

文章编号: 1000-0240(2003)02-0135-08

中国西北现代气候变化事实与未来趋势展望

李栋梁¹, 魏 丽¹, 蔡 英¹, 张存杰²,
冯建英², 杨 青³, 袁玉江³, 董安祥²

(1. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. 中国气象局 兰州干旱气象研究所, 甘肃 兰州 730020;
3. 中国气象局 乌鲁木齐沙漠气象研究所, 新疆 乌鲁木齐 830002)

摘 要: 利用西北地区建站至 2000 年常规气象观测站资料及美国 NCEP/NCAR 再分析全球网格点资料, 分析了西北地区现代气候变化的特点, 揭示了西北地区气候由暖干转向暖湿的事实. 在此基础上对未来几十年气候变化趋势作了初步估计.

关键词: 中国西北地区; 气候变化事实; 暖干; 暖湿; 气候转型; 预测

中图分类号: P467 **文献标识码:** A

1 引言

气候变化一直受到广泛关注, 尤其是气候变化中的突变与转型. 中国西北地区深居内陆, 高山环绕四周, 海洋暖湿气流难以到达, 干旱和半干旱是这一地区的基本气候特点. 干旱地区主要位于内陆河流域, 半干旱主要分布于黄河流域. 干旱内陆河流域的平原区年降水量在 200 mm 以下, 但流域内分布着若干高大山系, 对空中水汽的拦截和抬升作用使得山区降水多在 400 mm 以上, 高山上发育了众多的冰川和积雪, 形成干旱区中的“湿岛”与“高山水塔”; 发育于山区的河流, 在山前平原形成了大片绿洲. 半干旱区主要在黄土高原, 这里的年降水量在 250~600 mm, 其特点是少而不稳, 年际变化大, 自然灾害频繁. 在西北地区, 不管是干旱区, 还是半干旱区, 农业可持续发展和生态环境保护的核心问题是水. 不管是河水, 还是地下水, 都来自大气降水. 大气降水量与大气环流及水汽源汇有关. 全球变化和人类活动对区域环境和气候变化的影响, 对区域性水循环和水平衡的影响制约着水资源可利用量及其变化, 制约着生态环境的演变, 从而制约着地区经济的可持续发展^[1].

全球变暖对我国西北地区的影响主要表现在十几年来西北大部分地区气候环境悄然发生重大变化, 出现了降水与径流增加, 冰川消融加速, 湖泊水位上升, 大风与沙尘暴日数减少, 植被有所改善等现象. 针对这些现象, 施雅风等^[2, 3]捕捉到了这些现象之间的关联, 并提出了西北气候可能正由暖干向暖湿转型的科学推断. 这一问题的提出不仅在学术上、而且对我国西部生态环境与社会经济等诸多方面均具有重大的现实意义和深远的战略意义. 本文针对这一问题, 利用西北地区尽可能多的气候资料, 进一步研究其气候变化的规律, 揭示气候转向暖湿的更多事实. 并对未来几十年气候变化趋势作一初步预测.

2 西北地区现代气候变化事实

2.1 西北大部分地区持续变暖

近 40 a 来, 西北地区气候存在着明显变暖的趋势. 1990 年代与 1960 年代相比(图 1), 西北地区 128 个站平均气温偏高了 0.7 °C. 其中, 除了新疆库车偏低 0.1 °C 外, 其余各站均不同程度的存在偏高趋势; 偏高幅度 ≥ 0.7 °C 的有 105 个站, 占 82%. 20 世纪 90 年代西北地区年平均气温为 6.8 °C, 与

收稿日期: 2002-11-20; 修订日期: 2003-01-20

基金项目: 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: 李栋梁(1957—), 男, 甘肃通渭人, 研究员, 1995 年在南京气象学院获硕士学位, 主要从事气候变化和预测、环境动力学等的研究. E-mail: lidl@ns.lzb.ac.cn

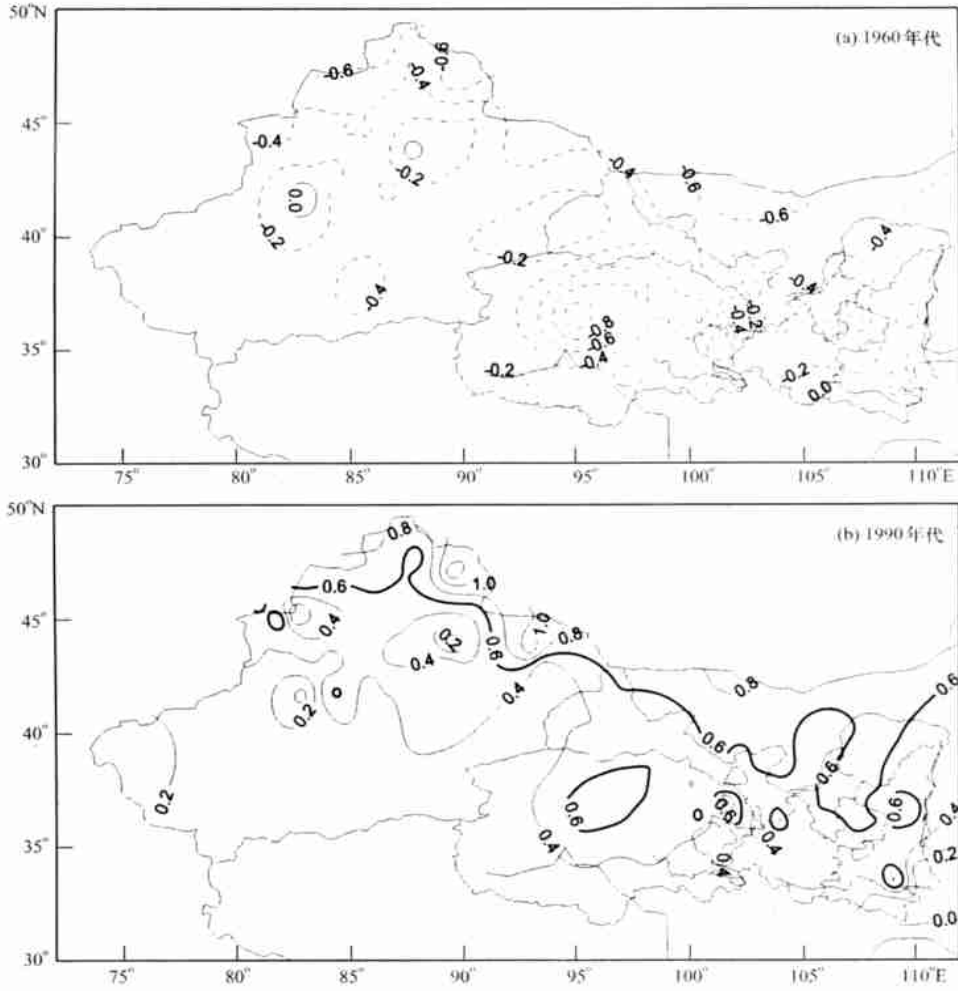


图 1 中国西北地区不同年代平均气温距平

Fig. 1 Decadal-mean temperature anomalies of 1960's(a) and 1990's(b) in the northwest of China

60年代、70年代和80年代相比,分别偏高了0.8、0.7和0.5℃.这不仅是近100a来的最暖期,也是IPCC(2001)报告认定的近1000a来的最暖时期.

西北地区地域辽阔、地形复杂,各地的变暖程度并不完全一致.气候变暖的地区主要在新疆北部、西北东部以及青海东北部.1987—2000年平均气温与1961—1986年平均气温的差值^[4],新疆北部和西北东部以及青海东部的偏高幅度大都在0.8℃以上.从参加统计的站点来看,新疆北部是变暖最为明显的地区,其中富蕴的偏高幅度达到1.7℃;西北东部以及青海东北部的大部分地区气温偏高的幅度也在0.8~1.3℃之间.变暖的季节主要是在冬季.90年代与多年平均值相比,北疆地区冬季平均气温偏高了1.6℃,南疆地区偏高了1.2℃,天山山区偏高了0.9℃,而其它季节气温偏高幅度则远不如冬季.

2.2 西北地区西湿东干

20世纪80年代和90年代全球中高纬度大陆大部分地区降水量明显增加,亚洲干旱半干旱区范围缩小;西北地区西部,包括新疆大部、祁连山区、河西走廊,降水量明显增加.新疆和河西走廊自70年代中期开始增加,祁连山自80年代中期开始增加.图2给出西北地区1987年—2000年与1961—1986年降水量平均距平百分率之差(平均值采用1961—2000年,下同).可以看出,北疆地区年降水量平均偏多了22%;南疆地区增加了33%;天山山区增加了12%,祁连山区、河西走廊以及青海高原的部分地区增加幅度在10%~20%之间.图3(a)给出新疆3站平均年降水量变化曲线.可以看出,自1961年至2000年降水量的增加趋势非常明显.西北地区东部包括甘肃河东、青海东部、宁夏和陕西的季风边缘区,自80年代中期开始降水

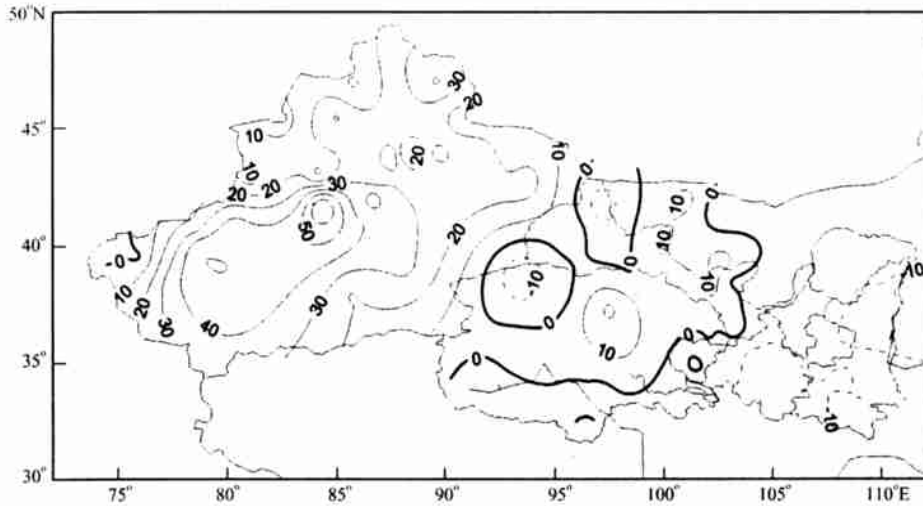


图 2 西北地区 1987—2000 年与 1961—1986 年降水量平均距平百分率之差

Fig. 2 Difference of percentage of precipitation anomaly in the Northwest of China between 1987—2000 and 1961—1986

持续偏少, 1990 年代降水量减少最为明显, 干旱频繁发生. 天水本属于湿润半湿润地区, 多年平均降水量 540 mm, 1960 年代年平均降水量达 600 mm 以上, 进入 1990 年代已下降到不足 400 mm (图 3b).

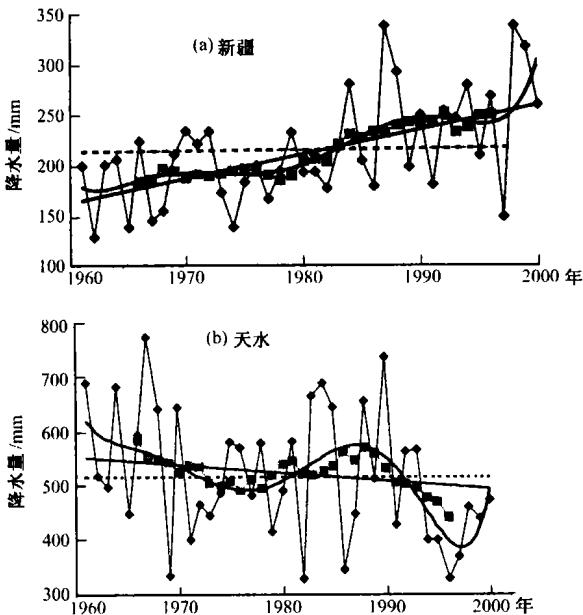


图 3 西北地区代表站年降水量变化曲线

Fig. 3 Precipitation annual variation at Xinjiang and Tianshui

近 40 a 来西北西部(主要是新疆)的气候明显变湿, 而西北东部则呈现变干的趋势. 宋连春等^[3]研究发现, 西北西部降水量偏多主要表现在冬季和夏季, 但秋季降水是偏少的. 1990 年代与多年平均

相比, 北疆地区降水偏多主要是在冬季和夏季, 分别偏多了 30% 和 22%, 春季只偏多 4%, 而秋季则偏少 4%; 南疆地区降水偏多主要表现在冬季、春季和夏季, 分别偏多 45%、33% 和 28%, 秋季偏少 3%; 天山山区冬季降水偏多的幅度最大, 为 24%, 其次是夏季偏多 16%, 春季只偏多不到 2%, 而秋季偏少 11%.

西北地区地域辽阔, 气候变化的空间差异性很大. 西部气候向暖湿转型的事实明显, 这种转型在空间上有多大范围, 波及到哪些地方. 为了解这一情况, 图 4 给出利用新疆 3 站 10 a 滑动平均的年降水量与全国 700 个气象站同期 10 a 滑动平均年降水量计算的相关系数. 可以清楚地看到, 新疆全部、青藏高原部分地区、东北以及华东为正相关, 即这些地区的降水量至少在年代际尺度上与新疆保持较好的一致性. 在西北地区东部、黄河中下游、华北、华南西部则表现为明显的负相关, 1990 年代降水量仍然在减少.

2.3 沙尘暴日数呈明显减少趋势

图 5 是 1964—1998 年北方多年平均的年沙尘暴(包括弱沙尘暴在内)日数图. 民勤、和田、伊克乌素、拐子湖和朱日和的年平均沙尘暴日数分别为 28、26、17、29 及 9 d; 且河西走廊、南疆盆地南缘及内蒙古巴音毛道—吉兰泰—伊克乌素一线的年平均沙尘暴日数都在 10 d 以上.

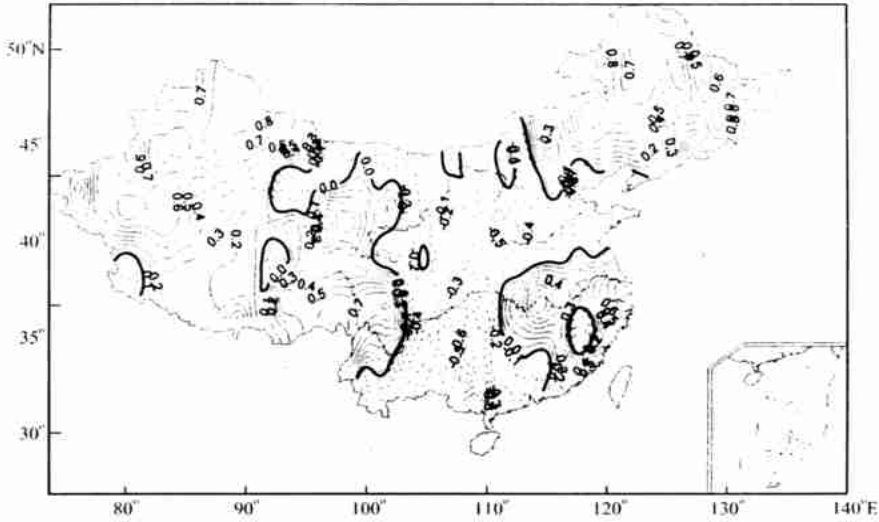


图 4 北疆 3 站 10 a 滑动平均降水量与全国同期降水量的相关系数

Fig. 4 Correlation of the 10-year running mean precipitation at three stations in north of Xinjiang to the precipitation of all China

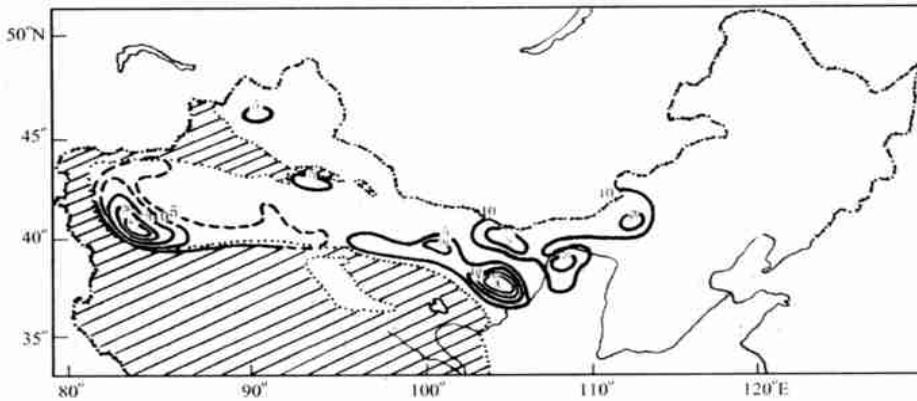


图 5 1964—1998 年北方多年平均年沙尘暴(包括弱沙尘暴在内)日数

Fig. 5 Annual number of sand storm days including weak sand storm averaged from 1964 to 1998

西北地区随着气候由暖干向暖湿转型, 年沙尘暴也迅速减少。从 1960 年代和 1990 年代平均年沙尘暴日数相对多年平均距平看出(图 6), 1960 年代西北地区大部分地方(除青海南部外)年沙尘暴日数偏多, 主要偏多中心在南疆西部、河套西部, 比多年平均偏多 10 d 以上, 即偏多 30%; 1990 年代西北大部分地方(除青海东南部外)年沙尘暴日数偏少, 主要偏少中心与 1960 年代偏多的位置相吻合, 偏少也在 10 d 以上, 即偏少 30%。两个年代相差 20 d, 占多年平均日数的 60%。西北地区年沙尘暴日数的年代际变化与中国北方的演变趋势基本一致^[6, 7]。

2.4 大气环流与空中水汽的变化

图 7 所示为利用美国 NCEP/NCAR 再分析资料计算的冬季(1 月)、夏季(7 月)500 hPa 高度场和风场 1987—1999 年与 1961—1986 年两个时段相对于 1970—1999 年平均的距平差, 分析欧亚范围内大气环流和空中水汽的年代际差异。

冬季(1 月, 图 7a), 20 世纪 60—80 年代中期以前, 乌拉尔山及其以东的西西伯利亚为一个高度正距平中心(即乌拉尔山高压脊偏强偏东), 日本海为负距平中心(东亚大槽加强), 中国西北地区的西北风比正常年偏大, 冷空气强, 气温低, 不利于降水。80 年代中期至 90 年代, 在乌拉尔山及其以东的负距平与日本海—华北北部的正距平分布形势下,

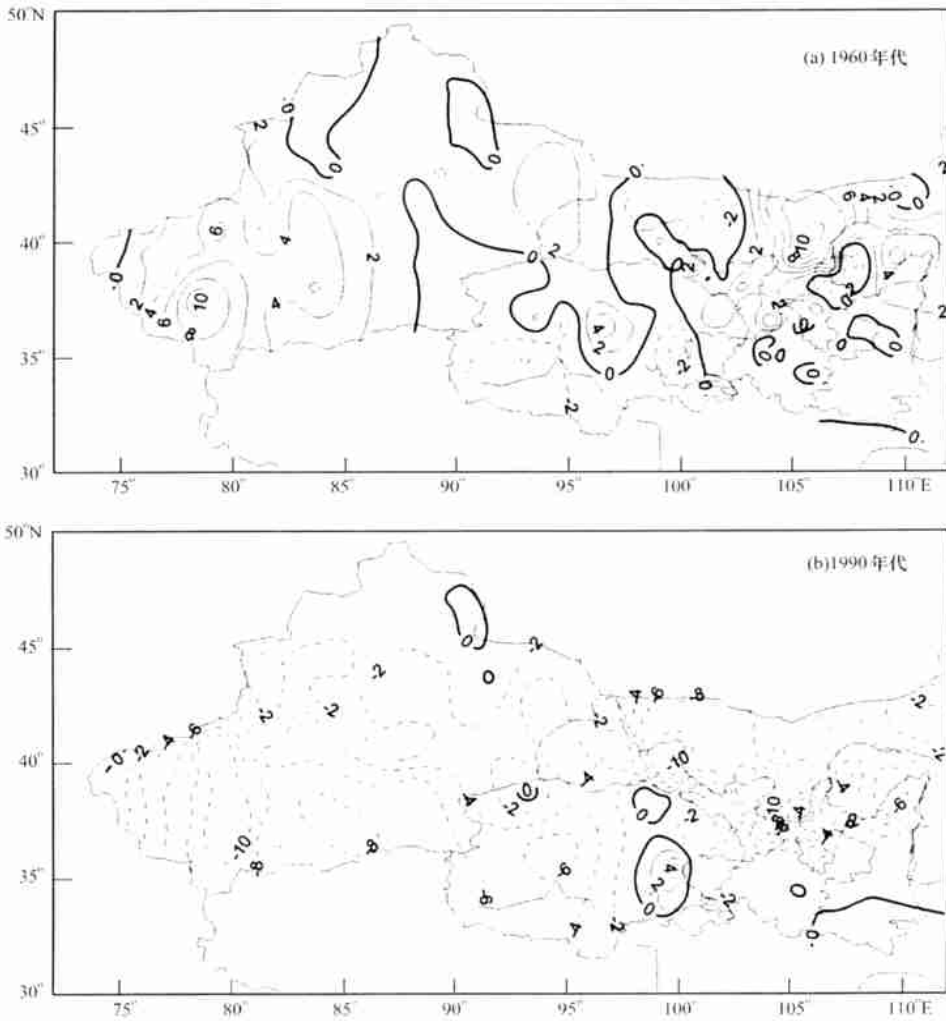


图 6 中国西北地区不同年代平均沙尘暴日数距平
 Fig. 6 Anomaly of the number of sand storm days in the northwest of china

中国西北地区西风偏弱，南风偏强，有利于源自印度洋及西太平洋的南方水汽向北输送，西风输送的水汽也在增强，有利于凝结降水。显然，水汽增多和海洋变暖、蒸发旺盛有关。

夏季(7月，图7b)，随着西风急流北移和副热带高压的北进，中国北方处在平直西风气流控制下。1960—1970年代巴尔喀什湖到我国西北地区为一宽大的高度负距平区，中心在新疆北部的西伯利亚，致使夏季气温偏低、降水偏少，100°E以东南风偏强、降水偏多；1980—1990年代，在80°~120°E中纬度为一个高压维持，而在盐海—巴尔喀什湖为低槽维持，来自印度洋的水汽给新疆和西北地区带来降水。相反在华北，其上空位于高空高压脊和日本上空低槽之间，盛行偏北风，夏季风不容易到达华北，造成华北少雨。

相比，无论冬夏新疆地区，特别是北疆和南疆西部，南风分量偏强，有利于水汽由南向北输送，并凝结降水。这可能是新疆80年代后期以来降水量增多的原因之一。

在水汽变化比较大的几个区(北疆、南疆、河西、河东区)选取均匀分布的5个代表站就近的NCEP格点值的平均来代表该区平均的可降水量，分析各区可降水量的年际变化特征(图略)。新疆自1960年代到1980年代中期，总的趋势是在波动中减小，自1987年起有一个明显的上升趋势，即新疆的大气可降水量是明显增加的。河西、河东2个区的变化非常一致，即50年代可降水量为比较大的正距平，然后出现一个锐减的过程持续到1970年代中期，此后维持负距平，直至1997年才有所增大。

1987—1999年的平均和1961—1986年的平均

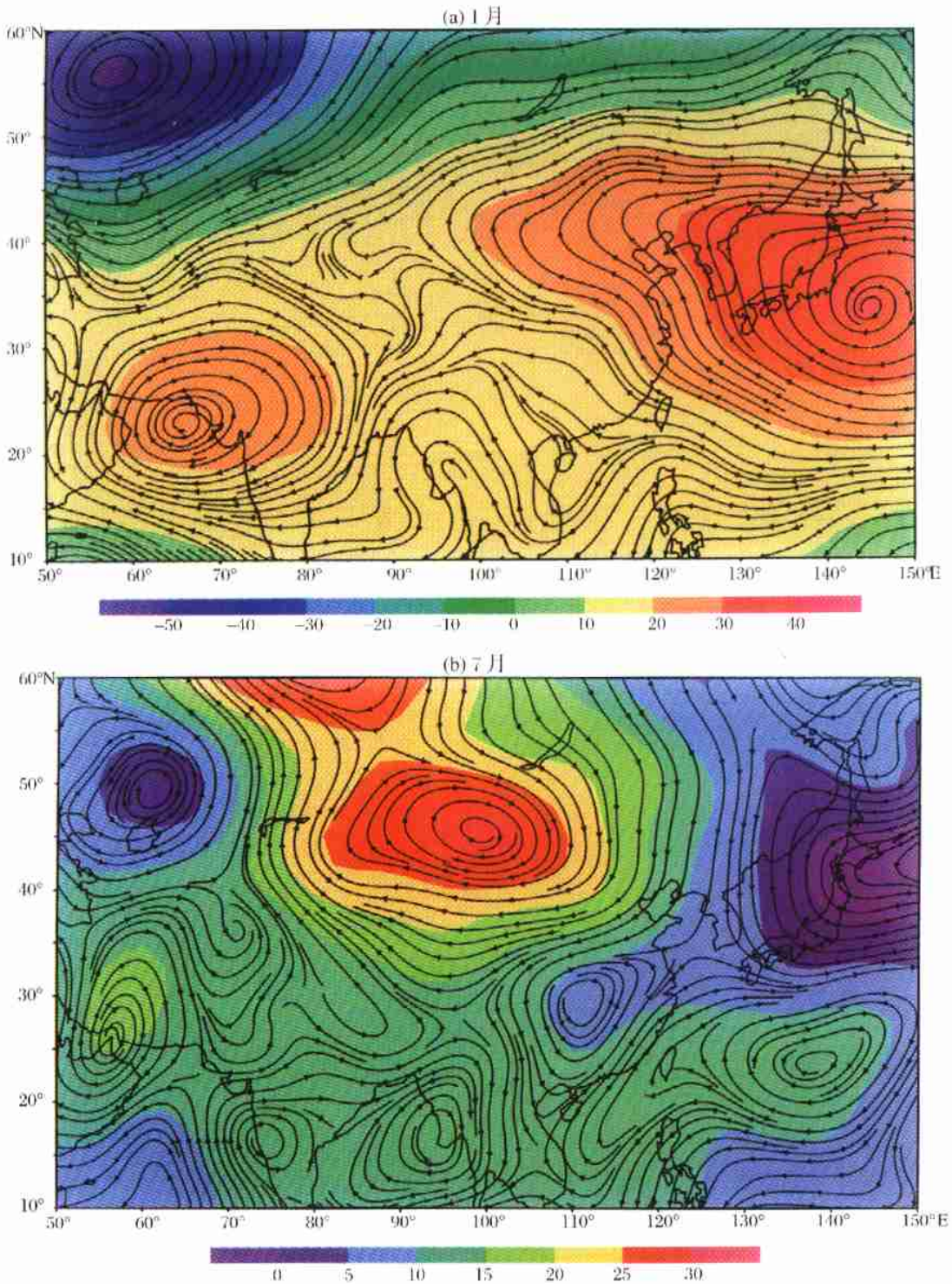


图 7 500 hPa 高度场和风场 1987—1999 年与 1961—1986 年两个时段的差
 Fig. 7 Differences of 500hPa height between the period of 1987—1999 and the period of 1961—1986 as well as wind field

3 西北地区气候年代际变化及转型的初步预测

3.1 气温变化的预测

气候一直是呈波动式的变化，冷暖交替出

现^[8-9]。19 世纪中后期是长达近 300 a 的小冰期结束后的暖期。在这个暖期中气候也是波动的。到 20 世纪 40 年代温度一直上升，60—70 年代变冷，以后又上升，90 年代是近百年最暖的时期。

未来全球气候系统的变化(气候变化, 温室气体变化, 海平面上升, 冰冻圈变化, 生态系统变化等)将继续以全球变暖为中心, 由于气候系统的惯性, 这种变化将会继续几百年^[10].

根据 CO₂ 加倍的排放情景做出的预测显示^[11, 12], 我国西北地区到 2070 年气温可能上升 1.9~2.3 °C; 就自然变化来讲, 西北地区未来 50 a 气温可能上升 0.6~1.0 °C^[13, 14].

3.2 降水变化的预测

根据国际上先进的气候模式和中国区域气候模式, 在假定大气 CO₂ 继续增加的各种情景下, 降水在未来不少地区出现增加趋势. 但有一些地区出现继续变干的趋势, 如华北和东北南部, 以及长江中下游地区^[11, 12].

西北地区面积辽阔, 气候差异甚大. 西北东西部有明显的反位向变化(图4). 因此, 降水量的气候预测分西北西部(新疆)和西北东部.

3.2.1 北疆降水及径流量未来 50 a 变化趋势预测

资料采用树木年轮重建的新疆年降水量和河流地表总径流量, 序列长度为 315 a(1682—1996). 利用方差分析, 取显著周期进行叠加外推, 预测未来 50 a 降水: 2000—2010 年代降水分别偏少 11%~6%; 2020—2040 年代降水分别偏多 4%, 17% 和 6%. 年径流量预测: 2000 年代北疆年径流量正常略偏少(0.7%), 2010—2020 年代偏多 3.8%~2.5%, 2030 年代偏少 4.7%, 2040 年代正常略偏少(0.2%).

3.2.2 南疆及河西走廊未来 50 a 降水趋势预测

长序列采用河西走廊 530 a(1470—1990 年, 下同)历史旱涝等级, 近代降水量采用敦煌 1937—2000 年实测年降水量. 利用波谱分析得到河西走廊 530 a 历史旱涝等级存在 80 a(信度 95%)、40 a 和 110 a(信度 90%)3 个主要显著周期, 利用显著周期叠加外推预测得到本世纪初旱涝等级仍将维持偏小(平均 3.3, 2000 年代 2.9, 即降水量偏多)趋势, 2010 年代开始转入正常偏旱趋势. 敦煌近 64 a 的实测降水资料的 28 a 周期进一步表明 2000 年代降水比正常情况偏多 1/3.

3.2.3 西北中部、南部及渭水流域未来 50 a 降水趋势预测

长序列采用甘肃中部(代表西北中部)、陇东(代表西北东部)、陇南和渭水流域(代表西北东南部)530 a 历史旱涝等级, 近代降水量采用兰州(1932—2000 年)、西峰(1937—2000 年)和天水

(1942—2000 年)实测年降水量.

近 530 a 有 5 个百年尺度的干期, 干期谷分别在 1480、1610、1720、1830 和 1930 年. 它们之间有 4 个湿期, 湿期峰分别在 1560、1670、1770 和 1880 年. 从 20 世纪 80 年代起, 西北东部半干旱区进入干期^[9].

利用波谱分析得到上述地区 530 a 历史旱涝等级主要存在 130 a(信度 95%)的显著周期. 其次, 中部、陇东还有 70 a 和 190 a 周期, 陇南有 100 a 和 260 a 的显著周期. 利用显著周期叠加外推预测得到甘肃中部、陇东南及渭水流域 2010—2050 年代旱涝等级将由目前的干旱级(4~5 级)逐渐转为正常(3 级)趋势. 兰州、西峰和天水近 64~70 a 的实测降水资料的不同周期表明, 2000 年代降水也将由目前的异常偏少转为偏多.

3.3 沙尘暴的预测

近 50 a 来, 中国北方沙尘暴在 20 世纪 60—70 年代达到峰值后, 80 年代开始锐减, 至 1997 年达到历史的最低点. 预计未来几十年内会有所增加, 但仍处于偏少.

4 结论与讨论

(1) 中国西北地区气候变化正经历着由暖干向暖湿转变, 这一转变在西北西部包括新疆、河西西部、祁连山区及青海的部分地区表现得更加明显, 气温升高, 降水量增加. 西北东部目前仍比较干旱, 气温在升高, 降水量未有增加.

(2) 影响西北地区气候转型的直接原因之一是大气环流的调整有利于西北地区北风减弱, 南风增强, 有利于源自印度洋及西太平洋的南方水汽向北输送, 西风输送的水汽也在增强, 有利于凝结降水.

(3) 由于气候系统的复杂性和我们认识自然的局限性, 对于未来气候变化的预测有很大的不确定性.

参考文献(References):

- [1] Xie Jinnan, Li Dongliang, Dong Anxiang, *et al.* Effects of Gansu arid climate change on developing of the Western China [J]. *Climatic and Environmental Research*, 2002, 7(3): 359—369. [谢金南, 李栋梁, 董安祥, 等, 甘肃省干旱气候变化及其对西部大开发的影响[J]. *气候与环境研究*, 2002, 7(3): 359—369.]
- [2] Shi Yafeng, Shen Yongping, Hu Ruj. Preliminary Study on signal impact and foreground of climatic shift from warm—dry to warm—humid in Northwest China [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2002, 24(3): 219—226. [施雅风, 沈永平, 胡

- 汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号影响和前景初步探讨[J]. 冰川冻土, 2002, 24(3): 219—226.]
- [3] Shi Yafeng, Shen Yongping, Li Dongliang, *et al.* Discussion on the present climatic change from warm—dry to warm—wet in northwest China[J]. Quaternary Sciences, 2003, 23(2): 152—164 press. [施雅风, 沈永平, 李栋梁, 等. 中国西北部气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J]. 第四纪研究, 2003, 23(2): 152—164.]
- [4] Zhang Cunjie, Gao Xuejie. Impact of global warming on Autumnal precipitation in Northwest China [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, 25(2): 157—164. [张存杰, 高学杰, 全球气候变暖对西北地区秋季降水的影响[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 157—164.]
- [5] Song Lianchun, Zhang Cunjie. Study on trends of precipitation over Northwest China during the 20th Century [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, 25(2): 143—148. [宋连春, 张存杰. 20 世纪西北地区降水量变化[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 143—148.]
- [6] Qian Zheng-an, Song Minhong, Li Wanyuan. Analyses on distributive variation and forecast of sand—dust storms in recent 50 years in North China. Journal of desert research, 2002, 22(2): 106—111. [钱正安, 宋敏红, 李万元. 近 50 年来中国北方沙尘暴的分布及其变化趋势分析[J]. 中国沙漠, 2002, 22(2): 106—111.]
- [7] Li Dongliang, Zhong Hailing, Wei Li *et al.* The climatic characteristics of annual sand—dust storm days in Northern China and its response to the surface sensible heat on Qinghai—Xizang Plateau in Spring [J]. Plateau Meteorology, 2003, 22(3): in press [李栋梁, 钟海玲, 魏丽, 等. 中国北方年沙尘暴日数的气候特征及对春季高原地面感热的响应[J]. 高原气象, 2003, 22(2): 待刊.]
- [8] Xu Guochang. Climate changes over China drought and semi—drought areas [M]. Beijing: Meteorological Press, 1997. 85—97. [徐国昌. 中国干旱半干旱区气候变化[M]. 北京: 气象出版社, 1997. 85—97.]
- [9] Li Dongliang, Liu Dexiang. Gansu Climate [M]. Beijing: Meteorological Press, 2000. 336—352. [李栋梁, 刘德祥. 甘肃气候[M]. 北京: 气象出版社, 2000. 336—352.]
- [10] Tang Maocang Liu Yanxiang, Feng Song. A new millenary warm period may be emerged [J]. Plateau Meteorology, 2002, 21(2): 128—131. [汤懋苍, 柳艳香, 冯松. 一个新的千年暖期可能已经来临[J]. 高原气象, 2002, 21(2): 128—131.]
- [11] Gao Xuejie, LI Dongliang, ZHAO Zongci, *et al.* Climate change due to greenhouse effects in Tibet and along the Qinghai—Tibetan Railway [J]. Plateau Meteorology, 2003, 22(5): in press. [高学杰, 李栋梁, 赵宗慈, 等. 温室效应对我国青藏高原及青藏铁路沿线气候影响的数值模拟[J]. 高原气象, 2003, 22(5): 待刊.]
- [12] Gao Xuejie, Zhao Zongci, Ding Yihui. Numerical simulation of climate change by greenhouse effect over Northwest China using a regional climate model [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2003, 25(2): 157—164. [高学杰, 赵宗慈, 丁一汇. 区域气候模式对温室效应引起的中国西北地区气候变化的数值模拟[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 157—164.]
- [13] Zhao Zongci, Gao Xuejie, Tang Maocang, *et al.* Prediction of climate change [A]. Ding Yihui. Prediction of environmental change in western China. Qin Dahe. The estimation of environment in west China [II] [C], Beijing: Science Press, 2002. 16—46. [赵宗慈, 高学杰, 汤懋苍, 等. 气候变化预测[A]. 秦大河总主编, 中国西部环境演变评估, 第二卷, 丁一汇主编, 中国西部环境变化的预测[C]. 北京: 科学出版社, 2002. 16—46.]
- [14] Li Dongliang, Guo Hui, Tang Maocang, *et al.* Trends forecasting on natural change of annually temperature along the Qinghai—Xizang Railway [J]. Plateau Meteorology, 2003, 22(5): in press. [李栋梁, 郭慧, 汤懋苍, 等. 青藏铁路沿线年平均气温自然变化趋势预测[J]. 高原气象, 2003, 22(5): 待刊.]

The Present Facts and the Future Tendency of the Climate Change in Northwest China

LI Dong-liang¹, WEI Li¹, CAI Ying¹, ZHANG Chun-jie², FENG Jian-ying²,
YANG Qing³, YUAN Yu-jiang³, DONG An-xiang²

(1. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou Gansu 730000, China; 2. Lanzhou Institute of Arid Meteorology, Chinese Meteorology Administration, Lanzhou Gansu 730020, China; 3. Irūmqi Institute of Desert Meteorology, Chinese Meteorology Administration, Irūmqi Xinjiang 830002, China)

Abstract: Based on the data observed from the meteorological stations in Northwest China for the periods from the year of beginning observation to the year of 2000 and NCEP/NCAR reanalysis monthly mean data, the characteristics of the present climate change in Northwest China have been comprehensively ana-

lyzed. The study reveals the observed evidence of the climate transition from the warm-dry pattern to the warm-wet pattern. And the tendency of the climate change for the future multi—decades have also been estimated in this paper.

Key words: Northwest China; climate change; warm-dry; warm-wet; climate transition; climate prediction