

# 第二次青藏高原综合科学考察研究

## 工作简报

2019 年第 6 期（总第 6 期）

第二次青藏高原综合科学考察研究队

2019 年 11 月 25 日

### 重要动态

## 《中国科学院院刊》出版第二次青藏高原 综合科学考察研究专刊

水资源对人类社会的重要性不言而喻。如果没有充足的优质水资源作为保障，一个国家或区域的稳定与发展就无从谈起。青藏高原淡水资源极其丰富，冰川规模仅次于南极、北极，分布着面积广大的积雪以及全球中低纬度地区范围最广的冻土。数十条河流波涛浩荡，千余个湖泊碧水微澜。壮丽的青藏高原看似遥在天边，但涓涓细流汇成生命的源泉，蜿蜒流淌，与我们的生活紧密相连。

正常情况下，一个区域的水资源量虽有年际的波动，但总体处于相对平衡的状态。但如今，青藏高原的水循环却面临失衡之忧。作为气候变化的敏感区域，青藏高原升温显著，已到全球平均增温的 2 倍。伴随而来的是，大量冰川明显退缩，湖泊面积扩张，河流径流增加，进而驱动水循环加剧。近期青藏高原冰湖溃决、冰崩等自然灾害发生频率加大，预

示着风险已悄然逼近。据专家预测，如未来气候变暖的趋势不减，“亚洲水塔”的稳定将面临巨大威胁。冰雪融水是维系泛第三极地区重要的水资源。从长远来看，如果冰川进一步消亡，其下游水资源量必将随之减少。这意味着中国西南部、尼泊尔、巴基斯坦、印度北部等地将会出现水资源短缺的问题。保护“亚洲水塔”已经迫在眉睫，需要采取强有力的行动。

这次《中国科学院院刊》出版“‘亚洲水塔’变化及其影响”专刊，是第二次青藏高原综合科学考察研究（以下简称“第二次青藏科考”）以及相关专项关于“亚洲水塔”最新研究进展的集中展示。这些研究成果，系统阐述了气候变暖背景下“亚洲水塔”冰川、冻土、积雪、湖泊、河流等要素的变化特征以及“亚洲水塔”变化导致的灾害影响，预估了未来趋势，提出了一系列重大政策建议，对于丰富和发展对青藏高原的认识具有重要的学术价值，为国家有关决策提供了重要科学依据。

## **第二次青藏科考党建工作在全国第二届党建创新成果展示交流活动中获得表彰**

2019年10月31日，全国第二届党建创新成果展示交流活动和表彰会在深圳举行。中国科学院青藏高原研究所党委《外场党建助力第二次青藏科考》荣获“十佳案例”。

2017年8月19日，第二次青藏科考启动实施，习近平总书记专门给科考队致贺信，为科考指明了方向，提供了基

本遵循。作为科考依托单位，中国科学院青藏高原研究所党委迅速成立第二次青藏科考临时党委，并根据每次考察任务及人员配置情况，在科考分队设立临时党支部或党小组。两年来，按照总书记的指示要求，科考队聚焦环境变化与影响及其对策推进工作。临时党组织在高原腹地、科考一线打造党建工作新阵地，引领广大党员群众发扬“脚踏实地、勇攀高峰”的精神，持续增强岗位建功的责任感和使命感，为实施第二次青藏科考积极工作。从雅江冰崩应急科考到“极目一号”打破升空记录，从江湖源到河湖源，从藏东南到南亚通道，700多个日夜，第二次青藏科考已取得若干重要进展。

### 任务动态

## 川藏铁路沿线地质灾害勘察取得新进展

近期，第二次青藏科考“地质环境与灾害”任务研究团队围绕川藏铁路沿线地质环境与灾害等问题开展了系列工作。研究团队对穿越川藏铁路的怒江断裂带及其次级构造开展了野外考察，对北西西走向的羊达—亚许断裂进行了高精度遥感解译和构造地貌分析，跨断层开挖了大型探槽，标志层位错明显，揭露出多次古地震事件。同时，研究团队整理了青藏高原地区川藏铁路沿线 541 件历史大洪水事件，梳理了历史大洪水事件的发生强度、类型、发生地点、时间以及大洪水事件造成的人员伤亡数量及经济损失等。绘制了历史大洪水发生的空间分布图，为摸清青藏高原山洪发生机制及空间分布规律等提供参考依据，也为川藏交通廊道防灾减灾

工作提供重要参考。

另外，研究团队还考察了川藏铁路拉（萨）至林（芝）段考察线路沿线以及隧道进出口、桥梁、车站等重要线位危害线路工程安全的地质灾害分布情况，并系统梳理了该区域地质灾害分布情况。目前查明该区域共分布有 986 处，包括崩塌、滑坡、泥石流等。具体来说包括滑坡 185 处（特大型 1，大型 22 处，中型 57 处，小型 105 处），泥石流 648 处（其中特大型 4 处，大型 3 处，中型 43 处，小型 597 处），崩塌 153 处（其中中型 1 处，小型 152 处）。拉林段地质灾害分布情况基本查明，为拉（萨）—林（芝）铁路建设期和运营期的安全提供了基础支撑。

### 专题动态

## 研究揭示末次冰盛期沙尘辐射效应对东亚 西风—夏季风环流的影响

近期，第二次青藏科考“西风—季风协同作用及其影响”任务“气候变化与西风—季风协同作用”专题研究团队基于两套观测海温驱动的大气环流模式的结果以及理想海温试验，揭示了热带太平洋和北大西洋海温变化对 20 世纪全球季风降水年代际变化的调控作用。观测海温驱动的大气环流模式能够再现观测中季风降水的年代际变化及北半球季风区降水起主导作用的特征。水汽收支的结果表明季风降水的年代际变化主要由与大气环流变化有关的水汽垂直输送项的动力项引起，与水汽含量变化有关的水汽垂直输送项的热

力项在两个时段均有利于季风区降水增多。北半球季风环流的增强（减弱）及 Walker 环流的增强（减弱）与季风降水增强（减弱）直接相关，而环流的年代际变化受热带太平洋和北大西洋海温调控作用。

分析表明，北大西洋呈暖海温异常（AMO 正位相），或赤道东太平洋呈冷海温异常、副热带西太平洋呈暖海温异常（PDO 负位相）均有利于对流层厚度的经向梯度增大、季风环流增强，有利于更多水汽输送至季风区，最终引起季风降水的增多。这一工作的价值之一在于对内部变率如何影响季风降水的年代际变化有了更清晰的认识，这为季风降水的短期预估提供了宝贵的信息。

## 青藏高原冰冻圈状态与变化研究获进展

青藏高原是全球变化研究关键地区之一，具有全球变化研究的独特性和优越性。目前，观测资料的缺乏是青藏高原研究面临的重大挑战。因此，综合使用可靠的原位观测、遥感测量及改进的数值模式对于青藏高原冰冻圈及其与气候的相互作用研究至关重要。

近日，第二次青藏科考“亚洲水塔动态变化与影响”任务“冰川—积雪—冻土变化及影响与应对”专题研究团队研究阐述了基于观测与模拟的青藏高原地区冰冻圈状态与变化最新研究进展，并对未来冰冻圈及其与气候相互作用的研究前景进行了展望。研究团队从观测和模拟的角度，综述了 TP 中冰层（如冰川、积雪、冻土）的现状和近期变化。研究

认为，迄今为止缺乏观测是青藏高原面临的最大挑战，导致了冰层动力学的发散及其模拟成为瓶颈。为了克服这些问题，一个将一系列的现场和遥感测量以及改进的数值模型相结合的策略对于在青藏高原冰层及其与气候相互作用的研究方面取得突破将具有重要意义。

## 祁连山绿色发展：从生态治理到生态恢复

前期，第二次青藏科考“亚洲水塔动态变化与影响”任务“冰川—积雪—冻土变化及影响与应对”专题研究团队在祁连山生态环境经重锤整治、生态恢复初显成效之际，全面开启了“祁连山综合考察”，优先围绕生态系统与生态安全、固体水库动态变化、人类活动变化与生态生计影响三大关键任务，开展天—空—地一体化考察。

研究发现，生态环境整治提升了生态环境服务价值；暖湿化背景下生态系统整体向好，珍稀物种种群扩大，但对局部草原过牧管控不力导致退化；冰川冰储量亏损加剧，冰川融水径流贡献率将越过临界点；过去 10 多年冻土融化释放的水量每年约为  $1.18\text{km}^3$ ，相当于祁连山出山河流年径流总量的 10%；祁连山全局生态系统服务估算价值高达 10676(±1601) 亿元，远高于 2017 年区域经济损失的 53.09 亿元。这些结果充分说明祁连山生态环境治理与保护的必要性，体现出祁连山的绿水青山是全国人民的金山银山。

研究结果表明，当前祁连山已逐步从生态治理转入生态恢复阶段，通过制度建设，形成长效机制，将被动治理转化

为主动保护，是祁连山走向生态文明的必由之路。通过绿色发展提升居民生计水平是保障区域生态环境长期向好的基石。要让居民分享生态保护的绿色红利，需要将祁连山巨大的远程耦合生态服务价值货币化，一方面通过外部加大生态补偿弥补区域保护的经济损失，另一方面通过合理开发绿色高端旅游激发区域发展的内生动力，内外结合实现区域绿色发展。

## 土壤微生物碳利用效率随气候变暖而增加 可预测土壤异养呼吸

土壤微生物异养呼吸是大气二氧化碳 CO<sub>2</sub> 的最重要来源之一，也是影响土壤固碳功能的关键过程。近期，第二次青藏科考“生态系统与生态安全”任务“荒漠生态系统及其生态效应”专题研究团队开展了土壤微生物异养呼吸和碳利用效率的原创性研究，取得了重要认识。

研究团队通过多个土壤有机碳模型和多套实测数据的对比研究，发现微生物碳利用效率随气候变暖而增加能更准确地预测土壤异养呼吸对温度的响应。该研究利用 4 个复杂程度不同的土壤有机碳模型模拟结果，与 3 套实测土壤异养呼吸数据进行比较，包括 110 个旱地样点、22 个热带至寒带样点、2000 余个全球分布样点。比较结果表明温暖气候选择碳利用效率较高的微生物群落，该结果与以前所认为的升温降低微生物碳利用效率的观点相反。

生态学领域国际知名学者认为，在之前的模型中碳利用

效率多为一固定值或随温度而降低，而本研究发现碳利用效率随温度而提高，纠正了过去研究的误区，对土壤生物地球化学模型的改进做出了贡献。近 50 年来，我国青藏地区平均每 10 年气温升高  $0.37^{\circ}\text{C}$ ，升温率明显高于全国和全球平均水平。本研究成果为科考队员后续更准确模拟青藏高原荒漠生态系统土壤碳循环功能的时空格局，预测未来全球变化情景下荒漠生态系统土壤碳循环功能的变化趋势打下坚实的基础。

## 青藏高原多年冻土河流溶解态碳输移 研究中取得进展

多年冻土的碳储量巨大，随着气候变暖和多年冻土退化，这些冻土碳会在冻土消融后随产流过程进入到河流中，影响河流的生物地球化学过程和区域碳收支。然而，目前对于青藏高原多年冻土流域河流碳输移规律的认识还不够清楚。第二次青藏科考“生态系统与生态安全”任务“湿地生态系统与水文过程变化”专题研究团队，选择青藏高原长江源区的典型冻土流域，对该区域河流溶解态无机碳和溶解态有机碳（DIC 和 DOC）输出规律展开了研究。

研究结果发现，风火山流域溶解态碳以 DIC 为主，活动层冻融过程对于河流 DIC 和 DOC 浓度及通量均有显著影响。在融化期，DIC 浓度随着融化深度的加深而增大，DOC 和融化深度的关系较弱。随着融化深度增加，DIC 和 DOC 通量增加，并且水平碳通量随着冻结层厚度增加而减小。活动层



变化直接影响河流碳浓度并且通过影响径流间接影响碳通量。河流溶解碳输出的季节性变化高度依赖于活性层融化和冻结过程，反映了多年冻土区特殊的河流碳输出过程。

研究团队进一步研究了 DIC 的来源以及控制因子。发现长江源区的 DIC 以地源为主，生源占次要位置，DIC 主要来自蒸发盐岩和硅酸盐岩风化及溶解过程，而碳酸盐风化来源较少，并利用不同数据源得到验证。这一结果与北极冻土流域 DIC 来源不同，显示了青藏高原特殊的岩性和气候特征。在空间分异上， $\delta^{13}\text{C-DIC}$  同位素值从上游到下游逐渐富集（增加），这一过程主要受到河流  $\text{CO}_2$  沿流程排放的分馏过程导致，同时也受到冻土覆盖度和植被的影响。季节性温度、径流以及活动层冻融过程也会影响  $\delta^{13}\text{C-DIC}$  同位素值，这主要是由于融化过程导致 DIC 的来源发生变化导致的。以上结果增加了对青藏高原河流碳循环的认识，对于研究区域碳平衡具有重要意义。

## 滇桐极小种群野生植物综合保护 专项调查顺利完成

滇桐分布于中国、越南和缅甸，在我国主要分布于云南（德宏州、文山州、普洱市、保山市和怒江州）、贵州（独山县）和西藏（墨脱县），是受国家 II 级重点保护的典型极小种群野生植物，也是第二次青藏科考“生物多样性保护与可持续利用”任务“植物多样性保护和可持续利用”专题研究团队关于物种多样性保护与综合评估的目标物种之一。

研究团队对分布于高黎贡山境内的滇桐系统开展专项补充考察,对保护区内的上江管护站、大南茂管护站和六库管护站分布的滇桐进行了细致考察,对每株滇桐进行了胸径测量,单株定位和分子材料的收集。共记录到泸水县滇桐共计 148 株,其中成年植株(开花结实的植株) 88 株。队员详细记录了每个居群的位置,地理条件和伴生物种等信息。

滇桐在泸水主要分布于海拔 1400—1800m 范围内的阴坡和河谷,泸水县的滇桐种群为目前发现的国内数量最多且保护最完好的,种群结构也相对合理,生境较为原生,这主要归功于高黎贡山国家级自然保护区泸水管护分局的有效保护工作。但其生存也面临着较为突出的问题,因为历史原因,滇桐林下尚有普遍的草果种植,草果种植需要对森林进行一定的疏伐,这无疑会威胁到滇桐的自然更新,更进一步的保护措施需制定和实施。

## 原位探空发现中高纬度火山气溶胶 向青藏高原平流层传输事件

近期,第二次青藏科考“人类活动与生存环境安全”专题“大气成分垂直结构及其气候影响”专题研究团队在西藏自治区拉萨市气象局大气探测中心进行臭氧—水汽—粒子探空实验(Sounding of Water vapor Ozone and Particle, SWOP),共施放探空气球 9 次,获得地面至 25km 高度范围内高分辨率臭氧廓线 9 条、水汽廓线 9 条、气溶胶光学特性廓线 9 条、气溶胶微物理特性廓线 1 条。

同时, 研究团队利用无人机携带气溶胶粒子谱仪 POPS 和臭氧探空仪 ECC 对边界层内大气成分进行探空测量, 获得青藏高原拉萨地区边界层内大气成分垂直廓线 13 条, 并结合在地面连续观测的气溶胶粒子谱仪数据, 首次对拉萨上空边界层内大气成分垂直结构进行全方位探测, 对拉萨大气污染来源及日变化有了更深入的理解。

特别是, 探空实验首次在海拔 18km 和 20.5km 处观测到两个薄的气溶胶层, 获取了其随时间的变化特征。结合 CALIPSO 卫星资料及后向轨迹模式初步分析得到这两个平流层气溶胶层源于 2019 年 6 月 28 日千岛群岛火山爆发。这是首次利用原位探空检测到气溶胶向青藏高原平流层内的输送, 可为验证气候模式中火山气溶胶的化学和微物理过程提供数据支持。由火山爆发造成的平流层气溶胶层可以通过影响下平流层臭氧浓度和辐射效应, 进而影响全球气候, 对理解平流层气溶胶的气候效应具有十分重要的作用。

## 研究揭示古新世—始新世极热事件时期 大幅度的碳同位素负漂

碳同位素负漂 (CIE) 的结构和幅度是 PETM (古新世—始新世极热事件) 研究的两个核心问题。长期以来, 大部分学者认为碳同位素负漂是碳同位素一步快速漂移到最负值并逐渐回返的过程 (One-step CIE), 并以此为基础对 PETM 期间气候、环境和生物变化进行研究。在 1999 年, 国外学者曾在国际顶尖期刊 Science 上声称 CIE 可能具有一个较为

复杂的结构。由于证据不足，他们的观点很快被绝大部分学者所抛弃。CIE 的幅度可以用来估算 PETM 期间碳释放的总量。主流观点认为 CIE 的最大幅度为 4%，仅少数学者认为 PETM 期间 CIE 的幅度可能达到 6—8%。在过去的十年里，4% 的 CIE 幅度被学者们广泛接受。

前期，第二次青藏科考“高原生长与演化”任务“青藏高原不同地块的隆升过程与动力学机制”专题研究团队在对上述的两个主流观点（One-step CIE 的结构和 4% CIE 的幅度）提出了质疑。近日，研究团队又通过在藏南定日地区的浅海碳酸盐岩 PETM 剖面上开展了微量元素和碳同位素的研究，排除了“成岩作用改变原始碳同位素组成”的可能性，证实 PETM 期间完整的 CIE 记录具有一个阶梯状的结构。阶梯状的 CIE 结构暗示在 PETM 期间可能发生过多次数碳释放，很可能存在“碳释放—温度上升—再次碳释放”的正反馈过程。基于大量证据断定，One-step CIE 来自于不完整的 PETM 沉积记录。

本次研究还证实，在浅海和大气中，CIE 的幅度大致为 7%。最初，有关学者曾估算 PETM 期间的碳释放总量约为 2000Pg。随后，估算的碳释放总量逐渐上升到 >4500Pg、>6800Pg，7000-10000Pg。基于我们获得的 7% CIE 幅度并通过碳同位素物质平衡计算，我们首次给 PETM 时期碳释放的总量设置了上限：<28000Pg（目前人类每年排放的碳约为 10Pg）。

## 天南星科演化及青藏高原古环境 研究取得进展

化石类群在研究生物形态的演化中起着关键性的作用。广义天南星科（泽泻目）包括 125 属约四千种，是单子叶植物早期分化的一个大分支，是指示温暖湿润环境的代表性类群。其中，灭绝属似浮萍叶长期以来被认为可能是真天南星亚科和浮萍亚科的过渡类群。但是由于之前报道化石缺失关键的繁殖器官，如花序、种子等，其在天南星科内部的性状演化中的意义并不确定。

近期，第二次青藏科考“高原生长与演化”任务“生物与高原隆升协同演化”专题研究团队报道了采自西藏中部晚渐新世地层中具有保存完好的果序及种子的似浮萍叶新种。研究人员利用天南星科 42 个代表种的 57 个分类性状及分子序列推断了该种的系统位置。通过研究表明，性状演化的重建确定了似浮萍叶具有真天南星亚科及浮萍亚科的过渡性状，尤其是果序性状。在浮萍亚科内部，从灭绝类群到现生类群植物的营养及生殖器官都有明显的简化趋势，这对于了解天南星科的性状演化历史有重要意义。另外，该化石种的发现暗示在晚渐新世，青藏高原中部可能是比较温暖湿润的低地环境。

## 青藏高原发现新三趾马化石

现代的马只有一趾，就是粗壮厚实的马蹄子，可曾经出现在青藏高原的马却有三个趾头，被称为“三趾马”。近期，

第二次青藏科考“高原生长与演化”任务“生物与高原隆升协同演化”专题研究团队在西藏阿里地区札达盆地找到了新的三趾马化石。

此次科考发现的化石材料是比较完整的肢骨，借此可以一窥三趾马奔跑的特点。发掘过程中，由于围岩松软脆弱，为了保护化石，科研人员必须为它们做一个“保护壳”。即采用野外浇筑石膏包，将化石包在定型的石膏壳内，以便运输（这种方法业内叫“皮劳克”，源自俄语）。事实上，早在十几年前，古生物学家就在札达这片神奇的“土林”发现了大量珍贵化石，除了札达三趾马，还有最原始披毛犀、雪豹、北极狐以及鬣狗，也让札达盆地成为一个高原古生物学探索研究的胜地。

## 大渡河流域双江口水电站岩爆预测及治理措施获得工程建设单位采纳

双江口水电站是大渡河流域水电梯级开发的关键性工程之一，双江口水库为干流上游控制性水库，水库正常蓄水位 2500m，堆石坝最大坝高 314m，目前为世界第一高坝。左岸引水发电系统洞室由于埋深大、地应力高，洞室开挖扰动后围岩应力分异，导致岩爆频频发生，严重威胁到施工人员和设备的安全，岩爆的预测及防治问题能否解决是决定项目施工进度以及人员安全的重要因素。

为保障施工安全与工程进度，第二次青藏科考“地质环境与灾害”任务“重大工程扰动灾害及风险”专题研究团队

对现场的岩爆现象及特征进行分析研究，总结出现场岩爆破坏机制及规律，通过室内实验、野外调查及数值模拟等手段，对左岸引水发电系统地下洞室开展了岩爆预测，提出了针对性的施工期岩爆防治措施。

截至目前，关于岩爆的预测结果与围岩开挖后实际发生的围岩破坏较好吻合，并及时与双江口建设有关单位开展沟通，对现场的施工人员开展培训、答疑解惑，对施工现场的岩爆防治起到了指导作用。科考团队关于双江口水电站地下洞室围岩开挖岩爆机理、预测与防治技术咨询意见和建议为左岸引水发电系统地下洞室群的顺利开挖提供了科学依据，优化了施工方案，保障了施工人员及设备的安全，加快了施工进度，直接节约施工成本约 580 万元，创造了巨大的经济效益。

## 新疆喀什地区重大工程扰动灾害 科考工作顺利完成

前期，第二次青藏科考“地质环境与灾害”任务“重大工程扰动灾害及风险”专题研究团队赴新疆喀什地区，系统考察了该地区重大工程灾害及工程地质环境背景。研究团队通过野外考察、无人机测绘、取样测试等工作，考察了叶尔羌河流域的主要重大工程和工程地质灾害，包括：水电站（在建的恰木萨水电站）、口岸（土尔尕特边境口岸、卡拉苏口岸）、乡村道路等，典型地质灾害包括滑坡、崩塌灾害、泥石流等，考察的地质现象包括河流阶地、冰川公园（奥依塔

克冰川公园)、冰碛垄(膘尔托阔依乡冰碛垄)、湿地公园(塔和曼湿地)等,对区域地质背景和地质灾害情况有了较为深入的了解。

同时,研究团队还收集了相关资料,对该地区的区域地质背景,包括地形地貌、气候水文、水文地质、地层岩性、地质构造和人类工程活动形成了初步认识,并对地质灾害易发区进行了初步划分。对喀什地区地质灾害成生机理与主控因素和诱发因素、冰雪冻融地质灾害致灾机制进行了分析和讨论,提出了降雨型、冰雪冻融型和降雨—冰雪冻融型滑坡结构及变形破坏特征。鉴于历史资料的不完备,研究团队将持续跟踪汛期地质灾害预警工作,进一步修正和完善区域地质灾害预警模型。

---

**主送:** 第二次青藏科考领导小组办公室、项目管理办公室、专家咨询委员会、总体专家组、中科院第二次青藏科考领导小组办公室、科考队依托单位、西藏、青海、甘肃等第二次青藏科考领导小组办公室及服务保障机构

**分送:** 第二次青藏科考 10 大任务及各专题

---

第二次青藏高原综合科学考察研究队办公室

总编: 安宝晟

编辑: 王伟财 李久乐 赵华标 张强弓

电子邮箱: [step@itpcas.ac.cn](mailto:step@itpcas.ac.cn)

网址: <http://www.step.ac.cn>

联系电话: 010-84249468; 传真: 010-84249468

通信地址: 北京市朝阳区林萃路 16 号院 3 号楼, 中国科学院青藏高原研究所, 100101

---