

青藏高原研究丛书

青藏高原 近代气候变化 及对环境的影响

• 主编 汤懋苍 程国栋 林振耀

广东科技出版社



广东优秀科技专著出版基金会

顾问：钱伟长

(以姓氏笔画为序)

王 元	卢良恕	伍 杰	刘 皋
许运天	许学强	许溶烈	李 辰
李金增	李廷栋	肖纪美	吴良镛
汪家鼎	宋木文	宋叔和	陈元直
陈幼春	陈芳允	周 谊	钟南山
钱迎倩	韩汝琦	焦树德	

名誉会长：(以姓氏笔画为序)

马万祺	任仲夷	庄世平	刘垦发
何克勤	余国春	柯正平	梁广大
曾宪梓	黎子流		

评审委员会

主任：**蒲蛰龙**

委员：(以姓氏笔画为序)

邓钦涛	卢永根	卢明高	伍尚忠
刘振群	刘颂豪	李任先	李岳生
李宝健	张士勋	张展霞	陈兴业
赵元浩	高惠广	容柏生	黄达全
黄衍辉	彭文伟	傅家谟	谢先德
蒲蛰龙	蔡荣波	欧阳莲	

图书在版编目 (CIP) 数据

青藏高原近代气候变化及对环境的影响/汤懋苍
等主编. —广州: 广东科技出版社, 1998. 2
(青藏高原研究丛书)
ISBN 7-5359-1944-8

I. 青…

II. 汤…

III. 气候变化-青藏高原-影响-环境-研究

IV. P467

Qing - Zang Gaoyuan Jindai Qihou Bianhua ji dui Huanjing de Yingxiang

出版发行: 广东科技出版社

(广州市环市东路水荫路 11 号 邮码: 510075)

社 长: 黄达全

E-mail: gdkjwb@ns. guangzhou. gb. com. cn

经 销: 广东省新华书店

推 版: 广东科电有限公司

印 刷: 广东东莞新丰印刷有限公司

(广东省东莞市凤岗镇天堂围区 邮码: 511751)

规 格: 787mm×1092mm 1/16 印张 22.5 字数 460 千

版 次: 1998 年 2 月第 1 版

1998 年 2 月第 1 次印刷

印 数: 1~1000 册

定 价: 65.00 元

如发现因印装质量问题影响阅读, 请与承印厂联系调换。

广东优秀科技专著出版基金会

顾问：钱伟长

(以姓氏笔画为序)

王元	卢良恕	伍杰	刘皋
许运天	许学强	许溶烈	李辰
李金增	李廷栋	肖纪美	吴良镛
汪家鼎	宋木文	宋叔和	陈元直
陈幼春	陈芳允	周道	钟南山
钱迎倩	韩汝琦	焦树德	

名誉会长：(以姓氏笔画为序)

马万祺	任仲夷	庄世平	刘垦发
何克勤	余国春	柯正平	梁广大
曾宪梓	黎子流		

评审委员会

主任：**蒲蛰龙**

委员：(以姓氏笔画为序)

邓钦涛	卢永根	卢明高	伍尚忠
刘振群	刘颂豪	李任先	李岳生
李宝健	张士勋	张展霞	陈兴业
赵元浩	高惠广	容柏生	黄达全
黄衍辉	彭文伟	傅家谟	谢先德
蒲蛰龙	蔡荣波	欧阳莲	



目 录

第一章 高原地区的辐射能收支	1
第一节 高原地区的太阳辐射	3
第二节 高原地区的太阳紫外辐射	12
第三节 高原地区的地面有效辐射	15
第四节 高原地区的地表净辐射	19
第五节 高原地面加热场	22
参考文献	30
第二章 高原辐射能收支的卫星观测	33
第一节 总辐射的卫星观测	35
第二节 地表反射率的卫星观测	39
第三节 OLR与地面有效辐射的关系	46
第四节 大气顶净辐射与地面净辐射的关系	49
第五节 青藏高原地气系统能量收支	53
参考文献	56
第三章 高原地区的云及其辐射强迫作用	59
第一节 高原地区云的气候学特征	61
第二节 青藏高原短期云气候变化	65
第三节 云对辐射的强迫作用	70
参考文献	78
第四章 青藏高原北部大气气溶胶的化学组成、来源和输送	81
第一节 五道梁气溶胶化学组成的总体特征	83
第二节 气溶胶浓度及元素质量浓度的季节变化	85
第三节 五道梁气溶胶的主要来源	87
第四节 气溶胶的源地和输送	92
第五节 小结	97
参考文献	98
第五章 青藏高原地区近地面层物理特征	99
第一节 研究历史及现状	101
第二节 青藏高原五道梁地区近地面气湍流观测实验	102
第三节 青藏高原五道梁地区夏季大气湍流输送与结构特征	103



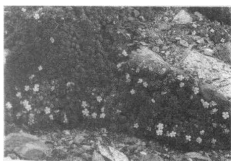
第四节 青藏高原拉萨地区农田热量平衡及 CO ₂ 能量特征	111
第五节 总结与讨论	117
参考文献	118
第六章 高原近代气候变化的事实分析	121
第一节 高原气候变化的整体特征	123
第二节 高原气温的年代际变化	127
第三节 高原季风的年代际振荡	132
第四节 降水量的年代际振荡	136
第五节 本世纪三次气候突变的可能原因初探	139
参考文献	142
第七章 青藏高原气候变化与比邻地区和南北极的对比	145
第一节 青藏高原气候变化与中国其他地区的对比	147
第二节 青藏高原气候变化与比邻的境外地区气候变化对比	151
第三节 青藏高原气候变化与南、北极地区的对比	153
第四节 青藏高原气候变化与全球气候变化的关系	158
参考文献	160
第八章 高原季风的形成、演化及振荡特性	161
第一节 高原季风的研究历史	163
第二节 现代高原季风的基本特征	164
第三节 高原季风在地质演化史中的关键作用	172
第四节 高原季风的万年尺度振荡	178
第五节 高原季风的热机效率在高原气候形成中的重要作用	179
参考文献	182
第九章 高原气候变化原因的数值模拟分析	185
第一节 全球变暖过程中高原区域气候的变化	187
第二节 El Niño 事件与高原短期气候变化	190
第三节 高原下垫面特征改变对区域气候的影响	193
第四节 冰期边界条件下高原及其邻近地区的古气候模拟	196
第五节 末次冰期以来高原季风对地球轨道参数变化的响应	199
第六节 高原地区气候变化的其他可能成因	203
参考文献	205



第十章 未来 30 年和 300 年气候变化趋势预测	209
第一节 现代气候的长周期背景	211
第二节 两千多年来的温度波动与太阳活动	211
第三节 近百年来我国和高原气温与黑子周长的相关	215
第四节 未来 30 年和 300 年我国气候变化的预测	217
参考文献	220
第十一章 青藏高原现代冰川的进退变化	223
第一节 青藏高原的现代冰川及其概况	225
第二节 小冰期以来的冰川进退变化	228
第三节 近百年来冰川变化动态与气候变化	229
参考文献	236
第十二章 多年冻土对气候变化的响应	237
第一节 影响多年冻土热状况因素分析	239
第二节 温度波在地层内的传播特征	249
第三节 青藏高原多年冻土特征	250
参考文献	259
第十三章 气候变化对青藏高原江、河、湖水的影 响	261
第一节 青藏高原的水系特征	263
第二节 气候变化对河川径流的影响	266
第三节 气候变化对青藏高原及其周边地区湖泊的影响	274
参考文献	277
第十四章 青藏高原冰川、积雪及湖冰的遥感监测	279
第一节 青藏高原积雪、冰川及湖冰卫星遥感监测系统	282
第二节 青藏高原积雪遥感监测	284
第三节 青藏高原积雪信息系统	289
第四节 青藏高原冰川变化的卫星监测	298
第五节 青藏高原湖冰卫星监测——以青海湖为例	302
参考文献	306
第十五章 高原气候区划与冰冻圈对全球气候变化的敏感性分析	309
第一节 全球气候变暖对青藏高原气候带的可能影响	311

第二节 冰川对气候变化的响应及未来变化的展望	319
第三节 未来青藏高原多年冻土热状况变化趋势	325
第四节 黄河上游河川径流对气候变化的敏感性分析	329
参考文献	331
结语	333

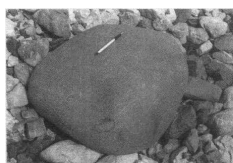




CONTENTS

Chapter 1 The Radiative Budget over Qinghai – Xizang (Tibetan) Plateau	1
1. Solar radiation over the plateau	3
2. Solar ultraviolet radiation over the plateau	12
3. Surface effective radiation over the plateau	15
4. Surface net radiation over the plateau	19
5. Surface heating field over the plateau	22
References	30
Chapter 2 Satellite Observation of Radiation Budget over Qinghai – Xizang (Tibetan) Plateau	33
1. Satellite observation of solar downward radiation	35
2. Satellite observation of surface albedo	39
3. The relationship between OLR and surface effective radiation	46
4. The relationship between TOA and surface net radiation	49
5. The energy budget of the Earth – atmosphere system over Qinghai – Xizang (Tibetan) Plateau	53
References	56
Chapter 3 Cloud and its Radiative Forcing Action over Qinghai – Xizang (Tibetan) Plateau	59
1. Characteristics of cloud climatology over Qinghai – Xizang (Tibetan) Plateau	61
2. The short – term changes of cloud climate over Qinghai – Xizang (Tibetan) Plateau	65
3. The cloud radiative forcing action	70
References	78
Chapter 4 Chemical Composition, Source and Transportation of Atmospheric Aerosol over Northern Qinghai – Xizang (Tibetan) Plateau	81
1. The general characteristics of chemical composition of atmospheric aerosol at Wudaoliang	83
2. The seasonal variation of the concentration of both atmospheric aerosol and its chemical elements	85

3. The major sources of atmospheric aerosols at Wudaoliang	87
4. The source places and transportation of atmospheric aerosols	92
5. Summary	97
References	98
Chapter 5 The Physical Characteristics of the Atmospheric Surface Layer of Qinghai - Xizang (Tibetan) Plateau	99
1. Introduction	101
2. Observations of atmospheric turbulence in the surface layer of Wudaoliang area in Qinghai - Xizang (Tibetan) Plateau	102
3. Characteristics of atmospheric turbulence transfer and structure in Wudaoliang area in summer	103
4. Characteristics of heat balance and CO ₂ energy in the crop field of Lhasa area in Qinghai - Xizang (Tibetan) Plateau	111
5. Summary and discussion	117
References	118
Chapter 6 Recent Climate Change in the Plateau	121
1. The general characteristics of climate change in the plateau	123
2. The decadal change of temperature in the plateau	127
3. The decadal fluctuation of plateau monsoon	132
4. The decadal fluctuation of precipitation in the plateau	136
5. Preliminary analysis on causes of climate abrupt changes during this century	139
References	142
Chapter 7 Climatic Change in Qinghai - Xizang (Tibetan) Plateau and its Comparison with Nearby Areas, Antarctic and Arctic	145
1. Comparison for climatic change between Qinghai - Xizang (Tibetan) Plateau and other areas of China	147
2. Comparison for climatic change between Qinghai - Xizang (Tibetan) Plateau and nearby outside areas of China	151





3. Comparison for climatic change between Qinghai – Xizang (Tibetan) Plateau, Antarctic and Arctic	153
4. Relationship for climatic change between Qinghai – Xizang (Tibetan) Plateau and global area	158
References	160

Chapter 8 Formation, Evolution and Fluctuation of Plateau

Monsoon	161
1. The research history of plateau monsoon	163
2. The basic characteristics of modern plateau monsoon	164
3. The key role of plateau monsoon in geological evolution ..	172
4. The fluctuation of plateau monsoon in 10 ⁴ a time scales ..	178
5. The thermodynamic of plateau monsoon and its critical effect on the evolution of plateau climate	179
References	182

Chapter 9 Numerical Simulation and Analysis for Climatic Variations over the Qinghai – Xizang (Tibetan) Plateau

Plateau	185
1. The regional climate change over the plateau during the global warming	187
2. El Niño events and short – term climatic variations over the plateau	190
3. The influence of change in the plateau underlying surface on the regional climate	193
4. Paleoclimate modeling of the plateau and its neighborhoods under ice age boundary conditions	196
5. The response of the plateau monsoon to the change in Earth's orbital parameters since the last glacial maximum	199
6. Other plausible causes for formation of the plateau climatic variations	203
References	205

Chapter 10 Preliminary Predication of Climate Change in the Coming 30 and 300 Years

1. The long – term periodical background of modern climate	211
--	-----

2. The temperature fluctuation and solar activity in recent 2 500 years	211
3. Correlation analysis on sunspot cycle length and the temperature in China and Qinghai - Xizang (Tibetan) Plateau in recent 100 years	215
4. Prediction of climate change in the coming 30 and 300 years	217
References	220
Chapter 11 Glacier Fluctuations in Qinghai - Xizang (Tibetan) Plateau	223
1. Introduction to the modern glaciers in Qinghai - Xizang (Tibetan) Plateau	225
2. Termini fluctuations of glaciers since the Little Ice Age	228
3. Glacier variations and climate change in the last century	229
References	236
Chapter 12 The Responses of Permafrost to Climatic Change	237
1. Section analysis on factors of influence on its thermal regime	239
2. Features of temperature wave propagation in the underground	249
3. Characteristics of permafrost on Qinghai - Xizang (Tibetan) Plateau	250
References	259
Chapter 13 Impact of Climate Change on the Rivers and Lakes in Qinghai - Xizang (Tibetan) Plateau	261
1. Features of the river systems in Qinghai - Xizang (Tibetan) Plateau	263
2. Impact of climate change on river runoff	266
3. Impact of climate change on the lakes in Qinghai - Xizang (Tibetan) Plateau and its periphery	274
References	277

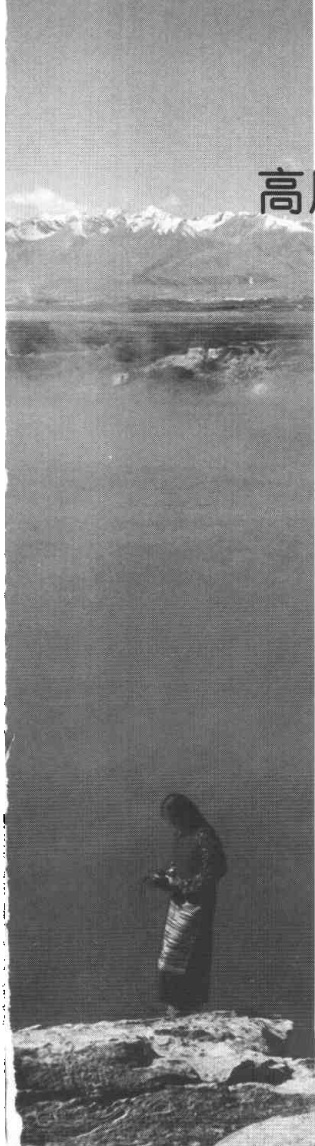




Chapter 14 Remote Sensing Monitoring of Glaciers, Snow and Lake Ice in Qinghai - Xizang (Tibetan) Plateau	279
1. The system of satellite remote sensing monitoring of glaciers, snow and lake ice in Qinghai - Xizang (Tibetan) Plateau	282
2. The remote sensing monitoring of snow in Qinghai - Xizang (Tibetan) Plateau	284
3. The information system of snow in Qinghai - Xizang (Tibetan) Plateau	289
4. The satellite monitoring of glaciological change in Qinghai - Xizang (Tibetan) Plateau	298
5. The satellite monitoring of lake ice in Qinghai - Xizang (Tibetan) Plateau—The Qinghai Lake as example	302
References	306
Chapter 15 The Sensitivity of Climatic Zonation and the Cryosphere in Qinghai - Xizang (Tibetan) Plateau to Global Climatic Changes	309
1. Potential impacts of global warming on the climatic zonation of Qinghai - Xizang (Tibetan) Plateau	311
2. Responses of glaciers to climatic changes and prospects of their fluctuations	319
3. Changing trends of the thermal regimes of permafrost in the Qinghai - Xizang (Tibetan) Plateau	325
4. Sensitivity of river runoffs in the upper reaches of the Yellow River to climatic changes	329
References	331
Conclusion	333

第一章 高原地区的辐射能收支

季国良



为了对青藏高原的气象和环境因子进行动态监测,1993年8月,我们在青藏高原北部的五道梁(35°13'N, 93°05'E, 海拔4 612m)建立了地表辐射收支观测站,对高原地区,特别是藏北高原地区的太阳辐射能收支进行长期监测,至今已取得了3年多的太阳辐射各分量的观测资料。本章利用在五道梁站观测得到的高原地区最新的辐射收支观测资料,结合1979年5月至8月我国首次青藏高原气象科学实验、1982年8月至1983年7月青藏高原热源观测资料、1986年6月至7月五道梁地区夏季热源观测资料以及部分卫星探测资料,对青藏高原地区辐射能收支的季节变化特征等进行了较详细的叙述。

第一节 高原地区的太阳辐射

一、高原地区的大气透明度和大气浑浊度

(一) 青藏高原的大气透明度

太阳辐射能在通过大气层时会产生一定的衰减,表示大气对太阳辐射能衰减程度的一个重要参数就是大气透明度。

根据 Bouguer - Lambert 定律,当波长为 λ 的太阳辐射 $I_{0,\lambda}$ 经过 dm 厚的大气层后,辐射量的衰减为

$$dI_{\lambda} = -a_{\lambda} I_{0,\lambda} dm \quad (1-1)$$

式中 a_{λ} 为大气消光系数。如将上式积分并扩展到全日光,则得

$$S = S_0 P_m^m \quad (1-2)$$

$$P_m = \sqrt[m]{\frac{S}{S_0}} \quad (1-3)$$

式中 S_0 为太阳常数, m 为大气光学质量, P_m 称为复合透明系数或全透明系数。

复合透明系数有随着大气光学质量增加而增大的趋势,这种现象称作大气透明系数 P_m 的虚拟变程或 Forbes 效应。这样也就会造成不同的 m 情况下大气透明系数缺乏可比性。为了对不同地区 and 不同时间的大气透明系数进行比较,必须采用一定的方法将 m 值订正到同一情况,一般将 P_m 订正到 P_2 (或 P_1)。经过多种方法(康德拉捷夫,1962)的计算和比较,这里采用如下公式进行订正(李怀璋等,1981)

$$P_2 = \left[\frac{\frac{m}{2} P_m^m}{1 - (1 - \frac{m}{2}) P_m^m} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1-4)$$

五道梁位于昆仑山与唐古拉山之间平均海拔4 700m左右的西藏台块上。它的东部沼泽遍布,为长江、黄河源头地区,向西是人迹罕至的可可西里地区。这里气候寒冷、干旱,为高原亚寒带半干旱气候区(林振耀等,1981),自然地帶属高寒草原地带(郑度等,1979)。利用在五道梁站观测得到的太阳直接辐射资料,由(1-4)式计算得到了五道梁晴天正午时相对大气光学质量 $m=2$ 时的大气透明系数 P_2 (表 1-1)。

表 1-1
五道梁各月晴天正午的大气透明系数 P_2
(季国良, 1996)

月 份	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	年平均
1993 年 ~ 1994 年	0.824	0.858	0.873	0.881	0.890	-	0.827	0.829	-	-	0.808	0.790	0.842
1994 年 ~ 1995 年	0.819	0.837	0.861	0.873	0.813	0.814	0.802	0.828	0.815	0.755	0.791	-	0.819

由表 1-1 可以看出: (1) 藏北高原大气非常洁净, 大气透明系数较大, 即使在大气中水汽含量较丰沛的夏季, 其大气透明系数也分别可达 0.790 和 0.755, 比 1982 年至 1983 年拉萨、那曲等地(季国良, 1985a) 的大。这与五道梁地区海拔高度较高有关。(2) 大气透明系数的季节变化明显, 冬季大, 夏季较小, 在季节转换的 4 月、5 月和 10 月, 大气透明系数也出现较低的值, 这一结果与高原地区大气浑浊度系数的分布(文军等, 1993) 相一致。

为分析五道梁地区大气透明系数的日变化, 我们选取 1 月、4 月、8 月、10 月的晴天资料, 逐时计算了大气透明系数 P_2 。结果表明: 夏季(8 月)和秋季(10 月)大气透明系数 P_2 在 08 时(地方时, 下同)最大, 以后逐渐减小, 17 时达到最小, 以后又逐渐变大; 冬季(1 月)和春季(4 月) P_2 在 12 时达最大, 随着太阳高度角的减小 P_2 变小。这种日变化与高原西部改则的情况大致相似, 除了下垫面条件以外, 这可能与人类活动的影响有较大的关系。

关于青藏高原的大气透明度分布, 已有的研究(季国良, 1985a) 表明, 从全年看, 高原地区大气透明系数的低值区在柴达木盆地和横断山脉地区, 前者是因为沙漠下垫面致使大气中尘埃含量较高, 后者则是大气中水汽含量较丰沛所致, 其年平均 P_2 分别小于 0.60 和 0.75; 羌塘高原北部和高原西部的狮泉河一带为全年大气透明度较好的地区, P_2 大于 0.80。就各个季节而言, 冬季大气透明度为全年最好, 夏季较差, 在季节转换月份 P_2 也出现低值。

(二) 青藏高原的大气浑浊度

大气浑浊度是表征大气中气溶胶对太阳辐射减弱的又一个重要参量。它可以用来监测大气中气溶胶的现有水平和长期变化趋势(WMO, 1971)。

太阳辐射穿过大气层时要受到三种减弱: (1) 空气分子的散射; (2) 悬浮于空气中的固体和液体粒子, 即气溶胶物质的散射和吸收; (3) 各种气体, 主要是水汽、 O_3 和