

编者按 我国知识分子历来忧国忧民,具有高度的社会责任感,物理学家也不例外,为此,本刊特别在这非常时期开辟“物理学与社会”栏目,为广大物理学家表达对政治、经济、科技、教育、文化等社会方方面面的思考提供交流的窗口,欢迎广大读者投稿。

非典(“传染性非典型肺炎”的简称)特指目前由新型冠状病毒引起,主要以近距离空气飞沫和密切接触传播为主的呼吸道传染病,世界卫生组织建议称其为“严重急性呼吸系统综合症”(Severe Acute Respiratory Syndromes, SARS)。2003年初以来,非典在我国部分地区的传播有越演越烈之势,严重危害着人民的健康和生命安全,举国关注。面对这次突如其来的疫情,政府与社会各界万众一心投入到这场特殊的战斗中,医务人员无私无畏的工作在前线,科技人员夜以继日、争分夺秒地进行着研究,各行各业的人士都在自己的岗位上为抗击非典而努力着。物理学家也在尽其所能地为战胜非典作着自己的贡献,本栏刊登的这两篇文章其价值不仅仅在于科学性,更重要的是它体现出物理学家高度的社会责任感和人文关怀精神,这也正是我刊开辟“物理学与社会”栏目的初衷,所以我们只用了四天的时间将文章编辑出版,以飨读者。

北京 SARS 疫情走势的模型分析与预测

王正行^{1, †} 张建玮^{1, 2} 唐毅南^{1, 2}

(1 北京大学物理学院 北京 100871)

(2 教育部量子信息与量子测量重点实验室 北京 100871)

摘要 北京 SARS 疫情的公布数据表明,4月下旬以来,确诊病例的相对增加率随累计确诊病例数的增加而下降。假设这是一个线性关系,并且一直持续下去,我们发现疫情走势是一个反转的 Fermi - Dirac 分布,根据现有的公布数据可以预期北京平均每日新增病例数将在5月中旬下降到50人以下,在5月下旬下降到10人以下,在6月上旬下降到1人左右,疫情可望在6月中得到控制,最后的累计病例总数约为3千人左右。

关键词 SARS, 模型分析, 病例的相对增加率, 北京疫情

A model analysis and evaluation of the SARS epidemic in Beijing

WANG Zheng-Xing^{1, †} ZHANG Jian-Wei^{1, 2} TANG Yi-Nan^{1, 2}

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

(2 Key Laboratory of Quantum Information and Quantum Measurements, Ministry of Education of China, Beijing 100871, China)

Abstract It is shown from the data of SARS in Beijing that, since late April, the relative rate of increase in the number of cases decreases continually as the cumulative number of patients increases. By assuming that this is a linear decrease, it can be found that the number of patients as a function of time is a reverse Fermi-Dirac distribution. Based on the data to date, it can be expected that the SARS epidemic in Beijing will be controlled by the middle of June, and the total number of cases will finally be around three thousand.

Key words SARS, model analysis, relative rate of increase of cases, epidemic in Beijing

在去年年底新发现的严重急性呼吸道传染综合症是一种新型的非典型肺炎,按其名称的英文缩写,简称为 SARS。北京自从今年3月1日出现第1

例 SARS 病人以来,到我们撰写本文时为止,已经

* 2003-05-12 收到

† 通讯联系人. E-mail: zswang39@163.com

两个多月了. 这两个多月以来的疫情, 可以用图 1 表示.

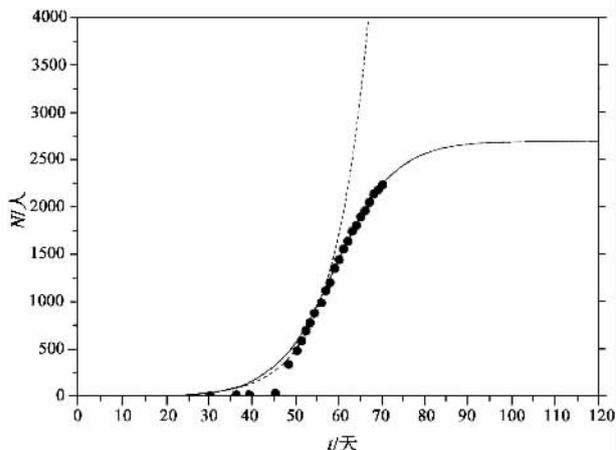


图 1 累计确诊病例数 N 随时间 t 的变化关系 { 实心圆点为至 5 月 10 日为止的公布数据, 虚线和实线分别为第一种情况 [公式 (5)] 和第二种情况 [公式 (9)] 的拟合和计算值 }

图 1 中的纵坐标 N 是累计确诊病例数. 横坐标 t 是从 3 月 1 日算起的时间, 单位是天. 图中的实心圆点是公布的累计确诊病例数, 数据取自国家卫生部的网站 www.moh.gov.cn 和北京市疾病预防控制中心的网站 www.bjcdc.org. 4 月 26 日以后的数据, 是截止至当日 10 时的. 4 月 21 日至 24 日的数据, 是截止至当日 20 时的. 4 月 21 日以前的数据没有说明是截止至当日几时, 我们假设它们也是截止至当日 20 时. 取 3 月 1 日 10 时为横坐标 t 的原点, 则 4 月 26 日以后的数据都是画在 t 的整数数值处, 而此前的数据, 如 3 月 1 日的数据, 是画在 $t=0.4167$ 处.

为了分析这些数据和根据这些数据来预测北京 SARS 疫情在未来的走势, 我们需要一个模型. 如果在 Δt 天之中病例增加了 ΔN , 则每天的病例增加数就是 $\Delta N/\Delta t$. 于是, 我们可以定义平均每个累计病例的增加率, 也就是病例的相对增加率为

$$k = \frac{1}{N} \frac{\Delta N}{\Delta t}. \quad (1)$$

这是分析平均每天病例增加数 $\Delta N/\Delta t$, 亦即分析疫情走势的一个基本数据, 也是控制疫情发展的一个主要指标. 根据这个数据的类型, 我们可以把疫情的走势大致分为以下几种类型.

首先, 如果病例的相对增加率 k 是一个常数的话, (1) 式给出的解是指数型的^[1], 即

$$N = N_0 e^{kt}. \quad (2)$$

一般地说, 这种情形属于在爆发期以前的疫情发展

的初期, 还没有采取有效得力的措施来及时发现、隔离和收治病人, 病毒的传播和疫情的发展处于一种近乎自然的状态.

在 (2) 式中的参数是 N_0 和 k , 我们可以用两个已知的数据点来确定它们. 我们已知 3 月 1 日的病例数是 $N=1$, 代入 $t=0.4167$, 由 (2) 式可以给出

$$N_0 = e^{-0.4167k} \quad (3)$$

在这两个多月的疫情中, 4 月 20 日是一个转折日, 从这一天开始极大地加强了预防控制的措施和对病患的发现、隔离与收治. 同时, 从这一天开始调整了临床诊断的标准和严格了对于疫情数据的上报和公布. 所以, 我们可以选择用 4 月 21 日的确诊病例数 $N=588$ 来确定参数 k . 在 (2) 式中代入 $t=51.4167$, $N=588$ 以及上面给出的 N_0 , 就可以算出

$$k = 0.1250. \quad (4)$$

这样确定了参数以后, (2) 式可以具体写成

$$N = e^{0.1250(t-0.4167)}. \quad (5)$$

这个公式的作用, 是在假设维持 4 月 20 日以前社会对疫情的应对状况不变的情况下, 给出对于疫情发展平均状况的估计, 它并没有考虑从 4 月 20 日开始采取的一系列应急的措施.

用 (5) 式算出的结果如图 1 的虚线所示. 首先可以看出, 4 月 18 日以前的公布病例数明显地低于计算所得的数值. 我们知道, 由于诊断标准过紧, 以及瞒报、缓报和漏报, 4 月 18 日以前的数据明显地偏低.

其次我们可以看出, 在 $t=45$ 附近, 亦即在 4 月 15 日前后, 算得的曲线开始急剧上升, 疫情开始呈现爆发的势态. 及时控制疫情的最佳时机, 是在 4 月 15 日之前, 越早越好. 到了 4 月 20 日才来采取应急的措施, 已经是亡羊补牢, 不过为时还不算太晚. 要是再拖一二十天, 拖到 5 月中才来挽救, 到那时, 用 (5) 式算出的每天新增病例数就不是一百多而是几百甚至上千人, 累计的病人数很快就超过一万了.

当然, 一个正常和成熟的社会, 绝对不会听任疫情一直这样发展下去. 当疫情发展到一定程度, 社会就会及时作出反应, 采取有效得力的措施, 使病例的相对增加率 k 逐步下降, 而不再维持是一个常数. 我们可以看出, 4 月 26 日以后的数据越来越低于用 (5) 式算得的数值. 这就表明, 4 月 26 日以后的疫情逐渐有了朝向缓和方向的改变, 我们根据 4 月 20 日以前的情况用 (5) 式来作的估计偏高. 这正意味着病例的相对增加率 k 在逐渐减少.

在(1)式中代入公布的 N , 用 3 点插值法算出的 k 如图 2 中的实心圆点所示. 在 4 月 20 日以后的十多天中, 虽然每天的新增病例数一直在百左右居高不下, 但病例的相对增加率 k 在明显地逐渐减少. 所以, 对于疫情的控制来说, 病例的相对增加率 k 是比每天新增病例数 $\Delta N/\Delta t$ 更恰当和更有意义的参数.

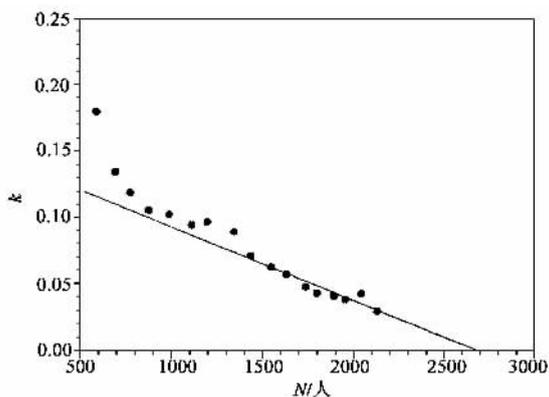


图 2 病例的相对增加率 k (单位 1/天) 随累计病例数 N 的变化关系 [实心圆点为从公布数据换算的数值, 直线为用(9)式算得的数值]

社会对疫情发展及时作出的反应, 取决于社会组织和社会成员所获得的关于疫情的信息和由此而感受到的威胁程度, 以及社会实际受到的伤害程度. 而社会组织和社会成员所感受到的威胁和伤害程度, 主要取决于累计病例数 N . 图 2 中病例的相对增加率 k 随着累计病例数 N 的增加而减少, 正是这种情况的反映. 作为初步的近似, 我们可以假设 k 随着 N 的增加而线性地减少,

$$k = \frac{1}{d} \left(1 - \frac{N}{N_{\max}} \right), \quad (6)$$

从而把(1)式改写成

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = \frac{1}{d} N \left(1 - \frac{N}{N_{\max}} \right), \quad (7)$$

其中 d 和 N_{\max} 是两个待定的参数. 这就是我们要讨论的第二种情形. 当 d 和 N_{\max} 是常数时, 我们可以从(7)式解出

$$N = \frac{N_{\max}}{1 + e^{(t_0 - t)/d}}, \quad (8)$$

其中参数 t_0 是曲线的转折点, 在这一点 $N = N_{\max}/2$. 上式就是第二种情形疫情发展的基本公式, 它是一个反转的 Fermi - Dirac 分布.

通常 N_{\max} 是一个很大的数, 相应地 $t_0 \gg 1$. 在疫情发展的早期, 当 $t \ll t_0$, 使得 $1 \ll \exp[(t_0 - t)/d]$ 时, (8)式近似成为上一种情形的公式(2), 它是在

基本方程(7)式中略去二次项, 即当 $N/N_{\max} \ll 1$ 时的结果.

可以看出 t_0 点是曲线的对称点, 疫情的周期是 t_0 的 2 倍, t_0 是疫情的半周期. 确诊病例数的极限是 N_{\max} , 它是 $t = t_0$ 时确诊病例数的 2 倍. 此外, 当 $t_0 - t = d$ 时 $N = 0.269N_{\max}$, $t - t_0 = d$ 时 $N = 0.731N_{\max}$, 确诊病例数从 $0.269N_{\max}$ 上升到 $0.731N_{\max}$ 所需要的时间是 $2d$, 我们可以把 d 称为疫情的半平台期. 类似地, 确诊病例数从 $0.12N_{\max}$ 上升到 $0.88N_{\max}$ 所需要的时间是 $4d$, 亦即疫情爆发期大约是平台期的 2 倍.

在(8)式中, 需要确定的参数是疫情半周期 t_0 , 疫情半平台期 d , 以及累计确诊病例的极限 N_{\max} . 根据公布的北京 SARS 疫情的数据, 每日新增病例数在 4 月 29 日达到了极大值 $\Delta N = 152$, 而在这一天的累计病例数是 $N = 1347$. 所以, 我们有 $t_0 = 59$, $N_{\max} = 2 \times 1347 = 2694$. 亦即, 北京 SARS 疫情的转折点是 4 月 29 日, 结束期大约在这以后的 59 天, 亦即在 6 月底, 到那时的累计病例总数将近 3 千人. 进一步, 由于 $0.269N_{\max} = 725$, $0.731N_{\max} = 1969$, 这大致是从 4 月 23 日到 5 月 6 日的 13 到 14 天, 所以疫情半平台期 d 大约在 6.5 至 7 天之间, 即 $6.5 < d < 7$. 由此可以估计出北京 SARS 疫情的爆发期大约是从 4 月 15 日到 5 月 13 日的 28 天左右. 这样估计出的疫情爆发的日期 4 月 15 日, 与我们在第一种情形中根据 3 月 1 日和 4 月 21 日这两天的确诊病例数所作的估计一致, 这从另一方面印证了我们的估计. 取 6.5 与 7 的中点 $d = 6.75$, 我们就得到这种情形的具体计算公式:

$$N = \frac{2694}{1 + e^{(59-t)/6.75}}, \quad (9)$$

用上式算出的结果, 如图 1 和图 2 中的实线所示. 计算表明, 北京平均每日的新增病例数将在 5 月中旬下降到 50 人以下, 在 5 月下旬下降到 10 人以下, 在 6 月上旬下降到 1 人左右, 疫情可望在 6 月中得到控制. 叶沿林等人用数值模拟方法得到的结果与我们的估计基本相符^[2].

我们上述分析和计算的基础是所采用的(6)式和公布的确诊病例数, 以及(6)式对公布数据的拟合. 我们只用了少数几个数据点来拟合公式中的参数, 而数据本身总是存在误差和涨落, 这就降低了我们预测的可信度. 可以改用最小二乘法来拟合所有的数据, 使得作出的预测是立足于全体数据, 以增加预测的可信度. 这会使得图 2 中直线与横轴的

截距左右有一点移动,从而使得预测的疫情周期前后有几天的浮动,预测的总累计确诊病例数上下有数百人的浮动。

另一个问题是(6)式的合理性。使我们采用(6)式的依据是图2中数据的走势。我们并不把这个走势当成一种经验,因为正如爱因斯坦所说,经验并不能成为相信的依据。我们是希望这个走势是在 k 与 N 之间存在某种客观关联的反映。如果在 k 与 N 之间存在某种客观的关联,则(6)式作为初步的近似就是合理的,因为在一定范围内任何曲线总可以用直线来近似。我们还可以采用更好的近似,比如采用一条下凹的曲线,或者考虑 d 依赖于时间 t ,以提高预测的可信度。这将会使得算得的曲线在图2中与横轴的截距左右有更大的移动,从而使预测的疫情周期和总累计确诊病例数有更大的浮动。这属于我们将要讨论的疫情的其他类型,有关的计算正在进行之中。

实际上, k 与 N 之间的关联并不是完全客观的,它在更大程度上是社会应对疫情的表现,是社会进行干预的结果。我们在前面已经指出,图2中病例的相对增加率 k 随着累计病例数 N 的增加而

减少,是社会应对疫情的措施有效得力的反映。采取的措施越有效和得力, k 随着 N 的增加而减少得就越快。所以,不仅仅是(6)式中的参数,就是 k 依赖于 N 的函数形式,都取决于社会努力和投入的程度。我们在这里的分析计算和预测,都立足于目前社会的努力和投入的程度。北京不同于广东,也不同于香港。如果我们社会的努力和投入程度继续增加,使得 k 随着 N 的增加而减少得更快,疫情的周期还会缩短,最后的累计病例总数还会减少。社会对于自身会有自觉和主动的作用,这是社会现象不同于自然现象的地方,也是物理学家来研究社会现象时应当特别注意的^[3,4]。

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] 叶沿林, 庞丹阳, 刘循序. 物理 2003(5) 345 [Ye Y L, Pang D Y, Liu X X. Wuli(Physics) 2003(5) 345 (in Chinese)]
- [3] Vanderplant J E. Plant Diseases: Epidemics and Control. New York: Academic Press, 1963
- [4] Becker G S. J. Political Economics, 1974, 82: 1063

· 物理新闻与动态 ·

左旋物质

(Left handed materials)

一种对波有负折射率的物质称之为左旋物质(left handed materials, 简称为 LHM). 原则上它在聚焦时可以不必要使用弯曲的表面。早在三年以前就已经第一次观察到过这种 LHM 材料, 它是由金属棒与 C 型环交替地固定在印刷电路底板上所组成的。但研究结果发表以后, 理论学家们认为这是做不到的。

但在今年美国物理学会三月年会(March Meeting)上有两个实验室提出了报告, 认为“左旋物质”是完全能够制造出来的, 并且在会上分别做了实验演示。这两个实验室分别是美国的麻省理工学院(MIT)与美国的东北大学。MIT 的 A. Houch 教授和他的研究组制造了一种 LHM 样品, 当微波通过这种楔形的三棱镜从一种介质进入另一种介质时, 按经典的折射定律可确定波的折射率为负值。与此同时, MIT 研究组还证明, 从点光源发出的波可以在一个矩形的 LHM 平板上发生聚焦。东北大学的 P. Parimi 教授的研究组也同样在微波通过他们的 LHM 样品时测得了负折射率。

出席“三月年会”的另两位理论物理学家 C. Krowne (美国海军研究所) 和 A. Pokrovski (犹他大学) 认为, 这些实验的结果是无可非议的, 这表明确实存在着左旋物质。他们也谈到, 过去理论物理学家们认为, 判断一个物质是不是左旋物质, 必须电容率与磁导率两者都具有负指数才行, 但现在看来似乎并不需要如此严格的要求。一般认为“左旋物质”将具有很多方面的潜在应用, 例如 LHM 元件将会方便地对微波进行滤波、调控和聚焦。如果具有负折射率的材料能扩展到可见光领域, 则必然会出现许多新的光学效应。

(云中客 摘自 APS " March Meeting " Report, March 2003)