

第二次青藏高原综合科学考察研究

工作简报

2020年第2期（总第9期）

第二次青藏高原综合科学考察研究队 2020年2月25日

专题动态

亚洲水塔能量平衡时空分布及变化 特征认识取得新进展

全球变暖使以青藏高原为核心的“亚洲水塔”区域呈现变暖变湿趋势，地表能量和水分交换发生变化，对周边国家水资源供给和气候灾害的影响不容忽视。高原地表接收的太阳短波辐射是高原能量平衡的重要驱动因素。然而，缺少亚洲水塔区能量平衡时空分布及变化特征认识直接制约了对亚洲水塔失衡、冰崩等新灾巨灾频发等问题的深入研究。

亚洲水塔区地形复杂，天气多变，特别是高山区实地观测尤为困难。卫星遥感是唯一能够快速、完整地获取水塔区能量分布的手段。因此，卫星对地表能量参数的获取精度直接决定了科考对青藏高原地区能量平衡分析的可信度。目前基于卫星获取地表短波辐射的难点包括如何准确地去除云和气溶胶的影响。

为了克服这一难题，第二次青藏科考高原综合科学考察

研究（以下简称“第二次青藏科考”）“亚洲水塔动态变化与影响”任务“亚洲水塔区水循环动态监测与模拟”专题研究团队，通过将云进一步细分为水云和冰云，并且引入气溶胶产品作为晴空下的重要输入数据。利用“葵花—8”静止卫星较高的时空分辨率（10 分钟、5km）和较多的光谱波段，通过大幅提升云参数的反演精度，获得了高时空分辨率的地表下行短波辐射结果。通过 122 个地基站点（89 个中国境内站点和 33 个海外站点）的验证，证明了地表下行短波辐射算法的可靠性。该研究成果为第二次青藏科考中实地考察能量循环和水量平衡的时空分布及变化特征提供更加准确的卫星观测数据。

青藏高原积雪计算模型改进工作 取得新进展

青藏高原除了对大气环流的阻挡作用以外，其热力作用对我国乃至全球气候都有极其重要的影响。积雪在青藏高原水热平衡中占据重要地位，对水热平衡的影响不可忽略。受地理条件所限，亚洲水塔高海拔地区地面观测站点稀疏，因此以遥感手段开展积雪参数反演是获取积雪时空分布特征的关键。

在微波遥感反演中，雪的粒径是影响雪深反演精度的主要因素，除加入更多微波观测外，采用过程模型模拟提供经验知识，是较为有效的方法。近期，第二次青藏科考“亚洲水塔动态变化与影响”任务“亚洲水塔区水循环动态监测与

模拟”专题研究团队，通过在西藏、青海和新疆等地 134 个气象站点开展过程模型与辐射传输模型的联合模拟验证实验，改进了已有 SN THERM 模型的不足之处，为模型工具的推广应用提供了依据和可信度基础。

研究团队对该模型的改进主要有两个方面：一是加入了土壤水分变化的模拟，使模型中积雪和土壤均达到水热平衡，提升了模型物理机制严谨性；二是改进了模型的雪粒径增长系数，使模拟粒径与实测粒径一致。改进模型模拟的分层积雪参数作为 MEMLS 积雪辐射传输模型输入，能模拟各频率双极化观测亮温。通过与实测数据进行比较，改进土壤方案地模型在阿勒泰实验场能同时匹配观测的雪深、雪密度、雪粒径、雪温度等多个参数。改进后的粒径增长系数纠正了原有模型对观测雪粒径的低估，使代入 MEMLS 模型后能更好地匹配 36.5GHz 地面观测亮温。

青藏高原夹竹桃科新化石揭示萝藦亚科 在古近纪亚洲的早期分化

现生夹竹桃科植物广泛分布于全球亚热带和热带地区，依据最新的植物分类学系统，萝藦科被归并在夹竹桃科下的萝藦亚科。在地质历史时期，该科在新近纪的欧洲和北美也有广泛分布，但亚洲的化石记录较少，这制约了人们对夹竹桃科以及萝藦亚科生物地理历史的认识。

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，系统研究了在青藏高

原中部下始新统牛堡组地层若干种子的印痕化石。这些种子形状为椭圆形，顶端尖，有明显的边缘，种脊自顶端直达中部，表面的多边形细胞呈不规则排列，为夹竹桃科种子的典型特征。通过对现代夹竹桃科种子的形态性状与该科最新分子系统树进行分析，能清楚地发现具有不同形态种子的物种在夹竹桃科五个亚科的分布情况。所研究的化石特征组合仅见于夹竹桃科的萝藦亚科，然而基于这些特征无法完全与现代某个属对应，故建立一形态属：似萝藦籽属。基于其边缘宽度的差异花粉出两个新种：粗缘似萝藦籽和椭圆似萝藦籽。

已有研究认为萝藦亚科的起源中心在非洲，而此次研究的化石新种是萝藦亚科最早的化石记录，反映了夹竹桃科在亚洲的早期分化，也表明夹竹桃科自非洲传播到青藏高原的时间不晚于早始新世。前期研究已提出古近纪西藏植物区系与北美、欧洲和印度的植物区系密切联系，该研究进一步发现古近纪欧亚大陆与非洲之间的区系联系，地质时期特别是古近纪青藏高原在世界植物区系交流中起了重要作用。该研究也进一步佐证了早始新世青藏高原中部可能存在一个温暖湿润的低地环境，使包括本研究在内的萝藦亚科以及最近发表的臭椿、兔耳果等若干热带、亚热带植物类群得以生存。

多年冻土区活动层土壤水文过程 及对地下冰分布的启示

青藏高原多年冻土区作为亚洲河流的重要源区，其活动层土壤水分动态变化将直接影响到区域的产汇流过程及大

江大河的来水量。暖湿化气候条件在加深活动层的同时，造成地下冰的融化，因此使得江河源区的水文过程将更为复杂。当活动层土壤水文过程在斜坡区域发生剧烈变化时，亦会引起冻土冻融灾害的发生。通过阐明活动层土壤水分动态变化，并从水分迁移角度对地下冰的分布进行推测，可为气候变化影响下的水资源管理及冻土冻融灾害预警提供科学依据。

近期，第二次青藏科考“地质环境与灾害”任务“冻土冻融灾害及重大冻土工程病害”专题研究团队，通过对不同下垫面及坡向条件的活动层土壤水分进行动态监测，并运用同位素示踪技术及统计学方法研究了青藏高原多年冻土区活动层土壤水分迁移机制，并建立了土壤水分与地下冰含量之间的关系。

结果表明：1) 冻融循环过程的影响使土壤水分向冻结锋面处迁移，造成根系底层范围形成土壤干层，但高盖度植被对降水的再调节过程可有效抵消冻融循环过程对土壤水分迁移的影响，使土壤水分在剖面上随着深度的加深而逐渐增多。2) 降水入渗是土壤水分动态变化的主要驱动力，草毡缓冲层及粉质黏土层的存在对降水入渗起到阻滞作用，而腐质植物根系形成的大孔隙促使了优先流的发生，因此加剧了剖面上土壤水分的异质性。3) 多年冻土区地下冰的含量受深层土壤水分的影响较大，而与浅层土壤含水量的波动基本无关；强降水事件是冻土上限附近地下冰的主要来源，因此未来在预测地下冰分布中将深层土壤水分作为输入参数可有效提高模型预测精度。研究结果可在一定程度上解释冻

土区水文过程、生物地球化学循环过程对气候条件的响应，并为地下冰分布的预测提供参考。

川藏工程走廊冻土冻融灾害及冻土工程病害冬季科考顺利开展

2020年1月8—20日，第二次青藏科考“地质环境与灾害”任务“冻土冻融灾害及重大冻土工程病害”专题研究团队开展了川藏工程走廊冬季冻土冻融灾害及工程病害科学考察工作，科考重点区域包括国道G317、G318、G214沿线及拟建川藏铁路部分区段。此次科考基本摸清了以G317、G318为主的川藏工程走廊内冬季冻土冻融病害类型、分布特征及工程影响。发现工程走廊内冻融现象主要包括泥流阶地、石环、多边形遗迹、岩屑坡、冻融风化及其导致的坍塌和崩塌等；工程病害主要为冰幔、涎流冰、冻胀、冻融差异变形导致的裂隙、冻融对构筑物材料劣化等。

调查发现，川藏工程走廊内最为发育的冻融现象为泥流阶地和岩屑坡，其中泥流阶地主要分布在G317沿线的甘孜县至炉霍县以及G318沿线的康定机场至新都桥一带，岩屑坡在沿线的高陡边坡及峡谷区域均有分布，且部分碎屑体已掩埋公路挡墙及路边的防洪设施等。冰幔、涎流冰等主要分布在左贡县的东达山以及江达县的矮拉山一带，部分冰幔已掩盖公路并直接影响交通安全。冻融风化除对走廊内高山区域岩质边坡影响显著外，另外主要造成了公路边坡挡墙、排水沟等辅助工程混凝土破坏。

研究团队在 G317 沿线的雀儿山隧道等地发现严重的隧道结冰和挂冰现象，对隧道的行车安全造成很大的隐患。针对以上冻融灾害及工程病害现象，考察队选取部分典型灾害和工程病害开展了现场三维激光扫描测量，并获取了少量川藏铁路勘察钻孔岩芯，为室内试验及模拟分析提供了条件。此外，本次科考还调查了冻融条件对白格滑坡周边岩土体稳定性的影响。

基于本次科考取得的成果，研究团队将结合高分辨遥感解译查明走廊内主要冻融灾害的分布规律，结合气候研究资料及测年工作分析灾害发育的古气候条件以及发展趋势，结合典型冻融灾害的现场监测分析其发育机理及其对工程的影响。最终将系统统计国道 G317、G318 沿线冻融病害的分布状况，开展川藏铁路沿线岩石抗冻融风化的相关试验。

地震作用下深季节冻土区黄土边坡动力 响应与变形失稳研究获进展

青藏高原东北缘是我国地震和地质活动最活跃的地区之一，灾难性地震和地质灾害造成了该区严重的生命伤亡和经济损失。由于黄土多孔隙、弱胶结的结构特点，其在地震和季节反复冻融作用下，黄土斜坡极易变形失稳，导致深季节冻土区内黄土滑坡具有突发性、隐蔽性、巨灾性和复发性的特点。

近期，第二次青藏科考“地质环境与灾害”任务“冻土冻融灾害及重大冻土工程病害”专题研究团队，为揭示青藏

高原东北缘黄土地震滑坡失稳机理，开展了大型振动台斜坡物理模型试验和离散元数值模拟研究，得到了不同强度地震荷载作用下，裂隙型和非裂隙型黄土边坡的动力响应特性和变形失稳演化规律。

结果表明，随着地震荷载的增加，黄土边坡的峰值位移随着坡高的增加而逐渐增大。在水平地震荷载作用下边坡加速度放大效应大于垂直荷载作用下的放大效应。含裂隙边坡坡肩处的峰值加速度放大系数明显大于非裂隙边坡坡肩的放大系数。当输入地震荷载较小时，边坡内部土体颗粒粘结破坏主要分布在初始裂隙结构面附近和模型底部；随着地震荷载的增大，边坡内土体颗粒粘结破坏数量迅速增加。当输入地震荷载烈度增加到 VIII 时，含裂隙边坡前端出现多个潜在滑动面，且第一级裂隙发展贯穿，坡肩发生失稳破坏。非裂隙边坡后缘出现一个范围较大的潜在滑动面，边坡顶部产生明显沉降变形，但整体尚未失稳。研究结果对于深季节冻土区黄土边坡地震灾害预测和抗震设防具有积极意义。

雨洪非线性特征研究实验观测技术 研发获进展

由极端天气事件引发的暴雨洪水是青藏高原一种常见的洪水灾害类型。受流域复杂下垫面和降水时空变化等多种因素影响，自然界雨洪过程呈现出复杂的非线性。鉴于目前青藏高原山洪野外实测资料稀缺，第二次青藏科考“地质环境与灾害”任务“重大山洪灾害及风险”专题研究团队，近

期针对山区中小流域洪水汇流非线性特征，自主研发了一套新型的坡面径流模拟实验装置系统，初步开展了雨洪退水过程关键参数室内实验研究，并将该技术申请国家发明专利。

新型的坡面径流模拟实验装置系统利用最新的 3D 打印等快速成型技术，精细设计不同糙率系数的糙率板，模拟多种流域坡面地表糙率，通过设计可控升降的实验坡面，模拟不同流域地形坡度。为消除实验供水波动误差影响，在供水端和出水端设计了同步测流装置。基于该实验装置系统能够定量研究不同坡度和地表糙度下不同量级的暴雨洪水退水非线性过程，分析地表糙度与曼宁糙率系数之间的关系，为不同下垫面条件下青藏高原山区中小流域洪水汇流过程准确模拟和关键参数的确定，提供水文基础实验支撑。

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

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
