

# 信号控制路口交通安全改善

NCHRP 500 第 12 卷 读书笔记

编译整理：张福生 北方工业大学

前言：

NCHRP 500 号报告自 2003 年开始陆续发布，至今已经累计发布 23 卷，内容几乎涵盖了道路交通安全的各个方面，主要包括：

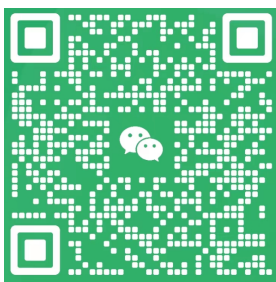
- 第 1 卷 解决激进驾驶碰撞事故指南
- 第 2 卷 解决涉及无证驾驶人或吊销驾照的驾驶人碰撞事故指南
- 第 3 卷 解决危险地点与树木碰撞事故指南
- 第 4 卷 解决正面碰撞事故指南
- 第 5 卷 解决无信号交叉路口碰撞事故指南
- 第 6 卷 解决越野碰撞事故指南
- 第 7 卷 减少水平曲线路段碰撞事故指南
- 第 8 卷 减少涉及设施杆具碰撞事故指南
- 第 9 卷 减少涉及老年驾驶人碰撞事故指南
- 第 10 卷 减少涉及行人碰撞事故指南
- 第 11 卷 增加安全带使用指南
- 第 12 卷 减少信号交叉路口碰撞事故指南
- 第 13 卷 减少涉及重型卡车碰撞事故指南
- 第 14 卷 减少疲劳与分心驾驶碰撞事故指南
- 第 15 卷 加强农村紧急医疗服务指南
- 第 16 卷 减少酒精相关碰撞事故指南
- 第 17 卷 减少施工作业区碰撞事故指南
- 第 18 卷 减少涉及自行车碰撞事故指南
- 第 19 卷 减少涉及年轻驾驶人的碰撞指南
- 第 20 卷 减少公路正面碰撞事故指南
- 第 21 卷 重点区域的安全数据和分析
- 第 22 卷 解决涉及摩托车碰撞事故指南
- 第 23 卷 减少超速相关碰撞事故指南

NCHRP500 系列报告是我读过的内容最庞大、涉及范围最广的一组报告，阅读过程中记录一些读书笔记和感悟理解，以后将根据需要陆续整理共享给大家。

本读书笔记内容源自对 NCHRP 500 系列报告“第 12 卷-减少信号交叉路口碰撞事故指南”中的关键内容并进行理解、编译、整理。由于我的专业方向并非交通安全与事故分析方向，因此某些术语理解和表达可能存在偏差，阅读时可参考原文。

本内容仅供学习交流，请勿用于商业目的。

张福生 2024 年 8 月



我的微信

我对路口交通安全的一点感悟：

路口是两条或多条道路相互连接、交叉的关键区域。也是车辆-车辆、车辆-行人和车辆-非机动车以及非机动车-行人之间冲突与碰撞事故高发地点。虽然路口仅占整个公路交通系统的很小一部分，但统计表明，与路口相关的事故占城市地区及乡村地区总事故量分别达到 50%以上和 30%以上。

信号控制通常应用于交通最繁忙、交通流关系最复杂的交叉口，虽然通过设置交通信号可以实现车辆、行人和骑行者之间的冲突分离，某种程度上保障了路口安全、高效运行，但仍然存在许多潜在复杂的安全问题。同时也必须认识到，信号控制本身也可能会带来新的安全问题隐患，如，信号控制路口可能带来更多的车辆追尾碰撞事故。此外，不同的信号运行方式（信号配时和相位顺序）对驾驶人操作也提出了更高的要求，在信号状态切换期间可能由于用路人决策差异引发安全事故。

对于非信号灯控制交叉口，由于在主次道路以及不同交通流向的通行路权优先级差异以及对这种路权差异的认识不同，常常会发生与信控路口完全不同的潜在危险。“停”控制、“让”控制、以及减速转弯的车辆与同向行驶车辆之间会产生明显的速度差；路口几何特征、视距视区特征等，都是造成安全问题的潜在因素。

良好的路口几何设计与适当的交通控制方式相结合，可以产生高效安全运行的路口。本文按不同控制方式、安全策略逐条梳理路口常发交通事故类型、以及对应的改善措施与策略。希望能对改善路口交通安全有所帮助。

张福生      2024 年 8 月

## 1. 关于交通安全策略的分类

本指南中提供的安全解决策略并非在任何场合全部有效，为便于在具体应用中审慎选择，文中对所有策略进行了分类，并在每项策略中以字母分类进行标注，具体类型包括：

- 1.1. 经过验证的策略（P）：指那些在一个或多个地点使用并通过了评估表明确实可行、有效的策略。这些策略可以非常有信心地使用。但是需要注意的是，任何措施的应用都可能与之前评估结果有较大差异。
- 1.2. 可以尝试使用的策略（T）：这些策略已经在许多地方实施，甚至可能已经被纳入标准，但尚未找到有效的评估方法对其进行科学评价。这些策略在使用时应谨保持慎，并将其与现场具体条件联系起来。此类策略实施可以在一定程度上保证不会对安全产生负面影响，而且很可能会产生积极影响。随着相关应用数据的不断丰富、完善，这些“尝试使用的策略”都可能升级为“经过验证的策略”。
- 1.3. 处于验证中的策略（E）：这些策略是指已经有明确的想法，某些机构认为它可能有希望在至少一个地点进行尝试或实验。只有在其他更可靠的策略被证明无法实施或无效后，才应考虑尝试使用这些策略。即使如此，也应首先在非常受控和有限的试点进行研究验证，并应设计适当的评估方法对其效果进行评估。只有在仔细测试和评估表明该策略有效后，才能考虑进行更广泛的推广应用。对于与交通安全相关的措施验证要保持谨慎的态度，验证实验过程中要广泛收集数据、涉及科学合理的评价方案，用于验证策略的可行性，并在适当时机将其升级为“经过验证”的策略，或确定为无效策略且不值得进一步考虑。



## 2. 信号灯控路口安全策略

### 2.1. A 类：优化控制方式改进行信号运行，减少路口冲突频率、降低冲突严重性

通过改进信号交叉路口的路权分配方法可以减少冲突的可能性。具体措施包括修改信号相位设置、设置额外的辅助交通控制设备、优化路面标线以及限制转向交通流等。改进交通控制方式也有利于提升交通运行效率，并减少应急响应时间。

通常意义上，几乎所有的交通信号配时设计、相位设计的主要目标是提高交通效率，但与此同时，优秀的配时、相位设计以及控制策略还可以产生安全效益。通过修订交叉路口的信号相位、控制方式可以在短时间内实现低成本的安全改善。这些信号改进可能包括添加相位、延长相位间隔时间、消除或限制高风险流向以及实施信号协调控制等方面。通过回顾信号交叉路口的事故历史数据，可以深入了解改善路口安全的最合适策略。

#### 2.1.1. A1-实施多相位控制策略（P&T）

适用于：左转车辆与对向直行机动车直角侧撞事故频发的路口。

采取保护左转信号（设置左转方向指示信号灯）并适当调整信号配时。在考虑是否保护左转相位设置条件时，要综合考虑事故总量、左转流量、左转与对向直行冲突频率、左转车道数、对向直行车道数、视距、交通流运行速度、交通流构成等很多方面因素。另一方面，合理设置的左转相位也可以有效减少左转机动车与紧随其后直行机动车的追尾和刮蹭事故

普遍认为，左转是信号交叉路口中安全风险最高的流向。两相位信号是路口交通信号的最简单运行方法，但在某些情况下存在着不可避免的安全风险。保护

式左转弯相位（即为转弯交通流设置专用信号相位）可以消除与左转弯相关的交通冲突，大大提高了左转弯交通流运行的安全性。

单入口独立信号放行是另一种解决方案，虽然单入口独立放行为对立的入口提供单独的信号相位，这可能会增加交叉路口的整体延误，但是这种策略会提高交叉口的安全性，因为它允许相互冲突的流向在不同的阶段独立地穿过交叉口。

从成本的角度考虑，实施信号相位改进可能会需要更换旧的信号控制器，或对信号控制器进行升级扩容。具体措施包括：

- 使用保护左转相位

左转车辆遇到的安全问题通常源于三种冲突：

- 对立方向直行交通流
- 同一方向的直行交通流
- 通过人行横道的行人交通流

这些冲突类型通常会产生会引发侧向直角碰撞、同方向侧面刮蹭和追尾碰撞事故。有几种治理措施可以减轻左转交通流的安全影响。根据转向流量、延误、能见度、对向交通流速度、穿过路口的距离以及交叉路口的安全问题经验等因素，可以确定是否需要设置保护左转相位。在考虑使用哪种类型的左转信号相位时，应该分析交叉路口的几何特征和交通运行特征（转弯流量、对立方向流量、行人流量、路口进口道速度、视距、车道数量、延误、渠化类型和性质以及事故经验等）。

有各种选项可用于控制左转交通流，包括：许可控制、保护控制、保护-许可控制（包括保护-许可和许可-保护）

使用“保护-许可”相位可实现完全保护相位和允许相位之间的折衷。这种

操作策略有几个优势，最重要的是通过许可左转来减少左转车辆的延误。其他好处包括减少受保护的左转弯所需的绿灯时间（因此更多时间用于其他高优先级的流向）和改善主干道路的交通运行。采用“保护-许可”的左转相位的安全性能不如保护相位，因为在允许的时段，左转和对向直行车辆更容易发生相互冲突。大于等于 2 个左转车道应采用保护左转相位。

至于，保护左转相位选择领先还是滞后（先保护还是后保护），取决于交叉路口的通行能力以及是否存在协调控制需求。在对向冲突的直行交通得到绿灯（“领先”左转）之前，左转箭头可以最大限度地减少左转和对向直行车辆之间的冲突。然而，在“滞后”左转阶段，左转车辆有机会在周期的许可时间转弯，这可能清除全部或部分左转队列，从而缩短滞后相位或消除在特定周期中的交通需求。

- 使用分立相位（单入口道放行）

某些路口几何条件下，例如，对立的左转交通流线存在重叠的行车路径，可能需要在交叉路口使用分立相位。分立相位允许同一路路上的相反流向在不同时间段穿过交叉路口，是解决相反入口通道上间存在安全问题的几何问题的有效方案。这些包括以下内容：

- 倾斜的十字路口，
- 直行流向具有大偏转角的交叉口
- 有较宽的中间隔离带
- 交叉路口太小，无法同时左转（空间路权受限）
- 存在左转和直行共享车道的交叉口（即，没有单独的左转车道）

- 对向左转间存在明显不平衡交通需求
- 路口个入口道路具有明显等级差异

### 2.1.2. A2-优化信号过渡和清空时间 (P)

适用于：信号状态变化过渡期间事故频发的路口。

用于控制冲突交通流运行的信号之间不仅存在绝对的绿冲突问题，同时还存在有严格的过渡间隔时间要求，这就是通常说的绿灯间隔时间（由黄灯和全红清空时间构成）。通常，如果路口一个方向绿灯信号结束时刻进入路口的车辆（包括绿灯尾、黄灯期间）与另一冲突方向信号启动时刻进入路口车辆之间经常发生碰撞事故，就需要认真考虑优化过渡与清空时间了。另一方面，信号过渡时间太短还可能导致同向交通流之间的追尾事故。

相位绿灯间隔时间是一个相位绿灯结束和下一个相位绿灯开始之间的防止交通流冲突的时间。其中的清空时间为冲突的交通流之间的路权（ROW）转换提供了安全、有序的过渡。绿灯间隔时间包括冲突相位之间的黄灯和全红时间。

绿灯间隔时间没有固定的值。它是运行速度、交叉区域宽度、车辆长度以及驾驶员操作参数（如认知反应时间、决策与操作时间）共同作用的结果。ITE 很多权威手册中提供了黄灯、全红时间的计算方法。

间隔时间过短可能导致与驾驶员突然停车相关的追尾碰撞和信号违规导致的侧向直角碰撞。增加间隔时间可能会提高信号交叉路口的安全性，较长的间隔时间可能对物理尺寸较大的交叉路口非常有效，可以充分保障交叉路口清空。

延长间隔时间通常会导致周期长度增加。间隔时间通常意味着周期中的损失时间。延长周期会降低“损失时间”所占的百分比，但不幸的是，使用更长的清空时间和更长的周期时间往往会导致出现日益严重的闯红灯违规问题（尤其是行人与非机动车）。原因在于用路人如果了解到清除时间很长，如果他们停下来等待信号，他们所遭受的延误将很长。制定确定清空时间的标准十分必要，以保障在一个城市、国家的系统中保持一致性。

### 2.1.3. A3-限制转向交通流（包括右转）（T）

适用于：转向交通流相关事故高发的路口。

红灯期间右转的交通流（RTOR），经常会与冲突方向直行交通流或与对向左转车辆之间发生追尾或直角侧撞事故，或发生右转机动车与人行横道上正常行走的行人之间的事故。此时都需要通过交通信号对右转车辆的通行权进行适当的限制与控制。

此策略包括使用渠化或标志来限制或消除左右交通流，或禁止在红灯期间（RTOR）右转弯。通过限制或禁止转向交通流，特别是左转交通流，可以提升一些信号路口的安全。这种策略可以在一天中的某些时间段（如交通高峰期）或全天完全禁止特定的转弯交通流。当转弯交通流存在“高风险”且其他策略（如左转渠化或信号重配时）无效或无法实施时，这种策略可能是最合适的选择。

与转弯交通相关的碰撞包括直角侧撞、追尾、行人和侧扫（涉及对向左转）类型碰撞。如果这些碰撞类型中的任何一种在交叉路口出现，限制或消除转弯交通可能是提高安全性的最佳方式。

- 利用渠化或标志限制转向交通：可以通过渠化或标志来限制和禁止转向

交通。硬隔离措施或移动隔离设施可用于在物理上防止驾驶人进行受限的机动。在讨论限制或禁止某些交通流的方法时，应考虑执法成本。

- 禁止红灯右转：禁止红灯右转（RTOR）可以减少与视线距离相关的、涉及右转车辆与行人之间的碰撞。这种策略还有助于减少红灯右转的车辆与从十字路口左侧直行、或对向左转的车辆之间发生碰撞的频率和严重程度。在右转弯的下游明显存在交织或其他冲突时，禁止 RTOR 也可能是一种安全有效的策略。这项策略可以通过设置标志来实施，在特定交叉路口禁止 RTOR 可以在一天中的特定时间（例如行人较多的时段）实施。

#### 2.1.4. A4-实施信号协调控制（P）

适用于：主要交通流因频繁停车或频繁速度变化而发生的追尾事故。

通过实施协调信号控制，可以保障主要交通流以设计速度连续通过多个路口，避免突然的速度变化或停车造成的追尾事故。同时，协调运行的主路交通流也为主路左转交通流、次路右转交通流提供了足够的安全可用间隙时间。

长期以来，信号协调一直被认为是改善主干道路的交通效率的主要手段。但是与此同时，协调运行的信号也可以产生明显的可衡量的安全效益。

信号协调控制可以使车队连续通过多个信号交叉路口，减少停车的次数，并保持所有车辆在恒定速度下运行，从而减少前后方车辆间的速度差。此外，信号协调还可以改善转向交通流的运行，由于缺少可用的交通流间隙，驾驶人可能难以在信号交叉路口进行让行左转机动（例如，信号路口许可左转车辆，“停”控制下的右转交通流）。当驾驶人长时间等候时，会变得不耐烦，并尝试在不安全

的车流间隙中进行左转，这就有可能会发生碰撞。如果提供更长的间隙，这种事故可以明显减少。协调信号下的车队运行可以为交叉路口内许可左转的车辆创造更长的可用间隙，改善交叉路口运行。此外，车队协调运行有助于沿干线运行的车辆速度保持一致，这将有助于减少前后追尾型碰撞。

当某条交通干道的追尾事故、直角侧撞事故明显偏高时，应该审视这条道路上的信号配时，以确定是否应该修改配时，或者进行信号协调优化提升。

#### 2.1.5. A5-实施紧急车辆抢占优先控制 (P)

适用于：紧急车辆和非紧急车辆之间易产生冲突的路口。

日常状态下正常运行的交通信号可能会阻碍高优先级的紧急车辆通行，特殊情况下，紧急车辆在路口会发生违反交通信号控制运行的情况，由此产生与其他用路人之间的交通事故。通过实施紧急车辆抢占优先控制措施，可以有效保护高优先级车辆的优先路权，避免事故发生。

信号抢占服务允许紧急车辆打乱正常的信号周期，为紧急车辆提供更安全、更快速通过十字路口的信号服务。系统可以在紧急车辆入口方向延长绿灯时间，或修改整个信号周期的相位顺序、相位时间。

信号灯控路口或交通干线沿线提供紧急车辆抢先服务时，在两个方面是一种非常有效的策略。当紧急车辆试图在通过路口时、当其他车辆试图驶离紧急车辆的路径时，任何类型的碰撞都可能发生。信号抢先系统可以减少紧急车辆响应时间，从而减少接受紧急医疗护理的等待时间。当紧急车辆不得不沿着交通走廊行驶一大段距离时，抢先特别有用。此外，当紧急车辆从小路进入交叉口时，抢先也可以在信号控制交叉路口提供安全运行保障。

紧急车辆检测技术在公交车辆优先以及紧急车辆的信号抢占方面都有应用。一些地区使用“确认灯”通知驾驶人紧急车辆正在抢占信号或指示灯，通知驾驶人路口信号正在实施紧急抢先控制。

#### 2.1.6. A6-移除不必要的信号灯 (P&T)

适用于：交通流量与交通事故记录均不满足信号灯设置条件的信号控制路口。

尽管交通信号灯可以有效分离不同交通流向之间的交通冲突，但对于不满足交通信号设置条件（如流量低、事故记录很少）的路口，设置交通信号灯可能会引发额外的交通事故，如追尾事故。

信号控制可以解决路口的许多安全和运行问题。但是，信号控制往往也会对路口运行产生不利影响。由于交通需求、运行状态的变化，某些路口的信号灯设置可能不再合理。不必要的信号控制会造成新的问题，如造成了额外的交通延误、增加了交通流改变路径到不合适的道路和交叉路口的可能、带来更高的事故碰撞率、以及交通信号的服从率降低等问题，这些问题可以通过拆除信号灯来解决。

需要注意的是，信号控制路口与无信号控制路口通常会有不同类型的事故碰撞，但事故碰撞率并不一定低。将路口转换为无信号控制可能并不会提高总事故率，但可能会提高某些事故类型的严重程度。

在考虑拆除信号灯时，应该像研究安装信号灯一样进行认真分析研究。研究内容包括选择适当的替换交通控制设备、视距视区限制等，这些限制条件在信号灯控制下可能原本不是问题。

一旦选择了新的交通控制措施，原有的信号灯头应设置为闪灯模式至少 90 天，以吸引驾驶人、行人和骑行的人注意控制权的改变。在此期间之后，如果研

究期间收集的数据支持删除信号，则可以删除信号。然而，相关的杆具、电缆可能会保持在原位更长一段时间，以备随着交通流变化可能的再次安装信号的需求。

#### 2.1.7. A7-为许可左转信号设置黄闪箭头灯 (T)

适用于：许可左转机动车与对向直行机动车直角侧撞事故频发的路口

在绿圆灯(机动车信号)基础上增加黄闪箭头灯，可以输出更加明确的信息，提醒驾驶人需要让行对向直行交通流。(类似 *MUTCD* 规定的许可左转信号显示模式，在中国的标准中可以探索借鉴)

#### 2.1.8. A8-认真改进行人与自行车信号 (P)

适用于：机动车与行人的冲突严重、事故频发的路口

对于行人自行车流量较高、机动车不让行人、由于机动车间隙过短造成行人延误增大等路口，采用包括增加行人信号清空时间(或增加信号周期以满足行人过街时间需求)、实施行人提前放行 LPI、安装行人按钮、安装行人信号倒计时装置、设置行人专用相位(全向行人相位)、设置机动车右转信号灯等措施。(注意：行人信号倒计时应仅在行人清空期间显示)

近三分之一的行人相关车祸发生在十字路口或路口 50 英尺(16 米)以内。其中，30%涉及转弯车辆，而另外 22%涉及行人违反信号穿过路口、或在视线被遮挡情况下冲入车辆前(鬼探头)。另外 16%的路口相关的车祸是由于驾驶员违规。

为提高行人安全，可以对十字路口进行交通控制改进，包括以下内容：

- 改善行人相关标志、标线、信号灯；

- 为学童过街提供安全引导员服务；
- 改善校区路口照明；
- 采用行人专用相位、行人信号提前等控制方式；
- 禁止红灯右转（RTOR）；
- 通过公共宣传、设置现场指示标牌，引导公众使用行人按钮；
- 升级按钮装置，增加信号运行信息反馈（类似电梯按钮）

提供行人按钮可以促进在信号交叉路口、路段行人过街路口的安全性。行人与机动车的冲突可以通过使用行人信号和/或行人专用相位来管理。现实中，十字路口的行人按钮经常被路边设施或其他物品遮挡，提供醒目而可见的标志提醒行人使用按钮和信号预期等待时间，可能会增加现有行人按钮的使用。

#### 2.1.9. A9-安装自行车专用信号灯（T）

适用于：机动车与自行车冲突严重、自行车流量较大、机动车不让行自行车的路口。

自行车交通流运行具有与机动车、行人完全不同的特性，包括启动延误小、清空时间长、运行轨迹多变的特点。通过设置自行车专用信号灯，可以为自行车提供具有更好的信号可视性，以及为其提供单独的绿灯间隔时间、路口清空时间，以保障其路口交通安全。

#### 2.2. B类：改善路口几何形状与物理条件，减少路口冲突频率与冲突严重性

减少路口车辆冲突的频率和严重性可以有效减少路口事故的频率和严重性。可以通过改善几何设计、渠化设计来实现，包括在路口分离直行和转弯交通流，

限制或消除转弯交通流，以及关闭或重新定位交叉路口位置等手段。

路口几何改进可以提升信号交叉路口的效率与安全特性。通过渠化或物理设施限制、改善转弯流向，可以减少与之相关的某些类型碰撞事故。几何调整还可以改善行人和骑行者的安全水平。

#### 2.2.1. B1-设置或改善转向车道(P&T)

适用于：由于以下冲突原因经常发生追尾事故的路口：(1) 转向机动车与尾随机动车存在前后冲突；(2) 来自其他入口的车辆常常误入转弯车道。

该策略包括以下内容：

- 提供左转专用车道
- 延长左转专用车道
- 为左转车道提供正偏移
- 通过渠化提供主动指导
- 实施引导线，规范转弯路径

许多十字路口安全问题大多可以追溯到无法容纳左转车辆上来。尽量减少与左转车辆相关事故（直角侧撞、追尾、侧扫）的一个关键策略是提供专用左转车道，特别是在大流量、运行速度高的主要道路上。左转车道实现了左转和直行交通流的分离，从而减少了后方追尾碰撞的可能性。由于左转专用车道为驾驶人提供了一个“安全庇护”空间，让他们可以安全等待对立反向交通流的空隙，因此更能鼓励驾驶人从容选择一个空隙来完成左转机动。这可以大大减少左转和对向直行车辆发生碰撞的可能性。提供左转车道也为设计信号相位组合提供了额外的灵活性。

- 设置左转专用车道

设置左转车道是解决与左转车辆相关安全问题的一种行之有效的方法。通过从直行交通流中分离左转车辆，可以减少与同向行驶的直行车辆之间的冲突（甚至消除，具体取决于信号配时和相位方案[见策略 A1]）。驾驶人在转弯车道上等待，直到对向直行交通流中出现他可以安全转弯的间隙，这有助于减少与对向直行交通流之间的冲突。

在提供左转车道时，对向左转车道上的车辆可能会妨碍驾驶人对直行车道上接近车辆的视线。这个潜在的问题可以通过调整左转车道间的偏移量来解决。

- 改善左转车道几何

对于已经设置的左转专用车道，也可以通过进一步的几何优化提升安全。常用的三种处理方法：延长左转车道，提供正偏移，以及利用引导标线划定转弯路径。

- 加长左转专用车道

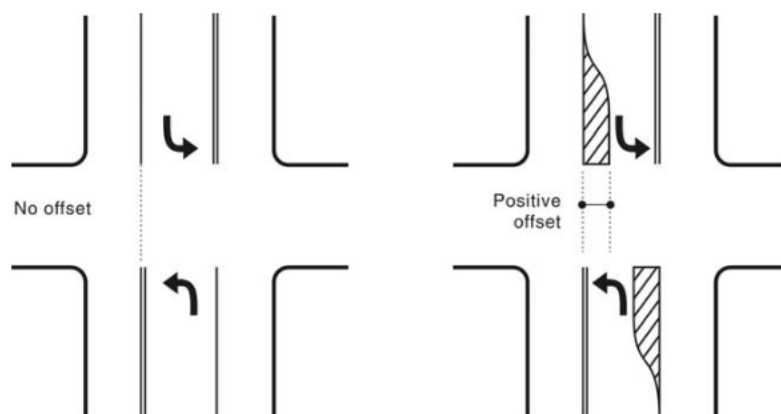
左转车道的长度由三个部分组成：进入过渡段长度、减速段长度和存车段长度。左转车道长度应能保证从直行交通流中分离的车辆完成减速操作，并能容纳这些左转车辆的排队，从而减少追尾碰撞的可能性。这一措施通常对市区外的公路交叉路口具有更好的安全益处。转弯车道的长度应足够长，以存放等待左转的车辆，而不会排队溢出到相邻的直行车道。如果左转队列延伸到相邻的直行车道，直行车辆将被迫停车，或者，如果有多条直行车道，则可能引发变换车道行为。这可能会导致追尾和侧扫碰撞。此外，如果试图进入左转车道的车辆被直行车辆阻挡，左转车辆可能会选择通过反向车道进入左转车道。这可能会导致正面碰撞。

具体请参考 *NCHRP 279*、*NCHRP 457*

### ■ 为左转车道提供正偏移

左转弯驾驶人观察对向直行交通流的视线可能会被对向的左转车辆挡住。当左转交通流采用许可信号时，可能会导致许可左转的车辆和对向直行的车辆发生碰撞。为了减少此类碰撞的可能性，可以通过横向平移左转车道来抵消，这样对向车道上的车辆之间就不再阻碍彼此的视线。这有助于提高驾驶人对交通间隙的接受度，进而改善左转弯的安全和操作。对于难以判断迎面来车间隙的老年驾驶人来说尤其如此。请注意，当信号设置中采用“许可左转相位”或“许可-保护”相位时，该策略的有效性最大。

AASHTO 建议，如果路中的凸起式中间隔离带宽度超过 18 英尺（6 米），则应采用偏移左转车道设计。横向移动左转车辆的一种方法是使用路面标线缩小转弯车道宽度，这是通过在左转车道右侧画一条更宽的导流标线来实现的，这会导致左转车辆更接近中央分向线。（如下图）



### ■ 使用左转引导线

在信号控制路口，虽然交通信号消除了路权分配疑虑，但是，驾驶人在选择适当的转弯路径方面也还会存在困惑。这在提供多个左转车道、交叉路口整体路面面积大或存在驾驶人不熟悉的其他路口元素时尤其明显。转弯路

径的划定对同时进行对立左转的驾驶人特别有用。

### 2.2.2. B2-路口设置右转专用车道或改善右转渠化 (P)

适用于：右转机动车与尾随机动车追尾事故高发的路口，或主路右转交通流量明显较高的路口。此策略包括提供右转专用车道和加长右转车道。

信号交叉路口的许多碰撞都与右转机动车交通流有关。尽量减少此类碰撞的一个关键策略是提供专用的右转车道。同样重要的是确保右转车道的足够长度，让车辆在转弯前减速，且最好不影响主交通流运行。右转车道消除了直行交通流中分离的右转车辆的减速风险，减少了追尾碰撞的可能性。

- 设置右转专用车道

设置右转车道可以最大限度地减少右转车辆与跟随车辆之间的追尾碰撞，特别是在高流量和高运行速度的主要道路上。在特定入口方向上发生异常多的追尾碰撞的情况下，设置右转车道可能是合适的解决方案。

右转车道的关键设计要素包括过渡段锥度、减速段长度和存储段长度。AASHTO 绿皮书和 FHWA 的 MUTCD 都提出了右转车道的设计标准。为防止驾驶人可能会错误地进入一条过长的右转车道，而没有意识到这是一条转弯车道，应在转弯车道的上游设置标志和地面方向指示。

当然，设置右转车道也可能在路口造成其他安全问题。例如，停在右转车道上的车辆可能会阻挡相交道路右转驾驶人对与其冲突的直行交通流的观察，这在允许红灯右转的路口是一个重大安全问题。如果通过右侧路肩重新划线提供转弯车道，需要考虑路边距离过近物体可能对安全产生的不利影响。还应仔细考虑转弯车道的引导标线，以便辅助驾驶人通过交叉路口。在某些地方，通过设

置凸起或彩绘的交通岛可以为右转弯的通道提供更大的转弯半径，也可以为行人提供一个安全庇护所。

渠化岛可以采用凸起式或与路面齐平的方式。一项研究评估了彩绘渠化岛、小型凸起渠化岛和大型凸起岛屿对交通的影响。研究结果显示，交通岛可以减少右转相关的直角碰撞的数量；但是鉴于车道变更和合流点的增加，专用转弯车道似乎与侧扫剐蹭事故数量的增加有关系。

渠化岛的可视性非常重要，特别是在夜间和恶劣天气下，驾驶人可能很难看到渠化岛。对于年长的驾驶人来说尤其如此。人们发现，凸起的岛屿在减少夜间碰撞方面比齐平的油漆涂装岛屿更有效，因为它们更容易被看到。

老年驾驶人尤其受益于更好的渠化设计，因为它能更好地指示路口车道的正确使用方式。然而，研究发现，在路口没有加速车道的情况下，老年驾驶人右转后汇流会特别困难。

交通到渠化出的右转道会降低人行横道的安全性。穿越距离增加，行人暴露于交通冲突区的时间也增加了。老年人和行动不便的行人可能很难穿过大角半径的十字路口。右转渠化也使行人更难安全地穿过十字路口、更难充分看到右转的迎面而来的车辆、更难知道在哪里穿越道路。正确划定转弯道路可能会有所帮助，特别是在夜间。

在设置凸起式渠化岛的地方，为行人提供了一个避难所。在已知行人正在使用渠化岛的地方，应该清楚地指示路口位置，并且应该让过往的驾车者尽可能地看到渠化岛。

移除小型右转三角岛可能是改善右转渠化的可行方法。通常，这些交通岛被安装在城市地区，作为放置信号灯杆的位置。右转的驾驶人在接近十字路口时可

能看不到这个岛，可能会突然停车，这增加了追尾碰撞的可能性。移除这个岛屿可能是合适的，特别是在不那么城市化的区域。

设计右转车道时需要考虑的其他问题包括提供清晰的视线三角区域，增加行人的过街距离，转弯车辆和骑自行车的人之间的潜在冲突，以及在十字路口调整停车线的潜在需求。由于直行公共汽车和右转车辆之间可能发生冲突，公交站可能还需要从十字路口的近侧移动到远侧。

- 加长右转车道

右转车道可以通过为车辆减速或为等待转弯车辆提供额外的遮蔽空间来帮助改善交通运营和安全。如果右转车道的长度不足，等待转弯的车辆可能会从直行车道上转弯，从而增加后端碰撞的可能性。提供更长的进入锥度和减速长度可以减少追尾的概率。此外，如果右转车道在信号灯处被直行的队列阻止，如果两个流向单独或分阶段运行，则右转者可能会阻止直行车的移动。这可能会导致不安全的车道变更和额外的延迟。

### 2.2.3. B3-改善人行横道和自行车通道的几何设计 (PT)

适用于：行人、自行车事故多发的路口，以及学校、购物中心等行人、自行车交通量较大路口。

好的渠化设计可以为行人和非机动车提供安全避难区域，减少行人过街距离；为更合理布置交通控制设施提供安装空间。

常用的措施包括减小路口路缘转弯半径、使用路缘扩展、设置行人安全岛、设置凸起式中央隔离带、人行横道抬升、路口抬升等措施。目的在于压缩行人自行车过街距离，降低他们暴露于冲突危险区的时间，改善他们与机动车之间“看

见与被看见”的可视条件，以及有效降低冲突机动车交通流速度。

路口各种交通方式混合带来了更多的与机动车冲突的可能，也带来非机动车出行者的安全问题。通过实施各种低成本的措施，可以帮助行人和骑行人更安全、更高效地通过十字路口。如果行人在视觉上更醒目，与更多驾驶人的预期一致的时间地点出现，那么碰撞事故就会显著降低。

为提升行人安全，路口可用的几何或物理改进措施包括：

- 设置连续的人行道
- 设置醒目的人行横道标志标线
- 路口人行道适当回退
- 设置路中安全岛
- 建设行人立交桥（天桥）
- 改善交叉路口照明
- 在高风险地点设置用于限制行人过路的物理隔离
- 将公交站从路口近侧搬迁到路口的远侧
- 其他交通静稳化措施，以降低路口入口的车辆速度或交通量

骑自行车的人在十字路口面临的问题包括机动车流量高、速度快，以及缺乏自行车通行空间。可能采取的改进措施包括以下内容：

- 拓宽外部车道（或增加自行车道）
- 提供路中安全岛
- 设计独立的交叉口结构（为自行车提供通道）

- 设计对自行车友好的排水格栅
- 改善道路照明

#### 2.2.4. B4-修正复杂的路口几何形状 (P&T)

该策略包括了一系列大多是高成本的解决方案：

- 将四腿交叉路口转换为两个 T 型交叉路口
- 将两个 T 路口合并转换为一个四腿路口
- 改善路口交叉点倾斜角度
- 改善路口直行车辆行驶路径的偏转角度

此外，关闭交叉口某个入口是解决复杂交叉路口问题时通常可以尝试使用的解决方案。这可能是成本最低的解决方案，因为它通常不需要重大重建。

信控交叉口的某些复杂几何问题是无法通过标志、渠化或信号相位调整补救的。可能需要对路口的全部或部分进行物理性修改，以降低严重碰撞的概率。交叉路口的一个或多个流向可能存在各种问题，这些问题可以通过大幅修改交叉口设计来得到最好的解决。由于实施这些策略需要大范围进行路口重构，因此往往意味着较高的实施成本。

- 将四腿交叉路口转换为两个 T 型交叉路口 (T)

对于四条腿路口的某条相交道路，可以通过将路口转换为两个 T 型交叉口以提高安全性。这种策略有助于减少与路口布局相关的碰撞事故，例如，涉及左转车辆的侧向直角碰撞事故，以及超出驾驶人预期的偶然出现的交叉方向直行车相关事故。这种转换为两个 T 型交叉路口可以通过重新调整两条交叉路口沿主要道路的距离来实现，从而创建相互相对独立运行的 T 型交叉路口。交叉路口应足

够分离，以确保在主要道路上提供足够的转弯车道长度。

如果直行车流量较高，采用传统的四腿交叉路口可能会更安全。将其转换为两个 T 交点会在每个 T 交叉口产生过度的转弯交通流需求。

- 将两个 T 路口合并转换为一个四腿路口 (T)

对于那些流量特别高的临近信控 T 交叉路口，提高安全的最佳方法可能是将交叉路口转换为单个四腿交叉路口。这可以通过重新调整两个 T 交叉路口，在主要道路的交叉点来实现。预计这一策略将减少从主要道路到两个 T 交叉路口的左转交通事故。

- 改善交叉点倾斜角度 (P)

以小于 90 度角相互交叉的道路会给驾驶人带来视距和操作困难。侧向碰撞事故的高发生率，特别是涉及从锐角接近车辆的事故，往往是倾斜交叉道路导致的结果。倾斜交叉还导致车辆在路口行驶的距离更长（增加他们暴露在冲突中时间），驾驶人很难转动头部和颈部以保持正确敏锐的角度观察临近的其他车辆。此外，以锐角右转的车辆可能会侵入相反方向的入口车道，产生对撞风险。当允许红灯右转（RTOR）时，驾驶人在转弯时可能更难判断车间距。此外，过街行人需要穿越的距离也增加了。

倾斜的交叉路口（交叉路口角度小于 75 度）会给老年驾驶人带来更多的困难。因为许多老年驾驶人的头部和颈部活动能力下降，限制了头部运动范围，降低了老年驾驶人有效扫描车辆侧后面观察盲点的能力。在左转时，他们可能难以识别交通流间隙，在右转时与交通流安全合流。

- 改善路口直行车辆行驶路径的偏转角度 (T)

在出入口之间存在较大偏转偏转的交叉路口，当车辆在交叉路口中行驶时，

可能存在操作困难和安全问题。突变的行驶路径违反了驾驶人的驾驶预期，对于不熟悉的驾驶人来说可能很难保持正确的行驶方向。违背驾驶员预期可能导致车辆通过十字路口的速度降低。受旅行路径偏转影响的事故碰撞包括追尾、侧扫、正面和侧向直角碰撞。交叉路口的可接受偏转角度通常与入口道设计和/或发布速度有关。典型的最大偏转角是 3 到 5 度。

设置路面引导标线是一种低成本的解决方案，可以引导车辆通过交叉路口。类似引导左转路径的虚线同样适用于引导直行车辆。

重新设计入口道是一个成本相对较高的解决方案。路口正确设计包括：为驾驶人提供任何情况都清晰可见的车道，任何行进方向都可以清楚地理解，没有突然出现冲突的可能性。并且路口入口与路段具有一致性，并提供最基本的视距条件。

- 关闭路口入口道 (T)

对于一些有事故碰撞历史的信控路口，提高安全性的最佳方法可能是关闭通往交叉路口某个入口通道。这是一种比较激进的安全改进措施，通常只有在尝试了其他各种措施效果不佳时才予以考虑。通过使用渠化措施关闭次要的入口道与路口的进出连接，或将其转换为只能离开交叉路口的单行道。虽然这是对十字路口的重大修改，但它可能是一种低成本的治理方案。决定实施这一策略时，要考虑是否会对其他地点的交通运行产生影响。本措施最适用于那些超过四条腿的交叉路口。

## 2.2.5. B5-采用创新路口几何设计

适用于：常发严重碰撞事故，且其他低成本策略无效或不合适的路口入口。

需要采取特殊的道路工程与交通工程方法。如果信号交叉路口存在非常严重的碰撞问题，唯一的选择就是改变交叉路口本身的性质。此类项目往往成本高昂，并且需要很长时间才能完成实施。同时，实施这些策略还需要大量的公众参与和利益相关方的配合。

该策略包括以下内容：

- 提供间接左转措施

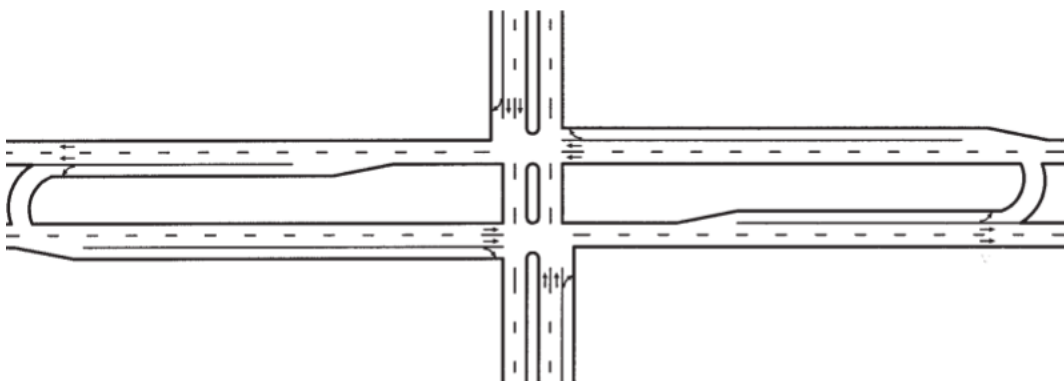
主干道交通量持续增长导致了平面交叉口的拥堵和安全问题，间接左转的设计方案越来越多地被用于解决这一问题。在选择替代左转方案时，路权（ROW）限制通常是决定性因素。虽然长期、高成本的设计可能是解决交叉口严重运营和/或安全问题的最佳解决方案，但是一些具有创新设计的替代型低成本解决方案也能提供很好的效果。

信控路口左转相关的安全问题往往会被路口高流量放大，或者至少在有大量左转的交叉路口被放大。间接左转措施，如在路口前的壶柄设计、中央隔离带上的偏移左转车道、以及路口以外的环形道路设计，可以解决与左转弯相关的安全和运行问题。这些处理方法将左转车辆从交通流中移除，而不会使它们在直行车道上减速或停车，从而减少与直行车辆发生追尾碰撞的可能性。在实施间接左转措施后，侧向碰撞事故也可能减少，因为转弯运动被重新定位或更改为不同的机动方式。

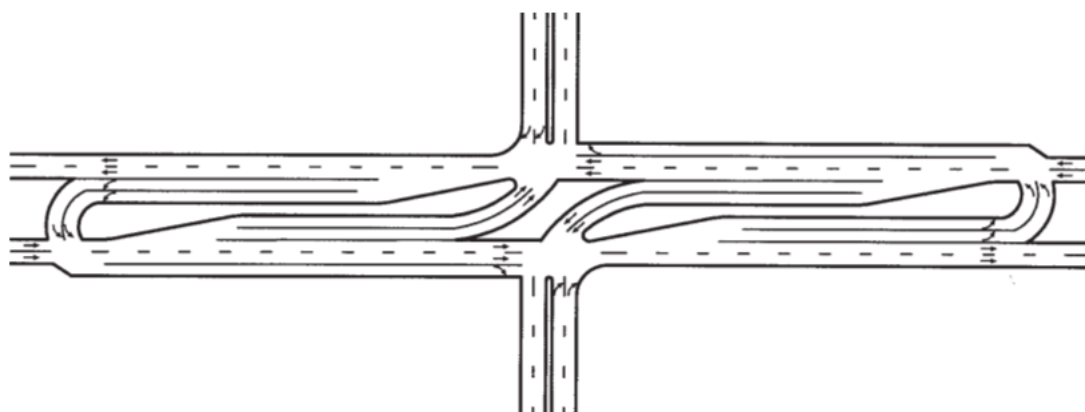
在中央隔离带太窄，无法容纳左转车道的公路上，以及没有足够的空间容纳足够长的转弯车道以提供足够的存储容量的道路上，这种处理是有效的。在某些情况下，可以使用适当的标志实现间接左转。然而，相对于其他设计来说，其实施成本可能相当高，实施所需的时间可能相当长。应注意确保如

果驾驶人选择替代路线，例如在转弯安排不太方便的情况下，安全问题不会转移到附近的交叉路口。清晰的交通标志是间接左转设计的必要条件，特别是在一个区域的其他交叉路口没有类似处理措施的情况下。

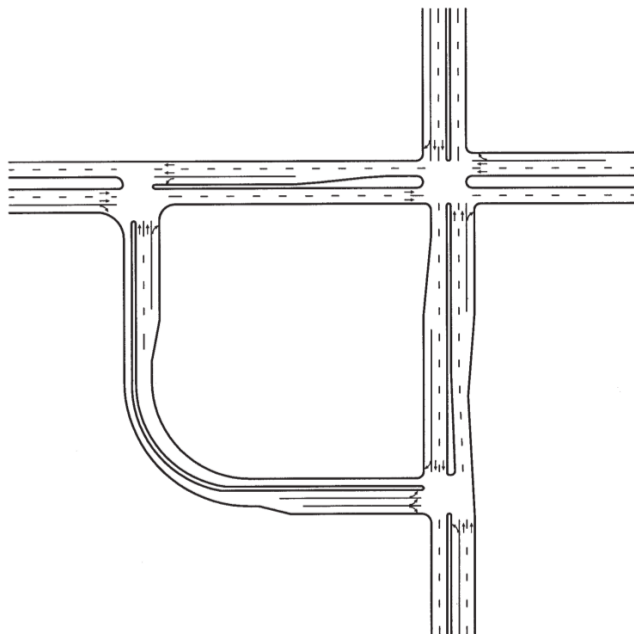
采用此类措施应能减少等待左转车辆与跟随车辆之间的追尾碰撞，以及因向左转和迎面车辆之间的冲突而导致的侧向碰撞。各种类型的间接左转的方案，如图：



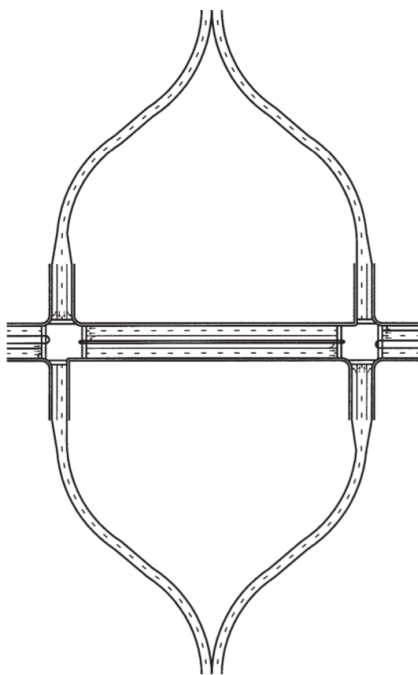
中央隔离带掉头（远引掉头）



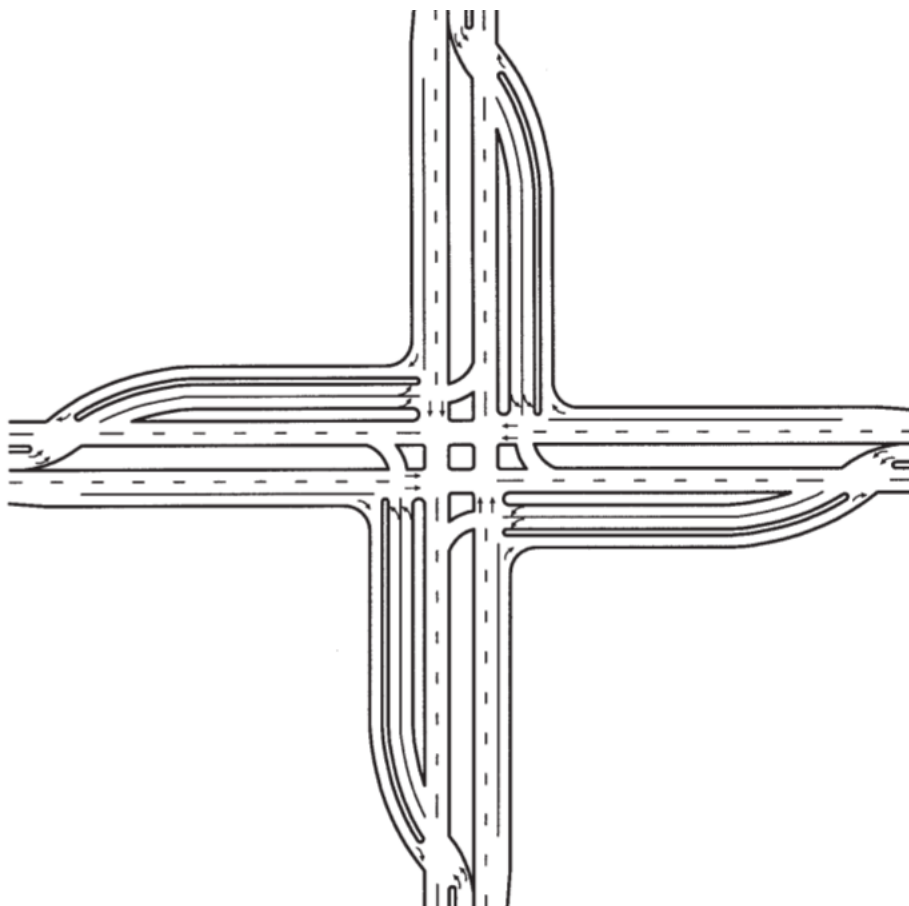
中央隔离带交叉限制+隔离带掉头



象限交叉口



分裂交叉口



连续流交叉口（左转平移设计）

- 重建交叉路口，将交叉路口转换为环岛路口

环岛路口可能比传统的信号交叉路口更能避免碰撞。在环岛路口发生的冲突类型与在传统交叉路口发生的冲突类型不同--交叉冲突和左转流向冲突在环岛路口中不存在。环岛路口的几何形状会迫使驾驶人在穿过路口时降低速度，这有助于降低碰撞事故的严重性。行人在环形交叉路口一次只需要穿过一个方向的交通流，从而减少了他们发生冲突的可能性。

来自欧洲和澳大利亚的研究，十字路口转换为环岛路口后收集的数据显示，单车独立事故率有所上升，但是撞车率有所下降。对比传统交叉路口的事故碰撞率和环岛路口的碰撞率。对于日流量 20,000 辆汽车，城市地区环岛

路口的碰撞率比信号交叉路口低 33%，农村地区低 56%。对于每天 40,000 辆车，预计环岛路口的碰撞事故将减少约 15%。在更高的流量（每天 50,000 辆或更多）的情况下，环岛路口和信号路口的安全性能可能基本相当，转换为环岛不太可能有安全好处。

研究表明，涉及自行车的事故率没有提高。此外，由于单车独立事故率在转换为环岛路口后往往会增加，因此中央岛、隔离分流岛和环形交叉路口周边的净空应远离障碍物。

并非所有交叉口都适合改为环岛路口，环岛也不会解决特定交叉路口的所有安全问题。进入路口的交通量是评价环岛路口是否有效的一个重要因素，此外，转向交通流和其他路口运行特征也是重要参考。所有这些都应该进行研究，以确保环岛路口设计的可行性。

- 将双向街道转换为交替配对的单行路

双向道路改为单行道路，通常是为了增加通行能力。同时，消除相反的交通流也可以提高安全性。从双向道路上移除一个交通流向，可以更好地实现信号协调和车队运行。平稳、协调运行的交通流可以减少拥堵、也可以减少追尾事故。在效率与安全方面的提升主要表现在以下几个方面：

- ◆ 减少了路口车辆-车辆之间冲突点的数量
- ◆ 为转弯交通流去除了对立交通冲突
- ◆ 简化了多腿交叉路口的运行与信号相位
- ◆ 行人只需关注一个方向的冲突交通流，减少了行人与车辆的冲突
- ◆ 在无信号交叉路口为车辆和行人提供了更多的安全通过间隙

研究表明，在将双向道路转换为单向运行后，总事故数量减少了 10%至

50%。与此同时，此策略可以显著增加通行能力；交替配对的单向道路可以比两条平行的双向道路多处理高达 50% 的流量。

改用单行道与安全相关的缺点可能有以下几点：

- ◆ 行人可能会朝错误的观察来车。
- ◆ 当驾驶人试图停车或转向出口车道时，可能会与交织的车辆发生轻微侧扫碰撞。

建议在从双向运行向单向运行道路的转换点，充分设置补充和冗余的交通标志。

引入单行路可能会对公交运行产生不利影响。应特别注意避免此类街道上的反向公交专用车道，因为这些公交专用车道可能对过街的行人构成特殊危险。设置交替配对的单行道路时，需重点关注两端的过渡设计。必须注意不要造成驾驶人困惑和错误操作。

#### ● 建设互通立交或高低分离设施

在一些交通流量极高、历史安全记录不佳或存在其他安全因素的信号路口，可以考虑使用高低分离或互通立交方案。这种造价昂贵的安全改进方法，只有当其他措施已经尝试无效后才应该考虑。通常，这类解决方案用于解决流量问题，尤其是信号交叉口的通行能力不足以容纳交通需求时。

采用空间方案，可以有效减少交叉和转弯交通需求，减少瓶颈和拥堵点。可以降低这些流向造成的碰撞的数量和碰撞严重性，特别是追尾和侧向碰撞。

#### 2.2.6. B6-交通走廊（干线道路）接入管理-实施中央隔离带封闭

适用于：由于驾驶人无法找到合适的可穿越车流间隙，造成与转向交通相关事故。

### 2.3. C 类：改进信控路口视距

在路口的各个象限范围提供清晰的视距三角形，可以最大限度地减少与视线障碍物相关的碰撞的可能性。

充足的路口视距有助于路口的安全。一般来说，对于许可左转、右转的车辆驾驶人，在信号路口入口处停止的第一个车辆需要足够的视线距离，才能看到其他方向的第一个停止车辆。在允许红灯右转（RTOR）的情况下，应提供足够的视线距离。视距的改善可以减少因驾驶人突然停车造成的追尾事故、驾驶人违反信号通过交叉路口发生的侧向碰撞，以及许可左转车辆在对向交通流寻找可穿越间隙不足的侧向碰撞。

#### 2.3.1. C1-净化视距三角区（T）

适用于：红灯右转机动车与另一方向直行车辆或左转车辆之间由于隔离带植栽、路侧设施遮挡视线易发生碰撞的信控路口。

采取有效措施，通过清除视线三角形内被植被、路边附属物、建筑物、公共汽车站或其他自然或人造物体阻挡的视线距离，通常可以以相对较低的成本改善视线距离。

此策略事实过程中最困难的是可能涉及影响视线的私人财产。处理此类视距障碍物涉及复杂的法律问题。如果对象是一棵成熟的树或种植，那么可能会引起环境、绿化等很多担忧。

针对无信号交叉路口,有关视距与安全关系问题的研究有明确的成果。但是,在信号控制路口,相关的研究很少。从常识来看,如果视线距离问题得到改善,与转向交通相关的事故可能会减少。然而,由于信号为大多数垂直交叉车辆分配了 ROW,并且受视距影响的交通量较低,因此对碰撞的总体影响可能相对较小。

对于“停”控制路口,视距是一个更大的问题,因此对在停止控制交叉路口改善视线距离的有效性进行了更多的研究(如 NCHRP 440)。信号交叉路口有几种流向与“停”控制交叉路口类似(如 RTOR 和许可左转),从“停”控制交叉路口的类似研究中可以推断出信号交叉路口视距改善的预期有效性。

### 2.3.2. C2-优化路口入口道设计,增加转向车道正偏移(P)

适用于:由于视距原因造成红灯右转车辆与叉方向直行车辆间事故频发的信号路口;左转车辆与对向直行车辆之间的视距受对向左转车辆限制的路口;右转车辆限制了路口视距的路口。

解决与视距相关的安全问题,通常没有低成本方案(如视距三角形、调整信号相位或禁止转弯流向)。特殊情况下,通过次路接入方式,使它们在不同位置或不同角度与主要道路相交,会有助于解决水平视线距离问题。也可以通过关闭交叉口某条接入道路,以解决与该特定道路相关的视线距离问题。

## 2.4. D类:提升驾驶人对路口及信号的注意力

某些路口碰撞事故是因为某些驾驶人不知道前方路口的存在,当发现路口时为时已晚,因此无法避免碰撞。改进标志、标线以及照明可以帮助提醒驾驶人路口的存在。某些情况下,当其他措施无效时,可以使用隆声带、隆声标线等方式

引起驾驶人的注意。

提高驾驶人对下游交叉路口和交通控制装置的注意力对改善安全至关重要。如果驾驶人无法及时感知路口以及路口控制状态或前方停止排队队尾,并在必要时做出反应,可能会导致多种严重安全问题。以下策略旨在提高驾驶员对信号控制路口和交通控制状态的认知。

#### 2.4.1. D1-改进路口入口道可视性 (T)

适用于：由于驾驶人未注意到路口存在而频发事故的信控路口。

本策略包括以下内容：

- 改善路口轮廓的可视性
- 安装更大的交通标志
- 为路口提供照明
- 在入口道上安装隆声带/隆声标线
- 安装排队检测系统

在信号控制路口,可能会因为驾驶人不知道有交叉路口的存在,或者无法及时看到交通控制状态引发碰撞事故。这些碰撞事故通常是追尾或侧向直角碰撞。可以通过设置交通标志、标线和警告设施来增强驾驶人对下游信号路口的感知能力。用于提高路口可视性的其他策略还包括提供照明、提高信号控制状态的能见度,以及使用警示设备来引起人们对信号的关注。

研究表明,老年驾驶人的认读距离以及响应速度都低于年轻驾驶人。如果当前路口的标志基于普通驾驶人设计,那么老年驾驶人需要更长的时间才能识别路口。因此,应考虑提供有助于提高老年驾驶人可读性和响应时间的交通控制设备。这可能包括增加冗余的路侧标志、车道上方标志和路径预告标志。

- 改善路口轮廓的可视性

在交叉路口安装或升级标志、路面标记可以帮助驾驶人更好地为前方交叉路口做好准备。包括前置的引导标志、前置的道路名称标志、警告标志、路面标线、道路标志等。前置的警告标志，如交叉路口警告标志或带闪光灯的标志，可以提醒驾驶人注意交叉路口的存在。某些情况下，在道路两侧安装前置警告标志、适当的冗余标志是非常有效的办法，尤其是当路口设置在道路曲线段时。路口前的道路名称和车道分配标志可以让驾驶人选择和进入他们需要的车道做好准备。用于警告驾驶人前方路口信号状态为红灯的可变标志和闪光灯，会提高驾驶人对前方路口和红灯信号的认识，便于提前采取安全驾驶措施。

维护好标志和标线对这一策略的成功十分重要。应定期检查旧的路面标线和标志的反射率，以确定是否需要更换。

- 安装更大的交通标志

安装带有较大文字的标志，可以提高交叉口的可见性以及驾驶人感知标志的能力。这些改进可能包括预先引导标志、警告标志、路面标线。通过安装更大的标志，可以为老年驾驶人提供更好的驾驶环境。

- 为路口提供照明

在路口本身或路口入口道上提供照明，可以使驾驶人意识到十字路口的存在，并减少夜间碰撞。需要注意的是，设置路口照明所涉及的成本可能会比较昂贵。

- 在入口道上安装隆声带

隆声带可以安装在交叉路口的入口道路上，以提醒驾驶人注意交叉路口的存在和关注交通控制信息。隆声带特别合适安装在高速运行车辆较多的路口，这些路口的安全事故与驾驶员无法识别信号的存在有关明显相关。该策略应该谨慎使用，因为隆声条的有效性取决于它们是少量应用的、能够提供特殊警示。当尝试了“前方有信号灯”标志或闪光灯等侵入性较小的措施后，仍未能有效改善安全问题时，通常可以应用隆声带，并且通常与前置警告标志结合使用。例如，可以在道路上设置隆声带，这样当驾驶人穿过它同时，能直接看到一个关键的交通控制设备，如“前方有信号灯”标志。

- 设置排队检测系统

排队检测系统是交通信号灯运行的基本方法。在实际应用中，排队检测用于驱动信号控制系统运行，用于以“调用”与排队车道对应的信号阶段（相位）。

排队检测系统作为安全设备的应用是一种新的、潜在的有效设备。在乡村环境中建立信号交叉口，经常会引发大量排队，特别是在季节性交通变化较多的道路。设置在交叉路口入口道上的检测器，可以通过检测车辆在指定位置上的长时间停车确定排队长度。检测信息可以与一个远端（比如上游 500-800 米）的可变信标联动。该标志包含“当灯光闪烁时准备停止”的信息。当下游路口发生明显排队时，远端标志上的信标会闪烁，以警告驾驶人前方有停止的排队车辆。

#### 2.4.2. D2-改进路口信号灯、交通标志的可视性（T）

适用于：由于驾驶人在入口道方向看不到信号灯、预告标志而常发侧向碰撞或追尾事故的信控路口。

交通控制设备缺乏可见性可能会导致信号交叉路口的严重碰撞事故。路口交通信号灯与标志的可见性可能会被其他物体（如标志牌或其他车辆）阻挡，也可能因天气条件（如雾或炫目的阳光）不可见。此外，驾驶人的注意力可能会被吸引到路口的其他物体上，例如无关的标志、广告牌。标志和信号的能见度不足可能导致驾驶人无法及时停车，或违反方向指示信息。改善标志和信号灯的可见性有助于驾驶人为通过前方路口做准备。

除了可能限制驾驶员视线外，在交叉路口附近，大量与驾驶任务无关的附属物和标志可能会造成额外高的驾驶任务负荷，最终可能会分散驾驶人对当前任务的注意力。这种“视觉混乱”可能会造成驾驶人难以从标志中提取有效信息（如方向信息、速度管理信息等）。

信号和标志的维护对设备的可见性很重要。如果调查发现交通控制设备的可见性是导致事故的潜在原因，则应进行现场审核，以确定标志信息是否被覆盖、遮蔽，并应检查标志的反光率。

提高交通信号灯和标志能见度的方法包括以下几种方式：

- 安装额外的信号灯头
- 提供遮阳护罩，消除阳光干扰
- 采用百叶窗、遮阳板或特殊信号灯镜片，便于驾驶人观察信号状态
- 为信号灯安装背板，并绘制信号灯轮廓线
- 采用更大的信号灯具
- 移除或重新放置不必要的标志

- 提供远端左转信号灯
- 移除路口无效的标志
- 调整影响路口视距的设施位置

#### 2.4.3. D3-为每个车道安装信号灯 (T)

适用于：由于驾驶人选择车道时犹豫不决而频发事故的信控路口。

#### 2.4.4. D4-采用更大的信号灯 (P)

适用于：通过分析事故历史数据或现场观察发现，由于驾驶人注意力不足或抵近路口时速度较高而发生冲突事故的信控路口。

#### 2.4.5. D5-为信号灯安装遮光背板、反光背板、具有视廓功能的背板 (P)

适用于：入口方向可视性差，通过分析事故历史数据或观察发现，由于驾驶人注意力不足或抵近路口速度较高，引发冲突的信控路口。

#### 2.4.6. D6-安装路口警示设施 (T)

适用于：入口方向可视性差，通过分析事故历史数据或观察发现，由于驾驶人注意力不足或抵近路口速度较高，引发冲突的信控路口。路口警示设备包括警示标志、闪光信号灯、隆声标线、横向隆声带等。

#### 2.4.7. D7-将路侧直立杆信号灯改为车道正上方悬臂式安装 (P)

适用于：入口方向可视性差，通过分析事故历史数据或观察发现，由于驾驶

人注意力不足或抵近路口速度较高发生冲突的信控路口。

#### 2.4.8. D8-在路口近端安装辅助信号灯 (P)

适用于：入口方向可视性差，通过分析事故历史数据或观察发现，由于驾驶人注意力不足或抵近路口速度较高发生冲突的信控路口。

### 2.5. E 类：提升驾驶人服从交通控制、遵守交通法规意识

信号交叉路口的安全问题并非只能通过工程手段来解决。落实交通法规或开展公共宣传活动是提高路口安全的最佳方式之一。许多事故是由于驾驶人在路口不服从交通控制设施或违反交通法规而引起或加剧的。实践证明，公众教育和执法可以有效地减少交通违法行为，提高路口的安全性。用于对违法行为进行自动执法的装置是提高驾驶人遵守交通法规意识的一种越来越普遍和经济高效的方法。在某些路口，实施减速措施可能会为驾驶人提供额外的时间来做出更安全的决策与操作。

#### 2.5.1. E1-提供公共交通安全信息服务及开展安全教育 (T)

适用于：由于驾驶人不知道（或者拒绝遵守）交通安全相关法律和法规（特别是闯红灯、超速和不让行行人）而造成事故频发的信控路口。

针对路口安全问题提供有针对性的公共信息服务和教育是一种有效的预防措施，可以帮助驾驶人提升对交通控制设备和交通法规的遵守意识。这一策略成功的关键是尽可能多地吸引目标受众，无论是通过电视、广播、分发传单、驾驶人教育课程还是其他方法。

### 2.5.2. E2-开展针对性执法 (T)

适用于：由于驾驶人不知道（或拒绝遵守）交通安全相关法律和法规影响交通安全的信控路口。

有效的执法手段是对路口不安全和非法驾驶者行为有效对策。在采取针对性执法，可以有效减少违反交通法的行为。通过违法数据、事故数据分析，可以发现潜在事故风险地点，交通执法机构可以有针对性的选择执法地点。但需要注意的是，针对性的执法动作也可能导致额外的追尾、正面对撞、侧扫、侧向撞击以及与行人或自行车相关事故。

有针对性执法是一项短期、成本适中的措施，旨在解决特定地点、特定形式的信号路口安全问题。虽然这是一个有效的方法，但其有效性往往是短暂的。由于资金和人员配置原因，很难持续开展，因此可能需要定期执行以维持这一战略的有效性。

### 2.5.3. E3-设置自动违法监测装置（闯红灯监测装置）(P)

闯红灯是一个有据可查的且日益严重的交通安全问题。虽然其中一部分可以通过工程方法加以解决（如合理设计黄灯时间、优化相位间隔时间），但在许多情况下，违法驾驶行为是主要问题。因此在尽可能多的地点设置违法检测系统，是可证明的有效方案。

闯红灯拍照设备不仅可用于记录违法行为，还可用于通过车辆的速度监测来预测车辆是否会闯红灯。

#### 2.5.4. E4-发布合理、安全和一致的路口限速 (T)

适用于：由于驾驶人违反限制速度，造成碰撞频率较高的信号控制路口。

更快的速度会增加事故碰撞的严重性，降低路口的速度可以帮助降低碰撞的严重性。在交叉路口处放慢车辆速度可以提高驾驶者、行人和骑自行车者的安全性。控制进路口速度的方法包括几何设计、信号控制和其他交通稳静化处置方法。

如果发现路口入口的警告标志或限速标志在降低速度方面效果不佳，就需要考虑设计其他更有效的措施。构建具有适当设计速度的水平曲线可以实现降低速度的目标。但是，曲线的设计不应造成与驾驶员预期相悖的、或破坏路口视距的问题。

当检测到车辆以明显超过路口限速行驶时，可以采用信号控制技术将信号指示更改为红灯。当车辆速度降低或在停止线处停车后，再通过感应控制输出绿灯信号。

路口整体抬升是可以实现车辆减速的另一种设计。交通稳静化处理虽然不能用来代替合法的交通信号，但可以有效降低车速，是降低碰撞事故严重程度的有效方法。

通过道路整形，如设置弯道、限速栏、拓宽人行道或减少车道宽度，可用于降低路口入口道速度。

交通稳静策略通常旨在降低集散道路和本地街道上的车辆速度或交通流量。交通稳静化处置的一个主要好处是改善了行人交通安全。交通稳静化的核心目标是以社区邻里交通为主，必须注意不要将这些方法扩展到主干道范围。

#### 2.6. F 类：改进临近路口的接入管理

路口附近的方向选择、制动和操作决策会给驾驶人带来了额外的工作负担。如果在信号交叉路口或附近存在较多的接入车道,可能会使通过交叉口的驾驶人感到困惑,并造成额外的车辆间冲突。限制接入车道、消除靠近信号路口的穿越隔离带转弯可以有效地减少或消除严重的多车冲突。

有效的接入管理是改善交叉路口及其邻近区域安全的关键。接入交通流与沿道路行驶的车辆之间的速度差会导致侧向碰撞和追尾事故。绿皮书与相关的标准规范中规定,接入车道不应位于交叉路口上下游功能区域范围内。

#### 2.6.1. F1-修改接入道路的接入方式 (T)

适用于:与接入道路相关事故高发的信控路口,对于距离路口较近(80 米以内)的接入点应该给予特别关注。

通过关闭主要街道的接入道路、将它们移到路口功能区之外,或限制进出接入道路的转向交通流来限制进出路口,这将有助于减少主要道路交通流与转向交通流之间的冲突。此类冲突可能导致进出接入道路的车辆对主路干扰引起的速度变化,及由此产生的追尾和侧向碰撞事故。路口主要道路的允许设置接入点位置应根据信号灯控路口排队挡住接入车道的概率来确定。

#### 2.6.2. F2-交通廊道(干线)接入管理-实施中央隔离带封闭 (T)

适用于:与穿越中间隔离带转向车辆相关事故频发的信控路口。

当高流量道路的中间隔离带开口靠近信号交叉路口时,需要对开口点的交通流向进行限制。例如,可以禁止在直行交通流中进行左转和掉头,或可以禁止交叉道路的左转弯流向。可以通过设置标志、重新渠化车道来实现。

## 2.7. G 类：改进信控路口安全的其他措施

信号控制路口的安全问题除了与交通控制方式、路口几何形状、交通执法或驾驶人安全意识有关系外，还有其他一些影响安全的问题。可以减少信号交叉路口碰撞的频率和严重性的其他措施，包括改善路面条件，协调铁路道口附近信号的运行，以及将信号控制设施移出通视区等等。*(信号设施安装位置对通视区域的影响问题一致没有得到足够重视，尤其是随着各种智能设施的安装数量增加，路口杆具、机柜数量增多，体积增大，设备设施影响通视的问题有愈演愈烈的趋势)*

### 2.7.1. G1-改善路口与交叉道路的排水 (T)

适用于：由于排水不畅造成路面积水而事故高发的信控路口。

良好的道路设计中最重要原则之一是排水。和路段一样，交叉路口内的排水问题也可能导致碰撞事故。在路口内，排水设计对安全的影响尤其重要，由此可能导致的非常严重的交通事故。

### 2.7.2. G2-改善路口入口处路面摩擦系数 (T)

适用于：路面原因造成车辆打滑的信控路口。

路面摩擦系数受车辆速度、车辆轮胎状况和路面状况的影响最大。考虑改善路面状况，以提供良好的防滑性，特别是在潮湿多雨的天气状况下，对改善安全有明显效果。可以通过以下方式实现：

- 设置良好的排水设施
- 对路面进行切槽处理增加摩擦系数

- 重新摊铺路面

### 2.7.3. G3-对临近铁路道口的短间距路口进行协调控制 (T)

适用于：靠近铁路道口的路口，因驾驶人试图避免在铁路道口附近排队等候而加速通过，导致车辆-火车相撞事故，或发生车辆-车辆相撞事故频率较高。

铁路道口及其附近的交叉路口应协调控制，以便为通过的火车提供抢占式信号保障服务。

### 2.7.4. G4-将信号硬件设施移出到路口视区以外 (T)

适用于：信号设施设置于路口视区内，形成视觉障碍物的信控路口。

交通信号硬件设备、杆具、树木和其他大型固定设施会成为潜在的路边危险。交通信号杆具和控制器柜应尽可能远离人行道边缘，以保证不会对信号灯的可见性产生不利影响。如果信号硬件设施无法重新定位，应保证不阻挡驾驶人视线。

### 2.7.5. G5-限制路口入口停车 (P)

适用于：由于入口道停车造成视距遮挡，形成障碍的信控路口。

在交叉路口的转弯、直行车道附近泊车可能会造成安全风险。它会对整个交通流造成摩擦效应，通常会阻挡停车车辆的视线三角形，并且偶尔可能会在车辆进出停车位时导致某些交通车道堵塞。限制、消除交叉路口附近的泊车可以减少驾驶人任务负荷，并减少事故碰撞概率。限制泊车可以通过设置禁停标志、人行道标记或限制性渠化来实施。也可以对一天中的特定时间或特定车辆类型实施限制。

信控路口安全改善分类措施与实施成本表

| 安全问题分类        | 低成本            | 中等成本       | 高成本 |
|---------------|----------------|------------|-----|
| 侧向碰撞高发        |                |            |     |
| 临近接入道路        |                | F2         | F1  |
| 交叉道路          | A2, A3         | E2         |     |
| 斜交路口          |                |            |     |
| 视距不良          | A1, C1, G5     | C2, G4     | B3  |
| 驾驶人无法判断车流间隙   | A1             |            |     |
| 无足够车流间隙       | A1             | A4, B4     |     |
| 驾驶人未关注到路口     | D1, D2, D5, D6 | C2         | B4  |
| 夜间条件          | D1, D2, D5     |            |     |
| 右转车辆直角侧撞      | A3, C1, G5     | B1, G4     |     |
| 追尾事故多发        |                |            |     |
| 左转车辆被追尾       | A1             | B1         | B3  |
| 与左转对立的车辆被追尾   |                | B1         | B3  |
| 右转车辆被追尾       | A3             | B1, B5     |     |
| 路面积水          |                | G1         |     |
| 无法安全停车（路面打滑）  |                | G2         |     |
| 驾驶人未关注到路口     | D1, D2, D5     | D3, D4, D8 | D7  |
| 夜间条件          | D1, D2, D5     | D4         | D7  |
| 车辆间速度差        |                | A4, E3     |     |
| 突然停车          | A2, A3         | A4, D3     |     |
| 左转相关事故多发      |                |            |     |
| 左转与对向车辆碰撞     | A1, A3, A7, C1 | B1, B4     | B3  |
| 夜间条件          | D1, D2, D5     |            |     |
| 侧向剐蹭事故        |                |            |     |
| 路口内车辆         | A1             | B1         |     |
| 行人、自行车相关事故多发  |                |            |     |
| 行人自行车集中区域     | A8             | B2, E2     |     |
| 路口入口机动车与自行车侧剐 |                | A9, G1     |     |
| 与左转机动车相关      | A1、A3          | A9         |     |
| 路口整体安全问题      |                |            |     |
| 违反交通法规        | E1             | A9, E2     |     |
| 临近铁路道口        |                | G3         |     |
| 靠近消防站、急救中心的路口 |                | A5         |     |
| 过度延误          | A6             |            |     |
| 不服从交通信号       | A6             | A9, D3, D8 |     |