



# The Application of Grey System Model in AIDS Prevention and Control in Yunnan Province of China

Yang Baiyun

Yunnan Police College School of Information Network Security, Kunming, Yunnan, China

## Email address:

bluebaiyun@sina.com

## To cite this article:

Yang Baiyun. The Application of Grey System Model in AIDS Prevention and Control in Yunnan Province of China. *Science Innovation*.

Vol. 4, No. 2, 2016, pp. 40-44. doi: 10.11648/j.si.20160402.13

Received: February 22, 2016; Accepted: March 16, 2016; Published: April 8, 2016

**Abstract:** Yunnan province is one of the most serious regions of HIV/AIDS epidemic in China. By October 31, 2015, total 29652 AIDS patients, 23316 deaths. Using the gray system model to predict the HIV/AIDS epidemic situation is a beneficial attempt. We can apply mathematical model in the study of this epidemic, managing to find its regularity and to predict its trend. Through the analysis of HIV/AIDS epidemic, we can lay a solid foundation for further research and work on AIDS prevention and control, and provide a reference basis for prevention strategies and countermeasures.

**Keywords:** Grey System Model, AIDS, Prevention and Control

## 灰色系统模型在中国云南省艾滋病防控中的应用研究

杨白云

云南警官学院信息网络安全学院, 昆明, 云南, 中国

## 邮箱

bluebaiyun@sina.com

**摘要:** 云南省是中国AIDS流行最严重的地区, 以2015年10月31日为时间结点, 统计资料显示, 云南省累计AIDS病人29652例, 死亡人数23316例。用灰色系统模型来预测HIV/AIDS流行态势是一种有益的尝试。通过对HIV/AIDS疫情的分析, 为深入开展艾滋病预警奠定基础, 为制订艾滋病防治策略与措施提供参考依据。

**关键词:** 灰色系统模型, 艾滋病, 防控

## 1. 引言

艾滋病是当前全球最关注的公共卫生问题之一。最新资料显示, 到2015年10月31日, 中国云南省累计AIDS病人29652例, 死亡人数23316例。中国云南省防控AIDS形势十分严峻。

在有关艾滋病防控的研究中, 人们普遍采用定性分析方式。如中国云南警官学院沙莉教授的中国国家社科课题《高危群体艾滋病预防干预的宽容策略研究》, 批准立项

号: 07XSH005; 中国云南警官学院王清教授的中国国家社科课题《流动人口艾滋病社区干预研究》, 批准立项号: 08CSHD21。本文是在参加上述两个社科课题工作的基础上, 申报完成的2015年中国云南省教育厅科学研究基金项目《灰色系统模型在防控云南省艾滋病中的应用研究》的研究成果。(验字[2015]464号)

经资料查询, 除中国地区以外, 在艾滋病防控研究中引入灰色系统理论进行研究还未见报道。查阅中国近年来研究相关文献, 参考文献[1][2][3][4]从不同侧面予以研

究。在这些研究中存在的不足, 主要是只进行定性研究, 因为没有定量描述, 难免可能不够深刻。用灰色系统模型来研究的文章还不多见, 参考文献[5]给出。

## 2. GM(1, 1)模型

少数据、小样本、信息不完全和经验缺乏的不确定性的系统称为灰色系统[6]。灰建模是少数据的建模，其目的是在数据有限（即有限序列）的条件下，模仿微分方程建立具有部分微分方程性质的模型。灰预测是建立（行为）时轴上现在与未来的定量关系。通过此定量关系（灰模型）预测事物的发展。GM(1, 1)是一个单变量的一阶微分方程模型[7]，利用它我们可以进行连续的动态预测。

设 有 原 始 非 负 序 列

$$X^{(0)}, X^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\}$$

$X^{(1)}$ 为 $X^{(0)}$ 的一阶累加生成序列,

$$X^{(1)} = \{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)\}$$

其中,  $x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i), k = 1, 2, \dots, n$

建立白化形式的微分方程如式(1)

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = b \quad (1)$$

若  $\hat{\mathbf{a}} = [\mathbf{a}, \mathbf{b}]^T$  为参数列, 则有  $\mathbf{B}\hat{\mathbf{a}} = \mathbf{Y}$

$$\text{且 } B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)) & 1 \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}(x^{(1)}(n-1) + x^{(1)}(n)) & 1 \end{bmatrix} \quad Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix}$$

按最小二乘原理, 解得

$$\hat{\mathbf{a}} = (\mathbf{B}^T \mathbf{B})^{-1} \mathbf{B}^T \mathbf{Y} \quad (2)$$

求出参数解微分方程式(1),得到预测模型,即GM(1,1)模型的时间响应序列为:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = (x^{(0)}(1) - \frac{b}{a})e^{-ak} + \frac{b}{a}; k=1, 2, \dots, n \quad (3)$$

还原值

$$\begin{aligned} \hat{x}^{(0)}(k+1) &= \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k) \\ &= (1 - e^a)(x^{(0)}(1) - \frac{b}{a})e^{-ak}, k = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (4)$$

GM(1, 1)模型中的参数  $a$  为发展系数,  $a$  反映了  $\hat{x}^{(1)}$  及  $\hat{x}^{(0)}$  的发展态势。 $a$  较小时, 模型精度较高。 $b$  为灰色作用量。

模型的精度由平均相对误差  $\bar{\Delta}$  来刻画。给定  $\alpha$ ，当  $\bar{\Delta} < \alpha$  且  $\Delta_n < \alpha$  成立时，称模型为残差合格模型。其中残差为：

$$\varepsilon(\mathbf{k}) = x^{(0)}(\mathbf{k}) - \hat{x}^{(0)}(\mathbf{k}) \quad (5)$$

( $x^{(0)}(k)$ ---实际数据;  $\hat{x}^{(0)}(k)$ ---模拟数据)

相对误差 (%) 为:

$$\Delta_k = \frac{|\varepsilon(k)|}{x^{(0)}(k)} \quad (6)$$

平均相对误差  $\bar{\Delta}$  为: 
$$\bar{\Delta} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \Delta_k$$

表1 精度检验等级参照表。

精度等级 \ 指标临界值	相对误差 $\alpha$
一级	0.01
二级	0.05
三级	0.10
四级	0.20

### 3. 模拟演算

说明：以下模拟演算所使用数据资料来源均为中国云南省疾病预防控制中心所发布。

### 3.1. AIDS病死亡人数模型 (5数据)

表2 中国云南省历年累积AIDS死亡人数[8]。

年份	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年
AIDS死亡	11609人	14340人	17268人	20093人	23316人

用最近五年的数据, 代入式(2)计算可得

$$a = -0.158361, b = 11564.934741, \frac{b}{a} = -73029.102948 \quad [9]$$

**表3** 误差检验表。

序号	实际数据 $x^{(0)}(k)$	模拟数据 (4) $\hat{x}^{(0)}(k)$	残差 (5) $\varepsilon(k) = x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)$	相对误差 (%) (6) $\Delta_k = \frac{ \varepsilon(k) }{x^{(0)}(k)}$
2 (2011年)	14340	14522.93	-182.94	1.276%
3 (2012年)	17268	17014.90	253.09	1.466%
4 (2013年)	20093	19934.47	158.53	0.789%
5 (2014年)	23316	23354.99	38.999	0.167%

平均相对误差：
$$\bar{\Delta} = \frac{1}{4} \sum_{k=2}^5 \Delta_k = 0.924\% < 0.10,$$
 且 $\Delta_5 = 0.167\%$ ；模型精度为一级。  
时间响应函数如式(3)所示为：

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = 84638.10948 \exp(0.158361 * k) - 73029.10$$

还原值如式(4)，见表3(模拟数据 $\hat{x}^{(0)}(k)$ )。  
从模型给出结的果来看，平均相对误差仅为0.92%，说明模拟的精度很高。特别是2014年的数据中，实际值与模拟值误差仅为38人，精度达到0.167%，可以说相当准确了。死亡人数的模拟精度很高，究其原因 是艾滋病的治疗目前也没有什么特别有效的方法，治疗的效果近几年来也没有什么根本的改变，治疗效果对模型数据的影响较小，所以用GM(1, 1)模型得出的结果精度很高。用此模型来预测随后3年的情况，得到：2015年中国云南省AIDS病死亡人数累计预测值为27362人；2016年AIDS病死亡人数累计

预测值为32057人；2017年的AIDS病死亡人数累计预测值为37558人。  
从中国云南省艾滋病局通报的最新数据来看，到2015年10月31日止，中国云南省死亡艾滋病人数为26510人，而我们的预测值为27362人，模拟值与实际通报人数仅仅相差852人，误差值为3.2%，再一次说明我们的模拟是非常有效的。

3. 2. HIV感染者模型（5数据）

表4 中国云南省HIV累积统计数据。

年份	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年
HIV 感染者	62233人	67869人	73397人	56763人	50263人

用最近五年的数据，代入式(2)计算可得  
$$a = 0.107272, b = 82997.532121, \frac{b}{a} = 773710.973363$$

表5 误差检验表。

序号	实际数据 $x^{(0)}(k)$	模拟数据 (4) $\hat{x}^{(0)}(k)$	残差 (5) $\varepsilon(k) = x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)$	相对误差 (%) (6) $\Delta_k = \frac{ \varepsilon(k) }{x^{(0)}(k)}$
2 (2011年)	67869	72370.61	-4501.62	6.63%
3 (2012年)	73397	65009.17	8387.83	11.43%
4 (2013年)	56763	58396.52	-1633.52	2.88%
5 (2014年)	50263	52456.5	-2193.51	4.36%

平均相对误差：
$$\bar{\Delta} = \frac{1}{4} \sum_{k=2}^5 \Delta_k = 6.325\% < 0.10,$$
 且 $\Delta_5 = 4.36\%$ ；模型精度为三级。  
时间响应函数如式(3)所示：

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = -711477.97 \exp(-0.107272 * k) + 773710.97$$

还原值如式(4)，见表5(模拟数据 $\hat{x}^{(0)}(k)$ )。  
从模型得出的结果来看，平均相对误差是6.325%，模型模拟的精度较高，可以接受。而其中的2013年、2014年实际数据比模拟数据低，原因是由于中国云南省采取综合防控措施，大大降低了HIV感染者人数。用此模型来预

测随后3年的情况，可得2015年为47120人，2016年为42327人，2017年为38022人。

3. 3. AIDS病病人模型（5数据）

表6 中国云南省历年累积AIDS病人人数。

年份	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年
AIDS 病人	20072人	25698人	31584人	26285人	29652人

用最近五年的数据，代入式(2)计算可得  
$$a = -0.022779, b = 26576.741006, \frac{b}{a} = -1166742.463965$$

表7 误差检验表。

序号	实际数据 $x^{(0)}(k)$	模拟数据 (4) $\hat{x}^{(0)}(k)$	残差 (5) $\varepsilon(k) = x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)$	相对误差 (%) (6) $\Delta_k = \frac{ \varepsilon(k) }{x^{(0)}(k)}$
2 (2011年)	25698	27334.20	-1646.20	6.41%
3 (2012年)	31584	27974.21	3609.78	11.43%
4 (2013年)	26285	28618.73	-2333.74	8.88%
5 (2014年)	29652	29278.11	373.89	1.26%

平均相对误差为：
$$\bar{\Delta} = \frac{1}{4} \sum_{k=2}^5 \Delta_k = 6.994\% < 0.10$$
，且 $\Delta_5 = 1.26\%$ ；模型精度为三级。  
时间响应函数如式(3)所示：

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = 1186814.46 \exp(0.22779 * k) - 1166742.46$$

还原值如式(4)，见表7(模拟数据 $\hat{x}^{(0)}(k)$ )。  
从模型模拟效果来看，平均相对误差是6.99%，模型精度为三级。推测2015年、2016年、2017年的情况，其结果：2015年中国云南省AIDS病人人数累计预测值为29952人；2016年累计预测值为30642人；2017年累计预测值为31348人。  
从中国云南省艾滋病局通报的最新数据来看，到2015年10月31日止，中国云南省艾滋病人实际通报人数为

33412人，与我们的预测值29952人相比较，模拟值与实际通报人数相差3460人，误差率为10.4%，足以说明我们的模拟还是比较有效的。

3. 4. AIDS病人及HIV感染者模型（5数据）

表8 中国云南省历年累积AIDS病人及感染艾滋病病毒（HIV）人数。

年份	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年
病人及感染者	82305人	93567人	104981人	83048人	79915人

用最近五年的数据，代入式(2)计算可得

$$a = 0.067267, b = 108601.844908, \frac{b}{a} = 1614488.316128$$

表9 误差检验表。

序号	实际数据 $x^{(0)}(k)$	模拟数据(4) $\hat{x}^{(0)}(k)$	残差(5) $\varepsilon(k) = x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k)$	相对误差 (%) (6) $\Delta_k = \frac{ \varepsilon(k) }{x^{(0)}(k)}$
2 (2011年)	93567	99675.41	-6108.41	6.528%
3 (2012年)	104981	93191.08	11789.92	11.231%
4 (2013年)	83048	87128.58	-4080.58	4.914%
5 (2014年)	79915	841460.47	-1545.47	1.934%

平均相对误差为：
$$\bar{\Delta} = \frac{1}{4} \sum_{k=2}^5 \Delta_k = 6.152\% < 10\%$$
，且 $\Delta_5 = 1.934\%$ ；模型精度为三级。时间响应函数如式(3)所示：
$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = -1532183.316128 \exp(-0.067267 * k) + 1614488.316$$

还原值如式(4)，见表9(模拟数据 $\hat{x}^{(0)}(k)$ )。  
从模拟结果看，平均相对误差6.15%，模型精度三级，可信。2013年、2014年的实际数据低于模拟数据，其原因在于中国云南省采取的各种干预措施到位，大大降低了感染人数。用模型来预测2015年、2016年、2017年中国云南省AIDS病人及HIV感染者人数情况，得到：2015年预测值为76171人，2016年累计预测值为71206人，2017年累计预测值为66574人。

4. 2014年、2015年中国云南省艾滋病疫情特点及防控工作

4. 1. 疫情特点

2014年1-10月，中国云南省报告HIV和AIDS病人9601例，其中HIV感染6857例、AIDS病人2744例，死亡2184例。[10]  
2015年1-10月，中国云南省报告HIV感染9768例，AIDS病人2893例，死亡2283例。[11]

4. 1. 1. 性传播成主要渠道

2014年10月性传播比例达到89.5%，已经成为中国云南省艾滋病传播的最主要途径。其中82.6%为婚外不安全性行为传播，这当中约80%为商业性行为传播；4.7%为男男性行为传播，男男性行为传播呈上升趋势。12.7%为家庭内配偶间传播。  
2015年性传播达到91.4%，同比增长了1.9%。

4. 1. 2. 青年学生报告数增加

2014年1-10月报告的73例青年学生HIV感染者中，男性61例，女性12例。  
2015年报告的青年学生HIV感染者94例，比2014年增长28.8%。其中同性传播的比例高达54.8%，逐年上升趋势显著。

4. 1. 3. 老年人报告数增加

2014年1-10月，新报告的HIV感染者和AIDS病人中，60岁以上老年人占比12.0%；  
2015年60岁以上老年人占比13.7%，同比增长了1.7%。

## 4.2. 防控工作

中国云南省在防控艾滋病中做了大量卓有成效的工作：一是广泛开展更有针对性和实效性宣传教育；二是加大监测检测，2014年1-10月中国云南省共开展HIV抗体检测610.9万人份；三是加强病源管理；四是开展行为干预，2014年1-3季度中国云南省共发放安全套4435万只，2014年1-10月中国云南省暗娼月均干预21589人，男男性行为者月均干预5335人；五是开展母婴阻断，母婴传播阻断覆盖率达100%。；六是开展抗病毒治疗，AIDS抗病毒治疗患者的病死率下降到了2.2%，低于中国平均水平；七是加大关怀救助力度，2014年对纳入城市低保的13031名艾滋病病毒感染者/病人和纳入农村低保的9464名HIV感染者/病人共救助4387.9万元。[12]

## 5. 防控策略

通过用灰色系统模型对中国云南省艾滋病疫情模拟，我们看到，中国云南省在艾滋病防控上的形势非常严峻。

### 5.1. 防治难点

一是艾滋病传播渠道从高危人群向一般人群扩散成为新常态，防控难度大大增加，性传播比例超过90%，传播方式更加隐蔽，防控形势更加严峻；二是由于人员流动性大，男同、暗娼和吸毒人群在各城市集中，感染者基数庞大，防治管理难度大大增加；三是艾滋病综合防治示范区对于在流动人口、老年人、青少年等重点人群中开展防艾宣传和干预措施单一，动员检测、行为干预、感染者管理和转介治疗工作不足。

### 5.2. 对策

一、继续坚持政府主导，确保长效机制良好运行。坚持执行防治艾滋病工作“一把手”负责制和责任目标考核制，把防治艾滋病工作作为各级党委、政府的一项政治任务。

二、健全并完善工作保障机制。经费保障：实验室能力建设、行为干预、感染者管理、治疗、母婴阻断、培训；人员数量不足：争取编制+到位到岗+临时聘用人员+社区组织+志愿者；队伍不稳定：落实艾滋病防治工作人员和职业暴露高危人员岗位补贴，建立激励机制。

三、进一步创新社会管理，加大政府购买社会组织防治艾滋病服务力度。

四、继续加强艾滋病综合防治示范区建设工作，继续扩大试点社区的建设，充分发挥基层社区的积极作用。

五、继续推进扩大检测、扩大治疗工作。全面推行抗病毒治疗“一站式服务”经验。

六、公安、计生、民政、教育、社区街道办、司法、卫生多部门合作，控制艾滋病经性途径传播蔓延。

七、加强边境地区防艾工作。制定了《中国云南省边境地区艾滋病防治项目工作方案（2014—2018年）》。

## 6. 结论

应用灰色模型模拟得出的数据，近期值比较准确，有较大参考价值。中、远期预测可以反映出一种发展趋势。从模型模拟数据来看，中国云南省在防控艾滋病的道路上还有漫漫征程，形势不容乐观。刚刚过去的2015年是中国云南省第三轮禁毒防艾人民战争的收官之年，从中国云南省艾滋病局通报的最新数据来看，到2015年10月31日止，中国云南省存活艾滋病病毒感染者87634人，艾滋病病人33412人，死亡艾滋病人数为26510人[13]，触目惊心的数据再一次警醒我们，中国云南省的防控工作任务繁重而艰巨。

## 参考文献

- [1] 陆林. 云南艾滋病流行20年. [J]. 昆明医科大学学报 2013, (6):1-4
- [2] 陈东等. 我国艾滋病疫情发展趋势预测的防控措施分析[J]. 中国公共卫生管理2013, (1):3-7
- [3] 肖民扬等. 云南省艾滋病病毒感染者和艾滋病患者的高危行为影响因素分析[J]. 中华疾病控制杂志 2013, (12):1021-1024
- [4] 安晓静等. 云南省艾滋病综合管理对相关服务可及性的影响分析[J]. 中国艾滋病性病2013, (2):134-137
- [5] GM(1,1)模型在预测云南省艾滋病病毒(HIV)感染者上的应用研究. [J]. 云南大学学报(自然科学版)2008, 30(S1):452-455
- [6] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2004: 2
- [7] 刘思峰, 党耀国, 方志耕. 《灰色系统理论及其应用》[M] (第三版) 科学出版社, 2007年1月:164
- [8] 云南疾控资讯网, <http://www.yncdc.cn>
- [9] 刘斌. 灰色建模系统(软件), 科学出版社, 2004年
- [10] 2014年10月31日: 云南省艾滋病疫情, <http://www.yncdc.cn/newsview.aspx?id=107070>
- [11] 今年1-10月云南新增染艾患者9768例. 春城晚报A042015、12、1
- [12] 2014年云南省艾滋病主要防治工作进展, <http://www.yncdc.cn/newsview.aspx?id=107071>
- [13] 今日数据. 春城晚报A042015、12、1