

SARS 疫情分析及对北京疫情走势的预测

叶沿林[†] 庞丹阳 刘循序

(北京大学物理学院 北京 100871)

摘要 在考虑每个 SARS 病人每日平均传染概率和他的直接传染的平均期限的基础上,建立了一个统计分析模型. 分析表明,每个病人可以造成直接感染他人的期限平均在 20 天左右,这个值在不同地区和不同疫情阶段似乎变化不大. 病人的平均每天感染率与社会状况有关,在疫情爆发期较大,在疫情控制期要小很多. 北京后期如果控制在香港后期的感染率水平上,则有望在 6 月上中旬下降到日增几例,然后再经过约一个月,即 7 月上中旬达到日增 0 病例,而累积总病例数将达到 3100 多. 但如果北京的新病例下降速度与广东类似的话,则要再多花至少一个月,才能达到上述的效果,且累积总病例数会达到 3800 左右.

关键词 SARS, 传染能力, 传染期限, 新增病例数, 累计病例数

Analysis of the current SARS epidemic and the forecast for Beijing

YE Yan-Lin[†] PANG Dan-Yang LIU Xun-Xu

(School of Physics, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract We set up a statistical analysis model by taking into account the average duration of the direct contagion of a SARS case and its average contagion probability per day. The calculation shows that the average duration of the direct contagion is about 20 days, which is not sensitive to the place and phase of the epidemic. On the other hand, the average contagion probability varies with social conditions. The probability is high in the initial phase but changes to a significantly smaller value in the controlled phase. If during the last phase the strictness of control in Beijing is comparable to that of Hong Kong in the corresponding phase, the number of new SARS cases may abate to a few per day in the first half of June and down to zero in mid-July, with the accumulated total more than 3100. If the control strength is comparable to that of Guangdong in the corresponding phase, it will take at least one more month to reach the above performance and the accumulated total will be about 3800.

Key words SARS, contagion probability, duration of the direct contagion, new cases, cumulated cases

1 引言

在病例数比较多的地区,用数理模型作分析有一定意义. 王正行老师^[1,2]用解析公式分析了北京 SARS 疫情前期的走势. 在此基础上,我们加入了每个病人可以传染他人的期限(由于被严格隔离、治愈、死亡等原因,病人并不能无限制地传染他人),并考虑在不同阶段社会条件下传染概率的变化,然后先分析香港和广东的情况以获得比较合理的参数,最后初步预测北京的疫情走势. 希望这种分析能对认识疫情以及安排后续的工作和生活有所帮助. 本工作完成于 5 月 8 日(见 5 月 9 日北大新闻网),因此所采用病例数据截止到 5 月 7 日. 除文中特别

说明之外,其他数据均是官方正式公布的数据.

2 模型与参数

假定初始时刻的病例数为 N_0 , 平均每个病人每天可传染 K 个人(K 一般为小数), 平均每个病人可以直接感染他人的时间为 L 天. 则在 L 天之内, 病例数目的增长随时间 t (单位: 天) 的关系是

$$N(t) = N_0(1 + K)^t.$$

如果不考虑对传染期的限制, 病例数将按照指数规律增长. 考虑传染期限 L 的作用后, 变化将显著偏离指数规律, 增长速度会放慢. 我们采用半模拟循

* 2003-05-13 收到

† 通讯联系人. E-mail: yeyl@pku.edu.cn

环计算的办法,把到达 L 天的病例从可以引发直接传染的病例的基数中去掉。

参数 K 和 L 具有比较明显的实际意义。 L 可理解为平均每个病人在被发现前后可以造成直接传染的期限,在此期限后他失去传染能力,可能的原因是被严格隔离、病愈不再传染或死亡等等。从原理上讲,这个参数主要与医疗机构隔离病人的时机和隔离的严格程度有关,只有医疗机构能有效缩短这个参数。但我们分析广东、香港、北京现有的数据后发现,不论对于疫情的爆发阶段,还是疫情的控制阶段,这个参数都不能用得太小,否则无法描写好各阶段的数据。该参数放在 15—25 之间比较合适。为了简单,我们把它固定为 20(天),这个值有一定统计上的意义,至于有没有医学上的解释,需要其他专家分析。

参数 K 显然代表某种社会环境中一个病人传染他人的平均概率,与全社会的警觉程度、政府和公众采取的各种措施有关。在疾病初发期,社会来不及防备,此时 K 值比较大。为了简单起见,我们对疫情开始直到高峰期均采用同样的 K 值(从拟合这一阶段的数据定出),即假定这一阶段社会的防范程度比较低,感染率比较高。到达高峰期后,我们在 10 天的范围内逐步调小 K 值,然后保持不变,以拟合其后在控制阶段的全部数据,即认为社会在经过短期的剧烈调整之后,进入一个对疫情控制较好的状态。显然,如果疫情出现失控或反复,则需要对 K 值做更多的调整。

3 计算结果

3.1 对香港疫情的计算和分析

香港的数据相对比较完整准确,但是我们没有找到 3 月 17 日以前的数据,这或许是由于诊断标准在疫情初期不明确。我们以报道的 2 月 15 日作为发现第 1 例病人的起点,从 2 月 27 日的报道推断为 7 例。3 月 17 日后则都是正式公布的数据。累积病例数在图 1 中用三角形表示。然后我们用上述方法计算。4 月 1 日前后(从起点起 45 天左右)是疫情高峰期,在此之前我们取 $K = 0.16204$;此后的 10 天,根据数据的变化将 K 逐步调到 0.0273,然后保持 0.0273 算出后面控制期的结果。短期内 K 调整的幅度很大,反映出社会的变化比较大。图中实心方黑点是计算的累积病例数。从计算累积病例数很容易算出每天新增病例数(当然只反映走向,实际状况有很大涨落)。可以看出,香港疫情从起始到高峰大约

45 天,从高峰回落到 $1/10$ 以下(每天几个病例)大约 40 天(5 月上中旬),到基本没有病例还要再经过近一个月的时间(到 6 月上中旬)。

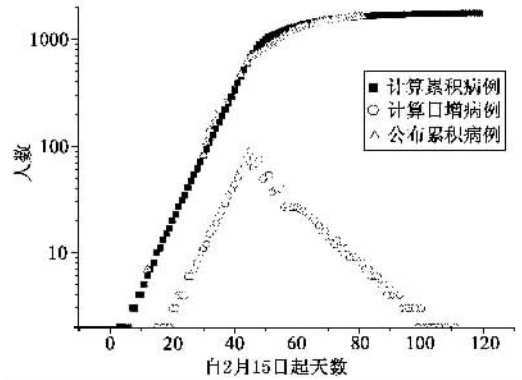


图 1 香港疫情拟合

3.2 对广东疫情的计算和分析

广东的起点是 2002 年 11 月 16 日,到今年 2 月下旬达到高峰,经过了约 100 天。今年 2 月 10 日以前的数据查不到,分析比较困难。总体上看,广东持续的时间比香港长得多,但累积的总病例数却少一些,这反映出广东的爆发和高峰都不强烈。但广东的回落也比较慢。从 2 月下旬高峰期到现在经过了约 70 天,还维持着每天 10 来个新增病例,而同样过程香港只用了约 40 天。这种缓慢上升和下降的过程也反映到 K 值上。比较好的拟合结果是,在高峰期之前($t < 101$ 天) $K = 0.0892$,在随后的 10 天逐步调整到 0.031。用这组参数算出的后期日增病例数比实际公布的偏小,说明实际上降低得更慢。这种情况与疫情的社会控制状况是否有关系,需要更仔细的分析。

3.3 对北京疫情的分析与预测

北京的病例起点定在 3 月 1 日,经过大约 59 天在 4 月 29 日左右达到高峰。我们通过拟合起点和 4 月 20 日以后的数据定出高峰期以前的 $K = 0.13913$ 。这个值比香港的 0.16204 来得低,说明北京初期的爆发程度不如香港,但遗憾的是上升时间持续了近 60 天,而香港是 45 天,这就造成了累积病例数大大超过香港。从图 2 中还看出 4 月 20 日以前公布的数据大大低于计算值。而我们从对香港、广东情况的计算中知道,疫情前期我们的计算还是比较可行的,从而可以大致判断出北京在前期的实际病例数。图中的公布数据截止到 5 月 7 日(从起点起第 67 天)其后的计算采用的是香港情况下获得的参数。按这种估算,北京最终累积病例数将达到 3100 多个。

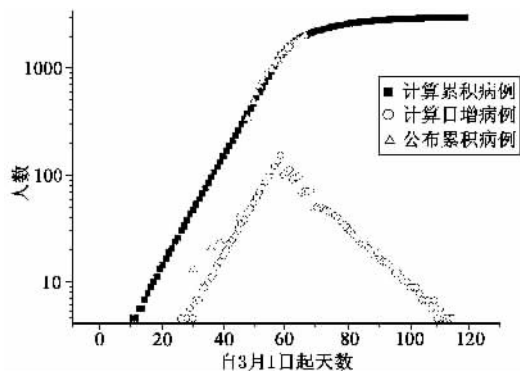


图2 北京疫情分析图

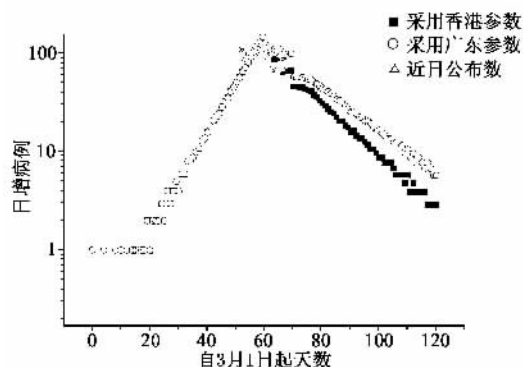


图3 北京日增病例走势分析

图3是计算的日增病例数,后期下降得较快的实心方黑点是采用香港参数获得的,这就是说,如果北京的疫情控制与香港相当或比之更好的话,就可以在高后期后的40天(从起点起100天)左右,即6月上中旬下降到日增几例,然后再经过约一个月,即7月上中旬达到日增0病例,但如果北京的新病例下降速度与广东类似的话,则要再多花至少一个月,才能达到上述的效果,且累积总病例数会到3800左右,至于什么原因造成香港下降速度快而广东下降速度慢,需要有关方面作具体分析。

4 结论

每个病人可以造成直接感染他人的期限平均在20天左右,这个值在不同地区和不同疫情阶段似乎变化不大,病人的平均每天感染率与社会状况有关,

在疫情爆发期较大,在疫情控制期要小很多,香港的初期爆发情况比广东和北京都剧烈,但控制效果明显比较好,北京后期如果控制在香港后期的感染率水平上,则有望在6月上中旬下降到日增几例,然后再经过约一个月,即7月上中旬达到日增0病例,而累积总病例数将达到3100多,但如果北京的新病例下降速度与广东类似的话,则要再多花至少一个月,才能达到上述的效果,且累积总病例数会达到3800左右。

参 考 文 献

- [1] 王正行. 北京 SARS 疫情 60 天的初步分析, www. phy. pku. edu. cn, 2003 年 5 月 2 日
- [2] 王正行, 张建玮, 唐毅南. 物理, 2003(5):341 [Wang Z X, Zhang J W, Tang Y N. Wuli (Physics), 2003(5):341 (in Chinese)]

· 物理新闻与动态 ·

太阳发光之谜

(How does the Sun shine?)

在1930年,核物理学家 H. Bethe 猜测,太阳的能量是由核反应所提供的,其中主要的反应机制是重元素的核反应,即碳-氮-氧循环,称之为 CNO 循环,而氢核聚变,即 p-p 反应是次要的,现今的太阳物理学家们却相信,在一些比太阳重一点的恒星中, CNO 反应在能量来源中是占主要地位的,但对于太阳来说,它的燃烧主要是 p-p 聚变反应。

最近纽约州立大学(Stony Brook 分校)的 Cancha Conzales-Carcia 教授和高等研究所(Institute for Advanced Study)的 John Bahcall 教授,利用 SNO 和 Super-Kamiokande 探测器很方便地对太阳内硼-8 核衰变中的中微子数进行了计数,但从硼-8 核的衰变通量中显示出的中微子数只不过是预期的太阳中微子数的 0.02%。为了能真正掌握太阳核内的核反应情况,他们想研究其他类型的中微子通量,特别是想多了解一些关于从硼-7、氮-13、氧-15 在碳-12 催化下的核衰变时的中微子通量,以及 p-p 反应时的中微子数量,因为太阳的中微子通量几乎 90% 是由 p-p 反应时产生的,它们的能量比较低,大多在 0.5MeV 以下,相反,现在通过地面探测器测得的中微子能量可超过 5MeV。根据太阳中微子的探测数据和核反应实验,两位教授认为,对于太阳燃烧的能量中通过 CNO 循环得到的能量应略少于 7.3%,但这已经要比过去认为 CNO 循环对太阳能贡献的最好估计提高了 10 倍。

(云中空 摘自 Physical Review Letters, 19 March, 2003)