

**《数学建模》课程论文**

**2019 － 2020 学年 第 二 学期**

学生姓名

学 号

院 系

专 业

任课教师 郭帅

**二Ｏ二Ｏ 年 六 月 十五 日**

****

**数学建模课程论文**

论文题目： **A题 美国COVID-19疫情的传播与防控策略**

摘 要：

2019年底，新型冠状病毒肺炎（Corona Virus Disease 2019，COVID-19）疫情突然爆发，世界各国人民的生命健康和经济发展受到极大的威胁。各国面对疫情采取了不同的防疫措施。面对疫情，如何科学有效地防控，是需要考量病毒本身的传播特征的。

本文主要应用了SEIR模型、微分方程参数拟合的相关知识。

针对第一问：我们建立模型后，利用已有假设易得；

针对第二问：根据已公开的数据，拟合得到所求参数；

针对第三问：利用已求出的参数，对S、E、I、R均进行拟合并预测，寻求当λ(t)≤1时，R的人数。并求其占总体人群的比例；

针对第四问：若美国联邦政府在COVID-19暴发前期做了充足准备，比如使得口罩充足，于早期使得所有易感染人群均带上口罩，那么λ(t)将有一定程度的减少，延缓已感染人群(E)数量的增加，并使得λ(t)≤1这一节点将更早到来，即COVID-19疫情能更早得到控制，并依照不同的防疫防控措施，对于模型可能造成的影响做出了分析、说明。

**关键词：**传染病模型 SEIR模型 微分方程参数拟合

1. 问题背景及重述

1.1 问题背景

传染病在人类历史的长河中一直威胁着人类的生存。

14世纪，“黑死病”（鼠疫）流行于亚洲、欧洲和非洲。仅在欧洲，黑死病就夺去了2500万人的生命；1918-1919的西班牙大流感造成了历史上死亡人数达4000-5000多万人的一次瘟疫；2002年，SARS（严重急性呼吸综合征）在中国广东发生，并扩散至东南亚乃至全球，直至2003年中期疫情才被逐渐消灭。

2019年底，新型冠状病毒肺炎（Corona Virus Disease 2019，COVID-19）疫情突然爆发，面对疫情，根据病毒本身的传播特征建立数学模型，将有利用人类预测疫情发展情况，及时采取措施避免最糟糕的情况发生，在合适的节点采取最为有效的措施，有助于科学有效地防控。

1.2 问题重述

2019年底，新型冠状病毒肺炎（Corona Virus Disease 2019，COVID-19）疫情突然爆发，世界各国人民的生命健康和经济发展受到极大的威胁。

各国面对疫情采取了不同的防疫措施：我国以经济停滞为代价，采取“群防群控”这一强有力的防疫策略，于短时间内切断了病毒的所有传播途径；而部分欧美国家则遵循“群体免疫”的策略，通过适当措施“缓和”病毒传播的速度，而不采用封城这样极端的措施。

面对疫情，如何科学有效地防控，是需要考量病毒本身的传播特征的。

试以公开的美国COVID-19疫情数据，合理建立数学模型，解决以下问题：

1、COVID-19与重症急性呼吸道综合征（Severe Acute Respiratory Syndrome, SARS）的一个重要区别是，COVID-19在潜伏期也具有传染性，尝试分析美国COVID-19疫情中，病毒在潜伏期内的传染能力；

2、“群防群控”的一个关键步骤是应用核酸检测试剂筛选出感染者并立即采取隔离措施，但病毒传播的初期，几乎无法筛查出无症状感染者。尝试分析美国的无症状感染者在病毒传播早期如何影响了病毒的传播和控制；

3、“群体免疫”策略的一个重要指标是移出者比例，即免疫人群占总体人群的比例，请估计当美国“群体免疫”产生效果时的移出者比例；

4、建立适当的数学模型，说明为什么认为美国联邦政府在COVID-19暴发前期耽误了时间，并结合“群防群控”和“群体免疫”给出当前状况下美国真正可行的防控策略及其有效性。

1. 问题分析与条件假设
   1. 问题分析
      1. 建立模型后，由已有假设易得；
      2. 根据已公开的数据，拟合得到所求参数；
      3. 利用已求出的参数，对S、E、I、R均进行拟合并预测，寻求当

时，R的人数。并求其占总体人群的比例；

* + 1. 若美国联邦政府在COVID-19暴发前期做了充足准备，比如使得口罩充足，

于早期使得所有易感染人群均带上口罩，那么将有一定程度的减少，延缓已感染人群(E)数量的增加，并使得这一节点将更早到来，即COVID-19疫情能更早得到控制。

* 1. 条件假设

我们假设：

1. 有症状的感染者，即普通感染者(I)，由于症状明显，进行核实检测后确诊全部入院隔离，而无症状感染者(NI)因其症状不明显，早期未得到检测，故并未确诊并入院隔离；
2. 已治愈者(**D+R**)不再被传染，病死者由于得到妥当处理，将不会传染易感人群；
3. 根据相关报道中实际的COVID-19的潜伏期区间，不妨假设其潜伏期有6天，其中后3天才具有强传染性；
4. 每个感染者平均接触易感染者3人；
5. 3月12日前数据误差较大，对模型的建立有一定误导可能，故取3月12日前的数据进行拟合。
6. 模型建立与求解

对于此类传染病，我们首先考虑基本的传染病模型：SIR模型，其中S为易感者，I为感染者，将病愈免疫后和因病死亡的人称为移出者(removed)，**通常记为R，为了使模型的建立更加科学与完备，本文将移出者R（removed）详细地区分为病死者D（death）和康复者R（recovered）。**

考虑到COVID-19较其他病毒的特殊，其在潜伏期也具有传染性，故引入潜伏期感染者的模型，将潜伏期感染者记为E，即引入SEIR模型。

经过调查，我们发现，感染者分为无症状感染者和普通感染者（即有明显症状感染者）。我们于是引入无症状感染者和普通感染者的模型，将无症状感染者记为NI，普通感染者记为I，即S-E-NI-I-R模型。

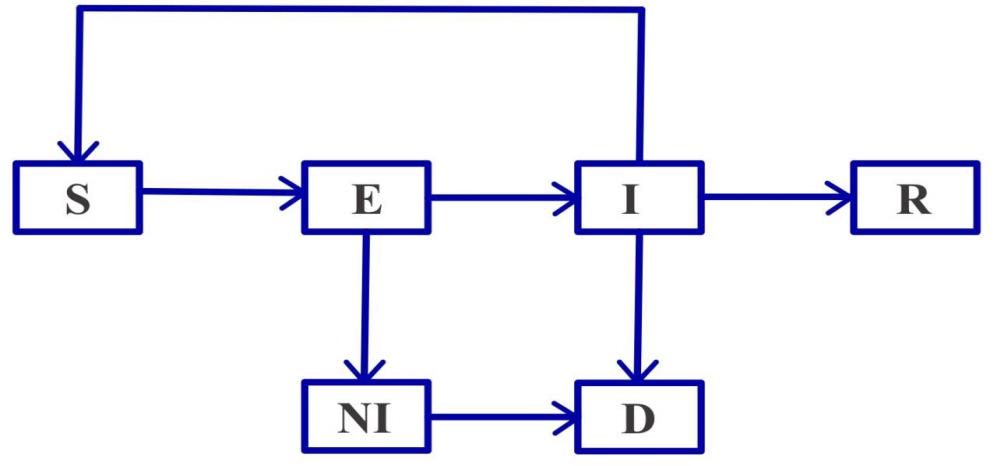
于是得到相关的参数定义如下**表1**：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **序号** | **符号** | **意义** |
| 1 |  | 易感染者（无传染性，无免疫性）； |
| 2 |  | 处于潜伏期的已感染者，有弱传染性； |
| 3 |  | 已发病但尚未隔离的无症状感染者，有强传染性 |
| 4 |  | 已发病且已经隔离的已感染者，有弱传染性； |
| 5 |  | 未能治愈的已感染死亡者（无传染性）； |
| 6 |  | 治愈者（无传染性，短时间内有免疫性）； |
| 7 |  | 感染率（每个有强传染性的已感染者每天传染的人数）； |
| 8 |  | 一个处于潜伏期(E)的已感染者折合成已感染者(I)的分值，即传染性； |
| 9 |  | 无症状感染者(NI)感染易感染者的概率 |
| 10 |  | 处于潜伏期(E)的已感染者分别转入无症状感染者(NI)和普通感染者(I)的比例； |
| 11 |  | 普通感染者(I)的治愈率和死亡率； |
| 12 |  | 无症状感染者(NI)的治愈率和死亡率； |
| 13 |  | 政府采取措施后对于COVID-19传播传染速率的影响 |

**表1 参数及变量的说明**

并得到下**图1**，结合说明各个人群的构造和转移关系：

**图1 人群的构造和转移**



**I与NI的比例**

**传染性**

**I的治愈率与致死率**

**NI的治愈率与致死率**

即易感人群(S)接触了已感染人群(I)，成为密切接触者，其中部分成为已感染者(E)；而感染者(E)其中部分为无症状感染者(NI)，早期因医疗资源的匮乏，无症状感染者(NI)未能得到检测并入院隔离治疗；剩余为普通感染者(I)，即有症状感染者，我们假设其全部入院隔离得到治疗；随后，普通感染者(I)部分治愈，部分死亡，无症状感染者(NI)部分死亡，部分自愈。

本模型中，由于已死亡的已感染者，若经过妥善处理，将不会再传染他人，我们将其视为无传染性，在拟合计算时，纳入移出者(R)范围。

由上**图1**，各个人群的转移关系可建立如下微分方程：

* 1. 尝试分析美国COVID-19疫情中病毒在潜伏期内的传染能力；

由2.2中的假设3，即COVID-19潜伏期有6天，其中后3天才有强传染性。则：

即COVID-19的传染性为.

* 1. 尝试分析美国的无症状感染者早期如何影响了病毒的传播和控制；

经调查，无症状感染者（NI）与普通感染者（I）的比例为1:3，同时我们选取，则我们可以根据3.1计算出，。再根据收集到的相关数据，利用MATLAB拟合，得到无症状感染者(NI)感染易感染者的概率。

即无症状感染者平均每接触10个人，将感染其中的7个人。

与普通感染者的传染率进行对比，无症状感染者不但传染率远高于普通感染者，并且，由于未经核酸检测并确诊入院隔离，无症状感染者接触易感人群并传播病毒的时间也远高于普通传染者。另外，由于美国政府在疫情早期几乎没有采取任何的措施，尝试对于疫情进行控制，无症状感染者的存在还使得病毒不受控的经过交通传播到各处，使得多地都成为疫情的辐射中心。这对于疫情的防控带来极大困难，防疫医疗资源将不能够集中支援某一点某一地，造成各地（州）自顾不暇的局面。这将极大地增加易感人群的感染率，增加感染人群数目。

显然，若早期能够对于无症状感染者全部进行检测，并能够依据检测结果进行隔离，感染概率将会有一定程度的降低，无论降低的程度为多少，至少将对与病毒的传播起到一定的遏制作用。每一个降低的微小数值都有可能挽救一个生命，哪怕只是一个生命。

由此可知，在疫情爆发的早期，由于无准备地面对疫情，在爆发性疫情面前，不够充足的医疗资源使得无症状感染者未能及时得到检测，并隔离、控制。无症状感染者几乎是完全不受控的接触并传染了大量易感人群。因而无症状感染者继续增大感染人群的数目，对疫情的控制带来了相当大的难度。

* 1. 请估计当美国“群体免疫”产生效果时的移出者比例；

对已建立的数学模型进行matlab参数拟合，容易得到。再利用现有公开数据和参数，拟合出感染率。

拟合图像如下**图2**：

**图2 对感染率的拟合**

经过matlab计算得到在第107天起始，感染率，即5月27日时出现拐点，美国的“群体免疫”将有可能开始产生效果。此时我们利用matlab对移出者的病死者（D）与治愈者（R）的数据进行了傅里叶拟合，得到

得到拟合图像如下**图3**：



**图3 对D(t)和R(t)的拟合**

根据拟合出的表达式，代入计算可得，美国“群体免疫”产生效果的移出者总数为75562，比例为。

* 1. 试说明为什么认为美国联邦政府在COVID-19暴发前期耽误了时间，并结合“群防群控”和“群体免疫”给出当前状况下美国真正可行的防控策略及其有效性。

若疫情爆发前期美国联邦政府及时采取措施，例如及时封锁病毒发源地、号召民众佩戴口罩、减少出门社交等措施，将对疫情的防控起到极大的正面效果，将有效遏制疫情的发展速度。

此外，由于中国疫情早于美国爆发，假若美国提早做好面对疫情的准备，筹集并囤积医疗物资，于早期及时进行核酸检测，一定程度上减少无症状感染者于人群中的比例，将有效遏制疫情的传播，有效降低病毒的传染率，使得无症状感染者无法不受控的大面积传播病毒。这将有效降低感染病毒的人群数。

假设存在一正数p=0.5，使得感染率整体下降为，如下**图4**易知，比收敛更快，即疫情得到控制的时间会更早。



**图4 与对比**

显然，若采取更多有效措施， 值（即政府采取措施后对于COVID-19传播传染速率的影响）可能将有一定程度的增大，即疫情得到控制所需要的时间将得到一定程度的减少。

上述结论结合问题三的结果可知，想要更早达到“群体免疫”，政府需要在疫情爆发前及早采取措施降低感染率，比如号召民众带上口罩、不聚众等。

现针对已建立的数学模型进行分析：由可知，要想及早控制疫情，则首先需要控制小，即减小，减小。对于减小，前文已讨论过，即可通过号召民众带上口罩、不聚众、保持社会距离等。对于减小，由可知，降低，即使用更有效的检测试剂并及时隔离感染者显得尤为重要，或者增大，即研发使用特效药、抗病毒药等。由可知，要想及早控制疫情，还需要控制小，即减小或者增大，减小可通过及时隔离病人，而增大与增大同理

1. 模型评价与推广
   1. 模型的优点：

基于对模型的分析，我们认为模型存在以下几个优点：

1. 本模型的建立是在一般的SEIR模型上引入无症状感染者与普通感染者的模型建立的，具有一定的适用性；
2. 依据实际情况对于感染者中的潜伏期、是否有症状、是否被隔离、是否有得到妥善治疗在模型、参数上有着对应的体现，贴合实际，具有一定的可行性。
3. 对于数据进行了简单的筛选和选取，能够一定程度上避免早期数据对模型拟合造成的不利影响。
   1. 模型的缺点：

基于对模型的分析，我们认为模型存在以下几个缺点：

1. 在进行SEIR模型的拟合、求解过程中，我们只是简单假设无症状感染者全部未能隔离，并假设出现症状的感染者全部能够得到妥善的医疗救治。事实上，存在不少出现明显症状的感染者，仍未能入院得到隔离治疗；
2. 本模型未考虑超级传染者等可能造成的影响；
3. 事实上，由于美国尚处于疫情发展阶段，数据具有反复统计数据可能出现不准确、反复修改等问题，本模型未对原始数据进行筛查，只做了简单的筛选选取，未排查异常数据。
   1. 模型的改进:

基于对模型的分析，我们认为模型存在以下几点改进：

1. 对统计数据做一定的分析处理，并排查异常数据；
2. 在本模型的基础上，继续引入已隔离感染者与未隔离感染者的模型；
3. 继续引入超级传染者的模型。
   1. 模型的推广：

基于对模型的分析，我们认为模型存在以下几点可以推广：

1. 对于其他的潜伏期内具有传染性的疾病可以采用同样的方法；
2. 对于SEIR模型做了一个无症状感染者与普通（有症状）感染者的简单的模型引进，对于其进行了一定的改动及细化。

五、参考文献

1. 司守奎，孙兆亮，数学建模算法与应用，国防工业出版社，2017 年：180-187页
2. 数据来源：美国霍普金斯大学https://github.com/CSSEGISandData/COVID-19

六、附录

**6.1** 初始公开数据：

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| t | date | 确诊 | E | D | R | I | NI | S |
| 1 | 2020/3/12 | 1629 | 4887 | 38 | 15 | 1576 | 525 | 329998371 |
| 2 | 2020/3/13 | 1896 | 5688 | 36 | 41 | 1819 | 606 | 329998104 |
| 3 | 2020/3/14 | 2234 | 6702 | 41 | 56 | 2137 | 712 | 329997766 |
| 4 | 2020/3/15 | 3471 | 10413 | 62 | 56 | 3353 | 1118 | 329996529 |
| 5 | 2020/3/16 | 4226 | 12678 | 90 | 56 | 4080 | 1360 | 329995774 |
| 6 | 2020/3/17 | 7023 | 21069 | 97 | 56 | 6870 | 2290 | 329992977 |
| 7 | 2020/3/18 | 10442 | 31326 | 150 | 106 | 10186 | 3395 | 329989558 |
| 8 | 2020/3/19 | 15219 | 45657 | 205 | 121 | 14893 | 4964 | 329984781 |
| 9 | 2020/3/20 | 18747 | 56241 | 260 | 147 | 18340 | 6113 | 329981253 |
| 10 | 2020/3/21 | 24583 | 73749 | 278 | 147 | 24158 | 8053 | 329975417 |
| 11 | 2020/3/22 | 33404 | 100212 | 409 | 178 | 32817 | 10939 | 329966596 |
| 12 | 2020/3/23 | 44338 | 133014 | 552 | 178 | 43608 | 14536 | 329955662 |
| 13 | 2020/3/24 | 54453 | 163359 | 696 | 178 | 53579 | 17860 | 329945547 |
| 14 | 2020/3/25 | 68440 | 205320 | 926 | 378 | 67136 | 22379 | 329931560 |
| 15 | 2020/3/26 | 85356 | 256068 | 1201 | 680 | 83475 | 27825 | 329914644 |
| 16 | 2020/3/27 | 103321 | 309963 | 1581 | 869 | 100871 | 33624 | 329896679 |
| 17 | 2020/3/28 | 122653 | 367959 | 2010 | 961 | 119682 | 39894 | 329877347 |
| 18 | 2020/3/29 | 140904 | 422712 | 2436 | 2661 | 135807 | 45269 | 329859096 |
| 19 | 2020/3/30 | 163539 | 490617 | 2956 | 5595 | 154988 | 51663 | 329836461 |
| 20 | 2020/3/31 | 186101 | 558303 | 3606 | 6043 | 176452 | 58817 | 329813899 |
| 21 | 2020/4/1 | 213144 | 639432 | 4542 | 8434 | 200168 | 66723 | 329786856 |
| 22 | 2020/4/2 | 239279 | 717837 | 5648 | 8861 | 224770 | 74923 | 329760721 |
| 23 | 2020/4/3 | 258098 | 774294 | 6889 | 9445 | 241764 | 80588 | 329741902 |
| 24 | 2020/4/4 | 267436 | 802308 | 8496 | 14997 | 243943 | 81314 | 329732564 |
| 25 | 2020/4/5 | 330891 | 992673 | 9458 | 16848 | 304585 | 101528 | 329669109 |
| 26 | 2020/4/6 | 374329 | 1122987 | 10755 | 19313 | 344261 | 114754 | 329625671 |
| 27 | 2020/4/7 | 395926 | 1187778 | 12716 | 21571 | 361639 | 120546 | 329604074 |
| 28 | 2020/4/8 | 427460 | 1282380 | 14604 | 23292 | 389564 | 129855 | 329572540 |
| 29 | 2020/4/9 | 459165 | 1377495 | 16504 | 25139 | 417522 | 139174 | 329540835 |
| 30 | 2020/4/10 | 492416 | 1477248 | 18509 | 27744 | 446163 | 148721 | 329507584 |
| 31 | 2020/4/11 | 525704 | 1577112 | 20513 | 29444 | 475747 | 158582 | 329474296 |
| 32 | 2020/4/12 | 554849 | 1664547 | 22036 | 32091 | 500722 | 166907 | 329445151 |
| 33 | 2020/4/13 | 579005 | 1737015 | 23640 | 36948 | 518417 | 172806 | 329420995 |
| 34 | 2020/4/14 | 605390 | 1816170 | 25856 | 38562 | 540972 | 180324 | 329394610 |
| 35 | 2020/4/15 | 632548 | 1897644 | 28394 | 48105 | 556049 | 185350 | 329367452 |
| 36 | 2020/4/16 | 661712 | 1985136 | 34475 | 57256 | 569981 | 189994 | 329338288 |
| 37 | 2020/4/17 | 690714 | 2072142 | 37158 | 60510 | 593046 | 197682 | 329309286 |
| 38 | 2020/4/18 | 720630 | 2161890 | 39011 | 68269 | 613350 | 204450 | 329279370 |
| 39 | 2020/4/19 | 746625 | 2239875 | 40478 | 69956 | 636191 | 212064 | 329253375 |
| 40 | 2020/4/20 | 776093 | 2328279 | 42303 | 72015 | 661775 | 220592 | 329223907 |
| 41 | 2020/4/21 | 802583 | 2407749 | 45343 | 82973 | 674267 | 224756 | 329197417 |
| 42 | 2020/4/22 | 828441 | 2485323 | 47430 | 83910 | 697101 | 232367 | 329171559 |
| 43 | 2020/4/23 | 865585 | 2596755 | 49729 | 85021 | 730835 | 243612 | 329134415 |
| 44 | 2020/4/24 | 895766 | 2687298 | 51742 | 93275 | 750749 | 250250 | 329104234 |
| 45 | 2020/4/26 | 957875 | 2873625 | 54120 | 116167 | 787588 | 262529 | 329042125 |
| 46 | 2020/4/27 | 981246 | 2943738 | 55357 | 118735 | 807154 | 269051 | 329018754 |
| 47 | 2020/4/28 | 1005147 | 3015441 | 56527 | 137591 | 811029 | 270343 | 328994853 |
| 48 | 2020/4/29 | 1031659 | 3094977 | 58640 | 140138 | 832881 | 277627 | 328968341 |
| 49 | 2020/4/30 | 1062446 | 3187338 | 61180 | 145320 | 855946 | 285315 | 328937554 |
| 50 | 2020/5/1 | 1092815 | 3278445 | 63765 | 151774 | 877276 | 292425 | 328907185 |
| 51 | 2020/5/2 | 1122486 | 3367458 | 65540 | 160173 | 896773 | 298924 | 328877514 |
| 52 | 2020/5/3 | 1152372 | 3457116 | 67228 | 161782 | 923362 | 307787 | 328847628 |
| 53 | 2020/5/4 | 1171510 | 3514530 | 68495 | 178219 | 924796 | 308265 | 328828490 |
| 54 | 2020/5/5 | 1193813 | 3581439 | 69476 | 184354 | 939983 | 313328 | 328806187 |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Province\_State** | **Country\_Region** | **Confirmed** | **Deaths** | **Recovered** | **Active** | **FIPS** |
| Alabama | US | 9668 | 390 |  | 9278 | 1 |
| Alaska | US | 378 | 10 | 318 | 50 | 2 |
| American Samoa | US | 0 | 0 |  | 0 | 60 |
| Arizona | US | 10960 | 532 | 2684 | 7744 | 4 |
| Arkansas | US | 3747 | 88 | 2968 | 691 | 5 |
| California | US | 66558 | 2687 |  | 63871 | 6 |
| Colorado | US | 19375 | 967 | 2974 | 15434 | 8 |
| Connecticut | US | 32984 | 2932 | 5413 | 24639 | 9 |
| Delaware | US | 6277 | 221 | 2450 | 3606 | 10 |
| Diamond Princess | US | 49 | 0 |  | 49 | 88888 |
| District of Columbia | US | 6102 | 311 | 879 | 4912 | 11 |
| Florida | US | 40001 | 1715 |  | 38286 | 12 |
| Georgia | US | 32588 | 1403 |  | 31185 | 13 |
| Grand Princess | US | 103 | 3 |  | 100 | 99999 |
| Guam | US | 151 | 5 | 124 | 22 | 66 |
| Hawaii | US | 631 | 17 | 566 | 48 | 15 |
| Idaho | US | 2205 | 67 | 1442 | 696 | 16 |
| Illinois | US | 76085 | 3349 |  | 72736 | 17 |
| Indiana | US | 23732 | 1490 |  | 22242 | 18 |
| Iowa | US | 11671 | 252 | 5011 | 6408 | 19 |
| Kansas | US | 6829 | 174 | 350 | 6305 | 20 |
| Kentucky | US | 6440 | 304 | 2266 | 3870 | 21 |
| Louisiana | US | 31417 | 2267 | 20316 | 8834 | 22 |
| Maine | US | 1408 | 64 | 857 | 487 | 23 |
| Maryland | US | 31534 | 1614 | 2159 | 27761 | 24 |
| Massachusetts | US | 76743 | 4840 |  | 71903 | 25 |
| Michigan | US | 46815 | 4530 | 22686 | 19599 | 26 |
| Minnesota | US | 10790 | 558 | 6322 | 3910 | 27 |
| Mississippi | US | 9378 | 421 | 4421 | 4536 | 28 |
| Missouri | US | 9911 | 494 |  | 9417 | 29 |
| Montana | US | 458 | 16 | 422 | 20 | 30 |
| Nebraska | US | 8093 | 90 |  | 8003 | 31 |
| Nevada | US | 6171 | 313 | 205 | 5653 | 32 |
| New Hampshire | US | 3011 | 131 | 1210 | 1670 | 33 |
| New Jersey | US | 137397 | 9116 | 15642 | 112639 | 34 |
| New Mexico | US | 4778 | 191 | 1189 | 3398 | 35 |
| New York | US | 333122 | 26612 | 57180 | 249330 | 36 |
| North Carolina | US | 14478 | 551 |  | 13927 | 37 |
| North Dakota | US | 1464 | 35 | 762 | 667 | 38 |
| Northern Mariana Islands | US | 16 | 2 | 12 | 2 | 69 |
| Ohio | US | 23697 | 1331 |  | 22366 | 39 |
| Oklahoma | US | 4490 | 270 | 3154 | 1066 | 40 |
| Oregon | US | 3160 | 127 | 1125 | 1908 | 41 |
| Pennsylvania | US | 58560 | 3779 |  | 54781 | 42 |
| Puerto Rico | US | 2173 | 108 |  | 2065 | 72 |
| Rhode Island | US | 10989 | 418 | 772 | 9799 | 44 |
| South Carolina | US | 7531 | 330 | 4120 | 3081 | 45 |
| South Dakota | US | 3393 | 34 | 2125 | 1234 | 46 |
| Tennessee | US | 14768 | 242 | 7369 | 7157 | 47 |
| Texas | US | 38394 | 1066 | 20141 | 17187 | 48 |
| Utah | US | 6103 | 66 | 2901 | 3136 | 49 |
| Vermont | US | 921 | 53 | 744 | 124 | 50 |
| Virgin Islands | US | 68 | 4 | 57 | 7 | 78 |
| Virginia | US | 23196 | 827 | 3124 | 19245 | 51 |
| Washington | US | 16674 | 921 |  | 15753 | 53 |
| West Virginia | US | 1323 | 52 | 761 | 510 | 54 |
| Wisconsin | US | 9939 | 398 | 4875 | 4666 | 55 |
| Wyoming | US | 653 | 7 | 438 | 208 | 56 |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Province\_State** | **Incident\_Rate** | **People\_Tested** | **People\_Hospitalized** | **ISO3** |
| Alabama | 206.1892 | 125494 | 1228 | USA |
| Alaska | 63.23725 | 26449 |  | USA |
| American Samoa | 0 | 83 |  | ASM |
| Arizona | 150.576 | 128940 | 1514 | USA |
| Arkansas | 144.7262 | 65528 | 471 | USA |
| California | 169.7535 | 912570 |  | USA |
| Colorado | 341.9029 | 96772 | 3600 | USA |
| Connecticut | 925.1429 | 123569 | 9389 | USA |
| Delaware | 644.612 | 29296 |  | USA |
| Diamond Princess |  |  |  | USA |
| District of Columbia | 864.6133 | 28183 |  | USA |
| Florida | 188.3942 | 527731 | 7325 | USA |
| Georgia | 321.3999 | 235324 | 5987 | USA |
| Grand Princess |  |  |  | USA |
| Guam | 91.94478 | 3794 |  | GUM |
| Hawaii | 44.56888 | 36262 | 81 | USA |
| Idaho | 136.9143 | 31806 | 206 | USA |
| Illinois | 648.3235 | 416331 |  | USA |
| Indiana | 362.6531 | 135686 | 4389 | USA |
| Iowa | 445.3368 | 71476 |  | USA |
| Kansas | 280.0506 | 49933 | 635 | USA |
| Kentucky | 188.1224 | 86447 | 1696 | USA |
| Louisiana | 683.3844 | 212157 |  | USA |
| Maine | 119.9312 | 23500 | 198 | USA |
| Maryland | 530.5775 | 156028 | 5932 | USA |
| Massachusetts | 1118.088 | 376537 | 7551 | USA |
| Michigan | 587.5923 | 273486 |  | USA |
| Minnesota | 218.1364 | 106263 | 1612 | USA |
| Mississippi | 323.9148 | 81479 | 1512 | USA |
| Missouri | 169.1454 | 108898 |  | USA |
| Montana | 52.88763 | 21329 | 62 | USA |
| Nebraska | 530.5939 | 42976 |  | USA |
| Nevada | 204.5615 | 56111 |  | USA |
| New Hampshire | 226.7067 | 32298 | 309 | USA |
| New Jersey | 1546.882 | 305206 |  | USA |
| New Mexico | 286.5311 | 93262 | 789 | USA |
| New York | 1975.692 | 1153768 | 72255 | USA |
| North Carolina | 145.9789 | 186362 |  | USA |
| North Dakota | 241.4176 | 43933 | 110 | USA |
| Northern Mariana Islands | 29.01494 | 2337 |  | MNP |
| Ohio | 212.0753 | 196670 | 4300 | USA |
| Oklahoma | 122.757 | 95869 | 822 | USA |
| Oregon | 78.86054 | 74620 | 662 | USA |
| Pennsylvania | 465.2235 | 277107 |  | USA |
| Puerto Rico | 74.07766 | 2173 |  | PRI |
| Rhode Island | 1037.323 | 87815 | 1218 | USA |
| South Carolina | 149.4253 | 80963 | 1252 | USA |
| South Dakota | 461.0731 | 22952 | 253 | USA |
| Tennessee | 224.9529 | 252748 | 1319 | USA |
| Texas | 167.0426 | 489294 |  | USA |
| Utah | 212.9536 | 143294 | 498 | USA |
| Vermont | 150.8375 | 19527 |  | USA |
| Virgin Islands | 63.39262 | 1092 |  | VIR |
| Virginia | 293.3518 | 137149 | 4717 | USA |
| Washington | 220.8651 | 235835 | 3450 | USA |
| West Virginia | 100.0002 | 60997 |  | USA |
| Wisconsin | 192.0739 | 111874 | 1806 | USA |
| Wyoming | 131.3249 | 12047 | 64 | USA |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Province\_State** | **Mortality\_Rate** | **ISO3** | **Testing\_Rate** | **Hospitalization\_Rate** |
| Alabama | 4.033926 | USA | 2676.408 | 12.7017 |
| Alaska | 2.645503 | USA | 4424.767 |  |
| American Samoa |  | ASM | 149.1706 |  |
| Arizona | 4.854015 | USA | 1771.466 | 13.81387 |
| Arkansas | 2.348546 | USA | 2530.989 | 12.57006 |
| California | 4.03708 | USA | 2327.473 |  |
| Colorado | 4.990968 | USA | 1707.697 | 18.58065 |
| Connecticut | 8.889158 | USA | 3465.892 | 28.46532 |
| Delaware | 3.52079 | USA | 3008.532 |  |
| Diamond Princess | 0 | USA |  |  |
| District of Columbia | 5.09669 | USA | 3993.346 |  |
| Florida | 4.287393 | USA | 2485.474 | 18.31204 |
| Georgia | 4.305266 | USA | 2320.888 | 18.37179 |
| Grand Princess | 2.912621 | USA |  |  |
| Guam | 3.311258 | GUM | 2310.189 |  |
| Hawaii | 2.694136 | USA | 2561.263 | 12.83677 |
| Idaho | 3.038549 | USA | 1974.918 | 9.342404 |
| Illinois | 4.401656 | USA | 3547.574 |  |
| Indiana | 6.278443 | USA | 2073.443 | 18.49402 |
| Iowa | 2.159198 | USA | 2727.349 |  |
| Kansas | 2.547957 | USA | 2047.703 | 9.29858 |
| Kentucky | 4.720497 | USA | 2525.251 | 26.3354 |
| Louisiana | 7.215839 | USA | 4614.852 |  |
| Maine | 4.545455 | USA | 2001.693 | 14.0625 |
| Maryland | 5.118285 | USA | 2625.26 | 18.81144 |
| Massachusetts | 6.306764 | USA | 5485.861 | 9.839334 |
| Michigan | 9.676386 | USA | 3432.623 |  |
| Minnesota | 5.171455 | USA | 2148.27 | 14.93976 |
| Mississippi | 4.48923 | USA | 2814.273 | 16.12284 |
| Missouri | 4.984361 | USA | 1858.5 |  |
| Montana | 3.49345 | USA | 2462.97 | 13.53712 |
| Nebraska | 1.112072 | USA | 2817.596 |  |
| Nevada | 5.072111 | USA | 1860.014 |  |
| New Hampshire | 4.350714 | USA | 2431.807 | 10.26237 |
| New Jersey | 6.634788 | USA | 3436.157 |  |
| New Mexico | 3.997488 | USA | 5592.813 | 16.51319 |
| New York | 7.988665 | USA | 6842.811 | 21.69025 |
| North Carolina | 3.805774 | USA | 1879.052 |  |
| North Dakota | 2.39071 | USA | 7244.673 | 7.513661 |
| Northern Mariana Islands | 12.5 | MNP | 4237.995 |  |
| Ohio | 5.616745 | USA | 1760.09 | 18.14576 |
| Oklahoma | 6.013363 | USA | 2621.066 | 18.30735 |
| Oregon | 4.018987 | USA | 1862.207 | 20.94937 |
| Pennsylvania | 6.45321 | USA | 2201.446 |  |
| Puerto Rico | 4.970087 | PRI | 74.07766 |  |
| Rhode Island | 3.803804 | USA | 8289.431 | 11.08381 |
| South Carolina | 4.381888 | USA | 1606.417 | 16.62462 |
| South Dakota | 1.002063 | USA | 3118.936 | 7.456528 |
| Tennessee | 1.638678 | USA | 3849.973 | 8.931473 |
| Texas | 2.776475 | USA | 2128.794 |  |
| Utah | 1.081435 | USA | 4999.997 | 8.159921 |
| Vermont | 5.754615 | USA | 3198.049 |  |
| Virgin Islands | 5.882353 | VIR | 1018.011 |  |
| Virginia | 3.56527 | USA | 1734.476 | 20.3354 |
| Washington | 5.52357 | USA | 3123.889 | 20.6909 |
| West Virginia | 3.930461 | USA | 4610.513 |  |
| Wisconsin | 4.004427 | USA | 2161.996 | 18.17084 |
| Wyoming | 1.071975 | USA | 2422.774 | 9.800919 |

6.2 代码：

data=xlsread('D:\总病例数据.xls');

I=data(:,9);

NI=data(:,10);

E=data(:,2);

D=data(:,3);

R=data(:,4);

S=data(:,13);

dD=data(:,5);

dR=data(:,6);

dI=data(:,7);

dE=data(:,8);

dNI=data(:,11);

dS=data(:,14);

t=1:54;

t1=1:200;

for k=1:54

lamda(k)=(dE(k)+1/3.\*E(k))./(0.1.\*E(k)+NI(k));

M(k)=329998371-lamda(k).\*(0.1.\*E(k)+NI(k))-dS(k);

N(k)=lamda(k).\*NI(k);

end

x=55;

while 2.886\*exp(-0.00999\*x)>1

x=x+1;

end

D1=43110-38710\*cos(0.05129\*x)-22120\*sin(0.05129\*x);

R1=110000-113200\*cos(0.05255\*x)-76750\*sin(0.05255\*x)+6072\*cos(2\*x\*0.05255)+26230\*sin(2\*x\*0.05255);

Immune=D1+R1;%免疫人数

ImmuneP=Immune/329998371;%移出者比例