

# 基于北京市疫情跟踪报送系统与 SEIR 模型评估北京疫情防控效果

徐起 王馨荣 魏巍

鲸数科技(北京)有限公司 北京 100000

**【摘要】**2019年底爆发的新型冠状病毒肺炎(COVID-19)对人民的生产生活造成了重大影响。本文使用鲸数科技(北京)有限公司所开发的北京市疫情跟踪数据报送系统中的全市疫情监测数据,结合SEIR模型,对未实施社区防控的模拟与加入社区防控的实际效果进行比较。结果显示北京市的防控效果突出,疫情防控系统的启用对疫情的控制产生了积极影响,为北京逐步复工复产提供了重要数据支撑。

**【关键词】**疫情防控系统;疫情监测;SEIR模型;社区防控

## 引言

2019年底中国爆发了新型冠状病毒肺炎,中国政府为控制疫情传播采取了强有力的防控措施,在2020年2月中旬每日新增确诊人数达到峰值后持续下降,至4月初各地新增本地确诊病例几近为零。

疫情正值春节离(返)京的高峰期,北京作为全国的交通枢纽并有3000万常住人口,疫情爆发风险极高。为全面应对疫情,政府采取了最严格的公共卫生应急管理措施,对各级企业单位造成了不同程度的,其影响评估框架如下图:

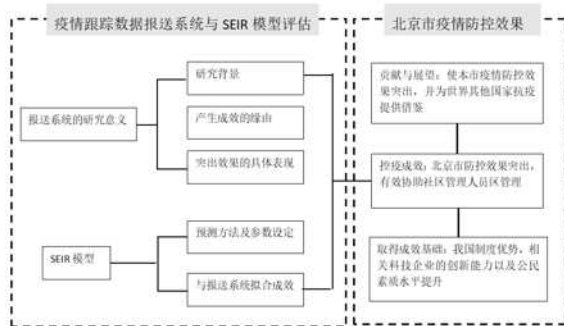


图1 影响评估框架

为确保疫情期间各街道社区能够早发现、早隔离、早治疗,减少感染者,北京市疫情跟踪数据报送系统在2月14日正式上线。该系统包含了街道排查管理、排查统计、集中观察、一级人员(密切接触人员)跟踪(图2)、二级人员跟踪(图3)等模块。管理人员在街道排查管理模块中可以查询(导出或登记)姓名、身份证号、手机号、登记日期、返京日期等信息。系统可在PC、APP等多端进行登记,社区管理人员能在短时间内了解社区内人员的体征及隔离人员的每日情况,实现了无接触防控人员体征。



图2 一级人员(密切接触人员)跟踪



图3 二级人员跟踪

## 1 研究背景

本次疫情引起众多专家学者与研究团队地关注,对疫情规模进行了大量的预测与分析。这些工作大部分使用了SEIR及其改进模型<sup>[1]</sup>,其中钟南山团队成果<sup>[2]</sup>对武汉及全国疫情趋势预测获得了一致认可,其数据来源是各交通系统出行人数的统计。本文的数据源是由疫情跟踪数据报送系统提供的流动人员详实情况汇总,最终的效果更接近真实情况。

国内众多团队针对本次疫情开发了健康管理平台。其中应用最广泛的是一些健康码应用,支持个人健康信息查询和健康申报,本文中使用的疫情跟踪数据报送系统正是底层的数据供给服务,协助社区管理流动人员,实现无接触登记,及时反馈社区人员体征。

## 2 方法

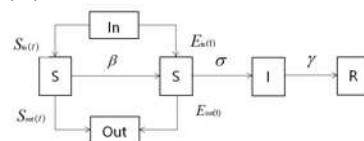


图4 SEIR模型

S易感者(Susceptible),指未病人群缺乏免疫能力,与感染者接触后易受感染;

E 暴露者 (Exposed), 指接触过感染者, 未确诊, 为密切接触者;

I 感染者 (Infective), 指确诊人员, 可以传播给 S, 将其变为 E 或 I;

R 康复者 (Recovered), 指病愈而具有免疫力的人群。其数学形式 (差分方程) 为:

$$\begin{aligned}
 S[t+1] &= S[t] + S_{in}[t] - S_{out}[t] - \frac{\beta_1 \times r[t] \times I[t] \times S[t]}{N[t]} - \frac{\beta_2 \times r[t] \times E[t] \times S[t]}{N[t]} \\
 E[t+1] &= E[t] + E_{in}[t] - E_{out}[t] - \frac{\beta_1 \times r[t] \times I[t] \times S[t]}{N[t]} + \frac{\beta_2 \times r[t] \times E[t] \times S[t]}{N[t]} - \sigma E[t] \\
 I[t+1] &= \sigma E[t] + I[t] - \gamma[t] \\
 R[t+1] &= \gamma[t] + R[t] \\
 S_{in}[t] &= In[t] \times (1 - P_{in}[t]) \\
 S_{out}[t] &= Out[t] \times (1 - P_{out}[t]) \\
 E_{in}[t] &= In[t] \times P_{in}[t] \\
 E_{out}[t] &= Out[t] \times P_{out}[t]
 \end{aligned}$$

### 3 参数设定

人口总数 N: 2019 年北京市户籍人口约为 2 100 万。

迁入 / 出人口 IN/OUT: 根据北京市迁徙指数以及疫情跟踪系统的统计结果, 拟合出疫情期间北京市的迁入迁出人口数量。

暴露者迁 (入 / 出) 概率 Pin/out: 北京市疫情跟踪系统 2 月 3 日累计的一级人员 (密接) 1 102 和累计迁入 / 出人口数 4 379 000 的比值来确定, 其值为 0.00025。

感染者初始值 I: 1 月 21 日北京市卫健委通报确诊 5 例患者, 设为初始值。

暴露者转化为感染者概率  $\sigma$ : 新型冠状病毒的潜伏期一般为 2~14 天, 取中间值为 8 天,  $\sigma = 1/8 = 0.125$ 。

暴露者初始值: 暴露者和感染者之间的比例关系  $\sigma$  为 0.125, 以此确定初始暴露者为 40 人。

治愈数初始值设为 0。

暴露者及感染者的日接触率 r: 截至 2 月 3 日, 疫情跟踪系统累计有 1102 名一级人员 (密接), 潜伏期平均值为 8 天, 1 月 26 日确诊患者人数为 68 人, 初始阶段平均每位患者接触的易感人群数量为 1102/68 约为 16 人。

易感者转为感染者的参数  $\beta$ :  $\beta = b \times r$ , b 是传染概率, 通过拟合 1 月 20 日至 2 月 7 日的确诊病例得到 0.032。

暴露者传染正常人传染概率  $\beta_2$ :  $\beta_2 = \beta \times \sigma$ 。

日康复率  $\gamma$ : 以每日治愈数与感染者余量的比值来确定, 初期与后期偏差较大, 使用 (0.012, 0.203) 区间中的等分值来拟合治愈率。

## 4 SEIR 模型的预测

### 4.1 未防控的模拟预测

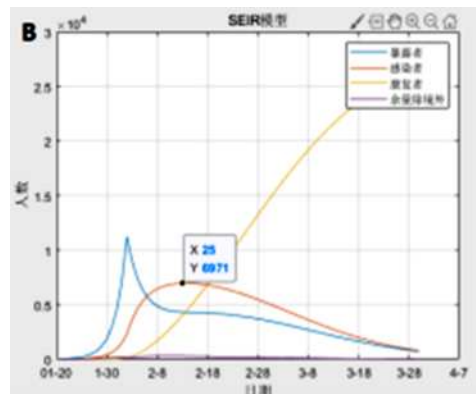
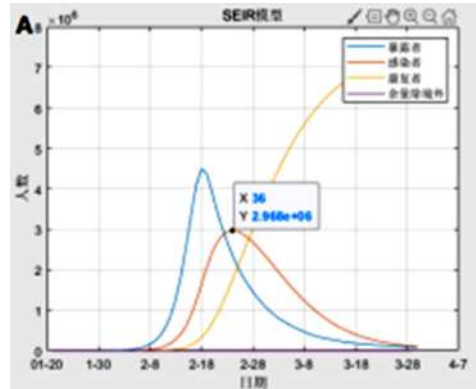
使用上述未加入防控措施的基本参数通过 SEIR 模型<sup>[3]</sup>得到的预测结果为下图 (A)。第 36 天感染人数达到拐点, 北京市最早确诊病例的报告日期为 1 月 20 日, 该模型预测的拐点日期为 2 月 25 日, 感染人数 (每日余量) 超过 296 万。

量) 超过 296 万。

### 4.2 加入一般防控的模拟预测

北京市在 2 月 3 日明显加强了对疫情的防控, 在第 14 天 (即 2 月 3 日) 假设感染者和暴露者的接触人数分别减少为 2 和 12, 得到结果如下图 (B)。该模型预测的拐点日为第 25 天, 2 月 14 日, 感染人数 (每日余量) 降低为 6971 人。

纽约 2019 年人口约为 1 900 万, 在人口总数、流动人口、经济发展水平等各方面都和北京相近, 纽约在 2 月中旬发现首例新型冠状病毒, 至今已经累计 21 万患者, 但是仍未达到拐点。



### 4.3 北京市疫情跟踪系统上线后模拟

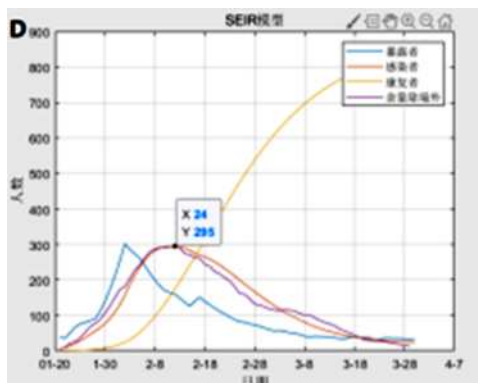
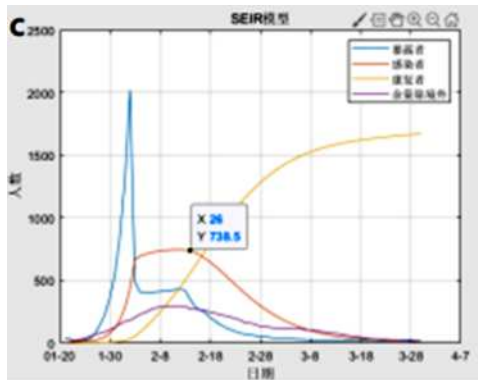
考虑到该系统对防控工作的影响, I 和 E 的接触人数在试运行阶段分别为 1 和 12, 在正式上线 (2 月 14 日) 后, I 和 E 都会被立即隔离其接触人数设为 0.1 和 1。得到结果如下图 (C), 该模型预测拐点日为第 22 日感染人数 (每日余量) 估计为 6 647 人。这说明北京市疫情跟踪防控系统对疫情的控制起到了关键作用。实际每日确诊余量与模拟感染人数已经比较接近, 但并没有很好拟合。显然, 防控措施不仅影响了感染者和暴露者的接触人数, 还影响了其他参数, 为了得出防控措施究竟影响了哪些参数, 下面进行进一步的研究。

### 4.4 改进参数的模拟

为了得到与北京市实际感染余量数据拟合良好的感染者曲线, 同时考虑到严格的控制措施会对感染概率 b 有一定影响最初由数据拟合得到的 0.032 降低为 0.0022, 得到结果如下图 (D)。该模型预测在第 24 天即 2 月 13

日达到拐点，确诊余量与感染者曲线拟合几乎一致。

注：确诊余量曲线是去除了境外输入病例的数据。



(图中文字修清)

#### 4.5 结果分析

疫情跟踪数据报送系统协同疫情防控的社区管理工作主要实现了以下几点关键目标：

一是协助管理和登记入境与返京人员。系统协助社区人员管理社区，对人员进行无接触登记与管理。

二是及时反馈人员体征数据。系统每天对返京人员

#### 【参考文献】

- [1] Natsuko Imai, Ilaria Dorigatti, Anne Cori, Steven Riley, and Neil M Ferguson. Estimating the potential total number of novel coronavirus cases in wuhan city, china. 2020. <https://www.imperial.ac.uk/media/imperial-ollege/medicine/sph/ide/gida-fellow-ships/2019-nCoV-outbreak-report-17-01-2020.pdf>.
- [2] Journal of Thoracic Disease. Modified SEIR and AI prediction of the epidemics trend of COVID-19 in China under public health interventions. 2020.3.
- [3] Jonathan M Read, Jessica RE Bridgen, Derek AT Cummings, Antonia Ho, and Chris P Jewell. Novel coronavirus 2019-ncov: early estimation of epidemiological parameters and epidemic predictions. medRxiv, 2020.
- [4] Xiaohua Yu. Estimating infected population of wuhan coronavirus in different policy scenarios by sir model, 2020. <http://uni-goettingen.de/en/infectious+diseases/619691.html>.

的身体状况进行监控分析，及时发现感染者，实现早发现、早隔离、早治疗。

三是社区人员自主登记体征。实现了无接触体征记录，避免接触时的交叉传染风险。

#### 5 贡献与展望

目前疫情已转到外防输入、内防反复，且国内已开始恢复常态、复工复产，此时的工作重点应是对外严查严控、集中隔离，对内认真执行返京人员与流动人口的隔离措施。

疫情跟踪数据报送系统的快速部署与上线是我国治理水平的一个具体体现，进一步印证了我国的制度优势，以及相关科技企业的创新力与行动力。社区管理与流动管制等相关措施以及社会舆论反应也体现了我国人民的公民素质与道德水平的显著提高。为世界其他相关经济体的抗疫提供了一个模范样本与有效借鉴。

#### 6 结论

上述分析结果表明，在北京市政府的管控下，防控效果突出有效，各社区进行无接触登记与自主体征登记，减少了交叉感染的风险。疫情跟踪数据报送系统上线后效果尤为突出，该系统协助社区管理人员区管理，能及时反馈社区人员体征，第一时间发现疑似人员，实现早发现、早隔离、早治疗。

该系统为北京疫情防控和各街道社区人员带来的积极效果与便捷管理，显示该系统可在未来和当前疫情期间持续使用。同时该系统的累计数据为北京市复工复产时间节点的选择提供了坚实可靠的数据基础。并将在复工复产期间持续为街道社区提供可靠的社区监控与管理服务。