

大型城市河流对城市气候影响的实测研究

齐静静, 刘 京, 宋晓程, 郭 亮

(哈尔滨工业大学 城市水资源与水环境国家重点实验室, 150001 哈尔滨, qijingjinghit@msn.com)

摘 要: 为得到夏季城市河流对热气候的具体影响, 采用定点观测方法, 以松花江哈尔滨段为研究对象, 在夏季最热月份展开为期一个月的实测, 得出夏季各下垫面及大气温度的变化规律及各辐射通量的变化关系. 数据分析显示: 白天地表温度明显高于其他下垫面温度及大气温度. 晴朗天气, 地表温度比江面上空大气温度约高 $14\text{ }^{\circ}\text{C}$, 固定测点处水温低于河道上方的环境空气温度约 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$; 且净辐射量值较大, 可达 700 W/m^2 . 此时显热通量和潜热通量 (尤其是显热通量) 相对很小, 占净辐射量的比例分别约为 0.2% 和 1.8% . 阴雨天气, 水温略高于河道上空的江北固定测点空气温度约 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$; 净辐射量较小, 在 100 W/m^2 左右波动. 此时显热通量和潜热通量占净辐射量的比例分别约为 9.5% 和 51.3% . 晴朗天气太阳净辐射量绝大多数通过导热或透射的形式进入水体内部; 阴雨天气, 水面净辐射量的大部分又以对流传热传质的形式返回大气.

关键词: 城市河流; 城市热气候; 实测; 温度变化; 动态热收支

中图分类号: P463.24

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2011)10-0056-04

Field measurement of the influence of large urban river on urban thermal climate

QI Jing-jing, LIU Jing, SONG Xiao-cheng, GUO Liang

(State Key Laboratory on Urban Water Resource and Environment, Harbin Institute of
Technology, 150090 Harbin, China, qijingjinghit@msn.com)

Abstract: To obtain the specific influence of urban river on urban thermal climate in summer, fixed-point observation method is used to one-month field measurements in the section of Songhua River Basin in Harbin, and the data collection and analysis on temperature variations from several underlying surfaces and the atmosphere and dynamic thermal budgets have been finished. The results indicate that during the sunny days, ground surface temperature is mostly affected by solar radiation, and it is about $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ higher than atmosphere temperature above the river, while water temperature is about $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ lower than atmosphere temperature above the river. Meanwhile, net radiation rate reaches to 700 W/m^2 , while sensible heat flux and latent heat flux account for a small proportion of net radiation: only 0.2% and 1.8% respectively. The majority of net radiation could be considered to penetrate into the water through heat conduction and transmission while most of which is taken outside city as the river flows during sunny day. During the rainy days, the water temperature is about $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ higher than atmosphere temperature above the river, and the net radiation is about 100 W/m^2 , while the proportion of the sensible heat flux and latent heat flux in the whole net radiation is about 9.5% and 51.3% , respectively, which means that the main of net radiation from water surface returns to the atmosphere in the way of convective heat transfer and mass transfer.

Key words: urban river; urban thermal climate; field measurement; temperature variation; dynamic heat budget

收稿日期: 2010-04-14.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50879015); 城市水资源
与水环境国家重点实验室自主课题 (2008TS06).

作者简介: 齐静静 (1985—), 女, 硕士研究生;

刘 京 (1972—), 男, 教授, 博士生导师.

城市河流在解决城市热气候方面具有极大的
优越性: 1) 水体自身的热容量大, 蓄热能力强;
2) 河流一般具有较大的径流量, 与小型人工湖或

水体景观相比,可以更好地传输热量;3) 河流表面平展,有利于“风道”的形成等. 目前国内外关于河流自然状况方面的研究较多^[1-3],相对来讲,由于城市和河流自身的复杂性,以及技术手段上的局限性,到目前为止关于城市河流对热气候影响的相关研究还比较少,特别是现场实测的研究成果非常缺乏^[4-5]. 国内外的城市规划专业虽然已经意识到城市河流可能对热气候产生的积极作用,但由于没有定量的理论分析基础,使得在具体规划实施中无法充分体现其价值^[6-7]. 本文以松花江哈尔滨段为研究对象,利用定点观测法,对夏季城市河流及其周边区域温度变化和能量收支关系进行一系列具体实测,进而分析了大型城市河流对城市热气候的影响.

1 实测方案

1.1 实测河流概况

选取松花江哈尔滨段(45°25′~45°30′N, 126°20′~126°25′E)^[8],该段属于松花江干流,受两侧堤防限制,除江心岛外,江道顺直,水流通畅,坡度平缓,基本保持西南至东北方向流经市区. 除小的支流外,松花江是哈尔滨市区内唯一的主要河流,故可以不考虑水网密布情况下各河段之间可能存在的对热气候相互影响的问题.

松花江哈尔滨段全年水流变化巨大,实测选择在夏季丰水期进行. 除松花江冬季封冻的因素外,主要因为此时期水位较高,江面开阔且流速较大,此时期的实测结果可以更好地体现城市河流在城市热气候中的作用.

1.2 实测方法

采用定点观测法,即在河流内部或周边区域选定合适的测点,并通过固定实测仪器进行测量,该方法便于较长期的动态计测. 江边固定测点利用松花江北一侧的观景台. 该观景台直接突出并坐落于江面 5.6 m 之上,四周开阔,没有明显的建筑物遮挡. 除大雨等恶劣天气外,固定测点从 7 月 22 日持续到 8 月 22 日,每天实测时间为早 9:30 到下午 15:30,测量间隔为 1 min. 观测内容主要是利用热平衡法测量河道内热量动态收支关系、把握江面上部空气温湿度变化、江面水温变化及附近其他下垫面表面温度变化等. 具体方法是利用安置在观景台的自动气象站(TRM-ZS2)中的太阳总辐射仪和太阳长波辐射仪测量太阳短波辐射量和长波辐射量;并利用此气象站中的地温传感器(PTWD-2A)和风速(风向)传感器(EC-9S(X))分别测量地表温度和风速、风向;同样利用

安置在观景台的温湿度传感器采用总体输送法测量河道表面感热通量和潜热通量. 气象站距平台表面 2.2 m. 另外,水表面温度用自记式水面测温仪测量. 水体的蓄热部分则可根据水体表面热收支关系计算而得. 另外根据哈尔滨市水文局的资料,实测期间平均水位和流量分别为 115.7 m 和 1 200 m³/s. 由于进入 8 月后,松花江流域总体上降水较少且持续高温天气,导致水位和流量低于正常年度水平.

1.3 河流表面热量收支理论

河流表面的热量收支关系是理解河流对城市气候影响的最关键环节之一. 假定流体处于热平衡状态,上游没有大型水库、热电站排放等影响时,在计算流域内流入流出水体的热量可认为相等,此时河流表面热量收支可表示为^[9]

$$R_{\text{net}} = (1 - \alpha)S_R \downarrow + L_R \downarrow - \varepsilon \sigma T_s^4 = H + E + G. \tag{1}$$

式中: R_{net} 表示水面处所接收的净太阳辐射量(W/m²); $S_R \downarrow$ 表示透过大气到达水面的短波辐射量(W/m²); $L_R \downarrow$ 表示大气下向的长波辐射量(W/m²); σ 表示 Stefan-Boltzmann 常数,等于 5.67×10^{-8} ; σT_s^4 表示从水面向上的长波辐射量(W/m²); T_s 表示水面绝对温度(K); α, ε 分别表示表面短波反射系数及放射系数,与物体表面的状态及太阳高度角有关,对于水表面分别取 0.07 和 0.96; H 表示水面处显热通量(W/m²); E 表示水面处潜热通量(W/m²); G 表示水面向下部水体的导热通量(W/m²).

上式中短波和大气长波辐射量根据安置在江北固定测点的太阳总辐射和长波辐射仪测量,进而得出净辐射量.

显热通量、潜热通量根据总体输送法推算^[10]

$$H = \rho C_p C_{H,10} U_{10} (\theta_{sw} - \theta_{10}), \tag{2}$$

$$E = \rho C_{E,10} U_{10} (q_{sw} - q_{10}). \tag{3}$$

式中: $C_{H,10}$ 表示测量高度 10 m 处的显热通量的总体输送系数; $C_{E,10}$ 表示测量高度 10 m 处的潜热通量的总体输送系数.

$C_{H,10}$ 、 $C_{E,10}$ 一般可按下式(4)取值; U_{10} 、 θ_{10} 、 q_{10} 分别表示距水面 10 m 高度的风速(m/s)、气温(℃)和比湿(g/kg); θ_{sw} 为河流表面温度(℃); q_{sw} 为河流饱和比湿^[10].

$$C_{H,10} \approx C_{E,10} \approx \begin{cases} (1.1 \sim 1.2) \times 10^{-3}, & 1 \leq U_{10} \leq 5; \\ (1.2 \sim 1.3) \times 10^{-3}, & 5 \leq U_{10} \leq 30. \end{cases} \tag{4}$$

当风速和气温测量高度不是 10 m 时,需结合

风速、气温和比热的垂直分布对上式进行修正^[10]. 另外, 由于水面 - 大气之间的显热和潜热交换由大气湍动状况决定, 还需进行大气稳定度的修正^[10].

大气稳定情况下, 即 $\theta_{sw} < \theta_{10}$,

$$\frac{C_{HD,Z}}{C_{H,Z}} \cong \frac{C_{ED,Z}}{C_{E,Z}} \cong \begin{cases} 0.1 + 0.03S + 0.9e^{4.8S}, & -3.3 < S < 0; \\ 0, & S \leq -3.3. \end{cases} \quad (5)$$

大气不稳定情况下, 即 $\theta_{sw} > \theta_{10}$:

$$\frac{C_{HD,Z}}{C_{H,Z}} \cong \frac{C_{ED,Z}}{C_{E,Z}} \cong 1.0 + 0.63S^{0.5}. \quad (6)$$

其中:

$$S = S_0 \frac{|S_0|}{|S_0| + 0.01},$$
$$S_0 = \frac{T_s - T}{U^2 \left[1.0 + \log_{10} \left(\frac{10}{z} \right) \right]^2}.$$

式中 S 、 S_0 为表示大气稳定度的函数.

2 实测结果和分析

2.1 典型日温度变化

首先以 8 月 6 日及 8 月 22 日为例, 给出由江北固定测点处的大气温度、水温及观景台地表温度数据绘制成的日温度变化曲线, 见图 1. 在温度偏高的晴朗天气(8 月 6 日), 随着太阳辐射增强, 由于混凝土地面蓄热能力强, 下垫面反照率高, 且辐射冷却时地表降温迟缓, 白天地表温度明显高于其他下垫面温度及大气温度, 保持在 40℃ 之上, 甚至达到 50℃. 与江面上空大气温度相比, 约高 14℃. 由此可见城市不透水人工表面在城市高温化进程中的重要作用. 另一方面, 由于 8 月 22 日上午持续降雨和积水, 致使地表温度偏低, 低于水温约 1℃. 总体上, 相对于其他下垫面和大气温度, 地表温度变动幅度更强烈, 更易于受到太阳辐射的影响.

与地表温度及大气温度相比, 水温全天变化曲线平缓. 在晴朗天气(8 月 6 日), 江北固定测点处水温低于河道上方的江北环境空气温度约 3℃; 而在温度偏低的阴雨天气(8 月 22 日), 水温则略高于河道上空的江北固定测点空气温度约 2℃. 这很好地说明了河流的蓄热能力对周边大气的调节作用: 即当大气温度较高时作为城市冷源, 起到降温作用; 而当大气温度迅速降低时, 又成为城市热源, 在一定程

度上减缓降温过程.

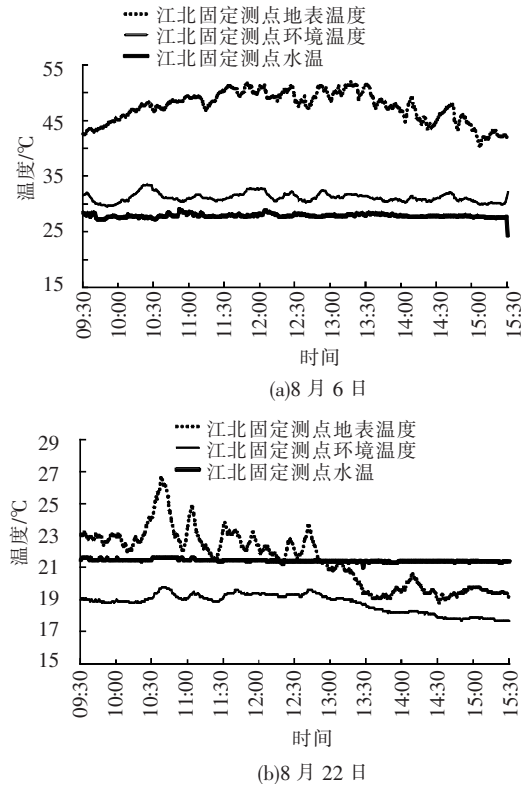


图 1 实测期间日温度变化

2.2 河道内水面动态日热收支分析

以 8 月 6 日及 8 月 22 日为例, 图 2 为根据江北固定测点处的环境温湿度及各个太阳辐射量等实测数据, 根据前述热平衡法原理测量得到的河道内热收支动态日变化. 在晴朗天气(8 月 6 日), 净辐射量值较大, 可达 700 W/m². 此时显热通量和潜热通量(尤其是显热通量)相对较小, 占净辐射量的比例分别约为 0.2% 和 1.8%. 由前文给出的实测数据已知河流自身温度在短时间内变动很小, 这说明太阳净辐射量绝大多数通过导热或透射的形式进入到水体内部, 占到净辐射量的 98%. 通过对流及辐射传热传至河底, 或在移流作用下, 被河流带至城市外部下游.

另一方面, 在阴雨天气(8 月 22 日), 由于下向的短波辐射量值与云量密切相关, 净辐射量较小, 大体在 100 W/m² 左右波动. 此时显热通量和潜热通量占净辐射量的比例分别约为 9.5% 和 51.3%. 这是因为虽然阴雨天气潜热通量较晴朗天气的潜热通量有所减少, 但净辐射量减少得更大, 所以显热通量和潜热通量与净辐射量的比值比晴朗天气的比值大很多. 这说明与晴朗天气不同, 在阴雨天气, 到达水面净辐射量的大部分又以对流传热或传质的形式返回大气. 当水面向上的显热通量和潜热通量大于净辐射量时, 水体提供

内部热量作为补偿,此时导热量出现负值.

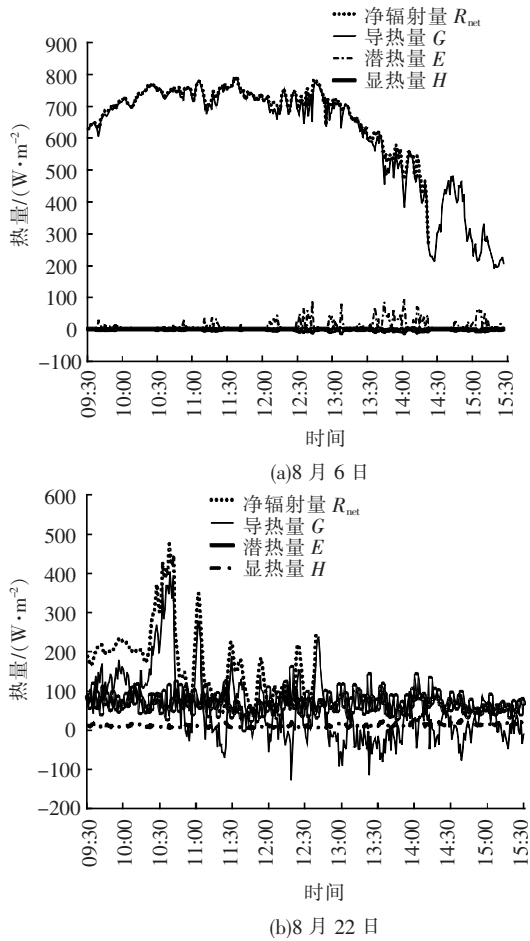


图 2 实测期间日热收支变化

图 3 为整个实测阶段除去阴雨等干扰显热量、潜热量、导热量及净辐射量的最大值、最小值及平均值的分布图. 整个实测期间显热量和潜热量占净辐射量比例很小,净辐射量和导热量的平均值约为 480 W/m^2 和 400 W/m^2 ,且实测期间多以晴好天气为主,说明晴朗天气中净辐射量主要以导热量为主,显热量和潜热量的影响很小.

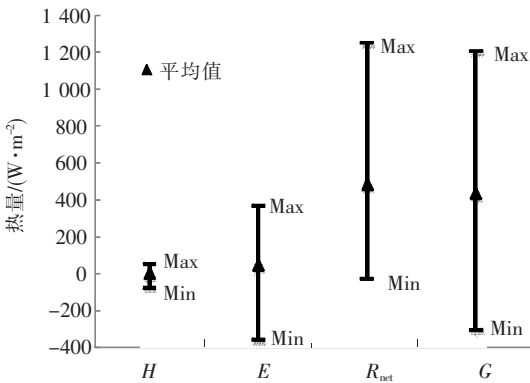


图 3 实测期间各热量值变化

3 结 论

1) 地表温度受太阳辐射影响最大. 晴朗天气,地表温度明显高于其他下垫面温度及大气温度,且江北固定测点处水温低于河道上方的江北环境空气温度约 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$. 河流作为城市冷源,起到降温作用.

2) 阴雨天气,水温则略高于河道上空的江北固定测点空气温度约 $3\text{ }^{\circ}\text{C}$. 河流作为城市热源,在一定程度上减缓降温过程.

3) 晴朗天气,净辐射量值较大,显热通量和潜热通量占净辐射量的比例很小,太阳净辐射量绝大多数通过导热或透射的形式进入水体内部.

4) 阴雨天气下净辐射量较小,显热通量和潜热通量占净辐射量的比例明显增大. 水面净辐射量的大部分以对流传热传质形式返回大气.

致谢

感谢蒋志祥、冶永福、张春亮、王亚伟、何龙承同学在实测中的大力协助;感谢太阳岛风景区管理处的支持.

参考文献:

[1] 董哲仁. 国外河流健康评估技术[J]. 水利水电技术,2005, 36(11):15-19.

[2] 吴阿娜,杨凯,车越. 河流健康状况的表征及其评价[J]. 水科学进展,2005, 16(4): 602-608.

[3] 赵彦伟,杨志峰. 城市河流生态系统修复评议[J]. 水土保持通报,2006,26(1): 89-93.

[4] 杨凯,唐敏,刘源,等. 上海中心城区河流及水体周边小气候效应分析[J]. 华东师范大学学报:自然科学版,2004, 2004(3): 105-114.

[5] DANIEL C, MYSORE G, NASSIR E. Predicting river water temperatures using the equilibrium temperature concept with application on Miramichi river catchments (New Brunswick, Canada) [J]. Hydrological Processes,2005, 19(11): 2137-2159.

[6] CYNTHIA R, WILLIAM D. Characterizing the urban heat island in current and future climates in New Jersey [J]. Environmental Hazards, 2005, 6(1): 51-62.

[7] 刘幻雯. 城市河流景观现状分析及综合规划[J]. 云南环境科学,2005,24(增刊1): 53-56.

[8] 吴学伟,杨冰,智长贵,等. 基于遥感和GIS的哈尔滨城区热岛效应研究[J]. 地理信息世界,2006,2006(10): 63-66.

[9] 朱岗崑. 自然蒸发的理论及应用[M]. 北京:气象出版社,2000: 52-58.

[10] 近藤纯正. 水面的输送系数[J]. 水文水资源学报, 1992, 3(5): 50-55. (编辑 赵丽莹)