

铁路站房高架候车层 气流组织及热舒适性研究

中铁第四勘察设计院集团有限公司 郭旭晖[☆]

摘要 针对新广州站和深圳北站高架候车层的空调设计特点,应用 CFD 软件对空调设计原始方案的夏季气流组织分布情况进行了模拟分析,并提出了改进建议,分析了改进方案的温度场、速度场及热舒适度分布情况。

关键词 空调系统 气流分布 热舒适 模拟

Air distribution and thermal comfort of elevated waiting rooms in railway stations

By Guo Xuhui[★]

Abstract Aiming at design characteristics of the HVAC systems of the New Guangzhou Railway Station and Shenzhen Northern Railway Station, simulates the air distribution of the original air conditioning design scheme in summer using CFD software and puts forward an innovative suggestion. Analyses the temperature field, air velocity field and thermal comfort of the improved scheme.

Keywords HVAC system, air distribution, thermal comfort, simulation

① ★ China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., Wuhan, China



郭旭晖

主要设计项目

- 深圳北站房
- 新广州火车站站房
- 厦门 BRT 枢纽站
- 武昌火车站站房
- 南京站房
- 郑州站房主站楼

1 项目概况

新广州站与深圳北站均处于夏热冬暖地区,夏季时间长,空调系统负荷大,能耗问题比较突出。其中新广州站地上建筑面积为 247 517 m²,地下建筑面积为 117 466 m²,建筑 1 层为出站层(±0.00 m),2 层为站台层(12.00 m),3 层为高架候车层(21.00 m),地下层(-4.00 m)包括地铁车站、设

备用房等。深圳北站车站建筑总面积 182 074 m²,建筑 1 层为站台层(±0.00 m),2 层为高架候车层(8.70 m),结构较为复杂。

笔者结合其他研究机构的研究成果^{①②},以新广州站和深圳北站为研究对象,主要针对夏季空调工况下高架候车层高大空间内气流的流场进行了模拟研究,得出了不同送风工况下室内空气流速、温度场的分布情况,并对候车层的热舒适性进行分析,从而合理地规划与设计空调系统,有效降低夏季空调系统能耗。

2 空调系统的确定

高大空间是指面积一般在数千乃至数万 m²以上,高度在 10 m 以上的建筑空间。对于这样的空间,需要空调的部位一般仅为下部 2~3 m 高的

① 清华大学建筑学院. 新广州火车站节能设计与建筑内热环境研究报告[R],2009

② 中国建筑科学研究院上海分院绿色与生态建筑研究中心. 深圳火车站北站室内空调流场、湿度、温度模拟分析报告[R],2009

☆ 郭旭晖,男,1967 年 12 月生,大学,高级工程师,副总工程师
430063 中铁第四勘察设计院集团有限公司城建院
(0) 13971088246 (027) 51156398
E-mail: tsyghx@sohu.com

收稿日期:2010-03-17

修回日期:2010-03-31

工作区域,如果要进行全室空调,其空调的耗能相当大。因此,在高大空间中,当建筑高度大于 10 m、空间容积大于 10 000 m³、空调区高度与空间高度之比小于 0.5 时,分层空调的方式尤其值得推荐采用。

新广州站、深圳北站高架候车层均属于高度在 10 m 以上的高大空间,设计采用了分层空调的方式。分层空调技术最早在 20 世纪 60 年代末出现于美国,后又有日本和中国的学者对其进行了研究^[1]。近年来分层空调的工程应用非常广泛,但是其理论研究结论还比较匮乏,特别是气流组织和温度分布与空调负荷之间的关系等问题有待进一步深入研究^[2]。

3 高架候车层温度场与流场模拟分析

在分层空调的设计中,气流组织非常重要,它直接与空调效果有关。能否保证工作区的温度分布均匀、得到理想的速度场、达到分层空调的效果和节能的目的,很大程度上取决于气流组织是否合理。只要空调区的气流组织设计合理,使送入室内的空气充分发挥作用,就能在满足工作区空调要求的前提下,最大限度地降低分层高度,减小空调负荷和空调设备容量并节省设备运转费用^[3]。因此,对高大空间流场进行模拟分析。

新广州站高架候车层的分层空调系统采用大、小落地送风单元与高架通廊侧墙送风相结合的送风方式,空调分区如图 1 所示。其中,南北进站通廊和东西进站广厅采用小送风单元送风;候车区采用两排大送风单元与高架通廊侧墙送风相结合的送风方式,两排大送风单元之间的水平距离为 64 m,与高架通廊的水平距离各为 48 m,大送风单元之间的竖向最大距离为 51 m。空调系统采用一次回风变风量空调机组,风柜吊装在站台层上空的夹层内;末端采用球形喷口送风,大送风单元上下层喷口的最大射流长度为 32 m。

候车区域的气流组织最复杂,因此主要对该区域进行分析。由于候车区面积大,风口多,难以整体模拟计算,但是空调末端的布置呈对称分布,所以选择了其中一处典型区域进行计算,如图 1 矩形区域所示,其他区域的流场可认为与计算区域相似。

深圳北站候车区域的分层空调系统亦采用两排送风单元与高架通廊侧墙送风相结合的送风方

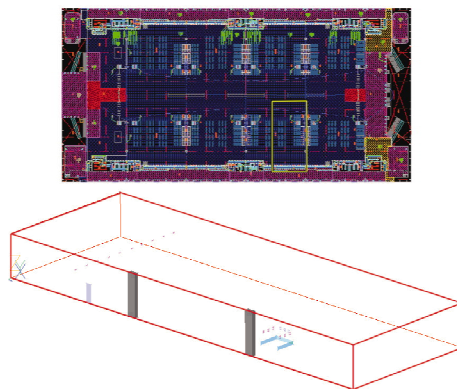


图 1 新广州站计算模型示意图

式,两排送风单元之间的水平距离为 75 m,与高架通廊的水平距离各为 28 m,送风单元之间的竖向距离为 22 m。空调系统采用一次回风变风量空调机组,风柜吊装在站台层上空的夹层内;末端采用球形喷口送风,送风单元上、下层喷口的最大射流长度为 37.5 m,通廊侧墙喷口的最大射流长度为 28 m。根据建筑空间及空调布置的对称性,对深圳北站可取 1/2 对称空间进行建模计算,进一步对模型进行简化,在其 1/2 对称空间中选取其最不利的 1/2 空间作为最终的 CFD 模型计算空间,如图 2 所示。

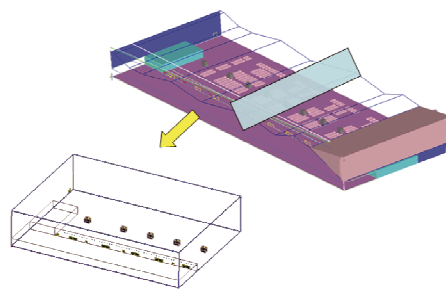


图 2 深圳北站计算模型示意图(1/4 模型)

3.1 模型的建立

两车站均采用 CFD 软件进行计算模拟分析。新广州站高架候车层空调送风模拟分析采用 PHOENICS 3.5.1 完成,采用湍流 $K-\epsilon$ 模型,按照 SIMPLE 算法进行三维稳态模拟计算。深圳北站高架候车层采用 Fluent Airpak 2.1 软件模拟计算,该软件为空调气流模拟专用软件,内含多种湍流计算数学模型。

根据设计参数和负荷计算结果,得到两候车大厅 CFD 模拟计算的部分输入参数,如表 1 所示。

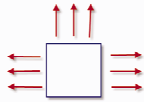
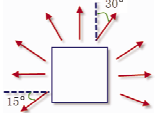
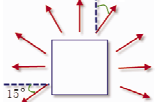
表 1 部分模拟参数

	新广州站	深圳北站
室内设计温/湿度	27℃/65%	26.0℃/55%
室内送风温度	18.6℃	20℃
夏季冷负荷	人员设备显热 46.2 W/m ² , 照明 2.8 W/m ²	人员 322 kW, 照明和设备 30 W/m ²
四周玻璃幕墙负荷		31.8 W/m ²
屋顶负荷		37.1 W/m ²

3.2 原始方案温度场与流场模拟分析

3.2.1 新广州站

表 2 新广州站原始方案送风参数

工况	侧送喷口风速/(m/s)	大送风单元			备注
		上排风速/(m/s)	下排风速/(m/s)	水平面风口布置(俯视图)	
1	5.32	9.31	3.1		十字形布置
2	5.32	9.31	3.1		米字形布置, 满负荷
3	2.66	4.66	1.55		米字形布置, 50% 负荷

注: 侧送喷口和大送风单元的送风角度均为水平向上 15°。

模拟结果如图 3 所示, 可以看出:

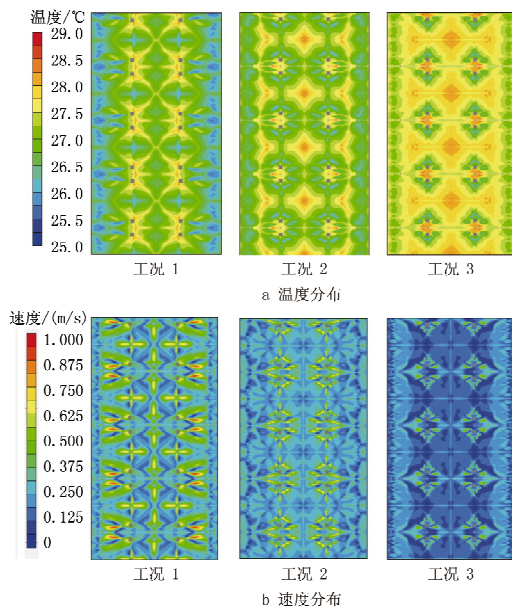


图 3 新广州站原始方案的模拟结果(1.5 m 高处)

1) 高架通廊侧送喷口射程达不到要求, 特别是在工况 1 时, 侧墙附近温度较低、风速较高。

2) 大送风单元采用米字形送风比采用十字形送风时温度场更加均匀, 送风末端轴心风速也可由

按照高架通廊侧送喷口负责一侧 40% 的面积、大送风单元负责另一侧 60% 的面积分配负荷和风量。先根据射程要求初步确定各个风口的风速和出风角度, 然后再用软件进行模拟分析。分别分析了满负荷和 50% 负荷的工况, 出于节能考虑, 部分负荷工况按照送风温差不变计算风量。

根据原始方案确定的各工况送风参数如表 2 所示。

1 m/s 降到 0.8 m/s, 这一方面是因为米字形送风使送风能到达的区域面积增大, 另一方面是因为减缓了和高架通廊侧送喷口的正面对冲。

3) 部分负荷工况时由于送风温差不变, 所以送风量、送风速度均减半, 导致部分区域送风气流到达不了。但由于此时室内负荷也比较小, 所以空调区温度基本能维持在 28.5℃ 以下。如需保证室内设计温度, 可以考虑适当减小送风温差、增大送风量。

3.2.2 深圳北站

重点研究风口送风条件对候车厅内温度、速度场分布的影响, 初始工况的边界条件如表 3 所示。

表 3 空调风口边界条件

位置	出口直径/mm	风量/(m ³ /h)	风口高度/m	数量	送风角度
两侧	Φ230	1 496	4.0	218	向上 20°
送风单元	Φ230	1 496	2.6	200	0°
送风单元	Φ250	1 767	3.2	80	0°

注: 送风温度 20℃, 送风速度 10 m/s。

模拟结果如图 4 所示, 可以看出温度主要在 25~28℃ 之间。喷口射流场内温度较低(25℃), 而其余地方由于负荷分布不均以及送风扩散不佳导致温度相对较高(28℃)。模拟区域流场分布很

不均匀,送风单元射流场内风速大,可达 2 m/s,会造成明显的吹风感,而其他位置风速较小(基本都小于 0.5 m/s),能够满足设计要求。

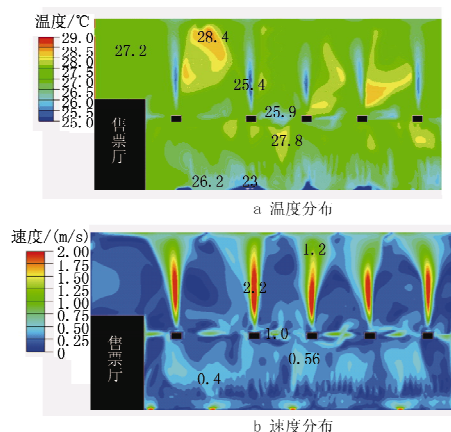


图 4 深圳北站原始方案的模拟结果(1.5 m 高处)

可以看出,两车站候车厅空调系统原始方案均存在如下问题:

- 1) 候车厅温度基本满足设计要求,但模拟区域流场分布不均匀,部分区域温度超过 28 °C;
- 2) 送风单元周边区域风速较大,超过规定的 0.5 m/s 限值,造成一定程度的吹风感。

3.3 改进方案温度场与流场模拟分析

3.3.1 新广州站

对原始设计方案的模拟分析表明,在现有风口设计条件下,空间流场局部风速过大,温度分布不够均匀,因此从以下两方面对方案进行改进:

- 1) 高架通廊侧送风口改用直径为 174 cm 的 DUK350 型风口代替原来直径为 230 cm 的 DUK400 型风口;
- 2) 结合工程实际情况,整个大送风单元高度及其风口位置提高 0.5 m。

改进方案在满负荷和部分负荷时的送风参数如表 4 所示,对改进方案的模拟结果如图 5 所示。

表 4 改进方案不同工况的送风参数

无论是在满负荷还是在部分负荷工况下,改进方案中高温区域都比原始设计方案有所减小,温度分布更均匀,速度分布得到明显改善。满负荷时末

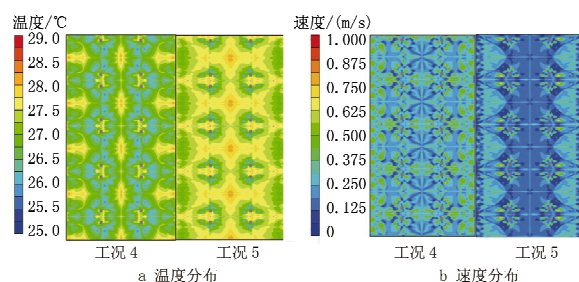


图 5 新广州站改进方案的模拟结果(1.5 m 高处)

端轴心风速由原始方案的 0.8 m/s 降低为 0.6 m/s。由于大送风单元的高度受限,最高只能到 3.5 m,远达不到一般大空间空调喷口设计高度(6~10 m),所以末端风速仍无法满足舒适空调末端轴心风速不大于 0.5 m/s 的要求。在 50% 负荷时,如果按照送风温差不变进行控制,室温可以控制在 28 °C 以下,满足设计要求。

3.3.2 深圳北站

鉴于原始方案计算结果不能满足设计要求,温度高、速度大,因此改变送风条件,将送风温度降为 16 °C,将送风单元的送风风速降为 5 m/s,且中间送风口送风角度改为向上 20°,其计算结果如图 6 所示。

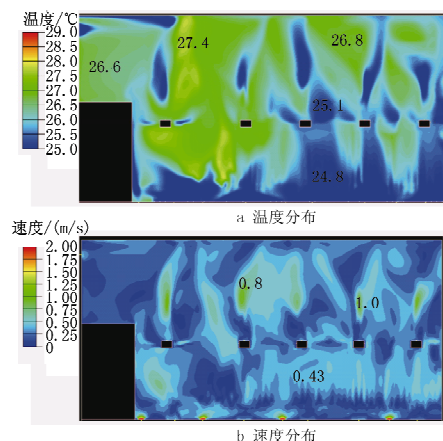


图 6 深圳北站改进方案的模拟结果(1.5 m 高处)

由图 6 可以看出,采用改进方案时,高架候车层内温度分布在 25~27 °C 之间,基本满足设计要求。绝大部分区域风速小于 0.5 m/s,只有一小块区域风速大于 0.5 m/s,实际使用时会有障碍物阻挡使风速降低,因此该工况基本满足设计要求。

同时可以看出,由于送风单元的风口间距比高架通廊两侧风口间距小,从而形成了一维射流;同时送风单元下层的风口对上层的窗口射流有抬升

作用。所以,尽管送风单元风口风速(5 m/s)小于高架通廊两侧风口风速(10 m/s),但其风口射程并不比高架通廊两侧风口射程短。

两车站候车厅通过改进空调系统送风参数,合理设计风口风速和出风角度,有效改善了候车厅的温度场和速度场分布,候车厅各处温度基本维持在 28 °C 以下,且基本满足空调区域风速不大于 0.5 m/s 的要求。

4 高架候车层热舒适性分析

4.1 标准有效温度 SET^* 与人体热舒适

用于评价室内热舒适的指标很多,目前应用最广泛的是 PMV (预测平均评价, predicted mean vote)和 SET^* (标准有效温度, standard effective temperature)。其中 PMV 适用于人体处于舒适区时的热舒适性预测,而 SET^* 的适用范围更宽一些。由于站厅内有部分区域受到太阳辐射的影响,可能存在偏离舒适区较远的情况,因此本文采用 SET^* 对高架候车层的热舒适状况进行分析评价。

SET^* 的定义为:身着标准热阻服装的人,在相对湿度为 50%、空气静止不动、空气温度等于平均辐射温度的等温环境下,若与他在实际环境和实际服装热阻条件下的平均皮肤温度和皮肤湿润度相同,则必将具有相同的热损失,该温度就是上述实际环境的标准有效温度 SET^* 。 SET^* 反映了人体对环境干球温度、相对湿度、空气流速及辐射的综合感受。表 5 给出了不同 SET^* 对应的热感觉、生理现象及健康状态。可见当 SET^* 在 20~30 °C 范围内时,人体感觉舒适,身体处于正常健康状态。

表 5 不同 SET^* 对应的热感觉、生理现象及健康状态

$SET^*/^{\circ}\text{C}$	热感觉		生理现象	健康状态
	冷热感觉	舒适感		
40~45	限值	限值	体温上升、体温调节不畅	血液循环不畅
35~40	非常热	非常不舒服	出汗、血压增加	危险增加
30~35	暖	不舒服		脉搏不稳定
20~30	中性	舒服	正常	正常
15~20	微凉	略微不舒服	散热加快,需要添加衣服	
10~15	冷	不舒服	手脚血管收缩	黏膜皮肤干燥
5~10	非常冷	非常不舒服		血液循环不良、肌肉酸痛

4.2 典型时刻候车厅内 SET^* 分布

为了研究高架候车层内的热舒适性,以新广州站为例,分别分析候车厅在建筑峰值负荷出现时刻(7月25日06:00)和太阳辐射最强时刻(8月29日14:00)的室内热舒适状况,基于改进方案气流

场的模拟结果,计算上述两个时刻候车厅内 SET^* 的分布情况。

1) 工况 1:建筑峰值负荷时刻

由于建筑峰值负荷出现在 06:00,此时太阳辐射较弱,所以影响室内热舒适的主要因素是空气温度及相对湿度。建筑峰值负荷时刻候车厅内 SET^* 分布如图 7 所示。可见此时整个候车厅都处在舒适范围内。

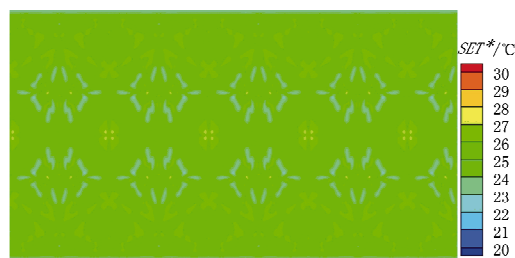


图 7 建筑峰值负荷时刻候车厅内 SET^* 分布

2) 工况 2:太阳辐射最强时刻

用 Ecotect 软件模拟太阳辐射最强时刻候车厅内的日影分布情况,结果如图 8 所示。可以看到此时天窗正下方区域被阳光直射,在计算人员热舒适时必须考虑太阳辐射的影响。根据 DeST 模拟结果,此时天窗正下方的太阳辐照度约为 180 W/m²。假设环境温度为空调设计温度 27 °C,则可以根据人体辐射热平衡关系计算出人体感觉到的平均辐射温度为 34.8 °C。

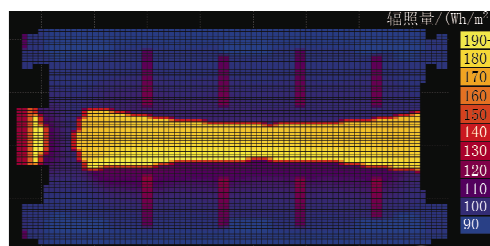


图 8 太阳辐射最强时刻候车厅内阳光直射示意图

根据气流场和太阳辐射分布情况,计算得到太阳辐射最强时刻候车厅的 SET^* 分布,如图 9 所示。此时候车厅内未被太阳直接照射的区域的 SET^* 基本在 24~27 °C 之间,处于舒适区;根据表 5, SET^* 等于 30 °C 为舒适区的上限,被太阳直接照射的区域的 SET^* 大多在 28~30 °C 之间,也基本处于舒适范围内。

总的来看,无论建筑峰值负荷时刻还是太阳辐射最强时刻,空调风口改进方案都可以保证候车厅

内人员处于热舒适状态。

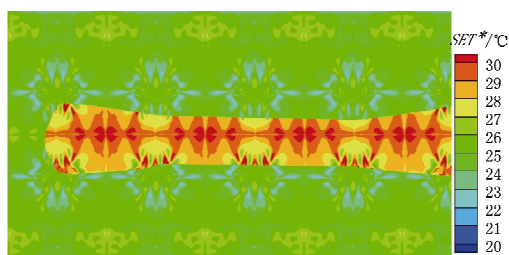


图 9 太阳辐射最强时刻候车厅内 SET* 分布

5 结论

5.1 采用两排送风单元上、下层喷口与高架通廊侧墙喷口送风相结合的送风方式,夏季空调工况下,可以满足最大宽度 160 m、最大对喷距离 75 m 的候车厅内的温度场、速度场和热舒适性的设计要求。

5.2 在现有风口规格和布置情况下,满负荷时原始方案可使候车厅温度基本满足设计要求,但温度场与速度场分布很不均匀,部分区域温度超过 28 °C,同时局部区域风速较高,造成了一定的吹风感。

5.3 改进方案通过合理设计风口布置形式和出风角度,提高通廊侧墙喷口送风速度,降低送风单元送风速度,有效改善了候车厅的温度场和速度场分布。满负荷时温度分布更加均匀,末端风速普遍降

低,基本满足舒适空调末端轴心风速不大于 0.5 m/s 的要求;部分负荷时温度也较原始方案有所降低,候车厅各处温度基本可以维持在 28 °C 以下。

5.4 竖向间隔较大的送风单元,风口在水平面的出风方向应布置成米字形,以增大送风区域面积,减缓和通廊侧送喷口的正面对冲。

5.5 采用对喷方式的送风单元,通过提高送风口高度、降低送风温度、减小送风风速等改进措施,可以满足温度场和速度场的设计要求。

5.6 通过对新广州站内 SET* 分布情况进行分析研究,发现无论是建筑峰值负荷时刻还是太阳辐射最强时刻,空调风口改进方案都可以保证候车厅内人员处于热舒适状态。

参考文献:

- [1] 龚光彩,汤广发,吕文翔,等.高大空间横向隔断气流的计算机仿真[J].湖南大学学报,1998,25(4):71-76
- [2] 李晓冬,高军,许世杰.大空间建筑侧送分层气流组织数值模拟与探讨[J].建筑热能通风空调,2004,23(2):64-66
- [3] 杨德福.大空间分层空调对流热转移数值模拟研究[D].成都:西南交通大学,2004:20-21

• 简讯 •

第 6 届清华大学建筑节能学术周在清华大学成功举行

2010 年 3 月 22—28 日,由中国工程院主办、清华大学建筑节能研究中心承办的第 6 届清华大学建筑节能学术周在清华大学成功举行。本次节能周旨在探讨全球化背景下的建筑节能,通过大量各类建筑能耗的统计数据分析 and 案例研究,深入剖析中外建筑能耗的差异和建筑节能的不同道路,继续深入探索中国特色的建筑节能途径。本次学术周上发布了《中国建筑节能年度发展研究报告 2010》,这也是清华大学自 2007 年以来第 4 次发表这一研究报告。

本届建筑节能学术周安排了一系列研讨会和公开论坛,主要包括:大型公共建筑能量管理与节能诊断技术研讨会、《建筑能耗数据表述方法》标准研讨会、中美建筑节能研讨会、建筑节能设计方法与模拟分析软件开发讨论会、IEA ANNEX 53 中日讨论会、“全球化背景下的建筑节能”论坛等。在节能论坛上,住房和城乡建设部韩爱兴司长,清华大学江亿院士、朱颖心教授等人,通过大量的中外建筑能耗数据的比较研究,深入剖析了中外建筑节能的不同道路。论坛指出,由于气候、文化、经济等方面的差异,全球各地区建筑能源消耗情况差别明显;因能源消耗特点不同,建筑节能

应该根据地区实际情况推广合适的技术和措施。因经济、文化和社会背景等因素不同造成的人员行为模式差异,是造成全球建筑能源消耗差异的主要原因之一。倡导节能的生活方式和模式,推广技术、产品或措施,应从全球化背景出发,寻找科学的、可持续的建筑节能方案。

江亿院士提出,站在全球化视野看建筑节能工作,一方面要借鉴其他国家先进的节能技术和经验,汲取其失败的教训;另一方面不盲目跟从西方发达国家的建筑技术方案和生活模式,从我国实际情况出发,探索有中国特色、适应我国气候文化特点的建筑节能途径,推广科学的、可持续的用能习惯和生活模式。

自 2005 年起,清华大学建筑节能学术周每年 3 月份在清华大学举办,迄今已举办 6 届。它在国内外学术界和各级政府及建筑节能领域的同仁的大力支持下得到了持续发展,现已成为国内外学术界、企业界和各级政府在建筑节能领域沟通信息、交流经验的有效平台,为传播建筑节能科学理念、促进建筑节能事业的发展起到了积极的作用。

(本刊特约通讯员 燕 达)