

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2013.09.020

欧洲合作智能交通系统发展现状及相关标准分析

王东柱, 杨 琪

(交通运输部公路科学研究院, 北京 100088)

摘要: 本文首先简要地介绍了合作智能交通系统的概念及在国际先进 ITS 国家和地区的发展概况。在此基础上, 围绕欧洲运输政策白皮书制订的交通发展目标, 重点对支持欧洲合作 ITS 系统发展的政策规划、合作 ITS 项目及部署实施准备等情况进行了梳理和分析; 其次, 主要对欧洲合作系统发展涉及的通信频段分配的发展经历阶段及对泛欧洲 ITS 一体化发展的影响进行了探讨, 此外对欧洲使用的合作系统的通信标准和应用标准情况、包括涉及的 ISO 相关合作标准进行了介绍和分析; 最后简要介绍了我国合作 ITS 系统的发展情况, 同时借鉴欧洲合作系统标准经验, 提出我国发展合作系统标准的建议。

关键词: 交通工程; 合作智能交通系统, 合作 ITS 标准; 频段划分; 车车通信; 车路通信

中图分类号: U491.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268 (2013) 09-0128-06

Introduction of Europe Cooperative ITS Development and Analysis on Related Standards

WANG Dong-zhu, YANG Qi

(Research Institute of Highway, Ministry of Transport, Beijing 100088, China)

Abstract: First, the C-ITS concept and its development situation in the advanced ITS countries and areas in the world are briefly introduced. On this basis, the policy, plans, projects and deployment to support the European C-ITS development according to the development goal of White Paper on European transport policy are reviewed and analyzed. Second, the process of radio frequency band allocation related to C-ITS development and its impact on pan-Europe ITS development are discussed. In addition, the C-ITS standards applied in Europe both in communication and application, including ISO C-ITS standards, are introduced and analyzed. Finally, a brief introduction to C-ITS development in China is given and some suggestions for standard development in China are proposed based on the experience of the C-ITS standards in Europe.

Key words: traffic engineering; cooperative ITS; C-ITS standard; frequency band allocation; V-V communication; V-I communication

0 引言

合作智能交通系统 (Cooperative Intelligent Transport Systems, Cooperative ITS 或 C-ITS), 在国内又被称为车路协同系统、车路协作系统等。欧盟授权法案 M/253^[1] 对合作智能交通系统的定义是基于车和车 (V2V)、车和基础设施 (V2I)、基础设施和基础设施之间通信实现信息交互的 ITS 系统, 能够有

效提高 ITS 服务和应用效益。合作系统已经成为智能交通发展的重要方向之一。近年来国际上先进的智能交通国家和地区纷纷制定相关的政策和发展计划进行合作智能交通系统的研究和试验, 并已经逐步进入实际部署应用阶段。

美国近年来开展了包括 VII、智能交通战略行动计划 (IntelliDrive)、互联车辆 (Connect vehicle) 等项目在内的合作系统研究和试验, 目前美国高速公

收稿日期: 2013-04-01

基金项目: 国家科技重大专项项目 (2012ZX03005010); 交通运输部科技项目 (2012-364-223-114)

作者简介: 王东柱 (1966-), 男, 河南郑州人, 高级工程师. (wangdrew@163.com)

路交通安全局 (NHTSA) 正在对这些试验效果进行评估,将在 2013 年下旬决定是否在小型车辆安装基于专用短程通信 (DSRC) 的合作系统终端^[8];日本相继开展了 VICS、ETC 和 SMARTWAY 等合作系统项目,已经在全国范围内开展了大规模的基于车路合作系统部署应用^[9]。

欧洲对合作系统的发展非常重视,启动资助多个大型合作系统研究项目和相关标准的制订计划,2008 年发布的 ITS 行动计划中将合作系统列为 ITS 发展的重要阶段并给出具体的时间表^[10],2009 年欧盟通过 M/253 授权法案推动合作系统标准的制订,2015 年合作系统将正式部署应用。与美国和日本不同的是,欧洲存在国家多、各国交通发展状况和标准不统一等情况,因此欧洲在合作系统的发展中注重政策计划支持、标准制定和社会的广泛参与。

本文重点介绍欧洲的合作系统发展历程及相关标准,希望为我国的合作智能交通系统发展提供参考。

1 欧洲合作系统发展历程

最新的欧盟运输政策白皮书^[5-6]提出了欧洲智能交通实现目标是建立竞争和资源有效的交通系统。到 2020 年,将实现欧盟交通运输的智能型发展、可持续发展和包容性发展,排放同比 2008 年减少 20%,2020 年伤亡率降低一半,到 2050 年减少 60%;2050 年道路安全实现死亡率为 0。合作智能交通系统将为实现这一目标发挥重要的作用。

2004 年,欧盟信息总局的信息通信技术与运输和环境组织的会议^[7],来自运输及通信领域的专家就在合作电信系统领域提高道路运输的安全和管理方面要实现的目标和发展优先级进行讨论。这次讨论为 2005—2006 年第 6 框架计划的道路运输发展项目信息社会技术工作计划的发展奠定了基础。与会专家一致认为,合作系统是道路运营者、基础设施、车辆、驾驶人员和其他道路使用者互相合作以实现高效、安全、隐私保护和舒适的出行环境。车-车和车-路合作系统将对实现这些目标起到重要作用。

2008 年 12 月欧盟发布欧洲实施 ITS 行动计划,该计划是一个重要的 ITS 发展政策指导性文件。计划包括 6 个优先行动领域及实施阶段,其中行动计划 4.2 把合作系统作为智能交通发展中重要的阶段进行了规定,即在 2011 年到 2013 年对合作系统的研发进行评估,并对合作系统的部署应用策略进行评估。

欧盟和民间共同资助了一批由众多国家、政府部门、企业、研究机构等参与的大型合作系统项目^[8],如 CVIS、SAFESPOT 和 COOPERS。对合作系统的相关技术进行研发、应用试验及标准应用验证,为未来合作系统的顺利实际部署和应用进行了充分的准备。目前这些合作系统项目陆续结束,已经证明了合作 ITS 系统的实用性和适用性。

2012 年 10 月在维也纳举行的 ITS 世界大会上,包括大众、奥迪、宝马等在内的 12 个主要汽车制造商共同签署的合作系统部署备忘录正式发布^[9],备忘录的目标是在 2015 年正式生产出支持合作系统的车辆,车辆安装有车车通信和安全辅助驾驶终端。这个部署计划迅速得到了包括来自道路运营管理方、众多技术支持公司、标准化组织、设备集成商的积极响应。由道路运营方、道路管理方、城市运输管理和车车通信联盟等利益相关方组成的阿姆斯特丹组织 (Amsterdam Group) 正在按照合作系统部署应用的要求进行工作^[9]。作为覆盖大型泛欧公路网的一体化 ITS 基础设施项目,EasyWay 也在积极参与合作系统的部署准备,EasyWay 已经从运营商的角度定义了合作 ITS 应用集的优先级^[10]。维也纳世界 ITS 大会期间有多达 72 个来自产业、技术研发、道路运营等的参与者进行了合作 ITS 系统的现场展示,充分证明了产业对部署合作系统的信心。

2 欧洲合作 ITS 系统标准情况

欧盟采用授权法案 (Mandate) 的形式来推动标准的研究和制订。2009 年 10 月 6 号,欧盟委员会通过法案 M/453,授权欧洲标准化组织在法案规定的时间内制定一系列标准、技术规范和技术报告,支持将在欧盟广泛实施和部署可互操作的合作 ITS 系统。在法案中明确邀请 ETSI (欧洲通信标准化协会),CEN (欧洲标准化组织),CENELEC (欧洲电子标准化组织) 进行标准的制定工作,并给出了合作系统的定义、标准的工作内容、时间进度及与相关组织合作的内容。ETSI 和 CEN 按照欧盟 M/453 的要求,正在合作共同制定合作智能交通系统的相关标准。欧盟出资 18×10^6 欧元支持 28 个标准的研究和制订,到目前为止,共有 118 个标准得到支持。根据 ETSI 和 CEN 的工作计划,ETSI 正在制定和完成标准 88 个,CEN 正在制定和完成标准 46 个^[11-12]。

欧洲合作系统标准按照在通信框架所处的位置分为底层通信标准和上层应用标准。

2.1 欧洲合作系统通信相关标准

合作系统中的通信形式主要是车车、车路之间的通信,由于车辆的高速移动性,对通信的实时性要求很高,需要低延时、高可靠的短程通信,因此合作系统通信相关标准是合作系统的基础。

(1) 合作 ITS 系统通信频段划分

早在 1993 年 CEN TC278 技术委员会开始制订了用于电子不停车收费 (ETC) 的 DSRC 标准,并通过 M/338 授权法案进行推动。到 1997—1999 年,ENV 12253 DSRC 物理层、ENV 12795 DSRC 数据链路层、ENV 12834 DSRC 应用层等标准制订完成,频段采用 5.8 GHz,范围从 5 795 MHz 到 5 815 MHz 共 20 M 作为 ETC 收费频段。该标准又称为 CEN DSRC 标准。

随着智能交通的发展,道路安全性越来越得到重视,欧盟认为有必要制订独立于电子收费以外的专用于安全应用的频段。欧盟委员会于 2006 年 7 月 5 日委托 CEPT (欧洲电信管理局),对智能型运输系统及合作系统安全相关应用的频谱需求展开研究及论证。

2008 年 8 月 5 日欧盟通过针对于道路安全的决议,这个决议规定欧盟成员国在该决议生效后 6 个月内,统一使用指定的 5 875 ~ 5 905 MHz 频段的 30 M 空间为专用频段,用于安全相关的交通应用^[3]。

CEPT ECC (欧洲电信管理局 电信委员会) 同时将这个频段范围定义为欧洲道路安全相关的交通应用,这意味着除了欧盟的 27 个国家外,欧洲自由贸易联盟 (EFTA) 内的国家和 CEPT 的 48 个成员国都将使用同一频段进行合作系统相关的安全应用。ECC 的决定促进了无线电设备标准和通信协议的标准化,保证欧洲跨区域应用的互操作性,为未来合作 ITS 系统在欧洲的大规模推广和应用扫清了障碍。

此外,ECC 又分配相邻的 5 855 ~ 5 875 MHz 的 20 M 空间用于包括非安全的所有智能交通应用,但这 20 MHz 频段不是智能交通专有频段。ECC 划定 5 905 ~ 5 925 MHz 为未来智能交通应用扩展。ECC 还划分 WLAN 5 470 ~ 5 725 MHz 的 5 G 频段为大量 ITS 应用提供了基础,同时又不影响在特定的 30 MHz 安全专用频段的应用性能。

(2) 合作系统通信标准

合作系统底层通信标准包括 ITS 5 G 接入层和媒体层标准,主要内容有 5.9 GHz 频段划分、多通道管理、分散拥挤控制、ITS 5 G 和 DSRC 收费服务在 5.8/5.9 GHz 频段的兼容性。具体标准有 ETSI ITS

委员会制订的 ES 202663 欧洲 ITS 5 G 频段物理层和 MAC 层标准; TS 102687 ITS 5G 频率物理层和 MAC 层分散拥堵控制标准; TS 102724 ITS G5 通道配置标准; TS 102792 DSRC 5.8/5.9 兼容标准。ETSI ERM (电磁兼容和无线频谱) 委员会 TG37 制订的 EN 302571 5 855 ~ 5 925 MHz 频段设备标准、TR 102492 泛欧洲统一的 5 GHz 交通应用的通信设备技术等多个标准和规范。

合作智能交通系统具有很好的开放性,可以使用 1 种或多种接入技术,如移动通信系统 (2G, 3G, LTE), WLAN、红外等系统,来满足不同的智能交通应用。ETSI 和 ISO 定义的 ITS 通信架构 (ETSI EN 302665、ISO 21217),都支持多种通信媒介接入,并制定了与移动通信等其他通信方式的兼容和接口接入标准,ETSI 相关的标准有 TR 102962 合作 ITS 中的公共移动网络框架、TR 102861 合作 ITS STDMA 接入、TS 102636 网络框架、TS 1026360601 互联网 - IPV6 支持等标准和规范。



图1 欧洲合作系统频段和 ETC 频段划分示意图

Fig. 1 Allocations of frequency bands of C-ITS and ETC in Europe

欧洲合作 ITS 系统频段划分如图 1 所示,合作系统 ITS 5G 频段分为 3 个部分,分别是 ITS 非安全应用 (ITS 5GB)、ITS 安全应用 (ITS 5GA) 和 ITS 未来应用 (ITS 5GC)。合作系统 ITS 5G 与电子不停车收费 (ETC) CEN DSRC 是分别独立的 2 个频段。但 ETC 频段和合作系统频段的兼容性仍是目前欧洲合作系统关注的重点。

2.2 合作系统应用标准

按照具体的交通应用分类,明确分类的应用范围,设计各个应用集及应用场景。由应用场景确定相应的系统、功能,从而得到对标准的需求,确定标准的内容。合作系统上层应用标准主要分为合作式道路安全、合作式交通效率和合作式本地及全球物联网服务等应用标准^[4]。其中合作式安全应用标准包括合作感知、避碰、预警等内容;合作式交通

效率应用标准包括导航和路径诱导等内容;合作式本地和全球互联网服务标准包括软件、数据、媒体下载等内容。具体的应用标准分类及内容如表1所示。

表1 合作 ITS 系统的应用集及定义

Tab.1 Definitions of basic set of applications of C-ITS

标准分类	应用范围	应用集
主动式道路安全	辅助驾驶 - 合作感知	车辆紧急预警
		车辆减速预警
		交叉口碰撞预警
		车辆间保持距离预警
	辅助驾驶 - 道路风险预警	紧急刹车灯自动控制
		车辆逆行驾驶预警
		前方停车 - 事故预警
		前方停车 - 车辆故障预警
		交通环境预警
		违反交通信号预警
		前方道路施工预警
		碰撞危险预警
		车载端浮动车数据 - 危险位置
		车载端浮动车数据 - 降水
		车载端浮动车数据 - 路面状况
		车载端浮动车数据 - 能见度
		车载端浮动车数据 - 风
合作式交通效率	车辆速度管理	前后车速度提醒 信号灯转换告知提醒
	合作式导航	交通信息服务和路线建议
		交通诱导和导航
		限制进入的警告和绕行提示 信号灯状态提醒
合作式本地服务	基于位置服务	兴趣点位置提示 驶入控制和停车管理 ITS 本地电子商务 媒体下载
全球互联网服务	社区服务	保险和金融服务
		车队管理 货物装卸区域管理
	车载和路侧端软件和数据管理	车载软件/数据提供和更新 车载和路侧数据校准

ETSI ITS 制定的 60 多项标准中相当一部分与合作 ITS 系统有关。合作系统应用标准分为应用层和设备层标准,涵盖安全、交通效率、增值服务等多种应用。主要包括车车、车路通信的消息集,驾驶员辅助信息和驾驶员辅助安全预警等。

通过对标准的分析,可以发现近期完成或正在制定的应用层标准更加符合合作 ITS 系统的要求,具体标准主要有 TS 101539 - 1 道路危险信号、TS

101539 - 3 纵向碰撞危险预警、TS 101539 - 2 交叉口碰撞危险预警、TS 101556 - 2 轮胎压力监测系统标准规范。设备数据接口标准有: TS 102637 合作感知信息规范、EN 302637 合作感知信息标准、TS 102637 分布式环境提示信息规范、EN 302637 - 3 分布式环境提示信息标准、EN 302895 本地动态地图标准、TS 102890 - 3 ITS 站点位置和时间标准等。其中合作感知 (CAM) 和分布环境提示信息 (DENM) 是合作系统 ITS 站点之间通信中最重要的信息定义,目前欧洲和日本正在就这 2 个标准进行实质性的合作。

近期欧洲合作系统标准发展的重点是合作感知辅助驾驶、浮动车数据采集的应用、事件驱动道路安全预警、基于 V2V 交通管理、合作式出行者辅助和增值服务等标准的制订^[3]。

2.3 ISO 合作系统标准

欧洲合作系统标准除了 ETSI 和 CEN 2 个组织的标准外,采用较多的还有 ISO 合作系统标准,如 CALM (中远程空中通信接口) 系列标准^[4],CALM 是由 ISO TC204 16 工作组负责制订研发的欧洲系统框架,包括一系列完整的国际标准集,为中、远距离、高速 ITS 通信提供一系列标准的空中接口、协议和参数,支持用户在各种不同的通信媒介之间进行无障碍连续通信。ISO 合作系统 CALM 系列标准有 ISO 21217 系列,如: ISO 21212 蜂窝 2G、ISO 21213 蜂窝 3G、ISO 21214 红外、21215 微波 M5 等多个通信接入标准。

欧洲合作系统项目实施中应用较多的 CALM 系列相关标准,特别是 ISO 21217 系列标准。如 CVIS 通信系统就是依据欧洲 CALM 标准架构构建基础平台,实现对移动蜂窝、无线局域网、红外等多种通信方式的接入,并在 V2V 和 V2I 网络相关的通信系统研发中应用和验证 ISO CALM 标准。CVIS 构建的基础平台被 SAFESPOT 和 COOPERS 等多个合作系统项目采用。

和合作系统短程通信密切相关的是 ISO 21215 CALM M5 (微波 5GHz) 标准^[4],是利用微波 5 GHz 频段通信支持 ITS 领域端到端、车车、车到端的通信。它是在 IEEE 802.11p 技术的基础上制定的标准,除保留原有的标准外,针对欧洲的合作系统应用增加了支持欧洲的 ITS 5G、方向性电磁兼容控制、区域 DSRC 合作、通过网络进行多频/接口/天线的管理、多通信方式网络内部连接等标准内容。

3 我国合作系统发展及标准建议

当前国内典型的车路合作系统主要有基于 5.8GHz DSRC 技术的电子不停车收费 (ETC) 系统, ETC 系统目前正在全国范围内迅速推进, 但 ETC 的功能仅限于收费应用, 还没有实现合作系统的其它的采集、服务和安全应用功能。在一些研究项目中进行了一些针对安全方面的合作系统初步试验和尝试^[7]。从欧洲、美国和日本合作系统发展的经验来看, 制定合作系统发展政策及发展计划、资助项目的开展、推动标准的制订、政府和民间广泛的参与是合作系统顺利开展的重要前提条件。而我国合作系统的发展还没有一个明确规划, 参与的广泛性也不够。目前国内合作 ITS 系统的发展正逐渐得到重视, 全国智能交通标准委员会已经开始进行合作 ITS 系统相关标准的研究和制订工作, 这将为未来合作系统的发展奠定一个良好的基础。

通过对欧洲及其他国家合作系统标准的分析, 我国在和合作系统标准制定方面应考虑下面问题。

(1) 为交通安全应用划分独立、专用的频段

由于交通安全对实时性和可靠性要求非常高, 为安全应用单独划定专用的频段是国际智能交通先进国家普遍采用的方式。除了欧洲单独划定安全应用的专用频段外, 美国在 5.9 GHz 频段上划分独立、专用的合作系统频段。日本虽然将 5.8 GHz 同一频段同时用于收费和车路合作式信息服务应用, 但对于车辆主动安全避碰方面, 日本专门为 700 MHz DSRC 划定了安全应用频段。因此我国的合作系统频段应该考虑在 ETC 频段以外, 划定专门的合作系统频段, 特别是安全应用频段, 来满足交通安全对通信实时性和可靠性的要求。

(2) 合作系统频段定义与国际合作

合作系统标准的统一是大势所趋。除了频段内部定义内容不同, 美国 802.11p、欧洲 ITS 5G 和 ISO CALM M5 均采用了基本相似的合作系统频段位置和范围。这为合作系统全球标准的统一创造了条件。2009 年欧洲和美国交通部就合作系统签署了合作协议, 随着美欧合作的展开, 很快将实现同一车载设备, 支持欧美 2 种合作系统的车载终端。日本在智能交通标准制定上一直走自主发展的道路。日本虽然在 2010 年和美国签订了合作系统合作协议, 但日本的合作系统标准和欧美相比差别较大, 实现标准统一有一定的难度。我国应该根据自身的特点, 考虑具体的市场和产品条件, 发展与之相适应的合作

ITS 标准。

(3) 重视标准的应用场景设计

欧洲对标准的应用场景设计非常重视, 首先在明确合作系统应用场景, 功能、系统要求, 确定应用集、标准及内容。因此根据我国交通的特点, 设计符合我国情况的应用场景、明确功能需求, 才能够使合作 ITS 标准更加满足实际交通应用的需要。

我国合作 ITS 系统的发展刚刚起步, 借鉴欧洲智能交通的发展经验、跟踪欧洲的合作 ITS 技术和标准对我国合作 ITS 系统的发展将起到较大的推动作用。

参考文献:

References:

- [1] European Commission Enterprise and Industry Directorate-general. EC Mandate 453 [EB/OL]. (2009-10-06) [2012-12-29]. http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/ict/files/standardisation_mandate_en.pdf.
- [2] U. S. Department of Transportation. ITS Strategic Research Plan 2010-2014 [EB/OL]. (2012-03-03) [2012-10-20]. http://www.its.dot.gov/strategic_plan_2010_2014/index.htm.
- [3] MITSUO A. ITS Policy in Japan and Smartway [EB/OL]. (2007-10) [2012-2-13]. <http://www.mlit.go.jp/road/ITS/conf/2007/SS17.pdf>.
- [4] European Commission. Action Plan and Legal Framework for the Deployment of Intelligent Transport Systems in Europe [EB/OL]. [2012-12-04]. http://bookshop.europa.eu/is-bin/INTERSHOP.enfinity/WFS/EU-Bookshop-Site/en_GB/-/EUR/ViewPublication-Start?PublicationKey=MI3210588.
- [5] European Commission. European Transport Policy for 2010: Time to Decide [EB/OL]. [2012-10-30]. http://www.central2013.eu/fileadmin/user_upload/Downloads/Document_Centre/OP_Resources/EU-transportpolicy2010_en.pdf.
- [6] European Commission. Roadmap to a Single European Transport Area: Towards a Competitive and Resource-efficient Transport System [EB/OL]. [2012-11-24]. http://ec.europa.eu/transport/themes/strategies/doc/2011_white_paper/white-paper-illustrated-brochure_en.pdf.
- [7] European Commission. Towards Cooperative Systems for Road Transport [EB/OL]. (2004-11-08) [2012-11-17]. ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/ist/docs/dir_c/trans/towards_coop_sys_road_trans_en.pdf.
- [8] European Commission. Cooperative Systems [EB/OL].

- (2012-09-10) [2012-12-20]. http://ec.europa.eu/transport/themes/its/road/action_plan/cooperative_systems_en.htm.
- [9] ITS International. Car to Car Communications: A Step Closer [EB/OL]. (2012-12-01) [2013-02-10]. <http://www.itsinternational.com/categories/location-based-systems/features/car-to-car-communications-a-step-closer>.
- [10] DATLER B. Standardization Needs to Support Armonised C-ITS Deployment [EB/OL]. (2013-02-07) [2013-02-10]. http://docbox.etsi.org/workshop/2013/201302_ITSWORKSHOP/S01_KEYNOTES/ASFINAG_DATLER.pdf.
- [11] CASTRILLEJO E. The Results of Mandate M/453 on Cooperative Systems [EB/OL]. (2013-02-08) [2013-02-10]. http://docbox.etsi.org/workshop/2013/201302_ITSWORKSHOP/S02_HOWDOSTAN-DARDSMATCHTHEPLANNEDDAYDEPLOYT/ECDGENTR_CASTRILLEJO.pdf.
- [12] SCHADE H J. The 2nd M453 Joint CEN-ETSI Status Report to the EC [EB/OL]. (2013-02-20) [2013-02-28]. <http://www.icarsupport.eu/assets/Uploads/Documents/News/2nd-joint-CEN-ETSI-Progress-Report.pdf>.
- [13] CEN, ETSI. Joint CEN and ETSI Response to Mandate M/453 [EB/OL]. (2012-09-22) [2013-02-12]. http://www.etsi.org/website/document/technologies/first_joint_cen_and_etsi_response_to_mandate_453.pdf.
- [14] TR 102 638 V1.1.1 (2009-06), Technical Report: Intelligent Transport Systems (ITS)—Vehicular Communications—Basic Set of Applications—Definitions [S].
- [15] ISO 21217, Intelligent Transport Systems—Communications, Air Interface, Long and Medium Range (CALM)—Architecture [S].
- [16] ISO 21215, Intelligent Transport Systems—Communications Access for Land Mobiles (CALM)—M5 [S].
- [17] 王东柱, 宋向辉, 朱书善, 等. 基于车路协同的高速公路合流区安全预警控制方法 [J]. 公路交通科技, 2012, 29 (S1): 50-56.
WANG Dong-zhu, SONG Xiang-hui, ZHU Shu-shan, et al. Merging Assistance Method Based on Vehicle-infrastructure Cooperative Technology [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2012, 29 (S1): 50-56.

(上接第79页)

- LIU Zhen-qing, HUANG Wei. Energy Approach to Fatigue Characteristic of Steel Bridges Deck Asphalt Mixture Surfacing [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22 (9): 94-97.
- [9] 高英, 黄晓明, 许涛. 水泥混凝土桥梁沥青混凝土铺装层的疲劳性能 [J]. 交通工程运输学报, 2006, 6 (1): 39-42.
GAO Ying, HUANG Xiao-ming, XU Tao. Fatigue Characteristic of Asphalt Concrete Pavement on Cement Concrete Bridge Deck [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2006, 6 (1): 39-42.
- [10] 黄卫. 大跨径桥梁钢桥面铺装设计理论与方法 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.
HUANG Wei. Theory and Method of Deck Paving Design for Long-span Bridges [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2006.
- [11] CUBUK M, GURU M, CUBUK M K. Improvement of Bitumen Performance with Epoxy Resin [J]. Fuel, 2009, 88 (7): 1324-1328.
- [12] 彭广银. 基于复合梁的水泥混凝土桥面铺装疲劳试验研究 [D]. 南京: 东南大学, 2010.
PENG Guang-yin. Fatigue Tests of Deck Pavement on Concrete Bridge Based on Composite Beam [D]. Nanjing: Southeast University, 2010.
- [13] 陈先华. 基于复合梁的钢桥面铺装层疲劳特性研究 [D]. 南京: 东南大学, 2006.
CHEN Xian-hua. Study of Fatigue Performance of Steel Deck Pavement Based on Composite Beam [D]. Nanjing: Southeast University, 2006.