

城市垃圾场空间扩张遥感监测

——以贵阳市高雁垃圾场为例

李松^{1,2}, 罗绪强^{1,3,*}, 龙拥军¹, 姚甜甜¹, 刘静¹, 王文仙¹

(1. 贵州师范学院 资源环境与灾害研究所, 贵阳 550018; 2. 中国科学院 遥感与数字地球研究所, 北京 100101;
3. 中国科学院地球化学研究所 环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002)

摘要: 为研究垃圾场对城市发展的影响, 利用 2002、2006、2010、2013、2015 和 2016 年 6 个时相的高分辨率遥感影像, 通过目视解译监测贵阳市高雁垃圾场的时空扩张动态。以 1:10 000 地形图为参考的多项式方法进行几何校正基础上, 采用目视解译方法提取各时相的垃圾场占地区域, 并分析高雁垃圾场扩张特征。在此基础上, 通过 GIS 的空间分析功能, 结合实地调查进行垃圾场的人口影响分析。结果表明, 贵阳高雁垃圾场空间扩展迅速, 垃圾场堆积区面积从 2002 年的 5.4 hm² 扩展到 2016 年的 46.5 hm², 新增面积超过 40 hm², 年均新增面积超过 2.9 hm², 约 54%。垃圾场影响的人口数量超过 10 万, 显著影响了区域的大气、水和植被。最后, 遥感对中国的城市垃圾场监测具有重要作用, 在遥感监测基础上, 掌握垃圾场演变动态, 能够为城市乃至区域可持续发展提供参考。

关键词: 遥感监测; 垃圾场; 影响; 贵阳

中图分类号: X83 文献标识码: A 文章编号: 1672-9250(2017)03-0368-06 doi: 10.14050/j.cnki.1672-9250.2017.03.017

2015 年瑞典和挪威争抢垃圾的新闻, 引起中国极大的关注。相比之下, 中国的城市垃圾数量急剧增加, 垃圾的处理方式以卫生填埋^[1]和覆盖为主, 垃圾围城以及对城市环境的破坏和污染, 已经严重影响了当地社会经济的发展。随着中国城市化的快速膨胀, 城市垃圾尤其生活垃圾数量迅速增加, 并以每年 10% 的速度增长^[2], 城市垃圾已经从随意堆放、零星而分散的堆放演变到大规模有组织的堆放^[3]。据中国统计年鉴, 2014 年中国城市生活垃圾清运量近 1.8×10^8 t, 已成了困扰城市发展的难题。

目前已有不少关于高雁垃圾场的研究成果。中国科学院地球化学研究所(冯新斌) 2003 年利用高时间分辨率大气自动测汞仪、气相色谱大气汞和冷原子荧光联用技术^[2]的监测结果表明, 高雁垃圾场大气中的单甲基汞和二甲基汞的含量相当于贵阳市一个小型燃煤锅炉排放烟气的总汞含量, 垃圾场不仅可以通过垃圾向大气排汞, 还可以通过垃圾场的覆土向外排汞。渗透液是城市垃圾场令人头

痛的问题, 研究表明^[4], 高雁垃圾填埋场渗滤液中 COD、氨氮、总磷浓度较高, 其中污染水平最高的丰水期渗滤液原液中氨氮浓度超过规定排放标准 110 倍, 污染水平最低的老龄渗滤液超过规定排放标准 20 倍。罗绪强(2013)^[5]对高雁垃圾场重金属污染的研究表明, 垃圾场区域的 Cd、Pd、Zn、Ni 分别是 13.67、49.72、1025.44、122.96 mg/kg, 而乌当区平均值分别是 0.329、52.1、66.7 和 28 mg/kg, 其中 Cd、Zn 和 Ni 分别比当地平均值高出 40.5、14.3 和 3.4 倍。

其他城市的研究可以提供有意义的参考。对沈阳赵家沟垃圾填埋场的研究表明, 臭气浓度、H₂S 和甲硫醇分别超标 0.7~6.93、0.13~5.06、0.51~1.27 倍^[6]。城市生活垃圾焚烧资源化产生的二恶英影响范围达 3 km^[7]。对上海浦东的研究表明, 垃圾场附近的污染物浓度明显高于背景值, 对可受控于空气的污染物(如大气汞), 在下风口受到的影响会更加明显^[8]。同时, 垃圾场附近农作物中污染物

收稿日期: 2016-06-07; 改回日期: 2016-11-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(41563007); 贵州省省长基金项目(黔省专合字(2012)80); 贵州省科技厅项目(黔科合 J 字[2011]2049, 黔科合基础[2016]1112); 贵州省教育厅科技拔尖人才项目(黔教合 KY 字[2016]082)。

第一作者简介: 李松(1980-), 男, 博士, 教授, 主要从事地质灾害遥感研究。E-mail: zhijinese@163.com。

* 通讯作者: 罗绪强(1976-), 男, 博士, 教授, 主要从事地球化学研究。E-mail: xuqiangluo@163.com。

的含量也会明显偏高。郭庶等^[9]通过分层整群随机抽样方法对垃圾场附近 3 所小学进行流行病学调查的结果表明,垃圾场对儿童的呼吸系统疾病有显著的影响,并且造成儿童非特异免疫功能的降低,明显影响了人体的防御系统。对沈阳 10 个垃圾场的调查表明,垃圾场周围区域的地下水中的重金属含量也达到较高的水平,同时重金属含量受到垃圾堆放场地质条件的影响^[10]。

由于宏观性、综合性、时效性和经济性等优点,在“三高”(高空间分辨率、高时相分辨率和高光谱分辨率)和“三多”^[11](多平台、多传感器和多角度)的背景下,遥感在社会经济活动中有了越来越广泛的应用。城市垃圾场遥感应用研究起步较早^[12],早在 20 世纪七八十年代,可见光、红外航空遥感已经应用于垃圾堆放场地调查中^[13-15]。到目前为止,遥感在城市垃圾场方面的应用基本局限于宏观层面的空间识别^[16-18]研究,多时相遥感在城市垃圾场空间扩张和监测方面的应用还不多^[19]。本文利用多

时相的高分辨率卫星和航空影像监测 2002 年以来的高雁垃圾场时空扩张特征,并在此基础上分析垃圾场对城市的影响。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

贵阳市高雁垃圾场是城市生活垃圾卫生填埋场,也是贵州省最大的垃圾场,位于贵阳市乌当区东风镇,北靠公路和建筑区,临近乌当主干道新添大道,西面和南面是有林地(图 1),向西覆盖水东路、小谷龙等人群聚集的居民区,与贵阳市南明河直线距离不足 500 m,并基本覆盖乌当区高新社区,是 1998 年底按国家建设部《城市生活垃圾卫生填埋技术标准(CJJ17-88)》建成的生活垃圾卫生填埋场,并于 2001 年 12 月投入使用。垃圾场占地约 79.3 hm²(含预留垃圾综合利用场地),库容量 1 980 × 10⁴ m³,使用年限为 31 年,设计垃圾日处理量 800 t/d,2015 年以来实际日处理量超过 2 200 t,接



图 1 高雁垃圾场影像和实景对比

Fig.1 Comperation of image and landscape of Gaoyan landfill

纳贵阳市云岩区、南明区、贵阳经济技术开发区和乌当区的城市生活垃圾 覆土深度 20 cm。

1.2 数据源及处理方法

采用 2002 年 8 月 30 日 (Quickbird)、2006 年 7 月 28 日 (Quickbird)、2010 年 11 月 10 日 (WorldView-2)、2013 年 3 月 6 日 (航空影像)、2015 年 4 月 14 日 (WorldView-3) 和 2016 年 3 月 1 日 (WorldView-2) 等 6 个时相的多源高分辨率航空、航天遥感影像 (表 1), 以及 1:10 000 地形图 (G48G033077) 对垃圾场进行监测。利用 ArcGIS 进行相对几何校正, 先利用附带的坐标点对地形图进行几何校正后, 再利用校正好的地形图校正遥感影像。然后以该遥感影像为参考完成其他影像的校正。校正时选用 3 次多项式 (polynomial) 采取全局校正模式。其中, 地形图除了用于数据的相对几何校正外, 还用于提取垃圾场建设前的土地利用信息。选用的多源多时相影像都具有红、绿、蓝和近红外波段, 其中 Worldview-2 和 Worldview-3 只考虑和本研究直接相关的 8 个 SWIR 波段, 而航空影像分辨率重采样后为 0.5 m。

垃圾场上覆泥土使垃圾场的影像特征与裸土地以及城市下垫面相似, 但在高分辨率影像上, 垃圾堆放痕迹明显, 被水侵蚀后的覆土与普通地表特征明显不同。鉴于高分辨率遥感影像对垃圾场的解译能力比较强^[14], 对遥感影像进行真彩色波段组合后, 利用最新时相影像, 采用目视解译提取垃圾占地区域, 通过实地调查进行验证。对 2015 年以前的时相, 结合已有的调查记录和对周边居民的走访提取垃圾占地区域。为了分析垃圾场对附近居民的影响, 对最新时相的影像实施监督分类, 采用目视解译提取建筑区域信息, 利用第六次人口普查数据, 结合现场调查, 以及 2012 年贵阳统计年鉴, 分析垃圾场对周边城市区域的影响。从数据收集、预处理、信息提取到垃圾场影响分析的主要技术路线如图 2。

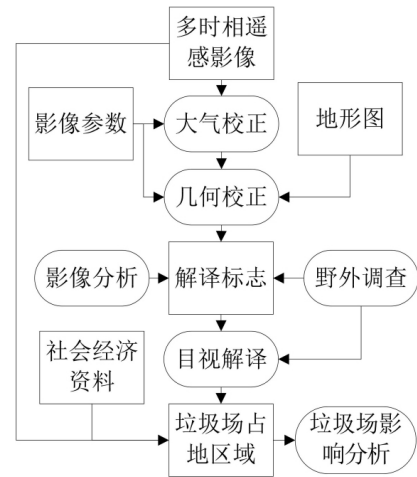


图 2 垃圾场遥感动态监测主要技术流程

Fig.2 The main technology flow for remote sensing monitoring in landfills

1.3 垃圾场遥感识别

结合最新时相遥感影像和实地调查, 分析垃圾场的遥感影像特征, 确定遥感直接和间接解译标志。直接解译标志包括光谱特征、形状、纹理和空间位置, 间接解译标志主要是垃圾场的规划资料和历史演变信息, 前者通过收集获取, 后者通过对垃圾场周边居民走访并结合现场调查分析获取。垃圾场堆积体有数量较多的垃圾运输车、覆盖的沙土、塑料薄膜或其他覆盖物, 所以垃圾场的光谱特征受到覆盖物的影响表现得比较复杂。有些区域还有出露的垃圾, 在高分辨率影像上 (图 1(a) 和 (b)) 呈现出纯粹的垃圾物 (图 1(c)), 在仿自然色波段组合影像上会呈现灰白或发白发灰的色调, 裸土地表 (图 1(c)) 以及垃圾覆盖的稀疏草地 (图 1(e)) 会使影像呈现土黄到暗绿的色彩。预留垃圾综合利用场地还会出现建筑设施, 如图 1(f) 中 C 区域的左下角。覆盖垃圾的沙土会使垃圾场总体上表现出与裸土地表相似的光谱特征。山区垃圾场一般呈不规则形状, 与背景地物的边界有时候会比

表 1 遥感影像及其主要特征参数

Table 1 Remote sensing images and the main parameters

| 数据源 | 日期 | 类型 | 空间分辨率/m | 波段数 | 单景面积/km ² | 总云量 |
|---------------|------------|----|-----------|--------|----------------------|-----|
| QuickBird | 2002-08-30 | 航天 | 2.44/0.61 | 4 | 16.5×16.5 | 0 |
| QuickBird | 2006-07-28 | 航天 | 2.44/0.61 | 4 | 16.5×16.5 | 14% |
| WorldView-2 | 2010-11-10 | 航天 | 1.8/0.5 | SWIR/8 | 66×65.5 | 1% |
| UltraCamXp WA | 2013-03-06 | 航空 | 0.5 | 4 | 625 | 0 |
| WorldView-3 | 2015-04-14 | 航天 | 1.24/0.31 | SWIR/8 | 66.5×112 | 0 |
| WorldView-2 | 2016-03-01 | 航天 | 1.8/0.5 | SWIR/8 | 66×65.5 | 0 |

较模糊,如图 1(i) (尤其稀疏灌草丛区域的新垃圾堆积体),垃圾堆积区会出现丛生性小丘。高雁垃圾场北部和东部下垫面以建筑用地为主,夹杂灌草丛,边界比较模糊;西部和南部以有林地为主,边界比较清晰。垃圾场影像以随机性的自然纹理为主,垃圾物暴露区的纹理比较粗糙,而砂土覆盖的区域,随着时间的推移粗糙度会逐步降低。垃圾场有特定的空间分布特征,根据国家标准的规定,垃圾场应远离人口密集的城市生活区,远离交通主干道,与河道保持适当的距离。为便于垃圾的运输,一般会选址在远郊区,往往会布置在村庄边缘有洼地或大坑的区域。垃圾堆上一般还会有多条小路通达,小路两侧会有垃圾堆积物。经过走访和地形图对比分析,高雁垃圾场始建之地是砖瓦厂采泥后留下的大坑。

2 结果与分析

通过目视判读得到 2002 至 2016 年共 6 个时相的垃圾场堆积区面积数据(图 3)。结果表明,2002 到 2006 年间,垃圾堆积区新增面积 5.3 hm^2 ,年均新增面积近 1.3 hm^2 ,年均增速约 25%。到 2010 年,垃圾场堆积区面积增加 10.6 hm^2 ,年均新增近 1.3 hm^2 ,年均增速约 24%。2013 年垃圾场堆积区面积剧增,比 2002 年增加了 22.4 hm^2 ,年均新增面积 2.1 hm^2 ,年均增速超过 39%。2015 年 4 月,垃圾场堆积区面积扩展到 35.6 hm^2 ,新增面积超过 30 hm^2 ,年均新增面积近 2.4 hm^2 ,年均增速约 44%。到 2016 年 3 月,垃圾场堆积区面积扩展到 46.5 hm^2 ,新增面积超过 40 hm^2 ,年均增速约 54%。2010 年以后,垃圾场扩张速度明显加快。根据调查和当地政府公布的数据,接受的垃圾数量则从设计的 800t/日增加到超过 2 200 t/d,城市生活垃圾已经严重超过垃圾场的负荷。

高雁垃圾场北面紧靠公路和居民区,监测结果表明,垃圾场从建成以来就一直向南扩张,侵占大片耕地和林地。结合多时相高分辨率遥感影像和 1:10 000 地形图解译,2002 到 2016 年间垃圾场侵占的有林地面积约 5.4 hm^2 (如图 3),图 1(c)和 1(h)就是垃圾堆积体对有林地的侵蚀。根据图 3,垃圾场北部原有 3.0 hm^2 的果园,在南部紧挨着果园的是一片 11.0 hm^2 的水稻田和草地,并夹杂有零星的坟地。垃圾场的南部,从东边的大凹到西边的高坡,主要是旱地和草地,面积达到 27.1 hm^2 。由

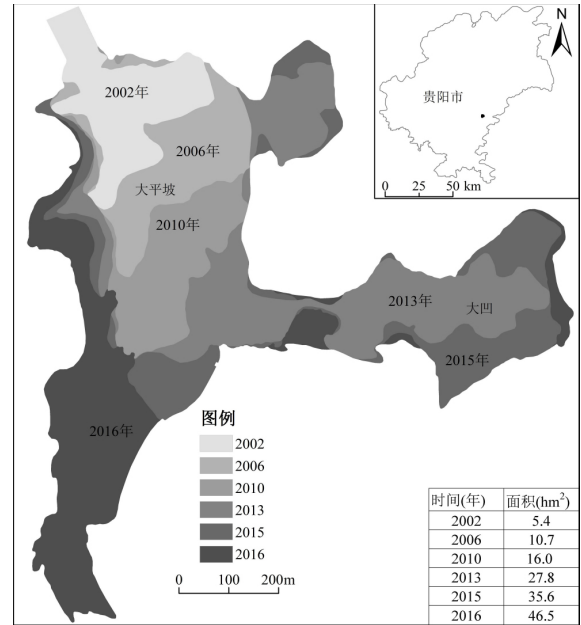


图 3 高雁垃圾场遥感信息提取图
Fig.3 Mapping of Gaoyan landfill extracted from remote sensing

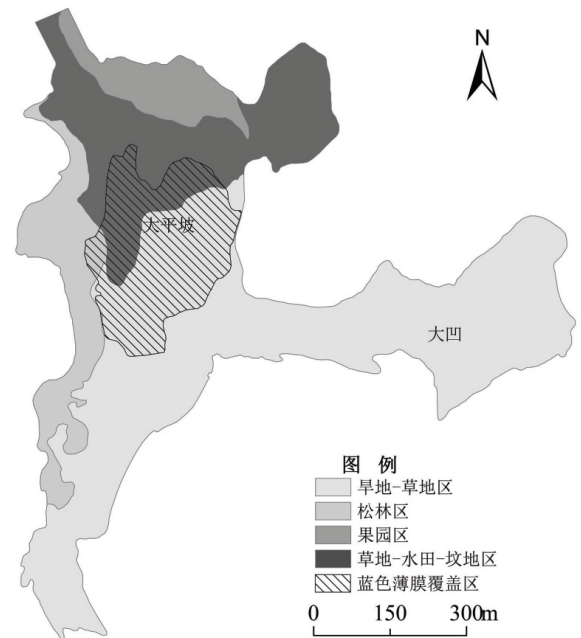


图 4 高雁垃圾场土地利用变化图
Fig.4 Land-use and land-cover change of Gaoyan landfill

于大平坡垃圾容量已严重超载,2013 年以后,东面的大凹区域出现了垃圾堆积物,图 1 是 2015 年 10 月的实地调查照片,影像显示出明显的新堆积特征。如图 1(g),水塘 D 由于垃圾沉积物导致影像成暗黑色,新的垃圾堆积物 F 在影像上呈现亮白色调。图 1(g)和(i)反映了垃圾堆积场对其他用地侵

蚀的过程。由于垃圾场散发的臭味越来越浓烈,2015年4月以后,垃圾堆积体表面开始出现覆盖薄膜,2016年3月的影像中蓝色薄膜覆盖区为 8.0 hm^2 ,如图1(a)和图4。

对垃圾场做1、2、3、4和5 km缓冲区分析(图5),利用地理基础信息对不同半径缓冲区的人口聚集区进行调查分析表明,高雁垃圾场位于高新街道办事处与东风镇腹地接壤处,并且影响新添街道办事处。总体上,垃圾场的影响受风向和距离衰减规律的双重控制。垃圾场1 km范围内有贵州著名企业黔五福、利美康光彩技工学校、老年医院,1 km到2 km范围内有贵州师范学院、贵州商贸学校、贵阳市第五职业学校、保利春天、东风镇政府、乐湾国际别墅区,2至5 km范围内是密集的生活区,如臣功新天地、天骄豪园、汤泉 HOUSE、城市山水公园、泉天下等。

结合媒体报道、现场调查和垃圾场周边居民走访,2013年前,1 km处的贵州师范学院基本不受高雁垃圾场的影响,但2013年以后垃圾场可以影响到5 km范围内的城市区域。结合第六次人口普查资料,东风镇、高新街道办事处和新添街道办事处的人口分别是3 0860、75045、43 426人,近15万人。在第六次人口普查数据的基础上,结合遥感影像提取的建筑用地范围,采用 $P_c + P_a(A_i/A)$ 估算高雁垃圾场的影响人口,其中 P_c 是非农业人口, P_a 是农业人口, A_i/A 是影响区面积占农业用地比例。由于影

响范围基本覆盖三个乡镇的城区,故取三个乡镇的全部非农业人口,在第六次人口普查数据中缺少分乡镇的非农业人口和农业人口数据,故利用2012年的贵阳统计年鉴(2011年数据)的非农人口比例估算,东风镇15.7%,高新街道办事处和新添街道办事处取其中比例最高的金华镇43.3%。经估算表明,高雁垃圾场的影响人口为10.4万。

3 结论

高分辨率遥感监测结果显示,高雁垃圾场建立以来就迅速扩张,并在2010年以后扩张更加显著。投入使用以来,垃圾场接受的垃圾数量增长显著,超过2 200 t/d。在垃圾场大平坡堆放区已严重超载的情况下,2013年以后开始转向大凹,到2016年,垃圾堆放场面积达到 46.5 hm^2 。由于垃圾场周围多分布有公路、建筑和裸土地表,垃圾场遥感识别和监测研究时,垃圾场影像特征和裸土地表以及建筑地表比较相似,垃圾场遥感识别应以目视解译方法为主。垃圾场遥感提取时应充分利用遥感影像的丰富信息,例如纹理、空间布局和时间信息等,提高遥感识别精度。

目前,垃圾围城是中国普遍存在的问题,垃圾处理方式是影响城市乃至区域发展的重要问题。垃圾的无害化综合利用,降低垃圾的占地面积,尽可能降低垃圾的危害,是当前城市发展亟待解决的重要问题。高雁垃圾场的规划面积是 79.3

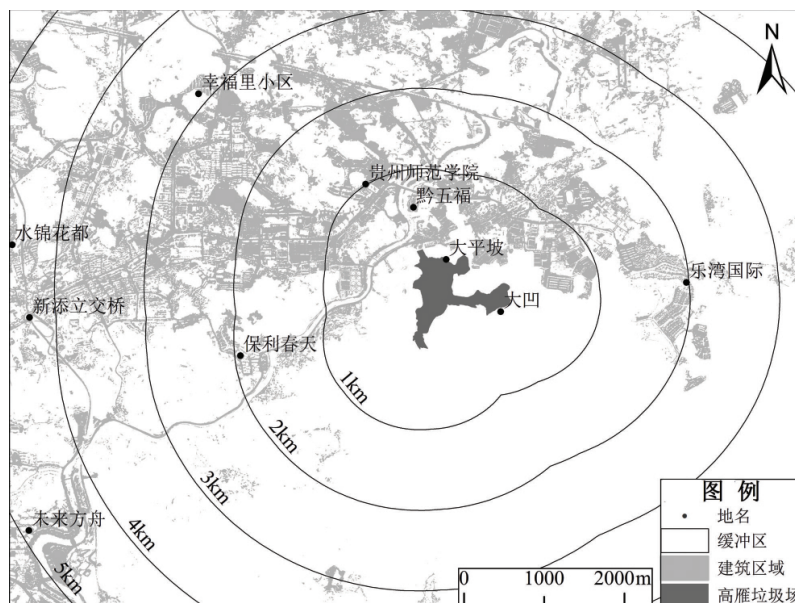


图5 城镇建设用地及缓冲区分析

Fig.5 Buffer areas centered-Gaoyan of the construction land

hm²,而目前堆放场面积为46.5 hm²,除了预留的垃圾处理用地外,垃圾堆放区域还将继续增加。目前,周围的居民对高雁垃圾场意见越来越大,也引发了媒体和研究人员的广泛关注,在这样的背景

下,当地政府提出垃圾场综合应用的方案。通过遥感监测,适时掌握垃圾场动态,能够为城市环境监管提供切实可行的方案,为城市乃至区域的健康发展提供科学参考。

参 考 文 献

- [1] 詹良通,陈如海,陈云敏,等. 重金属在某简易垃圾填埋场底部及周边土层扩散勘查与分析[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(6): 853-861.
- [2] 冯新斌,汤顺林,李仲根,等. 生活垃圾填埋场是大气汞的重要来源[J]. 科学通报, 2004, 49(23): 2475-2479.
- [3] 戴晓爱,李丽. GIS与模糊综合评判方法在垃圾填埋场选址中的应用[J]. 测绘科学, 2001, 36(5): 128-130.
- [4] 张颖,刘方. 贵阳市高雁垃圾填埋场渗滤液水质变化及影响评价[J]. 广西轻工业, 2009(1): 92-93, 131.
- [5] 罗绪强,阙丹丹,张桂玲,等. 贵阳市高雁城市生活垃圾卫生填埋场土壤Cd、Pb、Zn、Ni污染及评价研究[J]. 山地农业生态学报, 2013, 32(2): 159-163.
- [6] 陈丽. 生活垃圾填埋场封场主要影响因素分析[D]. 武汉: 华中科技大学, 2013.
- [7] 徐梦侠. 城市生活垃圾焚烧厂二恶英排放的环境影响研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2009.
- [8] 汤庆合,丁振华,江家骅,等. 大型垃圾焚烧厂周边环境汞影响的初步调查[J]. 环境科学, 2005, 26(1): 196-199.
- [9] 郭庶,袁韧,于云江. 某垃圾卫生填埋场对周边儿童非特异性免疫功能的影响[J]. 环境与健康杂志, 2009, 26(10): 886-888.
- [10] 张玉福,熊方毅,王志,等. 垃圾场对地下水影响的研究[J]. 环境与健康杂志, 1990, 7(1): 15-17, 28.
- [11] 李德仁. 论21世纪遥感与GIS的发展[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2003, 25(2): 127-131.
- [12] Garofalo D, Wobber F. Solid waste and remote sensing[J]. Photogrammetric Engineering, 1974, 40(1): 45-59.
- [13] 杨智国. 航空遥感在宝鸡市地貌及垃圾堆放场地调查中的应用[J]. 陕西地质科技情报, 1992, 17(1): 37-42.
- [14] 王维珍,秦树辉,杨云峰. 呼和浩特市城市垃圾资源的遥感应用研究[J]. 干旱区资源与环境, 1990, 4(3): 93-101.
- [15] Slonecker T, Fisher G, Aiello D, et al. Visible and infrared remote imaging of hazardous waste: A review[J]. Remote Sensing, 2010, 2(11): 2474-2508.
- [16] 刘亚岚,任玉环,魏成阶,等. 北京1号小卫星监测非正规垃圾场的应用研究[J]. 遥感学报, 2009, 13(2): 320-325.
- [17] 戴俊成,杨谦,陆殿梅,等. 遥感解译在南京市生活垃圾填埋场识别中的应用[J]. 测绘与空间地理信息, 2012, 35(1): 127-131.
- [18] Glanville K, Chang H C. Remote sensing analysis techniques and sensor requirements to support the mapping of illegal domestic waste disposal sites in Queensland, Australia[J]. Remote Sensing, 2015, 7(10): 13053-13069.
- [19] Jensen J, Hodgson M, Garcia-Quijano M, et al. A remote sensing and GIS-assisted spatial decision support system for hazardous waste site monitoring[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2009, 75(2): 169-177.

Remote Sensing-based Monitoring for Spatial Expansion of Municipal Waste Landfills ——A Case Study of Gaoyan Site in Guiyang City, China

LI Song^{1,2}, LUO Xuqiang^{1,3}, LONG Yongjun¹, YAO Tiantian¹, LIU Jing¹, WANG Wenxian¹

(1. Institute of Resources, Environment and Disasters Guizhou Normal College, Guiyang 550018, China;

2. Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101;

3. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry,
Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China)

Abstract: The serials of high-resolution and multitemporal remote sensing were used to study the expansion of Gaoyan waste site in Guiyang, and revealed the influence of wastes in the development of urbanization. On the basic of polynomial geometric correction referred to the 1:10 000 topographic map, the waste site was extracted from multitemporal images based on visual interpretation. This paper analyzed the land expansion of Gaoyan waste site during 2002 and 2016. By using GIS-based spatial analysis, and the influence of waste site on Guiyang urban was analyzed. Results show that land of Gaoyan waste site expanded quickly from 5.4 hm² in 2002 to 46.5 hm² in 2016; the newly increased area was over 40 hm² with an average annual growth of 2.9 hm²(54%). Gaoyan waste site has affected over 100 thousand people. Landfill odors coverage was up to 5 km. Gaoyan waste site obviously affect atmosphere, water and vegetation of Guiyang City. Moreover, remote sensing plays an important role in urban waste site monitoring in China. It is important for us to get expansion characteristics of urban waste site, which can provides some valuable reference to the regional sustainable development.

Key words: remote sensing monitoring; waste site; influence; Guiyang