

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2019.06.002

南方湿热地区既有路基快速检测方法研究

张军辉, 邓宗煌, 刘杰, 王新宇, 吴厚铭

(长沙理工大学 公路养护技术国家工程实验室, 湖南 长沙 410114)

摘要:公路进行改扩建时,对既有路基性能的检测有利于发挥利用其性能,而快速检测是使其性能得以合理利用的基础。该文以南方湿热地区莲株公路升级改造工程为依托,选取路基钻探、灌砂法、开挖试坑进行承载板试验;采用便携式落锤弯沉仪(PFWD)、动态圆锥贯入仪(DCP)等检测方法,测试了3段试验路段的既有路基性能,并分别建立了回弹模量、弯沉、压实度及含水率与PFWD模量和DCP贯入度之间的相关关系;根据各检测方法的特点和测试精度对比,提出采用PFWD作为既有路基性能快速检测的方法。

关键词:南方湿热地区;既有路基;快速检测;便携式落锤弯沉仪(PFWD);动态圆锥贯入仪(DCP)

随着经济的发展,早期修建的公路或因长期使用导致服务性能下降而面临大修,或因沿线交通量快速增长而急需改扩建。对于这些旧路升级改造工程,首先需要解决的问题就是如何合理、经济地利用既有路基。既有路基性能包括含水率、压实度、回弹模量、弯沉等,这些指标都需要通过检测来确定。在改扩建工程工期相对较短的情况下,对既有路基性能快速检测方法的选取显得尤为重要。

Yong针对铁路路基强度低可能造成路基不稳定的问题,采用带有螺旋形螺丝杆的DCP仪进行路基检测评价,通过将圆锥杆贯入土体内,分析锥尖受到的阻力来评价路基的性能;段丹军对PFWD在路基压实度和回弹模量检测中的应用进行了研究,并分析了PFWD实测压力与弯沉之间的关系;查旭东选取湖南省典型的红黏土填料,采用DCP对土体压实性能进行了快速检测,并对其合理性进行了评价,得出贯入度与压实度和含水率之间有显著的回归关系的结论;在2013年采用PFWD研究冲击荷载作用下的路基动力反算问题,表明动密度与干密度和含水率之间具有良好的相关性,由此提出PFWD可同时检测路基模量和压实度,实现二者统一评价;吴琛采用PFWD对某高速公路柔性基层进行强度检测,获得了级配碎石柔性基层的回弹模量分布,以此来分析柔性基层的离析问题和

施工质量控制方法;王正君等利用PFWD与落球式岩土力学特性检测仪(SEH-FBT)快速检测方法研究水利堤顶公路压实度,并与环刀法所测压实度进行对比。结果表明:PFWD法与SEH-FBT法及环刀法检测的数据之间具有很好的相关性,并建立了非线性回归公式,可为工程评价提供依据。

由国内外的研究成果可以看出:DCP与PFWD快速检测技术与常规检测方法所获指标具有一定的相关性,但对于既有路基施工质量快速检测与动态设计中的适用性和可靠性研究较少。因此,该文依托湖南省莲株公路升级改造工程,采用钻探取芯、灌砂法、开挖试坑进行承载板试验、便携式落锤弯沉仪(PFWD)、动态圆锥贯入仪(DCP)等检测方法,测试依托工程既有路基性能,以建立回弹模量、弯沉、压实度及含水率与PFWD模量和DCP贯入度之间的相关关系。进一步对比分析PFWD和DCP两种方法的优缺点,并根据二者对既有路基性能的测试精度,选取合理的既有路基性能快速检测方法。

1 依托工程介绍

依托工程莲株公路升级改造工程起于湘赣省界湖南醴陵莲花冲,穿越醴陵市规划区北侧至板杉,经芦淞

收稿日期:2019-05-21(修改稿)

基金项目:国家重点研发计划项目(编号:2017YFC0805307);国家自然科学基金资助项目(编号:51478054,51878078);湖南省自然科学基金杰出青年基金资助项目(编号:2018JJ1026);湖南省教育厅重点项目(编号:17A008);公路养护技术国家工程实验室开放基金重点项目(编号:kfj150103)

作者简介:张军辉,男,博士,教授,博士生导师.E-mail:zjhseu@csust.edu.cn

区的姚家坝、白关至株洲市红旗立交桥东侧,顺接莲易公路株洲至易家湾段,全长 50.384 km。该工程采用“单侧整体加宽为主,局部分离”的方式进行“两车道改四车道”扩建,扩建后路段为四车道整体式路基。该工程的建成通车将完善湖南省高速公路网,进一步加强湘赣两省经贸交流,提高区域内交通通行能力,改善当地投资环境,对推进长株潭“两型社会”和交通一体化建设具有极为重要的意义。

莲株公路经过 22 年的运营,交通量的不断增大、车辆轴载日益重型化使得既有路基湿化严重,压实度、回弹模量均显著降低,导致道路行驶质量和服务能力下降。难以维持正常的养护管理,亦不能满足日益增长的交通需求。因此考虑到工程建设的短期性以及对于既有路基回弹模量、弯沉、压实度及含水率等指标检测的迫切性,亟需针对莲株公路老路面板挖除后,通过检测并分析既有路基各性能指标之间的相关关系,从而提出适合公路改扩建既有路基性能快速检测的新方法。

2 既有路基快速检测方法介绍及研究思路

2.1 既有路基快速检测方法介绍

目前,路基性能检测的方法主要有钻探取芯、灌砂法、承载板、贝克曼梁、动态圆锥贯入仪(DCP)、便携式落锤弯沉仪(PFWD)等,每种方法都具有各自的优缺点。其中钻探取芯、灌砂法、承载板、贝克曼梁等常规路基检测方法都存在测试复杂,费时耗力,测试条件与路基现场实际情况差异性较大,数据处理过程困难等问题;DCP 与 PFWD 作为路基性能快速检测方法具有携带方便,组装拆卸简便,测试速度快,操作简单易行的特点。

(1) 动态圆锥贯入仪(DCP)

贯入杆在 8 kg 落锤的冲击作用下,逐渐贯入土基内部,土基越坚硬,贯入一定深度的次数就越多,相应的每锤贯入深度就越小;反之,土基越软,则贯入一定深度的次数就越少,而每锤贯入深度就越大。因此,DCP 的测试结果可以反映土基内部的结构性能和压实情况。该方法适用于既有路面大面积开挖前、后既有路基贯入度 PR 的检测。每个测点需要 3 个检测人员,耗时约 5 min。

(2) 便携式落锤弯沉仪(PFWD)

便携式落锤弯沉仪其工作原理是采用 10 kg 落锤

从一定高度自由落下,通过阻尼装置、承载板(直径 30 cm)对路基产生瞬间的冲击,使路基产生变形。模拟车辆运行时对路基产生的动荷效应冲击路基,在冲击能相同的条件下,测试路基的垂直变形值,以此计算路基的模量 E_p 。从理论上讲,路基碾压越密实,变形值越小,路基的模量 E_p 越高。该方法适用于既有路面大面积开挖前、后既有路基模量 E_p 的检测。每个测点需要 3 个检测人员,耗时约 3 min。

2.2 既有路基快速检测方法研究思路

将老路面完全破除清理后,在老路基上选取 20 个测点,各测点上依次用 PFWD 检测模量 E_p 、DCP 检测贯入度 PR 、贝克曼梁检测弯沉 L 、承载板检测回弹模量 E_b 、灌砂法检测压实度 K 和含水率 w ,分析各指标与模量 E_p 、贯入度 PR 之间的相关系数,结合测试方法的准确性和便捷性等,确定适合南方湿热地区既有路基快速检测的新方法。

3 南方湿热地区既有路基快速检测方法研究

3.1 既有路基试验段的选取

莲株公路采取新路基侧填筑(路堤)或换填(路堑)至路床顶后,再开挖老路面板对老路床进行处治的施工组织方案,故研究的 3 段试验路段都先行选取在新路基侧挖方段。选取 K1 105+000~K1 105+100 路段共 100 m 长的黏土质砾段、K1 117+260~K1 117+310 路段共 50 m 长的含砂低液限黏土段及 K1 133+730~K1 133+780 路段共 50 m 长的高液限粉土段为试验段。每段测点分别沿行车道、超车道位置中心线按等距 5 m 布置,共计 20 个测点。

3.2 现场试验段检测数据分析

以黏土质砾段为例,通过现场检测,得到 5 种方法测得的 6 项指标,结果如表 1 所示。

通过现场试验段检测数据,建立便携式落锤弯沉仪(PFWD)模量 E_p 与承载板回弹模量 E_b 、贝克曼梁弯沉 L 、含水率 w 、压实度 K 之间的相关关系,以乘幂模型分别绘制便携式落锤弯沉仪(PFWD)模量 E_p 与各参数的相关关系曲线图,如图 1 所示。

由图 1 可知:对于莲株公路改扩建工程既有路基不同填料段,所测便携式落锤弯沉仪(PFWD)模量 E_p 与回弹模量 E_b 、压实度 K 均呈正比关系,但与弯沉 L 、含水率 w 均呈反比关系,且便携式落锤弯沉仪(PFWD)模量 E_p 与其余各参数之间的相关系数都大

表 1 黏土质砾试验段测试结果

序号	桩号	PFWD 模量	承载板回弹	贝克曼梁弯沉	含水率	压实度	DCP 贯入度
		E_p/MPa	模量 E_b/MPa	$L/(0.01\text{ mm})$	$w/\%$	$K/\%$	$PR/(\text{mm} \cdot \text{锤}^{-1})$
1	K 1 105+005	48.2	70.7	232	12.7	85.9	13.8
2	K 1 105+010	46.3	78.5	248	12.9	86.4	14.2
3	K 1 105+015	50.2	75.6	204	12.5	86.6	13.5
4	K 1 105+020	27.3	37.3	388	14.6	84.3	19.2
5	K 1 105+025	22.2	38.3	412	14.8	84.2	20.8
6	K 1 105+030	57.8	90.7	148	12.4	86.7	13.6
7	K 1 105+035	60.4	95.8	146	13.5	87.1	10.5
8	K 1 105+040	35.7	64.9	314	13.6	85.3	18.6
9	K 1 105+045	52.5	75.7	226	13.4	86.4	13.2
10	K 1 105+050	21.9	31.8	406	15.1	84.8	23.5
11	K 1 105+055	38.2	54.7	246	13.3	85.2	16.9
12	K 1 105+060	19.6	34.2	472	15.2	83.1	21.3
13	K 1 105+065	25.8	46.6	398	14.3	84.5	22.1
14	K 1 105+070	18.3	34.7	494	15.7	83.8	21.5
15	K 1 105+075	40.2	55.3	270	13.1	85.3	16.7
16	K 1 105+080	31.3	59.9	376	14.1	84.7	17.8
17	K 1 105+085	45.6	69.1	220	13.3	86.5	13.5
18	K 1 105+090	37.4	66.3	302	13.2	85.7	14.4
19	K 1 105+095	18.1	25.9	502	15.9	83.6	25.6
20	K 1 105+100	24.6	35.9	456	14.5	85.4	21.6

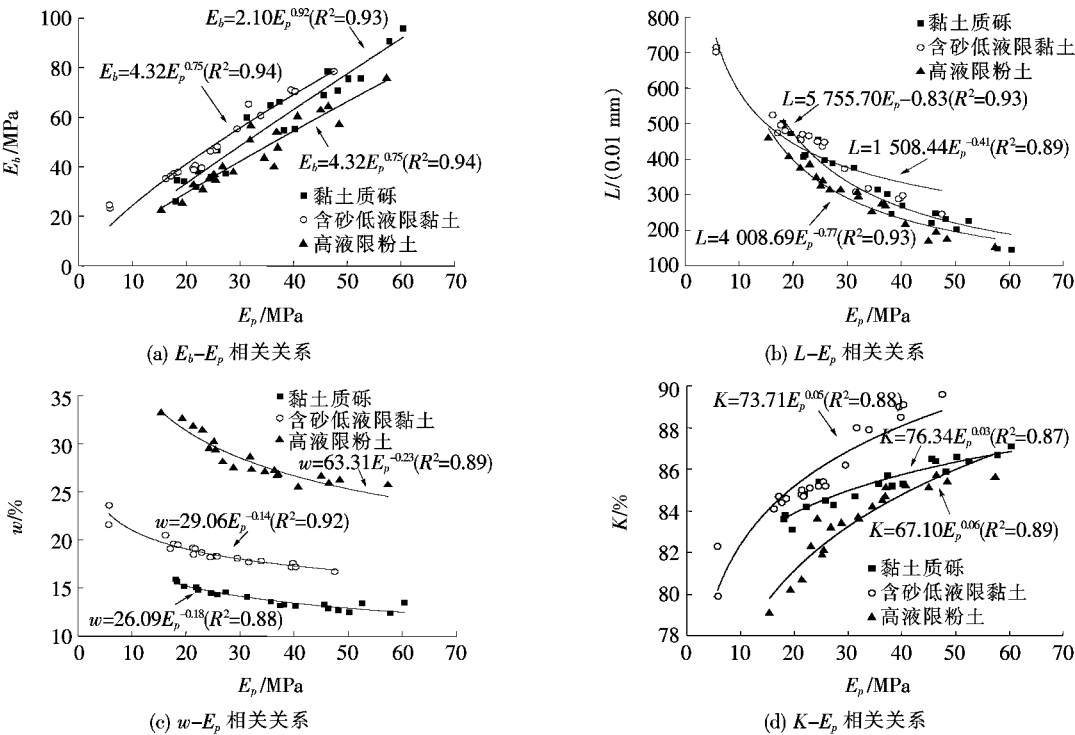


图 1 既有路基试验段各参数与便携式落锤弯沉仪(PFWD)模量 E_p 的相关关系

于0.87,相关性良好,表明PFWD快速检测可以良好地反映各检测指标的大小,并可用PFWD模量 E_p 根据相关关系式反算其余各项检测指标。

进而,通过现场试验段检测数据,建立动态圆锥贯

入仪(DCP)贯入度 PR 与承载板回弹模量 E_b 、贝克曼梁弯沉 L 、含水率 w 、压实度 K 之间的相关关系,以幂模型分别绘制动态圆锥贯入仪(DCP)贯入度 PR 与各参数的相关关系曲线图,如图2所示。

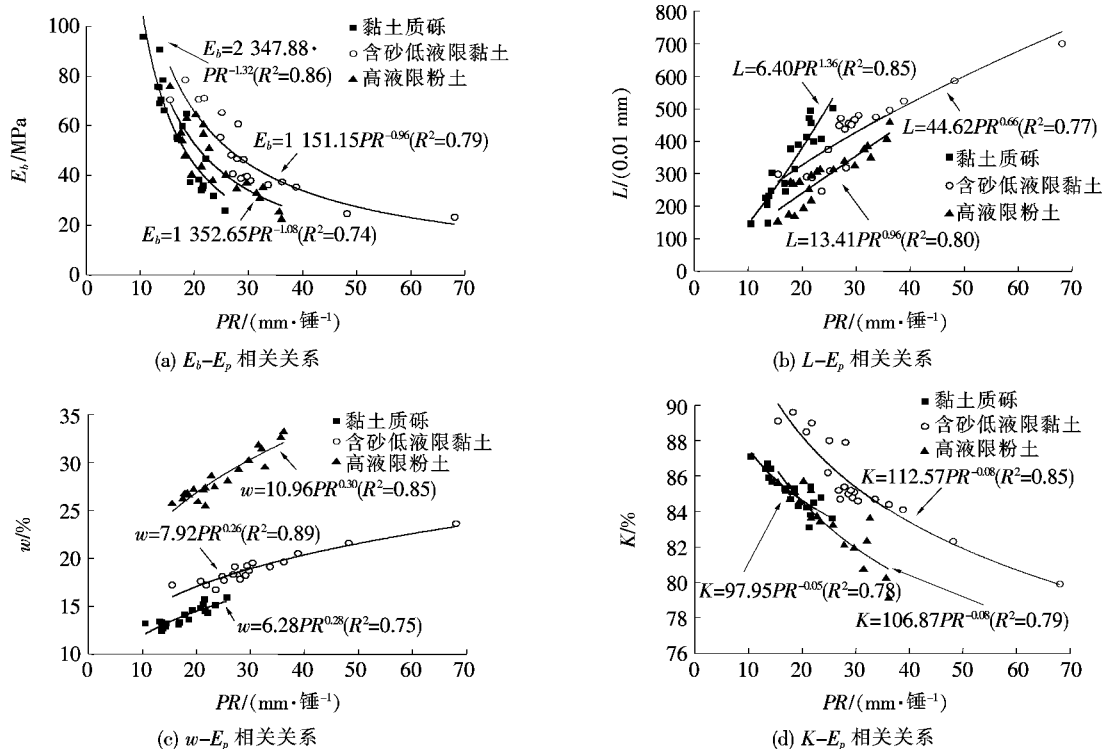


图2 既有路基试验段各参数与动态圆锥贯入仪(DCP)贯入度 PR 的相关关系

由图2可知:对于莲株公路改扩建工程既有路基不同填料段,与便携式落锤弯沉仪(PFWD)模量 E_p 检测所反映的结果不同的是,所测动态圆锥贯入仪(DCP)贯入度 PR 与回弹模量 E_b 、压实度 K 均呈反比关系,但与弯沉 L 、含水率 w 均呈正比关系,且动态圆锥贯入仪(DCP)贯入度 PR 与其余各参数之间的相关系数为0.74~0.89,相关性较好,表明DCP快速检测可以较好地反映各检测指标的大小。

通过对比便携式落锤弯沉仪(PFWD)模量 E_p 及动态圆锥贯入仪(DCP)贯入度 PR 两者与各检测指标的关系,显然PFWD快速检测可以更准确地反映各检测指标的大小,建议采用PFWD模量 E_p 根据相关关系式反算其余各项检测指标。

3.3 南方湿热地区既有路基快速检测方法确定

路基性能检测评价的传统方法常为承载板测回弹模量、贝克曼梁测弯沉、灌砂法测压实度,这3种方法所需人力成本和时间成本较高,便携式落锤弯沉仪(PFWD)、动态圆锥灌入仪(DCP)相对来说更便捷,故

着重研究这两种仪器的准确性、便捷性等,以含砂低液限黏土段的现场检测为例进行两者对比,结果如表2所示。

由表2可知:在依托工程既有路基的不同填料路段,便携式落锤弯沉仪的准确性更高,也更节省时间;仪器成本虽较高,但相对于及时准确地检测既有路基所产生的经济效益可忽略不计。因此,选择便携式落锤弯沉仪(PFWD)作为既有路基性能的快速检测方法。

4 结论

依托湖南省第一条高速公路改扩建工程——莲株公路升级改造工程,分别在黏土质砾、含砂低液限黏土、高液限粉土3种既有路基段选取试验段,以便携式落锤弯沉仪(PFWD)模量 E_p 和动态圆锥贯入仪(DCP)贯入度 PR 为关键指标,并进行现场试验段检测,分别建立了二者与承载板回弹模量 E_b 、贝克曼梁

表 2 含砂低液限黏土段 PFWD 与 DCP 检测方法对比

指标	准确性(相关系数 R^2)				便捷性/ min	经济性/ (万元·台 ⁻¹)
	承载板回 弹模量 E_p	贝克曼梁 弯沉 L	含水率 w	压实度 K		
PFWD 模量 E_p	0.913 6	0.908 2	0.898 0	0.880 2	3	5.0
DCP 贯入度 PR	0.792 3	0.714 1	0.866 3	0.817 6	5	0.5

弯沉 L 、含水率 w 、压实度 K 之间的相关关系,提出了既有路基性能快速检测的方法,得到如下结论:

(1) 在南方湿热地区莲株公路升级改造工程进行改扩建过程中,无论是既有路基的黏土质砾段,还是含砂低液限黏土段,亦或是高液限粉土段,其 PFWD 模量与 DCP 贯入度都能与回弹模量、弯沉、压实度及含水率之间建立良好的相关关系,且 PFWD 快速检测可以更准确地反映各指标的大小。

(2) 以含砂低液限黏土段为例对比分析了 PFWD 和 DCP 两种方法的精度、便捷性等,由于便携式落锤弯沉仪具有操作简单、所需时间短等优点,有利于大规模应用,建议将 PFWD 作为既有路基性能的快速检测方法,并利用 PFWD 模量 E_p 根据关系式反算各项检测指标。

参考文献:

- [1] 张军辉.软土地基上高速公路加宽变形特性及差异沉降控制标准研究[D].东南大学博士学位论文,2006.
- [2] 张军辉,王鹏,黄晓明.软土地基上高速公路加宽工程的数值分析[J].公路交通科技,2006(6).
- [3] Yong-Hoon Byun, Ju Han Kim, Jong-Sub Lee. Cone Penetrometer with a Helical-Type Outer Screw Rod for Evaluation of the Subgrade Condition [J]. Journal of Transportation Engineering, 2013, 139(2): 115-122.
- [4] 段丹军,查旭东,张起森.应用便携式落锤弯沉仪测定路基回弹模量[J].交通运输工程学报,2004(4).
- [5] 查旭东,刘国才,杨博.DCP 快速检测土体压实性能的室内试验[J].长沙理工大学学报(自然科学版),2012(1).
- [6] Zha Xu-dong. Subgrade dynamic backcalculation based on PFWD [J]. Advanced Materials Research, 2013, 723: 220-229.
- [7] 吴琛.应用 PFWD 进行级配碎石基层施工质量监控的研究[J].科学技术与工程,2012(10).
- [8] 王正君,来庆辉,康浩,等.水利堤顶公路压实度的快速检测[J].黑龙江大学学报,2017(1).
- [9] 欧阳涛坚.滑坡勘察中钻探取芯钻具的改进及应用[J].工程勘察,2017(10).
- [10] 郭俊,吴刚,沈永芳,等.南昌红谷隧道基础灌砂施工工艺的模型试验研究[J].现代隧道技术,2017(6).
- [11] 刘树堂,曹卫东,李英勇,等.承载板测土基回弹模量关键技术分析与新计算方法[J].中国公路学报,2014(1).
- [12] 常爱国.基于双后轴车的贝克曼梁路基弯沉检测方法[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2015(4).
- [13] 胡雪瑞,刘瑞斌,姚爱玲,等.DCP 法快速检测低填浅挖路基天然地基承载力的试验研究[J].湖南交通科技,2017(1).
- [14] 李欣欣.PFWD 在堤防填土压实指标快速检测方面的应用[D].黑龙江大学硕士学位论文,2018.
- [15] 赵文姣,蔡春丽,成进科.PFWD 与贝克曼梁测试值相关关系研究[J].公路交通科技(应用技术版),2014(11).
- [16] 张恺,姚占勇,庄培芝,等.便携式落锤弯沉仪在花岗岩风化料路基检测中的应用[J].中外公路,2013(3).
- [17] 孙璐,王登忠,张惠民.基于便携式落锤动力弯沉的路基弯沉预测模型[J].东南大学学报(自然科学版),2012(5).
- [18] Sunny Deol Guzzarlapudi, Vinod Kumar Adigopula, Rakesh Kumar. Comparative Studies of Lightweight Deflectometer and Benkelman Beam Deflectometer in Low Volume Roads [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition), 2016, 3(5): 438-447.
- [19] 贺敏,曹文贵,王江营,等.基于散体材料性质的土石混填路基压实度快速检测方法[J].岩石力学与工程学报,2017(8).
- [20] 王峰,程培峰.密实度检测仪在粉砂土路基压实度检测中的应用[J].中外公路,2015(6).