

新冠疫情下六大洲发展趋势对比分析报告

2020/05/29

作者贡献声明

乔姝婧负责报告的标题,摘要,引言,结论及建议;
段成凤负责文献及文献综述、模型理论阐述;
苏思宁负责描述性统计分析;
张楠负责实证模型构建及分析。

一. 导论

1.1 文献综述

关于 2019nCoV 新冠肺炎的建模——基于 Logistic 模型的疫情预测。采用 Logistic 模型与 SEIR 带潜伏期传染模型对疫情进行分析与预测,发现在模型选取的方面,Logistic 大约能预计到的拐点的日期与患病人数的峰值,无法预测出疫情的全过程,同时在 r 与 k 值得优化问题上仍有待改进。

李慧聪和李金仙(2020)关于河南省新型冠状病毒(COVID-19)疫情分析,建立非自治 SIAR 模型,利用 Matlab 对河南省的累计病例数进行数据拟合,刻画了疾病流行时间、规模、高峰时间等流行病学特征。

朱仁杰和唐仕浩(2020)基于改进 SIR 模型的新型冠状病毒肺炎疫情预测及朱仁杰和唐仕浩(2020)基于改进 SIR 模型的新型冠状病毒肺炎疫情预测及防控对疫情发展的影响,发现改进的 SIR 模型对 COVID-19 疫情发展趋势的分析基本可靠;除英国和美国以外,其他 5 个国家的疫情现阶段已经得到初步控制,而英国和美国还需要加强防控,以减少疫情带来的损失。

二. 模型理论

2.1 阻滞增长模型

阻滞增长模型,又叫逻辑斯蒂(Logistic)模型,它是皮埃尔·弗朗索瓦·韦吕勒在 1844 或 1845 年在研究它与人口增长的关系时命名的。Logistic 模型是考虑到自然资源、环境条件等因素对人口增长的阻滞作用,对指数增长模型的基本假设进行修改后得到的。

该方程与指数模型的主要不同之处,是方程的右边增加了 $(K-P)/K$ 修正因子,使模型包含自我抑制作用。如图可知,逻辑斯蒂增长模型与指数模型的主要不同之处,是方程的右边增加了 $(K-N)/K$ 修正因子,使模型包含自我抑制作用。

Logistic 方程,即常微分方程:

$$\frac{dP}{dt} = \frac{rP * (K - P)}{K}$$

求解得 Logistic 函数:

$$P(t) = \frac{K P_0 e^{rt}}{K + P_0(e^{rt} - 1)}$$

其中 P_0 为初始值, r 衡量曲线变化快慢, t 为时间。 dP/dt 是种群增长率(单位时间个体数量的改变), P 是种群的大小(个体的数量), K 是可能出现的最大种群数(上渐近线)或承载力。

广义 Logistic 曲线又称 S 形曲线。起初阶段大致是指数增长;然后随着开始变得饱和,增加变慢;最后,达到成熟时增加停止。

Logistic 曲线通常分为 5 个时期:

- 开始期,由于种群个体数很少,密度增长缓慢,又称潜伏期。
- 加速期,随个体数增加,密度增长加快。
- 转折期,当个体数达到饱和密度一半($K/2$),密度增长最快。

- 减速期，个体数超过密度一半 ($K/2$) 后，增长变慢。
- 饱和期，种群个体数达到 K 值而饱和。

意义：当 $P > K$ 时，Logistic 系数是负值，种群数量下降；当 $P < K$ 时，Logistic 系数是正值，种群数量上升；当 $P = K$ 时，Logistic 系数等于零，种群数量不变 (P 表示种群大小， K 表示环境容纳量或种群的稳定平衡密度)

2003 年非典患者预测，部分学者利用逻辑斯蒂增长模型进行预测，并且准确率很高，所以我们也尝试利用 Logistic 增长模型预测全球的疫情发展趋势。

2.2 SIR 模型

SIR 模型是一种传播模型，是信息传播过程的抽象描述，是传染病模型中最经典的模型，模型中把传染病流行范围内的人群分成三类：

S 类，易感人群，指未得病但缺乏免疫能力，与感染者接触后容易受到感染；

I 类，感染人群，指染上传染病的人，它可以传播给 S 类成员；

R 类是康复人群，指被隔离或因病愈而具有免疫力的人；

在病毒最开始的时候 $S=N$ ，其中 N 是总人口，然后 S 以每天 的速度变到 I ， I 又以每天 的速度变到 R ，不同时刻 t 下这三者的关系为：

$$N(t) = S(t) + I(t) + R(t)$$

，

$$(t+1) = S(t) - \alpha S(t)$$

，

$$(t+1) = I(t) - \beta I(t)$$

，

$$(t+1) = R(t) + \beta I(t)$$

2.3 SEIR 传染病动力学模型

SEIR 模型，类似于 SIR 模型，但是增加了对潜伏期的定义，将人群分为：易感人群 (S)、已被感染但无症状处于潜伏期的人群 (E)、已表现出症状但未被隔离的患病人群 (I)、康复人群 (R) 四类，因此更适用于具有一定潜伏期的传染病。这四类人群加起来的总数为 N ，即

$$S(t) + E(t) + I(t) + R(t) = N(t)$$

。 SEIR 模型假设：只存在人传人；现阶段无治疗的特效药；不考虑外界环境因素对病死率等参数的影响；忽略人口出生、死亡与国际间流动。

2.4 元胞自动机模型

不同于一般的动力学模型，元胞自动机不是由严格定义的物理方程或函数确定，而是用一系列模型构造的规则构成。凡是满足这些规则的模型都可以算是元胞自动机模型。因此，元胞自动机是一类模型的总称，或者说是一个方法框架。其特点是时间、空间、状态都离散，每个变量只取有限多个状态，且其状态改变的规则在时间和空间上都是局部的。

直到 20 世纪 80 年代，Swolfram 才对元胞自动机进行了全面地研究。将其动力学行为分为 4 大类：平稳型、周期型、混沌型和复杂型。其中复杂型为出现复杂的局部结构，由于其演化可以表现出及其复杂的形态，所以经常用于复杂系统地建模与模拟。

标准元胞自动机是一个由元胞、元胞状态、邻域和状态更新规则构成的四元组，用数学符号可以表示为 $A=(L,d,S,N,f)$ ， A 代表一个元胞自动机系统， L 表示元胞空间， d 表示元胞自动机内元胞空间的维数，是一正整数， S 是元胞有限的、离散的有限集合，用来表示各个元胞的状态， N 表示某个邻域内所有元胞的集合， f 表示局部映射或局部规则。

元胞自动机是描述自然界复杂现象的常用工具，最初被用于模拟生命系统特有的自复制现象。它是时间和空间都离散的动力模型。直到 20 世纪 80 年代，Swolfram 才对元胞自动机进行了全面地研究。将其动力学行为分为 4 大类：平稳型、周期型、混沌型和复杂型。其中复杂型为出现复杂的局部结构，由于其演化可以表现出及其复杂的形态，所以经常用于复杂系统地建模与模拟。

元胞自动机的构成，标准元胞自动机是一个由元胞、元胞状态、邻域和状态更新规则构成的四元组，用数学符号可以表示为

$$A = (L, d, X, N, f)$$

基于元胞自动机的传染病模型如下：

元胞状态空间：设元胞的状态变量为 $X_{(i,j)}(t)$ ，表示第 i 行 j 列元胞在时刻的状态，根据流行病学的研究方法，元胞的状态空间（ X ）有 3 种不同取值，即 $X=\{0, 1, 2\}$ ，分别对应流行病传播过程中个体的 3 种状态：

$X_{(i,j)}^t=0$ ：易感状态，即个体未被传染，并且没有免疫；

$X_{(i,j)}^t=1$ ：发病期状态，即个体已被传染，此时个体具有传染性；

$X_{(i,j)}^t=2$ ：免疫期状态，个体退出患病状态，保留较高免疫。

另外，对每个元胞引入时间参数 $t_n(X_{(i,j)}^t)$ 和 $t_m(X_{(i,j)}^t)$ ， $t_n(X_{(i,j)}^t)$ 代表个体的发病时间， $t_m(X_{(i,j)}^t)$ 代表个体的免疫持续时间， t_n 为发病时间的最大值， t_m 为个体免疫时间的最大值。

元胞演化规则：将所要进行模拟的二维空间进行均匀的网格划分，设定流行病特性参数。置所有元胞初始状态 $S=0$ ，将病原体状态设为 1。从 0 时刻开始，在每个时间步对空间内所有元胞进行扫描。

三. 描述性统计分析

3.1 全球疫情状况

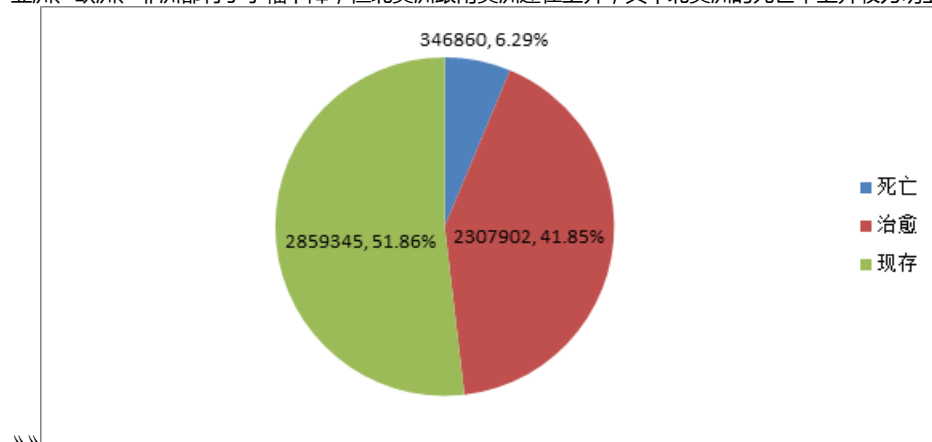
截止 2020 年 5 月 24 日，全球新冠肺炎累计确诊人数 551.41 万，累计治愈人数 230.79 万，累计死亡人数 34.69 万，死亡率约为 6.29%（较 4 月 16 日有所下降）。六大洲的治愈率跟死亡率如下表所示，从表中可以看出亚洲跟大洋洲的治愈率相对较高，死亡率相对较小，而欧洲的死亡率达到了 8.89%，高出了全球平均水平。

表 1 六大洲治愈率与死亡率

	亚洲	欧洲	北美洲	南美洲	大洋洲	非洲
累计确诊	969364	1912290	1881267	631440	8648	111098
累计治愈	562079	889185	561487	242049	8011	45091
累计死亡	27593	169940	114434	31431	123	3339
治愈率(%)	57.98	46.50	29.85	38.33	92.63	40.59
死亡率(%)	2.85	8.89	6.08	4.98	1.42	3.01

»»

跟一个多月前（截止到 4 月 16 日）相比，我们可以看出，除南美洲外的其他大洲的治愈率都有了明显提高，对于死亡率而言，亚洲、欧洲、非洲都有了小幅下降，但北美洲跟南美洲还在上升，其中北美洲的死亡率上升较为明显。



»»

在过去的一周中，疫情爆发的中心转向了拉美地区，其中巴西、秘鲁、智利和墨西哥较为严重。但不仅如此，中东地区的疫情增长形式也较为迅猛，还有地处南亚的孟加拉国的近期形势也不容乐观。

从这些国家中可以看出，气温的高低对是否会抑制疫情爆发并没有帮助，但是对于即将进入冬季的南半球来说，如果其他日常疾病增加的话，当地的医疗资源是否充足值得引起注意。另外，近期爆发的不少国家是全球重要的商品资源输出国，像原油生产国（沙特、伊朗、伊拉克、墨西哥），农产品生产大国（巴西、智利、阿根廷）等。

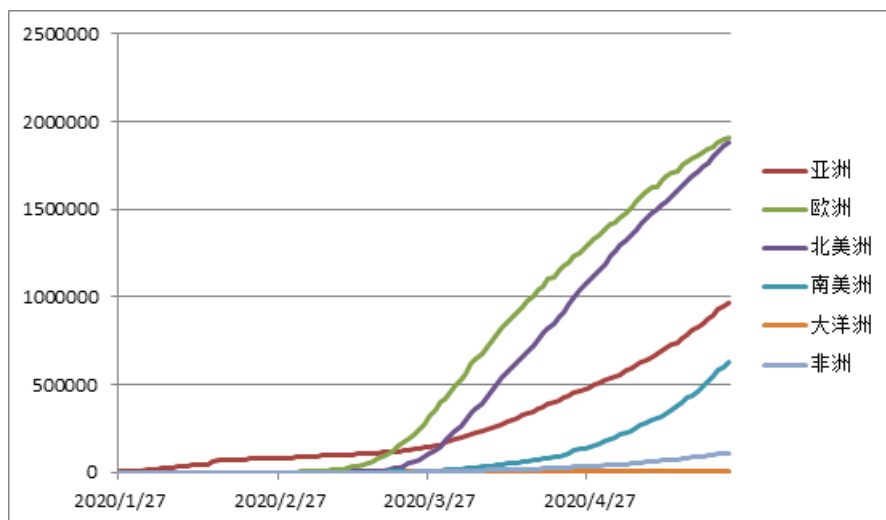


Figure 1: 各洲累计确诊.

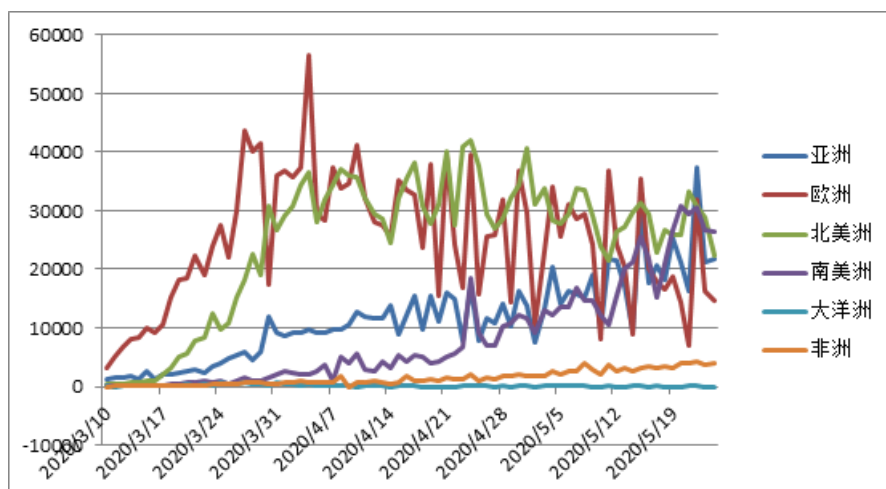


Figure 2: 各洲新增确诊.

3.2 六大洲累计确诊

目前，国外累计确诊最多的 20 个国家中，欧洲占了 8 个，亚洲占了 6 个，北美洲和南美洲各占了 3 个，这和疫情在全球刚开始爆发时候的状况截然不同。

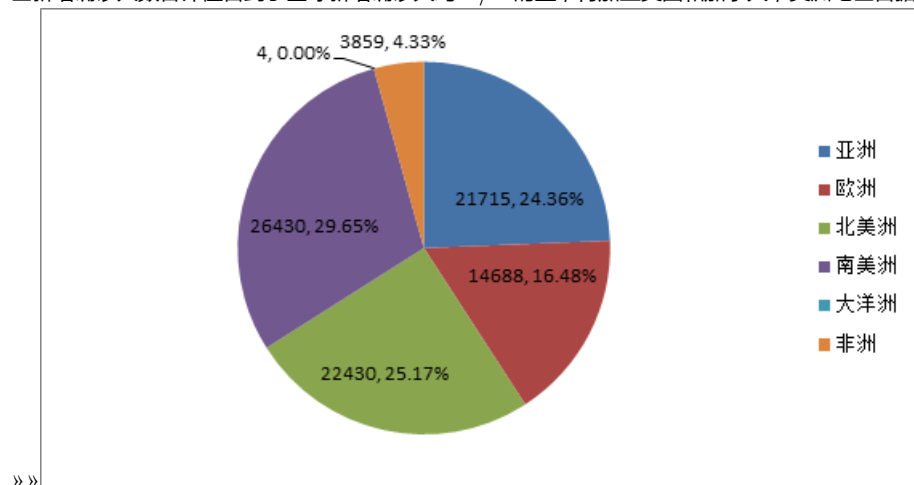
从图中可以看出，这段时间以来，北美洲的累计确诊人数还在呈线性增长，每天的新增人数处在一个较高的稳定的状态，而欧洲的增长速度已经开始放缓。

近期，欧洲和北美洲的确诊人数已经相当，可能再过一段时间北美洲会实现反超，而亚洲和南美洲所占的比重也正在逐步提高。至于非洲，目前已发现的确诊患者数量仅占全球确诊者的不到 2%。或许对于非洲来说，地广人稀不利于疫情传播是一件好事，但是还是有理由认为跟非洲的检测是否充分有一定关系。

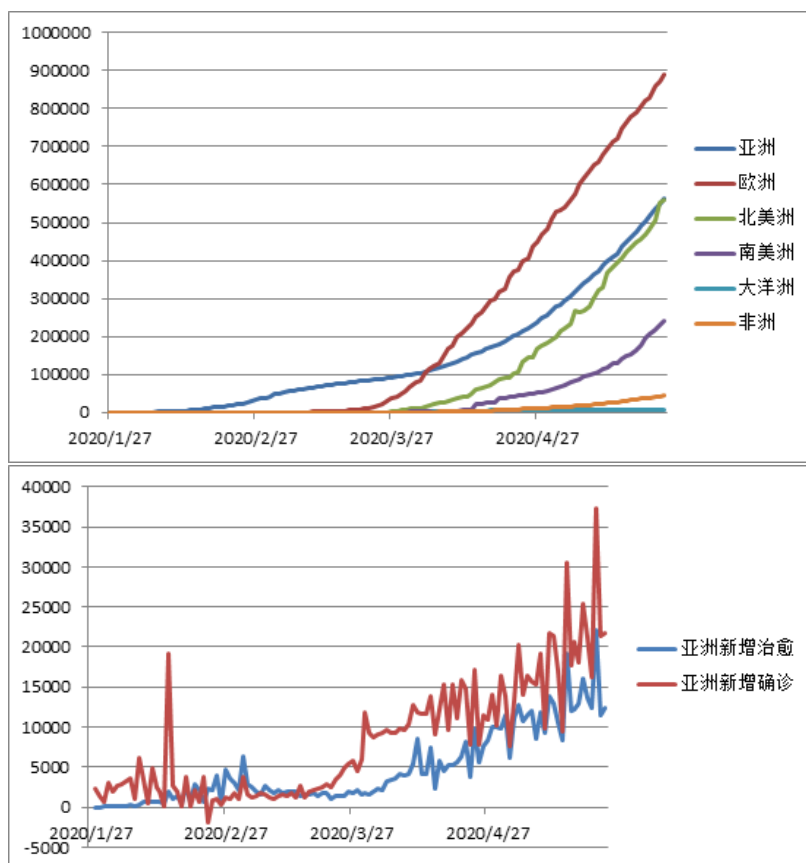
3.3 六大洲新增确诊

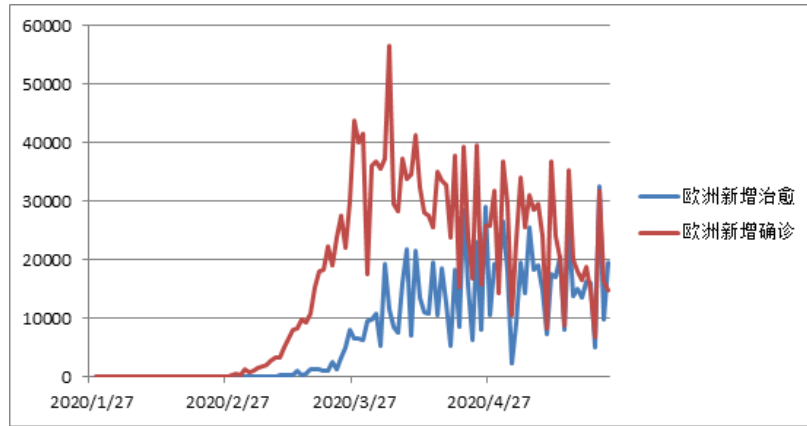
北美洲是继欧洲之后的爆发中心，其中美国目前每日的新增确诊人数始终保持在世界前列，但是增长速度已经明显放缓，在日增 2 万左右。其他欧洲早些时候爆发的国家，最近增长势头也有明显放缓，例如意大利和西班牙等前疫情中心，最近每天新增人数可以保持在 500 例以下，而英国也从峰值的超过 5000 例下降到了接近 2000 例。

而近期处于疫情中心的南美洲，每日的新增确诊人数在不断上升。如图 5 所示，在 2020 年 5 月 24 日，广义上的拉丁美洲地区新增确诊人数合计值占到了全球新增确诊大约 1/3 的量，再加上美国和加拿大，美洲地区占据了全球新增确诊的 55% 左右。

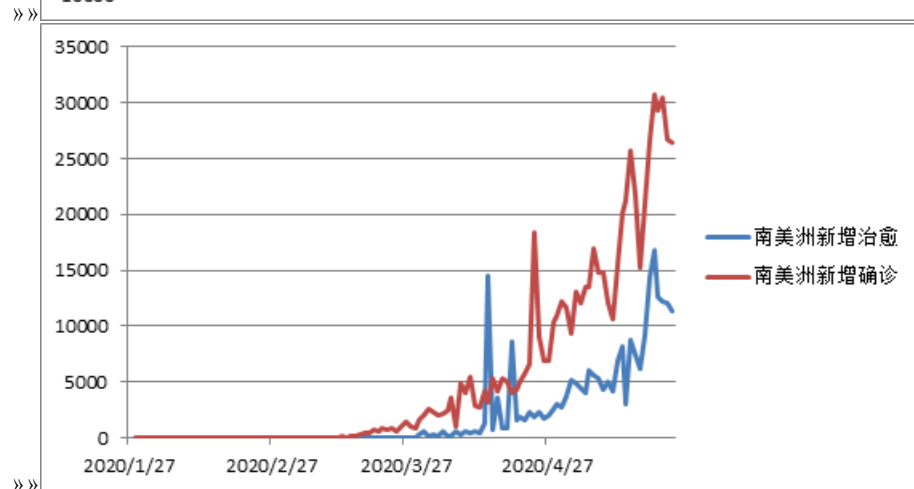
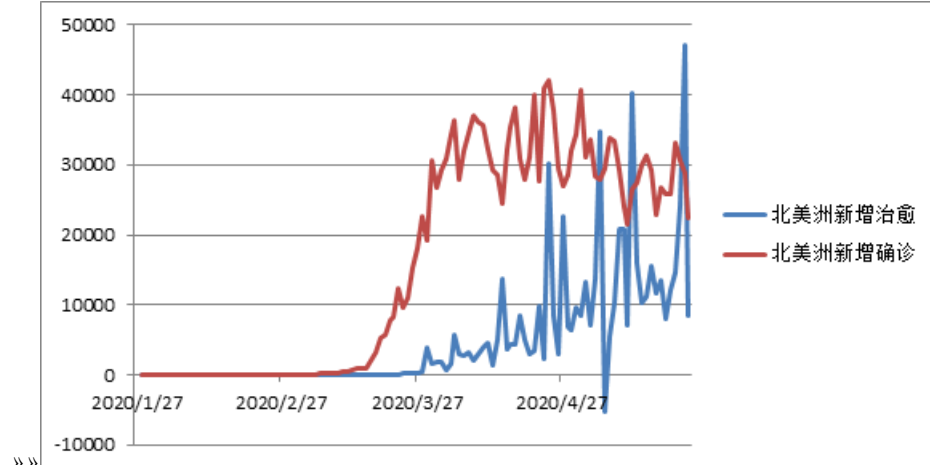


3.4 六大洲新增治愈与新增确诊的比较





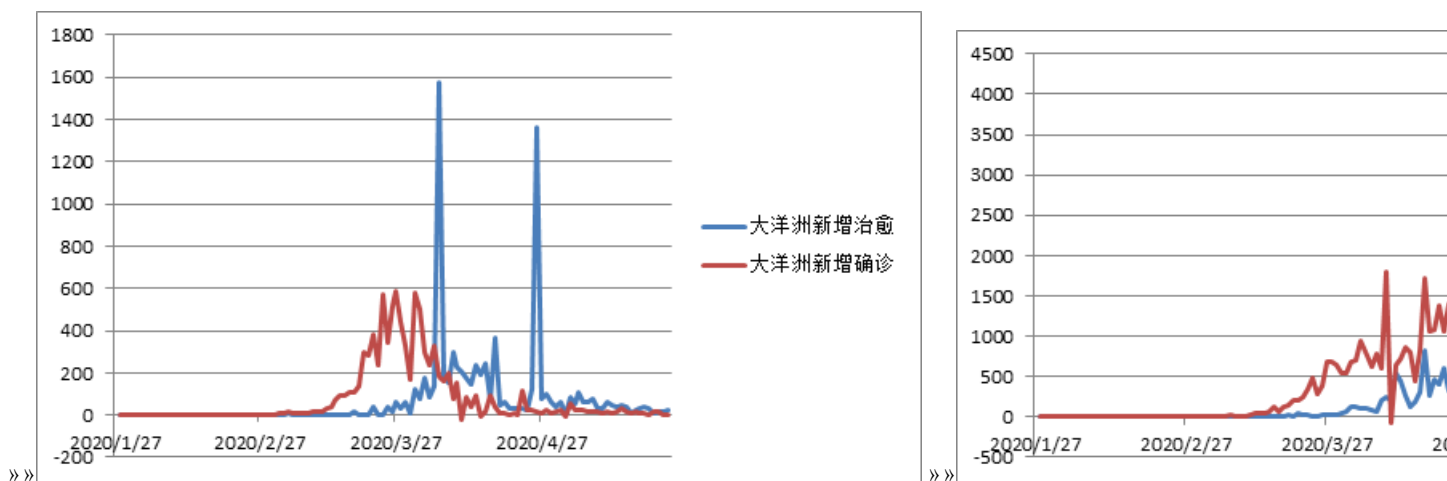
早前位于疫情风暴中心的欧洲，近来情况有了显著好转。即便是之前每天新增确诊数较多的俄罗斯，如今也有了明显回落，而且累计确诊人数已被巴西超过，掉至全球第三。欧洲的新增确诊人数与新增治愈人数也基本持平，表明疫情已经得到了遏制。



上文提到过，在全球每日的新增确诊人数中，美洲五国就贡献了一半，看来美洲将决定世界新冠疫情形势。其中美国、巴西、秘鲁、墨西哥、智利和加拿大，美洲的六个主要疫情爆发国中，只有加拿大的疫情得到遏制，但是现存患者数量尚未下降只是增长缓慢，这意味着还有随时反弹的可能性。

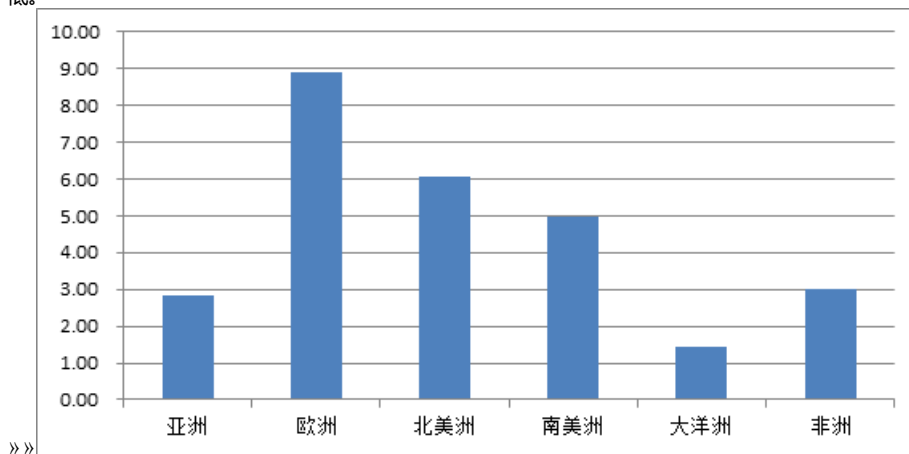


Figure 3: 全球疫情死亡率.



3.5 六大洲累计死亡

随着累计确诊人数不断增加，最近死亡率持续下降。全球新冠死亡率在 4 月 29 日达到峰值的 7.09% 后，便开始持续下降，目前为 6.29%，这似乎开始符合此前人们对于低死亡率高传染性的认识，相信随着越来越多的确诊患者被发现，死亡率可以进一步降低。



非洲新冠病毒总确诊病例数已经超过十万人这一门槛，可以进行一些更有预测能力的统计了。首先，新冠疫情在非洲扩散较慢，

虽然这可能和检测数有关，但更可能的原因是非洲的环境和人口结构，的确对新冠病毒的传播产生了影响。

此外，非洲目前还没有出现新冠相关的高病死率。截至 5 月 24 日，非洲大陆的总新冠病毒死亡病例为 3339 例，明显低于欧洲每 10 万感染者就有超过 4900 人病死。虽然此前有公卫专家已经认为，非洲作为全球人口结构最年轻的大洲，25 岁以下人口超过六成，可能不用过于担心非洲的新冠疫情。但考虑到非洲的营养不良情况、差劲的医疗条件以及本来就疫病横行，谁也说不清楚新冠病毒进入非洲，会不会成为压垮骆驼的最后一根稻草。现在看来，不用过于担心非洲的公共健康安全。这对国际社会而言是件大好事。

四. 六大洲发展趋势对比实证分析

4.1 参数设置及其估计

4.1.1 具体参数

估计时将用到的参数有：

★:k 代表感染者每天平均接触到的人数；

★:b 代表接触时传染概率；

★: β 为感染系数，为感染者每天平均接触到的人数 k 及接触时传染概率 b 的乘积，即 $\beta = k * b$ ；

★:N 表示人口总数；

★:C 代表感染的平均持续时间；

★: γ 代表感染人群恢复或死亡的平均速率，即有 $\gamma = \frac{1}{C}$ ；

★:d 代表感染人群的死亡率（死亡滞后于感染）；

★: R_0 代表基本传染数，指在没有外力介入，同时所有人都没有免疫力的情况下，一个感染某种传染病的人，会把疾病传染给其他多少个人的平均数。 R_0 数字愈大，代表流行病的控制愈难。如果 R_0 大于 1，传染病会以指数方式散布，成为流行病；而 R_0 小于 1，传染病将会逐渐消失。

4.1.2 参数设置

在建模之前，首先需要对参数 β 、 γ 和 d 进行估计。因为新型冠状病毒肺炎的恢复期大约是 $C = 14$ 天，因此 $\gamma = \frac{1}{14}$ 。死亡率的估计可以根据每日死亡人数与确诊人数相比之后取平均数计算而得。假设感染者每天平均接触人数为 $k = 5$ ，因此只需要再根据数据估计出传染概率 b 即可，随后利用估计的传染概率进一步对传染数 R_0 做出估计。

欧洲首例确诊出现在 1 月 24 日，北美洲首例确诊出现在 1 月 21 日，亚洲首例确诊出现在 12 月 8 日，大洋洲首例确诊出现在 1 月 25 日，非洲首例确诊病例出现在 2 月 14 日，而南美洲为最晚首例出现在 1 月 27 日。以这些初始感染日期作为第 0 天，并且每隔十天取疫情早期 60 天内数据，起始的感染人数为 1，如下表所示：

欧洲日期	1.24	2.3	2.13	2.23	3.4
欧洲确诊	1	23	46	65	4447
亚洲日期	12.8	1.19	1.20	1.21	1.23
亚洲确诊	1	198	218	320	639
北美洲日期	1.21	1.31	2.10	2.20	3.1
北美洲确诊	1	9	19	23	82
南美洲日期	2.27	3.8	3.18	3.28	4.7
南美洲确诊	1	68	1430	9937	30648
非洲日期	2.15	2.25	3.6	3.16	3.26
非洲确诊	1	1	44	452	2973
大洋洲日期	1.25	2.4	2.14	2.24	3.5
大洋洲确诊	1	13	15	21	64

4.1.3 参数估计

1. 对传染概率的估计：

由于在疫情早期有 $N - S$ ，因此 $\frac{dI}{dt} = \beta \frac{IS}{N} \approx (\beta - \gamma)I$ ，鉴于 $I(T = 0) = 1$ ，可以将上述公式进行反向求解，得到

$I(t) = e^{(k \cdot b - \gamma)t}$ ，利用表中数据对该式进行拟合，可得系数 b 的估计值。

2. 对基本传染数的估计：

根据 $R_0 = \frac{\beta}{\gamma} = \frac{kb}{\frac{1}{C}}$ ，计算所得六大洲的 R_0 如下表所示：

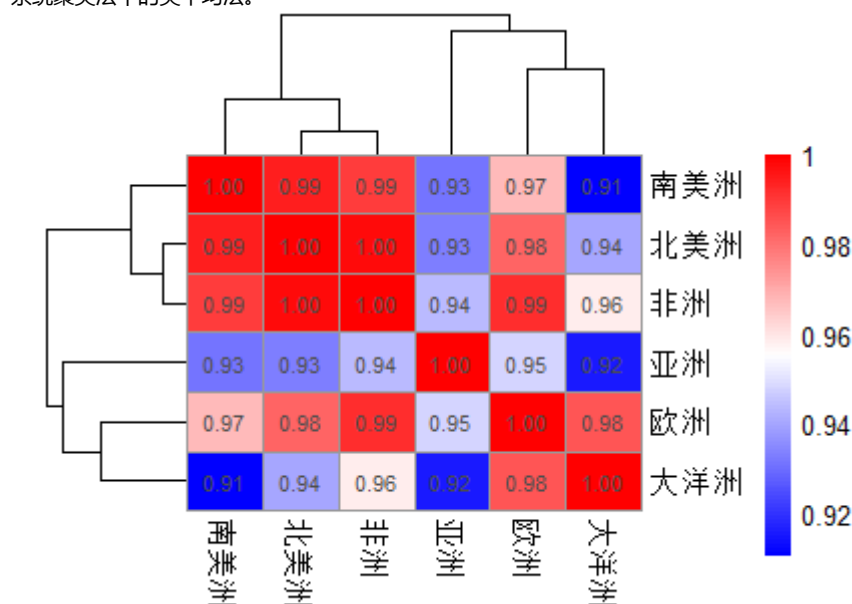
大洲	传染概率 b	置信区间	基本传染数 R_0	总人口数 (亿)	死亡率
亚洲	0.04796	(0.04749, 0.04843)	3.36	45.96	3.3%
欧洲	0.05533	(0.05509, 0.05557)	3.87	7.33	5.1%
北美洲	0.04849	(0.04180, 0.04889)	3.39	3.83	2.6%
南美洲	0.05404	(0.05273, 0.05536)	3.78	6.46	3.0%
非洲	0.04700	(0.04579, 0.04821)	3.29	12.76	2.8%
大洋洲	0.04077	(0.04034, 0.04120)	2.85	0.40	1.0%

所估计出六大洲的基本传染数在 2.8 ~ 3.9 之间，中位数为 3.33，大于 1，表明传染病会以指数方式散布，成为流行病，非典的基本传染数约为 0.85³，埃博拉基本传染数约 1.5^{2.5}。而我们估计的新型冠状病毒基本传染数范围均超出二者，这表明当前武汉疫情传染性远大于非典和埃博拉。

4.2 六大洲疫情爆发相似度聚类分析

本文将对疫情的全球化地域性差异做综合评价，对疫情的严重程度做合理的分类，采用系统聚类的方法对累计确诊，死亡，治愈和各大洲之间疫情相似度的发展情况进行聚类。

首先考察的是各大洲之间的相似性，即对相近的变量进行聚类，可以用来评判大洲之间疫情发展趋势的相似程度，这里采用的是系统聚类法中的类平均法。



»»

由聚类结果可知，大洋洲、欧洲和亚洲爆发的形式聚合为一类，是较为相似的，而非洲、北美洲和南美洲聚为另一类。

4.3 基于阻滞增长模型的拟合分析

为了更好的刻画各大洲疫情的发展态势，做了以下 Logistic 模型进行预测。

取六大洲均出现病例的初始日期为 2 月 27 日，故将初始值将设定为疫情爆发日期为 1 月 27 日各大洲的人数，并且每隔 20 天进行一次拟合。基于亚洲、欧洲和北美洲的增长趋势和初始人数较大，故将亚洲、欧洲和北美洲作为一组，而南美洲、大洋洲和非洲的初始人数均较少，将其作为另外一组进行比较。

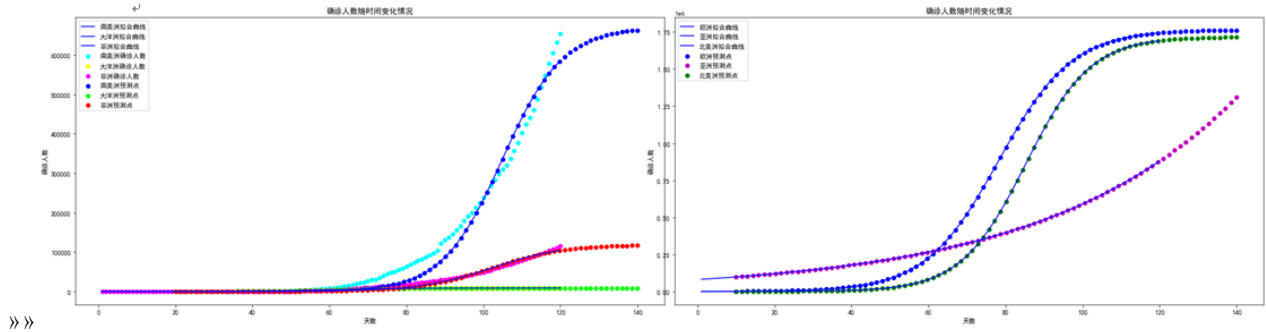
参数设置：

K: 环境容量, 即增长到最后, $P(t)$ 所能达到的极限。

p_0 : 初始容量, 即 $t=0$ 时刻的数量。亚洲为 80338, 欧洲为 484, 北美洲为 68, 南美洲为 1, 大洋洲为 22, 非洲为 2。

r: 增长速率, r 越大则增长越快, 越快接近于 K 值, r 越小, 则增长越慢, 越慢接近于 K 值。

六大洲阻滞增长模型拟合如下：



结论：根据阻滞增长模型拟合的结果来看，除亚洲外，各大洲确诊人数均处于上升阶段。其中，该模型估计欧洲将于 2020 年 1 月 27 日开始 130 后达到感染高峰，约为 140 万人；北美洲将在 120 天左右达到感染高峰，约为 120 万人；南美洲将在 120 天左右达到感染高峰，约为 13 万人；大洋洲将在 105 天达到高峰，约为 2 万人以上，非洲将在 100 天左右达到疫情高峰，即约为 1.5 万人左右；而亚洲由于防疫管控措施的尽早实施，故难以以组织增长模型拟合出较好的结果，但亚洲人数增长速率已明显放缓，可见在疫情蔓延早期进行有效控制是有益于遏制疫情的发展的。

● 阻滞增长模型局限性：

- (1) 传播初期疾病基本没有控制，但是中后期社区及医疗单位对疾病进行了严格控制，传播力度可能降低
- (2) 感染基数较大，部分病例死亡或者痊愈，降低确诊人数，logistic 模型没有考虑到
- (3) 试剂盒的检测周期和用于检测的试剂盒的量都在变化。

因此，logistic 增长模型只是对疾病进行预估，并不能准确判断，也并不是最佳模型。接下来，我们将尝试做传染病动力学的 SEIR 模型进行更进一步的研究。

4.4 基于 SIR 模型对六大洲疫情发展态势分析

SIR 模型中涉及三种人群：易感人群 (Susceptible)，感染人群 (Infective) 和移除人群 (Removed)。易感人群指未得病者，但缺乏免疫能力，与感染者接触后容易受到感染。感染人群指染上传染病的人。移除人群是因病愈 (具有免疫力) 或死亡而不再参与感染和被感染过程的人。S、I 和 R 分别表示易感人群、感染人群和移除人群的数量。该模型假设感染者每天平均接触到的人数为 5 人，即 $K=5$ ，代表了不采取有效的防控措施的条件下。

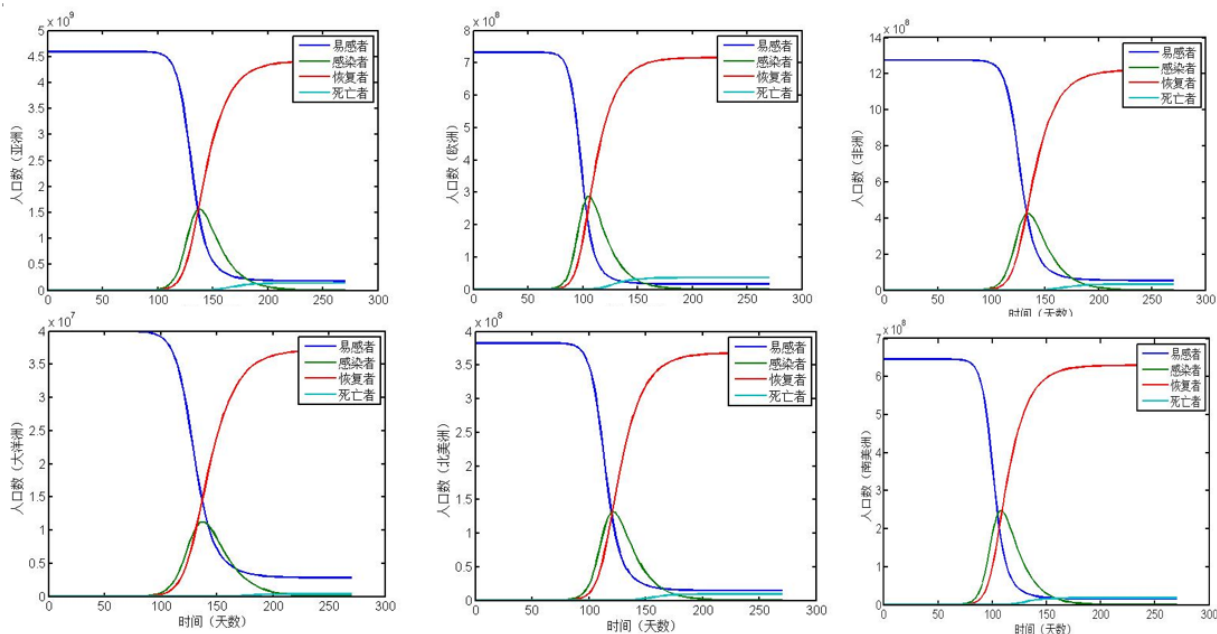
$$\text{易感人群被感染的变化率: } \frac{dS}{dt} = -\beta \frac{IS}{N}$$

$$\text{感染人群变化率: } \frac{dI}{dt} = \beta \frac{IS}{N} - \gamma I$$

$$\text{移除人群变化率: } \frac{dR}{dt} = \gamma I$$

$$t \text{ 时刻前的累计死亡人数: } D(t) = d \cdot [N - S(t - C)], t > C$$

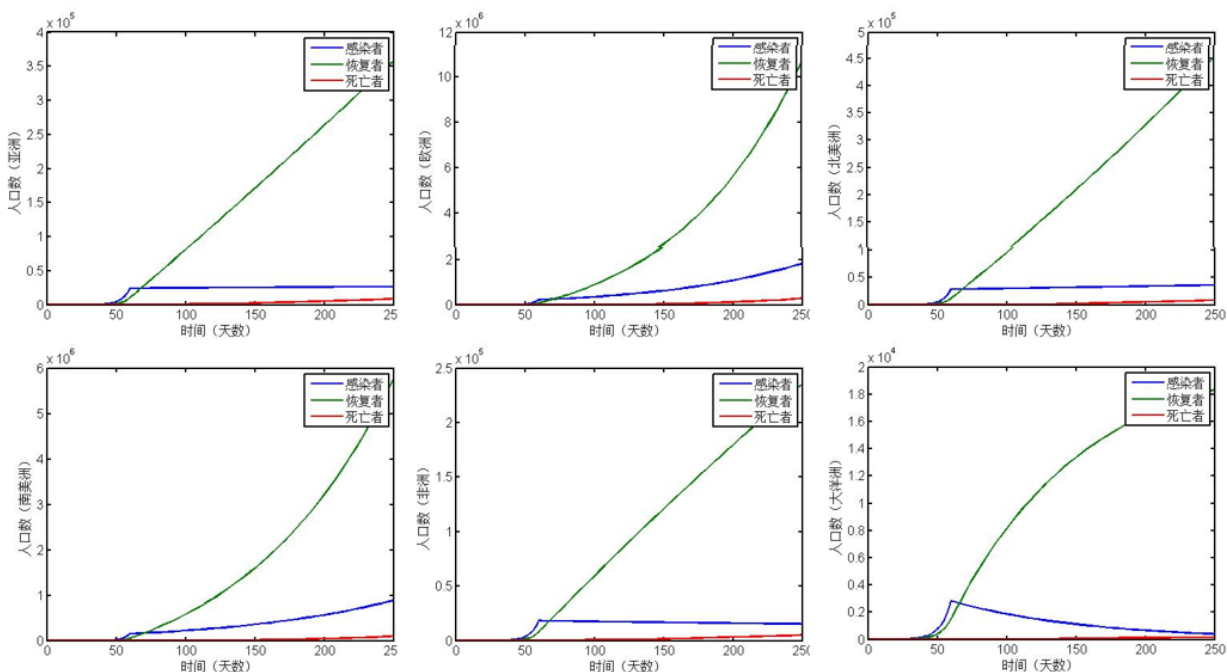
在不采取任何防御措施的情况下，即自然传播状态时 ($K=5$) 模拟结果如下图所示：



» »

亚洲、非洲和大洋洲将于起始日起 100 天后集中爆发，北美洲欧洲和南美洲将分别于 80 天，75 天、75 天集中爆发；亚洲、非洲和大洋洲将于起始日起经 140 天后达到疫情的高峰，其次北美洲约于 125 天后、南美洲于 110 天后，以及欧洲将于 105 天后达到疫情的高峰；亚洲、非洲和大洋洲在达到高峰后经 60 天将接近于疫情的尾声，北美洲自起始日起经 200 天接近疫情尾声。感染人数最多的亚洲将达到 15 亿，其次是非洲为 4.2 亿。

假设当疫情在不采取有效的防疫措施下蔓延经 60 天后，各洲政府开始采取有效的管控防疫措施，即假设感染者每天平均接触到的人数为 1 人或 2 人，取 $K=1.5$ 时，利用 SIR 模型进行模拟六大洲疫情发展态势如下图所示：



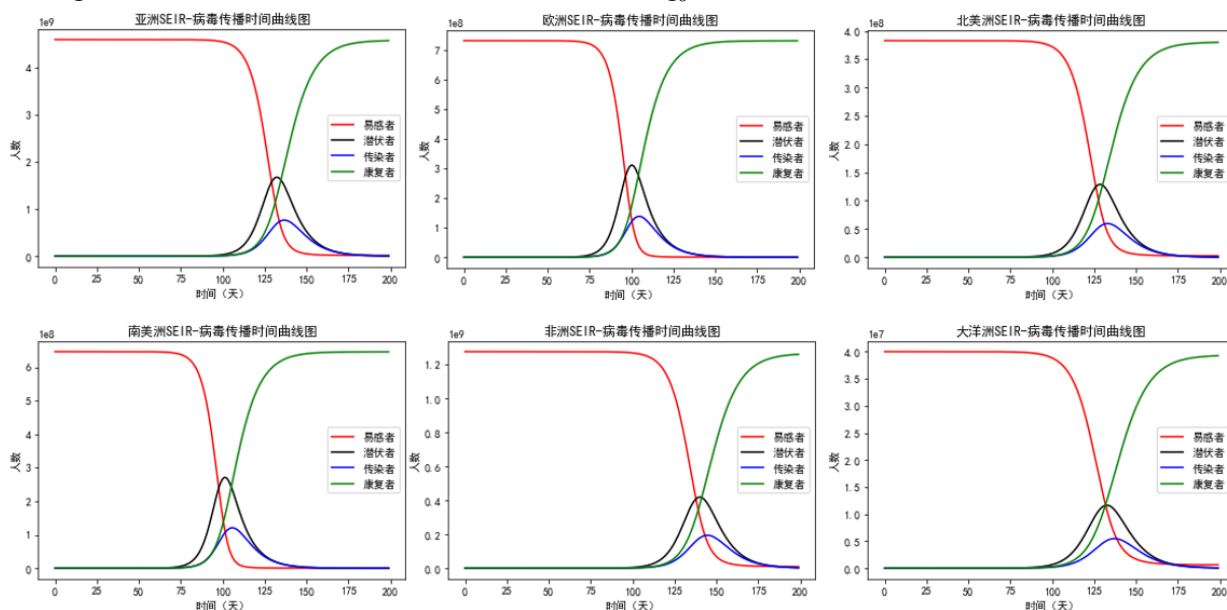
» »

由图可知，六大洲感染人数的增长速率均会显著放缓，大洋洲尤为显著。亚洲感染人数将控制在 3 万以内，欧洲感染人数将控制在 190 万人以内，北美洲将控制在 3.5 万内，南美洲将控制在 95 万人以内，非洲 2 万人，大洋洲为 400 人以下；亚洲死亡人数将控制在 1 万以内，欧洲死亡人数将控制在 20 万人以内，北美洲将控制在 1 万内，南美洲将控制在 5 万人以内，非洲 5000 人，

大洋洲为 200 人以下。

4.5 基于 SEIR 模型对六大洲疫情发展态势分析

在 SIR 模型的基础上，将构建包含感染并处于潜伏期人群的 SEIR 模型。SEIR 将人群分为四类：易感人群（Susceptible），潜伏人群（Enfective），传染人群（Infective）和康复人群（Removed）。随着疫情的发展，四种人群的变化率分别： $\frac{dS}{dt} = -\beta \frac{IS}{N}$, $\frac{dE}{dt} = \beta \frac{IS}{N} - \alpha E$, $\frac{dI}{dt} = \alpha E - \gamma I$, $\frac{dR}{dt} = \gamma I$ 。其中 β, γ 的取值与上一小节的 SIR 模型相同， $\alpha = \frac{1}{T}$ 为隔离速率，由于新冠病毒的平均潜伏期 = 10，故 $\alpha = \frac{1}{10}$ 。SEIR 已经包含了隔离的情况，即对发病的人进行隔离。



» »

由图可知，六大洲的分别达到疫情集中爆发期、高峰以及尾声所经过的天数均与上述 SIR 模型所得到的结果保持一致，其中又增加了潜伏者随时间变化的趋势，可以得知：亚洲约在疫情起始日后 150 天潜伏者数量达到最大，欧洲约在疫情起始日后 100 天潜伏者数量达到最大；北美洲为 127 天；南美洲为 100 天；非洲为 140 天；大洋洲为 135 天。

4.6 元胞自动机模型

4.6.1 原理及规则

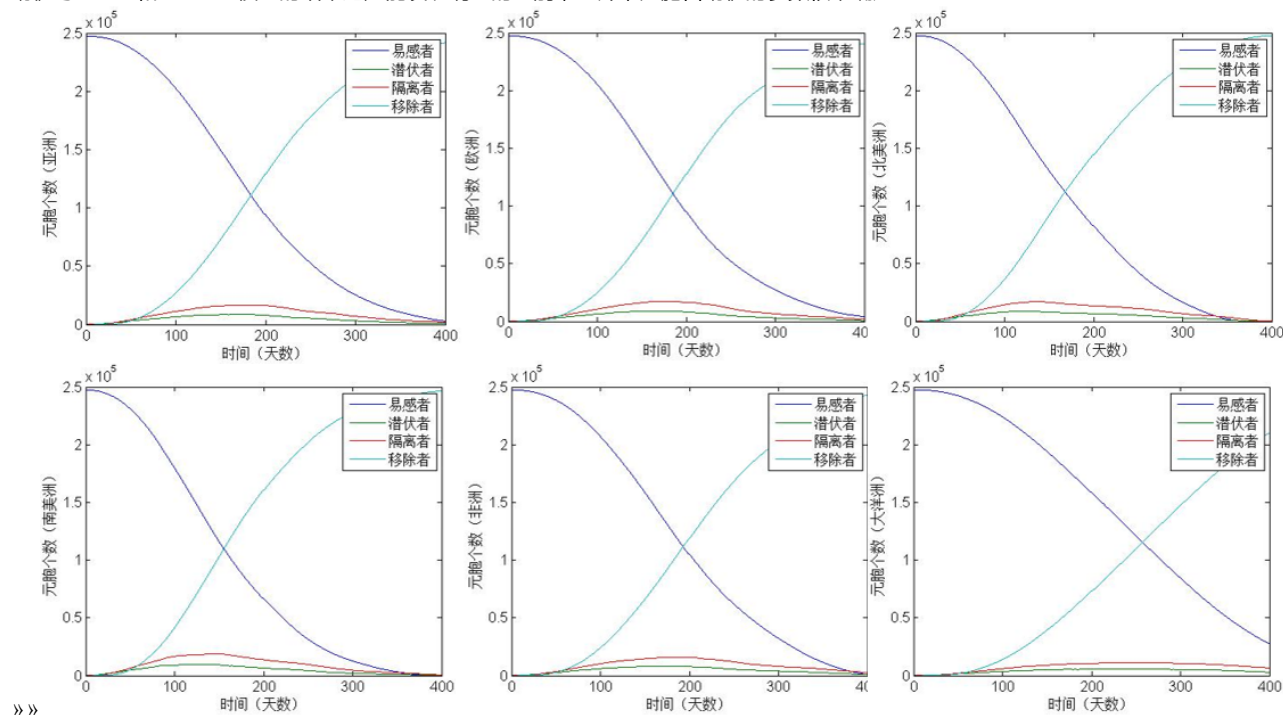
应用元胞自动机模拟传染病相比于 SIR 和 SEIR 模型有自身优点，考虑了传染病空间上的传播特点。但是肺炎的传播只能在染病者周边进行，也就是在较为严格的管控措施下疫情的发展时适合元胞自动机进行模拟，系统中包含四种元胞状态，分别为易感、潜伏、感染和移除。构建元胞自动机首先是设定元胞自动空间大小，用 1, 2, 3, 4 分别表示 S, E, I, R。无人区域用 0 表示，其次设定初始易感人群密度以及初始潜伏人群密度，X 为每个元胞的状态，邻居方位为 d，每个元胞的潜伏期和治愈时间服从均值为 T 和 D 的正态分布，根据邻居中潜伏和发病的元胞数量分别找回四种状态的元胞，再将四种状态的元胞数量存到 Y 中并且计算已经潜伏的时间和已经治疗的时间。需要遵循的规则如下：

- 如果易感元胞 S 的东、南、西、北四个邻居中有潜伏元胞，则易感元胞下一时刻以概率 P 转变为潜伏元胞 E。
- 潜伏元胞 E 经过 T 个时间步后转变为感染元胞 I。
- 感染元胞 I 经过 D 个时间步后转变为移除者 R。

4.6.2 参数

在元胞自动机模型中假设平均潜伏期 $T=7$ 天，平均治愈时间 $D=14$ 天。利用估算的六个州的 R_0 ，因此假设每个潜伏元胞在潜伏期内平均能感染 4 个邻居中的 R_0 个，因此每一个时间步邻居被感染的概率为 $P = \frac{R_0}{4 \cdot T}$ ，实际模拟中，我们随机地设置了每个元胞的潜伏期和治愈时间，并分别服从 $N(T, \frac{T}{2})$ 和 $N(D, \frac{D}{2})$ 的正态分布。

应用上述元胞自动机模型对 500×500 的空间进行模拟，初始时刻有一定比例的元胞为潜伏状态。模拟结果如下图所示，四种人群随时间的变化与 SIR 和 SEIR 模型给出的非常相似，这也证明了元胞自动机确实能够模拟传染病的流行。但仔细比较元胞自动机与 SIR 和 SEIR 模型的结果还是能发现明显的差别，此外，元胞自动机的参数很难确定。



五. 结论及建议

从新冠疫情当前的情形来看，目前亚洲、大洋洲的治愈率相对较高，相比一个月前，其他洲的新冠疫情影响治愈率也都有一定程度的提高，且六大洲感染人数的增长速率均显著放缓。由此可见，新冠疫情在治疗和防控上各个国家都有了一定的经验，但有些国家的情况仍不容乐观。

对于此次疫情有以下几点建议：

1. 重要基础设施应急能力、应急物资储备和保障能力、综合风险预警能力的提高。此次疫情既是对这一系列能力的考验同时也使得这些问题得以暴露，上述这些能力都有待提高。
2. 构建满足重大疫情防控与应急管理需求的现代化公共卫生治理体系，加强公共卫生和生物安全领域专业人才培养与基础研究。
3. 今年疫情期间，互联网科技在医疗领域大显身手，因此，应进一步促进信息技术在卫生防疫领域发挥更大作用。
4. 对于各行业来说，应研究疫情对其造成了怎样的困境，有怎样的影响，并制定发展策略，有针对性地做出调整 and 措施。
5. 对于疫情得到控制的地区，应防止第二波疫情出现，加强医疗系统建设，医疗系统必须要跟上，它必须能够快速控制突然出现的病例。
6. 培养健康的生活方式。中国青年报此前进行了一项调查，即：防控新冠疫情期间，你最大的改变是什么？有 98% 的受访者表示更加注重个人卫生。佩戴口罩、垃圾分类、分餐公筷等，被证明是防控疫情行之有效的健康生活方式。预防才是最经济、最有效的一种策略。

我国到目前为止，在宏观层面上采取了一些措施：宏观角度上，财政政策较为积极，减税和支出力度加大。2020 年 1 月 30 日，国家税务总局发文要求按防疫需要延长申报纳税期限；2 月 1 日，国家财政部发文表示对疫情防控重点保障企业贷款给予财政贴息支持，加大对受疫情影响个人和企业的创业担保贷款贴息支持力度，降低企业融资成本。同日，国家财政部、海关总署及国家税务总局联合发文对于疫情防控的进口物资免征进口关税和进口环节的增值税、消费税；2 月 6 日公告显示企业和个人捐赠允许在计算应纳税所得额时全额扣除，单位和个体工商户生产或购买的货物免征增值税，困难行业企业（交通、餐饮、住宿、旅游）2020 年度发生的亏损结转年限延长，参加防疫的工作者所获补助或奖金免征个人所得税。截至 2020 年 2 月 23 日，各级财政共安排疫情防控资金 995 亿元，其中中央财政共安排 255.2 亿元。同时，还需关注短期内的信贷风险，地方政府收支缺口放大的次生风险，可发行特别国债弥补政府收支缺口。

货币政策适度灵活，保障市场流动性合理充裕。一是通过公开市场操作、常备借贷便利、再贷款、再贴现等多种货币政策工具投放

流动性，续 2020 年 2 月 3 日公开市场操作投放 1.2 万亿元后，2 月 4 日中国人民银行又在公开市场投放 5000 亿元，两日投放流动性累计达 1.7 万亿元，以加大逆周期调节力度，稳定市场预期。二是引导利率下行，2020 年 2 月 26 日中国人民银行下调支农支小再贷款利率 0.25 个百分点至 2.5%。同时，通过 LPR 传导机制在量增价降背景下推动市场利率下降传导到贷款市场利率，从而降低资金成本，缓解困难企业压力。三是利用结构性货币政策工具，如定向降准、再贷款、再贴现，在疫情防控期间，中国人民银行通过规模 3000 亿元的专项贷款向金融机构提供低成本资金，2020 年 2 月 26 日中国人民银行增加再贷款再贴现专用额度 5000 亿元，支持防疫相关行业企业及困难企业发展。

参考文献

- [1]. 关于 2019nCoV 新冠肺炎的建模 () — 基于 Logistic 模型的疫情预测. <https://blog.csdn.net/Zengmeng1998/article/details/104208>.
- [2]. 使用 Logistic 增长模型拟合 2019-nCov 肺炎感染确诊人数. https://blog.csdn.net/z_ccsdn/article/details/104134358.
- [3]. 李慧聪, 李金仙, 荆文君, 等. 河南省新型冠状病毒 (COVID-19) 疫情分析.
- [4]. 朱仁杰, 唐仕浩, 刘彤彤, 等. 基于改进 SIR 模型的新型冠状病毒肺炎疫情预测及防控对疫情发展的影响.
- [5]. 曹盛力, 冯沛华, 时朋朋. 修正 SEIR 传染病的动力学模型应用于湖北省 2019 冠状病毒 (COVIN-19) 疫情预测和评估 [J]. 浙江大学学报
- [6]. 余雷, 薛惠锋, 高晓燕, 李刚. 基于元胞自动机的传染病传播模型研究 [J]2007,43(2). 工程与应用