

# 无砂多孔混凝土配合比的研究

徐 飞<sup>1</sup>, 肖党旗<sup>2</sup>

(1. 扬州大学建工学院, 江苏 扬州 225009; 2. 西安市未央区水务工作站, 陕西 西安 710016)

**摘 要:** 无砂多孔混凝土具有多孔、透水性好、有一定强度, 在土木、道路、环保工程中有十分广阔的应用, 但其配合比设计及施工工艺与普通混凝土不同。本文对无砂多孔混凝土的配合比设计进行了试验研究, 引入无砂多孔混凝土拌和物稠度状态等级的概念, 提出了无砂多孔混凝土配合比设计的优化方法。

**关键词:** 无砂多孔混凝土; 配合比

**中图分类号:** TU528.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672—1144(2005)04—0024—03

## Research on Mix Proportion of No-fines and Porous Concrete

XU Fei<sup>1</sup>, XIAO Dang-qi<sup>2</sup>

(1. College of Civil Engineering, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China;

2. Weiyang District Water Conservancy Work Station of Xi'an City, Xi'an, Shaanxi 710016, China)

**Abstract:** The no-fines and porous concrete is porous and permeable, and also has proper strength. It is widely used in civil, roadway and environmental protection project, but the way of its mix design and manufacture is different from the way of the common concrete. By the idea of consistency condition degree, a optimized method of mix design of the no-fines and porous concrete is put forward in this paper after the experimental research.

**Keywords:** no-fines and porous concrete; mix proportion

## 0 前 言

无砂多孔混凝土是由粗骨料、水泥和水拌制而成的轻质多孔混凝土, 它不含细骨料, 粗骨料颗粒表面包覆着一薄层水泥浆, 骨料颗粒相互接触、相互粘结, 形成孔穴均匀分布的蜂窝状结构, 具有透气、透水和重量轻等特点。它在工程中用作轻型砌体、降水井管壁、排水暗管、排水路面、绿化多孔混凝土以及净化污水的多孔混凝土。

国内外一些单位和学者曾对无砂透水多孔混凝土配合比进行了研究, 取得一些成果。目前国内外进行无砂多孔混凝土配合比设计, 一般多采用查表法、图示法及计算公式法, 我国常用的是计算公式法。但是, 无砂多孔混凝土的配合比设计受许多因素的影响, 如粗骨料的品种和级配、颗粒的形状、水灰比、单方混凝土水泥用量、成型方法及养护条件等, 尤其是水灰比、单方混凝土水泥用量两参数会对

无砂多孔混凝土的强度、空隙率、渗透系数产生很大影响。用现行方法求配合比往往有偏差, 而且试配调整工作量大、不经济。随着无砂多孔混凝土在工程中日益广泛的应用, 配合比不合理, 工艺成型和养护不适当等问题急待进一步研究。本文探讨如何在现有方法基础上优化设计配合比, 从而有利于加强和改进施工工艺, 提高无砂多孔混凝土的性能, 促进无砂多孔混凝土在工程中的应用。

## 1 原材料及配合比设计

### 1.1 原材料

无砂多孔混凝土原材料的选择主要是水泥品种和强度等级、粗骨料的类型、粒径及级配。

水泥, 采用强度等级为 42.5 MPa 普通硅酸盐水泥, 水泥性能指标见表 1。

粗骨料, 采用 5~10 mm 一种地产单粒级碎石粗骨料见表 2。

收稿日期: 2005-08-16

基金项目: 扬州大学基金项目(LK0213087)

作者简介: 徐 飞(1966—), 男(汉族), 江苏扬州市人, 硕士, 研究方向为土木工程。

表 1 水泥技术性能指标

检验项目	初凝 时间 / min	终凝 时间 / h	细度 / %	3 d 强度 / MPa		28 d 强度 / MPa	
				抗折	抗压	抗折	抗压
标准要求	45	10	10	3.5	16.0	6.5	42.5
实测结果	180	6	5	5.5	21.0	9.2	49.0

表 2 粗骨料性能指标

粒 径 / mm	视密度 / (kg · m <sup>-3</sup> )	堆积密度 / (kg · m <sup>-3</sup> )	总含泥 量/ %	压碎指 标/ %	空隙率 / %
5 ~ 10	2 640	1 720	0.7	5.0	35.0

1.2 配合比设计

无砂多孔混凝土配合比设计主要参数是水灰比、单方混凝土水泥用量。

水灰比既影响无砂多孔混凝土的强度,又影响其透水性。对不同粒径、不同颗粒形状的骨料,其合理水灰比不同。当水灰比太小,水泥浆则过稠,水泥浆较难均匀地包裹在粗骨料颗粒表面,不利于强度的提高。如果水灰比过大,水泥浆则过稀,水泥浆又会从骨料颗粒表面滑下,包裹粗骨料颗粒表面水泥浆过簿,不利于强度的提高,同时由于水泥浆流动性过大,水泥浆可能把透水空隙部分或全部堵实,既不利于透水,也不利于整体强度的提高。一般水灰比值介于 0.25 ~ 0.40 之间。

单方混凝土水泥用量,有些资料认为水泥用量决定了骨料颗粒周围所包裹的水泥浆膜厚度,增加水泥用量也就增大了骨料颗粒周围所包裹的水泥薄膜厚度,增大粘结面,提高无砂多孔混凝土强度。但实际情形是小粒径骨料比大粒径骨料有较大表面积,碎石比卵石易粘住水泥浆,在确定的水灰比和施工条件下,包裹粗骨料颗粒表面水泥浆厚度变化不大,因此不考虑水灰比、骨料特性、施工条件等重要因素,如果用提高水泥用量来提高无砂多孔混凝土强度,结果是多余水泥浆会沉在底部,局部变得密实,会降低无砂混凝土的空隙率和透水性。因此无砂混凝土的配合比不同于普通的密级配混凝土,无砂混凝土的水泥用量必须从技术和经济两个方面来综合考虑。

配合比设计步骤:

(1) 确定水灰比范围

根据具体工程的要求,参考特种混凝土配合比手册、结合实践经验选择水灰比的变动范围为 0.30 ~ 0.40,依上面分析若水灰比太小,水泥浆稠不能很

好包裹骨料;水灰比过大,水泥浆稀不利强度提高,因此通过变动水灰比寻找一个最佳水灰比。水灰比变动步长可选 0.02、0.03、0.04、0.05 等,本例选择变动步长为 0.05,选择 3 个水灰比变化水平如 0.30、0.35、0.40。

(2) 确定骨料用量

1 m<sup>3</sup> 无砂多孔混凝土的骨料用量取为:1 m<sup>3</sup> 紧密状态的碎石质量 ×0.98(折减系数)。无砂多孔混凝土中粗骨料颗粒相互抵依,对某一性状的粗骨料其单方用量是定值,考虑水泥浆的包裹作用乘以一折减系数。粗骨料用量过少,灰骨比过大,会使部分粗骨料颗粒飘浮在水泥浆中,影响无砂多孔混凝土的空隙率。

(3) 确定水泥用量

参照实践经验,在每一水灰比(如 0.40)的情况下,1 m<sup>3</sup> 无砂多孔混凝土选择 3 ~ 5 个水泥用量水平(如 160 kg、200 kg、220 kg、240 kg、260 kg 等)。

(4) 试拌成型、评定无砂多孔混凝土拌和物稠度的状态。

无砂多孔混凝土因为缺少细骨料包裹,用振动成型水泥净浆容易下沉,导致水泥浆分布不均,开口空隙被填实,空隙率、强度离散性大,在本试验过程中采用分层插捣法成型试件,同时观察拌和物的状态,在考虑所使用的粗骨料特性和施工条件两因素基础上,引入无砂多孔混凝土拌和物的稠度状态的概念,对无砂多孔混凝土拌和物的稠度状态进行等级量化(表 3),评定无砂多孔混凝土拌和物的稠度状态等级,选定无砂多孔混凝土拌和物的合理稠度状态的配合比。

表 3 无砂多孔混凝土拌和物的稠度状态的评定

状态区分	等级
拌和物试料易崩解,骨料颗粒表面水泥浆层稠、厚度不均匀、毫无光泽	1
拌和物试料有部分崩解缺角,骨料颗粒表面水泥浆层厚度较不均匀,骨料表面无光泽	2
拌和物试料保持容器形状,骨料颗粒表面水泥浆层厚度均匀、有光泽,试料徐徐崩解	3
骨料颗粒表面水泥浆层厚度均匀、有光泽,试料易崩解,有浆体流淌	4
骨料颗粒表面水泥浆层薄、厚度不均匀、无光泽,有浆体流淌	5

采用稠度状态评价方法进行无砂多孔混凝土配

合比的设计,优点在于此种设计方法是能够合理选定水灰比和单位体积多孔混凝土的水泥用量,初步筛选出几组合理的可能配合比值。再测定它们的强度、渗透系数、空隙率等指标,最后根据测定的指标,确定符合技术经济要求的无砂多孔混凝土施工配合比。很明显,用不符合稠度状态(最优的是等级 3)的配合比去测定无砂多孔混凝土的其它技术指标是无益的,稠度状态越差,其它技术指标的离散性越大。本文根据配合比试验水平因素设计试验方案,选择符合稠度评价指标等级 3 的配合比如表 4,试验测试结果如表 5。

表 4 无砂混凝土配合比试验水平因素

水平	因素		多孔混凝土 拌和物的稠度状态
	水灰比	单方多孔混凝土 水泥用量/ kg	
1	0.30	200	-
2		220	-
3		240	(等级 3)
4		260	-
5	0.35	200	-
6		220	(等级 3)
7		240	-
8		260	-
9	0.40	160	-
10		180	(等级 3)
11		200	-
12		220	-

表 5 试验测试结果

编号	水灰比	单方多孔 混凝土水 泥用量/ kg	空隙率		渗透 系数 ( $\text{cm s}^{-1}$ )	28 d 抗 压强度 / MPa
			全空隙 率/ %	有效空 隙率/ %		
1	0.30	240	23.3	21.6	1.9	12.6
2	0.35	220	26.5	24.8	2.3	8.9
3	0.40	180	29.2	27.1	2.7	6.4

## 2 结果分析

### 2.1 抗压强度

无砂多孔混凝土属于骨料骨架空隙结构,从试验结果看如果骨料级配良好,水灰比合理,表面包裹有水泥浆的骨料相互抵依、颗粒之间少有干涉现象、颗粒接触点水泥浆连接面大,则无砂多孔混凝土抗压强度高。小水灰比、多水泥用量,无砂多孔混凝土抗压强度高;大水灰比、少水泥用量,无砂多孔混凝土

抗压强度低。水灰比影响骨料颗粒表面水泥浆层的厚度、水泥用量,水灰比和水泥用量不当,会造成多孔混凝土骨料颗粒表面水泥浆层稠薄不均、易崩解、强度低,或者造成半多孔半密实、强度虽高但空隙低的情形。因此,对一种骨料拌制无砂多孔混凝土,有一组最优的水灰比和水泥用量。

### 2.2 空隙率

水灰比不变的情况下,随着水泥用量的增加,空隙率降低,强度提高,过多的水泥用量会填充到骨料间的空隙中,有研究表明胶凝材料用量与空隙率和强度变化的关系呈近似的线性关系<sup>[1]</sup>。

### 2.3 渗透系数

透水性试验结果表明:无砂多孔混凝土的透水性随水灰比的增大渗透系数增大,在水灰比一定的情况下,随水泥用量的减少,透水系数增大。试验结果表明内部细观组成均匀的无砂多孔混凝土渗透系数与有效空隙率有较好的相关性。

## 3 结 语

(1) 无砂多孔混凝土既要多孔、保证其渗透性,又要有一定的力学强度,其配合比设计的参数水灰比和水泥用量相互影响,对无砂多孔混凝土性能有很大影响,因此它和普通混凝土相比有不同的配合比设计方法。

现行方法是设定一水泥用量的情况下,用从大到小几种不同的水灰比分别拌制混凝土然后通过试验求出抗压强度,绘出水灰比 - 强度关系曲线,求出最大抗压强度对应的水灰比,该水灰比即为最优水灰比。但该法没有考虑到拌和物易崩解、粘聚性差、不均匀情形,成形后易出现部分多孔部分密实的情况,试验结果有较大离散性,且试验工作量大,方法繁杂。

(2) 本文提出无砂多孔混凝土拌和物的稠度状态等级的概念,在无砂多孔混凝土配合比设计中选择水灰比、单方混凝土水泥用量等因素,每个因素下选择数个水平,试拌混凝土,评定其稠度状态,选择合理稠度状态的配合比测定其抗压强度、空隙率、渗透系数等技术经济指标。所以利用本文提出的无砂多孔混凝土拌和物的稠度状态评级方法,我们在配合比设计的初始阶段能缩小合理配合比的搜索范围,减少大量不必要的重复试验工作量,快速简便地求出多孔无砂混凝土合理配合比。

(下转第 38 页)

曲线图中的线性关系部分进行直线拟合,所得的斜率是全局最大 Lyapunov 指数。

### 3 实例分析

本文对某水库大坝的渗流观测数据进行分析计算。该坝为沥青混凝土斜墙土石混合坝,坝高 50 m,坝顶高程 66 m,顶长 619 m,宽 6 m。在左岸排水支洞内,上下游两侧各设置两道薄壁矩形量水堰,第 1 道允许最大观测水量为 12 l/s,第 2 道允许最大观测水量为 350 l/s。图 1 为 1993 年 4 月 14 日到 2003 年 12 月 31 日坝体渗流量实测数据过程线。

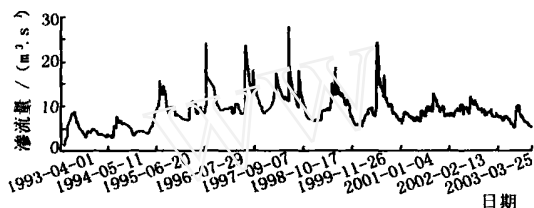


图 1 实测渗流量过程线

图 2 为互信息量与时间延迟时间的关系曲线,由于  $I(13) = 3.32$ ,  $I(14) = 3.29$ ,  $I(15) = 3.30$ , 第一个最小点在  $\tau = 14$  处,因此,取时间延迟为  $\tau = 14$ 。图 3 为渗流量分离曲线图,嵌入维数  $m$  取值为 3~8,求出各嵌入维数下的最大 Lyapunov 指数如表 1 所示。当  $m = 8$  时,最大 Lyapunov 指数就不变化了,因此,取  $m = 8$ 。此时最大 Lyapunov 指数为  $2.5 \times 10^{-4} > 0$ ,可以说明该渗流时间序列具有混沌特性。

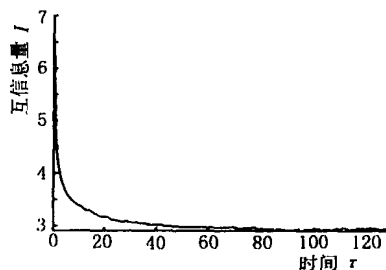


图 2 互信息量与延迟时间关系曲线

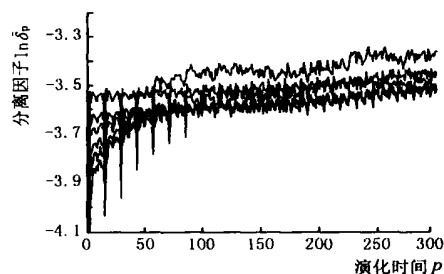


图 3 最大 Lyapunov 指数谱图

表 1 最大 Lyapunov 指数

嵌入维数	3	4	5	6	7	8
最大 Lyapunov 指数 ( $\times 10^{-4}$ )	4.6	3.7	3.3	2.9	2.5	2.5

### 4 结 论

(1) 本文根据混沌理论,将大坝运行性态看作作为一种非线性动力系统,对渗流观测数据序列进行相空间重构,计算其最大 Lyapunov 指数。通过计算得到嵌入维数  $m = 8$ ,时间延迟  $\tau = 14$ ,最大 Lyapunov 指数为  $2.5 \times 10^{-4}$  (正数),说明实测渗流序列具有混沌特性。

(2) 对于具有混沌特性的序列,可以用混沌理论对其进行分析,预测大坝渗流变化情况。

#### 参考文献:

- [1] Takens F. Dynamical system and turbulence. In: Rand D, Young L S, eds [M]. Lecture Notes in Mathematics. Berlin: Springer, 1982: 366-381.
- [2] Ding M, Grebogi C, Ott E, et al. Estimating correlation dimension from chaotic time series: when does plateau onset occur[J]. Physica D, 1993, 69: 404-424.
- [3] M. T. Rosenstein J. J., Collins, C. J., De Luca. A practical method for calculating largest lyapunov exponents from small data sets[J]. Physica D 65, 117(1993).

(上接第 26 页)

#### 参考文献:

- [1] 孙道胜,等. 无砂大孔绿化混凝土制备的初步研究[J]. 安徽建筑工业学院学报, 2004, (1): 35-39.
- [2] 雍本. 特种混凝土配合比手册[M]. 成都: 四川科学技术出版社, 2003.
- [3] 张应立. 现代混凝土配合比手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.

- [4] 李继业. 新型混凝土技术与施工工艺[M]. 北京: 中国建筑业出版社, 2001.
- [5] 吴科如,等译. 混凝土(加)[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [6] 李国洋,等译. 混凝土的性能(英)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1983.
- [7] 杨静. 建筑材料与人居环境[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.