

高速道路入口匝道控制方法及应用探索

陆海亭, 张 宁, 钱振东

(东南大学交通学院 南京市 210096)

摘 要: 入口匝道控制是高速道路交通管理与控制的重要方法。对国外高速道路入口匝道的交通机理和控制方法进行系统分析和总结, 重点对国外典型的多匝道动态协调控制算法进行论述, 并对今后的研究方向提出展望。最后结合国内的实际情况, 从交通量、几何线形、通道控制、协调配合、政策制定、仿真评价等方面对入口匝道控制在国内的相关工程应用做了初步探索。

关键词: 高速道路入口匝道控制; 控制机理; 多匝道动态协调控制; 工程应用

近些年随着国内交通的快速发展, 高速道路行车不安全、拥堵等诸多问题逐渐凸现, 因此, 如何提高高速道路的运行效率和安全性无疑是摆在交通界面前的重要课题。高速道路的交通控制是解决这一问题的有效手段。目前, 对高速道路的交通控制研究主要包括匝道控制、主线控制、通道控制; 其中高速道路匝道控制又包括入口匝道控制、入口匝道关闭和出口匝道控制等三类^[1], 入口匝道控制是保障主线畅通的重要方法。国外研究最多、应用效果最好的匝道控制为入口匝道控制。本文系统总结与阐述国外高速道路入口匝道控制的理论和方法, 重点论述多匝道动态协调控制算法及探讨入口匝道控制今后在国内的应用。以期对国内的高速道路入口匝道控制系统的研究与建设提供借鉴作用, 进一步发挥高速道路快速高效的优势, 更好地为经济发展服务。

1 入口匝道控制机理

入口匝道控制指运用交通信号、交通标志及自动栏杆等交通控制设备调节进入高速道路主线车辆的数量, 通过平衡入口匝道上游交通需求和下游主线通行能力的方法, 防止高速道路运营陷入瘫痪状态, 让高速道路系统以最优效率运行, 并且改善通过匝道进入主线车辆的汇合安全性^[2]。

根据交通流理论, 随着交通需求和密度的增加, 车速将降低。当入口匝道上游的交通需求超出了下游主线的通行能力时, 交通状况开始恶化。连续的交通流被主线上某些位置上发生的紊流和扰动所隔

断, 间断流形成, 拥堵产生, 运营效率降低。随着运营状况的进一步恶化, 造成交通瘫痪。如图 1 所示, 在早高峰时段, T_c (交通开始发生瘫痪时的临界时刻) 时刻以前, 速度随着交通流量的增大而缓慢减小, 但在 T_c 时刻以后, 速度和交通流量均急剧减小, 交通流进而由稳定变成不稳定状态。

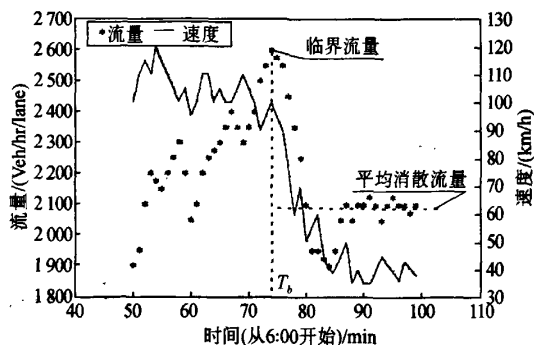


图 1 早高峰速度与流量趋势^[3]

流量和密度的关系如图 2 所示, 流量达到 q_A (临界流量) 之前, 随密度大致成线性增加关系, 此过程中速度几乎不变化; 当流量继续增大时, 连续、稳定的交通流转化为高密度、低流量、低速度的间断、不稳定交通流。

因此, 匝道控制的目标就是通过控制匝道进入主线的流量, 使主线的流量不超过 q_A , 阻止交通陷入瘫痪, 主线的交通流可以连续稳定, 高速道路得以高效安全运营。

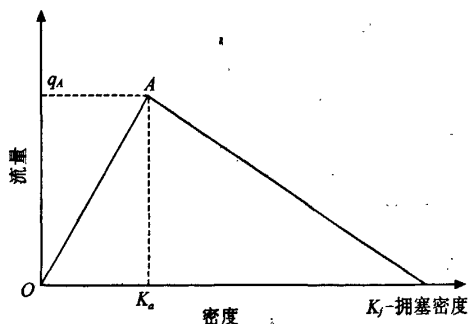


图2 流量与密度关系

2 入口匝道控制方法

入口匝道控制依据受控匝道设置的匝道调节率相对于未受控时该匝道交通量大小的差异,分为限制性控制(Restrictive)和非限制性控制(Non-Restrictive);依据控制范围分为单点匝道控制(Local metering)与多匝道(系统)协调控制(System-Wide metering);依据对实时交通信息响应的不同,又可分为静态定时控制(Non-Responsive/Pre-timed metering)和动态感应控制(Responsive metering) [4,5,6,7]。

2.1 限制性控制和非限制性控制

限制性控制是将受控入口匝道的调节率设定为低于该匝道未受控之前的匝道平均流量值,非限制性控制是将受控入口匝道的调节率设定为该匝道的历史平均流量值 [4]。

2.2 静态定时控制

静态定时控制是指匝道调节率是根据本匝道交通流的历史统计数据,预先给定不同时段内的调节率。它类似于交叉口的定时信号控制,把一天分为若干个时段,假定每个时段内交通流状况近似不变,以此作为依据来确定每个时段内单个匝道恒定的入口调节率。但这种方式不能动态适应交通流的随机变化,有时还会造成车辆在匝道不必要的排队和延误。

2.3 单点匝道动态控制

定时控制通常用于消除高速公路的常发性拥堵,要解决定时控制不能消除由于意外事件发生而引发的偶发性交通拥挤问题需要实施动态控制,即实时检测主线交通状态信息,依此确定调节率。单点动态控制的基本目的是解决单点匝道附近路段的交通拥挤,利用匝道及其相邻路段的实时检测/预测数据代替历史数据作为控制决策的基础。典型的单点动态控制方法有需求—容量差额控制、占有率控

制、线性状态调节控制(ALINEA)三种 [1,4,5,6,7]。

需求—容量差额控制和占有率控制属于开环控制,往往不能判断高速公路主线是处于拥挤状态还是自由流状态,不能把控制后的交通状态变化反馈给系统进行再优化控制,因此往往无法取得理想的控制效果;ALINEA控制为闭环控制,通过输出反馈它能把高速公路匝道下游路段的占有率维持在理想值附近,使主线上的通过量最大,并具有简单、高效、性价比高、容易应用的特点,有较好的控制效果,曾在国外广泛应用。

2.4 多匝道动态协调控制

单点匝道动态控制具有实时性,但是割裂了入口匝道之间的有机联系,各个匝道是彼此孤立的。后来又有学者从系统、实时的角度来解决入口匝道控制问题,设计出多匝道动态协调控制。采用局部区域内相邻若干匝道之间的协调控制;当某一匝道排队延伸到一定程度时,增大其匝道流入率,同时降低相邻若干匝道的流入率,即对相邻匝道之间的交通压力进行动态平衡。典型的多匝道动态协调控制方法有明尼苏达算法、华盛顿算法、系统感应匝道控制算法(SWARM1)、模糊逻辑控制等四类 [2,4]。

(1) 明尼苏达算法(Zone)。

Zone算法先从单点层面,运用单点匝道占有率控制算法计算出某入口匝道的调节率;再从系统层面,把高速公路分割成每段3~6 mile长的许多区段,参看图3。每区段的上游端交通为自由流状态,下游端交通为濒临拥堵状态,基于流量控制原理计算出该入口匝道调节率。然后比较两个层面的计算结果,取最小值为该入口匝道调节率。系统层面上,该算法根据主线布设的检测器检测到的高速道路某区段主线和匝道总的驶入和驶出量(Input-Output),实施控制使区段驶入量小于驶出量以避免拥挤。

例如在高速公路AB区段内,为使驶入量小于驶出量,下式必须成立 [8]:

$$M+A+U \leq B+X+S \quad (1)$$

式中: M 为已实施匝道控制的匝道驶入量; A 为由上游A处驶入的主线流量; U 为未实施匝道控制的匝道驶入量; X 为AB段内出口匝道的驶出量; B 为由下游B处驶离的主线流量; S 为冗余通行能力。

$$\text{由以上关系得: } M \leq B+X+S-A-U \quad (2)$$

M 为AB区段内所有匝道总的允许驶入量,然后根据此区段内各匝道的交通需求实际情况按权重

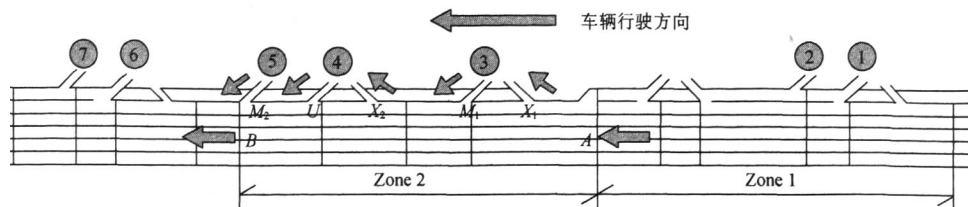


图3 Zone 算法示意

比例分配给各个匝道。因此：

$$r(i) = M \times D_i / \sum_{i=1}^N D_i \quad (3)$$

式中： $r(i)$ 为 AB 区段内第 i 个匝道的调节率； D_i 为 AB 区段内第 i 个匝道的交通需求； D 为 AB 区段内所有匝道的交通总需求。

此算法从单点、系统两个层面分别计算然后取较小值，具有竞争性特点。其准确性取决于区段的适宜划分、下游通行能力的精确估计以及该区段的驶

入和驶出量的精确检测。

(2) 华盛顿算法(Bottleneck)。

华盛顿州运输局首先提出基于瓶颈位置的交通感应式协调控制算法。此算法也同样具有竞争性特点，在单点层面采用占有率控制方法得到每个匝道的调节率；在协调层面根据流量守恒原理也得出各个匝道的调节率；之后，在每个匝道将两个得出的调节率对比，取其小值作为该匝道最终的调节率。在协调层面上，若 j 为瓶颈路段（图 4），则有^[9]：

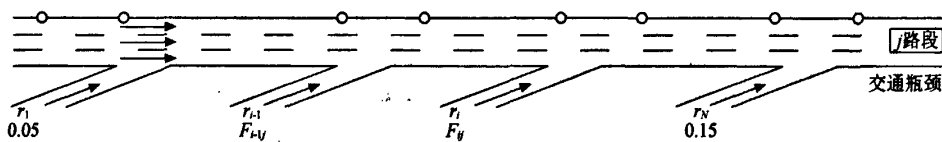


图4 交通瓶颈上游影响区域内入口匝道权重分配示意

$$U_j(t+1) = (qIN_j + qON_j) - (qOUT_j + qOFF_j) \quad (4)$$

式中： $U_j(t+1)$ 为下一个调节周期 $(t+1)$ 第 j 路段上游所有匝道流量的减少量； qIN_j 为上一个调节周期 t 第 j 路段的主线驶入交通量； qON_j 为上一个调节周期 t 第 j 路段范围内所有入口匝道总驶入量； $qOUT_j$ 为上一个调节周期 t 第 j 路段的主线驶离交通量； $qOFF_j$ 为上一个调节周期 t 第 j 路段范围内所有出口匝道总驶出量。

$$\text{则：} r(i) = U_j(t+1) \times F_{ij} / \sum_{i=1}^N F_{ij} \quad (5)$$

式中： $r(i)$ 为 j 路段上游第 i 个关联入口匝道的调节率； F_{ij} 为 j 路段上游第 i 个关联入口匝道的权重系数。

在瓶颈位置和其上游的多个匝道形成的影响区内，计算下一个调节周期内所有匝道总的减小量，再根据各个匝道的权重确定每个匝道的调节率。可见，动态交通瓶颈的判别以及与其相关的经验权重对协调层面调节率的计算结果有较大影响。

(3) SWARM (system wide adaptive ramp metering) 算法。

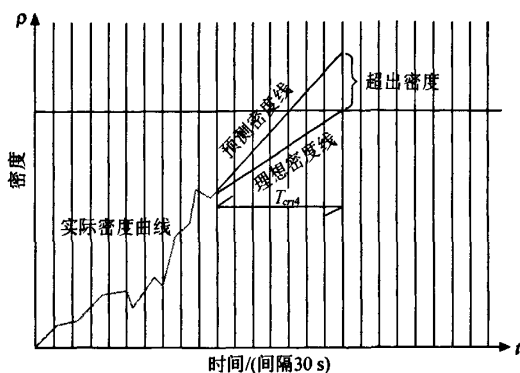
SWARM 是基于交通流密度的实时算法，对于某个入口匝道也分别从单点和协调层面计算出调节率，然后取二者较小值作为该入口匝道调节率。包括 SWARM1 和 SWARM2。

SWARM1 是基于交通流密度的多匝道协调算法，目标是使得高速道路上每个路段的交通密度都低于饱和交通流密度。SWARM2 是通过优化交通流密度使流量达到最大，并维持最佳车头时距的单点匝道控制算法。SWARM1 算法思路参看图 5，在 t 时刻以当前检测到的交通流密度数据应用线性回归及卡尔曼滤波来预测未来时段 (T_{crit}) 的交通流密度，理想密度大小设定为：使 $t+T_{crit}$ 时刻路段密度不超过其饱和密度。通过式 (6) 计算出路段理想密度，然后根据式 (7) 计算得出此路段流量的减少量。

$$\rho_{req} = \rho_{cur} - \rho_{exx} / T_{crit} \quad (6)$$

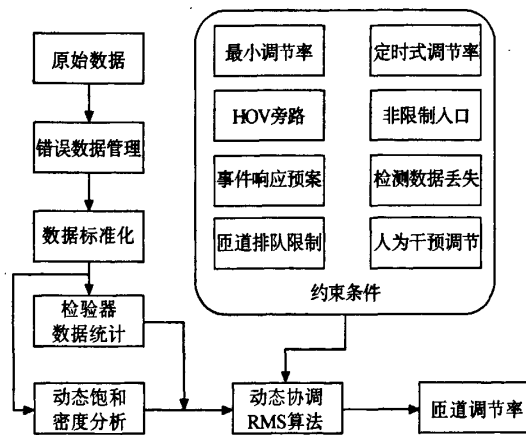
$$q_{red} = (\rho_{loc} - \rho_{req}) \times N \times S \quad (7)$$

式中： ρ_{req} 、 ρ_{cur} 、 ρ_{exx} 分别为设定（理想）密度、当前

图5 SWARM1算法示意^[11]

密度、超出密度; T_{crit} 为未来时段可调节的时长; q_{red} 为流量减少量, ρ_{loc} 为检测点附近密度; N 为主线车道数; S 为检测点间距。

根据各个匝道的需求、停车排队容量等实际情况设定权重系数,路段流量的减少量按照这些权重系数分配给关联的各入口匝道,阻止主线拥堵发生。SWARM1算法通过预测的交通流密度数据选择调节率,好的预测模型和精确的OD数据是SWARM1算法取得成功的两个重要条件^[11]。SWARM算法的实际应用还要考虑一些约束条件,数据流图如图6所示。

图6 SWARM算法数据流图^[4]

(4) 模糊逻辑控制(Fuzzy Logic)。

模糊逻辑控制使用语言变量和模糊逻辑推理解决入口匝道控制数学建模不准确的问题^[12]。把某处匝道上、下游主线的速度和占有率及匝道排队长度、占有率等多个数字变量输入逻辑控制器,使输入的精确定数变量转变成模糊语言变量。例如对于速度

和占有率可人为地分成五类集合:非常小(VS)、小(S)、中等(M)、大(B)、非常大(VB),变量的隶属度变化范围限定在0~1之间(图7);知识库包括数据库和规则库,规则库里存有一系列逻辑推理规则,运用这些规则经模糊推理判定出匝道调节率的语言变量,最后对语言变量进行反模糊化处理,最终得到匝道调节率(数字量)。具体过程参考图8。

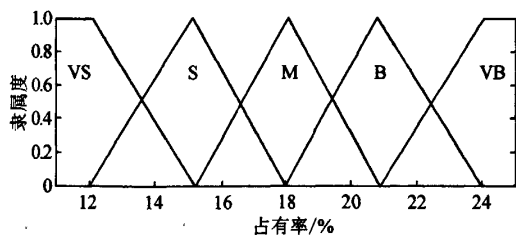


图7 占有率的模糊分类

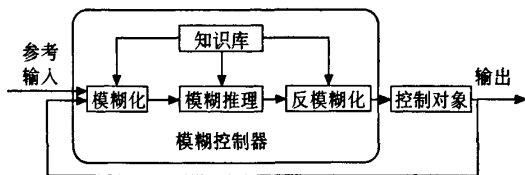


图8 模糊逻辑控制

模糊逻辑控制不需要抽象的精确数学模型,同时可利用各位专家或运营者的经验,而且允许不精确的数据输入,能有效地克服原始数据的误差问题。但是模糊控制中的模糊规则的获取比较困难,控制参数的设定需要大量的工作,且不具备在线学习功能;对于多个匝道控制,其模糊规则将呈指数增加,导致模糊控制实际应用的困难。

Zone、Bottleneck、SWARM等均是基于精确数学模型和经验的启发式控制算法^[5],Fuzzy控制属于智能控制的范畴。基于精确数学模型的控制系统可以较好解决高速道路主线上常发性拥挤问题,但是一旦出现非正常拥挤时,这种交通控制系统往往无法适从,甚至出现高速道路上交通混乱的情况。而具有非线性、复杂性、时变性、不确定性和不完全性特点的系统适宜于智能控制^[13],高速公路入口匝道控制系统恰恰具备这些特点,故智能控制更加适用于高速公路入口匝道控制系统。

入口匝道控制早期依靠历史数据进行静态单点孤立控制,后来发展到动态系统协调控制;近些年,又提出了高速公路入口匝道多层分散控制系统。由

于神经网络具有学习功能和预测能力,模糊控制可以模仿人的思维进行逻辑推理,专家系统可以依据专家的经验做出判断^[13]。可以预见,近期具有发展前景的入口匝道控制研究领域是集成融合神经网络、模糊控制、专家系统的大规模分级递阶智能控制,它不仅能对短期的交通需求进行预测还能计算出整个系统的入口匝道协调控制值,并能实时反馈控制以后的状态信息,对决策及时进行调整。因此,高速公路入口匝道的多层分散智能控制具有广阔的应用研究前景。

3 应用探索

从工程实践来看,入口匝道控制是改善高速公路交通拥挤的有效方法。美国、英国、法国、德国等均进行了入口匝道控制的实践。美国早在20世纪60年代就开始在芝加哥 Congress Street (现 Eisenhower) 快速干道上实施过入口匝道控制,并取得了良好的效果^[6]。目前我国绝大多数高速公路的设计通行能力一般都大于当前的交通需求,高速公路交通拥挤现象不普遍。因此实施大规模入口匝道控制仍未提到议事日程。

但随着经济的进一步发展,城市化、机动化的加速,高速道路上交通量日趋增大,对入口匝道控制的需求也在不断增大。可以预见,在不久的将来国内也会出现类似于国外高速公路拥堵的情况。事实上,国内一些特大城市的城市内高速公路(快速路)和城市间的高速公路已经开始出现不同程度的拥塞,例如北京环城高速、上海的内环高架和沪宁高速无锡至上海段。因此,我国研究和实施入口匝道控制的重要性已浮出水面。随着高速公路三大系统的施工到位,国内在许多高速公路入口匝道上安装了收费设施,主线上布设了电感线圈、视频、微波等交通检测设备和监控通信设备。它们一方面作为高速公路信息化发展的基石;另一方面也为高速公路入口匝道的实时、协调控制奠定了牢固的技术基础。

鉴于国内高速公路拥挤已初见端倪,故入口匝道控制在国内有广阔的应用前景,在限制出入的全封闭、全立交高速道路上,如城市间高速公路、城市内快速路均可以有效实施。但要得到成功的应用,在借鉴国外的经验和教训基础上应重点考虑以下几方面因素。

首先,高速道路上主线和入口匝道交通量大是实施入口匝道控制的先决条件。Sisiopiku 博士等

对美国阿拉巴马州伯明翰地区的仿真研究结果表明:对于主线和匝道的交通量均较小的情况下,实施入口匝道控制对高速公路主线反而有负面效果;然而,当主线交通量增至 4 750 veh/hr、匝道交通量增至 750 veh/hr 后,实施入口匝道控制后对主线交通运营状况有很明显的改善效果^[14]。国外的大量实践也为此提供了佐证。

其次,高速公路的几何线形应满足一定的条件。由于在高峰时段实施入口匝道控制后会不可避免地入口匝道上形成排队,为了避免排队长度过长后严重干扰与之相接的道路,必须保障足够的匝道长度以提供停车位置(每辆小客车需用的存贮空间为 7.62 m^[14])。威斯康辛州运输部给出了以下参考标准:入口匝道的停车容量应设计为该入口匝道峰值小时驶入量的十分之一以上^[2]。但这般会造成匝道占地面积过大的问题,解决此问题的有效手段是增加入口匝道的宽度,如尽量设置两车道以上匝道,这样既可以缩小占地面积,又可以提高匝道调节率,还可以开辟大容量客车/合乘车(HOV)专用车道以引导公众改变出行方式。此外还要考虑大型卡车的需求,为增强其启动性能,减小汇入时间、防止溜坡,匝道的坡度不宜过大;入口匝道和主线的合流区也应合理设计,使车辆加速后可以安全平顺地融入主线车流中。这些必须在高速公路路线设计时予以充分考虑。而目前我国高速公路设计时基本没有考虑为以后预留实施匝道控制所需的几何线形保证,这一点应该引起有关部门的高度重视。

次之,从系统的层面考虑从高速公路转移出来的交通量的问题,并加强匝道与侧道、干道、城市街道、前沿道路等的协调配合。运用匝道控制技术,给打算使用入口匝道的驾驶员提供交通诱导信息系统,实现交通转移(分流)^[1]。不仅要提供该匝道的相关信息,更重要的是给出可替换道路信息。信息的提供可由靠近入口匝道的衔接道路上的可变信息板提供。可变信息板安装位置应使驾驶员做到:在必要时可转移到上下游其他匝道,或者决定不再使用高速公路而选用一条平行替代道路。匝道与侧道、干道、城市街道、前沿道路等的协调配合问题主要在于城市内快速路高架与地面道路的信号协调和物理衔接。首先,需维持出入口匝道与城市交叉口的信号协调,并保障二者之间足够长度的交织距离,可以借鉴运用绿波控制;另外,需精心设计城市快速路立交的匝道落地点位置。国内大城市里的快速路立交与地

面道路交通衔接普遍存在问题,突出表现为上、下匝道异常困难,大量的车辆拥堵在匝道落地点附近的地面道路上。严重时,快速路立交主线上的车辆无法下匝道而地面道路的车辆也无法上匝道,正确运用出入口管理技术(AM)可以很好改善快速路立交与地面道路的交通衔接^[15]。

再次,入口匝道控制的实施也需法规执行和交通政策制定方面的配合。一般情况下,实际运营时入口匝道调节率最小值是3~4 veh/min,有些驾驶员因为信号周期内红灯等待时间过长违章闯入,实施HOV 优先控制的入口匝道也存在HOV 专用旁路被违章使用的情况,这些违章都可以使用视频检测器记录,以备执法部门取证处理。制定交通政策时需考虑对入口匝道控制的影响,避免对其产生负面效果。例如,目前国内可以结合现有匝道收费站,通过关闭和开启收费车道的数量,实施有效的入口匝道控制。而按照《江苏省高速公路条例》规定,省内高速公路收费站必须开足收费道口,保障车辆正常通行。因未开足收费道口而造成平均10台以上车辆等待交费;或者开足道口后待交费车辆排队超过200 m,收费站要免费放行,待交费车辆也有权拒绝交费。此项规定的合理性从入口匝道控制的角度看值得商榷。

最后,对匝道控制实施前后的效果应进行系统仿真和科学评价,通过调查数据实事求是地分析其优缺点。可以从安全、效率、能源消耗、环境污染、用户公平等角度分析评价。事实胜于雄辩,通过翔实的数据来证实入口匝道控制的益处更有说服力。建议国内实施入口匝道控制前应进行仿真和效果评价。

尽管入口匝道控制可以提高整个高速道路系统的运营效率,但是可能会造成个体驾驶员在匝道上等待较长时间。其成功应用必须得到政府机构和公众的理解和支持,实施前一定要通过各种媒体做好广泛宣传工作。这是入口匝道控制实施取得成功的关键因素之一。另外,入口匝道控制实施之前初次安装及以后的运营费用,信号周期内采取单车、并列、车队调节中的哪一种调节方式等也需通盘考虑。入口匝道控制在国内属于新生事物,必须分阶段、有计划、有步骤地实施,建议先在拥挤已具雏形的城市快速路上或者某条高速道路的某一拥挤路段先行实施,然后由点带面,逐步扩大应用范围。

4 结语

入口匝道控制策略经历了“从点到线,从静到

动”的发展历程,正在向分布式、层次化、智能化方向发展。入口匝道控制在国外得到广泛应用,已取得了良好的社会效益和经济效益。但目前在国内尚处于研究阶段,还没有成功应用的案例。成功应用的关键是实施之前根据国情统筹兼顾,周密安排。对于国内的工程应用,还有待于进一步的深入研究。

参考文献:

- [1] 刘伟铭. 高速公路系统控制方法[M]. 北京:人民交通出版社,1998.
- [2] Louis G Neudorff, et al. Freeway Management And Operations Handbook [R]. FHWA, U.S. DOT, 2003.
- [3] Persuad B S, et al. Study of Breakdown-Related Capacity for a Freeway With Ramp Metering [C]. Washington, D.C.; TRR1748, 2001.
- [4] Leslie Jacobson, et al. Ramp Management And Control Handbook[R]. FHWA, U.S. DOT, 2006.
- [5] 张海军,杨晓光,张珏. 高速道路入口匝道控制方法综述[J]. 同济大学学报(自然科学版),2005,(8).
- [6] 任黎立. 高速道路入口匝道控制方法[J]. 交通标准化,2006,(5).
- [7] 张媛. 高速公路入口匝道控制的研究[D]. 西安,长安大学,2005.
- [8] Stratified Zone Metering-The Minnesota Algorithm [R]. Minneapolis,MN.,2003.
- [9] Jacobson L N, K C Henry, O Mehvar. Real Time Metering Algorithm for Centralized Control [M]. Washington, D.C.; TRR1232, 1989.
- [10] NET. System-Wide Adaptive Ramp Metering Algorithm-High Level Design[R]. La Mirada, CA; 1997.
- [11] Robert L Bertini, Soyoung Ahn. Using Archived ITS Data to Measure the Operational Benefits of a System-Wide Adaptive Ramp System[R]. Portland; SPR645,2006.
- [12] Taylor C, Meldrum D, Jacobson L. Results of the On-line Implementation and Testing of a Fuzzy Logic Ramp Metering Algorithm[R]. Washington, D.C.; TRR, 2000.
- [13] 易继锴,侯媛彬. 智能控制技术[M]. 北京:北京工业大学出版社,2004.
- [14] Virginia P Sisiopiku, Anirban Das, Andrew Sullivan. Applications of Freeway Ramp Metering in Alabama[R]. UTCA 04203, 2005.
- [15] 陈恺,张宁,黄卫. 出入口管理技术改善立交与地面道路的交通衔接[J]. 公路,2006,(10).

文章编号: 0451-0712(2008)08-0186-06

中图分类号: U491.8

文献标识码: A

基站式道路气象站布设原理和方法

汤筠筠, 包左军, 李长城, 杨 涛

(交通部公路科学研究院公路交通安全技术交通行业重点实验室 北京市 100088)

摘 要: 通过分析国内道路气象站的布设情况, 针对“密布式”道路气象站浪费资金和能源等缺点, 提出基站式道路气象站。基站式道路气象站是一种低成本的道路气象站布设方法, 它能优化道路气象站布设, 为合理布设(位置、数量与配置)道路气象站提供定量参考。本文针对国内尚未应用“基站式”道路气象站布设方案的情况, 对基站式道路气象站的布设原理和方法做了详细的介绍, 对于国内迅速发展的道路气象信息服务, 节约资金和能源都有着重要的启发和借鉴意义。

关键词: 道路气象站; 基站式; 热谱地图; 原理; 方法

道路气象站是道路气象信息系统(RWIS)的一部分, 主要是用于道路、天气和气候等信息的采集^[1]。道路气象站根据其布设方式的不同, 分为“基站式”和“密布式”两种。基站式道路气象站是指根据移动路面状态检测方法获取的数据, 分析出整个道路网络中不同的气候区域, 在此基础上对道路气象站进行优化, 从而形成低成本的道路气象站点布设方案。而所谓密布式是相对于基站式而言的, 密布式道路气象站是当前国内布设道路气象站的主要方

式, 其最为显著的特点是按照一定里程间隔均匀布站。根据交通部公路气象工作组了解到的情况, 国内道路气象站布站的密度有进一步加密的趋势, 有些地方甚至提出了 10 km 一座站, 甚至 5 km 一座站的方案。密布式布站方案无疑大幅增加了整个道路气象信息系统的部署费用, 而且应用效果未必能够达到设计者和信息需求者的期望。因此, 本文在考虑节约资金和能源的基础上, 研究基站式道路气象站布设的原理和方法。

基金项目: 2006 年西部项目《公路交通气象信息服务平台与气象灾害预报、灾害后评估研究》

收稿日期: 2007-12-04

Discussion About Method and Application of Expressway Entrance Ramp Metering

LU Hai-ting, ZHANG Ning, QIAN Zhen-dong

(College of Transportation, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: Entrance ramp metering is an important approach of expressway management and control. The foreign expressway on-ramp metering philosophy and method are systematically analyzed and summarized; in particular, the foreign popular system-wide traffic responsive ramp metering algorithms are emphasized. After that, some perspectives on future research are put forward. Last, the concerned domestic engineering applications are initially discussed from the aspects such as traffic volume, geometric requirements, corridor control, coordination, policy-making, simulation and evaluation, etc.

Key words: expressway entrance ramp metering; metering philosophy; system-wide traffic responsive ramp metering; engineering application