

# 孔隙率和尺寸效应对透水混凝土力学性能的研究

徐德飞

**摘要:** 根据透水混凝土的结构特征, 本文对其配制参数和配合比计算方法进行了研究, 验证了以总孔隙率为第一设计参数, 抗压强度为第二参数的配合比设计方法。试验证明: 采用该方法制备的透水混凝土具有良好的透水性和强度, 基本能够达到最初的设计要求。研究了骨料粒径、孔隙率和尺寸效应对透水混凝土力学性能的影响, 为透水混凝土工程应用提供技术支持。

**关键词:** 透水混凝土, 配合比, 尺寸效应, 力学性能

## Research of porosity and the size effect on the mechanical behavior of porous concrete

Xu Defei

(Tax Bureau of Chongming in Shanghai, Shanghai, 202150 )

**Abstract:** According to the structural characteristics of pervious concrete, with the ratio of its preparation parameters and calculation methods, it was verified that the first design parameters of the total porosity, compressive strength as the second parameter of the mix design method. Through experiments proved: The permeability of concrete prepared by this method has good permeability and strength, to achieve the original design requirements. Study the aggregate particle size, porosity, and size effect on the mechanical behavior of porous concrete, to provide technical support for the permeable concrete engineering application.

**Key words:** permeable concrete, mixing ratio, size effect, mechanical properties

### 1. 引言

随着城市化进程的加快, 人们对城市环境和舒适度的要求越来越高, 作为生态环境友好型混凝土之一的透水混凝土也逐渐成为人们关注的热点之一<sup>[1]</sup>。与传统混凝土相比, 透水混凝土最大的特点是具有大量的连通孔隙, 具有非常好的透气性和透水性, 将这种混凝土用于广场、人行道路的铺设, 既能扩大城市的透水、透气面积, 增加行人、行车的舒适性和安全性, 又能减少交通噪声, 对调节城市空气的温度和湿度、维持地下土壤的水位和生态平衡具有重要作用。透水混凝土的配合比设计及施工工艺与普通混凝土不同, 就其工程应用而言, 要求既要有足够的强度, 又要有良好的透水性。透水混凝土的研究和应用, 始于 50 年代初, 但由于其抗折、抗压强度较低, 会在工程应用中出现各种问题, 如承载能力差, 粗骨料之间粘结力小, 抗冻融性能以及孔穴堵塞等问题, 致使透水混凝土的大面积应用还需做大量工作。本文验证了以总孔隙率为第一设计参数, 抗压强度为第二参数的配合比设计方法<sup>[2-3]</sup>, 研究了孔隙率与透水混凝土力学性能之间的关系。透水混凝土破坏机理

和尺寸效应，同时对透水性混凝土如何植草等相关问题进行了研究。

## 2. 原材料与试验方法

### 2.1 原材料

(1) 本试验采用钻牌 P.O 42.5 水泥，需水量比和细度分别为 90% 和 8% 的 I 级粉煤灰。

(2) 4.75-9.5mm、9.5-19.0mm 单粒级石灰岩碎石，性能指标如表 1 所示，采用减水率 33% 的聚羧酸减水剂。

表 1 4.75-9.5mm 和 9.5-19.0mm 单粒径碎石性能指标

粒径 mm	松散堆积密度 kg/m <sup>3</sup>	紧密堆积密度 kg/m <sup>3</sup>	表观密度 kg/m <sup>3</sup>	空隙率%	压碎指标%
4.75-9.5	1333	1535	2735	43.88	-
9.5-19.0	1406	1582	2775	42.98	9.6

(3) 砂：天然河砂，II 区粗砂，性能指标见表 2。

表 2 天然砂性能指标

表观密度 kg/m <sup>3</sup>	堆积密度 kg/m <sup>3</sup>	含泥量%	细度模数
2645	1495	7.5	3.1

(4) 拌合水：自来水

### 2.2 试验方法

(1) 根据透水混凝土的结构特征，本文试验将采用重庆大学王智教授等人提出的以总孔隙率为第一设计参数，抗压强度为第二参数的配合比设计方法。同时本试验采用人工压制成型，确定水灰比为 0.35。由此计算出的不同孔隙率的透水混凝土配合比如下表 3 所示。

(2) 测试两种粒径不同孔隙率的透水混凝土 28 天抗折、抗压强度及劈裂强度<sup>[4]</sup>，分析比较骨料粒径和孔隙率对透水混凝土力学性能的影响。

(3) 对不同孔隙率（5%，10%，20%）、不同骨料粒径（4.75-9.5mm，9.5-19.0mm）的透水混凝土 100mm，150mm 和 200mm 立方试块尺寸效应进行试验研究。分析其中某一变量对透水混凝土力学性质的影响以及试件尺寸引起的力学性能的变化。

表 3 不同目标孔隙率透水混凝土配合比

编号	粒径 mm	目标孔隙率	配合比(kg/m <sup>3</sup> )			水灰比
			水泥	水	粗骨料	
PC5-5		5%	595	208		0.35
PC5-10	4.75-9.5	10%	520	182	1504	
PC5-20		20%	372	130		
PC10-5		5%	582	204		
PC10-10	9.5-19.0	10%	507	178	1550	
PC10-20		20%	359	126		

### 3. 试验结果与讨论

#### 3.1 实测孔隙率与目标孔隙率对比

透水混凝土的透水性大小取决于有效孔隙率的大小，本试验中所测得的孔隙率均为有效孔隙率，即为实测孔隙率。为了检测本实验中配合比设计方法的可行性，以及骨料粒径对孔隙率的影响。取  $w/c=0.35$ ，目标孔隙率为 5%、10%、20% 进行对照试验。如表 4 所示。

表 4 透水混凝土实测孔隙率

粒径/mm	目标孔隙率	实测孔隙率	实测/目标*100%
	5%	4.5%	90%
4.75-9.5	10%	9.8%	98%
	20%	15.4%	77%
	5%	4.4%	88%
9.5-19	10%	9.5%	95%
	20%	14.8%	74%

从表 4 可以看出：目标孔隙率为 5% 和 10% 配制的透水混凝土，实测孔隙率与目标孔隙率很接近。但目标孔隙率为 20%，实测为 15%，相差较大，所以将孔隙率 15% 作为之后数据分析。

#### 3.2 透水混凝土透水性展示

图 1 是两种不同粒径骨料，孔隙率为 15% 的透水性展示，由图可以看出，透水混凝土透水性能很好，水从不同孔道流出，在混凝土表面没有积水。



(a) 4.75-9.5mm, 15%孔隙率 (b) 9.5-19.0mm, 15%孔隙率

图 1 透水性展示

### 3.3 孔隙率与骨料粒径及 28 天力学强度的关系

不同骨料粒径配制的不同孔隙率的透水混凝土 28 天抗折、抗压强度分别如图 2、图 3 所示，由图可以看出，无论对于哪种粒径配制的透水混凝土，随着目标孔隙率的增大，透水混凝土 28 天抗折、抗压强度随之下降。

对于粒径 4.75-9.5mm 骨料配制的透水混凝土，当孔隙率由 5%增加到 10%时，混凝土 28 天抗折强度下降 26%，抗压强度下降 32%；当孔隙率由 10%增加到 20%时，混凝土 28 天抗折强度下降 21%，抗压强度下降 51%。对于粒径 9.5-19mm 骨料配制的透水混凝土，当孔隙率由 5%增加到 10%时，混凝土 28 天抗折强度下降 57%，抗压强度下降 46%；当孔隙率由 10%增加到 20%时，混凝土 28 天抗折强度下降 10%，抗压强度下降 14%。

对于小粒径的骨料而言，水泥与骨料胶结面强度起关键性作用，随着孔隙率的增加，水泥用量减少，胶结能力下降，混凝土强度下降。对于大粒径骨料配制的透水混凝土，当孔隙率由 10%增加到 20%时，混凝土 28 天抗折强度、抗压强度变化不大，这是由于当孔隙率较大时，骨料强度对混凝土强度也会产生影响。

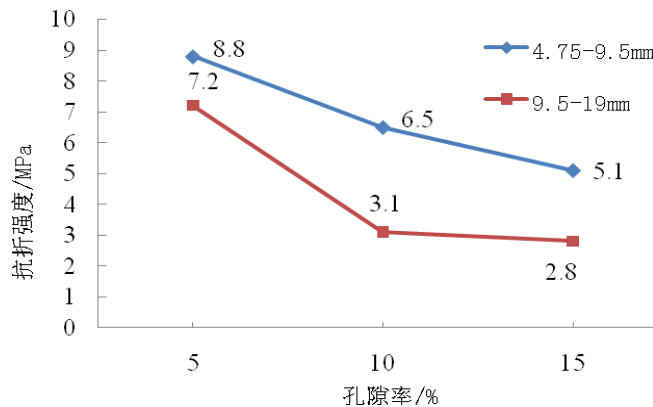


图 2 透水混凝土 28 天抗折强度与骨料粒径及孔隙率的关系

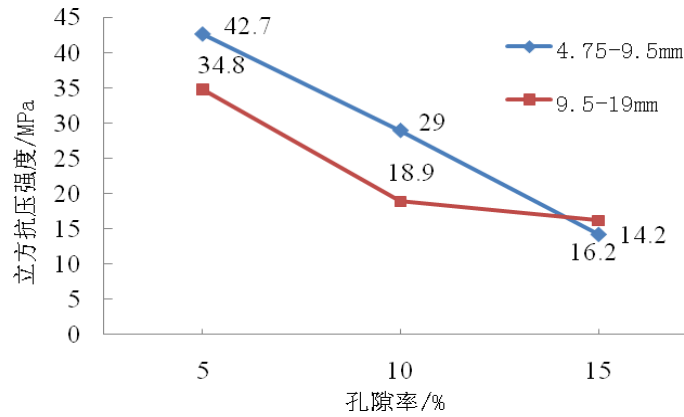


图3 透水混凝土 28 天抗压强度与骨料粒径及孔隙率的关系

### 3.4 尺寸效应对透水混凝土力学性能的影响

#### 3.4.1 不同骨料粒径试块抗压强度、劈裂强度和试块尺寸的关系

粒径为 4.75-9.5mm 和 9.5-19mm 骨料配制的不同尺寸、不同孔隙率的透水混凝土 28 天立方抗压强度分别如图 4、图 5 所示。粒径为骨料配制的不同尺寸、不同孔隙率的透水混凝土 28 天立方抗压强度如图 5 所示。粒径为 4.75-9.5mm 和 9.5-19mm 骨料配制的不同尺寸、不同孔隙率的透水混凝土 28 天劈裂强度如图 6、图 7 所示。

对于粒径为 4.75-9.5mm 配制的透水混凝土，随着尺寸的增大，混凝土立方抗压强度呈下降趋势。对于孔隙率为 5%、10%、20%的透水混凝土，当尺寸由 100mm 增加到 150mm 时，其立方抗压强度略有所下降，但当尺寸增加到 200mm 时，透水混凝土立方强度下降 20%左右。对于粒径为 9.5-19mm 配制的透水混凝土，当孔隙率为 5%时，随着尺寸的增大，混凝土强度呈下降趋势。当尺寸由 100mm 增加到 150mm 时，其立方抗压强度下降 20%，当尺寸由 150mm 增加到 200mm 时，透水混凝土立方强度也下降 20%左右。当孔隙率为 10%、20%时，随着尺寸的增大，混凝土强度呈下降趋势，但下降幅度不大。

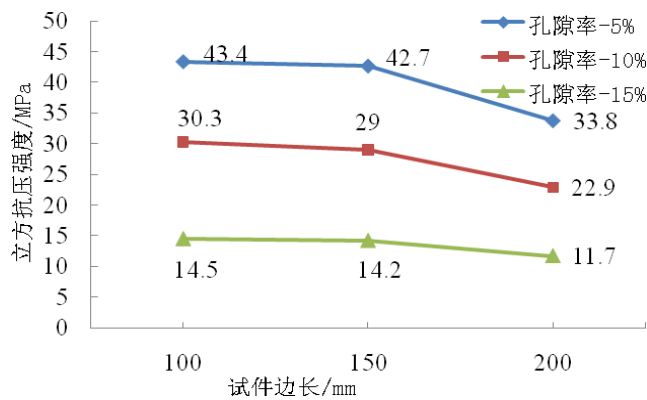


图4 (4.75mm-9.5mm) 立方抗压强度与试件尺寸的关系

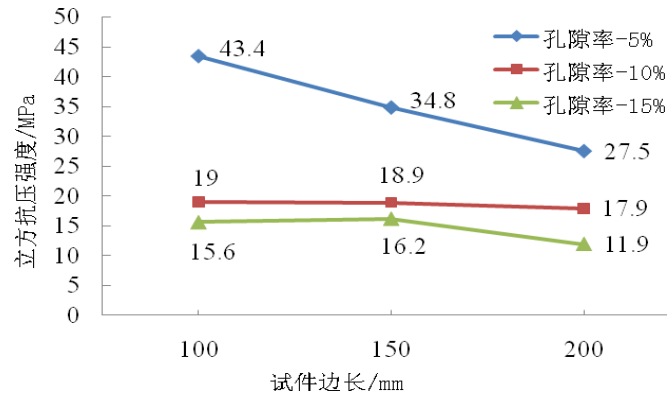


图 5 (9.5mm-19.5mm) 立方抗压强度与试件尺寸的关系

可以看出对于小粒径骨料配制的透水混凝土，尺寸效应对不同孔隙率的混凝土强度均有较明显的影响，对于大粒径骨料，尺寸效应对低孔隙率的混凝土强度影响较大。

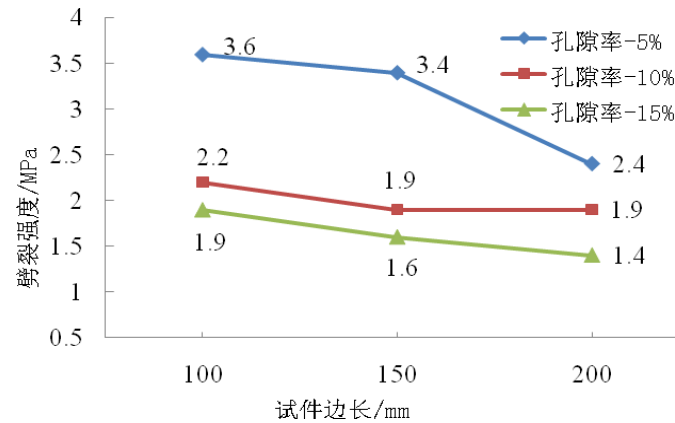


图 6 (4.75mm-9.5mm) 劈裂强度与试件尺寸的关系

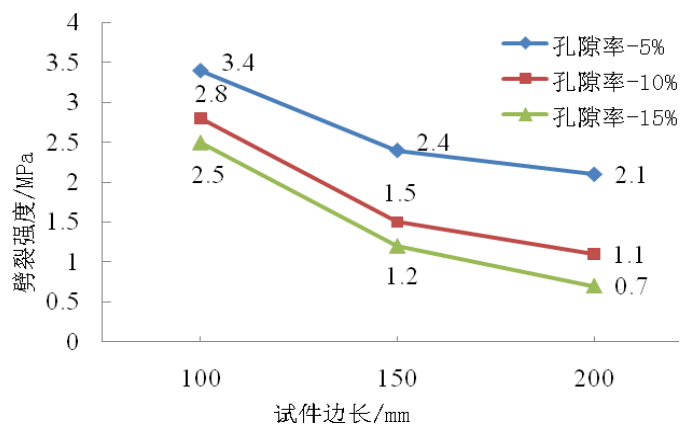


图 7 (9.5mm-19.5mm) 劈裂强度与试件尺寸的关系

无论对于哪种粒径配制的透水混凝土，随着尺寸的增大，混凝土劈裂强度呈下降趋势。对于粒径为 4.75-9.5mm 配制的孔隙率为 5% 的透水混凝土，当尺寸由 100mm 增加为 200mm 时，其劈裂强度下降 33%，对于孔隙率为 20% 的透水混凝土，当尺寸由 100mm 增加为 200mm 时，其劈裂强度下降 26%。

---

---

对于粒径为 9.5-19mm 配制的孔隙率为 5%的透水混凝土,当尺寸由 100mm 增加为 200mm 时,其劈裂强度下降 38%,对于孔隙率为 20%的透水混凝土,当尺寸由 100mm 增加为 200mm 时,其劈裂强度下降 72%。由此可以看出尺寸效应对大粒径骨料配制的大孔隙率透水混凝土劈裂强度影响更大。

## 4 结论

1. 根据以总孔隙率为第一设计参数,抗压强度为第二参数的配合比设计方法获得的实测孔隙率与目标孔隙率基本一致,说明了本试验采用的配合比设计方法的合理性;

2. 无论对于哪种粒径配制的透水混凝土,随着目标孔隙率的增大,透水混凝土 28 天抗折、抗压强度随之下降。对于小粒径的骨料而言,水泥与骨料胶结面强度起关键性作用,随着孔隙率的增加,水泥用量减少,胶结能力下降,混凝土强度下降。对于大粒径骨料配制的透水混凝土,

3. 随着尺寸的增大,透水混凝土立方抗压强度、劈裂强度呈下降趋势。小粒径骨料配制的透水混凝土,尺寸效应对不同孔隙率的混凝土强度均有较明显的影响,对于大粒径骨料,尺寸效应对低孔隙率的混凝土强度影响较大。

## 参考文献

[1]张朝辉,王沁芳,杨娟,透水混凝土强度和透水性影响因素研究[J],混凝土,2008(3)

[2]张朝辉,王沁芳,杨娟等,透水混凝土配合比研究与设计[J],混凝土,2008(6)

[3]王智等,多孔混凝土配合比设计方法初探[J],重庆建筑大学学报,2008(6)

[4]国家标准《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T 50081-2002)