

# 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨

施雅风<sup>1</sup>, 沈永平<sup>1</sup>, 胡汝骥<sup>2</sup>

(1.中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所,甘肃 兰州 730000;2.中国科学院 新疆生态与地理研究所,新疆 乌鲁木齐 830011)

**摘要:**全球大幅度变暖,水循环加快,增强降水和蒸发.中国西北部从19世纪小冰期结束以来100 a左右处于波动性变暖变干过程中.1987年起新疆以天山西部为主地区,出现了气候转向暖湿的强劲信号,降水量、冰川消融量和径流量连续多年增加,导致湖泊水位显著上升、洪水灾害猛烈增加、植被改善、沙尘暴减少.新疆其他地区以及祁连山中西段的降水和径流也有增加趋势.这样气候转型前景如何,是仅为年代际波动还是可发展为世纪性趋势,是只限于天山西部还是可能扩及整个西北以至华北.从引用现有区域气候模式预测,对径流变化模式预测和相似古气候情景的讨论,认为转向暖湿的趋势可以肯定,但目前尚不能确切预测转型扩大在时间上与空间上变化的速度和程度.

**关键词:**气候转型;信号;影响;前景;西北地区

中图分类号:P467 文献标识码:A

## 1 前言

全球大幅度气候变暖,势将导致海洋与陆地水体蒸发和大部分海洋和陆地降水增加,冰川消融增强,河川径流量扩大,洪水灾害加剧,干旱区可能缩小.现行气候模式模拟的降水变化是北半球高纬度、中纬度和多数赤道地区降水增加,但副热带地区降水减少,降水变化最大地区是高纬度和若干赤道区域、东南亚<sup>[1]</sup>.据Tucker与Nicholson应用卫星数据和地面降雨资料认为撒哈拉萨赫勒地区1984年是本世纪最干旱的一年,植被指数最低,沙漠扩展到9 980 000 km<sup>2</sup>,1985—1997年条件有所改善,1997年年降雨量低于200 mm·a<sup>-1</sup>的沙漠面积减少为8 930 000 km<sup>2</sup>,即减少了12%,这与媒体报道撒哈拉沙漠年复一年向南扩展的宣传相反<sup>[2]</sup>.近年中国西部特别是西北部降水量增长趋势明显<sup>[3]</sup>,但在和蒸发增长平衡后,是否西北气候已出现由暖干向暖湿转变迹象,需要具体深入的探讨.

## 2 西北气候由暖干向暖湿假说的提出

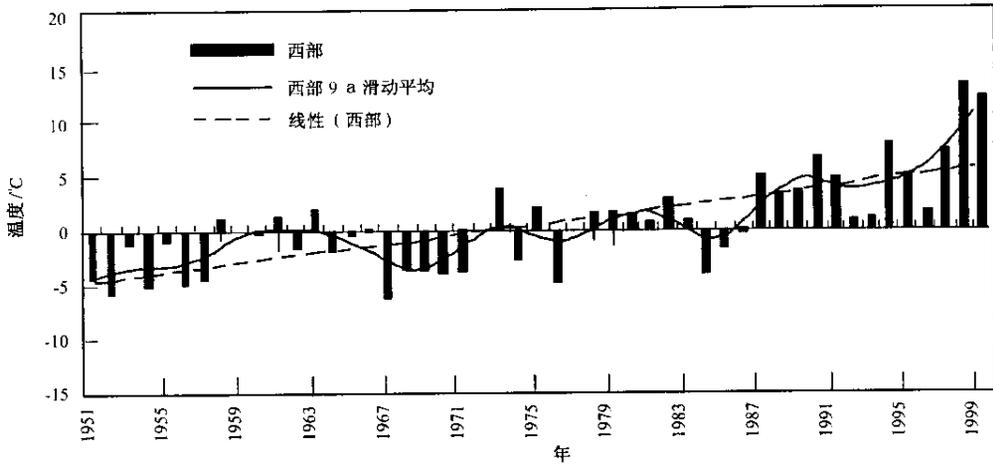
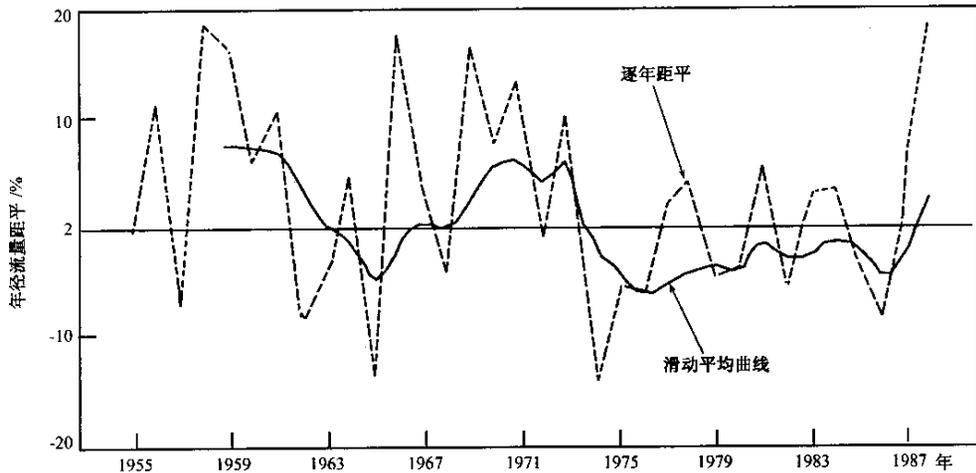
### 2.1 20世纪的暖干气候

我国西北地区从19世纪末冷湿的小冰期结束以来100 a左右时间处于波动性变暖变干气候环境下,至80年代中段天山和祁连山东段分别升温1.3℃和1.0℃,而年降水量减少50~65 mm和70~85 mm<sup>[4]</sup>,树木年轮研究指示,1920—1978年间北疆降水负距平达-11.8%<sup>[5]</sup>.近50 a实测记录,中国西部以0.2℃·(10 a)<sup>-1</sup>趋势升温,特别是20世纪80~90年代升温迅速,近50 a新疆北部升温更高达1.4℃<sup>[6]</sup>(图1),远高于近百年全球平均升温0.4~0.8℃.1951—1989年间新疆和华北明显呈现降水减少趋势,而西北东部(陕、甘、宁、青)不明显<sup>[7]</sup>,西北地区53条河流出山径流在20世纪50~80年代呈现波动下降<sup>[8]</sup>(图2).青海湖水位从1908年的海拔3 205 m至1986年的海拔3 193.78 m,水位下降了11.22 m,更明确地揭示了暖干趋势<sup>[9]</sup>.结合灌溉用水的增加,西北所有内陆湖泊都

收稿日期:2002-06-25;修订日期:2002-10-10

基金项目:中国科学院寒区旱区环境与工程研究所知识创新工程项目(CACX2002102);中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-10-06;KZCX2-301)资助

作者简介:施雅风(1919—),男,江苏海门人,中国科学院院士,1944年毕业于浙江大学研究院,现主要从事冰川、古气候、全球变化与水资源研究. E-mail: shi@mial.issas.ac.cn

图 1 中国西部 1951—1999 年升温趋势<sup>[6]</sup>Fig. 1 Variation of the surface temperature for 1951—1999 in Western China<sup>[6]</sup>图 2 1950's—1980's 西北地区河流径流量呈现波动下降趋势<sup>[8]</sup>Fig. 2 River runoff change with slowing down trend for 1950's—1980's in Northwest China<sup>[8]</sup>

呈现大幅萎缩趋势, 尽管有年代际的干湿波动, 但 20 年代的大旱和 60 年代的变干具有北半球全球性质<sup>[10]</sup>, 严中伟等指出 20 世纪 60 年代从北非经印度西北部, 中国到日本宽阔的变干带南北各有一降水增加带存在<sup>[11]</sup>.

## 2.2 20 世纪末出现由暖干向暖湿转型的信号

80 年代后期新疆气候出现变干中止而趋向变湿的记录, 主要是位于盆地边缘绿洲中的气象测站观测到: 1987—1996 年间北疆平均年降水达 229 mm, 分别比前两个 10 a (1967—1976 年, 1977—1986 年) 分别增加 16.2% 和 18.0%, 南疆平均年降水达 95 mm, 比前两个 10 a 增加 23.2% 与 30.1%<sup>[12]</sup>, 估计缺乏观测记录的山区降水增加更多. 结合冰川融化加剧, 塔里木河的 6 源流总径流量的趋势在 1987 年后呈增加(图 3a), 尤其是塔里木河主源阿克苏河

平均年径流量在 60~80 年代为  $71.7 \times 10^8 \text{ m}^3 \sim 73.3 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 90 年代增加至  $84.42 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 其中 1998 年达到  $101.54 \times 10^8 \text{ m}^3$ <sup>[13]</sup>, 天山北坡玛纳斯河 90 年代径流也突出增加<sup>[14]</sup>(图 3b). 在山区径流量大幅度增加条件下, 若干湖泊从多年水位下降情况下, 超越灌溉用水及蒸发增加耗水, 转为湖面上升和扩大, 最显著地是中天山的博斯腾湖(图 4). 该湖每年尚需输水数亿方给孔雀河, 但在 1987—2000 年间水位上升 3.5 m, 达到 1956 年丰水期水位高度, 湖泊面积也由  $880 \text{ km}^2$ , 增加到  $1\,000 \text{ km}^2$ , 补给该湖的开都河焉耆站径流量快速增长, 由 1987 年的  $28.15 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 连年增加至 2000 年的  $41.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 成为博斯腾湖水位上升的直接原因<sup>[15]</sup>. 天山西段北麓的艾比湖在 1950~1987 年间, 湖泊面积自  $1\,070 \text{ km}^2$  收缩至  $500 \text{ km}^2$ , 其后补给径流快速增加, 到 2000

年湖面积增长至  $800 \text{ km}^2$  [15]。其余如吐鲁番盆地的艾丁湖,西天山的赛里木湖水面也有不同程度的扩大,干枯了多年的玛纳斯湖和台特马湖也有洪水注入。内陆湖泊的水位变化是降水量、径流量与蒸发量平衡的结果。50年代以来干旱区湖泊干枯原因虽与气候变干有关,但更大因素是农田扩大、灌溉用水激增,减少了入湖水量的结果。1987年以来连续十多年的降水径流增加,超过蒸发与人为用水增加,迫使我们考虑,气候已从暖干向暖湿转型,而中国天山西部发出了气候转型的强劲信号。现在看来气候转型首先出现在西风环流降水区,天山南北和祁连山中西段的降水径流均有增加,零碎讯息传来中亚咸海与巴尔喀什湖水位上升,如咸海水位于20世纪70~80年代急剧下降,以后阿姆河、锡尔

年接纳河水增加,水面抬升了  $69 \text{ cm}$  [17]。但是中国西北的东部季风降水区的青海湖水位仍在持续下降中,祁连山东段石羊河径流量也在继续减少。

### 2.3 由暖干向暖湿转型的影响

气候转型的降水量增多地区非常有利于植被繁茂生长,旅行中可以看到初级生产力草地一片葱绿。马明国等利用 NOAA-CHAIN 处理的 1990 年和 1999 年 7 月和 8 月的 AVHRR 资料所获得的 NDVI 结果表明,90 年代西北植被覆盖普遍减小,土地沙化和荒漠化严重,但在天山西部、伊犁河流域、新疆北部、青海南部等地区近 10 a 来出现植被覆盖明显增加 [18]。植被改善有利于降低沙尘暴的发生,乌鲁木齐、和田、七角井、兰州、张掖、民勤、西宁、银川、延安 9 个地点的不同年代统计,90 年代(1991—1998 年)沙尘暴日数远远小于前 4 个年代,如甘肃民勤,50、60、70、80 年代分别达 44.3 d、30.5 d、39.3 d 和 30.7 d,而 90 年代只有 11.8 d,张掖前 4 个年代分别为 18.6 d、21.6 d、20.3 d、10.8 d,而 90 年代激减为 4.1 d,和田前 4 个年代分别为 36.1 d、32.5 d、31 d、26 d,90 年代降为 15.6 d [19]。日本学者 Yoshino 的分析也获得同样的结果(图 5) [20]。沙尘暴是冷空气入侵引起的大风和地表裸露程度提供沙尘源的共同产物,以 80~90 年代比 60~70 年代,新疆的北疆和南疆大于 8 级大风日数分别降低 21.7% 和 57.1%,平均最大风速降低了 16.5% 与 26% [21],代表北方冷空气入侵大风的降低是和全球变暖大背景中高纬度升温幅度大于中低纬度降低了径向气压梯度有关。标示着气候转型的降水量突然增加带来了严重的洪水灾害,统计新疆农田受洪水灾害面积在 50、60 和 70 年代只有  $4.28 \times 10^4 \text{ hm}^2 \sim 5.22 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,受灾人口为  $2.59 \times 10^4 \sim 8.12 \times 10^4$  人,至 80 年代和 90 年代受灾面积猛增至  $28.45 \times 10^4 \text{ hm}^2$  与  $36.47 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,受灾人口猛增至  $492.96 \times 10^4$  人和  $513.80 \times 10^4$  人。在年际变化图上(图 6)更直观看出在转型的 1987 年受灾面积较前数十年激增 10 倍左右。洪灾损失最大年份是 1996 年,新疆损失达  $48.28 \times 10^8 \text{ 元}$  [22]。该年多条河流发生大洪水,如乌鲁木齐河水冲垮多处道路桥梁和冰川站观测设备,并导致多处滑坡。1999 年 7~8 月在伊犁河、玛纳斯河及塔里木盆地主要河流相继发生大洪水,25 条河流出现有实测资料以来的第一位洪水,叶尔羌河出现十多年来未有的冰湖溃决大洪水,卡群站洪峰流量达  $6070 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ,是历史上第二次大洪水 [23],总计新疆全区损失在  $30 \times 10^8 \text{ 元}$  以

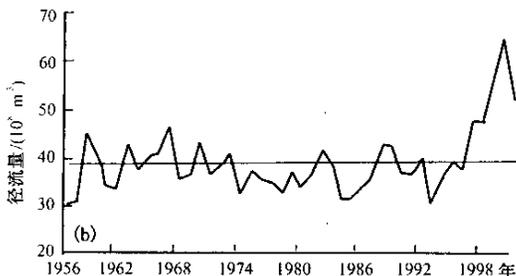
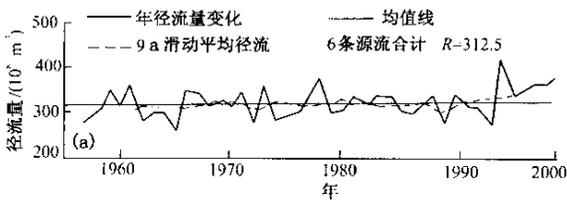


图3 新疆南疆塔里木河 6 源流出山年总径流 (a) 和天山北坡玛纳斯河 (b) 年径流变化 [13,14]

Fig.3 Annual runoff variations of 6 sources rivers (a) of the Tarim River in southern Xinjiang and Manas River (b) on the northern slope of the Tianshan Mountains [13,14]



图4 新疆中天山博斯腾湖水位变化 [15]

Fig.4 Fluctuation of lake level over past 50 a for Lake Bosten in Xinjiang [15]

河水量增加,1994 年起开始缓慢上升 [16];巴尔喀什湖水位于 1987 年较 70 年代初下降了 2.5 m,1988

上. 由于缺乏山区水库调蓄洪水, 宝贵的水资源白白流失, 极为可惜.

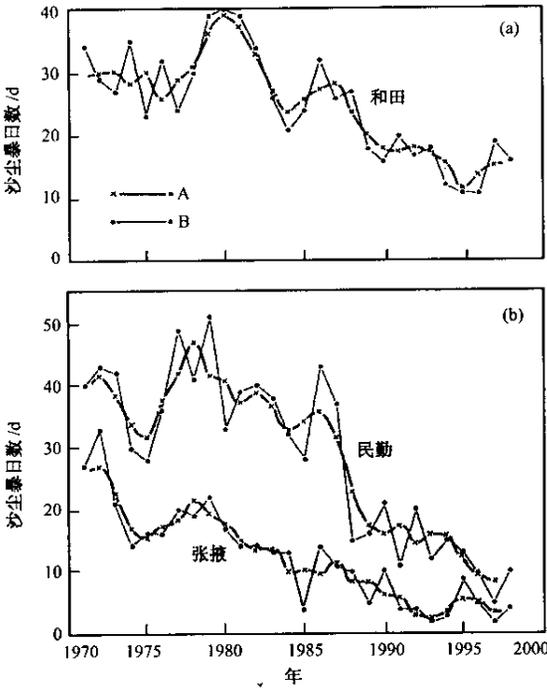


图 5 中国主要台站 1971—1998 年年沙尘暴日数变化 (B 线) 及 3 a 滑动平均 (A 线)<sup>[20]</sup>

Fig.5 Long-term variation in annual number of days with sand-dust storms in China, 1971—1998 (thin line B) and thick line A is three-year running mean<sup>[20]</sup>

### 3 气候转型的前景

气候由暖干向暖湿假说一经提出自然会招致不同意见的怀疑. 有些专家认为在一个小周期观测到的数据, 还不足以说明新疆现在气候正向暖湿转变, 有待于更大范围资料的证实. 本文所说的气候转型是指 20 世纪变暖背景下, 变干趋势结束转向变湿, 降水量的增加将超越变暖导致的潜在蒸发的增加, 出现世纪性的径流增加与湖泊的扩张. 年代际的干湿波动在 20 世纪有相当表现, 21 世纪将继续下去, 如果新疆 1987 年开始丰水期, 在 21 世纪初期又转回 60 年代后半期至 80 年代前半期的干旱状态, 气候转型一词的提出就显得没有意义. 但若 21 世纪相对少水期的降水和径流量达到比 20 世纪少水期高一台阶的水平, 则向暖湿转型可能具有世纪级概念, 就可被承认. 在空间伸展范围上, 若气候转型停留在新疆主要是中国天山西部地区不能向

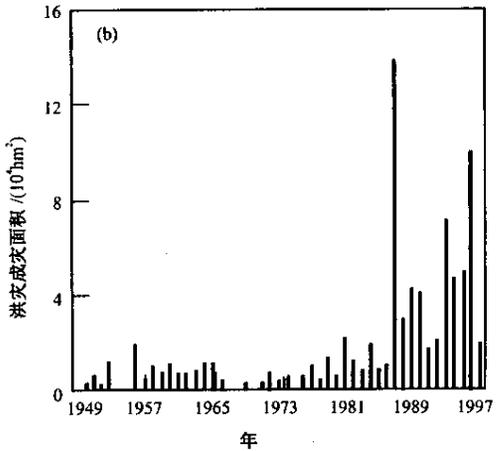
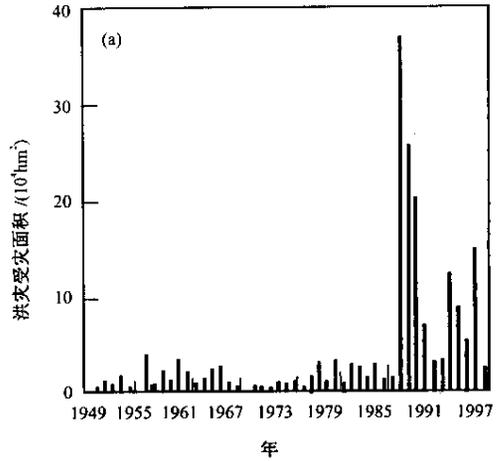


图 6 新疆 1950—1997 年农田洪水灾害受灾面积 (a) 和成灾面积 (b)<sup>[22]</sup>

Fig.6 The flood affected area (a) and damaged area (b) in Xinjiang since 1950<sup>[22]</sup>

东大范围扩展, 转型的意义也就有限, 若能在不太长的时间转型扩展到西北东部以至华北地区, 西向与亚洲中西部联系, 则影响大增, 具有全球意义. 我们不能坐等时间演进出现的实际变化来识别, 以下试从区气候模拟和古气候相似经验两方面来探讨.

#### 3.1 主要依据区域气候模式的综合预测的气候与水资源情景

赵宗慈等引用高学杰等的中国区域气候模式模拟 CO<sub>2</sub> 倍增情况下, 中国西北部升温 2.5 ~ 3.0 °C, 降水增加 20% 以上<sup>[24]</sup>, 另外考虑主要依据太阳黑子周期长短的自然变化, 综合预测新疆、甘肃、青海等省区气温与降水变化参见表<sup>[25]</sup>.

上述模拟中, 气温模拟的可信度较高, 降水模拟的不确定性很大, 如果未来降水变化按偏小的数

表 1 综合预测新疆、甘肃、青海等省区  
气温与降水变化<sup>[25]</sup>

Table 1 Comprehensive projected temperatures and  
precipitations for Xinjiang, Gansu, Qinghai  
and Ningxia Provinces<sup>[25]</sup>

	年代	新疆	青海	甘肃
气温变化/°C	2010	-0.1~0.3	-0.3~0.1	-0.1~0.3
	2030	0.8~1.2	0.8~1.2	0.9~1.3
	2050	1.9~2.3	2.2~2.6	1.9~2.3
降水变化/%	2010	1~21	13~22	3~13
	2030	8~18	9~19	11~21
	2050	4~34	6~15	29~38

值发展在与蒸发平衡后,西北可能更为干旱,如按偏大的数值发展,那就和气候向暖湿转型一致。而大冰川融水增多可能到 2050 年比现在大 50% 左右。根据上述模拟结果,刘春葵等认为:如未来 10~50 a 西北气温升高 2.1 °C,降水增加 14%~27%,未来西北地区径流量呈增加趋势,增幅为几个百分点至十九个百分点,但如降水量仅增加几个百分点,径流将减少<sup>[26]</sup>。赵宗慈等<sup>[25]</sup>还利用 IPCC 2001 报告的 7 个全球气候模式,预测 21 世纪末,西北地区气温可能升温达 2.0~8.5 °C,变暖幅度将大大超过 20 世纪。国外研究者中 Amell 对气候变化与全球水资源关系有较深入研究<sup>[27]</sup>,他引用 HadCM2 与 HadCM3 模拟气候变化情景与 Penman-Monteith 公式计算的潜在蒸发力增加,按水量平衡概念模式推算径流变化。结果按 HadCM2 模拟 2050 年时中国北部绝大部分年径流深增加 0~25 mm·a<sup>-1</sup>,但华北平原可能减少 -25 mm·a<sup>-1</sup> 以内。按 HadCM3 模拟,中国北部 4/5 地区径流增加,其中华北可增 50~150 mm·a<sup>-1</sup>,但塔里木、柴达木盆地仍极干燥。他推算了新疆降水可增加 5%~20%,潜在蒸发力增加 4%~18%,径流增加 -10%~27%;黄河流域降水可增加 15%~20%,潜在蒸发力增加 5%~12%,径流增加 10%~20%。其结论认为 21 世纪中国水资源紧缺程度将较前减轻。

### 3.2 古气候相似支持气候向暖湿转型假说

古里雅冰芯和敦德冰芯分别具有接近 2 000 a 和 400 a 达到 10 a 分辨率的温度(以  $\delta^{18}\text{O}$  代表)和降水(以积累量代表)记录,从中可知冷暖与干湿搭配中,10 a 际变化以冷湿和暖干组合占优势,百年际变化,多数是暖湿与冷干组合,少数是冷湿与暖干搭配,联系到孢粉、湖泊沉积、黄土与古土壤、文

献等记录千年际的变化,大体都是暖期降水多于冷期。古里雅冰芯记录中足以和 20 世纪温暖期相比的只出现在 270 年以前的汉朝,但相应的高降水阶段则延后至 4 世纪转入到了低温阶段才结束<sup>[28]</sup>(图 7)。

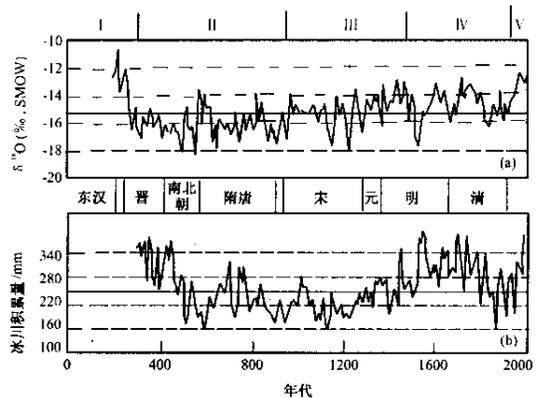


图 7 近 2 000 a 来古里雅冰芯记录的  $\delta^{18}\text{O}$  和积累量(10 a 平均)变化<sup>[28]</sup>

Fig. 7 The  $\delta^{18}\text{O}$  and accumulative amount values recorded in Guliya ice core during last 2000 years<sup>[28]</sup>

与 20 世纪变暖基础上 21 世纪继续大幅度升温促进水循环相当的古气候相似,可举出 3 个阶段,即 2 700~1 700 a BP 左右,6 000~7 200 a BP 和 30 000~40 000 a BP。2 700~1 700 a BP 相当历史上的秦汉暖期,古里雅冰芯曾在 220 年代曾出现  $\delta^{18}\text{O}$  为  $-10.69\text{‰}$  最高值,相当温度高过 2 000 a 平均值的 7 °C,在这个暖期,新疆湖泊发展,河水量大,罗布泊“广轮 400 余里”,有 14 000 人口的楼兰古国在此区域兴起,依据石榴种植推测当时气温比现在高 2 °C<sup>[29]</sup>,甘肃民勤出现称为猪野泽的大湖,有 109 万军民进入鄂尔多斯高原开垦生活<sup>[30]</sup>,司马迁在《史记》中描述“陈夏千亩漆,齐鲁千亩桑麻,渭川千亩竹”,比现代产区显著偏北<sup>[31]</sup>,可见当时的温暖湿润,超过现代偏及于西北、华北。

6 000~7 200 a BP 为全新世大暖期的鼎盛阶段,西北、华北温度比现代高 3 °C 左右,降水量比现代有大幅度增加,内陆区湖泊均呈现高湖面,华北湖泊也有很大发展,沙漠大为萎缩,当时正值仰韶文化时期,农业与人口有很大发展<sup>[32]</sup>。

30 000~40 000 a BP,西风与季风降水都比现在增加很大,玛纳斯湖、艾丁湖、巴里坤湖、古居延海、白碱湖和柴达木都为淡水大湖,据雅布赖山森林线下降值推算,温度比现代高 2~3 °C,降水多 250~350 mm<sup>[33]</sup>,华北也比现代湿润得多<sup>[34]</sup>。

上述 3 例说明,大幅度变暖,水循环加强在西北、华北干旱区与半干旱区,降水增加可超越蒸发上升,使气候转向湿润,即符合于气候向暖湿转型的方向,也与前述中国区域气候模拟中 CO<sub>2</sub> 倍增升温,伴随降水增加 20% 及 Arnell<sup>[27]</sup>对中国西部径流变化推测一致. 若将 20 世纪的升温相伴的变干现象看作是水循环增强对应温度上升的滞后效应,则 21 世纪降水在西北、华北地区先后大幅度增加可能是理所当然的. 但是世纪性气候转型是包含 5 大圈层在内气候系统在全球大幅度变暖动力驱动下的重大调整,可能需要若干年代进行. 在没有具体掌握海洋、大气、陆地以及与冰冻圈、生物圈之间水循环通量与变化过程之前,确切预测气候转型扩大在时间上与空间上变化速度及范围是困难的,不大可能的. 鉴于这个问题在西部大开发的经济、水利设施、洪旱灾害预防、生态环境保育、人民生活改善中的重要性,必须加强对气候、水文、冰川、湖泊、生态和古气候等各方面的监测与集成研究,尽早做出正确预测,为长远规划设计提供科学依据. \ = 致谢:在本文写作准备过程中,得到了李忠勤、杨保、马晓波、丁永建、高前兆、阎顺、魏文寿、穆桂金、张国威、张家宝等同志的帮助,谨此致谢. \ =

### 参考文献(References):

[1] Arnell NW, Liu Chunzhen. Hydrology and water resources [A]. IPCC Report. Climate Change 2001: Impact, Adaptation, and Vulnerability [C]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 194 - 228.

[2] Tucker CJ, Nicholson SE. Variation in the size of the Sahara Desert from 1980—1997 [J]. *Ambio*, 1999, 28(7): 587 - 591.

[3] Zai Panmao, Ren Fumin. Inspection of change trend in rainfall extremum of China [J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 1999, 57(2): 208 - 216. [翟盘茂,任福民. 中国降水极值变化趋势检测 [J]. *气象学报*, 1999, 57(2): 208 - 216.]

[4] Wang Zongtai. The glacier and environment in the middle sector of Tianshan and the eastern sector of Qilianshan since the Little Ice Age [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1991, 46(2): 160 - 168. [王宗太. 天山中段及祁连山东段小冰期以来冰川及环境 [J]. *地理学报*, 1991, 46(2): 160 - 168.]

[5] Yuan Yujiang, Han Shutu. Feature of dry and wet changes for 500 years in the northern of Xinjiang [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1991, 13(4): 315 - 322. [袁玉江, 韩淑. 北疆 500 年干湿变化特征 [J]. *冰川冻土*, 1991, 13(4): 315 - 322.]

[6] Wang Shaowu, Dong Guanrong (eds). Environmental characteristics of Western China and their change [A]. Qin Dahe. Assessment on Environment of Western China, Vol. 1 [C]. Beijing: Science Press, 2002. 49 - 61. [王绍武,董光荣. 中国西部环境特征及其演变 [A]. 秦大河总主编. 中国西部环境演变评估, 第一卷 [C]. 北京: 科学出版社, 2002. 49 - 61.]

[7] Chen Longxun, Shao Yongning, Zhang Qingfen. Preliminary analysis of climatic change during the last 40 years in China [J]. *Quarterly Journal of Applied Meteorology*, 1991, 2(2): 164 - 174. [陈隆勋, 邵永宁, 张清芬. 近四十年我国气候变化初步分析 [J]. *应用气象学报*, 1991, 2(2): 164 - 174.]

[8] Lai Zuming, Ye Baisheng, Zhu Shousen. Runoff change of rivers and their tendency in the northwest China [A]. Shi Yafeng (ed.). *Impact of Climatic Change on the Water Resources in Northwest and North China* [C]. Jinan: Shandong Science and Technology Press, 1995. 95 - 119. [赖祖铭, 叶柏生, 朱守森. 西北河川径流变化及其趋势 [A]. 施雅风. 气候变化对西北华北水资源的影响 [C]. 济南: 山东科学技术出版社, 1995. 95 - 119.]

[9] Shi Yafeng. Glacier recession and lake shrinkage indicating a climatic warming and drying trend in Central Asia [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1990, 45(1): 1 - 13. [施雅风. 山地冰川和湖泊萎缩指示的亚洲中部气候干暖化趋势及未来展望 [J]. *地理学报*, 1990, 45(1): 1 - 13.]

[10] Shi Yafeng. Discussion on climatic change trend in Northwest and North China [A]. Shi Yafeng (ed.). *Impact of Climatic Change on the Water Resources in Northwest and North China* [C]. Jinan: Shandong Science and Technology Press, 1995. 313 - 344. [施雅风. 西北华北气候变化趋势的讨论 [A]. 施雅风. 气候变化对西北华北水资源的影响 [C]. 济南: 山东科学技术出版社, 1995. 313 - 344.]

[11] Yan Zhongwei, Ji Jinjun, Ye Duzheng. Abrupt change of summer climate in the Northern Hemisphere during 1960's—I: variation in precipitation and temperature [J]. *Science in China (Series B)*, 1990, (1): 97 - 103. [严中伟, 季劲均, 叶笃正. 60 年代北半球夏季气候跃变—I: 降水和温度变化 [J]. *中国科学( B 辑)*, 1990, (1): 97 - 103.]

[12] Xu Genghui. Effect of global warming on economic construction and sustainable development in Xinjiang [J]. *Bimonthly of Xinjiang Meteorology*, 1997, 20(5): 1 - 3. [徐羹慧. 全球性气候变暖对新疆经济建设和可持续发展带来了什么 [J]. *新疆气象*, 1997, 20(5): 1 - 3.]

[13] Wang Shunde, Cui Zhaochong, Li Yujie, et al. Formation of flood detention region in the upper and middle reaches of Tarim River and their impact on ecological environment [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002, 24 in press. [王顺德, 崔兆充, 李玉洁, 等. 塔里木河上、中游滞洪区的形成及其对生态环境的影响 [J]. *冰川冻土*, 2002, 24 待刊.]

[14] Hu Ruji, Ma Hong, Fan Zili, et al. Response of water resources to climate change in Xinjiang [J]. *Journal of Natural Resources*, 2002, 17(1): 22 - 27. [胡汝骥, 马虹, 樊自立, 等. 新疆水资源对气候变化的响应 [J]. *自然资源学报*, 2002, 17(1): 22 - 27.]

[15] Hu Ruji, Ma Hong, Fan Zili, et al. The climatic trend demonstrated by changes of the lakes in Xinjiang since recent year [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2002, 16(1): 20 - 27. [胡汝骥, 马虹, 樊自立, 等. 近期新疆湖泊变化所示的气候趋势 [J]. *干旱区资源与环境*, 2002, 16(1): 20 - 27.]

[16] Tursunov AA. Trend of climate change in central Asia [A]. Mahpeer J, Shevrshiki N V. *Impact of Human Action on Water Resources and Environment in Central Asia and Assessment on Snow Cover Resources in Tianshan Mountains* [C]. 乌鲁木齐: Xinjiang Sci - Tech and Public Health Press, 1997. 17 - 19. [图尔苏诺夫 A A. 亚洲中部气候变化的趋势 [A]. 买合皮尔 J, 谢维尔斯基 N V. 人类活动对亚洲中部水资源和环境的影响及天山积雪资源评价 [C]. 乌鲁木齐: 新疆科技卫生出版社, 1997. 17 - 19.]

- [ 17 ]Duosnoyev Sh ,Tursunov AA. The way of rational exploitation on natural resources in Yili - Barkashi regions Mahpeer J ,Shevrshiki N V. Impact of Human Action on Water Resources and Environment in Central Asia and Assessment on Snow Cover Resources in Tianshan Mountains [ C ]. 新疆: Xinjiang Sci - Tech and Public Health Press , 1997. 35 - 42. [ 多斯诺耶夫 Sh ,图尔苏诺夫 A A. 伊犁 - 巴尔喀什地区自然资源的合理利用途径 [ A ]. 买合皮尔 J ,谢维尔斯基 N V. 人类活动对亚洲中部水资源和环境的影响及天山积雪资源评价 [ C ]. 乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社, 1997. 35 - 42. ]
- [ 18 ]Ma Mingguo ,Jiao Yuanmei ,Cheng Guodong. Change in land coverage in Northwest China during the past decade monitoring by NOAA-CHAIN [ J ]. Journal of Glaciology and Geocryology , 2002 , 24 ( 1 ): 68 - 72. [ 马明国,角媛梅,程国栋. 利用 NOAA-CHAIN 监测近 10a 来中国西北土地覆盖的变化 [ J ]. 冰川冻土, 2002 , 24 ( 1 ): 68 - 72. ]
- [ 19 ]Ding Yihui ,Wang Shourong. Generality on Climate and Ecoenvironment in Northwest Region of China [ M ]. Beijing : Meteorological Press , 2001. 25 - 28. [ 丁一汇,王守荣. 中国西北地区气候与生态环境概论 [ M ]. 北京:气象出版社, 2001. 25 - 28. ]
- [ 20 ]Yoshino M. Kosa ( Asia Dust ) related to Asia monsoon system [ J ]. Korea Journal of Atmosphere Science , 2002 , 35 ( 5 ): 93 - 100.
- [ 21 ]Zhang Jiabao. Climate Change in Xinjiang [ Z ]. 新疆: Xinjiang , 2002, Manuscript. [ 张家宝. 新疆气候变化 [ Z ]. 新疆 乌鲁木齐, 2002, 待刊稿本. ]
- [ 22 ]Jiang Fengqing ,Zhu Cheng ,Mu Guijin , et al . Recent magnification of flood and drought calamities in Xinjiang : an analysis of anthropogenic effects [ J ]. Acta Geographica Sinica , 2002 , 57 ( 1 ): 57 - 66. [ 姜逢清,朱诚,穆桂金,等. 当代新疆洪旱灾害扩大化:人类活动的影响分析 [ J ]. 地理学报, 2002 , 57 ( 1 ): 57 - 66. ]
- [ 23 ]He Hui . Analysis on variation tendency of rivers in Xinjiang on the basis of flood of Yarkant River and Kezi River in 1999 [ J ]. Bimonthly of Xinjiang Meteorology , 2001 , 24 ( 6 ): 18 - 20. [ 何慧. 从 1999 年叶尔羌河和克孜河洪水看新疆河流水情变化趋势 [ J ]. 新疆气象, 2001 , 24 ( 6 ): 18 - 20. ]
- [ 24 ]Gao Xuejie , Zhao Zongci , Ding Yihui , et al. Climate change due to greenhouse effects in China as simulated by regional climate model [ J ]. Advance in Atmosphere Science , 2001 , 18 : 224 - 230.
- [ 25 ]Zhao Zongci , Gao Xuejie , Tang Maocang , et al. Prediction of climate change [ A ]. Ding Yihui ( ed. ). Prediction of Environmental Change in Western China. Qin Dahe. Assessment on Environment of Western China , Vol. 2 [ C ]. Beijing : Science Press , 2002. 16 - 46. [ 赵宗慈,高学杰,汤懋苍,等. 气候变化预测 [ A ]. 丁一汇主编. 中国西部环境变化的预测. 秦大河总主编. 中国西部环境演变评估,第二卷 [ C ]. 北京:科学出版社, 2002. 16 - 46. ]
- [ 26 ]Liu Chunzhen , Shi Yafeng , Tang Qicheng , et al. Prediction of hydrology and water resources [ A ]. Ding Yihui ( ed. ). Prediction of Environmental Change in Western China. Qin Dahe. Assessment on Environment of Western China , Vol. 2 [ C ]. Beijing : Science Press , 2002. 47 - 93. [ 刘春臻,施雅风,汤奇成,等. 水文水资源变化预测 [ A ]. 丁一汇主编. 中国西部环境变化的预测. 秦大河总主编. 中国西部环境演变评估,第二卷 [ C ]. 北京:科学出版社, 2002. 47 - 93. ]
- [ 27 ]Arnell N W. Climate change and global water resources [ J ]. Global Environmental Change , 1999 , 9 ( 5 ): 31 - 49.
- [ 28 ]Shi Yafeng , Yao Tandong , Yang Bao. Decadal climatic variations recorded in Guliya ice core and comparison with historical documentary data from East China during the last 2000 years [ J ]. Science in China ( Series D ) , 1999 , 42 ( Suppl. ) : 91 - 100.
- [ 29 ]Li Jiangfeng. Climate of Xinjiang [ M ]. Beijing : Meteorological Press , 1991. 1 - 287. [ 李江风. 新疆气候 [ M ]. 北京:气象出版社, 1991. 1 - 287. ]
- [ 30 ]Xu Guochang , Yao Hui , Li Shan . Climate Change in Arid and Semi - arid Land of China [ M ]. Beijing : Meteorological Press , 1997. 1 - 101. [ 徐国昌,姚辉,李珊. 中国干旱半干旱区气候变化 [ M ]. 北京:气象出版社, 1997. 1 - 101. ]
- [ 31 ]Zhu Kezhen . Preliminary study on climatic change during last five thousand years in China [ J ]. Acta Archeologica Sinica , 1972 , 1 ( 1 ): 15 - 38. [ 竺可桢. 中国近五千年来气候变迁的初步研究 [ J ]. 考古学报, 1972 , 1 ( 1 ): 15 - 38. ]
- [ 32 ]Shi Yafeng , Kong Zhaochen , Wang Sumin , et al. Climate and environments of the Holocene Megathermal Maximum in China [ J ]. Science in China ( Series B ) , 1993 , 37 ( 4 ): 481 - 493.
- [ 33 ]Ma Yuzhen , Zhang Hucai , Li Jijun . On the evolution of the palynoflora and climatic environment during late Pleistocene in Tengger Desert , China [ J ]. Acta Botanica Sinica , 1998 , 40 ( 9 ): 871 - 879. [ 马玉贞,张虎才,李吉均. 腾格里沙漠晚更新世孢粉植物群与气候环境演变 [ J ]. 植物学报, 1998 , 40 ( 9 ): 871 - 879. ]
- [ 34 ]Shi Yafeng , Yu Ge . Warm - humid climate and transgressions during 30 - 40 ka BP and the potential mechanisms [ J ]. Quaternary Science , 2002. in press. [ 施雅风,于革. 30 ~ 40 ka BP 中国暖湿气候和海侵的特征与成因探讨 [ J ]. 第四纪研究, 2002. 待刊. ]

## Preliminary Study on Signal , Impact and Foreground of Climatic Shift from Warm-Dry to Warm-Humid in Northwest China

SHI Ya-feng<sup>1</sup> , SHEN Yong-ping<sup>1</sup> , HU Ru-ji<sup>2</sup>

( 1. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute , Chinese Academy of Science , Lanzhou Gansu 730000 , China ;

2. Xinjiang Institute of Ecology and Geography , Chinese Academy of Science , ■rümqi Xinjiang 830011 , China )

**Abstract** : A rapid , high-amplitude global climatic warming would speed global water cycle and strengthen rainfall and evaporation. Climatic warming and drying course were dominated in past about 100 years since the end of Little Ice Age in Northwest China. The strong signals of climatic shift to warm humid pattern have been appearing in the western part of Chinese Tianshan Mountains and neighborhood regions including Northern Xinjiang since 1987. Precipitation , meltwater of glacier and runoff of rivers increase continuously , and results in lake level rising , flood damaged magnification and intensified , vegetation coverage extending and dust storm weaken in western parts of Northwest China. In the other areas of Xinjiang , and the middle and western section of Qilian Mountains , the precipitations and runoff of rivers have also an increasing

tendency. How is the foreground of climatic shift to warm humid conditions , it is just restricted to decadal fluctuation , or possibility to century scale shift trend , and is just limited to western Tianshan or could extend and/or wholly Northwest China down to North China ? Using the results of regional climatic model simulation from IPCC and China Assessment Report published , predicting river runoff regime and similar paleoclimate scenarios for the Northwest China are analysed and discussed , and the trend of shifting warm humid climate can be fixed in recent future. However , uncertain of projected results remain , and rating and magnitude of climatic shift extending in temporal and spatial scales can not at present be projected in detail and in being exactitude.

**Key words** : climatic shift ; signal ; impact ; foreground ; Northwest China