

认知资源对公众城市气象灾害防御支付意愿的影响研究——基于南京市暴雨灾害防御的实证^{*1}

张明杨^{1, 2} 吴先华^{1, 2} 盛济川¹

(1. 南京信息工程大学经济管理学院, 江苏南京 210044;

2. 南京信息工程大学中国制造业发展研究院, 江苏南京 210044)

【摘要】:城市气象灾害防御措施的改进是防灾减灾的有效手段,但如何在辨识公众支付意愿的基础上,构建多方成本分担的灾害防御制度是解决问题的关键。从成本分担的视角出发,以南京暴雨灾害防御为例,分析公众对增强型城市气象灾害防御的支付意愿及认知资源在其中的重要作用。通过构建由 Probit 模型和有序 Probit 模型组成的递归混合模型,探讨认知资源和经济资源在公众支付决策中的重要性。研究表明:认知资源的作用十分明显,且随着公众对暴雨灾害风险感知、防御措施了解程度、防御制度认可程度的提高,公众支付意愿越强。而暴雨灾害风险感知又受到灾害趋势认知和经历的共同影响,这两个变量分别影响风险感知的广度和深度,但受教育程度对风险感知深度的影响并不显著。核心建议是从满足公众对城市暴雨灾害风险、防御措施、灾害趋势等知识的需求,政府应该加强暴雨灾害科普宣传的主动性、提升主管和协同部门的公信力;规范科普知识内容、拓宽科普渠道。

【关键词】:成本分担; 公众参与; 气象灾害防御; 支付意愿; 风险感知

【中图分类号】:X4 **【文献标识码】:**A **【文章编号】:**1004-8227(2017)11-1815-09

DOI:10.11870/cjlyzyyhj201711010

城市气象灾害防御措施的改进是防灾减灾的有效手段,但如何在辨识公众支付决策的基础上,构建多方成本分担的灾害防御制度是解决问题的关键。随着全球气候变暖,暴雨等城市极端天气事件频繁发生(仅 2015 年全国超过 150 个城市遭遇暴雨灾害),对城市饮用水污染、群众人身财产安全、交通通信等造成的影响日益加大。在此背景下,加强城市气象灾害防御办法的完善和执行刻不容缓,但防御水平的提升在防灾减灾的同时,必然带来额外的建设与维护成本。社会最优供给的城市气象灾害防御与公共部门出于财政拨款考虑所能承担的额外成本之间存在差异。如何实现社会最优供给与公共部门供给的一致,就需要解决额外成本合理分担的问题。在政府公共财政适度承担的同时,作为气象灾害防御水平提升的受益者,公众适度承担增加的额

¹收稿日期:2017-02-20; 修回日期:2017-04-14

基金项目:中国气象软科学自主资助项目([2016] M32 号)[China Meteorological Soft Science([2016] M32)]; 国家自然科学基金(71603129, 71373131, 71303123)[Natural Science Foundation of China(71603129, 71373131, 71303123)]; 国家自然科学基金重大研究计划培育项目(91546117)[Natural Science Foundation of China(91546117)]; 国家社科重大项目(16ZDA047)[National Social Science Foundation of China(16ZDA047)]; 中国制造业发展研究院开放课题(SK20170090-25, SK2016009011)[OpenProjectsofChinaInstituteofManufacturingDevelopment(SK20170090-25, SK2016009011)]

作者简介:张明杨(1988~),男,博士,主要从事气象灾害与环境治理研究。E-mail:13770555434@126.com

外成本就成为解决这一问题的重要手段。城市气象灾害防御制度的效用取决于执行力，而制度执行力取决于公众对增强型气象灾害防御制度的支付决策。那么，对于追求家庭效用最大化的个体，公众对城市气象灾害防御水平的提升是否愿意支付，认知资源在公众支付决策过程中又扮演何种角色？

已有文献集中于探讨暴雨等城市气象灾害形成机制、风险评估、产生的影响、防御管理^[1~7]及公众应对行为。关于公众应对行为的研究主要表现为如下3方面：(1)Helsloot^[8] (2004)、Adiyoso等^[9] (2013)通过定性分析指出，公众应对灾害风险的行为受到风险感知和信仰的影响。(2)Lavigne等^[10]和沈鸿等^[10]通过调查数据统计分析指出，信息来源、灾害特征、传播网络、灾害地理位置、科技信任等因素对公众应对灾害风险的行为及措施起着决定性作用。而尹衍雨等(2009)发现随着灾害损失风险增加，公众规避风险的家庭投资意愿分布呈正态分布的特征^[12]。(3)Grothmann等^[13] (2006)、孙莉莉等^[14] (2010)、Parlak等^[15] (2012)、Luo等^[16] (2013)、吴先华等^[17] (2014)通过实证研究指出，公众是否采取预防措施受风险感知，灾害经历，信息关注度，防御知识认知，预警预报信息及时性、有效性、可及性及成本等因素的共同影响。现有研究为本文提供了丰富的实践经验和理论研究，具有重要的借鉴意义。然而，上述研究的局限表现为如下方面：①研究范围受限，已有文献集中探讨公众应对灾害风险行为及其影响因素，少有文献关注公众对城市气象灾害防御水平提升是否愿意支付，以及认知资源在公众支付决策过程中扮演的角色。②研究对象受限，现在文献主要围绕乡村地质、洪水、台风等灾害展开分析，较少关注城市暴雨灾害。

以南京市暴雨灾害防御为例，从成本分担的视角分析公众对增强型城市气象灾害防御的支付意愿，通过构建由Probit模型和有序Probit模型组成的递归混合模型，探讨认知资源和经济资源在公众支付决策过程中扮演的角色。上述研究不仅拓宽了该领域的理论视角，而且对完善城市气象灾害防御管理具有重要的理论和现实价值。

1 公众对增强型城市气象灾害防御的支付决策模型构建

1.1 增强型城市暴雨灾害防御措施的选择

综合考虑到南京市暴雨致灾因子、孕灾环境和承灾体，南京市政策文件(《南京市重大气象灾害预警信息快速发布实施细则》、《关于推进率先基本实现气象现代化试点的指导意见》、《南京市中心城区排水防涝规划》、《南京市暴雨强度公式(修订)》、《南京市气象灾害防御管理办法》、《南京市城市绿化条例》)、文献^[1~7]。增强型城市暴雨灾害防御措施的选择包含7个属性，这些属性致力于暴雨源头径流控制、暴雨排放设施改造、排放设施日常管理、预警和公告、公众教育、灾后信息公开，具体措施如下：①非结构性暴雨源头径流控制改造政策(改造人工构筑物，减少硬质铺装，增加地面可渗透性。如(改造广场、商业区、人行道、跑道等城市功能区透水下垫面等；建设下沉式绿地、植草沟、人工湿地等；建设下沉式广场、运动场、地下水库、地下河等蓄水滞水设施等)；②非结构性暴雨排放设施改造政策(依照《南京市暴雨强度公式(修订)》，扩大全市排涝建设项目规模，提高排涝能力)；③结构性暴雨排放设施改造政策(贯彻落实《中心城区排水防涝规划》，完成排水管网的雨污分流改造、完善城市排水防涝工程体系)；④日常管理工作(增加河道清淤净化处理、城市雨水管网清理、电线杆与电线检查加固次数)；⑤预警和公告(开发和实现更明显的预警和公告方式，如充分利用手机微信、室外电子显示屏等多种方式及时预警，将信息传递给各地区、有关部门和广大市民)；⑥公众教育(全市范围内积极开展暴雨灾害减灾免灾公共教育项目，以提高全民防涝减灾意识、增加防御暴雨灾害知识、提高公众自救互救能力)；⑦灾后信息公开(在可能积水或已经积水的低洼地段，设置醒目标志(标识出井、坑、洞、高低不平处)，配置排涝设备，加强巡护，避免行车或行人误入)。

1.2 支付决策的影响机制

公众对增强型城市气象灾害防御的支付意愿是气象灾害防御水平提升的首要前提。个体是理性经济人，能够对其所支配的资源进行有效配置。当个体面临多个可供选择的方案时，个体会选择能够给家庭带来效用最大化的方案。因此，只有当城市气象灾害防御水平的提升给个体或家庭带来效用最大化时，个体才愿意为此支付费用。应用数学表达式：

$$D(R) = P\{(E-C) > R\} \quad (1)$$

式中:E表示个体为增强型气象灾害防御措施支付费用后所能获得的预期收益;C表示个体的支付成本;R表示个体的当前收益;D(R)表示个体为增强型气象灾害防御措施支付的决策函数。该表达式表明,只有当预期收益扣除支付成本后的净收益大于当前收益时,个体才会做出支付决定。基于上述理论分析,个体为增强型气象灾害防御措施支付的决策模式可以概括为如下分类函数:

$$\text{是否愿意支付} = \begin{cases} \text{是}, & (E-C > R) \\ \text{否}, & (E-C < R) \end{cases} \quad (2)$$

式中:个体的支付成本比较容易确定,而预期收益与当前收益则取决于个体自身的内在因素和所处的外部环境:a.人口统计学特征。消费者行为理论认为,经济资源是个体购物时消费的主要资源之一。经济资源(购买能力)是解释人们为什么购买、购买什么和什么时候购买的关键人口统计量,此类变量会影响个体对某种新产品或新服务的理解和判断,进而影响他们对产品或服务的支付决策。具体而言,公众对于对城市气象灾害防御的支付意愿可能受到居住地(主城区、新增城区、郊区)、工作地与居住地是否为同一行政区、以及家庭月均收入的共同影响。b.信息拥有量因素。消费者行为理论认为,认知资源是个体购物时消费的另一个主要资源。认知是指人们对客观事物的评价,即“印象”,也称“信念”。根据计划行为理论,认知是消费者态度的基础,与产品的属性(包括内部属性和外部属性)联系在一起,是对产品的属性、功能、有用性等的评价,会对个体的决策行为产生影响。具体而言,公众对增强型城市气象灾害防御措施支付决策受暴雨灾害风险感知、暴雨灾害防御措施了解程度、暴雨灾害防御制度认可程度的共同影响,其中风险感知可以从深度和广度两个维度加以衡量,公众自身受教育程度和暴雨灾害经历影响风险感知的深度,而暴雨灾害趋势认知影响风险感知的广度。

上述分析给出了研究公众对增强型城市气象灾害防御措施支付决策的影响因素的基本框架:

方程一:公众对增强型气象灾害防御措施的支付决策=f(暴雨灾害风险感知、暴雨灾害防御措施了解程度、暴雨灾害防御制度认可程度、人口统计学特征);

方程二:暴雨灾害风险感知=f(暴雨灾害经历、暴雨灾害趋势认知、受教育程度)

1.3 支付决策模型构建

为了检验公众对增强型城市气象灾害防御措施支付决策的影响因素,本文基于上述理性经济人假设的探讨,并考虑到相关数据资料的可获得性,拟构建一个由二值选择 Probit 模型和 Ordered Probit 模型组成的系统模型——递归混合模型(Recursive Mixed-Process Models)。该递归混合模型由 Roodman [18] (2011)提出,他指出由于正态分布具有自然的多维度的一般属性,因此多个相关模型可以组合成一个多方程的系统,而残差项可以共享系统中多变量的正态分布。且该方法可以有效地解决方程中的内生性问题。模型如下:

$$\begin{cases} WTP_i = \alpha_i + \beta_1 \cdot INSTO_{1i} + \beta_2 \cdot INSTO_{2i} + \\ \beta_3 \cdot INSTO_{3i} + X_i + \mu_i \\ INSTO_{1i} = \lambda_i + \theta_{1i} INSTO_{4i} + \theta_{2i} INSTO_{5i} + \\ \theta_{3i} EDU + v_i \end{cases} \quad (3)$$

式中:递归方程一(WTP_i)用以分析第 i 个公众对增强型气象灾害防御措施支付决策,因变量表示“对于增强型城市气象灾害防御措施是否愿意支付”的一个二分变量(1=愿意支付,0=不愿意支付),自变量定义如下:a.信息拥有量因素。采用暴雨灾害风险感知(INSTO₁)、暴雨灾害防御措施了解程度(INSTO₂)、暴雨灾害防御制度认可程度(INSTO₃)3个变量加以衡量。b.人口统计学特征。采用矩阵 X 加以衡量,具体包括平均月家庭收入、居住地为主城区(1=主城区;0=其它)、居住地为新增城区(1=新增城区;0=其它)、工作地与居住地是否为同一行政区(0=不工作或居住地与工作地所在同一区,1=工作且居住地与工作地不在同一区域)。递归方程二(INSTO₁)用以分析公众对暴雨灾害风险感知的行为,因变量表示“对于暴雨灾害的风险感知”的一个有序变量(1~5),自变量定义如下:a.风险感知深度。采用受教育程度、暴雨灾害经历加以衡量;b.风险感知广度,采用暴雨灾害趋势认知加以衡量。变量定义与说明见表 1。

表 1 变量定义与说明

符号	变量	测量指标	说明	预期
方程一				
WTP	支付决策	提升防御水平有助于防灾减灾,但也增加了 建设与维护成本。在政府财政无法全额承担 建设与维护成本的同时,作为气象灾害防御 水平提升的受益者,您是否愿意,为增强南 京市暴雨灾害防御水平,支付一定的费用?	1=愿意支付, 0 =不愿意支付	
矩阵 INSTO	信息拥有量因素			
INSTO ₁	暴雨灾害风险感知	您是否认为城市暴雨灾害给居民的生活、生 产带来严重危害,如人身危害(污染生活用 水、树木倒伏)、财产危害(住户被淹、店铺 损坏)、生活生产危害(路段积水、交通堵 塞、污水倒灌)等等?	1=非常不认同, 2=比较不认 同, 3 =一般, 4=比较认同, 5 =非常认同	+
INSTO ₂	暴雨灾害防御措施了解程度	您认为如下哪几项属于城市暴雨防御措施? (a.暴雨源 头径流控制, b.暴雨排放改造, c.日常管理工作, d. 灾后信息公布, e.预 警和预告, f.公共教育)	公众选项占 6 类选项的比重 (%)	+
INSTO ₃	暴雨灾害防御制度认可程度	您是否相信,南京市气象灾害防御主管及协同 部门能够有效防御城市暴雨灾害(如市政府、 气象局、环保局、国土资源局、水利局等)?	1=完全不相信, 2=比较不相 信, 3 =一般, 4=比较相信, 5 =完全相信	+
矩阵 X	人口统计学特征			
INCOME	家庭月收入	/	1= <2000, 2 = 2001- 4000, 3= 4001 -6000, 4 = 6001 - 8000, 5= 8001 - 10000, 6 = 10001-12000, 7 = . >12000	+
LIVINGPLACE ₁	居住地为主城区	地区虚拟变量,以郊区(浦口、江宁和六合) 作为比较项,主城区包括鼓楼、秦淮、玄武和 建邺	1 =主城区; 0 =其它	\\

LIVINGPLACE ₂	居住地是否为新增城区	地区虚拟变量，以郊区（浦口、江宁和六合）作为比较项，新增城区包括雨花台和栖霞	1=新增城区；0 =其它	\\
PLACECHANGE WORKING	工作地与居住地是否为同一行政区	交互项，是否工作（1=参加工作；0 =不参加工作）* 工作地与居住地所在同一区（1=两者不同；0 =居住地与工作地在同一区）	0 =不工作或居住地与工作地不在同一区，1=工作且居住地与工作地不在同一区域	+
方程二				
INSTO ₁	暴雨灾害风险感知	您是否认为城市暴雨灾害给居民的生活、生产带来严重危害，如人身危害（污染生活用水、树木倒伏）、财产危害（住户被淹、店铺损坏）、生活生产危害（路段积水、交通堵塞、污水倒灌）等等？	1 =非常不认同，2=比较不认同，3 =一般，4=比较认同，5 =非常认同	
INSTO ₄	暴雨灾害趋势认知	您是否认为，近年来在6~9月期间，南京市暴雨灾害频繁发生？	0 =偶尔发生，1=频繁发生	+
INSTO ₅	暴雨灾害经历	近年来，您是否遭遇过城市暴雨灾害造成的生产和生活方面的危害？	0 =否，1=是	+
EDU	受教育程度		1=初中及以下，2 =高中或中专，3 =大专本科，4 =研究生	+

基于上述支付决策的影响机制分析，提出如下假说：

假说 1: 公众对城市气象灾害及其防御的信息拥有量是影响公众支付决策的重要影响因素，作用方向表现为：公众对暴雨灾害风险感知越高、对暴雨灾害防御措施的了解程度越高、对暴雨灾害防御制度的认可程度越高，公众的支付意愿越大。

假说 2: 公众对暴雨灾害风险感知可以从风险感知深度和风险感知广度两个方面加以衡量。基于风险感知深度，公众受教育程度越高、暴雨灾害经历越丰富，对暴雨灾害的风险感知越高；基于风险感知广度，公众对暴雨灾害趋势的认知度越高、对暴雨灾害的风险感知越高。

2 调查与数据描述

我们于 2017 年 1~2 月在南京市 9 个行政区(主城区:鼓楼、秦淮、玄武和建邺；新增城区:雨花台和栖霞；郊区:浦口、江宁和六合)进行了调查，整个选取过程采用随机抽样方法，调查对象为城市市区的常住人口(不包括本地大学生)，调查地点选为各行政区的大型购物中心、超市，大量研究表明这些场所的公众所处的社会阶层比较多样，避免了单个场所抽样产生的只关注某一类公众的样本选择偏误问题^[19]。在调查过程中坚持当场填表、当场审核和当场回收的原则，总计发放问卷 679 份，选取有效样本 636 个，有效回收率达 93.67%。样本总体的年龄集中于 24~50 岁，男女性别比值为 1.7。具有初中及以下、高中及中专、大专及本科、研究生教育程度的样本分别约占样本总体的 13.2%、38.2%、44.3%和 4.2%。

统计数据显示(表 2)，(1)57.55%的公众表示愿意对增强型城市气象灾害防御制度支付一定的费用。(2)对于暴雨灾害可能引发的人身危害(污染生活用水、树木倒伏)、财产危害(住户被淹、店铺损坏)、生活生产危害(路段积水、交通堵塞、污水倒灌)等风险，表示不认同、一般和认同的公众分别占 11.32%、26.94%、62.74%。(3)对于暴雨灾害防御措施了解程度而言，公众对暴雨排放改造措施的辨识率(89.15%)最高，其次是预警和公告(76.42%)、日常管理工作(66.98%)、暴雨灾害源头径流控制(57.55%)，而对灾后信息发布(43.40%)和公共教育(43.87%)的辨识率较低；此外，37.74%的公众能够辨识其中的 5~6 项，36.32%的公众能够辨识其中的 3~4 项。(4)对于暴雨灾害防御主管及协同部门，表示不相信、一般、相信的公众分别占 18.87%、43.40%、37.74%。(5)对于暴雨灾害趋势认识，29.72%的公众认为近年来南京暴雨灾害频繁发生，其余 70.28%的公众认为偶尔发生。(6)48.58%的

公众经历过城市暴雨灾害。

表 2 关键变量的统计分析

变量	指标说明	统计值
支付意愿	愿意支付的公众所占比例	57.55%
暴雨灾害风险认知	不认同（非常不认同、比较不认同），一般，认同（比较认同、非常认同）的公众分别所占比例	11.32% , 26.94% , 62.74%
暴雨灾害防御措施了解程度	公众对每一项防御措施（暴雨源头径流控制、暴雨排放改造、日常工作管理、灾后信息发布、预警和公告、公共教育）的辨识度	57.55%、89.15% , 66.98%、43.40%、76.42% , 43.87%
暴雨灾害防御制度认可程度	公众对 6 项防御措施的辨识度（辨识 1 项、2 项、3 项、4 项、5 项、6 项）	14.15%、11.79% , 21.23%、15.09%、10.85% , 26.89%
暴雨灾害趋势认知	不相信（完全不相信、比较不相信），一般，相信（比较相信、完全相信）的公众分别所占比例	18.87% , 43.40% , 37.74%
暴雨灾害经历	认为频繁发生的公众所占比例	29.72%
	经历过灾害的公众所占比例	48.58%

资料来源:笔者根据江苏省南京市 9 个行政区公众调查数据整理获得, 2017 年.

3 公众对增强型城市气象灾害防御的支付决策模型的估计与分析

3.1 模型估计

首先, 针对公众对增强型气象灾害防御措施的支付决策模型, 采用同方差假设的 probit 模型估计方法。其次, 考虑到截面数据可能存在异方差问题, 采用异方差的 probit 模型估计方法, 估计结果表明方程整体未通过显著性(Wald=1.78), 但似然比检验结果(LR=63.10***)表明二值 probit 模型存在异方差, 且本文选取的影响扰动项平方的 3 个外生变量(暴雨灾害趋势认知、暴雨灾害经历、居住地为主城区)均通过 1%水平的显著性检验。第三, 针对混合模型估计方法, 已有研究主要聚焦于多阶段算法(Multistage Procedures), 该方法在统计量较少的情况下是一种非常高效的计算方法。然而, 最大似然估计法凭借更快的计算、更有效的模拟, 能够实现更高维度的累积正态分布曲线的估计。Roodman (2011)提出的递归混合模型就是采用最大似然估计法。因此, 针对本文构建的递归混合模型, 采用最大似然估计法, 运用计量经济软件 Stata13 中的 CMP(Conditional(recursive)mixed processes timator)指令进行稳健标准差的模型估计, 即能有效解决异方差问题, 又能有效解决模型可能存在的内生性问题^[18], 估计结果见表 3。

表 3 公众对城市气象灾害防御的支付决策的估计结果

因变量	符号	自变量	模型估计结果		
			同方差 probit 模型	异方差 probit 模型	递归混合模型 (probit & ordered probit 模型)

支 付 意 愿	INSTO ₁	暴雨灾害风险认知	-0.023 -0.05	-0.052 -0.04	0.319** -0.13
	INSTO ₂	暴雨灾害防御措施 了解程度	0.386** -0.18	0.142 -0.11	0.360 ** -0.17
	INSTO ₃	暴雨灾害防御制度 认可程度	0.235 *** -0.05	0.104 -0.08	0.219 ... -0.05
	INCOME	平均月家庭收入	-0.029 -0.03	0.023 -0.02	-0.034 -0.03
	LIVINGPLACE ₁	居住地为主城区	0.047 -0.12	0.147 -0.16	0.043 -0.1
	LIVINGPLACE ₂	居住地为新增城区	0.243 -0.15	0.054 -0.05	0.208 -0.14
	PLACECHANGWORKING	工作地与居住地是 否为同一行政区	-0.115 -0.16	-0.031 -0.03	-0.105 -0.15
	CONSTANT	常数项	-0.642 ** -0.27	-0.278 -0.22	-1.818*** -0.47
	INSTO ₄	暴雨灾害趋势认知		2.244 ... -0.5	
	INSTO ₅	暴雨灾害经历		-3.391 *** -0.79	
	LIVINGPLACE1	居住地为主城区		2.211 ... -0.62	
	INSTO ₄	暴雨灾害趋势认知			0.426 ... -0.1
	INSTO ₅	暴雨灾害经历			0.317 ... -0.09
	EDU	受教育程度			0.027 -0.05
	cut_2_1	切点 1 估计值			-1.111 ... -0.15
暴雨 灾害 风险 认知	cut_2_1	切点 2 估计值			-0.918*** -0.15
	cut_2_2	切点 3 估计值			-0.003

					-0.14
cut_2_3	切点 4 估计值				1.084 州
					-0.15
	递归模型中方程 1				
atanhrho_12	与方程 2 的				-0.456**
	相关性				-0.19
	似然函数对数/似				
Log likelihood/Log	然函数对数/	-417.095	-385.546		-1 264.741
likeli-hood/Log					
pseudol likelihood	伪似然函数对数				
	似然比值/瓦尔德				
LR/Wald/Wald	值/瓦尔德值	32.95 **	1.78		108.12***
Likelihood-ratio test	似然比检验值	63.10***			

注：①* $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$, 表中同方差模型和异方差模型括号内报告的标准差为普通标准差，递归混合模型括号内报告的标准差为稳健标准差(Robust standard error)；②资料来源：笔者根据江苏省南京市 9 个行政区公众调查数据整理获得，2017 年。

递归模型中 atanhrho_12 的结果表明递归方程 1 与 2 确实存在相关性。为了进一步检验递归模型的有效性，笔者比对了递归混合模型和同方差 Probit 模型、异方差 Probit 模型的估计结果。结果表明，首先变量 INST01(暴雨灾害风险认知)在同方差和异方差模型中的估计系数为负，且未通过显著性检验，无论是作用方向还是作用效果与理论预期相悖，而在递归混合模型中估计结果与理论预期相符。其次，关键解释变量(INST01、INST02 和 INST03)的估计系数在同方差和异方差 Probit 模型中明显被低估。产生上述结果的原因，一是初始模型存在异方差，二是初始模型很有可能存在内生性问题，而上述问题上递归混合模型中得到了很好的解决。

3.2 实证分析

递归混合模型的估计结果与理论预期相符，具体分析如下：

变量 INST01 的估计系数(0.319**)显著为正，且通过 5%的显著性检验。表明随着公众对暴雨灾害风险感知的提高，公众对城市气象灾害防御支付意愿的概率也会不断提高。这一结论与理论预期相符。近年来，城市暴雨灾害频发，且给居民的生活、生产带来了严重危害，如人身危害(污染生活用水、树木倒伏)、财产危害(住户被淹、店铺损坏)、生活生产危害(路段积水、交通堵塞、污水倒灌)等等。因此公众暴雨灾害风险感知的提高势必会增加他们对暴雨灾害防御的支付意愿。

变量 INST02 的估计系数(0.360**)显著为正，且通过 5%的显著性检验。表明随着公众对暴雨灾害防御措施了解程度的加深，公众对城市气象灾害防御支付意愿的概率也会不断提高。这一结论与理论预期相符。当前城市暴雨防御措施主要包括暴雨源头径流控制、暴雨排放改造、日常管理工作、灾后信息公布、预警和预告、公共教育等六项，研究表明政府相关部门加强上述六项措施的科普工作将有助于增加公众对暴雨灾害防御的支付意愿，以便补上社会最优供给的城市气象灾害防御与公共部门出于财政拨款考虑所能承担的额外成本之间存在的空缺。

(3)变量 INST02 的估计系数(0.219***)显著为正,且通过 1%的显著性检验。表明随着公众对暴雨灾害防御制度认可程度的提高,公众对城市气象灾害防御支付意愿的概率也会不断提高。这一结论与理论预期相符。当前,南京市气象灾害防御主管及协同部门主要有市政府、气象局、环保局、国土资源局、水利局等。研究表明,公众对上述部门信任程度的提高有助于增加公众对暴雨灾害防御的支付意愿。

(4)变量 INST01(暴雨灾害风险感知)又受到 INST04(暴雨灾害趋势认知)和 INST05(暴雨灾害经历)的共同影响。上述两个变量的估计系数(0.426***和 0.317***)显著为正,且均通过 1%水平的显著性检验。研究表明,从暴雨风险感知的广度来讲,近年来 6~9 月南京暴雨日趋加重,公众对暴雨灾害趋势认知的提升有助于增加公众对暴雨灾害防御的支付意愿;从暴雨风险感知的深度来讲,经历过暴雨灾害造成的生产和生活方面危害的公众,对暴雨灾害防御的支付意愿更强,但受教育程度的影响未通过显著性检验,这里可以解释为长期以来,公众在暴雨等城市气象灾害相关知识的获取上,学校和社区等单位所起的作用微乎其微,政府相关部门可以与学校、社区等单位开展合作,以提升公众对暴雨灾害的认知。

此外,人口统计学特征(居住地为主城区、居住地为新增城区、工作地与居住地是否为同一行政区)未通过显著性显著。

4 结论与政策启示

全球气候变暖,暴雨等城市极端天气事件频繁发生,加强城市气象灾害防御办法的完善和执行刻不容缓。市气象灾害防御水平的提升在防灾减灾的同时,必然带来额外的建设与维护成本。社会最优供给的城市气象灾害防御与公共部门出于财政拨款考虑所能承担的额外成本之间存在差异。本文基于成本分担视角分析在政府公共财政适度承担的同时,公众对对增强型气象灾害防御制度的支付意愿及其影响因素。调查表明,当前公众对暴雨灾害可能发生的风险认知较高,但仍有部分公众(38.26%)未意识到暴雨灾害的严重性;对于暴雨灾害趋势认识,约 70.28%的公众认为南京暴雨灾害只是偶尔发生。对于暴雨灾害防御措施了解程度而言,公众对暴雨排放改造措施的辨识率(89.15%)最高,其次是预警和公告(76.42%)、日常管理工作(66.98%),而对灾后信息发布(43.40%)和公共教育(43.87%)的辨识率较低;此外,37.74%的公众能够辨识其中的 5~6 项,36.32%的公众能够辨识其中的 3~4 项,其余公众只能辨识其中的 1~2 项;对于暴雨灾害防御主管及协同部门,表示相信的公众占 37.74%,这一比例有待提高。而超过半数(57.55%)的公众愿意为增强南京市暴雨灾害防御水平支付一定的费用,且随着公众对暴雨灾害风险感知、暴雨灾害防御措施了解程度、暴雨灾害防御制度认可程度的提高,公众的支付意愿越强。而公众对暴雨灾害风险感知又受到暴雨灾害趋势认知和暴雨灾害经历的共同影响,上述两个变量分别影响暴雨灾害风险感知的广度和深度,但受教育程度对风险感知深度的影响并不显著。

本文的核心建议是:从满足公众当前及未来对城市暴雨灾害风险、防御措施、灾害趋势等知识的需求,政府应该加强城市暴雨灾害科普宣传的主动性、提升主管和协同部门的公信力;规范暴雨灾害科普知识内容;拓宽城市暴雨灾害知识科普渠道。详细建议如下:

(1)加强城市暴雨灾害科普宣传的主动性,提升主管和协同部门的公信力。健全暴雨灾害相关知识科普宣传的组织体系,设立动态管理等职能部门,及时做好相关信息的科普宣传工作。具体职能可能包括:①暴雨灾害潜在风险、暴雨灾害防御措施、暴雨灾害发生趋势等相关信息的动态收集与整理;②通过权威可信的信息发布主体和渠道及时向公众公布信息;③建立网络信息门户,设立疑问解答窗口,允许实名注册的公众询问城市暴雨灾害的相关问题,并及时予以解答。

(2)规范暴雨灾害科普知识内容。梳理并规范暴雨灾害科普知识内容,主要从暴雨灾害潜在风险、防御措施及发生趋势等方面整理。一是城市暴雨灾害风险包括潜在人身危害,如对生活用水的污染程度、树木倒伏等统计情况;财产危害,如指定区域住户被淹、店铺损坏等统计情况;生活生产危害,如指定路段积水、交通堵塞、污水倒灌等统计情况。二是暴雨灾害防御措施科普力度按照公众辨识率由低到高的顺序,优先科普公共教育和灾后信息发布相关知识,其次科普暴雨灾害源头径流控制、日常管理工作、预警和公告相关知识,最后是暴雨排放改造措施相关知识。三是提升暴雨灾害防御制度认可程度。通过制度的公

正、公开，灾害准确预测与预警，灾害及时应对，信息准确及时发布，灾后及时妥善处理等手段，提升南京市政府、气象局、环保局、国土资源局、水利局等灾害防御主管及协同部门公信力。

(3)拓宽城市暴雨灾害知识科普渠道。科普渠道的选取应遵循可信性、可获性、可持续性原则。相关部门在科普宣传过程中，重点利用好传统信息渠道，有效借助新兴信息渠道，具体建议如下：①借助可信度高的信息渠道，如电视新闻与广播、报纸与杂志，及时向民众公布信息；②借助网络平台(互联网、微博与微信等)，对录制好的视频加以广泛传播；③充分发挥学校和社区在宣传中的重要用途，定期在中小学、高中及大学等各级学校开展讲座，做到暴雨灾害知识科普从娃娃抓起；定期在社区开展知识咨询、有奖知识问答等形式多样的活动，让家长充分意识到暴雨灾害防御人人有责。

参考文献:

[1] OBROPTA C C, KARDOS J S. Review of urban stormwater quality models: deterministic, stochastic, and hybrid approaches [J]. Journal of American Water Resources Association, 2007, 43: 1508—1523.

[2] WEISS P T, GULLIVER J S, ERICKSON, A J. Cost and pollutant removal of stormwater treatment practices [J]. Water Resour Plan Manag, 2007, 133: 218—229.

[3] KINZELMAN J L, MCLELLAN S L. Success of science-based best management practices in reducing swimming banse a case study from Racine, Wisconsin, USA [J]. Aquat Ecosyst Health, 2009, 12: 187—196.

[4] JERROD P, WUYANG H, LINDA C. Resident and tourist preferences for stormwater management strategies in Oahu, Hawaii [J]. Cean & Coastal Management, 2014, 98: 79—85.

[5] 张炜, 李思敏, 孙广垠. 我国城市暴雨内涝形成的影响机制研究 [J]. 城市发展研究, 2013, 20(1) : 120—122.

【ZHANG W, LI S, SUN G. Effect mechanism of urban rainstorm water logging formation in China urban development studies [J]. Urban Development Studies, 2013, 20(1) : 120—122. 】

[6] 翁莉, 马林, 徐双凤. 城市暴雨灾害风险评估及防御对策研究——以江苏省南京市为例 [J]. 灾害学, 2015, 30(1) : 130—134.

【WENG L, MA L, XU S. The urban rainstorm disaster risk assessment and defensive measures——a case study of Nanjing of Jiangsu Province [J]. Journal of Strophology, 2015, 30(1) :130—134. 】

[7] 张纯, 宋颜. 美国城市精明增长策略下的暴雨最优管理经验及启示 [J]. 国际城市规划, 2015, 30(2) : 75—80.

【ZHANG C, SONG Y. Experience and implications of using smart growth policy as stormwater best management practices in the USA [J]. Urban Planning International, 2015, 30 (2) :75—80. 】

[8] HELSLOOT A RUITENBERG. Citizen response to disasters: A survey of literature and some practical implications [J]. Journal of Contingencies and Crisis Managemen, 2004, 12(3): 98—111.

[9] ADIYOSO W, KANEGAE H. The preliminary study of the role of islamic teaching in the disaster risk reduction

(a qualitative case study of Banda Aceh, Indonesia) [J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2013, 17: 918–927.

[10] LAVIGNE F, DE COSTE R B, JUVIN N, et al. People's behaviour in the face of volcanic hazards: Perspectives from Javanese communities, Indonesia [J]. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2008, 172(3) : 273–287.

[11] 沈鸿, 孙雪萍, 苏筠. 科技信任, 管理信任及其对公众水灾风险认知的影响——基于长江中下游的社会调查[J]. *灾害学*, 2012, 27(1) : 87–93.

【SHENG H, SONG X, SU J. Trust in science and technology, trust in management and their influence on public cognition of flood disaster risk——based on social investigation of the middle and lower reaches of Yangtze River [J]. *Journal of Strophology*, 2012, 27(1) : 87–93. 】

[12] 尹衍雨, 苏筠, 叶琳. 公众灾害风险可接受性与避灾意愿的初探——以川渝地区旱灾风险为例 [J]. *灾害学*, 2009, 24(4) : 118–124.

【YIN Y, SUN J, YE L. A preliminary discussion on the public disaster risk acceptance and the disaster avoidance intention——a case study of drought risk in sichuan and Chongqing region [J]. *Journal of Strophology*, 2009, 24(4) : 118–124. 】

[13] GROTHMANN T, REUSSWIG F. People at risk of flooding: why some residents take precautionary action while others do not [J]. *Natural Hazards*, 2006, 38(1/2) : 101–120.

[14] 孙莉莉, 陈爱莲, 王祥明, 等. 山区台风灾害避灾行为的影响因素分析 [J]. *自然灾害学报*, 2010, 19 (6) : 65 –170.

【SUN L, CHEN A, WANG X, et al. Factors analysis of influence on refuge behavior against typhoon disaster in mountainous area [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2010, 19 (6) : 65 –170. 】

[15] PARLAK A I, LAMBERT J H, GUTERBOCK T M, et al. Population behavioral scenarios influencing radiological disaster preparedness and planning [J]. *Accident Analysis & Prevention*, 2012, 48: 353–362.

[16] LUO X, LEVI A E. Factors influencing willingness to participate in disaster reduction [J]. *Natural Hazards*, 2013, 66(2) : 1243–1255.

[17] 吴先华, 刘华斌, 郭际, 等. 公众应对气象灾害风险的行为特征及其影响因素研究——基于深圳市 3109 份调查问卷的实证 [J]. *灾害学*, 2014, 29(1) : 103–108.

【WU X, LIU H, GUO J, et al. Behavioral characteristics of public coping with meteorological disasters risk and its factors——based on 3109 questionnaires in Shenzhen City [J]. *Journal of Strophology*, 2014, 29(1) : 103–108. 】

[18] ROODMAN, D. “Fitting fully observed recursive mixed-process models with cmp, ” *The Stata Journal*,

vol. 11, no. 2, 2011, pp. 159–206.

[19] ZHANG M, C CHEN, W HU et al. Influence of source credibility on consumer acceptance of genetically modified foods in China [J] . Sustainability, 2016, 8(9) : 899–914.