

杭州亚运会皮划艇和赛艇项目气候背景分析

张霏燕 姜盈 张日佳
(杭州市富阳区气象局, 杭州 311400)

摘要: 利用杭州亚运会北支江水上运动中心场馆附近的气象观测站2010—2021年逐日和逐小时气象观测资料, 对场馆9月23日—10月8日的天气气候特征进行分析, 并对赛艇、皮划艇赛事进行气象条件适宜性分析。结果表明: 1) 亚运会期间会对比赛成绩影响较大的气温出现频率较低, 从气温角度看, 赛事适宜安排在08:00—11:00和17:00—20:00; 降水概率较大, 每2~3 d就会出现1次降雨天气, 但以小雨为主。2) 亚运会期间会对比赛项目产生影响的大风天气出现次数较少; 逐小时平均风速在13:00—16:00较大, 建议将受风影响较大的比赛项目尽量安排在风速相对较小的上午或傍晚。偏北风为水上运动中心最多风向, 偏东风次之; 15:00—18:00风向摆动角度最小, 从该指标来看, 水上运动赛事适宜安排在15:00—18:00。3) 日平均人体舒适度指数在9月下旬为舒适或偏热等级, 在9月末到10月上旬为舒适等级; 人体舒适度达到4级的天数最多, 3级的天数次之。4) 综合赛事各项气象条件分级指标来看, 赛艇项目和皮划艇项目最适合开展时间为08:00—09:00, 其次为10:00和17:00—20:00。

关键词: 亚运会, 适宜性, 皮划艇, 赛艇

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2023.02.005

Climatic Background Analysis for Canoeing and Rowing Event in the 19th Asian Games Hangzhou 2023

Zhang Feiyan, Jiang Ying, Zhang Rijia
(Fuyang Meteorological Bureau, Hangzhou 311400)

Abstract: Using the daily and hourly observational data of the automatic weather station near Beizhijiang water sports center from 2010 to 2021, the climatic characteristics of the venue during 23 September to 8 October 2023 are statistically analyzed to identify the suitability of meteorological conditions for rowing and canoeing events. Research results show as follows: (1) The occurrence frequency of temperature that will have a great impact on canoeing and rowing performance is low. From the perspective of temperature, it is suitable to hold the events at 08:00—11:00 BT and 17:00—20:00 BT. It is rainy in every 2—3 days, but it is mainly light rain. (2) There will be low occurrence frequency of gale weather that will have a great impact on performance. The wind speed is high at 13:00—16:00 BT, so it is recommended to arrange the events greatly affected by the wind in the morning or evening. The dominating wind direction is the northerly, followed by the easterly wind. The smallest wind swing angle occurs during 15:00—18:00 BT. Therefore, from the perspective of wind swing, the time period of 15:00—18:00 BT is the proper choice for the water sports. (3) The daily average human comfort index is comfortable or slightly hot in late September, and comfortable from late September to early October. The number of days when human body comfort index reaches level 4 is the highest, followed by level 3. (4) Based on the overall analysis of the meteorological factors, the most suitable time for rowing and canoeing is 08:00—09:00 BT, followed by 10:00 BT and 17:00—20:00 BT.

Keywords: Asian Games, suitability, canoeing, rowing

0 引言

第19届亚运会将于2023年9月23日—10月8日在杭州举行。届时, 杭州亚运会北支江水上运动中心场馆将承担赛艇、皮划艇(静水)等赛事。

体育运动与气象的关系密不可分^[1-4]。气温通常会对运动员的植物神经系统、内分泌功能以及血压等有影响。径赛运动员发挥水平最适宜的气温为

17~20℃, 田赛运动员发挥水平最适宜的气温通常为20~22℃^[5]。湿度对人体的影响主要是在热代谢和水盐代谢方面, 在空气相对湿度高时运动, 身体的热蒸发受阻, 出汗少, 皮肤调节体温的功能失常, 经常会导致运动员烦躁、疲劳和食欲不振, 而湿度太小又有干渴烦躁的感觉^[6]。风的作用有利有弊, 其影响包括风速和风向两个方面。首先, 风影响体育运动项目的运动过程以至成绩; 另外, 风对人的呼吸过程、能量消耗、精神状态及新陈代谢等产生影响, 从而影响运动员的体能发挥。风对赛艇、皮划艇等静水项目比赛

收稿日期: 2021年9月9日; 修回日期: 2022年1月17日
第一作者: 张霏燕(1986—), Email: zjzhangfeiyan@163.com

及赛道选择都有影响,当风速稳定大于3 m/s时,位于水面上风方的赛道可依次设定或调整为有利赛道,而当风速稳定大于6 m/s时,比赛将无法进行^[7-9]。

目前对于第19届亚运会的气候背景已有相关的研究,但是亚运会期间比赛项目的气象要素特征还没有学者做过研究。本文分析杭州亚运皮划艇和赛艇项目的气象要素特征,以期为相应赛程的安排提供有益参考,同时也可作为亚运会期间的天气预报提供技术指导。

表1 赛艇和皮划艇项目气象条件分级指标

Table 1 Classification index of meteorological conditions for rowing and canoeing

项目	影响要素	等级	小时雨量/mm	平均风速/(m/s)	阵风风速/(m/s)	气温/°C	能见度/km
赛艇	风向、风速、雷电、能见度、降雨、水温、海浪	适宜	0	<2.5	0~8	/	/
		基本适宜	0.1~10	2.5~6	8~12	/	/
		不适宜	>10	>6	>12	>35	<1.5
皮划艇(静水)	风向、风速、雷电、能见度、降雨、水温、海浪	适宜	0	0~2.5	0~20	/	/
		基本适宜	0.1~10	2.5~8	/	/	/
		不适宜	>10	>8	>20	>35	<1.2

象保障服务总体工作方案》)。

1.2 方法

本文用数理统计法对相关要素的逐日、逐时分布进行分析,并对照气象条件适宜性标准进行概率统计得出结论。

风向摆动角度采用如下计算公式^[10]:

$$\Delta W_i = \begin{cases} |W_i - W_{i-1}| & \text{当 } \Delta W_i \leq 180^\circ \\ 360 - |W_i - W_{i-1}| & \text{当 } \Delta W_i > 180^\circ \end{cases} \quad (1)$$

人体舒适度指数采用如下计算公式^[5]:

$$I = 1.8T - 0.55(1 - H) + 32 - 3.2\sqrt{U}, \quad (2)$$

式中, T 为气温, H 为相对湿度, U 为风速。人体舒适度指数的等级划分标准见表2。

表2 人体舒适度指数的等级划分标准

Table 2 Classification criteria of human body comfort index

舒适度指数	<57	57~60	60~65	65~70	70~76	76~80	80~83	83~85	≥85
舒适度等级	1级	2级	3级	4级	5级	6级	7级	8级	9级
人体感觉	冷	偏冷	凉爽	舒适	偏热	热	闷热	炎热	酷热

另外本文在结合了表1中的气象条件分级指标,并听取了当地文化广电旅游体育局对于赛事气象服务的需求后,定义赛事最佳时次指数和备用时次指数,以期找出开展各赛事的最佳时次和备用时次。

最佳时次指数=降水适宜等级概率×平均风速适宜等级概率×阵风风速适宜等级概率×气温适宜等级概率×能见度适宜等级概率。

备用时次指数=(降水适宜等级概率+基本适宜等级概率)×(平均风速适宜等级概率+基本适宜等级概

1 数据和方法

1.1 数据

本文所用的数据为杭州亚运会北支江水上运动中心场馆附近(距离2.66 km,海拔和环境都较一致)的富阳红旗村站2010—2021年9月23日—10月8日的逐日和逐小时气象观测资料,包括气温、降水量、小时降水量(指过去1 h降水)、风速、风向和能见度等,赛艇和皮划艇(静水)的赛事气象条件分级指标见表1(指标来自《浙江省第19届亚运会和第4届亚残运会气

率)×(阵风风速适宜等级概率+基本适宜等级概率)×(气温适宜等级概率+基本适宜等级概率)×(能见度适宜等级概率+基本适宜等级概率)。

2 气候特征分析

2.1 气温

依据多年气象资料分析,水上运动中心9月23日—10月8日平均温度22.0 °C,日平均气温呈现递减的趋势,表明天气逐渐转凉(图1)。极端最低气温10.4 °C,极端最高气温36.2 °C,≥35 °C高温天数年均0.5 d。

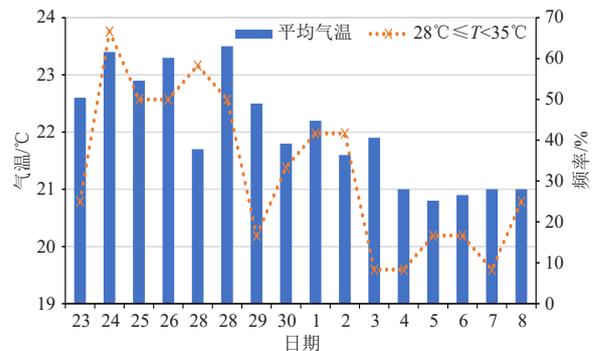


图1 2023年9月23日—10月8日日平均气温和28~35 °C日数出现频率逐日变化图

Fig. 1 Daily variation of daily average temperature and occurrence frequency of 28—35 °C from 23 September to 8 October 2023

据研究,15~25 °C是运动员发挥成绩的最佳气温。当气温超过28 °C,人体就会感觉不适;低于15 °C或高于35 °C时对体育运动成绩则会产生较大影响^[5]。统计发现,9月23日—10月8日日最高气温变化

范围为18.7~36.2℃。将日最高气温分为4个等级，分别统计各级日最高气温出现的平均日数(表3)，从表中可以看到，日最高气温在25~28℃的日数最多，年均5.7 d; 28~35℃的日数次之，年均5.4 d，且从28~35℃逐日出现频率的分布图(图1)可以看到10月2日以前28~35℃出现频率较高，10月3日开始出现频率明显降低，因此在亚运会前期容易出现会使运动员人体感觉不适的气温; 高于35℃的天数年均0.5 d，表明会对运动成绩产生较大影响的气温出现次数较少。

表3 2023年9月23日—10月8日各级日最高气温(T)年均出现日数

Table 3 Annual average occurrence days of daily maximum temperature at all levels from 23 September to 8 October 2023

	$15^{\circ}\text{C} \leq T < 25^{\circ}\text{C}$	$25^{\circ}\text{C} \leq T < 28^{\circ}\text{C}$	$28^{\circ}\text{C} \leq T < 35^{\circ}\text{C}$	$T \geq 35^{\circ}\text{C}$
年平均出现日数/d	4.4	5.7	5.4	0.5

从各级气温出现频率的逐小时变化图(图2)可见，15~25℃气温段出现频率最高，且15~25℃在08:00—11:00(北京时，下同)和17:00—20:00出现频率达到了50%以上; 25~28℃和28~35℃两个气温段在12:00—16:00出现频率较高，这与气温的日变化相一致; 高于35℃的气温仅出现在13:00—16:00，且出现频率较低，在1%~2%。因此，08:00—11:00和17:00—20:00的气温较有利于运动员成绩的发挥，12:00—16:00出现使运动员感觉不适的气温的概率增大，且在13:00—16:00可能会出现对运动成绩产生较大影响的气温，但发生频率较低，在正常的气温日变化中，这个时间段也是日最高气温出现的时段，因此该结论与实际相符。从气温角度看，赛事适宜安排在08:00—11:00和17:00—20:00。

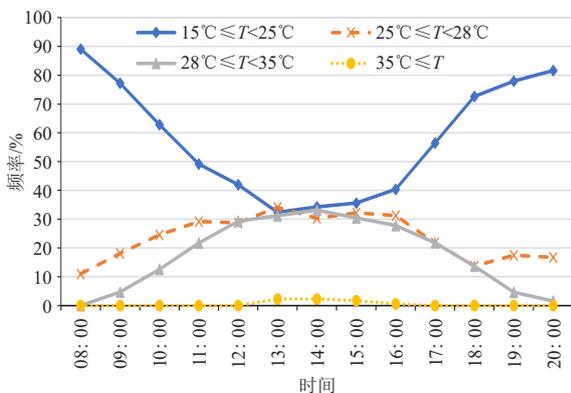


图2 2023年9月23日—10月8日各级气温出现频率逐小时变化图
Fig. 2 Hourly variation of temperature occurrence frequency at all levels from 23 September to 8 October 2023

2.2 降水

水上运动中心9月23日—10月8日平均降水总量为68.9 mm，最大日降水量为254.3 mm，出现在2013年10月7日，为台风“菲特”影响造成的降水; 平均降水日数为6.2 d，且逐日降水出现频率的分布呈现随机性(图3)，因此亚运会期间平均2~3 d就可能出现1次降水天气; 9月23日—10月8日降雨量为小雨量级(0~9.9 mm)的日数年均14.5 d，中雨量级(10~24.9 mm)的日数年均0.8 d，大雨量级(25~49.9 mm)的日数年均0.5 d，暴雨以上量级(>50 mm)日数年均0.2 d。因此，亚运会期间降水概率较大，但以小雨量级为主。

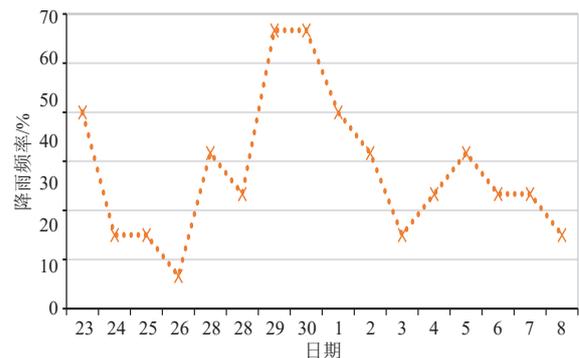


图3 2023年9月23日—10月8日逐日降雨频率序列图
Fig. 3 Daily variation of rainfall frequency from 23 September to 8 October 2023

从水上运动中心9月23日—10月8日降水日期间白天的逐小时降水变化曲线(图4)可见，逐小时降水量在16:00最大，平均为2.9 mm，降水量的次大值在14:00，平均为2.7 mm; 逐小时降水频率小幅波动，主要集中在08:00—11:00和18:00—20:00，其值在10%~16%，其余时次发生频率均在7%~10%，各个



图4 2023年9月23日—10月8日降水日期间逐小时降水量及降水发生频率变化图
Fig. 4 Hourly variation of precipitation and precipitation frequency between precipitation days from 23 September to 8 October 2023

时次差别不大。总体来说,降水日变化对亚运会赛程安排影响不大。

2.3 风向风速变化

2.3.1 风速分析

水上运动中心9月23日—10月8日极大风速的最大值为22.0 m/s(9级),出现在2021年9月29日;从表1可见当阵风风速大于12 m/s时不适宜赛艇比赛的进行,大于20 m/s时不适宜皮划艇比赛的进行,因此对水上运动中心6级及以上阵风的出现次数进行分析。统计结果表明,出现8级以上大风的天数年均均为0.2 d,出现7级风的天数年均均为0.2 d,出现6级风的天数年均均为0.4 d,表明亚运会期间会对比赛项目产生影响的大风天气出现次数较少。

从水上运动中心9月23日—10月8日平均风速逐小时变化曲线(图5)可见,08:00—20:00逐小时平均风速在1.2~2.1 m/s。平均而言,13:00—16:00平均风速较大,在1.9~2.1 m/s;其余各个时段的平均风速在1.2~1.9 m/s。因此,在亚运会赛程安排上,应将受风影响较大的比赛项目尽量安排在风速相对较小的上午或傍晚。

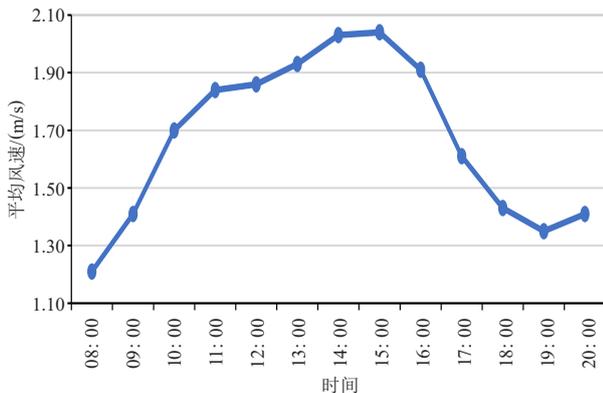


图5 2023年9月23日—10月8日平均风速逐小时变化图
Fig. 5 Hourly variation of average wind speed from 23 September to 8 October 2023

2.3.2 风向频率和风向摆动分析

图6为水上运动中心9月23日—10月8日各种风向随时间的演变特征,统计表明,偏北风为水上运动中心最多风向,其中14:00—19:00偏北风频率达到了50%左右;偏东风频率次之,在30%左右;偏西风 and 偏南风频率分别在20%和10%左右;静风的频率在4%以下。

水上运动项目除了对风速有要求外,比赛选手们对风向的摆动也非常关注,风向稳定,摆动小有助于选手取得好成绩^[9]。从水上运动中心9月23日—10月8日风向摆动逐小时变化图(图7)可见,风向摆动角度呈现先降后升的趋势,08:00—13:00在55°~64°;

14:00和19:00—20:00的风向摆动角度在50°~55°;15:00—18:00风向摆动角度在50°以下。因此从风向摆动来看,赛事适宜安排在15:00—18:00。

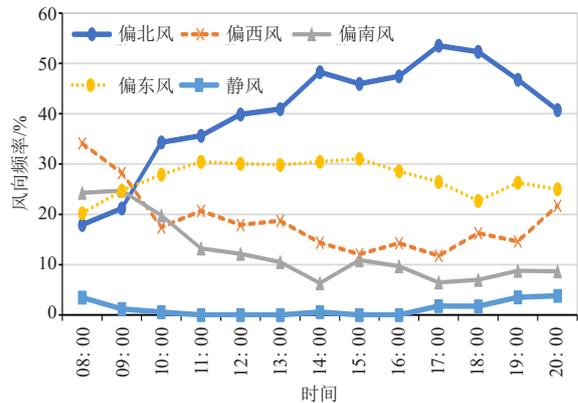


图6 2023年9月23日—10月8日各风向频率逐小时变化图
Fig. 6 Hourly variation of frequency in each wind direction from 23 September to 8 October 2023

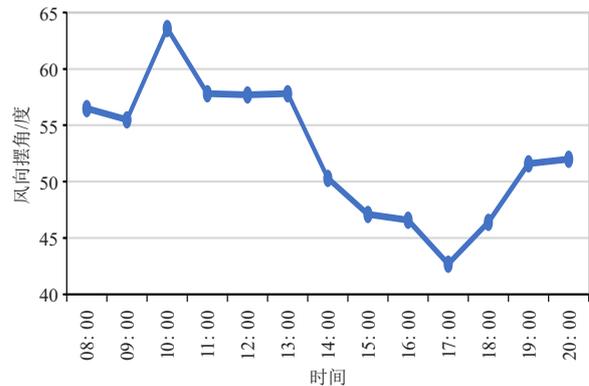


图7 2023年9月23日—10月8日风向摆动逐小时变化图
Fig. 7 Hourly variation of wind swing from 23 September to 8 October 2023

2.4 人体舒适度特征分析

人类机体对外界环境的主观感觉有别于大气探测仪器获取的各种气象要素的观测结果。人体舒适度指数是为了从气象角度来评价在不同气象条件下人的舒适感,根据人类机体与大气环境之间的热交换而制定的生物气象指标^[10]。图8为水上运动中心9月23日—10月8日日平均人体舒适度指数逐日变化图。可以看出,水上运动中心日平均人体舒适度指数呈现逐日下降趋势,与日平均气温的变化趋势一致,在9月下旬日平均舒适度指数在67~71,为舒适或偏热等级,在9月末到10月上旬日平均舒适度指数降低,在65~69,为舒适等级。

表4给出了水上运动中心9月23日—10月8日各个等级舒适度出现日数和频率情况。9月23日—10月8日人体舒适度达到4级(舒适)的天数最多,年平均为6.1 d,出现频率为38%,在9月下旬4级出现频率高于

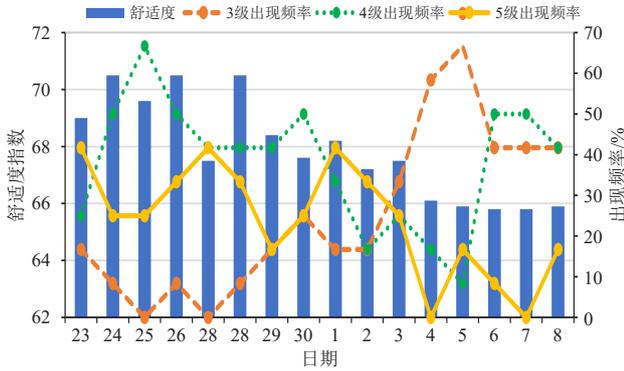


图8 2023年9月23日—10月8日日平均人体舒适度指数逐日变化图
Fig. 8 Daily variation of daily average human body comfort index from 23 September to 8 October 2023

其它等级(图8), 10月上旬4级出现频率整体呈现下降趋势; 人体舒适度达到3级(凉爽)的天数为第二多, 年平均为4.0 d, 出现频率为25%, 人体舒适度达到5级(偏热)的天数为第三多, 年平均为3.8 d, 出现频率为24%, 且3级和5级出现频率呈现此消彼长的趋势(图8), 在9月下旬5级出现频率高于3级出现频率, 10月上旬开始, 5级出现频率降低, 而3级出现频率大幅上升。出现1级(冷)、2级(偏冷)、6级(热)和7级(闷热)的频率少, 在1%~8%。人体舒适度等级为8级(炎热)和9级(酷热)的天数没有出现。

表4 各个等级舒适度出现日数和频率

Table 4 Occurrence times and frequency of human body comfort index at each level

等级	1	2	3	4	5	6	7	8	9
平均日数/d	0.2	0.6	4.0	6.1	3.8	1.3	0.1	0.0	0.0
频率/%	1	4	25	38	24	8	1	0	0

3 赛事气象条件适宜性分析

3.1 赛艇

从赛艇气象条件适宜性分析得出, 9月23日—10月8日水上运动中心08:00—20:00气温、能见度、阵风适宜等级频率较高(图略), 气温和能见度适宜等级频率在98%~100%, 阵风适宜等级频率在92%~98%。小时降水量适宜等级频率在85%~93%(图9), 不适宜率在0%~1%, 总体比例较低, 这表明降水量要素总体还是较有利于赛艇比赛的进行。平均风速适宜率在74%~95%, 呈现V型分布, 两头高中间低, 表明午后平均风速适宜率相对较低; 平均风速不适宜率为0%~1%, 表明平均风速总体也较有利于赛艇赛事开展。

进一步分析得出, 赛艇项目备用时次指数都在95%以上, 总体适合赛艇赛事的开展。从最佳时次指数分布来看(图10), 最适合开展赛艇比赛的时次

为08:00—09:00, 指数在80%以上; 其次为10:00和17:00—20:00, 指数在70%~75%。从第2节的分析中得出午后气温较高, 风速较大, 对于比赛的开展较为不利, 因此该结论与前面的分析相一致。

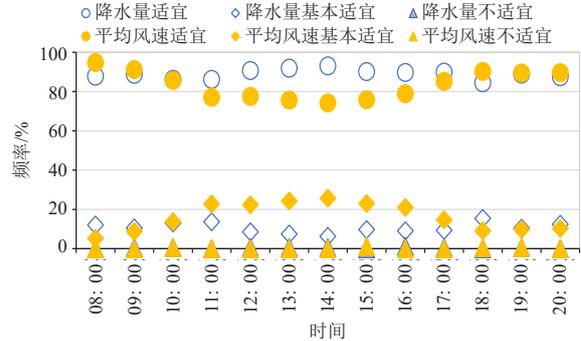


图9 2023年9月23日—10月8日赛艇项目小时降水量、平均风速适宜等级逐小时频率分布图

Fig. 9 Hourly distribution of suitable grade frequency of precipitation and average wind speed for rowing from 23 September to 8 October 2023

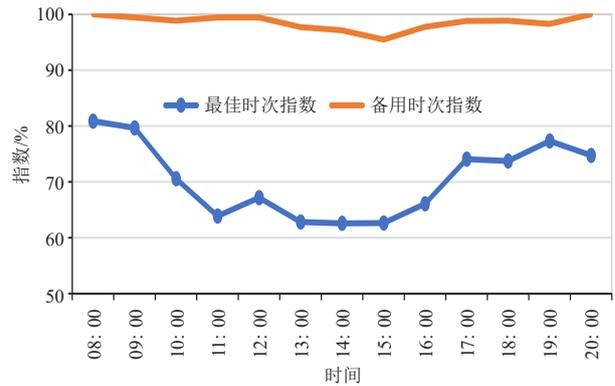


图10 2023年9月23日—10月8日赛艇项目最佳、备用时次指数逐小时分布图

Fig. 10 Hourly distribution of the best time and standby time index for rowing from 23 September to 8 October 2023

3.2 皮划艇

从皮划艇气象条件适宜性分析得出, 08:00—20:00气温、能见度和阵风风速达到适宜等级的频率在98%~100%, 而皮划艇小时降水量和平均风速适宜等级逐小时频率分析结果与赛艇一致, 本节不再赘述。皮划艇项目备用时次指数(图11)都在97%以上, 总体适合皮划艇赛事的开展。从最佳时次指数分布来看, 最适合开展皮划艇比赛的时次为08:00—09:00, 指数在80%以上; 其次为10:00和17:00—20:00, 指数在70%~75%。

4 结论

1) 水上运动中心9月23日—10月8日平均温度22.0℃, 日平均气温呈现递减趋势, 表明天气逐渐

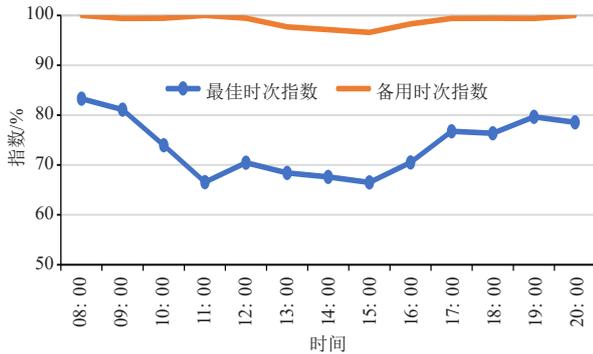


图11 2023年9月23日—10月8日皮划艇项目最佳、备用时次指数逐小时分布图

Fig. 11 Hourly distribution of the best time and standby time index for canoeing from 23 September to 8 October 2023

转凉；亚运会前期容易出现会让运动员感觉不适的气温，但亚运会期间会对比赛成绩影响较大的气温出现频率较低，从气温角度看，赛事适宜安排在08:00—11:00和17:00—20:00。9月23日—10月8日平均降水量为68.9 mm，年平均降水日数6.2 d，平均2~3 d就会出现1次降水，降水概率较大，但以小雨量级为主；逐小时降水发生频率大值区集中在08:00—11:00和18:00—20:00，其值在10%~16%，其余时次发生频率均在7%~10%，降水日变化对亚运会赛程安排影响不大。

2) 水上运动中心9月23日—10月8日出现8级以上大风的天数年均均为0.2 d，出现7级风的天数年均均为0.2 d，出现6级风的天数年均均为0.4 d，表明亚运会期间会对比赛项目产生影响的大风天气出现次数较少。逐小时平均风速在13:00—16:00较大，建议将受风影响较大的比赛项目尽量安排在风速相对较小的上午或傍晚。偏北风为水上运动中心最多风向，偏东风次之。15:00—18:00风向摆动角度最小，因此从风向摆动来看，水上运动赛事适宜安排在15:00—18:00。

3) 日平均人体舒适度指数在9月下旬为舒适或偏

热等级，在9月末到10月上旬为舒适等级。人体舒适度达到4级（舒适）的天数最多，3级（凉爽）的天数次之，5级（偏热）的天数为第三多；在9月下旬4级出现频率高于其他等级，10月上旬4级出现频率整体呈现下降趋势，而3级和5级出现频率呈现此消彼长的趋势，9月下旬5级出现频率明显高于3级出现频率，10月上旬开始5级出现频率降低，而3级出现频率大幅上升。

4) 综合赛事各项气象条件分级指标来看，赛艇项目和皮划艇项目最适合开展时间为08:00—09:00，其次为10:00和17:00—20:00。

参考文献

- [1] 李筱竹, 张晓美, 吕明辉. 大型体育赛事气象服务社会效益评估方法的设计——以青年奥林匹克运动会为例. 气象科技进展, 2020, 10(4): 42-46.
- [2] 孙长征, 高慧君, 黄燕玲, 等. 气象要素对体育项目的综合影响. 山东气象, 2011, 31(2): 23-26.
- [3] Kiktev D B, Astakhova E D, Bllnov D V, et al. Development of forecasting technologies for meteorological support of the Sochi: 2014 Winter Olympic Games. Russian Meteorology and Hydrology, 2013, 38(10): 653-660.
- [4] Rutty M, Scott D, Steiger R, et al. Weather risk management at the Olympic Winter Games. Current Issues in Tourism, 2015, 18(10): 931-946.
- [5] 朱燕君, 陈峪, 李庆祥, 等. 北京奥运会期间的气象条件分析. 应用气象学报, 2006, 17(s1): 35-41.
- [6] 丁向东, 宛钟娜. 气象、气候环境对体育运动的影响. 体育成人教育学报, 2006, 22(6): 49-50.
- [7] 王彦, 李胜山, 李一平, 等. 奥运会赛艇场馆逐时风场特征. 气象科技, 2008, 36(6): 811-813.
- [8] 赵玉洁, 于凤英, 张文琴. 风对赛艇等户外静水项目有利赛道选择的影响. 气象科技, 2011, 39(4): 525-528.
- [9] 王明洁, 张小丽, 李兴荣. 2011年第26届世界大学生运动会海上基地选址的气象条件分析. 热带气象学报, 2010, 26(2): 218-222.
- [10] 洪光, 徐晓亮. 青岛奥帆赛期间天气气候背景分析. 应用气象学报, 2006, 17(s1): 54-59.
- [11] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术. 北京: 气象出版社, 2007: 23-32.
- [12] 朱志强, 王飞, 王东海, 等. 2016—2017雪季冬奥会“窗口期”气象资料分析与建议. 上海体育学院学报, 2019, 43(1): 43-50.
- [13] 王学林, 谢金花, 王志, 等. 基于弹性脆弱性指标的环巢湖自行车赛风险辨识. 沙漠与绿洲气象, 2020, 14(2): 123-128.
- [14] 杨艳娟, 周慧. 奥运期间天津极端天气气候事件背景分析. 气象科技, 2007, 35(6): 890-893.
- [15] 李庆祥, 朱燕君, 熊安元. 北京等6城市奥运期间不利天气的概率统计. 应用气象学报, 2006, 17(s1): 42-47.