

# 第二次青藏高原综合科学考察研究

## 工作简报

2020年第7期（总第14期）

第二次青藏高原综合科学考察研究队

2020年7月25日

### 本期目录

#### 任务动态

1. 地质环境与灾害任务开展实施方案论证及进展交流...1

#### 专题动态

#### 前沿成果

1. 湖泊沉积物铯同位素 ( $^{137}\text{Cs}$ ) 年代学研究新进展.....2
2. 纳木错高寒草原生态系统干湿年份碳水通量变化及主导因素.....3
3. 青藏高原湖泊对气候变化响应研究综合集成.....4
4. 东喜马拉雅兽类多样性格局解析研究最新进展.....6
5. 研究发现新的鸟类喙型进化主效基因.....8
6. 青藏高原北部碰撞后岩浆活动与高原隆升过程.....10
7. 上新世中期喜马拉雅山仍未隆升至现今高度.....12
8. 冈底斯努日砂卡岩型铜—钨—钼矿床矿物成因和成矿流体变化特征.....14
9. 青藏高原地下冰空间分布及其结构.....15

#### 科考进展

1. 草地生态系统与生态畜牧业专题交流会召开.....16
2. 可可西里无人区长期监测样地建成并投入使用.....17
3. 智能科考无人机高海拔应用实验顺利完成.....18

#### 服务发展

1. 新建铁路川藏线雅安至林芝段毛垭坝北侧斜坡稳定性评估.....19

## 任务动态

# 地质环境与灾害任务开展实施方案 论证及进展交流

2020年是第二次青藏科学考察研究实施的第一年，也是青藏高原科考的关键之年。同时，2020年新型冠状病毒疫情对科考野外工作造成了很大影响。为更好地布局实施科考工作，“地质环境与灾害”任务负责人崔鹏院士、张培震院士、祁生文研究员统筹组织所属各专题通过线上线下结合的方式相继开展了专题实施方案讨论会。专题内各参与单位详细汇报了拟采取的实施方案，领域内权威专家对实施方案进行了详细论证，并提出修改完善建议。

经过6场实施方案论证及进展交流会，所属各专题及时发现了存在的问题，明确了科考目标和研究内容，对实施方案及时进行了调整，使得实施方案更具针对性和可操作性，为后续科考的顺利推进奠定了坚实的基础。论证会确定了“地质环境与灾害”第一年的年度重大成果目标为“川藏铁路沿线地质环境与灾害风险及优化选线咨询报告”。

科考实施以来，任务团队整理汇编了川藏铁路沿线的多种数据资料，包括气象水文数据、地理地质数据、遥感影像数据等，初步分析了川藏铁路沿线的地质环境。结合高分辨遥感解译、历史资料分析、现场考察等手段，初步查明了拟建川藏铁路沿线的活动断裂、泥石流、山洪、工程扰动、冻土冻融、链式灾害的分布规律及发展趋势。新建川藏铁路毛

垭坝段北缘斜坡稳定性、川藏铁路沿线隧道进出口高边坡变形稳定性评价及选线建议等科考成果被中国国家铁路集团有限公司、中铁第一勘察设计院集团有限公司等单位采纳，有力支撑了川藏铁路建设。

## 专题动态

### 前沿成果

# 湖泊沉积物铯同位素 ( $^{137}\text{Cs}$ ) 年代学研究新进展

放射性核素铯同位素 ( $^{137}\text{Cs}$ ) 非自然产物，而是由人工核试验所产生，经常用于湖泊表层沉积物定年。我国西北地处北半球中纬地区，位于切尔诺贝利事故的下风方向，区内还存在我国著名的罗布泊核试验基地。因此，该地区湖泊沉积物不仅能记录到 1963—1964 年全球大气核试验沉降峰值，还被认为具备记录切尔诺贝利核事故 (1986 年) 和罗布泊核试验 (1976 年) 信号的潜力。这一复杂性导致我国西北地区、乃至中国东部和南方地区的湖泊沉积物  $^{137}\text{Cs}$  活度峰值 (最大沉降峰值) 究竟作为哪一信号的时标而饱受争议。

近期，“西风—季风协同作用及其影响”任务“西风—季风历史演化及相互作用机理”专题研究团队选择  $^{137}\text{Cs}$  信号最为复杂的我国西北地区，基于该区 6 个湖泊沉积岩芯  $^{137}\text{Cs}$  和  $^{210}\text{Pb}$  的研究结果，与中亚地区 (含我国西北西区) 23 个湖泊沉积物和 10 支冰芯的  $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{210}\text{Pb}$ 、 $^{239+240}\text{Pu}$ 、 $^3\text{H}$ 、 $^{241}\text{Am}$

和  $\beta$  活度定年法、年层计年法、以及  $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$  比值等方法结果进行整合研究，并系统分析了切尔诺贝利核事故和罗布泊核试验产生的放射性物质的传输路径，对比了来自欧洲 26 个湖泊沉积物和阿尔卑斯山 5 支冰芯的表层年代学结果。

研究结果显示，我国西北地区，乃至整个中亚，湖泊沉积物  $^{137}\text{Cs}$  活度峰值对应全球大气核试验沉降峰值(GTWT)，而非来自切尔诺贝利核事故和罗布泊核试验的信号。放射性核素从释放到大气、沉降至流域（图 1）和水体中滞留的时间分析显示， $^{137}\text{Cs}$  在流域和湖水中滞留时间约为 1 年。因此，湖泊沉积物  $^{137}\text{Cs}$  活度峰值是全球大气核试验沉降峰值的可靠时标，但滞后一年，即对应 1964 年。

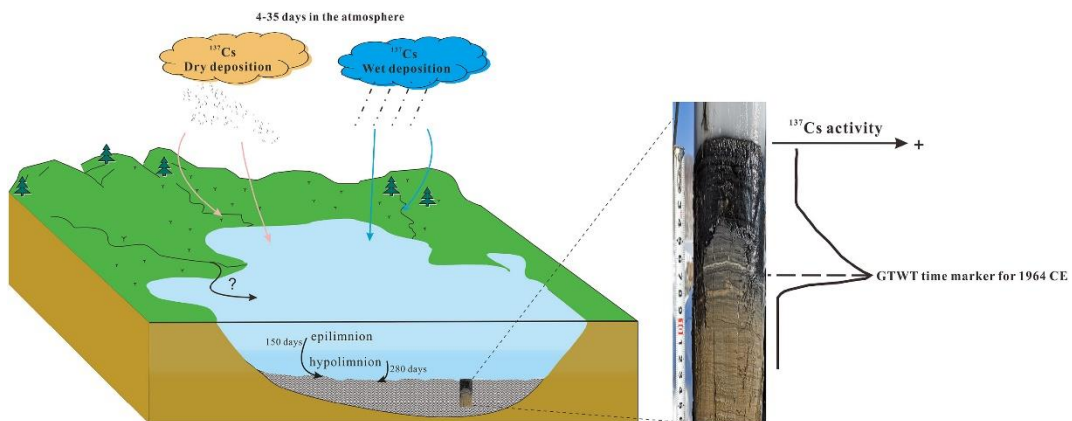


图 1: 湖泊沉积物  $^{137}\text{Cs}$  年代学示意图

原文链接: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106413>

## 纳木错高寒草原生态系统干湿年份碳水 通量变化及主导因素

西藏纳木错高寒草原生态系统分布在海拔较高(4730 米)且降水年际变化大的半干旱气候区，该生态系统脆弱且极易

受到气候变化的影响。降水年际和年内分配不均深刻影响生长季表层土壤水分，显著改变生态系统碳水平衡。通过研究纳木错高寒草原生态系统干湿年份碳水通量变化及主导因素，有助于更加深入了解青藏高原高寒草原的区域碳水循环。

“西风—季风协同作用及其影响”任务“地气相互作用及其气候效应”专题研究团队，利用涡度相关技术，分析研究了在干湿鲜明对比的年份高寒草原生态系统生长季碳水通量的变化。结果表明，干湿年份生长季碳水通量变化差异较大，湿润年份的累积碳水通量显著高于干旱年份；纳木错高寒草原是受表层土壤水分驱动的水分受限生态系统，表层土壤含水量在干湿年份生长季碳水通量变化中起主导作用；在7、8月份（生长旺季）白天，由于表层土壤水分含量降低引起水分胁迫，进而显著抑制光合作用和蒸散发。

原文链接：<https://doi.org/10.1007/s00484-020-01892-2>

## 青藏高原湖泊对气候变化响应 研究综合集成

由于全球气候变暖，广泛分布在青藏高原上的天然湖泊变化备受关注。目前，青藏高原湖泊变化已有大量研究报道，为更好地了解青藏高原气候变化和水循环，助力水文学、湖沼学、冰川学和遥感应用等的发展，有必要对已发表的研究结果进行全面总结和评估，综合分析过去 50 年来青藏高原湖泊系统的年际和季节变化特征、湖泊对气候变化的综合响应、湖泊变化原因的定量分析、湖泊演化和格局的驱动机制



以及湖泊对未来气候变化的响应等。

近期，“亚洲水塔动态变化与影响”任务“冰川、积雪、冻土、地下水”专题研究团队，通过对青藏高原湖泊遥感监测、野外观测和模型模拟研究结果的综合分析（图 2），系统地总结了青藏高原湖泊变化的时间演变规律、空间格局和驱动机制。



图 2：青藏高原湖泊关键水循环要素组成

结论主要归纳为：1. 湖泊面积、水位和水量变化自 1970 年代到 1990 年代中期略有下降，随后呈持续快速增长的态势；2. 空间格局表现为中北部湖泊整体增长、南部湖泊减少，同时大部分中北部湖水降温、南部升温，北部湖泊结冰期比南部湖泊更长。湖水温度变化与水位变化和湖冰持续时间呈负相关；3. 降水增强是湖泊水量增加的主要原因，其次是冰

川消融和冻土退化。大西洋年代际振荡处于正相位可能是驱动 1990 年代中期以来多年湖泊扩张主因，强厄尔尼诺事件导致 1997/1998 年、2015/2016 年湖泊面积出现明显拐点。

研究认为，未来短期内，青藏高原湖泊将继续扩张。因此，迫切需要开展跨学科湖泊研究，提高对该区域大气圈-冰冻圈-水圈相互作用和水资源管理的认识。此外，研究还介绍了正在进行的青藏高原湖泊研究计划，对相关研究方向提出了建议。同时利用湖泊变化这一指标，向科学界提供了气候变化对青藏高原湖泊影响前所未有的全景图。

原文链接：<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103269>

## 东喜马拉雅兽类多样性格局 解析研究最新进展

生物多样性组成与分布及其相关机制一直是生态学、生物地理学和保护生物学研究的热点问题。物种多样性的空间分布格局指特定区域中物种多样性在空间梯度（纬度、经度、海拔梯度等）的分布状态，而时间分布格局则反应动物的日活动节律，如昼行性、夜行性、晨昏性等。区域物种组成与分布格局同时受到环境过滤、种间互作（如竞争、捕食等）、人类活动等多个方面的影响。

喜马拉雅地区是当今地球上最独特的地质—地理—生态单元，拥有独特的生物资源，是现代生物多样性形成过程中的“演化枢纽”，被视为研究环境变迁与生命演化的“天然实验室”，是研究物种多样性组成与时空分布格局的理想场

所。但是，受交通、自然环境等条件限制，外界对该地区哺乳动物物种组成与多样性格局的研究较少。

为掌握东喜马拉雅山地兽类多样性组成与时空分布格局，“生物多样性保护与可持续利用”任务“高原动物多样性保护和可持续利用”专题研究团队，利用红外相机调查法收集区域内野生动物的分布信息，并利用遥感感测提取各调查点的地形指数、植被指数、人类活动指数等环境数据，结合生态模型分析各生态因子对物种分布及群落结构影响。

研究首先报道了野生孟加拉虎在我国分布的红外照片证据，并报道与孟加拉虎同域分布的 15 种大中型食肉动物及其潜在猎物鹿（图 3 左图）的占域率，发现鹿是监测样地内记录频次（独立照片数）最高的物种，其在区域内的占域率（丰富度指数）也很高，暗示区域内大中型食肉动物的潜在猎物资源丰富。研究进一步以保护关注度高的食肉类为研究对象，采用路径分析探讨猎物可得性、人类活动、相关环境变量与食肉类物种多样性及群落生物量间的直接或间接关联，结果显示，猎物可得性以及居民点之间的距离是影响食肉类群落结构的关键因素，二者对食肉类物种多样性及群落功能性状（体重）具有直接和间接的显著关联：一方面，食肉类群落生物量和猎物可得性、食肉类物种多样性和人类活动强度间存在直接正关联；另一方面，人类活动对食肉类群落功能性状产生间接影响，距离居民点越近，群落平均体重越小，表明人类活动可能同时影响食肉类群落结构和功能。





图 3: 红外相机拍摄到的偶蹄目动物鹿 (左图) 与偶蹄目动物羚牛 (右图)

研究还以国家I级重点保护野生动物高黎贡羚牛(图 3 右图)为研究对象,揭示其种群结构及时空分布规律,发现羚牛活动以独牛为主,而独牛以成年雄性为主(75%),单次记录到的最大种群为 41 头,羚牛群与独牛活动高峰存在差异,牛群主要在白天活动,独牛主要在夜间活动,二者间的差异可能与羚牛种群结构及栖息地内的捕食风险有关;影响羚牛栖息地适宜度的关键因素为距离居民点的距离和采集干扰,模型预测的羚牛适宜栖息地破碎化较严重,分布在远离人为干扰的偏远山区。

原文链接: <https://doi.org/10.1017/S0030605319001467>

<https://doi.org/10.1111/acv.12600>

<https://doi.org/10.1515/mammalia-2019-0114>

## 研究发现新的鸟类喙型进化主效基因

经典定量遗传学研究发现,大多数表型是一种多基因性状,在这种模式下,自然选择往往同时作用于多个基因位点,导致少数具有主要效应的基因座和许多具有微量效应的基因座协同控制表型的适应性变化,这对我们理解表型进化的

遗传机制带来了挑战。鸟类的喙是一种典型的多基因性状，其形态的多样化是其功能（觅食、梳理、筑巢、挖洞等行为）和生存环境多样化的结果，这也使得鸟类应对环境变化时能够快速做出反应。主效基因具有较高的等位基因频率、容易被自然选择固定且不易被遗传漂变丢失，因此能够更容易从基因组中检测到，且与表型具有强的相关性。

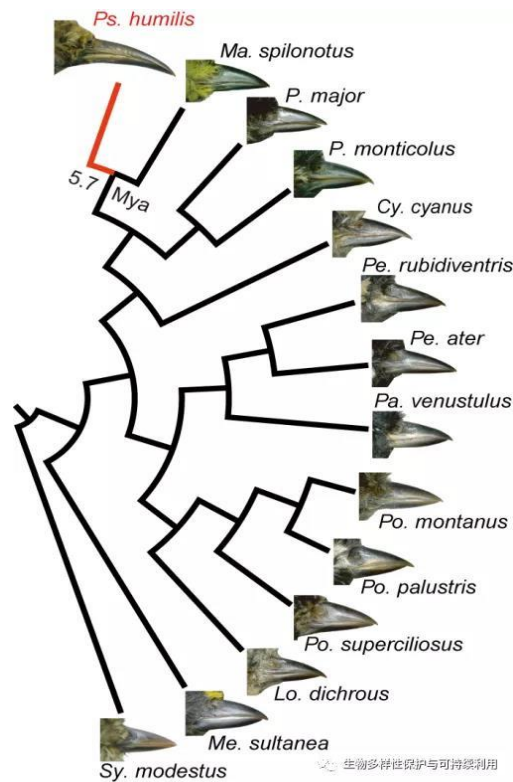


图 4：14 种山雀科鸟类的喙型比较

近期，“生物多样性保护与可持续利用”任务“高原动物多样性保护与可持续利用”专题研究团队，通过对 14 种山雀科鸟类的基因组比较研究（图 4），揭示了一个潜在的主效基因（*COL27A1*）。该基因在地山雀特化的长且弯曲的喙型变化，起到了遗传调控作用，以适应青藏高原地面觅食和掘洞筑巢的生活习性。

研究人员检测到 25 个高度分化且与喙型显著相关的基因组区域，从这些区域中筛选到 7 个与骨骼发育和重塑相关的候选基因。但中性检验却发现只有 *COL27A1* 基因在地山雀中受到了强烈的选择性清除作用。该基因显示出较低的核苷酸多样性、Tajima's *D*、Fu& Li's *D* 和 Zeng's *E* 值，较长的连锁单倍型区域，以及高比例的固定位点。*COL27A1* 基因编码区 120 个单核苷酸多态性位点 (SNP) 构建的基因树清晰显示地山雀和其它 13 种山雀之间的深度分化，这些 SNP 位点在地山雀中具有高度的纯合性，其中 11 个固定位点中有 6 个是非同义替代位点。

更显著的是，在鸟类甚至爬行类和哺乳类中都具有高度保守性的 *COL27A1* 基因，通过对这 6 个非同义替代位点进行选择分析和蛋白功能预测发现，其中两个潜在有害的非同义突变位点很可能调控了地山雀喙型的适应性特化。该研究虽尚未完成进一步功能实验验证，但已明确表示鸟类喙型这一重要特征变异的遗传机制及其在高海拔适应中的作用，同时也表明了比较基因组学是生态适应和进化发育研究的一种重要手段。

原文链接: <https://doi.org/10.1093/molbev/msaa157>

## 青藏高原北部碰撞后岩浆 活动与高原隆升过程

青藏高原—喜马拉雅造山带是地球上最大的陆—陆碰撞造山带，其演化过程和隆升历史是地球科学研究中的热点

问题。青藏高原内部分布大量碰撞后岩浆活动，包含地幔和地壳来源的多种岩石类型，被认为是探究高原隆升深部机制的理想研究对象。前人定量古高度的研究表明，青藏高原北部的可可西里盆地在中新世之后发生了至少 1 km 的地表隆升，但对引起地表隆升的深部动力学机制存在不同认识。鉴于可可西里盆地内大量发育有中新世—上新世的碰撞后岩浆岩，对应于可可西里盆地中新世之后的地表隆升过程。因此，研究可可西里盆地内中新世—上新世的碰撞后岩浆岩的成因有助于理解控制青藏高原隆升的深部动力学机制。

早期研究发现，可可西里盆地内的幔源岩浆岩都经历了不同程度的分异演化或地壳混染，不能完全代表地幔源区的特征。近期，“高原生长与演化”任务“典型地区岩石圈组成、演化与深部过程”专题研究团队，通过对比可可西里地区不同时代镁铁质岩浆岩的地球化学组成以及区域构造演化历史，认为可可西里橄榄白榴岩所代表的富集地幔形成于始新世-渐新世期间，南向俯冲的柴达木地块提供了交代地幔的富集组分，富集物质主要为富钾的碳酸岩—硅酸岩混合熔体。

考虑到可可西里盆地内约 75% 的岩浆活动集中爆发在 18—11 百万年 (Ma) 之间，并结合高原北部岩石圈厚度较薄的特征，认为岩石圈的拆沉减薄触发了上覆剩余富集岩石圈地幔和地壳的部分熔融，产生了可可西里地区 18—11 Ma 大规模的岩浆爆发，并引起可可西里盆地中新世之后至少 1 km 的地表隆升。

原文链接: <https://doi.org/10.1093/petrology/egaa026>



## 上新世中期喜马拉雅山仍未隆升 至现今高度

上世纪六七十年代的青藏科考中,我国科学家在喜马拉雅山中段的晚中新统至上新统地层中发现了高山栎和三趾马等动植物化石,这被认为是喜马拉雅山在该时期仍处于较低海拔的重要证据。进入21世纪后,碳酸盐氧同位素( $\delta^{18}\text{O}_c$ )古高度计的兴起促使青藏高原古高度研究走向定量化。基于 $\delta^{18}\text{O}_c$ 的定量重建指出喜马拉雅山在晚中新世至上新世时期已经达到甚至超出其现今高度,该学说近年来逐渐成为学界主流。然而,如何解释氧同位素古高度计与生态证据间的巨大差异仍是悬而未决的问题。

“高原生长与演化”任务“高原风化剥蚀历史及气候环境效应”专题研究团队,首次在喜马拉雅山地区吉隆盆地尝试应用叶蜡正构烷烃氢同位素( $\delta^2\text{H}_{\text{alk}}$ )和甘油二烷基甘油四醚(GDGTs)温度计两种新兴的定量古高度计,从新的角度探究这一难题。

结果显示两种新方法重建的吉隆盆地晚中新世至上新世中期的古高度存在系统差异。 $\delta^2\text{H}_{\text{alk}}$ 与 $\delta^{18}\text{O}_c$ 重建古高度分别为约6.3 km和5.5 km,均高于现今高度(约4.0 km);GDGTs重建的陆源输入区和湖表面高度分别为约3.6 km和2.5 km,均低于现今高度,与动植物化石等生态证据指示的暖湿环境一致。值得注意的是,源自陆生高等植物的 $\delta^2\text{H}_{\text{alk}}$ 与源自湖泊水体的 $\delta^{18}\text{O}_c$ 重建高度的差值与GDGTs重建的陆源输入区与湖表面的高度差接近。这意味着氢氧同位素体系与GDGTs



体系可能同等地记录了盆地内部的地形差，二者并不分别代表山顶高处和盆地低处。另一方面，吉隆盆地沉积物中，土壤源 GDGTs 重建温度和  $\delta^2\text{H}_{\text{alk}}$  关系明显偏离了现代表土模式，指示 GDGTs 重建温度高估或  $\delta^2\text{H}_{\text{alk}}$  负偏。考虑到当时的气候特征适合 GDGTs 温度计的应用，而降水模式则与现今存在很大差异，不完全满足降水氢氧同位素古高度计的假设。因此，后者更可能系统高估了吉隆盆地古高度。

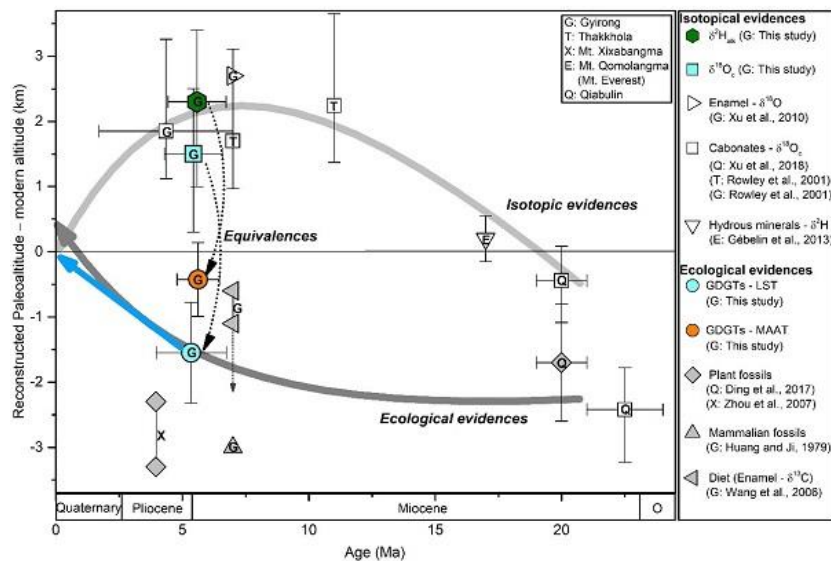


图 5: 喜马拉雅山中段古高度记录

综上，本研究推断晚中新世至上新世中期吉隆盆地盆底海拔约 2.5 km，而周围山体海拔超过 3.6 km。这一结果指示上新世中期之后吉隆盆地仍需快速隆升约 1.5 km（图 5）。由于氢氧同位素古高度计体系与生态证据的不匹配在青藏高原中南部新生代地层中是普遍存在的，因此有必要对先前的相关研究结果进行重新评估。

原文链接: <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2020.116422>

## 冈底斯努日矽卡岩型铜—钨—钼矿床矿物成因和成矿流体变化特征

热液矿物成分能够有效反映成矿流体的变化,尤其是矽卡岩型矿床中发育的不同期次或具有环带结构特征的矿物,其成分对于指示成矿流体成分、物理化学条件变化及流体演化过程具有重要意义。石榴石和白钨矿作为矽卡岩型矿床中常见的热液矿物,在成矿过程中具有多期次特征,尤其是石榴石常表现出环带结构,是研究成矿流体的良好对象。

近期,“资源能源现状与远景评估”任务“青藏高原资源能源战略储备综合评估”专题研究团队,对西藏冈底斯成矿带努日大型铜—钨—钼(Cu-W-Mo)矿床中石榴石和白钨矿进行了详细的矿相学和原位成分分析,探讨了石榴石和白钨矿成分变化的控制因素,并反演了成矿流体和氧逸度变化特征,同时利用矿物成分特征指示下一步勘查方向。

研究显示,努日矿区内的石榴石部分表现出明显的成分环带(图 6a),部分不具有环带结构(图 6b);图像显示该矿区白钨矿可以分为两期(图 6c),其中第二期(Sch2)常分布在第一期(Sch1)的边缘处(图 6d)。矿床的白钨矿稀土元素与世界典型矽卡岩型 W-Mo 矿床中白钨矿成分类似,表现出富集轻稀土元素,亏损重稀土元素,稀土元素主要是替代白钨矿中的  $\text{Ca}^{2+}$  晶格位置。努日矿床成矿系统的氧逸度从矿化早期到晚期逐渐降低。此外,石榴石矿物成分中钙铁榴石的空间变化及其与 Cu, Mo 和 W 等成矿元素的正相关性,显示石榴石成分对于矿产勘查具有重要指示意义。

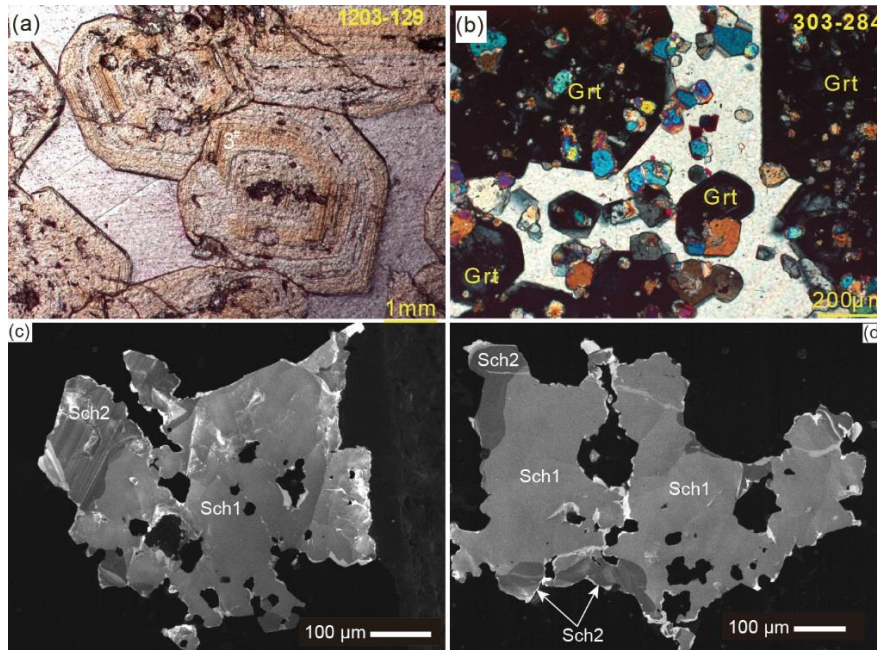


图 6: 努日矿床中石榴石矿物结构特征

原文链接: <http://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103549>

## 青藏高原地下冰空间分布及其结构

青藏高原作为全球最大的高海拔多年冻土区, 气候变暖及持续增加的人类活动可导致多年冻土变暖和退化。多年冻土变暖主要体现在地下冰的融化, 进一步导致活动层厚度增加、地表下沉、丘陵地带山体失稳、地表景观格局变化、冻土水文循环失衡、热喀斯特过程加剧, 以及越来越多的基础设施病害发生。因此, 青藏高原地下冰空间分布及其结构研究, 是准确开展冻融灾害评估与预测的基础工作。

近期, “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, 针对青藏高原高含冰量的特点, 分析了不同地貌单元地下冰分布的质量及体积含量, 给出了他们之间的定量关系, 得出了不同地貌单元过剩冰含量, 并

估算了地下冰融化引起的地表沉陷率。

研究发现，青藏高原地下冰质量含量一般为 10—500% 之间，约 76% 的多年冻土为富冰至含土冰层，平均体积含冰量为 16%，最大值可达 70%，高含冰量是造成热融灾害高发的主要诱发因素。局地地表条件，如植被盖度、坡度坡向、地表排水条件、活动层土壤组分等对地下冰含量具有一定控制作用，特别是阳坡上部多年冻土处于退化状态，而阴坡多年冻土处于加积状态。除植被退化区外，大部分区域具有较高的过剩冰含量，平均过剩冰含量约为 19%，过剩冰含量与地表的湿度条件影响有关。青藏高原地下冰融化引起的地表平均融沉系数与过剩冰含量之间呈显著线性关系。青藏高原地下冰空间结构主要包括七种冷生结构，如孔隙冰、壳状冰、脉状冰、透镜状冰、层状冰、网状冰、斑状冰，其中斑状冷生结构占比最大，达到 29%。

原文链接：<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114540>

## 科考进展

# 草地生态系统与生态畜牧业 专题交流会召开

为规范项目管理，促进专题内部人员交流，做好 2020 年科考组织实施相关工作，2020 年 07 月 08 日，“生态系统与生态安全”任务“草地生态系统与生态畜牧业”专题在青海西宁召开了专题研讨会。由于新冠疫情的影响，会议以现场会议和视频会议两种方式进行。专题负责人以及科考骨干人



员 70 余人参加了会议。

会议回顾了开展第二次青藏科考任务的意义，鼓励大家尤其是年轻人，继承和发扬了老一辈科学家艰苦奋斗、勇攀高峰的青藏精神，把科考工作作为毕生职业来做。围绕人类活动、气候变化对青藏高原草地生态系统影响以及响应适应机制、变化机理、适应性管理对策等核心问题，争取为国家 and 地方出一批“有影响、用得上”科技成果，为服务国家战略提供科技支撑。

## 可可西里无人区长期监测样地建成 并投入使用

可可西里无人区位于青海西南部的玉树藏族自治州境内。它是横跨青海、新疆、西藏三省区之间的一块高山台地，总面积 4.5 万平方公里，与阿尔金山、羌塘高原共同组成独具特色的荒野区。区域植物以矮小的草本和垫状植物为主，木本植物极少，仅存在个别种植物种类，如匍匐水柏枝、垫状山岭麻黄。高寒草原是可可西里分布面积最大的植被类型，被誉为藏羚羊的“大产房”，拥有藏羚羊、野牦牛、藏野驴、白唇鹿、棕熊等青藏高原上特有的野生动物，野生动物多达 230 多种。

构建围封样地，排除食草动物的放牧干扰，对于认识草地生态系统的群落结构、生产力、碳汇及水源涵养乃至承载力都非常重要。为深化生态学的科学研究，服务区域或国家生态建设的需求，“生态系统与生态安全”任务“草地生态系统与生态畜牧业”专题研究团队，深入青藏高原腹地可可西



里地区，克服高寒缺氧等恶劣条件，建成 100 m×100 m 标准围封样地，并完成仪器架设、安装、调试。随着北斗卫星投入使用，实现无人区监测数据的实时传输。

## 智能科考无人机高海拔应用实验顺利完成

第二次青藏科考启动实施以来，十分重视智能化高新技术与科学前沿问题的有机融合，成功实施“极目一号”浮空艇 7000 米超高空水汽传输探测，首次取得这一高度亚洲水塔水汽过程的科学数据，实现前沿科学问题和重大技术跨界交叉融合的突破，得到社会各界广泛关注。

为持续服务支撑第二次青藏科考深入实施与创新成果产出，在科考队长办公室组织下，2020 年 7 月 4—15 日，中国科学院青藏高原研究所和中国科学院沈阳自动化研究所“高海拔环境科考辅助机器人”项目组，克服高寒缺氧等恶劣气候环境，在青藏高原组织实施了首次高海拔冰川与湖泊智能科考无人机自动化辅助科学考察研究应用任务。

此次自动化科考应用实验中，由项目组研制的“云雀”智能自主科考无人机，在西藏自治区当雄县境内海拔 6000 米的廓琼岗日冰川区，成功完成冰川表面温度热红外影像监测与三维地形勘测、冰面至海拔 6500 米高空段大气温湿压与黑碳通量垂直梯度变化监测等工作（图 7）；在海拔 4730 米高的中国科学院纳木错多圈层综合观测研究站，抵御 7 级大风，成功实施大气温湿压与黑碳通量垂直梯度变化监测，并在纳木错湖区目标地点顺利开展深部水体样品自动化采集

和湖水垂直温度剖面实时监测工作。



此次机器人辅助科考应用实验工作，是首次采用智能化自主科考无人机在高海拔青藏高原地区辅助开展自动化科学考察研究工作，为第二次青藏科考高海拔山地冰川与湖泊综合观测研究体系的构建提供了新的技术手段。

## 服务发展

# 新建铁路川藏线雅安至林芝段毛垭坝北侧 斜坡稳定性评估

即将开工建设的川藏铁路雅安至林芝段位于青藏高原东南部，是目前世界范围内地形、地貌、气候和工程地质条件最为复杂，建设难度最大的铁路线。川藏铁路毛垭坝段位于甘孜州理塘县城西侧约 30 km 处，地处青藏高原东南缘，毛垭坝盆地属高原山间河谷断陷盆地，受断裂活动控制，盆地总体呈北西向展布，地势较平坦，海拔 4100~4150 m，总

体北高南低，无量河由西向东从毛垭坝盆地中部流过，盆地周边地形起伏大；毛垭坝断陷盆地内分布有无量河省级湿地公园，北侧分布有扎嘎市州级自然保护区，南侧分布有海子山国家级自然保护区等环境敏感点，G318 国道靠山沿盆地北侧自东向西通过。可研阶段分别研究了北线方案与南线方案，2018 年 10 月底，生态环境部现场调研认为推荐方案对草原产生了新的切割，该段选线成为国铁集团“回头看”重点关注问题之一。

针对此问题，“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，完成了新建铁路川藏线雅安至林芝段毛垭坝北侧斜坡稳定性评估专题研究工作，通过高精度遥感解译、野外精细踏勘、无人机测量、探槽勘察、钻孔勘察、物探勘察、平硐勘察、原位简易力学试验、精细数值模拟、室内力学试验以及理论分析等手段，对川藏铁路雅安至林芝段毛垭坝地区的地形地貌、地层岩性、地质结构、物理地质现象、岩体力学特性、老滑坡物质组构特征、形成机理及运动特征等进行了详细充分的研究后认为，川藏铁路毛垭坝段选线，从生态环境承载力出发，北线方案优于南线方案，而从地质风险出发南线方案优于北线方案，但经过分析研究北线斜坡群在重力、降雨和地震条下基本稳定，发生大规模岩体失稳风险小，因此铁路线路具备从北侧山前通过的条件。考虑到强震等极端条件，并进行工程地质类比，建议北线方案沿 3 号乱石包滑坡的“波”状鼓丘区起始端南侧通过，线路自东向西穿越时与各斜坡顶部保持水平安全距离 3000 m 以

上，即可显著降低极端条件下滑坡灾害风险。

近期，国铁集团组织专家对该研究进行了评审。评审专家认为：“《新建铁路川藏线雅安至林芝段毛垭坝北侧斜坡稳定性评估专题研究成果报告》技术正确，技术路线合理，论据充分，数据详实，结论明确、可靠，是一份高水平的研究报告，报告成果可以作为选线依据，为国家重大工程提供了有力支撑。”





---

**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](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

---