

文章编号: 1003-651X(2001)01-0034-05

空隙率对沥青混凝土的重大影响

沙庆林

(交通部公路科学研究所, 北京市 100088)

摘要: 利用国内外的已有资料较详细地论述了沥青混凝土的空隙率对其透水性、氧化、抗永久形变能力和强度的重大影响。进一步证明, 沥青面层所用混合料应该是马歇尔试验空隙率为 3%~4% 的密实式级配。

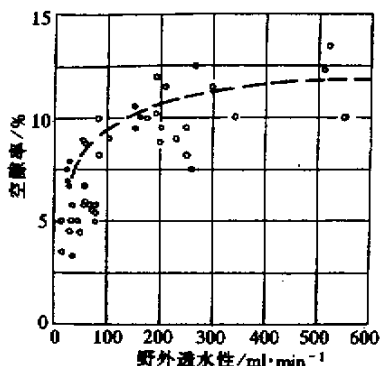
关键词: 沥青混凝土; 空隙率; 透水性; 永久形变; 强度; 密实式 *

1 国外文献资料

1.1 空隙率与透水性

沥青混凝土的空隙率(即空气率)过大, 降水容易透入结构层中, 使沥青路面产生各种各样的水破坏。

Zube(修比)的研究表明, 密级配热拌沥青混凝土的空隙率约为 8% 时, 路面的透水性很大。美国加利福尼亚州 10 项工程沥青面层的渗透性与混合料空隙率的关系见图 1。



加州 10 项工程沥青面层的透水性与空隙率的关系

Brown(布朗)、Collins(柯林斯)等在乔治亚州对离析混合料的研究也表明, 热拌沥青混凝土的空隙率小于 8% 时, 混合料的透水性

性很小, 空隙率大于 8% 时, 混合料的透水性增加很快, 见图 2。

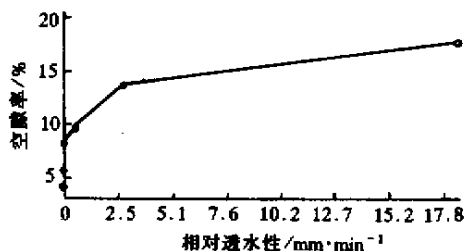


图 2 乔治亚州路面的透水性与空隙率的关系

图 1 和图 2 表明, 只要现场混合料的空隙率小于 8%, 透水性不会成为一个明显的问题。但是当空隙率大于 8% 时, 透水性就增加得很快。我国部分高速公路的沥青面层采用 II 型级配沥青混凝土做表面层, 另一部分高速公路采用抗滑表层级配, 除 AK-16A (保持 < 0.075 mm 的含量在中值以上) 外, 另三种 AK 级配也都是属于 II 型, II 型级配沥青混合料马歇尔试件的空隙率就常大于 8%。此外, 我国施工规范要求的压实度只有 96%, 在达到此压实度标准的情况下, 现场沥青混凝土的空隙率约 12%。由于沥青混凝土的不均匀性较大, 少量局部小面积的空隙率甚至会高达 15% 左右。因此, 降水很容易透入表面层及其下面的结构层, 导致严重水

破坏。空隙率大是Ⅱ型沥青面层产生水破坏多于且严重于Ⅰ型沥青面层的关键因素。

1.2 空隙率与沥青氧化

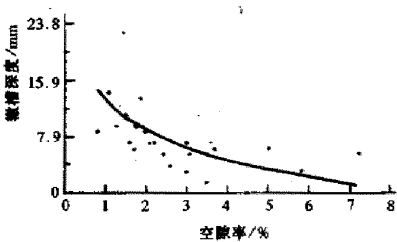
沥青混凝土的空隙率大还使空气容易进入结构层中,使沥青容易氧化变脆,从而导致沥青混凝土容易产生裂缝和松散,直接影响路面的使用寿命。

Santucci(桑塔西)等的研究表明,沥青的残留针入度直接受沥青面层空隙率的影响。沥青混凝土的空隙率大于8%时,沥青针入度的损失显著增加(沥青氧化较快)。他们认为,如密级配沥青混凝土能施工成空隙率小于8%,可以避免导致裂缝和松散的快速氧化,并能产生合适的使用性能。

1.3 空隙率与辙槽

沥青混凝土的空隙率过小,面层容易产生辙槽和推挤现象。显著的迹象表明,密级配混合料的初始现场空隙率应不大于8%,并且在路面使用期间应不小于3%。

Ford(福特)在阿肯色州的研究表明,热拌沥青混合料应设计和施工成现场空隙率保持在2.5%以上。空隙率在2.5%以上,辙槽深度将小于7.9 mm,见图3。



3 阿肯色州辙槽深度与混合料空隙率的关系

Brown(布朗)和 Cross(克罗斯)的研究表明,室内压实试件的空隙率小于或等于3%时,容易产生明显的辙槽。使用合适的集料,同时保持空隙率大于3%,观测到的辙槽深度小。

Hube(休伯)在加拿大的研究考虑一系

列引起辙槽的因素后,指出产生辙槽的主要原因之一是沥青混凝土的空隙率小于3%。

实际上面层,特别是表面层的空隙率过小也容易导致面层表面泛油,使抗滑性能显著下降。

Don Brock(布洛克)的论文介绍:

室内对不同温度下的9.5 mm(最大粒径)热拌沥青混合料用同样的方法制成试件,试件将具有不同的空隙率。用沥青路面分析仪(APA)对这些试件进行轮辙试验的结果列在表1中。

表1 用APA做的9.5 mm 沥青混凝土的轮辙试验

试件	制件温度/℃	空隙率/%	辙槽深度/mm
1	149	6.7	6.38
2	143	7.1	6.26
3	138	7.0	6.06
4	127	7.6	7.47
5	116	8.5	9.50
6	104	8.2	10.72
7	93	9.1	14.84

表1结果表明,沥青混凝土的空隙率对辙槽深度有很大影响。空隙率从6.7%增到9.1%,辙槽深度从6.38 mm增加到14.84 mm,后者是前者的2.33倍。用聚合物改性沥青的12.5 mm 沥青混凝土试件的空隙率对辙槽深度也有很大影响。空隙率从7.4%增大到9.5%,辙槽深度从0.53 mm增加到1.13 mm,后者是前者的2.13倍。

1.4 空隙率与疲劳寿命

Don 布洛克的论文还介绍了:

1)用不同温度的9.5 mm 热拌沥青混凝土制成的梁式试件,具有不同的空隙率。用APA对这些不同空隙率的梁式试件进行疲劳试验直到破坏,并以此时的荷载作用周次作为疲劳寿命。摘引其试验结果于表2。

从表2中可知,试件的空隙率对其疲劳寿命有很大影响。例如,空隙率为6.8%时,试件的疲劳寿命为荷载作用46 718周次;空隙率为8.0%时,疲劳寿命降低到13 198周次,只有空隙率6.8%时的28%;空隙率为9.

5%时 ,疲劳寿命降低到只有 4 250 周次 ,不到空隙率 6.8%时的 1/10。

表 2 用 APA 做的 9.5 mm 沥青混凝土梁的疲劳试验

试件	制件温度/℃	空隙率/%	疲劳寿命(轮作用周次)
1	149	6.8	46 718(1.0)
2	143	7.4	20 956(0.45)
3	138	7.5	19 690(0.48)
4	127	8.0	13 198(0.28)
5	116	8.4	8 010(0.17)
6	104	8.6	4 578(0.098)
7	93	9.5	4 250(0.091)

2)用 APA 做的 12.5 mm 改性沥青混凝土梁的疲劳试验结果摘列于表 3。

表 3 改性沥青混凝土梁的疲劳试验

试件	制件温度/℃	空隙率/%	疲劳寿命(轮作用周次)
1	171	7.4	300 000(1.00)
2	166	7.4	226 962(0.76)
3	160	8.3	175 972(0.59)
4	149	9.5	132 390(0.26)
5	138	10.3	79 146(0.26)
6	127	9.4	71 074(0.24)
7	116	9.8	51 798(0.17)

由表 3 可以看到 ,空隙率对改性沥青混凝土的疲劳寿命也有很大影响。

应该说 ,空隙率对不同沥青混凝土(含沥青品种不同和矿料级配不同等)的疲劳寿命的影响程度是不一样的 ,而且可有较大差别。例如 ,另一论文介绍了压实度(空隙率)对沥青混凝土疲劳寿命的影响 ,摘引在图 4。

图 4 上的回归方程为 :
$$\lg N_f = -0.0846 V_a + 5.26$$

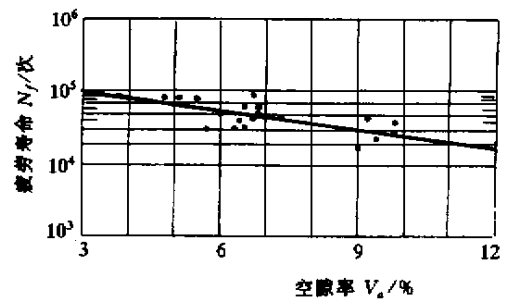


图 4 压实度对疲劳寿命的影响

相关系数 : $r = 0.63$, $r^2 = 0.40$

从图 4 可见 ,沥青混凝土的空隙率为 3%时 ,其疲劳寿命约为 100 000 次 ,沥青混凝土的空隙率为 6%时 ,其疲劳寿命为 57 000 次 ,即减小 43% ,沥青混凝土的空隙率为 9%时 ,其疲劳寿命为 30 000 次 ,即减小 70%(比 V_a 为 6%的疲劳寿命减小 47%)。

1.5 空隙率与弯拉劲度

沥青混凝土的压实度(空隙率)对其弯拉劲度也有明显影响 ,见图 5。

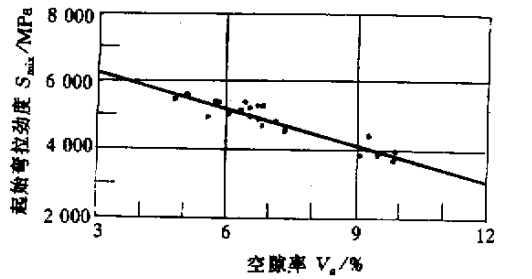


图 5 沥青混凝土的空隙率对其弯拉劲度的影响

图 5 上回归方程为 :

$$S_{mix} = 7\,330 - 355 V_a$$

相关系数 $r = 0.917$, $r^2 = 0.84$

由图 5 可以看到 ,沥青混凝土的空隙率为 6%时 ,其劲度为 5 200 MPa ,空隙率为 9%时 ,其劲度为 4 135 MPa ,即减小 20%。

美国的研究还表明 ,热拌沥青混凝土的空隙率 > 7%时 ,空隙率每增加 1% ,沥青面层的使用寿命要降低 10%。

由上面的研究结果 ,可以归纳为 :密实沥青混凝土应施工成初始空隙率不大于 7% ,而且开放交通后的最终空隙率应大于 3%。

2 国内试验结果摘要

王旭东博士的室内试验证明 ,沥青混凝土的空隙率对沥青混凝土的多个力学性质都有显著影响。

2.1 SBS 改性沥青混凝土

SBS 改性沥青(Caribit) SAC - 13 混合料 ,

在最佳沥青用量下,不同空隙率水平时,进行了沥青混凝土的轮辙试验和 10 cm × 10 cm 圆柱体试件的抗压强度和劈裂强度试验。

1) 空隙率对抗高温永久形变能力影响
轮辙试验结果摘引于表 4。

从表 4 可以看到,当 SAC - 13 沥青混凝土的空隙率由 4% 增为 7% 时,其动稳定度降低了 18% 和相对形变增加了 0.9%。当空隙率为 10% 时,动稳定度降低了 37%,相对形变增加了 6.6%。当空隙率达 13% 时,动稳

表 4 不同空隙率下改性 SAC - 13 混凝土的轮辙试验

试验	空隙率/%	动稳定度/次·mm ⁻¹	相对形变/%
1	4	4 650	3.35
2	7	3 823	3.38
3	10	2 916	3.57
4	13	1 319	6.14

表 5 不同空隙率下 SAC - 13 混凝土的强度

空隙率/%	抗压强度/MPa			劈裂强度/MPa		
	浸水前	60℃水中 48 h	CSR	冻融前	-20℃/60℃冻融	TSR
4	5.45(1.0)	3.53(1.0)	0.65	0.86(1.0)	0.53(1.0)	0.62
7	4.49(0.82)	3.31(0.94)	0.74	0.74(0.86)	0.49(0.92)	0.66
10	3.71(0.68)	2.78(0.79)	0.75	0.65(0.76)	—	—
13	3.02(0.55)	2.49(0.71)	0.82	0.53(0.62)	0.43(0.81)	0.81

注 ① 表中强度数据均为平均值,括号内数据为相对比值
② CSR 为浸水前后抗压强度比,TSR 为冻融前后劈裂强度比

2.2 纯沥青混凝土

纯 70 号重交通道路石油沥青 SAC - 25 沥青混凝土的空隙率对其抗永久形变能力和强度的影响。

1) 空隙率对 SAC - 25 抗高温永久形变能力的影响

定度降低了 70% ,相对形变增加了 83%。这一试验结果表明,在压实度达到要求时(如空隙率为 7%) ,沥青混凝土的抗高温永久形变能力能满足要求,如压实度达不到要求,使空隙率增大,则此沥青混凝土的抗高温永久形变能力就会达不到要求。空隙率愈大,沥青混凝土的抗高温永久形变能力愈差。

2) 空隙率对沥青混凝土强度的影响

空隙率对强度影响的试验采用了静压成型的圆柱体试件。因采用静压成型法容易按预定的空隙率制备试件。不同空隙率下沥青混凝土的强度试验结果摘引在表 5 中。

从表 5 看到,无论是抗压强度还是劈裂强度,也无论是否浸水或是否经过冻融,沥青混凝土的空隙率对各种不同情况下的强度都有显著影响,强度均随空隙率增加而降低。

不同压实度下沥青混凝土的轮辙试验结果摘列在表 6 中。表 6 中压实度为 100% ,实际相当于沥青混凝土的空隙率约 4% ;压实度 98% 实际相当于沥青混凝土的空隙率约 6% ;压实度 96% 实际相当于沥青混凝土的空隙率约 8%。

表 6 不同压实度下沥青混凝土的抗永久形变能力

指标压 实度/%	未 浸 水		60℃浸水 24 h			
	动稳定度/次·mm ⁻¹	相对形变/%	动稳定度/次·mm ⁻¹	DSR	相对形变/%	RDR
100	1 391(1.0)	7.84(1.0)	2 991(1.0)	2.15	4.47(1.0)	0.57
98	935(0.67)	10.08(1.29)	2 170(0.73)	2.32	6.03(1.35)	0.60
96	673(0.48)	12.10(1.54)	1 330(0.44)	1.98	8.54(1.91)	0.71

注 ① 表中动稳定度和相对形变的数据都是平均值,括号内的数据是相对比值
② DSR 为浸水前后动稳定度的比值
③ RDR 为浸水前后相对形变的比值

表 6 表明,轮辙试验的结果,无论是用动稳定度指标还是用相对形变指标表示沥青混凝土的抗永久形变能力,抗永久形变能力都

随空隙率增大而显著降低。从压实度 100% 降到 98% ,抗永久形变能力约降低 30% 左右,压实度再降到 96% ,抗永久形变能力约

降低 50% 左右。若规定压实度是 98% ,而实际只达到 96% ,则沥青混凝土的动稳定度要降低 28%(未浸水)和 39%(浸水后) ,相对形变要增加 20%(未浸水)和 42%(浸水后)。

2) 空隙率对 SAC - 25 沥青混凝土强度的影响

不同条件下 ,空隙率对沥青混凝土的强度的影响列在表 7 中。

从表 7 可见 ,不同条件下沥青混凝土的强度均随空隙率增加而降低。上述 4 表的结果表明 ,在施工现场保证沥青混凝土的实际空隙率不大于 6% ,对保证沥青混凝土的强度和抗

永久形变能力有十分重要的现实意义。

正因为沥青混凝土的空隙率对沥青混凝土的各个主要技术性能有很大影响 ,所以不同国家都严格规定混合料空隙率的值。例如 ,德国的 SMA 规范规定室内马歇尔试件的空隙率为 3.0% ~ 4.0%。英国的热压式沥青混凝土 ,规定空隙率为 3.0% ~ 4.0%。美国(含高性能沥青混凝土)通常按马歇尔试件的空隙率为 4% 确定最佳沥青用量。在施工现场 ,以往一些国家要求现场沥青混凝土的空隙率(取钻件测定)不大于 7% ,德国 SMA 规范规定现场空隙率不大于 6%。

表 7 不同空隙率下沥青混凝土的强度

空隙率/%	抗压强度/MPa			劈裂强度/MPa		
	未浸水	60℃水中 48 h	CSR	未冻融	- 20℃ /60℃冻融	TSR
2	3.0(1.21)①	2.55(1.31)	0.84	0.97(1.13)	0.74(1.28)	0.76
4	2.5(1.00)	1.94(1.00)	0.77	0.8(1.00)	0.58(1.00)	0.67
6	1.85(0.74)	1.67(0.65)	0.90	0.7(0.81)	0.5(0.97)	0.80
8	1.7(0.68)	1.39(0.55)	0.82	0.7(0.81)	0.55(0.95)	0.79
10	1.42(0.57)	1.21(0.47)	0.85	0.65(0.76)	0.52(0.90)	0.80

注① 表示强度数据均为平均值 ,括号中数据均为相对于空隙率 4% 时强度的比值

笔者认为 ,对于高等级公路 ,特别是高速公路的沥青面层 ,无论是一层、二层还是三层 ,所采用的沥青混凝土都应该是密实的。但不包括采用空隙率 > 20% 的开级配沥青混凝土做表面层(排水磨损层或减噪音磨损层)或做面层下部的排水层。这种密实式沥青混凝土 ,室内马歇尔试验的空隙率应是 3% ~ 4%。规定表面层沥青混凝土的现场空隙率不大于 6% ,从安全角度考虑是合适的。因为当空隙率的下置信限达到 6% 时 ,实际少数点的空隙率会达 7% 左右。

4 建议

综上所述 ,笔者建议(指高速公路和一级公路):

表面层 :现场空隙率 < 6% ,压实度 ≥ 98% ;中面层和/或底面层 :现场空隙率 < 7% ,压实度 ≥ 97%。

用确定的生产配合比所得沥青混合料的最大理论密度作为标准密度计算空隙率用此时得到的试件毛体积密度作为计算压实度的标准密度。

现场空隙率和压实度实质上是一回事。但现场空隙率必须待第 2 天到现场钻取钻件后 ,送室内采取措施使钻取过程中进入试件开口孔隙中的水蒸发出来 ,再用蜡封法测定试件体积后 ,才能计算得到。严格地讲 ,它要求较长时间才能有结果。事先通过标定 ,已得到核子仪所得检测层沥青混凝土的密度与钻件密度的关系方程 ,则沥青混凝土碾压结束后 ,可以立即用核子仪快速测定沥青混凝土的密度 ,并对压实度进行初步快速评定。

参考文献 :

[1] Freddy L. Roberts et. al , Hot Mix Asphalt Materials , Mixture Design and Construction , Second Edition 1996.