

# 沥青路面成型空隙率对其路用性能的影响分析研究

赵敏 陈玖

(苏交科集团股份有限公司 211100)

**摘要:** 空隙率是沥青混合料中关键的体积指标之一, 本文以改性沥青 AC-13 为例, 通过对室内不同空隙率成型条件下沥青混合料各项路用性能的研究, 模拟现场不同压实度状态下沥青路面高温性能、抗水损害性能、低温性能的影响规律。研究结果表明, 当沥青混合料空隙率控制在 3%~5.5%之间时, 沥青混合料的各路面性能处于较好状态, 可作为沥青路面现场施工压实度控制的重要参考。

**关键词:** 道路工程; 沥青路面; 空隙率; 路用性能; 现场控制

自 20 世纪来, 各界对沥青路面使用性能研究愈发深入, 空隙率不仅仅是沥青混合料在配合比设计过程中需要重点控制的指标, 也是施工过程中需要控制和检验的关键性指标之一。空隙率不仅作为衡量沥青路面密实程度的一个体积指标, 其大小同时也影响着路面的实际使用性能, 如对路面高温抗车辙性能、抗水损害性能等影响较为明显。从目前的实际情况来看, 沥青路面空隙率太小会导致混合料的流值较大路面在汽车荷载作用下容易出现高温流变, 产生车辙; 空隙率太大又容易出现渗水的情况, 沥青路面在雨后积水的情况下, 在车辆通行过程中路面外部的压强与混合料的内部的压强差使路面的水抽离出来, 如此反复作用下, 沥青路面产生破坏。因此沥青混合料空隙率对路面的使用寿命起着至关重要的作用。

本文对同一级配的不同空隙率下的混合料高温性能、抗水损害性能及低温性能进行研究。基于常规的沥青混合料 AC-13, 通过室内不同成型条件, 成型 5 种不同空隙率(2%、4%、5%、7%、9%) 的混合料, 以模拟现场施工过程中过压、正常碾压及碾压不足时对应的空隙率, 通过研究不同空隙率混合料的路用性能, 探究沥青路面施工过程中沥青路面不同压实条件下的路面实际路用性能的变化规律, 根据室内实际试验结果, 确定合适的空隙率指标及波动范围, 以获得最佳路用性能。

## 一、确定研究采用的配合比

本文采用某在建高速公路施工配合比 AC-13 进行研究。

表 1-1 AC-13 混合料的合成级配

项目	下列筛孔的通过率 (%) (方孔筛)									
	16	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
生产级配	100.0	98.0	69.6	40.9	32.2	24.5	16.6	10.5	7.4	5.8
控制上限	100.0	100.0	73.6	44.9	35.2	27.5	19.6	13.5	10.4	7.8
控制下限	100.0	94.0	65.6	36.9	29.2	21.5	13.6	7.5	4.4	3.8

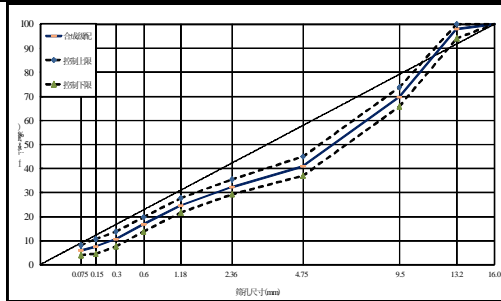


图 1-1 AC-13 级配控制曲线图

结合实际的工程经验, 参考《公路沥青路面施工技术规

范》(JTG F40-2004) 按照最佳油石比为 5.0%进行马歇尔试验, 试验结果如下表 1-2 所示, 沥青混合料的各项体积指标均能够满足规范要求。

表 1-2 马歇尔试验结果

油石比 (%)	毛体积相对密度	理论最大相对密度	空隙率 (%)	VMA (%)	饱和度 (%)	稳定度 (kN)	流值 (0.1mm)
5.0	2.416	2.515	3.9	13.9	71.7	9.27	32.6
技术要求		/	3.0 ~ 6.0	≥13.9	65~75	≥8.0	20~40

## 二、不同空隙率试件的成型次数试验

根据实际工程经验可知沥青混合料马歇尔试件的空隙率与试件成型的击实次数之间呈线性关系。由此我可以通过多次试验, 改变击实次数检测其空隙率从而研究击实次数与

空隙率之间的关系, 来获得不同空隙率的试件。

采用上文中确定的 AC-13 配合比, 调整马歇尔试件双面击实次数成型试件并实测试件空隙率, 检测结果如表 2-1 所示。

表 2-1 不同击实次数对应的 AC-13 混合料空隙率

击实次数	25	50	75	100	125
试件空隙率/%	7.5	5.7	4.3	2.7	1.8

对试验结果进行线性回归,如图 2-1 所示。

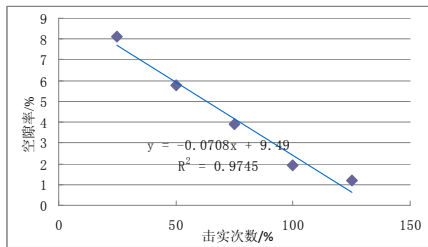


图 2-1 AC-13 马歇尔试件击实次数与空隙率关系

由图 2-1 建立的空隙率与击实次数的关系, AC-13 混合料目标空隙率条件下需击实的次数如表 2-2 所示。实际成型过程中,根据表 2-2 中确定的击实次数成型相应目标空隙

表 2-2 AC-13 混合料目标空隙率击实次数

目标空隙率/%	2.0	4.0	5.0	7.0	9.0
击实次数	106	78	63	35	7

AC-13 混合料高温性能、低温小梁弯曲试验试件均采用车辙板成型,两种混合料车辙板实际空隙率与碾压遍数(往返)试验结果如表 2-3 所示。

表 2-3 不同碾压次数 AC-13 混合料车辙板空隙率

碾压次数	6	12	18	24	30
试件空隙率/%	8.3	5.5	4.1	2.2	1.5

对上述试验结果进行线性回归,AC-13 车辙板空隙率与碾压遍数的关系分别如图 2-2 所示。

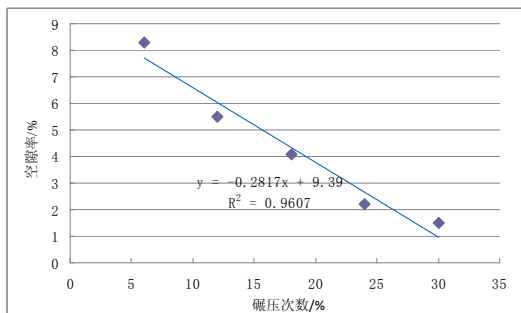


图 2-2 AC-13 车辙板试件空隙率与碾压次数关系

基于上述图 2-2 确定的车辙板空隙率与碾压次数的关系,成型目标空隙率车辙板,实际成型过程中,需对空隙率

表 3.1-1 不同空隙率条件下 AC-13 混合料车辙动稳定度

试件编号	实测空隙率 (%)	平均空隙率 (%)	车辙动稳定度 (次/mm)		变异系数 (%)
			单个值	平均值	
1	2.3	2.1	1114.5	1048.3	6.1
2	2.2		987.6		
3	1.8		1042.8		
4	3.8	4.1	2117.9	2208.8	8.9
5	4.1		2434.8		
6	4.3		2073.6		
7	4.9	5.1	2012.4	2048.0	8.4
8	5.2		1897.5		
9	5.2		2234.2		
10	6.9	7.1	1014.5	1015.4	11.7

率马歇尔试件,同时需要检测实际空隙率,要求空隙波动范围为  $\pm 0.2\%$ 。

进行进一步验证,适当调整碾压次数,确保试件与目标空隙率尽可能接近,要求偏差不得超过  $\pm 0.3\%$ 。

### 三、相同级配下不同空隙率混合料的性能对比分析

本文采用 AC-13 沥青混合料进行不同空隙率条件下的录用性能研究,模拟实际现场施工中由于碾压的差异性路面产生的不用空隙率情况下的路用性能,从而确定该配比混合料的最佳空隙率控制范围。

#### 3.1、高温性能研究(高温车辙试验)

采用上文中确定的车辙碾压次数,分别成型不同空隙率(2%、4%、5%、7%、9%)的车辙板。在标准条件下(60  $\pm 1^\circ\text{C}$ , 0.7  $\pm 0.05\text{MPa}$ )进行混合料车辙试验,检验混合料的高温稳定性,车辙试件实际空隙率及动稳定度试验结果如表 3.1-1 和图 3.1-1 所示。

11	7.3	9.0	897.2	546.2	12.2
12	7.1		1134.6		
13	8.8		541.7		
14	9.2		482.2		
15	9.1		614.8		
技术要求	设计值 ± 0.3	/	≥ 800		< 20%

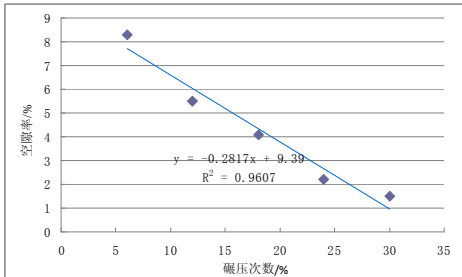


图 3.1-1 不同空隙率条件下 AC-13 混合料车辙动稳度

由图 3.1-1 可知, AC-13 高温下的动稳度随着空隙率变化而发生显著变化, 根据绘制曲线, 当混合料空隙率在 3.0~6.0% 时, 混合料动稳度表现为最佳状态, 当空隙率低于 3% 或高于 6% 时, 混合料高温温度性表现较差。导致此情况发生的主要原因是当空隙率大于 6.0% 时, 混合料中粗骨架之间没有完全压实, 不具有抵抗外界压力的能力, 在实

际行车荷载的作用下, 混合料出现二次压实的情况, 导致路面轮迹带出车辙严重; 而空隙率在小于 3.0% 时, 由于热胀冷缩的原因温度升高体积膨胀, 混合料内部没有足够的空间来抵消混合料本身的膨胀效果, 导致混合料内部结构不稳, 粗骨架嵌挤效果不稳, 在对抗外力的时候易产生高温流变。因此根据不同空隙率 AC-13 混合料抗车辙性能试验结果, 现场空隙率宜控制在 94%~97% 之间。

3.2、抗水损害能力研究 (马歇尔残留稳定度及冻融劈裂试验)

(1) 浸水马歇尔残留稳定度试验

采用上文中确定的马歇尔试件成型方式, 成型各空隙率的马歇尔试件, 选取空隙率满足要求的试件进行马歇尔残留稳定度试验, 试验结果如表 3.2-1 和图 3.2-1 所示。

表 3.2-1 AC-13 马歇尔残留稳定度试验结果

目标空隙率	非条件 (0.5h)			条件 (48h)			残留稳定度 (%)	要求 (%)
	实测空隙率 (%)	稳定度 (kN)	流值 (0.1mm)	实测空隙率 (%)	稳定度 (kN)	流值 (0.1mm)		
2.0	2.1	15.3	28.1	1.9	14	30.2	93.2	≥ 80
	2.1	15.9	27.2	2.1	14.8	31.1		
	2.0	16.2	28.0	2.0	15.4	32		
4.0	4.2	14.2	30.2	3.8	12.6	33.2	88.6	
	4.1	13.9	29.8	4.1	12.8	32.8		
	4.0	14.0	31.1	4.1	11.9	34.1		
5.0	5.1	12.8	35.1	4.9	10.2	37.8	80.8	
	5.1	11.9	36.4	5.1	9.8	39.2		
	5.0	11.3	32.5	5.0	9.1	40.4		
7.0	6.9	9.2	39.3	7.2	7.2	49.9	72.1	
	7.1	8.9	40.4	7.1	6.5	53.2		
	7.0	9.1	42.5	7.0	5.9	52.3		
9.0	8.8	7.9	48.7	9.1	5.5	58.7	66.9	
	9.2	7.5	46.4	9.0	5.2	57.2		
	9.1	8.2	49.7	8.8	5.1	53.5		

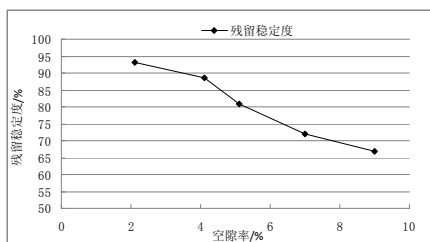


图 3.2-1 AC-13 残留稳定度与空隙率关系

由表 3.2-1 及图 3.2-1 可知, 随着空隙率增大, AC-13

马歇尔残留稳定度逐渐降低, 混合料空隙率变大, 在浸水过程中混合料内部进入更多的水, 在长时间的作用下并渐渐渗透至沥青和集料之间, 水起到了剥离沥青与集料的作用, 降低了沥青和集料之间的粘附性, 造成沥青混合料的水稳定性变差; 从试验结果还可看出, 随着试件空隙率的增大, 非条件下马歇尔稳定度逐渐降低。根据试验结果, 现场压实后空隙率宜不大于 5.5%。

(2) 马歇尔冻融劈裂试验

按照上文中确定的马歇尔成型方法成型对应空隙率的马歇尔试件, 选取空隙率满足要求的试件进行马歇尔冻融劈

裂试验。试验结果见表 3.2-2 所示。

表 3.2-2 AC-13 冻融劈裂试验结果

目标空隙率	非条件		条件		劈裂强度比 TSR (%)	要求 (%)
	实测空隙率 (%)	劈裂强度 (MPa)	实测空隙率 (%)	劈裂强度 (MPa)		
2.0	2.2	0.9143	2.1	0.7541	82.5	≥80
	2.0	0.9043	2.2	0.7891		
	1.9	0.9339	2.0	0.7797		
4.0	4.2	0.8298	4.2	0.7201	86.1	
	4.1	0.8394	4.0	0.7304		
	4.1	0.8411	4.0	0.7212		
5.0	5.1	0.7043	5.0	0.5923	82.2	
	5.2	0.6898	5.1	0.5876		
	5.2	0.7122	5.1	0.5524		
7.0	7.2	0.5698	7.1	0.4332	75.6	
	7.0	0.5779	7.2	0.4528		
	7.1	0.5812	7.2	0.4217		
9.0	9.1	0.4231	9.2	0.3114	74.1	
	9.2	0.4099	9.0	0.3201		
	9.1	0.4581	9.0	0.3258		

根据表 2.2-2 中实测结果，冻融及非冻融劈裂强度、劈裂强度比与空隙率的关系分别如图 3.2-2、图 3.2-3 所示。

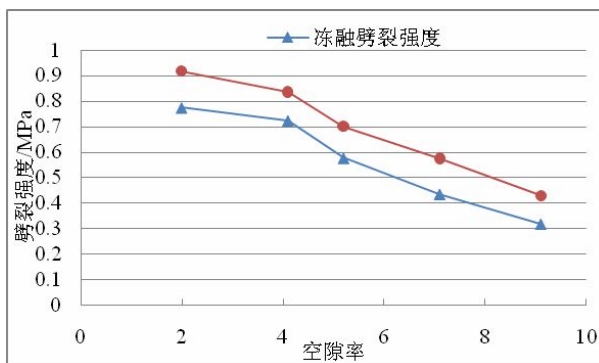


图 3.2-2 AC-13 劈裂强度与空隙率的关系

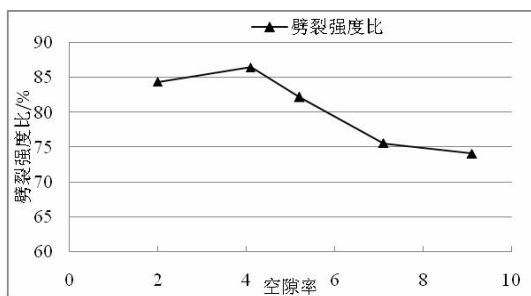


图 3.2-3 AC-13 冻融劈裂强度比与空隙率的关系

由图 3.2-1 可以看出，随着空隙率的增大，普通沥青 AC-13 沥青混合料的条件及非条件劈裂强度均逐渐降低。这是由于在保水过程中自由水随着空隙率的增大进入试件的部的量也增多了。试验结果表明，空隙率增大是导致混合料劈裂强度降低的主要原因，因此在进行配比设计及现场施工过程中应当合理地控制空隙率，有助于提高路面的劈裂抗拉强度。

由图 3.2-2 的曲线中可以看出，该 AC-13 沥青混合料劈裂强度条件冻融与未冻融条件下均表现为由高到低的趋势。表明沥青混合料的劈裂强度与空隙率成反比的关系。故但劈裂强度这个方面空隙率越小越好。由图 3.2-3 可知，在混合料空隙率小于 4.1% 的临界点劈裂强度比表现为增长的状态，当空隙率大于 4.1% 的临界点劈裂强度比表现为递减的状态。故建议施工过程中混合料空隙率控制在 4.0% 左右较为合理，可以满足路面具有较高的抵抗水损害的能力。

### (3) 低温性能研究 (低温小梁弯曲试验)

采用低温小梁弯曲试验对 AC-13 混合料不同空隙率低温性能进行评价，试验温度为 -10℃，加载速率为 50mm/min。采用上文中确定的车辙成型方法进行车辙板的成型制备，检

测其实际空隙率,选取满足空隙率要求的车辙板制备试验需要的低温小梁试件。经过试验得到不同空隙率条件下低温小梁弯曲试验结果如表 3.3-1 所示。

表 3.3-1 不同空隙率 AC-13 混合料低温性能检测结果

目标空隙率 (%)	实测空隙率 (%)	抗弯拉强度 (Mpa)	劲度模量 (Mpa)	破坏应变 ( $\mu\varepsilon$ )	要求 ( $\mu\varepsilon$ )
2	2.1	9.37	4021.9	2329.6	≥2000
4	3.9	8.25	3642.2	2265.2	
5	5.0	7.52	3461.7	2171.5	
7	7.2	6.85	3086.7	2217.8	
9	8.9	6.57	3093.0	2123.6	

从表 3.3-1 中数据可知,不同空隙率条件下,AC-13 混合料低温破坏应变差值变化不明显,但抗弯拉强度存在一定的差异性,随着空隙率的逐渐增大,混合料的抗弯拉强度逐渐降低,说明空隙率越大,低温条件下抵抗破坏的抗弯拉强度越低。因此施工过程中需要加强混合料空隙率的控制。

#### 四、小结

本文通过对 AC-13 混合料不同空隙率条件下混合料性能的研究,模拟现场实际施工中沥青路面空隙率的变化时的路用性能,探究沥青路面最佳空隙率控制范围,以指导现场实际施工。本文主要研究结论如下:

(1) 沥青混合料成型空隙率对其高温性能、抗水损害性能影响显著。对于 AC-13 混合料而言,当空隙率控制在 3~6%时,混合料动稳定度表现出较好的状态,当空隙率低于 3%或高于 6%时,混合料高温性能迅速变差;AC-13 马歇尔残留稳定度逐渐降低,当空隙率超过 5.5%时,浸水马歇尔残留稳定度已经满足不了规范的要求;AC-13 沥青混合

料的劈裂强度比值表现为先递增后递减的趋势,4.1%空隙率为转折点;

(2) 空隙率对 AC-13 混合料低温抗低温破坏应变受空隙率影响不大,但最大弯拉强度随空隙率增大而逐渐减少,易发生弯曲破坏,因此施工过程中需有效保证路面的密实性;

(3) 根据室内不同空隙率混合料性能研究结果,建议现场施工工沥青混合料的压实度以控制在 94.5%~97%之间,即路面空隙率控制在 3%~5.5%之间为宜。

#### 参考文献:

- [1]JTG E20-2011,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S]。
- [2]黄吉婵.关于沥青混合料空隙率试验的相关探讨[J].城市建设理论研究,2013(8):16-17.
- [3]曾辉.影响沥青混合料质量的三大体积指标[J].交通科技,2007(12):41-42.