

文章编号: 0451-0712(2006)01-0131-10

中图分类号: U416.217

文献标识码: B

沥青混凝土面层的不均匀性及对策

沙庆林

(交通部公路科学研究所 北京市 100088)

摘 要: 详细论述了沥青混凝土的不均匀性, 由沥青混凝土的不均匀性导致的沥青面层的早期损坏; 造成不均匀性的原因, 以及解决不均匀性的重要关键技术。

关键词: 沥青混凝土; 不均匀性; 矿料级配; 单一级级; 基础设施

沥青混凝土面层的不均匀性导致面层产生严重的水破坏。下雨期间, 雨水被行车产生的动水压力通过面层薄弱处压入面层, 首先是导致表面层的水破坏, 产生的唧浆、坑洞和网裂形变都是随机的, 无任何规律性。面层表面间隔式片状泛油, 反映了一车一车沥青混凝土的矿料级配组成和油石比都在变化。面层竣工平整度较差, 以及通车后面层不平整度发展快, 反映了由于沥青混合料的集料离析和温度离析以及碾压不均匀导致碾压结束时, 实际上沥青混凝土的密实度变化大。

1 实际路面的不均匀性

1.1 野外检测结果

(1) 某高速公路某标段 AK13-A(改进型) 表面层的空隙率 V_v 变化在 2.2%~8.2% 之间, V_v 最大值与最小值之差高达 6%。其中固然有沥青混凝土的不均匀性大的因素, 但也有压路机碾压不均匀性大的因素。

(2) 某高速公路某标段 AC-20I 面层上横向三个不同位置, 一个离中央分隔带 0.8 m (在超车道的内侧, 靠路缘带一侧), 第二个离中央分隔带 3 m (靠近超车道外侧) 之间, 第三个离中央分隔带 5.5 m (行车道上, 接近分道标线), 测得的透水系数有很大差别。第一个位置的透水系数在 100~510 ml/min 之间, 第二个位置在 10~90 ml/min 之间, 第三个位置在 0~50 ml/min 之间。透水系数的大小虽与 V_v 无确定的关系, 但大致上也能反映空隙率的大小。因此, 它表明实际 AC-20I 结构层的 V_v 横向和纵向都有显

著变化。

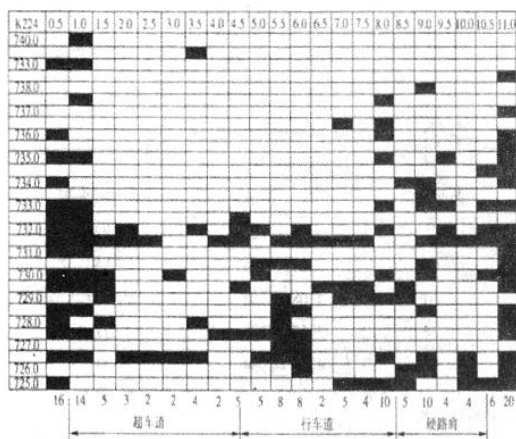
(3) 张肖宁教授课题组在某高速公路某标段的 15 m 长路段上, 用无核密度仪测试了底面层沥青混凝土的空隙率 V_v 。纵向每 0.5 延长米测一点, 共 30 个横断面, 每个断面横向每 0.5 m 测一个点, 共 22 个点, 总共 660 个测点。它详细地表达了沥青混凝土的现场 V_v 有很大变化。

在 30 个横断面中, V_v 变化最大的一个横断面上 V_v 的变化范围为 4.19%~13.74%, 极差 9.55%, V_v 变化最小的一个横断面上 V_v 的变化范围为 3.96%~7.88%, 极差 3.92%。

在 22 个纵断面上, V_v 变化最大的一个纵断面上 V_v 的变化范围为 3.49%~13.74%, 极差 10.25%。 V_v 变化最小的一个纵断面上 V_v 的变化范围为 5.05%~8.19%, 极差 3.14%。在这 660 个测点中, V_v 最小的是 0.58%, V_v 最大的是 13.74%。

将每个横断面上的 $V_v > 7\%$ 的位置都用黑色标明, 见图 1。由图 1 可以清楚地看出在此 11 m 宽和 15 m 长的路段上, 有如此多的黑框。这些位置都是容易受水侵害, 易使沥青剥落导致水破坏的潜在位置。

图 1 还表明, $V_v > 7\%$ 的点位(黑框)最多的是靠中央分隔带的 1 m 以及硬路肩边部, 其次是行车道和行车道与硬路肩相邻带。两侧 V_v 大, 既有边部混合料离析(往往粗颗粒较多)问题, 又有边部碾压不足问题。至于路面两侧之间, 即超车道和行车道上也有不少 V_v 大的点位, 主要是由压路机碾压不均匀, 局部缺压和混合料离析所引起。

图1 $V_a > 7\%$ 点位的分布

(4)某高速公路的沥青混凝土面层,表面层为4 cm密实式SAC-16(马歇尔试验的空隙率为4%左右),中面层为5 cm AC-25I和底面层为7 cm 沥青碎石。开放交通后的第一个雨季,路面的行车道上出现一些冲刷、唧浆和坑洞等水破坏现象。在此路的行车道上取了45个钻件,其中面层全厚(16 cm)的钻件41个,仅为表面层的钻件4个。从钻件各层的目测空隙率看,可分成4种不同情况,见图2。



图2 某高速公路沥青混凝土面层各层的空隙率

图2由左至右:

第1个钻件,表面层和中面层均很密实,看不出有任何孔隙,底面层可看到较多孔隙(照片上的黑点);

第2个钻件,表面层密实无孔隙,中面层和底面层均有孔隙,但底面层的孔隙较第1个钻件小;

第3个钻件,表面层和底面层均有较多和较大的孔隙,但中面层密实无孔隙;

第4个钻件,表、中、底三层均有较多和较大的孔隙。

图2上的4个钻件充分反映了该高速公路三层沥青混凝土相当大的不均匀性。雨水或融雪水很容易进入第3个钻件的表面层并滞留在表面层内。雨水或融雪水很容易进入第4个钻件的表面层和直接

透过中面层和底面层,然后滞留在基层顶面。如某处基层是松散的,则自由水还将透过基层并滞留在易软化的石灰土底基层顶面,导致路面严重破坏。

1.2 已建沥青混凝土面层的表面不均匀性

(1)新铺面层雨后表面的水印见图3,表示雨水从水印位置透入面层。



图3

(2)已通车两年沥青混凝土面层上修补的水破坏坑洞和唧浆,见图4。



图4

(3)已通车两年沥青混凝土面层局部的表面损坏,见图5。



图5

(4)新建沥青混凝土面层的不均匀性,深色处为水透入位置,见图 6。

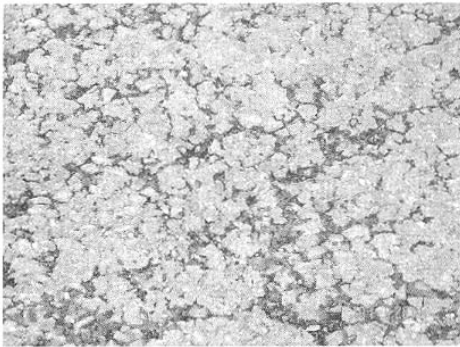


图 6

(5)雨水浸入通车已近 7 年某高速公路沥青混凝土面层后,导致面层损坏,见图 7。



图 7

从图 7 可以看到,除表面层顶部尚有部分未损坏外,其下部和下层沥青混凝土都已破坏。粗碎石上沥青剥落,混合料含水量大,且已松散。

2 导致沥青混凝土不均匀性大的主要因素

2.1 沥青混合料的矿料级配和油石比得不到保证

施工期间,室内沥青混合料的抽提筛分结果证明,生产配合比确定的沥青混合料的矿料级配和油石比(B/M)得不到保证。沥青混合料拌和厂一旦确定生产配合比后,实际上就确定了沥青混凝土的物理-力学性质,如空隙率、水稳定性、抗滑性和高温抗变形能力、回弹模量等。严格地说,随后的生产应该保持这根级配曲线和相应的油石比不变,才能保持所要求的沥青混凝土的物理-力学性质不产生显著变化。

我国《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40

— 2004) — 规定了不同筛孔矿料通过量和沥青用量(B/M)的允许误差如表 1。

表 1 施工技术规范允许误差

圆孔筛筛孔尺寸/mm	方孔筛筛孔尺寸/mm	允许误差/%
≥5	≥4.75	±7
2.5	2.36	±6
0.075	0.075	±2
B/M		±0.3

不考虑实际采用的(生产配合比)级配曲线是什么,如果≥5 mm 颗粒通过量的极差超过了 14%,2.5 mm 通过量的极差超过了 12%,0.075 mm 通过量的极差超过了 4%,就可以肯定其中有超出允许范围的不合格的矿料级配。如果沥青用量的极差超过了 0.6%,就可以肯定其中有沥青用量超过允许范围的不合格的沥青用量。这两种不合格或其中的一种不合格都说明该批次沥青混凝土不合格。

(1)表 2 所列某高速公路沥青混凝土面层施工过程中,对表面层沥青混凝土 SLH-20 的抽提筛分试验结果。

表 2 某高速公路沥青混凝土颗粒组成和油石比的变异性

级配类型	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%							(B/M)/%
	20	10	5	2.5	0.6	0.3	0.075	
SLH-20	7.7	18.1 ^x	17.8 ^x	14.4 ^x	4.6	4.7	2.6	1.98 ^x
	9.6	19.7 ^x	15.2 ^x	12.9 ^x	6.4	3.2	2.9	1.40 ^x
	4.4	15.5 ^x	14.2 ^x	9.3	5.6	5.4	4.0	1.21 ^x
	4.4	6.8	8.8	6.9	8.4	4.8	3.3	0.62 ^x
		13.9	8.7	7.5	6.1	3.8	1.8	0.60
		5.8	3.9	5.3	2.9	4.5	1.3	0.39
		13.5	16.0 ^x	10.0	6.8	5.1	2.5	0.70
		6.5	8.3	7.5	6.5	4.7	4.3 ^x	0.50
	6.3	17.3	17.8 ^x	14.4 ^x	5.4	3.3	2.5	1.55

注:表中数字右上侧打有符号 x 者表示该项不合格。

为简单起见,在表 2 中仅列出 14 次一组的检验结果,每一筛孔通过量的极差(即最小通过量与最大通过量之差)和沥青用量的极差。SLH-20 共有 9 组试验的极差。

从表 2 可以看到以下几点。

9 组 SLH-20 的检验结果中,只有两组是矿料级配和沥青用量同时合格的,占了 22.20%。矿料级配合格,但沥青用量不合格,或矿料级配不合格,但沥

青用量合格的各有一组。矿料级配和沥青用量同时不合格的有 5 组,占 55.50%。

换句话说,该段高速公路表面层沥青混凝土合格的只有 22.20%。沥青用量极差在 1.21%~1.98% 的有 4 组。沥青的设计用量是 5%,极差高达 2%。这些说明表面层 SLH-20 的不均匀性太大。

(2)表 3 所列为某高速公路几个合同段的表面

层 SAC-16 的抽提筛分试验结果。表中 n (如 33 和 35)指检验次数,即计算极差 R 、平均值 \bar{x} 和偏差(或变异)系数 C_v 时的数据量。其中 C 标和 D 标只列出了 10 多次检测结果的 C_v (%)。原设计要求 4.75 mm 筛孔的通过量不超过 40%,0.075 mm 筛孔的通过量不少于 6%。

表 3 某高速公路 SAC-16 抽提结果

级配类型		通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%										油石比 %
		16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075	
规定范围		90~100	70~90	50~70	30~40	22~37	16~28	12~23	8~18	6~13	>6	
5 标 N=33	R	88~97	74~89	49~74	33~47	21~35	15~27	13~23	7~16	5~11	3~9	4.4~4.9
	\bar{x}	93.6	81.3	63.2	39.9	29.3	22.3	18.2	12.3	8.1	5.7	4.8
	C _v	2.15	4.15	9.24	9.37	11.2	12.58	15.11	18.49	18.44	26.70	3.36
6 标 N=35	R	85~100	68~89	56~70	31~44	21~32	16~21	12~18	9~15	6~8	4.3~6.5	4.5~5.1
	\bar{x}	93.6	79.9	61.6	35.8	24.1	17.8	14.8	12.0	7.2	5.1	4.8
	C _v	3.89	5.56	5.20	9.49	8.92	7.73	9.61	12.63	9.43	10.94	3.21
3 标 C _v		1.70	3.60	5.20	5.20	5.80	9.51	12.20	11.9	13.3	10.1	
		2.30	3.50	3.50	4.00	5.60	6.80	8.30	10.40	10.10	11.90	
		3.03	3.03	3.01	4.06	5.94	7.63	9.34	10.5	10.7	11.6	
4 标 C _v	5 月	1.36	3.82	4.33	13.2	12.0	11.2	12.3	16.1	13.5	6.7	
	6 月		4.85	5.72	8.55	7.30	6.60	10.1	10.5	10.7	11.6	
	7 月	1.84	4.41	3.07	6.33	6.49	5.60	7.60	13.4	9.93	5.40	

从表 3 可以看到以下几点。

① 5 标的结果,几乎每个筛孔的通过量都有超出规定范围的。关键筛孔 4.75 mm 的通过量有 18 次超过了规定值,占 54.5%。另一关键筛孔 0.075 mm 的通过量有 17 次少于规定值,占 51.5%。10 个筛孔通过量的 C_v 值,有 6 个值超过 10%,最大值达 26.7%,这 6 个筛孔都是细集料和填料。说明沥青混凝土的不均匀性很大,油石比变化在 4.4%~4.9% 之间。

② 6 标的检验结果稍优于 5 标,但也有多个筛孔的通过量超出规定范围。特别是 4.75 mm 的通过量有 5 次超过 40%,0.075 mm 的通过量有 32 次少于 6%,占 91.4%。通过量 C_v 只有 2 个值超过 10%,最高为 12.6%。油石比变化在 4.5%~5.1% 之间。

③ 3 标和 4 标的检验结果也都有几个筛孔的通过量的 C_v 超过 10%,特别是 4 标 5 月份 4.75 mm 通过量的 C_v 值高达 13.2%,超过其他 3 个标段。

上述结果表明,在同一条高速公路上不同合同

段所生产沥青混凝土的不均匀性会有明显差别,这些差别来源于所用的原材料和管理水平。

表 2 和表 3 中所介绍的沥青混凝土的不均匀性虽已不小,但还有更严重的。

(3)某高速公路某天进行底面层沥青混凝土的生产配合比试验和铺筑试验段后,隔一天正式铺筑底面层时取样进行抽提筛分的结果,粗集料 5 个筛孔的通过量全部超出了规定级配范围,但生产配合比结果 5 个筛孔中有 4 个筛孔的通过量都接近规定范围的中值,仅两个筛孔的通过量超出范围,见表 4。

(4)同一高速公路另一标段底面层 AC-30 施工过程中 4 次取样抽提筛分结果的极差(R)和偏差系数(C_v)列在表 5 中。

由表 5 可以看到以下几点。

① 2.36 mm (含)以上 6 个筛孔的通过量都有超出规定级配范围的,有 3 个筛孔的通过量超出 10%,超出最多的达 15.6%。

表 4 某高速公路底面层沥青混凝土的矿料变化

级配类型	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%											
	31.5	26.5	19	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
试验段	92.2	85.3	70.2	48.0	33.4	27.7	23.6	15.7	12.1	9.4	7.6	5.1
正式铺筑	100	96.7 [*]	89.6 [*]	64.7 [*]	48.4 [*]	34.0 [*]	25.9	16.1	12.5	10.0	8.5	6.8
规定级配范围	90~100	68~83	53~68	38~54	28~42	22~32	18~27	13~24	8~17	6~14	5~13	3~7

注:同表 2。

表 5 AC-30 4 次抽提筛分的极差(R)和偏差系数(C_v)

级配类型	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%											
	31.5	26.5	19	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
规定级配范围	90~100	68~83	53~68	30~54	28~42	22~32	18~27	13~24	8~17	6~14	5~13	3~7
设计曲线①	100	72.5	51.8	45.4	39.1	31.7	25.0	15.4	11.0	7.7	5.9	3.8
R	94.1~	74.9~	53.8~	41.4~	32.8~	23.4~	18.1~	11.1~	8.1~	5.9~	4.4~	3.3~
	100	91.5	80.1	69.6	53.2	37.4	28.7	18.1	13.9	11.4	9.4	7.1
C _v	2.6	9.6	16.9	23.3	21.2	15.8	19.8	21.2	21.9	26.5	31.1	29.2

注:①指生产配合比确定的实际级配曲线。

②孔径 19 mm 和 26.5 mm 筛孔的通过量全部大于生产配合比确定的级配曲线。最多的大 19%~28.3%。其他各个筛孔的通过量形成了一个很宽的范围,其中 4 个筛孔通过量的范围甚至超过了原定的级配范围。这样的沥青混合料根本不可能保证沥青混凝土具有稳定的符合要求的物理-力学性质。

③ 12 个筛孔中只有 2 个筛孔通过量的 C_v 值小于 10%, 10 个筛孔通过量的 C_v 值在 15.8%~31.1% 之间。它表明沥青混合料的变异性过大。

2.2 沥青混凝土性质的显著变化

矿料级配的显著变化必然导致沥青混凝土性质也产生显著变化。

与表 3 中 5 标和 6 标相应的沥青混凝土的马歇尔试验结果列在表 6 中。表 6 中 γ_B 、 V_a 、 VMA 、 VFA 、 S_t 、 FL 以及 K 和 h 分别为沥青混凝土试件的毛体积密度、空隙率、矿料间隙率、饱和度、稳定度、流值以及现场压实度和厚度。

表 6 SAC-16 马歇尔试验结果

级配类型		$\gamma_B/(g/cm^3)$	$V_a/\%$	$VMA/\%$	$VFA/\%$	S_t/kN	$FL/0.1\text{ mm}$	$K/\%$	h/cm
5 标 $n=24$	R	2.462~2.531	4.0~6.9	15.4~17.7		9.4~14.1	21~34	96.0~99.0	4.0~7.5
	\bar{X}	2.500	5.20	16.3		11.1	28	96.8	5.26
	C_v	0.79	15.4	3.67		11.1	10.6	1.11	18.1
6 标 $n=18$	R	2.428~2.479	3.3~5.5	14.5~16.1	65.6~77.2	8.3~11.2	22~40	94.5~98.3	3.5~4.5
	\bar{X}	2.454	4.2	15.2	72.1	10.0	30.2	96.3	3.92
	C_v	0.60	13.7	3.5	4.2	7.2	16.2	1.04	7.9

从表 6 可以看到, 5 标的 V_a 、 S_t 和 FL 的偏差系数都超过 10%, V_a 的极差达 2.9%。6 标的 V_a 和 FL 的偏差系数更大, 为 13.7% 和 16.2%, V_a 的极差为 2.2%。

与表 4 底面层沥青混凝土相应的 6 个马歇尔试件的试验结果如下:

$\gamma_B=2.472\sim2.351\text{ g/cm}^3$
 $V_a=3.6\%\sim5.9\%$
 $VMA=13.5\%\sim15.6\%$
 $VFA=62.2\%\sim73.7\%$
 $S_t=6\,350\sim9\,840\text{ N}$
 $FL=39.6\sim46.1(\times 0.1\text{ mm})$

3 为什么沥青混凝土的矿料级配与油石比得不到保证

为什么沥青混凝土的矿料级配、油石比与马歇尔试验各个技术指标的变异性大? 需要追溯到上一个环节——热料仓中的矿料。

各个热料仓中热料颗粒组成的变异性太大是沥青混凝土的矿料级配、油石比与马歇尔试验各个技术指标变异性大的重要原因。

(1)某高速公路在中面层 SAC-25I 沥青混凝土生产过程中,连续 6 d 在每天生产之前先从每个热料仓中取样品进行筛分试验。现将每个热料仓每个

筛孔通过量的最小值和最大值整理在表 7 中。

从表 7 可以看到,每一个热料仓中的料,至少有一个筛孔尺寸的通过量的极差(某一天的通过量最大与另一天的通过量最小之差)在 10% 以上。4 号热料仓,筛孔 19 mm 的通过量的极差为 24.2%。3 号热料仓,筛孔 16 mm、13.2 mm 和 9.5 mm 等 3 个筛通过量的极差分别为 30.3%、36.3% 和 13.2%。2 号热料仓,筛孔 4.75 mm 通过量的极差为 17.8%。1 号热料仓,筛孔 1.18 mm、0.600 mm、0.300 mm 和 0.150 mm 等 4 个筛通过量的极差分别为 18.9%、20.0%、15.5% 和 10.9%。

表 7 6 d 热料仓的颗粒组成变化

仓号	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%							
	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18
4 号(35 mm)	94.3~98	47.7~71.9	10.2~15.1	0				
3 号(20 mm)			63.7~94	31.6~67.9	11.4~24.6	0		
仓号	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%							
	4.75	2.36	1.18	0.600	0.300	0.150	0.075	
2 号(6 mm)	77.2~95.0	1.9~7.5	0.2~1.5	0				
1 号(2.5 mm)		90.2~93.7	32.6~51.5	18.7~38.7	7.8~23.3	4.0~14.9	1.9~8.1	

6 d 期间每个热料仓的料有如此大的变化,用哪一天热料仓中料的筛分试验结果做的生产配合比都不能代表其他任一天的合适配合比。以往习惯上做一次生产配合比确定各个热料仓所用材料的百分率及沥青用量后,在混合料类型不改变前,不再进行配合比试验。也就是从工程开始到结束始终用一个配合比和一个沥青用量。实际生产的沥青混凝土也就避免不了忽而某种尺寸的粗料多、忽而另一种尺寸的细料多,忽而相对沥青用量偏多,忽而相对沥青用量偏少,使沥青混凝土产生显著的不均匀性。在实际路面上就会产生某一局部小片表面构造深度小、另一局部小片表面构造深度大,某一局部小面积混凝土的空隙率大、另一局部小面积混凝土的空隙率合适或小,某一局部小片混凝土的沥青用量偏多、另一局部小面积沥青用量合适或偏小。

在高温季节和雨季,沥青混凝土面层的局部泛油、唧浆、坑洞和推挤、辙槽等破坏现象也就难于避免。

(2)某高速公路施工面层 AC-30 过程中,在 9 d 内从各个热料仓中取样品进行筛分试验的结果列在

表 8。

对比表 8 与表 7 数据可以看到,表 8 各个热料仓中碎石颗粒组成的变异性明显大于表 7 的变异性。表 8 中同一热料仓同一筛孔通过量的最大极差达 49.5%。在总共 19 个筛分结果中有 15 个结果的极差超过 10%,有 7 个筛分结果的偏差系数在 59.9%~169.7% 之间。

上述结果同时表明,如果原材料颗粒组成的变异性大,通过热料的二次筛分,只能对颗粒组成有所改善,而不能基本改善。

热料仓中材料有如此大的变化,如不采取有效措施,就不可能生产出质量始终符合要求的沥青混凝土。

4 影响热料仓中材料颗粒组成变异性大的多个因素

4.1 要求的碎石规格太粗

我国规范对粗集料的规格要求太粗,而且不同规格粗集料的筛孔尺寸不连续,不利于粗集料的生产。例如,用于沥青混凝土面层的混合料,其标称最大粒径 $D_{\max. n}$ 的几种规格料见表 9。

表 8 某高速公路 9 d 从热料仓中取样品 6 次的筛分试验结果

4 号仓	筛孔/mm	37.5	31.5	26.5	19	16	
	通过量范围/%	100	81~100	53.8~69.1	5~40.8	0.4~12	
	偏差系数 C_v /%		5.0	10.2	107.5	97.9	
3 号仓	筛孔/mm	19	16	13.2	9.5	4.75	
	通过量范围/%	85.4~100	60.9~93	28.8~78.3	3.9~46.1	0.3~11.0	
	偏差系数 C_v /%	5.2	20.0	43.2	121.2	169.7	
2 号仓	筛孔/mm	13.2		9.5		4.75	
	通过量范围/%	100		94.6~96.6		1.3~14.4	
	偏差系数 C_v /%			65.5		83.6	
1 号仓	筛孔/mm	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.075
	通过量范围/%	93.5~98.8	72.5~87.8	39.1~66.1	21.8~46.5	9.0~30.9	2.9~15.2
	偏差系数 C_v /%	2.4	7.0	22.1	26.4	37.1	59.9

表 9 沥青混合料用粗集料规格

级配类型	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%							
	31.5	26.5	19	13.2	9.5	4.75	2.36	0.6
S6	90~100	—	—	0~15	—	0~5		
S7	90~100	—	—	—	0~15	0~5		
S8	100	90~100	—	0~15	—	0~5		
S9		100	90~100	—	0~15	0~5		
S10			100	90~100	0~15	0~5		
S11			100	90~100	40~70	0~15	0~5	
S12				100	90~100	0~15	0~5	

从规范所列密级配沥青混凝土矿料级配范围表来看,从最大粒径往下,每个筛孔都规定通过量,显得对级配要求过严。例如,常用作底面层和中面层的 AC-25 和 AC-20 的矿料级配摘列在表 10 中。

表 10 AC-25 和 AC-20 的矿料级配

级配类型	通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%												
	31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
AC-25	100	90~100	75~90	65~83	57~76	45~65	24~52	16~42	12~33	8~24	5~17	4~13	3~7
AC-20		100	90~100	78~92	62~80	50~72	26~56	16~44	12~33	8~24	5~17	4~13	3~7

对于 AC-25,显然应该用粗集料规格 S8。但 S8 规格料只有筛孔 31.5 mm、26.5 mm、13.2 mm 和 4.75 mm 等 4 个筛孔的通过量要求,实际上只控制 26.5 mm 和 13.2 mm 两个筛孔的通过量。它给生产这种规格料提供了相当大的随意性。生产的集料中大部分集中在 19~26.5 mm,可作为合格;大部分在 16~19 mm,可作为合格;大部分靠近 13.2 mm 也可作为合格。

某高速公路某标段沥青混合料拌和厂进了 4 种规格料,两次从料堆不同位置取有代表性的样品。

在室内拌和均匀后,筛分试验得到的结果列在表 11 中。

表 11 两次筛分的差异

材料规格		通过下列筛孔(mm)的质量百分率/%							
		31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	
15~25 mm	1	100	93.4	41	18.5	3.4	0.2	0	
	2		100	62.6	33.9	10.5	0.6	0	

从表 11 可以看到,两次筛分结果,规格料 15~25 mm 都符合表 9 中 S8 的要求。实际上,各个筛孔

的通过量都有显著差异,差别最大的达 21.6%。

从不同中小碎石厂搜集到的符合规格要求的 S8 粗集料很可能就是上述情况。使用这些规格差异很大的“符合要求的料”,想生产出矿料级配及沥青混凝土的物理-力学性质都稳定的沥青混合料,是非常困难的。

此外,规范也没有说明,对于 AC-25,除 S8 规格料外,是否还需要用其他规格料。对于 AC-20,也是这种情况。

4.2 室内试验采用的方法

在室内,用类似上述的规格料做马歇尔试验,对同一个油石比通常至少做 6 个平行试件。虽然比拌和厂生产沥青混合料要严格得多,但每个试件的马歇尔指标值,如 V_a 、 VMA 、 VFA 、 S_r 和 FL 之间都有显著的差异。

试验表明,面层沥青混凝土的抗压强度和变异系数高达 18%~23%,抗压模量的变异系数高达 29%~40%。

为了能较确切地了解矿料级配对沥青混凝土的物理-力学性质的影响,室内试验时,为了尽可能缩小沥青混凝土平行试验间的误差,也为了进行沥青混凝土不同力学性质的比较等,需要尽可能保持矿料级配的一致性。为了达到保持矿料级配一致性的目的,室内试验时,通常将粗集料和细集料都先筛分成一个一个单一粒级的碎石,例如:对于不同标(公)称最大粒径($D_{max,n}$)的粗集料都先筛分成下列多个

单一粒级的碎石。同时,要求 $D_{max,n}$ 的通过量为 100%。

级配类型	粗集料单一粒级的规格
AC-25	26.5~19 mm、19~16 mm、 16~13.2 mm、13.2~9.5 mm、 9.5~4.75 mm
AC-20	19~16 mm、16~13.2 mm、 13.2~9.5 mm、9.5~4.75 mm
AC-16	16~13.2 mm、13.2~9.5 mm、 9.5~4.75 mm
AC-13	13.2~9.5 mm、9.5~4.75 mm

各种级配类型的细集料都筛分成 6 个单一粒级的规格:4.75~2.36 mm、2.36~1.18 mm、1.18~0.6 mm、0.6~0.3 mm、0.3~0.15 mm、0.15~0.075 mm。

<0.075 mm 的颗粒称填料,通常都是单独加入沥青混合料中。

将粗细集料都筛分成上述一个个单一粒级后,不管采用哪一种矿料级配,如 AC、SAC、SMA 和 SUP 中的任一种,都可以较准确地配出要求的级配。(可以显著缩小平行试验的误差,可以最大限度地保持矿料级配的一致性)。例如,表 10 中的 AC-20,以级配范围的中值为例各个筛孔的通过量列在表 11 中。有了各个筛孔的通过量,就很容易计算得出两个相邻筛孔之间矿料(即上述单一粒级)的质量百分率,见表 12。

表 12 不同类型沥青混凝土的矿料级配

筛孔尺寸/mm		19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
级配类型	AC-20 通过量/%	100	85	71	61	41	30	22.5	16	11	8.5	5.0
	单一粒级含量/%		15	14	10	20	11	7.5	6.5	5	2.5	3.5
	SAC20 通过量/%	100	86.1	72.9	54.8	30	22.2	16.4	12.3	9.1	6.7	5.0
	单一粒级含量/%		13.9	13.2	18.1	14.8	7.8	5.8	4.1	3.2	2.4	1.7
	SMA-20 通过量/%	100	82	72	47.5	24	17.5	16	13	11.5	10.5	10
	单一粒级含量/%		18	10	24.5	23.5	6.5	1.5	3	1.5	1.0	0.5
	SUP-20 通过量/%	100	90	78	64.7	47.4	34.6	25.3	18.7	13.7	10	7.3
	单一粒级含量/%		10	12	13.3	17.3	12.8	9.3	6.6	5.0	3.7	2.7

注:表中单一粒级含量百分率行中,16 mm 栏下的值指 19~16 mm 这个粒级的含量,13.2 mm 栏下的值指 16~13.2 mm 这个粒级的含量,其余类推。对于不同级配类型的矿料级配,都有 10 个不同粒级的矿料。

准备好了单一粒级的矿料,有了某个级配类型矿料级配的各个不同粒级矿料的含量百分率,就很容易配备出一个所需粒级的矿料级配,例如以下级配。

(1) 准备一个马歇尔试验用的试件的矿料,假定每个试件需用矿料 1 200 g,根据表 11 中每个粒级矿料的含量,可以计算得各个粒级矿料的质量分别为:

$$19\sim 16\text{ mm}, 1\ 200\times 0.139=166.8\text{ g};$$

16~13.2 mm, $1\ 200 \times 0.132 = 158.4\text{ g}$;
 13.2~9.5 mm, $1\ 200 \times 0.181 = 217.2\text{ g}$;
 9.5~4.75 mm, $1\ 200 \times 0.248 = 297.6\text{ g}$;
 4.75~2.36 mm, $1\ 200 \times 0.078 = 93.6\text{ g}$;
 2.36~1.18 mm, $1\ 200 \times 0.058 = 69.6\text{ g}$;
 1.18~0.6 mm, $1\ 200 \times 0.041 = 49.2\text{ g}$;
 0.6~0.3 mm, $1\ 200 \times 0.032 = 38.4\text{ g}$;
 0.3~0.15 mm, $1\ 200 \times 0.024 = 28.8\text{ g}$;
 0.15~0.075 mm, $1\ 200 \times 0.017 = 20.4\text{ g}$;
 填料, $1\ 200 \times 0.05 = 60\text{ g}$ 。

(2)准备SUP-20一个SGC(旋转击实仪)试件的矿料,假定每个试件需用矿料4 400 g。根据表11中每个粒级矿料的含量,可以计算得各个粒级矿料的质量分别为:

19~16 mm, $4\ 400 \times 0.1 = 440\text{ g}$;
 16~13.2 mm, $4\ 400 \times 0.12 = 528\text{ g}$;
 13.2~9.5 mm, $4\ 400 \times 0.133 = 585.2\text{ g}$;
 9.5~4.75 mm, $4\ 400 \times 0.173 = 761.2\text{ g}$;
 4.75~2.36 mm, $4\ 400 \times 0.128 = 563.2\text{ g}$;
 2.36~1.18 mm, $4\ 400 \times 0.093 = 409.2\text{ g}$;
 1.18~0.6 mm, $4\ 400 \times 0.066 = 290.4\text{ g}$;
 0.6~0.3 mm, $4\ 400 \times 0.05 = 220\text{ g}$;
 0.3~0.15 mm, $4\ 400 \times 0.037 = 162.8\text{ g}$;
 0.15~0.075 mm, $4\ 400 \times 0.027 = 118.8\text{ g}$;
 填料, $4\ 400 \times 0.073 = 321.2\text{ g}$ 。

4.3 沥青混合料拌和厂的几个关键

(1)至少要有6个冷料仓(或斗)。

沥青混合料拌和厂的任务是尽最大努力生产出经过试验验证其物理力学性质都符合要求的沥青混合料。其中最重要的是矿料级配要求与矿料级配的一致性 or 稳定性。

要使各个热料仓中不同规格矿料的颗粒组成的变异性降到最小,首先要使各个冷料仓中不同规格矿料的颗粒组成的变异性小,以及各个冷料仓按比例输送到烘干筒的冷料能提供符合要求的矿料级配,并保持每盘的矿料级配比较稳定。实践证明,如果各个冷料仓中矿料的颗粒组成变异性大,虽然烘干后经过二次筛分,无助于减小热料仓中矿料颗粒组成的变异性。

因此,沥青混合料拌和厂的首要关键是吸取室内试验的经验,粗集料采用单一粒级的碎石。也就是备料时,不是备S8、S9、S10…的规格料,而是备一个粒级的规格料。也就是本文按4.2中所述的从

标称最大粒径开始向下备规格料。如 $D_{\max, n} = 26.5\text{ mm}$ 的级配,备5种单一粒级的粗集料; $D_{\max, n} = 19\text{ mm}$ 的级配,备4种单一粒级的粗集料…。一种单一粒级的规格料放在一个堆料仓内,以及一个冷料仓内。根据矿料级配计算得每个单一粒级规格料需用的含量百分率后,就很容易计算出拌制一盘沥青混合料需要各个冷料仓提供多少规格料。

按照上述要求, $D_{\max, n} = 26.5\text{ mm}$ 的矿料级配,其粗集料需要5个冷料仓, $D_{\max, n} = 19\text{ mm}$ 以下的矿料级配,其粗集料需要4个冷料仓,对于 $D_{\max, n} < 16\text{ mm}$ 的表面层矿料级配,虽然其粗集料只有3个或两个单一粒级,但由于某种单一粒级矿料需要量太大,为了使各个冷料仓的供料量大致相同,应该为其配2个冷料仓。

像室内试验备料那样,要求在碎石厂或拌和厂也将细集料筛分成6个粒级的料,显然难于实现。细集料可以用质量符合要求的石屑,也可以用机制砂。但一种石屑或一种机制砂往往不能满足级配要求,需要再加一种细集料或天然砂。因此,需要为细集料备2个冷料仓。

综上所述,对于 $D_{\max, n} = 26.5\text{ mm}$ 的矿料级配,要备7个冷料仓,对于SAC20以下的各种矿料级配,要备6个冷料仓。应该说,这是发展方向,但越早解决越好。

目前,国内施工企业的拌和楼,多数只有4~5个冷料仓,仅少数有6个冷料仓。如果有7个冷料仓,就可以满足我国高速公路常用粗~细级配类型的需要。目前至少需要尽早添加冷料仓到6个。不管现有的拌和楼是3000型,还是4000型,都需要也可以增加到6个冷料仓。据了解,增加一个冷料仓,约需增加8万元投资。

(2)要订购单一粒级的粗集料。

需要向大型碎石企业订购单一粒级粗集料和细集料,并签订相关购料合同,合同中要规定哪些单一粒级集料,每种集料的数量、规格和允许误差。业主要求施工单位购置块石后自己破碎制备粗细集料时,拌和厂也需要与负责制备碎石的专业组签订购货合同,规定制备单一粒级的粗集料。在碎石厂,边砸制碎石,边按单一粒级筛分碎石,既方便易行,又不会增加多少投资。

如果拌和厂已经购进了不是单一粒级的粗集料,为了提高沥青混凝土的质量,减少通车后可能产生的沥青混凝土面层早期破坏,应该按单一粒级的

要求,重新组织筛分粗集料。以多花少量投资,换取优质沥青混凝土与减少早期破坏,是非常值得的。

(3) 验收。

拌和厂要按照合同验收所购的单一粒级矿料,既验收规格、数量,还要验收是否满足允许误差的要求。

在只有6个冷料仓,同时细集料又必须用2个冷料仓的情况下,对于SAC25,合适的4个单一粒级是26.5~19 mm、19~13.2 mm、13.2~9.5 mm和9.5~4.75 mm。在矿料级配中,它们各自所占的比例约为20.8%、17.8%、12.7%和18.7%。对于AC-25,这4个单一粒级在矿料级配中所占的比例是17.5%、16%、11.5%和17%。

前面所述的各种单一粒级粗集料,其筛孔尺寸都是指的室内用方孔筛。在碎石厂用振动筛筛分各种单一粒级的粗集料时,需要用的相应筛孔尺寸列在表13中。

表 13 振动筛筛孔尺寸

室内筛孔/mm	31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	7.5	4.75
相应的振动筛筛孔/mm	40	33	23	20	16	12	9	6

按照单一粒级备料,有两大优点:

一是,能较准确地配出所需的矿料级配,同时使生产过程中矿料级配的变异性最小;

二是,室内试验做配合比简单,无需利用计算机程序,也无需使用图解法,室内只需要用马歇尔试验或SGC试验确定合适的油石比,以及做沥青混凝土试件的水稳定性试验、高温抗永久形变试验等。

(4) 拌和厂的基础设施建设。

①堆放不同规格料的堆料仓应用足够高的砖墙隔离,防止不同规格料互混。不同规格料互混直接影响矿料级配。

②堆料仓的地面以及运料车行驶道路的路面都要硬化处理,保持各种规格料清洁,不受污染。堆料仓的周围应设排水沟,防止雨水流入堆料仓。

③堆放细集料的料仓顶上应搭篷覆盖。防止细集料受雨淋及变成潮湿。潮湿细集料对矿料级配的影响最严重。

④没有覆盖保护的已污染的粗集料,在使用前应用清水冲洗。

⑤冷料仓之间,应用高达0.8~1.0 m的隔板隔离,防止装冷料时不同规格料相混。隔板高度不足,容易产生不同规格矿料互混,见图8。

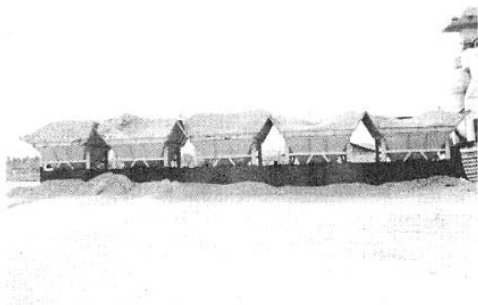


图 8 挡板高度不足,不同规格料相混

⑥冷料仓,特别是细集料仓的上方应搭篷防雨,从保护环境着眼,全部冷料仓的上方都需搭篷,后面和侧面也设隔板,防止装料时尘土飞扬,见图9。

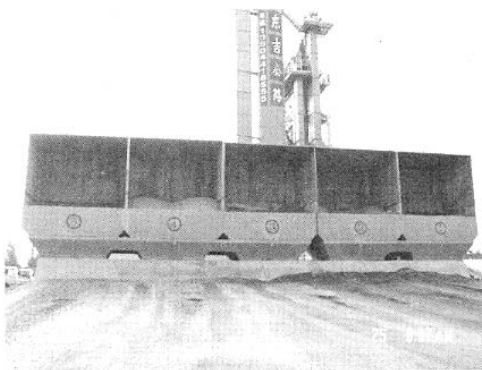


图 9 环保型冷料仓(斗)

5 其他措施

为了大幅度提高沥青混凝土的均匀性,还需要配合一些其他措施。例如,沥青混合料的加热温度、拌和时间、运料车的装料和保温、现场摊铺和碾压,等等。请参阅笔者新著《多碎石沥青混凝土SAC系列的设计与施工》第七章。