

气候变化对西北水循环和水资源影响的研究

王守荣¹⁾ 郑水红¹⁾ 程磊²⁾

1) (国家气候中心, 北京 100081)

2) (中国气象局总体规划研究设计室, 北京 100081)

P4

A

摘 要 西北地区全年水汽总输入为 1 061.9 mm, 但只有 14.4% 形成降水, 85.6% 成为过境水汽直接穿过该地区上空出境, 水汽净输入量仅为 31.1 mm。西北地区降水分布很不均匀, 内陆河地区多年平均降水量大于 300 mm 的都是高山带, 而平原盆地的降水量多在 150 mm 以下, 内陆河流域多年平均径流深仅有 6.8 mm。西北水循环最突出的特点是径流系数小于蒸发系数, 而干旱指数 E_p/P (E_p : 蒸发能力, P : 降水) 十分大, 介于 4~10 之间。未来 30 年黄河及其以北地区气温平均升高 2.0℃ (HD 模式) 或 2.38℃ (MPI 模式), 黄河以南地区气候平均升高 1.8℃ (HD 模式) 或 1.5℃ (MPI 模式), 内陆河流域气温升高可能分别达到 3.1℃ (HD 模式) 或 1.5℃ (MPI 模式)。据 MPI 模式结果, 未来 30 年黄河及其以北地区降水量平均增加 1.6%, 而黄河以南地区降水量平均增加 11.4%, 干旱少雨的内陆河地区降水量可能减少 7% 以上; 黄河及内陆河地区的蒸发量将可能增大 15% 左右, 西北区地表径流量的变化范围预计为 751~1017 亿 m^3 。气候变化使得该地区天然径流减少, 水资源供需矛盾将更加突出。

关键词: 气候变化; 水循环; 水资源; 模拟和预测; 蒸发

1 引言

西北地区深居欧亚大陆腹地, 气候干燥少雨, 区内沙漠遍布, 植被稀疏, 生态环境极为脆弱, 对气候变化十分敏感。随着人口增加和不合理的开发利用, 使原本脆弱的生态环境进一步恶化, 对气候变化更为敏感。在西部生态系统中, 水循环与水资源问题至关重要。西北地区降水量较小, 且降水主要集中在几大山区, 内陆河径流有限, 是我国水资源最为紧缺的地区, 资源性缺水非常突出。有水则绿洲, 无水则荒漠, 水资源已成为西北地区可持续发展的瓶颈问题。国家实施西部大开发战略, 将生态环境保护和建设作为重要切入点。对于西北地区而言, 其首要任务是研究该地区水循环、水资源状况及其变化趋势, 并适应气候变化情景制定水资源合理开发利用战略。

水文循环与水资源变化与气候条件紧密相联, 水汽相互作用是气候系统的基本特征之一。气候变化影响区域降水量、降水分布和流域产流量, 会引起水资源侧支循环(水资源供需)的变化, 从而影响水资源的可持续利用。据 IPCC 和“中国西部环境演变评估”^[1]研究成果, 近百年来中国西部气候的暖干化趋势明显, 尤其最近 50 年, 在气候变化和人类活动的双重影响下, 生态环境进一步恶化, 引发了水资源紧缺、水土流失、冰川萎缩、河川断流等一系列水资源环境恶化问题。未来 50 年, 西部地区气候有继续变暖的趋势, 降水量虽可能有所增加, 但气候变暖会导致蒸发量明显增加, 其

结果是水资源总量减少,需求增加,供需矛盾加剧。因此,进一步研究西北地区气候变化背景下水资源变化规律,揭示气候变化与水文、水资源以及生态环境变化之间的关系,分析水循环演变特征,评估未来西北气候变化对西部各流域水文、水资源的影响,具有重要的科学价值和应用前景。

2 西北地区水循环特征

2.1 西北地区水循环概述

西北地区远离海洋,终年盛行西风气流,东亚季风只能影响到其东部边缘陕、甘、宁及内蒙古地区。近于东西走向的天山、阿尔泰山、帕米尔高原等构成屏障,使塔里木盆地、准噶尔盆地成为十分干旱的闭塞盆地。不同地区有不同的水汽源:来自大西洋和北冰洋的水汽从北疆西部的缺口进入,为北疆山地迎风坡的降水及高山冰川的发育创造了条件;南疆上空的水汽来自阿拉伯海,西北地区东部则是由西南风输送来的孟加拉湾水汽^[2]。图1为1983年中国大陆各区域水文循环概念模型^[3]。以图1f为例,西北地区全年水汽总输入为1 061.9 mm,但只有14.4%形成降水,85.6%成为过境水汽直接穿过该地区上空出境。流出该地区的水汽为1 038.8 mm,水汽净输入量为31.1 mm。年降水量为164.6 mm,其中入境水汽降水量为154.8 mm,境内蒸发形成的降水量为9.8 mm。年蒸发量为133.5 mm,其中有123.7 mm流出境外。境内水汽净输入量即为径流深,全年累积为31.1 mm。

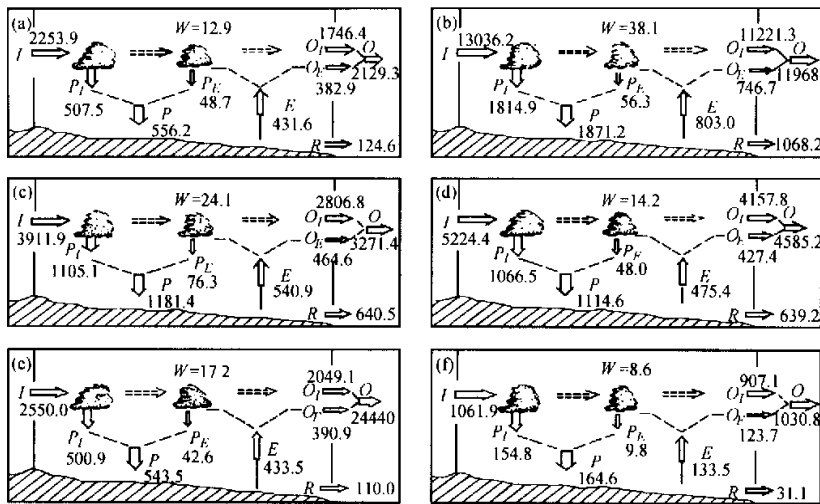
内陆河水系位于西北干旱区,其水循环特征与整个西北地区的平均状态有很大差异。内陆河从源头至尾间一般要流经两个性质完全不同的径流区,即径流形成区(山区)和径流散失区(沙漠)。河流下泄过程中经过河水—地下水—河水的转化,最后由于失去补给,消失在沙漠中。祁连山、昆仑山、天山等各大山系是内陆河发源地,也是绿洲的屏障。降水集中在高山迎风坡,其中天山迎风坡面年均降水量达200~400 mm,个别山地高达600~800 mm,祁连山为300~400 mm,是盆地降水量的10~20倍。据有关研究结果,内陆河流域多年平均径流深仅有6.8 mm^[4]。

2.2 西北降水、蒸发、径流时空分布

2.2.1 降水

西北地区降水分布很不均匀。内陆河地区为典型的大陆性气候,多年平均降水量大于300 mm的都是高山带,而平原盆地的降水量多在150 mm以下。北疆盆地年降水量100~200 mm,南疆盆地不足50 mm,若羌一带约20 mm,哈密北部戈壁不足15 mm,吐鲁番盆地小于10 mm,河西走廊西部不足50 mm,阿拉善地区东部在100 mm左右。降水年内分布不均,5~8月或6~9月降水占全年50%~80%,在盆地不足50 mm,主要由几场暴雨引起。黄河流域降水东南多,西北少,山区多于平原。有3个明显降水地带:同德至同仁、兰州、会宁、靖边、榆林、府谷一线以南和湟水中游地区年降水量在400~800 mm之间;此线以北与景泰、中宁、临河等地之间,以及玛多以西地区在200~400 mm之间;其余地区在200 mm以下。年内降水分配极不均匀,60%~80%集中在6~9月份,最大降水量出现在7、8月份,最小月降水量出现在1月和12月份。^[5]

2.2.2 蒸发

图 1 中国大陆各区域水文循环概念模型 (1983 年)^[3]

(a) 东北区; (b) 华南区; (c) 长江区; (d) 西南区; (e) 华北区; (f) 西北区

内陆河地区水面蒸发的空间分布与降水量相反, 高山小于平地, 盆地周边小于盆地腹心; 水面蒸发随地面抬升而衰减。最大的水面蒸发位于新疆伊吾县和内蒙古居延海一带, 可高达 2 200~2 400 mm。黄河流域水面蒸发的地区分布为: 青海高原和石山林区为 800 mm 以下; 兰州至河口镇区间 (包括鄂尔多斯高原内流区) 为 1 470 mm; 河口镇至龙门区间, 大部分地区在 1 000~1 400 mm 之间; 龙门至三门峡区间在 900~1 200 mm 之间^[5]。

2.2.3 径流

内陆河山区为年径流高值区。天山, 阿尔泰山, 喀喇昆仑山年径流深为 200~600 mm, 昆仑山 150~400 mm; 祁连山东段 200~400 mm。年径流小于 5 mm 的干涸地带带: 内蒙古中西部、河西走廊、柴达木盆地、准噶尔盆地、塔里木盆地、吐鲁番盆地和哈密盆地等。广阔的沙漠腹地基本无地表径流, 然而埋深浅的沙漠地下水可溢出形成湿地及小海子, 成为沙漠地区地表水资源的一种重要表现形式。

通常用年径流的变差系数 C_v 值反映年径流多年变化特性。冰川融水补给比重大的河流, 由于冰川和积雪对径流具有年际调节作用 C_v 值较小。内陆河流域天山西段和祁连山区 C_v 值最小, 在 0.20 左右; 阿尔泰山、天山东段在 0.30~0.50 之间; 内蒙古东部、柴达木盆地在 0.60 左右; 塔里木盆地、准噶尔盆地在 0.80 以上; 内蒙古高原西部一般大于 1.0, 最大可达 1.20 以上, 是内陆河 C_v 值最大的地区。以冰雪融水补给为主的内陆河, 径流主要集中于 7、8 月份。以地下水补给为主的一些内陆河流域, 除冬季因结冰水量较少外, 其余各月径流量比较均匀^[5]。

表 1 给出了西北地区主要内陆河及外流河的降水、径流、径流系数与蒸发系数。西北水循环最突出的特点是径流系数小于蒸发系数, 而干旱指数 E_p/P (E_p : 蒸发能力, P : 降水) 十分大, 介于 4~10 之间。

表 1 西北地区 P、R、R/P、E/P 的流域特征

	内蒙古西部	河西	准噶尔	中亚细亚	塔里木河	青海(部分)	羌塘	额尔齐斯河
计算面积 (km ²)	308067	488708	316530	03130	1074810	319286	721182	52730
年降水量 (mm)	254	123	168	468	102	138	170	394
年径流深 (mm)	3.8	14.0	39.5	207.2	32.3	22.7	34.1	190
R/P	0.01	0.11	0.23	0.44	0.32	0.16	0.2	0.48
E/P	0.99	0.89	0.77	0.56	0.68	0.84	0.8	0.52

注: P 为降水, R 为径流, E 为蒸发

3 未来 30 年西部各流域气候变化情景

用英国 Hadley 研究中心 HD 模式和德国 Max Planck 研究所的 MPI 模式模拟 2030 年气候变化情景, 其结果表明, 2030 年中国各流域年平均气温将升高 1.4~3.1℃ (表 2)。其中黄河及其以北地区气温平均增高 2.0℃ (HD) 或 2.38℃ (MPI), 黄河以南北区气候平均增高 1.8℃ (HD) 或 1.5℃ (MPI), 黑龙江及内陆河流域气温升高可能分别达到 3.1℃ 或 1.5℃ (MPI), 可见受温室效应的影响, 未来 30 年中国北方温度增幅较南方为大, 气候变暖更加明显, 南北温差有缩小的趋势。

表 2 中国各流域 2030 年气温变化情景

℃

流域	模式	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年均
珠江	HD	2.9	1.9	2.2	1.3	1.5	2.6	2.1	1.3	2.0	1.9	1.8	1.5	1.9
	MPI	1.8	1.2	1.1	0.2	2.1	1.9	0.8	2.0	1.1	1.2	1.7	1.8	1.4
浙闽 诸河	HD	2.0	1.5	1.2	1.3	1.4	1.3	1.4	1.5	1.2	1.7	2.0	1.5	1.5
	MPI	1.6	1.5	1.4	1.7	1.0	1.3	1.3	1.7	1.2	1.8	2.2	1.5	1.5
汉江	HD	3.3	2.1	2.3	1.5	1.6	2.0	1.8	1.4	1.8	1.9	2.1	1.7	2.0
	MPI	2.1	1.2	1.2	0.2	2.0	2.3	0.1	1.7	1.6	1.2	2.0	1.8	1.5
赣江	HD	1.6	2.4	2.1	1.4	1.7	1.9	1.6	1.6	1.4	1.4	1.7	2.7	1.8
	MPI	1.6	1.5	1.4	1.7	0.9	1.3	1.5	1.4	1.9	1.2	1.9	2.4	1.6
淮河	HD	2.8	1.9	2.1	1.2	1.5	2.6	2.1	1.3	1.9	2	1.8	1.5	1.9
	MPI	2	1.4	1.2	0.2	2.1	2	0.8	2	1.6	1.2	1.7	1.8	1.5
黄河	HD	2.6	2.1	2.2	1.4	1.6	1.7	1.9	1.8	2	1.8	2.2	2.1	2.0
	MPI	2.8	1.8	1.9	1.6	1.9	2.3	1.4	2.2	2.2	2.1	3.1	3.3	2.2
海河 滦河	HD	2.0	1.2	2.5	0.8	1.4	2.0	1.5	1.6	2.2	2.1	2.3	1.4	1.8
	MPI	2.4	2.1	1.5	1.5	2.4	1.6	1.2	1.5	1.9	1.9	1.8	1.5	1.8
内陆河	HD	1.8	1.1	1.9	1.2	1.9	2.4	2.3	3.0	2.6	2.0	2.3	1.2	2.0
	MPI	3.5	2.5	2.1	1.6	2.9	2.6	2.7	3.2	2.7	2.7	2.5	3.0	2.7
辽河	HD	2.7	2.7	3	1.3	1.7	1.6	1.6	1.4	1.9	1.8	2.4	2.1	2.0
	MPI	3.5	2.9	1.7	2	2.2	1.6	1.4	1.6	2.1	1.9	2.3	2.3	2.1
黑龙江	HD	3.1	2.2	2.6	2.4	1.4	1.2	1.3	1.5	1.6	1.5	3.5	2.9	2.1
	MPI	5.9	4.1	4.1	2.4	2.3	2.1	1.4	1.6	2.1	2.7	3.4	4.5	3.1

中国各流域代表站的降水量变化情景参见表 3。从 HD 模式看, 未来全国南北方年均降水量变化差异不大。但从 MPI 模式来看, 预测未来 30 年我国各流域降水量变化范围为 -7.1%~12.9%, 其中黄河及其以北地区降水量平均增加 1.6%, 而黄河以南地

区降水量年平均增加 11.4%，亦即中国南方降水量增幅明显高于北方。干旱少雨的内陆河地区降水量可能减少 7% 以上，而珠江、汉江、赣江和淮河流域的降水量增幅都在 10% 以上，其中 6~9 月份的降水量增高达到 11.7%~20.1%；汉江流域的降水量增幅有可能达到 17%，而且 6~9 月份的降水量增幅达到 20.1%。

综上所述，受温室效应的影响，未来 30 年中国北方温度增幅较南方为大，气候变暖更加明显，南北温差有缩小趋势；中国南方降水量增幅明显高于北方，干旱少雨的西北和内陆降水量可能减少 7% 以上。

表 3 中国各流域 2030 年降水变化情景 %

流域	模式	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	年均
珠江	HD	37.8	37.8	7.8	7.8	7.8	-5.0	-5.0	-5.0	27.0	27.0	27.0	37.8	7.9
	MPI	28.4	28.4	10.2	10.2	10.2	8.2	8.2	8.2	22.8	22.8	22.8	28.4	12.6
浙闽 诸河	HD	7.0	7.0	18.1	18.1	18.1	13.8	13.8	13.8	-22.2	-22.2	-22.2	7.0	9.5
	MPI	4.7	4.7	4.3	4.3	4.3	1.0	1.0	1.0	13.9	13.9	13.9	4.7	4.5
汉江	HD	5.8	5.8	-4.4	-4.4	-4.4	5.0	5.0	5.0	17.2	17.2	17.2	5.8	7.0
	MPI	21.5	21.5	4.1	4.1	4.1	20.2	20.2	20.2	19.6	19.6	19.6	21.5	17.0
赣江	HD	1.5	1.5	13.6	13.6	13.6	3.2	3.2	3.2	-5.1	-5.1	-5.1	1.5	5.7
	MPI	6.6	6.6	8.3	8.3	8.3	10.4	10.4	10.4	17.5	17.5	17.5	6.6	10.2
淮河	HD	37.8	37.8	7.8	7.8	7.8	-5.0	-5.0	-5.0	27.0	27.0	27.0	37.8	7.0
	MPI	29.6	29.6	10.0	10.0	10.0	7.9	7.9	7.9	23.2	23.2	23.2	29.6	12.9
黄河	HD	46.0	46.0	1.1	1.1	1.1	1.8	1.8	1.8	24.6	24.6	24.6	46.0	8.2
	MPI	25.1	25.1	9.7	9.7	9.7	-4.8	-4.8	-4.8	2.9	2.9	2.9	25.1	0.2
海河 滦河	HD	34.7	34.7	14.4	14.4	14.4	5.4	5.4	5.4	3.8	3.8	3.8	34.7	7.9
	MPI	35.5	35.5	-5.7	-5.7	-5.7	5.2	5.2	5.2	13.0	13.0	13.0	35.5	5.5
内陆河	HD	15.9	15.9	14.3	14.3	14.3	13.7	13.7	13.7	24.4	24.4	24.4	15.9	15.7
	MPI	37.1	37.1	-8.1	-8.1	-8.1	-17.2	-17.2	-17.2	23.5	23.5	23.5	37.1	-7.1
辽河	HD	25.9	25.9	9.6	9.6	9.6	7.0	7.0	7.0	10.0	10.0	10.0	25.9	8.7
	MPI	12.5	12.5	8.8	8.8	8.8	-1.5	-1.5	-1.5	-0.3	-0.3	-0.3	12.5	1.0
黑龙江	HD	4.5	4.5	3.4	3.4	3.4	2.3	2.3	2.3	7.7	7.7	7.7	4.5	3.5
	MPI	18.5	18.5	5.5	5.5	5.5	2.6	2.6	2.6	-10.0	-10.0	-10.0	18.5	1.2

4 未来气候变化对西北水资源的影响评估

4.1 对蒸发的影响

据 HD 和 MPI 模式结果，在气候变暖的背景下，到 2030 年，中国年平均蒸发将增大 3%~15.1%（表 4），其中黄河及内陆河地区的蒸发量将可能增加 15% 左右（MPI 模式），超过降水增加的幅度，这意味着水资源总量将会减少，应该引起充分重视。

表 4 2030 年我国各流域蒸发变化预测 %

流域	珠江	浙闽诸河	汉江	赣江	淮河	黄河	海河滦河	内陆河	辽河	黑龙江
HD	4.0	3.0	3.8	3.5	5.6	13.0	12.5	6.0	6.6	8.6
MPI	3.1	3.0	3.1	3.3	4.8	14.8	5.1	15.1	6.0	11.5

4.2 对年径流影响

据 7 个 GCM 模拟结果，气候变暖将使西部山区积雪持续时间缩短，冰川后退，春

季径流增加,随着冰川与积雪融化补给的减少,径流年际变化将加大,地表水径流量的变化范围预计为 751~1 017 亿 m^3 。据 7 个 GCM 对新疆天山北坡河川径流和土壤湿度的模拟结果,除 MPI 模式外,流域的径流和土壤湿度皆减少。年径流减少 5%~26%,年土壤湿度减少 6%~20%。就 7 个模式平均而言,夏季径流减少 10.3%,远大于冬季的 0.4%^[6]。用 HD 和 MPI 模式得出的气候变化对中国 2030 年天然年径流量的影响分别见图 2 和图 4。HD 情景预测结果(图 2)表明,到 2030 年,东北地区的嫩江、松花江干流、乌苏里江、绥芬河等流域天然径流减少 17.11%~21.73%。全国大部分流域的天然径流为增加的趋势,其中辽河、黄河流域的河口镇—三门峡区间、洞庭湖水系、粤西沿海诸河、闽东及闽南诸河天然径流将可能增加 11.64%~14.64%,洪水灾害可能加剧。尤其是辽河流域和闽江流域汛期 6~8 月份的径流可能增加 9.3% 和 18.9%,闽江流域的最大径流量可能增加 23% (图 3)。

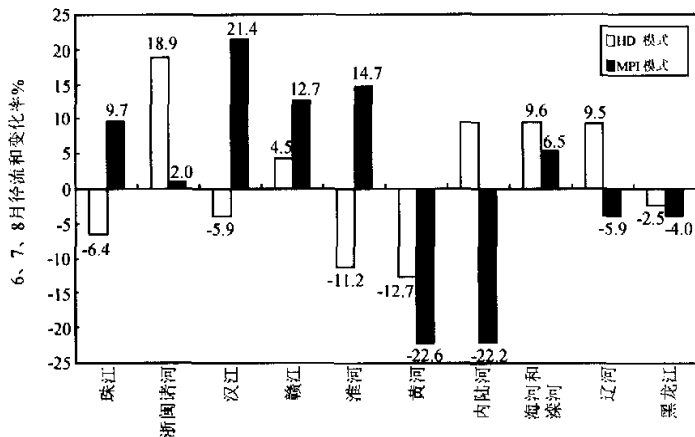


图3 2030年我国各流域6~8月径流量变化预测

MPI 情景的结果(图 4)表明,淮河流域片各流域的天然径流量将可能增大 21.8%~32.1%,汛期 6~8 月份的径流可能增加 14.7%;汉江水系、鄱阳湖水系、长江中下游以及珠江流域片的左江、北江、东江、广东沿海诸河天然径流量将可能增大 12.7%~19.7%,汛期 6~8 月份的径流可能增加 9.7%~21.4%。以上流域洪水的威胁进一步加大。东北诸河除图门江、鸭绿江径流可能增大约 11%外,其余各流域天然径流量将可能减少 0.24%~8.1%。黄河流域天然径流减幅较大,其中中上游减少 5.7%~8.5%,河口镇至花园口区间减少 12.6%~20.9%,黄河内流区减少 24%。内陆河流域的青海内陆河、河西内陆河及奇普恰普河天然径流量将可能减少 22%~48.3%。此外,内陆河流域最大月径流将减少 23.8% (图 5)。可见到 2030 年,干旱少雨的内陆河地区以及水资源矛盾十分突出的黄河流域,由于气候变化使得天然径流减少,水资源供需矛盾将更加尖锐。

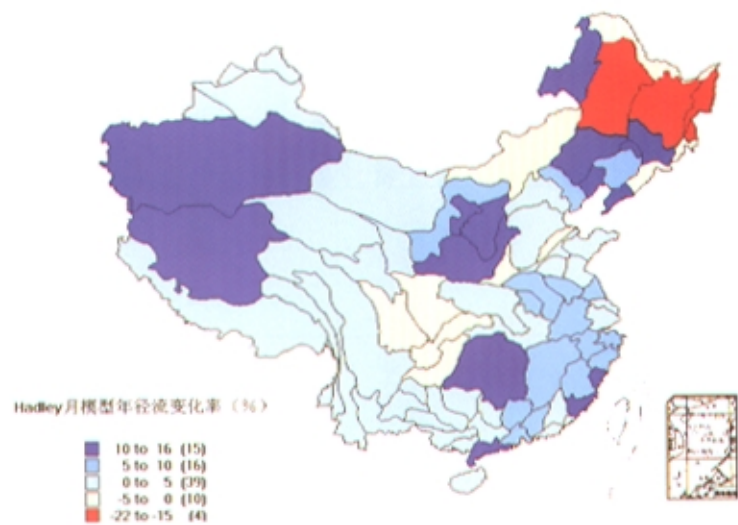


图 2 2030 年我国各流域年径流变化率 (Hadley 模型)

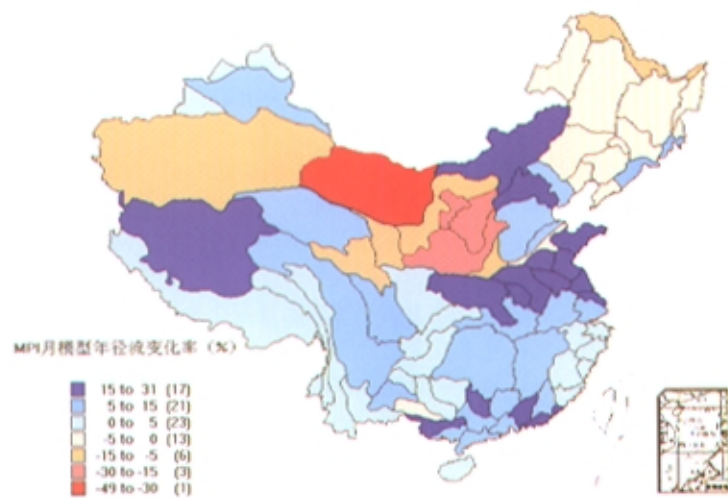


图 4 2030 年我国各流域年径流变化率 (MPI 模型)

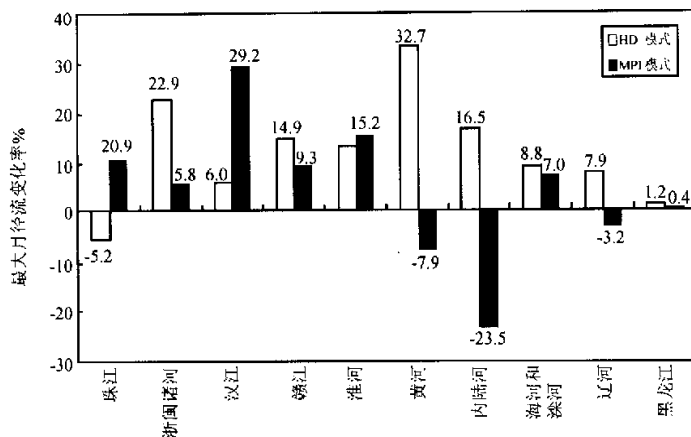


图 5 2030 年中国各流域最大月径流变化预测

5 结论

(1) 西北区全年水汽总输入为 1 061.9 mm, 但只有 14.4% 形成降水, 85.6% 成为过境水汽直接穿过该地区上空出境。流出该地区的水汽为 1 038.8 mm, 水汽净输入量 31.1 mm。西北地区降水分布很不均匀。内陆河地区为典型的大陆性气候, 多年平均降水量大于 300 mm 的都是高山带, 而平原盆地的降水量多在 150 mm 以下, 内陆河流域多年平均径流深仅有 6.8 mm。西北水循环最突出的特点是径流系数小于蒸发系数, 而下旱指数 E_p/P 十分大, 介于 4~10 之间。

(2) 受温室效应的影响, 未来 30 年中国北方温度增幅较南方为大, 气候变暖更加明显, 南北温差有缩小趋势。黄河及其以北地区气温平均升高 2.0℃ (HD) 或 2.38℃ (MPI), 黄河以南地区气候平均升高 1.8℃ (HD) 或 1.5℃ (MPI), 内陆河流域气温升高可能分别达到 3.1℃ (HD) 或 1.5℃ (MPI)。

据 HD 模拟结果, 未来中国南北方平均降水量变化差异不大。但从 MPI 模拟结果看, 未来 30 年全国各流域降水量变化范围为 -7.1%~12.9%, 其中黄河及其以北地区降水量平均增加 1.6%, 而黄河以南地区降水量年平均增加 11.4%, 亦即中国南方降水量增幅明显高于北方。干旱少雨的内陆河地区降水量可能减少 7% 以上。

(3) 据 7 个 GCM 模拟结果, 气候变暖将使西部山区积雪持续时间缩短, 冰川后退, 春季径流增加, 随着冰川与积雪融化补给的减少, 径流年际变化将加大, 地表水径流量的变化范围预计为 751~1 017 亿 m^3 。到 2030 年, 全国年平均蒸发将增大 3%~15.1%, 其中黄河及内陆河地区的蒸发量将可能增大 15% 左右。据 MPI 模拟结果, 未来黄河流域天然径流减幅较大, 其中中上游减少 5.7%~8.5%, 河口镇至花园口区间减少 12.6%~20.9%, 黄河内流区减少 24%。内陆河流域的青海内陆河、河西内陆河及奇普恰普河天然径流量将可能减少 22%~48.3%。到 2030 年, 干旱少雨的内陆河地

区以及水资源矛盾十分突出的黄河流域，由于气候变化使得天然径流的减少，水资源供需矛盾将更加尖锐。

致 谢 感谢刘春藁研究员的大力指导和帮助，感谢英爱文研究员为本研究提供了大量资料。

参 考 文 献

- 1 秦大河，中国西部环境演变评估，综合卷，北京：科学出版社，2002，80pp.
- 2 丁一汇、王守荣，中国西北地区气候与生态环境概论，北京：气象出版社，2001，101~105.
- 3 刘国纬，水文循环的大气过程，北京：科学出版社，1997，222pp.
- 4 丁一汇，中国西部环境演变评估，第二卷，北京：科学出版社，2002，51~52.
- 5 何新林、郭生练，气候变化对新疆玛纳斯河流域水文水资源的影响，水科学进展，1998，9（1），77~83.

Studies on Impacts of Climate Change on Water Cycle and Water Resources in Northwest China

Wang Shourong¹⁾ Zheng Shuihong¹⁾, and Cheng Lei²⁾

1) (National Climate Center, Beijing 100081)

2) (Institute of Strategic Development and Overall Planning, Beijing 100081)

Abstract Annual water vapor import in Northwest China is about 1 061.9 mm, but only 14.4% becomes precipitation, while 85.6% flows out the region. As a result, the average runoff is only about 31.1 mm. Precipitation distribution is quite different from place to place in Northwest China. In inland river basins, annual precipitation more than 300 mm appears only in the high mountain areas. In most plain areas, however, annual precipitation is below 150 mm, and annual runoff is as low as 6.8 mm. The prominent feature of hydrological cycle in Northwest China is that most precipitation becomes vapor instead of runoff, and the drought ratio, E_p/P (E_p : evaporative power, P : precipitation), is as high as 4~10. According to GCMs outputs, to the northern part of the Yellow River, annual mean temperature will rise by 2.0℃ (HD) or 2.38℃ (MPI) by 2030, compared to 1.8℃ (HD) or 1.5℃ (MPI) to the southern part. In inland river basins, temperature will rise by 2.0℃ (HD) or 2.38℃ (MPI). In terms of the MPI simulations, annual mean precipitation will increase by 1.6% to the northern part of the Yellow River, 11.4% to the southern part, 7% in inland river basins. Annual mean evaporation in the Yellow River and inland river basins will increase by about 15%. Total streamflow in Northwest China will decrease by about $(751\sim1017) \times 10^8 \text{ m}^3$ under global warming scenarios, which indicates that water shortage would be severer in future in that region.

Key words: climate change; water cycle; water resources; modeling and predicting; evaporation