

中国降水观测误差分析及其修正

叶柏生¹, 杨大庆², 丁永建¹, 韩添丁¹

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000;

2. Water and Environment Research Center University of Alaska Fairbanks, Fairbanks, AK99775, USA)

摘要: 在 1980s 乌鲁木齐河流域进行的降水误差观测试验结果基础上, 依据我国 726 个气象站 1951~2004 年逐日观测资料, 对降水的动力损失、微量降水以及湿润损失进行系统的修正, 以期获得更准确的长系列降水资料, 为区域乃至全球水热循环过程和水文学研究提供基础资料。修正结果表明, 在大部分地区由风速作用引起的动力损失是主要的误差来源, 但在降水较少的地区湿润和微量降水观测损失也起着重要作用, 全国 726 个台站年降水修正量在 8~740 mm 之间, 平均约 125 mm, 相应的修正幅度在 5%~72%, 平均约 18%。从时间看, 冬季修正系数大于夏季, 但冬季修正量小于夏季; 从空间分布看, 西北地区年修正量一般小于 50 mm, 东南地区大于 100 mm, 总修正系数由西北向东南地区减少, 其中西北地区大于 30%, 而西南地区小于 20%, 这一修正系数高于全球的 11%左右的平均修正量。

关键词: 降水; 误差修正; 中国

1 引言

降水资料是目前全球水热循环以及气候变化研究最主要的气候资料之一, 降水资料的准确与否不仅直接影响流域尺度的水文过程研究, 而且对于区域乃至全球尺度的气候和水文研究至关重要。目前所用的降水资料主要是由各种标准的雨量计直接观测得到的, 一方面由于雨量计对风场的改变引起的动力损失以及对雨量计的湿润和蒸发损失, 同时无法对微量降水进行观测, 使得观测的降水量值远小于实际降水量; 另一方面, 各国雨量计及其安装、观测标准差异较大, 又使得国际上不同国家降水资料缺乏可比性^[1-3], 为此国际上从 1970s 末期开始对各种雨量计进行对比观测^[4-6], 在此基础上完成目前国际上主要使用的雨量计的观测资料的误差分析及其修订方法^[1, 7], 并对全球的降水资料进行初步的修正^[8]。

目前区域乃至全球降水量不确定的主要原由是: (1) 观测点分布的不均匀性, 观测点主要集中在沿海以及低海拔地区; (2) 不同时间、地区和国家观测方法和仪器有较大差异; (3) 观测仪器本身存在观测误差^[1, 7]。由此对降水观测误差系统研究就具有重要意义。

为了评价各国降水观测仪器和方法对降雪观测的准确性, 世界气象组织 (WMO) 在 1985 年开展了固态降水观测国际合作项目^[9], 以双层垂直 8 角防风栅内放置的 Tretyakov 雨量桶 (原苏联的标准雨量桶) 为参考雨量桶, 从 1986~1993 年对包括中国标准雨量桶在内的 13 个国家的雨量计在 20 个观测场内进行了对比观测^[7], 其中 1985~1991 年在我国乌鲁木齐河流域从海拔 917 m 的乌鲁木齐气象站到 3730 m 的乌鲁木齐河源 1 号冰川末端进行了系统的降水误差对比观测^[10-12]; 目前 WMO 针对国际上常用的观测仪器, 如加拿大的 Nipher 降雪观测仪^[13], 美国 NWS 8" 标准雨量计^[14], 俄罗斯的 Tretyakov 雨量计^[15]以及

收稿日期: 2006-09-06; 修订日期: 2006-11-09

基金项目: 中国科学院重要方向性项目 (KZCX3-SW-345); 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所人才基金 (2004116); 寒区旱区环境与工程研究所创新前沿项目 (2004102) [Foundation: National Natural Sciences Foundation of China, No.KZCX3-SW-345; Funds by CAREERI of CAS, No.2004116; No.2004102]

作者简介: 叶柏生 (1964-), 男, 研究员, 博士, 主要从事寒区水文研究。E-mail: yebs@lzb.ac.cn

Hellmann 雨量计^[16-18]和中国的标准雨量计^[10-12], 总结出了降水误差修正方法。这些方法主要是依据逐日观测的气象资料如风速、气温、降水形态等对日降水资料进行修正, 通过这些方法在不同国家的应用表明, 对原有的降水量都有显著的提高^[19-22], 全球平均提高了 11%^[23], 在北极等一些降雪比例较大的地区高达 50%~70%^[19-22]。最近 Adam and Lettenmaier^[8]将这种方法应用到全球逐月格网降水资料的误差修正上。以我国乌鲁木齐河流域进行的系统降水观测误差对比试验结果为基础, 依据我国 710 个气象站以 1951~2004 年逐日气象资料对降水资料进行了系统的修正。

2 研究方法

通常降水观测误差包括微量降水、蒸发损失、对雨量桶的湿润损失以及由于雨量桶对风场改变引起雨量桶捕捉率降低导致的损失, 称动力损失^[24], 由于动力损失影响到雨量桶捕捉率, 因而这一影响也包括湿润、蒸发以及微量损失, 由此降水修正方程表示为^[5]:

$$P_c = K(P_g + \Delta P_w + \Delta P_e + \Delta P_i) \quad (1)$$

式中: P_c 为修正后的降水, P_g 为雨量桶观测到的降水量, ΔP_w 和 ΔP_e 分别为代表湿润和蒸发损失, ΔP_i 为微量降水, 由于微量降水量级较小, 一般不需要考虑动力损失, K 是动力损失修正系数, 一般大于 1。

我国标准雨量计既用来观测降雨, 也用来观测降雪, 1985~1991 年在乌鲁木齐河进行了系统的降水对比观测, 得出上述的各项误差的数量及其估算方法^[11, 12], 在此需要指出的是上述试验是从平原区海拔 916 m, 年降水量 260 mm 的乌鲁木齐站到高山区海拔 4200 m, 年降水量超过 460 mm 的天山 1 号冰川粒雪盆的一系列观测点上进行的^[12], 这一试验包括了影响降水观测误差的大部分降水状况, 其中包括夏季高山区降水为湿雪的情况, 将这一方法总结如下:

2.1 湿润损失 ΔP_w

湿润损失是指在降水过程中粘附于雨量桶壁而无法倒出雨量桶来测量的那部分水量, 其大小主要取决于降水形态, 观测次数等要素, 根据试验, 每次观测的平均湿润量对降雪为 0.30 mm, 对降雨或雨加雪约为 0.29 mm。我国降雨观测规范规定每天观测两次, 考虑到降水不一定全天都发生, 作为保守估算, 对于降水日, 湿润损失按 1 天一次计。

2.2 微量降水 ΔP_i

我国雨量计的观测精度为 0.1 mm, 降水量小于 0.1 mm 的降水, 气象上记录为微降水日, 微量降水在两次观测中都可能发生, 微量降水可以假设在 0.05~0.15 mm 之间, 考虑到降水观测次数等, 对于微降水日, 按 0.1 mm 修正, 直接加到降水量中。

2.3 蒸发损失 ΔP_e

蒸发损失是指在降水观测之前从雨量桶中蒸发掉的水量。对比观测表明不同雨量计蒸发损失差异较大^[7, 25], 主要取决于观测方法和观测次数^[26]。根据乌鲁木齐河源的对比观测结果表明, 我国国家标准雨量计在高山区 (海拔 3640 m) 年平均蒸发损失约 18.6 mm (4.4%), 而在较低海拔地区 (918 m) 则只有 4.4 mm (1.6%), 这主要是由于用于降雨观测的雨量计带有盛水的玻璃瓶, 它极大的抑制了蒸发, 而降雪观测没有玻璃瓶。考虑到影响蒸发的影响因素较多, 难以给出可信的估计, 同时对我国大多数气象站蒸发损失相对较小, 在本文降水误差分析中不考虑这一损失修正。

2.4 动力损失项

动力损失主要是指雨量计对风场的改变引起的观测误差^[24]。由于降雪比降雨更容易受到风的影响, 通常降雪的观测误差更大^[7, 14, 15, 27], 一般用雨量计的捕捉率 (CR) 表示, 指观测的降水量与实际真实的降水量之比, 主要取决于风速、降水类型(雨、雪)以及雨量

计的类型，如雨量计高度、口径以及有无防风圈等^[7, 14, 15, 26, 27]，乌鲁木齐河流域的对比观测试验结果表明，我国雨量计的捕捉率与风速的关系如下^[11]：

$$CR_{snow} = \exp(-0.056W_s) * 100 \quad (0 < W_s < 6.2)$$

(2)

$$CR_{rain} = \exp(-0.04W_s) * 100 \quad (0 < W_s < 7.3)$$

(3)

其中 W_s 是我国标准的 10 m 高度日风速 (m/s)，雨加雪则按下式计算：

$$CR_{mixed} = CR_{snow} - (CR_{snow} - CR_{rain}) * (T_d + 2) / 4$$

(4)

$$T_d = \begin{cases} -2 & (T < -2) \\ 2 & (T > 2) \\ T & (-2 \leq T \leq 2) \end{cases} \quad T_d = 2 \quad (T > 2 \text{ } ^\circ\text{C})$$

T 是日平均气温，实际上上式表示气温高于 2℃ 按降雨对待，低于 -2℃ 按降雪处理，对于没有降水类型资料时亦可按此规律确定雨雪类型。动力修正系数 $K = 1/CR$ 。依据风速、降水量以及降水类型，实际的日降水量可以表示为：

$$P_c = \begin{cases} K(P_g + \Delta P_w) = (P_g + \Delta P_w) / CR & > 0.1 \text{ mm 的降水日} \\ \Delta P_t & \text{微量降水日} \end{cases}$$

(5)

3 降水修正结果

依据我国国家气候数据中心提供的 726 个气象站 1951~2004 年逐日气温、降水、风速资料，以及 1980 年以前雨雪类型资料对我国降水资料进行修正计算，结果分述如下：

3.1 月降水修正结果

月降水修正量就是逐日降水修正之月合计。在我国由于气候差异较大，降水修正量的差别也大。图 1 给出了最冷和最热的 1 月和 7 月微量降水、湿润损失、动力损失以及总修正量的分布，同时在表 1 中给出了所有台站主要修正结果以及相关气象要素的月统计结果；结果表明，微量降水由于直接由微量降水日数确定，全国 1 月平均微量降水修正量在 0.02~1.09 mm 之间变化，而 7 月在 0.15~1.03 mm 之间变化。全国月平均微量降水修正量在 0.3~0.5 mm 之间，其中夏季多，冬季少 (表 1)，但季节差异较小。而全国降

表 1 全国 710 个气象站降水修正量及其相关的气象要素平均值
Tab. 1 The mean values of precipitation correction amount and meteorological factors of 710 meteorological stations over China

	气温	降水日 风速	降雪 率	微量 降水	湿润 损失 修正 量	动力 损失	总修 正量	修正 后降 水量	实测 降水 量	微量 降水 修正 系数	动力 损失 修正 系数	湿润 损失 修正 系数	总 修正 系数	平均 最大 总修正 系数	平均 最小 总修正 系数
单位	℃	m/s	%	mm	mm	mm	mm	mm	mm	%	%	%	%	%	%
1	-2.9	2.6	53.4	0.4	1.9	2.4	4.7	23.1	18.4	24.9	12.9	53.4	91.9	463.4	20.2
2	-0.2	2.8	45.2	0.4	2.0	3.3	5.6	30.3	24.8	20.1	13.8	44.9	79.6	286.8	18.9
3	5.5	3.1	27.1	0.4	2.4	5.3	8.1	49.3	41.3	12.9	14.5	27.4	55.7	301.9	15.4
4	12.2	3.2	8.1	0.4	2.6	7.7	10.6	74.2	63.6	8.0	13.9	15.5	38.3	192.5	12.7
5	17.3	2.9	1.7	0.5	3.0	10.1	13.6	107.5	94.0	5.0	12.5	9.5	27.9	134.7	10.5
6	21.0	2.6	0.2	0.5	3.4	12.6	16.4	144.1	127.7	3.5	10.8	6.3	21.3	87.9	8.6
7	23.1	2.4	0.0	0.5	3.6	14.4	18.4	163.7	145.4	2.4	10.0	4.9	18.1	68.2	7.8
8	22.2	2.3	0.0	0.4	3.3	13.3	17.1	149.6	132.5	2.5	9.8	5.3	18.4	67.4	7.6
9	18.0	2.4	0.4	0.4	2.8	9.2	12.4	97.1	84.7	3.9	10.4	8.4	23.6	113.8	8.5
10	12.0	2.6	6.4	0.4	2.2	5.6	8.2	57.7	49.5	5.8	11.5	15.5	33.7	199.5	10.3
11	5.0	2.7	28.2	0.3	1.8	3.4	5.5	32.4	26.8	12.8	12.7	33.0	59.4	340.5	13.7
12	-0.9	2.6	47.8	0.3	1.7	2.0	4.1	19.6	15.5	23.3	12.4	53.0	89.5	457.2	18.6
年	11.0	2.7	3.5	4.8	30.5	89.2	124.5	946.7	823.8	1.1	11.1	5.2	18.4	27.7	12.3

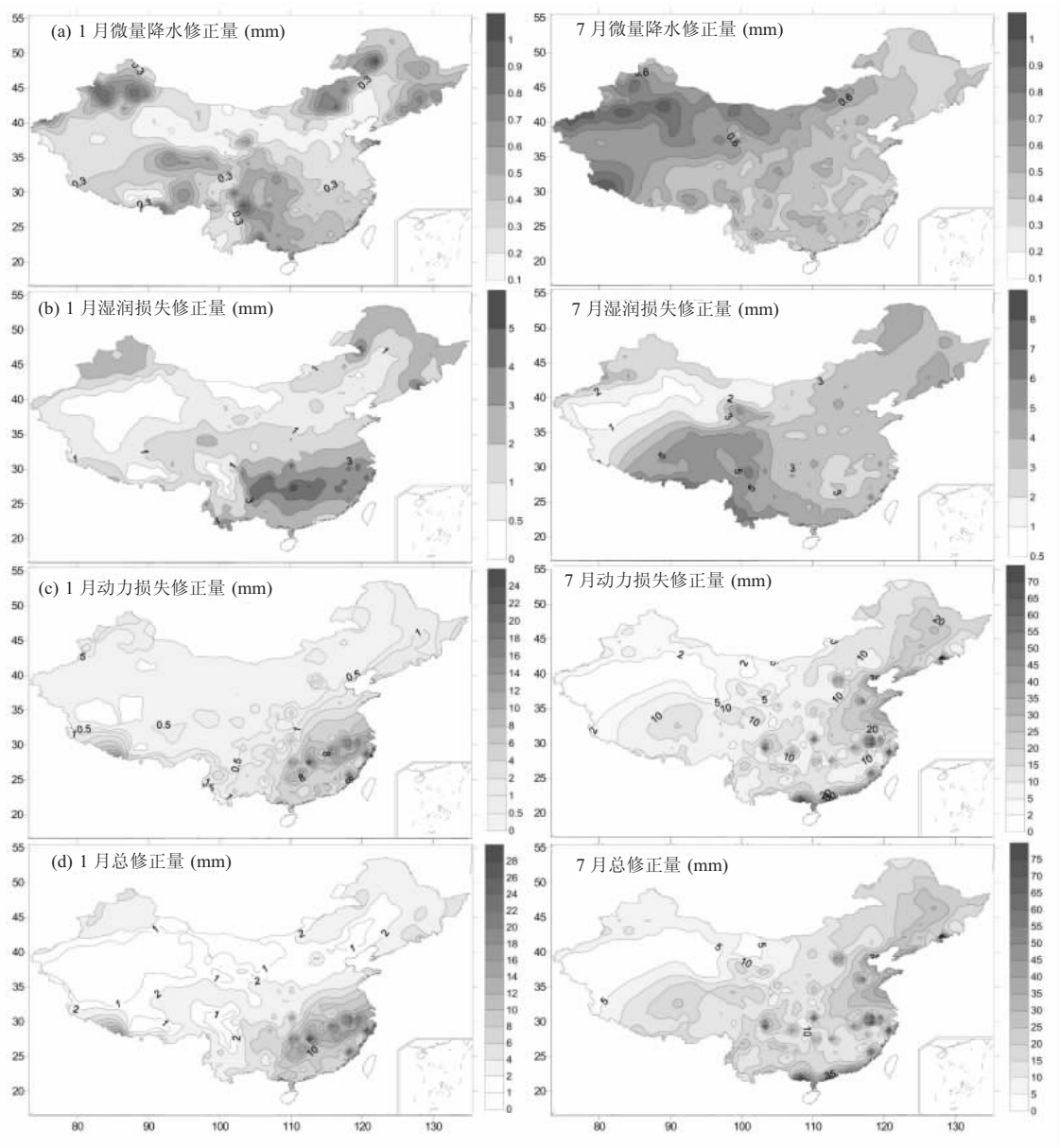


图 1 1951~2004 年全国 1 月 (左列) 和 7 月 (右列) 中国平均微量降水 (a)、湿润损失 (b) 和动力损失 (c) 以及总降水修正量 (d) 分布图

Fig. 1 Monthly mean correction (mm) for (a) trace, (b) wetting loss, (c) wind-induced errors, and (d) total correction in January (left) and July (right) over China during 1951-2004

水湿润损失量 1 月和 7 月的变化分别在 0.05~6.46 mm 和 0.59~7.25 mm 之间, 全国各月平均湿润损失量在 1.7 ~3.6 mm 之间, 1 月东南地区是高值区, 而 7 月则在西南地区, 西北地区一般小于 2 mm, 这主要取决于有效降水日数。动力损失是降水观测误差最主要的来源, 主要取决于风速和降水类型以及降水量, 1 月全国降水量动力损失量在 0~26.3mm 之间, 其中我国大部分地区 1 月的动力损失 小于 0.5 mm, 高值区主要在东南沿海地区, 7 月份动力损失在 0.2~103.9 mm 之间, 西北地区的损失量小于 5 mm, 全国各月动力损失量平均在 2.0 ~ 14.4 mm 之间。由于微量降水、湿润以及动力损失, 使 1 月和 7 月总降水

修正量分别在 0.18~32.44 mm 和 1.68~110.5 mm 之间变化，主要受动力损失的影响，总的降水修正与动力损失的分布比较接近，全国各月总修正量的平均值变化在 4.1~18.4 mm 之间，其中夏季较大，而冬季较小 (表 1)。

由于降水修正量不能反映相对修正量，特别是动力损失项直接与降水量有关系，为此我们定义修正系数 (CF)，即修正量与实现观测量之比，用百分数表示，表明修正量的相对大小，以便应用到缺乏相关资料的地区 (图 2)。

从图 1 中看出，不论是 7 月还是 1 月，微量降水修正系数都是由西北向东南减少，1 月大于降水较多的 7 月，1 月全国平均微量降水修正系数变化于 0~193%，西北地区修正

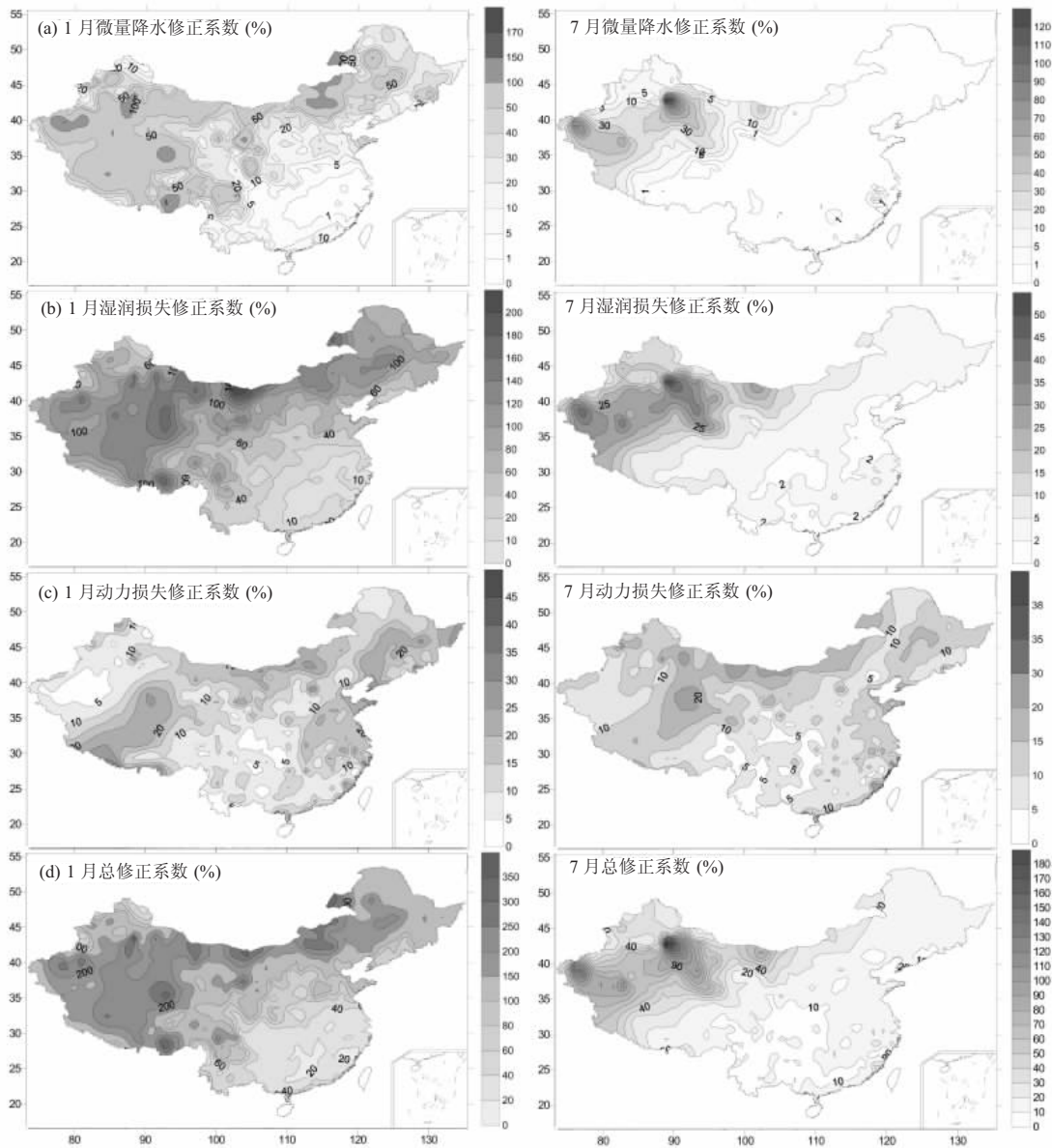


图 2 1951~2004 年全国 1 月 (左列) 和 7 月 (右列) 中国平均微量降水 (a)、湿润损失 (b) 和动力损失 (c) 以及总降水修正量 (d) 修正系数 (CF) 分布图

Fig. 2 Contour maps of monthly mean correction factor (CF, %) for (a) trace, (b) wetting loss, (c) wind-induced errors, and (d) total correction in January (left) and July (right) over China during 1951-2004

表 2 全国年最大、最小及平均的修正量和修正系数

Tab. 2 The mean, maximum and minimum of annual mean correction amount and correction factor over China

	修正量 (mm)				修正系数 (%)			
	微量降水	湿润损失	动力损失	总修正	微量降水	湿润损失	动力损失	总修正
最大	10.8	78.8	677.2	735.4	36.4	26.9	31.5	71.7
最小	1.4	3.1	1.3	8.1	0.0	1.0	0.8	5.0
平均	4.8	30.5	89.2	124.5	1.1	5.2	11.1	18.4

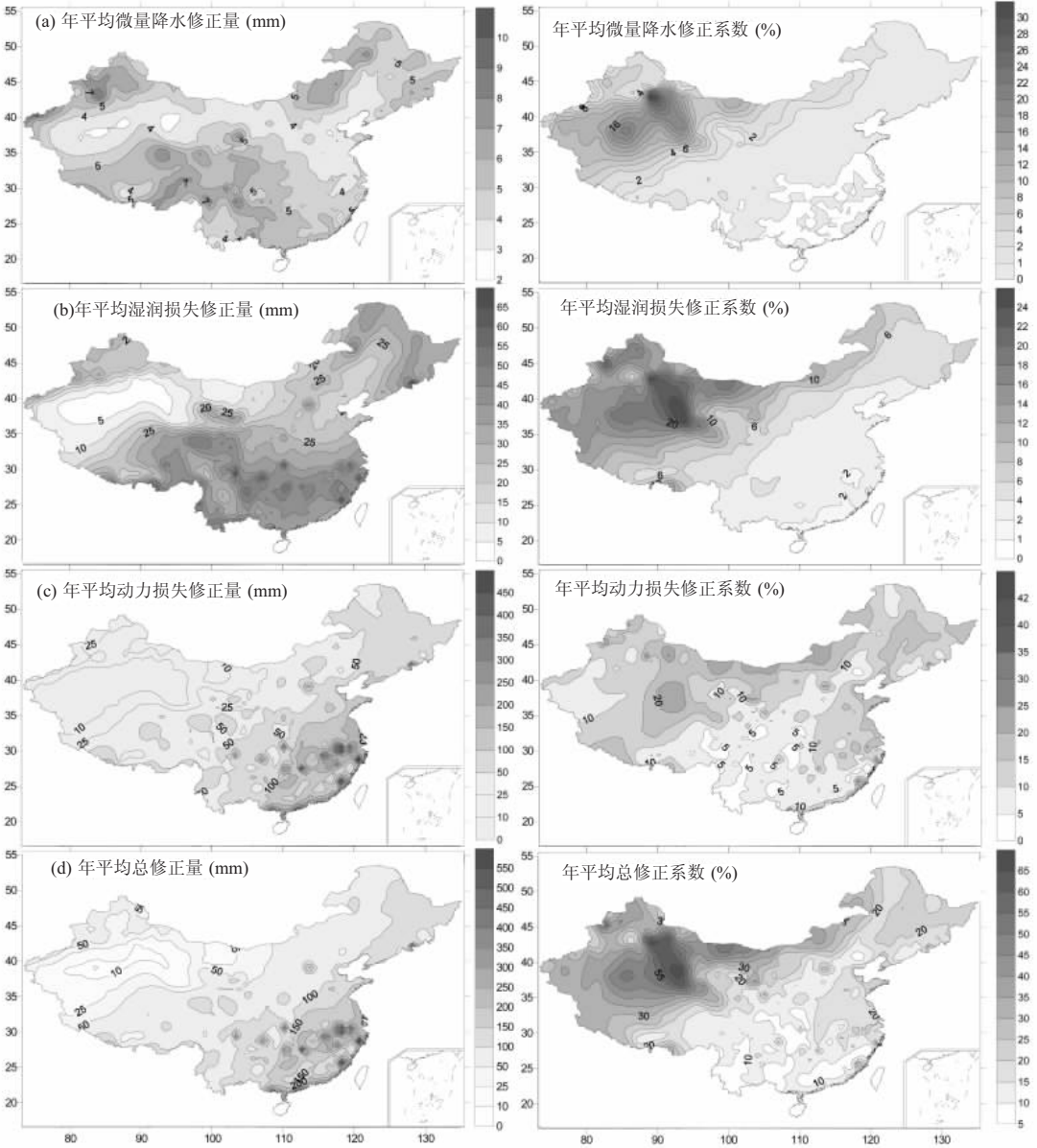


图 3 1951~2004 年全国年平均微量降水 (a)、湿润损失 (b) 和动力损失 (c) 以及总降水修正量 (d) (左列) 及其系数 (CF) (右列) 分布图

Fig. 3 Contour maps of annual mean corrections (left, mm) and their correction factors (right, %) for (a) trace precipitation, (b) wetting loss, (c) wind-induced errors, and (d) total over China during 1951-2004

系数通常大于 50%，部分台站修正系数高达 170%，而东南地区 1 月小于 5%，7 月和 1 月全国平均微量降水修正系数变化于 0~155%，我国东部大部分地区小于 1%，西北地区一般大于 5%，这主要是由于微量降水修正量本身较小，在年内和地区上变化不大，而降水的区域分布差异较大，结果使修正系数具有较强的区域变化特征，特别是对极端干旱地区，实测降水量有时小于微量降水修正量。全国各月平均微量降水修正系数变化在 2%~25%之间。

平均湿润损失修正系数变化类似微量降水修正系数的变化，冬季一般大于夏季，1 月全国平均湿润损失修正系数变化在 3%~221%之间，其中西北地区一般大于 100%，而东南地区一般小于 20%，7 月全国平均湿润损失修正系数变化在 0.3%~62%之间，其中西北地区一般不大于 5%，而东南地区一般小于 3%。全国各月平均湿润损失修正系数变化在 5%~55%之间。总体上看，除一些极端干旱地区外，湿润损失修正系数一般大于微量降水修正系数。

动力损失修正系数的分布各月都比较类似，这主要取决于风速场的分布，同时受雨雪比例的影响，在青藏高原有一个高值区，另一高值区在中国北部，全国 1 月和 7 月的动力损失修正系数变化在 0.3%~39%和 1%~29%之间，全国各月平均动力修正系数变化在 9.8%~14.5%，其中冬季大于夏季。

总修正系数不论 1 月还是 7 月，总体上由西北向东南地区减少，而且冬季大于夏季(图 2)，1 月总修正系数变化介于 6%~400%，西北地区大于 200%，而西南地区小于 40%，

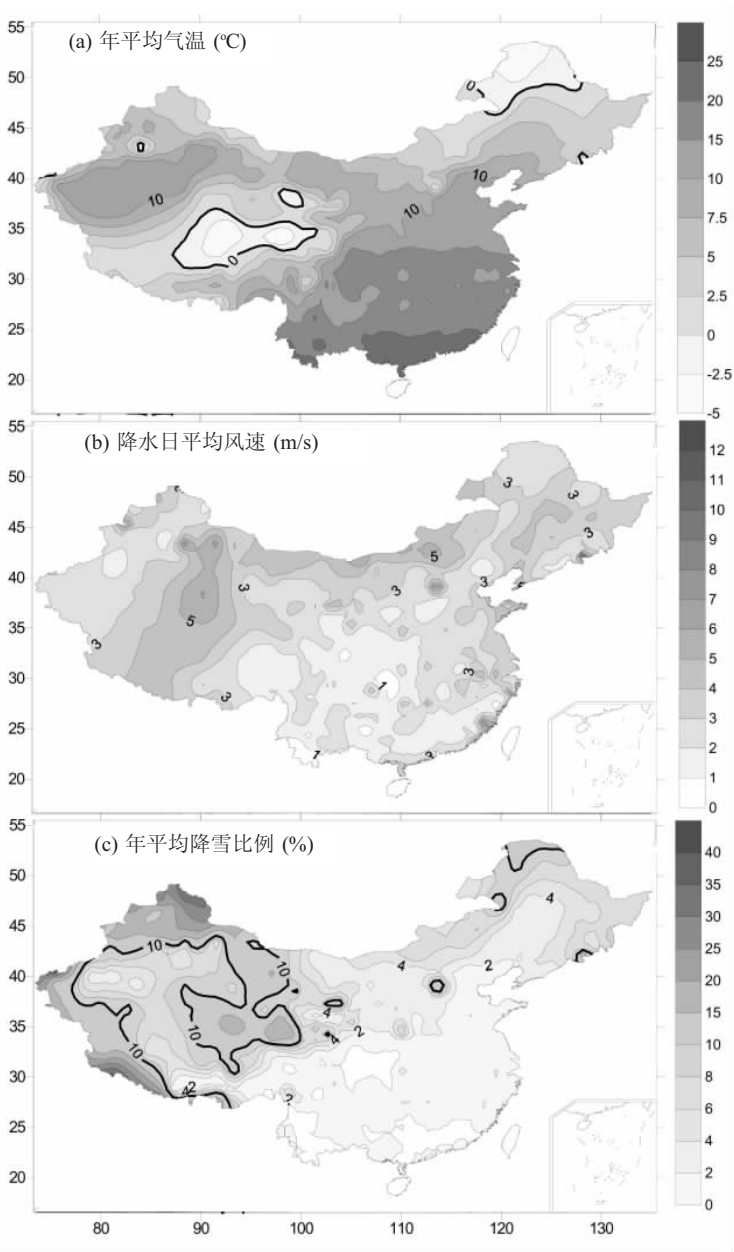


图 4 1951~2004 年中国年平均气温(a)、降水日平均风速(b)和平均降雪率(c)

Fig. 4 Contour maps of (a) mean annual temperature (°C), (b) mean daily wind speed for precipitation days, and (c) mean snow percentage (%) over China during 1951-2004

7 月总修正系数变化在 4%~240%之间, 其中, 西北地区一般大于 20%, 我国东部地区均小于 20%。全国各月平均总修正系数变化在 21%~92%。

3.2 年降水修正结果

年降水修正量就是逐月降水修正之和, 图 3 给出全国微量降水修正、湿润损失、动力损失以及总修正量和修正系数的分布, 同时在表 2 中给出了所有台站年平均修正结果和修正系数以及变化范围, 结果表明, 全国年平均微量降水修正量为 4.8 mm, 变化范围在 1.4~10.8 mm 之间, 其中沿北纬 40° 左右带内年微量降水修正量小于 4mm。而全国年湿润损失量 30.5 mm (3.1~78.8 mm), 其中西部地区中极端干旱少雨地区是一个低值区。大约在 35°N 以南年湿润损失量超过 25 mm, 动力损失是降水观测误差最主要的来源, 年动力损失量在 1.3~677.2 mm 之间变化, 平均 89.2 mm, 由西北向东南方向增加, 主要受降水量的影响。由以上三项损失合计得到全国年平均总降水修正量 124.5 mm, 变化在 8.1~735.4 mm 之间, 其中西北地区一般小于 50 mm, 而东南地区一般大于 100 mm, 主要受动力损失的影响, 总的降水修正与动力损失的分布比较接近。微量降水及湿润损失主要取决于降水日数, 微量降水和湿润损失修正系数变化与年降水的分布呈反相变化, 即由西北向东南较少, 全国年平均微量降水修正系数变化于 0~36.4%, 西北地区修正系数通常大于 2%, 而东南地区 1 月小于 1%, 全国年平均湿润损失修正系数变化在 1%~26.9%之间, 其中西北地区一般大于 10%, 而东部一般小于 4%。

对比影响动力修正系数的气象影子的分布 (图 4) 可以发现, 年动力损失修正系数的分布主要取决于风速场的分布, 同时受雨雪比例的影响, 在青藏高原有一个高值区, 另

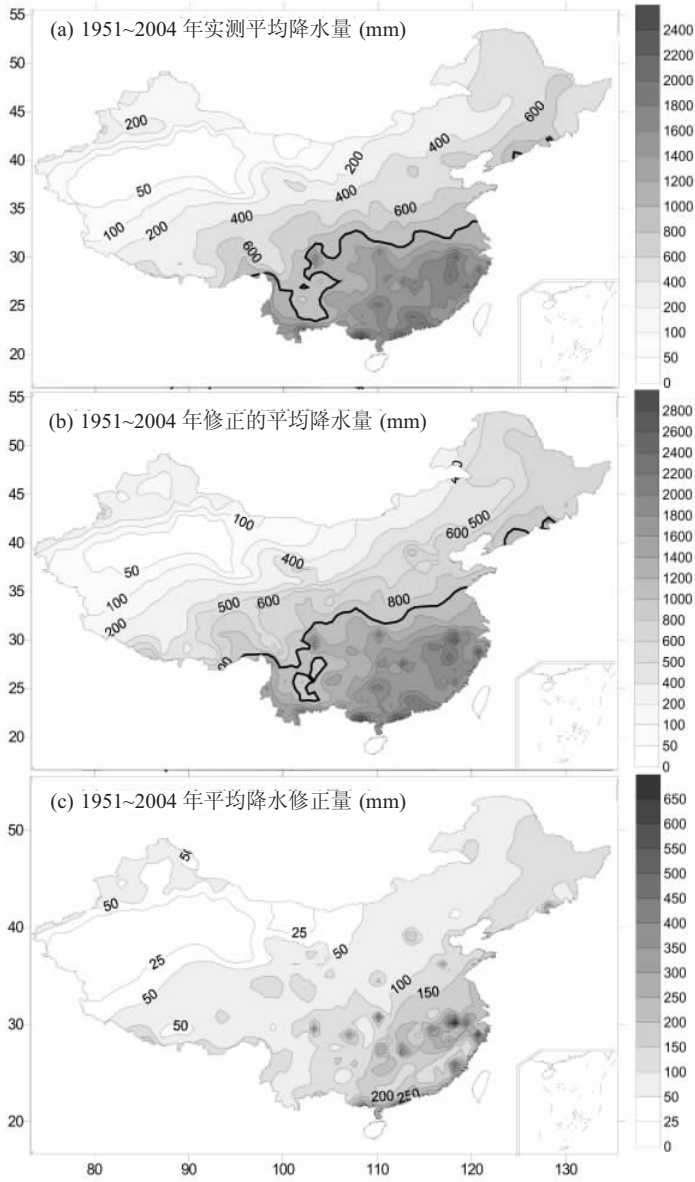


图 5 全国 1951~2004 年实测 (a)、修正 (b) 的多年平均降水量和修正量 (c) 分布图

Fig. 5 Contour maps of corrected and measured mean annual precipitation over China during 1951-2004

一高值区在中国北部, 全国年动力损失修正系数变化在 0.8%~31.5%之间, 平均 11.1%。

总修正系数由西北向东南地区减少, 变化介于 5%~71%, 平均达 18.4%, 其中西北地区大于 30%, 西南地区小于 20%, 这一修正系数高于全球的 11%左右的平均修正量^[8, 23]。

总体看, 降水修正系数的空间分布与动力修正系数分布一致, 在西部受到湿润损失和微量降水的影响, 表明动力损失是最主要的降水观测误差来源, 而湿润损失和微量降水在西部也是重要的误差源, 由于受到青藏高原和天山的影响, 修正系数缺乏像其他北部地区, 如北美大陆由南向北的增加趋势^[19-21, 28], 表现为由东南向西北增加的趋势。在一些极端少雨的地区和年份(主要是西北地区), 年修正系数高达 250%, 多年平均值也高达 60%以上, 类似的结果在一些北极地区也有发现^[5, 20, 29]。

根据以上的修正结果, 生成多年平均年降水分布图, 并与实测年降水分布图对比(图 5), 实测年降水变化在 14~2800 mm 之间, 而修正后的平均年降水量变化在 25~3100 mm 之间, 对比两者发现, 尽管修正后的全国降水分布没有大的变化, 但修正后年平均降水量 500 mm 等值线基本上与实测降水 400 mm 线一致, 这表明目前被我们广泛应用的降水资料偏小, 有必要在以后的研究引起足够的重视。

4 小结与讨论

在 1980s 乌鲁木齐河流域进行的降水误差观测试验结果基础上, 依据我国 726 个气象站 1951~2004 年逐日观测资料, 包括气温、降水量、雨雪类型、风速, 针对我国标准雨量计, 对降水的动力损失、微量降水以及湿润损失进行系统的修正, 以期获得更准确的长系列降水资料, 为区域乃至全球水热循环过程和水文学研究提供基础资料。气温主要用于 1980 年以后缺乏降水类型资料(雨雪)时判别降水类型。修正结果表明, 在大部分地区由风速作用引起的动力损失是主要的误差来源, 但在降水较少的地区湿润和微量降水观测损失也起着重要作用, 全国 726 个台站多年年平均降水修正量在 8~740 mm 之间, 平均约 125 mm, 相应的修正幅度在 6%~62%, 平均约 18%。其中年平均微量降水修正在 1.4~10.8 mm 之间, 平均 4.8 mm, 约 1.1% (0.0~36%), 湿润损失量平均为 30.5 mm, 变化与 3~78 mm 之间, 约 5.2% (1.0~26.9%), 动力损失在 1.3~677 mm 之间, 平均 89 mm, 约 11% (0.8%~31.5%)。

依据 1951~2004 年资料, 在降水的动力损失、微量降水以及湿润损失量估计基础上, 得出全国 726 个气象站总的修正量介于 8~740 mm 之间, 平均为 125 mm, 修正率介于 5%~72%, 平均修正率 18%。同时, 由于相关气象要素的年际波动, 年际之间的修正量亦有较大的波动。在此需要指出的是, 本文所依据的方法是在乌鲁木齐河流域的观测结果, 气候状况包括干旱区到半干旱半湿润区, 但对于日降水强度较大的我国东南沿海地区的降水状况, 可能会有一些误差, 这有待今后的进一步观测试验加以完善。

参考文献 (References)

- [1] UNESCO. World Water Balance and Water Resources of the Earth. Studies and Reports in Hydrology, No.25, UNESCO, Paris, 1978. 663pp.
- [2] Legates D R. Global and terrestrial precipitation: a comparative assessment of existing climatologies. International Journal of Climatology, 1995, 15: 237-258.
- [3] Walsh J E, Kattsov V, Portis D et al. Arctic precipitation and evaporation: model results and observational estimates. Journal of Climate, 1998, 11(1): 72-87.
- [4] Sevruk B. Reliability of precipitation measurement. In: Sevruk B (ed.), Proc. International Workshop on Precipitation Measurement, St.Moritz, Switzerland, WMO/IAHS/ETH, 1989. 13-19.
- [5] Yang D, Goodison B E, Metcalfe J R et al. Compatibility evaluation of national precipitation gauge measurements. J. of Geophysical Research-Atmospheres, 2001, 106(D2):1481-1492.

- [6] Karl T R, Quayle R G, Groisman P Y. Detecting climate variations and change: new challenges for observing and data management system. *J. Climate*, 1993, 6(8): 1481-1494.
- [7] Goodison B E, Louie P Y T, Yang D. WMO solid precipitation measurement intercomparison, final report, WMO/TD-No. 872, WMO, Geneva, 1998, 212pp.
- [8] Adam J, Lettenmaier D P. Adjustment of global gridded precipitation for systematic bias. *J. of Geophysical Research-Atmospheres*, 2003, 108(D9): 4257. doi:10.1029/2002JD002499.
- [9] Goodison B E, Sevruk B, Klemm S. WMO solid precipitation measurement intercomparison: Objectives, methodology, analysis. In: *Atmospheric Deposition*, IAHS publ. No.179, Wallingford, U.K., 1989. 57-64.
- [10] Yang D, Shi Y, Kang E et al. Research on analysis and correction of systematic errors in precipitation measurement in Urumqi river basin, Tianshan. In: *Proc. International workshop on precipitation measurement*, St. Moritz, Switzerland, 1989. 173-179.
- [11] Yang D, Shi Y, Kang E et al. Results of solid precipitation measurement intercomparison in the alpine area of Urumqi River Basin. *Chinese Science Bulletin*, 1991, 36(13): 1105-1109.
- [12] Yang D. Research on analysis and correction of systematic errors in precipitation measurement in Urumqi river basin, Tianshan. Dissertation of Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Chinese Academy of Sciences, 1988. [杨大庆. 天山乌鲁木齐河流域降水观测系统误差分析与修正. 中国科学院兰州冰川冻土研究所博士论文, 兰州, 1988.]
- [13] Goodison B E, Metcalfe J R. The WMO solid precipitation intercomparison: Canadian assessment. In: *WMO Technical Conference on Instruments and Method of Observation*, Vienna, Austral, WMO/TD-No.462, WMO, 1992. 221-225.
- [14] Yang D, Goodison B E, Metcalfe J R et al. Accuracy of NWS 8-inch standard non-recording precipitation gauge: result of WMO Intercomparison. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 1998, 15(2): 54-68.
- [15] Yang D, Goodison B E, Metcalfe J R et al. Accuracy of Tretyakov precipitation gauge: results of WMO Intercomparison. *Hydrological Processes*, 1995, 9(8): 877-895.
- [16] Gunther Th. German participation in the WMO solid precipitation intercomparison: final results. In: Sevruk B (ed.), *Proc. Symp. on Precipitation and Evaporation*. Lapin M, Vol.1, Bratislava, Slovakia, Slovak Hydrometeorological Institute and Swiss Federal Institute of Technology, 1993, 93-102.
- [17] Allerup P, Madsen H, Veijen F. A comprehensive model for correcting point precipitation. *Nordic Hydrology*, 1997, 28: 1-20.
- [18] Yang D, Elomaa E, Tuominen A et al. Wind-induced precipitation undercatch of the Hellmann gauges. *Nordic Hydrology*, 1999, 30: 57-80.
- [19] Metcalfe J R, Ishida S, Goodison B E. A corrected precipitation archive for the Northwest Territories. In: *Mackenzie Basin Impact Study, Interim Report #2*, Proc. Sixth Biennial AES/DIAND Meeting on Northern Climate, Yellowknife, NWT, Canada, 1994, 110-117.
- [20] Yang D, Goodison B E, Benson C et al. Adjustment of daily precipitation at 10 climate stations in Alaska: application of WMO intercomparison results. *Water Resources Research*, 1998, 34(2): 241-256.
- [21] Yang D, Ishida S, Goodison B E et al. Bias correction of daily precipitation measurements for Greenland. *J. Geophysical Research*, 1999, 105(D6): 6171-6182.
- [22] Yang D. An improved precipitation climatology for the Arctic Ocean. *Geophysical Research Letters*, 1999, 26(11): 1625-1628.
- [23] Legates D R, Willmott C J. Mean seasonal and spatial variability in gauge-corrected, global precipitation. *International Journal of Climatology*, 1990, 10: 111-127.
- [24] Sevruk B, Hamon W R. International comparison of national precipitation gauges with a reference pit gauge. WMO Instrument and Observing Methods Report No.17, WMO, 1984, 111pp.
- [25] Aaltonen A, Elomaa E, Tuominen A. Measurement of precipitation. In: *Proc. Symp. on Precipitation and Evaporation*, edited by B. Sevruk and M. Lapin, Vol.1, Bratislava, Slovakia, Slovak Hydrometeorological Institute and Swiss Federal Institute of Technology, 1993, 42-46.
- [26] Sevruk B. Method of correction for systematic error in point precipitation measurement for operational use. WMO-No. 589, 1982. 91pp.
- [27] Larson L W, Peck E L. Accuracy of precipitation measurements for hydrological modelling. *Water Resources Research*, 1974, 10(4): 857-863.
- [28] Legates D R, DeLiberty T L. Precipitation measurement biases in the United States. *Water Resources Bulletin*, 1993, 29 (5): 854-861.
- [29] Metcalfe J R, Goodison B E. Correction of Canadian winter precipitation data. In: *Proc. 8th Symp. on Meteorological Observations and Instrumentation*, Anaheim, CA, AMS, 1993. 338-343.

A Bias-corrected Precipitation Climatology for China

YE Baisheng¹, YANG Daqing², DING Yongjian¹, HAN Tianding¹

(1. *Cold & Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, CAS, Lanzhou 730000, China;*

2. *Water and Environment Research Center, University of Alaska Fairbanks, Fairbanks, AK99775, USA*)

Abstract: This paper presents the results of bias corrections of Chinese standard precipitation gauge (CSPG) measurements for wind-induced undercatch, trace amount of precipitation and wetting loss. Long-term daily data of precipitation, temperature, and wind speed during 1951-2004 at 726 meteorological stations in China were used for this analysis. It is found that wind-induced gauge undercatch is the greatest error in most regions, and wetting loss and trace amount of precipitation are important in the low precipitation regions in Northwest China. Monthly correction factors (corrected/measured precipitation) differ by location and by type of precipitation. Considerable inter-annual variation of the corrections exists in China due to the fluctuations of wind speed and frequency of precipitation. More importantly, annual precipitation has been increased by 8 to 740 mm with an overall mean of 125 mm at the 726 stations over China due to the bias corrections for the study period. This corresponds to 5%-72% increases (overall mean of 18% at the 726 stations over China) in gauge-measured yearly total precipitation over China. This important finding clearly suggests that annual precipitation in China is much higher than previously reported. The results of this study will be useful to hydrological and climatic studies in China.

Key words: precipitation; bias-correction; China