

· “防控新冠肺炎”专题 ·

新型冠状病毒肺炎初期传播规模的系 统动力学模型估计方法及评价 ——以甘肃省为例的研究



□刘红亮^{1,2} 贾洪文² 王雁³ 刘彬³ 姚洁⁴ 闫宣辰²

[1. 甘肃省卫生健康统计信息中心(西北人口信息中心) 兰州 730030; 2. 兰州大学 兰州 730000; 3. 兰州交通大学 兰州 730070; 4. 甘肃省统计局 兰州 730030]

[摘要] 【目的/意义】新型冠状病毒肺炎疫情是新中国成立以来传播速度快、感染范围广、防控难度大的
一次重大突发公共卫生事件。疫情暴发后,我国各级政府采取积极防控措施,有效控制了疫情传播。面
对新冠肺炎传染性强、无症状感染者多、罹患重症致死率高的特点,如何在疫情暴发早期科学判定病
毒传播路径及感染规模非常重要。【设计/方法】利用甘肃省首次发现确诊病例以来最初8天的公开通
报数据,构建了基于系统动力学的新冠肺炎患者变动分析模型,对甘肃省首例确诊患者出现后连续20天
内的确诊患者数量变动进行合理估计和预判,以期为相关防控措施实施提供参考。【结论/发现】通
过分析比较,该分析模型对疫情暴发初期的传播规律具有较强的适用性,对相关国家或存在感染的地
区估计传播规模有较高的参考价值。

[关键词] 新型冠状病毒肺炎; 系统动力学模型; 估计方法

[中图分类号] R563.1;N941.3

[文献标识码] A

[DOI] 10.14071/j.1008-8105(2020)-3023

Estimation Method and Evaluation of System Dynamics Model for the Initial Spread of COVID-19 ——A Case Study of Gansu Province

LIU Hong-liang^{1,2} JIA Hong-wen² WANG Yan³ LIU Bin³ YAO Jie⁴ YAN Xuan-chen²

(1. Gansu Health Family Statistics Information Center Lanzhou 730030 China; 2. Lanzhou University
Lanzhou 730000 China; 3. Lanzhou Jiaotong University Lanzhou 730070 China;
4. Gansu Province Bureau of Statistics Lanzhou 730030 China)

Abstract [Purpose/Significance] COVID-19 epidemic is a major public health emergency that has occurred
in China since the founding of New China, with rapid spread, wide range of infections, and difficulty in prevention
and control. After the outbreak, the governments at all levels in China took active prevention and control measures
to effectively control the spread of the outbreak. In view of the characteristics of COVID-19, which is highly
contagious, has many asymptomatic infections, and has a high fatality rate, how to scientifically determine the virus
transmission path and infection scale in the early stage of the outbreak is very important. [Design/Methods] This
article uses the public notification data in the first 8 days since the first confirmed cases were found in Gansu

[收稿日期] 2020-03-05

[基金项目] 国家卫生健康委员会规划信息司课题项目。

[作者简介] 刘红亮(1978-)男,兰州大学经济学院博士研究生,甘肃省卫生健康统计信息中心(西北人口信息中心)助理研究员;贾洪文(1971-)男,兰州大学经济学院副教授;王雁(1981-)女,兰州交通大学马克思主义学院讲师。

Province to construct a COVID-19 patient movement analysis model based on system dynamics. The changes in the number of confirmed patients are reasonably estimated and predicted to provide a reference for the implementation of related prevention and control measures. [Findings/Conclusion] Through analysis and comparison, the analysis model has a strong applicability to the spreading rules in the initial stage of the outbreak, and has a high reference value for the estimated spreading scale in related countries or areas with infection.

Key words COVID-19; system dynamics model; estimation method

引言

新型冠状病毒肺炎 (Corona Virus Disease 2019, COVID-19, 以下简称“新冠肺炎”) 疫情是新中国成立以来在我国发生的传播速度快、感染范围最广、防控难度大的一次重大突发公共卫生事件。疫情暴发后,我国各级政府采取积极防控措施,有效控制了疫情传播。截至2020年2月29日上午9时,从官方通报数据看,现有确诊病例37 502例,累计确诊79 389例,累计治愈39 049例,累计死亡2 838例^[1]。从死亡规模看,确诊病例粗死亡率约为35.75‰,如此高的罹患死亡率,说明新冠肺炎危及健康的一面。从病例的区域分布看,除了湖北武汉新增病例规模仍在百人以上外,其他省区新增病例都已降在个位以内或连续多日保持零增长。乐观地估计,除湖北武汉外,中国各省市疫情已经得到有效控制。面对传染性强、无症状感染者多、罹患重症致死率高的特点,如何在疫情暴发早期科学判定病毒传播路径及感染规模非常重要。

一、文献综述

由新冠肺炎引发的疫情在首次被检测确认以来,国内外关于新冠肺炎的研究文章呈现快速增长态势。首次确认新型冠状病毒的文章由高福、武桂珍和谭文杰等人于2020年1月25日在《新英格兰医学杂志》正式发表,该文提出了新型冠状病毒 (2019-nCoV) 概念,其研究团队向全球流感序列数据库 (GISAID) 提交了完整的病毒基因组^[2]。钟南山院士带领的研究团队在通过对1 099例患者临床检测诊断数据分析的基础上,系统分析了新型冠状病毒的临床特征、检查检验结果特点、医学影像资料诊断的要点及新型冠状病毒感染患者潜伏期等关键指标,明确指出新型冠状病毒具有人传人特点^[3]。Michelle L.Holshue等人对美国首例确诊新冠肺炎患者的识别、诊断、临床过程和治疗及9天发病期的症状作了分析,强调指出了各级政府和医疗机构之间密切合作,快速检出、治疗新冠肺炎患者对控制疫情具有重要意义^[4]。Qun Li等人通过对武汉新冠

肺炎患者的人口学特征、暴露史和疾病时间表等特征的分析,描述并估计了新冠肺炎患者关键的流行病学特点、病毒传播的倍增时间等重要指标,确证自2019年12月中旬以来,在武汉的密切接触者中间已经发生了人与人之间的病毒传播^[5]。Vincent J. Munster等人利用对疾病监测金字塔及其与遏制疫情之间关系的分析,指出轻度和无症状病例以及重度和致死病例在感染群体中的比例是影响疫情控制中需要特别关注的重要参数^[6]。

国内学者利用系统动力学方法研究传染病传播规律的研究相对较多。倪顺江将复杂网络理论和流行病学相结合构建传染病动力学模型,综合社会接触网络的演化行为、形成机制、结构特征和个体行为模式等方面因素提出交替社会网络模型、具有局部结构的生长社会网络模型、一个空间多种群网络模型,研究认为,传染病在公共网络中的传染速度远高于家庭网络;传染病感染人数初始时在网络中以指数形式增长,且传播速度随着局部结构尺度的增大而明显增大;减小人员出行的特征距离、停留时间,或者加大返回概率均能有效降低传染病的全局传播风险。通过实证检验该模型对SARS疫情的模拟结果与历史数据具有一致性^[7]。张瑞霞在复杂网络理论的基础上,进一步引入传染病动力学和社会学研究传染病传播规律,构建传染病动力学模型,得出在疾病消亡的过程中,外潜伏期越长,疾病消亡的速度越快;在疾病流行的过程中,外潜伏期能够减慢疾病的传播速度,减小疾病的流行规模。而人类行为的异质性导致染病者相对密度的异质性等重要结论^[8]。张琳运用一般增长模型,分三个阶段拟合新冠肺炎确诊人数,研究发现:发现确诊人数在经历了初期 (2020年1月15日~1月27日) 的无障碍指数增长,中期 (2020年1月27日~2月6日) 的次指数增长后,已在2月6日进入了次线性增长阶段,拟合结果适时反映了疫情防控工作的进展。同时得出,新冠肺炎年龄依赖分支过程的年龄分布、后代分布随疫情防控的进展,均呈现非时齐的特点^[9]。金启轩进一步估计了中国 (除湖北省和港、澳、台地区) 30个省级行政区新冠肺炎疫情规模、疫情原始基数及有效传播率,认为2月12日

以后疫情传播在全国30个省已得到基本控制，湖北省在2月19日基本控制，在持续性严格防疫措施落实条件下，疫情传播被有效控制住的15天后各省市可逐步复产复工^[10]。

由于新型冠状病毒与2003年SARS病毒在类型、结构、传播媒介及途径、病发症状等多方面具有一定相似性，目前国内部分专家学者结合SARS病毒实践经验，从中医药学角度对此次新冠肺炎疫情防控展开研究，这些研究作为对中国防控经验总结也具有十分重要意义。邱模炎等根据当前新冠肺炎疫情，结合中医疫病学和中医药参与研究得失，认为通过动物实验研究，并组织临床观察，与动物实验相互印证；新冠肺炎的研究和治疗应当将医学、防疫学、兽医学、气象学等多学科相结合^[11]。任培华等从中医药学角度进一步总结和研究，初步构建了新冠肺炎中医防治的理论框架：临床治疗可分为初期、中期、极期和恢复期四期论治，治疗核心在于润燥存津、散火解毒、芳香透秽和宣肺降浊^[12]。元唯安等理性考量中西医结合在新冠肺炎防治中的作用得失，认为新冠肺炎中药临床研究应当建立在中药研发特点、疫情实况和前期研究基础之上^[13]。

随着我国新冠肺炎疫情防控工作的不断推进，确诊病例、疑似病例、累计治愈等疫情数据逐步向好变动，疫情防控取得初步成效，使得疫情有效控制及结束期限成为学者研究和预测的热点。因此，利用系统动力学方法对于新冠肺炎传播规律的相关研究具有一定应用价值。本文根据中国甘肃省2020年1月23日以来连续8天公开通报数据和网上公布的武汉公开通报数据和“钻石公主号”邮轮病例通报数据及相关专家的估计参数的基础上，建立了基于区域人口规模、家庭规模、交通接触概率等参数为基础的系统动力学新冠肺炎传染初期传播规模预测模型。利用该模型，对中国西部甘肃省的疫情传播路径和传播规模做了预测分析，通过事后对模型预测数据的结果评估，该模型较好地预测了在采取居家隔离14天防控措施基础上20天内的传播规模，具有较好的适用性。2020年2月24日，针对新冠肺炎传入韩国后的通报数据，在修改了人口规模参数后，对韩国的传播规模做了预测分析，发现如果韩国的传播人数超过660人后，如不采取极其严厉的隔离防控措施，2020年2月29日，感染者规模将可能接近2 980人，从2020年2月19日上午9点公布的韩国感染者规模来看，实际感染者规模2 931例，与模型预测相差49人，因此笔者决定将预测模

型相关参数整理出来，期望能为相关国家或存在感染的地区估计传播规模提供参考，模型的参数如不是特别需要只需要修改总人口和输入性感染者人数就可以做初步估计，更具有便捷性。

二、数据来源及特征

（一）数据来源

疫情相关数据来源于公开通报的疫情进展数据，主要包括甘肃省卫生健康委员会新冠肺炎疫情防控栏目公报数据（表1）和百度疫情实时大数据系统统计数^[14]。人口相关数据来源于甘肃省全员人口信息系统和2010年甘肃省第六次人口普查基础数据^[15]。部分参数源于终南山院士关于新冠肺炎特征的网载文章。

表 1 2020年1月23日~2月13日甘肃省公开通报疫情进展数据

序号	日期	累计确诊	新增确诊	累计出院	累计密切接触人数	新增密接人数
1	1.23	2	2	0	41	41
2	1.24	4	2	0	58	17
3	1.25	7	4	0	83	25
4	1.26	14	7	0	199	116
5	1.27	19	5	0	277	78
6	1.28	24	5	0	388	111
7	1.29	26	2	0	556	168
8	1.30	29	3	0	700	144
9	1.31	35	6	0	931	231
10	2.1	40	5	0	1 125	194
11	2.2	51	11	3	1 271	146
12	2.3	55	4	3	1 584	313
13	2.4	57	2	4	1 784	200
14	2.5	62	5	6	2 104	320
15	2.6	67	5	9	2 433	329
16	2.7	71	4	9	2 669	236
17	2.8	79	8	12	2 968	299
18	2.9	83	4	16	3 075	107
19	2.10	86	3	21	3 337	262
20	2.11	86	0	24	3 426	89
21	2.12	87	1	31	3 583	157
22	2.13	90	3	39	3 746	163

（二）变动特征

了解现状特征是对变动趋势做出准确判断的基础，为了对新冠疫情变动趋势及特征有较全局的了解，以更好地直观地理解模型测算数据的精度，根据甘肃省疫情公报数据，我们对截至2020年2月13日的变动情况从新增病例数、密切接触人数、在诊确诊人数以及新增密切接触人数和新增确诊病例比四个方面做了趋势性判断，判断的依据是基于实际通报数据与模型预测数据之间的差距。

1. 新增疑似病例越过高峰期, 进入下降区间

截至2020年2月13日20时, 甘肃省当日新增疑似病例数为0, 这是自2020年1月25日以来, 第二次

出现当日无新增疑似病例。从变动趋势分析, 当日新增疑似病例和现有疑似病例变动已经越过高峰期, 进入相对稳定的下降区间 (图1)。

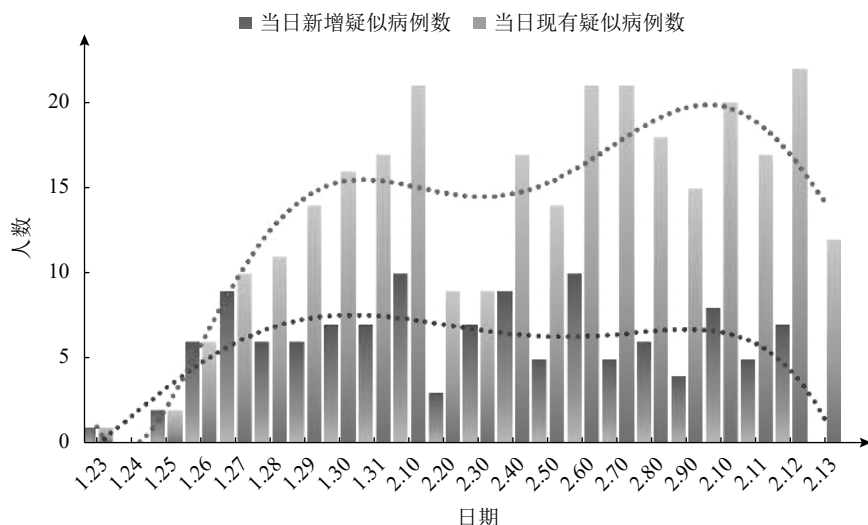


图1 截至2月13日甘肃省疑似病例人数变动情况

2. 新增和留观者密切接触人数进入双下降区间

截至2020年2月13日20时, 新增密切接触人数163人, 现有接受医学观察密切接触人数921人, 从

变动趋势看, 新增和现有密切接触人数变动都已越过初次波动高峰, 进入第二波动下降区间。从变动规模分析, 变动规模不会再超过初次高峰 (图2)。

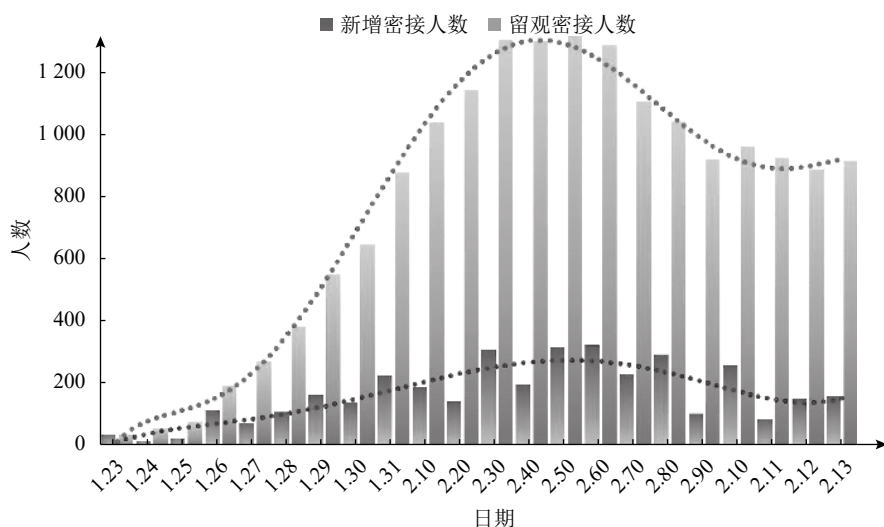


图2 截至2月13日密切接触人数变动情况

3. 接受隔离治疗确诊病例连续下降

截至2020年2月13日20时, 甘肃新增出院8例, 累计治愈出院39例, 接受隔离治疗确诊病例49例。从接受隔离治疗确诊病例变动情况分析, 从2月10日起, 新增治愈出院人数已经超过新增确诊病例数, 预示着疫情救治已经进入可控阶段 (图3)。

4. 新增密切接触人数和新增确诊病例比进入第三轮下降区间

从2020年1月23日开始, 当天新增确诊病例经历了三次波动, 与之对应新增密切接触人数和新增

确诊病例比 (新增密切接触人数除以当天新增确诊病例数) 也呈现三次波动趋势, 从现有数据分析, 新增密切接触人数和新增确诊病例比进入第三轮下降区间 (图4)。

三、模型思路及设定

(一) 模型设定的基本假设

1. 首例患者来自输入性传染或接触性传播, 切断传染源后, 病毒不会继续传播, 这是隔离防控的

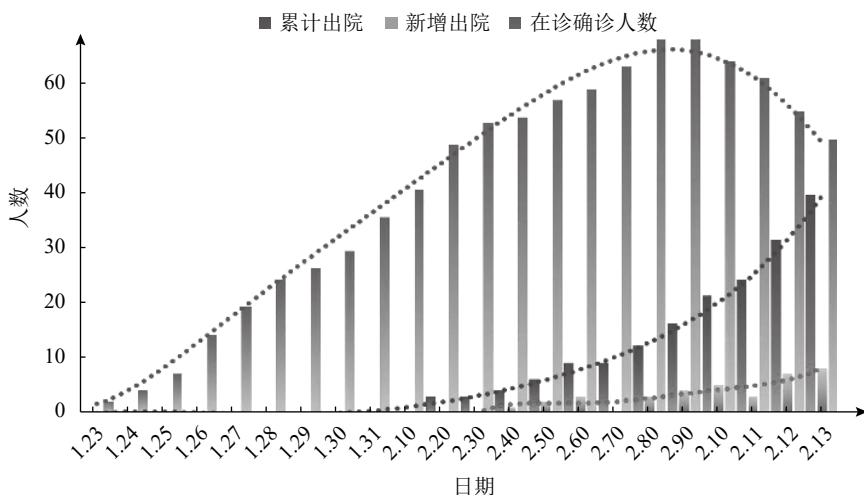


图3 截至2月13日救治出院人数变动情况

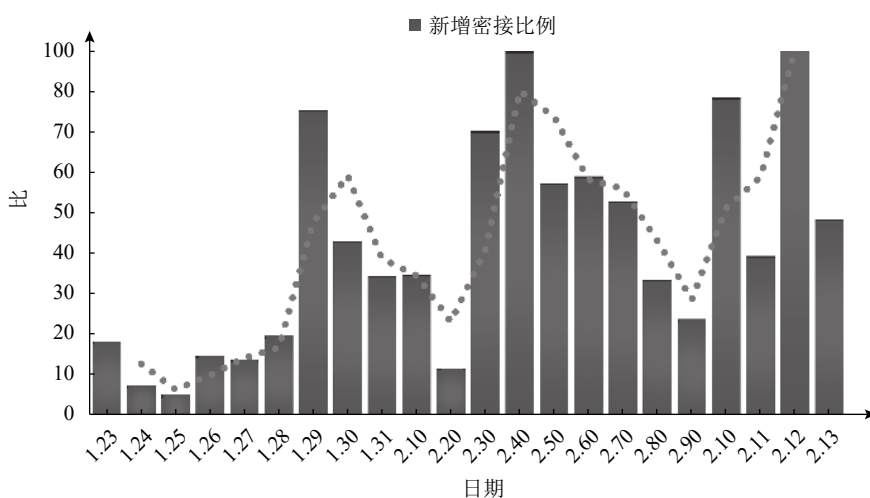


图4 截至2月13日新增密切接触人数和新增确诊病例比变动情况

理论基础，中国的隔离防控经验已经验证这一点。

2. 感染患者在出现症状被确诊前就具有传染性，与其密切接触人口存在感染风险。

3. 存在无症状感染者，除非普查，否则无法排除与其密切接触人口是否被感染。

4. 新冠肺炎在未严格隔离前存在可观察的聚集性传染的特点，家庭关系或业缘关系（特别是公共交通）是需要重点防控的传播途径。

5. 感染者出现可确诊症状的时间与潜伏期（3~24天）一致，不存在漏检感染者。

6. 被治愈患者复发概率接近于0。

7. 人口稀少交通不便的农村地区的农业人口，在严格防控后如果没有输入性感染者，则其余人口被感染的概率极低，表明总人口中总有一部分人口由于不存在接触机会而免于感染，这是健康人口的下限。

8. 特效药物或特殊的高效疗法出现后感染会被及时控制，长远来看，疫情传播总会通过某种机制

被控制，但拖延时间越长，社会资源消耗越大。如果超过社会承载能力，会进入复杂局面，直接后果是患者死亡规模显著增加。

9. 对某一区域，如果没有外部救援力量的参与，区域内防控能力存在临界点，如果被感染人数超过临界点，大规模感染事件将不可避免。

（二）模型构建

1. 系统动力学模型架构如下（图5）：

2. 参数设定及取值说明

模型参数及相关方程如下：

$$CR = \frac{(IP + PI \times MP)}{(NP + IP)} * 100\ 000 \quad (1)$$

式中CR是总人群的疾病感染率；IP是累计确诊患者数；PI是从武汉通报数据估算的一般暴露情况下普通人群被感染的概率，计算办法是武汉通报数据中的密切接触人口检出比例，取估计值为0.05；MP是与确诊患者有密切接触的人数；NP是健康人口数。模型中计算方程设定为：

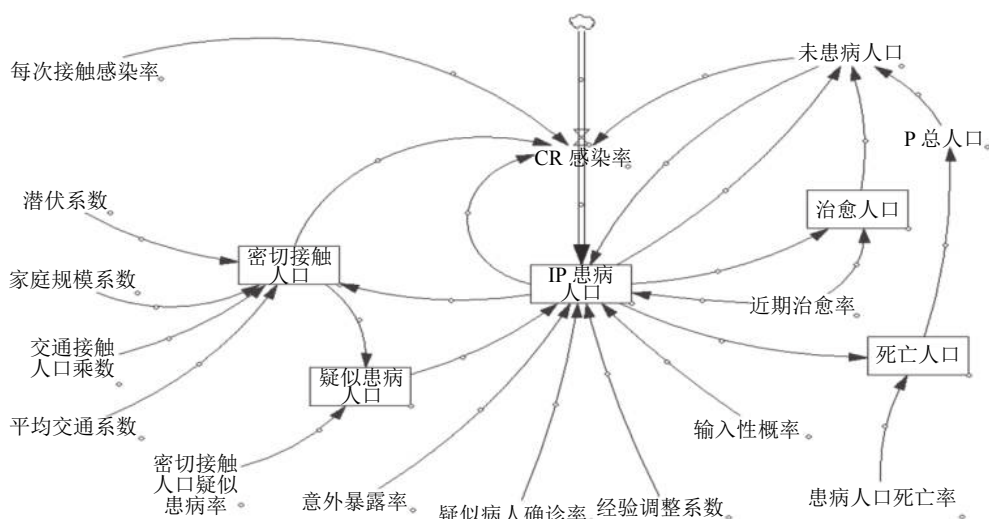


图5 基于通报数据建立新冠肺炎传染模型

CR感染率=(IP患病人口+每次接触感染率*密切接触人口)/(未患病人口+IP患病人口); 每次接触感染率=0.05。

$$IP = \text{INTEG}(IP \times CR + YP \times Yi - IP \times Ci + ((Ti \times Si \times Ji) \times Np - IP), 4) \quad (2)$$

式中INTEG()函数是积分函数; YP是疑似患者人数; Yi是通过武汉通报数据推算的疑似病人确诊概率, 取值为0.2; Ci是近期患者治愈率, 是7天的新增出院患者除以在诊断患者商的平均数, 取值为0.025; Ti是输入性概率, 计算办法是2020年1月23日疫源地感染患者占总人口的比例, 取值为0.001 666 67; Si是意外暴露概率, 计算办法是2020年1月15日至2020年1月14日期间离开武汉总人数除以武汉常住人口数, 取值为0.001 133 36; Ji是经验调整系数, 取值为0.1; 4是开始计算当天通报的确诊患者人数, 不同区域的计算这个数字需要重新设定。模型中计算方程设定为:

IP患病人口=INTEG(IP患病人口*CR感染率+疑似患病人口*疑似病人确诊率+IP患病人口-IP患病人口*近期治愈率+(输入性概率*意外暴露率*经验调整系数)*未患病人口-IP患病人口), 4); 近期治愈率=0.025(累计治愈率均值); 输入性概率=0.001 666 67(疫源地流入人口/本地人口); 疑似病人确诊率=0.2(观察值均值); 意外暴露率=0.001 133 36。

$$P = P_1 - P_d \quad (3)$$

式中P是总人口; P_1 是初始人口; P_d 是患者死亡人数; P_1 取值甘肃为2 647万人, 韩国为5 164万人。模型中计算方程设定为:

$$MP = \text{INTEG}((\text{DELAY1}(IP, 1)) \times Fi + IP \times Ti \times Tpi + Qi \times MP, 17) \quad (4)$$

式中DELAY1(IP, 1)是延迟取值函数, 延迟周期为1, 即取上期值; Fi是根据2010年普查数据估算的平均家庭规模系数, 取值为3.42; Ti是根据人口规模和交通情况估计的交通接触人口乘数, 取值为0.01, 意义为在防控条件下, 乘坐公用交通工具时与其他人员近距离接触的概率; Tpi是平均交通系数, 取值为0.067, 意义为在14天严控条件下, 每个家庭有一次外出接触概率; Qi是潜伏系数, 取值为根据武汉通报数据推算的疑似人员中出现无症状感染者的概率, 取值为0.1; 模型中计算方程设定如下:

密切接触人口=INTEG((DELAY1(IP患病人口, 1))*家庭规模系数+IP患病人口*交通接触人口乘数*平均交通系数+潜伏系数*密切接触人口, 17); 家庭规模系数=3.42; 交通接触人口乘数=0.01; 平均交通系数=0.067(14天居家隔离系数); 潜伏系数=0.1(疑似患者14天内确诊比例)。

$$Pd = \text{INTEG}(IP \times Hdi, 0) \quad (5)$$

式中Pd是确诊患者死亡人数, 初值为0; Hdi是患病人口死亡概率, 取值为0.023 477 3。模型中计算方程设定为:

死亡人口=INTEG(IP患病人口*患病人口死亡率, 0); 患病人口死亡率=0.023 477 3。

$$CP = \text{INTEG}(IP \times Ci, 0) \quad (6)$$

式中CP是累计治愈人口, 初值为0; Ci是近期治愈率, 取值为0.025。模型中计算方程设定为:

治愈人口=INTEG(IP患病人口*近期治愈率, 0)。

$$YP = \text{INTEG}(MP \times Mpi, 0) \quad (7)$$

式中YP是疑似患病人口, 初值为0; Mpi是密

切接触人口疑似患病率，取值为0.105。模型中计算方程设定为：

疑似患病人口= INTEG（密切接触人口*密切接触人口疑似患病率，0）；密切接触人口疑似患病率=0.105。

$$NP = P - IP + CP \tag{8}$$

式中NP是未患病人口，初值为P。模型中计算方程设定为：

未患病人口=P总人口-IP患病人口+治愈人口。

模型参数设定的依据及来源是我们在甘肃省疫情防控工作中，对实践经验从理论和数学模型表达层面的总结和提升，部分参数如密切接触人口等是

对工作层面的防控重点的实际引入，这些参数的引入增加了模型来源于实践、又可用于指导实践的可能性。从操作和技术层面看，这也部分地回答了模型建立的合理性基础理论问题。

（三）模型计算结果及检验

1. 对甘肃省2020年1月25日~2月2日数据的一致性检验

根据模型，甘肃省2020年1月25日~2月2日期间模型数据与实际通报数据相比，相关系数R=0.995，配对样本T检验T=1.692，df=8，sig=0.129，较好地反映了甘肃省启动一级响应后最初几天感染人群变动情况（表2）。

表 2 模型计算感染人数结果表

日期	1.25	1.26	1.27	1.28	1.29	1.30	1.31	2.1	2.2	模型建立及计算时间
农历	初一	初二	初三	初四	初五	初六	初七	初八	初九	
确诊预测数	4	9	14	19	24	30	36	44	56	2月3日
新增预测数	5	5	5	5	6	6	8	12	14	
确证通报数	4	7	14	19	26	29	35	40	51	

2020年2月3日以后，模型计算结果逐渐大于实际通报数，说明甘肃省采集的严防严控措施已经逐步发挥作用，输入性传染情况得到彻底有效的控制，2月3日后出现的感染情况以居家和集聚性为

主。为进一步让计算模型具有后续阶段的适应性，我们在2月6日给模型加入了递减调节系数，其中天数累加因子是指数函数，意义是由于防控引起的确诊人数的减少数，修正后模型如下（图6）：

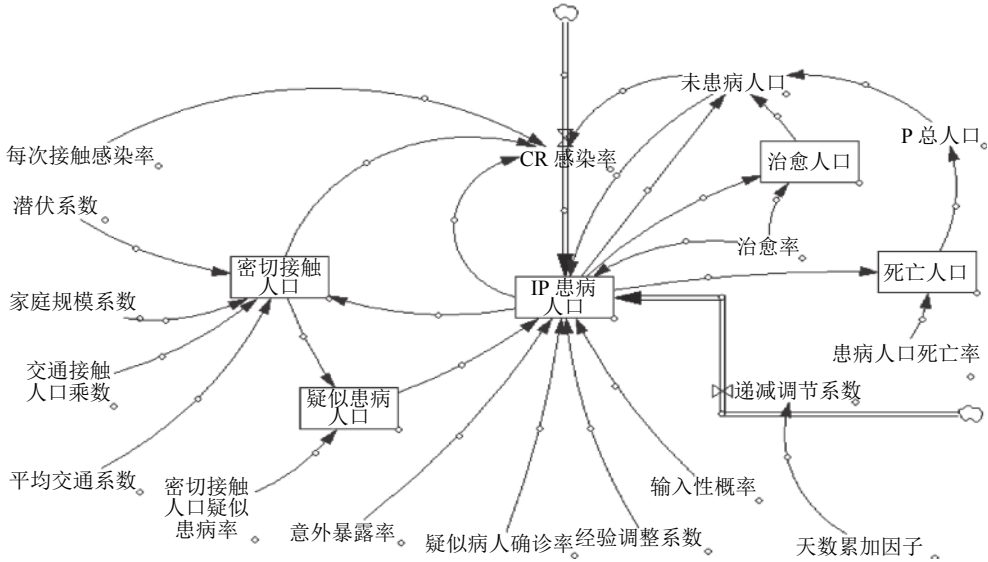


图 6 采取严控措施后的修正模型

天数累加因子的引入，部分地体现了严格防控引起的确诊人数降低的效果，从甘肃的实际情况看。2020年1月25日~2月4日期间，由于严格防控使确诊患者的新增数量显著降低了25%以上，这一结论也将在后续韩国感染人数的变动比较中得到说明。

2. 对韩国2020年2月22日~29日数据的预测结果

的一致性检验

通过对模型变动数据的观察，我们认为相对于韩国5 146万人而言，如果感染患者数量超过400人以后，感染者数量将出现快速增长局面（表3），不幸地是，2020年2月22日我们从公报数据中观察到韩国感染人数已经超过430人，越过危险的警戒

线, 进入高风险区间。2月29日, 公报韩国感染人数已经超过2 930人, 进入爆发期, 按照模型预测, 如果还不采取更强有力的措施, 今后每天的确诊人数将可能突破1 000人。

表 3 2020年2月22日用模型计算的感染人数与实际确诊人数比较

时间	2月22日	2.23	2.24	2.25	2.26	2.27	2.28	2.29	计算时间
预测值	481	653	886	1 043	1 201	1 627	2 203	2 981	2月22日
公报值	433	602	893	977	1 261	1 595	2 337	2 931	

对韩国2月22日利用模型计算的预测确诊数与实际通报的确诊数做配对样本T检验, 相关系数 $R=0.997$, $T=0.234$, $df=7$, $sig=0.822$, 预测数据与实际通报数据呈现出高度一致性。一方面说明模型在预测新冠肺炎疫情发展的某个阶段具有较好的一致性, 侧面印证了新型冠状病毒具有极强的传染性特点。另一方面也说明韩国政府在疫情防控的某个环节可能遭遇了巨大的阻力, 相关措施并未取得预期的效果。

3. 利用模型计算结果对韩国疫情发展状态的估计从模型趋势分析, 如果韩国仍未采取更加严厉

有效的防控措施且没有确切有效的特效治疗药物或高效疗法出现, 预计从3月开始, 疫情将进入周期为7天左右的3~5轮波动爆发, 期间单日新增感染规模将可能超过1万人, 3月底累计密切接触人数将很可能超过6.8万人, 需要隔离检测的密切接触人数超过128万人(图7)。按照2.3%的粗死亡率估计, 到4月初累计死亡人数将接近230人。如果4月疫情仍未得到有效控制, 韩国疫情将进入内防扩散/外防输入的复杂被动局面, 因此, 不管从现在开始韩国政府采取多么严厉的防控措施, 长远来看都是值得的。

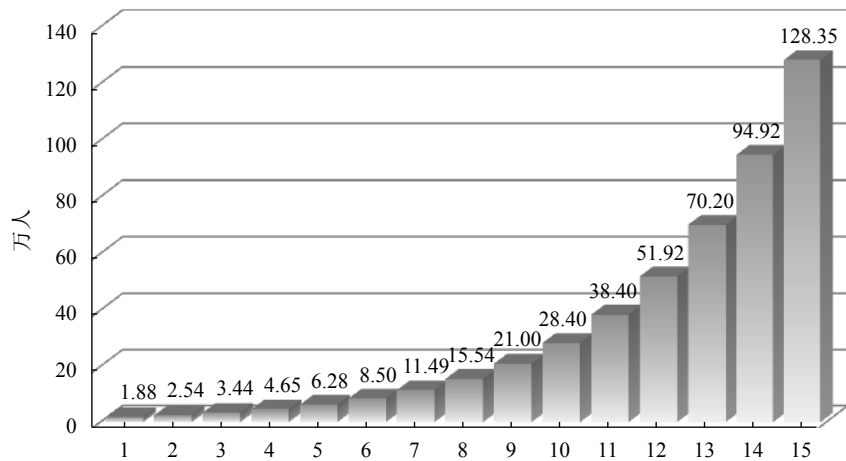


图 7 如继续现有防控措施45天后可能的累计密切接触人口规模

四、模型优化及应用

(一) 模型优化

本预测模型计算结果受初始条件的限制较大, 从利用不同地区数据测算的结果看, 初始人口规模、人口的城乡分布、交通便捷性、人口密度、区域医疗资源供给水平、密切接触人群的筛查检出效率、14天居家隔离措施的执行效果、有疫源地留居史人群的管控程度、平均家庭人口规模等都需要做优化, 同时经验调整系数则需要根据最少连续7天以上实际通报数据的多次验算后才能调整到比较适合本地实际。

(二) 模型应用

在利用某套参数建立一个计算模型后, 可以通

过只改变区域人口规模的办法, 对不同区域防控措施的实际效果做出对比性评价; 也可以通过计算不同人口规模的感染患者变动曲线, 对某些区域感染患者数量变动提出预警, 比如100万人口区域, 如果累计患者超过50人, 连续3天新增患者超过10人, 就可以判定为某种危机状态; 再次是根据人口规模相近, 医疗服务提供能力不同的区域, 计算治愈出院患者的数量变动情况, 与实际情况相比即可以对不同区域医疗救治水平做出比较性评价。

五、结论及讨论

(一) 结论

1. 利用系统动力学方法建立传染病感染者规模

预测模型是精度较高的传统分析方法,一些传染病已经建立了成熟的系统动力学模型,为我们提供了直接的借鉴。本研究中针对新冠肺炎传播的有限知识,尝试建立传染病感染者规模预测模型的本意是对特定区域内出现首例输入性确诊患者后20天内的传播规模做出较为可靠的预测分析,为疫情防控提供建议。对于超过20天后的预测数据由于累积误差和防控措施执行情况差异将出现较大的偏差,但是将模型带入韩国人口参数后连续几天的预测值与现实中的实际变化情况具有一致性,分析原因,可能是韩国的防控措施未能有效防止病毒传播造成的。尽管后续的预测结果偏差越来越大,但我们观察到,随着疫情的发展,确诊患者会在后续几天后达到模型预测值的某个数据节点,且止于某个数据节点后将不再增长,从这个意义看,模型预测数据还是从某些方面展示出新冠肺炎初期传播初期的一些特征,这对于疫情预警和形势判断是很有借鉴意义的。从传染性疾病预防的成本而言,越早采取措施,后续的代价越小。

2. 新冠肺炎对我们而言是一种全新的传染性疾病,我们抛开纯医学的严谨的依据诊断判定的思路,将疫情传播视为一种在有限空间内由一系列概率事件推动的独立系统演进过程,再根据一系列假设,组建了一个相对理想化的数据实验环境,在这个环境中我们根据有限的的数据,通过不断的试错,得到了一套能够短期内反映新冠肺炎疫情传播的纯数学的计算模型,这个模型的有些参数可能具有特定的现实意义,也可能具有某种与现实紧密联系的变动特征,只是这些意义和特征目前还没完全被我们解读。在目前新冠肺炎疫情在全球蔓延趋势的条件下,对于那些对疫情传播的严重后果认识和应对准备都不太充分的地区而言,借助本模型可能会对决策者快速做出决断提供参考,这也是研究者快速将研究结果整理出来的目的。

3. 从我们近期的对不同区域有关数据的跟踪研究看,以下观点对于控制疫情传播可能也具有借鉴意义。

(1) 输入和接触是传播的主要途径,切断这两条途径的高效措施,将是最有价值的防控策略。

(2) 存在输入型传播且已切断输入源的情况下,疫情具有积聚性出现的特征,这是防控的重点和难点。

(3) 面对有限资源的限制,集中隔离、集中救治是最佳选择。

(4) 密切接触人群在条件允许时,做全员检

测是检出无症状感染者的最佳途径,如不具备全员检测的条件,严格的居家隔离是有效控制感染规模扩大的有效手段,必要时可以采取集中隔离的手段。

(5) 早发现、早治疗对避免患者转为重症具有重要意义。

(6) 从新冠肺炎重症患者具有较高死亡率角度看,先期的防控措施无论多严厉都不为过,但是对于能控制住入口且没有输入病例的区域,过度防控是应该尽量避免的。

(二) 讨论

1. 本文模型中部分参数限于篇幅未将检验结果列出,但这些不影响模型对感染人群规模变动趋势的估计。

2. 部分参数(如家庭规模、交通接触系数等)如不做调整而直接使用,可能会带来较大误差,但如果是将本文模型作为一个渐近的标准模型去看待,并用于区域间的比较,则这些参数是否需要逐一调整的问题可以暂时搁置。

3. 受初始数据量的影响,模型可能存在一些需要持续优化的地方,我们也在进一步完善,期待疫情结束后,我们会有更好更完整的模型。

4. 如果有更多的数据,可以尝试建立一系列针对人类已知的传染病的传染模型,这些模型应该能为疾病防控提供更多帮助。

5. 本模型中只考虑人口的城乡分布,未将交通枢纽、地形地貌、假日民俗等因素纳入,这是我们后续研究中需要考虑的因素。

6. 针对存在无症状感染者且无症状感染者也可能具有传染性的特殊情形,如何快速高效地从具有密切接触史或疫区居留史的接触人群中检测识别出无症状感染者,对于疫情防控具有十分重要的意义。因此更高效、更准确、检测结果确认等待时间更短的检测手段的研发非常关键。

7. 根据我们对疫情防控过程中各种有效手段的梳理,加强感染人群和密切接触人群流行病学调查和利用信息化手段来提高密切接触人员的排查检出比例是疫情防控中行之有效的手段。但如何在流行病学调查和利用信息技术识别密切接触人群的过程中做好个人隐私信息的安全保护工作,是需要高度重视的重要问题,特别是那些在疫情防控过程中居于相对弱势地位的特殊群体及非本土居民,更应做好隐私保护工作。

作为一种全新的人际传播的危险病毒,我们认为:不论国家、区域、人种、信仰、习俗等存在多么的不同和差距,在面对新冠肺炎疫情具有全球传

播的趋势前,我们人类作为一个种群都应该放下各自的执见,联合起来,共同进退,同克时艰。

参考文献

- [1] 百度网. 百度疫情实时大数据系统实时统计数[DB/OL]. [2020-02-29]. https://voice.baidu.com/act/newpneumonia/newpneumonia/?from=osari_pc_1.
- [2] ZHU N, ZHANG D Y, et al. A Novel Coronavirus from Patients with Pneumonia in China, 2019. [J/OL]. (2020-02-20). <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMoa2001017>.
- [3] GUAN W J, NI Z Y, et al. Clinical characteristics of 2019 novel coronavirus infection in China. [J/OL]. (2020-02-09). <http://dx.doi.org/10.1101/2020.02.06.20020974>.
- [4] HOISHDE M L, DEBOLTC, et al. Holshue. First Case of 2019 Novel Coronavirus in the United States. [J/OL]. (2020-03-05). https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMoa2001191?query=recirc_mostViewed_railB_article.
- [5] LI Q, GUAN X H, et al. Early Transmission Dynamics in Wuhan, China, of Novel Coronavirus-Infected Pneumonia. [J/OL]. (2020-03-26). <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMoa2001316>.
- [6] MUNSTER V T, KOOPMANS M, et al. Munster, A Novel Coronavirus Emerging in China — Key Questions for Impact Assessment. [J/OL]. (2020-02-20). <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMp2000929?query=nejmyxqy>.
- [7] 倪顺江. 基于复杂网络理论的传染病动力学建模与研究[D]. 北京: 清华大学, 2009.
- [8] 张瑞霞. 基于动力系统的复杂社会网络中传播行为建模研究[D]. 太原: 山西大学, 2018.
- [9] 张琳. 新冠肺炎疫情传播的一般增长模型拟合与预测[J/OL]. (2020-02-21). <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/51.1207.T.20200219.1816.004.html>.
- [10] 金启轩. 中国新冠肺炎疫情预测建模与理性评估[J/OL]. (2020-02-29). <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/42.1009.C.20200228.1124.002.html>.
- [11] 邱模炎, 黄苏萍, 裴颢, 等. 从 SARS到禽流感与 COVID-19谈中医药防疫的研究思路及其意义[J/OL]. (2020-02-28). <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/11.3554.R.20200227.1823.002.html>.
- [12] 任培华, 李振球, 朱汉平, 等. 基于“温疫理论”探讨新型冠状病毒肺炎的中医证治规律[J/OL]. (2020-02-29). <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/44.1282.N.20200227.1810.002.html>.
- [13] 元唯安, 胡义扬, 唐健元, 等. 当下新型冠状病毒肺炎中药临床研究的若干思考[J]. 上海中医药杂志, 2020(4):1-5.
- [14] 甘肃省政府网. 甘肃省卫生健康委员会新冠肺炎疫情防控系统公报数据[DB/OL]. (2020-02-01). <http://wsjk.gansu.gov.cn/channel/11217/index.html>.
- [15] 国家统计局. 甘肃省2010年第六次全国人口普查主要数据公报[DB/OL]. (2012-02-28). http://www.stats.gov.cn/tjsj/tjgb/rkpcgb/dfrkpcgb/201202/t20120228_30383.html.

编辑 何婧