

# AC-25C 沥青混合料骨架密实结构级配优化研究

许可

(岳阳市公路桥梁基建总公司, 湖南 岳阳 414000)

**摘要:** 结合 JTG F40-2004《公路沥青路面施工技术规范》和 JTG D50-2006《公路沥青路面设计规范》关于 AC-25C 型级配范围的要求, 对南方某高速公路沥青路面下面层 AC-25C 型级配设计进行优化, 从与规范级配设计对比、骨架密实结构级配设计、级配检验及矿料筛孔建议等方面对 AC-25C 进行理论分析及实践检验, 提出了更适合于该工程应用的级配范围与级配中值。

**关键词:** 公路; AC-25C 沥青混合料; 骨架密实结构; 级配设计

中图分类号: U416.217

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2017)02-0063-03

根据国内外研究与工程实践经验, 沥青路面的高温抗车辙能力中 60% 左右依赖于混合料矿料级配的嵌挤作用, 沥青胶结料的粘结性能只有 40% 左右的贡献。采用合适的油石比并选择优质的集料进行适宜的级配设计, 能有效提高沥青路面的抗车辙能力。从现有研究及工程实践来看, 沥青路面车辙大都发生在中下面层, 说明中下面层的高温稳定性对沥青路面的车辙变形影响很大。目前国内高速公路沥青路面中下面层常用结构为 AC-25C, 优化 AC-25C 沥青混合料骨架密实结构级配对提升沥青路面的抗车辙变形能力具有重要意义。

JTG F40-2004《公路沥青路面施工技术规范》和 JTG D50-2006《公路沥青路面设计规范》(下面分别简称为《施工规范》、《设计规范》)推荐的级配范围较大, 按规范进行设计, 沥青混合料的级配有多种变化和走向, 并会表现出差别较大的技术性能, 如何在较为宽泛的级配范围内优选合理的级配是道路工程建设中亟待解决的问题。该文从理论及工程实践出发, 对南方某高速公路沥青路面下面层 AC-25C 沥青混合料骨架密实结构级配进行优化, 为南方高速公路沥青路面类似工程提供参考。

## 1 现行规范中 AC-25 级配范围分析

《施工规范》表 5.3.2-1 中明确规定 AC-25C 型沥青砼的关键性筛孔 (4.75 mm) 通过率小于 40%, 而《设计规范》条文说明中要求通过 4.75、2.36 mm 筛孔的细集料的上限与原规范的 I 型相近, 下限减小 8%~10% (见表 1)。级配范围有所扩大, 设计、施工单位的灵活性虽然大了, 但在较大级配范围中确定一个符合路用性能要求的级配其难度增大。

表 1 规范中 AC-25 级配范围及级配中值比较

筛孔尺寸/mm	级配范围/%		级配中值/%	
	施工规范	设计规范	施工规范	设计规范
31.500	100	100	100.0	100.0
26.500	90~100	90~100	95.0	95.0
19.000	75~90	70~90	82.5	80.0
16.000	65~83	60~82	74.0	71.0
13.200	57~76	51~73	66.5	62.0
9.500	45~65	40~65	55.0	52.5
4.750	24~52	24~48	38.0	36.0
2.360	16~42	14~32	29.0	23.0
1.180	12~33	10~24	22.5	17.0
0.600	8~24	7~18	16.0	12.5
0.300	5~17	6~14	11.0	10.0
0.150	4~13	4~10	8.5	7.0
0.075	3~7	3~7	5.0	5.0

根据现行规范设计单位给出的路面各结构层的级配设计中值见图 1。

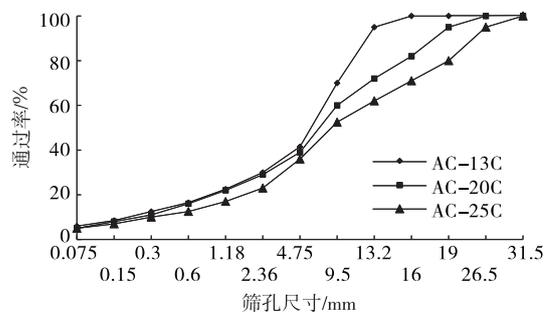


图 1 施工图设计中的级配中值

## 2 AC-25C 级配优化设计

为了使沥青路面下面层具有更好的抗车辙性

能,下面层混合料宜采用骨架密实级配,即粗集料断级配。原因如下:一是其可形成良好骨架结构,提高沥青混合料的高温稳定性和抗剪强度;二是其粗集料占比通常大于60%,可降低沥青混合料的收缩系数,减少开裂;三是细集料填充粗集料骨架空隙,有利于形成密实结构,可防止渗水到基层中。

粗集料断级配的含意是矿料中以粗集料为主,同时又是中断级配,粗集料各筛孔通过量为一条幂函数较大的曲线,使粗集料可形成空隙率相对较大的骨架结构,而细集料各筛孔通过量为一条幂函数相对较小的曲线,细集料和填料与沥青拌和后填充在粗集料骨架的孔隙中,形成骨架密实结构。按照骨架结构的疏密程度可分为紧密骨架密实结构( $P_{4.75}=30\%$ )、一般骨架密实结构( $P_{4.75}=35\%$ )、疏松骨架密实结构( $P_{4.75}=40\%$ )及悬浮式密实结构( $P_{4.75}>40\%$ )。

### 2.1 骨架密实结构级配设计

采用美国学者富勒提出的组成最大密度沥青砼的公式进行骨架密实结构级配设计,粗集料各筛孔通过量幂函数曲线方程为:

$$P_{d_i} = A \times \left( \frac{d_i}{D_{\max}} \right)^B \quad (1)$$

式中: $P_{d_i}$ 为筛孔 $d_i$ 的通过量; $A$ 、 $B$ 为系数; $d_i$ 为筛孔尺寸(mm); $D_{\max}$ 为集料的公称最大粒径(mm),

对于AC-25C, $D_{\max}=26.5$  mm。

《施工规范》规定公称最大粒径筛孔以上的通过量为90%~100%,考虑到保留 $D_{\max}$ 以上部分如中值5%的大颗粒会对施工现场的均匀性(容易离析)、表面平整度产生不利影响,也会影响室内平行试验的均匀性,且公称最大粒径筛孔的通过量在90%~100%变化对沥青混合料的力学性能影响不大,最大公称粒径筛孔通过率取上限100%。

式(1)中 $A$ 、 $B$ 由两个已知控制点建立方程进行求解:一个是 $d_i=D_{\max}$ 的通过量,即100%;另一个是4.75 mm筛孔通过量,为30%~40%。取 $P_{26.5}=100\%$ , $P_{4.75}=33\%$ ,代入式(1)可求出 $A$ 、 $B$ ,再由式(1)分别求出 $P_{19}$ 、 $P_{16}$ 、 $P_{13.2}$ 、 $P_{9.5}$ 、 $P_{4.75}$ 。

细集料各筛孔通过量方程为:

$$P_{d_i} = A \times \left( \frac{d_i}{4.75} \right)^B \quad (2)$$

式(2)中 $A$ 、 $B$ 通过两个已知控制点建立方程进行求解:一个是 $d_i=4.75$  mm通过量,与粗集料设计时的 $P_{4.75}$ 相同;另一个是 $d_i=0.075$  mm筛孔通过量,为3%~10%,且 $D_{\max}$ 越大 $P_{0.075}$ 的值越小。取 $P_{0.075}=5\%$ ,求出 $A$ 、 $B$ ,再由式(2)分别求出 $P_{2.36}$ 、 $P_{1.18}$ 、 $P_{0.6}$ 、 $P_{0.3}$ 、 $P_{0.15}$ 。

上述各筛孔通过量即为建议采用的级配中值,对级配范围作出相应调整,结果见表2。

表2 AC-25C下面层沥青混合料优化级配

级配类型	下列方筛孔(mm)的通过率/%												
	31.5	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
上限	100	100	87.0	78.0	71.0	59.0	40	29	21.0	16.0	11.0	8.0	6
优化级配													
下限	100	95	75.0	66.0	59.0	47.0	30	19	12.0	8.0	5.0	3.0	2
中值	100	100	81.6	72.2	63.8	51.6	33	24	17.5	12.9	9.4	6.9	5
规范中值	100	95	80.0	71.0	62.0	52.5	36	23	17.0	12.5	10.0	7.0	5

### 2.2 优化级配与规范级配对比

将上述优化级配与《施工规范》、《设计规范》中的级配进行比较,结果见图2。

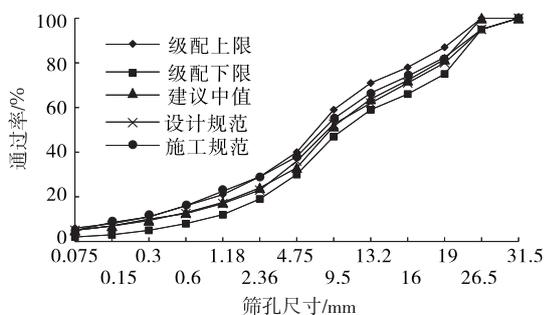


图2 下面层AC-25C优化级配与规范级配中值的比较

根据图2,优化级配具有以下特点:1)优化级配为骨架密实结构,在4.75 mm筛孔以上向上靠,通过率大于规范级配中值;在4.75 mm筛孔以下向下靠,通过率小于规范级配中值。骨架密实结构的级配呈S形。2)关键筛孔4.75 mm的通过率为33%,比一般骨架密实结构稍粗,既可形成骨架密实结构,又方便施工碾压;下面层最大公称粒径26.5 mm筛孔的通过率为100%,取规范级配范围的上限,比规范级配中值95%少5%的最大公称粒径与最大粒径之间的粗颗粒,因5%的26.5~31.5 mm粗颗粒会影响室内平行试验的均匀性,也会对施工

现场的均匀性(容易离析)、表面的均匀性和平整度有不利影响,且不影响材料的力学性能,所以最大公称粒径筛孔通过率取高限 100%。3) 相对于《施工规范》、《设计规范》推荐级配范围,优化级配范围更窄,上下限波动范围更小,可更好地控制配合比设计,对实际设计、施工具有重要指导意义。

### 3 优化级配的检验

先采用沙庆林院士提出的捣实密度  $VCA_{DRF}$  对优化级配进行检验,检验其是否形成骨架;再按集料骨架间隙率  $VCA_{AC}$  进行检验,判断骨架是否密实。

采用  $VCA_{DRF}$  法检验前先进行粗细集料吸水率和密度试验。 $VCA_{DRF}$  检验法的基本方程为:

$$P_{ca} + P_{fa} + P_{fi} = 100 \quad (3)$$

$$\frac{P_{ca}}{GCA_{DRC}} (VCA_{DRC} - V_a) = \frac{P_{fa}}{G_{b,fa}} + \frac{P_{fi}}{G_{a,fi}} + \frac{P_B}{G_B} \quad (4)$$

式中: $P_{ca}$ 为粗集料含量(%); $P_{fa}$ 为细集料含量(%); $P_{fi}$ 为矿料级配中小于 0.075 mm 填料即矿粉的含量(%); $GCA_{DRC}$ 为粗集料的干捣实密度( $g/cm^3$ ); $VCA_{DRC}$ 为粗集料的干捣实空隙率(%); $V_a$ 为沥青混合料中空气率或空隙率(%),一般为 3%~6%; $G_{b,fa}$ 为细集料的毛体积密度( $g/cm^3$ ); $G_{a,fi}$ 为填料的视密度( $g/cm^3$ ); $P_B$ 为沥青用量即油石比(%); $G_B$ 为沥青的密度( $g/cm^3$ )。

式(3)表明沥青混合料的矿料总重量由粗、细集料和填料组成,式(4)左边为粗集料空隙率,右边为细集料、填料、沥青的总体积,即细集料、填料和沥青的体积(沥青胶砂)填满粗集料的孔隙。

也可参照文献[7]~[9],按集料骨架间隙率  $VCA_{AC}$  对级配形成的骨架是否密实进行检验:级配经初步检验调整后选用适当的方法制作试件,用压实成型试件对级配进行检验和调整,根据混合料粗骨架间隙率  $VCA_{AC}$  与沥青砂浆和空隙率之和之间的关系判断级配形成的骨架是否密实。若  $VCA_{AC}$  不小于沥青砂浆和空隙率之和,则该级配形成骨架;若  $VCA_{AC}$  等于沥青砂浆和空隙率之和,则形成了密实结构。

### 4 对 AC-25C 矿料筛孔的建议

一般碎石加工设备的振动筛分为 5 档,根据料仓进料相对均衡原则,建议 0~2.36 mm 筛孔含量为 24%、2.36~4.75 mm 筛孔含量为 9%、4.75~9.5

mm 筛孔含量为 18.6%、9.5~19 mm 筛孔含量为 30%、19~26.5 mm 筛孔含量为 18.4%,碎石加工振动筛按 26.5~19、19~9.5、9.5~4.75、4.75~2.36、2.36~0 mm 5 档料进行加工。

### 5 结论

(1) 粗、细集料的分界筛孔 4.75 mm 通过率为 33%,略小于规范推荐参考级配中值,既有利于形成骨架密实结构,又便于施工碾压。

(2) 下面层最大公称粒径 26.5 mm 筛孔的通过率取 100%,可较大程度减少室内平行试验的不均匀性,也能有效降低施工现场的离析,且不影响结构层材料的力学性能。

(3) 优化后的 AC-25C 骨架密实结构级配缩小了上下限的波动范围,可更好地指导沥青混合料级配设计与生产施工。

### 参考文献:

- [1] 沈金安. 沥青与沥青混合料路用性能[M]. 北京:人民交通出版社,2003.
- [2] 李娜,吴瑞麟,李向东,等. 重交沥青 AC-25I 混合料优化设计[J]. 华中科技大学学报:城市科学版,2006,23(1).
- [3] 肖华宪. AC-25C 沥青混合料级配正交优化试验研究[J]. 公路工程,2012,37(4).
- [4] JTG F40-2004, 公路沥青路面施工技术规范[S].
- [5] JTG D50-2006, 公路沥青路面设计规范[S].
- [6] Freddy J Sánchez-Leal, M ASCE. Gradation chart for asphalt mixes: development[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2007, 19(2).
- [7] 王富玉,沙庆林,张勇,等.  $VCA_{DRF}$  和  $VCA_{AC}$  矿料级配检验方法在 SAC13 级配设计中的应用[J]. 吉林大学学报:工学版,2007,37(3).
- [8] 段琴,杨建明. 粗集料断级配 SAC25 设计检验方法的分析[J]. 山西建筑,2008,34(34).
- [9] 沙庆林. 矿料级配检验方法之一  $VCA_{DRF}$  方法[J]. 公路,2005(2).
- [10] 罗安邦. AC-13 沥青混合料骨架密实结构级配设计及优化方法[J]. 湖南交通科技 2016,42(3).
- [11] 刘朝晖,周婷,秦仁杰,等. 基于抗车辙性能的长大纵坡沥青混合料设计[J]. 中国科技论文,2013(11).
- [12] 刘朝晖,柳力,李盛. 高性能沥青混合料配合比优化设计及性能评价[J]. 中外公路,2014,34(5).