

文章编号: 1674- 6139(2009) 09- 0048- 05

厦门市秋冬季节大气汞污染调查

李红英, 罗津晶, 李金兰

(厦门大学环境科学研究中心, 福建 厦门 361005)

摘要: 文章采用两次金汞齐-冷原子荧光光谱法对厦门地区秋冬季节大气汞的污染状况作了初步调查分析, 结果表明厦门地区大气中汞的浓度平均为 11.037 ng/m^3 , 其含量高于北半球大气气态总汞含量的背景值 ($1.5 \sim 2.0 \text{ ng/m}^3$), 表明该地区已受到一定程度的大气汞污染; 在一定的采样区域, 大气汞浓度与温度、太阳辐射量、大气压、空气湿度成正相关, 与风速成负相关; 气态汞的含量在 80% 左右, 这与该地区的人为活动多有关, 与其他地区报道的类似区域情况的汞污染状况相符; 工业区, 学校实验室周边区域, 生产过程中以汞为原料的工厂等附近区域, 大气中汞的含量较高, 开阔区域的海边含量较低, 交通繁忙区域最低(所选采样点与交通要道有一定的距离), 这种浓度分布说明了大气中汞的存在具有区域性特征。

关键词: 大气采样; 汞; 浓度; 厦门

中图分类号: X 131.2

文献标识码: A

The Atmospheric Mercury Pollution Survey During Autumn and Winter Seasons in Xiamen

Li Hongying, Luo Jinjing, Li Jinlan

(Environmental Science Research Center, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract In this paper, the atmospheric mercury pollution during autumn and winter seasons in Xiamen was analyzed with the method of two-stage gold amalgamation-cold vapor atomic fluorescence spectroscopy. The results show that the average concentration of atmospheric mercury in Xiamen is 11.037 ng/m^3 , which is higher than the background value ($1.5 \text{ ng/m}^3 \sim 2.0 \text{ ng/m}^3$) of the atmospheric mercury in the northern hemisphere. It indicates that there is a certain degree of mercury pollution in Xiamen. There is a positive relationship between mercury concentration and temperature, solar radiation, atmospheric pressure and humidity, while there is a negative relationship between mercury concentration and wind speed. The content of gaseous mercury in Xiamen is about 80%, which shows an analogous level compared to the mercury concentration in other areas. The high content of gaseous mercury in Xiamen maybe related to the human activities. The mercury concentration is high in some regions such as industrial zone, areas around school laboratories, factories which use mercury as raw materials, while the mercury concentration is a little lower in the open area of the seaside, and the mercury concentration is the lowest in traffic busy areas (there is some distance between sampling locations and traffic busy in this study). The distribution of mercury concentration indicates that there is a regional character of atmospheric mercury in Xiamen.

Key words atmospheric sampling; mercury; concentration; Xiamen

自二十世纪 50 年代日本发生震惊世界的水俣病以来, 作为全球污染物之一的汞的生物地球化学循环演化规律的研究日益受到各国的高度重视^[1-2]。汞具有特殊的物理化学性质, 可以经大气扩散长距离传输(20 世纪 90 年代, 北美和欧洲学者在远离汞污染源的地区检测到高浓度的汞^[3]), 汞

在大气中的化学过程对其全球生物地球化学循环起着极其重要的控制作用^[4]。在大气中, 一般情况下汞 90% 以上以气态形式存在, 除此之外以颗粒态形式存在。了解汞在大气中不同存在形式的浓度对于研究大气中汞的循环具有重要意义。

厦门地处北半球的亚热带, 属亚热带气候, 夏无酷暑, 冬无严寒, 温和多雨, 年均气温在 21°C 左右, 在地理位置上是一个开放性的海域城市。随着经济的发展, 全球环境问题日益严重。厦门作为一个旅游城

收稿日期: 2009-04-13

作者简介: 李红英(1973-), 女, 理工硕士, 主要从事大气汞的污染研究。

通讯联系人: 罗津晶

市, 要想实现生态城市建设, 环境质量的重要性尤显。

大气汞污染具有局地、区域和全球性特征^[5], 本文选取厦门本岛的几个有代表性的区域及位于岛外的海沧工业区作为采样检测对象, 初步探查分析厦门地区大气中汞的含量, 以期认识该地区大气汞污染的基本情况。

1 样品采集、处理与分析

1.1 采样点概况

海沧工业区位于厦门岛西面, 东南与厦门本岛隔海相望。目前, 海沧行政区域面积 173.6 平方公里, 人口 15 万左右, 下辖海沧街道、新阳街道、东孚镇共 31 个村居, 另有海沧农场、第一农场、天竺山林场等三个农林场, 以及南部工业区、新阳工业区、东孚工业区和出口加工区。工业区内现有翔鹭纺织、柯达感光、夏新电子、翔鹭石化、嵩屿电厂等公司。

厦门本岛位于台湾海峡的西面, 四面环海, 面积约 132.5 平方公里, 常驻人口 124.2 万。岛内分成思明、湖里二个区: 思明区以旧城区的传统商业闹市为主, 涵盖了厦门大学、南普陀寺及环岛路系列景区; 包括原来的开元区(以一些传统工厂区和旧城区周边扩展的新市区为主, 包括了万石国家级风景名胜及市党政机关所在地)。湖里区则属于新兴的外商工业投资区, 其东部边缘区域设有一个大型的垃圾回收压缩中转站, 站内新建的一个大型垃圾焚烧发电厂正在试运营。

厦门大学地处厦门本岛西南, 校区部分区域毗邻海边, 地势开阔, 校园绿化面积大, 有数目众多的各种类型实验室。

厦门白城海域是一个开放型的峡区海域, 毗邻交通要道, 有一条海上大桥绵延其上。

1.2 样品采集

1.2.1 采样管的处理

金管: 每次采样之前, 采样管都需要预净化除空白。操作过程如下: 将金丝捕汞管置于分析系统中, 直至测定的空白值接近测汞仪本身的空白值为止。净化完成之后用特制的聚四氟乙烯塞子密封金丝捕汞管两端, 并将其包裹在双层聚乙烯袋子内。

微型颗粒汞捕集管: 更换捕集管内的滤膜圆片, 然后将捕集管置于管式炉中, 一端与防护性金管相连接, 另一端连接二次富集金丝管, 用管式炉在 900℃ 下对其反复加热用金管进行二次富集检测, 至测定的空白值接近测汞仪的检出限。净化完成后用特制的聚四氟乙烯塞子密封捕集管两端, 并将其包裹在双层聚乙烯袋子内以避免污染。

1.2.2 布点原则

采样选取具有代表性的区域, 考虑本地的功能区划, 气象因素, 地形地势影响等等^[6]。选取的采样点如图 1 所示。所得数据基本可以反应厦门地区大气汞的污染水平。



图 1 采样点位置图

1.2.3 采样方法

用大气采样器(青岛崂应公司, 北京检测仪器

厂), 以金汞齐富集法, 用金丝捕汞管(长 200 mm, 内径 6 mm)(北京瑞利)离地面 1.5 m 收集大气汞^[7], 或

者以金丝管和颗粒态汞采样管(长 520 mm, 细口端内径 4 mm)(自制)串联, 颗粒态汞采集管口离地面 1.5 m, 同时采集颗粒态汞和大气气态汞^[2]。每个样以 1 L/min 的流量采集气体 30 L~ 600 L。采样同时记录采样时间、风力、气温、空气湿度、大气压力和太阳辐射参数。在各个采样区域共采集样品 135 个。

1.3 样品检测

汞的测定方法很多, 如双硫脲比色法、沉淀比色法、碘化亚铜检气管法、试纸法、原子吸收光度法、以及中子活化法等。这些方法各有优缺点, 对大气污染监测来说, 主要要求灵敏度高、简便、易行^[8]。目前常用的方法有冷原子吸收分光光度法、冷原子荧光分光光度法、沉淀比色法。其中冷原子荧光分光光度法灵敏度高, 空白低, 是目前最佳的检测汞的方法, 也是国家环境科学研究院推荐的检测方法。方法的绝对检出限为 2 pg 当以 $0.2 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1} \sim 0.4 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ 采样速度, 采集 12 h~ 48 h 时, 采样效率 > 99%, 精密为 9.63%; 样品经 2 次循环加热分析, 热解吸效率 > 99%^[9]。

本文借鉴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介绍的“两次金汞齐-冷原子荧光光谱法测定大气中的痕量气态总汞”^[9]方法, 在 2008 年 10 月、11 月、12 月对气态汞进行了测量 ($n = 135$); 利用微型捕集管-冷原子荧光光谱法测定颗粒态汞^[7], 与气态汞同步采集 ($n = 34$), 对颗粒态汞进行了测试。结合实验室的实际情况, 调整控制条件使方法更适合本地实验室的检测。

1.3.1 分析方法

采集的样品用二次富集法富集, 然后用冷原子荧光分析法^[10]测定。所用仪器为冷原子荧光测汞仪 AF-610B (对 Hg (冷原子) 的检出限为 0.005 $\mu\text{g/L}$, 相对标准偏差 $\leq 1.5\%$, 线性相关系数 ≥ 0.999) (北京瑞利分析仪器公司), 手动时控加热系统 (自制), 气汞检测仪 (北京瑞利分析仪器公司, 检出浓度 $\leq 2 \text{ ng/m}^3$), 用北京瑞利标准汞蒸气源进行多点定标, 以高纯氩气为载气。

1.3.2 数据的质量控制

仪器经过人工注射校正以控制气态总汞测定的数据质量。人工校正利用北京瑞利标准汞蒸气源, 控制外界温度低于 25℃, 吸取原子汞蒸气注射到金丝捕汞管, 金丝捕汞管连接在大气采样器上, 利用大气采样器设置 1 L/min 流量进行采样 1 min, 然后将采样管置于自制加热装置上在 700℃ 条件下, 加热 1 min, 用金丝捕汞管二次富集, 同时以 80 mL/min 的

流量通氩气至释放管的温度低于 400℃。二次富集管 (为了减小误差引入, 二次富集管固定用同一只) 用荧光仪检测 (荧光仪的条件设置为电流 25 mA, 气体流量 700 mL/min, 释汞时间为 40 s, 读数时间为 40 s)。用自制加热装置加热释汞管, 释汞管的释放率大于 96%, 同量的标准汞蒸气源在检测系统中 2 次检测值之间的误差小于 5%。

2 结果与讨论

2.1 厦门地区大气中汞的区域性含量总体状况

从厦门海沧工业区, 厦大校园, 厦大白城, 后坑垃圾焚烧发电厂等地的采样测试结果, 统计得出厦门地区大气汞浓度范围为 $0.408 \text{ ng/m}^3 \sim 126.114 \text{ ng/m}^3$, 平均 11.037 ng/m^3 , 标准差 17.684 ng/m^3 变异系数 160.2 ng/m^3 。从统计结果看, 厦门的大气汞平均含量水平比北半球大气背景值 $1.5 \text{ ng/m}^3 \sim 2.0 \text{ ng/m}^3$ 高很多^[11], 但远低于 300 ng/m^3 的国家居民区大气汞允许标准^[12], 说明未达到污染水平。与其他地区横向比较, 比欧洲及北美洲一般 $1 \text{ ng/m}^3 \sim 4 \text{ ng/m}^3$ 的水平^[11] 高了 2.8 倍~ 11 倍, 与长白山地区 (气态总汞的年平均含量为 $(3.22 \pm 1.78) \text{ ng/m}^3$ ^[13]), 贵阳市 (气态总汞平均浓度为 7.09 ng/m^3 ^[14]), 西藏南迦巴瓦峰地区 (气态总汞浓度为 $2.0 \text{ ng/m}^3 \sim 4.3 \text{ ng/m}^3$) 及拉萨 (气态总汞浓度为 7.6 ng/m^3 ^[15]) 相比, 还是略显偏高; 与重庆市 (大气汞浓度范围为 $9.2 \text{ ng/m}^3 \sim 101.5 \text{ ng/m}^3$, 平均值 34.4 ng/m^3 ^[16]) 和北京 (大气汞浓度为 $2.1 \text{ ng/m}^3 \sim 45.2 \text{ ng/m}^3$ ^[17]) 相比浓度稍低, 说明厦门地区大气中汞的状况应该引起注意。

2.2 厦门地区大气中汞的分布状况

各测试区域大气中汞的状况列于表 1。从表 1 结果可见, 在厦门地区各区大气汞平均含量在 $3.298 \text{ ng/m}^3 \sim 27.814 \text{ ng/m}^3$ 之间。其中工业区和特殊区域的汞浓度稍高, 最高值分别达到了 $33.851 \text{ ng/m}^3 \sim 126.114 \text{ ng/m}^3$, 原因是工业区有燃煤电厂和荧光灯管厂, 汞在煤的燃烧过程中释放到大气中, 荧光灯管在制造过程中有用汞做原料; 而特殊区域包括水气交换频繁的湖边和实验区, 湖水在雨水期富集了各种渊源的汞, 湖边水气交换频繁, 从而向大气输送了大量的汞, 使得湖边大气中汞含量高于其他地域。海边和居民区平均含量分别是 $5.581 \text{ ng/m}^3 \sim 1.649 \text{ ng/m}^3$, 比工业区和特殊区域低的多, 分析原因可知这两个区相对洁净, 没有汞源。交通繁忙区域汞的平均浓度为 3.928 ng/m^3 , 相对较低, 这

与采样点距离交通主干道有一定的距离有关。文教区汞的浓度平均为 6.653 ng/m^3 , 有些偏高, 主要原因应该是文教区实验室居多, 属地情况复杂有汞释

放。总而言之, 各区域最低浓度也比背景值最大浓度高出近两倍, 说明厦门地区大气中的汞应该引起重视。

表 1 厦门地区各采样区的大气汞的情况

地点	样品数	浓度范围 (单位: ng/m^3)	平均浓度 (单位: ng/m^3)	标准差	变异系数%
开阔海域	6	4.098~7.772	5.581	1.375	24.6
居民区	6	3.636~7.954	5.570	1.806	32.4
文教区	23	0.408~22.257	5.567	5.260	94.5
工业区	15	3.685~33.851	8.476	7.411	87.4
特殊区域	22	0.3432~126.114	27.814	29.077	104.57
交通繁忙区	18	0.4661~14.72	3.298	3.910	118.6

(注: 特殊区域是指区域相对开阔的湖边和实验室周边环境。因湖边水气交换频繁, 水域也是重要的大气汞源之一, 所以作为特殊区域处理; 实验室周边大气环境相对复杂, 也作为特殊区域对待。)

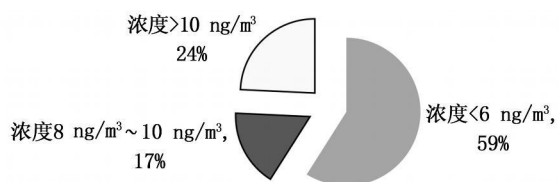


图 2 厦门地区大气汞含量分布频率 (%)

图 2 示出了厦门地区大气汞的分布频率, 从图中数据可见, 厦门市各地大气汞含量主要分布在 10 ng/m^3 以下, 分布在这个范围的样点数占总样点数的 76%, 分布在 6 ng/m^3 以下的样点数占总数的一半以上, 所得数据的离散性比较大, 说明汞主要来源于点源并且其受瞬时环境因素影响较大。

2.3 大气中汞的浓度与气象条件的相关性

大气中的汞与气象条件有很大的相关性。

表 2 不同条件下大气总汞浓度趋势 (地点: 地域相对开阔的海边)

日期	12月 10日			
采样开始时间 (* * 点 * * 分)	15:00	15:35	16:05	16:37
采样时温度范围 ($^{\circ}\text{C}$)	20.8~32.4	28.0~30.8	25.5~29.0	23.5~25.5
采样时湿度范围 (%)	30.1~54.9	28.1~33.5	31.4~37.2	36.4~39.5
采样时辐射范围 (W/m^2)	376.9~390.3	256.9~333.3	78.9~210.9	28.5~122.6
采样时大气压 (KPa)	102.2	102.2	102.2	102.2
采样时平均风速 (m/s)	微风	微风	微风	微风
大气总汞浓度 (ng/m^3)	5.182	4.880	2.621	1.673

通过表 3 可以看出地域相对开阔的海边, 在风速和大气压稳定的情况下, 温度和太阳辐射量与汞浓度大小成正相关, 当温度降低和辐射量减小时, 大气中

总汞浓度减小。这种趋势与采样区域的特征有关, 当温度降低和辐射量减小时, 海水的蒸发量减小, 由水气循环提供的大气汞源减少, 从而浓度降低。

表 3 不同条件下大气总汞浓度比较 (地点: 地域相对开阔的海边)

日期	12月 11日						
采样开始时间 (* * 点 * * 分)	9:10	9:43	10:14	10:45	11:16	11:47	12:19
采样时温度范围 ($^{\circ}\text{C}$)	20.8~25.4	29.4~33.3	29.2~33.0	28.5~31.8	30.4~32.7	32.6~36.5	35.2~36.3
采样时湿度范围 (%)	31.6~43.2	21.2~27.4	21.7~27.6	25.1~29.0	21.4~27.0	21.7~24.3	19.3~22.0
采样时辐射范围 (W/m^2)	434.5~474.6	510.2~602.3	600.2~672.0	631.9~685.4	653.8~712.0	685.9~714.0	619.8~719.2
采样时大气压 (KPa)	102.4	102.4	102.3	102.3	102.2	102.2	102.1
采样时平均风速 (m/s)	0~3.1	0~4.2	0.4~5.2	0.3~6.2	0.8~6.6	0.9~4.6	0.6~4.3
大气总汞浓度 (ng/m^3)	4.825	3.758	3.966	4.804	4.496	6.145	3.752

观察表 3 可以得出结论: (1) 湿度与大气总汞浓度成正相关。湿度大时, 大气总汞浓度高。采样点在海边, 采样时正值大海涨潮期, 海边白天吹的是海风, 经水汽循环作用海水中的汞随飞沫进入大气, 所以湿度大, 大气汞浓度就大。(2) 分析表中数据

还可以得出风速大时会使大气总汞浓度降低, 原因是海风增大加速了空气对流, 使洁净的空气进入检测地点, 从而降低了检测值。

图 3 反应了大气压与大气汞浓度的相关性, 从中可以很直观地看出当大气压减小时大气总汞浓度

减小,这是因为大气压减小,本地气流参与全球大气循环加剧,大气中的汞随气流运移远迁,减小了对本地的影响。

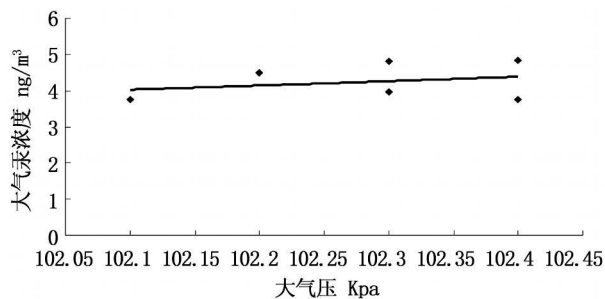


图 3 大气汞浓度与大气压的相关性

表 4 厦门地区本岛某些区域大气中汞的存在状态分布表

地点	采样数目	气态汞平均值 ng/m ³	颗粒态汞平均值 ng/m ³	总汞平均值 ng/m ³	气态汞百分率%
特殊区域	8	6.695	1.198	7.893	84.8
交通繁忙区	14	0.999	0.357	1.356	73.7
文教区	12	3.077	0.596	3.673	83.8

2.5 污染源分析

从厦门地区大气中汞的总体分布状况来看,工厂区特别是耗煤量大的电厂、荧光灯管制造厂周边区域,学校试验区域以及垃圾焚烧发电厂周边等地,大气中汞的含量较其他区域高,并出现极大值。由此可以分析,厦门市大气汞的主要来源主要是点源,其中燃煤烟气的排放,作为工业原料的汞的释放,垃圾的处理等是主要来源,经由大气环流造成整个区域大气中汞的浓度偏高。

3 结论

(1)厦门地区秋冬季节一定区域大气中汞的浓度平均为 11.037 ng/m³,不同程度地超出一般环境空气中的汞浓度 (0.5 ng/m³ ~ 10 ng/m³)^[10],但远低于 300 ng/m³ 的国家居民区大气汞允许标准,说明厦门地区大气已受到一定程度的汞污染。

(2)大气汞浓度随温度、湿度、太阳辐射量、大气压的变化而变化。

(3)工业区、学校实验室周边、湖边等特殊区域以及用汞作为工业原料的工厂附近区域含量较高,海边开阔区域的含量较低,说明厦门地区大气中的汞主要来源于区域点源,偶尔受其他区域远程迁移的影响。

(4)气态汞的含量在 80% 左右,交通繁忙区域颗粒态汞的含量高,说明厦门地区汞污染主要来源于人为因素。

2.4 厦门特定区域大气中汞的存在状态分布

大气汞可分为气态汞和颗粒态汞,其中气态汞包括气态单质汞、甲基汞、乙基汞;颗粒态汞包括汞盐和粉尘吸附汞等。用金丝管与石英滤膜采样管串联采样,用处于采样器前端的石英滤膜采样管收集颗粒态汞,金丝管收集气态汞。在几个区域采样测得数据列于表 4。从所得分析结果看,厦门地区大气汞中 80% 左右的以气态汞形态存在,与其他地方气态汞一般占总汞含量的 90% 以上相比,厦门地区大气总汞中气态汞的含量偏低,分析原因是所测区域位于厦门市本岛,本岛区域面积小,交通繁忙,大气汞主要来源于飞尘。

参考文献:

[1] Oln ez I, Ames M R. Atmospheric mercury: how much do we really know? [J]. Pure and Applied Chemistry, 1997, 69 (1): 35-40

[2] Fitzgerald W F, Engstrom D R, Manson R P, et al. The case for atmospheric mercury contamination in remote areas [J]. Environmental Science and Technology, 1998, 32(1): 1-7.

[3] Schroeder W H, Munthe J A. Atmospheric mercury: An overview [J]. Atmospheric Environment, 1998, 32(5): 809-822

[4] Lin C, Pehkonen S O. The chemistry of atmospheric mercury: a review [J]. Atmospheric Environment, 1999, 33: 2067-2079.

[5] Boening W. D. Ecological effects transport and of mercury: A general review [J]. Chemosphere, 2000, 40: 1335-1351.

[6] 曾凡刚. 大气环境监测 [M]. 北京: 化学工业出版社教材出版中心, 2003

[7] 郑伟, 冯新斌, 李仲根. 大气中颗粒态总汞的测定 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2005, 24(4): 333-336

[8] 中国预防医学中心 卫生研究所编. 大气污染监测方法 [M]. 北京: 化学工业出版社.

[9] 郑伟, 冯新斌, 朱泳焯, 等. 两次金汞齐-冷原子荧光光谱法测定大气中的痕量气态总汞 [J]. 地球与环境, 33 (1), 2004: 84-88

[10] Berg T, Bartnicki J, Munthe J et al. Atmospheric mercury species in the European Arctic: measurements and modeling [J]. Atmospheric Environment, 2001, 35: 2569-2582.

[11] Lindqvist O, Johansson K, Aastrup M, et al. Mercury in the Swedish environment [J]. Water, Air and Soil Pollution, 1991, 55: 1-261.

(下转第 194 页)

向绿色消费。这也符合武永春曾给出关于绿色消费传播过程分析的结论,绿色消费就是绿色产品不断被公众接受的过程,消费者中有 50% 的属于晚期大众和最后采用者,唯有绿色消费成为从众行为后才可能广为流行,直至成为习惯、风俗固存^[13]。

4.3 推动企业进行真实绿色营销既可以通过提高风险,即政府增加检查认证的频率,加大惩处力度,降低企业虚假营销所能获得的利润,或者扩大新闻曝光范围,让公众远离虚假绿色消费,缩小其可能占有的市场;也可以通过降低成本,即由政府组织开展各类绿色技术交流、营销管理培训,在企业间形成良好的信息共享氛围,减少个体资源、财力消耗。

4.4 普及绿色消费观念。公众的绿色消费策略与企业的真实绿色营销策略相辅相成,没有公众及时反馈的消费倾向,企业也将失去动力,消费者应该从自身做起,增强环保意识,以超我战胜本我,在经济条件许可的情况下,尽可能多的进行绿色消费,给自身健康带来利益的同时给社会带来巨大的正面效应,为形成有序的绿色市场贡献力量。

4.5 博弈的初始状态不同,自然导致不同的均衡结果。博弈双方最终选择的策略取决于初始时各自不同策略的选择比例,而这种比例又影响着最终得益。只有基于长期利益考虑的决策行为才可能获得更高收益。因此,企业和公众都应避免急功近利,以发展的眼光看待问题。

4.6 本文关于企业绿色营销的进化博弈是基于企业开展真实绿色营销,建立了良好声誉,可以获取比虚假绿色营销更高的收益这一假设而定。对于企业开展真实绿色营销却得利更少的情况,有待于今后

继续深入研究。

参考文献:

- [1]王雪飞,任文静. 浅谈我国现阶段绿色消费行为的引导[J]. 江苏商论, 2005(6): 49-50
- [2]杨彤,王能民. 绿色消费的经济学分析[J]. 消费经济, 2001(4): 11-13
- [3]柳彦君. 浅析我国绿色消费存在的问题及发展绿色消费的对策[J]. 商业研究, 2005(2): 161-163
- [4]季昆森. 对发展循环经济的思考与建议[N]. 中国循环经济网, <http://www.xhwww.com/ReadNews.asp?NewsID=227EB/OL>.
- [5]高慧娟. 循环经济的绿色营销模式及对策研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2006(11).
- [6]谢识予. 经济博弈论[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2006, 9
- [7]戴春山. 政府、厂商、消费者三方在绿色营销中的博弈分析[J]. 商场现代化, 2006, 207-209
- [8]姜慧萍,李国津. 绿色营销中的博弈分析[J]. 内蒙古农业大学学报(社会科学版), 2007(3): 166-167, 170
- [9]Nariaki Nishino, Yasuyuki Okawa, Sobei H. Oda, Kanji Ueda. 'An experimental Analysis of Environmentally Conscious Decision-making for Sustainable Consumption'[M]. Conference on Life Engineering 407-412
- [10]张志军. 基于博弈论的企业绿色营销研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2004(1).
- [11]Taylor PD, Jonker LB. Evolutionarily stable strategies and game dynamics[J]. Mathematical Bioscience 1978, 40: 145-156
- [12]敬嵩,雷良海. 利益相关者参与公司管理的进化博弈分析[J]. 管理科学学报, 2006(6): 82-86
- [13]武永春,魏源. 我国绿色消费的传播过程分析[J]. 湖北经济学院学报(人文社会科学版), 2005(5): 8-10

(上接第 52 页)

- [12]国家环境保护局. 空气和废气监测分析方法编写组. 空气和废气监测分析方法[M]. 北京: 中国科学出版社, 1990
- [13]万奇,冯新斌,郑伟,等. 长白山地区大气气态总汞含量的季节性特征研究[J]. 环境科学, 2008, 29(2): 296-297
- [14]商立海,冯新斌,郑伟,等. 贵阳市大气中气态汞形态分布特征的初步研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2003, 22(2): 156-158

- [15]刘全友,徐良才,庞淑薇. 南迦巴瓦峰地区大气中汞的环境自然背景值[J]. 环境化学, 1984, 3(6): 64-67.
- [16]王定勇,李孝华,吴成. 重庆大气汞初步调查[J]. 重庆环境科学, 18(4): 58-61
- [17]陈乐恬,刘俊华,俘玉芹,等. 北京地区大气中汞污染状况的初步调查[J]. 环境化学, 2000, 19(4): 357-361.