

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2022.03.011

集料骨架强度对沥青混合料路用性能的影响分析\*

武铁征

(河南交投沈皖高速公路有限公司, 河南 郑州 450007)

**摘要:** 采用逐级填充的方法,基于骨架强度与粗集料骨架间隙率 CVA 分别优化粗、细集料级配,通过室内试验分析集料骨架强度对沥青混合料路用性能的影响。结果表明,集料骨架强度对沥青混合料强度、高温稳定性和低温抗裂性能的影响显著,提高集料骨架强度可有效提高沥青混合料的强度和抗车辙能力,但会略微降低其抗低温开裂能力;高温地区宜采用骨架强度大于 14 kN 的集料设计沥青混合料。

**关键词:** 公路;沥青混合料;集料;骨架强度;路用性能

**中图分类号:** U416.217

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-2668(2022)03-0045-03

在日益增多的重载交通作用下,高温地区沥青路面车辙病害严重,造成路面行车安全及舒适性严重下降。为减少车辙病害,张争奇等采用 SBS 改性沥青、橡胶改性沥青及掺加抗车辙剂的方法,从沥青结合料的角度提高沥青混合料的抗高温变形能力,但造价增大。为不增加工程造价,人们从集料级配组成角度研究提高沥青混合料抗车辙性能的方法,如李丽民等通过增加粗集料含量和基于密实性优化集料级配的方法促使集料形成骨架结构,提高沥青混合料的抗高温变形能力。集料与集料接触形成骨架结构,在一定程度上提高了集料摩阻力,但难以表征该集料间形成的嵌挤力。为此,李平等通过集料贯入试验,以骨架强度为指标评价集料骨架结构。目前对集料骨架强度对沥青混合料性能影响的研究尚不多见。该文采用集料贯入试验,以骨架强度为指标优化集料级配,通过室内试验分析骨架强度对沥青混合料路用性能的影响,为骨架型沥青混合料组成设计及应用提供参考。

1 试验原材料

1.1 沥青

试验采用盘锦 70# 基质沥青,其性能指标见表 1。

表 1 70# 基质沥青的性能指标

试验项目	技术标准	试验结果
软化点/℃	≥46	48.9
延度(5 cm/min,10 ℃)/cm	≥20	41.7
延度(5 cm/min,15 ℃)/cm	≥100	129
针入度(25 ℃,100 g,5 s)/(0.1 mm)	60~80	63.8
闪点/℃	≥260	292
溶解度/%	≥99.5	99.8
密度(15 ℃)/(g·cm <sup>-3</sup> )	—	1.016
质量损失(TFOT,163 ℃,5 h)/%	±0.8	-0.249

1.2 集料

集料与矿粉均为石灰岩,其主要技术指标见表 2。

2 集料级配设计

2.1 粗集料级配优化

粗集料在沥青混合料中起骨架作用,其级配组成关系到混合料结构的稳定性。为使沥青混合料具有较高的稳定性,以集料骨架强度为指标,采用逐级填充法设计粗集料组成。将设计的矿质混合料装入 15 L 容量桶内,采用干捣法捣实,利用 φ10 cm 压头

表 2 集料的物理性能指标

集料类型	洛杉矶磨耗损失/%	压碎值/%	表观相对密度	小于 0.075 mm 颗粒含量/%	针片状颗粒含量/%	砂当量/%	亲水系数/%
粗集料	19.6	19.9	2.745	0.5	6.3	—	—
细集料	—	—	2.736	1.9	—	67.7	—
矿粉	—	—	2.705	—	—	—	0.48

\* 基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目(2020JJ4615);长沙市自然科学基金资助项目(kq2014109)

以 5 mm/min 的速率进行贯入试验,测定集料骨架强度。在逐级填充过程中,变化两档粒径集料比例,测定不同比例下骨架强度,以集料骨架强度最大值确定两档粒径集料比例;固定确定的两档粒径集料比例作为一大档集料,新加入一档粒径集料,再确定这两档粒径集料比例;以此类推,最终确定粗集料级配组成。各档粗集料比例确定流程与结果见表 3。

表 3 各档粗集料比例确定流程与结果

流程序号	各档粒径集料比例
1	19~26.5 mm : 16~19 mm=1 : 3
2	16~26.5 mm(各档比例见序号 1) : 13.2~16 mm=4 : 1
3	13.2~26.5 mm(各档比例见序号 2) : 9.5~13.2 mm=13 : 7
4	9.5~26.5 mm(各档比例见序号 3) : 4.75~9.5 mm=9 : 27 : 9 : 25 : 30(百分比)。

根据表 3,通过逐级填充,采用贯入试验,以集料骨架强度为指标确定的各档粗集料组成比例为 19~26.5 mm : 16~19 mm : 13.2~16 mm : 9.5~13.2 mm : 4.75~9.5 mm=9 : 27 : 9 : 25 : 30(百分比)。

## 2.2 细集料级配优化

细集料在沥青混合料中起填充作用,其级配组成关系到混合料结构的密实性。以密实性为指标,采用逐级填充法设计细集料组成。在逐级填充过程中,变化两档粒径集料比例,测定不同比例下集料骨

架间隙率 VCA,以 VCA 最小值确定两档粒径集料比例;固定确定的两档粒径集料比例作为一大档集料,新加入一档粒径集料,再确定这两档粒径集料比例;以此类推,最终确定细集料级配组成。各档细集料比例确定流程与结果见表 4。

表 4 各档细集料比例确定流程与结果

流程序号	各档粒径集料比例
1	2.36~4.75 mm : 1.18~2.36 mm=5 : 3
2	1.18~4.75 mm(各档比例见序号 1) : 0.6~1.18 mm=3 : 1
3	0.6~4.75 mm(各档比例见序号 2) : 0.3~0.6 mm=4 : 1
4	0.3~4.75 mm(各档比例见序号 3) : 0.15~0.3 mm=5 : 1
5	0.15~4.75 mm(各档比例见序号 4) : 0.075~0.15 mm=26 : 15 : 14 : 14 : 14 : 17(百分比)。

根据表 4,采用逐级填充法,以集料 VCA 为指标确定的各档细集料组成比例为 2.36~4.75 mm : 1.18~2.36 mm : 0.6~1.18 mm : 0.3~0.6 mm : 0.15~0.3 mm : 0.075~0.15 mm=26 : 15 : 14 : 14 : 14 : 17(百分比)。

## 2.3 集料级配合成

通过设置不同粗、细集料比例合成 8 组集料级配,采用贯入试验测定集料骨架强度和最佳油石比,结果见表 5。

表 5 设计集料级配及骨架强度

级配 编号	各档粒径集料(mm)通过率/%												骨架强 度/kN	油石 比/%
	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075		
1	100	91	83	78	66	52	40	32	26	19	13	5	11.1	4.9
2	100	90	82	77	64	49	37	31	24	18	12	5	11.7	4.8
3	100	89	80	75	61	45	34	28	23	17	11	5	12.3	4.7
4	100	89	79	73	59	42	32	26	21	16	11	5	13.2	4.6
5	100	88	77	72	56	38	29	24	19	15	10	5	13.6	4.5
6	100	87	76	70	54	35	27	22	17	13	9	4	14.3	4.4
7	100	86	75	69	52	32	24	20	16	12	8	4	14.8	4.3
8	100	85	73	67	49	28	22	18	14	11	8	4	15.0	4.1

## 3 骨架强度对路用性能的影响

### 3.1 对马歇尔稳定度和流值的影响

对 8 组不同骨架强度的沥青混合料分别进行马歇尔试验,测定其马歇尔稳定度与流值,结果见图 1、图 2。

由图 1、图 2 可知:随着集料骨架强度的提高,

沥青混合料的马歇尔稳定度增大,流值减小。这主要是因为随着集料骨架强度的提高,集料内部嵌挤作用提高,集料摩阻力增大,沥青混合料的稳定性提高,但限制了其流变性能。说明集料骨架强度对沥青混合料马歇尔试验结果的影响显著,提高集料骨架强度可提高沥青混合料的马歇尔稳定度,但会在一定程度上降低其流值。

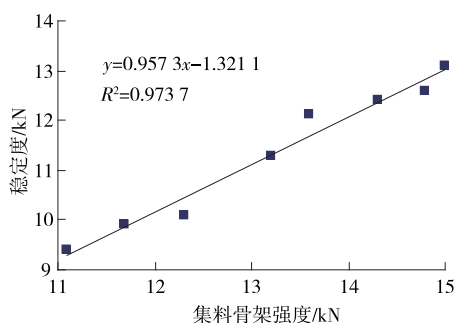


图1 沥青混合料马歇尔稳定度与集料骨架强度的关系

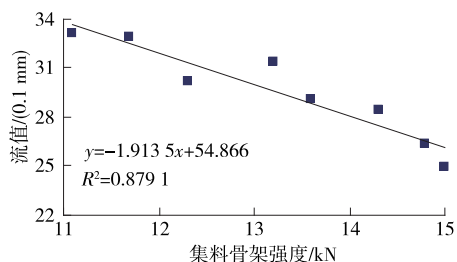


图2 沥青混合料流值与集料骨架强度的关系

### 3.2 对高温稳定性的影响

在60℃温度下对8组不同骨架强度的沥青混合料分别进行车辙试验,测定其动稳定度,结果见图3。

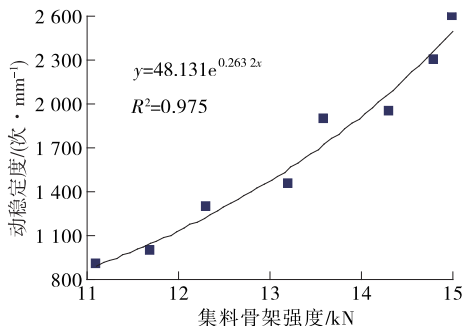


图3 沥青混合料动稳定度与集料骨架强度的关系

由图3可知:随着集料骨架强度的提高,沥青混合料的动稳定度增大,且增幅较大。这主要是因为随着集料骨架强度的提高,集料骨架的嵌挤作用限制了集料在车轮作用下的移动,表现为车辙位移降低,动稳定度提高。说明集料骨架强度对沥青混合料高温稳定性的影响显著,提高集料骨架强度可显著增强其抗高温变形能力,高温地区宜采用骨架强度大于14 kN的集料设计沥青混合料。

### 3.3 对低温抗裂性能的影响

在-10℃温度下对8组不同骨架强度的沥青混合料分别进行小梁弯曲试验,测定其最大弯拉应变,结果见图4。

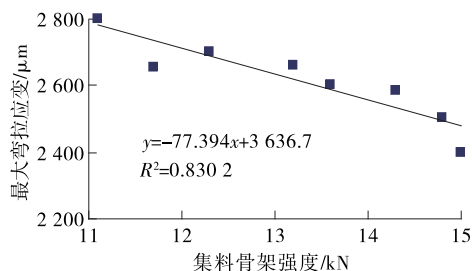


图4 沥青混合料最大弯拉应变与集料骨架强度的关系

由图4可知:随着集料骨架强度的提高,沥青混合料的最大弯拉应变降低,但降幅较小且满足规范对低温抗裂性能的要求。这主要是因为随着集料骨架强度的提高,集料骨架的嵌挤作用在一定程度上限制了沥青混合料的变形,表现为最大弯拉应变降低。说明集料骨架强度对沥青混合料低温抗裂性能的影响显著,提高集料骨架强度会在一定程度上降低沥青混合料的抗低温开裂能力。

### 3.4 对水稳定性的影响

对8组不同骨架强度的沥青混合料分别进行浸水马歇尔试验和冻融劈裂试验,测定其残留稳定度和冻融劈裂强度比,结果见图5、图6。

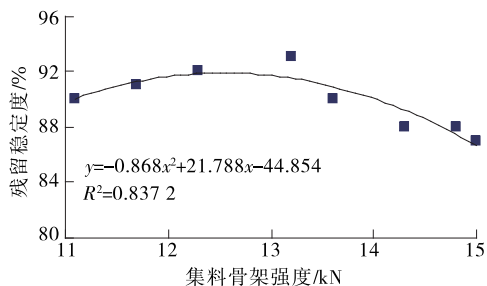


图5 沥青混合料残留稳定度与集料骨架强度的关系

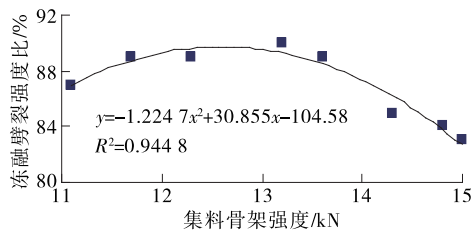


图6 沥青混合料冻融劈裂强度比与集料骨架强度的关系

由图5、图6可知:随着集料骨架强度的提高,沥青混合料的残留稳定度、冻融劈裂强度比均先提高后降低,但变化幅度较小且满足规范对水稳定性的要求。这主要是因为随着集料骨架强度的提高,集料骨架的嵌挤作用在一定程度上增强了沥青混合料的抗水侵蚀能力,但细集料过少时会减弱其抗水

(下转第75页)

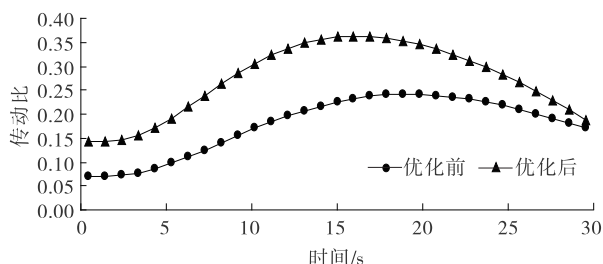


图5 优化前后传动比对比

优化前后铲斗挖掘角度的变化范围对比见图6。由图6可知:优化前铲斗挖掘角度的变化范围为 $171^{\circ} \sim 280^{\circ}$ ,优化后为 $171^{\circ} \sim 320^{\circ}$ ,挖掘范围扩大,优化效果明显。

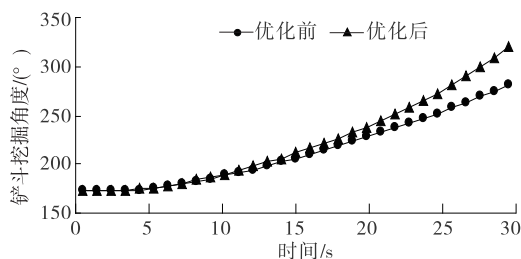


图6 优化前后铲斗挖掘角度变化范围对比

### 3 结语

基于ADAMS对挖掘式装载机的铲斗连杆机

构进行优化设计。通过计算各铰点的位置建立铲斗连杆机构参数化模型,确定设计变量、目标函数和约束条件,并通过敏感度分析确定优化中的关键设计变量。利用ADAMS软件对铲斗连杆机构进行优化,得到新的参数值并建立新的铲斗连杆机构参数化模型。优化后铲斗连杆机构的最大传动比提升50.27%,即挖掘式装载机的理论挖掘力提升50.27%,铲斗挖掘范围也扩大,优化效果显著。

### 参考文献:

- [1] 聂阳文,胡星,闫磊.基于ADAMS的液压挖掘机工作装置优化分析[J].计算机仿真,2019,36(11):300-304.
- [2] 王皓.液压挖掘机铲斗连杆机构优化设计[J].煤矿机械,2015,36(1):85-87.
- [3] 卜祥建.挖掘机反铲工作装置优化设计及整机稳定性分析[D].厦门:厦门大学,2014.
- [4] 徐素霞,文学洙.基于ADAMS的挖掘机铲斗连杆机构参数优化设计[J].机械工程师,2013(9):87-88.
- [5] 马颖,朱石沙.基于ADAMS的挖掘机铲斗连杆机构的优化[J].机械工程与自动化,2011(4):32-34.
- [6] 徐向红.基于ADAMS的液压挖掘机仿真与优化分析[J].机床与液压,2016,44(11):149-151.

收稿日期:2021-10-23

(上接第47页)

侵蚀能力。说明集料骨架强度对沥青混合料水稳定性的影响不显著。

### 4 结论

(1) 根据粗、细集料在混合料中作用的不同,可以集料骨架强度为指标优化粗集料级配组成,以VCA为指标优化细集料级配组成。

(2) 集料骨架强度对沥青混合料高温稳定性的影响显著,提高集料骨架强度可有效提高其抗车辙能力,高温地区宜采用骨架强度大于14 kN的集料设计沥青混合料。

(3) 集料骨架强度对沥青混合料低温抗裂性能的影响显著,提高集料骨架强度会略微降低沥青混合料的抗低温开裂能力。

(4) 集料骨架强度对沥青混合料水稳定性的影响不明显,提高集料骨架强度会使沥青混合料抗水损能力先提高后降低,但变化幅度不大。

### 参考文献:

- [1] 刘春林.沥青混凝土路面高温稳定性影响因素分析[J].公路交通科技(应用技术版),2019(1):158-160.
- [2] 张争奇,张英楠,黄硕磊.SBS-PU复合改性沥青及其混合料路用性能研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2020,39(5):80-88.
- [3] 翟殿钢,秘林源,敖清文.橡塑沥青混合料性能试验研究[J].公路与汽运,2020(4):68-71+82.
- [4] 张鹏,黄建平,尹乃玉.PCF抗车辙剂改性沥青混合料性能评价与蠕变特性研究[J].公路,2020(1):184-190.
- [5] 李胜.沥青混合料级配分析路与路用性能研究[J].公路与汽运,2021(1):59-62+86.
- [6] 李丽民,张国祥,蒋建清.一种基于分形理论的骨架密实型抗车辙级配检验方法[J].上海交通大学学报,2018,52(9):1125-1134.
- [7] 李平,王秉纲,张争奇.基于高温性能的沥青混合料级配设计方法[J].交通运输工程学报,2010,10(6):9-14.

收稿日期:2021-09-17