

旧桥加宽桥面沥青铺装层体积参数影响因素的试验分析

陈景星^{1,2}, 冯忠居¹, 郭 瑞¹

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 河南省交通运输厅
京珠高速公路新乡至郑州管理处, 河南 郑州 450000)

摘 要:为保证旧桥加宽后新、旧桥的沥青铺装层具有良好的抗水损害和抗车辙能力,对沥青铺装层混合料体积参数的影响因素进行专门试验研究。以 AC-13 混合料的 3 种级配为例,采用室内马歇尔试验和车辙试验方法,对沥青混合料的空隙率、矿料间隙率及沥青饱和度等体积参数的影响因素进行了分析。结果表明:在其他试验条件相同情况下,随着碾压次数的增加,沥青混合料的空隙率和矿料间隙率逐渐减小,而沥青饱和度则不断增大;在相同压实功条件下,当沥青混合料中沥青含量约为 4.0% 时,车辙试件辙槽两侧沥青混合料的孔隙率与未经车辙试验沥青混合料的孔隙率相差不大;但随着沥青用量的增加,辙槽两侧沥青混合料的空隙率不断减小,且小于未经车辙试验沥青混合料的空隙率。

关键词:道路工程;桥面沥青铺装层;沥青混合料;体积参数;马歇尔试验;车辙试验
中图分类号:U414 **文献标志码:**A

Experiment analysis of influence factors on the volume parameters of asphalt mixture used in asphalt concrete deck pavement after bridge broadened

CHEN Jing-xing^{1,2}, FENG Zhong-ju¹, GUO Rui¹

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Xinxiang—Zhengzhou Expressway Management Bureau of Henan Provincial Communications Department, Zhengzhou 450000, Henan, China)

Abstract: In order to guarantee asphalt concrete deck pavement's good performance of anti-water damage and anti-rutting, the paper specially studied the influence factors on the volume parameter of the asphalt mixture used in concrete deck pavement after bridge broadened. Taking three gradations of AC-13 mixtures as research object and through Marshall and Rutting test, the paper analyzed the influence factors of the volume parameter of AC-13 asphalt mixture including asphalt contents, the volume of air voids, voids in mineral aggregate and voids filled with asphalt. The results show that under the same test conditions, with the increase of rolling times, the volume of air voids and voids in mineral aggregate decrease gradually, but the voids filled with asphalt increase continuously; under the same compaction work conditions, volume of air voids of AC-13 in the rutting depth (when the content of the asphalt is about 4.0%) is nearly the same as that in asphalt mixture not undergoing rutting test, but with the increase of the content of the asphalt,

the volume of air voids of asphalt mixture on both sides of the rutting depth constantly decrease, which is less than that not undergoing rutting test. 5 tabs, 2 figs, 15 refs.

Key words: road engineering; asphalt concrete deck pavement; asphalt mixture; volume parameter; Marshall test; rutting test

0 引言

随着国民经济的快速发展,道路交通运量迅猛增加,大量公路、桥梁加宽改造工程付诸实施。由于旧桥加宽改变了旧桥结构的受力特性,使旧桥部分受力增大或力的横向分布情况发生变化,当旧桥结构不能满足新旧桥整体的受力情况时,往往会在旧桥的沥青铺装层产生坑洞和裂缝,这种病害修补困难且效果不明显,将直接影响桥梁的使用功能,降低桥梁使用寿命^[1]。

为了保证旧桥加宽后的新旧桥沥青铺装层具有良好的抗水损害和抗车辙能力,应针对沥青铺装层进行专门的沥青混合料配合比设计。现行沥青路面设计规范对沥青铺装层的设计只是做了指导性的说明,没有给出具体的设计理论与方法,其混合料的设计与施工仍沿用传统的路用沥青混合料的做法^[2]。这就造成了在实际设计中设计者对其花费精力甚少,从而为桥面铺装的早期损坏埋下了隐患^[3]。在旧桥加宽工程中,由于新、旧基础沉降差对上部结构受力的不利影响,桥面铺装的病害问题显得尤为严重。

考虑到沥青混合料体积参数是进行配合比设计和确定沥青含量的重要依据,无论是传统的马歇尔(Marshall)设计法还是现代的 Superpave 设计法,都严格规定了混合料体积指标设计要求^[4]。作为沥青混合料重要的体积参数,孔隙率、矿料间隙率、沥青饱和度等对沥青混合料的路用性能有着显著影响。国内外大量沥青混合料研究成果都表明,分析沥青混合料体积参数的影响因素,并把体积参数控制在合理的范围内,对保证桥面沥青铺装层的强度、稳定性和耐久性具有重要的现实意义^[5-12]。中国相关研究成果证实,AC-13 沥青混合料的抗水损坏、抗疲劳和抗车辙综合能力相对较强^[13]。因此,本研究采用马歇尔击实法和轮碾法制作 AC-13 沥青混合料试件,分析了沥青混合料各项体积参数变化规律,以期为桥面铺装层沥青配合比的设计提供理论参考。

1 材料性质和试验设计

1.1 集料性质

试验用粗、细集料采用石灰岩,集料强度高、硬

度较大,其各项技术指标均符合《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)的规定,各级粒径集料的密度测量结果见表 1 和表 2。矿粉为石灰石磨制而成,满足各项技术标准。

表 1 粗集料视密度

Tab. 1 Apparent densities of coarse aggregates

粒径/mm	16	13.2	9.5	4.75
表观相对密度/(g·cm ⁻³)	2.657	2.651	2.671	2.655
毛体积相对密度/(g·cm ⁻³)	2.641	2.634	2.659	2.646

表 2 细集料视密度

Tab. 2 Apparent densities of fine aggregates

粒径/mm	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
视密度/(g·cm ⁻³)	2.64	2.65	2.66	2.67	2.68	2.69

1.2 沥青性质

沥青混合料要求沥青具有较高的粘度,与集料有良好的粘附性,本试验采用 AH-90 石油沥青,其相关指标见表 3。

表 3 AH-90 石油沥青技术指标

Tab. 3 Technological indexes of petroleum asphalt AH-90

技术指标	指标值	技术指标	指标值
针入度(25℃,100 g,5 s)/0.1mm	95	溶解度/%	99.59
不同温度(℃)延度/cm	15	闪点/℃	332
	10	软化点/℃	47.6
蜡含量(蒸馏法)/%	2.52	动力粘度 (60℃)/(Pa·s)	165.2
密度/(g·cm ⁻³)	0.996		

1.3 矿料级配设计

试验采用沥青混合料 AC-13 沥青混合料,级配选用沥青混合料 AC-13 的规范级配范围内上限、中值和调整后的下限,其矿料级配组成见表 4。

表 4 AC-13 矿料级配组成

Tab. 4 Gradation compositions of AC-13 asphalt mixtures

级配类型	下列筛孔(mm)的通过率/%									
	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	
AC-13 上限	100	86	67	50	39	27	19	15	9	
AC-13 中值	96	75	53	38	26	20	14	10	7	
AC-13 下限	90	65	46	28	25	21	11	9	6	

1.4 试验方法

(1)按《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(CJTGE20—2011)要求制作马歇尔试件,试件的油石比为 4.0%、4.5%、5.0%、5.5%,通过网篮法测定马歇尔试件的空隙率、毛体积密度、沥青饱和度及

矿料间隙率等体积参数,然后将测完体积指标的马歇尔试件置于 60 ℃ 的水浴中浸泡 30 min 后,用马歇尔稳定度仪测定出试件的马歇尔稳定度和流值指标。

(2)以马歇尔击实试验已确定出的混合料的最佳沥青用量为依据,将拌和均匀后的沥青混合料倒入尺寸为 300 mm×300 mm×50 mm 的模具中,分别往返碾压 12 次、18 次及 24 次制成车辙试件,试件的油石比为 4.0%、4.5%、5.0%、5.5%,然后按《规程》要求,每个试件进行 3 次车辙试验。试验结束后,在试件辙槽处和轮迹两侧隆起处分别钻芯取样,以测定辙槽处和辙槽两侧隆起处的沥青混合料

的各种体积参数。

2 试验结果分析

2.1 油石比对马歇尔试件体积参数的影响

以 3 种级配 AC-13 沥青混合料马歇尔试验确定的最佳沥青用量为基础,上下幅度 0.5%,选取 4.0%、4.5%、5.0% 及 5.5% 这 4 种油石比拌和沥青混合料,进行马歇尔标准击实试验;测定并计算 3 种级配下沥青混合料的空隙率、沥青饱和度、矿料间隙率、马歇尔稳定度、流值及马歇尔试件粗集料骨架间隙率等体积参数,以分析沥青用量对 AC-13 沥青混合料体积参数的影响,试验结果见表 5。

表 5 3 种级配沥青混合料马歇尔试验结果

Tab. 5 Results of Marshall tests of three gradations

沥青混合料类型	油石比/%	理论最大密度/(g·cm ⁻³)	毛体积相对密度	空隙率/%	饱和度/%	间隙率/%	稳定度/kN	流值/mm
AC-13 上限	4.0	2.500	2.235	8.25	45.15	18.2	9.23	4.50
	4.5	2.483	2.396	6.29	63.80	15.5	10.17	5.20
	5.0	2.462	2.337	5.30	65.40	15.7	16.50	4.90
	5.5	2.455	2.332	5.02	70.40	16.8	15.31	6.11
AC-13 中值	4.0	2.508	2.289	7.90	50.90	16.8	11.28	4.30
	4.5	2.480	2.335	6.10	64.70	15.5	10.97	4.00
	5.0	2.459	2.330	5.00	68.80	15.9	10.03	4.90
	5.5	2.451	2.331	4.70	72.50	16.1	9.37	5.10
AC-13 下限	4.0	2.493	2.329	6.20	58.60	15.6	18.23	3.90
	4.5	2.480	2.355	5.10	67.30	14.7	12.44	3.50
	5.0	2.461	2.365	4.30	72.40	14.6	15.11	3.40
	5.5	2.455	2.359	3.10	79.60	14.2	13.86	4.20

由表 5 可以看出,随着 AC-13 沥青混合料中沥青用量的增加,其空隙率和矿料间隙率呈现出不断降低的变化趋势,这说明沥青含量增加后,混合料中多余出的沥青可以充分地包裹于集料颗粒表面,填充于矿料间隙中。沥青饱和度则随着 AC-13 沥青混合料中沥青含量的增加而增大。在同种沥青用量条件下,随着沥青混合料中粗集料颗粒含量的增加,AC-13 沥青混合料的空隙率和矿料间隙率逐渐减小,沥青饱和度逐渐增大。究其原因:随着沥青混合料中粗集料含量的增加,集料的比表面积减小,沥青可以充分地填充于矿料间隙中,其空隙率和矿料间隙率减小,沥青饱和度增大。反之,随着沥青混合料中细集料含量的增加,集料的比表面积增大,对沥青的吸附量增大,导致集料颗粒表面不能被充分包裹,从而致使沥青混合料的空隙率和矿料间隙率随之增大,沥青饱和度则减小。

2.2 油石比对车辙试件体积参数的影响

选取 AC-13 沥青混合料的中间级配为研究对

象,以马歇尔试验确定的最佳沥青用量为依据,上下幅度 0.5%,选取 4.0%、4.5%、5.0% 及 5.5% 这 4 种油石比拌和沥青混合料,并选取 12 次、18 次及 24 次 3 种碾压次数分别制作车辙试件,以分析沥青用量和车辙试件成型碾压次数对 AC-13 沥青混合料孔隙率、矿料间隙率及沥青饱和度的影响,其试验结果如下页图 1 所示。

从图 1 可知,AC-13 沥青混合料的空隙率、矿料间隙率、沥青饱和度与混合料中的沥青含量及车辙试件的碾压成型次数密切相关。随着 AC-13 沥青混合料碾压成型次数和沥青含量的增加,其空隙率和矿料间隙率均呈现出不断减小的变化趋势,而沥青饱和度则表现出相反的变化趋势。由图 1(a)可以看出,随着混合料的沥青含量和碾压次数的增加,AC-13 沥青混合料的空隙率逐渐减小,究其原因:混合料中沥青含量增加后,多余出的沥青可以充分地包裹集料颗粒,填充于矿料颗粒间的空隙中,从而致使沥青混合料的空隙率随着混合料中沥青含量的增

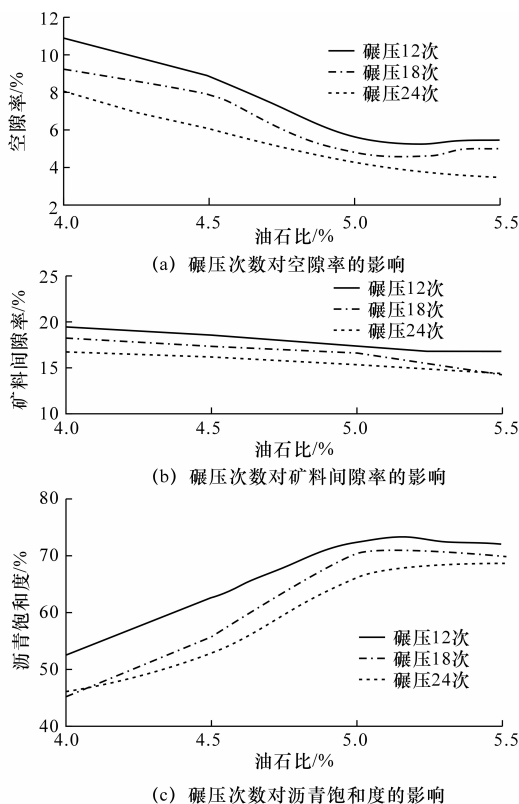


图1 AC-13中值体积参数与油石比、碾压次数的关系

Fig. 1 Relationship between the volume parameters and asphalt contents, rolling times

加而逐渐减小。

考虑到桥面铺装受力和变形远较公路路面复杂,因而对其强度、变形特性、温度稳定性、疲劳耐久性等均有更高要求,特别是提出了质量轻、高粘结性、不透水性等特殊要求。因此,在桥面铺装层沥青混合料配合比设计时,应将沥青混合料压实后的剩余空隙率严格控制在 $3\% \sim 4\%$ ^[13]。

由图1(b)可以看出,随着混合料碾压次数和沥青含量的增加,其矿料间隙率逐渐减小,究其原因:碾压次数增加致使组成沥青混合料的粗骨料骨架结构嵌挤越加密实,致使沥青混合料的矿料间隙率减小。从图1(c)可以看出,对于同种级配沥青混合料,在一定压实功条件下,随着油石比的增加而增加;在相同油石比条件下,随着沥青混合料试件所承受碾压次数的增加,其沥青饱和度也逐渐增大,说明碾压次数增加,集料对沥青的吸附量也随之增大。实践证明,铺装层的抗水损坏能力与沥青和细集料的含量息息相关,细集料含量的增多使沥青混合料易于形成密实结构,空隙率降低,同时沥青含量增加,沥青膜增厚,有利于提高沥青铺装层的抗水损害性能^[14]。

2.3 压实功对车辙试件体积参数的影响

以AC-13沥青混合料中间级配为研究对象,选取 4.0% 、 4.5% 、 5.0% 及 5.5% 这4种油石比拌和沥青混合料,分别碾压12次、18次及24次制作车辙试件,以分析沥青混合料碾压前后其空隙率的变化情况,试验结果如图2所示。

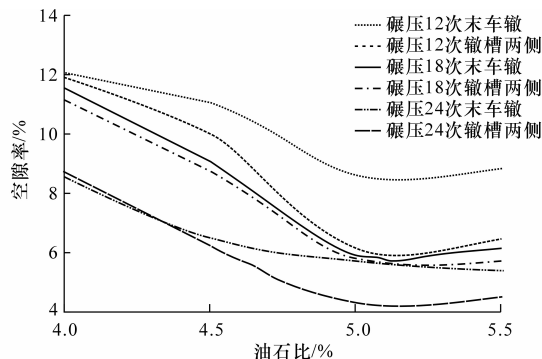


图2 AC-13中值车辙试验前后辙槽处空隙率与油石比的关系

Fig. 2 Relationship between the volumes of air voids and asphalt contents before and after rutting tests

从图2可以看出,在相同碾压次数条件下,当沥青含量为 4.0% 时,车辙试件辙槽两侧沥青混合料与未经车辙试验沥青混合料的空隙率值相差不大;但随着混合料中沥青用量的增加,辙槽两侧沥青混合料的空隙率值趋于不断减小,且小于相同碾压次数条件下未经车辙试验沥青混合料的空隙率值。其原因为:在 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高温试验条件下,当混合料中沥青含量较小时,自由沥青含量较少,辙槽处仅有少量的自由沥青被挤向辙槽两侧,因此,发生侧向移动的多为粒径较大的粗骨料颗粒,其沿着矿料间的接触面侧向滑动,从而致使沥青混合料的空隙率增大。但随着混合料中沥青含量的增加,混合料结构类型由骨架空隙结构向密实悬浮结构过渡,自由沥青的含量逐渐增多,在车轮的侧向压力作用下,沥青及沥青胶浆开始向辙槽两侧流动,并不断地填充于辙槽两侧沥青混合料的空隙中,从而致使沥青混合料的空隙率减小。

通过对比分析马歇尔击实法和轮碾法成型试件的体积参数也可以看出,成型工艺对体积参数影响较大,沥青混合料马歇尔击实试件的空隙率小于碾压12次末试件的空隙率,即轮碾法达不到马歇尔击实法要求的压实度^[14]。因此,建议在进行路用性能检测时,应适当增加混合料碾压次数,才能保证室内马歇尔试验所要求的压实度。鉴于桥面铺装层施工现场压实的特殊性,要想提高桥面铺装层的使用品

质和延长其使用寿命,要根据 Marshal 试验结果,通过压实工艺的优化调整和压实机具的正确选择,适当增加压实遍数以实现対沥青铺装层有效压实。如果要求在提高压实效率的同时减小振动对桥梁结构受力的影响,建议采用振荡压路机施工^[15]。

3 结 语

(1)在马歇尔试验中,对于 AC-13 这 3 种不同级配的沥青混合料,随着混合料中沥青用量的增加,空隙率逐和矿料间隙率均呈现出不断减小的变化趋势,而沥青饱和度则呈现出不断增大的变化趋势。

(2)在车辙试验中,对于 AC-13 中值级配沥青混合料,随着混合料的碾压成型次数和混合料中沥青含量的增加,其空隙率逐和矿料间隙率也均表现出不断减小的变化趋势,而沥青饱和度则随着沥青用量的增加而不断增大。

(3)在相同碾压次数条件下,当 AC-13 中沥青含量为 4.0%时,其车辙试件辙槽两侧沥青混合料与未经车辙试验沥青混合料的空隙率值相差不大;但随着沥青用量的增加,辙槽两侧沥青混合料的空隙率值趋于不断减小,且小于相同碾压次数条件下未经车辙试验沥青混合料的空隙率值。

(4)中国将 AC-13 沥青混合料成功用于桥面铺装层的工程实例都表明,需要在优化配合比的基础上,对混合料的体积参数进行深入研究,根据 Marshal 试验结果,通过压实工艺的优化调整和压实机具的正确选择,适当增加压实遍数以实现対沥青铺装层有效压实

(5)本研究仅从充分发挥材料作用组成设计的角度,以桥面沥青铺装层混合料体积参数指标的影响因素为研究对象进行了试验分析,没有进一步从桥面铺装层的受力特性、层间粘结和材料性能等方面进行深入研究,旨在通过对沥青混合料体积参数的分析,为 AC-13 混合料应用于桥面铺装层提供一定的理论参考。

参考文献:

References:

- [1] 叶 生. 旧桥整体加宽中的若干问题的研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2006.
YE Sheng. The research about some questions of the old bridges' being entirely broadened[D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2006. (in Chinese)
- [2] JTG D50—2006, 公路沥青路面设计规范[S].
JTG D50—2006, Highway asphalt pavement design

specifications[S]. (in Chinese)

- [3] 许 涛,喻宝金,黄晓明. 混凝土桥沥青铺装层病害的机理分析与对策研究[J]. 华东公路, 2003, 145(6): 43-46.
XU Tao, YU Bao-jin, HUANG Xiao-ming. Mechanism analysis and prevention measures of asphalt bridge deck's diseases[J]. East China Highway, 2003, 145(6): 43-46. (in Chinese)
- [4] 刘洪海,范鹏云,岳鹏程,等. 影响沥青混合料体积参数的因素与质量控制[J]. 武汉理工大学学报, 2007, 29(9): 55-58.
LIU Hong-hai, FAN Peng-yun, YUE Peng-cheng, et al. The factors of influencing mixture volume parameter of asphalt and construction quality control[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2007, 29(9): 55-58. (in Chinese)
- [5] 章守贵. 环氧沥青桥面铺装路用性能及施工控制[J]. 筑路机械与施工机械化, 2011, 28(9): 70-72.
ZHANG Shou-gui. Road performance and construction control of epoxy asphalt bridge deck pavement[J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2011, 28(9): 70-72. (in Chinese)
- [6] 吴传海. 矿料级配対沥青混合料体积指标的影响[J]. 筑路机械与施工机械化, 2011, 28(11): 55-58.
WU Chuan-hai. Influence of aggregate gradation on volume index of asphalt mixture[J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2011, 28(11): 55-58. (in Chinese)
- [7] 李德超. 集料在沥青混合料中的状态对其体积指标的影响[J]. 石油沥青, 2006, 20(1): 49-54.
LI De-chao. Study on asphalt mixture volume index comparison considering aggregate taking in asphalt[J]. Petroleum Asphalt, 2006, 20(1): 49-54. (in Chinese)
- [8] 贾致荣,赵成泉. 引起矿料间隙率破坏的影响因素分析[J]. 中外公路, 2007, 27(1): 151-153.
JIA Zhi-rong, ZHAO Cheng-quan. The analysis of influence factors on cause of material clearance rate damage [J]. Journal of China & Foreign Highway, 2007, 27(1): 151-153. (in Chinese)
- [9] 王 玮. 纵坡段桥面铺装层受力分析[J]. 筑路机械与施工机械化, 2011, 28(4): 73-76.
WANG Wei. Force analysis of longitudinal slope section of bridge deck pavement[J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2011, 28(4): 73-76. (in Chinese)