

公开能带来效率吗?

——政府信息公开影响企业投资效率的经验研究

于文超 梁平汉 高楠*

摘要 本文基于中国上市公司数据,评估了政府信息公开对企业投资效率的影响。研究发现,政府信息公开显著提升了企业投资效率,且这一效应对非国有上市公司和管制行业上市公司更显著。机制检验表明,当政策不确定性更高时,政府信息公开提升企业投资效率的效应更强。利用企业调查数据的分析表明,地方政府信息公开水平越高,企业主观感受的政策不确定性越低。上述结论说明,降低政策不确定性是政府信息公开提升企业投资效率的重要机制。

关键词 政府信息公开,企业投资效率,政策不确定性

DOI: 10.13821/j.cnki.ceq.2020.02.13

一、引言

供给侧结构性改革背景下,提高资本形成和配置效率是减少产能过剩、扩大有效供给、推动经济发展模式转变的内在要求。营商环境作为经济发展的体制性制度性安排,对于提高企业资本配置效率起着关键作用 (McClean *et al.*, 2012; 万良勇, 2013)。党中央和国务院高度重视通过推进“放管服”改革、优化营商环境激发各类市场主体活力、推动经济转型和产业升级,明确提出“营造稳定公平透明、可预期的营商环境”、“打造市场化、法治化、国际化营商环境”¹等战略目标。然而,在社会主义市场经济逐步完善的进程中,地方政府在经济中扮演着重要角色,制定和执行许多区域经济政策。由于政府与

* 于文超,西南政法大学经济学院、制度经济学研究中心;梁平汉,中山大学中国公共管理研究中心、政治与公共事务管理学院;高楠,中南财经政法大学文澜学院、收入分配与现代财政研究院。通信作者及地址:梁平汉,广东省广州市海珠区新港西路135号中山大学507栋,510275;电话:(020)84110942;E-mail:liangph5@mail.sysu.edu.cn。作者感谢国家自然科学基金青年项目(71803194)、教育部人文社科重点研究基地重大项目(16JJD630009)、教育部人文社科青年基金项目(18YJC790033)、中南财经政法大学青年教师创新团队项目(2722019JCT038)、西南政法大学阐释党的十九届四中全会精神理论研究专项(2020XZYB-07)、西南政法大学经济学院招标课题、国家留学基金委资助项目提供的资助。感谢北京大学2019年“政府与市场关系”专题研讨会、中国青年经济学家联谊会工作坊(武汉·2019)与会学者的建设性意见。感谢匿名审稿人的宝贵意见。文责自负。

¹ 资料来源:中国政府网, http://www.gov.cn/premier/2019-11/27/content_5456406.htm, 访问日期:2020年1月10日。

企业之间的信息不对称,企业在面临政策变动时往往“无所适从”,为规避不确定性风险而采取更“谨慎”的经营策略。已有研究表明,政策不确定性会增加企业管理层避险动机,加剧企业面临的融资约束和代理问题,从而对企业投资决策带来一系列负面影响 (Julio and Yook, 2012; 陈德球等, 2017)。

自 2008 年《中华人民共和国政府信息公开条例》(下文简称《政府信息公开条例》)正式实施以来,推动信息公开逐步成为各级政府转变自身职能、优化营商环境的重要手段 (吕艳滨, 2014)。环境保护、食品药品安全等领域信息公开成效明显,“政务公开是常态,不公开是例外”、“让权力在阳光下运行”等施政理念逐渐深入人心,政策解读和回应社会关切水平显著提升 (田禾和吕艳滨, 2018)。2019 年 10 月,国务院正式发布《优化营商环境条例》,夯实了优化营商环境的法治基石,着重强调“坚持政务公开透明”、“全面推进决策、执行、管理、服务、结果公开”²。政府及时准确地发布并解读政策,及时回应民众的政策关切,有助于向市场主体准确传递政府行为信息,帮助企业理解现有政策,预期政策执行强度和效果以及未来政策走向,从而减弱企业做出经营决策前面临的“事前”政策不确定性;而且,政府信息公开还能在一定程度上规范政策执行行为,减少政府对微观企业的随意干预,从而减弱企业经营过程中面临的“事后”政策不确定性。

本文着眼于从企业投资决策角度评估政府信息公开的经济效应。基于中国 A 股上市公司数据的研究表明,政府信息公开对企业投资效率存在显著正向影响,且这一效应对非国有上市公司与管制行业的上市公司而言更显著。上述基本发现在变换关键指标和回归样本、改进实证模型、克服内生性偏误之后依然成立。分样本回归表明,当企业面临更强的政策不确定性时,政府信息公开改善企业投资效率的积极效应将被放大。我们还利用世界银行 2012 年中国企业调查数据证实,在政府信息公开水平较高的城市,受访企业主观感受的政策不确定性更低。这表明,降低政策不确定性是政府信息公开改善企业投资效率的重要机制。

本文边际贡献体现在如下三个方面:第一,在企业投资效率领域,国内外文献已经有着较为丰富的研究。外部环境的不确定性极大影响着企业投资规模和效率,本文通过评估政府信息公开对企业投资效率的影响,为理解政策不确定性背景下的企业投资决策提供了新的分析视角。第二,在政企互动研究方面,政府与企业之间的“互动”一直是理解中国特色经济发展模式的重要切入点,本文基于政府信息公开这一政策实践,探讨了政府自身信息披露行为对于企业决策的影响,为理解政府与企业良性“互动”的经济后果提供了新证据。第三,在营商环境优化方面,本文从降低政策不确定性的角度,

² 资料来源:中国政府网, http://www.gov.cn/zhengce/content/2019-10/23/content_5443963.htm, 访问日期: 2020 年 1 月 20 日。

凸显了政府信息公开在营商环境建设中的重要意义。在“三期叠加”影响持续深化、全球动荡源和风险点显著增多的今天，构建稳定可预期的营商环境是激发市场主体活力、保持宏观经济“稳中向好”趋势的关键性举措。本文结论说明，推动政府信息公开不仅是优化营商环境、建设法治政府的内在要求，更是企业等市场主体化解不确定性风险、提高投资效率的重要依托，长期而言，政府信息公开制度的持续完善将夯实经济发展效率变革的微观基础。

二、文献综述和理论假说

（一）企业投资效率的决定因素

国内外文献从内部治理特征和宏观层面因素对企业投资效率的影响因素进行了富有成效的研究。其中，关注内部治理特征影响企业投资效率的文献主要从产权性质、绩效波动、股利分配、高管薪酬、独立董事比重、融资约束、债券治理、决策权配置等角度展开实证分析（Liu *et al.*，2015；代昀昊和孔东民，2017；潘怡麟等，2018）。考察宏观层面因素对企业投资效率的文献主要从产业政策、政府质量、法制环境、投资者保护、官员更替、反腐败政策等角度展开经验评估（Mclean *et al.*，2012；Baker *et al.*，2016；万良勇，2013）。另外，政府行为对企业投资决策的影响也是公司金融领域的热点议题，政府为实现政绩目标有较强动机干预企业投资活动，导致企业投资活动偏离最优目标（Chen S. *et al.*，2011；王克敏等，2017）。

（二）政府信息公开的经济效应

针对政府信息公开的经济效应，现有文献主要从如下几个视角展开：第一，在信息不对称框架下，考察政府部门信息公开对金融市场运行效率的影响，如考察中央银行政策透明度对通货膨胀预期、货币政策传导机制、金融产品价格形成的影响（马勇，2015；Choi and Hashimoto，2018）。第二，将信息公开视为针对政府干预和寻租活动的监督约束机制，强调信息公开通过抑制腐败而提升经济资源配置效率（Kolstad and Wiig，2009；马亮，2014；Li *et al.*，2017）。第三，评估政府信息公开如何影响居民的政策遵从度、政府信任水平、社会公平感以及公共服务满意度（于文轩，2013；Porumbescu *et al.*，2017）。第四，强调政府预算信息透明度提升会减少企业“主动”和“被动”投资偏误，从而改进企业资本配置效率（王少飞等，2011；邓淑莲和朱颖，2017）。

（三）政策不确定性对企业行为的影响

自2008年金融危机以来，政策不确定性对企业行为的影响受到学界广泛而持久的关注。国外文献利用Baker等人开发的不确定性指数证实，较高的经济政策不确定性会引发企业避险行为，导致企业延滞投资活动，减少并购

和股票发行 (Baker *et al.*, 2016; Bonaime *et al.*, 2018)。国内学者在中国背景下使用 Baker 等人的不确定性指数也证实, 经济政策不确定性会导致企业减少商业信用供给和金融资产配置, 避免高管变更, 减少投资支出和创新活动等 (饶品贵和徐子慧, 2017; 陈胜蓝和刘晓玲, 2018)。同时, 已有文献证实国外政治选举引发的政策不确定性会抑制企业投资活动, 导致投资跨地区转移, 促使企业通过跨国并购分散风险 (Julio and Yook, 2012; Cao *et al.*, 2019)。国内相关实证研究还表明, 官员变更带来的政策不确定性会抑制企业投资活动、增加企业避税动机、提高企业风险承担水平和盈余管理程度、降低民营企业经营活力 (陈德球等, 2016; 于文超和梁平汉, 2019)。

(四) 理论假说

总体而言, 政府信息公开通过减少企业所面临的“事前”和“事后”政策不确定性而提高企业投资效率:

首先, 企业等市场主体在做出经营决策之前, 面临来自政府“事前”的政策不确定性。地方政府作为中国经济的重要参与者, 经常发布经济政策调控和发展地方经济。企业经常无法准确预期政策出台时机、政策调整方向、政策实施力度等, 行之有效的政府信息公开制度将有利于企业获得政府政策信息, 使企业对未来一定时期内的宏观经济走势、产业发展规划、配套政策、融资环境、市场竞争程度等形成准确预期, 灵活调整经营策略, 从而降低企业面临的“事前”政策不确定性。

其次, 企业等市场主体在决策之后的经营过程中, 还需随时应对来自政府的“事后”政策不确定性。政府部门在日常运行中拥有较强的“自由裁量权”, 经济政策出台之后, 地方政府为完成某些上级任务或实现其他目标, 也有动机和能力随时调整现有政策, 进而带来经济政策不连续性和不一致性。在政府部门更多介入市场活动和地方主政官员更替情形下, 这种政府行为“不可预期性”给企业带来的“事后”政策不确定性更加凸显。有效的政府信息公开可以规范政府权力边界, 显著减少政府行为的“不可预期性”³, 降低企业面临的“事后”政策不确定性。

由此可见, 政府信息公开有助于企业准确评估投资项目的预期现金流和潜在收益, 识别好的投资机会, 降低投资失败风险, 提升投资决策对经营环境变化的敏感性, 避免因政策预期偏误而导致的低效率投资 (王少飞等, 2011; 陈德球等, 2017)。稳定可预期的经营环境还能降低企业外部融资成本, 弱化企业因“预防性动机”而持有现金流的动机 (李凤羽和史永东, 2016), 避免企业因融资约束而放弃净现值为正的投资项目。另外, 充满确定性的经营环境还会增加企业高管尽职程度的“可观测性”, 提升高管解聘威胁

³ 针对地方政府通过信息公开约束自身“自由裁量权”的动机, 本文附录进行了讨论, 留存备案。

的“可信性”（饶品贵和徐子慧，2017），强化公司治理机制，避免因高管自利动机而导致的投资过度或投资不足。综上所述，本文得到如下假说：

假说 1：在控制其他因素情况下，政府信息公开有助于提升企业投资效率。

国有企业与政府部门之间拥有“天然”的关系网络，国有企业高管与党政官员之间任职交流频繁，这些有助于国有企业反映自身政策“诉求”，及时获取政策信息，更熟悉地方官员的行事风格、内在激励和政策取向，从而减少国有企业面临的“事前”和“事后”政策不确定性；相比之下，诸多非国有企业与政府部门缺乏天然、稳固的关系网络，彼此之间缺少有效的“沟通机制”，非国有企业与政府部门之间的信息不对称程度更高，“事前”和“事后”政策不确定性带来的困扰更多。根据上述分析，我们提出如下假说：

假说 2：相对于国有企业，政府信息公开提升非国有企业投资效率的效应更强。

对政府管制行业的上市公司而言，其经营活动具有明显的政策导向，其原材料采购和产品销售受到更多政府管制和调控，对政策变动的敏感度更高，对政策信息的“需求”更高，其投资决策更容易受政府影响；相比之下，非政府管制行业的上市公司更多依赖市场环境变化调整投资决策，以实现优化资本配置效率的经营目标，对政策变动的敏感度更低，对政策信息的“需求”更低。基于上述理由，无论是未来政策走向的不确定性，还是政府行为的不可预期性，都会给管制行业上市公司的投资决策带来更多困扰。基于此，本文提出如下研究假说：

假说 3：相对于非政府管制行业，政府信息公开对政府管制行业的企业投资效率的提升效应更强。

三、研究设计

（一）数据来源

本文研究样本为沪深两市中国 A 股非金融保险类上市公司，剔除掉研究期间被 PT 或 ST、资料不全或数据缺失的样本数据。上市公司财务指标、治理结构、注册地址数据来源于锐思（RESSET）、国泰安（CSMAR）数据库，实际控制人性质数据来源于色诺芬（CCER）数据库。政府信息公开数据源自中国软件测评中心（CSTC）历年开展的“中国政府网站绩效评估”所提供的“政府网站信息公开指数”⁴。地方官员个体特征数据通过网络公开资料搜集获得。宏观层面其他数据来源于各年《中国统计年鉴》和《中国城市统计年鉴》。

由于《政府信息公开条例》自 2008 年 5 月开始施行，标志着我国政府信

⁴ 使用“政府网站信息公开指数”测度政府信息公开水平的合理性讨论参见附录，留存备案。稳健性检验部分还使用王小鲁等（2013）提供的政府“公开、公平、公正”分项得分衡量政府信息公开水平。

息公开的进程进入有法可依的崭新阶段,是政府信息公开制度建设的“分水岭”;而上市公司自2007年开始执行新的会计准则体系,相关财务指标的计算方法发生显著变化,因此,本文选择2007年作为研究样本的起始年份。自2014年开始,中国软件测评中心发布的“政府网站信息公开指数”仅提供各年度排名靠前的部分城市(普通地级市前100名、省会城市前20名以及全部副省级城市、直辖市)门户网站得分,诸多地方政府门户网站评估得分难以获取;同时,王小鲁等(2013)提供的政府“公开、公平、公正”分项得分更新到2012年,综上,本文基准回归部分将2013年作为研究样本的截止年份。在中国软件测评中心开展的网站绩效评估中,北京、上海、天津、重庆四个直辖市的门户网站评价体系依据省级政府设计,与其他城市的评价体系存在明显差异,且直辖市政府的经济社会管理权限和信息公开决策可能具有特殊性,我们剔除位于四个直辖市的上市公司样本。进一步地,本文还剔除城市信息公开指数缺失的样本企业,最终在基准回归(表2第(1)列)中用到的有效样本是6287个上市公司一年份观测值,这些观测值分布在235个城市之中。为了克服极端值对估计结果的干扰,本文还对连续变量进行了前后1%水平的Winsorize缩尾处理。

(二) 方程设定

首先,我们根据Richardson(2006)的模型估计企业预期投资,具体如方程(1)所示:

$$Invest_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Growth_{it-1} + \alpha_2 Lev_{it-1} + \alpha_3 Cash_{it-1} + \alpha_4 \ln Age_{it-1} + \alpha_5 \ln Asset_{it-1} + \alpha_6 Return_{it-1} + \alpha_7 Invest_{it-1} + \xi_{it}, \quad (1)$$

其中,被解释变量 $Invest$ 代表上市公司投资支出,等于公司“购建固定资产、无形资产及其他长期资产所支付的现金”加上“取得子公司及其他营业单位支付的现金净额”减去“处置固定资产、无形资产和其他长期资产收回的现金净额”减去“处置子公司及其他营业单位所收到的现金净额”,最后除以当期总资产。方程解释变量中, $Growth$ 代表公司投资机会,使用营业收入增长率衡量; Lev 表示公司资产负债率,等于总负债除以总资产; $Cash$ 代表现金及现金等价物总额,使用总资产进行标准化; $\ln Age$ 表示公司成立年限的自然对数; $\ln Asset$ 控制公司规模,使用总资产自然对数衡量; $Return$ 代表公司股票年度收益率。上述变量都取滞后一期数据。我们还在方程右侧控制滞后一期的公司投资支出。

方程(1)估计的残差代表上市公司非效率投资:当残差大于0时,代表投资过度,当残差小于0时,代表投资不足。方程残差的绝对值 $Absinv$ 代表公司实际投资偏离预期投资程度,取值越大表示样本公司实际投资偏离预期投资越严重,投资效率越低,这一测度方法在公司金融领域文献中得到广泛应用(刘慧龙等,2014;王克敏等,2017)。为便于后文理解和表述,本文将

变量 $Absinv$ 取相反数，以获得衡量企业投资效率的正向指标 $Inveff$ 。

本文进一步将变量 $Inveff$ 作为方程 (2) 的被解释变量，以考察政府信息公开对公司投资效率的影响：

$$\begin{aligned} Inveff_{it} = & \beta_0 + \beta_1 Infor_{it} + \beta_2 Fcf_{it-1} + \beta_3 Occupy_{it-1} + \beta_4 Mfee_{it-1} \\ & + \beta_5 Board_{it-1} + \beta_6 Outdir_{it-1} + \beta_7 Dual_{it-1} \\ & + \sum INDUS + \sum YEAR + \epsilon_{it}. \end{aligned} \quad (2)$$

方程 (2) 中的解释变量 $Infor$ 代表政府信息公开水平，该项数据来自中国软件测评中心开展的“中国政府网站绩效评估”提供的市级（副省级城市和地级市）政府门户网站信息公开指数⁵。本文还借鉴刘慧龙等（2014）的研究，在方程 (2) 中添加如下控制变量： Fcf 表示自由现金流，使用经营活动产生的现金流量净额除以总资产衡量； $Occupy$ 代表大股东侵占，通过其他应收款占总资产比重衡量； $Mfee$ 表示管理费用率，等于管理费用与主营业务收入之比； $Board$ 为董事会规模，等于董事总人数的自然对数； $Outdir$ 代表独立董事占董事会比例； $Dual$ 为二元虚拟变量，表示董事长与总经理是否两职合一。为了减弱内生性给估计结果带来的困扰，上述控制变量都取滞后一期数据。此外，我们还加入年份和行业虚拟变量，其中，制造业上市公司按照二级分类代码构建行业虚拟变量。方程 (2) 中主要变量的描述性统计值详见表 1。

表 1 主要变量描述性统计

变量符号	变量名称	观测值	平均值	标准差	最小值	最大值
$Inveff$	投资效率	6 287	-0.0359	0.0365	-0.3139	0.0000
$Infor$	政府信息公开水平	6 287	0.6387	0.1707	0.0200	0.9300
Fcf	自由现金流	6 287	0.0509	0.0824	-0.2003	0.2852
$Occupy$	大股东侵占	6 287	0.0196	0.0288	0.0002	0.1763
$Mfee$	管理费用率	6 287	0.0774	0.0552	0.0084	0.3319
$Board$	董事会规模（对数）	6 287	2.4391	0.3101	0.6931	3.7377
$Outdir$	独立董事比例	6 287	0.3538	0.0973	0.0500	1.0000
$Dual$	董事长和总经理是否两职合一	6 287	0.1778	0.3824	0.0000	1.0000

四、主要实证结果

（一）基准回归

考虑到混合横截面数据中，直接通过 OLS 估计方程难以有效克服序列相关和截面异方差产生的回归偏误，借鉴 Petersen（2009）的处理方法，本文

⁵ 在本文研究期内（2007—2013），各市级政府门户网站的信息公开指数及其相对排名随时间变化不大，这说明地方政府信息公开实践是稳步推进的。

进行个体和时间双重聚类 (cluster) 调整以获得稳健标准误。表 2 第 (1) 列结果显示, 变量 *Infor* 系数在 1% 水平上显著为正, 说明政府信息公开水平越高, 企业投资效率越高, 证实了假说 1 成立。如前文所述, 这其中的影响机制在于: 政府信息公开有助于降低企业面临的“事前”和“事后”不确定性, 进而改善上市公司投资决策环境, 提升投资效率。

表 2 第 (2)、(3) 列分别报告了使用国有企业、非国有企业作为样本的回归结果。不难发现, 变量 *Infor* 系数在国有企业样本中为正但不显著, 在非国有企业样本中为正且在 1% 水平上显著。这意味着, 政府信息公开有助于提高非国有企业的投资效率; 而政府信息公开对国有企业投资效率未产生显著影响, 证实假说 2 成立。本文进一步将上市公司所处的行业分为政府管制行业和非政府管制行业, 具体归类标准参照徐业坤等 (2013) 研究。⁶ 表 2 第 (4)、(5) 列结果表明, 对于管制行业而言, 政府信息公开对企业投资效率的改善效应更为明显, 而对于非管制行业, 政府信息公开对企业投资效率的影响为正且不显著, 表明假说 3 成立。

表 2 政府信息公开与企业投资效率: 基准回归

解释变量	全样本	国有企业	非国有企业	管制行业	非管制行业
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<i>Infor</i>	0.0109*** (0.0036)	0.0043 (0.0042)	0.0222*** (0.0057)	0.0168*** (0.0045)	0.0064 (0.0066)
<i>Fcf_{t-1}</i>	-0.0374*** (0.0091)	-0.0506*** (0.0101)	-0.0244** (0.0121)	-0.0489*** (0.0059)	-0.0302** (0.0131)
<i>Occupy_{t-1}</i>	-0.0538*** (0.0158)	-0.0168 (0.0324)	-0.0794*** (0.0293)	-0.0567*** (0.0198)	-0.0530** (0.0265)
<i>Mfee_{t-1}</i>	-0.0221 (0.0140)	-0.0294 (0.0184)	-0.0114 (0.0163)	-0.0200 (0.0224)	-0.0219 (0.0171)
<i>Board_{t-1}</i>	0.0050** (0.0021)	0.0035* (0.0021)	0.0046 (0.0032)	-0.0006 (0.0048)	0.0088*** (0.0030)
<i>Outdir_{t-1}</i>	-0.0069 (0.0058)	-0.0091 (0.0086)	-0.0055 (0.0051)	-0.0067 (0.0078)	-0.0073 (0.0076)
<i>Dual_{t-1}</i>	-0.0019 (0.0013)	0.0018 (0.0030)	-0.0019** (0.0009)	-0.0025 (0.0021)	-0.0014 (0.0014)
行业	是	是	是	是	是
年份	是	是	是	是	是

⁶ 由于已有文献根据证监会发布的《上市公司行业分类指引 (2001 年版)》划分管制行业和非管制行业, 我们将其对应到《上市公司行业分类指引 (2012 年版)》的行业名称之中, 具体方法参见附录, 留存备索。

(续表)

解释变量	全样本	国有企业	非国有企业	管制行业	非管制行业
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
观测值	6 287	3 471	2 816	2 518	3 769
R ²	0.039	0.055	0.052	0.044	0.038

注：括号中给出经过个体和时间双重聚类 (cluster) 调整的稳健标准误；*** $p < 1\%$ ，** $p < 5\%$ ，* $p < 10\%$ 。

(二) 变量内生性问题讨论

变量内生性问题可能导致方程回归系数的不一致性。中国政府信息公开制度的建立和完善呈现出政策扩散特征，政府信息公开实践既受到上级政府整体决策部署的影响，也与同级政府的信息公开状况密切相关。据此，本文根据如下思路构建工具变量以展开两阶段最小二乘 (2SLS) 估计：对于城市 c 而言，本文使用与城市 c 处于同一省份的其他样本城市政府信息公开水平的均值构建工具变量 $Infor_iv$ ，具体如下：

$$Infor_iv_{ct} = \frac{1}{N_c} \sum_{j \neq c}^{N_c} Infor_{jt}. \quad (3)$$

方程 (3) 中， t 代表年份， j 代表与目标城市 c 处于同一省份的城市， N_c 代表与城市 c 处于同一省份的其他城市数目。为保证所构建指标的准确性，若目标城市 c 所处省份的其他城市数小于等于 2 (即 $N_c \leq 2$)，则该目标城市予以剔除。表 3 报告的 2SLS 估计结果表明：政府信息公开会在整体上提升企业投资效率，且这一效应主要体现在非国有企业和政府管制行业中，前述实证发现依然成立。

表 3 政府信息公开与企业投资效率：缓解变量内生性问题

解释变量	全样本	国有企业	非国有企业	管制行业	非管制行业
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
<i>Infor</i>	0.0222** (0.0100)	0.0142 (0.0139)	0.0548*** (0.0167)	0.0312** (0.0138)	0.0115 (0.0142)
控制变量	是	是	是	是	是
观测值	5 975	3 268	2 707	2 389	3 586
R ²	0.037	0.058	0.036	0.041	0.041
弱工具变量检验	787.971	387.892	308.423	415.586	385.653
内生性检验	1.517	0.607	4.949**	1.255	0.128

注：括号中给出经过 White-robust 调整的稳健标准误；*** $p < 1\%$ ，** $p < 5\%$ ；弱工具变量检验报告的是 Cragg-Donald Wald F 值，内生性检验报告的是 Durbin-Wu-Hausman 卡方值。

(三) 稳健性检验

1. 变换关键指标

第一, 变换政府信息公开衡量指标。首先, 本文根据“政府网站信息公开指数”的排名 $Infor_r$ (即 1、2、3 等序数) 衡量市级政府信息公开水平。其次, 我们使用王小鲁等 (2013) 提供的各省份在行政管理方面“公开、公正、公平”分项得分测度政府信息公开水平, 同时将四个直辖市的上市公司样本纳入研究范围。该项指标提供了 2006、2008、2010、2012 年四个年度的分省数据, 对于各省份 2007、2009、2011 年得分, 我们使用相邻两个年份的得分平均值衡量, 2013 年“公开、公正、公平”得分使用 2012 年得分代替, 由此得到衡量政府信息公开水平的新变量 $Infor_w$ 。本文使用上述指标衡量政府信息公开水平, 重复基准回归, 前述实证发现同样成立。

第二, 变换企业投资效率衡量指标。首先, 本文使用托宾 q 值衡量 Richardson (2006) 模型 (方程 (1)) 中的投资机会, 得到方程回归残差的绝对值, 然后再取相反数, 用以衡量投资效率。其次, 本文分别根据 Biddle *et al.* (2009) 和 Chen F. *et al.* (2011) 提出的研究思路, 单纯使用营业增长率预期企业投资支出, 利用样本数据分行业、分年度展开回归, 通过回归残差构建刻画企业投资效率的新指标。本文以新指标衡量上市公司投资效率, 重复基准回归, 前文假说依然成立。

2. 改进实证模型

首先, 由于宏观经济波动和产业政策实施, 特定行业的企业投资效率可能随着年份不同而呈现系统性变动, 如果这一因素足够重要, 那么将对前述实证结论带来挑战, 对此, 我们在方程 (2) 中添加行业和年份虚拟变量的交叉项。其次, 本文将样本城市划分为东部、中部、西部、东北四个经济区域⁷, 构建城市地理位置虚拟变量, 在方程 (2) 中添加城市地理位置虚拟变量及其与行业、年份虚拟变量的交叉项。再次, 本文将样本城市划分为副省级城市、非副省级省会城市、普通地级市三类, 构建城市行政级别虚拟变量, 在方程 (2) 中添加城市行政级别虚拟变量及其与行业、年份虚拟变量的交叉项。最后, 我们在方程 (2) 中添加样本企业所属省份的虚拟变量及其与行业、年份虚拟变量的交叉项。本文在控制上述因素的基础上, 重复前文回归, 主要结论未发生实质性改变。

另外, 本文针对回归标准误进行行业或城市层面聚类调整; 同时在方程 (2) 中添加人均实际 GDP (自然对数)、民营经济活跃度、互联网普及程度、人力资本水平、市级行政主官任期和年龄等城市特征因素。重新估计得到的结果表明, 基准回归结论依然成立。

⁷ 东部包括: 北京、天津、上海、河北、山东、江苏、浙江、福建、广东、海南; 中部包括: 山西、河南、湖北、湖南、江西、安徽; 东北包括: 黑龙江、吉林、辽宁; 其他省份归为西部。

3. 变换回归样本

首先，剔除非预期投资最接近零的样本。考虑到本文使用 Richardson (2006) 提出的投资预期模型估计企业投资效率，为克服模型设定可能造成的回归偏误，我们将通过方程 (1) 得到的投资不足样本组、投资过度样本组分别分成 10 个组，去掉非预期投资最接近零的 2 个组。其次，使用 2010—2013 年上市公司数据。中国政府为应对 2008 年国际金融危机，于 2008 年年底出台了一系列经济刺激政策，这些政策在 2009 年会为上市公司投资环境带来系统性“冲击”，为克服上述政策冲击对回归结果的稳健性带来干扰，我们基于 2010—2013 年数据进行回归。最后，剔除回归样本过多或过少的城市。政府信息公开水平较高的城市可能也是上市公司聚集的地区，前文回归分析存在一定程度的加权估计，因此，本文依次剔除回归样本数小于 50、小于 80、大于 150 的城市。根据上述思路变换回归样本之后，重复基准回归，前述假说依然成立。

另外，本文使用 2014—2018 年的上市公司数据展开分析。我们通过 2014—2018 年间中国软件测评中心发布的部分城市的“政府网站信息公开指数”，匹配这些城市的上市公司数据，基于方程 (2) 重新评估政府信息公开对企业投资效率的影响。结果表明，政府信息公开对企业投资效率的总体影响不显著，但估计系数符号依然为正；分样本回归结果显示，政府信息公开会显著提高非国有上市公司、管制行业上市公司的投资效率，但对国有上市公司、非管制行业上市公司的投资效率无显著影响，这与基准回归发现相一致。这说明，随着制度完善和实践深化，对于信息公开较好的城市而言，政府信息公开改善企业投资效率的效应在总体上不显著，但对于面临较强政策不确定性的特定企业而言，政府信息公开的投资效率改善效应依然存在。⁸

五、拓展性研究

(一) 政府信息公开对企业投资效率的影响：不同政策不确定性的比较

本文将依次从政府干预、经济周期、官员更替三个维度衡量企业面临的政策不确定性⁹，以检验随着政策不确定性增加，政府信息公开提升企业投资效率的积极效应是否更强。

1. 政府干预带来的政策不确定性

本文使用王小鲁等 (2017) 提供的“政府与市场的关系”分项指数衡量

⁸ 本文还考察了政府信息公开对企业投资方向的影响，结果表明，政府信息公开会显著降低企业投资过度和投资不足水平。同时，我们还考虑企业跨区域经营带来的影响：第一，根据员工总数将样本企业分为大规模、中等规模、小规模三组，并利用大规模、小规模两组进行分样本估计；第二，考虑到制造业公司比非制造业公司更容易开展跨区域经营，本文利用制造业公司、非制造业公司进行分样本估计。回归结果显示，无论是根据公司规模分样本，还是是否为制造业分样本，政府信息公开都有助于提升企业投资效率。

⁹ 使用这三个维度衡量政策不确定性的合理性讨论详见附录，留存备索。

政府干预程度 *Govinter*，该指数取值越大，说明政府干预越少。对于每一观测年度，如果地区分项指数小于等于（大于）中位数，则将该地区样本公司划为政府干预较强（较弱）组。我们分样本考察了政府信息公开对上市公司投资效率的影响。表4第（1）、（2）列回归系数说明，当政府干预较弱时，变量 *Infor* 系数虽然为正但不显著，当政府干预较强时，变量 *Infor* 系数在1%水平上显著为正。可见，当面临政府干预带来的“事后”政策不确定性时，政府信息公开对企业投资效率的改善效应更强。

表4 政府信息公开、政策不确定性与企业投资效率

	政府干预弱	政府干预强	经济上行期	经济下行期	经济上行期	经济下行期	官员未更替	官员更替
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
<i>Infor</i>	0.0048 (0.0044)	0.0161*** (0.0046)	0.0052 (0.0053)	0.0192*** (0.0037)	0.0088 (0.0059)	0.0120*** (0.0033)	0.0088 (0.0072)	0.0116*** (0.0036)
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是
观测值	4 883	1 404	2 893	3 318	3 712	2 500	1 584	4 500
R^2	0.041	0.077	0.046	0.049	0.042	0.055	0.062	0.041

注：括号中给出经过个体和时间层面双重聚类（cluster）调整的稳健标准误；*** $p < 1\%$ 。

2. 经济周期波动带来的政策不确定性

本文借鉴陈冬等（2016）研究思路，使用GDP增长率和实际GDP残差划分经济上行期和下行期，具体如下：第一，使用GDP增长率划分经济上行期和下行期。当一个城市在某一年度的GDP增长率低于该城市样本期（2007—2013）中位数时，本文视其为经济下行期，变量 *Ecycled* 赋值为0；否则，视其为经济上行期，变量 *Ecycled* 赋值为1。第二，使用实际GDP残差划分经济上行期和下行期。首先，我们将各城市样本期的名义GDP调整为以1978年为基期的实际GDP；接着，以城市实际GDP的自然对数为因变量，使用表示时间趋势的变量 *Period*¹⁰ 与省份虚拟变量作为解释变量，通过OLS估计得到残差；最后，当一个城市在某一年度的实际GDP残差低于该城市样本期中位数时，本文视其为经济下行期，变量 *Ecycledd* 赋值为0；否则视其为经济上行期，变量 *Ecycledd* 赋值为1。表4第（3）、（4）列以及第（5）、（6）列报告了使用上述两类方法区分经济上行期和下行期的分样本估计结果。不难发现，在经济下行期，变量 *Infor* 系数显著为正，而在经济上行期，变量 *Infor* 系数为正但不显著。这说明，在经济下行期，当面临更多“事前”政策不确定性时，政府信息公开能够更有效地改善企业投资效率。

3. 地方官员更替带来的政策不确定性

在“一把手”负责制的体制背景下，党政主官在政策制定和实施中具有举

¹⁰ 对应2007年，*Period* 取值为0，对应2008年，*Period* 取值为1，以此类推。

足轻重的作用，因此，本文主要关注省级党委书记或行政首长更替带来的政策不确定性。¹¹考虑到地方官员变更对企业投资环境产生实质影响可能存在较长“链条”和时滞性，而部分新任官员不急于调整现有经济政策和宏观调控思路，因此，本文主要关注当期和滞后一期地方官员更替情况。若当期或滞后一期省级党委书记或行政首长发生更替，变量 *Loturn* 赋值为 1，否则，变量 *Loturn* 赋值为 0。表 4 第 (7)、(8) 列结果显示，当地方官员未更替时，变量 *Infor* 系数为正但不显著，当地方官员更替时，变量 *Infor* 系数显著为正。这说明，面对官员更替带来的“事后”政策不确定性，政府信息公开改善企业投资效率的效应更强。

(二) 影响机制初步检验

该部分将利用世界银行 2012 年中国企业调查数据¹²，检验政府信息公开是否有助于减少企业面临的政策不确定性，并设定如下方程：

$$Polunc_i = \lambda_0 + \lambda_1 Infor_c + \phi X_i + \varphi Z_c + \sigma_i. \quad (4)$$

方程 (4) 中，被解释变量 *Polunc* 代表企业面临的政策不确定性，根据世界银行问卷中“政策环境不稳定性对企业当前运行造成的障碍程度”刻画，问题对应选项“无”“较小”“中等”“较大”“完全”，变量 *Polunc* 依次赋值为 0 到 4 之间的离散整数，取值越大代表受访企业面临的政策不确定性越高。解释变量 *Infor* 定义与前文一致，代表政府信息公开水平，使用各城市 2012 年的政府网站信息公开指数衡量。

企业层面控制变量 X_i 包括：是否获得或准备获得政府合同 (*Contrac*)、是否为国有企业 (*Soe*)、政府管制程度 (*Regu*)、是否有出口活动 (*Export*)、非正规部门的竞争程度 (*Compet*)、企业高管本部门任职年限 (*Manaexp*)、企业营业增长率 (*Growth*)、成立年限 (自然对数) (*lnAge*)、规模 (*lnEmplo*) 等。此外，文章还加入了企业所处的二级行业虚拟变量。城市层面控制变量 Z_c 包括：城市法治环境 (*Court*)、人均国内生产总值 (自然对数) (*Gdpper*)、财政盈余水平 (*Surplus*)、民营经济比重 (*Private*)、市级官员更替 (*Loturnm*)、城市行政级别、城市地理位置等¹³。

由于被解释变量 *Polunc* 是一个介于 0 到 4 之间的有序响应变量，本文将使用 Ordered Probit 模型对方程 (4) 进行极大似然估计。表 5 第 (1) 列结果表明，变量 *Infor* 系数在 1% 水平上显著为负。本文还构建二元虚拟变量 *Poluncd* 衡量企业面临的政策不确定性。当企业认为“政策环境不稳定性”

¹¹ 关注省级（而非市级）党政主官更替情况的合理性讨论见附录，留存备案。本文按照如下准则确定省级党政主官更替年份：如果党政主官实际更替发生在 1 月至 6 月，视当年发生官员更替，如果实际更替发生在 7 月至 12 月，视下一年发生官员更替。

¹² 该调查项目的介绍见世界银行网站 <https://microdata.worldbank.org/index.php/catalog/1559>，访问日期：2020 年 3 月 15 日。

¹³ 企业层面控制变量 X_i 和城市层面控制变量 Z_c 的具体定义以及估计系数，详见附录，留存备案。

对企业当前运行“无障碍”时,变量 *Poluncd* 赋值为 0, 否则变量 *Poluncd* 赋值为 1。表 5 第 (2) 列报告的 Probit 边际效应系数显示, 变量 *Infor* 系数依然显著为负。上述结果说明, 在政府信息公开水平较高的城市, 企业面临的政策不确定性更低。

本文还使用公式 $(X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ 对变量 *Infor* 进行标准化处理, 得到新变量 *Infor_sd*, 表 5 第 (3)、(4) 列结果表明, 变量 *Infor_sd* 系数显著为负。另外, 我们还使用“市级政府透明度测评得分”(变量 *Gtran*) 刻画地方政府信息公开水平, 该项指标来自中国社会科学院法学研究所发布的《中国政府透明度年度报告(2012)》。表 5 第 (5) 列报告的 Ordered Probit 回归系数表明, 变量 *Gtran* 系数在 1% 水平上显著为负。我们还使用 *Poluncd* 作为方程 (4) 的被解释变量, 表 5 第 (6) 列报告的 Probit 边际效应系数表明, 政府信息公开 *Gtran* 依然显著为负。上述结果说明, “政府信息公开降低企业面临的政策不确定性”这一结论仍然稳健。

表 5 政府信息公开与企业感受的政策不确定性

解释变量	被解释变量					
	<i>Polunc</i>	<i>Poluncd</i>	<i>Polunc</i>	<i>Poluncd</i>	<i>Polunc</i>	<i>Poluncd</i>
	Ordered Probit	Probit 边际	Ordered Probit	Probit 边际	Ordered Probit	Probit 边际
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<i>Infor</i>	-2.0923*** (0.5457)	-0.5337*** (0.1374)				
<i>Infor_sd</i>			-0.8787*** (0.2292)	-0.2242*** (0.0577)		
<i>Gtran</i>					-0.0716*** (0.0109)	-0.0186*** (0.0025)
控制变量	是	是	是	是	是	是
观测值	2 320	2 320	2 320	2 320	1 815	1 815
Pseudo R ²	0.0943	0.1229	0.0943	0.1229	0.1165	0.1435

注: 括号中给出经过个体层面聚类 (cluster) 调整的稳健标准误; *** $p < 1\%$ 。

六、结 论

现阶段, 通过优化营商环境激发市场主体活力、促进宏观经济稳中向好成为理论界和决策层的广泛共识, 而推进信息公开实践日益成为政府优化营商环境的重要举措。本文围绕“公开能否带来效率”这一核心问题, 从经验上评估了政府信息公开对上市公司投资效率的影响及其机制。研究

发现，政府信息公开有助于提升上市公司投资效率，且这一效应随着产权性质和行业特征不同而存在差异。机制检验表明，当政策不确定性更高时，政府信息公开改善企业投资效率的效应更强；基于微观企业调查数据的分析表明，在那些政府信息公开水平更高的城市，企业主观感受的政策不确定性更弱。

本文政策涵义体现在两方面：第一，高效的企业投资活动既是一国资本配置效率持续提升的微观基础，也是当前理论界关心的热点话题。本文结论表明，政府信息公开能显著提升企业投资效率，且这种积极效应在政策不确定性背景下会更加凸显。转型背景下，中国企业面临的政策不确定性，不仅源于未来经济走势的不明朗，而且与地方政府行为的“不可预期性”密切相关。在这一背景下，政府信息公开实践无疑是规范政府权力边界、减少政府“自由裁量权”的可行政策选择，是现有制度框架下优化营商环境、激发企业发展活力的有效路径。第二，营造公开透明、公平公正的法治环境，保障各类市场主体公平参与市场竞争，是当前阶段打造法治化营商环境的重要目标。本文结论说明，政府信息公开对企业投资效率的影响存在明显的产权差异，即政府信息公开对非国有企业投资效率的改善效应更强。这意味着，政府推动信息公开的施政举措将为民营企业、外商投资企业营造稳定可预期的政策环境，减少这两类企业的政策信息获取成本，弥补这两类企业在政企互动中的“信息劣势”，这对于营造公平竞争的市场环境，推动各类市场主体可持续发展具有积极意义。

参 考 文 献

- [1] Baker, S. R., N. Bloom, and S. J. Davis, “Measuring Economic Policy Uncertainty”, *Quarterly Journal of Economics*, 2016, 131 (4), 1593-1636.
- [2] Biddle, G. C., G. Hilary, and R. S. Verdi, “How Does Financial Reporting Quality Relate to Investment Efficiency?”, *Journal of Accounting and Economics*, 2009, 48 (2-3), 112-131.
- [3] Bonaime, A., H. Gulen, and M. Ion, “Does Policy Uncertainty Affect Mergers and Acquisitions?”, *Journal of Financial Economics*, 2018, 129 (3), 531-558.
- [4] Cao, C., X. Li, and G. Liu, “Political Uncertainty and Cross-Border Acquisitions”, *Review of Finance*, 2019, 23 (2), 439-470.
- [5] 陈德球、陈运森、董志勇，“政策不确定性、税收征管强度与企业税收规避”，《管理世界》，2016年第5期，第151—163页。
- [6] 陈德球、陈运森、董志勇，“政策不确定性、市场竞争与资本配置”，《金融研究》，2017年第11期，第65—80页。
- [7] 陈冬、孔墨奇、王红建，“投我以桃，报之以李：经济周期与国企避税”，《管理世界》，2016年第5期，第46—63页。

- [8] Chen, F., O. Hope, Q. Li, and X. Wang, "Financial Reporting Quality and Investment Efficiency of Private Firms in Emerging Markets", *Accounting Review*, 2011, 86 (4), 1255-1288.
- [9] 陈胜蓝、刘晓玲, "经济政策不确定性与公司商业信用供给", 《金融研究》, 2018 年第 5 期, 第 172—190 页。
- [10] Chen, S., Z. Sun, S. Tang, and D. Wu, "Government Intervention and Investment Efficiency: Evidence from China", *Journal of Corporate Finance*, 2011, 17 (2), 259-271.
- [11] Choi, S., and Y. Hashimoto, "Does Transparency Pay? Evidence from IMF Data Transparency Policy Reforms and Emerging Market Sovereign Bond Spreads", *Journal of International Money and Finance*, 2018, 88, 171-190.
- [12] 代昀昊、孔东民, "高管海外经历是否能提升企业投资效率", 《世界经济》, 2017 年第 1 期, 第 168—192 页。
- [13] 邓淑莲、朱颖, "财政透明度对企业产能过剩的影响研究——基于‘主观’与‘被动’投资偏误的视角", 《财经研究》, 2017 年第 5 期, 第 4—17 页。
- [14] Julio, B., and Y. Yook, "Political Uncertainty and Corporate Investment Cycles", *Journal of Finance*, 2012, 67 (1), 45-83.
- [15] Kolstad, I., and A. Wiig, "Is Transparency the Key to Reducing Corruption in Resource-Rich Countries?", *World Development*, 2009, 37 (3), 521-532.
- [16] 李凤羽、史永东, "经济政策不确定性与企业现金持有策略——基于中国经济政策不确定性指数的实证研究", 《管理科学学报》, 2016 年第 6 期, 第 157—170 页。
- [17] Li, Z., X. Ouyang, K. Du, and Y. Zhao, "Does Government Transparency Contribute to Improved Eco-efficiency Performance? An Empirical Study of 262 Cities in China", *Energy Policy*, 2017, 110, 79-89.
- [18] 刘慧龙、王成方、吴联生, "决策权配置、盈余管理与投资效率", 《经济研究》, 2014 年第 8 期, 第 93—106 页。
- [19] Liu, Y., M. K. Miletkov, Z. Wei, and T. Yang, "Board Independence and Firm Performance in China", *Journal of Corporate Finance*, 2015, 30, 223-244.
- [20] 吕艳滨, "政府信息公开制度实施状况——基于政府透明度测评的实证分析", 《清华法学》, 2014 年第 3 期, 第 51—65 页。
- [21] 马亮, "信息公开、行政问责与政府廉洁: 来自中国城市的实证研究", 《经济社会体制比较》, 2014 年第 4 期, 第 141—154 页。
- [22] Mclean, R. D., T. Zhang, and M. Zhao, "Why Does the Law Matter? Investor Protection and Its Effects on Investment, Finance, and Growth", *Journal of Finance*, 2012, 67 (1), 313-350.
- [23] 马勇, "中国货币政策透明度的经验研究", 《世界经济》, 2015 年第 9 期, 第 3—28 页。
- [24] 潘怡麟、朱凯、陈信元, "决策权配置与公司价值——基于企业集团的经验证据", 《管理世界》, 2018 年第 12 期, 第 111—119 页。
- [25] Petersen, M. A., "Estimating Standard Errors in Finance Panel Data Sets: Comparing Approaches", *Review of Financial Studies*, 2009, 22 (1), 435-480.
- [26] Porumbescu, G. A., M. I. H. Lindeman, E. Ceka, and M. Cucciniello, "Can Transparency Foster More Understanding and Compliant Citizens?", *Public Administration Review*, 2017, 77 (6), 840-850.
- [27] 饶品贵、徐子慧, "经济政策不确定性影响了企业高管变更吗?", 《管理世界》, 2017 年第 1 期,

第 145—157 页。

- [28] Richardson, S., “Over-Investment of Free Cash Flow”, *Review of Accounting Studies*, 2006, 11 (2-3), 159-189.
- [29] 田禾、吕艳滨,《中国政府透明度(2018)》。北京:中国社会科学出版社,2018年。
- [30] 万良勇,“法治环境与企业投资效率——基于中国上市公司的实证研究”,《金融研究》,2013年第12期,第154—166页。
- [31] 王克敏、刘静、李晓溪,“产业政策、政府支持与公司投资效率研究”,《管理世界》,2017年第3期,第113—124页。
- [32] 王少飞、周国良、孙铮,“政府公共治理、财政透明与企业投资效率”,《审计研究》,2011年第4期,第58—67页。
- [33] 王小鲁、余静文、樊纲,《中国分省企业经营环境指数2013年报告》。北京:中信出版社,2013年。
- [34] 王小鲁、樊纲、余静文,《中国分省份市场化指数报告(2016)》。北京:社会科学文献出版社,2017年。
- [35] 徐业坤、钱先航、李维安,“政治不确定性、政治关联与民营企业投资——来自市委书记更替的证据”,《管理世界》,2013年第5期,第116—130页。
- [36] 于文超、梁平汉,“不确定性、营商环境与民营企业经营活力”,《中国工业经济》,2019年第11期,第136—154页。
- [37] 于文轩,“政府透明度与政治信任:基于2011中国城市服务型政府调查的分析”,《中国行政管理》,2013年第2期,第110—115页。

Can Higher Level of Disclosure Bring Greater Efficiency? —The Empirical Research on the Effect of Government Information Disclosure on Firms' Investment Efficiency

WENCHAO YU

(*Southwest University of Political Science & Law*)

PINGHAN LIANG*

(*Sun Yat-sen University*)

NAN GAO

(*Zhongnan University of Economics and Law*)

Abstract Based on China's listed firms, this paper studies the effect of government information disclosure (*GID*) on firms' investment efficiency. We find *GID* significantly improves firms' investment efficiency, and this effect is stronger for non-state-owned firms and firms in regulated industries. Mechanism studies suggest that, when policy uncertainty is higher, the promotion effect of *GID* on firms' investment efficiency is stronger. The analysis based on enterprises' survey data shows that, the higher the level of *GID*, the lower firms' subjective feeling of policy uncertainty. These findings mean reducing policy uncertainty is an important mechanism that *GID* improves firms' investment efficiency.

Key Words government information disclosure, firms' investment efficiency, policy uncertainty

JEL Classification D21, G38, H83

* Corresponding Author: Pinghan Liang, Center for Chinese Public Administration Research, School of Government, Sun Yat-sen University, Guangzhou, Guangdong, 510275, China; Tel: 86-20-84110942; E-mail: liangph5@mail.sysu.edu.cn.