

遥感技术在大气监测中的应用^{*}

王雪梅¹, 邓孺孺², 何执兼²

(1. 中山大学环境科学系, 广东 广州 510275;

2. 中山大学地环学院遥感中心, 广东 广州 510275)

摘 要: 采用航天遥感技术方法对广东珠江口区域进行宏观的面状调查, 分析卫星遥感像元信息构成的物理机制, 以实验证明, 像元信息可概化为土壤、植被、水体等基本信息类型的线性集合与污染气体信息的简单叠加. 首次从 TM 卫星数据直接定量提取区域大气污染气体累加浓度信息. 结果表明, 所提取的污染信息将对珠江口大气污染状况有较客观、形象的再现.

关键词: 大气污染; 遥感; 信息提取; 像元分解

中图分类号: TN913. 2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2001) 06-0095-04

卫星遥感可在瞬间获取大区域地表和大气信息, 便于动态监测, 是环境遥感的研究热点之一, 该方向的研究始于 20 世纪 70 年代, 文献 [1, 2] 最早根据污染地区地物反射率发生变化、边界模糊的情况来对大气污染情况进行估计. 由于在遥感信息中, 大气污染信息是叠加于多变的地面信息之上的微弱信息, 提取非常困难, 一般的信息提取方法均不适用, 多年来该方向的研究进展缓慢. 80 年代后人们开始尝试间接的方法, 由于在遥感信息中, 大气污染信息是叠加于多变的地面信息之上的微弱信息, 提取非常困难, 一般的信息提取方法均不适用, 多年来该方向的研究进展缓慢. 80 年代后人们开始尝试间接的方法, 范心圻等^[3] 根据城市热岛情况对城市大气污染进行估计; Fujii Hisao 等^[4] 根据树叶中 SO₂ 含量与遥感数据中植被指数的关系估计大气污染的情况; 这些方法只能给出定性或间接的结果. 本文根据野外现场的观测, 像元信息可概化为土壤、植被、水体等基本信息类型的线性集合与污染气体信息的简单叠加, 经过图像辐射校正、大气校正、信息缺失补偿以及图像增强等处理, 以珠江三角洲为实验区, 首次将大气污染信息定量地从地面地物信息中分解出来, 得到直观、定量的污染分布结果.

1 采用的遥感资料及其特点

本文所采用的遥感资料为美国陆地卫星 5 号

专题制图仪 (TM) 的数据. 陆地卫星 5 号为近极地圆形轨道, 每 16 d 一次, 且均为早上 9: 40 左右经过本地上空. TM 拍摄的数据有 7 个波段, 各波段辐射分辨率均为 256 级, 波段及地面分辨率见表 1. 本文所用的是 1997 年 8 月 29 日陆地卫星 TM 数据资料.

表 1 TM 波段及地面分辨率
Tab. 1 TM band and surface resolution

波段编号	波段划分/ μm	地面分辨率/ m
TM 1	0. 45 ~ 0. 52	30
TM 2	0. 52 ~ 0. 60	30
TM 3	0. 63 ~ 0. 69	30
TM 4	0. 76 ~ 0. 90	30
TM 5	1. 55 ~ 1. 75	30
TM 6	10. 4 ~ 12. 5	120
TM 7	2. 08 ~ 2. 35	30

2 污染气体光谱特性

一般工业污染气体主要由 SO₂、NO_x、CO₂ 和粉尘组成. 气体光谱特要表现在吸收和散射两个方面. SO₂、NO_x 光谱特征相似, 在所采用的遥感仪器 (TM) 探测光谱范围可见光—近红外波段内无明显吸收带, 故肉眼观察时两者为无色透明, 但都会发生瑞利散射, 散射强度除了与气体浓度成正比外, 还与电磁波波长的负四次方成正比, 即散射系数 $r \propto \lambda^{1/4}$, λ 为波长. 所以

^{*} 收稿日期: 2000-12-25; 作者简介: 王雪梅 (1969—), 女, 博士, 讲师.

SO₂、NO_x 的散射在波长较短的兰光波段最强, 且随波长的增大而迅速减速减小. 波长大于 1 μm 时 SO₂、NO_x 引起的散射几乎为零. 故 TM 数据中, SO₂、NO_x 的信息在 TM₁ 中最强, 次为 TM₂, TM₃ 仅有微弱反映, TM₄、TM₅、TM₆ 和 TM₇ 则基本无反映, 该种特性使污染气体光谱有别于其它典型地物 (如图 1), 在本文中对 SO₂、NO_x 不加区分, 统称废气, 且以单位地面面积上这两种气体在直垂向上的累加量——累加浓度作为污染气体在某地上空含量的量度. 烟尘在可见光波段为中等强度吸收, 但在近红外波段则为较强反射. 根据这些特性可将废气信息从背景中提取出来.

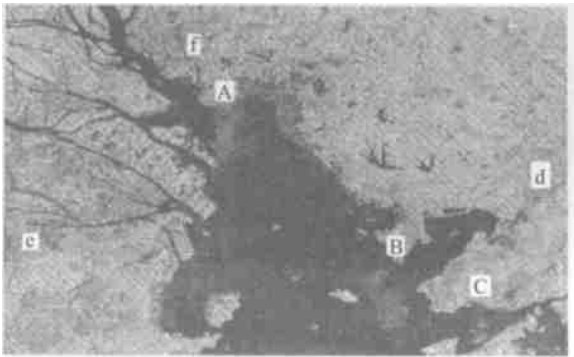


图 1 电厂污染气体扩散场增强图像

Fig 1 Intensified image of polluted gas distribution emitted from Shajiao thermal power plant

3 废气提取的遥感信息模型

3.1 像元光谱组成

每个像元光谱由地面对应区域的反射光和对地反射路线的大气散射光组成. 大气散射光包括正常大气散射光和废气散射光. 地面反射光随地点的不同而变化. 原因是像元对应地面区域的地物组成不同. 在本地区地物可分为 3 种基本成份: 土壤 (包括岩石)、植被、水以及水中悬浮物. 水中悬浮物成份虽与泥土成份相近, 因其为悬浮颗粒状态, 受光照射时发生标准的漫反射, 可见光波段其垂向上的反射率远高于一般土壤; 近红外波段, 因水的吸收, 其反射率接近于 0, 与其它地物区别甚大, 故单独列为一类. 每一像元所对应的地面均为这四种基本地物按不同的比例所组成. 像元反射光可表示为:

$$I = I_0 A_p R_p + I_0 A_s R_s + I_0 A_w R_w + I_0 A_d R_d + I_0 P_u R_u + I_0 Z$$

式中, I 为进入传感器的像元反射光强; I_0 为入射光强; A_p 、 A_s 、 A_w 、 A_d 分别为土壤、植被、水和水中悬浮物在像元区域中的面积比; R_p 、 R_s 、 R_w 、 R_d 分别为土壤、植被、水和水中悬浮物的反射率; R_u 、 Z 分别为废气散射率和正常大气散射率.

P_u 为相对废气累加浓度指数, 与废气浓度 C_u 为线性关系, 可表示为

$$P_u = a \cdot C_u + b \quad (1)$$

正常大气散射光 $I_0 Z$ 可通过大气校正消除. 进行大气校正后上式变为:

$$I/I_0 = A_p R_p + A_s R_s + A_w R_w + A_d R_d + P_u R_u$$

式中 I/I_0 为像元亮度值.

3.2 像元分解

废气信息的提取实际上是像元信息的分解, 方法的实质是用不含或少含废气信息的红和红外波段数据, 即 TM₃、TM₄、TM₅ 或 TM₇ 波段数据推算每个像元中上述四种基本地物的组成比例, 进而根据地物反射率推算 TM₁ 的正常像元亮度值, 然后用 TM₁ 波段实际像元亮度值减去对应像元正常亮度值即可得到 P_u . 该过程可通过解下列方程组实现.

根据以上分析, TM₁ 至 TM₅ 波段数据经大气校正后可列方程组如下:

$$TM_1 = A_p R_{p1} + A_s R_{s1} + A_w R_{w1} + A_d R_{d1} + P_u R_{u1}$$

$$TM_2 = A_p R_{p2} + A_s R_{s2} + A_w R_{w2} + A_d R_{d2} + P_u R_{u2} \quad (2)$$

$$TM_5 = A_p R_{p5} + A_s R_{s5} + A_w R_{w5} + A_d R_{d5} + P_u R_{u5}$$

TM₁ 至 TM₅ 为 5 个波段数据像元亮度值; A 和 R 分别为像元内某种地物面积比和反射率; 下标 p , s , w , d 分别表示植被、土壤、水和水中悬浮物, TM_i 为已知, R_{pi} 、 R_{si} 、 R_{wi} 、 R_{di} 与 R_{ui} 一般有两种方法可以获得, 一是用光谱仪实测, 二是在图像上选取典型的各类纯地物的已知点, 读取相应波段的亮度值. 第 2 种方法不但易行, 且避免了第一种方法由于测试时间不同因而光照条件等有差异而造成的误差. 在本文中主要采用第二种方法, 辅以第一种方法. 方程组实际上只有 A_p 、 A_s 、 A_w 、 A_d 和 P_u 5 个未知数, 故有惟一解.

将 1997 年 8 月 29 日 TM 数据代入公式 (2) 解得:

$$P_u = 18.429TM_1 - 31.350TM_2 + 5.749TM_3 + 2.779TM_4 - 2.810TM_5 \quad (3)$$

将每一像元的 TM 数据代入，即可求出 P_u 在整个图幅范围内的分布 $P_u(x, y)$ 。

将增强后的 $P_u(x, y)$ 与原图像 TM₃、TM₄、TM₇ 波段合成图像相叠加，即获得电厂废气扩散场增强图像。

以上求得的 P_u 只是与废气累加浓度 C_u 线性相关的一个参量而非 C_u 本身，根据公式 (1)，要求出每点的 $C_u(x, y)$ 得先求出常量 a 和 b ，需要至少两个 C_u 的已知值。但废气累加浓度值无法直接测量，所以我们先根据电厂废气的排放量和气象条件对废气累加浓度进行理论模拟计算，同时对地面的废气浓度进行同步监测，并用监测值对模型进行验证。再用经过验证的模型来计算与卫片成像同时的局部废气累加浓度值及其分布，并以此来对 a 和 b 进行标定。

4 珠江口地区大气污染信息的定量提取

4.1 遥感资料及其预处理

所采用的遥感资料为 1997 年 8 月 29 日美国陆地卫星 5 号专题制图仪 (TM) 的数据。所做的预处理为：①去条带、噪声；②大气校正，目的是消除大气散射和水汽等区域稳定、非污染气溶胶的影响；③生成反射率图像。最后得到规一化的反射率图像。

4.2 污染气体信息的提取

将每一像元的 1~5 波段反射率代入 (3) 式，即可求出整个图幅范围内的 $C_u(x, y)$ 。将增强后的 $C_u(x, y)$ 与原图像 TM₃、4、7 波段合成图像相叠加，即获得污染气体扩散场影像图，见图 1，图中污染气体信息以红色表示，红色深浅与污染气体浓度成正比。图上区内较大型的大气污染源及其污染分布情况均得到较好显示。

4.3 结果的检验

4.3.1 污染源的反映 由图 1 的污染气体扩散场影像图中可以清楚地看出，区内污染最严重的是广东沙角电厂 (A)、香港妈湾电厂 (B) 和青山电厂 (C)，次为中山 (e)、深圳 (d)、和虎门 (f) 等市镇。再次为其它小城镇及公路。城镇中规模较大，工业化程度较高的如中山、深圳和虎门等污染较严重。公路则以较繁忙的路线、较不畅的地段如叉路口、城镇附近污染较严重。污染源的类型及相对污染程度与实际情况完全相

符。

4.3.2 沙角电厂污染气体可识别滞空总量的对比 电厂烟气从出烟囱口至扩散到不能识别的浓度需要一段时间，在稳定的气象条件下，该时间是一定的，因此滞留在空中且达可识别浓度的污染气体总量也是一定的。所用的 TM 数据成象时是稳定的气象条件。从结果图像上可以量出沙角电厂污染气体与电厂的最远距离 (图 1 中 A)，除以平均风速可求出其可识别滞空时间，进而可根据电厂源参数算出可识别滞空污染物质总量。而根据以上提取的污染气体分布场也能计算出滞空污染物质的总量，在平均风速为 2.0 m/s 时，得到了识别烟气最远距离为 40.5 km，可识别滞空时间为 5.279 h，由源参数算所得的可识别滞空总量为 84 079.82 kg，而由遥感信息提取的可识别滞空总量为 78 908.8 kg，相对误差仅为 -6.15%，可见遥感信息提取结果的精度可以满足行业要求。

卫星遥感数据中自然地物的像元信息可看作是土壤、植被和水等几种基本地物信息按不同比例的线性组合体。以此为基础，利用多波段卫星数据，可建立可解联立方程组对象元信息进行有效分解，将大气污染累加浓度等弱信息从像元信息中较精确地分解出来。应用该方法可对区域大气污染情况进行动态监测。

本文通过对遥感资料 TM 数据的分析，对沙角电厂区域的大气环境质量进行宏观的面状调查，根据野外现场的观测，卫星遥感数据中自然地物的像元信息可看作是土壤、植被和水等几种基本地物信息按不同比例的线性组合体，以及与污染气体信息的简单叠加，经过图像辐射校正、大气校正、信息缺失补偿以及图像增强等处理，建立可解联立方程组对象元信息进行有效分解，将大气污染累加浓度等弱信息从像元信息中较精确地分解出来。所提取的污染信息将对电厂周围大气污染状况有较客观、形象地再现，并对该区域大气污染情况进行动态监测。

参考文献：

- [1] EY O. TEMPLEMEYER K. Uses of remote sensing to study the dispersion of stack plumes[J]. Remote Sensing of Earth Resources, 1974(3): 255-272.
- [2] RICHASON B F B Jr. Introduction to remote sensing of the environment[M]. Kendall/Hunt Publishing Compa-

ny, 1978. 386~390

[3] 孙天纵, 周坚华, 范心圻. 城市遥感[M] . 上海: 上海科学出版社, 1995. 59— 186.

[4] HISAO F, KIYO YUKI I, HAJIME N. Assessment of air pollution by using satellite data in the neighbourhood of cities and industrial complex[J] . J Remote Sensing Society of Japan, 1991, 11(4): 655— 663.

Application of Remote sensing Technology
in Atmospheric Monitoring

WANG Xue mei¹, DENG Ru ru², HE Zhi jian²

(1. Department of Environmental Science, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China;
2. Center for Remote Sensing, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Remote sensing technology is used to investigate the restrict of Shajiao Power Plant in Guangdong. Satellite physical mechanism of remote sensing information is analyzed. Models of remote sensing identification and management of emitted gas are established and the information of gas diffusion is taken out. It is the first time to get the cumulative concentration information from TM satellite data. The results show that the pollution information from remote sensing image can objectively represent the atmospheric pollution situation caused by a thermal power plant.

Keywords: atmospheric pollution; remote sensing; information extraction; pixel decomposition