

澳门建筑的特点及其智慧化发展

余亮¹, 江涛^{2*}

1. 南京邮电大学物联网学院, 南京 210003

2. 华中科技大学电子信息与通信学院, 武汉光电国家研究中心, 武汉 430074

摘要 发展智慧建筑对于促进城市的可持续健康发展具有重要意义。给出了智慧建筑定义与特征, 介绍了澳门城市建筑的特点; 提出了澳门智慧建筑的若干发展建议: 加强建筑管理系统的网络安全防护、加快5G通信网络的部署和大力发展建筑节能环保技术。

关键词 智慧城市; 智慧建筑; 澳门

2019年6月, 联合国经济和社会事务部发布了《2019年世界人口展望》报告。报告指出, 到2050年世界人口将达到97亿。在97亿人中, 城市人口将占70%左右, 相比当前城市人口增加约25亿^[1]。增加的城市人口将导致需要建设新的基础设施。广义来讲, 基础设施是指提供水源、能源、食物、住所、交通与通信、废弃物管理和公共场所的系统^[1], 它对支撑人类福祉和经济发展至关重要。当前, 基础设施对环境造成了很大负担, 并对人类健康造成了很大影响。例如, 2010年城市基础设施导致的温室气体排放量占全球人类活动相关的温室气体排放量的86.6%, 2010年全球基础设施相关的过早死亡人数接近2000万^[1]。为实现城市可持续健康发展, 发展智慧城市是必由之路。2015年10月, 国

际电信联盟(ITU)和联合国欧洲经济委员会(UNECE)提出了可持续智慧城市的概念, 即可持续智慧城市是一种创新城市, 它利用信息通信技术提高生活质量、城市运营与服务效率以及竞争力, 同时确保满足今世和后代在经济、社会、环境和文化方面的需求^[2]。作为智慧城市物理基础设施组成部分, 智慧建筑对智慧城市发展目标有重要支撑作用, 主要有以下3个原因: (1) 建筑能耗占全球总能源消耗的40%, 相应的碳排放占比高于30%^[3]。因此, 发展智慧建筑对于维持环境可持续性具有重要意义。(2) 人类平均90%时间处于建筑内部, 对建筑内部舒适性具有高需求, 发展智慧建筑可提高用户的生活质量。(3) 智慧建筑相关的共享经济(如共享空间)、体验经济(如虚拟现实体验)、智能

收稿日期: 2019-11-13; 修回日期: 2019-11-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(61972214)

作者简介: 余亮, 副教授, 研究方向为信息物理融合系统的能量管理、深度强化学习、区块链, 电子信箱: liang.yu@njupt.edu.cn; 江涛(通信作者), 教授, 研究方向为移动通信与天地一体化信息网络, 电子信箱: tao.jiang@ieee.org

引用格式: 余亮, 江涛. 澳门建筑的特点及其智慧化发展[J]. 科技导报, 2019, 37(23): 33-38; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2019.23.005

经济(如基于人工智能的建筑能量管理系统设备的经济价值将远高于传统建筑能量管理系统,因为前者相比后者能节省更多能耗、能量成本等)对于促进城市经济发展非常重要。

本文围绕智慧建筑,介绍其定义与特征。然后从澳门城市建筑特点论述澳门发展智慧建筑的建议及其具体措施。

1 智慧建筑的定义与特征

智慧建筑(intelligent buildings)的概念由美国联合技术建筑系统公司于1981年首次使用^[4]。大约2年后,在美国康涅狄格州的哈特福德市诞生了世界上第一个智慧建筑——都市办公大厦。自此,智慧建筑的各种定义被提出,几种代表性的定义见表1^[4-7]。最初的定义是仅关注技术方面,忽视了将用户需求考虑其中。随着人们对生活质量的要求越来越高,越来越多的定义考虑了用户需求以及用户与环境之间的交互。2015年,中华人民共和国国家标准 GB/T 50314-2015 对智慧建筑的定义

是^[7]:以建筑物为平台,对各类智能化信息的综合应用,集架构、系统、服务、管理及优化组合为一体,具有感知、传输、记忆、推理、判断和决策的综合智慧能力,形成以人、建筑、环境互为协调的整合体,为人们提供安全、高效、便利及可持续发展功能环境的建筑。这个定义表明未来的智慧建筑应该像人一样具有综合能力,并通过不断学习进化变得越来越智能。与中国对智慧建筑的定义不同,美国从系统优化方面给出了智慧建筑的定义,欧洲从用户效益和资源使用成本方面给出了智慧建筑的定义。

尽管对智慧建筑的定义并不统一,但理想的智慧建筑应该具有如下4方面特征^[7]:(1) 环境方面。智慧建筑应该节能环保。建筑能耗占全球总能耗的40%,占碳排放量的30%以上。随着国际性和区域性环境和能源协议、规定(如联合国气候变化框架公约、京都议定书、哥本哈根会议)的不断出台,建筑节能减排是必然趋势;(2) 经济方面。智慧建筑应具有低资源使用成本(如水、电、天然气等资源的使用成本)和高投资回报,这是建筑拥有者、建筑物业管理者、建筑用户等最为关心的事情;(3) 用户体验及社会文化方面。智慧建筑应该给室内用户提供高舒适性、便捷性和高安全性(如安全防护措施能抵御火灾、地震、网络攻击等)、以及随处可见的环保设计和高科技感等;(4) 技术革新方面。具有学习进化能力的智慧建筑需要依靠革新技术实现前3个方面的特征,这些技术包括人工智能、物联网、云计算、大数据、5G通信技术、雾计算、区块链和虚拟现实等。

表1 智慧建筑各种定义

Table 1 Definitions of intelligent/smart buildings

年份	定义内容
1983	拥有全自动服务控制系统的建筑 ^[4]
1986	提供设备互联与许多功能(通信服务、能源管理、火灾检测、访问控制、暖通空调系统、电梯系统等)的建筑 ^[5]
1988	智慧建筑集成了多种系统并以协调的方式有效管理资源,进而最大化技术性能、投资和运营成本节省、灵活性 ^[4]
1991	最大化建筑用户效益,同时以最小代价对资源进行有效管理 ^[6]
1997	通过多学科交叉来集成和优化建筑结构、系统、服务和管理,进而为建筑用户创造一个高产、低成本和环境友好的建筑 ^[4]
2015	以建筑物为平台,对各类智能化信息的综合应用,集架构、系统、服务、管理及优化组合为一体,具有感知、传输、记忆、推理、判断和决策的综合智慧能力,形成以人、建筑、环境互为协调的整合体,为人们提供安全、高效、便利及可持续发展功能环境的建筑 ^[7]

2 澳门城市建筑的特点

2.1 历史文化建筑和博彩娱乐场建筑数量多

澳门是一个国际自由港,其主要经济支柱产业是旅游业和博彩业,同时正在发展中医药产业、会展业、特色金融服务业和文化创意产业等新兴产业^[8]。在旅游业方面,澳门每年接纳的游客可达3000多万^[9],其中开展的文化旅游与2005年被选为世界文化遗产的澳门历史城区建筑群密切相关。在澳门历史城区建筑群中,包含大量近代军事建

筑、民用建筑和宗教建筑等,堪称中国近代历史建筑的博物馆。而且,澳门作为世界四大赌城之一,其博彩业非常兴旺,每年的收入额超过拉斯维加斯。为了吸引更多的人参观博彩娱乐场所或者参与博弈娱乐,博彩建筑大多集餐饮、购物、娱乐于一体。因此,澳门的博彩娱乐场建筑数量较多,仅1999年澳门回归后新建的博彩娱乐场建筑就有威尼斯人金沙酒店(博彩区建筑面积109046 m²)、星际酒店(博彩区建筑面积98619 m²)、新葡京酒店(博彩区建筑面积20304 m²)、永利度假村酒店(博彩区建筑面积8214 m²)、美高梅酒店(博彩区建筑面积28976 m²)等。

2.2 博彩行业建筑碳排放高

与澳门居民建筑和商业建筑相比,澳门博彩行业建筑产生的二氧化碳排放量要高得多(图1)。自1999年澳门回归以来,各种类型建筑二氧化碳排放量总体呈现不断增长的趋势,其中博彩行业建筑的二氧化碳排放量增长最为迅猛。1999年,博彩行业建筑的二氧化碳排放量是居民建筑和商业建筑总和的1/2,而到2016年,该数值变成了1.66倍。因此,从城市的可持续发展角度看,降低博彩行业建筑的二氧化碳排放量势在必行。

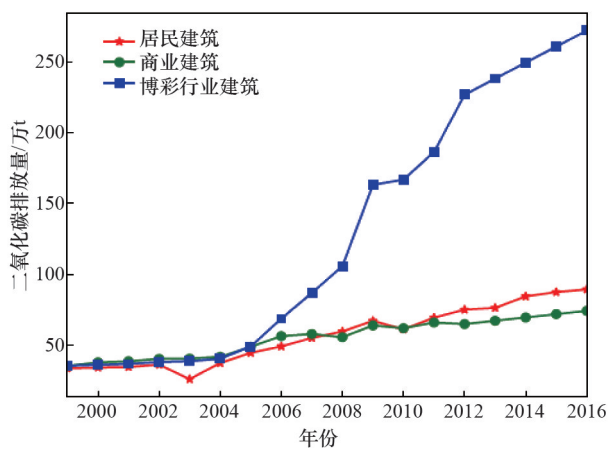


图1 1999—2016年澳门建筑碳排放量增长曲线^[1]

Fig. 1 Carbon emission of buildings in Macao from 1999 to 2016

2.3 建筑密度和建筑制冷能耗高

人口集聚及社会经济的发展使得澳门不断进行填海造地,其总面积也由1912年的11.6 km²逐步

扩展至目前的32.9 km²。尽管如此,澳门依然是世界上人口密度最高的地区之一。为了缓解人口增长带来的压力,澳门城市建筑新开发模式趋向于高密度和高楼层,这将导致城市空气流通性下降和自然通风降温机会减少,进而使得通风和降温更依赖于建筑暖通空调系统。此外,由于澳门的气候为亚热带湿润季风气候,其特征表现为夏季漫长、冬季寒冷时间很短、甚至几乎没有冬季、气温常年较高。而且,空气相对湿度大(年平均相对湿度为81%^[10])使得热感得到进一步强化,故一年内澳门使用暖通空调系统的时间较长。由于暖通空调系统的能耗占建筑能耗的比例约为40%,故建筑能耗将随着澳门人口的进一步增加和人民对生活质量需求的提升而继续攀升。

3 发展澳门智慧建筑的建议

针对澳门城市建筑的特点,提出发展澳门智慧建筑的建议,主要包括3个方面。

3.1 加强建筑管理系统的网络安全防护

发展智慧建筑离不开物联网技术,但发展物联网技术同时也给智慧建筑带来了许多网络安全隐患。作为智慧建筑中重要组成部分,建筑管理系统(也称建筑自动化系统、建筑控制系统、建筑自动化与控制系统、建筑能量管理系统^[11])控制着许多子系统(如暖通空调系统、照明系统、安全防护系统、供配电系统、电梯系统、给排水系统、消防系统、数据汇聚系统等)的运行,因而它是被发起网络攻击的重点对象^[12]。如果疏于建筑管理系统的网络安全防范,将会导致经济损失或名誉损失,典型的建筑管理系统遭受网络攻击的案例见表2^[13-16]。当博彩娱乐场建筑管理系统遭到攻击时,可能导致的影响包括:(1) 配电系统故障,进而导致博彩活动受阻;(2) 博彩业参与用户身份泄露,进而导致博彩业运营商声誉受损和参与人数下降;(3) 电梯系统无法正常运行、电子门禁卡无法使用,进而影响博彩娱乐场的声誉和收入。另外,作为文化旅游的重点景区,当历史建筑管理系统遭到网络攻击时,可能出现如下后果:(1) 暖通空调系统无法正常合理

运行,进而造成空间过热或过冷,导致建筑材料受损;(2)照明系统出现故障,进而影响游客参观效果等。上述后果都会对澳门旅游业和博彩业产生不利影响。尽管智慧建筑面临的网络安全风险很多,但目前的智慧建筑网络安全意识并不强。IBM公司的调研显示,84%的建筑管理系统连接至互联网,但仅有29%的建筑管理者正在采取措施提高建筑管理系统的安全性^[17]。为了提高建筑管理系统的安全性,除了提高建筑网络安全意识外,还需加强对智慧建筑网络安全隐患的研究及解决方案部署。为了将解决方案有效部署到智慧建筑中,需要所有建筑利益相关者(如建筑管理者、设备供应商、系统集成商、安全专家和监管机构等)的相互沟通和协作。

表2 建筑管理系统遭受网络攻击的典型示例
Table 2 Typical cyber-attack cases of building management systems

序号	攻击时间	攻击对象	导致的结果
1	2013年5月	Google公司澳大利亚总部大楼建筑管理系统 ^[13]	实现对暖通空调系统的任意控制(攻击者为网络安全人员并无恶意)
2	2016年2月	美国好莱坞长老会医疗中心信息系统 ^[14]	造成医疗服务崩溃,医疗中心支付价值1.7万美元的比特币作为赎金
3	2017年1月	奥地利著名4星级豪华酒店的电子钥匙系统 ^[15]	所有旅客无法出入房间,酒店被索要价值1500欧元的比特币赎金
4	2018年12月	澳大利亚万豪酒店信息系统 ^[16]	5亿客户信用卡号和护照细节被泄露
5	2019年2月	墨尔本加布里尼医院信息系统 ^[16]	1.5万患者的医疗文件被泄露

3.2 加快5G通信网络的部署

2019年6月,中国工业和信息化部正式向中国电信、中国移动、中国联通、中国广电发放5G商用牌照,标志着中国正式进入5G商用元年。目前,部

分省市开始了5G网络的部署,例如,海南于2019年9月在全国率先实现了5G“县县通”(即19个市县和洋浦经济开发区全部接通5G网络),预计2020年中国将大规模投入建设独立组网的5G网络。理论上,5G通信网络可支持1~10 Gbps用户峰值速率、99.999%的网络可用性与数据连接可靠性、1 ms的回程时延、100万个/km²的连接数密度、500+ km/h的移动性、数十Tbps/km²的流量密度以及50%的全网网络能耗降低等^[18]。这些技术指标可满足或部分满足澳门智慧建筑内部应用的通信需求,如澳门高密度高层建筑内智慧家庭的无线高清流媒体服务应用、博彩娱乐场建筑中的娱乐项目虚拟现实应用、文化旅游建筑中的文化创意项目虚拟现实应用等,这对于提升澳门城市经济、用户体验及社会文化大有裨益。此外,随着澳门人口数量和政府发展旅游业力度的增加,城市交通压力将会持续增加,进而导致交通事故发生的可能性增加。例如,2016年2起突发事件,新闻报道中的游客受伤人数就有89人,其中重伤6人。为了提高突发事件的应变能力,医疗卫生建筑可在出现重大交通事故时开展远程医疗手术,让患者又快又好地得到诊治,而开展远程医疗手术的关键技术离不开5G通信网络。基于该通信网络,中国已成功开展一系列远程手术,例如,2019年3月,中国人民解放军总医院成功完成了全国首例基于5G的远程(跨越近3000 km)人体手术——帕金森病“脑起搏器”植入手术。2019年6月,北京积水潭医院成功开展了与嘉兴市第二医院(患者腰椎骨折)和烟台市烟台山医院(患者胸椎椎体爆裂骨折)的全球首例骨科手术机器人多中心5G远程手术。因此,5G通信网络的部署还将有助于澳门开启医疗新时代,为建设“世界旅游休闲中心”助力。

3.3 大力发展建筑节能环保技术

1) 考虑到澳门建筑制冷能耗高和博彩行业建筑碳排放高的特点,智能地调度暖通空调系统具有巨大的建筑节能减排潜力。由于暖通空调系统的重要目的是维护建筑内用户的舒适性(如热舒适、空气质量舒适等),故需要在维持用户高舒适满意率的前提下最小化能耗。以博彩娱乐场建筑为例,由于暖通空调系统需要服务的是处于共享空间内

的众多用户,而用户之间由于性别、年龄、体重、穿衣习惯、新陈代谢率等因素存在不同的热舒适偏好。为了实现差异化温度调节来满足不同位置用户的热舒适需求,可将整个热区域划分为多个子区域(子区域越多,差异化温度调节能力越强,复杂度也越高),通过改变送风温度和每个子区域的送风量等手段实现差异化温度调节。上述多区域商业建筑暖通空调系统的优化控制面临如下挑战:(1) 由于室内温度受众多因素影响(如建筑结构与材料、外部温度、湿度、太阳辐射强度、来自用户和照明系统等设备的外部热增益),往往很难建立既准确又易于控制的建筑热动力学模型^[19];(2) 由于相邻区域间存在热传导,如何在无建筑热动力学模型条件下,通过区域间有效协调来保证每个区域温度在舒适范围的前提下实现最小化暖通空调系统总能耗非常困难;(3) 未来的外部温度、用户占用情况、热扰动等系统参数存在不确定性。为了应对上述挑战,可采用深度强化学习等先进人工智能方法设计无模型暖通空调系统控制方法。相关研究表明,相比基于规则的控制方法,基于深度强化学习的控制方法可节省能耗/能量成本 16%以上^[19-20]。然而,由于未考虑多区域间协调,环境的非平稳和非马尔科夫性,使得现有基于深度强化学习的控制方法在区域数量非常多的时候可能难以收敛。可能的解决方法是采用行动者-注意力-评论家多智能体深度强化学习实现不同区域间的选择性关注,进而对区域数量具有高可扩展性^[21]。

2) 为了降低博彩行业建筑碳排放量,还可大力发展可再生能源并提升其利用率。目前,澳门的能源供应 73.5%来自中国南方电网有限责任公司,23.4%由澳门电力股份有限公司提供,3.1%由澳门垃圾焚化中心提供。后两者均为火力发电,给澳门本土大气环境带来较大压力。因此,澳门需要优化能源结构,大力发展可再生能源,如海上风电、太阳能光伏发电等。由于可再生能源发电输出具有不确定性,难以实现能源供需之间的实时匹配,进而导致过剩的可再生能源被浪费。为了提升可再生能源利用率,可发展基于区块链的能量管理技术^[22],促进建筑内部不同用户间或不同建筑间的可

再生能源本地交易。此外,可将过剩的可再生能源先存储起来,等需要时再释放出来进行利用。考虑到氢能具有的优势(如清洁、无污染、方便存储和运输、高利用率),采用氢能存储的方式降低可再生能源的浪费是非常有前景的选择^[23]。

4 结论

分析了澳门城市建筑的特点(如历史文化建筑和博彩娱乐场所建筑多、博彩行业建筑碳排放高、建筑密度和建筑制冷能耗大),并有针对性地提出了发展澳门智慧建筑的建议,包括加强建筑管理系统的网络安全防护、加快 5G 通信网络的部署、大力发展建筑节能环保技术等。由于智慧建筑的研究、试验、建设等涉及的利益方众多(如政府相关部门、建筑拥有者、网络安全专家、设备提供商、系统集成商、建筑研究人员、网络运营商等),故需要多方共同努力才能完成好澳门智慧建筑的建设。

参考文献 (References)

- [1] Ramaswami A, Russell A G, Culligan P J, et al. Meta-principles for developing smart, sustainable, and healthy cities[J]. *Science*, 2016, 352(6288): 940-943.
- [2] Unece, Itu. Smart sustainable cities definition[EB/OL]. (2015-10-01)[2019-10-11]. <https://www.itu.int/en/ITU-T/ssc/Pages/info-ssc.aspx>.
- [3] Zhao S J, Song Q B, Duan H B, et al. Uncovering the life-cycle GHG emissions and its reduction opportunities from the urban buildings: A case study of Macau[J]. *Resources, Conservation & Recycling*, 2019, 147: 214-226.
- [4] Asadian E, Azari K T, Ardebili A V. Exergetic, energetic and environmental dimensions[M]. The Netherlands: Academic Press, 2018: 87-102.
- [5] Hara E H. Fiber optic network design for integrated services in intelligent buildings[J]. *IEEE Communications Magazine*, 1986, 24(12): 29-35.
- [6] Flax B M. Intelligent building[J]. *IEEE Communications Magazine*, 1991, 29(4): 24-27.
- [7] 阿里巴巴集团置业部与阿里研究院. 智慧建筑白皮书[R]. 杭州: 阿里巴巴集团, 2017.
- [8] 澳门特别行政区政府经济局. 《澳门产业中长期发展规划》研究报告[EB/OL]. (2019-07-23) [2019-10-11]. https://www.economia.gov.mo/public/data/ei/ers_re/attach/25f896c7cbc247047552c60ab3b51bb0585f4791/sc/News_

- 20190723_sc.pdf.
- [9] 澳门特别行政区政府经济局. 2018年澳门经济概况[EB/OL]. (2019-01-01) [2019-10-11]. https://www.economia.gov.mo/zh_CN/web/public/pg_ei_aame?_refresh=true.
- [10] 曾荣青. 澳门气候及主要气象灾害[J]. 华南师范大学学报(自然科学版), 2001(2): 100-104.
- [11] Minoli D, Sohraby K, Occhiogrosso B. IoT considerations requirements and architectures for smart buildings—energy optimization and next-generation building management systems[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2017, 4(1): 269-283.
- [12] The Switch Platform. Cybersecurity in smart buildings: Inaction is not an option anymore[EB/OL]. (2015-09-01) [2019-10-11]. https://www.switchautomation.com/wp-content/uploads/2015/12/Cybersecurity-in-Smart-Buildings_-Discussion-Paper.pdf.
- [13] Wired. Researchers hack building control system at Google Australia office[EB/OL]. (2015-05-06) [2019-10-11]. <https://www.wired.com/2013/05/googles-control-system-hacked/>.
- [14] Los Angeles Times. Hollywood hospital pays \$17,000 in bitcoin to hackers; FBI investigating[EB/OL]. (2016-02-18) [2019-10-11]. <https://www.latimes.com/business/technology/la-me-ln-hollywood-hospital-bitcoin-20160217-story.html>.
- [15] Live from a Lounge. Austrian hotel suffers cyber attack, hackers are paid ransom in Bitcoins[EB/OL]. (2017-01-31) [2019-10-11]. <https://livefromalounge.boardingarea.com/2017/01/31/austrian-hotel-cyber-attack-hackers-ransom-bitcoins/>.
- [16] Webber Insurance Services. The complete list of data breaches in Australia for 2018 and 2019[EB/OL]. (2019-06-1) [2019-10-11]. <https://www.webberinsurance.com.au/data-breaches-list>.
- [17] The Security Ledger. IBM research calls out smart building risks[EB/OL]. (2016-06-05) [2019-10-11]. <https://securityledger.com/2016/02/ibm-research-calls-out-smart-building-risks/>.
- [18] Technoeconomyblog. 5G economics—the numbers (appendix x)[EB/OL]. (2017-07-7) [2019-10-11]. <https://technoeconomyblog.com/tag/5g/>.
- [19] Wei T S, Wang Y Z, Zhu Q. Deep reinforcement learning for building HVAC control[C]//Proceedings of the 54th Annual Design Automation Conference. Austin, TX, USA: ACM, 2017: 1-6.
- [20] Zhang Z, Lam K P. Practical implementation and evaluation of deep reinforcement learning control for a radiant heating system[C]//Proceedings of the 5th ACM International Conference on Systems for Built Environments. Shenzhen: ACM, 2018: 148-157.
- [21] Iqbal S, Sha F. Actor-attention-critic for multi-agent reinforcement learning[C]//Proceedings of the 36th International Conference on Machine Learning. Long Beach, CA, USA: Proceedings of Machine Learning Research, 2019: 2961-2970.
- [22] Guerrero J, Chapman A C, Verbić G. Decentralized P2P energy trading under network constraints in a low-voltage network[J]. IEEE Transactions on Smart Grid, 2019, 10(5): 5163-5173.
- [23] Shehzad M F, Abdelghany M B, Liuzza D, et al. Modeling of a hydrogen storage wind plant for model predictive control management strategies[C]//Proceedings of the 18th European Control Conference. Napoli, Italy: IEEE, 2019: 1896-1901.

On smart buildings from the characteristics of Macao

YU Liang¹, JIANG Tao^{2*}

1. College of Internet of Things, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China

2. Wuhan National Laboratory for Optoelectronics, School of Electronic Information and Communications, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China

Abstract Developing smart buildings is of great importance to the sustainable and healthy development of cities. In this paper, we firstly provide some definitions and features of smart buildings. Then, we describe the building characteristics of Macao. Finally, we provide some suggestions for smart building development in Macao, e.g., strengthening cyber security protection for building management systems, speeding up the deployment of 5G networks, and developing energy conservation and environmental protection technologies for buildings.

Keywords smart cities; smart buildings; Macao ●



(责任编辑 傅雪)