

1101045) “基于资料分析和数值模拟的中国西北西部地

方

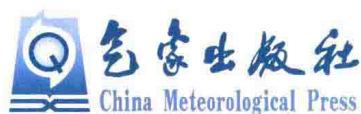
基于资料分析和数值模拟的 新疆地区水分收支定量估算

刘 波◎著



基于资料分析和数值模拟的 新疆地区水分收支定量估算

刘 波 著



内 容 简 介

本书在资料分析的基础上,利用中国新疆地区能够获得的比较完善的气象、水文站点降水等观测数据,构建陆面过程模型的大气驱动场,通过驱动陆面过程模型,定量分析中国新疆地区过去50多年陆地水分收支主要分量及年际和年代际演变特征。利用大气水分收支和陆地水分平衡原理,从整体上揭示该地区水分收支的变化规律,为中国新疆乃至西北西部地区的水资源可持续利用和社会经济发展提供科学依据和决策支持。

图书在版编目(CIP)数据

基于资料分析和数值模拟的新疆地区水分收支定量估算 / 刘波著. -- 北京:气象出版社, 2017.9

ISBN 978-7-5029-6635-5

I. ①基… II. ①刘… III. ①水资源管理-研究-新疆 IV. ①TV213.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 233425 号

Jiyu Ziliao Fenxi he Shuzhi Moni de Xinjiang Diqu Shuifen Shouzhi Dingliang Gusuan
基于资料分析和数值模拟的新疆地区水分收支定量估算

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

邮政编码:100081

电 话:010-68407112(总编室) 010-68408042(发行部)

网 址:<http://www.qxcbs.com>

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

责任编辑:颜娇珑 邵 华

终 审:张 斌

责任校对:王丽梅

责任技编:赵相宁

封面设计:博雅思企划

印 刷:北京建宏印刷有限公司

开 本:710 mm×1000 mm 1/16

印 张:9

字 数:140 千字

版 次:2017 年 9 月第 1 版

印 次:2017 年 9 月第 1 次印刷

定 价:55.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换。

序

气温的升高将会导致蒸发和降水的增多,随之会带来一个增强(加速)的水循环过程,而增强的水循环过程能够影响水资源在时空上的分布和变化,这可能导致台风、洪水、干旱等极端天气气候事件的发生频率增大和强度增强,同时通过水汽的反馈加大全球变暖的幅度。总之,陆地水循环的变化对陆气相互作用和气候变化都具有重要意义。

中国的西北西部地区是典型的干旱和极端干旱区,水资源问题是其生态环境建设和区域经济可持续发展的根本制约因素。在全球增暖的背景下,西北西部出现了包括降水量、冰川消融量、径流量增加以及湖泊水位上升等一系列与水循环有关的现象,这是否预示着该区域气候从暖干向暖湿转型?是否该区域的水循环正在增强(加速)?这些问题的答案,在目前国家大力发展西部(尤其是新疆)的大背景下,无论从科学角度还是现实角度都具有重要的意义。

《基于资料分析和数值模拟的新疆地区水分收支定量估算》一书充分利用了我国新疆地区能够获得的比较完整的气象、水文站点的降水等观测数据,构建陆面过程模型的大气驱动场,通过驱动陆面过程模型,定量分析我国新疆地区过去 50 多年陆地水分收支主要分量及年际和年代际演变特征,并利用大气水分收支和陆地水分平衡原理,从整体上揭示该地区水分收支的变化规律。

希望该书的出版能够为我国新疆地区的水资源可持续利用和社会经济发展提供一定的科学依据和决策支持。

中国工程院院士

李泽椿

前 言

我国新疆是世界典型的干旱区之一。干旱区的最突出问题就是缺水,而水分收支的问题是干旱区最核心同时也是最重要的科学问题和社会问题。20 世纪 80 年代末期,在全球增暖背景下,中国西北地区主要是新疆地区气候于 1987 年发生了明显变化,降水量、冰川消融量、径流量连年增加,内陆湖泊水位显著上升,洪水灾害也迅猛增加,同时植被有所改善,沙尘暴日数锐减。这是否预示着中国西北地区尤其是新疆地区气候从暖干型向暖湿型转变?考虑到目前缺少观测数据的支持,这些结论还存在很大的不确定性。要想对这个问题有一个相对可靠和客观的回答,只有综合分析整个区域的水分收支状况,尤其是陆地水分收支状况,才能得到客观的结论。

本书聚焦我国新疆地区,利用常规气象观测数据、水文站点数据以及同化数据等建立陆面过程模型的大气驱动场,通过陆面过程模型模拟该区域的陆地水分收支变量,考虑该区域复杂地形的影响,我们对模型模拟的结果利用地形信息进行订正,利用订正后的结果并结合观测资料对我国新疆地区的陆地水分收支分量,主要包括蒸散(包括地面蒸发,植被蒸发和植被蒸腾)、径流(包括地表径流和地下径流)、土壤含水量(包括土壤含冰量和土壤液态水含量)和陆地水储量(包括土壤冰、土壤液态水、蓄水层中的水、雪水和冠层截流水)进行定量估算和分析;利用观测降水和模拟蒸散量建立的指数($P-E$)对新疆气候转型信号进行分析;结合陆地水平衡原理和大气水分收支原理综合分析我国新疆区域水分状况,诠释增暖背景下我国新疆区域水分收支过程的变化规律,为我国新疆地区科学利用和管理水资源提供科学基础,为政府部门科学决策提供理论支持。

本书由国家自然科学基金项目(41101045)“基于资料分析和数值模拟的中国西北西部地区水分收支定量估算”资助。

目 录

序

前言

第 1 章	绪论	(1)
1.1	研究背景	(1)
1.2	西北西部气候和水文研究的相关进展	(4)
第 2 章	1960—2005 年新疆区域气候变化的基本特征	(11)
2.1	引言	(12)
2.2	资料和方法	(13)
2.3	各要素变化特征分析	(15)
2.4	小结	(28)
第 3 章	高分辨率陆面模式驱动场的建立	(30)
3.1	引言	(30)
3.2	资料	(32)
3.3	新疆地区大气驱动场的建立	(33)
3.4	建立的大气驱动场和已有的大气驱动场的对比	(36)
3.5	小结	(45)
第 4 章	模式介绍及其模拟性能的检验	(47)
4.1	引言	(47)
4.2	水文过程主要参数化方案的介绍	(50)
4.3	试验设计	(58)
4.4	模式模拟能力的检验	(58)
4.5	小结	(65)
第 5 章	新疆地区径流的变化及其与气候变化的关系	(67)
5.1	引言	(67)

5.2	数据和试验设计	(68)
5.3	结果分析	(69)
5.4	模拟径流偏小的原因探讨	(77)
5.5	小结	(80)
第 6 章	实际蒸散量的变化及其与蒸发皿蒸发量的关系	(81)
6.1	引言	(81)
6.2	模式中蒸散过程的简介	(84)
6.3	资料和方法	(85)
6.4	结果分析	(86)
6.5	小结	(95)
第 7 章	陆地水储量的时空变化及其与气候变化的关系	(97)
7.1	引言	(97)
7.2	资料和方法	(98)
7.3	陆地水储量的时空变化分析	(100)
7.4	陆地水储量的变化与气候变化的关系	(107)
7.5	小结	(108)
第 8 章	过去半个世纪新疆地区水分收支状况的估算	(109)
8.1	引言	(110)
8.2	资料和方法	(111)
8.3	水分变量的变化	(112)
8.4	降水量-蒸散量的空间分布和趋势系数的空间变化	(115)
8.5	小结	(119)
第 9 章	总结和展望	(120)
9.1	主要研究结果	(121)
9.2	值得进一步研究的问题	(125)
参考文献		(128)

第 1 章 绪 论

1.1 研究背景

气候与环境是地球上一切生物赖以生存的最重要条件,近百年尤其是近几十年来地球气候系统正在经历着一次以全球变暖为主的显著性变化,而在全球变暖的大背景下,地球上的水循环也在发生着显著的变化。水循环是联系地球系统各个圈层的纽带,是认识自然科学规律的重要方面。国际地圈—生物圈研究计划(IGBP)在 21 世纪的核心科学问题之一就是水循环。世界气候研究计划(WCRP)为此组织了包括水文、气象、生态和环境等领域的科学家参与的全球能量和水循环实验计划(Global Energy and Water Cycle Experiment,简称 GEWEX),目的是通过观测实验、资料诊断和数值模拟来研究地表水过程的变化及其对环境变化的响应和作用,其中区域水文和大气相互作用是最关键的科学问题之一。水资源问题直接关系到国计民生和社会经济可持续发展,预测水资源时空变化取决于对水文规律的认识(左其亭等,2001)。

自然界中水循环的存在,不仅是水资源可再生的根本原因,而且是地球上生命生生不息、千秋万代延续下去的重要原因之一。由于太阳能在地球上分布不均匀,而且时间上也时刻在变化。因此,主要由太阳能驱动的水文循环导致了地球上降水量和蒸发量的时空分布不均匀,这不仅使得地球存在湿润地区和干旱地区的区别,而且存在干湿季节或者干湿年的区别,甚至是地球上发生洪、涝、旱灾害的根本原因,同时也是地球上具有千姿百态自然景观的重要条件之一。水分循环是自然界众多物质循环

中最重要的物质循环之一。水良好的溶剂,水流具有携带物质的能力,因此,自然界有许多物质,如泥沙、有机质和无机质均会以水作为载体,参与各种物质循环。可以设想,如果自然界不存在水循环,则很多物质的循环,例如碳循环、磷循环等是不可能发生的。

水循环分为大循环和小循环。从海洋蒸发出来的水蒸气,被气流带到陆地上空,凝结为雨、雪、雹等落到地面,一部分被蒸发返回大气,其余部分成为地面径流或地下径流等,最终回归海洋。这种海洋和陆地之间水的往复运动过程,称为水的大循环。仅在局部地区(陆地或海洋)进行的水循环称为水的小循环。环境中水的循环是大、小循环交织在一起的,并在全球范围内和在地球上各个地区内不停地进行着。

流域或区域水循环实际上就是流域或区域内降水和径流形成的过程。降落到区域内的雨水,首先满足截流、填洼和下渗要求,剩余部分成为地面径流,汇入河网,再流至流域出口断面。截流最终被蒸发和散发消耗,填洼的一部分将继续下渗,而另一部分也被蒸发消耗。下渗到土壤中的水分,在满足土壤持水量需要后将形成壤中径流或地下水径流,从地面以下汇集到流域出口断面。被土壤保持的那部分水分最终也被蒸发和散发消耗。流域或区域水循环的空间尺度相对于全球水循环而言,它是一种开放式的循环系统(芮乃芳,2004)。

水循环是多环节的自然过程,全球性的水循环涉及蒸发、大气水分输送、地表水和地下水循环以及多种形式的水储蓄。降水、蒸发和径流是水循环过程的三个最主要环节,这三者构成的水循环途径决定着全球的水量平衡,也决定着一个地区的水资源总量。蒸发是水循环中最重要的一环之一。由蒸发产生的水汽进入大气并随大气环流而运动。大气中的水汽主要来自海洋,一部分还来自陆地表面的蒸、散发。大气层中水气循环是蒸发—凝结—降水—蒸发的周而复始的过程。海洋上空的水汽可被输送到陆地上空凝结降水,称为外来水汽降水;陆地向大气蒸发的水汽直接凝结的降水,称为内部水汽降水。一地总降水量与外来水汽降水量的比值称为该地的水分循环系数。全球的大气水分交换的周期为10天。在水循环中水汽输送是最活跃的环节之一。径流是一个地区(流域)的降水量与蒸发量的差值。多年平均的大洋水量平衡方程为:蒸发量=降水量

十径流量;多年平均的陆地水量平衡方程是:降水量=径流量+蒸发量。但是,无论是海洋还是陆地,降水量和蒸发量的地理分布都是不均匀的,这种差异最明显的就是不同纬度的差异。

我国新疆地区是世界典型干旱区之一,它位于北半球中纬度欧亚大陆中心,面积占中国总面积的六分之一,约 160 万 km^2 。东起明水东北方 (96.3°E),西至乌孜别里山口以西 (73.6°E),北起阿尔泰山友谊峰 (49.2°N),南到喀喇昆仑山空喀山口 (34.4°N),东西跨度达到 2200 km,南北宽约 1500 km(李江风,1991)。由于新疆南邻世界屋脊青藏高原,东部是东亚季风区,区域内还有天山等高大山系和中国最大的两个沙漠(塔克拉玛干和古尔班通古特),加上众多的冰川、湖泊和河流、常年和季节性积雪形成了该地区复杂多变,独具特色的区域水循环系统,同时也形成了千变万化的区域气候条件。

很多研究表明:自 1987 年以来,中国西北地区的气候和水文特征突然发生了一些显著的变化,如降水量增加,湖泊面积扩大,径流量上升以及暴雨、洪水频率增大(施雅风等,2002;马道典等,2003;韩萍等,2003;胡汝骥等,2002;杨莲梅,2003;李艳红等,2006)。施雅风等(2003)对这些变化进行了总结:气温持续升高,20 世纪 80—90 年代升温迅速;降水显著增加,尤其是西部和中部;冰川萎缩,冰川融水量持续增加;河川径流量增加,新疆 26 条主要河流中有 18 条河流平均年径流量均有显著增加;湖泊水位上升,面积扩大,如天山中部的博斯腾湖自 1987 年以后水位连续上升,湖水面积也扩大到 1000 km^2 ,天山西段北麓的艾比湖的面积也在 80 年代后期以后持续扩张;洪水灾害频繁,1987 年以来新疆洪水灾害致灾面积几乎是其 20 世纪 50—70 年代的 7~8 倍;植被覆盖有增加迹象;沙尘暴日数趋于减少,沙尘暴的日数在 80 年代中后期也有明显减少的趋势。这些现象背后到底隐藏着什么样的科学问题?在全球和区域显著变暖的背景下,西北西部的水循环是否是加速的?降水的增加究竟是由于平流的上游水汽在西北西部成云致雨造成的,还是由于本地的蒸发量增加造成的?在蒸发皿蒸发量下降的情况下,实际蒸散的变化特征是什么?从过去的研究结果尚不能清楚地回答这些问题,而对这些问题的客观认识和回答,不仅有助于我们对西北西部的气候和水文的时空分布规律有更深层次的

了解,而且也有助于更客观地理解全球变暖背景下导致西北西部区域水分和气候的转折性变化的物理机理。本书将围绕这些科学问题,从现有的气候和水文观测资料出发,结合陆面过程模式模拟的水循环各个分量,包括径流量、蒸散量和陆地水储量,分析中国西北西部(主要指新疆)气候、水分发生变化的时空变化规律,特别是气候、水文发生转折性变化的特征和联系的分析。

1.2 西北西部气候和水文研究的相关进展

大气中各种温室气体浓度的不断升高,改变了地球表面的能量平衡,引起了全球性和区域性的气候异常变化,加剧了某些地区的洪涝和干旱灾害,对全球和区域水分过程的变化产生了重要的影响。政府间气候变化委员会(IPCC)第四次评估报告(2007)指出:自1850年以来全球表面气温有仪器观测以来最暖的12年,有11年出现在过去12年(1995—2006年)中,近100年(1906—2005年)来平均升温率为 0.74°C ($0.56\sim 0.92^{\circ}\text{C}$),大于IPCC第三次评估报告(2001)给出的 0.6°C ($0.4\sim 0.8^{\circ}\text{C}$,1901—2000年)的升温幅度。IPCC第五次评估报告则明确指出:1880—2012年,全球海陆平均温度呈线性上升趋势,升高了 0.85°C ;2003—2012年平均温度比1850—1900年平均温度上升了 0.78°C 。同时,自19世纪中叶以来,海平面的上升速度高于过去2000年。1901—2010年,全球平均海平面上升了19 cm。由于海洋暖化、冰川和冰盖的减少,全球海平面将以比过去40年更高的速度继续升高。在全球变暖的大背景下,中国的气温在最近的50多年也呈现了显著的升高,中国现代变暖最明显的地区包括东北、华北、西北和青藏高原北部(任国玉等,2005;唐国利等,2005),李庆祥等(2006)的研究也指出,1998年以来中国气温持续且极端偏暖。而由温度升高所引起的环境干旱化,尤其是北方干旱化加剧已经被揭示(马柱国,2005;马柱国等,2007;马柱国等,2006;梁译学等,2005),气候的异常变化必然引起水分循环的变化和水资源在时空上的重新分布,IPCC报告中预测21世纪全球气温将进一步升高,全球气温将上升 2.5°C ,可能的变化

范围是 $1.5 \sim 4.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。一些气候模式的模拟结果表明,随着人类活动强度增大,未来大气中温室气体的含量会进一步升高,从而导致全球气候的持续变暖,进而可能导致北半球中纬度地带的干旱化,并造成世界上一些地区的水资源紧缺(Payne 等,2004)。张英娟(2006)利用嵌套了全球模式的区域气候模式对中国西部地区 21 世纪 10,20 和 50 年代 3 个 10 年的气候变化进行了数值模拟,结果表明:由于二氧化碳浓度升高造成的温室效应使得中国西部地区地面气温明显升高,且西部地区的升温幅度高于中国其他区域,尤其是青藏高原升温最为显著。到 21 世纪 50 年代中国西部地区年平均温度升高 $1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。高学杰等(2003)使用 RegCM2 区域气候模式,重点分析了 CO_2 浓度倍增后,西北地区的气候变化。结果表明,在 CO_2 浓度倍增后,西北地区的气温和降水的升高幅度都远高于全国平均值。研究结果还表明,在全球变暖背景下,不同区域水分过程的响应具有很大的地域差异,温度的升高同样会引起陆地表面蒸发潜力的增大,这将不利于地表的水分保持,进而引起地表水分状况的变化。

美国早在 2000 年就启动了相关的研究,其中一个重要的目标就是评估气候变化对美国西部水分过程的影响,特别是美国西部几个典型流域水文—大气相互作用机理的研究(Barnett 等,2004; Christensen 等,2004)。从 2005 年开始,中国的科学家也开始重点研究中国西北西部水分过程的演变特征及其与全球大尺度气候背景下中国西北西部气候及水分过程发生变化的规律及可能驱动因子,并开始利用实际观测数据获取该区域水文—气候相互作用机理研究的关键参数,尝试利用数值模式探索西北区域地表水过程变化对气候变化的作用机理。

近十余年来,在全球变暖背景下,对中国西北西部区域的降水、径流、冰川和积雪等方面进行了大量的研究工作,并取得了很多有意义的结果。

关于西北西部降水的研究在过去已经进行了很多有意义的工作,包括年际、年代际和季节的研究,宋连春等(2003)、韦志刚等(2000)、于淑秋等(2003)、刘亚敏等(2011)发现总体上西北地区的降水是明显上升的趋势,而且在 1987 年前后发生了一次明显的转折,转折后的降水量相对于转折前增加了近 20%。薛燕等(2003)、何清等(2003)、韩萍等(2003)探讨了新疆地区近几十年降水的时间和空间变化,结果发现新疆地区的降水

也是显著增加的,并且在 20 世纪 80 年代后期也存在一次明显的转折性变化。在空间变化上,新疆存在着北疆降水多于南疆,天山山区降水多于南北疆的特点,而且在同一地区降水量增减趋势变化的一致性有所不同,南疆地区的一致性要好于北疆。

西北西部河川径流的变化趋势明显(蓝永超等,1999;蓝永超等,2001;蓝永超等,2007;李忠勤等,2003;孙本国等,2006),大部分河流存在明显的径流增加趋势(吴素芬,1995;施雅风等,2003;叶柏生等,2006),然而,北疆地区的一些河流尽管流域内的降水是增加的,但径流却是明显减少(如北疆地区的水磨河),出现这种现象的原因可能与温度升高所引起的蒸发增加及人为过多采集地下水有关(龚原等,2000;龚原等,2003)。中国西部的河流主要为冰雪融水、降水和地下水补给,三者对不同河流径流量的相对贡献均不相同,如在河西地区,冰雪融水在石羊河水系所占的比例为 3.7%,黑河水系为 8.2%,疏勒河水系则达到了 32%;乌鲁木齐河冰川融水占河川径流量 6%~20%不等,而玛纳斯河、霍尔果斯河和安集海河等,冰川融水占河川径流量的 35%~53%(施雅风,2001)。众所周知,冰雪融化主要受气温变化的影响,而在全球气温升高的大背景下,西部地区的气温升高幅度更大,这导致了西部地区冰川萎缩的速度明显加快(沈永平等,2001;施雅风,2001)。施雅风(2001)预测:如果夏季升温在 1.3℃左右,在天山山麓准噶尔盆地南缘,面积小于 1 km² 的冰川共有 2935 条将融化殆尽,最终,那些依靠冰雪融水所形成的河流将会干枯或消失。如果要维持这些地区冰川近年来的物质平衡(冰川变化不大、稳定)需要增加 40%~70%的降水。从短时间尺度来看,冰雪融化能够增加径流,提供更多的可利用水资源。但从区域可持续发展的角度来讲,由此所产生的负面环境效应将难以估量。

冰川是中国西部环境尤其是水资源和水循环过程的主要参量,它的变化主要受气候变化的控制,它的维持和发展与气温和降水有着密切的关系,降水是冰川形成的基本来源,温度变化是冰川维持的外在条件。最新的研究结果表明,全球越来越多地区的冰川正以有记录以来的最大速率融化着,20 世纪 90 年代全球冰川呈现出加速融化的趋势,这一时段正好是有记录以来温度最高的 10 年(沈永平等,2001)。冰川面积和储量的

减小,必然会导致地表覆盖的变化,从而使影响气候的各种地表通量的分配比例改变,最终导致气候的异常变化。异常的气候变化又对冰的积累和消融产生影响,最终完成一个局部水分过程响应和作用的循环。全球气温升高所引起的冰川融化在中国西北地区同样有增强趋势,自小冰期以来,中国西部山地冰川面积减少了 $11\,630\text{ km}^2$, 占中国现代冰川总面积的 20%。航测结果表明,乌鲁木齐河流域 28 年间,冰川的面积减少了 13.8%,冰储量减少了 16.8%,相当于小冰期至 20 世纪 60 年代冰川面积减少值的 22.4%,可见 20 世纪后期冰川退缩速率大大加快(施雅风等, 2002;施雅风等, 2003;苏珍等, 2000)。李忠勤等(2003)指出,在 1997 年以后,尽管降水有所增加,但乌鲁木齐 1 号冰川的物质平衡亏缺速率却显著增大,这与该时段温度的急剧上升有关。2004 年在海拔 4225 m 的 1 号冰川顶部惊现冰面湖,部分冰川地区融化现象极为严重,这表明冰川融化一定与气温成绝对的线性关系,冰川融化极易受周围环境的影响,变暖已使冰川环境变得极为脆弱。在全球变暖背景下,全球及区域尺度的冰川面积及储水量均有减少的趋势是不争的事实。

崔彩霞等(2005)对比了 1960—2003 年新疆地区山区和平原积雪的长期变化,结果表明伴随着 20 世纪 80 年代以来明显的变温变湿变化,新疆积雪呈轻微的增长趋势,且在 90 年代增加明显。山区积雪大于平原,而平原的冬季温度和降水增幅大于山区。积雪与冬季降水量成明显正相关关系,但与冬季平均温度没有明显关系。杨青等(2007)对天山山区积雪的研究则表明:45 年来天山山区最大积雪深度具有明显的增加趋势,倾向率为 $1.15\text{ cm}/(10\text{ a})$,检测表明,最大积雪深度在 1977 年前后发生了突变。高卫东等(2005)研究了近 30 年来天山西部积雪与气候变化,他们的结论与前人的研究结果基本一致,天山西部中山带的季节性降雪呈增加的趋势,与冬季气温呈弱的负相关,而与该地区的降水呈显著正相关。积雪日数也是增加的。在全球变暖的背景下,由该地区冬季降水量增加而导致的积雪量增加,要大于由于冬季气温升高而引起的积雪量增加。

在西北西部,关于蒸发量的研究主要集中在小型蒸发皿蒸发的研究,胡安焱等(2006)对新疆南北疆的水面蒸发进行了研究,在南北疆分别建立了月平均气温和水面蒸发的经验模型。苏宏超等(2003)的研究表明,

近 50 年新疆地区的蒸发皿蒸发变化是显著下降的。周金龙等(1999, 2003)通过气象要素与蒸发皿蒸发的相关性分析,得出了气象要素对水面蒸发量的影响程度从大到小的排列顺序为气温、水汽压、相对湿度差、日照时数和风速。马金玲等(2005)对塔里木盆地西北部不同类型的蒸发器水面蒸发变化趋势进行了分析,结果发现无论使用哪种蒸发器进行测量,蒸发皿蒸发量都是减小的。在季节变化上,夏季增加最大,秋冬季次之,春季最小。格利玛等(2007)对艾比湖地区蒸发的研究指出,在气温升高,降水增多的条件下,蒸发皿蒸发量减小。但蒸发皿蒸发量实质上是有限自由水面的蒸发量,它更多地表征了蒸发所需的能量与热量有关,是能量和热量的一个指标,与区域实际的水循环关系不大,而真正参与一个地区区域水循环的是实际蒸散。因此,一个区域实际蒸散的变化才是研究水循环变化及其和气候变化关系的关键参量,而非蒸发皿的蒸发。目前,实际蒸散的测量比较困难,而有关蒸发计算的研究中,还没有哪个计算方案能客观真实地计算出地表的实际蒸散,但准确地计算地表蒸发对水循环的研究又是非常重要的,如当前西北西部降水量增加能否使该地区变湿,在没有准确的蒸发变化的条件下,我们仍然无法得到准确的结论。因此我们希望通过陆面模式模拟的实际蒸散来对全球变暖背景下,西北西部的干湿变化状况进行系统的分析。

吴敬禄等(2004)、王前进等(2003)的研究发现,近 50 年来艾比湖湖面经历了 2 次大幅度变化,出现在 20 世纪 60 年代的湖面大萎缩,主要与流域人口快速增加,农业耗水急剧增加有关;20 世纪末、21 世纪初湖面的大范围扩张,与近期降水增加有密切关系,而流域上人类活动对湖面变化的贡献份额还不清楚,但在人类活动影响较稳定时期,艾比湖湖面波动与流域降水量变化一致。这体现了干旱区封闭湖泊湖面波动与流域降水量变化的一致性。王润等(2003)发现博斯腾湖 1987 年以来湖泊水位的上升与其补给河流流量的变化有直接关系,而这与气温升高后,天山中段降水和高山冰雪融水量增加有关。

陈曦等(2004)对新疆天山北坡近 40 年气候、水文、现代冰川、湖泊观测数据和近 10 年遥感数据的分析指出天山北坡气候变化的总体趋势是气温升高和降水增加,特别是 20 世纪 90 年代以来的近 10 年气温升高、降

水与径流量增加幅度较大,而且该区域的植被覆盖度和生物量也持续增加。

柳葳等(2005)的研究认为,近几十年来全疆年降水总量增加,但不同年代、不同地区、不同季节降水量的变化存在差异,不同地区影响降水的环境、区域因子存在较大的差异,未来降水量的变化趋势很难判断,并且认为冰川消融加速是导致地表径流量增加的主要原因,径流量明显增加的河流多为冰川融水补给比重较大的河流,不能根据地表径流量的增加判断本区水资源总量增加。而冰川是本区水循环的重要环节,气候的持续变化正在打破本区原有的水循环平衡模式,使洪水和干旱灾害加剧。而冯思等(2006)的研究认为,新疆地区近几十年尤其是20世纪80年代后半期的降水量持续增加,主要是由于全球变暖导致全球水循环加速,使大气环流中的水汽增多,导致了新疆地区上空大气中水汽持续增加引起的。他们也认为新疆地区冰川消融是由气候变暖造成的,而河川径流增加及部分地区地下水位上升则主要由山区降水增加、冰川消融加剧引起。新疆地区冰川近几十年尤其是20世纪80年代以来物质平衡为负,同时雪线持续上升,主要是因为冰物质平衡主要是由温度决定的,而与降水的增减关系不大。张家宝等(2002)利用乌鲁木齐河山区所建立的树轮年表,预测未来50年水资源变化趋势,他们指出在未来50年新疆地区最大可能是径流量变化基本稳定,出现特枯水年的概率极小,出现1次特丰水年的概率较大。陈亚宁等(2004)探讨了全球气候变化对新疆塔里木河流域水资源的可能影响,结果发现在近50年里,气温持续升高,降水呈增加趋势,塔里木河源流区呈现明显的增加趋势,但干流径流量呈下降趋势,检验了厄尔尼诺—南方涛动(ENSO)与降水、气温的联系,结果发现ENSO现象与它们三者不存在明显的相关,塔里木河干流的水量萎缩,河流干涸和生态系统恶化主要是人类活动造成的。在国际上已经有很多工作利用模式的输出结果来对全球或者区域的水分变量进行分析和讨论。Akiyo Yatagai(2003)利用ECMWF 15年(1979—1993年)的再分析数据分析了中纬度欧亚大陆干旱和半干旱区的水循环过程。Andreadis等(2006)利用Variable Infiltration Capacity(VIC)模拟的土壤湿度和径流数据集构建了一个美国大陆1920—2003年的干旱历史序列,并利用它分析

了美国 20 世纪的干旱特征,比较了这段时间里最大的干旱事件的广度、激烈性和持续时间的变化,发现了在美国大部分地区,模拟的土壤湿度和径流增长显著,但在西南部为减少趋势,定量地看,变化趋势的模态和由一个受人类活动影响达到最低限度的站点网络观测得到的流量的变化模态相似,而且这种变湿的趋势和 20 世纪后半叶降水量的普遍增长是一致的。Hamlet 等(2007)同样利用 VIC 模型输出的 1916—2003 年美国西部的实际蒸散、径流和土壤湿度,对这一区域的水分过程的各个时间尺度的变化特征进行了详细的分析,得到了很多有意义的结论。Qian 等(2007)通过利用观测的月平均降水和气温调整的 NCEP/NCAR 再分析数据建立的大气驱动场运行 NCAR/CLM3.0 对美国密西西比河流域的表面水分和能量循环进行了分析,基于模式的结果,他们发现该流域的降水增加是由径流量和蒸散量的增加共同造成的,蒸散量从 1948—2004 年是上升的趋势,降水的变化是决定蒸散量的最重要的因素。Trenberth 等(2007)同样利用 Qian 等(2006)构建的大气驱动场和 NCAR/CLM 模型估算了全球水分收支状况和年变化,Sheffield 等(2007)利用一个混合了观测和再分析数据的大气驱动场运行陆面模型得到了 1950—2000 年全球土壤湿度的变化趋势和变率,并对全球的干旱属性进行了分析。