

doi:10.11835/j.issn.1005-2909.2018.01.001

欢迎按以下格式引用:田一辛,黄琼. 基于协同学的低能耗公共建筑设计体系建构[J]. 高等建筑教育,2018,27(1):1-5.

# 基于协同学的低能耗公共建筑设计体系建构

田一辛,黄琼

(天津大学 建筑学院,天津 300072)

**摘要:**建筑与外界环境有物质、能量和信息交换,是开放的复杂系统。协同学重视系统的整体性,研究子系统如何合作,在宏观尺度上产生空间、时间或功能结构。引入协同学理论,有助于系统性研究低能耗建筑。基于序参量和自组织原理,提取影响建筑能耗的序参量,建立低能耗建筑结构框架和设计流程。

**关键词:**协同学;序参量;低能耗;公共建筑设计

中图分类号:TU242

文献标志码:A

文章编号:1005-2909(2018)01-0001-05

## 一、引入协同学的必要性

西方各国节能建筑设计先后经历了从经验化的定性分析到数字化的定量模拟,从单一技术的移植嫁接到多种技术的集成应用,从各阶段相互脱离到全寿命周期统筹兼顾的转变过程,逐渐向以跨学科研究为基础、多专业协同配合的交互式、智能化、整合设计方向发展。低能耗建筑设计的发展不仅是技术平台的更新,更是低能耗建筑设计理论的交叉衍化和低能耗设计方法、流程的重构<sup>[1]</sup>。

当代科学研究最高技巧是拆分,即把问题分解成尽可能小的部分,但忽视了对细部的重组。20世纪中叶系统科学和非线性思维崛起,揭示了简单性与复杂性、有序性与无序性、确定性与随机性等现象的普遍存在,将人类社会与自然界的普遍规律联系起来,形成新的自然观。伊·普里戈金认为,线性和非线性之间的一个明显区别就是叠加性质有效还是无效,在线性系统里两个不同因素的组合只是简单叠加,但在非线性系统中,一个微观的因素能导致无法衡量的戏剧性结果……可能导致突变<sup>[2]</sup>。协同学针对复杂性的相关研究将非线性科学推向宇宙各层级,挖掘和发展系统的良性涨落。引入协同学有助于低能耗建筑设计方法论的研究,对低能耗建筑及其子系统的协同具有理论指导意义。

协同学理论在城市规划和建筑领域已有初步探索,如厦门大学王慧提出基于协同学的厦漳泉都市圈发展策略,明确协同学的创立与发展为区域一体化的协调发展提供了理论基础与实践指导<sup>[3]</sup>,邱宏等提出区域协同理念下山地城

收稿日期:2017-02-27

基金项目:国家自然科学基金(51338006);国家重点研发计划(2016YFC0700201)

作者简介:田一辛(1986—),女,天津大学建筑学院博士生,主要从事绿色建筑研究,(E-mail)383696605@qq.com。

市空间统筹规划策略<sup>[4]</sup>。在建筑界的协同探索多是关于协同学的基础和核心概念——非线性、系统论、自组织等,如刘洋等学者研究混沌理论对建筑与城市设计领域的启示和应用<sup>[5]</sup>,韩昀松提出基于协同学的高层建筑形态自组织与自适应创作研究<sup>[6]</sup>。

## 二、协同学理论主要概念

斯图加特大学教授、著名物理学家哈肯于1971年首次提出了“协同”概念,其后发表《协同学导论》《协同学》《高等协同学》等著作。协同学的研究对象为:由完全不同性质的大量子系统所构成的各种系统,这些子系统通过合作在宏观尺度上产生空间、时间或功能结构。

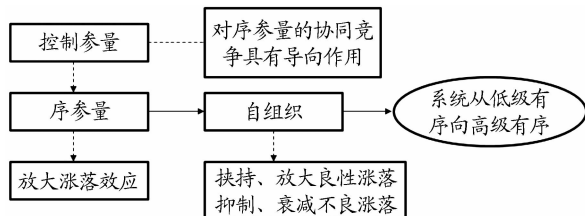
### (一)序参量

协同学的动态原则中,方式的增长率起决定性作用,增长率最高的方式通常获得优势并决定宏观结构,几个这样的集体运动也称之为序参量<sup>[7]</sup>。影响系统的要素很多,但是有主次之分,序参量是影响系统结构的关键因素,序参量与被支配系统之间的一系列相互关系可用数学模型来处理<sup>[7]</sup>。对于低能耗建筑体系而言,将降低能耗、加强利用自然资源的设计参数称之为参量,利用参量对能耗的敏感性,提取敏感度高的参量为序参量。如英国建筑师诺曼·福斯特设计伦敦市政厅,以降低太阳辐射得热为目标,将建筑倾斜度、宽度、高度等作为序参量,用微型工作站(MicroStation)调整优化建筑体型。在低能耗建筑研究中,王丽娟、杨柳利用主成分分析法得出窗墙比、体形系数、围护结构传热系数对西安、北京、拉萨的建筑能耗影响是有差异的<sup>[8]</sup>,孙澄带领的团队对空间设计参量的敏感性有系列分析,分析开间进深比、楼层数、各朝向窗墙比、外墙屋面传热系数等设计参量对整体能耗的敏感性<sup>[9]</sup>,及外窗透过率、进深、窗墙比、朝向等设计参数的节能敏感性<sup>[10]</sup>。

### (二)自组织

自组织是系统在外参量的驱动下,子系统间通过非线性作用产生协同现象和协同效应,在宏观尺度上形成空间、时间或功能的有序结构。简言之,系统形成怎样的结构,并不取决于外界环境提供的信息或给出的指令,而是由系统内部自行组织<sup>[11]</sup>。协同学把系统的有序称为“自组织”,子系统间会出现差异性涨落,自组织的任务则是扶持和放大良性涨落,抑制和衰减不良涨落,使系统达到高级有序(图1)。孔宇航在著作中提到建筑的自组织演化研究重

点在建筑空间进化与自身更新上,从而分析建筑空间系统在与外界能量交换过程中的自组织形态,解析自组织系统在演化过程中发展的诱因和途径<sup>[11]</sup>。



## 三、低能耗公共建筑设计体系架构

### (一)基于节能目标的序参量

降低建筑能耗可从两方面考虑,一是降低能耗需求量,二是增加自然资源的利用。建筑能耗由照明能耗、采暖空调能耗和通风能耗共同构成,之间存在合作竞争关系。例如:自然采光可降低照明能耗,但也会影响建筑的采暖或制冷能耗。因此,建筑节能研究不可孤立片面地看问题,而应系统性研究照明、自然通风、采暖、降温等,以整体性能最佳为设计目标。

建筑总能耗公式可简写为

$$Q_{\text{总}} = Q_h + Q_C \pm Q_w + Q_L$$

建筑耗热量指标由围护结构的传热耗热量、空气渗透耗热量和建筑物内部得热三部分组成,计算公式如下:

$$Q_h = Q_{h,\tau} + Q_{INF} - Q_{IH}$$

$$Q_{h,\tau} = (t_i - t_e) \left( \sum_{i=1}^m \varepsilon_i \cdot K_i \cdot F_i \right) / A_0$$

$$Q_{INF} = (t_i - t_e) (C_p \cdot \rho \cdot N \cdot V) / A_0$$

建筑制冷能耗  $Q_C$ , 计算公式如下:

$$Q_C = \frac{K \times A}{\eta_c} \sum_{i=1}^n N'_i (t'_B - t'_i)^+$$

天然采光优先的照明能耗  $Q_L$ , 包括采光外区照明能耗和内区照明能耗,计算公式如下:

$$Q_L = \sum (1 - DA_i) \cdot \rho \cdot F_{\text{ext}} + \rho \cdot F_{\text{int}}$$

$$DA = \beta_1 + \beta_2 \times (h/r) + \beta_3 \times \delta + \beta_4 \times (h/r)^2 + \beta_5 \times \delta^2$$

通过自然通风带走的显热量  $Q_w$  计算公式如下:

$$Q_w = \sum_{i=1}^n \frac{N_i V C_{p,v} (T_{\text{out}} - T_{\text{in}})}{S} =$$

$$\sum_{i=1}^n N_i h C_{p,v} (T_{\text{out}} - T_{\text{in}})$$

利用自然采光可节省的照明用电量宜按下列公

式计算

$$W_e = \sum (P_n \times t_D \times F_D + P_n \times t'_D \times F'_D) / 1\ 000$$

对上述公式进行整理,可得出建筑能耗与影响因素的函数关系为

$$Q = f(K, A, V, h, F_{csi}, F_{in}, \frac{h}{r}, \delta, \eta, SHGC, S)$$

即影响建筑能耗的设计参量有围护结构传热系数 $K$ 、围护结构外表面积 $A$ 、体积 $V$ 、高度 $h$ 、外区面积 $F_{csi}$ 、内区面积 $F_{in}$ 、层高进深比 $h/r$ 、玻璃透射率 $\delta$ 、窗墙比 $\eta$ 、太阳能得热系数 $SHGC$ 、体形系数 $S$ 等。

公共建筑节能设计标准的参量限值变化,证明了以上参量的控制有利于节能(表1)。公共建筑的耗热量主要由围护结构传热耗热量和空气渗透耗热量两部分组成,随着技术的进步,围护结构的传热系数和气密性都有较大发展。以寒冷地区屋面传热系数为例,20世纪80年代屋面的传热系数为 $1.26\text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ,2005年规范最大允许值 $0.55$ ,相对于80年代节约了 $56.3\%$ ,这一数值在2015年规范中提高为 $0.45$ ,相对于2005年规范提高了 $18.2\%$ 。外窗气密性由2005年的4级提高为大于6或7级。

表1 公共建筑节能设计标准演变

	20世纪80年代传统做法	2005年规范	2015年规范
节能措施和目标	100%	改善围护结构热工性能,提高空调采暖设备和照明设备效率,从北方至南方,围护结构分担节能率约 $13\% \sim 25\%$ ,空调采暖系统分担节能率约 $16\% \sim 20\%$ ,照明设备分担节能率约 $7\% \sim 18\%$ ,全国总体节能率可达到 $50\%$	围护结构热工性能改善,供暖空调和照明设备能效提高,全年供暖、通风、空气调节和照明的总能耗减少约 $20\% \sim 23\%$
总能耗构成	—	制冷与供暖占 $50\% \sim 60\%$ ,照明占 $20\% \sim 30\%$	供暖能耗占 $40\% \sim 50\%$ ,照明占 $30\% \sim 40\%$ ,其他占 $10\% \sim 20\%$
体形系数	—	$\leq 0.4$	$300 < A \leq 800, \leq 0.5$ ; $A > 800, \leq 0.4$
屋面传热系数 $K$ 值	1.26	$0.55(0.3)/0.3(0.3-0.4)$	$0.45(0.3)/0.4(0.3-0.5)$
外墙传热系数 $K$ 值	—	$0.6/0.4$	$0.5/0.45$
外窗传热系数 $K$ 值	—	$3.5-2/3-1.8$	$3-1.5/2.8-1.4$
窗墙比	—	$\leq 0.7$ ( $<0.4$ 时,透明材料的可见光透射比 $\geq 0.4$ )	$\leq 0.7$ ( $<0.4$ 时,透光材料可见光透射比 $\geq 0.6$ ); $\geq 0.4$ (可见光透射比 $\geq 0.4$ )
外窗可开启面积	—	$\geq 30\%$ 窗面积	甲类 $\geq 10\%$ ,乙类 $\geq 30\%$
外窗气密性	—	$>4$ 级	10层以上 $\geq 7$ 级;10层以下 $\geq 6$ 级

注:1.传热系数括号内为体形系数的范围,窗墙比括号内对应透光材料的限制条件

2.以寒冷地区公共建筑为例列举相关节能数据

## (二) 系统建构原理

### 1. 整体性

系统是由各子系统按一定结构组合起来的整体,开放系统的特性在于整体性,即各个部分之间的相互联系,自然环境的特性也是如此。低能耗建筑充分利用建筑所在环境的自然能源,因此需要重视建筑的整体性。

### 2. 动态性

非线性科学表明环境具有复杂性和变动性特

征,难以用静止规则描述,应注重低能耗建筑与环境在时空上的关系。例如,建筑与周围环境的热传递——辐射、对流和导热均为动态,建筑能耗随日出日落和季节呈周期性变化。时间参数的关键作用也导致了一个特点——随机性,因此,在低能耗建筑研究中越来越多引入遗传算法、神经网络分析法等涉及随机性的优化算法。

### 3. 开放性

建筑是人类在自然环境中建造的遮蔽所,与外

部环境的能量交换从未停止,是一个开放系统。节能建筑运用协同学原理将建筑嵌入环境,使建筑与环境共生,建筑成为物质和能源流通的一个环节,而不是终端。

#### 4. 层次性

由于子系统之间的差异,包括序参量和节能策略的差异,子系统在地位与作用、结构与功能上表现出等级秩序。为了深化研究,可先从低能耗建筑体系的不同层次入手,然后进行耦合研究。

#### (三)低能耗建筑自组织系统建构

早期建筑作为遮蔽所,自然环境和社会环境的物质、信息和能量输入与输出基本平衡。随着技术发展,人类对环境的控制力逐渐增强,自然环境对建筑的影响变弱,生态平衡被打破,建筑呈现高能耗舒适型特征。但是,面临能源危机和环境恶化,人们意识到需发展低能耗建筑。从1986年到2015年的节能建筑标准可发现,对节能建筑的认知已从简单系统转变为复杂系统,早期重视建筑和采暖节能,2005年的规范增加了制冷节能,2015年的规范添加了给水排水、电气和可再生能源方面的节能内容,但建筑本体的节能是不变的主题。

在低能耗建筑自组织体系中按照环境、建筑与人的关系将建筑划分为室外环境、围护结构和内部空间3个子系统,子系统的竞争协同关系促进自组织的发展(图2)。各子系统有不同的构成,对应不同的序参量,如:传热系数、窗墙比、体形系数等是围护结构的序参量。低能耗建筑以利用自然资源降低能耗量为优先原则,其次利用技术设备降低能耗量,对不同的子系统有不同的设计策略,如:界面设计和遮阳是围护结构的对应策略(表2)。

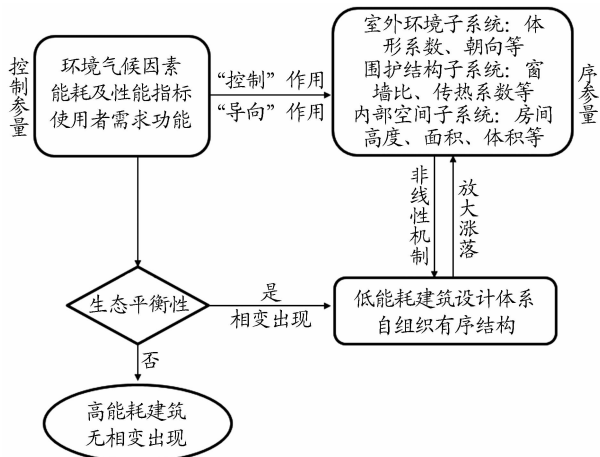


图2 低能耗建筑设计体系的自组织过程

表2 低能耗公共建筑子系统

	室外环境	围护结构	内部空间
第一层面构成	太阳辐射、自然光、风	墙、窗、屋顶、地板或地面、遮阳构件	功能空间、辅助空间
第二层面设计参量	温度 湿度 气流速度 朝向 体形系数	窗墙比 得热系数 天然采光满足率 传热系数 气密性	外区面积、内区面积 房间体积 房间面积 房间高度 自然通风换气次数 室内温度
第三层面设计策略	被动式太阳能 自然通风 自然采光	界面设计策略 遮阳	空间关系组织 空间尺度控制

低能耗建筑协同设计流程首先是设定目标,目标可涉及能耗、热性能、光性能等;其次是对设计信息的处理,几何信息、材料信息、构造信息、运行信息是设计参量方面,地理位置信息、日照环境信息、室外温湿度信息、室外风环境信息等是设计条件方面;然后对设计方案进行能耗模拟与评价;最后是信息反馈与设计优化(图3)。

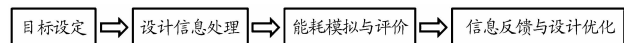


图3 低能耗建筑协同设计流程

#### 四、结语

协同学理论引入建筑设计领域,有助于将建筑

作为开放系统来研究,通过序参量和自组织原理解析低能耗公共建筑。按照环境、建筑与人的关系将低能耗建筑分解为3个子系统,从子系统构成、设计参量和节能策略层面进行研究,并提出低能耗建筑设计流程。

#### 参考文献:

- [1]孔宇航. 非线性有机建筑[M]. 中国建筑工业出版社,2012.
- [2]伊·普里戈金,伊·斯唐热. 从混沌到有序——人与自然的对话[M]. 曾庆宏,沈小峰,译. 上海:上海译文出版社,1987.

- [3] 阎欣,尹秋怡,王慧. 基于协同学理论的厦漳泉都市圈发展策略[J]. 规划师,2013,29(12):34-40.
- [4] 邱宏,吴斌,卢亚娟. 区域协同理念下山地城市空间统筹的规划应对——以福建省三明市为例[J]. 规划师,2016,32(1):35-39.
- [5] 刘洋. 混沌理论对建筑与城市设计领域的启示[J]. 建筑学报,2004(6):32-34.
- [6] 韩昀松,姜宏国,孙澄. 基于数字技术的高层建筑形态自组织与自适应创作研究[J]. 城市建筑,2012(9):68-70.
- [7] 赫尔曼·哈肯. 协同学大自然构成的奥秘[M]. 复华,译. 上海:上海译文出版社,2001.
- [8] 王丽娟. 寒冷地区办公建筑节能设计参数研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2007.
- [9] 孙澄,刘蕾. 严寒地区办公建筑整体能耗预测模型建构研究[J]. 建筑学报,2014(S2):86-88.
- [10] 刘蕾,梁静,孙澄. 严寒地区办公建筑自然采光性能预测模型建构[J]. 新建筑,2015(5):46-51.
- [11] 郭治安. 协同学入门[M]. 四川:四川人民出版社,1988.
- [12] 邹辉霞. 供应链协同管理——理论与方法[M]. 北京:北京大学出版社,2007.

## Construction of design system for public buildings with low energy consumption based on synergetics

TIAN Yixin, HUANG Qiong

(School of Architecture, Tianjin University, Tianjin 300072, P. R. China)

**Abstract:** There is material, energy and information exchange between the buildings and external environment, therefore, a building is an open and complex system. Synergetics highlights the integrity of the system and carries out research on how the subsystem cooperates with one another to produce the space, time or functional structure on the macro scale. The introduction of synergetics theory is conducive for carrying out systematic research on buildings with low energy consumption. Based on order parameter and self-organizing principle, the order parameter affecting building energy consumption is extracted and then the frame and design flow of building structure with low energy consumption are established.

**Keywords:** synergetics; order parameter; low energy consumption; design for public building

(编辑 周沫)