

智能健康建筑 白皮书



WHITE PAPER ON
INTELLIGENT HEALTHY
BUILDING



联合发布

北京智能建筑科技有限公司

北京同衡能源环境科学研究院有限公司

版权声明

本白皮书版权属于
北京智能建筑科技有限公司和
北京同衡能源环境科学研究院有限公司。

使用说明：

未经北京智能建筑科技有限公司或
北京同衡能源环境科学研究院有限公司
事先的书面授权,不得以任何方式复制、抄袭、
影印、翻译本文档的任何部分。
凡转载或引用本文的观点、数据,
请注明“来源:《智能健康建筑白皮书》”。

目录 INDEX

前言/序	03
1.建筑健康化的发展趋向	04
1.1健康中国2030	05
1.2健康城市	06
1.3健康建筑	07
1.4科技加速健康建筑	08
2.健康环境营造的关键问题	09
2.1建筑环境对健康的影响	10
①建筑空气环境与健康	11
②建筑光环境与健康	16
③建筑热环境与健康	18
2.2健康环境营造的关键技术	19
①建筑环境感知监测	20
②建筑环境有效治理	21
③建筑环境智慧管理	22
3.智能健康环境系统的实现途径	23
3.1什么是智能健康环境系统？	24
3.2环境数字化监测	26

3.3环境AI评价模型	28
3.4环境治理的三大维度	29
①健康的空气保障	29
②动态的光环境控制	30
③舒适的热环境调节	31
3.5开放的环境生态系统	32
4.智能健康建筑应用实践	33
4.1健康办公应用案例	34
4.2健康校园应用案例	37
4.3医院应用案例	39
4.4酒店应用案例	40
4.5场馆应用案例	41
4.6园区应用案例	42
5.未来展望	43

前言/序 PREFACE

建筑,作为人类活动的主要承载者,陪伴着我们度过了一生中90%的时间。建筑环境质量对人们的健康、舒适、工作效率有着直接且重要的影响。建筑的健康化问题很早就引起了全球范围的关注。1987年3月,世界卫生组织(World Health Organization)在巴塞罗那召开的会议中,首次提出了健康社区评价体系,旨在将健康相关问题纳入城市建筑的发展规划和日常管理工作中,改善人居环境。2020年,新冠疫情全球大流行,让人们对建筑、空间、居住的健康与安全有了更深刻的认识。今日,在建筑的基础功能之上,我们进一步提出“健康建筑”的概念:建筑应当保证,并进一步促进室内人员的身心健康,不仅避免出现病态建筑综合症(SBS),更需要营造健康舒适的室内环境,满足人员的生理与精神的健康需求。建筑已经不仅仅是一堆钢筋混凝土,而是为我们营造健康、安全、舒适空间的载体。

健康建筑营造经过漫长的探索,近年来,随着建筑物联网、人工智能与数字孪生技术的成熟和逐步应用,为健康建筑从概念走向实践提供了科技基础。通过健康环境物联网技术,实现“环境感知——环境分析——环境治理”的闭环控制,支撑人与环境、设备与环境、人与设备的空间构建,打造高效、健康、安全的环境服务。本白皮书通过分享我们在健康环境与智能建筑领域的思考与实践,希望邀请更多的单位和个人参与合作,共同打造智能、舒适、健康的环境空间。

1

建筑健康化的 发展趋向

1.1

健康中国 2030

2019年7月,《国务院关于实施健康中国行动的意见》中明确指出,新中国成立后,特别是改革开放以来,随着中国卫生健康事业的进步,居民的主要健康指标已经总体优于中高收入国家平均水平,然而近年来,心脑血管疾病、癌症、慢性呼吸系统疾病、糖尿病等慢性非传染性疾病导致的死亡人数已经占到每年总死亡人数的88%,给社会带来的疾病负担超过了其他所有疾病带来的社会负担。另一方面,由不良的建筑环境引起的健康问题日益突出,由于建筑环境相关的健康知识在大众中的普及率仍然极低,对于室内空间普遍存在的空气污染、热环境、光环境不合格的问题,大部分人群缺少科学知识指导、缺乏合理应对措施,由此所导致的疾病比例也在不断上升。

随着我国经济水平不断提升,对建筑品质与居住环境提出了更高的要求。2016年10月,中共中央、国务院印发的《“健康中国2030”规划纲要》确立了提高人民健康水平、增强健康服务能力、构建健康的制度体系等相关任务目标,其中建筑业和健康服务深度的融合更是落实以人民为中心的执政理念的必然要求。2017年1月,《健康建筑评价标准》T/ASC02-2016中对健康建筑给出了明确的定义:健康建筑指的是在建筑本身功能的基础上,为建筑使用者提供更加健康的环境、设施和服务,促进建筑使用者身心健康、实现健康性能提升的建筑。2019年7月9日,国务院成立健康中国行动推进委员会,负责统筹推进《健康中国行动(2019~2030年)》组织实施、监测和考核相关工作。2019年7月15日,《国务院关于实施健康中国行动的意见》正式印发,全面指导推进健康环境的建设工作。

1.2 健康城市

城市是人类文明的坐标,也是人民健康和美好生活的重要载体。然而,伴随城镇化步伐加快,中国城市在面临一系列经济、社会、环境的“城市病”难题同时,还面临人口老龄化、亚健康状态及慢性病、精神性疾病的大幅攀升问题。近年来各项突发公共卫生事件更是对城市建设和治理提出了新挑战。

从1984年世界卫生组织首次提出“健康城市”概念,到2015年联合国可持续发展目标提出“建设包容、安全、有抵御灾害能力和可持续的城市和人类住区”;从1989年中国启动“卫生城市”创建,到1994年开始“健康城市”项目试点,再到2016年《“健康中国2030”规划纲要》明确“要建成一批健康城市、健康村镇建设的示范市和示范村镇”,“健康城市”作为一个系统概念,其内涵和外延正在不断革新和拓展。

“十四五”时期,习近平总书记多次强调,“要推动将健康融入所有政策,把全生命周期健康管理的理念贯穿城市规划、建设、管理全过程各环节”。2020年12月28日,由清华大学中国新型城镇化研究院、万科公共卫生与健康学院联合研究编写的《清华城市健康指数》正式对外发布。这项研究依托“大健康+大数据”,构建起了一套科学、客观的城市健康度量标尺,并首次实现我国80个主要城市综合健康水平的全景评估考核,为当前和新时代城镇化高质量发展起到引领和借鉴作用,助力“健康中国”战略深化推进。《清华城市健康指数》的发布,是进入新发展阶段全面推进健康中国建设的一个重要时刻【1】。

我国大规模房屋建设和基础设施建设拉动的经济发展模式已告一段落。未来十五年,将以节能和健康并举推动建筑全面发展。清华大学的林波荣教授提出:“应以问题和需求为导向,以人民健康、城市/社区/建筑功能品质提升和能源环境效益综合提升为目标,抓住新能源、新材料、信息化科技带来的建筑行业新一轮技术变革机遇,通过基础前沿、共性关键技术、集成示范和产业化全链条设计,加快研发健康中国的新技术和新产品,推进健康建筑、健康社区、健康小镇和健康城市建设,为我国健康中国行动提供科技支撑”。因此,将生态文明融入

未来发展建设中,是我国社会、经济和科技发展的基本理念,也是提升国民生活品质的重要基础。

1.3 健康建筑

随着我国经济发展水平和人民生活水平的不断提高,大众对室内环境的关注从形式上的美观与实用,逐步延伸到对建筑健康性能的高品质追求。建筑设计与建设相关的一系列标准也逐步升级,形成差异化的指南,用于引导健康建筑的建设,推动建筑品质的升级。

在发现了用户对建筑的健康的要求后,国际健康建筑学会(International WELL Building Institute, 简称“IWBI”)于2014年制定了世界上首部以人员健康舒适度为评价核心的建筑评价标准。相比于LEED认证体系更加注重高品质绿色环保建筑的特点, WELL建筑标准是一部综合考虑了建筑与其使用者健康之间关系的标准,包括了空气、水、营养、光、健身、舒适、精神7大类评价指标和102项细则,把建筑和人的健康整合并结合在一套标准体系中【2】。WELL也成为继LEED、绿色三星和BREEAM等当前主流绿色建筑评级系统之后的新一代绿色建筑认证体系。

顺应用户对建筑健康品质的追求,2017年1月,由中国建筑科学研究院、中国城市科学研究会等机构共同发布《健康建筑评价标准》T/ASC02-2016【3】,在WELL建筑标准的基础上,开发得到了更适用中国国情的健康建筑标准,将绿色与健康、建筑和人更融洽地纳入到同一个体系内。健康建筑在国内也首度有了明确的定义:在满足建筑功能的基础上,为建筑使用者提供更加健康的环境、设施和服务、促进建筑使用者身心健康、实现健康性能提升的建筑。2017年3月,中国第一批健康建筑获得认证,标志着中国绿色建筑正式进入“绿色到健康”的新纪元。

2019年8月,《绿色建筑评价标准》(以下简称“《新绿标》”)GB/T 50378-2019正式实施【4】,《新绿标》的修订将原来的“节地、节能、节水、节材、室内环境、施工管理、运营管理”七大指标体系,更新为“安全耐久、健康舒适、生活便利、资源节约、环境宜居”五大指标体系,旨在落实十九大提出的社会主要矛盾的变化,强调了建筑品质的重要性,提高百姓的获得感、幸福感。

建筑发展趋势注定是“从绿色走向健康”,然而健康环境的营造是一个动态过程,而不是一个认证结果,所以仅仅依靠前期的设计标准,或产品与设备堆砌,是无法确保健康环境的最终落地,因此,需要在建筑运行阶段,对建筑环境的特征要素(空气、水、光线、健康、舒适等)进行测量、评价与控制,从多维度的控制真正实现健康环境的效果,全面保障人员的身心健康。

1.4

科技加速健康建筑

物联网、人工智能与数字孪生技术的成熟和逐步应用,为健康建筑从概念走向实践提供了科技基础。

依托于建筑物联网,建筑设备、人员与空间之间能够建立新的连接。一方面,物联监测技术实现对环境品质的可视化,打破以往环境测量存在的不易感知、不可量化、或探测效率低等问题;另一方面,大数据与物联控制技术的高速发展,能够将建筑环境专家们长期以来对城市和建筑的深刻理解力、丰富的运维管理,融入到建筑物联网底层系统中,通过轻量化的感知与控制模组,广泛地应用于各类环境空间,大幅提高环境管理的效率与可靠性,从而真正实现高效、安全、健康的环境空间营造。

当室内环境关键指标可知、可感、可控后,依托于健康环境物联网系统,将形成一系列丰富的场景探索,提出更具创新性的应用解决方案。

2 健康环境营造 的关键问题

2.1

建筑环境对健康的影响

人们约90%的时间在建筑环境中度过，建筑环境对于人们的舒适和健康至关重要。不良的室内环境会导致病态建筑综合症(Sick Building Syndrome)，产生头痛、恶心、疲乏、失眠、记忆力衰退、呼吸紊乱等症状，严重者还可能引发过敏性肺炎、过敏性鼻炎、哮喘、军团病等疾病。

大量研究证明，引起病态建筑综合症的并非某一种室内污染物的单独作用，也并非完全由室内空气中的污染物所致，而是多种因素的综合作用。建筑环境包括空气环境、光环境、热环境等，这些因素会对室内人员生理和心理上产生综合影响。

①建筑空气环境与健康

近年来,我国多个城市发生过不同程度的大气污染,例如:重度雾霾、室外臭氧超标等问题。人们对空气品质的关注度和需求也日益增强。尽管目前政府和研究机构已经对室外大气污染建立了动态监控系统,但人们对于通过建筑通风和围护结构渗透进入室内的污染却几乎一无所知。实际上,由于室内环境受到室外环境和室内人员活动的双重影响,并且由于室内环境的封闭性导致小型的污染源对室内空气质量的影响非常显著,室内的空气环境往往比我们所想的更加糟糕,例如:PM2.5等颗粒物超标、甲醛等挥发性有机物(VOCs)超标、不新鲜的空气以及过高的二氧化碳浓度、甚至是在新冠疫情期间因室内病菌造成的交叉感染问题所引起的恐慌。

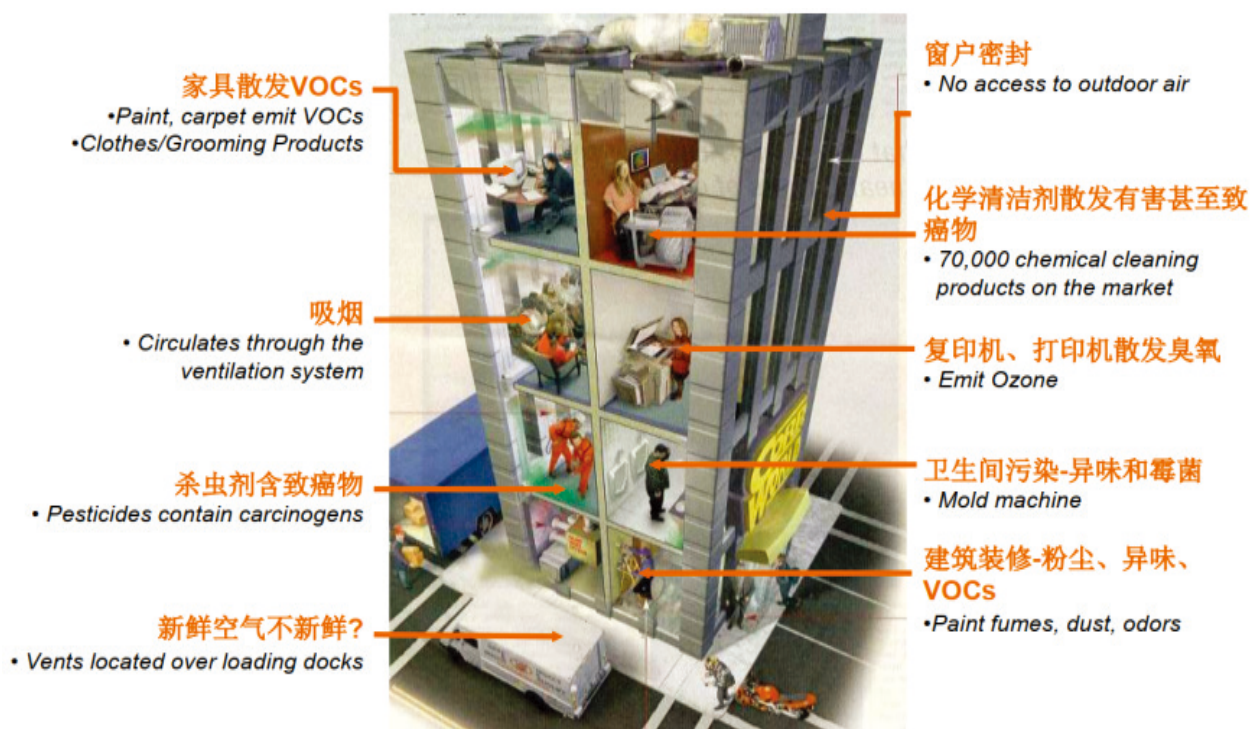


图1:室内空气环境污染来源【5】

● PM2.5等颗粒污染物超标

PM2.5的来源主要有室外的污浊空气渗入和室内人员活动。在雾霾天,即使建筑门窗紧闭,细小的PM2.5粉尘颗粒仍然能够通过门窗缝隙等处从室外渗入室内,尤其对于密封性不好的房间,室内的颗粒物浓度与室外的雾霾环境相差无几。此外,室内因抽烟、做饭等问题同样会产生大量的PM2.5污染物。近年来大量的实验早已证明,高浓度的PM2.5对人体呼吸系统有很大损害,易引发哮喘、支气管炎等方面的疾病。

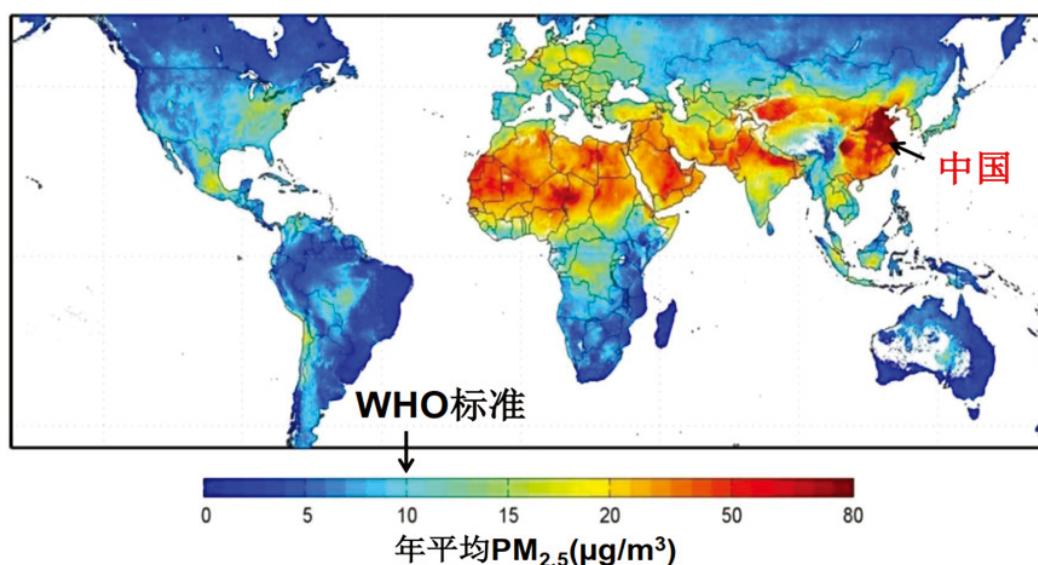


图2 (图片来源: <http://www.nasa.gov/>)

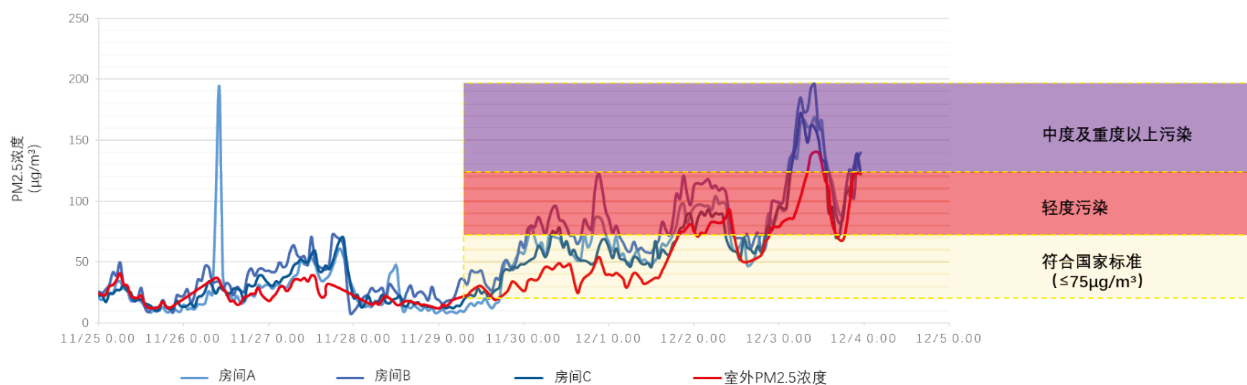


图3:室内PM2.5浓度变化曲线【数据来源:EIC环境平台】

● 偏高的二氧化碳(CO₂)浓度

在雾霾天、冬季和夏季,房间门窗通常会关闭,此时对于缺少机械通风系统的建筑,室内人员的活动很容易导致室内CO₂浓度过高。另一方面,一些建筑为了实现节能、降低运行费,刻意大幅度降低室内新风供应量,导致室内污染物长时间、大空间地在室内环境中积累,造成CO₂气体等人体散发污染物浓度严重超标,与舒适健康的要求背道而驰。

超过限值的CO₂浓度会使人们产生胸闷头晕、注意力分散、嗜睡、记忆力减退等症状,活动效率迅速下降。与此同时,CO₂本身也是室内空气新鲜程度的一个重要指标,在CO₂浓度过高的环境中,甲烷、硫化氢等其他人体散发污染物也往往累积到了人体可感知到的水平,对室内人员的健康产生直接影响。

下图是某中学的实际测量数据,在校期间,教室有50%的时间段存在CO₂严重超标,最高浓度可达4500ppm,将严重影响学生的健康与效率。

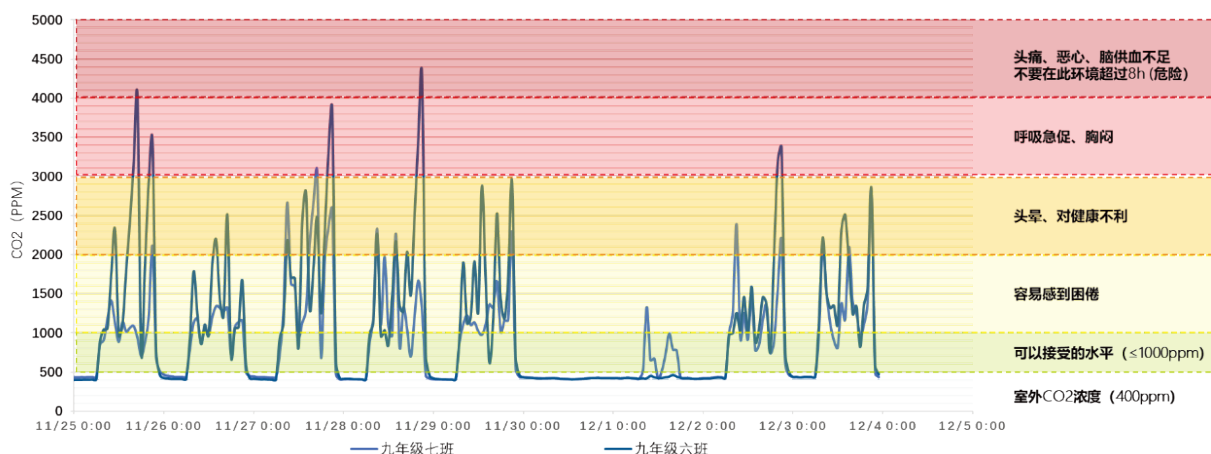


图4:某中学教室内二氧化碳浓度变化曲线【数据来源:EIC环境平台】

● 甲醛及挥发性 有机化合物(VOCs)污染

室内装饰材料等会直接导致室内环境长时间处在有机物的污染下。一些新型合成材料由于价格低廉、性能优越而被作为建筑构件、保温材料和建筑装修材料广泛应用,但其中一些会散发对人体有害的气体,包括甲醛、苯、其他VOCs等。大多数VOCs具有令人不适的特殊气味,并对人的神经系统、免疫系统、肝脏产生危害,易诱发血液性疾病,同时增加哮喘病的发病率。



图5:建材、家具【图片来源网络】

尽管市场上已有多种对建筑装饰材料的甲醛挥发量的测量与认证,但研究表明,即使我们采用的都是最低挥发浓度的E0级别的建材,但由于使用数量的不确定,最终仍然可能导致累计的甲醛等污染物超标。在已有的实验中,尽管被测房间已经经过了一年多的正常使用,但仅仅四个小时没有通风后,房间中的VOCs浓度就已经逼近人体健康的最高限值!

Table 1. Summary of indoor air measurements on the examined conference room with and without ventilation.

Indoor air parameters	non-occupied 3 test days, 2 hr per day N	non-occupied non-ventilated	non-occupied ventilated	Occupied 3 test days, 4 hr per day N	Occupied non-ventilated	Occupied ventilated
CO ₂ (ppm)	360	476 ± 7	407 ± 2	720	2756 ± 1100	906 ± 249
Temperature (°C)	360	21 ± 1	20 ± 1	720	26 ± 2	25 ± 1
Relative humidity (%)	360	13 ± 1	11 ± 2	720	21 ± 4	12 ± 2
Total VOC (μg/m ³)	3	56 ± 6	50 ± 11	3	180 ± 26	83 ± 21
Fine particles (μg/m ³)	360	1.7 ± 0.7	1.3 ± 0.2	720	112 ± 71	44 ± 44
Ultrafine particles (particles/cm ³)	360	2442 ± 359	4672 ± 1570	720	2213 ± 880	4522 ± 2071

图6:研究文献【6】

● 室内传染性病菌

传染性病菌的传播也是室内环境污染的一个体现。呼吸道疾病的传播依赖于含有病毒颗粒的气溶胶的形成。人在说话、唱歌和正常呼吸时都可能产生气溶胶，特别是咳嗽和打喷嚏可导致此类气溶胶大量喷出。一次咳嗽时可能会产生数百个小液滴，一个突然爆发的喷嚏则可能产生高达2万个小液滴。《国家科学院院刊》上的一项名为“大学校区季节性流感患者呼气中的传染性病毒”的研究提供了新证据，证明了空气传播的潜在重要性，因为研究人员在流感患者的呼气中发现了大量的传染性病毒。马里兰大学公共卫生学院环境健康教授、主要研究者Milton博士解释说：“我们发现，流感患者仅仅通过呼吸，无需咳嗽或打喷嚏，就已经污染他们周围的空气。”

由于室内空间有限，人员密集，在这样一个湿度偏高，PM2.5较高的环境下，人们咳嗽、打喷嚏，甚至说话都会产生大量携带病菌的微小飞沫。如果没有有效的过滤、通风的手段，一些高传染性的细菌、病毒，如新冠病毒等就很容易通过飞沫散布进行传播，给室内人员造成极高的感染风险。



图7:研究文献【7】

②建筑光环境与健康

国际照明委员会《室内工作场所照明》标准中指出,照明质量会导致人视觉在三方面发生变化:短时间的辨认、引起视觉疲劳、心理满意度。光环境不仅对视觉舒适度,也会对非视觉(包括心理和生理)产生直接影响。

现有的研究已经证明,哺乳动物体内维持着一个大约以24小时为周期的生物系统,和外界的昼夜变化一致。2002年,美国Brown大学的Berson等人发现了哺乳动物视网膜的第三类感光细胞,视网膜特化感光神经节细胞(ipRGC),这类感光细胞能参与调节许多人体非视觉生物效应,包括人体生命体征的变化、激素的分泌和兴奋程度。

研究表明,这类感光细胞不仅参与调节人体的生物周期节律,同时影响人体褪黑激素的分泌,褪黑激素水平不仅影响人们的睡眠质量,同时还与抑制癌细胞的生长有关。对于正常人来说,日间光线强,褪黑素分泌受到抑制,皮质醇激素分泌则相反的提升,人就会感到警觉和振奋;夜间光线暗下来,褪黑素分泌达到高峰,人就会平静放松的进入睡眠。由此维持与外界同步的昼夜周期。

由此室内照明质量的评价由原来单一视觉效果评价逐步过度到视觉效果和非视觉效果的双重评价,非视觉效果与人体健康密切相关。埃因霍温科技大学一项持续一年的实验研究表明,个体接受的光量与活力显著相关,暴露在更多光线下的人会体验到更多的活力和更好的睡眠。

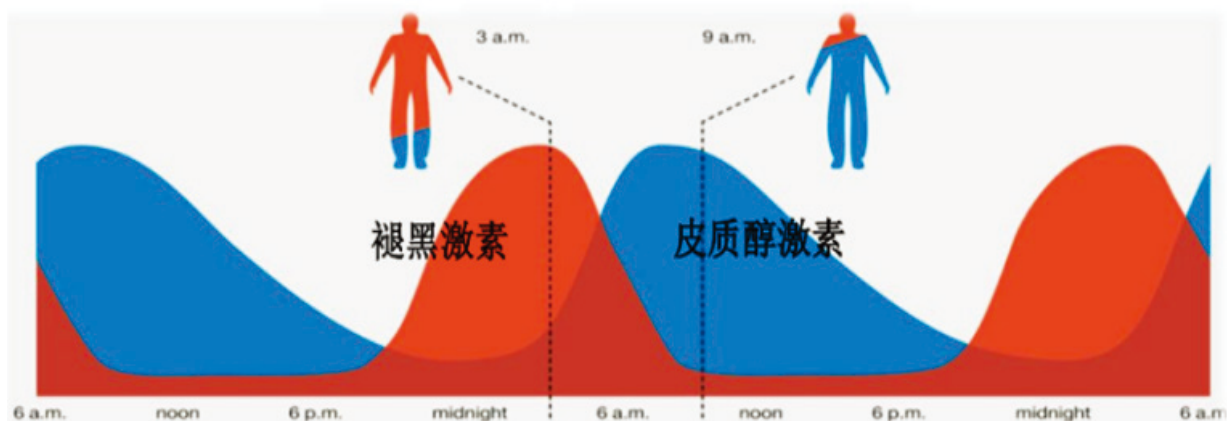


图8: 图片来源licht.de

在现代社会,人们长期在室内停留,室内光环境的营造对于人的健康和舒适尤为重要。受季节、天气和建筑设计的影响,很多时候人眼接受的自然光都不充足。因此,如何在室内营造更加健康的人工光环境不仅对视觉舒适度,也对人体的生理周期健康引导至关重要。

现有研究表明,适当的照度和合理的色温是营造健康光环境的两大要素。在适当的高照度情况下,人的警觉度提升,学习和工作效率都可以得到很大的提高。灯光的唤醒照明已经应用于睡眠障碍、季节性情感障碍的治疗。

色温也对人员的觉醒度和情绪有着直接的影响。和视觉系统不同,视网膜感光神经节细胞(ipRGCs)的光谱敏感度峰值向短波长偏移至480nm左右,也就是说,蓝光波段对生物钟的刺激是最有效的。例如在相同的100lx明视觉照度下,485nm的单色LED(蓝光)对褪黑素分泌的抑制会比592nm的单色LED(橙光)高60%。而在日常使用场景中,灯光色温越高,它所含蓝光波段的比例就越高,能够更高效的作用于人的昼夜节律系统。

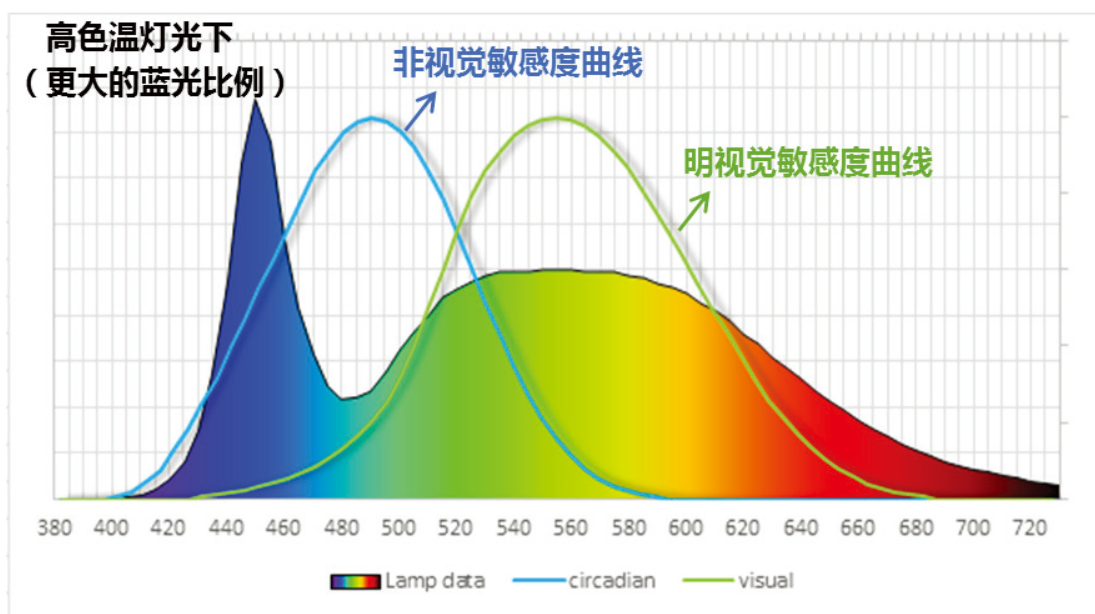


图9: 实测光谱分布

③建筑热环境与健康

与目前流行的恒温恒湿建筑理念相反,真正的健康、舒适的室内环境应该维持一定的冷热变化。

人体的热舒适的存在是以变化为前提的。由于人体自身具有一定自动适应外界环境的能力,必要的热环境刺激有利于保持人体的热调节系统正常运行,扩展可接受的热环境范围。同时,人体的热舒适是存在个体差异性的。大量研究表明,人员在不同的场景、季节、时间下,对于热环境的需求会存在着明显的个体偏好差异性。

影响人体热舒适感觉的因素有空气温度、空气相对湿度、空气流速、平均辐射温度、人的新陈代谢率、衣服热阻和个人心理因素,前4个因素为室内物理因素,后3个因素为个人因素。当某一要素达不到预期的要求时,可以在一定范围内通过调节其它要素来弥补所造成的不利影响,实现个性化热舒适,保证每个人的生理、心理健康。

而不舒适的热环境将直接影响人员的工作效率和身体健康。一项研究中,在非通风房间内工作的受试者在一个小时后就开始感到房间内过热。同时,他们的注意力也开始下降,精神状态变差,出现明显的疲劳感,最直接的后果是每个受试者都开始表现出程度不一的头痛。更严重的情况下,这种疲劳感带来的头痛会一直持续到深夜,甚至是第二天醒来的时候。

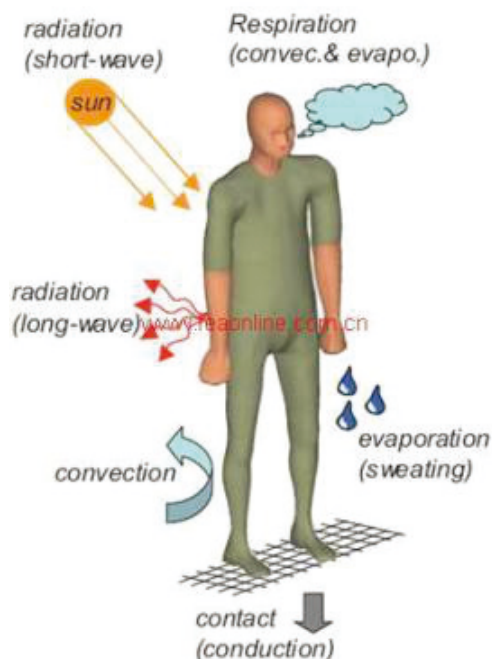


图10:不舒适热环境【8】

2.2

健康环境营造的 关键技术

建筑环境对人们的舒适和健康至关重要,然而,真正实现健康环境需要综合考虑多方面要素且实现过程是非常复杂的。这主要由于以下三方面:

- ①健康环境是多维度的,包括而不局限于空气环境、光环境、热环境等等;
- ②健康效果的保障是一个持续的动态过程;
- ③健康环境的偏好是有个体差异性的;

因此需要建筑通过“环境监测——环境评价——环境控制”形成闭环系统,才能最终保障环境效果的呈现。通过安装传感器建立室内环境参数和控制现状的数字化监控;根据建筑室内环境控制需求部署合适、高效的硬件治理设备;通过云端数据和算法进行实时数据挖掘和分析,建立智慧环境管理平台,为建筑提供安全、科学、高效的环境监管。

① 建筑环境感知监测

人体对外界环境的感知手段其实相当有限：不仅颗粒物往往处于肉眼不可见的尺度，甲醛等挥发性有机物污染也无形无色，能够引起人体嗅觉感知的浓度已经远远超过了保障人体健康的最低浓度限值。甚至有时，我们对冷热的感觉都有可能并不准确，导致最终出现身体不适。这时我们只有借助专业的仪器设备才能够更加清晰、全面地了解我们所处的环境。另一方面，随着我们营造健康舒适的室内环境的手段越来越多，环境感知及评估系统正承担着整个环境治理系统的耳鼻角色，实时的环境监测数据无疑对设备的运行有着重要意义。

实时精准的环境数据依赖于经权威检测机构标定的传感器，确保所有设备准确一致的环境感知数据输出。监测的环境参数需要包括PM2.5浓度、空气温度、空气湿度、二氧化碳(CO₂)浓度、TVOC浓度、甲醛浓度等。部署智能环境监测单元，提供7*24小时的室内环境数字化监控，并且实时上传至基于物联网的环境监测管理平台。



以环境监测系统为载体，通过对室内外环境历史数据、客户使用反馈信息、人员健康情况等数据进行对比分析，可以构建建筑室内环境质量管理评估系统，对室内环境各个时刻下的健康状况有一个清楚全面的判断；同时，可对室内环境参数提供可视化展示平台，对室内空气质量进行实时评级，对室内二氧化碳浓度、PM2.5浓度与环境健康风险指标进行精准识别，通过风险识别、风险预警、风险处置实现环境闭环管理。

图11：图片来源于网络

②建筑环境有效治理

建筑环境品质的改善离不开相应的硬件治理设备的加持：专业级净化机组能有效祛除PM2.5、甲醛等污染物以及祛除异味，保障室内空气的洁净度；在空调末端增设消毒除菌装置，对于新冠疫情的防控和室内空气安全有着至关重要的意义；增加新风机组联动控制模块，合理化开启新风机组，在保障空气新鲜度的同时提高运维人员管理效率减少不必要能耗；采用高品质LED照明灯具，提高使用者用眼舒适度，避免降低用眼疲劳保护视力。



图12：同衡环科高效空气净化机组

基于已有的环境数据监测及环境评估系统，我们可以进一步联动环境控制设备，建立基于空气、照明、热舒适等耦合环境算法，智能化调节控制智能化调节暖通和环境设备（空调、新风、净化等）的运行状态，实现环境自适应自学习调节控制。此外，环境治理系统可根据用户及环境实际情况进行场景设定，方便用户一键开启预设场景，轻松便捷地实现智能化运行联动设备。

③建筑环境智慧管理

智慧建筑环境管理通过对建筑空气环境、光环境、热环境历史数据和用户习惯的学习与训练,动态优化调节控制算法,使其逐步迭代以符合不同环境场合和人员使用习惯,其中包括:动态环境场调节,增强环境体验,改善场景内人员健康及工作学习效率;环境场自适应算法,通过对环境使用场景、环境历史数据、用户主观满意度、以及热湿环境与光环境耦合算法进行综合分析,提供建筑环境调节策略,简化运维,提升服务效率;无线控制集群,易于部署,免除有线控制实施成本和复杂性,简化使用者和管理者操作复杂性。

3 智能健康环境系统的实现途径

3.1

什么是智能健康环境系统？

智能健康环境系统，其核心是数字化人居环境控制。通过全闭环“环境物联感知——环境AI评估——环境治理”系统打造环境监控管理平台，根据环境大数据感知，构建室内环境健康风险AI可视化及预警模型；通过环境智联网络将控制算法和物联网环境设备深度结合，从室内末端的控制节点出发，联动空调、净化消杀、照明、新风等末端环境设备设施依据环境状态自动运行，打造自适应、自反馈、自学习的数字化人居环境控制系统，营造健康、安全、舒适的室内环境空间，最终实现室内健康微环境的保障效果。

智能健康环境系统是新时代下的“隐式智能”最好的诠释。随着环境监测感知系统、环境治理系统的发展，传统依赖人力的主动调控已经不再是必需条件，智能化的调控体系将从“客观环境参数”与“主观人员行为”中智能化地调节室内环境的各项参数中，实现无感化的健康环境运维。



图13:同衡环科环境物联网系统

目前环境物联系统主要聚焦空气环境、光环境、热舒适三个治理维度,为楼宇提供安全、科学、高效的环境监管,通过智能算法进行楼宇环境评价,借助可视化的界面让用户对环境有直观了解,同时结合用户的实际调控手段为用户推送个性化的控制策略和改善建议,从而提高室内环境品质。

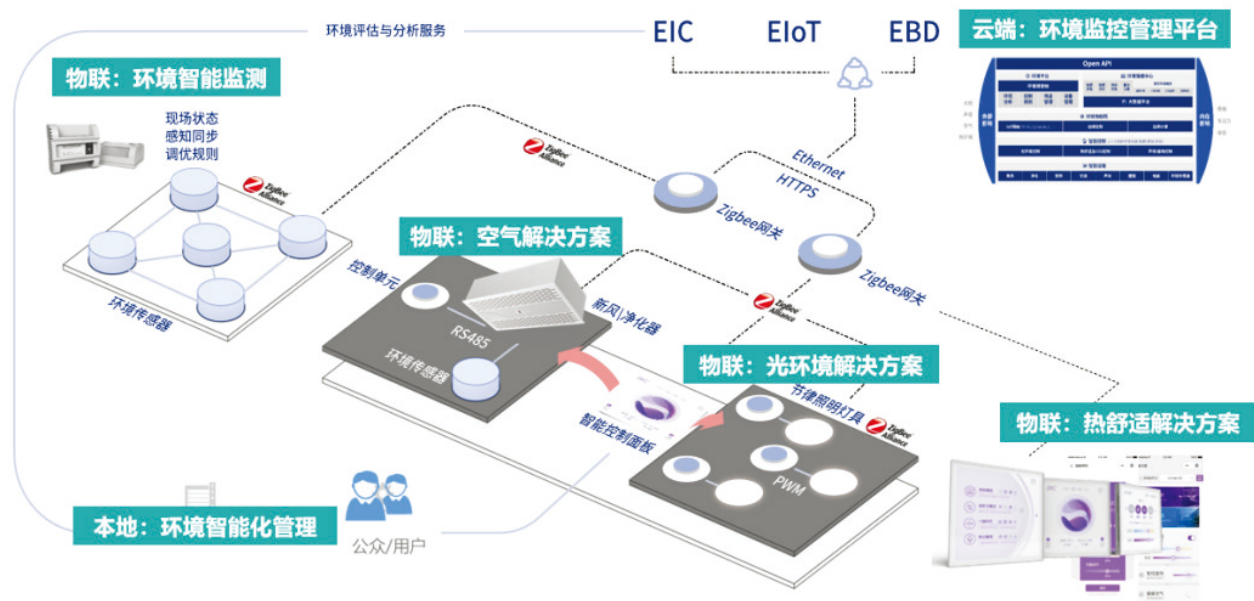


图14:环境物联网系统架构

系统中的智能环境设备包括环境监测、净化、消杀、新风、照明等,以及智能控制面板等均通过Zigbee/Lora/485等环境物联网络进行状态及控制数据的承载,环境物联网络可以通过网状组网及星状组网的方式进行互联,实现复杂室内无线环境下的数据传输。同时,环境物联网网关作为物联网络与互联网络的中继节点,即可对环境数据进行传输,对设备进行综合管理,又可实现环境智能策略的下发与微环境的自组织控制。

智能健康环境系统能够将楼宇自控系统运行的大型机电设施、暖通设施、弱电智能设施与物联网系统相结合,输出关于室内环境和能源系统的控制算法,对室内末端的设备设施进行精准智能化调控,围绕:**健康空气环境、健康光环境、健康热舒适环境**三大治理维度,实现真正的“物联网+健康环境”的应用落地,确保楼宇建设完成后始终运行在要求的建筑标准之内。

3.2 环境数字化监测

环境数字化监测是实现环境智能健康管理的基础。通过在建筑的各类空间部署环境监测系统,实现环境空间7*24小时的监控保障,包括空气中二氧化碳浓度、颗粒物浓度、温湿度、光环境、声环境等,并结合建筑的使用特点与空间流线,构建室内环境健康风险可视化模型。

● 可视化环境监测地图



图15:EIC环境平台界面示例

● 高精度、高可用性的环境传感器

高精度环境传感器保证精准的环境感知，监测的数值包含PM2.5浓度、温度、湿度、二氧化碳(CO₂)、TVOC、甲醛等多项环境参数指标，可将监测数据实时接入智能健康环境管理平台，从而实现环境的“监测、评价、控制”全过程达标，更适用于建筑室内的环境的长期监测，以及商业化及整体化的管理。



图16:环境传感器产品资质认证

3.3

环境AI评价模型

面向建筑室内空间复杂、人群密度集中、环境安全风险度较高等问题,传统依靠单一评价指标已不能满足健康环境控制的复杂性、综合性。因此,需要通过综合空间类型、环境参数、人员行为等数据,构建环境承载力模型,对环境进行健康性能评价与风险评估,以及健康度、舒适度的控制干预进行全面分析。

● 环境的健康风险预警与防疫管理

新冠疫情的爆发引发大众对建筑室内环境健康的高度关注,不同类型的空间和环境质量对于病毒传播风险、人体健康影响不同。

智能健康环境系统在建筑的复杂空间中,通过人工智能方法快速学习环境参数,同时结合建筑与人员特性生成帮助决策的数学模型,打造复杂场景下的环境承载力模型,实现室内环境健康风险可视化及预警,并根据突发重大公共卫生事件下的防疫环境控制需求,对室内空调、净化、新风及排风等设备提供运行策略,降低环境内发生交叉感染的潜在几率。

● 环境控制干预智能分析

以往环境控制大多停留在单一的调控维度,只针对室内的温度进行控制和调节,而对于室内空气环境的洁净度、室内环境的热舒适度以及室内光环境的健康度调节、以及室内环境的“热环境、光环境的耦合调节”等都有较大缺失。

智能健康环境系统通过室内环境自适应控制方法和策略,基于人的心理物理量、生理感知客观数据调节的智能健康环境控制系统,能够达到健康、舒适室内环境综合控制。



图17:EIC环境平台AI智能分析板块

3.4 环境治理的三大维度

①健康的空气保障

健康的空气需要保障“洁净度”、“新鲜度”、“安全度”，这需要依托于充足的室内新风、高效的空气净化、以及安全的消杀系统。

尽管市场上新风、净化、消杀类的设备种类繁多，其中设备的可靠性、耐用性是影响室内环境质量的重要因素。以某18所学校为例，虽然均安装了新风机组，但实测下来，仍有45%的教室二氧化碳控制不达标，雾霾天70%的教室仍处于PM2.5超标的状态。

因此，对于新风、净化、消杀的设备质量和设备控制与合理使用就显得尤为重要。

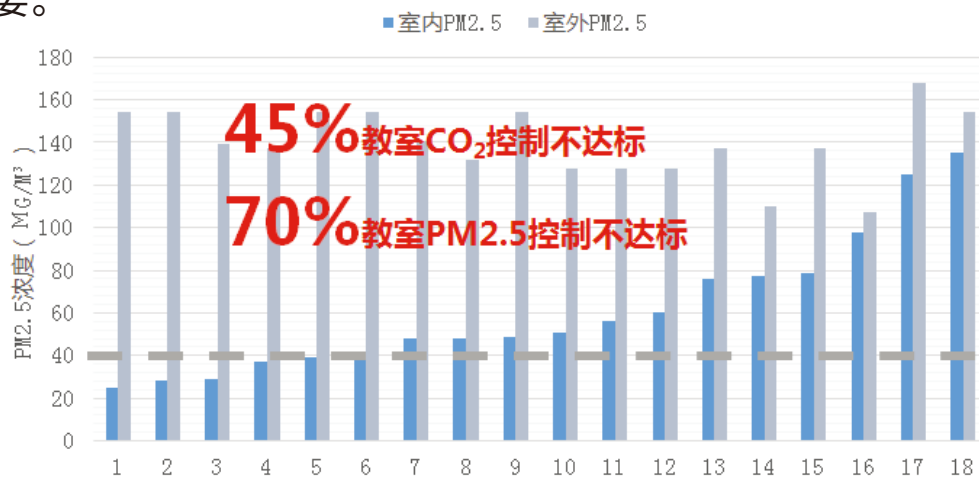


图18:EIC校园环境监测平台实测数据

通过新风/净化/消杀控制系统升级，增加物联网无线控制模块，可以联动室内的环境监测系统，同时根据环境平台反馈的天气和污染数据，进行控制优化。对室内温度、CO₂、室内外温差及污染指数进行综合监测和分析，实现自动化的闭环控制；同时，在满足室内合理需求的情况下，实现设备运行负载率的最优匹配，达到能源与环境的双高效运行。

②动态的光环境控制

光环境除了对人体的视觉舒适度、疲劳度产生直接影响，还会通过非视觉功能对人员的工作效率、压力情绪等产生重要影响。因此需求通过健康节律照明算法正确设置灯具的照度和色温随人体节律周期变化自动调节，引导调整人进入健康的生理节律周期，以提高工作效率，促进身心健康。

动态的光环境控制通过三大核心算法，包括全球日光追踪算法、天气季节补偿算法和生理节律需求算法，科学定制动态节律变化曲线，打造适用于不同时间位置场景人群的精细化动态灯光控制，缓解视觉疲劳，提高工作学习效率，促进身心健康。同时可协同智能面板设备进行用户行为训练，保障个性化的光环境舒适度体验。



图19:动态节律照明效果

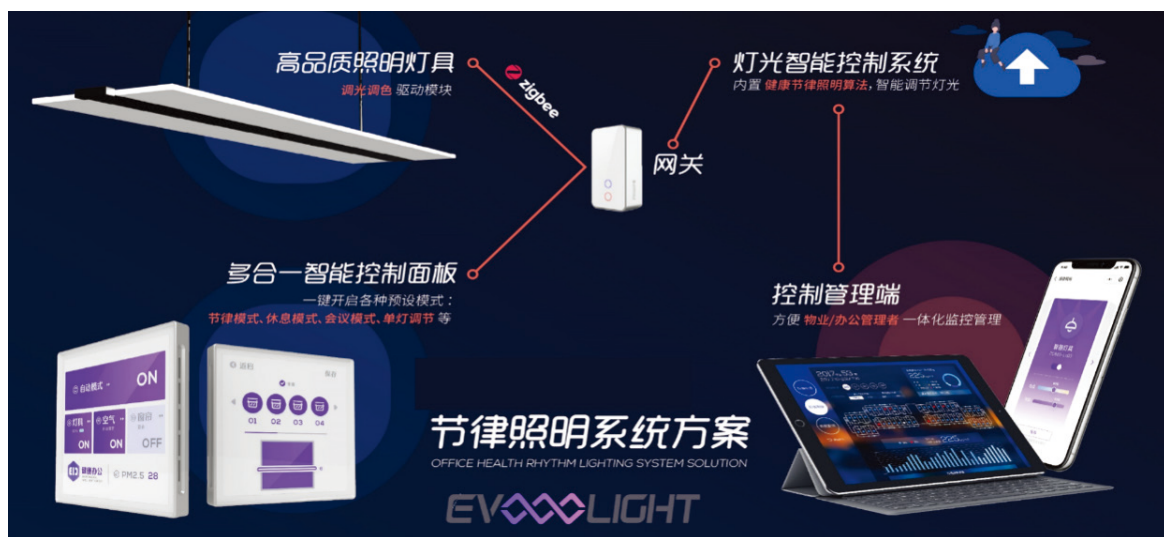


图20:同衡环科动态节律照明系统架构

③舒适的热环境调节

健康、舒适的室内环境应该维持一定的冷热变化，必要的热环境刺激有利于锻炼人体的热调节系统，扩展可接受的热环境范围。

舒适的热环境调节，首先依托于末端设备的智能化升级。通过对现有空调末端加装无线控制模块改造，实现云端与环境监测系统控制联动，简化使用者和管理者操作复杂性。

基于智能健康环境系统，热舒适的环境调控策略通过对环境使用场景（休息区、工作区等）、环境客观数据（包括室内外温湿度数据、天气预报情况等）和用户主观热舒适满意度、以及热湿环境与光环境耦合算法进行综合分析，提供最佳的环境设备控制方式。

不同人群对冷热的感觉具备差异性，因此，人员的主观反馈尤为重要。通过环境智控面板集成了“设备设施控制”、“情景模式调节”、“环境数据对接”等功能于一体，可依据室内环境状况自动控制运行室内联动的空调设备和空气净化设备。可实时对辖区内环境质量进行反馈，提供用户个性化的控制空间，收集用户热舒适满意度，帮助管理者提供整体环境服务的辅助控制。



图21:同衡环科 环境智能控制面板

3.5

开放的环境生态系统

智能健康环境系统,通过建设立体化的传感器网络、智能化后台算法、可视化的展示方式、数字化的综合控制,全方位实现对建筑室内环境的监测、预警、反馈和控制。

智能健康的环境系统具备开放性与连通性,通过软件服务平台与智能控制模组的结合,能广泛应用于各类硬件环境设备,充分发挥物联网开放性的基本特点。最上层由云平台实现整体的管理和控制,提供全方位的信息交换功能,帮助环境设施与外部保持信息交流畅通。其底层连接方式灵活多样,实现建筑物管理中扁平化简易管理。

由于不同室内场景对环境控制的需求因人而异因时期和场景而异,智能健康环境系统具备环境控制的快速建模及部署能力,借助软件定义环境服务,从而运维管理人员可以专注在场景管理的部署上,硬件厂家可以专注在硬件功能的打造上,而开放的系统架构,能够支撑实现人与环境、设备与环境、人与设备的空间构建,打造高效、健康、安全的环境服务。

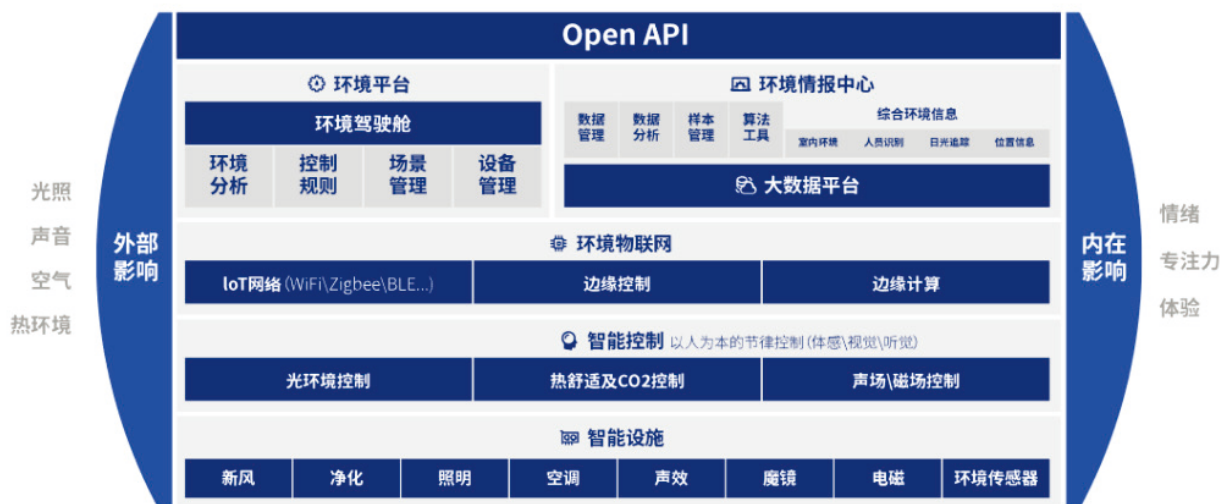


图22：同衡环科 智能健康环境系统的开放架构

4 智能健康建筑 应用实践

4.1

健康办公 应用案例

①大型办公楼环境智能化升级

项目亮点:大型企业多栋办公楼室内环境统一管理,创新性联动控制传统空调、新风控制系统。

项目地点:北京市

项目背景:企业注重人文关怀,希望通过提升建筑内人居环境来为员工创造健康、高品质、人性化的办公空间。

项目概况:在办公区域内布设高精度环境传感器、在空调系统上加装物联控制模块、高效净化设备和窗式新风净化机组,解决楼内的空气洁净度和新鲜度的问题,同时搭建了办公环境监测管理系统平台,方便物业部门对楼内环境进行管理。

平台具备“防疫监测预警和联控功能”,同时物业管理者可在平台上设置“一键托管”,平台将依据办公楼内各区域的环境状况智能化自动控制楼内联动的净化和空调设备,管理者也可依据需求对相应设备进行远程控制,同时在平台上可以全面查看老办公楼和新办公楼的环境状况。升级后的办公楼为员工提供了健康、舒适、高效的办公环境。

实际效果：



图23:环境监测管理系统展示互动界面



图24:办公区安装的吸顶式大风量空气净化设备

② 远洋国际中心

项目亮点:北京首个WELL金级认证项目

项目地点:北京远洋国际中心A座

认证等级:WELL金级

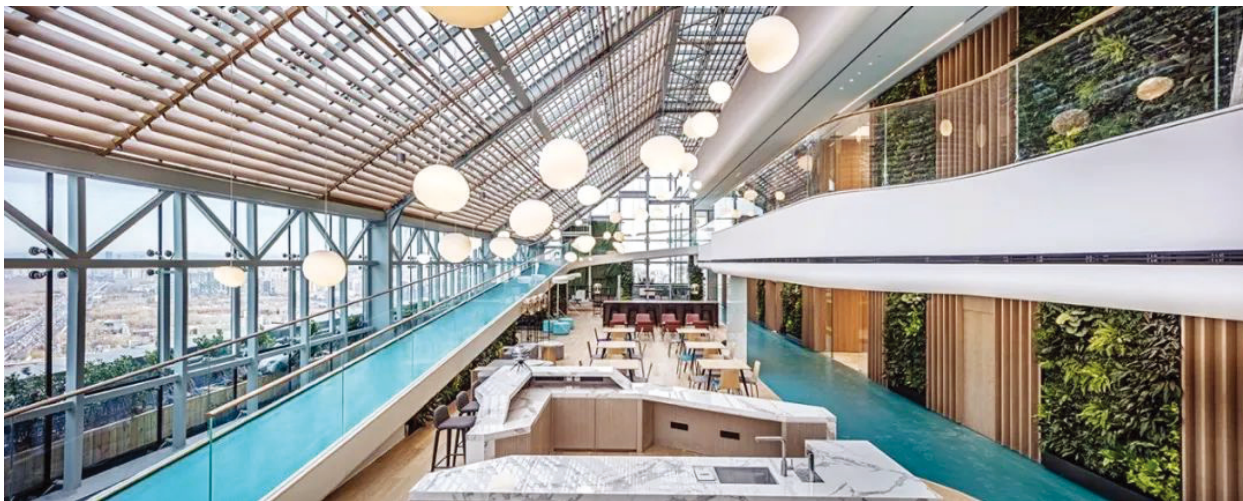


图25:远洋国际中心【9】

项目概况:远洋集团总部办公区位于北京远洋国际中心A座31-33层,于2019年1月年启用,建筑面积约6700平米。2018年初,秉承“共同成长,建筑健康”品牌价值理念,远洋集团总部办公区正式启动焕新升级,依据远洋健康建筑体系及铂金级WELL认证的双重标准,匠心打造新办公空间。技术路径上配置了新风双重过滤系统并外加包括活性炭过滤在内的空气清洁内循环系统;开场办公空间及会议空间采用智能控制模式,满足不同时段日照和使用场景的照明需求等等。

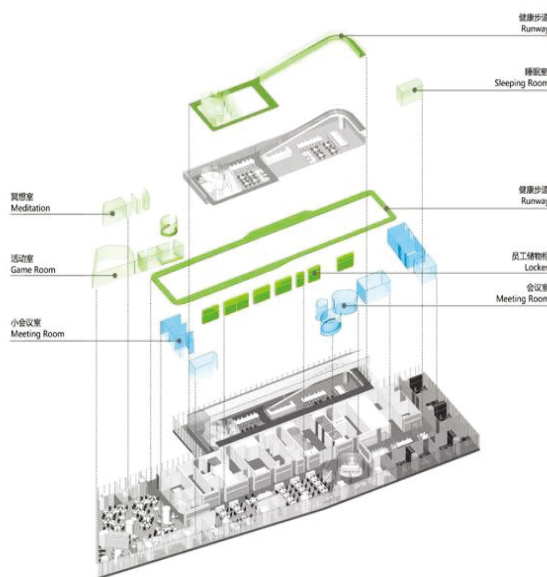


图26:远洋国际中心【9】

4.2

健康校园 应用案例

清华大学 健康校园环境监测管理系统

项目亮点:校园管理人员通过健康校园环境监测管理系统有效管理学生重点区域的室内环境,在提升室内环境的同时保障师生健康和提升管理效率。

项目地点:北京市 清华大学。

项目背景:由于教室内人员密度高,通风方式相对简单,导致容易产生空气污染物浓度积累、超标,造成空气质量差等问题;教室、图书馆和学生宿舍使用的照明灯具是固定照度色温的灯具,长期处于固定照度色温的灯光下容易产生视疲劳。因此,实时掌握教室内空气质量,合理联动新风、智能窗,动态调节光环境,对提升老师和学生的健康、改善工作学习效率至关重要。

项目概况:在基础硬件层布设高精度环境传感器、新风系统智能联控模块、空调系统智能联控模块、动态节律照明灯具和控制模块,并在健康环境物联网系统的基础上基于校园管理需求定向开发清华大学健康校园环境监测管理系统,在提升基础硬件性能的同时使康校园环境监测管理系统具备远程智能化管理的能力,校园管理人员可基于实时环境状况和课程安排有效管理相应设备,在保障健康环境的同时大大提升管理效率,辅助降低过往不必要能耗(暖通设备及照明灯具能耗)。

使用效果：



图27:清华大学第二阶梯教室布设的高精度环境传感器



图28:清华大学第六教学楼动态节律照明灯具

4.3

医院应用案例

武汉某方舱医院 环境监测保障系统

项目亮点:环境监测保障系统首次应用在大型突发公共卫生事件下,辅助降低传染病的交叉感染风险。

项目地点:武汉市

项目背景:新冠疫情期间,在清华大学林波荣教授及团队的带领和指导下,在武汉多个方舱医院紧急研发上线环境监测保障系统,有效监测室内环境参数,辅助预判室内病毒传播风险。

项目概况:由环境监测系统内置的人工智能方法快速学习环境参数与院内感染人数的相关性,生成帮助决策的数学模型,结合计算流体动力学,研究有效防控措施,预警提醒医院管理人员进行开窗通风等措施,同时联动控制医院内的新排风和净化系统,降低医院内交叉感染风险。

使用效果:

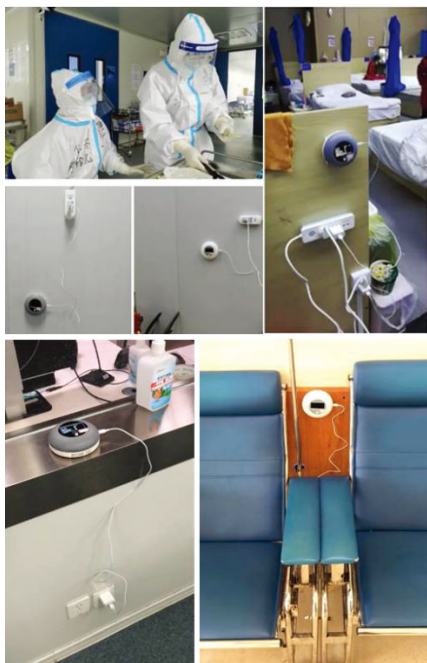


图29:医院布设的高精度环境传感器



图30:医院环境监测系统小程序端

4.4 酒店应用案例

天津某高端五星级酒店 健康客房

项目亮点:健康客房全面上线后,根据酒店集团数据显示:同期相比其他集团旗下酒店,天津酒店入住率提高9个百分点。

项目地点:天津市

项目背景:近年来旅游休闲逐渐成为大众生活方式的“新常态”,“健康旅行、品质生活”也成为时尚消费新理念。酒店希望通过智能化手段打造高品质的客房环境,提升住客舒适度,提高酒店服务满意度,打造全新健康入住体验。

项目概况:酒店健康客房在单间客房内布设高精度环境传感器、高效空气净化设备、AR智能魔镜和动态节律照明系统,同时为酒店管理端搭建酒店环境智能化管理平台,管理人员可在后台针对每个房间进行科学、合理地调控。住客在客房内可通过控制面板或AR智能魔镜随时了解自己房间内人体舒适度、健康度、睡眠指数等信息,AR智能魔镜同时展示酒店健身娱乐信息,住客可在AR智能魔镜上设置助眠/唤醒时间,动态节律照明系统依据设置的时间自动控制灯光和窗帘的变化,为住客营造舒适的助眠/唤醒环境,提升住客的休息质量。

使用效果:

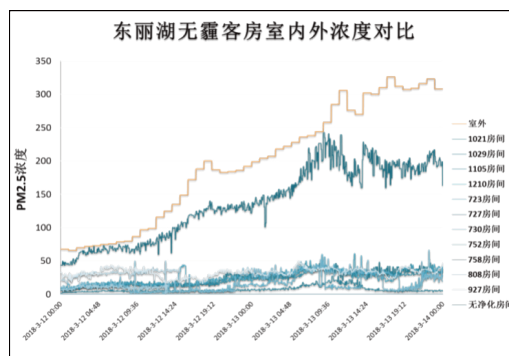


图31:健康客房空气净化效果数据图

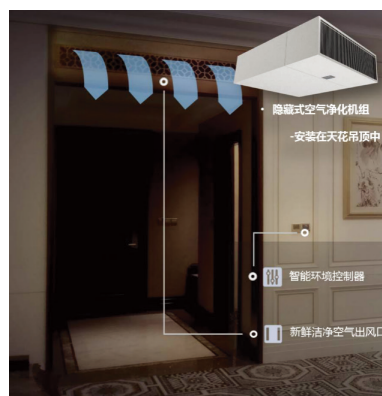


图32:健康客房实景图

4.5 场馆应用案例

大型体育场馆智慧环境管理系统

项目亮点:首套应用于国家级大型场馆的智慧环境管理系统。

项目地点:北京市

项目背景:大型体育场馆存在人员复杂密集度高引起的局部环境品质安全隐患、环境管理效率低下、末端环境设备(空调、新风、净化、灯光)无法智能化集成化应用等问题。

项目概况:从“空气-光-热舒适”三大维度出发,建设“环境物联网感知系统—环境AI评估系统—环境治理系统”形成全闭环系统以最终实现场馆室内健康微环境的保障效果。根据大数据服务平台的环境感知。

构建场馆不同细分区域的环境基线模型,实现潜在环境风险预警;结合环境AI控制算法,通过环境智联网络,实现自适应、自反馈、自学习的环境控制系统;最终营造安全、健康、舒适的环境空间。同时智慧环境管理系统可灵活接入数字孪生系统,辅助管理者一体化全局管理决策。

使用效果:



图33:大型体育场馆智慧环境
管理系统

4.6 园区应用案例

产业园区 环境智能化管理系统

项目亮点:大型产业园区室内环境统一管理,“温度-湿度-洁净度-新鲜度”全方位控制。

项目地点:北京市 大兴

项目背景:产业园区基于自身的战略发展需求,健康环境的建设成为其中的重要一环,对于园区内的健康环境建设提出自成系统、开放兼容以及智能高效的需求。

项目概况:产业园区环境智能化管理系统关注室内空气洁净度和室内人员体感舒适度,布设高精度环境传感器、高效空气净化机组、新风系统智能联控模块、加湿系统智能联控模块和空调系统智能联控模块,使环境智能化管理系统具备对净化、新风、加湿、空调的远程智能联控能力,形成全闭环式环境智能化管理。同时产业园区环境智能化管理系统可接入园区自有的智能化管理平台,使园区智能化架构更加丰满和完善。

使用效果:



图34:环境智能化管理系统展示界面

5 未来展望

随着我国经济发展水平和人民生活水平的不断提高,大众对室内环境的关注从形式上的美观与实用,逐步延伸到对建筑健康性能的高品质追求。“从绿色走向健康”是建筑发展的必然趋势。2020年新冠疫情在全球的大流行,让室内环境的健康与安全提升了一个新的高度。

随着对建筑环境研究的不断深入,越来越多的实验结果已经证明,影响室内环境的因素很多,仅仅依靠人力和主观感知的滞后性调节,无法进一步地提升人员的居住舒适度。因此,随着建筑科技的发展,健康环境系统的智能化发展也走上了新的台阶。在此背景下,以数字化人居环境控制为核心的智能化健康环境系统将是未来健康建筑的必然发展趋势。

因此,我们希望通过此白皮书的发布,去探讨通过物联网、人工智能与数字孪生技术的成熟和落地,如何将智能化和健康相结合,使智能健康建筑的落地不再停留在表面效果的阶段,而是切实有效的落地,在提升建筑管理者管理效率的同时真正为建筑内使用者提供健康高效的室内环境,推动以健康人居为理念的可落地的智能健康建筑发展!

参考资料:

- 【1】新闻链接:首份全国城市健康大数据报告《清华城市健康指数》发布
<https://news.tsinghua.edu.cn/info/1003/84244.htm>
- 【2】《WELL BUILDING STANDARD version 2》International Building Institute (IWBI)
- 【3】《健康建筑评价标准》T/ASC02-2016中国建筑学会
- 【4】《绿色建筑评价标准》GB/T 50378-2019 中华人民共和国住房和城乡建设部
- 【5】Do you work in a Toxic Factory, Business Week, June 5, 2000
- 【6】Jimin Kim, Taehoon Hong, Makarand Hastak, Kwangbok Jeong. (2020) Intelligent planning unit for the artificial intelligent based built environment focusing on human-building interaction. Journal of Asian Architecture and Building Engineering 0:0, pages 1-18.
- 【7】病毒气溶胶飞沫在室内环境中传播扩散机制的研究进展, 军事医学, 1674-9960 (2011) 08-0631-04; Ram Sasisekharan, The soft palate s an important site of adaptation for transmissible influenza viruses. Nature <https://www.nature.com/articles/nature15379>
- 【8】热舒适性计算核心 <http://bellomotor.com/cnrssxgs/825.jhtml>
- 【9】新闻链接:远洋集团健康办公WELL铂金级项目 https://www.jintangjiang.cn/v_detail-7999.html

致谢：

联合发布：

北京智能建筑科技有限公司

北京同衡能源环境科学研究院有限公司

特别顾问：

朱颖心 清华大学建筑学院教授

林波荣 清华大学建筑学院教授

李晓锋 清华大学建筑学院副教授

张 昕 清华大学建筑学院副教授

编写组长：

朱 杰 / 齐美薇

主编人员：

同衡环科：王 毅 / 刘晋翔 / 徐诗诗 / 强文博 / 苏子怡 / 刘震哲 / 刘苏瑾 / 杨 琪 /

曾云一 / 李 俊 / 杨 镇 / 王 鹏 / 王军发 / 姚文龙 / 李 环 / 刘志珂 / 周如军

北京智能建筑：张倍先 / 黄 蔚 / 马岳军 / 李 然 / 李 径 / 马冬梅

