



高速公路 监控系统

● 赵忠杰 许世燕 周林英 编著



人民交通出版社
China Communications Press



Highway Monitoring System

高速公路监控系统

赵忠杰 许世燕 周林英 编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书全面介绍了高速公路监控系统的技术知识、基本组成、系统结构等,内容包括:管理策略、基本理论、检测系统、交通控制系统、信息系统、监视系统、隧道机电系统以及综合监控系统等。

本书可作为交通工程、交通设备及控制工程、交通信息与控制、道路与桥梁工程、交通运输管理等专业高校本科生和研究生的教材,也可以供从事高速公路机电工程建设和运营维护的工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

高速公路监控系统 / 赵忠杰, 许世燕, 周林英编著

— 北京: 人民交通出版社, 2014. 1

ISBN 978-7-114-10854-9

I. ①高… II. ①赵… ②许… ③周… III. ①高速公路—交通监控系统 IV. ①U491.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 200116 号

书 名: 高速公路监控系统

著 作 者: 赵忠杰 许世燕 周林英

责任编辑: 孙 玺 刘永超

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 720 × 960 1/16

印 张: 19.5

字 数: 358 千

版 次: 2014 年 1 月 第 1 版

印 次: 2014 年 1 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-10854-9

定 价: 45.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

高速公路是国家经济发展的命脉,是大众工作生活不可缺少的重要组成部分。目前,我国绝大部分省份高速公路已形成网络,高速公路的工作重点将由建设转入运营管理。高速公路监控系统是高速公路机电系统的重要组成部分,其通过沿线的外场设施(各类检测、显示装置)及时、准确、完整地收集道路的各类信息,并向道路使用者预告交通量、事故、路况等前方道路信息。同时,道路管理者可通过监控中心的监视设备直观地了解交通运行状况,在发生交通异常时,能及时确定事故或拥堵区域,并实时发布相应的诱导和救援信息。由此可见,建设和完善高速公路监控系统,是提高高速公路运营和服务水平的主要手段之一。

随着计算机技术、自动化控制技术和光纤通信技术的发展,高速公路监控系统的相关应用技术发展日新月异,从模拟监控到数字监控;从人工监控到较高自动化程度监控;从单一的计算机集中处理到多计算机功能分散的计算机网络处理;从单一路段、相对封闭到区域联网、开放互联等。

目前,“高速公路监控系统”已被列为国内外许多工科大学相关专业本科生和硕士生的学位课或必修课,但系统且完整地介绍和讲解高速公路监控领域最新技术的书籍却少之又少。因此,撰写一本适合我国工科院校本科生、研究生和工程技术人员使用的著作是十分必要的。本书根据作者多年来从事高速公路机电系统的教学经验与科研工作的实践编写而成,力求系统地讲解高速公路监控系统的应用技术,并将该领域的新技术及研究热点介绍给读者。

全书共分9章,第1章主要介绍高速公路监控系统的功能、构成及其发展,使读者对高速公路监控系统有一个概略的了解;第2章主要介绍高速公路的事件类型及其对环境的影响,并重点介绍预防和减少事件发生的管理对策;第3章主要介绍高速公路交通流参数、跟驰模型、流体动力学模型、事件检测算法等高速公路交

通流基本理论;第4章主要介绍高速公路监控系统中采用的环境、道路及交通流等各类检测器的原理及使用;第5章针对高速公路交通流的运行特点,详细分析了各种高速公路交通控制系统应用的条件、控制对象及控制方法,如入口匝道控制、主线控制、通道控制等;第6章首先介绍高速公路发布的信息内容和特点,然后对发布信息的可视信息标志、可变信息标志系统、车辆诱导系统及决策者信息终端的功能和构成加以介绍;第7章主要介绍高速公路视频监视系统的应用区域、系统构成及视频传输技术和设备。并在此基础上,以具体工程为例,讨论了不同形式的视频传输方案;第8章将公路隧道作为具有特殊性质的高速公路监控路段,单独分析其通风、照明、火灾监控系统及其交通诱导策略;第9章首先介绍高速公路视频及数据的传输方式,然后对路段接入网络、干线传输网络等高速公路监控中应用的计算机网络技术加以分析,最后概述了高速公路综合监控软件的功能及结构。

本书第1、8章由赵忠杰教授主笔,第3、4、6、9章由许世燕博士主笔,第2、5、7章由周林英博士主笔。全书由赵忠杰教授统一定稿。在本书编写中,王英伟、王伟力、郝思文、周力、李玲等参加了书稿的录入、图表绘制及校核工作,在此一并表示感谢。

由于编者水平所限,书中难免有错误和不足之处,热诚欢迎读者批评指正。

作者

2013年10月于长安大学

目 录

第1章 绪论	1
1.1 高速公路发展概要	1
1.2 高速公路监控系统概述	2
1.3 高速公路监控系统的目标、功能、任务及监控过程	4
1.4 高速公路监控系统的构成	7
1.5 国内外监控系统发展概况	10
1.6 高速公路监控系统新技术及发展趋势	12
第2章 高速公路的事件类型及对策	15
2.1 高速公路的特征与类型	15
2.2 高速公路存在的问题	17
2.3 管理对策	26
第3章 高速公路交通流基本理论	38
3.1 交通流基本参数模型	38
3.2 跟驰模型	49
3.3 流体力学模型	56
3.4 高速公路交通流模型	59
3.5 排队论模型	62
第4章 高速公路检测系统	68
4.1 环境检测	68
4.2 道路条件检测系统	74
4.3 交通流检测	77
4.4 高速公路事件检测	86

第 5 章 高速公路交通控制系统	97
5.1 概述	97
5.2 入口匝道控制概述	100
5.3 入口匝道控制的方法	102
5.4 主线控制系统	123
5.5 通道控制	130
5.6 出口匝道控制	134
5.7 优先控制	134
第 6 章 高速公路信息提供系统	137
6.1 概述	137
6.2 交通信息及其组成	141
6.3 可视信息标志	143
6.4 信息提供装置的设置方法	147
6.5 可变信息标志系统	150
6.6 车辆导航系统	153
6.7 控制与决策者信息终端	158
第 7 章 高速公路视频监控系统	161
7.1 高速公路视频监控系统功能	161
7.2 高速公路视频监控系统的构成	162
7.3 视频传输	180
7.4 高速公路视频监控系统的工程设计	195
第 8 章 公路隧道机电系统	212
8.1 概述	212
8.2 隧道通风	214
8.3 隧道照明	232
8.4 隧道交通诱导与控制	251
8.5 隧道火灾报警系统	263
第 9 章 高速公路综合监控系统	279

9.1 概述	279
9.2 高速公路监控视频及数据传输架构	282
9.3 高速公路综合监控计算机网络系统	289
9.4 高速公路路段接入网络平台	290
9.5 高速公路干线传输网络平台	296
9.6 高速公路综合监控软件系统	298
参考文献	301

第1章 绪 论

随着国民经济的迅速发展和现代化建设的需要,我国高速公路建设也飞速发展。但是,随着机动车保有量的迅速增加,交通拥挤、交通事故、环境污染、能源浪费等交通问题也日益严重,交通问题已成为国际社会的共同难题。高速公路监控系统作为一种现代化交通运营管理系统,是保证高速公路“安全、高速、舒适”运营的重要组成部分,它将先进的信息技术、数据通信传输技术、电子控制技术以及计算机处理等技术,综合运用于地面运输管理体系,从而建立起一种能在大范围、全方位发挥作用的实时、准确、高效的高速公路运输综合管理系统,是保障交通安全、提高运营管理效率、提升服务水平的必要手段,是实现公路运输现代化管理与控制的重要手段。

1.1 高速公路发展概要

高速公路作为现代化的公路运输基础设施,其产生和发展是国民经济发展的必然结果,是一个国家现代化水平的重要标志之一。从世界范围看,高速公路起步于20世纪30年代,到目前为止,全世界已有60多个国家和地区兴建了高速公路。其中,美国、日本、德国、意大利等发达国家是较早建设高速公路的国家,也是高速公路网最发达的国家。我国的高速公路建设相比西方发达国家晚近半个世纪的时间。1988年,沪嘉高速公路建成通车,结束了我国大陆没有高速公路的历史。1990年,沈大高速公路全线建成通车,标志着我国高速公路发展进入了一个新的时代。1998年至今,我国高速公路建设进入了快速发展时期。2000年年底,全国高速公路通车里程达16 314km,2005年年底,全国高速公路通车里程达4.1万km,到2012年年底,全国高速公路通车里程达9.62万km。

随着高速公路建设的迅猛发展,建立现代化的运营管理体系已成为保障高速公路安全、高效运行的重要课题之一。高速公路作为一项大的系统工程,因其自身服务与功能的要求,需要一套安全可靠的交通安全管理体系,以提供优质高效的服务、创造高效益。为此,利用先进的计算机网络、通信、自动控制等技术手段建立高

高速公路监控系统已经成为业内人士的共识。

1.2 高速公路监控系统概述

高速公路监控系统对高速公路交通流运行状态、道路设施状态和交通环境状态进行检测与控制,是实现高速公路安全行车和道路通畅的基本要求和重要手段。

1.2.1 高速公路监控系统概念

高速公路监控系统,由信息采集、数据传输、中心控制和信息发布等子系统组成,具有监测和控制两大功能。

监测是指利用高速公路沿线的车辆检测器、气象监测器、能见度仪、摄像机等信息采集设备,对道路交通状况、路面、天气状况和设备工作情况等参数进行实时观察和测量,并通过传输系统将相关结果传送至监控中心控制室。

控制是指由监控中心控制计算机或监控员实时处理系统的各种数据,按照一定计算模式进行分析、判断和决策,并将最终决策结果和下达的控制命令通过通信系统传送到监控现场的信息发布设备(可变情报板和可变限速标志)、收费口控制设备或者匝道控制设备,将路况及各种控制信息提供给驾驶人员,以促进行车安全,提高行车效率。对于引起延误的事件,能够迅速响应,提供紧急服务,并快速排除事件,把事件引起的延误控制到最小,从而达到调节和控制道路交通状况的目的。

1.2.2 高速公路监控系统特点

高速公路监控系统,通过采集各种交通信息,按照规范的策略,合理运用交通调度方案,引导、限制、警告和组织交通流,减少交通事故的发生率和延误,以提高高速公路的有效性和安全性,其主要特点有^[1]:

- (1) 监控系统地域覆盖面大,监控设备分散,对环境适应性要求高。
- (2) 传输媒体种类多,有语音、图像、数据等,对通信带宽和实时性要求较高。
- (3) 外场设备种类繁多、原理不一、接口多样、速率不同,维护管理有一定难度。
- (4) 涉及技术面广,包括计算机网络、视频监视、数据采集与处理、通信、多媒体图像处理、计算机软件设计等。

1.2.3 高速公路监控系统管理体制

根据高速公路里程长短、道路状况和监控功能需求的不同,监控系统模式有集中式和分布式等形式。对于里程较短的高速公路,一般采用集中监控方式,即一条高速公路只设一个监控中心,将监控数据传送到邻近收费站的现场监控站,该监控站通过高速公路通信系统将数据传送到监控中心。集中式监控方式组织结构图如图 1-1 所示。



图 1-1 高速公路监控系统基本组织结构图

对于里程较长的高速公路而言,则采用分布式监控系统,设一个监控中心,同时下设若干个区域监控分中心,每个分中心管辖各自路段,监控中心对分中心进行协调管理。对于多条高速公路组成的路网而言,须增设监控总中心,对各监控中心进一步协调管理。为了管理方便,目前我国大多数高速公路监控系统采用省联网监控中心、集团监控中心和若干个监控分中心的多级分层的分布式系统构架,如图 1-2 所示。

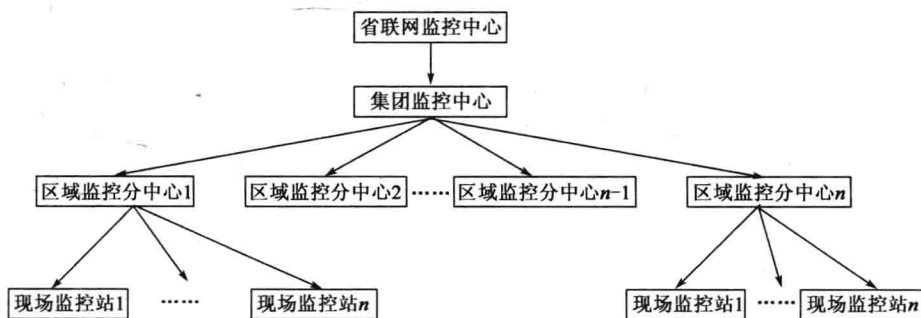


图 1-2 高速公路监控系统组织结构图(长路段)

(1)省联网监控中心:负责全省高速公路监控系统运行的监督、检查、指导、服务工作,全面掌握全省高速公路网的运行状况,在省交通运输厅领导下统一实施路网交通调度管理,发布全省路网运行信息。

省联网监控中心是全省高速公路监控系统的信息汇接点,负责全省路网综合

监控信息的汇集、综合处理;负责高速公路网的内部交通监控信息发布,在交通运输厅授权下对公众统一发布高速公路路况信息;向公众提供高速公路信息咨询、投诉受理,并结合监控分中心的远端坐席向公众提供紧急求助电话服务;通过对主要互通的重点控制,提高高速公路网整体通行能力;监督全省高速公路网各级管理单位日常监控管理业务执行情况,对各管理(经营)单位的管理工作进行协调。

(2)集团监控中心:负责对本集团所辖道路交通监控业务的全面管理、指挥调度,处置下属分公司不当业务及提供决策。

(3)区域监控分中心:设在所辖高速公路沿线,为高速公路运营的具体管理单位和执行机构。主要负责路段内交通监控信息的收集、汇集、记录,负责本路段的交通监控和指挥调度。监控分中心向上级监控中心上传监控信息,接收执行上级监控中心下达的调度指令。

(4)现场监控站:现场监控站是底层的监控单元,现场监控站发挥着信息的上传和下达作用,负责完成监控中心或分中心与现场设备之间的信息转接任务。监控外场设备采集的数据先送入现场监控站,经过初步处理后,通过通信系统将各种数据传输到监控分中心或监控中心,并将监控中心或监控分中心的控制信号传送给现场终端设备。

监控站一般设在收费站、长大桥梁及隧道处,在这些关键点附近安装有交通数据检测器、环境检测器、可变信息板和摄像机等外场设备。

1.3 高速公路监控系统的目标、功能、任务及监控过程

高速公路监控系统建立的目的是使用现代化的检测和控制手段,调整道路交通流的状态,达到安全、舒适、快捷的运输目的。为完成这一目标,监控系统应当具备以下三个方面的功能:采集交通流数据,判断交通状态;根据交通流状态,形成控制策略,产生控制参数;执行控制策略,将控制参数作用于交通流^[2]。

1.3.1 目标

建立高速公路监控系统是希望高速公路管理人员能够及时了解交通流的动态,对交通进行有效的指挥,以确保高速公路的安全和畅通,是实现高速公路运行管理的主要手段。建立高速公路监控系统的目的如下。

1)最大限度保证行车安全

总体来讲,高速公路安全性优于普通公路,但高速公路交通量大,车速高,一旦出现交通事故,车辆的排队长度、堵塞时间、车辆损坏和人员伤亡程度都较普通公

路严重,即恶性事故居多。大雾天气的偶然驾驶差错,能造成很多车辆追尾。因此,对高速公路的行车安全应有更高的要求,监控系统将保证行车安全作为主要的监控目标之一。

2) 道路畅通

道路畅通是指高速公路没有堵塞现象,车辆能够持续以理想车速运行的状态。这是高速公路运输最基本也是最重要的条件。但实际运行环境存在着各种各样影响道路畅通的干扰因素,交通监控的目标就是通过对交通流状态的监视来预防事故发生、减少拥挤、排除堵塞、减少延误、恢复道路的通畅。

3) 交通设施状态完好

高速公路交通设施由路、桥、隧道等土木建筑物和各类机电设备组成。任何设施失效都将使公路运输系统丧失部分功能,影响正常运行。通过监控系统对各种设施的工作状态进行监视、监测,当设施及设备发生故障时,系统能快速做出诊断,并提供相应的处理方法。

4) 其他优化目标

为了向用户提供优质服务,使得高速公路获取更大的社会 and 经济效益,对监控系统提出若干优化目标:如用户总旅行时间最小、总服务流量最大、油耗量最小和对环境污染最小等。

总之,建立高速公路监控系统的目标是保证行车安全和道路畅通,在此基础上进一步实现快捷、舒适、环保等其他目标。

1.3.2 功能

高速公路监控系统是高速公路机电系统的重要组成部分,它采用的各种外场监控设施,能够及时、准确、完整地收集并预告前方道路的各类信息,例如交通量、事故、路况等,并通过信息发布设施,将相关信息传达给道路使用者,确保道路使用者及时了解前方道路情况。因此高速公路监控系统能够保证行车的安全和道路的畅通,是实现高速公路运行管理的重要手段。

一般来说,监控系统的功能包括三个方面:第一,信息采集功能,即运用现代科技手段实时采集变化着的道路交通状态,包括交通信息、气象信息、交通异常事件信息等;第二,信息的分析处理功能,即对采集的实时道路交通状态信息进行数字化、可视化处理,包括对交通运行状态正常与否的判断、交通异常事件严重程度的确认、交通异常状态的预测、对已经发生或可能发生的异常事件处置方案的确定等,并进行交通运行数据信息和图像信息的统计,为监控人员了解和分析道路当前

和历史状况,进而提出调度控制的决定,提供确凿有力的依据;第三,信息提供功能,即利用计算机网络、数据通信、专家系统等现代化手段,及时应对交通动态情况,沿途发布提示信息,对交通流进行引导、警告和控制,以提高道路网通行能力,促进交通的安全畅通。其具体功能如下:

- (1) 实时采集道路交通量、车道占有率、车速等路况状态信息。
- (2) 实时采集风力、风向、气温、路面湿度、结冰度等环境状态信息。
- (3) 专项图像监控功能,如用视频系统监视桥梁、隧道、收费站出入口等重点路段的车流通过情况,探测和确认交通事件等。
- (4) 根据系统采集的交通信息,迅速做出有针对性的专家分析处理和优化控制方案。
- (5) 对交通事故能做出快速响应,疏导交通流,迅速排除事故和提供救援服务。
- (6) 通过建立多种信息发布渠道,为用户提供交通信息服务,以达到交通流动态平衡。
- (7) 自动数据备份和系统恢复功能。
- (8) 告警分类处理功能。
- (9) 建立道路交通数据库,用以支持道路运行状况评价,为决策者进行中长期宏观管理、规划、调度等提供数据支持。

1.3.3 任务

高速公路监控系统是为了解决高速公路运营中存在的两个主要问题——交通拥挤和交通安全而建立起来的,其典型的任务可以包括以下几项:

- (1) 减少高速公路常发性拥挤的影响。
- (2) 减少高速公路偶发性拥挤的影响。
- (3) 使高速公路获得最大的运行安全。
- (4) 提供必要的信息,帮助使用者有效地利用高速公路的各种设施,并减轻他们在脑力和体力方面的紧张程度。
- (5) 当有危险或事故发生时,给遇到困难的使用者提供援助。
- (6) 减轻交通事故对环境和人类的危害。

1.3.4 监控过程

高速公路监控系统监控的对象为交通流,其闭环控制系统功能图如图 1-3 所示,输出为车辆运行状态,输入为控制指标,受控对象为交通流,干扰主要来自道

路、交通和气象环境的变化;表征交通状态特征的信息历经采集、处理、决策和执行等环节,遵循反馈控制原理,按预定指标完成控制任务。

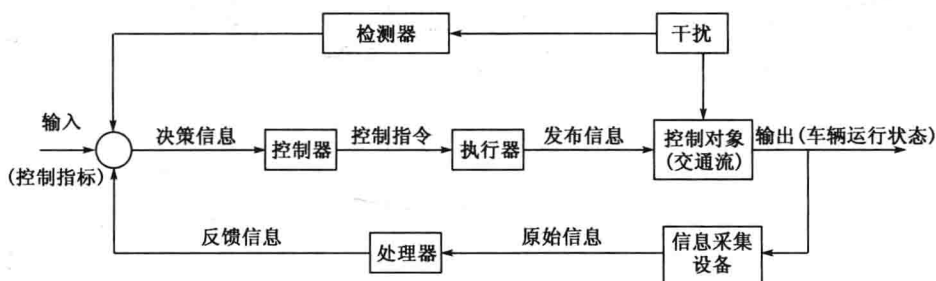


图 1-3 监控系统功能图

监控对象(交通流)的状态特征随路段位置和时间而变化,具体表现为交通量、车速和交通密度等参数的变化。这些变化由系统内部供求变动和外界干扰造成。信息采集设备采集表征交通流状态的各种参数并传送给下一环节。这些原始检测信号不可避免地会混入噪声,需要通过处理器对其进行滤波和统计分析,以对表征输出特征的状态参数进行估计,并反馈给控制器。大部分干扰是可测的,把测出的干扰信号也传送给控制器或人,控制器或人根据特定的性能指标和环境约束条件,使用经过辨识的模型,对反馈信息进行优化计算,确定控制策略,确定控制参量的标称值,执行控制。

1.4 高速公路监控系统的构成

为完成系统的监视与控制功能,高速公路监控系统由信息采集子系统、视频监控子系统、信息提供子系统、交通控制子系统、计算机网络系统等组成。监控系统的构成示意如图 1-4 所示。

1.4.1 信息采集子系统

该子系统将采集的数据,如车辆检测器采集的车流量数据,气象监测器等采集的高速公路各路段的温度、湿度、能见度、雨雪雾等气象数据,及时、准确地传送到监控中心,同时根据原始数据进行统计运算,生成各类报表。该子系统采集的数据是监控中心进行实时分析、处理和决策的基础^{[3][4]}。

该子系统主要包括:环形线圈检测器、超声波检测器、红外检测器、道路气象检测器等。

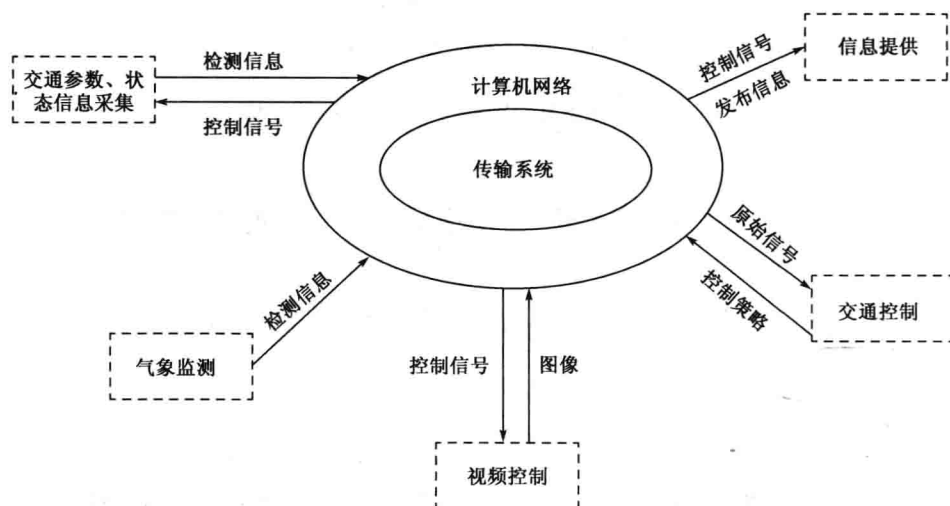


图 1-4 高速公路监控系统构成图

1.4.2 视频监控子系统

视频监控子系统是监控系统信息采集的一个重要组成部分。通常在高速公路的一些特殊路段和事故易发地段安装摄像机,如对收费站、服务区、特殊构造物(长大桥梁、长大隧道或隧道群)、特殊线形(连续下坡、连续弯道、不利平纵曲线指标较小)、区域性气候、高边坡、事故多发点、临江临河、地质灾害易发点等进行重点监控,利用图像通信来监视这些区段的交通状况。一旦出现车辆故障或发生交通事故,能提供事故发生的现场图像信息,以便控制中心迅速做出反应,及时地协调管理和事后处理。由于图像监控具有图像逼真、清晰、直观等特点,因而在监控系统中有便于调度和指挥的实用价值。国内许多交通量较大的高速公路项目,摄像机监视范围已覆盖整个区段,实行全程监控。

该子系统由摄像机、解码器、云台、光端机、图像计算机、监视器、投影仪、矩阵切换器、多画面分割器、录像机、控制键盘及附属设备等组成。

1.4.3 信息提供子系统

本系统的主要任务是向道路使用者提供某个区段内的交通、气象、事故和道路状况情报以及速度限制情报,作为道路使用者的行车指南,辅助调节主干线上交通流,参与交通管理与调度。

(1)向道路使用者提供信息。如前方路段交通阻塞情况、事故告警、气象情况、道路施工情况等。这些情况常通过可变情报板或路侧通信系统提供。

(2)向道路使用者提供建议或控制指令。如最佳行驶路线、最佳限速车道控制信号、匝道控制信号等。这些指令常通过可变情报板、可变限速标志、车道控制标志或匝道控制设备来实现。

(3)向管理和救助部门提供信息。把收集到的各种信息直接或间接进行处理后在各种显示装置中(如地图板、大屏幕投影)显示,为交通管理人员制订控制策略、事件管理方法等方面提供迅速直观的信息;在出现如交通事故、车辆抛锚、道路设施损坏等情况时,向消防部门、急救部门、服务区、道路养护工区等提供有关指令或信息。这些信息常利用指令电话或业务电话来传递。

(4)向社会提供信息。包括对新闻媒介和高速公路以外的道路使用者提供本条高速公路的交通信息。这些信息的提供往往通过交通广播系统或广域信息网来实现。

本系统主要由地图模拟屏、可变道路情报板、可变限速标志和路侧广播、信号灯、公共信息电话或终端等组成,向车辆提供准确的交通状态和警告。

1.4.4 交通控制子系统

该子系统对所采集的各路段交通和气象原始数据进行分析 and 处理,并综合各相关数据,通过专家系统生成最优的路网调度和交通控制方案。交通控制方案,包括:交通控制目标、交通控制方法、交通控制参数等。其中,控制参数以一定的控制形式作用于交通流,控制方法可以分为主线控制、匝道控制、通道控制三大类,控制算法中有基于稳态交通模型、动态交通模型的准确推导方法、基于模糊理论的算法、基于神经网络原理的算法等,这些算法理论在实践中不断得到发展和完善,为高速公路交通控制奠定了良好的理论基础。

1.4.5 计算机网络系统

通过计算机网络系统,可以将数据采集、视频监控、交通控制、信息提供等其他子系统连接为一个有机的整体,使之真正成为一个功能强大的控制系统。计算机网络系统设备主要包括计算机硬件设备和监控系统应用软件。计算机硬件设备包括交换机、服务器、客户机、打印机、路由器、调制解调器等,监控系统应用软件包括计算机操作系统、数据库系统、计算机网络管理系统、软件等。