

无核密度仪在沥青路面密度测定中的应用

Application of Pavement Quality Indicator in Asphalt Pavement Density Measuring

彭余华¹, 刁红军², 李芳芳³, 孙大伟³

PENG Yu-hua¹, XI Hong-jun², LI Fang-fang³, SUN Da-wei³

1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064

2. 西安科技大学 能源学院, 陕西 西安 710064

3. 长安大学 工程机械学院, 陕西 西安 710064

1. Key Laboratory of Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China

2. School of Energy Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710064, China

3. School of Construction Machinery, Chang'an University, Xi'an 710064, China

【摘要】 针对传统方法对沥青路面密度测定时存在的费时费力、试验结果准确性与可靠性不稳定等问题, 提出了采用无核密度仪测量的方法, 同时对无核密度仪的基本原理以及测试范围进行了描述; 通过无核密度仪在现场试验路段中的应用, 得到了相应的数据并绘制了相应的图表, 通过分析得出: 无核密度仪应用于AC-20及其以下粒径沥青面层的密度测定结果可信度高, 测试方便、快速, 实时性高。

【Abstract】 Due to the problems which exist while measuring density of asphalt pavement using traditional methods, such as time consuming and laborious, instability of the accuracy and reliability of test result, the method of using pavement quality indicator for measurement is presented, and the principle and test scope are described. The chart for data obtained from practical use on on-site test pavement is drawn. The result indicates that using pavement quality indicator to measure density of AC-20 and asphalt pavement with lower grain diameter is reliable, convenient, quick and instant.

【关键词】 道路工程; 密度检测; 无核密度仪; 沥青面层

【Key words】 road engineering; density measuring; pavement quality indicator; asphalt pavement

中图分类号: U416.03

文献标识码: B

文章编号: 1000-033X(2008)06-0047-04

0 引言

在沥青路面施工过程中, 快速准确测定各面层的密度是保证沥青路面工程质量最重要的技术措施之一。按照传统方法, 沥青面层各层密度通常是先通过在施工现场钻芯取样, 然后将样芯送往实验室, 采用表干法、水中重法、蜡封法等进行测定。钻芯取样费时费力, 试验结果受人因素和设备等影响较大, 准确性和可靠性难以保证且具滞后性。因此该方法不能作为施工过程控制的有效手段^[1-2]。

无核密度仪(PQI, Pavement Quality Indicator)是一种无破损的路面检测设备, 能实时检测沥青面层施工过程中的面层压实度和密度, 具有测试方便、快速、实时等特点。在中

国, 使用PQI检测沥青路面密度还处于尝试阶段。

1 无核密度仪

PQI由美国TransTech Systems公司生产, 现已推出第2代。该仪器以微处理机为核心, 专门用于测量沥青路面压实度, 美国从20世纪90年代后期开始对PQI在公路行业的应用进行了较为系统的研究。PQI具有以下特点。

- (1) 采用无放射性材料。
- (2) 轻便、易用。
- (3) 最长工作时间12 h。
- (4) 测量密度可使用多种单位。

- (5) 可测量并补偿沥青路面的温度及湿度。
- (6) 内部可储存99个数据。
- (7) 数据可下载至计算机。

1.1 基本原理

沥青路面的密度和材料的介电常数存在一定的比例关系。通过测量沥青路面材料的介电常数, PQI可以直接、快速、准确地测试沥青路面的密度(图1)。它通过一个新型的环状电子电容感应场来测量材料的介电常数。这个环状电容由感应板和材料组成, PQI中的转换器将电场信号转换成材料的密度读数并显示。PQI测试密度的原理如图2所示。

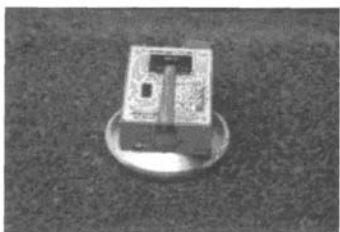


图1 PQI外观

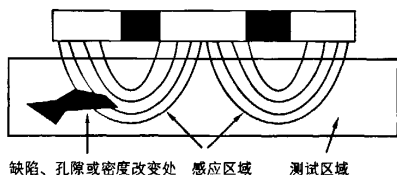


图2 PQI测试密度的原理

1.2 测试范围

PQI主要用于测试新铺沥青路面材料的密度(包括沥青路面结构层的上、中、下面层)。测试的每层沥青路面厚度范围为25.4~152.4 mm。PQI同样适用于无污染、表面平整无松散的旧沥青路面。

1.3 PQI标定

PQI通过测定得到沥青面层的不同特性值(介电常数), 然后同已知密度的混合料的特性值进行比较。对于不同型号的沥青混合料, PQI测定的特性值也不同。因此, 为了得到准确的密度测定值, PQI必须对测定的混合料进行标定。一旦对于每种特定的混合料标定后, 如果该种混合料被继续使用, 标定参数在以后仍将有效。PQI标定有如下具体步骤。

(1) 在路面上选定一个干燥而没有污染的区域, 在此区域内选定5个测试点(分别记作1*、2*、3*、4*、5*测点), 用粉笔在路面上做好标记以备取芯之用。

(2) 将PQI置于1*测点位置, 按下回车键, 不要接触PQI, 然后等待读数完成, 记录密度值。将PQI顺(逆)时针方向转动90°、180°、270°, 用同样的方法和步骤测定这3个方向的密度值, 取以上4个读数的平均值作为路面此点的PQI密度值。这样可以减小路面材料可能存在的各向异性 and 人为操

作等对测试结果的影响, 提高试验结果的准确度。

(3) 采用相同的方法分别测定2*、3*、4*、5*测点位置的PQI密度值。

(4) 分别在5个测点处钻芯取样, 记录5个芯样的实验室密度。

(5) 计算PQI密度值和芯样密度的净差值, 取5个净差值的平均值作为标定的偏差储存在PQI中。PQI标定过程中的相关数据如表1所示。

表1 PQI标定过程中的相关数据

位置	测点1*	测点2*	测点3*	测点4*	测点5*	kg·m ⁻³
测值1(0°)	2 302	2 317	2 326	2 312	2 307	
测值2(90°)	2 291	2 312	2 334	2 315	2 298	
测值3(180°)	2 299	2 315	2 335	2 318	2 311	
测值4(270°)	2 310	2 322	2 340	2 328	2 314	
平均值	2 300.5	2 316.5	2 333.75	2 318.25	2 307.5	
芯样密度	2 415.5	2 435.4	2 445.8	2 429.9	2 423.2	
差值	115	118.9	112.05	111.65	115.7	
标定值						114.66

2 PQI的现场试验研究

2.1 试验路一

安徽亳州(州)阜阳高速公路是安徽省30年公路网规划中的“三纵四横七连”骨架网中的西纵中的一段, 设计速度为120 km/h, 主线面层结构为6 cm AC-20沥青混凝土下面层+6 cm AC-20沥青混凝土中面层(改性沥青)+4 cm SMA-13沥青混凝土上面层。其中B标沥青下面层沥青为台湾产CPC AH-70, 其生产配合比如表2所示。

表2 沥青下面层AC-20生产配合比

项目	通过下列筛孔的质量百分率/%												
	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
合成级配	100	95.2	84.4	74.3	58.7	38.3	26.8	18.6	13.1	9.3	7.6	5.7	
规范上限	100	100	92	80	72	56	44	33	24	17	13	7	
规范下限	100	90	78	62	50	26	16	12	8	5	4	3	

2005年8月, 在亳州高速公路B合同段刚完工的沥青面层下面层AC-20中随机选择K38+410~K38+450和K40+400~K40+470作为测试路段, 间隔5 m取1个断面, 并在断面上任选1点用粉笔做标记, 用以比较PQI测试密度值与钻芯取样密度值的关系。先对2段沥青下面层共24个点用无核密度仪PQI测定其路面密度, PQI测试值取4个不同方向测试值(测值1、测值2、测值3、测值4)的平均值, 然后在标记处钻芯取样, 芯样的密度采用室内水中重法测定, 试验结果及分析如表3、表4所示。

由表3、表4可以看出: AC-20型沥青下面层的PQI测定密度单点4个方向数值变化较小, 最大均方差为20.6 kg/m³, 且平均值与取芯密度值的误差只有1处超过1.5%(为1.7%), 其他各处误差均在1%之内。它们的关系如图3、图4所示。

从图3、图4可以看出: 2段路面芯样密度与PQI密度的相

表3 9个点的PQI测试密度值与芯样密度对比

桩号	PQI密度测定值/(kg·m ⁻³)					室内试验 绝对误差/(kg·m ⁻³)	相对误差/ 差/%		
	测值1	测值2	测值3	测值4	平均值				
K38+450	2 334	2 336	2 339	2 326	2 334	5.6	2 316	-18	0.8
K38+445	2 369	2 362	2 372	2 363	2 367	4.8	2 348	-19	0.8
K38+440	2 385	2 391	2 386	2 384	2 387	3.1	2 389	2	0.1
K38+435	2 349	2 341	2 347	2 342	2 345	3.9	2 306	-39	1.7
K38+430	2 360	2 365	2 369	2 362	2 364	3.9	2 357	-7	0.3
K38+425	2 388	2 395	2 384	2 392	2 390	4.8	2 390	0	0
K38+420	2 395	2 399	2 387	2 409	2 398	9.1	2 421	23	1.0
K38+415	2 440	2 445	2 430	2 440	2 439	6.3	2 434	-5	0.2
K38+410	2 383	2 384	2 378	2 388	2 383	4.1	2 381	-2	0.1

表4 15个点的PQI测试密度值与芯样密度对比

桩号	PQI密度测定值/(kg·m ⁻³)					室内试验 绝对误差/(kg·m ⁻³)	相对误差/ 差/%		
	测值1	测值2	测值3	测值4	平均值				
K40+470	2 389	2 384	2 381	2 378	2 383	4.7	2 370	-13	0.5
K40+465	2 394	2 390	2 391	2 393	2 392	1.8	2 395	3	0.1
K40+460	2 448	2 416	2 412	2 451	2 432	20.6	2 435	3	0.1
K40+455	2 393	2 399	2 394	2 392	2 395	3.1	2 405	10	0.4
K40+450	2 389	2 389	2 385	2 404	2 392	8.4	2 400	8	0.3
K40+445	2 394	2 394	2 395	2 386	2 392	4.2	2 399	7	0.3
K40+440	2 387	2 386	2 389	2 386	2 387	1.4	2 399	12	0.5
K40+435	2 391	2 398	2 390	2 395	2 394	3.7	2 406	12	0.5
K40+430	2 391	2 396	2 398	2 391	2 394	3.6	2 400	6	0.3
K40+425	2 360	2 363	2 362	2 358	2 361	2.2	2 350	-11	0.5
K40+420	2 429	2 416	2 431	2 418	2 424	7.6	2 442	18	0.7
K40+415	2 379	2 391	2 381	2 385	2 384	5.3	2 377	-7	0.3
K40+410	2 426	2 421	2 414	2 422	2 421	5.0	2 445	24	1.0
K40+405	2 383	2 392	2 385	2 391	2 388	4.4	2 397	9	0.4
K40+400	2 392	2 396	2 397	2 394	2 395	2.2	2 420	25	1.0

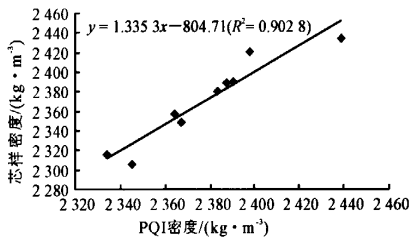


图3 9个点芯样密度与PQI密度的对比关系

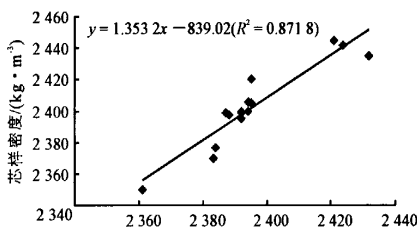


图4 15个点芯样密度与PQI密度的对比关系

关系数分别为0.902 8和0.871 8,说明采用PQI检测AC-20型沥青面层密度是可行的,试验结果可靠。

2.2 试验路二

浙江杭州(州)千岛湖高速公路(富阳段)是浙江省公路水路交通建设规划(2001~2015年)公路网主骨架的组成部分,双向六车道,行车速度为120 km/h;面层为3层沥青混凝土

结构,其中下面层采用AC-25型,其生产配合比如表5所示。

表5 杭千高速公路下面层AC-25生产配合比

项目	通过下列筛孔的质量百分率/%												
	31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
合成级配	100	98.7	80.3	72.5	62.5	55.9	42.9	25.5	19.6	13.2	8.8	6.9	5.0
规范上限	100	100	90	83	76	65	52	42	33	24	17	13	7
规范下限	100	90	75	65	57	45	24	16	12	8	5	4	3
规范中值	100	95	82.5	74	66.5	55	38	29	22.5	16	11	8.5	5

2005年7月,在杭千高速公路K15+300~K15+450右半幅路段,AC-25型沥青下面层采用沥青混合料转运车与摊铺机联合作业,分别在K15+350和K15+400桩号处的2个断面上等间距选择5个点,并用粉笔在路面上进行标记。先对2个断面共10个点用PQI测定密度,然后在标记处钻芯取样,芯样的密度在实验室测定,试验结果及分析如表6所示。

表6 10个点的PQI测试密度值与芯样密度对比

点号	PQI密度测定值/(kg·m ⁻³)					室内试验 绝对误差/(kg·m ⁻³)	相对误差/ 差/%			
	测值1	测值2	测值3	测值4	平均值					
K15+350	1	2 405	2 465	2 381	2 378	2 407	40.4	2 446	39	1.6
	2	2 434	2 360	2 411	2 453	2 415	40.2	2 443	29	1.2
	3	2 448	2 416	2 492	2 651	2 502	104.3	2 448	-54	2.2
	4	2 412	2 399	2 394	2 392	2 399	9.0	2 445	46	1.9
K18+400	5	2 460	2 489	2 485	2 504	2 485	18.3	2 450	-35	1.4
	1	2 435	2 415	2 395	2 386	2 408	21.8	2 440	32	1.3
	2	2 398	2 386	2 389	2 386	2 390	5.7	2 449	59	2.4
	3	2 420	2 398	2 690	2 655	2 541	153.1	2 455	-86	3.5
	4	2 428	2 396	2 372	2 391	2 397	23.3	2 445	48	2.0
5	2 527	2 546	2 462	2 488	2 506	37.9	2 463	-43	1.7	

由表6可以看出,AC-25型沥青下面层的PQI测定单点4个方向的密度值变化较大,最大均方差达153.1 kg/m³,说明离散性较大,且平均值与取芯密度值的最大相对误差为3.5%,绝大部分点的误差都超过1.5%。它们的关系如图5所示。

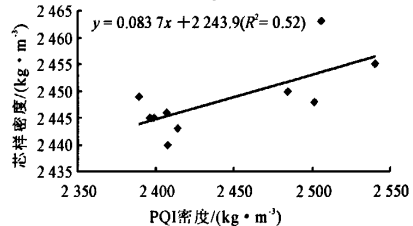


图5 10个点芯样密度与PQI密度的对比关系

从图5可以看出;2个断面的路面芯样密度与PQI密度的相关系数为0.52,说明使用PQI用于AC-25型沥青下面层密度检测误差较大,试验结果缺乏可信度^[3-5]。

3 PQI应用分析

PQI反映的是仪器底面下材料密度的平均值,因此PQI底面下测定层必须摊铺平整,以使仪器底面与被测定层完全接触。测定层表面不干净、有松散体或测定层路面潮湿等

都会对测试结果有较大影响。显然,PQI更适用于表面相对光滑的路面密度测定,相对于构造深度较大、公称最大粒径较大的沥青层而言,PQI测定构造深度小、公称最大粒径较小的沥青层的密度结果可靠度较高。

相对于AC-25型沥青面层,AC-20型沥青面层的构造深度和公称最大粒径较小,PQI测定时各个方向的平稳性更高,故AC-20型沥青面层的PQI密度4个方向的数值波动性较小,与芯样密度相关性较好,数值相对误差较小,可信度高;而AC-25型沥青面层的PQI密度4个方向的数值波动性较大,与芯样密度的相关性较差,数值相对误差也较大,可信度低。基于以上分析,对于测定公称最大粒径更小的AC-16、AC-13等类型的沥青面层,由于其表面较平整,故使用PQI进行密度测试,试验结果应该是有效而可靠的。另外,沥青混合料的粒径较大,在施工过程中发生集料离析的可能性增加,使得路面的均匀性降低,路面材料表现出更大的各向异性,因此PQI测定较大粒径的沥青混合料路面的密度时,试验结果的离散性也较大。

由于PQI轻巧、使用方便且测试快速,应用于公称最大粒径较小的沥青面层施工质量过程控制中,能实时监测沥青面层的施工质量,及时发现施工过程中存在的质量缺陷,从而更好地保证路面的工程质量。

工作内容之一。按照传统的钻芯取样方法,面层密度试验过程较长,试验结果受人为因素和试验设备影响较大,费时费力,且钻芯会对路面造成不同程度的损害。通过2个工程项目的大量现场试验研究,证明PQI用于沥青面层的密度测试是可行的。它适用于AC-20及其以下粒径类型的沥青面层的密度测试,试验结果可信度高,具有测试方便、快速、实时等特点。对于AC-25及其以上粒径类型的沥青层密度测试,由于仪器底面平稳性较差且路面表面构造深度较大,并且路面材料表现出更大的各向异性,PQI的密度测试结果可靠度较低。

参考文献:

- [1] 尹如军,伍石生.热拌沥青混合料密度的确定和测定方法[J].长安大学学报:自然科学版,2004,24(1):17-20.
- [2] 周卫峰,赵可,孟庆管,等.测定沥青混合料最大理论相对密度的浸渍法[J].中国公路学报,2007,20(1):24-29.
- [3] 沈金安.关于沥青混合料的均匀性和离析问题[J].公路交通科技,2001,18(6):20-24.
- [4] 彭勇,孙立军,董瑞琨.沥青混合料均匀性评价新方法的探讨[J].同济大学学报:自然科学版,2005,33(2):166-168.
- [5] 戴文斌.沥青混合料配合比设计与压实度标准[J].公路,2001,46(10):52-56.

收稿日期:2007-11-25

[责任编辑:张宗涛]

4 结语

沥青面层的密度检测是路面工程质量控制中最重要的

欢迎申请加入《中国交通学术期刊审稿专家库》

《中国交通学术期刊审稿专家库》是由《中国公路学报》、《交通运输工程学报》、《长安大学学报》、《筑路机械与施工机械化》等长安大学杂志社编辑出版的权威学术期刊共同构建的为审稿服务的专家数据库。目前面向交通行业(包括公路、桥梁、隧道、交通工程、汽车工程、经济管理、物流、铁路、航空、水运、工程机械等领域)邀请审稿专家。希望得到交通行业各位专家的大力支持!

申请条件:凡具有正高职称或拥有博士学位且具有副高职称的专家均可申请加入该专家库。

申请办法:

(1) 登陆长安大学杂志社网站(<http://zjs.chd.edu.cn/>),点击"审稿专家库"栏目即可进入《中国交通学术期刊审稿专家库》,然后在线填写专家登记表。

(2) 直接下载专家登记表(下载地址:<http://zjs.chd.edu.cn/sgzj.doc>)填写完毕之后发送至E-mail:sgzjk@163.com。

地址:西安市南二环路中段长安大学杂志社 邮编:710064

电话:029-82334381 传真:029-82334536 联系人:芮海田