

DIAN DONGBEI GAOSHAN

MOCI BINGQI BINGCHUAN YU HUANJING

---

滇东北高山

末次冰期冰川与环境

---

张威 崔之久 郭善莉 著

知识产权出版社

# 滇东北高山末次冰期冰川与环境

张 威 崔之久 郭善莉 著

知识产权出版社

**图书在版编目 (CIP) 数据**

滇东北高山末次冰期冰川与环境/张威 崔之久 郭善莉著.  
北京: 知识产权出版社, 2005. 3  
ISBN 7-80198-282-7

I. 滇… II. ①张…②崔…③郭… III. 更新世—山岳冰川—研究—云南省 IV. P343.727.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 017803 号

本书的所有版权受到保护, 未经出版者书面许可, 任何人不得以任何方式和方法复制抄袭本书的任何部分, 违者皆须承担全部民事责任及刑事责任。

---

**滇东北高山末次冰期冰川与环境**

张威 崔之久 郭善莉著

责任编辑: 李潇 责任校对: 董志英

装帧设计: 雷励 责任出版: 杨宝林

知识产权出版社出版、发行

地址: 北京市海淀区马甸南村 1 号

通信地址: 北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 邮编: 100088

http: //www.cnipr.com

电话: (010) 82000733 (010) 82000860—8101

知识产权出版社电子制印中心印刷

2005 年 3 月第 1 版 2005 年 3 月第 1 次印刷

850mm × 1168mm 1/32 印张: 7.5 字数: 175 千字

ISBN 7-80198-282-7/T·172

定价: 18.00 元

如有印装质量问题, 本社负责调换

## 内容提要

云南拱王山地处滇东北，与享有盛名的“大理冰期”命名地——点苍山同处云贵高原，气候上受东南和西南两大季风系统的影响，是联系西部青藏高原、横断山脉和东部太平洋沿岸山地的关键部位。对于末次冰期以来冰川作用、性质、环境及其时代系列的探索，是国内外重点研究的全球性课题。揭示研究区末次冰期冰川发育的本质特征对冰川发育环境、青藏高原隆升、季风的形成与发展等重大问题具有科学意义。本书以拱王山为研究背景，通过多种手段，选取沉积学、生物学、环境地球化学、环境磁学等反映环境变化的控制指标，结合绝对年代学，本着“立足拱王山、联系东亚”的原则，深入探讨末次冰期以来冰川演化的区域性特点。

采取野外地貌考察—采样，室内沉积物分析—断代对比的分析方法，对研究区古冰川发育的地貌特点、冰川作用物理性质、规模、时代、冰期演化序列进行深入分析，末次冰期环境论述以雪线重建为主要指标，恢复了末次冰期不同阶段的温度和降水条件。以东川区法者乡老碳房附近海拔 3600m 冰蚀湖相剖面为主要载体，探讨了拱王山地区全新世以来环境演化特点。

拱王山地区存在晚第四纪以来的冰川作用遗迹，分布在小江流域与普渡河之间海拔 3000m 以上高山地区，冰川作用遗迹以黄水管沟上游牛垌坪—妖精塘地区最典型；以年代为依托冰期系列齐全，冰川作用时代为“倒二”冰期，热释光（TL）年代为 100 ~ 110ka B. P. 左右，末次冰期早期，热释光年代为 40 ~ 50ka B. P.，末次冰盛期，TL 年代为 18 ~ 25ka B. P. 和晚冰期，年代为 10ka B. P. 左右；冰川作用的物理性质为海洋性冰川，妖精塘、

老碳房地区海拔 3700 ~ 3800m 处形态典型的冰斗、擦痕、磨光面以槽谷纵剖面上冰坎（岩坎）与洼地相间的阶梯状地貌特征均证实这一点；“倒二”冰期与末次冰期在温度和降水量上有较大区别，而末次冰期早阶段和晚阶段（LGM）温度下降和降水减少没有太大区别，年平均气温比现代下降为 6.5℃，降水减少 300mm 左右。

全新世以来气候环境表现为：8.39 ~ 7.68ka B. P.，气候冷湿；7.68 ~ 6.46 ka B. P.，气候凉湿；6.46 ~ 4.7 ka B. P.，气候冷干；4.7 ~ 2.075 ka B. P.，气候凉湿；2.075 ka B. P. 一至今，气候温和湿润，向暖的方向发展。

与邻近和全球主要山地进行冰期系列、规模对比，本区冰川发育规模以“倒二”冰期最大，与滇西北乃至横断山脉山地冰川发育规律一致；末次冰期早阶段冰川规模大于晚阶段，与中国台湾、日本、中国太白山等山地可以对应，而与普遍意义上的末次冰盛期最大不同，从而得出冰川前进最大规模在末次冰期时受区域环境影响，在 1 万年和 3 万年时间段存在同时和异时两种情况。

## Abstract

Gongwang Mountain, the key position that links the western Tibetan Plateau, Hengduan Mountains range and the eastern island along the western Pacific Ocean, locates in northeastern Yunan Province. It is near to the famous Diancang Mountain where the Dali Glaciation first named, and mainly influenced by the southwest monsoon and the southeast monsoon circulation. The glacial characteristics, environments and the age series of the last glaciation are the important international topics. Research on the glacial action characteristics is very important to the study of glacial developmental environments, the uplift of Tibetan Plateau, the formation and development of East Asia monsoon.

Gongwang Mountain as research region, the regional characteristics of the glacial evolution since the last glaciation was discussed with the relation to the east Asia, by means of multiple indexes such as sedimentology, biology, environmental geochemistry and environmental susceptibility that reflect the environmental change, together with the absolute age.

With the methods that field investigation, sampling and sediment analyzing, dating, contrasting in the laboratory, the characteristics of glacial geomorphology, and the physical features, extent, ages and glacial evolution series were studied in details. Adopting the paleo-equilibrium line being reconstructed as the main environmental index, the paper rebuilds the temperature and the precipitation conditions during the different glacial stages. The Holocene environmental evolu-

tion characteristics mainly based on the glacial erosive lake section (3600m a. s. l. ) close to the Laotanfang, Dongchuan. The following is the main conclusions:

Gongwang Mountain preserves the late Quaternary glacial remains, which distribute on the high mountains above 3000m a. s. l. between the Xiaojiang valley and the Pudu River. The typical glacial morphology exists in Niudongping – Yaojingtang region and the Laotanfang region. The glacial series is perfectly indicated by absolute ages. These are the Penultimate Glaciation, with the TL age about 100 ~ 110 ka B. P. , the early stage of the last glaciation, with the TL age of 40 ~ 50 ka B. P. , the last glacial maximum stage, with the TL age of 18 ~ 25 ka B. P. and the late glaciation advance about 10ka B. P. . The marine type glacier during the late Quaternary are approved by landscapes such as the typical cirques, striations, polished surfaces and the threshold alternated with the depression in the vertical section of the glacial trough in Yaojingtang and Laotanfang regions. The temperature and the precipitation were different between the last glaciation and the penultimate glaciation, however, the differences were not very clear between the early and the late stage during the last glaciation. Compared with modern temperature and precipitation conditions, the mean annual temperature declined 6.5°C and the annual precipitation decreased 300mm in the last glaciation.

The pollen,  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ , magnetic susceptibility and the grain size analysis indicate the climate fluctuated in different stage during the Holocene. That is, the climate was cold and wet during 8.39 ~ 7.68 ka B. P. , cool and wet during 7.68 ~ 6.46 ka B. P. , cold and dry during 6.46 ~ 4.7 ka B. P. , cool and wet during 4.7 ~ 2.075 ka B. P. , and warm and wet since the 2.075 ka B. P.

Being contrasted to the adjacent and other main mountains, with

the absolute ages in the world, the maximum glacial advance here during the penultimate glaciation was consistent with the Hengduan mountain range. The glacial extent of the early stage was larger than that of the late stage during the last glaciation, which corresponded to the Taiwan Shesan Mountain, Japanese islands along the Pacific Ocean, Taibaishan Mountain, etc. in mainland. This is different from that the largest glacial advance happened during the Last Glacial Maximum (LGM) in many other regions all over the world. In this paper, some glacial maximum advance before the LGM are also discussed together with the MIS3b (54 ~ 44ka B. P. ) glacial advance topic, with the conclusion that the maximum advances of mountains may also be influenced by the regional climate. The maximum glacial advances of asynchronous and synchronous exist in 10ka and 30ka time scale.



# 前 言

末次冰期以来的环境变迁是全球变化研究的热点问题之一，与经济发展和人类生存密切相关，研究末次冰期以来的环境、地质地貌灾害的发生机理以及预测未来变化发展趋势，具有重要的理论意义和实际价值，本书以云南省昆明市东川区附近的拱王山为依托，取材于国家自然科学基金项目《云南拱王山与台湾雪山末次冰期冰川演化序列及其与季风演化的耦合》（2000 ~ 2003），对研究区进行了深入细致的地貌调查和采样实验分析，以丰富详实的第一手资料，阐述了冰川、冰缘地貌的基本特征，结合多种反映环境变化的替代性指标，探讨了末次冰期以来该区的气候及其自然生态环境的变化特点，为有关学科的研究提供了比较系统的论据、理论与实践方面的最新成果。

本书内容亦是作者近年来研究中国东部第四纪冰川内容的成果，通过广泛收集国内外新近研究的资料撰写而成。书中内容详实、新颖，涉及面比较广泛，是国内不可多得的研究中国东部南方末次冰期以来古气候、古环境变化的专著，可供从事地质、地理、环境科学、古气候、海洋、气象、水文、水土保持、交通建设、农田规划、流域规划开发等科研、教学、生产部门等有关工作者参考使用。也可以作为大专院校有关专业学生的教学参考书。

本书共分7章26节，主体部分均由张威、崔之久先生合写，书中的插图、部分表格、数学分析方面由郭善莉完成。由于作者水平和时间有限，不免有诸多不妥之处，敬请各位专家批评指正。

# 目 录

<b>第一章 引言</b> .....	( 1 )
1. 冰川研究综述 .....	( 1 )
1.1 基本概念和研究范畴 .....	( 1 )
1.2 冰川地质地貌特征 .....	( 4 )
1.3 冰期序列的确定 .....	( 5 )
2. 国内外研究简史 .....	( 5 )
3. 第四纪冰川研究中存在的主要问题 .....	( 11 )
3.1 冰碛物的年代 .....	( 11 )
3.2 中国东部中低山地有无冰川发育以及西部 青藏高原有无大冰盖的争议 .....	( 11 )
3.3 末次冰期划分 .....	( 12 )
4. 研究方法 .....	( 14 )
5. 选题依据及技术路线 .....	( 16 )
5.1 选题意义 .....	( 16 )
5.2 前人工作 .....	( 20 )
5.3 存在的主要问题 .....	( 21 )
5.4 研究内容和拟解决的关键问题 .....	( 22 )
5.5 技术路线及研究方法 .....	( 22 )
5.6 研究框架 .....	( 23 )
<b>第二章 研究区自然条件特征</b> .....	( 24 )
1. 区域地质背景 .....	( 24 )
1.1 构造背景 .....	( 25 )

1.2 地层及岩性 .....	(27)
2. 自然环境特征 .....	(29)
2.1 地势特点 .....	(29)
2.2 气候特点 .....	(31)
2.3 植被特征 .....	(33)
<b>第三章 冰川发育地貌特征 .....</b>	<b>(36)</b>
1. 冰川规模、地貌特征及其分布 .....	(36)
1.1 牛垌坪—妖精塘地区 .....	(36)
1.2 老碳房地区 .....	(40)
2. 各阶段雪线的确定 .....	(43)
2.1 雪线高度方法 .....	(44)
2.2 各阶段雪线值 .....	(45)
2.3 各阶段雪线降低值 .....	(46)
3. 冰川作用差 .....	(47)
4. 冰川作用的物理性质 .....	(48)
5. 时代定位 .....	(49)
6. 冰期的划分结果 .....	(50)
<b>第四章 沉积物分析 .....</b>	<b>(54)</b>
1. 沉积学特征 .....	(54)
1.1 剖面沉积学 .....	(54)
1.2 粒度分析 .....	(58)
1.3 沉积特征与气候变化 .....	(69)
2. 冰碛物年代测定 .....	(72)
2.1 概述 .....	(72)
2.2 测年原理 .....	(73)
2.3 实验结果 .....	(76)
3. 石英砂表面特征 .....	(76)

3.1 实验过程 .....	(78)
3.2 特征描述 .....	(78)
4. 地球化学特征 .....	(80)
4.1 概述 .....	(80)
4.2 基本原理 .....	(80)
4.3 实验分析 .....	(81)
5. 环境磁学特征 .....	(90)
5.1 概述 .....	(90)
5.2 意义与方法 .....	(93)
5.3 磁化率特征 .....	(93)
5.4 磁化率变化控制因素 .....	(96)
5.5 磁化率对于古气候变化的指示 .....	(99)
6. 孢粉分析 .....	(100)
6.1 老碳房剖面 .....	(101)
6.2 牛垌坪、石板塘剖面孢粉分析 .....	(103)
<b>第五章 末次冰期环境变化 .....</b>	<b>(109)</b>
1. 冰期自然环境 .....	(109)
1.1 概况 .....	(109)
1.2 冰期温度、降雨量推算 .....	(110)
1.3 冰期环境重建 .....	(113)
2. 全新世环境变化 .....	(117)
<b>第六章 冰期系列对比与冰川发育异时性 .....</b>	<b>(123)</b>
1. 与临近山地的冰期系列对比 .....	(123)
2. 末次冰期冰川规模与“冰期异时性”问题 .....	(130)
2.1 末次冰期冰川规模 .....	(130)
2.2 中国大陆季风带与西风带对冰川规模的影响 .....	(133)
3. 冰川发育异时性问题 .....	(138)

<b>第七章 结论及展望</b> .....	(150)
1. 主要结论 .....	(150)
2. 存在主要问题及研究展望 .....	(151)
<b>参考文献</b> .....	(152)
<b>附录</b> .....	(171)

# 第一章 引言

## 1. 冰川研究综述

### 1.1 基本概念和研究范畴

#### 1.1.1 冰川的概念及冰川学研究内容

冰川 (Glacier) 是寒冷地区多年降雪积聚、经过变质作用形成的自然冰体, 在重力作用下有一定的运动。冰川以结晶的冰川冰为主体, 还包括一定数量的空气、液态物质和岩屑。冰川从积累、运动到消融的全过程中, 在动力和热力作用下, 贯穿着水汽和热量的不断收支变化, 冰川与大气、冰川与冰床之间的相互作用, 构成一个复杂的系统 (施雅风等, 1988)。

世界上陆地面积的 11% 被冰川所覆盖, 大约 4/5 的淡水资源集中在冰川上, 冰川主要分布在南、北两极以及中低纬度的一些高山上。在第四纪冰期时, 冰川的覆盖面积更广, 可以扩大到世界陆地的 30% 以上, 它在全球的地貌作用是可以想见的 (崔之久等, 1998)。冰川学 (Glaciology) 就是伴随着人们对于冰川形成的资源进行利用, 与导致的自然灾害做斗争, 了解其所构成的环境系统及其所指示的气候变化等过程中逐渐发展起来的一门学科。现代的冰川学以冰川物理为主体, 以冰川水文气候和冰川地质地貌为两翼。冰川物理学研究冰的内部结构、力学、热学、电学性质和化学成分, 其中冰力学研究冰的流变, 各种天然冰体的应力分布和运动状态, 包括冰川、雪崩、风吹雪的动力学问题以及冰川的跃动等; 冰热学主要研究冰体内部温度变化, 辐射性质, 相的组成, 相态转化以及冰的热学等; 冰地球化学研究分析

冰体内杂质、痕量元素、氢氧同位素、微粒和某些组成的变化。

近年来深钻孔冰芯分析技术发展，日益成为分辨率高、保真性强，重建古气候、古环境的重要手段。冰川水文和气候研究冰川与大气相互作用，热量和物质收支，消融与产生径流过程，冰川泥石流以及冰川对气候变化的响应等方面。

### 1.1.2 冰川的类型

#### (1) 划分方案

冰川类型的划分主要有两种，其一是按照形态分类，其二是按照物理性质分类。

在世界上出现的几种按照冰川的物理性质分类的方案中，对中国有较大影响的主要有以下几类。拉加里 (Lagally, 1932) 根据冰川温度季节变化层以下冰体的热力特征分类，将冰川分为暖型、冷型和过渡型三类。阿尔曼 (Ahlman, 1935) 提出的“地球物理”分类，将冰川分为温带 (Temperate) 冰川、亚极地 (Sub Polar) 冰川和高极地 (High Polar) 冰川三类。米勒 (Miller, 1973) 对此分类适当修改，补充了亚温型 (Sub Temperate) 冰川。阿夫修克 (Авсюк, 1955) 按照冰川温度，将冰川分为五类，即干极地型——整个冰层温度低于熔点，并稍低于当年平均气温；湿极地型——夏季气温可高于  $0^{\circ}\text{C}$ ，表面 1cm 内冰温可增加到  $0^{\circ}\text{C}$ ，形成少量融水；湿冷型——冰的平均温度高于年平均气温，但仍然为负温，融水可渗透到活动层底部，冰温仍为负值，深层冰温也是负的；海洋型——冰体热状况取决于融水，活动层温度夏季为  $0^{\circ}\text{C}$ ，冬季为随深度而减小的负温，深层全部为零温；大陆型——在严寒的冬天、凉爽的夏季，强烈辐射且少量降水的气候条件下，各个深度年平均冰温为负值，但表层 5 ~ 10m 深度范围内夏季温度可达到  $0^{\circ}\text{C}$ ，以下至活动层下界 (15 ~ 20m) 温度恒为负。中国的冰川类型划分，早期受阿夫修克的影响较大，也综合考虑了冰川发育的水热条件和冰川物理特征。施雅风、谢自楚 (1964) 将中国冰川划分为大陆型与海洋型两类，

谢自楚(1982)建议将10m深处冰温定为极大陆性和亚大陆性冰川的分界。李吉均等(李吉均、谢应钦,1986)在西藏冰川考察中,进一步认为大陆性冰川是低温低湿大陆性气候的产物,海洋性冰川是高温高湿海洋性气候的产物。认为除高原东南部存在季风海洋性冰川外,高原西部边缘山地还出现西风海洋型冰川,而大陆性冰川在青藏高原东部为季风大陆性冰川,高原内部及北部非季风区为内陆大陆性冰川,赖祖铭、黄茂桓(1988)将当时资料较多的22条冰川作模糊聚类分析,指标为平衡线处夏季平均气温、年平均气温、年降水量、冰川温度和冰川运动速度,使分类走向定量化。随着资料的不断丰富,可以将冰川做比较成熟的分类,下面是摘选施雅风等2000年主编的《中国冰川与环境》中关于冰川的类型划分(施雅风等,2000)。

## (2) 类型

根据冰川的发育条件和物理性质可分为:

① 海洋型冰川即温型冰川——此类冰川区有丰富的降水,平衡线高度上年降水量可以达到1000~3000mm,夏季温度1~5℃,冰温在-1~0℃之间,主要分布在西藏东南部和川西滇北地区,包括喜马拉雅山东段、念青唐古拉山中、东段和整个横断山脉。

② 亚大陆或亚极地型冰川——冰川平衡线处年降水量在500~1000mm,年平均温度为-6~-12℃,夏季温度为0~3℃,20m深度以上的活动层温度为-1~-10℃。此类冰川主要分布于阿尔泰山、天山、祁连山的大部分、昆仑山东段、唐古拉山东段、念青唐古拉山西段、冈底斯山部分、喜马拉雅山中西段的北坡以及喀喇昆仑山北坡。

③ 极地大陆型或准极地型冰川——冰川平衡线处年降水量在200~500mm,平均气温低于-10℃,冰面夏季气温低于-1℃,形成于极其寒冷干燥环境下。主要分布于中、西昆仑山、羌塘高原、帕米尔高原东部、唐古拉山西部和冈底斯山西段、祁



连山西部。

此外根据冰川的温度状况，还可以将冰川分为温冰川、冷温复合冰川和冷冰川（黄茂桓，1999）。

根据冰川的形态特征和所占据的地形单元的形态划分的类型：

在国际冰川编目规范中，将冰川类型用6位数表示，依次是主要的分类、形态、前端特征、纵剖面、主要补给来源和冰川活动性，每一个指标下又分为若干项。与上述相对应的冰川形态类型有悬冰川、冰斗冰川、山谷冰川、平顶冰川（冰帽）、再生冰川、山麓冰川、多年雪堆（雏冰川），依据冰川纵剖面和前端特征，又可以将悬冰川和冰斗冰川细分为冰斗—悬冰川、冰斗—山谷冰川和坡面冰川等，依据冰川粒雪盆所占据的单一盆地、复式盆地和复式流域等指标，又可以将山谷冰川分为单式山谷冰川、复式山谷冰川和树枝状山谷冰川。

## 1.2 冰川地质地貌特征

冰川地质地貌主要研究对冰川的侵蚀、岩屑搬运和堆积过程、形态、沉积特征以及在古地理、古气候变化中的作用和对环境的指示意义等（施雅风，2000）。随着全球变化（PAGES）研究的不断深入，第四纪冰川地质以及冰芯的研究也在大幅度前进，从冰芯研究获得的万年乃至10万年尺度的记录后，冰川地质与冰芯资料相结合，显著提高了第四纪冰川的研究水平，成为古全球变化研究的重要内容，目前已经扩大到地球上冰圈（Cryosphere）范围内的各种冰体。

在整个第四纪时期，全球范围内曾经历多次的冰川作用，在冰川作用及其附近区内，均塑造了与之相对应的地貌和沉积层，而这些保留下来的典型特征，就成为恢复各个不同时期发生冰川作用的直接证据。冰川侵蚀地貌主要发育有角峰、刃脊、冰斗、槽谷，而冰川堆积地貌主要研究的是冰川堆积物，即冰碛堤