

# 基于正交试验的水工沥青混凝土 配合比影响因素研究

余梁蜀, 丁治平, 付世传, 晋晓海  
(西安理工大学, 陕西 西安 710048)

**摘要:** 水工沥青混凝土配合比直接决定沥青混凝土的强度、变形性能和防渗性能等指标, 在实际工程中影响沥青混凝土性能的因素较多, 要通过大量的试验来确定沥青混凝土的配合比。本文利用正交试验方法对水工沥青混凝土配合比进行试验, 研究了油石比、填料用量、级配指数 3 个因素对沥青混凝土性能的影响。研究表明: 油石比对沥青混凝土性能的影响最显著。

**关键词:** 水工沥青混凝土; 配合比; 正交试验; 影响因素分析

**中图分类号:** TV431.5      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1672-643X(2012)02-0051-03

## Study on the impact factors for the mix rate of hydraulic asphalt concrete based on orthogonal test

YU Liangshu, DING Zhiping, FU Shichuan, JIN Xiaohai  
(Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

**Abstract:** The strength, deformation, seepage properties and other indicators of hydraulic asphalt concrete are determined by the asphalt concrete mixed rate. There are many factors affecting the performance of asphalt concrete in practical engineering. In order to determine the asphalt concrete mixed rate, a large number of tests are needed. Based on orthogonal test method, the paper studied the effects of three factors as bitumen aggregate ratio, filler content and graded index to the performance of asphalt concrete. The results showed that the bitumen aggregate ratio was the most significant factor affecting the properties of asphalt concrete.

**Key words:** hydraulic asphalt concrete; mix rate; orthogonal experiment; impact factor analysis

水工沥青混凝土作为一种优越的防渗材料, 具有良好的防渗性能和适应变形能力, 随着我国水利事业的发展建设, 沥青混凝土坝的优点越来越明显, 这种坝型的建设越来越普及。在水工沥青混凝土领域中配合比设计是一个重要的研究课题, 由于影响沥青混凝土性能的因素较多, 且各因素之间的关系较为复杂, 单凭经验无法达到预期要求, 就必须通过试验来研究, 得到最优的配合比。而在配合比试验设计中由于其影响的因素较多, 需要大量的试验, 为了避免试验量过大, 就需要选择合适的试验设计方法, 本文主要通过正交试验方法来对水工沥青混凝土的影响因素进行分析。

## 1 沥青混凝土正交试验设计

正交表是正交试验设计的有效工具, 它具有正

交性、均匀分散性和综合可比性的特点, 能反映各因素和不同水平对试验结果的影响。在沥青混凝土配合比设计中, 级配指数、油石比和填料量是影响水工沥青混凝土强度、变形及防渗性能的主要因素。本文通过孔隙率(与防渗性能相关)试验和劈裂试验(得到劈裂强度和劈裂位移)来研究级配指数、油石比、填料量这 3 个因素及每种因素的数量水平对沥青混凝土强度、变形和防渗性能的影响。

根据以往的研究经验, 用于心墙沥青混凝土的级配指数一般变化范围为 0.36 ~ 0.42, 油石比的变化范围为 6.3% ~ 7.2%, 填料用量变化范围为 10% ~ 16%, 本试验研究各因素的水平选择如下:

级配指数用  $r$  表示, 选取 0.38、0.40、0.42 这 3 个变化水平作为试验条件。

油石比用  $B$  表示, 选取 6.6%、6.9%、7.2% 这 3

收稿日期: 2011-11-29

基金项目: 西安理工大学博士科研基金(106-210907)

作者简介: 余梁蜀(1964-), 女, 重庆梁平人, 副教授, 主要从事水工防渗结构和材料研究。

个变化水平作为试验条件。

填料用量用  $F$  表示,选取 12%、14%、16% 这 3 个变化水平作为试验条件。

根据选取的因素和水平设计正交试验表(见表 1),从表 1 中可以看到,依据正交试验方法只需要 9 个配合比,即进行 9 组试验就能满足研究的需要。

分别对表 1 中的配合比按照《水工沥青混凝土试验规程》(DL/T5362-2006)进行孔隙率试验和劈裂试验,试验结果也列入表 1 中。

## 2 水工沥青混凝土配合比影响因素

为了研究各因素对水工沥青混凝土性能的影响,对表中的试验结果进行极差分析和方差分析。

### 2.1 极差分析法

极差法直观形象、简单易懂。通过简单的计算和分析就可以得到试验的优化成果—主次因素及最优组合。能满足一般试验的要求。但极差法不能估计试验误差,无法确定试验优化成果的可信度。由表 1 看出,本次试验衡量试验结果优劣的指标有多

个,属于多指标问题,因此采用综合平衡法计算,计算结果见表 2。表 2 中设总试验数为  $n$ ,第  $j$  列同一水平重复次数为  $k_j, k_j = 3$ ,各因素相应水平指标为  $K_1, K_2, K_3$ ,极差  $R_j$  的计算见公式(1):

$$R_j = (\{\max(K_1, K_2, K_3, \dots)\} - \{\min(K_1, K_2, K_3, \dots)\})/k_j \quad (1)$$

表 1 正交表和试验结果

配比号	影响因素			MPa, mm, %		
	级配 指数 $r$	填料 用量 $F$	油石 比 $B$	劈裂 强度	劈裂 位移	孔隙率
1	1(0.38)	1(12)	1(6.6)	0.888	3.158	0.829
2	1(0.38)	2(14)	2(6.9)	0.837	3.167	0.796
3	1(0.38)	3(16)	3(7.2)	0.802	3.250	0.623
4	2(0.40)	1(12)	2(6.9)	0.885	3.028	0.656
5	2(0.40)	2(14)	3(7.2)	0.840	3.800	0.866
6	2(0.40)	3(16)	1(6.6)	0.900	2.694	1.089
7	3(0.42)	1(12)	3(7.2)	0.843	3.200	0.772
8	3(0.42)	2(14)	1(6.6)	0.904	2.911	1.049
9	3(0.42)	3(16)	2(6.9)	0.869	3.142	0.889

表 2 极差法计算结果

水平 数	劈裂强度				劈裂位移				孔隙率			
	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$R = (K_{\max} - K_{\min})/3$	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$R$	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$R$
$r$	2.527	2.625	2.616	0.033	9.575	9.522	9.253	0.107	2.248	2.610	2.710	0.154
$F$	2.616	2.581	2.571	0.015	9.386	9.878	9.086	0.364	2.257	2.711	2.601	0.151
$B$	2.692	2.591	2.485	0.069	8.763	9.337	10.250	0.496	2.967	2.341	2.261	0.235

根据表 2 计算结果得到各指标影响因素排序为:

劈裂强度:  $B \rightarrow r \rightarrow F$ ; 劈裂位移:  $B \rightarrow F \rightarrow r$ ; 孔隙率:  $B \rightarrow r \rightarrow F$ 。由此可以看出,油石比  $B$  最为重要,它对沥青混凝土强度、位移和孔隙率影响最大;级配指数对劈裂强度和孔隙率的影响次之。水工沥青混凝土配合比试验的三个指标中劈裂强度和位移指标越高越好,孔隙率指标则越低越好。根据经验在劈裂强度与劈裂位移成反比,即劈裂强度大、劈裂位移小,劈裂强度小、劈裂位移大。因此,保证沥青混凝土质量的主要矛盾在于选取合适的油石比和级配指数。经过综合考虑,油石比和级配指数都选用中间者

$B2, r2$  能保证本次试验的试验结果达到最优,填料用量根据试验分析选择  $F2$ 。

### 2.2 方差分析法

方差法可以通过计算试验的偏差,并通过寻求他们之间的关系来估计试验误差及判断试验因素及其交互作用的主次和显著性并给出所作结论的置信度,确定最优组合和置信区间。对表 1 中的试验结果进行方差分析,分别得到表 3、表 4 和表 5。

从表 3、4、5 表格中可以看出,因素  $B$ (油石比)最为重要,它对 3 个性能指标影响最为显著,影响因素的排序与极差分析的计算结果相符。

表 3 方差分析劈裂强度试验计算结果表

方差来源	偏差	自由度	均方差	$F$	临界值	显著性排序
$r$	$S_r = 0.00196$	2	$V_r = 0.000978$	$F_r = 39.475$	$F_{0.01}(2,2) = 99.0$	2
$F$	$S_F = 0.00037$	2	$V_F = 0.000186$	$F_F = 7.511$	$F_{0.05}(2,2) = 19.0$	3
$B$	$S_B = 0.00714$	2	$V_B = 0.003571$	$F_B = 144.139$	$F_{0.25}(2,2) = 3.0$	1
$e$	$S_e = 4.956 \times 10^{-5}$	2	$V_e = 2.4778 \times 10^{-5}$			
总和	$S_T = 0.00952$	8				

表4 方差分析劈裂位移试验计算结果表

方差来源	偏差	自由度	均方差	F	显著性排序
r	$S_r = 0.01987$	2	$V_r = 0.009936$	$F_r = 0.0929$	3
F	$S_F = 0.10659$	2	$V_F = 0.053296$	$F_F = 0.4981$	2
B	$S_B = 0.37491$	2	$V_B = 0.187456$	$F_B = 1.7521$	1
e	$S_e = 0.21398$	2	$V_e = 0.106990$		
总和	$S_T = 0.71536$	8			

表5 方差分析孔隙率试验计算结果表

方差来源	偏差	自由度	均方差	F	显著性排序
r	$S_r = 0.03945$	2	$V_r = 0.019723$	$F_r = 1.982$	2
F	$S_F = 0.03739$	2	$V_F = 0.018697$	$F_F = 1.879$	3
B	$S_B = 0.00996$	2	$V_B = 0.049817$	$F_B = 5.007$	1
e	$S_e = 0.19901$	2	$V_e = 0.009950$		
总和	$S_T = 0.19638$	8			

### 3 试验结论

(1) 配合比参数对于沥青混凝土性能的影响极差分析和方差分析得到的结论是一致的,各因素对研究指标的影响排序为:劈裂强度:油石比→级配指

数→填料用量;劈裂位移:油石比→填料用量→级配指数;孔隙率:油石比→级配指数→填料用量。

(2) 通过极差、方差计算分析表明,油石比 B 为影响沥青混凝土性能的最显著因素,也是最重要的因素,在配合比设计中应注重油石比的选取。

(3) 本文试验中,通过极差、方差分析可以判定本次沥青混凝土配比试验的最优配比为 r2F2B2,即级配指数为 0.40,填料用量为 14%,油石比为 6.9%。

(4) 通过本次试验验证了正交试验能通过较少的配比选择来得到最优的配合比,在实际工程中有很好的实用价值,可在实际工程中加以推广。

#### 参考文献:

- [1] 蔡正詠,王足献. 正交设计在混凝土中的应用[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1985.
  - [2] 资建民,邓海龙,张伟,等. 超薄沥青混凝土配合比关键因素正交试验研究[J]. 华东公路,2007(1):60-63.
  - [3] 孙宁,符英杰. 混凝土芯样强度的正交试验研究[J]. 河南城建学院学报,2010,19(2):32-35.
  - [4] 余梁蜀,马斌,王文进,等. 浇筑式沥青混凝土防渗层配合比优选方法研究[J]. 水力发电学报,2004,23(6):75-79.
- (上接第 50 页)
- [7] Lafné J - M. Membrane technology and its application to drinking water production [C] // IWSA World Congress Proceedings, Blackwell Science LTD. 1997:22-26.
  - [8] Petersen R J. Composite reverse osmosis and nanofiltration membranes [J]. J. Membr. Sci, 1993, 83(1):81-150.
  - [9] 刘忠洲. 微滤、超滤过程中的膜污染与清洗[J]. 水处理技术,1997,23(4):187-193.
  - [10] 王磊,福士宪一. 水中有机污染物的分子量分布特征对纳滤膜透水性能影响的试验研究[J]. 给水排水,2003,29(7):35-36.
  - [11] Gorenflo A, Velizquez D, Frimmel F H. Nanofiltration of a German groundwater of high hardness and NOM content: performance and costs [J]. Desalination, 2002 (151):253-265.
  - [12] 罗敏,王占生,候立安. 纳滤膜污染的分析与机理研究[J]. 水处理技术,1998,24(6):318-323.
  - [13] Wang L, Fukushi K, Sato A. A fundamental study on the application of nanofiltration to water treatment [J]. Japan Water Works Association, 2000, 69(5):35-45.
  - [14] 邱晓霞,于水利,时文歆. 纳滤膜法水处理技术[C] // 2001 年中日水处理技术国际交流会, 2001.
  - [15] 丁一,梁恒国,刘韬,等. 天然有机物在超滤过程中的膜污染和膜清洗[J]. 西南给排水,2004,26(3):11-12.
  - [16] 许振良. 膜法水处理技术[M]. 北京:化学工业出版社,2001.
  - [17] Hong S K, Elimelech M. Chemical and physical aspects of natural organic matter (NOM) fouling of nanofiltration membrane [J]. J. Membr. Sci, 1997 (132):159-181.
  - [18] 许保玖. 水处理设备[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2000.
  - [19] 田云龙. 在水处理领域的应用[J]. 中国科技信, 2008 (9):22-23.
  - [20] 孙海梅,武道吉,石峰,等. 天然有机物对纳滤膜污染的分析与控制[J]. 山东建筑工程学院学报, 2005(8), 20(3):41-45.
  - [21] 周珺如. 纳滤膜技术在水处理中的应用[J]. 技术与应用, 2009(1-2):49-51.
  - [22] Jucker C, Clark M M. Adsorption of aquatic humic substances on hydrophobic ultrafiltration membranes [J]. J. Membr. Sci, 1995(97):37-52.
  - [23] Braghetta A, DiGiano F A, Ball WP. NOM accumulation at NF membrane surface: impact of chemistry and shear [J]. Journal of environmental engineering, 1998 (12): 1087-1098.
  - [24] 王磊,福士宪一. 原水性质对纳滤膜透水性能的影响[J]. 中国给水排水,2003,19(4):56-58.
  - [25] 李灵芝,张淑琪,王占生. 纳滤膜(NF)在饮用水处理中的应用[J]. 给水排水,1997,23(5):16-18.
  - [26] Sangyoun Lee, Jaewon Cho, Menachem Elimelech. Combined influence of natural organic matter NOM and colloidal particles on nanofiltration membrane fouling [J]. J. Membr. Sci, 2005, 262(1):17-41.