

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2023.05.006

旧混凝土路面碎石化层的承载力检测与评价

岳爱军¹,王伟¹,李旺明²,覃金寿¹

(1.桂林理工大学 土木与建筑工程学院,广西 桂林 541000;2.广西壮族自治区钦州钦北公路养护中心,广西 钦州 535000)

摘要:为准确评价半刚性基层、柔性土基旧混凝土路面碎石化后结构层的承载力,为旧水泥混凝土路面改造提供精准的设计参数,该文采用承载板、贝克曼梁测试方法,对比分析旧水泥混凝土路面碎石化后结构层顶面的当量回弹模量、弯沉。结果表明:半刚性基层旧混凝土路面共振碎石化后顶面的当量回弹模量平均值为444.20 MPa,多锤头碎石化后顶面的当量回弹模量平均值为408.15 MPa;土基上旧混凝土路面共振碎石化后顶面的当量回弹模量平均值为326.71 MPa,弯沉代表值为329.68(0.01 mm),弯沉变异系数为88.02%。半刚性基层旧混凝土路面碎石化后结构层刚度适合可加铺柔性的沥青路面结构,柔性土基上旧混凝土路面共振碎石化结构层只相当于非均质的级配碎石层,宜结构补强后再加铺沥青层。

关键词:旧水泥混凝土路面;共振碎石化;多锤头碎石化;基层;当量回弹模量

中图分类号:U416.2

文献标志码:A

0 引言

广西地处华南,高温潮湿多雨,超载、重载路段的水泥混凝土路面在通车5年后易出现断板、错台等结构性破坏现象。碎石化是在旧水泥混凝土路面结构损坏较严重时,采用破碎机设备对路面进行破碎的一种处置方法,因其破碎颗粒的粒径大小类似碎石,故称之为碎石化^[1-5]。

旧水泥混凝土路面碎石化常用的两种施工工艺为多锤头冲击破碎(Multiple-Head Breaker,简称MHB)和共振破碎(Resonant Pavement Breaker,简称RPB)^[6-9]。王松根等^[10]研究MHB碎石化后强度形成机理,提出旧混凝土路面碎石化层的咬合嵌挤理论;李豪等^[11]将MHB和RPB的适应性能进行对比分析,发现RPB破碎技术更适合于重载车辆多、交通量大的工程;李晓鹏^[12]通过对旧水泥混凝土路面破碎化后的防反射裂缝机理进行分析和研究,得到采用多锤头碎石化技术能有效消除旧水泥混凝土路面的反射裂缝的结论;熊斌丹等^[13]开展旧水泥混凝土路面碎石化后力学性能的研究,发现采用RPB

破碎后,旧水泥混凝土路面整体强度下降,呈现柔性特征,有利于路面结构的补强和加铺;邱业绩等^[14]通过探讨MHB和RPB两种施工工艺的差异性和适用条件,认为旧水泥混凝土路面采用RPB施工技术破碎化后的平均弯沉和旧路面顶面回弹模量均大于MHB破碎化。中国许多学者对旧水泥混凝土路面碎石化力学强度形成机理及碎石化两种施工工艺适用性进行了研究,但少见专门针对在半刚性基层和柔性土基上旧混凝土路面碎石化后结构层的承载力方面进行研究。

2015年起,广西路网干线公路半刚性基层旧水泥混凝土路面碎石化后加铺18~22 cm大粒径级配碎石层+6~9 cm厚沥青层,加铺层沥青路面路况总体良好^[15-18];柔性土基上旧混凝土路面碎石化拟加铺18 cm厚沥青层,柔性土基上旧混凝土路面碎石后的承载力大小对路面结构是否需要补强起到决定性作用。

为此,本文以G325线广州至南宁二级公路合浦段和北海市至铁山港一级公路旧水泥混凝土路面碎石化加铺沥青层工程为依托,采用承载板、贝克曼梁分别测试半刚性基层、柔性土基上旧水泥混凝土路

收稿日期:2023-05-06(修改稿)

基金项目:广西科技计划项目(编号:桂科AD19110085);广西建筑新能源与节能重点实验室基金项目(编号:桂科能2018-A-01)

作者简介:岳爱军,男,博士,教授级高工.E-mail:362382719@qq.com

面碎石化后结构层顶面的当量回弹模量、弯沉,其检测结果可为碎石化改造旧水泥混凝土路面设计与施工提供参考。

1 旧混凝土路面碎石化施工工艺选择

G325线广州至南宁二级公路合浦段原路面结构为水泥混凝土路面+水泥稳定级配碎石基层+土基,旧混凝土路面碎石后加铺大粒径级配碎石20 cm+5 cm AC-20+4 cm AC-13;北海市至铁山港一级公路原路面结构为水泥混凝土路面+土基,旧混凝土路面碎石后拟加铺8 cm AC-25+6 cm AC-20+4 cm AC-13。旧混凝土路面多锤头碎石化需要考虑路基和基层的承载力,旧混凝土路面共振碎石化对基层损伤少、可以减少对公路沿线居民日常生活的干扰,但成本相对较高。针对这一特点,北海市至铁山港一级公路K15+450~K15+600段和G325线K589+600~K590+600段(过村镇路段)采用共振破碎施工工艺。为了探讨柔性路基上旧混凝土路面、半刚性基层旧混凝土路面碎石化后结构层的承载力,本文选取G325线K616+300~K617+300段(非过村镇路段)、G325线K589+600~K590+600段(过村镇路段)以及北海市至铁山港一级公路K15+450~K15+600段开展对比分析,试验路段旧水泥混凝土路面碎石化施工工艺选择见表1。

表1 试验路段碎石化施工工艺选择

试验路段	基层类型	碎石化工艺
G325线K616+300~K617+300段(非过村镇路段)	半刚性	MHB
G325线K589+600~K590+600段(过村镇路段)	半刚性	RPB
北海市至铁山港一级公路K15+450~K15+600段	柔性	RPB

2 旧混凝土路面碎石化层承载力的检测与评价

2.1 破碎化后原路面顶面当量回弹模量检测

碎石化水泥混凝土面板顶面的当量回弹模量检

测采用《公路路基路面现场测试规程》(JTG 3450—2019)中承载板法,其中G325线K616+300~K617+300段、K589+600~K590+600段测试频率为50 m/次,北海市至铁山港一级公路K15+450~K15+600段测试频率为10 m/次。由于测量误差以及施工质量控制的不均性,导致测点数据存在一定的差异性,例如数值的突然偏大或者偏小,就须剔除离群数据,以更好反映在正常施工工艺下旧混凝土路面碎石化后结构层的当量回弹模量数值。本文利用拉依达准则(3 σ 准则)去除离散较大的测试值,最终得到该路段旧混凝土路面碎石化结构层测试的平均值及变异系数,旧混凝土路面碎石化结构层检测结果及数值计算整理见表2~4。

表2 G325线试验路段旧混凝土路面碎石化后结构层的当量回弹模量检测结果

桩号	模量/MPa	桩号	模量/MPa
K616+300	463.96	K589+600	492.81
K616+350	405.68	K589+660	298.67
K616+400	338.57	K589+710	415.77
K616+450	464.85	K589+770	569.44
K616+500	449.05	K589+810	226.57
K616+550	397.91	K589+850	461.49
K616+600	664.74	K589+910	306.41
K616+650	439.00	K589+950	580.75
K616+700	417.09	K590+000	442.05
K616+750	403.42	K590+050	450.45
K616+800	428.02	K590+100	393.26
K616+850	329.64	K590+150	494.67
K616+900	442.29	K590+200	471.71
K616+950	433.48	K590+250	499.36
K617+000	348.24	K590+300	416.73
K617+050	416.88	K590+350	504.19
K617+100	414.63	K590+400	454.63
K617+150	336.72	K590+450	464.03
K617+200	772.24	K590+500	491.61
K617+250	417.30	K590+550	449.40

从表2~4可以看出:

(1) G325线合浦段半刚性基层旧混凝土路面碎石化结构层顶面当量回弹模量值均大于300 MPa(40个点中有2个点不满足要求,这2个点为特殊点,旧

表3 北铁一级公路K15+450~K15+600段旧混凝土路面碎石化后结构层的当量回弹模量检测结果

桩号	模量/MPa		桩号	模量/MPa		桩号	模量/MPa		桩号	模量/MPa	
	第1车道	第2车道		第1车道	第2车道		第1车道	第2车道		第1车道	第2车道
K15+450	371.86	314.66	K15+530	347.66	329.52	K15+490	412.70	351.65	K15+570	242.79	259.35
K15+460	429.66	346.70	K15+540	515.87	358.96	K15+500	320.93	347.43	K15+580	235.02	284.46
K15+470	253.93	423.89	K15+550	405.89	331.51	K15+510	210.80	232.52	K15+590	301.00	333.32
K15+480	228.21	269.15	K15+560	305.95	243.81	K15+520	286.86	318.12	K15+600	461.22	379.44

表4 旧混凝土路面当量回弹模量数值计算结果

标段	层位	标准差/ MPa	均值/ MPa	变异系数/ %	规范取值范围 (级配碎石底基层)/MPa
G325线K616+300~K617+300段	多锤头碎石化原路面	42.89	408.15	10.50	300~700
G325线K589+600~K590+600段	共振碎石化原路面	86.28	444.20	19.42	300~700
北海市至铁山港一级公路 K15+450~K15+600段	共振碎石化原路面	73.53	326.71	22.50	300~700

混凝土路面破坏严重),表明半刚性基层旧水泥混凝土路面碎石化后结构层具有一定刚度。多锤头碎石化水泥混凝土面板顶面的当量回弹模量平均值为408.15 MPa,变异系数为10.50%;共振碎石化水泥混凝土面板顶面的当量回弹模量平均值为444.20 MPa,变异系数为19.42%。旧混凝土路面共振碎石化基层相对完好无损,共振碎石化产生的斜向裂缝与水平面大约呈45°,水泥混凝土面板沿最大剪切面破碎,旧混凝土路面碎石化颗粒间咬合嵌挤程度要比多锤头碎石化的好。在同样的竖向荷载作用下,共振碎石化层产生垂直位移更小,旧混凝土路面共振碎石化后结构层顶面的当量回弹模量大于多锤头碎石化结构层顶面的当量回弹模量,共振碎石化路段旧混凝土顶面当量回弹模量的变异系数相对较大,这可能与过村镇路段旧混凝土路面的局部位置破损严重相关。

(2)旧混凝土路面的下卧层承载力不同,旧混凝土路面碎石化后力学响应特性不同,旧混凝土路面共振碎石化结构层的刚度存在较大差异。G325线合浦段共振碎石化顶面的当量回弹模量平均值为444.20 MPa,变异系数19.42%;北海市至铁山港一级公路旧混凝土路面共振碎石化顶面的当量回弹模量平均值为326.71 MPa,变异系数22.5%,柔性土基上旧混凝土路面共振碎石化后结构层的顶面当量回弹模量326.71 MPa比半刚性基层旧混凝土路面多锤头碎石化结构层顶面当量回弹模量408.15 MPa小,柔性土基上旧混凝土路面共振碎石化顶面当量回弹

模量的离散性相对半刚性基层旧混凝土路面共振碎石化略大,因此,柔性土基上旧混凝土路面再生利用时宜慎重采用共振碎石化技术。

2.2 破碎化后原路面弯沉检测

弯沉是指在垂直荷载作用下路面产生的垂直变形,能反映出路面结构层的整体强度和刚度。旧混凝土路面共振碎石化表面层属于松散粒料层,受弯沉仪支点、弯沉车的轴载和轮胎等影响,其承载能力检测不宜采用贝克曼测试方法。但为探究柔性土基上旧混凝土路面共振碎石化后的承载力,北海市至铁山港一级公路K15+450~K15+600段共振碎石化后结构层弯沉检测采用《公路路基路面现场测试规程》(JTG 3450—2019)中贝克曼梁测试路基路面回弹弯沉方法,其检测结果见表5及图1,其中,测试频率为10 m/次,K15+450~K15+600段第1车道弯沉检测顺序号为1~16,第2车道弯沉检测顺序号为17~32。

从表5及图1可以看出:①北海市至铁山港一级公路K15+450~K15+600段采用共振破碎的旧水泥混凝土路面结构层中,在设计弯沉范围之内仅占20.31%,超出设计弯沉范围高达79.69%,并且弯沉代表值为329.68(0.01 mm),远远大于设计弯沉值,整体的强度和刚度都不足;②弯沉值极为分散,变异系数为88.02%,说明旧混凝土路面为柔性的土基不适宜采用共振碎石化施工技术。因为级配碎石基层具有非线性的力学特性,呈现“遇强则更强、遇弱则弱”的特点,旧水泥混凝土路面破碎化后结构层(类似级配碎石)在柔性土基产生的弯沉较大。

表 5 北海市至铁山港一级公路 K15+450~K15+600 段碎石化后结构层弯沉统计结果

弯沉区间(0.01 mm)范围占比/%			均值/	标准差/	变异系数/	弯沉代表值/	设计弯沉值/
0~46.86	46.86~100	100~550	(0.01 mm)	(0.01 mm)	%	(0.01 mm)	(0.01 mm)
20.31	29.69	50	134.67	118.54	88.02	329.68	≤46.86

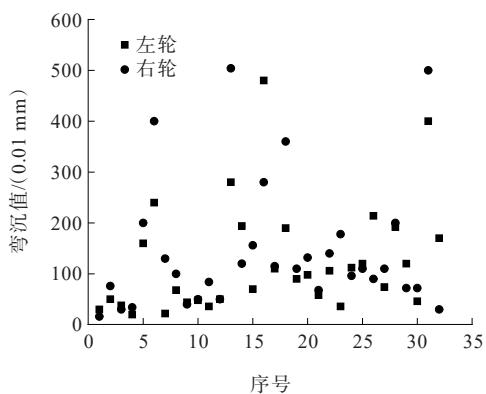


图 1 碎石化后结构层弯沉值散点图

3 结论

本文采用承载板、贝克曼梁测试方法,对比分析了旧水泥混凝土路面碎石化后结构层顶面的当量回弹模量、弯沉,为准确评价半刚性基层、柔性土基旧混凝土路面碎石化后结构层的承载力提供了参考,提高了水泥混凝土路面改造时设计参数选取的精度,主要得到如下结论:

(1) 半刚性基层旧混凝土路面碎石化结构层承载力较高,考虑碎石化结构层的非线性特性,半刚性基层旧混凝土路面碎石化加铺柔性的大粒径级配碎石层和沥青层结构是可行的。

(2) 土基上旧混凝土路面破碎再生利用不宜采用碎石化技术。土基上旧混凝土路面共振碎石化后顶面承载力呈离散的特性,加铺沥青层设计时该结构层宜按上路床进行考虑。

参考文献:

[1] 张玉宏,王松根,李昶.国外水泥混凝土路面碎石化技术简介[J].公路,2003,48(9):94-97.

- [2] 柳正华,谈至明.旧水泥混凝土路面的碎石化技术综述[J].公路,2005,50(12):187-191.
- [3] 高磊,贾致荣,袁中玉等.水泥稳定碎石铣刨粗集料路用性能评价[J].中外公路,2019,39(5):230-233.
- [4] 肖庆一,苏刚,张恒,等.3D打印技术在路面修复中的应用研究综述[J].中外公路,2022,42(2):72-77.
- [5] 杨善东,王笑风,游鹏,等.土凝岩胶凝材料稳定碎石基层路用性能研究[J].中外公路,2021,41(6):275-280.
- [6] 张玉宏.水泥混凝土路面碎石化综合技术研究[D].南京:东南大学,2006.
- [7] 吕悦晶,魏彩霞,张蕾,等.基于CT图像的水泥稳定碎石环形分区损伤研究[J].中外公路,2021,41(3):269-273.
- [8] 章洋,何莉,汤青洲,等.基于智能手机的农村公路路面破损检测方法[J].中外公路,2023,43(2):51-57.
- [9] 孙玉军.旧水泥混凝土路面碎石化改造[J].中国建筑装饰装修,2021(5):122-123.
- [10] 王松根,李昶,张玉宏,等.旧水泥混凝土路面MHB碎石化后强度机理分析[J].公路,2006,51(12):95-100.
- [11] 李豪,张中云,周启兆,等.旧水泥混凝土路面碎石化技术适应性分析[J].中外公路,2011,31(2):75-81.
- [12] 李晓鹏.多锤头碎石化(MHB)技术研究[J].中外公路,2011,31(4):78-82.
- [13] 熊斌丹,林钦国,吕勇衡.旧水泥混凝土路面碎石化后力学性能分析[J].公路交通技术,2014(4):10-13,18.
- [14] 邱业绩,李艳,张娟.MHB和RPB旧水泥路面碎石化原理及应用探讨[J].公路交通科技(应用技术版),2019,15(6):102-104.
- [15] 覃开蛮,梁进钦,赵承伟.一种改进的填隙碎石设计及应用[J].西部交通科技,2018(6):58-62.
- [16] 满新耀.水泥路面碎石化技术在桂柳高速公路中的应用[J].中外公路,2019,39(5):247-249.
- [17] 罗克文,罗少辉.干线公路旧水泥路面碎石化效果评价与分析[J].公路与汽运,2021(3):98-101.
- [18] 杨凯.路面底基层多锤头碎石化标准化施工[J].交通世界,2022(11):34-36.