

## 新疆夏半年降水观测误差分析和修正

杜铭霞, 张明军, 王圣杰, 车彦军, 陈 荣

(西北师范大学地理与环境科学学院, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 降水资料的准确性对区域和全球的水文、气候研究意义重大。对降水观测误差进行修正是提高降水资料准确性的有效途径。基于新疆地区316个自动气象站2013年夏半年的气温、降水量、风速、相对湿度和气压的小时数据,采用世界气象组织固态降水观测国际合作项目在中国乌鲁木齐河流域进行的一系列观测实验得出的降水观测误差修正方法,在提高降水类型判定精度的基础上,对316个自动气象站观测的降水资料中湿润损失和动力损失进行系统误差分析和修正,主要结论为:(1)湿润损失修正量北疆大于南疆,天山北坡明显高于南坡。(2)动力损失修正量北疆大于南疆,天山北坡大于南坡,天山南坡站点动力损失修正量由北向南逐渐减小。(3)总修正量北疆大于南疆,总修正系数大多介于15.0%~20.0%和20.0%~25.0%。(4)修正后降水量平均值增加了16.96 mm。

**关键词:** 新疆;夏半年;降水;观测误差;修正

中图分类号: P426.61 文献标识码:A 文章编号:1000-6060(2017)06-1143-09(1143~1151)

DOI:10.13826/j.cnki.cn65-1103/x.2017.06.003

降水数据资料是最主要的气候资料之一,其准确度对区域和全球的水文、气候等方面的研究具有重要意义<sup>[1-2]</sup>。降水资料基本来自于气象站点的降水观测记录。许多研究发现降水观测记录中存在着很多不确定性<sup>[3-5]</sup>。降水观测不准确会给气候变化的分析带来不确定性,并且使水文过程对气候变化响应机理等方面的研究出现一定困难<sup>[6-8]</sup>。因此,开展降水观测的不确定性研究具有非常重要的科学及现实意义<sup>[9]</sup>。当前区域乃至全球降水数据资料中的不准确性主要来源于:气象站点空间分布的不均匀性;观测仪器类型及安装方法、降水量观测方法的差异性;观测仪器在降水观测时存在的微量降水、湿润损失和动力损失等系统误差<sup>[10-12]</sup>。由此可见,研究降水的观测误差并对其进行误差修正是提高降水资料准确性的有效方面和最具可行性的途径。

国内外对降水观测误差的研究均始于20世纪80年代。1985年世界气象组织(WMO)开展了固态降水观测国际合作项目<sup>[13]</sup>,于1986-1993年间对13个国家的雨量计进行了观测实验对比研究<sup>[14]</sup>。

目前,WMO已经归纳出了国际上常用降水观测仪器<sup>[15-18]</sup>的(如美国的NWS 8"标准雨量计)系统误差修正方法,这些修正方法主要是采用风速、气温、降水类型等气象资料的日数据对观测降水数据进行日尺度上的系统误差修正。这些修正方法在不同国家和地区<sup>[10,19-22]</sup>得到了广泛应用,如西伯利亚<sup>[20]</sup>、阿拉斯加州<sup>[21]</sup>等地区,结果显示修正后的降水量较原有观测的降水量均有明显提高<sup>[23-25]</sup>。国际上对其他各国不同雨量计(除中国标准雨量计以外)观测误差的认识逐渐清晰,适用于不同降水类型的系统误差修正方法也相继明确并得到广泛应用,修正后降水资料的准确性大大提高,各项系统误差的差异得到初步认识。由于国际间观测仪器在类型以及安装标准上存在很大差异,观测方法上也不尽相同,这些其他各国各类雨量计的修正方法不适用于中国地区基于中国标准雨量计观测的降水资料的系统误差修正研究。

自20世纪50代以来,中国标准雨量计被普遍用于中国气象站点液态及固态降水的观测中<sup>[26]</sup>。

收稿日期:2017-05-19; 修订日期:2017-08-10

基金项目:科技部全球变化重大科学研究计划重大科学目标导向项目(2013CBA01801);国家自然科学基金项目(41161012)

作者简介:杜铭霞(1988-),女,河北省晋州市,博士研究生,主要从事气候变化方面的研究。Email:mingxiadu@126.com

通讯作者:张明军,男,教授,博士生导师,主要从事气候变化与水文过程方面的研究。Email:mjzhang2004@163.com

对于其修正方法,世界气象组织(WMO)<sup>[27-28]</sup>和中国气象局<sup>[29-30]</sup>均通过实验进行了探索,前者于1985-1991年在我国乌鲁木齐河流域进行了系统的降水观测误差对比实验,总结出的中国标准雨量计系统误差修正方法在西北地区的适用性较好。还有学者总结出了国内其他雨量计<sup>[31]</sup>的修正方法。这些修正方法在我国各个地区得到了广泛应用<sup>[12,34-37]</sup>,如华北地区<sup>[35]</sup>、祁连山区<sup>[37]</sup>等。整体而言,国内的降水观测误差修正研究不仅对WMO国际对比观测实验得出的修正方法进行了应用,而且发展了适合于某些具体区域的修正方法,有效地提高了中国各地区降水资料的准确性,对比了国内外降水测量的差异,对各项系统误差的大小、修正量和修正系数的季节变化、空间差异认识更加清晰。

新疆地形组成和气候类型较为复杂,降水观测误差对新疆降水观测资料准确性的影响尤为突出,本文基于新疆高空间覆盖度的316个自动气象站2013年夏半年的气象要素小时数据,采用WMO固态观测国际合作项目在乌鲁木齐河流域实验中得出的中国标准雨量计降水观测误差修正方法,结合DING et al.提出的精确的降水类型判定方法<sup>[38]</sup>,对316个自动气象站2013年夏半年降水资料中湿润损失和动力损失进行误差修正,探讨各项损失的修正量、修正系数、总修正量和总修正系数的时空特征,并对比分析修正前、后的总降水量的变化情况,对于全面认识全疆及各个分区的降水观测损失情况具有重要的参考价值,同时可为水热模型及气候变化等相关研究提供更加精准的降水数据资料。

## 1 数据处理与研究方法

### 1.1 数据处理

本文选取时间序列满足2013年4月至10月(夏半年)中平均气温、降水量、风速、相对湿度和气压5个气候要素连续统计记录不少于5个月的316个新疆自动气象站(图1),对降水资料进行系统误差分析和修正,以期相关的气象和水文研究提供空间刻画更加细致、精确度更高的降水数据资料。图1至图5采用的中国行政区划底图数据均已通过国家测绘地理信息局审核<sup>[40]</sup>。

在数据处理过程中,将新疆自动气象站小时尺度的平均气温、降水量、风速、相对湿度和气压数据

按每天不少于21 h分别计算为相应的日数据。在数据质量控制中,参考《新疆气象手册》<sup>[39]</sup>一书中依据实测资料总结出的新疆气候要素极端值,将气温有效范围定为-51.5(极端最低温)~49.6℃(极端最高温),降水量的有效范围定为0~95.3 mm(新疆一日最大降水量,考虑到一日最大降水量可能出现在某1 h内,所以小时最大降水量也按照此数值界定)。

### 1.2 研究方法

1.2.1 降水类型判定方法 Ding et al.基于1951-1979年中国气象站点的气象数据资料提出的区分降水类型(雪、雨和混合降水)的新型参数化方案<sup>[38]</sup>具体如下所示:

$$\text{type} = \begin{cases} \text{snow} & (T_w \leq T_{\min}) \\ \text{mixed} & (T_{\min} < T_w < T_{\max}) \\ \text{rain} & (T_w \geq T_{\max}) \end{cases} \quad (1)$$

式中: $T_w$ 表示湿球温度(℃), $T_{\min}$ 表示日最低气温(℃), $T_{\max}$ 表示日最高气温(℃), $T_w$ 、 $T_{\min}$ 和 $T_{\max}$ 分别按如下公式计算:

$$T_w = T_d - \frac{e_{\text{sat}}(T_d)(1 - RH)}{0.000643p_s + \frac{\partial e_{\text{sat}}}{\partial T_d}} \quad (2)$$

式中: $T_d$ 为日平均气温(℃), $RH$ 表示相对湿度(%), $p_s$ 代表气压(hPa), $e_{\text{sat}}(T_d)$ 表示日平均气温下的标准水汽压(hPa),它可用如下公式<sup>[41]</sup>计算:

$$e_{\text{sat}}(T_d) = 6.1078 \exp\left(\frac{17.27T_d}{T_d + 237.3}\right) \quad (3)$$

式中: $T_d$ 为日平均气温(℃)。

下面为日最低气温( $T_{\min}$ )和日最高气温( $T_{\max}$ )的计算方法:

$$T_{\min} = \begin{cases} T_0 - \Delta S \times \ln \left[ \frac{\exp\left(\frac{\Delta T}{\Delta S}\right) - 2 \exp\left(-\frac{\Delta T}{\Delta S}\right)}{2} \right] & \left(\frac{\Delta T}{\Delta S} > \ln 2\right) \\ T_0 & \left(\frac{\Delta T}{\Delta S} \leq \ln 2\right) \end{cases} \quad (4)$$

$$T_{\max} = \begin{cases} 2T_0 - T_{\min} & \left(\frac{\Delta T}{\Delta S} > \ln 2\right) \\ T_0 & \left(\frac{\Delta T}{\Delta S} \leq \ln 2\right) \end{cases} \quad (5)$$

式中: $\Delta T$ 、 $\Delta S$ 、 $T_0$ 三个参数分别按如下方法计算:

$$\Delta T = 0.215 - 0.099RH + 1.018RH^2 \quad (6)$$

$$\Delta S = 2.374 - 1.634RH \quad (7)$$

$$T_0 = -5.87 - 0.1042h + 0.0885h^2 + 16.06RH - 9.614RH^2 \quad (8)$$

在方程(6)~(8)中, $RH$ 代表相对湿度(%),它的值在0到1之间变动, $h$ 代表气象站点的海拔高度(km)。

1.2.2 降水观测误差修正方法 降水观测误差的修正主要从微量降水、蒸发损失、湿润损失和动力损失几个方面进行,修正方程<sup>[42]</sup>为:

$$P_c = K(P_m + \Delta P_w + \Delta P_e) + \Delta P_i \quad (9)$$

式中: $P_c$ 代表误差修正之后的降水量(mm), $K$ 表示动力损失修正系数, $K$ 值一般大于1, $P_m$ 为观测降水量(mm), $\Delta P_w$ 为湿润损失(mm), $\Delta P_e$ 为蒸发损失(mm), $\Delta P_i$ 为微量降水(mm)。

降水量测量时一部分降水粘附于雨量计内壁而无法计入测量造成湿润损失,在一次降水观测中,平均湿润损失量对降雪为0.30 mm,对降雨为0.23 mm,对混合降水为0.29 mm<sup>[28]</sup>。对于一个降水日,平均湿润损失量按一次降水观测计算。新疆自动站数据资料中没有微量降水的相关记录,文中未对微量降水损失进行误差修正。落入雨量计的降水在测量之前发生一定程度的蒸发形成蒸发损失。中国标准雨量计在设计上大大减小了蒸发损失<sup>[11,19]</sup>。许多研究<sup>[10-11]</sup>表明忽略蒸发损失对降水修正结果的影响较小,文中暂未对蒸发损失进行修正。动力损失来源于雨量计上方风场的变形<sup>[14,17]</sup>。在世界气象组织(WMO)相互对比项目中,捕捉率被定义为雨量计的捕捉降水(包括蒸发损失和湿润损失)与实际降水的百分比<sup>[14]</sup>。本文采用了乌鲁木齐河源一系列观测实验中发现的针对于中国标准雨量计的雨、雪以及混合降水捕捉率与风速的关系<sup>[28]</sup>,具体如下列方程所示。不同降水类型(雨、雪以及混合降水)仍按照DING et al.提出的新型参数化方案<sup>[38]</sup>进行区分。

$$CR_{snow} = 100 \exp(-0.056W_s) \quad (0 < W_s < 6.2) \quad (10)$$

$$CR_{rain} = 100 \exp(-0.041W_s) \quad (0 < W_s < 7.3) \quad (11)$$

$$CR_{mixed} = CR_{snow} - (CR_{snow} - CR_{rain})(T_d + 2)/4 \quad (12)$$

式中: $CR$ 表示捕捉率(%), $W_s$ 为风速( $m \cdot s^{-1}$ ,标准高度10 m), $T_d$ 代表日平均气温( $^{\circ}C$ )。

动力损失的修正系数( $K$ ,%)按如下公式计算:

$$K = \frac{1}{CR} \quad (13)$$

## 2 结果与分析

### 2.1 湿润损失修正量和修正系数

观测误差的修正量可以反映出各项误差损失的大小,但不能反应出降水的相对修正量,而修正系数( $CF$ ,%)为修正降水量与观测降水量的比值,可以表明降水修正量的相对大小<sup>[11]</sup>。图2为新疆自动气象站夏半年湿润损失修正量和湿润损失修正系数的空间分布,总体而言湿润损失修正量(图2a)北疆大于南疆,北疆站点湿润损失修正量大多在10.0~13.0 mm范围内,少数站点的动力修正量介于13.0~16.0 mm;天山北坡湿润损失修正量明显大于南坡的,在天山南坡站点湿润损失修正量由北向南表现出从7.0~10.0 mm向4.0~7.0 mm、 $\leq 4.0$  mm递减的空间变化趋势;在南疆,塔里木盆地西南部站点的湿润损失修正量大多介于4.0~7.0 mm,塔里木盆地南部、中部和西北部站点的湿润损失修正量绝大多数不超过4.0 mm。新疆自动气象站湿润损失修正系数(图2b)整体上没有表现出明显的空间递变特征,全疆大部分站点的湿润损失修正系数在4.0%~8.0%、8.0%~12.0%范围内变动。

### 2.2 动力损失修正量和修正系数

图3为新疆自动气象站夏半年动力损失修正量和动力损失修正系数的空间分布,总体而言以天山山脉为界,北疆动力损失修正量(图3a)大于南疆的,北疆站点动力损失修正量大多在10.0~15.0 mm和15.0~25.0 mm范围内,少数站点的动力损失修正量介于25.0~35.0 mm或者 $> 35.0$  mm;天山北坡动力损失修正量明显大于南坡的,在天山南坡站点动力损失修正量由北向南表现出从15.0~25.0 mm向5.0~10.0 mm、 $\leq 5.0$  mm递减的变化趋势;在南疆,南疆塔里木盆地西南部站点的动力损失修正量大多介于5.0~10.0 mm和15.0~25.0 mm,塔里木盆地南部、中部和西北部站点的动力损失修正量大多 $\leq 5.0$  mm。新疆自动气象站动力损失修正系数(图3b)整体上没有表现出显著的空间递变特征,全

疆大部分站点的动力损失修正系数在 $\leq 12.0\%$ 与 $12.0\% \sim 15.0\%$ 范围内,部分站点的动力损失修正系数介于 $18.0\% \sim 21.0\%$ ,极少数站点的动力损失修正系数在 $21.0\% \sim 24.0\%$ 范围内,甚至超过 $40.0\%$ 。

### 2.3 湿润损失和动力损失总误差修正

图4为新疆自动气象站夏半年湿润损失和动力损失总修正量和总修正系数的空间分布,整体而言以天山山脉为界,总修正量(图4a)北疆大于南疆,北疆大部分站点的总修正量在 $18.0 \sim 28.0 \text{ mm}$ 范围内,天山北坡湿润损失和动力损失总修正量在 $18.0 \sim 28.0 \text{ mm}$ 范围内的站点居多,总修正量大于 $48.0 \text{ mm}$ 的站点也有不少分布,天山南坡站点的总修正量由北向南逐渐减小,南疆塔里木盆地西南部站点湿润损失和动力损失总修正量大多介于 $10.0 \sim 18.0 \text{ mm}$ ,塔里木盆地内部、南部和东北部站点湿润损失和动力损失总修正量大多 $\leq 10.0 \text{ mm}$ 。新疆自动气象站总修正系数(图4b)整体上没有表现出空间

递变特征,全疆大部分站点的总修正系数在 $15.0\% \sim 20.0\%$ 和 $20.0\% \sim 25.0\%$ 范围内,塔里木盆地南部站点总修正系数较小,部分站点总修正系数小于 $15.0\%$ 。

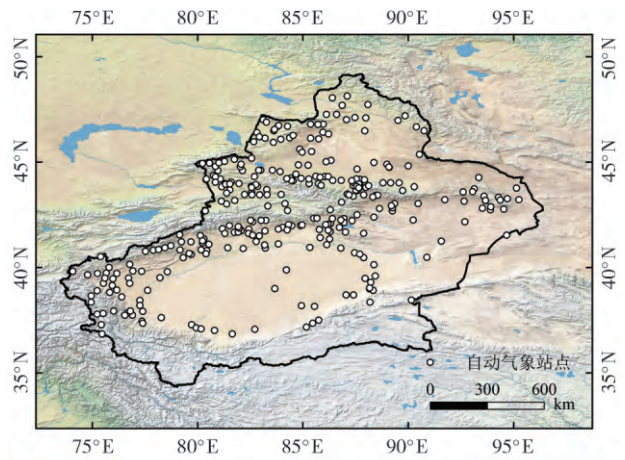


图1 新疆自动气象站点分布图

Fig.1 Map showing the location of automatic meteorological stations of Xinjiang in this study

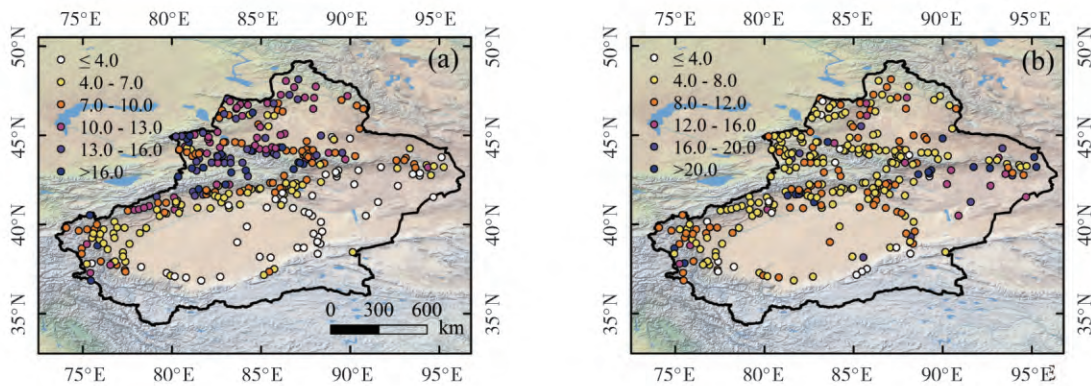


图2 新疆自动气象站夏半年湿润损失修正量(a,mm)和湿润损失修正系数(b,%)空间分布

Fig.2 Correction (a,mm) and correction factor (CF) (b,%) for wetting loss of automatic meteorological stations in Xinjiang during summer half year

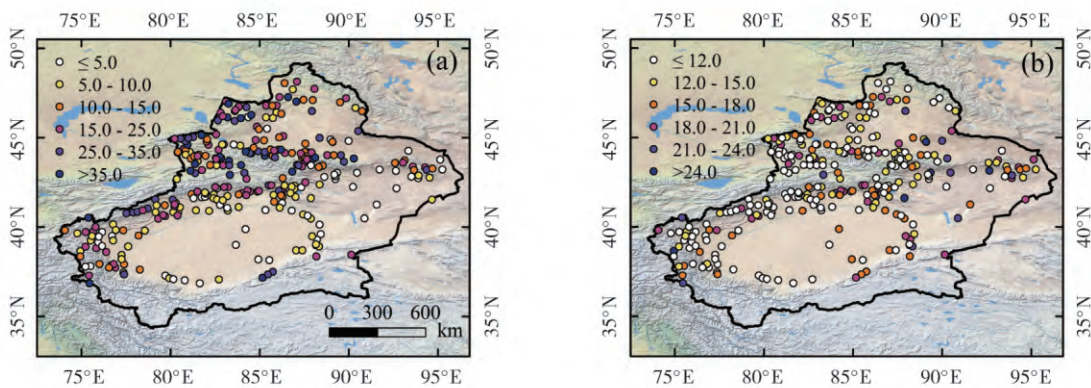


图3 新疆自动气象站夏半年动力损失修正量(a,mm)和动力损失修正系数(b,%)空间分布

Fig.3 Correction (a,mm) and correction factor (CF) (b,%) for wind-induced loss of automatic meteorological stations in Xinjiang during summer half year

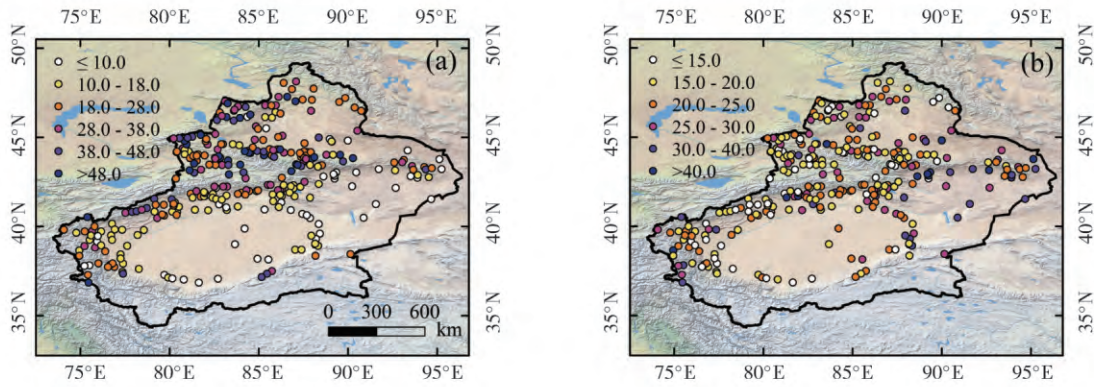


图4 新疆自动气象站夏半年湿润损失和动力损失总修正量(a,mm)和总修正系数(b,%)  
Fig.4 Total correction (a,mm) and total correction factor (CF) (b,%) for wetting loss and wind-induced loss of automatic meteorological stations in Xinjiang during summer half year

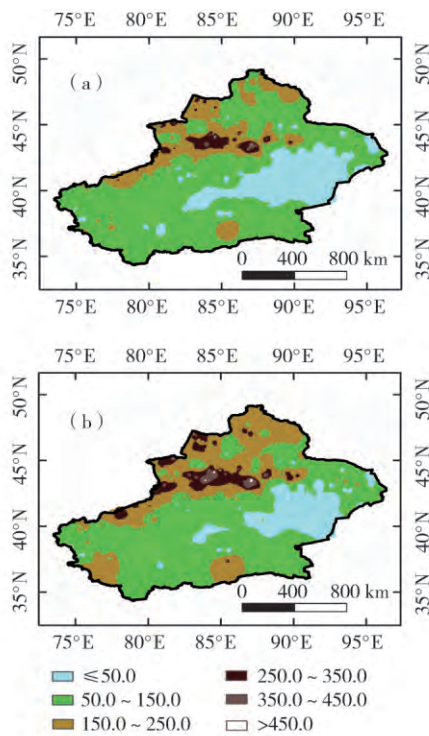


图5 新疆自动气象站夏半年湿润损失和动力损失修正前(a)、后(b)总降水量(mm)对比

Fig.5 Precipitation (mm) before (a) and after (b) the correction for wetting loss and wind-induced loss of automatic meteorological stations in Xinjiang during summer half year

#### 2.4 修正前后总降水量对比

图5为新疆自动气象站夏半年湿润损失和动力损失修正前、后总降水量(mm)对比情况,从图中可以明显看出,降水观测误差修正后,各个地区的观测降水量得到了不同程度的补充,原有降水数据资料进一步接近了降雨量的真实值,数据准确程度大

大提高。湿润损失和动力损失修正前(图5a),准噶尔盆地大部分地区降水量在50.0~150.0 mm范围内,北疆其他地区降水量基本在150.0~250.0 mm范围内;天山大部分地区降水量介于150.0~250.0 mm,部分地区的降水量在250.0~350.0 mm范围内;南疆降水量大多介于150.0~250.0 mm,塔里木盆地中部、哈顺戈壁和吐鲁番盆地等浅蓝色区域降水量小于50.0 mm。湿润损失和动力损失修正后降水量较修正前明显增加,不同降水量范围的面积变化情况如表1所示。

图6为新疆自动气象站夏半年湿润损失和动力损失修正前后总降水量对比情况。从图6a可以看出湿润损失和动力损失修正后降水量较修正前明显增加,修正前的降水量中位数为137.80 mm,修正后的降水量中位数为157.05 mm,增加了19.25 mm。

表1 新疆自动气象站夏半年湿润损失和动力损失修正前(a)、后(b)不同降水量范围的面积(km<sup>2</sup>)变化

Tab.1 Change of area (km<sup>2</sup>) in different precipitation ranges before and after the correction for wetting loss and wind-induced loss of automatic meteorological stations in Xinjiang during summer half year

站点降水量范围 / mm	修正前面积 / km <sup>2</sup>	修正后面积 / km <sup>2</sup>	修正后与修正前面积差 / km <sup>2</sup>
≤ 50.0	315 786.24	213 466.68	-102 319.56
50.0 ~ 150.0	1 041 017.89	934 786.12	-106 231.77
150.0 ~ 250.0	262 486.44	415 932.34	153 445.90
250.0 ~ 350.0	41 429.39	84 363.48	42 934.09
350.0 ~ 450.0	4 146.28	15 682.31	11 536.03
> 450.0	133.75	769.07	635.32

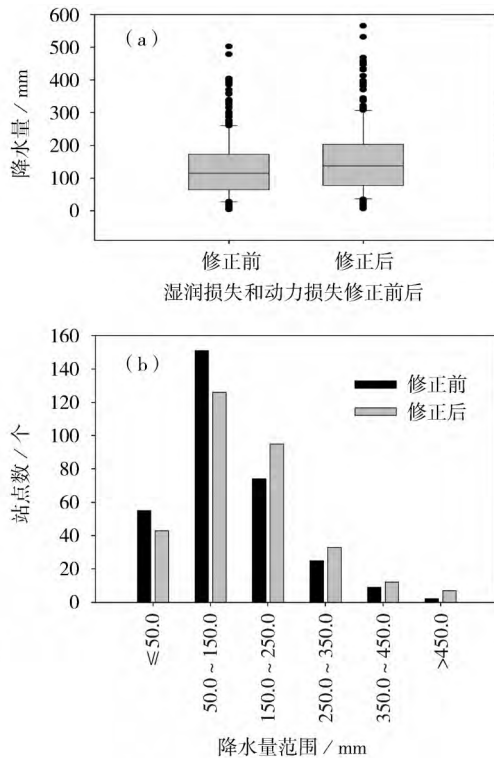


图6 新疆自动气象站夏半年湿润损失和动力损失修正前后总降水量对比(a)和修正前后不同降水量范围站点个数统计对比(b)

Fig.6 Precipitation (a) and the number of automatic meteorological stations in different precipitation ranges (b) before and after the correction for wetting loss and wind-induced loss in Xinjiang during summer half year

图6b为湿润损失和动力损失修正前后不同降水量范围站点个数统计对比情况,降水量在150.0~250.0 mm、250.0~350.0 mm、350.0~450.0 mm和 $> 450.0$  mm范围内的站点个数修正后分别增加了21、8、3、5个,湿润损失和动力损失修正后各个站点的降水量均有不同程度的增加。

### 3 讨论

现有研究对深入评价世界各地的降水观测误差具有重要参考价值,并且在很大程度上提高了降水资料的准确性。在长时间序列的气象资料中,只有1980年以前的气象资料有降水类型的记录。而降水类型划分的对湿润损失和动力损失误差修正必不可少,在缺少降水类型记录时,相关研究主要依靠日平均气温来划分不同的降水类型<sup>[12,19]</sup>。然而许多研究<sup>[23,34]</sup>发现,不同降水类型对应的气温范围

有一定交集,同种降水类型在不同地区对应气温范围具有差异性。因此,根据日平均气温划分降水类型会给降水修正研究带来很大的不确定性,如:何晓波等研究发现若按照气温来划分不同的降水类型,修正后降水量比修正前提高约16.8%,而依据实际观测降水类型进行修正时,修正后降水量比修正前提高约17.7%<sup>[34]</sup>。

降水类型划分的准确性直接影响降水误差修正结果的准确性。新疆地区地形复杂,不同地区气候条件有明显差异,依据温度来确定降水类型的方法不能保证修正结果的准确性。本文采用一个新的参数化方案来确定不同的降水类型(雪、雨和混合降水),这个参数化方案由DING et al.基于1951-1979年中国气象站点的气象数据资料提出,其不同时段、不同地区的精度验证结果<sup>[38]</sup>表明,时间和空间精度均大大超过了现有降水类型区分方法的准确度<sup>[43-44]</sup>。降水类型划分准确度地提高为降水资料误差修正结果的精度提供了良好地保障。

### 4 结论

本文基于新疆地区316个自动气象站2013年夏半年(4~10月)的气温、降水量、风速、相对湿度和气压的小时数据,结合更加精确的降水类型判定方法,对湿润损失和动力损失进行修正,结果发现:

(1)湿润损失修正量北疆大于南疆,天山北坡明显大于南坡,天山南坡站点湿润损失修正量由北向南表现出递减的空间变化趋势。湿润损失修正系数大多介于4.0%~8.0%和8.0%~12.0%。

(2)动力损失修正量北疆大于南疆,天山北坡明显大于南坡,天山南坡站点动力损失修正量由北向南逐渐减小。

(3)总修正量北疆大于南疆,天山南坡站点的总修正量由北向南逐渐减小。全疆大部分站点的总修正系数在15.0%~20.0%和20.0%~25.0%范围内变动。

(4)修正后总降水量大于修正前总降水量。降水量的平均值增加了16.96 mm,中位数增加了19.25 mm。

致谢:感谢新疆气象局提供新疆自动气象站气象数据集。感谢齐月助理研究员提供中国行政区划底图数据。

## 参考文献(References)

- [1] 吕少宁,文军,刘蓉. 中国大陆地区不同降水资料的适用性及其应用潜力[J]. 高原气象,2011,30(3):628-640.[LV Shaoning, WEN Jun, LIU Rong. Applicability and potential of the different precipitation data in mainland China[J]. Plateau Meteorology, 2011, 30(3): 628-640.]
- [2] 熊秋芬,黄玫,熊敏谔,等. 基于国家气象观测站逐日降水格点数据的交叉检验误差分析[J]. 高原气象,2011,30(6):1615-1625.[XIONG Qiufen, HUANG Mei, XIONG Minquan, et al. Cross-validation error analysis of daily gridded precipitation based on China meteorological observation[J]. Plateau Meteorology, 2011, 30(6): 1615-1625.]
- [3] 杨大庆,姜彤,张寅生,等. 天山乌鲁木齐河源降水观测误差分析及其改正[J]. 冰川冻土,1988,10(4):384-399.[YANG Daqing, JIANG Tong, ZHANG Yinsheng, et al. Analysis and correction of errors in precipitation measurement at the head of Urumqi River, Tianshan[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1988, 10(4): 384-399.]
- [4] SEVRUK B. Reliability of precipitation measurement [C]//SEVRUK B, ed. Proceedings of 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]. Journal of Geophysical Research-Atmospheres, 2001, 106(D2): 1481-1492.
- [6] YANG D, YE B, SHIKLOMANOV A. Discharge characteristics and changes over the Ob River watershed in Siberia[J]. Journal of Hydrometeorology, 2004, 5: 69-84.
- [7] TIAN X, DAI A, YANG D, et al. Effects of precipitation-bias corrections on surface hydrology over northern latitudes [J]. Journal of Geophysical Research, 2007, 112(D14101): 1-10.
- [8] 叶柏生,成鹏,杨大庆,等. 降水观测误差修正对降水变化趋势的影响[J]. 冰川冻土,2008,30(5):717-725.[YE Baisheng, CHEN Peng, YANG Daqing, et al. Effects of the bias-correction on changing tendency of precipitation over China[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2008, 30(5): 717-725.]
- [9] WALSH J E, KATTSOV V, PORTIS D, et al. Arctic precipitation and evaporation: Model results and observational estimates [J]. Journal of Climate, 1998, 11: 72-87.
- [10] YANG D, ISHIDA S, GOODISON B E, et al. Bias correction of daily precipitation measurements for Greenland [J]. Journal of Geophysical Research, 1999, 105(D6): 6171-6182.
- [11] YE Baisheng, YANG Daqing, DING Yongjian, et al. A bias-corrected precipitation climatology for China [J]. Journal of Hydrometeorology, 2004: 1147-1160.
- [12] 叶柏生,杨大庆,丁永建,等. 中国降水观测误差分析及其修正[J]. 地理学报,2007,62(1):3-13.[YE Baisheng, YANG Daqing, DING Yongjian, et al. A bias-corrected precipitation climatology for China[J]. Acta Geographica Sinica, 2007, 62(1): 3-13.]
- [13] GOODISON B E, SEVRUK B, KLEMM S. WMO solid precipitation measurement intercomparison: Objectives, methodology, analysis [C]//Atmospheric Deposition, IAHS Publication No. 179. Wallingford, UK: IAHS, 1989: 57-64.
- [14] GOODISON B E, LOUIE P Y T, YANG D. WMO solid precipitation measurement intercomparison, final report, WMO/TD-No. 872[R]. Geneva: WMO, 1998: 1-212.
- [15] YANG D, GOODISON B E, METCALFE J R, et al. Accuracy of NWS 8-inch standard non-recording precipitation gauge: result of WMO Intercomparison [J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 1998, 15(2): 54-68.
- [16] GOODISON B E, METCALFE J R. The WMO solid precipitation intercomparison: Canadian assessment, WMO/TD-No. 462 [R]. Vienna, Austria: WMO, 1992: 221-225.
- [17] YANG D, GOODISON B E, METCALFE J R, et al. Accuracy of Tretyakov precipitation gauge: results of WMO Intercomparison [J]. Hydrological Processes, 1995, 9(8): 877-895.
- [18] YANG D, ELOMAA E, TUOMINEN A, et al. Wind-induced precipitation undercatch of the Hellmann gauges [J]. Nordic Hydrology, 1999, 30: 57-80.
- [19] ZHANG Y, OHATA T, YANG D, et al. Bias correction of daily precipitation measurements for Mongolia [J]. Hydrological Processes, 2004, 18: 2991-3005.
- [20] YANG D, OHATA T. A bias-corrected Siberian regional precipitation climatology [J]. Journal of Hydrometeorology, 2001, 2: 122-139.
- [21] YANG D, GOODISON B E, ISHIDA S, et al. Adjustment of daily precipitation data at 10 climate stations in Alaska: Application of World Meteorological Organization intercomparison results [J]. Water Resources Research, 1998, 34(2): 241-256.
- [22] YANG D, KANE D, ZANG Zhongping, et al. Bias corrections of long-term (1973-2004) daily precipitation data over the northern regions [J]. Geophysical Research Letters, 2005, 32, L19501, doi:10.1029/2005GL024057.
- [23] YANG D, GOODISON B E, METCALFE J R, et al. Accuracy of NWS 800 standard nonrecording precipitation gauge: Results and application of WMO intercomparison [J]. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 1998, 15: 54-68.
- [24] YANG D. An improved precipitation climatology for the Arctic Ocean [J]. Geophysical Research Letters, 1999, 26(11): 1625-1628.
- [25] LEGATES D R, WILLMOTT C J. Mean seasonal and spatial variability in gauge-corrected, global precipitation [J]. International Journal of Climatology, 1990, 10: 111-133.
- [26] 中国气象局. 地面气象观测规范[M]. 北京: 气象出版社, 2003. [China Meteorological Administration. The specification of ground meteorological observation [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2003.]

- [27] YANG D, SHI Y, KANG E et al. Research on analysis and correction of systematic errors in precipitation measurement in Urumqi river basin, Tianshan [C]//Proceedings of international workshop on precipitation measurement. St. Moritz, Switzerland, 1989: 173-179.
- [28] YANG D, SHI Y, KANG E et al. Results of solid precipitation measurement intercomparison in the alpine area of Urumqi River Basin [J]. Chinese Science Bulletin, 1991, 36(13): 1105-1109.
- [29] 任芝花, 王改利, 邹凤玲, 等. 中国降水测量误差的研究 [J]. 气象学报, 2003, 61(5): 621-627. [REN Zhihua, WANG Gaili, ZOU Fengling, et al. The research of precipitation measurement errors in China [J]. Acta Meteorologica Sinica, 2003, 61(5): 621-627.]
- [30] 任芝花, 李伟, 雷勇, 等. 降水测量对比试验及其主要结果 [J]. 气象, 2007, 33(10): 96-101. [REN Zhihua, LI Wei, LEI Yong, et al. A comparison experiment of solid precipitation measurement and its primary results [J]. Meteorological Monthly, 2007, 33(10): 96-101.]
- [31] 赵求东, 叶柏生, 何晓波, 等. 唐古拉山区 Geonor T-200B 自动雨雪量计日降水观测误差修正 [J]. 高原气象, 2014, 33(2): 452-459. [ZHAO Qiudong, YE Baisheng, HE Xiaobo, et al. Bias correction of daily precipitation measured by Geonor T-200B precipitation gauge in Tanggula Mountain [J]. Plateau Meteorology, 2014, 33(2): 452-459.]
- [32] DING Y J, YANG D Q, YE B S et al. Effects of bias correction on precipitation trend over China [J]. Journal of Geophysical Research, 2007, 112, D13116, doi:10.1029/2006JD007938.
- [33] REN Z H, LI M Q. Errors and correction of precipitation measurements in China [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2007, 24(3): 449-458.
- [34] 何晓波, 叶柏生, 丁永建. 青藏高原唐古拉山区降水观测误差修正分析 [J]. 水科学进展, 2009, 20(3): 403-408. [HE Xiaobo, YE Baisheng, DING Yongjian. Bias correction for precipitation measurement in Tanggula Mountain Tibetan Plateau [J]. Advances in Water Science, 2009, 20(3): 403-408.]
- [35] 孙秀宝. 观测误差对华北和东北降水测量及其趋势估算的影响 [D]. 南京: 南京信息工程大学, 2012: 1-76. [SUN Xiubao. Effects of observation error on precipitation measurement and trend estimates over North and Northeast China [D]. Nanjing: Nanjing University of Information Science & Technology, 2012: 1-76.]
- [36] 孙秀宝, 任国玉, 任芝花, 等. 风场变形误差对冬季降雪测量及其趋势估算的影响 [J]. 气候与环境研究, 2013, 18(2): 178-186. [SUN Xiubao, REN Guoyu, REN Zhihua, et al. Effects of wind-induced errors on winter snowfall and its trends [J]. Climatic and Environmental Research, 2013, 18(2): 178-186.]
- [37] CHEN R, LIU J, KANG E, et al. Precipitation measurement intercomparison in the Qilian Mountains, Northeastern Tibetan Plateau [J]. The Cryosphere Discuss, 2015, 9: 2201-2230.
- [38] DING Baohong, YANG Kun, QIN Jun, et al. The dependence of precipitation types on surface elevation and meteorological conditions and its parameterization [J]. Journal of Hydrology, 2014, 154-163.
- [39] 张学文, 张家宝. 新疆气象手册 [M]. 北京: 气象出版社, 2006. [ZANG Xuewen, ZHANG Jiabao. The meteorological manual of Xinjiang [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2006.]
- [40] 车彦军, 赵军, 张明军, 等. 不同气候变化背景下 2070-2099 年中国潜在植被及其敏感性 [J]. 生态学报, 2016, 36(10): 2885-2895. [CHE Yanjun, ZHAO Jun, ZHANG Mingjun, et al. Potential vegetation and its sensitivity under different climate change scenarios from 2070 to 2099 in China [J]. 2016, 36(10): 2885-2895.]
- [41] MURRAY F W. On the computation of saturation vapor pressure [J]. Journal of Applied Meteorology, 1967, 6: 203-204.
- [42] SEVRUK B, HAMON W R. International comparison of national precipitation gauges with a reference pit gauge [R]//WMO Instrument and Observing Methods Report No.17. Geneva: WMO, 1984: 1-111.
- [43] YANG Z L, DICKINSON R E, ROBOCK A, et al. Validation of the snow submodel of the biosphere-atmosphere transfer scheme with Russian snow cover and meteorological observational data [J]. Journal of Climate, 1997, 10: 353-373.
- [44] WIGMOSTA M S, VAIL L W, LETTENMAIER D P. A distributed hydrology-vegetation model for complex terrain [J]. Water Resources Research, 1994, 30: 1665-1679.

## Analysis and correction of errors in precipitation measurement in Xinjiang during summer half year

DU Ming-xia, ZHANG Ming-jun, WANG Sheng-jie, CHE Yan-jun, CHEN Rong  
(College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, Gansu, China)

**Abstract:** As precipitation is one of the most important climatic data, accurate precipitation data plays a very important role on the research of related climate and hydrology in regional and global scale. The precipitation data is mainly from the precipitation observation records of meteorological stations. However, there are many uncer-



tainties in observation records, and these uncertainties mainly come from three aspects: the inhomogeneity of spatial distribution of meteorological stations, the difference of the observation instrument type, method of installation and precipitation observation, and the system errors in the precipitation observation. In above three aspects, correcting the system error in precipitation observation is the feasible and effective way to improve the accuracy of the precipitation data. As the topography and climate types in Xinjiang are complex, the influence of the precipitation observation error on the accuracy of precipitation observation data is particularly prominent. Based on the data of hourly temperature, precipitation, wind speed, relative humidity and air pressure from 316 automatic weather stations, using the error correction method in precipitation observation proposed from a series of observation experiments organized by the World Meteorological Organization Solid Precipitation Measurement Inter Comparison Project at the Urumqi River Basin in China, and on the base of improving the accuracy of judgment method of precipitation types, the precipitation data during the summer half year (from April to October) of 2013 are analyzed and corrected at the aspects of wetting loss and wind-induced loss. Corrections for wetting loss in North Xinjiang are higher than those in South Xinjiang. The corrections for wetting loss in North Xinjiang are higher than those in South Xinjiang, and the corrections in the north slope of Tianshan Mountain are higher than those in the south slope. The corrections for wetting loss in the south slope decrease from north to south. The correction factors for wetting loss mainly range from 4.0% to 8.0% and from 8.0% to 12.0%. Corrections for wind-induced loss in North Xinjiang are higher than that in South Xinjiang. Corrections for wind-induced loss in the North Slope of Tianshan Mountain are higher than that in the south slope. Corrections for wind-induced loss in the south slope show a decreasing trend from north to south. The total correction of wetting loss and wind-induced loss in North Xinjiang is higher than that in South Xinjiang. The total correction factors of wetting loss and wind-induced loss do not show obvious spatial change characteristics on the whole, and mainly range from 15.0% to 20.0% and from 20.0% to 25.0%. The average value of precipitation increases by 16.96 mm after the correction of wetting loss and wind-induced loss.

**Key Words:** Xinjiang; summer half year; precipitation; observation bias; correction