

排水沥青混合料最大理论相对密度确定方法

陈华鑫¹, 矫芳芳², 林楠³

(1. 长安大学 材料科学与工程学院, 陕西 西安 710061; 2. 山东高速工程检测有限公司, 山东 济南 250002;
3. 西安铁道职业技术学院, 陕西 西安 710014)

摘要: 为了准确地测试排水沥青混合料最大理论相对密度, 通过片麻岩和玄武岩两种石料的混合料试验, 比较了理论计算法、真空实测法、溶剂法, 以及沥青浸渍法几种不同的测试方法对排水沥青混合料最大理论相对密度的影响, 分析了各试验数据的准确性和平行试验误差. 结果表明, 采用真空实测法测试排水沥青混合料最大理论相对密度是比较合理的. 同时分析了影响真空实测法试验结果的主要因素, 提出该试验的关键: 松散沥青混合料试样要充分分散, 抽真空时间 15 min.

关键词: 排水沥青混合料; 最大理论相对密度; 真空实测法
中图分类号: U 414 **文献标识码:** A

Methodology Study of Determining Maximum Theoretical Relative Density of Drainage Asphalt Mixture

CHEN Huaxin¹, JIAO Fangfang², LIN Nan³

(1. School of Material Science and Engineering, Chang'an University Xi'an 710061, China; 2. Shandong Expressway Engineering Testing Co., Ltd., Ji'nan 250002, China; 3. Xi'an Railway Vocational & Technical Institute, Xi'an 710014, China)

Abstract: Based on the tests of gneiss and basalt, the methods of the theoretical calculation, vacuum measurement, solvent and asphalt impregnation were compared to analyze the accuracy of the test data and parallel test errors to accurately test maximum theoretical relative density of drainage asphalt mixture. The results indicate that the measurement method by vacuum drainage asphalt mixture is more reasonable. Meanwhile, an analysis was made of the factors influencing the results by test methods of vacuum. A proposal was put forward that asphalt mixture be fully dispersed, and 15 min for vacuuming be a must.

Key words: drainage asphalt mixture; maximum theoretical relative density; test methods of vacuum

排水沥青混合料采用空隙率作为关键设计参数, 而空隙率又与沥青混合料的最大理论相对密度有关. 因此, 最大理论相对密度的准确性直接关系到排水沥青混合料配合比设计结果和最佳沥青用量的确定. 同时, 排水沥青混合料的最大理论相对密度也是沥青路面压实度控制的关键指标之一, 其准确性也直接影响到排水沥青路面的施工质量. 故最大理论相对密度已成为排水沥青混合料设计、施工和质量评价中的一个重要的技术参数.

对于沥青混合料的最大理论相对密度, 美国和欧洲均采用实测的方法, 美国用真空法, 欧洲用溶剂法^[1]. 我国老的《公路沥青路面施工技术规范》(JTJ 032—1994)^[2]中则采用计算法, 依据各种矿料的密度和沥青密度以及它们占矿料总质量的百分率来计算最大理论相对密度. 显然, 根据不同矿料密度计算得到的最大理论相对密度也不同. 具体有以下几种: ①采用矿料表观相对密度; ②采用矿料毛体积相对密度; ③采用矿料表干相对密度; ④采用矿料的毛体积相对密度与表观相对密度的平均值; ⑤采用矿料的表观相对密度和表干相对密度的平均值. 这样计算得到的最大理论相对密度也不尽相同, 直接影响混合料配合比设计结果.

《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—04)^[3]则规定: 普通沥青混合料采用实测法. 在比较了真空法和溶剂法两种实测法后, 规定真空法作为我国沥青混合料理论最大密度实测的标准方法. 对于改性沥青混合料或 SMA 混合料, 由于分散困难, 允许采用计算法, 计算时采用矿料的有效相对密度(由矿料的合成毛体积相对密度与合成表观相对密度计算确定)计算混合料的最大理论相对密度.

另外, 周卫峰等人^[4]提出用沥青浸渍法来测定

收稿日期: 2009-12-21

基金项目: 交通运输部应用基础研究项目(2008-319-812-010)

第一作者: 陈华鑫(1973—), 男, 教授, 工学博士, 博士后, 主要研究方向为新材料改性技术及路面养护管理.

E-mail: hxchen@chd.edu.cn

通讯作者: 矫芳芳(1985—), 女, 助理工程师, 工学硕士, 主要研究方向为道路检测. E-mail: jff850218@163.com.

沥青混合料最大理论相对密度. 浸渍法是以沥青为介质,在合适的试验条件下,介质能够进入混合料内部的开口和闭口空隙中,从而使得混合料空隙率为零.排水沥青混合料由于自身结构的特殊性,空隙情况十分复杂.严格来讲,确定相对密度,在理论上没有一个绝对准确的方法,但对于排水沥青混合料,影响其设计、施工和质量评价中的一个重要的技术参数的测试方法,必须统一.所以,开展排水沥青混合料最大理论相对密度测定方法的研究十分重要.

1 原材料与试验方法

1.1 沥青

采用新加坡的 ESSO 70 号基质沥青,以及日本大有株式会社专为排水性路面结合料而开发的 TPS 高粘度改性剂,改性剂的质量掺量是 12%.

1.2 矿料

粗集料采用临潼龙凤石料场加工生产的闪长片麻岩和浙江生产的玄武岩,细集料采用涇阳口镇宇泽机制砂厂生产的石灰岩机制砂.

1.3 试验级配

两种石料的试验级配均按照目标空隙率 20% 确定,具体结果如表 1 所示.

表 1 试验用矿料级配组成
Tab.1 Composition of aggregate gradations

筛孔/mm	片麻岩/g	玄武岩/g
16.000	100.0	100.0
13.200	97.2	94.7
9.500	61.3	70.1
4.750	18.8	20.3
2.360	16.3	14.0
1.180	12.2	10.9
0.600	10.1	9.4
0.300	8.0	7.8
0.150	7.1	7.0
0.075	5.7	5.5

2 不同测定方法试验结果分析

采用片麻岩和玄武岩两种石料,在三种油石比下,分别用规范中的两种计算方法,真空法、溶剂法和浸渍法三种实测方法计算和试验分析,从而确定出适合排水沥青混合料最大理论相对密度测试的方法.

2.1 不同方法对最大理论相对密度的影响

由表 2、表 3 和图 1a,b 可以看出,两种石料相同

级配的排水沥青混合料不同沥青用量的最大理论相对密度(γ_a)的大小趋势是一致的.按沥青浸渍法计算最大,按矿料毛体积密度计算最小.分析原因,按矿料毛体积相对密度 G_{sb} 计算的假设条件是任何沥青都不进入矿料的开口孔隙中,或矿料以毛体积出现在沥青混合料中.但实际情况下,沥青不可能一点都不进入矿料内或开口孔隙中,所以,其最大理论相对密度数值必然偏小;按沥青浸渍法,希望以沥青为介质,得到沥青混合料最大理论相对密度,但是在试验过程中,不能保证矿料对沥青不产生二次吸收,所以,其最大理论相对密度数值必然偏大.按矿料表观相对密度 G_{sa} 、表干相对密度 G_{ss} 计算法, G_{sa} 和 G_{sb} (矿料毛体积相对密度)的平均值,以及 G_{sa} 与 G_{ss} 的平均值计算沥青混合料最大理论相对密度,都是通过吸水率来考虑的.但实际上,沥青吸收率与水的吸收率是完全不同的,沥青吸收率不但与矿料总空隙率有关,而且受空隙的尺寸和分布的影响很大.研究表明^[5],不同的矿料虽然吸水率相同,但由于空隙的尺寸和分布不同,造成沥青吸收率有较大的区别.

表 2 片麻岩最大理论相对密度

Tab.2 Maximum theoretical relative density of gneisses

序号	计算或测试方法	油石比/%		
		4.0	4.6	5.2
1	按 G_{sa} 计算	2.581	2.559	2.538
2	按 G_{sb} 计算	2.536	2.514	2.494
3	按 G_{ss} 计算	2.552	2.530	2.509
4	按 G_{sa} 和 G_{sb} 平均值计算	2.558	2.537	2.516
5	按 G_{sa} 和 G_{ss} 平均值计算	2.566	2.545	2.523
6	按 G_{sc} 计算	2.570	2.548	2.527
7	真空法实测	2.577	2.554	2.531
8	溶剂法实测	2.617	2.586	2.566
9	浸渍法实测	2.667	2.641	2.597

注: G_{sc} 指矿料合成有效相对密度.

表 3 玄武岩最大理论相对密度

Tab.3 Maximum theoretical relative density of basalts

序号	计算或测试方法	油石比/%		
		4.0	4.6	5.2
1	按 G_{sa} 计算	2.696	2.674	2.647
2	按 G_{sb} 计算	2.609	2.589	2.564
3	按 G_{ss} 计算	2.639	2.618	2.592
4	按 G_{sa} 和 G_{sb} 平均值计算	2.652	2.631	2.605
5	按矿料 G_{sa} 和 G_{ss} 平均值计算	2.667	2.646	2.620
6	按 G_{sc} 计算	2.665	2.641	2.617
7	真空法实测	2.674	2.645	2.619
8	溶剂法实测	2.700	2.667	2.648
9	浸渍法实测	2.727	2.712	2.660

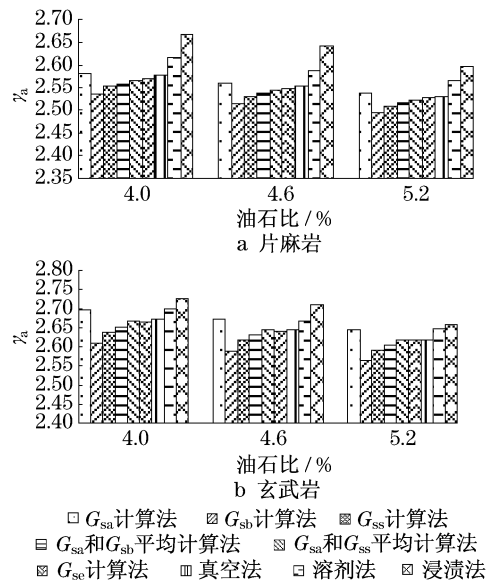


图 1 两种石料的理论最大相对密度

Fig.1 Maximum theoretical relative density of gneisses and basalts

由上述图表还可以看出,真空实测法与按照矿料有效相对密度 γ_a 计算所得的理论最大相对密度结果基本一致,且介于所有测试结果中间.按矿料的有效相对密度计算,是目前理论算法中假设条件相对合理、考虑因素较多且最为准确的求解沥青混合料最大理论相对密度的方法,由此可以说明真空实测法的有效性.

2.2 最大理论相对密度对沥青混合料空隙率的影响

由表 4、表 5 和图 2a, b 可以看出,两种石料在不同的油石比、不同测试方法得到的最大理论相对密度下求到的空隙率大小趋势是一致的.按沥青浸渍法计算最大,按矿料毛体积密度计算最小.

表 4 片麻岩在不同最大理论相对密度下的空隙率

Tab.4 Air voids obtained from different maximum theoretical relative densities of gneisses %

序号	计算或测试方法	油石比 / %		
		4.0	4.6	5.2
1	按 G_{sa} 计算	21.4	19.9	18.4
2	按 G_{sb} 计算	20.1	18.5	16.9
3	按 G_{ss} 计算	20.6	19.0	17.4
4	按 G_{sa} 和 G_{sb} 平均值计算	20.7	19.2	17.7
5	按 G_{sa} 和 G_{ss} 平均值计算	21.0	19.4	17.9
6	按 G_{sc} 计算	21.1	19.5	18.0
7	真空法实测	21.3	19.7	18.1
8	溶剂法实测	22.5	20.7	19.3
9	浸渍法实测	24.0	22.4	20.2

表 5 玄武岩在不同最大理论相对密度下的空隙率

Tab.5 Air voids obtained from different maximum theoretical relative densities of basalt %

序号	计算或测试方法	油石比 / %		
		4.0	4.6	5.2
1	按 G_{sa} 计算	22.3	20.8	19.4
3	按 G_{sb} 计算	19.7	18.2	16.8
3	按 G_{ss} 计算	20.6	19.1	17.7
4	按 G_{sa} 和 G_{sb} 平均值计算	21.0	19.5	18.1
5	按 G_{sa} 和 G_{ss} 平均值计算	21.5	19.9	18.5
6	按 G_{sc} 计算	21.4	19.8	18.4
7	真空法实测	21.5	19.9	18.5
8	溶剂法实测	22.4	20.6	19.4
9	浸渍法实测	23.2	21.9	19.8

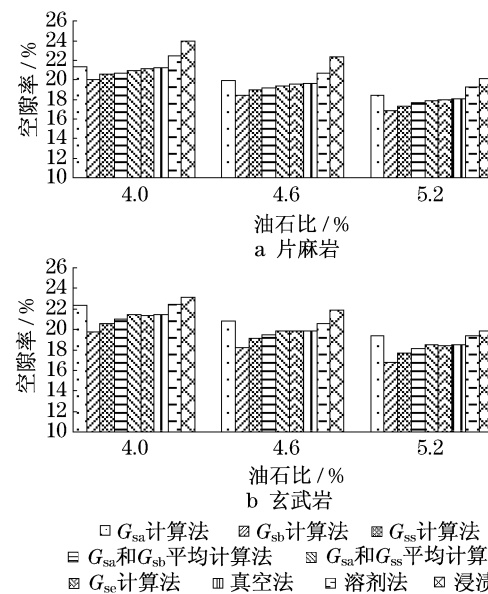


图 2 两种石料在不同最大理论相对密度下的空隙率

Fig.2 Air voids obtained from different maximum theoretical relative densities of basalts and gneisses

2.3 两种石料不同实测方法最大理论相对密度数据差异性分析

在表 6 和表 7 中,先计算沥青混合料在不同油石比下的最大理论相对密度,再根据油石比及最大理论相对密度计算合成集料的有效相对密度 γ_b .理论上,计算得到的合成集料的有效相对密度是相同的,因此,可根据合成集料的有效相对密度的离散性评价不同实测方法的准确性.

合成集料有效相对密度变异性分析如表 8 和表 9 所示.

表6 片麻岩在不同实测方法下合成集料的有效相对密度

Tab.6 Synthetic aggregate effective relative density of gneisses based on different experimental methods

油石比/%	真空法				溶剂法				浸渍法			
	γ_a		γ_b		γ_a		γ_b		γ_a		γ_b	
	试验值	平均值	试验值	平均值	试验值	平均值	试验值	平均值	试验值	平均值	试验值	平均值
4.0	2.576	2.577	2.758	2.758	2.623	2.617	2.814	2.807	2.658	2.667	2.856	2.867
	2.577		2.759		2.612		2.800		2.677		2.878	
4.6	2.553	2.552	2.759	2.757	2.579	2.586	2.791	2.799	2.649	2.641	2.877	2.867
	2.550		2.755		2.592		2.807		2.633		2.857	
5.2	2.532	2.528	2.762	2.757	2.572	2.566	2.812	2.804	2.591	2.597	2.836	2.844
	2.524		2.752		2.559		2.796		2.604		2.852	

表7 玄武岩在不同实测方法下合成集料的有效相对密度

Tab.7 Synthetic aggregate effective relative density of basalts based on different experimental methods

油石比/%	真空法				溶剂法				浸渍法			
	γ_a		γ_b		γ_a		γ_b		γ_a		γ_b	
	试验值	平均值	试验值	平均值	试验值	平均值	试验值	平均值	试验值	平均值	试验值	平均值
4.0	2.671	2.668	2.871	2.867	2.701	2.700	2.907	2.906	2.725	2.727	2.937	2.938
	2.665		2.864		2.699		2.905		2.728		2.940	
4.6	2.647	2.645	2.874	2.872	2.663	2.667	2.894	2.899	2.704	2.712	2.945	2.954
	2.643		2.869		2.671		2.904		2.719		2.963	
5.2	2.614	2.619	2.865	2.872	2.653	2.648	2.914	2.907	2.662	2.660	2.926	2.923
	2.624		2.878		2.642		2.901		2.658		2.921	

由表8和表9可以看出,真空法测定的合成集料有效相对密度的变异性均小于溶剂法和沥青浸渍法,因此,真空法的数据准确。

表8 片麻岩合成集料有效相对密度变异性

Tab.8 Variation of synthetic aggregate effective relative density of gneisses

试验方法	极差	均值	标准差	变异系数/%
真空法	0.010	2.758	0.004	0.127
溶剂法	0.023	2.803	0.009	0.327
浸渍法	0.042	2.859	0.016	0.559

表9 玄武岩合成集料有效相对密度变异性

Tab.9 Variation of synthetic aggregate effective relative density of basalts

试验方法	极差	均值	标准差	变异系数/%
真空法	0.014	2.870	0.005	0.186
溶剂法	0.020	2.904	0.007	0.228
浸渍法	0.042	2.939	0.015	0.507

通过以上分析可以看出,真空法一般不必考虑矿料和沥青本身的技术参数,是一种容易在工程单位推广的试验方法,但在实测时也必须注意许多问题.下一节将进一步分析真空实测法的影响因素。

3 真空法影响因素分析研究

从实际使用情况和试验效果来看,加强对真空

法实测最大理论密度的研究,提高真空法试验的准确度,对完善排水沥青混合料配合比设计具有重要意义.真空法的缺点是改性沥青难于分散,沥青膜可能破裂等问题,所以,有必要对这些问题进行专项试验。

3.1 混合料分散度

真空法借助抽真空使开口孔隙中的空气排出来,同时让水进入.应该说,开口孔隙愈少,测定的结果愈准确,反之,则愈不准确.因此试验规程^[6-8]规定,细集料团块分散到6.4 mm以下.在试验中,沥青混合料的分散与否,影响到底有多大?试验在同种石料、同种级配、不同油石比的情况下,对混合料以分散和不分散来进行最大理论相对密度真空实测法试验.试验结果如表10所示。

表10 最大理论相对密度与混合料分散的关系

Tab.10 Relationship between maximum theoretical relative density and dispersed mixture

油石比/%	分散		未分散	
	γ_b	平行误差/%	γ_b	平行误差/%
4.0	2.576	0.001	2.553	0.016
	2.577		2.537	
4.6	2.553	0.002	2.544	0.015
	2.550		2.559	
5.2	2.532	0.008	2.523	0.013
	2.524		2.510	

由表 10 可以看出,当沥青混合料分散时,随着油石比的增大,平行误差也在增大.当油石比是 5.2 时,平行误差达 0.008,但还是满足文献中不大于 0.011 的要求.当沥青混合料不分散时,平行误差都超过 0.011,满足不了试验精度的要求.由于排水沥青混合料一般使用的都是改性沥青,所以在采用真空法实测最大理论相对密度时,细集料一定要分散到试验规程要求的程度.具体分散过程如下:

①当沥青混合料拌和完成后,立即取出并倒在已经准备好的干净铁板上.在倒混合料时一定要分散倒开,以利于进一步分散.

②用铲刀不时地翻炒沥青混合料,一是为了防止沥青混合料过多地粘在铁板上,导致油石比不准确;二是防止混合料之间相互粘连.

③待沥青混合料的温度降到大约 60~70 °C 时,带上胶皮手套,双手把结团的混合料搓开,尽量使其达到规范的要求值.

3.2 抽真空时间

试验在同种石料同种级配不同油石比的情况下,通过不同的真空时间来测试最大理论相对密度.抽真空的时间为累计时间,即真空时间 5 min 时测得一个最大理论相对密度,再继续抽空气 5 min,得真空时间 10 min 的结果.依此类推.每次称量沥青混合料与负压容器充满水的质量时,要保证混合料不露出水面,以防空气进入开口孔隙使得相对体积变化.试验结果如表 11 所示.

表 11 最大理论相对密度与抽真空时间的关系

Tab. 11 Relationship between maximum theoretical relative density and vacuum time

油石比/%	真空时间/min					
	5	10	15	20	30	1 245
4.0	2.569	2.575	2.575	2.575	2.575	2.603
	2.574	2.578	2.578	2.578	2.578	2.609
4.6	2.537	2.553	2.553	2.553	2.553	2.573
	2.553	2.553	2.553	2.553	2.553	2.570
5.2	2.516	2.526	2.526	2.526	2.526	2.559
	2.526	2.532	2.532	2.532	2.532	2.564

表 11 的试验结果表明,抽真空 10 min 时,数据已经达到稳定,在 15 min 甚至 30 min 时,并没有出现抽真空过长、最大理论相对密度增大的情况.而当混合料浸入水中 1 200 min(20 h)后,测量的结果明显偏大.原因是真空抽得太厉害,矿料表面的沥青膜可能被破坏;当真空释放时,水就会进入沥青膜内.由于混合料体积是由水置换法确定的,这种不必吸

入的水导致试件体积变小,从而导致最大理论相对密度增大.

一般来说,能排除空气泡的最短时间是最佳的.在不影响试验结果的条件下,能满足试验精度要求,简化试验程序,应该尽量使工程单位应用方便.故建议对于排水沥青混合料,统一规定抽真空时间 15 min.

3.3 真空法试验简化^[9]

我国沥青混合料设计普遍采用马歇尔设计法,包括排水沥青混合料.在矿料级配确定后,一般要做 5 组不同油石比的马歇尔试件,所以要测 5 组最大理论相对密度,至少进行 10 次真空实测试验.既增大了工作量,也潜在地降低了试验数据的精确度.由表 2,7 可以看出,随着油石比的增大,平行误差也在增大.为了提高真空实测法的工作效率和精确度,在分析计算公式后,可以看到,在矿料配合比确定之后,不管油石比怎么变, $p_1/\gamma_1 + p_2/\gamma_2 + \dots + p_n/\gamma_n$ 是一个不变的常数($p_1, p_2 \dots p_n$ 表示各种矿料的配合比,其和为 100; $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$ 表示各种矿料的密度),因此,只需要通过真空法实测出一组油石比的最大理论相对密度,带入计算公式中,就可以反算出 $p_1/r_1 + p_2/r_2 + \dots + p_n/r_n$,从而计算出其他几组油石比下的最大理论相对密度.这样仅需 2 个真空实测试验就可以完成规范要求的 10 次测定工作.

另外,通过以上分析可知,该方法的精确度取决于通过真空实测法所得的那组最大理论相对密度的精度.其精度越高,经过计算得到的其他油石比的精确度也就相应地越高.因此,选取最佳沥青用量或其周边数值进行真空实测,作为计算其他油石比最大理论相对密度的依据,可以提高结果的精确度和可靠度.

4 结论

(1) 不同测定方法会引起排水沥青混合料最大理论相对密度比较大的差异.所以,统一测定方法,对设计、施工和质量评价指导意义重大.

(2) 真空实测法变异性小,相对准确,是一种容易在工程实际中推广的试验方法.

(3) 在进行真空实测法时,排水沥青混合料的细集料必须分散到试验规范要求;抽真空时间统一采用 15 min 是合理的;适当地简化试验,可以大大提高真空实测法的效率和精确度.

(下转第 555 页)