

基于温州、深圳两市的新冠疫情政策防控效果分析

莫睿哲

田超

韩瑞昕

李明惠

Abstract

新型冠状病毒肺炎 (COVID-19) 疫情发生后,我国政府采取了一系列严格管控措施来控制疫情的蔓延,本文通过总结温州及深圳两市的疫情特征,使用合成控制法以及疫情动态传播模型分析温州及深圳两市的防控效果,并通过政策推迟的逐日累计效应量化评估政策实施对疫情的影响。结果显示,温州及深圳两市在新型冠状病毒肺炎防控过程中采取了有效且及时的防控措施,并且都取得了很好的防控效果。若政策推迟实施,现存感染人数将会远超实际。

1 引言

2019 年 12 月,湖北省武汉市爆发了新冠肺炎疫情,并逐步扩散至全国。2020 年 1 月 20 日,国家卫生健康委员会宣布将其纳入乙类传染病,并采取甲类传染病的预防、控制措施。

在疫情尚未引起全国警觉时,恰逢与春节返乡重合之际,在武汉封城后的 5 天时间内,依然有 1.88 万湖北、尤其是武汉人士进入温州,温州一度成为孤悬鄂外的最严重地区,防控压力巨大。在不到一个月的时间里,温州政府通过采取强制隔离密切接触者、对小区进行封闭式管理等紧急公共卫生措施,有效控制了疫情。2020 年 1 月 23 日,广东省启动重大突发公共卫生事件一级响应,而深圳市此时收治新冠肺炎确诊病例已达到 15 人。面对春节期间大型聚集活动和春运潮的压力,深圳市同日也采取了加强交通卫生检疫、停止人群聚集性活动等防控措施,不到一个月的时间里实现新增病例零增长。中国和世界卫生组织新冠肺炎联合专家考察组也评价“深圳的医疗水准已超过新加坡,社区管理水平已超过香港”,并将深圳疫情防控策略作为典型案例向全球推介。

然而,当前境外疫情仍非常严重,我国输入病例的风险仍较高。因此,总结两市阶段性的疫情特征,量化评估阶段性防控措施的效果,借鉴两市优秀的防控经验,可为其他地区以及未来突发公共卫生事件的科学防控提供参考。

2 描述性统计

2.1 数据来源

本文搜集了温州市、深圳市等地区自 2020 年 1 月 19 日报告首例 COVID-19 疫情开始至 2020 年 2 月 24 日疫情基本控制期间的流行病学数据,包括每日新增病例、累计确诊

病例、输入型与非输入型病例、治愈病例与死亡病例，数据来源于各省市卫生健康委员会官方网站，其中深圳市病例数据来自深圳市政府数据开放平台。疫情防控政策的材料来源于温州市和深圳市政府官方网站及卫生健康委员会发布的新型冠状病毒肺炎防控的政策材料与实施日期。

同时还采集了各地市的地区生产总值（GDP）和人口密度进行合成控制分析，数据均来源于各省市统计年鉴（2019）。

2.2 病例数据对比

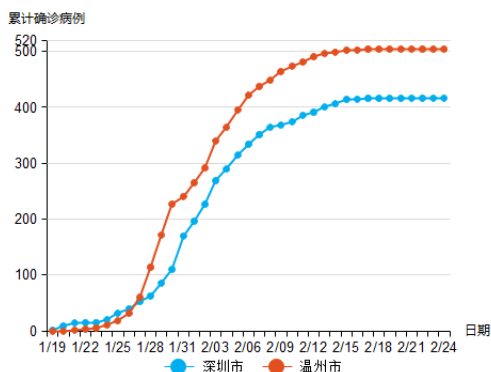


Figure 1: 累计确诊病例数

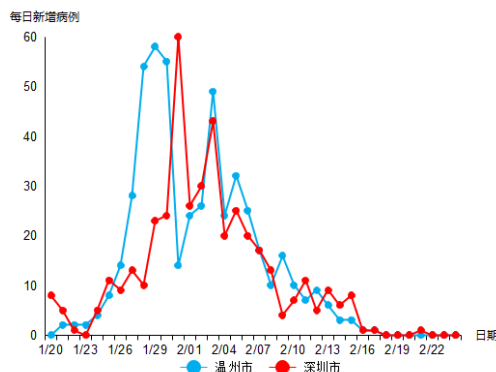


Figure 2: 每日新增病例数

根据上述图 1、图 2，从疫情总体趋势来看，深圳和温州的疫情在初期比较相似，两市的累计确诊病例数在除湖北省以外的全国城市中排在前列。两市的每日新增病例从 27 日开始激增，到 2 月 17 日趋近为 0。期间，深圳市的峰值出现在 1 月 31 日，温州市的峰值出现在 1 月 29 日，在 2 月 4 日以后，两市的疫情都呈现逐渐下降的趋势。

2.3 病例来源对比

因为此次病例主要来源于湖北省，所以病例来源可分为两种：输入型和非输入型，输入型病例指有湖北旅居史，非输入型病例指：无湖北旅居史，且为本地居民。

由图 3、图 4 可知，深圳市的病例主要为输入型病例，温州市在 1 月 31 日前以输入型病例为主，1 月 31 日之后以非输入型病例为主，通过卡方检验 ($p\text{-value} = 0.0001 < 0.05$)，证明深圳市和温州市的病例来源是存在显著性差异的。

结合以上两市的传播强度和每日新增病例来源数，可以看出：虽然深圳市的病例主要以输入型病例为主，但其非输入型病例一直保持在较低的水平 and 较小的范围内波动，并且，输入型病例在 1 月 27 日 ~ 2 月 1 日出现大幅上升时，非输入型病例并没有出现明显的波动。反观温州市，在 1 月 31 日以前，温州市的病例主要以输入型病例为主，并且，非输入型病例也随输入型病例的增加而明显增加；在 1 月 31 日以后，输入型病例大幅减少，但非输入型病例反而大幅上升。

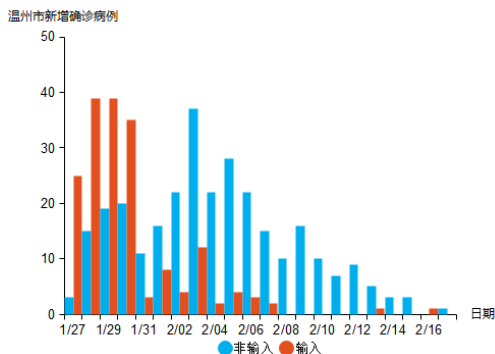


Figure 3: 温州病例来源

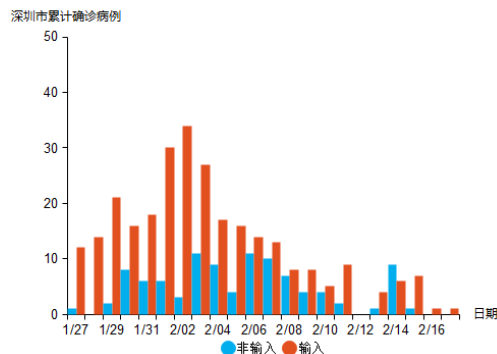


Figure 4: 深圳病例来源

2.4 政策对比

从 1 月 23 日起，温州市开始在交通卡口对武汉返温的旅客进行体温检测，而广东省就已经启动重大突发公共卫生事件一级响应，深圳市也随即发布肺炎疫情防控重要通告，实行停止人群聚集、体温检测等措施，较早的外控输入，内控扩散；在 1 月 27 日，温州市全面暂停省际班车客运、包车客运和市际班线，重点排查检测湖北车辆；在 1 月 28 日，深圳市加强风险源管控，建立“一对一”跟踪管控制度；在 2 月 1 日，温州市实施小区封闭式管理，市区公交暂时停运，临时关闭高速收费站；在 2 月 9 日，温州市公安机关加大对拒不听从隔离措施人员的打击力度，深圳市严格控制村（居）民出行，对小区进行封闭式管理。

因此，综合这些政策，将深圳市的政策实施开始时间定在 1 月 23 号，将温州市的政策实施开始时间定在 2 月 1 号。

3 理论框架

3.1 合成控制法

3.1.1 理论思想介绍

经济学家常要评估某政策或时间的经济社会效应，政策可能实施于某些国家或地区，为此，常使用“鲁宾的反事实框架”（Rubin’s counterfactual framework），即假想该地区未受政策干预将会怎样，并与事实受到干预的实际数据进行对比，二者之差即为“处理效应”（treatment effect）。常用的解决方法为寻找适当的控制组（control group），即在各个方面都与受干预地区相似但却未受干预的其他地区，以作为处理组（即受到干预的地区）的反事实替身。

合成控制法的核心思想在于控制组不止一个个体，而是由多个个体组成。假定只有一个地区 ($i=1$) 受政策干预的影响，并且有 J 个没有政策干预地区 ($i = 2 \dots J+1$)， P_{it}^N 和 P_{it}^Y 分别是地区 i 在没有政策干预下和有政策干预下的变量取值，政策在 $T_0 + 1 (1 \leq T_0 < T)$ 开始实施，研究样本的地区为 $i = 1 \dots J+1$ ，样本时间为 $t = 1 \dots T$ 。

根据假定，试点地区 1 的政策效果为：

$$\alpha_{1t} = P_{1t}^Y - P_{1t}^N, t = T_0 + 1, \dots, T \quad (1)$$

其中, P_{1t}^Y 可以被观测, P_{1t}^N 不能被观测。

为了估计 $P_{1t}^N, t = T_0 + 1, \dots, T$, 利用合成控制法构建一个合成的对照地区:

$$\hat{P}_{1t}^N = \sum_{i=2}^{j+1} W_i^t P_{it}^N, i = 2, \dots, j+1 \quad (2)$$

其中, W_i^* 是地区 i 的权重, 满足 $W_i^* \geq 0$ 和 $\sum_{i=2}^{j+1} W_i^* = 1$ 。

Abadie (2010) 证明, 在一定的正则条件下, 如果合成控制的 w^* 能完全的复制处理地区的经济特征与干预前的结果变量, 则当干预前期数趋向无穷大时, 合成控制估计量是渐进无偏的。反之, 如果合成控制 w^* 无法很好地复制处理地区的经济特征与干预前的结果变量, 则合成控制估计量将是渐近有偏的。因此, 在使用合成控制法时, 一个重要的模型设定检验就是, 考察合成控制的地区经济特征与干预前的结果变量是否与处理地区足够接近。

3.1.2 文献介绍

Abadie, Alberto, et al (2010) 在加州控烟案例中运用合成控制法, 用 38 个未实施控烟法案的城市合成加州, 最终得到了科罗拉多州等五个城市为非零权重的控制组, 进一步得到了很好的合成效果, 从而衡量出加州控烟法案实施使得加州人均香烟消费量减少 25 包之多; 刘友金, 曾小明 (2018) 运用合成控制法和双重差分法客观评估房产税政策对产业转移的影响, 量化了房产税对重庆和上海两市服务业的影响。王学钦团队 (2020) 在从病例数据对比分析影响温州和深圳疫情的特征中, 分别选定了 2 月 1 日和 1 月 23 日为政策实施点, 同样运用合成控制法对两市进行防疫政策效果评价, 量化出了两市防疫政策的效果。本文在王学钦等人研究的基础上, 同样进行了两市的防疫政策效果评价, 并且进一步通过合成控制法研究了两市防疫政策延迟效应。

3.2 疫情传播模型

3.2.1 理论思想介绍

建立如下疫情发展动态模型:

$$N(t_{k+1}) = N(t_k) * e^{a(t_{k+1})*(t_{k+1}-t_k)}, k = 0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

$t_k, t_k + 1$ 表示采样时间点; $N(t_k), N(t_k)$ 表示与 $t_k, t_k + 1$ 时刻对应的现存感染者数量; $a(t_k)$ 表示随时间变化的疫情增长率。其中, 现存感染者数量是通过确诊病例数减去治愈病例数减去死亡病例数计算得到的。

疫情增长率的表达式如下:

$$a(t_{k+1}) = \ln(N(t_{k+1})/N(t_k))/(t_{k+1} - t_k), k = 0, 1, 2, \dots \quad (4)$$

疫情传播率的表达式如下：

$$c(t_k) = 1 + a(t_k), k = 0, 1, 2, \dots \quad (5)$$

我们用疫情传播率衡量疫情的发展是否达到拐点。若果 $c(t_k) > 1$ ，表示疫情正在蔓延，现存感染者数量持续增加。如果 $c(t_k) \leq 1$ ，则表示现存感染者总量达到峰值，即疫情拐点出现。

3.2.2 文献介绍

在事件的不同阶段，流行病的动态可能表现出不同的传播模式。而且，在各种医疗和政策的干预下，流行病的进程可能会发生动态变化。

Maier & Brockmann (2020) 发现，政策实施前后疫情增长模型中指数增长率的变化是动态的。Kucharski (2020) 采用随机传播模式估计出，政策实施一周后，疫情日传播数就降到了管控实施一周前的一半以下。黄锬，乔方利 (2020) 基于广泛存在的自然增长率提出了一种只包含一个参数（疫情增长率）的疫情动态传播模型，该参数随着疫情的发展而动态变化，从而能够刻画疫情发展过程中动力特征的改变。王刚，黄锬 (2020) 使用疫情动态传播模型定量评估中国政府的管控措施效果，发现从 2020 年 1 月 24 日到 2 月 18 日全国施行的严格防控政策使得 1692 万 ~7605 万人免于遭受新型冠状病毒的感染。

4 实证分析

4.1 合成控制法

4.1.1 控制组及变量选择

考虑确诊人数与数据搜集问题，选定初始控制组为除自治区、特别行政区、台湾之外的 268 个城市，然而这些城市与温州、深圳的相似程度差别有大有小，且预测变量和结果变量数据的搜集和分析难度较大。故在实施合成控制法之前，根据各城市的地区生产总值、人口密度、以及累计确诊病例数三个变量，通过 K-means 聚类方法筛选出与两市相似度较高的城市。经过聚类，确定合成两市的控制组。其中，合成温州的控制组有沈阳、抚顺、南京、无锡、徐州等 28 个城市。合成深圳的控制组有北京、天津、重庆等 17 个城市。

对于合成控制法的结果变量选定为发病率，即每十万人确诊率。预测变量选定为 $\ln GDP$ 、 \ln 人口密度以及累计确诊人数，并将某个时间点的发病率作为协变量。

4.1.2 政策效果评价

通过合成控制法拟合“虚拟”温州和“虚拟”深圳，合成结果如表 1：

Table 1: (合成温州与合成深圳的城市权重)

合成温州	最优权重	合成深圳	最优权重
济南	0.107	上海	0.53
新余	0.630	黄冈	0.47
商丘	0.263		

即合成温州 = $0.107 \times \text{济南} + 0.63 \times \text{新余} + 0.263 \times \text{商丘}$, 合成深圳 = $0.53 \times \text{上海} + 0.47 \times \text{黄冈}$ 。用上述城市对温州和深圳进行合成, 下表是两市真实地区与合成地区的预测变量对比表:

Table 2: (温州深圳及其合成地区的指标数据对照表)

指标名称	真实温州	合成温州	真实深圳	合成深圳
lnGDP	8.700541	8.832305	10.100427	9.087325
ln 人口密度	7.867075	8.027496	8.782865	8.496225
累计确诊病例	68.15385	69.05769	10.845762	9.388575
发病率 (1/22)			0.115145	0.111136
发病率 (1/24)	0.1075269	0.1076316		
发病率 (1/30)	2.44086	2.440913		

通过表 2 得出, 真实地区与合成地区的预测变量差距很小, 这说明控制组中的个体所构成的合成地区很好的拟合了政策实施前真实地区的情况。

通过合成地区进行发病率的预测, 与真实地区对比, 如下图所示:

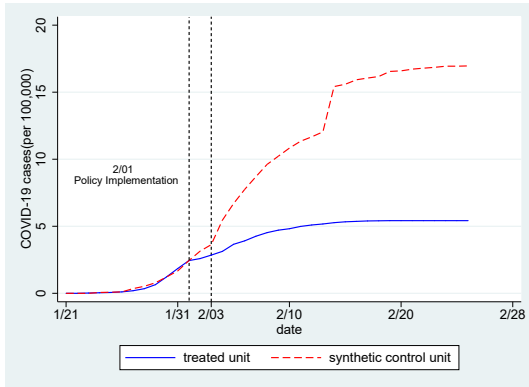


Figure 5: 温州 SCM 效果

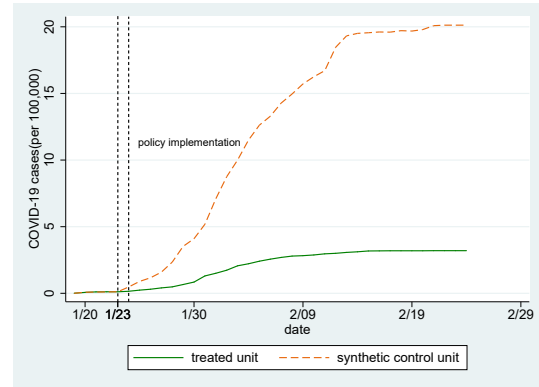


Figure 6: 深圳 SCM 效果

由图 5、6 可知, 在政策实施前, 合成地区与真实地区的发病率曲线接近重合, 说明两者发病率差别不大, 而在政策实施后两者走势发生明显分叉, 合成地区的发病率迅速增长, 真实地区的发病率趋于平缓。由于 2 月 12 日湖北统计口径的变化, 所以合成地区在此时间点有明显的增长趋势。

图 5、6 的合成地区与真实地区的曲线之差即为政策处理效应, 具体表现如下图:

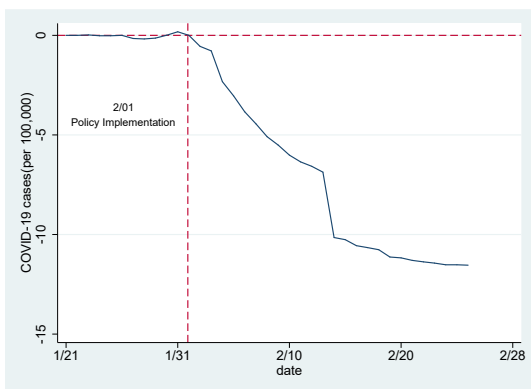


Figure 7: 温州处理效应

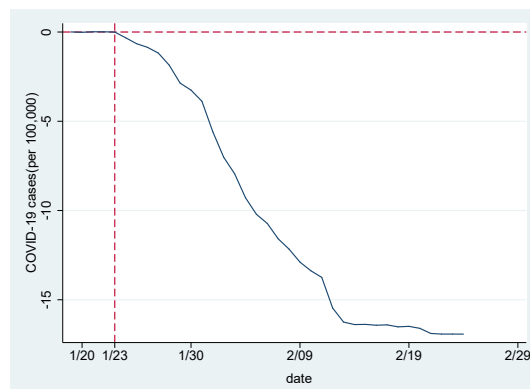


Figure 8: 深圳处理效应

此图说明，两市的防疫政策对于发病率都有很大的负效应，在防疫政策实施后，每十万人确诊人数逐步减少。具体的说，温州到 2 月 24 日，每十万人确诊人数减少了 12 个左右；深圳到 2 月 24 日，每十万人确诊人数减少了 17 个左右。两市的防疫政策效果十分显著，且深圳市的防疫政策效果强于温州市。

对于上述结果是否可靠，需要进行稳健性检验，合成控制法常采用安慰剂检验，即将控制组的每个地区作为处理组，假设这些地区在相同时期也接受了政策干预，按照合成控制法的步骤进行验证，如果政策效果与之前的实验有显著差异，则排除了随机因素影响，认为是政策干预产生的效果。两市安慰剂检验结果如下图所示：

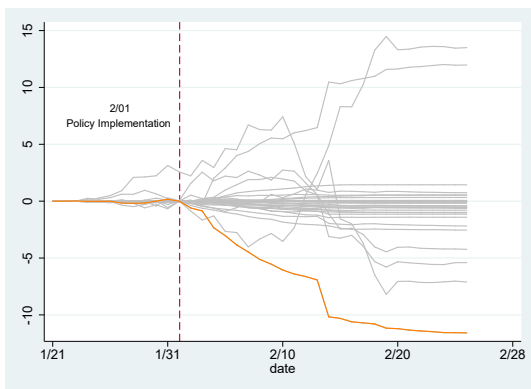


Figure 9: 温州安慰剂检验

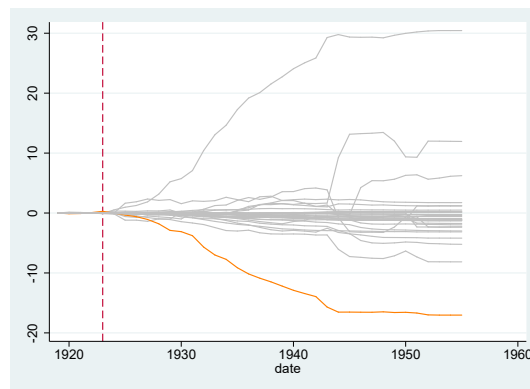


Figure 10: 深圳安慰剂检验

由图 9、10 可知，温州、深圳两市对应的差距曲线分别为 29 个城市和 18 个城市中最极端的，说明两市的防疫政策处理效应是最显著的，故认为合成控制法的结果是稳健的，进一步体现了两市政策对于疫情有良好的控制作用。

4.1.3 防疫政策推迟效应

除研究防疫政策现行效果之外，本文通过合成控制法进一步研究了两市政策推迟效应，即政策推迟实施会造成的累计确诊人数增加情况。政策效应的表现就是合成地区与真实地区累计确诊病例的差值。

以温州市为例，如推迟 1 天的效应，即 2 月 1 号没有实施政策，则 2 月 2 号及以后累计确诊人数则为真实数据加政策效应，若推迟 2 天的效应，则 2 月 3 号及以后累计确诊人数则为真实数据加 2 月 1 日和 2 月 2 日政策效应。

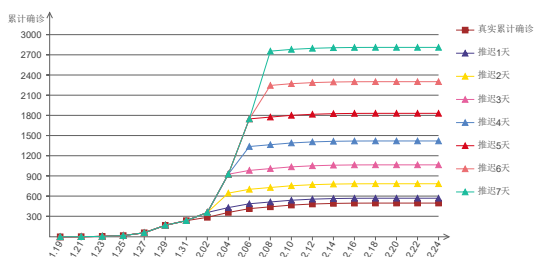


Figure 11: 温州政策推迟效果

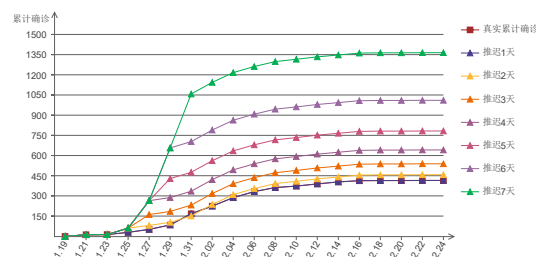


Figure 12: 深圳政策推迟效果

通过图 11、12 可以看到温州、深圳两市随着政策推迟实施天数的增加累计确诊人数也是在增加的。对于温州来说，尤其是推迟五天以上，平均多推迟一天大概会增加 400~500 确诊数。而推迟七天实施政策累计确诊人数达到了 2800 余人，与真实政策实施时间累计确诊人数差距达到了 2300 余人。而对于深圳而言，推迟一天和两天实施政策累计确诊人数无较大差异，之后有显著差异，尤其是推迟七天累计确诊人数达到了 1350 人左右，较推迟六天累计确诊人数增加了 300 余人，比实际的累计确诊人数增加了 900 余人。

4.2 疫情传播模型

4.2.1 疫情拐点分析

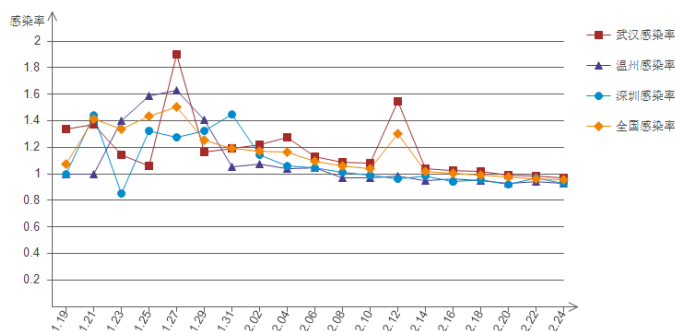


Figure 13: 感染率对比

选取温州、深圳、武汉以及全国 2020 年 1 月 19 日到 2 月 24 日的确诊病例数、治愈病例数、死亡病例数等相关数据计算疫情传播率，衡量不同地区拐点出现的时间。

由感染率对比图可知，全国的疫情拐点于 2 月 18 日出现，武汉的疫情拐点于 2020 年 2 月 19 日出现，深圳的疫情在 2 月 9 日达到拐点，温州的疫情在 2 月 10 日也已达到拐点。从动态传播率的变化趋势来看，控制措施整体上市有效地抑制了疫情的蔓延。

4.2.2 防疫政策推迟效应

本文采用疫情增长率模型和现存感染人数估算深圳和温州两市的政策推迟效应，分析两市政策推迟实施对疫情带来的影响。

2019 年 12 月，湖北省武汉市爆发了新冠肺炎疫情，并逐步扩散至全国。2020 年 1 月 20 日，国家卫生健康委员会宣布将其纳入乙类传染病，并采取甲类传染病的预防、控制措施。

模型分 3 个时间段估算：实际政策实施开始之前的时段、实际政策与假定政策实施开始之间的时段、假定政策实施开始之后的时段。其中第一时段现存感染者人数采用实际的数据，不做任何近似处理。第二时段的增长率设为常数，采用从第一个病例出现的日期到实际政策实施的日期这一时段的平均增长率作为这一固定的增长率，然后通过式 (3) 用增长率计算现存感染者数量。深圳市所用到的 1 月 19 日至 1 月 23 日的平均增长率是 0.6412；温州市用到的 1 月 21 日-2 月 1 日的平均增长率是 0.4404。第三时段采用从假定政策实施日期开始的实际增长率，通过增长率计算现存感染者人数。

Table 3: (疫情增长率政策推迟效应模型)

地区	第一时段	第二时段	第三时段
温州	2 月 1 日之前	2 月 2 日 (延迟 1 天)	2 月 2 日之后
	2 月 1 日之前	2 月 2 日-2 月 3 日 (延迟 2 天)	2 月 3 日之后
	2 月 1 日之前	2 月 2 日-2 月 4 日 (延迟 3 天)	2 月 4 日之后
深圳	1 月 23 日之前	1 月 24 日 (延迟 1 天)	1 月 24 日之后
	1 月 23 日之前	1 月 24 日-1 月 25 日 (延迟 2 天)	1 月 25 日之后
	1 月 23 日之前	1 月 24 日-1 月 26 日 (延迟 3 天)	1 月 26 日之后

温州市的政策实施开始时间定于 2 月 1 日，深圳定于 1 月 23 日。温州深圳两市从政策开始施行的时间，进行 17 天的政策延迟，由疫情传播模型得到现存感染者人数。假定政策推迟 17 天开始实施，预估现存感染者人数。两市的政策延迟得到的现存感染者人数如下图：

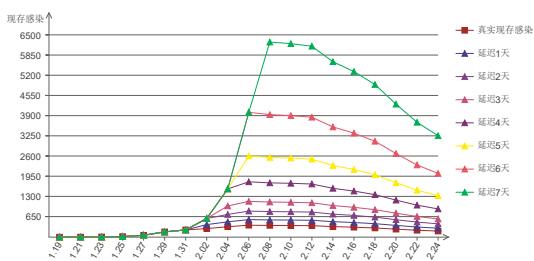


Figure 14: 温州政策推迟效果

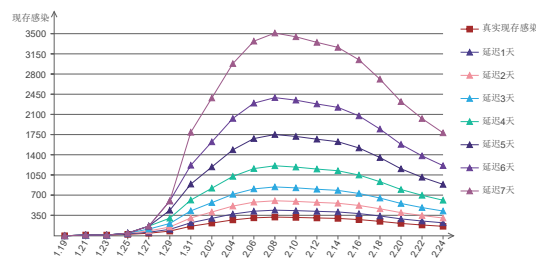


Figure 15: 深圳政策推迟效果

由图 14、15 可知，若深圳市的政策推迟 1 天实施，截至 2020 年 2 月 24 日深圳现存感染者数量将比实际统计数据高出 61 人，若政策推迟 7 天，截至 2020 年 2 月 24 日深圳现存感染者数量将比实际统计数据高出 1621 人。若温州市的政策推迟 1 天实施，截至 2020 年 2 月 24 日温州现存感染者数量将比实际统计数据高出 92 人，若政策推迟 7 天，截至 2020 年 2 月 24 日温州现存感染者数量将比实际统计数据高出 3068 人。

对于温州和深圳来说，现存感染者数量将会随着政策施行推迟的时间而快速增加。深

圳的政策开始时间为 1 月 23 日，温州的政策实施时间为 2 月 1 日，可以发现，政策施行开始越晚，现存感染者总数增加越快。

使用合成控制法和疫情增长率估算出来的政策推迟效应本文不做对比，是因为合成控制法所采用的指标是累计确诊人数，而疫情增长率所采用的指标是感染人数。总的来说，不同方法得到的政策延迟效应一致：随着政策实施延迟天数的增加，感染人数逐渐增加，累计确诊人数也逐渐增加。

5 总结与讨论

本文研究结果表明，温州及深圳两市在新型冠状病毒肺炎防控过程中采取了有效且及时的防控措施，并且都取得了很好的防控效果。若政策推迟实施，现存感染人数将会远超实际。

截止到 2020 年 2 月 24 日，根据浙江省卫生健康委员会公布的疫情数据，温州市累计确诊病例 504 例，累计治愈出院 307 例，死亡 1 例，新增病例实现零增长。温州的确诊人数之多是建立在“早发现、早隔离、早诊断、早治疗”的防疫工作原则上，努力提高收治率和治愈率，降低感染率和病亡率。在春节之前，返温的武汉温商有 2 万人，而春节期间一共才有 2.9 万人从外地回到温州，但是温州政府 2 月 1 日施行的疫情防控“25 条”紧急措施以最大限度减少了人员流动，以最大力度控制了疫情传播，这是对民众生命的负责，对城市安全的负责。同样，作为我国最大的移民城市，人口密度高、外来人口多给深圳带来了巨大的疫情防控压力。深圳市政府坚持“外防输入、内控传播”的原则，通过严守进城关，做到不漏一车一人；通过筑牢小区关，对小区进行 100% 围合封闭；通过依法防控关，充分发挥法治在疫情防控中的基础性保障作用。截止到 2020 年 2 月 24 日，深圳市累计确诊病例 417 例，累计治愈出院 249 例，死亡 3 例，深圳紧紧咬住这三大关口，全方位应对这次挑战，其防控经验值得借鉴。

两市的成功防控经验可以总结为：（1）防止外来输入病例，并通过全面排查尽早发现可能的感染者控制传染源。这是疫情初期防控措施的关键。（2）通过交通停运及小区封闭式管理等严厉的防控措施减少人与人之间的接触，切断传播途径，快速高效控制疫情。（3）通过媒体宣传加强对老百姓的引导，而且强化依法防控疫情，凝聚疫情防控的社会共识，防止人为恶意传播，确保防控工作有序进行。希望温州及深圳两市的成功防控经验能够成为未来我国及其他国家和地区处理相似公共卫生事件的参考。

本文也存在一些局限性，后续还有一系列问题值得进一步的探索和研究。首先，本文在估算政策推迟的逐日累计效应时采用的平均增长率反映的并非由自然传染过程所导致的生长。这是因为所选时间段内，全国各地的病例主要是由湖北地区输送，本地感染者不多。其次，上述估计是保守的。由于现存感染者越多，防控越困难，因而如果防控的时间延后，累计确诊人数或现存感染者将比模型估计的还要多，管控效果也会更加不明显。总体来说，本文对定量化评估新冠疫情政策防控效果的有益尝试，尽管还存在一些局限，但得出的结果对于评价地区防控效果有一定的借鉴意义。

致谢

白驹过隙，时光荏苒，弹指间，一学期已经过去，在闫军老师指导下，我们小组成员顺利地完成了最终的课程报告，并学习到了许多新的知识，从一开始学习使用 Git/Github

存储和共享数据，运用 Rmarkdown 编译报告，到后来自主学习新的研究方法，与同学们交流探讨研究结果，听取老师传授的宝贵建议，这些经验锻炼和提高了我们自主学习、团队合作和解决问题的能力，是我们未来学习和职业生涯中宝贵的财富。在此，我们团队非常感谢闫军老师这一学期的辛苦教导，感谢同学们在研究过程中给予的建议，感谢小组搭档的共同努力和无私帮助，希望我们在未来都能够继续努力，不断进步。

参考文献

- [1] Abadie, Alberto, et al. Synthetic Control Methods for Comparative Case Studies: Estimating the Effect of California's Tobacco Control Program. *Journal of the American Statistical Association*, 2010,105(490): 493–505.
- [2] Abadie, Alberto, et al. The Economic Costs of Conflict: A Case Study of the Basque Country. *American Economic Review*, 2003, 93(1): 112–32.
- [3] 刘友金, 曾小明. 房产税对产业转移的影响: 来自重庆和上海的经验证据 [J]. *中国工业经济*, 2018(11): 98-116.
- [4] 王学钦, 史家睿, 等. 从病例数据对比分析影响温州与深圳疫情的特征 [R]. 2020.03.15
- [5] Maier B F, Brockmann D. Effective containment explains sub-exponential growth in confirmed cases of recent COVID-19 outbreak in Mainland China. 2020, arXiv: 2002.07572v1.
- [6] Kucharski A J, Russell T W, et al. Early dynamics of transmission and control of COVID-19: A mathematical modelling study. *medRxiv*, 2020, doi: 10.1101/2020.01.31.20019901
- [7] 黄镌, 乔方利. 一种数据驱动的动态新型流行病传播率的提出及其在 2019-nCoV 疫情中的应用 (英文) [J]. *Science Bulletin*, 2020, 65(06): 425-427.
- [8] 王刚, 黄镌, 乔方利. 疫情管控效果的一种量化评估方法: 以 COVID-19 为例 [J]. *科学通报*, 2020, 65(11): 1009-1015.
- [9] 陈镜宇, 罗业涛, 等. 重大突发公共卫生事件中政策对控制效果的影响——以重庆市新型冠状病毒肺炎疫情防控为例 [J]. *儿科药学杂志*, 2020, 26(04): 28-31.