

青藏高原科学考察丛书

西藏冰川

中国科学院青藏高原综合科学考察队

科学出版社

青藏高原科学考察丛书

西 藏 冰 川

中国科学院青藏高原综合科学考察队

科 学 出 版 社

1 9 8 6

内 容 简 介

本书是《青藏高原科学考察丛书》之一,是关于西藏现代冰川和第四纪冰川的第一本专著。书中主要根据1973—1979年期间在西藏各地进行冰川考察收集的第一手资料,并参考国内外有关青藏高原的冰川文献,系统地阐述了高原上冰川发育的条件、特征、分布和近期变化规律;并对各地古冰川遗迹、冰期划分、古冰川发育与高原隆起关系等问题进行了研究;书中还专门开辟章节阐述西藏海洋性冰川和大陆性冰川的水文特征、地质地貌作用和沉积特点。全书共分九章,包含了理论阐述的通论(一、二、三、四、七、八、九章)和区域介绍(五、六章)两大部分。本书具有内容充实、图文并茂的特点,并附有大量照片。

本书可供有关部门的科学研究和教学参考之用,也可供有关地方生产建设部门使用。

青藏高原科学考察丛书

西 藏 冰 川

中国科学院青藏高原综合科学考察队

责任编辑 朱昇堂

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1986年10月第一版 开本:787×1092 1/16

1986年10月第一次印刷 印张:21 1/4

印数:精 1—950 插页:精 21 平 20

平 1—800 字数:486,000

统一书号:13031·3274

本社书号:4771·13—13

定价:布脊精装 11.30 元

平 装 10.30 元

(附图两幅,另装封袋,随书发行)

编写单位

中国科学院兰州冰川冻土研究所
兰州大学地质地理系

作者

李吉均 郑本兴 杨锡金 谢应钦
张林源 马正海 徐叔鹰

《青藏高原综合科学考察丛书》序

号称“世界屋脊”的青藏高原，北起昆仑，南至喜马拉雅，西自喀喇昆仑，东抵横断山脉，幅员辽阔，地势高亢。其绝大部分位于我国境内，面积约为全国领土的四分之一。高原海拔一般超过四千米，比周围的平原、盆地高出三千米以上。这样一个举世无双，雄伟壮观的高原却又是地球上最年轻的，其最高耸的部分——喜马拉雅山地，直至四千万年前的第三纪初期还是一片汪洋大海！是什么力量以如此惊人的速度把它抬升到了今天的高度？这个大高原经历了怎样的沧桑巨变？它的存在又对自然界和人类活动带来了什么样的影响？……这些自然界的奥秘，长期以来一直强烈地吸引着中外的科学家们。

青藏高原有着独特的自然条件和丰富的自然资源，是我们伟大祖国的一块宝地。几千年来，繁衍生息在这里的藏族同胞和其他兄弟民族一起，通过生产实践，不断认识、利用和改造着这块土地，为中华民族文化的发展做出了贡献。公元641年文成公主进藏，进一步沟通了西藏与内地的文化交流，促进了青藏高原宝藏的开发和经济的发展。然而，近百年来由于中国反动统治阶级的腐败无能和帝国主义的侵略，富饶美丽的青藏高原也备受蹂躏，宝贵的资源任凭掠夺，任其荒芜。有多少爱国的科学家曾渴望着为认识和开发祖国的这块宝地贡献自己的一份力量！可是在旧中国，这个美好的愿望只能是空想而已，只有在社会主义的新中国，我国的科学家们才如愿以偿了。

解放之初，在西藏交通、供应还十分困难的情况下，国家就组织了科学家们去西藏考察。其后，在1956—1967年和1963—1972年两次国家科学发展规划中，都把青藏高原科学考察列为重点科研项目。中国科学院从五十年代到六十年代，先后组织了四次综合科学考察，取得了显著的成绩。但是，限于当时的条件，考察的地区和专业内容都比较局限。因此，到七十年代初，我们对这个高原的了解还是很不够的，不少地区在科学上仍处于空白状态。

为了适应青藏高原社会主义建设的需要，迅速改变这个地区科学考察的落后状况，遵照敬爱的周总理关于加强基础理论研究的指示，中国科学院于1972年专门制订了《青藏高原1973—1980年综合科学考察规划》，要求对整个高原进行比较全面的考察，积累基本科学资料，探讨有关高原形成、发展的若干基础理论问题，并结合青藏高原经济建设的需要，对当地自然资源的开发利用和自然灾害的防治提出科学依据。

1973年，“中国科学院青藏高原综合科学考察队”正式组成并开始了新阶段的考察工作。考察队员来自全国十四个省、市、自治区的五十六个科研、教学、生产单位。包括地球物理、地质、地理、生物、农林牧业等方面的五十多个专业共四百多科学工作者。至1976年，历时四年首先完成了西藏自治区范围内的野外考察（部分专业的考察到1977年结束）。广大的科学工作者胸怀为社会主义祖国争光，为中国人民争气的雄心壮志，在西藏各族人民和人民解放军的大力支持下，克服了山高氧缺、风雪严寒、交通不便等困难，跋山涉水，风餐露宿，艰苦奋斗，团结协作，终于胜利地完成了野外考察任务，搜集了大量的珍贵科学

资料。1977年开始,转入室内总结。参加资料分析、鉴定、整理、总结工作的单位又扩增到七十四个,组成了更大规模的社会主义大协作。

现在和读者见面的《青藏高原科学考察丛书》就是1973年至今七年多来参加西藏野外考察和室内工作的广大科学工作者的心血结晶。

本《丛书》包括西藏地球物理场与地壳深部结构、西藏地层、西藏古生物、西藏南部沉积岩、西藏岩浆活动与变质作用、西藏南部花岗岩地球化学、西藏第四纪地质、西藏地热、西藏地质构造、西藏自然地理、西藏气候、西藏地貌、西藏冰川、西藏泥石流、西藏河流与湖泊、西藏盐湖、西藏土壤、西藏植被、西藏森林、西藏草原、西藏作物、西藏野生大麦、西藏家畜、西藏农业地理、西藏植物志、西藏孢子植物、西藏哺乳类、西藏鸟类志、西藏昆虫、西藏鱼类、西藏水生无脊椎动物、西藏两栖和爬行动物等专著。至于青藏高原其它地区综合科学考察工作,今后将陆续进行。

我们试图通过《丛书》比较系统地反映考察所得的资料和观点,希望《丛书》能够对我国的地学、生物科学的发展,对西藏的社会主义建设起到一点作用。同时,我们也殷切地希望读者对《丛书》的错误和缺点提出批评指正。我们深深感到,现在对青藏高原的考察研究仅仅是迈出了第一步,该做的工作还很多。我们愿意和更多的科学工作者一道为进一步揭开青藏高原的奥秘,为建设社会主义的新西藏而继续努力,争取对于人类做出较大的贡献!

中国科学院青藏高原综合科学考察队

前 言

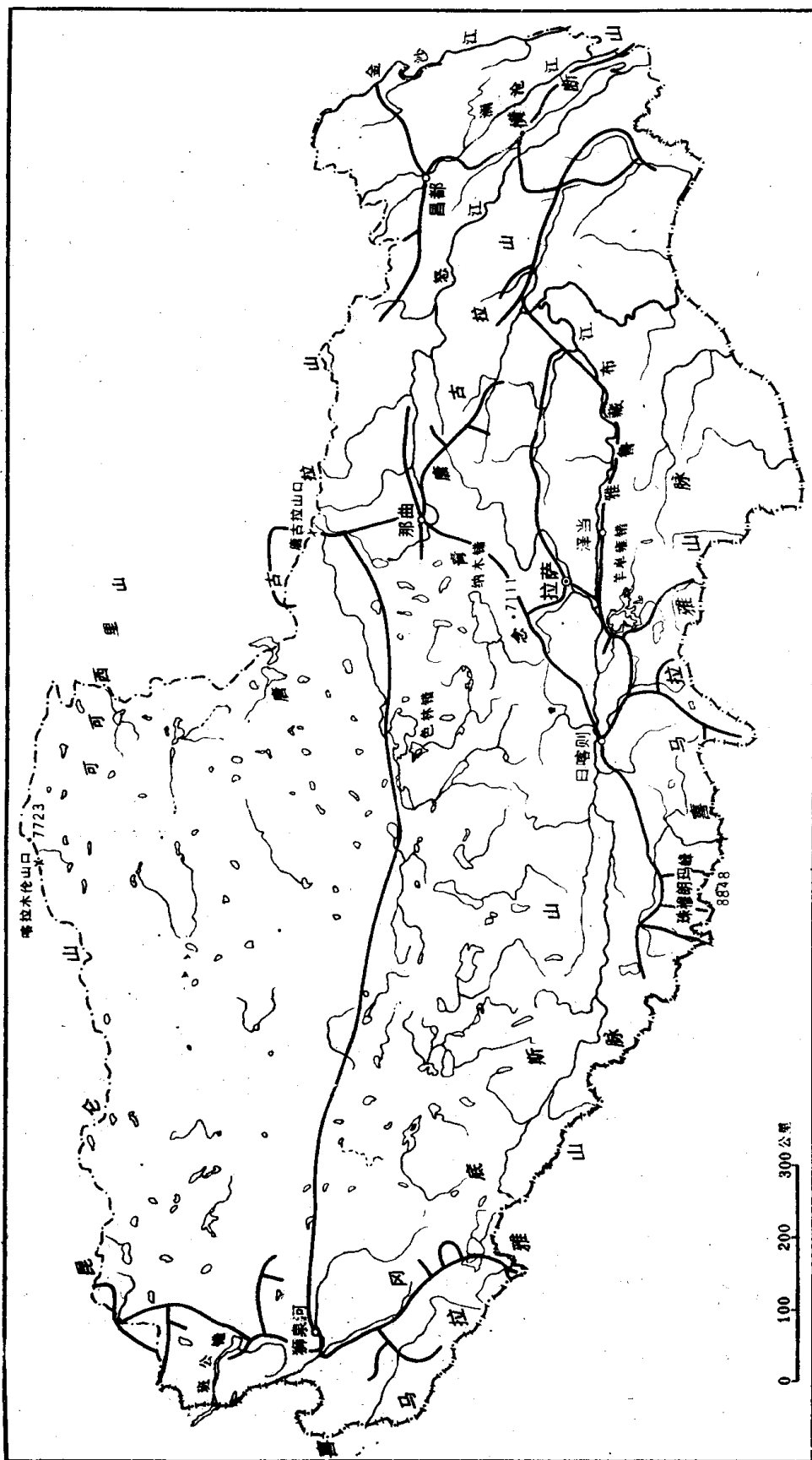
青藏高原现代冰川和第四纪冰川的研究已持续进行了将近一个世纪。但是,过去所作的工作主要限于高原南部边沿的喜马拉雅山和喀喇昆仑山。对于占据广大高原内部的西藏地区在解放前只是偶尔有少数外国学者或旅行家经过,根据印象作了一些记载。1959年威斯曼(H. Von. Wissmann)在《高原亚洲的现代冰川和雪线》一书中比较系统地总结了前人的考察成果。但其中关于高原内部的研究在很多地方仍是不准确的,对于雪线分布的叙述也有失实的地方。在古冰川方面关于高原内部冰期划分等问题几乎没有触及,而关于冰川规模则曾引起过不少混乱,如亨丁顿(E. Huntington, 1906)、涂宁克尔(E. Trinkler, 1930)、西尼村(B. M. Синицын, 1958)等认为高原上有过大冰盖,而斯文赫定(S. Hedin)和E. 诺林(E. Norin)等则表示反对。

中华人民共和国成立后,党和政府十分重视边疆少数民族地区的经济开发,多次派出科学工作者进西藏考察。1959—1960年我国登山队首次攀登珠穆朗玛峰时就有科学工作者王明业等参加,首次获得了绒布冰川的资料。1964年在希夏邦马峰登山活动中我国学者施雅风、刘东生等对现代冰川、古冰川遗迹和晚第三纪以来喜马拉雅山的上升进行了研究。同年中国科学院兰州冰川冻土沙漠研究所的杜榕桓等同志对西藏东南部波密附近的古乡冰川泥石流进行了综合调查,第一次取得了我国海洋性冰川的资料。1966—1968年中国科学院西藏科学考察队对珠穆朗玛峰地区再次进行了考察,主要由谢自楚、张祥松、崔之久等编写的《现代冰川与地貌》和郑本兴、赵希涛等编写的《第四纪地质》两本书,都比较系统地论述了珠穆朗玛峰地区的现代冰川和第四纪冰期问题。现代冰川方面确认了珠穆朗玛峰地区冰川属大陆性冰川,渗浸-冻结成冰带是绒布冰川的主要成冰带;古冰川方面划分了四次冰期并与其他山区作了对比。

1973年中国科学院青藏高原综合科学考察队,对西藏地区展开了全面的多学科考察,其历时之长和考察地区之广都是前所未有的。作者等参加的冰川组对东起雀儿山,西到阿里地区,南起喜马拉雅山,北到羌塘高原及长江源头的现代冰川、古冰川¹⁾遗迹进行了广泛的调查,并对某些主要冰川作了半定位观测。室内还利用新出版的地形图、航片及卫星影像对冰川数量、面积进行了统计、编图。本书即是在这一工作的基础上吸收前人研究的成果而编写成的。

通过在1973—1979年期间进行的工作及室内统计分析,已经基本查明青藏高原现代冰川的分布、面积、雪线变化、冰川性质、冰川发育与地形、大气环流形势的关系,海洋性冰川与大陆性冰川的区分标志和分布范围以及冰川的近期变化等问题。例如指出了在高原诸山系冰川的发育中,地形、地势和气候是三个最重要的因素。任何山脉只要有一个因素占优势,即可发育相当规模的冰川。喜马拉雅山冰川地势占优势,念青唐古拉山气候占优

1) 本书所论述的冰川范围也大致是这个范围(西藏地区),但在有些地方因涉及到大地构造和冰川分布而泛指青藏高原,为的是便于对比和说明问题。



西藏冰川考察路线图 (1973—1979)

势,西昆仑山则地形(夷平面宽广)占优势,喀喇昆仑山兼具各种优点,故冰川规模最大。四条山脉冰川占山地面积的比例分别是:喀喇昆仑山 37%、喜马拉雅山 17%、西昆仑山 8.2%、念青唐古拉山 7%。它们比欧洲的阿尔卑斯山冰川仅占山地面积 2.2% 的比例都要高得多,故青藏高原是世界中低纬度地区最大的山地冰川作用区。在决定冰川性质和规模上气候因素中的降水(雪)因素起着举足轻重的地位,固体降水多少及其季节分配和高原上特殊的大气环流形势有密切关系。高原西侧的喀喇昆仑山位于西风带中,属地中海型降水(雪),有利于冰川发育;西藏东南部雅鲁藏布江-布拉马普特拉河谷是夏季南亚季风降水最多的地方,冬春地形槽的活动也带来许多降雪,故这两个地方冰川均属海洋性冰川,冰川活动性很高,冰舌下伸的位置很低。高原北侧的昆仑山和祁连山受高压控制,降水极少,故发育成极大陆性冰川,雪线和冰川末端位置均较高。另外由于高原诸山脉复杂的地形条件的影响,故各地冰川类型复杂,规模悬殊,活动性差别大,其对人类生活的影响也各不相同。因此,青藏高原冰川的研究不仅会丰富冰川学的内容,而且可以对经济建设作出适当的贡献。如干旱地区的供水、边缘高山深谷地区冰川泥石流以及沿着大陆性冰川和海洋性冰川过渡地带经常发生的灾害性冰湖溃决等问题。

七十年代西藏地区冰川考察在古冰川方面亦取得进展,发现高原各地经历古冰川作用的历史不尽相同,反映各山脉的上升历史和幅度互有差异,并对高原上升和古冰川演化的关系作了探讨。在古冰川类型上进一步确认第四纪不存在覆盖高原的统一冰盖,但却发现有不少面积达数千平方公里的古冰帽,留下特殊的冰川蚀积地形。全新世冰川进退方面已经查明新冰期以来的各次冰进,经 C^{14} 测年和地衣测年得知冰进年代和竺可桢关于五千年来中国气候变化的结论基本是一致的。

本书的主要执笔人员是:李吉均(前言,第一章,第二章,第三章,第五章的第三、四、五节,第六章的第三、四、五节)、郑本兴(第七章,第八章,第五章的第一、二、六、七、八节和第六章的第一、二、三、六、七、八节)、杨锡金(第四章)、谢应钦(第二章的第三、四节)、张林源(第五章第五节,第六章第五节和第九章第一节)、徐叔鹰(第五章第五节和第六章第五节)、马正海(第九章第二节)。

此外,长期参加这次冰川考察工作的还有牟昀智、张文敬、单永翔、冯兆东;短期的有李以海、张祥松、唐领余、李怀有、王存年、蒲秀棠、白家棋、周尚哲、张义、蔡国堂、冯思科、邓小峰、杨世钦(西藏自治区水文总站)、王富葆。宋国平、张惠兴、杨长泰等同志在 1979 年对羊卓雍错附近的枪勇冰川进行了地面立体摄影测量。在这次冰川科学考察中,还得到中国科学院青藏高原综合科学考察队内其他许多同志的支持和帮助。如羌塘高原的一些冰川考察资料就是地貌组李炳元同志提供的;吴祥定、林振跃同志对树木年轮进行了分析。焦克勤、王存年和张振拴等同志协助进行冰川统计,王睿、邹良臣、顾功树、马正海与尹世琏、李彩之。管玉芬、韩品莲等同志分别参加室内标本分析和图件编绘工作。初稿完成后,承施雅风先生和李炳元同志进行了审阅并提出宝贵意见,杨针娘同志对第四章提出宝贵意见,在清稿过程中温景春同志作了大量的工作。对他们的帮助和支持,作者们表示深切的感谢。限于作者的水平,对于书中错误、缺点,希读者批评指正。

目 录

《青藏高原综合科学考察丛书》序·····	i
前言·····	vii
第一章 西藏冰川发育的自然条件·····	1
第一节 高原的形成和地貌轮廓·····	1
第二节 地势、地形与冰川发育的关系·····	4
第三节 高原气候与冰川·····	6
第二章 现代冰川的分布与性质·····	13
第一节 西藏现代冰川的分布·····	13
第二节 雪线的分布和变化·····	15
第三节 雪线高度和水热条件·····	20
第四节 西藏地区的海洋性冰川与大陆性冰川·····	24
第五节 海洋性冰川与大陆性冰川的区分标志与青藏高原的冰川区划·····	32
第三章 西藏冰川的基本特征·····	37
第一节 成冰作用·····	37
第二节 冰川的结构和构造·····	43
第三节 西藏冰川的运动特征·····	53
第四节 冰川消融与冰面形态·····	60
第四章 西藏冰川的水文·····	67
第一节 大陆性冰川——枪勇冰川的水文研究·····	67
第二节 海洋性冰川——珠西沟冰川的水文探讨·····	79
第三节 西藏南部大陆性冰川与海洋性冰川水文特征的对比分析·····	88
第五章 西藏现代冰川分区·····	99
第一节 喜马拉雅山的现代冰川·····	99
第二节 冈底斯山的现代冰川·····	120
第三节 念青唐古拉山的现代冰川·····	130
第四节 岗日嘎布的现代冰川·····	140
第五节 唐古拉山的现代冰川·····	149
第六节 羌塘高原的现代冰川·····	155
第七节 阿里喀喇昆仑山的现代冰川·····	165
第八节 西昆仑山的现代冰川·····	176
第六章 西藏地区古冰川遗迹与冰期划分·····	194
第一节 喜马拉雅山的古冰川遗迹·····	195
第二节 冈底斯山的古冰川遗迹·····	211
第三节 念青唐古拉山的古冰川遗迹·····	217
第四节 岗日嘎布的古冰川遗迹·····	231
第五节 唐古拉山的古冰川遗迹·····	238

第六节 阿里喀喇昆仑山的古冰川遗迹	243
第七节 西昆仑山的古冰川遗迹	247
第八节 冰期的划分与年代问题	251
第七章 青藏高原隆升与古冰川演变的关系	258
第一节 青藏高原第四纪各次冰期古冰川的类型与规模	258
第二节 冰期与间冰期的古气候	264
第三节 高原隆升与冰川演化的关系	271
第八章 西藏地区全新世的冰川变化和现代冰川发展趋势	277
第一节 西藏地区全新世冰川的变化	277
第二节 西藏地区现代冰川的变化和发展趋势	281
第九章 冰川地质地貌作用	298
第一节 冰蚀地貌	298
第二节 冰川沉积特征	313
附图: I. 西藏及其邻近地区现代冰川分布图(1/2000000)	
II. 枪勇冰川图(1/25000)	

THE SERIES OF THE SCIENTIFIC EXPEDITION TO THE
QINGHAI-XIZANG PLATEAU

GLACIERS OF XIZANG (TIBET)

CONTENTS

"The Series of the Scientific Expedition to the Qinghai-Xizang Plateau" Preface	i
Foreword	vii
Chapter 1. Physico-Geographical Conditions of the Glacier Development.....	1
1.1 Plateau's Formation and Its Geomorphological Outline	1
1.2 Surface Relief and Landform of Xizang Plateau and Their Influences on Glacial Development	4
1.3 Climate and Glaciers	6
Chapter 2. Distribution and Properties of the Existing Glaciers	13
2.1 Distribution of Glaciers on Xizang Plateau	13
2.2 Snow Lines and Their Variations	15
2.3 Altitude of Snow Lines in Connection with Thermal and Moist Condition ...	20
2.4 Maritime and Continental Glaciers in Xizang Region	24
2.5 Diagnostic Features of Two Types of Glaciers and the Regional Division...	32
Chapter 3 Basic Features of Glaciers in Xizang Region.....	37
3.1 Ice Formations	37
3.2 Glacier's Structures and Ice Textures	43
3.3 Ice Motion	53
3.4 Glacial Ablation and Surface Forms	60
Chapter 4 Glacial Hydrology in Xizang Region.....	67
4.1 Hydrological Research of Qiangyong Glacier (Continental)	67
4.2 Hydrological Research of Zhuxigou Glacier (Maritime)	79
4.3 Comparison Between Two Types of Glaciers in Hydrological Features.....	88
Chapter 5 Regional Divisions of Existing Glaciers in Xizang Region	99
5.1 Himalayas	99
5.2 Gandisê Range	120
5.3 Nyainqêntanglha Range	130
5.4 Gangrigabo Range	140
5.5 Tanggula Range	140
5.6 Qiangtang Plateau	155
5.7 Ali Karakorum Mountains	165

5.8	Western Kunlun Mountains	176
Chapter 6	The Relics of Quaternary Glaciation in Xizang Region	194
6.1	Himalayas	195
6.2	Gandisê Range	211
6.3	Nyainqêntanglha Range	217
6.4	Gangrigabo Range	231
6.5	Tanggula Range	238
6.6	Ali Karakorum Mountains	243
6.7	Western Kunlun Mountains	247
6.8	Identification of Glaciations and Correlation in Various Parts of Xizang	251
Chapter 7	Plateau's Uplift and Its Impact on the Evolution of Former Glaciation	258
7.1	Morphologic Type and Scale of Former Glaciers in Different Quaternary Times	258
7.2	Paleoclimate in the Ice Age	264
7.3	Plateau's Uplift and Its Impact on the Evolution of Former Glaciers	271
Chapter 8	Glacial Variation in Holocene and the Trend of Existing Glaciers	277
8.1	Glacial Variation in Holocene	277
8.2	The Trend of Existing Glaciers	281
Chapter 9	Geological and Geomorphological Actions of Glacier	298
9.1	Glacial Erosive Forms	298
9.2	Characteristics of Glacial Deposits in Xizang	313
Appendices: I. Distribution Map of Glaciers in Xizang and Its Nearby Region (1/2000000)		
II. Map of Giangyong Glacier (1/25000)		

第一章 西藏冰川发育的自然条件

青藏高原是地球上中低纬度地区最大的冰川分布区，它的大部分地区位于亚热带纬度，有的冰川伸进山地亚热带的茂密森林之中。其所以如此是由于青藏高原在第四纪期间强烈隆起，使山地伸入雪圈之中，因而发育起大面积的现代冰川。高原隆升还改变了大气环流形势，在夏季破坏了哈德莱环流而形成强大的南亚季风环流，在冬半年西风环流在高原西边被阻塞分枝，在东边则形成背风涡动。所有这些都改变了降水的来源、分布，从而对冰川的规模、性质起着决定性的影响。这是高原隆升对冰川发育的间接作用。另外，青藏高原的隆升不是一蹴而就的，它有一个由低到高的过程；大气环流形势和高原各地的气候分异也是经过若干变化才成为目前的状况的。这就不能不对青藏高原古冰川的演化模式发生重大影响。由此可见，为了对青藏高原冰川的发育条件有一个正确的理解，首先必须分析高原地形的现状，并对它的成因作出合理的解释。

根据对本区冰川发育因素的分析，各地区冰川的差异，主要是气候、地形、地势诸因素综合影响的结果。我们不仅要注意大气候、大地形对冰川发育的影响，还需注意中小地形、中小尺度的气候和地形起伏对冰川发育的影响。这几种因素对冰川的影响是互相联系，相互制约和共同起作用的。例如，不同的地形、地势通过坡向、坡度影响辐射、气温和降水(雪)，并通过吹雪、雪崩导致雪的再分配。这样就使气候雪线、地形雪线和粒雪线之间发生很大的差异，直接影响该地区冰川的实际分布和发育状况。雪线和地形相结合的影响可以用冰川的“适应性系数”或“形态率”¹⁾ (shape ratio) 来表示；雪线和地势相结合的影响则可用“冰川作用正差”²⁾ 或“冰川作用有效地势” (available glaciation relief) 来表示；地形和地势相结合的影响则可用“隐蔽度”、“雪篱效应”和“积累系数”³⁾ (accumulation ratio) 来表示。例如，青藏高原边沿强切割高山和高原内部夷平面保留完好的断块山冰川发育状况就截然不同，不仅影响到冰川的形态类型，也在一定程度上影响到冰川的性质。因为“冰川作用有效地势”很高，“隐蔽度”、“雪篱效应”和“积累系数”很大的边缘高山使地形雪线大幅度下降，从而提高冰川的海洋性程度；相反地，夷平面上发育的平顶冰川固然有很高的“形态率”而面积很广，但冰雪表面无隐蔽特别是风吹雪严重时却降低了冰川的活动性。

第一节 高原的形成和地貌轮廓

作为地球上最高大的一块隆起区域，青藏高原的南北被雄伟的喜马拉雅山和昆仑山

-
- 1) 形态率指冰川面积与高度之比。
 - 2) 冰川作用正差指雪线高度与山顶高度之差。
 - 3) 积累系数指实际积累与年降雪量之比。

一祁连山勾画出极为明确的边界，中间夹着高位盆地和相对起伏不大的山脉。在高原西端，三条雄伟的山脉紧靠在一起，昆仑山、喀喇昆仑山和喜马拉雅山的总宽度不过 500 公里。在这里山间盆地极狭、高山汇集成世界上最雄伟密集的山汇。高原东部除了四川盆地西沿龙门山一带勾画出一段较清晰的界线以外，山形比较散乱，而且走向从东西逐渐转为南北，倾没于海拔较低的滇西和缅甸北部的群山之中。已故的徐近之先生形象地把整个青藏高原比喻为一只“无脚…的驼鸟”（见图 1-1）。克什米尔群山和我国的昆仑山、喀喇昆仑山是驼鸟的头和脖子，西藏、青海则是它的巨大的躯体，横断山脉则是它的散乱“下垂的尾端”^[1]。这样就把青藏高原天然地划分为三个大的地形单元，即：①西部褶皱极高山区；②中部断块高原盆地区；③东部深切峡谷-山原区（图 1-1）。这三个大的地形单元均有相应的地质基础和大地构造背景。西部褶皱极高山区为三个并列的古生代、中生代

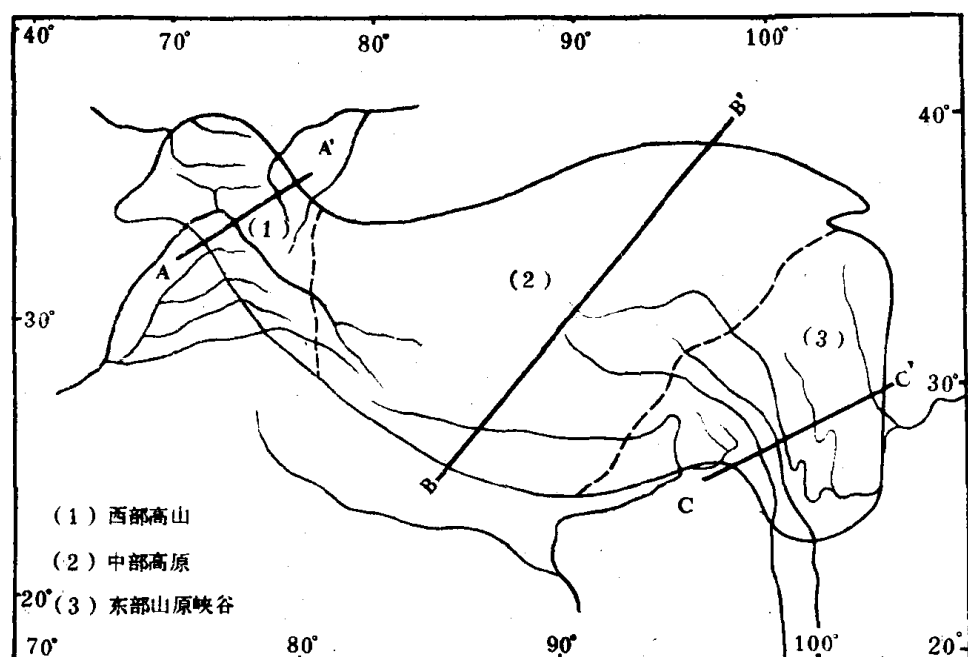


图 1-1 青藏高原地貌分区

和新生代褶皱带，在印度板块的冲撞下形成宏伟的西喜马拉雅大地构造衔接带，经印度河诸支流的切割成为世界上地形最崎岖的山地。图 1-2 是从我国新疆皮山县通过乔戈里峰 (K_2)、斯克爾都、斯利那加到巴基斯坦杰卢姆城的横剖面。此中除了克什米尔盆地是一个座落在大小喜马拉雅山之间的第四纪沉降区外，其他全是第四纪强烈隆起的高山和深切峡谷。除了偶尔见到一些片段的第四纪早期的宽谷面的残余外（如巴托拉冰川旁的海拔 4300 米左右的帕图达斯侵蚀面），早期的夷平面很少保存。中部高原为青藏高原的主体部分，由五个相距较宽的褶皱带（祁连山、昆仑山、唐古拉山、冈底斯山和喜马拉雅山）和位于其间的地块组成。它们虽然各有不同的地质基础和发育历史，但都是在晚新生代受印度板块北移的巨大的压力而同时隆起的。由于各个带的刚性不同，表现形式也有很大差异。喜马拉雅山因印度板块的板内俯冲而叠置成世界最雄伟的山系，柴达木盆地则因有更大的刚性而相对沉降下去，祁连山则应属于高原北部边沿的活化隆起带。关于青藏高原中部最宽的这一部分的隆起的方式可以图 1-3（即图 1-1 中 BB' 剖面）来表示。从整体来说可以把它看作是一个巨大的断块，根据古夷平面的变形则又可把大高原看作是一种

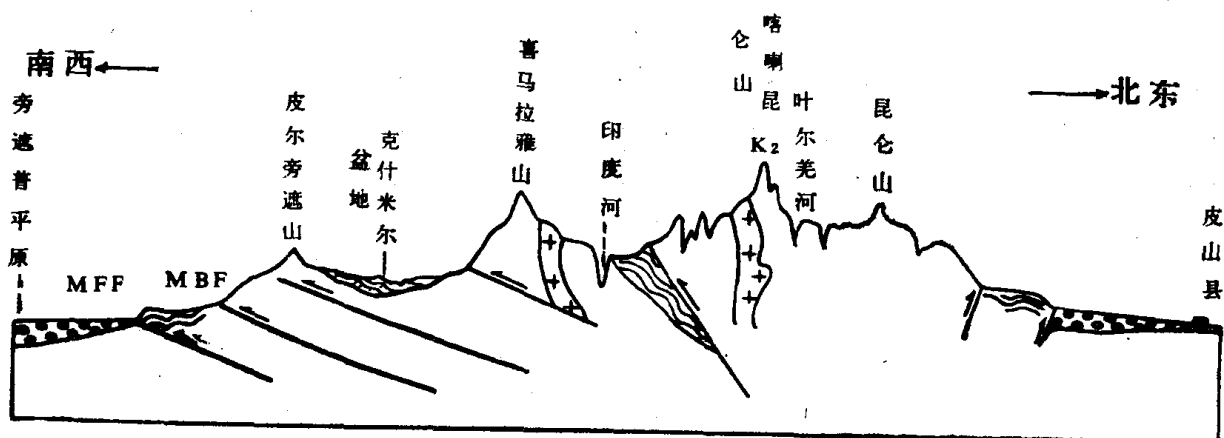


图 1-2 青藏高原西部横剖面(图 1-1, AA')

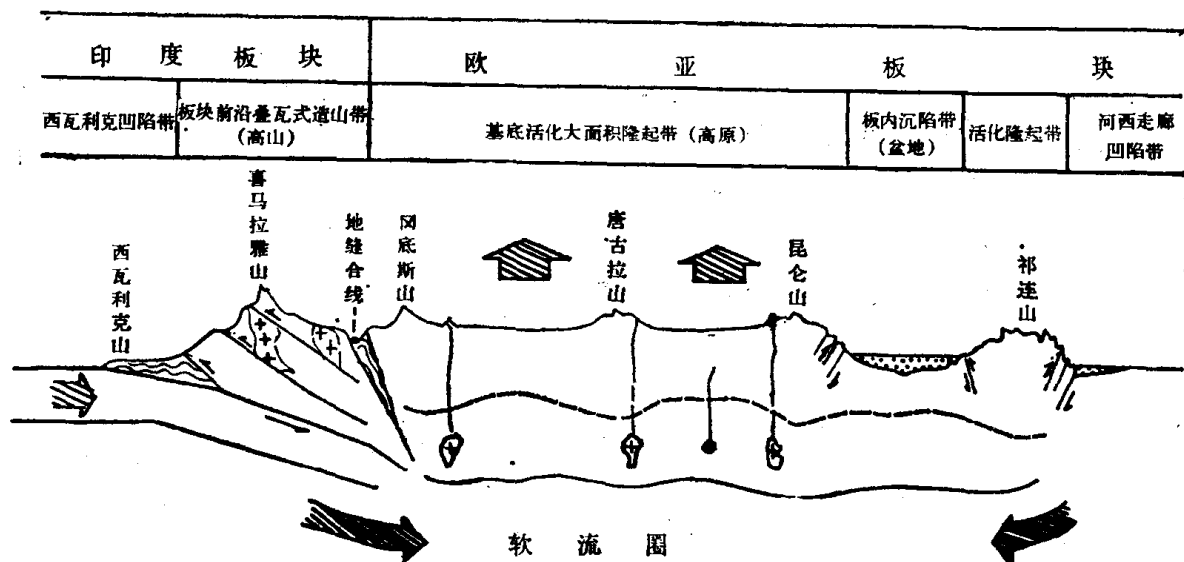


图 1-3 青藏高原晚新生代隆起机制图

波浪运动^[2]。班公错-怒江断裂谷为波谷较低处，由此向南向北逐渐增大波峰而以边沿最高，即南边的喜马拉雅山和北面的昆仑山。这是高原上诸山脉高度不同的新构造运动背景，而山脉高度对冰川发育是影响很大的。除了南北向的波浪运动外，我们还注意到高原上诸山脉有东西向的波浪运动。喜马拉雅山诸峰体均为南北或近南北向的断层所分割，因而可以作相对独立的水平错动和隆起。人们认为珠穆朗玛峰就是一个后来居上的峰体。位于其间的则是一些断裂谷或地堑盆地。这种现象在冈底斯山顶部表现为湖盆与高峰的交替，在唐古拉山则有著名的布曲断陷谷，而昆仑山垭口所在的惊仙谷(又名经向谷)形成的时代更晚(中更新世以后)。研究古今冰川的发育不可不注意这种十分活跃的新构造运动特点。例如，当较大的夷平面段落被波状运动推动上升到雪线以上时，就会有大型的冰帽发生。人们已经注意到西藏高原的大多数湖盆是受构造控制的^[3]，而西藏高原的山块、峰体也是严格受同样的构造线控制的，不过一个是处于“网架”的沉陷“格子”，另一个则是处于隆起“格子”上。

在高原东部，地貌结构的特点介于西部高山和中部高原之间。金沙江、澜沧江和怒江在该区的切割深度不亚于西部印度河的某些地段，但在大河的河间地上常保留有大面积的夷平面。例如，在金沙江和雅砻江之间的素龙山、沙鲁里山，夷平面保存很好，因而在冰

期中有面积达数千平方公里的大冰帽发生，留下十分独特的冰川蚀积地形。从成都向印度的萨地亚作一横剖面(图 1-4)，可以发现，除较高山峰外，大部分地方处于大致相同的高度上，一般为 4600—4800 米。这是青藏高原上新世夷平面的一部分。诸较高山峰一般为夷平面上的古蚀余山，个别较高者乃系最新的断块“上升岛”，贡嘎山(海拔 7556 米)

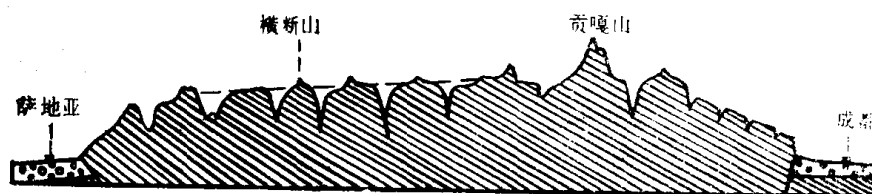


图 1-4 青藏高原东部横剖面(图 1-1CC')

即是如此。

总结上述，从侵蚀循环的学说来看^[4]，高原西部已达到幼年期末或早壮年期的地貌发育阶段，夷平面已破坏殆尽，地势起伏达到最大；高原中部即主体部分基本保持着前一地貌循环的壮年晚期或老年期的形态，不过新构造运动使它起伏增大并在冰川冰缘环境下受到改造；高原东部则尚处于地貌发育的幼年期，虽然已经山高谷深，但河间分水岭仍然大面积地保存着古夷平面。显然，青藏高原的每条山脉情况更复杂，对冰川发育的影响均需具体分析。

第二节 地势、地形与冰川发育的关系

现有材料证明，无论是现代冰川和古冰川在青藏高原上都是以山地为依托的。即使在冰川最盛的时期冰川达到山麓、覆盖某些盆地或形成小型冰盖，其发源地仍然是山地。因此，山地的形态类型对冰川的类型、规模以至活动性有很大的影响。在这方面首先引起我们注意的是高原边缘山地与高原内部山地的鲜明对照。青藏高原边缘山地的第一个特点是绝对高度(海拔)及相对高度都大大超过内部山地。已知高原内部只有少数山峰超过 7000 米，边缘山地则为数很多，而且相对高度巨大，与外围平原常形成 3000—6000 米的高差，高原内部地形起伏一般仅为 1000—2000 米。边缘山地的第二个大特点是切割强度大、地形破碎，因而地形陡峻，夷平面保留很少。反之，高原内部山地则切割较弱，地形和缓，常保留着大面积的夷平面。由于地形上的这种差别，就出现了两种截然不同的冰川形态类型。在高原内部是以平顶冰川和冰帽为主的冰川类型组合，在边缘山地是以冰斗冰川和山谷冰川为主的冰川类型组合，二者所包括的主要冰川类型如表 1-1 所列。

发育于强烈切割的边缘山地的冰川由于小气候条件复杂(坡向、坡度、迎风、背风等)以及雪的再分配作用，冰川上的粒雪线往往比气候雪线(或冰川作用水准面)要低得多。例如在雅鲁藏布江大拐弯附近冰川作用水准面一般为 5100—5200 米，而雪崩冰川的粒雪线可低到 4200 米，相差达 900—1000 米。一方面这意味着在有利的地形和坡向上集中了(通过雪的再分配)超过自然降水的大量积雪，因而地形雪线下降，使冰舌下降很低，“冰川作用正差”和整个冰川跨度都大大增加。但是，在另一方面强切割的山地却不利于冰川在水平方向上的扩大。由于雪崩频繁及坡度陡峭，在有些地方常发现雪线以上还有大面积