

# 道路安全指数计算公式及解释

## 综合安全指数的考虑因素

制定道路安全指数需要综合考虑多种交通工程因素，包括道路类型、交通流量（各类出行方式）、车速以及道路使用者构成等。这些因素共同影响事故发生的概率和严重程度。例如，车流量越大、不同交通参与者（机动车、非机动车、行人）越多，彼此冲突机会越高，事故风险往往上升<sup>1</sup>。同时，道路环境和速度也起关键作用：高速度通常导致更严重的事故后果<sup>2</sup><sup>3</sup>；而在城市拥堵时，虽车速降低减轻了单次事故严重性，但频繁的车辆启动制动可能增加轻微碰撞次数。下文将结合深圳早晚高峰条件，提出一个综合考虑以上因素的**道路安全指数**计算公式，并引用交通工程领域的相关公式予以解释。

## 道路安全指数公式

考虑到道路上可能发生的多种冲突类型，我们可将安全指数视为各类潜在事故风险的加权总和。结合交通冲突理论和事故预测模型<sup>4</sup>以及可用数据字段，提出如下公式：

$$**SI** = L \left[ k_1 \cdot N_c^2 + k_2 \cdot N_c \cdot N_e + k_3 \cdot N_c \cdot N_p \right] \cdot \left( \frac{V}{V_0} \right)^m.$$

其中，各符号含义为：

- **SI**：道路安全指数（值越大表示风险越高，安全性越低）。可根据需要对SI进行归一化或取倒数，使指数值与安全程度正相关。
- **L**：道路长度（km）。道路越长，暴露在风险中的里程越大，因此事故期望值与长度成正比。
- $N_c, N_e, N_p$ ：分别表示高峰每小时机动车辆数量、电动自行车数量、行人数量（若有公交车数量，可将其计入机动车流量或单独考虑重型车辆影响）。这些流量数据反映交通参与者的暴露量，流量越大意味着潜在冲突次数越多<sup>1</sup>。上述公式中采用了平方或乘积形式：例如  $N_c^2$  代表机动车与机动车之间事故风险近似与机动车流量的平方成正比（即车流越密集，车辆交会冲突机会成倍增加）<sup>4</sup>。而  $N_c \cdot N_e$ 、 $N_c \cdot N_p$  项则代表机动车与非机动车、机动车与行人之间的交互风险，近似与两种交通主体流量的乘积成正比<sup>4</sup>。这种乘积关系源于交通工程中的冲突点分析方法：当两股交通流交织或交叉时，冲突或事故发生率往往与两股流量的乘积相关<sup>4</sup>。
- $k_1, k_2, k_3$ ：事故风险系数，用于将流量乘积转换为事故风险度。它们可理解为每单位流量组合引发事故的相对风险。不同道路类型和环境下，这些系数会有所不同。例如，高等级公路上基本没有行人、电动车混行，则  $k_2, k_3$  可取极小值（或相关流量  $N_e, N_p$  近乎0）；同时高速公路因封闭性好，机动车间事故率系数  $k_1$  可能较城市道路低，但发生事故时的致死率更高<sup>5</sup>。相反，在城市次干道、支路上，行人和非机动车活动多， $k_2, k_3$  应赋予更大权重以体现行人、电动车相关事故风险。这些系数可参考权威机构或学术研究提供的统计数据设定。例如，可借鉴公安交管部门发布的不同道路类型万车事故率或冲突率数据来确定其相对大小。
- **V**：高峰时段平均行驶速度（km/h）。 $V_0$  为基准速度常数，可取典型安全速度值（如30 km/h或其他参考值）。 $m$  为速度影响的指数，根据事故严重度调整。此速度因子  $\left( \frac{V}{V_0} \right)^m$  用于描述速度对事故风险的放大作用：当平均车速高于安全基准时，碰撞发生时能量更大、司机反应时间相对更短，事故发生率和严重度都会增加<sup>2</sup>。大量研究表明，道路交通伤亡风险随车速呈非线性上升。例如，Nilsson动力模型指出平均速度每提高10%，伤亡事故率约增加20%<sup>2</sup>；行人被撞死亡风险更是随着车速升高急剧攀升——从每小时20英里（约32 km/h）时的5%致死率升至30英里（48 km/h）时约45%，40英里（64 km/h）时高达85%<sup>3</sup>。因此选择合适的指数  $m$ （通常在2~4范围内）能够体现速度变化对事故风险

的剧烈影响。需要注意的是，不同道路类型对速度的敏感程度不同：研究发现，在次干道等低等级道路上，速度增加对事故率的影响比在主干道上更显著<sup>6</sup>。因此，可根据道路类型（如高速公路 vs. 城市道路）调整  $m$  或采用不同的  $V_0$  基准以反映这一差异。

上述公式左侧  $L[\cdot]$  部分计算的是单位时间内事故**发生频度**的一个相对量（可视为风险曝光度），随后乘以速度因子体现严重性和发生概率的变化。计算得到的 **SI** 值可以理解为该路段在高峰期的**综合风险分值**。若需要得到**总体安全指数**（值大表示安全高），可以再进行适当转换，例如定义安全指数 =  $1/\text{SI}$  或将 **SI** 按一定标度映射为0~100分，其中100代表最安全（风险最低）。

## 参数与数据来源说明

为了让上述安全指数公式定量有效，必须基于实际事故数据对系数进行标定。深圳市交警或政府部门发布的交通安全统计数据是首选的参数来源。例如，不同道路等级的年均事故率、各类交通方式参与事故的占比等，都可以为设定  $k_1, k_2, k_3$  提供依据。如果深圳本地暂无公开数据，可参考国内外类似超大城市的数据进行估计。例如，根据**安全数量效应（Safety-in-Numbers）**理论，当行人或骑行者数量增加一倍时，相关事故增长不到一倍——某研究发现仅增加约41%<sup>7</sup>。这意味着每个行人/骑行者的平均风险会随着总人数增加而下降，这种非线性效应可体现在我们公式的系数设定上（即  $k_3$  等不与人流量成线性，可适度降低以反映人群增多带来的单位风险降低）。同样地，公交车等大型车辆由于惯性大、盲区多，其参与的碰撞更容易造成重特大事故，故  $k_1$  中可针对公交车占比加入调整因子。例如可令实际计算的机动车流量  $N_c = N_{\text{小车}} + \alpha \cdot N_{\text{公交}}$ ，用系数  $\alpha > 1$  表征公交车的加权风险贡献。如果有“乘客载运量”数据，也可用于调整事故后果的严重程度权重：载客量大的道路发生事故可能造成更多人员伤亡，可据此提高 **SI** 或降低安全评分，以提醒此类路段需要更高的安全裕度。上述参数调整均应依据权威数据**校准**后使用，使计算得到的安全指数与历史事故水平相吻合。必要时，可以采用**经验贝叶斯法**等统计校正方法，将公式预测值与实际事故数据相结合，从而提高预测精度<sup>8</sup>。

## 结论

综上所述，我们运用交通工程中**解释性公式**构建了深圳市早晚高峰道路安全指数计算模型。该公式综合考虑了道路类型、长度、交通流组成以及车速等因素对事故风险的影响，各项参数可借助交警部门统计和学术研究进行选择校准。通过这种基于**暴露和冲突机会**的模型，我们能够量化评价不同道路在高峰时段的安全状况。例如，在其他条件相同情况下，行人和非机动车流量大的市区道路因冲突点多、安全系数  $k_2, k_3$  较高，其 **SI** 值往往高于封闭良好的高速公路；而高速公路虽行人零但车速快，速度因子可能显著提高风险值。最终，管理者可以将计算得到的 **SI** 转换为直观的安全等级或指数，用于发现高风险路段并优先采取干预措施。这一方法既利用了现有流量和运行数据，又结合了交通安全领域权威研究成果，使所得安全指数具有科学解释性和实用价值<sup>4 2</sup>。通过持续完善参数和验证模型预测效果，我们有望为深圳及类似城市的道路安全管理提供有力的数据支撑。

### 参考文献：

- 【15】邓蕙菁, 王雪松. 基于交通冲突技术的交叉口事故多发点判别及致因分析. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2012, 36(2): 35-40. (利用机动车-非机动车-行人冲突率建立事故率回归模型)<sup>4</sup>
- 【18】Elvik, R., et al. Speed and Road Crashes. OECD/ITF, 2018. (Nilsson动力模型：速度每提高10%，伤亡事故增加20%-40%)<sup>2 6</sup>
- 【22】Xu, C., et al. Traffic volume and crashes: a meta-analysis. Accident Analysis & Prevention, 2021. (交通流量与事故频次的非线性关系，流量增大时事故增加率趋于减缓)<sup>1</sup>
- 【23】NHTSA, Pedestrian Safety, 2023. (行人/自行车数量增加与事故增长的不成比例关系：“安全数量”效应)<sup>7</sup>

- 【26】 FHWA, Risk Factors for Pedestrian and Bicyclist Safety, Chapter 5, 2018. (行人碰撞致死率随撞击速度提高而急剧上升: 20mph时5%, 30mph时45%, 40mph时85%) <sup>3</sup>
- 【32】 新华网, 国内外道路交通事故现状, 2018. (我国高速公路事故死亡率相对一般公路更高的统计对比) <sup>5</sup>

---

<sup>1</sup> Traffic volume and crashes and how crash and road characteristics ...

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0001457520307934>

<sup>2</sup> itf-oecd.org

<https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/speed-crash-risk.pdf>

<sup>3</sup> Chapter 5. Risk Factors Other than Exposure | FHWA

<https://highways.dot.gov/safety/pedestrian-bicyclist/safety-tools/synthesis-methods-estimating-pedestrian-and-bicyclist-8>

<sup>4</sup> tjsafety.cn

<http://www.tjsafety.cn/bgAdmin/htmledit/uploadfile/20170103200328905.pdf>

<sup>5</sup> 国内外道路交通事故现状

<https://www.7its.com/index.php?m=home&c=View&a=index&aid=19693>

<sup>6</sup> Driving speed and the risk of road crashes: A review - ScienceDirect

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0001457505001247>

<sup>7</sup> Pedestrian Safety - NHTSA

<https://www.nhtsa.gov/book/countermeasures-that-work/pedestrian-safety>

<sup>8</sup> 2.0 Planning: Problem Identification - FHWA Highway Safety Programs

<https://safety.fhwa.dot.gov/hsip/resources/fhwasa09029/sec2.cfm>