DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.260655

高密度路网交叉口间距研究

张伟丽
(上海市浦东新区规划设计研究院,上海市 200127)

摘　要: 城市道路交叉口间距是决定路网拓扑结构的重要因素。设置在道路中段的路侧开口和直线式公交站直接影响主线车辆行驶车速及安全,需在交叉口间距设计与优化时给予充分考虑。以城市中心区高密度路网条件下双向四车道路段为例,将路侧开口分为无排队和有排队两种类型,并解析了其对主线交通的影响范围,与交叉口自身影响范围相结合,研究了二者相对位置的布设方法。将各种直线式公交停靠站与路侧开口的位置进行组合布设,并提供了相邻交叉口间最短间距的计算方法。

关键词: 交通工程;最小交叉口间距;出入口间距;公交停靠站
中图分类号: U412.35　　**文献标志码:** B　　**文章编号:** 1009-7716(2026)11-0124-05

Study on Intersection Spacing in High-density Road Networks

ZHANG Weili
(Shanghai Pudong New District Planning and Design Institute, Shanghai 200127, China)

Abstract: The intersection spacing of urban roads is an important factor to determine the topology structure of urban road network. The roadside openings and linear bus stops set in the middle section of the road directly affect the speed and safety of mainline vehicles. Full consideration should be given when designing and optimizing the spacing at intersections. Taking the two-way four-lane road section under the high-density road network conditions in the urban central area as an example, the roadside openings are classified into two types of those without queues and those with queues. And the scope of its influence on the mainline traffic is analyzed. Combined with the influence range of the intersection itself, the layout method of the relative positions of the two is studied. The positions of various linear bus stops and roadside openings are combined and arranged, and the calculation method for the shortest spacing between adjacent intersections is provided.

Keywords: traffic engineering; shortest intersection spacing; access spacing; bus stop

0　引　言

通常城市中心区的土地使用强度大,复合性高,需要高密度的路网和便捷的接入交通设计所提供的高通达性,才能有效支撑用地开发和业态发展。短间距交叉口在高密度路网中十分常见,且交叉口间通常设置有不同数量的路侧开口,这些开口所引发的接入交通会对主线交通产生侧向干扰,影响主线交通安全顺畅运行。因此,在城市中心区路网规划、建设或改造时,应充分考虑必需的路侧开口对路网交通的影响,并将其纳入交叉口间距设计、道路中段交通组织和交叉口信号配时等方面的科学研究和工程设计中。

国外现有城市规划及道路设计规范对城市主干路相邻交叉口的间距有明确规定,但并未对次干路与支路的相邻交叉口间距给出明确建议值。基于连续交叉口信号协调控制的考虑,德国慕尼黑建议相邻干路交叉口间距控制在 700 ~ 1 000 m 较为合适。前苏联城市规划对干路交叉口间距规定为在旧城区 600 ~ 800 m,在新建区为 800 ~ 1 200 m[1]。美国城市中心区路网结构主要为网格状,通常道路间距较近,基本上不大于 200 m。英国的相关经验表明,干路交叉口间距应定在 250 ~ 700 m[2]。我国根据《关于全面推进城市综合交通体系建设的指导意见》[3],明确要求全国城市建成区平均道路网密度不小于 8 km/km^2。在我国城市路网的规划、设计和建设实践中,较少探讨如何确定相邻道路交叉口的间距。同济大学杨佩昆教授强调了干路网密度变大有利于城市中心区发展,徐循初教授则大力支持支路建设[4];陈巧志等结合交通流与车辆运行规律,得到不同工况下信号交叉口的合理间距取值[5];张东等人通过仿真试验,明

收稿日期: 2006-06-10
作者简介: 张伟丽(1990—),女,硕士,工程师,从事道路交通规划设计、研究工作。

确了路侧开口对公交运行延误的影响机理[6]；李英帅团队针对直线式公交站开展优化研究，提出了设施合理尺寸参数[7]；杨晓光等分别探究了公交停靠站与出入口间距、港湾式站点的设置条件[8-9]；柳祖鹏、陈红等也从轨迹仿真、元胞自动机角度，分析了公交站点的最优布设位置[10-11]。

现有研究多聚焦单一交通设施，未综合考虑交叉口、路侧开口与公交停靠站的耦合影响。本研究以双向四车道路段为研究对象，划分路侧开口类型，结合设施影响范围，推导不同组合形式下交叉口最小间距计算方法。研究成果可为高密度城区路网规划与道路改造提供参考。

1　接入交通的基本特征

接入交通主要来源于城市中心道路相邻交叉口间的路侧楼宇、小区、路外停车场和无信号控制支路等的进出需求，其主要特征如下：

（1）进出车辆低速行驶。驶入路侧开口的车辆需要减速慢行，以安全完成转向动作，而驶出车辆同样需要采用减速或停车让路的方式，等待主线上出现可接受的插车间隙完成汇入。

（2）交通流不连续。低速进出车辆使得路侧开口上下游的接入段交通流具有明显的非连续性，在主线流量较大的情况下，上游到达的车辆会采用换道绕行或排队等待的方式通过接入段，容易在接入段形成通行能力瓶颈。

（3）影响上下游交叉口。若相邻交叉口间距较短，道路中段存在的多个路侧开口会在主线流量较大的情况下形成空间连续的瓶颈段，将离散的单个路侧开口对主线交通的影响放大，甚至可能在上游交叉口形成排队溢出，影响其正常运行。

2　交叉口最小间距的确定原则与条件

在进行最小间距计算前，须明确其理论基石。相邻交叉口间距若过短，各交通设施的影响范围将相互重叠，导致交通流紊乱、事故风险增加。因此，确定最小间距的核心原则与需满足的条件如下：

2.1　核心原则

互不干扰原则：路段内交通设施对主线交通的关键影响区不应与其他设施的关键影响区发生重叠。若无法避免重叠，则应以影响范围更大的设施为主导，并重新核算其综合影响；安全冗余原则：计算出的最小间距应为理论需求值的基础上，考虑驾驶行为随机性与交通波动，保留一定的安全冗余。

2.2　需满足的基本条件

基于上述原则，相邻交叉口最小间距须同时满足条件：影响区分离，上游交叉口下游影响区、中间设施影响区、下游交叉口上游影响区三者之间不产生强干扰耦合，或已按主导设施进行合并；视距与停车安全，间距必须保证驾驶员在任何一点都能满足停车视距要求，并能安全完成必要的换道、减速或停车操作；排队空间，间距需能容纳上游交叉口可能出现的最大排队长度，防止排队蔓延至路侧开口或下游交叉口。

2.3　路侧开口及交叉口的影响范围

单个路侧开口影响，根据路侧开口上游路段是否有排队，将其分为无排队路侧开口和有排队路侧开口。无排队路侧开口的影响范围 l_{nq} 由转向车辆的减速距离 L_d 和速度波动距离 L_v 组成，L_d 是主线车辆减速进入单侧开口的制动距离，$L_d = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2a}$。由于城市中心区道路交通量较大，相邻交叉口间车流离散程度有限，因此前车运动状态会对后车产生影响。假设该影响以冲击波形式传播，可根据车流波动理论来计算其传播距离 L_v。假设车流的速度与密度关系满足 Greenshields 模型，则车辆驶入路侧开口所产生影响的传播距离 L_v 为[4]：

$$L_v = t\frac{q_2 - q_1}{k_2 - k_1} = t\frac{v_f k_2(1 - \frac{k_2}{k_j}) - v_f k_1(1 - \frac{k_1}{k_j})}{k_2 - k_1} = tv_f(1 - \frac{k_1}{k_j} - \frac{k_2}{k_j}) = \int_0^t (v_1^* + v_2^* - v_f)d_t$$

式中：t 为驶入单侧开口车辆影响时间，s；v_1^* 为车辆减速前上游车辆的平均速度，m/s；v_2^* 为车辆离开主线后，主线车辆的平均速度，m/s；v_f 为自由流车速；q_1 和 q_2，k_1 和 k_2 分别为路侧开口上下游的主线流量和密度。对于有排队路侧开口，行驶在其附近主线外侧车道的车辆为躲避开口上游的排队，会换至内侧车道行驶，此类换道车辆会对主线车流造成影响。有排队长度的单侧开口的影响范围 l_{eq} 可基于排队长度 L_q 和换道影响距离 L_{cl} 两部分计算得，

$$l_{eq} = L_q + L_{c1} = L_q + \int_0^t (v_1' + v_2' - v_f)d_t,$$

式中：l_{eq} 为主线影响区长度，m；v'_1 和 v'_2 为车辆驶入单侧开口主线上下游车流的平均速度，m/s；t 为换道影响时间，s。

交叉口影响范围，为了减少路侧开口接入交通

对上下游交叉口的影响，应将其尽量设置在交叉口对路段交通流的影响范围之外。驾驶员进出交叉口要进行连续复杂的操作，交叉口影响区域就是实施这一系列复杂操作的所需空间。交叉口上游影响距离和下游影响距离构成了交叉口的作用范围，见图1。

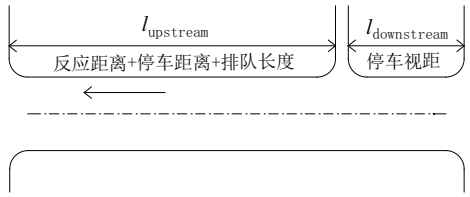


图1　交叉口上下游影响距离示意图

2.3.1　交叉口上游影响距离 $l_{upstream}$

交叉口上游影响距离主要由反应距离 L_a、减速停车距离 L_b 和排队长度 L_c 三部分组成，即 $l_{upstream}=L_a+L_b+L_c$。反应距离 L_a 是驾驶员在发现视线内有威胁其安全行驶的车辆或者信号灯时到需采取措施这段反应时间内所行驶的距离[12]。停车减速距离 L_b 是驾驶员在降速、变换车道或停车过程中的行驶距离。有关排队长度 L_c 的计算，采用SIGNAL94模型，用断面车辆到达率、到达分布系数以及红灯时间作为输入参数，并且假设车流密度在车辆到达停车线以前到达阻塞密度[13]。

2.3.2　交叉口下游作用距离 $l_{downstream}$

采用驾驶员停车视距[14]来描述交叉口下游作用范围，以确保驾驶员有足够时间来处理驶离上游交叉口所遇到的人车或者车车冲突。

3　路侧开口布设位置及交叉口最小间距算例

基于交叉口和单一路侧开口影响长度的分析，在实际设计中二者同时出现时需根据以下原则考虑二者的设置条件：二者的组合设置需以满足规范为前提；当二者影响区域重合时，以其中影响范围较大的设施为主。路侧开口布设位置由开口距交叉口上下游距离确定，即 $L=l_{upstream}+l_w+l_{downstream}$。

以双向四车道、流量600 pcu/h、期望车速30 km/h且交叉口无展宽段的城市道路为研究案例。路侧开口为进出两条车道，开口宽度 l_w 为7 m，加速度为 −2.5 m/s²。根据第2节内容计算可得 L_a=12.5 m，L_b=14 m，L_c=40 m，$l_{upstream}$=66.5 m，$l_{upstream}$ 近似取值为70 m。$l_{downstream}$ 即安全停车视距 S_s，$l_{downstream}$ 约为30 m，无排队出入口影响区域 l_{nq} 为30 m，有排队出入口影响区域 l_{eq} 为50 m。以无排队路侧开口布设位置及对应交叉口间距计算，无排队路侧开口位置推荐设置于距上游交叉口30 m处和下游交叉口70 m处，此时交叉口最小间距建议取值为107 m。

为验证无排队单路侧开口的布设位置的合理性，用微观交通流仿真软件VISSIM软件进行验证。分别模拟了无单侧开口、单侧开口设置在距离上游交叉口30 m处（简称为“三七分”方案）以及单路侧开口距离上游交叉口50 m处（简称为“五五分”方案）三种情况下的交通流运行状况。选取平均行程时间作为评价方案设计合理性的指标。仿真结果的描述性统计值见图2。

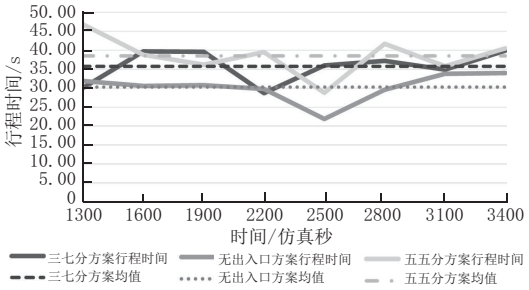


图2　仿真行程时间统计数据

由图2可知，不设路侧开口的平均行程时间是30.3 s；“五五分”方案的平均行程时间是38.5 s；“三七分”方案的平均行程时间是35.7 s。对应交叉口间的平均车速，可知设置单侧开口的路段平均车速比不设的要低，且“三七分”的方案与“五五分”方案相比，平均速度高7.5%。由此可知，本案例中相邻交叉口间的单侧开口应布设于距上游交叉口30 m处，此时最小交叉口间距为107 m。按此方法分别计算一个和两个路侧开口布设位置的6种不同组合形式及交叉口最小间距建议值归纳为表1。

表1　路侧开口布设位置及交叉口最小间距建议值　　单位：m

组合形式	$l_{upstream}$	$l_{downstream}$	L	组合形式	$l_{upstream}$	$l_{downstream}$	L
	30	70	107		50	70	127
	30	70	144		30	70	164
	50	70	164		50	70	184

4　公交停靠站与路侧开口布设位置及交叉口最小间距算例

城市中心区具有较高的公交出行需求，地面公交线路密集。受道路红线限制，很多情况下中心区道路采用路侧直线式排列公交停车位。与路侧开口类似，这一设计会对主线上其他车辆的正常通行产生影响。因此，在计算交叉口间距时，应综合考虑直

线式公交停靠站和路侧开口位置对路段正常通行的影响。直线式公交车停靠站的影响范围主要由公交车在站点上下游的运行状态决定，分为减速停车、停车上下客以及加速驶离三个阶段[15]。故 $L_{bus} = l_{in} + l_{station} + l_{out}$，$L_{in}$ 是公交车进站影响距离；$l_{station}$ 是站台的有效长度，l_{out} 是公交出站影响距离。同时，公交停靠站的位置布设应符合规范[16-17]要求。

首先给出交叉口间只设置直线式公交停靠站的情况下交叉口最小间距的计算方法。然后，针对直线式公交停靠站分别与一个和两个路侧开口的 16 种位置组合，计算交叉口最小间距。现以“只布设公交停靠站”为例说明计算过程：第一步计算公交停靠站距离交叉口下游的距离 l_a。基于安全及容余设计理念，l_a 取公交车减速停站距离 l_{in}、交叉口下游自身影响范围 $l_{downstream}$ 和规范[16-17]要求的公交车站距交叉口距离的最小值 $l_{standard}$ 三者中的最大值作为其推荐值。第二步计算公交车站距交叉口上游的距离 l_b，取公交车出站加速距离 l_{out} 和交叉口上游自身影响距离 $l_{upstream}$ 二者较大值为其推荐值。最后计算交叉口最小间距值 L，取公交停靠站距离交叉口下游的距离 l_a、公交车站距交叉口上游的距离 l_b 及公交车站自身长度 $l_{station}$ 三者之和为其推荐值 $L=l_a+l_b+l_{station}$。

假设一个公交停靠站有两个公交车泊位，参考文献[7]的取值，公交车期望车速为 30 km/h，减速度 a_{in} 为 1.5 m/s²，加速度 a_{out} 为 1.0 m/s²，规范[9]中规定公交站台距交叉口距离 $l_{standard}$ 为 30 m，站点本身长度 $l_{station}$ 为 30 m。计算可得进站减速影响区 l_{in} 为 24 m，公交车加速出站的影响长度 l_{out} 为 35 m，即直线式公交停靠站的影响长度 L_{bus} 约为 90 m。按照介绍的方法，可计算出其他公交车站和路侧开口的不同位置组合形式下的交叉口最小间距值。

算例 1：只布设公交停靠站，交叉口最小间距见表 2。

算例 2：公交停靠站位于同侧双路侧开口上游。结合规范[16-17]要求，直线式公交停靠站宜布置在同侧双路侧开口上游。该情况共划分四种布设组合，经计算得出，对应交叉口最小间距建议取值为 209~244 m，具体见表 3。

算例 3：公交停靠站位于同侧两个路侧开口之间。此时需考虑两种设施影响长度重叠的情况。发生这种情况时，可暂时不考虑交织情况，取影响距离较大值。根据设施不同组合形式的计算结果（见表 4），可得交叉口最小间距建议取值为 203 ~ 238 m。

表 2　只布设公交停靠站计算方法示意

组合形式	计算模型	结果
只布设公交停靠站	$l_a=\max\{l_{in}, l_{standard}, l_{downstream}\}$ $l_b=\max\{l_{ou}, l_{upstream}\}$	l_a=30 m；l_b=70 m L=130 m
公交停靠站位于无排队路侧开口下游	$l_a=\max\{l_{downstream}, l_{nq}\}$ $l_b=\max\{l_{out}, l_{upstream}\}$ $l_c=l_{in}$	l_a=30 m；l_b=70 m l_c=24 m；L=161 m
公交停靠站位于无排队路侧开口上游	$l_a=\max\{l_{in}, l_{standard}, l_{downstream}\}$ $l_b=l_{upstream}$；$l_c=\max\{l_{nq}, l_{out}\}$	l_a=30 m；l_b=70 m l_c=35 m；L=172 m
公交停靠站位于有排队路侧开口下游	$l_a=\max\{l_{eq}, l_{standard}, l_{downstream}\}$ $l_b=\max\{l_{upstream}, l_{standard}\}$ $l_c=l_{in}$	l_a=50 m；l_b=70 m l_c=24 m；L=181 m
公交停靠站位于有排队路侧开口上游	$l_a=\max\{l_{in}, l_{standard}, l_{downstream}\}$ $l_b=l_{upstream}$；$l_c=\max\{l_{out}, l_{eq}\}$	l_a=30 m；l_b=70 m l_c=50 m；L=187 m

备注：$l_{station}$=30 m，l_w=7 m，$l_{upstream}$=70 m，$l_{downstream}$=30 m，$l_{standard}$=30 m，l_{in}=24 m，l_{out}=35 m，l_{eq}=50 m，l_{nq}=30 m

表 3　不同组合形式示意图

组合形式	计算模型	结果
公交停靠站位于无排队单侧开口上游	$l_a=\max\{l_{in}, l_{standard}, l_{downstream}\}$ $l_b=l_{upstream}$ $l_c=\max\{l_{nq}, l_{out}\}$；$l_d=l_{nq}$	l_a=30 m；l_b=70 m l_c=35 m；l_d=30 m L=209 m
公交停靠站位于单有排队路侧开口上游	$l_a=\max\{l_{in}, l_{standard}, l_{downstream}\}$ $l_b=l_{upstream}$；$l_c=\max\{l_{eq}, l_{out}\}$ $l_d=l_{nq}$	l_a=30 m；l_b=70 m l_c=50 m；l_d=30 m L=224 m
公交停靠站位于单无排队路侧开口上游	$l_a=\max\{l_{in}, l_{standard}, l_{downstream}\}$ $l_b=l_{upstream}$；$l_c=\max\{l_{nq}, l_{out}\}$ $l_d=l_{eq}$	l_a=30 m；l_b=70 m l_c=35 m；l_d=50 m L=229 m
公交停靠站位于两个有排队路侧开口上游	$l_a=\max\{l_{in}, l_{standard}, l_{downstream}\}$ $l_b=l_{upstream}$；$l_c=\max\{l_{eq}, l_{out}\}$ $l_d=l_{eq}$	l_a=30 m；l_b=70 m l_c=50 m；l_d=50 m L=244 m

备注：$l_{station}$=30 m，l_w=7 m，$l_{upstream}$=70 m，$l_{downstream}$=30 m，$l_{standard}$=30 m，l_{in}=24 m，l_{out}=35 m，l_{eq}=50 m，l_{nq}=30 m

算例 4：公交停靠站位于同侧两个路侧开口下游。规范[16-17]不推荐将直线式公交停靠站位于同侧路侧开口下游。实践中若发生这种情况，直线式公交停靠站与有无排队路侧开口的组合形式可能有四种，见表 5。根据不同组合形式的计算结果，可得交叉口最小间距建议取值为 198 ~ 238 m。

5　结　论

该文讨论在道路中段存在路侧开口及公交停靠站的情况下，如何计算相邻交叉口的最小间距值。首先确定了路侧开口对主线道路的影响范围，结合

表4　不同组合形式示意图

组合形式	计算模型	结果
公交停靠站位于无排队路侧开口之间	$l_a=\max\{l_{nq},l_{downstream}\}$ $l_b=l_{upstream}$；$l_c=l_{in}$ $l_d=\max\{l_{nq},l_{out}\}$	l_a=30 m；l_b=70 m l_c=24 m；l_d=35 m L=203 m
公交停靠站位于有排队路侧开口上游	$l_a=\max\{l_{nq},l_{downstream}\}$ $l_b=l_{upstream}$；$l_c=l_{in}$ $l_d=\max\{l_{eq},l_{out}\}$	l_a=30 m；l_b=70 m l_c=24 m；l_d=50 m L=218 m
公交停靠站位于有排队路侧开口下游	$l_a=\max\{l_{eq},l_{downstream}\}$ $l_b=l_{upstream}$；$l_c=l_{in}$ $l_d=\max\{l_{nq},l_{out}\}$	l_a=50 m；l_b=70 m l_c=24 m；l_d=35 m L=223 m
公交停靠站位于有排队路侧开口之间	$l_a=\max\{l_{eq},l_{downstream}\}$ $l_b=l_{upstream}$；$l_c=l_{in}$ $l_d=\max\{l_{eq},l_{out}\}$	l_a=50 m；l_b=70 m l_c=24 m；l_d=50 m L=238 m
备注：$l_{station}$=30 m，l_w=7 m，$l_{upstream}$=70 m，$l_{downstream}$=30 m，$l_{standard}$=30m，l_{in}=24 m，l_{out}=35 m，l_{eq}=50 m，l_{nq}=30 m		

表5　不同组合形式示意图

组合形式	计算模型	结果
公交停靠站位于两无排队路侧开口下游	$l_a=\max\{l_{nq},l_{downstream}\}$ $l_b=\max\{l_{out},l_{upstream}\}$ $l_c=l_{nq}$；$l_d=l_{in}$	l_a=30 m；l_b=70 m l_c=30 m；l_d=24 m L=198 m
公交停靠站位于无排队路侧开口下游	$l_a=\max\{l_{eq},l_{downstream}\}$ $l_b=\max\{l_{out},l_{upstream}\}$ $l_c=l_{nq}$；$l_d=l_{in}$	l_a=50 m；l_b=70 m l_c=30 m；l_d=24 m L=218 m
公交停靠站位于有排队路侧开口下游	$l_a=\max\{l_{nq},l_{downstream}\}$ $l_b=\max\{l_{out},l_{upstream}\}$ $l_c=l_{eq}$；$l_d=l_{in}$	l_a=30 m；l_b=70 m l_c=50 m；l_d=24 m L=218 m
公交停靠站位于两个有排队路侧开口下游	$l_a=\max\{l_{eq},l_{downstream}\}$ $l_b=\max\{l_{out},l_{upstream}\}$ $l_c=l_{eq}$；$l_d=l_{in}$	l_a=50 m；l_b=70 m l_c=50 m；l_d=24 m L=238 m
备注：$l_{station}$=30 m，l_w=7 m，$l_{upstream}$=70 m，$l_{downstream}$=30 m，$l_{standard}$=30 m，l_{in}=24 m，l_{out}=35 m，l_{eq}=50 m，l_{nq}=30 m		

单一或双路侧开口与直线式公交停靠站在道路中段的组合布设形式，在计算出二者交叉影响下的相邻最小交叉口间距。可得到以下结论：(1)设置单个路侧开口的情况下交叉口最短间距建议取值107～184 m，且开口应设置在距下游交叉口70 m处；(2)单个路侧开口与公交停靠站同时存在时，最小交叉口间距建议取值130～187 m，且建议公交停靠站设置于路段上游；(3)当直线式公交停靠站与两个路侧开口同时布设时，交叉口最小间距建议取值为198～244 m。通过研究，回答了考虑在路中接入交通的情况下，城市中心区高密度路网可以达到的基本网络规模和形态，研究结论可为老城区路网改造和新城路网规划提供有意义的参考。

参考文献：

[1] M.C.费舍里松.城市交通[M].北京：中国建筑工业出版社，1984.

[2] 段里仁.城市交通概论[M].北京：北京出版社，1984.

[3] 住房和城乡建设部.关于全面推进城市综合交通体系：建城〔2023〕74号.[Z/OL].2023-11-01. https://www.mohurd.gov.cn/gongkai/zc/wjk/art/2024/art_17339_77529

[4] 蔡军.关于城市道路合理间距理论推导的讨论[J].城市交通，2006(1)：55-59.

[5] 陈巧志，武生权.城市道路信号平面交叉口合理间距研究[J].天津建设科技，2024，34(2)：21-24.

[6] 张东，藏晨明，曹树鑫，等.路侧开口车辆借道对公交专用道延误的影响[J].内蒙古公路与运输，2023(4)：53-58.

[7] 李英帅，马泽超，王雯婧，等.考虑非机动车影响的直线式单泊位公交停靠站设置优化[J].交通信息与安全，2021，39(5)：137-143.

[8] 杨晓光，许建，朱彤.城市快速路公交停靠站与出入口的最小间距研究[J].交通信息与安全，2010，28(2)：1-7.

[9] 杨晓光，徐辉，高欣，等.单车道港湾式公交停靠站设置条件研究[J].公路交通科技，2010，27(12)：122-127.

[10] 柳祖鹏，李克平，何雅琴，等.基于时间距离轨迹的公交站点布设优化[J].公路交通科技，2019，36(6)：103-111.

[11] 陈红，刘玮蔚，朱宏佳，等.新型交叉口公交停靠站选址模型[J].中国公路学报，2017，30(1)：136-141.

[12] 曹荣青.城市道路路侧开口间距确定的理论方法[D].西安：长安大学，2007.

[13] 荣建，何民，陈春妹.信号交叉口排队长度动态计算方法研究[J].中国公路学报，2002(3)：103-105；109.

[14] 周商吾.交通工程[M].上海：同济大学出版社，1987.

[15] 周智勇，黄艳君，陈峻，等.公交专用道设置前后无港湾公交停靠站特性研究[J].公路交通科技，2004(7)：25-28.

[16] CJJ 152—2010 城市道路交叉口设计规程[S].

[17] DG/TJ 08-96—2022 城市道路平面交叉口规划与设计标准[S].

(上接第72页)

[15] 王开，傅旭东，王光谦.桥墩壅水的计算方法比较[J].南水北调与水利科技，2006(6)：53-55.

[16] 何贞俊，张金明，何用，等.降低桥墩壅水的优化试验研究[J].人民长江，2015，46(23)：55-59.

[17] 马剑波，毛思，赵君，等.桥墩型式对河道流态的影响分析[J].水利水电技术(中英文)，2022，53(增刊1)：314-318.

[18] 刘培，魏乾坤，陈秋伶.珠江三角洲典型复杂河网区水系连通及调度研究[J].水利水电技术(中英文)，2024，55(1)：113-123.

[19] 刘达，黄广灵，陈晖，等.基于水量水质目标的复杂感潮河网区闸泵联合调度研究[J].广东水利水电，2025(8)：1-7.

[20] 李伦，张庭荣，郑国栋，等.跨河桥梁工程防洪影响评价技术审查要点浅析[J].广东水利水电，2015(7)：36-37；47.