

邱国玉,程明浩,秦华鹏,等. 2009 基于热成像技术的污水排放源识别研究[J]. 环境科学学报, 29(7): 1447-1451

Qiu G Y, Cheng M H, Qin H P, et al. 2009. Monitoring of underwater sewage outflow using thermal infrared technology [J]. Acta Scientiae Circumstantiae 29(7): 1447-1451

基于热成像技术的污水排放源识别研究

邱国玉^{1,2*}, 程明浩², 秦华鹏¹, 马良²

1 北京大学深圳研究生院环境与城市学院, 深圳 518055

2 北京师范大学资源学院, 北京 100875

收稿日期: 2008-10-06 修回日期: 2009-02-20 录用日期: 2009-05-08

摘要: 污水暗排口是一种较难监测的污染源. 为了更好地探索监测这种污染源的方法, 本研究以北京市城区积水潭处的护城河为对象, 利用热成像技术对模拟污水暗排口进行了探测. 结果表明, 模拟污水与河道中的原水的温度分布存在显著差异, 原水温度分布均匀, 而模拟污水排入后水面温度呈辐射状同心圆分布, 从红外图像上可以明确地把两种水体区分开来. 实验还研究了在异质水体排入时水面红外图像特征随时间的变化情况. 结果表明, 在有异质水体排入时, 图像中会出现温度异常的水域; 随着异质水体的持续排入, 温度异常水域开始逐渐扩大. 研究结果为利用热成像技术遥感监测污水暗排口提供了依据.

关键词: 热成像技术; 污水监测; 暗排口

文章编号: 0253-2468(2009)07-1447-05 中图分类号: X703 文献标识码: A

Monitoring of underwater sewage outflow using thermal infrared technology

QIU Guoyu^{1,2*}, CHENG Minghao², QIN Huapeng¹, MA Liang²

1 Key Laboratory for Environmental and Urban Sciences, Shenzhen Graduate School, Peking University, Shenzhen 518055

2 College of Resources Sciences and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875

Received 6 October 2008 received in revised form 20 February 2009; accepted 8 May 2009

Abstract Underwater sewage outflow, a source of water pollution, is very difficult to find and monitor. To establish a practicable methodology to monitor this kind of pollution source, this study focuses on applying thermal infrared technology to identify the underwater sewage outflow. Two experiments were carried out: controlled and simulation experiments. There are significant differences between the surface temperature distribution patterns of a clean water body and a polluted water body. The surface temperature of the clean water is uniform with very small differences between the maximum and minimum, while that of the polluted water is distributed like circles with big differences between the maximum and minimum. Thus we concluded that the thermal infrared technology could distinguish polluted and clean water bodies. We also analyzed the temporal variation features of temperature images. The results reveal that when abnormal water is interfused, the surface temperature diffuses gradually from the central point to outside. As the effluent discharge continues, the area of the abnormal temperature gradually increases. These results provide the basis for monitoring of underwater outflow using thermal infrared technology.

Keywords thermal infrared image; polluted water monitoring; sewage outflow

1 引言 (Introduction)

水资源对于人类具有特别重要的意义, 人们一直非常关心水污染问题, 并希望能够找到可快速、准确地调查及监测水源污染状况的方法 (崔宝生, 1992). 常规的污水监测主要是通过现场采样、室内分析化验等手段来进行, 但由于水污染的复杂性, 这些方法在处理污水的扩散规律、分布范围、水面污染界线和程度等问题时, 只能通过大量采样的办

法进行, 耗费大、效果还不理想. 因此, 上述问题一直都没有得到很好的解决. 而解决以上问题是指导生活用水取水范围、开展全面监测和治理工作的必要前提.

当前, 国内的生产和生活污水非法排放问题十分严重, 尤其是一些小型污染工厂排放点通常比较隐蔽, 即所谓的污水暗排口. 暗排放口的污水排放到河流中后从表面上无法辨别. 同时由于污水到达水质监测点时可能在途中已被稀释, 所以在固定的

基金项目: 中国科学院陆地水循环及地表过程重点实验室开放基金 (No WL2007007); 国家自然科学基金 (No 40771037)

Supported by the key laboratory of water cycle & related land surface processes, CAS (No WL2007007) and the National Natural Science Foundation of China (No 40771037)

作者简介: 邱国玉 (1963-), 男, 教授 (博士), E-mail: gqi@ires.cn * 通讯作者 (责任作者)

Biography: QIU Guoyu (1963-), male, professor (Ph. D.), E-mail: gqi@ires.cn * Corresponding author

水质监测点也很难准确测出排放点的位置. 因此, 为了实现更有效的实时动态监测, 需要选用一种探测灵敏度更高的监测手段. 而水温是一种常用的评估河流和湖泊污染状况的指标, 在环境保护和污染源控制方面具有非常重要的地位 (Sentlinger 2008). 因此, 利用热红外遥感技术对水污染状况进行监测就是一种值得探讨的途径.

目前, 国内外已有部分学者利用航空遥感进行了一些热成像技术检测水污染的实验研究. 地质矿产部地质遥感中心就曾采用热红外遥感方法对黄浦江的污染情况进行了全面的调查 (李景华, 1988). 国外利用高分辨率的热红外技术对直接向 Youghiogheny 河中排放污水的矿井排水口进行了调查监测 (Sam\$ 2003). 上述研究主要是大尺度范围内的航空遥感, 尽管这种方法可快速地对大面积水域进行水污染监测, 但对于小型的、隐蔽的以及水下的排污口却难以直接应用.

因此, 本文在调研了国内外污水监测的基础上, 以北京市城区积水潭处的护城河为对象, 利用热成像技术对模拟污水暗排口进行了探测. 其目标就是开发出一种利用热成像对污水暗排口进行简介快速监测的遥感技术. 以期水污染防治提供一种新的、快速监测手段.

2 研究方法 (Methods)

本研究中的热红外数据观测仪器是美国 Davis Inotek Instruments (Vernon Hills, Illinois) 公司生产的 IR SnapShotTM 红外热像仪观测. 该仪器的检测器参数为 120×120 点阵, 像素 50 μm^2 , 无致冷, 线元的不需制冷的热电检测器点阵, 视场角为 17.2°×17.2° (水平×垂直), FFOV 视角分辨度为 2.5mrad×2.5mrad 光谱波段为 8~12 μm , 测量范围为 0~350°C, 温度分辨率为 0.1°C.

观测时, 用红外热像仪在相同的时间间隔内 (10秒) 连续拍摄净水、模拟污水的热红外图像. 通过对比, 研究污水暗排口的热红外成像特征的表达, 达到识别污水排放源的目的.

2.1 实验原理

本研究依据排放到自然水体中的其他水体 (如工业污水、生活污水等) 的温度与自然水体的温度存在一定的差异的客观事实, 采用热红外扫描成像的方法来监测污水暗排口. 该红外测温技术是根据辐射测温原理对温度进行非接触式测量, 其物理学

基础是红外辐射理论的 3 大定律, 即 Planck 辐射定律、Wien 位移定律和 Stefan-Boltzmann 定律 (王丰, 2007).

根据 Planck 定律和 Stefan-Boltzmann 定律, 绝对黑体和实际物体的辐射能量分别为:

$$E_0(T) = \sigma T^4 \quad (1)$$

$$E(T) = \varepsilon(\lambda) \sigma T^4 \quad (2)$$

式中, σ 为 Stefan-Boltzmann 常数 ($5.67 \times 10^{-8} \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$); T 为热力学温度 (K); $\varepsilon(\lambda)$ 为物体的辐射系数; $E_0(T)$ 和 $E(T)$ 分别为在温度 T 下, 单位时间内从绝对黑体和实际物体的单位面积上发射出的各种波长的总辐射能量 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$).

由于实际中物体的热辐射在红外波长范围内, 可被近似看成灰体辐射, 此时 $\varepsilon(\lambda)$ 为不随波长 λ 变化的常数, 即 $\varepsilon(\lambda) = \varepsilon$. 于是公式 (2) 可修正为:

$$E(T) = \varepsilon \sigma T^4 \quad (3)$$

因此, 物体的温度越高, 其辐射能力就越强. 通过物体的温度及辐射系数, 可推算出物体所发出的辐射能量. 反之亦可测定被测物体的温度, 即:

$$T = \left[\frac{E(T)}{\varepsilon \sigma} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (4)$$

2.2 技术优势

本研究使用的 IR SnapShotTM 红外热像仪, 是一种基于无需制冷的热像检测专利技术的红外热像仪. 此类热红外探测器基于热敏材料吸收红外辐射产生的热效应成像, 它们的最大优点是可在室温工作 (吕宇强, 2006). IR SnapShotTM 红外热像仪另一个优点是可利用 8~14 μm 的波段成像, 该波段是物体表面的红外线辐射受空气吸收损失较小的两个红外波段之一.

2.3 实验方法

实验时间: 2008年4月16日 16:00~17:00

实验地点: 北京海淀区积水潭附近的护城河 (图 1), 该水域为城市内部水系, 无污染, 比较符合本文对研究对象的要求.

实验气象条件: 晴, 微风.

实验步骤: ①随机选择积水潭处护城河的一小片水域, 对净水水域进行一次拍摄, 拍摄间隔为 10s 持续 140s 后进行两次重复; ②用该水域中的水与 90°C 的水按 5:1 的体积比混合, 用来模拟真实污水暗排口中的“污水”; ③用一个 18.5 L 的水桶和一根 1.5 m 长、直径是 1 cm 的塑料管模拟排污单位和排污管; ④设置“暗排口”: 将塑料管一头接在水桶



图 1 积水潭地理位置示意图

Fig 1 Map of the location of the Jishuitan

口,一段伸入水下 30~40 cm 深处; ⑤拍摄准备: 架设好热红外观测仪, 完成定位和调焦等步骤; ⑥模拟排污过程: 在接到操作热红外观测仪的工作人员的指令后, 操纵“暗排口”的工作人员开始“排污”, 与此同时, 开始对“暗排口”附近水域进行连续拍摄, 拍摄间隔为 10s 直到“污水”全部排完, 水面温度恢复原状时停止拍摄; ⑦重复实验: 重复 2~6 步骤, 共进行 6 组重复实验。

3 结果 (Results)

IR SnapShot™ 红外热像仪拍摄的是一幅 120 × 120 的点阵栅格热像图, 仪器内的软件可将其转换成可供分析物体实际温度和温度分布等要素的图像。

3.1 无污水排入时的水面温度特征

对一片平静的无污染水域每隔 10s 约拍摄一张

热红外图像, 连续拍摄 110s 一次拍摄 11 张图像. 抽取出每张图像中温度最高值、最低值及平均值 (计算出的整个图像中 14400 个点的平均值) 做折线图, 结果见图 2 从图 2 中可以看出, 在无污水排入的情况下, 水面温度基本保持均匀, 最高温度的平均值为 12.20℃, 最低温度的平均值为 9.50℃. 在观测期间的 100s 内, 最高温度、平均温度和最低温度随时间变化波动范围最大不超过 0.60℃. 这说明无异质水体进入时, 净水的温度分布相对比较稳定。

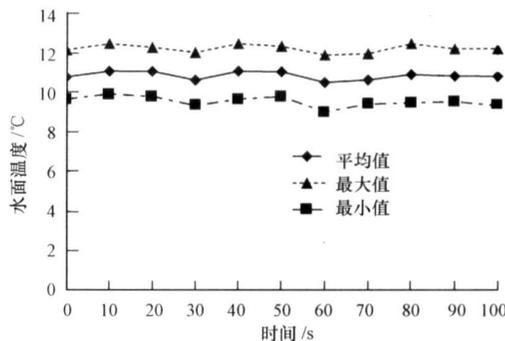


图 2 无异质水流排入时的水面温度变化

Fig 2 Temperature of surface water before effluent discharge

3.2 “污水”排放时“排污口”水面的热红外图像特征

“污水”排入自然水体后, 水面会出现温度较高的类似圆形区域, 且从中心向四周温度逐渐递减 (图 3a). 通过对多组“排污”过程中水面热红外图像的综合分析, 初步总结出“污水”暗排口在“排污”时的热成像图具有以下特征。

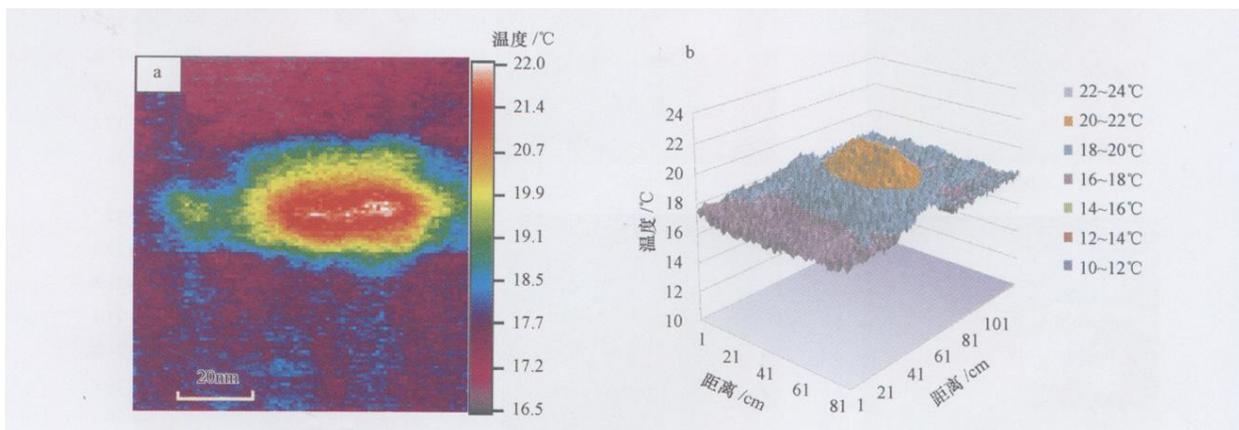


图 3 用热成像技术监测到的污水排入水体的情景 (a 污水排放时水面的热红外影像; b 水面温度值三维图像)

Fig 3 The thermal imaging when polluted water emitted into a water body (a Thermal infrared imaging of surface water; b. The 3-dimensional image of the temperature value of the surface water)

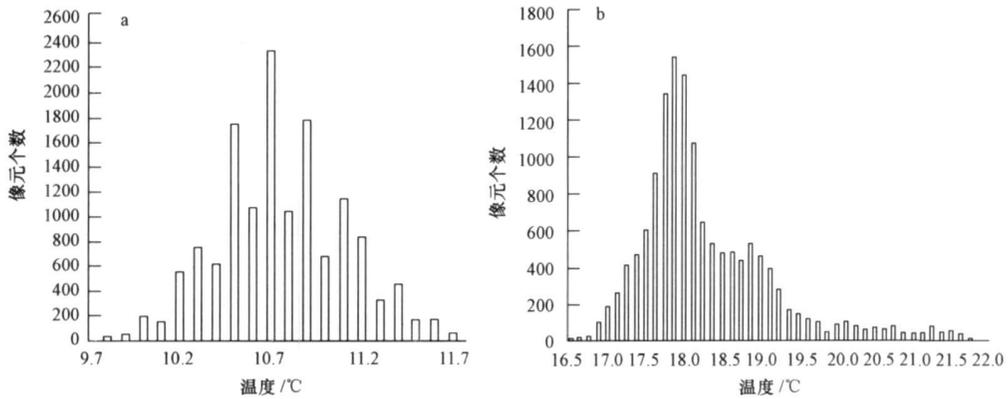


图 4 净水和污染水面的温度统计分析 (a 净水水面温度直方图; b 排污后水面的温度直方图)

Fig 4 A comparison of temperature distribution of the un-polluted and polluted water (a The histogram of water surface's temperature before the effluent discharged; b. The histogram of water surface's temperature after the effluent discharged)

1) “污水”刚刚排入时,往往以类似圆形的辐射状出现,将每个像元的温度值作为高程制成三维图像后如图 3b 所示. “污水区”热红外图像呈中心辐射状可能是因为“污水”排入自然水体后,与周围水体接触、混合并逐渐降温而形成.

2)通过统计图像的温度分布频率发现,净水的热红外图像的温度分布频率大致呈以整幅图平均值为中心的正态分布(图 4a);而“污水”排入时的温度分布频率图分布走势往往不呈正态分布.图 4b 是第二组实验中“污水”排入时的图像,从图 4b 中

可以看出,整幅图像中明显呈现出两种区域:净水区域的温度分布频率依然大致保持正态分布(图 4b 浅色区域);污水区域的温度分布频率图呈现出从低温到高温逐渐下降的分布趋势(图 4b 中深色区域).这一分布特点与污水的同心圆辐射状的分布特点相对应.

3.3 污水排放时连续过程的热红外图像特征

图 5 为模拟实验中随时间推移的“污水”扩散图像,“污水”从水下的模拟排污管中排出,排污的方向在图中是向右的.图 5a 为尚未开始“排污”时

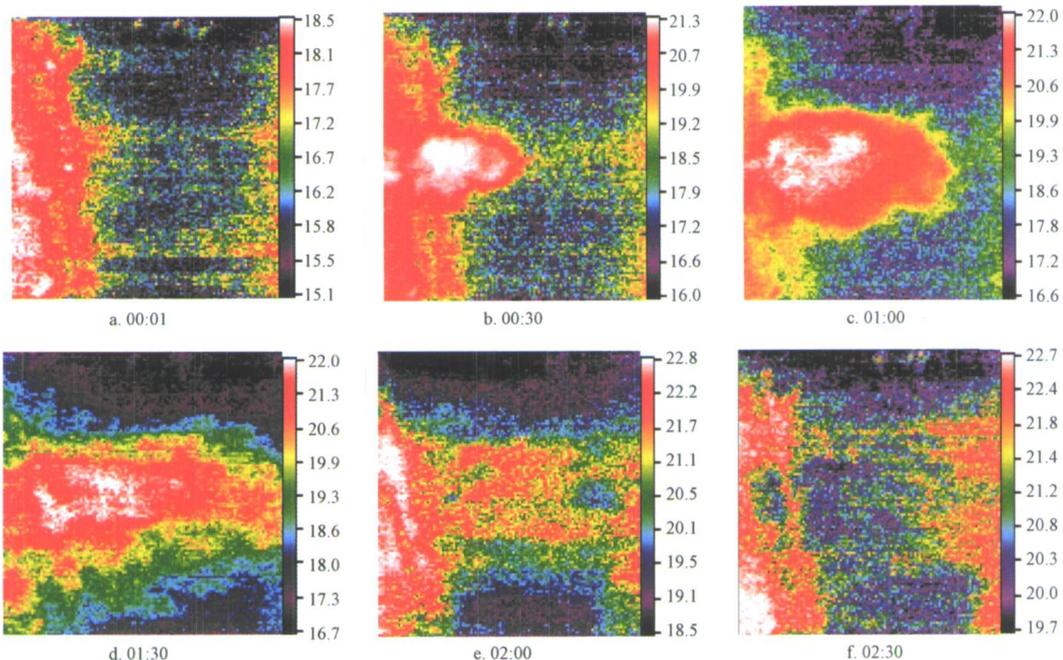


图 5 模拟实验中有污水排入的温度图像 (单位: °C)

Fig 5. Temperature images of the water surface after effluent discharge in simulation experiments

的图像, 温度分布特征与平静的无污染水面是相同的; 图 5b 为“污水”刚刚被观测到时的图像, “污水”区域基本上以椭圆形的中心辐射状出现; 图 5c 和图 5d 表明“污水”中心区域的温度仍然最高, 扩散面积沿“污水”排放的方向进一步扩大, 但随着“污水”与周围自然水体的热交换, “污水”扩散区的边界变得模糊; 图 5e 为刚停止“排污”时刻的图像, 此时“污水”区域温度与周围的净水相比仍然较高; 图 5f 为停止排放较长时间以后的图像, 与“排污”前的图像对比发现, 其温度分布已基本恢复到开始排放前的状态。

4 结论 (Conclusions)

1) 净水的温度图像比较稳定, 温度分布大致呈现正态分布; 污水排入后会出现圆形或椭圆形的同心圆状的异常温度区域, 并表现出明显的温度差异, 温度分布也不再呈现正态分布, 而是呈现出正态分布和高温区域分布两种温度分布类型。

2) 随着污水暗排口排污过程的进行, 污水区域面积不断扩大, 污水区域边界逐渐模糊, 污水区域呈现出不同的分布特征。排污结束后, 水面经过一段时间可完全恢复原状。

3) 热红外遥感监测水污染也有一定的局限性。热红外图像只能判断水的温度性质, 即只能判断异质水体的混入情况, 但对异质水体的成分无法判断。

责任作者简介: 邱国玉 (1963—), 男, 博士, 教授, 博士生导师

师, 主要从事水文水资源与生态水文研究. E-mail gqiu@ies.cn

参考文献 (References):

- 崔宝生, 徐学安. 1992. 静态水体热模型的研究 [J]. 国土资源遥感, 12(2): 50—54
- Cui B S, Xu X A. 1992. Static state water thermal model study [J]. Remote Sensing for Land & Resources, 12(2): 50—54 (in Chinese)
- 李景华. 1988. 热红外遥感方法在黄浦江污染调查中的应用 [J]. 环境遥感, 3(2): 116—121
- Li J H. 1988. The application of thermal infrared remote sensing to the investigation of the pollution of the Huangpu River [J]. Remote Sensing of Environment China, 3(2): 116—121 (in Chinese)
- 吕宇强, 胡明, 吴森, 等. 2006. 热红外探测器的最新进展 [J]. 压电与声光, 28(4): 407—410
- L Y Q, Hu M, Wu M, et al. 2006. New development of thermal infrared detector [J]. Piezoelectrics & Acousto-optics, 28(4): 407—410 (in Chinese)
- Sentlinger G I. 2008. Sub-pixel water temperature estimation from thermal-infrared imagery using vectorized lake features [J]. Remote Sensing of Environment, 112(4): 1678—1688
- Sans J I. 2003. Evaluation of airborne thermal infrared imagery for locating mine drainage sites in the lower Youghiogheny River Basin Pennsylvania USA [J]. Mine Water and the Environment, 22(2): 94—103
- 王丰, 吴爱华. 2007. 红外测温技术在高温液体连续测温系统中的应用 [J]. 冶金自动化, 31(6): 47—50
- Wang F, Wu A H. 2007. Application of infrared technique in continuous temperature measuring system of high temperature liquid [J]. Metallurgical Industry Automation, 31(6): 47—50 (in Chinese)