

# 杭州亚运会公开水域游泳水温预报研究

徐雪兴 陈跃华

淳安县气象局 浙江 杭州 311700

**摘要:** 为满足杭州亚运会公开水域游泳赛事对表层水温的预报需求, 基于淳安县界首浮标气象观测站(K1378)的2021年4月-12月表层水温监测数据, 统计分析水温变化规律, 结合淳安国家基本气象站常规气象资料, 分析表层水温与气温的相关性, 结果表明: (1) 月平均水温与月平均气温变化趋势基本相同, 具体表现为4-8月份呈上升趋势, 9-12月份逐月下降 (2) 各层水温日较差分布范围、变化趋势非常接近, 各月水温日较差平均值均在1.5℃以内 (3) 将预报日内最高水温作为因变量, 选取预报前一日最高水温、预报前一日的最高气温、预报当日的最高气温作为预报因子, 通过多元线性回归法建立了表层水温预报模型 (4) 利用该预报模型对2022年表层水温进行检验分析, 最高、最低水温准确率分别为92.6%、94.5%, 平均绝对误差在1℃以内, 验证了该模型的可行性、准确性, 并将成果应用于亚运服务实际业务中。

**关键词:** 表层水温; 公开水域游泳; 亚运会; 预报

## 引言

2022杭州亚运会是继G20峰会之后杭州举办的又一国际性重大赛事, 淳安分赛区共有三大赛事六个小项: 自行车、铁人三项、公开水域游泳(场地自行车、小轮车、山地自行车、公路自行车、铁人三项、公开水域游泳)。区别于其他两项赛事, 公开水域游泳赛事要求表层水温不得低于16℃或高于31℃<sup>[1]</sup>, 否则将推迟赛事或减少赛程。而目前国内已有不少学者对湖泊、水库、海洋等大型水面的表层水温做了不少研究, 其中多关于为水温与气温相关性<sup>[2]</sup>、月平均水温预报<sup>[3][4]</sup>、水温气候变化特征<sup>[5]</sup>, 而对千岛湖水域表层水温的逐日水温预报研究较少, 因赛事服务需求有必要找出千岛湖水域表层水温高相关性气象因子建立预报模型, 精准预报逐日表层水温, 为亚运气象服务提供技术支持。

## 1 资料和方法

### 1.1 数据来源

因表层水温监测资料有限, 本文选取表层水温数据来源为淳安界首浮标气象站(K1378)2021年4月至12月的40cm、60cm、100cm水温逐时资料, 气温数据来源为相应时段淳安国家基本气象站的逐时资料, 两者均经浙江省气象网络中心审核和质控。

### 1.2 技术路线

表层水温年月变化规律主要使用EXCEL统计分析法, 通过MATLAB相关性分析找出与表层水温关系密切的气象因子, 通过多元线性回归法建立表层水温预报模型。

## 2 公开水域游泳表层水温预报

### 2.1 表层水温的变化规律

图1为2021年4月-12月亚运村平均水温与淳安站平均气温逐月分布图, 图中可以看出40cm、60cm、100cm平均水温逐层降低, 但各层平均水温非常接近, 差值小于0.2℃且总是高于平均气温, 但变化幅度明显小于气温。亚运村月平均水温与月平均气温变化趋势基本相同, 具体表现为4-8月份呈上升趋势, 两者相差不大, 9-12月份逐月下降, 但两者差值逐渐增大。

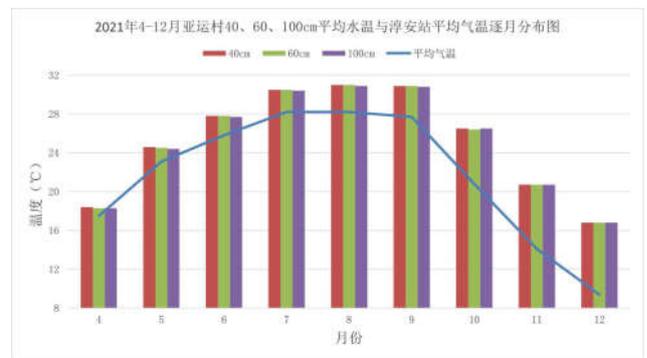


图1 2021年4月-12月亚运村各层平均水温与淳安站平均气温逐月分布图

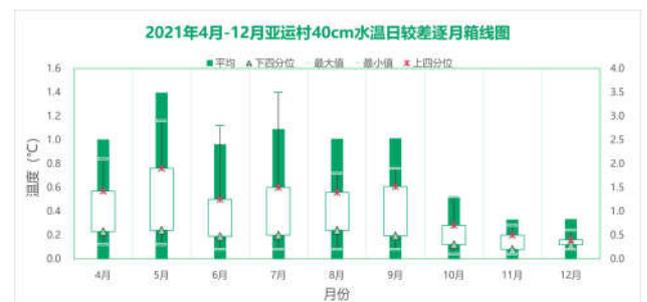


图2 2021年4月-12月亚运村40cm水温日较差逐月箱线图

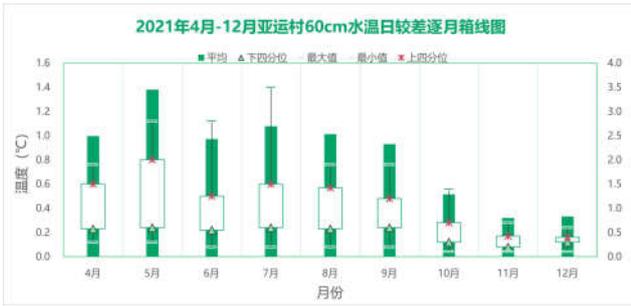


图3 2021年4月-12月亚运村60cm水温日较差逐月箱线图

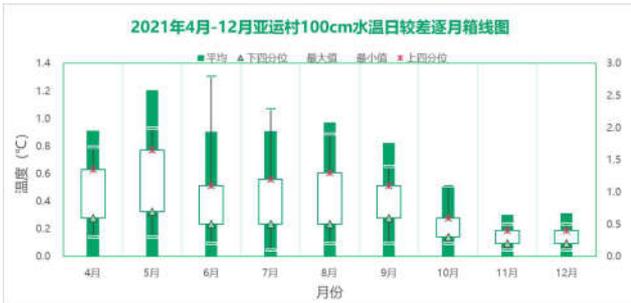


图4 2021年4月-12月亚运村1m水温日较差逐月箱线图

图2-4 分别为2021年4月-12月亚运村40cm、60cm、100cm水温日较差逐月箱线图，图中可以看出各层水温日较差分布范围、变化趋势非常接近，具体表现为各月水温日较差平均值均在1.5℃以内，各月水温日较差最小值在0.1-0.3℃之间，最大值在0.5-2.8℃之间，其中4-9月水温日较差50%样本分布在0.5-1.5℃之间，10-12月日较差

较小（0.5℃以内），水温趋于恒温状态。

### 2.2 预报方法

以上研究表明表层水温与气温之间存在显著的线性相关关系，将预报日内最高水温作为因变量，选取预报前一日最高水温、预报前一日的最高气温、预报当日的最高气温作为预报因子，利用多元线性回归法得到预报方程，结果如下：

$$T_{WMAX} = 0.2 + 0.91 * T'_{WMAX} + 0.13 * T_{AMAX} - 0.05 * T'_{AMAX} \quad (1)$$

$$T_{WMIN} = 0.63 + 0.93 * T'_{WMIN} + 0.09 * T_{AMIN} - 0.02 * T'_{AMIN} \quad (2)$$

以上（1）、（2）式为最高水温与最低水温的预报方程，其， $T_{WMAX}$ 为预报日的最高水温， $T'_{WMAX}$ 为前一日实测最高水温， $T_{AMAX}$ 为预报日最高气温， $T'_{AMAX}$ 为前一日实测最高气温； $T_{WMIN}$ 为预报日最低水温， $T'_{WMIN}$ 为前一日最低水温， $T_{AMIN}$ 为预报日的最低气温， $T'_{AMIN}$ 为前一日最低气温。

### 2.3 预报方程的检验与应用

用以上最高水温、最低水温订正方程检验2021年4-12月的最高最低水温，如以绝对误差1℃以内作为判定准确的标准，得到结果如表1所示。

将最高水温、最低水温的预报方程应用至2022年的1-12月，经检验结果如表2所示，最高、最低水温准确率分别为94.5%、92.6%，平均绝对误差在1℃以内。

表1 2021年4-12月最高水温、最低水温的检验

项目	最高水温	最低水温
样本量	283	283
准确率 (%)	96.8	98.2
平均绝对误差 (℃)	0.4	0.37
最大误差 (℃)	2.0	2.4
方差 (℃)	0.17	0.14

表2 2022年1-12月最高水温、最低水温的检验

项目	最高水温	最低水温
样本量	365	365
准确率 (%)	92.6	94.5
平均绝对误差 (℃)	0.8	0.6
最大误差 (℃)	1.5	1.1
方差 (℃)	0.73	0.45

### 3 结论

(1) 平均来看，千岛湖水域表层水温的日、月变化趋势与气温相同，4-8月份呈上升趋势，两者相差不大，9-12月份逐月下降，但两者差值逐渐增大，表层水温变化幅度明显比气温小。

(2) 每日最高、最低表层水温与最高、最低气温之间存在显著线性相关关系。一年大多数时间水温日较差不超过2℃，且主要在0.5-1.5℃之间。

(3) 选取预报前一日表层水温、气温和预报当日的气温作为预报因子，基于表层水温与气温变化趋势规

律,通过多元线性回归方法得到逐日最高水温、最低水温预报方程,最高、最低水温准确率分别为94.5%、92.6%,平均绝对误差在1℃以内,满足业务需要,具有良好的应用价值。

#### 参考文献

[1]国际泳联组委会.国际泳联公开水域游泳竞赛规则2017-2021

[2]张月霞,王慧梅,张睿.抚仙湖表层水温与气温关系研究[J].环境科学导刊,2018,37(04):26-29.DOI:10.13623/j.cnki.

hkdk.2018.04.007.

[3]杜碧兰,宋学家,张建华.表层海水温度场的正交综合因子场分解预报方法——东海及其外缘海域月平均表层水温预报[J].海洋学报(中文版),1982(02):149-156.

[4]许桂水,王东方,陈铁帅.水温及其预报方法初探[J].工科数学,2002(01):17-22.

[5]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.