

1951—2002 年全球陆地气温和降水的 年代际趋势转折特征^{*}

施晓晖^{**} 徐祥德

中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 北京 100081

摘要 对全球陆地 67359 个格点 1951—2002 年的年平均地面气温和总降水量的年代际趋势转折分别进行逐个格点的检验, 分析这一时期内全球陆地气温和降水最近一次年代际趋势转折发生的时间及转折后的线性变化趋势. 发现 20 世纪后期, 变暖趋势在全球大部分的陆地上都十分显著; 全球陆地绝大多数格点的年降水量在 20 世纪 70—80 年代发生了一次年代际趋势转折, 转折后年降水量为减少趋势的格点大约占全球陆地总格点的 45.7%, 其余 54.3% 的格点在最近一次年代际趋势转折发生以后, 年降水量为增加趋势. 总体上全球陆地不同区域的气候主要向“暖干”和“暖湿”两种不同的趋势转变. 全球 22 个分区的区域平均气温和降水的年代际趋势转折特征的分析结果表明: 北美大陆在最近一次年代际趋势转折发生以后的气候“暖干化”趋势较为明显. 非洲大陆的气候则在一定程度上趋于暖湿, 欧洲以及亚洲大部分区域的气候也趋于暖湿. 南美洲南部和澳大利亚西部的情况则较为特殊, 在最近一次年代际趋势转折发生以后, 气候趋于冷湿.

关键词 全球陆地 气温 降水 年代际趋势转折

在全球变暖的背景下, 气候变化对环境、水资源, 工农业生产和人民生活的影响日益显著. 而地面气温和降水是其中尤为引人关注的两个要素. 已有很多学者针对不同的区域, 对地面气温和降水的变化趋势进行了深入的研究. 如美国地面气温、降水的年代内和年代际变化^[1,2], 美国与全球气温变化的对比^[3], 欧洲气温、降水的变化趋势^[4-6], 南美洲地区降水的变化趋势^[7-9], 中国地区的气候变化特征^[10-12], 西非、亚澳地区乃至全球干旱的变化趋势^[13-18]等等. 2007 年初, 政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 发布了第 4 次全球气候评估报告第一工作组报告《气候变化 2007: 科学基础》^[19], 进一步引发了全社会对气候变化的关

注. 在对近年来有关地面气温与降水的变化方面的最新研究成果进行总结的基础上, 提出全球气候变暖已经是“毫无争议”的事实, 人为活动“很可能”是导致气候变暖的主要原因. 1850 年到 2006 年的气象实测资料显示, 20 世纪的 40—60 年代之间有一个升温过程, 从 80 年代开始又有一个升温过程; 而对 1900—2005 年的全球平均降水的统计分析则表明其长期线性变化趋势不显著, 总体上表现为 20 世纪 50 年代之前为增加趋势, 50—90 年代为减少趋势, 90 年代之后又转为增加趋势. 报告还对 1901—2005 年和 1979—2005 年两个时间段内不同区域的年平均地面气温和年总降水量的线性变化趋势进行了分析, 发现不同区

2008-01-08 收稿, 2008-03-01 收修改稿

^{*} 国家自然科学基金 (批准号: 90502003) 和国家重点基础研究发展计划 (批准号: 2003CB716806) 共同资助项目

^{**} Email: sxh@cma.gov.cn

©1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

域的线性变化趋势不尽相同,具有一定的区域性特征.

分析时间序列的线性趋势是气候变化研究中经常使用的方法,它可以使人们了解某一段时间内气候的总体变化趋势,但对于一个时间尺度较长的气候序列,整个时间段上的线性趋势往往并不能描述出气候变化的波动特征,IPCC第4次全球气候评估报告中也指出地面气温和降水的变化并不都是线性的,存在着阶段性的变化特征^[19].另一方面,越来越多的研究表明,气候存在明显的年代际变化,年代际气候变化是年际气候变化的重要背景,同时也是叠加在更长期气候变化趋势上的扰动.20世纪80年代以来,年代际气候变化已成为国际气候学研究的热门问题之一,也是气候变化与可预测性研究计划(CLIVAR)的重要研究内容之一.因此,进一步研究近50多年来全球地面气温和降水年代际时间尺度上的趋势转折特征,将有助于更好地了解气候的演变规律及其突变特征,具有重要的现实意义和科学价值.

1 资料与方法

所用气候资料(月降水量和月平均表面气温)为英国东 Anglia 大学环境科学学院 CRU (Climatic Research Unit) 提供的月降水和月平均气温资料^[20-23].其空间分辨率为 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$,时间长度为1901—2002年.考虑到资料的可靠性,只选取1951—2002年这一时段计算年降水总量和年平均气温进行分析.根据地理位置,并参考IPCC第4次评估报告中分析区域气候状况时采用的分区,将全球陆地(南极洲除外)分为22个区(如图1所示),分别为:(1)阿拉斯加地区(ALA, $170^\circ\text{W}-103^\circ\text{W}$, $60^\circ\text{N}-72^\circ\text{N}$);(2)加拿大东部、格陵兰岛及冰岛地区(CGL, $103^\circ\text{W}-10^\circ\text{W}$, $50^\circ\text{N}-85^\circ\text{N}$);(3)北美西部地区(WNA, $140^\circ\text{W}-103^\circ\text{W}$, $30^\circ\text{N}-60^\circ\text{N}$);(4)北美中部地区(CNA, $103^\circ\text{W}-85^\circ\text{W}$, $30^\circ\text{N}-50^\circ\text{N}$);(5)北美东部地区(ENA, $85^\circ\text{W}-50^\circ\text{W}$, $25^\circ\text{N}-50^\circ\text{N}$);(6)中美洲地区(CAM, $116^\circ\text{W}-83^\circ\text{W}$, $10^\circ\text{N}-30^\circ\text{N}$);(7)南美北部地区($82^\circ\text{W}-34^\circ\text{W}$, $10^\circ\text{S}-12^\circ\text{N}$);(8)南美中部地区(CSA, $82^\circ\text{W}-34^\circ\text{W}$, $30^\circ\text{S}-10^\circ\text{S}$);(9)南美南部地区($76^\circ\text{W}-40^\circ\text{W}$, $56^\circ\text{S}-30^\circ\text{S}$);(10)欧洲北部地区

(NEU, $10^\circ\text{W}-40^\circ\text{E}$, $48^\circ\text{N}-75^\circ\text{N}$);(11)欧洲南部及环地中海地区(SEM, $10^\circ\text{W}-40^\circ\text{E}$, $30^\circ\text{N}-48^\circ\text{N}$);(12)撒哈拉地区($20^\circ\text{W}-60^\circ\text{E}$, $18^\circ\text{N}-30^\circ\text{N}$);(13)非洲西部地区(WAF, $20^\circ\text{W}-20^\circ\text{E}$, $12^\circ\text{S}-18^\circ\text{N}$);(14)非洲东部地区(EAF, $10^\circ\text{E}-52^\circ\text{E}$, $35^\circ\text{S}-12^\circ\text{S}$);(15)非洲南部地区(SAF, $85^\circ\text{W}-50^\circ\text{W}$, $25^\circ\text{N}-50^\circ\text{N}$);(16)亚洲北部地区(NAS, $40^\circ\text{E}-180^\circ\text{E}$, $50^\circ\text{N}-70^\circ\text{N}$);(17)亚洲中部地区(CAS, $40^\circ\text{E}-95^\circ\text{E}$, $30^\circ\text{N}-50^\circ\text{N}$);(18)东亚地区(EAS, $95^\circ\text{E}-145^\circ\text{E}$, $20^\circ\text{N}-50^\circ\text{N}$);(19)南亚地区(SAS, $64^\circ\text{E}-95^\circ\text{E}$, $5^\circ\text{N}-30^\circ\text{N}$);(20)东南亚地区(SEA, $95^\circ\text{E}-145^\circ\text{E}$, $11^\circ\text{S}-20^\circ\text{N}$);(21)澳大利亚西部(WAU, $110^\circ\text{E}-136^\circ\text{E}$, $45^\circ\text{S}-11^\circ\text{S}$);(22)澳大利亚东部地区(EAU, $136^\circ\text{E}-155^\circ\text{E}$, $45^\circ\text{S}-11^\circ\text{S}$),分别计算各区域平均气温和降水的逐年时间序列,以讨论各区域平均地面气温和降水的趋势转折特征.

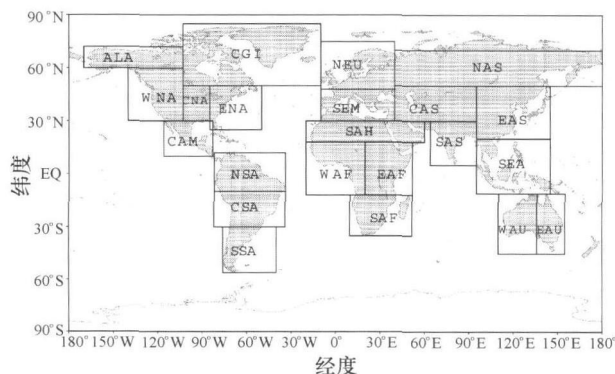


图1 CRU气候资料的格点分布及其分区示意图

最近, Tomé 和 Miranda^[24]提出了一种新的气候变化趋势转折判别模型(piecewise linear fitting model, PLFIM).其基本思路为:首先根据所研究的气候变化问题时间尺度,给定趋势转折点的最小间隔,然后确定趋势转折的判别条件(根据研究目的不同,可以是要求两个连续分段的线性变化趋势符号相反或变化程度达到一定的百分比).在两个相邻趋势转折点的时间间隔必须大于或等于给定最小间隔的前提条件下(即滤掉了变化周期小于这一最小间隔的气候波动),可以得到很多种分段组合情况,分别计算每种组合内各时间段的线性变化趋势,并根据趋势转折判别条件判断其间是否发生了

趋势转折, 最后利用统计分析原则确定满足趋势转折判别条件的最佳分段组合, 即可得到所需时间尺度上的趋势转折点检验结果以及各时间段的线性变化趋势。我们曾利用这一方法对中国大陆气候型的年代际趋势转折特征进行了分析, 取得了较好的研究成果^[25]。本文将继续采用该模型对近 50 年来全球陆地地面气温和降水的年代际趋势转折特征进行细致的分析。在计算中给定以下两个条件来判断年代际趋势转折是否发生: (1) 两个连续分段的线性变化趋势符号相反; (2) 相邻两个趋势转折点的时间间隔不小于 15 a。

2 地面气温年代际趋势转折的空间分布特征

对全球陆地 67359 个格点 1951—2002 年的年平均地面气温的年代际趋势转折点进行逐个格点的检验, 并选取 1951—2002 年期间最近一次年代际趋势转折的发生时间及转折后的线性变化趋势进行分析。

图 2(a), (b) 分别给出了全球陆地各个格点年平均气温最近一次年代际趋势转折的发生时间(以趋势转折发生年份所处的年代进行分类)以及转折发生后的线性变化趋势。综合图 2(a), (b), 可以看出, 全球的部分区域在这 52 年间, 年平均地面气温没有发生年代际趋势转折, 表现为线性增温变化趋势, 并主要集中在亚洲北部、中部, 非洲西部, 南美洲中部以及澳大利亚东部等地区, 这些格点约占全球陆地总格点数的 12.6%。北美洲中部、东部以及西北部, 非洲东部以及亚洲北部等地的部分地区的年平均地面气温最近一次年代际趋势转折发生时间较早, 在 20 世纪 60 年代就发生了趋势转折, 且转折后以增温趋势为主, 具有这样变化特征的格点约占全球陆地总格点数的 21.6%。另外, 约有 13.5% 的格点的年平均地面气温在 20 世纪 80 年代发生了年代际趋势转折, 转折后为降温趋势。这些格点主要位于北美洲西部(约占该区域总格点数的 42.8%), 南美洲南部(约占该区域总格点数的 58.2%), 亚洲北部的西北地区(约占该区域总格点数的 26.0%)和澳大利亚西部(约占该区域总格点数的 57.1%)等地区。其余大部分格点的年平均地面气温分别在 20 世纪 70—80 年代发生了年代际趋势转折, 转折以后的线性趋

势为增温趋势, 这些格点占全球陆地总格点数的比例达到 51.5%, 超过一半。总体来看, 近 50 多年来, 年平均地面气温没有发生年代际趋势转折且呈增温趋势以及发生年代际趋势转折后年平均地面气温为增温趋势的格点占到全球陆地总格点的 85.7%。由此也可看出, 20 世纪后期, 全球变暖的趋势在陆地上是十分显著的。具有不同年代际趋势转折特征的格点(以年代际趋势转折发生时间所处的年代和转折发生后的线性变化趋势分类)占各区域总格点数的比例详见表 1(带下划线的数字给出了该区域占最大比例的格点所具有的年代际趋势转折特征)。

表 1 各区域中年平均地面气温具有不同年代际趋势转折特征的格点占该区域总格点数的比例(%)

Time Trend	No Turning		1960 s		1970 s		1980 s	
	<0	>0	<0	>0	<0	>0	<0	>0
ALA	0 00	4 03	0 00	<u>43 28</u>	0 00	36 01	13 13	3 54
CGI	0 00	0 00	0 00	16 01	0 03	30 07	2 23	<u>51 67</u>
WNA	0 00	3 63	0 00	11 00	0 04	20 89	<u>42 78</u>	21 67
CNA	0 00	0 00	0 00	<u>55 28</u>	0 00	27 01	12 08	5 62
ENA	0 00	0 16	0 00	<u>62 73</u>	0 00	20 24	4 66	12 21
CAM	0 00	4 84	0 00	14 83	0 10	<u>59 03</u>	13 12	8 07
NSA	0 00	8 07	0 11	2 98	0 04	<u>74 88</u>	5 67	8 25
CSA	0 00	19 99	1 54	2 23	0 45	<u>37 76</u>	13 15	24 89
SSA	0 00	9 25	1 80	3 61	4 55	5 64	<u>58 15</u>	17 01
NEU	0 00	5 08	0 00	29 27	0 00	23 34	0 29	<u>42 02</u>
SAM	0 00	0 20	0 00	1 54	0 00	<u>57 25</u>	0 04	40 97
SAH	0 00	12 39	0 47	10 38	0 44	<u>42 83</u>	0 03	33 47
WAF	0 00	30 88	0 00	9 33	0 00	<u>47 44</u>	9 33	3 00
EAF	0 00	12 08	0 00	<u>56 48</u>	0 16	20 19	7 29	3 79
SAF	0 00	19 02	0 00	10 24	0 00	<u>51 10</u>	14 42	5 21
NAS	0 00	22 97	0 00	<u>31 77</u>	0 00	11 26	25 97	8 03
CAS	0 00	27 61	0 00	8 20	0 00	19 31	0 07	<u>44 81</u>
EAS	0 00	12 24	0 00	16 72	0 00	16 29	0 55	<u>54 20</u>
SAS	0 00	14 56	0 00	20 95	0 00	<u>27 60</u>	11 73	25 16
SEA	0 00	9 75	0 00	15 97	0 00	<u>39 66</u>	24 22	10 40
WAU	0 00	13 37	0 00	0 19	11 73	9 71	<u>57 06</u>	7 94
EAU	0 00	<u>44 98</u>	0 00	0 41	15 60	4 55	22 32	12 14

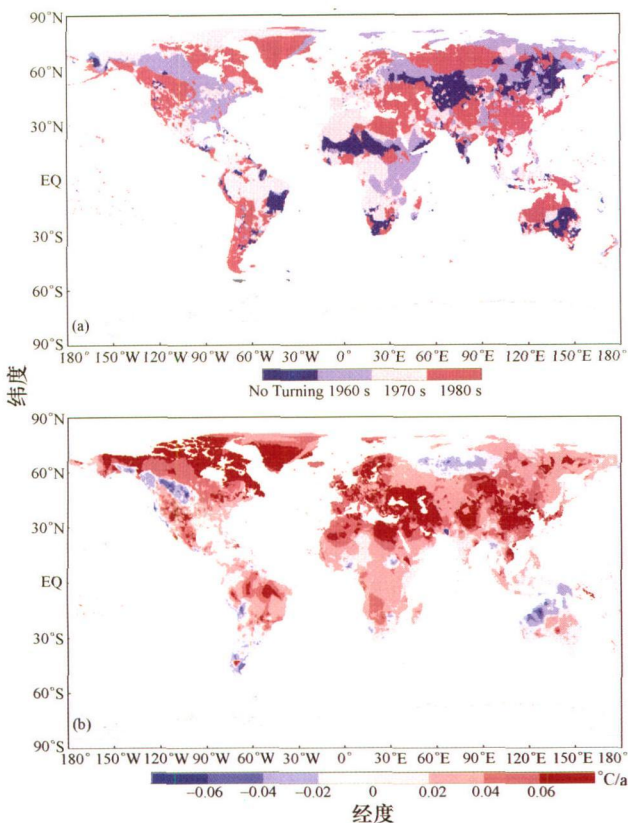


图 2 1951—2002 年全球陆地各格点年平均地面气温最近一次年代际趋势转折发生的时间(a)及转折后的线性变化趋势(b)

3 地面降水年代际趋势转折的空间分布特征

对全球陆地 67359 个格点 1951—2002 年的年总降水量的年代际趋势转折进行逐个格点的计算分析, 图 3(a)给出了全球陆地各个格点年总降水量最近一次年代际趋势转折的发生时间. 从图中可以发现, 全球陆地绝大多数格点的年降水量在 20 世纪 70—80 年代发生了一次年代际趋势转折, 其中趋势转折发生在 20 世纪 70 年代的格点占全球总格点数的比例约为 25.7%, 而在 20 世纪 80 年代发生趋势转折的格点则占到了全球总格点数的 62.5%. 从趋势转折发生后的线性变化趋势(图 3(b))来看, 转折后年降水量为减少趋势的格点主要集中在北美洲、南美洲的中部、东欧、撒哈拉地区、亚洲的中部和南部、东亚地区的东北部以及澳大利亚的东部等地区, 占全球陆地总格点的 45.7%; 结合地面气温的变化(图 2), 这些地区的大多数格点在最近 20—30

年间均出现了一定的暖干化趋势. 全球陆地其余 54.3%的格点在最近一次年代际趋势转折发生以后, 年降水量为增加趋势, 其中增加趋势较为明显的区域主要位于南美洲的北部、非洲西海岸的部分地区、中国的南部、东南亚地区和澳大利亚的西北部. 考虑到地面气温的变化, 南美洲北部、中国南部以及东南亚地区大多数格点的气候趋于暖湿; 澳大利亚西北部则较为特殊, 大多数格点的地面气温为降温趋势、降水则有所增加, 气候趋于冷湿. 各区域具有不同年代际趋势转折特征的格点占该区域总格点数的比例如表 2 所示(带下划线的数字给出了该区域占最大比例的格点所具有的年代际趋势转折特征).

表 2 各区域中年降水量具有不同年代际趋势转折特征的格点占该区域总格点数的比例(%)

Time	No Turning		1960 s		1970 s		1980 s									
	<0	>0	<0	>0	<0	>0	<0	>0								
ALA	0	82	4	37	10	11	8	73	2	43	9	37	<u>52</u>	31	11	87
CGI	0	01	5	74	2	46	4	69	23	19	2	23	27	29	<u>34</u>	38
WNA	0	21	0	18	9	25	0	64	13	59	4	09	<u>58</u>	<u>40</u>	13	63
CNA	0	00	6	11	1	94	3	40	10	76	12	50	<u>37</u>	<u>22</u>	28	06
ENA	0	08	1	21	6	52	1	13	<u>43</u>	<u>93</u>	6	52	26	39	14	24
CAM	2	12	0	30	6	96	1	72	13	62	5	95	<u>35</u>	<u>92</u>	33	40
NSA	0	07	0	18	4	83	11	09	27	44	2	51	16	47	<u>37</u>	40
CSA	0	40	3	84	4	09	6	15	17	89	6	80	<u>46</u>	<u>42</u>	14	41
SSA	0	16	8	78	0	39	12	85	8	23	2	43	11	91	<u>55</u>	25
NEU	0	00	4	06	1	08	3	21	5	83	20	12	<u>36</u>	<u>38</u>	29	30
SEM	1	15	0	83	3	79	1	58	13	75	4	23	22	76	<u>51</u>	<u>92</u>
SAH	0	32	0	17	1	31	5	29	13	38	24	02	<u>35</u>	<u>10</u>	20	41
WAF	0	89	0	12	0	20	0	65	1	95	23	78	3	53	<u>68</u>	<u>87</u>
EAF	1	68	0	07	4	39	0	92	3	66	18	08	7	82	<u>63</u>	<u>38</u>
SAF	0	56	0	52	1	27	1	83	19	96	4	27	9	72	<u>61</u>	<u>86</u>
NAS	0	66	0	79	4	08	6	48	7	94	18	61	15	75	<u>45</u>	<u>69</u>
CAS	0	52	1	29	3	92	2	40	18	84	16	45	<u>44</u>	<u>95</u>	11	63
EAS	2	76	0	32	5	05	6	32	7	21	14	90	31	24	<u>32</u>	<u>19</u>
SAS	5	34	0	33	4	81	3	10	22	79	6	06	<u>40</u>	<u>84</u>	16	73
SEA	0	54	0	11	1	98	19	61	7	50	11	84	12	75	<u>45</u>	<u>66</u>
WAU	0	13	4	67	1	83	3	28	9	84	11	10	1	39	<u>67</u>	<u>78</u>
EAU	2	71	0	07	0	68	4	68	<u>47</u>	<u>22</u>	0	54	21	10	23	00

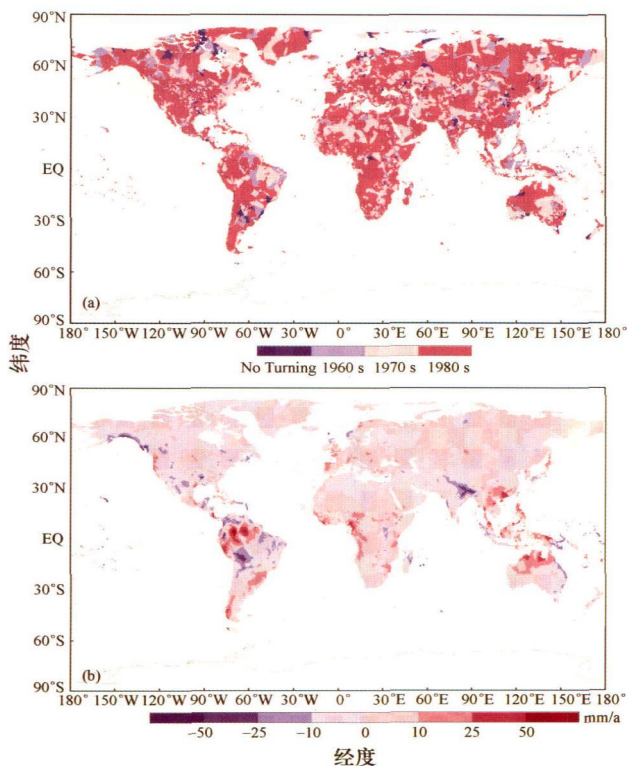


图3 1951—2002年全球陆地各格点年总降水量最后一次年代际趋势转折发生的时间(a)及转折后的线性变化趋势(b)

4 区域平均地面气温和降水的年代际趋势转折

对1951—2002年全球22个分区(图1)的区域平均逐年平均地面气温和总降水量分别进行年代际趋势转折的检验(图4—9),以便更清楚地了解不同区域近50多年来的气候变化情况。

图4给出了北美洲6个区域的气温和降水的年代际趋势转折检验结果,可以看到,ALA和ENA的地面气温均在1965年就发生了年代际趋势转折,由降温趋势转为增温趋势,降水量则都发生了两次趋势转折,分别在1987,1980年由增加趋势转为减少趋势,即ENA,ALA的气候分别在20世纪80年代早期、晚期以后趋于暖干。CAM的地面气温在1975年由降温趋势转为增温趋势,降水则在1968年由增加趋势转为减少趋势,其气候在20世纪70年代中期以后趋于暖干。其余3个区域的地面气温均发生了一次年代际趋势

转折,由降温趋势转为增温趋势,降水也都发生了一次由增加趋势转为减少趋势的转折,即这些区域的气候在最近一次年代际趋势转折发生以后亦趋于暖干。总体而言,北美大陆气候的暖干化趋势较为明显。

南美洲3个区域的变化则各有特点,其中NSA的地面气温变化和CSA的一致,均发生了两次趋势转折,最近一次发生在1980年,由降温趋势转为增温趋势;而降水量则是NSA与SSA一致,最近一次趋势转折发生在1987年,由减少趋势转为增加趋势,即NSA的气候在20世纪80年代后期以后趋于暖湿。CSA的降水在1982年转为减少趋势,气候则趋于暖干。SSA的气温在1987年以后转为降温趋势,因此该区域从20世纪80年代后期开始气候趋于冷湿(图5)。

对于欧洲地区(图6),NEU的年平均气温和总降水量分别在1980,1972年发生了年代际趋势转折,转折以后的地面气温为增温趋势、降水量亦呈增加趋势,20世纪80年代初以后,NEU的气候趋于暖湿。SEM地区的地面气温只发生了一次趋势转折,转折点在1976年,降水则发生了两次趋势转折,转折点分别为1969和1987年,1987年以后SEM的年降水量为增加趋势,即20世纪80年代后期开始,SEM的气候也趋于暖湿。

非洲各区域的平均地面气温在1951—2002年间都只发生了一次年代际趋势转折,且转折之后的趋势均为增温趋势,从时间上看,EAF地面气温的趋势转折发生较早,转折点为1965年,其他3个区域的地面气温的趋势转折点均在20世纪70年代中期。降水的变化则相差较大,其中SAH地区的年降水量在1971年前后由减少趋势转为弱的增加趋势,WAF地区年降水量的年代际趋势转折点为1983年,转折后为增加趋势,EAF和SAF的年降水量在这50多年里均发生了两次年代际趋势转折,最近一次的趋势转折分别发生在1984,1987年,转折后亦为增加趋势。整体来看,非洲大陆的气候在近年有“暖湿化”的趋势(图7)。

亚洲5个区域中,NAS,SAS和SEA的年平均地面气温在1951—2002年间发生了一次年代际趋势转折,转折点在20世纪60年代末—70年代初之间,转折以后均为增温趋势;CAS和EAS的年

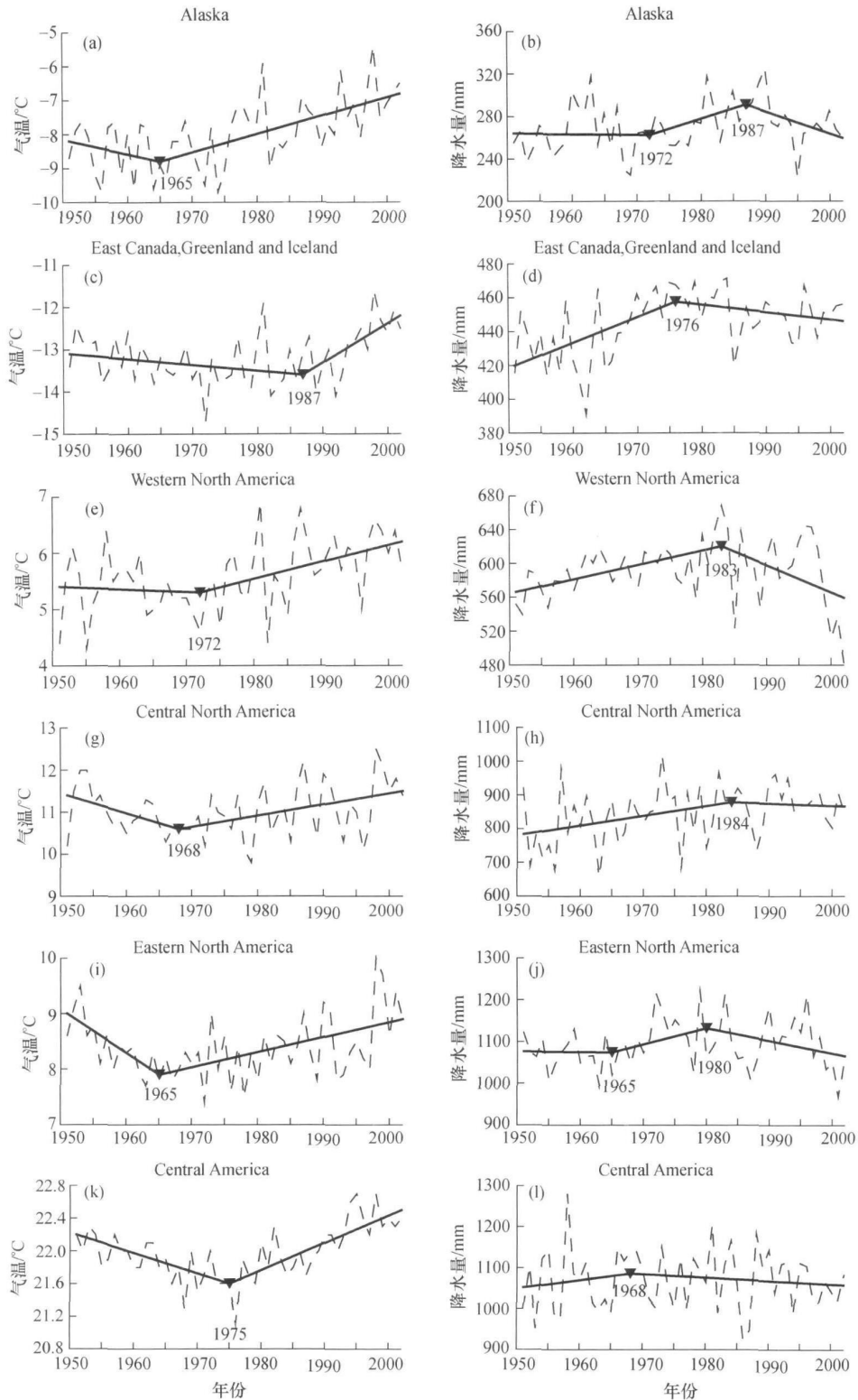


图 4 1951—2002 年北美洲各区域平均地面气温((a), (c), (e), (g), (i), (k))和降水量((b), (d), (f), (h), (j), (l))的年代际趋势转折检验结果

其中虚线为逐年变化, 粗实线为分段线性趋势, 倒三角符号和数字为趋势转折点

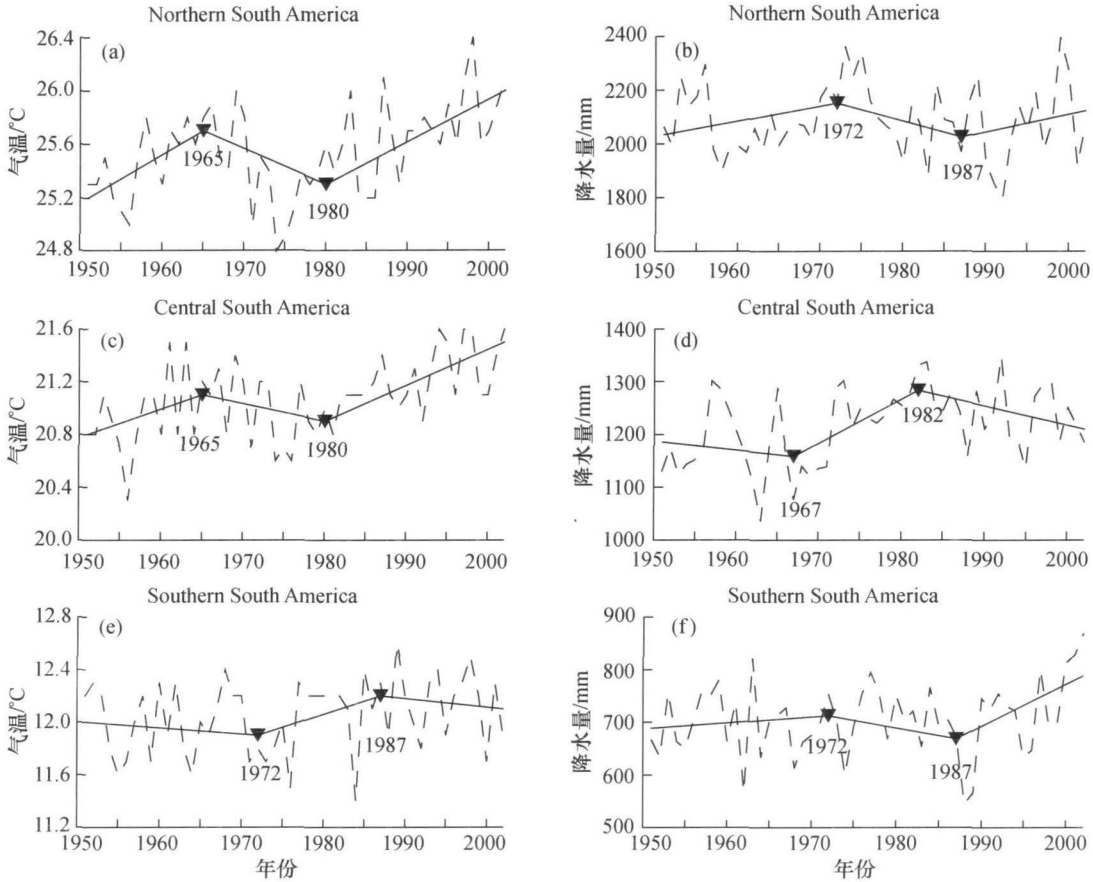


图 5 1951—2002 年南美洲各区域平均地面气温((a), (c), (e))和降水量((b), (d), (f))的年代际趋势转折检验结果
其中虚线为逐年变化, 粗实线为分段线性趋势, 倒三角符号和数字为趋势转折点

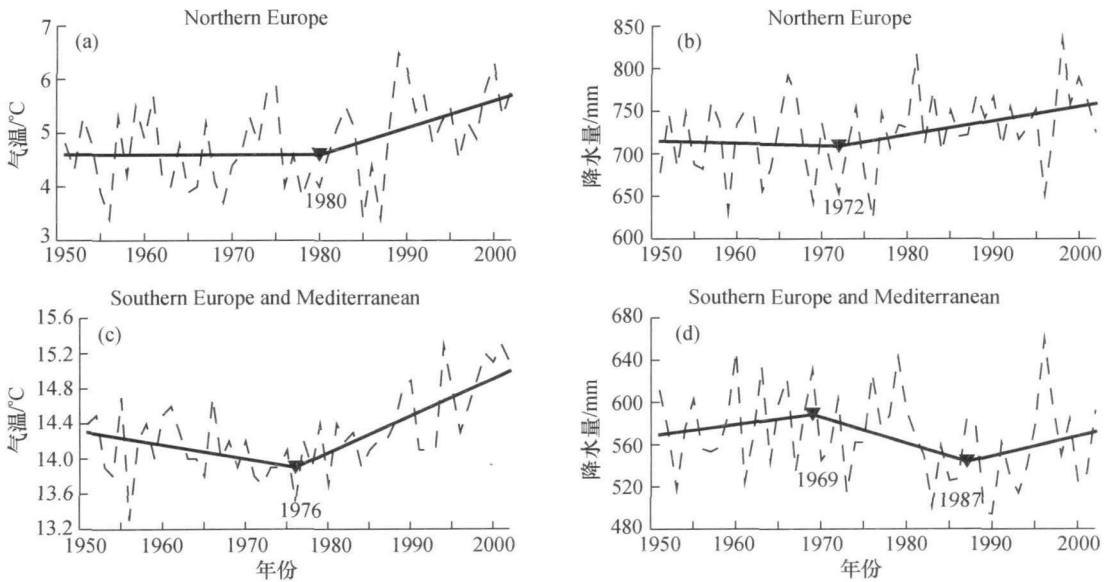


图 6 1951—2002 年欧洲各区域平均地面气温((a), (c))和降水量((b), (d))的年代际趋势转折检验结果

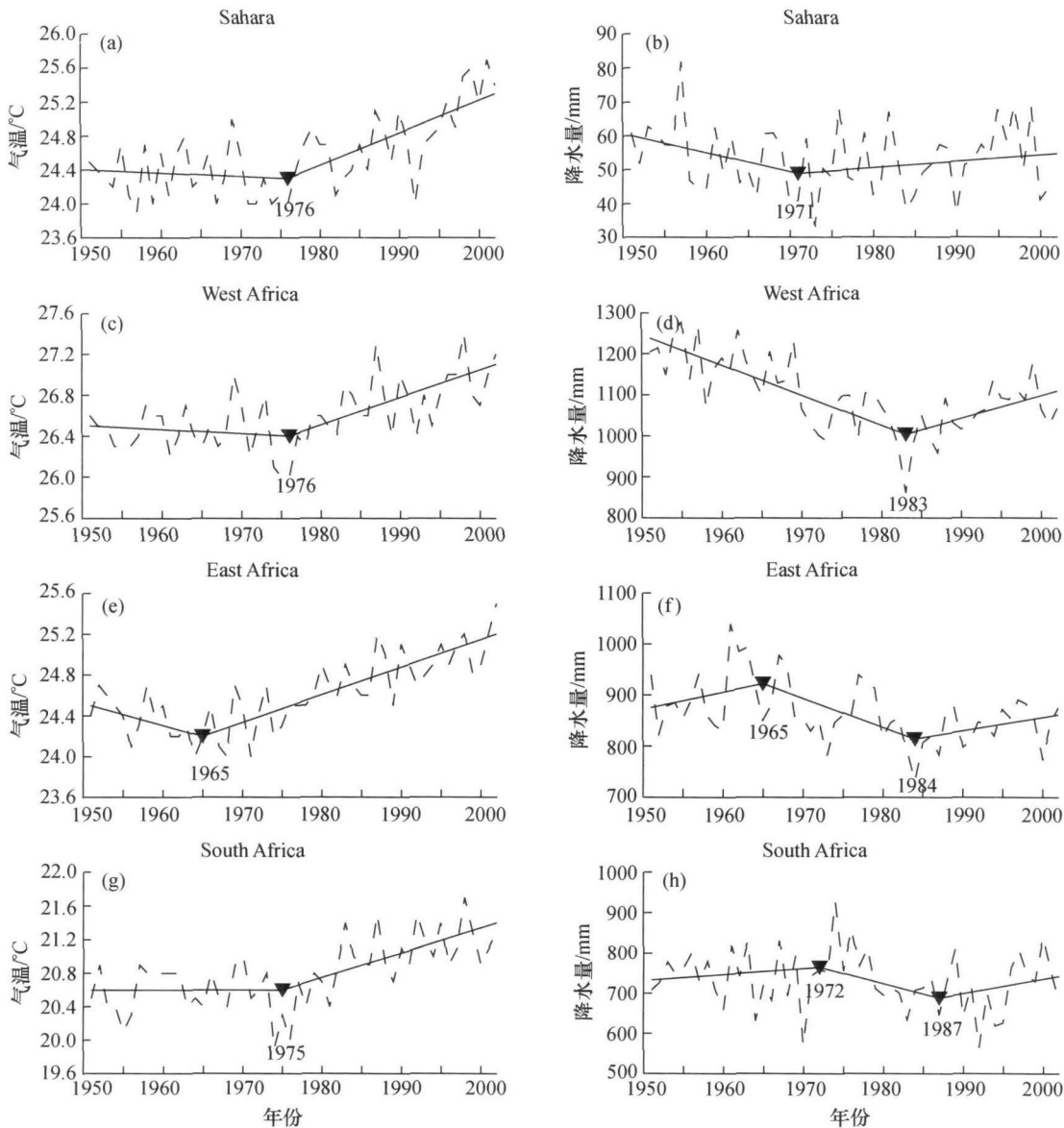


图 7 1951—2002 年非洲各区域平均地面气温((a), (c), (e), (g))和降水量((b), (d), (f), (h))的年代际趋势转折检验结果

其中虚线为逐年变化, 粗实线为分段线性趋势, 倒三角符号和数字为趋势转折点

平均地面气温则发生了两次趋势转折, 20 世纪 60 年代中期以前为增温趋势, 60 年代中期—80 年代初为降温趋势, 80 年代初以后又转为显著的增温趋势。对于年降水量, NAS 和 SEA 的变化基本一致, 1987 年以前为减少趋势, 之后则转为增加趋势; EAS 的年代际趋势转折发生在 1978 年前后, 转折以后亦为增加趋势; CAS 和 SAS 的年降水量则经历了两次年代际趋势转折, 最近一次分别发生在

1987, 1983 年, 且转折发生以后为减少趋势, 即这两个区域的气候在 20 世纪 80 年代以后逐渐趋于暖干(图 8)。

图 9 为澳大利亚西部和东部年平均气温和总降水量的年代际趋势转折检验结果, 可以发现, 澳大利亚西部的年平均气温在 1987 年发生了年代际趋势转折, 由增温趋势转为降温趋势, 其年降水量则同样在 1987 年发生了趋势转折, 转折之后为增加

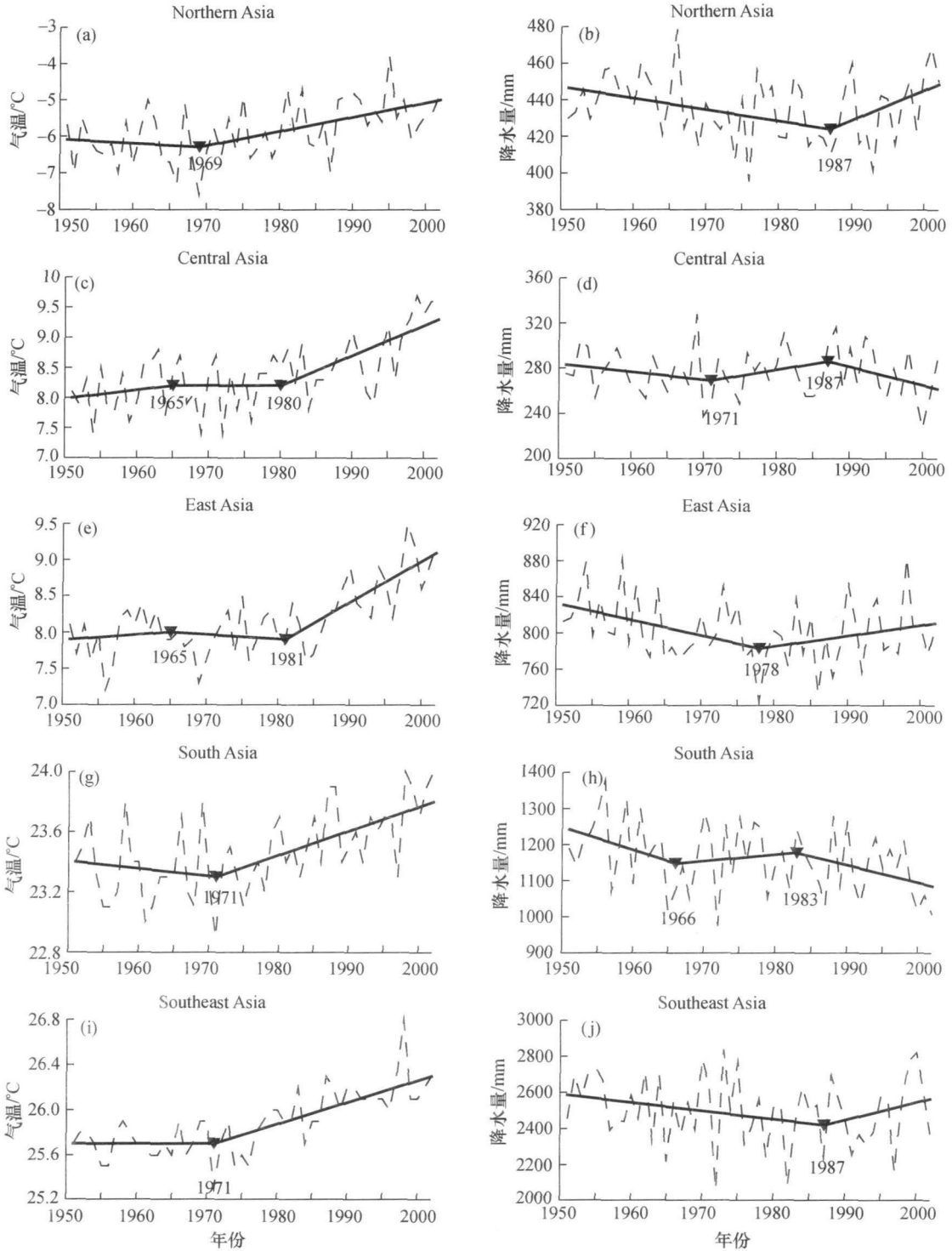


图 8 1951—2002 年亚洲各区域平均地面气温((a), (c), (e), (g), (i))和降水量((b), (d), (f), (h), (j))的年代际趋势转折检验结果

其中虚线为逐年变化, 粗实线为分段线性趋势, 倒三角符号和数字为趋势转折点

趋势, 1987 年以后, 澳大利亚西部的气候趋于冷湿; 东部的变化则不同, 地面气温在 1951—2002 年期间没有发生年代际趋势转折, 为线性增温趋

势, 降水则在 1974 年由增加趋势转变为减少趋势, 20 世纪 70 年代中期以后, 澳大利亚东部的气候逐渐趋于暖干。

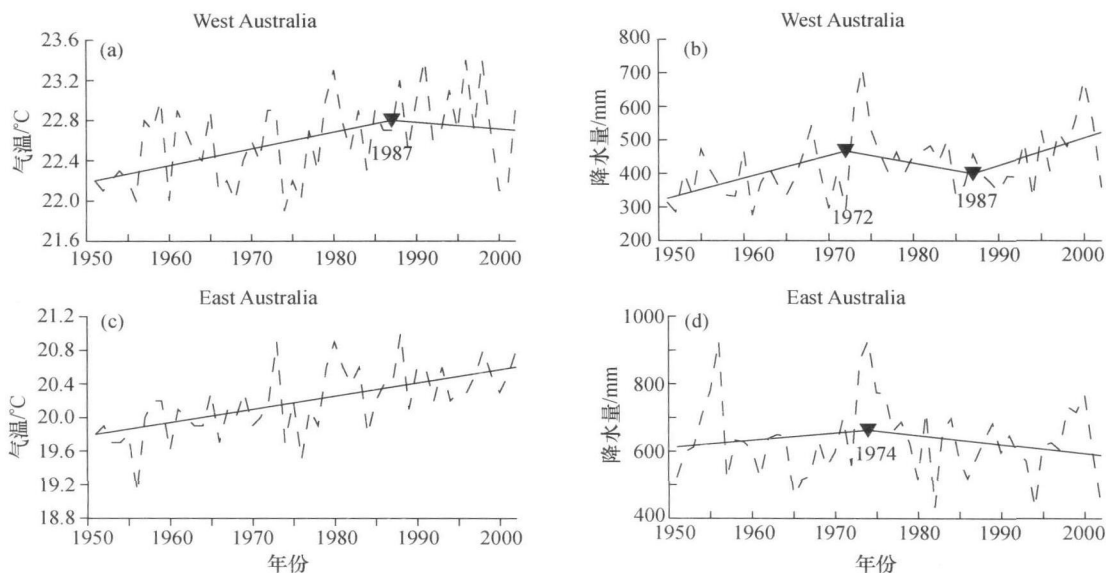


图 9 1951—2002 年澳大利亚各区域平均地面气温((a), (c))和降水量((b), (d))的年代际趋势转折检验结果
其中虚线为逐年变化, 粗实线为分段线性趋势 倒三角符号和数字为趋势转折点

5 结论与讨论

通过对全球陆地 67359 个格点 1951—2002 年的年平均地面气温和总降水量的年代际趋势转折点分别进行逐个格点的检验, 分析了这一时期内全球陆地气温和降水最近一次年代际趋势转折发生的时间及转折后的线性变化趋势, 发现年平均地面气温没有发生年代际趋势转折且呈增温趋势, 以及发生年代际趋势转折后年平均地面气温为增温趋势的格点占到全球陆地总格点的 85.7%。因此 20 世纪后期, 全球变暖的趋势在陆地上是十分显著的; 全球陆地绝大多数格点的年降水量在 20 世纪 70—80 年代发生了一次年代际趋势转折, 其中趋势转折发生在 20 世纪 70 年代的格点占全球总格点数的比例约为 25.7%, 而在 20 世纪 80 年代发生趋势转折的格点则占到了全球总格点数的 62.5%。转折后年降水量为减少趋势的格点大约占全球陆地总格点的 45.7%, 其余 54.3% 的格点在最近一次年代际趋势转折发生后, 年降水量为增加趋势, 总体上全球陆地的气候主要向“暖干”和“暖湿”两种不同的趋

势转变。

对全球 22 个分区的区域平均气温和降水的年代际趋势转折特征的分析结果表明: 北美洲各个区域在最近一次年代际趋势转折发生以后的气候“暖干化”趋势较为明显, 其他气候趋于暖干的区域还有 CSA, CAS, SAS 以及 EA U。非洲的 4 个区域在最近一次年代际趋势转折发生后, 气温为增温趋势, 降水亦呈增加趋势, 非洲大陆的气候在一定程度上趋于暖湿, 欧洲以及 NSA, NAS, EAS 和 SEA 的气候也趋于暖湿。另外, SSA 和 WAU 的情况较为特殊, 它们的气候在最近一次年代际趋势转折发生以后趋于冷湿。

致谢 里斯本大学的 A R Tomé 提供了本文研究使用的趋势转折判别模型 Fortran 源程序, 特此表示感谢。

参 考 文 献

- 1 Steven SM. Intra-to multidecadal climate variability over the continental United States: 1932—99. *J Climate*, 2003, 16: 2215—2231

- 2 Steven SM. Multidecadal regime shifts in U. S. streamflow, precipitation, and temperature at the end of the twentieth century. *J Climate*, 16: 3905—3916
- 3 Hansen J, Ruedy R, Sato M, et al. A closer look at United States and global surface temperature change. *J Geophys Res*, 2001, 106: D20, 23947—23963
- 4 Bordi I, Fraedrich K, Gerstengarbe FW. Potential predictability of dry and wet periods: Sicily and Elbe Basin (Germany). *Theor Appl Climatol*, 2004, 77: 125—138
- 5 Klein Tank AMG, Können GP. Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946—1999. *J Climate*, 2003, 16: 3665—3680
- 6 Tolika K, Maheras P. Spatial and temporal characteristics of wet spells in Greece. *Theor Appl Climatol*, 2005, 81: 71—85
- 7 Chagnon FJF, Bras RL. Contemporary climate change in the Amazon. *Geophys Res Lett*, 2005, 32: L13703, doi: 10.1029/2005GL022722
- 8 Haylock MR, Peterson TC, Alves LM, et al. Trends in total and extreme South American rainfall in 1960—2000 and links with sea surface temperature. *J Climate*, 2006, 19: 1490—1512
- 9 Liebmann B, Vera CS, Carvalho LMV, et al. An observed trend in Central South American precipitation. *J Climate*, 2004, 17: 4357—4367
- 10 Bordi I, Fraedrich K, Jiang JM, et al. Spatio-temporal variability of dry and wet periods in eastern China. *Theor Appl Climatol*, 2006, 79: 81—91
- 11 Liu BH, Xu M, Henderson M, et al. Taking China's temperature: Daily range, warming trends, and regional variations, 1955—2000. *J Climate*, 2004, 17: 4453—4462
- 12 任国玉, 郭军, 徐铭志, 等. 近50年中国地面气候变化基本特征. *气象学报*, 2005, 63(6): 942—955
- 13 Nicholson SE. Climatic and environmental change in Africa during the last two centuries. *Climate Res*, 2001, 17: 123—144
- 14 Barbé LL, Lebel T, Tapsoba D. Rainfall variability in West Africa during the years 1950—90. *J Climate*, 2002, 15: 187—202
- 15 Barlow M, Cullen H, Lyon B. Drought in central and south-west Asia; La Niña, the warm pool, and Indian Ocean precipitation. *J Climate*, 2002, 15: 697—700
- 16 Nicholson N. The changing nature of Australian drought. *Climate Change*, 2004, 63: 323—336
- 17 Zou XK, Zhai PM, Zhang Q. Variations in droughts over China; 1951—2003. *Geophys Res Lett*, 2005, 32: L04707, doi: 10.1029/2004GL021853
- 18 马柱国, 符淙斌. 20世纪下半叶全球干旱化的事实及其与大尺度背景的联系. *中国科学, D辑*, 2007, 37(2): 222—233
- 19 Trenberth KE, Jones PD, Ambenje P, et al. Observations: Surface and atmospheric climate change. In: Solomon S, Qin DH, Manning M, et al. Eds. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2007, 235—336
- 20 New M, Hulme M, Jones PD. Representing twentieth century space-time climate variability. Part 1: Development of 1961—90 mean monthly terrestrial climatology. *J Climate*, 1999, 12: 829—856
- 21 New M, Hulme M, Jones PD. Representing twentieth century space-time climate variability. Part 2: Development of 1901—96 monthly grids of terrestrial surface climate. *J Climate*, 2000, 13: 2217—2238
- 22 New M, Lister D, Hulme M, et al. A high-resolution data set of surface climate over global land areas. *Climate Res*, 2002, 21: 1—25
- 23 Mitchell TD, Jones PD. An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. *Int J Climatol*, 2005, 25: 693—712
- 24 Tomé AR, Miranda PMA. Piecewise linear fitting and trend changing points of climate parameters. *Geophys Res Lett*, 2004, 31(2); doi: 10.1029/2003GL019100
- 25 施晓晖, 徐祥德. 中国大陆冬夏季气候型年代际转折的区域结构特征. *科学通报*, 2006, 51(17): 2075—2084