

基于媒介干扰的一类多尺度模型分析及应用

周 强^{1,3}, 李小雪², 谭远顺²

(1.重庆南开中学校, 重庆 沙坪坝 400030)

(2.重庆交通大学数学与统计学院, 重庆 南岸 400074)

(3.云南师范大学泛亚商学院, 云南 昆明 650092)

[摘要] 文章基于疫情背景下实际数据,建立了一类媒体干扰下的多尺度数学模型,利用 Spearman 分析和互相关分析方法对获取的媒体数据进行了处理,基于改进 SIR 传染病分析方法,得到了系统的动力学行为.将数学理论分析得到的结论及处理后的数据应用于实际,为制定科学合理的政府教育规划提供了理论参考.

[关键词] 相关性分析, SIR 模型, 多尺度, 稳定性, 教育规划

[中图分类号] O29; Q332 [文献标志码] A [文章编号] 1001-4616(2022)04-0016-05

Analysis and Application of a Kind of Multi-scale Model Based on Media Interference

Zhou Qiang^{1,3}, Li Xiaoxue², Tan Yuanshun²

(1.Chongqing Nankai Middle School, Chongqing 400030, China)

(2.Department of Mathematics, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

(3.Pan Asia Business School of Yunnan Normal University, Yunnan 650092, China)

Abstract: Based on the actual data under the background of epidemic situation, this paper establishes a multi-scale mathematical model under the interference of media, processes the data first using Spearman analysis and cross-correlation analysis methods, and obtains the dynamic behaviors of the system based on the improved SIR infectious disease analysis method. Secondly, the conclusions obtained from the mathematical theory analysis and the processed data are applied to practice, which provides a theoretical guidance for formulating a scientific and reasonable government education plan.

Key words: correlation analysis, SIR model, multi-scale, stability, education project

随着新媒体的影响力越来越大,其在学生思想教育中也扮演越来越重要的角色^[1]. 本文将新媒体对思想教育的影响映射到 SIR 模型中^[2-5],利用流行病分析理论,将得到的模型动力学结论与实际数据应用于实践中,为制订科学合理的教育发展规划提供理论参考.

1 数据收集

为探讨新媒体与学生思想教育的相关性,我们首先收集了各大网站疫情期间与思想教育相关的新闻条数和重庆市开展专题思政课的學校数量,将疫情爆发期定为 2—4 月,以“防疫抗疫”为关键词搜索相关的媒体报道,将疫情爆发后的 2 月到 4 月每日新闻的报道条目数作为本课题的影响因素. 下图分别为 2020 年疫情爆发期每日新闻数量、开展思政课学校数量及累计开展思政课学校数量的情况.

从图 1 中可以发现,央视新闻网与人民日报网这两个主流媒体每日发表的新闻数量较多,另外两个媒体每日发表的新闻数量较少,随着各个媒体发表新闻数量的逐渐增加,极大地影响各个学校开展思政课的数量与频次,在 3 月 16 日数量达到了峰值.

收稿日期:2022-08-26.

基金项目:国家自然科学基金项目(12271068,11961024)、重庆市教育科学规划重点课题(2020-07-203).

通讯作者:谭远顺,博士,教授,研究方向:生态系统理论及应用. E-mail:tanys625@163.com

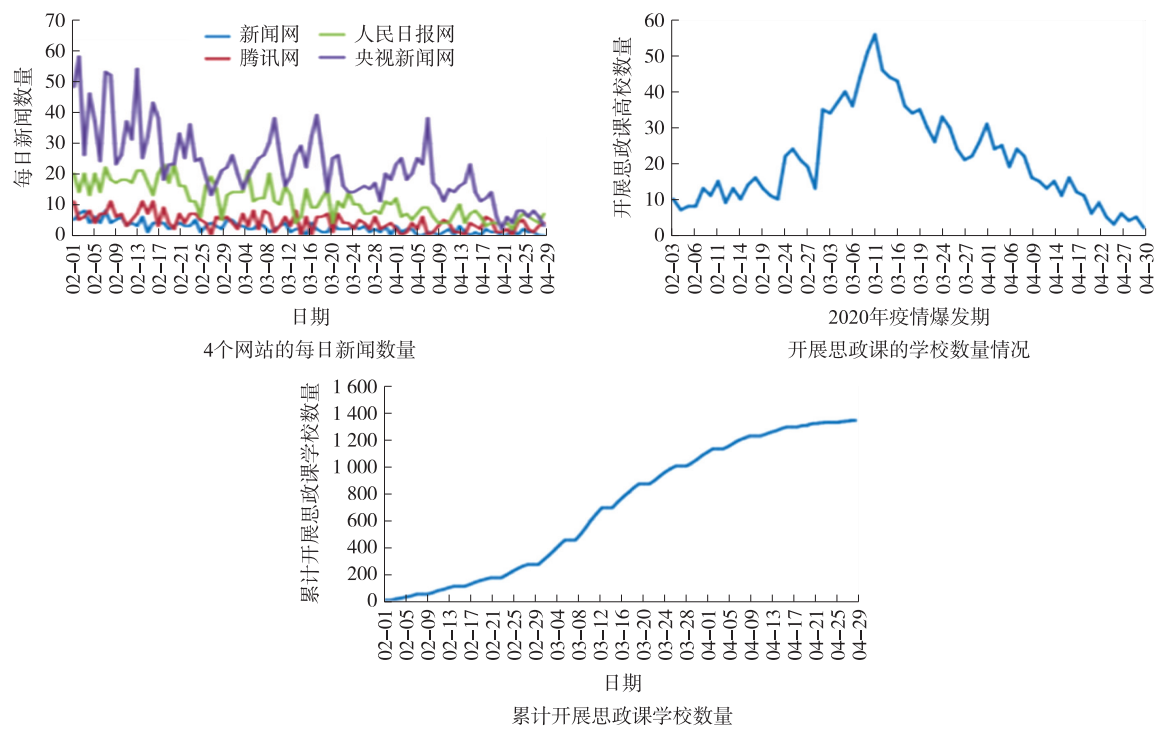


图 1 数据图
Fig.1 Figure of data

2 数据分析

前面已经对各个网站疫情期间发表的新闻数量及开展思政课的學校进行了数据收集,可发现各个网站发表的新闻数量影响开展专题思政教育的學校数量,为了探究二者之间的相关性,接下来我们将对收集的数据通过 SPSS 软件进行 Spearman 分析和互相关分析. Spearman 相关系数 r_s 介于 -1 与 1 之间, $r_s > 0$ 为正相关, $r_s < 0$ 为负相关, $|r_s|$ 越大,说明变量间的相关性越强. 定义 y 代表疫情期间开展专项思想政治课的學校数量,新浪网每日新闻数量为 x_1 , 腾讯网每日新闻数量为 x_2 , 人民日报网每日新闻数量为 x_3 , 央视新闻网每日新闻数量为 x_4 .

运用 Spearman 相关分析去探究疫情爆发后 2 到 4 月份新媒体发表疫情相关的新闻数量与开展专项思想政治课的學校数量的关系. 结果如表 1.

表 1 中呈现了每对网站之间的相关性,这些网站在疫情爆发期间发展动态方面有着显著的相关性, x_1 与 x_3 、 x_4 高度相关,与 x_2 中度相关,主要原因是新浪网的主要新闻来源是来自于人民日报与央视新闻这两个权威报道新闻的网站,相比之下 x_1 与 x_2 的相关性稍低,这是由于两个网站的独特性与差异性以及用户群体不一致所导致的结果. x_2 与 x_3 、 x_4 中度相关,腾讯网受众群体广,遍布不同年龄段,可能原因是腾讯网为了迎合不同层次的用户群体,选择性的发表与疫情相关的新闻,所以与权威新闻网站有所差异,呈现中度相关性. x_3 与 x_4 高度相关,可以看出权威新闻网站之间存在相似性.

根据结果显示,在疫情爆发期间,人民日报的每日新闻数与开展专项教育思想政治课的學校数量具有显著的相关关系($r=0.25, p<0.05$),说明人民日报发表的与疫情相关的新闻数量,对于學校开展专项思想政治课有着促进作用.

为了讨论每日新闻数量和开展思政课的學校数量的时间滞后的问题,需要做进一步的互相关分析. 互相关分析的过程中通过运行 R 语言中的 CCF 函数,得出每个网站的新闻数量与开展思想政治课的學校数量的互相关关系图. 结果如图 2 与图 3 所示:

表 1 Spearman 分析结果
Table 1 Spearman analysis results

	x_1	x_2	x_3	x_4	y
x_1	1.000	0.355 **	0.627 **	0.534 **	-0.090
x_2	0.355 **	1.000	0.457 **	0.383 **	-0.124
x_3	0.627 **	0.457 **	1.000	0.551 **	0.252 *
x_4	0.534 **	0.383 **	0.551 **	1.000	0.029
y	-0.090	-0.124	0.252 *	0.029	1.000

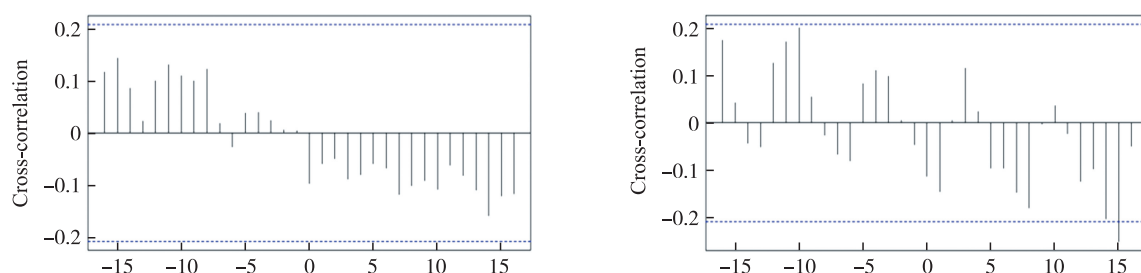


图 2 x_1, x_2 与 y 的互相关分析图

Fig. 2 Cross-correlation analysis diagram of x_1, x_2 and y

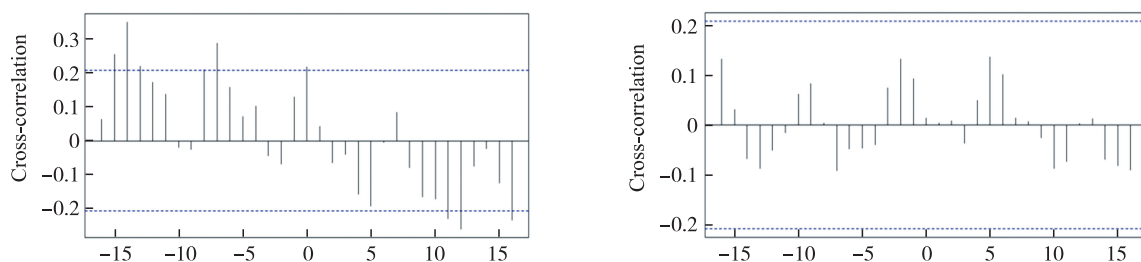


图 3 x_3, x_4 与 y 的互相关分析图

Fig. 3 Cross-correlation analysis diagram of x_3, x_4 and y

根据上述结果可以看出, x_2, x_3 与开展专项思想政治课的学校数量存在显著的互相关关系. 此外, 还观察到 x_3 局部存在最大相关关系超过 0.3(中度相关)的情况, 滞后时间为 14 d.

Spearman 相关分析和互相关分析得到了人民日报的媒体新闻数与开展专项思想政治课的学校数量具有显著的相关关系, 证实了每日新闻数量和开展思政课的学校数量之间的相关性和交互作用, 并且估计了这些相互作用之间的时间滞后. 标准互相关理论的假设是独立和平稳的, 但每日新闻数量和开展思政课的学校数量是时间相关和非平稳的. 我们将这些统计分析合并到一个动态模型中, 以探究每日新闻数量和开展专项思想政治课的学校数量如何动态地相互影响的问题.

3 模型建立

由于一种思想可以在学生群体中迅速传播, 它的传播规律可以用经典的流行病传播模型来刻画, 而媒介对于传播规律具有深刻的影响. 因此, 本文利用经典的流行病传播模型, 来刻画每日新闻数量与疫情期间开展专项思想政治课的学校数量之间的相互关系^[6-8]. 例如将具有爱国情怀的学生群体人数记为 $R(t)$, 将容易受错误思想误导的学生人数记为 $I(t)$, 把介于他们之间被这两类群体影响较大的学生群体人数记为 $S(t)$, 他们分别对应于传染病 SIR 模型中移出人群、感染人群和易感人群. 另外, 当发生大型公共卫生事件, 比如新冠病毒疫情后, 由于媒体因素、社会舆论等对家庭、学校及特定个体短时间内产生深远而重大影响, 因此在原有的 SIR 模型中添加新的媒体变量 $M(t)$, 更能准确刻画这 3 类人群之间相互影响的规律. 总人数记为 $N = S(t) + I(t) + R(t)$.

这 3 类人群中, $S(t)$ 易受到 $I(t)$ 和 $R(t)$ 的影响, 但我们期望 $S(t)$ 和 $I(t)$ 都被影响成 $R(t)$, 而这种影响受新媒体影响较大. 因此我们建立如下 SIRM 模型:

$$\begin{cases} \frac{dS(t)}{dt} = \Lambda - f(M, p)\beta S(t)I(t) - dS(t), \\ \frac{dI(t)}{dt} = f(M, p)\beta S(t)I(t) - (\gamma + d)I(t), \\ \frac{dR(t)}{dt} = \gamma I(t) - dR(t), \\ \frac{dM(t)}{dt} = \mu I(t) - \delta M(t). \end{cases} \quad (1)$$

其中, Λ 为进入 S 的输入率, μ 为媒体报道的实施效率, δ 为媒体无效报道比率, d 为 S, I, R 的输出率, 比例系数 β 表示传染率, 从而在 t 时刻内被影响的易感学生群体人数为 $\beta S(t)I(t)$. γ 表示移除率, 从而 t 时刻受专项思政课程积极影响的学生群体人数为 $\gamma I(t)$.

4 模型分析

从 2020 年 2 月 10 日开始人口流动迅速增大, 引发新冠病毒的感染高潮, 由于新冠病毒的潜伏期为 7–14 d, 定义新冠疫情的爆发高峰期为 2 月 10 日至 3 月 11 日. 根据对收集的数据分析可知, 疫情的爆发也同时引起新媒体报道数量的增加, 所以将数据集集中在 2 月 10 日至 3 月 11 日的指数增长阶段来研究模型中变量的动态变化问题.

由于疫情爆发期全民响应国家号召, 纷纷居家隔离, 包括 2020 年春季开学后也是采取线上教学的方式, 使得开展专项思政课的学校数量增加, 这是新媒体产生的直接作用. 不考虑人为因素, 我们将媒体对学生爱国思想的动态影响描述为 $\beta f(M, p)$. M 为人民日报的每日新闻条数, p 为一个正常数, $f(M, p)$ 为 M 的递减函数, 表示当媒体报道处于最高值时, 人们居家隔离的监管更为严格, 少有人与人的接触, 相对应的传染率就会减小, $f(M, p)$ 形式采用简单的递减函数 $f(M, p) = \exp(-pM)$ [3].

根据生物数学相关知识可得出该模型的基本再生数 $R_0 = \frac{\Lambda\beta}{d(d+\gamma)}$. 显然, 这个基本再生数与新媒体影响相关参数相互独立, 可以证明媒体几乎不影响基本再生数的大小, 而是影响爆发的规模和高峰期的时间. 利用基本再生数对系统进行稳定性分析, 可得出两个重要定理:

定理 1 当 $R_0 < 1$ 时, 系统(1)的无病平衡点 Ω_0 是局部渐近稳定的.

证明 令系统(1)右边等于 0, 可以得到无病平衡点 $\Omega_0 = \left(\frac{\Lambda}{d}, 0, 0, 0\right)$.

利用系统(1)在无病平衡点 Ω_0 的雅可比矩阵, 可得系统(1)在 Ω_0 处的特征方程为

$$(\lambda + \delta)(\lambda + d)^2 \left(\lambda - \frac{f\beta\Lambda}{d} + \gamma + d \right) = 0,$$

易知

$$\lambda_1 = -\delta, \lambda_2 = -d, \lambda_3 = \frac{f\beta\Lambda}{d} - (\gamma + d),$$

显然 $\lambda_1 < 0, \lambda_2 < 0$,

由于基本再生数 $R_0 = \frac{\Lambda\beta}{d(d+\gamma)}$, 当 $R_0 < 1$ 时, 可得 $\frac{f\beta\Lambda}{d} < (d+\gamma)$, 所以 $\lambda_3 < 0$.

因此, 当 $R_0 < 1$ 时, 由 Routh-Herwitz 判据, 无病平衡点 Ω_0 是局部渐近稳定的.

综上所述, 即当 $f\beta\Lambda < d(d+\gamma)$, 系统在无病平衡点 $\Omega_0 = \left(\frac{\Lambda}{d}, 0, 0, 0\right)$ 是局部渐近稳定的.

定理 2 当 $R_0 < 1$ 时, 系统(1)的无病平衡点 $\Omega_0 = \left(\frac{\Lambda}{d}, 0, 0, 0\right)$ 是全局稳定的.

证明 由于总人数不变, 所以只需要考虑以下系统

$$\begin{cases} S' = \Lambda - dS - f\beta SI, \\ I' = f\beta SI - (\gamma + d)I, \\ M' = \mu I - \delta M. \end{cases} \quad (2)$$

在系统(2)中令 $N' = \Lambda - dN$, 则 $N = \frac{\Lambda}{d} - Ce^{-dt}$, 可得

$$\lim_{t \rightarrow \infty} N = \frac{\Lambda}{d},$$

根据比较原理, 有

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \sup (S+I)(t) \leq \frac{\Lambda}{d},$$

记系统(2)的 ω -极限集为 $\tau, \tau \subset \Gamma$,

其中, $\Gamma = \left\{ (S, I) \in R_+^2 \mid (S+I) \leq \frac{\Lambda}{d} \right\}$, Γ 是(2)的正不变集.

考虑 ω -极限集 τ , 分析可知只有当 $I(t)=0, S(t)=\frac{\Lambda}{d}, M(t)=0$ 时

$$I'=0, S'=0, M'=0,$$

则

$$\lim_{t \rightarrow \infty} I(t) = 0, \lim_{t \rightarrow \infty} S(t) = \frac{\Lambda}{d}, \lim_{t \rightarrow \infty} M(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} e^{-\delta t} = 0.$$

综上所述, 无病平衡点 $\Omega_0 = \left(\frac{\Lambda}{d}, 0, 0, 0 \right)$ 是全局稳定的.

5 结论

由定理1可知, 为使系统(1)在无病平衡点 $\Omega_0 = \left(\frac{\Lambda}{d}, 0, 0, 0 \right)$ 局部渐进稳定, 则需要 $R_0 < 1$, 即 $\frac{\Lambda\beta}{d(d+\gamma)} < 1$, 这一目标可以通过提高转化率 γ 达到. 结合前面数据分析结果, 提升转化率 γ 可以从学校教育入手. 因此, 可以扩大专项思政课的开课数量, 拓展开展思政课的形式, 使得授课方式多元化, 实现学生类别向希望的方向转化.

由定理2可知, 为使系统(1)在无病平衡点 $\Omega_0 = \left(\frac{\Lambda}{d}, 0, 0, 0 \right)$ 全局稳定, 由分析可知当 $I(t)$ 趋于0, 易感学生群体 $S(t)$ 趋于学生总数 $N(t)$, 媒体作用的无效报道程度达到最低, 则系统在无病平衡点全局稳定. 对此, 我们需要考虑媒体作用对个人行为的影响, 已知媒体作用 $M'(t) = \mu I(t) - \delta M$, 要想增大媒体的影响, 则应使媒体报道的实施效率 μ 增大, 并减小无效媒体报道比率 δ , 可以采取以下措施:

首先, 增大媒体报道的实施效率 μ , 我们需要将新媒体每日新闻内容落到实处, 所以可以采取扩大每日新闻的播放量的措施.

其次, 减小无效媒体报道比率 δ 和延长学生对新媒体作用的反馈时间, 学校可把关注时事政治当作家庭作业安排下去, 通过让学生线上线下看新闻读报纸, 培养主动关注时事的好习惯.

最后, 加强新闻报导内容的监管力度. 在新媒体传播介质中散播谣言, 不仅会使学生的消极情感攀升, 更严重的是破坏学生民族自信心和自豪感, 使其对民族的认同感降低. 因此对于新媒体内容要有更加合理与严格的管控机制, 大量增加正面新闻报道的数量和负面新闻的曝光量及处罚措施.

[参考文献]

- [1] 李贵, 董溪. 新时代爱国主义教育的四重维度[J]. 中北大学学报, 2021, 37(6): 11-16.
- [2] 王晓静, 潘艳雪, 王丹, 等. 一类具有媒体播报和时滞效应的传染病模型的稳定性分析[J]. 生物数学学报, 2017, 32(3): 321-332.
- [3] 刘玉英, 肖燕妮. 一类受媒体影响的传染病模型的研究[J]. 应用数学和力学, 2013, 34(4): 399-407.
- [4] NEAIGUS A, JENNESS S M, HAGAN H, et al. Estimating HIV incidence and the correlates of recent infection in Venue-Sampled men who have sex with men in New York City[J]. AIDS and behavior, 2012, 16(3): 516-524.
- [5] 孙传成, 邱志鹏, 杨晓敏. 一类具有媒体影响的媒介传染病模型的分析[J]. 系统科学与数学, 2017, 37(9): 2028-2038.
- [6] KERMAK W O, MCKENDRICK A G. Contributions to the mathematical-theory of epidemics[J]. Bulletin of mathematical biology, 1991, 53(1): 33-55.
- [7] 闫琴玲. 个体行为改变与传播动力学多尺度建模与数据分析研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2019.
- [8] 宋鹏飞, 楼元, 朱利平, 等. 多阶段多尺度斑块模型以及在新型冠状病毒肺炎疫情中的应用[J]. 应用数学学报, 2020, 43(2): 174-199.

[责任编辑: 陆炳新]