

文章编号: 1007-4619 (2001) 06-460-06

# 水体污染的遥感方法及在珠江广州河段 水污染监测中的应用

王云鹏, 闵育顺, 傅家谟, 盛国英

(中国科学院 广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室, 广东省环境资源利用与保护重点实验室, 广东广州 510640)

**摘 要:** 介绍了水体污染的遥感机理、方法, 并探索在珠江广州河段水污染监测中的应用。研究表明: 随着水体有机污染程度的增加, 水体的可见-近红外光谱反射率逐渐降低。经比较发现, 先对图像数据进行对数变换、IHS 变换和 KL 变换后再进行密度分割及图像分类, 可以更好地区分和识别水体污染。采用这一方法, 制成了广州地区水体污染时空分布卫星影像图, 并结合地面实际分析和调查资料, 初步总结了珠江广州段水体污染的时空分布规律和污染变化趋势。通过对最新遥感数据的处理, 结合区域或流域水污染的变化趋势和污染源研究, 利用 GIS 技术建立区域或流域污染预警系统, 为污染的宏观监测和研究以及水资源保护的决策提供了新的信息。

**关键词:** 遥感; 水体污染监测; 污染源评价; GIS; 时空分布

**中图分类号:** TP79      **文献标识码:** A

近年来, 随着经济的发展, 珠江三角洲流域城市附近河段的有机污染日益严重, 这不仅影响了居民的身体健康和人民生活水平的提高, 也制约了珠江三角洲经济的持续发展。对污染监测也提出了更高的要求, 需要宏观性强、更为快速、准确和廉价的水污染监测方法, 传统采用定点定剖面采样分析的方法, 往往不能快速全面地反映污染状况, 而且成本高, 速度慢。遥感技术的发展, 尤其是遥感器几何与光谱分辨率的提高, 使遥感技术为水体污染监测和研究开辟了新的途径。

水体、植被、土壤和岩石从一开始就是遥感探测的主要目标, 对于水质的研究一直是遥感的主要任务, 但由于受遥感器分辨性能的限制, 利用遥感技术定量研究水质和进行水污染监测一直没有取得突破。近几年来, 随着遥感器几何与光谱分辨率的提高, 使利用遥感技术进行水质研究和水污染的宏观监测成为可能<sup>[1-3]</sup>。利用遥感技术进行水污染监测的主要机理是被污染水体具有独特的有别于清洁水体的光谱特征, 这些光谱特征体现在其对特定波长

的光的吸收或反射, 而且这些光谱特征能够为遥感器所捕获并在遥感图像中体现出来<sup>[4]</sup>。但是现今所广泛使用的遥感图像波段较宽, 所反映的往往是综合信息, 加之太阳光、大气等因素使这种差异往往在常规遥感图像中体现的不甚明显。通过计算机图像处理的技术能够突出这些信息, 而且通过特定时间的图像并结合地面监测的水质分析数据, 建立比较准确的水质遥感模型, 并利用该模型处理遥感数据, 可以取得较为准确的结果, 这就是利用遥感数据进行水污染定量监测的主要方法。由于遥感图像具有直观明了, 宏观性强的特点, 能清楚地反映出区域或整个流域污染现状和空间分布特征。利用多时相的遥感数据可以对同一流域水体污染历史和污染趋势作出研究和预测, 为水资源保护规划提供准确信息。

## 1 水体污染的遥感监测机理

遥感的主要目的在于识别地物, 其识别地物的机理在于不同地物具有不同的光谱特征。地物之间光谱特征差异越大, 越容易为遥感器所识别。对于

收稿日期: 2000-08-16; 修订日期: 2000-12-22

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 49901014), 广东省自然科学基金(编号: 980757), 广东省自然科学基金博士启动基金(编号: 974189)和广州市科季科技项目(编号: 95-R6-1)资助项目。

作者简介: 王云鹏(1968—), 男, 副研究员, 1990年毕业于兰州大学, 1996年在中国科学院广州地球化学研究所获博士学位, 从事资源环境遥感与GIS研究, 发表论文30多篇。

水体而言, 最常用最敏感的波段为可见光波段和近红外波段。清洁水体、自然水体和污染水体在可见光-近红外波段的光谱特性将直接影响到其遥感灵敏度。为了探讨不同水质水体的可见光-近红外光谱及其与水质指标的关系, 在珠江广州河段的不同地区采集了水样, 进行了室内光谱测试(VI-NIR) 和水中总有机碳(TOC) 的分析, 为了比较, 同时进行了纯净水和自来水的的光谱测试和水质分析。其中室内可见光-近红外光谱由 UV-340 分光光度计(带自制水反射光谱测试装置) 测定, 水中总有机碳由 Phoenix 8000 TOC 分析仪测定。采样地点及 TOC 的分析结果见表 1, 水体反射光谱曲线见图版 I 图 1。

表 1 水样采集地点及 TOC 分析结果

Table 1 Sample sites and analysis result of TOC

水样采集地点及编号	TOC 分析结果/(g/t)	水质评价
纯净水	0.028	超纯净
自来水	0.47	清洁
猎德珠江水	5.46	受污染江水
池塘水	7.14	富营养化塘水
天河涌水	10.28	污水

可以看出在可见光-近红外波段(400—2500 nm) 水的反射率很低, 约 1%—4%, 平均反射率约为 2%。从可见光到近红外波段, 随着波长的增大, 反射率逐渐降低, 在波长大于 2400 nm 以后, 反射率降至最低, 几乎为零。从图版 I 图 1 还可以看出, 随着水中 TOC 含量的增加, 水在可见光-近红外波段(400—2500 nm) 的反射率逐渐减小, 说明受有机污染的水体反射率比未受有机污染的清洁水体反射率低。这一点因内许多学者在苏州河、马鞍山和洛阳等地都发现了同样的规律<sup>[7,8]</sup>。水体反射率的光谱反射率高低主要受水的颜色深浅的影响, 受有机污染的水体一般颜色较深, 呈蓝、深蓝、蓝黑或黑色, 光谱反射率较低。而未受有机污染的水体颜色较浅, 光谱反射率相对较高。

为了定量探讨水中有机质含量与 TM 各波段反射率大小之间的关系, 利用图版 I 图 1 中水样的光谱反射率数值计算了 TM 各波段的反射率积分值, 结果见表 2, TM 波段反射率积分光谱图见图版 I 图 2。从表 2 及图版 I 图 2 可以明显看出: 随着水中有机碳含量的增加, TM 各波段的反射率积分值逐渐下降, 反映了随着水体有机污染程度的增加, 水体的可见光-近红外光谱反射率逐渐降低的趋势。这就使

我们可能利用遥感技术区分和识别污染水体。

表 2 不同水样 TM 各波段的反射率积分值

Table 2 Reflectance integral in TM Bands of different water samples

采样地点	TOC/(g/t)	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
自来水	0.47	21.8	29.8	19.9	42.1	62.5	74.4
猎德江水	5.46	17.4	24.3	16.1	36.5	53.7	54
池塘水	7.14	17.6	24.6	16.3	33.9	44.9	48.3
天河涌水	10.28	14.5	19.9	13.3	29.2	41	44.2

## 2 水体污染的遥感监测方法

污染水体与清洁水组成之间的差别不仅反映在光谱上, 也反映在遥感图像上。传统的方法多利用彩色合成方法、单波段灰度分割或多波段图像分类方法。在实用应用上取得了一定的效果。但在具体应用时, 利用三波段彩色合成时, 波段组合的选择至关重要。而在利用灰度分割和图像分类时, 波段的选择也非常重要。在本项研究中, 我们以珠江广州河段十个断面为主要采样点, 结合地面水质指标, 进行了 TM 各波段灰度值的分析和比较, 选择出比较好的 TM 彩色图像组合, TM 图像数据都进行了系统的大气辐射纠正。经过比较后发现, 先对图像数据进行一些变换后再进行密度分割及图像分类对于区分和识别水体污染效果更佳。各断面水质指标和 TM 图像各波段灰度值如表 3。

根据国家水质划分标准(GB3838-88), 将这十个断面分为 3 类, 划分结果及水质指标和 TM 各波段灰度值如表 4。

从表 4 可以看出: 随着水中 COD 及 BOD 含量的增加, 即水的有机污染程度的加重, TM 各波段灰度呈总体减少趋势(这一点与光谱的分析结果一致), 其中 TM2 和 TM3 波段降幅最大, 这是由于有机污染对水色的影响在这两个波段响应最大。从室内光谱看, TM1 波段对于水色变化也是很明显的(表 2), 但由于受大气散射的影响, TM1 波段的灰度明显变高, 在一定程度上也影响了对污染水体反映的灵敏度。对于 3 个近红外波段而言, TM4 波段离差最大, TM5 和 TM7 波段由于本身反射率已很低, 也影响了对污染水体的识别。因此, 利用彩色合成法进行污染监测时, TM2、TM3、TM4、或 TM1(进行大气散射校正) 为比较好的组合。图版 I 图 3(a) 为 TM4(R)、TM3(G)、TM2(B) 的合成增强图像, 可以看出这种组合图像色彩接近于彩红外图像, 对于水体的反映也十分

清楚, 清洁的水体呈浅蓝-蓝色(如 1988 年图像的流溪河段), 受污染的水体呈深蓝-蓝黑色。

表 3 珠江广州段水质断面指标与 TM 波段灰度值

Table 3 Water quality index and DN value of TM bands in Guangzhou sections of Pear River

监测断面	COD	BOD	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
流溪河	2.6	1.7	115.2	53.8	62.9	29.5	15.8	6.4
鸦岗	3.43	1.88	106	43.6	46.1	23.6	10	6.3
硬颈海	4.45	2.75	107.5	43.3	48.5	27	15.1	6.2
黄沙	5.08	3.42	111.1	44.1	49.1	27.5	15.4	8.7
猎德	6.27	4.44	102.9	40.7	44.6	24.1	9.9	5.5
东郎	5.5	3.62	104.8	41	46.3	24.8	10.5	5.8
长洲	4.15	3.34	100.3	39.8	42.2	21.8	9.5	5.1
黄埔	3.7	3.48	100.9	41.2	42.9	20.3	9.5	5.1
莲花山	3.46	3.18	100.4	40.9	42.1	28.9	8.3	4.1
平洲	2.91	1.27	106.3	42.8	47.5	24.1	10.7	5.3

表 4 不同水质分类断面水质指标及 TM 图像灰度统计值

Table 4 Statistics of water quality index and DN values of TM bands in different water quality sections

水质分类	监测断面	COD	BOD	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
I—II类水	流溪河、鸦岗、黄埔、莲花山、平洲	3.22	2.3	105.7	44.46	48.3	25.28	10.86	5.44
III类水	硬颈海、黄沙、东郎、长洲	4.795	3.28	105.9	42.05	46.52	25.27	12.65	6.45
IV类水	猎德	6.27	4.44	102.9	40.7	44.6	24.1	9.9	5.5
最大差值	猎德-流溪河	3.05	2.14	-2.8	-3.76	-3.7	-1.18	-0.96	-0.06

虽然图像彩色合成经过增强后可以反映出水体污染的宏观特征和总体分布, 但合成利用的是图像的原始数据, 由于原始数据影响因素较多, 并不能准确灵敏地反映污染特征。一方面水体反射率总体偏低, 一般合成不能很好地反映水体的光谱变化, 另一方面从上述光谱和图像灰度分析看, 图像合成的 3 个波段灰度与污染程度是呈同向变化的, 如 TM4, TM3, TM2 合成中随着污染程度增加, 3 个波段的灰度都呈现递减特征。这对于多波段图像分类处理时存在很大的信息冗余, 不能灵敏反映水色的变化。因此在本项研究中尝试先对图像数据进行变换, 再

进行分类处理。主要采取了 3 种变换, 即对数变换、IHS 变换和 KL 变换。采取这些变换的原因是: 对数变换可以增强低亮度信息, 可以增强图像对亮度较低的水体的识别能力, 而 IHS 变换是将图像从 RGB 彩色空间变换到 IHS 彩色空间, 在明度(I)、色度(H)及饱和度(S)组成的彩色空间中研究由于污染而引起的水色变化。KL 变换即主成分变换是一种信息压缩及去相关图像处理技术, 进行 KL 变换的主要目的是想了解信息压缩和去相关处理后的图像数据是否能增强对由于污染引起的微弱的水的光谱变化。3 种处理方法的不同水质断面统计值见表 5。

表 5 不同水质分类断面 TM 图像灰度变换统计值

Table 5 Statistics of transformation of DN values of TM bands in different water quality sections

水质分类	监测断面	$\log(TM4)$	$\log(TM3)$	$\log(TM2)$	I	H	S	KL1	KL2	KL3
I—II类水	流溪河、鸦岗、黄埔、莲花山、平洲	247	96	15	104	57	153	177	249	129
III类水	硬颈海、黄沙、东郎、长洲	247	204	201	216	121	33	255	231	131
IV类水	猎德	255	223	207	224	18	31	255	230	192
最大差值	猎德-流溪河	8	128	188	120	-39	-122	78	-19	63

从表 5 可以看出: 经过对数变换后, 增强了图像对水污染的识别能力, 其中尤其以 TM2 和 TM3 波段最为明显。经过 IHS 变换后, 随着污染程度的增加, 在 IHS 彩色空间表现为明度 ( $I$ ) 的增加和饱和度 ( $S$ ) 的降低, 而且降低幅度很大, 分别为 120 和 -122。图 4 为 TM 反射率明度-饱和度 ( $I-S$ ) 二维散点图。可以清楚地反映出污染程度不同的水样在 IHS 彩色空间中得到更为清楚的反映。KL 变换的因子载荷矩阵如表 6。可以看出, 第一主因子(KL1)集中了所有方差的 72.8%, 反映 3 个波段的主要亮度信息, 对于较弱的水体信息主要由第二(KL2)和第三主因子(KL3)反映, 其中 KL2 在 TM2 波段为负载荷, TM3 波段为正载荷, 能够反映水色在这两个波段的光谱变化, 而 KL3 在 TM4 波段有很大的正载荷, 集中了水体在该波段的微弱信息。这说明 KL 变换降低了 TM 波段间的相关性, 提高了对水质变化引起的光谱微弱变化的探测灵敏度。

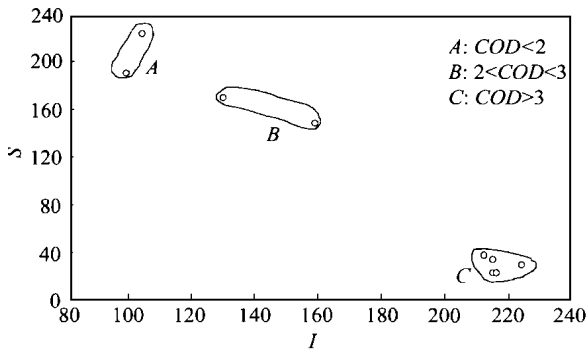


图 4 不同水质断面 TM 反射率明度-饱和度 ( $I-S$ ) 二维散点图

Fig. 4. Scatter plots of  $I-S$  in different water quality sections

表 6 KL 变换的因子载荷矩阵

Table 6 Load matrix of factors of KL transformation

特征值	13.6 (72.8%)	5.3 (27.7%)	0.2 (1.04%)
特征向量矩阵			
TM2	0.686	-0.727	0.038
TM3	0.680	0.621	-0.389
TM4	0.259	0.292	0.921

为了定量了解水质的空间变化和确定水污染的不同程度, 还要对图像数据进行分类处理。图像分类的依据是由在多波段图像灰度组成的多维空间中相对“距离”或相似度的大小来确定的, 由于变换处理后的图像能更灵敏地反映水质变化, 在本项研究中我们采用上述 3 种变换后的数据进行图像分类,

取得了较好的效果。分类结果见图版 I 图 3(b)。将水体分清洁水 (I-II 类水)、轻污染水 (II-III 类水)、中污染水 (III-IV 类水) 和重污染水 (IV-V 类水)。分类结果和地面分析资料有很好的对应。说明了这种处理方法的有效性。

### 3 珠江广州河段水体污染的遥感监测应用

在珠江广州段, 采取上述两种方法处理数据, 最终生成水质分类和分级图像, 并通过地面水质分析资料对比分类结果, 修正处理方法, 从宏观上反映了水污染的空间分布。另外利用对多时相遥感数据的处理结果监测水体污染现状、污染历史和变化趋势。由于卫星不分昼夜, 时刻监测着地面, 所以遥感数据不仅可以反映污染现状, 而且还保存下了污染的历史记录, 这些记录在自 70 年代 Landsat 卫星发射以来的遥感数据中, 如果我们对过去几年中的遥感数据进行同样的处理, 生成特征相近的污染水体专题图像, 并进行对比, 便可以清楚地反映出河流污染的变迁。在珠江广州河段, 我们就采用了这一方法, 对自 1988 年以来的 TM 数据进行了抽样处理。一共处理了 8 个时相, 时相和水期分别为: 1988-12-10 (枯水期), 1990-10-13 (秋平水期), 1994-12-10 (枯水期), 1995-12-31 (枯水期), 1996-03-10 (春平水期), 1997-08-29 (秋平水期) 和 1998-12-22 (枯水期)。最终制成了广州地区水体污染时空分布卫星影像图 (图版 I 图 3)。图版 I (图 3(a)) 为 TM4 (R), TM3 (G), TM2 (B) 的近红外合成像片, (b) 为对 TM 图像经过变换后的分类增强假彩色图像。通过对比, 直观地反映出珠江广州河段污染的变化趋势。第三是能通过对最新遥感数据的处理, 结合对区域或流域水污染的变化趋势和对污染源的研究, 利用 GIS 系统建立区域或流域污染预警系统, 为污染的宏观监测研究以及水资源保护的决策提供新的信息。在本项研究中, 通过对水体污染专题图像的分析, 并结合地面实际分析和调查资料, 初步总结了珠江广州段水体污染的时空分布规律。

#### 3.1 污染的空间分布特征

图版 I 图 3(a) 为近红外图像, 图中河水随着污染程度的增加, 颜色由浅变深, 清楚地展现出整个珠江广州河段水体污染的宏观分布特征; 图 3(b) 是经过图像灰度变换后的水质分类图像, 将河水分为

4 级,使污染程度和分布定量化。从图版 I 图 3 中可以定量和较为准确地确定出不同河段的水体污染状况。从 1998 年最新的遥感图像上可以看出,珠江前航道、后航道,大石水道和佛山水道的污染都十分严重,西航道,黄埔航道和东江北干流入口处污染也比较严重,西航道上游、流溪河、白坭河和东江北干流上游污染程度相对较轻。水体污染遥感分类与水质监测分级的对应较好,二者基本吻合。

### 3.2 污染的历史变迁和变化趋势

通过多时相遥感数据可以监测水体污染的变化趋势。从 1988 年至 1998 年 8 个时相的遥感数据对比看,珠江广州段的污染基本上可以划分成 3 个阶段,即 1994 年以前,1994—1995 年,1995 年以后。

(1) 第一阶段的污染时空分布特征:以 1988-12-10 的图像为例说明。从影像看,西航道的鸦岗-石门段中浅蓝色,西华海-硬颈海至罗冲围段为深蓝色,罗冲围-黄沙段为深蓝黑色。前航道呈深蓝黑色,后航道基本深蓝-蓝黑色。黄埔航道与东江基本未受污染。总之这一阶段的污染特征是污染较轻,污染分布范围较小。严重污染河段主要包括西航道的增步河-白鹅潭和前后段道白鹅潭-丫髻沙的水体呈现污染特征外,其它河段的水体均呈现“清澈”的浅蓝色。根据广州市环境保护监测站及广州市自来水公司的监测资料,平洲水道、大石水道及西航道北段有机污染轻微(为 I—II 类水),西航道南段和前后航道有机污染程度较重(为 III—IV 类水),TM 图像判读结果与地面实测的有机污染指标有较好的对应。这个时期污染主要变化趋势是后航道和西航道污染的加重。

(2) 第二阶段的污染时空分布特征:该阶段污染的主要特征是污染面积扩大,污染程度加重。该阶段污染的主要变化趋势是黄埔航道和东江北干流河口处污染加重,而且污染有向下游方向扩张的趋向。

(3) 第三阶段的污染时空分布特征:1995 年以后延续了上一阶段的特征,污染有进一步加重和扩大的趋势,前航道、后航道黄埔航道以及西航道的槎头以下到石门附近,水体呈现蓝黑色,表明水体有机污染已相当严重,地面监测资料表明,这一时期上述地区基本上属 IV—V 类水。在该阶段石井河、里水涌、雅瑶水道、佛山水道、花地水道及车陂河等城镇附近和城区内部的河涌水体基本上呈深蓝黑色,表明水体的有机污染已相当严重,这与地面的调查也

是基本一致的。

## 4 污染源与水体污染的关系及控制探讨

利用遥感图像直观明显和宏观性强的特点(见图版 I 图 3),还可以将污染源研究和水质污染遥感监测结合起来并探讨二者之间的关系。通过 GIS 系统与水质污染相关的信息集成,从大的时空角度进行污染监测和预报,指出流域污染的变化趋势、相关污染源和治理方向,建立准实时的水质污染监测及预警系统,为水资源保护提供新的信息。在本项研究中我们进行了初步探索,得出以下初步结论:

(1) 老工业区和城市生活区是水体污染的主要来源,如芳村区和荔湾区、东山区、越秀区。前者是广州的老工业区,是广州市钢铁、造船、机械、化工、医药和香料的重要生产基地,后者是广州市主要的老城市居民区。应加强对这些地区污染源的控制。

(2) 新的开发区对水体污染的影响日益扩大,最明显的如黄埔区与增城市及新塘工业区等。从以上 3 个阶段来看,污染进一步加重扩大并有向珠江上游和东江漫延的趋势。尤其体现在 1994 年以后。开发区面积剧增,分布在广州市周围各个方向,而且不断增长的趋势。随着这些星罗棋布的开发区工业的发展,将对珠江水质构成严重威胁。对这些用水应做到科学管理和科学规划,不应再造成新的污染源。

(3) 不能忽视农业用地包括菜地、果园、鱼塘所用农药、化肥、营养剂等地表残留物随地表径流进入河道,对珠江水质构成的严重威胁。通过遥感技术进行土地利用动态监测,对防治水体污染和水资源保护规划都有重要的意义。

### 参 考 文 献 (References)

- [1] Harlan L, McKim *et al.* Water Quality Monitoring Using an Airborne Spectroradiometer. [J]. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 1984, 50(2): 352—360.
- [2] Siamak Khorram. Use of Ocean Color Scanner Data in Water Quality Mapping [J]. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1981, 47(5): 667—676.
- [3] Prangna G J, *et al.* Using NOAA AVHRR imagery in assessing water quality parameters [J]. *Int. J. Remote Sensing*, 1989, 10(4—5): 811—818.
- [4] Carpenter D J. Modeling Inland Water Quality Using Landsat Data [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1983, 13: 345—352.
- [5] Buiteveld H, Donze M. Optical Properties of the Water in a Deltaic

- Environment : Prospective Tool to Analyze Satellite Data in Turbid Waters [ J ] . *Remote Sensing of Environment*, 1989, **38**: 69—80.
- [ 6 ] Dekker A G *et al.* The Effect of Spectral Bandwidth and Positioning on the Spectral Signature Analysis of Inland Water [ J ] . *Remote Sensing of Environment*, 1992, **41**: 211—225.
- [ 7 ] Li X W, *et al.* TM Analysis of Water Quality of Suzhou Canal [ J ] . *Remote Sensing of Environment*, China, 1993, **8**(1): 36—44. [ 李旭文等. 苏州运河水质的 TM 分析 [ J ] . 环境遥感, 1993, **8**(1): 36—44.]
- [ 8 ] Li J H, *et al.* Classification Research of Surface Water Pollution by Use of Color-Infrared Image [ A ] . Spectra and Characteristics Analysis of Typical Objects in China [ C ] . Beijing: Science Press, 1990. [ 李景华等. 利用彩红外摄影图像对地表水污染的分类研究 [ A ] . 中国典型地物波谱及其特征分析 [ C ] . 北京: 科学出版社, 1990.]

## Remote Sensing Method of Water Pollution and Application on Water Pollution Monitoring in Guangzhou Section of Pearl River

WANG Yun-peng, MIN Yu-shun, FU Jia-mo, SHENG Guo-ying

(State Key Laboratory of Organic Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences,

Guangdong Key Laboratory of Environment Protection and Resources Utilization, Guangzhou, 510640 China)

**Abstract:** This paper introduces the remote sensing mechanism and methods of water pollution and application on water pollution monitoring in Guangzhou Section of Pearl River. The research indicates that water reflectance in VI-NIR bands becomes decreasing as the increase of water pollution. Through comparison, it can be found that classification and segmentation image of remote sensing may distinguish and recognize water pollution more effectively after logarithm, IHS and KL transformation. Time-spatial distribution images of water pollution are made through the above techniques, and the time-spatial distribution characteristics and changing trends are summarized through combination to ground analytical and investigation data of water quality. A regional early-warning system of water pollution of whole drainage area is built up by use of GIS technology, processing of latest remote sensing data and the research of pollution sources. This research provides new information for the large scaled monitoring of water pollution and water resources protection.

**Key words:** remote sensing; water pollution monitoring; pollution source evaluation; GIS; time-spatial distribution

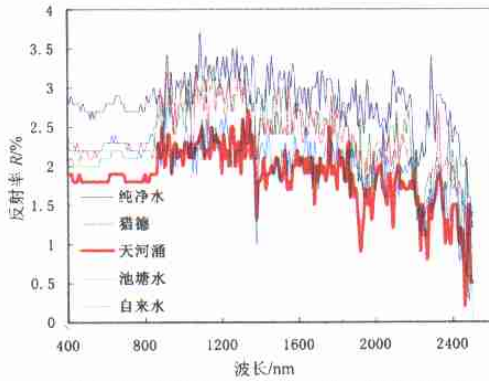


图 1 不同水样的可见光-近红外反射光谱曲线

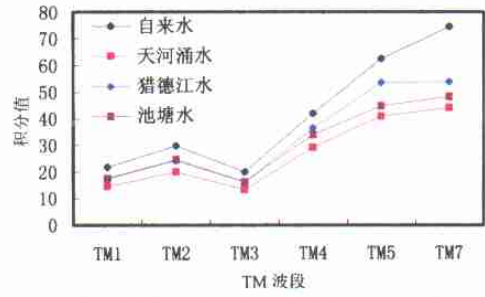
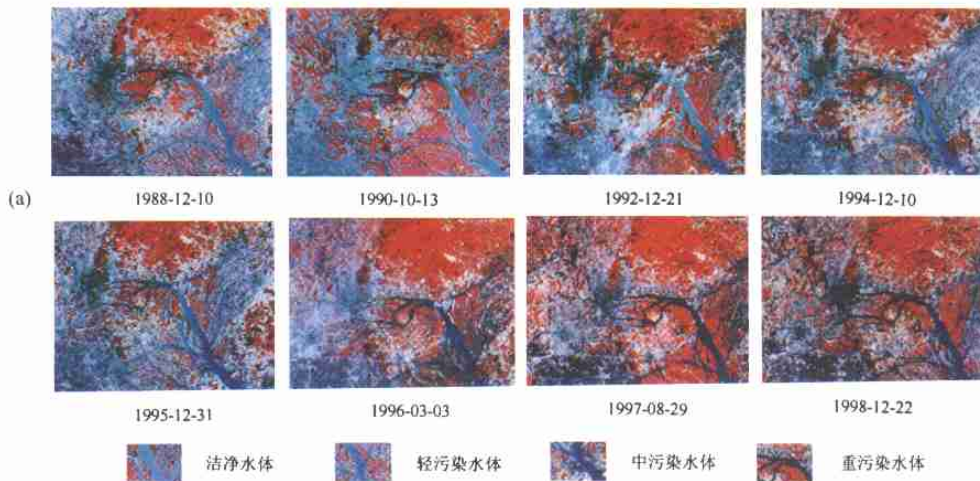
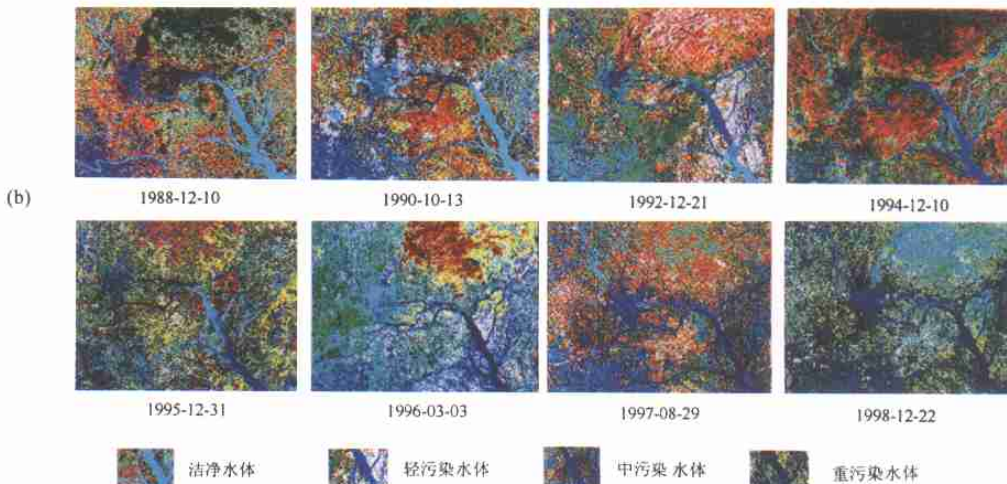


图 2 不同水样 TM 波段反射率积分光谱图



说明: 本图由 TM4,3,2 波段数据经计算机增强后合成。中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室制作。



说明: 本图是用 TM 数据结合地表水质模型分类而成。中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室制作。

图 3 广州地区水体污染时空分布卫星遥感影像