

文章编号:1006-2106(2015)05-0059-06

铁路桥梁路基隧道关键工序监控技术研究^{*}

叶阳升^{**} 韩自力 蔡德钧 朱宏伟 肖祥淋 闫 鑫

(中国铁道科学研究院高速铁路轨道技术国家重点实验室, 北京 100081)

摘要:研究目的:依托于铁路工程管理平台,开展对铁路桥梁预应力梁张拉质量、路基压实质量、隧道支护结构质量的自动监控技术研究,调研目前的监控方法存在的问题并提出解决问题的技术方案。采用当今先进和成熟的计算机开发技术和面向对象模块化设计思路,研究桥梁预应力自动张拉系统、路基连续压实检测系统、隧道衬砌混凝土灌注密实监测系统,以及相应的信息上传、展示平台,实现路桥隧关键工序的信息化施工控制与远程管理。

研究结论:(1)研发桥梁预应力自动张拉系统,并通过了现场试验验证,验证结果表明该系统工作性能稳定,能实现张拉、静停、锚固阶段全过程自动平衡张拉,张拉两端不平衡力小于控制张拉力的 1%,张拉力的控制精度在 0.5% 以内,张拉数据可远程传输至信息管理平台并实时展示;(2)研发路基连续压实检测系统,并通过了现场试验验证,验证结果表明该系统工作性能稳定可靠,能随压路机行驶自动检测整个路基面压实质量,检测结果可以在现场显示终端和网络平台上实时显示,其检测结果与常规压实指标相关系数大于 0.7,满足相关技术规程要求;(3)提出了隧道衬砌混凝土灌注密实监测系统的技术方案与系统设计,该方案经论证是可行的;(4)这三个系统可应用于铁路施工质量控制及信息化领域。

关键词:预应力张拉监控;路基连续压实控制;隧道支护结构密实控制;信息化

中图分类号:U215.6 文献标识码:A

Automatic Monitoring Technology Research on the Key Progress of Construction of Railway Bridge, Subgrade and Tunnel

YE Yang - sheng, HAN Zi - li, CAI De - gou, ZHU Hong - wei, XIAO Xiang - lin, YAN Xin

(State Key Laboratory of Track Technology of High - speed Railway, China Academy of Railway Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Research purposes: Relying on the platform of information management of railway construction, carry out automatic monitoring technology research to the quality control of prestressed beam tension, subgrade compaction, tunnel lining. Find out existing problems of current monitoring method and put forward the technical scheme for solving these problems. Develop information technology and information platform, realize the informationization and remote management of key process of railway construction.

Research conclusions: (1) The automatic control system for prestressed beam tension is confirmed stable and reliable. The results show that the system can balance the tension at both ends of the beam, the unbalanced force is less than 1% of the control tension, and tension control precision is within 0.5%. The test results can be transferred and displayed on the information management platform. (2) The continuous compaction control system is confirmed stable and reliable. The quality of subgrade compaction can be tested and showed in the way of images, which can also be transferred and displayed on the information management platform. The correlation coefficient between the results of continuous compaction control and conventional test is greater than 0.7, which satisfied the requirements in relevant procedures.

^{*} 收稿日期:2015-02-10

基金项目:中国铁路总公司科技研究开发计划重点项目(2014G004-G);铁科院院基金(2013YJ024,2014YJ007)

^{**} 作者简介:叶阳升,1966 年出生,男,研究员,现任中国铁道科学研究院副院长兼高速铁路轨道技术国家重点实验室主任。

(3) Put forward the technical scheme and system components of quality control system of tunnel lining. (4) These three systems can be applied in the informationization field of railway construction.

Key words: automatic control system for prestressed beam tension; continuous compaction control system; quality control system of tunnel lining; informationization

1 概述

信息化是当今世界经济社会发展的必然趋势,已经成为推动人类社会高速发展的强大动力,也是各个国家实现现代化的重大发展战略方向。高速铁路作为国家重大建设工程项目,投资规模大、技术标准高、质量要求严,在其工程建设过程中采用建设项目管理信息技术,可以规范管理流程,提高铁路建设管理水平。中国铁路总公司于2013年5月正式启动了“铁路工程建设信息化关键技术研究”等科研项目的工作,立足于解决我国铁路工程建设阶段信息化应用的关键核心技术,包含了铁路设计、施工、运维 BIM 关键技术的各个方面,目标是形成一套工程建设信息化标准体系,建立一个覆盖全国铁路工程建设管理的信息化统一平台。

在铁路信息化建设的背景下,依托于铁路工程建设信息化管理平台,开展对桥梁、路基、隧道施工中的关键工序自动监控技术研究,研发配套设备,有利于实现路桥隧关键工序的信息化施工管理,推动我国铁路信息化建设的发展。

2 桥梁预应力梁张拉质量控制

2.1 主要问题及解决途径

目前,我国铁路桥梁的预应力施工工艺为采用普通泵站驱动千斤顶,由人工看压力表手动操作泵站完成张拉;在测量技术上,通过读取液压系统的压力,并按照液压系统与张拉力的对照表换算出张拉力,使用普通量具人工测量出预应力筋的张拉伸长值,施工数据均采用人工记录,过程中通过张拉力和伸长值进行双向控制。传统施工法以液压换算张拉力的方法无法解决千斤顶摩阻变化的影响,需要频繁进行标定。由于液压系统压力的稳定性、千斤顶摩阻影响及系统的内泄等因素的影响,测试结果存在较大的离散性。传统的后张法掺入了大量的人工干预、操作过程繁杂、测量精度较低、施工数据可信度较差,对预应力的张拉质量有一定影响,张拉效率不高。同时液压系统和千斤顶需频繁送技术监督部门进行校正,既增加生产成本又影响生产进度。

通过对在役的预应力桥梁调查表明,相当部分的预应力桥梁质量隐患来源于预应力张拉施工不规范和

缺乏有效的质量控制手段。改进和提高施工技术使结构预应力能够有效精准施加,严格控制有效预应力的尺寸及其高离散度,是解决当前因施工不当而造成桥梁预应力病害问题的最有效、最直接的方法,解决途径及系统目标如图1所示。

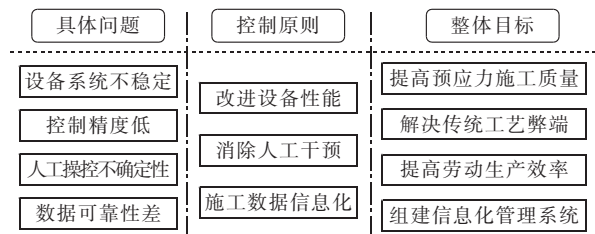


图1 解决途径及目标

2.2 技术方案与系统组成

针对现阶段预应力张拉存在的具体问题,对预应力自动张拉系统的关键技术进行深入研究,研发功能完善的硬件系统和软件系统。该系统可实现预应力的自动张拉、精准控制,施工数据智能管理,以解决传统施工工艺的弊端,提高预应力施工和管理水平,系统的主要功能及技术实现手段如图2所示。

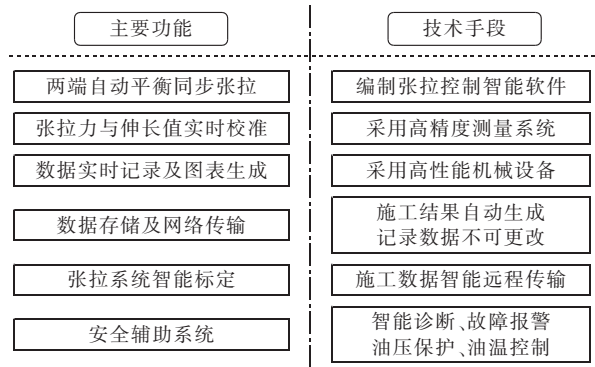


图2 自动张拉系统的功能架构及技术手段

以实现预应力张拉施工的高度智能化为具体目标,预应力自动化张拉系统的设计综合考虑了系统功能的先进性、控制精度、可靠性、工程应用的耐久性等。

自动张拉系统主要技术目标为两端平衡同步张拉、张拉力的精确控制、张拉力与伸长值的实时校核、数据的自动化采集和分析等。针对技术目标所采用的技术手段有编制智能控制软件、采用稳定可靠测量系

统及高性能机械设备、数据自动生成及远程传输、施工及设备的安全辅助措施等。

自动张拉系统主要由 5 个子系统共同组成,如图 3 所示,分别为机械动力系统、传感测量系统、张拉控制系统、数据管理系统及辅助系统。

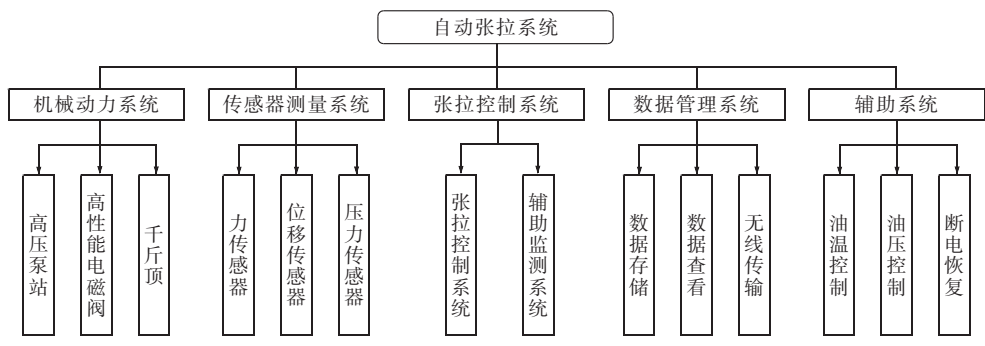


图 3 自动张拉系统组成

2.3 试验验证

在京沈铁路客运专线辽宁段 10 标段黑山预制梁场,对 15 孔 32 m 简支箱梁进行自动张拉系统的现场应用试验。

试验中,自动张拉系统可对张拉过程进行智能控制,通过监测并分析张拉力与伸长值的关系,对张拉力进行实时动态调整,达到预施张拉力的精准控制。对异常情况能够智能判断并对异常数据进行标识,张拉结果数据远程上传至铁路工程管理平台。现场试验的工作关系如图 4 所示,试验结果如图 5、图 6 所示。

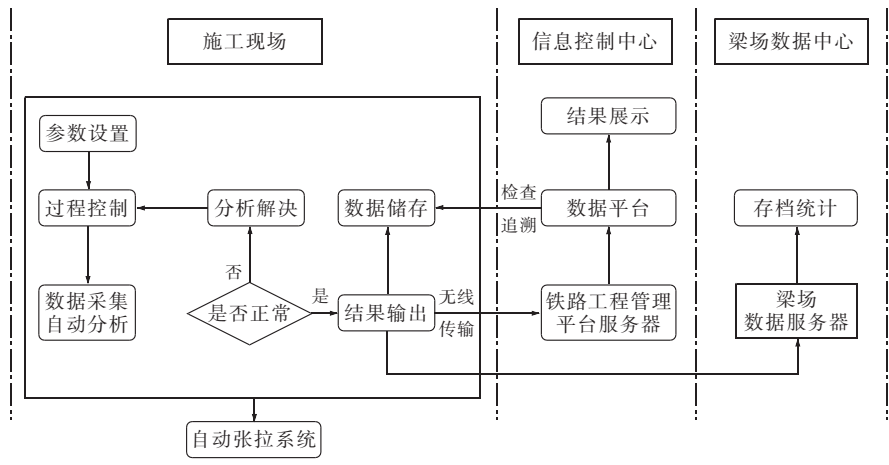


图 4 现场试验的工作关系

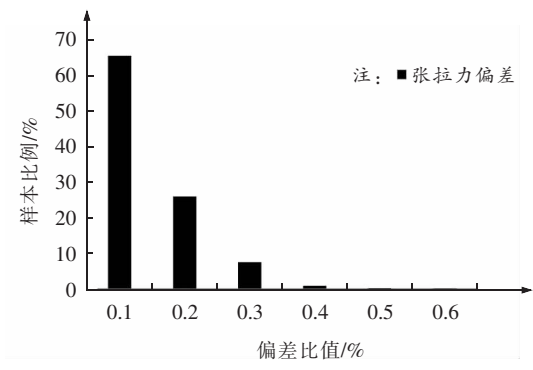


图 5 实测张拉力控制精度

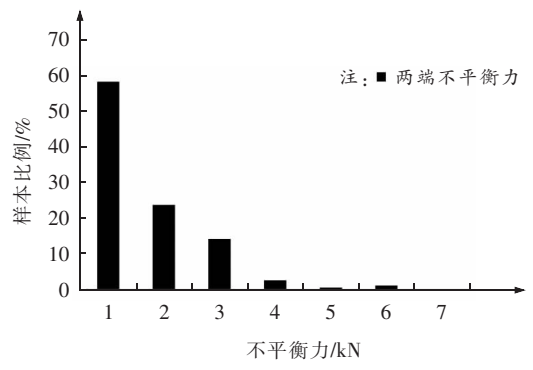


图 6 实测两端不平衡力

现场试验表明:试验期间,自动张拉系统工作性能稳定,预施应力准确、可靠;自动张拉系统能够实现张拉、静停、锚固阶段全过程自动平衡张拉;张拉力的控制精度在 0.5% 以内,张拉力施加精准,张拉两端不平衡力小于控制张拉力的 1%,能够实现张拉力的自动平衡施加;通过与管理平台之间的数据传输协议,张拉数据可远程传输至管理平台;管理平台可实时接收并存储张拉施工数据,具有结果展示、历史查询、数据统计功能。

3 路基压实质量控制

3.1 主要问题及解决途径

目前铁路路基填筑质量控制以传统的“点式”检验为主,如 K (压实系数)、 K_{30} (地基系数) 以及 E_{vd} (动态变形模量) 等,均采用了在现场某一点进行抽样试验的方式获得检验数据。这类控制方法存在很多不足:一是检验在碾压结束后进行,属于结果控制,发现问题很难在碾压过程中进行处理;二是部分试验需占用重型设备加载,给施工带来很大干扰,并且试验花费时间较长;三是个别检验点的数据不满足要求时,很难界定需重新碾压的区域,若全部碾压,则有可能造成其他合格区域的“过压”现象;四是抽样检验适合于样本总体均匀的情况,当填料存在不均匀性时,抽样点是否具有代表性还存在争议。

针对传统检测方法点控制、事后检测、人为干扰大等缺点,推出了连续压实检测技术,该技术可以随压路机碾压作业进行检测,对施工干扰较少,而且可以做到过程控制,能及时根据检测结果对施工进度进行调整。同时,连续压实检测结果可以上传到网络平台上,以图形等直观方式进行展示,可以实现路基压实质量检测信息的远程查询、分析与管理,是路基信息化施工的有力支持。

3.2 技术方案与系统组成

连续压实检测的技术方案是将加速度传感器安装在振动压路机上,检取系统在振动激励下的响应信号,通过滤波器滤波及信号的变换,得出振动信号的基波和二次谐波分量,然后将采用二次谐波分量与基波的比值来反映路基土的压实程度。土壤压实的程度越好,谐波的畸变程度越严重,谐波分量也越大,其比值也越大。通常经过与常规压实指标对比,得出压实目标值。当振动压实值 (VCV) 与压实目标值接近到一定程度时,说明压实过程可以结束。在压实过程中可对记录的信息进行分析处理,并将其作为结果显示在屏幕上。压实程度低于预设目标值的区域通过预先设定的颜色显示出来,这样,操作员可以直观的了解路基的

压实状态。

连续压实检测系统主要由连续压实检测设备 (硬件) 和反馈控制与管理系统 (软件) 组成,检测设备主要功能是进行现场数据采集与实时显示,反馈控制与管理系统提供数据的远程访问与分析。硬件部分主要由振动传感器、定位系统、处理器、显示终端和服务器终端组成。振动传感器采集压路机振动轮机架的振动加速度,通过数字处理器分析其振幅、振频及波形特征,在此基础上分析获取路基的压实程度、压实均匀性及压实稳定性三方面信息。再匹配编码器或北斗定位系统采集的压路机行驶信息,对检测结果进行定位,由此得到路基压实程度、均匀性以及稳定性平面分布图。通过配置的显示终端,可以实时显示检测结果,指导路基碾压施工。

反馈控制与管理系统将检测设备采集的数据上传到服务器终端进行存储,在网络平台上实现对路基压实检测数据的信息查询以及进一步的统计分析,不仅帮助管理者掌握现场施工质量,还可以方便的进行工程量统计与进度考核。

连续压实系统组成如图 7 所示。

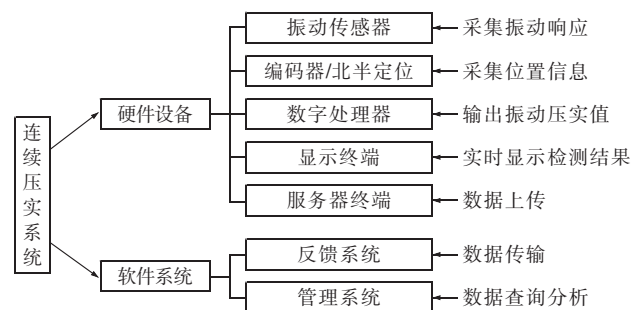


图 7 连续压实检测系统组成

3.3 试验验证

3.3.1 工程概况

连续压实系统的试验验证选在京沈客专 TJ-10 标段的一工区和三工区进行,试验填筑部位为基床以下路堤,所使用的填料如表 1 所示。

表 1 填料性质

工区	填料类别	最大干密度 /($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	填料名称
一工区	A 组	1.88	细角砾 A 组料
三工区	B 组	2.08	粗粒土 B 组料

3.3.2 相关性试验

相关性试验的目的是建立振动压实值 (VCV) 与常规检测指标之间的对应关系,为后续路基段压实检测提供对照标准。本次相关性试验选择与 K_{30} 建立对

应关系,根据试验结果,两种填料 $VCV - K_{30}$ 相关系数分别达到 0.87、0.92,相关性大于 0.7,满足要求。 $VCV - K_{30}$ 相关性曲线如图 8 所示。

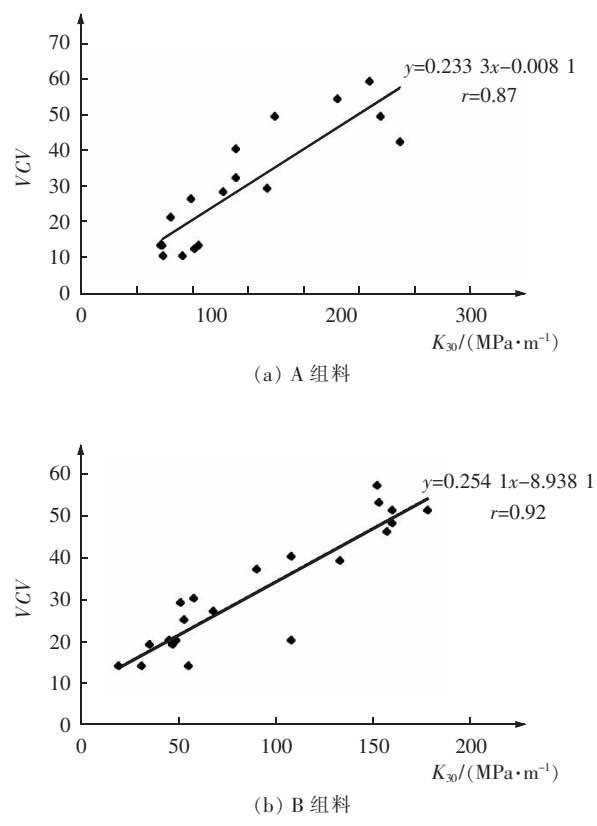


图 8 $VCV - K_{30}$ 相关性曲线

3.3.3 连续压实检测

在试验段的碾压过程中进行连续压实检测,图 9 是其中 2 条道(A 道、B 道)的第 1、3、4、7、9、11 遍碾压后的连续压实检测曲线,其中,前 4 遍为弱振,第 5 遍开始为强振。由图可以看出,第 3 遍、第 4 遍的连续压实检测曲线已经十分接近,说明该种填料在该压路机弱振模式下已经很难再进一步压实,这与现场实际施工经验相符。

从检测结果可知,振动压实值随碾压遍数的增加而增长,但随着碾压遍数的增加,振动压实值增长幅度变小。碾压第 11 遍的检测结果显示,每条道的振动压实值达到了相应的目标值,均匀性也较好,路基已经完全压实。

图 10 为连续压实检测结果平面示意图,浅色部分代表检测合格,深色部分代表检测不合格,该平面图不仅可以在现场显示终端上显示,用以指导施工;还可以上传到网络平台,供管理人员远程访问。由图 10 可以看出,图(a)所示路基段压实质量较高,大部分区域均满足检测要求,只需要局部采取整改措施;而图(b)所

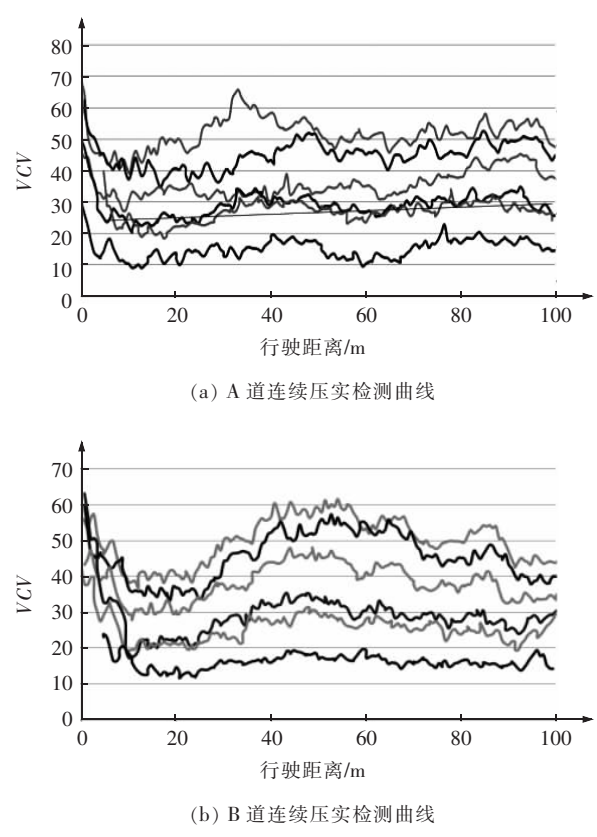


图 9 连续压实检测曲线

注:自下而上分别为第 1、3、4、7、9、11 遍压实检测曲线。

示路基段压实质量较差,需要对整个路基段重新碾压。

随机挑选了 26 个点进行 K_{30} 检测,对连续压实检测结果进行复核。复核结果表明 VCV 与 K_{30} 间仍然存在良好的相关性,且两者检测结果基本保持一致。

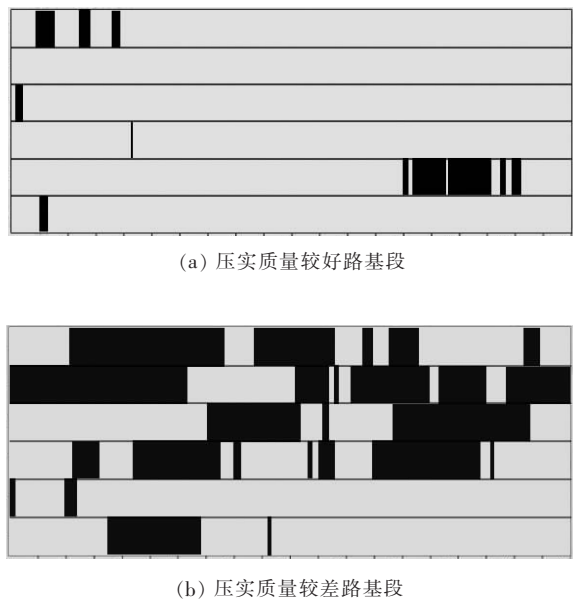


图 10 连续压实检测结果平面图

4 隧道支护结构质量控制

4.1 主要问题及解决途径

铁路隧道多采用复合式衬砌进行支护,支护体系由初期支护和二次衬砌共同组成。衬砌厚度不足会直接造成隧道承载力不足,严重时可能发生断裂、塌落等灾难性后果。目前,衬砌混凝土厚度只能通过施工完成后进行第三方检测的方式进行测量,有严重的滞后性,对于施工中混凝土是否灌满模板,主要通过经验判断和人工测量的方式来确定,准确度较差且缺乏客观性。因此,研究衬砌混凝土灌注密实监测系统十分必要,通过监测混凝土灌注过程中混凝土压力,准确掌握模板内混凝土灌注高度,进而监测衬砌厚度。

4.2 技术方案与系统组成

衬砌混凝土灌注密实监测系统主要由超声波测距模块、混凝土压力测量模块、温度测量模块、数据采集传输分析模块及供电装置组成,如图 11 所示。本系统安装至灌注最易出现不密实的台车模板纵向两端拱顶处,如图 12 所示。混凝土压力测量主要通过由自行研发的油囊式压力传感装置进行。油囊式压力传感装置主要由充满油的油囊和压力传感器组成。衬砌混凝土压力经油囊传导至压力传感器进行测量。压力传感器采用高精度高稳定性电阻应变计作为感压芯片,精度可达 ± 0.2 kPa,现场测量时相当于 ± 1 cm 混凝土厚。

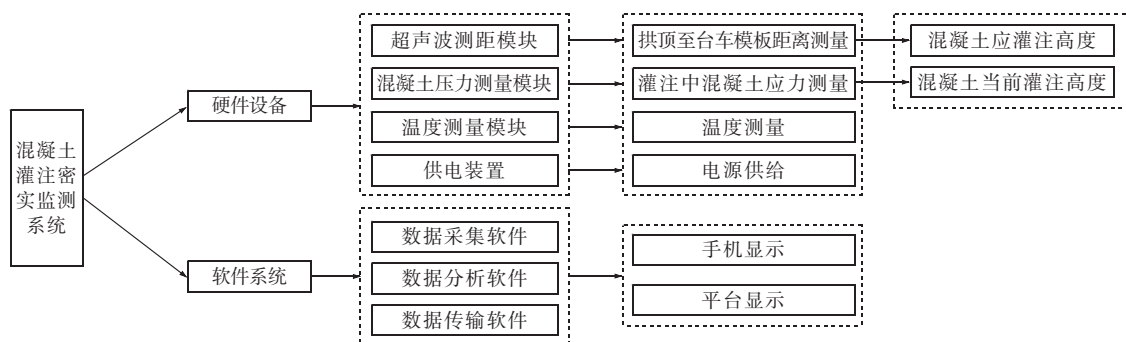


图 11 衬砌混凝土灌注密实监测系统组成

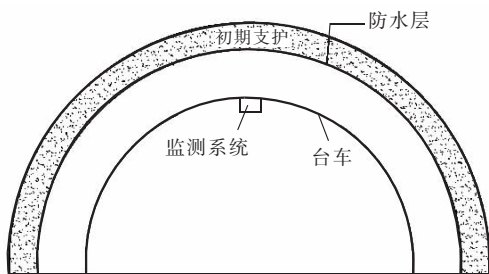


图 12 衬砌混凝土灌注密实监测系统测试示意图

首先通过室内试验对监测系统进行标定,获得不同温度下的测量修正系数。现场监测时,首先通过超声波测距系统测量台车顶部至防水板的距离,据此计算填充满混凝土情况下的压力,其次通过混凝土压力测量系统可监测台车内目前混凝土压力,结合混凝土重度及现场温度,通过数据分析即可得到混凝土的灌注厚度。

5 结论

本文针对我国铁路建设中桥梁、路基、隧道关键工序的信息化施工管理,调研了各关键工序的监控技术

现状及存在的问题,在此基础上,采用当今先进和成熟的计算机开发技术和面向对象模块化设计思路,制定了桥梁预应力梁张拉质量监控系统、路基连续压实质量控制系统和隧道支护结构质量控制系统的技术方案及设备方案,为路桥隧关键工序自动监控技术的工程化应用奠定了基础。

其中,桥梁预应力梁张拉质量监控系统、路基压实质量控制系统已经成功开发出相应设备,并在铁路建设项目上进行了成功的工程试验验证,其技术条件和硬件设备成熟可靠,可进行工程应用推广。

参考文献:

- [1] 赵代强,钱振地. 铁路施工企业科研项目管理信息系统方案设计[J]. 铁道工程学报,2007(3):91-94.
Zhao Daiqiang, Qian Zhendi. Program Design of Information Management System of Scientific Research Project for Railway Construction Enterprise [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2007(3):91-94.
- [2] 余健,何川. 隧道病害处治解析设计研究[J]. 西部探矿工程,2014(7):100-103.

(下转第 85 页 To P. 85)