

# 多孔混凝土材料组成设计方法研究

郝静华

(唐山市交通局, 河北 唐山 063000)

**摘 要:** 文章提出了以空隙率和抗压强度为指标的多孔混凝土配合比设计方法, 在大量试验结果的基础上, 提出振动成型多孔混凝土配合比设计的经验公式和经验法, 采用体积法进行配合比设计的思路是, 粗集料形成骨架空隙结构, 细集料和水泥胶结和填充的作用。对多孔混凝土室内振动成型和免振捣成型方法进行了研究, 确定了用目测法和富余浆量法两种方法对多孔混凝土的工作性进行评价。

**关键词:** 多孔混凝土; 配合比设计; 方法研究; 工作性评价

中图分类号: U416.2

文献标识码: B

多孔混凝土材料组成设计时必须满足排水和力学强度两方面的要求, 有效表征其排水性能的指标是空隙率和渗透系数, 强度在路面基层采用的指标为控制施工的 7 天抗压强度和作为整体结构设计的 28 天弯拉强度。

## 1 多孔混凝土配合比设计指标

### 1.1 空隙率和渗透系数

多孔混凝土配合比设计的指标为空隙率、渗透系数和强度。参考透水表层临界空隙率研究结果, 并考虑施工过程中的不确定因素, 确定多孔混凝土配合比设计的有效空隙率为 20%~30%。通过渗透系数与空隙率的相关关系, 提出多孔混凝土配合比设计的渗透系数不得小于 1.05cm/s。实际应用过程中, 多孔混凝土的有效空隙率一般都达 25%以上, 此时对应的渗透系数为 3.49cm/s。

### 1.2 力学强度

多孔混凝土是介于多孔水泥稳定碎石和普通贫混凝土之间的一种材料, 参考不同交通等级道路对于水泥稳定碎石基层的强度要求, 国内外对普通贫混凝土基层的强度要求, 并结合多孔混凝土的有关特性, 提出多孔混凝土基层的 7 天设计抗压强度对于特重交通道路不低于 5~8MPa, 重交通不低于 3~5MPa; 28 天设计弯拉强度对于特重交通道路不低于 1.5~2.5MPa, 重交通不低于 1.0~2.0MPa。

## 2 工作性研究

多孔混凝土是一种干硬性混凝土, 其工作性不能用普通混凝土的工作性评价方法来评价。它没有坍落度,

也不能用维勃稠度, 然而多孔混凝土如采用免振捣成型方法, 对工作性却有很高的要求。考虑影响多孔混凝土工作性的主要因素, 包括水泥浆数量、砂率、组成材料性质、拌和物存放时间和环境温度等因素。根据不同成型方法的特点, 振动成型多孔混凝土可以采用目测法评价工作性, 免振捣成型多孔混凝土提出富余浆量法(见图 1)评价工作性。

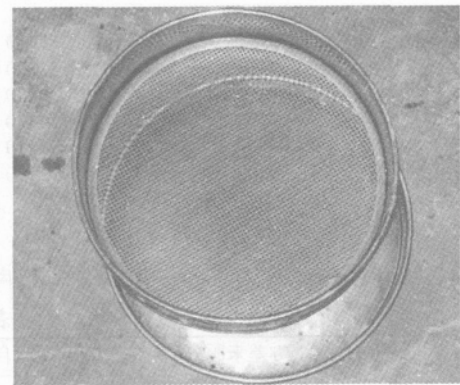


图 1 富余浆量法设备(底筛和 2.36mm 方孔筛)

本试验采用筛分试验用的 2.36mm 方孔筛和底筛, 在一定的振动参数下, 过滤出 2.36mm 方孔的富余浆量的多少来评价。评价指标采用富余浆量比, 富余浆量比为通过 2.36mm 方孔筛的富余水泥砂浆与混合料总质量的比值。并根据试验结果提出了集料粗度模数与最佳富余浆量比的对应关系(见表 1)。

表 1 粗度模数与最佳富余浆量比关系

粗度模数	2.4~2.6	2.6~2.8	2.8~3.0	3.0~3.2	3.2~3.4
最佳富余浆量比/%	4~6	5~7	6~8	7~9	8~10

作者简介: 郝静华(1976-), 男, 河北滦平人, 工程师, 从事公路工程建设与管理工作。

由此可以得出免振捣成型多孔混凝土工作性的评价方法：先对粗集料进行粗度模数的计算，查表 1 得出对应的最佳富余浆量比。取现场 6000g 拌和物质量，采用富余浆量法，测试其富余浆量比，如在其表 1 范围内，则表示工作性良好，如不在范围内，重新调整用水量进行测试，直到富余浆量比在范围之内。

### 3 振动成型多孔混凝土配合比设计方法研究

#### 3.1 配合比组成设计试验

针对多孔混凝土的特点，提出振动成型多孔混凝土配

合比设计方法。考察水泥用量、水灰比及集料级配 3 个因素，各因素取 4 个水平，进行正交试验设计（见表 2）。

表 2 振动成型多孔混凝土配合比试验正交设计因素水平表

水平	因素		
	A 级配	B 灰集比	C 水灰比
1	级配 1	1 8	0.33
2	级配 2	1 9	0.36
3	级配 3	1 10	0.39
4	级配 4	1 11	0.42

对其 7 天抗压强度、有效空隙率和全空隙率进行极

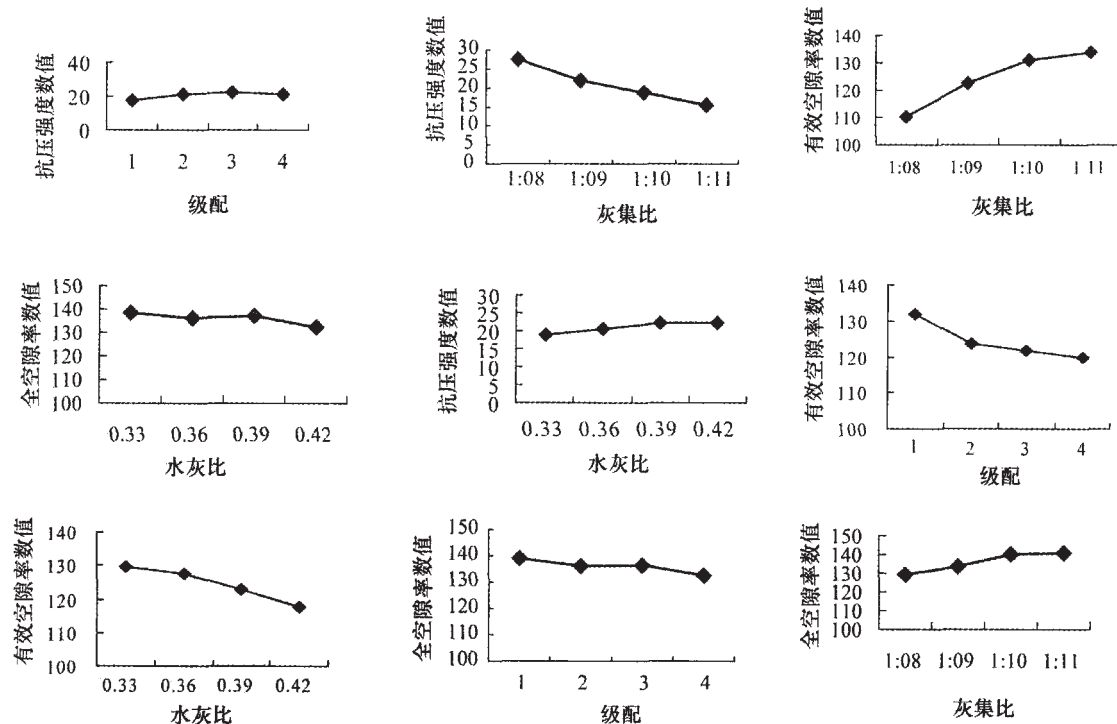


图 2 因素水平变化影响

表 3 正交表的方差分析

考核指标	方差来源	离差平方和 SS	自由度 DF	方差 MS	F 值	临界值	显著性
7 天抗压强度	A 级配	3.45	3	1.149	8.146		显著
	B 灰集比	19.49	3	6.498	46.083		显著
	C 水灰比	1.58	3	0.527	3.737		
	D 空列	0.03	6	0.141			
	E 空列	0.82					
有效空隙率	A 级配	20.26	3	6.754	3.519		
	B 灰集比	84.33	3	28.109	14.648		显著
	C 水灰比	20.19	3	6.730	3.507	$F_{0.95}(3,6)=4.76$	
	D 空列	4.31	6	1.919			
	E 空列	1.45					
全空隙率	A 级配	5.32	3	1.773	5.815		
	B 灰集比	23.23	3	7.743	25.388		显著
	C 水灰比	5.16	3	1.721	5.463		
	D 空列	1.33	6	0.305			
	E 空列	0.50					

差分析, 对各因素对设计指标影响的重要性, 以及因素各水平对设计指标的影响进行分析, 得出因素水平变化与指标值的变化规律(见图 2)。

通过方差分析, 提出不同置信概率下对于设计指标有显著影响的因素(表 3)。可以看出, 当  $\alpha=0.05$ , 即置信概率为 95% 时, 对多孔混凝土 7 天抗压强度有显著影响的因素是级配和灰集比, 对于有效空隙率有显著影响的因素是灰集比, 对于全空隙率有显著影响的因素是级配、水泥用量和水灰比。而当置信概率为 90% 时, 级配、水泥用量和水灰比对于多孔混凝土 7 天抗压强度、有效空隙率和全空隙率均有显著影响。

利用回归软件, 得出多孔混凝土 7 天抗压强度、有效空隙率和全空隙率的回归关系。

### 3.2 配合比设计方法的提出

在大量试验结果的基础上, 提出振动成型多孔混凝土配合比设计的经验公式法和经验法。其中经验公式法计算初步配合比的步骤如下。

#### (1) 确定试配强度及设计空隙率

##### ① 试配强度

根据课题前述设计指标研究结果, 确定多孔混凝土基层的 7 天设计抗压强度, 按下式确定试配强度

$$f_{c,o} = 1.15 \cdot f_{c,d} \quad (1)$$

式中,  $f_{c,o}$  为多孔混凝土 7 天试配抗压强度, MPa;  $f_{c,d}$  为多孔混凝土 7 天设计抗压强度, MPa。

进行路面结构设计时, 多孔混凝土基层的设计指标一般为弯拉强度。当进行材料配合比设计要求的设计指标为某一具体的弯拉强度值时, 可根据多孔混凝土抗压强度与弯拉强度之间相关性良好的关系式, 将弯拉强度换算为抗压强度, 再确定试配强度。

##### ② 设计空隙率

多孔混凝土设计有效空隙率为 20%~30%。

#### (2) 确定集料用量

首先根据现有集料情况, 结合空隙率和强度要求, 选取集料级配。利用与多孔混凝土成型相同的方式, 即振动法测得该种级配集料的松方密度。

则多孔混凝土的集料用量为

$$G = 0.98 \cdot \rho \quad (2)$$

式中,  $G$  为多孔混凝土单位体积的集料用量,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  $\rho$  为集料的松方密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

#### (3) 确定水泥用量

##### ① 根据试配强度确定水泥用量 $C_1(\text{kg}/\text{m}^3)$ 。

由前述正交试验已得出多孔混凝土强度与集料级配及水泥用量等的相关关系, 得 32.5 级水泥用量如下式

所示

$$C_1 = 63.168 + 2.379D_{10} + 20.162f_{c,o} \quad (3)$$

振动成型的正交试验过程中, 为减少试验因素, 仅研究了 32.5 级水泥多孔混凝土的强度和空隙率与材料组成的关系。当采用 42.5 级水泥时, 可根据第四章所得 32.5 级水泥和 42.5 级水泥多孔混凝土的强度关系进行换算。

##### ② 根据空隙率确定水泥用量 $C_2(\text{kg}/\text{m}^3)$

$$C_2 = 468.954 - 9.139n_e \quad (4)$$

比较  $C_1$  和  $C_2$  的大小, 当  $C_1 > C_2$ , 应调整试配强度和空隙率要求, 按式(3)和式(4)分别重新计算水泥用量, 直至  $C_2 > C_1$ , 此时取  $C_1$  作为水泥用量  $C(\text{kg}/\text{m}^3)$ 。

#### (4) 确定合理水灰比及用水量

已知有效粒径  $D_{10}$  和水泥用量  $C$  的前提下, 根据式

##### (5) 求得水灰比 $W/C$ 为

$$W/C = 0.755 + 0.123f_{c,o} + 0.015D_{10} - 6.08 \times 10^{-3}C$$

##### (5) 提出基准配合比

通过试拌, 观察含水量和混凝土的工作性能, 调整配比。

##### (6) 确定试验室配合比

按基准配合比, 以初选水灰比为中心, 按 0.02 增减幅度选定 2~4 个水灰比, 制作试件; 也可以保持水灰比不变, 以初选单位水泥用量为中心, 按 10~15 $\text{kg}/\text{m}^3$  增减幅度选定 2~4 个单位水泥用量, 配制几组配合比的多孔混凝土混合料, 浇制抗压强度试件, 并测定其毛体积密度。

##### (7) 换算施工配合比

实际操作时, 也可根据经验判断水灰比是否合适。若用水量太小, 水泥浆不能包裹集料; 用水量过大, 水泥浆过于稀薄而沉积于底部, 也不能充分包裹集料, 影响混凝土的整体强度及均匀性。合适的用水量时, 水泥浆均匀包裹集料, 无水泥浆下滴现象, 表面呈现金属光泽。根据经验, 水灰比较合适范围为 0.33~0.42。

由此, 可分别得到对应的单位用水量为

$$W = C \cdot (W/C)$$

## 4 免振捣成型多孔混凝土配合比设计方法研究

### 4.1 用水量研究

用水量是影响混凝土稠度的关键因素, 在独立假定的基础上, 提出用数值表示稠度的基本方程, 并提出了稀释系数  $K$  的概念, 对于振动成型多孔混凝土,  $K$  采用 1.1~1.3; 对于免振捣成型多孔混凝土,  $K$  采用 1.4~1.6。

### 4.2 配合比设计指导思想

多孔混凝土采用体积法进行配合比设计。体积法设计的基本思路是：粗集料形成骨架空隙结构，细集料和水泥起胶结和填充的作用。具体数值方程如式(7)所示。多孔混凝土作为排水的基层，其细集料不能用量过大，这里把<4.75mm的集料和水泥统称为细集料。

在实际试验当中，由于砂和水泥的存在，水泥砂浆裹附在粗集料表面，粗集料起到一定的干涉和撑开的作用。一般情况下，得出来的空隙率要比目标空隙率大2%~3%，为此引入一个撑开系数K

$$\begin{cases} V\% = V_1\% - V_2\% \\ V_1\% = 1 - \frac{K\rho_1}{\rho_2} \end{cases} \quad (7)$$

式中，V%为目标空隙率； $V_1\%$ 为粗集料的骨架间隙率； $V_2\%$ 为单位体积细集料的填充率； $\rho_2$ 为粗集料的视密度， $g/cm^3$ ； $\rho_1$ 为粗集料的自然堆积密度， $g/cm^3$ ；K为撑开系数，根据经验一般取0.80~0.85。

#### 4.3 配合比组成设计方法的提出

免振捣成型多孔混凝土配合比设计时应根据材料性能及设计要求，在确保混凝土强度及渗透性的前提下，以采用最小的水泥用量为原则进行设计。多孔混凝土单位体积的质量应为 $1m^3$ 紧密状态的粗细集料质量和水泥用量及水泥水化水质量之和。在大量试验的基础上，本课题提出免振捣成型多孔混凝土的配合比设计方法，即体积法，其具体设计步骤如下。

##### (1) 确定设计空隙率

首先根据道路所处的地理位置，根据当地的气候状况、基层的厚度和设计要求，确定基层的渗透系数。根据渗透系数和空隙率的经验估算式，计算所需混合料的设计空隙率。

##### (2) 确定砂率

根据砂细度模数和粗集料种类选择砂率，并根据当地情况适当进行调整。

##### (3) 确定集料用量

首先根据现有集料情况，结合空隙率和强度要求，选取一种级配。利用免振捣成型方法，测试该级配集料的堆积松方密度。

多孔混凝土的集料用量为

$$G = 0.98 \cdot \rho \quad (8)$$

式中，G为多孔混凝土单位体积的集料用量， $kg/m^3$ ； $\rho$ 为集料的松方密度， $kg/m^3$ 。

##### (4) 确定砂和水泥用量

根据不同成型方法测试粗集料密度和表干密度，根据粗集料密度和表干密度求得粗集料的空隙率。根据体积法公式计算砂和水泥的用量。

##### (5) 确定用水量

先计算拌和物初始稠度的含水量，根据不同的成型方法确定稀释系数，对于振动成型多孔混凝土，K采用1.1~1.3；对于免振捣成型多孔混凝土，K采用1.4~1.6。再计算拌和物稠度改变后的用水量。

##### (6) 强度和空隙率检验及调整

按以上计算所得的配合比，采用免振捣成型 $15cm \times 15cm \times 15cm$ 的立方体试件，保准养生7天，测其抗压强度及有效空隙率和全空隙率。如果空隙率达不到材料的性能要求，则应重新调整级配进行试验；如果7天强度达不到要求，则应重新适当减少砂率及灰集比，然后再进行试验，直至满足要求为止。

## 5 结语

多孔混凝土是一种干硬性混凝土，其工作性不能用普通混凝土的工作性评价方法来评价，本文根据不同成型方法的特点，提出了不同的混凝土工作性评价方法。并针对多孔混凝土的特点，提出振动成型和免振动成型多孔混凝土配合比的设计方法。

### 参考文献：

- [1] 谢洪斌, 姚祖康. 沥青稳定碎石排水基层的透水能力[J]. 中国公路学报, 2000.
- [2] 郑木莲. 多孔混凝土排水基层研究[D]. 西安: 长安大学博士学位论文, 2004.
- [3] W·且尔宁, 著. 曾镜鸿, 译. 土木工程师水泥化学与物理性能[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1983.
- [4] JTJ034-2000, 公路路面基层施工技术规范[S].
- [5] 沙庆林. 高等级公路半刚性基层沥青路面[M]. 北京: 人民交通出版社, 1999.
- [6] 刘伟. 贫混凝土基层水泥混凝土路面结构设计研究[D]. 西安: 长安大学硕士学位论文, 2003.