

doi:10.3969/j.issn.1672-4348.2020.01.006

邻近地铁车站道路路面病害的调查与评价 ——以福州地铁1号线为例

黄文金¹, 林本清¹, 魏梦伟¹, 尹秋雨¹, 朱志勇²

(1. 福建农林大学 交通与土木工程学院, 福建 福州 350108;
2. 福州市城乡建设局, 福建 福州 350001)

摘要: 为研究地铁车站建设对邻近道路的影响,采用数字化路面数据采集车(DHDV),对地铁1号线车站上方路面病害进行扫描,根据图形尺寸比例关系计算了站内与站外的路面高差、裂缝长度以及路面行驶质量指标,并利用电子地图技术对路面病害站内外分布情况进行统计,分析了路面病害与地铁车站的关联性。研究表明:地铁车站建设加剧了附近道路的路基沉陷和裂缝产生,道路养护措施应作相应调整;用DHDV和电子地图相结合的方法调查道路病害几何特征值及其分布,工作效率和计算精度高,可为道路养护决策和路面病害机理研究提供依据。

关键词: 路基; 沉陷; 裂缝; 地铁基坑; 电子地图; 统计分析

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

文章编号: 1672-4348(2020)01-0029-06

Investigation and evaluation of pavement diseases of roads adjacent to metro stations: taking Fuzhou Subway Line 1 as an example

HUANG Wenjin¹, LIN Benqing¹, WEI Mengwei¹, YIN Qiuyu¹, ZHU Zhiyong²

(1. College of Transportation and Civil Engineering, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350108, China;
2. Fuzhou Urban and Rural Construction Bureau, Fuzhou 350001, China)

Abstract: In order to investigate the influence of metro station construction on adjacent roads, field scanning of pavements above stations of Fuzhou Metro Line No.1 was conducted with a digital highway data vehicle (DHDV). Then pavement elevation difference, crack length and driving quality indices were calculated according to the dimensional proportions of the graphics. In the end, the correlation between pavement diseases and metro station was analyzed on the basis of pavement diseases' distribution statistical data that were processed by digital map technology. Research results show that the construction of the metro station has increased the subgrade settlement and crack generation of the nearby road, and the road maintenance measures shall be adjusted accordingly. The proposed method involving both DHDV and digital map is so efficient and precise for investigating pavement diseases' geometry characteristic values and distribution that it could be used for reference by road maintenance and repair decision-making as well as pavement diseases' mechanism research.

Keywords: subgrade; settlement; crack; metro pit; digital map; statistical analysis

地铁车站基坑开挖易引起邻近路基土体及路面变形,且基坑回填密实度常因碾压困难而无法达到设计要求^[1-2],导致路基路面沉陷甚至开裂,

严重影响道路服务质量,增加道路养护成本和难度。近年来各大城市地铁建设方兴未艾,福州市也加快地铁建设,已建成运营的有地铁1、2号线,

收稿日期: 2019-10-23

基金项目: 福建省高校重点实验室开放课题(2018K01);福州市重点项目前期工作科研项目(JSZX052017008);国家级大学生创新创业训练计划项目(201910389023)

第一作者简介: 黄文金(1975-),男,福建莆田人,副教授,博士,研究方向:交通土建工程。

在建和待建的还有好几条。地铁为市民出行带来诸多便利的同时也导致地铁沿线路面出现了各种病害,备受非议。虽然地铁车站上方的道路历经多次维养,但其行车舒适感仍然显著低于邻近道路。为了有效提高地铁沿线道路的服务质量,减轻道路维养的压力,需要对此问题进行专门研究,提出针对性的病害防治措施。

福州地铁 1 号线沿线道路主要采用沥青路面,其典型病害为路面沉陷和裂缝,这些路面病害主要与路基强度和刚度有关^[3-4]。目前常规的道路病害检测方法对道路正常使用有较大影响,效率低,检测范围小,既不便于统计病害特征,更不利于分析病害产生机理^[5-7]。因此,本文利用“数字福建”智能交通物联网技术重点实验室的数字化路面数据车(DHDV)^[8]检测功能和电子地图技术,对福州地铁 1 号线车站附近道路的路面病害进行扫描和统计分析,研究路面病害的几何特征、路面行驶质量以及路面病害与车站的关联性,为进一步研究路面病害产生机理进而提出针对性的防治方案奠定基础。

1 路面病害扫描及计算方法

福州地铁 1 号线共 21 个车站,其中 4 个站的上方路面不满足扫描条件,实际扫描了剩下的 17 个车站。

1.1 路面高差扫描及计算方法

DHDV 上有两组激光成像设备,扫描时可以覆盖整个车道,数据采集速度为 60~100 km/h。该设备可以采集完全匹配的 2D/3D 路面图像数据。2D 激光图像数据可以在系统上直接标记出裂缝位置。3D 激光云数据可以提取连续的路面横断面高程曲线,其垂直方向精度达 0.3 mm,水平方向精度达 1.0 mm,为国内外图像采集及全自动处理系统的最高精度^[8]。路面破损检测系统将摄取到的图像信号传给计算机系统,并对路面图像进行缺陷检测及分类,把路面破损尺寸、部位、类型等信号进行分类管理^[7]。计算机系统高差扫描界面如图 1 所示。

车辆前后轴之间扣除道路纵坡影响的路面高差将引起行车颠簸。汽车轴距一般在 1.4 m 以上,自行车轴距在 1 m 左右^[4],而图像扫描标距为 2.2 m,因此本文选择波长为 0.5~1.5 倍图像扫描标距的路面高程曲线作为计算对象,通过其波峰和波谷

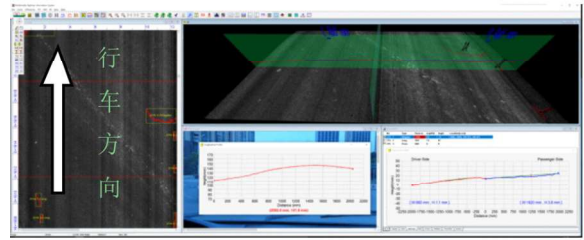


图 1 DHDV 高程扫描界面

Fig.1 Pavement elevation scanning interface of DHDV

来计算路面高差,见图 2,图中实线条为实测的路面标高曲线,虚线为道路设计纵坡线。

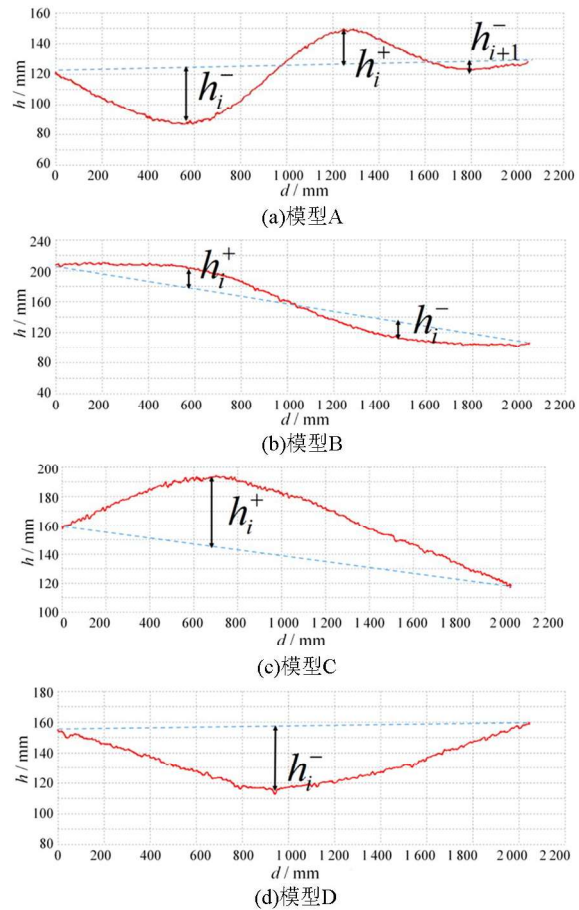


图 2 典型的路面高程曲线

Fig.2 Typical curves of pavement elevation

路面实际高程是道路设计高程与沉陷之和。道路设计高程随纵坡变化,在计算路面高差时应反映道路纵坡的影响。路面高差计算方法如式(1)所示,式中(a)、(b)、(c)、(d)分别对应于图 2 中 4 种高程变化模式。

$$\Delta h = \begin{cases} \max(|h_i^-|, |h_{i+1}^-|) + h_i^+ & (1a) \\ |h_i^-| + h_i^+ & (1b) \\ h_i^+ & (1c) \\ |h_i^-| & (1d) \end{cases}$$

式中, Δh 为路面高差(m), h_i^+ 、 h_i^- 分别为路面实测标高与设计标高的正差值、负差值。

1.2 路面裂缝扫描及计算方法

图 3 为典型的路面裂缝电子扫描照片, 图中黄色矩形框为窗选框, 红色线为裂缝, 白色线为车行道分界线。

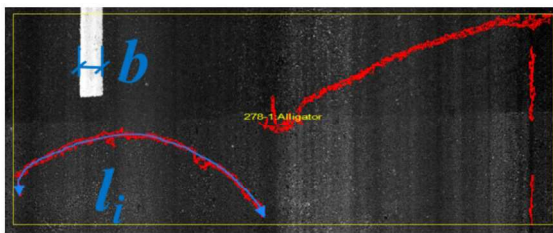


图 3 典型的路面裂缝照片

Fig.3 Photos of typical pavement cracks

裂缝长度可以根据图像中参照物的图形长度进行换算。车行道分界线宽度为 $150 \text{ mm}^{[9]}$, 则裂缝的实际长度 l 可由式(2)计算:

$$l = \frac{l_i}{b} \times 150 \quad (2)$$

式中, l 为裂缝实际长度(mm), l_i 为裂缝的图形长度, b 为车行道分界线的图形长度。

1.3 路面病害空间位置确定方法

除了路面病害的几何特征值外, 其空间分布情况也是研究病害产生机理的重要信息, 因此首先需要分别确定 DHDV 扫描路线在车站内、外的扫描长度, 再统计路面病害在站内、外的分布情况。

每个车站及附近路面检测的总长度包括站内长度和站外长度, 可由 DHDV 计算机系统提供的扫描路线经计算而得。DHDV 扫描路线电子地图见图 4, 图中 L_j 、 L_s 分别代表路面检测总长度和站内长度, 站外长度 L_a 为 L_j 与 L_s 之差。

地铁属于人防工程, 其施工图和竣工图属于保密资料, 而且地铁车站一般深埋于地下 3 m, 只能通过风亭等建(构)筑物的电子地图坐标来确定车站起始点的大概位置, 从而计算 L_s 。此外, DHDV 在检测过程中不可避免地会受到车流、行人的影响, 导致车载记录的站内距离 L_s 与实际距



图 4 扫描路线的电子地图

Fig.4 Digital map of the scanning route

离 L 有偏差。因此, 在利用电子地图计算站内、外长度 L_s 、 L_a 之前, 需对距离偏差 ε 进行检算, 其计算方法见式(3), 计算结果见表 1。

$$\varepsilon = \frac{|L_s - L|}{L} = \frac{\Delta L}{L} \times 100\% \quad (3)$$

表 1 检测路线的距离偏差

Tab.1 Distance error of the scanned route

车站编号	车站名称	L_s /m	L_a /m	L /m	ΔL /m	ε /%
1	象峰	403	232	394	9	2.3
2	秀山	209	120	220	11	5.0
3	罗汉山	263	377	265	2	0.8
4	斗门	137	142	133	4	3.0
5	树兜	348	62	356	8	2.2
6	屏山	143	95	139	4	2.9
7	东街口	182	177	175	7	4.0
8	南门兜	328	208	335	7	2.1
9	茶亭	124	150	119	5	4.2
10	达道	153	222	147	6	4.1
11	三叉街	457	198	462	5	1.1
12	白湖亭	170	100	176	6	3.4
13	葫芦阵	158	215	150	8	5.3
14	黄山	157	161	153	4	2.6
15	排下	156	130	148	8	5.4
16	城门	143	179	136	7	5.1
17	三角埕	140	125	137	3	2.2
均值		215.9	170.2	214.4	6.1	3.3

距离偏差 ε 的平均值为 3.3%, 方差为 2×10^{-4} , 精度满足要求; 站内的路面平均检测长度为

215.9 m, 站外的为 170.2 m, 分别是扫描标距 2.2 m^[8] 的 98.1 倍和 77.4 倍, 说明路面扫描具有足够的样本容量, 统计结果具有充分的代表性。由此可见, 利用 DHDV 自动获得的扫描路线并结合电子地图, 可以准确地计算站内、外的行进距离, 从而准确统计出站内、外的路面高差和裂缝的分布情况。

2 路面病害结果及分析

2.1 路面病害特征值计算

为了深入研究路面病害产生机理, 将站内、外上方的路面高差和裂缝分别统计后列于表 2, 表

中 Δh_s 、 Δh_a 分别代表站内、外的路面高差, l_s 、 l_a 分别代表站内、外的裂缝长度, IRI 为国际平整度指数, RQI 为路面行驶质量指数。不同类型车辆的轴距不同, 车轮的直径也不统一, 对于相同的路面高差, 其行车颠簸感也不同, 因此引入行驶质量指数 RQI 加以辅助说明。由于每个车站站内和站外扫描路线的总距离约为 400 m, 距离较短, IRI 和 RQI 是指对包括站内和站外的整体评价。RQI 的计算方法见式(4)。

$$RQI = 11.5 - 0.75 \times IRI \quad (4)$$

式中, IRI 为国际平整度指数 (m/km), 其值由 DHDV 计算机系统自动生成。

表 2 站内、外路面病害特征统计数据及评价

Tab.2 Statistic data and evaluation of pavement diseases of roads inside and outside the metro station

车站编号	$\Delta h_s / \text{mm}$	$\Delta h_a / \text{mm}$	$\frac{\Delta h_s}{\Delta h_a} / \%$	l_s / mm	l_a / mm	$\frac{l_s}{l_a} / \%$	IRI	RQI	路面评价
1	41.5	27.7	150	1 211	637	190	7.62	5.79	中
2	36.4	22.3	163	842	648	130	9.80	4.15	次
3	47.8	31.6	151	1 049	656	160	13.36	1.48	差
4	26.5	20.1	132	640	457	140	5.72	7.21	良
5	44.6	32.3	138	1 019	637	160	7.92	5.56	中
6	41.6	27.5	151	1 357	754	180	13.16	1.63	差
7	53.9	44.1	122	1 016	847	120	10.86	3.35	差
8	62.5	35.6	176	2 028	1 127	180	9.57	4.32	次
9	41.3	29.3	141	1 574	926	170	6.85	6.36	中
10	49.2	33.1	149	1 518	1 012	150	11.92	2.56	差
11	32.6	22.1	148	1180	843	140	9.52	4.36	次
12	40.5	28.6	142	854	657	130	10.15	3.89	差
13	39.8	23.8	167	1 240	775	160	15.12	0.16	差
14	29.6	17.8	166	998	768	130	7.84	5.62	中
15	40.7	28.9	141	1 056	812	130	11.18	3.11	差
16	31.6	19.2	165	1 144	953	120	3.51	8.88	良
17	35.5	22.4	158	1 086	987	110	11.50	2.88	差
均值	40.9	27.4	151	1 165	794	147	9.74	4.19	次
方差	-	-	0.020	-	-	0.057	-	-	-

备注: 车站编号同表 1。

《公路沥青路面养护技术规范》^[10] 根据 RQI 将道路行驶质量分为“优良中次差”5 个等级。如表 2 所示, 福州地铁 1 号线车站上方路面的道路

行驶质量没有“优”, 仅有 2 个车站的为“良”, RQI 平均值为 $4.19 \in (4.0, 4.5)$, 道路行驶质量总体评价为“次”^[10]。各等级行驶质量的占比见图 5。

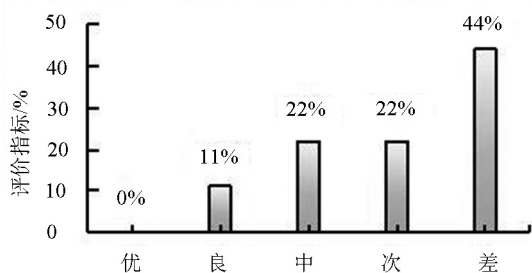


图 5 地铁车站路面评价指标汇总图

Fig.5 Summary of evaluation indices of pavements in the metro station

由图 5 可知,“次”、“差”路面合计 66%,表明路面现状严重影响市民行车体验,需要维修^[10-11]。实际上,在地铁 1 号线运营后,附近路面均经历了多次维修,个别路段甚至进行了全面翻修。也就是说,地铁车站上方路面的病害很严重,与地铁车站建设必然存在某种联系。

2.2 路面病害与车站关联性分析

为了分析地铁车站建设与沿线路面病害的关联性,需对站内与站外的病害特征值进行对比。路面高差体现路面沉陷程度。由表 2 可知,站内的路面高差 Δh_s 平均值是 40.9 mm,站外的路面高差 Δh_e 平均值是 27.4 mm,站内的是站外的 151%。如《公路技术状况评定标准》^[5] 所述,路面沉陷小于 10 mm 时对行车舒适度无影响,10~25 mm 之间行车有轻微颠簸感;大于 25 mm 时行车有明显颠簸感。这表明车站及其附近的路面均出现显著的沉陷,路面行车具有明显的颠簸感,且离车站越近道路的颠簸感越强。类似地,站内的路面裂缝长度 l_s 平均值是 1 165 mm,站外的路面裂缝长度 l_e 平均值是 794 mm,站内的是站外的 147%。这表明站内、外路面均有大量长大裂缝,路面开裂严重,且离车站越近路面开裂越严重。由此可见,站内的路面病害程度比站外的平均高 50%。一方面站内及站外路面所采用的建材相同,施工工艺一样^[1],另一方面站内路面的病害比站外更严重,这说明路面病害与路基下面的车站存在着紧密联系^[12-13]。

福州地铁车站基坑多采用明挖法施工^[1]。在基坑开挖过程中,站外几十米范围内的路基土体势必受到扰动^[12,14],不过此处的扰动相对站内的小。此外,站外路基中没有上翻梁、冠梁等构

造,基坑回填施工尤其是碾压受到的不利影响比站内的少,故站外路基的压实度较高,即站外的路基施工质量要略高于站内。更重要的是,车站的顶板上翻梁和冠梁等构造使得上方路基厚度不一,路面弯沉必然有别。因此,站外的路面病害程度要比站内的轻。

需要特别指出的是,对于南门兜站(见表 2 中的第 8 号车站),站内路面高差比站外的大 76%,增加幅度最大,比平均值大 25%;站内的裂缝长度比站外的大 80%,增加幅度第二大,比平均值大 33%。表面上看,南门兜站的病害特征似乎离散性较大,实际上,南门兜站属于地铁换乘站,是 1 号线和 2 号线的相交处,车站构造更复杂,对路基的不利影响也更大,使得路面病害更严重。因此,南门兜站沿线道路路面的病害几何特征值比所有站的平均值更大。而这更进一步说明地铁建设与沿线路面病害存在着显著的关联性。

总之,地铁车站上方的路面病害主要源于地铁基坑开挖引起的路基施工质量和车站构造的不利影响,在路面维修养护方案中应考虑地铁车站因素并提出针对性的防治措施。

3 结论

基于 DHDV 扫描功能和电子地图技术,开展的福州地铁 1 号线 17 个车站附近道路路面病害的实地调查和计算分析结果表明:

1) 福州地铁 1 号线车站上方路面病害严重,道路行驶质量总体评价为“次”;道路离地铁车站越近其路面病害越严重,站内道路的路面病害比站外高 50%,路面病害与地铁车站存在显著的正相关。

2) 地铁车站基坑开挖和回填严重影响沿线路基施工质量,且车站构造引起路基刚度不一,进而引起路面发生沉陷和开裂;对于已建地铁的沿线道路,其维修方案应考虑车站构造对路基的影响,提出相应的路面病害防治措施;对于在建和待建地铁的沿线道路,应提高基坑回填质量验收标准,并建议对地铁车站顶板结构设计进行优化。

3) 利用本文提出的结合 DHDV 和电子地图并利用图形尺寸换算关系的分析技术,可以高效而准确地计算出路面沉陷和裂缝的几何特征值以及空间分布情况,为道路维修决策和路面病害机理研究提供有力支持。

参考文献:

- [1] 温银龙. 地铁场站上翻梁结构设计优化研究——以福州地铁 2 号线某场站为例[D]. 福州: 福建农林大学, 2018.
- [2] 刘念武, 龚晓南, 楼春晖. 软土地区基坑开挖对周边设施的变形特性影响[J]. 浙江大学学报(工学版), 2014, 48(7): 1141-1147.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城镇道路路面设计规范: CJJ 169-2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城市道路工程设计规范: CJJ 37-2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
- [5] 中华人民共和国交通运输部. 公路技术状况评定标准: JTG 5210-2018[S]. 北京: 人民交通出版社, 2018.
- [6] 彭江帆. 基于车载激光扫描数据的高速公路道路要素提取方法研究[D]. 北京: 北京建筑大学, 2017.
- [7] 徐婷, 祝站东. 基于改进神经网络的机器视觉的路面破损检测系统研究[J]. 公路, 2012, 56(9): 210-214.
- [8] 李中铁, 罗文婷, 李林, 等. 基于路面 3D 激光点云数据的车辙自动测量与横向定位[J]. 传感技术学报, 2019, 32(4): 637-642.
- [9] 国家标准化管理委员会. 道路交通标志和标线第 3 部分道路交通标线: GB 5768-2009[S]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [10] 中华人民共和国交通运输部. 公路沥青路面养护技术规范: JTG 073.2-2001[S]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [11] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城镇道路养护技术规范: CJJ 36-2016[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
- [12] 胡昌斌, 阙云. 冲击碾压改建水泥混凝土路面时基层的受力特性研究[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2009, 37(5): 742-747.
- [13] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 城镇道路工程施工与质量验收规范: CJJ 1-2008[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [14] 吴红权, 上官萍, 阙云, 等. 福建省典型填土路基施工的机械碾压组合[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2018, 46(4): 542-548.

(责任编辑: 方素华)