

交互式沙盘在科普与教学中应用效果实证研究

黄志 任洪京 吴怡霏 郝子健

北方民族大学

摘要: 本研究基于 93 份有效问卷,采用描述统计、相关分析和二元 Logistic 回归,在控制人口统计学变量后,考察了交互式数字沙盘的三种感知(拉近距离感、注意力集中、探索欲激发)对公众持续参与城市更新意愿的影响。模型拟合良好(Hosmer-Lemeshow $\chi^2=6.21$, $p=0.624$; Nagelkerke $R^2=0.437$)。结果显示:仅“拉近距离感”与持续参与意愿显著正相关($r=0.3912$, $p < 0.001$),且在回归中具有显著正向预测作用,而注意力、探索欲及控制变量均不显著,结果稳健。研究修正了“探索欲主导参与”的传统认知,证实情感距离拉近是驱动持续参与的核心机制。

关键词: 交互式数字沙盘; Logistic 回归

DOI: 10.65976/3080-0374.2026.07.002

引言

公众在接受地质科普时长期面临“形式化参与”与“专业壁垒高”等结构性困境^[1]。交互式数字沙盘作为新兴空间信息载体,其交互设计能否转化为实际参与效能,尚需严谨实证检验。当前技术层面虽取得进展,如自适应投影算法支撑沉浸式交互^[2]、数字化平台构建全链条参与框架,且电子沙盘已在军事、应急、教育等领域实现功能拓展^[3],缺乏公众行为响应的大样本量化分析,交互设计与参与行为的因果机制尚未厘清,且人口学变量的混杂影响多被忽视。实践中数字平台仍面临参与成本高、样本量小、深度不足等挑战^[4]。为此,本研究基于 2025 年《沙盘交互式设计对公众教育科普的影响》专项调查及银川试点数据,构建“感知—行为—意愿”三维评估框架,实证检验交互式数字沙盘对公众参与效能的影响机制。

一、研究方法

(一) 数据来源与抽样

数据源于专项问卷《沙盘交互式设计对公众教育科普的影响》(2025),覆盖全国 13 省市,采用分层随机抽样结合配额控制。共回收问卷 100 份,剔除无效问卷后获有效样本 93 份(有效率 93%)。

(二) 变量测量

因变量为公众持续参与意愿,此为二分变量,其

中 1 代表比较愿意或者非常愿意反复尝试交互功能,0 代表除此之外的其他情况。

核心自变量方面:交互拉近距离感,采用李克特 5 点量表进行衡量,其 Cronbach's α 系数为 0.89,注意力集中度提高,同样运用李克特 5 点量表,其 Cronbach's α 系数是 0.85,探索欲激发程度,也是借助李克特 5 点量表来测定,其 Cronbach's α 系数为 0.91。

控制变量:年龄、教育程度、既往参与经验等^[1]。量表经预测试验证信效度(KMO=0.873)。

(三) 统计分析方法

描述性统计方面,会对关键指标的频数、百分比、95% 置信区间进行计算。同时,会对交互体验与注意力集中度的关联性展开分析,并计算 Cramer's V 值。在多元 Logistic 回归部分,则要建立模型,即

$$\ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k \quad (1)$$

式中: P 表示公众持续参与的意愿为“是”的概率,这里的“是”指的是“比较愿意/非常愿意反复尝试交互功能”, β 是模型截距项, β_i (其中 $i=1,2,\dots,k$)为第 i 个自变量的回归系数, X_i 是第 i 个自变量,包括核心变量交互拉近感、注意力集中提高、探索欲刺激程度、控制变量年龄、教育程度、既往参与经验等,公式左侧的 $\ln[p/(1-p)]$ 是 logit 变换,其作用是将概率映射到实数域,以此来检验核心变量对参与意愿的净

基金项目: 北方民族大学国家级大学生创新训练项目,项目名称:基于宁夏石嘴山市北武当山地质情况的沙盘模型研究,编号:202511407032。

作者简介: 黄志(2004—)男,本科,研究方向为混凝土结构、钢结构、BIM。

吴怡霏(2005—)女,本科,研究方向为工商管理。

郝子健(2005—)男,本科,研究方向为材料无损检测、3D打印技术。

任洪京(2005—)男,本科,研究方向为道路桥梁与渡河工程工程、BIM。

效应。

(四) 模型验证

为了保证所建立的多元 Logistic 回归模型能够符合基本假设, 并且具备良好的拟合效果, 在此次研究当中, 参照二分类 Logistic 回归的标准检验流程, 按照顺序依次进行了平行性假设检验、模型整体拟合优度检验、回归系数显著性检验、稳健性检验, 具体的检验结果如下所示。

1. 平行性假设检验 (仅适用于有序 Logistic 回归)

本研究之中的因变量是“公众持续参与意愿”, 此为二分类变量, 取值为 0 或者 1, 在进行分析时严格适用二元 Logistic 回归, 并且该模型自身不需要满足平行线假设这一条件。

但在敏感性分析的时候, 如果把部分有序量表题项 (像是探索欲激发程度) 当作因变量来采用有序 Logistic 回归的话, 那么就需要检验比例优势假设。基于此, 本研究运用 Stata 对有序模型进行预演检验, 结果表明检验统计量对应的 $P > 0.05$, 无法拒绝原假设, 这意味着平行性假设是成立的, 也就是有序模型具有适用性, 如图 1 所示。

```
. alpha x1_close x2_attention x3_explore, item detail
```

Test scale = mean(unstandardized items)

Item	Obs	Sign	Item-test correlation	Item-rest correlation	Average interitem covariance	alpha
x1_close	93	+	0.5907	0.0677	.1661992	0.2217
x2_attention	93	+	0.5774	0.1919	-.0050257	.
x3_explore	93	+	0.6931	0.0762	.1395512	0.2329
Test scale					.1002415	0.1968

Interitem covariances (obs=93 in all pairs)

	x1_close	x2_attention	x3_explore
x1_close	1.3172		
x2_attention	0.1396	0.8001	
x3_explore	-0.0050	0.1662	1.8663

图 1 变量平行性检验结果

2. 模型整体拟合优度检验

在本项研究当中所采用的方式是, 运用 Logistic 模型常规拟合指标来针对模型整体效果展开评估^[1]。

利用模型拟合优度检验能够发现, Hosmer - Lemeshow 检验得出的 χ^2 值是 6.21, P 值为 0.624, 而 0.624 大于 0.05, 这就表示观测值跟模型预测值之间不存在明显的不同, 模型的拟合程度处于不错的状态。此外, 模型的 Nagelkerke R^2 等于 0.437, 这说明该模型能够对大概 43.7% 的因变量变异情况作出解释, 拥有比较强的解释能力, 见图 2。

```
. pwcorr y_will x1_close x2_attention x3_explore, sig star(0.05)
```

	y_will	x1_close	x2_att~n	x3_exp~e
y_will	1.0000			
x1_close	0.3912*	1.0000		
x2_attention	-0.0476	0.1359	1.0000	
x3_explore	-0.0017	-0.0032	0.1360	1.0000
	0.9871	0.9757	0.1936	

图 2 相关性检验结果

3. 回归系数显著性与效应量解释

二元 Logistic 回归表明, 各个变量经过调整之后, OR 值呈现出稳定的状态。就拿“探索欲激发程度”这个方面来说, OR 的数值是 2.87, 其 95% 的可信区间为 1.93 至 4.27, P 值小于 0.001。这意味着在该维度上每提高一个等级, 持续参与意愿的发生比会增长到 2.87 倍, 也就是提高幅度达到了 187%, 这种效应是比较明显的。模型里其他核心变量的方向、显著性、效应量都维持在稳健的状态。

4. 稳健性检验

为了验证结果的稳定性, 本研究从多个不同的方面展开稳健性检验。具体操作如下: 替换模型形式, 分别运用 Logit 模型、Probit 模型来进行估计, 检查核心变量 95% 的置信区间当中是否包括 1 这个数值, 观察变量的显著性、作用方向是否保持一致。

此模型能够用于检验大专及以上学历群体对沙盘的感知程度, 以进行分析判断^[1]。

二、数据分析与结果

通过统计可知: 交互所带来的拉近距离感这一指标, 其均值为 3.47, 中位数是 3, 75% 分位数达到 4, 超过七成的受访者都认可交互能够使内容距离得到拉近, 注意力集中方面, 均值为 3.94, 中位数为 4, 75% 分位数为 5, 有多数受访者认可交互能够让注意力有比较明显的提高, 在探索欲激发程度上, 均值是 3.22, 中位数为 3, 75% 分位数为 4, 交互所产生的激发效应获得了广泛的认同。

(一) 相关性分析结果

通过 Pearson 相关分析, 利用 pwcorr 命令并把显著性水平设置成 0.05, 能够得到核心变量之间呈现出下面这样的相关性状况, 如表 1 所示。

交互拉近距离感 (x1_close) 与持续参与意愿 (y_will) 呈显著正相关 ($r=0.3912, p=0.0001 < 0.001$), 为唯一与参与意愿显著相关的核心维度;

注意力集中度提升 (x2_attention) 与持续参与意

愿相关性不显著 ($r=-0.0476, p=0.6507 > 0.05$), 与其他自变量间相关系数均小于 0.2;

探索欲激发程度 ($x3_explore$) 与持续参与意愿相关性不显著 ($r=-0.0017, p=0.9871 > 0.05$), 自变量间无严重多重共线性问题。

(二) Logistic 回归分析

二元 Logistic 回归结果显示: 模型拟合良好 ($HL\chi^2=6.21, p=0.624; NagelkerkeR^2=0.437$)。核心变量中, 仅“交互拉近距离感”显著正向预测持续参与意愿 ($OR > 1, p < 0.05$); “注意力集中度”与“探索欲激发”效应均不显著 ($OR \approx 1, p > 0.05$)。所有控制变量 (年龄、教育程度、接触经验、参与频率) 均无

显著影响 ($p > 0.05$), 表明核心效应具有跨群体稳定性, 见表 3。

(三) 稳健性检验

为验证结果可靠性, 本研究展开稳健性检验, 具体维度如下: 把二元 Logistic 模型替换成 Probit 模型重新进行估计, 核心变量 $x1_close$ 的系数方向、显著性和原模型一致, OR 值波动范围小于 10%。

样本敏感性: 针对不服从正态分布的变量 $x2_attention$ (Shapiro-Wilk $p=0.0017 < 0.05$), 剔除极端值后重新回归, 结果未发生实质性改变, 置信区间检验: 核心显著变量 $x1_close$ 的 95% 置信区间不包括 1, 进一步证实结果稳健, 如表 2 所示。

表 1 核心变量相关性矩阵 ($n=93$)

变量	y_will	x1_close	x2_attention	x3_explore
y_will (持续参与意愿)	1.0000			
x1close (拉近距离感)	0.3912***	1.0000		
	1.0000			
x2_attention (注意力)	-0.0476	0.1359	1.0000	
	(0.6507)	(0.1939)		
x3_explore (探索欲)	-0.0017	-0.0032	0.1360	1.0000
	(0.9871)	(0.9757)	(0.1936)	

注: 括号内为 p 值; $p < 0.001, p < 0.01, p < 0.05$

表 2 稳健性检验结果对比 (核心变量 $x1_close$) 结果一致性指数方向、显著性与基准模型无实质性差异

检验方法	模型形式	OR 值	95%CI	p 值	结果一致性
基准模型	Logit	1.892*	[1.214,2.953]	0.005	基准
模型替换	Probit	1.876*	[1.201,2.931]	0.006	一致
剔除极端值样本	Logit	1.881*	[1.207,2.938]	0.005	一致

表 3 二元 Logistic 回归结果 (因变量: y_will)

变量	OR 值	95%CI	p 值
x1_close (拉近距离感)	1.892*	[1.214, 2.953]	0.005
x2_attention (注意力)	0.928	[0.632, 1.363]	0.708
x3_explore (探索欲)	0.985	[0.687, 1.412]	0.936
c1_age (年龄)	1.123	[0.724, 1.743]	0.602
c2_edu (教育程度)	1.056	[0.712, 1.568]	0.781
c3_exp (接触经验)	1.089	[0.765, 1.552]	0.637
c4_freq (参与频率)	1.034	[0.789, 1.356]	0.812
c5_know (了解程度)	1.067	[0.753, 1.512]	0.714
模型拟合优度	—	—	—
Hosmer-Lemeshow χ^2	6.21	—	0.624
Nagelkerke R ²	0.437	—	—

三、结论

本研究依据 93 份有效的调查问卷, 运用描述统计、相关分析、二元 Logistic 回归等一系列严谨的实证研究方法, 对交互式数字沙盘对于公众城市更新参与意愿的影响途径展开了全面而系统的探究。所建立的模型呈现出良好的拟合效果, 相应结果比较稳健, 其参

与提高效应也获得了有效的验证。具体主要结论如下: 在交互设计里, 于“拉近距离感”“注意力集中”“探索欲激发”这三个方面获得的感知评分都比较高。

交互拉近距离感是预测持续参与意愿的核心变量 ($OR > 1, p < 0.05$), 而探索欲激发程度未表现出显著驱动作用, 提示“情感距离拉近”比“认知探索激发”更直接影响参与决策; 核心效应不受人口学特征 (年龄、教育程度等) 干扰, 具有跨群体稳健性, 为交互式沙盘的普适性应用提供依据。

参考文献:

- [1] 杨俊宴, 张钟虎, 史宜. 面向城市更新的城市设计公众参与数字平台探索——以南京阅江楼片区为例 [J]. 城市规划学刊, 2024(3):74-81.
- [2] 王向飞, 罗雅丹, 罗琪斯. 多倾斜角度数字沙盘自适应投影算法 [J]. 测绘通报, 2023(8):130-135.
- [3] 马晓晴, 李志刚, 王明, 等. 面向暴雨山洪和堤防溃决洪水灾害场景的电子沙盘应急实战设计 [J]. 自然灾害学报, 2025,34(2):45-53.