

民众对核电综合风险认知的成本量化研究

刘文君,程 健¹

(南华大学 经济管理与法学学院,湖南 衡阳 421001)

[摘要] 为解决民众核电风险认知对其核电可接受的影响的量化问题,文章对不同地区的600多人进行问卷调查。在研究民众传统核电事故风险认知的同时,基于核电建设的大规模土地使用,添加民众对核电建设土地占用风险的认知。通过熵权法对民众的核电事故风险认知、核电建设的土地占用风险认知进行权重确定,求出综合风险认知以此量化核电建设中民众对这两种风险认知造成的成本。研究表明,民众的核电事故风险认知、核电建设土地占用风险的认知对其态度影响不仅是显著的,而且综合风险认知对民众核电站建设的接受态度的影响也是显著的,随着民众对核电综合风险认知的增加,民众对核电站建设的支持度会越来越低,造成的综合风险认知成本也会越来越高。

[关键词] 核电站; 成本量化; 风险认知; 熵权法

[中图分类号] F426 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-0755(2019)06-0001-10

核能相对于传统的石化能源来说具有清洁高效,运营成本低,无间隙供电的特点,是未来能源发展的主要方向之一。我国核电产业具有巨大的发展潜力,但是受到民众对核电风险认知的影响,尤其是福岛核电事故后民众的反核情绪明显增加,很多国家民众都有抵制核电发展的趋势,在日本2015年数万民众走上街头反对核电重启计划,李炜炜等(2015)认为国内因“邻避效应”产生较大反核事件是2013年江市民众的反核抗议事件^[1]。原因在于民众反对在当地建设大型核燃料加工厂。随着事态发展周围城市民众也参加了反核活动,这次反核事件规模大,影响程度深。最终在当地民众的强烈反对下,该项目被当地政府停止,民众的反核情绪已经成为核电发展路上的主要障碍。

在此之前有很多学者从民众对核电的风险认知角度详细地阐述了影响民众对核电接受度的影响因素以及接受度问题,但是民众对核电综合风险认知的影响究竟有多大呢?没有一个具体的量化研究,本文基于此开展民众综合风险认知的成本量化研究。

一 文献回顾

风险认知也称为风险感知,是心理学研究范围,是指人们通常对风险的直接感知,从20世纪80年

代国外学者开始对风险认知进行研究,其中Slovic(1992)在风险与决策领域研究成果丰富,Slovic研究发现公众的风险认知与客观风险之间存在着偏差,他认为风险是人们对一件事的直观判断^[2]。他的研究方法是问卷调查法,并且这种方法至今也是该领域的主流研究方法。一开始风险认知主要研究公众对自然灾害的认知,随着研究的深入国内外学者逐渐将公众风险认知引入到工程项目上面。

人口特征是影响民众对核电风险认知的一个重要因素,民众的人口特征包括性别、教育、年龄、收入等,Showers等(1995)在对高校的学生的风险认知研究时,发现教育对核电站风险认知有着相关性^[3]。但在Giordano(2005)的研究中发现不仅人口特征的不同其风险认知也会不同,他发现妇女、年轻人、老人对核电站的风险认知偏高,这是由于他们接受的教育较少导致的^[4]。而在Huhtala等(2017)也根据人口特征不同得出不同的风险认知结论,他根据性别对比了男女性别不同造成的风险认知不同,他得出的结论是女性风险认知普遍高于男性^[5]。与此同时周艳等(2017)在对核电认知度调查中不仅仅发现教育、收入等相关,还与民众的幸福程度相关^[6]。但是在三里岛核电事故之后Brunn等(1979)的在对三里岛附近民众风险研究调查发现

[收稿日期] 2019-10-15

[基金项目] 国防科技工业核动力技术创新中心项目“核能可持续发展战略研究”资助(编号:HDLXZX-2017-ZH-011)

[作者简介] 刘文君(1978-),男,陕西山阳人,南华大学经济管理与法学学院副教授,日本神户大学博士。

¹ 经济管理与法学学院硕士研究生。

此时当地民众的风险认知跟教育、社会特征以及人口特征没有任何关系,这个原因在于三里岛核电事故之后人们对于核电事故带来的灾难的恐惧^[7]。而在洪加标等(2016)调查公众对核电的接受度的时候得出的结果是性别、年龄以及地理位置等这些以往与风险认知有关的因素,在这份调查中并没有与核电建设有相关性,而且教育水平也与核电建设呈负相关性^[8]。民众受教育水平与核电站建设呈现负相关的还有杨广泽等(2006)对田湾核电站调查^[9]。

我们通过调查发现民众对核电风险认知一方面是对核电事故的担心,另一方面则表现在核电建设过程中土地的大规模使用上。杜建军(2011)认为核电站主要设施占地面积一般为150公顷~200公顷,根据《核电厂环境辐射防护规定》沿海地区核电厂的非居民区半径不得低于0.5千米,但是对于内陆核电来说非居民区半径要大得多,一般是沿海地区的2~3倍,还需要设置半径不小于5千米的限制规划区,除此之外还需要修建相应的水库道路的基础设施,核电站建设需要对土地的大量使用^[10]。在土地征用过程最容易产生冲突,于建嵘(2005)以及中国社科院农村发展研究所的研究发现2005年因土地引发的群体性案件约占当年所有群体性案件的65%左右,2013年社会蓝皮书显示,我国每年因为征地引发的冲突超过10万起,因征地引发群体性暴力冲突,占全国群体性事件冲突的50%^[11]。柳建文等(2014)认为民众反对征地最大的原因在于得到的补偿太少,通常征地价格只有市场价格的2%,而在征地所得利益民众只拿到5%~10%,其余利益被政府和企业拿走,这就导致民众对征地行为的抵制和质疑,从而引发群体性暴力事件^[12]。

综上,影响民众对核电站风险认知的人口特征大致包括性别、年龄、教育、收入等。同时,影响民众对核电站建设态度的因素不仅包括核电事故风险,还包括核电建设过程中的土地使用。因此,我们使用Huhtala等(2017)所构建的成本量化模型(该模型是针对民众核电事故风险认知的成本量化)^[5]。并在模型中加入了土地占用风险认知,使用熵权法对二者赋予权重求出综合风险认知值来量化居民的综合风险认知的社会成本(该风险认知成本指的是边际成本)。

二 模型设定

(一) 风险认知的社会成本量化模型

本文核电风险认知的社会成本量化模型是借鉴

Huhtala等(2017)所构建的模型,原模型通过民众对核电事故风险认知影响着核电站的建设,进一步影响能源的生产,从而产生风险认知成本,该模型量化的是核电事故风险认知成本^[5]。在前面我们提到过民众反对核电项目建设的原因不仅包括对核事故的担心,还包括对其他风险,所以本文将核电站建设的土地风险认知加入该模型中,并且利用熵权法求出两种风险权重,最后求出综合风险值,从而量化出综合风险认知的社会成本。我们首先假设新核电站总装机容量为R,现有核电总装机容量T,新核电站在综合风险认知下民众接受的可能性为p,p取决于民众的综合风险认知r(相对应的客观综合风险认知 r_1),在这里我们假设民众的核电事故风险认知、核电建设的土地占用风险认知为m、n(相应的客观危险为 m_1 、 n_1)。得出民众综合风险认知、客观综合风险认知如下:

$$r = wm + un \quad (1)$$

$$r_1 = w_1 m + u_1 n \quad (2)$$

w、u是我们通过熵权法求出m、n的权重参数,而 w_1 、 u_1 为两者的客观风险认知权重,在本文中并不需要我们计算。

民众对风险认知反映在投票的可能性 $p(r)$ 中,因此我们将民众的投票可能性作为社会福利公式的效用权重,我们假设随着民众对核电的风险认知程度的增加,而减少对核电的支持也就是 $p'(r) < 0$,民众的综合风险认知r与客观的综合风险 r_1 认知通常是不一致的。我们在客观综合风险下去衡量未来核电带来的净收益 $\pi(r_1, R+T)$,现有核电站带来的净收益为 $\pi(m_1, T)$,由于现有核电站不存在核电的土地占用风险,因此不必要在公式 $\pi(m_1, T)$ 加入 n_1 ,核电带来的净收益随着新核电建设的增加而增加,且随着民众的风险认知增加而减少即 $\pi'(r_1, R+T) < \pi'(m_1, T) < 0$ 。我们通过以下福利公式来反映民众的效用权重。

$$W = p(r)\pi(r_1, R+T) + (1-p(r))\pi(m_1, T) \quad (3)$$

当民众的风险认知程度过高时,核电公司就需要采取一些措施来降低民众的风险认知水平,为降低民众综合风险认知付出的努力度为a。且付出的成本为 $c(a)$ 。

$$W = p(r-a)\pi(r_1, R+T) + (1-p(r-a))\pi(m_1, T) - c(a) \quad (4)$$

对a求偏导得

$$\partial W / \partial a = -p'(r)\pi(r_1, R+T) + p'(r)\pi(m_1, T) - c'(a) \quad (5)$$

令

$$c'(a) = -p'(r)[\pi(r_1, R + T) - \pi(m_1, T)] = 0 \quad (6)$$

由公式(6)可知为了减少民众综合风险认知的边际成本等于边际收益,边际收益等于增加的投票可能 $p'(r)$ 乘以核电生产的预期净收益 $\pi(r_1, R+T) - \pi(m_1, T)$, 核电公司在估算核电生产带来的净收益时,考虑民众过高风险认知带来的成本需要通过相关措施来降低民众的风险认知,从而带来民众的风险认知成本。民众的风险认知可以通过民众是否同意核电建设来进行计算,这里的成本也是一种机会成本,如果民众不愿意接受核电站建设带来的风险,他们也要放弃核电建设带来的福利。本文的目的就是为了估算公式(6)的值,在后面成本量化的章节我们会详细讨论这一部分。在此之前我们需要计算民众是否同意核电站建设的综合风险认知的边际影响值。

(二)民众偏好

民众的核电站建设与否的偏好与其自身的经济社会特征 S 、综合风险认知 r 有关,这样每个民众对核电站建设的支持与否就可以用效用理论解释,我们得到公民效用公式如下。

$$U_{iR} = \alpha_R + \beta_R S_i + \delta_R r_i + \varepsilon_R \quad (7)$$

$$U_{iO} = \alpha_O + \beta_O S_i + \delta_O r_i + \varepsilon_O \quad (8)$$

ε 为误差项, U_{iR} 、 U_{iO} 为第 i 个民众支持核电站建设带来的效用、反对核电站建设带来的效用,在民众赞成核电建设的民众看来 $U_{iR} > U_{iO}$, 同样的在反对核电建设的民众看来 $U_{iR} < U_{iO}$, 我们根据第 i 个民众在综合风险认知 r 的情况下同意核电站建设的可能性为 p 。

$$p = p(U_{iR} > U_{iO}) = p[\varepsilon_O - \varepsilon_R < \alpha_R - \alpha_O + S_i(\beta_R - \beta_O) + r_i(\delta_R - \delta_O)] \quad (9)$$

公式(8) F 是 $\varepsilon_O - \varepsilon_R$ 的分布函数,假设误差项符合 logistic 分布,令 $\alpha = \alpha_R - \alpha_O$ 、 $\beta = \beta_R - \beta_O$ 、 $\delta = \delta_R - \delta_O$ 。这样我们可以得到一个标准的 Logit 模型如下:

$$p = 1/[1 + e^{\alpha + \beta S_i + \delta r_i}] \quad (10)$$

$$\ln(p/1 - p) = \alpha + \beta S_i + \delta r_i \quad (11)$$

在公式(9)两边同时取对数得到公式(10),在(10)中我们可以看出民众投票同意核电站建设的可能性 p , 是一个关于民众经济社会特征 S 、风险认知 r 的函数,民众风险认知、社会经济特征的系数矩阵 δ 、 β 是可以被估算出来的。而在本文中最重要的是估算综合风险认知下的系数,在下面的回归中我们将采用 logit 和 OLS 模型对民众的投票行为进行

回归。

三 数据收集与处理

本文问卷是线上针对不特定区域民众的,目的是为了了解不特定区域民众对核电建设的态度,简单点说就是为了了解一般大众对待核电的风险认知态度,从而量化民众因风险认知导致的成本。数据于 2018 年 10 月至 2019 年 1 月共计历时 4 个月,本次问卷覆盖除青海、西藏、台湾之外的所有省份、自治区、直辖市,其中来自广东省的问卷最多,约占整个问卷的 12% 左右。本次一共收取问卷 673 份,其中有效问卷 617 份,有效率为 91.7%, 男性 308 份,占样本比约为 49.9%, 女性 309 份,占样本数 50.1%, 同意核电站建设的人数为 429 人,约为样本的 71.14%, 无效问卷 56 份,这些无效问卷包括填写问卷时间不合格,以及填写者年龄小于 14 岁或者年龄不填的、乱填的问卷都视为无效问卷。具体信息见表 1。

表 1 基本数据

自变量	问卷调查基本数据				
	平均数	方差	最大值	最小值	样本数量
性别	0.49	0.50	1.00	0.00	617.00
年龄	23.20	7.10	78.00	14.00	617.00
教育	0.75	0.20	1.00	0.00	617.00
收入	0.30	0.31	1.00	0.00	617.00
风险认知					
失业风险	2.90	1.09	5.00	1.00	617.00
温室气体排放	3.21	1.06	5.00	1.00	617.00
健康风险	3.48	1.06	5.00	1.00	617.00
核事故	3.57	1.13	5.00	1.00	617.00
土地占用	3.28	1.07	5.00	1.00	617.00
竞争力下降	2.96	1.10	5.00	1.00	617.00
能源紧缺	3.11	1.16	5.00	1.00	617.00
节能失败	3.06	1.15	5.00	1.00	617.00

问卷调查的人口统计学特征包括被调查者的性别、年龄、教育、以及收入,性别采用二值变量 0(女)和 1(男),教育和收入均采用虚拟变量(0-1),只有年龄不使用虚拟变量,而风险认知表格用的是李克特风险认知表格用 1-5 去刻画风险认知程度,1-5 分别代表数值大小不同代表着民众不同的风险认知程度。在 8 种风险认知程度中,为了对比“核电事故风险”“核电建设占用土地”与其他风险认知的不同。我们还设置了其余 6 种与经济、健康风险相关

的风险分别包括“失业风险”“温室气体排放”“能源生产时产生的小颗粒对健康的影响”“经济竞争力下降”“能源紧缺”“节能失败”(见图1)。其中民众对核电事故风险认知最高,样本平均得分 3.57,得分排在第二位的是民众对能源生产时产生的小颗粒对健康的影响,平均得分为 3.48,并且它的方差也是最小的,排在第三位的是民众对核电建设过程中对土地的占用的风险,得分最低的是失业风险,平均得分为 2.90。通过对比我们可以清楚地发现民众对核电相关风险认知的平均值超过他们对经济、健康风险认知的平均值。

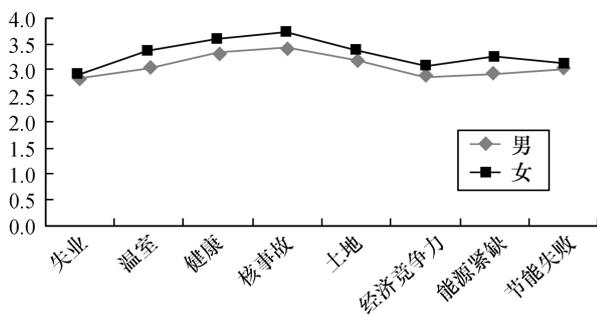


图1 男女平均风险认知

图1是男性以及女性对8种风险认知的平均值,我们发现在这8种风险认知的平均值中,女性的各项风险认知的平均值都高于男性,这个发现与Filippin等(2014)的研究结果是一致的^[13]。而在核电建设的主要风险核电事故风险认知中,男女平均风险认知值的差达到最大值为0.3,土地占用风险男女风险认知的平均值之差为0.15。

四 回归结果

(一)多重共线性检验、异方差问题

在表2中我们检验了主要解释变量的共线性问题,如表2所示,主要6种解释变量之间的相关性并不高,相关性最高的是核电事故风险认知与土地占用风险认知,但他们的相关系数也只有0.4637,所以总体看来主要6种解释变量的相关性不高。

在表4、5、6中使用OLS模型回归,由于存在异方差所以最终回归结果是经过异方差修正之后的结果(加权最小二乘法),使用Logit模型回归的最终结果也是经过GLM修正之后的结果,异方差修正过的结果与没有修正过的结果变化并不大,各解释变量的系数没有发生改变,显著性也没有改变。

表2 多重共线性检验

	教育	年龄	收入	性别	核电事故	土地占用
教育	1.0000					
年龄	-0.2252	1.0000				
收入	-0.1851	0.3987	1.0000			
性别	-0.0885	0.0663	0.1613	1.0000		
核电事故	-0.0102	0.1454	0.0148	-0.1431	1.0000	
土地占用	0.0624	0.0964	0.0194	-0.0854	0.4637	1.0000

(二)人口特征对风险认知的影响分析

如表3第1列所示,教育、年龄、收入、性别与核电事故风险认知进行多元回归,回归结果年龄、性别与核电事故风险认知在1%显著性水平下具有显著意义,而且年龄与核电事故风险认知是正相关的也就是说随着年龄增大,民众对核电事故风险认知也就越大,性别与核电事故风险认知之间是负相关,这一点在此之前我们已经知道女性对核电事故风险认知高于男性对核电事故风险认知,但是教育、与收入与核电风险认知并不具有显著性,这与Showers等^[3]的教育对风险认知具有显著性的结论是相反的。在第2列中,教育、年龄、收入、性别与核电建设土地占用风险之间进行多元线性回归,教育在10%显著水平线与核电建设土地占用风险之间具有显著

意义,且成正相关关系,这可能由于随着教育的普及,民众知识水平提高,民众的风险意识也在增强,第1、第2列中性别和年龄对核电事故风险认知最为显著。

为了比较核电事故风险认知、核电建设占用土地风险与其他风险的不同,我们将民众平均风险认知、民众平均风险认知(不包括核电事故风险和土地占用风险)与人口特征进行回归,在第3列中年龄、性别与民众的平均风险认知具有显著相关性,年龄与其为正相关,性别与其是负相关。第4列中年龄、性别与民众平均风险认知(不包括核电事故风险和土地占用风险)是在1%显著性水平下显著。收入、教育是不显著的。第4列回归结果与第3列相似,收入、教育是不显著的,而年龄、性别是显著的

且性别与其是负相关关系。在表 3 中教育虽然大部分情况下是不显著的,但是这里有一个有趣的现象,民众在对核电事故风险、土地占用风险的认知中,教育与其成正相关关系,简单点说就是随着民众教育水平的提高,民众对这两种的风险认知水平就越高,

但在(3)(4)列中教育与平均风险认知是呈现负相关关系的,说明民众在涉及核电建设的风险认知上面教育对核电建设的两种主要风险认知与其他风险认知是不同的,这也进一步说明了民众对核电建设的担忧情绪。

表 3 人口特征对风险认知的影响分析

变量	事故风险认知 (1)	土地风险认知 (2)	民众平均风险认知 (3)	民众平均风险认知 ^a (4)
教育	0.0541(0.2314)	0.3963*(0.2233)	-0.0264(0.1572)	-0.1116(0.1659)
年龄	0.0266*** (0.0069)	0.0171** (0.0067)	0.0207*** (0.0047)	0.0203*** (0.0049)
收入	-0.0965(0.1599)	-0.0264(0.1542)	-0.0382(0.1086)	-0.0309(0.1146)
性别	-0.3359*** (0.0903)	-0.1834** (0.0871)	-0.2437*** (0.0613)	-0.2378*** (0.0647)
常数	3.1133*** (0.2600)	2.6877*** (0.2508)	2.8713*** (0.1766)	2.8632*** (0.1864)
N	617	617	617	617

注: *、**、*** 分别代表在 10%、5%、1% 的显著性水平下是显著的。a 为民众平均风险认知但是不包括核电事故风险和土地占用风险

(三) 风险认知对民众核电接受度影响分析

我们设因变量为是否同意核电站建设,如果同意则为 1,不同意则为 0,自变量分别为教育、年龄、收入、性别、核电事故风险、核电建设占用土地风险、

平均风险(不包括事故风险的平均风险、土地风险的平均风险,也就是另外 6 种风险平均值)。回归结果如表 4 所示。

表 4 风险认知对民众核电接受度影响分析

	(1)	(2)	(3)
教育	-0.0430(0.0945)	-0.0588(0.0900)	-0.0273(0.0948)
年龄	-0.0114*** (0.0033)	-0.0114*** (0.0034)	-0.0111*** (0.0032)
收入	0.0642(0.0619)	0.0688(0.0621)	0.0658(0.0617)
性别	0.0828** (0.0358)	0.0855** (0.0358)	0.0813** (0.0357)
核电事故风险(1-5)	-0.0808*** (0.0153)		-0.0646*** (0.0170)
平均风险 ^b		-0.1027*** (0.0211)	
土地占用风险(1-5)			-0.0374** (0.0181)
常数	1.2336*** (0.1157)	1.2761*** (0.1143)	1.2799*** (0.1186)
N	617	617	617
adj. R ²	0.09	0.08	0.10

注: b 不包括事故风险的平均风险、土地风险的平均风险,也就是另外 6 种风险平均值, *、**、*** 分别代表在 10%、5%、1% 显著水平下是显著的

如表 4 所示,在第 1 列和第 2 列中教育、收入与是否同意核电站建设的回归结果都是不显著的,在第 1 列中年龄在 1% 显著性水平下是显著的,而且是负相关,说明随着年龄增大,民众越来越不同意核电站建设,性别在 5% 显著性水平下是显著的,呈正相关关系,核电事故风险(1-5)与核电站建设在 1% 的显著性水平下是显著的,且呈负相关关系,因为随

着核电风险认知程度的提高民众会越来越反对核电站的建设。在第 2 列中年龄在 1% 的显著性水平下是显著的而且呈负相关关系,性别在 5% 显著性水平下是显著的而且是正相关关系,因为男性同意核电站建设的人数远多于女生同意核电建设的人数,平均风险认知(不包括核电事故、土地占用的平均风险认知)在 1% 显著性水平下是显著的,并且它的

系数为负数。我们为了比较核电事故风险认知和土地占用风险认知对民众对核电建设态度的影响,我们在第 3 列中加入了自变量土地占用风险,回归的结果显示在没有加入土地占用风险的第一列中,核电事故风险的系数为负的 0.0808,在第 3 列中它的系数为负的 0.0646,它的系数相对增加了 0.0162。并且土地占用风险是在 5% 显著性水平下是显著的。核电事故风险、土地占用风险也是后面我们计算民众对这两者风险认知成本的关键。

(四) 风险权重确定

邹志红等(2005)在信息论中认为熵可以度量数据中的有效数据量,因此用熵来确定权重,熵值的大小可以说明某项指标所提供有效信息量的大小,某项指标熵值越大,说明该指标提供有效信息越少,权重也会越小;某项指标熵值越小,该指标提供的有效信息越多,权重也越大^[14]。赵忠刚等(2007)认为在风险评价体系中对各风险因素进行客观的权重确定对研究结果科学性至关重要,目前给风险因素赋予权重的方法有很多,大致可分为以下二种:主观权重确定和客观权重确定。主观权重确定,主要依赖个人的知识水平,因此具有很强的主观性、片面性。熵权法属于客观权重确定的方法,相比较主观权重的确定,熵权法更为科学、客观,但也具有本身的缺陷^[15]。熵权法已经广泛运用到项目工程、自然灾害、资源优化、社会经济等领域。在经济领域中,周梅华(2003)将熵权法用于消费测度的计算,构建了消费系统的可持续评价体系^[16]。在自然灾害风险方面,王英将(2018)熵权法运用到山洪风险管理上,提供了可靠的山洪风险管理决策^[17]。汤瑞凉等(2000)提出了熵权系数优化模型,确定了农业种植模式和用水量的最优化^[18]。工程项目上应用也是十分的广泛,其中赵忠刚等(2007)在给油气管道风险赋予权重的方法就介绍了近 10 种的赋权方法^[15]。本文基于熵权法对民众在核电站建设过程中两大风险认知使用熵权法进行权重确定。

我们继续估计民众核电风险认知、核电建设土地占用风险认知对民众对核电态度的影响,风险程度 1-5,依次表示风险程度为“很低风险”“低风险”“不知道”“高风险”“很高风险”。在表 4 的第 1 列中我们已经得出自变量核电事故风险的系数,并且在第 3 列中我们也得到了土地风险的系数,但是核电事故风险、土地风险的综合权重值,也就是对事故风险值、土地风险值赋予不同的权重相加得到的综合权重风险值,民众的综合权重风险值对核电站建设的影响是怎样的呢?为了更加真实的反映民众对

这两种风险认知总体风险水平,降低民众的主观因素影响,我们采用综合权重值的方法来估算民众的总体风险认知水平(事故风险、土地风险)对核电建设的影响,王英(2008)使用综合权重法对黄土高原的洪灾风险进行研究,将洪灾风险划分为多个指标,并将各个指标使用熵权法赋予不同的权重得出综合权重值^[17]。我们现在使用熵权法对每个公民的两种风险认知进行赋权(即事故风险、土地风险)。熵权法是可以根据指标的变异程度,使用信息熵算出指标的熵权,再通过熵权对指标权重进行修正,最后得到客观指标权重,假设指标评价主体有 y 个,要评价的指标有 x 个,那么我们可以得到一个相关矩阵 $= (a^{ij})_{yx}$ 。

第 i 个评价主体的第 j 个评价指标的权重 T 如下:

$$T_{ij} = a_{ij} / \sum_{i=1}^y a_{ij} \quad (12)$$

第 j 个指标的信息熵指 e_j :

$$e_j = -k \sum_{i=1}^y T_{ij} / \ln T_{ij},$$

其中

$$k = 1 / \ln y \quad (13)$$

最后我们可以得出第 j 个指标的权重:

$$\omega_j = (1 - e_j) / \sum_{j=1}^x (1 - e_j) \quad (14)$$

ω_j 是我们熵权法求的权重,我们将数据代入以上公式,使用 MATLAB 对核电事故风险、土地风险的权重进行计算,它们的权重分别是 0.5144、0.4856,将每位民众的核电风险认知值、土地占用风险认知值分别乘以他们的权重之后对两者求和,得到综合权重值。此外为了与 OLS 回归系数进行对比,在表 5 中,我们使用 Logit 进行相同的回归,回归结果如下:

表 5 的第 1 列、第 3 列我们使用的是表 4 的数据,在表 4 中使用的是 OLS 估计出来的系数以及显著性,在表 5 中为了与 OLS 模型进行对比我们使用了 Logit 模型,第 1 列、第 3 列、第 5 列数据分别与第 2 列、第 4 列、第 6 列数据是相同的,通过对比我们可以发现各变量的显著性并没有发生改变,显著性的强度也没有发生改变,并且 OLS 模型中自变量的系数符号与 Logit 模型中的系数符号也是相同的,唯一不同的是 Logit 模型中自变量的系数与 OLS 模型的系数不同,很明显的是 Logit 模型中自变量的系数明显大于 OLS 模型中自变量的系数,拟合优度方面对比,OLS 的拟合优度要略高于 Logit 的拟合优度。表 5 中最主要的还是第 5 列与第 6 列,其中教育与

收入不具有显著性,而年龄在1%显著性水平下是显著的,且系数为负,性别在5%的显著性水平下是显著的,系数符号为正,而核电事故风险、土地占用风险的综合权重值在1%显著性水平下是显著的,

系数为负,民众随着综合风险认知的增加,而降低对核电的接受度,这也说明居民综合风险认知对核电建设的影响具有显著性意义,综合风险认知的系数也是我们量化综合风险认知的必要数据。

表5 民众综合风险认知

	OLS	Logit	OLS	Logit	OLS	Logit
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
教育	-0.0430 (0.0945)	-0.3545 (0.5285)	-0.0273 (0.0948)	-0.2668 (0.5341)	-0.0213 (0.0950)	-0.2125 (0.5338)
年龄	-0.0114 *** (0.0033)	-0.0541 *** (0.0178)	-0.0111 *** (0.0032)	-0.0534 *** (0.0176)	-0.0112 *** (0.0033)	-0.0543 *** (0.0178)
收入	0.0642 (0.0619)	0.3316 (0.3513)	0.0658 (0.0617)	0.3597 (0.3557)	0.0673 (0.0617)	0.3734 (0.3565)
性别	0.0828 ** (0.0358)	0.4562 ** (0.1921)	0.0813 ** (0.0357)	0.4617 ** (0.1927)	0.0832 ** (0.0357)	0.4752 ** (0.1925)
核电(1-5)	-0.0808 *** (0.0153)	-0.4774 *** (0.1016)	-0.0646 *** (0.0170)	-0.3938 *** (0.1074)		
土地(1-5)			-0.0374 ** (0.0181)	-0.2053 ** (0.0952)		
综合权重值					-0.1023 *** (0.0185)	-0.5903 *** (0.1168)
常数	1.2336 *** (0.1157)	3.8953 *** (0.7286)	1.2799 *** (0.1186)	4.1799 *** (0.7529)	1.2731 *** (0.1182)	4.0794 *** (0.7408)
N	617	617	617	617	617	617
adj. R ²	0.09	0.08	0.10	0.08	0.09	0.08
F	12.07		10.79		12.76	

注: *、**、*** 分别代表在10%、5%、1%的显著性水平下是显著的

(五)投票的有效性假设

陆玮等(2003)认为公众对待核电的态度具有主观性和非理性^[19]。Fischhoff(1983)在风险认知实验中发现这样的现象,人们认为核电的风险是不可知的、不可控、灾难性的、以及致命的,而对于非核能源的风险认知与核能风险认知相反^[20]。从前面的回归结果可以看出,民众对核电的风险认知程度很大程度上决定了民众对核电的态度,从整体的结果上来看,回归结果与我们选择的模型之间并不是很理想,当民众认为核电事故风险为“高风险”“很高风险”的时候很可能没有思考核电事故发生的客观概率以及夸大核电建设的过程中土地占用对民众的影响,而民众在投票时不仅仅考虑的是核电发生的概率,而且还考虑到核电事故发生时对他们的伤害。但是这些我们都不能直接观察出来, Benjamin等(2014)认为即使直接投票也不能直接反映民众的风险偏好,因为民众在投票时往往缺乏足够的信

息^[21]。为了分析主要的风险认知能否解释民众投票的有效性,我们分析这次问卷中的高学历民众(大专及其以上教育)投票情况,我们发现,约有71.91%的高学历民众最终同意核电建设,略高于总体的71.14%比例,见表6。

表6的被解释变量与表5相同,即同意核电站建设为1,不同意为0。表6第1、3、5列数据分别与表6第2、4、6列数据相同(我们为了对比分别使用OLS和Logit进行回归)。结果如表6所示性别与核电事故风险、核电建设用地以及综合权重值仍然是显著的,从表6中可以发现我们使用Logit进行回归得到的系数大于使用OLS进行回归得到的系数,但是显著性并未发生改变,而且显著强度也未发生改变。之前自变量年龄是显著的而在表6中变得不显著,原因在于本问卷高学历人的年龄大部分都是20多岁的,年龄段范围小。之前模型中教育是不显著的,但在表6中教育在1%的显著性水平上是显著

的,并且系数符号为负。表6与表5相比核电事故风险、核电建设的土地占用风险、综合权重值两个自

变量的系数略高于表6,没有太过明显的变化,这也验证了我们本次投票有效性假设。

表6 投票的有效性假设

	OLS	Logit	OLS	Logit	OLS	Logit
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
教育	-1.0338 *** (0.3181)	-4.9938 *** (1.4405)	-1.0328 *** (0.3184)	-5.0282 *** (1.4615)	-1.0317 *** (0.3182)	-5.0136 *** (1.4633)
年龄	-0.0036 (0.0044)	-0.0185 (0.0223)	-0.0028 (0.0044)	-0.0152 (0.0221)	-0.0027 (0.0043)	-0.0150 (0.0220)
收入	0.0482 (0.0739)	0.2233 (0.4128)	0.0451 (0.0732)	0.2211 (0.4143)	0.0445 (0.0730)	0.2191 (0.4132)
性别	0.1139 *** (0.0395)	0.6423 *** (0.2217)	0.1103 *** (0.0394)	0.6449 *** (0.2228)	0.1108 *** (0.0394)	0.6500 *** (0.2231)
核电	-0.0844 *** (0.0164)	-0.5115 *** (0.1119)	-0.0625 *** (0.0182)	-0.3942 *** (0.1195)		
土地			-0.0504 ** (0.0201)	-0.2844 ** (0.1118)		
综合权重值					-0.1134 *** (0.0200)	-0.6781 *** (0.1316)
常数	1.8897 *** (0.2669)	7.0724 *** (1.3082)	1.9620 *** (0.2648)	7.5657 *** (1.3196)	1.9601 *** (0.2643)	7.5280 *** (1.3112)
N	502	502	502	502	502	502

注: *、**、*** 分别代表在10%、5%、1%的显著性水平下是显著的

(六) 综合风险认知的成本量化

在前面所有的模型估计中,核电建设的综合风险认知即核电事故风险认知、核电建设土地占用风险认知的综合权重值都是高度显著的,这明显降低了民众对核电建设的支持。我们使用综合风险认知对核电建设的边际影响,来估计民众对核电建设同意与否,随着综合风险认知增加民众对核电建设的同意度在减少,导致核电生产的预期净收益减少,即综合风险认知每增加一个单位,导致民众对核电建设的同意下降 p 或者反对程度增加 p 。在公式(6)中民众夸大的综合风险认知的边际成本等于由于民众综合风险认知夸大而失去的新核电产生的边际价值。新核电站带来的预期经济价值 $\pi(r_1, R+T) - \pi(m_1, T)$, 我们已经估算出综合风险认知的系数或者是说民众在综合风险认知下对是否同意核电站建设影响 p' , 如果想要计算其经济价值则需要计算出 $\pi(r_1, R+T) - \pi(m_1, T)$ 的经济价值, 也就是新核电假设带来的预期经济价值。根据经合组织(2010)估计核电新核电生产的边际价值为 30 ~ 70euros/MWH, 我们在估计新核电带来的边际价值时使用 30euros/MWH, 因为 Nasdap (北欧电力交易所,

2017) 给出的未来电力价值是 30euros/MWH, 根据表5第(5)列风险的综合权重值的系数-0.1023, 可以计算出民众的综合风险认知带来的成本为 3.1euros/MWH 欧元, 这略低于 Huhtala 等(2017) 计算出来的 3.6euros/MWH^[5]。但是这个数字是 Laes 等(2011) 基于客观风险估算出来成本的 3 倍^[22]。Huhtala 等(2017) 是基于民众对核电事故风险认知所估计出来的成本^[5]。而 Laes 等(2011) 是基于核电事故的客观概率估算出来的成本 1euros/MWH^[22]。本文中以 Huhtala 等(2017) 相同的方法只计算核电民众核电事故风险认知所产生的成本时, 民众因夸大的核电事故风险而产生的成本约为 2.4euros/MWH^[5], 这低于 Huhtala 等(2017) 人估算的 3.6euros/MWH^[5], 但是仍然是核电事故客观风险下所产生的成本 2 倍。

五 结论与建议

(一) 结论

关于核电综合风险认知, 民众对核电事故风险、土地占用风险(低于健康风险认知)明显高于其他一般风险认知, 尤其是民众核电事故风险认知。高风险认知的民众, 很大程度上降低了他们对核电站

建设的支持力度,这与 Hofert 等(2011)的科学估计的事故概率相比,这些感知风险的陈述仍是非常高的^[23]。另外土地占用风险(低于健康风险认知)也高于其他风险认知。民众的综合认知对新核电建设的影响,随着民众综合风险认知的增加民众将减少对核电站建设的支持力度,从而损失核电建设带来的经济价值。因此想要降低民众综合风险认知主要应该从两方面入手,在下面部分我们会具体阐述这两个方面。

男女对核电建设的风险认知是不同的,性别在所有的模型中都具有很强烈的显著性,即使在表6中教育对核电站建设的影响是显著的时候,性别仍然是显著的,Barke 等(1997)认为就算是在对风险很了解的男女科学家中,也会出现女性风险认知高于男性的情况^[24]。此外民众对核电站建设的态度还与年龄、等相关的民众经济社会特征呈现显著相关性。

(二) 建议

从文章的结果我们可以看出想要提高民众对新建核电站的支持力度,需要降低民众对核电综合风险认知。因为民众的综合风险认知由核电事故风险认知和土地占用风险认知组成,所以我们要分别降低民众对核事故风险的认识、土地占用的风险认知。

首先,根据 Hofert 等(2011)的研究,长期损害健康的核电事故每年发生的概率为 1×10^{-6} ,这种事故发生发生的概率几乎为零^[24],因此政府和核电公司应该科学合理地向民众介绍核电的安全性,从而降低民众的核电事故风险认知。

其次,民众对于土地风险认知比较高的原因是多数拿到的征地补贴太少,在前面综述部分我们已经介绍通常征地价格只有市场价格的2%,而在征地所得利益民众只拿到5%~10%,这会打击民众对核电建设的积极性,所以政府和核电公司应该提高征地价格,让民众获得更多的征地利益,以此来降低民众对核电站建设占地风险的认知。

最后,因为人口特征也会影响民众的风险认知,如性别、年龄等,政府与核电公司可以在对居民的核电建设宣传中,对年龄、性别进行有针对性的宣传,以此来降低人口特征对核电站建设的负面影响。

[参考文献]

[1] 李炜炜,王桂敏,李晶,等.从江门反核事件看涉核舆情的预防与消解[J].核安全,2015,14(2):75-80.
[2] SLOVIC P. Perceptions of Risk: Reflections on the Psychometric Paradigm[J]. Social Theories of Risk, 1992,

236(3):112.

- [3] SHOWERS D E, SHRIGLEY R L. Effects of knowledge and persuasion on high-school students' attitudes toward nuclear power plants[J]. Journal of Research in Science Teaching, 1995,32(1): 29-43.
[4] GIORDANO A. The People and the Plan: Intended Reactions to a Nuclear Emergency in New York State[J]. Risk Management, 2005, 7(3):41-56.
[5] HUHTALA A, REMES P. Quantifying the social costs of nuclear energy: Perceived risk of accident at nuclear power plants[J]. Social Science Electronic Publishing, 2017,10(5):320-331.
[6] 周艳,谢萍,梁桂强,等.防城港核电站周围民众核电认知度调查与分析[J].应用预防医学,2017,23(1):5-10.
[7] BRUNN S D, JOHNSON J H J, ZEIGLER D J. Social survey of Three Mile Island area residents. Final report [J]. 1979,36(2):207-215.
[8] 洪加标,余飞,张玮婷,等.内陆核电厂周边区域公众接受度调查与分析[J].中国辐射卫生,2016,25(6):708-710.
[9] 杨广泽,余宁乐,韩重森,等.田湾核电站周围民众对核辐射危险认知调查分析[J].中国辐射卫生,2006(1):69-72.
[10] 杜建军.核电厂建设用地的合理规划[J].武汉大学学报(工学版),2011,44(增刊1):23-26.
[11] 于建嵘.土地问题已成为农民维权抗争的焦点——关于当前我国农村社会形势的一项专题调研[J].调研世界,2005(3):22-23.
[12] 柳建文,孙梦欣.农村征地类群体性事件的发生及其治理——基于冲突过程和典型案例的分析[J].公共管理学报,2014,11(2):101-114;143-144.
[13] FILIPPIN A, CROSETTO P. A Reconsideration of Gender Differences in Risk Attitudes[J]. Iza Discussion Papers,2014,62(11):3138-3160.
[14] 邹志红,孙靖南,任广平.模糊评价因子的熵权法赋权及其在水质评价中的应用[J].环境科学学报,2005(4):552-556.
[15] 赵忠刚,姚安林,赵学芬,薄英.油气管道风险因素的权重赋值方法研究[J].天然气工业,2007(7):103-105;108;143-144.
[16] 周梅华.可持续消费测度中的熵权法及其实证研究[J].系统工程理论与实践,2003(12):25-31.
[17] 王英.基于GIS及综合权重法的甘肃黄土高原区山洪灾害风险区划研究[J].中国农村水利水电,2018(8):118-122.
[18] 汤瑞凉,郭存芝,董晓娟.灌溉水资源优化调配的熵权系数模型研究[J].河海大学学报(自然科学版),2000(1):20-23.

- [19] 陆玮,唐炎钊,杨维志,赵宏中. 核电的公众接受性诊断及对策研究——广东核电公众接受性实证研究[J]. 科技进步与对策,2003,20(12):21-23.
- [20] FISCHHOFF B. “Acceptable risk”: The case of nuclear power[J]. Journal of Policy Analysis & Management, 1983,2(4):559-575.
- [21] BENJAMIN D J, HEFFETZ O, KIMBALL M S. Beyond Happiness and Satisfaction: Toward Well-Being Indices Based on Stated Preference[J]. Social Science Electronic Publishing, 2014, 104(9): 2698-2735.
- [22] LAES E, MESKENS G, SLUIJS J P V D. On the contribution of external cost calculations to energy system governance: The case of a potential large-scale nuclear accident[J]. Energy Policy,2011,39(9):5664-5673.
- [23] HOFERT M, WÜTHRICH, MARIO V. Statistical Review of Nuclear Power Accidents[J]. Asia-Pacific Journal of Risk and Insurance,2012,7(1):1-20.
- [24] BARKE R P, JENKINS-SMITH H, SLOVIC P. Risk Perceptions of Men and Women Scientists [J]. Social Science Quarterly,1997,78(1):167-176.

Cost Quantitative Study on People's Cognition of Comprehensive Risk of Nuclear Power

LIU Wen-jun, CHENG Jian

(University of South China, Hengyang 421001, China)

Abstract: In order to solve the quantitative problem of the impact of the people's nuclear power risk perception on their acceptability of nuclear power, more than 600 people from different regions participated in the questionnaire. Researching the risk cognition of the traditional nuclear power accident, the people's awareness of the construction land occupation risk of the nuclear power is added at the same time based on the large-scale land use of nuclear power construction. The entropy weight method is used to weight the public's nuclear power accident risk cognition and nuclear power construction land occupation risk cognition to obtain comprehensive risk cognition, and the comprehensive risk perception is calculated to quantify the cost of the public's perception of these two risks in nuclear power construction. The research results show that the public's perception of the risk of nuclear power accidents and the risk of land occupation risks of nuclear power construction have a significant impact on the acceptance attitude of public nuclear power plant construction, and the comprehensive risk perception has a significant impact on the acceptance attitude of public nuclear power plant construction. With the increase of the public's perception of the comprehensive risk of nuclear power, the public's support for the construction of nuclear power plant will be lower and lower, and the cost of the comprehensive risk perception will be higher and higher.

Key words: nuclear power plant; cost quantification; risk perception; entropy weight method