

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2022.06.015

核子密度仪法与灌砂法检测路基压实度的相关性分析

王亚晓¹, 王来硕²

(1.湖南鑫途信息技术有限公司, 湖南 长沙 410001; 2.河南省濮阳市引黄工程管理处, 河南 濮阳 457000)

摘要: 压实度是评价道路基层施工质量的重要指标之一。文中以灌砂法作为压实度标准测定方法,对核子密度仪法的检测结果进行最小二乘法拟合,建立回归拟合方程,并分析其相关性和差异。经分析,核子密度仪法和灌砂法检测结果的相关系数大于 0.95,核子密度仪法的压实度检测结果可作为道路工程基层施工质量评定与验收依据。

关键词: 公路;路基;压实度;灌砂法;核子密度仪法;相关性分析

中图分类号:U416.1

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2022)06-0068-03

压实度反映路基内部密实状况,压实度越大,路基强度越高,稳定性越好,承载能力越强。工程上常用压实度检测方法包括环刀法、灌砂法、落锤频谱式快速测定仪法和核子密度仪法等。针对路基压实度检测,曹文贵等通过建立土石混填路基孔隙比和变形模量的相关计算模型,采用数值拟合方法建立了检测土石混填路基压实度的新方法;赵桂娟等采用灌砂法、环刀法、核子密度仪法、落锤频谱式快速测定仪法对路基压实度进行检测和回归分析,以灌砂法现场测试压实度为基准,分析了灌砂法与其他 3 种方法所测压实度的相关性;周瑞丰等采用核子密度仪法和钻芯法检测路基压实度,结果表明采用核子密度仪法检测路基压实度的可靠性和有效性较好;刘金修等分析落锤频谱式快速测定仪法、环刀法、核子密度仪法与灌砂法的差异及相关性,结果表明核子密度仪法所测结果的相关系数超过 0.9,可用作路基施工质量验收依据。本文采用灌砂法和核子密度仪法检测路基压实度,对测试结果进行比较及拟合,分析两种方法之间的相关性。

1 压实度现场检测

结合某公路试验段,采用灌砂法和核子密度仪法进行压实度测试。

(1) 灌砂法。该方法是施工现场检测压实度最常用的方法,对各类土层均适用,所测结果较准确,可控性强。但该方法对操作要求严格,是一种破坏性检测,且现场不易及时给出测试结果。采用灌砂法检测的试验段路基压实度见表 1。

(2) 核子密度仪法。该方法通过密度仪发射放射性元素检测路面、路基的密度和含水量。采用该方法进行检测可快速得到压实度结果,所需人工较少。但该方法对温度要求较高,当测试层温度与试验段温度不一致时,测量误差较大;所用放射性元素会对检测人员健康带来伤害;检测时需对道路钻孔,会破坏周围土体,并降低检测准确性。该方法通常用作对压实度的施工控制和快速检测,必要时可与其他方法结合使用。采用核子密度仪法检测的试验段路基压实度见表 2。

表 1 采用灌砂法检测的路基压实度

桩号	砂质量/g			试坑体 积/cm ³	试样质 量/g	湿密度/ (g·cm ⁻³)	含水 率/%	干密度/ (g·cm ⁻³)	压实 度/%	
	灌砂前	灌砂后剩余	锥体内							
K0+110	8 500	3 294	764	4 442	2 872	5 347	1.86	11.5	1.67	96.5
K0+130	8 500	3 316	764	4 420	3 145	5 831	1.85	12.1	1.65	95.6
K0+150	8 500	3 168	764	4 568	3 162	5 792	1.83	12.2	1.63	94.4
K0+170	8 500	3 345	764	4 391	2 901	5 298	1.83	11.6	1.64	94.6
K0+190	8 500	3 452	764	4 284	2 993	5 610	1.87	12.4	1.67	96.4
K0+210	8 500	3 453	764	4 283	3 122	5 921	1.90	11.9	1.69	98.0
K0+230	8 500	3 783	764	3 953	2 850	5 502	1.93	12.9	1.71	98.8

续表 1

桩号	砂质量/g				试坑体 积/cm ³	试样质 量/g	湿密度/ (g·cm ⁻³)	含水 率/%	干密度/ (g·cm ⁻³)	压实 度/%
	灌砂前	灌砂后剩余	锥体内	灌入试坑						
K0+250	8 500	3 451	764	4 285	2 820	5 378	1.91	11.5	1.71	98.9
K0+270	8 500	3 514	764	4 222	2 863	5 275	1.84	11.3	1.66	95.7
K0+290	8 500	3 845	764	3 891	2 878	5 345	1.86	11.8	1.66	96.0
K0+310	8 500	4 023	764	3 713	3 029	5 659	1.87	11.6	1.67	96.8
K0+330	8 500	3 434	764	4 302	2 854	5 254	1.84	11.7	1.65	95.3
K0+350	8 500	3 548	764	4 188	2 979	5 433	1.82	11.6	1.63	94.5
K0+370	8 500	3 871	764	3 865	2 848	5 309	1.86	11.4	1.67	96.7
K0+390	8 500	3 746	764	3 990	3 030	5 566	1.84	11.3	1.65	95.4

表 2 采用核子密度仪法检测的路基压实度

桩号	湿密度/ (g·cm ⁻³)	含水 率/%	干密度/ (g·cm ⁻³)	压实 度/%
K0+110	1.85	11.4	1.66	96.0
K0+130	1.84	11.8	1.65	95.1
K0+150	1.81	12.1	1.61	93.3
K0+170	1.82	11.5	1.63	94.4
K0+190	1.85	11.6	1.66	95.8
K0+210	1.87	11.8	1.67	96.7
K0+230	1.91	12.5	1.70	98.1
K0+250	1.88	11.2	1.69	97.7
K0+270	1.83	10.8	1.65	95.5
K0+290	1.83	11.7	1.64	94.7
K0+310	1.85	11.5	1.66	95.9
K0+330	1.83	11.5	1.64	94.9
K0+350	1.79	10.9	1.61	93.3
K0+370	1.84	11.3	1.65	95.6
K0+390	1.82	11.2	1.64	94.6

由表 1、表 2 可知:核子密度仪法检测的路基湿密度、干密度及压实度均小于灌砂法测试结果,表明核子密度仪法存在一定不足,需结合其他方法使用或对其进行改进换算。两种方法检测结果的均值、标准差、变异系数等参数见表 3,测试结果比较见图 1~3。

由表 3 可知:核子密度仪法所测湿密度、含水率、干密度及压实度均小于现场灌砂法所测结果。由于最大值、最小值、均值和标准差表示的是数据间的绝对值,无法直观地显示数据的相对性,选用变异系数进行比较分析。由图 1 可知:试验段路基的湿密度均比干密度大,这是因为干密度是在试样进行湿密度检测后通过蒸发水分进行测试的。从变异系数来看,灌砂法检测的湿密度最大,核子密度仪法检测的干密度最小。由图 2 可知:采用灌砂法检测含水

表 3 两种方法检测压实度的参数分析

参数	核子密度仪法				灌砂法			
	湿密度/ (g·cm ⁻³)	含水率/ %	干密度/ (g·cm ⁻³)	压实度/ %	湿密度/ (g·cm ⁻³)	含水率/ %	干密度/ (g·cm ⁻³)	压实度/ %
最大值	1.91	12.50	1.70	98.10	1.93	12.90	1.71	98.90
最小值	1.79	10.80	1.61	93.30	1.82	11.30	1.63	94.40
均值	1.84	11.60	1.65	95.40	1.86	11.80	1.66	96.20
标准差	0.03	0.38	0.02	1.37	0.03	0.43	0.02	1.39
变异系数	1.55	3.28	1.43	1.43	1.60	3.66	1.45	1.45

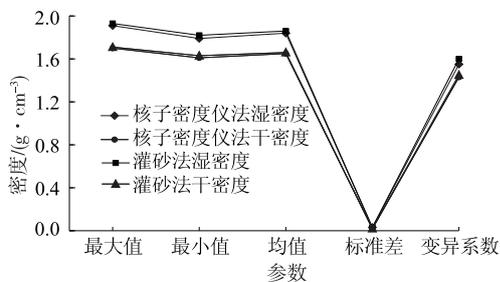


图 1 两种方法所测密度对比

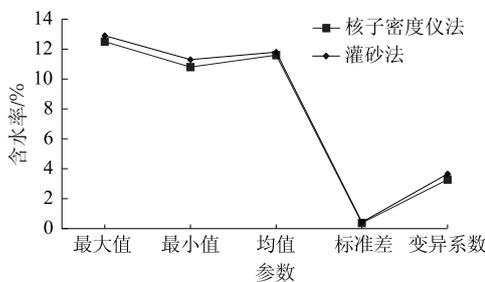


图 2 两种方法所测含水率对比

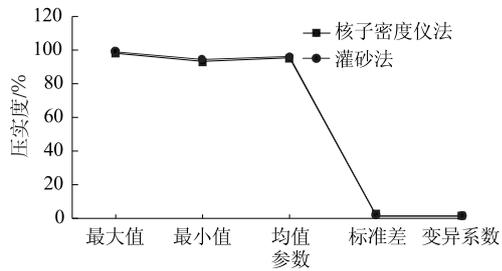


图3 两种方法所测压实度对比

率的效果最佳,这是由于灌砂法是洞探,检测厚度包括碾压层深度。由图3可知:两种方法所测路基压实度基本相同,表明两种方法在该试验段路基下具有很

好的一致性。核子密度仪法与灌砂法均可用于路基质量验收检测,但核子密度仪法的测试结果略小。

2 相关性分析

鉴于灌砂法适用性强,操作工艺成熟,以灌砂法为基准,拟合回归分析核子密度仪法与其之间的相关性,并拟合出两者间的换算公式,从而使核子密度仪检测的压实度更加合理、准确。采用最小二乘法对两种方法的测试数据进行拟合分析,选取指数、线性及二次多项式3种回归方程对数据进行拟合,分析结果见表4。

表4 灌砂法与核子密度仪法所测压实度的相关关系

参数	拟合方式	拟合方程	R^2
湿密度	线性	$y = 0.9270x + 0.1161$	0.9388
	指数	$y = 0.7252e^{0.5006x}$	0.9367
	二次多项式	$y = -0.1119x^2 + 1.3464x - 0.2767$	0.9388
含水率	线性	$y = 0.8422x + 1.6529$	0.9170
	指数	$y = 4.9688e^{0.0717x}$	0.9122
	二次多项式	$y = -0.1467x^2 + 4.3705x - 19.532$	0.9238
干密度	线性	$y = 0.9456x + 0.0760$	0.9275
	指数	$y = 0.6374e^{0.5713x}$	0.9255
	二次多项式	$y = -1.5696x^2 + 6.1930x - 4.3092$	0.9291
压实度	线性	$y = 0.9456x + 4.3927$	0.9275
	指数	$y = 36.8440e^{0.0099x}$	0.9255
	二次多项式	$y = -0.0272x^2 + 6.1930x - 249.09$	0.9291

由表4可知:1)两种方法所测试验段路基压实度具有较高的相关性,3种回归方程的拟合相关系数 R 均在0.95以上,核子密度仪法可用于路基质量验收检测。二次多项式的拟合效果最好,相关系数为0.964;线性函数次之,指数型最差。2)从参数分析的角度,相关性拟合效果由好到差依次为湿密度>干密度、压实度>含水率。湿密度采用线性函数和二次多项式拟合时相关系数最大,为0.969;含水率采用指数函数拟合时相关系数最小,为0.955,表明采用上述两种方法检测含水率的相关性较差,这是因为利用核子密度仪法测定含水率时会受现场环境和密度仪设备影响,且需要对其进行转化才能用于路基压实度计算,导致两种方法的相关性存在一定偏差。

两种方法测试的试验段路基压实度具有较高的相关性。在施工现场通常采用挖坑灌砂法测定干密度和湿密度,这是因为灌砂法取出的试样高度一般

是经过碾压机具压实后的路基结构层的厚度,该试样能较好地反映路基压实状况。核子密度仪易受现场基层温度等环境条件影响,其检测压实度可能会有较大偏差,相比其他检测方法,其测试结果偏小,并且根据以往检测结果,其与灌砂法所得压实度的相关性较差,这可能是由于钻洞时损坏了邻近土层或钻杆倾斜。因此,选取灌砂法作为压实度检测的标准方法。核子密度仪法因其方便、快捷等优点,可在工期加快的情况下快速检测压实度,但需先验证核子密度仪法与灌砂法之间的相关性。

3 结论

本文采用灌砂法和核子密度仪法对试验段的压实度进行测试,选用灌砂法作为现场检测压实度的标准方法,将两种方法的测试结果进行拟合,分析两者的相关性。结论如下:采用核子密度仪法测定的

(下转第74页)

2.2.3 水稳定性

采用浸水马歇尔试验评价沥青混合料的水稳定性。不同老化状况下 SBS 改性沥青混合料浸水马歇尔试验结果见图 8。

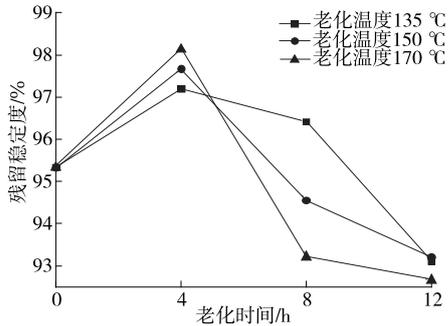


图 8 不同老化状况下 SBS 改性沥青混合料浸水马歇尔试验结果

由图 8 可知:SBS 改性沥青混合料的残留稳定度随老化时间增加呈先增加后减小的趋势。老化时间 4 h 内,残留稳定度随老化时间推移而增加,混合料的水稳定性得到改善,老化温度的影响较小;4 h 后,混合料的残留稳定度随老化时间增加而减小,老化温度对混合料水稳定性的影响增大。

3 结论

(1) SBS 改性沥青的针入度、延度随老化时间的推移呈减小趋势,软化点呈增大趋势,高温性能得到提高,黏度先减小后增大。与规范老化温度相比,老化温度越高,SBS 改性沥青的针入度、延度和黏度越小,但软化点增大。

(2) 随老化时间推移,SBS 改性沥青混合料的高温性能得到改善,低温性能减弱,残留稳定度随老

化时间增加先增加后减小。随老化温度提高,SBS 改性沥青混合料的高温性能有所增强,低温性能减弱,抗水损害性能下降。

参考文献:

[1] 李臣泽,陈保莲,王兴越,等.聚合物改性沥青老化研究现状[J].当代化工,2021,50(7):1676—1680.

[2] 杨永强,康秉铎,郭海东,等.活化胶粉/SBS 复合改性沥青短期老化性能[J].长安大学学报(自然科学版),2021,41(5):23—33.

[3] 陈捷.不同温度下 SBS 改性沥青老化性能比对试验[J].广东建材,2020,36(10):21—23.

[4] 高磊,喻金楼,聂桂海,等.SBS 改性沥青短期老化性能研究[J].北方交通,2021(1):54—57.

[5] 曹雪娟,高豪,李志豪,等.SBS 改性沥青老化特性研究[J].应用化工,2021,50(10):2739—2744.

[6] 马庆伟,高荣,张娟,等.沥青老化对沥青及沥青混合料性能的影响分析[J].公路交通科技(应用技术版),2012(3):76—78.

[7] 张永豪,唐国奇,魏艳萍,高温贮存 SBS 改性沥青对其混合料性能影响研究[J].公路工程,2021,46(4):157—162.

[8] 翟金陵,崔传炜.SBS 改性沥青施工老化的评价体系研究[J].石油沥青,2021,35(5):22—30+45.

[9] 高杰,王天林,张毅,等.沥青路面摊铺温度及压实度均匀性评价[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2019,42(1):102—107.

[10] 曹源文,周博,李升连,等.温度对沥青混合料摊铺运动场的影响[J].筑路机械与施工机械化,2020,37(增刊1):46—50.

收稿日期:2021—12—30

(上接第 70 页)

含水量与灌砂法的相关性较差;对两者检测结果采用线性、指数、二次多项式回归方程拟合,相关系数均在 0.95 以上,核子密度仪法和灌砂法之间的相关性和一致性较高,表明核子密度仪法值得推广使用。但在大规模施工基层或路基之前,应先验证核子密度仪法与灌砂法之间的相关性。

参考文献:

[1] 交通部公路科学研究院.公路路基路面现场测试规程:JTG 3450—2019[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2019.

[2] 湖南省交通科学研究院.核子密湿度仪:JJG(交通)068—2006[S].北京:化学工业出版社,2006.

[3] 曹文贵,胡天浩,罗宏,等.土石混填路基压实度检测新方法探讨[J].湖南大学学报(自然科学版),2008,35(2):22—26.

[4] 赵桂娟,郭平.高速公路路基压实度检测方法相关性分析[J].西安科技大学学报,2006,26(2):179—183.

[5] 周瑞丰,杨晓青,李彦杰.核子密度仪检测沥青混凝土路面压实度的应用[J].中外公路,2003,23(4):85—86.

[6] 刘金修,童申家,王乾.基于最小二乘法的路基压实度检测方法相关性研究[J].公路工程,2016,41(2):56—60.

收稿日期:2021—12—02