

# 下沉式建筑底层自然通风与采光优化方法研究<sup>\*</sup>

翟颖妮<sup>1,2</sup>, 王怡<sup>1,3</sup>, 黄艳秋<sup>1,3</sup>, 肖勇强<sup>1,4</sup>

(1. 西安建筑科技大学 省部共建西部绿色建筑国家重点实验室, 西安 710055; 2. 西安建筑科技大学 机电工程学院, 西安 710055; 3. 西安建筑科技大学 环境与市政工程学院, 西安 710055; 4. 西安建筑科技大学 体育学院, 西安 710055)

**摘要:**下沉式建筑能够有效利用地下空间提升土地利用率,同时规避地下建筑通风不良、采光不足等问题,具有重要的开发意义和应用价值。本文提出一种基于正交试验优化下沉式建筑底层通风和采光的方法。该方法运用数值模拟工具计算下沉式庭院的通风、采光指标值,针对下沉式建筑的设计要素(如:下沉深度、下沉宽度、底层窗台高度、楼层数),基于正交试验方法,分析各要素影响下沉式建筑底层风环境、光环境的主次顺序和规律,并对各设计要素的取值进行优化决策,得到使下沉式建筑底层通风、采光综合最优的方案。该方法可以为下沉式建筑的初期方案设计提供参考。

**关键词:**下沉式建筑;正交试验;通风;采光;优化

中图分类号:TU201.5

文献标识码:A

文章编号:1673-0836(2018)06-1692-09

## The Optimization Method for Natural Ventilation and Daylighting of the Sunken Architecture

Zhai Yingni<sup>1,2</sup>, Wang Yi<sup>1,3</sup>, Huang Yanqiu<sup>1,3</sup>, Xiao Yongqiang<sup>1,4</sup>

(1. State Key Laboratory of Green Building in Western China, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055, P.R. China; 2. School of Mechanical & Electrical Engineering, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055, P.R. China; 3. School of Environmental & Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055, P.R. China; 4. School of Physical Education, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055, P.R. China)

**Abstract:** The sunken architecture can raise the land-use capability without the defects of poor natural ventilation and inadequate daylighting of conventional underground buildings. So it has great development significance and application value. An optimization method based on orthogonal experiment was proposed for the ventilation and daylighting of the sunken architecture. The average indoor pressure differential and daylight factor of the sunken architecture were calculated by numerical simulation. The impact order and rule of the architecture design factors (the sunken height, the sunken width, the windowsill height and the number of floors) on the natural ventilation and daylighting of the sunken architecture were analyzed based on orthogonal experiment. The optimized combination values of the architecture design factors were obtained with good natural ventilation and sufficient daylighting. The method can provide easy and effective way for the schematic design of the sunken architecture.

**Keywords:** the sunken architecture; orthogonal experiment; natural ventilation; daylighting; optimization

<sup>\*</sup> 收稿日期:2018-06-15(修改稿)

作者简介:翟颖妮(1983-),女,山西运城人,博士,讲师,主要从事建筑热环境优化研究。

E-mail: ynzhai2013@163.com

基金项目:陕西省自然科学基金基础研究基金青年项目(2016JQ5056);陕西省自然科学基金基础研究基金面上项目(2017JM5143);陕西省教育厅重点实验科研计划项目(17JS070);西安建筑科技大学基础研究基金(JC1707)

## 0 引言

下沉式建筑<sup>[1-2]</sup>,作为一种新型的建筑形式,通过合理处理高差和造景,使原本封闭的地下空间具有敞开的空间,借助外庭进行采光通风,有效解决了地下空间建筑存在的通风不良、采光不足等弊端,同时为地下空间创造了良好的庭院景观,提高了土地利用效率。尤其对于西安、南京、苏州等城市,为保护古城风貌,其建筑高度、密度、容积率受到种种限制,因此下沉式建筑具有很好的适用性和开发潜力。

下沉式建筑的设计要素(如下沉深度、下沉宽度等),对建筑底层风环境、光环境影响很大。这些要素如何影响底层的光环境、热环境?在众多的设计要素中,哪些又是对底层风环境、光环境影响较大的因素?如何对这些建筑设计要素进行合理取值,以同时满足底层的通风与采光要求?在建筑环境因素分析中,学者们通常采用实地测量<sup>[3-4]</sup>、数学分析<sup>[5]</sup>、实验研究<sup>[6-7]</sup>、问卷调查<sup>[8-9]</sup>、数值模拟<sup>[10-11]</sup>等方法,通过固定其他因素而变换单个因素的取值,来分析单个因素对单个建筑环境优化指标的影响,然而这种枚举与测试的方法不仅费时费力,并且无法综合考虑多个要素对多个建筑环境指标的影响。

正交试验设计分析方法是研究多因素耦合试验分析的有效工具。该方法通过运用数理统计原理,从全面试验中挑选部分具有代表性的典型试验,综合分析多个因素的取值对指标的影响规律,具有高效、快速、经济的特点。

本文采用正交试验设计分析方法,以西安某高校下沉式学生宿舍为例,选择影响底层空间通风和采光的 4 个建筑设计要素:下沉深度、下沉宽度、底层窗台高度、楼层数,综合分析这些要素对下沉式建筑底层空间通风和采光的影响规律,并对 4 个要素的取值进行优化决策。

本文旨在提出一种基于正交试验的多因素分析决策方法,可以用于本文所提设计要素的取值优化,也可作为其他设计要素的取值优化,能够为建筑设计初期的方案决策提供指导和依据。

## 1 研究对象

为介绍正交试验优化下沉式建筑底层通风和采光的方法,选取西安市某高校下沉长廊式学生宿舍为例(图 1)。该学生宿舍以长立面为基准,成正

南正北方向,南北向各分布 10 个房间,各房间大小为  $7.0\text{ m}\times 3.5\text{ m}\times 3.5\text{ m}$ ,窗户尺寸为  $1.8\text{ m}\times 2.0\text{ m}$ ,走廊宽度为  $2.0\text{ m}$ ,走廊窗户尺寸为  $1.2\text{ m}\times 1.6\text{ m}$ 。建筑四面均设有带状下沉式庭院对地下空间进行通风和采光,庭院内铺设水泥地板,无绿化种植,庭院四周通过楼梯与自然地面进行衔接,底层庭院层主要用作超市、配镜室、复印室、洗衣房、餐饮等服务用途。简化模型如图 2 所示。



图 1 下沉式学生宿舍

Fig.1 The students' dormitory with a sunken courtyard

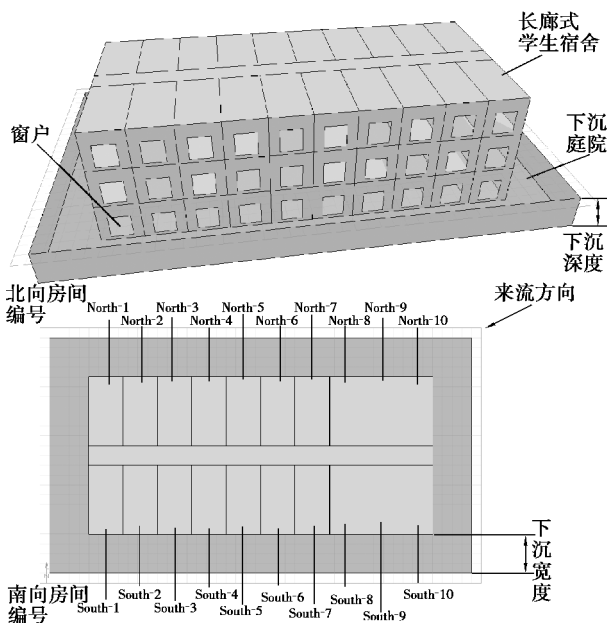


图 2 下沉式学生宿舍简化模型

Fig.2 The simplified model of the the students' dormitory

## 2 数值模拟

### 2.1 风环境模拟

本文采用 Fluent 6.3 对研究对象的风环境进行模拟。建筑物不同表面间的压力差是形成室内自然通风的主要驱动力,因此在不考虑建筑物内部布局对室内通风影响的前提下,底层房间的窗户压力与走廊窗户压力的差值代表着该房间自然通风的潜能。为研究下沉式建筑设计要素的不同取值对底层通风能力的影响,通过计算底层南、北向共 20 个房间的窗户压力与走廊窗户压力的差值,并求其平均值,作为风环境正交试验的评价指标  $\Delta\bar{p}$ , 见式(1)。

$$\Delta\bar{p} = \frac{1}{20} \left\{ \sum_{i=1}^{10} \max \{ |p_{Ni} - p_{west}|, |p_{Ni} - p_{east}| \} + \sum_{i=1}^{10} \max \{ |p_{Si} - p_{west}|, |p_{Si} - p_{east}| \} \right\} \quad (1)$$

式中:  $p_{Ni}$  为下沉式建筑底层北向第  $i$  个房间的窗户压力;  $p_{Si}$  为底层南向第  $i$  个房间的窗户压力;  $p_{west}$  为底层走廊西侧窗户压力;  $p_{east}$  为底层走廊东侧窗户压力。

#### 2.1.1 计算区域设定及网格划分

建筑风环境模拟的计算区域一般取较大的范围空间,以使得来流充分发展,根据文献[12、13],确定风环境模拟计算域的长度、宽度、高度分别为建筑物高度的 10 倍、10 倍和 4 倍。即:建筑覆盖区域占计算域区域的比例  $\leq 3\%$ ,建筑上方计算区域  $\geq 3$  倍的建筑物高度,水平计算区域以目标建筑为中心的半径为 5 倍的建筑物高度范围,如图 3 所示[13]。

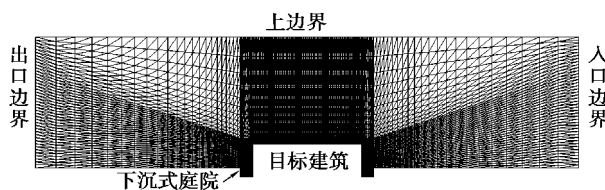


图 3 计算区域示意图

Fig.3 The schematic diagram of the computational domain

网格采用分区划法,不同区域采用不同的网格密度。在建筑物外表面以及下沉式建筑围合面附近的网格进行局部加密,使得第一层网格的  $y^+$  值满足壁面函数的要求,其他区域网格尺寸随着与目标建筑距离的增加而增大,相邻网格间的扩展系数

为 1.3。

#### 2.1.2 湍流模型

湍流模型采用标准  $k-\varepsilon$  模型,近壁区采用标准壁面函数法进行处理,压力-速度耦合选用 SIMPLEC 算法,动量和湍流动能选用二阶迎风离散格式。

#### 2.1.3 边界条件

来流边界条件设置为速度入口边界,速度大小根据 ASHRAE 手册中给出的指数边界层函数法定义,任意高度  $H$  处风速的计算见式[2]:

$$V_h = V_{ref} \left( \frac{H}{H_{ref}} \right)^a \quad (2)$$

式中:  $V_h$  为任意高度处的风速, m/s;  $V_{ref}$  为参考高度处的风速,一般由气象资料给出;  $H_{ref}$  为对应参考风速的高度,一般指气象台测量高度,常取 10 m;  $H$  为对应  $V_h$  的任意高度;  $a$  为地貌粗糙度指数。

西安市全年平均风速为 2 m/s,模拟建筑位于城市市区,根据我国《建筑结构荷载规范》(GB5009—2001),地貌粗糙度指数取 0.22<sup>[1]</sup>,则任意高度处的风速值由式(2)求得。西安市全年盛行东北风,风速梯度变化较小,风向趋于稳定,而本文研究的下沉式建筑成正南正北方向,因此建立模型时将建筑物与来流方向成 45°夹角,风向选择采用定风向稳态模拟,在 Fluent 中采用 UDF 编程进行定义。

由于计算域的上壁面不存在垂直速度分量,因此设置为对称边界;计算域的出流面已远离建筑,当有回流时压力出口边界条件有更好的收敛性,因此计算域出流边界设置为压力出口;由于来流与建筑物成 45°夹角,计算域侧面边界条件为 2 个速度入口和 2 个速度出口;庭院围合面、地面及建筑物表面设置为无滑移壁面边界条件。

#### 2.1.4 网格无关性检验

对表 2 中实验 4 进行网格无关性验证,设置网格数量为 159 万、275 万、405 万,分别获取了各网格数量下下沉式建筑底层南向、北向各房间窗户的通风压力差,如图 4 所示。通过对比可以看出,网格数量 275 万与 405 万的计算结果非常接近,因此选用 275 万网格数量对实验 4 进行分析计算,表 2 中其他实验采用相同的网格密度进行分析计算。

### 2.2 光环境模拟

本文采用 Ecotect 软件对下沉式建筑底层室内光环境进行模拟,将各房间采光系数的均值作为光环境正交试验评价指标  $\bar{C}$ ,见式(3)。



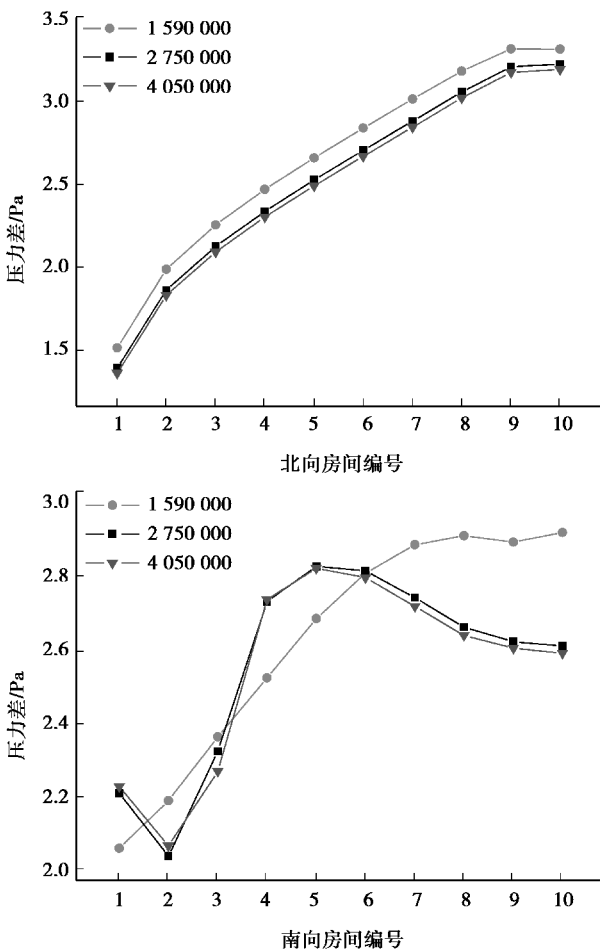


图 4 不同网格数量下下沉式建筑底层各房间通风压力差  
Fig.4 The ventilation pressure differentials of the sunken architecture with different mesh numbers

$$\bar{C} = \frac{1}{20} \left\{ \sum_{i=1}^{10} C_{Ni} + \sum_{i=1}^{10} C_{Si} \right\} \quad (3)$$

式中: $C_{Ni}$ 为底层北向第*i*个房间的室内采光系数; $C_{Si}$ 为底层南向第*i*个房间的室内采光系数。

模拟过程选取 CIE 全阴天模式,排除季节时间、太阳高度等因素的影响,光线追踪精度适中,窗户洁净度一般,采光分析采用增强精度模式。取下沉式建筑底层各房间内距离地面 0.75 m 高度水平面上的平均采光系数,作为光环境各次正交实验的指标值  $\bar{C}$ 。

### 3 正交试验优化与取值决策方法

正交试验是运用数理统计原理,应用正交性原理和均衡分散的思想,从大量试验中挑选适量的具有代表性、典型性的试验点,从而摸清各个因素对实验指标的影响情况,确定出因素的主次顺序,找出较优的参数取值组合。

影响下沉式建筑底层通风和采光的建筑设计

要素众多,各要素有不同的取值,若对各要素的取值进行全面试验以分析各要素的主次效应,则工况数量呈指数增长,数值模拟的工作量巨大。

本文采用正交试验分析各要素对下沉式建筑底层风环境、光环境影响的主次顺序,不仅可以大大简化工况数量、提高研究效率,而且在正交试验完成后,可以通过观察,预测出使底层通风与采光较优的建筑要素的取值方案。

#### 3.1 建筑设计要素的选择与取值

下沉式建筑的下沉深度、下沉宽度直接影响到底层地下空间的自然通风和采光效果,并且窗户的高度也会影响底层室内的通风和采光。同时,一般建筑对层高都有相对要求,本文选择下沉深度(*A*)、下沉宽度(*B*)、房间窗台高度(*C*)、建筑楼层数(*D*)为正交试验的因素。考虑到地下空间施工困难以及建筑层高要求,参考文献[1],分别为各要素分配 4 个取值作为各因素的水平,如表 1 所示。

表 1 下沉式建筑设计要素与水平取值  
Table 1 The design elements and levels of the sunken architecture

取值 (水平配置编号)	要素(因素)			
	<i>A</i> /m	<i>B</i> /m	<i>C</i> /m	<i>D</i> /m
1	3	4	0.3	3
2	4	5	0.4	4
3	5	6	0.5	5
4	6	7	0.6	6

#### 3.2 风环境、光环境正交试验方案设计

由表 1 可知,下沉式建筑底层风环境、光环境优化问题对应 4 因素 4 水平的正交试验,根据正交表的选择原则<sup>[14]</sup>,选择  $L_{16}(4^5)$  型正交表,将各建筑设计要素分别安排至正交表的各列,将正交表中各因素的水平编号转换为各要素的取值,完成正交试验设计,如表 2 所示。表 2 中括号内数字是  $L_{16}(4^5)$  型正交表中的水平编号,括号前数字为各水平编号所对应的各要素的取值。正交表本身具有正交性(任意两列横向各数码搭配所出现的次数相同)、均衡性(任一系列中不同水平个数相同)、独立性(没有重复实验),因此,正交试验能够选出代表性较强的少数实验来求得最优或较优的实验条

件或方案<sup>[15]</sup>。

4 结果分析

下沉式建筑各次正交实验的指标及极差结果如表 2 所示。表 2 中极差  $R$  见公式,指各列要素不同取值所对应的指标均值的最大差异。

$$R = \max(K_i) - \min(K_i), (i = 1, \cdots, 4)$$
 (4)

式中: $K_i$  指各列要素所有水平取值编号为  $i$  时,对应指标  $\Delta p$ 、 $\bar{C}$ 、 $M$  的均值。

根据正交试验原理,设计要素的极差越大,意

味着其不同取值对指标的影响越大。

表 2 表头中的第 5 列为“空列”,文献[15]指出,“空列反映随机误差的大小或者因素间的交互作用。如果其值较小,说明无交互作用,可作为误差。”根据表 2 中通风分析、采光分析的极差计算结果,空列的极差较小,因此本文忽略下沉深度( $A$ )、下沉宽度( $B$ )、房间窗台高度( $C$ )、建筑楼层数( $D$ )之间的交互作用对底层室内通风、采光的影响。

表 2 下沉式建筑底层通风采光正交试验结果

Table 2 The results of the orthogonal experiment for natural ventilation and daylighting of the sunken architecture

	设计要素					通风分 析指标	采光分 析指标	综合指标
	$A/m$	$B/m$	$C/m$	$D/m$	空列	$\Delta p/Pa$	$\bar{C}/\%$	$M$
实验 1	3(1)	4(1)	0.3(1)	3(1)	(1)	1.7	2.05	1.875
实验 2	3(1)	5(2)	0.4(2)	4(2)	(2)	2.02	2.16	2.09
实验 3	3(1)	6(3)	0.5(3)	5(3)	(3)	2.31	2.25	2.28
实验 4	3(1)	7(4)	0.6(4)	6(4)	(4)	2.55	2.35	2.45
实验 5	4(2)	4(1)	0.4(2)	5(3)	(4)	2.18	1.94	2.06
实验 6	4(2)	5(2)	0.3(1)	6(4)	(3)	2.45	1.95	2.2
实验 7	4(2)	6(3)	0.6(4)	3(1)	(2)	1.5	2.23	1.865
实验 8	4(2)	7(4)	0.5(3)	4(2)	(1)	1.89	2.18	2.035
实验 9	5(3)	4(1)	0.5(3)	6(4)	(2)	2.3	1.85	2.075
实验 10	5(3)	5(2)	0.6(4)	5(3)	(1)	2.07	2.03	2.05
实验 11	5(3)	6(3)	0.3(1)	4(2)	(4)	1.8	1.88	1.84
实验 12	5(3)	7(4)	0.4(2)	3(1)	(3)	1.33	2	1.665
实验 13	6(4)	4(1)	0.6(4)	4(2)	(3)	1.57	1.82	1.695
实验 14	6(4)	5(2)	0.5(3)	3(1)	(4)	1.04	1.82	1.43
实验 15	6(4)	6(3)	0.4(2)	6(4)	(1)	2.24	1.84	2.04
实验 16	6(4)	7(4)	0.3(1)	5(3)	(2)	2.02	1.83	1.925
均值 $K_{1\Delta\bar{p}}$	2.145	1.938	1.993	1.393	1.975			
通 均值 $K_{2\Delta\bar{p}}$	2.005	1.895	1.943	1.82	1.960			
风 均值 $K_{3\Delta\bar{p}}$	1.875	1.963	1.885	2.145	1.915			
分 均值 $K_{4\Delta\bar{p}}$	1.718	1.947	1.922	2.385	1.893			
析								
极差 $R_{\Delta\bar{p}}$	0.427	0.068	0.108	0.992	0.082			

续表2

		设计要素					通风分析指标	采光分析指标	综合指标
		A/m	B/m	C/m	D/m	空列	$\Delta p/\text{Pa}$	$\bar{C}/\%$	M
采光分析	均值 $K_{1\bar{C}}$	2.203	1.915	1.927	2.025	2.025			
	均值 $K_{2\bar{C}}$	2.075	1.99	1.985	2.01	2.018			
	均值 $K_{3\bar{C}}$	1.94	2.05	2.025	2.012	2.005			
	均值 $K_{4\bar{C}}$	1.828	2.09	2.107	1.998	1.998			
	极差 $R_{\bar{C}}$	0.375	0.175	0.18	0.027	0.027			
综合分析	均值 $K_{1M}$	2.174	1.926	1.96	1.709				
	均值 $K_{2M}$	2.04	1.942	1.964	1.915				
	均值 $K_{3M}$	1.907	2.006	1.955	2.079				
	均值 $K_{4M}$	1.772	2.019	2.015	2.191				
	极差 $R_M$	0.402	0.093	0.06	0.482				

4.1 风环境结果分析

4.1.1 各设计要素对底层通风的重要度排序分析

根据表 2 中通风分析结果,按照各要素的极差  $R_{\Delta\bar{p}}$  排序,得到它们对下沉式建筑底层通风潜力影响程度的排序为: $D>A>C>B$ (即:楼层数>下沉深度>窗台高度>下沉宽度)。楼层数的变化对通风压力差变化的贡献率为 62.19%,下沉深度为 26.77%,窗台高度为 6.77%,而下沉宽度仅为 4.26%。

4.1.2 各设计要素对底层通风的影响规律分析

为了更直观地表示各设计要素对下沉式建筑底层通风的影响规律和趋势,以各设计要素的不同取值为横坐标,对应  $\Delta\bar{p}$  的均值  $K_{i\Delta\bar{p}}$  为纵坐标,绘制各设计要素影响底层通风的趋势分析图,如图 5 所示。

由图 5 及表 2 可知,下沉式建筑底层的通风潜力随楼层数的增加接近于线性增大。当楼层数由 3 增大到 6 时, $\Delta\bar{p}$  的均值  $K_{i\Delta\bar{p}}$  由 1.393 Pa 增大至 2.385 Pa,增长斜率约为  $(2.385-1.393)/(6-3)=0.33(\text{Pa}/\text{层})$ ,也即下沉式建筑每增高一层,则底层通风压差约增大 0.33 Pa。

此外,下沉式建筑底层的通风潜力随下沉深度增加而接近于线性降低。当下沉深度由 3 m 增大

到 6 m, $\Delta\bar{p}$  的均值  $K_{i\Delta\bar{p}}$  由 2.145 Pa 降低至 1.718 Pa,降低斜率约为  $-0.14(\text{Pa}/\text{m})$ ,也即下沉深度每增加 1 m,则底层通风压差约降低 0.14 Pa。

由图 5 可以看出,下沉宽度与窗台高度对底层通风影响不大。因此,增加楼层数、减少下沉深度,有利于底层自然通风的引入。

4.1.3 最优通风方案

从表 2 可以直接观察到指标  $\Delta\bar{p}$  最大对应的试验方案,即实验 4( $A_1B_4C_4D_4$ )。然而正交试验只是全面试验中的部分试验,因此实验 4 中各设计要素的取值并不一定是全面试验中的最优配置。根据正交试验原理,对各设计要素取  $K_{i\Delta\bar{p}}$  最大值对应的水平,即可预测出全面试验的最优通风方案,即  $A_1B_3C_1D_4$ (下沉深度为 3 m,下沉宽度 6 m,窗台高度 0.3 m,楼层数为 6)。

对最优通风方案进行数值模拟,并与实验 4 进行对比,结果见表 3。由表 3 可以看出,最优通风方案底层所有房间的通风压差平均值(2.543 Pa)与实验 4(2.547 Pa)接近,但通风压差最小值(1.45 Pa)比实验 4(1.40 Pa)要大,通风潜力更佳。

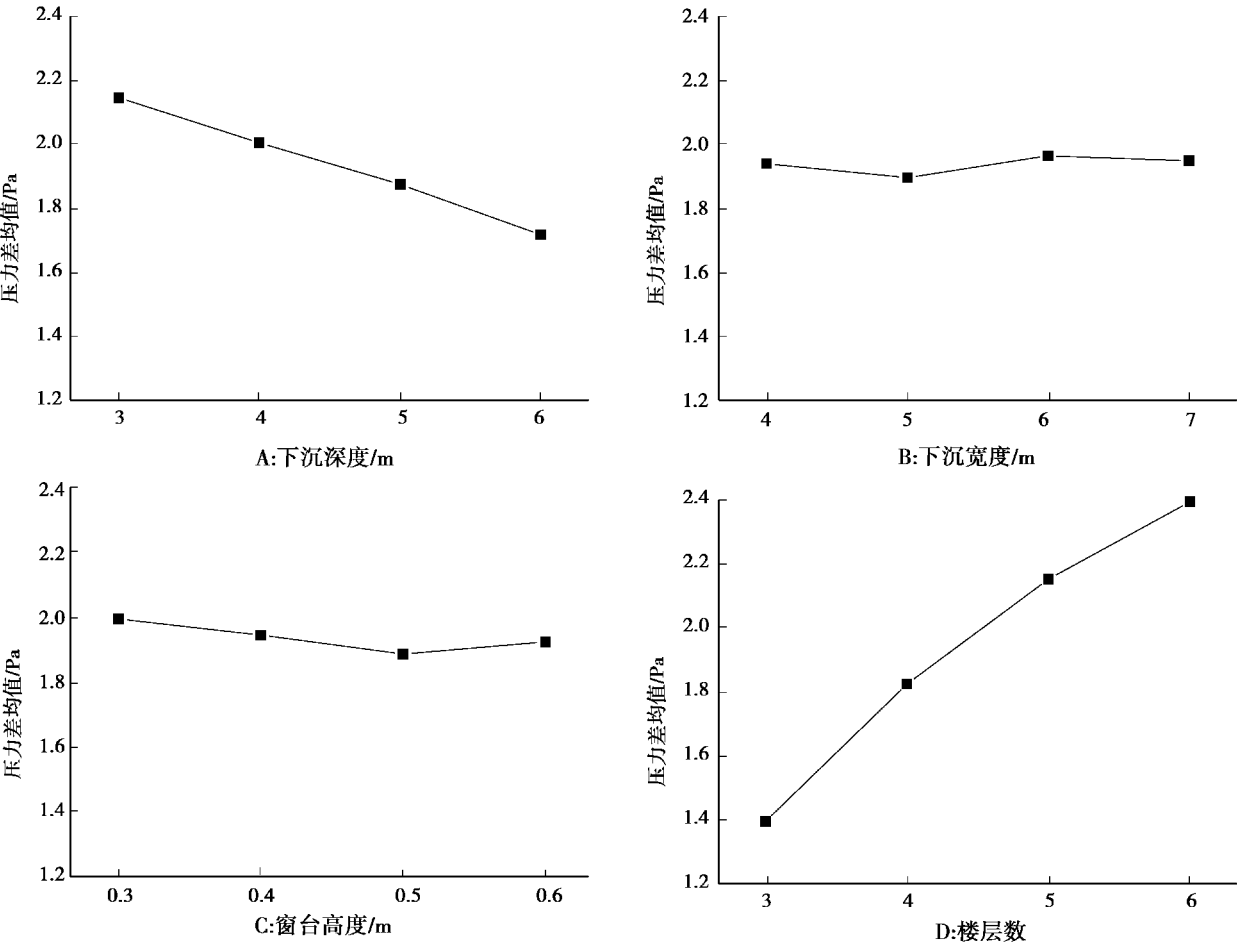


图 5 下沉式建筑各设计要素与底层通风潜力关系图

Fig.5 The relationship between the design elements and the ventilation pressure differentials of the sunken architecture

表 3 最优通风方案与实验 4 对比结果

Table 3 The comparison results between the optimal ventilation scheme with experiment 4 in Table 2

房间 位置	$p_{Ni}/Pa$		房间 位置	$p_{Si}/Pa$	
	最优通 风方案	实验 4		最优通 风方案	实验 4
north-1	1.45	1.40	south-1	2.21	2.21
north-2	1.89	1.87	south-2	2.07	2.04
north-3	2.14	2.13	south-3	2.05	2.33
north-4	2.35	2.34	south-4	2.64	2.74
north-5	2.54	2.53	south-5	2.76	2.83
north-6	2.72	2.71	south-6	2.79	2.82
north-7	2.89	2.88	south-7	2.78	2.75
north-8	3.07	3.06	south-8	2.75	2.67
north-9	3.22	3.21	south-9	2.68	2.63
north-10	3.21	3.22	south-10	2.65	2.61

4.2 光环境结果分析

根据表 2 中采光分析极差  $R_c$  排序可知,各设计要素对下沉式建筑底层室内采光影响程度的排序为: $A>C>B>D$ 。下沉深度的改变对室内采光变化的贡献率为 49.54%,窗台高度为 23.79%,而下沉宽度为 23.18%,而楼层数仅为 3.57%。

图 6 给出了下沉式建筑各设计要素对底层室内平均采光系数的影响趋势。由图 6 可知,室内平均采光系数随下沉深度的增加而接近于线性降低,当下沉深度由 3 m 增大到 6 m 时,室内采光系数均值由 2.203%下降到 1.828%,降低斜率约为  $-0.125$  ( $\%/m$ );室内平均采光系数随窗台高度、下沉宽度的增加而升高,但变化率并不大;而楼层数对室内采光影响不大。

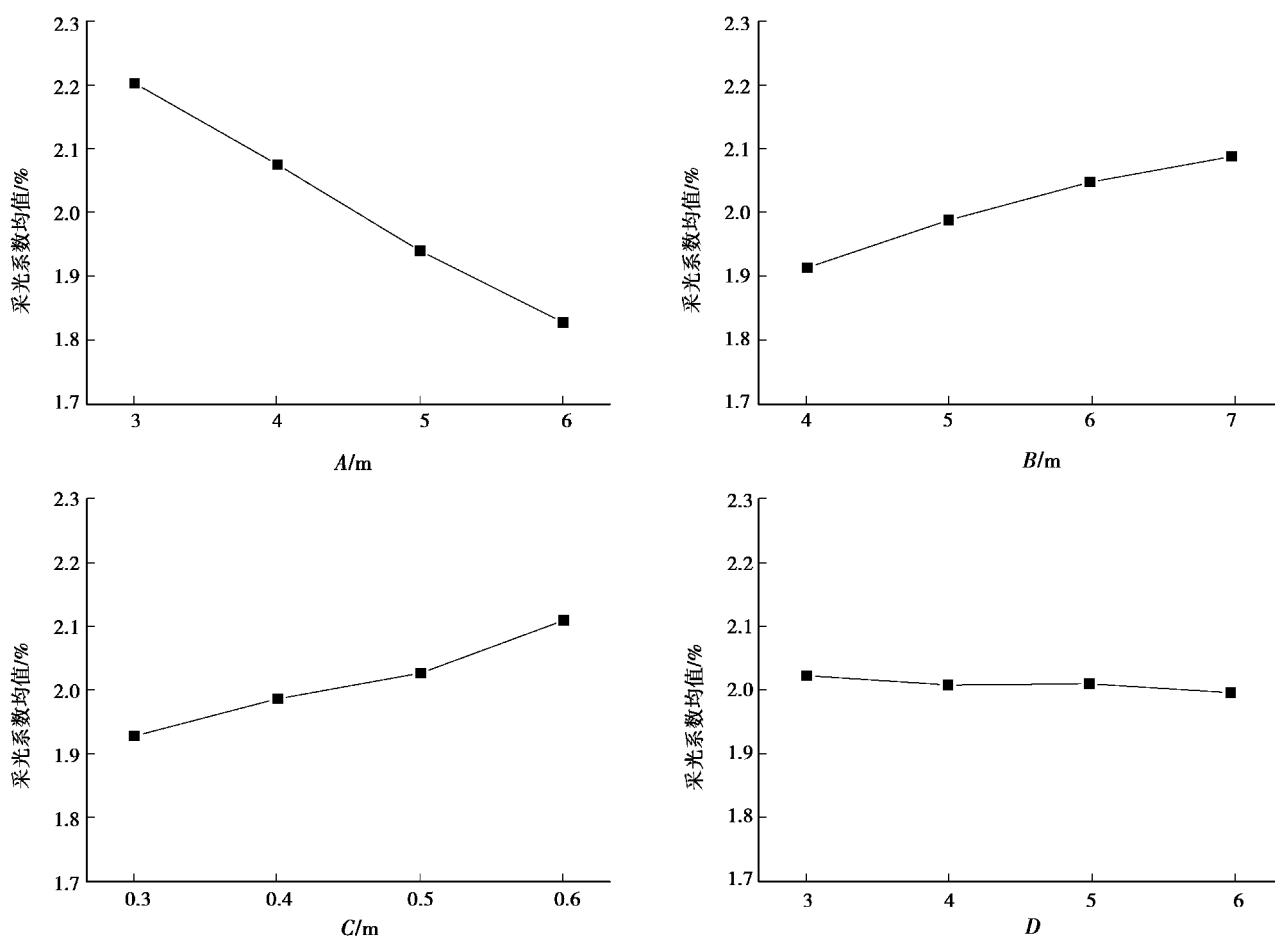


图6 下沉式建筑底层各设计要素与室内平均采光系数关系

Fig.6 The relationship between the design elements and the average daylight factor of the sunken architecture

因此,减少下沉深度、增大底层房间的窗台高度、增大下沉宽度有利于底层室内自然采光。

根据表2中的采光分析正交试验结果,可以直接观察得到采光系数 $\bar{C}$ 最大对应的试验方案,即实验4( $A_1B_4C_4D_4$ )。根据正交试验原理,对各设计要素取 $K_{ic}$ 最大值对应的水平,可以预测出全面试验的最优采光方案,即 $A_1B_4C_4D_1$ (下沉深度为3 m,下沉宽度为7 m,窗台高度为0.6 m,楼层数为3)。采用Ecotect对最优采光方案进行模拟,对应的下沉式建筑底层室内平均采光系数为2.42%,优于实验4的2.35%。

根据《GB50033—2013 建筑采光设计标准》,住宅建筑的卧室、起居室(厅)的侧面采光的采光系数不应低于2.0%。对比表2可知,50%实验方案的采光系数值满足设计要求,剩余50%的实验结果也基本接近设计标准值,因此下沉式建筑底层具备良好的采光潜力。

#### 4.3 确定风环境、光环境的综合最优方案

4.1节得到了最优通风方案 $A_1B_3C_1D_4$ ;4.2节

得到了最优采光方案 $A_1B_4C_4D_1$ ;本节采用综合评价法<sup>[14]</sup>,综合通风、采光两个优化指标,求解使这两个指标均优的最满意方案。

假设采光、通风对于人体舒适度具有相同的重要度(即假设 $\omega_1 = \omega_2 = 0.5$ ),通过对风环境、光环境评价指标按照权重加权转化为综合指标 $M$ 进行分析,见公式。综合分析结果如表2所示。

$$M = \omega_1 \bar{\Delta p} + \omega_2 \bar{C}, \omega_1 + \omega_2 = 1 \quad (5)$$

对表2中各设计要素取 $K_{im}$ 最大值对应的水平,预测出各设计要素的最优取值方案为: $A_1B_4C_4D_4$ ,与实验4取值相同,即设计参数为:下沉深度为3 m,下沉宽度为7 m,窗台高度为0.6 m,楼层数为6。对应的通风指标 $\bar{\Delta p}$ 为2.55 Pa,采光指标 $\bar{C}$ 为2.35%。

## 5 结论

提出正交试验法对下沉式建筑底层风环境、光环境进行优化。以西安市某高校下沉长廊式学生宿舍为例,选择影响下沉式建筑底层通风和采光的



4个设计要素(下沉深度、下沉宽度、窗台高度、楼层数),分析了各要素对底层通风、采光影响程度的主次顺序和趋势,并得到了使下沉式建筑底层风环境、光环境综合最优的取值方案。主要研究结论如下:

(1)各要素对下沉式建筑底层通风潜力的影响程度排序为:楼层数>下沉深度>窗台高度>下沉宽度;底层通风潜力随楼层数的增加而增大,随下沉深度增加而降低,而下沉宽度与窗台高度对底层通风影响不大。

(2)各要素对下沉式建筑底层室内采光影响程度的排序为:下沉深度>窗台高度>下沉宽度>楼层数;底层室内平均采光系数随下沉深度的增加而降低,随窗台高度、下沉宽度的增加而升高,而楼层数对室内采光系数影响不大。

(3)本文所提研究方法能够利用较少的试验次数,分析多个设计要素耦合条件下对指标的影响规律,具有省时、高效的特点。该方法也可用于其他建筑形式的设计参数的取值与优化,可以为建筑设计师在方案设计阶段提供参考。

#### 参考文献(References)

- [1] 李珂. 西安地区下沉式庭院建筑自然通风及采光的研究与优化[D]. 西安:西安建筑科技大学, 2013. (Li Ke. Research and optimization on sunken courtyard building natural ventilation and lighting in Xi'an[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture & Technology, 2013. (in Chinese))
- [2] Al-Mumin A A. Suitability of sunken courtyards in the desert climate of Kuwait [J]. Energy and Buildings, 2001, 33(2): 103-111.
- [3] Ip K, Miller A. Thermal behaviour of an earth-sheltered autonomous building-the Brighton Earthship [J]. Renewable Energy, 2009, 34(9): 2037-2043.
- [4] Al-Hemiddi N A, Megren Al-Saud K A. The effect of a ventilated interior courtyard on the thermal performance of a house in a hot-arid region[J]. Renewable Energy, 2001, 24(3): 581-595.
- [5] Kumar R, Sachdeva S, Kaushik S C. Dynamic earth-contact building: a sustainable low-energy technology [J]. Building and Environment, 2007, 42(6): 2450-2460.
- [6] 赵建博, 王智伟, 黄晓瑞. 风口上置置换通风的实验研究[J]. 建筑节能. 2007, 35(7): 15-17. (Zhao Jianbo, Wang Zhiwei, Huang Xiaorui. Experimental Study on displacement ventilation with up-fixing diffusers [J]. Energy Conservation in Building, 2007, 35(7): 15-17. (in Chinese))
- [7] 陈友明, 高丽慧, 王衍金, 等. 夏热冬冷地区 VDSF 自然通风实验研究与优化[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2015, 42(5): 120-125. (Chen Youming, Gao Lihui, Wang Yanjin, et al. Experimental research and optimization of natural ventilation for vdsf in zones hot in summer and cold in winter[J]. Journal of Hunan University(Natural Science Edition), 2015, 42(5): 120-125. (in Chinese))
- [8] Al-Temeemi A A, Harris D J. A guideline for assessing the suitability of earth-sheltered mass-housing in hot-arid climates [J]. Energy and Buildings, 2004, 36(3): 251-260.
- [9] 王昭俊, 何亚男, 侯娟, 等. 冷辐射不均匀环境中人体热响应的心理学实验[J]. 哈尔滨工业大学学报. 2013, 45(6): 59-64. (Wang Zhaojun, He Yanan, Hou Juan, et al. Psychological study on thermal responses in asymmetrical cold radiation environment. Journal of Harbin Institute of Technology[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2013, 45(6): 59-64. (in Chinese))
- [10] Wang Y, Meng X, Yang X, et al. Influence of convection and radiation on the thermal environment in an industrial building with buoyancy-driven natural ventilation [J]. Energy and Buildings. 2014, 75: 394-401.
- [11] Zhou C, Wang Z, Chen Q, et al. Design optimization and field demonstration of natural ventilation for high-rise residential buildings [J]. Energy and Buildings. 2014, 82: 457-465.
- [12] Tominaga Y, Mochida A, Yoshie R, et al. AIJ guidelines for practical applications of CFD to pedestrian wind environment around buildings[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 2008, 96(10-11): 1749-1761.
- [13] 黄河. 北方高层住宅自然通风评价方法研究[D]. 北京:清华大学, 2013. (Huang He. Research on evaluation method of natural ventilation performance of northern high-rise residential buildings [D]. Beijing: Tsinghua University, 2013. (in Chinese))
- [14] 赵选民. 试验设计方法[M]. 北京:科学出版社, 2006. (Zhao Xuanmin. Design of experimental scheme [M]. Beijing: Science Press, 2006. (in Chinese))
- [15] 刘振学, 黄仁和, 田爱民. 实验设计与数据处理[M]. 北京:化学工业出版社, 2005. (Liu Zhenxue, Huang Renhe, Tian Aimin. Experimental design and data processing[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005. (in Chinese))