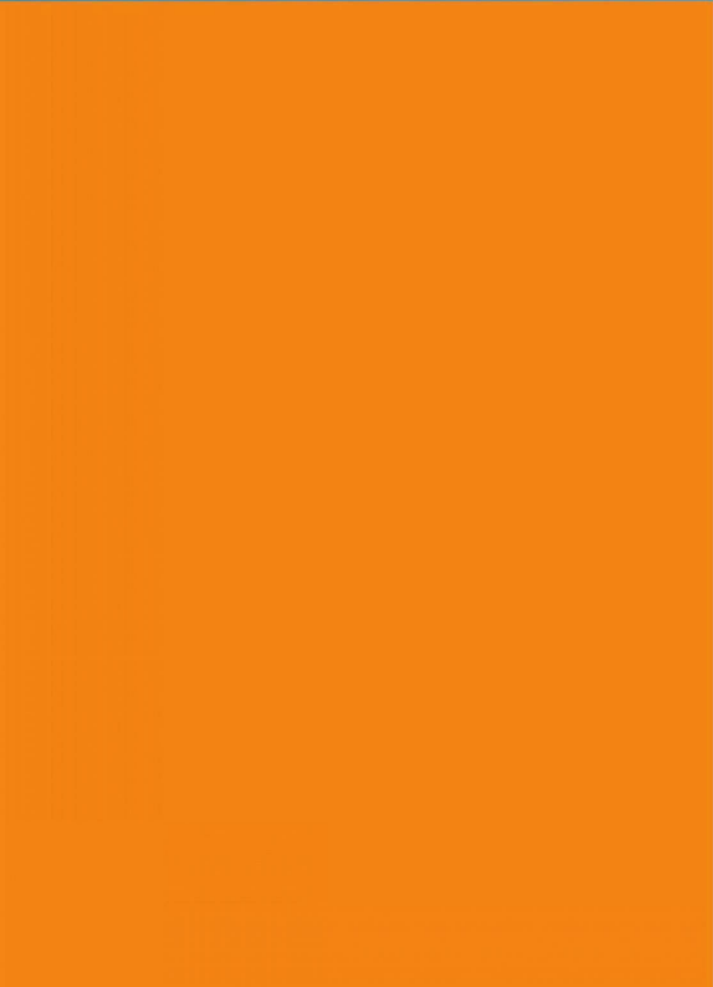
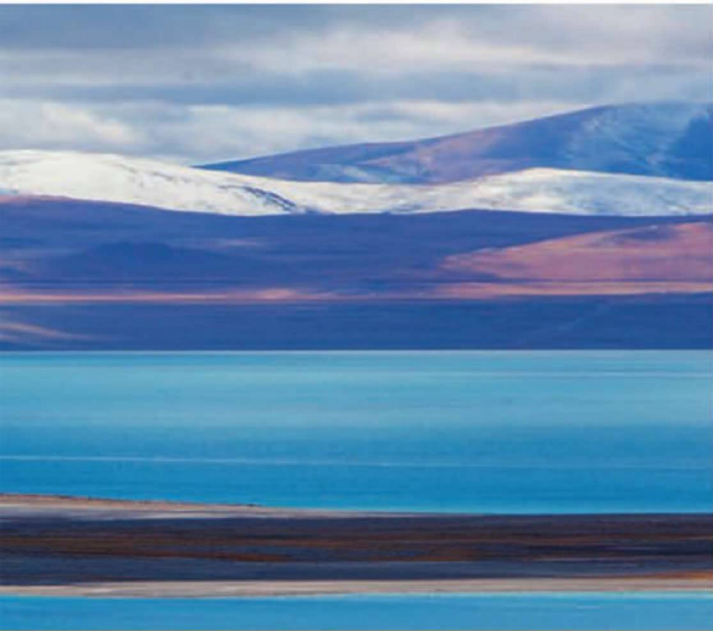


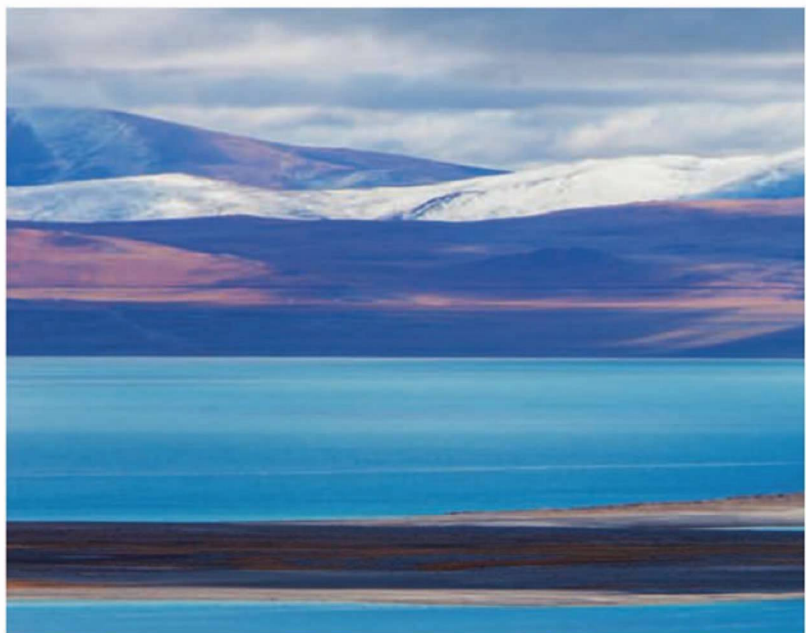
# 青藏高原 现代气候变化 特征研究

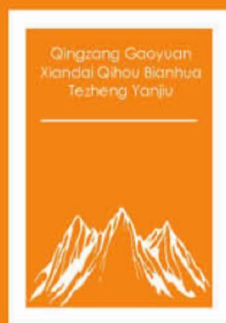
游庆龙 康世昌 等。著

Qingzang Gaoyuan  
Xiandai Qihou Bianhua  
Tezheng Yanjiu









ISBN 978-7-5339-6616-8



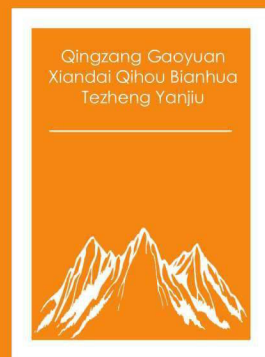
9 787553 966168 >

定价: 118.00 元

- 国家“十三五”图书出版规划项目
- 国家重点研发计划“全球变化及应对”重点专项（2016YFA0601702）项目资助

# 青藏高原 现代气候变化 特征研究

游庆龙 康世昌 等○著



著作权所有，请勿擅用本书制作各类出版物，违者必究。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

青藏高原现代气候变化特征研究 / 游庆龙等著. —长沙: 湖南教育出版社, 2018. 12

ISBN 978-7-5539-6616-8

I. ①青… II. ①游… III. ①青藏高原—气候变化—研究  
IV. ①P468. 27

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 296600 号

---

书 名 青藏高原现代气候变化特征研究  
作 者 游庆龙 康世昌 等著  
策划编辑 张丽英  
责任编辑 张丽英 刘 源  
出版发行 湖南教育出版社(长沙市韶山北路 443 号)  
网 址 <http://www.hakclass.com>  
电子邮箱 [hnjycbs@sina.com](mailto:hnjycbs@sina.com)  
微 信 号 贝壳网教育平台  
客服电话 0731-85486979  
经 销 湖南省新华书店  
印 刷  
开 本 710 mm×1000 mm 16 开  
印 张 26  
字 数 420 000  
版 次 2018 年 12 月第 1 版  
印 次 2018 年 12 月第 1 次印刷  
书 号 ISBN 978-7-5539-6616-8  
定 价 118.00 元  
审 图 号 GS(2018)6591 号

---

如有质量问题，影响阅读，请与湖南教育出版社联系调换。

联系电话：0731-85486723

## 内 容 提 要

本书利用地面观测数据、再分析资料、模式模拟结果和遥感资料等地球科学“大数据”，研究全球变暖背景下青藏高原气候变暖新特征及其独特性，揭示其极端气候事件变化规律及其对气候变化的响应机制，基于高分辨率格点和多源数据研究青藏高原降水变化规律以及与水汽输送的相关联系，并定量开展降水与水汽通道的环流成因分析。在此基础上，研究青藏高原极端气温和降水事件概率分布特征及重现期，并利用数值模拟手段分析青藏高原气候变化与中高纬度大气环流异常响应，揭示现代再分析资料在青藏高原气候变化中的适用性研究，并基于观测与再分析气温资料和极端气温指标研究青藏高原升温幅度，开展青藏高原现代气候变化的预测统计模型与可预报性研究。本书阐述全球变暖背景下青藏高原现代气候变化的独特性，为国内外全面认识高海拔地区对全球变暖的响应提供了科学依据。

本书可供大气科学、地理科学、环境科学的科研人员和有关院校师生参考，也可供从事青藏高原和全球气候变化研究的人员参考。

被称为“第三极”的青藏高原平均海拔超过 4000 m，是全球中、低纬冰冻圈最为发育的区域，为亚洲大江大河的发源地，也是地表多圈层相互作用最强烈的地区。青藏高原通过其热力作用和机械强迫机制，对区域和全球气候产生重大影响。在全球变暖背景下，青藏高原在过去几十年增温显著，冰冻圈快速萎缩，高原中部湖泊扩展，给生态环境带来了一系列影响。青藏高原地形复杂、自然条件严酷，常规地面观测台站稀少且分布不均匀，这制约了对青藏高原地区气候变化，特别是极端气候和极高海拔地区气候变化的深入研究。

《青藏高原现代气候变化特征研究》一书利用现代观测、遥感、再分析等多源数据，结合模式模拟结果，多方法集成分析，全面阐述了高海拔冰冻圈区域气候变化三个方面的科学问题：（1）全球变暖背景下青藏高原气候变化的特征及其成因机制如何？具有怎样的独特性或敏感性？（2）再分析资料以及模式结果是否适用于青藏高原气候变化研究？其时空差异及其原因是什么？（3）青藏高原水循环过程的特征及其对区域和全球气候变化是如何响应的？冰冻圈正反馈机制对气候变化有何影响？全书共十章，围绕上述科学问题进行了系统性剖析，揭示了目前冰冻圈区域气候系统变化的发展方向，为理解高海拔地区气候变化独特性开辟了新思路，扩展了高原气候学的研究内容。

本书作者为年轻的科研工作者，活跃于冰冻圈科学和气候变化科学领域，长期在高海拔地区开展定位监测和考察，创新意识强，有吃苦耐

劳精神，并取得了一系列具有国际水平的研究成果。希望有更多的青年学者加入到冰冻圈科学研究中来，勇攀高峰，取得更多原创性成果和更大的成就。

中国科学院院士 秦大河

2017年12月



<b>01</b>	<b>全球变暖背景下青藏高原气候变暖及其独特性研究</b>	
1.1	引言 .....	003
1.2	资料和方法 .....	006
1.3	基于观测和 CMIP5 模式的青藏高原显著升温 .....	014
1.4	青藏高原观测和 CMIP5 模式日较差的比对分析 .....	025
1.5	小结 .....	040
<b>02</b>	<b>青藏高原极端气候事件变化规律及其对气候变化的响应</b>	
2.1	引言 .....	045
2.2	数据与方法 .....	047
2.3	青藏高原极端气温的变化趋势 .....	057
2.4	青藏高原极端降水的时空变化特征 .....	067
2.5	青藏高原夏季极端降水的时空变化特征 .....	072
2.6	小结 .....	081
<b>03</b>	<b>基于高分辨率格点和多源数据的青藏高原降水变化规律研究</b>	
3.1	引言 .....	089
3.2	高分辨率格点和多源数据 .....	091
3.3	基于高分辨率格点数据的青藏高原降水变化规律 .....	094
3.4	基于高分辨率格点和多源数据的青藏高原降水对比分析 .....	102

3.5	青藏高原降水与印度洋海温变化的内在联系 .....	116
3.6	小结 .....	128
<b>04</b>	<b>基于多源数据的青藏高原夏季降水与水汽输送的联系</b>	
4.1	引言 .....	135
4.2	资料与方法 .....	136
4.3	青藏高原及附近水汽输送对其夏季降水的影响 .....	139
4.4	青藏高原水汽收支变化特征及与大气环流场异常的联系 .....	157
4.5	小结 .....	166
<b>05</b>	<b>青藏高原极端气候事件概率分布特征及重现期分析</b>	
5.1	引言 .....	173
5.2	概率分布模式及重现期 .....	175
5.3	青藏高原极端气候事件指标极值分布分位数 .....	177
5.4	青藏高原极端气候事件指标重现期研究 .....	187
5.5	小结 .....	196
<b>06</b>	<b>北极涛动对中国极端气温和青藏高原变暖的影响机理</b>	
6.1	引言 .....	201
6.2	北极涛动对中国极端气温的影响分析 .....	203
6.3	北极涛动对青藏高原变暖的影响分析 .....	217
6.4	小结 .....	226
<b>07</b>	<b>青藏高原气候变化与中高纬度大气环流异常响应研究</b>	
7.1	引言 .....	231
7.2	方法介绍 .....	233
7.3	北极海冰异常与青藏高原极端低温的关系及影响机理 .....	236
7.4	数值模式验证秋冬季大气环流对夏秋季关键区海冰异常的响应 .....	249

7.5	数值模式验证 .....	255
7.6	小结 .....	263
<b>08</b>	<b>现代再分析资料在青藏高原气候变化中的适用性研究</b>	
8.1	引言 .....	267
8.2	数据集和研究方法 .....	269
8.3	青藏高原地面观测与再分析地面气温对比研究 .....	272
8.4	再分析资料在极端气候事件变化中的适用性分析 .....	287
8.5	小结 .....	301
<b>09</b>	<b>基于观测与再分析气温资料和极端气温指标的青藏高原升温幅度研究</b>	
9.1	引言 .....	305
9.2	研究数据和方法 .....	309
9.3	海拔依赖型变暖的事实 .....	310
9.4	海拔依赖型变暖的机制 .....	320
9.5	小结 .....	325
<b>10</b>	<b>青藏高原现代气候变化的预测统计模型与可预报性研究</b>	
10.1	引言 .....	335
10.2	方法 .....	336
10.3	青藏高原气温预测统计模型与可预报性 .....	339
10.4	青藏高原降水预测统计模型与可预报性 .....	352
10.5	小结 .....	363
	<b>参考文献</b> .....	366
	<b>后 记</b> .....	401



01

Qingzang Gaoyuan  
Xiandai Qihou Bianhua  
Tezheng Yanjiu

全球变暖背景下  
青藏高原气候变暖及其  
独特性研究





## 1.1 引言

联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)第五次评估报告(Fifth Assessment Report, AR5)估计自 1880 年以来,全球平均地面气温升高了  $0.85\text{ }^{\circ}\text{C}$  (IPCC, 2013),这一状况已经给生态、经济和社会带来了重大影响。然而,全球的升温速度并不均匀(IPCC, 2013),升温速度最快的区域出现在沿海、山区及高纬度地区(如北极)(Screen, 2014)。21 世纪前十年的全球平均地面气温上升幅度小于  $0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,比之前几十年的升温速度慢得多,这种全球平均性的地面变暖速度变慢被称为全球变暖减缓(global warming hiatus)(Fyfe and Gillett, 2014; Watanabe *et al.*, 2014)。全球变暖减缓的原因和其长期影响在近年来已引起广泛争论(Kaufmann *et al.*, 2011; Kosaka and Xie, 2013; Meehl *et al.*, 2014; Watanabe *et al.*, 2014)。但在近几年的研究中,沈永平等(2013)指出,在 1998—2012 年这 15 年间,地面平均气温以  $0.05\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  年的趋势上升,较 1951 年以来的  $0.12\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  年小。若剔除 1998 年强厄尔尼诺带来的强高温影响,则 1995—2009 年的升温趋势为  $0.13\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  年,1996—2010 年为  $0.14\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  年,1997—2011 年为  $0.07\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  年。另外, Easterling *et al.* (2009)也指出,2000 年以来全球变暖开始减弱甚至已经停止变暖。在这一背景下,学者对全球变暖减缓做了许多分析研究:Cohen *et al.* (2009)分季节对北半球热带外大陆的气温趋势进行分析,发现冬季气温在近十几年呈变冷趋势,而且春、夏、秋三个季节的气温一直呈增暖趋势。在陆地上,明显的降温区出现在亚欧大陆、美国和澳大利亚,而北半球降温幅度比南半球大,冬季降温区的强度要比夏季的大。王迪等(2014)分析了全球变暖加速期(1976—1999 年)和减缓期(2000—2012 年)全球陆地的气温变化特征,也发现秋季全球陆地平均气温对全球变暖减缓有唯一的负贡献,而冬季是造成全球变暖减缓的最主要季节。Trenberth *et al.* (2014)认为,全球变暖减缓,冬季比夏季更加明显。此外,许多学者也对全球变暖减缓的成因进行了分析研究,如 Lean *et al.* (2009)从外强迫角度分析,认为弱的太阳活动会造成全



球变暖减缓；Hansen *et al.* (2011)认为，全球变暖减缓是由人类活动产生的对流层气溶胶增加所导致的；Kosaka *et al.* (2013)认为，太平洋年代际振荡(PDO)，尤其是赤道附近中东太平洋的变冷主要导致了近年来的气候变暖减缓；Chen *et al.* (2014)认为，全球变暖减缓与大西洋的气温和湿度有关，即当全球变暖减缓时，北大西洋呈现出高温高湿的状况。同时，21世纪初的全球变暖减缓在传统气候变化预估模拟的多模式集合平均中并不明显(Fyfe *et al.*, 2013; Fyfe and Gillett, 2014)。因此，了解全球变暖减缓的原因对于评估当前气候模式的精准度及其对未来气候变暖幅度的预估非常重要(Hawkins *et al.*, 2014)。

全球升温导致了最低气温比最高气温更大程度的增暖，故气温日较差(DTR，被定义为一天中最高气温与最低气温之差)呈现显著的减小趋势(Easterling *et al.*, 1997; Karl *et al.*, 1993; Vose *et al.*, 2005)。在气候变化研究中，DTR独立于平均气温，并且独立地响应温室气体强迫，为气候变化的检测与归因提供额外的信息(Easterling *et al.*, 1997; Karl *et al.*, 1993; Vose *et al.*, 2005)。因此，DTR被视为一个可识别的气象指标，用以检测气候变化(Braganza *et al.*, 2004; Lewis and Karoly, 2013; Lindvall and Svensson, 2015)，且自1950年代以来，世界范围内均观测到了DTR的减小趋势(Dai *et al.*, 2001; Easterling *et al.*, 1997; IPCC, 2013; Karl *et al.*, 1993)。另外，DTR也被视为一种诊断指标，用以评估全球气候模式(GCMs)(Braganza *et al.*, 2004; Selman and Misra, 2015)。之前的研究表明，模式DTR明显低估了观测DTR(Braganza *et al.*, 2004)，因为模式中的云和地表过程没有被很好地模拟出来(Braganza *et al.*, 2004; Lobell *et al.*, 2007; Stone and Weaver, 2003)。Lewis and Karoly(2013)的研究表明，DTR在耦合模式比较计划第3阶段和第5阶段模式中都被低估了，与之前全球尺度的研究一致(Sillmann *et al.*, 2013)。

青藏高原的平均海拔为4000多米，是世界上最高大的高原，被称为“世界屋脊”，通过其动力和热力强迫作用对区域和全球气候产生重大影响(Duan *et al.*, 2012; Wu *et al.*, 2012; Yao *et al.*, 2012)。青藏高原及其周边地区具有除极地地区外最多的冰川，这些冰川位于许多主要的亚洲河流的上游(Yao *et al.*, 2012)。青藏高原对气候变化来说具有敏感性和脆弱性，被视为气候变化早期的敏感指示器(Kang *et al.*, 2010；



Yan and Liu, 2014; Yao *et al.*, 2012; You *et al.*, 2008)。在近几年,大量的研究利用气象观测站数据和自动天气站数据(Duan and Wu, 2006; Kang *et al.*, 2010; Liu and Chen, 2000; Liu *et al.*, 2006; You *et al.*, 2008)、现代再分析数据(Kang *et al.*, 2010; You *et al.*, 2015)、卫星遥感数据(Yang *et al.*, 2014)和气候模式数据(You *et al.*, 2013)分析和评估了青藏高原的气候变化。在1961—2003年间,青藏高原地区最低气温、最高气温的升温趋势分别为 $0.41\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{年}$ ,  $0.18\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{年}$ (Liu *et al.*, 2006),证实了最低气温、最高气温在全球尺度下变化的不对称性(Karl *et al.*, 1993)。在全球变暖的背景下,青藏高原的气候和冰冻圈变化非常明显,包括冰川退缩、冰川湖泊膨胀、永久冻土退化、土壤冻结期缩短和活动层增厚等(Kang *et al.*, 2010; You *et al.*, 2010; Yang *et al.*, 2011, 2014; Yao *et al.*, 2012)。此外,超过14亿人依赖印度河、恒河、雅鲁藏布江、长江、黄河等地的水源,青藏高原变暖在未来可能会导致这些河流下游地区的水资源减少(Immerzeel *et al.*, 2010)。因此,青藏高原的气候变化对当地和周边地区的居民都十分重要(Kang *et al.*, 2010; Yao *et al.*, 2012; Yang *et al.*, 2014)。青藏高原地区DTR在1961—2005年间呈现很明显的下降趋势,与该地区显著变暖有关(Duan and Wu, 2006; You *et al.*, 2008),并且大气环流也对DTR的这种变化有所贡献(You *et al.*, 2015)。CMIP5模式在青藏高原地区已经被用来定量分析平均气温预估的不确定性,大多数模式有负的偏差。之前的研究没有评估青藏高原观测和模拟的DTR,其在全球气候模式中的不确定性也很少被讨论(Kang *et al.*, 2010; Su *et al.*, 2013; Yang *et al.*, 2014; You *et al.*, 2008)。

在本章中,使用了新的均一化观测数据集和最先进的耦合模式比较计划第5阶段(CMIP5)气候模式来研究青藏高原的近期变暖,通过使用更可靠的观测数据集和最新评估的CMIP5模式来扩展以往的研究(Liu *et al.*, 2006; You *et al.*, 2008; Rangwala *et al.*, 2009; Kang *et al.*, 2010; Duan *et al.*, 2012; Su *et al.*, 2013)。本章旨在回答以下问题:(1)近几十年来青藏高原经历了怎么样的变暖?(2)CMIP5模式对青藏高原历史变暖是否有再现还原能力?(3)青藏高原在2000年之后是否存在变暖减缓现象?(4)CMIP5模式中的DTR在青藏高原的准确性如何?这些研究结果,有助于我们更好地了解青藏高原近期的气候变化特征,有助于我们评估该地区的气候变化影响。