



# 基于Covid-19疫情数据的流病传播分析初探

—— 典型发达国家与发展中国家疫情的比较研究

答辩人：张志鑫

指导老师：陈理 教授

小组成员：张杰 赵乾 宋娟娟  
王苗 刘远 李明婷



# 目录



背景介绍



文献调研



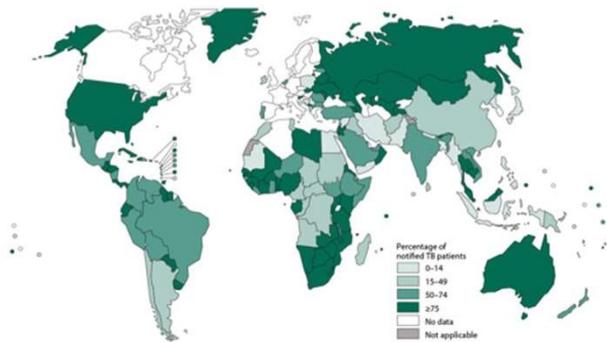
数据分析



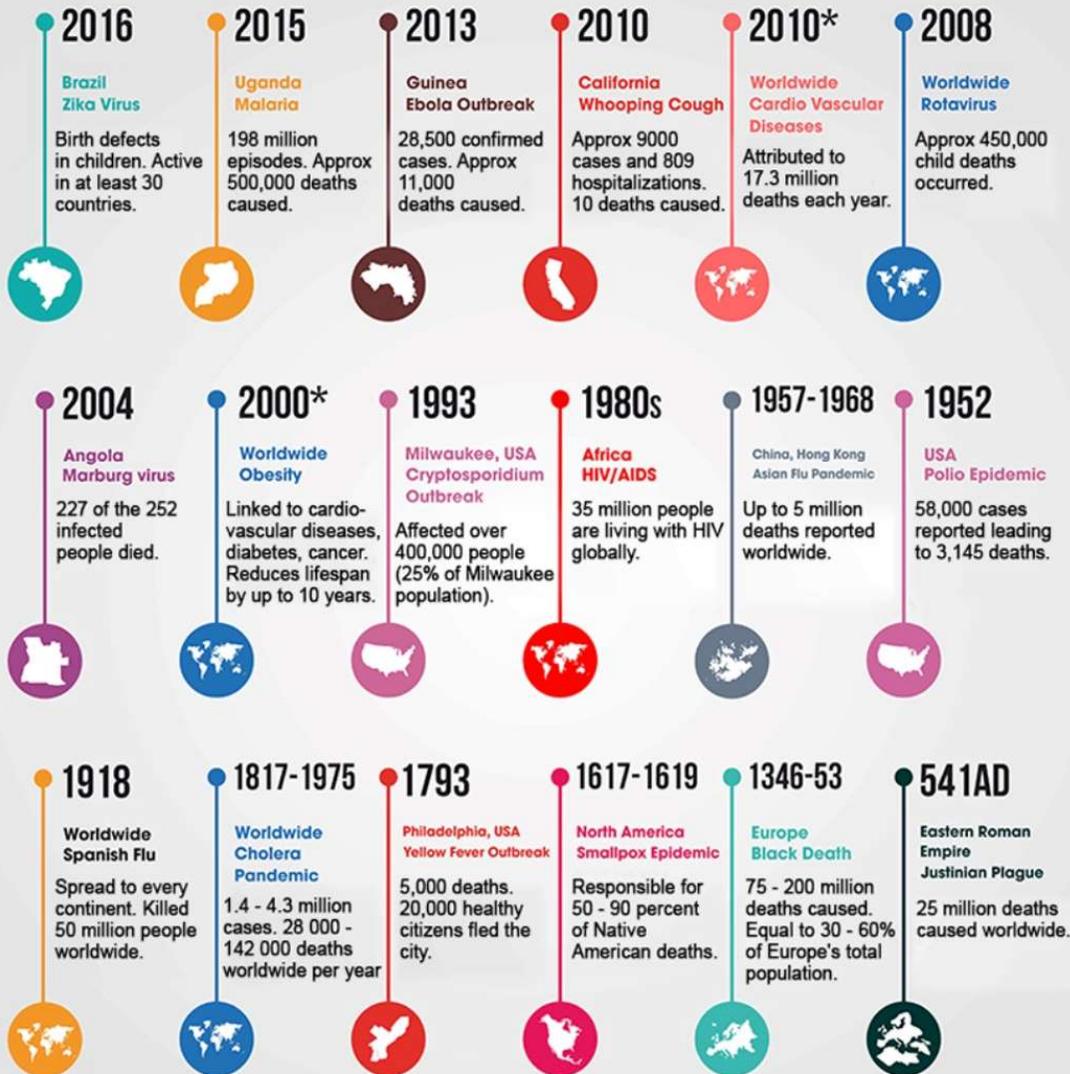
模型及计算结果



Percentage of notified TB patients with known HIV status by country, 2013



## Global Health Epidemic Timeline



# Part one: 背景介绍

## ➤ 流行病学 (epidemiology)

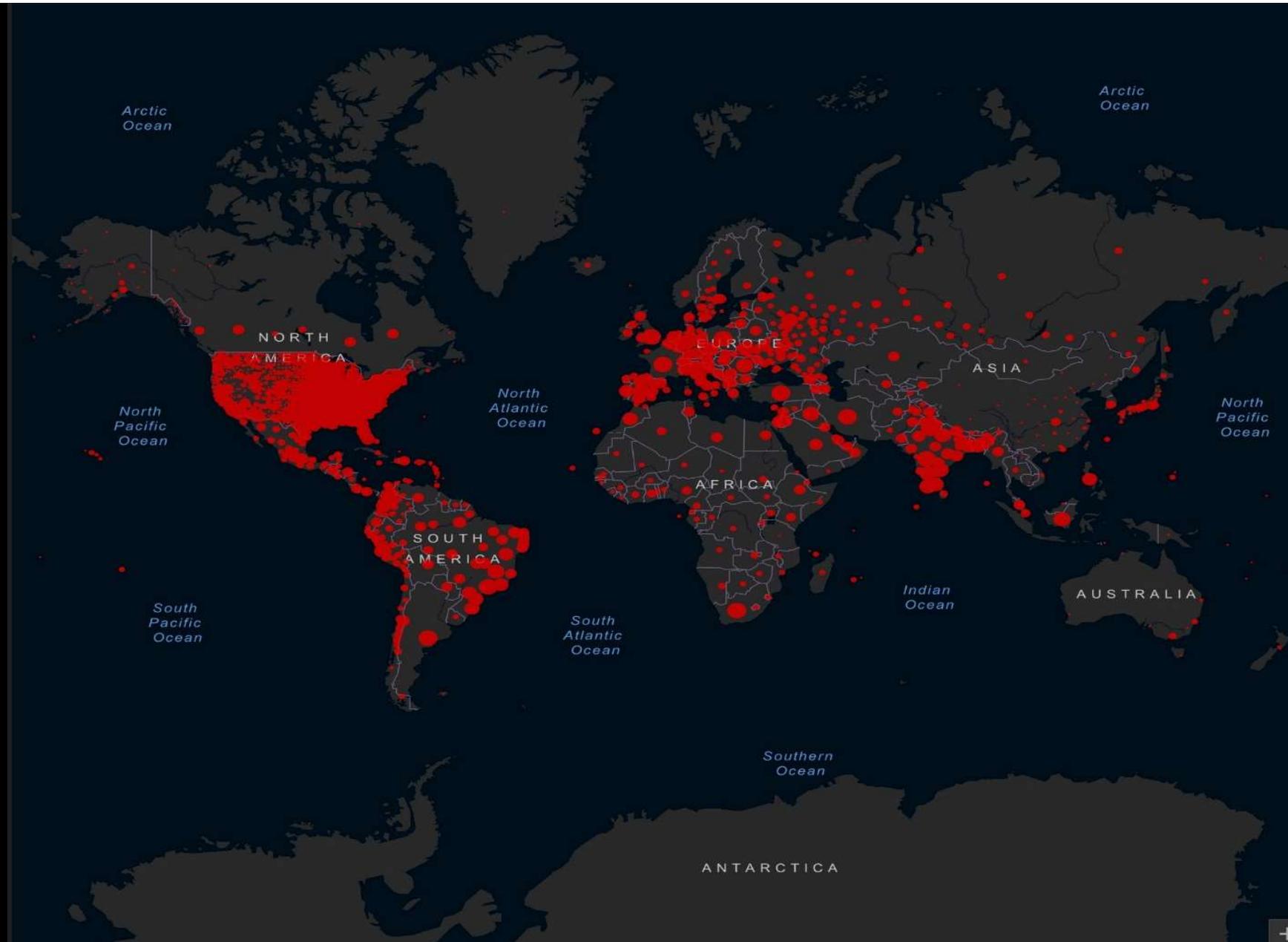
研究疾病分布规律及影响因素，借以探讨病因，阐明流行规律，制订预防、控制和消灭疾病的对策和措施的科学。

## ➤ 交叉合作研究

- 医学工作者——弄清致病机理，研发制造疫苗
- 公共卫生部门——收集数据，发布报告，外出建议
- 基因工程科学家——病毒变异演化
- 物理学家——背后的（传播）规律

## ➤主要内容

基于**COVID-19**在全球发展的疫情数据，透过数据比较各国政府在此次防控工作中的成果，尝试探索新冠病毒的传播动力学特征并给出其平均场描述



Global Cases  
**83,424,446**

Global Deaths  
**1,818,116**

为了探索新冠疫情在全球的总趋势以及发展规律，我们分别从发达国家和发展中国家各挑选了十个疫情发展较为典型的国家，依据各国疫情数据，对各国疫情进行分析和对比。

## 发达国家

Us	美国
France	法国
UK	英国
Italy	意大利
Spain	日本
Germany	德国
Netherland	荷兰
Canada	加拿大
Belgium	比利时
Israel	以色列

## 发展中国家

India	印度
Brazil	巴西
Russia	俄罗斯
Colombia	哥伦比亚
Argentina	阿根廷
Mexico	墨西哥
Peru	秘鲁
South-Africa	南非
Chile	智利
China	中国

数据来源: COVID-19 Data Repository by the Center for Systems Science and Engineering (CSSE) at Johns Hopkins University.

## Part two: 文献调研

- 非药物干预可以缩短了新型冠状病毒的人际传染间隔时间，而且对于其传播速率也受各种防疫措施的影响<sup>[1]</sup>
- 确诊病例相对于感染总数的比例在很大程度上取决于每个国家的检测政策，这使得比较不同国家之间确诊病例的演变有问题。相比之下，COVID-19造成的死亡人数是衡量这一流行病的进展及其严重程度的较为可靠的指标<sup>[2]</sup>

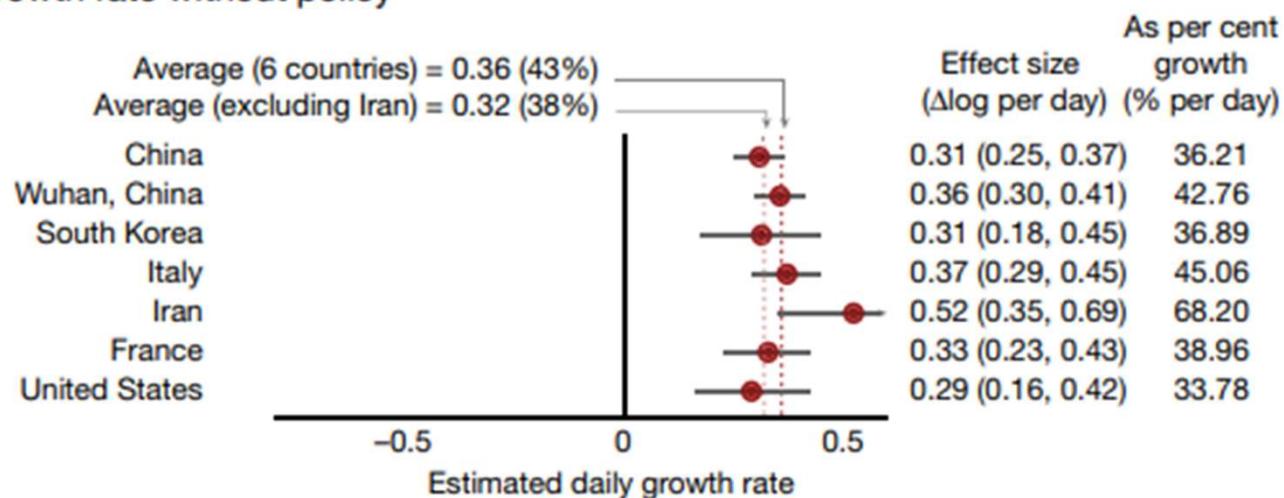
[1]Vasconcelos Giovani L,Macêdo Antônio M S,Ospina Raydonal,Almeida Francisco A G,Duarte-Filho Gerson C,Brum Arthur A,Souza Inês C L. Modelling fatality curves of COVID-19 and the effectiveness of intervention strategies.[J]. PeerJ,2020,8.

[2]Ali Sheikh Taslim,Wang Lin,Lau Eric H Y,Xu Xiao Ke,Du Zhanwei,Wu Ye,Leung Gabriel M,Cowling Benjamin J. Serial interval of SARS-CoV-2 was shortened over time by nonpharmaceutical interventions.[J]. Science (New York, N.Y.),2020,369(6507).

# 防疫政策的影响<sup>[1]</sup>

## ➤ 在没有防疫政策的影响下疫情的增长率

Infection growth rate without policy



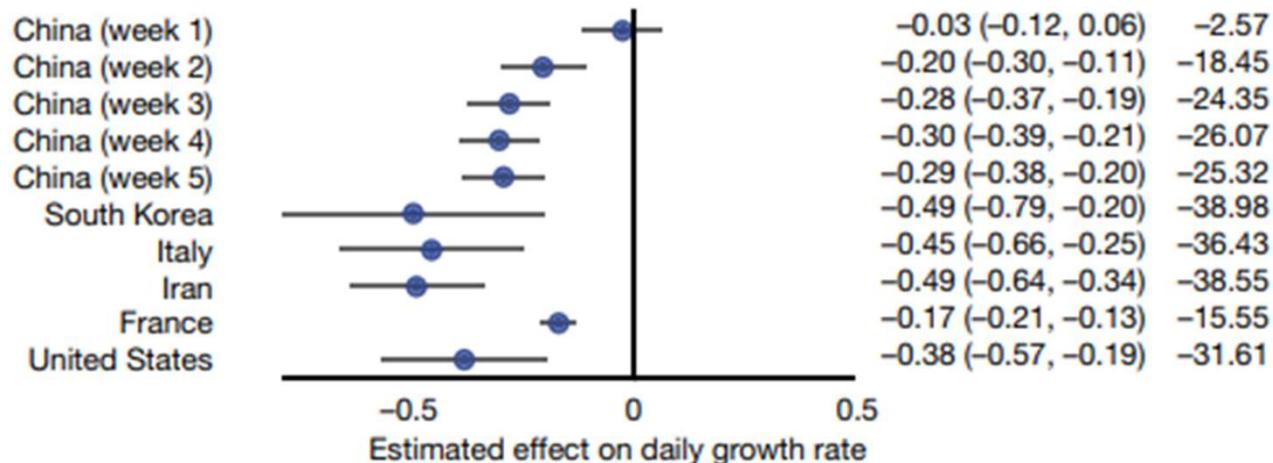
没有相关防治措施出台前，感染人数的平均增长率为每天 43%

# 防疫政策的影响<sup>[1]</sup>

## ➤ 防疫措施

- 1) 旅行限制
- 2) 暂停教育、宗教及商业活动
- 3) 隔离
- 4) 禁止聚会
- 5) 居家工作
- 6) 社会距离

## ➤ 实施后

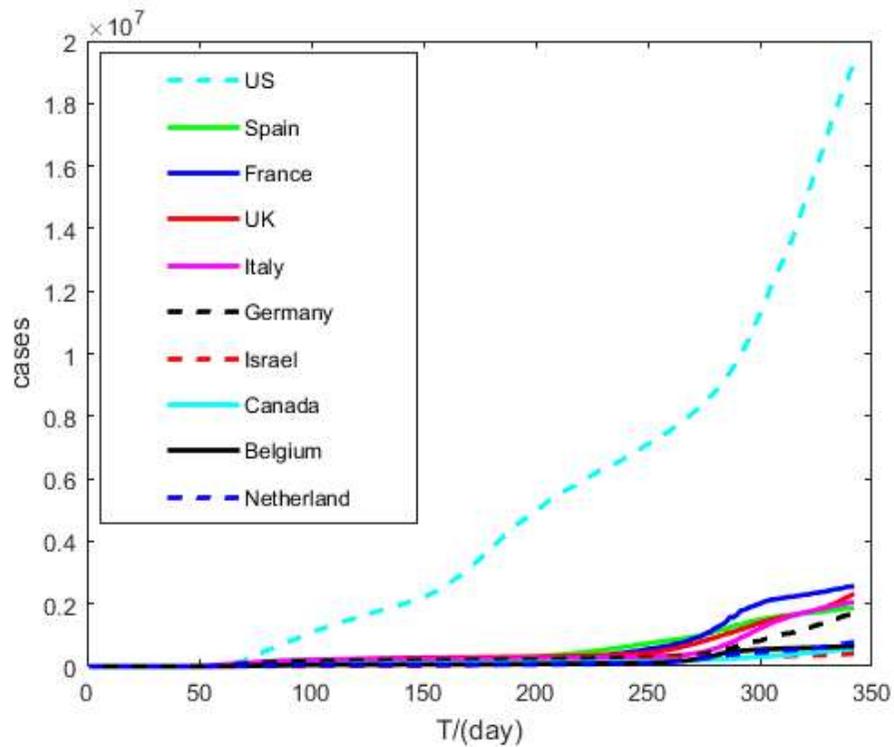


平均增长率下降至 -20%

[1]Solomon Hsiang,Daniel Allen,Sébastien Annan-Phan,Kendon Bell,Ian Bolliger,Trinetta Chong,Hannah Druckenmiller,Luna Yue Huang,Andrew Hultgren,Emma Krasovich,Peiley Lau,Jaechol Lee,Esther Rolf,Jeanette Tseng,Tiffany Wu. The effect of large-scale anti-contagion policies on the COVID-19 pandemic[J]. Nature: International weekly journal of science,2020,584(7820).

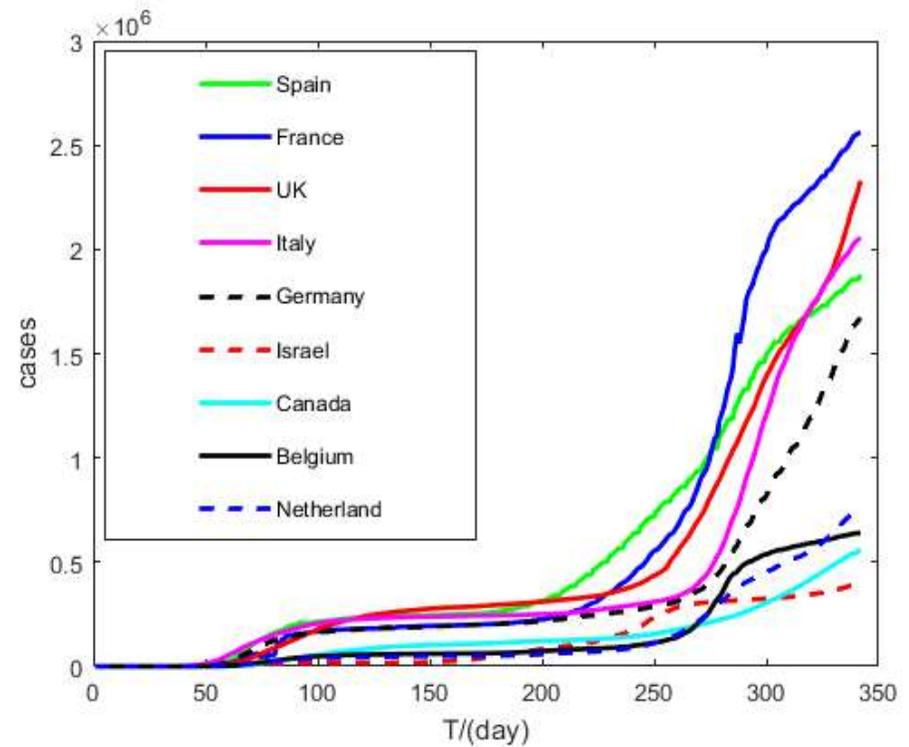
# Part three: 数据分析

## ➤ 累计感染（发达国家）

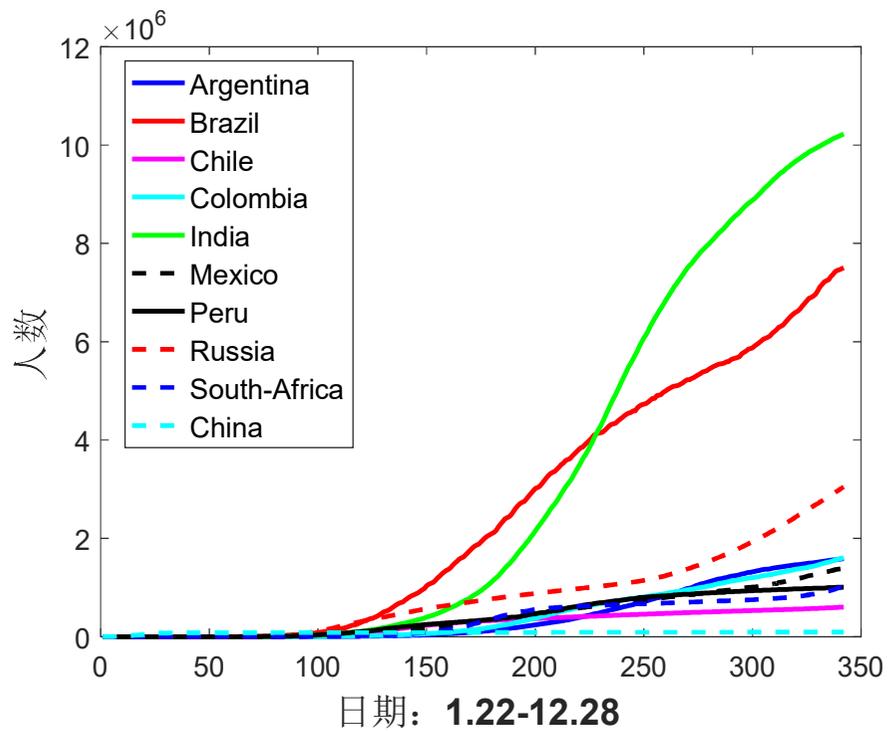


日期: 1.22-12.28

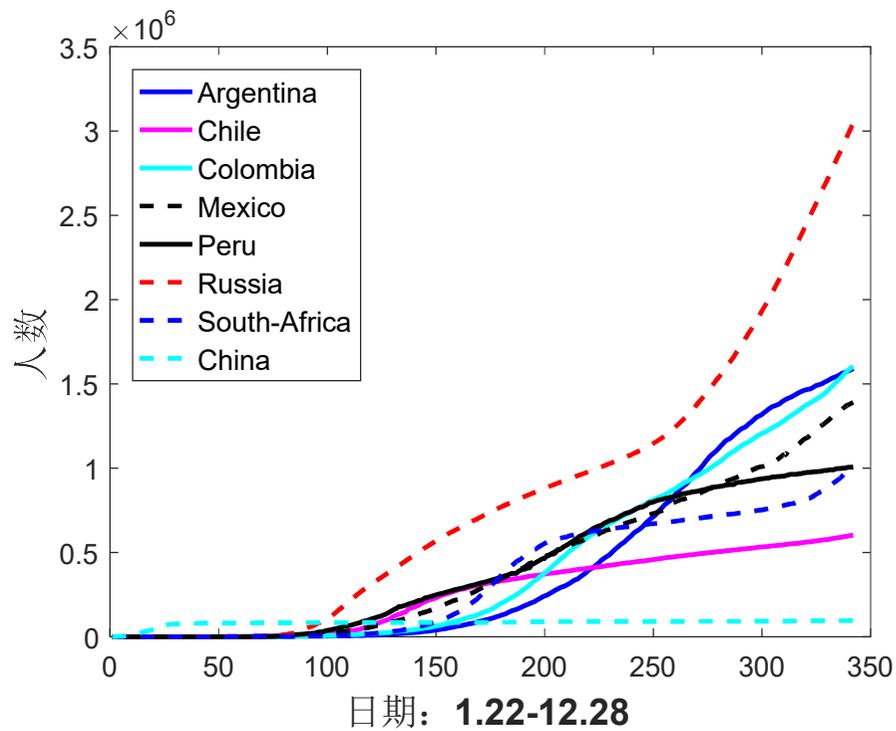
## 无美国



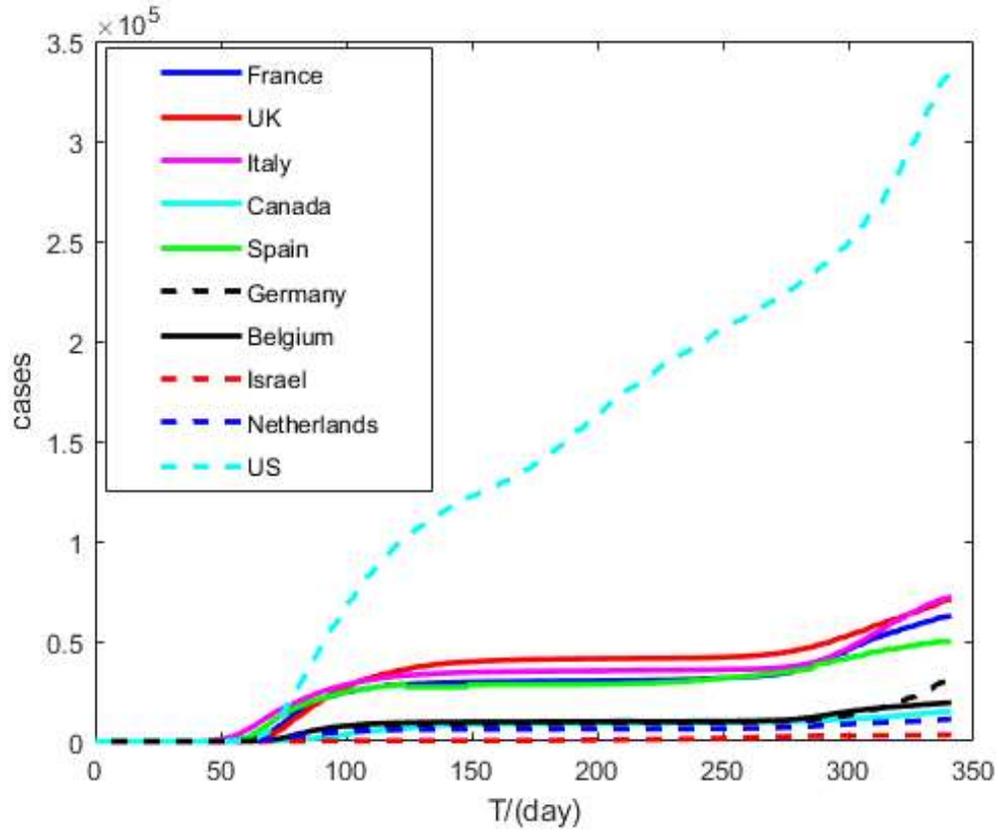
## ➤ 累计感染（发展中国家）



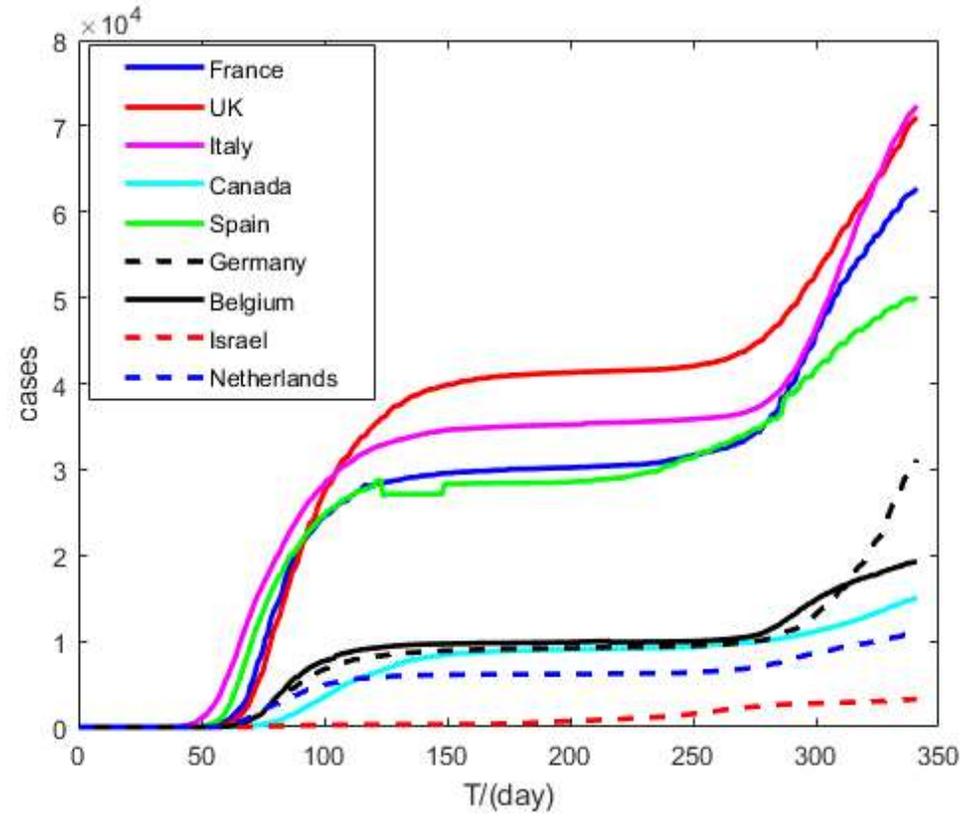
## 除印度和巴西



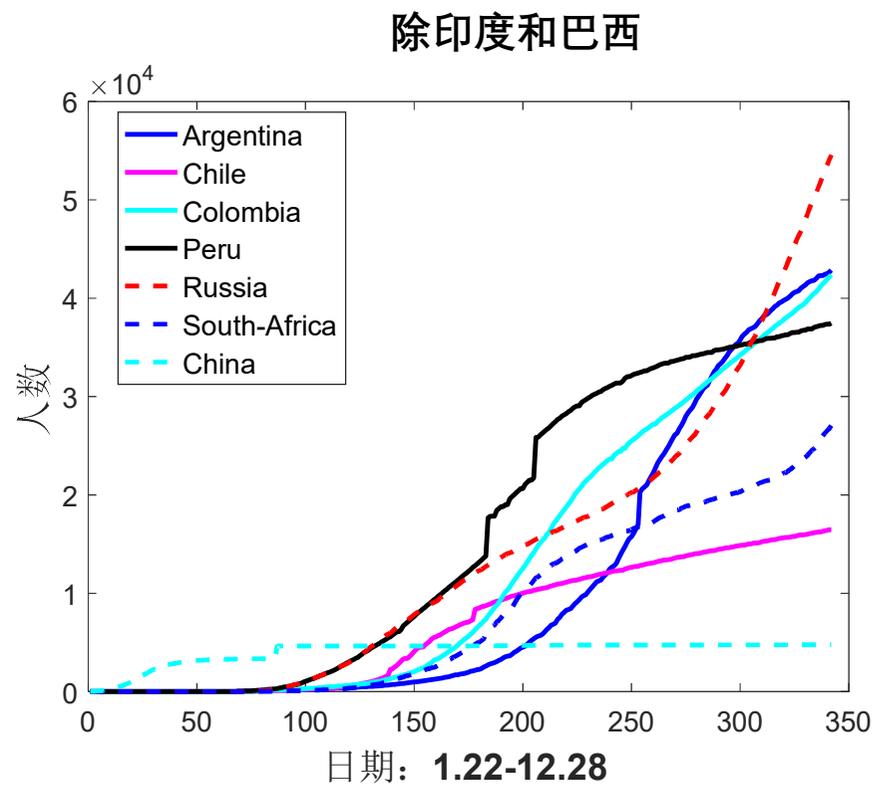
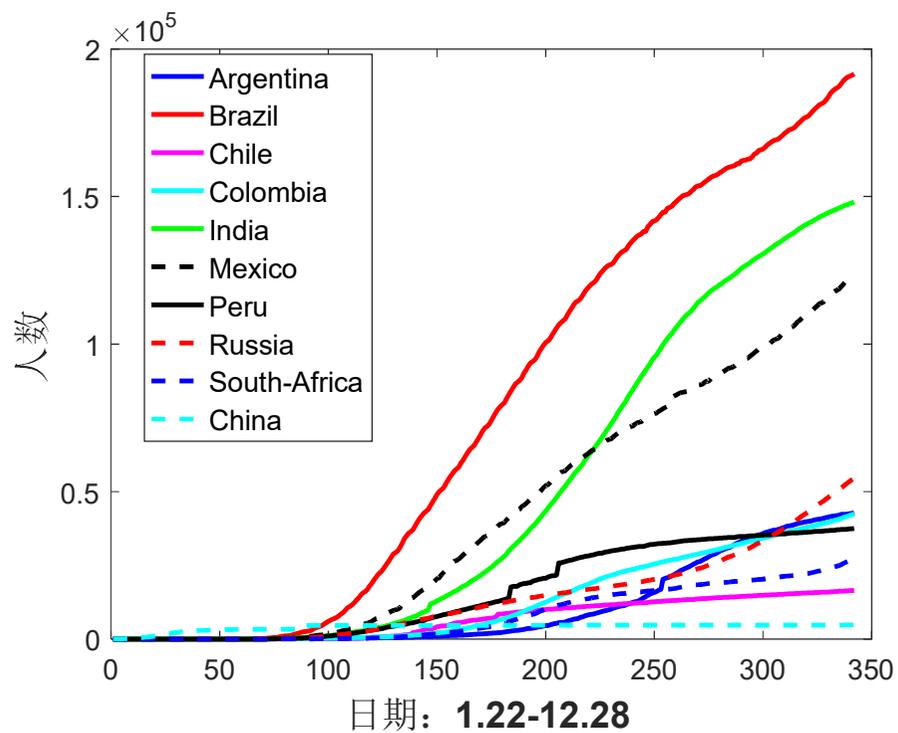
## ➤ 累计死亡（发达国家）



无美国

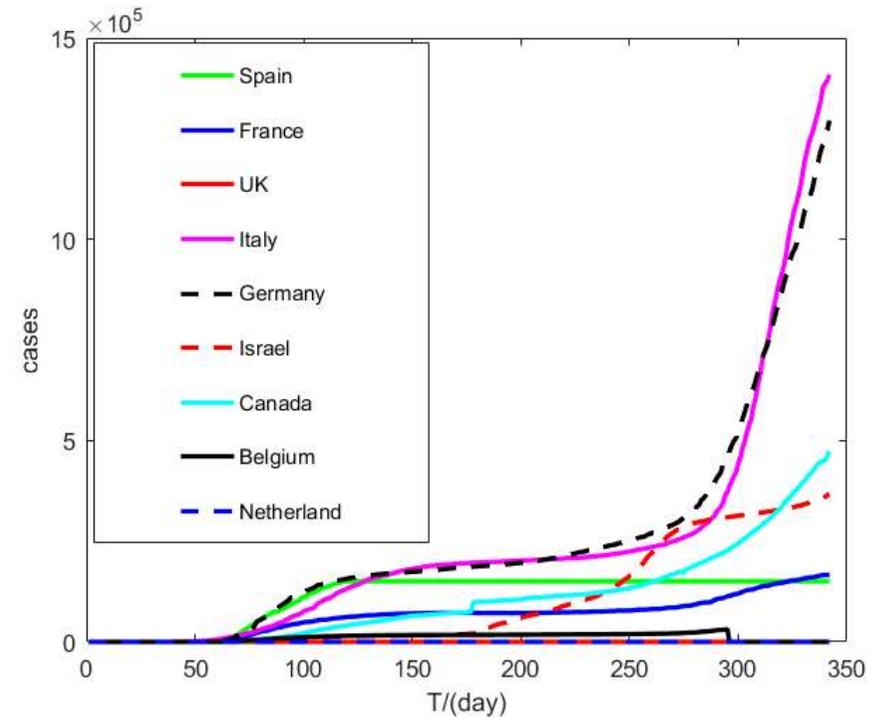
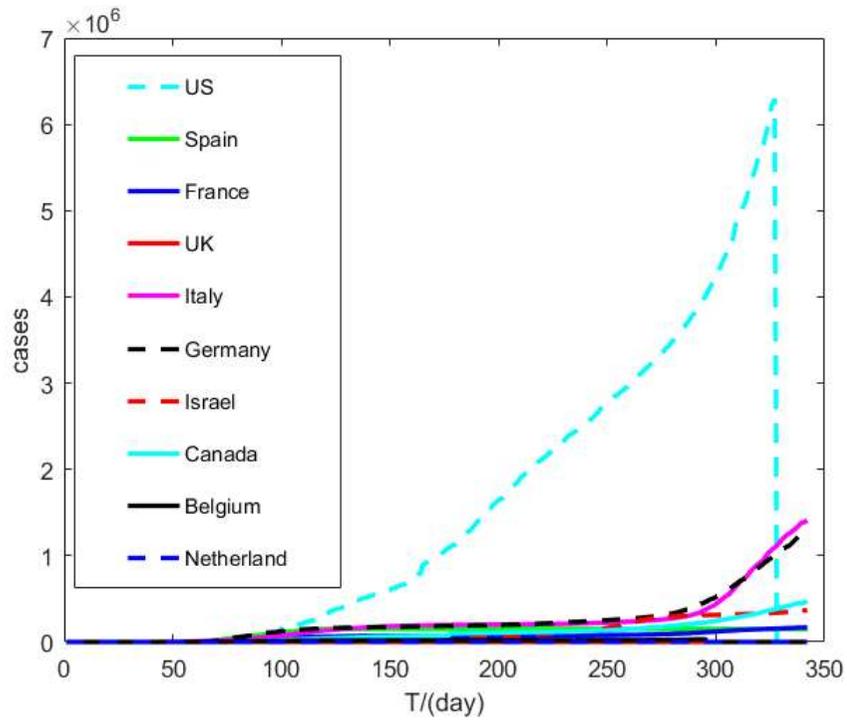


## ➤ 累计死亡（发展中国家）

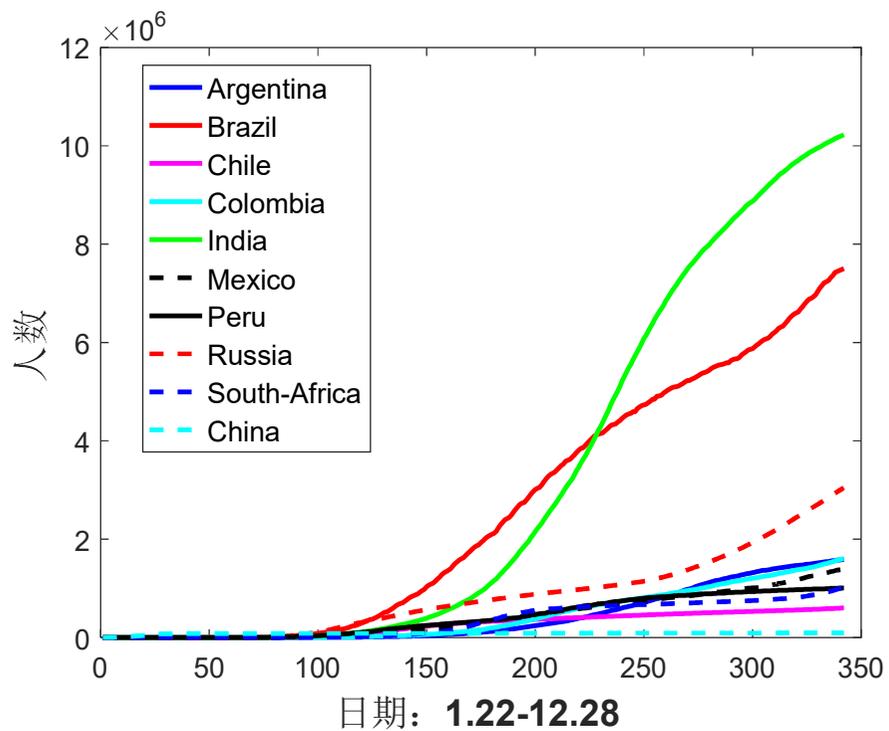


## ➤ 累计治愈（发达国家）

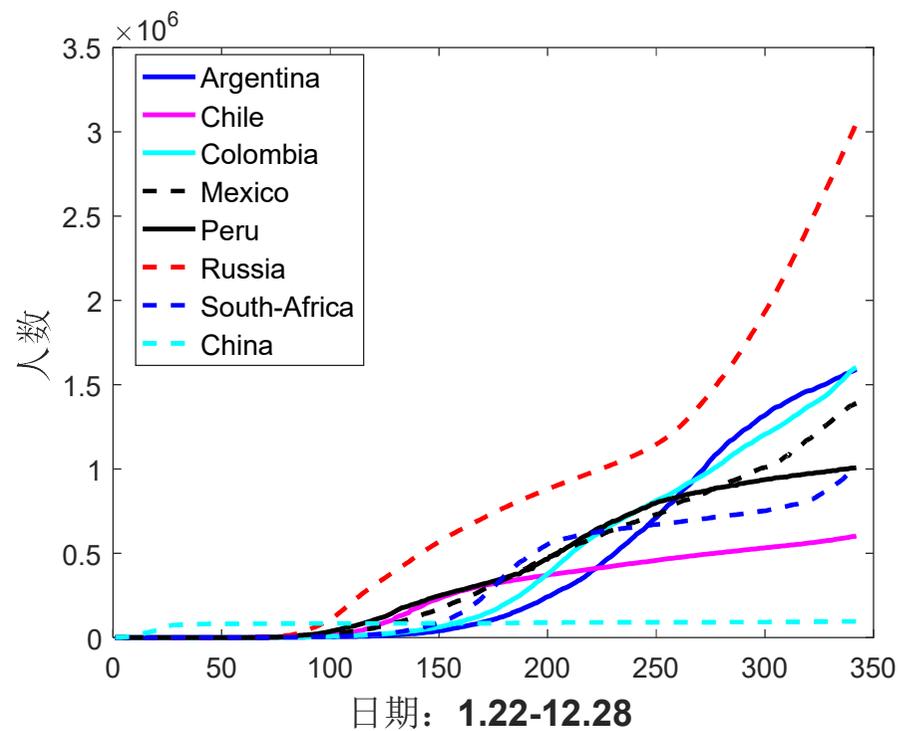
无美国



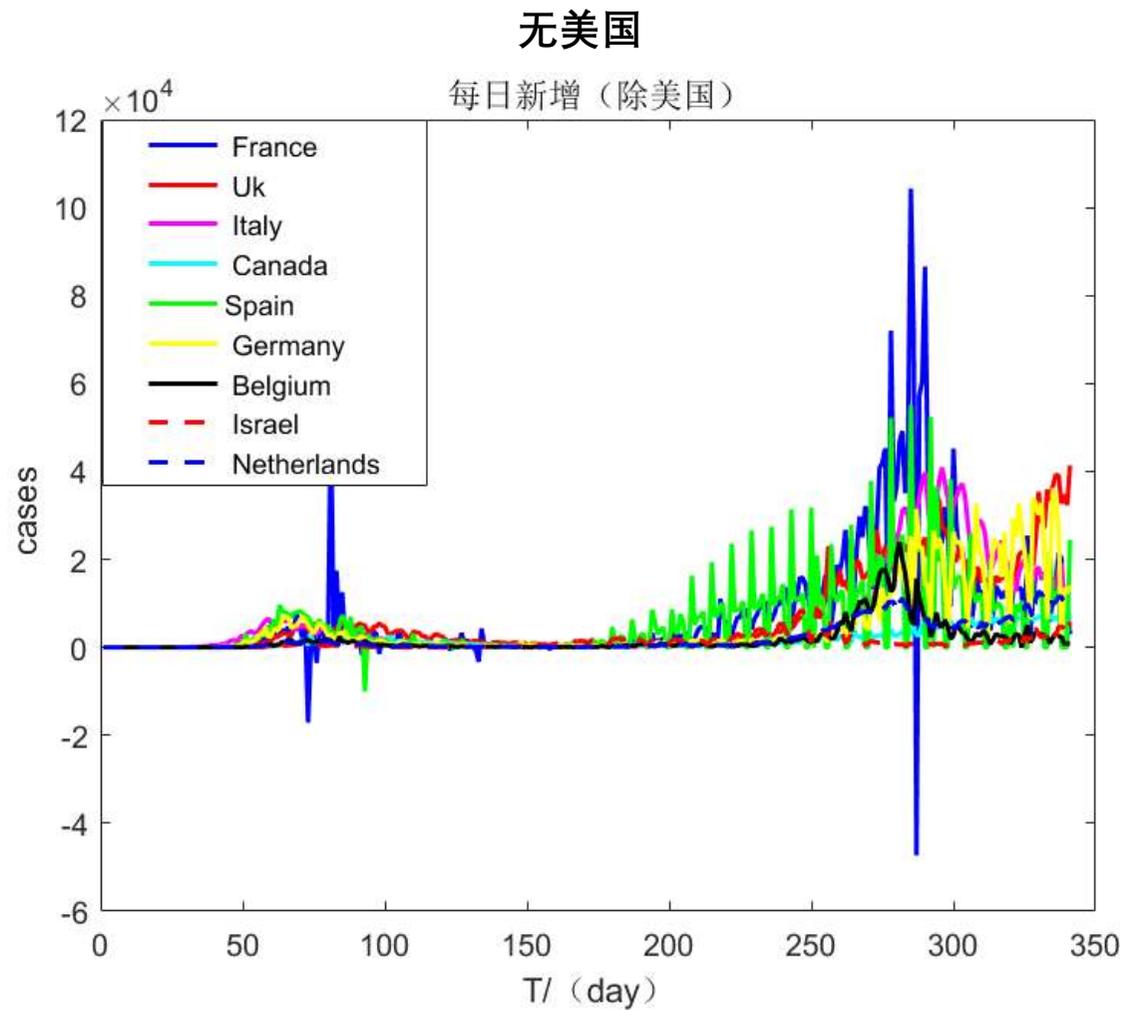
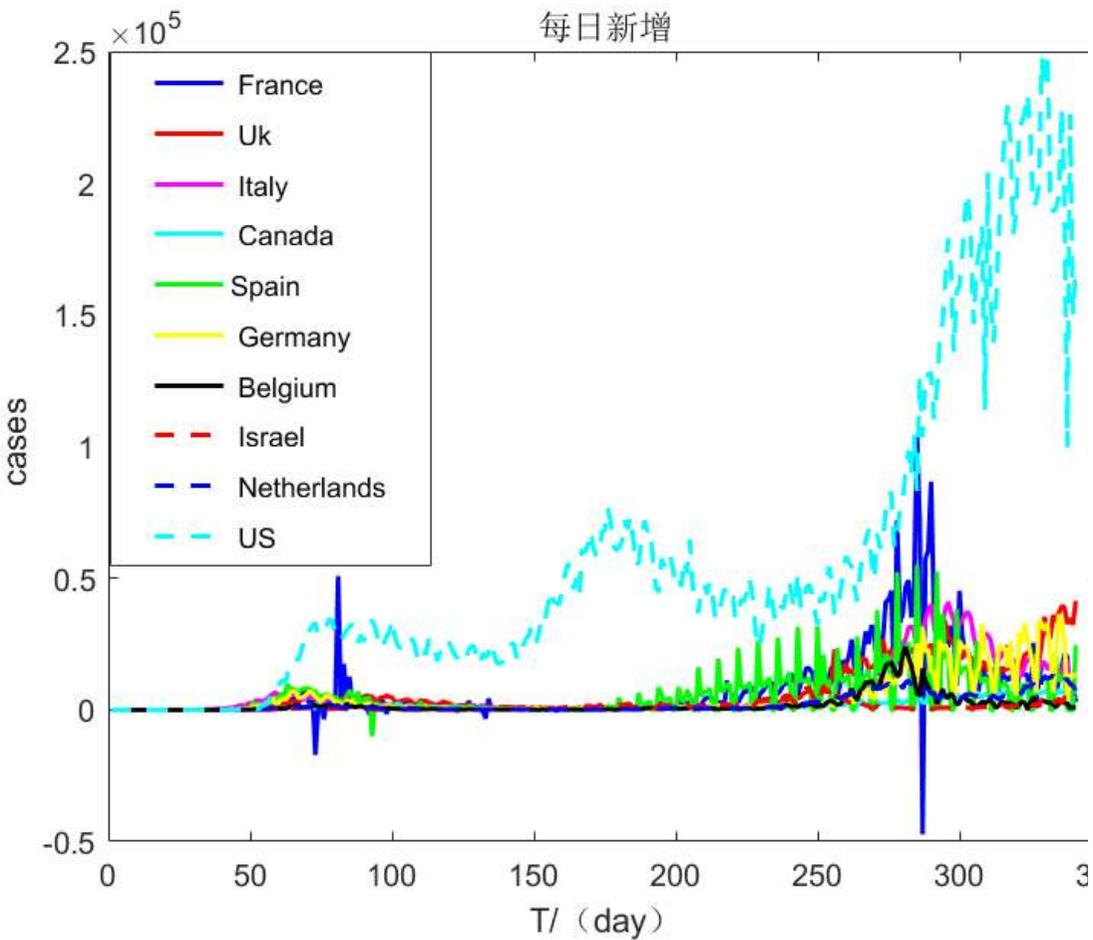
## ➤ 累计治愈（发展中国家）



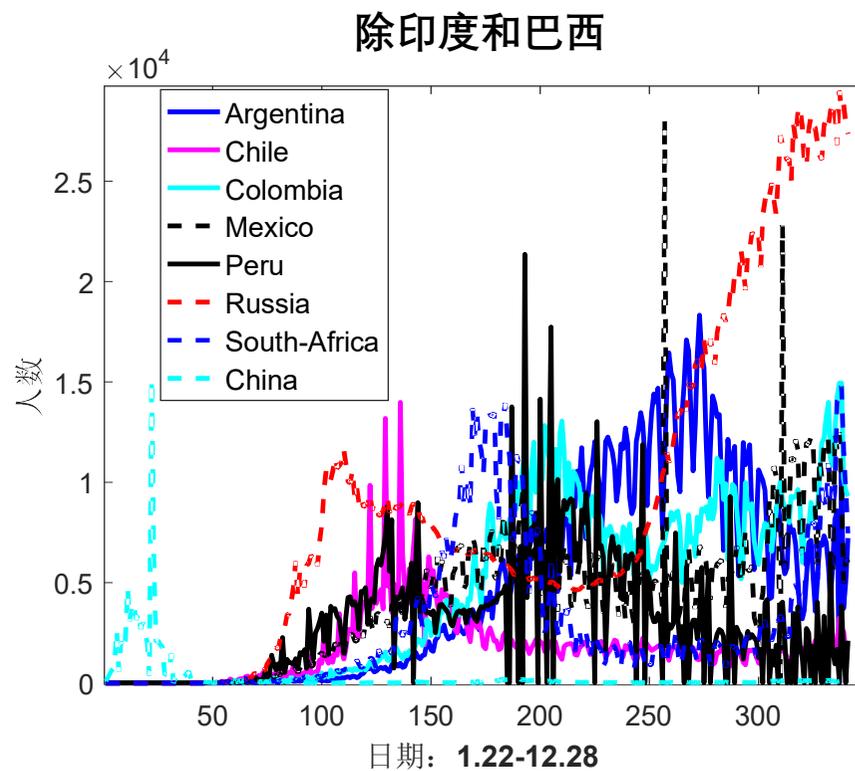
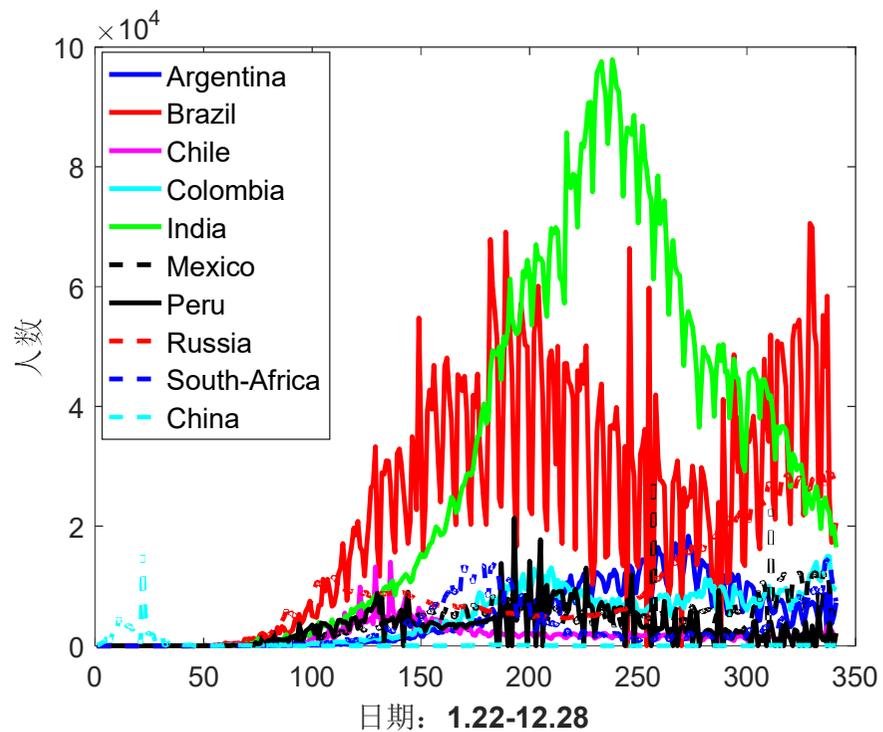
## 除印度和巴西



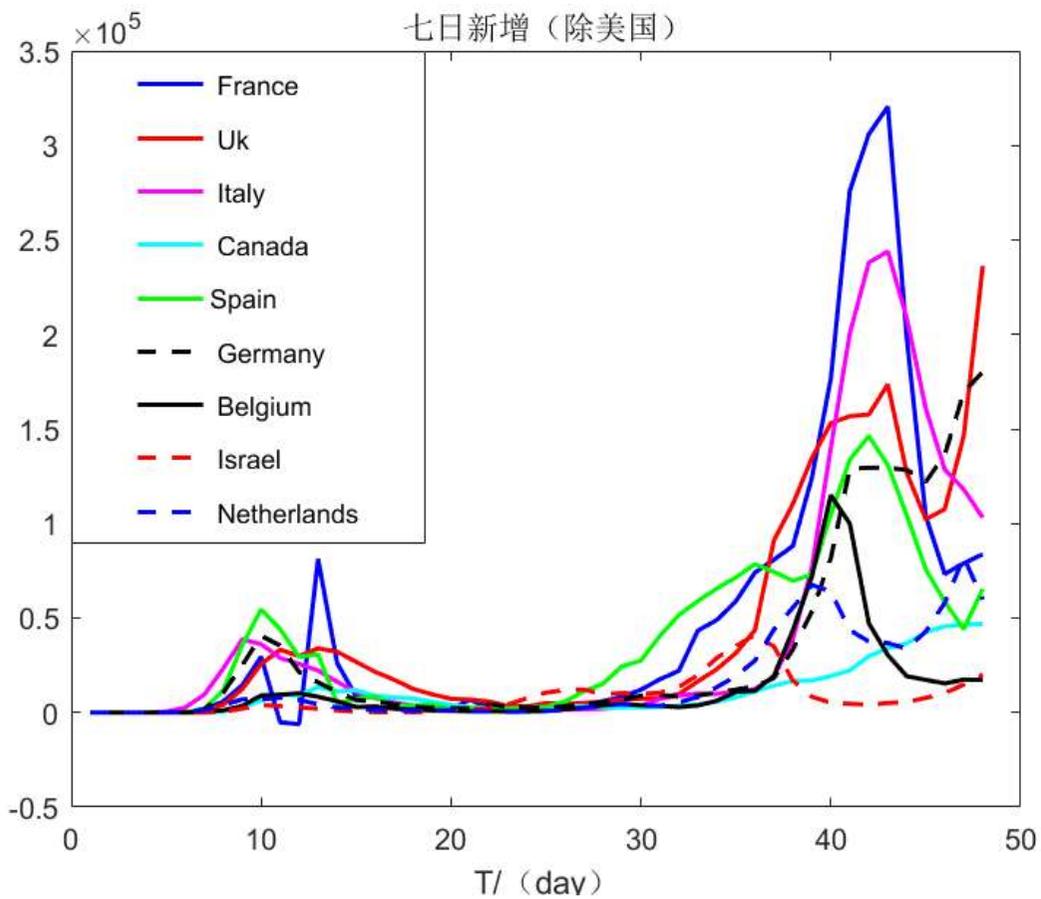
## ➤ 每日新增（发达国家）



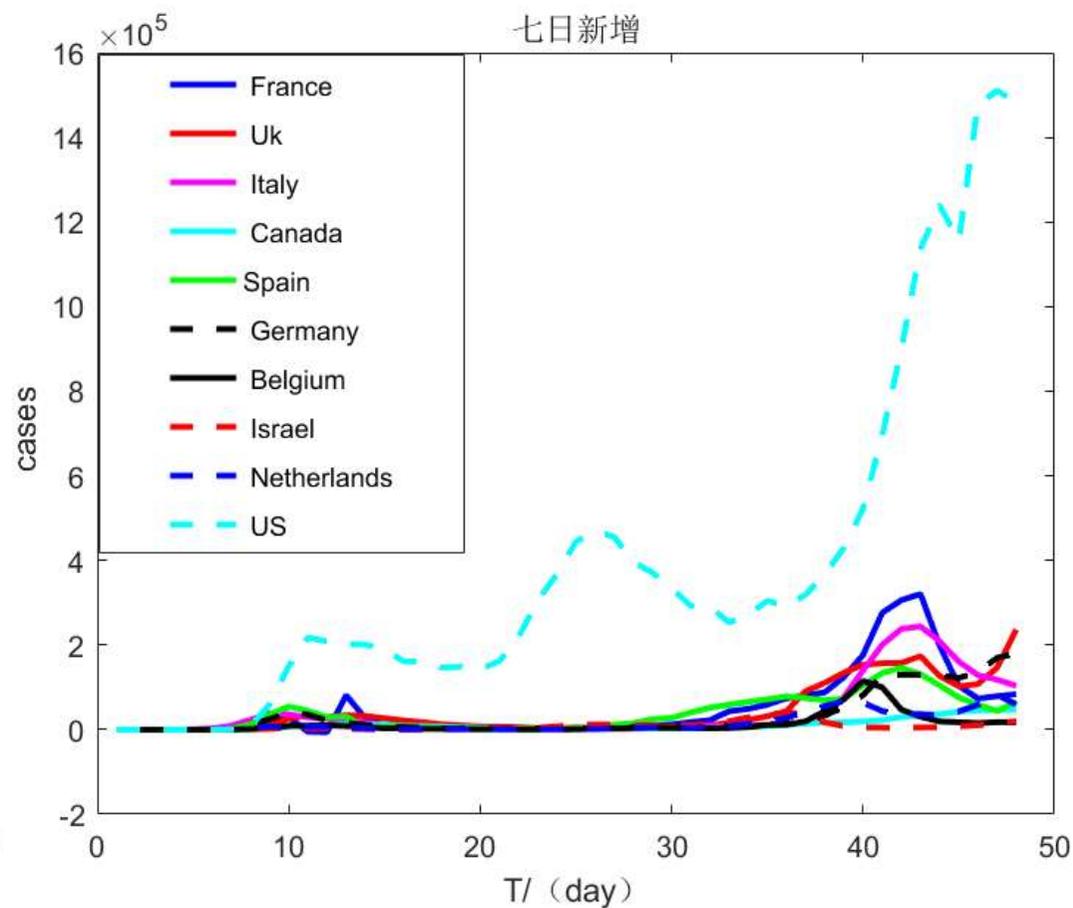
## ➤ 每日新增 (发展中国家)



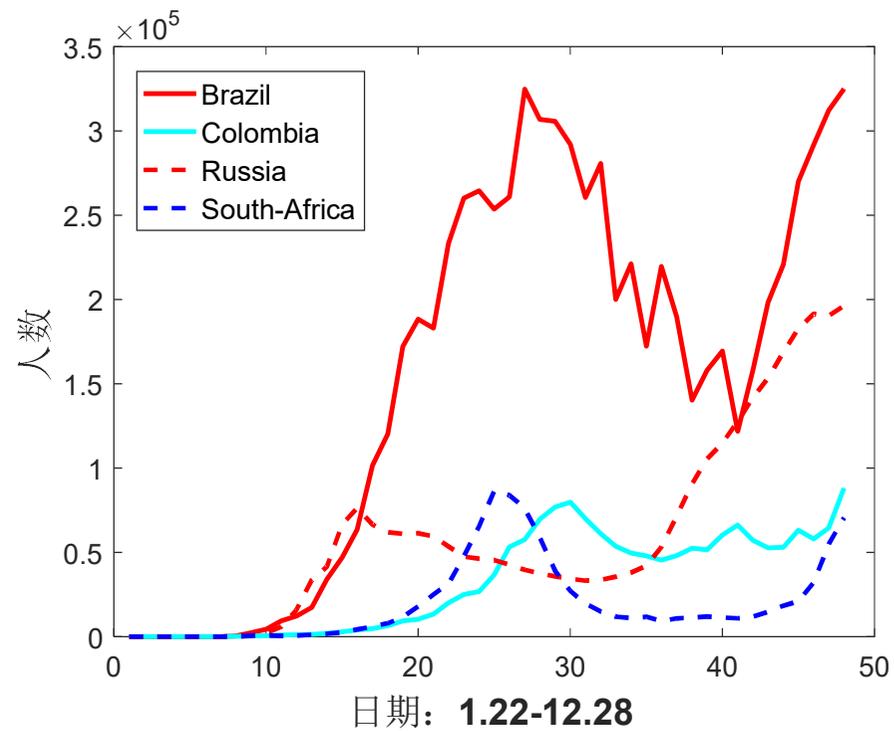
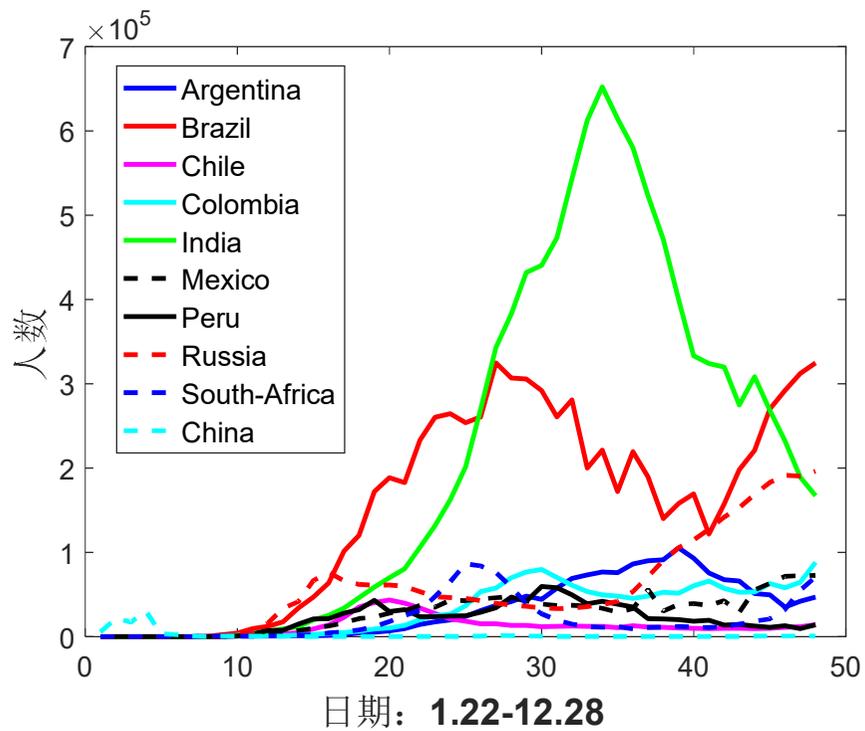
## ➤ 七日新增（发达国家）



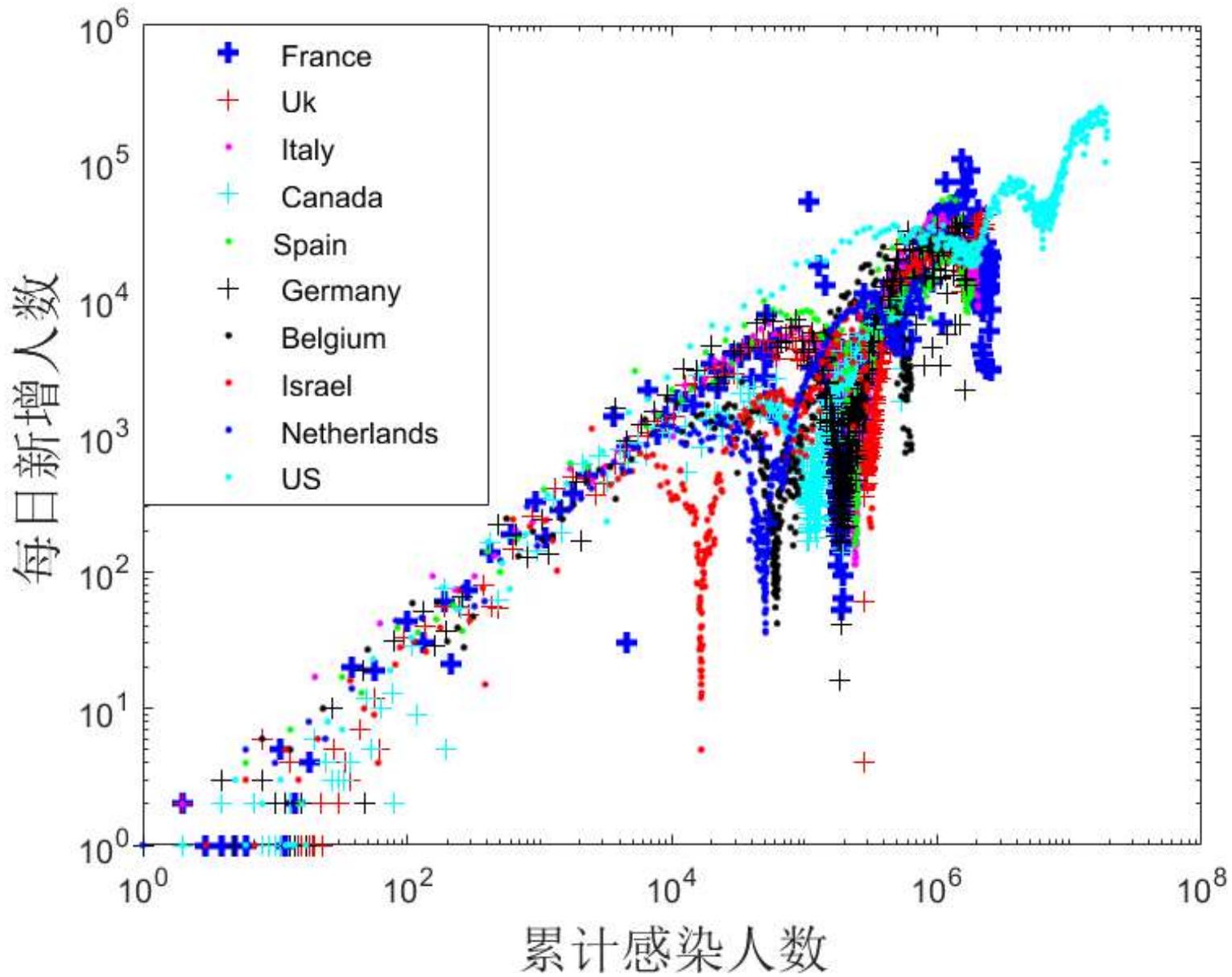
无美国

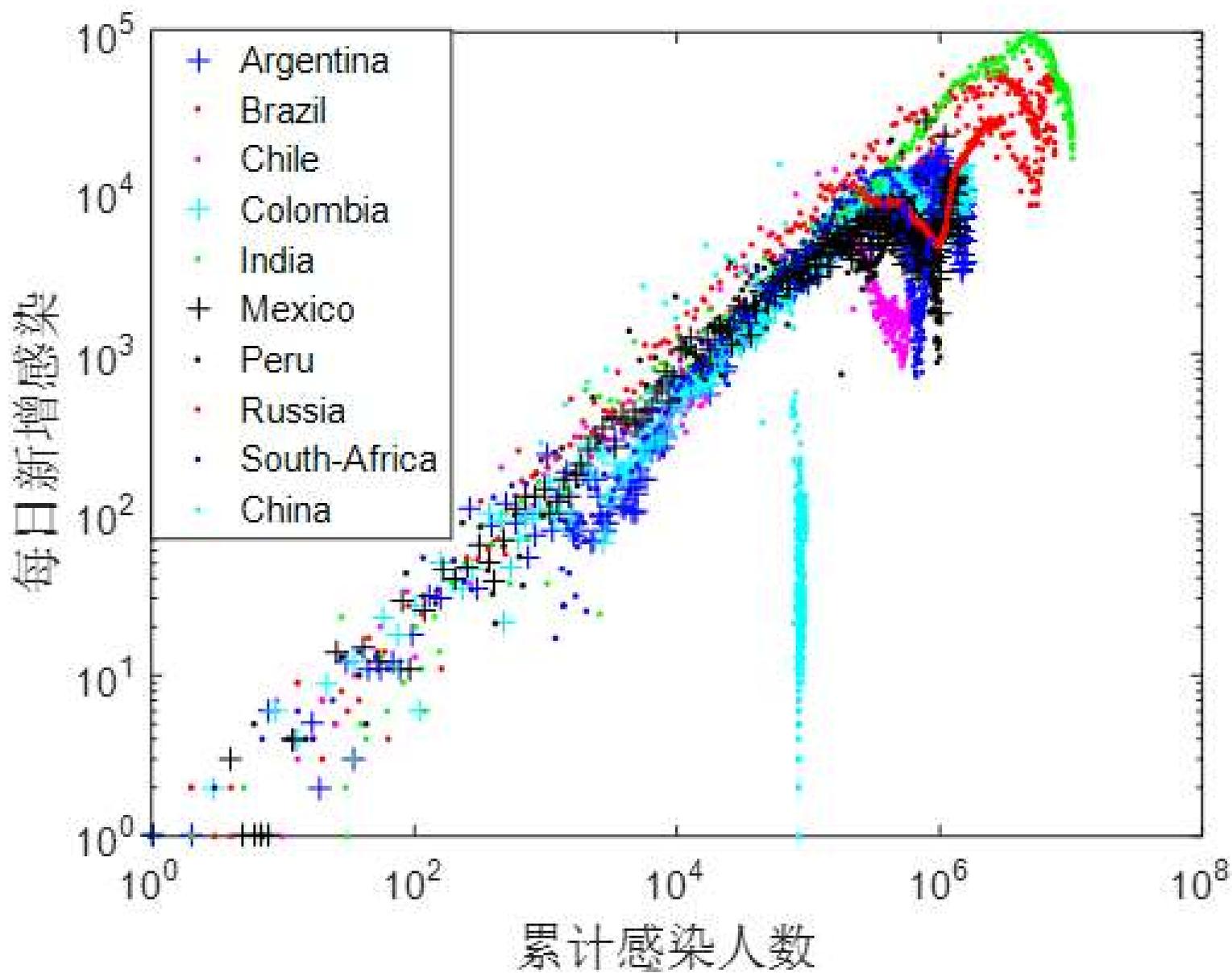


## ➤ 七日新增（发展中国家）

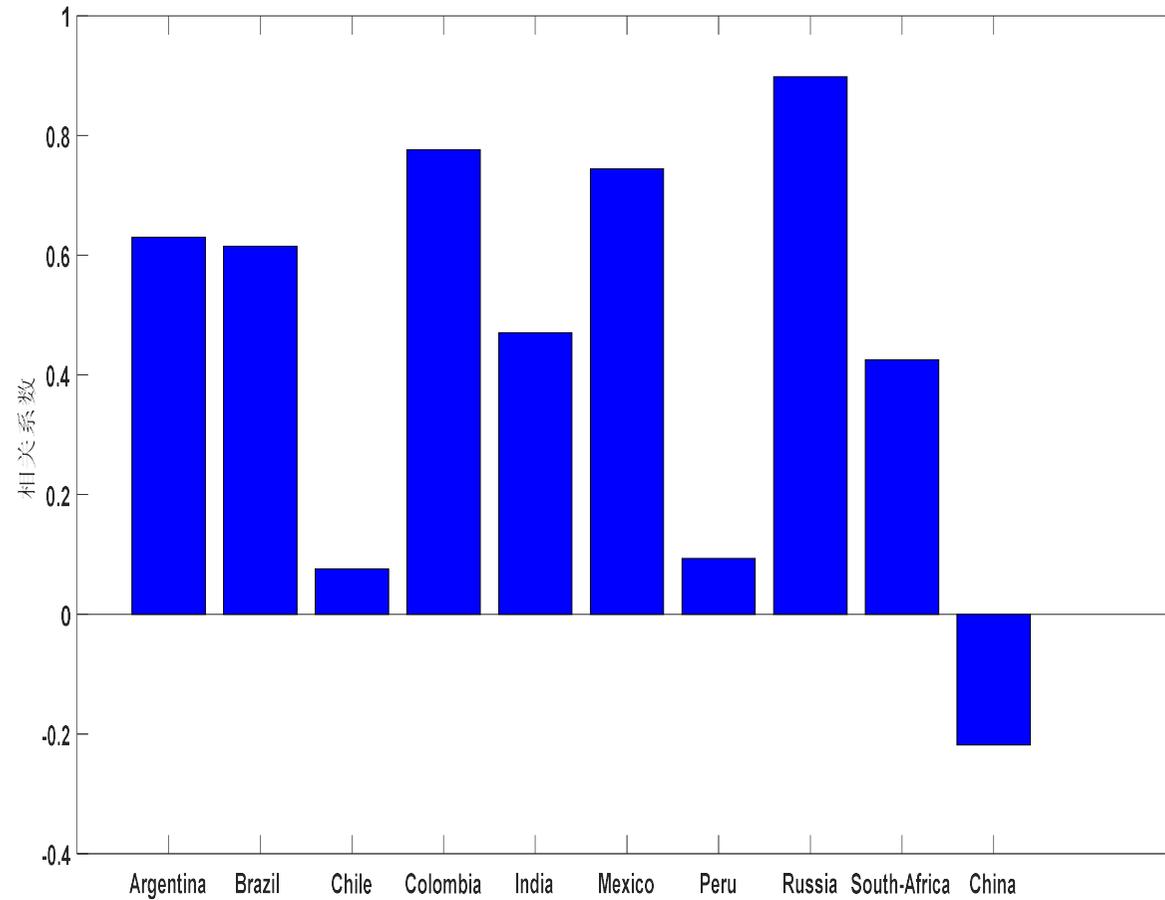


部分发展中国家二次爆发

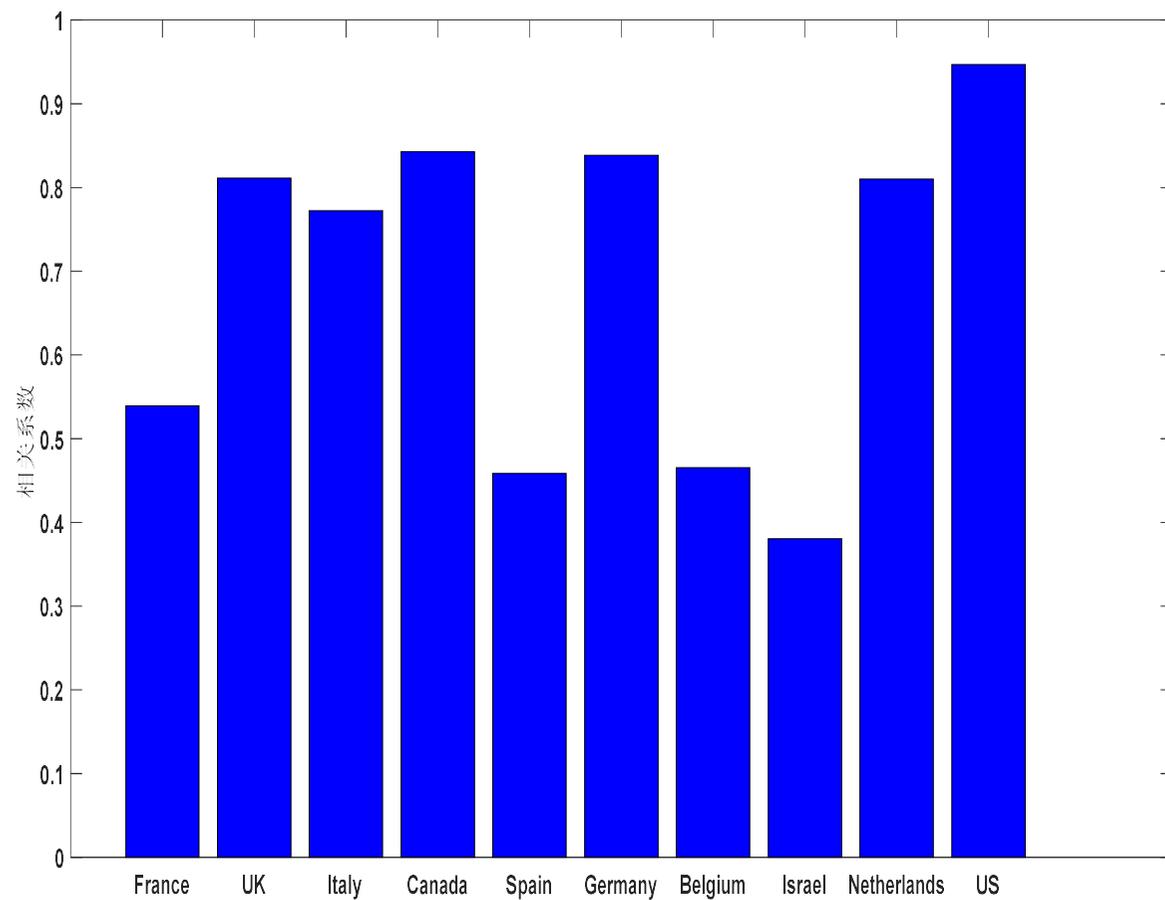




## 相关系数（典型的发展中国家和发达国家）



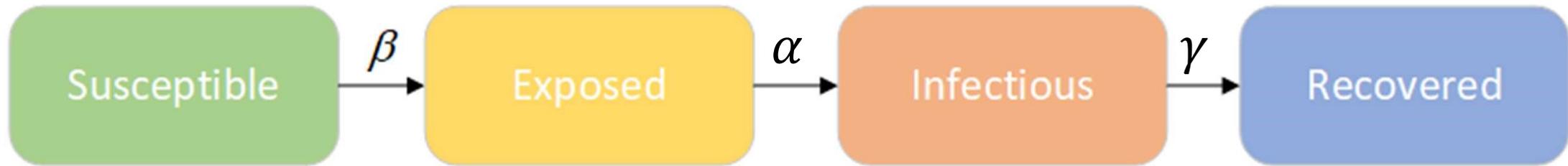
左至右：阿根廷 巴西 智利 哥伦比亚 印度 墨西哥 秘鲁 俄罗斯 南非 中国



左至右：法国 英国 意大利 加拿大 西班牙 德国 比利时 以色列 荷兰 美国

## Part four: 模型与计算结果

常见的传染病模型按照传染病类型分为 SI、SIR、SIRS、SEIR 模型等。由于国外疫情管控效果普遍不理想，我们为了理解发达国家二次爆发现象产生的机制，本次数值仿真计算使用的是SEIR模型。



- 疾病发生率只和患病人群与易感人群数量有关  $\beta \times IS$
- 潜伏期转化成的发病人群数目  $\alpha \times E$
- 发病人群转化成移除人群的数目  $\gamma \times I$
- E代表潜伏期，并非暴露（密切接触者）

$$\frac{dS}{dt} = -\beta IS$$

$$\frac{dE}{dt} = \beta IS - \alpha E$$

$$\frac{dI}{dt} = \alpha E - \gamma I$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I$$

其中  $\beta$  是感染率，  $\alpha$  是潜伏期转化率，  $\gamma$  是康复率

- 我们根据前面的数据分析，依据参考文献<sup>[1]</sup>中提出的观点，认为现在显著出现二次爆发的国家在医疗系统没有崩溃的情况下，不严格的防疫政策通过增加传染病的感染率，导致感染率随时间变化显著增高导致二次爆发的现象产生，以下做数值仿真实验验证结论。

- 方程如下

$$\frac{dS}{dt} = -\beta IS$$

$$\frac{dE}{dt} = \beta IS - \alpha E$$

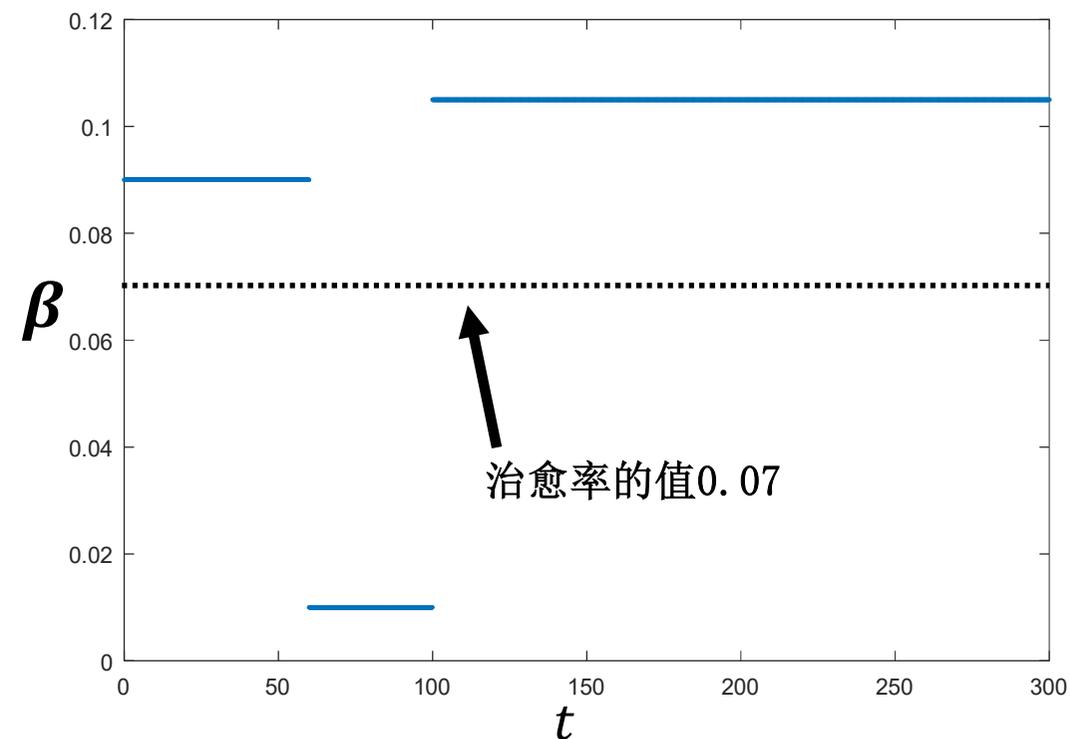
- 其中 $\beta$ 是感染率， $\alpha$ 是潜伏期转化率， $\gamma$ 是康复率

$$\frac{dI}{dt} = \alpha E - \gamma I$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I$$

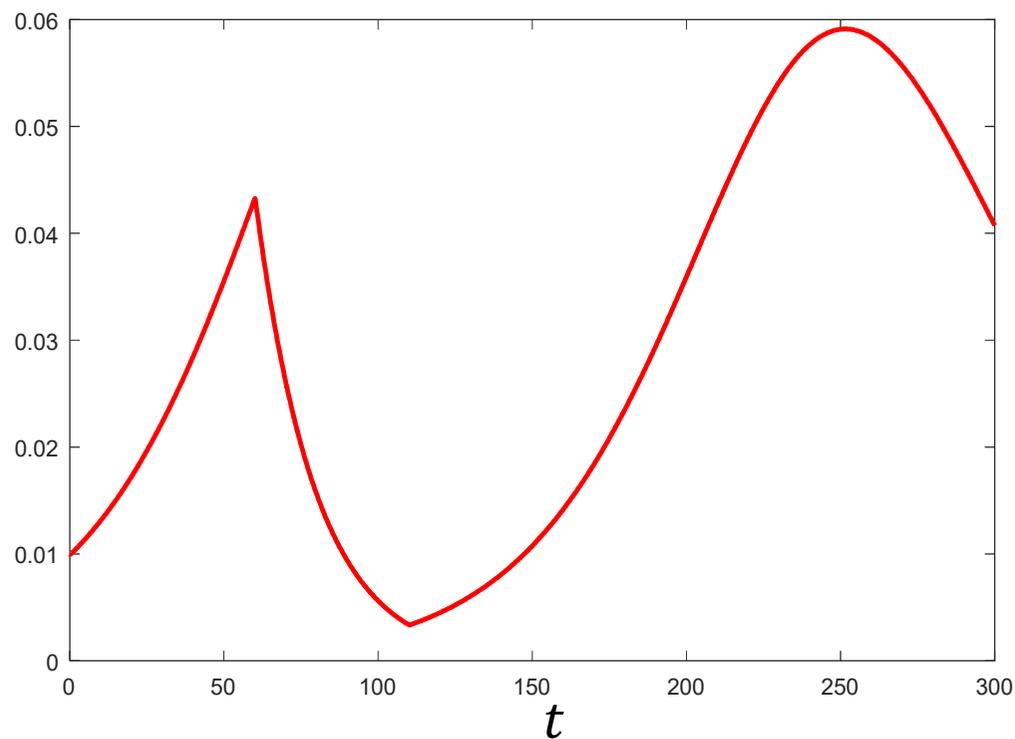
- 而且 $\beta$ 随时间变化， $\gamma=1/7$  结果如下图：

[1]Vasconcelos Giovani L,Macêdo Antônio M S,Ospina Raydonal,Almeida Francisco A G,Duarte-Filho Gerson C,Brum Arthur A,Souza Inês C L. Modelling fatality curves of COVID-19 and the effectiveness of intervention strategies.[J]. PeerJ,2020,8.

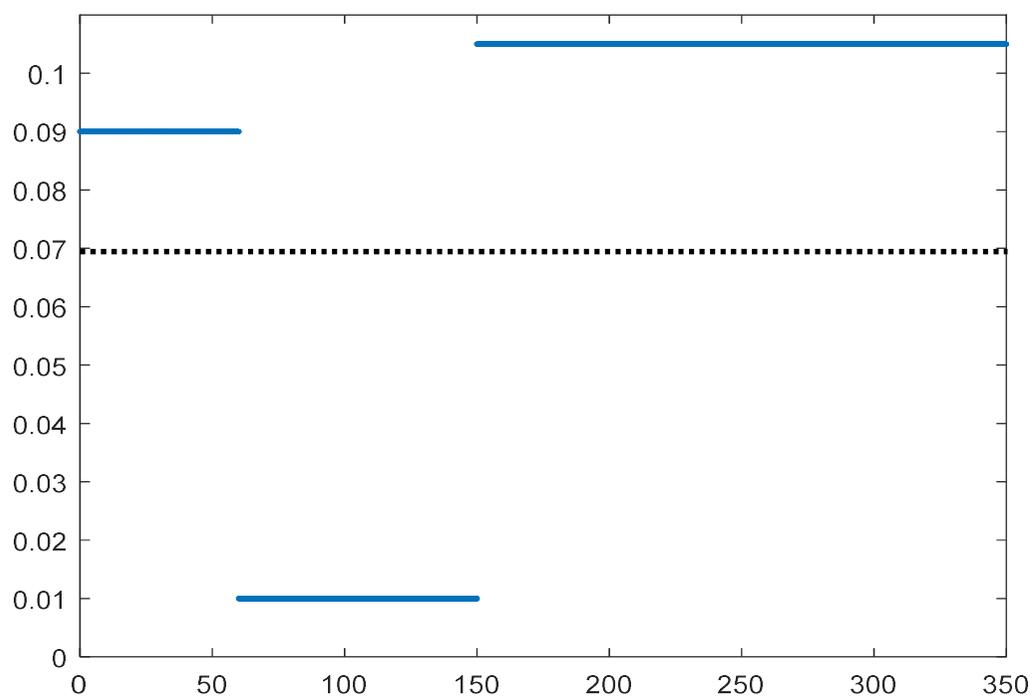


SEIR模型 $\beta$ 随时间变化

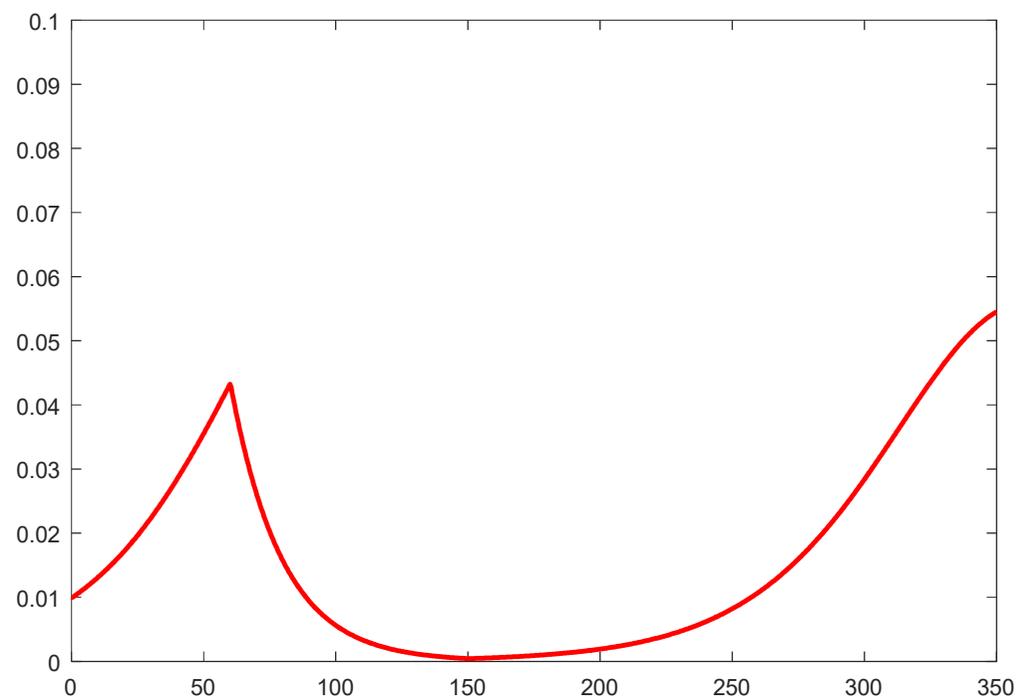
$$\beta = \begin{cases} 0.09, & 0 < t < 60 \\ 0.01, & 60 < t < 110 \\ 0.105, & 110 < t < 300 \end{cases}$$



SEIR模型I随时间变化  
(相当于每日新增感染)



SEIR模型 $\beta$ 随时间变化(中间的强力控制时间增加)



SEIR模型I随时间变化(相当于每日新增感染)

Thanks