

成渝地区大气污染生命统计价值评价研究 ——基于单边界二分式的条件价值法

彭菲¹, 李雪², 马国霞^{1*}, 周颖¹, 於方¹, 张衍燊¹, 杨威杉¹

(1. 生态环境部环境规划院生态环境经济核算研究中心, 北京 100012; 2. 南平市武夷山生态环境局, 福建武夷山 354300)

【摘要】 大气污染生命统计价值是进行大气污染造成的人体健康损失核算和大气污染防治政策成效评估的关键指标。本文运用条件价值法的单边界二分式函数模型, 对成渝地区降低大气污染健康风险的平均支付意愿和生命统计价值进行了计算。主要结论如下: ①成渝地区大气污染的平均支付意愿是1974.2元, 生命统计价值为394.8万元。其中, 四川部分地区和重庆地区的生命统计价值分别为402万元和392.8万元。②性别、家庭年收入和自我认知的身体健康状况等指标对平均支付意愿影响较大。③在生命价值评估方法中, 国内普遍使用人力资本法, 而国外主要使用条件价值法。条件价值法计算的生命统计价值高于人力资本法计算的结果, 但与发达国家相比, 我国成渝地区生命统计价值相对较低。

【关键词】 成渝地区; 大气污染; 生命统计价值; 条件价值法; 单边界二分式

【中图分类号】 X196

【文章编号】 1674-6252 (2021) 01-0136-07

【文献标识码】 A

【DOI】 10.16868/j.cnki.1674-6252.2021.01.136

引言

大气污染对人体健康的影响已经成为学者们关注的热点问题之一^[1,2]。我国先后发布了《大气污染防治行动计划》《打赢蓝天保卫战三年行动计划》, 用于改善大气环境质量。要对大气污染导致的健康损失和大气污染防治政策的健康效益进行评估, 需要对生命的价值这一个关键参数进行确定。从伦理上讲, 生命是无价的, 是不能用金钱来衡量的。本文所指的生命价值是生命的财富价值, 特指生命统计学意义上的经济价值, 即减少某一部分人的死亡风险有多少价值, 是应用层面的人均价值^[3]。

生命价值包括人力资本理论和风险交易理论两种评估方法^[4], 风险交易理论评估方法主要指支付意愿中的条件价值法^[5]。基于条件价值法生命价值评估已成为国外发达国家管理决策或死亡赔偿标准的重要依据。Shelling 于1968年首次将条件价值法应用于评估人的生命价值, 并指出评估人的生命价值不应该表述为“一条人命值多少钱”, 而应该表述为“为了降低死亡的概率, 社会的支付意愿是多少”^[6]。因支付意愿调查的时间和经济发展水平不同, 统计生命价值

的结果差异也较大。Jone-Lee 等得出英国1985年的生命价值为50万美元^[7]。Gerking 通过计算得到美国1988年为降低职业死亡风险的生命统计价值为266万美元^[8]。根据《科学美国人》^①的报道, 经济合作与发展组织建议成员国使用150万~450万美元评估生命统计价值。美国根据死因不同, 生命统计价值在20万~1300万美元, 美国食品药品监督管理局用于计算防治沙门氏菌疫情所愿意付出的代价是700万美元。

我国环境健康领域主要采用人力资本法进行生命价值评估, 基于条件价值法生命统计价值研究相对较少, 更多地集中在“改善一定大气质量的支付意愿”调查的统计分析。Hammit 等于2006年运用条件价值法估算中国北京和安庆通过提升空气质量挽救一个人的生命的经济价值为0.4万~1.7万美元^[9]。徐晓程等利用 Meta 回归分析, 采用我国2008年数据, 得到我国大气污染相关的统计生命价值约为86万元^[10]。杨开忠等^[11]、蔡春光等^[12]、魏同洋等^[13]、曾贤刚等^[14]通过调查不同年份北京居民大气污染防治的支付意愿, 得到北京居民大气污染防治的支付意愿在134~739.57元。其中, 杨开忠等1999年采用开

资助项目: 国家重点研发计划课题 (2018YFC0214103-04); 国家重点研发计划重点专项 (2016YFC0207605); 国家自然科学基金 (41371533)。

作者简介: 彭菲 (1982—), 女, 助理研究员, 本科, 学士, 主要从事环境经济核算与环境统计研究, E-mail: pengfei@caep.org.cn。

*** 责任作者:** 马国霞 (1978—), 女, 研究员, 博士, 主要从事环境经济核算与区域经济研究, E-mail: magx@caep.org.cn。

① https://huanqiukeyue.com/a/qianyan/shengwu_yixue/2018/0704/28070.html。

放式问卷方式,对北京市空气污染经济损失进行评估,支付意愿为134元/年。曾贤刚等2014年通过调查北京地区的支付意愿,得到在降低PM_{2.5}浓度30%和60%情景下,居民平均支付意愿分别为22.78元/月和39.82元/月。也有学者在上海^[15]、兰州^[16]、重庆^[17]等地开展了大气污染相关的支付意愿调查。

成渝地区地形复杂、静风天气频发、逆温常见,大气污染治理与经济发展矛盾突出,其复杂的下垫面地形使大气条件和污染物传输更为复杂^[18],是我国大气污染最为严重的“三区十群”之一^[19],雾霾已成为成渝地区人们高度关注的问题之一。本研究于2018年在成渝地区开展了大气污染防治的支付意愿调查,利用条件价值法的单边界二分式模型,对降低大气污染健康风险的支付意愿和生命统计价值进行了计算,以期为我国大气污染健康损失核算以及相关大气污染防治措施的成本效益分析提供关键参数支持。

1 生命统计价值方法

1.1 生命统计价值方法

支付意愿中的条件价值方法是建立在福利经济学理论上的评价方法。福利经济学通过成本—效益分析方法来解释由于经济变量变化而导致潜在的效用改变情况,通常采用指数形式表达。条件价值法应用到环境污染的生命统计价值研究中时,在假设个体的选择是追求效用最大化原则的前提下,以货币形式反映环境物品对消费者福利的影响,从而间接地反映该物品的价值,具体通过询问个体对降低一定死亡风险的最大支付意愿,来获得环境污染的生命统计价值。条件价值法调查问卷的设计包括投标博弈、支付卡、开放式问卷、二分式等四种方式^[20]。条件价值法的提问方式不同,会直接影响到被调查者的支付意愿。Arrow等认为,二分式方法接近一般人的日常消费决策行为,所得到的支付意愿更接近真实值^[21]。所以本文采用单边界二分式的诱导技术进行问卷设计。

根据效用理论,期望效用函数 U_{in} 包括非随机变化部分和随机变化部分,即效用固定项(函数)和效用概率变动项(函数)两部分。

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in} \quad (1)$$

$$V_{in} = \alpha + \beta \text{bid}_i + br + \sum_{k=1}^K \gamma_k X_{nk} \quad (2)$$

式中, α 为常数项; β 为初始投标值的回归系数; b 为死亡风险水平的回归系数; γ_k 为个人特征变量的回归

系数; V_{in} 为效用固定项,其与初始投标值 bid_i 、死亡风险水平 r 和个人特征变量 X_{nk} (年龄、性别、收入等)呈线性关系; ε_{in} 为效用概率变动项。

由于效用函数的概率项 ε_{in} 服从二重指数分布^[22],其中 i 有“愿意”和“不愿意”两种情况,因此,被调查者 n 选择“愿意”的概率函数为:

$$P_n(Y) = \frac{1}{1 + e - \alpha - \beta \text{bid}_i - \sum_{k=1}^K \gamma_k X_{nk}} \quad (3)$$

确定对数似然函数,并用极大似然估计法估计参数:

$$L = \sum_{n=1}^N [\delta_Y \ln P_n(Y) + \delta_N \ln P_n(N)] \quad (4)$$

式中, L 是单边界二分式生命价值评估函数模型的对数似然函数; δ_Y 、 δ_N 是0~1的指示变量,当被调查者的回答是“愿意”时, $\delta_Y = 1$, $\delta_N = 0$;当被调查者的回答是“不愿意”时, $\delta_Y = 0$, $\delta_N = 1$; N 为样本容量。

根据Hanemann^[23]推导,在 $WTP \geq 0$ 时,被调查者的平均支付意愿为:

$$E(WTP) = \int_0^{+\infty} P(Y) d\text{bid}_i = \frac{1}{-\beta} \ln(1 + e^{\alpha + \sum_{k=1}^K \gamma_k \bar{X}_k}) \quad (5)$$

根据统计生命价值定义,则单边界二分式的统计生命价值VOSL可表示为

$$\text{VOSL} = \frac{E(WTP)}{T \cdot \Delta R} \quad (6)$$

式中, T 表示支付年数; ΔR 表示死亡风险降低值。

1.2 成渝地区大气污染生命统计数据处理

根据单边界二分式的条件价值法,成渝地区生命统计价值调查设置12个目标值 B_i ,分别是:2000元、3000元、4000元、5000元、6000元、8000元、10000元、20000元、30000元、50000元、100000元、200000元。单边界二分式选择问题如下:

如果空气质量改善,让您未来10年的死亡概率下降5‰,在接下来的10年内您愿意每年支付 B_i 元降低您的死亡概率吗?

[1] 愿意 [2] 不愿意

表1给出了模型分析中各分类变量说明。

2 成渝地区大气污染生命统计价值结果分析

2.1 支付意愿调查数据分析

2018年课题组在四川和重庆地区开展了生命统计

表1 模型分析中各分类变量处理说明

变量	说明
性别	1 为男, 2 为女
年龄	1 为 18~30 岁, 2 为 31~45 岁, 3 为 46~65 岁, 4 为 66 岁及以上
文化程度	1 为小学以下, 2 为中专 / 高中 / 职中 / 职高, 3 为大专, 4 为本科, 5 为硕士及以上
职业	1 为农民, 2 为普通工人, 3 为公务员 / 事业单位人员, 4 为学生, 5 为自由职业者, 6 为个体经营者 / 私营企业主, 7 为公司中高层管理者, 8 为退休
家庭人口数	1 为 1 人, 2 为 2 人, 3 为 3 人, 4 为 4 人, 5 为 5 人, 6 为 6 人, 7 为 7 人, 8 为 8 人, 9 为 9 人及以上
家庭年收入	1 为 3 万元以下, 2 为 3.1 万~6 万元, 3 为 6.1 万~10 万元, 4 为 10.1 万~15 万元, 5 为 15.1 万~30 万元, 6 为 30.1 万~50 万元, 7 为 50.1 万~80 万元, 8 为 80.1 万~100 万元, 9 为 100 万元以上
是否患有疾病	1 为否, 2 为是
自我感觉健康状况	1 为极好, 2 为非常好, 3 为良好, 4 为一般, 5 为差
支付意愿	1 为愿意, 2 为不愿意

价值支付意愿调查, 其中, 四川省主要在成都市、达州市、乐山市、龙泉驿地区、彭州市、郫都区、双流区、温江区等 8 个地区开展调查, 调查样本为 1748 个, 有效样本为 827 个。重庆市主要在重庆市区和郊区开展调查, 调查样本为 838 个, 有效样本为 378 个。成渝地区有效样本共计 1205 个, 有效样本中意愿支付的样本为 725 个, 占有有效样本的比例为 60.2%。样本调查的基本信息有: 性别、年龄、文化程度、职业、家庭人口数、家庭年收入、是否患有疾病、健康状况等 8 个个性变量。

为了保证抽样样本的科学性和代表性, 本次调查采取按城市配额抽样问卷调查法, 采用实地纸质问卷, 具体调查工作聘请专业市场调查咨询公司开展, 保证调查过程的正确性。调查问卷分配情况如下: 成都市及郊县 650 份, 达州市、乐山市各 500 份, 重庆市区 500 份, 重庆近郊区 300 份。调查对象是在调查城市居住 1 年以上; 男女性别各 50%, 浮动比例不超过 10%; 年龄分为 18~35 岁、36~50 岁、51~65 岁和 66 岁及以上 4 个年龄段, 各城市采样比例分别为 30%、30%、30% 和 10%, 浮动比例不超过 5%; 另外, 成都市远郊有效问卷不低于 100 份 (温江区、龙泉驿区、郫都区、彭州市、双流区 5 个地方均匀采样, 浮动区间不高于 5%), 综合采样均需按照各城市配额比例严格执行, 地区、性别、年龄段等综合采样, 浮动比例不超过 10%。调查数据分析如下:

成渝地区调查样本符合人群分布特征, 调查人群主要集中在中青年群体。在调查样本中, 男性 620 个, 女性 585 个, 男女比例为 51.5 : 48.5, 2017 年全国男女比例为 51.2 : 48.8, 样本性别分布符合人群特征。调查样本的年龄主要分布在 18~45 岁, 占总样本的比例为 69%, 根据 2017 年全国人口变动抽样调查结果全国 18~45 岁的人口比例为 48.5%, 成渝地

区支付意愿调查样本中青年人口比例略高于人群分布特征。

调查人群文化程度主要为本科以下, 家庭收入主要为社会平均水平。调查样本中, 中专 / 高中 / 职中 / 职高的样本量最多, 为 506 个, 占总调查样本的 42%, 其中四川地区中专 / 高中 / 职中 / 职高样本比例为 37%, 重庆地区比例为 52.9%; 调查样本家庭收入主要分布在 3 万~10 万元, 占总调查样本的 53.1%, 家庭人口数主要是 3~4 人, 根据 2017 年统计局发布的四川、重庆的年人均可支配收入, 计算得到四川、重庆家庭平均收入在 6 万~8 万元, 调查样本的家庭收入情况代表了四川、重庆地区的平均水平, 根据调查样本获得的支付意愿可以较好地反映大多数成渝地区人民群众的真实水平。

调查人群主要是健康人群, “愿意支付”的样本量高于“不愿意支付”的样本量。调查样本中, 成渝地区 89.7% 的调查人口未患有疾病 [慢性阻塞性肺疾病 (COPD)、心脑血管疾病、糖尿病、慢性支气管炎、哮喘、癌症或其他恶性肿瘤], 身体健康状况良好的调查人数占总调查样本的 74.2%, 调查样本的身体健康分布情况整体符合正态分布 (图 1)。调查样本具有良好的人群代表性, 能够较好地反映正常群体的支付意愿。

对于大气环境质量改善而降低 5% 死亡率这一情景, “愿意”支付一定金额的被调查者是 725 个, 占总调查样本量的 60.2%, “不愿意”支付一定金额的被调查者是 480 个, 占总调查样本量的 39.8%, “愿意支付”的样本量高于“不愿意支付”的样本量。“愿意”支付金额的被调查者中, 多数被调查者未来 10 年内每年愿意支付的金额是 2000 元, 占总调查样本量的 54.5%, 其次是 3000 元和 5000 元, 分别占总调查样本量的 12.1% 和 11% (图 2)。分地区来看, 四川

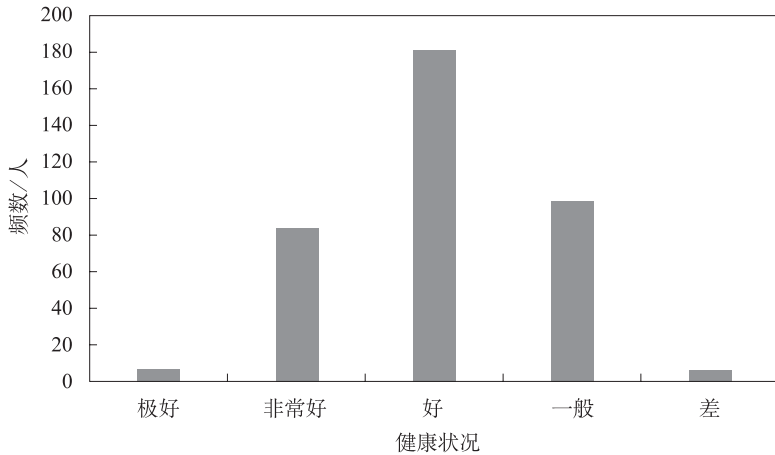


图1 成渝地区生命统计调查健康状况分类

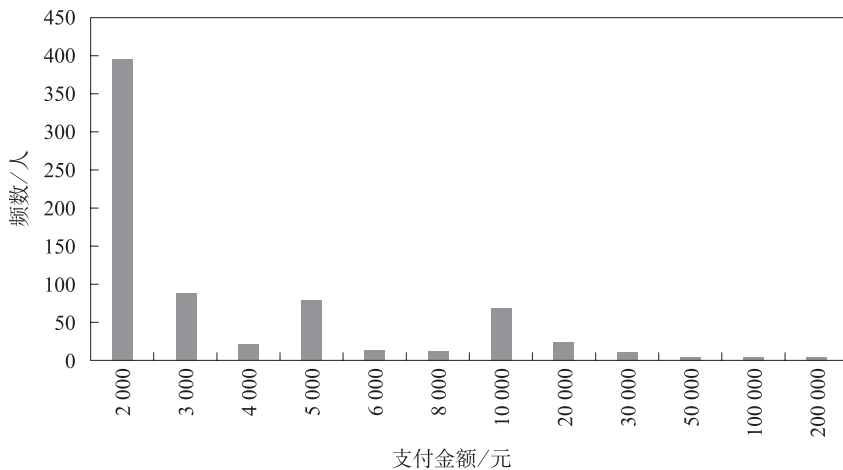


图2 成渝地区生命统计支付金额变量频率统计

和重庆地区“愿意支付”的样本量均高于“不愿意支付”的样本量，“愿意支付”的样本量占总样本量的比例分别为 62.3% 和 55.6%。对于“愿意支付”样本中，四川地区调查样本中愿意支付 1 万元以上的人数的比例（17.1%）高于重庆地区（13.3%），调查样本中四川地区平均支付意愿为 6733 元，高于重庆地区的 5542 元。

2.2 统计生命价值估计结果

根据单边界二分式生命价值评估函数模型的对数似然函数，采用极大似然估计法对模型参数进行标定和检验，把全部个性变量纳入二项逻辑（logistic）回归，模型对数似然值为 1171.1，Nagelkerke R^2 为 0.421。从各指标的显著性检验看，年龄、文化程度、职业、家庭人口数和是否患有疾病的显著性不高，均在 0.05 左右（表 2），性别、家庭收入、健康状况的显著性相对较高，是影响支付意愿的主要因素。所以剔除年龄、文化程度、职业、家庭人口数和是否患有

疾病以上指标后，重新进行二项 logistic 回归，得到最终的变量参数（表 3），然后根据生命统计价值函数模型，利用式（5）和式（6）进行计算可以得到，在空气质量改善使得 10 年后死亡率下降 5‰ 的情景下，成渝地区的平均支付意愿 $E(WTP) = 1974.2$ 元，生命统计价值为 394.8 万元。其中，在重庆市平均支付意愿 $E(WTP) = 1964.2$ 元，生命统计价值为 392.8 万元。四川省平均支付意愿 $E(WTP) = 2009.8$ 元，生命统计价值为 402 万元。

生命价值评估方法主要包括人力资本法和条件价值法，国内普遍使用人力资本法，而国外主要使用条件价值法。根据课题组长期开展的绿色 GDP 核算，2017 年人力资本法计算的四川省大气污染导致的过早死亡价值为 87.6 万元/人，重庆市为 96.9 万元/人，四川省和重庆市条件价值法计算出来的生命统计价值是人力资本法的 4.6 倍和 4.1 倍。受经济发展水平和人们的支付意愿水平影响，我国生命统计价值远低于发达国家。根据《科学美国人》报道，假如

取美国生命统计价值的中间值 660 万美元，2018 年美国人均 GDP 为 5.99 万美元，则美国平均生命统计价值是人均 GDP 的 110 倍左右。

2.3 统计生命模型结果分析

对于“是否愿意支付费用来降低大气污染造成的死亡风险”的问题，女性表现出更强的支付意愿，但男性的支付意愿水平高于女性。模型中因变量（支付意愿：1 为愿意，2 为不愿意），自变量性别（1 为男，2 为女），根据模型结果，性别变量的参数是 -0.423，说明性别变量取值越高，因变量取值越低，本次 logistic 回归中女性的变量取值高于男性，所以女性比男性有更高的支付意愿。根据样本调查数据，男性样本中“愿意支付”的样本数量为 360 个，占男性调查样本的 58%，女性样本中“愿意支付”的样本数量为 365 个，占女性调查样本的 62.4%，但是通过对支付意愿水平和性别的分析可以看出，支付意愿高于 10 000 元（包含 10 000 元）的男性人数为 65 人，占男

表2 模型输出结果

类别	B	S.E.	Wals	df	Sig.	Exp (B)	Exp (B) 的 95% C.I.	
							下限	上限
性别	-0.415	0.141	8.654	1	0.003	0.66	0.501	0.871
年龄	0.103	0.091	1.287	1	0.257	1.109	0.928	1.326
文化程度	-0.053	0.082	0.416	1	0.519	0.949	0.809	1.113
职业	-0.037	0.036	1.093	1	0.296	0.964	0.899	1.033
家庭人口数	-0.055	0.058	0.891	1	0.345	0.947	0.845	1.061
家庭年收入	-0.117	0.057	4.257	1	0.039	0.89	0.796	0.994
是否患有疾病	-0.129	0.248	0.269	1	0.604	0.879	0.541	1.43
自我认知的健康状况	0.326	0.094	12.039	1	0.001	1.386	1.153	1.666
目标值	-0.016	0.249	0.004	1	0.95	0.984	0.605	1.602
常量	31.8	497.1	0.004	1	0.949	6.50×10^{13}	—	—

注: B 表示偏回归系数; S.E. 表示标准差; Wals 表示 Wals 卡方值; df 表示自由度; Sig. 表示 P 值 (显著性水平); Exp (B) 表示 OR 值 (优势比); Exp (B) 的 95% C.I. 表示 OR 值 (优势比) 的 95% 可信区间; 下表同

表3 剔除年龄等显著性不高的变量后的模型结果

类别	B	S.E.	Wals	df	Sig.	Exp (B)	Exp (B) 的 95% C.I.	
							下限	上限
性别	-0.423	0.141	9.042	1	0.003	0.655	0.498	0.863
家庭年收入	-0.146	0.054	7.373	1	0.007	0.864	0.778	0.96
自我认知的健康状况	0.337	0.09	13.91	1	0.000	1.401	1.174	1.673
目标值	-0.016	0.248	0.004	1	0.950	0.984	0.605	1.602
常量	31.617	496.9	0.004	1	0.949	5.40×10^{13}	—	—

性总调查样本的 10.5%; 女性为 51 人, 占女性总调查样本的 8.7%, 可以看出男性有更高的支付意愿水平。

家庭年收入越高, “支付意愿” 越强烈。模型中因变量 (支付意愿: 1 为愿意, 2 为不愿意), 自变量家庭收入 (1 为 3 万元以下, 2 为 3.1 万~6 万元, 3 为 6.1 万~10 万元, 4 为 10.1 万~15 万元, 5 为 15.1 万~30 万元, 6 为 30.1 万~50 万元, 7 为 50.1 万~80 万元, 8 为 80.1 万~100 万元, 9 为 100 万元以上), 根据模型结果, 家庭收入的变量参数为 -0.146, 说明家庭收入变量取值越高, 因变量取值越低, 本次 logistic 回归中家庭收入越高, 变量取值越高, 所以家庭收入越高, 越愿意支付费用降低大气污染造成的死亡风险。根据样本调查数据可知, 随着家庭收入逐渐变高, 愿意支付的比例逐渐提高 (表 4)。高收入家庭中支付意愿水平高于 10 000 元的人数的比例远高于低收入家庭, 家庭收入高于 30 万元时, 有 40% 以上的人愿意支付 10 000 元用于降低因大气污染造成的死亡率。

自我认知的身体健康状况越好, “支付意愿” 越强烈。模型中因变量 (支付意愿: 1 为愿意, 2 为不愿意), 自变量自我认知的健康状况 (1 为极好, 2 为

非常好, 3 为好, 4 为一般, 5 为差), 根据模型结果, 自我认知的健康状况的变量参数为 0.337, 说明自我认知的身体健康状况变量取值越低, 因变量取值越低, 本次 logistic 回归中自我认知的身体状况越好, 取值越低, 所以自我认知的身体健康状况越好时, 越愿意支付费用来降低大气污染造成的死亡风险。根据样本调查数据可知, 被调查者随着身体健康状况逐渐变差, 愿意支付的比例不断下降 (表 5)。身体自我认为 “极好” “非常好” “好” 的被调查者支付意愿在 10 000 元以上的比例为 38.1%, 而身体自我认为 “一般” “差” 的被调查者支付意愿在 10 000 元以上的比例仅为 23.7%。

3 主要结论

(1) 利用支付意愿中的条件价值法计算的生命统计价值是统计学上的应用价值, 已成为一些发达国家管理决策的重要依据。生命价值评估主要包括人力资本法和条件价值法两种方

表4 支付意愿水平与家庭年收入的频数交叉表

类别		支付意愿		合计	愿意支付的比例 / %
		愿意	不愿意		
家庭年收入	3 万元以下	95	128	223	42.6
	3.1 万~6 万元	195	155	350	55.7
	6.1 万~10 万元	198	92	290	68.3
	10.1 万~15 万元	137	64	201	68.2
	15.1 万~30 万元	70	31	101	69.3
	30.1 万~50 万元	18	6	24	75
	50.1 万~80 万元	5	3	8	62.5
	80.1 万~100 万元	4	1	5	80
	100 万元以上	3	0	3	100
合计		725	480	1205	60.2

表5 支付意愿水平与自我认知的身体健康状况的频数交叉表

类别		支付意愿		合计	愿意支付的比例 / %
		愿意	不愿意		
自我认知的健康状况	极好	40	7	47	85
	非常好	153	92	245	62
	好	363	240	603	60
	一般	159	129	288	55
	差	10	12	22	45
合计		725	480	1205	60

法。在生命价值评估方法中,国内普遍使用人力资本法,而国外主要使用条件价值法。

(2) 生命统计价值一般高于人力资本法的计算结果,但与发达国家相比,我国成渝地区的生命统计价值相对较低。根据单边界二分式方法,成渝地区大气污染的平均支付意愿是 1974.2 元,生命统计价值为 394.8 万元。其中,四川部分地区大气污染的平均支付意愿是 2009.8 元,生命统计价值为 402 万元;重庆地区大气污染的平均支付意愿是 1964.2 元,生命统计价值为 392.8 万元。

(3) 性别、家庭年收入和自我认知的身体健康状况等指标对平均支付意愿影响较大。“实际是否患病”指标对支付意愿的影响不大,但自我健康认知对支付意愿水平的影响较大,体现出生命价值是一个与哲学、伦理、心理学有关的概念。例如,身体自我认为“极好”“非常好”“好”的被调查者支付意愿在 10 000 元以上的比例高于身体自我认为“一般”“差”的被调查者。

4 相关讨论

(1) 虽然条件价值法在国外已广泛应用到生命统计价值计算中,但是条件价值法还存在很多挑战,不确定偏好就是其中之一。例如受访者的认知能力、环境质量的接受程度、对待生命价值的态度、未来收入变化的可预知性及其他社会经济特征差异较大,这些因素均可直接或间接的引起个人之间 WTP 分布的异质性。所以,在问卷设计方面,应从源头上尽可能多地获取有利于识别受访者“真实”偏好及其确定水平的信息^[24]。

(2) 建议注重跨学科知识的应用。条件价值评估中偏好的不确定性是多方面因素引起的,结合多门学科的理论和方法有利于推进相关研究进展。例如,行为经济学中对个体决策原则的研究有助于解释当偏好不确定时受访者将如何作出决策^[25]。这些学科知识的综合应用将有助于提高条件价值法的实施效果。

参考文献

- [1] MA G X, WANG J N, YU F, et al. Assessing the premature death due to ambient particulate matter in China's urban areas from 2004 to 2013[J]. *Frontiers of environmental science & engineering*, 2016, 10(5): 7.
- [2] YANG G H, WANG Y, ZENG Y X, et al. Rapid health transition in China, 1990-2010: findings from the global burden of disease study 2010[J]. *The lancet*, 2013, 381(9882): 1987-2015.
- [3] 杨宗康. 生命价值评估理论与实证研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2010.
- [4] 程启智. 人的生命价值理论比较研究[J]. *中南财经政法大学学报*, 2005, (6): 39-44.
- [5] LENTONA P. The price of prejudice: social categories influence monetary value of life[D]. Boulder City: University of Colorado at Boulder, 2002.
- [6] SHELLINGT C. Life you save may be your own[M]//CHASES. *Problems in Public Expenditure Analysis*. Washington, DC.: Brookings Institution, 1968: 127-162.
- [7] JONES-LEEMW, HAMMERTONM, PHILIPSPR. The value of safety: results of a national samplesurvey[J]. *The economic journal*, 1985, 95(377): 49-72.
- [8] GERKINGS, DEHAAN M, SCHULZE W. The marginal value of job safety: a contingent valuation study[J]. *Journal of risk and uncertainty*, 1988, 1(2): 185-199.
- [9] HAMMITT J K, ZHOUY. The economic value of air-pollution-related health risks in China: a contingent valuation study[J]. *Environmental and resource economics*, 2006, 33(3): 399-423.
- [10] 徐晓程, 陈仁杰, 阚海东, 等. 我国大气污染相关统计生命价值的 meta 分析 [J]. *中国卫生资源*, 2013, 16(1): 64-67.
- [11] 杨开忠, 白墨, 李莹, 等. 关于意愿调查价值评估法在我国环境领域应用的可行性探讨——以北京市居民支付意愿研究为例 [J]. *地球科学进展*, 2002, 17(3): 420-425.
- [12] 蔡春光, 陈功, 乔晓春, 等. 单边界、双边界二分式条件价值评估方法的比较——以北京市空气污染对健康危害问卷调查为例 [J]. *中国环境科学*, 2007, 27(1): 39-43.
- [13] 魏同洋, 靳乐山, 靳宗振, 等. 北京城区居民大气质量改善支付意愿分析 [J]. *城市问题*, 2015, (1): 75-81.
- [14] 曾贤刚, 谢芳, 宗佳. 降低 PM_{2.5} 健康风险的行为选择及支付意愿——以北京市居民为例 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(1): 127-133.
- [15] 彭希哲, 田文华. 上海市空气污染疾病经济损失的意愿支付研究 [J]. *世界经济文汇*, 2003, (2): 32-44.
- [16] 张明军, 范建峰, 虎陈霞, 等. 兰州市改善大气环境质量的总经济价值评估 [J]. *干旱区资源与环境*, 2004, 18(3): 28-32.
- [17] WANG H, MULLAHY J. Willingness to pay for reducing fatal risk by improving air quality: a contingent valuation study in Chongqing, China[J]. *Science of the total environment*, 2006, 367(1): 50-57.
- [18] 朱文英, 蔡博峰, 刘晓曼. 区域大气复合污染动态调控与多目标优化决策技术研究 [J]. *中国环境管理*, 2016, 8(6): 111-112.
- [19] 环境保护部, 国家发展和改革委员会, 财政部. 重点区域大气污染防治“十二五”规划 [EB/OL]. (2012-10-29). http://www.mee.gov.cn/gkml/hbb/bwj/201212/t20121205_243271.htm.
- [20] 郭江, 李国平. CVM 评估生态环境价值的关键技术综述 [J]. *生态经济*, 2017, 33(6): 115-119, 126-126.
- [21] ARROW K, SOLOW R, PORTNEY P, et al. Report of the NOAA panel on contingent valuation[J]. *U.S. federal register*, 1993, 58(10): 4601-4614.
- [22] 颜金石. Logit 模型的推导过程 [J]. *交通标准化*, 2012, (4): 103-105.
- [23] HANEMANN W M. Welfare evaluations in contingent valuation experiments with discrete response data: reply[J]. *American journal of agricultural economics*, 1989, 71(4): 1057-1061.
- [24] 苏红岩, 王华. 意愿调查法中的偏好不确定性研究综述 [J]. *资源科学*, 2019, 41(12): 2327-2341.
- [25] SAMUELSON L. Economic theory and experimental economics[J]. *Journal of economic literature*, 2005, 43(1): 65-107.

(下转111页)

- [29] 严蔚敏, 吴伟民. 数据结构 (C 语言版) [M]. 北京: 清华大学出版社, 2004:11-15.
- [30] 国家测绘局. GB/T 14268-2008 国家基本比例尺地形图更新规范 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

- [31] WILKEN R D, KNEPPER T, HABERER K. Early warning systems on the Rhine and Elbe in Germany [M]//DEININGER R A, LITERATHY P, BARTRAM J, eds. Security of Public Water Supplies [M]. Dordrecht: Springer, 2000:71-89.

Standardized Framework of Watershed Model Evaluation for Decision Making

QIN Chengxin¹, LI Zhiyi², RONG Yi¹, SUN Fu¹, DU Pengfei^{1*}

(1. School of Environment, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. Beijing Tsinghua Smart Water Tech. Co., Ltd., Beijing 100085, China)

Abstract: Nonstandard application of environmental models for watershed management increases the decision-making risk. From the perspective of process management, there is no standardized technical process for the evaluation and verification of environment models for watershed management in China. Based on a detailed review of research results and advanced management experience, a standardized technical framework for evaluation and verification of environment models was constructed and verified by a case study, which defined the basic principles, work processes and technical requirements for the model used in the decision-making of watershed management. This framework introduced key technologies for model evaluation and verification such as structural rationality assessment, parameter identification, sensitivity analysis, performance measures and uncertainty analysis, and provided principled technical requirements and application suggestions for varied model types, decision-making functions. Research results fully consider environmental management needs, and are compatible with current environmental simulation technical requirements, environmental monitoring capabilities, and data conditions, which will promote the normalization, standardization and localization of environmental model application for watershed management.

Keywords: environmental model; watershed management; model evaluation; technical framework

（上接141页）

Assessing the Value of a Statistical Life of Air Pollution in Chengdu-Chongqing Area by Contingent Value Method with Single Bounded Dichotomy

PENG Fei¹, LI Xue², MA Guoxia^{1*}, ZHOU Yin¹, YU Fang¹, ZHANG Yanshen¹, YANG Weibin¹

(1.Center for Environmental and Economic Accounting, Chinese Academy of Environmental Planning, Beijing 100012,China; 2. Bureau of Ecology and Environment in Wuyishan, Wuyishan 354300, China)

Abstract: Value of a statistical life in air pollution is the key index to calculate the loss of human health caused by air pollution and to evaluate the effectiveness of air pollution prevention and control policies. In this paper, the contingent value method with single bounded dichotomy function model is used to evaluate the average willingness to pay and the value of a statistical life in Chengdu-Chongqing area of China. The main conclusions are as follows: ① The average willingness to pay for air pollution in Chengdu and Chongqing area is 1974.2 RMB, and the value of a statistical life is 3.948 million RMB. The value of statistical life in some areas of Sichuan is 4.02 million RMB and Chongqing is 3.928 million RMB. ② Indicators such as gender, annual family income and self-perceived health status have a greater impact on the average willingness to pay. ③ Among the life value assessment methods, the human capital method is widely used in China, while the contingent value method is mainly used in foreign countries. The value of a statistical life is higher than that calculated by human capital method, but compared with developed countries, the value of a statistical life in Chengdu-Chongqing area is relatively low.

Keywords: Chengdu-Chongqing area; air pollution; value of a statistical life; contingent value method; single bounded dichotomy