

文章编号:1674-2869(2018)03-0296-05

冷拌超薄罩面沥青混合料最佳级配和油石比的研究

王 富¹, 姜 艺², 钱俊懿²

1. 武汉工程大学交通研究中心, 湖北 武汉 430074;
2. 武汉轻工大学土木工程与建筑学院, 湖北 武汉 430023

摘 要: 利用标准马歇尔实验, 测定 SMA-10、Novachip Type B 与 UTAC-10 三种级配的稳定性、空隙率和饱和度, 确定冷拌超薄罩面沥青混合料最佳级配; 利用修正马歇尔方法, 确定 SMA-10、Novachip Type B 与 UTAC-10 三种级配的沥青混合料最佳油石比。研究表明: 从稳定性方面看, SMA-10 与 UTAC-10 级配比 Novachip Type B 级配高 46.9%; 从空隙率方面看, SMA-10 级配的沥青混合料比 Novachip Type B 与 UTAC-10 级配小 32.7%, 由此得出 SMA-10 的级配更优的结论; SMA-10、Novachip Type B 与 UTAC-10 三种级配沥青混合料的最佳油石比分别为 5.3%、4.7% 和 5.0%。

关键词: 道路工程; 冷拌超薄沥青混合料; 矿料级配; 油石比

中图分类号: U491.51 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1674-2869.2018.03.013

Optimum Grading and Aggregate Ratio of Ultra-Thin Overlay of Cold Asphalt Mixture

WANG Fu¹, JIANG Yi², QIAN Junyi²

1. Transportation Research Center, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China;
2. School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, China

Abstract: The stability, void ratio and saturation index of SMA-10, Novachip Type B and UTAC-10 were measured to determine optimum gradation of the ultra-thin overlay of cold asphalt mixture with standard Marshall experiment. The aggregate ratio of SMA-10, Novachip, Type B and UTAC-10 was also determined with the modified Marshall experiment. The results showed that the stabilities of SMA-10 and UTAC-10 were 46.9% higher than that of Novachip Type B; the void ratio of SMA-10 was 32.7% smaller than those of Type B and UTAC-10. Therefore, SMA-10 is the optimum asphalt aggregate gradation, the optimum bitumen aggregate ratios of SMA-10, Novachip Type B and UTAC-10 were respectively 5.3%, 4.7% and 5.0%.

Keywords: road engineering; ultra-thin cold asphalt mixture; aggregate gradation; bitumen aggregate ratio

间断级配和连续级配都适用于冷拌沥青混合料, 两者对冷拌沥青混合料的最大区别在于: 采用间断级配拌制的沥青混合料结构强度高, 黏结力虽较小但仍能满足要求; 采用连续级配拌制的沥青混合料, 可以避免发生离析现象, 连续级配是集料更常用的级配, 因此本研究试验的集料级配采

用连续级配。各国对冷拌超薄罩面沥青混合料级配均有不同程度的研究, 其中日本在《简易铺装要纲》里收录了大多数能与乳化沥青拌合的集料级配, 相比其他国家较为全面; 美国、法国和西班牙对适用于冷拌沥青的集料级配做了归纳^[1-2]; 中国主要在阳离子沥青混合料级配方面做了大量研

收稿日期: 2017-03-13

基金项目: 国家自然科学基金(51408445); 武汉建设科技计划项目(201709)

作者简介: 王 富, 博士, 副教授。E-mail: 550616898@qq.com

引文格式: 王富, 姜艺, 钱俊懿. 冷拌超薄罩面沥青混合料级配设计及油石比的研究[J]. 武汉工程大学学报, 2018, 40(3): 296-300.

究,并将其级配进行归类。根据国外的冷拌混合料级配范围要求研究发现,密级配进行热拌和冷拌,其级配要求有所不同。这种情况在国内的很多规范和手册中也能体现,究其原因,乳化沥青比沥青多了个乳化的过程,虽然多了一个先将沥青与水溶合再从水中分离出来的过程,但乳化沥青的实质仍是沥青。因此,两者都是对骨料进行粘结并形成一个整体,对骨料的要求相同。在《公路沥青路面施工技术规范》^[3]中提到,部分级配既可以用于热拌也可以用于乳化沥青碎石混合料,但矿粉的含量对乳化沥青的破乳时间有一定的影响。

冷拌超薄罩面沥青混合料是集料与沥青等其他材料拌合而成,其中沥青的含量是影响其性质的重要因素。当拌合的沥青含量较多时,在摊铺过程中可能会出油,间接导致其高温稳定性降

低^[4-5]。当拌合的沥青含量较少时,混合料的胶结力不够、骨料胶结不够密实。因此对冷拌超薄罩面沥青而言,最佳油石是最为重要的。

1 冷拌超薄罩面沥青混合料矿料的最佳级配

在考虑冷拌超薄罩面沥青混合料级配的同时,也要考虑该级配集料与乳化沥青的反应情况。因此,本试验选择3种已用于超薄罩面的矿料级配 Novachip Type B和SMA-10、UTAC-10,与笔者在文献^[6]中所研究的最适合冷拌超薄罩面沥青混合料的润强300乳化沥青进行拌合,冷拌超薄罩面混凝土矿料级配如表1所示。本研究分别取 Novachip Type B和SMA-10、UTAC-10级配的中限值。

表1 冷拌超薄罩面混凝土矿料级配表
Tab. 1 Ultra-thin overlay of cold of concrete aggregate gradation

级配类型		通过百分率 / %							
		0.075 mm	0.15 mm	0.3 mm	0.6 mm	1.18 mm	2.36 mm	4.75 mm	9.5 mm
Novachip Type B	上限	7	10	13	18	23	32	38	100
	中限	5	8	11	14	19	27	31	93
	下限	4	6	8	10	15	22	25	85
UTAC-10	上限	10	13	16	20	25	32	40	100
	中限	8	10	13	16	21	28	35	95
	下限	13	16	18	22	26	32	60	100
SMA-10	上限	13	16	18	22	26	32	60	100
	中限	10	13	14	17	20	26	44	95
	下限	8	9	10	12	14	20	28	90

1.1 原材料技术指标检测

1.1.1 乳化沥青 笔者在文献^[6]中所研究的最适合冷拌超薄罩面沥青混合料的润强300乳化沥青。

1.1.2 集料 因集料占混合料质量的90%以上,所以会对其性能产生重要影响。

- 1)本试验选取的粗集料为粒径在2.36 mm~13.2 mm之间的碎石。
- 2)本试验选取的细集料为:粒径在0.074 mm~2.36 mm之间,干净、含泥量较小且较为坚实的砂或石屑。细集料由于粒径较小,主要填充粗集料的空隙。若细集料的含泥量较大,其表面的泥会与沥青进行混合,阻碍沥青和集料的裹敷过程,只有加入更多的沥青才能使其与集料再次进行较好的裹敷,但该方法往往会增加拌合成本。细集料用于高等级路面时,规范要求砂当量必须大于等于60%,若细集料用于其他等级路面时,则要求砂

当量可不低于50%。

3)矿粉。研究表明矿粉的加入会增加道路结构的稳定度,因此,矿粉是混合料的重要成分。根据规范可知矿粉的亲水系数需不大于1.0,并由基性岩石磨制而成。

分析众多试验研究发现,使用碱性石料时,不仅可以提高冷拌沥青混合料的强度还可以有效地减少骨料的剥离。因此,本试验选用的石料为辉绿岩,其试验的主要实验指标、技术要求如表2和表3所示。

1.2 沥青混合料的标准马歇尔试验

根据试验经验,不同种类的乳化沥青选用同一级配的混合料,拌合后的油石比大致相同^[7]。因此,本实验将采用3种不同级配的混合料与同种润强300乳化沥青拌合后进行标准马歇尔试验。标准马歇尔试验结果见表4。

表 2 辉绿岩粗集料的试验指标与技术要求

Tab. 2 Experiment and technology index of diabase aggregate

试验评价	压碎值 / %	洛杉矶磨耗值 / %	吸水率	针片状含量 / %	与沥青的黏附性
试验指标	14.5	17.3	0.3	15.3	5 级
技术要求	≤ 30	≤ 40	≤ 3.0	≤ 20	3 级

注:压碎值技术要求依据 T0316 — 2000;洛杉矶磨耗值技术要求依据 T0317 — 2000;吸水率技术要求依据 T0308 — 2000;针片状含量技术要求依据 T0312 — 2000;与沥青的黏附性技术要求依据 T0616—1993

表 3 辉绿岩细集料的试验指标与技术要求

Tab. 3 Experiment and technology index of diabase aggregate

试验评价	表观密度 / (g/cm ³)						砂当量 / %	水洗后砂当量 / %
	2.36 mm	1.18 mm	0.6 mm	0.3 mm	0.15 mm	0.075 mm		
试验指标	3.17	3.03	3.08	3.07	3.09	3.11	42	94
技术指标	≥ 2.45	≥ 2.45	≥ 2.45	≥ 2.45	≥ 2.45	≥ 2.45	≥ 50	≥ 50

注:本实验为保证集料的性质能满足技术要求,将“水洗后砂当量”纳入试验指标,即集料需经过水洗、烘干后才可使用。表观密度技术要求依据 T0330 — 2000;砂当量和水洗后砂当量的技术要求依据 T0334 — 1994

表 4 润强 300 乳化沥青与 SMA-10、Novachip Type B 和 UTAC-10 级配拌合混合料标准马歇尔试验结果

Tab. 4 Marshall test results of Runqiang 300 emulsified asphalt mixed with SMA-10, Novachip Type B and UTAC-10

级配类型	油石比 / %	饱和度 / %	空隙率 / %	毛体积密度 / (g/cm ³)	稳定度 / kN	乳液质量 / g	矿料间隙率 / %	流值 / mm	最大理论密度 / (g/cm ³)	预加水量 / g
SMA-10	4.0	73.4	6.307	2.451	9.02	503.0	23.7	3.19	2.616	226.5
	4.5	75.3	5.790	2.473	9.74	563.0	23.4	3.34	2.625	227.5
	5.0	76.5	5.187	2.504	10.95	632.5	22.1	3.84	2.641	237.5
	5.5	78.2	4.837	2.528	11.24	687.5	22.1	4.87	2.667	234.5
Novachip Type B	3.8	43.9	13.397	2.446	9.12	475.0	23.9	3.39	2.824	187.0
	4.3	44.5	12.741	2.449	9.30	537.5	23.0	8.38	2.851	160.0
	4.8	41.9	13.665	2.458	8.87	600.0	23.5	2.76	2.847	220.0
	5.3	43.2	13.904	2.462	8.82	662.5	24.5	3.99	2.86	150.0
UTAC-10	3.8	45.1	11.463	2.533	9.02	475.0	20.9	9.82	2.861	239.0
	4.3	52.5	9.379	2.582	10.56	537.5	19.8	4.58	2.849	244.5
	4.8	49.1	10.039	2.570	12.96	600.0	19.7	3.32	2.857	238.0
	5.3	54.1	9.376	2.585	12.27	662.5	20.4	3.56	2.852	150.0

由表 4 可知:润强 300 乳化沥青分别与 SMA-10 级配、UTAC-10 级配进行标准马歇尔试验的稳定度最高达到 12.96 kN,最低不低于 9.02 kN;而 Novachip Type B 级配的马歇尔试件稳定度最高达到 9.30 kN。Novachip Type B 和 UTAC-10 有部分马歇尔试件的流值较大且超过了规范要求。因此,在稳定度方面 SMA-10 与 UTAC-10 级配的马歇尔试件高于 Novachip Type B 级配的马歇尔试件。

SMA-10 级配的沥青混合料最大空隙率为 6.307%,较 Novachip Type B 与 UTAC-10 级配的沥青混合料最小空隙率 9.376% 小 32.7%。因此,SMA-10 级配成型的马歇尔试件的空隙率远低于 Novachip Type B 与 UTAC-10 级配成型的马歇尔试

件的空隙率。

综上,SMA-10 级配与乳化沥青拌合的沥青混合料的性能更好。

2 冷拌超薄罩面沥青混合料最佳油石比的确定

为确定最佳石油比,本研究采用规范中要求的马歇尔试验对 SMA-10 级配的沥青混合料进行试验,并记录混合料的相关指标,分别绘制油石比与密度、稳定度、空隙率、流值、矿料间隙率和饱和度之间关系的曲线,如图 1 所示。有关文献建议的技术指标值^[9-10]和试验技术要求、试验方法^[8]如

表5所示,本试验主要研究对象为冷拌沥青混合料,而相关技术指标主要是针对规范要求的热拌沥青混合料,所以需要对其部分指标进行适当放大的调整。

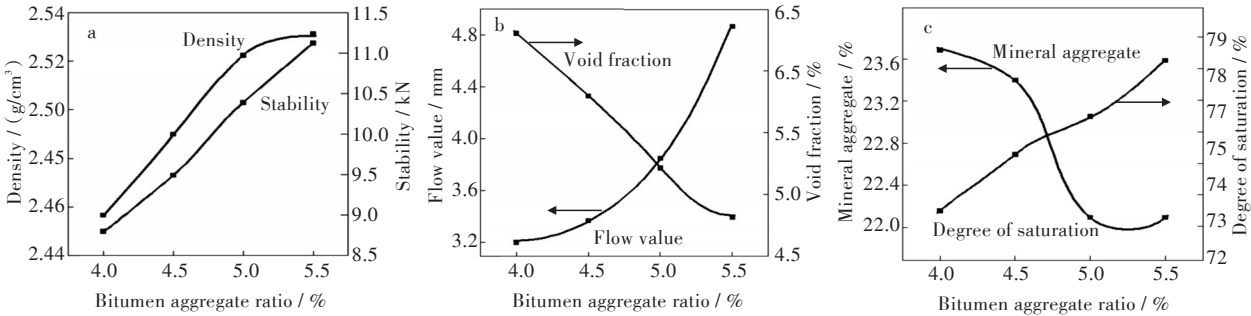


图1 马歇尔试验结果:(a)密度和稳定度随油石比的变化曲线;(b)空隙率和流值随油石比的变化曲线;(c)矿料间隙率和饱和度随油石比的变化曲线

Fig. 1 Marshall test results:(a) Relation between bitumen aggregate ratio and density or staility;
(b)Relation between bitumen aggregate ratio and void fraction or flow value;
(c)Relation between bitumen aggregate ratio and clearance fraction or degree of saturation of ore

表5 SMA-10混合料马歇尔试验油石比设计要求

Tab. 5 Design requirements of SMA-10 mixture in Marshall tests

试验评价	马歇尔试件尺寸		马歇尔试件 击实次数	空隙率 / %	矿料间隙率 不小于 / %	集料骨架间隙 率不大于	沥青饱和 度 / %	稳定度不 小于 / kN	流值 / mm
	直径 / mm	高度 / mm							
技术要求(不使用改性沥青)	101.6	63.5	两面击实 50次	3~4	17.0	粗集料骨架 间隙率	75~85	5.5	2~5

注:马歇尔试件尺寸、马歇尔试件击实次数试验依据 T0702;空隙率、矿料间隙率、集料骨架间隙率和沥青饱和度试验依据 T0708;稳定度、流值试验依据 T0709

2.1 确定SMA-10级配混合料最佳油石比

由图1可以看出,当油石比为5.5%时,密度、稳定度都达到最大值。所以计算最佳油石比的初

始值 OAC_1 时,令式中 $a_1=5.5$, $a_2=5.5$,可得:

$$OAC_1 = \frac{(a_1 + a_2)}{2} = \frac{(5.5 + 5.5)}{2} = 5.5 \tag{1}$$

图1中,密度、稳定度、空隙率、流值、矿料间隙率、饱和度指标均符合《公路沥青路面施工技术规范》的油石比的范围为4.5%~5.5%。

因此, $OAC_{min}=4.5$, $OAC_{max}=5.5$,

$$OAC_2 = \frac{OAC_{min} + OAC_{max}}{2} = \frac{4.5 + 5.5}{2} = 5$$

在图1中分别取 OAC_1 、 OAC_2 所对应的指标,发现均满足规范要求。因此可以计算最佳油石比 OAC :

$$OAC = \frac{OAC_1 + OAC_2}{2} = \frac{5.5 + 5}{2} = 5.3 \tag{2}$$

同理,Novachip Type B 和 UTAC-10 级配最佳油石比、空隙率也可通过计算得到,计算结果见表6。

表6 最佳沥青用量初定计算结果

Tab. 6 Calculation results of optimum asphalt content with set values

混合料级配类型	最佳油石比 / %	最大空隙率 / %
UTAC-10	5.0	8.2
Novachip Type B	4.7	11.2
SMA-10	5.3	6.4

2.2 冷拌沥青混合料的空隙率分析

通过分析上述实验数据及结果可以发现:冷拌沥青混合料的部分性能降低可能是因其空隙率较大所造成的。为进一步验证空隙率对冷拌沥青混合料性能的影响,制备同一级配的热拌沥青混合料与冷拌沥青混合料进行对比实验分析。选取相同的油石比,且设定为5.5%进行试验,热拌沥青混合料空隙率为4.0%,冷拌沥青混合料空隙率为6.4%,冷拌沥青混合料空隙率较大的原因是其含有一定的水,占据部分体积所造成的。通过分析已应用冷拌技术实际工程的案例,检测其空隙率均较大。

2.3 冷拌沥青混合料的强度分析

通过试验可以发现,当混合料经过常温养护后,约有 54%的水分会挥发,与实际工程中的早期情况相同;当混合料经过高温养护后,约有 95%的水分会挥发,与实际工程中的后期情况相同。所以,道路工程的初期强度可以由以 20 ℃常温养护后的稳定度进行代替,即混合料经过常温养护后稳定度最大值为 3.54 kN,道路早期强度为 3.54 kN;道路工程的后期强度可以由以 110 ℃常温养护后的稳定度进行代替,即混合料经过高温养护后稳定度最小值 9.02 kN,道路后期强度为 9.02 kN。由此可以得出,道路强度受温度的影响,随养护时间的延长而增大直至出现峰值^[11-12]。

3 结 语

1)通过比较 3 种级配沥青混合料的稳定度、空隙率可知:SMA-10 与 UTAC-10 级配的马歇尔试件的稳定度比 Novachip Type B 级配高 46.9% ; SMA-10 级配的沥青混合料的空隙率比 Novachip Type B 与 UTAC-10 级配低 32.7%,故 SMA-10 的级配更优。

2)对 3 种级配的沥青混合料采用修正马歇尔,确定 SMA-10 级配、Novachip Type B 级配与 UTAC-10 级配沥青混合料的最佳油石比分别为 5.3%、4.7%、5.0%。

参考文献:

[1] 曹卫东,沈建荣,韩恒春. 超薄沥青混凝土面层技术研究及应用简介[J]. 石油沥青,2015,19(4):56-59.

[2] 程一鸣. 美国温拌沥青混合料研究进展及设计方法综述[J]. 交通标准化,2013(17):8-11.

[3] 中华人民共和国交通部. 公路沥青路面施工技术规范: JTG F40 — 2004[S]. 北京:人民交通出版社.

[4] 王立久,刘慧. 骨架密实型沥青混合料集料级配设计方法[J]. 中国公路学报,2008,21(5):6-9.

[5] 王聪,郭乃胜,赵颖华,等. 不同成型方法和级配的沥青混合料内部空隙特征[J]. 吉林大学学报(工学版),2014,44(1):74-80.

[6] 钱俊懿. 冷拌超薄罩面沥青混合料路用性能研究[D]. 武汉:武汉轻工大学,2016.

[7] 刘景生,王轶,邹群. 高速公路沥青混凝土表面层施工配合比设计与施工控制技术[J]. 交通标准化,2006(10):74-77.

[8] 吴超凡,曾梦澜,钟梦武,等. 基乳化沥青冷再生混合料设计方法试验研究[J]. 湖南大学学报(自然科学版),2008,35(8):19-23.

[9] PEI J Z, XU L, ZHANG J P, et al. Design method of warm mix asphalt based on Marshall test under variable temperatures and compaction times [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2011, 11 (4) : 1-9.

[10] 王飞,李立寒. 温拌沥青混合料配合比设计中若干问题的试验探究[J]. 华东交通大学学报, 2010, 27(4):22-25.

[11] 成发科,董彪. 沥青混凝土薄层罩面路用性能及施工技术研究[J]. 筑路机械与施工机械化,2016(7):71-74.

[12] 张可强. 级配对橡胶沥青混凝土路用性能的影响[J]. 公路,2015(6):34-38.

本文编辑:苗 变