

郑祚芳,任国玉,王耀庭,等.大型人工湖气候效应观测研究——以密云水库为例[J].地理科学,2017,37(12):1933-1941.[Zheng Zuofang, Ren Guoyu, Wang Yaoting et al. Observational Study on Climate Effect of Large Artificial Lake: Taking Miyun Reservoir as an Example. Scientia Geographica Sinica,2017,37(12):1933-1941.] doi: 10.13249/j.cnki.sgs.2017.12.018

# 大型人工湖气候效应观测研究 ——以密云水库为例

郑祚芳<sup>1,2</sup>,任国玉<sup>2,3</sup>,王耀庭<sup>1</sup>,窦军霞<sup>1</sup>

(1.中国气象局北京城市气象研究所,北京 100089;2.中国地质大学环境学院大气科学系,  
湖北 武汉 430074;3.中国气象局国家气候中心,北京 100081)

**摘要:**应用近5 a自动气象站观测资料,分析了华北地区最大人工湖——密云水库的局地气候效应。结果表明:① 密云水库库区相比于附近平原地带具有气温偏低、湿度偏高、风速偏弱、降水量偏大等特点。水库对区域气候的影响范围约在10 km内,离水库越近的地方,受影响越大。② 密云水库的气候效应主要体现在夏半年,尤以气温和降水最为明显。③ 水库南、北两侧受到的局地环流的影响具有明显的差异,库区东西方向的年平均局地风速约为0.14 m/s,南北方向约为0.10 m/s。下垫面属性的热力差异及特殊地形条件使得密云水库附近同时存在山谷风和湖陆风现象,其叠加效应是导致区域内不同位置间气象要素出现季节性及日变化差异的主要原因。

**关键词:**自动气象站;气候效应;统计特征;密云水库

**中图分类号:**P49      **文献标识码:**A      **文章编号:**1000-0690(2017)12-1933-09

在沿湖地区,由于陆地表面的夜间冷却和白  
天加热作用,存在着夜间风从陆地吹向湖区,昼间  
风从湖面吹向陆地的一种局地性环流现象,称之  
为湖陆风。研究湖泊气候效应不仅对于认识局地  
气候特征和大气循环规律具有重要意义,对中小  
尺度天气分析与预报也有帮助<sup>[1,2]</sup>。

国外对湖泊气候效应的研究多集中在北美五  
大湖等地区,早期主要通过统计方法来研究湖区  
站点资料,探讨湖泊对邻近地区气温、湿度,尤其  
是风的影响<sup>[3,4]</sup>。确立了湖区湖陆风现象的发生,  
进而分析湖陆风转换的时间和水平、垂直结构等,  
并建立指数以预报湖陆风的出现与否<sup>[5,6]</sup>。此外,  
基于数值模拟技术及参数化方案等的改进,湖陆  
风的一些更精细的结构特征被不断发现<sup>[7]</sup>。国内  
学者在针对中国一些大型湖泊如洞庭湖、鄱阳湖、  
青海湖等周边气象台站的观测资料分析中,亦发  
现了较明显的湖陆风效应。通过长时间序列的资  
料分析,揭示了中国各地湖陆风的地域差异、日变

化及季节变化等特征<sup>[8-11]</sup>。一些研究表明,大面积  
水域的存在不仅对局地气温及风速等气象要素的  
作用较为显著,对长期气候波动亦有影响<sup>[12,13]</sup>。进  
一步的高分辨率数值模拟研究还发现,大的水体  
下垫面主要通过对感热和潜热的再分配,显著影  
响局地气象要素如气温、风、大气湿度、边界层高  
度及近地层湍流结构的分布,进而影响某些强对  
流天气的发生时间、地点及强度<sup>[14,15]</sup>。并且,在弱  
的天气尺度背景下,湖风本身也被认为是触发强  
对流天气的动力机制之一<sup>[16]</sup>。以上研究的都是针  
对一些大型的自然湖泊的天气气候效应,对于面  
积相对较小的人工湖,其对局地气候条件是否也  
存在类似的影响呢?如果有,其影响的范围又有  
多大?

密云水库位于北京市密云县城北约15 km的  
燕山丘陵之中,面积约为180 km<sup>2</sup>,是北京市唯一  
的地表饮用水源和生态涵养区的重要组成部分<sup>[17,18]</sup>。  
由于地处远郊,周边缺少常规气象观测站点,有关

**收稿日期:**2016-11-01;**修订日期:**2017-02-19

**基金项目:**国家自然科学基金项目(41575010,41505102)、北京市自然科学基金项目(8171002)资助。[Foundation: National Natural Science Foundation of China (41575010,41505102), Beijing Natural Science Foundation of China (8171002).]

**作者简介:**郑祚芳(1972-),男,湖北荆州人,副研究员,硕士,主要从事区域气候及精细天气预报相关研究。E-mail: zfzheng@163.com

密云水库对局地天气气候的影响,还未见相关分析。近年来,北京市气象局进行了较大规模的自动气象站网建设。目前已在市域内布设了295套自动站,显著提高了气象监测的时空精度<sup>[9]</sup>。本文将应用密云水库周边近5 a自动气象站观测资料,分析库区附近主要气象要素的时空分布差异,探讨其对局地气候的影响。

## 1 资料和方法

密云水库周边自动气象站观测网自2008年以后才开始逐步完善,考虑到大部分站点在建站初期观测数据缺失较多,本文仅用观测资料较为完整的近5 a(2011~2015年)水库周边区域内共95个自动气象站的逐时观测数据,站点分布见图1。数据统计过程中先对其中少量的观测错误进行了剔除。其次,还剔除了缺测时次较多(超过总观测时次10%)的站点,实际有效观测站点为77个。

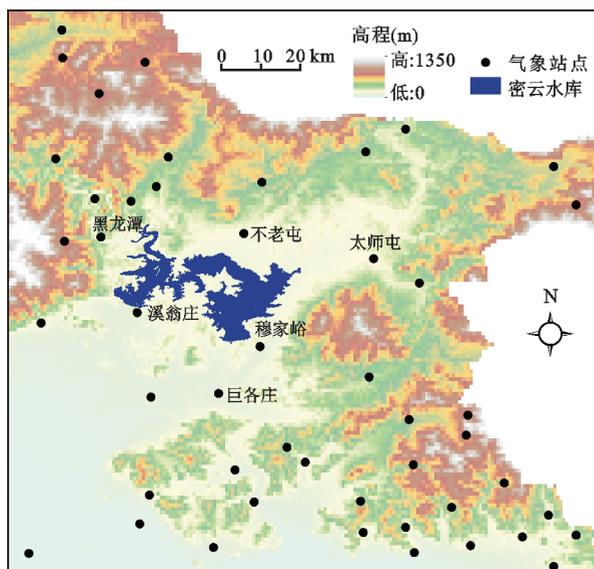


图1 研究区地形及自动气象站点分布

Fig.1 Topography and Automatic Weather Station(AWS) distribution at the Miyun Reservoir Area

受观测条件限制,在水库水面没有布设观测站点,为了讨论水库水体对周边局地气候条件的影响,本文依据观测站点所处位置,选取了海拔高度相近的几个代表性观测站点(表1),分别位于临近水库(距离岸线2 km以内)的水库北侧、南侧以及距离水库较远的区域(距离岸线约10 km)。同时,还选取距离水库约14 km的密云气象站作为对

比参考站点。密云站是国家基本气象站,观测条件良好,具有较好的区域代表性。

湖陆风是湖泊气候效应的主要标志及表现方式之一。密云水库周边地理条件复杂,其西、北、东三面环山,为西南向开口的马蹄形地形,因而可能会受到山谷风和湖陆风的共同影响。湖陆风和山谷风通常比较弱,在背景风较强时很难直接观测得到。因此,为了计算湖陆风和山谷风,要去掉大尺度的背景风场。本文首先对各时次的测站风分解为 $u$ 、 $v$ 分量,分别代表东西方向和南北方向的风。计算出各站的各年各月逐时 $u$ 、 $v$ 的月平均值,然后将1~12月的逐时月平均值进行年平均,得到各站的逐时年平均值 $\bar{u}$ 、 $\bar{v}$ 。之后将24 h的逐时年平均值 $\bar{u}$ 、 $\bar{v}$ 相加并求平均获得全日平均值 $\bar{U}$ 、 $\bar{V}$ 。利用逐时年平均值 $\bar{u}$ 、 $\bar{v}$ 减去全日平均值得到逐时距平值 $u'$ 、 $v'$ 。全日平均值可以看作是系统风即背景风,逐时年平均值可视作实际风,用实际风减去系统风得到局地风,求得的局地风可用于指示该区域的湖陆风和山谷风<sup>[9]</sup>。同理,可以获得各站不同季节逐时距平值 $u'$ 、 $v'$ 。通过分析逐时距平值 $u'$ 、 $v'$ 的日变化特征,可以了解到湖陆风和山谷风现象的发生情况及其季节特征。

## 2 结果分析

### 2.1 年平均气象要素的空间分布

图2是近5 a研究区平均气温及降水量的空间分布。可见,密云水库库区气温及降水分布和水库附近平原地带相比都有明显的不同。图2a中,气温受局地地形影响明显,气温等值线基本上沿地形分布。库区气温要高于西、北、东部高海拔山地,但相比于附近同海拔高度的南部平原地带(图中红色“A”点所示,下文同)偏低,幅度约为1℃。多年平均降水量的分布上(图2b),在库区及山前迎风坡为一个降水量高值中心,多年平均降水量接近600 mm,明显大于附近同海拔高度的平原地带。在年平均湿度及风速分布图上,库区与附近平原地带差异不明显(图略)。总体来看,库区及其北部、东部邻近地区湿度较其他地区略偏大。年平均风速分布上,库区为一个风速的低值区,平均风速约为1.6 m/s,较水库附近同海拔高度平原地带约低0.2 m/s。

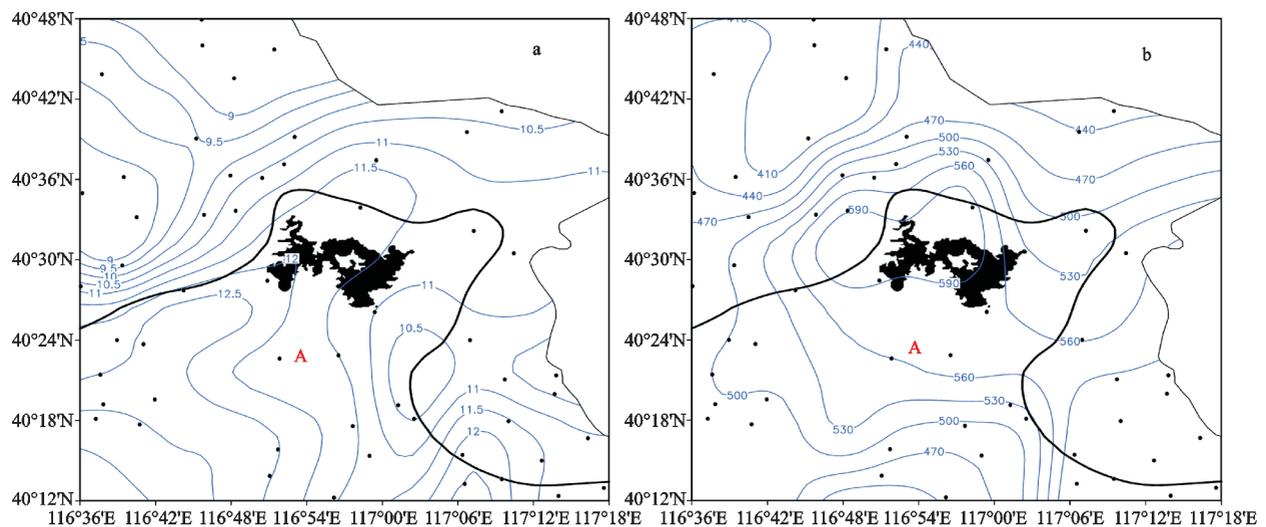
### 2.2 季节及日变化

图3为距水库不同位置代表站点气象要素的

表1 北京密云水库周边主要代表气象站信息

Table 1 Information of representative meteorological stations around the Miyun Reservoir

站点相对方位	站名	经度(°E)	纬度(°N)	海拔高度(m)	与水库距离(km)
近水库北岸	不老屯	116.971	40.565	168	$\approx 1.2$
	黑龙潭	116.806	40.561	142	$\approx 1.5$
近水库南岸	穆家峪	116.990	40.435	91	$\approx 1.3$
	溪翁庄	116.848	40.474	135	$\approx 1.1$
水库西南	三峪	116.737	40.462	142	$\approx 10$
远库点	水库南	116.942	40.381	90	$\approx 10$
	水库东北	117.121	40.536	164	$\approx 10$
对比参考站点	密云站	116.867	40.371	73	$\approx 14$



注:a.平均气温,单位:°C;b.年降水量,单位:mm;黑实线为200 m地形高度线;黑点为自动气象站位置。

图2 研究区近5 a 平均气温(a)及年降水量(b)分布

Fig.2 Spatial distribution of mean air temperature (a) and precipitation (b) at the Miyun Reservoir Area from 2011 to 2015

月际分布。可见,各站点间差异主要表现在夏季,其他季节相对较小。夏季水库北侧、南侧及远距离站点的平均气温分别为 23.91°C、24.70°C 及 25.26°C。库区气温(水库南、北两侧代表站点均值)较 10 km 外的远距离站点低 0.96°C,且水库北侧气温比南侧气温低约 0.79°C,其他月份气温差异则很小。这主要与所谓的“冷湖效应”有关<sup>[10]</sup>。此外,由于所选取的水库北侧站点平均海拔比南侧略高,夏半年盛行偏南风温度平流效应也会导致水库北侧气温较南侧更偏低一些。

湿度的季节变化上,夏半年水库北侧比湿略高于南侧,冬半年几乎没有差异,但近水库区和远水库区差异明显,主要表现在水体未冰封的月份,距离水库近的站点比湿要明显大于远水库地区,夏季(6~8月)二者间的平均差值可达到 4.74 g/kg。

在夏季,水库两侧与远水库区站点平均风速分别为 1.33 m/s 及 1.55 m/s,相差 0.22 m/s。这与局地环流在某种程度上抵消了部分盛行风,以及夏季湖面白天局地弱高压造成的静稳效应有关<sup>[20]</sup>。

近 5 a 夏季水库北侧站点的年平均降水量为 398.1 mm、南侧为 384.7 mm、远水库区为 345.5 mm,距离水库较近的地方降水量要明显多于远离水库地区。进一步统计表明,密云水库库区降水量比 10 km 外的平原地带降水量平均多 13.3%,且水库北侧降水量比水库南侧多 3.5%。降水量的这种分布形态主要受周边地形的影响,密云水库库区为西、北、东三面环山的马蹄形地形,在夏季盛行偏南风的背景下,这种地形条件对降水有明显的增幅作用<sup>[20]</sup>。此外,还可能与水库本身的影响有关,由于大面积水体的存在,较大的蒸发量可提供

较充足的局地水汽供应。在傍晚和夜间库区的热力、动力作用下,有利于触发局地对流天气<sup>[16]</sup>。

以上分析表明,距离水库越近的站点,气象要素受到的影响越明显。由图3可见,参考站(密云站,距离水库约14 km)与远水库站点(距离水库约10 km)之间气象要素的差异很小。特别是受局地地形影响较小的要素,如2 m气温与湿度等,二者几乎具有同样的数值,表明在距离密云水库10 km范围之外,气象要素随距离的变化已经不明显。

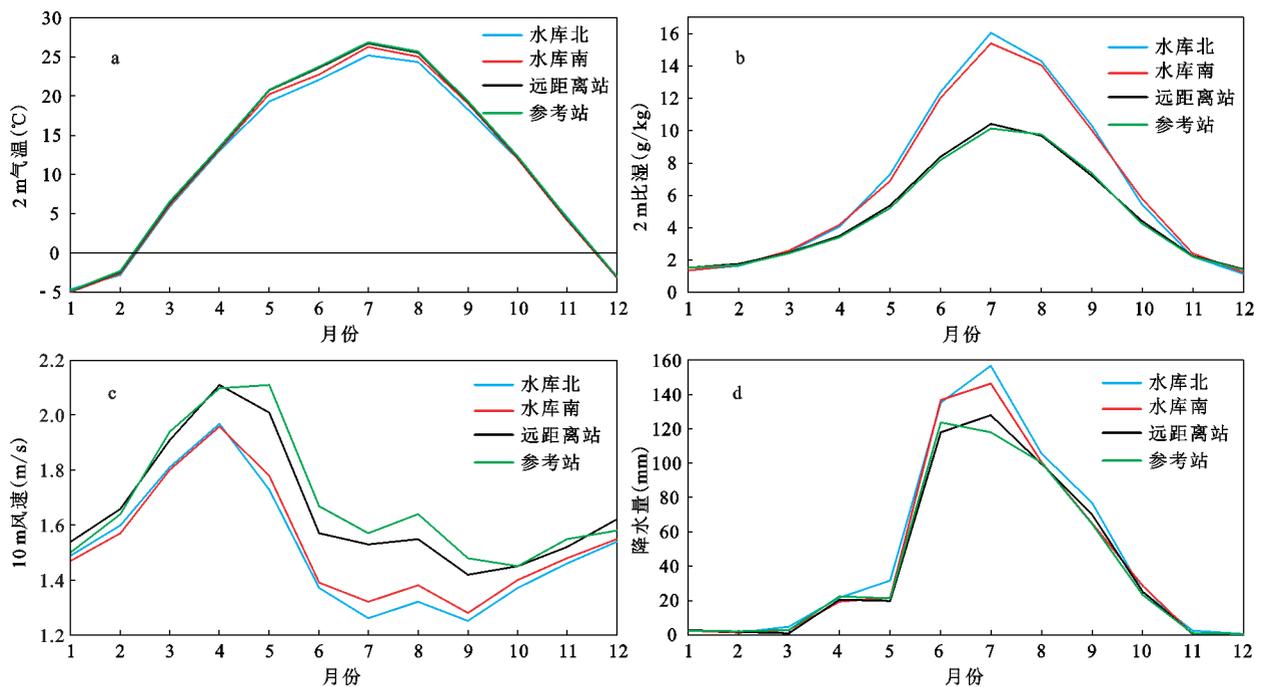
图4为近5 a自动站观测气象要素的日变化。不同位置站点间气温分布的差异主要表现在午后至前半夜(北京时间14:00~02:00时,下同),在此时段内,近水库地区气温低于远库区,且水库北侧气温要低于南侧,差值约在0.3~0.6℃之间,其他时段内3地气温差异不明显。主要原因在于午后湖风开始形成,来自湖面的凉空气造成了近岸带气温的相对偏低。至于水库北侧气温较南侧更低,一方面是由于海拔高度的影响(北侧站点的平均海拔高度比南侧略偏高),另一方面也由于湖陆风与背景盛行风一致,在一定程度上加强了降温作用。

湿度日变化上,水库南侧及远库区站点湿度

的日变化为双峰型结构,存在2个极大值(分别位于08:00和20:00前后)及2个极小值(位于05:00及15:00时前后)。窦晶晶等<sup>[21]</sup>在分析北京城区近地面比湿分布时,亦有类似的发现。其原因在于随着太阳辐射增强,气温升高,强烈的垂直混合容易将近地面水汽输送到高层,导致近地面比湿持续减小,之后随着太阳辐射减弱气温下降,垂直上升运动减弱,近地面比湿开始增大。夜间由于地表气温不断降低,下垫面蒸发减小,近地面水汽容易发生凝结,导致比湿迅速减小。而位于水库北侧的站点,表现出单峰型结构,白天比湿要高于南侧站点,主要受平流作用和湖陆风影响较大。夜间则相反,陆风效应导致其比湿要低于水库南侧。

风速分布为单峰型结构,各地均在14时左右达到最大,凌晨2时左右为风速最小值。白天3地间的风速差异不明显,夜间近水库站点风速明显低于远水库区,相差约0.2 m/s。

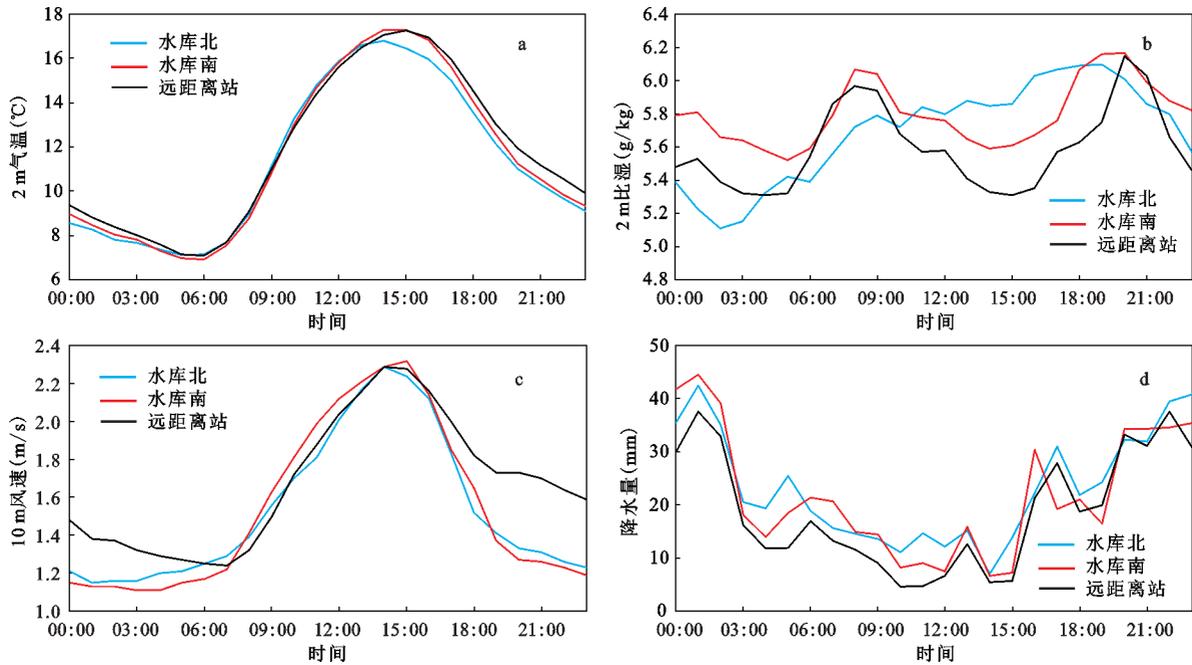
库区周边降水主要出现在傍晚到夜间(16:00~05:00),占总降水量的比例超过70%,凌晨到正午前的降水相对较少。和整个北京地区的平均降水分布相比<sup>[22]</sup>,库区主要降水持续时段更长,从傍晚



注:a. 2 m气温;b. 2 m比湿;c. 10 m风速;d.降水量。

图3 研究区自动气象站观测要素的月际变化(2011~2015年平均)

Fig. 3 Five-years averaged monthly variation of meteorological factors measured by AWS at the Miyun Reservoir Area during 2011-2015



注:a. 2 m 气温;b. 2 m 比湿;c. 10 m 风速;d. 降水量。

图4 研究区自动气象站观测的要素的日变化(2011~2015年平均)

Fig.4 Five-years averaged diurnal variation of meteorological factors measured by AWS at the Miyun Reservoir Area during 2011-2015

延续到后半夜,平均降水量也更大。

### 2.3 湖陆风与山谷风效应

图5反映的是按前文方法滤除大尺度背景风场后水库南、北两侧局地风速  $u$ 、 $v$  分量距平的月际及日变化。由图5a可见,在  $u$  方向上水库北侧、南侧风速具有类似的分布形态,均为单峰型结构。春季至秋初(4~9月)为正距平,山风占主导,以夏季为甚。其他月份则以负距平为主,谷风占主导,以冬季为甚。水库北侧、南侧站点风速距平的年均振幅分别为 0.34 m/s 和 0.62 m/s,南侧大于北侧,表明水库南侧受山谷风的影响比北侧更明显。夏季(6~8月)水库南、北两侧局地风  $v$  分量具有相反的位相。主要原因在于水库北侧湖陆风和山谷风方向一致,形成叠加。而在南侧,湖陆风和山谷风方向相反,有一部分会相互抵消。统计得知,年平均态下密云水库区域东西方向的局地风速约为 0.14 m/s,略大于南北方向的局地风速(约为 0.10 m/s)。

局地风的日变化上,  $u$  方向水库北侧自 08:00 至 20:00 距平为正值,山风占主导,最大正距平为 0.25 m/s。其他时段谷风占主导,最大负距平为 -0.27 m/s,平均日振幅为 0.52 m/s。水库南侧自 11:00 至 19:00 为正距平,其他时段为负距平,期间

距平极值分别为 0.84 m/s 和 -0.37 m/s,日振幅达到 1.11 m/s,其幅度要明显高于北侧。水库南侧的山风维持时段平均比北侧短,但其强度要比北侧明显偏大,峰值约为北侧的 3 倍。 $v$  方向上,水库南、北两侧风速距平大部分时段是反位相的。水库北侧自 11:00 至 19:00,以南风分量为主,最大正距平达到 0.80 m/s。夜间则以北风分量为主,最大负距平为 -0.29 m/s,日振幅为 1.09 m/s。水库南侧自 08:00 至 19:00 为正距平,其他时段则为负距平,最大负距平为 -0.21 m/s,平均日振幅为 0.33 m/s,量值上明显小于北侧。由图5b可知,水库南北两侧  $v$  分量距平的差异主要表现在夏季。在夏季,白天有由库区指向岸边的湖风,同时还有由平原指向山区的谷风,使得水库北侧的  $v$  分量加大,水库南侧的  $v$  分量则部分抵消。夜间,由于山区、谷地、水体降温速度的差异,出现由岸边指向库区的陆风,以及由山区指向平原的山风,导致水库北侧的南风分量加大,水库南侧的北风分量减弱。

### 2.4 典型个例验证

山谷风和湖陆风全年均可出现,但以温暖的季节为盛<sup>[23,24]</sup>。作为一个样例,图6为2013年8月16日15时及17日02时自动站观测的气温(已按气温垂直递减率统一插值到海平面高度)及风场分

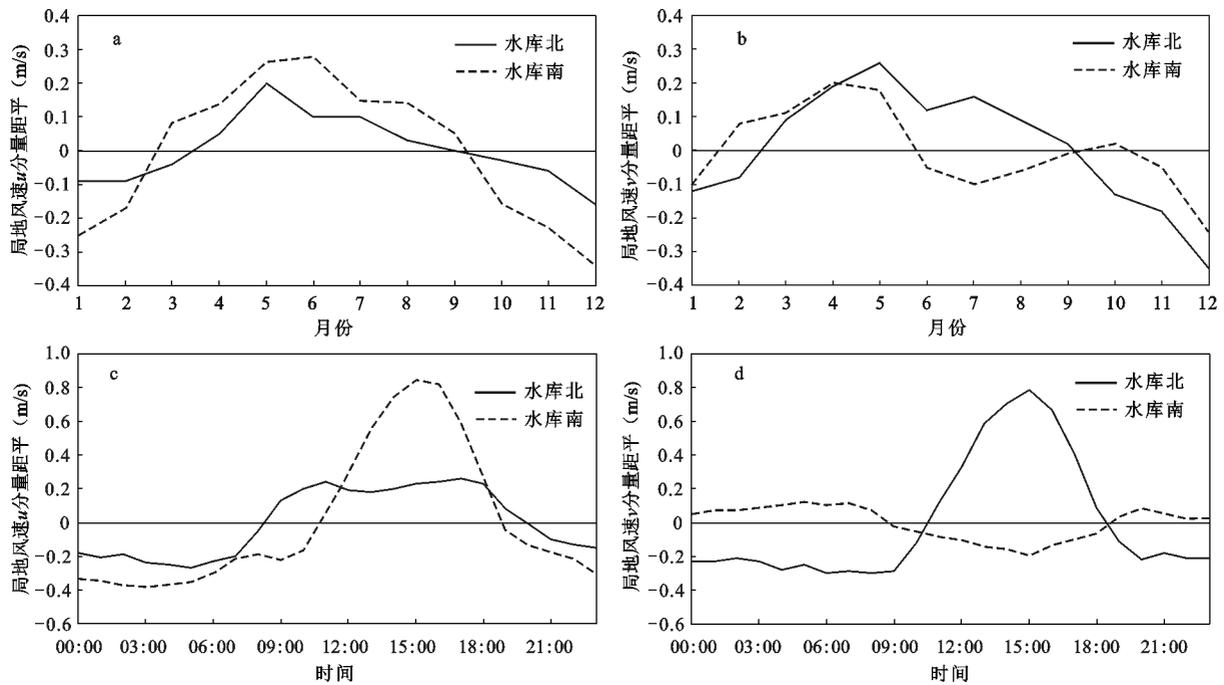
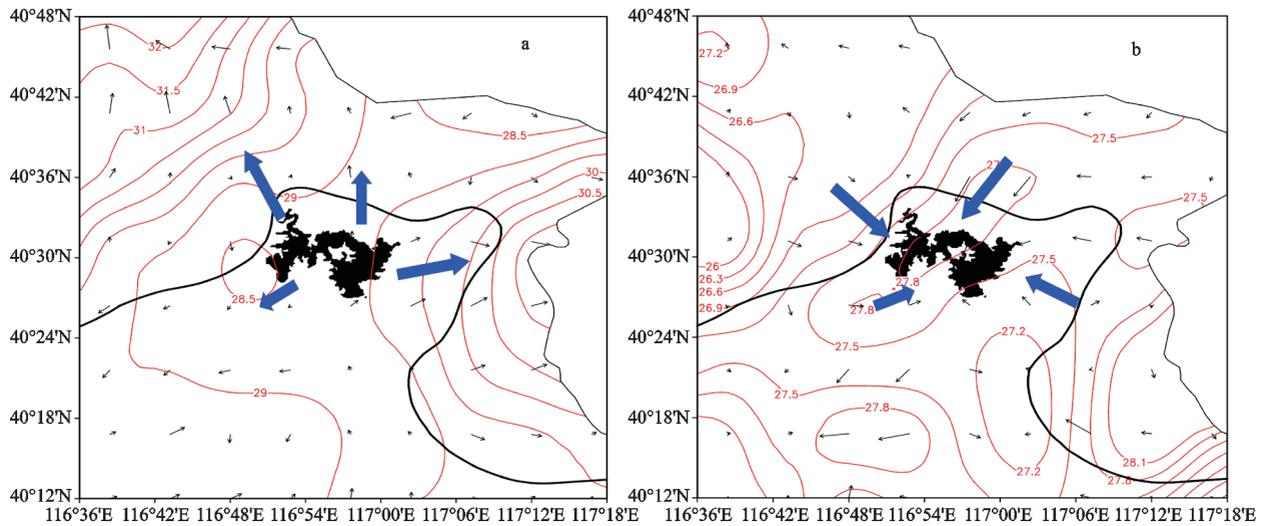


图5 水库南、北两侧站点局地风速距平的月际变化(a,b)及日变化(c,d)

Fig.5 Monthly (a, b) and diurnal variation (c, d) of wind speed anomaly on local scales at the south and north sides of the reservoir



注:a. 2013年8月16日15时温度场(单位:℃)及风场(单位:m/s); b. 2013年8月17日02时温度场(单位:℃)及风场(单位:m/s);黑实线为200 m地形高度线。

图6 研究区温度场及风场分布

Fig.6 Spatial distribution of surface air temperature and wind field at the Miyun Reservoir Area

布。可以看到,在背景天气较稳定的情况下,白天(图6a)海拔较高的山地气温要明显高于库区水体(由于缺少水库中的观测,仅由水库附近的站点插值得到等温线,实际水体的温度更低)及平原地带,较大的温度梯度形成了较明显的谷风,同时亦

可见由水库指向陆地的湖风。在水库北侧,湖风与谷风方向一致,相互叠加。而在水库南侧,湖风与谷风方向相反,部分相互抵消,导致水库北侧的风速大于南侧。

夜间(图6b),由于山地气温较平原地区下降

更快,山、谷间形成与白天相反的温度梯度,与之相伴形成的是山风,同时亦有由陆地吹向湖面的陆风。在水库北侧陆风与山风方向一致,而在水库南侧陆风与山风方向相反。这种山谷风及湖陆风效应,有助于解释前文中库区周边站点气象要素的分布及日变化差异。

### 3 讨论与结论

#### 3.1 讨论

关于大型自然湖泊的气候效应的研究已有很多,而针对面积相对较小水体的气候效应的观测分析还很少见。本文的分析表明,类似密云水库大小的人工湖(水域面积 180 km<sup>2</sup>,近 5 a 平均蓄水量为  $10.6 \times 10^8 \text{ m}^3$ )对局地气候条件亦有一定的调节作用,表现在水库库区气象要素的分布较之同海拔高度的临近平原地带有明显的不同,但其影响范围(约为 10 km)要小于自然大型湖泊。已有研究表明,鄱阳湖(面积约 4 125 km<sup>2</sup>)对附近 50 km 范围内气象站点的观测影响明显<sup>[9]</sup>。本文分析发现密云水库湖陆风的强度明显弱于鄱阳湖区,约为后者的 1/3。这意味着水体面积与其对区域气候的影响距离及影响程度之间可能并不成正比例关系,值得进一步研究。

随着气候变化的进一步加剧及降水特别是暴雨强降水过程时空分布格局的转变,对密云水库的入库容量及水域面积将会带来很大的影响。未来气候情景下,密云水库对区域气候变化的响应,值得关注<sup>[25,26]</sup>。尤其南水北调工程的实施,密云水库的水体面积及库容会在现有的基础上有显著的增加,其对区域天气气候的影响也将会更加显著。此外,目前虽然在水库周边布设有一定数量的自动气象站,能够揭示地面气象要素的一些局地差异。然而,由于缺少垂直方向的观测资料,有关水库水体对局地气象条件影响机制的分析和研究仍很不足,也难以区分山谷风环流和湖陆风环流的各自贡献率,下一步应进一步应用高分辨率的数值模拟试验,探讨山谷风环流和湖陆风环流的耦合效应对库区天气气候的影响。

#### 3.2 结论

应用近 5 a 自动气象站逐时观测资料,分析了密云水库对局地气象要素的影响。主要结论如下:

1) 密云水库对 10 km 范围内区域气候效应有

较明显的影响,离水库越近的地方,影响越明显。

2) 密云水库的气候效应主要体现在夏半年,夏季库区气温较 10 km 外的同海拔平原地带低约 0.96℃,降水量则偏多约 13.3%。

3) 密云水库东西方向的局地风速约为 0.14 m/s,略大于南北方向 0.10 m/s 的风速。下垫面属性的热力差异及特殊地形条件使得水库附近同时存在山谷风和湖陆风现象,其叠加效应是导致区域内不同位置间气象要素出现季节性及日变化差异的主要原因。

#### 参考文献(References):

- [1] Foley J A, Defries R, Asner G P et al. Global consequences of land use[J]. *Science*, 2005, 309: 570-574.
- [2] 黄先伦,李国平. 热力强迫对局地环流的扰动作用[J]. *应用气象学报*, 2008, 19(4):488-495. [Huang Xianlun, Li Guoping. Effects of thermal forcing on the local circulation. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2008, 19(4):488-495.]
- [3] Willian J, Moroz A. Lake breeze on the eastern shore of lake Michigan: observation and model[J]. *J Atmos Sci*, 1967, 24: 337-355.
- [4] Hidenori Takahashi, Akihiko Itagaki. Local Climate near the Small Lake Part 2. air temperature distributions near Lake Toye. Hokkaido, In Spring and Summer[J]. *J. Agr. Met.* 1980, 36 (1):13-18.
- [5] Lyons W A. The climatology and prediction of the Chicago Lake Breeze[J]. *J Appl Meteor*, 1972, 11(8): 1259-1270.
- [6] Keen C S, Lyons W A. Lake /land breeze circulation on the Western Shore of Lake Michigan[J]. *J Appl Meteor*, 1978, 17: 1843-1855.
- [7] Maddukuri C S. Numerical simulation of an observed lake breeze over Southern Lake Ontario[J]. *Bound Layer Meteor*, 1982, 23:369-387.
- [8] 刘电英,邹希云,彭杰彪,等. 洞庭湖湖面风速与湖区陆地风速的对比分析[J]. *安徽农业科学*, 2009, 7(3):159-163. [Liu Dianying, Zou Xiyun, Peng Jiebiao et al. Comparison and analysis of lake and land breeze speed of the Dongting Lake. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2009, 7(3):159-163.]
- [9] 曹渐华,刘熙明,李国平,等. 鄱阳湖地区湖陆风特征及成因分析[J]. *高原气象*, 2015, 34(2): 426-435. [Cao Jianhua, Liu Ximing, Li Guoping et al. Analysis of the phenomenon of Lake-Land Breeze in Poyang Lake Area. *Plateau Meteorology*, 2015, 34(2): 426-435.]
- [10] 吕雅琼,杨显玉,马耀明. 夏季青海湖局地环流及大气边界层特征的数值模拟[J]. *高原气象*, 2007, 26(4):686-692. [LYU Yaqiong, Yang Xianyu, Ma Yaoming. Numerical simulation of summer circulation and atmospheric boundary layer characteris-

- tics over Qinghai Lake. Plateau Meteorology, 2007, 26(4): 686-692.]
- [11] 林必元,李敏娴. 洞庭湖湖陆风特征与降水[J]. 南京气象学院学报, 1988, 11(1):78-88. [Lin Biyuan, Li Minxian. Characteristic feature of the Lake-land Breeze and its effect on precipitation over the Dongtinghu Lake. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 1988, 11(1):78-88.]
- [12] 李常斌,杨林山,杨文瑾,等. 洮河流域土地利用/土地覆被变化及其驱动机制研究[J]. 地理科学, 2014,34(7):848-855.[Li Changbin, Yang Linshan, Yang Wenjin et al. Land use and land cover change in Taohe River Basin and its driving forces. Scientia Geographica Sinica, 2014,34(7):848-855.]
- [13] 柏玲,陈忠升,王充,等. 西北干旱区阿克苏河径流对气候波动的多尺度响应[J]. 地理科学, 2017,37(5):799-806. [Bai Ling, Chen Zhongsheng, Wang Chong et al. Multi-scale response of runoff to climate change in the Aksu River Basin in Arid Area of the Northwestern China. Scientia Geographica Sinica, 2017, 37(5):799-806.]
- [14] 陈万隆, 陈江, 陈宇能, 等. 一个含植被影响的湖陆风数值模式[J]. 南京气象学院学报, 1994, 17(1): 64-72. [Chen Wanlong, Chen Jiang, Chen Yuneng et al. A numerical model for lake-land breeze containing vegetation effect. Journal of Nanjing institute of meteorology, 1994, 17(1): 64-72.]
- [15] King P, Leduc M J, Sills D M L et al. Lake breezes in southern Ontario and their relation to tornado climatology[J]. Weather Forecasting, 2003,18:795-807.
- [16] 杨薇,苗峻峰,谈哲敏. 太湖地区湖陆风对雷暴过程影响的数值模拟[J]. 应用气象学报,2014,25(1): 59-70. [Yang Wei, Miao Junfeng, Tan Zhemin. Numerical simulation of the lake breeze impact on thunderstorm over the Taihu Area. Journal of Applied Meteorological Science,2014,25(1):59-70.]
- [17] 马程,王晓玥,张雅昕,等. 北京市生态涵养区生态系统服务供给与流动的能值分析[J].地理科学, 2017,72(6):947-959. [Ma Cheng, Wang Xiaoyue, Zhang Yaxin et al. Emergy analysis of ecosystem services supply and flow in Beijing ecological conservation area. Acta Geographica Sinica, 2017,72(6):947-959.]
- [18] 姜琳琳,吴炳方. 近30年来密云水库上游水土流失动态监测[J]. 测绘与空间地理信息, 2013,72(6):947-959. [Jiang Linlin, Wu Bingfang. Dynamic monitoring of soil loss in Miyun Reservoir in last thirty years. Geomatics & Spatial Information Technology, 2013,72(6):947-959.]
- [19] 杨萍,刘伟东. 北京地区加密自动气象站数据的质量分析[J]. 气象科技进展,2013,3(6):27-34.[Yang Ping, Liu Weidong. Evaluating the quality of meteorological data measured at automatic weather stations in Beijing during 1998-2010. Advances in Meteorological Science and Technology,2013,3(6):27-34.]
- [20] 吴庆梅,郭虎,杨波,等. 形和城市热力环流对北京地区一次 $\beta$ 中尺度暴雨的影响[J]. 气象,2009,35(12): 58-64. [Wu Qingmei, Guo Hu, Yang Bo et al. Effects of topography and urban heat to a Meso- $\beta$  Torrential Rain in Beijing Area. Meteorological Monthly, 2009,35(12): 58-64.]
- [21] 窦晶晶,王迎春,苗世光. 北京城区近地面比湿和风场时空分布特征[J]. 应用气象学报,2014,25(5): 559-569.[Dou Jingjing, Wang Yingchun, Miao Shiguang. Fine spatial and temporal characteristics of humidity and wind in Beijing Urban Area. Journal of Applied Meteorological Science,2014,25(5): 559-569.]
- [22] 郑祚芳,祁文,李青春,等. 基于自动气象站观测的北京夏季降水特征[J]. 气候与环境研究,2015,20(2): 201-208.[Zheng Zuofang, Qi Wen, Li Qingchun et al. Statistical characteristics of precipitation in summer in Beijing Area during 2007-2011. Climatic and Environmental Research, 2015, 20(2):201-208.]
- [23] Shen J. Numerical modeling of the effects of vegetation and environmental conditions on the lake breeze[J]. Bound Layer Meteor, 1998,87:481-498.
- [24] 杨罡,刘树华,朱蓉,等. 鄱阳湖地区大气边界层特征的数值模拟[J]. 地球物理学报, 2011, 54(4): 896-908.[Yang Gang, Liu Shuhua, Zhu Rong et al. Numerical simulation of features of boundary-layer over Poyang Lake area. Chinese Journal of Geophysics, 2011, 54(4): 896-908.]
- [25] 史培军,孔锋,方佳毅. 中国年代际暴雨时空变化格局[J]. 地理科学, 2014,34(11):1281-1290.[Shi Peijun, Kong Feng, Fang Jiayi. Spatio-temporal patterns of China Decadal Storm Rainfall. Scientia Geographica Sinica, 2014,34(11):1281-1290.]
- [26] 庞树江,王晓燕. 密云水库流域入库径流量变化特征及归因研究[J]. 干旱区资源与环境, 2016,30(9):144-148.[Pang Shujiang, Wang Xiaoyan. The characteristics and attribution of runoff change in the Miyun reservoir watershed. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2016,30(9):144-148.]

## Observational Study on Climate Effect of Large Artificial Lake: Taking Miyun Reservoir as an Example

Zheng Zuofang<sup>1,2</sup>, Ren Guoyu<sup>2,3</sup>, Wang Yaoting<sup>1</sup>, Dou Junxia<sup>1</sup>

(1. *Institute of Urban Meteorology, China Meteorological Administration, Beijing 100089, China*; 2. *Department of Atmospheric Science, School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China*;  
3. *National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China*)

**Abstract:** There exists lake-land breeze that wind blowing onshore from lake to land during the day and offshore in the evening around lake area, due to differences in air pressure mainly caused by different heat capacities between lake and land. Generally speaking, the closer to the lake, the more remarkable the lake climate effects. For studying the lake climate effects, it is not only important for understanding the characteristics of local climate and atmospheric circulation, but also helpful for analyzing and forecasting meso- and micro-scale weather processes. Miyun Reservoir (MYR), which located at 15 km north of Miyun District of Beijing city, is the largest artificial lake in North China. Up to now, there are seldom reports on the influence of MYR on local weather and climate. Based on hourly observation data obtained by 77 automatic weather stations surrounding MYR from 2011 to 2015, local climate effects of MYR were explored and discussed in the present work. The results showed that: 1) comparing with peripheral plains, climate effects of MYR were characterized by the facts that lower air temperature, higher humidity, slightly weaker wind speed and larger rainfall. As far as regional climate was concerned, the MYR had a modulate effect on the local climate and the spatial extent of the effect is about 10 km. The closer to the MYR, the more notable the MYR climate effects. 2) The MYR climate effects were mainly occurred in the summer, especially for temperature and rainfall. In detail, averaged air temperature was lower of 0.96°C and averaged rainfall amount was higher of 13.3% in MYR than in the adjacent plains, where has the same elevation with MYR away from 10km. In addition, there were significant differences in diurnal variations of meteorological factors between the south and north regions of the MYR. 3) Excluding the impact of the large-scale background wind field, local wind presented the characteristics of monthly variation, i.e., mountain breeze was dominant from April to September, especially in summer; while in other months, valley breeze was more prevailing, especially in the wintertime. In general, annual averaged local wind speed was about 0.14 m/s in the east-west direction, which was slightly larger than that of 0.10 m/s in the north-south direction around the MYR. 4) In summer, there existed significant differences in wind vectors at the south and north regions of the MYR, due to the influence of local circulation. In most time of the whole day,  $u$  component anomalies were usually in the same phase, while  $v$  component anomalies presented out of phase at the south and north regions of the MYR. Lake-land breeze and mountain-valley breeze had the same/opposite directions at the north/south regions of the MYR, and thus these correspondingly formed the overlaying/counteractive effects. Due to lake-land differences in heat capacities and topography effects, lake-land breeze and mountain-valley breeze in the areas around MYR usually existed at the same time, which mainly caused the differences in seasonal and diurnal variations of meteorological elements at different locations around the MYR region.

**Key words:** automatic weather stations; climate effect; statistical characteristics; Miyun Reservoir