

热红外遥感方法在黄浦江污染 调查中的应用*

李景华

(地质矿产部地质遥感中心)

1987年1月24日收稿

摘 要

本文叙述了航空热红外扫描成像用于黄浦江水污染调查的物理基础,水污染的热图像特征及其判读方法。讨论了沿江排放污水状况和在不同潮情时的扩散规律。

随着工农业的飞速发展,城市污染问题也日趋严重,其中水源污染尤为突出,更直接地影响着人民生活和国家建设。黄浦江污染可为全国首例。七十年代以来,有关部门曾进行了长期工作,取得了大量的测试数据。由于黄浦江水污染的复杂性和常规方法的局限性,有些问题一直没能得到解决。1984年9月份,我们采用热红外遥感方法对黄浦江污染进行了全面调查,弥补了地面常规方法的不足,补充和完善了前人的资料。

热红外遥感是以航空红外扫描的方式接收地面不同物体的辐射能量成像的,简称为“热图像”。地物的辐射温差是成像的前提。遥感成像视域开阔,可以反映宏观现象,对热异常的显示比较客观、真实。利用热红外遥感对黄浦江这样一个长84公里、宽500米的大面积水域进行水污染调查,在我国还属首次。这次调查的实际效果明显,解决了常规方法对污水的扩散规律、分布范围、江面污染界线和程度等难以解决的问题。可用来指导生活饮水取水区范围的确定、工业取排水工程的合理布局,还可以为黄浦江长期的地面监测和治理工作提供指导性资料。

一、航空热图像的获取和判读

(一) 热图像的获取

此次黄浦江污染遥感调查工作使用了以双水獭飞机为飞行平台的DS-1230定量双通道(8—10, 10—12微米)红外扫描仪,对黄浦江全域进行了沿江飞行和面积扫描飞行,获得了不同潮情、不同时间、不同高度的图像。飞行的同时配备了必要的地面同步测试工作,以保证提供空中的飞行参数和取得完整的空地同步资料。成像过程是利用红外扫描仪在空中将地面的辐射温度信息经光电转换成电平形式模拟记录在磁带上。然后,再由

* 参加此项工作的还有地质矿产部水文方法队的李景豪和上海地质中心的朱子沾等;本文曾得到崔承禹和陈荫祥的指导,在此一并致谢。

地面 DS-1830 图像处理机, 将空中磁带记录的电平信号经电光转换成像并感光到胶片上。在图像回放处理中, 按照需要可再由 DS-1830 机做模拟、增强、细分、等值线等功能的图像处理, 以满足判读工作的需要。

(二) 热图像的判读

热红外图像记录的是地表的辐射温度, 因此, 必须根据物体的物理特性和影像特征来研究热图像。

1. 水的热辐射特性

使用遥感方法进行水污染调查, 实质就是以水的物理特性差异来区分净水与污水、水与其它物质。所以热容量、辐射率、动温度等都是重要的物理参数。

水的热容量和辐射率比一般物质都高。因此, 它有较强的贮热能力和辐射能力。无论白天还是夜间辐射能量都比较恒定。在白天相同的照射条件下, 水与其它物质相比, 由于水的热容量大、升温较慢、动温度相对降低, 在图像上呈现出冷色调。但在夜间(由于水的贮热能力大)水的热量不易很快散失, 因而具有较高的动温度, 在热图像上呈现出暖色调。由此可见, 水的辐射温度与水的热容量、辐射率、动温度有直接的联系, 它们有如下关系:

$$T_{\text{辐}} = \varepsilon^{\frac{1}{4}} T_{\text{动}}$$

式中: $T_{\text{辐}}$ ——辐射温度, ε ——辐射率, $T_{\text{动}}$ ——动温度。物质间动温度的高低, 在相同条件下取决于热容量。在工业水污染调查中, 主要是通过净水与污水动温度的差别进行热红外成像的。

2. 影像特征

热红外扫描图像与常规像片有本质区别。

(1) 摄影是依靠地物的反射光成像的。而热红外是依靠地物的辐射温度成像的。热红外成像不受白天和夜间的影响。图像的色调和色差是温度和温差的显示, 根据温度的差异来识别物体。因此, 具有特殊的使用价值。

(2) 热图像的图案花纹形状、大小一般并不完全与地物可见形状、大小相同, 它是视温度图像。由于热扩散的影响, 图像可能偏大。

(3) 色调的差异是由辐射源的辐射能量所决定的。

(4) 图像的几何分辨率较差, 但温度分辨率很高 (0.2°C)。在使用图像时, 主要是利用温度分辨率。

(5) 白天地面物体受太阳辐射的影响, 一般温度较高, 在图像上为暖色调。夜间物体处于散热状态, 温度较低, 在图像上为冷色调。而水却与之相反(水的热容量最大, 为 1.01), 白天为冷色调, 夜间为暖色调。

(6) 热红外扫描彩色图像是以颜色表示温度的, 温度定标范围 (BB_1 和 BB_2) 以内分为六个色阶, 如图版 I 的图 1 和图 2 的最大排污口层次非常清晰, 温度由高到低分别以红、黄、绿、青、蓝、品来表示, 每一种颜色代表一级温度, 定标范围是由江水背景温度 (22.5°C) 为 BB_1 , 入江口污水温度 (28.5°C) 为 BB_2 , 超低标 (BB_1 以下) 的温度为黑色, 超高标 (BB_2 以上) 的温度为白色, 图像可分为八个层次, 醒目直观。

二、污水的扩散规律及范围

当污水排入大面积水域后,是难以用眼睛和地面测试方法查清其扩散范围及变化规律的,加之黄浦江受潮流的影响,更增加了其变化的复杂性,即使采用常规航空像片也很难凑效。因为,污水多不带颜色或部分带有浅黄色及褐色,一经排入混浊的江水,便会很快消散,并且为了躲避环保部门的追究,多数工厂的排放量在白天已降到最低点,因此,各方面因素都很难满足摄影条件的需要。然而,利用热红外遥感方法来记录、捕捉污水流的扩散,则是行之有效的。因为物理前提条件充分,污水与黄浦江自然水温有较大的差别。如电厂排出的污水温度一般在 35°C 以上,化工厂、电化厂、焦化厂、炼油厂排出的污水温度也均在 30°C 以上,造纸厂、印染厂、炼钢厂、洗涤剂厂等也都有较高的排放温度。而江水自然水温只有 $20\text{--}25^{\circ}\text{C}$ 左右,虽然有些工厂排污温度较低,但与江水相比也有几度的温差,又加之红外探测器有较高的温度分辨率,而且具有快速宏观性,可以取得任何时间的瞬时图像,这样就可以利用红外扫描成像的很多有利条件来开展工作。

(1) 涨潮:由于黄浦江水系感潮性河流,涨潮时海潮的顶托作用可使江水倒灌,污水也随之向上游流动扩散。如闵行电厂为上游最后一个污染源,距下游的吴淞口60公里,但仍然因受潮水的强烈作用,污水向上游流动达几公里之远,这样宏观的潮情还是第一次被热红外图像揭示,展现在人们的眼前,使上游的污染界线有了更明确更科学的依据(图版 I 图 3)。长箭头所指为排污口。污水向上游(箭头 1)的最大摆动幅度为3公里,顶端相距闵行大桥约4.5公里。可为上游的引水工程实施提供可靠的参考资料。

(2) 落潮:江首与江尾的潮时差为两小时,即吴淞口开始落潮,泖港要在两小时后才反应。可见黄浦江好比一条行动迟缓的巨龙,吃力地向下游蠕动,而又不时地向后退缩。江水排泄不畅,污水源源不断,这也是江水污染长期积累不散的主要原因之一。热红外扫描图像可以清楚地反映出这一特殊现象。下游开始落潮,而上游却依然处在涨潮阶段(图版 I 图 4)。上游(箭头 A)的吴泾江段(箭头 1)和下游(箭头 B)的高桥江段(箭头 2, 3)为同一时相,两段相距40公里,图像清楚的显示出上游涨潮和下游落潮的现象。常规方法是无法直观的揭示这一特征的。

(3) 憩流:憩流分为涨憩和落憩两个潮情,即涨潮达到最高点和落潮达到最低点时都有一滞流阶段,称为憩流。憩流只能维持约5分钟左右,对于热红外扫描来说这是一个“捕捉”沿江排污口极为有利的时机,因为此时江水处于“静止”状态,排污口所排出的污水不能迅速消失,在原地扩散,而污水源源补给,呈扇形逐渐扩大。此时即是排污量不大的排污口也会暴露无遗(图版 I 图 1)。沿江大小排污口(箭头 1, 2, 3, 4 分别指热电厂,电化厂,化工厂,焦化厂)一字呈扇形排列,从出口到边缘温度由高渐低,如实反映出工厂排污的景象。在落憩时排污口的暴露会更充分。因为,落憩水位比涨憩低2米多,污水排泄十分顺利,很快就形成较明显的异常区,此时更有利于“捕捉”成像。

三、污染源的排放规律与污染重度的划分

1. 排放规律

这主要是由工厂的生产性质所决定的,有的工厂连续工作,有的只是白天工作,因此排污规律也就有所不同。大致分为以下几种类型:(1)稳定型排污,连续不断的排放;(2)间歇型排污,有规律的定时排放;(3)不定型排污,没有规律的随意排放。不同时间的红外图像可以反映出这一规律(图版 I 图 5 和 6)。两张图像箭头指处为同一排污口,由于成像时间不同,图版 I 图 5 中的排污口没有排污,图版 I 图 6 中的排污口正在排污。

2. 污染重度的划分

利用遥感图像划分污染重度主要决定于:(1)排污量大小,(2)排污规律,(3)工厂生产性质,(4)排放污水温度,以上诸因素指标均可在扫描图像上直接或间接获得。如排污量大小在图像上十分明显,导常范围直观醒目,通过判读对比可得出结论;排放规律可根据不同时相的资料获得,假如不同时间的图像均可“捕捉”到某个排污点,无疑为稳定型排污。而时有时无则是非稳定型排污。稳定型排污一般大于非稳定型排污;知道工厂的生产性质就能有目的地调查排污成分。如印染厂、造纸厂、化工厂、炼油厂等所排污水含有大量酚、氰化物、硫化物、废油和砷、铅、汞、锌等有毒有害物质。因此,工厂性质的确定是重要的污染调查依据,可在热图像上发现厂区的位置,结合地形图便可得知是何许工厂;反映排放温度是热图像的本能,只需用 0.2°C 的温度差异便可在热图像上有所显示。因此,以上几个基本因素都是判断污染重度必不可少的依据。

四、江面污染范围与污染程度

江面污染范围的调查是环保部门的一个难题,工作量大,又很难做到直观准确,加之潮情的影响,更增加了其复杂程度,在不同时间里其范围和界线也是不相同的,使用常规手段难以查清。然而利用热红外扫描图像则可迎刃而解。污水范围比背景自然水温高,热图像反映效果明显,分布范围和运动方向随潮情的变化而变化,根据不同时间不同潮情图像的判读可以反映出污水的时空变化规律(图版 I 图 2)。图像中江面蓝色晕带为下游吴泾江段的污水在涨潮时倒灌形成,在河道弯曲处聚集。憩流时也易形成江面大面积污水的聚集状态,只有落潮时江面污染方能得到“缓和”。图像的定标范围是 22.5°C — 28.5°C ,每一个色标代表一度。因此,蓝色污染晕带为 23.5°C ,比品色的江水温度高出一度。

从全江的图像判读中,可认定以下几个江面污染段。

1. 蕴藻浜口—复兴东路码头

全长 28 公里,总面积 11.1 平方公里。由于此江段两岸排污口多,排污量大,而且落潮时从上游来的污水进入本江段后尚未来得及排出便开始涨潮,使污水聚集于此,造成重污染。

2. 关港镇—闸港

污染段长约 11.3 公里,面积为 5.5 平方公里。主要是吴泾工业区沿江工厂排污所致,总排放量达 150 万米³/日,不仅温度高,排放量大,而且化学成分十分复杂,也是一严重污染段。

3. 上海水泥厂—上海合成洗涤剂厂

污染段长 2.4 公里,面积为 1.1 平方公里。本段有日排污量为 55 万米³的排污泵站和一些工厂的排污。由于此处江段弯曲,污水聚集不易排泄,造成了严重污染。

4. 上海第四油库—江海渔业新村

污染段长 1.8 公里,污染面积为 0.8 平方公里。其污染原因主要是由于江段弯曲较大,落潮时上游污水流入本段,涨潮时下游污水顶托,使污水积存于此所至,为轻度污染段。

5. 闵行污染段

主要是闵行电厂及相邻工厂排污造成,仅电厂排放冷却水就达 143 万米³/日,热图像反映清晰,涨落潮其污染范围均达数公里。图版 I 图 3 为涨潮时图像。因主要为冷却水污染,可视为轻度污染。

五、利用热图像确定工业用水与生活用水的取水位置

1. 工业取水

工业用水有一定标准,在污染严重的黄浦江如何取到符合工业用水标准的水,热图像可以为此提供可靠的依据,还可以反映出取水位置和取水时间是否合理,并根据图像反映的情况进行调整。比如工厂的取水口在排污口上游,一定要在落潮时取水,不然将会把自己排出的污水再取回去,同理,若取水口在排污口的下游,则要在涨潮时取水。如果工厂需水量大,要连续取水,可利用管道伸入江心寻找取水位置。

2. 生活用水

生活饮用水质量是关系到成千上万人民健康的大事,从热图像反映的江水污染情况分析,闵行大桥上游没有受到污染,图像为均一的冷色调,没有工厂的分布也不受下游污水的影响,是一清洁水域,适合做为生活饮水区。上海市通过各种方法已确定了这一饮水区域。

六、对地面监测工作的指导意义

黄浦江污染地面动态监测每天都在进行,有关部门设立了长期观测站,几乎每年都要进行一次大规模的水上调查工作。不仅耗费大量人力、物力。而且测点稀疏,测试精度没有保证:(1)水上定位困难,影响测量和化验资料的使用;(2)乘船接触测量难以测得表面温度,不利于圈定污水范围;(3)船只进入污水区,异常区温度场会受到破坏。因此,使用遥感资料指导地面测试具有很大的实际意义。按照污水变化的规律进行工作,可减少监测工作中的盲目性、重复性。遥感资料对不同时间、不同潮情下污水的变化范围,界线

十分明显,监测时可根据其界线对净水区、污水区、污水口的扩散情况有目的地进行温度测试、取样等工作,提高了工作效率,减少了工作量。

七、结 语

通过此次工作,笔者认为开展大面积的水污染调查,利用热红外遥感方法是十分有效的。其一,工作周期短,见效快,成本低,具有较好的实用性。其二,可以进行定时定期的遥感监测,快速而准确。其三,可以取得大面积瞬时图像。比较不同时间的瞬时图像,可以发现污水变化的规律性,这是十分重要的。其四,对于大面积水域的不同温度可进行详细的划分,对于宏观的场面可给予直观的显示。此方法具有较大的现实性和实用性,有较好的推广使用价值。

当然热红外遥感也还有它的局限性,如污水类型的区分,排污量的计算等,均有待今后做深入的研究和提高工作。

The Application of Thermal Infrared Remote Sensing to the Investigation of the Pollution of the Huangpu River

Li Jinghua

(Center of Remote Sensing in Geology, Ministry of Geological and Mineral Resources, Beijing, China)

Abstract

The paper is focused on the physical basis on the employment of aerial thermal infrared imaging to the investigation into water pollution of the Huangpu River, the Signature of water pollution on the thermal infrared image and its interpretation. The discussion is made on the situation of sewage discharge along the River and its diffusion law at different tidal levels. The extent of the River's pollution can be seen clearly on the image.

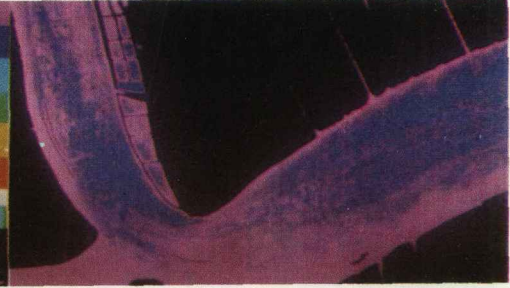
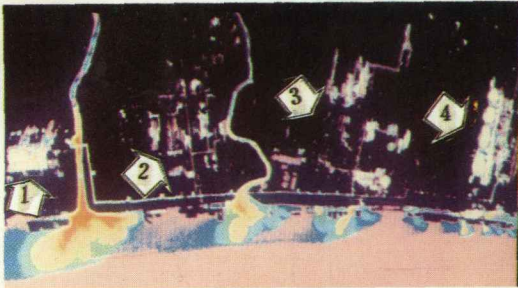


图 1 成像时间：1984年 9 月 23 日 2 : 35 ' 航高：1200米，BB₁ 22.5 ° C，BB₂ 28.5 ° C

图 2 成像时间：1984年 9 月 22 日 1 : 00 航高：1200米 BB₁ 22.5 ° C，BB₂ 28.5 ° C

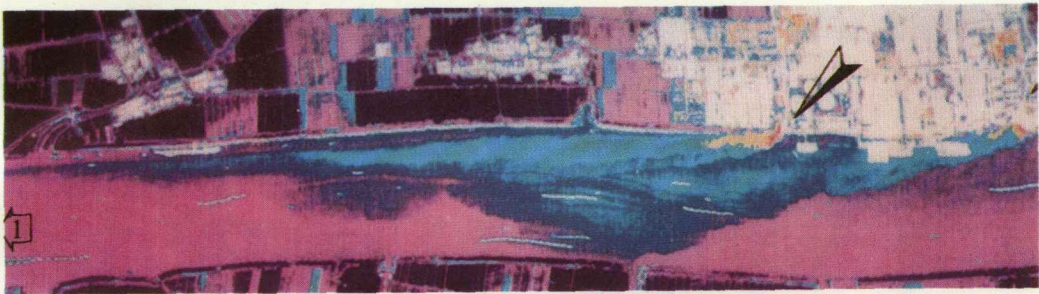


图 3 成像时间：1982年 9 月 21 日 14 : 45 '，航高：700 米，BB₁ 23 ° C，BB₂ 29 ° C



图 4 成像时间：1984年 9 月 28 日 16 : 58 ' - 17 : 10 ' 航高：700 米，BB₁ 23 ° C，BB₂ 29 ° C，箭头 A 指上游，箭头 B 指下游

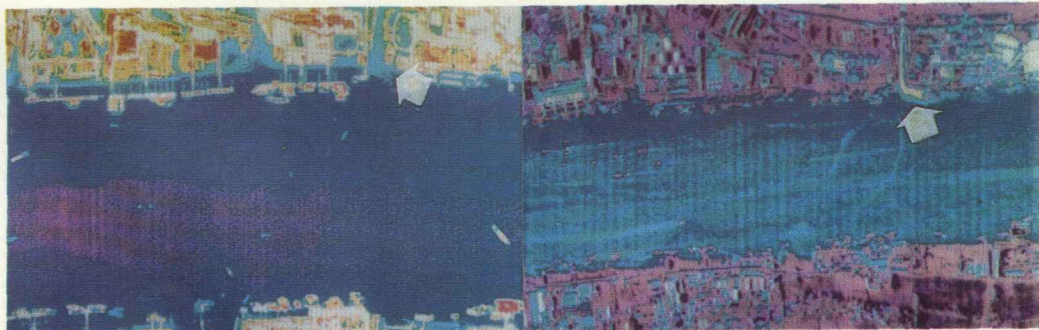


图 5 成像时间：1984年 9 月 28 日 16 : 56 ' 航高：700 米，BB₁ 23 ° C，BB₂ 29 ° C

图 6 成像时间：1984年 9 月 24 日 7 : 18 ' 航高：1000米，BB₁ 22 ° C，BB₂ 28 ° C