DOI:10.19431/j. cnki. 1673-0062.2020.02.009

基于健康风险评估的燃煤电厂选址分析

肖 雪,贺秋华*

(南华大学 资源环境与安全工程学院,湖南 衡阳 421001)

摘 要:采用 AERMOD 模型模拟燃煤电厂不同选址方案排放的汞浓度值,并利用 USA EPA 推荐的非致癌健康风险评价模型评估人体健康风险,对不同选址方案进行 比选。结果表明,选址方案 B 中汞 24 小时平均浓度均高于选址方案 A,从环境质量 角度考虑,选址方案 A 优于选址方案 B;两种选址方案汞的非致癌健康风险均在可接 受范围内,但选址方案 B 最大浓度点非致癌健康风险约为方案 A 的4 倍,方案 B 不 同群体健康风险也均高于选址方案 A,从人体健康风险考虑,选址方案 A 也优于选址 方案 B。综合考虑两种比选角度,方案 A 为最佳推选方案。在对燃煤电厂进行选址 时应充分考虑人体健康风险,尽量选择简单地形、下风向附近无密集居民点区域。 关键词:燃煤电厂;AERMOD 模型;健康风险评估 中图分类号:TM621.1 文献标志码:A 文章编号:1673-0062(2020)02-0056-06

The Analysis on Location Selection of Coal-fired Power Plant Based on Health Risk Assessment

XIAO Xue, HE Qiuhua*

(School of Resource Environment and Safety Engineering, University of South China, Hengyang, Hunan 421001, China)

Abstract: The AERMOD model was used to simulate the mercury concentration values of different siting schemes of coal-fired power plants, and the non-cancer health risk assessment model recommended by USA EPA was used to assess human health risks and to compare different site selection schemes. The results show that the 24-hour average concentration of mercury in site selection scheme B is higher than that of site selection scheme A. From the perspective of environmental quality, site selection scheme A is superior to site selection scheme B; the non-carcinogenic health risks of mercury in both site selection

收稿日期:2019-11-11

基金项目:湖南省自然科学基金项目(2018JJ2332)

作者简介:肖 雪(1995-),女,硕士研究生,主要从事环境影响评价与规划方面的研究。E-mail:912514624@qq. com。*通信作者:贺秋华(1974-),男,副教授,博士,主要从事环境影响评价与规划方面的研究。Email:389657625@qq.com

schemes are within the acceptable range, but the non-carcinogenic health risk of the maximum concentration point of site B is about 4 times that of program A, the health risks of different groups of program B are also higher than the site selection plan A, considering the human health risk, the site selection plan A is also superior to location plan B. Considering two comparison angles, Scheme A is the best selection scheme. When selecting a site for a coal-fired power plant, human health risks should be fully considered. Try to select simple terrain and no dense residential areas near the downwind.

 $key \ words: {\it coal-fired power plant; AERMOD; health risk assessment}$

0 引 言

近年来,随着《大气污染防治行动计划》、《煤 电节能减排升级与行动计划(2014—2020年)》和 《全面实施燃煤电厂超低排放和节能改造工作方 案》等文件的实施,我国燃煤电厂的建设受到严 重制约。燃煤电厂运行过程中会产生 SO₂、NO_{*}、 烟尘、汞及其化合物等大气污染物,其中汞是一种 高毒性的重金属,可导致胎儿发育迟缓、成人心脏 病复发甚至死亡^[1]。据统计,火电行业汞排放量 占大气汞排放量的 50%^[2]以上,是我国最大的大 气汞排放源。因此,必须合理选择燃煤电厂厂址, 使其即能满足周围用电需求,又对周围大气环境 和人体健康产生较小危害。

目前,国内外学者对燃煤电厂选址问题的研究主要集中于指标体系的选择和分析^[34],常用的指标包括社会因素、经济因素、技术因素等^[5-7],对以人体健康影响为选址指标的研究相对较少。本文以湖南省某拟建燃煤电厂项目为例,模拟建设项目不同选址方案大气特征污染物汞(Hg)的地面浓度,对其周边大气环境影响和人体健康进行评估,从环境质量和各人群健康风险角度对比不同选址方案,为燃煤电厂选址提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 项目概况

该燃煤电厂项目拟建设 1 台 150 t/h 锅炉、1 台 100 t/h 锅炉和 1 台 200 t/h 锅炉,锅炉类型为 高压高温循环流化床,年耗煤量约为 49.3×10⁴ t, 设有 3 根高度为 80 m、出口内径分别为 2.3 m、 2.65 m 和 3.1 m 的烟囱,配套设置布袋除尘、石 灰石-石膏单塔双循环湿法脱硫、低氮燃烧 + SNCR-SCR 联合脱硝设备。烟气出口温度 333.15 K, 出口流量分别为 12.223 m³/s、17.906 m³/s 和 24.160 m³/s,汞排放速率分别为 0.000 44 g/s、 0.000 64 g/s 和 0.000 83 g/s。 拟建项目共有 A、B 两种选址方案,所在区域 的风玫瑰图如图 1 所示。选址方案 A 区域海拔 范围约为 110 m ~ 200 m,距污染源中心点 5 km 内地形高度均低于排气筒,属于简单地形;选址方 案 B 区域海拔范围约为 80 m ~ 110 m,附近地形 海拔高差达 300 m,距污染源中心点 5 km 内地形 高度均高于排气筒,属于复杂地形。



图 1 两种选址方案所在区域风玫瑰图 Fig. 1 Wind rose diagram of the two locations

1.2 研究方法

1.2.1 基于 AERMOD 模型的大气环境影响预测

运用 AERMOD (AMS/EPA REGULATORY MODEL)模型对该拟建项目两种选址方案排放的 汞浓度值进行模拟。以项目污染源(3.1 m 排放 内径烟囱)为原点,设置分辨率"100 m×100 m"的 受体网格,预测范围为5 km×5 km。

AERMOD 模型是上世纪 90 年代由美国国家 环境保护局(Environmental Protection Agency, EPA)和美国气象学会组建法规模式改善委员会 (AMS/EPA Regulatory model improvement committee, AERMIC)开发的一个稳态烟羽扩散模型^[8], 包括 AERMAP 地形处理模块、AERMET 气象预处 理模块和 AERMOD 控制模块,是《大气环境影响 评价技术导则 大气环境》(HJ2.2—2018)推荐的 大气扩散模型之一^[9]。适用于乡村和城市环境、 简单和复杂地形条件下多种排放源(包括点源、 面源和体源)的模拟和预测,目前,AERMOD 模型 已在燃煤电厂污染物模拟中广泛应用^[10-12]。

本文模拟所需地形数据均来自 SRTM 数据发 布网站(http://srtm.csi.cgiar.org),分辨率为 "90 m×90 m",如图 2 所示。地面气象数据采用 研究区域地面气象站点 2017 年全年逐时的气象 数据,包括风向、风速、总云量、低云量、干球温度 5 项要素。高空气象数据选用研究区域中尺度气 象模式 MM5 的模拟结果。



Fig. 2 Terrain data

1.2.2 大气环境影响评价

统计出评价范围内各受体的24小时平均浓度,采用单因子指数法对预测结果进行评价,即:

$$I_{\rm i} = \frac{C_{\rm i}}{C_{\rm oi}}$$

式中:I_i为污染物的单因子指数;

 C_i 为污染物的预测浓度, $\mu g/m^3$;

*C*_{oi} 为污染物的环境质量标准,参照执行《工业 企业设计卫生标准》(TJ36—79),取0.000 3 μg/m^{3[13]}。 1.2.3 健康风险评估

健康风险评估(health risk assessment, HRA) 是指按一定准则,对污染物作用于特定人群所产 生的有害健康效应进行综合定性、定量评估的过 程^[14]。国际癌症中心(International Agency for Research Cancer, IARC)将污染物分为致癌物(无 阀化合物)和非致癌物(有阀化合物),汞是人体 致癌性尚无法分类的物质^[15],故本文采用非致癌 物风险评估方法。非致癌风险是指除去癌症和基 因突变外,毒害性汞对人体健康产生影响的概 率^[16],其计算公式如下: 非致癌风险计算公式:

$$HQ_{\rm inh} = \frac{ADD_{\rm inh-air}}{RFD}$$

式中:HQ_{inh} 为汞通过呼吸吸入的非致癌风险;

ADD_{inh-air} 为汞通过呼吸吸入的暴露量, µg/(kg・d);

RFD 为汞通过呼吸吸入的非致癌风险日均 参考量,取 0.085 7 μg/(kg · d)^[17]。

汞进入人体的暴露途径主要有口腔摄入、皮肤接触和呼吸吸入三种方式,而大气中的汞主要通过呼吸进入人体。汞通过呼吸吸入的暴露量计算公式为^[18]:

$$ADD_{\text{inh-air}} = \frac{C_a \times IR_a \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

式中:C_a为大气中汞的质量浓度,µg/m³;

*IR*_a 为呼吸量,m³/d; *EF* 为暴露频率,d/a; *ED* 为暴露年限,a; *BW* 为体重,kg; *AT* 为暴露时间,d。

根据国内外研究结果,人群暴露评价相关参数见表1^[19]。

表 1 人群暴露评价参数 Table 1 Population exposure evaluation parameters

人群	$\frac{IR_{a}}{(m^{3} \cdot d^{-1})}$	<i>EF/</i> (d • a ⁻¹)	<i>ED∕</i> a	<i>BW</i> /kg	<i>AT</i> /d
儿童	9.05	365	18	36	18×365
成年男性	15.2	365	30	70	30×365
成年女性	11.3	365	30	60	30×365

根据 US EPA 推荐的健康风险评估标准^[18], 当非致癌物 HQ_{inh}≤1 时,表示风险属于可接受水 平;当 HQ_{inh}>1 时,风险属于不可接受水平。

2 结果与讨论

2.1 大气环境影响预测及评价

运用 AERMOD 模型对燃煤电厂两种选址方 案排放的汞浓度值进行模拟。图 3 为选址方案 A 大气污染物汞的 24 小时平均浓度分布情况。结 果显示,选址方案 A 距污染源约1 100 m 的环形 区域内汞浓度随距离的增大而增大,1 100 m ~ 3 400 m 范围内汞浓度随距离的增大而减少, 1 100 m 处出现最大值(0.001 7 µg/m³),其单因 子指数为5.67,位于污染源东南方向。根据风政 瑰图(如图1),选址区域主导风向为西北风,汞的 最大浓度位于主导风向的下风向。



图 4 为选址方案 B 大气污染物汞的 24 小时 平均浓度分布情况。结果显示,选址方案 B 周边 大气环境中汞浓度呈现西南高东北低的空间分布 特征。汞最大落地浓度位于污染源西南方向约 2800 m 处, 其单因子指数为 23.67, 浓度值为 0.0071 µg/m³,地面最大落地浓度和及其单因子 指数均高于选址方案 A。这主要是由于方案 B 西 南向山体地势较高(如图2),使污染源排放的的 污染物被山体阻挡,形成局部地区高浓度。

distribution of atmospheric pollutants

因此,从环境质量角度考虑,洗址方案 A 优 于方案 B。方案 A 地形平坦, 汞浓度分布受风向 影响,最大浓度点位于污染源东南方向(主导风 向的下风向)。方案 B 地形复杂,受局地地形影 响,地面风速较小,污染物不易扩散,且西面和南面 地形阻碍气流运动,污染物在附近累积,浓度较高。

2.2 健康风险评估

利用非致癌健康风险评价模型评估两种选址 方案排放的汞经呼吸途径进入各群体的健康风 险,结果详见图5和图6。







图 5 选址方案 A 非致癌健康风险分布图 Fig. 5 Location plan A non-carcinogenic health risk distribution map



图 6 选址方案 B 非致癌健康风险分布图 Fig. 6 Location plan B non-carcinogenic health risk distribution map

由图 5 可知,选址方案 A 绝大部分地区非致 癌健康风险均在 10⁻³ 以下,远小于可接受水平 1, 非致癌健康风险极低。各群体最大浓度点非致癌 健康风险值从高到低依次为儿童(0.005 02)、成 年男性(0.004 33)、成年女性(0.003 76)。

由图6可知,选址方案 B大部分地区非致癌 健康风险均低于10⁻²,小于可接受水平1,非致癌 健康风险较低。各群体最大浓度点非致癌健康风 险值从高到低依次为儿童(0.02083)、成年男性 (0.01799)、成年女性(0.0156)。

比较不同选址方案健康风险可知,选址方案 B各人群健康风险高于选址方案A,方案B最大 浓度点非致癌健康风险约为方案A的4倍。因 此,从健康风险角度考虑,选址方案A优于选址 方案B。由图3~图6可知,相同选址方案汞浓度 空间分布特征与非致癌健康风险分布特征相似, 同一群体非致癌健康风险主要受汞质量浓度影 响。方案B周围海拔高差约300m,污染物扩散 受到阻碍, 汞浓度比方案 A 高, 健康风险高于方案 A。

3 结 论

1)选址方案 A 汞浓度随与污染源距离的变 化而变化,浓度最大值出现在污染源东南方向 1100 m 处;方案 B 汞浓度分布呈西南高东北低 的特征,最大值出现在污染源西南方向。

2)两种选址方案非致癌健康风险分布特征 与汞浓度分布特征基本一致,方案A绝大部分地 区健康风险在10⁻³以下,非致癌健康风险极低; 方案B大部分地区健康风险低于10⁻²,非致癌健 康风险较低。两种选址方案儿童的非致癌健康风 险最大,其次为成年男性,最小的为成年女性。

3)选址方案 A 汞浓度的地面最大浓度和单 因子指数均比方案 B 低;两种方案各群体非致癌 健康风险均在可接受范围内,但受浓度值影响,选 址方案 A 健康风险低于选址方案 B。综合考虑环 境质量和健康风险,选址方案 A 优于方案 B。

4) 对燃煤电厂进行选址时应充分考虑人体 健康风险,尽量选择简单地形、主导风向下风向无 环境敏感目标的区域。

参考文献:

- [1] CHEN L, LIANG S, LIU M D, et al. Trans-provincial health impacts of atmospheric mercury emissions in China[J]. Nature communications, 2019, 10(1):1484.
- [2] 孙阳昭,陈扬,蓝虹,等.中国汞污染的来源、成因及控制技术路径分析[J].环境化学,2013,32(6):937-942.
- [3] 王璇.火力发电厂选址研究[D].大连:大连海事大 学,2018.
- [4] MARIA A, ELENA F, GILBERT L. The capacity and distance constrained plant location problem [J]. Computers and operations research, 2007, 36(2):597-611.
- [5] 乜璐. 模糊层次分析法在国华永州电厂选址中的应 用研究[D]. 北京:华北电力大学,2015.
- [6] 王占武,唐凯,严良. 基于熵权 TOPSIS 法的火电厂选 址综合决策[J]. 安全与环境工程,2011,18(5): 103-106.
- [7] 马向春,焦红,陈巍,等. 基于粗糙集和多目标规划的 火电厂优化选址[J].陕西电力,2013,41(5):58-61.
- [8] 杨多兴,杨木水,赵晓宏,等. AERMOD 模式系统理论 [J]. 化学工业与工程,2005,22(2):130-135.
- [9] US EPA. User's guide for the AMS/EPA regulatory model-AERMOD[R]. US EPA,2004:6-7.
- [10] 杨军. AERMOD 模式在火电厂大气环境影响预测中的应用[J]. 环境影响评价, 2013, 35 (增刊1):

(上接第55页)

- [25] OBEE T N, HAY S O. Effects of moisture and temperature on the photooxidation of ethylene on titania [J]. Environmental science & technology, 1997, 31 (7): 2034-2038.
- [26] MARKOWICZ P, LARSSON L. Influence of relative humidity on VOC concentrations in indoor air[J]. Environmental pollution and control, 2015, 22(8):5772-5779.
- [27] MAMAGHANI A H, HAGHIGHAT F, LEE C S. Photocatalytic degradation of VOCs on various commercial titanium dioxides: Impact of operating parameters on removal efficiency and by-products generation [J]. Building and environment, 2018, 138;275-282.
- [28] 宋巍巍. 纳米二氧化钛光催化降解甲醛的相关评价

35-39.

- [11] 邓聪,邱飞,王健,等. AERMOD 在高原山地城市大 气预测中的应用——以某电厂为例[J]. 环境科学 导刊,2016,35(6):113-118.
- [12] 赵伟,范绍佳,谢文彰. AERMOD 和 CALPUFF 对沿 海电厂烟气扩散模拟对比研究[J]. 环境科学与技 术,2015,38(3):189-194.
- [13] 中华人民共和国卫生部.工业企业设计卫生标准: TJ36—79[S].北京:中国标准出版社,1979:2.
- [14] 中华人民共和国国家卫生健康委员会.大气污染人 群健康风险评估技术规范:WS/T 666-2019[S].北 京:中国标准出版社,2019:1.
- [15] NG D K K, CHAN C H, SOO M T, et al. Low-level chronic mercury exposure in children and adolescents: metaanalysis[J]. Pediatrics international, 2007, 49(1);80-87.
- [16] 汪芳琳. 兰州市大气环境中 VOCs 的污染特征及其 健康风险评价[D]. 兰州:兰州大学,2019.
- U. S. EPA. Risk assessment guidance for superfund volume I human health evaluation manual (part A) [EB/OL]. (2013-05-29) http://www.epa.gov/iris/search-keyword.htm.
- [18] DOMINICI F, PENG R D, BELL M L, et al. Fine particulate air pollution and hospital admission for cardiovascular and respiratory diseases [J]. JAMA: The journal of the American medical association, 2006, 295 (10): 1127-1134.
- [19] 康真,白宇娜,杨光锦,等.哈尔滨市大气 PM_{2.5} 中重 金属污染特征及健康风险评价[J].环境与健康杂 志,2018,35(6):504-507.

(责任编辑:扶文静)

[J]. 生物化工, 2018, 4(6): 75-77; 83.

- [29] OBEE T N, BROWN R T. TiO₂ photocatalysis for indoor air applications:Effects of humidity and trace contaminant levels on the oxidation rates of formaldehyde, toluene, and 1,3-butadiene [J]. Environmental science & technology, 1995,29:1223-1231.
- [30] 丁晓勇,陈顺金,张红,等.光触媒在实验室的应用和 影响[J].现代检验医学杂志,2003,18(6):56-58.
- [31] MAMAGHANI A H, HAGHIGHAT F, LEE C S. Gas phase adsorption of volatile organic compounds onto titanium dioxide photocatalysts[J]. Chemical engineering journal, 2018, 337:60-73.

(责任编辑:周泉)