提名2019年国家自然科学奖项目公示

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 项目名称 | 中文名 | 青藏高原圈层作用的动力演化和链式响应 |
| 英文名 | Multi-spheres Dynamic Evolution and Chain Response in the Tibetan Plateau |
| 提名者 | 中国科学院 |
| **提名意见：**20世纪地球科学的重大突破是板块构造理论，21世纪地球科学的重大突破是地球系统科学。地球系统科学将地球作为一个整体，研究岩石圈、水圈、冰冻圈、生物圈、大气圈和人类圈等各圈层之间的物理、化学和生物过程及其与人类活动的关系，认识过去、把握现在、预测未来。圈层作用的多学科交叉和融合研究，是地球系统科学突破的前沿方向。青藏高原是地球上六大圈层同时存在和强烈作用的地方，其圈层作用过程具有整体性、敏感性和特殊性，是引起亚洲乃至全球环境改变的驱动器。中科院青藏所组织国内外科学家围绕青藏高原的孕育和生长、生物多样性演化、现代地表过程对西风-季风变化的响应等关键科学问题进行深入研究，发现了青藏高原深部、浅表、地表等圈层作用关键节点的动力演化过程和链式响应：深部圈层的动力演化造成6500万年前印度板块中部与欧亚板块碰撞和高原深部双向俯冲，并导致浅表岩石圈的差异隆升；岩石圈隆升造成高原进入冰冻圈，驱动寒冷适应性哺乳动物起源于青藏并“走出青藏”的链式响应；升入大气圈对流层中部的高原导致现代西风-季风耦合，引起全球变暖背景下冰冻圈、水圈、生物圈的多圈层链式响应，塑造了人类的生存环境。研究成果是习近平全球生态环境保护理念的重要科学依据，也是姚檀栋获得2017年度维加奖的重要科学基础。完成人在AGU、达沃斯极地科学、国际第三极、“一带一路”国际联盟大会做主旨演讲或组织专题论坛，促成了“第三极环境（TPE）”国际计划的成功实施和国际引领。提名该项目申请国家自然科学奖 一 等奖。 |
| **项目简介：**20世纪，以地幔对流、海底扩张和大陆漂移三个发现为核心构建的板块构造理论成功解决了地球岩石圈演化的动力学机制，但缺乏岩石圈、水圈、冰冻圈、生物圈、大气圈、人类圈六大圈层作用的整体思维，这成为21世纪全球地球科学领域亟需解决的核心科学问题。青藏高原是地球上六大圈层发育最全的地区，青藏高原的圈层作用过程具有时序性、整体性、敏感性和特殊性，是引起亚洲乃至全球环境改变的驱动器，是开展地球系统圈层作用研究的关键突破区。作为地球上最新一次大陆碰撞的产物，青藏高原是地球上圈层作用最强烈的地区，可以研究以陆陆碰撞为起点的整个地球系统演化过程。2003年青藏高原所成立以后，组织中科院地质、古生物、自然地理、大气、生态等多学科力量，联合国内外优势力量，以多圈层作用这一前沿方向研究青藏高原的整体行为及其影响，从碰撞、隆升及现代过程3个关键节点，凝练三大科学问题：青藏高原是如何孕育和生长的？青藏高原生长过程是如何影响生物多样性演化的？青藏高原现代地表过程是如何响应西风-季风变化的？印度与欧亚大陆的初始碰撞是青藏高原深部圈层作用最基础、最重大的科学问题，也是全球海陆格局与气候环境一次大转换的起点。此前的研究认为，印度与欧亚大陆碰撞始于距今5500万年前，并于西侧首先碰撞。若此，青藏高原南北缩短量规模不足以支撑其现今的海拔高度。因此提出印度与欧亚大陆应于更早时期首先在中部碰撞的假设。研究发现深部圈层作用造成印度大陆与欧亚大陆于距今6500万年前首先在中部碰撞，然后向两侧逐渐关闭，5000万年前全面碰撞，完成从大洋俯冲到大陆俯冲的转换。印度大陆岩石圈随之大规模俯冲到高原之下并与欧亚大陆岩石圈在高原腹地深部再次发生汇聚，导致高原深部印度与欧亚大陆岩石圈南北双向俯冲，类似于大洋岩石圈的俯冲过程。这一深部圈层动力演化过程造成青藏高原不同山系的差异隆升，冈底斯山脉碰撞前后已达到现代高度，而喜马拉雅山脉在5000万年前后刚露出海面，随着碰撞的进行，喜马拉雅山经历了几次快速隆升，分别是2500-1800万年，1300-700万年等。这一发现系统地阐明了印度与欧亚大陆碰撞及青藏高原隆升等深部圈层作用的动力演化过程，发展了板块构造理论。岩石圈动力演化对生物圈的影响是青藏高原多圈层作用的重要节点，也有助于准确理解全球生物多样性演化。此前，包括达尔文在内的科学家认为寒冷适应性动物起源于寒冷的北极地区。青藏高原的隆升强烈改变了气候格局，也可能对生物多样性演化产生重要影响。那么，青藏高原生长导致的气候变冷是否催生了寒冷适应性动物的先驱类型？这是青藏高原岩石圈与生物圈作用的一个关键科学问题。研究发现，距今3000万年前青藏高原生活着热带生物，随着高原生长，距今460万年左右，出现冰缘动物，也就是说它们起源于青藏，随着第四纪冰期来临，寒冷适应性哺乳动物走出青藏，向北扩散到世界其它地区。这一发现推翻了冰期动物“北极起源”假说，提出了冰期动物群“走出青藏”理论。青藏高原岩石圈动力演化导致的大气圈西风-季风耦合控制了现代地表水圈、冰冻圈、生物圈的格局与变化，是青藏高原圈层作用研究的关键节点。在当前全球变暖背景下，西风-季风如何变化并驱动青藏高原地表各圈层的作用过程？这不仅是区域性地球系统问题，也是全球性地球系统科学问题。研究发现青藏高原西风-季风耦合自南向北存在季风型、过渡型和西风型三种时空分布模态。这三种模态在全球变暖背景下驱动了过去几十年青藏高原冰冻圈、水圈、生物圈响应的空间差异和链式过程：西风降水的增强导致了高原北部冰川相对稳定、湖泊扩张、生态趋好；季风降水的减弱导致了高原南部冰川强烈退缩、湖泊萎缩、生态退化。这一发现提出了青藏高原地表圈层作用的新模式，实现了青藏高原地球系统科学研究的新突破。上述发现，完整揭示了青藏高原深部、浅表、地表等圈层作用关键节点的动力演化过程和链式响应，发展了地球系统科学，在国际上产生了重大影响，为我国青藏高原发展做出了重要贡献。 |
| **客观评价：**8篇代表性论文总引2140次、他引1776次（SCI他引1359次），姚檀栋院士获得2017年度维加奖。印度与欧亚大陆的碰撞时间、方式的研究成果得到了越来越多的广泛认同。吴福元院士在桑丹林剖面进行大陆碰撞时间研究时（Wu et al., 2014），采纳了本研究的野外调查数据并通过独立研究肯定了古新世早期碰撞的成果，“在西部桑丹林盆地，上白垩统地层以印度来源物质为主，而亚洲冈底斯弧来源的物质在6000万年开始到达印度北缘，这一年龄限定了该地区印度-亚洲大陆碰撞的最小年龄，而前人提出的< 5400万年碰撞时间不予以支持”。美国著名青藏高原研究学者DeCelles（2014）认为“这些观察支持桑丹林盆地是印度和欧亚大陆岩石圈碰撞的结果……碎屑锆石和新发现的火山灰年龄表明源区转变发生在6000-5850万年之间。我们认为这一年龄代表亚洲和印度大陆岩石圈的接触”。这一成果同样对碰撞造山成矿理论有着深刻的影响。我国著名矿床学家侯增谦院士在总结大陆碰撞三阶段成矿理论时（Hou and Zhang, 2015），将本成果引用到成矿系统中，“印度-欧亚板块碰撞开始于6500万年，持续到~ 4100万年。主碰撞陆陆汇聚过程主要表现为印-亚大陆对接拼合（6500万年）、印度大陆向北俯冲（6500-4100万年）与地壳缩短加厚, 同时伴随着幔源岩浆底侵、地壳垂向增生及加厚地壳深熔，由碰撞造山引起的地壳加厚以及岩石圈剪切和地幔减薄引起的高热流和热流体,可能是导致大陆碰撞带发生大规模成矿的主要根源”。国际著名青藏高原地质学家 B. R. Hacker（2014）直接引用本研究关于岩石和下地壳温度数据作为建立其青藏高原地壳部分熔融模型的基础和边界条件。发表在PNAS以三趾马化石为依据推断古高度的论文，Nature中国主页专栏文章认为该成果“为帮助解决青藏高原隆升的神秘性提供了重要的信息”。关于披毛犀等冰期动物“走出青藏”的理论，Science在发表该篇论文的同期杂志首页配发了“为冰期准备好毛衣”的导言和西藏披毛犀生活于高原冰雪环境的生态复原图。大英自然历史博物馆的Adrian Lister教授指出：“我们知道现代的动物随着气候变化上山或下山，今天的趋势则是向高处迁徙以逃避全球变暖。披毛犀在西藏的起源显示在过去更长的时间尺度上这样的事情早已经发生过”；加州大学伯克利分校的Anthony Barnosky教授评论说，此项研究证明“孤立地区作为进化摇篮的重要性”。随着更多青藏高原起源冰期动物祖先的发现，美国国家科学基金会的Rich Lane博士认为：“‘走出青藏’的概念是对于更新世寒冷适应性动物起源问题的一个令人激动的见解，与人类进化‘走出非洲’理论相媲美，它们在生物历史和地理分布上可能是一个适用范围更广的模式”。 邓涛被特邀在AGU 2017年会做专题报告，Eos杂志专门配发的题为“化石为青藏高原演化提供新线索”的报道中指出：“受制于达到现代高度的青藏高原，脊椎动物或者因进化而适应高海拔的冰冻圈环境，或者消亡”。青藏高原冰川变化区域差异及其与季风和西风相互作用关系的研究成果发表在Nature Climate Change上，该成果入选中国科学院2013年度科技进展，是2012年美国科学研究理事会《喜马拉雅山冰川－气候变化、水资源和水安全》报告的重要科学依据和IPCC第五次评估报告的重要参考成果；同时，该成果也是近年来国际青藏高原冰川变化研究高引用率的引领性成果，为地球科学领域Top 0.01%高被引论文。西风和季风影响下降水同位素现代过程的三个模态特征研究成果，以封面文章发表在地学权威期刊Review of Geophysics上，作为2014年AGU Journal网页的亮点推荐论文，为Top 1%高被引论文，并入选中国科学院《2014科学发展报告》；国际著名冰芯学家Jean Jouzel教授，在其2014年修订的《Water Stable Isotopes: Atmospheric Composition and Applications in Polar Ice Core Studies》专著第二版中，引用了该成果。研究成果厘清了关于青藏高原冰川是前进还是后退、湖泊是扩张还是萎缩、植被是向好还是变差的争论。Nature Comments、News in Focus等4次评述这一研究的重要科学意义，认为是“聚焦第三极”、解决了第三极高海拔地区气候变化的迫切问题。区域冰川与水资源、气候的关系，以及高亚洲冰川质量变化研究分别是汤森路透（Thomson Reuters）评出的2015和2016年全球地学10大前沿之一，该研究成果属于前沿领域的第一方阵水平。研究成果产生了重要的国际影响，Nature（2010年468期、2011年472期、2012年484期、2013年496期和501期、2014年512期、2015年1月27日）和Science（2011年334期、2013年340期）期刊先后9次以亮点评述、专题报道、在线新闻等形式对该项研究工作和成果给予高度评价，认为是“解决高海拔环境变化问题领域最出色的研究活动的典范”。研究成果广泛应运到了多领域、多层次的科技援藏和知识援藏服务，解决了西藏发展中面临的实际问题。以研究成果为基础的青藏高原环境变化科学评估是习近平总书记第六次西藏工作会议讲话中提出青藏高原生态屏障建设重要指示的科学依据，是西藏自治区2015-2030生态屏障建设规划和第二次青藏高原综合科学考察研究的重要科学基础。 |
| **代表性论文专著目录：**1. Yao TD, Thompson L, Yang W, Yu WS, Gao Y, Guo XJ, Yang XX, Duan KQ, Zhao HB, Xu BQ, Pu JC, Lu AX, Xiang Y, Kattel DB, Joswiak D. Different glacier status with atmospheric circulations in Tibetan Plateau and surroundings. Nature Climate Change, 2012 Sep. 2(9):663-667.
2. Ding L, Kapp P, Wan XQ. Paleocene-Eocene record of ophiolite obduction and initial India-Asia collision, south central Tibet. Tectonics, 2005 May. 24(3): TC3001.
3. Xu BQ, Cao JJ, Hansen J, Yao TD, Joswiak DR, Wang NL, Wu GJ, Wang M, Zhao HB, Yang W, Liu XQ, He JQ. Black soot and the survival of Tibetan glaciers. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2009 Dec. 106(52): 22114-22118.
4. Yao TD, Masson-Delmotte V, Gao J, Yu WS, Yang XX, Risi C, Sturm C, Werner M, Zhao HB, He Y, Ren W, Tian LD, Shi CM, Hou SG. A review of climatic controls on delta O-18 in precipitation over the Tibetan Plateau: Observations and simulations. Reviews of Geophysics, 2013 Dec. 51(4):525-548.
5. Ding L, Kapp P, Yue YH, Lai QZ. Postcollisional calc-alkaline lavas and xenoliths from the southern Qiangtang terrane, central Tibet. Earth and Planetary Science Letters, 2007 Feb. 254(1-2): 28-38.
6. Shen MG, Piao SL, Jeong SJ, Zhou LM, Zeng ZZ, Ciais P, Chen DL, Huang MT, Jin CS, Li LZX, Li Y, Myneni RB, Yang K, Zhang GX, Zhang YJ, Yao TD. Evaporative cooling over the Tibetan Plateau induced by vegetation growth. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2015 Jul. 112(30):9299-9304.
7. Deng T, Wang XM, Fortelius M, Li Q, Wang Y, Tseng ZJJ, Takeuchi GT, Saylor JE, Saila LK, Xie GP. Out of Tibet: Pliocene Woolly Rhino Suggests High-Plateau Origin of Ice Age Megaherbivores. Science, 2011 Sep. 333(6047):1285-1288.
8. Deng T, Li Q, Tseng ZJ, Takeuchi GT, Wang Y, Xie GP, Wang SQ, Hou SK, Wang XM. Locomotive implication of a Pliocene three-toed horse skeleton from Tibet and its paleo-altimetry significance. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2012 May. 109(19):7374-7378.
 |
| **主要完成人情况：****姚檀栋，**排名第一，中国科学院青藏高原研究所研究员。主要贡献：西风与季风耦合的三种模态和地表过程链式响应。代表性论文1、4的第一作者。**丁林，**排名第二，中国科学院青藏高原研究所研究员。主要贡献：中部碰撞与深部双俯冲和高原差异隆升动力演化过程。代表性论文2、5的第一作者。**邓涛，**排名第三，中国科学院古脊椎动物与古人类研究所研究员。主要贡献：寒冷适应性动物群西藏起源与走出西藏的链式响应。代表性论文7、8的第一作者。**徐柏青，**排名第四，中国科学院青藏高原研究所研究员。主要贡献：西风与季风黑碳传输对冰川消融的差异影响。代表性论文3的第一作者。**朴世龙，**排名第五，北京大学教授。主要贡献：西风-季风变化对植被变化的差异影响。代表性论文6的通讯作者之一。 |
| **完成人合作关系说明：**姚檀栋、丁林、邓涛、徐柏青、朴世龙五位完成人都是中国科学院青藏高原地球科学卓越创新中心的特聘研究员，长期以来共同承担瞄准青藏高原的孕育和生长、生物多样性演化、现代地表过程对西风-季风变化的响应等关键科学问题的重大研究项目。2005年12月至2010年11月，主要完成人姚檀栋与徐柏青承担了国家重点基础研究发展计划（973计划）项目“青藏高原环境变化及其对全球变化的响应与适应对策（2005CB422000）”，姚檀栋任项目首席科学家，徐柏青为项目办联系人并作为核心骨干参与了主要研究工作，共同发表的代表性论文1和3（Yao et al., 2012, Nature Climate Change ; Xu et al., 2009, PNAS）是该项目的产出成果。2008年12月至2011年12月，主要完成人姚檀栋、邓涛、丁林与徐柏青等共同承担了中国科学院知识创新工程重要方向项目群“青藏高原古高度研究（KZCX2-YW-Q09）”，其中，姚檀栋是项目群的首席科学家，丁林负责该项目群任务3（青藏高原古海拔高度的定量估算，KZCX2-YW-Q09-03），徐柏青是任务3的主要骨干。邓涛是任务6（青藏高原古高度变化综合研究，KZCX2-YW-Q09-06）的主要参加人，负责高原古高程生物学研究，并是任务2（青藏高原新生代盆地生物及磁性地层学研究，KZCX2-YW-Q09-02）的联系人。代表性论文5（Ding et al., 2007, EPSL）、代表性论文7（Deng et al., 2011, Science）和代表性论文8（Deng et al., 2012, PNAS）为该项目群的成果。邓涛和丁林合作完成了青藏高原古高度研究进展和问题的总结性论文发表在National Science Review上（Deng & Ding, 2015）。2012年10月至2017年10月，主要完成人姚檀栋、丁林、朴世龙、邓涛等共同承担了中国科学院B类战略先导专项“青藏高原多圈层相互作用及其资源环境效应（XDB03000000）”。姚檀栋为专项首席科学家，丁林负责项目1（深部圈层相互作用，XDB03010000）的研究，邓涛是项目2（深部-浅部相互作用与远程效应，XDB03020000）的主要参加人，并负责课题（不同时期古高度的定量估算，XD03020100）的研究；朴世龙是项目3（现代高原地表的圈层相互作用（XDB03030000）的主要参加者，负责子课题（时空变化机制与环境效应，XDB03030404）的研究。代表性论文4（Yao et al., 2013, Reviews of Geophysics）和代表性论文6（Shen et al., 2015, PNAS）为该项目的成果。 |