

集料密度差异及成型温度对沥青混合料配合比的影响研究

黄波¹, 李超源², 郝治^{3*}, 白桃³

(1. 武汉市黄陂区交通工程质量监督站, 湖北 武汉 430300; 2. 武汉道盛交通科学技术有限公司, 湖北 武汉 430000; 3. 武汉工程大学 土木工程与建筑学院, 湖北 武汉 430073)

摘要:为明确集料密度差异和成型温度对沥青混合料配合比的影响,该文首先论证密度差异较大的粗细集料进行质量称量时体积级配发生变化的原因所在;通过室内试验,证实集料密度差异及成型温度会对沥青混合料的最佳油石比产生影响;然后,分别采用质量级配和体积级配成型马歇尔试件并测算了其体积指标,同时分析了击实温度对马歇尔试件体积指标的影响;最后,对密度修正前后的混合料进行了路用性能研究。结果表明:集料密度差异和成型温度都会影响混合料的最佳油石比。提高击实温度会使沥青混合料密度、沥青饱和度增加,空隙率、矿料间隙率减小,沥青混合料最佳油石比降低。AC-13型沥青混合料进行密度修正可降低最佳油石比0.2%,150~180℃的碾压温度范围内每增加10℃最佳油石比降低近0.1%。采用密度差异较大的粗细集料时,是否进行密度修正对沥青混合料路用性能存在较为明显的影响。

关键词:沥青混合料;密度;温度;配合比;路用性能

中图分类号: U414

文献标志码: A

体积设计法是国内外沥青混合料的主流设计方法^[1]。其设计思想是让细集料、沥青和设计空隙的体积总和填充主骨架空隙体积。但在工程实践中,搅拌站工作人员为操作方便,往往直接按质量称重进行混合料生产,甚至会直接按照经验选定不同规格混合料的油石比范围值。然后改变混合料规定出料温度对现场碾压密实度进行调控,希望在节省沥青用量和耗费燃料中达到经济最优,但往往得不偿失。

事实上,当粗细集料密度大致相等时质量比与体积比十分接近,可以直接用质量分数替代体积分数。然而,实际工程中经常会碰到沥青混合料各粒径档组成材料不一致的情况。密度差异较大的粗细集料复配最直接的影响就是粗细集料称重的质量比无法准确反映体积比,实际级配曲线与设计级配曲线发生偏离^[2-3],影响沥青混合料的最佳油石比继而影响混合料路用性能。

此外,沥青是一种温度敏感性材料^[4],温度对混合料体积参数影响极大^[5-6],自然也会对沥青混合料的最佳油石比和路用性能产生影响。以往研究中击实温度梯度较大^[7-8],该文结合规范推荐温度范围和改性

沥青黏温曲线^[9]选择合理的混合料击实成型温度,结合室内路用性能验证,评估集料密度差异及成型温度对沥青混合料配合比的影响,以便于工程参考。

1 密度修正对级配的影响

沥青混合料的级配设计对其路用性能具有重要影响。理论上,马歇尔设计方法中各档矿料比例是其体积百分比。在施工中为操作方便,一般用质量百分比替代体积百分比。该文把按照原有设计各档体积百分比组成称之为体积级配,而按照各档集料密度进行配比调整的级配曲线称之为质量级配。若各档粒径组成材料不一致,比如石灰岩细集料和辉绿岩粗集料掺配使用时,由于各档密度差异较大,密度级配与体积级配存在较大差异。最直接的影响就是粗细集料称重质量的比例无法准确反映体积比例,实际级配曲线与设计级配曲线发生偏离,同时也会对沥青混合料的油石比和粉胶比产生影响^[10]。

若粗细集料均为同种材料,则各档矿料密度非常接近,合成级配的各档矿料质量分数就等于体积分数,

收稿日期:2021-10-24

基金项目:交通部重点研发项目(编号:2020-MS1-061);中建三局一公司技术委托项目(编号:X011977)

作者简介:黄波,男,工程师. E-mail:296981019@qq.com

* 通信作者:郝治,男,硕士研究生. E-mail:2094873872@qq.com

材料组成设计时可直接按体积分数进行集料质量称量;反之,若粗细集料密度差异较大时,由于各档密度不同,集料的质量比不能等同于体积比。粗细集料间的密度值相差越大,则质量级配与体积级配之间的差别越大。

该文采用辉绿岩 SBS 改性沥青 AC-13 作为研究对象,细集料 0~2.36 mm 机制砂采用石灰岩,实测密度为 2.698 g/cm³,2.36 mm 以上粗集料辉绿岩实测密度 3.000 g/cm³(各档略有差异,但总体接近),二

者密度差异 11.2%。因粗细集料各档岩性接近,为方便起见,下文级配修正过程中各档粗细集料按前述两种密度分别取定。级配调整过程参照文献[10]进行。

经计算,修正之前 0~3、3~5、5~10、10~15 mm 各档位的称重质量占比分别为 38%、12%、20%、30%,修正后对应档位称重质量实际占比分别为 35.5%、12.5%、20.8%、31.2%。经密度修正后,混合料合成级配如表 1 所示。

表 1 修正前后沥青混合料级配

级配	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%									
	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
级配上限	100	90	68	38	24	15	10	7	5	4
级配下限	100	100	85	68	50	38	28	20	15	8
级配中值	100	95	76.5	53	37	26.5	19	13.5	10	6
修正前(质量配比)	100	97.4	75.9	51.1	34.7	25.6	17.1	11.0	7.2	5.4
修正后(体积配比)	100	97.4	75.0	49.2	32.6	24.0	16.0	10.4	6.8	5.0

从各档通过率看:体积级配的 0.075 mm 筛孔通过率比质量级配低 0.4%,0.15、0.3、0.6、1.18、2.36、4.75 和 9.5 mm 依次低 0.4%、0.6%、1.1%、1.6%、2.1%、1.9% 和 0.9%。主要影响 AC-13 关键档 2.36 mm 和 0.075 mm 以下粉尘含量,由于细集料的表面积较大,故质量级配沥青混合料需要更多的沥青来裹覆集料,会消耗更多的沥青。

按照该文级配修正结果进行配料,并进行马歇尔试验,结果如图 1 所示。

从图 1 可以看出:质量配比和体积配比的各体积参数和力学参数均有一定程度的不同。经计算,质量级配的最佳油石比为 5.1%,而体积级配最佳油石比为 4.9%。可以看出:大密度差异粗细集料复配时矿料间的密度差异确实会对最佳油石比参数产生较大影响,该算例中最佳油石比即降低了 0.2%。说明当沥青混合料粗细集料密度差异较大时,不能直接用质量百分比代替体积百分比。

2 击实温度对最佳油石比的影响

2.1 击实成型温度的选定

按 JTG F40—2004《公路沥青路面施工技术规范》规定,基质沥青混合料可采用黏温曲线上对应于 0.25~0.31 Pa·s 的温度作为击实成型温度,改性沥

青则直接规定了经验参考温度。该文为确定击实温度的影响,采用布氏黏度计进行改性沥青黏温曲线的测试,结果如图 2 所示。

从图 2 可以看出:若类比基质沥青的黏度要求,研究所用的改性沥青击实成型温度约为 180℃。有研究表明,当温度大于 180℃时,继续提高改性沥青混合料的温度并不会有效地改善施工效果,还会严重影响沥青混合料路用性能^[11]。此外,规范明确现场碾压温度不低于 150℃。综合比较,该文分别选用 150、160、170 和 180℃作为室内击实成型温度。

2.2 击实成型温度的影响

为研究击实成型温度对混合料最佳油石比的影响,该文选用相似质量级配的石灰岩和辉绿岩 SBS 改性沥青 AC-13 混合料(表 2),在不同击实成型温度下通过马歇尔试验确定最佳油石比,研究击实成型温度对最佳油石比的影响。其中石灰岩沥青混合料指粗细集料均为石灰岩,辉绿岩沥青混合料由辉绿岩粗集料和石灰岩细集料组成,矿粉均为石灰岩矿粉。

在只改变初始击实温度条件下,其他试验操作严格遵循操作规程,石灰岩及辉绿岩沥青混合料马歇尔试件的体积参数分别如图 3、4 所示。

根据图 3、4 结果,石灰岩和辉绿岩 SBS 改性沥青 AC-13 沥青混合料在不同击实成型温度下的最佳油石比如表 3 所示。

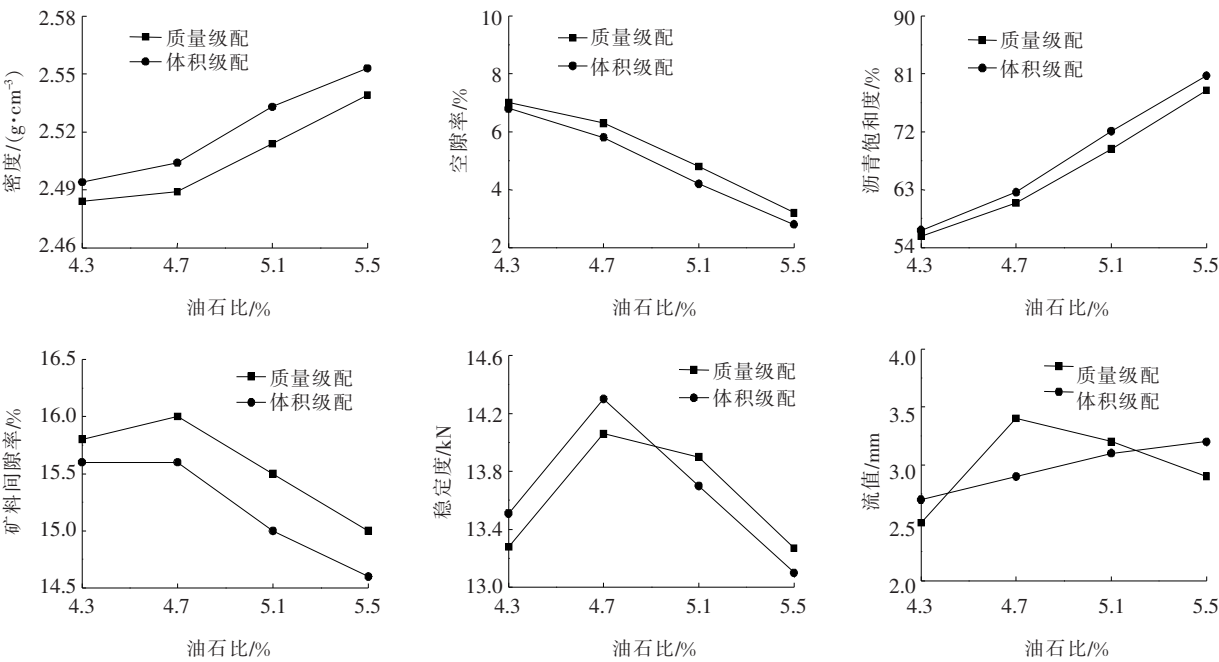


图 1 两种级配马歇尔试验结果

表 2 SBS 改性沥青 AC-13 混合料级配

级配	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%										
	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
级配上限	100	100	90	68	38	24	15	10	7	5	4
级配下限	100	100	100	85	68	50	38	28	20	15	8
级配中值	100	100	95	76.5	53	37	26.5	19	13.5	10	6
石灰岩级配	—	100	97.5	75.5	50.9	33.8	23.5	15.8	10.3	7.1	5.5
辉绿岩级配	—	100	97.4	75.9	51.0	33.1	23.3	15.5	10.0	6.8	5.3

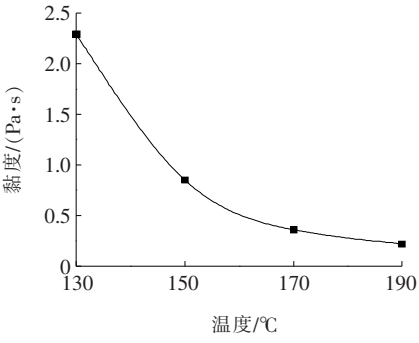


图 2 SBS 改性沥青黏温曲线

从表 3 可以看出:随着击实成型温度的提高,沥青混合料的最佳油石比会降低。原因是温度提高后沥青黏度更低,混合料更容易被击实,混合料密度和沥青饱和度增加,空隙率和矿料间隙率减小。当体积指标发生变化时,沥青混合料的最佳油石比也会随之改变。

但是,两种沥青混合料的最佳油石比变化的程度

不同,石灰岩 SBS 改性沥青 AC-13 混合料最佳油石比降低程度明显超过辉绿岩 SBS 改性沥青 AC-13 混合料。原因在于表 2 中采用的为质量称量配比,辉绿岩粗集料密度较石灰岩细集料和矿粉大很多,导致真实配比中辉绿岩粗集料体积占比偏小,而细集料及以下部分体积占比增加。表现为辉绿岩 SBS 改性沥青 AC-13 混合料的矿料间隙明显较石灰岩沥青混合料的矿料间隙率小。此时,细集料及其比表面积增加对油石比的影响,要强于提高击实温度所带来的油石比下降效果。类似地,由于石灰岩 SBS 改性沥青 AC-13 混合料中,石灰岩粗集料的体积较大,具有更大的矿料间隙,其各项体积参数对成形温度更为敏感。

3 集料复配对路用性能的影响

采用辉绿岩 SBS 改性沥青 AC-13 沥青混合料

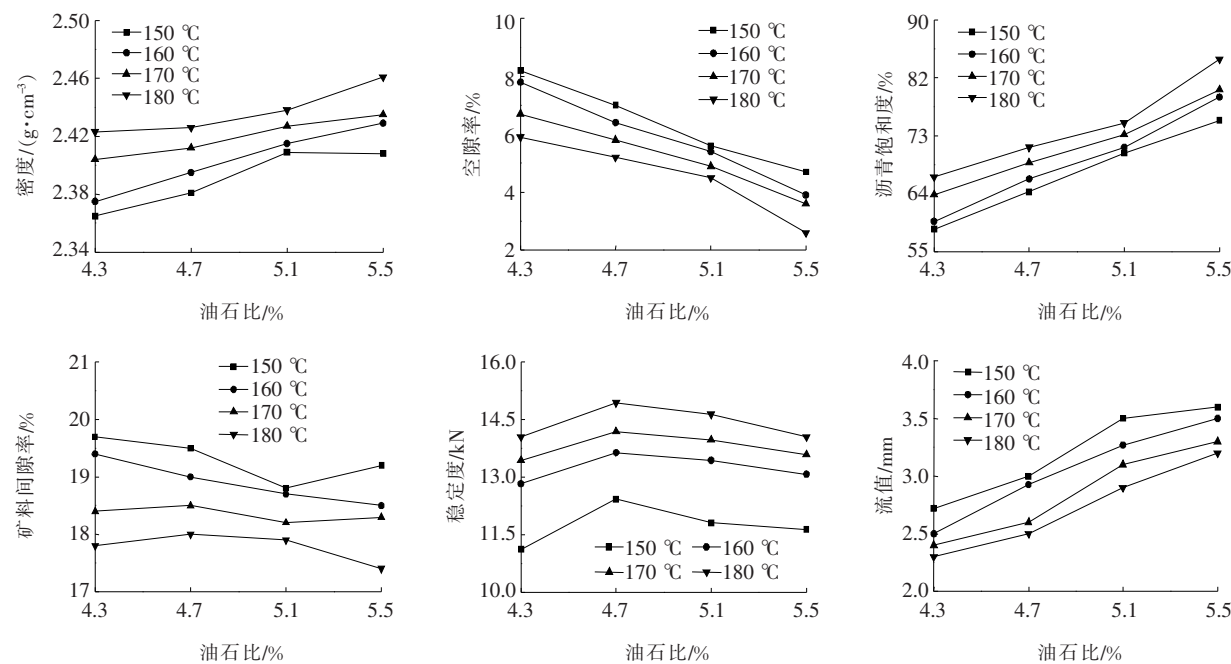


图3 石灰岩 SBS 改性 AC-13 马歇尔试验结果

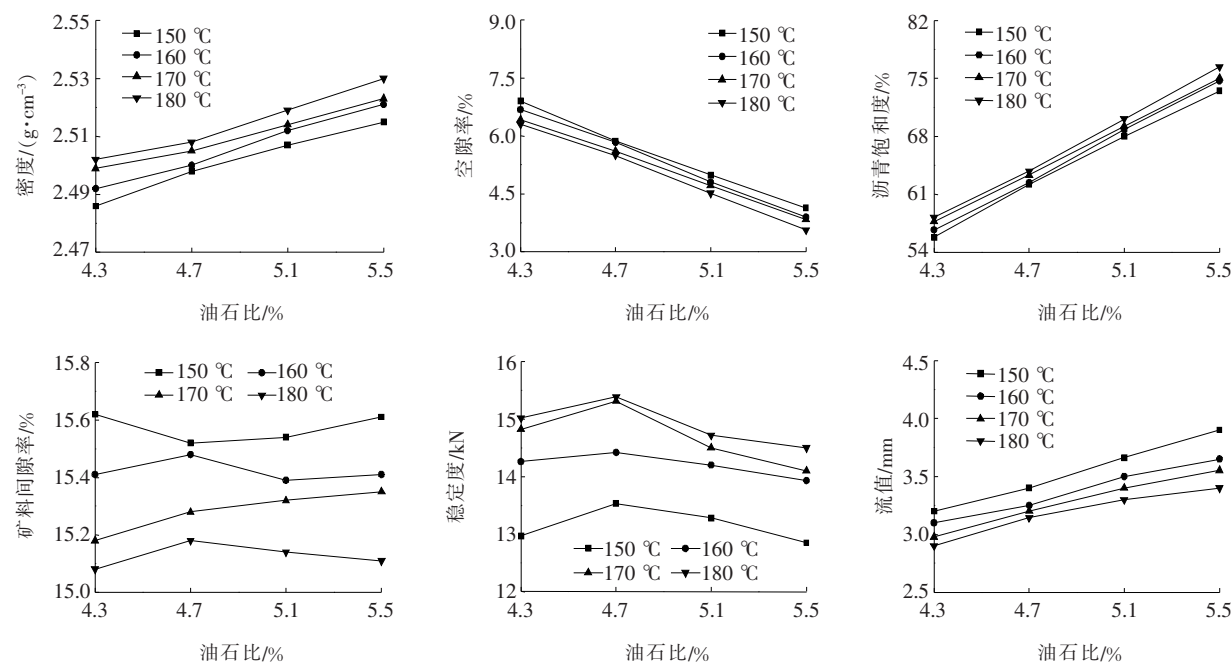


图4 辉绿岩 SBS 改性 AC-13 马歇尔试验结果

表3 不同击实成型温度下最佳油石比

击实温度/℃	最佳油石比/%		击实温度/℃	最佳油石比/%	
	石灰岩	辉绿岩		石灰岩	辉绿岩
150	5.31	5.15	170	4.99	5.05
160	5.22	5.10	180	4.81	4.98

(表1),分别采用质量级配和体积级配在160℃控温条件下击实成型。辉绿岩沥青混合料由辉绿岩粗集料

和石灰岩细集料组成,矿粉均为石灰岩矿粉。质量级配和体积级配的油石比分别为5.1%和4.9%。针对两种不同配比组成,分别采用动态单轴压缩、半圆弯曲、冻融劈裂和重复半圆弯曲试验来评价其高温稳定性、低温抗裂性、水稳定性和疲劳耐久性。

3.1 高温稳定性

采用旋转碾压SGC设备成型直径150 mm、高度

120 mm 的圆柱形试件,取芯磨削成为直径 100 mm、高度 100 mm 的圆柱形试件。在试件上加载半正弦动态荷载(加载 0.1 s,休息 0.9 s,幅值 0.7 MPa)开展沥青混合料动态单轴试验^[12],环境温度分别选用 50、60 ℃。试件变形达到 100 000 $\mu\epsilon$ 时试验中止,测试结果如图 5 所示。

试验温度为 50、60 ℃时,质量级配沥青混合料的终止加载次数分别为 2 322、616 次,而体积级配沥青混合料的相应值分别为 3 088、677 次,分别提高了

33%和 10%,质量级配高温稳定性能明显较体积级配差。这与质量级配细料含量多,沥青用量偏大有明确对应关系。

3.2 低温抗裂性

半圆弯曲试验试件直径 150 mm、高度 62.5 mm,切口高度 6.25 mm,加载速度 1.27 mm/min,开展-10 ℃条件下的加载断裂测试。以断裂强度和断裂能指标分别评价体积配比和质量配比条件下沥青混合料的低温抗裂性能^[13],结果如图 6 所示。

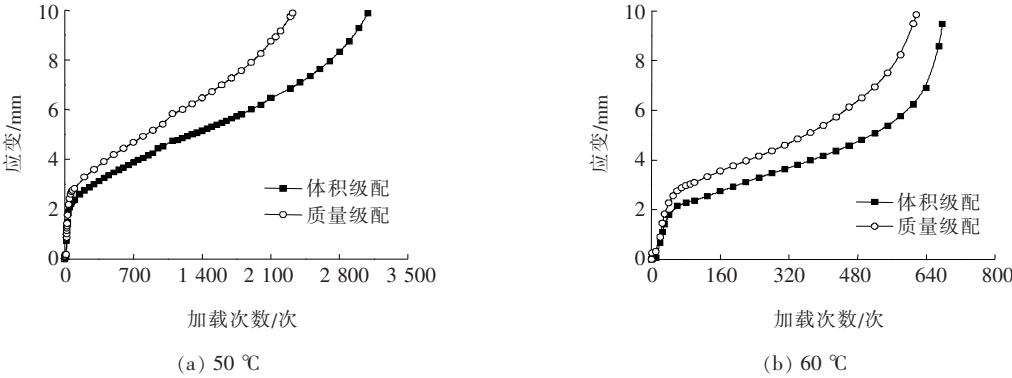


图 5 动态单轴蠕变

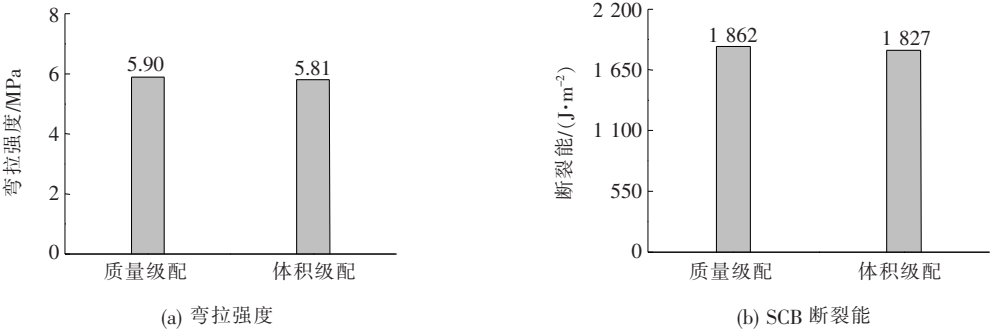


图 6 半圆弯曲试验结果

从图 6 可以看出:质量级配的弯拉强度和断裂能都略优于体积级配,分别高 1.5%和 1.9%。总体上两种级配的低温性能比较接近,表明大密度差异粗骨料在最佳油石比变化较小时(该文 0.2%),混合料低温抗裂性受影响不大。

3.3 水稳定性

为验证集料复配情况下体积级配替换质量级配后沥青混合料抗水损能力的变化,该文通过冻融劈裂试验对两种配合比的抗水损能力进行评价,试验结果如图 7 所示。

从图 7 可以看出:相同冻融条件下质量级配沥青混合料具有更强的劈裂抗拉强度,同时质量级配沥青混合料的 TSR 更高。说明大密度差异粗细集料复配情况下,质量级配油石比更高,抗水损能力比体积级配

稍强。考虑到质量级配下 2.36 mm 以下细料更多,对粗骨料连通空隙封堵越密实,抗水损性能越佳。

3.4 抗疲劳性能

采用前述半圆弯曲试件进行 25 ℃条件下沥青混合料的重复加载抗疲劳性能测试,分别选取断裂荷载的 40%、50%、60%、70%、80%应力水平作为施加荷载,以此评价在不同应力水平下沥青混合料的抗疲劳性能。试验结果如图 8 所示。

当体积比替换质量比之后,在 5 个应力水平下质量级配沥青混合料疲劳寿命平均比体积级配沥青混合料高 5%。总体上两种级配的抗疲劳性能比较接近,表明大密度差异粗骨料的沥青混合料在最佳油石比变化较小时(该文 0.2%),混合料抗疲劳性能受影响不大。

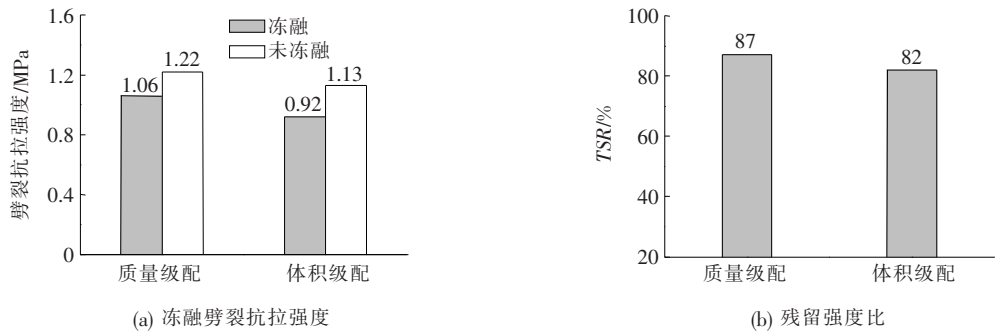


图7 冻融劈裂试验结果

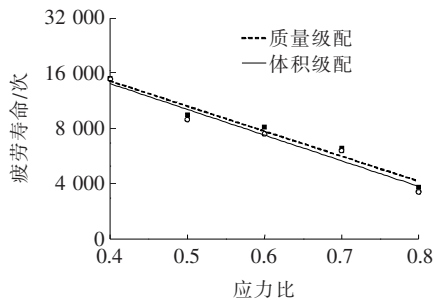


图8 沥青混合料半圆弯曲重复加载试验结果

4 结论

针对集料密度差异及成型温度变化对沥青混合料配合比的潜在影响,进行了混合料级配密度修正、最佳油石比变化及路用性能的验证分析。得到以下结论:

(1) 当粗细集料材质不同且密度差异较大时,混合料各档称重质量比与体积比存在一定差异,若不进行密度修正会影响混合料的最佳油石比。该文的辉绿岩改性沥青 AC-13 混合料,密度修正前后的最佳油石比相差 0.2%。

(2) 击实成型温度会显著改变沥青黏度,混合料体积指标随之发生变化,最佳油石比也会随之降低。在 150~180℃ 区间内,该文混合料击实温度每提高 10℃,石灰岩改性沥青 AC-13 的最佳油石比降低约 0.1%,辉绿岩改性沥青 AC-13 降低约 0.06%。

(3) 密度修正对 AC-13 沥青混合料的高温和水稳定性能影响相对显著,而对低温和疲劳性能影响相对较弱。但是,针对 SMA 这种粗细集料占比较高、中间档断档的混合料类型,密度修正会影响更为显著,工程中可按需验证处置。

参考文献:

[1] 王旭东,张蕾.基于骨架嵌挤型原理的沥青混合材料均衡

设计方法[M].北京:人民交通出版社,2014.

[2] 曹卫东,王彬,刘树堂,等.厂拌热再生沥青混合料最佳新沥青用量范围估算[J].中外公路,2018,38(6):277-280.

[3] 李泉,吴超凡,韩庆奎.厂拌热再生技术在潭邵高速公路大修中的应用[J].中外公路,2018,38(5):217-221.

[4] MARYUNANI W P, PUSPITASARI E, AMIN M, et al. The Study of Temperature Changes on Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) Mixing Process on Marshall Characteristics [C]. AIP Conference Proceedings. AIP Publishing LLC, 2019, 2 097(1):030034.

[5] 姜伟,张阳.基于体积指标的沥青混合料有效压实温度研究[J].中外公路,2018,38(1):264-267.

[6] 周沛延,程志豪,陈亮亮,等.拌和温度对温拌沥青混合料相关特性的影响研究[J].中外公路,2017,37(2):236-240.

[7] 于江,苏明.成型温度对温拌沥青混合料性能影响研究[J].中外公路,2012,32(4):251-254.

[8] 杨春霞.碾压温度对 SMA-13 沥青混合料压实特性影响分析[J].公路交通科技(应用技术版),2011,7(5):47-50.

[9] 张俊宝.成型温度对沥青混合料性能的影响研究[J].北方交通,2018(9):60-62.

[9] 王春,郝培文.改性沥青混合料拌和压实温度确定方法[J].公路,2020,65(8):32-36.

[10] 白桃,胡小弟.集料复配情况下沥青混合料小梁弯曲试验研究[J].华中科技大学学报(自然科学版),2017,45(8):105-109.

[11] 张宜洛,郭科,赵少宗,等.改性沥青混合料施工温度的确定[J].江苏大学学报(自然科学版),2016,37(6):740-744.

[12] American Society of Testing Materials. Standard Test Method for Dynamic Modulus of Asphalt Mixtures; ASTM D3497-1979 [S]. West Conshohocken, United States, 2003:1-3.

[13] European Standard Norme Technical Committee CEN/TC 227. Bituminous Mixtures Test Methods for Hot Mix Asphalt Part 44: Crack Propagation by Semi-circular Bending Test; EN 12697-44[S]. Europe, 2010:1-14.