

第二章 砂石材料

学习要点:

1. 掌握砂石材料的主要技术性能及其
评价方法 与 评价指标
2. 掌握集料的级配概念和级配理论
3. 掌握矿质混合料的配合比设计方法

例： 我国规范指标要求（粗集料）

指 标	单位	高速公路及一级公路		其他等级公路	试验方法
		表面层	其他层次		
石料压碎值 不大于	%	26	28	30	T 0316
洛杉矶磨耗损失 不大于	%	28	30	35	T 0317
表观相对密度 不小于	t/m ³	2.60	2.50	2.45	T 0304
吸水率 不大于	%	2.0	3.0	3.0	T 0304
坚固性 不大于	%	12	12	—	T 0314
针片状颗粒含量（混合料）不大于	%	15	18	20	T 0312
其中粒径大于9.5mm 不大于	%	12	15	—	
其中粒径小于9.5mm 不大于	%	18	20	—	
水洗法<0.075mm颗粒含量 不大于	%	1	1	1	T 0310
软石含量 不大于	%	3	5	5	T 0320

第二章 砂石材料

砂石材料——石料与集料

石料与集料的区别？

§ 2-1 砂石材料技术性质

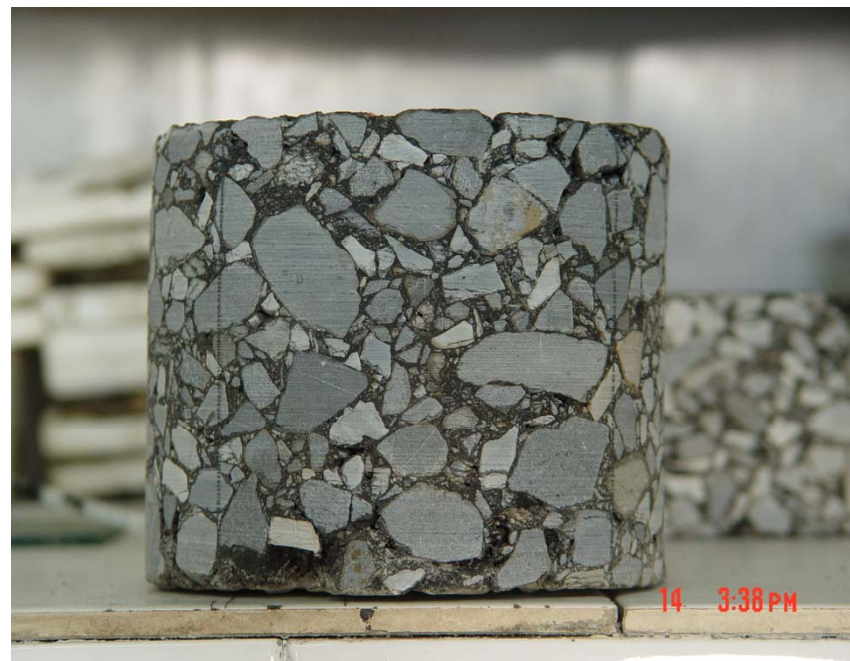
§ 2-2 常用石料及其技术标准

§ 2-3 矿质混合料的组成设计



砂石材料在混合料中的含量

用于检验的试件

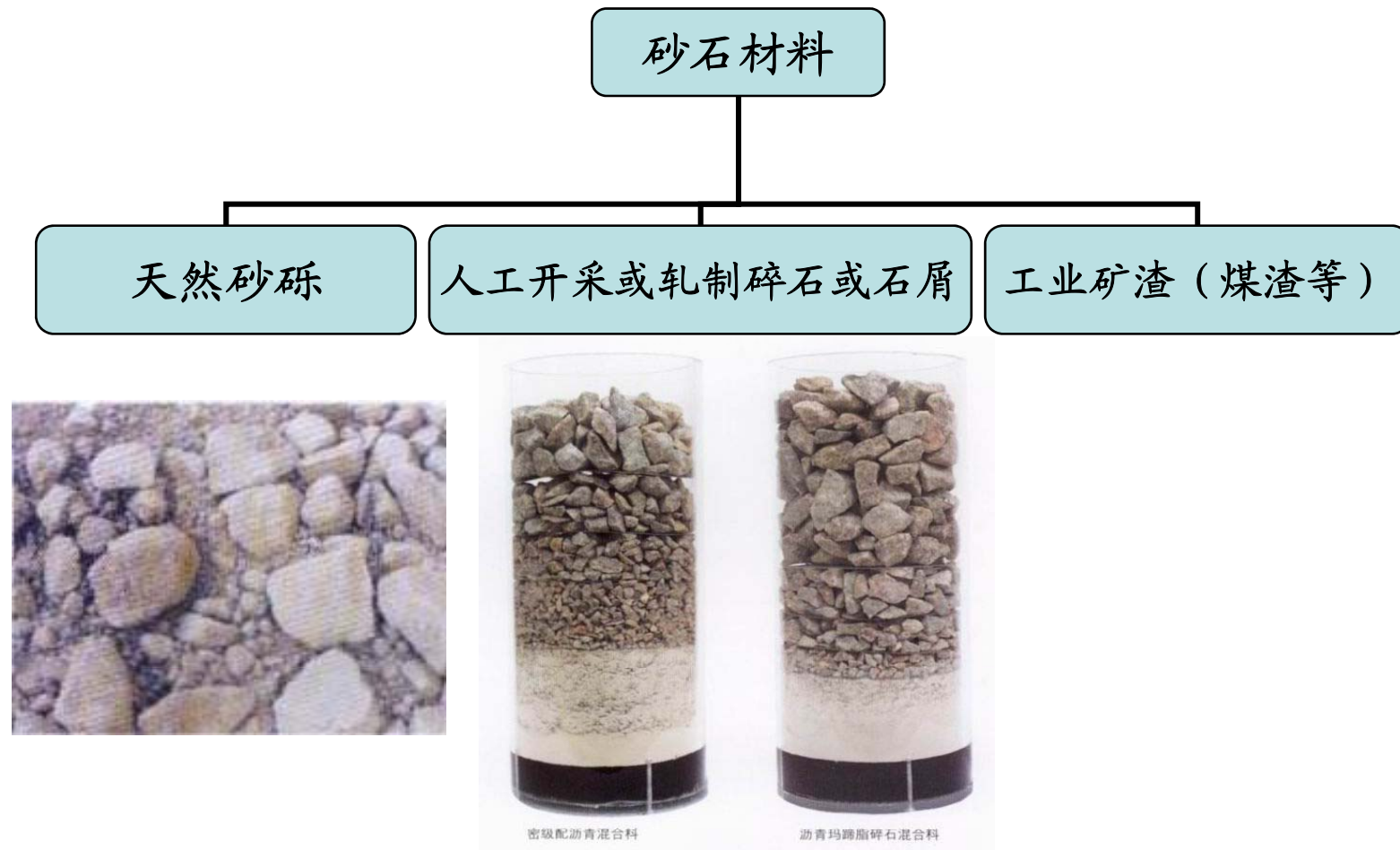


砂、石、油含量需要设计，
且用于不同的位置是不同的设计。

路面结构的层位

第二章 砂石材料

砂石材料组成与分类



石料的物理力学性质

道路常用的石料

玄武岩

花岗岩

石灰岩

取决于:

矿物成分是“工程地质”研究的内容

天然岩石的矿物成分

这些矿物在岩石中的结构与构造

决定了

沥青混合料的技术性能

目前“高速公路” 90%用沥青混合料

§ 2-1 砂石材料技术性质

一、石料的技术性质

二、集料的技术性质

一、石料的技术性质

*物理性质

物理常数 — — 密度
— — 孔隙率
吸水性 — — 吸水率
抗冻性

*力学性质

抗压强度
磨耗率

*化学性质

石料与沥青粘附性

岩石的技术性质: (p16-23王宝民)

1. 物理常数
2. 吸水性
3. 软化性
4. 耐候性 (抗冻性、坚固性)

石料的岩石学特性: (p5-8李立寒)

1. 造岩矿物
2. 岩石的分类
3. 常用岩石类型
4. 矿物的主要化学组成

火山灰

- 火山灰是火山喷发物之一；粒径在2毫米以下的碎石和矿物质粒子，象灰尘；颜色深灰、浅灰、白和黄。
- 火山灰由于非常细小，可以被风吹扬到离火山喷发区很远的地方，甚至上千公里以外，并且在喷发结束后经过很长时间才沉积下来；火山灰经过压实固结后形成火山凝灰岩，如果经过沉积作用，并和泥沙相结合，则形成火山作用和沉积作用混合成因的层凝灰岩。
- 在爆发性的火山运动中，固体石块和熔浆被分解成细微的粒子而形成火山灰。

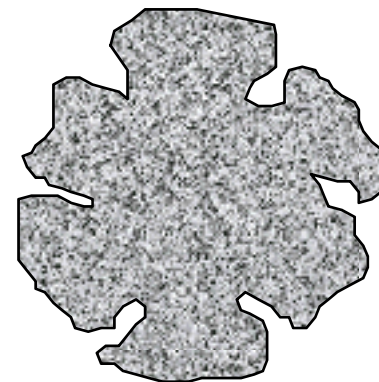
如何认识火山灰的孔隙结构？

如何定义孔隙结构类型？

如何测量孔隙大小？

当前研究项目

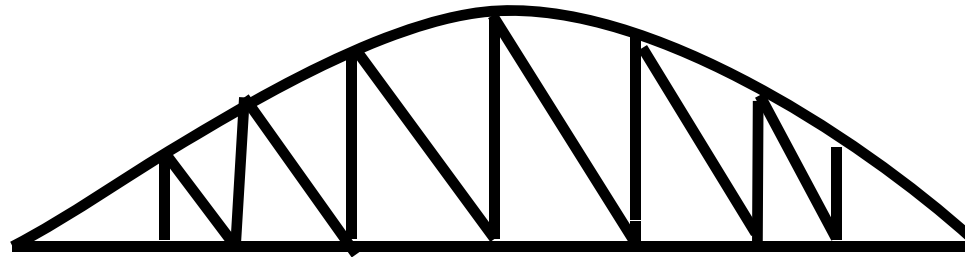
石料体积与质量的关系



见(李立寒)9页:图1-1

见(王宝民)17页:图1-1

相对密度是体积和质量
之间的桥梁



体积

$$V=M/G$$

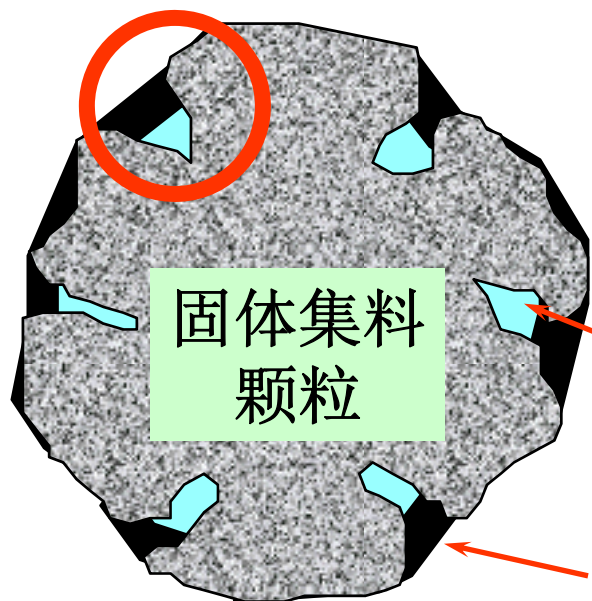
在SI 制中
相对密度
等于单位重

质量

$$M=V \cdot G$$

矿料的有效密度

表面空隙



$$G_{se} = \frac{\text{质量（干）}}{\text{有效体积}}$$

水渗透空隙但没有被
沥青填充的体积

吸收沥青

有效体积 = 固体集料颗粒体积 +
表面空隙没有被沥青填充的体积

物理性质 - 密度

密度：石料在规定条件（ $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 烘干至恒重，温度 20°C ）下，单位体积的质量。

真实密度

~，单位真实体积（不含孔隙的矿质实体的体积）的质量。

表观密度

~，单位表观体积（闭口孔隙和矿质实体的体积）的质量。

毛体积密度

~，单位毛体积（包括闭口孔隙、开口孔隙和矿质实体的体积）的质量

有何区别？

为何要学？



§ 2-1 砂石材料技术性质

物理性质 - 孔隙率

是指石料孔隙体积占石料总体积（包括开口孔隙和闭口孔隙体积）的百分率。

孔隙构造分为连通的和封闭的两种

孔隙大小分为极细微孔隙、细小孔隙和较粗大孔隙。

分析：孔隙率相同的石料，是否性能相同？

为什么？（作业一）

物理性质 - 吸水率

是指石料吸入水分的能力。

其大小可用吸水率和饱水率来表征。

常温**常压**下最大的
吸水质量占干燥试
样质量的百分率

常温**真空抽气**条件
下，最大吸水质量
占干燥试样质量的
百分率

石料吸水性的的大小与孔隙率的大小及**孔隙构造特征**有关。
石料吸水性可判断石料的抗冻性和抗风化能力。

分析：孔隙率相同的石料，是否吸水性相同？

对同一材料而言，吸水率和饱水率哪个值大些？

(作业二)

物理性质 - 抗冻性

是指石料在饱水状态下，能够经受反复冻结和融化而不坏，并不严重降低强度的能力。

直接冻融法

（测定石料在饱水状态下，抵抗反复冻融性能的直接方法）

坚固性试验

（评定石料经饱和硫酸钠溶液多次浸泡与烘干循环后，不发生显著破坏或强度降低的性能）

力学性质 - 抗压强度

是将试件制备成 $50\text{mm} \times 50\text{mm} \times 50\text{mm}$ 的**正方体**
(或直径和高度均为 50mm 的**圆柱体**)试件,
经**吸水饱和**后,在单轴受压并按规定的加载条件下,
达到极限破坏时,单位承压面积的强度。

抗压强度值取决于

石料的组成结构(如矿物组成、岩石的结构和构造、裂隙的分布等),
同时取决于试验的条件(几何外形、加载速度、温度和湿度等)

力学性质 - 磨耗率

是指其抵抗撞击、摩擦的联合作用的能力。

洛杉矶磨耗试验
(p284李立寒)
(P300王宝民)

狄法尔式磨耗试验
(p286李立寒)

化学性质 - 粘附性试验

水煮法或水浸法

水煮法是将13.2 ~ 19mm的碎石用线绑缚好烘干后浸于规定温度的沥青中，使沥青包裹在石料表面，冷却15min后挂于煮沸的蒸馏水中 3 min，根据沥青膜的剥落程度，分为5个等级来评价石料的粘附性。

注意：

等级愈高表示粘附性愈好。

不仅取决于石料性质，见(李立寒)8页:表1-2

而且取决于沥青的性质。亲水系数

*物理性质

物理常数 -- 密度
-- 孔隙率
吸水性 -- 吸水率
抗冻性

*力学性质

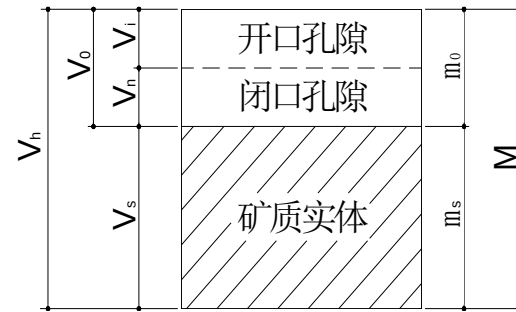
抗压强度
磨耗率

*化学性质

石料与沥青粘附性

§ 2-1 砂石材料技术性质

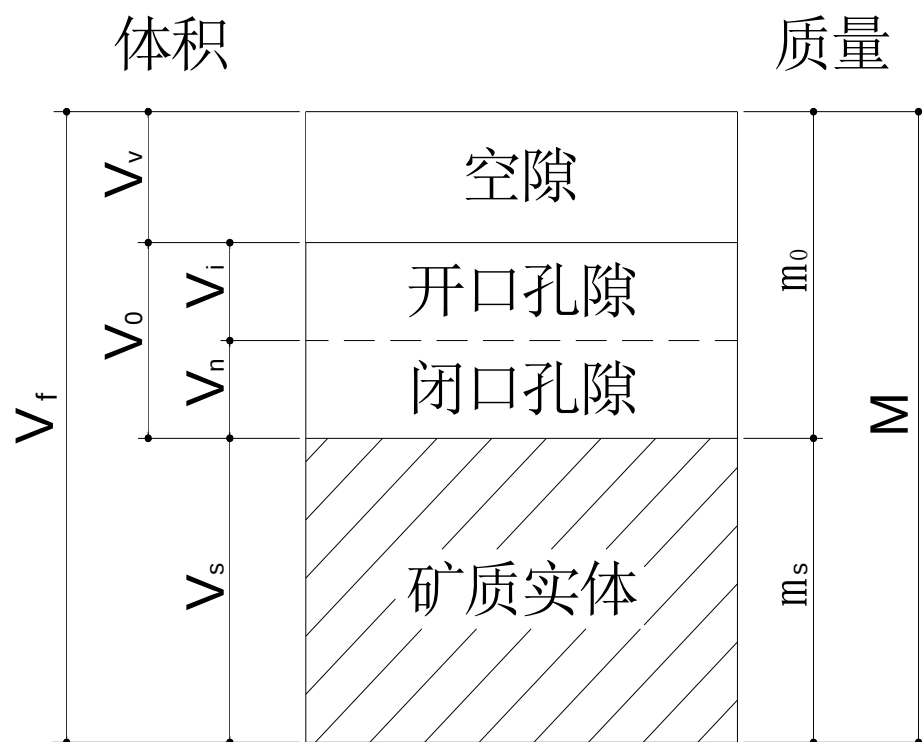
石料体积与质量的关系



集料体积与质量的关系？

石料与集料的区别？

集料体积与质量的关系



见(李立寒)14页:图1-2

见(王宝民)24页:图1-2

§ 2-1 砂石材料技术性质

二、集料的技术性质

集料（**Aggregate**）包括岩石天然风化而成的砾石（卵石）和砂等，
以及岩石经人工轧制的各种尺寸的碎石。

集料颗粒的尺寸指标（公称尺寸）：**粒径**

不同粒径颗粒的区分：**筛分**

筛分用筛子（砂石筛）：筛孔尺寸和形状——圆孔筛、**方孔筛**

筛孔尺寸即孔径**d**：圆孔（筛孔直径）

方孔（筛孔边长）

当**d**相同时，方孔的对角线长= $2\frac{1}{2}d$ 。所以**d**相同时，方孔筛筛下得多一些。

粒径并不等同于孔径！

集料分为两种：粗集料（粒径大于**5mm**）

细集料（粒径小于**5mm**）

粗集料的技术性质

粗集料的一般技术性质:

1. 物理性质

见14页: 1-11 (李立寒)

见15页: 1-13 (李立寒)

① 物理常数 (表观密度、毛体积密度、表干密度、堆积密度、空隙率)

② 级配 (见细集料的技术性质)

见15页: 1-12 (李立寒)

③ 坚固性 (侵入饱和硫酸钠溶液中进行干湿循环试验, 用质量损失百分率计算。)

2. 路用粗集料的力学性质 (p18-19李立寒) (P29王宝民)

① 集料压碎值

② 集料磨光值

③ 集料冲击值

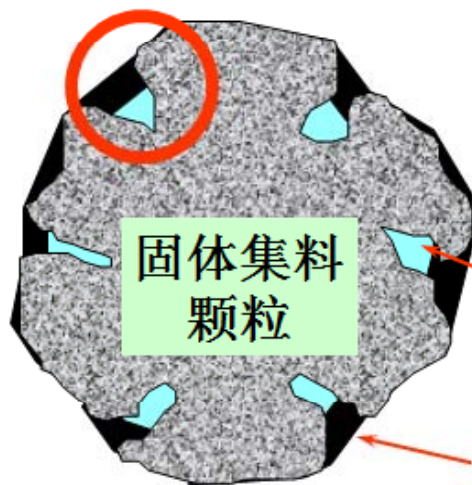
④ 集料磨耗值

粗集料骨架空隙率

VCA

见15页: 1-15 (李立寒)

压碎率、空隙率影响道路材料的稳定性、耐久性、使用性。



思考沥青混合料的体积组成...

§ 2-1 砂石材料技术性质

细集料的技术性质

细集料的技术性质与粗集料的技术性质基本相同，
但由于**细度**的特点，有不同之处。

细集料的一般技术性质：

1. 物理常数（表观密度、堆积密度、空隙率的含义与粗集料完全相同）

2. **级配**（见§2-3 矿质混合料的组成设计）

①分计筛余百分率(%) $a_i = m_i / m \times 100$

②累计筛余百分率(%) $A_i = a_1 + a_2 + \dots + a_i$

③通过百分率(%) $P_i = 100 - A_i$

注：分计筛余、累计筛余和通过量关系！

3. 粗度

粗度是评价砂粗细程度的一种指标。通常用**细度模数**表示

（细度模数亦称**细度模量**）

细度模数愈大，表示细集料愈粗。

砂的粗度按细度模数分为三级：
3.7-3.1为 粗砂
3.0-2.3为 中砂
2.2-1.6为 细砂

（李立寒）见23页：例题1-1

（作业三）（P51王宝民）7题

§ 2-1 砂石材料技术性质

§ 2-2 常用石料及其技术标准

路用石料按所属岩石类型分为四类：

岩浆岩类、石灰岩类、砂岩与片麻岩类、砾岩

每一类石料又按饱水极限抗压强度及磨耗率分为四个等级：

一级为最坚强的岩石

二级为坚强的岩石

三级为中等强度的岩石

四级为较软的岩石

在工程实践中，根据工程结构特点、设计要求及当地石料资源，选择合适的石料。

公路工程石料技术标准

岩石类别	名称	等级	P284(李立寒)	P284(李立寒)	P286(李立寒)
			技术标准		
			饱水极限抗压强度	磨耗率（洛杉矶法）	磨耗率（狄法尔法）
			（MPa）	（%）	（%）
岩浆岩类	花岗岩	1	>120	<25	<4
	玄武岩	2	100—120	25—30	4—5
	安山岩	3	80—100	30—45	5—7
	辉绿岩	4	—	45—60	7—10
石灰岩类	石灰岩	1	>100	<30	<5
		2	80—100	30—35	5—6
		3	60—80	35—50	6—12
	白云岩	4	30—60	50—60	12—20
砂岩与片麻岩类	石英岩	1	>100	<30	<5
	砂岩	2	80—100	30—35	5—7
	片麻岩	3	50—80	35—45	7—10
	石英片麻岩	4	30—50	45—60	10—15
砾岩		1		<20	<5
		2		20—30	5—7
		3		30—50	7—12
		4		50—60	12—20

P13 表1-5(李立寒)

粗集料质量技术要求

指.....标↕	单位↕	高速公路及一级公路↕		其他等级公路↕	试验方法↕
		表面层↕	其他层次↕		
石料压碎值· P297(李立寒) ·不大于↕	%↕	26↕	28↕	30↕	T·0316↕
洛杉矶磨耗损失· P284 ·不大于↕	%↕	28↕	30↕	35↕	T·0317↕
表观相对密度· P290 · P291 ·不小于↕	t/m³↕	2.60↕	2.50↕	2.45↕	T·0304↕
吸水率· P290 ·不大于↕	%↕	2.0↕	3.0↕	3.0↕	T·0304↕
坚固性· P11(李立寒) ·不大于↕	%↕	12↕	12↕	—↕	T·0314↕
针片状颗粒含量（混合料）不大于↕	%↕	15↕	18↕	20↕	T·0312↕
···其中粒径大于 9.5mm···不大于↕	%↕	12↕	15↕	—↕	
···其中粒径小于 9.5mm···不大于↕	%↕	18↕	20↕	—↕	
水洗法<0.075mm 颗粒含量·不大于↕	%↕	1↕	1↕	1↕	T·0310↕
软石含量·不大于↕	%↕	3↕	5↕	5↕	T·0320↕

注：①坚固性试验可根据需要进行；

②用于高速公路、一级公路时，多孔玄武岩的**视密度**可放宽至2.45t/m³，**吸水率**可放宽至3%，但必须得到建设单位的批准，且不得用于SMA路面；

为什么？

§ 2-2 常用石料及其技术标准

细集料质量要求

项……………目	单位	高速公路、 一级公路	其他等级公路	试验方法
表观相对密度不小于 P287(李立寒)	t/m ³	2.50	2.45	T·0328
坚固性(>0.3mm 部分)·不小于 P11	%	12	—	T·0340
含泥量(小于 0.075mm 的含量) 不大于 P17(李立寒)	%	3	5	T·0333
砂当量不小于 P17	%	60	50	T·0334
亚甲蓝值不大于 P17	g/kg	25	—	T·0346
棱角性(流动时间)不小于 P289	s	30	—	T·0345

细集料包括天然砂、机制砂、石屑。

细集料应洁净、干燥、无风化、无杂质，并有适当的颗粒级配，其质量应符合表中的规定。

细集料棱角性

(细集料未压实空隙率)

- * 规定级配的细集料自由落入 100 cm^3 量筒
- * 知道集料的密度就可以计算颗粒间的空隙率
- * 空隙率高，棱角性大

(见书: P289李立寒)

(见书:P35-36王宝民)

天然砂或0-3mm规格的机制砂、石屑用2.36mm筛

0-5mm石屑、机制砂用4.75mm筛

取2kg试样



天然砂规格

筛孔尺寸 (mm)	通过各孔筛的质量百分率(%)		
	粗砂	中砂	细砂
9.5	100	100	100
4.75	90~100	90~100	90~100
2.36	65~95	75~90	85~100
1.18	35~65	50~90	75~100
0.6	15~30	30~60	60~84
0.3	5~20	8~30	15~45
0.15	0~10	0~10	0~10
0.075	0~5	0~5	0~5

机制砂或石屑规格

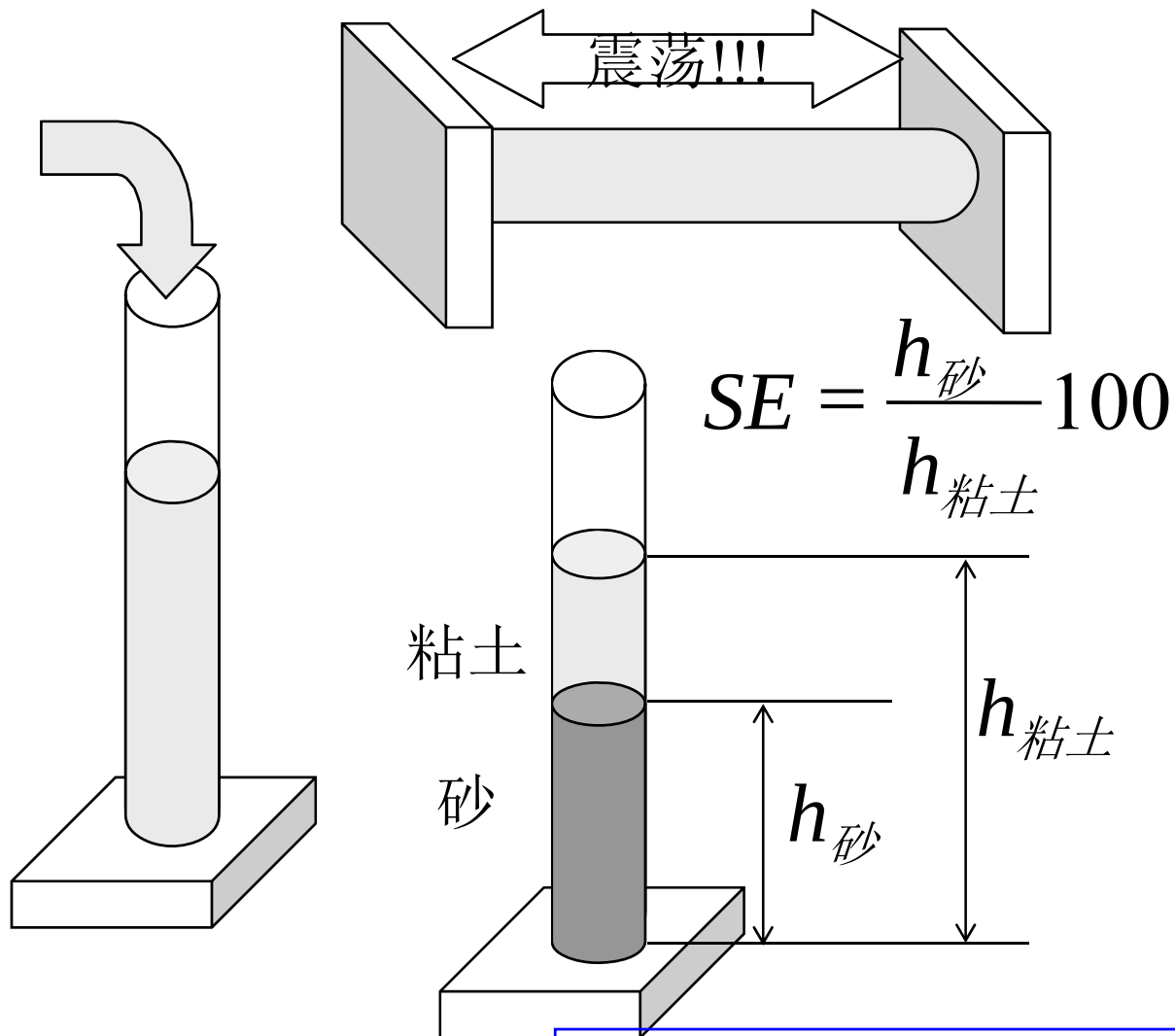
规格	公称粒径	水洗法通过各筛孔的质量百分率(%)							
	(mm)	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
S15	0~5	100	90~100	60~90	40~75	20~55	7~40	2~20	0~10
S16	0~3		100	80~100	50~80	25~60	8~45	0~25	0~15

细集料的洁净程度:
天然砂以小于0.075mm含量的百分数表示;
石屑和机制砂以砂当量(适用于0~4.75mm)或
亚甲蓝值(适用于0~2.36mm或0~0.15mm)表示。

粘土含量（砂当量试验）

Superpave 标准

ESAL 百万	砂当量 (最小)
<0.3	40
0.3~3	40
3~10	45
10~30	45
≥30	50



Superpave集料认同特性要求

设计ESALs' ， 百万次	粗集料棱角性 % 最小		细集料未压实 空隙率， % 最小		砂当量， %最小	扁平细长颗粒 含量， % 最大
	≤100 mm	>100 mm	≤100 mm	>100 mm		
<0.3	55/-	-/-	-	-	40	-
0.3~3	75/-	50/-	40	40	40	10
3~10	85/80 ²	60/-	45	40	45	10
10~30	95/90	80/75	45	40	45	10
≥30	100/100	100/100	45	45	50	10

- 优质的 沥青混合料要有优质的 集料
- 料源和生产工艺决定了 集料的质量

§ 2-3 矿质混合料的组成设计

- 一、矿质混合料的级配理论
- 二、级配曲线范围的绘制
- 三、矿质混合料的组成设计方法

§ 2-3 矿质混合料的组成设计

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。

粗集料棱角性要求
细集料也要棱角性

怎么求？

§ 2-3 矿质混合料的组成设计

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

一、矿质混合料的级配理论

1. (集料的) 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（和/或较大摩擦力）的要求。

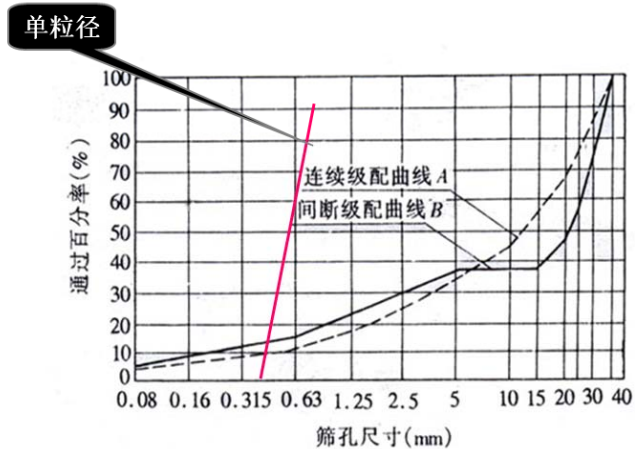
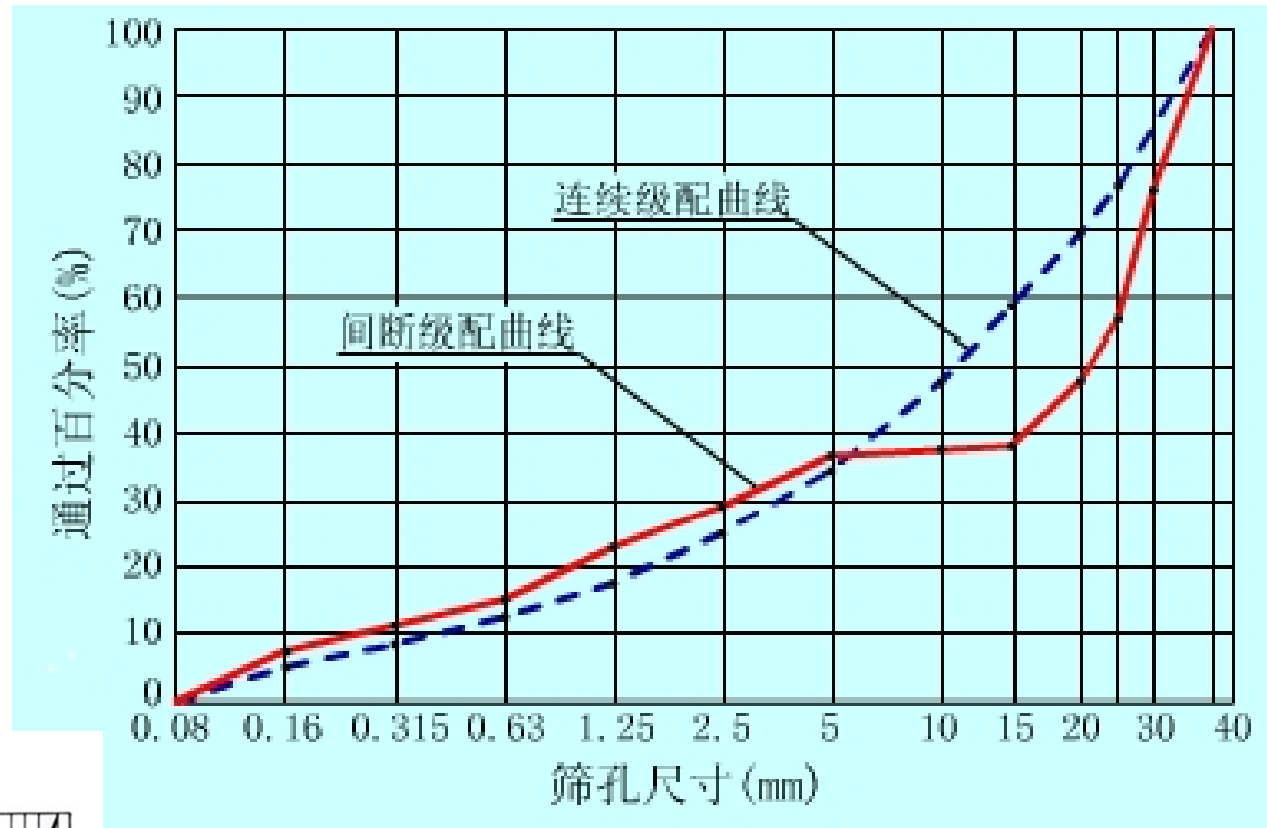
(1) 连续级配:

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



剔除的粒径?

§ 2-3 矿质混合料的组成设计

一、矿质混合料的级配理论

2. 级配理论：最大密度曲线理论和粒子干涉理论

(1) 最大密度曲线理论

(2) 最大密度曲线公式

(3) 最大密度曲线 n 幂公式

当前国内外沥青混合料的级配构成方法：

1. 传统的最大密度曲线理论
2. 传统的粒子干涉理论
3. 美国的贝雷法
4. 美国的Superpave禁区理论
5. SMA

一、矿质混合料的级配理论

(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。”

一、矿质混合料的级配理论

(2) 最大密度曲线公式

$$p^2 = kd^3 \quad (1-1)$$

- 式中：
d——矿料各级颗粒粒径（mm）；
p ——各级颗粒粒径集料的通过量（%）；
k ——常数。

当颗粒粒径d等于最大粒径D时，通过量p = 100。故有：

$$k = 100^2 \cdot \frac{1}{D} \quad (1-2)$$

一、矿质混合料的级配理论

(2) 最大密度曲线公式

当希望求任一级颗粒粒径 d 的通过量 p 时，得：

$$p = 100 \left(\frac{d}{D} \right)^{0.5} \quad (1-3)$$

d ——希望计算的某级集料粒径（mm）；

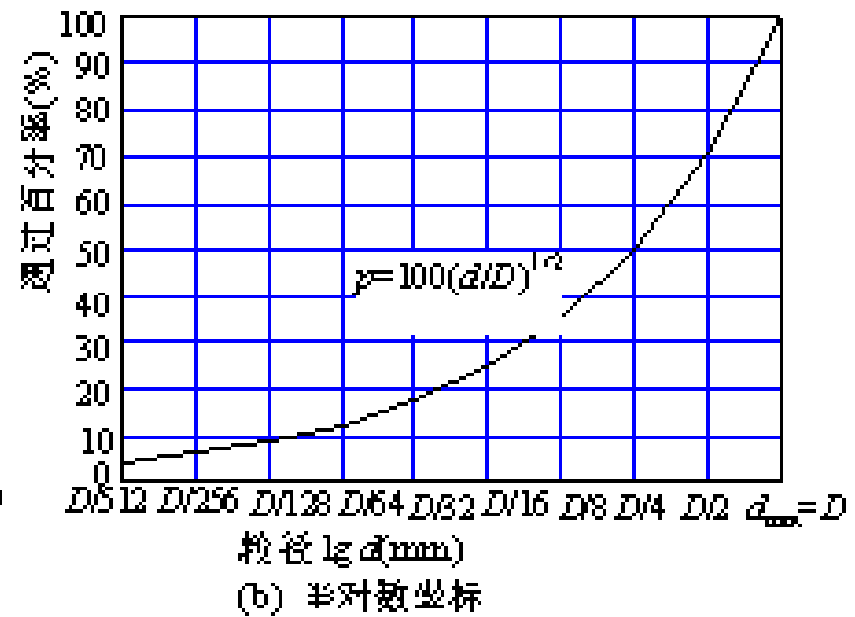
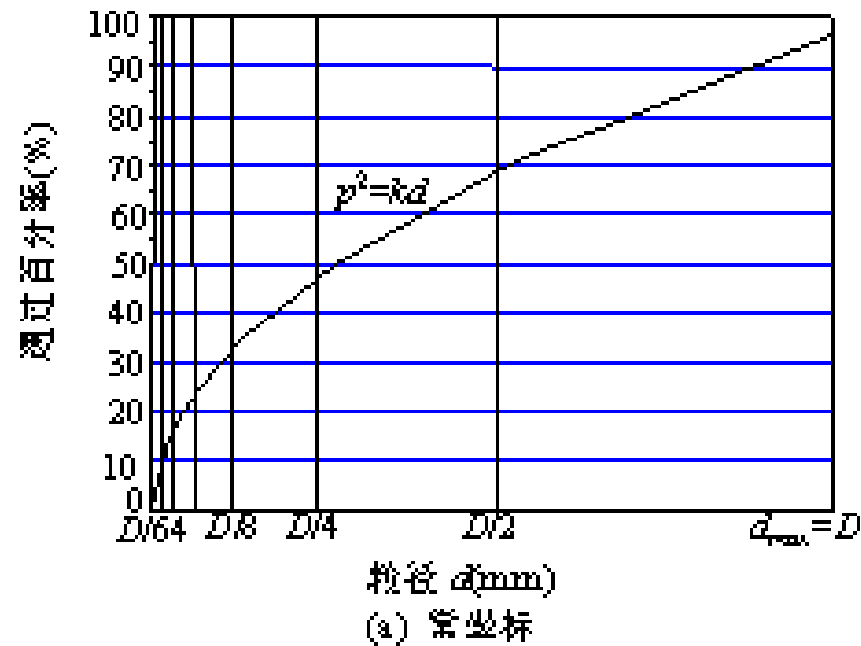
D ——矿料的最大粒径（mm）；

p ——希望计算的某级集料的通过量（%）。

式（1-3）就是最大密度理想曲线的级配组成计算公式。

根据这个公式，可以计算出矿料最大密度时各种粒径（ d ）颗粒应具有通过（ p ）。

最大密度理想级配曲线



见(李立寒)23页:图1-3

一、矿质混合料的级配理论

(3) 最大密度曲线n幂公式

$$p = 100 \left(\frac{d}{D} \right)^n$$

式中：p、d和D—意义同式（1-3）；
n —实验指数。

在实际工程中，集料级配通常是在一定范围内波动的。

实验指数亦称“级配指数”

当级配指数为0.5时，就是？

理想的级配曲线
(密实度最大!)

为计算方便起见，n幂公式亦可采用对数形式表达如下式：

$$\lg p = (2 - n \lg D) + n \lg d$$

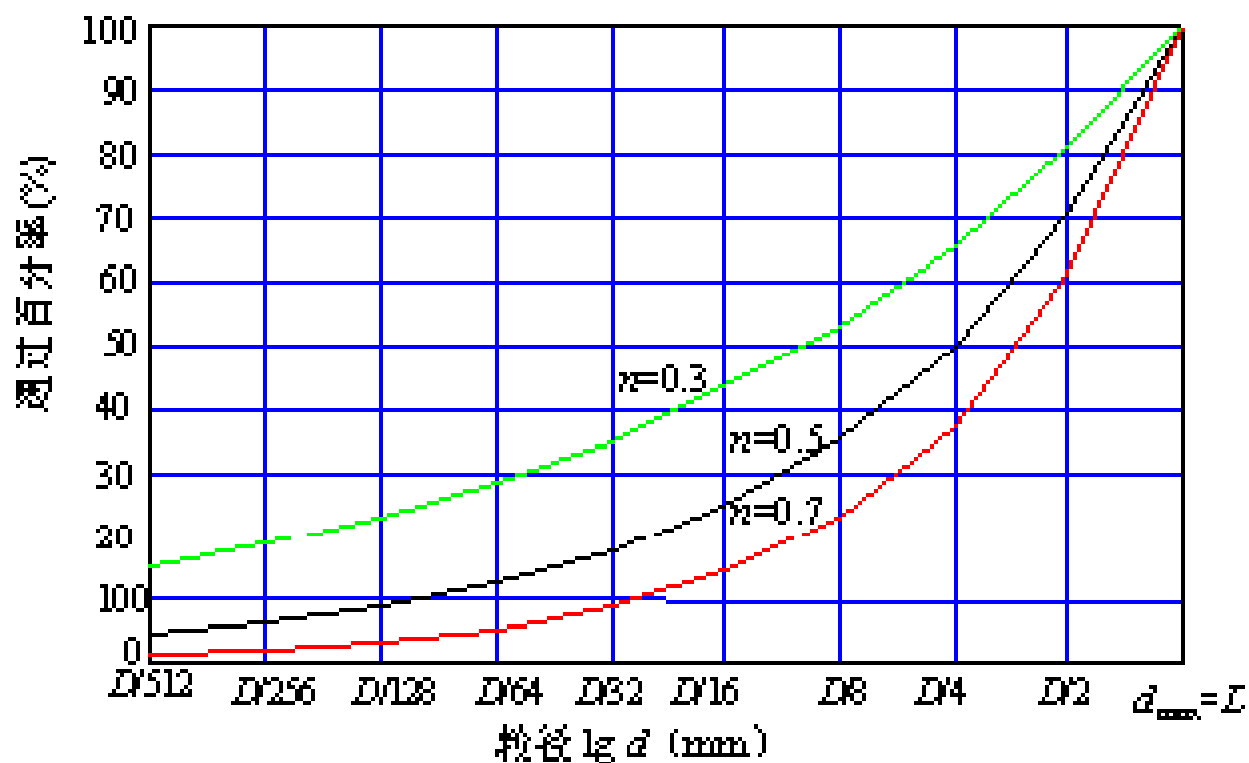
研究认为:

1.

沥青混合料中, $n=0.45$ 时密度最大

2. 水泥混凝土中, $n=0.25-0.45$ 时工作性较好

不同 n 幂的级配曲线



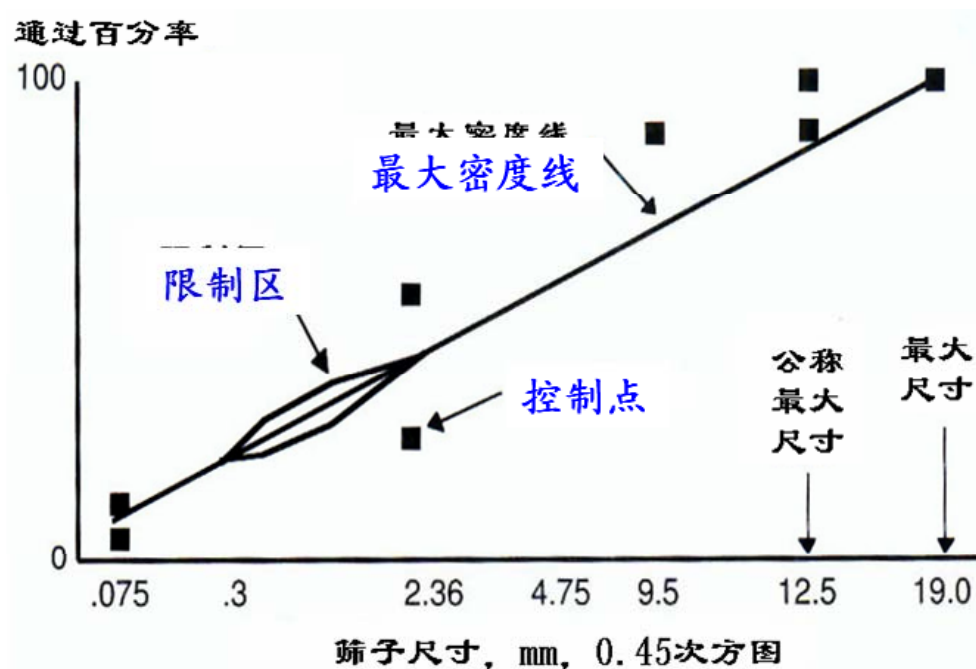
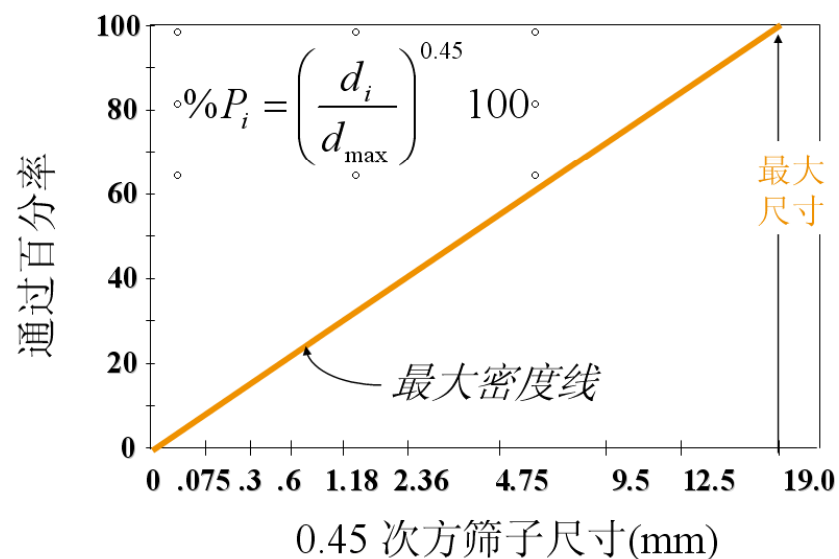
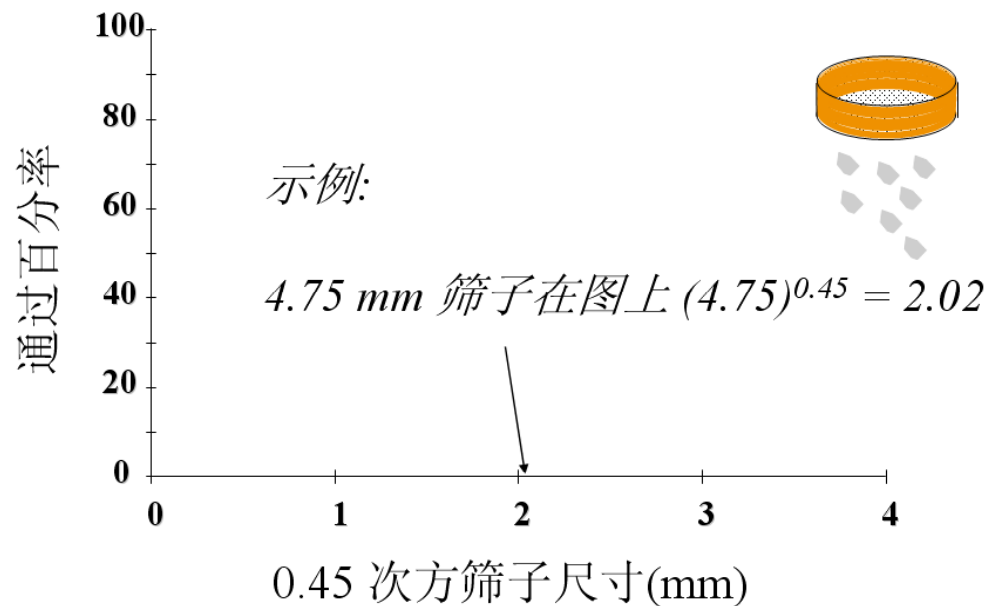
矿质混合料的级配曲线允许在一定范围内波动

常用矿质混合料的级配指数在 $0.3-0.7$ 之间

0.45 次方级配图

当前国内外沥青混合料的级配构成方法:

1. 传统的最大密度曲线理论
2. 传统的粒子干涉理论
3. 美国的贝雷法
4. 美国的**Superpave**禁区理论
5. **SMA**



[例1] 已知矿料最大粒径为40mm，试用最大密度曲线公式计算其最大密度曲线的各级粒径的通过百分率；并按 $n=0.3 \sim 0.7$ 计算级配范围曲线的各粒级的通过百分率。

（提示：矿料各级粒径尺寸按1/2递减）。

解：按n幂公式

最大密度曲线： $n=0.5$ $\lg P_i = (2 - 0.5 \lg 40) + 0.5 \lg d_i$

级配范围曲线： $n_1=0.3$ $\lg P_{i1} = (2 - 0.3 \lg 40) + 0.3 \lg d_i$

$n_2=0.7$ $\lg P_{i2} = (2 - 0.7 \lg 40) + 0.7 \lg d_i$

根据题意，最大粒径 $D=40\text{mm}$ ，各级粒径 d_i 按1/2递减，分别用 D 和 d_i 代入n幂公式，计算结果列于表1-1中。

表1-1 最大密度曲线和级配范围曲线各级粒径通过百分率											
分级顺序 N		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
粒径比 $D/2^{n-1}$		D	D/2	D/4	D/8	D/16	D/32	D/64	D/128	D/256	D/512
理论粒径 (mm)		40	20	10	5	2.5	1.25	0.63	0.315	0.16	0.08
通过 百分率 P_i (%)	$n=0.5$	100	70.71	50.00	35.36	25.00	17.68	12.55	8.87	6.32	4.47
	$n_1=0.3$	100	81.23	65.98	53.59	43.53	35.36	28.79	23.38	19.08	15.50
	$n_2=0.7$	100	61.56	37.89	23.33	14.36	8.34	5.47	3.37	2.10	1.29

二、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。

见(李立寒)105页:表3-14

(规范规定的级配类型)

规范定的级配合理吗?

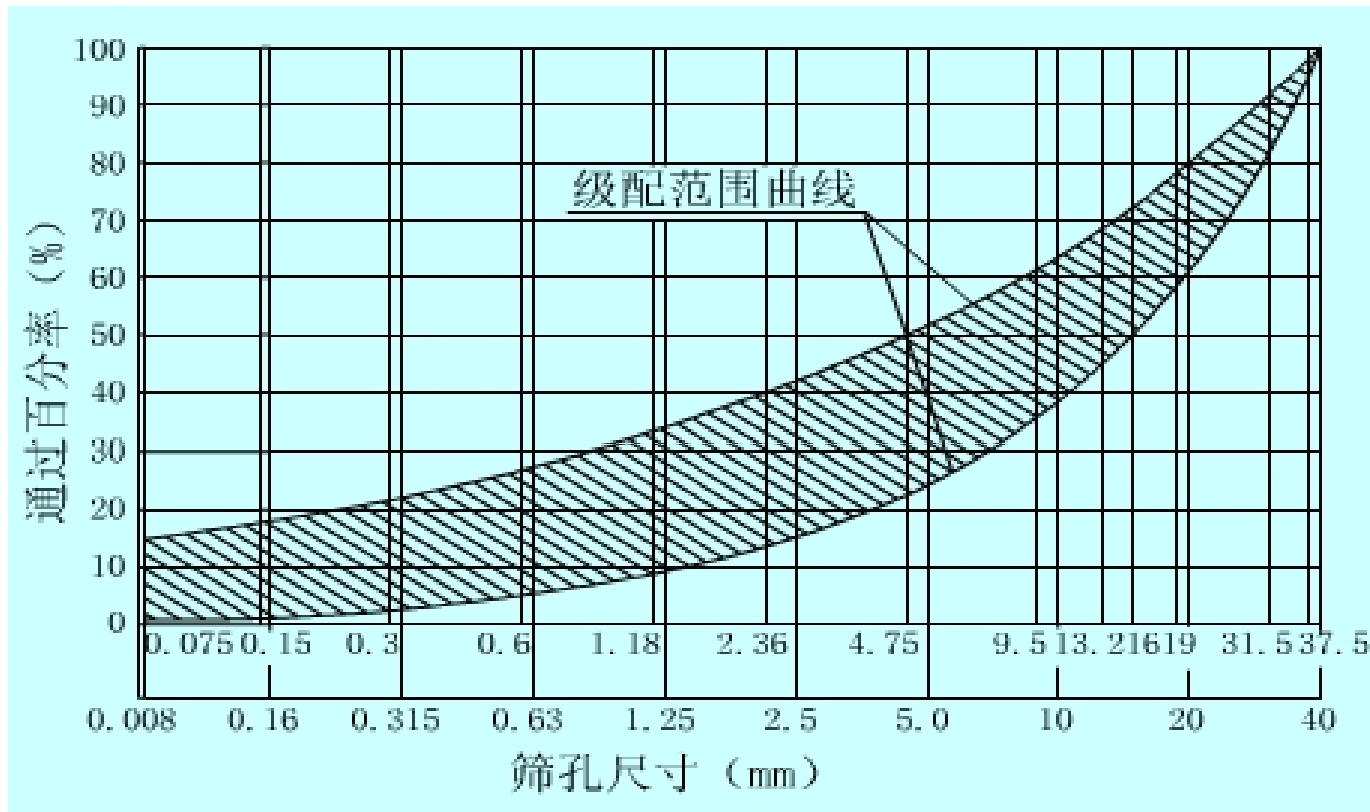
级配曲线走向

密级配沥青混凝土混合料矿料级配范围

级配类型		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
粗粒式	AC-25	100	90-100	75-90	65-83	57-76	45-65	24-52	16-42	12-33	8-24	5-17	4-13	3-7
中粒式	AC-20		100	90-100	78-92	62-80	50-72	26-56	16-44	12-33	8-24	5-17	4-13	3-7
	AC-16			100	90-100	76-92	60-80	34-62	20-48	13-36	9-26	7-18	5-14	4-8
细粒式	AC-13				100	90-100	68-85	38-68	24-50	15-38	10-28	7-20	5-15	4-8
	AC-10					100	90-100	45-75	30-58	20-44	13-32	9-23	6-16	4-8
砂粒式	AC-5						100	90-100	55-75	35-55	20-40	12-28	7-18	5-10

§ 2-3 矿质混合料的组成设计

二、级配曲线范围的绘制



问：4.75通过量范围？2.36呢？

答：4.75为22-50

2.36为14-40

§ 2-3 矿质混合料的组成设计

三、矿质混合料的组成设计方法

- 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。
- 最常用的方法为 数解法 与 图解法 两大类。

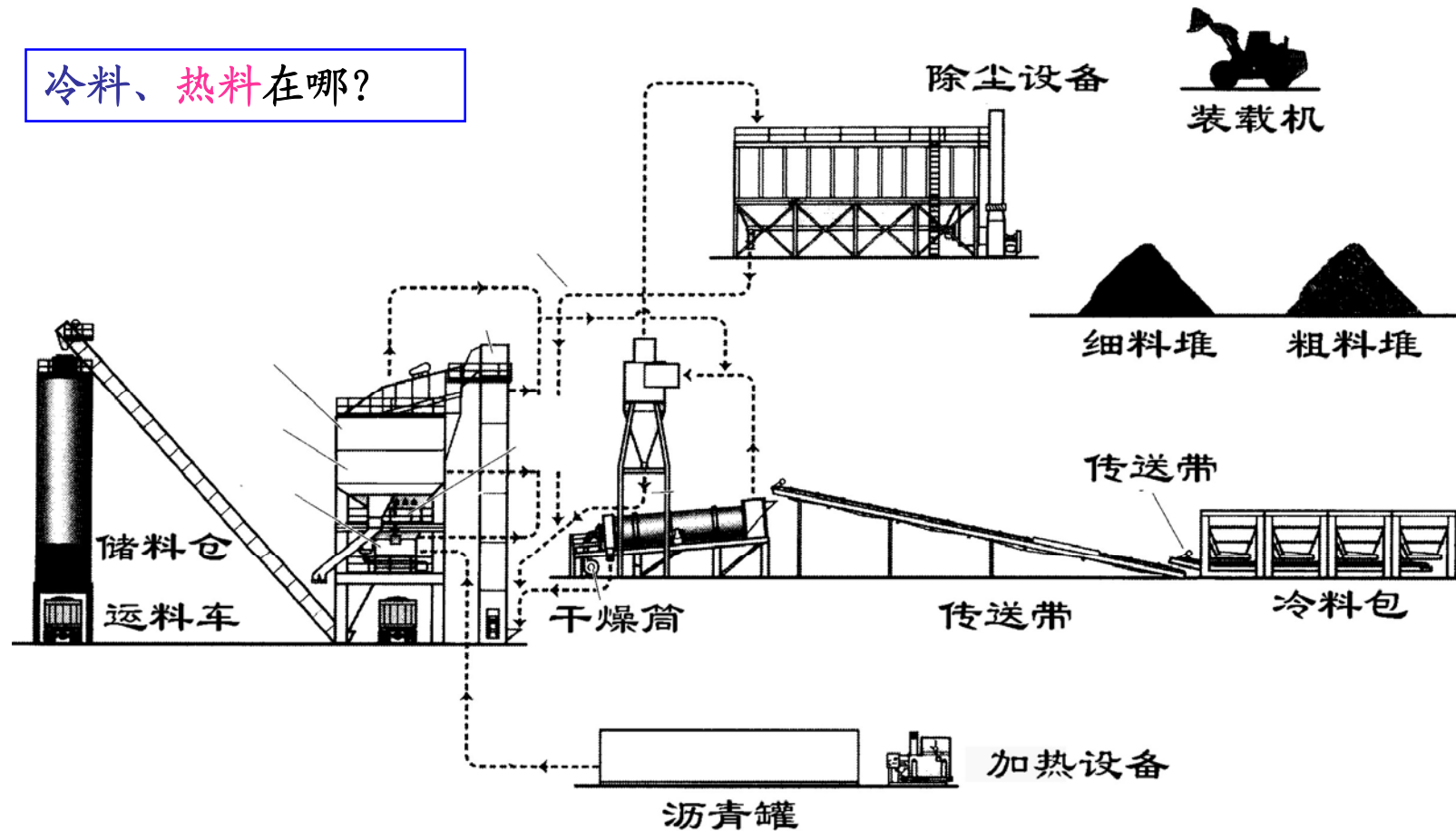
根据现场料源、设计的配合比

确定：目标配合比（冷料）

生产配合比（热料）

确定组成混合料各集料的比例

冷料、热料在哪？



工地现场——堆料（1号料、2号料……）

§ 2-3 矿质混合料的组成设计

数解法 - 试算法

(1) 试算法基本原理:

如果采用几种矿质集料配制某一级配要求的混合料, 在决定各组成集料在混合料中的比例时, 先假定混合料中某种粒径的颗粒是由某一种对该粒径占优势的集料所组成, 而其他各集料不含这种粒径。并根据各个主要粒径去试算各种集料在混合料中的大致比例。如果比例不合适, 则稍加调整, 这样逐步逼近, 最终求得符合混合料级配要求的各集料比例。

(2) 试算法基本方法:

假定有A、B、C三种集料, 级配曲线如图1所示, 欲配制成级配为M的矿质混合料, 求A、B、C集料在混合料中的比例。基本方法如下:

① 设A、B、C三种集料在混合料M中的含量为X、Y、Z, 则: $X+Y+Z=100\%$

又设混合料M中某一级粒径要求的含量为 $a_M(i)$, A、B、C三种集料在该粒级的含量分别为 $a_A(i)$, $a_B(i)$, $a_C(i)$, 则:

$$a_{A,i} \cdot X + a_{B,i} \cdot Y + a_{C,i} \cdot Z = a_{M,i}$$

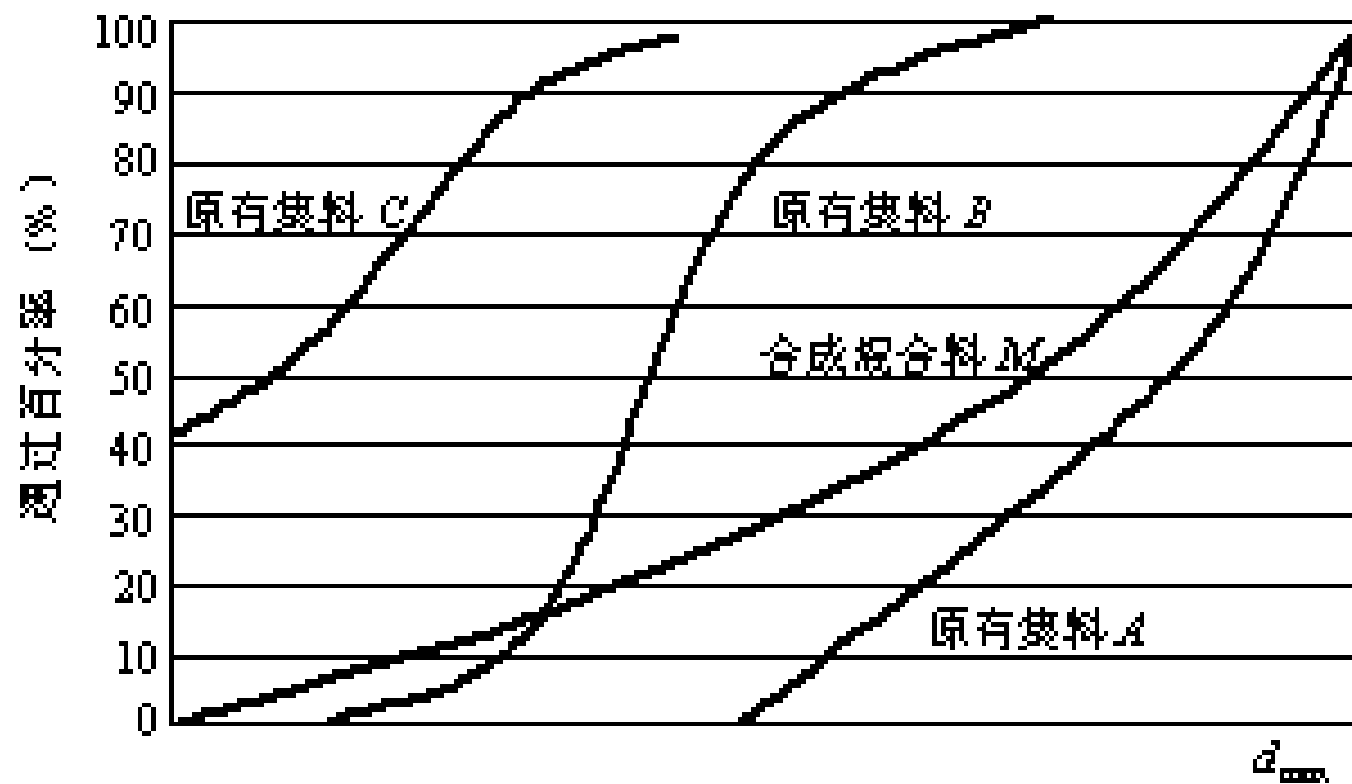


图1 原有集料及合成集料的级配曲线图

② 计算A料在矿料中的用量

在计算A料在混合料中的含量时，按A料占优势的某一粒径计算，忽略其他集料在此粒级含量。按粒径尺寸为*i* (mm) 的粒级来进行计算，则B料和C料在该粒级的含量 $a_B(i)$ 和 $a_C(i)$ 均等于零，可得A料在混合料中的含量：

$$X = \frac{a_{A(i)}}{a_{\Sigma(i)}} \cdot 100\%$$

③ 计算C料在矿料中的含量

同理，在计算C料在混合料中的含量时，按C料占优势的某一粒径计算，忽略其他集料在此粒级的含量。若按C料粒径尺寸*j* (mm) 的粒级来进行计算，则A料和B料在该粒级的含量 $a_A(i)$ 和 $a_B(i)$ 均等于零，即C料在混合料中的含量：

$$Z = \frac{a_{C(j)}}{a_{\Sigma(j)}} \cdot 100\%$$

④ 计算B料在矿料中的含量

$$Y = 100\% - (X + Z)$$

⑤ 校核调整

按以上计算的配合比，经校核，如不在要求的级配范围内，应调整配合比重新计算并复核，经几次调整，逐步渐进，直到符合要求为止。

如经多次计算调整的确不能满足级配要求时，可掺入某些单粒级集料，或调换其他原始集料。

如果为四种集料配合时，D料仍可按其占优势粒级用试算法确定。

[例2] 试计算用于某大桥桥面铺装的细粒式沥青混凝土的矿料配合比。

已知:

1. 现有碎石、石屑和矿粉三种矿质材料，筛分结果按分计筛余列于表(2-1)。
2. 细粒式沥青混凝土的级配范围，根据现行国家标准《沥青路面施工及验收规范》(GB50092-96)规定，细粒式混凝土AC-13I的**要求**级配范围按通过量列于表(2-1)。

求:

- (1) 按试算法确定碎石、石屑和矿粉在混合料中所占的比例。
- (2) 按现行规范要求，校核矿质混合料计算结果，确定其是否符合级配范围要求。

表 (2-1) 原有集料的分计筛余和混合料要求的级配范围

筛孔尺寸 d_i (mm)	碎石分计筛余 $a_A(i)$	石屑分计筛余 $a_B(i)$	矿粉分计筛余 $a_C(i)$	混合料要求级配范围 通过百分率 (%)	筛孔尺寸 d_i (mm)	碎石分计筛余 $a_A(i)$	石屑分计筛余 $a_B(i)$	矿粉分计筛余 $a_C(i)$	混合料要求级配范围 通过百分率 (%)
16.0	---	---	---	100	1.18	---	22.5	---	24 ~ 41
13.2	5.2	---	---	95 ~ 100	0.6	---	16.0	---	18 ~ 30
9.5	41.7	---	---	70 ~ 88	0.3	---	12.4	---	12 ~ 22
4.75	50.5	1.6	---	48 ~ 68	0.15	---	11.5	---	8 ~ 16
2.36	2.6	24.0	---	36 ~ 53	0.075	---	10.8	13.2	4 ~ 8

[解] ① 计算各筛孔分计筛余。先将表2-1中矿料的要求级配范围的通过百分率换算为累计筛余百分率，然后再换算为各筛号的分计筛余百分率。计算结果列于表(2-A)。

表(2-A) 原有集料的分计筛余和混合料通过量要求的级配范围

筛孔尺寸 d _i (mm)	碎石分计筛 余a _A (i)	石屑分计 筛余a _B (i)	矿粉分计 筛余a _C (i)	按累计筛 余计级配 范围	按累计筛 余计级配 范围中值	按分计筛 余计级配 范围中值
16.0	---	---	---	0	0	0
13.2	5.2	---	---	0 ~ 5	2.5	2.5
9.5	41.7	---	---	12 ~ 30	21.0	18.5
4.75	50.5	1.6	---	32 ~ 52	42.0	21.0
2.36	2.6	24.0	---	47 ~ 64	55.5	13.5
1.18	---	22.5	---	59 ~ 76	67.5	12.0
0.6	---	16.0	---	70 ~ 82	76.0	8.5
0.3	---	12.4	---	78 ~ 88	83.0	7.0
0.15	---	11.5	---	84 ~ 92	88.0	5.0
0.075	---	10.8	13.2	92 ~ 96	94.0	6.0
< 0.075	---	1.2	86.8	---	100	6.0
合 计	Σ=100	Σ=100	Σ=100			Σ=100

② 计算碎石在矿料中含量。

$$X = \frac{21.0}{50.5} \cdot 100\% = 41.6\%$$

③ 计算矿粉在矿料中的用量。

$$Z = \frac{6.0}{86.8} \cdot 100\% = 6.9\%$$

见(王宝民)44页:例题

(找同学来讲!)

作业四

懂表中所有数据的意义!

④ 计算石屑在混合料中的用量。

$$Y = 100\% - (X + Z) = 100\% - (41.6\% + 6.9\%) = 51.5\%$$

⑤ 校核

经计算校核,结果符合规范(GB50092-96)中AC-13I的级配范围求。

§ 2-3 矿质混合料的组成设计

图解法

1. 基本原理

级配曲线坐标图的绘制方法:

通常级配曲线图是采用半对数标图,
即纵坐标的通过量 (p) 为算术坐标, 横坐标的粒径 (d) 为对数坐标。

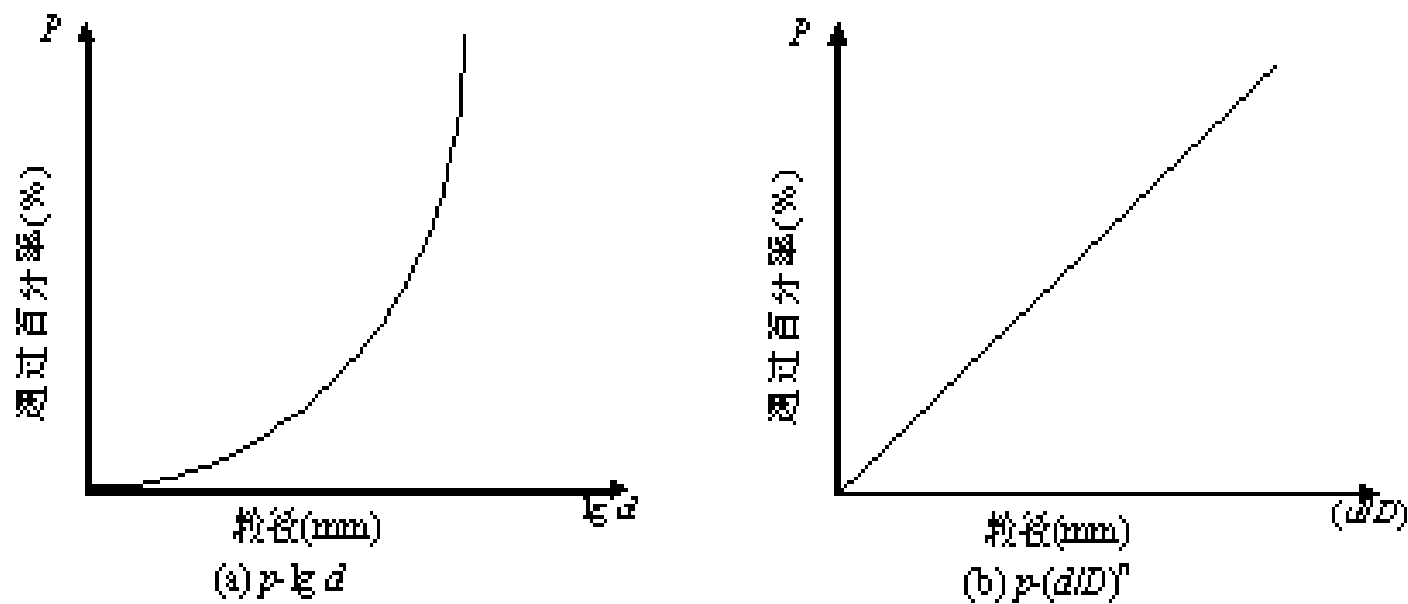
因此, 按 $p=100 (d/D)^n$ 所绘出的级配中值为一曲线。

但图解法要求级配中值呈一直线

因此纵坐标的通过量 (p) 仍为算术坐标
而横坐标的粒径采用 $(d/D)^n$ 表示

这样绘出的级配曲线中值成为直线 (如图A)

图解法



图A 图解法级配曲线中值坐标图

图解法

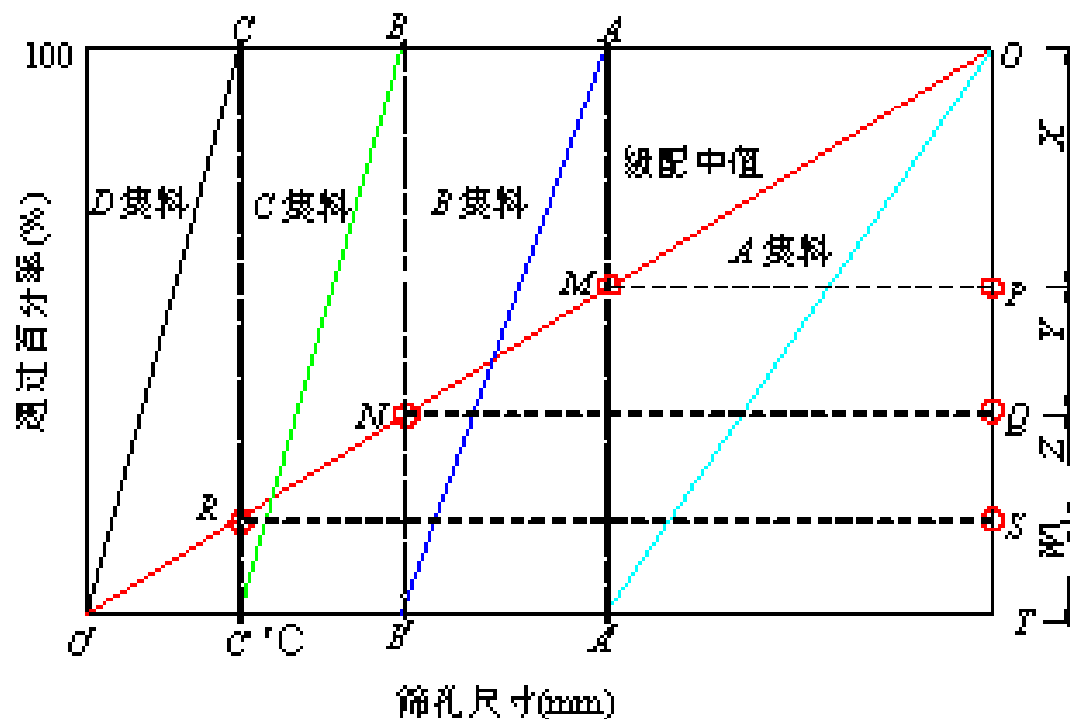
2. 各种集料含量的确定方法

将各种集料级配曲线绘于坐标图上。为简化起见，作下列假设：

- ① 各集料为单一粒径，即各种集料的级配曲线均为直线；
- ② 相邻两曲线相接，即在同一筛孔上，前一集料的通过量为0%时，后一集料的通过量为100%。

因此将各集料级配曲线和设计混合料级配中值绘制成，如图B 所示

图B 确定各集料
配合比原理图

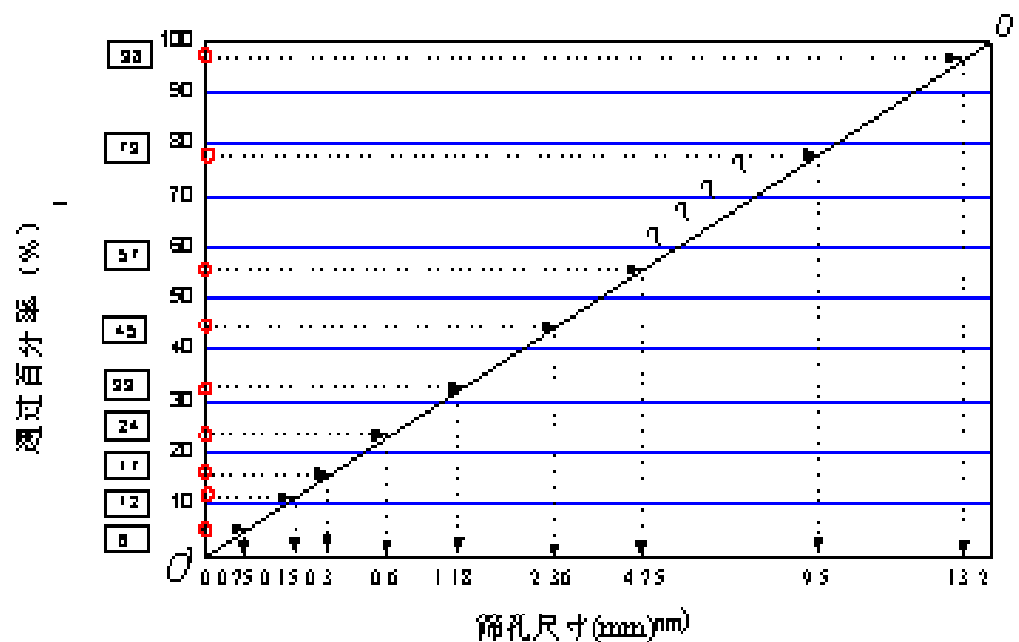


- 将A、B、C和D各集料首尾相连，即作竖直线AA'、BB'和CC'
- 各竖直线与级配中值OO'相交于M、N和R，
- 由M、N和R作水平线与纵坐标交于P、Q和S，
- 则OP、PQ、QS和ST
- 即为A、B、C和D这4种集料在混合料中的配合比：X: Y: Z: W。

图解法

3. 计算步骤

(1) 绘制级配曲线坐标图：按上述原理，在设计说明书上按规定尺寸①绘一个方形图框。通常纵坐标通过量取10cm，横坐标筛孔尺寸（或粒径）取15cm。
②连对角线00'，如图所示，作为要求的级配曲线中值。



将要求的级配中值的各筛孔通过百分率③标于纵坐标上，从纵坐标④引水平线与对角线相交，再从交点⑤作竖直线与横坐标相交，其交点即为各相应筛孔尺寸的位置。

(2) 确定各种集料含量: 将各种集料的通过量绘于级配曲线坐标图上, 如图C示。因为实际集料的相邻级配曲线并不是像计算原理所述的那样均为首尾相接。可能有三种情况。根据各集料之间的关系, 分别按下述方法确定各种集料含量。

① 两相邻级配曲线重叠:

如集料A的级配曲线的下部与集料B的级配曲线的上部搭接时, 在两级配曲线之间引一根垂直于横坐标的直线 (即 $a=a'$) AA'与对角线00'交于点M, 通过M作一水平线与纵坐标交于P点。O'P即为集料A的含量。

② 两相邻级配曲线相接:

如集料B的级配曲线末端位于集料C的级配曲线首端, 正好在同一竖直线上时, 将前一集料曲线末端与后一集料曲线首端作竖直线相连, 竖直线BB'与对角线00'相交于点N。通过N作一水平线与纵坐标交于Q点, PQ即为集料B的含量。

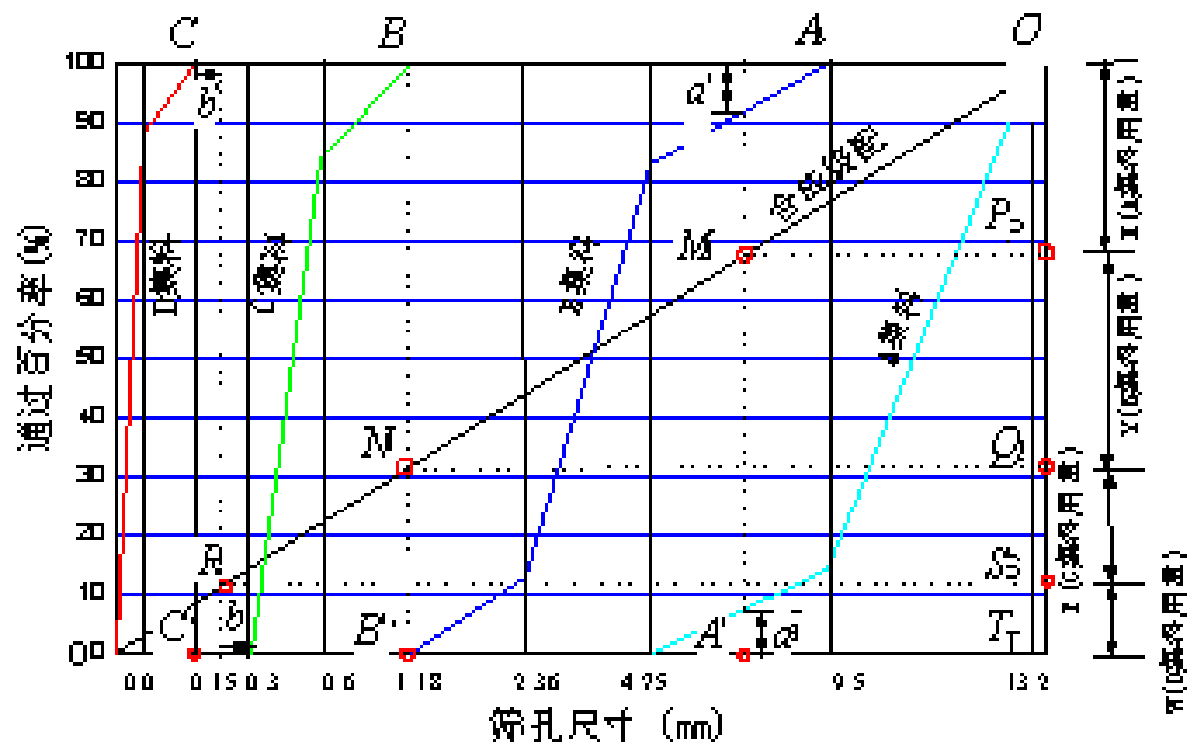
③ 两相邻级配曲线相离:

如集料C的集配曲线末端与集料D的级配曲线首端, 在水平方向彼此离开一段距离时, 作一竖直线平分相离开的距离 (即 $b=b'$), 竖直线CC'与对角线00'相交于点R, 通过R作一水平线与纵坐标交于S点, QS即为C集料的含量。剩余ST即为集料D的含量。

④ 校核:

按图解所得的各种集料含量, 校核计算所得合成级配是否符合要求, 如不能符合要求 (超出级配范围), 应调整各集料的含量。

图解法



图C 组成集料级配曲线和要求合成级配曲线图

[例3] 试用图解法设计用于某高速公路的细粒式沥青混凝土矿料的配比。

- 已知
1. 现有碎石、石屑、砂和矿粉四种矿料，筛分试验结果列于表3-1。
 2. 设计级配范围按《沥青路面施工及验收规范》（GB50092-96）
细粒式沥青混凝土混合料要求的级配范围和中值，列于表3-2。

表3-1 原有矿料级配表										
材料 名称	筛孔尺寸（方孔筛）（mm）									
	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
	通过百分率（%）									
碎 石	100	93	17	0						
石 屑	100	100	100	84	14	8	4	0		
砂	100	100	100	100	92	82	42	21	11	4
矿 粉	100	100	100	100	100	100	100	100	96	87

表3-2 矿料级配要求范围和中值表										
级配名称	筛孔尺寸（方孔筛）（mm）									
	16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
	通过百分率（%）									
级配范围	100	95 ~ 100	70 ~ 88	48 ~ 68	36 ~ 53	24 ~ 41	18 ~ 30	12 ~ 22	8 ~ 16	4 ~ 8
级配中值	100	98	79	57	45	33	24	17	12	6

[求]:

- （1）根据表3-2，绘出规范的级配中值（表3-2）在横坐标上的位置。
- （2）将各原有矿质材料筛分析结果（如表3-1）在图上绘出级配曲线。按图解法求出各种材料在混合料中的用量。
- （3）按图解法求得各种材料用量计算合成级配，并校核合成级配是否符合技术规程的要求，如不符合应调整级配重新计算。

[解]

1. 绘制级配曲线图（如图3-1），在坐标轴上按算术坐标绘出通过量百分率。
2. 连对角线 OO' ，表示规范要求的级配中值。在纵坐标上标出《沥青路面施工及验收规范》（GB50092-96）规定的细粒式混合料（AC-13I）各筛孔的要求通过百分率，作水平线与对角线 OO' 相交，再从各交点作竖直线交于横坐标上，确定各筛孔通过百分率在横坐标上的位置。
3. 将碎石、石屑、砂粒和矿粉的级配曲线绘出，如图3-1所示。

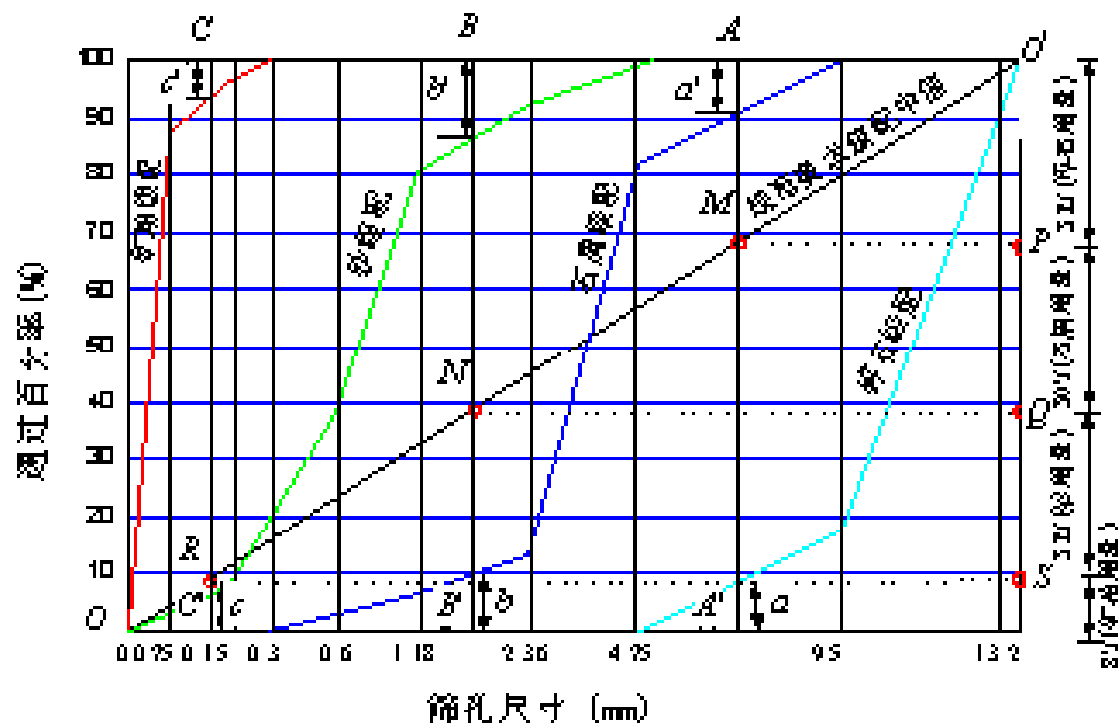


图3-1 各组成材料和要求混合料级配图

4. 在碎石和石屑的级配曲线相重叠部分作一竖直线AA'，使竖直线截取二级配曲线的纵坐标值相等（即 $a=a'$ ）。自竖直线AA'与对角线交点M引一水平线，与纵坐标交于P点，OP的长度 =31%，即为碎石的用量。

同理，求出石屑的用量 $Y=30\%$ ，砂的用量 $Z=31\%$ ，矿粉的用量 $W=8\%$ 。

5. 根据图解法求得的各集料用量百分率，列表进行校核计算如表3-3。

从表3-3可以看出，按碎石:石屑:砂:砂粉=31%:30%:31%:8%的计算结果，合成级配中0.3mm和0.6mm筛孔的通过量偏低，0.075mm筛孔的通过量偏高，曲线呈锯齿状。

6. 由于图解法的各种材料用量比例是根据部分筛孔确定的，所以不能控制所有筛孔。通常需要调整修正，才能达到满意的结果。通过试算现采用减少石屑的用量、增加砂的用量和减少矿粉的用量的方法来调整配合比。经调整后的配合比为：校核计算如表3-3。

(按此配比计算如表3-3中括号内数值)

校核计算表3-3											
材料名称		筛孔尺寸（方孔筛）（mm）									
		16.0	13.2	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
		通过百分率（%）									
各种矿料在混合料中的级配	碎石31% （31%）	31.0 （31.0）	28.8 （28.8）	5.3 （5.3）	0 （0）						
	石屑30% （26%）	30.0 （26.0）	30.0 （26.0）	30.0 （26.0）	25.2 （21.8）	4.2 （3.6）	2.4 （2.1）	1.2 （1.1）	0 （0）		
	砂31% （37%）	31.0 （37.0）	31.0 （37.0）	31.0 （37.0）	31.0 （31.0）	28.5 （34.0）	25.4 （30.3）	13.0 （15.5）	6.5 （7.8）	3.4 （4.1）	1.2 （1.5）
	矿粉8% （6%）	8.0 （15.0）	8.0 （15.0）	8.0 （15.0）	8.0 （15.0）	8.0 （15.0）	8.0 （15.0）	8.0 （15.0）	8.0 （15.0）	7.9 （5.8）	7.0 （5.2）
合成级配		100 （100）	97.8 （97.8）	74.3 （74.3）	64.2 （54.2）	40.7 （43.6）	35.8 （38.4）	22.2 （22.6）	14.5 （13.8）	11.3 （9.9）	8.2 （5.7）
规范要求AC-13I的级配范围		100	95~100	70~80	48~68	36~53	24~41	18~30	12~22	8~16	4~8

7. 将表3-3计算得到的合成级配通过百分率，绘于规范要求的级配曲线中，如图3-2所示。从图中可以看出：**合成级配曲线完全在规范要求的级配范围之内**，并且接近中值，呈一光滑平顺的曲线，因而确定矿料配合比为
碎石:石屑:砂:矿粉=31:26:37:6

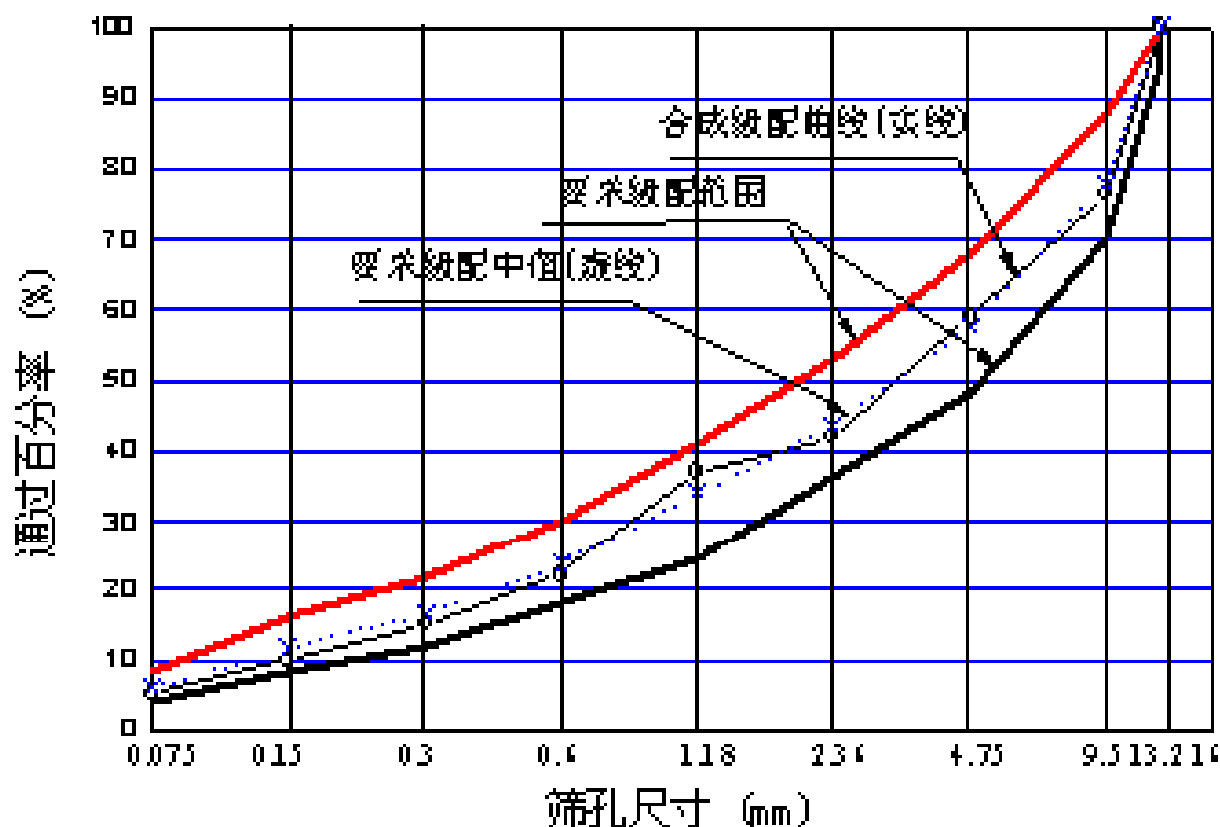


图3-2 要求级配曲线和合成级配曲线

见(王宝民)48页:例题

作业五

§ 2-3 矿质混合料的组成设计

作业

1. 孔隙率相同的石料，是否性能相同？
2. 孔隙率相同的石料，是否吸水性相同？
对同一材料而言，吸水率和饱水率哪个值大些？
3. 细度模量, 做（王宝民P51）7题
4. 找同学来讲（王宝民）44页例题、48页例题
懂表中所有数据的意义！
5. 做（王宝民P51）8题