

基于 V-SEIR 模型的新冠肺炎疫情传播仿真分析

指导老师：李仁德（上海理工大学图书馆，上海 200093）

参赛队员：刘敏，步陈雨，周蜜，肖悦，玄博惠（上海理工大学 上海海洋大学）

摘要：本研究从系统论的角度出发，运用系统动力学方法，结合“仓室”模型的思想，构建出了考虑对易感者和处于潜伏期人员进行疫苗注射后的 V-SEIR 模型，基于真实数据拟合出参数值并对考虑疫苗接种后新冠肺炎传播情况进行了仿真，进而分析了疫苗有效期和接种人数比例对新冠疫情传播的抑制作用。通过将微分方程模型与计算机仿真技术的结合可在一定程度上为政府预防控制各类传染病提供科学展望。本文仿真结果表明：新冠疫苗的有效期越长，对疫情所起到的抑制效果越显著；接种新冠疫苗人数比例越大，感染者人数下降的幅度越大；接种新冠疫苗人数比例越大，传染病传播的时间周期越短。据此，我们提出了如下几点建议：加快疫苗研发进程，极力延长疫苗有效期；做好疫苗宣传工作，增强受众接种意愿性；注重检查接种效果，适时解除各地封闭令。

关键词：新型冠状病毒；新冠疫苗；V-SEIR 模型；仿真分析

Simulation Analysis of New Coronary Pneumonia

Epidemic Situation Based on V-SEIR Model

Instructor: Li Rende (University of Shanghai for Science and Technology Library, Shanghai 200093)

Participants: Liu Min, Bu Chenyu, Zhou Mi, Xiao Yue, Xuan Bohui (University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai Ocean University)

Abstract: From the perspective of system theory, this study uses the system dynamics method, combined with the idea of the "compartment" model, to construct a V-SEIR model that considers the injection of vaccines for susceptible persons and persons in latent period, based on real data were fitted with parameter values and simulations were conducted to consider the spread of new coronary pneumonia after vaccination, and then the inhibitory effects of the vaccine validity period and the proportion of inoculated persons on the spread of new crown epidemic were analyzed. The combination of differential equation model and computer simulation technology can provide a scientific outlook for the government to prevent and control various infectious diseases to a certain extent. The simulation results of this paper show that: the longer the validity period of the new crown vaccine, the more significant the suppression effect on the epidemic; the greater the proportion of people receiving the new crown vaccine, the greater the decline in the number of infected people; the greater the proportion of people receiving the new crown vaccine, the shorter period of propagation. Based on this, we have made the following suggestions: speed up the vaccine research and development process, and strive to extend the validity period of the vaccine; do a good job in promoting the vaccine and enhance the audience's willingness to vaccinate; pay attention to checking the effect of vaccination, and lift the closure order in various places.

Keywords: new coronavirus; new crown vaccine; V-SEIR model; simulation analysis

一、引言

2019 年末,我国湖北省武汉市出现首例不明原因肺炎患者,随后该种新型肺炎在全国范围内大规模爆发。2020 年 2 月 11 日该病毒被国际病毒分类委员会命名为 SARS-CoV-2,世界卫生组织(WHO)将该病毒感染引起的疾病正式命名为 COVID-19^[1];中国国家卫生健康委员会将其成为新型冠状病毒肺炎,简称新冠肺炎^[2]。自新冠肺炎疫情爆发以来,已有部分研究利用经典复杂网络传播模型(如 SIR 模型、SEIR 模型等)对其进行了数学建模与预测分析,该模型假定病例具有传染性而潜伏者无传染性,但有研究表明处于潜伏期的感染者可能具有传染性^[3]。同时,也有少数学者的研究对传统模型进行了优化,大多考虑到了人口分布、人口流动、防疫措施等因素,然而考虑到疫苗接种对抑制传染病疫情传播影响的研究微乎其微。当前,新冠肺炎疫情已持续近 7 个月却丝毫未停止扩散的迹象,全球确诊破 1000 万例,全国人民对疫苗的呼声愈发高涨。纵观人类历史上曾发生过的几种影响颇大的瘟疫(如甲肝、乙肝、天花、美国流感等),其受感染病例和死亡人数减少甚至根除的主要原因可归结为有效疫苗的成功研制、受众接种率高(详见附录 1)。可见,后续新冠病毒疫苗的研发与接种才是人类抗击新冠疫情的终极利器,探索疫苗有效期和接种人数比例等因素对新冠肺炎的抑制作用则极具价值。由于目前尚缺乏公开的疫苗原始数据,本研究将建立考虑疫苗有效期的微分方程“仓室”模型,结合计算机仿真技术对传染病的传播机理进行仿真,模拟分析对易感者和处于潜伏期人员进行疫苗注射后新冠疫情的发展趋势,并分析疫苗接种比例对传染病疫情传播的影响,以期为疫情防控做出科学展望。

二、国内外“新冠肺炎”研究文献基本情况

为全面了解“新冠肺炎”相关主题的研究现状,本研究小组于 2020 年 5 月 25 日以“主题=新冠肺炎(精确匹配)”为检索条件,在 CNKI 的 SCI、EI、CSSCI 和 CSCD 数据库中检索文献,剔除了人物专访、书评、会议纪要等非学术性质的文章以及文献综述类文章,最终确定研究对象数量为 402 篇。国外文献部分在 WOS 数据库中以“(TS=(COVID-19 OR novel coronavirus*)) AND 语种:(English) AND 文献类型:(Article)”为检索式,时间设为 2020 年,共搜到外文文献 1390 篇。下面将对检索到的文献进行计量统计和研究热点可视化分析。

(一) 文献数量分布情况

2019 年 12 月,我国湖北省武汉市出现了首例由“新型冠状病毒”感染引发的肺炎,之后该省市陆续发现多例新冠患者。由于新发现的冠状病毒在人类间具有极强的传播性和感染力,其影响力波及全国乃至全世界。与此同时,各大科研团队迅速开展了对“新型冠状病毒”的相关研究。由图 1 可知,国外“新冠肺炎”相关研究的论文数量在 3 月-4 月份间呈“井喷式”增长,5 月份相关重点文献数量高达 560 篇,且依旧呈现出上升态势。相比之下,国内重点文献的数量除了 2 月份之外均少于国外,3 月中国知网重点期刊载文数量最多为 169 篇,在此之后的文献数量则呈现出下降态势。

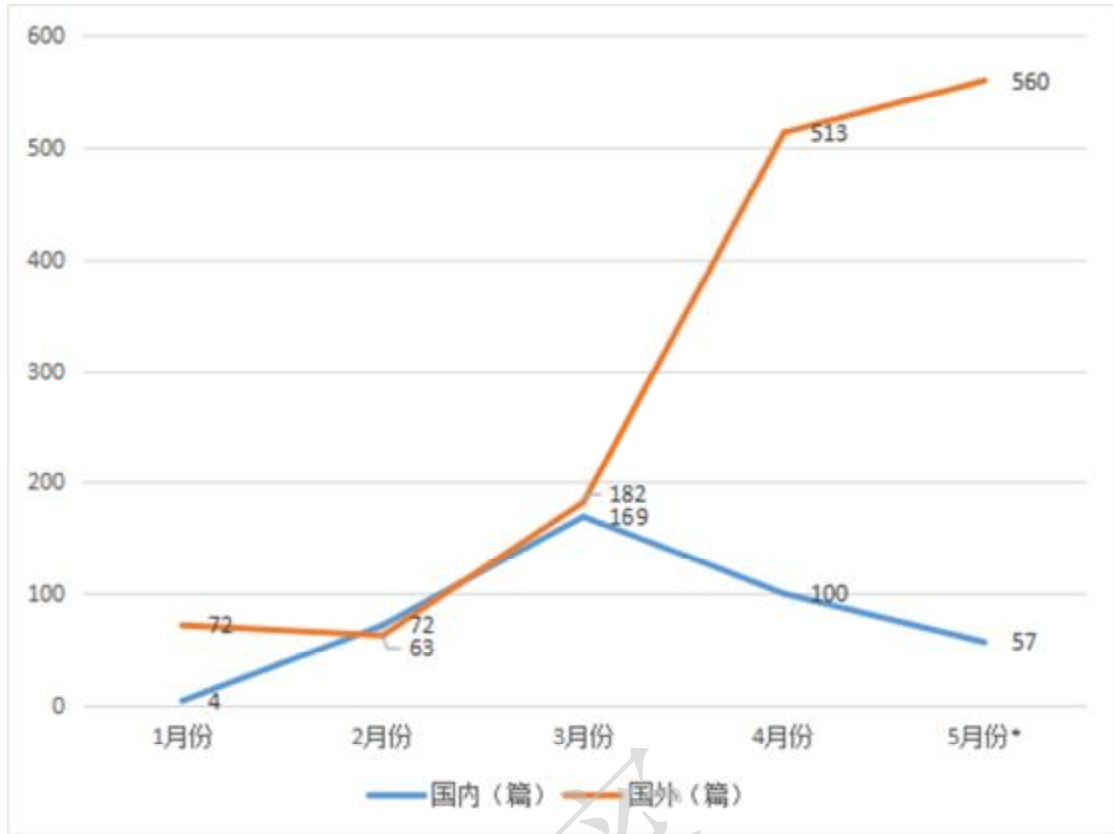


图 1 国内外“新冠肺炎”相关研究文献数量的分布情况

(备注*: 鉴于电子期刊数据库收录文献存在时间上的滞后性, 2020 年 5 月的重点文献数量将会高于上述数值)

(二) 国内外研究热点分析

关键词是对文章核心内容的精准概括, 能够揭示文章主要研究主题。笔者借助 VOSviewer 软件分别对国内文献中出现次数 ≥ 3 的 58 个关键词和国外文献中出现次数 ≥ 10 的 93 个关键词进行了词频统计和可视化分析。通过关键词共现图谱可以在一定程度上看出关键词分布呈现出的聚类情况。如图 2 所示, 不同颜色的线条代表不同的聚类, 同颜色节点之间的关键词具有较强的关联度。国内文献中排名前十位的关键词依次是: 新型冠状病毒肺炎 (105 次)、新冠肺炎 (83 次)、新冠肺炎疫情 (72 次)、新型冠状病毒 (65 次)、疫情防控 (21 次)、肺炎 (15 次)、covid-19 (14 次)、突发公共卫生事件 (14 次)、疫情爆发 (9 次)、感染防控 (8 次)。“新冠肺炎”是本研究的检索词, 呈现次数最多。其次是以“疫情防控”、“突发公共卫生”、“疫情爆发”等词为主的次中心关键词, 表明国内该领域相关研究旨在解决预防医疗等方面的问题。国外文献中排名前十位的关键词依次是: covid-19 (684 次)、coronavirus (299 次)、sars-cov-2 (250 次)、pneumonia (121 次)、sars (117 次)、pandemic (79 次)、infection (73 次)、outbreak (60 次)、china (59 次)、wuhan (57 次)。“covid-19”和“coronavirus”是本研究的检索词, 呈现次数最多。其次是以“sars”、“infection”、“wuhan”等词为主的次中心关键词, 表明国外该领域相关研究同时涉猎到新冠病毒和非典病毒, 对中国武汉也有一定程度的关注。

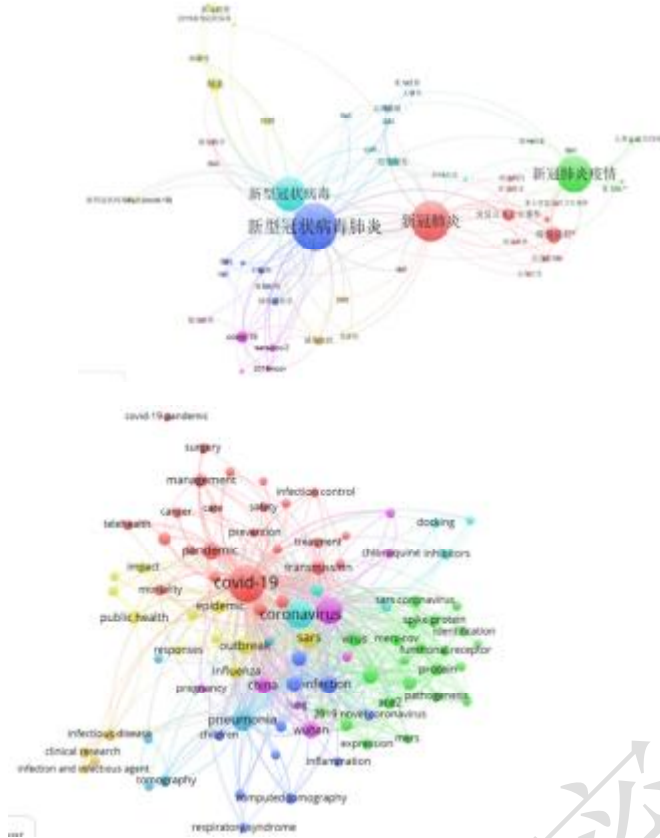


图 2 国内外“新冠肺炎”相关研究文献的关键词共现图谱

基于上述分析可知，自新冠肺炎疫情爆发以来，国内外学者已发表大量与该领域相关的研究文献，热点内容倾向于疫情的防控工作以及疫情爆发的进程，涉及新冠疫苗研发与接种的主题较少，依托数学建模进行拟合与仿真分析的研究更少。接下来，本文将以传统 SEIR 模型^[4]为范本构建出考虑了对易感者和处于潜伏期人员进行疫苗注射的 V-SEIR 模型，力争以数据论证出中国政府对于疫情扩散具备相应控制能力，并针对疫情防控提出合理的对策建议。

三、模型的建立及参数的设定

本部分根据国家卫健委公开的真实数据进行数据采集，选取了浙江省的公开数据作为周期，从第 1 天到第 60 天按照日期统计当日实际的感染人数。基于 Windows 操作系统，运用 Python 语言以及 PyCharm 进行代码的调试，对数据值进行归一化处理，采用梯度下降法，调整参数得出数据拟合曲线以及传染概率。

(一) 初步模型的建立

在传统的 SEIR 模型中，研究对象被分为 S、E、I、R 四种类型：**S(Susceptible)**：易感者，表示从未感染病毒的健康人群，他们因为接触了感染者 (I) 而感染病毒；**E(Exposed)**：潜伏者，表示感染了病毒的易感者在出现症状之前（即潜伏期）所处的状态，这个阶段病毒还未发作，因此暂未传染能力。每位病毒携带者的潜伏期不同，通常假设存在一个平均潜伏期，故每一时刻潜伏者中将会有占 α 的人群转化为感染者，其中 α 为平均潜伏期的倒数；**I(Infected)**：感染者，表示病毒发作，开始出现疾病症状的病毒携带者。这类人群具有较强的传播能力，会将病毒传播到接触的易感者。如果假设一名感染者每一时刻平均接触到的人数为 β ，则易感者中将会有占 βs 的人群转化为潜伏者，其中 s 为易感者所占所有人群的

比例；**R(Removed)**：移出者，表示感染者治疗完毕或死亡后的状态。因为大部分传染病患者在痊愈后具有抗体，因此即使与感染者接触也不会被传播，即已退出传播系统。通常假设移出率(一般情况下为治愈率和死亡率的和)为 λ ，则感染者将会有占 λ 的人群转化为移出者。

图 3 显示了传统 SEIR 模型的示意图，但其中存在许多可修改的空间，大部分研究是结合实际情况在传统 SEIR 模型上进行修改，以更贴合现实传播规律。例如，考虑时变传播率，引入更多类型的人群等。

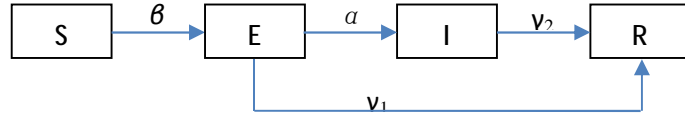


图 3 传统 SEIR 模型示意图

如上图所示， $\frac{dS(t)}{dt}$ 为病毒感染的速度变化率，对于感染者 I ，假设 I 接触于 n 人(n 中部分是易感者，部分是感染者)，由于 n 对于 I 不具有贡献，而对易感者 S 存在有效贡献， S 中所占的概率可以记作 $\frac{S}{N}$ ($N = S + E + I + R$)，接触者传染的概率为 p ，传染的形式可以记作 $In \frac{S}{N} p$ ，即为 $\frac{npIS}{N}$ ，令 $\beta=np$ 则为 $\frac{\beta IS}{N}$ 。由于整个过程中易感者在减少，速度的变化率 $\frac{dS(t)}{dt}$ 为负，所以 $\frac{dS(t)}{dt} = -\frac{\beta I(t)S(t)}{N}$ 。同理在整个传递过程中潜伏者在增加，因此速度的变化率为正向，在 E 向 I 的传递过程中传递的天数记作 T_i ，其每天传播的概率为 $\frac{1}{T_i}$ ，由于部分潜伏者会自动恢复，所以在 S 向 R 的传播过程中每天传播的概率为 $\frac{1}{T_r}$ ，令 $\alpha=\frac{1}{T_i}$ ， $\gamma_1=\frac{1}{T_r}$ ，则 $\frac{dE(t)}{dt} = \frac{\beta I(t)S(t)}{N} - (\alpha + \gamma_1)E(t)$ 对于感染者 I 受到 E 和 R 的影响，移出者 R 受到感染者 I 和潜伏者 E 的影响。经过整理可列出如下微分方程：

$$\begin{aligned} \frac{dS(t)}{dt} &= -\beta I(t)S(t)/N \\ \frac{dE(t)}{dt} &= \beta I(t)S(t)/N - (\alpha + \gamma_1)E(t) \\ \frac{dI(t)}{dt} &= \alpha E(t) - \gamma_2 I(t) \\ \frac{dR(t)}{dt} &= \gamma_2 I(t) + \gamma_1 E(t) \\ S(t_0) &= S_0, R(t_0) = R_0, I(t_0) = I_0, E(t_0) = E_0 \end{aligned}$$

(二) 改进模型的建立

据中国国务院联防联控机制新闻发布会此前介绍，疫情暴发后中国选择了 5 条技术路线加快推进新冠病毒疫苗研发，相关专家认识到病毒到最终疫苗获批上市需要一定的时间，导致整个疫苗研发会有一定的滞后性^[5]。而上述 SEIR 模型仅能从流行传染病病理角度出发描述病毒在各类人群间的转化关系，不能描述出考虑疫苗有效期后病毒的发展脉络。基于此，本研究在传统模型的基础上进行了改进，考虑对易感者和处于潜伏期人员进行疫苗注射，不考虑死亡者人数和新生儿人数，未考虑人口的流动情况（如迁移，出生或死亡……），构建出了考虑疫苗有效期期的 SEIR 模型 (V-SEIR)：S—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（健康人数占总人数的比例）；E—已感染但未发病，最终将会发病的人

数（或比例），即处于潜伏期的人数（潜伏期的人数占总人数的比例）；指接触过感染者，但暂无能力传染给其他人的人，对潜伏期长的传染病适用；I—已被感染人数（或比例），即患病者人数（健康人数占总人数的比例）；指染上传染病的人，可以传播给 S 类成员，将其变为 E 类或 I 类成员；R—患者病愈后康复再也不会受到感染的人数（或占总人口的比例）；指被隔离或因病愈而具有免疫力的人。如免疫期有限，R 类成员可以重新变为 S 类；A—总人口数； α —潜伏期转化感染者的速率； β —有效接触率； γ_1 —潜伏期恢复率； γ_2 —感染者恢复率； m —对感染者进行疫苗注射的比例； n —对处于潜伏期的人员进行疫苗注射的比例； τ —被接种者注射疫苗的有效期； b —常数。当经过时间 τ 之后，被接种者中有 $mS(t-\tau)e^{-b\tau} + nE(t-\tau)e^{-b\tau}$ 部分人因疫苗失效而重新成为易感染者，修改后考虑疫苗有效期的 V-SEIR 模型示意图如图 4 所示。

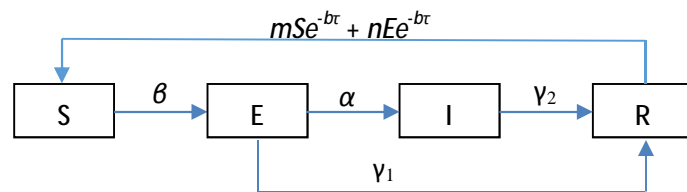


图 4 V-SEIR 模型示意图

模型微分方程如下：

部分有效：

$$\begin{aligned} \frac{dS(t)}{dt} &= -bI(t)S(t)/N + mS(t-\tau)e^{-bt} + nE(t-\tau)e^{-bt} \\ \frac{dE(t)}{dt} &= bI(t)S(t)/N - (a + g_1)E(t) \\ \frac{dI(t)}{dt} &= aE(t) - g_2I(t) \\ \frac{dR(t)}{dt} &= g_2I(t) + g_1E(t) - mS(t-\tau)e^{-bt} - nE(t-\tau)e^{-bt} \\ S(t_0) &= S_0, R(t_0) = R_0, I(t_0) = I_0, E(t_0) = E_0 \end{aligned}$$

永久有效：

$$\begin{aligned} \frac{dS(t)}{dt} &= -bI(t)S(t)/N - mS(t) \\ \frac{dE(t)}{dt} &= bI(t)S(t)/N - (a + g_1)E(t) - nE(t) \\ \frac{dI(t)}{dt} &= aE(t) - g_2I(t) \\ \frac{dR(t)}{dt} &= g_2I(t) + g_1E(t) + mS(t) + nE(t) \\ S(t_0) &= S_0, R(t_0) = R_0, I(t_0) = I_0, E(t_0) = E_0 \end{aligned}$$

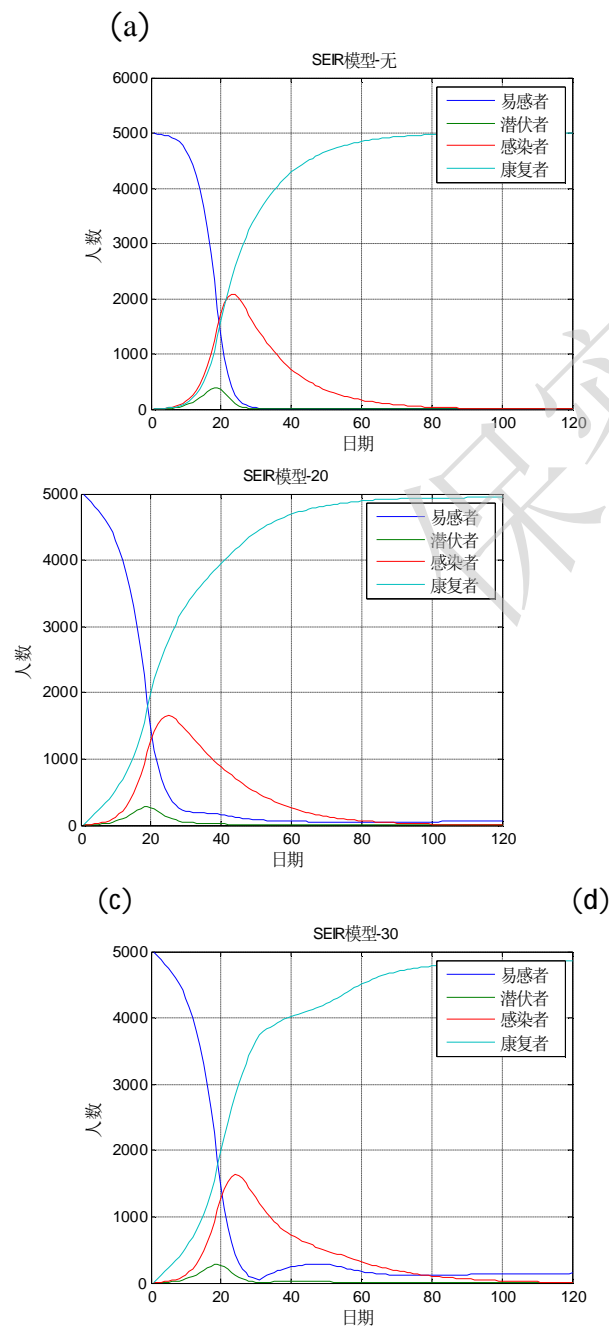
四、模型的仿真与结果分析

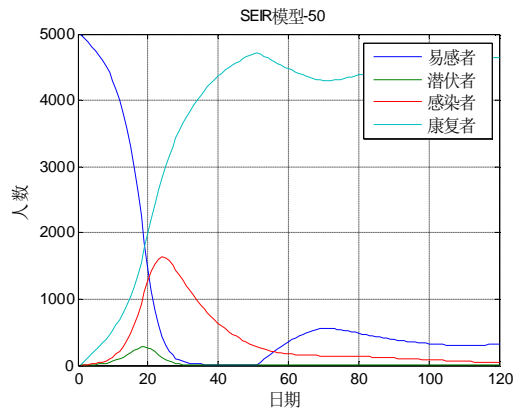
通过建立出的数学模型，结合计算机仿真技术，运用 python 软件，依据上述模型的参数以及初始值的设定，可对 V-SEIR 模型进行仿真模拟。经过真实数据的拟合，估计参数为：

$\beta=0.88$, $\alpha=0.87$, $\gamma_1=0.43$, $\gamma_2=1/14$, 详见图 5。

(一) 疫苗有效期对传染病的影响

出于新冠肺炎爆发的突然性以及疫苗研制的滞后性,当前新冠疫苗尚处于开发期,还未投入市场中使用。因此,本部分依托传统 SEIR 模型的参数设定,探究在考虑疫苗有效期下的 V-SEIR 模型传播情况。仿真参数设定:总人口 $N=5000$,接种比例为 1%,时间总长为 120 天,有效期分别为 20 天、30 天、50 天和永久有效。根据真实数据设定:初始感染者为 8 人,潜伏期人数为 3 人,康复者为 9 人。





(e)

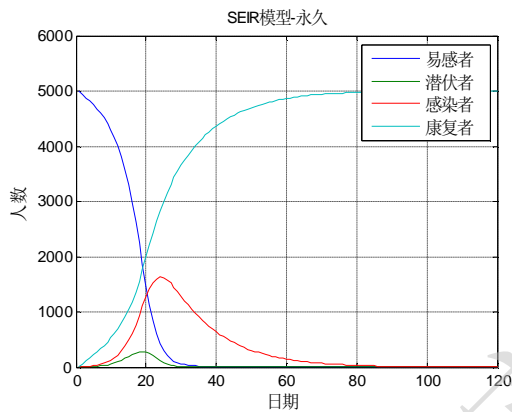


图 5 不同疫苗有效期下的传染病传播疫情图

如图 5(a)所示, 当不考虑疫苗有效期时, 易感者人数随着时间的推移逐渐下降, 传染者人数在第 25 天左右时上升至峰值 (2080 人)。如图 5(e)所示, 当疫苗永久有效时, 易感者人数同样随着时间的推移逐渐下降, 且相比于图 5(a)下降的幅度较大; 感染者人数在第 25 天左右时上升至峰值 (1600 人), 且相比于图 5(a)上升的幅度较小。同理, 康复者人数相比于图 5(a)上升的幅度较大。这表明, 注射永久性有效的疫苗可以有效地减少患病人数, 进而抑制疫情传播。如图 5(b)所示, 当疫苗有效期为 20 天时, 易感者人数在 20 天后并未像图 5(a)那样迅速下降, 而是缓慢下降。图 5(c)易感者人数在 30 天后先是上升至某值而后缓慢下降, 其因为若疫苗有效期为 30 天, 后续会有部分疫苗失效, 导致易感者人数先逐渐上升而后稍微下降至平稳, 图 5(d)与之同理。从康复者人数来看, 相比于图 5(a), 图 5(b)-图 5(d)在有效期之后康复者人数均有明显波动, 其因为在疫苗达到有效期后, 被接种者再次成为易感者。此外, 相较于图 5(a), 图 5(b)-图 5(d)感染者人数的最高值呈逐渐下降态势, 且疫苗有效期越长, 感染者人数的峰值越小 (即在无疫苗, 疫苗有效期为 20 天、30 天、50 天和永久时, 感染人数的最高值从 2080 降到 1660、1650、1630 至永久有效时的 1600)。这表明, 疫苗接种对新冠疫情的传播具有抑制作用, 且疫苗有效期越长, 疫苗接种对疫情传播的抑制作用越大。

(二) 疫苗接种人数比例对传染病的影响

为深入研究在易感者和潜伏者接种疫苗后, 对整个传染病传播起到抑制作用的程度。下面本文将根据上述参数初始值设定, 保持其他参数不变, 固定疫苗接种有效期, 通过改变疫苗接种的人数比例值, 来探索不同接种人数比例下传染病传播疫情的发展趋势。图 6 是疫苗接种人数比例分别为 1%、2%、5%、10%、20% 和 30%时, 传染病疫情在 120 天内的发展趋势。其中, 横坐标表示仿真的时间 (单

位：天)，纵坐标表示每个仿真日的染病人数（单位：人）。

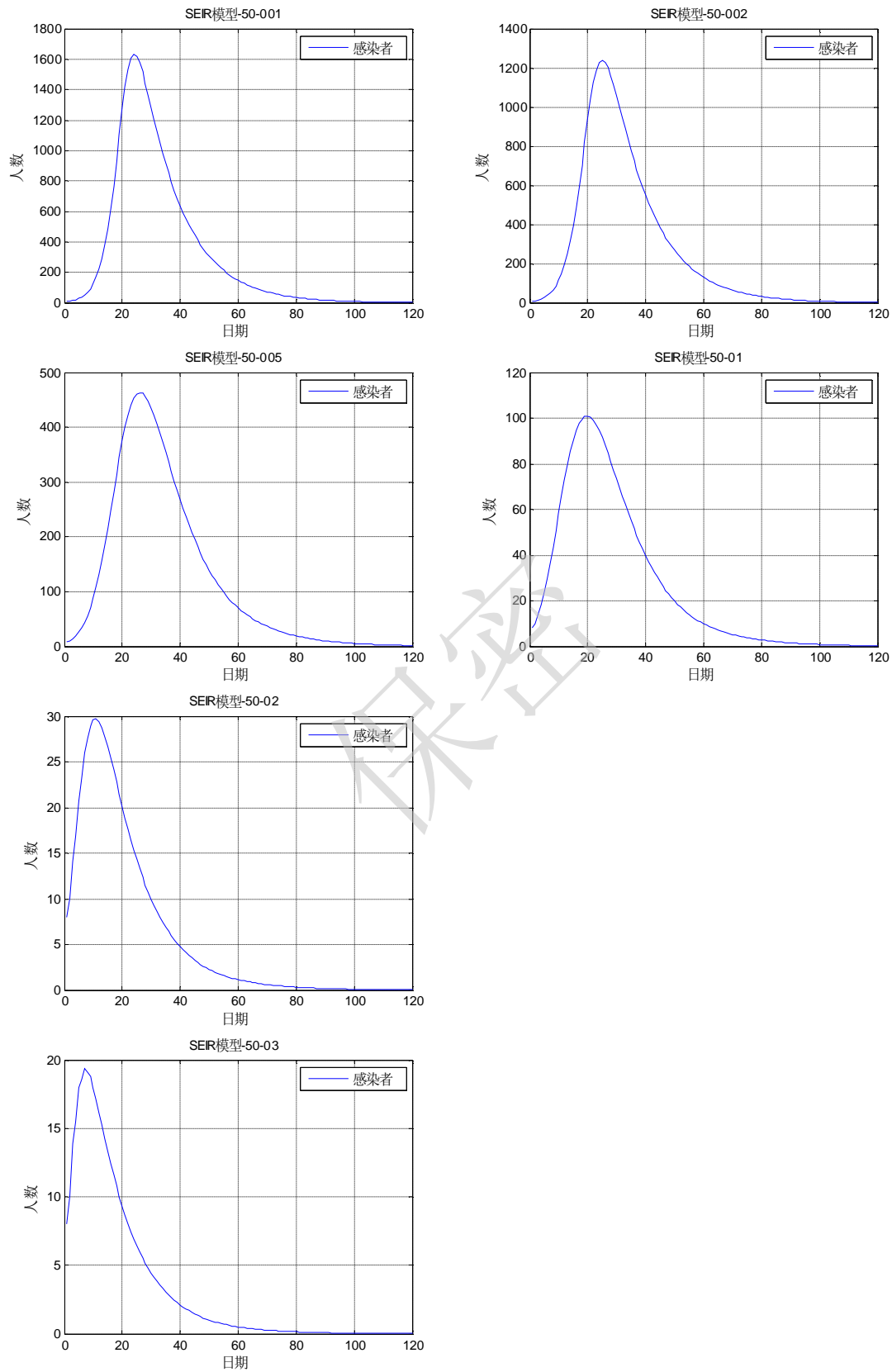


图 6 不同疫苗接种下的传染病传播疫情图

如图 6 所示，从横坐标的变化趋势来看，随着疫苗接种人数比例的逐渐增加，传播疫

情达到高峰期的时间随之逐渐提前,即缩短了传染病传播疫情的周期;从纵坐标的变化趋势来看,随着疫苗接种人数比例的逐渐增加,感染者人数整体上逐渐减少。仿真初始时,对整个人群比例的 1% 进行疫苗接种,疫情发展到顶峰时的染病人数高达 1650 人;当接种比例为 2% 时,疫情发展到顶峰时的染病人数便减少至 1350 人;当接种比例为 5%、10%、20% 时,染病人数降低至 500 人以下;当接种比例为 30% 时,染病人数仅仅不足 20 人。这表明,提高受众的新冠疫苗接种比例,不仅可以在一定程度上减少患病者人数,抑制疫情的扩散与传播,还可以缩短新冠疫情的传播周期。上述结果又再次印证了疫苗的研发与接种对抑制新冠肺炎病毒传播起到了良好作用。

五、研究结论与建议

虽然目前多种冠状病毒的分离、结构解析在病毒暴发期就已完成,但由于疫苗的临床研究存在时效性的问题,且 COVID-19 为新发传染病,疫苗还尚处于试验阶段^[6]。本研究基于上述数学建模及仿真结果分析,可大体得出如下几点结论:第一,新冠疫苗有效期越长,对疫情所起到的抑制效果越显著。据图 5 可知,当疫苗有效期由 20 天-30 天-50 天-永久时,感染者人数(红线)在各个点的值均呈逐渐下降态势。疫苗有效期越长,感染者人数上升的越缓慢、下降的越快。第二,接种新冠疫苗人数比例越大,感染者人数下降的幅度越大。据图 6 的纵坐标变化趋势可知,当疫苗接种人数比例由 1%-2%-5%-10%-20%-30% 时,感染者人数的峰值亦呈逐渐下降态势。第三,接种新冠疫苗人数比例越大,传染病传播的时间周期越短。据图 6 的横坐标变化趋势可知,当疫苗接种人数比例逐渐增加时,其最高点位置逐渐向纵轴靠近,即意为新冠肺炎疫情达到高潮期的天数越短,之后感染人数逐渐下降的幅度越大。基于此,本文将针对有效防控新冠肺炎疫情提出如下几点参考建议:

(一) 加快疫苗研发进程,极力延长疫苗有效期

新冠肺炎疫情爆发后,随即便有学者提出应深入研究新冠肺炎的发病机制,加快疫苗研制,有针对性地及时阻断或逆转其病理性发展进程,阻止病情恶化^[7]。根据世卫组织的计划,将于 2021 年中前期,向中低收入国家提供 5 亿个检测工具,2021 年底前向全球提供 20 亿剂新冠病毒疫苗^[8]。针对如何在保障疫苗的安全性和有效性的基础上缩短其研发周期,我们认为:第一,应强化国际交流与合作。当前世界各国在新冠疫苗研发上取得显著进展的主要是中、英、美三个国家,有报道指出,2020 年 7 月将有包括中国在内的少数几个新冠疫苗展开 III 期临床研究^[9],该阶段研究必须在疫情严重区域进行试验才能取得良好的效果、加大研究的科学性与合理性,但由于我国政府疫情防控措施做的较好,国内疫情已基本达到可控状态,无法开展下一步研究。2020 年 6 月 23 日,国药集团中国生物宣布其研发的新冠灭活疫苗即将在阿联酋开展国际临床 III 期研究^[10]。后续仍需进一步加强我国同世界各国的友好交流,为新冠疫苗研发和试验提供良好的基础条件。第二,应深化政产学研协同合作。在新冠疫苗研制的进程中加强有关机构与部门间的合作是缩短疫苗研发周期的有效途径之一,政府层面应发挥好统筹协调作用,为科研院所与企业间搭建沟通平台,促进产学研协同合作,齐力推进新冠疫苗的研发工作,实现产品研发与生产的无缝衔接。同时,政府层面还要加大新冠疫苗的研发投入、优化行政审批流程,以保障疫苗研发所需的资金供应,减少各项办事程序所耗费的时间。企业层面应积极与学术型大学和科研机构合作,为新冠疫苗的开发贡献产业力量。第三,应优化新冠疫苗研发路线。当前,已有相关科研人员探索分析出了 SARS-CoV-2 感染的致病机制^[11],我国正在沿着五种技术路线紧急研制新冠疫苗。截止 2020 年 6 月 29 日,我国腺病毒载体疫苗、灭活疫苗、重组蛋白疫苗和 mRNA 疫苗的研发工作均取得重大突破^[12]。本次新冠疫情迅速蔓延导致疫苗研发速度比以往加快了好几倍,这在短期内实为有效之举,可为疫情缓解带来一剂良药。但从长期来看仍存在诸多困囿,如疫苗并

未终身有效仍有可能造成疫情的二次爆发。因此，随着疫苗研发进程的加快，通过优化技术路线研发出有效期较长的疫苗有利于缩短疫情的持续时间。

（二）抓好疫苗生产环节，增强受众接种可及性

当前，波及全人类的新冠战“疫”持续进行中，有的治愈患者呈现出康复后复发的现象，世界人民都期待着新冠疫苗尽快上市。据相关报道，多位国内外疫苗专家认为，按照当前的疫苗研发进展，最快有望在今年年底或明年年初出现合格疫苗，并在一些高危人群中率先接种，普通人群最快也要到 2021 年以后才能接种疫苗^[13]。针对疫苗研制出来后如何保证顺利生产上市并接种，我们认为：第一，应以国产疫苗为主、进口为辅。新冠疫苗的研发和试验仅是揭开新冠战“疫”的序幕，后续疫苗生产、储存和运输等流程对于疫情的防控也起着至关重要的作用。据相关报道，新冠病毒灭活疫苗 I/II 期临床试验结果显示该疫苗具有良好的安全性和免疫原性，按不同程序、不同剂量接种后，疫苗组接种者均产生高滴度抗体，中和抗体转阳率高达 100%。在推进疫苗研发同时，中国生物以战时速度率先建成了全球最大的新冠疫苗生产车间，投入使用后新冠疫苗产能将达到年产 1.2 亿剂^[14]。鉴于本次疫情对世界政治、经济等方面的影响，我国未来疫苗接种应以国产为主。第二，应遵循受众自愿接种疫苗原则。当前，大部分疫苗研究企业已将建设生产车间提上了日程，有些企业对外公布了产能计划。若新冠疫苗 III 期临床研究开展顺利的话，预计 2021 年大规模人群接种疫苗是一项大概率事件，而确保疫苗的安全性和有效性是其接种的基本前提。据了解，目前在新冠疫苗已经具备紧急接种条件的情况下，有关方面按照自愿接种原则，组织民航等特定需求部门有限开展新冠疫苗的紧急接种工作，其中就包括北京市中、高风险等级的区域^[15]。第三，应保证疫苗生产商的持续供应。若新冠疫苗成功研制出来后，其生产上市环节或许不存在较大瓶颈，而如何保证疫苗的持续供应才是需要有关部门关注的问题。新冠肺炎疫情之影响已波及至全国乃至世界范围，疫苗的接种较大可能会采取高危患者优先的原则，但是随着时间的推移，有关部门应制定出一套完整的受众群体接种方案进一步保证该疫苗接种的公平性与可及性。

（三）注重检查接种效果，适时解除区域封闭令

“新型冠状病毒”作为一种全新的病毒，对于人体来说对其是没有免疫保护记忆的。通常情况下，病毒感染人体后，人体免疫系统才会产生响应，继而产生保护性抗体和细胞免疫记忆。在疫苗没有研发成功和上市之前，针对新冠病毒疫情，目前仍旧以公共卫生防控措施为主。对于已经感染的患者，做好“早发现、早报告、早隔离、早治疗”，及时给予临床治疗的措施，可以有效对抗新冠病毒感染^[16]。针对未来疫苗在受众中进行接种后如何检验疫苗成效，我们认为：第一，应全程督查感染者和潜伏者的临床情况。“新型冠状病毒”具有较强的传播性及感染性，因此其感染者及无症状感染者是高危群体，这类群体的密切接触者也受到了高度关注。本次新冠肺炎疫情中的无症状感染者比例相对较高。对武汉儿童医院 115 例儿童新冠病毒感染者进行回顾性临床特点分析发现，无症状感染者比例达到 53%。权威期刊《自然》刊发文章称“30%—60%的新冠病毒感染者无症状或者症状轻微”，哈佛大学公共卫生学者莎拉估计“40%的新冠病毒传播是无症状的”^[17]。因此，疫苗上市后应优先接种高危人群，督查其接种后的临床情况。第二，应定期检查易感者和康复者的恢复情况。“新型冠状病毒”属于全民易感型病毒，其中老年人、婴幼儿、有基础疾病的患者、接触过高危群体的人员极其易感。大多数专家同时认为，还不能排除新冠肺炎康复者出现二次复发的现象。据了解，我国开发的新冠疫苗针对不同年龄段群体所研制出的产品是不同的，那么对接种疫苗后的易感者和康复者进行定期检查可有效降低其感染和复发新冠肺炎的概率。第三，应在疫情趋于结束时期解除区域封闭令。突发的新冠肺炎疫情给中国经济造成三个层面的冲击，给宏观经济造成短期波动，在中观层面各行业领域受疫情的冲击程度各不相同，微观企业则面临生产经营更加困难的局面，甚至引致中小微企业倒闭风险^[18]。面对突发疫情，我国

政府采取了及时有效的防控措施，这一方面控制住了人口流动、减少了疫情扩散的风险；另一方面也是造成我国经济短期内衰退的原因之一。待他日新冠疫苗在受众中进行大范围接种后，我国政府应适时逐步解除区域封闭令。以本研究仿真结果为例，当疫苗接种人数比例为30%时，感染者人数就降至了20人以下，则可以适当放松防控力度；当接种人数比例为60%时，感染者人数极少，那么便可以酌情解除禁令。

参考文献：

- [1] 新京报. 两大国际权威机构给新冠病毒和新冠肺炎分别命名. [EB/OL]. (2020-02-12)[2020-06-30]. <http://news.sina.com.cn/w/2020-02-12/doc-iimxstf0768050.shtml>.
- [2] [3] 颜铭江, 董一鸿, 贾香恩, 郑海阳, 辛宇. 新型冠状病毒肺炎的疫情趋势预测[J/OL]. 病毒学报: 1-10[2020-06-23]. <https://doi.org/10.13242/j.cnki.bingduxuebao.003712>.
- [4] Zhicheng, Zhan, Weihua, et.al. Real-Time Forecasting of Hand-Foot-and-Mouth Disease Outbreaks using the Integrating Compartment Model and Assimilation Filtering.[J]. Scientific reports, 2019, 9: 2661.
- [5] 罗艺, 蒋志伟. 新冠肺炎应急临床试验设计中的统计学考虑[J]. 中国临床药理学与治疗学, 2020, 25(02): 121-125.
- [6] 陈丹龙, 杨芳, 罗志英, 谢焕章, 董海燕, 贾力. 全球抗新型冠状病毒药物研发现状和瓶颈[J]. 中国药理学通报, 2020, 36(04): 459-469.
- [7] 高钰琪. 基于新冠肺炎病理生理机制的治疗策略[J]. 中国病理生理杂志, 2020, 36(03): 568-572+576.
- [8] 快科技. 振奋人心! 世卫组织计划2021年底前向全球提供20亿剂新冠疫苗 [EB/OL]. (2020-06-27)[2020-06-30]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1670657832422184514&wfr=spider&for=pc>.
- [9][13][15] 本报记者 张一鸣. 新冠疫苗, 到底离接种还有多远[N]. 中国经济时报, 2020-06-29(003).
- [10] 中华人民共和国驻阿拉伯联合酋长国大使馆. 驻阿联酋大使倪坚出席国药集团中国生物新冠灭活疫苗国际临床(III期)阿联酋启动仪式. [EB/OL]. (2020-06-24)[2020-06-30]. <https://www.fmprc.gov.cn/ce/ceae/chn/xwdt/t1791891.htm>.
- [11] 田靖. 新型冠状病毒疫苗研发的现状与展望[J]. 生物技术通讯, 2020, 31(02): 196-203.
- [12] 本报记者 付丽丽. mRNA疫苗: 给病毒画像 让免疫细胞识别[N]. 科技日报, 2020-06-29(001).
- [14] 记者 李丽云. 又一新冠疫苗揭盲获双100% 我建成年产1.2亿剂疫苗生产

车间[N]. 科技日报, 2020-06-29(001).

[16] 文汇报. 中科院: 疫苗上市之前, 预防新冠病毒仍以公共卫生防控措施为主. [EB/OL].

(2020-04-23)[2020-06-30].https://k.sina.com.cn/article_1914880192_7222c0c002000t66a.html?cre=tianyi&mod=pcpager_fin&loc=35&r=9&rfunc=100&tj=none&tr=9.

[17] 北青网. 聚焦无症状感染者: 如何防控新冠病毒“潜伏者”? [EB/OL]. (2020-03-29)

[2020-06-30]. https://www.sohu.com/a/384091729_255783.

[18] 汪彬,许正中.新冠肺炎疫情对中国经济的冲击及应对策略[J].中国党政干部论坛,2020(03):57-61.

附录 1:

表1 1970-2017年美国新发肝炎病例

年份(年)	甲型肝炎 (人)	乙型肝炎 (人)	年份(年)	甲型肝炎 (人)	乙型肝炎 (人)
2017	3,365	3,409	2000	13,397	8,036
2016	2,007	3,218	1999	17,047	7,694
2015	1,390	3,370	1998	23,229	10,258
2014	1,239	2,791	1997	30,021	10,416
2013	1,781	3,050	1996	31,032	10,637
2012	1,562	2,895	1995	31,582	10,805
2011	1,398	2,903	1994	26,796	12,517
2010	1,670	3,374	1993	24,238	13,361
2009	1,987	3,405	1992	23,112	16,126
2008	2,585	4,033	1991	24,378	18,003
2007	2,979	4,519	1990	31,441	21,102
2006	3,579	4,713	1989	35,821	23,419
2005	4,488	5,119	1988	28,507	23,177
2004	5,683	6,212	1985	23,210	26,611
2003	7,653	7,526	1980	29,087	19,015
2002	8,795	7,996	1970	56,797	8,310
2001	10,609	7,843	——	——	——

资料来源: John Elflein (Statista), 2019年7月

<<https://www.statista.com/statistics/186667/new-cases-of-hepatitis-in-the-us-since-1970>
>

简述：该统计数据显示了从 1970 年到 2017 年美国新的甲型和乙型肝炎病例数。1970 年，新甲型肝炎病例为 56,797 例。相比之下，在甲肝疫苗研制成功后，2017 年新甲型肝炎病例为 3,365 例。

表2 从1950年到2019年美国新增麻疹病例数

年份（年）	新增病例（人）	年份（年）	新增病例（人）	年份（年）	新增病例（人）
2019	1,250	2006	55	1994	963
2018	372	2005	66	1993	312
2017	120	2004	37	1992	2,237
2016	86	2003	56	1991	9,643
2015	188	2002	44	1990	27,786
2014	667	2001	116	1989	18,193
2013	187	2000	86	1988	3,396
2012	55	1999	100	1985	2,822
2011	220	1998	100	1980	13,506
2010	63	1997	138	1970	47,351
2009	71	1996	508	1960	441,703
2008	140	1995	309	1950	319,124
2007	43	---	---	---	---

资料来源：John Elflein（statista），2019 年 7 月

<<https://www.statista.com/statistics/186678/new-cases-of-measles-in-the-us-since-1950>
>

简述：麻疹疫苗接种，麻疹病例和死亡人数减少的主要原因是疫苗接种率高。广泛使用的 MMR 疫苗可预防麻疹，腮腺炎和风疹，并且安全有效。2017 年，大约 91.5% 的 19 至 35 个月大的儿童已接种 MMR 疫苗。

表 3 1950-2017 年美国因流感和肺炎死亡（每 10 万人的死亡率）

年份（年）	死亡率（%）	年份（年）	死亡率（%）	年份（年）	死亡率（%）
2017	14.3	2007	16.8	1998	34.6
2016	13.5	2006	18.4	1997	33.3
2015	15.2	2005	21	1996	32.9
2014	15.1	2004	20.4	1995	33.4

2013	15.9	2003	22.6	1990	36.8
2012	14.4	2002	23.2	1980	31.4
2011	15.7	2001	22.2	1970	41.7
2010	15.1	2000	23.7	1960	53.7
2009	16.5	1999	23.5	1950	48.1
2008	17.6	——	——	——	——

资料来源：John Elflein (statista), 2019年7月

<<https://www.statista.com/statistics/184574/deaths-by-influenza-and-pneumonia-in-the-us-since-1950/>>

简述：2017年，流感和肺炎在美国每10万人中造成约14.3例死亡。流感和肺炎是美国的主要死亡原因之一，占2017年所有死亡的2%。预防流感的最佳方法是每年接受流感疫苗接种。接种流感疫苗后，美国流感和肺炎死亡率呈较为稳定的波动式下降。

表4 1838-1900年英国天花死亡率

年份 (年)	英格兰与威尔士 (%)	苏格兰 (%)	年份 (年)	英格兰与威尔士 (%)	苏格兰 (%)
1900	3	——	1875	35	22
1899	5	0.2	1874	88	358
1898	8	0.4	1873	98	327
1897	0.8	2	1872	821	718
1896	17	0.4	1871	1,012	429
1895	7	11	1870	113	34
1894	27	32	1869	67	19
1893	49	17	1868	91	5
1892	14.7	3	1867	114	31
1891	1.9	0	1866	139	62
1890	0.6	0	1865	301	120
1889	0.8	1	1864	364	552
1888	39	0	1863	286	526
1887	19	4	1862	78	137
1886	11	6	1861	64	250
1885	103	10	1860	136	489
1884	82	4	1859	193	224

1883	36	3	1858	329	110
1882	50	1	1857	202	281
1881	119	5	1856	116	436
1880	25	3	1855	131	440
1879	21	2	1854	151	---
1878	74	1	1853	171	---
1877	173	11	1852	401	---
1876	99	11	1851	389	---

资料来源: Aaron O'Neill (Statista), 2020年4月6日,
<https://www.statista.com/statistics/1107397/smallpox-death-rate-britain-historical/>

简述: 英格兰在 1796 年研制出天花疫苗, 1853 年在英格兰和威尔士以及 1864 年在苏格兰开始实行接种。因此, 英国的死亡率于 1960 年末趋于稳定之前, 每百万人中天花的死亡人数每年都在波动, 从一年到第二年经常翻番或翻三番。1870 年代的大流行是欧洲最后一次主要的天花大流行, 导致天花死亡人数再次飙升, 在 1871 年英格兰和威尔士每百万人中有 1,000 多人死亡, 在 1872 年, 苏格兰每百万人中有 820 多人死亡。在天花大流行期间, 疫苗接种得到强制实施, 这使得天花死亡率保持较低水平, 并处于稳定状态。在整个 20 世纪初期, 英国天花病例大幅降低。在疫苗的作用下, 1934 年英国根除了自然天花病例。

附录 2:

表 5 浙江省感染人数统计

infection	remove
5	0
10	0
43	0
61	1
103	1
127	1
172	1
293	3
424	4
528	9
584	15
638	23
688	36
781	48
832	63

873	81
908	98
921	127
902	173
891	201
867	250
852	279
818	327
788	367
753	409
730	437
701	470
658	514
629	544
566	609
555	647
510	694
475	729
439	765
410	794
390	814
323	881
261	943
217	987
177	1027
155	1050
138	1086
117	1107
96	1130
73	1153
65	1161
57	1169
44	1182
37	1190
21	1205
17	1209
17	1209
15	1211
19	1211
17	1213
15	1216
15	1216
15	1217

保潔

附录 3:

SEIR 模型数据源代码:

```
%SIRS romor dynamics
```

```
function y=seir(t, x)
```

```
N=10000000;
```

```
beta=0.5;
```

```
Ti=5;
```

```
Tr=18;
```

```
Ta=6000;
```

```
%dS/dt=R/Ta-beta*S*I/N;
```

```
%dE/dt=beta*S*I/N-E/Ti;
```

```
%dI/dt=E/Ti-I/Tr;
```

```
%dR/dt=I/Tr-R/Ta;
```

```
%S=x(1); E=x(2), I=x(3), R=x(4);
```

```
y=[x(4)/Ta-beta*x(1)*x(3)/N, beta*x(1)*x(3)/N-x(2)/Ti, x(2)/Ti-x(3)/Tr, x(3)/Tr-x(4)/Ta]';
```

运行代码:

```
clear all; clc;
```

```
N=10000000;
```

```
ttemp=0:1:200;
```

```
[t, x]=ode45('seir', ttemp, [N-10-15-N/3 10 100 N/3]);
```

```
 %[t, x]=ode45('seir', [0, 200], [N-10-15-N/3 10 100 N/3]);
```

```
%EEE= xlsread('Excel.xlsx', 'sheet1', 'B3:B9')
```

```
%act= xlsread('covid19china.xlsx', 'sheet1', 'A2:B96')
```

```
figure(1)
```

```
hold on;
```

```
plot(t, x(:, 1), 'blue');
```

```
plot(t, x(:, 2), 'k');
plot(t, x(:, 3), 'red');
plot(t, x(:, 4), 'green');
legend('S', 'E', 'I', 'R');
%legend('E', 'I', 'R');
title('SEIR model');
xlabel('days');
ylabel('Total Population');
```

SERI 模型数据拟合的 python 代码:

```
#coding=utf-8
import scipy.integrate as spi
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import csv

#global beta, beta2, Te, k, Ti
# N 为人群总数
N =5000
#  $\beta$  为传染率系数 beta
beta1 =0.88
#  $\beta_2$  为潜伏者传染率系数 beta2
beta2 =0.87
# 潜伏者直接恢复
alpha =0.43

# E_0 为潜伏者的初始人数
E_0 =3
```

```

# I_0 为感染者的初始人数
I_0 =8
# R_0 为治愈者的初始人数
R_0 =9
# S_0 为易感者的初始人数
S_0 = N - I_0 - E_0 - R_0
# T 为传播时间
T = 100
#####
##### 开始记录优化时间点#####
actstart=1
# INI 为初始状态下的数组
INI = ([S_0, E_0, I_0, R_0])

INIpara=( [beta1, beta2, alpha, N, E_0, I_0, R_0]) #####by jimee
print(INIpara)
#print(np.zeros_like(INIpara))

#### gradient by jimee#
def numerical_gradient(f, x):
    h=1e-6
    grad=np.zeros_like(x)
    for idx in range(len(x)):
        tmp_val=x[idx]
        #calculate f(x+h)
        x[idx]=tmp_val+h
        fxh1=f(x)
        #calculate f(x-h)
        x[idx]=tmp_val-h
        fxh2=f(x)

        grad[idx]=(fxh1-fxh2)/(2*h)
        x[idx]=tmp_val ##recover value
    #print(grad)

```

```
return grad
```

```
##### model
#INI = ([S_0, E_0, I_0, R_0])
def funcSEIR(inivalue, _):
    beta1=INIpara[0]
    #beta2=5*beta1
    beta2=INIpara[1]
    alpha=INIpara[2]
    N=INIpara[3]
    Y = np.zeros(4)
    X = inivalue
    # 易感个体变化
    Y[0] = -beta1 * X[0] * X[2]/N-beta2*X[0] * X[1]/N #潜伏期感染
    #Y[0] = -beta1 * X[0] * X[2]/N

    # 潜伏个体变化（每日有一部分转为感染者）
    Y[1] = beta1 * X[0] * X[2]/N+beta2*X[0] * X[1]/N-1/5.4*X[1]-alpha*X[1] #潜
    伏期感染

    #Y[1] = beta1 * X[0] * X[2]/N-1/5.4*X[1]-alpha*X[1]
    # 感染个体变化
    Y[2] =1/5.4* X[1]-1/14* X[2]
    # 治愈个体变化
    Y[3] = 1/14*X[2]+alpha*X[1]
    #Y[3] = 1/14*X[1]

    return Y
```

```
##### by jimee , loss function
```

```
def loss(x):
    sum=0
```

```

INI[0]=INIpara[3]-(INIpara[4]+INIpara[5]+INIpara[6])
INI[1]=INIpara[4]
INI[2]=INIpara[5]
INI[3]=INIpara[6]
i=actstart##### 发病后第 i 天开始统计发病人数
RES = spi.odeint(funcSEIR, INI, T_range)
for record in datalist[1:]:
    all_value=record.split(',')
    inputs=np.asarray(all_value)

    #sum+=(inputs[0]-RES[i,2])*(inputs[0]-RES[i,2])+(inputs[1]-RES[i,3])*(inputs[1]-
RES[i,3])/np.sqrt(i)
    sum+=(inputs[0]-RES[i,2])*(inputs[0]-RES[i,2])
    #sum+=(inputs[0]-RES[i,2])*(inputs[0]-RES[i,2])
    i=i+1
sum=np.sqrt(sum/i)
return(sum)

#1. 读取数据集
f1=open('C:/Users/91292/Desktop/zhejiang.csv','r')
datalist=f1.readlines()
f1.close()
#####

T_range = np.arange(0, T + 1)
#print(loss(INIpara))
#RES = spi.odeint(funcSEIR, INI, T_range)
#print(RES)

##### cycle
for i in np.arange(1, 200):
    #print(i)
    #INIpara=INIpara-0.000002*numerical_gradient(loss, INIpara)

```

```

temppara=numerical_gradient(loss, INIpara)
INIpara[0]=INIpara[0]-0.00001*temppara[0]
INIpara[1]=INIpara[1]-0.00001*temppara[1]
INIpara[2]=INIpara[2]-0.00001*temppara[2]
INIpara[3]=INIpara[3]-5*temppara[3]
INIpara[4]=INIpara[4]-5*temppara[4]
INIpara[5]=INIpara[5]-5*temppara[5]
INIpara[6]=INIpara[6]-0.5*temppara[6]
#INIpara[7]=INIpara[7]-0.1*temppara[7]
#print (INIpara)
pass

```

```

(beta1, beta2, alpha, N, E_0, I_0, R_0)=INIpara
print("beta1, beta2, alpha, N, E_0, I_0, R_0: ")
print(beta1, beta2, alpha, N, E_0, I_0, R_0 )
print("Loss value: ")
print(loss(INIpara))

```

```

RES = spi.odeint(funcSEIR, INI, T_range)
print(RES[-1])
#print(RES)

```

```

plt.plot(RES[:, 0], color = 'darkblue', label = 'Susceptible')
plt.plot(RES[:, 1], color = 'orange', label = 'Exposed')
plt.plot(RES[:, 2], color = 'red', label = 'Infection')
plt.plot(RES[:, 3], color = 'green', label = 'Recovery with nonsymptom')

```

```

i=actstart
plt.scatter(i, 45, color = 'red', label = 'Actual Infection', s=1)
plt.scatter(i, 5, color = 'green', label = 'Actual Recovery', s=1)
for record in datalist[1:]:
    i=i+1
    all_value=record.split(',')

```



```
inputs=np. asfarray(all_value)
plt. scatter(i, inputs[0], color = ' red' , s=1)
plt. scatter(i, inputs[1], color = ' green' , s=1)

plt. title(' SEIR Model' )
plt. legend()
plt. xlabel(' Day' )
plt. ylabel(' Number' )
plt. show()

# 1. 创建文件对象
f = open(' result. csv' , ' w' )
# 2. 基于文件对象构建 csv 写入对象
csv_writer = csv. writer(f)
# 3. 构建列表头
csv_writer. writerow(["Susceptible", "Exposed", "Infection", "Recovery"])
# 4. 写入 csv 文件内容
csv_writer. writerows(RES)
# 5. 关闭文件
f. close()
```

致谢:

这是自新冠肺炎疫情爆发之后我返校的第 56 天，因受疫情影响，上理绝大部分学生都未返校。像往常一样，我早早起床，穿上跑鞋，在晨练中开始新的一天。操场上，人明显没有上个学期多，虽是以工科为主的大学，人文气息却也浓厚，跑步时，经常可以看到操场边同学们声情并茂地朗读英语，看台的台阶上，坐着一些同学，沉浸于文学的海洋，全然不顾周边的风景。

读研以来我最喜欢的学校内建筑就是上理综合楼，外圆内方的建筑风格理念契合了《淮南子·主术训》：“智欲圆而行欲方”。方为做人之本，圆为处世之道。既要中庸、融通，同时又不能失正气、骨气和品德，要在坚持原则情况下和保持

独立的个性。学校浓厚的人文气息从建筑中就可窥见一般。为准备本次“第一届上海市高校开放大数据分析挑战赛暨第一届上海理工大学开放大数据分析大赛”，我们组指导教师李仁德老师经常组织所有成员开线上视频会议进行讨论，我想这也不乏是因我们组属于跨校参赛队的缘故吧！每每这时，我就会到综合楼自修室找个安静的位置，抛除一切杂念，全身心投入到小组成员的比赛内容交流之中。在李老师的指导下，小组成员分工协作，大家均能最大限度地发挥出个人所长，从文献计量到数学建模到仿真分析再到最后的报告撰写，小组成员按部就班地完成每一项任务，期间配合交流极其顺利，因为小组成员一直牢记我们组队的初心，那就是关注“新冠肺炎疫情”发展局势，为抗击疫情贡献出一份微薄之力，上理人始终秉承着“信义勤爱，思学志远”的百年校训。

值此研究报告完成之际，我们小组所有成员要向本次大赛的组织机构：上海市商务委员会，中国出入境检验检疫协会，上海市网购商会，上海理工大学，上海市系统工程学会，上海大数据联盟，瑀岸（上海）数据服务有限公司，上海柏观数据科技有限公司等相关工作人员、各位专家以及小组指导老师表示最诚挚的谢意，您们辛苦啦！

保
密