

公路隧道病害快速检测技术发展和应用现状

林海山^{1,2}, 张彦龙^{1,2}

(1.广东华路交通科技有限公司, 广东 广州 510420; 2.广东交科检测有限公司)

摘要: 随着中国公路隧道通车里程的逐年增长,公路隧道检测和养护工作也愈加繁重,传统人工检测方式存在效率低、安全隐患大、主观性强以及需要交通管制等缺点,隧道快速检测技术的应用能有效解决人工检测方式的诸多缺点。该文主要介绍了基于激光扫描技术与摄影拍照技术的隧道快速检测技术及其代表性设备,并对其优缺点进行了综合比较,总结了现阶段隧道快速检测技术实践应用中存在的问题,为中国隧道快速检测技术的改进与推广应用提供参考与借鉴,同时明确了隧道快速检测技术今后的发展方向。

关键词: 公路隧道; 病害; 快速检测; 激光扫描; 摄影拍照

1 引言

截至2017年年底,中国已通车的公路隧道有16 229处、共计15 285 km,其中特长隧道902处、共计4 013 km,长隧道3 841处、共计6 599 km,中国公路隧道数量和通车里程数已位居世界第一(图1),检查与养护工作也愈加繁重。

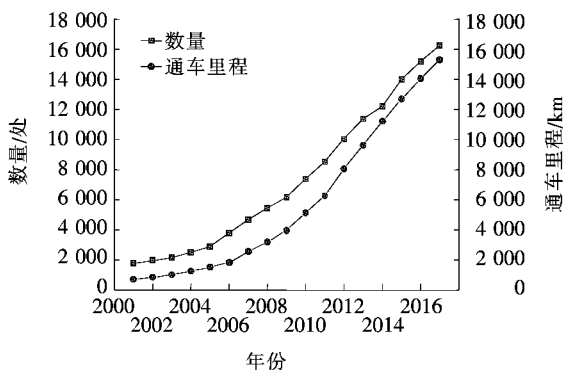


图1 中国公路隧道里程和数量增长趋势图

随着隧道使用寿命的延长,隧道病害问题日益突出,普遍出现衬砌混凝土裂缝、渗漏水等病害。为了及早发现运营中隧道存在的病害,掌握隧道的技术状况,保障隧道的安全运营,需要通过经常检查、定期检查、应急检查或专项检查等方式对隧道进行检测,为进一步采取病害处治措施提供科学依据和合理建议。

相对于公路路面已普遍采用快速检测技术而言,

目前,公路隧道主要采用人工目测辅以简易测量器具的方式对土建结构进行常规检测,现场记录病害数据及其影像。该方式存在耗时费力、效率低、安全隐患大、主观性强、需要交通管制以及信息反馈周期长等缺点,愈加难以满足现阶段公路隧道检测工作量大、检测结果时效性高等要求。针对此突出问题,国外发达国家如德国、瑞士、加拿大、日本等较早就开始关于隧道快速检测技术方面的研究,相关技术和装备已经较为成熟,近年来,中国一些单位也在这方面取得了重大突破。该文主要介绍目前国内外几种较为成熟的隧道快速检测技术和相关装备,并对其优缺点进行综合比较,以总结现阶段隧道快速检测技术实践应用中存在的不足,为中国隧道快速检测技术的改进与推广应用提供参考与借鉴,同时明确隧道快速检测技术今后的发展方向。

2 国内外隧道快速检测技术及设备

目前,无损快速检测技术应用广泛。根据传感器类型的不同,隧道快速检测技术主要分为基于激光扫描技术和基于摄像拍照技术两大类。

2.1 基于激光扫描技术

2.1.1 激光扫描快速检测技术的基本原理

该技术采用车载激光扫描仪全方位记录隧道衬砌表面的点云数据,包括三维坐标值、颜色信息与反射率

收稿日期:2019-07-08

基金项目:广东省交通运输厅科技计划项目(编号:2016-02-015)

作者简介:林海山,男,硕士,工程师.E-mail:374380480@qq.com

等,数据采集速度可达每秒几万点至几百万点。后期通过计算机软件基于点云数据生成灰度图像,进而识别出隧道表面存在的裂缝、渗漏水以及剥落等病害。

2.1.2 现场扫描方法及技术要点

基于激光扫描技术的快速检测设备的现场检测步骤主要包括:交通管制、设备参数预设与设备调试、现场检测实施。

(1) 交通管制:现场扫描作业前,需要进行必要的交通管制。对于交通量大的高速公路,可选择晚间交通量相对较小的时间段,采用分段临时交通管制的办法,减少对公路交通的影响。

(2) 设备参数预设及调试:预先设置好设备的扫描频率等参数,经调试无误再开展后续工作。

(3) 现场检测实施:可采用方向指示辅助系统保证车辆沿隧道纵向轴线行驶,借助带有警示灯的防护车押车确保安全。若隧道具备全封闭条件时,可选择沿隧道中线行驶,使隧道左右侧部位检测分辨率一致。

2.1.3 检测设备

目前国内外使用激光扫描技术的隧道快速检测设备以德国 Spacotec 公司生产的 TS3 系统为领先水平,还有瑞士 Amberg 公司生产的 GRP5000 检测系统、加拿大 Pavemetrics 公司生产的 LTSS 检测系统等。

(1) 德国 SPACETEC TS3 检测系统

SPACETEC TS3 隧道三维激光红外车载检测系统集可见光、红外、激光于一体,可以同时生成视觉影像、热影像和轮廓记录,对于隧道的维护、线路电气化、隧道施工和整修、轨道清理和安全等有着一定的指导意义。

该系统使用激光和红外线作为测量介质,采用非接触测量技术对衬砌裂缝、渗漏水、剥落等隧道外观病害进行检测,可搭载于能够为仪器和操作平台提供足够空间和承载力的车辆上,如面包车或越野车以及所有类型的铁路车辆。因此 TS3 适用于铁路、地铁和公路隧道。搭载设备的车辆能够以 2~5 km/h 的速度进行检测,裂缝宽度识别精度达到 0.3 mm 以上,有效地解决了人眼观察距离有限、存在缺漏的缺点。系统自带的病害标识软件 Tunnel-Inspector 能够将同一隧道不同时间扫描的同一区域图片重叠,分析不同位置病害的发展与变化情况,有助于比对隧道病害历年的检测数据,准确判断病害的发展趋势,为病害处治提供科学依据和合理建议。检测时需要对道路进行封闭,一般在夜间车流量较少时进行分时封闭检测,为此检测单位需要与业主方、路政、交警等协调办理隧道检

测所需的相关手续。

(2) 瑞士 GRP5000 检测系统

瑞士 GRP5000 隧道全息成像扫描系统,以相位式高速激光扫描仪为核心硬件,配套专业的数据采集和后处理软件,可以获得隧道衬砌的内表面影像图以及隧道衬砌表面各点距轨道中心线的距离;每秒获取最高达 50 万个测点的断面数据,检测精度 0.3 mm。

采用 GRP5000 系统沿隧道中轴线以主系统承载车为载体,以 1~1.5 km/h 的行进速度对隧道进行 360°螺旋式扫描,采集隧道表面如渗水、剥落、裂缝等病害的全息成像扫描数据,进而统计隧道表面病害的数据并对隧道病害进行评估。但因检测速度限制,现场检测前,仍旧需要进行必要的交通管制。

(3) 加拿大 LTSS 激光隧道扫描系统

LTSS 激光隧道扫描系统的标准配置采用 6 个高速激光扫描仪来获取隧道衬砌的二维图像和高分辨率三维轮廓,图像分辨率 1 mm,检测速度可以达到 20 km/h。

LTSS 系统被用于扫描高速列车铁路隧道,如 28 km 长的西班牙瓜达拉马隧道,只需 3 h,自动分析软件可用于检测和评价节点、断裂、裂缝和劣化混凝土以及潮湿区域隧道衬砌的状况。由于其采用的 180°螺旋式扫描方式只能检测半幅隧道,因而需要检测两次才可获得全幅隧道的检测数据,而且将两次检测的数据进行拼合成为难点。

2.2 基于摄像拍照技术

2.2.1 摄像拍照快速检测技术的基本原理

该技术采用车载高分辨率 CCD 相机阵列和辅助照明系统,对隧道表面进行快速连续拍摄并实时存储影像数据,后期通过图像处理软件分析采集的灰度图像,识别出隧道表面的裂缝、剥落等病害,并计算出其几何特征。

2.2.2 现场拍摄方法及技术要点

基于摄像拍照技术的快速检测车的现场检测步骤主要包括:检测前准备工作、现场检测实施。

(1) 检测前准备工作:选择无雨天气开展现场检测作业,避免雨水对外露的相机阵列和辅助照明灯具的覆盖遮挡。检测前,根据待检测隧道的净空轮廓尺寸、车行道数选择采集模式,包括单次采集或者多次采集,预设好车载阵列相机的焦距、采集频率等参数,提前开启辅助照明系统、数据采集与存储系统、定位与测距系统等。

(2) 现场检测实施:在快速检测车接近待检测隧

道洞口时,通过车载计算机控制系统开始图像采集与存储,且可实时动态观察各个相机采集的图像质量,直至检测作业结束为止。

2.2.3 检测设备

目前,国内外采用线阵 CCD 相机的隧道检测设备以日本计测检查株式会社研发的 MIMM-R 型检测车为领先水平,中国采用面阵 CCD 相机的设备以武汉武大卓越科技有限责任公司 TFS 隧道快速测量系统、上海同岩土木工程科技股份有限公司的 TDV-H2000 公路隧道快速检测车较为成熟。

(1) 日本 MIMM-R 型隧道损伤快速检测车

MIMM-R 检测车主要由拍照系统 MIS、三维激光扫描系统 MMS 以及控制系统三部分组成。

MIS 部,主要由车辆前方的摄像单元(CCD 相机、LED 照明灯)和车厢内的录像机(图像记录装置 VTR)、PC、云台控制装置和监控显示器等构成。MMS 部由位置测量系统和性状测量系统组成,前者由 GPS 导航系统和惯性导航装置(IMU)组成,后者由激光扫描仪及相机组成。

该检测车能够以 80 km/h 的行驶速度采集隧道表面的裂缝、渗漏水、断面及衬砌形变数据,其中裂缝宽度识别精度为 0.2 mm 以上。现场采集准备工作简单,无需交通管制,后期可以通过平面或三维方式查看隧道的病害分布状况和变形状况。

(2) 武大卓越 TFS 隧道快速测量系统

TFS 系统由可见光相机、红外热成像仪、激光扫描仪、惯导系统、编码器等多个传感器以及同步控制器组成。

该系统在同步控制器的控制下,按照设定的参数同步触发各传感器获取隧道内壁的图像信息、红外温

度场、二维点云数据等。通过后处理软件识别出隧道的各种病害信息,从而进行各种建模、量算,并生成隧道病害信息报表,作为对隧道管理的依据系统。该系统以中型卡车作为车载平台,能够以 80 km/h 的行驶速度动态连续采集隧道表面的数据,裂缝宽度识别精度 0.2 mm 以上,集成的红外热成像仪、高精度激光扫描仪可以同时检测渗漏水、脱空、断面形变等病害。

(3) 上海同岩 TDV-H2000 隧道病害检测车

TDV-H2000 检测车采集系统主要包括激光扫描系统、图像采集系统以及环境监测系统,能够以 60~80 km/h 的行驶速度,通过车载面阵相机,采用红外补光成像技术采集隧道表面病害数据,相较于可见光成像技术,检测过程中对周边车辆的通行无影响。后处理软件可以自动识别采集图像上的裂缝病害,并通过人工干预来校核裂缝信息的准确性,裂缝宽度识别精度达到 0.2 mm。

3 现有隧道主要检测技术比较

基于激光扫描技术和基于摄像拍照技术的隧道快速检测装备的主要技术指标综合比较如表 1 所示。

基于激光扫描技术的隧道快速检测装备受限于检测速度过低,无法实现无交通管制状态下的快速检测,适用于车流量少且对交通影响较小的路段;而高速公路车流量往往很大,尤其一些高桥隧比路段,交通管制时间长,对于道路交通的影响较大。相比而言,基于摄像拍照技术的隧道快速检测车在检测过程中则无需进行交通管制,极大地缩短了现场检测作业的时间,保障了公路交通的安全运营,对于病害分析则采用自动识别结合人工复核的方式,数据处理效率高于人工分析方法。

表 1 隧道快速检测装备主要技术指标综合比较

| 技术类型 | 检测速度 | 检测精度 | 交通管制 | 病害识别算法 | 应用领域 |
|----------|------|------|------|--------------|-----------|
| 基于激光扫描技术 | 较慢 | 较高 | 需要 | 人工分析为主 | 铁路、地铁隧道为主 |
| 基于摄像拍照技术 | 快 | 高 | 不需要 | 自动识别与人工校核相结合 | 公路隧道 |

与传统人工检测方式相比,基于摄影拍照技术的隧道快速检测方法具有如下优点:

(1) 自动化程度高:通过集成有多种类型传感器等仪器设备的检测车辆,在行驶过程中动态快速采集隧道图像数据,高效完成外业采集工作。

(2) 检测功能全面:快速检测车除能检测到适用

常规方法探测到的隧道常见病害,如衬砌开裂、渗漏水、掉块、露筋等病害外,还能通过激光测距检测隧道断面尺寸,用于判断隧道断面尺寸收敛变形情况,确保隧道内行车安全。

(3) 检测精度高,成果客观真实:检测系统能够识别宽度 0.2 mm 以上的裂缝,克服人眼观察距离有限、

存在遗漏的缺点;图像式病害展布图和三维全景图能够更加形象、真实客观地反映病害形态、走向、分布等,利于了解隧道的整体技术状况。

(4) 判断病害发展:系统数据和成果均采用电子化方式存储,可以将历年的检测数据进行对比,从而准确判断病害的发展和变化情况,为病害处治提供科学依据。

(5) 检测速度快、无需交通管制:传统目测或借助高空作业车等检测方法速度慢,需要长时间封闭行车道进行检测,对交通影响较大。快速检测方法则无需交通管制,适用于车流量较大的高等级公路隧道检测。

4 中国隧道快速检测技术应用现状

目前中国应用较广的公路隧道快速检测车有北京雷德华奥公司的隧道快检车、武大卓越 TFS 隧道快速测量系统、上海同岩 TDV-H2000 隧道病害检测车,均能实现无交通管制检测。

在实践中仍然存在一些亟待解决的问题。以裂缝病害为例,实际采集过程中受运营隧道内部环境,如混凝土衬砌表面纹路和裂缝的不均匀性、烟雾粉尘黏附等因素的影响,采集的原始图像(包含裂缝病害信息、衬砌混凝土背景信息)含有大量噪声,导致图像处理分析难度大幅提高。对于病害处理方式,目前采用软件自动识别和人工复核相结合的半自动处理模式,即首先通过分析软件对隧道图像进行分类,将图像分为确定无病害的、确定有病害的以及疑似有病害的3类,从而将需要处理的图像范围大大缩小;再采用人工复核的方式,确认各类病害的类型、大小等。这种处理方式可以大幅度提高数据处理效率。

由于检测车采集的是静态图像,对于渗漏水病害,如滴漏、喷射等间断性或持续性的病害,往往不能准确地体现病害的表现形式和具体状态。针对运营年限较长、病害较为严重或者技术状况较差的隧道,建议根据检测车的初步检测结果,采用人工检测的方式对重点病害进行现场复核,以获得全面准确的隧道病害信息,为隧道安全评价和病害处治提供更加准确可靠的数据。

5 结语

隧道快速检测技术的发展与应用能够有效地解决

人工检测的诸多缺点。基于激光扫描技术的快速检测装备受限于检测速度,主要应用于铁路或者地铁隧道;而基于摄像拍照技术的快速检测车,可以实现无交通管制状态下的自动化检测,更适用于交通流量较大的高等级公路隧道。二者检测精度相当,在病害识别与分析方面,目前仍以软件自动识别结合人工复核的方式为主。

随着硬件设备和图像识别技术的不断发展,实现病害检测高精度化和病害识别自动化将是今后隧道快速检测技术的主要发展方向之一。

参考文献:

- [1] 截至2017年末中国大陆公路隧道数据[J].隧道建设(中英文),2018(3).
- [2] 吴江滨,张顶立,王梦恕.铁路运营隧道病害现状及检测评估[J].中国安全科学学报,2003(6).
- [3] 重庆市交通委员会.公路隧道养护技术规范[M].北京:人民交通出版社,2003.
- [4] 王国忠.基于快速检测技术的桥面平整度检测方法探讨[J].中外公路,2016(5).
- [5] 姚旭朋.运营地铁隧道结构病害快速监测技术[J].现代隧道技术,2014(S1).
- [6] Engstrand A. Railway Surveying — A Case Study of the GRP 5000[Z],2011.
- [7] Zhi-yi S, Zhou T A N, Center G. Application Research on GRP5000 Tunnel Inspection Car in Shanghai Subway[J]. Shanxi Architecture,2013(27): 86.
- [8] 王芳其,刘永华,刘秋卓,等.非接触式三维红外扫描车载系统在隧道定期检测中的应用[J].公路交通技术,2015(6).
- [9] Yuan Y. System for Quickly Detecting Tunnel Deformation: U.S. Patent Application 15/787,259[P],2018—2—8.
- [10] Huang H, Sun Y, Xue Y, et al. Inspection Equipment Study for Subway Tunnel Defects by Grey—Scale Image Processing[J]. Advanced Engineering Informatics,2017, 32: 188—201.
- [11] 章伟.卓越科技推出自主研发隧道快速检测系统[J].市政技术,2015(2).
- [12] 钱进.我国攻克隧道快速检测难题[J].工程建设标准化,2015(4).
- [13] 王平让.隧道病害快速检测技术现状及分析比较[J].公路与汽运,2016(3).
- [14] 刘晓瑞,谢雄耀.基于图像处理的隧道表面裂缝快速检测技术研究[J].地下空间与工程学报,2009(z2).