

基于中高分辨率卫星数据的城市扬尘污染源监测—以天津为例

熊文成¹, 徐永明², 李京荣¹, 聂忆黄¹, 娄启佳¹

1. 环境保护部卫星环境应用中心, 北京, 100094

2. 南京信息工程大学遥感学院, 南京, 江苏, 210044

摘要: 城市扬尘已成为城市大气污染的主要污染源, 加强扬尘监测与管理是治理扬尘污染的必然。文章采用中分辨率卫星数据与高分辨率卫星数据结合的方式, 进行以天津扬尘源监测为例的遥感监测; 通过中分辨率卫星数据可以很好地进行裸土指数计算, 高分辨率卫星数据则可以具体识别扬尘堆场, 并综合计算扬尘指数; 监测结果表明, 中高分辨率遥感数据可准确全面监测区域扬尘污染源分布, 为扬尘源的空间管理与调控提供信息支撑。

关键词: 天津 遥感 扬尘源 裸土指数

Urban Dust Pollution Sources Monitoring Based on Middle and High Resolution Satellite Imageries

---Taking Tianjin as an Example

Xiong Wencheng¹, Xu Yongming², Li Jingrong¹, Nie Yihuang¹, Lou Qijia¹

1. Satellite Environment Application Center, Ministry of Environment Protection, Beijing, 100094, China

2. Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing, Jiangsu Province, 210044, China

Abstract: The dust has become the main sources of air pollution in cities, it is necessary to strengthen dust monitoring and management to control dust pollution. Using the mid-resolution satellite data and high resolution satellite data, the paper carried out dust source monitoring experiment in Tianjin. The mid-resolution satellite data could be applied to bare soil index calculation, dust pollution sources could be identified in high resolution satellite imageries, and the index of dust could be calculated. The results showed that the urban dust pollution sources distribution can be acquired accurately and comprehensively using middle and high resolution satellite data, and the information from remote sensing imageries can provide great help for dust source spatial management and regulation.

Key Words: Tianjin; Remote Sensing; Dust Pollution Sources; Bare Soil Index

作者简介: 熊文成 (1981-), 男, 江西丰城人, 博士, 高级工程师, 主要从事生态环境遥感工作。

近年来, 中国大气环境问题日趋严重, 各大城市雾霾天气越来越多。雾霾天气成因及影响因素受到社会各界的广泛关注, 其中一个重要因素就是城市空气颗粒物开放源 (即扬尘污染源, 简称为扬尘源), 主要包括露天放置的料堆、土堆、裸露地面、建筑施工及拆迁工地等[1]。扬尘源是大气颗粒物的主要来源之一, 已成为城市环境质量达标的制约因素, 尤其是在北方城市[2-4]。掌握准确的城市扬尘源信息, 能够为有效开展城市扬尘污染整治工作、制定相关管理方案提供科学依据[5]。

现有的城市扬尘源主要依赖人工实地调查, 受制于交通条件、主观意识等因素的制约, 调查结果具有主观性强、不够系统全面等缺陷。卫星遥感具有宏观、动态、客观的优点, 尤其是近几年来高分辨率卫星技术迅速发展, 为城市扬尘源调查提供了有效工具。为此, 我们利用多源高分辨率卫星遥感数据开展了天津市扬尘源遥感调查工作, 获取了天津全市范围的扬尘源信息, 为天津市扬尘污染防治提供技术支持与信息参考。

1 研究区及数据说明

1.1 研究区域

研究区域为天津市全市域。具体包括和平区、河西区、河东区、河北区、南开区、红桥区、东丽区、津南区、西青区、北辰区、滨海新区、武清区、宝坻区、蓟县、宁河县、静海县共 16 个区县。考虑到和平区、河西区、河东区、河北区、南开区、红桥区这 6 个中心城区与其它区县相比面积较小, 将其合并为中心城区进行分析。因此, 本研究共包括中心城区、东丽区、津南区、西青区、北辰区、滨海新区、武清区、宝坻区、蓟县、宁河县、静海县 11 个研究区域。

1.2 数据说明

本次调查采用了中分辨率和高分辨率卫星数据。中分辨率卫星数据为 Landsat 多光谱数据, 包括 2013 年 7 月 24 日的 Landsat8/OLI、2014 年 4 月 30 日的 Landsat7/ETM+ 遥感影像, 通过多期数据反映天津地表裸露的季节变化情况。

本次调查使用的高空间分辨率的遥感数据主要是 2014 年 4 月的 Pleiades 遥感数据和国产资源三号遥感数据。Pleiades 遥感数据为 0.5m 全色+2m 多光谱捆绑数据,

资源三号为 2m 全色+8m 多光谱捆绑数据。Pleiades 遥感数据比资源三号具有更高的空间分辨率，实际解译过程中，以 Pleiades 数据构建解译标志，资源三号数据参考进行解译。

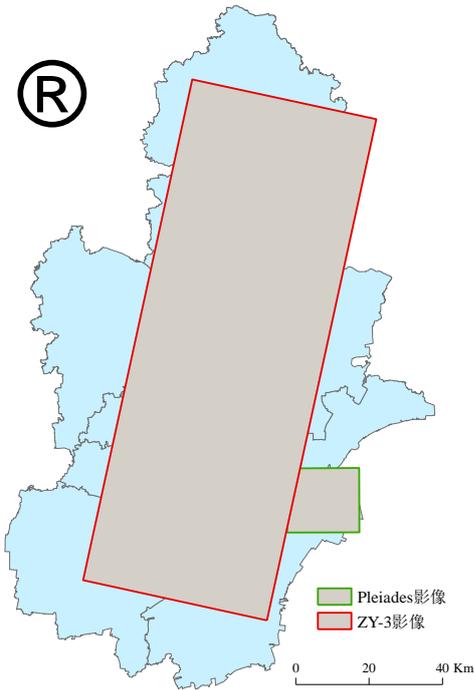


图 1 高分遥感影像覆盖范围

2 技术路线

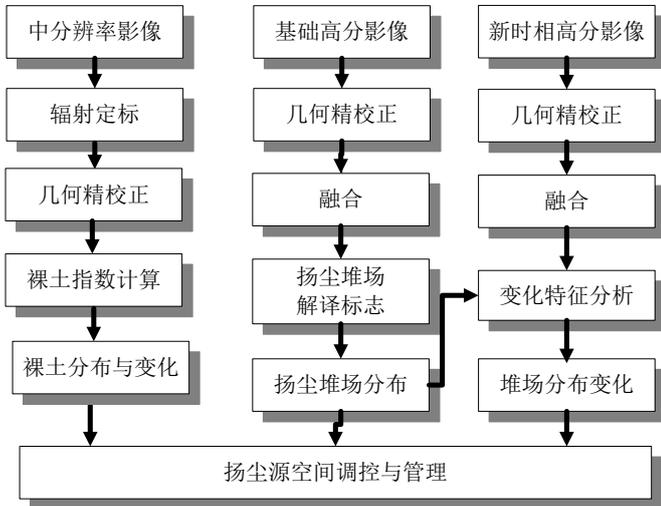


图 2 基于遥感的扬尘源监测技术路线图

(1) 中分辨率遥感影像处理主要包括辐射校正、

几何精校正、裸土指数计算等处理过程。

a. 辐射校正

对光学遥感影像进行遥感器校正，得到经过遥感器校正的辐射值，然后进行大气校正，获得地表反射率数据。本文利用 6S 模型(Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum)进行大气校正，参数主要包括卫星与太阳几何参数、气溶胶模型、大气模式、能见度、光谱响应函数等[6--7]。

b. 几何精校正

原始遥感影像有几何畸变，一般需要利用地面控制点对多光谱遥感图像进行几何精校正，主要包括方法确定、控制点输入、像素重采样和精度评价。将几何精纠正的影像与控制影像套合，检验精度，要求校正精度在 1-3 个像元。

c. 裸土指数计算

根据文献[8-9]，TM 的裸土增强影像可以是：

$$NDSI = (TM5 - TM4) / (TM5 + TM4)$$

式中，NDSI 为归一化土壤指数，TM5 和 TM4 分别代表 TM 影像的第 5 和第 4 波段。

NDSI 可以表达地表的裸露情况，即可能是土壤的裸露、也可能是不透水面的裸露，是一种起尘性的宏观表达。

(2) 高分辨率遥感影像处理主要包括几何精校正、融合、解译、变化监测等。

a. 几何精校正

对于自带 RPC 文件的高分辨率遥感卫星影像数据，可采用 RPC 模型进行几何纠正。

b. 影像融合

为了达到图像增强的目的，采用合适的融合算法对高空间分辨率的全色数据与分辨率较低的多光谱数据进行融合处理，融合后的影像应在得到较高空间分辨率的同时尽可能保持原光谱特性[10]。本文采用 PCI 软件中 pansharping 融合方法，生成 0.5m 分辨率的 Pleiades 和 2m 分辨率的资源三号数据。

c. 扬尘堆场解译标志

建立扬尘源目视解译标志，具体如下表：

表 2 扬尘源解译标志

类型	定义	典型图像	类型	典型图像
----	----	------	----	------

				
<p>拆迁 正在施工的楼房、道路、工厂等，影像上有破碎的低矮平房，前后时相对比有明显变化</p>	<p>土堆 土壤堆放，或取土形成的土堆，影像上有土堆、有车辆运输痕迹</p>	<p>修造 正在进行挖掘、修造工作，影像中有塔吊、未成形的建筑、施工设施。</p>	<p>料堆 石料加工场地、混凝土搅拌场地、其他工厂料场，影像中有料堆，有相关厂房</p>	<p>未开发用地 人为扰动，破坏植被表面，形成的荒地；或施工前平整的土地，但还没有开发，影像中有汽车碾压、机器松土等痕迹，</p>

d. 变化特征分析

为实现自动扬尘源变化监测，可以在前期扬尘源识别的基础上，进行自动变化识别。即由两个影像生成光谱变化图像，针对前期确定的扬尘源，统计光谱变化程度，如果大于一个阈值，可以认为扬尘源发生较大变化。可以予以重点关注。由于本次工作没有开展多期动

态调查，因此本文没有开展天津扬尘源动态变化监测。

3 结果与分析

3.1 基于中分辨率遥感的裸土指数监测

基于中分辨率 Landsat 多光谱遥感影像，利用波谱指数计算方法，分别计算了天津市 2013 年夏季和 2014 年春季的裸土指数。裸土指数空间分布图见图 3。

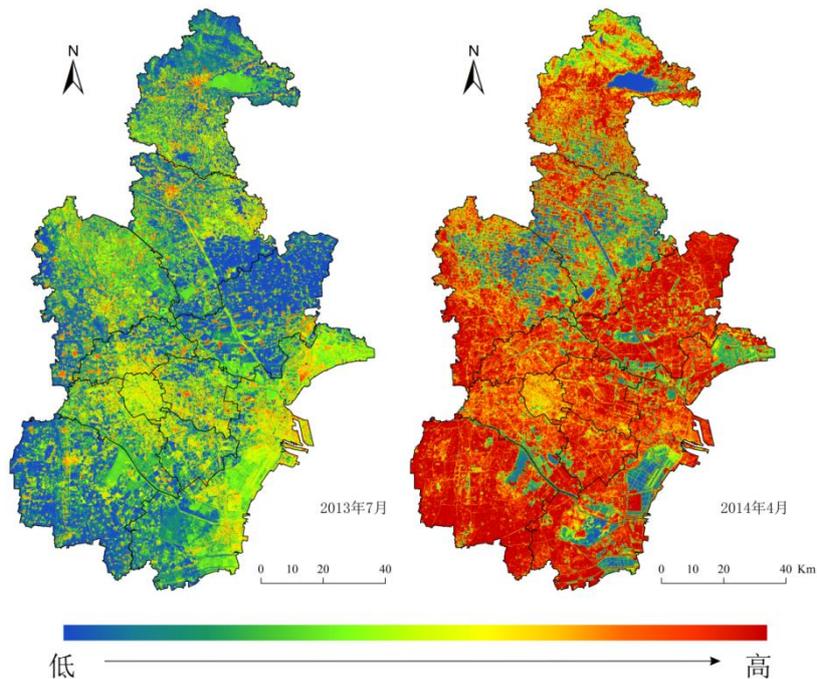


图 3 天津市裸土指数空间分布图

从图 2 中可见，天津市裸土指数的季节差异非常显著。2013 年夏天裸土指数普遍较低，而 2014 年春季则显著高于 2013 年夏季。这主要是由于天津市的植被覆盖以农田为主，林地比重相对较低，且天津农作物多为一年一熟，春季农作物尚未出苗或者刚开始生长，因此裸土指数非常高，到了夏季，农作物、植被等长势茂盛，裸土指数显著降低。可见，春季裸露的土壤较多，对于起尘的影响比较大。

对天津市各个区县 2013 年夏季和 2014 年春季的裸土指数进行统计可知，不同区县的平均裸土指数差异

明显。就夏季而言，中心城区的平均裸土指数较高，滨海新区、东丽区、津南区、西青区、北辰区、宝坻区、武清区和蓟县的平均裸土指数差别不大，而宁河县的裸土指数最低。而就春季而言，静海县、宁河县、津南区、东丽区、北辰区和西青区的裸土指数较高，中心城区、滨海新区、武清区和蓟县的裸土指数略低一些，宝坻区的裸土指数最低。其中，中心城区夏季与春季裸土指数差异最小，因为该地区植被覆盖尤其是农田面积很小，因此季节差异不大。而宁河县、静海县两个县夏季与春季裸土指数差异最大，这两个县农田比重很大，因此季

节差异显著。

3.2 基于高分辨率遥感的扬尘源监测

基于扬尘源解译标志，经过解译得到 2014 年 4 月份天津市扬尘源共 9441 处，总面积 418.33 km²（图 4）。

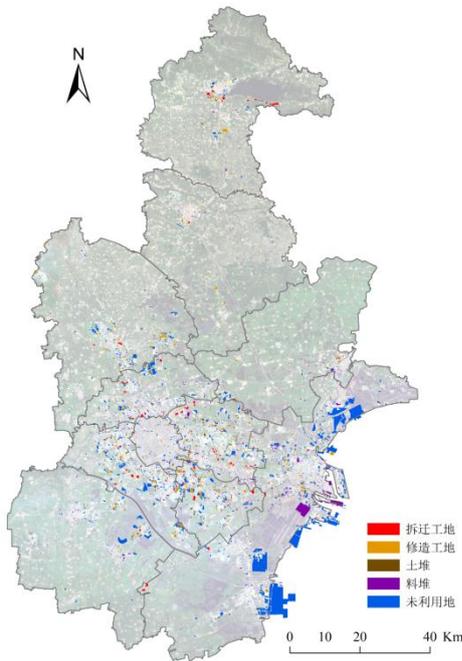


图 4 天津市扬尘源分布图

对整个天津市解译得到的扬尘源进行统计，结果见表 3。

表 3 天津市扬尘源总体统计结果

类型	数目 (处)	总面积 (km ²)	平均面积 (km ²)
拆迁工地	179	21.74	0.1215
修造工地	851	54.67	0.0642
土堆	2163	36.14	0.0167
料堆	4355	50.09	0.0115
未利用地	1893	255.69	0.1351
合计	9441	418.33	0.04431

从表 3 可知，天津市最多的扬尘源为料堆（4355 处），占扬尘源总数的 46.13%，但是规模很小，总面积只有 50.09 km²；土堆的数量仅次于料堆，为 2163 处，但是规模也比较小，总面积仅有 36.14 km²；未利用地有 1893 处，但是占地面积最大，达 255.69 km²，占有扬尘源面积的 61.12%；修造工地和拆迁工地分别有 851 处和 179 处，占地面积分别为 54.67 km² 和 21.74 km²。

从 5 类扬尘源的平均面积来看，未利用地和拆迁工地的平均面积较大，分别为 0.1351 km² 和 0.1215 km²；

修造工地的平均面积为 0.0642 km²；而土堆和料堆的平均面积较小，分别为 0.0167 km² 及 0.0115 km²。

按照行政区划分别统计各个区县的扬尘源信息可知，滨海新区的扬尘源面积远远高于其它各区县，这主要是因为近期滨海新区开发力度很大，填海工程及土地平整储备工作产生了大量扬尘源，而重工业的发展也使得该地区料堆数量很多。西青区、东丽区、北辰区、津南区、武清区和静海县这几个距离市区很近的区县扬尘源面积普遍较高，这是由于这些区县经济发展水平较高，其开发建设力度也较大，扬尘源也很多。市区发展水平已经比较高，因此拆迁、新建工地都相对较少，相应产生的土堆也比较少，此外，市区重工业企业也很少，因此料堆也不多，从而使得市区的扬尘源相对较少。宁河县、蓟县和宝坻区离市区距离较远，经济发展水平相对较低，开发建设力度较小，加上工业不够发达，因此这几个区县扬尘源面积普遍都不高。

表 4 各区县扬尘源数目与面积

区县	数目	面积 (km ²)	平均面积 (km ²)
中心城区	263	8.19	0.0311
滨海新区	2280	204.76	0.0898
东丽区	809	34.84	0.0431
津南区	634	33.94	0.0535
西青区	862	37.41	0.0434
北辰区	890	26.17	0.0294
宝坻区	649	5.96	0.0092
武清区	968	26.64	0.0275
静海县	871	20.35	0.0234
宁河县	719	10.48	0.0146
蓟县	539	14.05	0.0261

3.3 扬尘指数计算

为了获取对天津市扬尘源的总体认识，在遥感解译得到的扬尘源数据基础上计算扬尘指数。根据拆迁工地、修造工地、土堆、料堆和未利用地这 5 类扬尘源对于起尘的影响，分别赋予不同的权重分值（表 5）。

表 5 扬尘源的权重分值

扬尘源类型	扬尘性质	分值
拆迁	扬尘性一般	1
修造	扬尘性强烈	5

土堆	扬尘性较强	3
料堆	扬尘性强烈	5
未开发用地	扬尘性一般	1

根据解译得到的扬尘源按照表 5 中的权重分值进行赋值, 然后以 500m 分辨率空间格网进行统计, 计算每个像元内包含的各类扬尘源面积与权重分值乘积之和, 作为该像元的值, 得到天津市扬尘指数图 (图 5)。从图中可见, 天津市扬尘指数的空间分布呈现显著的差异性, 整体上呈现出中部高、南北低的趋势。东丽区、津南区、西青区和北辰区这环城四区的扬尘指数普遍较高。滨海新区有几处扬尘指数特别高的区域, 比如北部的海滨休闲旅游区、中部的港口物流区、中南部的化工区及海边填海工程区等。而宝坻区、宁河县和蓟县等远郊区县的扬尘指数则比较低。

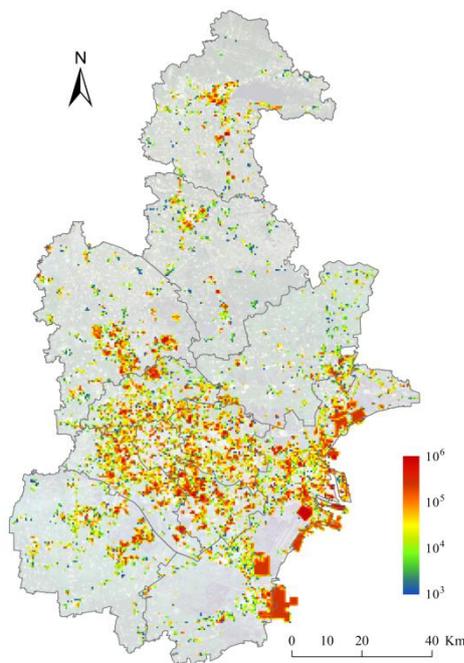


图 5 天津市扬尘指数图

4 结论与展望

4.1 结论

本研究通过利用中高分辨率遥感数据对天津市扬尘源进行了调查分析, 通过遥感监测结果, 初步得到如下结论:

(1) 基于中分辨率多光谱遥感的裸土指数计算结果, 天津市裸土指数季节差异明显, 春季的裸土指数显著高于夏季, 在一定程度上影响空气质量。

(2) 基于高分辨率遥感的扬尘源解译结果, 天津市 2014 年 4 月份扬尘源 9441 处, 最多的扬尘源为料堆, 其次为土堆、未利用地、修造工地和拆迁工地。扬尘源面积共 418.33 平方公里, 占比最大的为未利用地, 其次

分别为修造工地、料堆、土堆、拆迁工地。

(3) 从解译结果的分布来看, 天津市各个区县中, 由于产业和开发的差异性, 滨海新区的扬尘点最多, 无论是数目还是面积, 均远远高于其它区县。东丽区、津南区、西青区和北辰区这环城四区以及武清区、静海县的扬尘点数目和面积也比较大, 蓟县、宁河县和宝坻区的扬尘点数目较多但是面积不大, 而中心城区扬尘点无论是数目还是面积都较低。

(4) 天津市的扬尘指数综合反映了天津市地面起尘量的空间分布特征。天津市扬尘指数的高值区主要分布在城郊结合部以及滨海新区。表明扬尘的控制重点在城乡结合部及开发新区。

4.2 展望

根据本次调查工作的经验, 对于未来扬尘点遥感监测有几点展望:

(1) 目前扬尘指数的计算思路相对简单, 各类扬尘源的影响权重设定主要依靠主观判断。未来将考虑结合实地观测数据, 采用更合理更科学的方法对各类扬尘源的影响权重进行修正, 使扬尘指数能够更好的用于描述地面起尘量。

(2) 扬尘污染治理是改善城市空气质量的重要内容。今后采用遥感技术对扬尘源进行监督管理, 依据该次构建的数据库实施动态监控, 重点发现改善不明显、新增的扬尘源, 对现有调查结果进行及时更新, 保证扬尘源调查结果的时效性, 并对各区县扬尘源整治工作进行有效监督管理。另外, 下一步可对若干典型扬尘源进行针对性的动态监测, 比如未采取扬尘防治措施的扬尘源、进度缓慢的村庄拆迁工程以及荒置多年的未利用地等等。遥感调查结果与实地监督结合起来, 通过定期巡检、抽检, 推动防尘整治工作的有效开展。

参考文献:

- [1]彭慧. 城市扬尘污染的控制对策探讨[J].生态与环境工程,2011(07):195
- [2]卢滨, 董军, 相震. 杭州市扬尘污染控制对策探讨[J].环境科学与管理,2013,38(7):83-86.
- [3]方小珍,孙列,毕晓辉,吴建会,冯银厂,周军. 宁波城市扬尘化学组成特征及其来源解析[J]. 环境污染与防治,2014,36(1):55-61.
- [4]徐光. 辽宁省三城市大气颗粒物来源解析研究[J].中国环境监测,2007,23(3):57-62
- [5]孙娟,束炯,香小琴. 上海市扬尘源遥感解译及其管理信息系统[J].上海环境科学,2003,22(5):295-302.

[6]Liang Shunlin, Fang Hongliang, Chen Mingzhen. Atmospheric correction of Landsat ETM + Land Surface Imagery—Part I :Method [J]. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing. 2001 (39) : 2490-2498.

[7]张婷媛,林文鹏,陈家治. 基于 FLAASH 和 6S 模型的 Spot5 大气校正比较研究 [J]. 光电子·激光, 2009, 20 (11): 1471-1473

[8]Kearney M S, Rogers A S, Townshend J R G . Developing a model for determining coastal marsh“health” . In: Third Thematic Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, Seattle, Washington, 1995: 527-537 .

[9]徐涵秋. 福建省长汀县河田盆地区近 35 年来地表裸土变化的遥感时空分析. 生态学报, 2013, 33(10) : 2946-2953.

[10] Yun zhang, System and method for image fusion. United States Patent, US 7340099 B2, 2008.5.