

# 第十六章 水泥混凝土路面施工

## 学习要点：

- ✿ 掌握水泥混凝土路面构造；
- ✿ 熟悉水泥混凝土路面施工工艺；
- ✿ 了解其他类型混凝土路面道路

# 第一节 水泥混凝土路面材料要求

## 一. 水泥

### 1. 常用水泥品种

- ✿ 硅酸盐水泥
- ✿ 普通硅酸盐水泥
- ✿ 矿渣硅酸盐水泥
- ✿ 火山灰硅酸盐水泥
- ✿ 粉煤灰硅酸盐水泥
- ✿ 道路硅酸盐水泥

水泥混凝土路面  
材料要求

# 一. 水泥

## 2. 选择水泥品种、强度及强度等级的基本原则:

✿ 抗折强度高、耐疲劳、干缩小、耐磨性和抗冻性好。

## 3. 技术标准、强度标准:

六种硅酸盐水泥的技术标准

表 16-1

水泥品种	技术要求	凝结时间(min)		安定性 (沸煮法)	SO <sub>3</sub> 含量 (%)	MgO 含量 (%)	不溶物 (%)	烧失量 (%)	碱含量 (%)
		初凝	终凝						
硅酸盐水泥	比表面积大于 300m <sup>2</sup> /kg	≥45	≤390	必须合格	≤3.5	≤5.0	P.I≤0.75 P.II≤1.50	P.I≤3.0 P.II≤3.5	0.60

水泥混凝土路面  
材料要求

# 一、水泥

## 3. 技术标准、强度标准:

续上表

水泥品种	技术要求	凝结时间(min)		安定性 (沸煮法)	SO <sub>3</sub> 含量 (%)	MgO 含量 (%)	不溶物 (%)	烧失量 (%)	碱含量 (%)
		初凝	终凝						
普通硅酸盐水泥	80 $\mu$ m 方孔筛 筛余量 不大于 10%	$\geq 45$	$\leq 600$	必须合格	$\leq 3.5$	$\leq 5.0$	—	$\leq 5.0$	供需双方商定
矿渣硅酸盐水泥				必须合格	$\leq 4.0$	$\leq 5.0$	—	—	
火山灰硅酸盐水泥				必须合格	$\leq 3.5$	$\leq 5.0$	—	—	
粉煤灰硅酸盐水泥				必须合格	$\leq 3.5$	$\leq 5.0$	—	—	
道路硅酸盐水泥		$\geq 60$	$\leq 600$	必须合格	$\leq 3.5$	$\leq 5.0$	—	$\leq 3.0$	0.60

注:1. 如果水泥经压蒸安定性试验合格,则水泥中 MgO 含量允许放宽到 6.0%。

2. 水泥中碱含量按  $\text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}$  计算值表示,若使用活性集料,用户要求提供低碱水泥时,水泥中碱含量不得大于 0.6%或由供需双方商定。

水泥混凝土路面  
材料要求

# 一. 水泥

## 3. 技术标准、强度标准:

六种硅酸盐水泥的强度标准

表 16-2

硅酸盐水泥						普通硅酸盐水泥							
等级	抗压强度 (MPa)			抗折强度 (MPa)			等级	抗压强度 (MPa)			抗折强度 (MPa)		
	3d	28d		3d	28d			3d	28d		3d	28d	
42.5R	22.0	42.5		4.0	6.5		32.5	12.0	32.5	2.5	5.5		
52.5	23.0	52.5		4.0	7.0		42.5	16.0	42.5	3.5	6.5		
52.5R	27.0	52.5		5.0	7.0		42.5R	21.0	42.5	4.0	6.5		
62.5	28.0	62.5		5.0	8.0		52.5	22.0	52.5	4.0	7.0		
62.5R	32.0	62.5		5.5	8.0		52.5R	26.0	52.5	5.0	7.0		
72.5	37.0	72.5		6.0	8.5		62.5	27.0	62.5	5.0	8.0		
—	—	—		—	—		62.5R	31.0	62.5	5.5	8.0		
矿渣水泥、火山灰质水泥及粉煤灰水泥						道路硅酸盐水泥							
等级	抗压强度 (MPa)			抗折强度 (MPa)			等级	抗压强度 (MPa)			抗折强度 (MPa)		
	3d	7d	28d	3d	7d	28d		3d	28d		3d	28d	
27.5	—	13.0	27.5	—	2.5	5.0	42.5	22.0	42.5	4.0	7.0		
32.5	—	15.0	32.5	—	3.0	5.5	52.5	27.0	52.5	5.0	7.5		
42.5	—	21.0	42.5	—	4.0	6.5	62.5	32.0	62.5	5.5	8.5		
42.5R	19.0	—	42.5	4.0	—	6.5	—	—	—	—	—		
52.5	21.0	—	52.5	4.0	—	7.0	—	—	—	—	—		
52.5R	23.0	—	52.5	4.5	—	7.0	—	—	—	—	—		
62.5R	28.0	—	62.5	5.0	—	8.0	—	—	—	—	—		

水泥混凝土路面  
材料要求

# 一. 水泥

## 3. 技术标准、强度标准:

道路硅酸盐水泥的其他技术标准

表 16-3

熟料矿物含量规定值(%)		熟料中游离氧化钙(%)		干缩率(28d) (%)	磨损量 (kg/m <sup>2</sup> )
铝酸三钙 (C <sub>3</sub> A)	铁铝酸四钙 (C <sub>4</sub> AF)	旋窑	立窑		
≤5.0	≥16.0	≤1.0	≤1.8	≤0.10	≤3.60

水泥混凝土路面  
材料要求

# 一. 水泥

## 4. 选择水泥的基本要求:

- ✿ 采用旋窑生产的水泥。
- ✿ 优先选用道路水泥；特重、重交通道路优先选用道路硅酸盐水泥；中等以下交通量的路面，可采用矿渣硅酸盐水泥；粉煤灰硅酸盐水泥不宜使用。
- ✿ 正常施工条件宜使用普通型水泥；夏季施工不宜采用**R**型早强水泥。

# 一. 水泥

## 4. 选择水泥的基本要求:

✿ 满足水泥抗折强度和抗压强度要求。

各交通等级路面水泥各龄期的抗折强度、抗压强度

表 16-4

交通等级	特重交通		重交通		中、轻交通	
	3	28	3	28	3	28
抗压强度(MPa) $f_r \geq$	25.5	57.5	22.0	52.5	16.0	42.5
抗折强度(MPa) $f_s \geq$	4.5	7.5	4.0	7.0	3.5	6.5

✿ 水泥的化学成分、物理指标应符合表 16-5 的规定。



# 一、水泥

## 3. 技术标准、强度标准:

各交通等级路面用水泥的化学成分和物理指标

表 16-5

水泥性能	特重、重交通路面	中、轻交通路面
铝酸三钙	不宜大于 7.0%	不宜大于 9.0%
铁铝酸四钙	不宜小于 15.0%	不宜小于 12.0%
游离氧化钙	不得大于 1.0%	不得大于 1.5%
氧化镁	不得大于 5.0%	不得大于 6.0%
三氧化硫	不得大于 3.5%	不得大于 4.0%
碱含量	$\text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}, \leq 0.6\%$	怀疑有碱活性集料时, $\leq 0.6\%$ 无碱活性集料时, $\leq 1.0\%$
混合材种类	不得掺窑灰、煤矸石、火山灰和粘土, 有抗盐冻要求时不得掺石灰、石粉	不得掺窑灰、煤矸石、火山灰和粘土, 有抗盐冻要求时不得掺石灰、石粉
出磨时安定性	雷氏夹或蒸煮法检验必须合格	蒸煮法检验必须合格

水泥混凝土路面  
材料要求

# 一、水泥

## 3. 技术标准、强度标准:

续上表

水泥性能	特重、重交通路面	中、轻交通路面
标准稠度需水量	不宜大于 28%	不宜大于 30%
烧失量	不得大于 3.0%	不得大于 5.0%
比表面积	宜在 300 ~ 450m <sup>2</sup> /kg	宜在 300 ~ 450m <sup>2</sup> /kg
细度	筛余量不得大于 10%	筛余量不得大于 10%
初凝时间	不早于 1.5h	不早于 1.5h
终凝时间	不迟于 10h	不迟于 10h
28d 干缩率 *	不得大于 0.09%	不得大于 0.10%
耐磨性 *	不得大于 3.6 kg/m <sup>2</sup>	不得大于 3.6 kg/m <sup>2</sup>

✿ 还应通过混凝土配合比试验，根据其配制弯拉强度、耐久性和工作性优选适宜的水泥。

水泥混凝土路面  
材料要求

## 二. 集料

### 1. 粗集料

- ✿ 应选用质地坚硬、耐久、洁净的碎石、碎卵石和卵石。
- ✿ 混凝土强度等级大于**C60**时用 I 级；
- ✿ 混凝土强度等级**C30**~**C60**及有抗冻、抗渗或其他要求的混凝土路面使用的粗集料级别应不低于 II 级；
- ✿ 混凝土强度等级小于**C30**可使用 III 级；

水泥混凝土路面  
材料要求

## 二. 集料

### 1. 粗集料

- ✿ 特重交通级重交通的混凝土路面，对应强度等级**C30~C45**，粗集料级别不低于II级；
- ✿ 低等级道路混凝土路面级贫混凝土基层可使用III级粗集料。



水泥混凝土路面  
材料要求

## 二. 集料

### 1. 粗集料

碎石、碎卵石和卵石技术指标

表 16-6

项 目	技 术 要 求		
	I 级	II 级	III 级
碎石压碎指标 (%)	< 10	< 15	< 20
卵石压碎指标 (%)	< 12	< 14	< 16
坚固性(按质量损失计, %)	< 5	< 8	< 12
针片状颗粒含量 (%)	< 5	< 15	< 20
含泥量 (%)	< 0.5	< 1.0	< 1
泥块含量 (%)	< 0	< 0.2	< 1.5
有机物含量(比色法)	合格	合格	合格
硫化物及硫酸盐含量 (%)	< 0.5	< 1.0	< 1.0
岩石抗压强度	火成岩不应小于 100MPa; 变质岩不应小于 80MPa; 水成岩不应小于 60MPa		

项 目	技 术 要 求		
	I 级	II 级	III 级
表观密度	> 2500 kg/m <sup>3</sup>		
松散堆积密度	> 1350 kg/m <sup>3</sup>		
空隙率	< 47%		
碱集料反应	经碱集料反应试验后, 试件无裂缝、酥裂、胶体外溢等现象, 在规定试验龄期的膨胀率应小于 0.10%		

## 二. 集料

### 1. 粗集料

- ✿ 用做路面和桥面混凝土的粗集料不得使用不分级的统料，应按最大公称粒径的不同采用**2-4**个粒级的集料进行掺配，并应符合规定的合成级配的要求。

## 二. 集料

### 1. 粗集料

粗集料级配范围

表 16-7

粒 径		筛孔尺寸(方孔筛)(mm)						
		2.36	4.75	9.50	16.0	19.0	26.5	31.5
级配类型		累计筛余(以质量计)(%)						
合成级配	4.75 ~ 16	95 ~ 100	85 ~ 100	40 ~ 60	0 ~ 10	—	—	—
	4.75 ~ 19	95 ~ 100	85 ~ 95	60 ~ 75	30 ~ 45	0 ~ 5	0	—
	4.75 ~ 26.5	95 ~ 100	90 ~ 100	70 ~ 90	50 ~ 70	25 ~ 40	0 ~ 5	0
	4.75 ~ 31.5	95 ~ 100	90 ~ 100	75 ~ 90	60 ~ 75	40 ~ 60	20 ~ 35	0 ~ 5
粒级	4.75 ~ 9.5	95 ~ 100	80 ~ 100	0 ~ 15	0	—	—	—
	9.5 ~ 16	—	95 ~ 100	80 ~ 100	0 ~ 15	0	—	—
	9.5 ~ 19	—	95 ~ 100	85 ~ 100	40 ~ 60	0 ~ 15	0	—
	16 ~ 26.5	—	—	95 ~ 100	55 ~ 70	25 ~ 40	0 ~ 10	0
	16 ~ 31.5	—	—	95 ~ 100	85 ~ 100	55 ~ 70	25 ~ 40	0 ~ 10

水泥混凝土路面  
材料要求

## 二. 集料

### 2. 细集料

- ✿ 可采用质地坚硬、耐久、洁净的天然砂、机制砂或混合砂
- ✿ 特重、重交通混凝土路面宜使用河砂，砂的硅质含量不应低于**25%**。
- ✿ 高速公路、一级公路、二级公路及有抗(盐)冻要求的三、四级公路混凝土路面使用的砂应不低于II级，无抗(盐)冻要求的三、四级公路混凝土路面、碾压混凝土及贫混凝土基层可使用III级砂。

水泥混凝土路面  
材料要求



# 二. 集料

## 2. 细集料

细集料的技术要求

表 16-8

项 目	技 术 要 求		
	I 级	II 级	III 级
机制砂单粒级最大压碎指标 (%)	< 20	< 25	< 30
氯化物 (%)	< 0.01	< 0.02	< 0.06
坚固性 (%)	< 6	< 8	< 10
云母 (%)	< 1.0	< 2.0	< 2.0
天然砂、机制砂含泥量 (%)	< 1.0	< 2.0	< 3.0
天然砂、机制砂泥块含量 (%)	< 0	< 1.0	< 2.0
机制砂 $MB < 1.4$ 或合格石粉含量 (%)	< 3.0	< 5.0	< 7.0
机制砂 $MB \geq 1.4$ 或不合格石粉含量 (%)	< 1.0	< 3.0	< 5.0
有机物含量(比色法)	合格	合格	合格
硫化物及硫酸盐 (%)	< 0.5	< 0.5	< 0.5
轻物质 (%)	< 1.0	< 1.0	< 1.0
机制砂母岩抗压强度	火成岩不应小于 100MPa; 变质岩不应小于 80MPa; 水成岩不应小于 60MPa		
表观密度	> 2500 kg/m <sup>3</sup>		
松散堆积密度	> 1350 kg/m <sup>3</sup>		
空隙率	< 47%		
碱集料反应	经碱集料反应试验后, 由砂配制的试件无裂缝、酥裂、胶体外溢等现象, 在规定试验龄期的膨胀率应小于 0.10%		

水泥混凝土路面  
材料要求

## 二. 集料

### 2. 细集料

- ✿ 级配要求应符合表**16-9**的规定
- ✿ 路面和桥面混凝土使用的机制砂除应符合规定外，还应检验砂浆磨光值，其值宜大于**35**，不宜使用抗磨性较差的泥岩、页岩、板岩等水成岩类母岩品种生产机制砂。

## 二. 集料

### 2. 细集料

细集料级配范围

表 16-9

砂分级	筛孔尺寸(方孔筛)(mm)					
	0.15	0.30	0.60	1.18	2.36	4.75
累计筛余(以质量计)(%)						
粗砂	90 ~ 100	80 ~ 95	71 ~ 85	35 ~ 65	5 ~ 35	0 ~ 10
中砂	90 ~ 100	70 ~ 92	41 ~ 70	10 ~ 50	0 ~ 25	0 ~ 10
细砂	90 ~ 100	55 ~ 85	16 ~ 40	0 ~ 25	0 ~ 15	0 ~ 10

水泥混凝土路面  
材料要求

### 三. 水

- ☀ 饮用水可直接作为混凝土搅拌和养护用水，不应含有影响混凝土质量的油、酸、碱、盐类、有机质等有害杂质，并应符合表**16-10**的规定。

混凝土拌和用水的质量要求

表 16-10

质量指标	pH 值	硫酸盐含量(按 SO <sub>3</sub> 计)	盐类总含量	杂 质
允许值	> 4	≤0.002 7mg/mm <sup>3</sup>	≤0.005 mg/mm <sup>3</sup>	不得含有油污,泥和其他有害杂质

水泥混凝土路面  
材料要求

## 四. 外加剂

### 1. 使用外加剂的目的:

- ✿ 改善工作性
- ✿ 降低水灰比
- ✿ 节约水泥

水泥混凝土路面  
材料要求

## 四. 外加剂

### 2. 常用的外加剂

✿ 减水剂

✿ 调整新拌混凝土施工性能的外加剂:

- 缓凝剂;
- 保塑剂;
- 促凝剂;
- 防冻剂;
- 早强剂等

水泥混凝土路面  
材料要求

## 四. 外加剂

### 2. 常用的外加剂

#### ✿ 引气剂

- 改善和易性、减少泌水、提供富浆平整的表面；
- 提高抗弯拉强度、降低抗折弹性模量；
- 改善温度、湿度变形性能，提高抗渗、抗冻和耐候性。

✿ 粉煤灰剂其他掺合料：硅灰和磨细矿渣。

水泥混凝土路面  
材料要求

# 四. 外加剂

混凝土外加剂产品的技术性能指标

表 16-11

试验项目		普通 减水剂	高效 减水剂	早强减 水剂	缓凝高效 减水剂	缓凝减 水剂	引气减 水剂	早强剂	缓凝剂	引气剂
减水率(%), 不小于		8	15	8	15	8	12	—	—	6
泌水率比(%), 不小于		95	90	95	100	100	70	100	100	70
含气量(%)		≤3.0	≤4.0	≤3.0	<4.5	<5.5	>3.0	—	—	>3.0
凝结时间 (min)	初凝	-90~	-90~	-90~	>+90	>+90	-90~	-90~	>+90	-90~
	终凝	+120	+120	+90	—	—	+120	+120	—	+90
抗压强度 比(%), 不小于	1d	—	140	140	—	—	—	135	—	—
	3d	115	115	130	125	100	115	130	100	95
	7d	115	115	115	125	110	110	110	100	95
	28d	110	110	105	120	110	100	100	100	90
收缩率比(%), 不小于		120	120	120	120	120	120	120	120	120
抗冻标号		50	50	50	50	50	200	50	50	200
对钢筋锈蚀作用		应说明对钢筋无锈蚀危害								

水泥混凝土路面  
材料要求



# 第二节 水泥混凝土配合比设计

## 一. 配合比设计要求

**控制指标：**抗弯拉强度、耐疲劳特性、耐久性、工作性等

### 1. 抗弯拉强度

✱ 试配**28d**弯拉强度的平均值 $f_c$ 按式**16-1**确定：

$$f_c = \frac{f_r}{1 - 1.04C_v} + t \cdot s \quad (16-1)$$

式中： $s$  —— 弯拉强度试验样本的标准差，MPa；

$t$  —— 保证率系数；

$C_v$  —— 弯拉强度变异系数。

水泥混凝土配合比  
设计

# 一. 配合比设计要求

## 2. 工作性

✿ 混凝土工作性首先是要满足振捣棒对路面板的振捣密实度要求；其次是满足表面平整度、抗滑构造、表明砂浆的厚度均匀和外观效果的要求。

混凝土路面滑模摊铺最佳工作性及允许范围

表 16-15

指标 界限	坍落度 $S_L$		振动粘度系数
	卵石混凝土	碎石混凝土	$\eta(N \cdot s/m^2)$
最佳工作性	20 ~ 40	25 ~ 50	200 ~ 500
允许波动范围	5 ~ 55	10 ~ 65	100 ~ 600

注：1. 滑模摊铺机适宜的摊铺速度应控制在 0.5 ~ 2.0m/min 之间。

2. 本表适用于设超铺角的滑模摊铺机；对不设超铺角的滑模摊铺机，最佳振动粘度系数为 250 ~ 600  $N \cdot s/m^2$ 。最佳坍落度卵石为 10 ~ 40mm；碎石为 10 ~ 30mm。

3. 滑模摊铺时的最大单位用水量卵石混凝土不宜大于 155kg/m<sup>3</sup>，碎石混凝土不宜大于 160kg/m<sup>3</sup>。

水泥混凝土配合比  
设计

# 一. 配合比设计要求

## 2. 工作性

不同路面施工方式混凝土坍落度及最大单位用水量

表 16-16

摊铺方式	轨道摊铺机摊铺		三辊轴机组摊铺		小型机具摊铺	
出机坍落度	40 ~ 60		30 ~ 50		10 ~ 40	
摊铺坍落度	20 ~ 40		10 ~ 30		0 ~ 20	
最大单位用水量(kg/m <sup>3</sup> )	碎石 156	卵石 153	碎石 153	卵石 148	碎石 150	卵石 145

注:1.表中的最大单位用水量系采用中砂、粗细集料为风干状态的取值,采用细砂时,应使用减水率较大的(高效)减水剂。

2.使用碎卵石时,最大单位用水量可取碎石与卵石中值。

水泥混凝土配合比  
设计

# 一. 配合比设计要求

## 3. 耐久性

✿ 满足抗冻性、抗滑性、抗磨性、抗冲击性、耐疲劳性要求及抗腐蚀环境介质化学侵蚀性的要求

混凝土满足耐久性要求的最大水灰(胶)比和最小单位水泥用量

表 16-17

道路技术等级		高速公路、一级公路和 城市快速路、主干路	二级公路和 城市次干路	三、四级公路 和城市支路
最大水灰(胶)比		0.44	0.46	0.48
抗冰冻要求最大水灰(胶)比		0.42	0.44	0.46
抗盐冻最大水灰(胶)比		0.40	0.42	0.44
最小单位水泥用量 (kg/m <sup>3</sup> )	42.5 级	300	300	290
	32.5 级	310	310	305
抗冰(盐)冻最小单位 水泥用量(kg/m <sup>3</sup> )	42.5 级	320	320	315
	32.5 级	330	330	325

水泥混凝土配合比  
设计

# 一. 配合比设计要求

## 4. 经济性

- ✿ 配合比尽可能经济，适当控制水泥和胶结材的用量。

## 5. 外加剂的使用要求

- ✿ 高温——初凝时间；
- ✿ 低温——终凝时间；
- ✿ 外加剂的共溶性。

## 二. 配合比设计方法与步骤

### (一). 水灰比计算和确定

#### 1. 水灰比计算

✿ 碎石和碎卵石混凝土:

$$\frac{W}{C} = \frac{1.5684}{f_c + 1.0097 - 0.3595 f_s} \quad (16-2)$$

✿ 卵石混凝土:

$$\frac{W}{C} = \frac{1.2681}{f_c + 1.5492 - 0.4709 f_s} \quad (16-3)$$

水泥混凝土配合比  
设计

## 二. 配合比设计方法与步骤

### (一). 水灰比计算和确定

#### 2. 水灰（胶）比的取值规定

- ✱ 掺用粉煤灰时，应计入代替水泥的那部分粉煤灰用量，用水胶比  $W / (C + F)$  代替水灰比  $W / C$ 。

## 二. 配合比设计与步骤

### (二). 砂率的选择和确定

砂的细度模数与最优砂率关系

表 16-18

砂的细度模数		2.2 ~ 2.5	2.5 ~ 2.8	3.0 ~ 3.4	3.1 ~ 3.4	3.4 ~ 3.7
砂率 $S_p$ (%)	碎石	30 ~ 34	32 ~ 36	34 ~ 38	36 ~ 40	38 ~ 42
	卵石	28 ~ 32	30 ~ 34	32 ~ 36	34 ~ 38	36 ~ 40

注：碎卵石可在碎石和卵石混凝土之间内插取值。

✿ 砂率应按照其粗细程度或总表面积选择。

水泥混凝土配合比  
设计



## 二. 配合比设计方法与步骤

### (三). 单位用水量的计算和确定

✿ 碎石:

$$W_0 = 104.97 + 0.309S_L + 11.27 \frac{C}{W} + 0.61S_P \quad (16-4)$$

✿ 卵石:

$$W_0 = 86.89 + 0.370S_L + 11.24 \frac{C}{W} + 1.00S_P \quad (16-5)$$

水泥混凝土配合比  
设计

## 二. 配合比设计方法与步骤

### (三). 单位用水量的计算和确定

✿ 掺外加剂的混凝土单位用水量：

$$W_{0W} = W_0 \left(1 - \frac{\beta}{100}\right) \quad (16-6)$$

✿ 单位用水量应取**计算值**和表**16-15**或表**16-16**中满足工作性要求的**规定值**中的**小值**。

✿ 单位用水量计算应首先确定砂石料基准含水状态，其最佳含水状态是饱和面干状态。

水泥混凝土配合比  
设计

## 二. 配合比设计方法与步骤

### (四). 单位水泥用量的计算与确定

✱ 单位水泥用量由式**16-7**计算，并取计算值与表**16-17**耐久性规定值两者中的大值。

$$C_0 = \left( \frac{C}{W} \right) W_0 \quad (16-7)$$

## 二. 配合比设计方法与步骤

### (五). 砂石料用量的计算与确定

#### 1. 密度法

✿ 按下列两公式联立求解：

$$C_0 + W_0 + S_0 + G_0 = \gamma_c \quad (16-8)$$

$$S_P = \frac{S_0}{S_0 + G_0} \times 100\%$$

## 二. 配合比设计方法与步骤

### (五). 砂石料用量的计算与确定

#### 2. 体积法

✿ 按式**16-9**与式**16-8**联立求解:

$$\frac{G_0}{\gamma_{cc}} + \frac{W_0}{\gamma_w} + \frac{S_0}{\gamma_s} + \frac{G_0}{\gamma_g} + 10\alpha = 1000 \quad (16-9)$$

## 二. 配合比设计方法与步骤

### (六). 混凝土配合比设计中粉煤灰的使用

- 道路路面混凝土拌和物中掺粉煤灰时，其配合比计算应按照超量取代法进行。其掺量应根据水泥中原有的掺合材料数量和混凝土弯拉强度、耐磨性等要求由试验确定

粉煤灰等级	I	II	III
超量取代系数k	<b>1.1-1.4</b>	<b>1.3-1.7</b>	<b>1.5-2.0</b>

- 粉煤灰掺量限制原则：保证其全部水化并发挥强度及其他效果。

水泥混凝土配合比  
设计

## 二. 配合比设计方法与步骤

### (七). 混凝土配合比设计的确定与调整

1. 实验室基准配合比确定、调整及验证
2. 搅拌站试拌配合比设计
3. 施工现场配合比调整与验证

水泥混凝土配合比  
设计

## 第三节 路面混凝土施工

### ✿ 混凝土面层施工方法：

- (1) 小型机具
- (2) 三辊轴机组
- (3) 轨道式摊铺机
- (4) 滑模式摊铺机
- (5) 碾压混凝土





## 一. 施工准备工作

- ✿ 材料准备及质量检验；
- ✿ 混合料配比检验与调整；
- ✿ 基层检验与整修；
- ✿ 施工放样及机械准备；
- ✿ 选择混凝土拌合场地

# 一. 施工准备工作

与道路等级相适应的机械装备

表 16-20

摊铺机械装备	高速公路及 城市快速路	一级公路及 城市主干路	二级公路及 城市次干路	三级公路及 城市支路	四级公路
滑模摊铺机	★	★	★	▲	○
轨道摊铺机	▲	★	★	★	○
三辊轴机组	○	▲	★	★	★
小型机具	×	○	▲	★	★
碾压混凝土机械	×	○	★	★	▲
计算机自动控制强制搅拌机	★	★	★	▲	○
强制搅拌机	×	○	▲	★	★

注:1.符号含义:★应使用,▲有条件使用,○不宜使用,×不得使用。

2.各等级道路均不得使用体积计量、小型自落滚筒式搅拌机,严禁使用人工控制加水量。

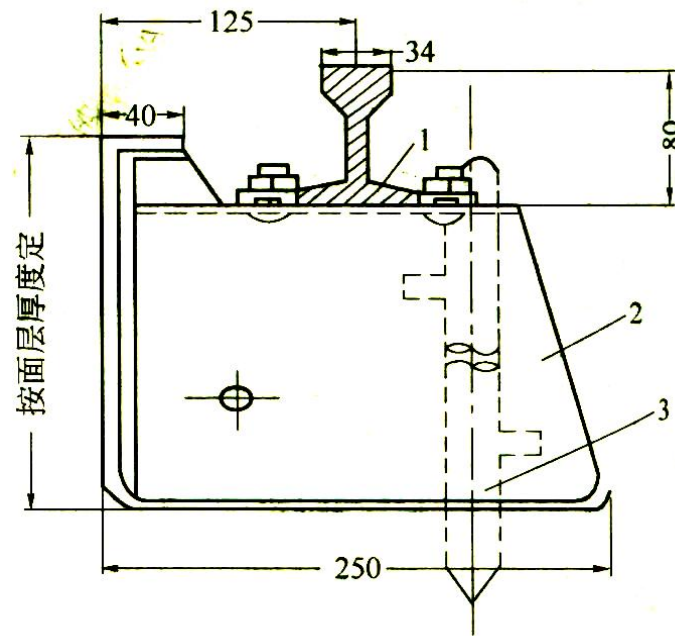
3.碾压混凝土可用于高速公路、一级公路及城市快速路、主干路复合式路面的下面层和贫混凝土基层。

路面混凝土施工

## 二. 混凝土施工面板的施工程序和施工工艺

### (一). 模板安装

- ✿ 模板安装前，先进行定位测量放样，每**20m**设中心桩，每**100m**设临时水准点，核对路面标高，面板分块，接缝和构造的位置。
- ✿ 施工模板应采用刚度足够的槽钢、轨模或钢制边侧模板，高度与面板的设计厚度相等，长度一般为**3~5m**。
- ✿ 模板应安装稳固、顺直、平整、无扭曲，底部不得漏浆、不得有前后错位、高低错台等现象。



# 一. 施工准备工作

## (二). 传力杆设置

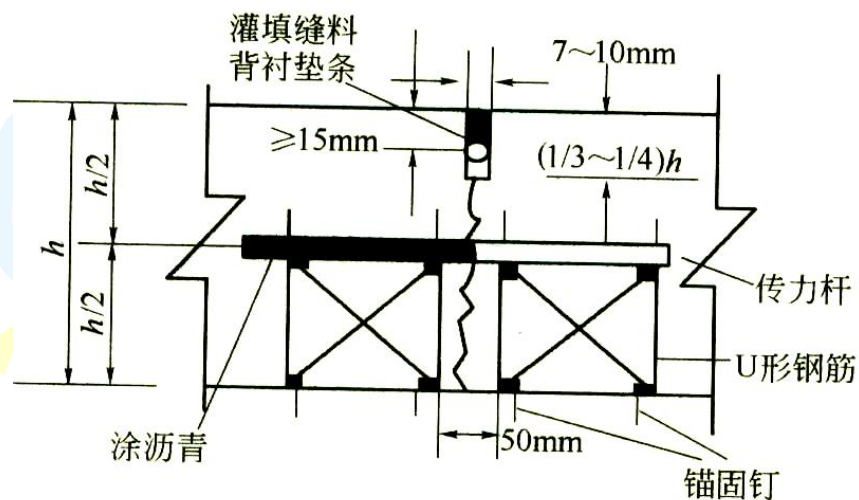


图 15-18 横向缩缝构造(假缝加传力杆型)

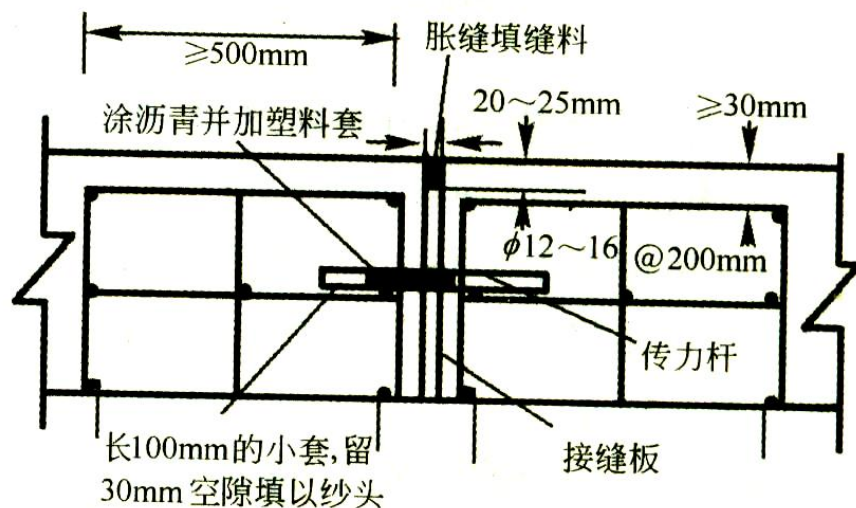


图 15-19 胀缝构造示意图

## 二. 混凝土施工面板的施工程序和施工工艺

### (三). 混凝土拌和与运输

#### 1. 拌和

- ✿ 拌和设备生产能力应与铺筑能力匹配。
- ✿ 搅拌机的配备应优先选配间歇式搅拌机，也可使用连续式搅拌机。每台搅拌机应配置相应的设备。
- ✿ 拌和试件应同时考虑质量和产量，并根据拌和物的粘聚性、均质性及强度稳定性试拌确定最佳拌和时间。
- ✿ 拌和物应均匀一致。

## 二. 混凝土施工面板的施工程序和施工工艺

### (三). 混凝土拌和与运输

#### 2. 运输

- ✿ 通常配置载重量**50~100kN**的自卸卡车
- ✿ 远距离运送或摊铺钢筋混凝土路面和桥面铺装时应选配混凝土罐车。
- ✿ 为保证混合料在运输过程中不凝固、不离析，必须控制出料至路面铺筑完毕的最长时间。

混凝土拌合物出料到运输、铺筑完毕允许最长时间 表 15-24

施工气温* (°C)	到运输完毕允许最长时间(h)		到铺筑完毕允许最长时间(h)	
	滑模、轨道	三轴、小机具	滑模、轨道	三轴、小机具
5~9	2.0	1.5	2.5	2.0
10~19	1.5	1.0	2.0	1.5
20~29	1.0	0.75	1.5	1.25
30~35	0.75	0.50	1.25	1.0

注：\* 指施工时间的日间平均气温，使用缓凝剂延长凝结时间后，本表数值可增加0.25~0.5h。

## 二. 混凝土施工面板的施工程序和施工工艺

### (四). 摊铺和振捣

#### 1. 滑模摊铺机铺筑

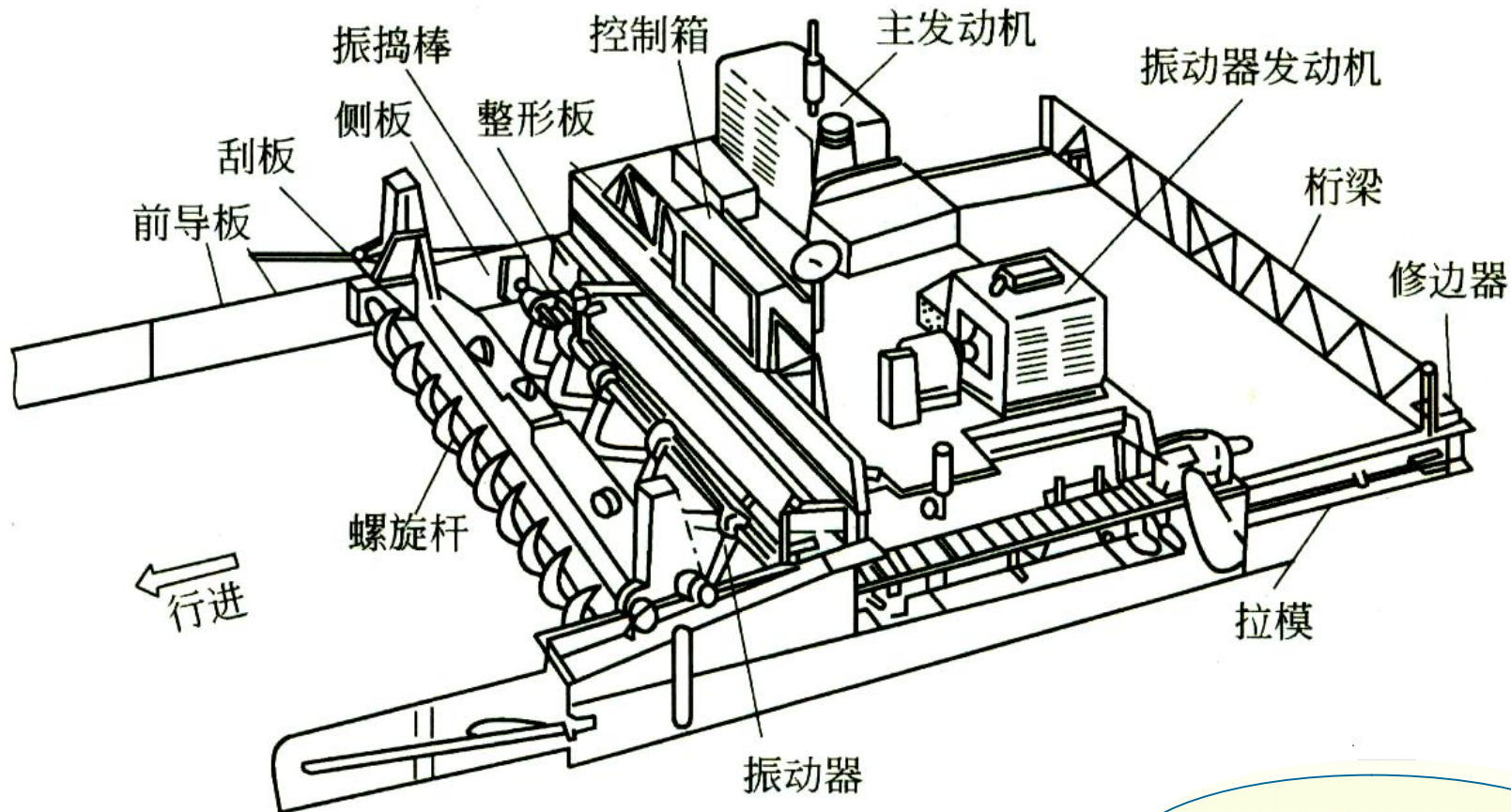


图 6-7 滑模式摊铺机构造示意

路面混凝土施工

# 1.滑模摊铺机铺筑

## (1).机械配备

- ✿ 高速公路、一级公路、城市快速路、主干道施工，应选配能一次摊铺2~3个车道宽度7.5~12.5m的大型滑模摊铺机；其他道路路面的最小摊铺厚度不得小于单车道设计宽。
- ✿ 可配备**1**台挖掘机或装载机辅助布料。采用前置钢筋支架法设置缩缝传力杆时，必须加设侧面通道。
- ✿ 抗滑构造施工可采用拉毛养生机或人工软拉槽制作抗滑构造。



# 1.滑模摊铺机铺筑

## (2). 工艺流程

布料并铺开——初步刮平——振捣器捣实——整平——振捣板振实和整平——光面

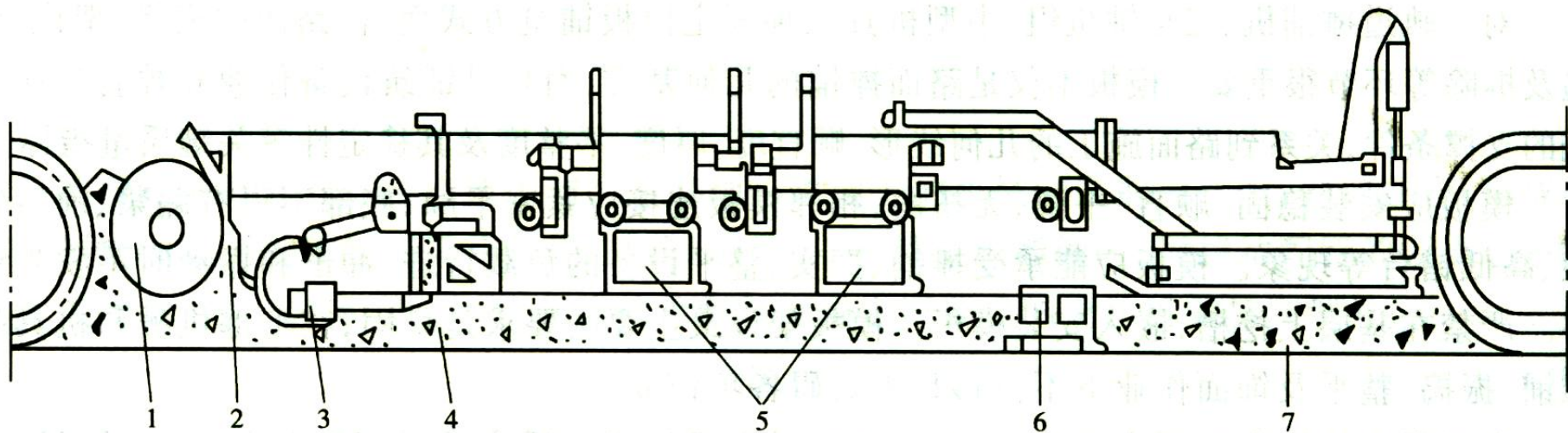


图 16-1 滑模式摊铺机摊铺工艺流程图

1-螺旋摊铺器;2-刮平器;3-振捣器;4-刮平板;5-振动振平板;6-光面带;7-混凝土面层

# 1.滑模摊铺机铺筑

## (3).施工技术要点

- ✿ 操作滑模摊铺机应缓慢、匀速、连续不间断作业。
- ✿ 铺筑作业时随时调整松方高度板控制进料位置。
- ✿ 振捣频率可在6000~11000r/min之间调整。防止混凝土过振、欠振或漏振。
- ✿ 摊铺机满负荷时可铺筑路面的最大纵坡：上坡5%，下坡6%；最小弯道半径不小于50m；最大超高不宜大于7%。

# 1.滑模摊铺机铺筑

## (3).施工技术要点

- ✿ 单车道摊铺时，应视设计要求，配备一侧或双侧打纵缝拉杆的机械装置。两个以上车道时，还应在假纵缝位置配备拉杆自动插入装置。
- ✿ 滑模摊铺过程中应采用自动抹平板装置进行抹面。堆少量局部麻面和明显缺料部位，应补充适量拌合物，由搓平梁或抹平板机械修整。
- ✿ 滑模摊铺结束后，应及时清洗、保养。

## 2. 三辊轴机组铺筑

- ✿ 适用条件：适用于中、低等级道路及乡县公路水泥混凝土路面施工。

### (1). 机械配置

- ✿ 三辊机组包括整平机和振捣机两部分，三辊整平机装备三根直径相同的辊轴，轴距**50cm~60cm**，振捣机装配有成排的振捣棒，刮板与横向螺旋布料器

## 2. 三辊轴机组铺筑

### (2). 工艺流程

✿ 布料——密集排振——拉杆安装——人工补料——三辊轴整平——（真空脱水）——精平饰面——拉毛——切缝——养生——（硬刻槽）——填缝。

## 2.三辊轴机组铺筑

### (3). 施工技术要点

- ✿ 摊铺宽度范围内，应分多堆卸料。合理控制布料速度、摊铺速度及松铺系数。
- ✿ 混凝土拌合物布料长度大于10m时，可开始振捣作业，振捣有间歇插入振实与连续拖行振实。振捣应缓慢、均匀而连续，作业速度以拌合物表面不露粗集料，液化表面不再冒气泡，并泛出水泥浆为准

## 2. 三辊轴机组铺筑

### (3). 施工技术要点

- ✿ 面板振实后，应随即安装纵缝拉杆。
- ✿ 整平机按作业单元分段整平，作业单元长度一般为20~30m，振实与整平时间间隔不超过15min。最佳滚压遍数经过试验或经验确定。滚压振实料位高差应高于模板顶面3~20mm，采用前进振动，后退静滚方式作业。
- ✿ 最后，采用3~5m刮尺，在纵横两方向进行精平饰面。

### 3. 轨道摊铺机铺筑

#### (1). 轨道摊铺特点

- ✿ 可以倒车反复做路面，但轨模版过重，轨模板安装劳动强度大。

#### (2). 机械配备

- ✿ 进料器、摊铺机、振实机、修整机等



### 3. 轨道摊铺机铺筑

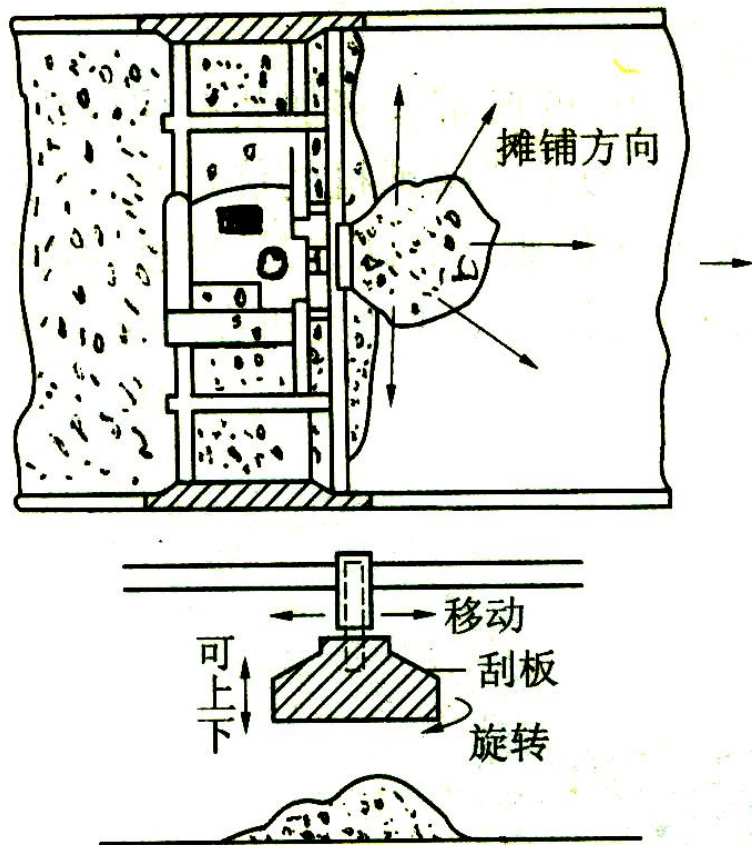


图 11-6 刮板式摊铺机

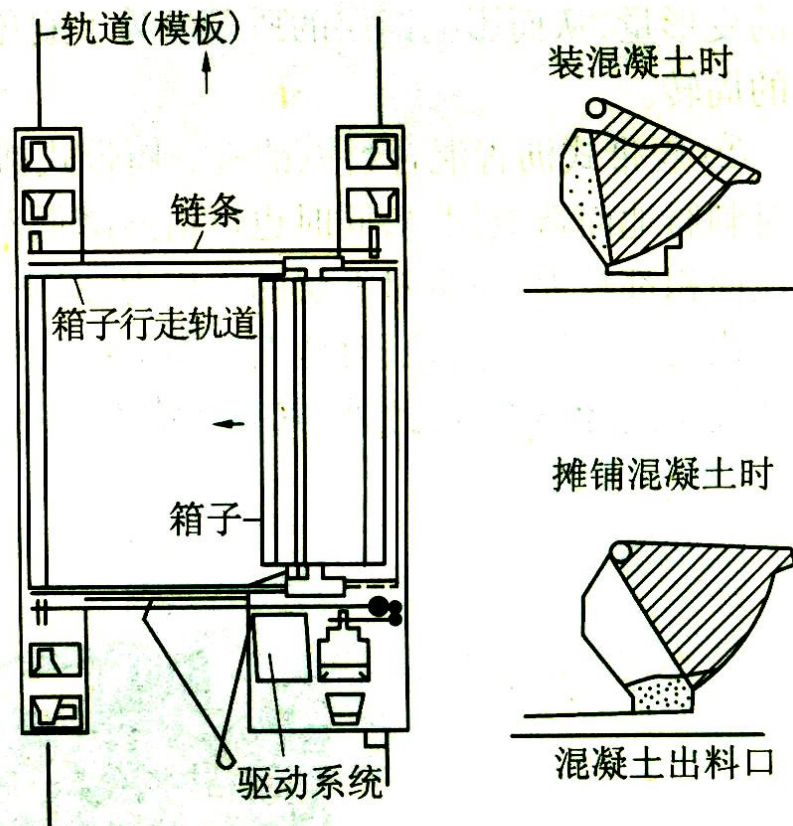


图 11-7 箱式摊铺机

### 3. 轨道摊铺机铺筑

#### (3). 施工技术要求

- ✿ 用螺旋布料器或可上下左右移动的刮板布料，也可配备挖掘机或装载机辅助布料。布料器后应配备松铺系数高度控制刮板。
- ✿ 适宜的坍落度按振捣密实情况应控制在20~40mm，不同坍落度时的松铺系数可参考表16-21。布料的关键是按不同的坍落度控制松铺系数。

### 3. 轨道摊铺机铺筑

#### (3). 施工技术要求

- ✿ 振捣棒组应配备高频率捣棒。分斜插连续拖行机间歇垂直插入两种。
- ✿ 应配备振动板或振动梁堆混凝土表面进行振捣和修整。
- ✿ 整平滚筒的操作，使往复式整平滚筒前的混凝土堆积物应涌向横坡高的一侧。
- ✿ 应配备纵向或斜向抹平板。

## 4. 小型机具铺筑

### (1). 小型机具施工特点

- ✿ 技术简单成熟，施工便捷，不需大型设备，主要靠人工，劳动强度大。常采用真空吸水工艺，可提高路表耐磨性和抗干缩开裂。

### (2). 适用性

- ✿ 县乡公路、三、四级公路、旅游公路、村镇内道路与广场建设。

## 4. 小型机具铺筑

### (3). 施工技术要点

- ✿ 混凝土拌合物的坍落度应控制在**5~20mm**，松铺系数在**1.10~1.25**之间。
- ✿ 振捣时，应辅以人工补料，应随时检查振实效果、模版、拉杆、传力杆和钢筋网的移位、变形、松动、漏浆等情况，并及时纠正。

## 4. 小型机具铺筑

### (3). 施工技术要点

- ✿ 整平包括滚杠提浆整平、抹面机压浆整平饰面、精整饰面三道工序。整平后的面板应无抹面印痕，致密均匀，无露骨，平整度符合规定要求。
- ✿ 小型机具施工中、低等级道路混凝土路面时，应优先采用添加外加剂，否则应使用真空脱水工艺。

## 5. 混凝土混合料的振捣

- ✿ 平板振捣器；
- ✿ 插入式振捣器；
- ✿ 振动梁。

## 二. 混凝土施工面板的施工程序和施工工艺

### (五). 接缝的设置

#### 1. 胀缝

- ✿ 先浇筑胀缝一侧的混凝土，取出胀缝模板后，再浇筑另一侧混凝土，钢筋支架浇在混凝土内。



## 二. 混凝土施工面板的施工程序和施工工艺

### (五). 接缝的设置

#### 2. 横向缩缝

✿ 压缝法

✿ 切缝法

#### 3. 纵缝

## 二. 混凝土施工面板的施工程序和施工工艺

### (六). 表面整修与防滑措施

#### 1. 表面整修

- ✿ 电动抹面机：粗光和精光

#### 2. 防滑措施

- ✿ 拉毛机

- ✿ 金属丝梳子梳成**1~2mm**的横槽

- ✿ 锯槽机

- ✿ 在未结硬的混凝土表面塑压成槽

## 二. 混凝土施工面板的施工程序和施工工艺

### (七). 养生与灌缝

- ✿ 养生：潮湿养生；塑料薄膜养生或养护剂养生
- ✿ 灌缝工作宜在混凝土初步结硬后及时进行

## 二. 混凝土施工面板的施工程序和施工工艺

### (八). 冬季与夏季施工

#### 1. 低温施工

- ✿ 采用高等级快凝水泥，或掺入早强剂，或增加水用量
- ✿ 加热水和集料
- ✿ 混凝土表面整修完后，表面应覆盖保温蓄热材料

## 二. 混凝土施工面板的施工程序和施工工艺

### (八). 冬季与夏季施工

#### 2. 高温施工

- ✿ 对湿混合料，运输途中应加以遮盖
- ✿ 各道工序紧凑衔接
- ✿ 搭设临时性的遮光挡风设备

### 三. 碾压混凝土路面施工

✿ **碾压混凝土路面：**将单位用水量较少的干硬性混凝土摊铺、碾压成型的一种混凝土

✿ **碾压混凝土路面特点：**

(1) 含水率低，通过碾压施工工艺达到高密度、高强度的水泥混凝土。

(2) 碾压混凝土路面与普通水泥混凝土路面相比能节省大量的水泥，且施工速度快，养生时间短，强度高，具有很好的社会效益。

### 三. 碾压混凝土路面施工

✿ **适应性：** 仅适合做中、低等级道路水泥混凝土路面或复合式路面的基层或下基层。

✿ **对材料的要求**

(1) 集料有良好的级配

(2) 为了改善施工和易性、节省水泥，可掺入部分粉煤灰。

# 三. 碾压混凝土路面施工

## 1. 碾压混凝土铺筑工艺流程

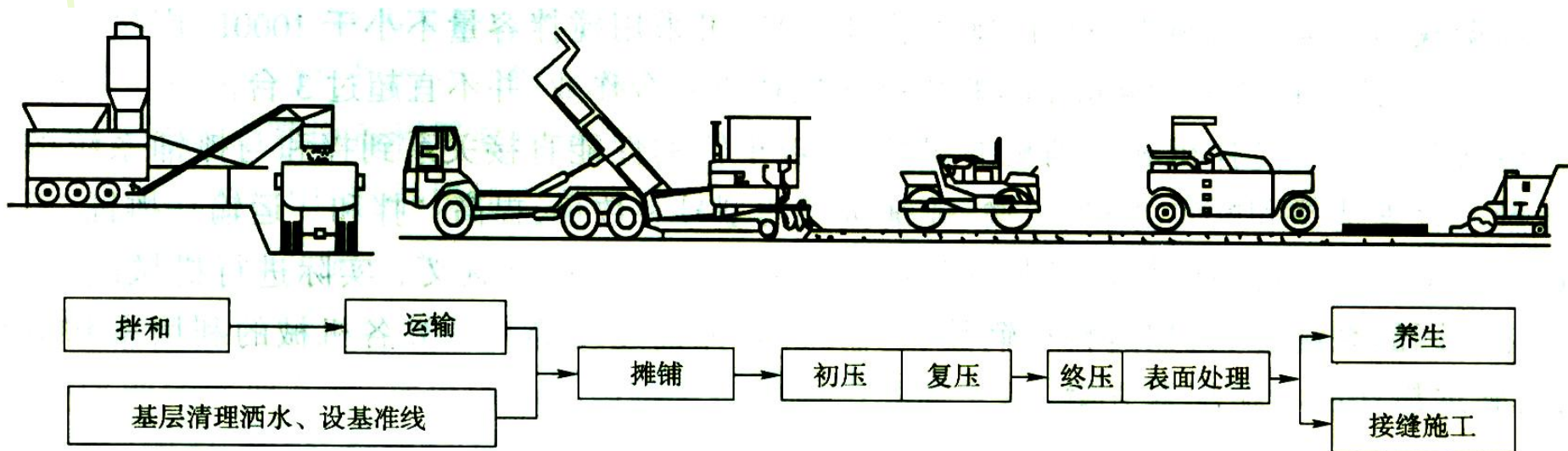


图 16-2 典型的碾压混凝土路面施工工艺流程和机械编组

✿ **施工技术关键：**稠度稳定、摊铺均匀、碾压密实、养生充分。

路面混凝土施工



# 三. 碾压混凝土路面施工

## 2. 机械选型

- (1) 最好选择带自动找平系统和高密度熨平板的大型沥青混合料摊铺机。
- (2) 摊铺机应保证较好的摊铺平整度和足够的预压密实度。
- (3) 压路机应能保证达到预定的压实效果，对平整度破坏最小，并保证路表面均匀密实。
- (4) 采用带有自动计量系统的大型搅拌机，合理控制好搅拌时间。
- (5) 机械的选型应提高“拌和—运输—摊铺”系统的运行质量。

## 三. 碾压混凝土路面施工

### 3. 混凝土拌和

- (1) 关键工艺参数：原材料质量稳定措施、拌和时间和防离析等措施。
- (2) 拌和效果：以弯拉强度偏差率为指标，并进行混凝土拌合物拌和均匀性检验。

## 三. 碾压混凝土路面施工

### 4. 摊铺

- (1) **关键**：将从运料车上接收的混凝土混合料按照规定的尺寸和一定的预压密实度均匀的摊铺到基层。
- (2) 摊铺机应配有性能良好的自动找平系统。
- (3) 松铺系数是控制施工质量的重要参数，一般在1.05~1.15之间。
- (4) 摊铺应均匀、连续，选用适宜的摊铺速度，摊铺过程中不得随意变换速度或停顿。

## 三. 碾压混凝土路面施工

### 5. 碾压作业

- (1) **影响压实效果的主要因素**：碾压工作长度、碾压程序、碾压速度、碾压遍数和环境条件等。
- (2) 碾压工作段应是强度所能容许的最大长度，以45min摊铺的长度作为一个碾压段。
- (3) 直线段碾压时，压路机应从外侧向路中心碾压；平曲线有超高段，由低侧向高侧、自内向外碾压，压完全宽为一遍。

## 三. 碾压混凝土路面施工

### 5. 碾压作业

(4) 碾压作业必须达到全厚密实和表面成型的目的，所以碾压程序上一般经过稳压、复压和终压三个阶段。各阶段应控制好碾压速度和碾压遍数。

### 6. 养生

✿ 碾压混凝土在碾压成型后即可覆盖养生材料进入后期养生，需要潮湿养护最短时间为**5~7d**。

# 四. 施工质量检查与验收

各级道路混凝土路面铺筑质量要求

表 16-23

项次	检查项目		允 许 值	
			高速公路、一级公路及城市快速路、主干路	其他公路及城市道路
1	弯拉强度(MPa)		100%符合设计及弯拉强度评定方法的规定	
2	板厚度(mm)		代表值不小于-5;极值不小于-10, C <sub>v</sub> 值符合设计规定	
3	平整度	$\sigma$ (mm)	≤1.2	≤2.0
		IRI(mm)	≤2.0	≤3.2
		3m直尺最大间隙 $\Delta h$ (mm)	≤3(合格率应不小于90%)	≤5(合格率应不小于90%)
4	抗滑构造深度(mm)	一般路段	0.70~1.10	0.50~0.90
		特殊路段	0.80~1.20	0.60~1.00
5	相邻板高差(mm)		≤2	≤3
6	连接摊铺纵缝高差(mm)		平均值不大于3;极值不大于5	平均值不大于5;极值不大于7
7	接缝顺直度(mm)		≤10	
8	中线平面偏位(mm)		≤20	
9	路面宽度(mm)		≤±20	
10	纵断高程(mm)		≤±10	≤±15
11	横坡度(%)		±0.15	±0.25
12	断板率(‰)		≤2	≤4
13	脱皮印痕裂纹露石缺边掉角(‰)		≤2	≤3
14	路缘石顺直度和高度(mm)		≤20	
15	灌缝饱满度(mm)		≤2	≤3
16	切缝深度(mm)		≥50	
17	胀缝表面缺陷(mm)		不应有	
18	胀缝板	胀缝板连浆(mm)	≤20	≤30
		胀缝板倾斜(mm)	≤20	≤25
		胀缝板弯曲和位移(mm)	≤10	≤15
19	传力杆偏斜(mm)		≤10	≤13

路面混凝土施工

# 第四节 块料及其他类型混凝土路面

## 一. 块料路面

### 1. 定义

- ✿ 用块状石料或混凝土预制块铺筑的路面称为块料路面。分为条石、小方石、拳石、粗琢石及混凝土块料路面。

### 2. 优缺点:

- ✿ 优点：坚固耐久、清洁少尘、养护修理方便、粗糙度较好
- ✿ 缺点：用手工铺筑，难以机械化，块料间宜松动，铺筑进度慢。

块料及其他类型混凝土路面

# 一. 块料路面

## 3. 适用性:

- ✿ 土基不够稳定的桥头高填土路段、铁路交叉口及有地下管线的城市道路上
- ✿ 山区急弯、陡坡路段

## 4. 构造特点

- ✿ 必须设置整平层，块料间还需填缝料嵌填。

块料及其他类型混凝土路面



# 一. 块料路面

## 5. 强度来源

✿ 基础的承载力和石块与石块间的摩擦力

## 6. 基层类型

✿ 一般采用粒料基层和半刚性基层。

块料及其他类型混凝土路面

## 二. 钢筋混凝土路面

### 1. 定义

- ✿ 为防止可能产生的裂缝缝隙张开，板内配置有纵、横向钢筋(或钢丝)网的混凝土路面。

### 2. 设置钢筋网的主要目的:

- ✿ 控制裂缝缝隙的张开量，把开裂的板拉在一起，使板依靠断裂面上的集料嵌锁作用而保证结构强度，并非增加板的抗弯强度。

块料及其他类型混凝土路面

## 二. 钢筋混凝土路面

### 3. 厚度

- ✿ 与素(无筋)混凝土面层的厚度相同

### 4. 配筋

- ✿ 按混凝土收缩时将板块拉在一起所需的拉力确定。

### 5. 横向接缝间距:

- ✿ 一般取 **10 ~ 20m**，最大不超过 **30m**，按缩缝设置，并设传力杆。

块料及其他类型混凝土路面

## 三. 连续配筋混凝土路面

### 1. 定义

- 沿纵向配置连续的钢筋，除了在与其它路面交接处或临近构造物附近设置胀缝以及视施工需要设置施工缝外，一般不设横缝的混凝土面层。

### 2. 适用性

- 适宜高速公路及一级公路和交通量特别大的重载道路。

### 3. 纵向连续钢筋的作用：

- 约束变形，防止裂缝宽度增大，并不分担截面的弯拉应力。

块料及其他类型混凝土路面

### 三. 连续配筋混凝土路面

#### 4. 确定纵向钢筋用量的控制因素:

- ✿ 裂缝缝隙的宽度。

#### 5. 纵向连续钢筋的布置:

- ✿ 根据混凝土的体积收缩和温缩引起的钢筋受力状态进行布置。

#### 6. 厚度

- ✿ 采用无筋混凝土路面板的计算方法确定

块料及其他类型混凝土路面

## 四. 钢纤维混凝土路面

### 1. 优点

- ✿ 显著提高混凝土的抗拉强度、弯拉强度、抗疲劳强度、抗冲击能力、防止裂缝等性能，可明显减小路面板厚度。

### 2. 适用性

- ✿ 公交车站、收费站和行驶重型汽车的路面和旧路面的加铺层。特别适用于地面高程受限制地段的路面。

块料及其他类型混凝土路面

## 四. 钢纤维混凝土路面

### 3. 厚度

- ✿ 与普通混凝土路面相比，可以减薄**35%-45%**，

### 4. 钢纤维混凝土路面的缩缝间距：

- ✿ 可适当延长，可取**15~20m**。

块料及其他类型混凝土路面

# 五. 复合式混凝土路面

## 1. 定义

指上下层采用不同混凝土材料组成的路面

## 2. 类型

- (1) 上柔下刚复合式混凝土路面
- (2) 上低塑下碾压复合式混凝土路面
- (3) 碾压钢丝网水泥混凝土路面
- (4) 素混凝土与钢纤维混凝土双层复合式路面
- (5) 钢纤维混凝土与素混凝土三分层符合结构

块料及其他类型混凝土路面



## 六. 贫混凝土基层板

### 1. 定义

- ✿ 用水泥用量较低、混凝土等级较低的混凝土混合料铺筑的路面板。

### 2. 适用性

- ✿ 不能作为面层，主要作特种交通、高速公路、一级公路沥青路面和水泥混凝土路面的刚性基层板。

块料及其他类型混凝土路面

# 七. 装配式混凝土路面

## 1. 定义

- ✿ 在工厂中把混凝土预制成板块，然后运至工地现场装配而成。

## 2. 特点

- ✿ 优点：混凝土质量容易保证；施工进度快，铺筑完毕即可通车；损坏后易于拆换修理。
- ✿ 缺点：接缝多，整体性差，容易引起行车颠簸，因而在公路上一般不宜采用。

## 3. 适用性

- ✿ 适用于城市道路、厂矿道路、大型基建场地、停车站场和软弱土基上。  
块料及其他类型混凝土路面