

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2018.05.010

基于便携测温测厚仪的沥青摊铺质量可视化实时管理

刘东海,夏谢天

(天津大学水利工程仿真与安全国家重点实验室,天津 300072)

摘要: 为避免公路沥青路面施工过程中施工温度和摊铺厚度数据记录的人为因素干扰,研制了用于沥青摊铺厚度、施工温度测量和同步定位的便携式测温测厚仪。为实现沥青摊铺质量可视化实时管理,构建了公路施工三维可视化模型,提出了监测信息三维网络可视化集成模型,并基于该便携式装置开发了网络环境下公路路面沥青摊铺厚度温度可视化实时管理系统。应用该系统对天津某高速公路沥青摊铺进行监控,除极少数测点的摊铺厚度和初压温度之外,摊铺温度和终压温度合格率均达到 100%。工程应用表明,路面沥青摊铺厚度和施工温度得到良好控制,该系统有助于提高沥青路面摊铺质量管理的效率与水平。

关键词: 沥青路面;摊铺厚度;施工温度;质量控制;实时监测;可视化管理

中图分类号: U416 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1980(2018)05-0438-07

Real-time visual management of the asphalt pavement quality basing on a portable temperature and lift-thickness measuring device

LIU Donghai, XIA Xietian

(State Key Laboratory of Hydraulic Engineering Simulation and Safety, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: In order to avoid the influence of human behaviors in the data records of construction temperature and lift thickness, a portable detecting device has been developed with the functions of construction temperature measuring, lift thickness measuring, and simultaneous positioning. In the meantime, for the implementation of real-time visual management of the asphalt pavement quality, a three-dimensional highway construction model and a visual integration model of monitoring information were built, and then under the network environment, a real-time visualization system for the quality management of asphalt pavement was developed based on the portable detecting device. This system was applied in a highway project with asphalts pavement in Tianjin, and the qualified rates of the most measurements, except lift thickness and initial compacting temperature in several points, were up to 100%. The results indicate that the asphalt pavement temperatures and the lift-thickness of project were under good control. This system can improve the management efficiency of asphalts pavement quality, and provide a new technical approach for the quality control of road construction.

Key words: asphalt pavement; lift thickness; construction temperature; quality control; real-time monitoring; visual management

公路沥青层作为直接承受车轮和自然荷载的路面面层,其摊铺质量是影响路面使用性能和耐久性能的重要因素。施工温度和摊铺厚度是公路沥青路面施工过程中质量控制的两个关键因素^[1],对于提高路面压

基金项目: 国家自然科学基金(51479132);天津市科技支撑计划重点项目(13ZCZDSF01800)

作者简介: 刘东海(1974—),男,教授,博士,主要从事大型工程系统仿真与优化、数字化施工与质量实时评估研究。E-mail: liudh@tju.edu.cn

引用本文: 刘东海,夏谢天. 基于便携测温测厚仪的沥青摊铺质量可视化实时管理[J]. 河海大学学报(自然科学版),2018,46(5):438-444.

LIU Donghai, XIA Xietian. Real-time visual management of the asphalt pavement quality basing on a portable temperature and lift-thickness measuring device[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences),2018,46(5):438-444.

实质量及控制施工成本都具有非常重要的意义。通常通过人工方式采用温度计和插入式钢钎来量测沥青混合料的施工温度和摊铺厚度,但读数和数据记录往往受人为因素干扰,难以确保测量数据的真实性。

目前国内外对沥青摊铺厚度和施工温度的控制提出了一些自动化量测手段。在摊铺厚度的控制方面,胡忠录^[2]研制了一种能够精确测量沥青混凝土热铺层厚度的厚度测量仪;张建国等^[3]开发了水泥混凝土路面厚度超声检测系统;邓春为等^[4]应用 SIR-10H 型探地雷达系统检测路面各结构层厚度;王叔孙等^[5]、张慧静^[6]分别利用电磁及瑞雷面波进行路面厚度的检测。国外也已广泛地应用探地雷达、超声波、电磁等检测方法^[7-11]检测路面厚度。但是,上述方法基本是适用于事后控制,不宜用于摊铺过程中对于摊铺厚度的检测。在沥青施工温度的检测方面,国内外应用最多的是红外热成像及温度传感器检测。如霍东辉等^[12]、张成^[13]通过对摊铺过程中红外热图像进行分析,获取整个路面各个点温度;李强等^[14]采用红外摄影仪检测法分析了沥青路面面层施工温度离析现象;董泽蛟等^[15]采用光纤光栅温度传感器对沥青路面绝对温度进行实时监测。del Carpio 等^[16]、Uemoto 等^[17]、Carnielo 等^[18]、Li 等^[19]应用红外线温度计和热敏电阻分别测量不同类型路面温度。

尽管上述方法能有效克服人工读数的误差,但是还存在如下不足:(a)数据记录过程中仍可能存在人为因素干扰;(b)采集的温度、厚度数据不能自动入库,需后续人工归档;(c)测点信息不带有地理属性,不利于确定所测信息对应的位置,从而无法及时对相关指标不合格区域进行反馈补救;(d)温度和厚度分开测量,造成人力重复;(e)难以实现检测数据的可视化查询管理。因此,笔者提出一种基于网络环境的、集摊铺温度厚度测量和同步定位于一体的、远程、实时、可视化检测和管理方法,并开发相应系统,对于实现高等级公路施工过程数字化、提高沥青路面施工质量管理的效率和水平有重要意义。

1 沥青摊铺便携式测温测厚仪研制

为了避免人为干扰,实现施工温度、摊铺厚度的同时测量和同步定位,研制了便携式测温测厚仪。便携式测温测厚仪由温度传感器、位移传感器、集成控制器和带有 GPS 定位功能的手持 PDA(如安卓智能手机)组成(图 1)。温度传感器为探针状,通过探针顶端的铂热电阻测得与之接触的沥青温度,其量程为 0 ~ 200℃,测量精度为 1℃;位移传感器为电阻式位移传感器,可测量探针插入沥青摊铺层的厚度,其量程为 0 ~ 150 mm,测量精度为 1 mm。集成控制器预装了蓝牙模块,并通过 I/O 串口与两传感器相连,同时通过 AD 转换将两者采集的模拟信号转换为数字信号。手持 PDA 则安装课题组设计开发的 APP(应用程序),通过蓝牙与集成控制器连接。APP 使用 Eclipse 平台搭建 Android 开发环境,采用 Java 语言进行编程开发,可实现显示测量数据、拍摄现场照片、获取测点坐标以及传输监测信息等功能。该装置适用于公路路面沥青摊铺厚度

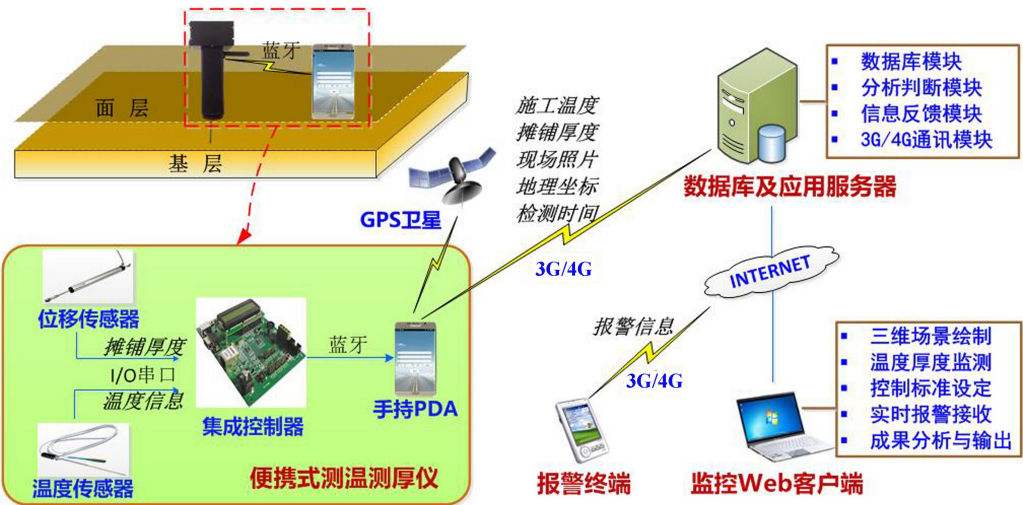


图 1 基于便携测温测厚仪的沥青摊铺质量可视化实时管理流程

Fig. 1 Real-time and visual management process of asphalt pavement quality basing on the portable temperature and lift-thickness measuring device

和施工温度的测量。

利用该装置采集沥青摊铺厚度和施工温度的具体流程如下:(a)将温度传感器探针插入沥青热铺层,带动位移传感器滑杆同步移动,温度传感器和位移传感器分别获取测点处的施工温度及摊铺厚度信息,通过集成控制器的蓝牙模块无线传输至手持 PDA;(b)由 APP 手动设定温度类型(包括摊铺、初压和终压 3 种温度类型),以便后续按类型进行施工温度的自动归档及是否达标的判定;(c)采用手持 PDA 的 GPS 定位功能,可获取当前测点的地理坐标,同样利用 PDA 的相机功能可采集施工现场照片;(d)利用 PDA 所带的通讯功能,经由 3G/4G 网络将上述打包后的施工温度和温度类型、摊铺厚度、地理坐标和现场照片等监测信息,无线传输至远程数据库及应用服务器,可供后续施工质量管理。

2 沥青摊铺温度、厚度监测及可视化实时管理方法

基于研制的便携式测温测厚仪,实现了沥青摊铺温度、厚度监测及三维可视化管理(流程见图 1),具体步骤如下:(a)按照第一节所述流程,利用便携式测温测厚仪采集到施工温度、摊铺厚度、现场照片、地理坐标和检测时间等监测信息,并发送至数据库及应用服务器;(b)数据库及应用服务器的数据库模块包括监测数据库和空间数据库两部分。监测数据库负责接收存储上述信息,同时空间数据库负责存储公路周边地形模型、路面模型和施工机械模型等空间数据;(c)监控 Web 客户端通过 Internet 网络,读取数据库模块中存储的数据,绘制公路施工三维可视化场景、测点、测点摊铺厚度、施工温度及类型和现场照片,同时在摊铺监控过程中可对上述信息进行实时在线查询;(d)数据库及应用服务器的分析判断模块根据监控 Web 客户端预先设定的控制标准,实时判断不同类型施工温度及摊铺厚度是否达标。若不达标,则分别通过信息反馈模块和 3G/4G 通讯模块向报警手机及监控 Web 客户端发出报警信息。相关人员可根据报警短信中不达标测点位置坐标的提示,在施工现场对相应位置进行补救,以保证摊铺质量;(e)监控 Web 客户端接收报警信息后,将不达标测点在三维可视化场景中用不同颜色显示以示区别。同时,将不达标测点及报警信息写入数据库以供后续查询;(f)沥青摊铺结束后,监控 Web 客户端输出监测区域测点分布图、施工温度统计直方图和摊铺厚度纵断面图作为监控成果,并保存至数据库及应用服务器,作为摊铺质量的验收材料。

3 监测信息三维网络可视化集成方法

3.1 公路施工场景三维建模

三维可视化场景中涉及到了公路周边地形、路面模型和施工机械模型(如摊铺机、碾压机、运料车等)。对地形表面的模拟多采用不规则三角网模型(TIN)。为达到场景逼真效果,利用谷歌地球对工程周边区域进行航拍影像数据的截取与拼接,并与 TIN 模型进行匹配叠加,由此得到具有真实光照效果及表面纹理的地形显示。同时,利用 ArcMap 建立工程区域的河流、铁路等的特征地物模型。此外,根据道路施工布置 CAD 图纸,利用 Autodesk CAD 和 3D Max 建立公路三维模型(包括沥青路面层三维模型),并利用 3D Max 建立工程施工机械的三维模型。

3.2 监测信息三维网络可视化集成模型

为使监测信息在网络环境下实现三维可视化,提出了基于监测数据库、空间数据库和监控 Web 客户端三者联动的监测信息三维网络可视化集成模型,如图 2 所示。

把公路周边地形、路面模型和施工机械模型等影像数据、矢量数据和三维模型在统一坐标系后导入到空间数据库,并赋予地理坐标属性。Web 服务器通过数据源访问接口访问空间数据及监测数据,并将其转换成 JOSN 格式的数据文件格式,存储在自身的工作目录中以备监控 Web 客户端访问;监控 Web 客户端所发出的 Ajax 请求,通过 Web 服务器实现接收和响应,响应时客户端请求的数据文件会被发送至客户端。客户端利用 Active X 控件解析服务器端发送的 JOSN 文件,并基于 Web GL 技术对解析得到的工程三维模型及监测数据进行绘制、动态加载及图形渲染,并发布到网页上,实现 Web 环境下施工场景三维数据及监测数据的三维可视化。另外,客户端可通过 Web 服务器向监测数据库提出查询信息及分析数据的请求,监控数据库相应地做出计算并返回查询信息的响应,同时通过坐标对应关系与空间数据关联,在客户端三维施工场景中显示查询的测点及测点处施工温度、摊铺厚度、现场照片及检测时间等信息。

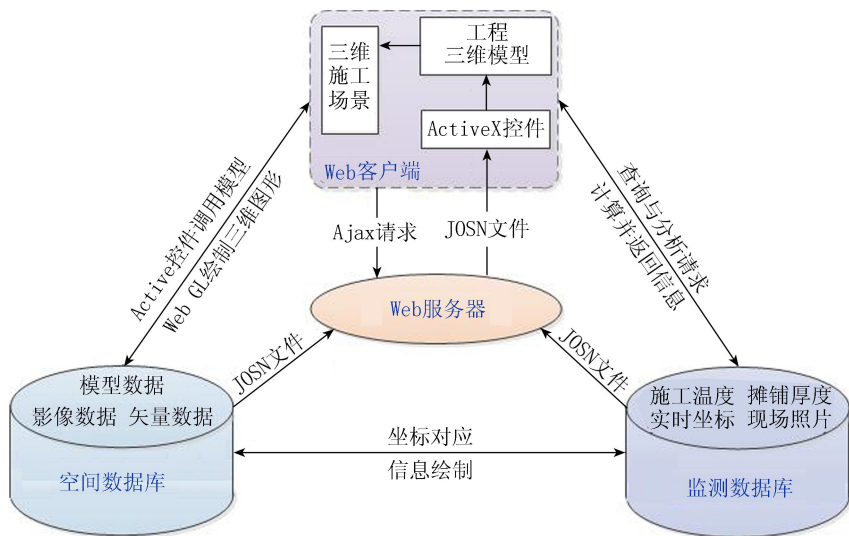


图 2 监测信息三维网络可视化集成模型

Fig. 2 Three-dimensional and network-visually integrated model of the monitoring information

4 可视化管理系统模块开发与应用

4.1 系统模块开发

为实现沥青摊铺温度厚度监测及三维可视化管理的流程,利用上文介绍的监测信息三维网络可视化集成方法,开发了沥青摊铺质量可视化实时管理系统,具体包括数据库及应用服务器、监控 Web 客户端和报警手机 3 个模块。

a. 数据库及应用服务器开发。数据库及应用服务器采用面向对象编程语言 C#进行数据存储输出、分析判断、查询统计等功能的开发,由高性能服务器及 Microsoft SQL server 2008 enterprise 数据库平台组成,包括数据库模块、分析判断模块、信息反馈模块以及 3G/4G 通讯模块。数据库模块分为空间数据库及监测数据库两部分。

b. 监控 Web 客户端开发。监控 Web 客户端采用 MVC 模式^[20]和 css + div 的 Web 设计标准,结合 JavaScript、XML、Ajax 和 JSON 技术进行 HTML 页面开发,主要通过绘制三维场景和实时显示监测信息来实现对沥青摊铺质量的三维可视化实时管理,同时客户端可以设定控制标准并接收报警信息,并实现在线查询和监控成果输出等功能。

c. 报警手机。报警手机为采用 3G 或 4G 网络、可以接收短信的手机,由现场施工人员持有。当现场测点温度厚度不达标时,现场施工人员会接收到报警信息,做出反馈控制。

4.2 系统应用步骤

应用所研发的系统进行路面沥青摊铺质量管理的流程见图 3,具体步骤如下:(a)监控准备。摊铺监控前,首先设定当前摊铺区域的标段及层面(包括沥青上面层、沥青中面层及沥青上面层),然后,进行控制标准的设置。最后,设定用于当前摊铺区域检测的仪器 ID 号,以确保数据库及应用服务器只接收设定仪器采集的施工信息;(b)过程监控。摊铺机开始摊铺工作后,现场采集人员在摊铺区域取随机位置的测点并利用设定的便携式测温测厚仪,测量该处的摊铺厚度及摊铺温度并发送将其发送至数据库及应用服务器。同时,监控 Web 客户端开启层面监控,测点及监测数据在施工三维场景中开始实时同步显示;当温度或者厚度不达标时,客户端弹出报警对话框,同时报警手机接收到报警短信,施工人员可根据报警信息做现场摊铺反馈控制。另外,可通过客户端对已施工区域中任意测点位置进行摊铺信息查询;(c)成果输出。当摊铺施工完成时,施工人员上报现场监理,通过监控 Web

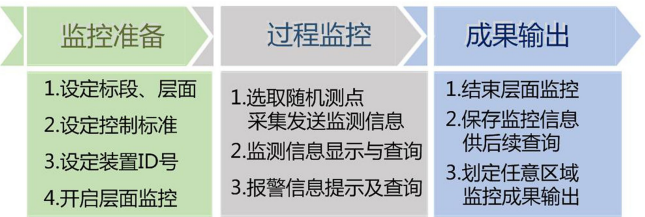


图 3 系统应用流程

Fig. 3 Flow chart of system applications

客户端结束对层面的监控,操作人员可通过客户端划定任意施工区域,系统自动输出该区域测点分布和不同类型施工温度的直方图及摊铺厚度的纵断面图,并在图中将不达标测点以不同颜色标出,作为工程验收的辅助的材料。

5 工程应用

以滨海新区西外环高速公路某标段工程为例进行应用试验。该标段填筑 50 号沥青混合料,沥青混合料摊铺温度应不低于 140℃,初压温度应不低于 135℃,终压温度应不低于 80℃。沥青下面层摊铺厚度(既松铺厚度)为 15 cm,控制允许误差范围为 8%。本文选取其中的 K13+450-K13+650 段,共取 18 个采样点。图 4 为便携式测温测厚仪在路面沥青摊铺施工现场应用图。



图 4 便携式测温测厚仪施工现场应用图

Fig. 4 In-situ application of the portable temperature and lift-thickness measuring device

为验证便携式测温测厚仪的准确性,选择 5 个采样点,根据 JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》^[1]规定方法,在摊铺过程中分别用温度计和钢钎在每个采样点处测量 3 次并取均值作为该点的摊铺温度和摊铺厚度。同时,采用便携式测温测厚仪对采样点进行测量。为保证测量精度,温度厚度测量严格按照如下步骤进行:首先,将便携式测温测厚仪探针全部探出,按照插钢钎的方式将探针插入沥青层;其次,保持位移传感器及温度传感器垂直,并通过 PDA 读取温度和厚度读数;最终,待读数稳定后,将采样点的摊铺温度和摊铺厚度发送至系统。

测量结果对比如表 1 所示,摊铺厚度测量误差均小于等于±0.3 cm,温度测量误差控制在±3℃,满足 JTG E60—2008《公路路基路面现场试验规程》^[21]对于现场测量数据误差控制的要求。

系统监控界面见图 5。系统根据测点坐标在施工三维场景中实时绘制现场测点,并在测点处显示厚度、温度信息和现场照片缩略图。蓝色测点为达标测点,红色测点为不达标测点。当测点处厚度信息或温度信息不达标时,系统向客户端和现场报警手机发送报警信息,施工人员根据不达标测点坐标进行反馈控制。

摊铺结束后,在后续碾压过程中采集初压温度和终压温度后,输出相关监控成果见图 6,可知工作面摊铺厚度共有不达标点 1 个,合格率为 94.44%,平均值为 14.88,标准差为 1.13。工作面摊铺温度合格率为 100%,初压温度不达标点共有 1 个,合格率为 94.44%。路面沥青摊铺质量和施工温度得到良好控制。

表 1 便携式测温测厚仪与规范给定方法的测量结果对比
Table 1 Comparison between measured results of the portable device and those from the standard specified methods

序号	桩号	摊铺厚度/cm			摊铺温度/℃		
		仪器 测量	钢钎 测量	误差	仪器 测量	温度计 测量	误差
1	K13+450	15.3	15.5	-0.2	155	157	-2
2	K13+487.5	14.3	14.2	0.1	152	150	2
3	K13+535	16.1	16.2	-0.1	150	151	-1
4	K13+580	15.6	15.3	0.3	149	146	3
5	K13+650	16.1	16.2	-0.1	146	149	-3

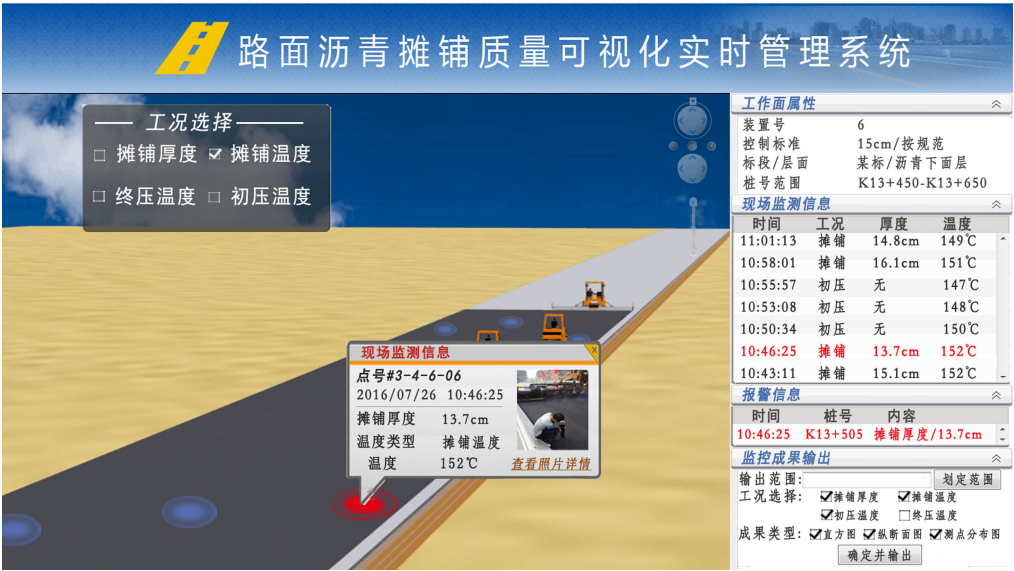


图 5 系统监控界面
Fig.5 Monitoring interface of the system

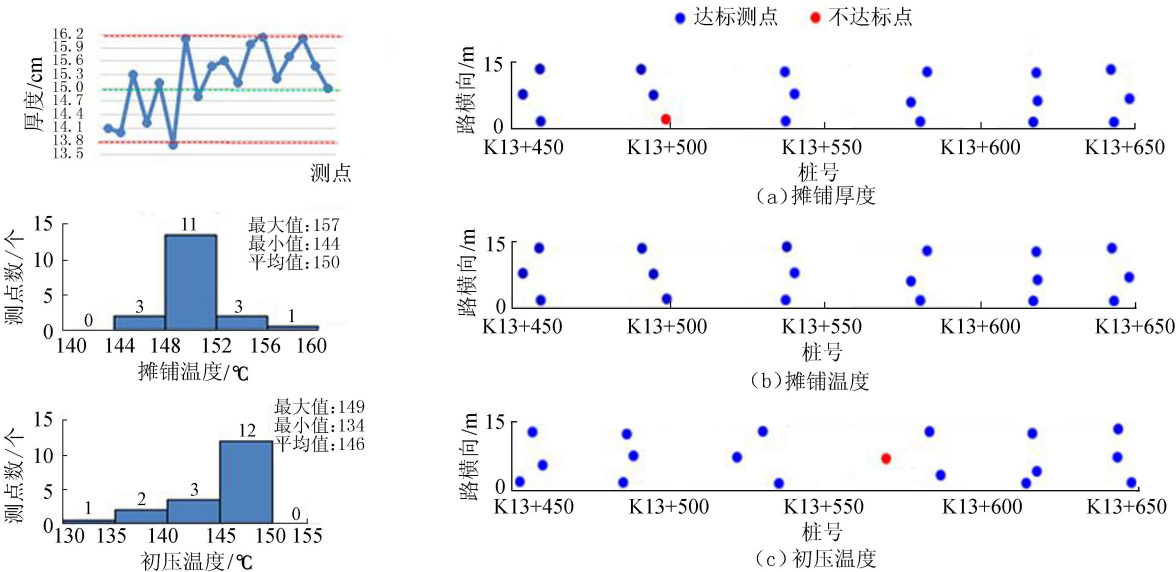


图 6 监控成果图形报告
Fig.6 Graphic reports of monitoring results

6 结 语

本文针对路面沥青摊铺过程中温度及厚度控制的要求与特点,研制开发了便携式测温测厚仪,克服了常规控制手段受人为干扰因素大的弊端,同时沥青摊铺厚度和施工温度同测,有助于提高检测效率。基于开发的该装置,提出了一种基于网络环境的、集摊铺温度厚度测量和同步定位于一体的、远程、实时、可视化检测和管理方法,构建了监测信息三维网络可视化集成模型,开发了路面沥青摊铺质量可视化实时管理系统,可直观指示测量位置与检测信息,并通过实时报警的方式提示管理人员进行现场控制。尽管本文所提出的方法不能实现摊铺机作业的自动控制,但是是现有沥青路面摊铺质量控制方法的有益补充。工程应用结果表明,路面沥青摊铺厚度和施工温度得到良好控制。该系统有助于提高沥青路面摊铺质量管理的效率与水平,为路面沥青摊铺质量控制提供了一种新的技术手段,具有广阔的应用前景。

参考文献:

[1] 交通部公路科学研究所. 公路沥青路面施工技术规范:JTG F40—2004[S]. 北京:人民交通出版社, 2009.

- [2] 胡忠录. 沥青混凝土热铺层厚度测量仪设计[J]. 筑路机械与施工机械化, 2012, 29(7): 65-67. (HU Zhonglu. Design of thickness measurement instrument for asphalt concrete hot surface[J]. Road Machinery and Construction Mechanization, 2012, 29(7): 65-67. (in Chinese))
- [3] 张建国, 琚晓辉, 路晋. 水泥混凝土路面厚度超声检测系统研究[J]. 公路交通技术, 2006(1): 26-28, 33. (ZHANG Jianguo, JU Xiaohui, LU Jin. Research on cement concrete pavement thickness ultrasonic detection system[J]. Technology of Highway and Transport, 2006(1): 26-28, 33. (in Chinese))
- [4] 邓春为, 徐宏武, 邵雁. 探地雷达在公路路面厚度检测中的应用[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2005, 24(5): 39-41. (DENG Chunwei, XU Hongwu, SHAO Yan. Application of ground penetrating radar in the survey of the layer thickness in road[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science), 2005, 24(5): 39-41. (in Chinese))
- [5] 王叔孙, 谢宗惠, 范利平. 一种适合于公路建设期采用的路面测厚仪[J]. 公路交通科技, 2001, 18(1): 21-25. (WANG Shusun, XIE Zonghui, FAN Liping. A kind of pavement thickness measurement instrument applicable for highway's construction period[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2001, 18(1): 21-25. (in Chinese))
- [6] 张慧静. 瑞雷面波法在水泥路面厚度无损检测中的应用研究[D]. 西安: 长安大学, 2013.
- [7] NAZARIAN S, SROKOE I I, HUDSON W R. Use of spectral analysis of surface waves method for determination of moduli and thicknesses of pavement systems[J]. Transportation Research Record, 1983, 930: 38-45.
- [8] GROTE K, HUBBARD S, HARVEY J, et al. Evaluation of infiltration in layered pavements using surface GPR reflection techniques[J]. Journal of Applied Geophysics, 2005, 57(2): 129-153.
- [9] AL-QADI I L, LAHOUE S. Measuring layer thicknesses with GPR-theory to practice[J]. Construction and Building Materials, 2005, 19(10): 763-772.
- [10] KILPELÄINEN P, JAAKKOLA M, ALANAATU P. Development of a control system for a multipurpose road repairing machine[J]. Automation in Construction, 2011, 20(6): 662-668.
- [11] GROVE J, JONES K, YE D, et al. Nondestructive tests of thickness measurements for concrete pavements[J]. Journal of the Transportation Research Board, 2012, 2268(1): 61-67.
- [12] 霍东辉, 侯新玉, 张玉存, 等. 一种沥青路面摊铺温度在线测量方法[J]. 山东交通科技, 2014(5): 28-30. (HUO Donghui, HOU Xinyu, ZHANG Yucun, et al. An online measurement method of the paving asphalt pavement temperature[J]. Shandong Transportation Technology, 2014(5): 28-30. (in Chinese))
- [13] 张成. 红外热像仪在沥青路面施工质量过程控制中的应用[D]. 西安: 长安大学, 2010.
- [14] 李强, 钟燕辉, 张蓓, 等. 红外热像仪在沥青混凝土路面质量控制中的应用研究[J]. 公路, 2007(8): 150-155. (LI Qiang, ZHONG Yanhui, ZHANG Bei, et al. Application study of infrared thermal imager in the quality control of the concrete road surface [J]. Highway, 2007(8): 150-155. (in Chinese))
- [15] 董泽蛟, 李生龙, 温佳宇, 等. 基于光纤光栅测试技术的沥青路面温度场实测[J]. 交通运输工程学报, 2014, 14(2): 1-6, 13. (DONG Zejiao, LI Shenglong, WEN Jiayu, et al. Real-time temperature field measurement of asphalt pavement based on fiber bragg grating measuring technology[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2014, 14(2): 1-6, 13. (in Chinese))
- [16] del CARPIO J A V, MARINOSKI D L, TRICHES G, et al. Urban pavements used in Brazil: characterization of solar reflectance and temperature verification in the field[J]. Solar Energy, 2016, 134: 72-81.
- [17] UEMOTO K L, SATO N M N, JOHN V M. Estimating thermal performance of cool colored paints[J]. Energy and Buildings, 2010, 42(1): 17-22.
- [18] CARNIELO E, ZINZI M. Optical and thermal characterisation of cool asphalts to mitigate urban temperatures and building cooling demand[J]. Building and Environment, 2013, 60(1): 56-65.
- [19] LI H, HARVEY J, KENDALL A. Field measurement of albedo for different land cover materials and effects on thermal performance[J]. Building and Environment, 2013, 59(Sup3): 536-546.
- [20] 谢珩, 吴多益, 卢显良, 等. MVC 模式在 Web 应用中的一种实现[J]. 计算机科学, 2006, 33(5): 136-138. (XIE Hang, WU Duoyi, LU Xianliang, et al. A MVC pattern implementation on Web application[J]. Computer Science, 2006, 33(5): 136-138. (in Chinese))
- [21] 中华人民共和国交通运输部. 公路路基路面现场试验规程: JTG E60—2008[S]. 北京: 人民交通出版社, 2008.