

文章编号: 0451-0712(2006)11-0113-06

中图分类号: U491.5

文献标识码: A

# 基于过程控制模型的道路交通安全设施系统构造方法研究

蒋贵川, 易 术, 陈 栋

(四川省交通厅公路规划勘察设计研究院 成都市 610041)

**摘 要:** 利用信息学与控制相关理论对道路交通安全设施进行研究, 建立了交通管理的过程控制模型, 分析了当前道路交通安全设施常规设计方法在机理上存在的不足, 提出了一种自顶向下的、层次清晰的、支持交通安全设施的系统性设计, 使交通安全设施设计的设计结果具有可评价性和可校正性的道路交通安全设施设计流程, 并对整个流程的具体构造进行了详细地分析。

**关键词:** 过程控制模型; 交通安全设施; 交通控制

道路交通标志、标线和诱导标等交通安全设施本质上可以认为是影响道路驾乘人员行为的一种手段。由于这种影响是通过向驾乘人员提供有利于正确和安全行驶的诱导信息来完成的, 因此, 道路的道路交通安全设施本质上是道路交通信息系统的一个有机组成部分<sup>[1]</sup>。

目前, 在个体交通安全设施的信息表达方法<sup>[2,3]</sup>, 以及交通安全设施自身组合效果的研究上已经取得了研究成果<sup>[4]</sup>, 但对于交通安全设施作为一个系统对驾乘人员行为所产生的整体影响, 其评价手段和方法的系统性仍有待加强。

本文运用信息工程和控制论方法对道路交通管理过程进行研究, 抽象出交通管理的过程控制模型, 对道路交通安全设施在交通管理中的地位和作用机理进行系统研究, 并在此基础上提出一种能够对道路交通安全设施提供系统性评价和指导的构造方法体系。

## 1 交通管理的过程控制模型

一般情况下, 完整的交通管理的过程可以用图 1 加以描述。

其中:

$K$  表示交通诱导信息的制定和发布功能的行使者, 由交通管理者  $K_1$  和交通信息系统中负责决策和信息发布的部分  $K_2$  构成;

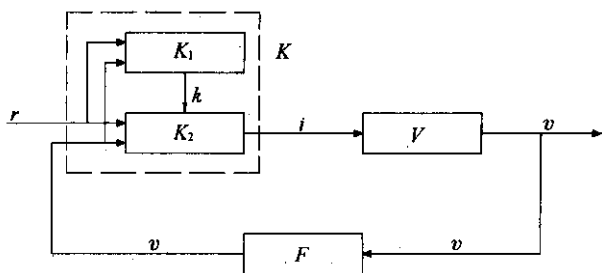


图 1 交通管理过程

$V$  表示交通环境中的交通器;

$F$  表示道路交通状况信息的采集者, 主要由交通信息系统中的信息采集部分构成;

$r$  表示期望的道路交通流运行状态;

$v$  表示实际的道路交通流运行状态;

$k$  表示由  $K_1$  制订的道路交通流诱导策略;

$i$  表示由  $K_2$  向  $V$  发布的交通诱导信息。

本文中所称的交通环境、交通管理者、交通信息系统和交通器使用文献<sup>[1]</sup>的定义。

可以看出, 通过在整个交通管理过程中的互动, 交通管理者、交通器和交通信息系统作为一个整体符合反馈控制系统的所有特征。因此, 整个交通管理过程可以用一个带反馈的过程控制模型加以描述。其中, 交通信息系统的一部分构成信息采集器, 交通管理者和交通信息系统中的其他部分构成控制器, 而交通器则构成该控制系统中的受控对象。图 1

即为交通管理的过程控制框架模型。

文献[1]指出,从与时间的相关性上看,公路交通管理所需要的信息可以分为性质不同的两类,分别是时间弱相关信息类和时间强相关信息类。其中,时间弱相关信息类是指基本不随时间变化或只有很小的变化的那一类信息,例如互通立交的各匝道通向何处、何处有构造物、道路边缘线位置、车道的划分等。

由于道路交通标志、标线和诱导标等交通安全设施的版面和实施位置等特性难以在短时间内快速改变,因此,交通安全设施一旦实施后,通常在一个较长的时间段内不会进行调整。显然,在整个交通控制系统中,适于由交通安全设施承载的信息只能属于时间弱相关信息类。

由于交通安全设施所具有的上述特性,虽然从大的时间尺度上看,标志、标线等可以在道路开通运营后,根据运营中的经验教训进行调整,总体上也有反馈过程的存在,但在小的时间尺度上,从实时控制的角度,由于交通安全设施所承载的信息实际上不能实时改变,反馈环节也就不能对交通安全设施造成实时的影响。这一方面意味着交通安全设施主要属于交通管理的过程控制框架模型中 $K_2$ 的构成部分;另一方面,意味着当交通控制系统中的控制器只考虑由交通安全设施构成时,基本上可以不考虑控制系统中信息采集和反馈环节的作用,此时的交通控制系统将只由控制器和被控对象构成,成为一个开环控制系统。在这种情况下(小时间尺度),交通管理的过程控制框架模型可以简化为如图2。

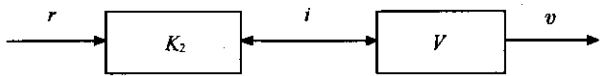


图2 小时间尺度下仅含有交通安全设施的简化交通管理过程

## 2 交通安全设施系统设计流程分析

借助于本文所建立的交通管理过程的过程控制模型,一个给定的行车环境中的交通安全设施设计问题就可以转化为一个控制系统中的控制器设计问题。

控制器设计的最终目标是使系统的输入与输出之间的关系满足设计的期望。对于交通管理控制,系统的输入本质上就是交通管理者和/或设计者所期望的道路交通流运行状态,而系统的输出则是实际的道路交通流运行状态。

根据交通管理的过程控制模型,交通管理者和/或设计者事实上是遵循图3所示的流程,来实现影响道路交通流,使交通流的实际运行状态符合期望状态的目标。

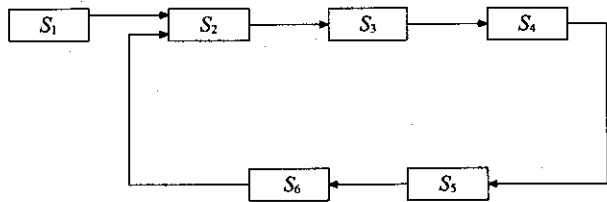


图3

其中:

$S_1$  表示交通管理者和/或设计者制定交通管理的总体控制目标的步骤;

$S_2$  表示将总体控制目标与实际运行状况相比较的步骤;

$S_3$  表示根据比较结果,确定当前控制策略的步骤;

$S_4$  表示通过交通控制器,将当前控制策略转换为能够为被控对象接收和处理的信息的步骤;

$S_5$  表示被控对象将交通控制器发布的信息进行处理后,转化为交通流具体行为的步骤;

$S_6$  表示对交通流具体行为进行检测的步骤。

上述步骤中, $S_2$ 、 $S_3$  和  $S_6$  只存在于带有反馈环节的控制流程中。当控制器仅由交通安全设施构成时,在小时间尺度下,可不考虑上述3个步骤,当控制器中同时还有实时控制设施时,必须通过上述3个步骤综合评价控制器的控制效果。

交通安全设施的常规设计流程可描述为如下:对交通环境的具体条件进行了解和评估;将交通环境的具体条件与通用的设计指导原则、规范等所规定的条件相对比;对于与设计指导原则、规范相匹配的情况,按照规范的规定设置相应的设施。

将上述流程与交通控制的流程相比较,可以看出常规设计流程存在以下问题。

(1)常规设计流程没有明确地制定具有针对性的交通管理总体控制目标。遵照这样的设计流程,控制目标事实上隐含在设计指导原则和规范中。由于对总体控制目标没有进行系统地规划和论证,容易造成原则和规范应用的孤立化,对于系统设计的整体性造成不利影响。

(2)由于总体控制目标是隐含的,并没有进行明

确地提炼,因此在整个系统设计过程中和完成后,由于没有具体的控制目标作为评价对象,使得整个系统的最终控制效果的评价无法系统地进行。

(3) 由于不能进行系统性地评价,对于在设计过程中可能遗漏或考虑不足的情况,自然也就缺乏系统性的发现和纠正机制。

(4) 由于该设计流程并没有反馈环节,也没有考虑交通安全设施与交通控制器的其他组成部分的相互作用,自然也就缺乏对于最终的交通控制器的综合控制效果的系统评价机制,也容易造成交通控制器的内部冲突。

针对常规设计流程的不足,本文提出如图 4 所示的基于过程控制模型的道路交通安全设施设计流程。

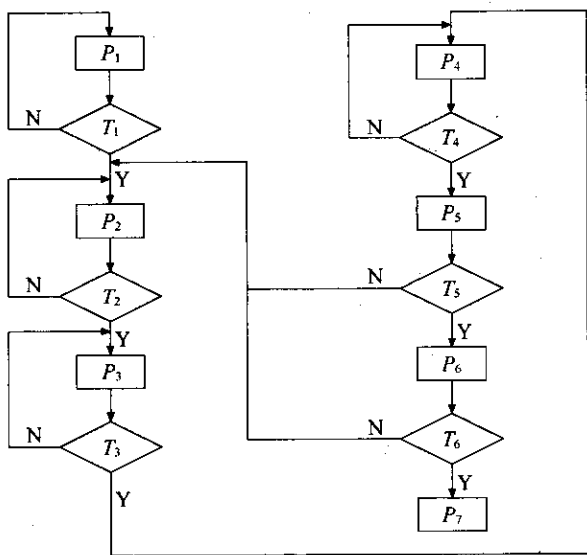


图 4

上述设计流程是一个多层级分阶段流程,整个流程可细分为多个子流程。高层级(阶段)子流程的输出作为低层级(阶段)子流程的输入,并逐步在各层级(阶段)子流程的输出中得到反映。各层级(阶段)子流程的具体意义为:

$P_1$  为交通管理总体控制目标的制定流程,  $T_1$  为总体控制目标的合理性验证流程;

$P_2$  为结合总体控制目标和交通环境制定交通控制策略的流程,  $T_2$  为控制策略的合理性验证流程;

$P_3$  为将控制策略转化为交通控制措施的流程,  $T_3$  为交通控制措施的合理性验证流程;

$P_4$  为将交通控制措施映射为具体的交通安全设施设置方案(形式、数量和位置等)的流程,  $T_4$  为交通安全设施设置方案的合理性验证流程;

$P_5$  为评估驾驶者对交通安全设施携带的信息所做的可能解读,以及各种解读所对应的驾驶者行为和感受的流程,  $T_5$  为驾驶者的行为和感受与总体控制目标的符合性验证流程;

$P_6$  为考虑交通安全设施与其他交通控制设施共同作用时,对驾驶者的行为和感受进行评估的流程,  $T_6$  为驾驶者的行为和感受与总体控制目标的符合性验证流程;

$P_7$  为设计结束流程。

多层级分阶段流程的优点在于将复杂程度高的问题分解为多个目标相对明确,复杂程度较低的问题之后,总体上使得解决问题的难度降低,有利于实际操作;但在实际设计过程中,由于各种原因,层次(阶段)的转换不可避免地要造成设计的偏差,也有可能最终设计所产生的效果与整体优化目标集的不完全相符,因此设计所得到的方案必须进行评价和预估,并进行调整设计。在最终方案的评价结果不能满足整体优化目标集的要求时,由于偏差可能是在前面的阶段中造成,因此调整设计必须从控制策略集合的调整开始。

以下对每个具体的子流程分别进行研究。

### 3 交通管理整体目标制定流程

交通管理整体目标制定流程的作用是根据交通环境的具体特征,综合确定交通控制过程所需满足的宏观指标。记:

$C$  是具体的交通环境;

$G$  是  $C$  中由交通安全设施负责实现的交通管理总体控制目标所构成的集合,称为整体优化目标集合。

交通管理的总体控制目标的所有可能的取值构成一个空间,称为交通管理的整体优化目标空间,记为  $O_c$ 。显然有  $G \subset O_c$ 。

与一般常规控制系统相比较,交通控制系统具有自身的特殊性。从宏观上看,交通流可以看作是一种特殊的流体,从而可以基于流体力学的一些基本原理进行控制;而从微观上看,公路交通流又是由单独的车辆构成,每个车辆的具体行为均由其驾驶者自主决定,因此,公路交通本质上又符合多智能体(MAS)自组织系统的特征<sup>[1]</sup>,难于建立微观上的精确数学模型进行全面地定量分析。因此,交通控制的整体优化目标空间的覆盖范围可能是很宽广的,也有可能包含连续的解析函数子空间,也有可能包含离散的定性描述子空间。整体优化目标集是整体优

化空间中的一个子集,因此,整体优化目标集中既有可能包含连续的解析函数,也有可能包含离散的定性描述。

一方面,整体优化目标集的选择是根据交通环境的具体参数选择确定的,因此必须具有针对性;另一方面,作为整个交通安全设施设计流程的基础,整体优化目标集必须具有宏观性、完整性和一致性。

**针对性:**整体优化目标集必须与交通环境自身的特点和性质相匹配。无疑,交通控制的目标必须与道路的等级、设计行车速度、设计通行交通量以及在路网中的地位等特性相匹配。

**宏观性:**整体优化目标集作为整个设计流程的宏观指导,本质上是对最终控制的结果所做出的宏观预见,主要应具有本质性的描述,反映对控制效果的预期。整体优化目标集应尽量避免引入具体的交通控制对策措施,从而对下一设计阶段中对控制策略的选择造成限制。整体优化目标集应结合交通环境制定,但主要应考虑交通环境的宏观指标。

**完整性:**整体优化目标集应尽可能完整地反映对最终的交通控制结果的整体要求,目标集的完整性同时会对目标集的一致性造成影响。

**一致性:**一致性分为内部一致性和外部一致性。内部一致性是指交通安全设施的整体优化目标集中的各具体目标没有内部冲突。外部一致性是指交通安全设施的整体优化目标集与道路设计的其他目标之间不存在相互冲突的情况。

最终确定的整体优化目标集必须满足上述 4 个性质的约束。因此,对于整体优化目标集选择过程中的中间成果,应验证其对于上述 4 个性质的符合性。目标评价函数可以针对上述 4 个性质分别做出评价,并得出评价结论。

验证完成后,还需根据具体的检验结果,确定是否需要整体优化目标集进行调整。

记:

$E_G$  是将  $G$  与  $C$  的组合转换为具体的评价指标的一个映射,称为目标评价函数;

$A_G$  是将  $E_G$  的评价结果,结合  $G$  与  $C$  的组合转换为调整后的整体优化目标集的一个映射,称为目标调整函数。显然有  $A_G(E_G(C, G), C, G) \subset O_c$ 。

#### 4 交通控制策略制定流程

控制策略具体是指为使交通流的运行结果符合整体优化目标集的要求而采用的交通流诱导原则和

基本方法。

所有可能的控制策略的总和构成一个空间,称为控制策略空间。记为  $M_c$ 。

交通管理整体目标制定流程所输出的整体优化目标集是控制策略制定流程的输入。同时,控制策略的制定过程还必须考虑交通环境的具体特征。对于具体的某个交通环境  $C$  及其整体优化目标集  $G$ ,满足交通控制要求所需的所有控制策略的总和构成控制策略空间中的一个子集。记  $f_{GM}$ ,是将  $G$  与  $C$  的组合转换为具体的交通控制策略的一个映射,称为策略映射函数,其映射结果称为基于  $G$  的  $C$  的控制策略集合。显然有  $f_{GM}(C, G) \subset M_c$ 。

控制策略的本质是对道路交通流的运行轨迹进行总体规划,以控制交通流运行轨迹的方式,达到使交通流的运行结果符合整体优化目标集要求的目的。在制定控制策略时,并不必要考虑控制策略的具体实现手段。控制策略制定的重点在于“做什么”,而不在于“怎么做”。例如“将速度降至 50 km/h”是一个控制策略,当具体采用限速标志或是震荡标线来完成则不是控制策略考虑的范畴。

由于控制策略的考虑对象是交通流的运行轨迹,需要涉及交通流运行的更多细节,因此在考虑交通环境对于交通流运行的影响时,相对于整体优化目标集,控制策略相对更多地着眼于交通环境的微观构成。

控制策略集合中的每个策略均包括作用条件、作用地点和具体策略三个要素。其中作用条件是指启动该控制策略的前提条件,而作用地点是该控制策略使用的地点。对应地,在这一设计阶段,需要根据交通流运行所受影响性质和程度,对交通环境进行精细地划分,并针对每一个部分进行相应地控制策略设计,最终得到总体的控制策略集合。

控制策略集合的确定需要经过以下检验。

**内部一致性检验:**保证控制策略集中的各具体控制策略在效果上不存在冲突;

与整体优化目标集的一致性检验:保证控制策略集合的控制结果与整体优化目标集的要求相一致。

检验完成后,还需根据具体的检验结果,确定是否需要控制策略集合进行调整。

记:

$E_M$  是将控制策略集合  $f_{GM}(C, G)$  转换为具体的评价指标的一个映射,称为策略评价函数;



$A_M$  是将  $E_M$  的评价结果, 将现有控制策略集合转换为调整后的控制策略集合的一个映射, 称为策略调整函数。

## 5 交通控制措施制定流程

措施是控制策略在手段上的具体化。对于同一个控制策略, 可以有不同的措施加以实现。

所有可能的措施的总和构成一个空间, 称为措施空间, 记为  $I_c$ 。

对于具体的某个控制策略, 满足该控制策略的要求的一个措施的组合构成措施空间中的一个子集。记  $f_{MI}$  是将控制策略集合  $f_{GM}(C, G)$  转换为具体的控制手段和措施的一个映射。称为措施映射函数, 其映射结果称为交通安全设施的措施脚本。

控制策略的实现措施从性质上看可以分为主动措施和被动措施两类, 前者是以信息发布为主要手段, 通过驾驶者处理信息之后主动采取相应的行动来达到交通控制的目的, 大部分交通安全设施和交通控制设施属于这一类; 后者主要指各种可能采取的强制性的交通限制手段, 这类措施包括加速震荡标线和护栏等。

由于信息发布措施在载体形式上种类繁多, 为了突出本质问题, 明晰系统设计的层次, 对于信息发布措施, 在措施脚本阶段只规定信息的发布内容, 对于信息以何种载体发布则不做具体的规定, 而留待方案阶段解决。

在确定措施脚本的内容时, 不但要考虑单个措施自身的效果, 更重要地是考虑多种措施的组合效果。因此, 措施脚本应包含细分的子脚本, 每个措施除了包括作用条件、作用地点和具体措施这三个要素之外, 还包括所属子脚本这个要素。

措施脚本确定之前, 应进行与控制策略集合的一致性检验。

检验完成后, 还需根据具体的检验结果, 确定是否需要措施脚本进行调整。

$E_I$  是将控制策略集合  $f_{MI}(C, G)$  转换为具体的评价指标的一个映射, 称为策略评价函数。

$A_I$  是将  $E_M$  的评价结果, 将现有措施脚本转换为调整后的措施脚本的一个映射, 称为措施调整函数。

## 6 方案制定流程

方案是用于对最终用于实施的交通安全设施的

具体形式、内容和数量的统一确定, 其中必须细化出每个设施的设置位置和具体参数。方案将直接转化为具体实施的交通安全设施。从控制的角度, 方案设计的结果就是控制器的最终设计。

所有可能在公路中使用的交通安全设施构成一个空间, 称为方案空间。交通控制措施制定流程所输出的措施脚本是方案制定流程的输入。记  $f_{IS}$  是将措施脚本转换为方案的映射。称为措施映射函数, 其映射结果称为交通安全设施的方案。

在方案阶段, 最重要的工作是确定信息发布的载体。即确定信息采用何种设施发布和以何种形式(文字、图案等)表示。

交通安全设施中所携带的信息必须满足以下3个条件:

(1) 可视认性, 交通安全设施中用于携带信息的载体的外形必须能够在适当的时间和适当的地点被驾驶者清晰地辨认;

(2) 可理解性, 载体的外形应能使驾驶者获得符合设计期望的信息;

(3) 稀缺性, 载体应能减少驾驶者获得其所蕴含的那部分信息的工作量。

在实际中, 由于驾驶者之间存在个体差异, 对于同一个信息载体, 不同的个体所获得信息有可能是不同的。为此, 一方面, 应尽可能地采用规范的载体, 规范的作用相当于对信息的理解进行了标准化, 从而保证信息理解的唯一性; 另一方面, 对于具体的方案, 必须对驾驶者的可能的理解以及其后可能行为和感受进行评价和预估, 并将之与整体优化目标集相比较, 以根据比较结果进行调整设计。

当交通控制系统中包含其他交通控制设施时, 还需对交通安全设施与其他交通控制设施的组合效果进行评价和预估, 并根据比较结果进行调整设计。

为此, 我们需要: 一个方案评价函数  $E_S$  将设计方案转换为具体的评价指标; 一个方案调整函数  $A_S$ , 根据  $E_S$  的评价结果, 将现有方案转换为调整后的方案。

两个函数  $f_{SD}$ 、 $f_{ST}$ , 分别将设计方案映射为交通安全设施单独作用时驾驶者的行为和感受、将交通安全设施与其他交通控制设施的组合映射为共同作用时驾驶者的行为和感受。

两个函数  $E_D$ 、 $E_T$ , 分别将交通安全设施单独作用时驾驶者的行为和感受、与其他交通控制设施共同作用时的行为和感受转换为具体的评价指标。

当  $E_D$ 、 $E_T$  的评价结果是方案达不到期望效果时,调整设计必须从控制策略集合的调整开始。为此,还需要:

两个函数  $A_D$  和  $A_T$ ,分别基于交通安全设施单独作用时驾驶者的行为和感受、与其他交通控制设施共同作用时的行为和感受调整控制策略集合。

7 进一步地讨论

由于交通控制系统自身所具有的特殊性,整个交通安全设施设计流程中所需要的各评价函数在形式上不能仅局限于解析函数形式,而应采用包括规则集、模糊函数、神经网络等多种方法在内的形式进行构造。

在大时间尺度下,交通安全设施本身也有可能发生改变。这样的改变通常是在对道路实际运营情况的数据积累的基础上进行的。此时,可以将这种改变看作是一次新的交通安全设施设计过程,同样可

以利用本文所提出的设计流程加以实现。

参考文献:

[1] 蒋贵川,易术.公路交通信息系统构造和关键技术研究[A].国际运输与物流学术论文集[C].成都:西南交通大学出版社,2004.

[2] 隽志才,曹鹏,吴文静.基于认知心理学的驾驶员交通标志视认性理论分析[J].中国安全科学学报,2005,15(8).

[3] 林雨,潘晓东,方守恩.交通标志的视角阈值研究[J].公路,2005,(7).

[4] 刘会学.高速公路网络环境下交通标志的设计[J].公路,2004,(12).

[5] 王云鹏,杨志发,李世武,王君立.交通环境对道路安全影响的定量评价[J].吉林大学学报(工学版),2005,36(1).

[6] 唐琤琤,吴凡.标志设置的路侧安全性考虑及对策[J].公路交通科技,2005,22(9).

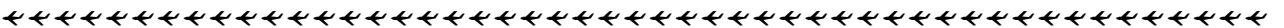
Research on Construct Method of Road Traffic Safety Equipment Based on Process Control Model

JIANG Gui-chuan, YI Shu, CHEN Dong

(Highway Planning, Survey, Design and Research Institute of Communications Department of Sichuan Province, Chengdu 610041, China)

**Abstract:** Theories of information and control science are used to research on road traffic safety equipments and establish a process control model. The structural disadvantages of current common design method of road traffic safety equipment are analyzed, a top-down procedure with clear coherence is provided, which can make the design of road traffic safety equipment is systematic and the results of the design are ratable and adjustable. As well, the detailed construct of the procedure is analyzed.

**Key words:** process control model; traffic safety equipment; traffic control



申苏浙皖高速公路浙江段建成通车

2006 年 10 月 30 日,申苏浙皖高速公路浙江段建成通车。这是湖州通往上海的首条高速公路,也是浙江继沪杭甬高速公路后通往上海的第二条高速公路。

苏浙皖高速公路浙江段的贯通,将湖州与上海的距离从 150 km 缩减至 120 km,到上海的时间将缩短至 1.5 h。该路在建设过程中一直秉承“粗活细做,细活精做”的理念,以确保创精品工程,争创优质工程为目标,严格按照科学规范施工,确保一流高速公路品牌。