层和冰川上部大气的冷暖变化对水汽日变化的影响。

我们仍然不能定量研究水汽输送各个过程在区域整体水量平衡中的作用，也不清楚该区域尺度上的固-液-汽相态转化及其对区域水文循环的影响。

影响冰川的物理过程我们也知之甚少，如气溶胶和冰碛物对冰川积累和消融的影响。我们无法预测有多少融水会有效补给河流与湖泊，也不能评估土壤湿度对当地降水变化的可能影响，区域尺度的复杂多变的地形影响使得过程研究更加错综复杂。

气候变化是一个重要过程。过去几十年，东亚西风急流在冬季增强<sup>9</sup>，但印度夏季风在减弱。这两种趋势都影响降雪分布，进而影响反照率、能量平衡（所有进入和离开地球系统能量的平衡），以及地表水量平衡。需要加大力度开展相应研究。

目前的大尺度大气环流的模型很难再现第三极地区的天气模式。我们需要新型模型和观测数据来完善它们。这一区域只有 0.1% 的冰川和湖泊有观测站点，5000 米以上的地区很少有气象观测站，更不用说水体稳定同位素观测仪器了。所以加大观测平台建设力度是青藏高原研究长期可持续发展的根本。

## 后续计划

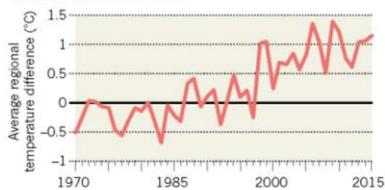
后续研究的重中之重是要扩展气象和稳定同位素观测网络。目前已有计划要在第三极更广范围内新建 20 个观测站点。随着认识深化，还会再增加更多台站。这样的台站网络建设是中国泛第三极研究计划（Pan-TPE）的一部分，参与该计划的科学家来自从挪威到尼泊尔的 20 多个国家。该研究计划五年预算达 14.8 亿人民币（合美元约 2.15 亿），主要研究包括第三极、伊朗高原、高加索山脉和喀尔巴阡山脉在内的区域气候变化。另一计划“第二次青藏高原综合科学考察研究（STEP）”则将在自 2019 年起的五年内获得 43.5 亿元支持，以研究青藏高原环境变化与影响。通过这个十年计划，设备、人员和维护成本可能由每年 800 万上涨到每年 1.5 亿元，标志着观测研究体系的新提升和新高度。

未来大多数的观测站将沿两个断面分布。南北向断面将以 100-500 公里为间隔设站 15 个，从热带印度洋通过孟加拉、尼泊尔直到天山，观测季风传输相关过程。东西向断面则从伊朗高原一直延伸到中国的黄土高原，沿线将以 200-500 公里为间隔，设站 12 个，观测西风传输影响。雪、降雨、冰-雪融化、湖泊和河流流量变化等将在流域尺度开展系统观测研究，同时兼顾不同海拔的冰碛物、冻土和地下水观测。

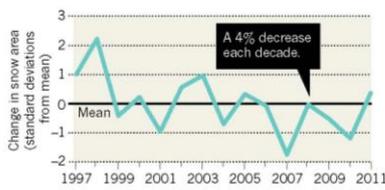
### THIRD POLE WARMING

Climate change is altering precipitation across the Himalayan mountain ranges and the Tibetan Plateau.

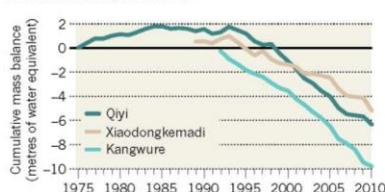
#### TEMPERATURES INCREASING



#### SNOW COVER FALLING



#### TIBETAN GLACIERS SHRINKING



青藏高原海拔和大气环流及水汽的相互作用将通过三个热点地区的整体布局实

现：帕米尔山脉（西风主导）、喜马拉雅山脉（受印度季风影响）和横断山脉（东亚季风盛行）的实时观测研究。每个热点地区都将以 200 米海拔高度为间隔，布设 10 个观测站。

布设并维护这样的观测网络极具挑战。最新技术设备必须足够坚固耐用，如高速激光光谱同位素测量和高分辨率激光探测系统。这些仪器必须定期校准。大约需要超过 200 名的科技人员来服务于这个观测网络。

数据共享和适用于全球和区域气候的模型是普世科学任务。适用于第三极的新一代地球系统科学模型亟需研发，该模型应该包括第三极大气圈、冰冻圈、水圈和生物圈协同作用过程。地球系统科学模型应当能够实现极高分辨率的多圈层作用，并包含水体稳定同位素、气溶胶以及生物化学循环过程。

模型发展应聚焦模拟不同人类活动和气候减缓策略（温室气体排放、气溶胶、土地使用变化、水管理）情景可能产生的区域影响，也应当能够量化河流径流和循环变化。这样的模型将可以指导制定区域气候变化适应策略，以有助于生态系统保护修复和生物多样性保护等。

从气候学到社会科学的全球多学科科学家必须通力合作。以当地人民的需求为核心，科学家应该帮助各社会群体认识其所处的气候和环境发生了什么变化，帮助他们制定相应的风险控制和适应策略。例如，科学家们对 2016 年阿汝重大冰崩事件的评估帮助当地政府建立了一套灾害预警体系，有助于高危社群的重新安置。

当前全球变暖的影响在第三极此起彼伏，科学应对必须一马当先。

**高晶** 中国科学院青藏高原研究所、中国科学院青藏高原地球科学卓越创新中心  
副研究员；

**姚檀栋** 中国科学院院士，中国科学院青藏高原研究所、中国科学院青藏高原地球科学卓越创新中心研究员；

**Val é rie Masson-Delmotte**, 法国 Gif-sur-Yvette 气候与环境科学实验室 (CEA-CNRS-UVSQ / IPSL) 资深科学家;

**Hans Christian Steen-Larsen**, 挪威卑尔根大学地球物理研究所、卑尔根 Bjerknes 气候研究中心资深科学家;

**王伟财**, 中国科学院青藏高原研究所、中国科学院青藏高原地球科学卓越创新中心副研究员。

通讯作者 e-mail: gaojing@itpcas.ac.cn

#### 参考文献

1. Immerzeel, W. W., van Beek, L. P. H. & Bierkens, M. F. P. *Science* 328, 1382–1385 (2010).
2. Yao, T. et al. *Nature Clim. Change* 2, 663–667 (2012).
3. Farinotti, D. et al. *Nature Geosci.* 8, 716–715 (2015).
4. Zhang, G. et al. *Geophys. Res. Lett.* 44, 252–260(2017).
5. Huss, M. & Hock, R. *Nature Clim. Change* 8,135–140 (2018).
6. Roxy, M. K. et al. *Nature Commun.* 6, 7423 (2015).
7. Lutz, A. F., Immerzeel, W. W., Shrestha, A. B. & Bierkens, M. F. P. *Nature Clim. Change* 4, 587–592 (2014).
8. Yao, T. et al. *Rev. Geophys.* 51, 525–548 (2013).
9. Li, W. *Nature Commun.* 9, 4243 (2018).