

# 2022年夏秋季青海湖湖面水温与气温观测综合分析

李宛桐<sup>1, 2, 3</sup> 张志龙<sup>3</sup> 李肖霞<sup>1, 3\*</sup> 王鑫龙<sup>4</sup> 仵建勋<sup>5</sup>  
刘圆<sup>1, 3</sup> 史静<sup>2</sup> 张昊楠<sup>2</sup>

(1 中国气象局气象探测工程技术研究中心, 北京 100081; 2 天津气象雷达研究试验中心, 天津 300061; 3 中国气象局气象探测中心, 北京 100081; 4 国家卫星气象中心, 北京 100081; 5 西北核技术研究院, 乌鲁木齐 841700)

**摘要** 利用青海湖风云卫星“湖-海”协同观测试验的漂流观测仪数据, 分析青海湖水温与气温的变化特征及相关性, 并结合青海湖周边自动气象站资料, 分析湖陆气温变化特征的差异。研究结果表明: 青海湖水温与气温存在一定的相关性, 其分钟值的相关系数为 0.71, 日均值的相关系数为 0.73, 水温与气温日变化均呈单峰型, 升降阶段基本相同, 但水温日变化的幅度明显小于气温, 且下降时间要早于气温; 青海湖湖面气温与陆面气温同样存在着相关性, 二者的发展变化趋势是一致的, 但日变化存在一定的错峰现象, 陆面气温的峰值是提前的, 而谷值是滞后的。

**关键词** 漂流观测仪; 水温; 气温; 青海湖

**中图分类号**: P412.1 **DOI**: 10.19517/j.1671-6345.20230424 **文献标识码**: A

## 引言

湖泊是陆地水资源的重要组成部分, 也是局地气候和环境变化的敏感指示器之一<sup>[1-3]</sup>。特别是高原型湖泊, 正确认识其参数变化对分析理解全球气候变化和改善湖泊生态环境具有非常重要的意义<sup>[4-5]</sup>。从参数敏感程度考虑, 当区域气候环境发生变化, 湖泊表面水温的响应最为敏感迅速<sup>[6-7]</sup>。湖泊表面水温与其上方气温的差异决定了湖泊与大气之间的感热和潜热交换, 为大气运动提供下边界条件, 进而影响湖泊能量平衡和水分循环<sup>[8]</sup>; 湖泊与周围陆地之间的温度差异决定了水陆热力的昼夜差异, 影响湖陆风发生发展和维持强度, 进而促进城市热岛环流, 影响局地降水的时空分布和流域内污染物的扩散<sup>[9]</sup>。

空气温度是湖泊表面水温主要驱动因素之一<sup>[10-12]</sup>, 很多学者利用卫星资料或湖泊周边水文、气象站点资料开展水温与气温变化特征研究<sup>[13-16]</sup>,

由于上述资料存在观测频率较低或水文、气象站点位置不同步等问题, 此类研究多以月或年为时间尺度。目前, 由中国气象局等单位联合研制的漂流观测仪已在中国气象局海洋气象综合观测试验计划中成功应用, 漂流观测仪携带有水温、气温等传感器, 可同时进行水文和气象要素的分钟尺度观测<sup>[17-18]</sup>, 原位资料的获得也有助于天气生消演变规律的深入研究<sup>[19]</sup>。

2022年7—9月, 中国气象局气象探测中心联合国家卫星气象中心在中国遥感卫星青海湖水面辐射校正场锚碇布设漂流观测仪开展风云卫星“湖-海”协同观测试验。青海湖作为中国最大的内陆湖泊, 地处东亚季风、印度季风带和西风带的汇聚区和半湿润半干旱、干旱区过渡带, 湖泊整体封闭没有出水口, 其独特的气候条件等优势使水文和气象观测资料具有很高的可用性, 是开展气候变化影响及反馈、水资源与气候相互作用研究、卫星校验的理想场所<sup>[20-21]</sup>。本文利用青海湖风云卫星“湖-海”协同观

<http://www.qxkj.net.cn> 气象科技

中国气象局创新发展专项(CXFZ2023J020和CXFZ2023J065)、中国气象局气象探测中心科技创新项目(MOCCX202406)、中国气象局气象探测中心青年科技课题(MOCQN202210)资助

作者简介: 李宛桐, 女, 1991年生, 硕士, 工程师, 主要从事大气物理与大气探测技术研究, Email: leona0804@live.com

收稿日期: 2023年12月7日; 定稿日期: 2024年11月5日

\* 通信作者, Email: lxxaoc@cma.gov.cn

©《气象科技》编辑部 (CC BY-NC-ND 4.0)

测试的高分辨率水温数据和气温数据,对青海湖表面水温和气温变化进行研究,并与青海湖周边陆地环境气温进行比对分析,拓展我国自研漂流设备观测资料的应用领域和范围。

## 1 试验与数据

### 1.1 试验布局

由于观测试验需要在非结冰状态下进行,考虑到青海湖区域的气候条件,试验组于 2022 年 7 月 10 日布放 2 套漂流观测仪,并于 2022 年 9 月 30 日结束观测试验。漂流观测仪布放方式采用锚碇固定,布放点位根据离岸距离、湖泊水深及年最多风向确定在青海湖海心至青海湖东南方向连线上,经纬度为(100.50°E,36.68°N)和(100.24°E,36.78°N),如图 1 所示。

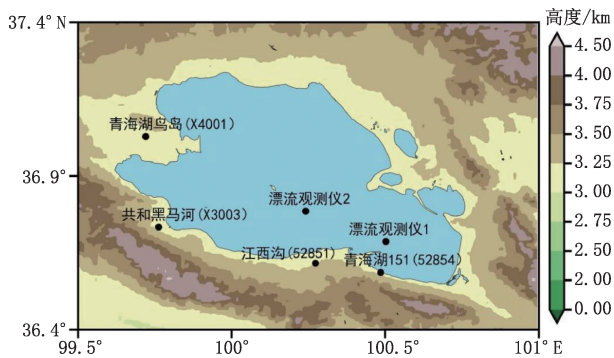


图 1 2022 年 7—9 月青海湖风云卫星“湖-海”协同观测试验中漂流观测仪及周边自动气象站布局

Fig. 1 Layout of the meteorological drift buoys and automatic weather stations surrounding Lake Qinghai at the Fengyun Satellite “lake-sea” cooperative observation experiment from July to September 2022

### 1.2 漂流观测仪数据

漂流观测仪由浮标结构系统和气象水文观测系统两部分组成,如图 2 所示。浮标结构系统主要包括水面浮标壳体、水下连接钢缆、水帆三个部分。水面浮标壳体直径 40 cm,为漂流观测仪提供浮力,是气象水文观测系统的安装载体;水帆用于稳定浮标,并在水流的推动作用下带动整个漂流观测仪随流漂移;水下连接钢缆用于连接水面浮标壳体和气帆。气象水文观测系统主要配备的传感器有气压传感器、气温传感器、风向风速传感器、水温传感器、盐度传感器。不同要素观测数据的测量时间间隔有差异,其中气温和风向风速为 10 min,气压为 30 min,

水温和盐度为 15 min。漂流观测仪的测量技术指标见表 1。本文选用 2022 年 7 月 10 日至 9 月 30 日期间 2 套漂流观测仪的水温和气温观测数据,分析青海湖表面水温与气温的变化特征及相关性。

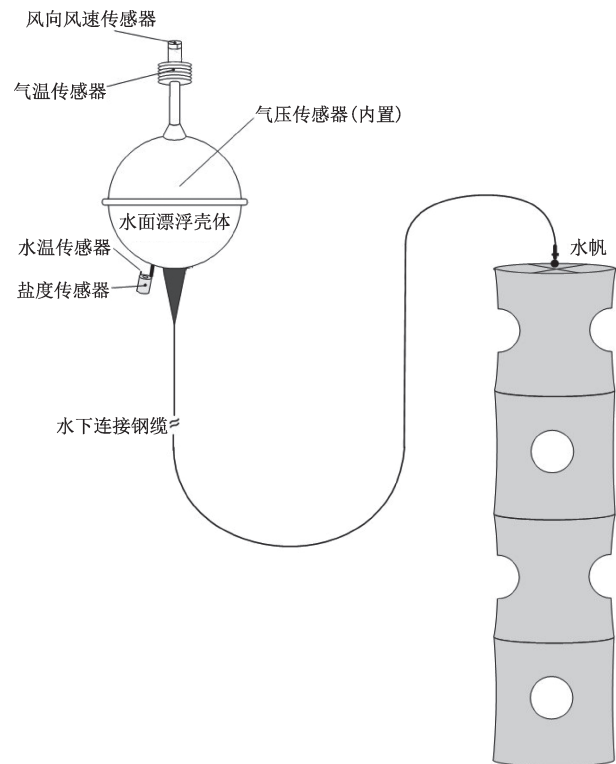


图 2 漂流观测仪组成示意

Fig. 2 Schematic of the composition of the meteorological drift buoy

### 1.3 自动气象站数据

选取 2022 年 7 月 10 日至 9 月 30 日,青海湖周边 4 个国家或区域自动气象站的地面逐小时数据资料,结合漂流观测仪气温数据,分析青海湖区域气温变化特征及湖陆差异。自动气象站信息见表 2。

### 1.4 数据处理

#### 1.4.1 漂流观测仪数据质量控制

为保证试验数据的合理性,需要对其进行质量控制,包括空间一致性检查、气候学界限值检查和时间一致性检查<sup>[22-24]</sup>。①空间一致性检查:检查漂流观测仪经纬度是否在其给定的经纬度 $\pm 0.1^\circ$ 范围内。②气候学界限值检查:参考青海湖流域历史观测资料<sup>[25-27]</sup>,对气温和水温的临界值进行设置(表 3),检查观测数据是否超出其从气候学角度上不可能超出的要素临界值。③时间一致性检查:检查观测数

表 1 漂流观测仪测量技术指标

Table 1 Observation technical specifications of the meteorological drift buoy

	气压	气温	风向	风速	水温	盐度(电导率)
	hPa	℃	(°)	m·s <sup>-1</sup>	℃	mS·cm <sup>-1</sup>
范围	500~1100	-20~60	0~359	0~60	-2~40	0~65
精度	±1	±0.5	±15	±1 或 ±10%	±0.2	±0.2

表 2 分析过程中选取的青海湖周边自动气象站

Table 2 The automatic weather stations around Lake Qinghai selected during the analysis

站号	站名
52851	江西沟
52854	青海湖 151
X3003	共和黑马河
X4001	青海湖鸟岛

表 3 水温和气温气候学界限值

Table 3 Climatological limits for water temperature and air temperature

观测要素	界限值/℃
水温	0~25
气温	-10~40

据在一定时间范围内的变化是否具有特定规律,包括最大允许变化速率和最小应该变化速率检查(表 4)。开始此检查前,首先检验时间是否连续,即当前数据与上一条数据时间不连续,若当前数据的时间与上一次数据时间相差超过 30 min 则跳过该步骤。经过质量控制后的数据样本数见表 5。

表 4 水温和气温最大允许变化速率和最小应该变化速率

Table 4 Maximum allowable rate of change and minimum desirable rate of change in water and air temperatures

观测要素	最大允许变化速率	最小应该变化速率
水温	3℃/15 min	0.01℃/6 h
气温	5℃/10 min	0.1℃/3 h

表 5 经过水温和气温质量控制后样本数

Table 5 The number of quality control samples for water temperature and air temperature

观测要素	总样本	检查样本			剩余样本
		空间一致性	气候学限制	时间一致性	
水温	13504	0	0	16	13488
气温	20256	0	0	24	20232

#### 1.4.2 水温(气温)均值计算

利用式(1)计算水温和气温的均值,其中  $i$  为时段内样本序号,  $n$  为时段内的样本总数,  $X_i$  为时段内序号为  $i$  的样本,  $A$  为不同时间尺度的均值。

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i)}{n} \quad (1)$$

本文在分析时主要考虑水温(气温)的小时均值及日均值<sup>[28-29]</sup>。小时均值计算时,首先将水温(气温)样本按测量时间在 00:00—00:59、01:00—01:59、…、23:00—23:59 分为 24 组,再按照式(1)计算每小时的均值,24 组小时均值的变化即为日变化。日均值计算时,首先将水温(气温)按日分组,再按照式(1)计算。

## 2 青海湖水温与气温的变化特征及相关性分析

### 2.1 青海湖水温与气温的日变化特征

图 3 给出了 2 台漂流观测仪水温与气温的逐月日变化和总日变化特征。结果显示,青海湖水温与气温的逐月日变化特征和总日变化特征相似。其中,气温呈单峰型日变化,在 18:00(北京时,以下同)左右达到峰值,06:00 左右达到谷值,06:00—18:00 为气温上升阶段;水温相对气温日变化不明显,但也呈现出单峰型特征,在 17:00 达到峰值,06:00 左右达到谷值。水温与气温的升降阶段基本相同,随着气温的升高,水温也逐渐升高并在傍晚达到峰值,但水温降低略早于气温,说明太阳辐射的减弱对水温也存在影响。

### 2.2 多时间尺度的青海湖水温与气温相关性分析

为分析青海湖水温与气温的多时间尺度相关关系<sup>[30]</sup>,考虑漂流观测仪水温与气温的测量时间间隔有差异(分别为 15 min 和 10 min),选取时间分辨率为 30 min 的水温与气温分钟值,以及水温与气温的日均值进行对比分析。

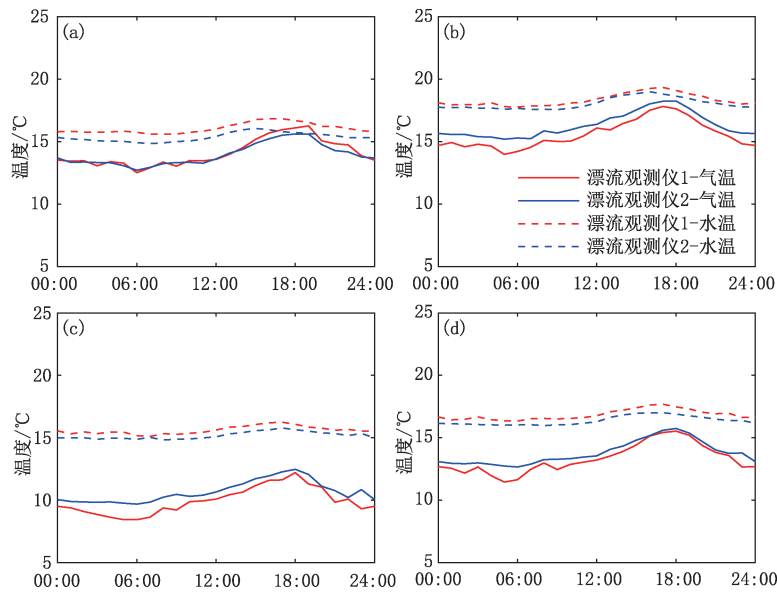


图 3 青海湖水温与气温在 2022 年 7 月(a)、8 月(b)、9 月(c)及 7—9 月(d)日变化

Fig. 3 Diurnal variations of water temperature and air temperature in Lake Qinghai in July (a), August (b), September (c), July to September (d) 2022

图 4a 为 7 月 10 日至 9 月 30 日期间,时间分辨率为 30 min 的数据,样本数量为 6744 组;图 4b 是同时间范围的日均值数据,样本数量为 166 组。图中实心点表示气温和水温的散点分布,不同的颜色表示各点的密度分布,其大小由右侧的色标所示,所有散点的密度之和为 1;蓝色虚线表示对角线,黑色实线表示拟合直线。对于分钟值,水温与气温的均方根误差(Root Mean Squared Error, RMSE)达到

了 1.1 °C,决定系数( $R^2$ )为 0.50,相关系数( $R$ )为 0.71,表明水温与气温存在相关关系;从散点分布的形态来看,拟合系数为 0.32,表明气温和水温在数值上有不小的差异,但是结合密度分布来看,高密度散点呈现出与拟合线相近的直线,即气温每变化 1 °C,水温的数值变化 0.32 °C,因此气温对水温的变化仍有不小的贡献。

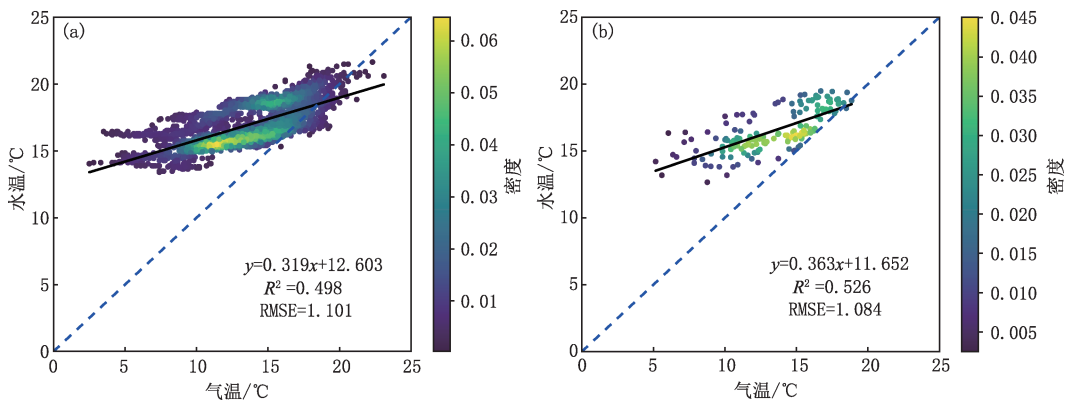


图 4 2022 年 7—9 月青海湖水温与气温的分钟值(a)和日均值(b)相关关系

Fig. 4 Correlations between minute value (a) and daily mean value (b) of water temperature and air temperature in Lake Qinghai from July to September 2022

相比分钟值数据,日均值数据无论是相关性指标、拟合曲线还是散点分布形态均略高, RMSE 为

1.08 °C,  $R^2$  为 0.53,  $R$  为 0.73, 拟合直线系数为 0.36。这是由于湖水的比热容较大,水温对环境温

度变化的响应不够迅速,这一点可以从二者的时间序列图(图5)中印证。图5为其中一台漂流观测仪的水温与气温时间序列,对于分钟值,气温极大极小值的变化幅度要远大于水温的变化,客观上造成了二者之间差异的增大。对于日均值,较长时间尺度的平均弱化了气温快速变化的特点,间接提高了二者的相关性。

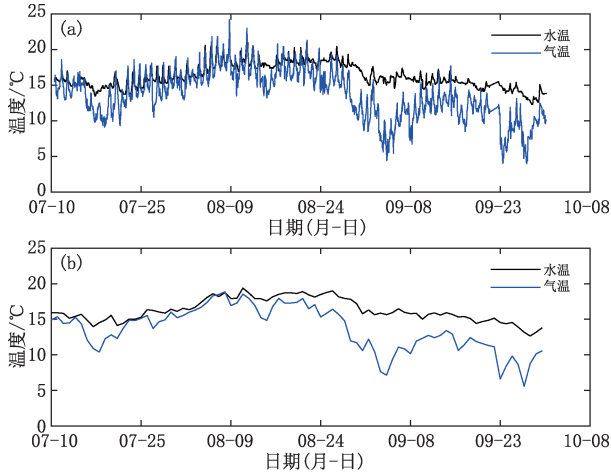


图5 2022年7—9月青海湖水温与气温分钟值(a)和日均值(b)随时间的变化

Fig. 5 Changes of minute values (a) and daily mean values (b) of water temperature and air temperature in Lake Qinghai over time from July to September 2022

### 3 青海湖气温变化特征的湖陆差异

为分析青海湖湖陆气温的变化特点,统计了2台漂流观测仪和4套青海湖周边自动气象站气温的日均值和日变化。图6为青海湖湖陆气温日均值变化,图中漂流观测仪和自动气象站的气温日均值变化趋势较一致,从侧面证明了漂流观测仪数据的可靠性。图7为月样本和总样本的气温日变化特征,从数值大小来看,自动气象站温度的最小值显著地小于漂流观测仪的最小值,最大值也要高于后者,表明陆面气温的波动范围是要高于水面气温变化的,这是由于湖水的比热容更大,对温度变化的响应不如陆地。从发展趋势来看,自动气象站气温在17:00左右达到峰值,在07:00左右达到谷值,07:00—17:00为气温上升阶段;漂流观测仪气温在18:00左右达到峰值,在06:00左右达到谷值,06:00—18:00为气温上升阶段。自动气象站与漂流观测仪观测的气温存在一定的错峰现象,且峰值

与谷值的错位并不一致:自动气象站的峰值是提前的,而谷值是滞后的。对于峰值,由于白天太阳是热源,陆面对太阳辐射的响应更快,相对于部署在湖面的漂流观测仪,自动气象站峰值时间到达更早;对于谷值,由于夜晚时地表是热源,其产生的热红外辐射对地表气温有一定的增温作用,导致自动气象站谷值时间到达更晚。此外,结合图1自动气象站位置可以看出,青海湖151站相对其它3个自动站距湖泊更近,其气温数值更接近湖面气温的同时,日变化也贴近湖面温度的变化规律。

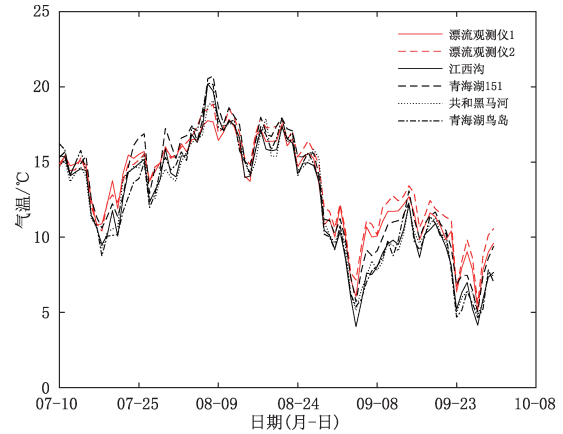


图6 2022年7—9月青海湖湖陆气温日均值随时间的变化  
Fig. 6 Changes of daily mean temperature in Lake Qinghai over time from July to September 2022

### 4 结论与讨论

本文利用了2022年7月10日至9月30日青海湖漂流观测仪的水温和气温数据,以及青海湖周边4个国家或区域自动气象站的气温数据开展对比分析,结果表明:

(1)青海湖水温与气温存在一定的相关性,其分钟值的相关系数为0.71,日均值的相关系数为0.73。在变化特点上,青海湖水温与气温均呈单峰型日变化,随着气温的升高或降低,水温也相应地出现升高或降低的趋势;但是水温日变化的幅度明显小于气温,且水温对太阳辐射的变化更为敏感,如当太阳辐射减弱时,水温的下降要早于气温。

(2)在青海湖湖陆气温关系方面,二者的发展变化趋势是一致的,但日变化存在一定的错峰现象,且峰值与谷值的差异并不一致,如陆面气温的峰值是提前的,而谷值是滞后的。

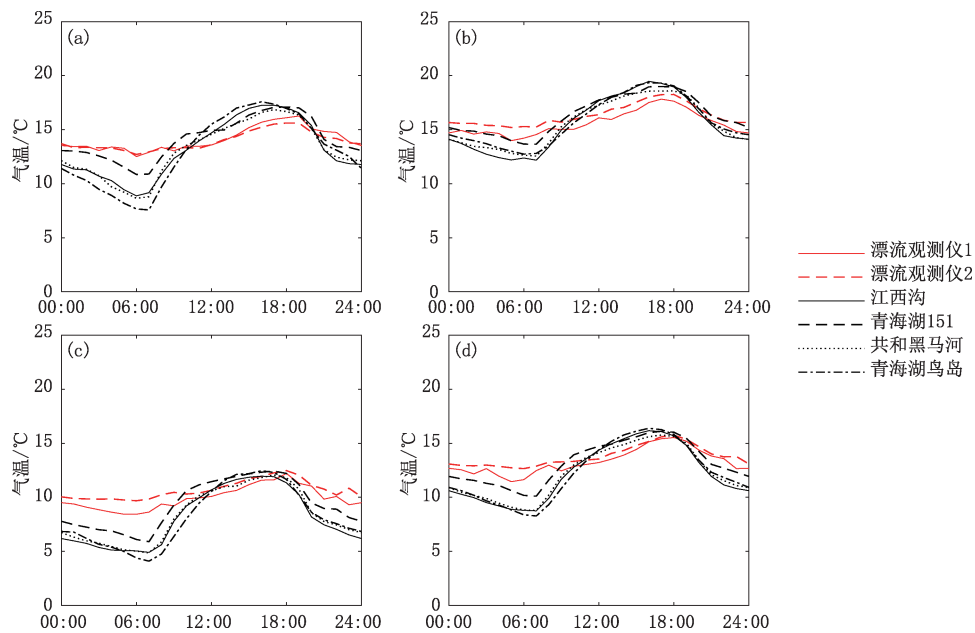


图7 青海湖湖陆气温在2022年7月(a)、8月(b)、9月(c)及7—9月(d)日变化

Fig. 7 Diurnal air temperature variation between Lake Qinghai and surrounding land in July (a), August (b), September (c) and July to September (d) 2022

(3)气温与水温差异的影响因素是多样的,不仅与下垫面特征、观测位置的距离有关,还受太阳辐射、地表辐射等因素的影响。

下一步需要考虑利用总辐射、短波辐射、云量遥感产品、高分辨率卫星观测资料等多源观测数据,定量分析不同天气、昼夜时段、不同季节条件下上述影响因子与湖陆差异的相关关系,为描述青海湖湖水与大气之间的热量交换提供技术支撑。

### 参考文献

- [1] Woolway R I, Kraemer B M, Lenters J D, et al. Global lake responses to climate change [J]. *Nature Reviews Earth & Environment*, 2020, 1(8): 388-403.
- [2] 马荣华, 杨桂山, 段洪涛, 等. 中国湖泊的数量、面积与空间分布[J]. *中国科学:地球科学*, 2011, 41(3): 394-401. Ma R H, Yang G H, Duan H T, et al. China's lakes at present: number, area and spatial distribution [J]. *Sci China Earth Sci (in Chinese)*, 2011, 41(3): 394-401.
- [3] Adrian R, O'Reilly C M, Zagarese H, et al. Lakes as sentinels of climate change [J]. *Limnology and Oceanography*, 2009, 54(6): 2283-2297.
- [4] 张璐, 李红梅, 温婷婷. 1961—2020年青海高原气候变化特征[J]. *气象科技*, 2023, 51(4): 489-498. Zhang L, Li H M, Wen T T. Characteristics of climate change in Qinghai Plateau from 1961 to 2020 [J]. *Meteorological Science and Technology (in Chinese)*, 2023, 51(4): 489-498.
- [5] 徐祥德, 马耀明, 孙婵, 等. 青藏高原能量、水分循环影响效应[J]. *中国科学院院刊*, 2019, 34(11): 1293-1305. Xu X D, Ma Y M, Sun C, et al. Effect of energy and water circulation over Tibetan Plateau [J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences (in Chinese)*, 2019, 34(11): 1293-1305.
- [6] Austin J, Colman S. A century of temperature variability in Lake Superior [J]. *Limnology and Oceanography*, 2008, 53(6): 2724-2730.
- [7] 李其江. 青海湖表层水温变化特征及对气候变化的响应[J]. *人民黄河*, 2018, 40(11): 25-29. Li Q J. Variation characteristic of surface water temperature and its response to climate change in Lake Qinghai [J]. *Yellow River (in Chinese)*, 2018, 40(11): 25-29.
- [8] 陈争, 王秀珍, 吕恒, 等. 太湖实测水温多时间尺度变化特征及影响因素[J]. *科学技术与工程*, 2021, 21(12): 4793-4800. Chen Z, Wang X Z, Lv H, et al. Observational multi-time scales temporal variations in water temperature of Lake Taihu and its influencing factors [J]. *Science Technology and Engineering (in Chinese)*, 2021, 21(12): 4793-4800.
- [9] 刘寿东, 梁宇飞, 朴美花, 等. NCAR湖泊子模型对东太湖湖-气交换的离线模拟及评估[J]. *科学技术与工程*, 2015, 15(22): 105-112. Liu S D, Liang Y F, Piao M H, et al. Evaluation and offline simulation for lake-air exchange of the east Lake Taihu based on the NCAR lake sub-model [J]. *Science Technology and Engineering (in Chinese)*, 2015, 15(22): 105-112.
- [10] Dokulil M T, Eyto E D, Maberly S C, et al. Increasing maximum lake surface temperature under climate change [J]. *Climatic Change*, 2021, 165(3-4).
- [11] 付朝晖, 腾威, 纪媛媛. 抚仙湖水温与气象因子的关系研究[J]. *水资源与水工程学报*, 2014, 25(2): 192-194+199. Fu

- Z H, Teng W, Ji Y Y. Research on relationship between water temperature and meteorological factor of Lake Fuxian [J]. *Journal of Water Resources & Water Engineering* (in Chinese), 2014, 25(2):192-194+199.
- [12] 王瑞, 牛振国. 中国湖泊温度变化特征及其对气候变化的响应[J]. *中国环境科学*, 2020, 40(2):780-788. Wang Y, Niu Z G. Characteristics of changes in lake temperature in China and their response to climate change [J]. *China Environmental Science* (in Chinese), 2020, 40(2): 780-788.
- [13] 潘惠敏, 蔡华阳, 王博芝, 等. 1973-2020 年洞庭湖水温演变特征[J]. *湖泊科学*, 2023, 35(1):326-337. Pan H M, Cai H Y, Wang B Z, et al. Evolution characteristics of water temperature in Lake Dongting from 1973 to 2020 [J]. *Lake Sci* (in Chinese), 2023, 35(1): 326-337.
- [14] 白倩倩, 梁恩航, 王婷, 等. 洞庭湖表层水温变化特征及其对气候变化的响应[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2022, 58(2):345-353. Bai Q Q, Liang E H, Wang T, et al. Variation characteristics of surface water temperature and their response to climate change in Lake Dongting [J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis* (in Chinese), 2022, 58(2): 345-353.
- [15] 高珊珊, 刘阳, 胡婕, 等. 1975—2018 年奥奈达(Oneida)湖夏季不同深度水温变化特征及其对气温变化的响应[J]. *生态科学*, 2023, 42(1):114-120. Gao S S, Liu Y, Hu J, et al. Characteristics of summer water temperature in Lake Oneida with depth and its response to summer air temperature during 1975-2018 [J]. *Ecological Science* (in Chinese), 2023, 42(1): 114-120.
- [16] Huang L, Wang J, Zhu L, et al. The warming of large lakes on the Tibetan Plateau: evidence from a lake model simulation of Nam Co, China, during 1979-2012 [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2017, 122 ( 24 ): 13095-13107.
- [17] 曹晓钟, 李肖霞, 雷勇, 等. 国产海洋气象漂流观测仪在台风观测中的应用分析[J]. *气象*, 2019, 45(10):1457-1463. Cao X Z, Li X X, Lei Y, et al. Typhoon observation and analysis of domestic marine meteorological drift buoy experiment [J]. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 2019, 45(10): 1457-1463.
- [18] 秦世广, 雷勇, 李肖霞, 等. 国产海洋气象漂流浮标运行评估分析[J]. *气象科技*, 2022, 50(4):467-475. Qin S G, Lei Y, Li X X, et al. Operational assessment of domestic marine meteorological drifting buoys [J]. *Meteorological Science and Technology* (in Chinese), 2022, 50(4): 467-475.
- [19] 陈洪滨, 李军, 马舒庆, 等. 基于太阳能无人艇的海洋气象观测系统及其初步试验[J]. *气象科技*, 2021, 49(4):509-516. Chen H B, Li J, Ma S Q, et al. A marine meteorological observation technique based on solar-powered UMV [J]. *Meteorological Science and Technology* (in Chinese), 2021, 49(4): 509-516.
- [20] Zhang, G. Water level variation of Lake Qinghai from satellite and in situ measurements under climate change [J]. *Journal of Applied Remote Sensing*, 2011, 5(1): 3532.
- [21] 时兴合, 李林, 汪青春, 等. 环青海湖地区气候变化及其对湖泊水位的影响[J]. *气象科技*, 2005, 33(1):58-62. Shi X H, Li L, Wang Q C, et al. Climatic change and its influence on water level of Lake Qinghai [J]. *Meteorological Science and Technology* (in Chinese), 2005, 33(1): 58-62.
- [21] 汪学渊, 丘祖京, 徐竹泉. 面向同化的探空温度数据质控参数优化及误差特性分析[J]. *气象科技*, 2023, 51(5):629-638. Wang X Y, Qiu Z J, Xu Z Q. Analysis of parameter optimization of quality control and error characteristics of radiosonde temperature for assimilation [J]. *Meteorological Science and Technology* (in Chinese), 2023, 51(5): 629-638.
- [23] 高祝宇, 何好斐, 杨明. 杭州飞机气象观测资料处理及质量分析[J]. *气象科技*, 2023, 51(6):794-804. Gao Z Y, He Y F, Yang M. Data processing and quality assessment of aircraft meteorological observation around Hangzhou [J]. *Meteorological Science and Technology* (in Chinese), 2023, 51(6): 794-804.
- [24] 姚莉, 林建, 李伟, 等. 全球逐时地面气温质量检测方法及应用[J]. *气象科技*, 2022, 50(1):1-8. Yao L, Lin J, Li W, et al. Quality detection method and application of global hourly surface temperature [J]. *Meteorological Science and Technology* (in Chinese), 2022, 50(1): 1-8.
- [25] 孙永亮, 李小雁, 汤佳, 等. 青海湖流域气候变化及其水文效应[J]. *资源科学*, 2008, 30(3):354-362. Sun Y L, Li X Y, Tang J, et al. Climate change and hydrological response in the watershed of Lake Qinghai [J]. *Resources Science* (in Chinese), 2008, 30(3): 354-362.
- [26] 兰州:郝子涵. 基于深度学习的青海湖夏季湖泊表面水温预测[D]. 兰州:兰州大学, 2023. Hao Z H. Prediction of surface water temperature of Qinghai Lake in summer based on deep (in Chinese) [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2023.
- [27] 田任午. 青海湖的水文概况[J]. *海洋湖沼通报*, 1988(4):18-25. Tian R W. The hydrologic conditions of Lake Qinghai [J]. *Transactions of Oceanology and Limnology* (in Chinese), 1988(4): 18-25.
- [28] 石娟, 郑艳, 柯元惠, 等. 海南岛 4-9 月短时强降水的天气型和环境参数特征[J]. *气象科技*, 2024, 52(1):55-65. Shi J, Zheng Y, Ke Y H, et al. Characteristics of weather patterns and environmental parameters of short-term heavy rainfall from April to September over Hainan Island [J]. *Meteorological Science and Technology* (in Chinese), 2024, 52(1): 55-65.
- [29] 黄群芳. 北京夏季高温变化特征及对城市热岛强度的影响[J]. *气象科技*, 2023, 51(1):66-74. Huang Q F. Characteristics and amplified effect of summer high temperature on urban heat islands in Beijing [J]. *Meteorological Science and Technology* (in Chinese), 2023, 51(1): 66-74.
- [30] 卞韬, 任国玉, 刘思廷, 等. 近 50 年石家庄地-气温差变化特征[J]. *气象科技*, 2024, 52(1):116-123. Bian T, Ren G Y, Liu S T, et al. Variation characteristics of Shijiazhuang ground-air temperature difference in recent 50 years [J]. *Meteorological Science and Technology* (in Chinese), 2024, 52(1): 116-123.

## Observation and Analysis of Surface Water Temperature and Air Temperature in Lake Qinghai in Summer and Autumn of 2022

LI Wantong<sup>1,2,3</sup> ZHANG Zhilong<sup>3</sup> LI Xiaoxia<sup>1,3</sup> WANG Xinlong<sup>4</sup> WU Jianxun<sup>5</sup>  
LIU Yuan<sup>1,3</sup> SHI Jing<sup>2</sup> ZHANG Haonan<sup>2</sup>

(1 Meteorological Sounding Engineering Technology Research Center of CMA, Beijing 100081; 2 Tianjin Meteorological Radar Research & Trial Centre, Tianjin 300061; 3 Meteorological Observation Centre of CMA, Beijing 100081; 4 National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081; 5 Northwest Institute of Nuclear Technology, Xinjiang, Urumchi 841700)

**Abstract:** Lakes are important parts of land water resources, and their surface water temperatures are the most sensitive and rapid response to climate and environmental changes. An accurate understanding of their changing characteristics is highly important for analysing and understanding global climate change and improving the ecological environment of lakes. In July 2022, the Meteorological Observation Centre of China Meteorological Administration and the National Satellite Meteorological Centre jointly deploy drift buoys at the China Radiometric Calibration Site of remote sensing satellite (CRCS) to carry out the Fengyun Satellite “lake-sea” cooperative observation experiment. Two sets of drift buoys are deployed on the line from Haixin Mountain to the southeast of Lake Qinghai. In this paper, we use data from the drift buoy from 10 July to 30 September, 2022, combined with data from four sets of automatic meteorological stations on the land around Lake Qinghai, to analyse the characteristics and correlations between the changes of water temperature and air temperature in Lake Qinghai, and the differences in the characteristics of the changes of air temperature on the lake and land. To ensure the reasonableness of the test data, quality control of the test data is conducted, including spatial consistency checks, climatological threshold checks and temporal consistency checks, and a total of 13488 sets of water temperature data and 20232 sets of air temperature data are screened out. The analysis results of the above data indicate that there is a certain correlation between water temperature and air temperature in Lake Qinghai, the correlation coefficient of the minute value is 0.71, and the correlation coefficient of the daily mean value is 0.73. The diurnal variations of water temperature and air temperature are unimodal, and the rising and falling stages are basically the same; however, the diurnal variations of water temperature are obviously smaller than those of air temperature, and the decreasing time is earlier than that of air temperature. The diurnal variations in lake and land air temperatures exhibit a certain off-peak phenomenon, the peak land air temperature is advanced, and the valley value is lagging. The factors influencing the correlation between air and water temperatures are diverse and are related not only to subsurface characteristics and the distance from the observation location but also to solar and surface radiation. The contributions of multisource observational data, such as total radiation, shortwave radiation, cloud remote sensing products and high-resolution satellite observations, to the difference between air and water temperatures are analysed during the day and night and in different seasons in future work. The study of the difference between air and water temperatures can provide technical support for analysing heat exchanges between the lake and the atmosphere of Lake Qinghai.

**Keywords:** meteorological drift buoy; surface water temperature; air temperature; Lake Qinghai

Received: 2023-12-7 Accepted: 2024-11-5

© Editorial Office of *Meteorological Science and Technology* (CC BY-NC-ND 4.0)