

西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初探

Signal, Impact and Outlook of Climatic Shift from Warm - Dry to Warm - Humid in Northwest China

施雅风¹ 沈永平²

(中科院寒区旱区环境与工程研究所,中科院院士¹;研究员² 兰州 730000)

全球大幅度变暖,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^[1]。据 Tucker 与 Nicholson 称,他们应用卫星数据和地面降雨资料认定,1984 年是撒哈拉萨赫勒地区本世纪中最干旱的一年,这一年其植被指数最低,沙漠扩展到 9 980 000km²;1985~1997 年情况有所改善,1997 年年降雨量低于 200mm 的沙漠面积减少为 8 930 000km²,即减少了 12%。这与媒体报道撒哈拉沙漠年复一年向南扩展正恰相反^[2]。近年我国西部特别是西北部降水量增长趋势明显^[3],但在与蒸发增长平衡后,西北气候是否已确实出现由暖干向暖湿转变迹象,仍需要具体深入探讨。

一、西北气候由暖干向暖湿假说的提出

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 100a 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℃,而年降水量则减少 50~65mm 和 70~85mm^[4]。新疆树木年轮研究指示,1920~1978 年间降水负距平达 -11.8%^[5]。近 50a 实测记录,我国西部以 0.2℃/10a 趋势升温,特别是 20 世纪 80~90 年代升温迅速,近 50a 新疆北部升温更高达

1.4℃^[6],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)却不明显^[7],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^[8]。青海湖水位从 1908 年的海拔 3 205m 变至 1986 年的海拔 3 193.78m,下降了 11.22m,更明确地揭示了暖干趋势^[9]。加上灌溉用水的增加,西北所有内陆湖泊呈现大幅萎缩趋势,尽管其间有年代的干湿波动,但 20 年代的大旱和 60 年代的变干具有北半球全球性质^[10]。严中伟等指出 20 世纪 60 年代从北非经印度西北部,到中国、日本宽阔的变干带的南北,各有一降水增加带存在^[11]。

2. 20 世纪末出现由暖干向暖湿转型的信号

80 年代后期新疆气候开始出现变干中止而趋向变湿的记录,主要是从位于盆地边缘绿洲中的气象观测站测到的。1987~1996 年间北疆平均年降水达 229mm,比前两个 10a(1967~1976 年,1977~1986 年)分别增加 16.2%和 18.0%;南疆平均年降水达 95mm,比前两个 10a 增加 23.2%与 30.1%^[12],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 $101.54 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[13];天山北坡玛纳斯河径流量 90 年代也有突出增加^[14]。在山区径流大幅度增加条件下,若干湖泊从多年水位下降情况下,超越灌溉用水及蒸发的耗水增加,均转为湖面上升扩大,其中最显著的是中天山博斯腾湖。该湖在每年向孔雀河输水数亿方情况

2. 质量方面 由于采用了地下气化新工艺,地下水煤气与空气煤气中 H₂ 含量显著提高。若在地面再将地下水煤气中 CO 与 CH₄ 转换为 H₂,则 H₂ 含量可达 75%以上。

3. 规模化生产是新工艺能否走上产业化道路最重要的先决条件 目前尚无成熟的 H₂ 的大规模生产方法,而两阶段地下气化的特优产品是高含氢的地

下煤气,可用于提取不同纯度的 H₂。它使得大规模廉价制氢成为可能,这必将加速我国氢能的开发利用。这条技术路线将有助于彻底解决我国人口、资源环境协调发展的问题;而煤变油的技术路线,是不能彻底解决矿物燃料对大气污染的问题的。因此,我们必须尽快利用地下气化技术实现煤炭资源商业化的清洁生产与利用。(责任编辑 肖庆山)

下,在1987~2000年间水位仍上升了3.5m,达到1956年丰水期水位高度,湖泊面积也由880km²,增加到1000km²。补给该湖的开都河焉耆站径流量呈快速增长,由1987年的 $28.15 \times 10^8 \text{ m}^3$,连年增加至2000年 $41.4 \times 10^8 \text{ m}^3$,成为博斯腾湖水位上升的直接原因^[15]。天山西段北麓的艾比湖1950~1987年间,湖泊面积自1070km²收缩至800km²,其后补给径流又呈快速增加,到2000年湖面积增长至800km²^[15]。再如吐鲁番盆地的艾丁湖、西天山的赛里木湖,水面均有不同程度的扩大,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的干枯原因虽和气候变干有关,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10多年的降水径流增加,均超过了蒸发与人为用水增加。这迫使我们考虑气候已从暖干向暖湿转型;而天山西部更是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。此外,亦有零碎讯息传来,中亚咸海与巴尔喀什湖水位出现上升,如咸海水位于70~80年代急剧下降,后因阿姆河、锡尔河水量增加,1994年起,又开始缓慢上升^[16];巴尔喀什湖水位于1987年较70年代初下降了2.5m,1988年接纳河水增加,水面抬升了69cm^[17]。但是东北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也还在继续减少。

3. 由暖干向暖湿转型的影响

气候转型降水量增多地区,已显现出植被繁茂生长的景像,我们在旅行中可以看到这些地区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、伊利河流域、新疆北部、青海南部等地区近10年来却出现了植被覆盖明显增加的趋势^[18]。植被改善有利于降低沙尘暴的发生。据乌鲁木齐、和田、七角井、兰州、张掖、民勤、西宁、银川、延安7个地点的不同年代统计,90年代(1991~1998)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44.3d、30.5d、39.3d和30.7d,而90年代只11.8d;张掖前4个年代分别为18.6d、21.6d、20.3d、10.8d,而90年代激减为4.1d;和田前4个年代分别为36.1d、32.5d、31d、26d,90年代降为15.6d^[19]。日本学者Yoshino的分析也获得同样的结果^[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年代对比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的大风的减少显然与全球变暖大背景中高纬度升温幅度大于中低纬度径向气压梯度的降低有关。

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。据统计,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 492.96×10^4 人和 513.80×10^4 人。洪灾损失最大年份是1996年,损失达 48.28×10^8 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,并导致多处山体滑坡。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高位洪水,叶尔羌河出现10多年来未有的冰湖溃决大洪害,卡群站洪峰流量达 $6070 \text{ m}^3/\text{s}$,是历史上第二位大洪水^[23],总计新疆全区损失在 30×10^8 元以上。由于缺乏山区水库调蓄洪水,大量宝贵水资源白白流失,甚为可惜。

二、气候转型的前景

气候由暖干向暖湿的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1个小周期内观测到的数据,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,开始转向变湿,降水量的增加将超越变暖导致的潜在蒸发的增加,以致出现世纪性的径流增加与湖泊扩张。年代际的干湿波动在20世纪有相当表现,21世纪势将继续下去,如果新疆1987年开始丰水期,而在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,提出气候转型的假说就显得没有意义。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,若气候转型仅停留在新疆天山西部地区,不能向东大范围扩展,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,并西向与亚洲中西部联系,则影响将大增,就具有全球意义。我们显然不能坐等时间演进,待实际变化全显现出来了,才来识别。以下试从区气候模拟和古气候相似经验两方面来探讨这一问题。

1. 主要依据小区域气候模式综合预测的气候与水资源情景

丁一汇、赵宗兹等^[19]引用高学杰等的中国区域气候模式模拟CO₂倍增情况下,我国西北部将升温2.5~3.0℃,降水将增加20%以上^[24],并又依据太阳黑子周期长短的自然变化,综合预测了新疆、甘

肃、青海等省区气温与降水的相关变化(表 1)^[25]。

表 1 综合预测新疆、甘肃、青海等省区气温与降水变化

	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

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值发展,再与蒸发平衡后,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相一致了。而大冰川融水增多,到 2050 年可能比现在大 50 %左右。根据上述模拟,刘春葵等认为:如未来 10~50a 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 19 个百分点;但如降水量仅增加几个百分点,则径流将减少^[26]。丁一汇、赵宗兹等^[19]还利用 IPCC 2001 报告的 7 个全球气候模式,预测 21 世纪末西北地区可能升温 2.0~8.5 °C,变暖幅度将大大超过 20 世纪。

国外研究者中,N. W. Arnell 对气候变化与全球水资源关系有较深入研究^[27],他引用 HadCM2 与 HadCM3 模拟气候变化情景,用 Penman - Monteith 公式计算潜在蒸发力的增加,并按水量平衡概念模式推算径流变化。结果按 HadCM2 模拟,2050 年时我国北部绝大部分年径流将增加 0~25mm/ a,但华北平原可能减少 25mm/ a 以内。按 HadCM3 模拟,我国北部 4/ 5 地区径流增加,其中华北可增 50~150mm/ a,但塔里木、柴达木盆地仍极干燥。他推算出新疆降水可增加 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 %。他的结论是:21 世纪中国水资源紧缺程度将较前减轻。

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 000a 和 400a 达到 10a 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,10a 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公元 270 年前的汉朝,但相应的高降水阶段则延后至 4 世纪转入了低温阶段时才告结束^[28]。

在 20 世纪变暖基础上 21 世纪继续大幅度升温并促进水循环,这一可能走势,亦有相似的古气候过

程可作对比。在此,可举出 3 个阶段,即 2700~1700a BP 左右,6 000~7 200a BP 和 30 000~40 000a BP。2700~1700a BP 相当历史上的秦汉暖期,古里雅冰芯曾在公元 220 年代出现 $\delta^{18}\text{O}$ 为 - 10.69 %最高值,相当温度高过 2 000a 平均值的 7 °C。在这个暖期,新疆湖泊发展、河流水量大,罗布泊“广轮 400 余里”,且有 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 1~2 °C^[29]。甘肃民勤也曾出现称为猪野泽的大湖,有过 109 万军民进入鄂尔多斯高原开垦、生活^[30]。司马迁在《史记》中曾描述过“陈夏千亩漆,齐鲁千亩桑麻,渭川千亩竹”的景象,比现代产区显著偏北^[31]。可见当时的温暖湿润,远超过现代,且偏及于西北、华北。6 000~7 200a 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^[32]。30 000~40 000a BP,西风与季风降水都比现在大很多,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,根据雅布赖给出的森林线下降值推算,温度比现代高 2~3 °C,降水多 250~350mm^[33],华北也比现代湿润得多^[34]。

上述 3 例,说明由于大幅度变暖、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,此正符合于当前气候向暖湿方向的转型,也与前述中国区域气候模拟中 CO_2 倍增 20 %及 Arnell^[27]对中国西部径流变化推测一致。若将 20 世纪的与升温相伴的变干现象看作是水循环增强对应于温度上升的滞后效应,则 21 世纪在西北、华北地区降水将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五大圈层在内的气候系统在全球大幅度变暖动力驱动下的一种重大调整,可能需要若干年代进行、完成。在没有具体掌握海洋、大气、陆地以及冰圈、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的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、生态环境保护、人民生活改善等方面的重要性,笔者认为应大力加强对气候、水文、冰川、湖泊、生态和古气候等各方面的监测与集成研究,力争尽早做出正确预测,为长远规划设计提供科学依据。

参考文献

[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] 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] 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] 袁玉江, 韩淑缙. 北疆 500 年干湿变化特征[J]. 冰川冻土, 1991, 13(4): 315-322
- [6] 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] 陈隆勋, 邵永宁, 张清芬. 近 40 年我国气候变化初步分析[J]. 应用气象学报, 1991, 2(2): 164-174
- [8] 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] 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)
- [10] 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] 严中伟, 季劲均, 叶笃正. 60 年代北半球夏季气候跃变: 降水和温度变化[J]. 中国科学 (B 辑), 1990, (1)
- [12] 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] 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] 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] 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)
- [16] 图尔苏诺夫 AA. 亚洲中部气候变化的趋势 [A]. 买合皮尔 J, 谢维尔斯基 NV. 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] 多斯诺耶夫 Sh, 图尔苏诺夫 AA. 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 NV. 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] 马明国, 角媛梅, 程国栋. 利用 NOAA - CHAIN 监测近 10 年来中国西北土地覆盖的变化 [J]. 冰川冻土, 2002, 24(1): 68-72
- [19] 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, 5(5): 93-100
- [21] 张家宝. 新疆气候变化 [Z]. 乌鲁木齐, 2002
- [22] 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)
- [23] 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: 1224-1230
- [25] 赵宗慈, 高学杰, 汤懋苍, 等. 气候变化预测 [A]. 丁一汇. 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] 同上, 47-93
- [27] Arnell NW. 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(5): 303-312
- [29] 李江风. 新疆气候 [M]. 北京: 气象出版社, 1991
- [30] 徐国昌, 姚辉, 李姗. 中国干旱半干旱区气候 [M]. 北京: 气象出版社, 1997
- [31] 竺可桢. 中国近 5 000 年来气候变迁的初步研究 [J]. 考古学报, 1972, 2(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] 马玉贞, 张虎才, 李吉均. 藤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)
- [34] 施雅风, 于革. 30-40ka 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

(责任编辑 蔡德诚)

科技动态

造假者无法复制的防伪塑料标签

据英《新科学家》2002 年 11 月 2 日报道: 为了防止造假者复制防伪标志, 法国的 Novatec 公司研究出一种无法复制的防伪标签。这种防伪标签不仅可以用于服装, 也可在手表、CD 光盘或电子产品中使用, 效果和纤维产品一样好。

这种防伪标签是用一种直径在 1~10 毫米之间的 Prooflags 塑料片制造的。制造时, 当塑料冷却时, 其中形成不规则的气泡, 每个标签形成的气泡图型绝不会相同 (两

个标签形成完全相同的气泡图形的概率只有 10 的 40 次方分之 1), 然后将制出的每个标签的气泡图型和标签的序号一起记录在数据库中。消费者和执法部门只要简单地将一件特别的产品标签与数据库中的气泡图型进行对比就知分晓。

这种新式塑料标签也可以用来鉴别护照、酒类甚至银行票据。Novatec 公司说, 这种标签的保密取决于数据库能否保密。

(刘先曙)