

基于 GM(1,1)的道路交通事故预测研究

——以四川省为例

杜珊珊 周 蓉

成都信息工程大学, 中国·四川 成都 610225

【摘 要】道路交通系统是一个动态的不确定性系统, 交通事故的发生具有很强的随机性。针对道路交通系统“部分信息已知, 部分信息未知”的特征, 采用“灰色系统理论”, 弱化道路交通事故的随机性。本文以四川省历史交通事故数据为研究对象, 建立 GM(1, 1) 预测模型, 通过检验该模型的精度, 得到有效预测模型, 对未来四川省道路交通事故发生数、受伤人数、死亡人数、交通事故直接财产损失进行预测。最后依据结论, 积极为防范四川省道路交通事故提出对策建议。

【关键词】道路交通事故; GM(1, 1) 模型; 防范措施

1 道路交通事故的研究背景

1.1 道路交通事故现状

全球道路交通的快速发展, 使得汽车的保有量不断增加, 随即而来的道路交通事故也令人触目惊心。全球每年约有135万人因道路交通事故而死亡, 相当于每天约3500人死于道路交通事故。而我国是世界上道路交通事故最严重的国家之一。道路运输的繁忙, 交通流量的增大, 全民安全意识和交通法则停滞不前。导致道路交通事故的伤害逐年攀升, 给人们的生命财产安全带来了极大危害^[1]。

道路交通系统是由人、车、路和环境四大基本要素组成的整体。中国城镇化进程加快, 道路拥堵加剧。截至2021年9月, 全国机动车保有量为3.90亿辆, 其中汽车2.97亿辆, 接近3亿辆。而汽车保有量超过100万辆的城市达76个, 比去年同期增长7个; 超过200万辆的城市达34个, 超过300万辆的城市达18个。仅2021年前三个季度, 全国新注册等级机动车2753万辆, 同比增长18.83%; 全国同期机动车驾驶人4.76亿人, 其中汽车驾驶人4.39亿人, 占总数的92.14%。据第七次人口普查数据, 2020中国人口达141178万人, 与2010年第六次全国人口普查数据的133972万人相比, 增加了7206万人, 年平均增长率为0.53%。

总的来看, 道路交通系统组成部分中的人、车都在以肉眼可见的速度增长。此外, 据公安部数据, 表1仅2015—2019年全国道路交通事故共发生1096259起, 共造成1150597人受伤, 310844人死亡, 累计交通事故直接财产损失高达618836.7万元。

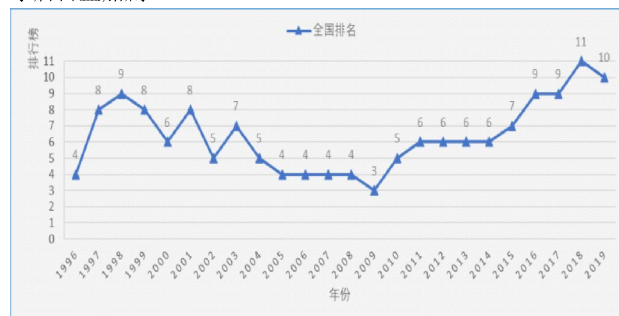
表表 * ARABIC 1 2015—2019年全国道路交通事故统计

年份	2015	2016	2017	2018	2019	累计
交通事故发生数/起	187781	212846	203049	244937	247646	1096259
受伤人数/人	199880	226430	209654	258532	256101	1150597
死亡人数/人	58022	63093	63772	63194	62763	310844
交通事故直接财产损失/万元	103691.7	120759.9	121311.3	138455.9	134617.9	618836.7

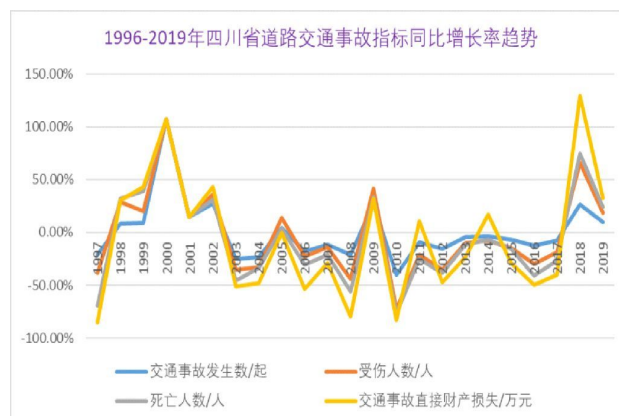
数据来源: 国家统计局

就四川省而言, 自1996年—2019年, 道路交通事故居高不

下, 始终位列全国排行榜前十位, 图12005年—2019年, 道路交通事故发生数、受伤人数、死亡人数、直接财产损失额年平均分别占全国总的5.34%, 5.80%, 4.31%, 5.82%。再1996年—2019年近20年的数据中, 四川省道路交通事故四大指标的同比增长率均呈同步的震荡波动趋势图2, 在1997、2003、2008、2016处均有大幅上升的转折, 间隔期大约6年, 故可做“2019年后四川省道路交通事故、受伤人数、死亡人数、直接财产损失均有上升趋势”的假设。四川省作为一个人口大省, 人口数量逐年攀升, 车流量只增不减, 道路交通规则、设施设备落实周期长, 人们道路交通安全意识的停滞不前, 使道路交通安全问题与居民需求的矛盾日益加剧。



图图 * ARABIC 1—1996—2019 四川省道路交通事故在全国的排名



图图 * ARABIC 2—1996—2019 年四川省道路交通事故指标同比增长率趋势

1.2 研究现状

近年来, 针对道路交通安全问题与居民需求的矛盾, 有不少学者进行了相关研究: 文献[2]从大连市道路交通事故的发生

数着手, 建立GM(1, 1)模型, 利用Matlab计算预测其2021年的发生数量。结合实地调查, 探究大连市道路交通事故发生的原因与对策。文献[3]经过灰色差分方程与灰色微分方程之间的互换, 实现了利用离散数据序列建立连续动态微分方程的过程, 对交通事故进行预测及精度检验。文献[4]以道路交通事故死亡人数为指标, 建立基于灰色关联分析方法的GM(1, N)预测模型, 与不同维数预测模型进行对比。寻找到GM(1, 5)为最精确。

目前, 众多道路交通事故的安全研究主要集中于探究道路交通事故指标的预测模型, 寻找较优预测模型且范围广。因此, 本文研究范围落实于四川省, 使得出的结论更具有现实意义。此外, 在已有研究基础上, 增加对四川省道路交通事故的受伤人数、死亡人数以及交通事故直接财产损失的预测及分析, 最后针对预测结论提出对策建议[2][3]。

1.3 研究目的

维护道路交通安全, 探究引发道路交通事故的主要成因, 预测道路交通事故的发生具有重要意义。针对道路交通系统“部分信息已知, 部分信息未知”的特征, 本文采用“灰色系统理论”, 弱化道路交通事故的随机性。以四川省2014-2019历史交通事故统计数据为研究对象, 建立基于该时段数据的GM(1, 1)预测模型, 通过检验该模型的精度, 得到有效预测模型, 对2020-2025四川省道路交通事故发生数、受伤人数、死亡人数、交通事故直接财产损失进行预测。最后依据结论, 提出防范措施, 以期降低四川省道路交通事故发生。

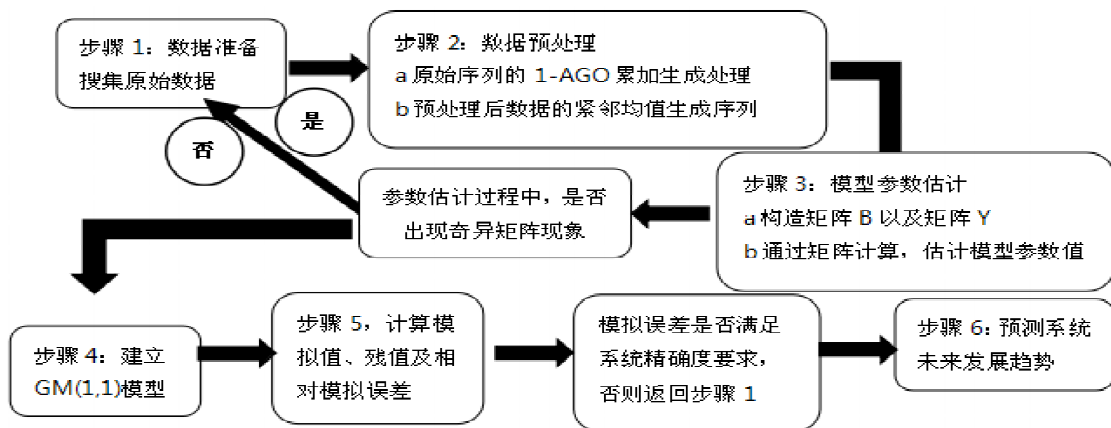
2 建立道路交通事故灰色预测模型

2.1 GM(1, 1)模型的建立

传统的事事故预测方法, 如统计学、模糊数学和混沌时间序列等, 其前提通常需要大量数据。而灰色系统理论在解决“小样本, 贫信息”等不确定性问题, 具有很强的实用性。交通事故成因常常存在不确定性, 且交通道路区域分布广, 组成复杂, 往往缺少完整的统计数据, 因此道路交通系统本身也是一个部分信息未知的灰色系统, 具有明显的灰色特征[4]。

GM(1, 1)模型是一种基于灰色理论的动态预测模型。其建模的依据不是原始数据, 而是先对原始数据进行一次累加, 使生成的数据序列呈现一定规律, 在此基础上建立一阶微分方程模型, 求得拟合曲线, 以此对系统进行预测。其优点为所需样本量多少、有无规律均无要求, 且预测结果与研究对象的实际发展轨迹相接近, 适合短期预测。因此可以建立交通事故灰色GM(1, 1)模型对短期事故发展趋势进行预测[5][6]。

建立GM(1, 1)模型的步骤如下: [7][8]



设有原始序列 $X^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n))$,

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

为 $X^{(0)}$ 的 1-AGO, 其中 $x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i)$
 $Z^{(1)}$ 为 $X^{(1)}$ 的紧邻均值生成序列, 其中

$$z^{(1)}(k) = 0.5 \times (x^{(1)}(k) + x^{(1)}(k-1))$$

上述式中均有 $k = 1, 2, \dots, n$; 综合上述得出GM(1, 1)模型基本表达式如下: $x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b$

故有参数序列 $\hat{a} = (a, b)^T$,

$$Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \dots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} -Z^{(1)}(2) & 1 \\ -Z^{(1)}(3) & 1 \\ \dots & \dots \\ -Z^{(1)}(3n) & 1 \end{bmatrix}$$

则GM(1, 1)模型 $x^{(0)}(k) + az^{(1)}(k) = b$ 的最小二乘估计参数列满足 $\hat{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y$

GM(1, 1)模型的时间响应式为

$$\hat{x}^{(1)}(t+1) = (x^{(0)}(1) - \frac{b}{a})e^{-at} + \frac{b}{a}, t = 0, 1, 2, \dots, n$$

$$\text{即 } \hat{x}^{(0)}(t+1) = Ae^{-at}, k = 0, 1, 2, \dots, n$$

$$\text{其中 } A = (1 - e^a)(x^{(0)}(1) - \frac{b}{a})$$

2.2 预测目标GM(1, 1)模型的建立

2.2.1 道路交通事故发生数量的预测

选取表2这6组样本数据构建GM(1, 1)模型, 并测试其模拟性能。

表表 \star ARABIC 2 四川省 2014 年到 2019 年道路交通事故发生数统计表

年份	2014	2015	2016	2017	2018	2019
道路交通事故发生数/起	9193	8571	7527	6947	8804	9662

数据来源: 四川省统计年鉴《2008-2015》

直接建立基于原始数据的GM(1, 1)模型的精确度小于建立基于经数据处理后的GM(1, 1)模型。故采用经数据处理(应用灰

色弱化缓冲算子对原始序列进行弱化处理后得到的GM(1, 1)模型。注：二者对比详见表3表4。

对原始序列的缓冲处理：

$$X^{(0)} = (x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(6)) \\ = (9193, 8571, 7527, 6947, 8804, 9662)$$

$$S^{(0)} = (S^{(0)}(1), S^{(0)}(2), \dots, S^{(0)}(6)) \\ = (x^{(0)}(1)d, x^{(0)}(2)d, \dots, x^{(0)}(6)d) \\ = (8451, 8302, 8235, 8471, 9233, 9662)$$

其中

$$S(0)(k) = x(0)(k)d = \frac{1}{n-k+1}$$

$$[x^{(0)}(k) + x^{(0)}(k+1) + \dots + x^{(0)}(n)], k=1, 2, \dots, 8.$$

$s^{(0)}$ 的1-AGO: $s^{(1)} = s^{(1)}(1), s^{(2)}(6) =$

$$(8451, 16753, 24988, 33495, 42692, 52354)$$

$s^{(1)}$ 的紧邻均值：

$$Z^{(1)} = (Z^{(1)}(2), Z^{(2)}(3), \dots, Z^{(1)}(6)) =$$

$$(12602, 20870, 29223, 38075, 47523)$$

构造矩阵计算模型参数：

$$Y = \begin{bmatrix} S^{(0)}(2) \\ S^{(0)}(3) \\ \dots \\ S^{(0)}(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 8451 \\ 8302 \\ \dots \\ 9662 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} -Z^{(1)}(2) & 1 \\ -Z^{(1)}(3) & 1 \\ \dots & \dots \\ -Z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -12602 & 1 \\ -20870 & 1 \\ \dots & \dots \\ -47523 & 1 \end{bmatrix}$$

得 $\hat{a} = (a, b)^T = (-0.04305, 7503.959)^T$

所以得到GM(1, 1)模型的时间响应函数为：

$$\hat{S}^{(0)}(t) = 182776.22 \times e^{0.04305t} + \frac{7503.959}{-0.04305}$$

$t=0, 1, 2, \dots, n.$

根据上述GM(1, 1)模型的时间响应函数，当 $t=0, 1, 2, 3, 4, 5, 6$ 时，可计算GM(1, 1)模型的模拟数据 $\hat{S}^{(0)}(t)$ 及其残差、相对误差及平均相对模拟误差，如表3。

综上得出，虽然基于实际数据经缓冲处理建立的GM(1, 1)模型与直接基于实际数据建立的GM(1, 1)模型模拟精度均属于I级，但前者的模拟精度更高，故选择基于实际数据经缓冲处理建立的GM(1, 1)模型进行预测2020年到2025年四川省道路交通事故发生数。预测结果如下表5：

表3 直接基于实际数据的GM(1,1)模型

序号(年份)	实际数据	模拟数据 $\hat{S}^{(0)}(t)$	残差	相对误差/%
k=0(2014)	9193.0000	9193.0000	0.0000	0.0000
k=1(2015)	8571.0000	7569.9742	-1001.0258	0.1168
k=2(2016)	7527.0000	7917.6314	390.6314	0.0519
k=3(2017)	6947.0000	8281.2551	1334.2551	0.1921
k=4(2018)	8804.0000	8661.5785	-142.4215	0.0162
k=5(2019)	9662.0000	9059.3686	-602.6314	0.0624

模型精度为0.073217%，查阅灰色系统模型误差参照表可知，该模型模拟精度为I级

表4 实际数据经缓冲处理的GM(1,1)模型

序号(年份)	实际数据	模拟数据 $\hat{S}^{(0)}(t)$	残差	相对误差/%
k=0(2014)	8450.6667	8450.6667	0.0000	0.0000
k=1(2015)	8302.2000	8039.5159	-262.6841	0.0316
k=2(2016)	8235.0000	8393.1386	158.1386	0.0192
k=3(2017)	8471.0000	8762.3155	291.3155	0.0344
k=4(2018)	9233.0000	9147.7310	-85.2690	0.0092
k=5(2019)	9662.0000	9550.0991	-111.9009	0.0116

模型精度为0.017675%，查阅灰色系统模型误差参照表可知，该模型模拟精度为I级

表5 2020年到2025年道路交通事故发生数预测

年份	2020	2021	2022	2023	2024	2025
道路交通事故数据	9970.17	10408.71	10866.54	11344.51	11843.51	12364.45

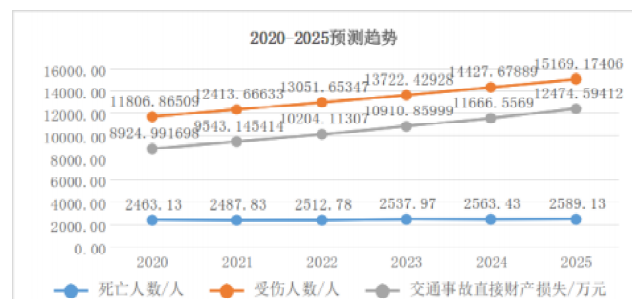


图3

2.2.2 交通事故死亡人数、受伤人数、直接财产损失预测

运用本文中3.2.1中的方法建立2014年—2019年四川省道路交通事故死亡人数、受伤人数、直接财产损失额的CM(1, 1)模型，对2020年—2025年的四川省道路交通事故死亡人数、受伤人数、直接财产损失额进行预测，并分析其大体趋势。

表6 2014—2019四川省交通道路事故统计表

年份	2014	2015	2016	2017	2018	2019
受伤人数/人	11026	10188	8395	7481	10427	11335
死亡人数/人	2664	2640	2352	2166	2351	2476
交通事故直接财产损失/万元	7320.4	6317.4	5760.5	4960.2	7664.6	8369.7

2020年—2025年的四川省道路交通事故死亡人数、受伤人数、直接财产损失预测值如下表7：

表 7 2020–2025 交通事故预 3 项指标测值

年份	2020	2021	2022	2023	2024	2025
死亡人数/人	2463.13	2487.83	2512.78	2537.97	2563.43	2589.13
受伤人数/人	11806.9	12413.7	13051.65	13722.43	14427.68	15169.17
交通事故直接财产损失/万元	8924.99	9543.15	10204.11	10910.86	11666.56	12474.59

2020 年—2025 年的四川省道路交通事故死亡人数、受伤人数、直接财产损失额的预测趋势如下图所示：



图 4

2.3 预测结论

由图 4 图 5，在未来 4 年，四川省道路交通事故死亡人数基本持平（但仍呈上升趋势），而道路交通事故发生数、受伤人数、交通事故直接财产损失均呈明显的上升趋势，这与前文所作假设“2019 年后道路交通事故、受伤人数、死亡人数、直接财产损失均有上升趋势”相符合。因此将从道路交通事故的四要素人、车、路、环境出发提出应对措施，以期降低四川省道路交通事故发生。

3 四川省道路交通事故的预防策略

3.1 基于人的预防策略

道路交通事故中的人主要指行人、驾驶人、执法人。任意一方的规则淡薄都是事故的前兆。如行人横穿马路、无视红绿灯，驾驶人超速、酒驾，执法人玩忽职守、收受贿赂等。

①对行人，采取教育和惩罚相结合的模式。由媒体、社区以及其他社会公共部门积极进行道路交通规则宣传教育；针对自觉性弱、顽固类违规者，相关管理部门应制定相应规则，严格落实到各街市、道路，对违规者进行适当处罚或对个人征信相联系。

②对驾驶人，通过大数据监控布防，在事故多发地段增设路面让行提示，使驾驶人做好相应准备，如提前减速、让行等；并进行违规精准抓拍。一旦发现违规让行、酒驾、超速等行为，严惩不贷。

③执法人应在节假日等人流量大的时间段，有组织地在进出城路段、转弯路口、事故多发路段等地进行核查活动。在岗期间，执法人更要有强烈的责任感，时刻保持警惕，以积极为道路交通安全做出贡献为己任。

3.2 基于车的预防策略

产品的更新换代，导致各种违规产品流入市场。如造车场的偷工减料、捞油水等现象，维修管理的敷衍了事，加大了道路交通安全的隐患。因此，管理部门、质检部门均应加强出厂汽车质量的严格把控；对维修技能不过关的公司按其能力进行分类，并进行不同程度的专业技术培训；对屡教不改的责令停业整顿或直接吊销资格证。除此之外，加强车主对产品的爱惜与责任感，减少车辆报废的行为。如定期对车进行检测登记，或设奖励机制，鼓励车主留下护养车的照片、视频等用作领取奖励的依据。从而降低因驾驶报废车辆，雨刷、后视镜等设备损坏不及时修理等引发的道路交通事故。

3.3 基于路的预防策略

道路修复不及时，设计不合理等都是道路交通事故发生的原因。由于我省所处的地形环境，一旦发生交通事故，损失通常大于普通路段上发生的道路交通事故。因此，基于道路因素的事故预防，做出如下建议^[9]。

①完善道路设施设备。优化路标，提高道路平整度；合理配置交通安全设施，实现人员和安全设施的相互协调配合。

②科学设计道路，符合国家标准。遵照特定的地形环境，正确安装符合标准的道路护栏；合理使用道路标识、标线，使大小合适、内容清晰准确、适合白夜交替时段，确保驾驶员能够及时获得准确的信息。

③及时修复受损道路，加强各市区道路修复，特别是处于恶劣地形的路段。

④对处于人流量较大且路段复杂的市区，增设道路监控设施，扫除道路死角。

3.4 基于道路交通环境的预防策略

交通环境分社会环境和自然环境，本文仅考虑影响较大的自然环境。我省气象灾害种类繁多，发生的频率高且范围大。特别在暴雨、大雾等条件下，能见度低，驾驶人视线受到严重干扰，无法对周围路段运行情况做出正确的判断；而在雨、雪等的情况下，路面摩擦力降低，车辆极易打滑，尤其是陡坡、急转弯等路段，存在着较大安全隐患。

因此，面对上述情况，各市区交通负责部门应加强与气象部门的合作，对恶劣天气，及时发布预警，并采取相关应急措施。如关闭道路，限速，做好道路除冰、霜等工作。同时，对特殊车辆运行提供安全保护，以保障道路交通的通畅。

4 结语

在具体分析我省道路交通事故的现状后，做出“2019 年后四川省道路交通事故、受伤人数、死亡人数、直接财产损失均有上升趋势”的假设。通过建立基于历史数据的灰色预测 GM(1,1) 模型，对四川省 2021 到 2025 年的道路交通事故的发生数、受伤人数、死亡人数、直接财产损失进行预测，所得数据均增加，与假设相应证。因此从人、车、路、环境

四要素出发提出应对措施, 期望有助于降低我省道路交通事故的发生, 提高我省道路交通安全管理水平。

参考文献:

- [1] 于昊, 赵琳娜, 戴帅. 城市电动自行车交通安全发展趋势及应对策略. [J]. 城市交通, 2021. (0052).
- [2] 苟蕊. 四川省道路交通事故经济损失预测. [J]. 财富时代. 2020.
- [3] 江山. 四川省道路交通事故数据分析及预测 [D]. 西华大学: 2019.
- [4] 何树林. 大连市道路交通事故的发生数量预测及预防对策研究. [J]. 交通管理技术, 2021 (04).
- [5] 刘兆惠, 王超, 许洪. 道路交通事故灰色预测模型及应用研究. [J]. 长春理工大学学报. 2006, 29 (4): 43-44.

[6] 陈玉飞, 魏思怡, 张林. 基于GM(1, N)的道路交通事故预测模型. [J]. 华北理工大学学报(自然科学版), 2020, 42 (1): 48-50.

[7] 曾波, 李树良, 孟伟. 灰色预测理论及其应用 [M]. 北京, 科学出版社, 2020: 35-47.

[8] 刘思峰. 灰色系统理论及其应用 (第八版) [M]. 北京, 科学出版社, 2017: 48-57.

[9] 孟利强. 城市道路交通安全设施对交通安全的影响及具体对策 [J]. 山西交通科技 2021, (05), 78-80.

作者简介:

杜珊珊 (2002.12-) 女, 汉族, 四川巴中人, 本科, 研究方向: 金融工程。

周蓉 (1966.05-) 女, 汉族, 重庆人, 博士, 副教授, 研究方向: 微观金融。