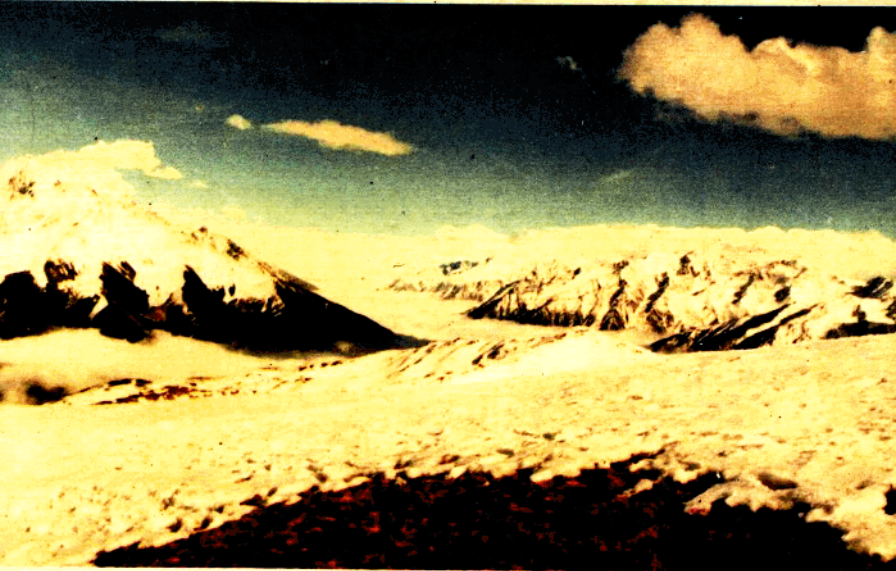


中国科学院兰州冰川冻土研究所



GLACIER WATER RESOURCES IN CHINA

中国冰川水资源

杨 针 娘

甘肃科学技术出版社



中国科学院兰州冰川冻土研究所

中国冰川水资源

GLACIER WATER
RESOURCES IN CHINA

杨 针 娘

甘 肃 科 学 技 术 出 版 社

中国冰川水资源

杨针雄

甘肃科学技术出版社出版发行

(兰州第一新村 81 号 730030)

甘肃省激光照排中心排版 天水新华印刷厂印刷

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 10.5 插页 4 字数 239,000

1991 年 8 月第 1 版 1991 年 8 月第 1 次印刷

印数: 1—3, 000

ISBN7-5424-0312-5/P·5 定价: 12.50 元

序

冰川水资源是地球上水资源重要的组成部分。《中国冰川水资源》作者于1980—1985年参加由水电部主持的国家重点项目“中国水资源评价”中的“冰川水资源的估算和评价”研究课题。经过多年的艰苦工作，任务完成并写就本书。本书应用中国科学院兰州冰川冻土研究所1958年以来野外考察、定位和半定位站的冰川、水文、气象等基本观测资料，以及冰川编目和大量的水文气象站资料，系统分析了我国冰川发育的降水条件，叙述了我国冰川的数量、分布和类型，论述了冰川消融、冰川融水径流，并在此基础上探讨了估算冰川水资源的方法，提出了全国、各省区和各水系冰川水资源的数量、分布规律，以及冰川融水径流对我国西部山区河流的补给作用及其评价。同时还详细介绍了当前国内外冰川水文研究的方法、结果和存在问题等。

这是我国第一部有关冰川水资源的专门著作。它较全面系统地总结了30年来我国冰川水文学研究的成果。对促进我国冰川水文学、寒区水文、环境科学的研究，水资源的评价和合理利用、工程设计，以及我国西部山区国土整治和规划决策等都具有重要的理论和实际意义。

本书是我所许许多多科研人员长期不畏艰险、辛勤劳动的成果，由杨针娘总结执笔。在研究工作和写作、编辑本书过程中，得到名誉所长施雅风教授，所内外专家以及本所书刊编辑部同志的大力支持和帮助，谨向他们表示衷心感谢。对于书中的缺点、错误，请读者批评指正。

我希望本书的出版，能促进我国冰川学的其它专门著作，如冰川气候学、冰川物理学等等早日问世。

中国科学院兰州冰川冻土研究所所长 谢自楚

1990年6月10日于兰州

前 言

据统计,全球冰川总储量约 $24 \times 10^6 \text{ km}^3$, 主要分布在南极洲, 其次北极、格陵兰, 占全球淡水量的 68.7%。现已查明, 我国冰川面积为 58651 km^2 , 居亚洲首位, 冰川年融水量为 $564 \times 10^8 \text{ m}^3$, 占全国地表水资源的 2%, 相当于黄河多年平均入海流量; 冰川总储量约 5132 km^3 , 为全国地表水资源的 2 倍。而我国西部的新疆、甘肃、青海和西藏四省区的冰川融水量可占地表水资源的 10% 左右。因此, 无论在全球或我国, 现代冰川对水循环, 水平衡, 以及自然环境和社会的发展都具有深刻的影响。

水是人类赖以生存和发展的最基本要素之一, 有水就有生命。尤其在我国西部干旱和半干旱地区, 高山冰川作为地表水的重要组成部分始终为人们所瞩目。早在本世纪 50 年代末、60 年代初, 我国开展大规模的现代冰川研究, 首要任务就是探讨高山冰川水资源的形成、储量、分布、变化, 以及对河流的影响和利用评价。多年来, 我国冰川水文科学工作者风餐露宿, 历尽艰辛, 辗转祁连山, 天山, 帕米尔, 昆仑山, 喀喇昆仑山, 念青唐古拉山, 喜马拉雅山, 以及青藏高原等, 广泛深入调查研究不同地区、不同类型冰川的水文特征, 观测和收集了大量基本数据, 为国民经济建设, 工程设计, 区域开发, 规划决策等提供科学依据; 同时, 我国水文学的一门分支学科——冰川水文学也应运而生。

随着工农业迅速发展和人口不断增长, 人们对水的需求量相应增加。近年来, 水资源问题已引起各国政府和专家学者的重视。苏联、美国等国家曾多次对本国水资源现状及未来的发展趋势做过预测。80 年代初期, 我国为适应国民经济建设的需要和针对全球环境变化可能带来的后果, 提出了对全国水资源现状进行全面综合评价并列入国家重点研究项目之一的“全国农业自然资源调查和农业区划研究”, 由水电部水文局负责组织实施。1980 年 3 月, 水电部向全国水利系统发文布置落实此项任务。同年, 中国科学院兰州冰川冻土研究所受水电部委托负责“中国冰川水资源”研究。1984 年完成“中国冰川水资源估算及其评价”(征求意见稿)。本专著便是在上述工作的基础上, 采纳水电部水文局、兰州勘测设计院(内陆河片)和长江流域规划办公室(西南诸河片)等单位提出的宝贵意见和要求, 几经修改充实而成。

本书分析了我国冰川发育的降水条件, 冰川类型特征; 研究了西部山区诸河流冰川数量、分布和某些冰川参数的变化趋势, 探讨了冰川消融状况以及冰川融水径流的形成及其对河流的补给作用; 提出了我国冰川水资源的数量、分布和评价等。书中某些观点和见解已在国内外学术刊物上发表并为水利、农业、林业、科研和高等院校等部门广为引用, 还有相当部分最新研究成果是首次公诸于世。作者力求在大量翔实的数据资料基础上, 客观地反映我国冰川水文特征, 区域分布规律, 以及冰川水文研究的现状和问题。

本书中采用的有关冰川、水文、气象等资料和数据是我所广大科技工作者多年辛勤劳动积累的第一手材料, 还有甘肃、青海、新疆、西藏四省、区水文总站、气象局和长江流域规划办公室等提供的大量台、站观测资料。因此, 本专著是集体智慧和劳动的结晶。

作者在撰写本书过程中，始终得到我所领导的支持和关怀；许多同事无私地提供各种资料并协助完成资料统计等工作。他们是：冯学智、焦克勤、张振栓、刘宗香、刘潮海、杨惠安、安瑞珍、米德生、罗祥瑞、赖祖铭、康尔泗、曹真堂、杨志怀、王强、李念杰、李跃进、王纯足、周文娟等。陈贤章校订英文稿。

本项课题研究和本书的出版还得到水电部水文局的部分资助。

本专著承蒙名誉所长施雅风教授、所长谢自楚教授、加拿大 McMaster 大学地理系胡鸣高教授和曾群柱研究员、袁远荣副编审、任炳辉副研究员提出许多宝贵意见，在此一并表示深切感谢。

本书由中国科学院兰州冰川冻土研究所书刊编辑部袁远荣负责编辑，刘子东参与编辑，李玉芳清绘插图。

作者水平有限，错误难免，不妥之处惠请读者批评、指正。

杨针娘

1990年4月

目 录

序

前言

第一章 中国西部山区冰川发育的降水条件	(1)
第一节 中国西部山区降水分布特征	(1)
一、基本资料	(1)
二、降水分布特点	(1)
三、降水年内分配	(3)
四、降水年际变化	(13)
五、降水随海拔高度的分布	(19)
第二节 中国西部山区降水区域分布模式与估算	(27)
一、降水聚类分析的气候分区	(27)
二、降水趋势面分析与降水量估算	(29)
第二章 中国冰川的数量、分布与类型	(35)
第一节 中国冰川的数量与分布	(35)
一、冰川的定义与研究概况	(35)
二、冰川的数量与分布	(37)
三、中国冰川作用中心	(39)
第二节 中国冰川类型	(40)
一、冰川分类	(40)
二、不同气候区的冰川类型	(40)
三、大陆型冰川与海洋型冰川的水热特征	(42)
第三节 雪线	(45)
一、雪线的定义	(45)
二、雪线高度的分布	(45)
三、雪线高度与冰川末端高度的关系	(49)
四、雪线高度与降水、气温的关系	(51)
五、雪线高度与消融区比率的关系	(51)
第三章 冰川消融	(53)
第一节 冰川消融的热状况	(53)
一、冰川区热量平衡的组成	(53)
二、近冰面大气温度的分布	(54)
三、冰川消融期热量平衡的特征	(58)
第二节 冰川消融	(62)

一、冰川消融的基本概念	(62)
二、影响冰川消融的因素	(63)
三、冰川消融量估算方法	(68)
第三节 中国西部山区冰川消融深的分布	(80)
第四章 冰川融水径流	(81)
第一节 概述	(81)
一、冰川区径流组成	(81)
二、冰川融水径流	(83)
第二节 冰川融水径流特征	(86)
一、冰川融水径流形成	(86)
二、冰川融水径流特征	(86)
三、冰川融水径流基本参数	(101)
第三节 冰川融水径流估算	(109)
一、冰川消融期的确定	(109)
二、冰川融水径流估算	(110)
第五章 中国冰川水资源	(115)
第一节 中国冰川水资源的数量	(115)
第二节 中国冰川水资源的分布	(115)
一、空间分布	(115)
二、时序分布	(118)
第三节 冰川融水径流对山区河流的补给作用	(119)
一、中国西部山区河流类型	(119)
二、冰川融水径流对河流的补给作用	(126)
第四节 中国冰川水资源分区	(135)
一、甘肃冰川水资源	(135)
二、新疆冰川水资源	(137)
三、青海冰川水资源	(141)
四、西藏冰川水资源	(150)
参考文献	(153)

GLACIER WATER RESOURCES IN CHINA

CONTENTS

Preface	Foreword	Chapter I Precipitation condition of glacier development in mountainous region of	
	western China		(1)
1.1	Distribution characteristic of precipitation in mountainous region of western China		(1)
1.1.1	Basic data		(1)
1.1.2	Distribution characteristic of precipitation		(1)
1.1.3	Annual distribution of precipitation		(3)
1.1.4	Yearly variation of precipitation		(13)
1.1.5	Distribution of precipitation with altitude		(19)
1.2	Model and estimation of regional distribution of precipitation in mountainous region of western China		(27)
1.2.1	Cluster analysis of precipitation for climatic region		(27)
1.2.2	Trend surface analysis and estimation of precipitation		(29)
Chapter II	Number, distribution and classification of glacier in China		(35)
2.1	Number and distribution of glacier in China		(35)
2.1.1	Definition of glacier and its general research		(35)
2.1.2	Number and distribution of glacier in China		(37)
2.1.3	Glaciation center in China		(39)
2.2	Classification of glacier in China		(40)
2.2.1	Classification of glacier		(40)
2.2.2	Classification of glacier in different climatic region		(40)
2.2.3	Characteristic of water and heat of continental glacier and maritime glacier		(42)
2.3	Snow-line		(45)
2.3.1	Definition of snow-line		(45)
2.3.2	Distribution of snow-line altitude		(45)
2.3.3	Relationship between snow-line altitude and glacier terminus altitude		(49)
2.3.4	Relationship between snow-line altitude and precipitation, air temperature		(51)
2.3.5	Relationship between snow-line altitude and ratio of glacier ablation area		(51)
Chapter III	Ablation of glacier		(53)
3.1	Heat condition of glacier ablation		(53)
3.1.1	Component of heat balance in glacierized area		(53)
3.1.2	Distribution of air temperature above glacial surface		(54)

3.1.3	Characteristic of heat balance in glacier ablation period	(58)
3.2	Glacier ablation	(62)
3.2.1	Fundamental conception of glacier ablation	(62)
3.2.2	The effect element of glacier ablation	(63)
3.2.3	Estimation method of glacial meltwater	(68)
3.3	Distribution of depth of glacial meltwater in mountainous region of western China	(80)
Chapter IV	Glacial melt runoff	(81)
4.1	General remark	(81)
4.1.1	Component of runoff in glacierized area	(81)
4.1.2	Glacial melt water runoff	(83)
4.2	Characteristic of glacial melt water runoff	(86)
4.2.1	Formation of glacial melt water runoff	(86)
4.2.2	Characteristic of glacial melt water runoff	(86)
4.2.3	Basic parameter of glacial melt water runoff	(101)
4.3	Estimation of glacial melt water runoff	(109)
4.3.1	Determination of glacier ablation period	(109)
4.3.2	Estimation of glacial melt water runoff	(110)
Chapter V	Glacier water resources of China	(115)
5.1	Number of glacier water resources in China	(115)
5.2	Distribution of glacier water resources in China	(115)
5.2.1	Spatial distribution	(115)
5.2.2	Time course distribution	(118)
5.3	The effect of replenishment of glacial meltwater runoff to mountainous river	(119)
5.3.1	Type of river in mountainous region of western China	(119)
5.3.2	The effect of replenishment of glacial meltwater runoff to river	(126)
5.4	Divided region of glacier water resources of China	(135)
5.4.1	Glacier water resources in Gansu Province	(135)
5.4.2	Glacier water resources in Uygur Autonomous Region of Xinjiang	(137)
5.4.3	Glacier water resources in Qinghai Province	(141)
5.4.4	Glacier water resources in Xizang Autonomous Region	(150)
References		(153)

第一章 中国西部山区冰川发育的降水条件

水(降水)、热(气温)条件是冰川发育的两个主要因素。降水是冰川发育的物质基础,但只有在一定冷储条件下冰川才能生成、发展和演变。纬度和海拔愈高,冷储条件优越,愈有利于冰川发育;反之亦然。水热条件在地区上分布的差异性,反映一定的气候特征。因此,探讨水、热条件的时空分布规律,对研究我国现代冰川的发育、规模及分布特征具有重要意义。

第一节 中国西部山区降水分布特征

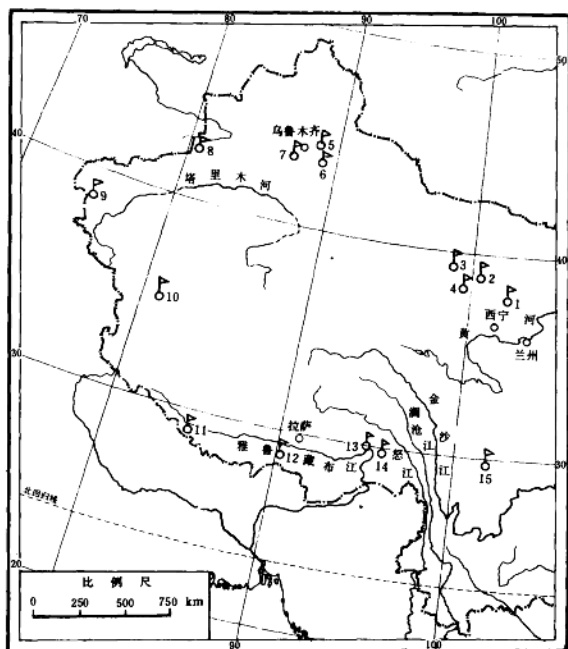
一、基本资料

我国西部山区(这里主要指甘肃、青海、新疆、西藏四省区)的水文、气象站大部分是解放后设立的,数量少,且多数分布在中低山河谷或平原地区,资料年限也较短,有较长同步系列的资料更少。我们选用有经纬度、海拔高度和资料年限大约在20年(资料统计至1984年)的水文、气象站431个,冰川作用区和西藏边境地区具有短期水文气象观测资料的站点约30个。其中,分布在海拔3000m以上的站点88个,2000—3000m的87个,各占19%,1000—2000m的124个,约占27%,低于1000m的162个,占35%。资料年限在20年以上的站点约占53%,其余站点资料年限不足20年。站点分布很不均匀,东部多于西部,低山多于高山。羌塘高原和藏北高原基本处于空白。目前,我国西部高山地区具有较长系列的综合性实验站——乌鲁木齐河上游的天山冰川站,气象资料近30年,水文资料近20年;其次是祁连山中段黑河上游的冰沟寒区径流实验站(1984—1990年);另外还有十几处高山冰川区定位与半定位观测站(图1-1)。

根据上述461个水文、气象站的资料,我们分别统计年平均降水量,春、夏、秋、冬四季降水量,月和最大4个月(6—9月)降水量,降水年内分配,四季和年降水变差系数。

二、降水分布特点

我国西部山区年降水量分布趋势与水汽输送来向的远近、海拔高度及地形等有关。一般来说,距水汽输送来向近的,降水量大;反之,大陆度增强,降水量减少。西藏东南部距西南季风水汽输送近,受孟加拉湾西南气流的影响最大,是我国西部山区降水量最充沛



- 1.祁连山水管河4号冰川; 2.祁连山“七一”冰川;
- 3.祁连山老虎沟冰川; 4.祁连山冰沟寒区径流实验站;
- 5.天山博格达峰北坡四工河源头; 6.天山博格达峰南坡黑沟8号冰川;
- 7.天山乌鲁木齐河源1号冰川; 8.天山西琼台兰冰川;
- 9.帕米尔慕士塔格冰川; 10.西昆仑郭扎冰川;
- 11.珠穆朗玛峰绒布冰川; 12.喜马拉雅山枪勇冰川;
- 13.念青唐古拉山古乡冰川; 14.念青唐古拉山珠西沟冰川;
- 15.贡嘎山贡巴冰川

图 1-1 中国西部山区定位与半定位观测站分布图

fig.1-1 The distribution of fixed and semi-fixed field-site in mountainous region of western China

的地区之一，如戴林和巴昔卡年降水量分别达 5000mm 和 4495mm¹⁾，这在全国是少见的。

1)王保尼等,独特的西藏气候,西藏高原气候论文选编(1962—1979年),西藏气象学会。

在中印边境附近的布라마普特拉河上游支流，如丹巴河和苏班西里河，年降水量也达4000—4500mm。由此向西北或东北二个方向，年降水量逐渐减少。如墨脱年降水量为2360mm，经雅鲁藏布江大拐弯到林芝，降水量明显减少，约为650mm，沿雅鲁藏布江河谷向西至拉孜，年降水量只有300mm；藏北高原西部的改则，年降水量不足200mm，到噶尔年降水量只有50mm。青海、甘肃东南部受西南气流和东南气流影响远不及西藏东南部强。就这两省区而言，其东南部相对是多雨区，年降水量可达600—700mm，向西降水量递减，至青海省柴达木盆地的冷湖，年降水量不足20mm。

受西风气流影响的地区有天山南北坡、帕米尔、喀喇昆仑山等。降水量由西向东递减。如天山由西段的伊犁地区到东段的哈密地区，年降水量由500—600mm减少到不足50mm。新疆西南部由帕米尔、喀喇昆仑山到昆仑山西段，年降水量也类似有自西向东减少的趋势。

此外，新疆北部阿尔泰山区和塔城地区主要受北冰洋和西风气流影响，年平均降水量由北向南及由西北向东南递减。阿尔泰山区年降水量800mm，到南部山麓地带准噶尔盆地附近不足100mm；西部年降水量500mm，到东部递减为100—200mm，准噶尔盆地不足50mm，中山带降水量大约为450—550mm（图1-2）。

受上述环流系统影响的边缘地区，大陆度明显增强，气候十分干燥，是降水的低值区。例如，新疆东南部的且末、若羌，青海的冷湖一带，以及新疆与甘肃交界处。

下面用几个降水剖面图来说明我国西部山区降水的分布规律。

在西藏境内， 27° — 32° N，海拔3500—4700m，年降水量沿经度的变化是自东向西明显递减。但在聂拉木出现大降水区，这是因为该区位于恒河上游，喜马拉雅山南坡，是西南气流进入西藏西部山区的主要通道之一，所以降水量明显增大（图1-3）。

往北至 38° — 39° N祁连山区，海拔3000—3500m，年降水量同样存在自东向西减少的趋势（图1-4）。

在 75° — 105° E，从三个不同纬度带的降水剖面图可以看出，年降水量自东向西递减，大约在 85° — 90° E出现降水低值区，再向西降水量出现增大趋势。在 100° E左右，降水随纬度增高而明显减少，但在 75° E左右，降水则随纬度升高而增多（图1-5）。这一分布表明，降水系统的不一致性，使其分布发生转向。从中可以看出，受西南季风影响的西部山区东部，自南向北强度明显减弱；而受西风气流影响的西北部，则由南向北强度明显增强。似乎可认为， 85° — 90° E的降水低值区是两种降水系统的分界线，由此向东或向西降水量有递增趋势。

夏季降水量的分布趋势与年降水量相似（图1-6）。值得提出的是，西藏东南部布라마普特拉河上游（雅鲁藏布江大拐弯的下游）夏季降水量相当可观，如巴昔卡夏季降水量达3654mm，特祖为2512mm，到墨脱减少为1321mm，至大拐弯的北岸夏季降水量明显减小，约为300—350mm。

三、降水年内分配

降水年内分配状况在空间分布上的差异，反映出一定的气候特点。下面叙述西部山区四季降水分配的主要特征。

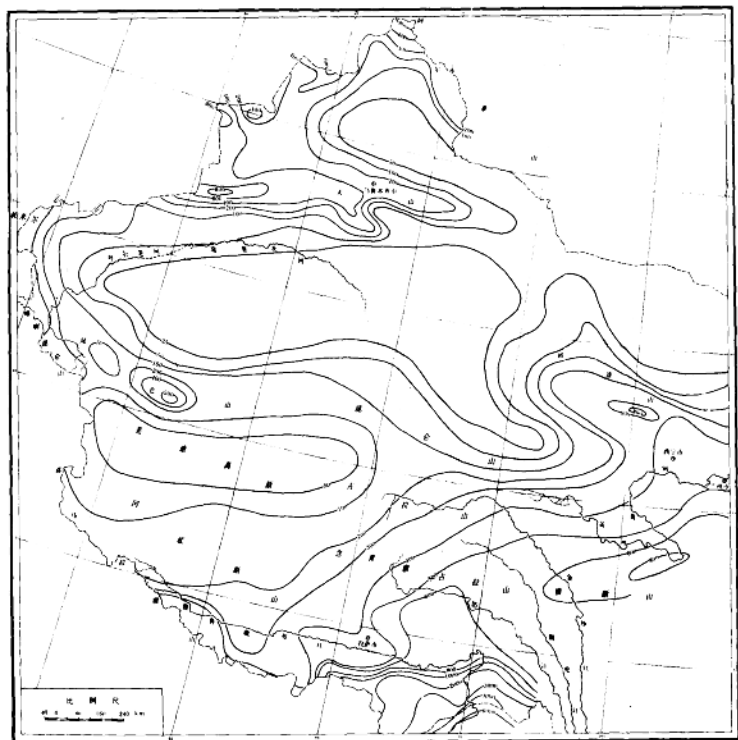


图 1-2 中国西部山区年平均降水量分布图(mm)(统计至 1984 年)

Fig.1-2 The distribution map of mean annual precipitation in mountainous region of western China(statistics till 1984)

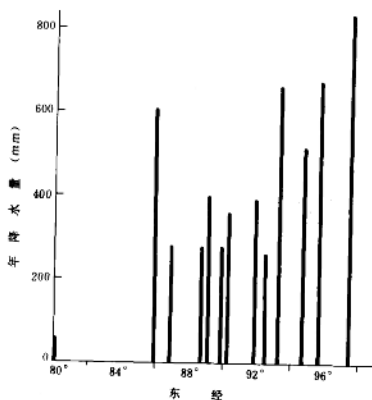


图 1-3 西藏地区年降水量随经度的变化 (27°—32° N, 海拔 3500—4700m)

fig.1-3 The changes of mean annual precipitation with longitude
in Xizang Autonomous Region
(27°—32° N, 3500—4700m a.m.s.l.)

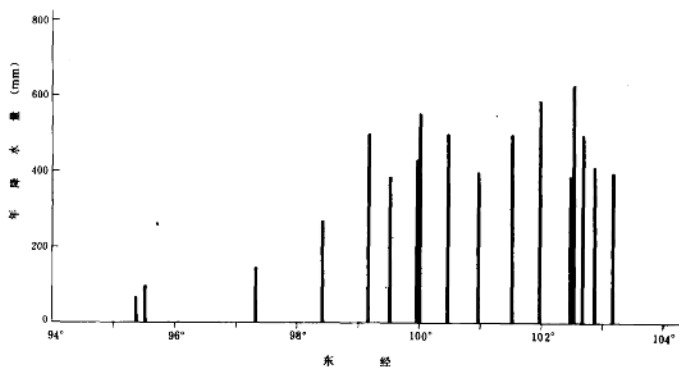


图 1-4 祁连山区年降水量随经度的变化 (38°—39° N, 海拔 3000—3500m)

Fig.1-4 The changes of mean annual precipitation with longitude, Qilian
Mountain (38°—39° N, 3000—3500m a.m.s.l.)

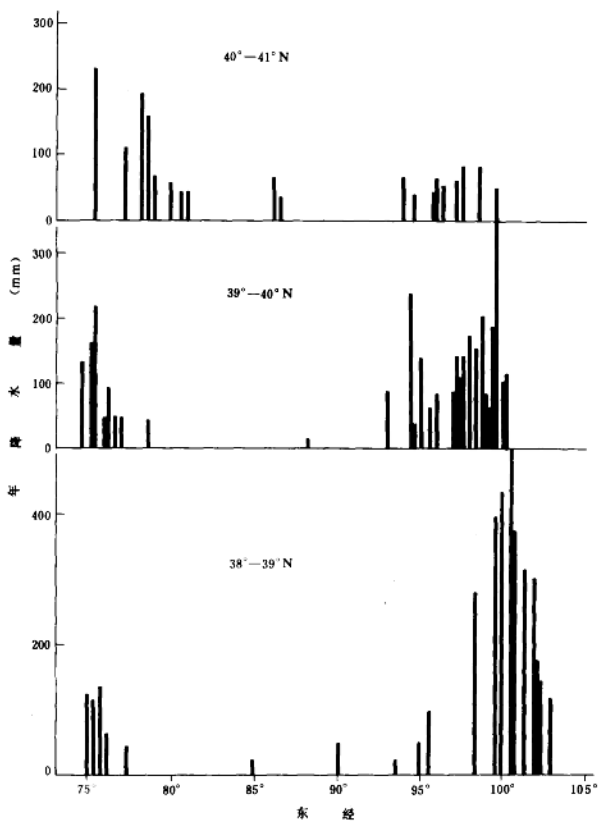


图 1-5 中国西部山区年降水量剖面图

Fig.1-5 The section drawing of mean annual precipitation in mountainous region of western China

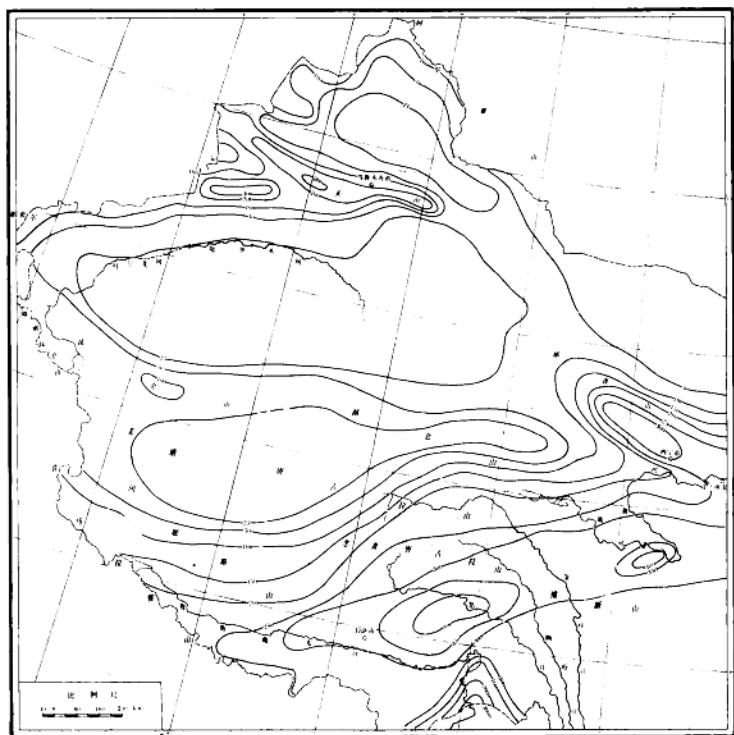


图 1-6 中国西部山区夏季降水量分布图(mm)(统计至 1984 年)
 Fig.1-6 The distribution map of summer mean precipitation in mountainous
 region of western China (statistics till 1984)