

建筑热缓冲空间的设计理念 and 类型研究 *

——以国际太阳能十项全能竞赛作品为例

Research on the Design Strategies and Forms of Thermal Buffer Spaces in Solar Decathlon Houses: Taking Works of International Solar Decathlon as Examples

石峰¹ 金伟²
Shi Feng Jin Wei

摘要 对建筑热缓冲空间的设计理念 and 策略进行分析, 将其功能归结为热缓冲空间的蓄热能力 and 对换热速率的调节两个因素; 以历届太阳能十项全能竞赛的参赛作品为例, 依据热缓冲空间的形式 and 在建筑中的位置, 将其分为中庭式、包围式、外廊式和辅助空间式四个类型, 并分别举例阐述其特点。分析结果表明, 热缓冲空间是一种综合性的节能设计策略, 它通过被动式节能措施的合理整合, 建筑主次空间的合理组织, 能有效的改善建筑的内部环境, 其设计理念为绿色建筑提供了新思路。

关键词 太阳能十项全能竞赛; 热缓冲空间; 蓄热; 换热速率

ABSTRACT The design ideas and strategies of thermal buffer spaces in buildings are analyzed, and their functions are attributed to the heat storage capacity and the heat exchange rate of the space. Using Solar Decathlon works from previous years as examples, the thermal buffer spaces were divided into four types: atrium style, surrounding style, external corridor style and auxiliary space style, according to their forms and positions in the buildings. Moreover, the four types were illustrated according to their respective characteristics. The analysis showed that the thermal buffer space is a comprehensive energy-saving design strategy and, through integration of passive energy saving measures and reasonable organization of building space, the thermal buffer spaces can effectively improve the internal environment of buildings. The design concept of thermal buffer space provides new thoughts for green building design.

KEY WORDS Solar Decathlon; thermal buffer space; thermal storage; heat transfer rate

* 国家自然科学基金资助项目: 基于储能与热调节的生态建筑热缓冲空间设计研究, 项目编号: 51308481; 国家自然科学基金资助项目: 基于热环境智能调控的气候适应性可变建筑表皮设计研究, 项目编号: 51778549。

中图分类号 TU201.5

文献标识码 A

DOI 10.3969/j.issn.1000-0232.2018.02.060

文章编号 1000-0232(2018)02-0060-07

作者简介 ¹ 厦门大学建筑与土木工程学院, 副教授, 电子邮箱: shifengx@xmu.edu.cn; ² 温州建正节能科技有限公司, 项目经理助理

引言

建筑热缓冲空间是位于建筑主要使用空间与室外环境之间的过渡空间,可作为两者之间的过滤层,实现建筑内部微气候与室外气候之间的缓冲过渡。在建筑中能发挥热环境调节作用的中庭、天井、阳光间、门斗等都可看做热缓冲空间的具体形式。文献中关于热缓冲空间有着不同的表述方法,如“生物气候缓冲层^[1]”、“气候缓冲空间^[2]”、“生态缓冲空间^[3]”、“气候缓冲区^[4]”、建筑“腔体^[5,6]”等,但其功能都在于通过合理的生态设计策略,有选择性的滤去或缓解不利的环境因素,同时将有利的环境因素引入建筑内部,从而实现调节建筑内部热环境的目的。

本文以历届国际太阳能十项全能竞赛(Solar Decathlon,以下简称SD竞赛)的参赛作品为例,对各建筑作品中的热缓冲空间设计策略进行分析。SD竞赛是由美国能源部发起并主办,以全球高校为参赛单位的太阳能建筑科技竞赛,竞赛要求每个参赛队将太阳能、节能与建筑设计以一体化的方式紧密结合,设计、建造并运行一座功能完善、舒适、宜居、体现可持续的零能耗住宅,并以太阳能作为建筑运行所需能量的唯一来源¹⁾。SD竞赛的评分标准分为十个单项,其中建筑设计、工程技术、市场吸引力、宣传推广、太阳能应用五个单项为主观项,由评审团评审给出得分,舒适度、热水、室内设施、家庭娱乐、能量平衡五个单项为客观项,由仪器实测得出成绩,这十个单项从设计、技术、能耗、推广等各个角度对参赛建筑进行了全面而综合的评估。SD竞赛在美国已经举办了七届(文中用SDA20**来表示,后面的数字表示竞赛年份),在欧洲举办了三届(文中用SDE20**来表示,后面的数字表示竞赛年份),2013年SD竞赛首次落户中国,在山西省大同市举办(文中表示为SDC2013)。SD竞赛具有前瞻性和实践性,反映着建筑技术领域发展的前沿。已举办的十一届竞赛中留下了大量的零能耗建筑实例,为建筑节能设计研究提供了良好的素材²⁾。

1 热缓冲空间的设计理念

热缓冲空间是基于建筑空间设计的角度提出的一种综合性建筑节能设计策略。由于房间的功能和使用频率的不同,建筑内各个空间有着不同的热环境需求,据此可以将这些空间分为不同的类别,在设计中根据不同空间的环境需求对其进行合理的组织,安排一些具有过渡性质的辅助空间作为气候调节的容器,用来调节主要功能空间的热环境,这些具有热环境调节功能的空间都可以看作建筑中的热缓冲空间。在热缓冲空间中,可以根

据热环境控制的需要,综合利用遮阳、温室效应、热压通风、相变材料蓄热等多种设计策略,达到节能和改善环境的目的。

各种热缓冲空间虽然形式各不相同,设计策略也多种多样,但从本质上分析,其调节建筑环境的功能都可以归纳为热缓冲空间的蓄热能力和热缓冲空间与外界的换热速率两个因素(图1):空间的蓄热能力体现在缓冲空间内的空气以及实体材料对热量的积蓄,主要取决于热缓冲空间相对尺度的大小,以及内部材料的储热性能上;空间与外界的换热包括两个部分,分别是热缓冲空间与相接触的室内主体空间的换热,以及热缓冲空间与建筑外部环境通过通风、传热以及太阳辐射等途径的换热。

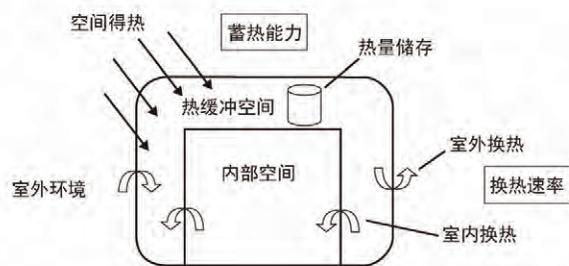


图1 热缓冲空间原理示意图

热缓冲空间与外界的换热速率应可调节,在室外气候环境改变时能相应的变化,实现建筑环境调节的功能。对换热速率的调节常常通过可控遮阳、可启闭的通风口等方式来实现,例如在北方地区带有阳光间的建筑,阳光间作为热缓冲空间,在冬季白天时通过循环通风加快阳光间与建筑内部空间的换热,而在夜间则关闭风口,降低换热速率。通过蓄热和换热两个要素的协同作用,根据室外气候环境中的天气变化、昼夜变化、季节变化等过程,相应的改变换热速率,调节空间蓄热能力,即可改善建筑室内热环境,降低建筑的冷热负荷。

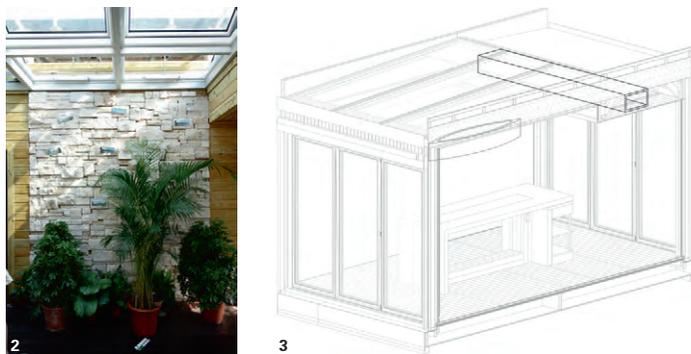
1.1 蓄热能力

蓄热能力是热缓冲空间发挥作用的关键,决定了其热缓冲能力的大小。良好的蓄热能力一方面可以降低外界不利的环境因素对室内主体功能空间的影响,另一方面也可以将热量蓄存起来,在需要进行使用。在SD竞赛中,为了方便运输与装卸,参赛作品的围护结构多采用轻质材料,导致建筑的热稳定性差,使用蓄热材料可以有效地增加建筑的热稳定性。SD竞赛作品中的蓄热形式主要有重质材料蓄热、水蓄热、相变材料蓄热等。

1.1.1 重质材料蓄热

使用重质材料蓄热是SD竞赛作品中常见的做法,重质材料往往结合建筑地面、墙体等部位进行设计,使用石墙、混凝土板、卵石等热容量大的材料。如SDC2013

厦门大学赛队的作品“Sunny Inside”在中庭内设置了一面石墙，用天然洞石铺砌而成，正对南侧入口，一方面起到中式传统民居中照壁的作用，另一方面又能发挥蓄热的功能，增强中庭的热稳定性（图2）。又如 SDA2011 新西兰维多利亚大学赛队的作品“First Light”在室内房间地板上设置了一层 50mm 厚的混凝土板作为面层，地板下设置结构保温板（SIPs）用于保温，在冬季白天利用混凝土板蓄积热量，供夜间使用，同时在餐厅中也设置了一张石质的餐桌用于蓄热（图3），能耗模拟分析的结果表明，与未做蓄热设计相比，建筑室内最高温度可降低 8℃ 左右。



1.1.2 水蓄热

由于水的热容量大，在 SD 竞赛作品中也常被用作蓄热材料。如 SDA2007 中宾夕法尼亚州立大学赛队的作品“Morning Star PA House”中用玻璃瓶装水，拼砌成一面蓄热水墙，白天蓄积热量，夜间将热量散发至室内（图4）。又如 SDA2009 亚利桑那大学赛队的作品“SEED”中使用回收的废弃塑料水瓶加工成墙板模块，内部装水，制成水墙用于被动式蓄热（图5）。



1.1.3 相变材料蓄热

近年来，相变材料在建筑中的应用也日益广泛。相变材料多为一些盐类的水合物，在融化或凝固的过程中能吸收或者释放出大量的热能，其蓄热原理属于潜热储能，相变过程基本上可以看做是一个等温的过程。相对于普通的建筑材料来说，相变材料具有轻质、蓄热能力强，且吸热和放热过程中温度基本不变等优点，是一种较为理想的蓄热材料，因此在历届的 SD 竞赛中均得到了广泛的应用 [7-10]，表 1 为 SDC2013 各赛队作品中使用相变材料的情况。

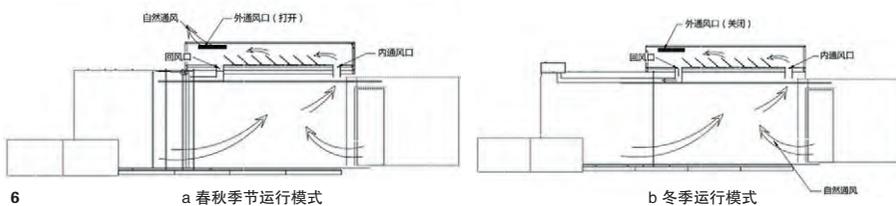


图 2 Sunny Inside 中庭内的石墙
图 3 First Light 中庭内的石质餐桌
图 4 Morning Star PA House 中的蓄热水墙
图 5 SEED 中的蓄热水墙
图 6 Y-House 中的热压通风系统
图 7 Patio 2.12 的不规则中庭

在 SDE2011 同济大学赛队的作品“Y-House”中，相变材料被应用在一种新型的热压通风系统中，“Y-House”的建筑形体由六个集装箱拼接成 Y 字形，建筑中部是一个三角形的连接空间，在其屋面上方设置了一个玻璃顶的小空间作为集热空间，内部放置相变温度为 50℃ 的相变材料作为蓄热材料 [11]。春秋季节白天当阳光充足时，集热间内的气温能维持在 50℃ 左右，与 20℃ 左右的室温形成很大的温差，热空气向上通过集热间上部的风口排出室外，带动室内空气通过屋面上的风口进入集热间内，形成热压通风；在夜间，相变材料持续放热，维持集热间内的气温相对稳定，保持热压通风的效果；在冬季，关闭集热间上方的通风口，可将集热间作为阳光间来使用（图6）。

1.2 换热速率

热缓冲空间的换热速率包含两个部分，分别是热缓冲空间与室外环境的换热，以及热缓冲空间与内部空间的换热。热缓冲空间与室外环境的换热影响其蓄热的快慢，空间以一定速率吸收外部热量，以显热或潜热的形式储存在空间内的蓄热材料中；在需要的时候将热量引

表 1 SDC2013 中各赛队的相变材料应用情况

赛队	作品名称	相变材料的应用方法	应用形式
卧龙岗大学队	Illawarra Flame House	建筑屋面设置通风系统用于冷却光伏板，相变材料应用在通风系统中，用于储存收集的热量	主动式
厦门大学队	Sunny Inside	在中庭地板下和客厅吊顶上设置相变通风系统	主动式
以色列队	Living Patio	在夜间辐射冷却系统中使用相变材料进行储冷	主动式
西安建筑科技大学队	栖居	用塑料管封装，放置于南墙内	被动式
BE-MA-NY 赛队	Solatrium	地砖中添加相变材料，放置于地板下	被动式
上海交通大学队	日上江村	通风顶棚内使用相变材料进行蓄热	被动式
北京大学、伊利诺伊大学校联队	Etho House	相变材料安装在墙面内侧	被动式

入内部空间,发挥热环境调节的功能。通过对这部分换热的速率进行控制,可使热缓冲空间根据室外环境的变化,对换热速率进行灵活的调节,减小不利的环境因素对室内的影响。

热缓冲空间与内部空间的换热,能对建筑内部空间的热环境产生直接的影响。在理想状态下,建筑内部空间与外部环境没有直接的接触,热缓冲空间是其与外界换热的唯一途径;而在实际情况下,建筑内部空间会有一侧或多侧与外界直接接触,此时热缓冲空间的功能表现在利用其蓄存的热量对建筑内部空间的热环境进行调节,缓解外部不利环境因素的影响。

热缓冲空间与室内外进行换热的途径主要包括太阳辐射、通风、热传导三种,其中可以调节的主要是太阳辐射和通风换热。

1.2.1 太阳辐射换热

太阳辐射换热是热缓冲空间与室外环境之间进行换热的主要方式之一,利用热缓冲空间的蓄热功能,可以对太阳辐射热量进行蓄存,在需要的时候释放出来。应用于北方寒冷地区的阳光间和特隆布墙,其设计原理便是合理的利用太阳辐射换热,这也是热缓冲空间常见的形式。

在炎热地区太阳辐射照度过高时,可以通过遮阳或增加通风换热速率来降低太阳辐射的影响,例如外循环式双层皮玻璃幕墙,便是通过加快通风来带走多余的太阳辐射得热。由于太阳辐射照度在一天中是不断变化的,且遮阳与室内采光的需求会形成矛盾,因此有必要对遮阳系统进行动态的调节。SD竞赛中的许多作品都设置有可调节的遮阳百叶、卷帘、幕布等,可以有效的控制和调节辐射得热,如SDC2013厦门大学参赛作品“Sunny Inside”中的智能控制系统可以根据室内照度的变化,自动地调节门窗的内遮阳卷帘和中庭天窗的遮阳幕布^[12]。

1.2.2 通风换热

通风换热是通过空气的对流混合进行换热,换热效率较高,是一种重要的被动式设计措施。通风换热包括

热缓冲空间与室内的换热部分,以及热缓冲空间与室外的换热部分。通风换热的基本原理包括热压通风和风压通风,在此基础上能形成各种通风设计策略,如导风板、通风道、文丘里效应等,相应的热缓冲空间形式也多种多样,如利用热压效应的玻璃空腔、拔风井,利用门窗开口引导气流的内庭院等。

如SDE2012法国“ABC”赛队的作品“Sumbiosi”采用方形的平面,将客厅上方的空间局部抬高,设置开向室外的通风口,通风口上面设置导流板,外表面涂成深色,在建筑内部形成了一个拔风井,利用热压通风引导室内外空气对流,起到促进通风的作用。

1.2.3 围护结构导热

热传导部分的换热量主要依靠围护结构的导热来实现。这部分的换热量跟围护结构的构造形式有关,一般较难调节。SD竞赛参赛作品的围护结构保温性能普遍较好,表2为SDE2010中各参赛作品的围护结构热工性能,可见墙体、屋顶、地板等不透明部分的U值多在0.1~0.3之间,窗户的保温性能也非常好,大大高于普通建筑标准中的规定,且竞赛作品中还应用了一些新型的建筑材料与保温构造做法,如结构保温板(SIPs)、真空绝热板(VIP板)、透明绝热材料(TIM)等。热缓冲空间部分的围护结构保温性能一般会比主体建筑差,这主要是出于对透光、遮阳等功能进行灵活调节,以及减少成本的考虑。

SDE2012(e)co赛队的作品“(e)co”采用双层表皮的设计形式,外层为透明的有机玻璃表皮,设置有遮阳卷帘、通风口等可调节构件,用于调节进入内庭院的热量;内部为三个模块化的功能体块,采用木骨架的复合表皮,能保证体块内使用空间的环境舒适性。SDE2012安达卢西亚赛队的作品“Patio 2.12”的建筑功能分布于四个单元化的功能体块中,体块之间通过一个不规则的中庭进行连接,单元体块对外采用封闭厚重的围护结构,中庭的墙体和屋顶材料则采用轻盈通透的玻璃等材料,并在外部种植绿化用于遮阳^[13](图7)。

表2 SDE2010 参赛作品的围护结构热工性能

参赛队	作品名称	围护结构 U 值 W/m ² k			
		墙面	屋顶	地板	窗
Virginia Tech	LumenHAUS	0.21	0.2	0.2	0.1
Team HFT Stuttgart	Home +	0.13-0.16	0.1	0.1	0.52
Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble	Armadillo Box	0.14-0.16	0.2	0.1	0.8
Team Finland	Luuku House	0.1	0.1	0.1	0.3
Team Wuupertal	Solar House	0.09-0.1	0.1	0.1	—
Arts Et Métiers Paristech Team	Napevomo	0.17	0.1	0.1	—
University of Florida	RE:FOCUS	0.26	0.2	0.2	—
Team Berlin Superior d'Arquitectura del Vallés	Living EQUIA	0.14	0.1	0.1	—
Team Tongji	Bamboo House	0.1	0.1	0.1	1.2
Escola Tècnica Superior d'Arquitectura del Vallés	LOW3	0.24	0.2	0.2	—
University of Nottingham	H.O.U.S.E.	0.1	0.1	0.1	0.5
Sun Flower Team	Sunflower	0.22	0.2	0.2	1.2

表 3 SD 竞赛作品中的热缓冲空间类型

热缓冲空间类型	特点	示意图 (蓝色部分表示热缓冲空间)	相关案例
中庭式	热缓冲空间由多个功能空间围合而成,多数位于建筑物的中心。		SDE2010 天津大学赛队“Sun Flower”; SDE2012 安达卢西亚赛队“Patio 2.12”; SDC2013 华南理工大学赛队“E-CONCAVE”; SDC2013 厦门大学赛队“Sunny Inside”; SDE2014 台湾国立交通大学赛队“Green Core”
包围式	热缓冲空间将各个使用空间包围其中,形成双层表皮的形式,外层表皮多采用半透明材质。		SDE2012(e)co 赛队“(e)co”; SDE2010 加泰罗尼亚理工大学赛队“Proyecto LOW3”; SDE2012 格勒诺布尔高等美术学院赛队“Armadillo Box”
外廊式	利用封闭式或开敞式外廊作为热缓冲空间。		SDA2011 马塞诸塞州立大学赛队“AD HOME”; SDA2011 新西兰维多利亚大学赛队“First Light”; SDA2011 阿巴拉契亚州立大学赛队“Solar Homestead”; SDA2011 马里兰州立大学赛队“Water Shed”; SDC2013 清华大学赛队“O-House”; SDC2013 厦门大学赛队“Sunny Inside”
辅助空间式	利用对热舒适性要求较低的辅助功能空间作为热缓冲空间。		SDE2010 诺丁汉大学赛队“Nottingham house”; SDE2012 罗纳-阿尔卑斯赛队“Canopea”; SDC2013 上海交通大学赛队“日上江村”

2 SD 竞赛作品中的热缓冲空间类型

在 SD 竞赛中,虽然设计要求相同,但由于各个参赛队的设计理念不同,导致作品的形式各不相同,热缓冲空间在建筑中的应用也各具特点。本文中从各届 SD 竞赛的参赛作品均来自于 SD 竞赛主办方所提供的官方宣传资料,以及各参赛队自制的方案宣传手册,根据热缓冲空间在建筑中的相对位置及其所起的作用,本文将各个参赛建筑的热缓冲空间分为中庭式、包围式、外廊式和辅助空间式 4 个类型,如表 3 所示。

2.1 中庭式

中庭式是较为常见的热缓冲空间形式,一般位于建筑的中心位置。与室外环境的热交换主要通过上部的天窗进行,天窗的开启、闭合能调节通风,改变室内外的换热速率;通过调节中庭外表面的遮阳率可以对内部得热量进行有效地控制;同时,由于中庭与周边房间的接触面较大,能够与建筑内部的多个空间进行换热,起到较好的热缓冲效果。中庭式热缓冲空间可以看作一个大的蓄热体,通过调节中庭内部的材料性质,如变换墙体的表面材质、调整中庭家具布置等,可以调节中庭的蓄热量。由于调节手段较多且控制灵活,中庭式热缓冲空间在 SD 竞赛作品中得到了较为广泛的应用^[14]。

SD 竞赛作品中以方形中庭居多,如 SDC2013 华南理工大学赛队的作品“E-CONCAVE”和 SDE2010 天津大学赛队的作品“Sun Flower”都采用了方形中庭,三

面连接建筑内部空间,一侧直接与室外相连。为了更好地利用太阳辐射,中庭的朝向以南向居多,但在少数作品中也有朝西或朝北的情况,如 SDE2014 台湾交通大学赛队的作品“Orchid house”中设置了一个朝向北侧的“绿核”,结合楼梯间设计成拔风井(图 8)。其它形状如:SDC2013 厦门大学赛队的作品“Sunny Inside”运用了 T 字型中庭连接客厅、卧室、餐厅三个体块,可作为室内的气流通道(图 9);“Patio 2.12”采用不规则的中庭来连接四个建筑功能模块(图 7)。

2.2 包围式

包围式热缓冲空间将内部功能空间完全包围起来,内部空间相当于拥有“双层”围护结构,内部空间完全通过热缓冲空间与外界进行热交换。与其他类型的缓冲空间相比,包围式热缓冲空间采用双层表皮的形式,可根据需要灵活的控制太阳辐射和自然通风,能有效地调节建筑室内外的换热效率,是一种理想的热缓冲空间形式,但缺点是其所占面积较大且建造成本较高。

SDE2012 (e)co 赛队的作品“(e)co”采用双层表皮的设计形式,内部为三个独立的功能体块,内外表皮之间是作为热缓冲空间的温室,可用于种植植物或作为半室外的活动空间。外层表皮的屋顶上和檐口处均设置可开闭的活动通风口,当遮阳幕布展开时,幕布与透明屋面板之间形成通风道,可减少太阳辐射得热;南北侧风口处各设有一个堆积卵石的小房间用于蓄热;外层表

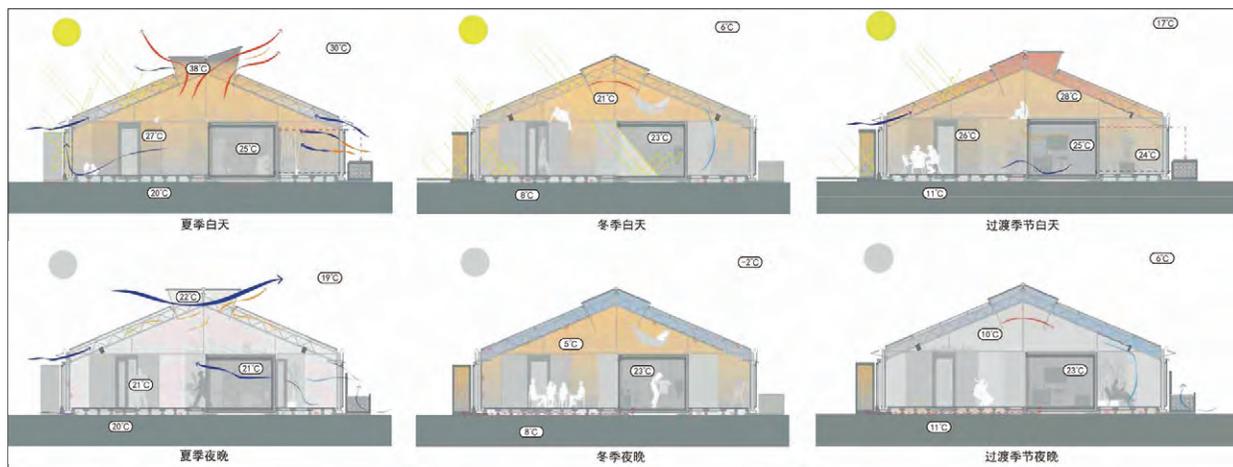
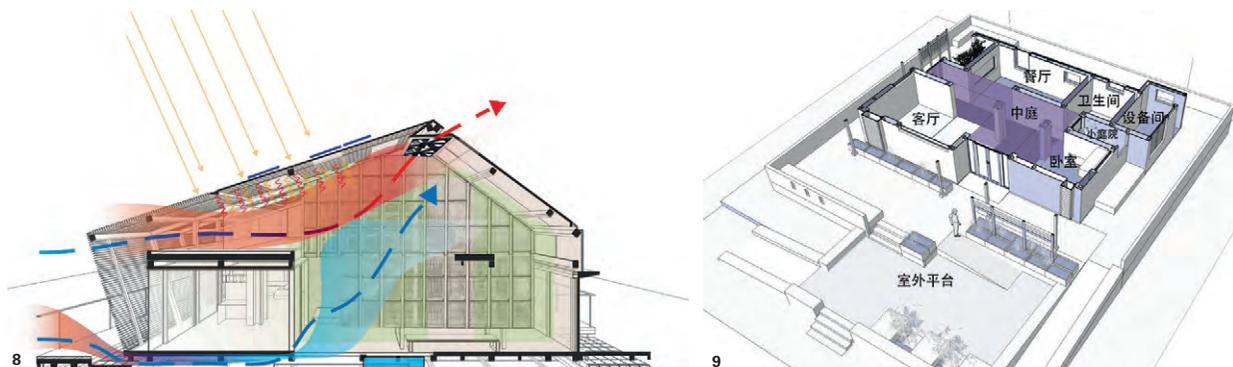


图 8 Orchid house 的“绿核”空间

图 9 Sunny Inside 的 T 型中庭

图 10 (e)co 的热缓冲空间功能示意图

图 11 AD HOME 剖透视图

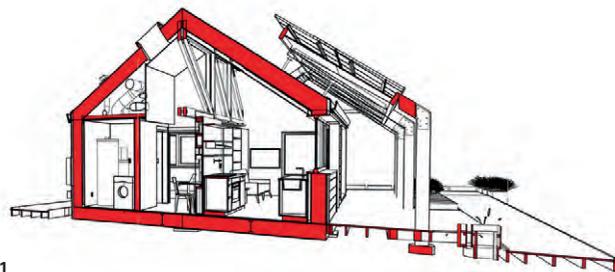
10

皮上设置巨大的玻璃推拉门，可完全开启，形成更舒适的流通空间与良好的视野。跟据不同的季节和室外的不同气候条件，热缓冲空间可有针对性的进行调节，满足不同的功能需求：夏季白天展开遮阳幕布给温室遮阳，并利用热压通风带走热量，功能体块内开启空调，温室内的气温介于室外与单体模块之间，可降低空调能耗；夏季夜间收起遮阳幕布，开启所有的门窗和风口，利用自然通风给建筑降温；冬季白天关闭风口，利用温室效应进行被动式采暖；过渡季节的白天也可以利用热压通风来改善室内环境（图 10）。与此类似的还有 SDE2010 加泰罗尼亚理工大学赛队的作品“Proyecto LOW3”，SDE2012 格勒诺布尔高等美术学院赛队的作品“Armadillo Box”等。

2.3 外走廊式

设置有遮阳的外走廊空间也可以看作热缓冲空间的一种类型，这类热缓冲空间与外界环境之间一般没有隔断，其内部环境与外部环境直接接触，蓄热能力差。这类热缓冲空间可以使用多种方法来调节建筑内部空间与外界环境之间的换热：位于建筑南侧和西侧的外走廊可以产生较好的遮阳效果，减少内部空间的太阳辐射得热量；或通过设置百叶或兜风檐口等构造措施，可增强内部空间的通风效果，促进通风换热；在寒冷地区，可设置封闭式外走廊，在冬季利用温室效应改善建筑内部空间的热环境。

在 SDA2011 马塞诸塞州立大学赛队的作品“AD HOME”中，南侧宽大的走廊起到了很好的遮阳作用。走廊构架延伸至屋面，作为支架在上面安装光伏发电板，整套构架形成了建筑的第二层屋面，与内层屋面之间留出空气间层，用于光伏板和屋面通风降温（图 11）。SDC2013 清华大学赛队的作品“O-House”在南侧走廊外设置了光伏遮阳百叶，可根据需要调节百叶的朝向角度，走廊可以在过渡季节和夏季夜间充分敞开面向室外，实现自然通风降温，而在冬季时则可封闭起来作为室内空间^[15]。SDC2013 厦门大学赛队的作品“Sunny Inside”、SDA2011 新西兰维多利亚大学赛队的作品“First Light”、SDA2011 阿巴拉契亚州立大学赛队的作品“Solar Homestead”、SDA2011 马里兰州州立大学赛队的作品“Water Shed”等建筑中均有类似的遮阳走廊。



11

2.4 辅助空间式

辅助空间式热缓冲空间是利用建筑中使用相对较少的辅助空间进行热环境的过渡和调节,如厨房、卫生间、设备间等。在建筑设计阶段对建筑功能进行合理的布局,将辅助空间放置在建筑的西侧、北侧、顶层等热环境较差的位置,留出较好的朝向和位置给建筑主要功能空间,保证主要功能空间具有良好的采光、通风等自然条件。

SDA2002 卡耐基梅隆大学队的作品将辅助空间集中起来,布置于建筑的西北角,减弱西晒对客厅等主要活动空间的影响(图 12)。SDC2013 上海交通大学赛队的作品“日上江村”的屋面设计成通风阁楼的形式,阁楼内使用了相变材料,当气候炎热时,通过阁楼通风来降低屋顶的得热,同时将热量储存在相变材料中。

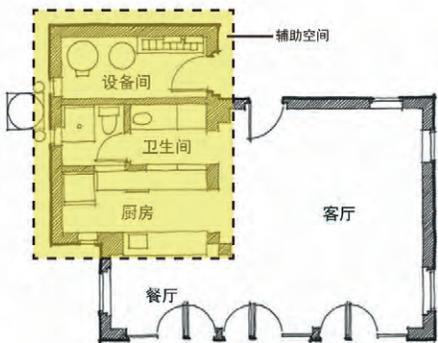


图 12 SDA2002 卡耐基梅隆大学赛队作品平面图

结语

本文阐述了建筑热缓冲空间的设计理念,将其功能归结为热缓冲空间的蓄热能力和对换热速率的调节两个因素,并以此为依据,对 SD 竞赛作品中的热缓冲空间设计策略进行了分析;根据热缓冲空间在建筑中位置的不同,将其分为中庭式、包围式、外廊式和辅助空间式四个类型,并分别举例阐述其特点。分析结果表明,热缓冲空间是一种综合性的节能设计策略,它通过被动式节能措施的合理整合,建筑主次空间的合理组织,能有效的改善建筑的内部环境。根据不同建筑空间之间的联系,设计一些辅助性的过渡空间作为气候调节的容器,用于调节建筑主要功能空间的微气候,这是基于空间设计的层面对建筑节能进行的考量,为绿色建筑设计提供了新的思路,它要求建筑师从设计的开端就着手考虑建筑与环境的联系,将建筑节能的理念体现到建筑设计的全过程之中。

图、表来源

图 1、2、9: 由作者绘制、拍摄;

图 6、10、12 根据各参赛队 Manual 手册资料改绘;

其余图片均来自各参赛队 Manual 手册;

表 1、表 2: 各参赛队 Manual 手册;

表 3: 作者绘制。

注释

1) 关于竞赛情况的介绍详见中国国际太阳能十项全能竞赛官方网站: <http://www.sdchina.org.cn/>。

2) 竞赛官网上收录了历届比赛中各赛队参赛建筑的图纸和说明文本(Manual 手册)等资料,可供新赛队参考学习。中国国际太阳能十项全能竞赛官方网站: <http://www.sdchina.org.cn/>; 美国国际太阳能十项全能竞赛官方网站: <http://www.solardecathlon.gov/>; 欧洲国际太阳能十项全能竞赛官方网站: <http://www.sdeurope.org/> 等。

参考文献

- [1] 宋晔皓, 栗德祥. 整体生态建筑观, 生态系统结构框架和生物气候缓冲层[J]. 建筑学报, 1999(3): 4-9.
- [2] 孙超法. 建筑气候缓冲空间的设计研究[J]. 湖南理工学院学报(自然科学版), 2006, 19(4): 14-16.
- [3] 吴铮. 现代建筑生态缓冲空间及其适宜技术的研究及应用[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2003.
- [4] 燕文妹. 建筑入口气候缓冲区的设计方法研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2009.
- [5] 李钢, 吴耀华, 李保峰. 从“表皮”到“腔体器官”——国外 3 个建筑实例生态策略的解读[J]. 建筑学报, 2004(3): 51-53.
- [6] 李钢, 项秉仁. 建筑腔体的类型学研究[J]. 建筑学报, 2006(11): 18-21.
- [7] Rodriguez-Ubinas E, Ruiz-Valero L, Vega S, et al. Applications of Phase Change Material in highly energy-efficient houses[J]. Energy & Buildings, 2012, 50(7): 49-62.
- [8] Real A, García V, Domenech L, et al. Improvement of a heat pump based HVAC system with PCM thermal storage for cold accumulation and heat dissipation[J]. Energy & Buildings, 2014, 83:108-116.
- [9] Fiorentini M, Cooper P, Ma Z. Development and optimization of an innovative HVAC system with integrated PVT and PCM thermal storage for a net-zero energy retrofitted house[J]. Energy & Buildings, 2015, 94(7):21-32.
- [10] Lin W, Ma Z, Sohel M I, et al. Development and evaluation of a ceiling ventilation system enhanced by solar photovoltaic thermal collectors and phase change materials[J]. Energy Conversion & Management, 2014, 88:218-230.
- [11] 石峰, 胡赤, 郑伟伟. 基于环境因素动态调控的可变建筑表皮设计策略分析——以国际太阳能十项全能竞赛作品为例[J]. 新建筑, 2017(2): 54-59.
- [12] Wang S, Shi F, Zhang B, et al. The Passive Design Strategies and Energy Performance of a Zero-energy Solar House: Sunny Inside in Solar Decathlon China 2013[J]. Journal of Asian Architecture & Building Engineering, 2016, 15(3): 543-548.
- [13] García-Domingo B, Torres-Ramírez M, Casa J D L, et al. Design of the back-up system in Patio 2.12 photovoltaic installation[J]. Energy & Buildings, 2014, 83:130-139.
- [14] Berardi U, Wang T. Daylighting in an atrium-type high performance house[J]. Building & Environment, 2014, 76(6): 92-104.
- [15] 未来阳光之家——2013 中国国际太阳能十项全能竞赛[J]. 动感: 生态城市与绿色建筑, 2013(1): 32-46.