

探索适宜技术体系的模拟研究

Simulation of appropriate technology system

汪 铮¹ 王颖¹ 武海滨²

(1 同济大学建筑设计研究院;

2 西迪阿特信息科技(上海)有限公司)

摘 要: 在即将建造的上海自然博物馆的设计过程中,选择适宜的绿色技术体系一直是重点研究内容。必须借助先进的模拟软件,整合设备及围护结构的设计参数,对自然博物馆整体能耗进行模拟分析、定量比较。才能真正体现绿色建筑“权衡优化(Trade-off)和总量控制”的设计原则。

关键词: 自然博物馆 适宜技术体系 模拟 IES (VE) 建筑能耗

Abstract: In design of Shanghai Natural Museum, we are always focusing on choice of the appropriate technology system. With advanced simulation software, we integrate all design parameters of equipments and building envelope, then analysis and compare overall energy consumption of the Natural Museum. So we can create green building ,reflecting the design principles of "trade-off optimization and total control" .

Keywords: Shanghai Natural Museum, appropriate technology system, simulation, IES (VE) , building energy consumption

1 工程概况

1.1 总体介绍

上海自然博物馆位于上海市静安区 56、57、58 街坊,山海关路、北京西路、成都北路、石门二路围合的地块范围中北部。基地紧邻静安雕塑公园,具有极佳的外部环境条件,建成后将成为上海市中心唯一的处于公园之中的市级博物馆,其建设规模、展品存量、展示手段、内外条件同时也处于国内三大自然博物馆的前列。



图1 自然博物馆总体鸟瞰效果图

1.2 建筑规模及功能组成

建筑基地面积 12029 m²，地下用地范围 16294 m²，总建筑面积约 44800 m²，其中地上建筑面积 11789 m²，地下建筑面积 33011 m²。建筑总高度 18M，地上三层，地下二层。包括以下几大功能区域：展示区域及公共服务配套、行政管理办公区域、周转库房、设备用房及其他配套用房、地下停车库等。为了减少建筑体量对城市街道和公园环境的影响，约 70% 的建筑面积设在地下，其中公共使用部分自地下二层至地面二层设置；设备用房靠各层外墙设置；库房、车库等设于地下各层平面的北翼，独立成区；内部办公区设于地面三层。



图 2 室内展厅效果图

1.3 设计定位——“绿色建筑”

除在建筑造型上与自然协调外，上海自然博物馆还从设计伊始，就树立了生态、节能、减废、健康的绿色目标，即力争使其从形式到内质都体现出“生于自然，融于自然，还于自然”的绿色精神。具体设计目标定位如下：

- 国家“绿色建筑评价标识”三星级
- 美国绿色建筑协会“能源与环境设计先锋奖 LEED”金奖
- 国家新能源利用示范工程

2 设计思路

2.1 设计初始期——对绿色技术的感性堆砌

绿色方案设计初期，我们走过一些弯路。

误区一：试图将各种先进的绿色技术都运用于建筑之上。在设计初期，列入本工程的绿色新技术多达二十多项，涉及绿建各领域。

误区二：过分强调和依赖围护结构对减少建筑能耗的作用，即使在软件模拟中引入了设备参数，但受软件限制，未体现出对能耗的影响。

2.2 设计完善期——对分析工具的理性选择

单项绿色技术的堆砌，不但带来增量成本的非理性增加，技术适用性、技术整合性也遭遇严峻考验。必须借助先进的模拟软件 IES，整合设备及围护结构的设计参数，对自然博物馆整体能耗进行模拟分析、定量比较。才能真正实现以“权衡优化（Trade-off）和总量控制”原则来为建筑选择适宜的技术体系。

2.3 设计总结期——对绿色技术的整合模拟

我们将各项关键技术（例如绿化屋顶外墙、细胞墙、地源热泵等等）的参数输入软件，通过其对模拟能耗结果的影响效率，结合增量成本，权衡考虑其技术可行性，从而使设计不再停留于“纸上谈兵”。

3 软件模拟

3.1 模拟基础

3.1.1 气候条件

上海位于北纬 31.17° ，东经 121.43° ，属于夏热冬冷地区。上海的春、秋季节较短，冬、夏季节较长。夏季炎热，秋季清爽，是全年最佳季节，冬季寒冷而潮湿。全年平均气温为 16° 。最热月份（7月及8月）及最冷月份（1月）的平均温度分别为 28°C 和 4°C ，其中7月及8月最高干球温度近于 38°C 。6月或7月初是梅雨季节，多雨、潮湿、闷热。上海日照充足，太阳辐射最高的季节为春、夏季，最高辐射量可达 $900\text{W}/\text{m}^2$ 。其他季节平均辐射量也可达 $600\text{--}700\text{W}/\text{m}^2$ 。

3.1.2 应用软件

本工程利用能耗分析软件 IES <Virtual Environment>（简称 VE）模拟，以房间为单位，将围护结构（屋顶、外墙、外窗）的传导、对流、辐射以及房间的通风等考虑在内，根据统计的典型年气象参数进行全年能耗计算，其逐时输出的最小间隔为每分钟。

3.2 模拟过程

3.2.1 建立模型

本工程分别建立了主体建筑（上海自然博物馆）模型和其周边较高建筑模型，考虑周边建筑对主体建筑的遮挡影响，如图 3 所示。参数设置时，首先根据设计施工图纸建立设计建筑物模型，再根据《公共建筑节能设计标准》GB50189 中的限值要求，建立参照建筑物模型，参照建筑物与 80 年代基准建筑物相比，节能率已达到 50% 的标准。

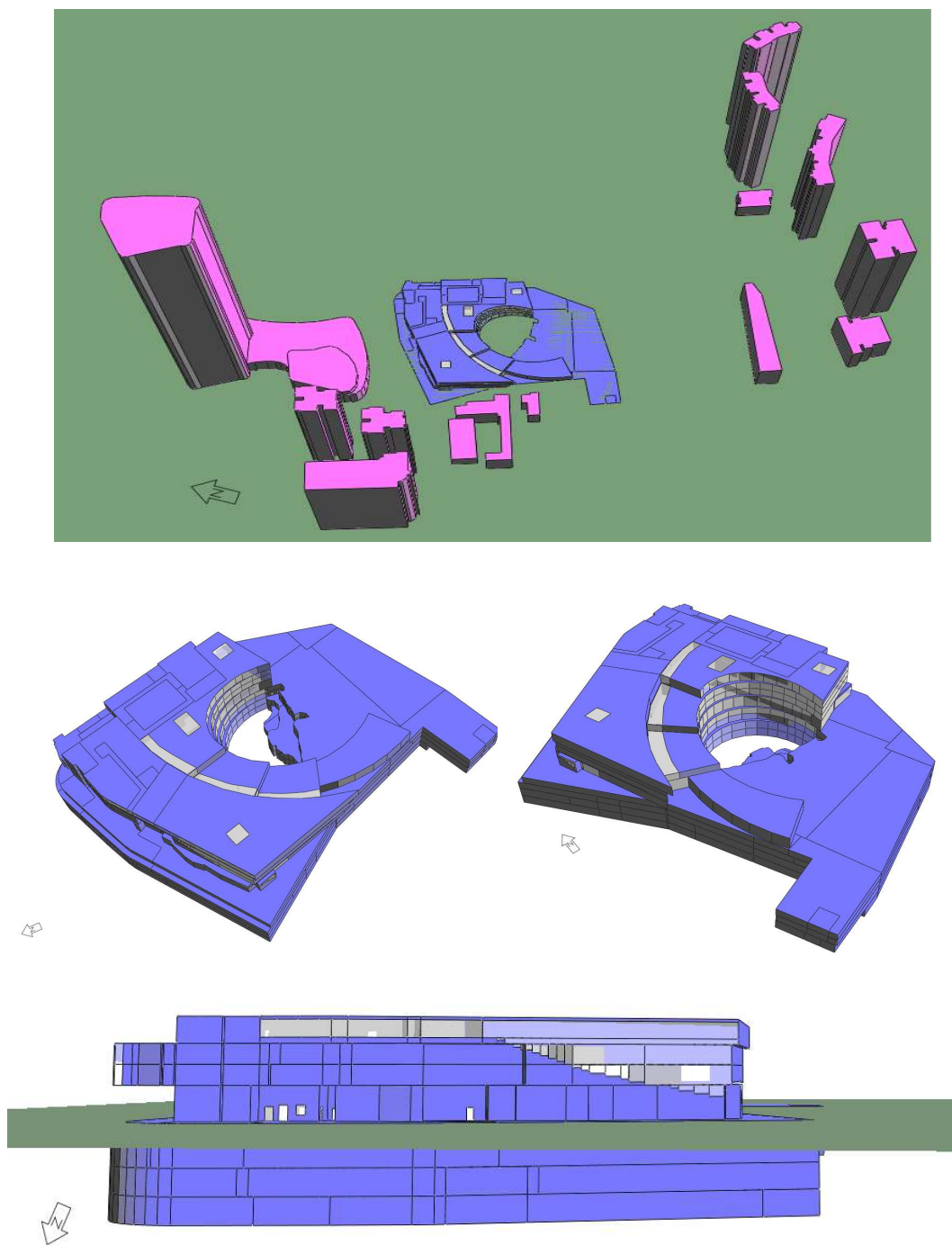


图 3 上海自然博物馆建筑模型

3.2.2 参数设置

通过 IES (VE) 软件系统全面的参数设置功能, 并根据设计图纸分别对外围护结构、室内负荷及时间表、空调通风系统等参数进行了设置。

本模拟中设计模型围护结构的参数均优于《公共建筑节能设计标准》GB50189 中规定的限值, 即优于参照模型参数;

室内负荷包括人员、照明、电器等, 本模拟首先根据区域的使用功能, 确定了这些内部负荷的峰值, 然后确定其各自的运行时间表。设计模型以及参照模型的人员密度、设备功率密度一致, 区别在照明功率密度上, 设计模型照明功率密度取目标值, 参照模型为现行值;

空调通风系统等的参数设置见下表

表 1 空调通风系统设置

	设计模型				参照模型			
展厅、公共空间、地下二层更衣室、夹层制作间、鉴定试验、物业管理								
空调系统形式	全空气定风量、风机盘管				全空气定风量、风机盘管			
新风按人员需求控制	有				有			
冷源	螺杆式冷水机组+螺杆式地源热泵				螺杆式冷水机组			
制冷机容量及效率	机组	制冷量 (KW)	台数	COP	机组	制冷量 (KW)	台数	COP
	螺杆式地源热泵	1200	2	5.0	螺杆式冷水机组	1200	2	4.6
	螺杆式冷水机组	1561	2	5.17		1561	2	4.6
热源类型	2 台螺杆式地源热泵机组 制热量 1200/1200Kw 燃气热水器 6 台（辅助热源）				1 台燃气锅炉			
热源效率	COP 4.59				89%			
冷冻水进出水温	6~13℃				7~12℃			
热水进出水温	39~45℃				50-60			
冷凝器热回收	部分热回收				无			
冷却塔	螺杆式冷水机组配备冷却塔（4 台） 冷却水供回水温度 32/37℃ 螺杆式地源热泵机组配备地下换热器 冷却水供回水温度 30/35℃				冷却塔 8 台 冷却水供回水温度 32/37℃			
冷却水泵	2 台（定转速控制） 输入功率 55/55kW				4 台（定转速控制） 输入功率 55/55/37/37kW			
地埋水循环泵	2 台（变频控制） 输入功率 37/37kW				无			
空调循环水泵	4 台（定转速控制） 输入功率 37/370/30/30kW				4 台（定转速控制） 输入功率 37/370/30/30kW			
空调箱	风量变频调节				定风量			

三层 数字化特种影院		
空调系统形式	自带压缩机的直接蒸发式空调系统	自带压缩机的直接蒸发式空调系统
综合性能系数	2.5	2.3
三层办公、会议及阅览室等小空间		
空调系统形式	变冷媒流量的变频多联机系统	变冷媒流量的变频多联机系统
综合性能系数	3.3	2.9
24 小时使用房间：消防控制室、值班室、弱电中心、计算机中心等		
空调系统形式	变冷媒流量的变频多联机系统	变冷媒流量的变频多联机系统
综合性能系数	3.3	2.9
藏品库房		
空调系统形式	恒温恒湿机组	恒温恒湿机组
综合性能系数	2.1	2.1

3.3 模拟结果

3.3.1 设计模型 (design building)

单项用能中空调冷热源（包括热泵机组、冷水机组）的能耗占总能耗的 11.1%；泵与风机等辅助设备的能耗占到了总能耗的 23.7%；室内照明则占了 18.5%。

表 2 设计模型全年能耗值

月份	能耗值 (MWh)					
	制热机组	制冷机组	泵与风机	照明	其他	总和
1	29.7864	0	129.8855	85.199	215.7624	460.6333
2	22.8466	0.0014	115.4953	75.7324	191.9036	405.9793
3	13.7327	0.0062	64.4429	82.0435	208.0678	368.2931
4	1.4923	0.6776	3.634	82.0435	207.8095	295.6569
5	0	5.139	3.9147	85.199	215.7624	310.0151
6	0	95.0899	158.3785	78.888	200.1149	532.4713
7	0	146.5953	187.112	85.199	215.7624	634.6687
8	0	133.1175	176.9202	82.0435	208.0678	600.149
9	0	98.675	164.3306	82.0435	207.8095	552.8586
10	0.0082	26.6438	75.1385	85.199	215.7624	402.7519
11	2.3447	0.9697	59.6802	78.888	200.1149	341.9975
12	16.4875	0.008	129.8858	85.199	215.7624	447.3427
全年总计	86.6985	506.9234	1268.8184	987.6772	2502.7	5352.818

3.3.2 参照模型 (reference building)

单项用能中空调机组（包括热泵机组、冷水机组）的能耗占总能耗的 11.5%；泵与风机等辅助设备的能耗占到了总能耗的 27.8%；室内照明则占了 19.4%。

表 3 参照模型全年能耗值

月份	能耗值 (MWh)					
	制热机组	制冷机组	泵与风机	照明	其他	总和
1	45.362	0	179.4404	101.3974	215.7624	541.9604
2	33.8075	0.0014	159.5441	90.131	191.9036	475.3866
3	17.7964	0.0063	88.4654	97.6419	208.0678	411.9762
4	2.3385	0.4372	3.9488	97.6419	207.8095	312.1754
5	0	3.6929	4.1997	101.3974	215.7624	325.052
6	0	106.4082	205.2089	93.8865	200.1149	605.6176
7	0	167.6485	239.4647	101.3974	215.7624	724.271
8	0	151.8553	227.086	97.6419	208.0678	684.65
9	0	110.8115	213.2406	97.6419	207.8095	629.502
10	0.1313	28.427	99.1543	101.3974	215.7624	444.871
11	3.9994	0.5556	81.8515	93.8865	200.1149	380.4077
12	24.6135	0.0076	179.4406	101.3974	215.7624	521.22
全年总计	128.0487	569.8515	1681.045	1175.4585	2502.7	6057.0898

3.3.3 设计模型 (design building)、参照模型 (reference building) 的比较

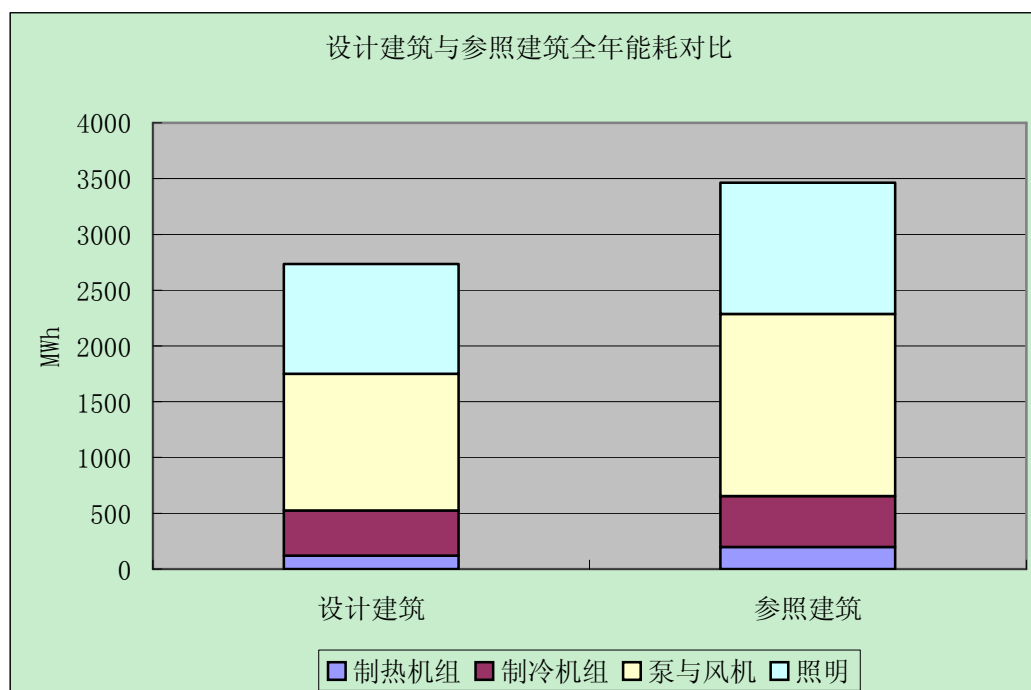


图 4 设计模型和参照模型年耗电量比较 (单位: MWh)

总结如下：设计模型全年总能耗（空调、通风、照明）为 5352.818 MWh，参照模型全年总能耗（空调、通风、照明）为 6057.090 MWh，设计模型的能耗值为参照模型的 88.3%。

表 4 设计与参照模型的能源使用对比（一次能源）

	年总能耗(MWh)	能耗比例
设计模型(design building)	5352.818	88.3%
参照模型(reference building)	6057.0898	100%

4 成果意义

4.1 软件模拟结论

模拟数据显示：设计模型全年耗电量为参照模型全年耗电量的 82.3%，即较“基准建筑”节能 60.5%，满足绿色建筑评价标准要求。从而在设计阶段量化证明了自然博物馆 11 大生态技术体系的适宜性。列举可通过 IES（VE）整合设计的技术如下（图 5）：

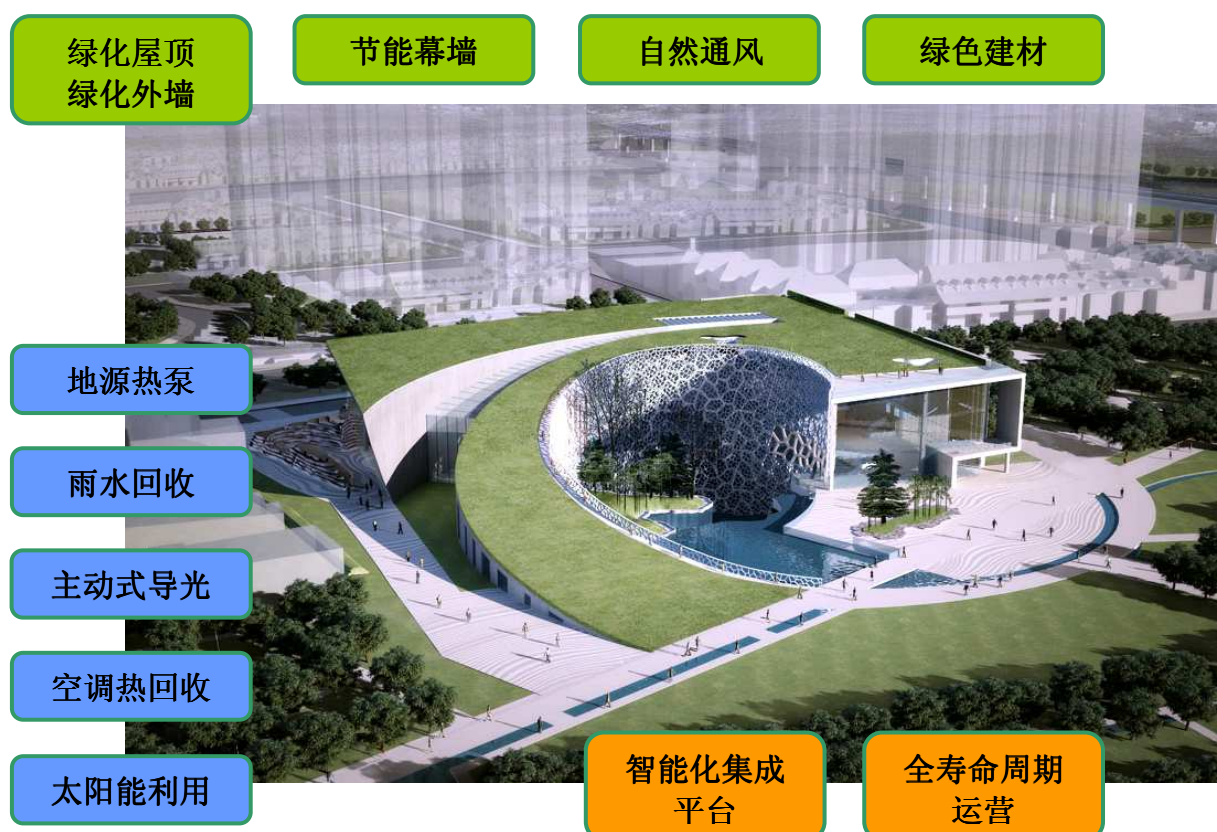


图 5 自然博物馆 IES 整合技术体系

4.1.1 节能幕墙

南面 U 型玻璃幕墙系统的“细胞墙”加上南面入口处的索网玻璃幕墙系统结合,从而将能耗最大的建筑表皮转换成能量生产的表面和内部空间的能量调节装置(图 6~7)。



图 6 南立面索网玻璃幕墙效果图



图 7 南立面外遮阳 U 型玻璃幕墙效果图

4.1.2 绿化屋顶及绿化外墙

东立面设置整片绿化外墙加屋顶 100%设置拓展型绿化, 可作为建筑室内空间的热量缓冲, 减少取暖和空调的费用; 同时有效的改善空气质量、减少水土流失率(图 8~9)。



图 8 东立面绿化墙效果图



图 9 绿化屋面效果图

4.1.3 自然通风

自然通风是一种借由风压、热压从而利用自然能的通风技术。本建筑由于高度仅 18 米，故主要考虑风压作为通风驱动力。利用软件模拟，积极的组织和诱导自然通风，调整或增设中庭、通风口、机械通风装置(图 10)。软件还可将这些通风策略输入到建筑智能化系统，借助一系列的感应器，来监视室内外环境状况，控制立面窗户，天窗和机械通风系统的运行。

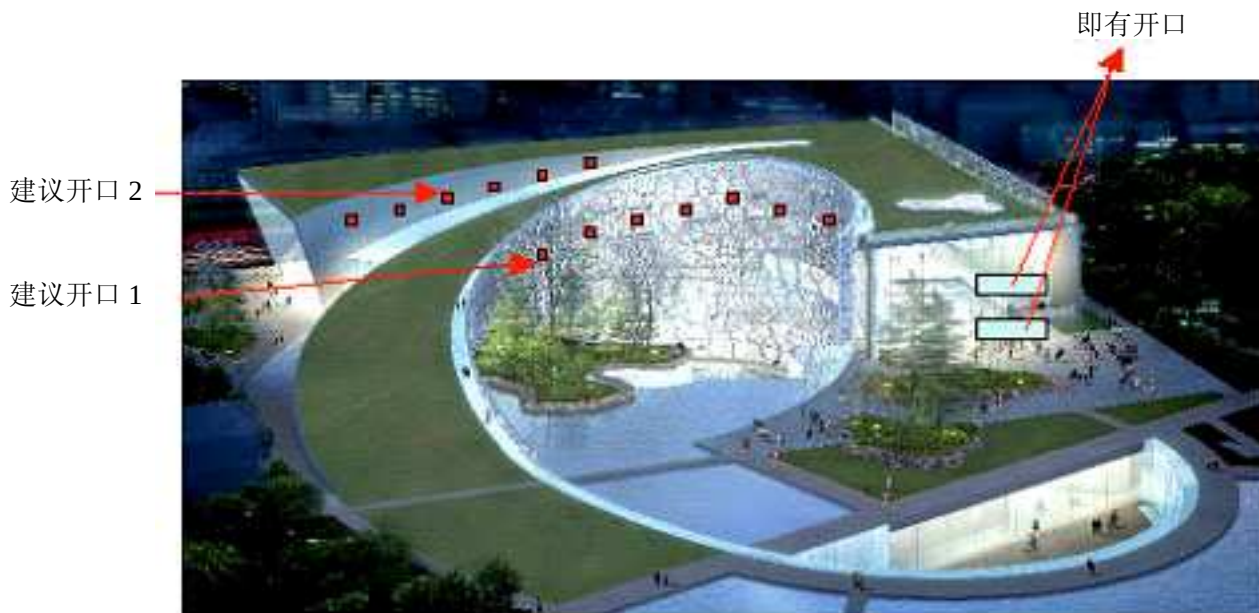


图 10 建议开口示意图

4.1.4 地源热泵

本项目地源热泵系统冬季制热满足总负荷的 100%的需求，夏季制冷满足总负荷的 60%的需求(图 11)。研究成果显示：若以《公共建筑节能设计标准》GB50189-2005 为对比基准，本项目的地源热泵每年可节省 117.7 吨标准煤，年减排 CO₂ 约 195.5 吨，年运行费用可节省 22.3 万元，动态回收期 11.98 年。

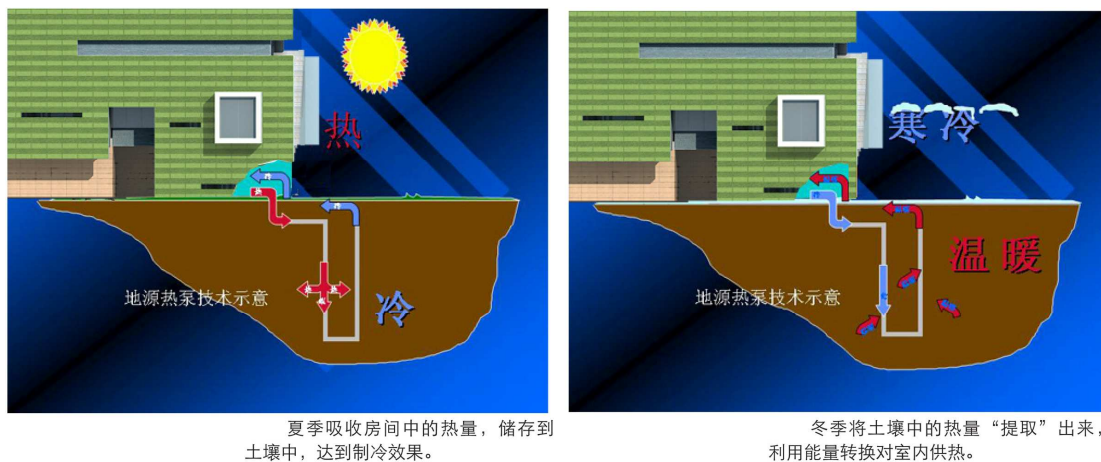


图 11 地源热泵负荷参数图

4.1.5 空调热回收

本工程热回收技术主要体现在两个部分：地源热泵主机配置部分热回收功能；部分室内空调系统设置排风热回收——大报告厅、IMAX 影院、三层约 2000m² 的办公区域。

4.1.6 太阳能利用

软件模拟确定本项目的太阳能光伏与建筑一体化的具体策略：屋顶 385 m² 的天窗采用了单晶硅光伏玻璃，通过调节电池片的间隙，控制其采光性能及遮阳性能。在这里，光伏系统本身就是建筑构件的一部分，而不是一个独立放置于屋顶的构件。

4.1.7 主动式导光

利用南侧下沉庭院及通高弧形玻璃幕墙将自然光引入到地下部分；采用太阳光光纤导入照明系统，为地下二层的生态写真展示空间中 500m² 范围的活体生物展示提供了自然光；对地上展示空间及办公空间，则采用反光板、散光板、集光导光设备改善室内空间(图 12)。

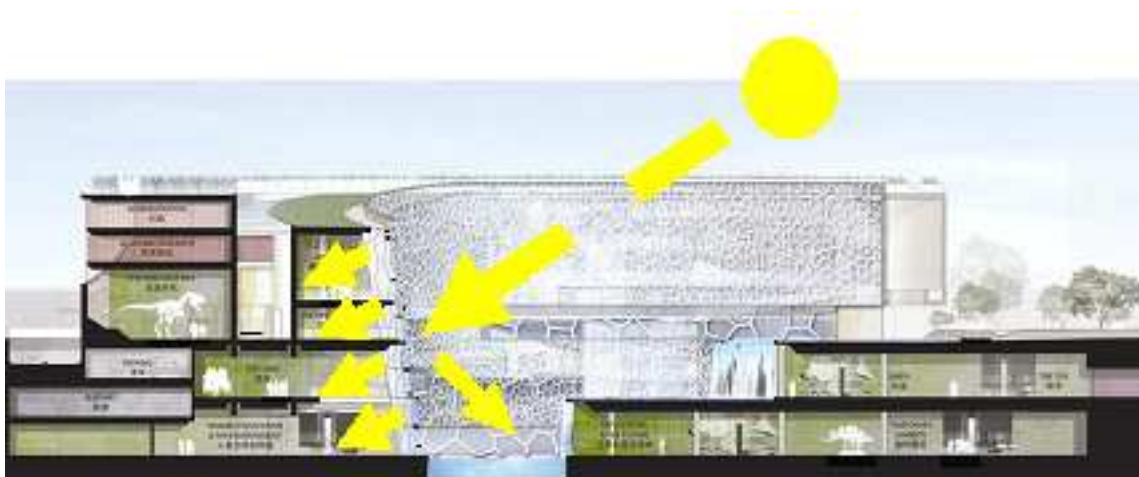


图 12 地下空间导光示意图

4.2 案例对比结论

与上海近年建成的大型博览类公建的全年能耗对比也论证：上海自然博物馆比参照实例（上海科技馆等）这些具有相似地域条件的、相对先进节能的大型公建更具有先进性、示范性。

表 5 上海大型博览类公建全年能耗对比

项目名称	建筑面积 (m ²)	年均耗电量 (kWh)	年均耗天然气 (Nm ³)	年均耗煤气量 (Nm ³)	年均耗柴油量 (kg)	平均一次能耗 (MJ/m ²)	单位面积能耗 (公斤标煤/m ²)
东方艺术中心	39,964	8,569,000	-	-	-	2,539	87.00
上海大剧院	61,000	5,752,933	-	705,067	-	1,523	52.00
上海浦东国际机场	280,000	60,316,667	-	-	-	3,467	118.00
上海科技馆	98,000	11,832,885	409,069	-	-	1,576	54.00
上海自然博物馆	44,800	5352,818	-	-	-	1,414	48.24

4.3 科研中期成果

与上海近年建成的大型博览类公建的全年能耗对比也论证：上海自然博物馆比参照实例（上海科技馆等）这些具有相似地域条件的、相对先进节能的大型公建更具有先进性、示范性。

5 结语

上海自然博物馆绿色建筑实践摸索的结果证明：对绿色技术适宜性的考察，必须坚持贯彻定性、定量的分析程序。即建筑设计绝不仅仅是建筑师脑海中的灵光乍现，也是电脑模拟的理性构筑。借助先进软件进行辅助设计，将成为当代建筑师创建低碳建筑的利器。

基于本项目的课题研究——《自然博物馆生态节能技术研究与应用示范》为上海市科委科技攻关项目（编号 07dz12020）。