

《道路实验与检测技术》教学实验

沥青混合料试验

大连理工大学土木水利实验教学中心
道路工程实验室

一、实验目的

1. 通过沥青混合料马歇尔实验，掌握沥青混合料的试件制备方法；掌握沥青混合料的物理常数、马歇尔稳定度、流值和残留稳定度的测定方法。
2. 通过该综合设计型实验，掌握沥青混合料的组成设计（包括矿质混合料级配设计和沥青混合料最佳油石比设计）；掌握道路建筑材料的技术性质及技术要求，了解材料路用性能的评价指标和试验方法。



二、标准依据

密级配沥青混凝土混合料马歇尔试验技术标准

试·验·指·标		单 位	高速公路、一级公路				其他等级 公路	行人道 路
			夏炎热区 (1-1、1-2、 1-3、1-4 区)		夏热区及夏凉区 (2-1、2-2、 2-3、2-4、3-2 区)			
			中轻交通	重载交通	中轻交通	重载交通		
击实次数(双面)		次	75				50	50
试件尺寸		mm	Φ 101.6mm×63.5mm					
空隙 率 VV	深约 90mm 以内	%	3~5	4~6 ^[注]	2~4	3~5	3~6	2~4
	深约 90mm 以下	%	3~6		2~4	3~6	3~6	-
稳定度 MS·不小于		kN	8				5	3
流··值· FL····		mm	2~4	1.5~4	2~4.5	2~4	2~4.5	2~5
矿料间隙 率 VMA (%) 不小于	设计空隙率	相应于以下公称最大粒径(mm)的最小 VMA 及 VFA 技术要求 (%)						
	(%)	26.5	19	16	13.2	9.5	4.75	
	2	10	11	11.5	12	13	15	
	3	11	12	12.5	13	14	16	
	4	12	13	13.5	14	15	17	
	5	13	14	14.5	15	16	18	
6	14	15	15.5	16	17	19		
沥青饱和度 VFA (%)		55~70	65~75			70~85		

二、标准依据

沥青稳定碎石混合料马歇尔试验配合比设计技术标准

试·验·指·标	单位	密级配基层 (ATB)		半开级配面 层 (AM)	排水式开级 配磨耗层 (OGFC)	排水式开 级配基层 (ATPB)
		26.5mm	等于或大于 31.5mm			
公称最大粒径	mm	26.5mm	等于或大于 31.5mm	等于或小于 26.5mm	等于或小于 26.5mm	所有尺寸
马歇尔试件尺寸	mm	Φ 101.6mm × 63.5mm	Φ 152.4mm × 95.3mm	Φ 101.6mm × 63.5mm	Φ 101.6mm × 63.5mm	Φ 152.4mm × 95.3mm
击实次数 (双面)	次	75	112	50	50	75
空隙率 VV	%	3~6		6~10	不小于 18	不小于 18
稳定度, 不小于	kN	7.5	15	3.5	3.5	—
流值	mm	1.5~4	实测	—	—	—
沥青饱和度 VFA	%	55~70		40~70	—	—
密级配基层 ATB 的 矿料间隙率 VMA 不小于 (%)	设计空隙率 (%)	ATB-40		ATB-30		ATB-25
	4	11		11.5		12
	5	12		12.5		13
	6	13		13.5		14

二、标准依据

SMA混合料马歇尔试验配合比设计技术要求

试验项目	单位	技术要求		试验方法
		不使用改性沥青	使用改性沥青	
马歇尔试件尺寸	mm	$\phi 101.6\text{mm} \times 63.5\text{mm}$		T·0702
马歇尔试件击实次数 ^[1]		两面击实 50 次		T·0702
空隙率 VV ^[2]	%	3~4		T·0708
矿料间隙率 VMA ^[3]不小于	%	17.0		T·0708
粗集料骨架间隙率 $VCA_{1.18}$ ^[3] ...不大于		$VCA_{1.18}$		T·0708
沥青饱和度 VFA	%	75~85		T·0708
稳定度 ^[4]不小于	kN	5.5	6.0	T·0709
流值	mm	2~5	—	T·0709
谢伦堡沥青析漏试验的结合料损失	%	不大于 0.2	不大于 0.1	T·0732
肯塔堡飞散试验的混合料损失 或浸水飞散试验	%	不大于 20	不大于 15	T·0733

二、标准依据

OGFC混合料技术要求

试验项目	单位	技术要求	试验方法
马歇尔试件尺寸	mm	$\phi 101.6\text{mm} \times 63.5\text{mm}$	T·0702
马歇尔试件击实次数		两面击实 50 次	T·0702
空隙率	%	18~25	T·0708
马歇尔稳定度	不小于	3.5	T·0709
析漏损失	%	<0.3	T·0732
肯特堡飞散损失	%	<20	T·0733

二、标准依据

沥青混合料车辙试验动稳定度技术要求

气候条件与技术指标		相应于下列气候分区所要求的动稳定度 (次/mm)								试验方法	
七月平均最高气温(℃)及气候分区		>30				20~30					<20
		1. 夏炎热区				2. 夏热区					3. 夏凉区
		1-1	1-2	1-3	1-4	2-1	2-2	2-3	2-4	3-2	
普通沥青混合料... 不小于		800		1000		600	800		600	T·0719	
改性沥青混合料... 不小于		2400		2800		2000	2400		1800		
SMA 混合料	非改性... 不小于	1500									
	改性... 不小于	3000									
OGFC 混合料		1500 (一般交通路段)、3000 (重交通量路段)									

二、标准依据

沥青混合料水稳定性检验技术要求

气候条件与技术指标		相应于下列气候分区的技术要求 (%)				试验方法
年降雨量 (mm) 及气候分区		>1000	500~1000	250~500	<250	
		1. 潮湿区	2. 湿润区	3. 半干区	4. 干旱区	
浸水马歇尔试验残留稳定度 (%) · 不小于						
普通沥青混合料		80		75		T·0709
改性沥青混合料		85		80		
SMA 混合料	普通沥青	75				
	改性沥青	80				
冻融劈裂试验的残留强度比 (%) · 不小于						
普通沥青混合料		75		70		T·0729
改性沥青混合料		80		75		
SMA 混合料	普通沥青	75				
	改性沥青	80				

二、标准依据

沥青混合料试件渗水系数(ml/min)技术要求

级配类型	渗水系数要求(ml/min)	试验方法
密级配沥青混凝土·不大于	120	T·0730
SMA 混合料·……不大于	80	
OGFC 混合料·……不小于	实测	

三、实验内容

- 试验一 石料的抗压强度和磨耗试验
- 试验二 粗、细集料的筛析试验
- 试验三 沥青混合料组成设计
- 试验四 沥青混合料的制备
- 试验五 沥青混合料物理指标测定
- 试验六 沥青混合料马歇尔稳定度试验
- 试验七 沥青混合料车辙试验

(一) 粗、细集料的筛析试验

天然砂砾



拌和站的料场







集料形状



粗、细集料的筛析试验

试验目的：测定碎石或卵石的颗粒级配粗细程度。

粗集料筛分析试验

方孔筛 75 63 37.5 31.5 26.5 19 16 9.5 4.75
(圆孔筛 80 63 40 31.5 25 20 16 10 5)

细集料筛析试验

方孔筛 4.75mm、2.36mm、1.18mm、
0.6mm、0.3mm、0.15mm、
0.075mm

粗、细集料的筛析试验 (续)

矿粉的筛分试验

标准筛：孔径为0.6mm、0.3mm、0.15mm、0.075mm

在能控温的烘箱内 ($105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$) 烘干。

(二) 沥青混合料组成设计

沥青混合料的技术性能

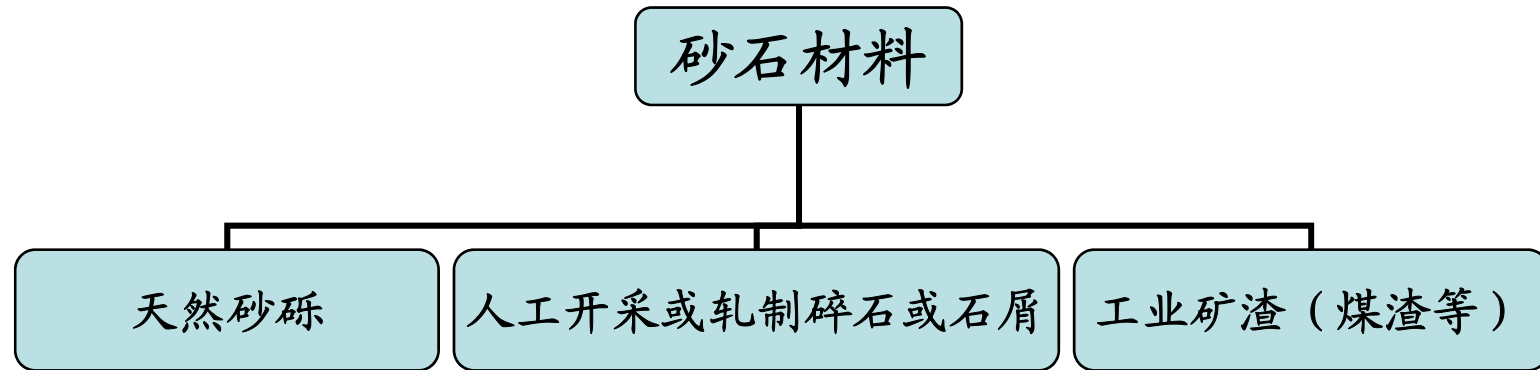
取决于:

天然岩石的矿物成分

这些矿物在岩石中的结构与构造

沥青混合料的组成

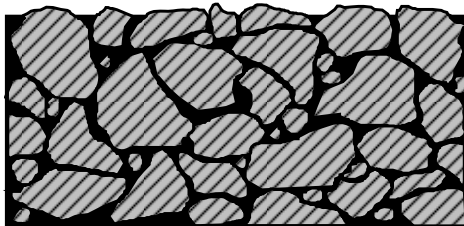
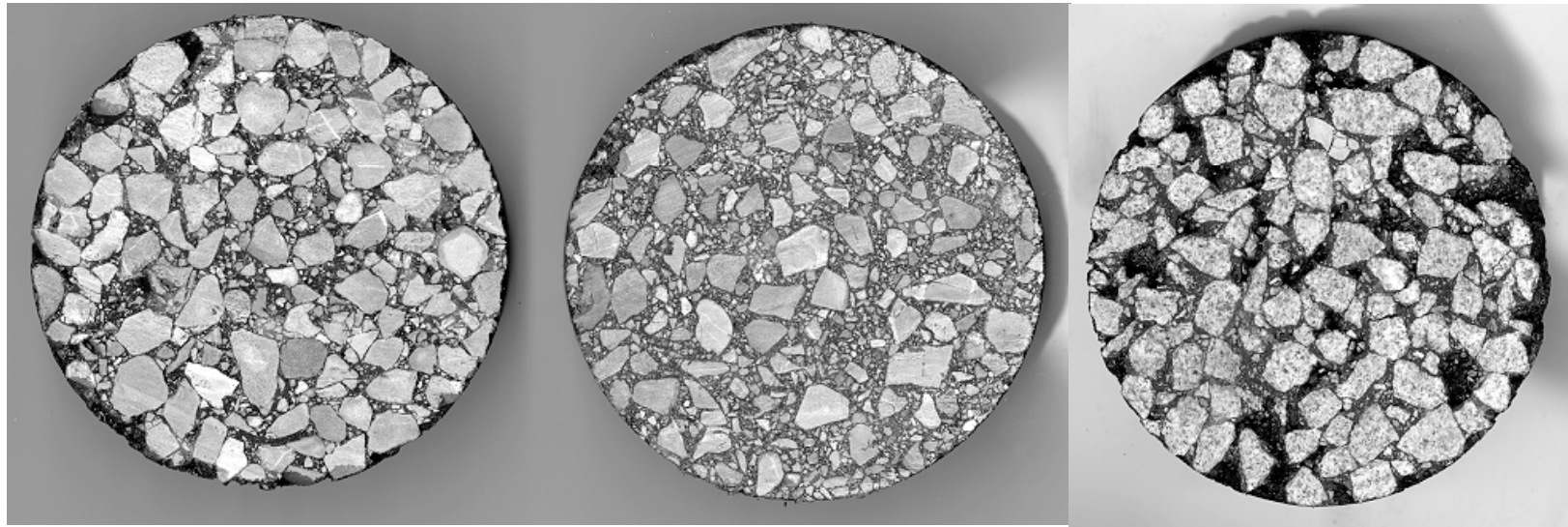
砂石材料组成



沥青混合料的组成

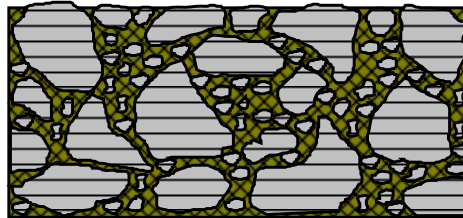


沥青混合料类型



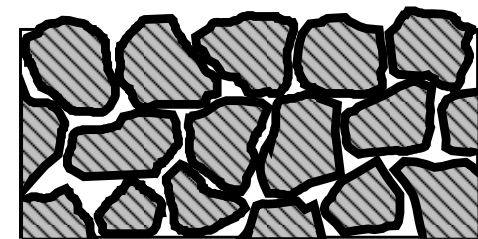
骨架-密实型

SMA



悬浮-密实型

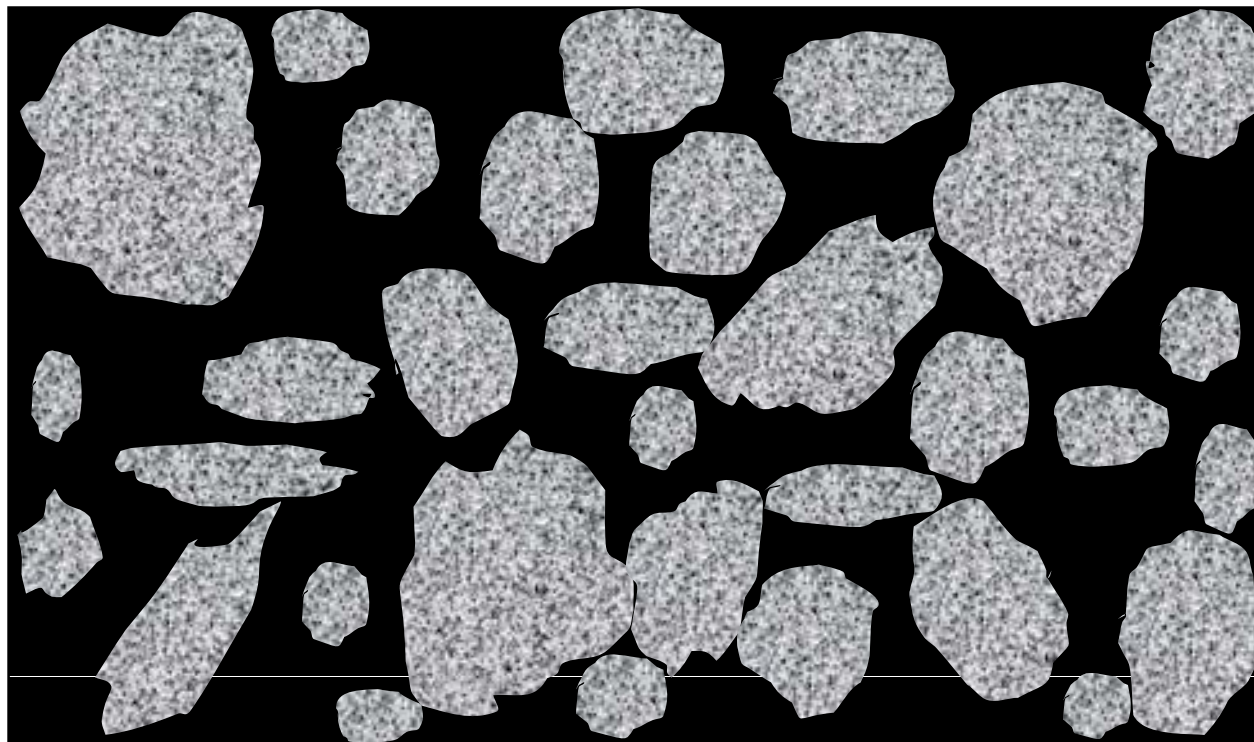
AC



骨架-空隙型

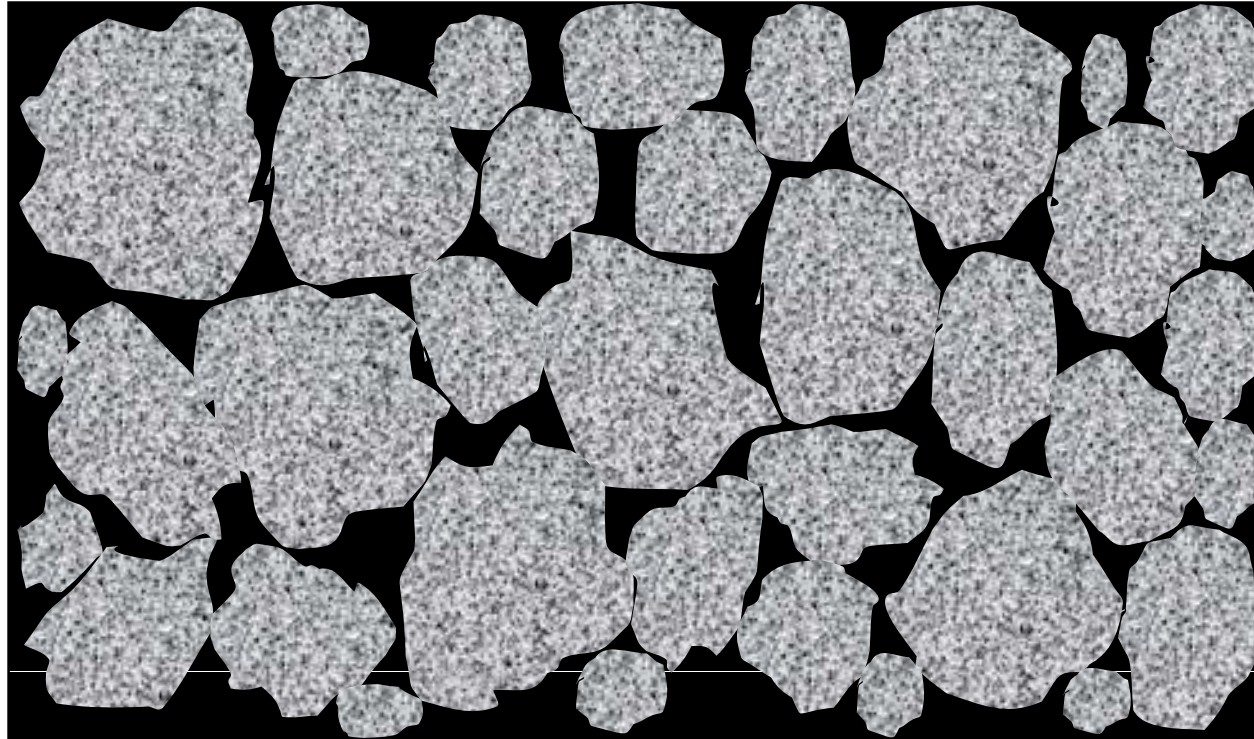
PFC (OGFC)

传统沥青混合料的骨料结构



Stone Matrix Asphalt Mix

沥青混合料的骨料结构







沥青混凝土路面材料



沥青与砂石材料



路面材料是路面结构中的材料

沥青混合料组成设计

[设计要求]

1. 根据道路等级，路面类型和结构层次确定沥青混凝土的类型和矿质混合料的级配范围。根据现有各种矿质材料的筛析结果，用图解法确定各种矿质材料的配合比。
2. 根据规范推荐的相应沥青混凝土类型的沥青用量范围，通过马歇尔试验的物理力学指标，确定沥青最佳用量。

沥青混合料组成设计

[设计要求] (续)

3. 马歇尔试验结果
4. 根据公路路面用沥青混合料要求，对矿质混合料的级配进行调整，并对沥青最佳用量按水稳性检验和抗车辙能力校核。

沥青混合料组成设计

(配合比设计)

试验室配合比设计分为:

1. 矿质混合料配合组成设计
2. 沥青最佳用量确定

矿质混合料配合组成设计的目的:

1. 具有足够密实度
2. 具有较高的内摩阻力

沥青混合料组成设计

矿质混合料

应满足两方面的**基本要求**:

1. 最小空隙率

水泥混凝土中的矿质混合料是以空隙作为控制水泥混凝土强度的最主要因素，沥青混凝土也同样。

2. 最大摩擦力

要求集料形成排列紧密的多级空间骨架结构，具有最大的摩擦力。

沥青混合料组成设计

矿质混合料

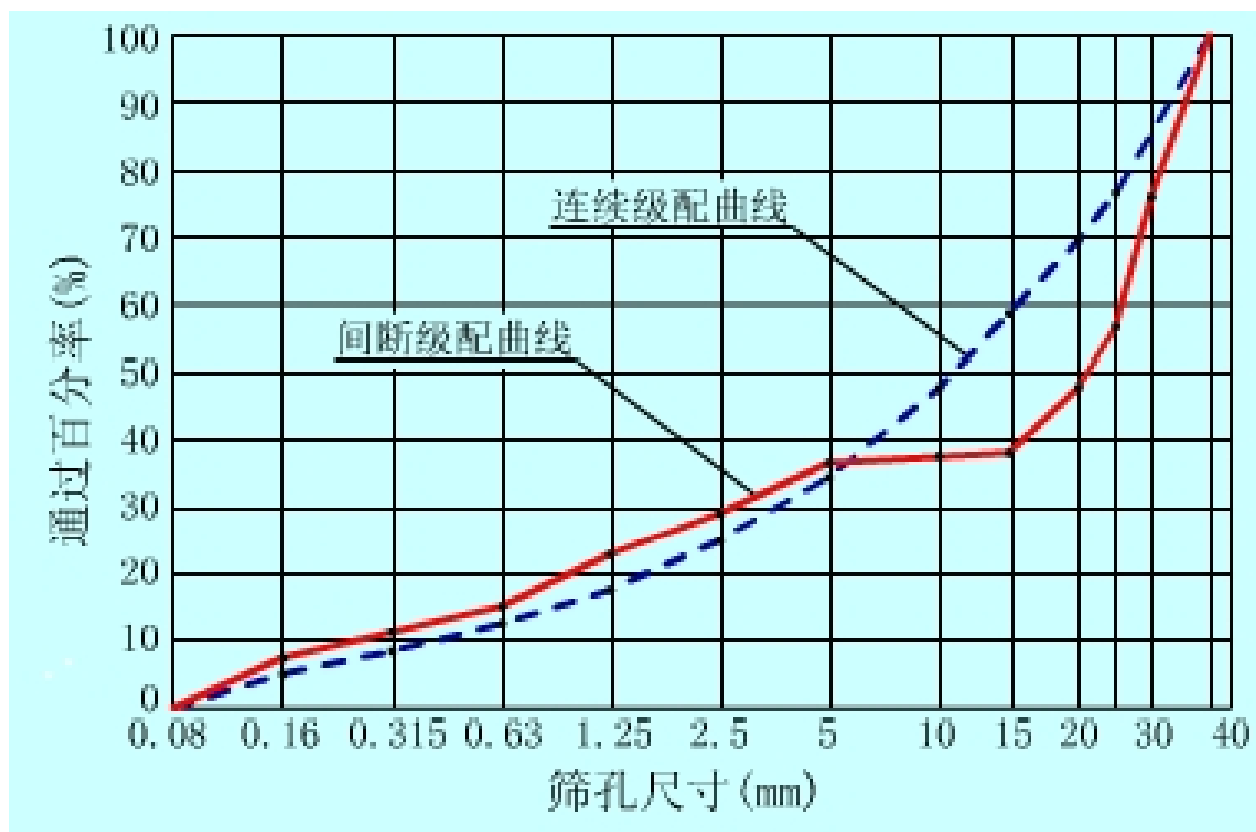
组成设计内容包括:

- 级配理论和级配范围的确定
- 基本组成的设计方法

矿质混合料的级配理论

1. **级配曲线:** 各种不同粒径的集料, 按照一定的比例搭配起来, 以达到较高的密实度 (或较大摩擦力) 的要求。
 - (1) **连续级配:** 级配曲线平顺圆滑, 具有连续的性质, 粒径从小到大逐级均有, 按比例互相搭配组成的矿质混合料。
 - (2) **间断级配:** 矿质混合料中剔除其一个 (或几个) 分级而形成一种不连续的混合料。

连续级配和间断级配曲线



矿质混合料的级配理论（续）

2. 级配理论：最大密度曲线理论（计算连续级配）

粒子干涉理论（即可计算连续级配，也可计算间断级配）（自学）

（1）最大密度曲线理论：最大密度曲线是通过试验提出的一种理想曲线。

W. B. 富勒（Fuller）等研究认为：固体颗粒按粒度大小，有规则地组合排列，粗细搭配，可以得到**密度最大、空隙最小**的混合料。初期研究的理想曲线是：细集料以下的颗粒级配曲线为椭圆形级配曲线，粗集料级配曲线为与椭圆曲线相切的直线，由这两部分组成的级配曲线，可以达到最大密度，这种曲线计算比较复杂。后来经过许多研究改进，提出简化的“**抛物线最大密度理想曲线**”。该理论认为：“矿料的颗粒级配曲线愈接近于抛物线，则其密度愈大。”

级配曲线范围的绘制

级配曲线

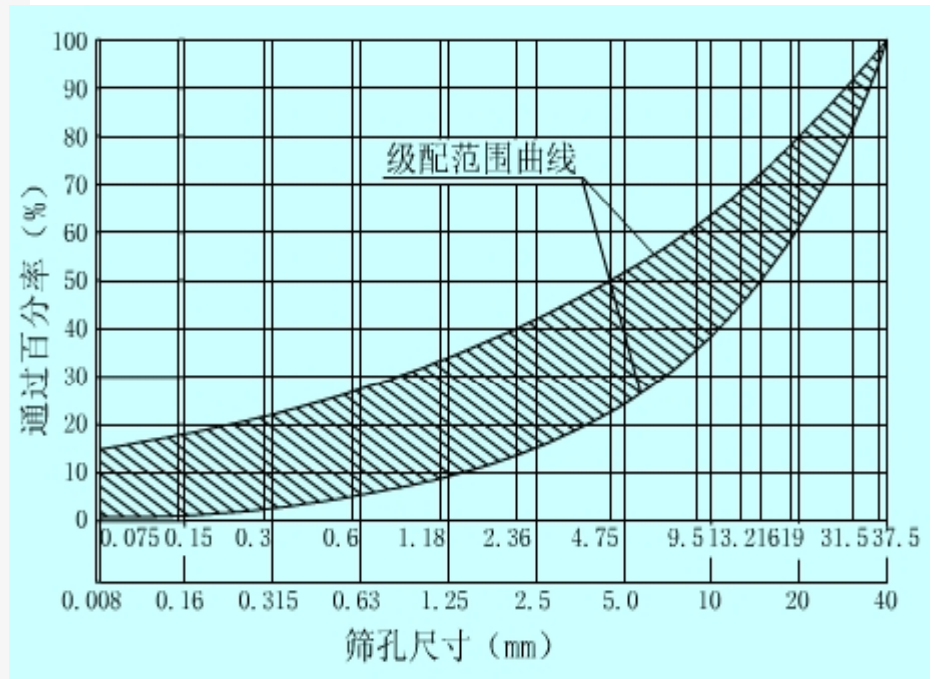
按级配理论计算出各级集料在矿质混合料的通过百分率，以通过百分率为纵坐标绘制成曲线，即为理论级配曲线。但由于矿料在轧制过程中的不均匀性以及混合料配制时的误差等影响，使所配制的混合料往往不可能与理论级配完全相符合。因此，必须允许配料时的合成级配在适当的范围内波动，这就是“级配范围”。

绘制曲线时通常用半对数坐标

即横坐标(即筛孔尺寸)采用对数坐标，

而纵坐标用常坐标。

我国现行国标(GB 50092 - 96)规定，沥青路面集料的粒径选择和筛分以方孔筛为准。

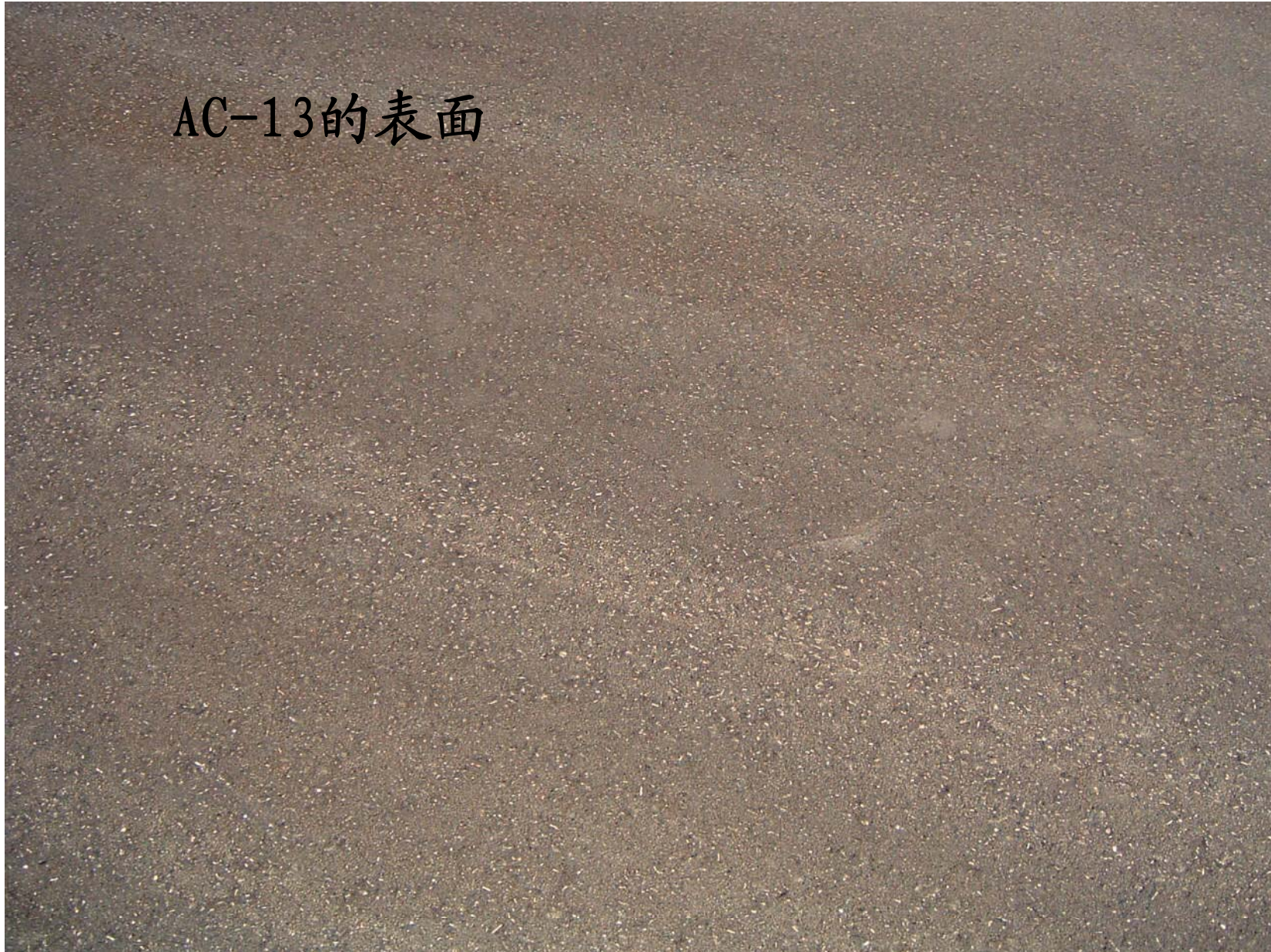


基本组成的设计方法

组成设计方法:

- 矿料配合组成设计的任务就是确定:
组成混合料各集料的比例
- 最常用的为数解法与图解法两大类

AC-13的表面



AC-13的芯样



AC-25的表面



AC-25的芯样



KS74668
3.9m (100.5mm)
ATB-25
2002.11.15 (11.16)



AC—30的表面



AC—30的芯样



沥青混合料实验

掌握:

① 沥青混合料的试件制备

 马歇尔 → 马歇尔试验用 (另外劈裂试验)

 方盘 → 车辙试验用 (另外小梁试验)

② 马歇尔试验技术标准中5个指标的测定。

③ 车辙试验 (了解动稳定度)

试验室配合比设计:

 矿质混合料配合组成设计

 沥青最佳用量设计

“矿质混合料配合组成设计” 如何实施

1. 根据 道路等级 可确定沥青混合料类型 (见书 P199)
路面类型
结构层位
即, 确定所需的级配范围 (见书 P198) 规范规定
2. 根据现场取样, 对 粗集料 进行筛析试验
细集料
矿粉
由筛析结果确定矿质材料配合比 实际材料设计
3. 实际材料设计与标准 (规范规定) 进行比较

“沥青最佳用量确定” 如何实施

1. 绘制沥青用量与马歇尔稳定度试验物理—力学指标关系图
(见书 P 203)
2. 最佳沥青用量的初始值1
$$OAC1 = (a1+a2+a3) / 3$$
3. 最佳沥青用量的初始值2
$$OAC2 = (OACmin+OACmix) / 2$$
4. 根据OAC1和OAC2综合确定沥青最佳用量OAC

配合比设计的检验

- 检 验:
1. 水稳定性检验
 2. 抗车辙能力检验

水稳定性检验: 按最佳沥青用量OAC制作马歇尔试件
进行浸水马歇尔试验, 测定浸水残留稳定度
(试件浸水48小时后的稳定度)

抗车辙能力检验: 按最佳沥青用量OAC制作车辙试验试件
在60度条件下进行车辙试验, 测动稳定度

沥青混合料矿料级配范围

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

沥青混凝土
(Asphalt Concrete mixture)

粗粒式 AC-30
AC-25
中粒式 **AC-20** (实验用)
AC-16
细粒式 AC-13
AC-10
砂粒式 AC-5

沥青碎石
(Asphalt Macadan mixture)

特粗 AM-40
粗粒 AM-30
AM-25
中粒 AM-20
AM-16
细粒 AM-13
AM-10

注: 沥青混凝土与沥青碎石的区别

(三) 沥青混合料的制备

马歇尔试件的制备

① $\Phi 101.6\text{mm}$ 高 63.5mm (试模)

② 标准击实锤质量 4.536g , $\Phi 98.5\text{mm}$, 从 457.2mm 高度自由落下击实。
击实次数 75 次或 50 次。

③ 一个试件用量约为 1200g 。

④ 击实后试件高度符合 $63.5 \pm 1.3\text{mm}$ 要求

调整 → 实际用量
→ 实际高度

$$q = q_0 \cdot \frac{63.5}{h_0}$$

⑤ 试模冷却至室温后脱模, 12h 以上供试验用。

方盘试件的制备

- ① $300 \times 300 \times 50\text{mm}$ (试模) (料重约 11kg)
- ② 轮碾成型，轮宽300mm，压实线荷载300N/cm，碾压力次数12个往返（24次）
- ③ 试件材料总用量 $V \rightarrow$ 体积
 \rightarrow 马歇尔稳定度击实密度度
- ④ 试模室温冷却，12h后可脱模。

试件制备过程（温度、时间的控制）

- ①各种规格矿料 $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 加热4-6h
 - ②矿粉单独加热，预加热温度 $160 \pm 15^{\circ}\text{C}$
 - ③石油沥青加热至 160°C 备用
 - ④试模、套筒、击实座等 100°C 左右加热1h
- 拌和
- ⑤石油沥青混合料的拌合温度 $130-160^{\circ}\text{C}$ 。
 - ⑥拌和机预加热温度为（拌和温度以上 10°C 左右） 170°C 。
 - ⑦标准总拌合时间为3min
（拌和1-1.5min后加入单独加热的矿粉）

击实

- ⑧石油沥青混合料压实温度 $110-130^{\circ}\text{C}$

(四) 沥青混合料物理指标测定

沥青混合料物理指标测定

(见教材P200---201)

视密度

理论密度

空隙率 V_V

沥青体积百分率 V_A

矿料间隙率 VMA

沥青饱和度 VFA

(五) 沥青混合料马歇尔稳定度试验

沥青混合料马歇尔稳定度试验

①合格的试件，12h后，先测物理指标
视密度 ρ 、空隙率 V_v 、沥青体积百分比 V_b 、
矿料间隙率 VMA 、(沥青填隙率)饱和度 VFA

②60℃恒温水槽养生30-40min

③加载速度50mm/min，测荷载最大值及对应的流值。

注：试验时间不得超过30s（从恒温水槽中取出到测出荷载最大值）

沥青混合料马歇尔稳定度试验 (续)

采集的数据绘制成压力和试件变形曲线。

由荷载读取的最大值即为试样的稳定度 (MS)，以kN计。

由位移传感器测定读取的试件垂直变形，即为试件的流值 (FL)，以mm计。

试件的马歇尔模数
$$T = \frac{M S}{F L}$$

式中：T—试件的马歇尔模数，(kN/mm)

MS—试件的稳定度，kN

FL—试件的流值，(mm)

(六) 沥青混合料车辙试验

沥青混合料车辙试验

- ①测定轮压强 $0.7 \pm 0.05\text{Mpa}$
- ② 60°C 恒温室中保湿5h-24h
- ③试验轮往返行走，一般试验做一小时或最大变形达到25mm为止。

$$\text{测动稳定度} \quad DS = \frac{(t_2 - t_1) \cdot 42}{d_2 - d_1} \cdot C_1 C_2$$

42---试验轮每分钟行走次数

C_1 ---试验机类型修正系数

C_2 ---试件系数 试验室制备的宽300mm的试件为1.0
 从路面切割的宽150mm的试件为0.8

车辙仪和采集系统



车辙仪



例

沥青混合料（热拌）

中粒式 **AC-20** 沥青混合料矿料级配范围 (实际试件级配)

	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	90	80	72	58	46	34	27	20	14	8
下限		95	75	62	52	38	28	20	15	10	6	4

(规范规定)

修正后 100 96 78 65 55 41 31 23 17 12 8 6

(设计值)——根据实际石料再定。

注：分计筛余，累计筛余，通过量之间的关系。

每个试件矿料取1300g，一组3个共3900g.

沥青含量：沥青与混合料总质量比

油石比：沥青与矿料质量比

沥青用量 **4%~6%**

(间隔为 0.5)

一种级配不同油量需 15个试件.

路面材料是路面结构中的材料

长余高速 - 沥青混凝土路面



竣工后的沥青路面



沥青路面渗水与不渗水对比



沥青路面的取芯



拌和站







沥青混合料运料车



沥青混合料摊铺



沥青混合料摊铺和碾压



光轮振动压路机



轮胎压路机



沥青混合料的碾压



沥青路面施工现场





测试到场温度



读数

红外测试碾压
后的表面温度



确定沥青混合料拌和及压实温度的适宜温度

粘度	适宜于拌和的沥青结合料粘度	适宜于压实的沥青结合料粘度	测定方法
表观粘度	$(0.17 \pm 0.02) \text{Pa} \cdot \text{s}$	$(0.28 \pm 0.03) \text{Pa} \cdot \text{s}$	T-0625
运动粘度	$(170 \pm 20) \text{mm}^2/\text{s}$	$(280 \pm 30) \text{mm}^2/\text{s}$	T-0619
赛波特粘度	$(85 \pm 10) \text{s}$	$(140 \pm 15) \text{s}$	T-0623

普通沥青结合料的施工温度宜通过在135℃及175℃条件下，

测定的**粘度-温度曲线**按表的规定确定。

热拌沥青混合料的施工温度(℃)

施·工·工·序		石油沥青的标号			
		50号	70号	90号	110号
·沥青加热温度		160~170	155~165	150~160	145~155
·矿料加热温度	·间隙式拌和机	集料加热温度比沥青温度高 10~30			
	·连续式拌和机	矿料加热温度比沥青温度高 5~10			
·沥青混合料出料温度		150~170	145~165	140~160	135~155
·混合料贮料仓贮存温度		贮料过程中温度降低不超过 10			
·混合料废弃温度·····高于		200	195	190	185
·运输到现场温度·····不低于		150	145	140	135
·混合料摊铺温度 ·不低于	·正常施工	140	135	130	125
	·低温施工	160	150	140	135
·开始碾压的混合料内 ·部温度, ····不低于	·正常施工	135	130	125	120
	·低温施工	150	145	135	130
·碾压终了的表面温 ·度·····不低于	·钢轮压路机	80	70	65	60
	·轮胎压路机	85	80	75	70
	·振动压路机	75	70	60	55
·开放交通的路表温度···不高于		50	50	50	45

聚合物改性沥青混合料的正常施工温度范围（℃）

工··序	聚合物改性沥青品种		
	SBS 类	SBR 胶乳类	EVA、PE 类
沥青加热温度	160~165		
改性沥青现场制作温度	165~170	—	165~170
成品改性沥青加热温度，不大于	175	—	175
集料加热温度	190~220	200~210	185~195
改性沥青 SMA 混合料出厂温度	170~185	160~180	165~180
混合料最高温度(废弃温度)	195		
混合料贮存温度	拌和出料后降低不超过 10		
摊铺温度·····不高于	160		
初压开始温度·····不高于	150		
碾压终了的表面温度·····不高于	90		
开放交通时的路表温度··不高于·····	50		

压路机碾压速度 (km/h)

压路机类型	初压		复压		终压	
	适宜	最大	适宜	最大	适宜	最大
钢筒式压路机	2~3	4	3~5	6	3~6	6
轮胎压路机	2~3	4	3~5	6	4~6	8
振动压路机	2~3 (静压或振动)	3 (静压或振动)	3~4.5 (振动)	5 (振动)	3~6 (静压)	6 (静压)

竣工后的沥青路面



一体化

材料

结构

工艺