



1917-2017

100th Anniversary
Shanghai University of Finance and Economics
上海财经大学 100周年校庆

《经济学与金融学实证方法》

工具变量

郭峰

上海财经大学公共经济与管理学院



本讲主要内容

- 工具变量的逻辑
- 工具变量的寻觅
- 工具变量的问题
- 工具变量的发展

- 工具变量的逻辑
- 工具变量的寻觅
- 工具变量的问题
- 工具变量的发展

工具变量是最为经典的内生性问题处理方法

随机实验确实是因果识别的最理想方式，但理想是丰满的，现实是骨感的

不能轻易给经济系统掷色子，但仍然可以为经济系统寻找一个外生变动源

混淆因素

- 如果我们在观测性研究中采用一个单方程线模型来考察 x_1 对 y 的影响，并得到相关的政策结论，那么则要求方程

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \varepsilon$$

如果 ε 和 x_1 不相关，可以直接利用OLS回归进行无偏估计

但如果一个重要因素 x_2 被遗漏，且这个因素和 x_1 相关，那么 β_1 的OLS估计值就是有偏的，这就是著名的内生性问题。

可观测混淆因素：控制变量

如果 x_2 是可观测的，可以采用控制变量法，假定残差满足：

$$\varepsilon = \beta_2 x_2 + \mu$$

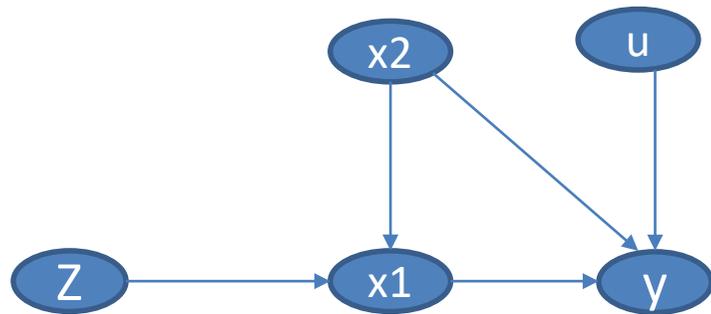
其中， x_2 与 x_1 相关， μ 和 x_1 不相关，则估计方程可以重写为：

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \mu$$

此时进行OLS回归，那么 β_1 的OLS估计值仍然可以解读为 x_1 对 y 的因果影响

不可观测混淆因素：工具变量

如果 x_2 是不可观测的，就没法采取控制变量法，此时可以为 x_1 寻找外生变动源



工具变量的条件：

(1) 相关性：工具变量 Z 必须与政策变量 x_1 相关

$$Cov(x_1, Z) \neq 0$$

(2) 外生性，工具变量外生于系统，不通过未观测因素影响结果变量

$$Cov(Z, \varepsilon) = 0 \quad \varepsilon = \beta_2 x_2 + \mu$$

两阶段最小二乘法的逻辑

- 把政策变量 x_1 拆分成两部分：外生的部分和内生的部分

$$x_1 = \gamma_0 + \gamma_1 Z + v = \overset{\text{}}{x_1} + v$$

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \varepsilon = \beta_0 + \beta_1 (\overset{\text{}}{x_1} + v) + \varepsilon = \beta_0 + \beta_1 \overset{\text{}}{x_1} + \pi$$

- 此时, $\overset{\text{}}{x_1}$ 与残差项 $\pi = \beta_1 v + \varepsilon$ 无关, 因此可以进行估计
- 以上就是两阶段最小二乘法的逻辑

- 工具变量的逻辑
- **工具变量的寻觅**
- 工具变量的问题
- 工具变量的发展

来自自然界的工具变量：物候天象

- 河流、地震、降雨、自然灾害等自然现象在一定地域范围内具有高度的随机性、外生性特征，比较适合作为工具变量。
- 学校竞争与教学质量：区域内河流数量作为学校数量的IV

Abstract

Tiebout choice among districts is the most powerful market force in American public education. Naive estimates of its effects are biased by endogenous district formation. I derive instruments from the natural boundaries in a metropolitan area. My results suggest that metropolitan areas with greater Tiebout choice have more productive public schools and less private schooling. Little of the effect of Tiebout choice works through its effect on household sorting. This finding may be explained by another finding: students are equally segregated by school in metropolitan areas with greater and lesser degrees of Tiebout choice among districts.

Citation

Hoxby, Caroline, M. 2000. "Does Competition among Public Schools Benefit Students and Taxpayers?" *American Economic Review*, 90 (5): 1209-1238.

来自自然界的工具变量：物候天象

- 地震导致的男性免征兵政策作为高中班级性别构成的工具变量

Abstract

After an earthquake hit Southern Italy in 1980, young men from certain towns were exempted from compulsory military service. We show that the exemption raised high-school-graduation rates of boys by more than 2 percentage points. We do this by comparing high-school-graduation rates of young exempt men and older nonexempt men from the least damaged areas and men of the same age groups from nearby towns that were not hit by the quake. Similar comparisons show that graduation rates of young women in the affected areas also increased. Since in Italy women are not subject to the draft, the findings suggest the presence of spillover effects. (JEL I21, J13)

Citation

Cipollone, Piero, and Alfonso Rosolia. 2007. "Social Interactions in High School: Lessons from an Earthquake." *American Economic Review*, 97 (3): 948-965.

来自自然界的工具变量：物候天象

- 到杭州的距离作为数字金融发展的工具变量

金融市场

Financial Markets

显示，在控制了其他因素之后，省会城市的互联网金融发展并没有特别突出，靠近政治中心的因素在影响互联网金融发展上很弱。相对于东部地区的城市，西部地区和中部地区的互联网金融发展水平较差，说明互联网金融虽然有一定的普惠性，但扩散的程度还是不够。更有趣的回归结果出现在各城市到北京、上海、深圳和杭州等互联网金融发展水平较高城市的距离上：不同城市距离杭州的距离越近，距离北京、上海、深圳的距离越远，互联网金融发展水平越高。这说明杭州互联网金融的发展对周边城市的影响是正的溢出，而北京、上海和深圳的互联网金融发展对周边城市的影响是负的吸附效应。这是一个非常有趣的结果，由于我们的数据主要来源为总部位于杭州的蚂蚁金服集团，因此该结果表明，距离该数据源越近，互联网金融的推广力度越大，从而互联网金融发展水平越高。这也说明，互联网金融可能仍存在地理依赖性，为我们进行空间计量分析奠定了逻辑基础。

之后，我们根据该 OLS 的回归结果进行了空间相关性和空间模型优劣的检验。如表 3 所示，针对空间误差的三个检验全都表明变量存在空间依赖性，因此空间模型优于普通的 OLS 模型；而在空

郭峰、孔涛、王靖一，《互联网金融的空间集聚效应分析：来自互联网金融发展指数的证据》，《国际金融研究》，2017年第8期。

来自生理现象的工具变量：生老病死

- 人类的生老病死既是社会现象，又是生理上的自然实验。出生日期、季节、性别、死亡率等具有随机性，又跟特定的经济社会过程相关，从而在某些情形下可以作为工具变量。
- 制度与经济发展：殖民地的人口死亡率作为好坏制度的IV

Abstract

We exploit differences in European mortality rates to estimate the effect of institutions on economic performance. Europeans adopted very different colonization policies in different colonies, with different associated institutions. In places where Europeans faced high mortality rates, they could not settle and were more likely to set up extractive institutions. These institutions persisted to the present. Exploiting differences in European mortality rates as an instrument for current institutions, we estimate large effects of institutions on income per capita. Once the effect of institutions is controlled for, countries in Africa or those closer to the equator do not have lower incomes.

Citation

Acemoglu, Daron, Simon Johnson, and James A. Robinson. 2001. "The Colonial Origins of Comparative Development: An Empirical Investigation." *American Economic Review*, 91 (5): 1369-1401.

来自生理现象的工具变量：生老病死

- 出生季度作为教育年限的工具变量：上半年出生的孩子退学可能性高于下半年出生的孩子，因为法律规定不满16周岁不能退学。

THE
QUARTERLY JOURNAL
OF ECONOMICS

Vol. CVI

November 1991

Issue 4

DOES COMPULSORY SCHOOL ATTENDANCE AFFECT
SCHOOLING AND EARNINGS?*

JOSHUA D. ANGRIST AND ALAN B. KRUEGER

We establish that season of birth is related to educational attainment because of school start age policy and compulsory school attendance laws. Individuals born in the beginning of the year start school at an older age, and can therefore drop out after completing less schooling than individuals born near the end of the year. Roughly 25 percent of potential dropouts remain in school because of compulsory schooling laws. We estimate the impact of compulsory schooling on earnings by using quarter of birth as an instrument for education. The instrumental variables estimate of the return to education is close to the ordinary least squares estimate, suggesting that there is little bias in conventional estimates.

来自生理现象的工具变量：生老病死

- 孩子数量与母亲就业：头两胎是双子或双女，生第三胎的可能性就大大增高

Children and Their Parents' Labor Supply: Evidence from Exogenous Variation in Family Size

By JOSHUA D. ANGRIST AND WILLIAM N. EVANS*

Research on the labor-supply consequences of childbearing is complicated by the endogeneity of fertility. This study uses parental preferences for a mixed sibling-sex composition to construct instrumental variables (IV) estimates of the effect of childbearing on labor supply. IV estimates for women are significant but smaller than ordinary least-squares estimates. The IV are also smaller for more educated women and show no impact of family size on husbands' labor supply. A comparison of estimates using sibling-sex composition and twins instruments implies that the impact of a third child disappears when the child reaches age 13. (JEL J13, J22)

Angrist, Joshua D & Evans, William N, 1998. "[Children and Their Parents' Labor Supply: Evidence from Exogenous Variation in Family Size](#)," [American Economic Review](#), vol. 88(3), pages 450-477.

来自历史的工具变量：历史回声

方颖、赵扬：寻找制度的工具变量：估计产权保护对中国经济增长的贡献

寻找制度的工具变量： 估计产权保护对中国经济增长的贡献*

方颖 赵扬

内容提要：本文旨在建立制度的合适工具变量，从而能够正确估计制度对中国经济增长的贡献。文章提出以中国1919年基督教教会初级小学的注册学生人数作为制度的工具变量，并详细论述工具变量的相关性和外生性诸条件。通过两阶段最小二乘法，本文发现制度对中国经济的贡献显著为正。在控制了地理因素和政府政策效应等变量以后，制度对经济增长的效应仍然最为显著。

关键词：制度 地理因素 政策效应

来自历史的工具变量：历史回声

- 1984年城市层面每百人固定电话数量和每百万人邮局数量作为互联网（数字经济）的工具变量

中国工业经济 2019年第8期

互联网发展与制造业生产率提升：内在机制与中国经验

黄群慧，余泳泽，张松林

[摘要] 本文重点关注互联网发展对制造业效率的影响这一现实问题。研究通过超边际与一般均衡分析，建立了互联网发展影响制造业效率的理论模型，揭示了互联网发展提升制造业效率的内在机制，并选取历史数据作为工具变量，在克服内生性的基础上，从城市、行业和企业三个维度全面检验了互联网发展对中国制造业效率的影响强度和内在机制。研究显示，互联网发展显著促进了城市整体和制造业整体生产率，且对制造业整体生产率的影响大于其对城市整体生产率的影响；互联网发展显著提高了制造业企业生产率。城市互联网发展指数每提高1%，制造业企业的生产率会提高0.3%。内在机制检验结果显示，互联网技术发展通过降低交易成本、减少资源错配以及促进创新提升了制造业生产率。以上研究结论为中国实施“互联网+”行动计划、建设网络强国和制造强国战略奠定了理论与事实基础。

来自抽签的工具变量：随机实验

- 实验是一种外来的人为干预。它一方面对我们解释变量带来冲击，同时又会置身模型之外。能够给我们提供工具变量的实验，既有政策干预、改革创新这样的社会实验，又有假想的虚拟实验。
- 在越南战争期间，美国青年服兵役采取基于生日的抽签形式来决定。获得抽签号之后，小于一定“阈值”就去参加体检服兵役，大于阈值的则可免于兵役。
- 抽签号的产生如同彩票一样是完全随机的，但又直接影响到是否服兵役这一重要的社会过程。
- 利用各人获得的抽签号作为工作变量，Angrist等人从80年代末到今天的20多年间，做出了一系列经典研究，分析服兵役是否会对当年的参战者、今天退伍老兵产生在收入、后续教育及健康等方面的影响(参见Angrist, 1990, 1993; Angrist et al., 1996; Angrist et al.,2010)。

来自抽签的工具变量：随机实验

- 自然实验也是实验

农民工收入与村庄网络

基于多重模型识别策略的因果效应分析

社会
2012·4
CJS
第32卷

陈云松

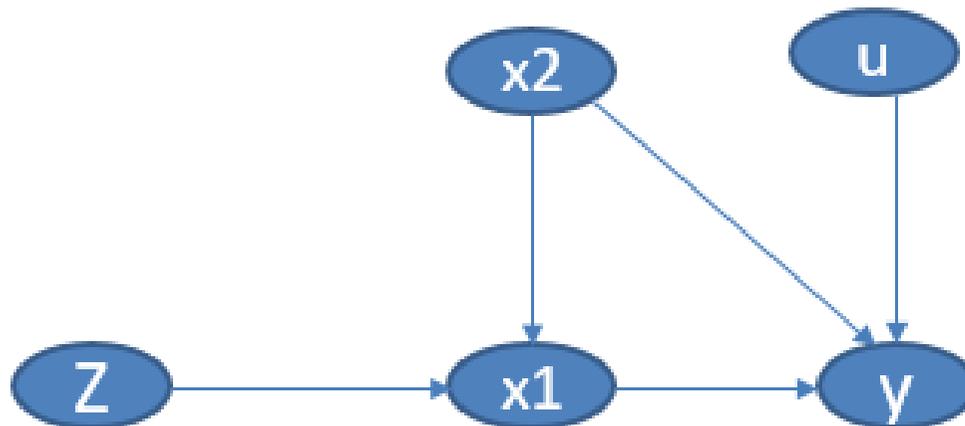
摘要：以往基于家庭网和社交网的实证研究表明，社会网络对农民工的工资收入没有影响。这些结论的得出，很大程度上是由于对农民工个人网的范围界定不准，且对内生性问题解决不够。本文采用 22 个省份的农户调查数据，针对中国农民工频繁返乡的特点，证实同村打工网的规模与农民工在城市中的收入具有正向因果关系。为解决影响因果判断的内生偏误问题，本文采取赫克曼二阶段法和工具变量方法组合使用的多重模型识别策略，把村庄遭受的自然灾害强度作为工具变量。

关键词：农民工 社会网 内生性 因果关系

- 工具变量的逻辑
- 工具变量的寻觅
- **工具变量的问题**
- 工具变量的发展

局部平均处理效应

- 在没有内生性问题时，OLS参数估计量使用了所有 x 的变化去估计其对 y 的影响，因此估计系数是 x 对 y 的平均处理效应
- 通过工具变量法，估计的是与工具变量 z 的变动相关的 x 的变动对 y 的影响，因此估计得到的是局部平均处理效应



局部平均处理效应

- 研究独立董事人数对公司业绩影响，独立董事人数 x 是内生变量，工具变量 z 是一项新法律，要求公司至少有四名董事。

		在法律通过之前	
		独立董事 ≤ 4	独立董事 > 4
在法律通过之后	独立董事 ≤ 4	从未执行组 (never taker)	对抗组 (defier)
	独立董事 > 4	依从组 (complier)	总是执行组 (always taker)

- 从未执行组和总是执行组，没有受到法律影响，不考虑对抗组存在的话，工具变量法只是估计了依从组董事人数对公司业绩的影响，其他公司的董事人数与业绩的关系，可能高于，也可能低于上述估计。
- 只有假定处理效应是同质的，而且不存在非线性，上述局部平均处理效应才是平均处理效应

局部平均处理效应

一个非常可能的现象就是，能力弱的村民

或者因为循环累积因果造成平均能力较弱的村庄²对自然灾害更加敏感，对自然灾害造成的损失更加担忧，也就更容易被自然灾害“拉动”而外出打工。这样，“弱能力村庄”外出打工网络的规模就更容易被影响。当用自然灾害作为工具变量来估算同村打工网对于工资的因果效应时，工具变量模型的估计值所体现的就不是基于样本的平均干预效应 (ATE)，而是一个加权平均值。重要的是，其中来自“弱能力村庄”的农民工，会具有更大的权重。这个加权平均值，就是 LATE。

前文已提及，基于理性选择，能力弱的农民工对基于村庄的同乡网依赖更多，从同乡网获得的边际效益也更大。同样，来自“弱能力村庄”

陈云松，农民工收入与村庄网络 基于多重模型识别策略的因果效应分析，《社会》，2012，32(4).

上层变量作为工具变量的问题

避免使用不包含个体*i*的上层（行业、村庄）的均值作为*i*的工具变量

一阶段回归：
$$X_{ij} = \gamma_0 + \gamma_1 \bar{X}_{-i,j} + \mu_{ij}$$

逻辑：个体*i*的特征会受到组内其他个体均值或加总特征的影响，满足相关性；同时均值和总体特征，又不对个体*i*的结果产生直接影响，满足外生性

问题：这个工具变量的外生性通常不太好

假如干扰项中包含到不可观测的行业固定效应

$$Y_{ij} = \alpha + \beta_1 X_{ij} + \text{Industry}_j + v_{ij}$$

企业*i*的特征跟行业特性有关，则均值也会跟行业特性有关

上层变量作为工具变量的问题

考察企业多元化经营对业绩的影响

$$Y_{ij} = \alpha + \beta_1 X_{ij} + e_{ij}$$

X代表多元化经营程度，假定被遗漏的CEO过度自信，跟多元化经营有关，且对业绩也有影响，因此存在内生性问题

- (i) 假定：公司i多元化跟公司i过度自信相关
- (ii) 因此，行业平均多元化程度跟行业平均过度自信相关
- (iii) 而IV的要求：行业多元化程度跟公司i的过度自信不相关
- (iv) 因此，行业过度自信与公司i过度自信不相关

这是一个悖论，行业多元化程度跟公司多元化程度相关，行业过度自信跟公司过度自信也很有可能相关

总之，行业均值或加总值作为工具变量通常无法满足外生性要求，即便技术上你报告了合格的检验量，也很可能不被审稿人认可

工具变量系数远大于OLS系数

对JF、JFE和RFS三大金融顶级期刊中255篇运用工具变量进行回归估计的论文进行研究后发现，工具变量估计法将回归估计系数平均扩大了九倍

政治性、会计学等领域的学者也发现了类似情况

Have Instrumental Variables Brought Us Closer to the Truth

Wei Jiang

Columbia Business School

A survey of 255 papers that rely on the instrumental variable (IV) approach for identifying causal effects published in the “Big Three” finance journals reveals that IV estimates are larger than their corresponding uninstrumented estimates in about 80% of the studies, regardless of whether the potential endogeneity is expected to create a positive or negative bias based on economic reasoning. The magnitude of the IV estimates is, on average, nine times of that of the uninstrumented estimates even when economic insights do not suggest a downward bias of the latter. This study provides several explanations to the “implausibly large” IV estimates in finance research, and proposes best practices for identification-conscientious researchers. (*JEL* G30, C13)

Received January 20, 2017; editorial decision April 7, 2017 by Editor Gregor Matvos

工具变量系数远大于OLS系数

对JF、JFE和RFS三大金融顶级期刊中255篇运用工具变量进行回归估计的论文进行研究后发现，工具变量估计法将回归估计系数平均扩大了九倍（姜纬）

政治性、会计学等领域的学者也发现了类似情况

Have Instrumental Variables Brought Us Closer to the Truth

Wei Jiang

Columbia Business School

A survey of 255 papers that rely on the instrumental variable (IV) approach for identifying causal effects published in the “Big Three” finance journals reveals that IV estimates are larger than their corresponding uninstrumented estimates in about 80% of the studies, regardless of whether the potential endogeneity is expected to create a positive or negative bias based on economic reasoning. The magnitude of the IV estimates is, on average, nine times of that of the uninstrumented estimates even when economic insights do not suggest a downward bias of the latter. This study provides several explanations to the “implausibly large” IV estimates in finance research, and proposes best practices for identification-conscientious researchers. (*JEL* G30, C13)

Received January 20, 2017; editorial decision April 7, 2017 by Editor Gregor Matvos

工具变量系数远大于OLS系数

三大原因：局部平均处理效应

教育对收入影响的内生性：能力强的人更有可能接受更高层次的教育，而这部分人也更有能力获得更高的报酬。

“是否居住在大学周围”作为IV，考虑到教育成本等因素，距离学校的远近会影响是否接受大学教育的选择，但这又和一个人的能力、天赋没有很大的相关性。看起来像是一个不错的工具变量。

但是，距离学校的远近只会影响上大学的个体中对教育成本敏感的个体的抉择；对于那些无论如何都会去上大学的个体来讲，距离学校多远多近都不会改变他们的抉择。这就是典型的局部平均处理效应。

在这种情况下，教育成本敏感个体的教育回报可能会远远大于无论就近是否有学校都不会去上大学个体/会去上大学个体的教育回报。因此，在计量上这类局部平均处理效应会造成IV的估计系数比OLS的估计系数大。

工具变量系数远大于OLS系数

三大原因：弱工具变量

$$\hat{\beta}_{2SLS} = \hat{\beta}_{IV} = \hat{\beta}_{Wald} = \frac{\hat{\gamma}_1}{\hat{\pi}_1} = \frac{\widehat{\text{Cov}}(y, z)}{\widehat{\text{Cov}}(x, z)}$$

而且，当工具变量为弱工具变量，即相关性很小时，会放大排除性限制（exclusion restriction）对于系数估计的影响，进而使得IV的估计系数比OLS的估计系数大。

$$\hat{\beta}_{IV} = \beta + \frac{\text{Cov}(Z, \varepsilon)}{\text{Cov}(Z, X)}$$

工具变量系数远大于OLS系数

三大原因：发文导向

一般来讲，关键变量的估计系数如若不显著则论文很难发表。

使用工具变量会使样本估计方差变大，在这样的情况下，论文作者通常会偏爱于估计系数值更大的工具变量以保证估计系数显著。

这也就是为什么我们在已经发表的论文中会看到工具变量法的估计系数远大于OLS估计系数。

其他几个注意事项

- 避免使用内生变量的滞后项作为工具变量：干扰项也可能存在序列相关
- 模型含有 x 二次项的时候， x 和 x 二次项都是内生变量，此时可以使用工具变量及其二次项作为工具变量
- 模型含有内生变量 x_1 和外生变量 x_2 的交叉项 $x_1 * x_2$ 的时候，交叉项也是内生的，可以使用工具变量 z 以及 $z * x_2$ 作为工具变量

工具变量不是万能的

- 相关性好的IV，外生性不好；外生性好的IV，相关性不好
- 如果内生性非常严重，即便使用了工具变量，可能也得不到信服
- 如果内生性问题太严重，即便两阶段回归技术细节都过关，审稿人仍然可能会不认可

- 工具变量的逻辑
- 工具变量的寻觅
- 工具变量的问题
- 工具变量的发展

机器学习算法数据驱动构建IV

- 我们追求X对y的因果影响，但IV对x的影响，则不需要

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + u$$

$$x_1 = \delta_0 + \delta_1 Z + \delta_2 x_2 + \dots + \delta_k x_k + v$$

- 工具变量的寻找本质上是一个预测问题（什么外生变量对X影响最大）。另外，如果潜在的工具变量太多，可能会产生弱工具变量问题，而工具变量数量比内生变量多一至两个时才是最优的（Bollen, 2012）
- **工作步骤：**使用LASSO等方法，进行一阶段的回归，挑选出对x有影响的工具变量IV，然后重新进行普通的两阶段最小二乘法。

机器学习算法数据驱动构建IV

- Belloni *et al.* (2012) 推荐使用Lasso方法, 在一些潜在的工具变量池中, 挑选与内生变量最为相关的变量作为工具变量, 然后重新进行普通的两阶段最小二乘法回归, 并证明了这一方法满足相关的统计学的假设。

中国工业经济 2020年第1期

社会学习与消费升级

——来自中国电影市场的经验证据

方 娴, 金 刚

[摘要] 文化服务产业消费“扩容”与“提质”对于中国当前消费升级至关重要。以2012—2016年中国1854部电影为研究对象, 本文将每日电影院层面票房数据汇总至全国层面, 构建“电影一日”全国票房数据。为**避免弱工具变量问题, 采用新近发展的套索(LASSO)回归选择最优的天气与空气污染变量作为电影首映周非预期票房的工具变量, 识别了社会学习对电影跨期消费增长的影响。研究发现: 受外生冲击影响的电影首映周非预期票房变化对于后续周票房存在显著的正向跨期溢出效应, 且该溢出效应随着时间推移而逐渐减小。进一步地, 制作质量越高、事前质量信息不确定性越高以及市场偏好越集中, 电影消费的跨期溢出效应就越明显。这一结果表明, 社会学习是引致电影消费跨期溢出效应的主要机制, 观察学习与社会网络外部性等机制并未得到实证证据的支持。总体而言, 本文揭示了社会学习是影响电影消费“扩容”与“提质”的关键因素, 从个体间微观互动机制这一全新视角为激发中国新一轮消费升级提供了可行的实践路径。**

参考文献

- 陈云松, 《逻辑、想象和诠释: 工具变量在社会科学因果推断中的应用》, 《社会学研究》, 2012年第6期。
- 邱嘉平, 《因果推断实用计量方法》, 上海财经大学出版社, 2020年7月。
- Lal, Apoorva and Lockhart, Mackenzie William and Xu, Yiqing and Zu, Ziwen, How Much Should We Trust Instrumental Variable Estimates in Political Science? Practical Advice based on Over 60 Replicated Studies (December 21, 2021). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3905329> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3905329>.
- Wei Jiang, 2017. "Have Instrumental Variables Brought Us Closer to the Truth," *Review of Corporate Finance Studies*, vol. 6(2), pages 127-140.



1917-2017

100th Anniversary
Shanghai University of Finance and Economics
上海财经大学 100周年校庆

Thank You!



公众号：经济数据勘探小分队