

城市道路交叉口交通信号 控制理论与实践

CHENGSHI DAOLU JIAOCHAKOU JIAOTONG XINHAO
KONGZHI LILUN YU SHIJIAN

■ 李锐 编著 ■



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

城市道路交叉口交通信号 控制理论与实践

李 锐 编著

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2015

内 容 提 要

本书从交通信号控制与优化的角度出发,对城市道路交叉口交通信号控制方面的相关研究进行了介绍,结合理论分析与应用实例系统阐述什么是交通信号控制系统、什么条件下需要设置交通信号控制系统、如何设置交通信号控制系统等交通信号控制领域中的关键问题。

本书可供交通行业技术和管理人员阅读参考,也可作为高等院校交通工程专业本科生和相关专业研究生的教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

城市道路交叉口交通信号控制理论与实践/李锐编著. —北京:冶金工业出版社, 2015. 1

ISBN 978-7-5024-6832-3

I. ①城… II. ①李… III. ①城市道路—交通信号—自动控制 IV. ①U412.37 ②U491.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 004335 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcs@cnmp.com.cn

责任编辑 廖丹 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 郑娟 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6832-3

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷
2015 年 1 月第 1 版, 2015 年 1 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 7.75 印张; 155 千字; 114 页

28.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgy.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言



随着我国社会经济的迅猛发展，城市规模日益扩大，城市人口和小汽车保有量快速增长，交通拥挤、交通污染、交通安全等城市交通问题日益严重，在某种程度上影响了城市经济的进一步发展和人民生活水平的进一步提高，不利于国家城市化发展目标的实现以及构建和谐社会的要求。国家中长期科技发展规划已经把缓解交通拥堵列为需要解决的重要热点问题。交通运输工程领域科研人员正从理论与实践等多个方面开展研究，缓解城市道路交通拥堵状况。

本书从交通信号控制与优化的角度出发，对城市道路交叉口交通信号控制方面的相关研究进行了介绍，结合理论分析与应用实例系统阐述“什么是交通信号控制系统”、“什么条件下需要设置交通信号控制系统”、“如何设置交通信号控制系统”等交通信号控制领域中的关键问题。

全书共分6章。第1章从介绍城市道路交叉口交通信号控制研究背景与意义出发，明确研究主线，即介绍城市道路交叉口信号控制基本情况，研究交叉口常规信号灯与公交优先信号灯设置条件，进而确定交叉口信号灯的具体设计方法。第2章主要介绍城市道路交通信号控制系统的基本情况，包括城市道路交通信号控制系统基本概念及信号控制主要参数指标，分别从信号控制区域、对象、方式三个方面对交叉口信号控制进行分类，并分别介绍各类交通信号控制系统的基本情况。第3章主要介绍交叉口常规信号灯设置条件。首先梳理美国MUTCD与我国《道路交通信号灯设置与安装规范》(GB 14886—2006)对各类交通信号灯设置条件的要求，并从交通运行效率角度出发，研究信号设置阈值曲线的标定与修正，从而形成交叉口常规信号灯设置判别流程，并结合实际案例对判别过程进行说明。第4章主要介绍交叉口公交优先信号灯设置条件。首先分析交叉口公交优先信号控制运

行特性,通过对交叉口公交优先控制条件下公交车辆与社会车辆延误的分析,构建公交优先信号设置阈值模型,分别确定出交通高峰时段与交通平峰时段条件下公交优先信号灯设置条件,在此基础上形成交叉口公交优先信号灯设置判别流程,并结合实际案例对整个过程中进行说明。第5章主要介绍单点交叉口定周期信号控制系统设置方法。首先介绍单点交叉口信号控制设计一般流程,重点介绍信号控制相序设计、信号控制参数设计、信号控制服务水平、信号控制仿真分析等内容。第6章主要介绍信号协调控制系统相关内容,重点介绍干线信号协调控制和区域信号协调控制。干线信号协调控制方面,通过介绍线控基本参数、分类方式与影响因素,研究信号协调控制配时与优化方法。区域信号协调控制方面,重点介绍 TRANSYT、SCATS、SCOOT 等协调控制系统。

综上所述,第1章和第2章主要介绍交通信号控制系统的基本情况;第3章和第4章主要介绍信号控制系统设置的条件;第5章和第6章主要介绍信号灯控制系统的设计方法。

本书在信号灯设置条件方面的研究得到了东南大学交通学院李文权教授的悉心指导与帮助,在此深表感谢;本书交叉口信号设计与协调控制章节,参考了前人的相关研究成果;在本书编写过程中,得到了河海大学土木与交通学院、东南大学交通学院多位老师的关心与帮助,在此一并表示衷心感谢!本书的出版得到了江苏省自然科学基金项目(BK20140851)、河海大学中央高校基本科研业务费项目(2013B01314)的资助,在此深表感谢!

由于作者水平有限,书中不足之处,望广大读者予以批评指正。

作 者

2014年11月

于河海大学土木与交通学院

目 录

第1章 绪论	1
1.1 背景意义	1
1.2 本书内容框架	2
第2章 城市道路交叉口交通信号控制概述	3
2.1 基本概念	3
2.1.1 信号控制常规概念	3
2.1.2 交通信号系统参数	3
2.2 城市道路交叉口交通信号控制分类	5
2.2.1 按照信号控制区域分类	5
2.2.2 按照信号控制对象分类	6
2.2.3 按照信号控制方式分类	7
第3章 常规信号灯设置条件	8
3.1 交通信号灯设置条件梳理	8
3.1.1 美国标准相关内容简介	8
3.1.2 国内标准相关内容简介	13
3.2 信号设置阈值曲线	16
3.2.1 研究思路	16
3.2.2 延误分析	17
3.2.3 无信号控制交叉口车均延误模型	20
3.2.4 信号控制交叉口车均延误模型	25
3.2.5 流量阈值曲线	26
3.3 信号灯设置条件修正	30
3.3.1 研究思路	30
3.3.2 定性分析	31
3.3.3 定量修正	33
3.4 常规信号灯设置判别流程	37
3.4.1 安全方面	38

3.4.2 效率方面	39
3.5 实例计算	40
第4章 公交优先信号灯设置条件	43
4.1 研究思路	45
4.2 延误分析	46
4.2.1 车辆运行特征分析	46
4.2.2 公交车辆延误分析	47
4.2.3 社会车辆延误分析	47
4.3 流量阈值模型	48
4.3.1 车均延误变化模型	48
4.3.2 修正延误模型	50
4.3.3 流量阈值模型	50
4.4 阈值模型标定	52
4.4.1 饱和流量	52
4.4.2 公交车辆车均乘客数	53
4.4.3 社会车辆车均乘客数	53
4.4.4 公交优先信号灯最大延长时间	54
4.4.5 社会车辆可达性系数	54
4.5 阈值曲线及变量影响分析	54
4.5.1 阈值曲线	55
4.5.2 模型变量影响分析	60
4.6 公交优先信号灯设置判别流程	63
4.7 实例计算	64
第5章 单点交叉口交通信号控制	67
5.1 信号配时设计流程	67
5.2 信号相位相序设置	69
5.2.1 设置步骤与影响因素	70
5.2.2 设置规则	70
5.2.3 NEMA 相位标准	71
5.3 信号控制参数计算	75
5.3.1 参数分析	75
5.3.2 计算方法	76
5.3.3 实例计算	82

5.4 信号控制服务水平分析	85
5.4.1 服务水平标准	85
5.4.2 延误计算方法	85
5.5 信号控制系统仿真	86
5.5.1 仿真模型	86
5.5.2 仿真软件	87
第6章 交通信号协调控制	90
6.1 干线交通信号协调控制	90
6.1.1 线控系统参数	90
6.1.2 线控系统分类	91
6.1.3 线控系统影响因素	94
6.1.4 线控系统配时设计	97
6.1.5 线控系统相位差优化	100
6.2 区域交通信号协调控制	103
6.2.1 面控系统分类	104
6.2.2 面控系统介绍	104
参考文献	107

第 1 章 绪 论

1.1 背景意义

随着我国国民经济的高速发展和城市化进程的加快，小汽车逐步进入家庭，城市机动车拥有量急剧增加，尤其在大城市，机动车拥有量增速更快。城市机动车数量的高速增长，使得城市道路拥堵不堪，同时还给城市带来了巨大的交通安全隐患和污染源，并在很大程度上影响了城市经济的进一步发展和人民生活水平的提高。近年来，我国道路交通安全状况虽有所改善，但交通事故造成的损失仍十分巨大，交通安全形势不容乐观。此外，随着城市机动车数量的增加，机动车尾气排放量逐年增加，北京市机动车排放的一氧化碳、碳氢化合物、氮氧化物已占总排放量的 40% ~ 75%，广州市与交通有关的一氧化碳排放量已占总排放量的 87%，机动车尾气已经成为我国城市大气污染的主要污染源。据估计，美国每年因交通拥堵所造成的经济损失高达 680 亿美元。根据中国社科院数量经济与技术经济研究所张国初的分析，若以每天 200 万人乘车计算，北京市一天因堵车造成的损失就高达 4000 万元人民币。城市道路交通拥堵、交通事故频发、交通污染严重等问题与城市机动车无序运行、缺乏合理组织引导关系密切。加强对城市机动车的管理，使其安全、有序地运行是缓解我国城市交通拥堵、提高交通安全性、减少交通污染的有效措施，这一点既是国际经验，也已成为我国各级政府的共识。研究城市机动车交通管理技术，使城市机动车安全、有序运行已成为我国城市交通发展的当务之急，同时也是我国社会经济发展的重大需求。

城市道路交叉口是城市道路网络的基本节点，交通流的中断主要发生在此；城市道路交叉口也是城市道路网络交通流的瓶颈所在，交通阻塞也多发生于此。据调查，日本大城市中，机动车的行驶时间有 1/3 消耗在平面交叉路口范围内，可以说道路交叉口是制约道路网络通行能力和运输效率发挥的瓶颈点。同时，道路交叉口也是交通事故与交通冲突的主要发生点。交通事故统计资料显示，日本与美国的交通事故分别有 60% 和 80% 发生在道路交叉口范围内，我国城市交通事故也较多地发生在道路交叉口范围内。由于机动车在通过道路交叉口时一般都会出现减速（或停车）再加速的过程，这个过程将使机动车产生较多的燃油消耗并产生较为严重的噪声污染，所以道路交叉口还是机动车燃油消耗与尾气排放的主要影响区域。因此，城市道路交叉口是城市交通拥堵、交通事故频发及交通

污染等交通问题的主要发生区域。城市道路交叉口的交通问题，归根到底是道路交叉口交通控制方式不合理、控制方法不得当的问题。城市道路交叉口是否需要设置信号灯、如何设置信号灯等问题已成为能否缓解城市交通问题所要面临的首要难题。如果对不需要设置信号灯的道路交叉口设置信号灯，将大大增加车辆在道路交叉口范围内的交通延误，降低道路交叉口交通运行效率；反之，如不对需要设置信号灯的道路交叉口设置信号灯，将导致该交叉口交通运行混乱，造成较为严重的交通安全隐患。如果信号灯配时不当，也将造成道路交叉口通行效率低下，影响道路交通流高效通行。因此，研究城市道路交叉口信号灯设置相关问题是缓解道路交叉口交通拥堵、减少交通事故、降低交通污染的当务之急。对城市道路交叉口信号控制相关问题的研究将进一步完善道路交叉口信号控制相关理论体系，具有重要的理论意义；还可以有效提高机动车在道路交叉口的运行效率，为交通管理者在信号灯设置方面的科学决策提供现实依据，产生巨大的实用价值。

1.2 本书内容框架

本书通过对城市道路交叉口信号控制概述的分析，研究介绍城市道路交叉口信号灯（常规信号灯和公交优先信号灯）设置条件及设置条件的确定过程，并介绍信号灯（单点控制、线控、面控）配时及优化方法，为交通管理者的实际操作提供参考。

本书按图 1-1 所示的流程框架对城市道路交叉口信号控制相关内容进行介绍。

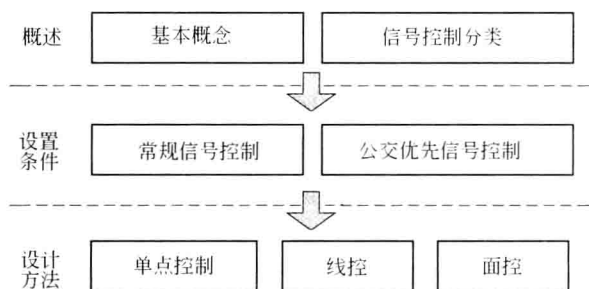


图 1-1 本书内容框架图

总而言之，本书主要从以下三个方面对城市道路交叉口信号灯控制相关内容进行介绍：

- (1) 什么是城市道路交叉口交通（信号）控制；
- (2) 什么条件下需要设置城市道路交叉口信号控制装置；
- (3) 如何设置城市道路交叉口信号控制装置（系统）。

第 2 章 城市道路交叉口交通信号控制概述

2.1 基本概念

2.1.1 信号控制常规概念

交通信号灯 (traffic signal light): 由红色、黄色、绿色的灯色按顺序排列组合而成的显示交通信号的装置。

绿灯时间 (green time): 一个相位所获得的绿灯显示时间。绿灯表示允许车辆或行人通行。

黄灯时间 (yellow time, amber time): 一个相位所获得的黄灯显示时间。黄灯是警示驾驶员注意前方即将发生的路权变化。

红灯时间 (red time): 一个相位所获得的红灯显示时间。红灯表示禁止车辆或行人通行。

交通信号灯组 (traffic signal light group): 一个完整的车辆红、黄、绿三头灯或行人红、绿双头灯的组合 (如图 2-1 所示)。

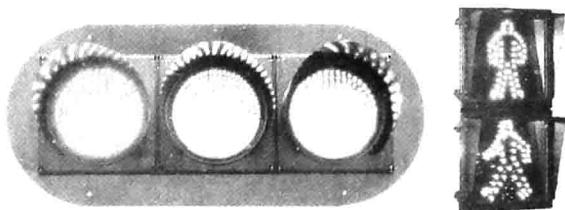


图 2-1 交通信号灯组

交通信号控制 (traffic signal control): 利用交通信号灯对道路上运行的车辆和行人进行指挥。

城市交通信号控制系统 (urban traffic signal control system): 由路口信号设备、检测设备、通信设备、控制计算机及相关软件组成的用于城市道路交通控制的系统。

2.1.2 交通信号系统参数

信号相位 (signal phase): 在一个信号周期内同时获得通行权的一个或多个交通

流的信号设置状态。

两相位控制(two phase control):在一个周期内使用两个相位进行控制的控制方式(如图2-2所示)。

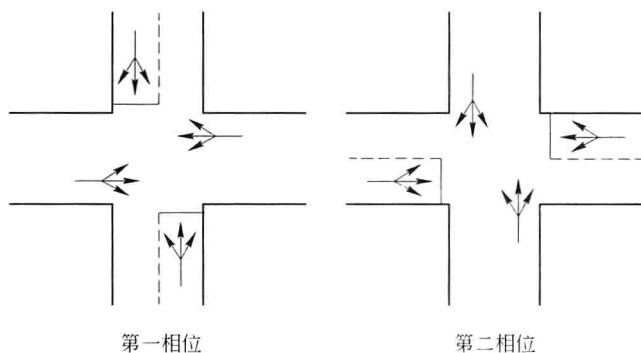


图2-2 两相位信号控制方案

多相位控制(multiple phase control):在一个周期内使用三个或三个以上相位进行控制的控制方式。三相位控制如图2-3所示。

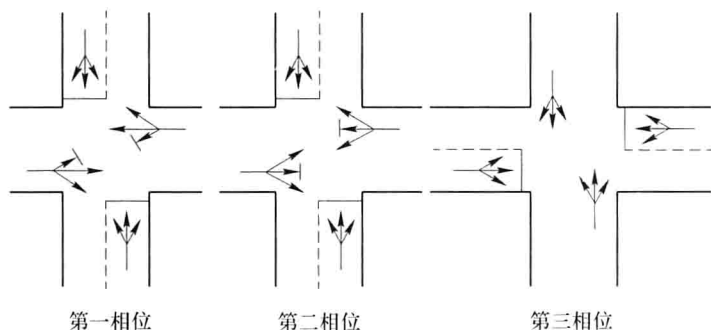


图2-3 三相位信号控制方案

周期(cycle time):信号灯色按设定的相位顺序显示一个完整的时序过程。

相位差(offset):协调控制中,制定的参照交叉路口与其他路口协调相位的绿灯起始时间或结束时间之差。

绿信比(split):在一个信号周期内,绿灯相位时间与周期时间之比。

有效绿灯时间(effective green time):在实际显示的绿灯时间内,除去损失时间外,其他可供车辆通行所使用的绿灯时间。

绿灯间隔时间(intergreen time):互相冲突的一股交通流的绿灯结束时刻和下一股交通流的绿灯开始时刻之间的时间间隔,包括黄灯时间和红灯清空时间。

红灯清空时间(red clearance):发生在一个相位的黄灯结束之后和下一个相

位绿灯时间启动之前的时间间隔,也称为全红时间(all-red)。全红时间用来清空在黄灯时间内进入交叉口的车辆,以便不影响下一个相位的放行。信号控制参数之间关系如图2-4所示。

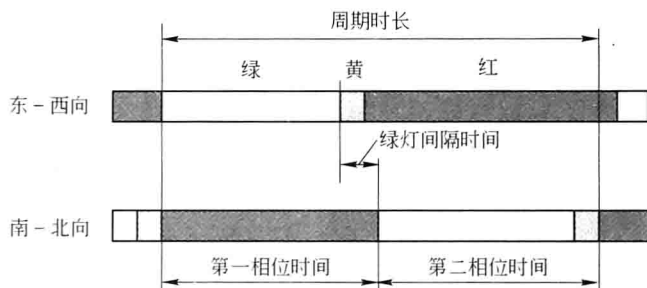


图2-4 两相位信号配时图

损失时间 (lost time): 由于信号在相位变换时不可避免地会造成时间损失(比如绿灯刚亮起,驾驶员的反应有些迟疑;绿灯将要结束时,驾驶员放缓车速停车等待),在这个时间内任何车辆都不能通行,这段时间称为损失时间。

延误 (delay): 车辆通过交叉口或路段所需的时间和正常行驶同样距离所需时间的差值。

排队长度 (queue length): 交叉口停车线后排队的车辆数或所占道路的长度。

停车次数 (number of stops): 车辆在通过交叉口时受到信号控制影响而停车的次数。

2.2 城市道路交叉口交通信号控制分类

2.2.1 按照信号控制区域分类

按照信号控制区域不同,可将城市道路交叉口交通信号控制分为单点交叉口信号控制、干线信号协调控制、区域信号协调控制。

2.2.1.1 单点交叉口信号控制

单点控制 (isolated control) 是指由单个交叉口信号机自主控制的方式。

2.2.1.2 干线信号协调控制

干线信号协调控制 (arterial coordinate control) 是指把一条道路上多个相邻交叉口的交通信号协调起来加以控制的方式,也称为线控(如图2-5所示)。

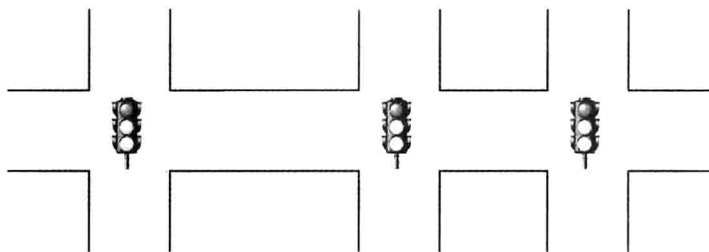


图 2-5 干线信号协调控制

2.2.1.3 区域信号协调控制

区域信号协调控制 (area coordinate control) 是指把城市中某一区域内多个交叉口交通信号协调起来加以控制的方式, 也称为面控 (如图 2-6 所示)。

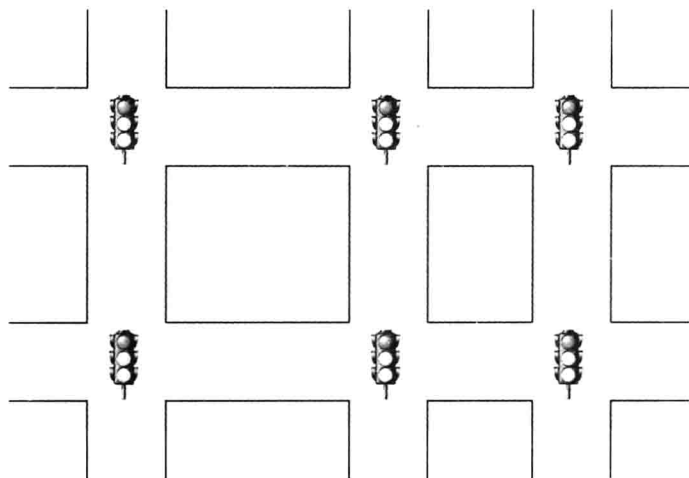


图 2-6 区域信号协调控制

对于面控系统来说, 将根据其所控制范围的大小, 采取不同的控制策略。对于范围较小的区域, 可以采用整区集中控制; 对于范围较大的区域, 可以采用分区分级控制。

2.2.2 按照信号控制对象分类

按照信号控制对象的不同, 可将城市道路交叉口交通信号控制分为机动车信号灯控制和行人或非机动车信号灯控制。

2.2.2.1 机动车信号灯控制

机动车信号灯是指控制机动车在交叉口处通行的信号控制装置。可针对不同的车型（比如专门控制公交车辆通行的信号灯）分别进行信号控制。

2.2.2.2 行人或非机动车信号灯控制

行人或非机动车信号灯是指控制行人或非机动车通过交叉口的信号控制装置。一般来说，交叉口处鲜有非机动车信号灯，非机动车一般可按照通行方向的行人信号灯指示通过交叉口。

2.2.3 按照信号控制方式分类

按照信号控制方式的不同，可将城市道路交叉口交通信号控制分为固定周期信号灯控制、感应式信号灯控制、自适应式信号灯控制。

2.2.3.1 固定周期信号灯控制

固定周期信号灯是指信号灯周期固定，不会随着交通流量的变化而自行改变信号周期的信号控制装置。

2.2.3.2 感应式信号灯控制

感应式信号灯是指根据检测器检测到的交通流量来确定信号周期的信号控制装置。

2.2.3.3 自适应式信号灯控制

自适应式信号灯是指根据交叉口上下游中检测到的车流量，利用交通算法来预测该交叉口交通流量，并根据预测结果实时调整该交叉口信号周期的信号控制装置。

第3章 常规信号灯设置条件

对于城市道路交叉口（以下简称交叉口）来说，并非所有交叉口都适合采用交通信号控制。如果对不需要设置信号灯的交叉口设置信号灯，将大大增加车辆在交叉口范围内的交通延误，降低交叉口交通运行效率；反之，如不对需要设置信号灯的交叉口设置信号灯，将导致交叉口交通运行混乱，造成较为严重的交通安全隐患。因此，研究交叉口信号控制设置条件十分必要。

3.1 交通信号灯设置条件梳理

3.1.1 美国标准相关内容简介

美国《交通控制设施手册》（Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways, MUTCD）对交叉口信号灯设置条件做了详细规定，在交叉口、路段机动车与行人流量，交通安全等方面形成了较为系统的信号灯设置条件，同时也定性研究了学校、铁路道口等交通环境对信号灯设置的影响。

3.1.1.1 交叉口、路段机动车与行人流量方面

在交叉口、路段机动车与行人流量方面，MUTCD 分别从以下方面研究了信号灯设置条件。

A 8 小时车流量

MUTCD 分别从主路车流通行效率、次路车流通行权利这两个方面出发，研究了任意连续 8 小时平均小时交通流量（小时流量）与信号灯设置条件之间的关系。

a 主路车流通行效率方面

对于主支路交叉口来说，同等情况下应该更好地保障交叉口主路车流的通行效率。因此，当交叉口主路、次路车流量达到一定的流量时（彼此之间会产生较大影响），需要通过设置信号灯来合理安排主、次路车流通行。当主、次路车流任意连续 8 小时平均车流量达到表 3-1 中 100% 车流量所对应的数值时，需要设置信号灯。对于主路车速超过 65km/h，或者该区域内人口少于 10000 人时，只要主、次路车流量达到表 3-1 中 70% 车流量所对应的数值时，就需要设置信号灯。

表 3-1 8 小时车流量基本条件 (主路车流通行效率方面)

进口车道数量		主路双向车流量		次路较大单向车流量	
主路	次路	100%	70%	100%	70%
1	1	500	350	150	105
≥2	1	600	420	150	105
≥2	≥2	600	420	200	140
1	≥2	500	350	200	140

b 次路车流通行权利方面

对于无信号控制主、次路交叉口来说,当主路车流量增加到一定条件时(主路车流饱和程度较高,接近饱和),次路车流很难找到合适的穿越间隙来通过交叉口。为了保障次路车流能够拥有通过交叉口的通行权利,需要设置信号灯来明确交叉口次路车辆的通行时间。当主、次路车流任意连续 8 小时平均车流量达到表 3-2 中 100% 车流量所对应的数值时,需要设置信号灯。对于主路车速超过 65km/h,或者该区域内人口少于 10000 人时,只要主、次路车流量达到表 3-2 中 70% 车流量所对应的数值时,就需要设置信号灯。

表 3-2 8 小时车流量基本条件 (次路车流通行权利方面)

进口车道数量		主路双向车流量		次路较大单向车流量	
主路	次路	100%	70%	100%	70%
1	1	750	525	75	53
≥2	1	900	630	75	53
≥2	≥2	900	630	100	70
1	≥2	750	525	100	70

c 综合条件方面

对于一些交叉口,其主、次路交通流量介于上述两种情况之间,当交叉口的主、次路车流量同时超过上述两种情况的 80%,即同时满足表 3-3 和表 3-4 中 80% 的车流量,则需要设置信号灯。对于主路车速超过 65km/h,或者该区域内人口少于 10000 人时,只要主、次路车流量达到表 3-3 与表 3-4 中的 56% (即 80% 流量的 70%) 车流量所对应的数值时,就需要设置交叉口信号灯。

表 3-3 8 小时车流量综合条件 (主路车流通行效率方面)

进口车道数量		主路双向车流量		次路较大单向车流量	
主路	次路	80%	56%	80%	56%
1	1	400	280	120	84
≥2	1	480	336	120	84