doi:10.16018/j.cnki.cn32-1650/n.201901010

# 基于绿灯时间的交通子区划分

谢一明

(无锡安邦电气股份有限公司,江苏无锡 214112)

摘要:针对传统交通子区划分方法对协调系统中车流运行状态分析不够透彻导致车流量与协调 系统公共周期不匹配的缺陷,将实际交通量转换成系统公共周期下的协调交通量,通过协调系 统中车流散布密度进行初级子区划分;分析协调系统车流进入影响因素及运行时协调相位绿灯 间相互作用关系,提出基于绿灯时间的交通子区划分方法;对划分出的交通子区协调相位差求 解提出切合实际的求解方法,对子区间协调时相位差调整提出合理计算方法,并以双向绿波带 宽和最大为目标函数,寻求最佳相位差;最后选取实例利用 Vissim 软件对进行仿真验证。仿真 结果表明,划分出的交通子区协调控制效果优于传统分区的协调控制效果。

关键词:干线协调;车流散布密度;绿灯时间;相位差;Vissim

中图分类号:U491 文献标识码:A 文章编号:1671-5322(2019)01-0051-06

随着现代城市发展,交通拥堵现象日趋严重。 为缓解日益拥堵的交通,研究人员从系统角度出 发,将众多交叉口进行干线协调控制,同时将众多 交叉口的干线协调系统划分成若干控制子区,以 取得较好的干线协调、区域协调的控制效果。

杨洁等<sup>[1]</sup>从路网结构、信号控制方案及交通 流离散性对交通子区划分影响的角度,构造路径 关联指标,实现交通子区划分:卢凯等<sup>[2]</sup>基于周 期与流量变化关系构造自己的一套计算相邻信号 交叉口间关联程度的公式,利用降维处理和遗传 算法进行寻优处理,达到快速划分交通路网的目 的;梁杰<sup>[3]</sup>在前人研究车队离散模型的基础上, 通过修正离散系数、选取合适的指标对象,将车队 离散程度量化,用于中国混合交通子区划分研究: 别一鸣等[4]通过梳理前人关于交通子区划分问 题的文献,多角度挖掘影响交通子区划分问题的 因素,分别从策略层、理论层、算法层考虑交通子 区划分问题,形成自己的一套较为系统的交通子 区划分策略;别一鸣等<sup>[5]</sup>专门探究相邻交叉口周 期差异对信号交叉口间关联程度的影响,通过提 高关联程度计算精度,为交通子区划分提供理论 依据;赵伟明等<sup>[6]</sup>借助 synchro 软件中的协调因 子进行交通子区划分,探究交通子区划分对协调 控制的影响。以上研究成果多集中于交叉口间关 联程度关系的探讨上,对进入干线协调系统车流 量的影响因素把握不准,划分出的交通子区协调 控制参数未进行优化标定,且交通控制子区间相 位差调整处于盲区,导致预期协调效果与实际协 调效果相差较大,协调效果单位周期内不稳定,协 调效果不佳。

针对上述研究成果的不足,本文依据系统公 共周期调整协调系统内交叉口流量,对整体协调 道路网首先依据车流在路段上的散布密度进行初 划分;通过分析协调相位绿灯时间内通过车流量 的构成及影响因素,利用端点交叉口协调相位绿 灯时间对协调道路网进一步划分得到交通子区; 对每个交通子区系统周期进行优化,同时对其相 位差进行调整;借助双向交通流量关系及绿波带 宽关系对交通子区间相位差调整这一难题进行进 一步优化,使得双向绿波带宽和最大。

#### 1 交通子区划分

#### 1.1 基于车流散布密度的子区初划分

交通子区划分时需要对各个信号交叉口流 量、各相位的绿灯时间、车道宽度、车道数量、停车 线间距离等信息进行调查,并依据所调查的流量

收稿日期:2018-10-24

作者简介:谢一明(1980—),男,江苏无锡人,工程师,主要研究方向为城市交通信号控制。

和车道的饱和流量,借助经典 webster 法计算各信 号交叉口最佳周期时长及各相位绿灯时长。如果 所需要协调的道路网全部在同一个交通子区时, 可利用下面的公式(3)、(4)求得系统公共周期及 各相位的绿灯时长。在周期、协调相位绿灯时长 发生变化时需要更新现有周期下调查的流量 Q<sub>i,i+1</sub>,在理想状况下,设定在有效绿灯时间内通 过交叉口的流量与有效绿灯时长成正比关系。在 更换周期后,协调相位流量变换如下:

$$L_{i} = \sum_{j=1}^{n} (t_{i} + I_{i,j} - A_{i,j})$$
(1)

$$Y_{i} = \sum_{j=1}^{n} \frac{q_{i,j}}{s_{i,j}}$$
(2)

$$C_i = \frac{1.5L_i + 5}{1 - Y_i}$$
(3)

$$g_i = (C_i - L_i) \frac{y_i}{Y_i} \tag{4}$$

$$g'_{i} = C - L_{i} - (C_{i} - L_{i}) \frac{\sum_{i=1, j \neq i} y_{i}}{Y_{i}} - \Delta$$
 (5)

$$Q'_{i,i+1} = Q_{i,i+1} \frac{g_i}{g_i}$$
 (6)

式中: Q<sub>i</sub>, 是交叉口 i 到 i +1 方向更换系统 周期后设定的交通流量, pcu/s; g; 是交叉口 i 由 原来的周期 C. 变成系统周期 C 后的协调相位有 效绿灯时长,s; $Y_i$ 是交叉口i的饱和度; $L_i$ 是交叉 口 i 信号方案的总损失时间,s;  $s_{ij}$  是交叉口 i 第 j相位的饱和流量, pcu/s;  $q_{i,i}$  是交叉口 i 第 j 相位 现有周期内通过的流量, pcu/s;  $\Delta$  是协调相位与 其余相位之间的补偿变量,依据信号交叉口的线 型及车流运行的实际情形取定,s。

在流量发生变化后,整体道路网在同一个交 通子区内协调时流量在路段上的散布密度计算公 式如下:

相邻信号交叉口由上行路段与下行路段的双向路 段连接,其散布密度计算公式如下:

$$\rho_{i,i+1}^{non} = \frac{Q_{i,i+1}}{Q_{i,i+1}'} \rho_{i,i+1} + \frac{Q_{i+1,i}}{Q_{i,i+1}'} \rho_{i+1,i} + \frac{Q_{i+1,i}}{Q_{i,i+1}'} \rho_{i+1,i} (8)$$

式中: $\rho_{i,i+1}$ 是交叉口 i 到 i+1 方向的车流散 布密度, pcu/(m<sup>2</sup> · s);  $n_{i,i+1}$  是交叉口 i 到 i+1 方 向的进口道数量(对于进口道拓宽情况,以占地 面积为准); l; ; ; 是交叉口 i 到 i + 1 方向同侧停 车线间的距离(与 $l_{i+1,i}$ 有区别),m; $b_{i,i+1}$ 是交叉 口 i 到 i +1 方向单个车道平均宽度, m;  $\rho^{\text{man}}$  是交 叉口 i 与 i + 1 间双向车流散布密度的综合, pcu/  $(m^2 \cdot s)_{\circ}$ 

对一系列 $\rho_{i,i}^{non}$ 寻找最大值,与最大值相差 $\Delta$ 之内并与之临近的可以合并为同一个初级子区; 寻找剩余 p<sub>iit1</sub> 中的最大值,依次类推,将协调道 路网划分成多个初级子区。

#### 基于端点交叉口绿灯时间的细划分 1.2

协调系统车流运行情形如图1所示。对于协 调系统而言,只要速度、相位差、周期三者匹配好, 车流在驶经协调系统内交叉口时就不会产生大量 的停车排队。协调系统内交叉口协调方向在绿灯 时间内依次通过的车流量主要包括4个部分:上 个周期绿灯时间内未通过的部分稳定直行流及部 分左右转汇入的不稳定流(在本周期变为稳定 流),本周期内由上一个交叉口流下来的稳定直 行流部分及本周期内左右转汇入的不稳定流。计 算公式如下:

 $q_{ij} = a_1 \cdot Q_{ij-1} + a_2 \cdot Q_{ij-1} + a_3 \cdot Q_{ij} + a_4 \cdot Q_{ij} \quad (9)$ 

式中:q<sub>ii</sub>是交叉口i在第j周期的绿波内通过 的实际交通量,; $Q_{ii-1}$ 、 $Q'_{ii-1}$ 分别是交叉口i在第j-1周期内到达的稳定直行流与左右转汇入的交 通量,; $Q_{ij}$ 、 $Q_{ij}$ 分别是交叉口*i*-1在第*j*周期内 流入交叉口 i 的稳定直行流与左右转汇入的交通 量,;a1,a2,a3,a4均为常数,其值变化与相邻交叉 口间协调方向的绿灯时长差有关(若0 < a<sub>1</sub> < 1,



(7)

Fig. 1 Schematic diagram of vehicle flow operation in coordination system

则  $a_2 = 1;$ 若  $a_1 = 0,$ 则  $0 \le a_2 \le 1;$ 若  $0 < a_3 < 1,$ 则  $a_4 = 0;$ 若  $a_3 = 1,$ 则  $0 \le a_4 \le 1)$ 。端点处交叉口协 调方向的绿灯时间起着控制稳定直行流进入以及 进入多少的关键作用,影响整个干线协调系统的 运行效果。当端点交叉口绿灯时间内通过的稳定 直行流能够以较小的车均延误通过时,下游交叉 口的绿灯时间只要不发生大的波动,各个交叉口 的稳定直行流将不停车地通过交叉口。因此可以 利用协调方向绿灯时长的相似性进行子区合并, 计算公式如下:

$$S_{ij} = \frac{\sum_{i=j+1}^{n} |g_{j1} - g_{i1}|}{i - j + 1}$$

(按车流方向依次由小向大标号) (10)

式中:  $S_{ij}$  为协调方向绿灯时长的相似性;  $g_{j1}$ 、 $g_{i1}$ 分别是端点交叉口j、i协调方向的绿灯 时长,s。由 min{ $S_{ij}$ }对应的i,j可以将i-j+1个 交叉口合并在同一个交通子区。

在某一个交叉口的协调进口道车流来源有稳 定直行流与左右转汇入的车流,干线协调主要是 以最小成本来满足稳定直行流的交通需求。端点 稳定直行流不断降低,左右转汇入的车流随机性 加入,必然对稳定直行流的运行状态造成干扰。 沿车流方向各个交叉口直行车流由端点交叉口驶 入的稳定直行流是逐渐递减的,即沿车流方向各 个交叉口的稳定直行流与端点交叉口稳定直行流 的关联性逐渐降低,两者比值逐渐减小。

$$\frac{Q_{ic}}{Q_{jc}} \ge \eta_1 \tag{11}$$

 $\frac{Q_{ij}}{a_1 \cdot Q_{ij-1} + a_2 \cdot Q_{ij-1} + Q_{ij} + Q_{ij}} \ge \eta_2 \ (12)$ 

式中: $Q_{ie}$  是交叉口*i*的超稳定直行流(来源 于端点交叉口*j*的稳定直行流),pcu/s; $Q_{je}$  是端 点交叉口*j*的超稳定直行流,pcu/s; $\eta_1,\eta_2$  作为判 断阈值根据实际交叉口的交通运行情况给定。

由上可以得出交通子区划分合并的步骤:

Step1:用 Webster 法求出各个交叉口的最佳 周期时长及其各相位的绿灯时间。

Step2:利用式(10)进行寻优搜索,得到合并的交叉口数量及编号。

Step3:将上述得到的交叉口依次用式(11)、 式(12)进行双向检验,不符合约束条件的划分到 其它子区。

Step4:合并完成一个子区后,剩下的交叉口

以端点交叉口重复 Step2、Step3 合并交通子区,直 到合并完所有交叉口为止。

### 2 交通子区内系统调整

#### 2.1 系统内求得最优周期

借鉴文献[7]的观点设定每个交叉口的周期 时长变化范围是 [ $C_{i,o}, C_{i,o} + L_i$ ]。

系统公共周期范围选取如下:

$$C^{f} = \max \{ [C_{i,o}, C_{i,o} + L_{i}] \cap [C_{i+1,o}, C_{i+1,o} + L_{i+1}] \cap \cdots [C_{n,o}, C_{n,o} + L_{n}] \} = [C_{\min}, C_{\max}]$$
(13)

若 C<sup>f</sup> 不存在时,设定

 $C^{\ell} = [C_{\min}, C_{\max}] = [C_{\min,n}, C_{\max,n}]$  (14) 公共周期选定:

$$C = \frac{C_{\min} + C_{\max}}{2} \tag{15}$$

其中, C<sup>f</sup> 是系统公共周期变化范围, s。

#### 2.2 系统内相位差调整

在确定整个交通子区的公共周期 C、各交叉 口协调相位绿灯时间  $g_i$  及车流平均速度 v 后,干 线协调效果主要取决于相邻交叉口之间的相位 差。交叉口 i 在第 j = 1 周期内留下的流量为  $(1 - a_1) \cdot Q_{ij-1} + (1 - a_2) \cdot Q'_{ij-1}$ ,假设每个进口 道的车辆排队长度一致,则其进口道排队长度为:

$$l_{p} = \frac{(1 - a_{1}) \cdot Q_{ij-1} + (1 - a_{2}) \cdot Q_{ij-1}}{n_{i,i+1}} \cdot \bar{d} + (1 - a_{1}) \cdot Q_{ij-1} + (1 - a_{2}) \cdot Q'_{ij-1} - n_{i,i+1} - \bar{d} + (1 - a_{2}) \cdot Q'_{ij-1} - n_{i,i+1} - \bar{d} + (1 - a_{2}) \cdot Q'_{ij-1} - (1 - a_{2})$$

$$\frac{-u_1 \cdot q_{ij-1} \cdot (1 - u_2) \cdot q_{ij-1} \cdot n_{i,i+1}}{n_{i,i+1}} \cdot l \quad (16)$$

式中: l<sub>p</sub> 为平均排队长度, m; d 是车辆平均

长度, m; l是排队中的车辆间平均安全距离, m;  $n_{i,i+1}$ 是交叉口i到i + 1方向的进口道数量。

设 *l*<sub>*i*,*i*+1</sub> 是交叉口*i* 到 *i* +1 方向同侧停车线间 的距离(与 *l*<sub>*i*+1,*i*</sub> 有区别), *m*,则上游交叉口的单 向相对相位差 *o*<sub>*i*,*i*+1</sub> 为:

$$o_{i,i+1} = \frac{l_{i,i+1} - l_p}{v}$$
(17)

为达到双向绿波效果均衡,一般利用公式 (18)进行相位差反复调整。

$$o_{i,i+1} + o_{i+1,i} = nC \tag{18}$$

#### 2.3 子区间相位差的调整

因交通流在驶出交通子区时车流离散率很 大,且呈车队形式的交通流量减少,直行交通流比 重降低,在保证不破坏每个交通子区运行状态的 情况下,让头车在进入下一个交通子区前遇到红 灯,等待后续车流,在车流重新自行组织后,仍以 规律的车队形式驶入下一个交通子区是非常有必 要的。因交通子区间的相位差控制与同一个交通 子区内交叉口间的控制不同,其相位差调整不能 应用公式(18)进行调整优化。本文以双向绿波 带宽和最大作为目标,用双向交通流量关系调整 交通子区间的相位差,得到最佳控制效果。

$$\max B = B_s + B_x \tag{19}$$

$$\frac{q_s}{q_x} = \frac{B_s}{B_x} \tag{20}$$

$$q_s = \sum_{i=1}^{n} q_{s,i}$$
 (21)

$$q_x = \sum_{i=1}^{n} q_{x,i}$$
 (22)

式中: B 是双向绿波带宽和,s;  $B_s$  是上行绿 波带宽时长,s;  $B_x$  是下行绿波带宽时长,s;  $q_s$  是 各交叉口上行直行交通量和,pcu/·s;  $q_x$  是各交 叉口上下行直行交通量和,pcu/·s。

#### 3 算例分析

以某干线协调系统为例,各信号交叉口间的 位置及距离分布如图2,各交叉口现有周期调查 的交通流量及周期见表1。



图 2 干线路网示意图(单位:m)

Fig. 2 Schematic diagram of the main road network

Table 1	Flow	and cyc	le of inter	rsections	in tru	nk system		
赤叉口	主向	左转/	直行/	右转/	相位	周期		
XXI	刀凹	$(pcu \cdot s^{-1})$	$(pcu \cdot s^{-1})$	$(pcu \cdot s^{-1})$	相卫生	时长/s		
	W	50	1 100	150	1			
	$\mathbf{S}$	50	100	50	2	-		
1	Ν	150	100	50	2	78		
	Е	51	914	51	1			
	W	50	1200	50	1			
	$\mathbf{S}$	50	100	50	2			
2	Ν	50	200	50	2	72		
	Е	52	941	52	1			
	W	100	1000	200	1			
	$\mathbf{S}$	50	105	50	2			
3	Ν	150	100	50	2	74		
	Е	54	970	54	1			
	W	50	1100	58	1			
	$\mathbf{S}$	47	123	55	2			
4	Ν	50	100	150	2	75		
	Е	56	1003	56	1			
5	W	51	1 067	127	1			
	$\mathbf{S}$	50	102	58	2			
	Ν	154	96	50	2	68		
	Е	58	1 040	58	1			
6	W	53	1 175	63	1			
	$\mathbf{S}$	59	101	38	2			
	Ν	38	231	62	2	80		
	Е	60	1 081	60	1			
	W	78	1 081	158	1			
	$\mathbf{S}$	45	106	53	2			
7	Ν	50	225	58	2	75		
	Е	63	1 126	63	1			

表1 干线系统各交叉口流量及周期

依据上述提出的绿灯时间划分方法进行交通 子区划分,具体划分过程及结果如图3。

依据划分出的交通子区,根据本文的相位差 优化方法,运用 Vissim 软件分别仿真分区前后干 线协调控制。分区前后各交叉口控制参数对比情 况如表2。

采用两相位控制(协调控制相位是东西方向 直行车流),对整个协调路网依据调查情况进行 合并,设置合理的饱和流量和信号控制参数及车 流速度,仿真3600s。提取3000~3600s内车 流协调运行结果,选取车均延误时间、车均停车次 数作为评价指标进行对比,如图4、图5所示。由 图4、图5可知:子区协调控制效果与分区前干线 协调控制效果相比,交叉口车均延误降低14.6%, 交叉口车均总停车次数减少11.1%,整体协调路 网运行效果有所提升;3个端点基准交叉口(2、3、 6)控制效果有所改善,车均延误分别下降14.5%、 13.9%、12.1%,车均停车次数分别减少10.8%、 9.9%、11.8%;7个交叉口中,交叉口1车均延误 下降幅度最大(30.8%),交叉口5车均停车次数 下降幅度最大(36.4%)。



图 3 交通子区划分流程及结果



表2 分区前后各控制参数对比

	Table 2	Comparison of	f control parameters	before and after	the partition	
--	---------	---------------	----------------------	------------------	---------------	--

	信号控制周期						协调相位绿灯时长							协调相位相位差							
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
分区前		80		80				2	2	3	2	3	2	2	7	2	7	2	7	2	7
		80						5	6	0	9	4	7	4	4	5	6	5	6	6	5
分区后	70	0	75		20	0	1	1	2	2	3	2	2	4	5	1	4	2	4	2	
	/	70		15		ð	0	8	7	6	6	0	7	4	0	6	9	9	8	7	6



#### 4 结论

针对传统交通子区划分方法对协调系统中车 流运行状态分析不够透彻导致车流量与协调系统 公共周期不匹配的缺陷,本文首先将交叉口现有 周期内调查的交通流量变为系统周期时进行合理 调整,采用车流在协调系统中散布密度进行协调 道路网的初级划分;分析协调系统中端点交叉口 绿灯时长对协调系统车流量的影响以及相邻交叉 口间绿灯时长关系,提出基于端点交叉口绿灯时 长的交通子区划分方法;对划分出的交通子区协 调提出可行的参数优化方法,并对子区间协调时 相位差调整提出合理计算方法;最后选取实例利 用 Vissim 软件对本文方法进行仿真验证。仿真结 果表明,本文提出的方法能够进一步提高干线交 叉口车辆的通行效率,有力地证明了该理论的正 确性。

#### 参考文献:

- [1] 杨洁,过秀成,李岩,等. 城市信号控制交叉口群路径关联度模型[J]. 交通运输系统工程与信息,2012,12(1):55-62.
- [2] 卢凯,徐建闽,郑淑鉴,等.协调控制子区快速动态划分方法研究[J].自动化学报,2012,38(2):279-287.
- [3] 梁杰. 车队行驶离散特性分析及其在协调控制中的应用[D]. 广州:华南理工大学, 2013.
- [4] 别一鸣, 王琳虹, 王殿海, 等. 城市路网交通控制子区动态划分策略[J]. 中国公路学报, 2013, 26(6): 157-168.
- [5] 别一鸣,卢凯,王琳虹.相邻交叉口周期时长差异对关联度指标的影响[J].北京工业大学学报,2013,39(11):1630-1637.
- [6] 赵伟明,王殿海,汤月华,等.协调路口划分对交通控制效果的影响分析[J].公路交通科技,2014,31(9):88-94.
- [7] 陈晓明. 交通控制子区动态划分指标研究[D]. 长春: 吉林大学, 2007.

## Traffic Sub-area Division based on Green Time

#### **XIE** Yiming

(Wuxi Anbang Electric Co., Ltd., Wuxi Jiangsu 214112, China)

Abstract: Aiming at the defect that the traditional traffic subarea division method is not thorough enough in analyzing the operation state of traffic flow in the coordination system, which leads to the mismatching between the traffic flow and the coordination system's public period, the actual traffic volume is converted into the coordination traffic volume under the system's public period, and the preliminary subarea division is conducted through the traffic flow distribution density in the coordination system. This paper analyzes the influencing factors of traffic flow entering the coordination system and the interaction between green lights and traffic phase coordination during operation, and proposes a traffic sub-region division method based on green time. A practical solution method for solving the coordinated phase difference of the traffic sub-area is proposed. A reasonable calculation method is proposed for the phase difference adjustment of the sub-interval coordination, and the optimal phase difference is sought with the bidirectional green wave bandwidth and the maximum objective function. Finally, an example is selected to verify the proposed method by using Vissim software. The simulation results show that the coordinated control effect of traffic sub-area divided by this method is better than that of traditional pre-partition coordination control.

Keywords: Arterial Coordination; Density of traffic flow; Green time; Phase difference; Vissim

(责任编辑:李华云)