科技综述

我国大型公共建筑能源管理的现状与前景

同济大学 龙惟定☆

摘要 介绍了与既有大型公共建筑能源管理有关的基本概念和运作方式，总结了我国大型公共建筑能源管理的现状，对解决能源管理中存在的问题提出了建议。

关键词 公共建筑 能源管理 建筑节能 系统调试 能耗计量 能源审计

Status and outlook of large scale public building energy management in China

By Long Weiding★

Abstract Presents the principles and methodologies of building energy management (BEM) related to the existing large scale public buildings, summarizes the status of BEM in China, and proposes solutions to the problems in BEM.

Keywords public building, energy management, building energy efficiency, system commissioning, energy consumption measure, energy audit

★ Tongji University, Shanghai, China

①

0 引言

2007 年将作为建筑能源管理年被载入我国建筑节能的史册。我国建筑节能的主管部门在 2007 年把目光更多地集中在了建筑管理节能上，尤其是针对政府办公建筑和大型公共建筑，将启动一系列建筑能源管理的重大项目。

建筑能源管理可以分为宏观层面和微观层面上的管理。在宏观层面，主要是指政策法规的制订，在建筑设计中贯彻节能标准，对工程项目的建筑节能进行审核、评估、监管和验收。在我国目前的国情下，宏观层面的建筑能源管理是由政府主导的，部分工作可由第三方参与。在微观层面，主要是通过对建筑物的日常运行维护和用户耗能的行为方式实施有效的管理，以及通过能效改善和节能改造实现节能。相对而言，这个层面的建筑能源管理更加务实，也蕴藏着很大的节能潜力。

无论是居住建筑、工业建筑，还是公共建筑，都有建筑能源管理问题。在我国目前条件下，居住建筑中除了北方集中供热的住宅小区和各地个别集中供冷的小区外，其建筑耗能设备并不是建筑的配套设施，居住小区的物业管理水平相对较低。因此，居住建筑不是建筑能源管理的重点。而工业建筑的建筑能耗与工艺过程有关，其能耗大小将直接体现在 *GDP* 能耗指标当中。因此，工业建筑的能源管理也不在本文的讨论之列。

本文主要针对国家财政投资的建筑，如党政机构办公楼、大学校园、列入政府采购清单的宾馆酒店等；以及建筑面积在 2 万 m^2 以上的大型公共建筑进行讨论。这些建筑耗费巨资，有的还是当地的标志性建筑和形象工程。如果它们同时又是当地的能耗大户和资源浪费的标志，那么我们的决策者们则要愧对千百万的纳税人、愧对后人。

笔者还清楚地记得，在 10 多年前的一次会议上，一位上海市的领导人说他对房地产热有两大担忧：一是我们到底需不需要那么多的高档楼宇？所有的可行性报告真的都可行吗？二是我们花巨资建立的高档楼宇，由于管理水平低下，过不了几年就会衰败破落。他说，那样我们是要被后代指责为“败家子”的。

从那以后，笔者就一直在关注和研究设施管理(facility management)和建筑能源管理。笔者非常赞同一句话：“没有绝对的节能建筑，只有相对的建筑节能”。按节能标准设计的建筑(包括各地建设的节能示范建筑)如果后期没有很

①☆ 龙惟定，男，1946 年 11 月生，硕士研究生，硕士，教授，博士生导师
200070 上海市中山北路 727 号同济大学中德工程学院
(021) 66056017
E-mail: weidinglong@mail.tongji.edu.cn
收稿日期：2007-02-26
修回日期：2007-03-07

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

好的能源管理，是不一定节能的，或者只能是计算出来的节能。而一些“先天”不足的建筑(20 世纪 90 年代建成的不少“速成”的、“克隆”的和粗制滥造的建筑)却可以通过精心和科学的管理，实现实质性的节能。

1 大型公共建筑能源管理的现状

1.1 建筑能源管理的三种模式

1.1.1 减少能耗(节约)型能源管理。节约型管理最容易实现，具有管理方便、易操作、投入少的优点，能收到立竿见影的节能效果。其主要措施是限制用能，例如非高峰时段停开部分电梯、提高夏季和降低冬季室温设定值、加班时间不提供空调、无人情况下关灯(甚至拉闸)和人少情况下减少开灯数量等。这种管理模式的缺点也很明显，主要有会造成室内环境质量劣化、管理不够人性化、不利于与用户的沟通、造成不满或投诉。因此，其管理的底线是必须保证室内环境质量符合相关标准。

1.1.2 设备改善(更新)型能源管理。任何建筑都会有一些设计和施工缺陷。更新型管理是指针对这些缺陷和建筑运行中的实际状况，不断改进和改造建筑用能设备。一般而言是“小改年年有”，如将定流量改成变流量、为输送设备电动机加变频器、手动控制改自控等。大改则结合建筑物的大修或全面装修进行，如更换供热制冷主机、增设楼宇自控系统、根据能源结构采用热电冷联产和蓄冷(热)等新技术。这种管理模式的优点是能明显提高能效、提高运行管理水平、减少能源费用和日常维护费用开支、减少人力费用开支。其风险在于需要较大的初期投入(除了自有资金，也可以采用合同能源管理方式)、需要较强的技术支撑以把握单体设备节能与系统节能的关系、避免在改造时或改造后影响系统的正常运行。这种管理的底线是所掌控的资金量能满足节能改造的需要。

1.1.3 改善(优化管理)型能源管理。通过连续的系统调试(system commissioning)使建筑各系统(尤其是设备系统与自控系统)之间、系统的各设备之间、设备与服务对象之间实现最佳匹配。它又可以分为两种模式：一种是负荷追踪型的动态管理，如新风量需求控制、制冷机台数控制、夜间通风等；另一种是成本追踪型的运行策略管理，如根据电价峰谷差控制蓄冰空调运行、最大限度地利用自有热电联产设备的产能等。这种方式对管理人员素质要求较高。

1.2 几种类型大型公共建筑的能源管理

1.2.1 自有自用建筑。投资者、管理者、使用者有同一隶属关系。如政府机构的办公楼、大学校园、大型企业(如金融企业)的办公楼等。这类建筑的能源管理又有各自的特点。

1) 企业建筑。当能源费用占企业成本中较大比例时才重视能源管理，一般采用最简单的节约型管理；当企业主业经营较好时就会忽视能源管理。如金融企业，其 *GDP* 的能耗基本就是消耗在建筑上，因此只要分母(产值)足够大，能耗成本比例就很小。

2) 高等学校建筑。大学校园是一个小社会，囊括了居住建筑、公共建筑和工业建筑等建筑形态。没有哪位校长不重视能源管理，因为能源费支出在各大学支出中占很大的份额。近年来大学校园扩张潮使许多大学都“家大业大”了，教学楼、办公楼里也有了空调等现代化设施。但由于近年来规模扩张的大学几乎都是靠银行贷款置办家当，所以空调都是买的最便宜的、能效等级最低的产品。在校园的日常运营中将节约型管理发挥到了极致。尤其是对住校学生，宿舍里除了电脑和台灯之外，几乎所有生活耗能设备都在严禁使用之列。有的高校在假期里还会关闭一些大楼以降低能耗，使得学校里极为冷清、失去活力。因此，大学校园的能源管理人性化较差。对学生的某些合理的用能需求，应该用加强服务的办法加以疏导。

3) 政府机关建筑(包括国家财政投资的大型公共建筑)。能源费在政府日常开支中一般占最大比重，因此政府机关相对比较重视建筑能源管理。机关的工作性质往往是作息时间难以按统一的时间表进行，加班加点是家常便饭，因此采用节约型管理会影响工作效率，比较容易接受的是合同能源管理方式的设备改善型管理。但物业管理人员在单位地位低下，难有“优化管理”的积极性。个别领导人会对室内热环境提出种种不切实际的和过分的要求，管理人员很难理直气壮地拒绝，他们迫切需要有关运行管理节能的法规和标准出台，以便约束领导者的行为。另外，管理人员也担心财政拨款中的“鞭打快牛”现象——节能成效越显著，第二年的经费减得越多。

1.2.2 出售建筑。有些大楼按面积或整层出售给多家公司，其物业管理统一由一家公司承担。这种大楼的公用设施(如电梯、集中空调、公共照明等)一般不能轻易采用节约型管理，以免引起业主们不满；设备改造也很难取得业主们的共识。因此这种大楼宜采用优化管理型能源管理，应特别重视其能耗分户计量和收费制度。

1.2.3 出租建筑。出租型建筑一般以商场和办公楼居多，是建筑能耗问题最大的公共建筑。现在出租型公共建筑的能源管理模式一般是将能源费用按面积摊派给用户。由于存在能源费收得越多管理公司提取的管理费也越多的不合理规定，因此此类建筑的业主最没有节能的积极性。近年来京津沪穗等大城市中办公楼租赁市场十分火爆，租金不断上涨，业主和管理者更没有节能的内在动力。只有在房地产租赁市场不景气和竞争激烈的形势下，出租型建筑的业主和管理者才有可能重视能源管理，且往往是以牺牲服务质量为代价。对这类建筑，首先是需要有节能管理的标准法规出台，规范其能源管理。其次是要建立业主和管理者的节能责任制，对于超定额的加价收费，不得转嫁给用户。

1.3 大型公共建筑能源管理普遍存在的问题

1.3.1 对管理对象能耗现状不了解

1) 缺乏对单位面积或人均能耗量进行量化的概念。

2) 缺乏对各设备系统(例如空调、照明、动力)分项能耗量进行量化的概念，也没有分项计量装置。

3) 尽管多数大型公共建筑都有建筑自动化(BA)系统，但多数 BA 系统能源管理功能薄弱，导致能耗计量和记

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

录不完善和不充分，更遑论基本数据分析和趋势分析。

4）由于没有对 BA 系统与设备系统很好地进行联合调试，很多 BA 系统的控制功能根本不起作用，很多大楼的运行管理基本上凭经验、用手动，只不过一些手工操作改用点击鼠标代替了。

5）由于房地产市场的不稳定，导致某些公共建筑在使用上的复杂性（运行时间、不同行业的使用方式、入住率、负荷参差率等不同），加大了把握能耗现状的难度。

1.3.2 设计先天不足

1）在业主拼命压低设计费和设计院“赶工抓钱”的大背景下，除了个别样板工程、示范工程，一般建筑很难做到精心设计，建成后的建筑也没有经过精心调试。管理者在接手这样的建筑之后，首先要面对用户对室内环境的抱怨和投诉。由于系统失调，只能以多数房间的能源浪费去保证个别房间的环境质量。

2）设计中对管理的需求考虑不够，没有留足够的检修和维护空间。例如有很多大楼没有留更换空调箱过滤器的空间，既劣化了室内空气环境，又增加了能耗。

3）由于负荷计算和设备选型时宁大毋小，导致多数时间空调系统只运行一台主机就够用。所设置的台数控制和冰蓄冷等技术措施完全不起作用。

4）多数投资者只注重大型公共建筑的外立面的美观以及装修的豪华，不愿意在空调等隐蔽工程和建筑节能等看不见、摸不着的工程上花钱，加上设计院过分迁就业主，各专业之间又缺乏协调配合，导致很多先天的能耗缺陷很难靠后天的管理措施和小修小补来弥补，除非对建筑物做“伤筋动骨”的改造。

1.3.3 缺乏科学的能耗指标和评价标准

公共建筑是提供服务的设施，用单一的能耗限额指标 *EUI*（energy use index）即单位建筑面积一年的能耗量并不能客观反映出服务质量的高低。有的行业如宾馆和酒店，其营业收入与能耗是相关的，五星级酒店能耗高营业收入也高；而普通旅馆营业收入低能耗也低。这类建筑可以用 *GDP* 能耗来进行评价。但有的行业如商场超市，利润率很低但负荷却很大，这类公共建筑无论用现有的哪种指标来评价，最终结果是“不用能即节能”，即用停止送新风、提高（夏季）室内设定温度等降低室内环境质量的手段来降低能耗。另外，对某些新技术，如蓄冰空调，如果用单一的 *EUI* 衡量，则它成了不节能的技术，而实际上蓄冰空调对于降低电厂煤耗、减少污染、减少温室气体排放都是很有意义的。

以下几种评价方法值得进一步研究。

1）建立基于节能原则的参考建筑，用与实际建筑相同的运行条件作为输入参数，用计算机模拟方法得出合理的 *EUI*。要研究的是参考建筑的设置原则和计算机模拟软件的统一。

2）用能耗系数 *CEC*（coefficient of energy consumption）评价。*CEC* 是一个用于评价系统能量利用效率的指标，定义为空调系统全年总耗能量与假想空调负荷全年累计值之比，*CEC* 值越小，空调设备的能量利用效率越高。用 *CEC* 评价建筑能耗，很好地解决了不同类型、不同特点的建筑之间不便于比较的问题。要研究的是假想空调负荷的确定。

3）建立同类建筑能耗数据库，在数据库样本数足够大的条件下，同类建筑的 *EUI* 就具有统计意义上的比较作用。要研究的是如何结合建筑能耗统计建立起有相当规模的数据库。这可以借鉴美国能源部开展建筑能耗统计并建立国家数据库的经验。

1.3.4 建筑能源管理人才匮乏

我国建筑能源管理目前还是属于物业管理范畴。长时间以来物业管理不受重视、地位低下。尽管近 10 年同济大学等高校培养了一批设施管理方向的本科生，但由于物业管理行业的机制问题，并不能吸引这些毕业生。在政府机关和事业单位里，设施管理属于总务或行政部门，在“官本位”序列里地位是最低的；在银行、医院等单位，设施管理是“少数专业”，是被边缘化的。更重要的是，我们的管理机制是不鼓励创新的，罚多奖少，管理制度中主要是“不许”和“不应”。管理者不能从节能中获益。如果室内环境满足不了用户的需要（特别是某些领导的需要）是要受罚的，而每年能源费用的高低却与运行管理者无关。

解决的办法是将能源管理、设备管理部门从现在的单位剥离，实现市场化和专业化运作，用合同能源管理的机制来规范建筑能源管理，节能收益由业主和能源管理公司分享。只有这样，才能吸引高质量人才加入到这个行业中来，才能从根本上提高建筑能源管理水平。

2 大型公共建筑能源管理的实施

2.1 建筑能源管理的四项基本原则

2.1.1 服务原则。建筑能源管理是一种服务。它的目标是提高能源终端的能源利用效率、降低建筑运营成本。节能决不是单从数量上限制用户合理的需求，更不能以节能为借口，降低服务质量，劣化室内环境质量。管理者应向用户提供恰当的能源品种、合理的能源价格、高效的用能设备，以及节能技术、工艺和管理方式，用尽量少的能耗满足用户的各种用能需求和环境需求。

2.1.2 系统优化原则。建筑能源管理应从能源政策、能源价格、供需平衡、成本费用、技术水平、环境影响等多方面进行投入产出分析，选择社会成本最低、能源效率较高、又能满足需求的节能方案。除了注意单体设备的节能，更要注意系统的匹配、协调和整合，重视系统的“持续调试（continued commissioning）”。

2.1.3 采用先进的节能技术原则。采用经济上合理、技术上可行的节能技术提高终端的能源利用效率是实现建筑节能的关键所在。但最先进的技术不一定是最适用的技术，根据建筑自身条件，有时选用处于“镰刀与收割机”之间的“中间技术”更为合理。笔者反对不顾条件，用行政手段“大跃进”式地推广某一新技术，或硬性规定节能改造的技术路线。还是那句老话：实事求是。对于节能的方案或新技术，在市场经济不完善、信用机制不健全的条件下，要依据科学

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

作出正确判断。自己判断不了,可以请教专家。不过,在现在的社会背景下,专家也是带有自身利益诉求的。因此,要请教多位专家,正反面意见都要听。兼听则明。

2.1.4 动态节能原则。建筑节能技术的最大特点是有两性,即地域性和时效性。由于各地气候、生活习惯、建筑形式、系统形式以及建筑功能有差别,因此在北京适用的节能技术在深圳就不一定适用;在 A 楼适用的节能技术到 B 楼就可能适得其反。由于气候变化、建筑功能改变、用户需求变化,以及设备系统的损耗都会引起节能效果的改变,因此建筑节能并不是一劳永逸的。管理者要适应这种变化。

2.2 建筑能源管理的组织

我国节能法规定,年综合能源消费在 5 000 t 标准煤以上的单位是"重点用能单位"。节能法还规定"重点用能单位应当设立能源管理岗位,在具有节能专业知识、实际经验以及工程师以上技术职称的人员中聘任能源管理人员"。

但在我国多数大型公共建筑的能源管理中,并没有严格执行这一条法律条文。很多单位领导人对自己所在大楼到底耗了多少能心中无数,对能耗、功率、标准煤这些概念也是懵懵懂懂。所以,当务之急是建立建筑节能的领导负责制以及高能耗的问责制。特大型公共建筑应有专职的能源管理经理,直接对董事会(高校对校长)负责。一般公共建筑也应设兼职的能源管理经理。单位内部建筑能源管理的组织形式有以下几种。

1) 全员参与方式。以经营者或单位领导为责任人,组成节能推进委员会或节能领导小组,小组成员包括部门负责人和员工代表(在学校是各学生宿舍推选的学生代表)。这种方式尤其适合大学。

2) 会议方式。各部门推选代表定期举行会议对建筑能耗状况进行合议。

3) 项目方式。对某一节能措施或节能改造项目,由各部门代表会同本单位或外聘的能源管理专家、专业人员参与项目管理。

4) 业务方式。设立专门的能源管理部门,将能源管理作为其业务内容。

以上方式中能源管理经理都是当然的参与者和具体的实施者。

2.3 设立能源管理目标

与常规管理一样,建筑能源管理应设立可量化的、具体的管理目标,主要有以下几个。

1) 量化目标。如全年能耗量、单位面积能耗量(*EUI*)、单位服务产品(如旅馆、医院的每床位,大学的人均)能耗量等绝对值目标;系统效率(如 *CEC*)、节能率等相对值目标。

2) 财务目标。如能源成本降低的百分比、节能项目的投资回报率,以及实现节能项目的经费上限等。

3) 时间目标。如完成项目的期限、在每一分阶段时间节点上要达到的阶段性标准等。

4) 外部目标。如达到国际、国内或行业内的某一等级或某一评价标准、在同业中的排序位置等。

设定目标必须遵循实事求是的原则。根据自己的财力、物力和资源能力恰如其分地确定目标。

2.4 建立能源管理标准

根据建筑内各种设备系统的特点制订将能耗控制在最低限度的运行、管理措施。这些措施是依据一定的节能评价基准(量化值),并把这些基准作为管理目标的标准值。根据管理措施的要求,确定自动控制(BA)系统的设定值和目标值,制订检测、记录、维护、检修、故障诊断等方面的操作规定,编制各种报表。

2.5 建筑能源审计

建筑能源审计(building energy audit)是指审计单位根据国家有关的节能法规、法律,技术标准,消耗定额等,对建筑能源利用的物理过程和财务过程进行监督检查和综合分析评价。

对管理者而言,通过建筑能源审计可以对自己管理的大楼的能耗现状、先天条件、节能潜力、与其他同类建筑相比的优势和劣势心中有数,即有一个量化的概念。同时,通过审计检查建筑物能源利用在技术上和经济上是否合理,诊断主要耗能系统的性能状态,找出大楼的节能和节约能源费开支的潜力,以确定节能改造方案。因此,能源审计是建筑能源管理中最重要的环节之一。

对政府而言,在政府建筑和大型公共建筑中推行建筑能源审计,有利于节能管理向经常化和科学化转变;计算出不同层次的建筑的能耗指标,有利于对既有建筑的能源使用情况进行有效的监督和合理的考核;有利于了解建筑节能标准的贯彻情况与实施效果;有利于推进既有建筑节能改造和合同能源管理事业的发展;有利于改善管理、改进服务,获得实质性的节能(embodied energy)。

2007 年,建筑能源审计将成为建筑节能的工作重点之一。有关建筑能源审计的内容笔者将另撰文作专门的介绍。

2.6 建筑调试(commissioning)

Commissioning 这个词原来是指竣工后的暖通空调(HVAC)设备的调试、验收和交工。随着建筑设备系统技术日趋先进,特别是楼宇自控系统日趋普及,调试过程从设计阶段开始一直延续到建筑使用之后。就像一辆汽车行驶一定里程之后需要中修和大修一样,在建筑正常使用过程中每隔 3～5 年就需要进行调试。这也成为建筑能源管理的一个重要内容。

建筑在验收后的系统调试的主要任务是:

1) 系统连续运转,检验系统在各个季节以及全年的性能,特别是能源效率和控制功能。

2) 在保修期结束前检查设备性能以及暖通空调系统与自控系统的联动性能。

3) 通过调试寻找系统的节能潜力。

4) 通过用户调查了解用户对室内环境质量及设备系统的满意度。

5) 在调试过程中记录关键的参数,整理后完成调试报告。

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn

建筑调试是一个技术含量很高的管理过程。就我国目前情况看，几乎所有工程项目都没有做过很好的调试，能从事复杂系统和跨系统、跨产品品牌调试的技术人才也十分缺乏。解决这个问题应走专业化道路。首先建立相关的规章制度，对大型公共建筑强制性要求系统调试，可以先从暖通空调系统和楼宇自控系统的联合调试开始，形成需求，形成市场，这样自然就会解决技术力量短缺的问题。

2.7 能耗计量

我国能源法规定："用能单位应当加强能源计量管理，健全能源消费统计和能源利用状况分析制度"。建筑能耗计量的重要性体现在：

1）通过计量能实时定量地把握建筑物能源消耗的变化。通过对楼宇设备系统分系统进行计量以及对计量数据进行分析，可以发现节能潜力和找到用能不合理的薄弱环节。因此，能耗计量是能源审计工作的基础。

2）通过计量可以检验节能措施的效果，是执行合同能源管理的依据。

3）通过计量可以将能量消耗与用户利益挂钩，计量是收取能源费用的唯一依据。

4）通过计量收费可以促进建筑能源管理水平的提高。要向用户收费，则用户有权要求能源管理者提供优质价廉的能源。在大楼里，用户会对室内环境（热环境、光环境和空气质量）质量提出更高的要求，希望以较少的代价，得到舒适、健康的工作环境和生活质量。能源管理实际是能源服务，管理者只有不断改进工作、提高效率、降低成本，才能满足用户需求。

5）计量收费是建筑能源管理的重要措施。管理者可以通过价格杠杆调整供求关系，促进节能，鼓励节能措施，推动能源结构调整。

著名的管理大师——GE 公司前 CEO 杰克·威尔奇（Jack Welch）说过："对于不能测试的事物你永远无法管理"。能耗计量是整个建筑能源管理工作的出发点和基础。但这个基础性的环节恰恰是我国建筑能源管理中最薄弱的环节。很多管理者可能会对本单位本大楼的总能源费支出有点概念，因为这是需要真金白银地掏钱出去的，但对哪个系统或哪个基层单位能耗有问题却完全无数；很多大楼对大型耗能设备（例如制冷机）会独立计量，但对分散的、小型的末端设备却不计量，因此对节能潜力究竟在哪里完全凭感觉说事。实现能耗的分项（系统）计量和分基层单位计量（尤其是结合已有的 BA 系统）并不困难，也花不了多少钱，但却是建筑能源管理的一大进步。笔者认为，实行能源审计，首先应完善大型公共建筑中的能耗计量系统，节能管理从计量做起。

3 结论

我国执行建筑节能设计标准的新建建筑的面积只占我国城镇民用建筑总面积的 5%左右。大量的既有建筑尤其是大型公共建筑，通过科学的能源管理可以实现实质性的节能。这也是我国建筑节能投入最少、见效最快的途径。应通过加强对既有大型公共建筑和政府办公建筑的节能管理，建立并逐步完善既有大型公共建筑运行节能监管体系和节能责任制度，研究制定公共建筑用能设备运行标准及供暖、空调、热水供应、照明能耗统计制度。从 2007 年开始，要对政府办公建筑和大型公共建筑进行建筑能源审计，审计结果予以公示，接受社会监督，对其中能耗高的建筑要逐步实施节能改造。根据审计结果，研究制定大型公共建筑的单位能耗限额，逐步实行超限额加价制度。

参考文献

[1] 龙惟定. 建筑节能与建筑能效管理[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2005

[2] Wayne Turner. Energy management handbook[M]. 4th ed. Lilburn：the Fairmont Press，2001

[3] Albert T，William J Y. Handbook of energy audits[M]. New York：the Fairmont Press，2003

[4] 省エネルギーセンター. ビルのエネルギー管理ガイド. 2001

（上接第 40 页）

[21] 代彦军，俞金娣，张鹤飞. 液体除湿空调系统的数学模型与性能分析[J]. 太阳能学报，1998，19（3）：309－313

[22] Gandhidasan P. Quick performance prediction of liquid desiccant regeneration in a packed bed[J]. Solar Energy，2005，79(1)：47－55

[23] Rane M V，Reddy S V K，Easow R R. Energy efficient liquid desiccant-based dryer [J]. Applied Thermal Engineering，2005，25(5/6)，769－781

[24] Al-Farayedhi A A，Gandhidasan P，Ahmed S Y. Regeneration of liquid desiccants using membrane technology[J]. Energy Conversion and Management，1999，40(13)：1405－1411

[25] Gandhidasan P. Closed-type solar regenerator：analysis and simulation [J]. Journal of Energy Resources Technology，Transactions of the ASME，1995，117(1)：58－61

[26] 张立志，江亿. 膜法空气除湿的研究与进展[J]. 暖通空调，1999，29（6）：28－32

[27] Zhang L Z，Jiang Y，Zhang Y P. Membrane-based humidity pump：performance and limitations [J]. Journal of Membrane Science，2000，171(2)：207－216

[28] Paul S，Jedrick B，Alex H，et al. Hydrophilic membrane-based humidity control [J]. Journal of Membrane Science，1998，149(2)：69－81

[29] Lu Lu，Cai Wenjian，Xie Lihua，et al. HVAC system optimization-in-building section [J]. Energy and Buildings，2005，37 (1)：11－22

[30] Tashtoush B，Molhim M，Al-Rousan M. Dynamic model of an HVAC system for control analysis[J]. Energy，2005，30 (10)：1729－1745

PDF 文件使用 "pdfFactory Pro" 试用版本创建 www.fineprint.cn