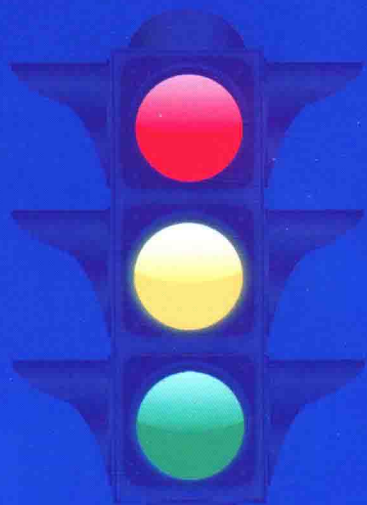


城市交通 信号控制

李瑞敏 章立辉 编著



清华大学出版社

城市交通信号控制

李瑞敏 章立辉 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书在介绍城市交通信号控制经典理论的基础上,从提高整书的系统性和先进性的角度出发,设置以下主要内容信号控制设置方法、基础交通流理论、交叉口设计、交通流检测器、信号相位优化、单点配时设计、干线协调配时设计、公交信号优先、城市快速路控制、信号控制系统介绍、交通信号配时优化软件介绍、交通信号控制的实施及应用等方面。本书定位为较系统的城市交通信号控制参考书,可以作为相关课程的教材,亦可作为高等院校、科研机构、交通管理部门及企业单位中从事交通管理与控制相关工作的各类人员的参考读本。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

城市交通信号控制/李瑞敏,章立辉编著.--北京:清华大学出版社,2015

ISBN 978-7-302-41318-9

I. ①城… II. ①李… ②章… 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 186458 号

责任编辑:秦 娜

封面设计:陈国熙

责任校对:刘玉霞

责任印制:宋 林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:29.5 字 数:715千字

版 次:2015年11月第1版 印 次:2015年11月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:65.00元

产品编号:066163-01

前言

FOREWORD

秦治驰道,汉通西域,历经数千年,道路交通系统已成为“衣食住行”中“行”的最主要方式。近代的工业化发展彻底改变了生产力水平,也极大地推进了城镇化进程,目前中国生活在城市中的人口已经过半,且城镇化建设规模仍在不断扩大。与此同时,华夏神州车轮滚滚,九州大地之上小汽车已进入寻常百姓家。人口密集、经济发达的“城市”,更是聚集了高密度的机动车,机动车在为居民出行带来便利、舒适的同时,也导致了道路运行压力的不断增加,进而产生了困扰全体道路交通出行者的交通拥堵、交通事故、环境恶化等问题。

当前中国城市道路绝大部分为平面道路,由此产生了成千上万个平面交叉口。作为管理平面交叉口的最主要手段,信号控制近年来在中国城市中的应用发展迅猛。据估计,目前全中国年均增设、更新信号控制交叉口的数量已经过万,信号控制的优劣已经成为影响中国城市道路交通系统运行效率的重要因素。

从诞生之日起,城市道路交通信号控制在百余年的发展历程中不断革新,技术水平、控制理念不断进步,且随着城市道路交通系统的不断发展仍将不断改革更新,而近年来迅速发展的智能交通系统、多源交通信息采集技术等,也将为城市道路交通信号控制水平的不断提高提供强有力的支撑。

城市道路交通信号控制涉及众多方面的内容,除信号控制本身,信号控制运行的效率与交通组织、道路设计等方面密切相关。就信号控制内部而言也很复杂,既需要考虑基本的交通流模型、检测器设计等内容,也要能够从点、线、面等不同层面去优化相位方案、配时参数等;既需要考虑不断出现的新的控制内容如公交优先、快速路信号控制等,也要兼顾信息技术的发展而不断改进交通信号控制系统;更为重要的是交通信号控制运行的效果很大程度上依赖于科学合理的信号控制设计、建设及维护工作等。本书从上述的多个方面入手编写,以期能够为信号控制相关人员提供较为全面的知识体系,如科研人员、在校学生、交通管理人员、企业研发及工程人员等。

本书第1~3、5~8、10、11、13、14章由李瑞敏执笔完成,第4、9、12章由章立辉执笔完成。在本书成稿过程中,编者向国内外领域专家进行了咨询并得到了众多宝贵意见,主要包括北京工业大学李振龙、华南理工大学卢凯、中国城市规划设计研究院交通专业分院戴继锋、北京易华录信息技术股份有限公司栗红强、中国人民公安大学朱茵、合肥工业大学张卫华、同济大学马万经、precision system, inc 王建伟等。在此表示诚挚的感谢。

感谢清华大学出版社的秦娜编辑对本书的关注、支持、完善、建议以及辛苦的编校工作。本书的部分成果来自国家自然科学基金(50908125、71401025)、国家自然科学基金(71361130015)等项目,本书的出版得到了国家科技支撑计划课题(2014BAG03B03)的部分支持。

信号控制的研究成果用浩如烟海来形容恐怕也不为过,本书的内容只是作者多年来学习、研究、教学、实践中的一些所得,无法涵盖更多的范围。我国的城市交通信号控制所面临的状况又由于不同的发展阶段、不同的机动化程度、不同的城市特性而千差万别,仅期望本书能够为我国城市交通信号控制系统的改善略尽绵薄之力。

考虑到知识点的分布,本书编译了国外的一些研究成果,但由于国内外城市道路交通系统特性方面的差异,一些规则、参数未必能够直接适用于我国的城市道路交通信号控制,仅供学习时参考。

由于时间、学识所限,本书难免存有局限,希冀本书的读者能够给出完善的建议,作者的联系邮箱: lrmin@tsinghua.edu.cn,如需要与本书配套的课程 ppt,也可通过邮箱与作者联系。

第 1 章 概述	1
1.1 城市交通信号控制概述	1
1.1.1 交通控制类型	1
1.1.2 城市交通信号控制的目的	2
1.1.3 城市交通信号控制的作用	3
1.1.4 城市交通信号控制的历史与发展	4
1.2 交通信号控制分类	5
1.2.1 按控制范围划分	5
1.2.2 按控制方式划分	7
1.2.3 特殊的信号控制	10
1.3 设置交通信号控制的分析方法	11
1.3.1 概述	11
1.3.2 美国交通信号控制设置依据	11
1.3.3 德国交通信号控制设置依据	20
1.3.4 我国交通信号控制设置依据	20
1.3.5 其他	22
1.4 交通控制参数与概念	23
1.4.1 定时控制相关参数	23
1.4.2 感应控制相关参数	27
1.4.3 协调控制相关参数	30
1.4.4 其他相关概念及参数	32
思考题	34
参考文献	36
第 2 章 信号控制交通流基础理论	38
2.1 信号控制交叉口车辆运行基本规律	38
2.1.1 车辆行驶轨迹及排队	38
2.1.2 交通流量图	41
2.1.3 累积车辆图	41
2.1.4 排队累积图	43
2.2 饱和流率	43
2.2.1 饱和流率的测量与分析	43

2.2.2	饱和流率估算方法	46
2.2.3	饱和流率的其他影响因素	50
2.3	通行能力及饱和度	54
2.3.1	车道通行能力及饱和度	54
2.3.2	相位通行能力及饱和度	55
2.3.3	交叉口通行能力及饱和度	55
2.3.4	通行能力分析	57
2.4	关键车道	58
2.4.1	关键车道的基本概念	58
2.4.2	转弯流量等效因子	59
2.4.3	关键车道的识别	62
2.4.4	关键车道流量和最大值	65
2.4.5	确定恰当的周期长	67
2.4.6	案例	68
2.5	延误	70
2.5.1	延误类型	70
2.5.2	基本分析	71
2.5.3	信号控制延误的组成要素	74
2.5.4	稳态理论	75
2.5.5	定数理论	77
2.5.6	过渡函数曲线	80
2.5.7	HCM 中的延误模型	81
2.6	停车次数	81
2.6.1	基本分析	81
2.6.2	稳态理论	82
2.6.3	定数理论	83
2.6.4	过渡函数	83
2.7	排队长度	84
2.7.1	稳态理论	84
2.7.2	定数理论	84
2.7.3	过渡函数	84
2.7.4	绿灯开始时的平均排队长度	84
2.8	信号控制评价指标	85
2.8.1	概述	85
2.8.2	典型评价指标	86
2.8.3	行人评价指标	87
2.8.4	自行车评价指标	88
2.8.5	信号控制交叉口服务水平	89
2.8.6	交通控制评价方法	90

2.9 过饱和交通流状态	90
思考题	93
参考文献	95
第3章 交叉口渠化设计	96
3.1 交叉口渠化设计的基本规定	97
3.1.1 交叉口渠化设计的范围与内容	97
3.1.2 交叉口渠化设计的原则与要求	97
3.2 交叉口形状	99
3.2.1 交叉口进口方向数	99
3.2.2 道路夹角	99
3.2.3 视距	103
3.2.4 路缘石转弯半径	104
3.2.5 Y形交叉口	105
3.3 机动车交通组织设计	105
3.3.1 机动车道设计总体要求	105
3.3.2 左转交通设计	108
3.3.3 右转车道的设计	112
3.3.4 可变车道	113
3.3.5 可变进口道	114
3.4 自行车交通组织设计	115
3.4.1 基本原则	115
3.4.2 设计方法	115
3.5 行人交通组织设计	117
3.5.1 设计原则	118
3.5.2 行人过街横道设计	118
3.5.3 交叉口范围内的行人设施处理措施	119
3.5.4 路缘石坡道设计	124
3.6 交叉口内部空间交通组织设计	124
3.7 案例分析	126
3.7.1 典型交叉口案例	126
3.7.2 右转渠化案例	128
3.7.3 交叉口中的特殊情况	130
思考题	136
参考文献	137
第4章 交通流检测器	138
4.1 检测器类型	138
4.1.1 基本功能分类	138

4.1.2	检测原理分类	139
4.1.3	交通流检测器的性能	142
4.2	基本概念	143
4.2.1	单交叉口检测器布设	143
4.2.2	检测器运行模式	144
4.2.3	信号控制机内存模式	145
4.2.4	检测配置及参数	146
4.3	检测器布设	148
4.3.1	布设目标	148
4.3.2	布设内容及基本概念	148
4.3.3	低速交通流的线圈检测器设置	149
4.3.4	为高速直行交通流服务的检测器设置	151
4.4	不同控制方式的检测器设计	154
4.4.1	单点感应信号控制	154
4.4.2	城市干道及路网系统控制	157
4.4.3	路网检测器的典型布设	158
4.5	应用情景设计	161
4.5.1	基本的全感应控制检测器布设	161
4.5.2	流量-密度控制检测设计	161
4.5.3	行人检测	162
	思考题	163
	参考文献	163
第5章	交通信号相位设计	164
5.1	概述	164
5.1.1	基本概念	164
5.1.2	信号相位图	165
5.1.3	“环-隔离线”图	166
5.1.4	相位搭接	168
5.2	基本相位方案设计	169
5.2.1	影响因素	169
5.2.2	相位数量的选择	170
5.2.3	信号相位顺序	171
5.2.4	几种典型相位方案	172
5.3	左转相位设置	173
5.3.1	许可型左转相位	174
5.3.2	保护型左转相位	174
5.3.3	保护型-许可型左转相位	175
5.3.4	一个周期内两次左转	181

5.3.5 左转相位设置条件	182
5.4 行人相位	187
5.5 右转相位	188
5.6 T形交叉口	189
5.7 5盆或6盆交叉口	190
思考题	191
参考文献	191
第6章 单点信号控制	192
6.1 定时信号控制方案设计概述	192
6.1.1 所需数据	192
6.1.2 设计内容	193
6.1.3 设计流程	193
6.2 定时信号配时参数计算	195
6.2.1 周期长	196
6.2.2 绿信比	199
6.2.3 黄灯时间及全红时间	201
6.2.4 行人相位	208
6.2.5 损失时间计算	210
6.2.6 组合信号配时	212
6.3 感应控制	212
6.3.1 交通感应信号控制的基本原理	214
6.3.2 交通感应信号控制的基本参数	215
6.3.3 检测器位置	224
6.3.4 感应控制类型	225
6.3.5 流量-密度控制	228
6.4 信号交叉口分析	229
思考题	230
参考文献	234
第7章 干线协调控制	236
7.1 干线协调控制目标与类型	237
7.1.1 干线协调控制目标	237
7.1.2 干线协调控制类型	237
7.2 干线协调控制基础	238
7.2.1 时距图	238
7.2.2 左转相位的影响	241
7.2.3 干线控制的主要参数	242
7.2.4 交通流协调联动类型	249

7.3	协调条件	250
7.3.1	影响因素	250
7.3.2	子区划分方法	251
7.4	干线协调控制基本类型	254
7.4.1	单向协调	254
7.4.2	双向协调	254
7.4.3	案例分析	259
7.4.4	配时方案转换模式	265
7.5	干线协调控制参数计算方法	266
7.5.1	干线协调控制配时所需的数据	266
7.5.2	干线协调控制配时步骤	266
7.5.3	干线协调控制相位差基本计算方法	268
7.6	影响干线信号协调控制效果的因素	276
7.7	干线协调控制的联结方法	281
	思考题	283
	参考文献	283
第8章	公交优先信号控制	285
8.1	概述	285
8.1.1	交通信号优先类型	285
8.1.2	公交信号优先的目标	287
8.1.3	公交信号优先的影响因素	288
8.1.4	公交信号优先控制所需要的信息	288
8.1.5	公交信号优先控制可能的局限性	289
8.2	公交信号优先方法	289
8.2.1	被动优先	289
8.2.2	主动优先	290
8.2.3	实时自适应优先控制	290
8.2.4	信号的恢复与转换	291
8.2.5	无条件/有条件优先	291
8.3	系统构成与系统类型	292
8.3.1	系统总体构成	292
8.3.2	系统类型	295
8.4	公交信号优先系统结构	297
8.4.1	分布式系统结构	298
8.4.2	集中式系统	300
8.5	优先策略	303
8.5.1	基于运行时刻表	303
8.5.2	基于车头时距	304

8.5.3 基于配时方法·····	304
8.6 公交信号优先项目的实施·····	306
8.6.1 实施步骤·····	306
8.6.2 实施事项·····	306
8.6.3 辅助措施·····	307
8.7 信号控制系统中公交信号优先模块发展情况·····	308
8.8 应用情况·····	311
思考题·····	313
参考文献·····	313
第9章 城市快速路控制 ·····	315
9.1 匝道控制·····	315
9.1.1 匝道信号控制·····	316
9.1.2 其他匝道控制方法·····	323
9.2 主线控制·····	327
9.2.1 快速路主线的交通流特征·····	328
9.2.2 限速控制方法·····	329
思考题·····	336
参考文献·····	336
第10章 交通信号控制系统基本原理 ·····	337
10.1 发展历程·····	337
10.2 信号控制系统组成·····	341
10.3 交通信号控制系统结构·····	343
10.3.1 分布式系统·····	343
10.3.2 集中式系统·····	344
10.3.3 多层分布式控制系统·····	346
10.4 交通信号控制系统分类·····	348
10.5 自适应交通控制系统的特性对比·····	348
10.6 信号控制系统的发展方向·····	351
10.6.1 信号控制系统的发展特点·····	351
10.6.2 信号控制系统的发展趋势·····	352
10.6.3 信号控制系统的适应性问题·····	354
思考题·····	354
参考文献·····	354
第11章 典型交通信号控制系统 ·····	355
11.1 SCOOT 系统·····	356
11.1.1 SCOOT 基本原理·····	357

11.1.2	系统架构	357
11.1.3	SCOOT 优化过程	358
11.1.4	SCOOT 的扩展功能	362
11.1.5	SCOOT 系统的特点	362
11.2	SCATS 系统	363
11.2.1	SCATS 系统的结构	363
11.2.2	SCATS 的子系统及关键参数	364
11.2.3	SCATS 的参数优化	365
11.2.4	SCATS 的特点	366
11.2.5	SCOOT 系统与 SCATS 系统的分析与比较	367
11.3	SPOT/UTOPIA 系统	368
11.3.1	SPOT	369
11.3.2	UTOPIA	370
11.3.3	中心软件	371
11.3.4	交互和监视工具	372
11.3.5	SPOT/UTOPIA 系统特点	373
11.4	MOVA	374
11.4.1	MOVA 概述	374
11.4.2	MOVA 控制原理	375
11.4.3	过饱和控制原理	377
	参考文献	379
第 12 章	交通信号优化软件	380
12.1	Synchro Studio	380
12.1.1	主要模块	380
12.1.2	Synchro 的主要功能	381
12.1.3	SimTraffic 的主要功能及特点	383
12.2	PASSER	384
12.2.1	PASSER II-02	384
12.2.2	PASSER III-98	386
12.2.3	PASSER IV-96	387
12.2.4	PASSER V-09	388
12.3	OSCADY PRO	391
12.3.1	简介	391
12.3.2	OSCADY PRO 的功能	391
12.3.3	关键模块及模型	392
12.3.4	数据输入	393
12.4	TRANSYT	395
12.4.1	概述	395

12.4.2	仿真模型	395
12.4.3	优化原理与方法	397
12.4.4	TRANSYT 15	399
12.4.5	TRANSYT 7F-10	400
12.5	CROSSIG	404
12.5.1	CROSSIG 的功能与特点	404
12.5.2	CROSSIG 优化的简要流程	405
12.5.3	CROSSIG 中信号配时参数的确定方法	406
12.5.4	CROSSIG 信号配时设计流程	406
12.6	信号控制优化软件选择	407
12.6.1	各软件对比分析	407
12.6.2	软件选择	407
12.7	微观交通仿真软件	408
	参考文献	410
第 13 章	交通信号控制机	411
13.1	交通信号控制机构成及功能	412
13.1.1	交通信号控制机的构成	412
13.1.2	交通信号控制机的基本功能	417
13.2	信号机类型	417
13.2.1	基本类型	417
13.2.2	国外信号机类型	418
13.2.3	NEMA 标准	420
13.2.4	Model 170 型信号控制机	421
13.2.5	ATC 标准	423
13.3	我国的交通信号控制机发展及现状	426
13.3.1	发展历程	426
13.3.2	相关标准	426
13.3.3	现状	428
	思考题	428
	参考文献	429
第 14 章	交通信号控制的实施及应用	430
14.1	影响因素	430
14.1.1	地点位置	430
14.1.2	路网特点	430
14.1.3	交叉口几何特征	431
14.1.4	出行需求特点	431
14.2	信号控制类型的选择	432

14.2.1	国内的原则	432
14.2.2	国外经验	433
14.2.3	信号控制系统的选择	435
14.3	自适应交通信号控制系统的实施	435
14.4	交通信号配时优化的实施	437
14.4.1	信号配时优化的宏观思路	437
14.4.2	信号配时优化的工作流程	439
14.4.3	信号配时优化流程实例	441
14.5	交通信号控制的维护	449
14.5.1	交通信号运行维护	449
14.5.2	日常维护	452
	思考题	455
	参考文献	455

第1章

概 述

1.1 城市交通信号控制概述

进入 21 世纪以来,我国的城市化、机动化进程不断加快,城市道路网络迅速扩大,小汽车保有量以每年 10%~20% 的速度增长,导致城市道路交通拥堵状况逐渐加剧。在城市路网中城市平面交叉口作为道路相交点,往往成为城市道路网络交通流运行的瓶颈,作为城市平面交叉口的主要控制方式,城市交通信号控制在城市道路交通管理中受到越来越多的关注。

交通信号控制是在无法实现道路交通流空间分离的地方(主要为平面交叉口),用来在时间上给相互冲突的交通流分配通行权的一种交通管理措施。根据美国相关研究的估计^[1],在典型城市区域,全部机动化出行中,接近 2/3 的车辆公里数和超过 2/3 的车辆小时数是在交通信号控制下的交通基础设施上完成的,因此,作为城市交通管理的重要手段,交通信号控制的质量水平在很大程度上决定了城市道路网络机动车交通流的运行质量。

根据 2013 年美国国家公路交通安全管理局(National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA)的统计^[2],2012 年美国 25.2% 的碰撞事故和 28.1% 的伤亡人员与信号控制交叉口的车辆碰撞有关。美国联邦公路管理局(Federal Highway Administration, FHWA)的研究表明在良好的环境下,安装交通信号能够降低交叉口车辆碰撞的次数和严重性,但是设计不良的交通信号控制则会对交通安全产生负面影响,因此交通管理人员需要仔细地设计、安装和运行交通信号控制^[3]。

交通信号控制需要,同时考虑提高安全、降低延误、停车次数、燃油消耗、尾气排放等目标,因此,交通信号配时需要系统性的优化。美国联邦公路管理局估计美国约有一半的交通信号控制需要改善^[4]。然而,人工方式的配时优化比较耗时耗力,故近几十年来的发展重点集中在了各种各样的自适应交通信号控制方法与系统的研究。

1.1.1 交通控制类型

目前,在众多城市道路网络中,大部分或全部的道路交叉口都为平面交叉口,而当两股不同流向的交通流同时通过交叉口中空间某点时,就会产生交通冲突,该点即为冲突

点。城市道路平面交叉口管理的重点即是如何在时间和空间上减少交通冲突点或降低冲突等级。

总体而言,目前应用的平面交叉口控制类型可以分为三级:基本规则控制、减速让行与停车让行控制及交通信号控制^[5]。

基本规则控制:在通过没有交通信号灯、交通标志、交通标线或者交通警察指挥的交叉口时,应当减速慢行,并且让行人和优先通行的车辆先行。基本规则控制关键是要满足道路交叉口的视距三角形,在不满足视距三角形的情况下,可以有三种处理方式:①改为其他控制方式;②降低入口车速;③移除影响视距三角形的障碍物。目前实际应用中很少存在没有任何标志、标线的道路交叉口。

减速让行与停车让行控制:减速让行控制是指进入交叉口的次要道路车辆,不一定需要停车等候,但必须放慢车速瞭望观察,让主要道路车辆优先通行,寻找可穿越或汇入主要道路车流的安全“空档”机会通过交叉口,减速让行控制一般用在与交通量不太大的主要道路相交的次要道路交叉口及快速道路入口匝道与主线相交处。减速让行控制的一个比较典型的交叉口类型是环岛,环岛的设计使得驾驶员进入环岛交叉口时必须减速,现代环岛的通行规则为:准备进入环形交叉口的让已在交叉口内的机动车先行,即当驾驶员判断环岛内运行的车流间的车头间距能够让环岛外的车辆安全驶入时才能够进入环岛。环岛将十字交叉口的冲突点转变为合流点与分流点,能够减少十字路口经常出现的直角正碰的事故。停车让行控制是指进入交叉口的次要道路车辆必须在停车线以外停车观察,确认安全后,才准许通行,停车让行控制按相交道路条件的不同分为单向停车控制和双向停车控制。

交通信号控制:在道路空间上无法实现分离原则的地方,主要是在平面交叉口上,用来在时间上给相互冲突的交通流分配通行权的一种交通管理措施。

1.1.2 城市交通信号控制的目的

城市交通信号控制的主要目的是通过实施交通信号控制可以把发生冲突的交通流从时间和空间上进行分离,从而改善交通秩序、增加交通安全,同时调整交叉口通行能力以适应交通流的变化。交通基础设施供给的刚性与交通需求的弹性之间的差异是交通信号控制发挥作用的空间。

概括而言,交通信号控制的两个主要目的是:安全和效率。安全有时可能会被牺牲来实现效率的改善和满足更大的交通需求,但是事实上通过完善的交通信号控制可以同时实现这两个目标。

城市交通信号控制的具体目标往往包括:①减少交叉口的交通拥堵;②最大化交叉口通过量;③限制最长红灯时间;④使信号控制容易被交通参与者理解等。在特殊情况下,可以考虑如下一些可选的目标,如①公交优先;②自行车优先;③绿波协调;④形成连续通行的车队等。

交通信号控制的目标往往由于地区的不同而有所不同,例如在城市的中央商务区(Central Business District, CBD),行人和公交车的量比较大,在进行信号控制时必须对此进行充分的考虑。对于城市的一条主要道路而言,可能信号控制的目标是该道路上的运行