

大粒径沥青碎石下面层材料组成及结构设计研究

童申家¹, 李惠霞^{1,2}

(1. 西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710055; 2. 河南城建学院交通工程系, 河南 平顶山 467000)

摘 要:通过试验研究和力学行为分析确定大粒径沥青碎石作为下面层的设计方法,包括路面材料组成设计和路面结构设计两个方面.对四种不同级配的大粒径沥青碎石进行路用性能和力学性能试验,通过性能的对比如选择一种综合性能较优的级配材料.拟定沥青路面结构形式并采用不同厚度的大粒径沥青碎石作为下面层,对路面结构进行力学计算并分析其力学行为.通过试验研究,推荐综合性能较好的 ATB-30 作为大粒径沥青碎石下面层;通过对路面结构的力学行为分析,推荐大粒径碎石下面层的合理厚度为 10~11 cm.

关键词:大粒径;下面层;路用性能;力学性能;合理厚度

中图分类号:U 416.214

文献标志码:A

文章编号:1006-7930(2012)02-0183-05

大粒径沥青碎石作为下面层时,因为其混合料粒径较大,形成骨架嵌挤结构,具有较强抗剪强度,抗车辙能力随之增强^[1-2].另外,大粒径沥青碎石因其收缩系数小、粒径大及结构空隙多而具有较大的塑性变形能力,裂缝释放的应变能被充分吸收,减小了路面结构裂缝处的应力集中现象,从而延缓了反射裂缝向上扩展的速度,因此大粒径沥青碎石作为下面层的防裂效果显著优于普通 AC 下面层^[3].本文通过对以往研究资料的分析及试验研究,展开大粒径沥青碎石作为下面层时设计方法的研究,包括大粒径沥青碎石材料组成设计方法研究和结构设计方法研究.材料组成设计方法研究是通过试验对密级配大粒径沥青混合料 ATB-25、ATB-30 和开级配沥青混合料 ATPB-25、ATPB-30 进行配合比设计,并通过对路用性能和力学性能的分析比较确定综合性能最优的大粒径沥青碎石作为下面层.路面结构设计的内容是首先依据经验推荐路面结构层,其次计算大粒径沥青碎石下面层不同厚度时各结构层的应力,最后通过对受力的分析及结合规范对公称最大粒径的要求推荐合理的大粒径沥青碎石下面层厚度.

1 材料组成设计方法

首先确定四种大粒径沥青碎石的级配和最佳沥青用量,然后通过对比其路用性能和力学性能确定综合性能最优的大粒径沥青碎石作为下面层.

1.1 确定大粒径沥青碎石的级配和最佳沥青用量

1.1.1 通过试验确定大粒径沥青碎石的级配如表 1.

表 1 大粒径沥青碎石的级配

Tab. 1 Gradation of the large stone asphalt mixes

筛孔	37.5	31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
ATB-25	100	100	98	66.2	54.1	44.7	32.9	16.23	11.5	6	4.7	4	3.5	2.7
ATB-30	100	98	83.7	56.2	48.8	41.2	31.4	18.2	13.8	7.6	5.7	4.6	3.9	2.9
ATPB-25	100	100	98	66.2	54.1	44.7	32.9	16.23	11.5	6	4.7	4	3.5	2.7
ATPB-30	100	98	83.7	56.2	48.8	41.2	31.4	18.2	13.8	7.6	5.7	4.6	3.9	2.9

收稿日期:2011-08-07 修改稿日期:2012-03-23

基金项目:内蒙交通科技基金资助项目(2010376)

作者简介:童申家(1953-),男,陕西西安人,教授,博士生导师,主要从事道路与桥梁工程教学与科研.

1.1.2 通过试验及分析得到符合各项技术指标的最佳沥青用量 ATB-25 为 3.4%,ATB-30 为 3.2%,ATPB-25 为 2.5%,ATPB-30 为 2.6%.

1.2 大粒径沥青碎石路用性能分析

对四种大粒径沥青碎石分别进行高温稳定性和水稳定性研究. 高温稳定性采用车辙试验进行,试验结果如表 2,水稳定性通过浸水马歇尔试验进行研究,试验结果如表 3.

表 2 车辙试验结果

Tab. 2 The result of rutting test

级配类型	动稳定度平均值 /次·mm ⁻¹	方差 /次·mm ⁻¹	变异系数 /%	级配类型	动稳定度平均值 /次·mm ⁻¹	方差 /次·mm ⁻¹	变异系数 /%
ATB-25	1 966.4	9.3	0.5	ATPB-25	1 349.3	107.4	8.0
ATB-30	2 465.0	134.4	5.5	ATPB-30	1 819.7	115.7	6.4

表 3 浸水马歇尔试验结果

Tab. 3 The result of water submerged Msarshell test

级配类型	稳定度 MS/kN	浸水 48 h 后稳定度 MS ₁ /kN	残留稳定度 MS ₀ /%	级配类型	稳定度 MS/kN	浸水 48 h 后稳定度 MS ₁ /kN	残留稳定度 MS ₀ /%
ATB-25	28.5	26.4	92.7	ATPB-25	14.9	13.2	88.9
ATB-30	30.4	29	95.5	ATPB-30	14.5	13.0	89.0

1.3 大粒径沥青碎石力学性能分析

通过试验确定各材料的抗压回弹模量如表 4,测定大粒径沥青混合料的劈裂抗拉强度如表 5.

表 4 抗压回弹模量试验结果

Tab. 4 The result of elastic modulus test

级配类型	标准差/MPa	平均抗压回弹模量/MPa	级配类型	标准差/MPa	平均抗压回弹模量/MPa
ATB-25	86.4	2 319.4	ATPB-25	61.5	1 568.6
ATB-30	21.0	1 862.4	ATPB-30	85.0	1 191.5

表 5 大粒径沥青碎石劈裂试验结果 (15℃,Φ×h=150×95 mm)

Tab. 5 The result of splitting test

级配类型	标准差/MPa	变异系数/%	平均劈裂强度/MPa	级配类型	标准差/MPa	变异系数/%	平均劈裂强度/MPa
ATB-25	0.17	11.1	1.55	ATPB-25	0.039	5.8	0.68
ATB-30	0.20	14.2	1.39	ATPB-30	0.037	5.6	0.66

对以上路用性能和力学性能的试验数据研究分析可以得到以下结论:

(1)车辙试验结果表明:相对于普通沥青混合料,大粒径沥青碎石抗车辙能力较优,级配最大粒径越大,沥青混合料抗车辙能力就越大,ATB-30 的抗车辙能力比 ATB-25 的抗车辙能力大 25%左右,ATPB-30 的抗车辙能力比 ATPB-25 的抗车辙能力大 34.8%左右.

(2)大粒径沥青碎石浸水大马歇尔试验残留稳定度均大于 80%,规范规定大于 75%,说明大粒径沥青碎石水稳定性良好. 残留稳定度的排序为 ATB-30>ATB-25>ATPB-30>ATPB-25,试验结果表明随着粒径的增大残留稳定度而变小,随着空隙率的减小而变大.

(3)抗压回弹模量排序如下:ATB-25>ATB-30>ATPB-25>ATPB-30,试验结果表明随着粗集料增多,细集料会相对较少,粗集料形成骨架而没有足够的细集料填充骨架间的空隙,粘结力也下降,从而不利于形成稳定结构,抗压回弹模量降低.

(4)大粒径沥青碎石的平均劈裂抗拉强度在 0.66~1.56 MPa 之间,劈裂强度 ATB-25>ATB-30>ATPB-25>ATPB-30,试验选用级配中密级配细集料含量较开级配多,因此沥青胶浆粘结力较大,劈裂强度较大.

以上结论表明:在四种级配中,综合性能较优的级配为 ATB-30,因此推荐沥青路面下面层结构采用 ATB-30.

2 结构设计方法

推荐大粒径沥青碎石路面结构形式,采用 Bisar 程序对大粒径沥青碎石下面层厚度不同的沥青路面各结构层设计计算点进行力学计算,然后对各结构层的应力进行分析研究推荐合理的下面层厚度.

2.1 推荐大粒径沥青碎石路面结构形式

按照设计地区气候特点,广泛调查各方面的资料^[4],把路面结构简化为七层体系:上面层、中面层、下面层、基层、底基层、垫层、土基,路面结构如图 1 所示.

2.2 力学计算方法

采用 Bisar3.0 程序计算在不同路表温度时不同大粒径沥青碎石下面层厚度的路面结构的应力,分析应变,计算出的应力应变的变化规律,从而确定合理的下面层厚度.路表温度取 -20°C , -10°C , 0°C , 10°C , 15°C , 20°C , 计算同一个路表温度下大粒径沥青碎石下面层厚度分别取 $h=6\text{ cm}$, 8 cm , 10 cm , 12 cm , 15 cm 时的路面结构的应力应变.路面结构荷载形式为双圆荷载,荷载采用规范规定的标准轴载 BZZ-100,轮载 $P=25\text{ kN}$,轮压 $p=0.7\text{ MPa}$,半径 $d=0.1065\text{ m}$,层间接触状态为完全连续. x 轴一行车方向, y 轴一横断面方向, z 轴一路面结构深度方向,选取轮系中心作为计算点位.材料采用杨氏弹性模量和泊松比表征,对应于不同温度的弹性模量取值如表 6 所示.除下面层外,面层沥青混合料设计参数采用规范推荐值.规范给出的是 20°C 和 15°C 下的抗压回弹模量值,其余温度采用线性差值.对于大粒径沥青碎石回弹模量值,参考文献^[5]《沥青稳定碎石动态模量研究》中 ATB-30 静态模量试验结果如表 7 所示.

沥青混凝土上面层, AC-13, 4 cm, Er1(T)MPa, $\mu_1=0.35$
沥青混凝土中面层, AC-20, 5 cm, Er2(T)MPa, $\mu_2=0.35$
大粒径沥青碎石下面层, ATB-30, Er3(T)MPa, $\mu_3=0.3$
水泥稳定碎石基层, CCR1, 20 cm, Er4(T)MPa, $\mu_4=0.3$
水泥稳定碎石底基层, CCR2, 20 cm, Er. 5(T)MPa, $\mu_5=0.3$
碎石垫层, GG, 20 cm, E6=200 MPa, $\mu_6=0.3$
土基, SOIL, 无限向下, E7=40 MPa, $\mu_7=0.35$

图 1 路面结构模型
Fig.1 The model of pavement structure layers

表 6 大粒径沥青混合料材料参数
Tab.6 The material parameters of large stone asphalt mixes

材料		沥青混凝土 AC-13	沥青混凝土 AC-20	水泥稳定碎 石基层	水泥稳定碎 石底基层	天然砂砾垫层	土基
抗压回弹模量/MPa	20°C	1 600	1 400	1 000	800	200	40
	15°C	2 200	2 000	1 200	1 000	200	40
泊松比		0.35	0.35	0.3	0.3	0.3	0.35

表 7 ATB-30 抗压回弹模量
Fig.7 Elastic modulus of ATB-303

温度/ $^{\circ}\text{C}$	-20	-10	0	10	15
ATB-30 回弹模量值/MPa	2 742	2 499	2 281	2 024	1 663

2.3 计算结果分析

沥青路面结构层中最容易发生的损坏是低温开裂,因此本研究的设计指标控制标准是下面层底部、基层及底基层的拉应力^[6]. ATB-30 下面层层底的应力、半刚性基层层底应力、半刚性底基层层底应力随下面层厚度变化曲线图分别如图 2、图 3、图 4 所示.

图 2 所示表明:在 20°C 时,面层层底的应力变化与其他温度状况下不同.在 ATB-30 层厚为 7 cm 以

下时,下面层第一主应力为压力,7 cm 以上时,第一主应力转为拉力,并且随着厚度的增大面层层底应力逐渐增大,但是增大的幅度减小.在低温及 20℃ 以下的常温状态下,面层层底应力随着 ATB-30 下面层厚度的增大呈现先减小后增大的趋势,在 7 cm 以下,随着 ATB-30 层厚的增大呈下降趋势,在超过 7 cm 之后,应力值增长速度加快,在厚度为 10 cm 以上时,虽然应力仍然增大,但是变化率较之前减小.因此,本文研究认为 ATB-30 作为下面层层厚范围应该控制在 7~11 cm.

由图 3 可以看出,ATB-30 下面层厚度在 12 cm 以下时,随着下面层厚度的增大,半刚性基层层底拉应力呈现增大趋势,但是厚度在 8~10 cm 之间变化较为平缓,在下面层厚度达到 12 cm 之后,随着厚度的增大,半刚性基层层底拉应力快速减小.这说明,在不考虑经济的前提下,增加下面层的厚度可以有效减小基层的开裂.

图 4 表明与半刚性基层层底拉应力相比,基层层底拉应力要大很多,并且随着下面层厚度的增大呈现减小的趋势,并且变化率相差不大.

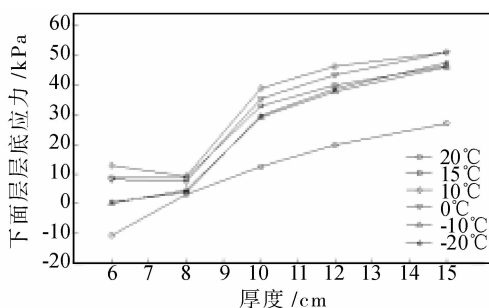


图 2 下面层层底的应力曲线

Fig. 2 Stress curves of bottom of under layer of pavement

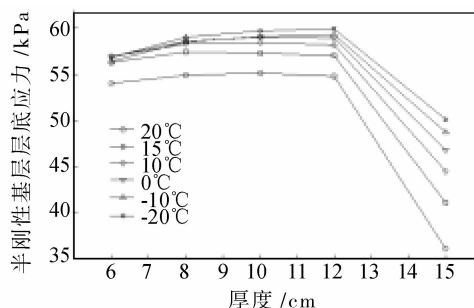


图 3 基层层底应力曲线

Fig. 3 Stress curves of bottom of base course

2.4 沥青混合料厚度和集料公称最大粒径之间的关系

我国《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40-2004)对沥青面层结构层厚度与集料公称最大粒径之间关系要求:对于热拌热铺密级配沥青混合料,沥青层一层的压实厚度不宜小于集料公称最大粒径的 2.5~3.0 倍.我国规范中规定公称最大粒径的最小面层厚度是 66.3~79.5 mm^[7-8].

通过以上分析表明:根据大粒径沥青碎石的施工要求,ATB-30 的压实最小厚度为 9 cm,结合层厚与公称最大粒径不宜小于集料公称最大粒径的 2.5~3.0 倍的关系.采用软件计算表明,ATB-30 作为下面层层厚范围应该控制在 7~11 cm.综合考虑,本文推荐大粒径沥青碎石的合理厚度为 10~11 cm.

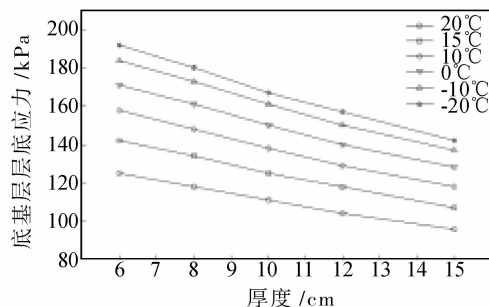


图 4 底基层层底应力曲线

Fig. 4 Stress curves of bottom of subbase

3 结 论

(1)对四种具有不同材料组成的大粒径沥青碎石进行路用性能和力学性能试验分析,结果表明,密级配大粒径沥青碎石比开级配大粒径沥青碎石具有良好的路用性能和力学性能.虽然 ATB-30 抗压回弹模量比 ATB-25 小一些,但其高温稳定性及水稳定性都优于其他三种材料.综合比较,选用最优级配 ATB-30 作为沥青路面的下面层.

(2)对推荐的沥青路面结构层采用 Bisar 程序进行力学计算,根据计算结果分析大粒径沥青碎石下面层不同厚度时的下面层层底、基层层底、底基层层底的应力及表面弯沉,通过对应力应变的分析及结合公称最大粒径对沥青路面结构层厚度的要求,推荐合理的 ATB-30 下面层厚度为 10~11 cm.

参考文献 References

- [1] 王富玉. 大粒径沥青混合料(LSM)路用性能研究[D]. 西安: 长安大学, 2001.
WANG Fu-yu. Research on Pavement Performance of the Large-stone Asphalt Mixes[D]. Xi'an: Chang'an University, 2001.
- [2] Kandhals. Large Stone Asphalt Mixes[R]: Design and Construction. NCAT Re.
- [3] 杨旭峰. ATB-30 沥青稳定碎石下面层在工程实践中应用[J]. 公路, 2005(10): 125-130.
YANG Xu-feng. The Study on the Judgement Method of Swelling Soil Indoor Test [J]. Highway, 2005(10):125-130.
- [4] 艾长发. 高寒地区沥青路面行为特性与设计方法研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2008.
AI Chang-fa. Characteristics and Design Methods of Asphalt Pavement in Plateau-cold Region [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2008.
- [5] 黄 斌. 沥青稳定碎石动态模量研究[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2008.
HUANG bin. Research on Dynamic Modulus of Asphalt Treated Base [D]. Changsha: Changsha University of Science&Technology, 2008.
- [6] 雷 琳. 大粒径沥青碎石下面层沥青路面路用性能与力学性能研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2011.
LEI Lin. Research on Pavement performance and Mechanical properties of the Asphalt Pavement with the Large-stone Asphalt Mixes lower course[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology. 2011.
- [7] 冯俊领. 大粒径沥青混合料(LSM)车辙试验研究[J]. 长沙交通学院学报, 2005(21):43-46.
FENG Jun-ling. The rutting test research of large-stone asphalt mixes [J]. Journal of Changsha Communications University, 2005(21):43-46.
- [8] 赵 娟. 高速公路沥青面层合理厚度研究[D]. 西安: 长安大学, 2007.
ZHAO Juan. Highway bituminous pavement reasonable thickness research [D]. Xi'an: Chang'an University. 2007.

Material and structural design methods of large-stone asphalt mixes as under layer of asphalt pavement

TONG Shen-jia¹, LI Hui-xia^{1,2}

(1. School of Civil Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China;

2. Department of traffic Engineering, Henan University of Urban construction, Pingdingshan 467000, China)

Abstract: The paper studies the design methods of large-stone asphalt mixes as under layer of asphalt pavement. It includes material design and structural design. The research on optimum design of large-stone asphalt mixes material is based on a lot of laboratory experiment. The aim of these experiments is to get the material with best properties by comparative study on the pavement performance and mechanical properties of the large-stone asphalt mixes. The structural design methods include that the structure type is assumed and the thickness of the under layer of asphalt pavement of LSM is given by mechanical analysis. As a result, the ATB-30 as better comparative properties and 10~11 cm as the reasonable thickness is recommended.

Key words: *the large-stone asphalt mixes; under layer of asphalt pavement; pavement performance; mechanical performance; reasonable thickness*