

# 上海世博园区空调动态 负荷预测与研究\*

上海现代建筑设计(集团)有限公司 瞿 燕  
同济大学 潘毅群 黄治钟

**摘要** 根据 2010 年上海世博会总体规划对世博园区围栏区内的建筑群进行空调动态负荷预测,采用建筑能耗分析软件 DOE-2.1C,建立了五大永久性建筑群、外国国家馆群、国际组织馆群、企业馆群的空调动态负荷分析模型,针对临时性展馆提出了模块式分类简化法。通过研究世博会期间逐时空调动态负荷、空调负荷率的时间分布、月空调负荷、设计日逐时负荷等,分析了世博园区各建筑群的空调负荷特性。通过确定三大负荷敏感度因子——气象参数变化因子、人流量变化因子和新风供给方式变化因子进行了负荷情景分析。

**关键词** 上海世博园区建筑群 空调动态负荷 DOE-2.1C

## Prediction and study of dynamic cooling loads of 2010 Shanghai World Expo

By Qu Yan, Pan Yiqun and Huang Zhizhong

**Abstract** Predicts the cooling loads based on the general planning. Establishes the simulation models with DOE-2.1C software for the various pavilions: five permanent pavilions, national pavilions, international organization pavilions and corporate pavilions, and uses the modularization method to simplify the simulation models of the temporary exhibition pavilions. Simulates and analyses hourly dynamic cooling loads, temporal distribution of cooling load ratio, monthly cooling loads and hourly cooling loads on the summer design day. Defines three sensitive factors—weather, visitor rate, fresh air—and performs a scenario analysis.

**Keywords** Shanghai World Expo pavilions, dynamic cooling load, DOE-2.1C

Shanghai Xian Dai Architectural Design (Group) Co. Ltd., Shanghai, China

### 0 引言

2010 年上海世博会给上海的城市发展带来了千载难逢的机遇,但其庞大的规模同样使上海面临着巨大的挑战。世博会将于 2010 年 5 月 1 日~10 月 31 日举办,历经上海的夏季和过渡季,因此对于各建筑群而言,制冷降温显得尤为必要。在这样的背景下,对建筑物进行动态负荷分析,对建筑物的负荷和能量消耗预先作出估计,从而为优

化能源配置和空调方案提供科学依据,具有一定的现实意义。

国内外不少学者围绕世博会的空调负荷以及能耗等相关课题进行了研究。尾岛俊雄等人借鉴日本在世博会能源规划方面的经验和数据,对上海世博园区会展期间和后续利用时的最大空

\* 2005 年世博科技专项课题之子课题“城市清洁能源高效利用系统技术与示范”

瞿燕,女,1981 年 4 月生,硕士,助理工程师  
200041 上海市石门二路 258 号 20 楼  
(021) 62464320-701  
E-mail:yan\_qu@xd-ad.com.cn  
收稿日期:2007-06-04  
修回日期:2007-10-10

调供冷负荷及其分布作了估算<sup>[1]</sup>。杨洁等人对世博会展馆建筑空调负荷指标的主要影响因素进行了研究,得到了影响空调负荷指标的主要因素,从而得出展馆建筑空调系统的能耗在很大程度上取决于参展客流量和建筑外围护结构的热特性的结论<sup>[2]</sup>。

然而这些研究由于缺乏一定的基础数据,并没有得到世博园区开展期间的逐时空动态负荷以及空调负荷分布特性等,但是其结果对于世博园区进行能源规划和设备选型及方案比较是至关重要的。本文采用能耗分析软件 DOE2.1e 对世博园区围栏区内的建筑群进行逐时负荷计算,分析世博园区各建筑群的空调负荷特性。

### 1 世博园区建筑群整体概述

根据世博会总体规划,世博园区规划用地面积约 6.68 km<sup>2</sup>,其中红线范围面积约 5.28 km<sup>2</sup>,规划协调区面积约 1.40 km<sup>2</sup>。红线范围包括围栏区和配套区两部分,围栏区面积约 3.28 km<sup>2</sup>,其中浦东 2.38 km<sup>2</sup>,浦西 0.9 km<sup>2</sup>,配套区面积约 2.0 km<sup>2</sup>。

本文的研究重点在世博园区围栏区内,研究

建筑包括中国馆、主题馆、世界博物博览馆、公共活动中心、演艺中心、亚洲国家馆、东南亚/大洋洲国家馆、欧/美/非国家馆、国际组织馆和企业馆,研究对象不涉及城市试验区及围栏区内的任何公共配套服务设施。

本文研究的建筑共计 163 栋,建筑面积共计 86.3 万 m<sup>2</sup>。世博园区各片区的地理分布如图 1 所示。浦东 A 片区主要包含亚洲国家馆群,建筑面积约 8.4 万 m<sup>2</sup>;浦东 B 片区是整个世博会的核心区域,分别包括东南亚/大洋洲国家馆群、国际组织馆群、中国馆、主题馆、演艺中心和世博中心,建筑总面积为 31.05 万 m<sup>2</sup>;浦东 C 片区主要包含欧/美/非国家馆群,建筑面积约 20.8 万 m<sup>2</sup>;浦西 D 片区主要为企业馆区,建筑面积约 11 万 m<sup>2</sup>,其中未来馆建筑面积约 5 万 m<sup>2</sup>,行业馆建筑面积约 6 万 m<sup>2</sup>;浦西 E 片区分别包含企业馆区和世界博物博览馆,建筑面积约 15 万 m<sup>2</sup>,其中科技馆 3 万 m<sup>2</sup>,世界博物博览馆 12 万 m<sup>2</sup><sup>[3]</sup>。中国馆、主题馆、演艺中心、世博中心、世界博物博览馆为永久性建筑,其余场馆均为临时性建筑,永久性场馆的建筑面积约占总建筑面积的 41%。

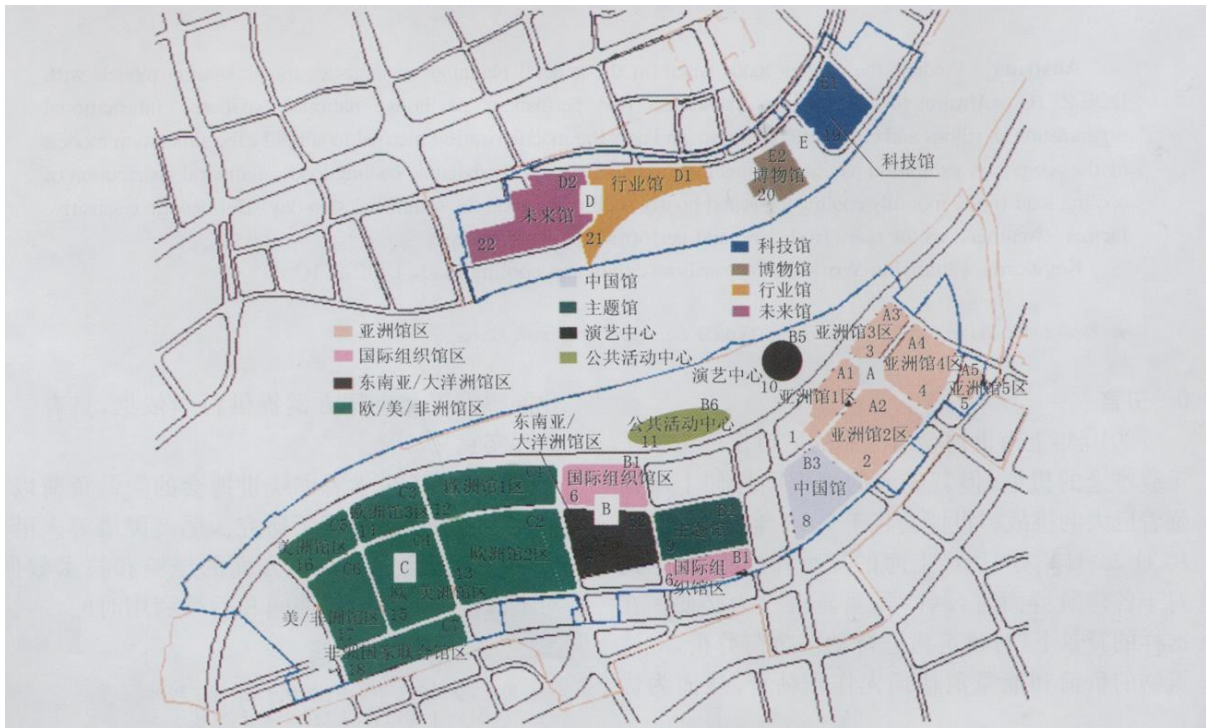


图 1 2010 年上海世博会园区围栏区内各建筑群

### 2 空调动态负荷分析模型的建立

本文的研究对象按建筑功能主要分为会展建

筑、博物馆建筑和观演建筑 3 种类型。通过对国内外各类建筑资料的收集并结合世博园区对各建筑群的控制规程,对各类建筑进行形态分析,以确定各类影响因素,进而搭建这些建筑群相应的空调动态负荷分析模型。

影响因素主要包括建筑模型因子和内部得热因子。建筑模型因子主要包括建筑面积、围护结构、建筑朝向、建筑层高、窗墙比、建筑外形等。内部得热因子主要包括室外气象参数、室内设计参数、人员负荷、照明负荷、设备负荷、渗透负荷、新风方式和新风指标。

通过确定建筑模型因子和内部得热因子,构建各类建筑平面布局图,进行建模和分区,从而最终确定了 163 栋建筑的空调动态负荷分析模型,针对外国国家馆群和国际组织馆群中的 131 栋独立馆,提出了模块式分类简化法,将其划分为 7 大类, 21 小类,该方法的提出不仅出于课题研究的实际需要,而且也能在保证一定准确度的基础上减少负荷计算的工作量,提高了课题研究的效率。

## 2.1 建筑模型因子分析

### 1) 建筑面积

各建筑的建筑面积在《中国 2010 年上海世博会规划区控制性详细规划文本》(2006 年 8 月版)中已有明确规定。其中,外国国家馆群和国际组织馆群按独立馆和联合馆两类情况布置,共计 140 栋建筑,其中独立馆 131 栋,联合馆 9 栋。独立馆采取模块化的标准模式,从 2b 到 12b (即 1 000 ~ 6 000 m<sup>2</sup>) 分别进行配置。具体模块的细分见表 1。

表 1 外国国家馆群和国际组织馆群的模块个数

	模块							小计
	12b	10b	9b	8b	6b	4b	2b	
亚洲国家馆	3			5	7	4	15	34
东南亚、大洋洲国家馆		1			3	8		12
欧洲国家馆	6				2	21	13	42
美洲国家馆	2				1	3	8	14
非洲国家馆				2		4	7	13
国际组织馆			1			4	11	16
总计								131

### 2) 围护结构

考虑到世博园区内大部分展馆属于临时性建筑,为了控制园区的耗能量,主办方对建筑围护结构的热工性能必然有一些基本要求,但不会有非

常严格的限定;而对于永久性建筑,规范对围护结构的热工性能有非常明确的限定,因此根据建筑本身要求的不同会出现各种不同的结果,而这些结果目前无法预测。综合各种因素,围护结构的热工性能参照《公共建筑节能设计标准》(GB 50189—2005)中的有关规定进行设定,取其上限值,如表 2 所示。

表 2 围护结构热工参数

	传热系数/(W/(m <sup>2</sup> ·K))	东、南、西向/北向		可见光透射比
		遮阳系数 S <sub>c</sub>	日射得热系数 S <sub>HGC</sub>	
屋面	0.7			
外墙	1.0			
内墙	1.5			
地面	0.83			
楼板	1.5			
地面	0.83			
单一朝向外窗(包括透明幕墙,0.4 < 窗墙比 < 0.5)	2.8	0.45/0.55	0.39/0.47	0.7

注:博物博览馆的窗墙比取为 0.4,根据对历届世博会展馆的统计,其余展馆的窗墙比取 0.5<sup>[3]</sup>。

### 3) 建筑朝向

各建筑的朝向结合世博轴、道路交通、广场和绿地等因素根据中国 2010 年上海世博会规划区总平面图进行确定。

### 4) 建筑层高

世博园区建筑群中各类建筑的层高分别根据各自的建筑面积、容积率、建筑覆盖率、控规指标以及同类建筑的统计数据综合确定。

### 5) 建筑外形

本研究中五大永久性建筑群的建筑外形根据实际场地和周边设施的要求,收集和调查了大量关于会展建筑、博物馆建筑和观演建筑的相关信息和资料,从而确定合理的建筑平面布局图,进行建模、分区和模拟计算。

对于外国国家馆群、国际组织馆群和企业馆群则采取模块化方法。通过对大阪世博会展馆的建筑外形、体积和高度等各种建筑特点的详细调查统计得知,有 38% 的展馆为长方体,27% 为圆柱体,11% 为棱柱体,9% 为球体,其余为不规则形体。圆柱体可以近似用棱柱体代替,因此长方体和棱柱体的比例均占 38%。建立建筑面积相同而建筑外形分别为长方体和棱柱体的建筑模型,通过模拟比较其负荷,得知建筑外形对空调负荷的

影响较小,因此将长方体作为外国国家馆群、国际组织馆群和企业馆群的模块的建筑外形。

## 2.2 内部得热因子分析

### 1) 室外气象参数

本文所采用的气象数据是由美国可再生能源实验室(NREL)根据上海1961—1990年的逐时气象数据建立的典型气象年TMY2(typical meteorological year)的逐时气象参数。

典型气象年的空调度时数 $CDH_{26}$ 为4700·h,全年的水平面太阳总辐射量为3924 MJ/m<sup>2</sup>。

### 2) 室内设计参数

根据《采暖通风与空气调节设计规范》(GB 50019—2003)、《公共建筑节能设计标准》(GB 50189—2005)、《办公建筑设计规范》(JGJ 67—89)、《博物馆建筑设计规范》(JGJ 66—91)、《剧场建筑设计规范》(JGJ 57—2000)中的相关规定以及参考部分文献资料,确定会展建筑、博物馆建筑、观演建筑的室内设计参数。

### 3) 人员负荷

人员负荷的确定主要依据世博园区各建筑内的客流量分布,然后根据每个时段的入场人数和出场人数确定逐时的在场人数。

客流量受很多因素影响,如季节、气候因素等。节假日期间客流量突增,特别是“五一”及“十一”前后。根据这些特点,有关研究部门预测了2010年世博会举办期间(2010年5月1日~10月

31日)共184d的逐日客流量,如图2所示。在此期间,总客流量为7140万人次;基准日客流量达40万人次/d,超过天数总计75d;高峰日客流量为60万人次/d,超过天数总计11d;极端高峰日客流量为78万人次/d,超过天数总计1d。

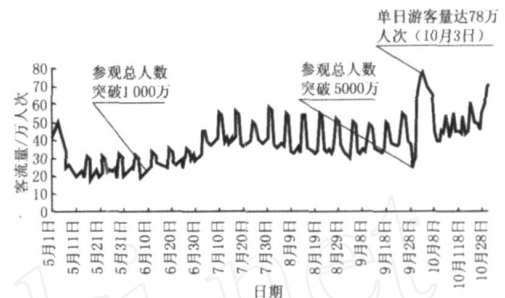


图2 人流量预测

综合考虑各方面的影响因素和各种可能性,并且借鉴历届世博会的经验,假定世博会期间采用日场和夜场的售票方式,同时对日场和夜场的入场参观人数进行一定比例的控制。日场的参观时间为10:00~17:00,夜场的参观时间为17:00~22:00。通过调查和分析,拟定了“五一”和“十一”节假日、工作日、双休日和暑假等4种情景。其中5月1~7日,10月1~7日分别为“五一”和“十一”黄金周;暑假从7月1日~8月31日。根据这4种情景,本研究分别对世博会举办期内184d的每个时间段内的入场人数和比例以及出场人数和比例都作了相应的分析和假定,具体见表3。

表3 4种情景模式下的入场和出场人数比例

时段	模式							
	黄金周		工作日		双休日		暑假	
	入场人数比例	出场人数比例	入场人数比例	出场人数比例	入场人数比例	出场人数比例	入场人数比例	出场人数比例
10:00~12:00	45	2	35	2	40	2	50	2
12:00~14:00	25	3	35	3	30	3	20	3
14:00~15:00		8		8		8		8
15:00~16:00		15		15		15		15
16:00~17:00		32		32		32		32
17:00~20:00	25	5	25	5	25	5	25	5
20:00~21:00	5	10	5	10	5	10	5	10
21:00~22:00		25		35		25		25

根据4种情景模式下入场人数和出场人数的设定,结合世博会期间每天的客流量,可以得到世博园区184d(4416h)的逐时客流量分布,如图3所示。世博会期间每天逐时的平均客流量约相当于逐时峰值客流量的64%~68%。

同一时刻人流量除了分布于世博园区内的各个展会建筑外,还将分布于世博园区内的服务设施和广场、道路、绿地等公共场地内,而对空调负荷产生影响的是展会建筑内的人流量分布。本文依据相关规范(GB 50189—2005, JGJ 66—91,

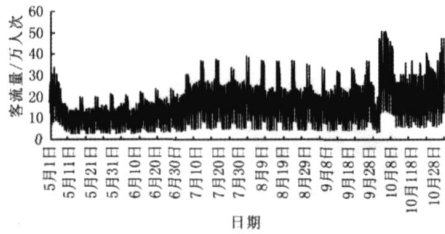


图3 逐时客流量分布

根据 JGJ 57—2000, GB 50019—2003, JGJ 67—89) 预测了各个建筑中不同功能区域的峰值客流量,其中各建筑中的人员密度时刻表依据逐时客流量进行设定,如表 4 所示。

表 4 各类建筑的人员密度、照明负荷、设备负荷、新风量估算

房间功能	人员密度/ (人/m <sup>2</sup> )	照明负荷/ (W/m <sup>2</sup> )	设备负荷/ (W/m <sup>2</sup> )	新风量/(m <sup>3</sup> / 人·h)
会展建筑				
展厅	0.33	35	30	20
会议室	0.40	11	5	20
报告厅	0.50	11	5	20
多功能厅	0.25	18	10	20
贵宾室	0.05	30	25	30
宴会厅	0.30	20	15	20
新闻中心	0.30	20	20	20
办公室	0.10	18	20	30
休息厅	0.20	15	20	15
餐厅	0.50	13	25	20
门厅	0.20	15	10	10
走道	0.03	5	0	10
博物馆建筑				
展示室	0.33	35	25	20
陈列室	0.33	45	25	20
影像厅	0.50	10	20	20
音响厅	0.50	15	20	20
接待厅	0.20	20	10	15
休息厅	0.20	15	20	30
办公室	0.10	18	20	30
贵宾室	0.05	11	25	30
多功能厅	0.25	30	10	20
讲堂 1	0.40	18	10	20
讲堂 2	0.10	15	10	20
门厅	0.20	15	10	10
走道	0.03	5	0	10
观演建筑				
观众厅	1.50	10	10	15
舞台	0.20	60	30	30
化妆室	0.30	30	15	30
排练厅	0.30	20	10	30
新闻中心	0.30	20	20	20
会议室	0.40	11	5	20
西餐厅	0.50	13	25	20
宴会厅	0.30	20	15	20
贵宾室	0.05	30	25	30
办公室	0.10	18	20	30
门厅	0.20	15	10	10
走道	0.02	5	0	10

然而演艺中心和世博中心的内部人员分布规律与展馆建筑不同,建筑内的人流量与园区内的人流量变化无直接的关联,却与建筑本身的使用百分率相关;且根据世博会的预期计划,演艺中心和公共活动中心与同类建筑比较,使用更为频繁,预计在世博会期间将举办 1 000 多个文化娱乐演出、国际论坛和研讨会。图 4 为假定的演艺中心和公共活动中心的使用率。演艺中心和公共活动中心内的人员负荷按照该使用率进行分配。

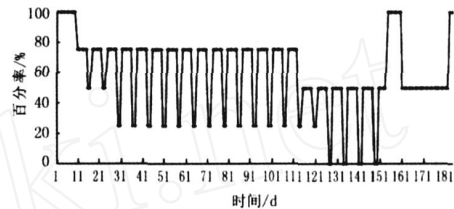


图 4 演艺中心和公共活动中心使用百分率

#### 4) 照明负荷与设备负荷

根据相关规范和标准 (GB 50189—2005, JGJ 66—91, JGJ 57—2000, GB 50019—2003, JGJ 67—89, GB 50034—2004) 确定不同建筑功能区域照明和设备最高指标的取值,如表 4 所示。各功能空间的逐时照明负荷率和逐时设备负荷率根据各空间的使用情况进行设定。

#### 5) 渗透空气量

在考虑人员、照明和设备等内扰对空调负荷影响的基础上,把房间通风设置为常量,仅考虑通过门、窗缝隙的渗透空气量,其大小均按 0.5 h<sup>-1</sup> 考虑。

#### 6) 新风量

根据相关规范和标准 (GB 50189—2005, JGJ 66—91, JGJ 57—2000, GB 50019—2003, JGJ 67—89) 确定了世博园区建筑群各功能区域的新风量取值,如表 4 所示。本研究的基本模型采用按人员数目实时调节新风量,即新风量随人流变化而变化。

### 2.3 模块式分类简化法

由于 2010 年上海世博会目前处于规划阶段,缺少单体建筑的详细信息,为了减少模拟计算的工作量并保证模拟结果的可靠性,在建筑形态分析的基础上,针对外国国家馆群、国际组织馆群中的独立馆提出了模块式分类简化法。该方法将 131 栋模块化建筑分为 7 大类、21 小类。其中 7 大



类主要根据展馆的单元数进行分类,如表 1 所示。而 21 小类则根据建筑外形、朝向和层高进行划分。图 5 表示了这 131 栋展馆在世博园区中的地理位置,表 5 则给出了 21 小类建筑的面积、外形、朝向和层高等。

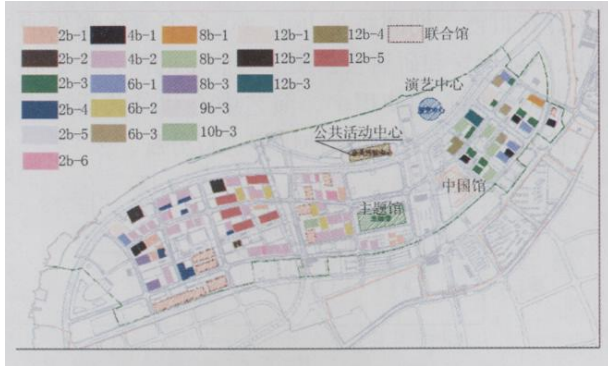


图 5 模块化建筑分类汇总图

表 5 模块化建筑的建筑面积、外形尺寸、朝向和层高

模块分类	建筑面积/m <sup>2</sup>	外形及尺寸(长×宽)/m	建筑朝向/(°)	建筑层高/m	
12b	12b-1	6 000	长方体: 80 ×75	- 52	15
	12b-2	6 000	长方体: 80 ×75	- 15	15
	12b-3	6 000	长方体: 100 ×60	- 51	15
	12b-4	6 000	L 形	- 46	15
	12b-5	6 000	长方体:120 ×50	- 15	15
10b		5 000	长方体: 100 ×50	- 11	15
9b		4 500	长方体: 75 ×60	79	15
8b	8b-1	4 000	长方体: 100 ×40	38	10
	8b-2	4 000	长方体: 80 ×50	- 52	10
	8b-3	4 000	长方体: 80 ×50	- 20	10
6b	6b-1	3 000	长方体: 75 ×40	45	10
	6b-2	3 000	长方体: 75 ×40	75	10
	6b-3	3 000	长方体: 60 ×50	- 52	10
4b	4b-1	2 000	长方体: 50 ×40	45	10
	4b-2	2 000	长方体: 50 ×40	75	10
2b	2b-1	1 000	长方体: 40 ×25	- 15	10
	2b-2	1 000	长方体: 40 ×25	85	10
	2b-3	1 000	长方体: 40 ×25	- 45	10
	2b-4	1 000	长方体: 40 ×25	- 30	10
	2b-5	1 000	长方体: 50 ×20	38	10
	2b-6	1 000	长方体: 40 ×25	84	10

### 3 空调动态负荷预测结果分析

本研究主要考虑世博会期间(2010 年 5 月 1 日~10 月 31 日)的空调动态负荷。空调负荷已包括新风负荷。

#### 3.1 逐时空调动态负荷

根据模拟结果,将世博园区各个区内建筑群的逐时负荷进行累加得到整个世博园区的逐时负荷值,如图 6 所示。园区峰值负荷出现在 7 月 13

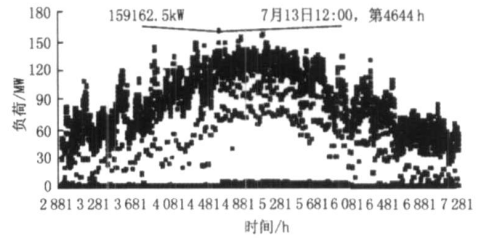


图 6 世博园区逐时负荷

日 12:00,其值为 159 162.5 kW,该日空调总冷负荷为 1 646 505 kWh。

世博园区内按照地理位置主要划分为 5 个区,对每个区在世博期间出现峰值负荷日的各项数据进行了统计,如表 6 所示。

表 6 世博园区各区峰值负荷值、出现时刻及该日总冷量汇总

	峰值负荷/kW	峰值负荷出现时刻	该日总冷量/(kWh)
亚洲国家馆区(A区)	17 932	7月13日12:00	162 788
核心区(B区)	66 815	7月13日12:00	718 142
欧/美/非国家馆区(C区)	46 788	7月13日12:00	426 071
企业馆区(D区)	17 306	7月13日11:00	162 073
企业馆区(E区)	20 155	7月13日11:00	177 431

世博园区各区的峰值负荷日均为 7 月 13 日,图 7 表示了 7 月 13 日整个世博园区逐时负荷的构成。

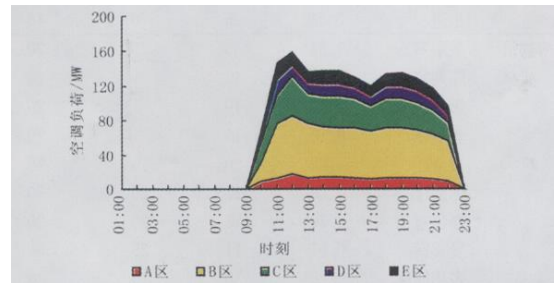


图 7 7 月 13 日世博园区逐时负荷构成

#### 3.2 空调负荷率的时间分布

整个世博园区空调冷负荷率的时间分布如图 8 所示。表 7 统计了世博园区 5 大片区在一定负荷率区间内的时间频度。空调负荷率是指各建筑的逐时负荷与峰值负荷的百分比。而空调冷负荷时间频度是指某一负荷率范围内负荷出现时间与总空调时间的比值。负荷率的时间分布仅计算世博会期间 184 d 开馆时段内的负荷,即每天

《中国 2010 年上海世博会规划区控制性详细规划文本》(2006 年 8 月版)

10:00 ~ 22:00。

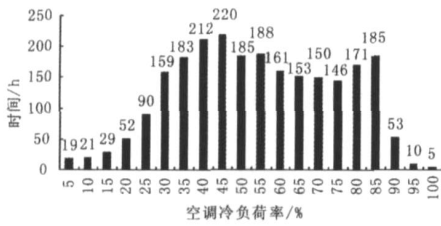


图 8 世博园区空调冷负荷率的时间分布

表 7 世博园区各区空调负荷率分布的时间频度 %

	负荷率			
	0 ~ 25	25 ~ 50	50 ~ 75	75 ~ 100
亚洲国家馆区(A区)	10	44	35	10
核心区(B区)	15	40	32	12
欧/美/非国家馆区(C区)	9	45	36	11
企业馆区(D区)	6	40	39	14
企业馆区(E区)	17	42	34	6

### 3.3 月空调负荷

世博园区内 5 大片区内建筑群的月空调负荷量如表 8 所示。其中月负荷总量以 7 月和 8 月最大。

表 8 世博园区各区月空调负荷 MWh

	5月	6月	7月	8月	9月	10月	总计
亚洲国家馆区(A区)	2 635	3 314	4 844	4 754	3 224	2 160	20 931
核心区(B区)	8 426	12 601	18 877	18 115	11 352	7 355	76 726
欧/美/非国家馆区(C区)	6 931	8 723	12 734	12 495	8 528	5 747	55 158
企业馆区(D区)	2 842	3 463	4 859	4 766	3 399	2 440	21 769
企业馆区(E区)	2 515	3 405	5 202	5 088	3 255	1 984	21 449
总计	23 349	31 506	46 516	45 218	29 758	19 686	196 033

### 3.4 设计日逐时负荷

世博园区各建筑群的设计日最高冷负荷出现在 11:00,其值为 177 890 kW,设计日总冷负荷为 2 050 421 kWh,如图 9 所示。表 9 对世博园区内各个片区设计日的各项数据进行了统计,将其与按照空调动态负荷计算方法得到的结果(见表 6)进行比较,可以明显看到设计日空调峰值负荷和

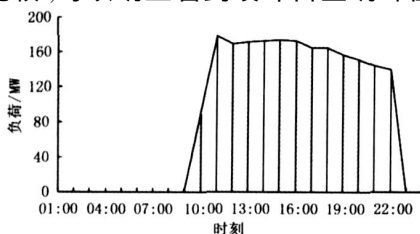


图 9 世博园区在世博会期间设计日逐时负荷

表 9 世博园区各区设计日峰值负荷值、出现时间及该日总冷负荷汇总

	峰值负荷/kW	峰值负荷出现时刻	该日总冷负荷/(kWh)
亚洲国家馆区(A区)	18 533	11:00	209 488
核心区(B区)	72 376	15:00	856 674
欧/美/非国家馆区(C区)	47 887	11:00	541 138
企业馆区(D区)	17 766	11:00	203 178
企业馆区(E区)	21 736	11:00	239 943

日总冷负荷远大于按照空调动态负荷计算方法得到的结果,对于世博园区总体而言,峰值负荷高 18 727.5 kW,约 12%,日总冷负荷高 403 917 kWh,约 24.5%。

## 4 负荷变化情景分析

整个世博园区的空调动态负荷受到很多不确定因素的影响,如气候参数、建筑热工参数、内扰、新风量等。本研究中引入气象参数变化敏感因子、人流量变化敏感因子、新风供给方式敏感因子作为负荷变化情景分析的基础,以整个世博园区的空调动态负荷为目标进行各负荷敏感因子的负荷变化情景分析。

### 4.1 负荷敏感因子的确定

#### 1) 气象参数变化敏感因子

采用典型气象年、2004 年和 2005 年的气象参数分别进行模拟计算,分析气象参数对负荷的影响。

#### 2) 人流量变化敏感因子

2010 年上海世博会预测客流量达 7 140 万人次,如此高的人流量在历届世博会中实属罕见,因此人流量以及人员密度的分布很大程度上影响着世博园区建筑群的空调负荷。本研究综合考虑各种可能的因素,确定了人流量低、人流量中、人流量高 3 种人流量变化的模式。

#### 3) 新风供给方式敏感因子

不同的新风供给方式必然会影响到负荷,本研究确定了定新风量和新风量随在室人数实时调节(以下简称新风量调节)两种新风供给方式,模拟分析负荷的变化。

## 4.2 气象参数变化负荷情景分析

### 4.2.1 逐时空调动态负荷

从表 10 可以明显看到 3 种气象参数变化模式对世博园区各建筑群空调动态负荷的影响程度。3 种气象参数条件下,2004 年峰值负荷最高,比典型气象年的峰值负荷高 21 341.5 kW,约 13%。气

象参数的变化不仅会影响峰值负荷的数值,而且会影响其出现的时刻。

表 10 不同气象参数条件下世博园区总峰值负荷汇总

	峰值负荷/kW	峰值负荷出现时刻	该日总冷负荷/(kWh)
典型气象年	159 162.5	7月13日 12:00	1 646 505
2004年	180 504	8月1日 16:00	1 827 129
2005年	167 959	8月3日 12:00	1 791 562

#### 4.2.2 空调负荷率的时间分布

统计整个世博园区在不同气象条件下部分负荷特性的变化情况,发现 2005 年 50% 以上负荷率区间内的时间频度最高,而在典型气象年,该负荷率区间内的时间频度为最低,如图 10 所示。

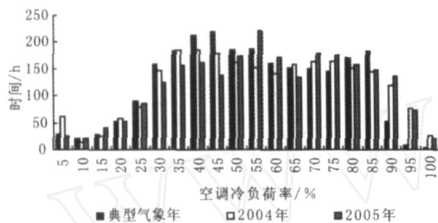


图 10 世博园区各气象条件下空调冷负荷率的时间分布

#### 4.2.3 月空调负荷

图 11 为 3 个不同气象年条件下整个世博园区建筑群的月空调负荷量比较。3 个气象年中,2005 年的空调负荷总量最高,比典型气象年的空调负荷总量高 13 887 MWh。

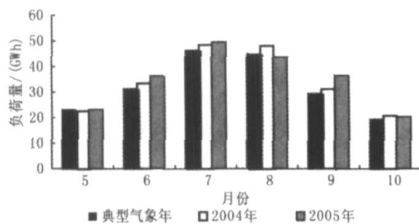


图 11 世博园区不同气象年条件下月负荷总量

### 4.3 人流量变化负荷情景分析

#### 4.3.1 逐时空调动态负荷

从表 11 可以看到 3 种人流量模式对世博园区各建筑群空调动态负荷的影响程度。人流量高条件下的峰值负荷比人流量低条件下的峰值负荷高 17 235 kW,约 11%。

表 11 不同人流量条件下世博园区总峰值负荷汇总

	峰值负荷/kW	出现时刻	该日空调总负荷/(kWh)
人流量低	151 425	7月13日 12:00	1 563 590
人流量中	159 162.5	7月13日 12:00	1 646 505
人流量高	168 660	7月13日 12:00	1 745 014

#### 4.3.2 空调负荷率的时间分布

在人流量高的模式下,空调负荷出现时间频度在高负荷率区间内的比例最高,而人流量低的模式下相应的比例最低,如图 12 所示。

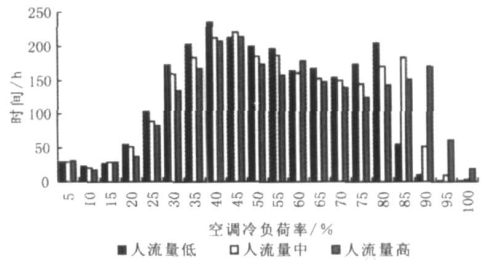


图 12 世博园区各人流量模式下空调冷负荷率的时间分布

#### 4.3.3 月空调负荷

图 13 为 3 种人流量模式下整个世博园区建筑群的月空调负荷量比较。在人流量高模式下得到的月空调冷负荷量比人流量低模式下得到的月空调冷负荷量高 19 646 MWh,约 11%。

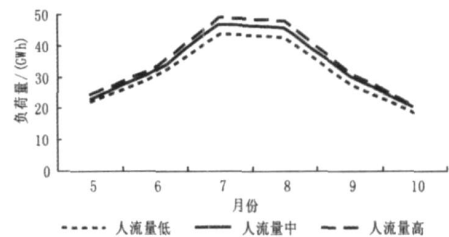


图 13 世博园区各人流量模式下月负荷总量

### 4.4 新风方式变化负荷情景分析

#### 4.4.1 逐时空调动态负荷

表 12 统计了不同新风供给方式下世博园区总峰值负荷、出现时刻及该日总冷负荷。在定新风量方式下,峰值负荷比新风量调节方式下高 15 288 kW,约 9.6%,该日总冷负荷高了 195 030 kWh,约 11.9%。

表 12 不同新风供给方式下世博园区总峰值负荷汇总

	峰值负荷/kW	峰值负荷出现时刻	该日总冷负荷/(kWh)
定新风量	174 450.5	7月13日 15:00	1 841 535
新风量调节	159 162.5	7月13日 12:00	1 646 505

#### 4.4.2 空调负荷率的时间分布

比较不同新风供给方式下整个世博园区空调负荷率的时间分布,如图 14 所示,可知在定新风量模式下高负荷率区间出现的时间频度远高于新风量调节模式。

在定新风量模式下负荷率在 50% 以上区间出现的时间频度为 68%,而新风量调节模式下得到



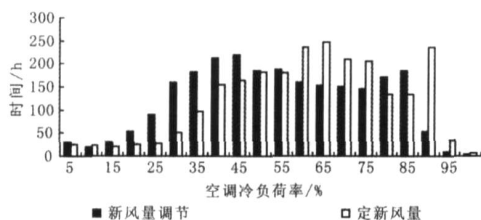


图 14 不同新风供给方式下空调冷负荷率的时间分布

的时间频度为 51%, 两者相差 407 h。

#### 4.4.3 月空调负荷

在定新风量和新风量调节模式下, 世博会期间总的空调冷负荷量分别为 225 680 MWh 和 196 033 MWh, 定新风量模式的空调冷负荷量比新风量调节模式的空调冷负荷量高 29 647 MWh, 约 15%, 如图 15 所示。这表明了不同的新风供给方式对空调负荷的影响程度, 定新风量模式导致空调系统所处理的负荷始终高于建筑的实际负荷, 新风量调节的新风供给方式是符合建筑实际负荷需要的, 可以很大程度地实现建筑节能。

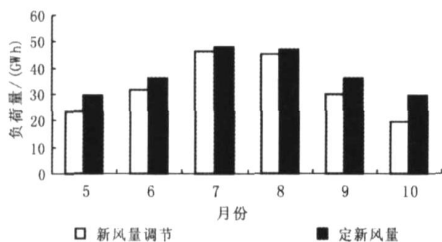


图 15 世博园区各新风供给方式下月负荷总量

## 5 结论

5.1 通过收集国内外会展建筑、博物馆建筑和观演建筑的相关资料并结合世博会总体规划, 合理确定了建筑模型因子和内部得热因子, 搭建了各建筑的空调动态负荷分析模型。

5.2 对于外国国家馆群和国际组织馆群中的独立馆, 提出了模块式分类简化法, 将这 131 栋模块化建筑划分为 7 大类和 21 小类, 该方法在保证计算精度的基础上, 能够大大减少负荷计算的工作量。

5.3 通过分析逐时空调动态负荷、负荷率的时间分布、月空调负荷量和设计日负荷等结果, 分析了世博园区各片区建筑群的空调动态负荷特性。

5.4 确定了三大空调负荷敏感度因子并对世博园区建筑群进行负荷情景分析。

5.5 对于世博园区这样一个规模庞大的大型建

筑群, 各建筑在不同的时间段出现峰值负荷, 将各片区建筑群的逐时负荷进行叠加, 逐时负荷的最大值必然小于各建筑逐时负荷最大值的总和。因此利用空调动态负荷计算方法得出的结果较传统的计算方法更为科学, 可减少设备总装机容量, 节省初投资, 而且能最大限度地实现建筑节能。

#### 参考文献:

- [1] 尾岛俊雄, 许雷, 王健, 等. 2010 年上海世博园能源系统规划的研究——能源基础设施的基本规划理念[J]. 暖通空调, 2005, 35(5): 107 - 111
- [2] 杨洁, 张旭, 王凌飞. 上海世博会展馆建筑空调负荷指标的影响因素分析[J]. 暖通空调, 2006, 36(9): 77 - 80
- [3] 范存养. 大阪“花的万博”博览会空调技术[J]. 暖通空调, 1991, 21(4): 36 - 40
- [4] 李本强. 百货商场动态负荷特性的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨建筑大学, 2000: 3 - 4
- [5] 王凌飞. 大空间展馆建筑分层空调负荷研究[D]. 上海: 同济大学, 2005: 15 - 16
- [6] 汪训昌, 林海燕, 杨书渊, 等. 空调全年逐时动态负荷计算能提供什么信息和回答什么问题? ——一栋办公楼空调全年逐时动态负荷计算的结果及其分析[J]. 暖通空调, 2005, 35(10): 44 - 53, 103
- [7] 陈华, 涂光备, 申江. 香港地区办公楼建筑负荷的模拟计算[J]. 流体机械, 2003, 31(12): 43 - 46
- [8] 周吉祥. 空调设计冷负荷确定中存在问题的探讨[J]. 制冷空调与电力机械, 2003, 24(5): 45 - 47, 41
- [9] 赵志安, 杨纯华. 现代化办公楼空调冷负荷特性及设备选择[J]. 暖通空调, 2002, 32(6): 59 - 61
- [10] 革非, 毕海全, 刘应清. 人流量变化大的公共建筑新风量及空调冷负荷特性探讨[J]. 制冷与空调, 2005(1)
- [11] 范存养. 大空间建筑空调设计及工程实录[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001

#### 更正

2008 年第 8 期第 17 页《华南典型湿热气候区的人体热舒适性研究》一文, 为广东省科技计划资助项目(编号: 2005B33302011, 2006B13301005), 特此更正, 并向作者和读者致歉。

(本刊)