



传染病传播动力学分析与可视化： 探索与思考

姚羽

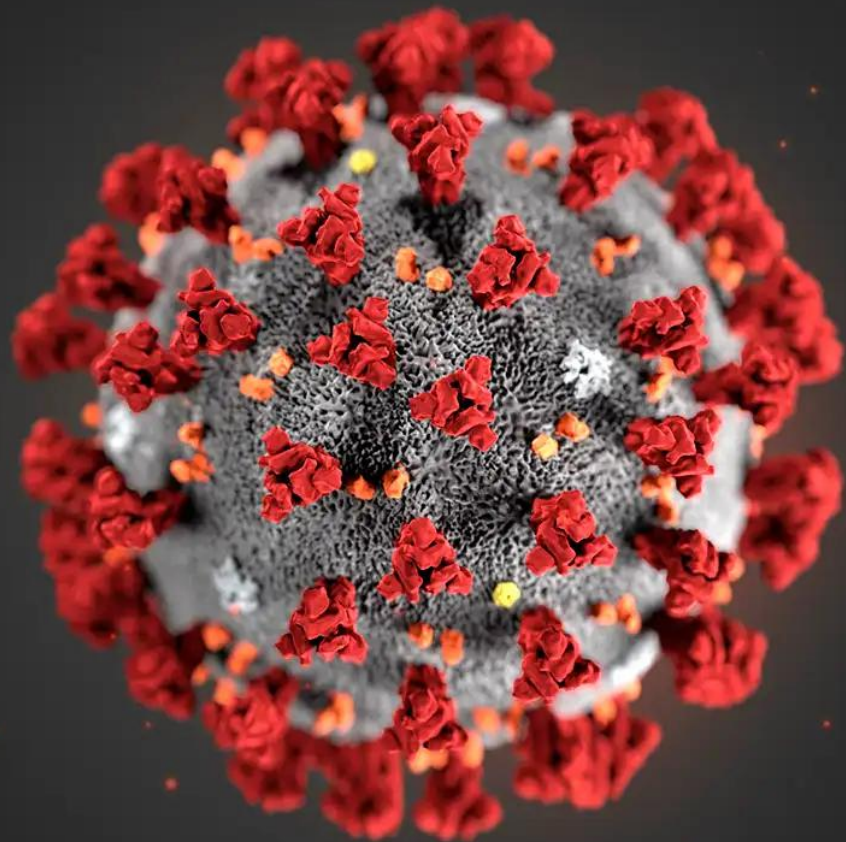
二〇二〇年四月二十五日

议题

1、基于多隔离策略的新冠肺炎疫情建模及分析

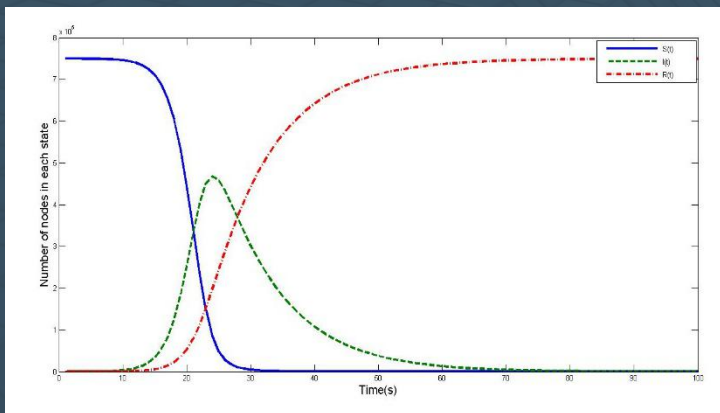
2、新冠肺炎疫情态势可视化

病毒“们”

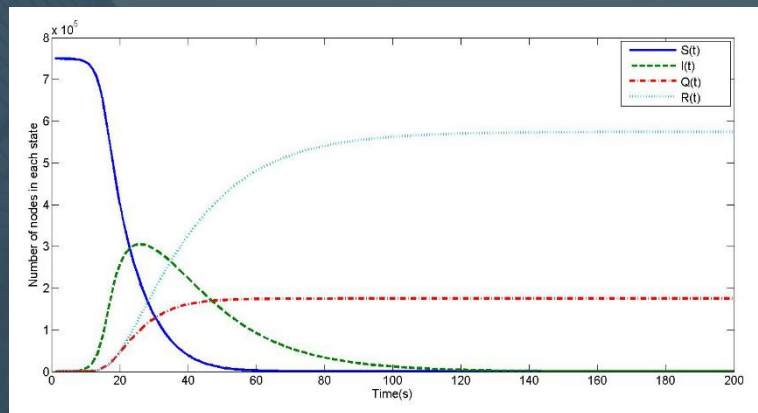


计算机病毒的传播模型

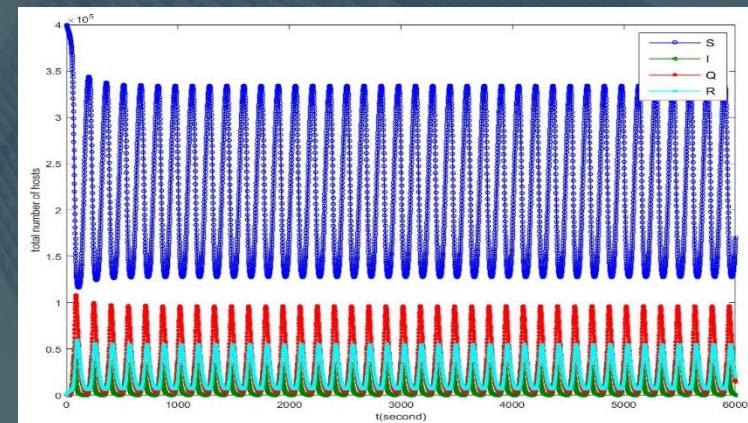
SIR模型



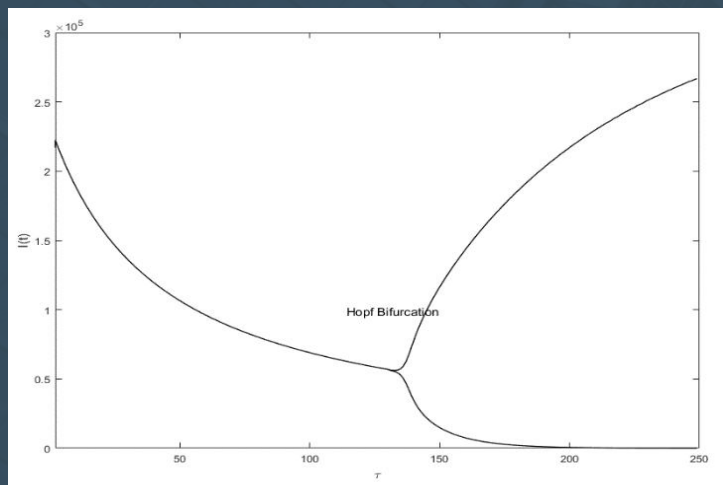
SIQR模型



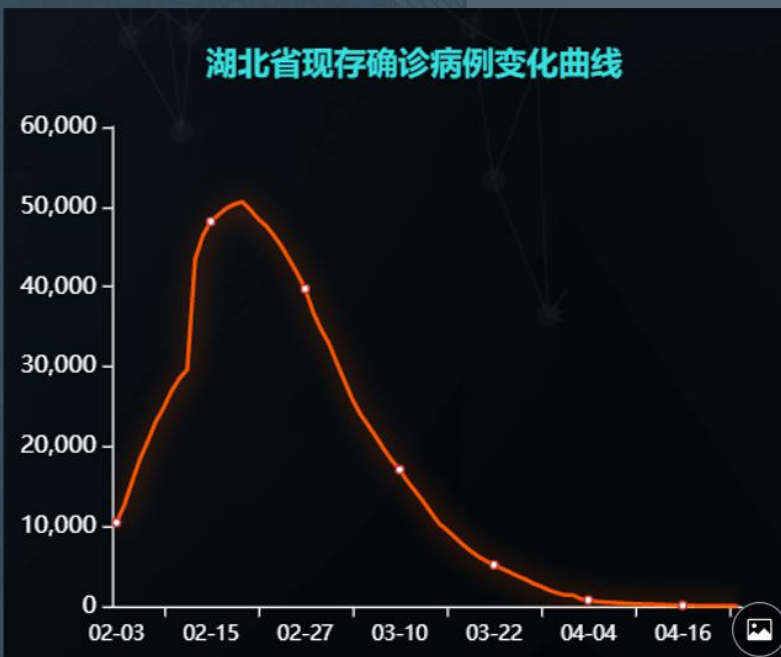
带时延的SIQR模型



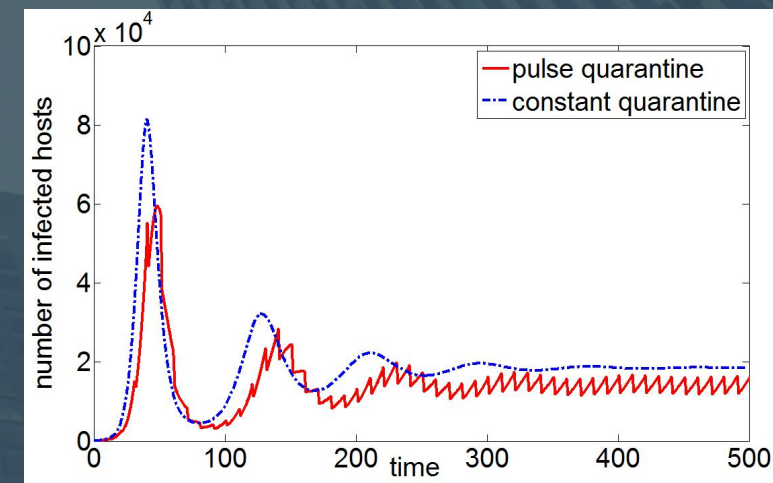
时延系统的Hopf分岔



湖北省现存确诊病例变化曲线



两种不同隔离策略的对比



病毒“们”

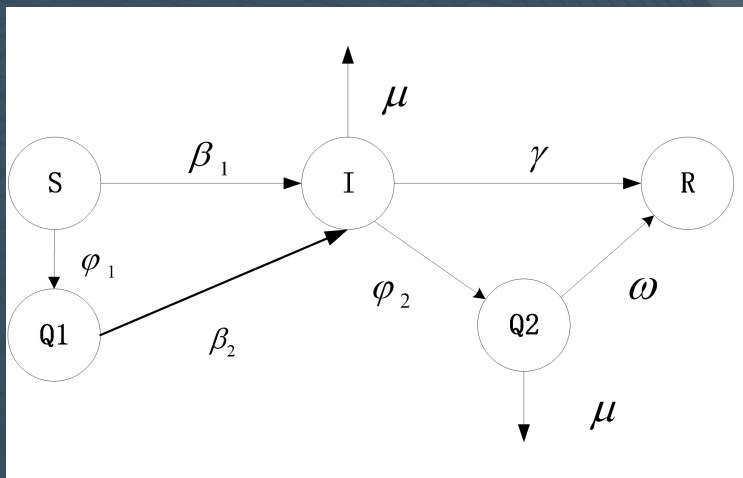


病毒“们”



早期的新冠疫情传染病传播动力学模型

状态转换图



数学模型

$$\begin{cases} \frac{dS(t)}{dt} = -\frac{\beta_1 I(t)S(t)}{N} - \varphi_1 S(t), \\ \frac{dI(t)}{dt} = \frac{\beta_1 I(t)S(t)}{N} + \frac{\beta_2 I(t)Q_1(t)}{N} - (\gamma + \mu + \varphi_2)I(t), \\ \frac{dQ_1(t)}{dt} = \varphi_1 S(t) - \frac{\beta_2 I(t)Q_1(t)}{N}, \\ \frac{dQ_2(t)}{dt} = \varphi_2 I(t) - \omega Q_2(t) - \mu Q_2(t), \\ \frac{dR(t)}{dt} = \gamma I(t) + \omega Q_2(t), \end{cases}$$

参数取值

参数	取值
β_1 (感染率)	0.4133
β_2 (感染率)	0.25
φ_1 (在家有效隔离率)	0.4
φ_2 (医院有效隔离率)	0.2
γ (恢复率)	0.1
μ (死亡率)	0.02
ω (治愈率)	0.01

基于SIQR模型模拟我国新冠肺炎疫情趋势

参数取值

参数	取值
β_1 (感染率)	0.4133
β_2 (感染率)	0.25
φ_1 (在家有效隔离率)	0.4
φ_2 (医院有效隔离率)	0.2
γ (恢复率)	0.1
μ (死亡率)	0.02
ω (治愈率)	0.01

这里我们假设主要的参数如下：

假设一个病毒携带者成功感染另一人的概率为 b ，每天接触的人数为 k ，那么

$$\text{感染率 } \beta_1 = kb$$

在家隔离的感染率为 β_2 ，该值小于 β_1

在家进行有效隔离的概率为 φ_1 ，医院收治进行有效隔离的概率为 φ_2 ；

恢复率为 γ 死亡率为 μ 治愈率为 ω

基于SIQR模型模拟全国新冠肺炎疫情趋势

基本再生数

在基本的传染病SIR模型基础上，对参数 b 进行拟合。首先得到下式：

$$I(t) = e^{(kb-\gamma)t}$$

然后根据1月19日至1月23日官方公布的确诊病例数量，我们可以拟合得到 $b=0.04133$ ；

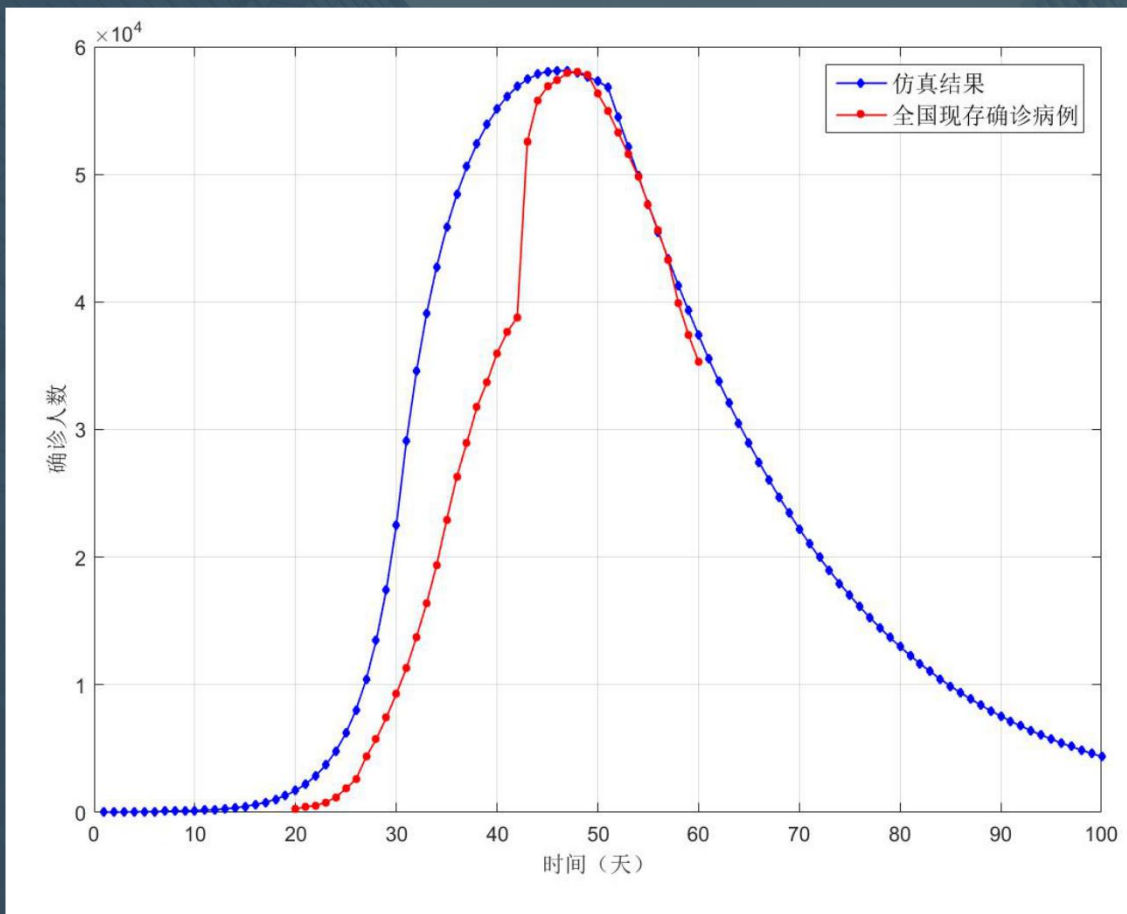
假设一般情况下一个病毒携带者每天密切接触10人（ $k=10$ ）；

假设感染的平均时间为 D ，这里根据近期CHAN等人对新冠肺炎人传人特点的研究，我们取 $D=8$ 。那么根据传染病的传播动力学中LIPSITCH等人的研究：

$$R_0 = kbD = 3.3064.$$

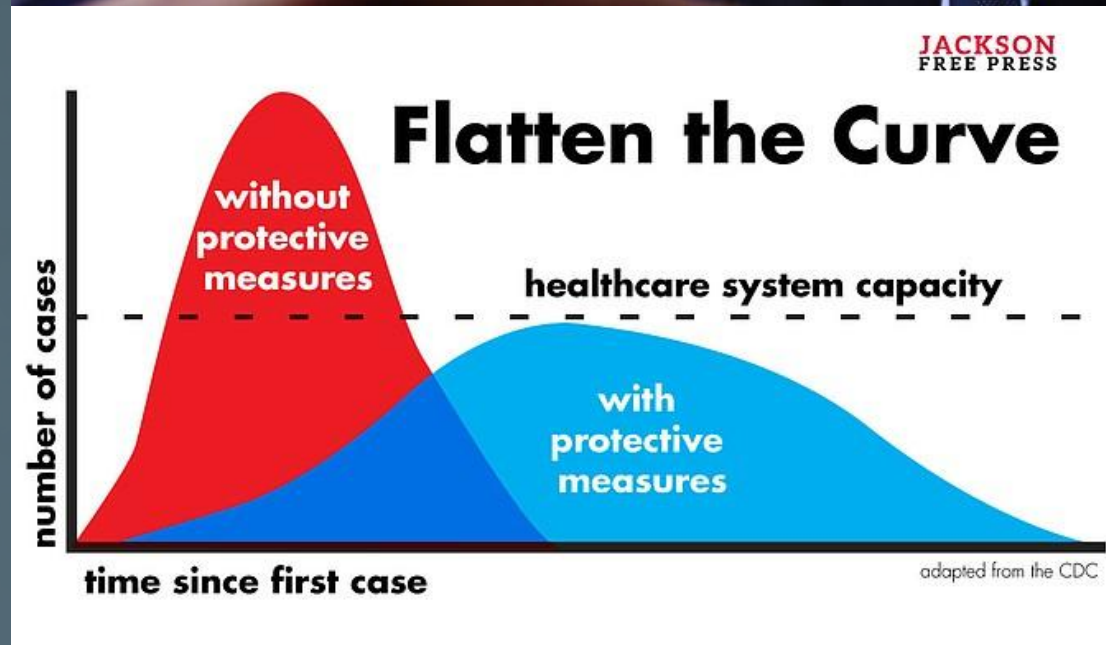
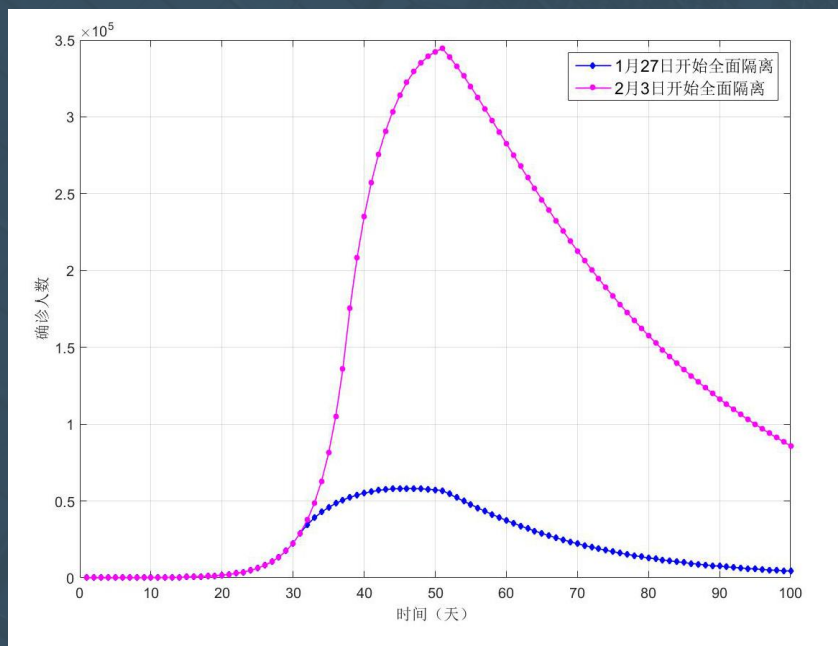
全国范围内SIQR模型的仿真结果

在疫情前期，仿真结果明显比实际确诊病例数多，我们认为可能是存在疫情前期各地检测仪器不充足、医务人员数量紧缺等情况，这就会造成一定数量的漏诊情况。



不同隔离措施的结果对比

假设隔离开始日期分别为1月27日和2月3日。如果在2月3日开始采取隔离措施，则确诊病例的峰值会接近35万人，而且疫情持续时间也将延长。也就是说如果采取隔离措施的时间推迟一周，那么整个疫情的感染人数可能是现在的7倍！

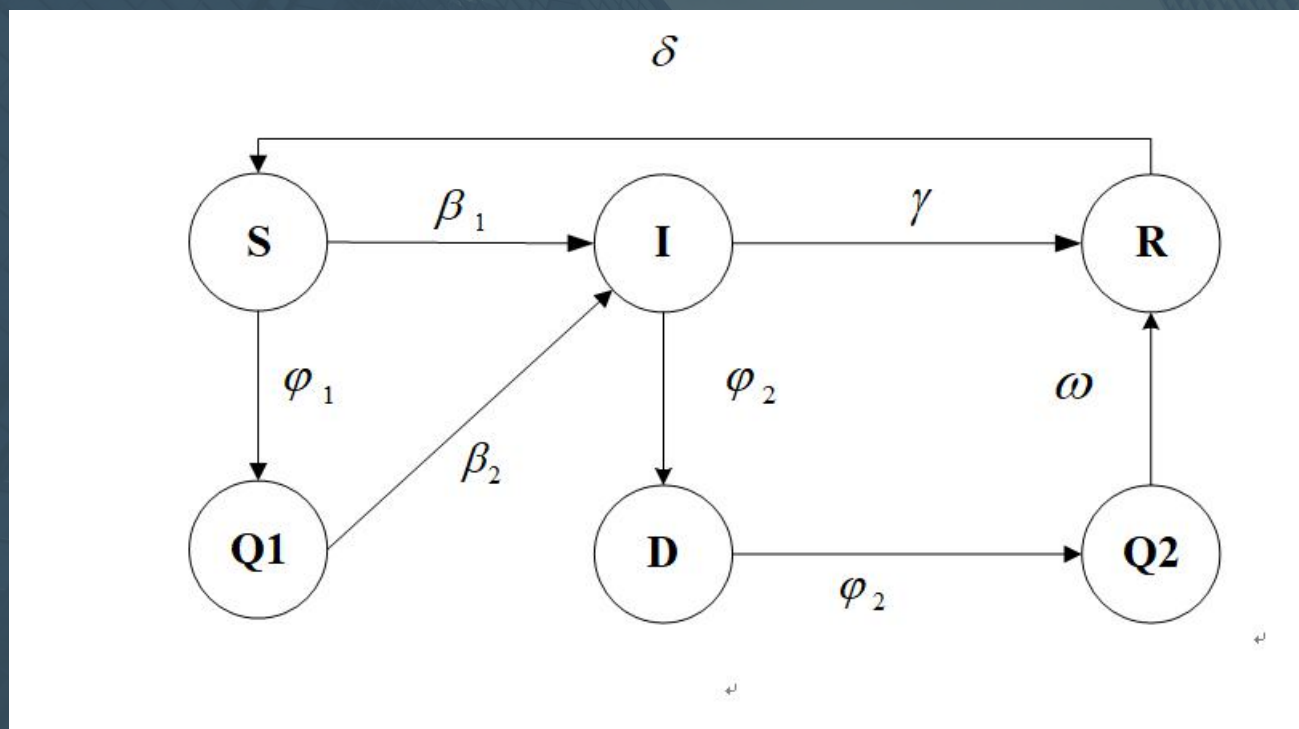


初步结论

- 从目前的形势来看，隔离措施是有效、可行的防疫手段。
- 依据仿真结果，如果隔离措施晚执行一周，那么整个疫情的感染人数会是现在的7倍。
- 在中后期，由于执行了更为严格的隔离措施，疫情控制更为有效。
- 目前条件下，隔离仍是避免疫情反弹的最佳策略。

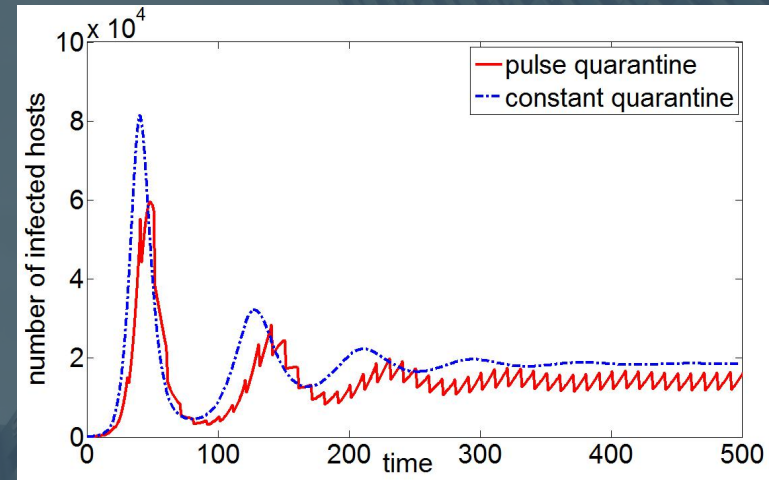
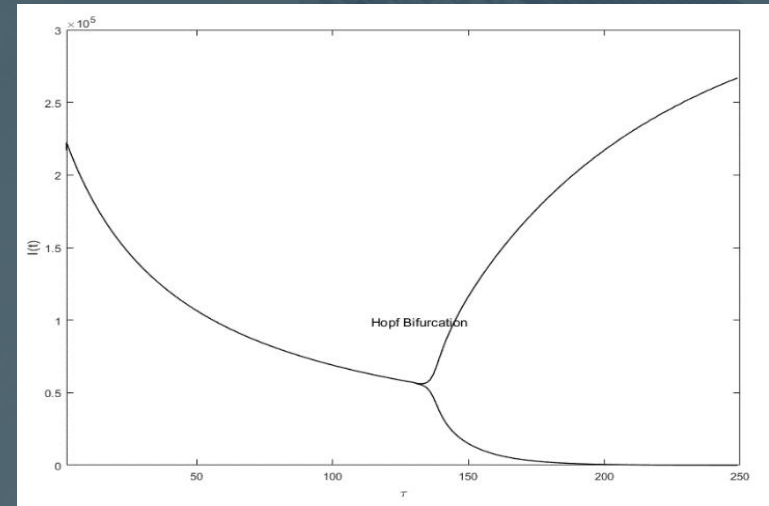
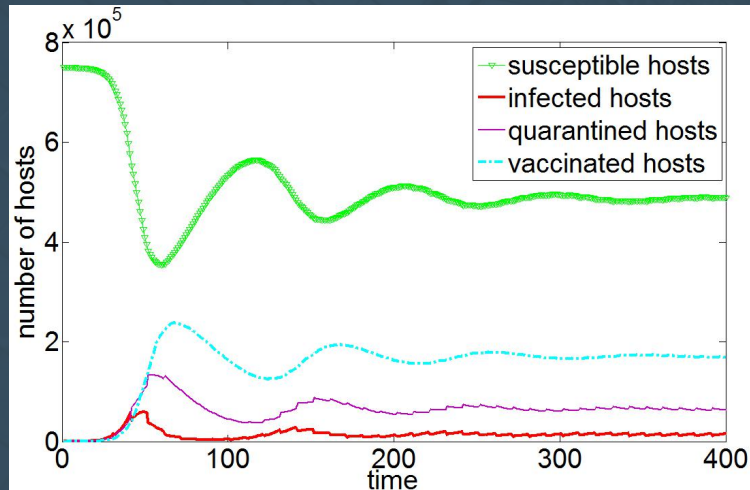
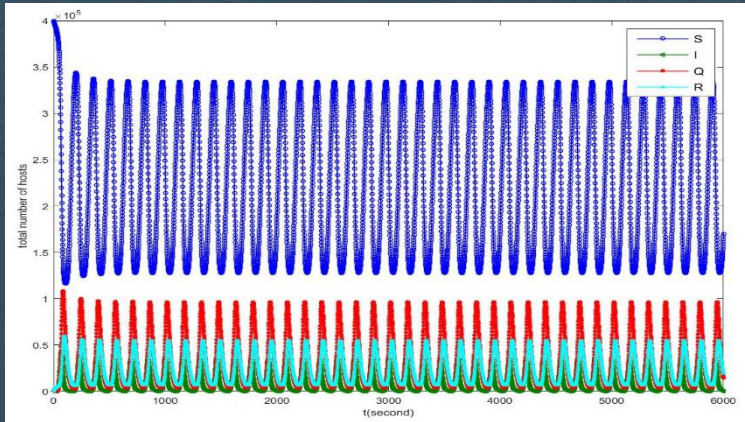
引入时延因素的传染病模型

目前全球防疫策略的特点与武汉早期类似，均为轻症居家隔离，重症入院隔离。在后续工作中，将在原有模型的基础上进一步完善，引入非线性因素对全球疫情的发展态势进行动力学分析。



稳定性证明：用于定量分析与预测

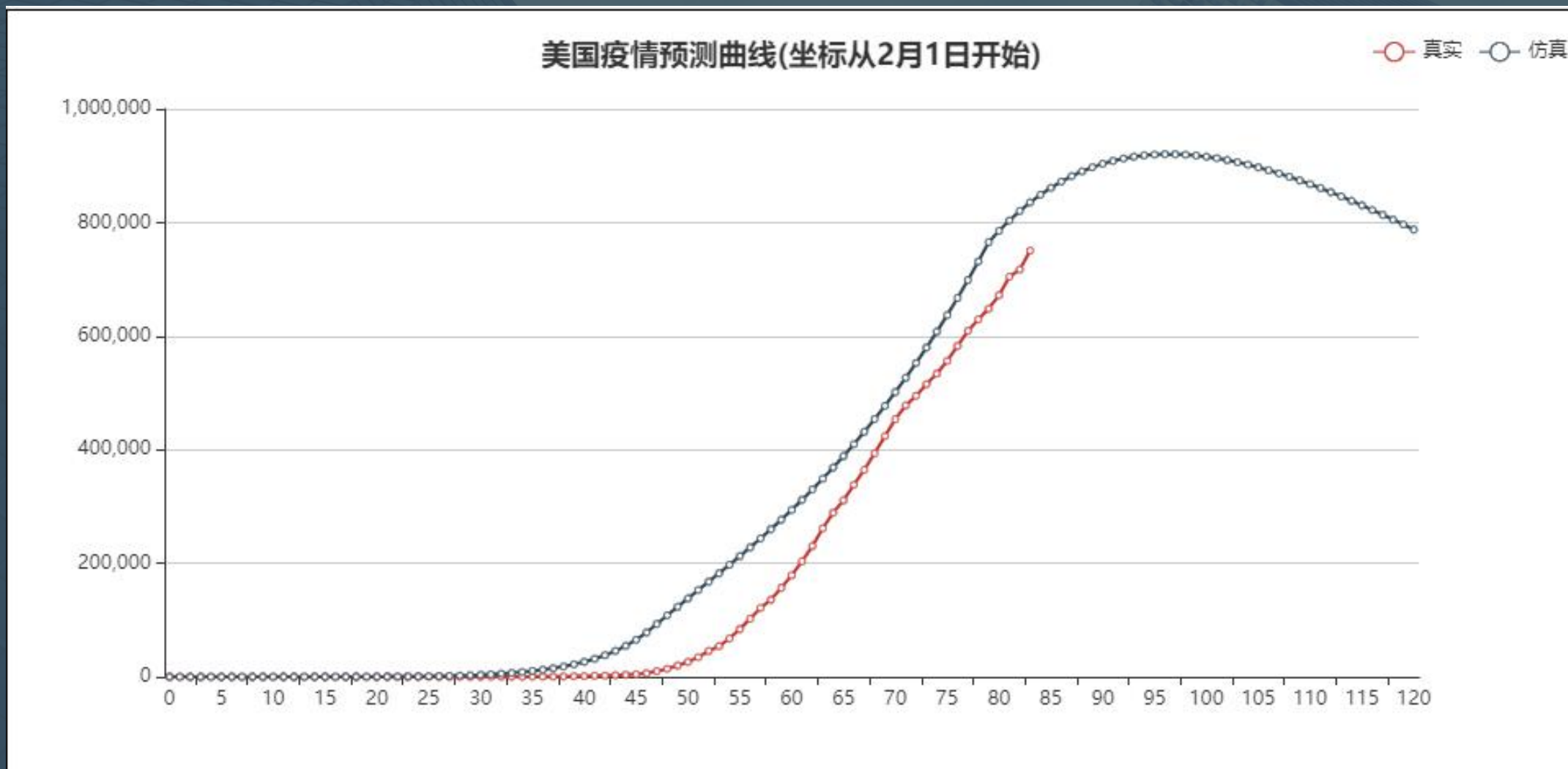
○ $R_0 < 1$



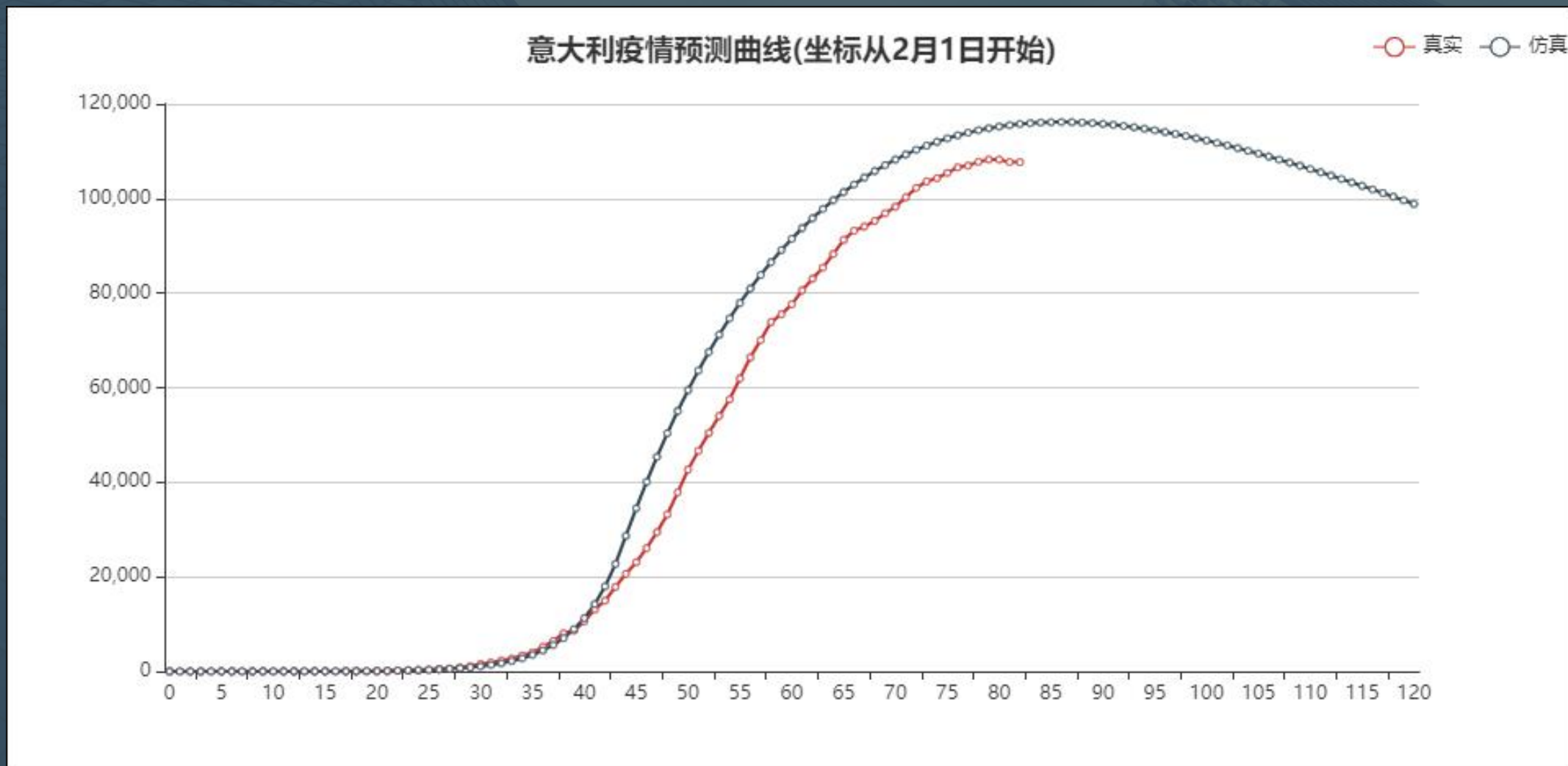
定量分析与预测：面临的挑战

- 准确预测的前提：模型能否反映现实世界
- 因素1：疫情数据的准确性——受核酸/抗体检测能力的影响
- 因素2：参数选取的真实性
- 因素3：模型的复杂度与可证性
- 结论：长期“预测”极易被“打脸”，需要不断迭代

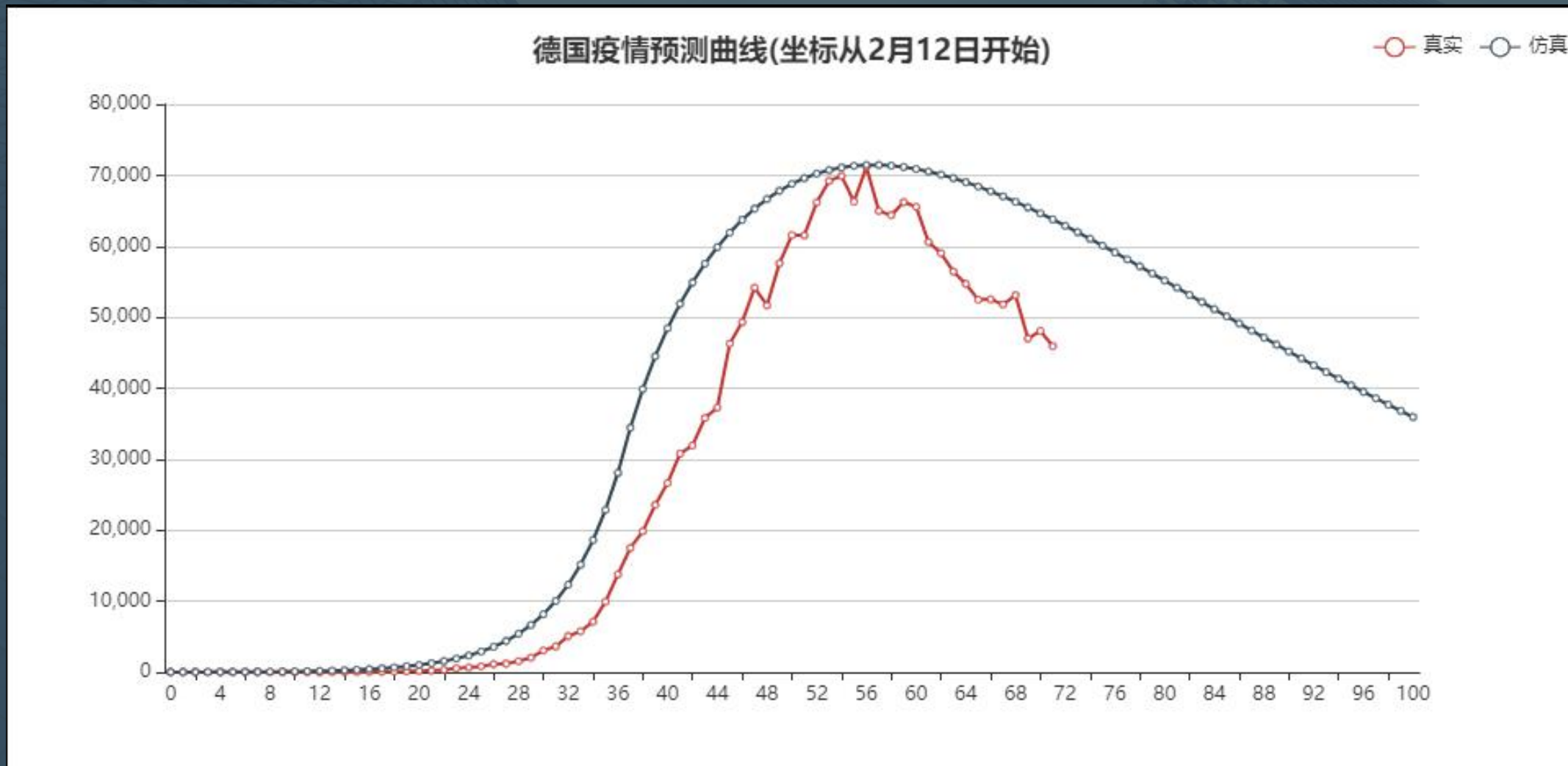
美国疫情预测曲线



意大利疫情预测曲线



德国疫情预测曲线

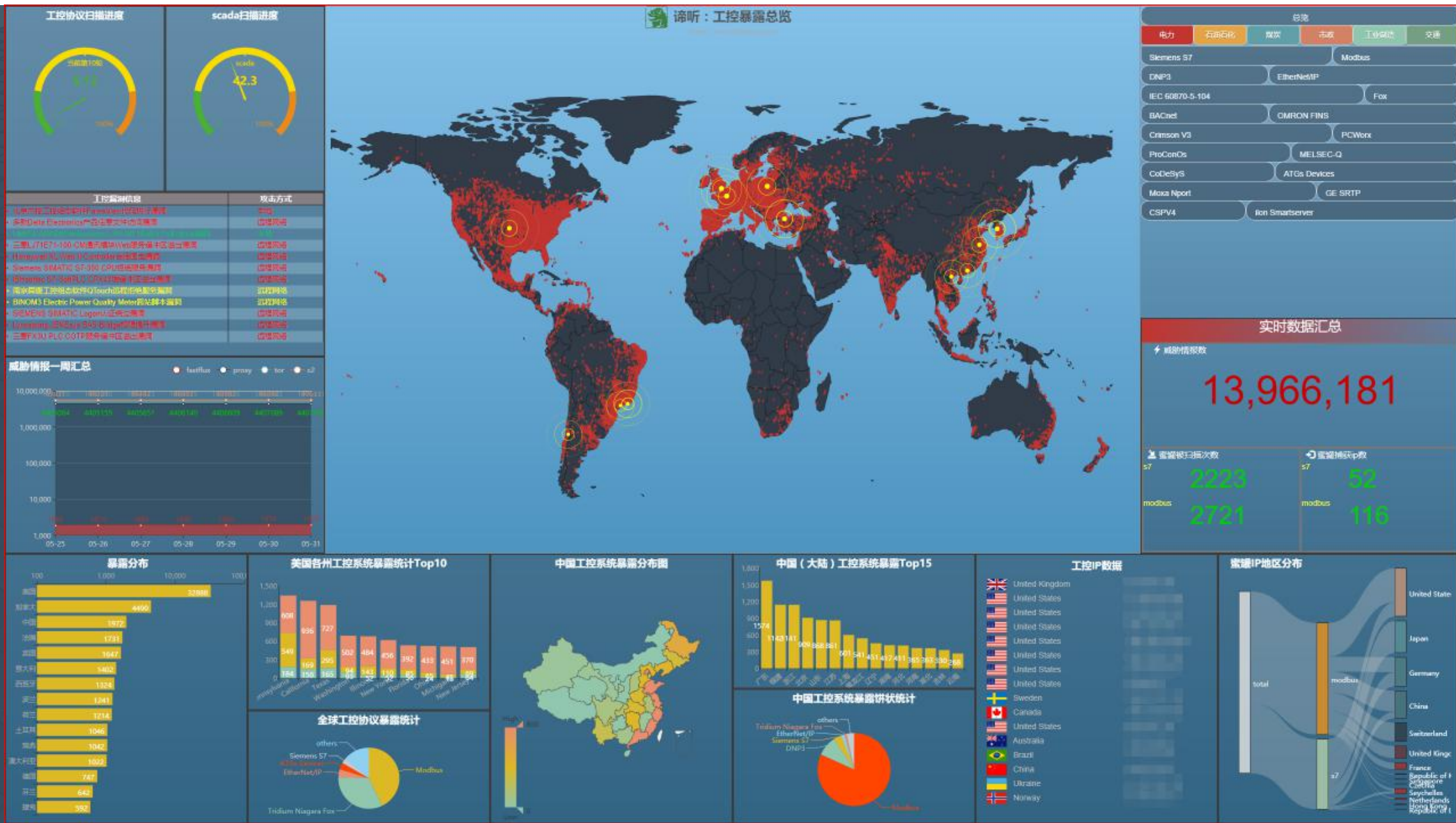


议题

1、“谛听”态势感知能力的拓展

2、新冠肺炎疫情态势可视化

“谛听” 工业互联网安全态势感知



约翰霍普金斯大学全球COVID-19疫情可视化



COVID-19 Dashboard by the Center for Systems Science and Engineering (CSSE) at Johns Hopkins University (JHU)



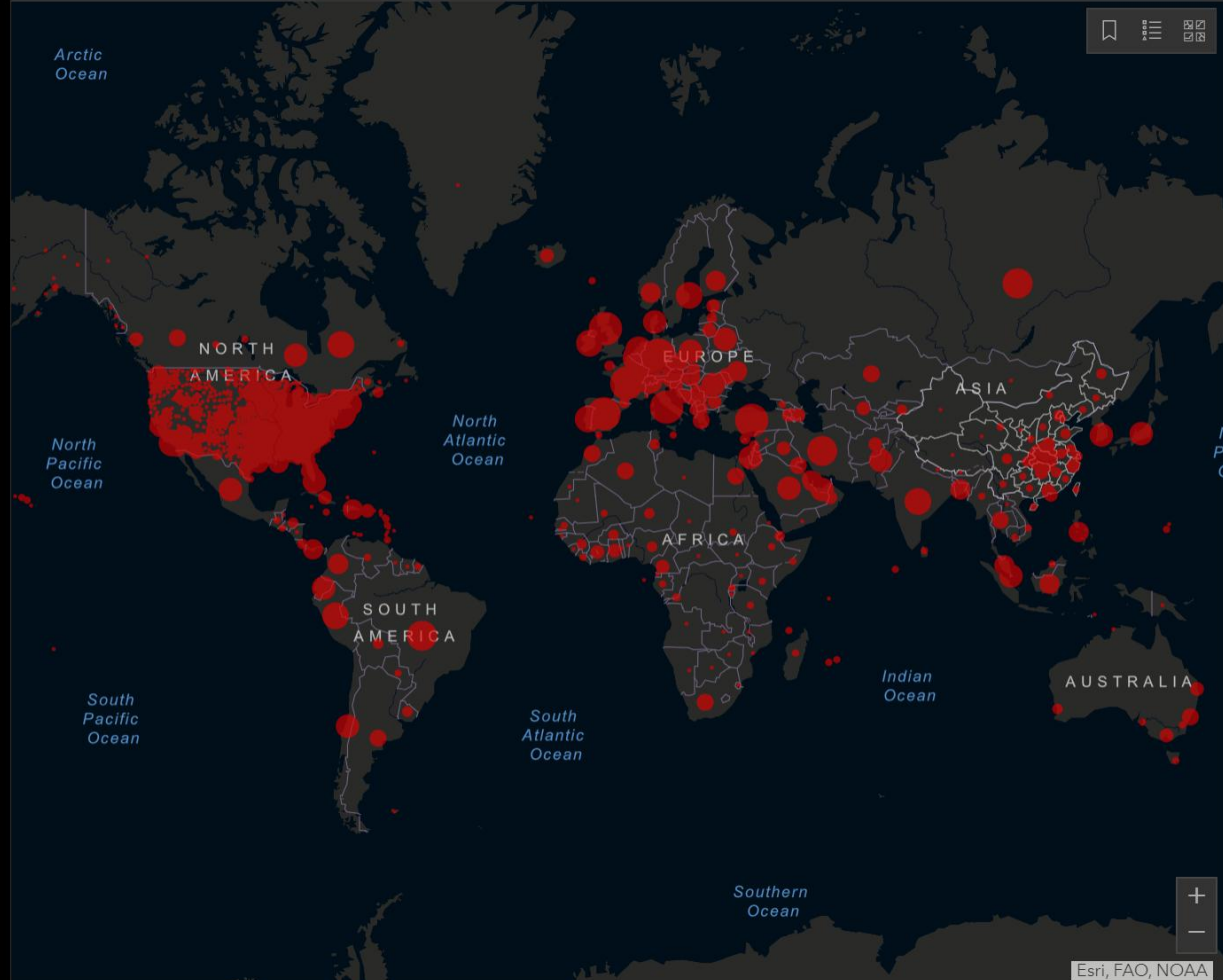
Total Confirmed
2,708,885

Confirmed Cases by Country/Region/Sovereignty

869,170	US
213,024	Spain
189,973	Italy
159,460	France
153,129	Germany
139,246	United Kingdom
101,790	Turkey
87,026	Iran
83,884	China
62,773	Russia
50,036	Brazil
43,286	Canada
42,797	Belgium
35,921	Netherlands
28,496	Switzerland
23,077	India
22,353	Portugal
20,914	Peru
17,607	Ireland

Admin0 Admin1 Admin2

Last Updated at (M/D/YYYY)
4/24/2020 11:31:35 上午



Cumulative Confirmed Cases Active Cases Incidence Rate Case-Fatality Ratio Testing Rate Hospitalization Rate

185
countries/regions

Lancet Inf Dis Article: [Here](#). Mobile Version: [Here](#).
Lead by JHU CSSE. Automation Support: Esri Living Atlas team and JHU APL. Contact US. FAQ.
Data sources: WHO, CDC, ECDC, NHC, DXY, 1point3acres, Worldometers.info, BNO, the COVID Tracking Project (testing and hospitalizations), state and national government health departments, and local media reports. [Read more in this blog.](#)

Total Deaths
190,858

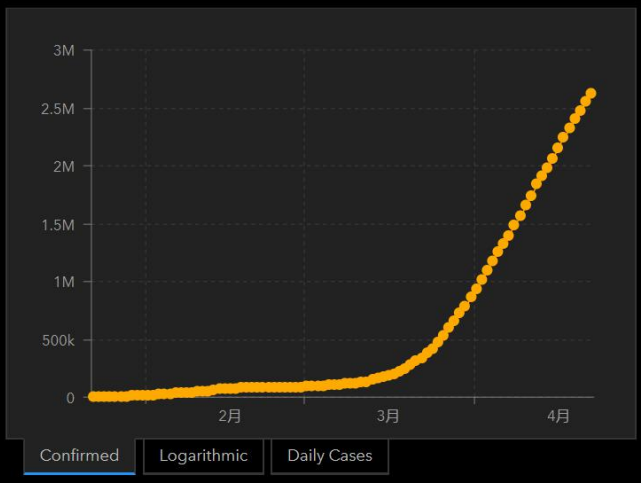
25,549	deaths	Italy
22,157	deaths	Spain
21,856	deaths	France
18,738	deaths	United Kingdom
16,388	deaths	New York City New York US
6,490	deaths	Belgium
5,575	deaths	Germany
5,481	deaths	Iran
4,512	deaths	

Deaths Recovered

Total Test Conducted in U.S.
4,660,250

695,920	tested	New York US
482,097	tested	California US
296,708	tested	Florida US
225,078	tested	Texas US
200,148	tested	New Jersey US
195,076	tested	Massachusetts US
178,708	tested	Pennsylvania US
173,316	tested	Illinois US
147,953	tested	Washington US

US Tested



“谛听” 全球新冠肺炎疫情态势总览

	累计确诊	累计治愈	累计死亡	现有确诊
国内	84305	78187	4642	1476
国外	2566761	648515	180509	1737737

国内外新增确诊病例



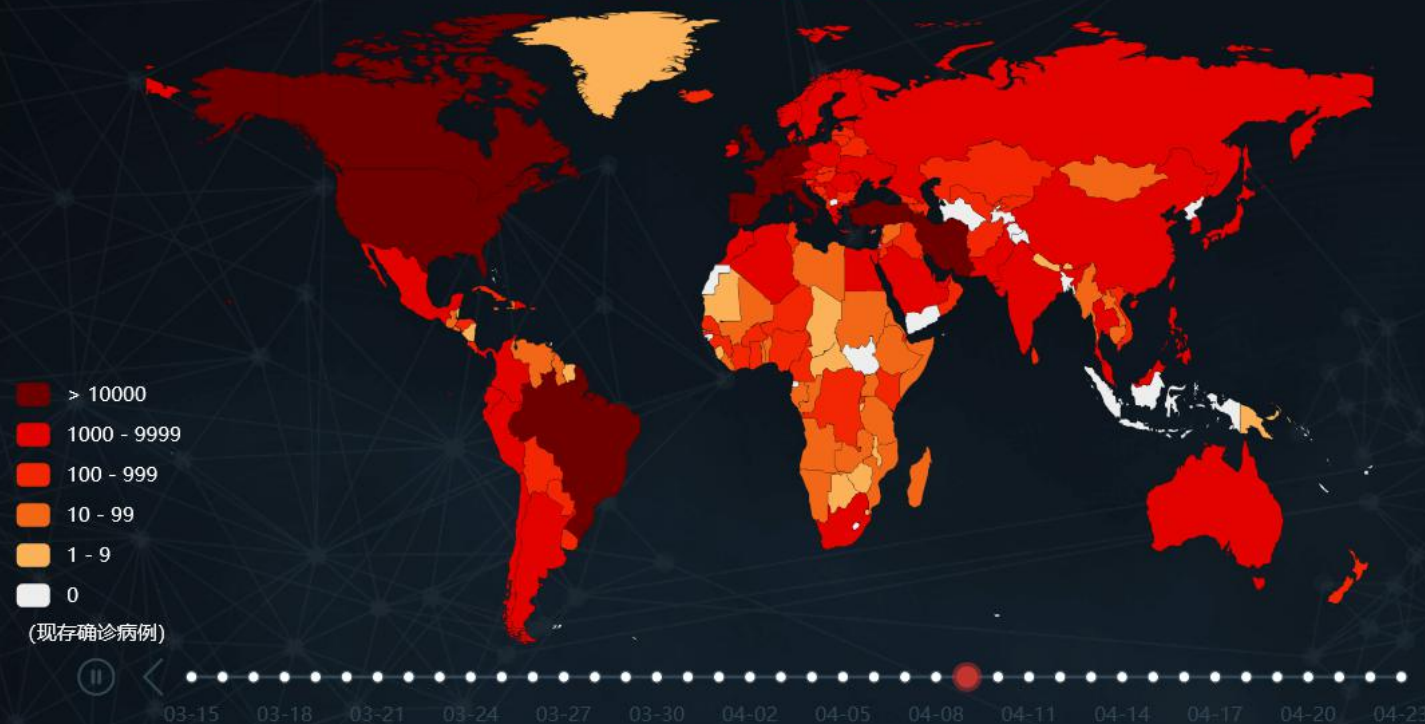
昨日新增确诊病例top10



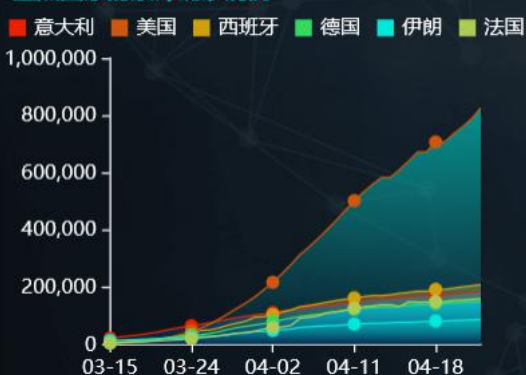
各大洲确诊人数占比



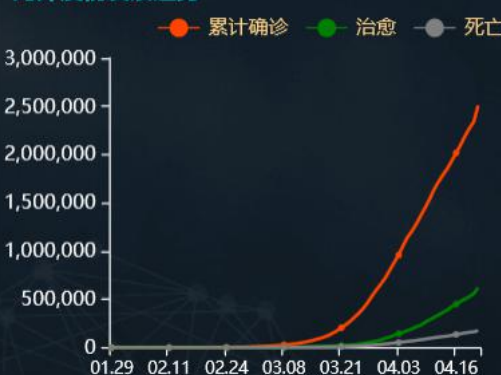
全球新冠肺炎疫情地图



重点国家的累计确诊病例



海外疫情发展趋势



治愈率/死亡率变化趋势



意大利 美国 伊朗 韩国

意大利疫情数据



治愈率

死亡率

意大利疫情地图



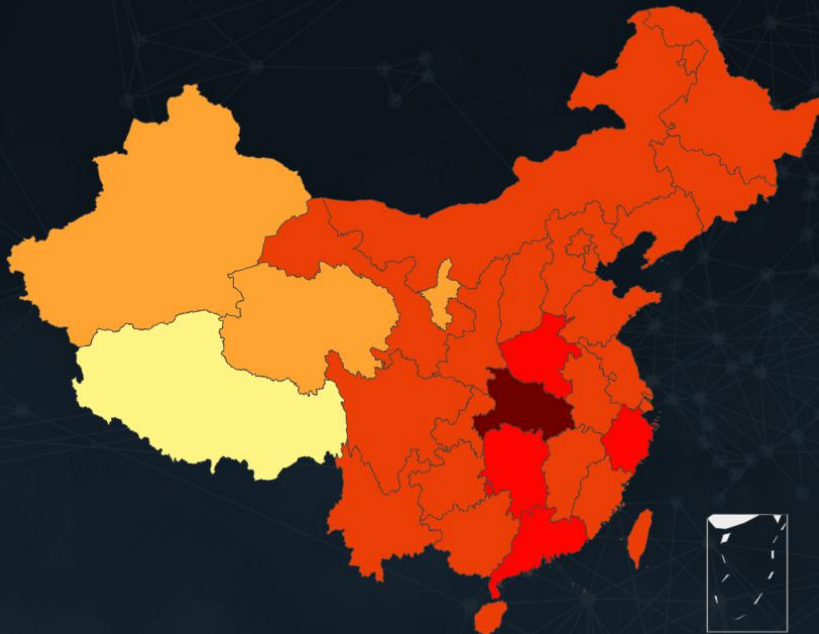
全国新冠肺炎疫情态势总览

新型冠状病毒肺炎疫情

全国确诊: **84302** 较上日+13
 疑似病例: **20** 较上日-15
 累计治愈: **78147** 较上日+103
 累计死亡: **4642** 较上日+0

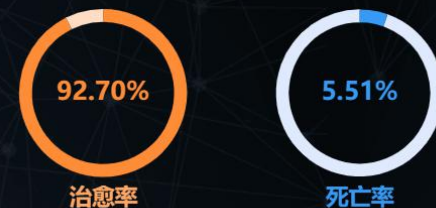
序号	省份	确诊	治愈	死亡
#32	澳门	45	26	0
#33	青海	18	18	0
#34	西藏	1	1	0
#1	湖北	68128	63547	4512
#2	广东	1584	1518	8
#3	河南	1276	1254	22
#4	浙江	1268	1254	1
#5	香港	1033	678	4
#6	湖南	1019	1015	4
#7	安徽	991	984	6
#8	江西	937	936	1

全国肺炎疫情总体态势

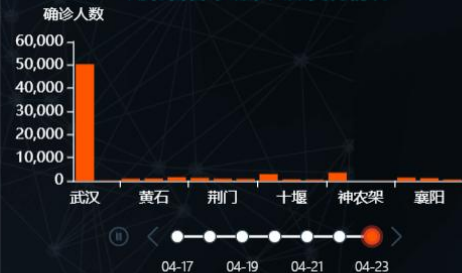


全国疫情重点关注

湖北省: **68128** **63547** **4512**
 累计确诊 治愈 死亡



湖北省各市确诊人数变化情况



各地区确诊人数占比



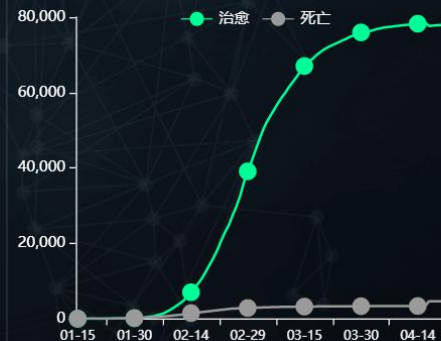
累计确诊病例top10



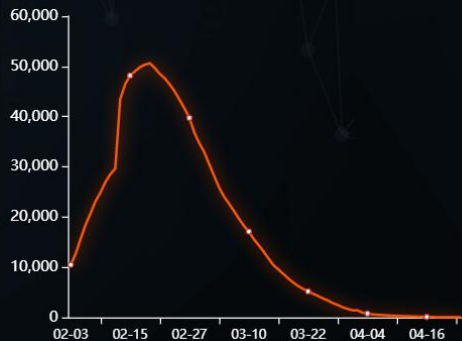
全国疫情确诊/疑似人数趋势



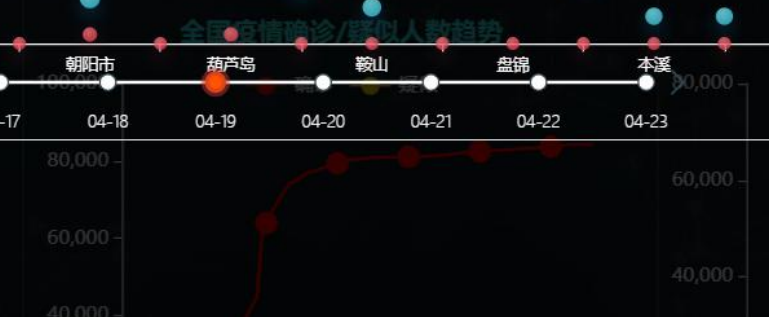
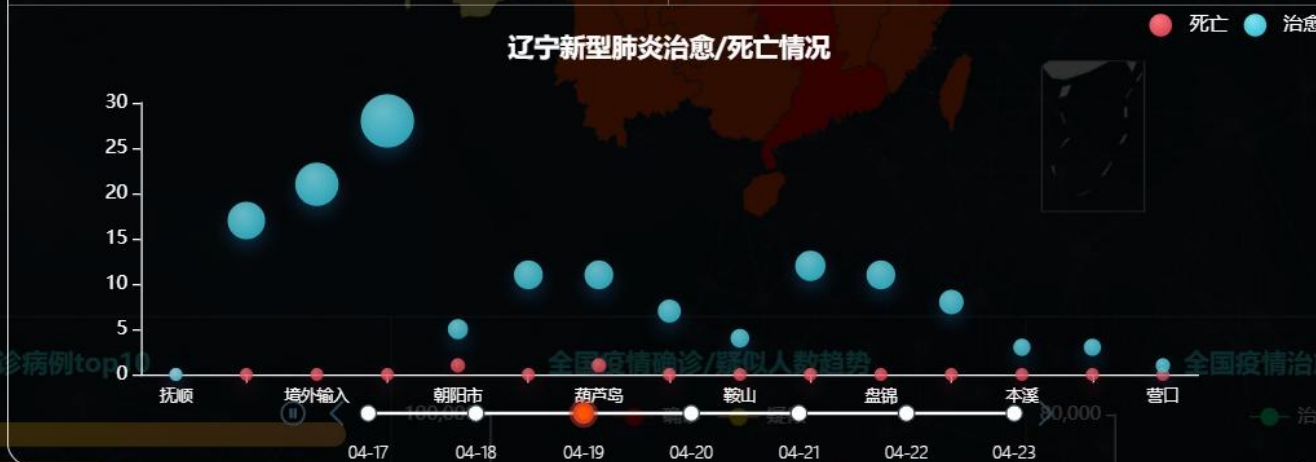
全国疫情治愈/死亡人数趋势



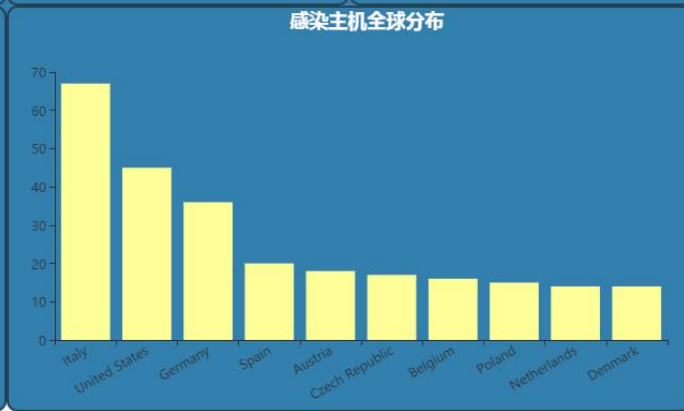
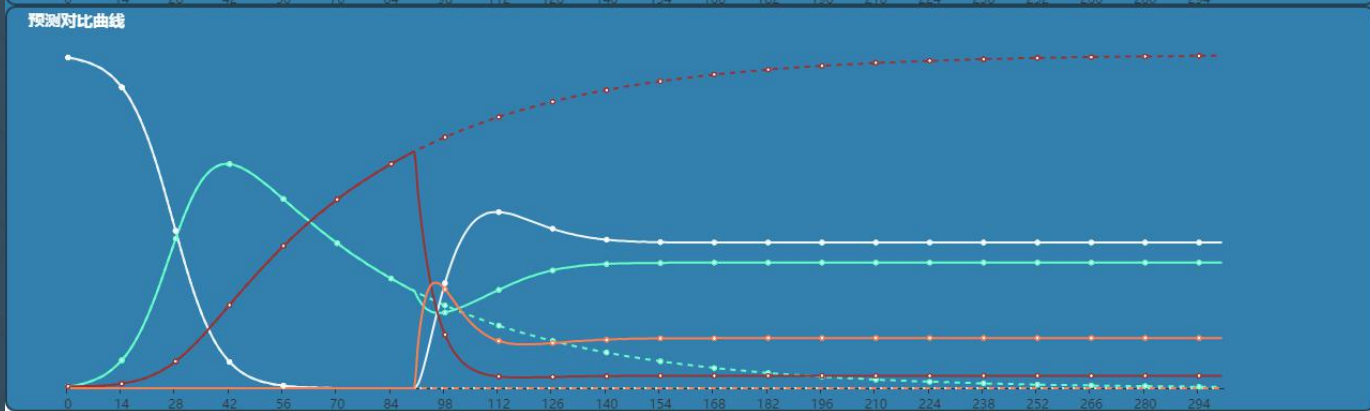
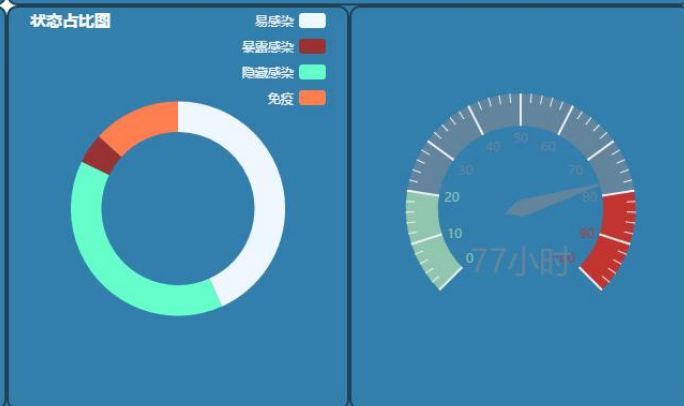
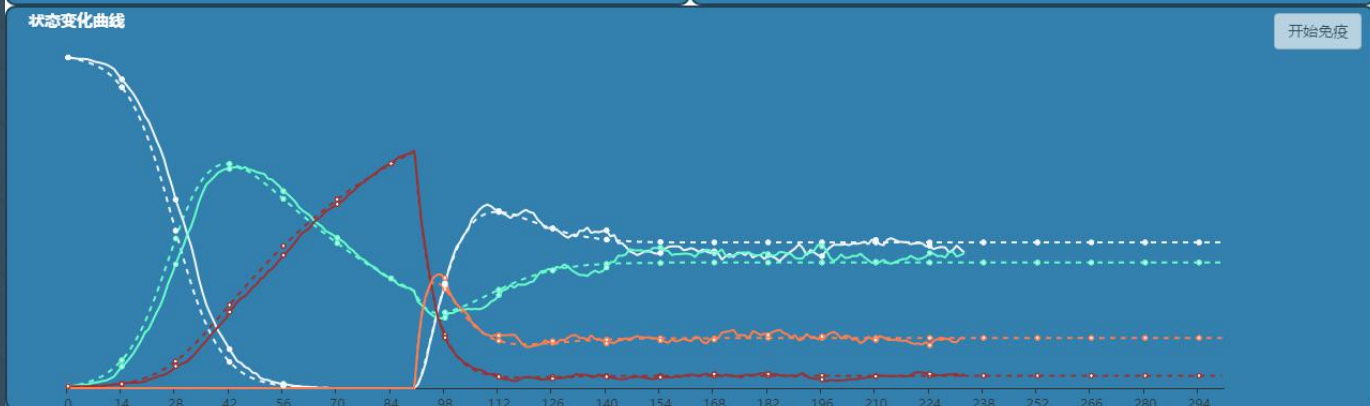
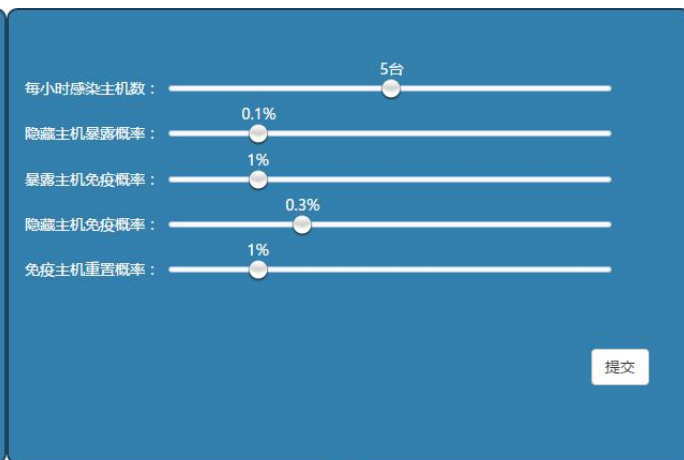
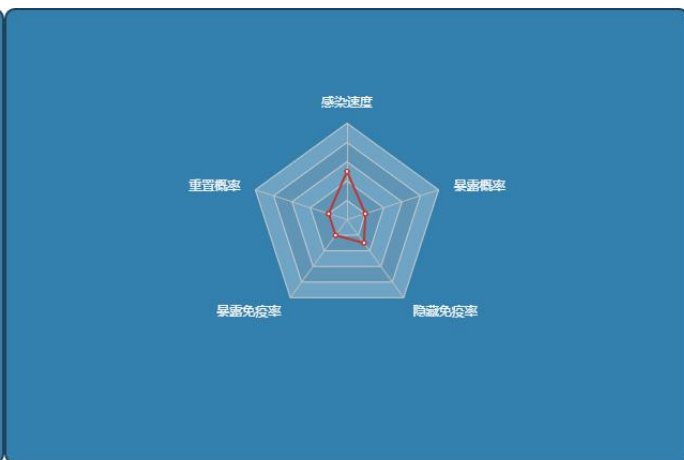
湖北省现存确诊病例变化曲线



辽宁省疫情态势感知



分析预测



一点思考

- 传染病传播模型对COVID-19疫情的预测具备一定的参考价值，但受限于客观条件的限制，仍需通过不断迭代进行修正。
- 隔离措施仍然是目前条件下的最佳防疫手段
- 可视化可以全面高效地感知传染病疫情态势，在数学模型的支撑下可以在防疫中发挥更大的作用。



THANKS