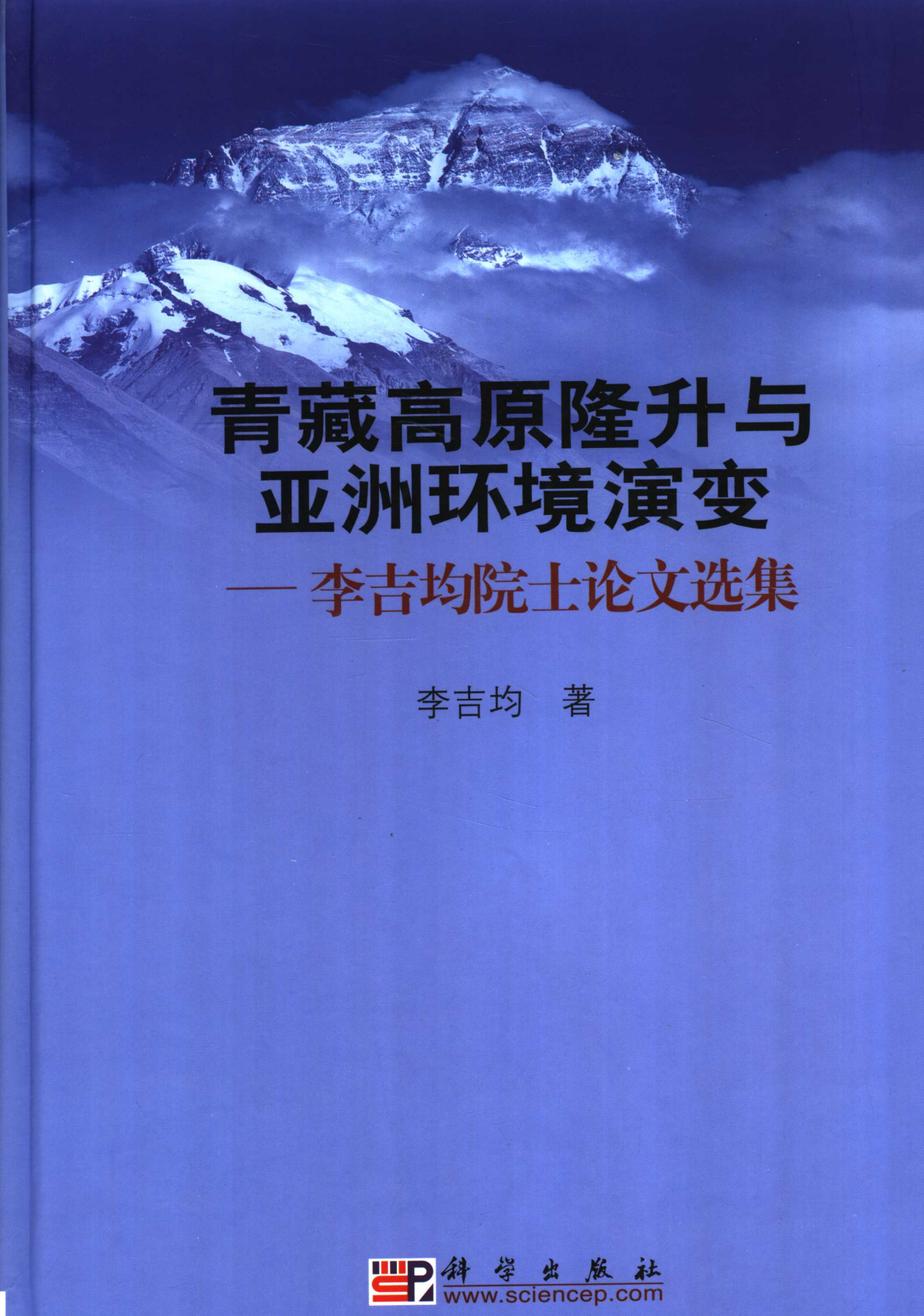




# 青藏高原隆升与 亚洲环境演变

## ——李吉均院士论文选集

李吉均 著



科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

# 青藏高原隆升与亚洲环境演变 ——李吉均院士论文选集

李吉均 著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书采撷了著名地理学家李吉均院士部分地理学、冰川学、地貌学等领域学术著作的精品,共 29 篇。论文大致反映了李先生关于高山冻原与大陆性冰川和海洋性冰川研究、青藏高原现代冰川和第四纪冰川研究、青藏高原隆起的时代幅度和形式探讨、冰川地貌与沉积相研究、中国东部第四纪冰川与环境研究、“季风三角”理论、黄河阶地和黄河起源,黄土系列与地文期、青藏运动、西部开发研究和其它重要学术思想与学术成就。

本书可供地理学、地质学、第四纪地质、冰川学、地貌学以及资源环境学等方面的科研、教学人员参考,亦可作为研究生、大学相关专业高年级本科生阅读使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

青藏高原隆升与亚洲环境演变:李吉均院士论文选集/李吉均著. —北京:科学出版社,2006

ISBN 7-03-016288-9

I. 青… II. 李… III. 青藏高原-地球动力学-关系-生态环境-演变-亚洲 IV. ①P548.27 ②X21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 110180 号

责任编辑:吴三保等/责任校对:钟 洋

责任印制:钱玉芬/封面设计:黄华斌

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2006 年 4 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2006 年 4 月第一次印刷 印张: 16 1/2 插页: 2

印数: 1—1 800 字数: 388 000

定价: 45.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈科印〉)

## 序

李吉均院士和我相识近 50 年，是学术上密切合作、事业上相互支持的好友。1958 年，我到兰州，奉命组织中国科学院高山冰雪利用研究队，以相当规模进行祁连山现代冰川考察，吉均是首批参加的业务骨干之一，领导 4 分队考察黑河上游的冰川。我们当时都是首次研究冰川，在七一冰川现场听了原苏联学者道尔古辛讲课，初步掌握考察方法，大胆分头进行。吉均领导黑河分队，经 2 个月艰苦工作，实地观察 5 条冰川，应用地形图与航空相片，统计到 186 条冰川，面积  $104\text{km}^2$ ，计算得冰储量 21 亿  $\text{m}^3$ ，写有很详细（包括冰川、地貌、气候、水文等资料丰富）的考察报告，圆满完成任务。1959 年，吉均又领导一个队考察哈拉湖区的冰川，在疏勒南山海拔 5937m 的团结峰南坡发现一条溢出山谷冰川，长 8.5km，竟有 4.5km 长的冰舌伸出谷口，斜卧在海拔 4500m 的山麓平原上，保存良好的侧碛、终碛和中碛，冰面洁静，这是国内罕见的高山与高位盆地相结合的冰川类型，值得进一步深入研究。以后，进入经济困难阶段，冰川考察精简收缩，吉均仍继续研究，发表《祁连山平顶冰川》等论文。

“文化革命”灾难期间，我们都受到冲击，停止了工作。1971 年，我以“犯严重错误”干部的身份，被任为冰川冻土沙漠所生产组副组长。当时要组织正规的科研工作，非常困难，但安排适当人员编写有利于生产部门应用的中级读物，比较方便，当得知吉均赋闲在家，于是约请他与费金琛合作，编写一本 10 万字左右的《冰雪世界》小册子，吉均欣然应允全力投入。不到半年时间，就完成了这一本文字流畅、科学性较强、引人入胜的科普读物，交付出版，很受读者欢迎。

1972 年，他参加了在兰州召开的“珠穆朗玛峰科学考察总结学术会议”，就在这个会上拟定了《青藏高原 1973~1980 年综合科学考察规划》。1973 年中国科学院批准建立“青藏高原综合科学考察队”，有 50 多个专业，400 多科学工作者参加，我原被任命为副队长，其中冰川组由兰州大学与冰川所联合组成，具体由吉均领导。后我因去巴基斯坦开展为解决中巴公路修复需要的巴托拉冰川考察，未能前往。吉均带领冰川组经过 4 年（1973~1976 年）辛勤艰险的长途考察，对东起雀儿山、西到阿里与西昆仑山、南起喜马拉雅山、北至羌塘高原，即西藏自治区广大范围内的冰川。包括冰川性质、雪线变化、冰川发育与地形、大气环流关系，海洋性冰川与大陆性冰川的划分标志和界线，第四纪冰川变化与高原隆起关系， $^{14}\text{C}$  测年与地衣法测

年的初步应用，冰川与洪水及灾害防治关系等一系列问题。取得了前所未有的非常丰富的区域性冰川资料。最后，由李吉均、郑本兴、杨锡金、谢应钦、张林源、马正海、徐叔鹰 7 人署名编著出版了 486 000 字的《西藏冰川》专著，吉均是这本书实际主编，贡献最大。以后国家评选自然科学奖，青藏高原综合科学考察以数十本原始创新专著并列，荣获一等奖，吉均被列入主要贡献者名单而获此奖。

1977 年初，青藏队在苏州开会，讨论对前几年考察的总结评价问题，我被邀参加，对青藏高原隆升问题已有多人发言涉及，但零碎分散，我建议对这个事关全局的核心问题，应在另外时间，组织专门讨论，得到采纳。同年 11 月青藏队约集了 20 多位同道知情者在山东海滨城市威海卫举行“青藏高原隆起学术讨论会”，我被指定主持此会。会上第四纪、地貌、地层、古生物、植物、孢粉、鱼类、气候等关心此问题的专家，热烈发言，展示各人所掌握的资料，虽有不同意见，但也取得了若干共识，一致认为必须产生一篇能综合多数意见代表性论文发表，反映中国学者对青藏高原隆升问题的认识。但谁来领头撰写此文呢？在同辈青年学者中，我从知识面、思维方法与文字水平三方面观察，建议由吉均领头，获得一致同意。会后以吉均为首少数人，借用北京中国科学院地理研究所一个房间，大约 10 天左右时间，撰成《青藏高原隆起时代、幅度和形式的探讨》，署名者李吉均、文世宣、张青松、王富祿、郑本兴、李炳元 6 人，于 1979 年《中国科学》6 期发表。这是有里程碑意义的集体创作。文内明确青藏高原地区在始新世晚期脱离海侵成陆以后，曾被两度夷平，至上新世末，地面高度仅 1000m 左右，其后至第四纪初的构造运动为大幅度整体断块上升，但在空间上有差异性，在时间上有三个剧烈上升阶段，后期有加速上升趋势，累计上升量达 3500～4000m。此外，还由李炳元编辑，出版了讨论《青藏高原隆起的时代、幅度和形式问题》文集。这次活动对吉均以后长远研究方向有重要影响。

1978 年中国科学院决定冰川冻土与沙漠分开建所。我被任命为冰川冻土研究所所长，同年改革开放政策顺利执行，中国科学院通知我领一组人去瑞士参加国际冰川目录工作会议，承担我国境内冰川编目任务。我即约请吉均参加，这是我们首次去欧洲参加学术会议，除在一个冰川区的生态中心开会、交流经验，确定冰川编目任务外，还顺访了瑞士、法国与英国等 8 处与冰川有关的学术单位，结交了不少朋友，使我们大开眼界，明确了改革开放后科研工作与人才培养应走的道路。

1980 年，由吉均策动邀请 1978 年访英时结识的 E. Derbyshire 教授来兰州讲学，举办了他专长的冰川沉积研究班。当时我们已非常关注中国东部的

李四光先生倡导而有争议的第四纪冰川问题，相约沉积研究班结束后共同去李四光学说的主要诞生地江西庐山辩认第四纪冰川遗迹的真相。在庐山工作一个星期下来，集会各抒己见，参与考察的多数同志包括 E.Derbyshire、施雅风、崔之久、李吉均等多人发言均认为李四光先生对庐山地貌与第四纪沉积存在重大误解，应予修正。只有景才瑞仍坚持李说正确，不应动摇。会后，我应《自然辩证法通讯》约稿，在该刊发表《庐山真的有第四纪冰川吗？》短文，正面提出李四光学说中的问题，引发了一场论战。同年，李吉均与张林源在地理学报撰文，支持庐山山麓原被称为“冰汛”堆积，实际是泥石流堆积的观点。1982 年在安徽屯溪举行“中国第四纪冰川冰缘学术讨论会”，收到 178 篇论文，对东部第四纪冰川问题展开了热烈的争论。李吉均与张林源、邓养鑫、周尚哲联名提出《论庐山冰川遗迹的真伪》重头文章，鉴于涉及的地区和内容广泛，是当前地学界有异议的重大问题，决定由施雅风、崔之久、李吉均联名申请一笔国家自然科学基金支持，彻底搞清楚这个问题。不久得到批准，给予 8 万元资助（此数现在看来很小，但当时解决了大问题）。1983~1986 年间开展了一系列考察，庐山是争议的关键地区重点研究。明确由吉均负责，带一组人研究。正本清源，他们从构造活动、亚热带山地环境和第四纪气候波动三方面详细建立了庐山第四纪地层与地貌发育历史，划分出：（1）夷平面发育的早第三纪和壮年期地形发育的晚第三纪时期；（2）第三纪末庐山快速断块上升，造成高低山麓剥蚀面及其上沉积；（3）以网纹红土形成标志的扇形地与阶地形成期，详细指明了冰川解释的误解所在。其研究成果详见于施雅风、崔之久、李吉均等著 1989 年出版的《中国东部第四纪冰川与环境问题》第 5 章，“争议的关键地区——庐山”。为解决这个涉及东部广大地区的问题，我们曾联手考察北起大兴安岭与长白山，南至桂地等多处有争议的地区，终于明确东部第四纪冰川只存在于太白山、长白山、螺髻山、台湾中部高山等少数地点，2500m 以下山地的有关第四纪冰川报道均系误解。有 30 多位研究者合作撰著的《中国东部第四纪冰川与环境问题》专著出版后，经地学界大师黄汲清院士审阅，在黄先生写的《简谈李四光教授追求真理的精神》（第四纪研究，1989 年第 3 期）一文中评论这本专著“内容丰富、论证精详，他们的结论基本上否定了李四光学派的成果和观点，这是一件好事”，这项研究成果，曾获中国科学院自然科学奖（二等）。关于庐山的研究，还获得教育部科技进步奖。

在热忱研究东部第四纪冰川问题同时，吉均还花相当力量，适应 1981~1985 年青藏考察队重点转向横断山区的需要，领导横断山区冰川分队，该



队仍由冰川所与兰州大学合作组建,应用多种新技术,对海洋性冰川与贡嘎山区冰川特别重视,设置了半定位观测站,对山区冰川作了详细测量,对古冰川研究,发现了稻城古冰帽与三次冰期遗迹,对冰川侵蚀和地貌、沉积与环境作了较深入的探讨。此外,还对山区雪崩、风吹雪、冻土与冰缘地貌也进行了研究。1996年出版的《横断山冰川》专著,内容也很丰富,共418 000字,是继《西藏冰川》之后第二本区域冰川专著。

1984年,吉均出任兰州大学地理系主任,在他主持下地理系蒸蒸日上,在科学研究方面利用兰州处于“季风三角”一端的有利位置着力开展黄河多级阶地成因与深厚黄土剖面的研究,阐明兰州地区黄河有7级阶地,与上覆黄土地层相联系,应用古地磁、裂变径迹测年研究,确定7级阶地分别形成于170万年、150万年、120万年、60万年、15万年、3万~5万年与1万年以来相当于间冰期的沉积。以后进一步利用临夏北塬更理想的黄土剖面,划分出末次间冰期5个阶段,末次冰期4个阶段,加全新世一个阶段,与世界著名的南极东方站16万年来冰芯氧同位素曲线成功进行对比,以兰州阶地为基点,往上延伸,阐明青藏高原隆升对高原东北边缘地区的影响,往下延伸,阐明黄河发育的全过程,这是吉均一个重大创新成就。以冰川研究、青藏高原隆起和黄河阶地三方面成果鼎托,吉均于1991年顺利被选为中国科学院院士。1990年起,我们又联手开展“青藏高原晚新生代环境变化研究”经过一段时间的课题设计、申请,被列为1992年起国家攀登计划中孙鸿烈院士主持的“青藏高原形成演化、环境变迁与生态系统研究”项目中第二课题,包括冰芯、湖泊岩芯、天然剖面 and 综合研究4方面内容,具体分工为姚檀栋(冰芯)、王苏民(湖泊岩芯)、李吉均(天然剖面)、施雅风(综合研究),参与工作的有9个单位95人,老、中、青结合,奋力拼搏,至1997年完成了67万字的《青藏高原晚新生代隆升与环境变化》专著(广东科技出版社1998年出版),全书12章,其中由吉均主持或主要参与撰写的有第2章“高原东北缘(以临夏盆地为主)天然剖面记录”,第4章“青藏高原天然剖面记录对比及意义”,第10章“晚新生代青藏高原的隆升与环境变化”,第12章“青藏高原对全球变化的影响与响应”。可说在本书3位主编中,吉均用力特多,贡献最大。如临夏剖面建立了连续3000万年的环境变化详尽记录,明确了3次强烈构造活动,即340~170万年前的青藏运动,110~60万年前的昆仑—黄河运动与15万年前的共和运动,使青藏高原上升到现代高度,根据地貌演化历史,肯定在高原经历了三次上升与两度夷平,其中2100~1700万年前的上升运动,使高原高度接近2000m,其动力

与热力作用有助于季风出现,使水汽深入大陆腹地。他还指明亚洲干极实际存在于青藏高原北部,干极外围形成了中国西北部与北部的亚洲季风耦合系统,包括西北内陆的戈壁荒漠、黄土高原、黄河发育以至长江中下游的网纹红土与泥石流活动等等。

吉均身体不算很好,长期不辞辛劳,进行野外工作,曾在冰川考察中负伤。他又善于抓实验工作,使兰大建立起一套第四纪沉积实验装备。吉均博学多才,思路广阔而敏捷,源源不断地涌现新的创见,如前面所提与本文集中所示。但智者千虑,必有一失。吉均所提出新创见也有个别证据不足,有待进一步证实或修正之处。如曾说巴颜喀拉山至黄河源区存在过面积达 $50\,000\text{km}^2$ 的小冰盖,受到异议,后经一次小型的国际性考察后,Rutter (1995)总结认为观察到的冰川现象,可用伸出山地边缘的山谷冰川与山麓冰川解释,巴颜喀拉山与阿尼玛卿山的冰川没有联合成冰盖<sup>[1]</sup>。又如在《中国西北地区晚更新世以来环境变迁模式》一文提出“新疆地区服从西风带的一般规律、冰期与雨期同步,即冰川前进与气候冷湿、湖面上升时期相当。”我注意到许多事实不支持吉均的论点,如玛纳斯湖区沉积,据 Rhodes 等 (1994) 论述,继间冰阶 ( $^{14}\text{C}$  测年为  $27\sim 32\text{kaBP}$ ) 湿润期后,末次冰盛期、湖泊萎缩以至干涸,出现石膏沉积极端干旱现象,至  $12\text{kaBP}$  才转为湿润<sup>[2]</sup>。吉均所引柴窝堡湖高山现代湖面  $25\sim 28\text{m}$  的第三级阶地上部湖相层  $^{14}\text{C}$  测年为  $15\sim 12\text{kaBP}$ ,湖面扩张,以此作为末次冰期湿润依据。我了解,末次冰盛期时,湖傍博格达山南坡山谷冰川面积 5 倍于现代冰川,风成黄土广泛分布,孢粉资料显示当时气候冷而干燥,而  $15\sim 12\text{kaBP}$  已转入气候变暖的冰消期,冰川萎缩,大量冰川融水注入湖泊,导致相对高度  $25\sim 28\text{m}$  的第三级湖相阶地的形成。欧洲阿尔卑斯山是典型的西风带高降水区,据 P.Ceben 等 (1998) 研究,末次冰盛期时平均温度比现代低  $15^\circ\text{C}$ ,降水比现代少  $80\%$ <sup>[3]</sup>。足证冰期西风带的降水也是减少的,原因很简单,冰期海洋降温,蒸发减少,输送到大陆的降水量必然相应减少,但由于冰期间冰期环流形势变动,各地区的变化出现多样性,也在所难免。

本文集的最后一篇《关于地理学在中国发展前景之思考》,我读后深有同感,什么是地理学的危机?盲目追逐市场效益,削弱自然地理学基础学科,损害地理学的科学性,损害地理学人才素质,当前已有显著表现,这真正是地理学危险所在,我也愿借此机会,大声呼唤,期望大学与研究所重视这个问题。这里我表扬李吉均院士这方面工作做得好。近 20 年,在吉均领导下培养出了相当数量的以自然地理为基础的高水平优秀人才,个别的已被



选为院士。撰此序时，吉均正住院疗养，祝愿他早日康复，再创辉煌，文内不当之处，也请他不吝指正。

施雅风

2005年9月26日于兰州

# 李吉均学术思想摘要

秦大河 周尚哲 姚檀栋 冯兆东

李吉均先生 1933 年 10 月出生于四川省彭县（现彭州市）。1956 年南京大学地理系毕业后，被推荐到兰州大学攻读研究生，1958 年留校执教至今。1984 年起，担任兰州大学地理科学系系主任，资源环境学院院长，高度把握地理学发展方向，兰州大学地理科学系能有今日之良好局面和发展势头，李先生倾注了大量的心血。在过去半个世纪的教学与研究生涯中，李先生贡献卓著，著作丰厚，桃李满天下，在国内外地理学界享有崇高的学术威望。曾获国家自然科学奖一等奖；教育部科学技术进步奖一等奖、二等奖；中国科学院科学技术进步奖特等奖、二等奖；第一届冰川冻土野外工作奖，第一届竺可桢野外工作奖；第一批国家级有突出贡献的中青年专家；全国劳动模范等一系列学术奖项和荣誉称号。1991 年被遴选为中国科学院院士。曾任甘肃省地理学会理事长，中国地理学会地貌第四纪专业委员会主任，中国地理学会干旱半干旱区地理建设分会主任委员；国务院学位委员会学科评议组地理组召集人，教育部高等学校地理科学教学指导委员会副主任等职。现担任中国地理学会副理事长，西部资源环境科学研究中心主任、兰州大学学术委员会主任、兰州大学学报（自然科学版）主编。李吉均先生关心国家建设，对西部开发和生态、环境建设，他都献计献策，慷慨陈词，表现出强烈的人文关怀，被选为第八届全国人大代表。

李先生品学兼长，在学术上卓有建树，在国家地理学学科建设中贡献卓著。这里我们不揣冒昧，想透过先生已经发表的学术著作采撷部分学术思想，与学界同行，特别是同辈学者共同学习切磋。半知半解和疏漏之处，尚请批评指正。

## 一、高山冻原与大陆性冰川和海洋性冰川研究

20 世纪 50 年代后期，李吉均先生参加了施雅风先生组织的祁连山冰川考察研究，1960 年在全国地理学术会议上率先提出了“关于高山冻原与冰川性质之间的关系”的见解。他写道：“高山冻原是内陆极端大陆性气候在

高山上的反映。高山冻原在本区成为一个有规律的垂直地带，它在高山草地的上限以上，现代冰川分布范围以下，其垂直幅度达 500m 左右（4100～4600m）。在其它季风性或海洋性气候控制下的地区，冰川的下限与森林相连。这是因为那里的冰川由于有丰沛的降水来源，雪线很低，冰舌下降更低，所以冰川与森林并立，二者之间没有高山冻原存在。”这段论述包含了两方面的重要思想，第一是把高山冻原与大陆性冰川相联系，提出海洋性冰川以下不存在高山冻原的见解。这种见解他于 1964 年又专文进行了详细的阐述，经过整 20 年的亲身考察证实后，于 1984 年才在《冰川冻土》杂志上发表。第二是他根据 20 世纪 50 年代原苏联学者阿夫修克和苏姆斯基关于海洋性冰川与大陆性冰川的分类指出，中国气候差别很大，除祁连山、天山等地的大陆性冰川之外，肯定还有海洋性冰川，他判断在西藏东南部分布的冰川应该为海洋性冰川。但海洋性冰川和大陆性冰川的界限在哪里？这是一个必须弄清的问题。

## 二、青藏高原现代冰川和第四纪冰川研究

20 世纪 70 年代初期开始，中国科学院组织大规模的青藏高原综合科学考察、横断山科学考察，李吉均先生均担任冰川组组长，率队在西藏东南部和横断山地区进行考察研究。经过 10 多年的艰辛考察研究，他主撰出版了《西藏冰川》和《横断山冰川》两部专著。20 世纪 80 年代初，他还参加了英国皇家地理学会组织的巴基斯坦境内的喀喇昆仑山现代冰川和第四纪冰川与地貌考察。20 世纪 80～90 年代，频繁在青藏高原东北部的川西、黄河源、祁连山等地跋涉，在现代冰川与古冰川研究领域有许多论文和著作问世，对中国冰川学的发展做出了卓越的贡献。在《西藏冰川》一书中，从冰川发育的自然条件，冰川的分布与性质，成冰作用与冰川运动，冰川水文特征，冰川变化和发展趋势等方面系统研究了西藏的现代冰川。把中国大陆性冰川和海洋性冰川的界限划定在丁青—嘉黎—工布江达—措美一线，确定了这两种不同性质冰川的各项气候和其它指标，成冰作用，蚀积过程和地貌特征。和郑本兴一起对第四纪冰川遗迹进行了全面的研究，划分了冰期，创建了大量的地方性冰期名称。探讨了冰期与高原隆升的关系。书中翔实的资料告诉我们，青藏高原上的第四纪冰川以高大的山脉为依托发育，历次冰期的冰川界限是清楚的，没有证据表明高原存在过连续的大冰盖。这些基础性的研究也是日后与德国学者 M. Kuhle 进行高原大冰盖问题论战的主要依据。1991 年，李吉均先生又和李炳元等编绘了《青藏高原第四纪冰川遗迹分布图》，在国际上很有影响。

### 三、青藏高原隆起的时代幅度和形式的探讨

20 世纪 60 年代后期李吉均先生开始把眼光移向青藏高原。青藏高原号称“世界屋脊”，雄踞北半球中低纬度，是地球表面的一个“地结”。它的存在对我国地貌格局和地理环境演变起着“纲举目张”的作用。他广泛搜集、阅读已有的文献，进行理论上的研究和探索。20 世纪 70 年代中国科学院组织大规模的青藏高原综合科学考察，他担任了冰川专业组组长，这为他提供了大展才华的机会。他一方面致力于冰川研究，另一方面，以更高的热情研究整个青藏高原的形成问题。当时在青藏高原形成的问题上流行着国外学者 B.M. 西尼村的观点，认为上新世末高原已达到 3000~3500m 的高度。国内也有学者持此观点。20 世纪 70 年代末，经过一次学术会议集体讨论，李先生和其他几位同行一起撰文提出截然不同的观点：始新世青藏高原全部脱离海侵（特提斯海消失）成为陆地，在第三纪经历了两次上升和两度夷平，上新世末，高度不超过 1000m，第四纪中上升到了现在的高度，高原“惊人地年轻”；高原在空间上是整体性上升的，但各部具有明显的差异性；高原在时间上是连续性上升的，但又具有明显的阶段性；高原隆升越到后期越快，早、中、晚更新世各上升 1000m，全新世以来的 1 万年中上升了 300~700m。这些观点以“青藏高原隆起的时代、幅度和形式的探讨”为题在《中国科学》1979 年第 6 期上发表，开创了青藏高原研究的一个新阶段。这篇文章至今被广泛引用，经久不衰，成为青藏高原研究的经典文献。

有了这样一个坚实的学术思想做基础，先生进而论述高原上升和亚洲季风的关系。他指出：“早更新世一个平均海拔 2000m，山地高度可能超过 3000m 的高原，对于气候上的动力和热力作用不能忽视。在早更新世当季风形成时，由于高原尚不能阻止这一深厚的天气系统，故而西南气流北上的力量很强。上新世晚期柴达木盆地气候十分干燥，是个最主要的成盐时期。但在早更新世，这里却又出现广阔的湖盆和稠密的水网，成盐过程中止，这可能与季风建立有关。”“强烈的构造运动使高原加速上升，进入晚更新世，喜马拉雅山终因隆升过高而成为印度洋季风难以逾越的障碍，致使高原内部强烈变干。故而更新世高原内部冰川规模均相对缩小，多年冻土则广泛发育起来。”关于青藏高原的现代冰川和第四纪冰川及其与高原隆升的关系等问题，在他所主撰的《西藏冰川》中有系统的论述。

### 四、冰川地貌与沉积相的研究

我国冰川地貌与沉积学的许多概念最初是由李四光先生引进的。众所周

知的中国东部第四纪冰川研究是与此分不开的。这里应该特别提到李吉均先生对冰碛石和冰川沉积相研究的贡献。

冰碛石是冰川沉积中能够提供冰川作用信息的首要标志。李四光先生把它作为东部第四纪冰川学说的重要依据。按其形态,有所谓马鞍石、熨斗石、灯盏石之类。他对冰川擦痕的描述是“钉头鼠尾”。李氏学派的后继者还以麻花石、猴子脸、李四光环等奇形怪状的石头为冰碛石。这些东西在冰川中形成的力学机制是什么?用之鉴定古冰川遗迹是否可靠?李吉均先生对自己长期在西部现代冰川区采集到的大量冰碛石进行了系统研究,先后发表“论冰川擦痕”和“冰碛石的形态和表面特征”等文章。提出冰川改造岩屑形态的“优先磨平作用”的概念(他把流水改造岩屑形态的作用相应称为“优先磨圆作用”)。故而冰碛石至少必须同时具备擦面和条痕才有鉴定意义。他建议称这种典型冰碛石为“擦面条痕石”。冰川作为一种固体搬运介质,其中的岩屑通过互相挤压,裂而不散,产生贝状断口、辐射型裂口及流线型摩擦面等形态特征,这也是通过积极流路搬运的冰川岩屑的形态特征。单纯的磨光面或擦痕是断层、泥流、滑坡等原因都可以形成的,只有形态呈流线型,特别是有新月形凿口和新月形裂纹的磨光面看来才有鉴别冰川成因的特殊意义。李先生进一步将冰碛石的形态形象化,归纳为擦面熨斗石、龟背条痕石、擦面箭簇石、擦面卵石(海洋性冰川区先在冰下河道中磨圆,再被带到冰川滑动面形成擦面),指出:“冰碛石的擦面实际上是由密集平行的擦痕组成的。……自然界中能形成擦痕的外动力过程很多,但能形成擦面的很少。”“迄今在冰碛中未曾见到塑性形变造成的马鞍石、灯盏石之类的现象。因为冰川处于运动状态,应力场随时有变化,不会产生在长期缓慢受力下岩石的松弛现象和塑性形变,过去有关这方面的报道看来与冰川无关。”这些研究成果,纠正了误解,丰富了冰川地貌学,在随之而来的中国东部第四纪冰川与环境研究中发挥了重要作用。

在冰川沉积方面,国内曾一度将“泥砾”(boulder clay)当成“冰碛”的代名词。泥砾是一种泥石共生、大小混杂、无分选的堆积物,国外又以diamicton(混杂堆积)一词表示,但未被及时介绍到我国学术界。此外,国内对于冰碛(till)和冰碛垄(moraine)的认识当时也是笼统的。李吉均先生在1980年夏天主持了“冰川沉积”研讨班,邀请英国地貌学家E.Derbyshire主讲,把西方国家冰川沉积研究的最新进展和有关冰川沉积相的新概念系统地翻译和介绍给中国读者。他在1983年第二届全国冰川学术会议上作了冰川沉积过程和冰川沉积相分类的报告。这些工作对其后的中国东部第四纪冰川研究作了理论方面的准备。

## 五、中国东部第四纪冰川与环境研究

李四光先生及其后继者从 20 世纪 20 年代开始,历时半个多世纪,在中国东部陆续建立了 100 多个古冰川遗迹点,北到大兴安岭,南至西双版纳、海南岛,高如庐山、黄山,低至海平面,均发现“古冰川遗迹”。但这一研究一开始就充满了怀疑,伴随着激烈的争论,在中国第四纪研究中已经成了一个举足轻重的学术疑难。20 世纪 80 年代初,李吉均先生与施雅风先生、崔之久先生等决心将这个疑难搞个水落石出。课题组选择具有代表性的 16 个地点,联合全国 16 个单位数十人,通过 4 年 100 多人次的考察分析,得出了与李四光先生截然不同的结论,出版了《中国东部第四纪冰川与环境问题》专著。书中主要的结论是,中国东部只有陕西太白山、台湾玉山和吉林长白山有第四纪冰川遗迹,其它地区一概没有。

事实上,1980 年开始,先生多次赴庐山考察。在庐山地貌研究中,他首先注意到的是庐山的热带地貌遗迹,1982 年发表“注意庐山的热带地貌和沉积遗迹”一文,指出:“从热带地貌的角度来研究庐山的地形和沉积可能才是真正的出路。”他列举了诸如厚层风化壳、石核(石蛋)、双层夷平面以及伯恩哈德岩等地貌遗迹,认为庐山在整个第四纪中热带和亚热带环境占主导地位。1983 年在《中国科学》上发表“庐山第四纪环境演变和地貌发育问题”一文。他敏锐地观察到庐山有红土和下蜀土分布,指出:“从气候带的移动来说,庐山地区在第四纪分别有过相当于华南沿海的热带季雨林气候,也有过相当于现今内蒙古的温带半干旱草原气候。无论按何种计算,均相当于气候带有过纬距为 10 度的变化。……上述剧烈的气候变化在庐山地区以及整个东亚是发生得很晚的,我国红土风化壳的分布范围在第四纪早期和中期最北曾达到东北地区南部,晚更新世则大幅度退到长江以南。与此相应,黄土堆积则在晚更新世大大扩张,一直分布到长江中下游地区。在东亚第四纪环境演变中,这是值得大书一笔的事件,可称之为大规模的黄土南侵。毫无疑问,黄土南侵的事件在第四纪期间曾多次发生,本质上是冰期气候在东亚季风地区的特殊反映。但是晚更新世黄土南侵达到如此巨大的规模,并非冰期来临这个原因所能完全解释的。另一个重要的原因是中更新世以后青藏高原的大幅度隆升。这种隆升的结果使高原成为南北气流和水汽传输的巨大障碍,强化了西伯利亚高压,寒潮侵袭东亚的形势更加凌厉,空前地增加了气候的大陆度。特别是当全球进入冰期时,夏季风减弱而冬季风更加强盛,加上海面大幅度下降,我国海岸线向东移动 500km 左右,气候的大陆度更强。由于这种原因的联合作用,使东亚在末次冰期中气候空前严



酷，乃导致大规模的黄土南侵事件。”这些思想，不仅为中国东部第四纪冰川与环境研究指明了出路，更重要的是，把中国东部的环境演变同青藏高原隆升紧密地联系起来。

## 六、“季风三角”理论

上文说到第四纪冰期时黄土南侵，间冰期时红土北上。仔细研究其范围，先生把它发展成“季风三角”的概念。他写道：“虽然庐山地区也感受到了第四纪冰期和间冰期气候变化的影响，但毕竟由于纬度偏低，整个第四纪地理环境的主要特色仍然是湿热的，干冷阶段仅可觉察出来。这正如黄土高原第四纪环境的基调是干燥的，湿润的间冰期仅以不厚的古土壤显示出来一样。从这种意义上讲，黄土高原和江南地区这两大区域的气候变化存在着天然的耦合关系。放大起来看，中国东部第四纪期间始终存在一个敏感地区，大体上处于连接鸭绿江口和长江口，并向西尖灭于兰州附近的楔形区域内，我们把它叫做中国气候变化敏感的‘季风三角’。在冰期和间冰期中，这个三角地区的环流形势、气候、植被、土壤均发生巨大的变化。冰期中这里盛行冬季风大陆干燥气团，地面为草原景观并堆积黄土；在间冰期中夏季风强盛，海洋气团带来雨泽之惠，地面植被主要为夏绿阔叶林，发育棕壤和褐土。庐山正好位于中国‘季风三角’的南部边缘，能够感受到上述气候变化旋回的影响，但总的说比较稳定。”“季风三角”的理论生动地刻画了中国东部第四纪环境演变的空间模式。

## 七、黄河阶地和黄河起源，黄土系列与地文期

兰州位于中国大陆版图的中心，是我国三大自然区的交汇地带，“季风三角”的西部枢纽。这里黄河阶地与黄土堆积系列蕴涵了难得的构造运动与环境变化的信息。早在20世纪30年代，杨钟健先生就在兰州划出了华北最完整的地文期。黄汲清先生在20世纪50年代专门把兰州黄河阶地叫做“兰州式台地”。李吉均先生通过多年野外考察，确定兰州地区黄河共发育7级阶地，经过古地磁、裂变径迹测年研究，确定了每级阶地的年代，从而得出黄河起源的年代约为170万年前，指出黄河阶地是青藏高原间歇性隆升的反映。并指出由于黄河的溯源侵蚀，黄河阶地愈向上游愈新。他还尝试把兰州阶地和冰期—间冰期气候变化联系起来，将其提升到了一个新的学术高度：

XII级阶地 170 万年

-----侵蚀期

VI级阶地 150 万年

-----湟水期侵蚀

V级阶地 120 万年

-----铜川期侵蚀

IV级阶地 60 万年

-----清水期侵蚀

III级阶地 15 万年

-----板桥期侵蚀

II级阶地 3~5 万年

-----末次冰期侵蚀

I级阶地 1 万年

此外,先生在临夏北塬发现了一个理想的晚更新世黄土剖面,从中分出末次间冰期的5个阶段( $S_{1-a}$ ,  $S_{1-b}$ ,  $S_{1-c}$ ,  $S_{1-d}$ ,  $S_{1-e}$ )和末次冰期的4个阶段( $L_{1-1}$ ,  $L_{1-2}$ ,  $L_{1-3}$ ,  $L_{1-4}$ )。加上全新世的 $S_0$ ,末次间冰期以来共10个气候波动阶段,对其进行多指标测试分析,得到了6条变化趋势一致的曲线,率先将其与著名的南极东方站16万年来的冰岩芯氧同位素曲线进行了成功的对比,也找出了轨道偏心率、地轴倾角和地轴进动三个变化周期,为刘东生先生开创的黄土研究新局面增添了精彩的一笔。

## 八、青藏运动

李吉均先生从事的研究工作看起来方方面面,但实际上有一个轴心——那就是青藏高原。自从20世纪70年代末发表那篇“青藏高原隆升时代、幅度和形式的探讨”的奠基性文章之后,对高原隆升问题的思考研究从未停止过。20世纪90年代之后,围绕青藏高原隆升问题研究提出了许多新观点。例如,先生对M. Coleman 1995年提出高原距今14Ma年就上升到5000m以上,之后崩塌降低的观点,T.M. Harrison 1992年提出高原距今20Ma开始强烈隆升,距今14Ma达到4000m以上的观点,D. K. Rea等1992年发表距今17Ma已达4000m,后两度侵蚀降低,距今4Ma年又由1500m高度快速上升的观点,进行了仔细的推敲,发现他们的证据有的不能成立,有的不足为证,有的已有他说。他多年来十分重视高原夷平面、高原外围砾石层和高原盆地及其沉积的证据,对青藏高原东北部边缘临夏盆地新生代沉积地层,河西走廊,川西边缘构造与地层,以及青藏高原夷平面的分布与变形的

研究,得到大量的测年数据和长足的进展。他高屋建瓴地提出“青藏运动”的概念,将“青藏运动”分为A, B, C三幕。A幕距今3.6Ma,高原从夷平面状态开始上升,高原外围和内部盆地普遍开始大规模的砾石堆积;B幕距今2.5Ma,西伯利亚—蒙古高压大大加强,冬季风稳定出现,中国黄土开始堆积;C幕距今1.7 Ma,黄河、长江等大型水系开始形成。

与此同时,李吉均先生又和崔之久先生提出“昆仑—黄河运动”的概念。“青藏运动”之后的1.1~0.6Ma,发生又一幕强烈而普遍的构造抬升,使昆仑山垭口有名的羌塘组湖相地层大幅度抬升,高原大范围进入冰冻圈,发生最早的冰川作用,轨道参数驱动主周期由4.1万年转变为10万年。晚更新世的共和运动使高原再上一层楼,达到今日之高度,喜马拉雅山成为印度洋季风的重大障碍,中国西部进一步变干,冬季风更为强大,始奠定当今亚洲自然地理环境之基本格局。这样,就使青藏高原隆升的学说形成了一个完整的理论体系。简单说来,青藏高原自始新世脱海成陆,开始上升,渐新世夷平;之后中新世再上升,上新世再度夷平。这两次夷平的见证是高原山顶面和主夷平面。上新世末高原再度上升,经历青藏运动ABC三幕以及昆仑—黄河运动和共和运动,始成今日之面貌。在这个历程的每个阶段,都伴随着环境变化的重大事件发生,最终,形成世界上最强大的亚洲季风气候系统,取代了行星风系。就自然环境而言,亚洲成为了物宝天华、人文荟萃、繁荣富庶的伊甸园。屈原《天问》发问道:“地何故以东南倾?”中国古代《淮南子》上有“天倾西北,地不满东南”的说法,并以颛顼和共工的战争解释之。可见中国西高东低的地形乃是古人最关注的地理问题,因而是中国最大最基础的地理问题。青藏高原隆升的理论就是现代科学对这一“天问”的回答。

## 九、西部开发研究

李吉均先生不仅对基础科学研究付出了极大的热情,而且对国家经济建设也极为关心。他倡导在中国地理学会下设干旱半干旱地区地理建设分会;倡导兰州大学和中国科学院兰州分院、甘肃省科委共同成立中国西部资源环境科学研究中心,并进行了卓有成效的学术活动。他为西部大开发提出许多前瞻性的建议和思路,如:

——西部开发交通先行,建成“西部大十字”,建设从伊尔库茨克穿蒙古、青藏高原南下印度加尔各答的铁路,在河西与欧亚大陆桥交汇,让周边国家的经济与文化在这里交流碰撞,重振丝路雄风。

——放宽政策,建设敦煌,搞西部“旅游特区”,并专赴敦煌和玉门关