

文章编号:1671-8879(2015)01-0026-07

高速公路沥青路面远程智能监控系统

林 通,焦生杰,叶 敏

(长安大学 公路养护装备国家工程实验室,陕西 西安 710064)

摘 要:以高等级公路中的沥青路面建设为对象,为了达到实时监测施工过程,实现过程控制,分析了沥青路面施工过程中的沥青混合料原材料、生产、运输以及施工等环节,基于 3G 网络建立了远程监控系统的基本框架,建立了原材料采集监控子系统、路面摊铺子系统和压实子系统的功能,实现在线的质量控制;利用实施案例采集了现场施工摊铺温度和压实过程的监控数据,验证了系统可行性和有效性。研究结果表明:对沥青混合料原材料、生产、运输以及施工等环节实现在线的质量控制,能达到实时监测施工过程的目的,实现过程控制;该系统实现了对碎石厂、沥青拌和生产厂、摊铺设备摊铺过程和压实过程等施工相关环节的在线监控,实现了监理、现场施工人员、项目检验员的在线控制,提高了工作效率和质量管理水平。

关键词:道路工程;路面施工;智能监管;现场采集;施工质量;路面

中图分类号:U415.1;TP393

文献标志码:A

Remote intelligent monitoring system on the asphalt pavement construction of express highway

LIN Tong, JIAO Sheng-jie, YE Min

(National Engineering Laboratory of Highway Maintenance Equipment, Chang'an University,
Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: Taking the asphalt pavement construction of the express highway as the object, this paper analyzed the links involved in the process of the asphalt pavement constructions such as the asphalt mixture raw materials, production, transportation, and construction, which can achieve the purpose of real-time monitoring of the construction process and realize the online quality control. The basic framework of the remote monitoring system was built based on the 3G network, which can analyze the function of the subsystems about the raw material acquisition and monitoring and the paving and compaction of road. By using the case collections, the existing monitoring data about the paving temperature and the process of compaction in the construction were collected to test the feasibility and validity of the system, which lays foundation for the pavement construction quality. The research results show that the online quality control on asphalt mixture of raw materials, production, transportation, construction and other sectors can achieve the purpose real-time monitoring the construction process, and realize process control; the system helps the crushing plant, asphalt mixing production factory implement online monitoring the construction

收稿日期:2014-08-15

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金项目(CHD2012JC036)

作者简介:林 通(1980-),男,福建福州人,工学博士研究生,E-mail:67662782@qq.com。

links such as pavers' paving process and compaction process, realizes supervisor, on-site construction personnel, and project inspector's online control, and improves the work efficiency and the quality management level. 1 tab, 5 figs, 16 refs.

Key words: road engineering; intelligent monitoring; raw material acquisition; construction quality; pavement

0 引言

交通运输是国民经济的重要基础产业,是衡量一个国家经济实力和现代化水平的重要标志。2013年底,中国高速公路总里程已突破 10×10^4 km^[1]。在高速公路快速增长的背景下,不仅要规划和设计好高速公路,还要在高速公路施工建设中具备科学管理和评价体系,把好质量关,以发挥高速公路的经济效益和社会效益^[2]。结合目前中国高速公路建设的使用情况及未来的发展趋势,开展高速公路路面建设信息化控制管理系统研究,是中国公路行业亟待解决的课题。国内外专家学者在施工作业质量远程监控方面开展了部分研究。Moon 等提出了危险工况下水泥表面打磨机的远程监控系统,通过人机接口和 GPS 远程数据,实现了打磨机的远程路径规划,通过试验验证了所设计远程监控系统的可行性^[3];Son 等提出了基于虚拟现实仿真的建筑工地安全操作远程监控系统,通过多个高分辨率摄像头以及信息融合技术确保了远程监控技术的可应用性^[4];David 等将远程监控技术应用于隧道施工作业现场,利用虚拟现实技术实现了关键施工作业点的监控,以提高作业安全性和效率^[5];Kamezaki 等将虚拟现实仿真应用于爆炸物拆除等危险作业环境,通过试验验证了技术的可行性^[6];Chiou 等设计了可远程遥控的家务机器人,并可通过互联网实现远程操作,完成日常家务^[7];Jaradat 等设计了爬窗机器人,实现了高危楼体玻璃表面的清洁工作^[8];Halbach 等提出了可远程操控的轮式装载机,通过 Matlab 实现了装载机的自动操控^[9]。在沥青路面施工过程中实施过程控制和质量管理,能为高速公路施工质量起到很好的作用,而实施沥青路面施工质量管理,缺乏有效的管理手段是一直困扰中国公路建设者的一个瓶颈^[10-11]。国内外目前在机械上的远程监控研究较多,实现施工的在线监控是可行的,为此,本文基于 3G 网络,针对高速公路沥青路面远程智能监控系统进行研究。

1 高速公路沥青路面建设监管系统

1.1 系统结构

高速公路沥青路面建设监管系统设计应确保整个系统设计先进,配置合理,符合标准化、规范化、现代化的要求。系统设计和设备选型,要充分考虑系统的可靠性、实用性、先进性和经济性,要具有分布式监控、集中式管理、智能化设置、人性化操作的功能;系统应具备较强的扩展能力,便于以后的系统更新、升级和扩展;多种网络接入方式,适合各种网络环境,应用领域广泛。

如图 1 所示,系统通过各监控子系统对沥青混合料生产过程、沥青混合料质量检测 and 路面摊铺质量等环节进行实时监控,系统监控的方式包括现场数据信息采集、检测和视频监控,采集到的现场数据信息和视频数据通过 3G 无线网络发送至监控中心。监控中心的视频服务器用于存储各监控子系统发送的视频数据,数据服务器用于数据信息的存储、分析。用户通过监控中心可以浏览、分析生产施工中的数据信息,通过监控中心的视频服务也可以实时查看生产、施工现场的视频图像。

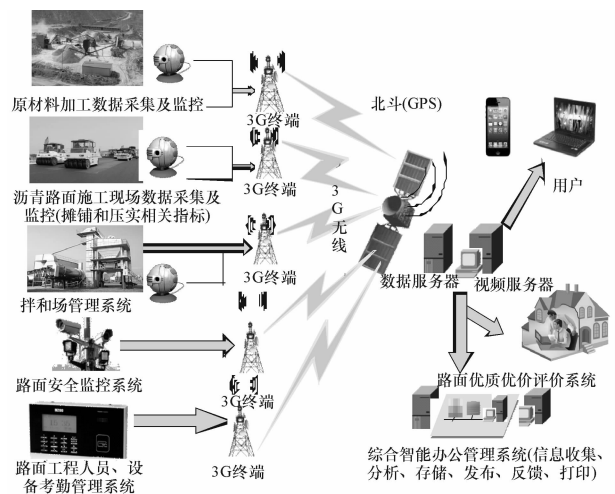


图 1 系统结构

Fig. 1 System structure

1.1.1 网络通讯

由于沥青路面施工具有移动性、施工地点地理

位置偏僻,难于采用传统的有线网络的方式进行监控数据的传输,因此采用 3G 无线网络作为数据传输平台。3G 无线网络最大的优势是提供了高速的数据传输能力,相对 2.5 G(GPRS/CDMA1x)100 k 左右的速度,3G 能够达到 300 k~1 M/S 的速度。因为监控系统需要实时传输的大量的现场视频数据以及采集到的现场数据信息,这也是系统采用 3G 无线网络的重要因素。

1.1.2 沥青拌和生产监控子系统

沥青拌和生产监控子系统由安装在沥青拌和楼控制系统中的 3G 数据采集系统和 3G 视频摄像构成,该子系统用于对沥青混合料生产中所使用的集料配比、沥青用量、纤维用量、沥青和集料加热温度、拌和温度、拌和时间 and 冷料转速等数据进行采集和传送。远程操作室可实施视频监控,实现沥青混凝土拌和楼生产质量实时的监控和动态控制,同时对拌和区域的工作环境、文明施工等进行全天候的实时监测与监控。实现拌和楼逐盘数据采集和分析,能提供专业的分析数据和图表,并对不合格混合料进行报警提醒。

1.1.3 沥青摊铺现场监控子系统

摊铺现场监控子系统由安装在沥青摊铺机上的车载摄像头、数据测量采集模块和 3G 终端构成,通过车载摄像头实现对摊铺现场的实时视频监控,数据测量采集模块则用于对摊铺温度和摊铺速度等现场数据的测量采集。车载摄像头和数据测量采集模块通过 3G 终端实现 3G 无线网络的接入,视频和现场数据通过 3G 无线网络发送至监控中心。对不符合要求的摊铺施工工艺进行记录和报警。

1.1.4 压实监控子系统

压实监控包括沥青压实监控和冷料压实监控。压实监控子系统由安装在压路机上的数据测量采集模块和 3G 终端构成,数据测量采集模块用于对压实度和碾压速度等现场数据的测量采集。现场数据通过 3G 无线网络发送至监控中心。对不符合要求的碾压施工工艺进行记录和报警。

1.1.5 原材料加工生产存储监控子系统

原材料加工生产监控子系统由安装在石灰岩加工厂、玄武岩加工厂以及材料存储厂内的摄像头和 3G 终端构成,实现对集料生产使用过程实施监控,对材料加工过程、运输环节、倒运、集料存储量、使用过程进行实时视频监控,对材料来源智能监管,防止未准入或不合格料进场、使用废料等违规现象,实现对原材料加工工艺流程、人员操作、运输车辆等的视

频监控。

1.2 关键控制技术指标

路面施工信息化管理系统的设计思想是各环节参数能快速检测、合理评价和质量参数可控制,沥青路面施工各环节的质量控制关键指标如表 1 所示^[12]。柔性基层、中面层和上面层的平整度分别为 1.2 mm、1.0 mm 和 0.8 mm。

表 1 关键技术指标

Tab. 1 Key technology indexes

柔性 基层	平整度/mm	1.2		平整度仪:全线每车道连续检测
	压实度/%	实验室	97	按 JTG 40—2004 规范附录 B 检查每 500 m 双车道测 1 处
		最大理论	93	
	摊铺温度/℃	145~160		
	摊铺速度/(km·h ⁻¹)	1.5~3.0		
中 面 层	平整度/mm	1.0		平整度仪:全线每车道连续检测
	压实度/%	实验室	97	按 JTG 40—2004 规范附录 B 检查每 500 m 双车道测 1 处
		最大理论	94	
	摊铺温度/℃	165		
	摊铺速度/(km·h ⁻¹)	1.5~3.0		
上 面 层	平整度/m	0.8		平整度仪:全线每车道连续检测
	压实度/%	实验室	98	按 JTG 40—2004 规范附录 B 检查每 500 m 测 1 处
		最大理论	97	
	摊铺温度/℃	165		
	摊铺速度/(km·h ⁻¹)	1.5~2.0		

2 实施方案

2.1 沥青路面建设终端采集系统

根据沥青路面施工的各环节质量评价方法和参数需求,建立对应的参数采集系统。如针对石灰岩、玄武岩加工场、拌和站、摊铺施工现场建立视频采集系统;针对沥青拌和站、摊铺机、压路机建立施工参数采集系统。

2.1.1 终端视频采集系统设计

采集系统主要是针对石灰岩、玄武岩加工场、沥青混合料拌和生产、摊铺现场的视频监控,实现原料生产和施工工艺的监控,同时具备监控点定位和报警提示等功能,主要包括视频采集系统硬件和软件系统的设计。

(1)视频采集系统硬件包括硬件方案设计、主控器的最小电路、数据存储模块、电源模块、3G 模块通

讯电路、视频采集电路和视频处理模块、报警输出模块、GPS 通讯模块等硬件设计。

(2) 视频采集系统软件包括系统初始化、硬件初始化、视频采集、视频处理(包括基于 H. 264/AVC 的压缩编码)、视频保存、3G 通讯模块、网络视频传输模块、报警模块等软件功能设计。

2.1.2 沥青拌和站参数采集系统设计

沥青混合料质量主要取决于沥青混凝土拌和质量,而沥青拌和站由配料系统、干燥系统、燃烧系统、热料提升、振动筛、热料贮存仓、称量搅拌系统、沥青供给系统、粉料供给系统、除尘系统、成品料仓及控制系统等部分组成,各环节对沥青质量都有影响。为了保证高速公路施工的原料质量,需要实时监控拌和站各项参数,包括沥青拌和站的沥青混合料产量、配比、出料温度、原材料消耗以及设备故障信息等生产数据。考虑到沥青拌和站控制系统,这些参数都可以通过与拌和站控制系统连接的控制器通讯获得,不同拌和站的通讯协议和接口不同,因此需要建立具有功能相同,接口参数不同的软件系统。为了控制沥青拌和设备出现待料和溢料,需要将沥青摊铺机与运输车辆在服务器上构成物料的闭环系统,指导沥青拌和站的生产,因此还需要准确获得沥青秤、骨料秤、粉料秤和冷料仓出料流量。同时为了准确获得沥青混合料的温度,还需要对物料温度传感器进行标定^[13]。

沥青拌和站参数采集系统设计内容包括:①拌合站沥青秤、骨料秤、粉料秤和冷料仓出料流量以及出料温度传感器的标定;②沥青拌和站参数采集系统硬件系统设计,考虑到拌和站属于固定设备,用工控机、触摸屏和扩展通讯接口构建采集系统系统硬件,实现与拌和站、GPS 模块和 3G 模块的通讯;③采集系统软件设计,主要包括拌和站通讯协议的解析、GPS 模块通讯、网络命令传输、参数统计分析模块、参数显示模块等功能设计;④沥青拌和站数据管理系统设计。尽管路面建设信息化控制系统服务器中心具备数据管理系统的功能,考虑到沥青拌和站监控系统的特殊性,在工控机上仍然需要构建针对性的管理系统,监控沥青混合料产量、配比、出料温度、原材料消耗以及设备故障信息等生产数据。

2.1.3 施工机械工作参数和施工路段的参数采集系统

施工机械工作参数主要是监控摊铺机和压路机的工作参数,以确保路面达到合适的平整度和压实度。考虑到摊铺机和压路机都是基于 CAN 总线的控制系统,其中摊铺机控制系统中具有摊铺速度、摊

铺厚度等信息,压路机控制系统中具有压实速度和压实频率等信息,因此构建的采集系统可以减少传感器布局,建立具备 CAN 总线通讯的接口和通讯功能来获取相应机器的施工参数。而机器的 GPS 位置信息、摊铺机摊铺各点的温度、压路机的压实度的在线检测需要设置相应传感器和调理电路。主要设计内容有以下几方面。

(1) 摊铺机参数采集系统设计。硬件部分包括主控制器和显示器的选型、快速检测温度传感器的调理电路设计、3G 通讯模块、GPS 模块、电源模块等电路设计;软件部分包括系统初始化、温度标定模块、车载 CAN 总线通讯模块、网络命令传输功能模块以及参数显示系统设计。

(2) 压路机参数采集系统设计。硬件部分包括主控制器和显示器的选型、压实度传感器的选型及其调理电路设计、3G 通讯模块、GPS 模块、电源模块等电路设计;软件部分包括系统初始化、压实度标定模块、车载 CAN 总线通讯模块、网络命令传输功能模块和参数显示系统设计。

(3) 摊铺机和压路机参数采集系统的在线试验和调试,包括采集系统与摊铺机、压路机的通讯功能调试、快速温度检测、摊铺厚度及压实度检测的标定、参数显示系统的调试等试验。

CAN 数据通讯以查询方式发送、中断方式接收。在监测系统中直接选用当前流行的 SJA1000 总线控制器实现 CAN 通信,电路如下页图 2 所示。

2.2 公路建设的远程监控服务平台设计

(1) 数据采集主要针对终端数据的解析和分析,包括基于 TCP/IP 协议的视频数据、文本参数的解析和命令参数的发送。

(2) 数据库管理系统设计,包括原始数据分类保存系统、用户管理系统、数据处理模块和检测评价业务系统设计。数据管理系统属于服务器平台后台运行的核心,设计职责清楚、分工明确的用户管理系统,设计数据存储、读取和操作准确、方便、有效的数据处理系统和发布系统,设计符合实际检测评价要求的业务评价管理系统,按照项目检测、评价、监理对施工质量进行评价。为了避免意外损失,数据管理系统还具备数据备份和数据恢复等功能。

(3) 服务器网站平台设计包括用户登录模块、历史记录查询模块、数据处理显示模块、管理功能模块、远程控制模块、信息录入和发布模块、特征参数诊断模块和评价业务模块。

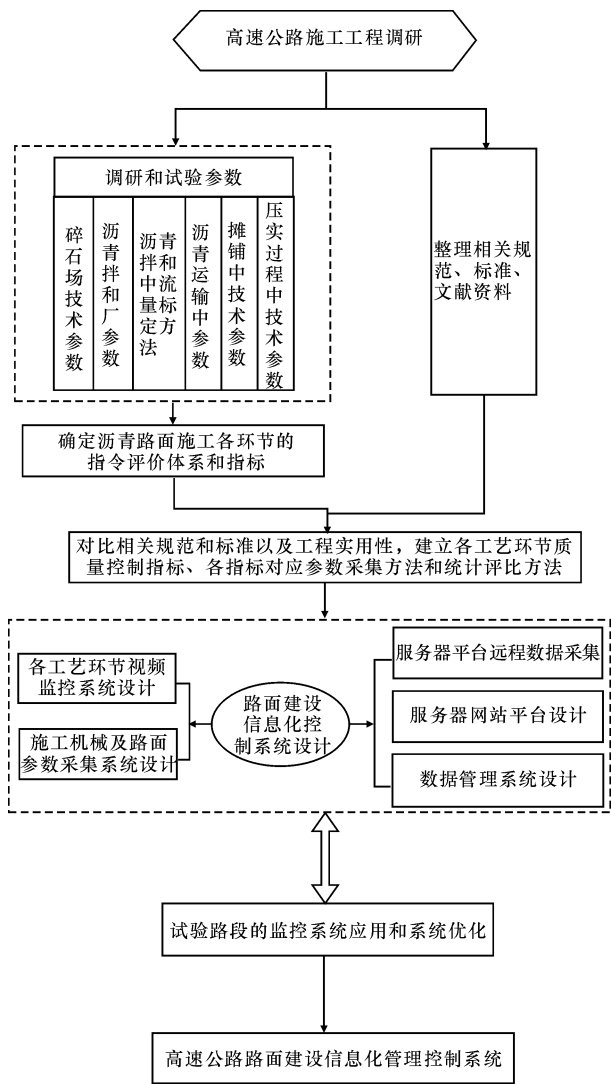


Fig. 3 Design flow of monitoring system

控制系统获得摊铺速度和厚度,通过设置传感器获得摊铺温度,通过设置的 GPS 模块获得经纬度;通过摊铺机驾驶室上方的视频采集系统获得摊铺现场,实现对施工工艺的监测。如图 4 所示,远程采集摊铺路面温度大部分处于 115℃~125℃ 之间,最大值为 124.4℃,最小值为 118.9℃,符合标准要求。

3.3 压实过程参数监控

压实现场通过设计的压路机参数采集系统获得碾压速度、压实度、振幅等信息,通过 GPS 定位模块获得经纬度定位,在服务器上可以根据经纬度信息获得压路机压实的碾压位置,控制压实施工工艺。压路机的参数采集系统可以通过检测的压实度值来指导压实遍数。根据设定压实度和检测的压实度对比,结合压实度检测结果指导操作人员进行碾压。

图 5 为试验路段路面平整度图。如图 5 所示,

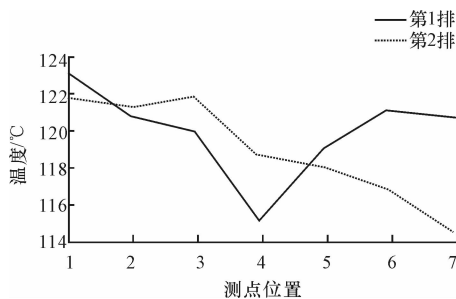


图 4 K98+100 标段摊铺温度

Fig. 4 Paving temperature of section K98+100

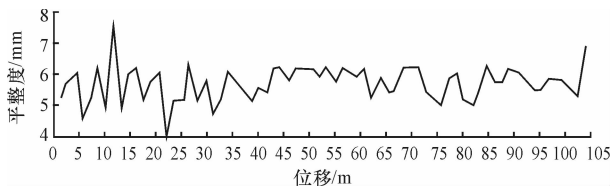


图 5 K98+100 标段路面平整度

Fig. 5 Pavement smoothness of section K98+100

在所测试的 100 m 测试区间内,压实路面平整度为 5.73 mm,标准差为 0.54 mm,变异系数为 9.43%,均符合国家标准^[16]。

4 结 语

(1)以高等级公路的沥青路面建设为对象,通过对沥青路面施工过程中的沥青混合料原材料、生产、运输以及施工等环节实现在线的质量控制,从而达到实时监测施工过程的目的,建立起真正的过程控制方法。

(2)将沥青路面质量控制理论的研究与本地区实际状况有机结合,科学地提出高等级公路建设的沥青路面质量控制方法,建立一套完整的沥青路面施工监控管理系统软件及工程施工质量优化及评价体系,将中国高速公路的建设管理水平提升到世界先进水平。

参考文献:

References:

- [1] 强茂山,杨 亮,邓焕彬.高速公路建设项目集成化管理评价体系[J].清华大学学报:自然科学版,2010,50(9):1369-1373.
QIANG Mao-shan, YANG Liang, DENG Huan-bin. Evaluation of integrated management for expressway construction projects[J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2010, 50(9): 1369-1373. (in Chinese)
- [2] 胡元鑫,刘新荣,李晓红.基于监控量测的山岭隧道

- 工程风险管理分析[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(7): 1135-1140.
- HU Yuan-xin, LIU Xin-rong, LI Xiao-hong, et al. Engineering risk management of mountain tunnels based on observation[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2010, 32(7): 1135-1140. (in Chinese)
- [3] Moon S, Yang B, Kim J, et al. Effectiveness of remote control for a concrete surface grinding machine[J]. Automation in Construction, 2010, 19(2): 734-741.
- [4] Son H, Kim C. Multi-imaging sensor data fusion-based enhancement for 3D workspace representation for remote machine operation[J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2013, 139(3): 434-444.
- [5] David O, Russotto F X, Silva D M s, et al. Measson, collision avoidance, virtual guides and advanced supervisory control teleoperation techniques for high-tech construction: Framework design[J]. Automation in Construction, 2014, 44(1): 63-72.
- [6] Kamezaki, M J, Yang H, Iwata S, et al. A basic framework of virtual reality simulator for advancing disaster response work using teleoperated work machines[J]. Journal of Robotics and Mechatronics, 2014, 26(3): 486-495.
- [7] Chiou J S, Shieh M Y, Li K H. Visual navigation control system for home robots [J]. Information Technology Journal, 2012, 11(2): 1219-1226.
- [8] Jaradat M A K, Ashour S M, Matalkh A A, et al. Biologically inspired design of a glass climbing robot for remote services[J]. International Journal of Robotics and Automation, 2010, 25(3): 132-141.
- [9] Halbach E, Halme A. Job planning and supervisory control for automated earthmoving using 3D graphical tools[J]. Automation in Construction, 2013, 32(3): 145-160.
- [10] 王 源, 刘松玉, 高 磊. 高速公路路基工程施工与养护决策支持系统[J]. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2009, 32(10): 1612-1615.
- WANG Yuan, LIU Song-yu, GAO Lei. Decision support system for construction and maintenance of freeway subgrade engineering[J]. Journal of Hefei University of Technology: Natural Science Edition, 2009, 32(10): 1612-1615. (in Chinese)
- [11] 张肖宁. 沥青混凝土路面施工的全面质量管理[J]. 公路, 2005(2): 56-60.
- ZHANG Xiao-ning. Total quality management of construction of asphalt concrete pavements[J]. Highway, 2005(2): 56-60. (in Chinese)
- [12] 郭大进, 沙爱民, 孙建华, 等. 沥青路面工程质量控制指标体系的研究[J]. 公路交通科技, 2007, 24(4): 71-74.
- GUO Da-jin, SHA Ai-min, SUN Jian-hua, et al. Research on asphalt pavement quality control parameter criteria system[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2007, 24(4): 71-74. (in Chinese)
- [13] 沙庆林. 高速公路沥青路面早期破坏现象及预防[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- SHA Qing-lin. Phenomenon and prevention of early damage of expressway asphalt pavement[M]. Beijing: China Communications Press, 2001. (in Chinese)
- [14] JTG F40—2004, 公路沥青路面施工技术规范[S].
- JTG F40—2004, Technical specification for construction of highway asphalt pavement[S]. (in Chinese)
- [15] JTJ 032—94, 公路沥青路面施工技术规范[S].
- JTJ 032—94, Technical specification for construction of highway asphalt pavement[S]. (in Chinese)
- [16] 刘洪海. 高性能沥青混合料材料特性与施工技术研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2008.
- LIU Hong-hai. Study on characteristics of high performance asphalt mixture and the construction technology[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2008. (in Chinese)