

中国垃圾填埋场恶臭影响人口和人群活动研究*

蔡博峰¹, 王金南¹, 龙 瀛², 李 栋³, 王江浩⁴

(1.环境保护部环境规划院气候与环境政策研究中心,北京 100012;2.北京市城市规划设计研究院,北京 100045;3.中国城市规划设计研究院,北京 100044;4.中国科学院地理科学与资源研究所,北京 100101)

摘要：恶臭是垃圾填埋场邻避效应的主要原因。解决垃圾填埋场邻避问题的基础性工作是较为全面和准确地评估受其恶臭影响的人口和人群活动。利用 LandScan 1km 人口空间数据、单位机构点源 GIS 数据和微博大数据等，基于中国每个垃圾填埋场基础信息和恶臭影响范围，以“自下而上”的研究模式比较彻底地评估了中国受垃圾填埋场恶臭影响的人口、敏感单位和人群活动。研究结论表明，受影响人口为 1227.52 万人，占全国总人口的 0.90%，其中儿童 164 万人，老人 100 万，即敏感人群（儿童+老人）人口数达到 264 万。广东、湖南、四川受恶臭影响人口最多，天津、海南、西藏受恶臭影响人口最少。受影响敏感单位共计 7818 个，其中学校 3143 个，医院 4675 个。本研究的特色在于保证微观层面数据的准确性和可靠性，即以每个垃圾填埋场自身数据为计算依据，不做太多参数平均化假设，同时又能比较完整地覆盖全国所有垃圾填埋场，从而可以较为准确和全面地评估中国垃圾填埋场恶臭的影响情况。本研究试探性地使用了微博大数据表征人群活动强度，其提供了此前难以或者无法获取的微观层面的人群活动信息，对于研究垃圾填埋场恶臭的影响具有非常重要的意义。

关键词：垃圾填埋场；恶臭；影响人口；人群活动

Estimation of population and human activities impacted by the odors of landfills in China

Cai Bofeng¹, Wang Jinnan¹, Long Ying², Li Dong³, Wang Jianghao⁴

(1. Center for Climate Change and Environmental Policy, Chinese Academy for Environmental Planning, Beijing 100012, China; 2. Beijing Institute of City Planning, Beijing 100045, China; 3. China Academy of Urban Planning and Design, Beijing 100044, China; 4. LREIS, Institute of Geographic Sciences & Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract : Odors are the main reasons for the NIMBY (Not In My Back Yard) phenomenon of landfills. Complete and thorough estimation of the population and human activities impacted by the odors of landfills is the fundamental work for the solution of this issue. Using LandScan 1km population data, organization GIS data and geo-located weibo data, the population, susceptible organization and human activities impacted by landfill odors are evaluated based on detailed information of each landfills of China, as per the bottom-up methodology. The results showed that there were 12.28 million people impacted by landfill odors, accounting for 0.90% of total population. The susceptible people reached to 2.64 million, including 1.64 children and 1.00 million aged people. Guangdong, Hunan and Sichuan provinces rank as the top three in terms of impacted population, while Tianjin, Hainan and Tibet provinces rank as the last three. There were 7818

收稿日期：

*环境保护部重点项目“非二氧化碳温室气体核算研究”；国家自然科学基金资助项目中国城市碳排放清单核心问题研究（项目批准号：41101500）。

susceptible organization impacted by landfill odors, including 3143 schools and 4675 hospitals. This study is highlighted by two features. First, the accuracy and reliability of data is ensured on each landfill without too many parameter assumptions. Second, full coverage and comprehensiveness is ensured on the national level. The numbers of impacted population were consistent with the numbers of the weibos related to landfills at provincial level. Big data was tentatively used as the representative of human activities, which provided unprecedented information of ubiquitous human activity, and is very important for the study of impact of landfill odors.

Keywords : landfill; odor; impacted population; human activity

0 引言

恶臭是垃圾填埋场主要的环境问题之一^[1-3],也是垃圾填埋场邻避效应(Not In My Back Yard)的主要原因。中国环境保护部“12369”环保举报热线 2013 年的案件处理中,垃圾填埋场恶臭处理案件占 2013 年总处理案件的 1.5%。可见恶臭问题对公众生产和生活影响的严重性。垃圾填埋场邻避效应的特点是,大家在一定程度上都需要它,但位于它临近区域受其负面影响的公众往往又反对它^[4-6]。因而,解决垃圾填埋场邻避问题的基础性工作在于较为全面和准确地评估受垃圾填埋场恶臭影响的人口和人群活动,从而有针对性地提出预防、整治、补偿和优化选址等政策措施。国内国际针对典型垃圾填埋场恶臭及影响人群有较为广泛的研究^[7-11],但在国家层面较为准确和全面地评估垃圾填埋场恶臭影响人口的工作较为缺乏。本研究基于全国垃圾填埋场全口径调研数据和前期垃圾填埋场恶臭影响范围研究成果,分析和评估中国垃圾填埋场恶臭影响的人群特征,为中国垃圾填埋场缓解邻避问题和可持续发展提供技术支撑。

1 研究方法与数据

基于垃圾填埋场恶臭影响范围的研究成果,结合中国人口空间分布数据、中国乡镇人口 GIS 空间数据、中国医院、教育机构 GIS 数据集、微博大数据等,在 GIS 空间分析平台上构建中国垃圾填埋场恶臭影响空间模型,以“自下而上”的研究模式分析和评估中国垃圾填埋场 2012 年恶臭影响的人口和人口结构,及敏感单位和人群活动。

1.1 垃圾填埋场恶臭影响范围

中国 1955 个垃圾填埋场(包括卫生填埋和简易填埋,基本覆盖了全国所有垃圾填埋场)恶臭影响范围 GIS 矢量数据。采用“自下而上”的研究模式,基于 FOD 模型和地面点源连续高斯模型,较为全面彻底地针对每个填埋场数据,计算了全国 1955 个垃圾填埋场的恶臭排放量和恶臭影响范围。结果显示,中国垃圾填埋场恶臭的平均影响距离为 796m,大部分垃圾填埋场(46.85%)的影响距离都在 400m~1000m 之间,个别垃圾填埋场(0.15%)的影响距离会达到甚至超过 10km。恶臭影响总范围达到 837,476ha,占中国陆地国土面积的 0.09%。

1.2 人口数据

采用美国 LandScan 1km 人口空间数据和中国乡镇人口空间数据。LandScan 数据库由美国能源部橡树岭国家实验室(ORNL)开发,是全球最为准确、可靠和具有分布模型及最佳分辨率的全球人口数据。LandScan 人口数据是美国国防部和国务院人口风险评估公认的标准^[12,13]。但 LandScan 人口数据缺乏人口结构特征,因而本研究同时采用了基于国家 2010 年第六次人口普查数据建立的中国乡镇人口空间数据集^[14]。

1.3 敏感单位数据

本研究的敏感单位是指恶臭可能会对其产生较为显著影响的单位或机构。仅分析两种类型的单位,即

医疗机构和学校。医疗机构包括所有类型的诊所、医院、体检中心和卫生站等；学校仅包括高中及高中以下（包括幼儿园、小学和中学等）的各类教育单位，不包括大学及其他成人教育。全国学校和医疗机构数据库包括单位名称、经济属性、地址和空间经纬度等信息。

1.4 微博大数据

大数据是随着信息和通讯技术发展迅速出现的一种数据形态。大数据规模大到超出传统的软件工具获取、存储、管理、共享、分析和可视化的能力，其来源于传感器网络（sensor networks）、社会化网络（social networks）、射频识别（RFID）和通话记录（call detail records）等。Batty^[15]和 Batty 等^[16]认为，大数据的出现可以更好地感知、诊断城市，为建设智慧城市和环境保护提供了重要机遇^[17-19]。大数据的优势是其在一定程度上提供了以前无法获取的高时效、高空间分辨率的人群的活动强度信息，从而对于评估垃圾填埋场恶臭对人群的影响非常重要。因为每个具体垃圾填埋场的影响范围非常有限，而人口分布数据在空间尺度上相对较大，无法反映人群的更加精细化的分布情况。此外，人口数据往往是基于统计数据空间化实现，因而体现的是人群的静态地理属性，而微博大数据则能反映人群的活动和分布信息。本研究采用的大数据源是新浪微博数据中包含经纬度等地理信息的部分，也即位置微博，获取途径是利用新浪微博官方 API，获取 APP Key、APP Secret 和用户授权的 access token，从而获取数据。以位置微博大数据作为人群活动强度的表征，从而基于大数据评估垃圾填埋场恶臭对于人群活动的影响。

2 结果与分析

2.1 公众对垃圾填埋场态度分析

较为全面地了解公众对垃圾填埋场及其恶臭的认知和态度，是解决垃圾填埋场恶臭问题的基本出发点。考虑到社会调查财力、物力和人力都投入较大，本研究以新浪微博（时间：2011.01.01 ~ 2014.12.16）中包含关键词“垃圾填埋场”的原创微博代表社会公众对垃圾填埋场的态度。获取有效微博 16440 条。从微博数量分省统计分析（图 1）可以看出，广东、北京、浙江、江苏、上海等省的微博数最多，西部西藏、青海、宁夏等省的微博数最少。微博数和经济发展程度关系较为密切，而与人口数量关系不显著，可能是经济较好省份，使用微博人口比例相对较高，并且其环境意愿的表达也更为强烈。此外，广东、北京、浙江、江苏、上海等也是垃圾填埋场问题较为显著的省份，因而公众对这一问题也相对更为关心。

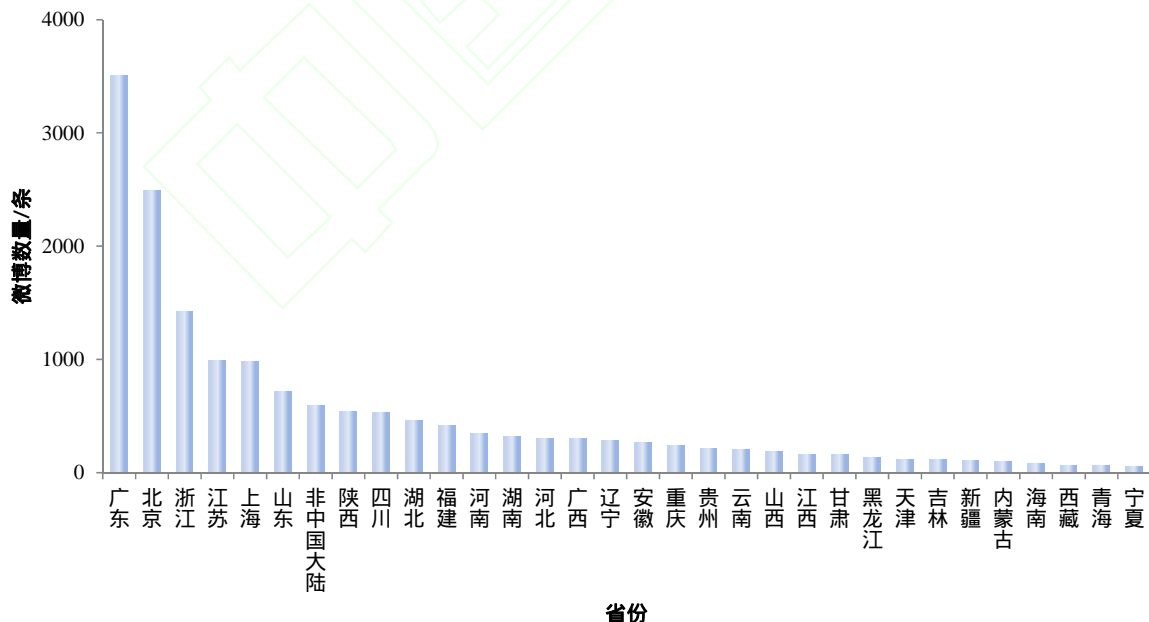


图 1 中国各省涉及垃圾填埋场的微博个数

Fig.1 The numbers of weibos related to landfills in each province of China

针对 16440 条微博内容进行语义分析，提取有实际含义的关键词并进行分析，可以看出焚烧、分类、

臭气、污染、城市、环境、政府、居民等词频最高。从分析看，“臭气”是和垃圾填埋场相关性最高的词汇之一，也是高频关键词中负面评价的关键词，说明恶臭问题一直是公众关心和不满意垃圾填埋场的焦点之一，也是公众视野中垃圾填埋场的重点环境问题。



图 2 垃圾填埋场微博语义和关键词分析结果

Fig.2 The result of key words semantic analysis of weibos related to landfill

注：字体大小代表词频的高低；“垃圾填埋场”不作为关键词进入分析

2.2 垃圾填埋场恶臭影响人口

基于垃圾填埋场恶臭影响空间模型，结合前期垃圾填埋场恶臭影响空间范围和 LandScan 人口数据，得到中国受垃圾填埋场恶臭影响的总人口为 1227.52 万人。同时基于中国乡镇人口空间数据集，也计算了影响人口总数，结果为 1049.87 万人，比基于 LandScan 计算结果（1227.52 万人）低 14.47%。考虑中国乡镇平均面积为 189 km²，而垃圾填埋场的影响范围往往较小（平均半径为 796m），所以难以反映垃圾填埋场影响范围内人口较为精细的空间分布。所以本研究以基于 LandScan 数据计算的影响人口作为最终结果。中国乡镇人口空间数据集由于建立于人口普查数据，所以人口特征信息更加完备，例如有不同年龄和性别的人口信息等。因而，本研究以 1227.52 万人为受影响人口，同时采用中国乡镇人口空间数据集计算得到的受影响人群的不同年龄群和性别比例，最终计算得到中国垃圾填埋场恶臭影响范围内的不同人群特征（图 3），可以看出，垃圾填埋场恶臭影响了 164 万儿童（<15 岁）和 100 万老人（>65 岁），敏感人群（儿童+老人）人口数达到 264 万。

从各省情况看（表 2），广东、湖南、四川受恶臭影响人口最多，天津、海南、西藏受恶臭影响人口最少。广东由于是人口大省，同时垃圾填埋量相对较多，所以影响人口居各省第一；西藏、海南等省人口较少，所以影响人口相对较少。天津作为直辖市，人口密度大，但其垃圾填埋场除了静海县紫兆生活废弃物处理场离城区较近外，其他垃圾填埋场距离居民区都相对较远，所以影响人口也相对较少。

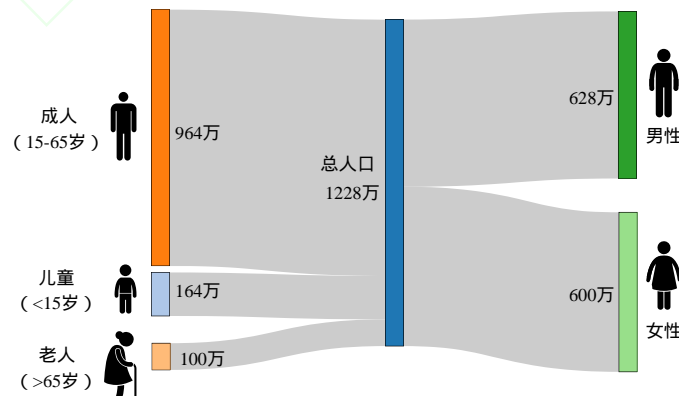


图 3 中国垃圾填埋场恶臭影响人口结构特征

Fig.3 The structure of population impacted by the odors of landfills in China

2.3 垃圾填埋场恶臭影响的敏感单位

受中国垃圾填埋场恶臭影响的学校有 3143 个，医疗机构有 4675 个，受影响的敏感单位共 7818 个。从各省情况看（表 2），广东省受影响人口和学校位居各省第一，医疗机构位居第二，不仅说明广东省的垃圾填埋量大，也说明广东省的人口密度高且与垃圾填埋场的距离相对较近。云南省受垃圾填埋场恶臭影响的医疗机构最多，主要原因是昆明市五华区西郊垃圾卫生填埋场周边医疗机构（以诊所为主）相对较为密集。内蒙古、海南、西藏等省受影响的学校和医疗机构都相对较少。

表 2 中国各省垃圾填埋场恶臭影响的人口和敏感单位

Table 1 The population and susceptible organization impacted by the odors of landfills in each province of China

省名	人口/人	学校/个	医疗机构/个
北京	279671	52	54
天津	23065	13	25
河北	583432	155	264
山西	84158	43	42
内蒙古	23205	6	10
辽宁	90169	19	24
吉林	270207	56	94
黑龙江	49577	9	8
上海	310257	74	103
江苏	318542	96	140
浙江	564162	151	162
安徽	189032	54	93
福建	183236	74	56
江西	326002	117	128
山东	45073	16	13
河南	269570	39	42
湖北	742396	190	307
湖南	1310868	383	443
广东	2432328	522	501
广西	211682	149	160
海南	7269	4	7
重庆	356040	87	101
四川	863168	220	341
贵州	83156	29	21
云南	849127	189	624
西藏	6812	4	13
陕西	753693	149	234
甘肃	535525	115	261
青海	408138	109	362
宁夏	72037	8	19
新疆	33635	11	23
合计	12275232	3143	4675

从趋势特征上看（图 4），并非受影响的人口越多，相应受影响的医疗和学校就多，一些省份，例如云南和青海等省，其受影响总人口并不高（和人口密度高低有关），但其受影响的医疗机构却相对较多。北京、上海等直辖市，由于人口密度大且垃圾填埋量相对较多，所以受影响人口（进入全国省级排序的前 15）和敏感机构也相对较多。

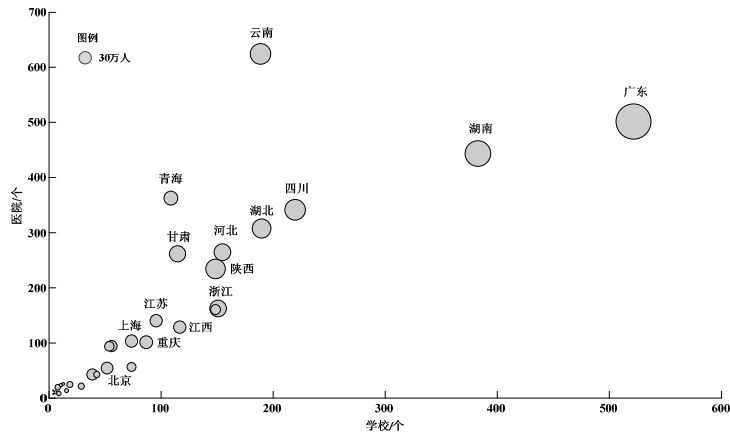


图 4 中国垃圾填埋场恶臭影响的人口和敏感单位

Fig.4 Analysis of population and susceptible organization impacted by the odors of landfills of China

注：图中圆圈大小代表受影响人口的相对大小；图中仅标注出了受影响人口排名前 15 位的省份。

对比图 1 可以看出，各省受影响人口数量和各省通过微博表达垃圾填埋场的数量具有很好的一致性，广东、北京、浙江、江苏和上海等省受垃圾填埋场影响人口较多，同时经济较为发达，使用微博的人口比例较高，所以其微博评论垃圾填埋场的数量最多。

2.4 垃圾填埋场恶臭影响的人群活动

根据人口空间数据评估受影响人口，其潜在的假设是人基本上不发生移动，从而可以根据人口空间密度数据评估具体的受影响人口。但事实上，人的移动和活动能力非常强，即便其居住场所（人口统计和人口普查的依据）是固定的，其很可能大部分时间都在其他地方活动。因而，人口空间密度数据可以评估总受影响人口，但却无法精细化评估受影响的人群活动。而评估垃圾填埋场恶臭对于人群活动的影响，才能更加真实地反映恶臭对人群产生的影响。

但人群活动数据极难获取，并且缺乏有效的测量手段，而当前大数据的开发和利用，为研究人群的行为和活动提供了非常重要的数据支持。本研究以所获取的带地理信息的新浪位置微博表征人群的活动。考虑到垃圾填埋场的恶臭在夏季影响最为显著，因而本研究获取和分析全国 2014 年 7 月份的新浪微博数据。中国 2014 年 7 月份有空间位置信息的新浪微博数为 16,952,472 条，而在垃圾填埋场恶臭影响范围内有空间位置的新浪微博数为 308,009 条，占总数的 1.82%，因而可以近似认为中国垃圾填埋场恶臭影响了全国人群活动的 1.82%。个别填埋场恶臭影响范围内的微博数超过了 1 万条，很大程度上说明了说明了一些垃圾填埋场距离人群活动强度较大的区域（商场、休闲娱乐场所或高密度居民区等）相对距离较近。

选择 6 个典型垃圾填埋场，分析其恶臭影响范围内的敏感单位、人群活动强度及空间分布特征，并且检验恶臭影响人群活动的结果。从图 5 中可以看出，北京高安屯垃圾填埋场、保定无害化处理中心、南京天井注处理厂的恶臭影响范围内的建筑物相对较多，其影响的人口、人群活动等相对较高；绵阳市环境卫生管理处距离机场较近，其东北方向分布着较多的居住区，天水市秦州区环境卫生管理处的西北方向和西安江村沟垃圾填埋场西南方向都有村庄分布，这三个填埋场在特定方向有较大影响。

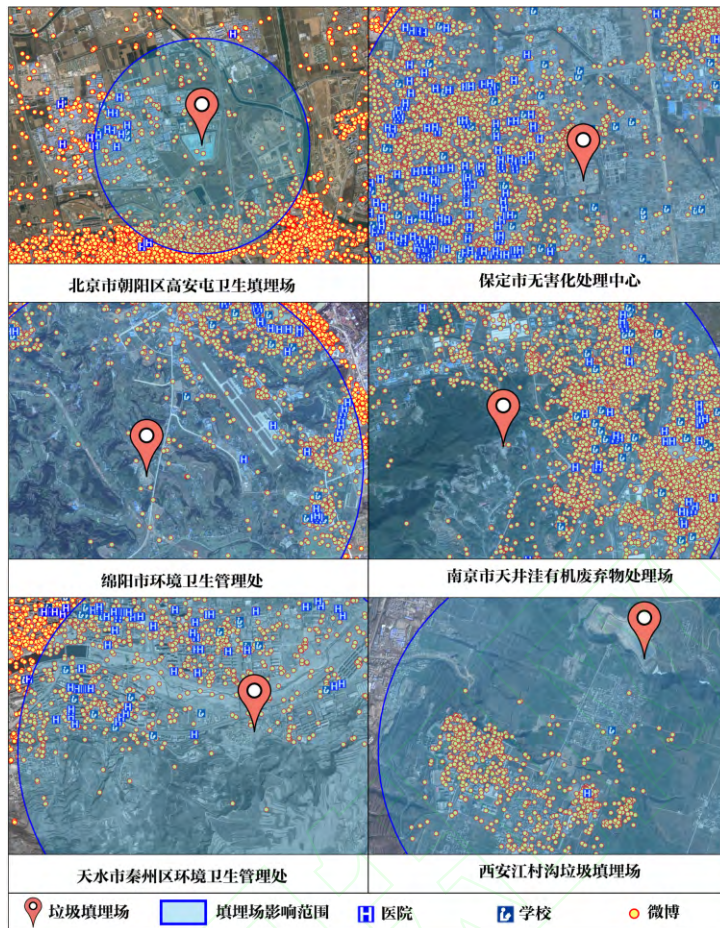


图 5 中国典型垃圾填埋场恶臭影响范围内的人群活动
Fig.5 Human activities impacted by odors of selected landfills

2.5 垃圾填埋场恶臭影响综合分析

中国垃圾填埋场恶臭影响范围的面积仅占中国陆地国土面积的 0.09%，而其影响的人口占全国总人口的 0.90%，其影响的人群活动占比达到了 1.82%（图 6）。由此可以看出垃圾填埋场恶臭问题不容忽视，其所带来的问题已经较为显著地影响了人们的生活和工作，这很可能是为什么在“12369”环保举报热线中，垃圾填埋场恶臭的环境案件占到总处理案件的 1.5% 的原因。

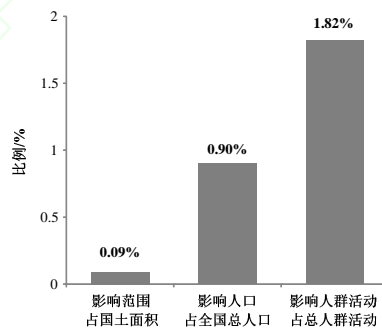


图 6 中国垃圾填埋场影响人口及人群活动占全国比例

Fig.6 Comprehensive comparison of the impact of landfills of China

3 结论与讨论

基于 LandScan 1km 人口空间数据、单位点源数据和微博大数据等，本研究基于中国每个垃圾填埋场的基础信息和恶臭影响范围，比较彻底地以“自下而上”的研究模式评估了中国受垃圾填埋场恶臭影响的人

口、敏感单位和人群活动。本研究的特色在于保证微观层面数据的准确性和可靠性，即以每个垃圾填埋场自身数据为计算依据，不做太多参数平均化假设，同时又能比较完整地覆盖全国所有垃圾填埋场，可以较为准确和全面地评估中国垃圾填埋场恶臭的影响情况。研究结论表明，受填埋场恶臭影响的人口为 1227.52 万人，占全国总人口的 0.90%，其中儿童 164 万人，老人 100 万，即敏感人群（儿童+老人）人口数达到 264 万；共计影响 7818 个敏感单位，其中学校 3143 个，医院 4675 个。本研究探索性地使用了微博大数据表征人群活动，其提供了此前难以或者无法获取的微观层面的人群的活动信息，但该研究尚存在一些不足，例如存在数据样本有偏性（使用微博的人群和总人群的年龄、性别分布形态并非完全一致）等问题。

参考文献

- [1] Nicell J A. Assessment and regulation of odour impacts[J]. Atmospheric Environment, 2009, 43: 196-206.
- [2] Sakawi Z, Sharifah S, Jaafar O, et al. Community perception of odor pollution from the landfill[J]. Research Journal of Environmental and Earth Sciences, 2011, 3 (2) : 142-145.
- [3] Heaney C D, Wing S, Campbell R L, et al. Relation between malodor, ambient hydrogen sulfide, and health in a community bordering a landfill[J]. Environmental research, 2011, 111 (6) : 847-852.
- [4] Lober D J., Green D P. NIMBY or NIABY: A logit model of opposition to solid-waste-disposal facility siting[J]. Journal of Environmental Management, 1994, 40 (1) : 33-50.
- [5] Sasao T. An Estimation of the social costs of landfill siting using a choice experiment[J]. Waste management, 2004, 24 (8) : 753-762.
- [6] Feinerman E, Finkelshtain I, Kan I. On a political solution to the NIMBY conflict[J]. American Economic Review, 2004, 94(1): 369-381.
- [7] Guarriello N S. Determining Emissions from Landfills and Creating Odor Buffer Distances[D]. Florida: Florida State University, 2007.
- [8] Úbeda Y, Ferrer M, Sanchis E, et al. Evaluation of Odour Impact from a Landfill Area and a Waste Treatment Facility through the Application of two Approaches of a Gaussian Dispersion Model[C]//2010 International Congress on Environmental Modelling and Software Modelling for Environment's Sake. Ottawa, Canada: International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs), 2010.
- [9] Davoli E, Fattore E, Paiano V, et al. Waste management health risk assessment: A case study of a solid waste landfill in south Italy[J]. Waste management, 2010, 30 (8/9) : 1608-1613.
- [10] 路鹏, 吴世新, 戴志锋, 等. 密闭化填埋作业条件下的场内恶臭污染分布情况与分析[J]. 环境科学, 2013, (3) : 842-848.
- [11] 黄磊, 安琪, 程璜鑫. 垃圾填埋场环境影响预测与环保对策研究——以武汉金口卫生填埋场扩建工程为例[J]. 湖南科技大学学报. 自然科学版, 2005, 20 (1) : 83-86.
- [12] Dobson J E, Bright E A, Coleman P R, et al. LandScan: A global population database for estimating populations at risk[J]. Photogrammetric engineering and remote sensing, 2000, 66 (7) : 849-857.
- [13] Bhaduri B, Bright E, Coleman P, et al. LandScan USA: A high-resolution geospatial and temporal modeling approach for population distribution and dynamics[J]. GeoJournal, 2007, 69 (1/2) : 103-117.
- [14] 毛其智, 龙瀛, 吴康. 中国人口密度时空演变与城镇化空间格局初探 : 从 2000 到 2010[J]. 城市规划, 2015, (2) : 38-43.
- [15] Batty M. Smart cities, big data[J]. Environment and Planning-Part B, 2012, 39 (2) : 191-193.
- [16] Batty M, Axhausen K W, Giannotti F, et al. Smart cities of the future[J]. European Physical Journal-Special Topics, 2012, 214(1): 481.
- [17] Goodchild M F. Citizens as sensors: The world of volunteered geography[J]. GeoJournal, 2007, 69 (4) : 211-221.
- [18] Ahas R, Mark Ü. Location based services—New challenges for planning and public administration?[J]. Futures, 2005, 37 (6) : 547-561.
- [19] 龙瀛. 城市模型简要回顾及其在大数据时代的发展机遇[R]. 2013.