

矿料级配检验方法之一 VCA_{DRF} 方法

沙庆林

(交通部公路科学研究所 北京市 100088)

摘要: 详细介绍了用 VCA_{DRF} 方法检验矿料级配是否属于紧密骨架密实结构的原理和方法。文中用实例详细说明了该检验方法使用简便和灵活,可以根据需要调整粗集料、细集料、填料或沥青的用量,也可以同时调整其中两项的用量。每调整一个组成的用量,就可以得到一个相应的配合比和一个矿料级配。便于使用者根据自己的经验选择合适的配合比和矿料级配。

关键词: 矿料级配; 检验方法; VCA_{DRF} 法

1 矿料级配检验的目的

至今,国内外尚没有统一的经过室内试验和实际工程检验的矿料级配合适与否的具体检验方法,而且矿料级配合适与否还取决于对沥青混凝土性质的要求。例如,在寒冷,特别是严寒地区,沥青混凝土在夏季的高温抗永久形变能力不是主要问题,沥青混凝土的抗水破坏能力以及表面层的抗滑性能却是主要问题。因此,要求沥青混凝土的密实度大、空隙率小,也就是透水性小和水稳性好。用作表面层的沥青混凝土,还要求其具有优良的摩擦系数和表面构造深度。

虽然,在我国北方冰冻地区,沥青混凝土面层经常产生很多横向温度裂缝,其中也可能还包括很少量的由半刚性基层开裂后引起沥青混凝土面层产生的对应裂缝(在面层较厚,如厚于 8~12 cm 的情况下)或反射裂缝(在沥青混凝土面层较薄的情况下)。但是,在当前的技术条件下,沥青混凝土面层的横向裂缝是避免不了的。在路面设计和施工方面,只能力求延缓和减轻裂缝的产生,不能消除横向裂缝。我国北方几条高速公路的实际使用经验证明,在华北地区,有用纯重交沥青混凝土面层,有用改性沥青混凝土面层,也有用改性沥青 SMA 面层,沥青混凝土面层的总厚度都是 15~18 cm。仅在开放交通后的前一、二年,沥青混凝土面层的早期横向裂缝的数量还有些差别,重交沥青和改性沥青 SMA 面层的裂缝略少些。但是 3 年后,两种改性沥青混凝土面层的裂缝数量就几乎没有差别了。每 1 000 m 长路段上,一般

都有 30~50 条横向裂缝,仅个别路段有 60 条横向裂缝。重交沥青混凝土面层的裂缝略少些。例如京津塘高速公路北京段 33 km,面层厚 23 cm,通车 8 年后,平均 37.6 条/km 横缝;天津段 100.8 km,面层厚 18~23 cm,通车 6 年后,平均 31.8 条/km 横缝。早在 20 世纪 80 年代末,京石高速公路正定试验路的经验已经证明,用 SBR(混炼法制成母体后,在现场加入已加热到要求温度的沥青中搅拌而成)改性沥青和 SBS(澳大利亚生产的 Sealoflex)改性沥青混凝土面层的横向裂缝数量,一点不比用纯沥青(不合格的重交沥青)混凝土面层的横向裂缝少。但是,该试验路的室内试验却证明,改性沥青混凝土的低温抗裂性能明显优于纯沥青混凝土。在吉林省有一条高速公路,半刚性基层上沥青混凝土面层厚 10 cm,用了重交沥青 AH-90,通车 6 年多后,每 km 路段上的横向裂缝数量几乎与上述华北高速公路上的情况相同。因此,在北方冰冻地区,目前没有必要过多地考虑沥青混凝土的低温抗裂性能。采用优质重交沥青后一旦产生横向裂缝,通过及时养护措施进行填缝或封缝,防止雨水透入就可以。

在华北,特别其南部和南方夏季气温高的地区,在交通量大的,特别在重载交通高速公路上,其沥青混凝土面层既要抗水破坏,又要抗高温永久形变,还要有优良的抗滑性能。因此,既要求沥青混凝土的透水性小和水稳性好,又要求其高温抗永久形变能力强;对用作表面层的沥青混凝土,还要求其抗滑性能好。

对于半刚性路面,由于沥青混凝土面层位于强度较高的半刚性基层上,沥青混凝土面层底部经常处于受压状态,即使有时可能受拉,其拉应力值也不大。因此,一般情况下,不需把沥青混凝土的抗疲劳性能作为一个主要问题。

总而言之,在我国高速公路上,对半刚性路面和刚性组合式路面面层沥青混凝土性质的要求是抗水破坏、抗高温永久形变;对表面层沥青混凝土,外加抗滑性能好。但是,在寒冷地区的高等级公路上,重载车辆多的国道主干线高速公路除外,以及在其他地区交通量不大,特别重载车辆少的高等级公路和一般公路上,沥青混凝土面层的高温抗永久形变能力不是主要矛盾,甚至构不成路面病害,可以只考虑或只检验沥青混凝土的密实性,使其透水性小,不容易产生水破坏,同时使表面层具有良好的抗滑性能。

因此,矿料级配检验的目的是:用其制成的沥青混凝土的性能是否能满足上述性能要求。

2 矿料级配检验的内容

2.1 物理性质检验

当前我国主要用马歇尔试验进行沥青混合料设计,其目的是确定:

(1)用所定矿料级配制成的沥青混凝土是否具有合适的空隙率 V_a ,使自由水难于透入;

(2)沥青混凝土是否具有合适的矿料间隙率 VMA 和沥青饱和度 VFA ,使其在高温季节不容易泛油和产生由剪切形变形成的严重辙槽。

此外,有些单位,包括一些高速公路的沥青混凝土面层工程单位也在使用美国SUP的旋转击实仪SGC进行沥青混合料设计。个别单位也在使用美国工程兵的旋转击实仪GTM进行沥青混合料设计。实践证明,用不同仪器和方法得出的沥青混凝土的 V_a 、 VMA 和 VFA 都是不相同的。一般地说,用GTM得到的沥青混合料的密度、 V_a 和 VMA 最小, VFA 最大;用SGC得到的密度、 V_a 和 VMA 稍大, VFA 稍小;用马歇尔试验得到的密度、 V_a 和 VMA 最大, VFA 最小。显然,仅靠物理性质检验是不够的。更不用说,这些物理性质本身是否合适,还需要实际工程的考验。

2.2 力学性质检验

沥青混凝土还必须经过力学性质的检验。例如,水稳性试验、高温抗永久形变能力试验(用GTM试验、各种轮辙试验仪),以及抗剪切形变能力检验。美

国沥青协会(AI)1995年编制的“水准1 沥青混合料设计”中对于水准2 沥青混合料,需要通过SUP剪力试验仪和间接抗拉试验仪得出可预估路面使用性能(指辙槽深度)资料后,才能使用。但至今未见发表的有关资料。这方面的试验还有单轴压缩蠕变试验和三轴试验等。

3 矿料级配检验的方法——骨架密实结构的检验方法

按照集料试验规程的方法,做风干集料的密度和孔隙率试验时,可以得到两种密度及其相应的孔隙率。第一种是干捣实密度 GCA_{DRC} 和干捣实孔隙率 VCA_{DRC} ,第二种是松装或疏松密度 GCA_{DRL} 和疏松孔隙率 VCA_{DRL} 。

作为骨架密实结构来说,骨架的紧密程度具有一定的范围。用粗集料的干捣实密度和干捣实孔隙率作为 VCA_{DEF} 方法的检验标准时,其骨架是最紧密的;用粗集料的松装密度作为 VCA_{DEF} 方法的检验标准时,粗集料碎石也是互相接触,但它是疏松接触。在沥青混凝土中,粗集料基本上不互相接触或不完全接触时,其矿料级配就成为悬浮式。对于悬浮式密实结构,其风干粗集料的孔隙率 VCA_{DR} 将比干捣实孔隙率 VCA_{DRC} 大6%以上,或大于粗集料的松装孔隙率 VCA_{DRL} 。

上述这3种代表性状态的粗集料断级配都可以是孔隙率 V_a 仅在3%左右的密实式,也都具有表面粗糙度大的特点。其差别仅在粗集料的多少以及油石比和高温抗永久形变能力的大小。紧密接触的骨架密实结构,沥青混凝土中的粗集料含量最多,油石比最小(SMA,由于其组成的特点是用过多的沥青和纤维来达到孔隙率小的,所以除外),高温抗永久形变能力最强。但对粗集料、细集料、填料的含量变化和沥青用量变化的敏感性也较大,对碾压温度要求较高,但可以乘沥青混合料高温时,一开始碾压就用振动压路机将其碾压密实。随粗集料互相接触的紧密程度减小,粗集料的含量减少,细集料和填料的含量增加,同时沥青用量也增加(参看下述例)。在其他条件相同的情况下,沥青混凝土的高温抗永久形变能力逐渐减小,沥青混凝土的性质对各个组成变化的敏感性也略小,但可能有利于现场压实。矿料级配的风干粗集料孔隙率接近松装密度或成为悬浮密实式时,粗集料的含量将显著减少,同时细集料和填料的含量将显著增多,混合料的油石比也将显著增

大。沥青混凝土的物理—力学性质对各组成变化的敏感性也会有所减小。但其高温抗永久形变能力会大幅度降低。用作表面层时,表面构造深度虽也会降低,但它仍然显著高于规范所要求的值。这种沥青混合料的施工碾压难度不一定较小。因为,不能乘沥青混合料高温时,一开始碾压就使用振动压路机将其碾压密实。

用 VCA_{DRF} 方法检验确定的紧密接触骨架密实结构,在实际密实沥青混凝土中,粗集料到底处于什么状态,是松装或疏松接触状态,还是干捣实紧装或紧密接触状态、或处于两者之间的某一状态,对沥青混凝土的高温抗永久形变能力具有重要影响。粗集料在沥青混凝土中所处的状态主要取决于试件制作所采用的方法和矿料级配。例如, SAC13 不同矿料级配沥青混合料,马歇尔试验结果(两面各击 75 次),沥青混凝土中粗集料的孔隙率 VCA_{AC} 为 41.22%、41.52% 和 41.96%。相同沥青用量下 GTM 压强 0.7 MPa 试验结果的 VCA_{AC} 为 39.1%、39.58% 和 40.52%。也就是用 GTM 0.7 MPa 制的试件的孔隙率较马歇尔试件的约小 1.5%~2%。所以 GTM 试验得到的沥青混凝土的油石比小和密实度大,其高温抗永久形变能力也强。在其他条件相同的情况下,在现场要求的压实功也大。SAC20 沥青用量为 4.0% 时,马歇尔试验结果, $VCA_{AC} = 40.23%$; SGC 旋转击实仪旋转 100 次的 $VCA_{AC} = 39.89%$ 。也就是,SGC 旋转 100 次试件的孔隙率较马歇尔试验 75 次试件的孔隙率约小 0.35%。与 GTM 试验相同,用 SGC 试验得到的沥青混凝土油石比将小于马歇尔试验的结果,而密实度和高温抗永久形变能力则大于马歇尔试验。可以说,SGC 试验较适合于当前高速公路上的交通状况。

因此,对于在用 VCA_{DRF} 方法进行矿料级配检验时,可以根据试验所得干捣实密度 GCA_{DRC} 计算得 VCA_{DRC} ,也可以选择介于松装密度 GCA_{DRL} 与干捣实密度 GCA_{DRC} 之间的某一 GCA_{DR} 值。同是使用该方法,当使用的碎石特别硬,表面摩擦力大(表面粗糙)时,可选择 GCA_{DR} 值接近 1.06 GCA_{DRC} ; 对于比较软的粗集料,可选择 GCA_{DR} 值接近 1.05 GCA_{DRC} 。

就上述 SAC13 所用玄武岩的 $GCA_{DRL} = 1.619 \text{ g/cm}^3$, $GCA_{DRC} = 1.799 \text{ g/cm}^3$, 两者的平均值为 1.709 g/cm^3 , 相应的 $VCA_{DR} = 42.75%$; 平均值与 GCA_{DRL} 的比值为 1.0664 GCA_{DRL} , 相应的 $VCA_{DR} = 44.25%$ 。 $GCA_{DRC} = 1.1112 GCA_{DRL}$ 。

前面已经提到,用 SAC 矿料级配制成的高温抗永久形变能力强的沥青混凝土中,粗集料应该形成骨架,或者粗集料碎石应该互相紧密接触,使其作为承受行车荷载的主体;细集料、填料(矿粉或水泥)和沥青形成的沥青砂胶则填充在粗集料骨架的孔隙中,同时将粗集料胶结在一起形成一整体,共同承受行车荷载的反复作用。为了避免沥青混凝土面层泛油和产生辙槽,沥青混凝土还必须有 3%~4% 的空隙率。因此,粗集料骨架间的孔隙除少量空气体积外,实际上将被沥青砂胶填满。这样就形成一个骨架密实结构。从沥青混凝土的设计角度讲,骨架密实结构沥青混凝土既可以避免水破坏,又能大幅度提高其高温抗永久形变能力,同时还具有优良的抗滑性能。前面已经提到,骨架密实结构既包括粗集料紧密接触形成的骨架,又包括粗集料虽接触,但不紧密形成的骨架两种型式。用于检验矿料级配是否是骨架密实结构的方法称骨架密实结构检验方法。

在高温抗永久形变能力不是沥青混凝土面层要考虑的技术问题的地区或高等级公路上,只要求沥青混凝土面层密实透水性小、不易产生水破坏,和表面层具有优良的抗滑性能。在这种情况下,可以只检验粗集料断级配是否是密实结构。可以同样采用下述的骨架密实结构检验方法。只要沥青砂胶的体积大于粗集料的孔隙率就可以。实际上,这种沥青混凝土介于骨架密实结构与悬浮式密实结构之间,或完全属于悬浮式密实结构。

3.1 利用粗集料的干捣实孔隙率 VCA_{DRC} 检验(简称 VCA_{DRF} 方法)

为了用 VCA_{DRF} 方法进行骨架密实结构的检验,需要先列出以下几个基本公式:

$$P_{ca} + P_{fa} + P_{fi} = 100\% \quad (1)$$

式中: P_{ca} 为矿料级配中粗集料的含量百分率,%; P_{fa} 为矿料级配中细集料的含量百分率,%; P_{fi} 为矿料级配中小于 0.075 mm 填料(即矿粉或水泥)的含量百分率,%。

$$VCA_{DRC} = \left(1 - \frac{GCA_{DRC}}{G_{b.ca}} \right) \quad (2)$$

$$GCA_{DRC} = G_{b.ca} (1 - VCA_{DRC}) \quad (3)$$

式中: VCA_{DRC} 为干捣实粗集料的孔隙率(在式中用小数值表示,如 40.23% 在式中为 0.4023); GCA_{DRC} 为粗集料的干捣实密度, g/cm^3 , 可由试验得出; $G_{b.ca}$ 为粗集料的毛体积密度, g/cm^3 , 可用不同粒径粗集料的毛体积密度计算得出。

用 VCA_{DRF} 方法进行矿料级配检验的一基本方程为：

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

式中： V_a 为沥青混凝土中的孔隙率，%，需预定的值，通常为 3%~4%； P_B 为沥青用量（油石比），%； $G_{b,fa}$ 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 ； G_B 为沥青的密度， g/cm^3 。

式(4)等号左侧为干捣实粗集料中减去预留 V_a 后的孔隙率，也就是可以容纳细集料、填料和沥青体积率之和的孔隙率，可称其为可用孔隙率，并用 VCA_{DRU} 表示；等号右侧为细集料、填料体积与沥青体积率之和，可简称为沥青砂胶的体积率。

作为骨架密实结构，在规定沥青混凝土中的空隙率 V_a 后，式(4)等号右侧的值应等于左侧的值。如果右侧的值明显大于左侧的值，则会使沥青混凝土中粗集料形成的骨架被沥青砂胶撑开甚至粗集料悬

浮在沥青砂胶中，这将直接影响沥青混凝土的高温抗永久形变能力。但这种沥青混凝土的密实、透水性小和抗滑性能好的特点是肯定的。如果等号右侧的值明显小于左侧的值，则沥青混凝土中的空隙率将明显大于预定的值，使沥青混凝土的透水性增大，容易产生水破坏，其高温抗永久形变能力也会保不住。因此，可称式(4)为用 VCA_{DRF} 方法检验矿料级配时的基本检验方程。

为了利用式(4)进行骨架密实结构检验，需要先对粗集料进行干捣实试验，确定其干捣实密度 GCA_{DRC} 。由于下例没有做干捣实密度试验，所以暂时借用国内 SMA10、SMA13 的 VCA_{DRC} 一般为 40%~40.5% 这一结果。作者等的初步试验结果 SAC20 的 VCA_{DRC} 一般为 39%~40%。

3.2 矿料级配检验例 1

3.2.1 原始数据

某拌和厂生产 SAC20 沥青混合料所用原材料的密度和配合比见表 1。

表 1 SAC20 混合料原材料的密度和配合比

指标	碎石粗集料			细集料		填料		
	粒级/mm	26.5~16	16~9.5	9.5~4.75	石屑	砂	矿粉	水泥
视密度 $G_a^{*1}/(g/cm^3)$	2.654	2.653	2.649	2.602	2.602	2.732	3.000	
毛体积密度 $G_b/(g/cm^3)$	2.618	2.615	2.603	2.499	2.528			
矿料配合比/%	29	25	12	21	7	2	4	

注：沥青的密度 $G_B=1.031 g/cm^3$ ；* 1 后面有说明，用现行试验方法得到的矿料的视密度，实际上是不存在的，需要用表干密度。

用上述资料计算得：

粗集料的质量百分率 $P_{ca}=66\%$ ，毛体积密度 $G_{b,ca}=2.614 1 g/cm^3$ ；细集料的质量百分率 $P_{fa}=28\%$ ，毛体积密度 $G_{b,fa}=2.506 2 g/cm^3$ ；填料的质量百分率 $P_{fi}=6\%$ ，矿粉的视密度 $G_a=2.732 g/cm^3$ ，水泥的 $G_a=3.000 g/cm^3$ ，填料的混合视密度 $G_{a,fi}=(2+4)/(2/2.732+4/3.000)^{-1}=2.905 0 g/cm^3$ 。

假设 $VCA_{DRC}=40\%$ ，并要求 $V_a=4\%$ 。

混合料设计得到沥青用量（油石比） $P_B=4.6\%$ 。

3.2.2 检验粗细集料含量

由于没有粗集料的干捣实密度，暂时利用式(3)计算粗集料的干捣实密度：

$$GCA_{DRC} = 2.614 1 \times (1 - 0.4) = 1.568 5 (g/cm^3)$$

利用式(4)，可得：

$$\left(\frac{P_{ca}}{1.568 5} \right) \times (0.40 - V_a) = \frac{P_{fa}}{2.506 2} +$$

$$\left(\frac{2}{2.732} + \frac{4}{3.000} \right)^{-1} + \frac{P_B}{1.031} \quad (5)$$

*1 等号右侧括号内为两种填料，也可写成

$$\frac{6}{2.905 0}。$$

将上述有关数值代入式(5)，可得：

$$0.229 5 P_{ca} = 0.399 0 P_{fa} + 0.344 2 P_{fi} + 4.461 7 \quad (6)$$

如将已知 $P_{ca}=66\%$ 、 $P_{fa}=28\%$ 和 $P_{fi}=6\%$ 代入式(6)中，可得等号左侧为 15.148 2%，即粗集料中可供容纳细集料、填料和沥青的有效孔隙率 VCA_{DRU} 只有 15.148 2%；等号右侧为 11.172 3+2.065 4+4.461 7=17.699 4，即细集料、填料和沥青的体积率之和共有 17.699 4%。这一结果说明，沥青混合料中由细集料、填料和沥青组成的沥青砂胶的体积超过了粗集料间的有效孔隙率，这样的矿料级配和沥青用量形不成紧密骨架密实结构，需要调整配合比，减少细集料含量。为此，建立式(7)，使等号右侧的值

等于左侧的值,即:

$$0.399\ 0 P_{fa} = 15.148\ 2 - 2.065\ 4 - 4.461\ 7$$

$$= 8.621\ 1 \quad (7)$$

由式(7)得 $P_{fa} = 21.6\%$ 。

对最终的矿料级配还需进行如下的调整:

$P_{ca} + P_{fa} + P_{fi}$ 之和应满足式(1)的要求,现 $P_{ca} + P_{fa} + P_{fi} = 66\% + 21.6\% + 6\% = 93.6\%$,因此,需将3种矿料的用量分别除以0.936。最后得到调整后的配合比为:

粗集料的含量 $P_{ca} = 70.5\%$;

细集料的含量 $P_{fa} = 23.1\%$;

填料的含量 $P_{fi} = 6.4\%$;

$P_B = 4.6\%$ 。

检验结果表明,原矿料级配中细集料含量28%较应有的含量23.1%多了4.9%;原粗集料含量66%较应有的含量70.5%少了4.5%,填料的含量少了0.4%。

利用笔者上篇论文《SAC和其他粗集料断级配的矿料级配设计方法》(公路,2005年,第1期)中的方法,可重新计算得新配合比的粗、细集料级配组成,见表2(编号1)。

表2 SAC20新配合比的级配组成

编号	通过下列筛孔尺寸(mm)的质量百分率/%											
	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
1	100	97.5	84.1	71.2	53.6	29.5	22.8	17.7	13.8	10.7	8.3	6.4
2	100	97.5	84.3	71.6	54.2	30.1	23.2	17.9	13.9	10.7	8.3	6.4
3	100	97.5	84.6	72.2	55.0	31.0	23.7	18.2	14.0	10.7	8.2	6.3
4	100	97.5	84.5	71.9	54.6	30.6	22.8	17.1	12.9	9.6	7.2	5.4
5	100	97.5	84.2	71.5	54.1	30.0	23.1	17.9	13.9	10.7	8.3	6.4
6	100	100	86.1	72.9	54.8	30.0	23.1	17.9	13.9	10.7	8.3	6.4

表2中的沥青用量:编号1为4.6%;编号2为4.6%;编号3为3.8%;编号4为4.6%;编号5为

4.0%;编号6为4.0%。

由表2可以计算出编号1的矿料配合比,见表3。

表3 编号1的矿料配合比

配合比	粗集料			细集料		填料		
	粒径/mm	26.5~16	16~9.5	9.5~4.75	石屑	砂	矿粉	水泥
矿料配合比/%		15.9	30.5	24.1	17.3	5.8	2.1	4.3

由上列配合比可计算得:

$$G_{b.ca} = 2.611\ 56\ \text{g/cm}^3, G_{b.fa} = 2.506\ 22\ \text{g/cm}^3$$

$$G_{a.fi} = 2.906\ 45\ \text{g/cm}^3, GCA_{DRC} = 1.566\ 94\ \text{g/cm}^3$$

将上列数据代入式(4)中。

式(4)等号左侧的值为:

$$\left(\frac{70.5}{1.566\ 94} \right) \times (0.4 - 0.04) = 16.197\ 17(\%)$$

式(4)等号右侧的值为:

$$9.217\ 07 + 2.202\ 00 + 4.461\ 7 = 15.880\ 77(\%)$$

等号右侧的值小于等号左侧的值,沥青混凝土的实际孔隙率大于4%。现计算如下:

$$\left(\frac{70.5}{1.566\ 94} \right) \times (0.4 - V_a) = 15.880\ 77$$

$$0.4 - V_a = 0.353,$$

$$V_a = 4.7\%$$

3.2.3 再次进行检验

对所得矿料级配再次进行检验,调整细集料的含量,则:

$$P_{fa}/2.506\ 22 = 16.197\ 17 - 2.202\ 00 - 4.461\ 70$$

由上式得: $P_{fa} = 23.9\%$ 。

经调整后的新配合比为: $P_{ca} = 69.9\%$, $P_{fa} = 23.7\%$, $P_{fi} = 6.4\%$; $P_B = 4.6\%$ 。

符合此配合比的矿料级配组成也列在表2中(编号2)。

由表2可计算出编号2的矿料配合比,见表4。

由上列配合比可计算得:

$$G_{b.ca} = 2.611\ 52\ \text{g/cm}^3, G_{b.fa} = 2.506\ 16\ \text{g/cm}^3,$$

$$G_{a.fi} = 2.906\ 45\ \text{g/cm}^3,$$

$$GCA_{DRC} = 0.6 \times 2.611\ 52 = 1.566\ 91\ \text{g/cm}^3$$

表 4 编号 2 的矿料配合比

配合比	粗集料			细集料		填料		
	粒径/mm	26.5~16	16~9.5	9.5~4.75	石屑	砂	矿粉	水泥
矿料配合比/%	15.7	30.1	24.1	17.8	5.9	2.1	4.3	

将上列数据代入式(4)中。

式(4)等号左侧的值为:

$$\left(\frac{69.9}{1.56691}\right) \times (0.4 - 0.04) = 44.61009 \times 0.36 = 16.0596$$

式(4)中等号右侧的值为

$$23.7/2.50616 + 6.4/2.90645 + 4.6/1.031 = 16.12039(\%)$$

等号左右两侧的值已很接近。可计算其实际孔隙率如下:

$$0.40 - V_a = 1.56691 \times 16.12039 / 69.9 = 0.36136$$

$$V_a = 3.864(\%)。此结果可以接受。$$

由上述检验结果可知,如用 VCA_{DRF} 方法做第一次检验后,所得粗、细集料和填料的新配合比与原配合比有较大差异,需要对所得矿料级配用 VCA_{DRF} 方法进行第二次检验,以得到较合适的检验结果。

3.2.4 减少沥青用量

本工程对 SAC20 采用油石比 $P_B = 4.6\%$ 。

如不改变矿料的配合比,利用 3.2.2 中所得的数据,可计算所需的沥青用量如下:

$$P_B / 1.031 = 15.1492 - 11.1732 - 2.0652 = 1.9108$$

$$P_B = 1.97\%$$

此沥青用量显然太少,它表明,如不改变粗细集料配合比,矿料级配不能成为骨架密实结构。

(1)实际工程中,如 SAC20 采用 $P_B = 4.6\%$,显得沥青过多。如减少沥青用量为 $P_B = 3.8\%$,试调整细集料含量,使其符合骨架密实结构的要求。

先将原矿料配合比代入式(4),可得:

$$\text{等号左侧的值仍为 } 15.1492\%,$$

细集料的含量应为:

$$P_{fa} / 2.50616 = 15.1492 - 2.0652 - 3.8 / 1.031 = 9.3983$$

$$\text{由上式得: } P_{fa} = 23.6\%。$$

3 种集料之和为:

$$66\% + 23.6\% + 6\% = 95.6\%,$$

由此得调整后的配合比为:

$$P_{ca} = 69.0\%, P_{fa} = 24.7\%, P_{fi} = 6.3\%;$$

$$P_B = 3.8\%。$$

符合此配合比的级配组成列在表 2 中(编号 3)。

(2)再次检验。

由表 2 可计算出编号 3 的矿料配合比,见表 5。

表 5 编号 3 的矿料配合比

配合比	粗集料			细集料		填料		
	粒径/mm	26.5~16	16~9.5	9.5~4.75	石屑	砂	矿粉	水泥
矿料配合比/%	15.4	29.6	24.0	18.5	6.2	2.1	4.2	

由上列配合比可计算得:

$$G_{b.ca} = 2.6115 \text{ g/cm}^3, G_{b.fa} = 2.5062 \text{ g/cm}^3,$$

$$G_{a.fi} = 2.9050 \text{ g/cm}^3$$

$$GCA_{DRC} = 0.6 \times 2.6115 = 1.5669 \text{ (g/cm}^3)$$

将上列数据代入式(4)中。

式(4)等号左侧的值为:

$$(69 / 1.5669) \times (0.40 - 0.04) = 44.0360 \times 0.36 = 15.8530(\%)$$

式(4)等号右侧的值为

$$24.0 / 2.5062 + 6.3 / 2.9050 + 3.8 / 1.031 = 15.7100(\%)$$

右侧值很接近左侧值,仅使实际 V_a 略大。可计算如下:

$$0.40 - V_a = 15.7100 \times 1.5669 / 69.0 = 0.357$$

$$V_a = 4.3\%$$

如要将 V_a 减小到 4.0%,在保持新配合比的情况下,只要稍增加油石比就可以,如采用 $P_B = 4.0\%$,则 $V_a = 3.9\%$ 。

3.2.5 改变粗集料的含量

以上检验是先保持粗集料和填料不变,仅改变细集料的含量。实际工程中,也可以先保持细集料和填料含量不变,改变粗集料的含量。为此,建立式(8):

$$0.2295 P_{ca} = 17.6994 \quad (8)$$

$$\text{由此得 } P_{ca} = 77.1(\%)。$$

如上述那样调整后,得到新的配合比为:

$$P_{ca} = 69.4\%, P_{fa} = 25.2\%, P_{fi} = 5.4\%; P_B = 4.6\%。$$

符合此配合比的矿料级配组成列在表2中(编号4)。

根据表2可计算出编号4的矿料配合比,见表6。

表6 编号4的矿料配合比

配合比	粗集料			细集料		填料		
	粒级/mm	26.5~16	16~9.5	9.5~4.75	石屑	砂	矿粉	水泥
矿料配合比/%	15.5	29.9	24	18.9	6.3	1.8	3.6	

用上列配合比可计算得:

$$G_{b.ca} = 2.6115 \text{ g/cm}^3, G_{b.fa} = 2.5062 \text{ g/cm}^3,$$

$$G_{a.fi} = 2.9050 \text{ g/cm}^3;$$

$$GCA_{DRC} = 0.6 \times 2.6115 = 1.5669 \text{ g/cm}^3.$$

将上列数据代入式(4)中。

式(4)等号左侧的值为:

$$(69.4/1.5669) \times (0.40 - 0.04) = 44.2913 \times 0.36 = 15.9449(\%)$$

式(4)等号右侧的值为

$$25.2/2.5062 + 5.4/2.9050 + 4.6/1.031 = 16.3964(\%)$$

等号右侧值较左侧值大0.4515(%),沥青混凝土的实际 V_a 将小于4%。计算如下:

$$0.40 - V_a = 16.3964 \times 1.5669/69.4 = 0.3702$$

由上式得: $V_a = 3(\%)$ 。

实际工程中可以接受此结果。

因此,用两个不同的调整方法,可以得出两个都符合要求的不同配合比。

3.2.6 VCA_{DRC}为39%

上述检验都是采用了SAC20的干捣实孔隙率VCA_{DRC}=40%。实际上,随岩石品种或其密度而异,干捣实试验结果,有时接近39%。以下采用VCA_{DRC}=39%进行检验。

由于VCA_{DRC}值仅影响检验方程的左侧,仍利用上述原始资料,可计算出VCA_{DRC}的值。

$$VCA_{DRC} = (1 - 0.39)G_{b.ca} = 0.61 \times 2.6141 = 1.5946 \text{ g/cm}^3$$

检验方程(4)等号左侧值为:

$$66/1.5946(0.39 - 0.04) = 41.3897 \times 0.35 = 14.4864(\%)$$

式(4)等号右侧值仍为17.6994%(见前面3.2.2)。

如先将油石比减少为 $P_B = 4.0\%$,然后调整细

集料的用量。据此,可列出下式:

$$P_{fa}/2.6052 = 14.4864 - 6/2.9050 - 4/1.031 = 8.5413$$

由上式得: $P_{fa} = 22.3\%$ 。

由此得调整后的配合比为: $P_{ca} = 70\%$, $P_{fa} = 23.6\%$, $P_{fi} = 6.4\%$; $P_B = 4.0\%$ 。

符合此配合比的矿料级配列在表2中(编号5)。

由上述可以看到,用VCA_{DRF}方法对矿料级配进行检验时,既可以先调整 P_{fa} 的值,也可以先调整 P_{ca} 或 P_{fi} 值,也可以同时调整 P_B 和 P_{fa} 或 P_{ca} 的值,是相当灵活方便的。使用者可以根据自己的经验和判断,先确定沥青或填料的用量,再调整细集料或粗集料的用量,最后得出合适的配合比及新的矿料级配。

3.2.7 $D_{max.n}$ 的通过量为100%

正如上篇论文《SAC和其他粗集料断级配的矿料级配设计方法》所述,在进行矿料级配计算时,可以使标称最大粒径 $D_{max.n}$ 的通过量为100%。现针对表2中编号5的矿料级配,令 $D_{max.n} = 100\%$,现将计算出的矿料级配列在表2中(编号6)。利用原提供的不同粒级粗集料的毛体积密度,计算出编号5的矿料级配的 $G_{b.ca} = 2.6115 \text{ g/cm}^3$, $GCA_{DRC} = 0.6 \times 2.6115 = 1.5669 \text{ g/cm}^3$, $VCA_{DRU} = 16.0827\%$;编号6矿料级配的 $G_{b.ca} = 2.6113 \text{ g/cm}^3$, $GCA_{DRC} = 0.6 \times 2.6113 = 1.5668 \text{ g/cm}^3$, $VCA_{DRU} = 16.0837\%$ 。对比编号5和编号6的粗集料中可供细集料、填料和沥青填充的有效孔隙率的差别甚小,仅差0.001%。它对检验结果没有影响。

3.3 矿料级配检验例2(SAC13)

SAC13矿料级配列在表7中,表中同时列有相应粒级集料的毛体积密度 G_b 。表7中4.75mm以上粗集料用的是玄武岩,4.75mm以下细集料用的是石灰岩。

表7 SAC13矿料级配和密度

孔径/mm	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
通过率/%	97.5	67	30	24	19	16	13	10	8
$G_b/(\text{g/cm}^3)$	2.975	2.961	2.908	2.638	2.614	2.612	2.605	2.602	2.601

注:表中某一筛孔孔径下面的 G_b ,指此孔径与上一孔径这个粒级集料的 G_b ,如4.75mm下面的2.908是9.5~4.75mm这个粒级的 G_b 。

3.3.1 粗、细集料的毛体积密度计算

粗集料的混合毛体积密度和细集料的混合毛体积密度可分别用式(9)和式(10)计算得到。

$$G_{b.ca} = \left(\frac{P_1}{G_{b.1}} + \frac{P_2}{G_{b.2}} + \dots + \frac{P_{4.75}}{G_{b.4.75}} \right)^{-1} \times (P_1 + P_2 + \dots + P_{4.75}) \quad (9)$$

式中： P_1 为某级配的最大一个粒级的含量，%； P_2 为下一个粒级的含量，%； $P_{4.75}$ 为9.5~4.75 mm粒级的含量，%； $G_{b.1}$ 、 $G_{b.2}$... $G_{b.4.75}$ 分别为与 P_1 、 P_2 、... $P_{4.75}$ 相应的毛体积密度，g/cm³。

$$G_{b.fa} = \left(\frac{P_{2.36}}{G_{b.2.36}} + \frac{P_{1.18}}{G_{b.1.18}} + \dots + \frac{P_{0.075}}{G_{b.0.075}} \right)^{-1} \times (P_{2.36} + P_{1.18} + \dots + P_{0.075}) \quad (10)$$

式中： $P_{2.36}$ 、 $P_{1.18}$ 、... $P_{0.075}$ 分别为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共6个粒级细集料的含量，%； $G_{b.2.36}$ 、 $G_{b.1.18}$ 、... $G_{b.0.075}$ 分别为与上述6个粒级相应的毛体积密度，g/cm³。

例如，表7中各个粒级的含量见表8。

表8 各个粒级的含量

粒级/mm	16~13.2	13.2~9.5	9.5~4.75	4.75~2.36	2.36~1.18
含量/%	2.5	30.5	37	6	5
粒级/mm	1.18~0.6	0.6~0.3	0.3~0.15	0.15~0.075	
含量/%	3	3	3	2	

用式(9)计算粗集料的混合毛体积密度 $G_{b.ca}$ ：

$$G_{b.ca} = \left(\frac{2.5}{2.975} + \frac{30.5}{2.961} + \frac{37}{2.908} \right)^{-1} \times (2.5 + 30.5 + 37) = 2.933 24 \text{ g/cm}^3$$

用式(10)计算细集料的混合毛体积密度 $G_{b.fa}$ ：

$$G_{b.fa} = (6 + 5 + 3 + 3 + 3 + 2) \times \left(\frac{6}{2.638} + \frac{5}{2.614} + \frac{3}{2.612} + \frac{3}{2.605} + \frac{3}{2.602} + \frac{2}{2.601} \right)^{-1} = 2.616 16 \text{ g/cm}^3$$

已知数据有粗集料含量 $P_{ca}=70\%$ ，细集料含量 $P_{fa}=22\%$ ，矿粉含量 $P_{fi}=8\%$ ，矿粉视密度 $G_{a.fi}=2.747 \text{ g/cm}^3$ ，沥青用量 $P_B=4.365\%$ ，沥青密度 $G_B=1.015 \text{ g/cm}^3$ ， $V_a=4\%$ 。

假设 $VCA_{DRC}=40\%$ ，如上例那样进行计算如下：

粗集料的干捣密度 $GCA_{DRC}=2.933 24 \times (1 - 0.4) = 1.799 94 \text{ g/cm}^3$

3.3.2 根据式(4)，建立检验方程式(11)

$$\left(\frac{P_{ca}}{1.759 94} \right) \times (0.40 - 0.04) = \frac{P_{fa}}{2.616 15} + \frac{P_{fi}}{2.747} + \frac{P_B}{1.015} \quad (11)$$

将上述有关数值代入式(11)中，计算出等号左侧值为14.318 67%，也就是粗集料中可容纳细集料、填料和沥青的体积的有效孔隙率为14.318 67%；等号右侧为 $8.409 30 + 2.912 27 + 4.300 49 = 15.622 06(\%)$ ，即细集料、填料和沥青的体积率为15.622 06%。后者明显大于前者。如不进行调整，则沥青混凝土中的空隙率将很小。可以计算如下：

$$\frac{70}{1.759 94} \times (0.40 - V_a) = 15.622 06$$

$$\text{由上式得 } 0.40 - V_a = 0.392 77$$

$$V_a = 0.72(\%)$$

3.3.3 调整细集料的含量

在用 VCA_{DRF} 方法检验时，可以只用小数点后四位小数。其结果与用五位小数相同。

利用式(11)，建立式(12)：

$$P_{fa}/2.616 16 = 14.318 67 - 2.912 3 - 4.300 49 = 7.105 9 \quad (12)$$

由式(12)，可得到 $P_{fa}=18.6(\%)$

$$P_{ca} + P_{fa} + P_{fi} = 70 + 18.6 + 8 = 96.6(\%)$$

由此得调整后的新配合比为：

$$P_{ca} = 70/0.966 = 72.5(\%)，$$

$$P_{fa} = 18.6/0.966 = 19.2(\%)，$$

$$P_{fi} = 8/0.966 = 8.3(\%)；$$

$$P_B = 4.365(\%)。$$

由于所得配合比与原配合比有较大差异，需用 VCA_{DRF} 方法对所得配合比再进行一次检验。重新按式(4)建立检验方程。

检验方程的左侧为：

$$72.5/1.759 9(0.4 - 0.04) = 41.195 5 \times 0.36 = 14.830 4(\%)$$

检验方程的右侧为：

$$19.2/2.616 15 + 8.3/2.747 + 4.365/1.015 = 7.339 0 + 3.021 5 + 4.300 5 = 14.661 0(\%)$$

检验方程的右侧值小于左侧的值， V_a 稍大，计算如下：

$$41.195 5(0.04 - V_a) = 14.661 0$$

$$0.4 - V_a = 0.355 9$$

$$V_a = 4.41\%$$

调整细集料的含量 P_{fa} ，建立下式：

$$P_{fa}/2.61615 = 14.8304 - 3.0215 - 4.3005 \\ = 7.5084$$

由上式得: $P_{fa} = 19.6\%$ 。

经调整后得: $P_{ca} = 72.2\%$, $P_{fa} = 19.5\%$, $P_{fi} = 8.3\%$; $P_B = 4.365\%$ 。

3.3.4 调整填料的含量

利用式(11),建立下式:

$$0.36403 P_{fi} = 14.31867 - 8.40930 - 4.30049 \\ = 1.60888$$

由上式得: $P_{fi} = 4.4(\%)$ 。

经调整后得: $P_{ca} = 72.6\%$, $P_{fa} = 22.8\%$, $P_{fi} = 4.6\%$; $P_B = 4.365\%$ 。

对所得结果再进行一次检验。

检验方程的左侧为:

$$(0.40 - 0.04) \times 72.6/1.7599 = 41.2523 \times \\ 0.36 = 14.8508(\%)$$

检验方程的右侧为:

$$22.8/2.61615 + 4.6/2.747 + 4.365/1.015 = \\ 8.71510 + 1.67455 + 4.30049 = 14.69014(\%)$$

计算得实际 $V_a = 4.21\%$ 。

调整细集料的含量 P_{fa} ,建立下式:

$$P_{fa}/2.61615 = 14.8508 - 1.67455 - 4.30049 \\ = 8.8758$$

由上式得: $P_{fa} = 23.2\%$ 。

经调整后得: $P_{ca} = 72.3\%$, $P_{fa} = 23.1\%$, $P_{fi} = 4.6\%$; $P_B = 4.365\%$ 。

此检验结果与第一次检验结果无明显差别。可以说明处于允许误差范围内。

3.3.5 增加沥青用量。

考虑到 SAC13 是用作表面层的,现沥青用量(油石比)只有 4.365%,对于面层的耐久性不利。如要将其增加到 4.6%(相当于沥青含量 4.4%),并保持填料为 8%,计算需要如何调整细集料和整个矿料级配。

(1)调整细集料含量。

根据式(11)可得:

$$0.3822 P_{fi} = 14.31867 - 2.9123 - 4.6/1.015 \\ = 6.87435$$

由上式可得: $P_{fi} = 18.0(\%)$ 。

经调整后得: $P_{ca} = 72.9\%$, $P_{fa} = 18.8\%$, $P_{fi} = 8.3\%$; $P_B = 4.6\%$ 。

对上述检验结果,进行再一次检验。

检验方程的左侧值为:

$$(0.40 - 0.04) \times 72.9/1.7599 = 41.4228 \times \\ 0.36 = 14.9122(\%)$$

检验方程的右侧值为:

$$18.8/2.61615 + 8.3/2.747 = 4.6/1.015 = \\ 7.1861 + 3.0215 + 4.5320 = 14.7396(\%)$$

检验方程的右侧值略小于左侧值,实际 $V_a = 4.42\%$ 。

调整细集料的含量 P_{fa} ,建立下式:

$$P_{fa}/2.61615 = 14.9122 - 3.0215 - 4.5320 \\ = 7.3587$$

由上式得: $P_{fa} = 19.3\%$ 。

经调整后得: $P_{ca} = 72.5\%$, $P_{fa} = 19.2\%$, $P_{fi} = 8.3\%$; $P_B = 4.6\%$ 。

此结果与上述检验结果的差别很小,处于允许误差范围内。

(2)调整填料含量。

根据式(11)可得:

$$P_{fi}/2.747 = 14.3190 - 8.4091 - 4.5320 \\ = 1.3779$$

由上式得: $P_{fi} = 3.8(\%)$ 。

经调整后得新配合比为: $P_{ca} = 73.0(\%)$, $P_{fa} = 23.0(\%)$, $P_{fi} = 4.0(\%)$; $P_B = 4.6\%$ 。此填料含量太少,不适合使用。

3.3.6 采用 VCA_{DRC} = 41%

如采用 VCA_{DRC} = 41%,则粗集料的干捣实密度将为:

$$GCA_{DRC} = 0.59 \times 2.9332 = 1.7306 \text{ g/cm}^3。 \text{ 设} \\ P_B = 4.6\%。$$

由此得式(4)左侧的值为:

$$(0.41 - 0.04)70/1.7306 = 40.4484 \times 0.37 \\ = 14.9659(\%)。$$

式(4)右侧的值为:

$$8.4091 + 2.9123 + 4.4532 = 15.7746(\%)$$

在此,式(4)右侧的值大于左侧的值,实际 V_a 偏小。计算如下:

$$0.41 - V_a = 15.7746 \times 1.7306/70 = 0.39$$

由上式得 $V_a = 2.0(\%)$ 。

调整细集料的含量 P_{fa} ,建立下式:

$$P_{fa}/2.6162 = 14.9659 - 2.9123 - 4.4523 \\ = 7.6013$$

由上式得: $P_{fa} = 19.9(\%)$ 。

经调整后得新的配合比为: $P_{ca} = 71.5\%$, $P_{fa} = 20.3\%$, $P_{fi} = 8.2\%$; $P_B = 4.6\%$ 。

如果对所得配合比再进行一次检验,则所得结果与上述相同。

3.4 矿料级配检验例 3

(1)SAC13 的矿料级配和密度。

SAC13 的矿料级配和相应的毛体积密度 G_b 在表 9 中。

表 9 SAC13 的矿料级配和 G_b

筛孔/mm	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
通过率/%	100	97.5	67	30	19	12	10	8.5	7	6
$G_b/(g/cm^3)$		2.997	2.998	2.974	2.669	2.644	2.617	2.612	2.608	2.606

注:表 9 中的 G_b 值指该筛孔尺寸和上一筛孔尺寸这个粒级集料的 G_b ,如筛孔 4.75 mm 下面的 G_b 值 2.974 是 4.75~9.5 mm 这个粒级碎石的 G_b 。

根据表 9 中的原始资料,可知粗集料用量 $P_{ca} = 70\%$,细集料用量 $P_{fa} = 24\%$,填料的用量 $P_{fi} = 6\%$;并可计算得粗集料的毛体积密度 $G_{b.ca} = 2.985 2 g/cm^3$,细集料的毛体积密度 $G_{b.fa} = 2.647 2 g/cm^3$ 。填料为水泥,其视密度或表观密度 $G_{a.fi} = 3.056 g/cm^3$ 。沥青的密度 $G_B = 1.007 g/cm^3$ 。

由上式得:

$$P_{fa} = 19.3\%$$

经调整后得沥青混合料的新配合比应为:

$$P_{ca} = 73.5\%, P_{fa} = 20.2\%, P_{fi} = 6.3\%; P_B = 4.7\%。$$

对上述检验结果,进行再一次检验。

先计算得上列配合比的矿料级配,然后计算得所需基本数据为:

$$G_{b.ca} = 2.985 6 g/cm^3, G_{b.fa} = 2.634 6 g/cm^3, GCA_{DRC} = 1.799 1 g/cm^3。其他基本数据同前。$$

检验方程的左侧值为:

$$(0.397 4 - 0.04) \times 73.5/1.799 1 = 0.357 4 \times 40.853 8 = 14.601 2(\%)$$

检验方程的右侧值为

$$20.2/2.634 6 + 6.3/3.056 + 4.7/1.007 = 7.667 2 + 2.061 5 + 4.667 3 = 14.396 0(\%)$$

检验方程的右侧值小于左侧值,实际 $V_a = 4.50\%$ 。

调整细集料的含量:

$$P_{fa}/2.634 6 = 14.601 2 - 2.061 5 - 4.667 3 = 7.872 4$$

由上式得: $P_{fa} = 20.5\%$ 。

经调整后得: $P_{ca} = 72.6\%, P_{fa} = 20.2\%, P_{fi} = 6.2\%; P_B = 4.7\%$ 。

(5)调整矿料配合比后,需要用《SAC 和其他粗集料断级配的矿料级配设计方法》论文中所述矿料级配计算方法,重新算出新的矿料级配。现在新的控制点为,筛孔 13.2 mm 的通过量为 97.5%,4.75 mm 的通过量为 26.7%,0.075 mm 的通过量为 6.3%。根据这 3 个控制点,可计算得粗集料和细集料的级配方程为:

$$\text{粗集料 } P_{di} = 124.59 \left(\frac{d_i}{16} \right)^{1.274 6}$$

(2) 假定沥青用量 $P_B = 4.7\%$ 。

室内试验得到粗集料的干捣实密度 $GCA_{DRC} = 1.799 g/cm^3$ (由于粗集料的毛体积密度大,所以其干捣实密度大)。

$$\text{利用式(2),计算得: } VCA_{DRC} = 1 - \frac{1.799}{2.985 2} = 0.397 4(39.73\%)$$

(3) 建立检验方程。

根据式(4),建立检验方程式(13):

$$\left(\frac{P_{ca}}{1.799} \right) \times (0.397 4 - 0.04) = \frac{P_{fa}}{2.647 2} + \frac{P_{fi}}{3.056} + \frac{P_B}{1.007} \quad (13)$$

将上述有关数值代入式(13)中,计算得等号左侧为 13.906 6%,也就是粗集料中可容纳沥青砂胶的体积的有效孔隙率为 13.906 6%;等号右侧为 $9.066 2 + 1.963 30 + 4.667 33 = 15.697 50$,即沥青砂胶和空气的体积率为 15.697 5%。后者明显大于前者。如不进行调整,则沥青混凝土中的空隙率将很小。可以计算如下:

$$(0.397 4 - V_a) \times (70/1.799) = 15.697 5$$

$$(0.397 4 - V_a) = 0.40$$

$$V_a = -0.6\%$$

也就是沥青混凝土中没有任何空气。

(4) 调整细集料的含量如下。

利用式(13),可得下式:

$$P_{fa}/2.647 2 = 13.906 6 - 1.963 3 - 4.667 3 = 7.260$$

万方数据

细集料 $P_{di} = 26.5 \left(\frac{d_i}{4.75} \right)^{0.3463}$

用所得方程可计算出新的矿料级配。

(6)如果将沥青用量减少为4.4%,并调整细集料用量,则根据式(13)可得:

$$0.3778 P_{fi} = 13.9066 - 1.9633 - 4.3694,$$

$$P_{fi} = 20.05\%$$

由此得调整后的配合比为: $P_{ca} = 72.9\%$, $P_{fa} = 20.9\%$, $P_{fi} = 6.2\%$; $P_B = 4.4\%$ 。

对此结果再做一次检验如下:

计算检验方程左侧的值为

$$72.9/1.799 \times (0.3974 - 0.04) = 40.5225 \times 0.3524 = 14.4827(\%)$$

检验方程右侧的值为:

$$P_{fa}/2.6472 + P_{fi}/3.056 + P_B/1.007 = 20.9/2.6472 + 6.2/3.056 + 4.4/1.007 = 7.8951 + 2.0288 + 4.3694 = 14.2933(\%)$$

调整细集料的含量 P_{fa} , 建立下式:

$$P_{fa}/2.6472 = 14.4827 - 2.0288 - 4.3694 = 8.0845$$

由上式得: $P_{fa} = 21.4\%$ 。

经调整后得新配合比为:

$$P_{ca} = 72.6\%, P_{fa} = 21.2\%, P_{fi} = 6.2\%; P_B = 4.4\%$$

用VCA_{DRF}方法检验SAC13的结果归纳在表10中。

表10 用VCA_{DRF}方法检验SAC13的结果

编号	调整矿料	VCA _{DRF} /%	粗集料/%	细集料/%	填料/%	油石比/%
1	P_{fa}	40	72.2	19.5	8.3	4.365
2	P_{fi}	40	72.3	23.1	4.6	4.365
3	P_{fa}	40	72.5	19.2	8.3	4.6
4	P_{fi}	40	73.0	23.0	4.0	4.6
5	P_{fa}	39.7	73.1	20.7	6.2	4.7
6	P_{fa}	41	72.6	21.2	6.2	4.4
7	P_{fa}	39.7	71.5	20.3	8.2	4.6

注:表中编号5和编号6为表6中的矿料级配,其余均为表5中的矿料级配。

由表10可以看到,编号2和编号4的填料太少,不适宜使用。对于SAC13和所采用的集料,为了组成骨架密实结构,粗集料的用量必须超过71% (针

对粗、细集料密度相差大的情况)。如果集料的密度明显小于本例中集料的密度,粗集料的用量可能会有变化。



国家高速公路网规划线路布局

国家高速公路网(简称“7918网”)采用放射线与纵横网格相结合的布局形态,构成由中心城市向外放射以及横连东西、纵贯南北的公路交通大通道,总规模8.5万km,其中主线6.8万km,地区环线、联络线等其他路线1.7万km。

首都放射线7条:

北京—上海、北京—台北、北京—港澳、北京—昆明、北京—拉萨、北京—乌鲁木齐、北京—哈尔滨;

南北纵向线9条:

鹤岗—大连、沈阳—海口、长春—深圳、济南—广州、大庆—广州、二连浩特—广州、包头—茂名、兰州—海口、重庆—昆明;

东西横向线18条:

绥芬河—满洲里、珲春—乌兰浩特、丹东—锡林浩特、荣成—乌海、青岛—银川、青岛—兰州、连云港—霍尔果斯、南京—洛阳、上海—西安、上海—成都、上海—重庆、杭州—瑞丽、上海—昆明、福州—银川、泉州—南宁、厦门—成都、汕头—昆明、广州—昆明。

此外,规划方案还有:辽中环线、成渝环线、海南环线、珠三角环线、杭州湾环线共5条地区性环线、2段并行线和30余段联络线。