

[文章编号] 1002-8528(2012) 增刊 2-0271-06

论大型公共建筑能耗计量分类模型的发展

沈 启 夏建军 江 亿 (清华大学建筑节能研究中心, 北京 100084)

[摘 要] 现今大型公共建筑能耗分项计量监测系统已经逐步推广。大量工程实践应用的同时, 分项计量能耗分类模型作为此项工程技术的根本问题也日益凸显。已有分类模型虽然具有良好的科学性和完备性, 但却难以适应现有大楼配电结构, 在实际工程中很难全部实现分类模型中的分项节点。对此, 本文从实际工程案例出发, 总结大量既有建筑配电设计方案, 分析现有模型在应用上存在的弊病, 并尝试将现有模型做一定拆解和组合, 提出从适用于当前配电系统到最终实现现有模型的能耗分类方案。该方案依据配电设计和能耗监测技术的发展动向, 阐述了如何在工程中逐步实现完整的能耗分项计量, 并保持在每个阶段之内及之间具有良好的可比性和一致性。

[关键词] 大型公共建筑; 分项计量; 分类模型

[中图分类号] TU242; TU111.19+5.2

[文献标识码] A

1 工程背景

随着我国当代经济的高速发展, 自 2000 年以来, 大型公共建筑以年均 12% 的速度在增长^[1]; 这种高速发展带来了巨大的能源消耗。通过许多学者的大量调研发现, 大型公共建筑普遍存在 10% ~ 30% 的节能潜力^[2~5]; 同时, 简单的由运行管理人员每个月记录总电表的数据, 已经完全不能满足“发现节能潜力”, “衡量改造效果”的建筑节能基本要求。

在国家节能减排政策的指导下, 针对上述建筑节能工作中的问题, 适用于大型公共建筑的能耗分项计量系统于 2004 年被提出^[2], 并在政府和科研单位的指导下, 迅速发展起来, 得到了全社会的一致认可。以能耗数据为中心的管理理念跳出了单纯的技术应用和设计评分的思路, 形成能耗定额管理的模式^[6,7]。并逐渐产生出建筑能耗计量的专项市场^[8~10]。

建筑能耗分项计量平台在构建之初提出了一个较为宽泛的目标: 整合大量同类建筑的能耗信息, 并实现时时在线节能诊断。这个目标的核心在于集合大量的建筑能耗信息, 构建一个平台体系; 而当大量的信息被集成后, 统一能耗信息的表达方式就是第一重要的事情。统一的能耗分类模型, 是数据平台

的核心价值。只有在统一的定义之下, 才能实现样本统计分析和样本之间的比较分析, 通过群体信息产生新的认知, 使建筑节能诊断方法不只停留在个体分析的道路上。

2 现有能耗模型的困境

关于能耗模型, 有许多学者对此提出了设计原则, 并给出了相应的能耗模型。然而制定一套能耗分类模型所依循的原则不同, 能耗模型就会有所差别, 并且各种原则之间存在着矛盾, 这就导致最优的能耗分类模型是不存在的。相应的, 现阶段所提出的各种模型也是基于特定的研究和应用需求背景而制定的。

对此, 王鑫在其博士论文中将设计原则总结为四项: 可比性、完备性、易用性和适应性; 并详细分析了这四项原则之间的联系和矛盾关系。另一方面, 从 2008 年至今, 住建部、重庆大学的李俊、清华大学的王远和王鑫先后提出了具有普适性的公共建筑能耗模型^[11~14]。这些模型内容和结构相近, 都采用树状结构、层级定义, 将建筑总能耗分为暖通空调、一般动力、照明插座和特殊设备四大部分, 这作为第一个拆分层级, 每个部分向下还有若干分层与分叉。具有良好的结构性、逻辑性和科学性。

另一方面, 这些模型都将“可比性”作为第一重要的原则, 这就使得四项原则中, 可比性与易用性、可比性与适应性, 两类矛盾变得尤其突出。这种矛盾的直观表现就是, 几乎没有一项实际工程能够完

[收稿日期] 2012-03-26

[作者简介] 沈 启 (1987-) 男, 博士研究生

[联系方式] q-chen05@mails.tsinghua.edu.cn

全实现现有能耗模型提出分类架构。本文以王鑫提出的31节点模型为基准,称为“王鑫模型”或“完全

分类模型”,分析笔者在大量计量工程中遇到的分项设计案例。

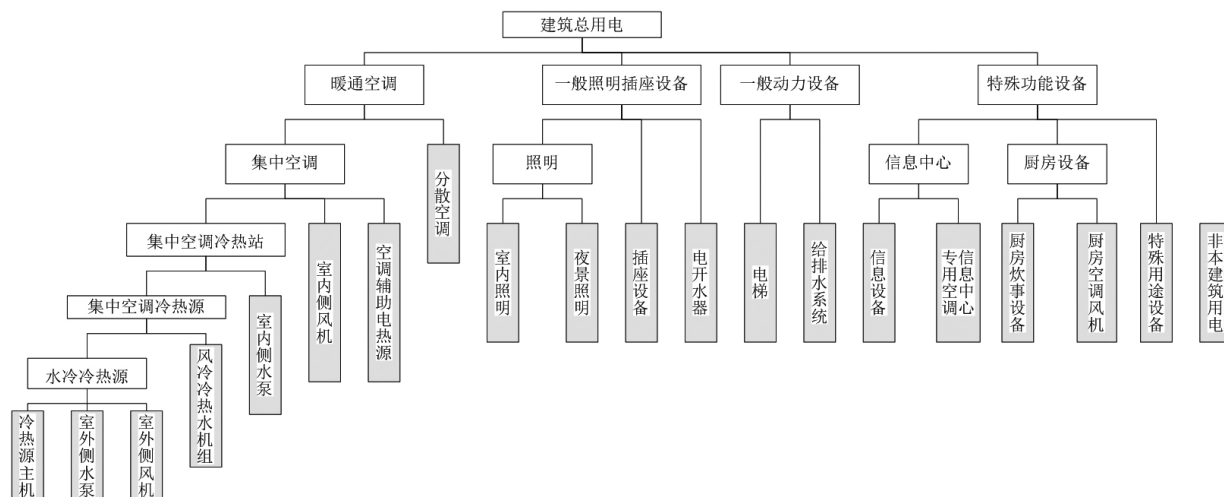


图1 王鑫能耗分类模型节点图^[12]

案例一. 空调末端难以测量。对于集中空调系统而言,空调末端指的是给房间供冷、热风的盘管系统,包括空调箱(AHU)、新风机(PAU)和风机盘管(FCU)。对于分散空调而言,其本与整个集中空调系统并列,但由于空调机安装于各个用户侧,位于整个系统的末端位置,地理位置与上述设备相仿,配电设计方面也具有相似的问题。分析以下四种常见的末端配电系统形式:

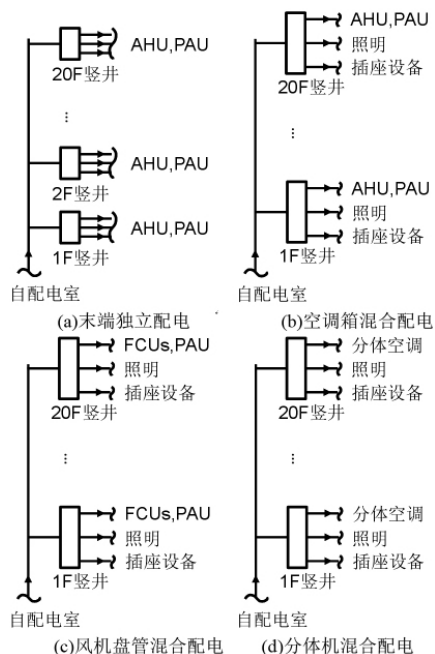


图2 末端空调四种典型配电系统

从图2中可以看出,当末端单独配电或少量末端与其他设备混合配电时,实现分项计量较容易。具体说来,(a)可以直接在配电室配电抽屉上安装计量电表;(b)和(c)当AHU和PAU从配电竖井内由一根总线供电时,可以在竖井内相应支路安装分表计量。如果从竖井内直接接线至每个空调末端设备,即竖井内没有按照设备类型设置总线,而是直接引出各个设备的供电线路;此时连接空调末端的线路繁多,电线很细,且配电空间狭窄,无法实现对空调设备的独立计量。(c)和(d)中的大量FCU和分体空调就属于这种情形,并且对于(b)和(c)中的AHU和PAU,当个体数量较大、竖井直接分路供电时,也无法实现计量。

案例二. 照明与插座设备的混合。对于配电设计来说,照明和插座设备都属于小功率设备,安装位置统一,统一供电十分便捷。但对于能耗分析来讲,这二者的能耗规律和影响因素却相差甚远,需要单独分析。所以从能耗数据分析和节能诊断角度提出的能耗分类模型,将照明和插座设备设置为两个独立的节点,而这一点在配电系统中却很难满足。典型系统形式如图3所示。

这两种末端照明插座配电模式常见于写字楼的办公室、宾馆的客房、商场的租户、医院诊室等空间。模式(a)虽然在配电结构上比模式(b)清晰一些,但由于现场线路过多、过密,无法实现计量;模式(b)的应用比模式(a)更为普遍,而往往因为无法调研

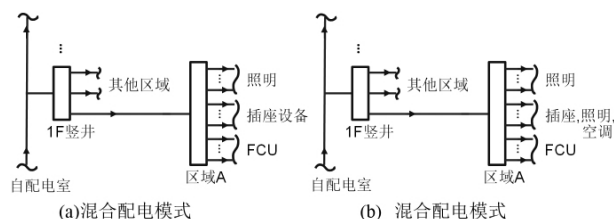


图3 照明插座典型配电系统

清楚末端设备构成,使得装表计量十分困难。

案例三. 特殊功能与普通功能混合。在王鑫模型中定义了“特殊功能设备”,作为一个大类主要包含了信息中心、机房专用空调设备、厨房炊事设备、厨房空调设备等。而根据笔者调研的大量工程案例来看,这些特殊功能设备并不总是单独供电,时常与其相应的建筑区域共同供电。例如某大型商业写字楼,某银行租用了18~24层,并将该公司的数据中心设置在18层;数据中心属于特殊功能设备,但却与普通办公共享同一套供电线路,造成功能混合,无法分开计量。再如某酒店2~4层是餐饮区,全楼分楼层配电,餐饮区的厨房用电与餐厅用电混合在一起,无法分开。

以上三个案例在实际建筑配电系统分项计量工程中广泛存在,至今尚无解决方案和解决案例。这表明现有的分项计量能耗模型与现阶段的楼宇配电方法存在较深刻的矛盾,而这个技术认识上的矛盾正是导致标准化的能耗分类思想无法深入贯彻和广泛传播的主要原因,也是致使大量计量工程流于形式、工程成果共享性差的主导因素。

3 能耗计量的新需求

能耗计量分类模型应用困境的产生并非来自于模型本身设计上的错误,而在于计量工程的发展不是一蹴而就的,也不是计量技术单方面发展的问题。分项计量的应用除了对能耗分类模型的认识以外,还需要充分考虑配电设计的方法,计量技术的发展和数据采集之后的应用途径。毕竟分项计量作为建筑节能技术中的一项,对任何一个使用该技术的个体或团体,都要考量该技术的经济性;而正是对广大适用对象需求的忽视,导致现有分类模型与工程实践产生一定的脱节。

在建筑能耗分项计量被提出的初步阶段,主要由国家出资,高校和科研单位完成计量系统项目建设。这个时期的工作起到指引发展方向,培育和引

导市场的作用,所以国家投资、科研单位落实的模式也是几乎不计成本的。而从2008年以来,建筑能耗计量的市场逐步形成,越来越多的楼宇管理者、地产企业和物业公司逐渐认识到能耗计量系统的价值,表达出了广泛的认同;但同时,对计量系统分类过于细化,以及对配电系统构成改造影响等诟责也相继涌现。为此,不得不引起我们对能耗分类模型的反思:一方面,要牢牢把握分类模型的科学性,真正起到指导整个计量工作的作用;另一方面,要从计量系统实际使用者的角度出发,将服务于物业管理者,把协助楼宇管理工作放在第一重要的位置。

对于大楼能耗计量监测,许多物业管理者都有他们的诉求:

第一,大量公共建筑是商业建筑,物业管理者需要分清公区和租区。对于公区可以通过加强管理、节能改造来降低能耗;而对租区,主要关心配电容量是否满足租户的负荷需求,及租户用能量的准确计量以便收费。与之类似的还有酒店希望将客房能耗单独计量,机关办公楼希望按照二级部门单位计量,等等。与分项计量不同,这是一种分户计量的模式,其体现了责任落实到人的管理思想,具有良好的操作性;但分户计量并不能真正通过数据揭示能耗构成的原因,难以具体指导节能改造的施行。

第二,现有的计量系统主要针对耗电量的监测,而建筑中消耗的其他类型能源同样具有可观的节能潜力。某商场采暖使用燃气热水锅炉,改造锅炉,提高燃烧效率之后,燃气费用显著下降。某酒店给空调水支管段增加保温,减少冷量消耗,实现空调系统节能。某写字楼改造冷却塔,使漂水量大幅降低,节约水耗。以上节能诊断实例表明,建筑能耗计量不应仅仅针对耗电量,还应包含整个建筑以及主要节点的冷热量、水量、蒸汽量和燃气量。

第三,目前有不少大型公共建筑,特别是新建的大型商业建筑,已经安装有楼宇自控系统(BAS),楼宇自控采集大量建筑内的运行状态信息,反馈到中控室,由中央处理机和专业管理者处理和控制在。这些信息中有一部分是与建筑能耗状况相关的,如何将这信息与能耗计量监测系统所获得的能耗信息相结合,对楼宇运行状态诊断和节能改造提出更有建设性的建议,是当前业内普遍关注的问题。

这些问题,有的是新需求,有的则是在计量概念提出之初就存在,只是没有得到充分的重视。上述

的诸多现象表明,能耗分类模型需要被重新审视,从现状出发,理清能耗计量的发展道路,依照技术革新和行业发展的客观规律,逐步实现建筑能耗全面、细致、准确的计量监测目标。

4 建筑供应系统的三个层级

建筑是为满足人(人群)的某些需求而存在的实体空间。建筑在为人提供各种功能服务的过程中消耗能源。例如人需要采光,建筑提供照明;人需要快捷的上下楼,建筑提供电梯。建筑在为人提供的所有服务中,一部分是为了满足人的个性需求,如开关空调、使用电脑;另一部分则是为了保证大楼安全、正常的运转,如消防、应急照明。前者与人员活动息息相关,与人的数量和活动类型有密切的关系,直接满足人的各种需求,可称为“前台服务”;后者则与人的活动没有太直接的关系,是保障“前台服务”正常的支撑体系,可称为“后台服务”。对于建筑管理者而言,“前台服务”强调的是服务质量,第一关心的问题在于是否达到使用人群的需求,其次才是满足这种需求的系统的效率高低。“后台服务”强调的是系统效率。因整个后台系统都由物业自己管理,对其监管和调控具有良好的执行力。其中,“前台服务”可以依据系统功能进行分类,例如办公室、客房、餐饮区、游泳池等,这些功能区有些可以是公共的,也可以是租赁的;而一栋建筑中存在哪些功能区、各种功能区所占的面积份额,则主要由建筑类型决定,例如写字楼以办公室为主,也会存在少量餐饮。

从这个角度可以看出,建筑的供应服务系统可

以分为三个层级:

第一级,基础功能;是建筑正常运转的基本保障,是第二和第三级功能的基础,与人员活动类型和频次相关性较弱,主要受建筑类型和规模影响。例如,集中空调冷热站,配电机房,水泵房,信息中心,电梯。

第二级,类型空间;按照人员活动类型在建筑中自然划分的实体子空间,是人们实现活动内容的场所。例如,办公室,商铺,客房,大厅,走廊。

第三级,个体服务;在每一个类型子空间内,为满足人员活动内容的实现,建筑提供的服务,与人员活动类型和频次密切相关。例如,办公室照明,客房空调,商铺插座设备。

这三个层级在属性上不具有共性,第一级和第三级可以落实到具体用能设备上,第二级只是一个模型结构概念,对应建筑内的实体空间,并不对应某类具体设备,所以这三个层级也不像现有的能耗模型那样具备严格的数字层级关系;只是从管理应用的角度,具有逻辑上的包含关系。

但是三层级的概念可以较好地迎合建筑管理者的客观需求,对应的能耗数据也能够更清晰的体现建筑内的责任划分,依此概念可以建立以下建筑能耗模型:

该模型具有良好的易操作性。在“基础功能”和“类型空间”两个层级上,通常都能在配电机房实现直接计量,或者在末端配电竖井安装少量的电表(如空调箱)。这样的结构较好地保证了数据的可靠性。图4是以电耗为计量对象的模型,依照此架构同样可以给出针对水耗、冷热量和燃气的分类模

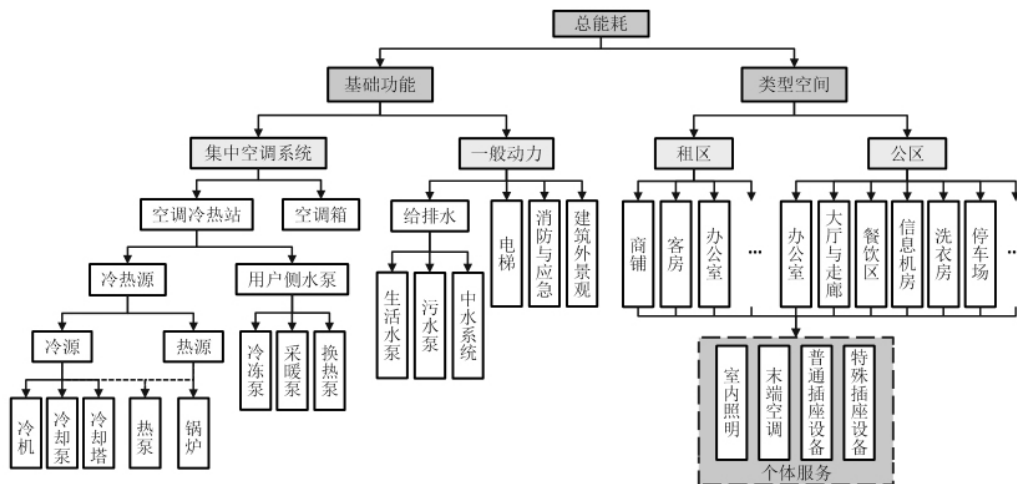


图4 建筑能耗供应层级模型

型,例如燃气通常可以分为基础功能下的热力站和类型空间下的厨房,对此本文不再详陈。

在可比性方面,由于本模型的每一个子节点定义都是互不相容的,所以虽然没有王鑫模型那样严格的数据层级,但仍保持了数据的可比性。因“类型空间”概念的引入,打破了现有模型只对建筑总体有意义的格局,这样使得能耗密度的概念更加明确。例如,比较两栋商场、写字楼综合建筑的照明能耗。在王鑫模型的框架内,比较的是两栋建筑单位、建筑面积照明总能耗的大小。考虑商铺照明强度比办公要高,如果这两栋建筑中商场和写字楼所占的比例明显不同,那么依照王鑫模型计算并不能有效地解释能耗数据。而层级模型可以轻松的解决这个问题,因为在比较两栋建筑的时候,已经把商场和办公两类空间分开了。同样比较照明能耗,直接比较单位商场面积的商场照明和单位办公面积的办公照明;而且从能耗发生原理上来看,商场照明和办公照明本就服从不同人员活动规律,具有独立且不相同的属性,本不应该作为一个求和整体来做比较。

相较于现有的能耗分类模型,层级模型并不是一个孤立的体系,二者之间具有紧密的联系。在“基础功能”和“个体服务”的层级内,同样可以分成“暖通空调”、“照明插座”、“动力设备”和“特殊设备”四大类,每一类中的子类沿用王鑫模型中的定义,例如“集中空调冷热站”的定义及其下属的子集

与王鑫模型相同。另一方面,当“个体服务”这个层级的计量技术问题得以全面解决时,层级模型可以很容易的转化成王鑫模型。所以,层级模型可以视作达到完全分类过程的一个中间态,随着计量技术、配电理念和楼宇管理的更新,建筑能耗计量会逐步细化,达到完全分类的模式。

5 应用案例

本文介绍一个商区案例,该商区集商业、购物和餐饮于一体。地上四层,分 11 栋单体建筑,共 4.35 万 m^2 ;地下两层,为整体化商场,包含商场、超市、电影院和停车场等主要功能,共 4.71 万 m^2 ;整个商区总共 9.06 万 m^2 ,包含各类商户 150 个。

商区配电采用典型的分户式配电结构,使得末端各类型用电混合,即公区和租区混合,末端照明、插座、水环热泵、新风机混合,并且规模很大,无法按照完全分类模型实现分项计量。对此,笔者依照层级模型,以该商区现有配电系统为基础,通过在配电机房的各个主力供电抽屉上安装电表,以及在少部分末端配电箱安装支路电表,实现:1) 整个基础功能详细的分项计量 2) 公区和租区用电分开 3) 租区内大型暖通设备独立计量。总装表 207 块,其中配电机房内主力供电抽屉装表 145 块,末端主要设备或关键节点装表 62 块。

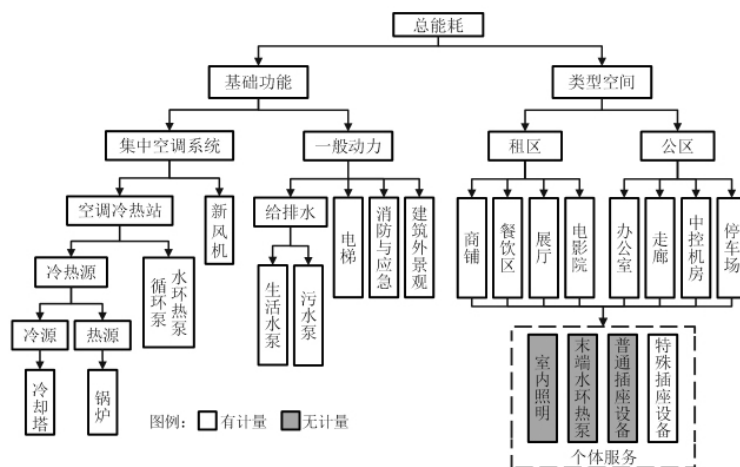


图5 某综合商场能耗供应层级模型

该商区的计量装表方案可以基本实现对层级模型中的“基础功能”和“类型空间”的详细计量,由于末端设备混合配电的问题,“个体服务”无法分项计

量。而对于完全分类模型,其四大分项中,只有“一般动力”可以详细计量,其余主要分项均无法,或需要付出极高的投资,实现详细分项。相比于此,层级

模型能够在一定层次上做到详细计量,具有更强的适应性和应用价值。

6 计量模型发展框架

计量模型在建筑能耗计量工程中占据着指导核心的地位。现阶段的分类模型从建筑精细管理、优化控制的角度,具有预见性的阐述了完全分类模型的基本图景。然而,根据前文的分析可知,该模型尚不能很好的适应当前的建筑计量市场和技术环境。故此,本文基于现有的配电设计方法、计量技术和市场环境,提出了以服务于建筑管理者为中心的层级模型。相较于当前难以实现的完全分类模型,层级模型具有良好的操作性,能够更便捷的起到指导用能管理和辅助节能诊断的作用。

同时,层级模型并不是最终的解决方案,需要不断的细化和更新,并最终实现完全分类模型。在这个过程中主要涉及到三方面的改变:第一,计量的外部环境。这个问题在电计量中最明显,大量混合配电的问题导致分项难以实现;而修改现有配电设计的动力正来自于分项计量可以实现或辅助实现建筑节能。配电设计改变并不是极为困难的事情,笔者参与的一个商建项目,开发商在了解能耗分项计量之后,明确提出所有空调箱和新风机单独供电,不再与楼层普通供电掺混。第二,计量技术的革新。一方面,改善计量监测使用表具的生产加工技术,降低表具成本,从而有效减低计量工程的总投资;另一方面,利用智能电表采集高频多参数信息,通过图形识别、谐波分析等方法实现非侵入式测量,可以在不改变配电设计的情况下,达到获取分项能耗的目的。第三,加强计量投资。计量本身是建筑节能工作中的一项基础工作,需要保证一定量的资金投入,并且随着计量精细程度的加深,投入也会逐渐增加。要保证计量的可持续性,需要依靠切实的节能量来促

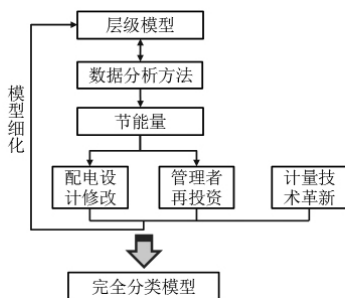


图6 计量模型发展框架

成良性循环。所以,如何基于计量数据分析建筑的节能潜力,提高管理水平,实现建筑节能是整个计量产业健康发展的核心,亟待大力发展和提升。

7 总结

随着近些年节能减排工作的全球化,建筑用能越来越受到人们的关注,建筑能耗计量工作备受重视,与此相关的研究和工程实践也广泛开展。在经历了起初依靠政府和科研单位做示范的阶段后,我国的计量市场蓬勃发展,但同时也暴露出缺乏规范性,与其他节能工作脱节的问题。其中的一个重要原因是,从科研单位到业内企业,对于计量对象的分类和定义缺少一致性的认识,导致理论与实践产生一定程度的脱节。对此,需从计量工作所面对的外部环境和计量市场现状分析入手,明确计量工作的根本推动者是建筑管理者。在此基础上,能耗计量分类模型的设计也要以服务建筑管理者为中心。

为避免计量模型因此失去科学性和比较价值,本文从建筑为人员活动提供服务的角度分析了建筑能耗的构成架构,提出建筑供应服务的三个层级,并据此提出了能耗分类层级模型。层级模型能够较好的解决现有分类模型在当前工程环境中遇到的问题,具有良好的现场适用性,并与完全分类模型保持一致性。最后,基于市场规律分析了层级模型向完全分类模型的发展途径,指出计量数据分析方法是分项计量实现建筑节能,推动自身发展的核心问题。

[参考文献]

- [1] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告[R]. 2010. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010. P2.
- [2] 江亿, 薛志峰. 审视北京大型公共建筑[J]. 科技潮, 2004 (10): 18~22.
- [3] 龙惟定. 我国大型公共建筑能源管理的现状与前景[J]. 暖通空调, 2007(4), Vol37.
- [4] 杨晓敏. 上海地区公共建筑能耗现状与节能分析[硕士学位论文][D]. 上海: 同济大学机械工程学院, 2007.
- [5] 薛志峰, 江亿, 彦启森. 既有建筑运行管理与节能改造10例分析[J]. 中国建设信息(供热制冷专刊), 2005(9).
- [6] 江亿. 大型公建推行用能定额管理[J]. 建设科技, 2007 (14).
- [7] 梁境. 大型公共建筑节能运行监管模式的研究[博士学位论文][D]. 重庆: 重庆大学城市建设与环境工程学院, 2009.

(下转第281页)

是光伏电池发电量大小的最主要影响因素,基于本文的光伏电池电力输出模型,光伏发电年最佳倾角与热利用的年最佳倾角相等或略大 1° 。

5 结语

在已有太阳能板安装最佳倾角相关文献的基础上,本文基于中国建筑热环境分析专用气象数据集,提出了计算逐时太阳辐射的一种新思路。通过我国部分地区太阳能板放置年最佳倾角的数值计算,得出除纬度外,太阳直射辐射和散射辐射的全年变化状况也是年最佳倾角的重要影响因素,为各地太阳能板的安装角度提供了设计参考。此外,在倾斜面太阳辐射计算的基础上,基于某种光伏电池的输出功率模型,进一步提出了光伏板的最佳安装倾角计算方法,并对结果进行了对比分析,也为应用其他光伏电池电力输出模型计算最佳安装倾角打下了基础。

[参考文献]

- [1] (日) 过高辉,等. 太阳能电池[M]. 北京: 机械工业出版社, 1989: 111.
- [2] 杨金焕,毛家俊,陈中华. 不同方位倾斜面上太阳辐射量及最佳倾角的计算[J]. 上海交通大学学报, 2002 年 7 月, 36(7).
- [3] 顾超,崔容强. 独立光伏系统最佳倾角计算新方法[J]. 电源技术, 2005, 77(1).
- [4] 季杰,何伟. 光伏墙体年发电性能及年得热动态预测[J]. 太阳能学报, 2001 年 7 月, 22(3).
- [5] 中国气象局气象信息中心气象资料室,清华大学著. 中国建筑热环境专用气象数据集[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [6] Klein S A. Calculation of monthly average insolation on tilted surfaces [J]. Solar Energy, 1977, 19(4): 325 ~ 329.
- [7] 王长江. 基本 MATLAB 的光伏电池通用数学模型[J]. 电力科学与工程, 2009 年 4 月, 25(4).
- [8] EnergyPlus Engineering Reference[R], October 11, 2010, 1037 ~ 1040.
- (上接第 276 页)
- [8] 国家发改委,财政部. 节能服务公司备案名单(第一批). 2010 年,第 22 号.
- [9] 国家发改委,财政部. 节能服务公司备案名单(第二批). 2011 年,第 3 号.
- [10] 国家发改委,财政部. 节能服务公司备案名单(第三批). 2011 年,第 19 号.
- [11] 中华人民共和国住建部. 国家机关办公建筑和大型公共建筑能耗监测系统分项能耗数据采集技术导则, 2008.
- [12] 王鑫. 公共建筑用能分项计量综合关键技术研究[博士学位论文][D]. 北京: 清华大学建筑技术科学系, 2010.
- [13] 王远. 大型公共建筑用电分项计量方法研究[硕士学位论文][D]. 北京: 清华大学建筑技术科学系, 2008.
- [14] 李俊. 基于分项计量系统的建筑能耗拆分与节能潜力分析研究[硕士学位论文][D]. 重庆: 重庆大学城市建设与环境工程学院, 2008.