

基于 SEIR 模型和使用 matlab 工具分析我国的新型冠状病毒肺炎传播趋势

前言：

在学习本课程流行病学一章时就想模拟新型冠状病毒肺炎的传播趋势，于是在本论文中借助 SEIR 模型使用 matlab 工具对我国的新型冠状病毒 (2019-nCoV) 肺炎的传播进行拟合和分析。

摘要：

目的：评价新型冠状病毒（2019-nCoV）肺炎疫情中相关干预措施的作用，以及对于新型冠状病毒肺炎传播趋势的拟合。

新型冠状病毒（2019-nCoV）是一种 β 属的冠状病毒，引起以肺部炎症病变为主的疾病，导致一系列与 SARS 相似的呼吸系统疾病症状，如呼吸困难、呼吸窘迫综合征或脓毒症休克，增加患者进入重症监护室（ICU）的概率和病死率。自 2019 年 12 月在湖北省武汉市发现 2019-nCoV 以来，疫情快速蔓延。我截取了从 1 月 20 日到 3 月 1 日的数据用 SEIR 模型拟合新型冠状病毒肺炎的传播。同时也可以看出国家的出台的多种措施（延长春节假期、企业延迟复工、学校延期开学、限制出行、居家隔离……）的必要性。

1.数据与方法

1.1 数据来源

本论文的数据均来自于国家卫生健康委员会官方网站于 2020 年 1 月 20 日至 3 月 1 日的公布的统计数据，并整合数据放到一个 excel 表格中。

	确诊病例（新增）	确诊病例（累计）	重症（现有）	死亡（累计）	治愈（累计）	密切接触者（累计）	接受观察（现有）
1月20日	77	291	0	6	0	1739	922
1月21日	149	440	102	9	0	2197	1394
1月22日	131	571	95	17	0	5897	4928
1月23日	259	830	177	25	34	9507	8420
1月24日	457	1287	237	41	38	15197	13967
1月25日	688	1975	324	56	49	23431	21556
1月26日	769	2744	461	80	51	32799	30453
1月27日	1771	4515	976	106	60	47833	44132
1月28日	1459	5974	1239	132	103	65537	59990
1月29日	1737	7711	1370	170	124	88693	81947
1月30日	1982	9692	1527	213	171	113579	102427
1月31日	2102	11791	1795	259	243	136987	118478
2月1日	2590	14380	2110	304	328	163844	137594
2月2日	2829	17205	2296	361	475	189543	152700
2月3日	3235	20438	2788	425	632	221015	171329
2月4日	3887	24324	3219	490	892	252154	185555
2月5日	3694	28018	3859	563	1153	282813	186354
2月6日	3143	31161	4821	636	1540	314028	186045

1.2 SEIR 模型的建立

本论文使用 SEIR 模型解释新型冠状病毒的传播过程，由于新型冠状病毒肺炎具有传染性，因此将模型定为包含潜伏期传染性 的 SEIR 流行病模型。模型涉及 4 类人群：易感人群（ S ）、潜伏人群（ E ）、感染人群（ I ）、移除人群（ R ），假设康复概率是 γ ，易感者的感染概率是 β ，感染者接触的人数是 r ，潜伏者会传染易感者的概率为 β_2 ，潜伏者每天接触的人数是 r_1 ，另假设潜伏者的传染率与易感者的感染概率相同。

则有如下微分方程组：

$$\begin{aligned}
 S_i &= S_{i-1} - \frac{r\beta I_{i-1}S_{i-1}}{N} - \frac{r_1\beta_2 E_{i-1}S_{i-1}}{N} \\
 E_i &= E_{i-1} + \frac{r\beta I_{i-1}S_{i-1}}{N} + \alpha E_{i-1} + \frac{r_1\beta_2 E_{i-1}S_{i-1}}{N} \\
 I_i &= I_{i-1} + \alpha E_{i-1} - \gamma I_{i-1} \\
 R_i &= R_{i-1} + \gamma I_{i-1}
 \end{aligned}$$

其中， i 是 2019-nCov 传播的天数， N 是总人数， $N = S_i + I_i + R_i + E_i$ ； S_i ， E_i ， I_i ， R_i 分别表示第 i 天时易感人群人数、潜伏人群人数、感染人群人数、移除人群人数， α 表示潜伏者转化为感染者的概率。

1.3 确定方程相关参数

总人口 N ：人口数据来源于世界银行公布的 2018 年中国大陆人口数据 13.93 亿。但是为了拟合时利于观察我们采用 139300 万人进行拟合。

感染概率 β_1, β_2 以及潜伏者转化为感染者的概率 α 的计算：在实际生活中，因

采取了干预措施,假设感染者平均每天接触人数为 $r=10$,潜伏者接触人数 $r_1=10$,疫情期,易感人群数目等于总人数减去感染和潜伏人群,感染人群的变化率为 $\frac{dI_i}{dt} = \frac{\beta I_i S_i}{N} - \gamma I_i \approx (\beta - \gamma) I_i$, 依据国家卫计委在疫情爆发期公布的数据进行拟合后估算 $\beta = \beta_2 \approx 0.045$ 。依据 $\alpha = I_i / E_i$ 计算得到 $\alpha \approx 0.10$ 。同时采用

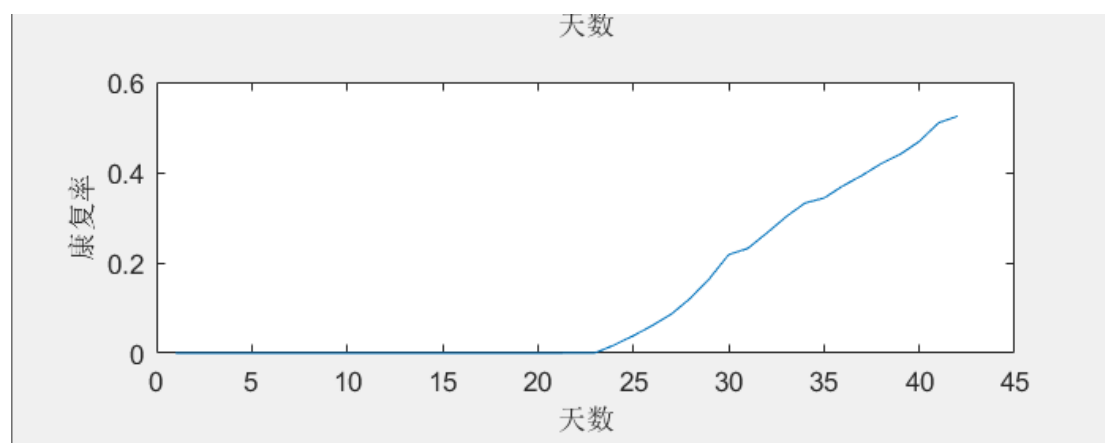
基本再生数 R_0 的估算: R_0 是指在发病初期,当所有人均为易感者时,一个病人在其平均患病期内所传染的人数。基于 SEIR 模型,由公式 $R_0 = 1 + \lambda T_g + P(1-P) \times (\lambda T_g)^2$ 计算 R_0 值,其中 λ 是早期感染率, $\lambda = \frac{\ln Y(i)}{i}$, $Y(i)$ 是截至到 i 时刻的感染人数, $Y(i)$ 取值来自国家统计局实际公布人数,潜伏期用 T_L 表示,感染期表示为 T , i 生成时间 T_g 的计算可近似于 T_L 和 T 的序列间隔,计算得出 $T_g \in (7.0, 8.4)$, P 为潜伏期占生成时间的比值,即 $P = \frac{T_L}{T_g}$, 由公式计算可得 2019-nCoV 的 P 值为 0.70, 将 P 值代入 R_0 公式计

算可得 $R_0 \approx 2.38-2.72$ 。本文选择 $R_0 = 2.5$

2.拟合结果

2.1 康复率

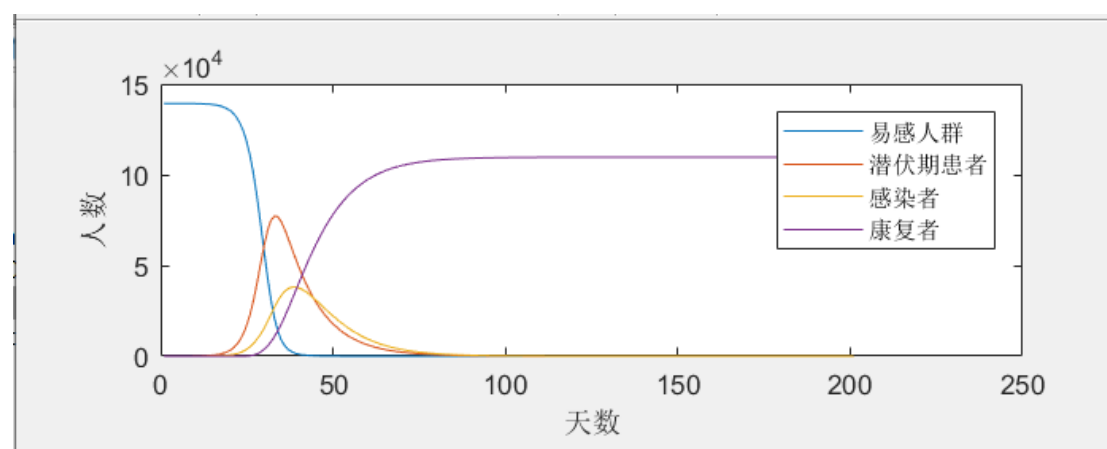
我是节选自 1 月 20 日到 3 月 1 日的数据共计 42 天,结果如下图



可以看出从 25 天后康复率明显上升,在后面甚至超过了 0.5,这与国家采取一系列的措施是密不可分的,从图中的趋势分析只要不放松警惕,继续坚持,在过 20 天即 3 月底康复率即可达到 90%左右。

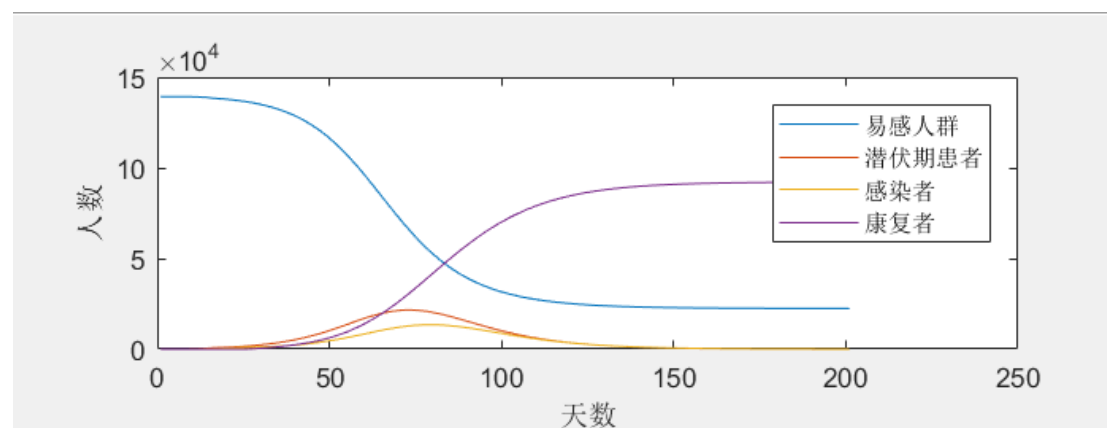
2.2 不同的参数对疫情走向的拟合

第一种情况：不采取任何隔离措施，放任疫情的发展：



结果，后果是惊人的，疫情可以在很短的时间内迅速达到顶峰。50 天以内就会有 1/3 以上的感染者，根据世界医疗卫生组织发布的数据，估算该病毒的平均死亡率在 4% 左右，如果这个数字乘以中国人口的 1/3，那这个后果是不能接受的。所以我国才迅速采取了严厉的措施——武汉封城，全民大隔离……

第二种情况：在 16 天后采取戴口罩和紧急的隔离措施



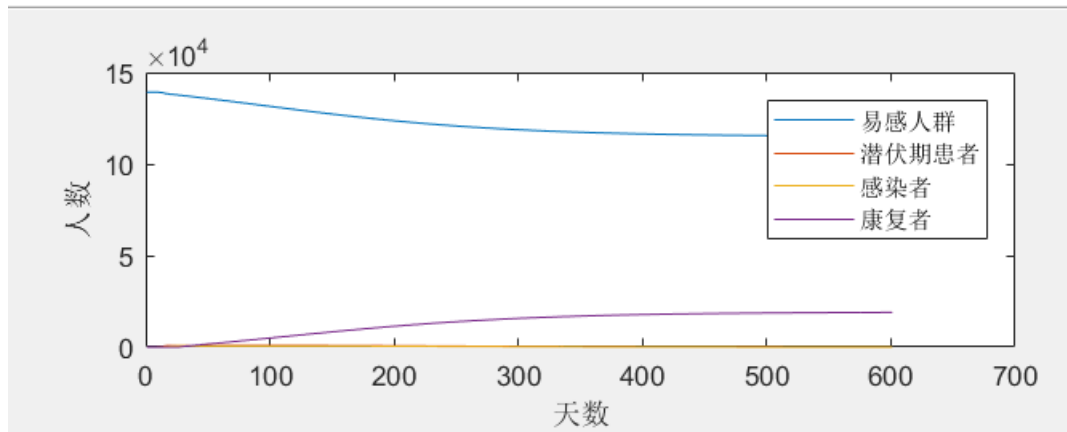
在疫情爆发 16 天后采取措施，当采取措施后，假设感染者平均每天接触人数为 $r=1$ （医院进行隔离），潜伏者接触人数 $r_1=5$ （居家隔离），由于必要出门时佩戴口罩使传染率下降为 $\beta = \beta_2 \approx 0.035$ 。

可以明显看出疫情会在 75 天左右达到峰值，而且感染的人数也会控制在差不多总人口的 1/8 左右，当到达峰值之后感染人数不但下降，最终疫情得到控制并

最终被消灭。

第三种情况：在 16 天后采取戴口罩和采取严厉的隔离措施

在疫情爆发 16 天后采取措施，当采取措施后，假设感染者平均每天接触人数为 $r=0$ （医院进行封闭治疗），潜伏者接触人数 $r_1=3$ （居家强制隔离），由于必要出门时佩戴口罩使传染率下降为 $\beta = \beta_2 \approx 0.035$ 。

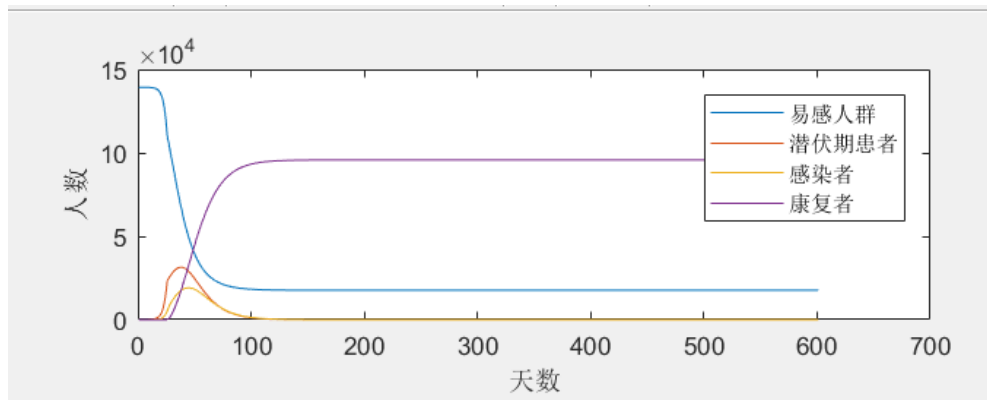


这种情况效果是明显的，由于强制性的隔离（居家学习，工厂暂停，武汉封城……）可以明显看出感染者几乎时微乎其微，疫情也得到控制，这就很好的解释了我国疫情为什么能够迅速控制，而欧美地区却难以控制并不断恶化。

但也应该看出疫情在短时间内难以彻底根除，所以大众比应该吃放松态度，应该时刻警惕，直至彻底消灭该病毒。

第三种情况：在 26 天后采取戴口罩和紧急的隔离措施

在疫情爆发 26 天（比如未能确定病毒属性，未能及时进行隔离……）后采取措施，当采取措施后，假设感染者平均每天接触人数为 $r=1$ （医院进行隔离），潜伏者接触人数 $r_1=5$ （居家隔离），由于必要出门时佩戴口罩使传染率下降为 $\beta = \beta_2 \approx 0.035$ 。



相比于 16 天采取措施的，拖延了 10 天之后明显可以看出，疫情的发展速度会很快并且疫情峰值的发病人数会很大，所以说我国果断采取武汉封城的措施，及时反应果断采取措施，都是我国能够及时控制疫情的原因。

3.讨论与分析

本文应用 matlab 建立潜伏期具有传染性的 SEIRm 模型，根据世界卫生组织和国家卫生健康委员会的同胞数据计算模型参数，得出本次疫情趋势的相关分析。

模型显示国家及时采取的严厉管控措施明显的减缓疫情的发展速度及减少疫情峰值的发病人数。相对 SARS 疫情从 2002 年 12 月底发现到 2003 年 5 月 9 日温家宝总理签署国务院第 376 号令，公布施行《突发公共卫生事件应急条例》，历时 4 个月，本次从发现 2019-nCoV 疫情到全国各地政府纷纷启动进入采取的措施仅历时一个月，阻止疫情蔓延非常及时高效。各地方政府严格执行隔离制度，学校的推迟开学，工厂推迟复工都对疫情的控制发挥了作用。模型预测当 3 月底时，康复率可以达到 90%左右，所以大家应该吃乐观的心态，相信人类终将战胜病毒。

本论文的缺点：本文并没有涉及国外疫情的发展，所以无法计算境外输入病例的影响，但随着近来疫情发展，境外输入成为新增病例的主要来源。同时本文建模过程中，因缺少二次感染人群数据，无法加入模型估算二次感染率，未来需更多微观感染数据对模型参数进行调整。

参考文献

1. 耿辉，徐安定，王晓艳，张勇，尹小妹，马茂，吕军《基于 SEIR 模型分析相关干预措施在新型冠状病毒肺炎疫情中的作用》
2. <https://feiyang.wecity.qq.com/wuhan/dist/index.html#/>
3. http://www.nhc.gov.cn/xcs/yqtb/list_gzbd_6.shtml
4. 知乎.在家宅着也能抵抗肺炎！玩一玩 SEIR 传染病模型 [EB/OL]. [2020-02-03]