



2012-2013

*Report on Advances in
Tibetan Plateau Research*

中国科学技术协会 主编
中国青藏高原研究会 编著

青藏高原研究
学科发展报告

中国科学技术出版社



2012—2013

青藏高原研究 学科发展报告

REPORT ON ADVANCES IN
TIBETAN PLATEAU RESEARCH

中国科学技术协会 主编
中国青藏高原研究会 编著

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

2012—2013 青藏高原研究学科发展报告 / 中国科学技术协会主编;
中国青藏高原研究会编著. —北京: 中国科学技术出版社, 2014.2
(中国科协学科发展研究系列报告)
ISBN 978-7-5046-6544-7
I. ①2… II. ①中… ②中… III. ①青藏高原—研究报告—
2012—2013 IV. ①P942.7
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 004539 号

策划编辑	吕建华 赵 晖
责任编辑	赵 晖 左常辰
责任校对	韩 玲
责任印制	王 沛
装帧设计	中文天地

出 版	中国科学技术出版社
发 行	科学普及出版社发行部
地 址	北京市海淀区中关村南大街 16 号
邮 编	100081
发行电话	010-62103354
传 真	010-62179148
网 址	http://www.cspbooks.com.cn

开 本	787mm × 1092mm 1/16
字 数	410 千字
印 张	18.25
版 次	2014 年 4 月第 1 版
印 次	2014 年 4 月第 1 次印刷
印 刷	北京市凯鑫彩色印刷有限公司
书 号	ISBN 978-7-5046-6544-7/P · 174
定 价	64.00 元

(凡购买本社图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换)

2012—2013

青藏高原研究学科发展报告

REPORT ON ADVANCES IN
TIBETAN PLATEAU RESEARCH

首席科学家 郑 度 姚檀栋

专 家 组

顾 问	孙鸿烈	李廷栋	滕吉文	吴国雄	李文华
成 员	郑 度	郭正堂	丁永健	杨永平	马耀明
	封志明	赵志丹			

编 委 会

主 编 郑 度 姚檀栋 朱立平

成 员 (按姓氏笔画排序)

丁 林	王 强	王二七	王立全	王宁练
王君波	王常顺	车 涛	方小敏	邓 涛
卢占武	田立德	成升魁	吕新苗	朱立平
朱海峰	刘 静	刘屹岷	刘时银	刘峰贵
孙 航	孙继敏	阳 坤	花晓波	李建国
李清洋	吴 雪	吴国雄	吴艳红	吴晓东
吴通华	汪 勇	汪诗平	沙金庚	张 华
张人禾	张洪双	张宪洲	张懿锂	范玉枝
罗 磊	罗天祥	金 胜	郑远川	孟凡栋
赵 林	赵志龙	赵俊猛	胡小飞	段安民
侯增谦	饶 馨	姚济敏	贺日政	徐增让
高 锐	高俊刚	阎建忠	梁尔源	彭 萍

鲁春霞 摆万奇 雷富民 潘保田 潘桂棠
鞠建廷

学术秘书 朱立平 宁建贞

序

科技自主创新不仅是我国经济社会发展的核心支撑，也是实现中国梦的动力源泉。要在科技自主创新中赢得先机，科学选择科技发展的重点领域和方向、夯实科学发展的学科基础至关重要。

中国科协立足科学共同体自身优势，动员组织所属全国学会持续开展学科发展研究，自2006年至2012年，共有104个全国学会开展了188次学科发展研究，编辑出版系列学科发展报告155卷，力图集成全国科技界的智慧，通过把握我国相关学科在研究规模、发展态势、学术影响、代表性成果、国际合作等方面的最新进展和发展趋势，为有关决策部门正确安排科技创新战略布局、制定科技创新路线图提供参考。同时因涉及学科众多、内容丰富、信息权威，系列学科发展报告不仅得到我国科技界的关注，得到有关政府部门的重视，也逐步被世界科学界和主要研究机构所关注，显现出持久的学术影响力。

2012年，中国科协组织30个全国学会，分别就本学科或研究领域的发展状况进行系统研究，编写了30卷系列学科发展报告（2012—2013）以及1卷学科发展报告综合卷。从本次出版的学科发展报告可以看出，当前的学科发展更加重视基础理论研究进展和高新技术、创新技术在产业中的应用，更加关注科研体制创新、管理方式创新以及学科人才队伍建设、基础条件建设。学科发展对于提升自主创新能力、营造科技创新环境、激发科技创新活力正在发挥出越来越重要的作用。

此次学科发展研究顺利完成，得益于有关全国学会的高度重视和精心组织，得益于首席科学家的潜心谋划、亲力亲为，得益于各学科研究团队的认真研究、群策群力。在此次学科发展报告付梓之际，我谨向所有参与工作的专家学者表示衷心感谢，对他们严谨的科学态度和甘于奉献的敬业精神致以崇高的敬意！

是为序。

A stylized, cursive handwritten signature in black ink, likely belonging to Shi Yong, the author of the preface.

2014年2月5日

前 言

青藏高原以其最复杂的形成机制、最高的海拔、最大的面积、最重要的环境效应、最脆弱的生态环境成为全球地球科学关注的焦点，成为开展地球系统科学研究的最理想实验室。印度板块与欧亚板块碰撞使岩石圈发生天翻地覆的构造变动，并通过高原浅表层的剥蚀风化、地貌分异、水系调整、动植物演替等进一步影响了北半球乃至全球尺度的大气环流，也影响到矿产资源的形成演化。因此，青藏高原是开展岩石圈—水圈—冰冻圈—大气圈—生物圈各圈层相互作用的关键地区。

具有现代科学意义的青藏高原科学考察研究已经具有 60 年的历史，青藏高原研究从一个开始建立在区域综合考察基础上的联合项目，逐渐发展为具有综合交叉性质的科学领域。近年来，青藏高原研究在基础地质调查研究、碰撞隆升过程与成矿效应、隆起过程及其环境效应、过去环境变化的时空特征、地气系统作用特征机制及其对气候系统的影响、现代冰冻圈变化、生命过程对环境的适应与生态系统功能、土地系统变化与区域发展战略等方面取得了一批重要的成果。我国的青藏高原研究在国际上产生了重要影响。通过对 2008—2012 年国际青藏高原研究文献的数量统计分析，我国青藏高原研究的文献数量、总被引用率仍然在全球排名第一，文章篇均被引用率和高引用率的文章数量也在青藏高原研究的主要国家中名列前茅。

基于青藏高原研究取得的成果与工作基础，青藏高原地区发展的需求，国际青藏高原研究的热点等，今后的青藏高原研究将继续关注印度与欧亚大陆碰撞时限、高原深部结构与隆升机制、陆内俯冲与大陆变形理论、巨型岛弧与造山后斑岩 Cu-Mo 矿、高原达到最大高度的时限、高原隆升对亚洲宏观地貌格局与水系演化影响、高原隆升与风化剥蚀、高原隆升对亚洲腹地干旱化和季风演化的影响、高原地表各个圈层对全球气候变化的响应表现、高原生态系统对气候变暖的响应、全球变暖和人类活动对高原生态安全屏障的影响等。

作为一个具有鲜明地域特色的理科交叉学科，青藏高原研究是我国地学、生物学、资源与环境科学具有特色的优势研究领域。我们十分欣喜地看到，在中国科学技术协会连续组织的学科发展研究中，继续把青藏高原的学科发展放在比较重要的位置，体现了对具有鲜明特色而迅猛发展的新型交叉学科的大力支持。

为了完成好本报告的研究和编写任务，中国青藏高原研究会成立了以郑度、姚檀栋两位院士为组长的编写组，成员均为青藏高原研究领域的一线中青年科学家。编写组经过一年的辛勤工作，尽最大努力整理与阐述青藏高原研究的最新进展。在本报告编写开始，通过召开专门的启动会，就报告的编写目标、任务和具体要求进行了详细的讨论和工作任务布置。会后全体编写人员按照要求和进度分别完成各自负责的初稿，经初步统稿后，请相

关专家审阅，并在编写组内部进行了讨论修改，最终形成这份研究报告。

本报告力图全面反映近年来我国青藏高原研究取得的主要科研成果与进展，但由于青藏高原研究涉及领域的庞大和编写人员的有限组成以及篇幅内容限制，不可避免地有一些内容上的阐述不够全面，还望读者批评指正。

本报告由1个综合报告和8个专题报告组成，综合报告由朱立平、丁林、孙继敏分别撰稿形成，中科院青藏所的张燕和王婷负责文献计量的分析。侯增谦、丁林、方小敏、朱立平、段安民、王宁练、张宪洲、张懿铨分别负责了专题报告《青藏高原基础地质调查进展研究》《青藏高原的碰撞隆升过程与成矿效应研究》《青藏高原隆起过程及其环境效应研究》《青藏高原过去环境变化的时空特征研究》《青藏高原地气系统作用特征、机制及其对气候系统的影响研究》《青藏高原现代冰冻圈变化研究》《青藏高原生命过程对环境的适应与生态系统功能研究》《青藏高原土地系统变化与区域发展战略研究》的统稿工作。

参与本报告编写的人员都是肩负科研重任的一线科学家，在繁忙的科研任务中，抽出时间对相关科研进展进行梳理。这样的工作也许对他们的科研考评无关紧要，然而，对于整个中国青藏高原研究的学科发展贡献却是至关重要的。在这里，作为学科发展研究报告的承担单位，我们要特别感谢他们为中国青藏高原研究的学科发展所做出的无私奉献。

中国青藏高原研究会

2013年11月

目 录

序	韩启德
前言	中国青藏高原研究会

综合报告

青藏高原多圈层相互作用与资源环境效应研究	3
一、青藏高原研究与地球系统科学	3
二、青藏高原研究近期主要学术进展	5
三、国际青藏高原研究文献计量分析	16
四、青藏高原研究的重点领域与发展前景	23
参考文献	26

专题报告

青藏高原基础地质调查研究	39
青藏高原的碰撞隆升过程与成矿效应研究	69
青藏高原隆起过程及其环境效应研究	93
青藏高原过去环境变化的时空特征研究	113
青藏高原地气系统作用特征、机制及其对气候系统影响的研究	131
青藏高原现代冰冻圈变化研究	162
青藏高原生命过程对环境的适应与生态系统功能研究	197
青藏高原土地系统变化与区域发展战略研究	240

ABSTRACTS IN ENGLISH

Comprehensive Report

Multi-spheres Interaction on the Tibetan Plateau and their Resource and Environmental Effects	267
--	-----

Reports on Special Topics

Progresses on the Basic Geological Survey of the Tibetan Plateau	270
Collision and Uplift of the Tibetan Plateau and Mineralization Effects	271
Uplift of the Tibetan Plateau and its Environmental Effects	272
Spatial-temporal Features of Past Environmental Changes on the Tibetan Plateau	274
Characteristics and Mechanism of Land-air Interaction Over the Tibetan Plateau and its Impacts on Weather and Climate	275
Present Changes of the Cryosphere on the Tibetan Plateau	276
The Environmental Adaptation of Life Processes on the Tibetan Plateau and Its Ecosystem Functions	277
Land System Change and Regional Development Strategy on the Tibetan Plateau	278
索引	280

综合报告

青藏高原多圈层相互作用 与资源环境效应研究

如果说板块构造学说是 20 世纪地质学最具代表性的学术创新，那么，进入 21 世纪，国际地质学界正在经历一场新的变革，即由过去单一的学科研究发展，向多学科交叉的“地球系统科学”发展，而且这样的融合并不仅仅局限于地质学的各分支学科，而是包括了与大气科学、海洋学、生物学等学科的交叉发展。事实上，发生在地球上的许多重大地质或气候事件，特别是新生代以来青藏高原的隆升，更是与岩石圈、水圈、大气圈、生物圈的圈层层圈相互作用密切相关。

综观地球上的造山带，青藏高原以其最复杂的形成机制、最高的海拔、最大的面积、最重要的环境效应、最脆弱的生态环境成为全球地学关注的焦点，也是开展地球系统科学研究的最理想的实验室。新生代以来印度板块的北向俯冲，导致了新特提斯洋的消亡以及印度板块与欧亚板块的碰撞，这一岩石圈的构造变动，进一步影响了北半球乃至全球尺度的大气环流，高原浅表层的剥蚀风化、地貌分异、水系调整、动植物演替，也影响到矿产资源的形成演化。因此，从这一意义上讲，青藏高原是开展新生代岩石圈—水圈—大气圈—生物圈各圈层相互作用的关键地区。

在基础理论层面上，青藏高原研究是我国地球系统科学研究取得突破、占据国际学术制高点的契机，不仅有望对国际地球系统科学研究起到带动作用，而且使我国地球系统科学研究水平达到国际世界引领地位。在国家需求层面上，青藏高原隆升与资源环境关系的研究有助于理解人类面临的气候变化问题中的诸多不确定性，并对青藏高原地区资源合理利用与社会可持续发展发挥重要的科学支撑作用。

一、青藏高原研究与地球系统科学

新生代以来印度与亚洲两板块的碰撞是地球上最重要的造山事件，而高原隆升及其伴随的资源环境变化也是当前地球系统科学研究的最佳场所。因此，青藏高原研究成为开展

地球系统科学研究的全球制高点。

(一) 青藏高原研究的多圈层相互作用表现

青藏高原研究从岩石圈深部系统切入,探讨地球深部过程引发印度板块与欧亚板块碰撞的动力学机制以及深部岩石圈构造变动对浅表层的影响,最终揭示青藏高原各圈层及其相互作用的基本特征、过程和机理。伴随新特提斯洋的俯冲、大陆碰撞,青藏高原经历了冈底斯山、碰撞造山带、现代高原3个主要生长过程,造就了全球最大的高原,强烈的陆内变形还造就了世界上最大的碰撞后斑岩成矿带。

海陆格局的转变,高原的形成对浅表层圈产生了重要影响。其一,隆升的高原影响了大气圈,增强了印度低压,“放大”了海陆热力差异,导致亚洲夏季风的增强^[1-4],改变了北半球大气环流。其二,高原隆升加强了浅表层圈的剥蚀风化,表现为随着海拔高度的增加,寒冻风化作用以及后期的冰川研磨作用加强,加速了高原周边内陆盆地以及阿拉伯湾、孟加拉扇的新生代沉积。其三,高原的隆升过程导致了地貌分异,由此导致了大型水系的调整;而且构造变形不仅发生在板块碰撞边界,而且其远程效应同样导致了远离碰撞边界的浅层岩石圈的构造变形和地壳缩短。

青藏高原极高的海拔使降落在地表的水分形成高山冰川,在寒冷的气候条件下发育了广袤的冻土,从而构成了地球中低纬度地区最大的冰冻圈。青藏高原是亚洲大陆湖泊分布最为密集的地区之一,冰川融水与密布的湖泊为河流发育提供了持续稳定的水源,围绕青藏高原发育的10条国内外重要的河流,为东亚、南亚占世界1/3的人口提供了生活与生产用水。在青藏高原独特的气候、水文及其形成的土壤背景下,发育了典型的生态系统,并呈现出与环境条件的脆弱平衡。因此,青藏高原对近代全球气候变化的响应是最为复杂、最为敏感的地区之一。

截至目前,从地球系统科学角度综合开展深部—浅部—表层各个圈层相互作用的研究很少,已有的研究也仅仅只就某一方面进行尝试。从全球尺度而论,青藏高原是新生代地球上崛起的最大的高原,而且也是远程效应影响最广、气候效应最为显著的地区,无论是高原隆升对亚洲季风、剥蚀风化的影响,还是对水系调整、地貌演化、远程效应的研究,都是圈层相互作用的重要科学问题。气候变化的幅度、季风的演变与波动对水循环的影响,青藏高原地气相互作用过程,都是目前国际学术界关注的热点。利用观测数据进行模拟研究是理解多圈层相互作用过程与机理的重要手段。开展青藏高原地环境模拟系统研究,能够提升多圈层界面水热循环和植被动态的模拟能力,更好地服务于青藏高原各圈层变化过程以及区域环境变化的机理研究。

在地球系统科学的整体框架下,将深部圈层的动力作用与浅表层圈的响应与反馈结合起来,运用多学科手段揭示青藏高原深部—浅层—表层相互作用的基本特征、过程和机理,是国际前沿的重大科学问题,也是地球系统科学理论在青藏高原综合研究中新的尝试。

（二）青藏高原研究的资源环境意义

我国经济的高速发展对金属矿产资源需求与日俱增。然而，我国矿产资源的供给形势却十分严峻。已探明的大量矿产资源保有储量，经多年开发后在不断下降，很多矿山处于危机态势。

青藏高原的冈底斯斑岩型矿床储量巨大，是一个世界级的成矿带。斑岩型矿床作为一种重要的铜、钼和金矿床资源，由于其形成的特殊构造环境以及巨大的经济价值而备受地质学领域的关注。依靠科技进步，加速发现新的矿产资源基地，提高资源保障程度，是一项迫在眉睫的重大战略任务。冈底斯弧在中—新生代演化历史中经历一个多岛弧的新特提斯大洋俯冲增生，印度与欧亚大陆的陆—陆碰撞的复杂过程，决定了其成矿的多阶段性，具有类型多样、多源复成、破坏再生的特征，迫切需要建立和研发与之适应的自主创新的成矿理论与勘查技术，以促进找矿勘查的重大突破。

铬铁矿中的 Cr 不仅是冶炼高质量钢铁（铬钢）的重要成分，而且也是化工行业主要原料。我国的铬铁矿床主要产于西藏特提斯蛇绿岩中，已有的储量经多年开发已经濒临枯竭，寻找新矿山延续我国铬铁矿的供给尤为重要，受制于指导找矿思想的成矿理论约束，至今新的靶区寻找尚未取得突破性进展。

全球气候变化对青藏高原的环境产生了持续与显著的影响：气温升高导致冰川不断融化，地表水体蒸发改变，使得湖泊水量与河水径流发生显著变化，并通过改变水循环形式影响水的时空分布特征和生态系统得以存在的环境条件，以及导致与水相关的自然灾害增加。这一影响通过多种地表过程体现，对人类生存与发展的环境产生影响。因此，在现在气候变化条件下，开展青藏高原环境特别是水循环与水资源的变化的监测研究，对于评估未来气候变化的影响十分重要。同时，历史时期的气候变化及其与环境变化的关系研究，是认识长时间尺度气候与环境关系及其控制与响应机制的重要途径，也为预测未来可能的气候与环境变化的幅度提供了一个可供参考的范围。

青藏高原的环境与生态系统变化对区域气候维持与稳定、水源涵养、水土保持、生物多样性和碳汇功能都产生了重大影响。青藏高原研究可为国家在该地区更好地开展生态安全屏障建设工程提供咨询建议，也可为高原地区的生态补偿提供数据支持。利用观测和模型相结合的方法来阐明高原生态系统对气候变暖的敏感性和脆弱性，能够辨识人类活动对高原生态系统变化的影响程度。

二、青藏高原研究近期主要学术进展

（一）印度与欧亚大陆的碰撞历史

印度与欧亚大陆的碰撞是青藏高原最基础最重大的科学问题，成千上万的青藏高原研

究文献都要涉及对该问题的假设或认识。大陆初始碰撞及封闭过程提供了青藏高原是全球海陆格局大转换的起点,是正确认识高原古高度变化的前提,是研究大陆岩石圈变形过程及机制的先决条件,是正确开展高原气候环境影响研究的首要因素,是评价和寻找大陆俯冲成矿及碰撞成矿的基础。

特提斯喜马拉雅沉积被认为是典型的印度大陆边缘盆地沉积,从前寒武纪到始新世均有发育,研究程度较高,主要集中在古生物地层^[5-9]、沉积学^[10]和源区分析^[9, 10]。近些年的重大进展是在特提斯喜马拉雅带的北部亚带萨嘎地区识别出一期周缘前陆盆地沉积,结合蛇绿岩仰冲时间,将板块碰撞时间限制在沉积环境发生明显改变的 T/K 界限(65Ma)^[10]。Zhu 等在特提斯喜马拉雅带南部亚带定日地区,根据地球化学得出的沉积源区变化时间为 50Ma^[9],认为此时开始碰撞。然而,沉积环境研究表明,65Ma 时由深变浅标志着陆—陆碰撞开始,源区改变和沉积环境改变不一致的原因可以用前陆盆地系统来解释^[11]。萨嘎地区为前陆盆地系统的第一期前缘,它的沉积环境和源区改变时间一致,可以用来限制板块碰撞时间,而定日地区 50Ma 的源区改变标志着前陆盆地系统中的第二个前缘开始形成^[12, 13],也就是说,它们沉积特征改变的时间对应的是褶皱逆冲带迁移到定日—岗巴的时间,而不是板块碰撞时间,而 T/K 界限上沉积环境变浅标志对应第一个前缘的前隆形成,才是板块碰撞的标志。

亚洲大陆最南缘的拉萨地块南侧广泛出露一套古新世—始新世火山岩及沉积夹层—林子宗群,是新特提斯洋俯冲消减到印度与欧亚大陆碰撞的岩石记录^[14]。最近针对林周盆地林子宗火山岩展开了新一轮古地磁研究^[15-18],相对于 20 世纪的研究成果^[19],这些最新的研究无论是在分析方法、数据量,还是在年代学及岩石磁学控制上都有了较大提高,详细的地层划分和年代学研究则为获得有精确年龄控制的高质量古地磁数据提供了可能。综合目前从林周盆地林子宗群各个组中所获得的古地磁数据,可以发现拉萨地块在林子宗群各段喷发期间所处的古纬度分别是 $\sim 7^{\circ}\text{N}$ (64—60Ma)、 $\sim 12^{\circ}\text{N}$ (60—50Ma) 和 $\sim 18^{\circ}\text{N}$ (50—44Ma),三者置信区间内存在显著差异。这表明亚洲大陆最南缘的拉萨地块在林子宗群形成期间存在持续北向运动。

20 世纪末,中—德联合考察项目^[20]对藏南岗巴和堆纳地区宗浦组的古地磁研究表明特提斯喜马拉雅在 $\sim 55\text{—}63\text{Ma}$ 之间位于 $5.0^{\circ}\text{N} \pm 3.8^{\circ}\text{N}$,而最近从宗浦组上部 and 下部新获得的有古地磁定年数据控制(磁性地层学)的古地磁数据表明,特提斯喜马拉雅(参考点: 29.3°N , 88.5°E) 在 $\sim 59\text{—}62\text{Ma}$ 和 $\sim 56\text{—}59\text{Ma}$ 分别位于 $6.6^{\circ}\text{N} \pm 3.5^{\circ}\text{N}$ 和 $11.1^{\circ}\text{N} \pm 2.5^{\circ}\text{N}$ ^[21],再次确认了特提斯喜马拉雅在宗浦组沉积期间已到达北半球低纬度地区。

亚洲大陆南缘的拉萨地块是否具有刚性,内部是否存在相对运动?碰撞前特提斯喜马拉雅地块是否具有刚性,内部古地理位置是否存在显著的差异?印度—亚洲大陆的碰撞是否存在显著的东西穿时现象?碰撞的模式是自西向东的旋转剪切模式,还是中部首先碰撞逐步向东西方向扩展?这些问题都是目前仅有的碰撞缝合带中部的古地磁数据所难以回答的。因此,要精确限定重建印度与亚洲大陆的碰撞过程和模式,就必须对白垩纪至古近纪