

公路改扩建工程老路基处治深度研究

张军辉¹, 刘杰¹, 邓宗煌¹, 王新宇¹, 李周强²

(1.长沙理工大学 公路养护技术国家工程实验室, 湖南 长沙 410114; 2.湖南省地质矿产勘查开发局四〇二队)

摘要:公路改扩建时,如何有效确定老路路基处治深度是路基拼接的关键技术之一。该文以莲株公路改扩建工程为依托,建立了老路基改良前便携式落锤弯沉仪(PFWD)所测模量 E_p 与弯沉 L 的相关关系,并得到了每填筑一层水泥改良土对弯沉值的减少效果;进而,以老路基顶 PFWD 模量 E_p 为检测指标,建立了不处治、水泥改良土回填 21 cm(1 层)、水泥改良土回填 42 cm(2 层)、水泥改良土回填 63 cm(3 层)、水泥改良土回填 84 cm(4 层)、水泥改良土回填 105 cm(5 层)共 6 种处治方案的控制方法,并通过在全线的推广应用,验证了控制方法的合理性。

关键词:改扩建;老路基;水泥改良;处治深度;PFWD 模量 E_p

中国南方路网密度大,修筑时间早,随着社会经济的快速发展,很多公路急需通过改扩建提高通行能力。由于南方湿热多雨,老路基与周围环境的湿热交换导致其含水率逐渐从修筑时的最佳含水率增加到某一与气候、土质等相适应的平衡状态,含水率最大增加 65% 以上,导致老路基刚度显著降低。对这些老路基进行拼接时,由于其刚度低,无法满足路床要求,需进行石灰或水泥等改良土换填。

目前对路床填筑改良土的研究多集中在新建路基,而对老路基处治深度研究较少,路基的处治深度取值主要依赖于工程经验,无理论依据,或者取上路床或整个路床深度,由此可能导致路基处治深度不够,处治后仍不能满足路面对路基的要求;或路基处治深度过大,造成浪费。因此,如何有效确定老路路基处治深度是老路基拼接的关键技术之一。

该文依托湖南省第一条高速公路改扩建工程——莲株公路改扩建工程,开展老路基水泥改良处治前后弯沉测试,并建立其与 PFWD 模量之间的相互关系,进而根据路基弯沉设计要求,计算得到对路基 PFWD 模量的要求,并以此为标准,建立不同老路基状况下的处治深度确定方法,以便在莲株公路改扩建工程全线进行推广应用。

1 依托工程介绍

依托工程莲株公路改扩建工程起于湘赣省界莲花冲,穿越醴陵市规划区北侧至板杉,经芦淞区的姚家坝、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,路床厚度 1.2 m,路床顶—15 cm 至路床顶为 15 cm 碎石垫层,新设计路床顶—15 cm 设计弯沉值为 178(0.01 mm),采用 7% 水泥改良方案且最大处治深度为整个新设计路床深度。

莲株公路经过 22 年的运营,老路基压实度、回弹模量均显著降低,经检测发现,莲株公路老路基压实度和回弹模量分别为 75.5%~91.3%(平均值为 83.4%)、35.9~46.8 MPa(平均值为 40.0 MPa),远低于 JTG D30—2015《公路路基设计规范》规定高速公路路床压实度 96% 和 JTG D50—2017《公路沥青路面设计规范》规定特重交通等级道路的回弹模量 60 MPa 的要求,因此需对老路基进行适当处治。因此,如何有效确定老路路基处治深度是保障公路改扩建工程质量

收稿日期:2019-01-16

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

的关键技术之一。

2 老路基处治深度确定所用检测方法 及研究思路

2.1 老路基处治深度确定所用检测方法介绍

(1) 贝克曼梁

在老路基表面采用长度为 5.4 m 的贝克曼梁进行弯沉检测,可作为判定路基承载能力最直接的指标。每个测点需要 4 个检测人员,耗时约 10 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。每个测点需要 3 个检测人员,耗时约 3 min。

2.2 老路基处治深度研究思路

(1) 在依托工程莲株公路改扩建工程不同填料老路基段,各选取 1 个试验段(长 50~100 m),将路面清除后,在老路基上各选取 20 个测点,各测点上依次用 PFWD 检测模量 E_p 、贝克曼梁检测弯沉 L ,建立不同填料原状土模量 E_p 与弯沉 L 之间的相关关系。

(2) 从试验段老路基顶面向下开挖至新设计路床底,对底部进行碾压后采集模量 E_p 与弯沉 L 。JTG D30—2015《公路路基设计规范》规定,对于特重和极

重交通路床厚度为 120 cm,故莲株高速公路路床设计为 120 cm。考虑到莲株公路改扩建工程路基顶面铺设 15 cm 碎石垫层的设计要求,确定老路基处治深度为 0~105 cm。根据水泥改良土的适宜碾压厚度,确定每层压实厚度为 21 cm。待每层水泥改良土强度稳定(养生 7 d)后,为减少误差和保证样本数,选取两个测点检测模量 E_p 和弯沉 L ,并取二者平均值作为最终结果。不同层位的测点竖向需保持在同一中心线上。建立不同土质改良土模量 E_p 与弯沉 L 之间的相关关系,并分析得到每填筑一层水泥改良土对弯沉值的减少效果。

(3) 在未改良且土质相同路段的老路基顶采集模量 E_p ,反算弯沉 L 。根据老路基顶面弯沉值和新建路床验收容许弯沉值之间的差值和每填筑一层水泥改良土对弯沉值的减少效果,确定改良土处治深度。

3 老路基不同填料弯沉 L 与模量 E_p 的相关关系

3.1 不同填料素土弯沉 L 与模量 E_p 的相关关系

在依托工程莲株公路改扩建工程选取 K1 105+000~K1 105+100 黏土质砂段、K1 117+260~K1 117+310 含砂低液限黏土段为试验段,测点沿行车道或超车道中心线按等距 5 m 布置,共计 20 个测点,分别检测 PFWD 模量、贝克曼梁弯沉。并建立便携式落锤弯沉仪(PFWD)模量 E_p 与贝克曼梁弯沉 L 之间的相关关系,如图 1 所示。

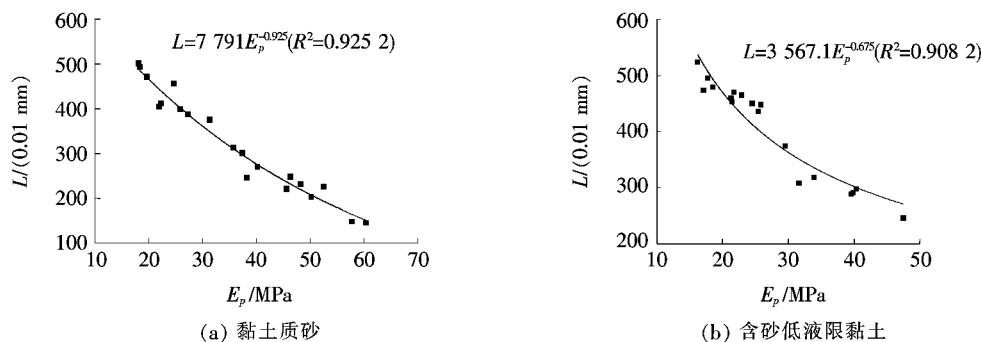


图 1 不同填料素土弯沉 L 与模量 E_p 的相关关系

由图 1 可知:对于莲株公路改扩建工程老路基不同填料段,模量 E_p 与弯沉 L 的相关系数 R^2 都超过了 0.9,表明二者具有良好的相关关系。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,因此可用便携式落锤弯沉仪代替贝克曼梁进行老路基性能检测,并用 PFWD 模量 E_p 根据关系式反算弯沉 L 。

3.2 不同填料改良土弯沉 L 与模量 E_p 的相关关系

为考察每填一层水泥改良土对路基性能的影响,在黏土质砂、含砂低液限黏土试验段不同层位的两个测点采集老路基、各改良土层 PFWD 模量、贝克曼梁弯沉数据。并建立各层便携式落锤弯沉仪(PFWD)模

量 E_p 与贝克曼梁弯沉 L 之间的相关关系,如图 2 所示。由图 2 可知:不同土质路基的改良土模量 E_p 与弯沉 L 的相关系数 R^2 都超过了 0.9,因此,可用便携式落锤弯沉仪代替贝克曼梁进行老路基填料改良后的性能检测。

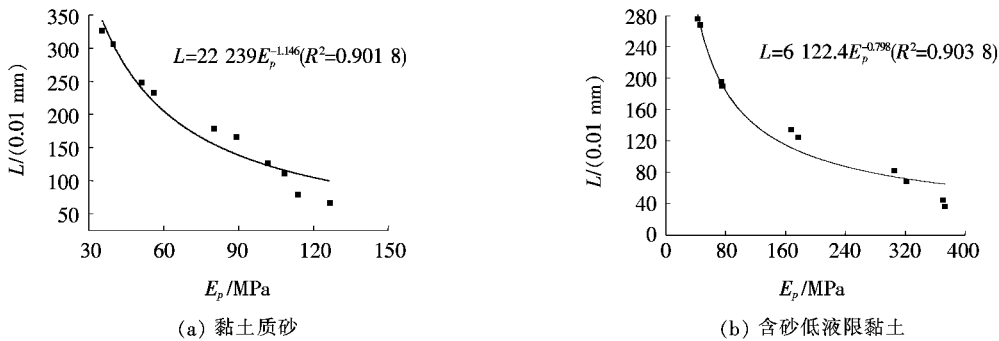


图 2 不同填料改良土弯沉 L 与模量 E_p 的相关关系

4 老路基处治深度确定

4.1 黏土质砂路段处治深度确定

对黏土质砂试验段老路基开展换填不同水泥改良土层数后顶面 PFWD 模量测试,并根据图 1,计算得到换填不同层数改良土后其顶面弯沉。换填层数和其顶面弯沉的相关关系如图 3 所示。

由图 3 可知:在黏土质砂试验路段,随着水泥改良土的填筑,改良土顶面弯沉值减小的规律为:① 第 1 层改良土顶面弯沉值相比于原状土减小 92(0.01 mm);② 第 2 层改良土顶面弯沉值相比于第 1 层减小 76(0.01 mm);③ 第 3 层改良土顶面弯沉值相比于第 2 层减小 68(0.01 mm);④ 第 4 层改良土顶面弯沉

值相比于第 3 层减小 54(0.01 mm);⑤ 第 5 层改良土顶面弯沉值相比于第 4 层减小 46(0.01 mm)。

因此,根据弯沉值减小的规律,提出 0、21、42、63、84、105 cm 共 6 个老路基处治深度标准,见表 1。

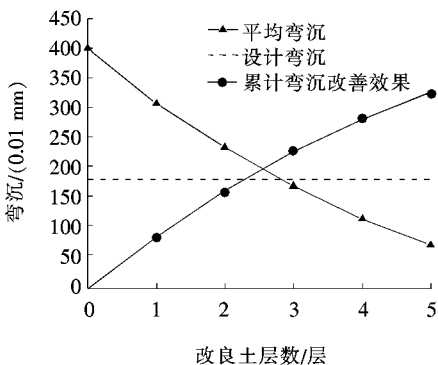


图 3 黏土质砂试验段改良土弯沉减小效果图

表 1 黏土质砂路段老路基处治深度标准

PFWD 模量 E_p /MPa	反算弯沉 L /(0.01 mm)	反算弯沉与设计弯沉 的差值 ΔL /(0.01 mm)	处治深度/ m
$E_p \geq 60.0$	$L \leq 178$	$\Delta L \leq 0$	0
$37.9 \leq E_p < 60.0$	$178 < L \leq 270$	$0 < \Delta L \leq 92$	0.21(1 层)
$29.0 \leq E_p < 37.9$	$270 < L \leq 346$	$92 < \Delta L \leq 168$	0.42(2 层)
$24.0 \leq E_p < 29.0$	$346 < L \leq 414$	$168 < \Delta L \leq 232$	0.63(3 层)
$21.0 \leq E_p < 24.0$	$414 < L \leq 468$	$232 < \Delta L \leq 286$	0.84(4 层)
$E_p < 21.0$	$L > 468$	$\Delta L > 286$	1.05(5 层)

4.2 含砂低液限黏土路段处治深度确定

对含砂低液限黏土路段的老路基,测试换填不同水泥改良土层数后顶面 PFWD 模量,并根据图 1 计算

弯沉,从而建立不同改良土层数与其顶面弯沉的相关关系,如图 4 所示。

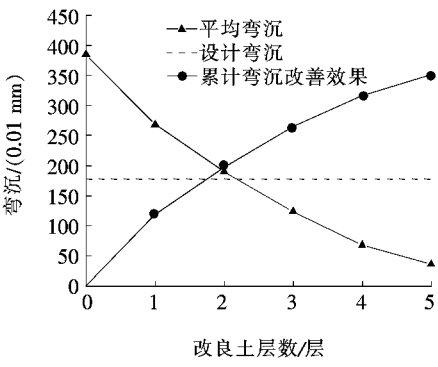


图 4 含砂低液限黏土试验段改良土弯沉减小效果图

由图 4 可知:在含砂低液限黏土试验路段,随着水泥改良土的填筑,改良土顶面弯沉值减小的规律为:①第 1 层改良土顶面弯沉值相比于原状土减小 120(0.01 mm);②第 2 层改良土顶面弯沉值相比于第 1 层减小 79(0.01 mm);③第 3 层改良土顶面弯沉值相比于第 2 层减小 64(0.01 mm);④第 4 层改良土顶面弯沉值相比于第 3 层减小 54(0.01 mm);⑤第 5 层改良土顶面弯沉值相比于第 4 层减小 35(0.01 mm)。

因此,根据弯沉值减小的规律,提出 0、21、42、63、84、105 cm 共 6 个老路基处治深度标准,见表 2。

表 2 含砂低液限黏土路段老路基处治深度标准

PFWD 模量 E_p /MPa	反算弯沉 L /(0.01 mm)	反算弯沉与设计弯沉 的差值 ΔL /(0.01 mm)	处治深度/ m
$E_p \geq 90.0$	$L \leq 178$	$\Delta L \leq 0$	0
$39.5 \leq E_p < 90.0$	$178 < L \leq 298$	$0 < \Delta L \leq 120$	0.21(1 层)
$28.0 \leq E_p < 39.5$	$298 < L \leq 377$	$120 < \Delta L \leq 199$	0.42(2 层)
$22.0 \leq E_p < 28.0$	$377 < L \leq 441$	$199 < \Delta L \leq 263$	0.63(3 层)
$18.5 \leq E_p < 22.0$	$441 < L \leq 495$	$263 < \Delta L \leq 317$	0.84(4 层)
$E_p < 18.5$	$L > 495$	$\Delta L > 317$	1.05(5 层)

5 老路基处治效果

前述老路基处治深度确定方法在依托工程莲株公路改扩建工程全线进行了推广应用。为验证老路基处

治厚度确定方法的有效性,对按该方法确定的处治深度换填后的路基顶面进行了弯沉测试。表 3 为部分段落的测试结果,从表 3 可知:改良层铺设后其顶面弯沉接近并小于设计弯沉,从而验证了该文确定的老路基处治深度确定方法的有效性。

表 3 莲株公路老路改良层测试结果

起止桩号	PFWD 模量 代表值/MPa	素土弯沉/ (0.01 mm)	设计弯沉/ (0.01 mm)	改善层 厚/m	改善层顶弯 沉/(0.01 mm)
K1 095+600~K1 095+760	35.7	264.8	178.0	0.45	111.6
K1 095+960~K1 096+100	25.4	391.5	178.0	0.65	113.1
K1 096+800~K1 096+900	24.6	395.6	178.0	0.65	100.1
K1 096+900~K1 096+960	14.5	542.1	178.0	1.05	100.5
K1 096+960~K1 097+020	24.7	399.7	178.0	0.65	100.5
K1 097+020~K1 097+080	14.7	537.7	178.0	1.05	100.5
K1 098+610~K1 098+750	21.8	409.5	178.0	0.65	123.5
K1 100+990~K1 101+110	49.2	243.3	178.0	0.45	128.3
K1 101+230~K1 101+360	58.6	283.4	178.0	0.45	128.3
K1 105+500~K1 105+660	25.2	379.9	178.0	0.65	128.8
K1 109+760~K1 109+880	15.0	599.5	178.0	1.05	122.9
K1 110+800~K1 110+935	23.8	404.2	178.0	0.65	126.5
K1 112+375~K1 112+525	26.1	380.9	178.0	0.65	101.4

续表 3

起止桩号	PFWD 模量 代表值/MPa	素土弯沉/ (0.01 mm)	设计弯沉/ (0.01 mm)	改善层 厚/m	改善层顶弯 沉/(0.01 mm)
K1 114+848~K1 114+950	32.3	321.2	178.0	0.45	135.6
K1 114+950~K1 115+050	23.1	405.1	178.0	0.65	135.6
K1 117+820~K1 118+000	30.2	336.8	178.0	0.65	134.0
K1 122+630~K1 122+742	20.9	427.2	178.0	0.65	117.8
K1 123+065~K1 123+200	31.9	323.0	178.0	0.45	121.4
K1 123+200~K1 123+300	22.9	400.8	178.0	0.65	121.4
K1 123+984~K1 124+200	22.9	411.7	178.0	0.65	126.2
K1 125+803~K1 126+000	12.4	618.8	178.0	1.05	116.4

6 结论

依托莲株公路改扩建工程,分别在黏土质砂、含砂低液限黏土老路基段选取试验段,以 PFWD 模量 E_p 为关键指标,进行老路基处治深度研究,现场试验段检测了老路基及改良土层的模量 E_p 和弯沉 L 并建立了二者的相关关系,提出了老路基处治深度确定方法,获得如下主要结论:

(1) 无论是黏土质砂,还是含砂低液限黏土,亦或是其水泥改良土,其 PFWD 模量与弯沉之间存在良好的相关关系。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,因此可用便携式落锤弯沉仪代替贝克曼梁进行老路基性能检测,并用 PFWD 模量 E_p 根据关系式反算弯沉 L 。

(2) 在各老路基路段以老路基顶 PFWD 模量 E_p 为关键指标,提出了无需处治、水泥改良土回填 21、42、63、84、105 cm 等几种处治方案的控制方法,在依托工程推广应用证明了该方法的有效性。

参考文献:

[1] 郑健龙,张军辉.南方湿热地区耐久性路基湿度平衡理论研究[R],2013.

[2] 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.

[3] 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).

[4] 陈乐求,陈俊桦,张家生.水泥改良泥质板岩粗粒土力学性质的应变率效应研究[J].铁道科学与工程学报,2018(8).

[5] 陈国平.灰土固结改良技术在过湿软土路基中的应用[J].施工技术,2017(S2).

[6] 魏建国,刘庭,张军辉,等.石灰改良含砂低液限土在高速公路拓宽路基中的应用研究[J].中外公路,2016(1).

[7] 谢明波.红砂岩改良试验研究[J].路基工程,2018(4).

[8] 于爱民.路用石灰土强度机理研究[D].吉林建筑大学硕士学位论文,2018.

[9] 邓长青,曾超.控制 CBR 条件下路基化学改良土的动力特性研究[J].中外公路,2018(4).

[10] 宋小金,曾梦澜.LFG 与 PFWD 快速检测路基模量的相关性分析[J].中外公路,2014(6).

[11] 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).

[12] 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.

[13] 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).

[14] 孙璐,王登忠.基于便携式落锤弯沉仪动态弯沉的路基压实度无损检测与评估[J].公路交通科技,2012(12).

[15] 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).

[16] 顾章川.手持式落锤弯沉仪在公路路基弯沉检测中的应用研究[J].中国公路,2017(17).

[17] 陈龙旭,雷润杰,喻雅琴,等.便携式落锤弯沉仪在湘西风化红砂岩路基模量检测中的应用[J].湖南交通科技,2018(3).

[18] 李振存.在役高速公路路基性能评价及快速检测技术[D].长沙理工大学博士学位论文,2014.

[19] 张静波,陈兴,吕岩松,等.软弱岩土挖方段公路路基换填深度研究[J].公路,2017(7).