

# 基于车祸现场痕迹分析的事故时空动态模型研究

车兴平 高彬 周利民

重庆市正港司法鉴定中心 重庆 400080

**摘要:** 交通事故司法鉴定中, 现场痕迹多以分散形态呈现, 空间位置、形成顺序与动力响应之间缺乏统一组织路径, 事故过程重建在整合层面仍依赖经验判断。围绕时空信息系统化表达问题, 本文以车祸现场痕迹为研究对象, 在梳理空间定位特征、时间序列规律与动力响应关联的基础上, 构建事故时空动态模型, 并选取典型交通事故开展运行验证。结果显示, 模型能够在统一坐标与时间框架内整合多类痕迹信息, 使制动、接触与滑移阶段依序展开, 增强鉴定判断的一致性与解释结构的稳定性, 为交通事故鉴定提供结构化方法支持。

**关键词:** 车祸现场痕迹; 时空动态模型; 轨迹分析

## 引言

道路交通活动强度持续增加, 事故形态呈现多因素叠加特征, 现场遗留的刹车痕、车体变形和散落物分布成为判断事故过程的重要依据。在实际鉴定中, 各类痕迹多分散记录在测绘图、照片和检验报告中, 空间位置、形成顺序和受力状态之间缺乏统一表达方式, 导致事故重建多依赖经验整合, 解释路径存在差异。部分复杂案件中, 单一痕迹难以独立支撑责任判断, 空间结构与时间顺序的关联关系成为分析重点。在此背景下, 将现场痕迹纳入统一的时空框架, 形成连续表达结构, 成为交通事故鉴定方法深化的重要方向。

## 一、车祸现场痕迹的时空属性与鉴定解释

### 1. 车祸现场痕迹的空间定位特征

刹车痕、碰撞点与散落物分布构成事故现场最直观的空间证据<sup>[1]</sup>。刹车痕多沿车辆行进方向延展, 起点通常表现为浅色或间断压痕, 制动力增强后颜色加深并形成连续黑印, 终点与车辆停止位置或碰撞接触区相邻, 如果是紧急制动, 痕迹边缘会出现橡胶堆积或擦划碎屑, 宽度变化能够反映车轮受力差异, 碰撞点一般集中在车体变形最严重区域, 对应路面可能出现压陷、剥离或金属擦痕, 接触面外侧常见放射状碎片散布, 散落物分布具有明显方向性, 较重部件多落于冲击中心附近, 轻质

碎片沿原运动方向延伸, 形成带状分布。

在现场测绘时, 需要结合路面标线、路缘石或固定建筑物作为参照, 记录痕迹起止点坐标与相对距离, 弯道路段的刹车痕常呈弧形偏移, 坡道路面会使制动终点前移或后移, 路面附着条件差异还会改变痕迹连续程度。

### 2. 痕迹时间序列与事故过程推断

痕迹的形成顺序通常可以从覆盖与叠加关系中直接辨识<sup>[2]</sup>。两组轮胎印在同一位置交叉时, 后压形成的痕迹边缘更清晰、色泽更深, 而且会切断原有压痕的连续性; 金属擦划在穿越既有刹车印时, 交叉点常保留新鲜金属光泽, 和旧痕表面的灰暗色差形成对比。车体变形层级也具有时间指向性, 初次受撞多表现为单向塌陷与均匀褶皱, 随后再次受力则在原褶皱之上叠加反向折线, 内外板件之间的压缩程度差异能够在拆检时被识别。

刹车痕深浅变化对应不同制动阶段, 起始段多是间断压痕, 表明踏板刚被踩下; 中段颜色逐渐加深并形成连续黑印, 显示轮胎与路面摩擦增强; 接近碰撞区域前出现痕迹变浅或轻微偏移, 常与临近冲击前的方向修正动作相关。不同痕迹之间的先后逻辑在比对车辆最终静止姿态与碎片分布方向后得以明确, 当碰撞位置位于浅色制动痕之后, 责任判断的时间基准便相应发生调整。

### 3. 动力响应痕迹与行为判断关联

车辆在不同速度与受力状态下形成的痕迹差异明显。高速状态下发生正面碰撞, 车头纵梁多出现深度压缩, 发动机舱整体后移, 前部钣金呈阶梯式塌陷; 低速接触则多表现为局部凹陷与漆面剥落, 结构件保持基本完整, 侧向冲击时, 车门内板受力集中区域会形成弧形折线,

**作者简介:** 车兴平 (1980.07.10), 男, 汉族, 四川南充人, 本科, 中级, 研究方向: 交通事故、交通安全、医疗器械、医疗机械类。

防撞梁位置常留有清晰压痕，冲击方向与折线走向保持一致。

制动强度变化同样能够反映驾驶行为。急踩踏板产生的强制抱死，会在路面留下宽而深的连续黑印，边缘附着橡胶颗粒；渐进制动呈现由浅至深的渐变压痕，轮胎纹路可部分辨识，碰撞后车辆旋转时，轮胎和路面的侧向摩擦会形成弧形擦痕，半径大小与转动惯量相关。不同动力痕迹与现场空间位置对应后，驾驶员加速、减速或转向动作的发生时段便能够被还原。

## 二、时空动态模型在事故鉴定中的构建思路

### 1. 痕迹变量的结构化整合路径

事故现场测绘数据需要先转化为可计算变量，再进入统一框架<sup>[3]</sup>。空间信息以坐标形式记录，包括刹车痕起止点位置、碰撞中心点坐标、碎片密集区范围；时间信息以顺序编号表示，如制动起始段、强制制动段、首次接触点；动力信息以速度区间、减速度估计值及碰撞变形深度量化。上述数据在整理阶段形成变量集合，比如位置变量 $x$ 、 $y$ 、时间序列变量 $t_i$ 、变形深度变量 $d$ 、制动强度参数 $a$ ，各变量来源于现场测量记录与车辆检验数据，位置坐标在时间编号中标注后，制动阶段与碰撞节点便形成对应关系，位置变量与时间变量借助顺序编号建立关联，动力参数与空间变形区域一一对应，制动强度区间与刹车痕长度形成函数关系。所有变量在同一坐标系与时间轴标定下进行统一编码，测量误差以区间值标注，使空间分布、形成顺序与受力程度在同一数据结构内排列。

### 2. 空间轨迹重建机制

空间轨迹的重建从现场测得的关键坐标开始。刹车痕起点与终点坐标先确定车辆制动阶段的行进方向，轮胎印中心线可作为初始运动轴线，碰撞中心点位置用于锁定轨迹转折节点，当刹车痕末端与碰撞接触区之间存在角度差时，可据此判断车辆在接触前发生转向，散落物分布进一步提供校核依据，重质部件集中区通常靠近冲击核心，轻质碎片沿原行进方向延展，排列方向与刹车痕方向一致时，可确认运动朝向。如果碎片呈扇形外扩分布，还需结合扩散角度判断碰撞瞬间的侧向偏移幅度，在同一平面坐标系内，依时间顺序连接制动段、转折点与接触点，形成基础轨迹线。

轨迹连续性需要结合道路结构进行修正：弯道路段出现弧形刹车印时，应依据弧度半径调整路径曲率，轨迹贴合道路边缘；坡道路面存在高程差，制动终点可能

前移或后移，需结合坡度数据修正直线段长度，如果现场存在多段刹车痕，应按时间编号逐段拼接，避免跨段连接造成路径跳跃；对存在测量偏差的坐标点，以区间值标注并结合相邻点进行插值处理，使轨迹在空间上保持连贯。

### 3. 时间演化推断机制

时间顺序的嵌入从现场痕迹的实际排列开始。刹车痕起点被标记为制动开始时刻，颜色逐渐加深中段对应制动增强阶段，刹车痕终点与碰撞接触区之间的距离用于确定接触发生的时间节点，碰撞后如果车辆继续滑移，路面会留下新的擦痕或轮胎拖拽印，此类痕迹按出现先后进行编号，并与空间坐标一一对应。每一处关键痕迹在整理时赋予时间序号，使车辆运动路径在平面坐标之外增加时间标识，制动、接触、旋转滑移等阶段均能够在时间轴上明确排序。

状态变化以阶段划分方式表达：制动初段速度下降幅度较小，轮胎印断续出现；进入强制制动后，压痕连续且颜色加深；碰撞瞬间车体变形集中产生，随后进入滑移或旋转阶段，轮胎与路面摩擦方向发生改变。各阶段以区间形式记录速度估计值、变形深度与位移量，并按时间编号依次排列，当前阶段的参数由前一阶段延续而来，如果空间位置或受力方向出现明显变化时，时间编号随之递进，运动过程在时间维度上保持连续展开而不发生跳段。

### 4. 时空耦合分析与责任判断支持

空间变量与时间变量的关联建立在同一编号体系之上。每一处刹车痕坐标对应一个时间序号，碰撞中心点在时间轴上标记为关键节点，滑移擦痕与碎片分布区则依形成顺序排列，空间坐标提供位置基础，时间编号提供阶段顺序，两者在同一数据结构内交叉引用，使车辆在某一具体位置的运动状态与对应时间段形成绑定关系<sup>[4]</sup>。制动段的直线轨迹与渐进减速区间相对应，方向修正发生于碰撞前的短时节点，接触后滑移轨迹则与后续时间段对齐，运动路径在平面坐标与时间轴之间建立同步关系。

完整事故过程的表达依托上述同步结构展开，车辆从制动起点进入减速阶段，随后接触形成结构变形，再进入旋转或滑移区段，各阶段在空间位置与时间顺序上连续衔接。责任判断所依据的关键问题，比如是否提前制动、是否存在规避动作、接触发生时车辆姿态如何，都可以在对应的时空节点中查找变量值并进行比对。

### 三、模型运行及鉴定应用验证

#### 1. 案例选取与痕迹数据来源

研究选取某市城区十字路口夜间两车碰撞事故作为分析对象。事故发生于信号控制路口，一辆小型轿车沿主干道直行，另一辆车辆自支路驶入路口后与其发生侧向接触，现场遗留较为完整的制动痕迹与碰撞变形痕迹，两车最终静止位置相距约十余米，路面可见连续刹车印及碎片散布带，具备进行时空重建的基础条件，该事故已完成司法鉴定程序，现场记录资料较为完整，适宜用于模型运行验证。

痕迹数据主要包括三类内容：第一是路面刹车痕的起止点坐标与长度测量值，第二是车辆接触部位的变形深度与受力方向记录，第三是散落物分布范围与主要部件落点位置。上述数据来源于现场勘查笔录、比例测绘图及车辆拆检记录，现场测量依托全站仪与卷尺完成关键点定位，照片资料用于校核痕迹连续性与覆盖关系，确保空间位置与时间顺序信息具有对应关系。

#### 2. 模型运行过程与事故时空重建结果

模型运行从现场测得的关键痕迹数据整理开始。刹车痕起点距路口停止线约十二米，起始段压痕较浅，中段颜色明显加深并形成连续黑印，边缘可见橡胶附着，终点与碰撞接触区相邻，碰撞中心位于路口中部偏东区域，小型轿车左前部结构变形集中，发动机舱前沿出现明显折线，前保险杠支撑件向内压缩，碎片分布呈带状延伸，重质构件集中在接触点后方一至两米范围内，轻质塑料碎片沿主行进方向外扩。上述空间节点与时间顺序编号依覆盖关系与变形层级完成标定，制动初段、强制制动段、接触节点及滑移阶段依次排列，变量输入后，系统按时间编号连接制动段与接触点，生成直线轨迹，并在接触节点处形成方向变化。

轨迹生成结果与车辆最终静止姿态进行对照<sup>[5]</sup>。碰撞后车辆向右偏移约三米，路面出现弧形侧向擦痕，弧度与轨迹转折角度一致，擦痕末端与车辆最终静止位置重合，滑移段长度与时间编号对应，接触发生于持续减速之后，制动增强阶段位于碰撞节点之前。轨迹图中制动段、接触点与滑移段依顺序展开，空间坐标与时间编号同步排列，减速、接触及偏移阶段在平面路径与时间轴上逐段衔接。

#### 3. 模型输出对鉴定判断稳定性的影响

模型运行从现场测得的关键痕迹数据整理开始：刹

车痕起点距路口停止线约十二米，起始段压痕较浅，中段颜色明显加深并形成连续黑印，边缘可见橡胶附着；碰撞中心位于路口中部偏东区域，小型轿车左前部结构变形集中，发动机舱前沿出现明显折线，碎片分布呈带状延伸，重质构件集中在接触点后方一至两米范围内。上述空间节点与时间顺序编号依覆盖关系与变形层级完成标定，制动初段、强制制动段、接触节点及滑移阶段依次排列，变量输入后，系统按时间编号连接制动段与接触点，生成直线轨迹，并在接触节点处形成方向变化。

轨迹生成结果与车辆最终静止姿态进行对照。碰撞后车辆向右偏移约三米，路面出现弧形侧向擦痕，弧度与轨迹转折角度一致，滑移段长度与时间编号对应，接触发生于持续减速之后。轨迹图中制动段、接触点与滑移段依顺序展开，空间坐标与时间编号同步排列，减速、接触及偏移阶段在平面路径与时间轴上逐段衔接。

#### 总结

车祸现场痕迹承载着事故发生时的运动轨迹与受力变化信息，将它纳入统一的时空框架，有助于减少孤立解释带来的偏差，空间坐标和时间顺序的对应排列，使制动、接触与滑移阶段形成连续表达，动力响应特征在结构化组织后更容易和驾驶行为关联。时空动态模型为多源痕迹提供稳定的整合路径，鉴定判断建立在明确节点与参数区间之上，为复杂交通事故的技术分析提供更加规范的表达方式。

#### 参考文献

- [1] 梁展华. 道路交通事故中的痕迹鉴定运用[J]. 法制博览, 2024, (22): 111-113.
- [2] 洪杰. 道路交通事故痕迹鉴定的运用与完善[J]. 法制博览, 2024, (22): 114-116.
- [3] 张销. 道路交通事故车辆痕迹鉴定[J]. 汽车知识, 2024, 24(06): 176-178.
- [4] 张泽枫, 张培锋, 李丽莉. 道路交通事故痕迹特征体系构建及综合评断路径探究[J]. 中国人民公安大学学报(自然科学版), 2024, 30(01): 81-87.
- [5] 袁力, 孔德伟, 周子豪, 等. 道路交通事故处理中车辆类型鉴定所涉及问题的实践探讨[J]. 道路交通管理, 2023, (12): 54-57.