

沥青路面矿料级配优化设计研究

韩雪, 杜顺成, 樊军

(西安工业大学建筑工程学院, 西安 710021)

摘要:依托京新高速,以沥青路面中面层为研究对象,探究了集料的压碎值、磨耗值大小分别对混合料路用性能的影响,从集料选用的角度出发提升沥青混合料抗车辙的能力。采用经过挑选的集料进行配合比优化设计,分析对比试验结果,以优良的路用性能为评价指标挑选适合的关键筛孔的通过率。试验结果表明,关键筛孔的通过率对沥青混合料性能有重要的影响,采用优化过的级配能够使沥青混合料的各种性能得到提高。进行试验路的铺筑,沥青混合料各种性能指标均能满足规范的要求,高温稳定性和水稳定性尤其明显,验证了所提出的相关结论。

关键词: 沥青混凝土;集料;矿料级配;病害预防

中图分类号: U416

文献标志码: A

引言

沥青路面受车辆荷载及自然条件因素的影响将发生损坏,例如:车辙、裂缝、坑槽、沉陷等。沥青路面受到的破坏形式主要分为两方面:水损害和高温车辙病害^[1-2]。

国内学者在对集料特性研究方面,针对磨耗值与压碎值两项指标对高温稳定性、水稳定性的影响研究较少。本文通过对不同集料物理性质的研究对比^[3-4],得出适合本地区的相关指标范围^[5-6]。根据以往学者对关键筛孔4.75 mm研究发现,大部分学者只是宏观表明4.75 mm筛孔通过率对级配设计以及后期的路用性能影响很大,但并未量化阐述4.75 mm筛孔通过率的具体范围,得出路用性能更加优良的参考范围^[7-9]。

1 集料物理指标对沥青混合料的影响

1.1 母岩选择

沥青混合料所用的集料来源于母岩,质地优良的母岩是品质优良的集料的保证。为了从源头上避免隐患^[10-11],建议:在挑选母岩的过程中,要尽量剔除表面风化、水锈严重的母岩,寻找质地均匀的石料作为母岩。

1.2 集料的技术性质指标

矿粉原料来源于乌海市昊源工贸有限公司10 mm ~ 20 mm的石灰岩,沥青采用中海油SBS改性沥青。集料技术性指标见表1和表2,每项指标均满足相关技术要求。

1.3 压碎值与磨耗值对沥青混合料性能的影响

实测每种石料的压碎值与磨耗值结果见表3。

收稿日期:2017-05-04

基金项目:国家自然科学基金项目(51374165);陕西省教育厅专项科研计划项目(16JK1378);西安工业大学研究生教学改革研究项目(XAGDYJ160211)

作者简介:韩雪(1991-),女,山东济宁人,硕士生,主要从事路基路面工程方面的研究,(E-mail)972779763@qq.com;

杜顺成(1978-),男,河南驻马店人,副教授,主要从事路基路面工程方面的研究,(E-mail)1036446809@qq.com

表 1 沥青检测结果

| 项 目 | 单位 | SBS 改性沥青技术要求 | 试验结果 | 试验方法 |
|-------------------------|-------------------|--------------|-------|---------------|
| 针入度 (100 g, 5 s, 25 °C) | 0.1 mm | 60 ~ 80 | 71 | T 0604 - 2011 |
| 针入度指数 PI | / | ≥ -0.4 | -0.32 | T 0604 - 2011 |
| 软化点 | °C | ≥ 75 | 84.0 | T 0606 - 2011 |
| 溶解度 | % | ≥ 99 | 99.4 | T 0607 - 2011 |
| 闪点 | °C | ≥ 230 | 296 | T 0611 - 2011 |
| 弹性恢复 (25 °C) | % | ≥ 80 | 88.0 | T 0662 - 2000 |
| 48 h 软化点差, | °C | ≤ 2.5 | 2.1 | T 0661 - 2011 |
| 密度 (15 °C) | g/cm ³ | 实测记录 | 1.007 | T 0603 - 2011 |
| RTFOT 后 残留物质量损失 | % | -1 ~ 1 | -0.03 | T 0610 - 2011 |
| 残留物针入度比 (25 °C) | % | ≥ 60 | 71.5 | T 0604 - 2011 |
| 残留物延度 (5 °C) | cm | ≥ 20 | 20.8 | T 0605 - 2011 |

表 2 矿粉检测结果

| 检测项目 | 检测值 | 指标要求 | 执行标准 |
|-----------------------------|-------|----------|---------------|
| 表观密度, 不小于, 1/m ³ | 2.753 | 2.50 | T 0352 - 2000 |
| 含水量, 不大于, % | 0.1 | 1 | T 0103 - 1993 |
| 外观 | 无团粒结块 | 无团粒结块 | / |
| 亲水系数 | 0.7 | < 1 | T 0353 - 2000 |
| 塑性指数, % | 3.4 | < 4 | T 0354 - 2000 |
| 加热安定性 | 无明显变色 | 实测记录 | T 0355 - 2000 |
| 0.6 mm 筛通过量, % | 100 | 100 | T 0351 - 2000 |
| 0.3 mm 筛通过量, % | 100 | / | T 0351 - 2000 |
| 0.15 mm 筛通过量, % | 92.5 | 90 ~ 100 | T 0351 - 2000 |
| 0.075 mm 筛通过量, % | 80.9 | 75 ~ 100 | T 0351 - 2000 |

表 3 压碎值与磨耗值

| 名称 | 鸿远 | 华柯 | 荣腾 | 伊克田 | 智平 |
|-------|------|------|------|------|------|
| 压碎值/% | 22.3 | 11.7 | 13.7 | 23.8 | 21.3 |
| 磨耗值/% | 16.9 | 10.2 | 12.8 | 21.7 | 23.8 |

对 AC - 20 类型的沥青混合料进行一系列的性能试验, 确定最佳油石比以及实测相关物理指标, 其结果见表 4。

表 4 AC - 20 沥青混合料物理指标

| 集料名称 | 最大理论相对密度 | 毛体积相对密度 | 空隙率 /% | 稳定度 /kN | 流值 /mm |
|------|----------|---------|--------|---------|--------|
| 鸿远 | 2.520 | 2.440 | 3.4 | 13.27 | 2.9 |
| 华柯 | 2.527 | 2.433 | 4.1 | 14.38 | 3.2 |
| 荣腾 | 2.534 | 2.422 | 4.4 | 15.23 | 3.5 |
| 伊克田 | 2.548 | 2.468 | 3.1 | 12.95 | 3.4 |
| 智平 | 2.554 | 2.565 | 3.5 | 14.21 | 3.7 |

1.3.1 压碎值、磨耗值对沥青混合料水稳定性的影响

浸水马歇尔试验结果见表 5。

表 5 AC - 20 型水稳定性试验结果

| 名称 | 鸿远 | 华柯 | 荣腾 | 伊克田 | 智平 |
|---------|------|------|------|------|------|
| 浸水马歇尔/% | 92.9 | 97.1 | 94.2 | 94.1 | 93 |
| 冻融劈裂/% | 83.1 | 86.2 | 84.3 | 84.3 | 83.7 |

压碎值、磨耗值与沥青混合料水稳定性的关系如图 1 和图 2 所示。

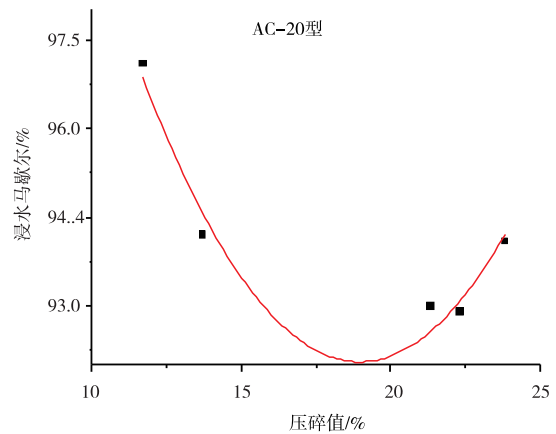


图 1 压碎值与浸水马歇尔值关系

磨耗值与沥青混合料水稳定性曲线图如图 3 和图 4 所示。

由图 3 与图 4 可知: 随着压碎值、洛杉矶磨耗值的增加, 整体趋势上沥青混合料的浸水马歇尔与冻融劈裂结果均是呈下降趋势。虽然压碎值的最小值对应着混合料水稳定性的最大值, 但局部上压碎值对它的水稳定性的影响并不是正相关, 而是出现了一个弱相关, 处在这个范围时, 沥青混合料的水稳定性要优于其他的区间, 就阿拉善盟与巴彦淖尔, 这个区间就是 11.7% ~ 21.3%。进行公路工程的生产实践时, 压碎值在此范围

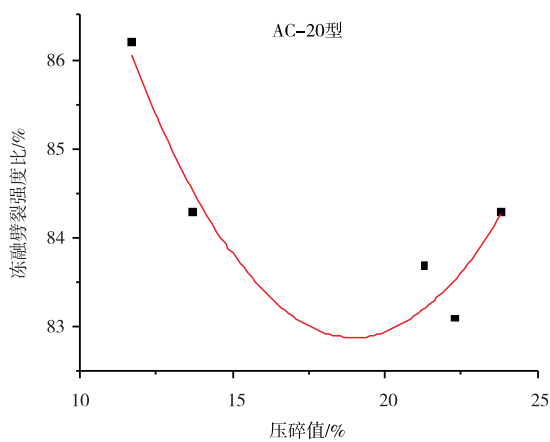


图2 压碎值与冻融劈裂关系

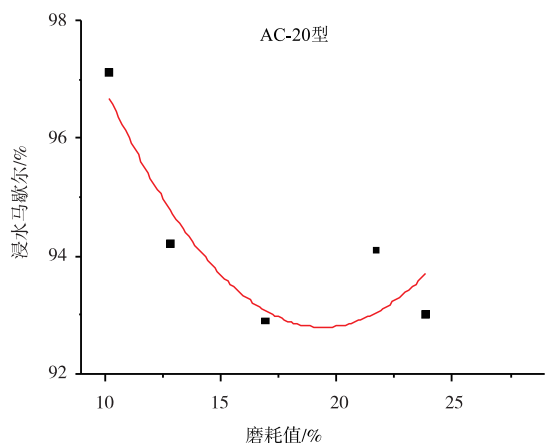


图3 AC-20 磨耗值与浸水马歇尔值关系

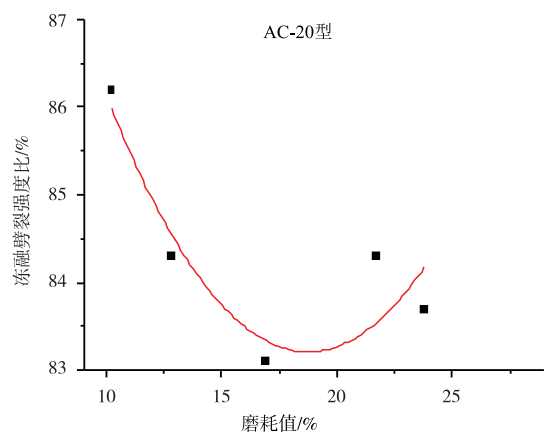


图4 AC-20 磨耗值与冻融劈裂关系

内的集料生产的沥青混合料会有一个较好的水稳定性。对比压碎值与磨耗值对沥青混合料水稳定性的影响,得出磨耗值也存在一个较合理的区间:10.2%~16.9%。

1.3.2 压碎值、磨耗值对沥青混合料高温稳定性的影响

压碎值、磨耗值对沥青混合料高温稳定性的影响试验结果见表6。

表6 AC-20与AC-16面层动稳定度(次/mm)

| 名称 | 鸿远 | 华柯 | 荣腾 | 伊克田 | 智平 |
|--------|------|------|------|------|------|
| AC-20型 | 6577 | 7269 | 7756 | 6150 | 6973 |

压碎值、磨耗值与沥青混合料动稳定度之间的关系如图5所示。

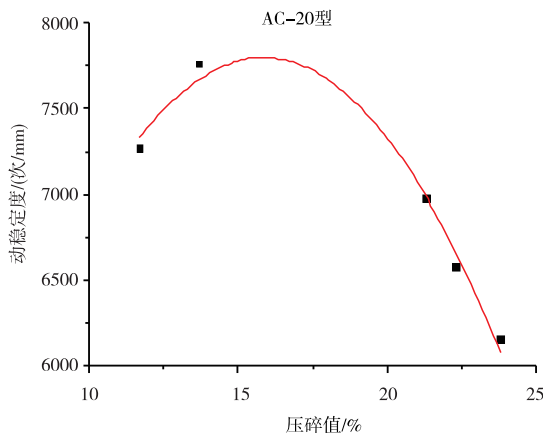


图5 压碎值与动稳定度关系

磨耗值与沥青混合料高温稳定性之间的关系如图6和图7所示。

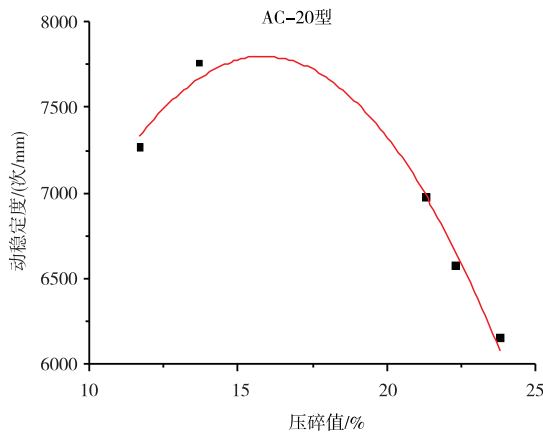


图6 压碎值与动稳定度之间的关系

由图6和图7可知:集料的压碎值最大时,与之相对应的DS最小,沥青的高温稳定性最差;伴随着压碎值的逐渐增加,沥青混合料的高温稳定性整体下降,但在局部有增有减,比如高温稳定性最高所对应的压碎值是13.7%,在此之前是线性增长,在此之后则下降;在压碎值上升最快的区间,沥青混合料的高温稳定性下降得最快;压碎值对上面层沥青混合料高温稳定性的影响则略有不同,其影响是随着压碎值的增加,动稳定度逐渐减少;与图6所呈现的趋势相比,磨耗值对沥青混合料高温稳定性的影响与之相类似,动稳定度的峰值均出现在前面,与之不同的是在磨耗值较大的情况下,曲线出现

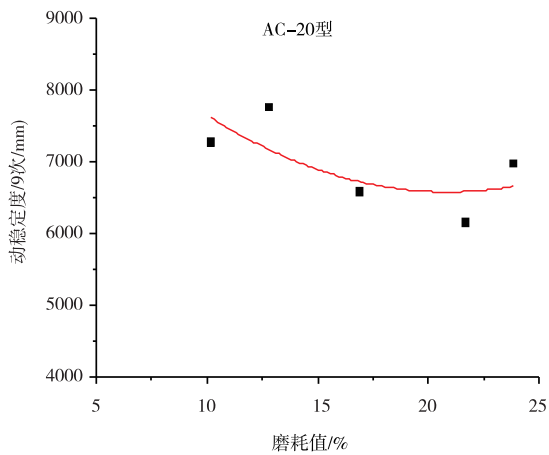


图 7 磨耗值与动稳定度之间的关系

拐点,动稳定度有上升的趋势,这说明磨耗值在 10.2% ~ 16.9% 范围内,沥青混合料的高温稳定性较差。

由图 7 可知:随着压碎值的升高,沥青混合料的高温稳定性随之下降,就本地区而言,建议的压碎值区间为 11.7% ~ 21.3%,同等条件下压碎值在此区间内的沥青混合料能获得更好的高温稳定性。磨耗值是石料重要的物理指标,磨耗值越大,集料就容易被磨损,选择磨

耗值小的集料有助于工程的应用,软弱颗粒含量少。在轮胎与路面发生作用的过程中,磨耗值小的集料使沥青混合料拥有更强的抵抗破坏的能力,避免路面的早期破坏。总体而言,本地区的磨耗值范围建议在 10.2% ~ 16.9% 范围内。

2 AC-20 沥青混合料级配范围优化设计

目前大多数配合比设计时依然是按照规范给出的设计方法即马歇尔试件的体积指标设计法^[12-16],但体积设计法并不完善,只是初步的进行沥青路面使用性能评价。在目标配合比设计过程中,太依赖工程人员的经验,即使同样的工程在不同的标段也会有不同问题出现,所以需要针对不同地区制定出不同的标准。

依托京新高速工程,做了大量的试验,以期能优化级配,制定适合本地区的标准,为防止路面的早期破坏提供具体的指导意见。AC-20 通过不同筛孔 (mm) 的百分率 (%) 级配组成设计见表 7, AC-20 马歇尔试验检测结果见表 8, AC-20 沥青混合料试验结果见表 9。

表 7 AC-20 矿料级配范围及设计级配曲线

| 级配编号 | 筛孔/mm | | | | | | | | | | | |
|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | 26.5 | 19 | 16.0 | 13.2 | 9.5 | 4.75 | 2.36 | 1.18 | 0.6 | 0.3 | 0.15 | 0.075 |
| 1 | 100 | 92.6 | 85.8 | 76.4 | 61.0 | 37.1 | 25.3 | 17.3 | 14.5 | 9.6 | 7.4 | 5.5 |
| 2 | 100 | 92.6 | 85.2 | 74.7 | 57.3 | 34.1 | 22.8 | 15.6 | 13.2 | 8.8 | 6.8 | 5.1 |
| 3 | 100 | 91.2 | 83.3 | 72.7 | 55.3 | 32.1 | 21.1 | 14.5 | 12.2 | 8.2 | 6.4 | 4.9 |
| 4 | 100 | 91.9 | 85.1 | 76.3 | 61.8 | 40.0 | 28.0 | 19.4 | 16.4 | 11.2 | 8.7 | 6.6 |
| 5 | 100 | 92.7 | 86.2 | 77.7 | 63.7 | 39.0 | 26.2 | 17.9 | 15.0 | 9.9 | 7.6 | 5.7 |
| 上限 | 100 | 100 | 92 | 80 | 72 | 56 | 44 | 33 | 24 | 17 | 13 | 7 |
| 下限 | 100 | 90 | 78 | 62 | 50 | 26 | 16 | 12 | 8 | 5 | 4 | 3 |

表 8 AC-20 马歇尔试验检测结果

| 级配 | 4.75 mm 通过率/% | 油石比/% | 毛体积相对密度 | 最大理论相对密度 | 空隙率/% | 矿料间隙率/% | VFA/% | 稳定度/kN | 流值/mm |
|----|---------------|-------|---------|----------|-------|---------|-------|--------|-------|
| 1 | 37.1 | 4.4 | 2.422 | 2.534 | 4.4 | 13.4 | 67.1 | 15.21 | 3.5 |
| 2 | 34.1 | 4.4 | 2.418 | 2.534 | 4.6 | 13.6 | 66.3 | 15.63 | 3.0 |
| 3 | 32.1 | 4.4 | 2.413 | 2.535 | 4.8 | 13.8 | 65.2 | 14.43 | 2.8 |
| 4 | 40.0 | 4.4 | 2.432 | 2.531 | 3.9 | 13.2 | 70.7 | 13.78 | 3.9 |
| 5 | 39.0 | 4.4 | 2.430 | 2.535 | 4.1 | 12.8 | 69.2 | 12.79 | 2.5 |

表 9 AC-20 沥青混合料试验结果汇总

| 项目 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------|------|------|------|------|------|
| 动稳定度/(次/mm) | 7850 | 8543 | 7724 | 6875 | 7635 |
| 浸水马歇尔/% | 94.2 | 86.7 | 88.9 | 83.2 | 92.3 |
| 冻融劈裂/% | 84.3 | 83.8 | 80.2 | 79.2 | 81.7 |

改性沥青 AC-20 混合料 4.75 mm 筛孔通过率与路

用性能参数关系见表 10。

由表 10 沥青混合料路用性能与 4.75 mm 筛孔通过率之间的数学方程可知:沥青混合料的性能对筛孔通过率的敏感性各不相同,最大的是动稳定度,其余依次为浸水马歇尔、冻融劈裂强度比和稳定度,最小的是流值。它们之间的影响程度与改性沥青 AC-16 型基本一致。

表 10 4.75 mm 筛孔通过率与路用性能指数的关系

| 路用性能 | 回归方程式 | 相关系数 R^2 |
|---------|-------------------------------------|----------------|
| 稳定度 | $y = -0.0906x^2 - 6.3349x - 95.357$ | $R^2 = 0.6245$ |
| 流值 | $y = 0.0044x^2 - 0.2455x + 6.225$ | $R^2 = 0.1782$ |
| 浸水马歇尔 | $y = -0.3905x^2 + 28.095x - 42.780$ | $R^2 = 0.3531$ |
| 冻融劈裂强度比 | $y = -0.3267x^2 + 23.433x - 35.417$ | $R^2 = 0.9995$ |
| 动稳定度 | $y = -60.637x^2 + 4257.8x - 66372$ | $R^2 = 0.8741$ |

其根本问题在于作为关键筛孔的 4.75 mm 通过率的大小决定了沥青混合料级配中各集料的组成比例,尤其是细集料,沥青混合料的高温稳定性与水稳定性对此的敏感性较强。对 AC-20 沥青混合料,4.75 mm 通过率合适的区域是 32% ~ 39%。

3 试验路的铺筑

进行试验段路面铺筑检验级配优化设计后的效果。试验路段路用性能检测结果见表 11。

表 11 试验路检测结果

| 检测项目 | 检测结果 | 技术要求 |
|---------------------|-------|-------------|
| 动稳定度/(次/mm) | 7149 | ≥ 2400 |
| 浸水马歇尔/% | 89 | ≥ 80 |
| 冻融劈裂强度比/% | 90 | ≥ 80 |
| 稳定度/kN | 16.45 | ≥ 8 |
| 流值/mm | 3.4 | 2~4 |
| 小梁弯曲/ $\mu\epsilon$ | 3700 | ≥ 2800 |
| 渗水系数/(mL/min) | 50 | ≤ 120 |

由表 11 检测结果可知,采用优选的集料以及优化过的级配进行路面铺筑,其各项性能指标均比规范的要求要高出很多,动稳定度提升了 3 倍,浸水马歇尔与冻融劈裂强度比分别提升了 11.3% 和 12.5%,小梁弯曲提升了 32.1%。由此可见,采用这种级配能够使沥青混合料获得更加优良的高温稳定性以及水稳定性。

4 结论

本文通过对具体的工程项目原材料和配合比设计的优化研究,得出以下结论:

(1)本地区集料磨耗值范围在 10.2% ~ 16.9% 范围内时,其高温稳定性较高。

(2)华柯碎石是更适合本地区使用的集料,同等条件下,其高温稳定性分别比荣腾、鸿远、智平、伊克田集料提高 7.2%、10.3%、13.8%、9.2%;冻融劈裂强度比分别提高了 3.5%、9.1%、14.2%、3.9%。采用质量好

的集料能够有效的提高沥青混合料抗车辙的能力,减小车辙病害的发生。

(3)对 AC-20 沥青混合料,当 4.75 mm 通过率在 32% ~ 39% 范围内时,其整体路用性能较好。

参考文献:

- [1] 陈振富,吴旦,全锋.沥青路面车辙主要影响因素综述[J].中外公路,2016,36(4):68-72.
- [2] 孔祥杰,张金喜,袁晓斌.沥青路面抗车辙性能影响因素研究[J].中外公路,2016,36(3):43-48.
- [3] 韩波,刘强,于斌.就地热再生老化沥青混合料性能评价[J].公路,2016(7):274-279.
- [4] 阮鹿鸣,邹晓翎,柴明明.高温地区沥青路面结构抗车辙性能分析[J].武汉理工大学学报,2015,37(11):43-47.
- [5] 丁占峰,盛赛华,黄国威.石灰岩与玄武岩粗集料抗压耐磨性能对比试验研究[J].公路工程,2014,39(3):246-250.
- [6] 李菁若,张东长,谭巍.粗集料的抗滑耐磨性能评价新方法[J].公路交通科技,2016,33(12):76-82.
- [7] 朱洪洲,黄晓明.高温混合料高温稳定性影响因素分析[J].公路交通科技,2004,21(4):1-4.
- [8] 李松.基于分形理论的沥青混合料空隙特征研究[D].天津:河北工业大学,2014.
- [9] 赵士辉.基于分形理论的 SAC-16 沥青混合料级配设计研究[D].长春:吉林大学,2011.
- [10] 胡贵华.AC-13、AC-20 沥青混合料骨架密实级配范围研究[D].长沙:长沙理工大学,2008.
- [11] 罗青.AC-13、AC-20 沥青混合料级配优化设计及应用研究[D].长沙:长沙理工大学,2007.
- [12] 陈振富,吴旦,全锋.沥青路面车辙主要影响因素综述[J].中外公路,2016,36(4):68-72.

- [13] 谢兆星.集料特性对沥青混合料性能影响研究[D].西安:长安大学,2006.
- [14] 沈正伟.AC 沥青混合料的应用性研究[D].西安:长安大学,2012.
- [15] 张超,许志鸿,杨瑞华,等.骨架密实型沥青混合料中高温性能与级配关系[J].同济大学学报:自然科学版,2008(5):603-608.
- [16] 黄开宇,吴超凡,彭红卫,等.抗车辙骨架密实性沥青混合料配合比设计方法研究[J].公路工程,2010(1):88-94.

Study on Optimization Design of Asphalt Pavement

HAN Xue, DU Shuncheng, FAN Jun

(Civil Engineering of Xi'an Technological University, Xi'an 710032, China)

Abstract: The aggregate crushing value and the influence of the abrasion value on the performance of mixture road are explored respectively. From the perspective of aggregate choices, the ability of asphalt mixture of anti-rutting is improved, which is good to the early prevention of disease in the high temperature rutting of asphalt pavement. With the selected aggregate, a comparative study is done which aims to choose the proper key sieve with the standard of excellent road performance. The test shows that the key to mesh well has a great influence on the asphalt mixture. The optimized grading can improve all kinds of performance of asphalt mixture. The construct of test road is done. Various performance targets of Asphalt mixture meet the standard, especially the high-temperature stability and water stability, which proves that conclusions.

Key words: asphalt concrete; aggregate; gradation; disease prevention

(上接第67页)

Trend Analysis of Cement Hydration Based on Impact Elastic Wave

DENG Li, ZHANG Yuanjun

(Sichuan Central Inspection Technology Inc., Chengdu 610045, China)

Abstract: The hydration process of cement is a very complicated chemical and physical process. The performance of concrete structure will be directly affected by the degree of hydration reaction which has been the focus of scientific researchers. The degree of hydration of cement refers to the ratio of the amount of cement hydration to the amount of cement in a certain period of time. The method in this paper is based on impact elastic wave of last century 90s concrete dam core samples for elastic wave velocity test and compression test of core samples, and relevant literatures at home and abroad. The results show that after a long time of hydration reaction, the compressive strength of concrete has greatly increased compared with the design. Therefore, by studying the elastic wave velocity test of concrete core sample, the hydration reaction of cement in concrete can be indirectly judged, which provides a macroscopic means for tracking the hydration reaction of concrete.

Key words: hydration reaction; impact elastic wave; wave velocity