

2025

中国暖通智控行业白皮书

HVAC Intelligent Control Whitepaper



卷首语



潘云钢

中国建筑设计研究院有限公司

资深总工程师

从建筑的暖通空调系统诞生之日起,设备和系统的控制与管理就随之诞生了。我国的暖通空调系统,从人工手动控制与管理起步至今,经历了:手动操作、强电启停连锁、气动控制系统、常规电子仪表控制、基于计算机的数字自动控制系统(DDC)应用等阶段。

建筑暖通空调系统的运行管理,从根本上来说,为实现建筑的使用功能是其第一任务。随着建筑功能需求的多样化,不但对建筑环境的控制要求也越来越复杂,同时随着建筑能源与资源的消耗不断增大,需要暖通空调系统在满足使用功能的基础上,尽最大的能力去节省能源与资源。因此,多样化的需求之间,实际上构成了一个多维矩阵。

工程建设是以价值导向为目标的。工程的价值反映了工程多方面的述求:既有经济层面的,也有社会层面的。不同的目标设定和追求,对于暖通空调系统的控制和管理也会带来不同的要求。因此,单一环节的“最优化”,实际上并不是工程所追求的本质。

传统所称的“自动控制”,往往都是建立在对某些单一设备、单一系统或者局部环节进行控制的基础上,各环节相对单一或独立进行。要整合这些设备系统和环节之间的关联,需要在不断分析敏感度的基础上,找出他们之间的逻辑联系或依靠数据驱动来分析。显然,在多环节、多参数作用下,对多维矩阵的求解,依靠传统的单值控制和单环反馈控制模式已经越来越不能适应新的需求。暖通空调“自控”,面临重大需求的挑战。

从“自控”到“智控”,并不仅仅是一个名词上的变更,而是暖通空调系统控制领域从内涵到外延的又一次深刻的变革。要在满足传统反馈控制的特点上,通过先进算法、数字孪生等技术,优化求解,才能实现各种控制需求。

AI技术的飞速发展,正好为我们所面临的变革提供了一个宝贵的机会。从感知层面看,不断丰富的大数据,为我们提供了越来越多的基础研究数据;从执行层面看,AI强大的算力,也为我们在技术上提供了强大的数学工具。AI让我们的每一步都有可能按照自己头脑中设定的目标来进行,这也就是“智控”的主要含义。

尽管AI的数据与算力远远超过传统“自控系统”,但在AI深入应用的过程中,有一个值得重视的思想就是:AI的应用应与被控对象的数理逻辑相结合。AI的感知层,更适合用于哪些目前我们还没有完全掌握规律的环节;AI算力的发挥,也应在已经被人们掌握、且明确无误的数理逻辑基础上来进行。只有这样,我们才能做到事半功倍。

《中国暖通智控行业白皮书》系统的梳理了我国暖通空调自动控制系统的发展历程,总结了各发展阶段的特点和问题,并结合未来的建筑需求提出了“智控”系统解决问题的建议和未来的发展趋势。给广大从业人员,提供了较大的参考价值。

不仅仅是暖通空调系统,未来更应该是逐步走向“建筑智控”,这需要建筑行业的多领域、多专业人员的共同参与。我相信,本书不是结束,而是新的起点。

卷首语



程大章

住建部智慧城市专委会委员和绿色建筑
与建筑节能专委会顾问委员
同济大学 教授

• 暖通智控系统是现代城市和建筑物得以正常运行的基础设施。

现代建筑物无论是大体量多功能的公共建筑还是各类的居住建筑,为了向使用人提供舒适、健康、安全的空间环境,需要设置大量的电气照明、暖通空调、冷热源、给排水、供电等建筑设备。因此,紧密配合暖通空调设施实行有效控制和管理的智控系统是建筑物运行的重要系统,而暖通空调设施和智控系统则成为建筑物的基础设施。

现代城市是由众多的建筑物和各类园区(工业园区、医院、校园、算力中心、文娱乐园等)构成的,其中的暖通空调设施承担着环境和工艺保障的职能,一旦提供环境保障和生产动力的暖通空调设备系统发生故障,必将造成社会秩序的混乱和产业的重大损失。所以,暖通智控系统必然成为现代城市的一项基础设施。

• 暖通智控系统是现代城市和建筑物实现双碳目标的重要工具。

根据中国建筑节能协会的《2024中国城乡建设领域碳排放研究报告》,建筑运行能耗占全国能源消费总量的22.0%。而暖通空调设施的能耗则占建筑运行能耗的50%以上。暖通智控系统与制冷技术创新、暖通空调设备性能改进同步,通过精准调节、优化控制和有效管理,实现了大幅度的节能。不少工程实践案例证明,有效应用暖通智控系统不仅可自动按NPLV的期望值调整设备工况和参数,甚至可使COP达到7.0以上,综合各种策略可以把建筑物的能耗下降40%甚至更多。就我国建筑巨大的规模和未来发展而言,暖通智控系统可以成为中国城市和建筑物实现双碳目标的重要工具。

• 暖通智控系统的功能提升和外延有待行业各方持续的努力。

目前的暖通智控系统功能和应用技术尚处于初级阶段,但是基于已有的系统架构和基本功能,还有大量的工作可做,尤其是广泛融入AI技术后,功能提升和外延的空间就能发生跃迁。如仅是基于暖通空调智控系统的运行数据,可以实行设备故障自动诊断和自修复、可以进行建筑物的健康诊断、可以为暖通空调系统工程设计标准修编提供科学依据、可以无缝融入虚拟电厂系统、可以成为智慧城市/智慧园区的能源安全监控系统的子系统.....如此一来,暖通空调智控系统就不再是一个普通的技术系统,更不是一次性交付的工程项目,而是与建筑和城市业务共生的长期事业。我相信,这也是业内各方愿意努力去达成的前景。

《中国暖通智控行业白皮书》汇集了业内企业和咨询机构的专业人士,深入研究了暖通智控技术发展趋势与应用现状,探讨我国暖通智控的行业生态,提出面对行业发展挑战的对策,并展望了未来暖通智控技术的应用场景,其中的真知灼见可以为从业人员和政府决策提供有价值的参考。

如果说遗憾的话,还是有一些的,那就是暖通智控系统的实现并不能在技术层面上得到完全的保障,它需要在建设和运行的过程中设计体制和机制,即建设阶段如何协调投资方、建设方和运营管理方的行为,在运行阶段系统如何保证维护更新的投入,以确保全生命期的可持续。这还有待于编写者和业内同行一起通过总结工程的经验教训,不断完善了。

卷首语



赵哲身

住建部智能建筑发展推广中心专家委员
上海大学 自动化系 教授

建筑设备监控系统(BA)的国产化经历了30余年的历史,虽然取得了不小的成绩,但重硬轻软,缺少常驻软件支撑一直是国产品牌无法取代国外主流产品的主要弊病。近五年来,国内出现了海尔这样的致力于暖通智控的一小批新兴BA企业,DDC常驻程序和平台软件有了很大的发展,让我们看到了中国BA的希望。

随着大基建时代成为过去,建筑智能化行业和所属企业面临着转型的挑战:如何从新建建筑建设转向存量建筑的改造和维护,国家的双碳战略、城市更新等政策给我们指明了方向;而物联网、数字化和人工智能技术的爆发作为时代的主要技术特征,也给了致力于成为暖通智控世界追梦者难得的机遇。

暖通智控是BA的主要部分,它的发展方向之一是与AI的融合和应用:包括但不限于空调负荷建模与预测(目的是实现HVAC能量的供需平衡)、HVAC系统的动态优化控制、电力负荷预测与需求响应、建筑设备的故障检测与诊断AFDD等等。暖通智控的产品商应更多地关注和实施软节能。这一过程的前提是数据资产库的建立和维护,包括用于AFDD的有标志故障数据库的建立。

但我们必须清醒地认识到,AI训练和建模强烈地依赖于数据:数据必须覆盖所有可能的运行条件,即必须覆盖所有频谱,现有的数据资产库却很难做到。因此,在高可靠性要求的场所(如医院、数据中心),当AI模型用于控制时,为了设备安全,也为了能增加业主的接受度,必须在算法中设定出现危急情况时的限制。

暖通智控的发展方向之二是为暖通空调系统建立标准化的高级运行顺序,以使得业主摆脱BA承包商的制约。标准化的执行规范减少了编程和调试时间,缩短了工期;同时,通过优化控制降低了能耗。ASHRAE是这方面的先行者,国内学界和厂商要紧紧跟上。

暖通智控发展方向之三是:在较长的一段时间内,物联网在架构上会最终重塑建筑智能化系统,使它从传统树形结构变为魔方结构,BA将成为该结构的一个功能分支。

因此,暖通智控正面临一场变革,重点之一是AI的应用,软节能将以前所未有的地位受到重视,重点之二是控制策略及其程序的标准化,边缘侧常驻程序的数量将有质的飞跃。我国暖通智控生产厂商应当紧紧抓住这一机遇,跳出内卷陷阱,谋取大的发展。

《中国暖通智控行业白皮书》对我国暖通智控行业的发展进行了系统梳理和深入分析,提出了未来应用中亟需解决的问题及行业融合的趋势,内容具有创新性和前瞻性,相信能对我国暖通智控行业的发展有借鉴和指导作用。

目录 CONTENTS

前言	01
第一章 暖通智控行业的发展历程	03
1.1 暖通智控的定义	04
1.2 行业发展历程	05
1.3 暖通智控的价值	08
1.4 政策与标准	10
第二章 暖通智控技术发展趋势与应用现状	14
2.1 核心技术架构与组成	15
2.2 前沿技术趋势与创新	18
2.3 暖通智控技术的应用场景	20
2.4 全球暖通智控技术应用现状	23
第三章 暖通智控的行业生态	26
3.1 行业生态	27
3.2 暖通智控市场格局	31
3.3 行业代表性品牌	34
3.4 暖通智控国创品牌影响力	38
第四章 行业应用案例	41
4.1 大型公共建筑案例	42
4.2 工业与数据中心案例	48
4.3 轨道交通案例	54
4.4 智慧园区案例	58

目录 CONTENTS

4.5 智慧酒店案例	62
4.6 分布式能源管理	65

第五章 行业发展的挑战与机遇 68

5.1 技术挑战	69
5.2 商业挑战	70
5.3 标准与互操作性挑战	71
5.4 数据安全和专业人才挑战	72
5.5 政策驱动与“双碳”带来的新机遇	73
5.6 暖通智控技术融合趋势与跨行业合作	75
5.7 从产品走向平台：智能运维与数据平台	75
5.8 暖通智控“出海”机遇与国际化发展路径	76

第六章 暖通智控技术未来的应用与展望 79

6.1 AI算法驱动	80
6.2 云边协同架构	81
6.3 开放标准与互联互通	81
6.4 基于BIM的能源管理平台	82
6.5 可灵活组态的系统产品	83
6.6 从能控到碳控：双碳数据闭环	84
6.7 支撑虚拟电厂实现的暖通智控技术	85

结语	87
----	----

参考文献	88
------	----

附录	90
----	----

前言

PREFACE

暖通空调(Heating, Ventilation and Air Conditioning, HVAC)作为建筑环境控制的核心系统,承担着供暖、通风与空气调节等关键功能,是保障室内环境舒适性和健康性的基础环节。楼宇自动化系统(Building Automation System, BAS)则是智能建筑的重要组成部分,通过对包括暖通系统在内的机电设备进行集中监控与协同管理,实现设备安全运行、能源效率提升、运行成本优化与用户体验增强的目标。在此基础上,暖通智控(HVAC Intelligent Control)作为楼宇自动化与暖通空调系统深度融合发展的高级形态,已逐步演进为一个独立而系统的技术体系。其发展路径经历了从单机控制到系统集成,再到智能化、数字化和数据驱动的全链路优化,已成为智慧建筑与可持续运营、建筑能源管理、舒适环境营造的重要支撑。

过去三十余年间,中国暖通智控行业伴随建筑智能化与节能减排的进程不断演进:从传统机械控制逐步走向数字化与智能化,经历了技术迭代与市场培育的双重积累,现已成为现代建筑的运行、能效与舒适度保障的关键环节。特别是在公共建筑(如交通建筑、医疗建筑)、数据中心及产业园区等高能耗场景中,暖通智控系统的应用价值日益凸显。

当前,政策与技术的双轮驱动正在重塑行业发展格局。一方面,国家“双碳”战略、《碳达峰碳中和工作意见》与《智能建造与建筑工业化发展指导意见》等政策,以及智慧城市与设备更新行动的实施,为暖通智控行业提供了清晰的发展方向和空间。另一方面,新一代信息技术快速渗透,人工智能、自学习控制算法、物联网(IoT, Internet of Things)、云边协同架构、建筑信息模型(BIM, Building Information Modeling)与数字孪生等创新应用,使暖通系统从“设定被动控制”加速走向“主动感知与优化”,不仅实现了更高层次的能源效率,还在健康、安全与舒适体验方面带来了质的提升。

在这样的背景下,《中国暖通智控行业白皮书》旨在系统梳理行业发展脉络,总结技术与应用现状,分析政策与标准环境,揭示行业在技术、生态、应用与运营模式方面的机遇与挑战。白皮书编制过程中,广泛采用了问卷调查、专家访谈与典型案例研究等方法,力求为行业提供全面、翔实且公允的洞察。

我们期待这份白皮书能够为行业生态的建设者与参与者提供有价值的实践指南与决策参考：推动暖通智控系统在能效管理、用户体验与智能服务等方面持续升级；促进国际国内行业的交流合作，推动跨界融合与标准建设，共同构建以绿色低碳、健康舒适、智能高效为特征的未来建筑与城市。

建筑物是城市的基石，暖通智控不仅关乎建筑的运行效能，更关系到国家能源转型与社会可持续发展的大局。我们希望通过本白皮书，与行业各方一道，共同探索、共同成长，推动中国暖通智控行业迈向高质量发展新阶段。

海尔智慧楼宇

第一章

暖通智控行业的发展历程

1.1 暖通智控的定义

暖通空调(Heating, Ventilation and Air Conditioning, HVAC)是建筑环境控制的核心系统,承担供暖、通风和空气调节等关键功能,是保障室内环境舒适性、健康性与生产连续性和安全的基础环节。

随着楼宇自动化系统(Building Automation System, BAS)的发展,暖通空调设备逐步从单机独立运行转向系统集中监控与协同管理,实现了能效提升与运行优化。在此背景下,暖通智控(HVAC Intelligent Control)作为暖通系统与楼宇自动控制技术深度融合的产物,逐渐演进为独立的技术体系^{[1][2]}。

暖通智控基于物联网(IoT)、人工智能(AI)、大数据分析、边缘计算和建筑信息模型(BIM)等数字化技术,是实现 HVAC 系统全流程实时监测、智能分析与自适应调控的综合体系^{[3][4]}。其核心目标在于保障室内环境健康舒适、提升系统运行安全和可靠性,实现能源效率最大化、并优化全生命周期运营成本。

从功能边界上看,暖通智控系统覆盖了从冷热源到末端的全流程控制对象,包括:

- **冷热源系统**(如冷水机组、热泵机组、锅炉、冷却塔等)的高效调节;
- **空气系统**(新风机组、空气处理单元、多联机等)的联动控制;
- **水系统**(水泵、管路、调节阀等)的水力平衡与输配;
- **末端设备**(传感器、风阀、电动阀、VAV(Variable Air Volume)变风量末端、风机盘管等)的精准控制。

研究与实践表明,引入基于先进传感器与智能算法的智控系统,可实现15%至30%的综合节能率,同时有效延长设备寿命,实现从被动运维向预测性运维的转变^[5]。

暖通智控通常采用分层架构:

- **感知层**:传感器与采集设备,实时获取环境与设备工况数据;
- **通信层**:基于 BACnet(Building Automation and Control Networks,楼宇自动化与控制网络)、Modbus、KNX(Konnex) 等标准协议构建互连网络,并参照ISO16484(BACnet标准)及国内相关通信规范,保证互操作性;
- **控制与决策层**:由DDC(Direct Digital Controller)控制器与控制平台构成,基于专家经验或算法(如预测控制、机器学习)生成设备调控策略;
- **执行层**:通过执行器、变频器等装置对设备运行进行精确调节;
- **优化与交互层**:通过可视化平台、BIM与数字孪生,支持运维人员的决策与系统持续优化。

如果设备是楼宇建筑中的“器官”,那么暖通智控是楼宇建筑中的“神经系统”,通过连接控制各类设备,实现楼宇建筑的高效低碳运行,智控决定着楼宇建筑整体解决方案能力的水平。综上,暖通智控既是楼宇自动化体系的重要子系统,也是建筑节能与智慧运营的关键支撑。其架构与功能体系为后续探讨行业发展历程、价值与应用场景奠定了统一的概念基础。

1.2 行业发展历程

暖通控制系统的发展历程大致可分为四个阶段：机械控制 → PLC (Programmable Logic Controller, 可编程逻辑控制器)/DCS (Distributed Control System, 分布式控制系统) → BAS → 智能控制(智控)。这一演进路径反映了建筑环境控制从局部调节到系统集成,再到智能化、数据驱动的技术升级过程^{[6][7]}。

(一) 机械控制时代(1880s–1960s)

温控器作为暖通系统的核心控制设备,其发展历程反映了建筑环境控制技术的演进方向。早期的温控器主要依赖机械结构实现基本的温度调节。19世纪末,汞柱式与双金属片式温控器问世,标志着自动化温控的初步实现。早期暖通空调(HVAC)系统主要依赖机械与气动装置实现温度和气流调节。

关键节点:

- 1883年,Warren Johnson 发明首台电动恒温器,实现了温度控制的主动化;
- 1895年,全气动分区温控系统问世,成为现代HVAC气动控制的基础;
- 1925年,Nicolas Minorsky提出PID控制原理,被广泛应用于供暖和通风的模拟控制。

特点与局限:该阶段的系统以气压信号与机械执行机构为主,调节依赖人工与机械反馈,响应速度慢、精度有限,难以适应复杂建筑需求。

(二) PLC 与 DCS 阶段(1960s–1970s)

随着电子与微处理器技术发展,HVAC控制进入数字化初期。

关键节点:

- 1969年,首台可编程逻辑控制器(PLC)面世,替代传统继电器逻辑,实现灵活的程序化控制;
- 1975年,横河公司推出首个分布式控制系统(DCS),将“集散控制”理念引入大型机电系统,促进了大型冷却机组和综合机电系统的网络化控制。

特点与局限:PLC 适用于顺序逻辑与开关量控制,DCS 适合连续过程与大规模系统管理;HVAC 控制实现了从模拟向数字的跨越。二者共同为后续楼宇自动化奠定了基础,但仍以单系统优化为主,不具备跨子系统的集成能力。

(三) 楼宇自动化系统(BAS)阶段(1980s–2000s)

进入20世纪80年代,楼宇自动化系统(BAS)开始兴起并快速发展。尤其是直接数字控制器(DDC)与开放通信协议推动了楼宇自动化的快速发展。

DDC控制器可以实时采集温度、湿度、压力等传感器信号,经微处理器运算后输出数模控制信号,实现了从测量到执行的全数字化。大型商业建筑逐渐引入集中监控计算机与多路DDC终端的分布式架构,替代了传统的独立模拟系统。BACnet开放协议和KNX标准,使得不同品牌设备可以互联互通,进一步提升了系统的开放性和集成度。此阶段的BAS系统可将HVAC、照明、安全、消防等子系统集中监控,提高了建筑管理和能源调度的整体效率。

关键节点：

- 1980年,美国Honeywell公司首次将其DELTA-1000型集散控制系统应用于建筑物设备的控制与管理,建筑物设备开始从单机独立控制走向多组设备联动群控,同时控制功能向现场分散,管理功能由计算机工作站集中实现,标志着楼宇控制全面进入数字化;
- 1987年美国采暖、制冷与空调工程师学会ASHRA的标准委员会议上提出楼宇控制的通信协议问题,1995年正式发布的BACnet协议为不同厂商设备互联互通奠定基础;
- 1990s,KNX、LonWorks 等标准推广,以太网逐渐进入楼控网络。

特点与价值：

- BAS将HVAC、照明、安防、消防等子系统集中集成,实现集中监控与能源调度;
- 在中国,DDC系统于80年代初引入,并逐步成为大型民用建筑的主流配置。

技术局限:优化逻辑主要基于固定规则,缺乏数据驱动与预测性能力,系统间存在一定集成壁垒。

(四) 智能控制(智控)阶段(2000s 至今)

进入 21 世纪,建筑设备监控系统逐步迈向智能化与数据驱动的新阶段。分别是互联网和移动互联网对于BA的逐步渗透和融合,在建筑设备监控行业形成互联网+的局面;物联网(IoT)技术以其万物互联的特点渗透到建筑物设备监控系统,初步形成与BA系统的犬牙交错;人工智能从爆发前期突然进入爆发期,建筑电耗建模与预测、空调负荷预测、设备异常探测与诊断、采用模型方法实现能效优化等等开始从高校院所的纯研究走向落地应用;与此同时,BIM与数字孪生逐渐融入建筑智能化行业,并开始从关注可视化,走向自主感知、预测与优化,主动学习与自主决策,标志着建筑智能化行业全面迈入智能化阶段^[8]。

关键节点：

- 2000-2010年:互联网技术逐步向楼宇自控系统(BA)渗透,全球主流BA品牌的DDC(Direct Digital Controller,直接数字控制器)与上位管理平台之间的通信开始全面采用以太网技术,实现了系统连接的数字化升级;
- 2014年以后:物联网(IoT)技术加速向建筑设备监控系统延伸与融合。尤其自2016年树莓派(Raspberry Pi)的普及,到2020年iMAX等搭载GPU、具备边缘计算能力的多核CPU芯片的出现,标志着物联网时代的全面来临。这一阶段为物联网、暖通空调(HVAC)与楼宇自控(BA)系统的深度融合奠定了技术基础。物联网技术以自组网、智慧空间等形态不断渗入传统BA系统,呈现出交错融合的格局,但整体仍以传统BA体系为主导;
- 2017年至今:人工智能(AI)、建筑信息模型(BIM)与数字孪生(Digital Twin)等前沿技术的应用持续加速。2022年11月ChatGPT的发布,以及随后DeepSeek、清华大学Kimi、豆包等国产大语言模型的相继问世,使人工智能技术从爆发前期迅速迈入爆发期,推动系统向具备自学习与自适应能力的高阶智能形态演进。

特点与价值：

- 通过IoT、AI、自学习算法与BIM融合,HVAC系统可实时感知环境与负荷,主动优化运行策略;

●引入数字孪生与自动故障检测与诊断 (AFDD, Automatic Fault Detection and Diagnosis), 实现设备全生命周期管理与运维优化;

●系统目标从“能耗控制”拓展至“碳排放管理”, 支撑双碳战略与智慧城市建设。

挑战:数据标准尚未完全统一, 跨系统集成和 AI 模型落地仍需行业生态进一步完善。

暖通智控的发展历程

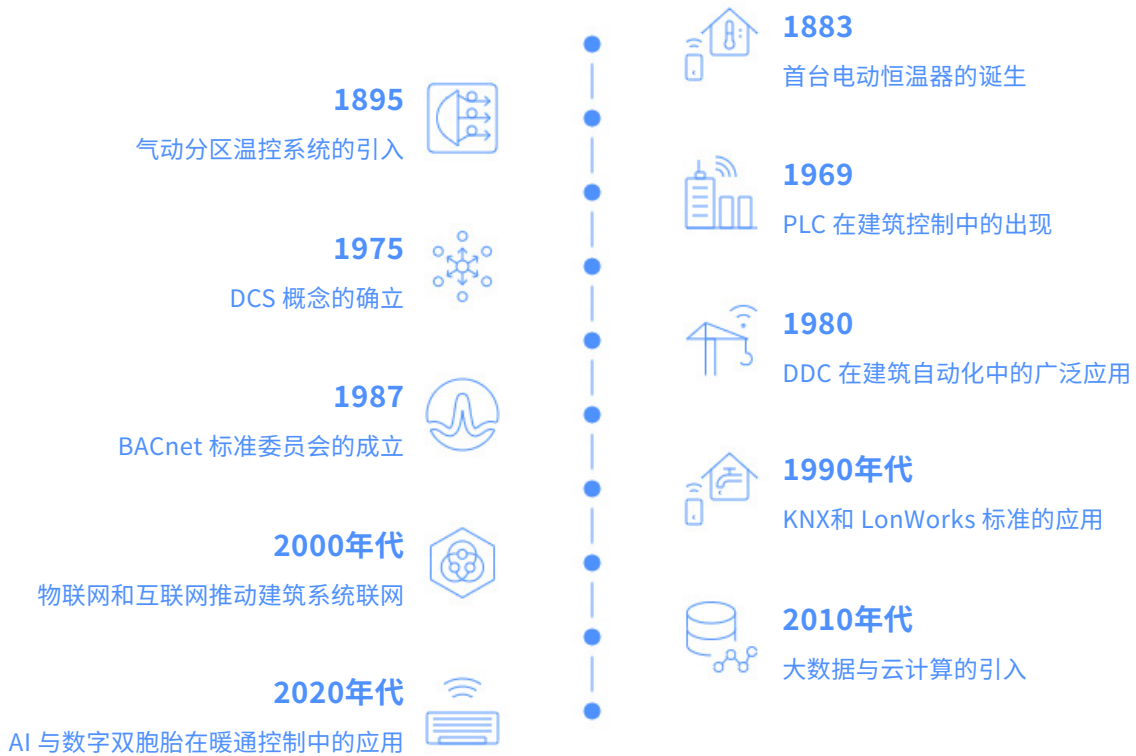


图1-1 暖通控制系统技术演进历程

暖通控制技术经历了机械模拟、数字化、集成化、智能化的持续演进。每一阶段的技术突破提升了系统自动化水平, 推动了建筑节能、舒适性和管理能力的提升。当前, 暖通智控正迈向“跨系统碳管理与智慧城市协同”, 标志着行业进入新的战略发展阶段。

1.3 暖通智控的价值



图1-2 暖通智控技术的应用价值

1. 能效提升与成本控制

暖通智控通过实时感知、智能分析与自适应优化,实现了从设备层到系统层、从单体建筑到区域能源的多层次价值创造^[9]。其主要价值体现在以下六个方面:

(一) 能效提升与成本控制

暖通智控基于负荷预测与数据驱动算法,实现冷热源、泵群和末端设备的协同优化。典型策略包括:

- **负荷预测与群控调度:** 利用历史运行和气象预报等数据,对负荷与设备的占用率进行预测,从而动态启停与分配冷机、锅炉和泵组负荷;
- **变频与泵群优化:** 通过变频调速与并联系统的最优工况选择,降低泵和风机能耗;
- **按需通风与末端自适应:** 基于CO₂浓度和人员分布,动态调整送风和冷量供给;通过以上对源、传输和末端的控制,实现节能的最高境界,供需平衡。
- **冷热源耦合与储能调度:** 结合分时电价和可再生能源消纳,进行运行时段优化。

实践表明,在具备完善计量的建筑中,单靠控制优化即可实现10%--30%的年节能率^[10]。在大型公共建筑和数据中心中,节能效益尤为显著。例如,海尔等企业推出AI多联机、MCU+NPU双芯片设计,系统之间能够更好地分工协作,让空调系统能根据内外部环境变化,自动调整温度、风速和风向等,应用AI算法的整机节能可超过30%。而针对水系统(水冷机房、热泵能源站房或多能源耦合能源站房),海尔推出的高效主机+智慧群控的软硬一体化方案,系统级群控加载负荷预测调节、全局寻优策略等AI节能算法,可实现机房整体节能达50%。(数据来源:海尔智慧楼宇)

(二) 舒适度与环境质量改善

通过高精度传感器与自适应控制逻辑,暖通智控可动态维持室内温湿度、CO₂浓度和PM2.5等指标在健康区间。

- 智能控制打破了传统定点设定值模式,可根据人员密度、活动类型、室内空气品质参数及室外气候条件进行动态调节;

- 高端应用已引入基于PMV (Predicted Mean Vote, 预测平均热感) 和PPD (Predicted Percentage Dissatisfied, 预测不满意百分比) 热舒适模型的控制策略,实现以人为中心的环境优化^{[11][12]}。

这种以用户体验为导向的智能控制,不仅提升了居住与工作舒适度,也被证实对生产效率和员工满意度有显著促进作用。

(三) 系统运行安全与可靠性

暖通智控通过持续监测设备运行曲线,结合自动故障检测与诊断(AFDD)技术,能够在故障发生前发出预警。

- 冷机效率偏移、泵组振动异常等问题可被提前识别;

- 工单系统联动减少非计划停机,显著延长设备寿命。

这一能使得系统从“被动维修”走向“预测性运维”,大幅提升了运行可靠性和服务连续性。

(四) 建筑全生命周期价值提升

暖通智控在设计、施工和运维各阶段沉淀建筑运行数据,形成可持续利用的数字资产。

- 在运维中,历史数据可用于持续优化策略;

- 暖通智控系统积累的运行数据可验证设计目标的偏差,为改善修改设计标准和暖通系统改造更新提供科学依据。

- 在投资与认证环节,良好的智控能力直接支撑LEED、WELL等绿色建筑认证,并提升建筑资产评估价值。

对投资方而言,智控系统不仅是节能工具,更是提升建筑市场竞争力和租赁溢价的重要资产。

(五) 数字化与智能化转型

暖通智控是智慧建筑与智慧园区的核心组成部分。通过开放协议与平台化架构,它能够:

- 与照明、安防、能源管理等子系统互联互通,形成统一数据中台;

- 借助大数据、BIM和数字孪生,实现虚拟仿真、策略验证与全局级优化;

- 为管理者提供多维度可视化界面和运维决策支持。

数字化、智能化转型使得暖通智控从单一的设备系统管理工具,转变为建筑与城市的战略枢纽。

(六) 双碳目标与可持续发展

在碳达峰、碳中和目标牵引下，暖通智控的价值延伸至碳排放管理与能源协同。

通过采集能耗与排放数据，实现碳足迹核算与碳资产管理；在部分先进应用中，暖通系统已接入虚拟电厂与需求侧响应，形成跨建筑、跨区域的能源优化调度。这意味着暖通智控已从建筑级节能工具，升级为城市级低碳发展的支撑性基础设施^[13]。

综上，暖通智控的价值涵盖“能效—舒适—安全—资产—数字化—碳管理”六大维度，既是建筑运营层面的效益引擎，也是国家能源转型与智慧城市建设的重要支撑。

1.4 政策与标准

暖通智控行业的发展深受国家政策导向与标准规范体系的双重驱动。在“双碳”战略、智慧城市建设和绿色建筑转型的宏观背景下，政策与标准不仅为行业设定了发展目标和边界，也成为推动技术创新、产业升级和市场扩展的核心力量。

(一) 相关政策

根据中国建筑节能协会数据，截至2024年，我国建筑能耗占全国能源消费总量的比重约为45%，其中暖通空调是能耗最高的环节^[14]。因此，从国家到地方层面相继出台相关的政策，普遍将暖通系统能效提升视为实现“双碳”目标的关键。同时，这些政策也为暖通智控行业提供了明确的发展路径和政策支撑。

表 1-1 2025年部分相关暖通智控相关政策汇总

政策名称	发布单位	发布时间	与暖通智控行业的核心关联点
《推动热泵行业高质量发展行动方案》	国家发展改革委等六部门	2025年3月	核心推动文件。明确提出提升系统运行效率、加强数据监测分析、优化智能化调控能力，为暖通智控系统在热泵应用中带来巨大机会。
《第五批国家重点推广的低碳技术目录》	生态环境部等五部门	2025年2月	将“空气源热泵高效舒适供热关键技术”等列为推广类技术，为相关智控解决方案提供了权威的技术背书和市场准入优势。
《关于推进能源装备高质量发展的指导意见》	国家能源局等部门	2025年9月	强调能源装备的数字化、智能化升级，重点突破智能感知、智能运维和智慧调控系统，直接指向暖通智控行业的技术发展方向。
《关于征集2025年第二批供热管网更新及智能化改造项目的通知》	北京市发改委	2025年7月	支持在热源、热网、换热站等环节加装感知、计量和调节设备，并建设智能管理平台，为智控企业提供了明确的商业机会。

续表 1-1 2025年部分相关暖通智控相关政策汇总

政策名称	发布单位	发布时间	与暖通智控行业的核心关联点
《供热系统智能化改造技术规程 第3部分：验收与评估》等地方标准	北京市城市管理委	2025年7月	为智能化改造项目的验收评估提供了流程、指标和方法，指导智控产品的研发与应用需关注系统稳定性、能耗优化和用户体验。
《暖通空调系统数字控制器（征求意见稿）》	住房和城乡建设部	2025年8月	针对核心产品的直接规范。一旦正式实施，将为数字控制器的分类、标记、技术要求、测试方法等提供统一标准，推动产品规范化发展。

此外，根据《“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划》，到2025年，城镇新建建筑将全面建成绿色建筑。暖通智控作为实现绿色建筑节能目标的核心技术手段，其广泛应用已成为刚性需求^[15]。

表 1-2 部分地区绿色建筑相关政策汇总

政策名称	发布单位	发布时间	与暖通智控行业的核心关联点
《加快推动建筑领域节能降碳工作方案》	国家发展改革委、住房和城乡建设部（经国务院办公厅转发）	2024年3月	设定了到2025年和2027年的量化目标，明确要求推动公共建筑和具备条件的居住建筑配置能源管理系统，为暖通智控系统在新建和既有建筑中的应用提供了根本遵循。
《河南省加快推动建筑领域节能降碳实施方案》	河南省住房和城乡建设厅、河南省发展和改革委员会	2025年6月	提出2025年城镇新建建筑全面执行绿色建筑标准，并特别指出在大型公共建筑中探索推广用电设备智能群控技术，合理调配用电负荷，直接创造了智控市场需求。
《加快推动建筑领域节能降碳实施方案》解读（湖南）	湖南省住房和城乡建设厅	2025年7月	明确了提升新建建筑节能标准、强化既有建筑运行管理等重点任务，强调要推动建筑数字化智能化运行管理平台建设，推广应用高效柔性智能调控技术。
《深圳市2025年第一批超低能耗建筑及近零碳建筑试点项目》	深圳市住房和建设局	2025年7月	通过公布具体试点项目，将政策目标转化为实际工程，为暖通智控技术与超低能耗、近零碳建筑标准的深度融合提供了真实的测试场和应用场景。

(二) 行业标准与规范体系

除了国家政策之外，相关行业标准体系也为暖通智控的设计、施工、运维与互联互通提供了制度化保障，主要包括以下几类：

表 1-3 部分暖通智控行业相关标准规范

标准类型	发布单位	标准名称	重点内容与意义
能效与基础设计	住房和城乡建设部	《公共建筑节能设计标准》(GB 50189-2024)	对公共建筑暖通空调系统的能效设计提出强制性要求。
能效与基础设计	住房和城乡建设部	《建筑节能与可再生能源利用通用规范》(GB 55015-2021)	全文强制性规范，对建筑节能和可再生能源应用提出更高要求。
控制系统专项	中国建筑节能协会	《民用建筑集中空调自动控制系统技术标准》T/CABEE 114-2025	规范集中空调自控系统的设计、施工、调试、验收和运维管理，提升系统运行能效。
智能化与互联	中国机械工业联合会	《控制网络 HBES 技术规范 住宅和楼宇控制系统》GB/T 20965-2025	统一楼宇控制网络技术 (KNX)，规定通信协议、安全加密、无线接入及网络服务要求，保障系统互联互通与安全。
BIM 与数字化	中国工程建设标准化协会	《供暖通风与空气调节设计 P-BIM 软件功能与信息交换标准》(T/CECS-CBIMU 11-2017)	定义 HVAC 专业在 BIM 环境下的软件功能、信息交换格式，促进专业协同和全生命周期管理。
数字化管理	中国国际工程咨询协会	《工程项目管理全生命周期数字化建设导则》(T/CAICE 074-2025)	为工程项目全生命周期的数字化建设提供总体要求、关键技术和实施路径指引，涵盖 BIM、物联网等技术的集成应用。

(三) 政策与规范对行业的影响

政策与标准的联合作用，深刻塑造了暖通智控行业的发展方向和竞争格局，主要体现在以下几个方面：

1、技术升级与产品创新

节能标准和“双碳”政策倒逼企业淘汰低效产品，推动超高能效冷水机组、热泵、多联机等技术迭代。热泵作为能源脱碳核心技术迎来规模化应用机会。同时，制冷剂政策引导行业向天然工质 (CO₂、氨、丙烷) 及低GWP合成制冷剂转型，这已成为全球竞争的技术制高点。智慧城市和数字化战略推动AIoT、云计算、云边协同、数字孪生与大数据在行业中的应用，催生智能运维、预测性控制和个性化舒适调节等创新功能。

2、市场边界拓展与商业模式变革

政策重心从“增量市场”向“存量市场”转移,为老旧空调系统节能改造和城市更新提供巨大“蓝海”市场。模块化、小型化智能方案、与光伏、储能等可再生能源协同的“光-储-直-柔”一体化系统获得发展空间。商业模式逐步从传统设备销售向“产品+服务+运维”一体化方案转变,合同能源管理(EMC)、能源托管、硬件即服务(HaaS)等基于长期绩效分享的模式日益普及,企业竞争核心从设备转向长期价值与数据价值。

3、提高准入门槛与推动规范化发展

严格的能效标准、环保要求及智能控制系统设计规范提高了行业技术和市场准入门槛,缺乏技术积累的企业面临压力。标准化协议(如BACnet、Modbus、KNX)的推广有效减少“信息孤岛”,降低系统集成及后续升级成本,推动行业规范化、高质量发展。

4、强化信息安全与系统韧性

《控制网络HBES技术规范》等新标准强调信息安全要求,反映智能楼宇系统安全的重要性。物联网环境下,数据加密、设备身份认证成为必备能力。同时,韧性城市建设也要求暖通系统考虑抗震、防洪、极端气候下的冗余备份及应急保障,进入了“城市生命线工程”。

5、国际化布局与标准输出

在“双循环”和“一带一路”战略下,中国暖通智控企业将国内成熟技术、产品及标准(如磁悬浮机组、智能控制平台)推广至东南亚、中东等高增长市场。国内严格政策孵化的先进技术和解决方案正成为企业参与国际竞争的新优势。

总体而言,政策与标准已成为暖通智控行业发展的“方向标”与“硬约束”。它们不仅推动了技术迭代与产品升级,也加快了市场结构调整和商业模式转型。未来的暖通智控将逐步演变为支撑城市可持续发展与智慧化转型的核心基础设施。

第二章

暖通智控技术发展趋势 与应用现状

2.1 核心技术架构与组成

暖通智控系统的技术演进体现了从单机调节到全局优化的系统化转型。其核心遵循“感知精准 → 数据互通 → 决策智能 → 执行高效 → 持续优化”的闭环逻辑^{[16][17]}，并在AIoT、云边协同、BIM与数字孪生等新兴技术的推动下，不断向自学习与主动优化方向发展^{[18][19]}。

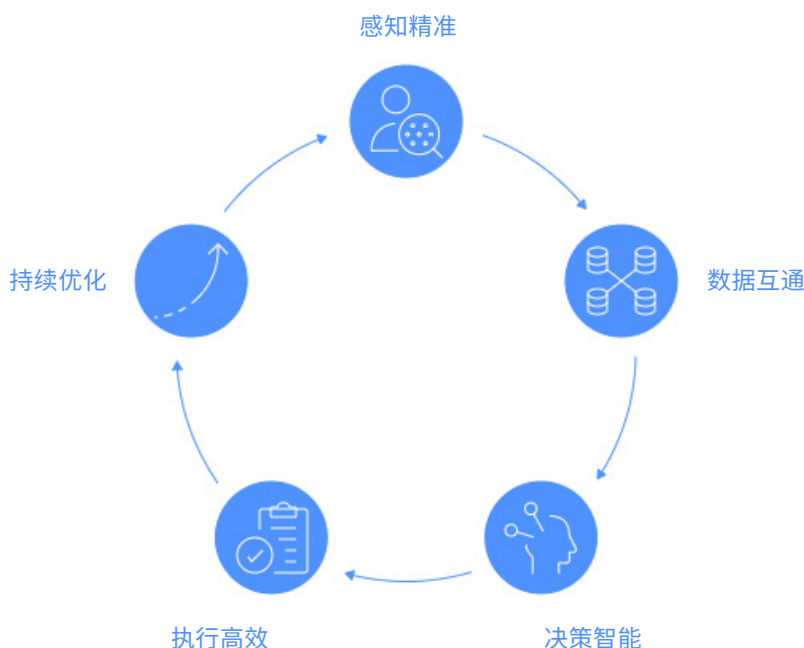


图2-1 暖通智控技术的逻辑闭环

现代暖通智控系统的整体架构秉承“分层清晰、闭环完整、跨层融合”的设计原则，可划分为以下五个核心层次与一个横向赋能核心：

(一) 现场设备层(感知与执行)

作为系统的基础，该层负责对建筑环境参数与暖通设备运行状态进行全面、实时的监测与控制指令的最终执行。

核心组件：包括部署于建筑空间及设备层面的各类高精度传感器（温度、湿度、CO₂、PM2.5、压力、流量、电量、能耗等）、各类图像采集装置、执行机构（电动阀门、风机与水泵的驱动器）以及冷热源主机（冷水机组、锅炉、热泵等）。此层构成了系统感知神经末梢、动作执行单元以及被控设备^[20]。

技术要点：传感器和执行机构正朝着小型化、无线化、智能化方向发展，成为物联网的前端设备，结合边缘计算能力，可实现数据的初步处理和本地异常诊断，提升系统实时性与可靠性^[21]。

(二) 通信与数据层 (连接与传输)

该层是连接现场设备、边缘控制器与上层平台的数据动脉,确保信息的安全、可靠、低延迟流动。

核心组件:以支持多协议转换的智能网关为核心,兼容BACnet、Modbus等传统楼宇自控协议与MQTT、OPC UA等物联网协议。网络传输融合有线与无线技术(如Wi-Fi、5G、LoRa)。

技术要点:通过多协议兼容与语义互操作,可有效打破“信息孤岛”,实现跨品牌、跨系统的无缝集成。边缘安全网关成为保障数据跨境传输安全的关键节点。

(三) 边缘控制层 (决策与控制)

该层是系统的“本地大脑”,部署于现场近设备侧,负责进行实时数据分析和控制决策。

核心组件:以DDC/PLC等可编程控制器、变频驱动器为载体,运行业务逻辑与智能算法。算法体系涵盖传统的PID控制、基于规则的逻辑,以及先进的模型的执行。

技术要点:实现低延迟的闭环控制、局部优化和快速故障响应,确保系统的稳定运行。同时,为云端提供清洗、聚合后的高质量数据。

(四) 平台层 (优化与服务)

该层是系统的“云端中枢”,负责海量数据的聚合、分析、建模以及跨系统的协同管理。

核心组件:主要包括物联云服务平台(负责数据存储、分析、算法模型训练)和楼宇智能运营中心(IOC)平台(提供集中监控、可视化、能效管理、运维工单等功能)。

技术要点:基于数字孪生技术,构建与物理实体映射的虚拟模型,支持运行策略的仿真与优化。实现预测性维护、能效调度、全生命周期管理等高级应用,驱动系统持续改进。

(五) 应用层 (交互与运维)

该层是系统与用户交互的界面,将平台能力转化为具体的业务价值与操作体验。

核心组件:面向不同角色用户(如运维工程师、管理者、楼宇客户、投资人、城市运行中心等)提供多维数据仪表盘、移动运维APP、AR巡检支持、告警管理、全局态势与自动化工单系统等。

技术要点:通过直观的可视化与智能化工具,显著降低运维技术门槛,提升管理透明度与应急响应效率。

(六) AI智控核心 (横向赋能)

AI能力并非独立一层,而是作为核心赋能要素,深度融合并贯穿于边缘控制层与平台层。

核心组件:在边缘侧,专用AI芯片赋予控制器更强的本地实时分析与决策能力。在平台侧,暖通垂域智能体基于大数据与强化学习等技术,提供负荷预测、系统级能效优化、高级故障诊断等智慧应用。

技术要点:体现了“云边协同”的先进模式——边缘侧侧重实时响应与隐私保护,云端侧重非实时的大规模计算与模型迭代,共同构成完整的AI赋能体系。

综上,暖通智控的核心架构通常遵循“感知-控制-优化-服务”的逻辑。现场设备层通过各类传感器和执行器采集数据并执行指令;智控层通过可编程控制器和场景化功能模块实现子系统控制与策略优化的执行;平台层提供远程运维、能效管理和可视化功能;AI智控核心则通过边缘计算与云协同,实现负荷预测、能效优化等高级算法应用。而AIoT、云边协同、BIM与数字孪生等新兴技术则赋予其更强的学习、预测与跨场景适配能力。未来,这一架构将持续演化为支持高效率、低碳化、智能化的综合解决方案,成为智慧建筑和智慧城市的核心基础设施之一。

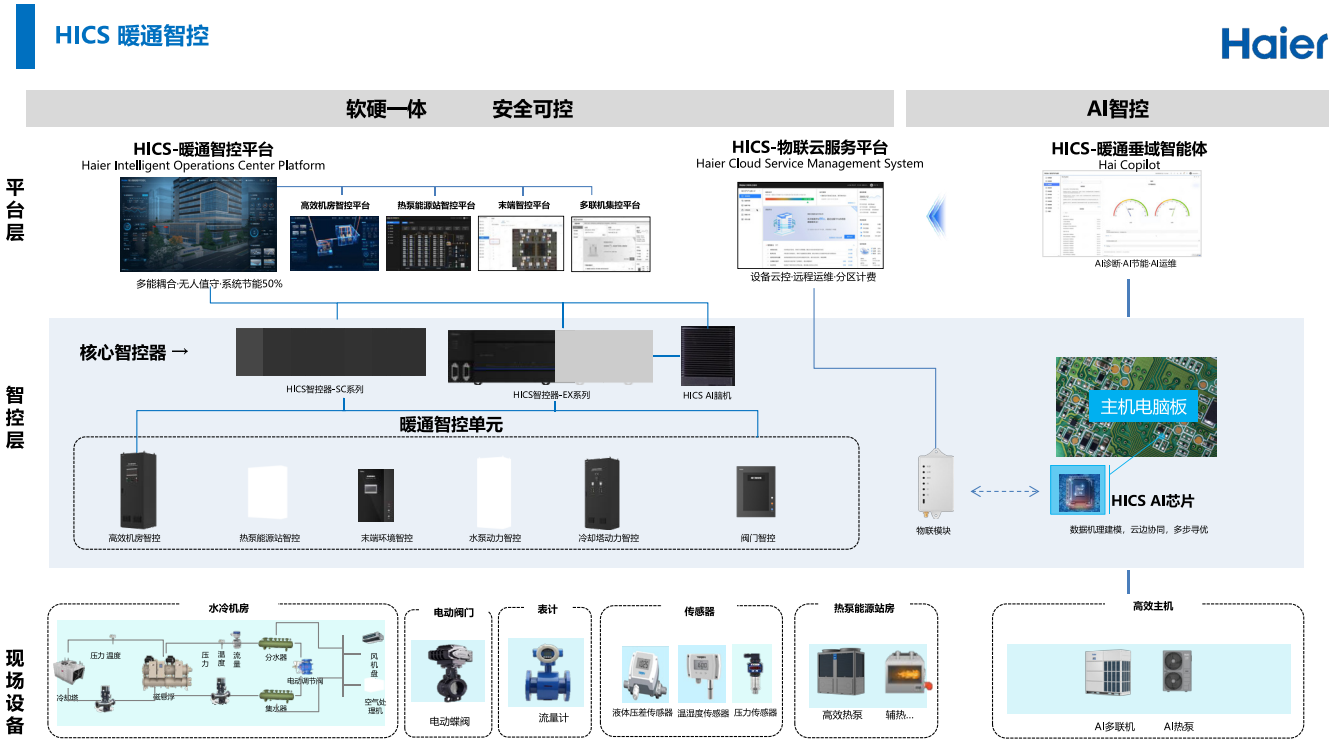


图 2-2 暖通智控技术架构

(来源:海尔智慧楼宇)

遵循“感知—控制—优化—服务”技术逻辑的海尔HICS暖通智控架构,体现了从现场设备到智能平台再到AI驱动的全链路闭环控制。其整体体系可划分为三层架构与一个AI驱动核心:

1. 现场设备层 (Perception & Actuation Layer)

该层覆盖建筑暖通系统的全部物理设备与信号采集装置,包括:

- **水冷机房设备** (冷水机组、冷却塔、循环水泵) 及其压力、流量传感器, 构成冷热源侧的核心运行环节; 用于设备故障探测与诊断时, 需配置振动传感器、音量传感器以及视频摄像头等。
- **电动阀门与末端执行机构**, 实现风水系统的动态调节;
- **各类传感器与仪表** (温湿度、压差、CO₂、流量、电表等), 形成完整的环境与能耗数据采集网络;

●**能源设备系统** (电、气、水等多能源表计), 为能耗管理与碳核算提供基础数据。这一层为智控系统提供实时、全面的感知基础, 保证控制闭环的数据输入质量。

2. 智控层 (Control & Decision Layer)

通过HICS控制器 (SC系列/EX系列) 和场景化功能模块 (如暖通智控、空压站智控、能源智控、照明智控), 实现对不同子系统的集中控制与策略优化。

●**暖通智控**: 涵盖高效机房群控、热泵系统群控、末端、多联机与新风机组的智能调度;

●**能源智控**: 实现跨能源品类的能耗监控、用能优化与配比调度;

●**照明智控与空压站智控**: 体现跨系统扩展能力, 支持建筑综合管控的一体化需求。

这一层承担系统运行的“决策与调度中枢”, 实现从单系统控制到跨系统协同的升级。

3. 平台层 (Platform Layer)

以HICS-物联云服务平台与HICS-楼宇IOC管理平台为核心, 提供:

●**运维维度**: 远程巡检、故障诊断、工单管理, 实现从被动维护向预测性维护转变;

●**能效维度**: 能源运营与全局优化, 支持跨楼宇、多园区的统一能耗与碳排放管理;

●**管理维度**: 多系统集成与可视化界面, 支撑决策者对建筑运行状态的实时掌握。

●**数据资产库的建立与维护**: 本库服务于运维和能效提升。数据包括但不限于HVAC系统与能效有关的所有数据域、与设备故障相关的运行数据, 并赋予故障标志。维护包括早期维护和定期维护, 方法包括人工或自动的数据捉错和设备故捉错程序。

这一层强化了从设备级到建筑群级的管理穿透力, 支撑“智慧园区/智慧城市”级的运维模式。

4. AI智控核心 (AI Intelligence Core)

通过HICS暖通垂域智能体 (Hai Copilot) 与内置HICS AI芯片, 形成架构的核心差异化优势:

●**AI芯片**: 搭载自研MCU+NPU双芯架构, 具备边缘计算与云协同能力。基于全国多场景运行数据与机理仿真知识, 采用“机理模型 + 数据驱动模型”融合建模, 实现多维控制策略的高精度模拟与动态优化。芯片可在边缘端实现AI算法的本地推理, 处理能力达每秒百万级数据量, 通信成本降低约30%。以AI多联机为例, 实际运行经第三方认证节能效果提升达30%;

●**Hai Copilot**: 作为行业级AI智能体, 提供负荷预测、能效优化、故障诊断等高级功能, 实现“从被动控制到主动优化”的跃迁。

这一模块凸显了暖通智控的前沿方向: 依托AI驱动, 系统具备持续学习和场景自适应的能力。

2.2 前沿技术趋势与创新

随着“双碳”目标、智慧城市建设和数字化转型的深入推进, 暖通智控正迎来新一轮技术革新。行业前沿技术的应用不仅在能效提升与碳减排方面取得突破, 同时也推动了建筑管理模式的深刻变革。以下几个方向尤为关键:

HVAC智控的未来

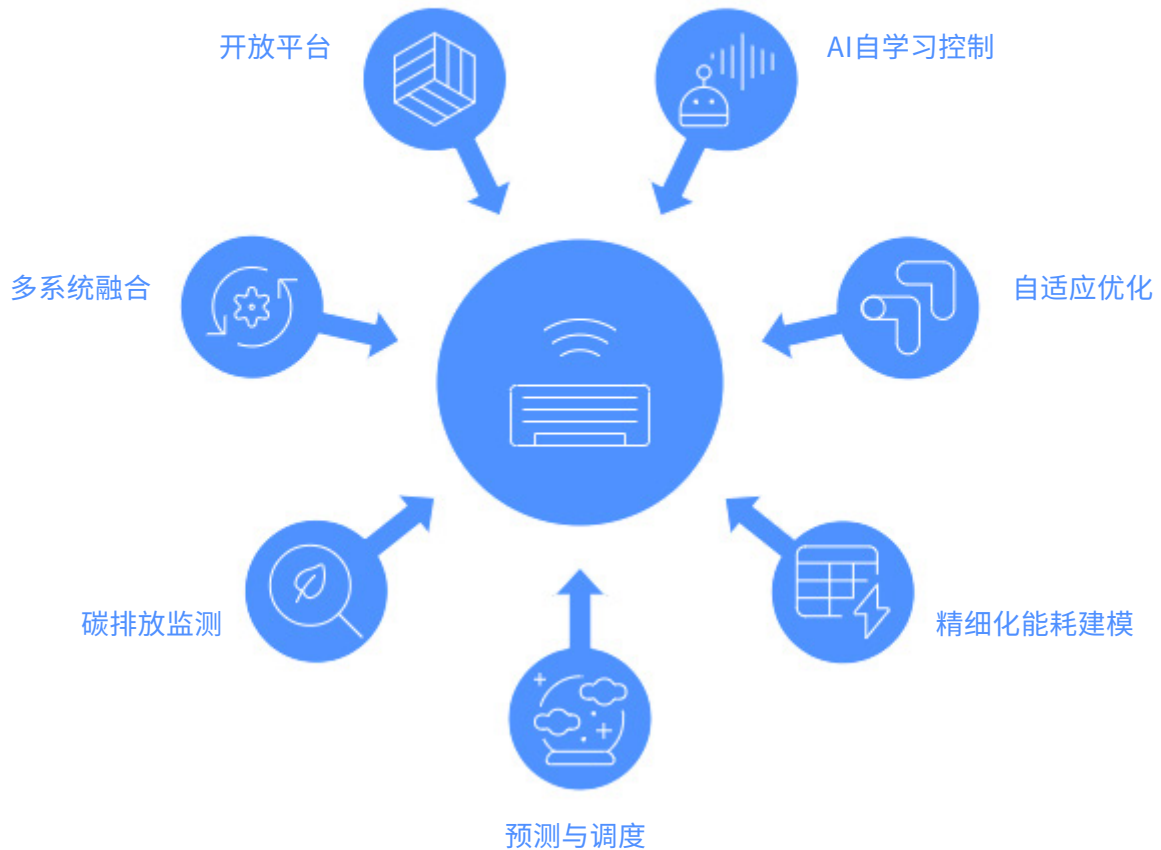


图 2-3 暖通智控技术未来趋势

(一) 基于AI的自学习控制技术

人工智能正在重塑暖通控制逻辑。通过深度学习、强化学习等算法,系统能够在运行过程中不断“学习”建筑的使用模式、环境条件和设备特性,逐步形成最优控制策略。实践表明,在系统设计合理、数据质量高的前提下,AI自学习控制有望在基准线基础上实现15%至30%的额外能耗降低^[22]。

未来,AI模块将从局部辅助功能扩展为楼宇管理平台的核心组件,推动控制逻辑从“被动响应”向“主动预测和自主决策”演进,为实现近零能耗和零碳建筑提供技术支撑。

(二) 精细化能耗建模与预测调度

能耗预测已从经验法向数据驱动与物理建模相结合的方向发展。基于模型预测控制(MPC)的策略,能够融合天气预报、占用率、设备运行状态等多源数据,提前优化冷热源和输配系统的调度,避免能耗峰值和运行过冲。研究和

案例显示,基于MPC和数字孪生的综合应用,能源利用效率可提升**30%以上**。

此外,数字孪生技术正在成为能耗管理的重要工具。其通过构建建筑及暖通系统的虚拟镜像,实现实时仿真和策略验证,为复杂工况下的能效优化和碳排放管控提供低风险环境。

(三) 多系统融合控制趋势

暖通智控正逐步从单一系统优化走向跨系统协同。通过与**照明、遮阳、新风、门禁和安防**等子系统互联,系统可在统一的BAS/BMS (Building Management System) 平台下实现综合调度。例如:

- 空调与照明、遮阳的协同可实现冷热负荷削峰与日照平衡;
- 与新风系统联动可提升室内空气质量并降低能耗;
- 与门禁系统结合可基于实时占用率实现区域性空调控制。

这种跨系统的全局优化不仅提升能效,还改善了用户体验,加速了智慧建筑生态的形成。

(四) 碳排放实时监测与可视化

在碳中和战略目标牵引下,碳排放管理已成为暖通智控系统的新使命。依托传感器网络 and 智能控制平台,可对建筑能耗及相关碳排放进行**实时采集、建模和可视化呈现**。例如,部分城市已上线建筑碳排放监测平台,通过能耗大数据与AI算法实现建筑群碳排放的动态监控与评估。

未来,碳排放数据将与能源管理、虚拟电厂和需求侧响应深度融合,使暖通智控成为**建筑碳资产管理与城市级低碳调度**的核心工具。

(五) 开放平台与产业生态建设

开放互联正在成为智能暖通产业的主旋律。支持**BACnet、Modbus、KNX、OPC UA、MQTT**等标准协议的开放型楼宇平台,使不同品牌和类型的设备能够无缝集成,降低了系统集成难度和运维成本。

同时,**边缘计算与云服务的协同架构正逐步普及**:边缘网关负责现场实时控制和关键数据处理,云平台提供跨项目数据分析与全局优化,实现灵活的混合云部署。国内外企业也在加速布局开放生态,例如腾讯微瓴、华为云楼宇、阿里云智慧园区等平台,推动形成跨行业的共生生态。

未来,暖通智控企业的竞争力不仅取决于硬件与算法本身,更取决于**是否具备开放平台能力和生态协同能力**,以支持多元化应用场景和创新商业模式。

2.3 暖通智控技术的应用场景

暖通智控系统已在多类典型场景中广泛应用,不同类型建筑在运行需求、负荷特征和控制重点上差异明显。通过智能化感知、动态调控与系统协同,暖通智控既能保障环境品质,又能实现能效最优。本节重点梳理公共建筑、工业厂房、医疗设施、数据中心、智慧园区、智慧酒店及轨道交通等代表性应用场景,分析各自的技术特征与实践价值。

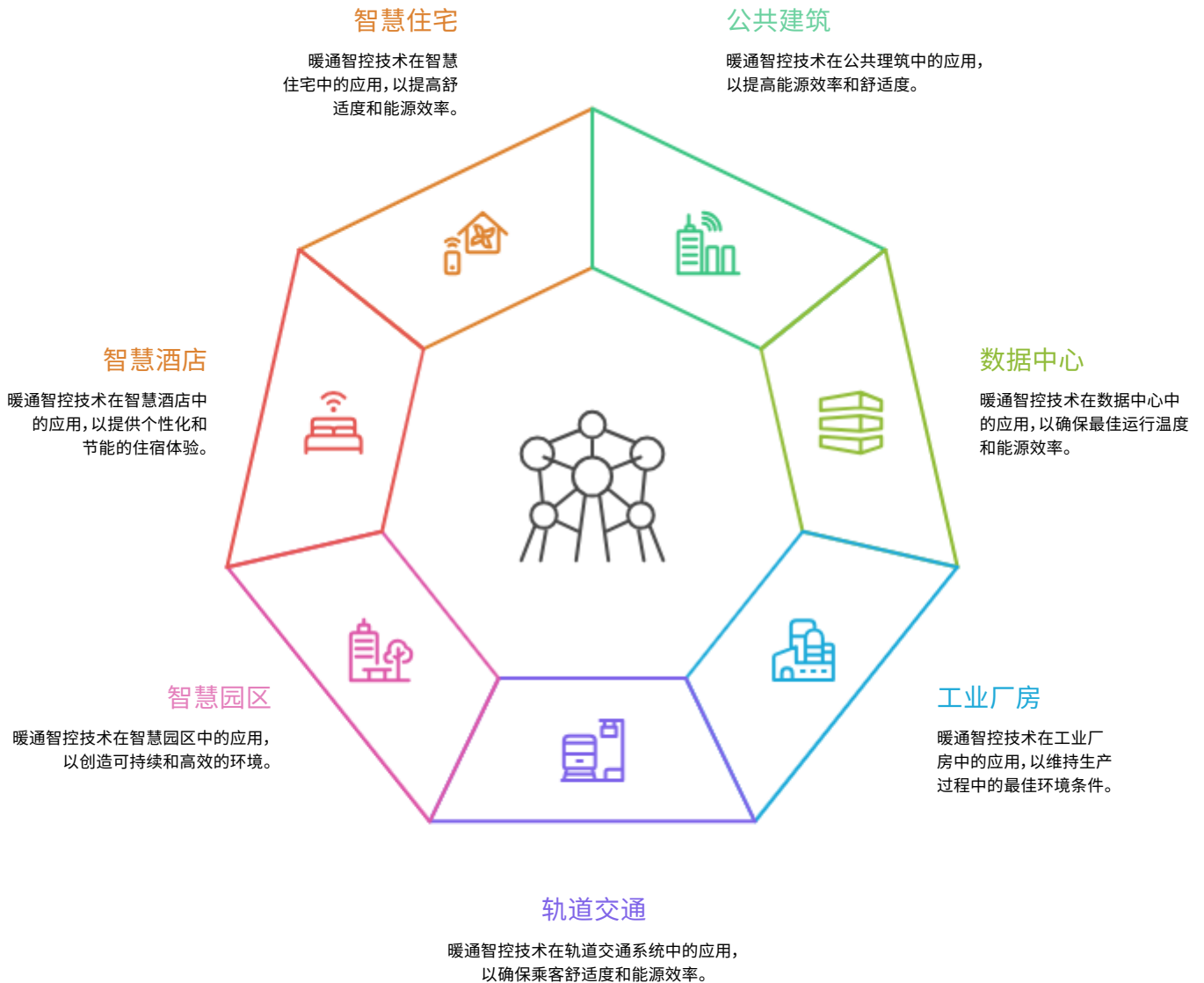


图 2-4 暖通智控技术的典型应用场景

(1) 公共建筑

办公楼、商场、学校等公共建筑具有分区复杂、人员密度波动大、使用时段差异显著等特征。智能暖通系统通过 分区传感 + 动态控制, 可实现基于时段和占用率的精细化送风和温度调节。例如:

- 办公楼: 结合会议预约与门禁系统动态分配新风与冷负荷;
- 商场: 通过照明与空调的协同控制实现冷负荷平衡;
- 学校: 利用出入口监测实现自动温控与通风模式切换。

此外, 空气质量传感器的引入使得系统能够实施差异化的新风补给和净化策略, 提升舒适度和健康水平。

(2) 工业厂房

工业厂房空间体量大、负荷波动显著，且对温湿度和空气洁净度有特定要求。暖通智控需兼顾生产环境稳定性与能效优化。典型技术措施包括：

- 配置大跨度吊顶风机与可调送/排风系统，实现分区和梯级控制；
- 高负荷工况下增加送排风量，低负荷时段降低设备运行频率；
- 余热回收与热能再利用，用废气余热供暖或工艺预热；
- 与粉尘/有害气体排风系统联动，实现安全与节能的兼顾。

(3) 医疗设施

医院、实验室等医疗建筑对空气洁净度、温湿度稳定性及压差控制要求极高。智能暖通系统采用多级过滤、新风机组与分区压力控制，保障各区域环境满足医疗规范：

- 手术室与病房保持正/负压差控制；
- 空气品质监测与PID调节，动态控制新风量与消毒设备；
- 冗余与切换机制确保关键场所环境稳定；
- 远程监测与预警减少因滤网堵塞或设备异常造成的运行风险。

(4) 数据中心

数据中心冷却负荷持续高强度运行，制冷效率直接决定其能效表现。智能暖通系统通过机柜级监测与动态冷量分配，结合外气冷却与季节切换策略，有效降PUE (Power Usage Effectiveness, 电源使用效率) 值。

- 实时采集冷机功率、进出风温差等参数，动态优化冷机与冷却塔运行；
- 充分利用室外气候特点，采用水系统“免费”制冷技术，和风系统“免费”制冷技术。
- 部分项目引入AI-DCIM平台，实现冷却策略的自适应与预测性调节；
- 在确保高可靠性的同时，实现进一步的节能降耗。

(5) 智慧园区与综合体

智慧园区的暖通智控强调跨建筑的统一调度与多能协同。

- 系统基于园区整体负荷与动态电价执行需量响应，避免峰值冲击；
- 与分布式光伏、储能、微电网协同，提升清洁能源利用率；
- 借助 BIM 和虚拟运营中心实现园区级能耗监测与可视化运维；
- 暖通系统与供热、电力、安防等子系统联动，支撑园区级能源与环境优化。

(6) 轨道交通

轨道交通场景具有客流波动大、运行连续性强、消防应急要求高等特点。

- 系统可结合客流预测与列车时刻表，在高峰期提前预冷站台；
- 隧道通风利用活塞风与机组联动维持车厢与隧道压差平衡；
- 与消防风机系统联动，在火情发生时快速切换至应急模式；

- 在部分项目中,暖通系统还结合地热能等可再生能源,实现绿色供能。

(7) 智慧酒店

酒店能耗高且负荷波动明显,既有客房的个性化需求,也包含大堂、会议室、餐饮等公共区域的综合管理。暖通智控主要应用在:

- 客房控制:与 PMS 联动,实现“有人即开、无人即停”;
- 公共区域调度:结合入住率和会议预订,提前调节温度与新风;
- 空气质量与舒适度:利用 IAQ 监测和热舒适模型实现自适应调控;
- 运维与绿色认证:群控优化与能耗统计,支撑LEED、WELL等认证。
- 门锁系统、客房控制系统和酒店管理系统平台软件联动,根据客房状态,实现节能优化。

通过上述措施,智慧酒店在保障舒适体验的同时,有效降低能耗与碳排放。

从公共建筑到工业、医疗、数据中心,再到智慧园区和轨道交通,暖通智控的应用场景呈现 差异化需求与共性趋势并存:

- 在差异化层面:公共建筑重在舒适性与节能平衡,工业与医疗更强调安全性和稳定性,数据中心突出高效冷却与可靠性,园区和交通则强调系统级协同与可持续。
- 在共性趋势层面:智能化、集成化与低碳化成为主导方向。通过分区感知、动态调控、能量回收与跨系统协同,暖通智控不仅降低能耗、提升环境品质,还推动运维方式从被动响应走向主动优化。

后续章节将结合典型案例,进一步展示暖通智控在不同行业中的集成思路、实施路径与实际成效,为行业推广与工程实践提供可验证的参考依据。

2.4 全球暖通智控技术应用现状

当前,全球暖通智控行业正处于由试点验证向规模化部署的关键阶段。随着AIoT、云计算、数字孪生等技术的快速发展,国际领先厂商已形成较为成熟的解决方案,而国内市场也在政策与需求驱动下加速追赶。整体来看,国际与国内在应用深度、生态建设、标准适配等方面呈现出差异化格局。

(一) 国际领先案例与技术实践

1、江森自控—中央机组优化(CPO)

江森自控提出的CPO30技术是业内公认的代表案例。其基于Hartman Loop算法,通过实时优化冷机、水泵、冷却塔等设备的耦合运行,实现系统整体效率提升。在美国某研究实验室项目中,CPO30应用后能效提升约34.8%,年节电1,549,000kWh,年减碳逾1,000吨。同时,Johnson Controls 在Metasys系统中集成的CPO10功能可实现5-15%的节能,而更高阶的CPO30结合变频改造与软件优化,节能率可达15-20%,部分项目累计节能超过60%。此外,其OpenBlue平台融合能耗追踪、预测性维护与远程诊断,实践中显示整体能耗降低约10%,冷机维护成本下降67%,进一步体现了平台化与服务化的价值^[23]。

2、国际厂商的智能控制创新

西门子、霍尼韦尔、施耐德电气等企业纷纷将人工智能与深度学习融入楼宇自控系统。例如，智能诊断算法可提前识别冷媒泄漏、风机故障，AI自学习控制可通过不断调整策略使建筑运行能耗降低20-40%。在欧美多个办公楼、零售空间和教育机构中，已有项目实现20-30%的节能效果。(数据来源:据公开资料整理)

ASHRAE在其最新标准与研究中指出，AI将显著提升建筑运行的节能性、可持续性与舒适性，并已配合零能耗与零碳排放的国际标准体系进行推广。

3、华为 iCooling@AI — 数据中心典型实践

在中国上海证券交易所金桥数据中心，华为iCooling@AI系统通过实时采集冷热链、制冷塔和机房负荷数据，结合AI模型进行动态调度。系统能在不同季节自动切换自由冷却模式，使PUE值下降约13%，同时有效消除系统“孤岛效应”，提升整体运行的智能化水平。(数据来源:华为)

(二) 国外应用趋势与洞察

国际领先方案强调中央机组优化与末端动态调度的联动控制，既保证实时响应，又通过预测控制与强化学习实现全局能效最优。同时，欧美及澳洲地区的法规要求暖通智控系统必须实现可监测、可验证的节能与碳减排效果，这推动了算法与平台在节能量化、运行基线对比和碳排放监测方面的深入发展。此外，平台化与服务化模式成为主流，国际厂商倾向于以平台为核心构建生态，结合节能服务合同与运维托管模式，形成一体化解决方案。

例如，Johnson Controls的OpenBlue、西门子的Desigo CC均支持与第三方设备对接，并结合节能服务合同(EPC)与运维托管模式，形成“产品+平台+服务”一体化解决方案。

(三) 国内发展现状:进步与不足

表2-1 国内暖通智控AI应用现状

(数据来源:据公开资料整理编制)

维度	已取得进展	主要挑战与不足
技术应用落地	商业综合体、写字楼、园区与数据中心已局部引入AI+IoT控制，项目平均节能率20-30%。	在高精度预测控制、极端工况稳定性及自学习/强化学习应用方面，与国际先进仍有差距，绝大部分项目依赖传统规则控制。
平台与生态能力	多数国产企业已与腾讯云、华为云等平台对接，支持数据可视化与智能运维。政策推动逐步普及能效分析与碳排放监测。	协议兼容性不足，数据治理与跨厂商互操作性仍待提升，行业级生态体系尚不完善。
标准与规范适配	“双碳”战略推动建筑节能与智能化标准密集出台，部分地区已试点将AI控制写入绿色建筑标准。	在AI算法评估、能效基线、AFDD（故障检测与诊断）及网络安全标准方面，本土规范仍需补充，与国际接轨不足。且标准存在对软节能认识不足的弱点，节能有关标准还是侧重于选用高效设备硬节能指标。
成本与商业模式	项目成本下降，部分节能改造项目回报周期缩短至2-3年。厂商开始探索合同能源管理(EMC)与“硬件即服务(HaaS)”模式。	在中小型建筑项目中渗透率有限；用户对长期节能效益与运维服务价值认知不足；行业缺乏高水平复合型人才。

(四) 综合评估与未来趋势

- 1、**国际与国内对比**: 国际厂商在系统成熟度、生态平台与服务体系方面领先; 国内企业在政策响应速度、项目落地规模与本地化创新上优势明显。
- 2、**AI与本地化算法**: 将成为国内技术提升的核心突破口, 尤其在应对中国多样气候区和复杂建筑类型时。
- 3、**标准与规范**: 将成为竞争焦点, 需要同时推进国际接轨与自主创新, 以提升国产品牌的国际竞争力。
- 4、**商业模式转型**: 将从单一设备/软件销售走向:**设备+算法+运维+节能服务**的一体化解决方案, 更好释放市场潜力。

全球暖通智控技术正加速从实验验证走向大规模部署。国际市场已形成以**AI驱动优化+平台化生态+服务化模式**为特征的成熟体系, 而国内市场正在快速追赶, 凭借政策驱动与本土化创新实现弯道超车。未来, 行业竞争的焦点将集中在**算法精度、系统安全、生态协同以及服务模式创新**上。

第三章

暖通智控的行业生态

3.1 行业生态

暖通智控行业生态涵盖从零部件供应、整机制造,到控制执行、平台算法,以及系统集成与运维的完整价值链。在B端场景中,大型水冷机组(含磁悬浮)、商用热泵热水系统、商用多联机及末端控制产品是行业核心。生态体系的健康发展,取决于各环节的协同、标准化与数字化能力,逐步形成“产品—控制—平台—服务”的闭环,推动行业向智能化和服务化转型。

3.1.1 产业链分层与角色定义

暖通智控行业可按价值与功能划分为五层典型价值链(上游→下游):



图3-1 暖通智控产业生态图谱

1、零部件与核心件层 (Component)

●代表要素:压缩机(磁悬浮/离心/螺杆)、电机、变频器、传感器(温湿度、CO₂、PM2.5、差压等)、电磁/比例阀、热交换器、控制芯片与边缘嵌入式模块。

●价值定位:零部件决定了单机的基础性能与可靠性,是系统能效的物理根基。近年来,磁悬浮压缩机、高精度传感器等核心部件的国产化突破,正在改变系统成本与能效边界。

2、整机制造层 (Equipment)

●代表要素:大型水冷机组(含磁悬浮)、空气/水源热泵、商用多联机(VRF,Variable Refrigerant Flow)、冷却塔、工业/商用锅炉、热水机组等。

●价值定位:整机决定冷热源的输出能力与能效曲线。部分负荷工况的响应能力对全年能耗影响最大。国际能源署(IEA)多次强调,热泵是建筑电气化和低碳转型的核心装备。

3、控制与执行层 (Field Control)

●代表要素:DDC/PLC、楼宇与设备级控制器、边缘网关、执行器(风阀、阀门、风机)、现场传感网络。

●价值定位:该层是系统的“感知—控制—执行”中枢,直接决定了运行稳定性与节能效果,是将设备性能转化为建筑能效和舒适度的关键环节。

4、平台与算法层 (Platform & Intelligence)

●代表要素:BAS/BMS、EMS (Energy Management System, 能源管理系统)、能效优化与模型预测控制(MPC)、自动故障检测与诊断(AFDD)、数字孪生、AI 优化引擎、云/边缘协同平台。

●价值定位:平台与算法是行业的“智核”,承担数据整合、策略决策、运维支撑与持续优化。AFDD与数字孪生正成为提升能效与降低运维成本的核心工具。

5、系统集成与工程服务层 (Integration & O&M)

●代表要素:系统集成商、设计院、安装/调试团队、运维/能效服务商、第三方 M&V(测量与验证)机构。

●价值定位:该层连接产品与最终用户,负责交付、性能保障与长期运维。随着合同能源管理(EMC, Energy Management Contract)和基于SLA(Service Level Agreement, 服务水平协议)的智慧运维兴起,工程一次性交付正逐步向服务化、长期价值转化。



表 3-1 暖通智控行业生态架构与价值链分析

层级	核心构成	代表厂商类型	关键技术与价值贡献
5. 系统集成与工程服务层 (Integration & O&M)	系统集成商、设计院、运维服务商、第三方 M&V 机构	<ul style="list-style-type: none"> 服务提供商 (霍尼韦尔、江森自控、西门子智能建筑、海尔、达实智能、本地大型集成商) 设计咨询 (各大建筑设计研究院) 	<p>价值：交付与持续服务</p> <ul style="list-style-type: none"> 系统集成：确保各子系统协同工作，实现设计性能。 性能保障：通过调试与 M&V 验证节能效果。 智慧运维：基于 SLA 与 EMC 模式，提供长期能效管理与资产保值服务。
4. 平台与算法层 (Platform & Intelligence)	BMS/BAS, EMS, 数字孪生, AFDD, MPC 优化引擎	<ul style="list-style-type: none"> 楼宇自动化巨头 (施耐德、江森自控、西门子、海尔) 算法与软件公司 (Leanheat、国内 AIoT 平台企业) 云服务商 (华为云、阿里云、AWS) 	<p>价值：决策与优化</p> <ul style="list-style-type: none"> 数据智能：汇聚数据，通过 AI 算法进行建模、预测与优化。 策略生成：实现模型预测控制 (MPC)、负荷预测等，挖掘节能潜力。 运维支撑：通过 AFDD 实现预测性维护，降低运维成本。
3. 控制与执行层 (Field Control)	DDC/PLC, 智能控制器, 执行器, 边缘网关, 传感网络	<ul style="list-style-type: none"> 自动化与控制专家 (西门子、霍尼韦尔、江森自控、海尔、和欣控制、海林自控) 	<p>价值：感知与控制</p> <ul style="list-style-type: none"> 系统中枢：实时采集现场数据，并执行精确的控制指令。 稳定运行：直接保障室内环境舒适度与系统稳定性。 能效基础：将优化策略落地为具体的设备动作，是实现节能的关键执行环节。
2. 整机制造层 (Equipment)	冷水机组、热泵、多联机、冷却塔、锅炉	<ul style="list-style-type: none"> 主机设备巨头 (麦克维尔、特灵、开利、顿汉布什、美的、海尔、格力) 	<p>价值：冷热输出来源</p> <ul style="list-style-type: none"> 能效核心：整机效率 (如 IPLV) 是系统能效的先天基础。 负荷响应：部分负荷下的性能对实际运行能耗至关重要。 低碳转型：高效热泵是建筑电气化和脱碳的核心装备。
1. 零部件与核心件层 (Component)	压缩机、变频器、传感器、阀件、芯片、热交换器	<ul style="list-style-type: none"> 核心部件厂商 (丹佛斯、艾默生、卡乐、汉钟精机、复盛、霍尼韦尔传感) 芯片与模块商 (TI、ST、华为、广和通) 	<p>价值：性能与可靠性根基</p> <ul style="list-style-type: none"> 技术源头：决定单机设备的性能、效率与可靠性天花板。 创新驱动：磁悬浮压缩机、高精度传感器等技术的突破，持续推动行业能效边界。

3.1.2 主要产品与控制边界

在B端场景中,产品与控制边界决定了系统集成模式、能效优化空间及商业模式。典型产品及其控制边界如下:

1、大型水冷机组(含磁悬浮压缩机)

应用场景:大型商业综合体、写字楼群、医院、学校与数据中心。

控制边界:冷源侧流量调节、负荷自适应、冷冻/冷凝水分级控制、机组启停与转速调节、能源调度。磁悬浮机组在部分负荷下效率突出,是高PUE/低能耗场景的优选。

2、商用热泵热水/采暖系统

应用场景:宿舍、酒店、医院、商业洗浴与集中采暖项目。

控制边界:水温与回水调节、峰谷电价优先级、并联系统调度、热水循环控制。政策与服务能力是其市场渗透率的决定因素。

3、商用多联机(VRF)与组合式空调

应用场景:中小型写字楼、商铺、酒店客房等。

控制边界:区温控及用电计量、机组OTA、内外机联动、冷热切换、能量回收与需求响应接入。

4、末端产品与末端控制

代表要素:风机盘管(FCU)、AHU、独立新风机组、VAV BOX、风阀、智能阀门、末端温控器与室内空气质量(IAQ)传感器。

控制边界:室内舒适度(温湿、风速、CO₂/PM_{2.5})与分区调节;末端控制的动作精度与传感粒度直接决定用户体验与系统节能的“最后一公里”。

5、控制系统与平台

代表要素:现场DDC、楼宇BMS、能效EMS、AFDD 模块、数字孪生平台与中央运维看板。

控制边界:从单机PID/自适应控制/模糊控制到MPC/AI的跨系统协同调度,实现“感知—决策—执行”的闭环;同时承担数据采集、报警管理、历史数据分析、能耗分摊与运维工单闭环。物联网与云边协同是实现跨系统优化与规模化运维的基础。

3.1.3 生态关系与协同要点

暖通智控行业的价值创造高度依赖横向(跨子系统)与纵向(产品到运维)协同,良性的生态应当在开放标准、数据治理与运维保障三个维度建立信任机制。

横向协同(系统间互通)

- **要点**: 暖通需与照明、安防、光伏、微电网及电力市场交互。
- **支撑**: 开放协议 (BACnet、OPC-UA、MQTT)、边缘网关与云 API, 支持跨域数据互联, 实现能源与舒适度双优化。

纵向协同(设计—施工—运维闭环)

- **要点**: BIM+数字孪生支持从设计交付到长期 O&M 的全生命周期闭环
- **支撑**: BIM 在线校验、AFDD 自动工单、能效 M&V, 可提升设备可用率并降低运维成本。

生态长期运行的关键三要素

- **标准化物模型(设备语义)**: 统一的语义与物模型(设备能力、数据项、单位与标识)是跨厂商互操作与上层算法复用的前提。
- **开放API与中台化**: 以API-first的数据中台设计能让第三方算法、能效服务商与运维工具安全接入, 促进生态繁荣。
- **M&V与运维SLA**: 第三方 M&V 与明确的运维 SLA (响应时间、可用性、能效保底)是将一次性交付转化为长期服务化收入并保障用户权益的制度保障。

对产业参与者的策略性建议

- **整机厂(含零部件上游)**: 加大对部分负荷效率、调速控制与远程可测量性(数据项开放)的研发投入; 推进关键核心件国产化以降低供应链风险。
- **平台与算法商**: 优先支持标准化物模型、提供成熟的 AFDD/能效优化工具软件, 并提供可量化的 M&V 报告模板以便与工程承包方对接。
- **系统集成与O&M服务商**: 向服务化转型, 建立基于SLA的长期运维合同与能效保证产品; 培养调试与运维“上门”能力以保证现场性能兑现, 能源托管是保证现场兑现的一种已经被证明的经营模式变革。
- **政策/标准制定方与业主**: 推动统一设备语义标准与数据交换规范, 鼓励第三方M&V制度化, 出台支持运维人才培养的配套措施。

通过纵横向协同及数字化支撑, 暖通智控行业生态正逐步向开放化、智能化和可持续化方向发展, 形成“产品—控制—平台—服务”全链路价值闭环, 为B端建筑提供高效、节能、舒适的整体解决方案。

3.2 暖通智控市场格局

暖通智控作为智能建筑和能源管理的核心领域, 近年来在“双碳”战略、城市更新和数字化转型的多重驱动下, 市场规模稳步扩大, 竞争格局逐渐演变。整体来看, 市场呈现**规模快速增长、细分场景多元化、国产替代加速推进**的特征。

1、市场规模与增长趋势

全球市场

据S&S Insider最新研究, 随着节能建筑解决方案需求的持续增长, 全球智能暖通空调控制(传感器、控制器等)市

场正迎来高速发展。市场规模预计将从2024年的125.3亿美元增长至2032年的277.1亿美元，预测期（2025-2032年）的复合年增长率（CAGR）为10.43%。其中，由于对系统自动化、能源效率和气候控制逻辑集中化的需求，控制器细分市场在2024年占据智能暖通空调控制市场的主导份额，约为46%。由于对优化气流、定制条件和房间级节能的需求不断增加，预计智能通风口领域将预测期间实现最快的增长，复合年增长率为 11.42%^[24]。

北美地区在智能暖通空调控制市场占据主导地位，这得益于智能家居技术的广泛应用、对节能系统的有力监管支持以及主要行业参与者的参与。预计2025年至2032年期间，亚太地区将见证智能暖通空调控制市场最快的增长，预计复合年增长率为12.15%，这得益于城镇化、节能建筑需求的不断增长以及中国、印度和日本对智能基础设施投资的快速增长。欧洲将成为智能暖通空调控制市场前景看好的地区，这得益于能源效率法规的竞争、对可持续性的日益重视。拉丁美洲（LATAM）以及中东和非洲（MEA）地区的智能暖通空调控制市场正在稳步增长，预计将呈现稳步增长态势，这得益于城镇化进程加快、能源效率意识增强以及对现代基础设施需求的不断增长。

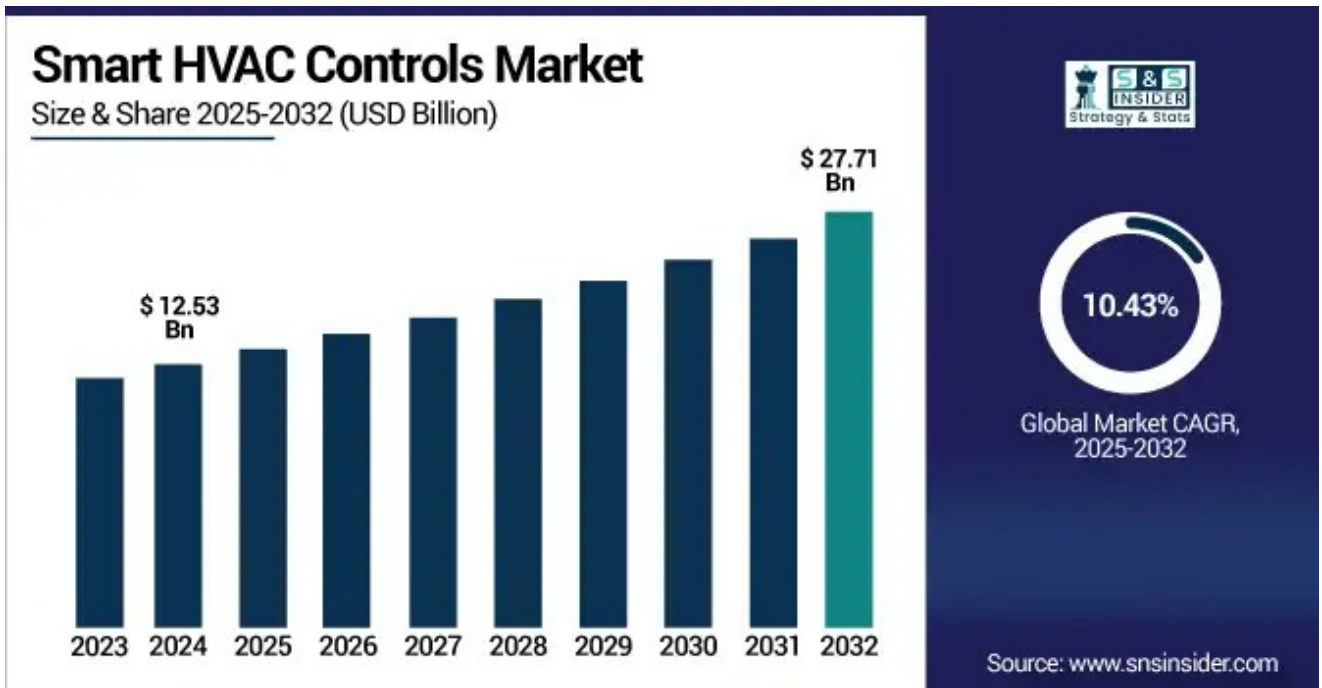


图3-2 全球智能暖通空调市场预测

中国市场

暖通智控市场与中央空调设备市场紧密相关。据行业分析，中国中央空调设备市场规模已从2020年的约870亿元增长至2024年的约1200亿元，而包含控制、软件与服务的暖通智控细分市场也随之保持稳定增长。短期内，地产与基建周期影响了新建项目，但“以旧换新”政策、节能改造需求及“双碳”战略为长期增长奠定了坚实基础。预计到2031年，中国暖通智控市场年复合增速将超过15%，高于全球平均水平^[25]。

增长动力方面，中国市场表现出独特的驱动格局：

- **政策驱动：**“双碳”目标下的清洁取暖政策与建筑节能改造要求成为核心驱动力。中央与地方层面的政策红利持

续释放,为行业提供了强力支撑。^[26]

●**技术赋能:**物联网、人工智能与大数据技术在暖通控制领域加速融合。2024年,中国已有超过52.5%的工厂采用AI进行暖通空调故障检测,AI算法优化使得系统能耗显著降低。^[27]

●**需求升级:**智能家居概念普及推动智能暖通系统成为家庭和商业场所的标配。

市场结构也正在发生深刻转变,从以硬件销售为主向“硬件+软件+服务”一体化解决方案加速转变。其中,软件平台与运营服务环节的利润占比持续提升,成为未来价值链的核心。

区域特征^{[28][29]}

中国暖通智控市场在地域上表现出显著的区域分化与发展梯度。依据市场结构与政策环境,可概括如下:

●**华东地区:**市场规模最大。该地区绿色建筑普及率较高,建筑智能化与绿色能效改造起步早,产业链与技术创新集中。该区域成为暖通智控解决方案与平台化服务的先行场域。

●**华北地区:**受益于京津冀协同发展、大气治理与区域供热系统改造等政策推动,智能供热和节能改造需求强劲。该区典型北方集中供热与冬季严寒工况,促使暖通智控系统对低温工况及高可靠性控制能力要求更高。

●**华南地区:**气候炎热、空调使用周期长,节能需求突出;同时制造业集聚,形成较为完整的暖通与自动化产业生态。该地区更强调末端控制、能耗管理与轻量化解决方案。

●**中西部地区:**目前市场规模相对较小,但在“西部大开发”、“中部崛起”战略以及城市与基础设施建设加速背景下,增长潜力大。未来几年该区域随着基建与城市化推进,将成为增长新兴市场。

各地区发展虽存在差异,但整体趋势显示:从沿海发达省份向内陆扩散,从传统供暖与制冷向智能化调控与能效服务延展,从设备导入向系统集成与运维服务升级。区域差异也意味着暖通智控企业应根据各地气候、建筑类型、政策环境与运维基础制定差异化发展路径。

2、细分市场概况

暖通智控市场在不同场景的应用表现出差异化需求与增长路径,住宅、商业和工业领域对节能、互联和智能气候管理解决方案的需求日益增长,预计将在预测期内强劲推动智能暖通空调控制市场的增长。

●**公共建筑与政府工程:**以政府投资和城市基建为主要驱动,对系统可靠性、能耗管理和集中运维有严格要求。常配套大型水机+BMS一体化方案。

●**商业地产与办公楼宇:**对舒适性、能效和品牌形象敏感,多联机(VRF)与智能BAS渗透率最高。业主侧对运营成本的关注度提升,推动节能改造与智慧运维升级。

●**工业厂房:**更强调工况稳定性与空气品质,存在定制化需求。重点应用方向包括工业冷热控制、空压站控制及工厂余热回收与节能改造。

●**数据中心:**能效(PUE值)直接决定运营成本,需求集中在冷源优化、自由冷却、精细化机房控制等高技术方案。

●**医疗与轨道交通:**对冗余设计、洁净度及稳定性要求极高,暖通智控需满足365×24小时的高可靠运行。

●**住宅与智慧社区:**是全球智能暖通控制最大的应用市场,增长动力来自智能家居和节能需求,尤其在高端住宅、长租公寓中渗透加快,尤其是国家“好房子”政策的推动。

3、市场结构特征与国产替代进程

高外资占比 + 低集中度

从整体市场竞争格局看，国内暖通、电梯及楼宇控制 (BAS/BMS) 行业均呈现出高度相似的结构特征：**一是外资与合资品牌长期占据主导地位，二是市场集中度整体偏低。**暖通智控作为智慧建筑的重要组成部分也不例外。

- **外资主导格局**：在楼宇自控领域，霍尼韦尔、西门子、江森自控、施耐德等国际厂商长期占据主导地位，其产品体系、标准化能力和工程经验形成了较高壁垒。
- **低集中度与长尾效应**：尽管部分头部厂商的市场份额超过10%，但整体集中度不高，行业竞争呈现明显的“长尾”格局——大量中小企业分布市场中，整体规模有限，竞争分散。
- **格局重塑中的机遇**：在“双碳”战略驱动下，建筑能耗和碳排放的约束力不断增强，节能改造和智慧化运维成为确定性趋势；同时，随着数字化和AI技术的深入应用，智慧建筑的投入产出比正发生结构性变化。上述因素正在加速市场重塑，为国产厂商突破外资垄断、实现技术替代和服务创新提供了契机。

国产替代进程

- **路径演进**：国产替代经历了“单元机 → 多联机 → 大型水机组”的逐步推进，国产化率稳步提升。
- **突破口**：在磁悬浮与大容量水机组等高技术壁垒领域，海尔、美的、格力等国产品牌实现显著突破，整体市场份额已接近60%，部分细分市场的国产占比已超越外资。
- **未来趋势**：在“双碳”目标和政策支持下，国产品牌有望在高端设备、平台算法和智慧运维等核心环节进一步扩大主导力，并推动国产生态体系的完善。

行业并购与平台化

由于市场集中度仍然较低，行业正在通过并购整合、标准化平台建设和合同能源管理模式来提升集中度与客户粘性。近年来，无论是外资品牌（如霍尼韦尔、西门子、江森自控、开利），还是国内头部品牌（如海尔、美的），都在通过并购、战略合作和业务整合优化产品矩阵与服务能力。

未来，随着政策支持、技术创新和产业整合的深入，以及AI、IoT和大数据在行业中的深度应用，暖通智控市场有望形成“设备 + 平台 + 服务”的协同竞争格局：

- **设备侧**：国产高端设备逐步突破技术壁垒，提升国际竞争力；
- **平台侧**：开放标准与数据中台推动互联互通，提升整体运营效率；
- **服务侧**：长期运维与能效保证 (SLA/EMC模式) 成为新的价值增长点。

这一格局将推动行业集中度提升，并进一步释放暖通智控在节能、碳控与智慧运营方面的综合价值创造潜力。

3.3 行业代表性品牌

暖通智控行业的市场格局由楼宇自控厂商与暖通设备厂商两大体系构成。前者以系统集成与能效管理为核心，后

者以冷热源设备与变频控制技术为主。两类厂商正围绕数字化、智能化与低碳化方向加速融合。

以下对部分代表性企业的产品、技术与应用进行简要分析：

1、楼宇自控品牌

楼控主要以系统集成、能效管理与跨系统协同为主要竞争维度。国际厂商在标准与安全性方面保持领先，国内品牌在节能改造与本地化应用中快速成长，逐步形成多层次竞争格局。

(1) 国际代表品牌

霍尼韦尔 (Honeywell) —— 霍尼韦尔在楼宇自动化与工业控制领域处于全球领先，产品涵盖BAS/BMS平台、工业级控制器、传感器及资产管理工具。其技术优势在于跨系统集成，支持暖通、安防、消防与能源管理的统一管控。霍尼韦尔注重工业级安全与可靠性，并在智能运维和IIoT (工业物联网) 方面推出AFDD (自动故障诊断) 与设备健康管理解决方案，广泛应用于机场、医院和大型工业设施。

西门子 (Siemens) —— 西门子是自动化与智能建筑的领导者，其 Desigo CC 楼宇管理系统在能效管理和基础设施自动化方面全球知名。西门子技术优势在于开放协议支持、强大的工程交付和跨区域管理能力，并将数字孪生、云平台等工业数字化工具应用于楼宇场景。西门子强调“全生命周期服务”，在政府公建、工业厂房和园区级项目中应用广泛。

施耐德电气 (Schneider Electric) —— 施耐德以EcoStruxure物联网架构为核心，将能源管理与楼宇控制融合，提供从电气配电到楼宇自动化的整体解决方案。其产品强调边缘计算、开放API与电力系统的深度联动，能在负荷管理、需求响应等场景下提供独特优势。施耐德在绿色建筑、智慧园区及能源密集型场景应用广泛，其差异化价值在于电气与楼宇双重优势的结合。

江森自控 (Johnson Controls) —— 江森自控是楼宇自动化与能效服务的全球领导者，产品矩阵涵盖冷源 (约克)、楼宇管理平台 (Metasys) 及能效运维服务。江森的核心优势在于中央机房优化 (CPO) 与机组群控，能够实现冷源侧的精细化调度与全楼宇级BMS联动。凭借全球化运维网络和跨区域服务能力，江森自控在机场、医院和大型公共建筑中具有显著竞争力。

(2) 国内代表品牌

海尔 (Haier) —— 以智慧建筑与节能控制为核心，提供从高效暖通设备到楼宇智能化系统的综合解决方案。技术特点体现于磁悬浮中央空调、AI节能算法与“楼宇大脑”云平台的融合，实现能源管理与设备控制的深度协同。典型应用覆盖商业建筑、工业园区与公共设施，依托硬件与平台一体化优势，形成“设备+平台+优化服务”的全链条能力。

同方泰德 (Tongfang) —— 聚焦楼宇信息化与BAS解决方案，产品覆盖自控平台、BIM应用与工程交付服务。技术特点在于IT与工程的结合，能够实现多系统集成和楼宇信息化建设。应用场景集中在政府机关、大型会议中心及智慧园区，突出系统集成与端到端交付能力。

海林自控 (Hailin) ——以楼宇自控和能源管理为核心业务,产品线涵盖 DDC 控制器、传感器、智能阀门及 BMS 平台。技术方向聚焦供热控制、分布式能源管理与AI驱动的能效优化,形成覆盖控制硬件与管理平台的完整体系。典型应用包括公共建筑节能改造、城市供热和大型场馆项目,奥运场馆等标杆案例提升了其行业影响力。

源创智控 (YUNTROL) ——专注于能源管理与节能优化,核心产品为基于云平台的能效监测与优化系统。技术路径以软件和数据驱动为核心,支持能耗诊断、动态调度与运行优化。主要应用于智慧园区、商业建筑和节能改造项目,形成以平台服务为导向的市场定位。

保瑞自控 (BRCON) ——新兴的楼宇自控与能效管理企业,产品涵盖 DDC 控制器、传感器、楼宇管理软件和能效优化模块。特点是强调开放协议兼容与灵活集成,适配分布式与中端市场需求。应用场景包括智慧园区和公共建筑节能改造,市场定位集中于轻量化、定制化和高性价比的解决方案。

和欣 (Hysine) ——聚焦末端控制与智能阀门,产品线包括末端控制器、楼控系统及定制化模块化方案。技术特点是轻量化与快速部署,适配中小型建筑的灵活需求。典型应用涵盖办公楼、学校与区域供热项目,在区域性市场形成稳定应用基础。

福加 (FUCA) ——专注于能碳管理与智慧环境,产品包括高效机房节能控制系统、eFlex智慧能碳管理平台、工商业储能及洁净环境控制解决方案。技术优势在于基于主动寻优的算法和能效优化能力,并在节能与碳管理方面取得多项成果。典型应用覆盖轨道交通、工业厂房、生物医药与商业建筑,部分项目获国家节能中心典型案例及国际可持续发展奖项。

浙大中控 (SUPCON) ——起源于过程控制领域,逐步拓展至楼宇自控与能源管理系统。产品覆盖DDC控制器、BAS平台和能源管理系统,特点是融合工业控制算法与楼宇节能需求。典型应用包括大型园区、医院及能源管控中心,逐步形成“工业控制+楼宇自控”双线并行的发展路径。

2、暖通空调品牌

暖通厂商以冷热源系统、VRF多联机、空气处理与热泵技术为核心。国际品牌依托核心部件与系统集成优势占据高端市场,国内品牌在磁悬浮、变频控制与AI智控方面快速突破。

(1) 国际代表品牌

约克 (York / Johnson Controls) ——约克是江森自控旗下核心冷源品牌,主打冷源设备(离心机、螺杆机)及整体冷源系统方案,具备与Johnson Controls的楼宇控制平台(Metasys)和中央机房优化(CPO)解决方案协同交付的能力。其产品设计强调模块化并联、部分负荷效率优化与系统级联调能力,在大型商业综合体、医院与数据中心等大冷量场景中应用广泛。约克与母公司平台的深度耦合,使其在冷源与楼宇控制联动优化方面具备系统级竞争力。

大金 (Daikin) ——大金是全球VRF(多联机)市场的开创者和领导者之一,在变频控制、热泵技术以及压缩机、换热

器等核心部件领域具备深厚积累。其产品线涵盖VRV多联系统、商用热泵、冷水机组等，技术焦点包括高效变频、低GWP制冷剂应用与末端精细化温控。大金的系统采用高效变频与低GWP制冷剂，兼顾能效与舒适性，在高端住宅、酒店与写字楼市场应用广泛，并逐步结合云端远程运维能力，推动“设备+服务”的模式创新。其市场优势在于高端住宅、酒店与写字楼领域渗透率高。

麦克维尔 (McQuay) —— 麦克维尔以工业与商用冷水机组为核心，产品以离心机和螺杆机为主，强调可靠性和工程适配。并入大金体系后，麦克维尔的渠道与工程经验与大金的研发形成互补，产品广泛应用于北美及国际大型项目，强调系统开放性，支持BACnet等协议与第三方BMS集成，实现集中监测和能效优化。麦克维尔在高可靠性冷源和工程化定制方面具有长期积累，是国际工程市场的重要供应商。

开利 (Carrier) —— 作为现代空调的奠基者，开利在冷源系统、空调机组和系统集成领域处于行业前列，产品涵盖中央冷水机组、冷却塔和空调末端。开利注重系统级节能，提出冷源与泵风机的协同优化策略，并在设备数字化、远程运维和与BMS的深度集成上持续投入。凭借全球服务网络和工程经验，开利在跨国工业园区和大型公共建筑项目中优势突出，其品牌价值体现在“可靠性+全球化交付能力”。

特灵 (Trane) —— 特灵科技聚焦可持续暖通与制冷解决方案，旗下Trane®和Thermo King®品牌广为人知。其核心产品包括高效冷水机组、空气处理机组与楼宇自控平台。近年来，特灵推出AI Control智能控制系统和ARIA智能代理，支持基于AI的能耗优化与对话式运维管理，根据官方发布的项目案例，部分应用中实现了最高25%的节能和40%的碳减排。特灵的差异化优势在于率先将人工智能与暖通智控深度融合，强化数字化与智能化运维能力。

(2) 国内代表品牌

海尔智慧楼宇 (Haier) —— 以“楼宇集成 + 智控 + 能源管理”为核心业务线，构建覆盖全场景、全周期的智慧楼宇生态体系。产品涵盖磁悬浮冷水机组、离心机、多联机及楼宇控制平台，形成软硬件一体化解决方案。在智控与能源管理领域，海尔以AI赋能为核心，推出行业首创的大模型AI多联机，实现生产到运维全过程的智能优化，整机节能率可提升约30%。针对暖通系统机房，海尔开发高效机房暖通智能体，通过AI算法进行负荷预测与运行模式自调节，协同效率提升50%，AI节能率超过15%。海尔磁气悬浮产品及风水联动智控作为软硬一体的自主产品，是海尔在轨交行业用户口碑领跑多年的核心高效节能方案。依托自主HICS智控平台和数字孪生能效诊断技术，系统可实现全流程能耗分析与策略优化，为地铁、机场、数据中心及零碳园区提供可量化的节能方案与远程智维服务。目前，海尔解决方案已广泛应用于公共建筑、数据中心及轨道交通等重点场景，位居磁悬浮空调全球市场份额及物联多联机中国品牌首位。

美的 (Midea) —— 美的楼宇科技覆盖暖通、电梯、楼宇控制与能源管理等业务板块，定位为智能建筑综合方案提供商。暖通产品线包括VRF系统、大型冷水机组和末端设备，依托较完整的产业链与渠道网络形成规模化优势。技术方向聚焦变频压缩机、节能控制算法与系统集成，并通过并购拓展楼宇自控与能源管理业务，形成“设备+系统”的解决方案。在商用VRF、家商两用及大型公共建筑市场均具备较高份额。

格力 (Gree) —— 依托在压缩机及整机制造方面的长期积累, 正从空调设备制造商转型为楼宇数智化系统解决方案提供商。近年来推出全栈自研的“泰山”楼宇数智化平台, 覆盖设计、施工与运维全生命周期, 支持建筑节能与智能运维。在硬件端具备全品类压缩机自主研发能力, 并在光伏直驱变频等核心技术上持续投入, 形成在高效机房等节能场景中的差异化竞争力。通过软硬件结合, 可在复杂负荷条件下实现系统级能效优化。

海信 (Hisense) —— 通过自主研发与合资 (海信日立) 双线并进, 形成涵盖VRF系统、磁悬浮离心机、水源机组、空气源热泵、新风系统及智慧楼宇控制平台的完整产品体系。技术重点包括变频控制、低碳制冷剂应用和机房节能优化, 并在智慧运维与家居互联方面持续推进。近年来加快布局eFlex智能化平台和多协议网关, 强化楼宇系统的互联互通。产品已广泛应用于写字楼、商业综合体、轨道交通、医院及住宅项目, 并逐步拓展至海外市场。

整体而言, 国际品牌在标准、可靠性与全球交付方面仍保持优势; 国内品牌在磁悬浮机组、VRF系统与智慧运维等领域不断突破, 逐步形成规模化竞争力。未来竞争将从单一设备层面扩展至“设备+平台+服务”的全链路生态。国产厂商在“双碳”战略与智慧建筑政策推动下, 有望加快在高端市场和系统集成环节的渗透。

3.4 暖通智控国创品牌影响力

暖通智控行业的加速发展正在重塑市场格局。过去较长时期内, 国际品牌在核心技术与标准制定方面占据优势地位, 对市场形成显著影响。然而, 随着国家“双碳”战略的深入推进, 以及绿色建筑、智慧城市建设需求的快速释放, 国产暖通智控品牌迎来了新的发展窗口。近年来, 国内厂商在磁悬浮冷水机组、智能化控制平台和综合节能服务等关键领域不断突破, 市场竞争力逐步增强, 在部分应用场景中已具备与国际厂商比肩的能力。

为更好反映国产暖通智控品牌在行业中的地位与未来潜能, 本白皮书参考《中国品牌影响力评价通则》(T/CCPITCSC 120—2023) 评价体系, 推出“暖通智控国创品牌影响力评价”^[30]。该榜单不以具体排名为目的, 而侧重揭示品牌能力结构、梯队分布与未来发展建议, 旨在为市场用户和投资者提供参考, 也为国产厂商识别自身优势与短板、明确未来提升方向。

3.4.1 评价体系与方法说明

本评价体系以《中国品牌影响力评价通则》(T/CCPITCSC 120—2023) 为指导, 结合暖通智控行业特点, 构建了由六个核心维度组成的综合评价框架: **市场占有率与规模、技术能力与产品竞争力、产品线覆盖度与生态兼容性、项目与实施能力、研发投入与创新、运维能力与服务网络**。各维度采用区间化评分标准与等级划分体系 (A/B/C/D), 依据企业在相应指标下的实际表现进行定量与定性评价。

其中, 可量化数据主要来源于公开财报、第三方行业报告及权威数据库, 如暖通智控市场份额、营收规模、专利数量、能效指标等; 对于难以量化的技术实力、系统架构与项目实施能力, 由行业专家组进行加权修正 (专家修正占总评权重的20%)。

指标体系(总分100分)

- **暖通智控市场占有率与规模(25%)**:基于财报与第三方机构数据,考察企业在中央空调、楼宇自控、能效管理等细分市场的份额与营收。
- **暖通智控技术能力与产品竞争力(25%)**:重点考察核心技术(如磁悬浮、变频、算法)、专利数量与产品能效指标(COP/IPLV等)。
- **产品线覆盖度与生态兼容性(15%)**:是否覆盖冷源、末端、BMS平台;是否支持BACnet、OPC UA、Modbus等主流协议,并具备开放API。
- **项目与实施能力(15%)**:在公共建筑、数据中心、医院等典型场景中的标杆项目数量与交付经验。
- **研发投入与创新(10%)**:研发强度(%营收)、专利成果与新产品迭代速度。
- **运维能力与服务网络(10%)**:全国/区域服务网点、远程运维能力、客户满意度与SLA执行情况。

基于上述评价方法,我们将国产暖通智控品牌划为四个主要等级:

- **A级——引领型品牌**:代表行业头部力量,具备全国性交付与服务能力,构建了完整的系统生态链,拥有自主核心技术与持续创新能力,能在磁悬浮、AI控制算法、综合能效管理等关键领域形成技术引领,对行业标准与发展方向具有显著影响力。
- **B级——成长型品牌**:在楼宇控制、能效管理或系统集成领域具备较强综合实力,拥有较成熟的产品体系与项目交付经验,市场份额稳步提升,正处于规模化扩张与技术深化的快速成长阶段。
- **C级——潜力型品牌**:聚焦特定细分领域或技术方向,具备一定的创新能力与市场突破潜力,在局部市场、专业场景或特定产品线上形成差异化竞争优势,未来具备向更高等级跃升的空间。
- **D级——区域型品牌**:主要服务于特定区域或细分市场,企业规模与项目经验尚有限,产品与技术体系仍处于完善阶段。此类品牌多处于早期成长或区域深耕阶段,具有稳健发展基础,但在全国化布局与技术创新方面仍需提升。

企业各维度得分按权重进行加权汇总,形成综合得分,并据此映射至四个等级类别。

暖通智控国创品牌影响力评价

品牌名称	市场规模	技术与产品	产品线覆盖	项目与实施	研发与创新	运维与服务	综合等级
海尔智慧楼宇	A	A	A-	A-	A	B	A
美的	A+	A-	B+	A-	A	B	A
海信	A-	B	B+	B+	A-	B	A
格力	A-	A-	B+	B-	A	B	A
同方泰德	B+	B	B	B+	B+	C	B
海林自控	C+	B	B	A-	B	C	B
和欣控制	C	C+	B	B+	B	C	C
源创智控	D+	C	B-	B	B	C	C
保瑞自控	D	C	B	C	B-	C	C
福加	D	C	C	C	B	C	C

注：评分基于公开财报、行业调研及专家访谈综合评定，具体维度详见附录评分细则。特别说明：本榜单旨在反映企业在暖通智控领域的相对影响力，而非绝对市场份额排序。由于数据口径差异及专家评估主观性，结果仅供行业参考。

3.4.2 国产品牌竞争格局分析

根据暖通智控的市场规模、技术能力、产品线完整性、项目案例、研发投入及服务网络等多维度因素的综合评估，当前国内暖通智控品牌可大致分为三个梯队：

第一梯队：海尔、美的、格力等厂商，覆盖冷源、末端及控制平台，具备较强的系统交付与市场份额优势。这些头部品牌正从设备供应商向平台服务商转型，构建“设备 + 平台 + 服务”闭环。

第二梯队：同方泰德、和欣、海林等，专注楼宇自控与能源管理平台，在公共建筑与节能改造项目中具备代表性。这些品牌更加专注于节能改造、楼宇控制、智慧园区解决方案，不断强化区域与场景标识能力。

新兴与细分厂商：源创智控、保瑞自控、福加等，通常聚焦于区域市场或细分产品（末端控制、能效软件、轻量化BMS），通过差异化定位形成竞争力。这些品牌以技术创新为突破口，在末端控制、节能算法与轻量化系统方面发力。

整体来看，国产暖通智控行业呈现“头部企业引领 + 第二梯队深耕 + 新兴厂商探索”的多层次格局。行业整体从硬件竞争走向以算法能力、平台架构、跨系统协同为核心的竞争赛道。技术不再是目的，而是服务于建筑与城市运行效率的手段。随着“双碳”政策深化和AIoT、数字孪生等技术落地，以及头部品牌之间的兼收并购，企业间的竞争差距预计将进一步拉大。

3.4.3 对策建议

- **技术与平台并重：**在整机能效与软件平台两方面均需加大投入，形成“设备+平台+服务”一体化能力。
- **标准化与生态建设：**加快物模型与通信协议统一，推动跨厂商互联互通，避免数据孤岛。
- **以标杆工程带动国产替代：**重点聚焦公共建筑、数据中心、旧改等项目，通过示范案例提升市场认知度。
- **建立透明评估机制：**建议行业协会与第三方机构联合制定公开可复核的评估流程，增强资本市场与用户对国产品牌竞争力的信心。

第四章

行业应用案例

暖通智控技术已在多种建筑类型与场景中实现规模化应用,其核心价值体现在能效提升、运行可靠、运维优化等维度。不同场景对系统需求存在差异:公共建筑需统筹节能与舒适性平衡,工业厂房与数据中心注重负荷精度与系统稳定,轨道交通运行环境复杂多变,而智慧园区与住宅则强调系统协同与个性化体验。本章选取若干具有代表性的行业案例,系统展示暖通智控在不同场景下的实施路径与综合成效。

4.1 大型公共建筑案例

公共建筑是我国建筑能耗的重要组成部分,其中暖通空调系统作为主要用能单元,节能潜力显著。在“双碳”目标与绿色建筑标准的推动下,超低能耗与近零能耗建筑已成为行业重点发展方向。实践表明,暖通智能控制技术在大型商业综合体、交通枢纽、医疗建筑及高端办公楼等场景中,能够实现多能协同、环境精准调控与能效系统优化,在保障舒适性的同时提升能效水平,具有良好的推广应用前景。

案例一:青岛胶东国际机场



图4-1 青岛胶东国际机场

项目特征:国家级重点工程、全年不间断运行

项目背景

青岛胶东国际机场是山东首座4F级国际机场,为国家民航“十二五”规划的重点工程。机场全年365天持续运行,对空调系统的稳定性与运行品质提出了极高要求。由于地处沿海地区,室内环境对湿度、温度及新风系统的舒适度具有更高精度要求。

解决方案

● **机组应用**: 针对沿海地区湿度偏高的气候特征, 项目创新性地建成航站楼、GTC双冷源温湿度独立空调系统。该系统解决了传统空调“除湿需降温”导致的忽冷忽热问题, 这也是双冷源机组在全国机场项目中的首次应用。在实现大空间冷暖调节的同时, 兼顾湿度调控, 有效改善了沿海地区的温湿平衡难题。

● **智慧控制**: 在办公楼区域, 采用物联多联机方案, 并接入物联多联机云服务平台, 实现设备运行状态的云端远程监测与可视化管理。同时, 考虑到机场人流量大、运行时间长等特点, 部署了云端监控平台, 对多联机与磁悬浮机组进行集中监测与能效分析, 从而提升运维效率并降低人力成本, 为机场整体智慧化管理提供技术支撑。



图4-2 海尔楼宇智控管理平台与冷却水泵智控柜

实施成效

该项目获得2023年度首批三星级绿色建筑标识, 解决了大型航站楼高大空间的室内环境控制难题。在满足舒适性需求的前提下, 与同类大型枢纽机场相比, 空调系统综合节能率提升超过30%。

案例二: 拉萨贡嘎国际机场



图4-3 拉萨贡嘎国际机场

项目特征:全球规模最大的高原机场,极端环境下的设备适配难题,系统集成与运维复杂性,能源与电力保障瓶颈

项目背景

拉萨贡嘎国际机场是国家战略级高原枢纽机场,也是全球规模最大的高原机场,占地面积3.506平方公里,为西藏唯一国际机场、我国面向南亚开放的“空中门户”。作为稳边固防的“空中生命线”,其双跑道支撑年吞吐超600万人次,航线连通81城,既保障民生物资运输,又助推“藏品出藏”与旅游发展,是西藏融入国家发展大局的核心航空枢纽。

解决方案

- **极端环境适配,稳定高效运行:**该项目楼宇自控系统覆盖通风空调、冷热源、变配电及智能照明等核心机电电子系统,通过智能控制与优化调度,提升运行稳定性与可靠性,延长设备寿命并降低维护成本。
- **全域感知,智慧管控:**构建全域感知与远程管控体系,实现机场设备、环境及运行状态的实时监测。系统打通多子系统数据壁垒,实现客流驱动的环境联动与运量匹配,解决传统系统分散、互通性差、响应滞后的问题。
- **能源优化,精准节能:**能源管理系统可识别高能耗与异常能耗环节,开展针对性改造与优化控制,实现能耗动态监管与节能成效量化分析,为机场节能设计与持续优化提供数据支撑。

实施成效

依托成熟的机场项目经验,搭建多系统协同架构,打破信息孤岛。采用AI算法动态优化设备运行策略,结合冷热源系统集群控制,显著降低高原机场运营能耗成本。部署分布式楼宇自控系统与远程运维平台,实现3.506平方公里机场范围内设备状态的实时监测与远程管控。

案例三:2022年北京冬奥会张家口赛区“三场一村”





图4-4 2022年北京冬奥会张家口赛区

项目特征:国家级重点工程,大型公共建筑项目

项目背景

2022年北京冬奥会是中国首次举办的冬季奥运会,张家口赛区作为冬奥核心赛区,承办主要雪上赛事,核心场馆群——“三场一村”包括国家跳台滑雪中心“雪如意”、国家越野滑雪中心、国家冬季两项中心及冬奥村,建筑总面积约23万平方米。这些场馆既承担赛事运行核心功能,又需在赛后转化为体育、文化与旅游综合载体。为满足赛时精准控温与赛后低碳运营需求,项目需构建一体化能源与楼宇智控系统,实现环境舒适、设备高效与能耗最优的统一管理。

解决方案

该项目基于HAI平台的EBA能源楼控系统,融合楼宇自控、能源管理、智能照明与环境监测四大功能,实现多系统数据互通与统一调度。

- **系统架构与设备覆盖:**部署IoT-DDC控制器、智能网关、各类传感器、电表与水表等,实现对空调、新风、热源(电锅炉、循环泵)、送排风、VRV多联机及给排水系统的自动化控制;全系统覆盖超3000点楼控节点、4000余只电表与2000余只水表。
- **集中智能控制(HAI平台):**构建“智慧大脑”,实现楼宇设备与能源系统的深度融合,数据互通、协同联动,支持远程监控与策略优化。
- **实时感知与主动调节(IoT-DDC):**实现场馆环境与设备运行状态的全域感知,根据负载与环境变化自动调整运行参数。
- **安全可控的国产化体系:**控制器采用国产芯片及国密算法,确保系统网络与数据安全。
- **数据驱动节能:**系统通过能耗监测与分析模型,动态优化设备运行,实现“按需供给”与节能运行。

实施成效

- **显著节能:**系统为建筑运行带来了高达40%的节能空间,远超传统建筑。
- **环境卓越:**为运动员和观众提供了稳定、舒适的室内环境,保障了赛事的顺利进行。
- **运维高效:**实现了设备的集中监控与智能化管理,大幅提升了运维效率和管理水平。
- **标杆示范:**成功打造了国家级大型公共建筑绿色、智慧管理的典范,展现了国产技术的领先实力。

案例四:青岛海天大酒店



图4-5 青岛海天大酒店效果图

项目特征:超高层建筑、多功能城市综合体

项目背景

青岛海天大酒店兼具超高层建筑、五星级酒店及多功能综合体属性,是青岛的重要地标。项目高度369米,获得包括CTBUH亚洲最佳高层建筑奖、詹天佑奖、鲁班奖、LEED铂金认证及国内首个绿色超高层三星级认证在内的多项荣誉。其功能业态复杂,涵盖酒店、5A甲级办公楼、艺术中心等多种空间,对空调系统提出了高效率、高稳定性与差异化舒适性的综合要求。

主要挑战:

- 低负荷工况下传统中央空调能耗大、热水耗能高等痛点问题突出;
- 中央空调需全年24小时无休运行,对机组稳定性要求极高;
- 不同功能·区域对温控精度、节能性能和使用体验存在差异化的需求。

如何在一座建筑内实现多业态环境下的精准控温、智慧管理与高效节能,成为项目执行过程中的主要难点。

解决方案:

针对该项目特点为其量身打造了以2台磁悬浮中央空调为核心的物联网解决方案,实现了节能、稳定与智能管理的全面提升。

●**高效节能:**机组具备10%-100%无级调节能力,低负荷条件下仍可保持高效运行;同时自动调节压缩机运行负荷,使其维持在最佳节能区间,解决长期存在的能耗问题。

●**运行稳定与寿命延长:**磁悬浮机组采用零摩擦、无油轴承技术,并配置喘振控制与断电保护功能,在保障运行稳定的同时延长寿命至30年以上。

●**智慧运维:**依托E+物联云服务平台与5G技术,实现设备自联网、自优化与远程运维。系统可快速生成设备运行报告,提升响应速度与管理精度,实现高效、低人工干预的运维模式。

实施成效

该项目采用的磁悬浮机组COP值与IPLV值均显著高于国家现行标准,其中COP值超过《公共建筑节能设计标准》限值12%以上,综合节能率达50%,有效降低运行成本,并满足绿色建筑评价体系加分条件。

案例五:成都双流第一人民医院



图4-6 成都双流第一人民医院

项目特征:区域复杂、分区分管、智能运行

项目背景

成都双流第一人民医院为三甲综合医院,包含办公与医疗多类场景。原有机组使用年限较长、能耗较高,难以满足节能减排与长时间稳定运行的需求。项目方因此对新系统的可靠性与节能性能提出了较高要求。

解决方案

根据对高可靠性与节能减排的双重需求，项目方为成都双流第一人民医院部署了磁悬浮中央空调系统。核心配置如下：

- 采用磁悬浮变频压缩机，支持2%-100%负荷连续智能调节，出水温度控制精度达 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ，可在保障患者舒适度的同时实现精准控温；
- 机组采用零摩擦无油轴承技术，降低能效衰减，确保高负荷下的稳定运行；
- 融合高效换热、多压机均衡与无级变频调节，实现长期高效节能。

实施成效：

- 能效提升：综合节能率较传统机组提升约50%；
- 运行稳定：全年高负荷运行下仍保持性能稳定，能效衰减极低；
- 环境改善：实现医疗场景下的精准空气调控，显著提升患者舒适度与医疗环境质量；
- 运维优化：无油运转结合智能控制降低维护频率与成本，提升整体运维效率。

4.2 工业与数据中心案例

工业厂房与数据中心是典型的高耗能场景，其中数据中心冷却系统的能耗占比可超过30%。在满足生产工艺及设备稳定性的同时实现能效最优，是该领域的核心挑战。案例分析显示，暖通智能控制技术能够在工业场景实现冷热源优化配置与分区环境精细化调节，在数据中心实现基于实时监测的冷热负荷动态平衡。实践结果表明，智能化能效管理不仅能够有效降低运行能耗，还能提升设备可靠性，为高耗能行业的节能改造提供可复制的参考路径。

案例一：比亚迪抚州电控工厂



图4-7 比亚迪抚州电控

项目特征:设备运行的稳定性和安全性要求极高

项目背景

比亚迪抚州电控工厂承担电动汽车电控系统生产任务。生产过程中需严格遵循质量管理体系,对各环节实施严格控制,因此冷机及相关设备的稳定与安全运行成为关键。

解决方案

机组应用:系统按照高效机房标准设计,由3台变频离心机组、4台冷冻水泵、4台冷却水泵、6台冷却塔及一套智控系统组成。高效机房智控系统实现冷机及相关设备的统一智能管理,保证运行均衡与高效,同时提升整体运维效率。

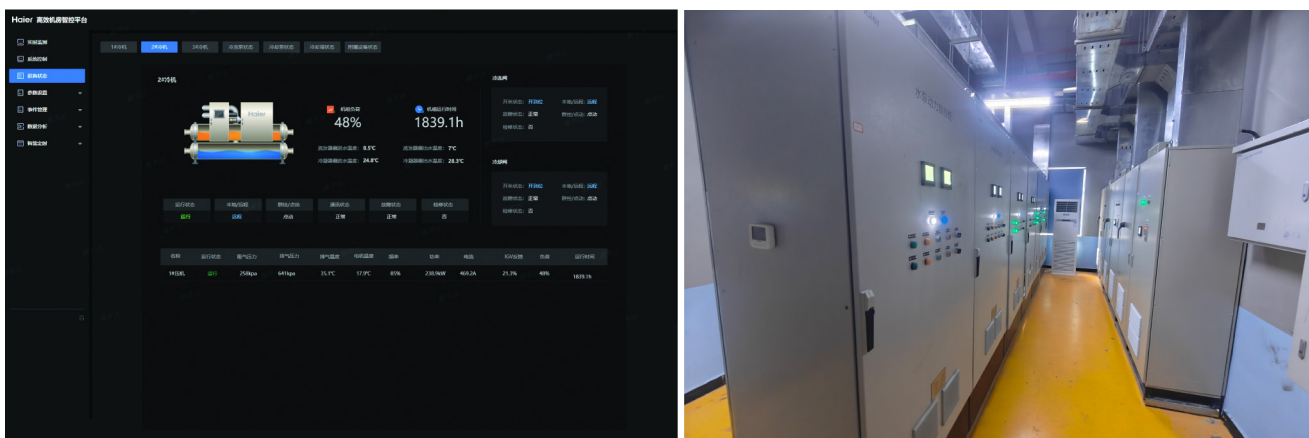


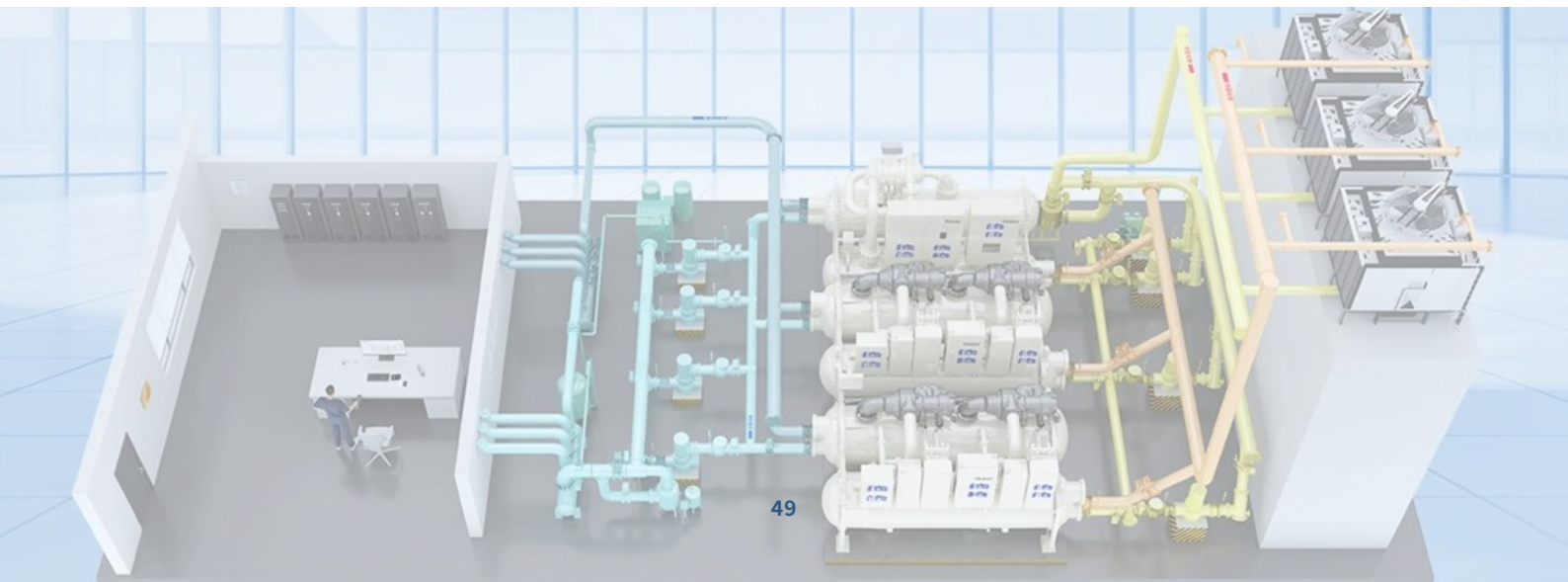
图4-8 海尔智慧楼宇高效机房智控平台与水泵动力智控柜

智慧控制:

- 1.控制系统配备UPS电源,保障数据连续性与运行稳定性,避免电力中断带来的风险。
- 2.机房末端搭载精密空调集中管控系统,可实时监测运行参数并提供故障报警,实现智能化巡检,减少人工巡检频次,降低人力成本。

实施成效

改造后,工厂冷冻机房全年综合能效系数(COP)大于5.0,运维人员从原有6人减少至2人,系统运行稳定、安全,项目方对暖通智控系统的应用效果表示认可。



案例二：丹佛斯全球制冷研发测试中心



图4-9 丹佛斯全球制冷研发测试中心

项目特征：灯塔工厂

项目背景

丹佛斯全球制冷研发测试中心位于天津，总建筑面积约7000平方米，总投资约1.4亿元，是丹佛斯集团规模最大、技术最先进的涡旋压缩机研发与测试中心，被世界经济论坛评为“灯塔工厂”，成为天津智能制造的典型代表。项目对工艺环境、智能控制与节能管理提出了严格要求，对所选空调设备形成严苛考验。

解决方案

- 2018年，项目启动暖通系统改造，部署400RT磁悬浮离心式冷水机组，实现对机组运行的实时监测与能效优化，整体节能率达50%。
- 2022年，随着Q厂区扩建，新增450冷吨水源热泵机组，充分利用工艺冷却水余热为办公区提供供暖，实现“制冷—供暖”能源循环利用。
- 同年，厂区新增车间与仓库，配置7台磁悬浮变频离心式冷水机组，其中3台专用于全年工艺冷却。凭借无摩擦、无油设计及高效换热、多压机均衡控制与无级变频调节技术，系统实现长期稳定与高效节能。

实施成效

- **显著节能：**综合节能率超过50%，长期运行成本大幅降低；
- **能源利用：**通过水源热泵回收余热，实现办公区供暖，提升能源利用效率；
- **稳定可靠：**零摩擦无油轴承降低能效衰减，保障全年运行稳定性；
- **运维优化：**免润滑油设计减少维护需求，延长设备使用寿命，降低运维成本。

案例三：雄安之眼—城市计算(超算云)中心



图4-10 雄安之眼

项目特征：雄安数字孪生城市的核心设施及新区批复的唯一永久性数据中心

项目背景

“雄安之眼”是雄安新区“一中心四平台”数字化体系的核心枢纽，也是新区批复的唯一永久性数据中心。项目位于悦容公园内，总建筑面积约3.98万 m^2 ，地上三层、地下一层，其中超1.2万 m^2 为超低能耗建筑，充分体现“绿色、智能、低碳”的建设理念。作为雄安数字孪生城市的核心算力支撑，其建筑需在严苛能耗目标下实现高效稳定运行，因此亟需一套集精细化管控与节能优化于一体的智能楼宇自控系统。

解决方案

为项目提供基于 HAI 平台与IoT-DDC控制器的能源楼控系统，实现冷热源机房、通风设备及能耗管理的一体化智能控制。系统以“数据驱动、按需供能”为核心思路，构建了以下功能体系：

- 机房群控与环境精控：根据 IT 负载与冷量需求变化，自动调节冷水泵运行台数及机组负荷，保障精密空调高效稳定运行。
- 空气质量监测与通风联动：实时监测地下空间CO浓度，超标即自动启停诱导风机或送排风系统，确保环境安全。
- 设备集中管理：实现空调、新风、排风、集水泵等设备的集中监控与时序控制，支持故障报警与远程启停。
- 能效闭环优化：通过 HAI 平台汇聚能耗数据，进行分析与策略优化，形成从监测—分析—控制的节能闭环，实现能源的动态最优供给。



图4-10 现场控制柜

实施成效

项目投运后,显著提升了能源效率与运维管理水平:

- **高效节能,行业领先:**通过对暖通系统的智能群控与能效优化,配合建筑的超低能耗设计、液冷与余热回收技术,项目综合 PUE 降至约 1.09,位列全国领先水平。
- **环境稳定与安全:**系统实现机房环境的高精度控制与地下空间气体联动通风,确保运行安全与空气质量达标。
- **智能运维与降本增效:**集中化监控减少人工巡检与管理成本,实现设备状态可视、故障快速响应,显著提升运维效率。

案例四：阿里云简州数据中心



图4-11 阿里云简州数据中心

项目特征：高密度算力场景适配、多系统协同安全、算力与节能平衡

项目背景

阿里云简州数据中心是西南地区规模最大的云计算基础设施之一，也是阿里云西南核心算力枢纽、阿里巴巴面向未来的标杆工程，更是成渝地区双城经济圈数字基建的关键支点。项目由10栋数据中心楼、220KV变电站和ECC楼运营管理中心组成，服务器机柜规模超过20万台，为电力能源、钢铁、交通、制造等企业提供稳定高效的云平台支持。

解决方案

项目方为数据中心构建了多层架构匹配的智能控制体系，实现控制系统的标准化、模块化与高可靠性运行。

- **多代架构兼容：**自研PLC控制器支持从分布式(云2.0)到智能架构(云5.0)的平滑升级，覆盖10kV备自投、燃油自控、环境监控、冷源控制及方舱系统等关键环节，保障系统互联互通与业务连续性。
- **液冷技术集成：**针对液冷CDU电控一体柜，开发机电一体化控制系统(EMC/EMI)，显著提升抗干扰与运行可靠性，确保阿里云高密度机房稳定运行。
- **多系统协同调控：**统一整合通风、柴发、燃油、备自投及电力监控系统，形成跨系统联动的智能管控平台，将故障响应缩短至秒级，提升全年可用性。
- **定制化国产化方案：**联合阿里云天机团队深度定制软硬件，实现远程调试、全球运维与数据加密传输，强化工控安全与远程管理能力。

实施成效

系统优化后，整体运行安全性与稳定性显著提升，能效模型验证准确率高，数据交互效率提高约30%，交付周期与运维成本同步降低。该方案现已应用于阿里巴巴在上海、杭州、成都、嘉善、张北等33个数据中心基地，全面支撑其全球云计算网络的安全与高效运行。

4.3 轨道交通案例

轨道交通暖通系统需在长时间运行及客流密度快速波动的条件下维持稳定。传统控制模式存在能耗偏高、调节滞后和区域协同不足等问题。案例结果表明，暖通智控可结合实时客流预测、车站分区控制和智能调度策略，实现环境舒适与能耗优化的动态平衡。实践验证了该类方案在轨道交通场景的可行性，为行业在节能减排与运行管理方面提供了可操作的技术参考。

案例一：上海地铁



图4-12 上海地铁22号线

项目特征：全线车站装配式群控冷水机房集成系统，项目以高效、节能、智慧为建设目标

项目背景

上海轨道交通22号线(崇明线)作为快速联系崇明区与上海中心城区的轨道交通线路，途经浦东新区、长兴岛和崇明岛，其建设将为崇明发展增添强劲动能。线路南起浦东金桥地区，全长42.232公里，全线共设8座车站6个工作井2座停车场，全部为地下车站。崇明线经长兴岛两次穿越长江，最终到达崇明本岛，是上海首条穿越长江的轨道交通线路，也是目前全国轨道交通越江隧道中区间距离最长的工程项目。对全年制冷系统运行能效比和空调系统能效比有极高的要求。

解决方案

项目采用全过程HICS高效机房整体解决方案，以节能控制系统为核心，集成冷水机组、组合式空气处理机组、冷冻/冷却水泵及多类高精度传感器(温湿度、压差、CO₂、粉尘 PM10、流量、压力等)，配合电子式动态平衡调节阀与智能通信网关，构建覆盖冷热源与通风系统的高效管控体系。

系统依托车站数字化底座平台+高效机房智控软件,通过专业算法实现冷水系统与空气处理设备的动态优化控制,对全新风阀、回排风机及电子平衡阀等设备进行协同调度,实现系统级节能与能效最优。

●**全过程技术服务:**涵盖能效模拟、群控系统优化设计、现场施工督导、系统调试及运维培训,确保方案从设计到运行的全流程闭环落地。

●**AI智能控制:**基于负荷预测与全局寻优算法模型,实时优化运行策略,动态匹配设备负载,实现节能与效率的双重提升。

●**预测性维护:**通过数据建模与运行监测,对冷源主机、水泵、风机及空调机组进行状态评估,提前发出故障预警与维护提示,保障系统安全稳定运行。

实施成效

●**节能成效显著:**通过AI算法与群控策略优化,提供最佳的能源控制管理方案、最节能的冷量输送,有效地降低系统的运行能耗。

●**交付简单快捷:**模块化集成化交付方式、现场施工工作面少,大大降低项目实施风险,同时缩短项目安装调试时间30%。

●**运维高效智能:**智慧运维系统提升运维效率,减少人工干预,为车站的持续稳定运行提供坚实保障。

案例二:合肥地铁



图4-13 合肥地铁

项目特征:重要交通枢纽,项目以安全、高效、绿色为建设目标

项目背景

合肥地铁是安徽省合肥市的城市轨道交通系统,首条线路于2016年12月26日开通,截至2025年10月,已运营6条

线路(1、2、3、4、5、8号线),总里程231.79千米,设171座车站,年客流量超25亿人次。其中海尔蒸发冷群控系统已经服务2、3、4、6(在建)、7(在建)、8号线,为合肥地铁在规划、建设、运行等过程中,实现安全、高效、绿色理念保驾护航。

解决方案

项目采用蒸发冷群控系统,从前期现场调研、需求对接,技术方案比选到方案深化设计、安装调试、和售后运维的一站式服务。实现低碳理念,打造集团内绿色节能示范样板。

- **安全运行:**增加UPS不间断电源设置,保障运行安全;系统程序互为备用,保障系统稳定,并通过定制化运行模式,实现无人值守。
- **集成设计:**无需专用冷水、通风机房;无需冷冻水、冷却水泵;无需地面冷却塔,杜绝噪声扰民。
- **智慧联动:**软件程序智能匹配,将蒸发冷凝器、涡旋机组、螺杆机组、风阀、补水系统、环境监测等系统集成统一监控,联动运行,实现系统级节能与运行效率提升

实施成效

- **运行安全可靠:**系统数据实时监测与自动响应,保障车站与公共区域空气质量与运行安全。
- **降本增效显著:**一体化设计,节省面积超50%;蒸发冷群控通过高效设备+智慧群控,系统节能25%。
- **运维高效智能:**节省运维管理及维护人工75%。

案例三:苏州南站



图4-14 苏州南站

项目特征:重要交通枢纽,项目以高效、绿色、智慧为建设目标

项目背景:苏州南站交通枢纽配套工程,位于吴江汾湖高新区,总建筑面积约26.70万平方米,最大建筑高度约62米,主要包含酒店、配套会议、服务型公寓、集中商业、快捷酒店、办公、集散展示中心、长途车站、地下车库等,对建筑的智能化管理和能源效率有极高要求。

解决方案

该项目提供基于EBA能源楼控系统 的整体解决方案,集楼宇自控、能源管理、末端监控与智能照明于一体。系统以 HAI 平台 + IoT-DDC 为核心,覆盖约 4800 个控制点位,实现对空调新风、冷源机组、给排水与送排风系统的集中监控与自动调度。

●**环境安全监测:**部署约2000个末端监控点位和900余个传感器,实现客运区、地下空间及酒店区域的空气质量与CO浓度实时监测与自动通风联动。

●**能耗优化管理:**HAI平台融合能源管理与自控系统,对电、水、冷量等进行分项计量与动态分析,通过能耗超限预警与设备群控实现能源按需供给与供需平衡。

●**AI智能控制:**通过算法模型优化运行策略,动态调节设备负载,实现系统级节能与运行效率提升。

实施成效

●**节能成效显著:**通过AI算法与群控策略优化,综合能效提升 超过25%,照明能耗降低 约30%。

●**环境安全可靠:**智能传感系统实现环境数据实时监测与自动响应,保障车站与公共区域空气质量与安全。

●**运维高效智能:**集中化监控显著提升运维效率,减少人工干预,为大型综合交通枢纽的持续稳定运行提供坚实保障。



4.4 智慧园区案例

智慧园区需应对多业态、多功能空间的综合能源需求，暖通系统作为核心环节，对园区的运行效率和低碳目标具有重要影响。案例实践表明，通过园区级暖通智控架构与跨系统联动设计，可实现能源梯级利用与多源能源的优化调度。在实际运行中，该方案提升了能源利用率，降低了运营成本，并通过碳排放监测实现了可视化管理。相关实践为园区能源治理与智慧城市建设提供了可复制的经验。

案例一：海尔科创园



图4-15 海尔科创园

项目特征：智慧楼宇样板园区，覆盖多场景空气需求

项目背景

海尔科创生态园基于物联网、大数据、5G、BIM、AIoT 与 IOC 平台打造，定位为安全、高效、绿色、智慧的数字化园区，汇聚全球研发与创新资源。作为标杆项目，其运行环境复杂，涵盖办公、研发、展示等多功能场景，对空气品质、舒适性和能源效率均提出较高要求。

解决方案

针对办公园区人员密集、场景复杂、各区域对空气质量与节能需求差异明显的痛点，定制了“四大场景一体化解决方案”，涵盖机房管家、智慧空气、智慧空间与智慧能源场景，全面提升楼宇的运行效率与环境品质。

- **机房管家**:结合人员出勤规律,空调系统可在上班前自动启停,并进入 AI 深度节能模式,实现动态优化;
 - **智慧空气**:实时监测室内外温湿度、CO₂ 浓度及人员分布,在人员密集区自动启用新风系统,保障空气品质;
 - **智慧空间**:楼宇大脑基于气象数据、用户习惯与实时需求,通过 AI 算法生成最优控制策略,提前调整运行参数,实现全局环境的主动管理;
 - **智慧能源**:在下班时段,系统识别人员流动情况,及时关闭无人区域电力供应,避免能源浪费。
- 通过多维度场景的协同,系统实现了对楼宇环境与能源的精细化管控,在保障舒适性的同时显著提升了节能效益。



图4-15

实施成效

- 集成空调、电梯、照明等 18 个子系统,覆盖 5000+ 设备点位;
- 运维人员需求减少约 66%;
- 能耗降低 51.7%;
- 实现暖通、照明、电梯、安防、消防等系统的互联互通与统一智控。

案例二：宁波市创中心办公楼



图4-16 宁波市创中心办公楼

项目特征：高规格人才基地，满足舒适办公与高效管理需

项目背景

宁波市创中心办公楼位于杭州湾新区数字经济产业园，聚焦数字经济、新材料、先进制造等产业，规划展示、研发、转化和生活等功能区。作为高层次人才聚集地，办公楼需同时满足舒适性、节能性与高标准运行可靠性。

解决方案

项目采用物联多联机系统，具备远程管理和智慧运维功能：

- 可通过手机端与 PC 端实现分区管理、日程设定与设备状态监控；
- 提供能耗曲线与设备运行状态的可视化管理；
- 依托云端监测系统，具备故障预警、在线报修与 AI 自适应优化功能；
- 设备采用全直流变频柔性压缩机与高效直流无刷电机，实现高效稳定运行，满足政府办公项目的品质与服务要求。

实施成效：

- 系统节能率约 30%–40%；
- 运维效率提升，降低管理成本；
- 设备运行稳定可靠，满足办公场所高标准舒适与安全需求。

案例三：雄安新区金湖未来城



图4-17 雄安新区金湖未来城

项目特征：超大型综合性功能区

项目背景：雄安新区首批市场化建设项目之一，建筑体量超255万平方米，涵盖商业、办公、酒店、医院、教育与住宅等多业态功能区，是典型的超大型综合智慧城区。由于建筑类型多样、系统庞杂，对能源效率、环境舒适性及智能化管理的协同控制提出了极高要求，因此项目亟需一套具备全域集成、精细调控与高可靠运行能力的楼宇智控系统。

解决方案

项目采用基于HAI平台+IoT-DDC控制器的智慧楼宇综合解决方案，系统共接入约55,290个控制点位，覆盖空调、新风、冷热源机房、给排水及送排风系统等关键设备，实现全功能区统一监控与调度。

- **集中控制与能源管理：**通过HAI平台对设备运行状态、能耗及报警进行实时监测与联动调度，实现系统级节能优化。
- **环境监测与安全联动：**实时监测温湿度、一氧化碳、甲烷浓度等环境参数，当浓度超限时自动启动通风系统，确保空间安全与空气质量。
- **灵活架构与扩展性：**系统支持两层与三层网络架构，适配不同建筑规模及管理需求，为新区后续项目推广提供可复用模板。

实施成效

- **实现高效节能与低碳运行：**系统通过优化设备运行策略，提高了设备运行效率，有效降低了能耗，助力建筑实现低碳节能目标；
- **保障环境健康与舒适：**系统通过监控和调节楼宇内的温湿度、空气质量，为人们提供了舒适、健康的办公、餐饮、休闲及居住环境。
- **提升运维效率与管理水平：**系统实现了楼宇内各机电设备的集中管理和分布控制，这有助于减少设备维护、维修费用及管理人员的开支。

4.5 智慧酒店案例

智慧酒店在提供高品质住宿体验的同时,需兼顾节能降耗与智慧化管理。客流量波动大、全天候运行和对舒适性的高标准要求,使得暖通系统必须具备高效、低噪和智能调控的能力。案例结果显示,通过磁悬浮机组和物联平台结合,酒店实现了节能、稳定与舒适的平衡,为绿色酒店建设提供了参考。

案例一:上海虹桥祥源希尔顿酒店



图4-18

项目特征:绿色运营导向,关注节能与舒适性

项目背景

上海虹桥祥源希尔顿酒店地处上海核心枢纽区域,客流量大,全年高负荷运行。项目需在保证旅客舒适休憩环境的同时,满足“双碳”政策下的节能与绿色运营目标。空调负荷随客流波动频繁,对系统的稳定性和智能化能力提出挑战。

解决方案

- 部署磁悬浮中央空调系统,实现无油运转和低噪音运行;
- 宽幅变频调节能力保证低负荷下的高效运行;
- 依托物联智能云平台,实时监测机组状态,动态调节冷量输出;
- 通过远程云端管理实现节能优化与故障预警,减少人工干预。

实施成效

- 系统节能率达35%以上,年运营成本由230万下降至150万左右;
- 运行噪音降低至传统机组的一半以下,显著提升住客体验;
- 智能化运维功能降低管理人力成本;
- 实现全年稳定运行,打造绿色智慧酒店示范。

案例二：沃尔顿 ACA 酒店



图4-19 沃尔顿 ACA 酒店

项目特征：高效节能与智慧管控并重

项目背景

沃尔顿是一家轻奢主义五星连锁酒店，专注低调奢华、精致高雅、舒适有温度的高颜值酒店产品，致力打造奢华、轻奢、中档偏上、度假、精选五种不同档次的酒店，践行让客人舒服，成为轻奢主义中高端酒店领跑者！南昌沃尔顿 ACA酒店致力于打造成一个高端节能酒店，让住客享受舒心体验的同时，也能打造一个绿色节能的酒店形象。

解决方案

鉴于此需求的基础上，项目选用高效机房解决方案，高效机房解决方案采用磁悬浮机组：

- 应用高效机房方案，采用磁悬浮机组，全年综合能效比（COP）可达 5.5 以上；
- 系统支持智能自清洁、故障自处理、程序自更新和云端服务；
- 具备智能化运行模式，可远程监测与调控，实现无人值守。

实施成效

- 实际节能率超过50%；
- 系统运行稳定，满足全天候运营需求；
- 提升酒店能源管理水平和高端绿色运营形象。

案例三：济南润华皇冠假日酒店

项目特征：五星级酒店

项目背景：济南润华皇冠假日酒店建筑面积7.6万平方米。项目位于济南西部新城会展中心商圈，定位高端型，集多功能客房、高端餐饮、独具特色的宴会场所以及丰富的康体休闲设施为一体。酒店建筑地上32层，地下2层，主体结构高度146米。

解决方案

提项目采用HAI平台EBA能源楼控系统，集楼宇自控、机房群控、联网温控与能耗监测于一体，实现建筑机电设备的统一管理与智能调度。

●**系统配置：**应用IoT-DDC控制器、EG03智能网关、无线联网温控器、HUA超声波热表等产品，共接入2078个控制点位，配置能耗表具200余台。

●**集中监控与分区控制：**系统对空调、新风、排风等设备进行实时监测与自动调节，实现按楼层、按区域的温度集中控制与分区管理，支持远程启停、模式切换及参数设定。

●**智能管控平台：**以 HAI 平台为“智慧大脑”，融合能耗数据与楼控数据，实现对暖通、照明、给排水等机电系统的集中监控、能效分析与远程管理。

●**按需供给策略：**系统通过监测末端冷热需求，动态调整机房输出功率与水系统流量，避免过度制冷/制热，实现能源的“按需调配”。

实施成效

●**节能降耗显著：**通过负荷预测与变频群控，整体能耗降低约 20%，运行效率明显提升。

●**舒适体验提升：**系统实现客房温湿度恒定与空气质量动态优化，住客可个性化调节，舒适度显著增强。

●**运维高效便捷：**集中监控平台实现设备状态可视化与故障定位，降低人工巡检强度，提升响应与维护效率。

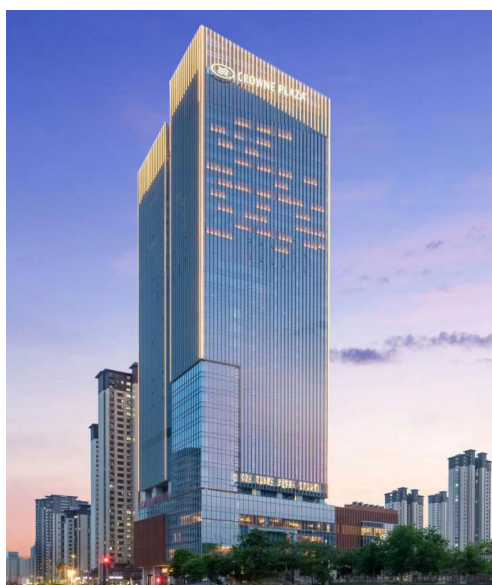


图4-20 济南润华皇冠假日酒店



图4-21 IoT-DDC控制箱、传感器

4.6 分布式能源管理

智慧住宅注重居住舒适性与个性化控制,同时强调能效与安全。在智能传感和AI自适应调控支持下,系统能够远程管控、分户能耗统计并动态调节室内环境。实践表明,该类应用既提升了住户体验,又有效降低家庭能耗,为C端绿色居住模式的推广提供了支撑。

案例一:河北唐山古冶区智慧供热改造



图4-22 河北唐山古冶区智慧供热改造项目

项目特征:市级重点民生工程;区域集中供热系统智慧化改造项目

项目背景

唐山市古冶区供热改造项目是当地“城市更新与清洁能源替代”行动的重要组成部分,覆盖供热面积约 65 万平方米,服务居民约 1.3 万户,涉及 273 栋住宅建筑。改造前,该区域主要依靠钢厂余热供暖,系统效率低、能耗高、运行依赖性强。随着钢厂搬迁及生态修复工程启动,原有热源不再具备持续供热条件,项目亟需采用清洁、高效、智能的供热新方案,以保障冬季供暖稳定与民生安全。

解决方案

项目采用物联网超低温空气源热泵+智慧控制平台的整体解决方案,实现供热系统的清洁化与智能化升级。

(1) 超低温空气源热泵技术应用

系统配置 EVI 涡旋喷气增焓压缩机,具备 -35°C 低温环境下稳定启动与运行能力,制热性能较常规机组提升约

20%。采用冷媒双环路设计,通过轮换运行与分区负载调节,提升运行稳定性与设备寿命。机组出水温度控制精度达 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$,可在不同户型与楼层条件下实现按需供热,提升整体舒适性。

(2) 智慧控制与远程运维管理

针对供热区域分布广、建筑类型多样、运维管理复杂等问题,系统引入基于云平台的远程监控方案:

- **可视化运行监测:**实时采集各换热站及末端运行数据(温度、压力、能耗等),通过云端平台实现集中展示与分析;
- **远程调控:**支持手机端与PC端双重远程控制,实现供暖模式切换、分区调温及异常告警响应;
- **智慧运维策略:**通过运行数据建模与趋势分析,实现设备健康状态评估与故障预警,减少人工巡检频率,降低运维成本。



图4-23

实施成效

面对严苛的自然条件与复杂需求,通过部署489台超低温空气源热泵机组,在 -35°C 极端环境下成功保障用户室内温度稳定在 $22^{\circ}\text{C}\sim 26^{\circ}\text{C}$ 之间。项目最终实现整体节能率30%,换热性能提升20%,并通过集中智能控制系统将运维人力减少了50%,以显著的成效完成了供暖保障与能效管理的双重目标,并成为唐山市清洁供热改造的示范样板。

案例二:北京市行政副中心公务员周转房

项目特征:超大型住宅社区;装配式建造、智能楼宇自控系统、全面的环境质量监控以及多项绿色节能技术的综合应用。

项目背景:北京市行政副中心公务员周转房项目是服务市级机关干部职工的重要民生配套工程,总建筑面积约97.5万平方米,共建设约8000套住宅,并配套学校、社区服务中心、商业网点等公共设施。项目贯彻“绿色、副中心、可持续”的建设理念,强调健康、节能、智慧的人居体系建设,采用超低能耗建筑标准和智能化控制系统,是北京城市副中心绿色社区建设的重要示范。



图4-24 北京市行政副中心公务员周转房

解决方案：

针对该超大体量住宅项目的舒适性与能效双重需求，项目采用了完善的楼宇末端控制解决方案：

- **温控系统：**项目共部署约11,300只智能温控器，具备高精度控温与多模式调节功能。温控器支持RS485与 Wi-Fi 通讯方式，采用 Modbus 协议，可接入楼宇自控系统 (BAS) 或末端监控平台，实现温度集中监控与统一调度。
- **阀控系统：**采用电动两通阀，实现对空调末端水路的自动启闭控制。通过与温控器联动，系统可自动调节室内温度，动态匹配冷热需求，提升整体能效与使用舒适度。
- **系统集成特性：**控制设备具备良好的开放性与可扩展性，能够与楼宇其他子系统实现数据互联，支持后期系统升级及社区级能耗监管扩展。

实施成效：

- **舒适度显著提升：**温控系统实现精准控温与智能调节，为住户提供稳定、舒适的室内热环境；
- **节能效果突出：**温控与阀控系统协同运行，有效减少能源浪费，实现分区按需供能，助力项目整体能耗降低；
- **智慧管理落地：**系统实现设备运行状态可视化与远程运维能力，为后续运维管理与能源优化提供技术支撑。

第五章

行业发展的挑战与机遇

暖通系统作为建筑物和现代城市的重要基础设施,其智能控制系统则是保障暖通设施高效运行的核心。所有技术和方案的发展都应服务于建筑和城市的需求,而不是技术创新本身的目的。

在“双碳”战略和智慧城市建设的大背景下,暖通智控行业正迎来快速发展的关键时期。然而,技术复杂性、商业模式、标准体系、数据安全及人才储备等多维度问题,仍在制约其大规模推广与可持续发展。本章将从技术、商业、标准互操作性、数据安全与人才建设等角度,系统梳理行业所面临的现实挑战,并结合政策环境与市场趋势,分析潜在的增长机遇和转型方向。

5.1 技术挑战

(1) 控制精度与系统复杂性矛盾

随着建筑规模扩大与功能复合化,暖通系统拓扑日益复杂,运行工况具有多源负荷、非线性耦合和高度动态性^[31]。例如,大型综合体往往同时涵盖办公、商业、酒店和住宅空间等不同业态,其环境需求差异显著。实现高精度控制需要更复杂的算法和更密集的传感器数据,但这也带来了更高的建模难度与运行成本。如何在暖通设计尽可能隔离不同业态的条件下,在“高精度调控”与“系统复杂性”之间取得平衡,形成既可扩展又具经济性的控制策略,是当前智控实践中的关键矛盾。

(2) 智能算法的场景适配难点

智能控制算法(如机器学习、预测控制、强化学习等)在标准化环境下往往表现优异,但在复杂的实际场景(机房、医院、商场、轨道交通等)中,适配性与可靠性不足^[32]。不同场景的人员密度、运行周期、气候特征和设备配置差异较大,算法泛化能力有限,常需重新调优,增加了项目实施难度。即由于AI学习算法强烈依赖于数据,数据必须覆盖所有可能的运行条件,学术上称为必须覆盖所有频谱,现有的数据资产库很难做到^[33]。因此,在高可靠性要求场所(如医院、数据中心),当AI模型用于控制时,为了设备安全,也为了能增加业主的接受度,必须在算法中设定出现危急情况时的限制。

(3) 软硬件兼容性与系统集成挑战

当前暖通系统多由不同厂商、不同年代设备构成,存在通信协议不统一、接口不兼容、数据格式分散等问题。新老系统混用时,容易出现数据孤岛、功能重叠或通讯不稳定,削弱整体效能。系统集成与调试的高成本、高风险,也降低了投资方的积极性。如何在保障存量设备资产价值的同时,实现平滑的智能化升级,是行业普遍面临的痛点。

(4) 高质量故障数据资产库的缺失与维护挑战

智能运维与预测性维护的有效性高度依赖于高质量的、标注清晰的故障数据。然而,行业当前普遍面临**数据零散、缺乏统一标注、难以共享**的问题。设备厂商、工程服务商和业主各自掌握的故障案例往往未形成标准化知识体系,导致算法训练数据不足,诊断模型精度提升困难。

行业亟需构建标注清晰、结构化的故障数据资产库,以支撑高精度诊断算法的开发与优化。即在设备运行数据中,

对故障类型、发生时间、环境参数、设备型号、运行工况等进行结构化标注,形成统一的数据标准和可溯源的标签体系。这类数据资产库是支撑高精度诊断算法开发的基础。

更为关键的是,故障数据库必须具备可持续的维护与更新机制。通过行业联盟、产学研联合平台建设共享数据库,并明确数据治理、隐私保护与更新责任分工,才能保障其长期有效性和行业价值。

总体而言,暖通智控在技术层面既面临复杂系统建模与高精度控制的矛盾,也存在算法场景适配性不足、软硬件兼容性差以及数据资产匮乏等共性挑战。其中,建设并持续维护“有标志的故障数据资产库”已被业内专家视为打破瓶颈的关键路径。只有在形成标准化、可共享的高质量数据资源后,才能真正支撑智能诊断、预测性维护与自学习算法的落地,从而推动行业整体向更高效、更可靠、更智能的方向演进。

5.2 商业挑战

暖通智控行业在快速发展的过程中,商业模式的不成熟与服务体系的不健全,已成为制约其规模化应用和可持续发展的关键因素。当前,行业主要面临以下三方面挑战:

(1) 项目前期成本压力大,投资回报周期长

智能暖通系统的建设涉及传感器部署、通信网络搭建、控制器与执行器升级、系统集成与调试等多个环节,相比传统系统,初始投资普遍高出20%–50%。尽管运行阶段的节能率可达15%–30%,但在能源价格波动或资本压力较大的背景下,项目ROI回收周期通常需要3–5年,部分存量建筑改造项目甚至更长。这种长周期回报模式削弱了业主的投资意愿。未来,如何通过合同能源管理(EMC)、绿色金融、碳资产交易等创新模式,降低前期投入压力、缩短回报周期,将成为商业模式突破的关键。

(2) 中小型项目市场渗透率不足

目前,暖通智控技术的应用主要集中在大型公共建筑、数据中心和产业园区,而在中小型商业楼宇、学校、酒店及社区类项目中渗透率较低。原因在于:

- **投资敏感度高:**中小业主对成本回收期要求更为严格,高昂的改造成本与维护费用难以接受。
- **运维资源不足:**中小项目普遍缺乏专业运维人员,智能系统在运行中常因缺乏持续优化而未能充分发挥其设计效能,投资回报率低于预期。
- **解决方案不匹配:**现有产品多面向大型场景,缺乏低成本、模块化、即插即用的轻量化方案。

因此,行业亟需开发标准化、模块化、轻量化的解决方案,提升中小项目的可负担性和易用性,打破规模化发展的“天花板”。

(3) 运维体系不健全,价值兑现不足

大量暖通智控项目在建设完成后缺乏系统性的运维支持,呈现“重建设、轻运维”现象。智能系统在运行过程中,需要持续的算法优化、模型校准、故障诊断与设备巡检,否则其节能与舒适性优势难以长期维持。当前问题主要包括:

- **缺乏标准化运维体系**:不同厂商提供的运维服务差异显著,缺少统一的行业标准和第三方绩效评估机制。
- **人才储备不足**:运维人员缺乏对智能控制算法和数据诊断的理解,问题发现与处理滞后。
- **长期价值缺乏保障**:部分系统在运行几年后节能率明显下降,用户信任度受损。

未来行业需通过标准化运维规范、第三方运维服务平台、人才认证与培训机制的建设,确保暖通智控系统能够实现“建设—运行—优化”的闭环价值兑现。

商业挑战是暖通智控行业规模化发展的重要瓶颈。解决这一问题需要建立合理的技术服务模式 and 多方利益平衡的商业模式,实现业主、服务商与投资方的共识与共赢:

- **创新投融资模式**,降低业主前期投入压力;
- **推动中小项目普及**,形成差异化产品与市场分层;
- **建立健全运维服务体系**,保障系统长期价值。

能源托管是解决物业管理企业人才瓶颈、竞争内卷的有效的体系改革,已在某些省份得到推广;科学的、严谨的运维管理制度也是健全运维服务体系的重要组成部分。例如万达广场的物业管理制度严禁擅自将BA从自动转入手动状态就是针对最为常见的、导致所有节能措施崩溃的设备管理弊病的一项改进。

唯有在商业模式上实现突破,行业才能真正从“试点验证”走向“规模部署”,并支撑绿色低碳目标下的长期可持续发展。

5.3 标准与互操作性挑战

标准与互操作性问题是暖通智控行业规模化发展的核心瓶颈之一。不同厂商设备和系统之间在通信协议、数据建模和接入规范上的差异,使得“互联互通”仍停留在局部和碎片化水平,难以支撑跨系统、跨场景的集成与优化。本节从通信协议、项目模型和物模型标准三个方面进行梳理。

(1) 缺乏统一通信协议标准

当前,暖通智控系统主要依赖 BACnet、Modbus、LonWorks、OPC UA 等通信协议。但在实际工程中,不同厂商在协议实现细节、扩展功能和语义定义上差异显著。例如,部分厂商仅支持基础点位数据,另一些厂商则采用自定义点表格式,导致即便在同一协议下,设备之间也常出现互操作困难、语义不一致的问题。

这种情况直接导致:

- **跨品牌设备难以互联**,项目集成复杂度增加;
- **数据孤岛问题突出**,不同子系统数据难以汇聚与分析;
- **运维与升级困难**,跨平台的二次开发成本高。

行业亟需借鉴电力系统IEC 61850标准和工业互联网TSN/OPC UA互联经验,推动制定更加统一、细化的通信协

议标准,提升设备间的即插即用能力。

(2) 高度定制化项目缺少通用模型

目前,暖通智控工程仍以定制化设计和部署为主。每个项目往往需要重新定义数据结构、控制逻辑和点表配置,缺乏可复用的标准化工程模板与通用模型。其结果是:

- 工程周期冗长:设计、调试需从零开始,项目交付效率低;
- 缺乏规模效应:不同项目间难以直接迁移经验和算法;
- 平台沉淀不足:软件和控制策略难以形成标准化组件,增加后续维护成本。

借鉴BIM(建筑信息模型)和数字孪生的思路,行业需要在暖通系统建模、数据语义定义、控制逻辑模板化等方面形成标准化框架,推动工程经验从“项目化”向“产品化”转变。

(3) 物模型标准与接入规范不足

在数据驱动的智能控制时代,单纯解决通信层面的互联已不足以支撑跨系统优化。关键在于缺乏统一的物模型标准。当前,对于冷水机组、空气处理机组(AHU)、循环水泵、末端设备等主要暖通设备的运行参数、工况状态和语义定义缺少行业规范。这直接导致数据入库(如采样频率、存储格式)和接入(如API接口)不统一,难以实现跨平台数据共享与算法复用。因此,建立基于物模型的统一标准体系,包括数据入库标准、接入规范和语义定义(可参考Project Haystack、Brick Schema等国际经验),已成为推动设备互联、平台协同与生态共建的迫切需求。

这一标准化进程将直接促进**设备互联、平台协同与生态共建**,并为智能运维、AI训练、跨建筑能效对比等应用提供坚实的数据基础。

5.4 数据安全与专业人才挑战

Claroty Team82最近的“2025年信息物理系统安全状况”报告对529个组织的467,000多台BMS设备进行了抽样,发现75%的组织拥有具有已知被利用漏洞的设备^[34]。如今,暖通智控系统正从单一楼宇走向跨园区、跨区域的互联互通,数据安全与人才储备成为制约行业长期健康发展的关键因素。智能化水平的提升带来了更多网络化与数字化依赖,也对行业人才结构提出了更高要求。

(1) 数据安全与隐私保护风险

随着IoT、云计算、边缘计算在暖通智控中的应用,系统需要处理来自传感器、控制器、执行器、云平台等不同环节的海量数据。这些数据涵盖设备运行参数、能耗信息、人员占用情况,甚至涉及医疗建筑、金融数据中心等高敏感场景的运营数据和隐私信息。由此带来三方面的突出风险:

- 传输与存储环节脆弱:若缺乏端到端加密机制,数据在传输过程中容易被窃取或篡改,导致能耗分析和控制策略失真;
- 系统攻击与运行中断风险:暖通智控系统与BAS、能源管理、消防安防系统深度互联,一旦被恶意攻击,可能引发大范围运行瘫痪,影响公共安全与业务连续性;

●隐私合规压力:在医院、学校、办公楼等场景,人员定位、占用检测等数据涉及个人隐私,若缺乏合规处理和访问控制,可能触碰数据合规与隐私保护法规(如《数据安全法》《个人信息保护法》)。

未来,行业必须构建多层次数据安全防护体系:

- 技术层面:全面落实端到端加密(AES/SSL)、设备身份认证、入侵检测与防御(IDS/IPS)、日志审计;
- 管理层面:明确数据分级分类、采集与存储规范,建立跨部门的安全责任体系;
- 合规层面:对标ISO/IEC 27001、GB/T 22239《信息安全技术网络安全等级保护》等标准,确保系统安全满足国际国内法规要求。

例如,海尔自主研发的智控平台、100%国产化智控器以及AI节能算法,提供数据安全的智控方案。

(2) 人才结构缺口与复合型人才培养难

暖通智控是暖通工程学、自动化控制、人工智能、大数据分析、信息安全等多学科交叉的产物。行业发展迅速,但人才供给明显滞后,主要体现在:

- 复合型人才稀缺:目前工程技术人员熟悉HVAC工况,但缺乏算法与数据建模能力;而IT与AI工程师懂算法,却不了解暖通设备运行逻辑,导致系统落地过程中常出现“模型可行但工况不适配”的问题;
- 教育与产业脱节:高校相关课程体系仍偏重理论教学,缺少真实工程场景下的实验与实践,学生难以积累跨学科经验;
- 培训与认证不足:目前行业尚缺乏统一的职业培训与认证体系,人才培养依赖企业内部培训,缺乏规模化与系统性。

针对上述问题,行业需要从三方面推进:

- 产教融合与课程升级:推动高校与行业龙头企业共建交叉学科课程和联合实验室,涵盖HVAC工况建模、智能算法、BIM/数字孪生应用等模块;
- 职业培训与认证体系:由行业协会牵头,建立暖通智控工程师培训认证体系,类似电气、消防等行业的专业资质,提升人才标准化水平;
- 实践驱动的人才培养:鼓励企业通过真实项目实训、沙盘仿真平台、虚拟调试等手段,加速青年人才积累跨学科经验。

总而言之,数据安全和人才缺口已成为暖通智控行业发展的双重瓶颈。安全层面,系统必须建立全链路的网络防护与隐私合规机制,防范潜在攻击与合规风险;人才层面,则需要推动跨学科复合型人才培养,并建立系统化的职业培训与认证机制。唯有在安全与人才两方面同时突破,行业才能支撑起规模化部署与长期可持续发展。

5.5 政策驱动与“双碳”带来的新机遇

在“双碳”战略引领下,暖通智控行业正迎来政策与市场双轮驱动的历史机遇。节能与减排不再是单一企业的自发

行为,而是由国家战略目标、强制性标准以及财政金融工具共同推动的行业转型方向。

(1) 双碳目标下的转型机会

国家相关文件对建筑能耗和碳排放提出了明确目标和标准,为暖通系统的升级改造提供了政策指引和制度保障。根据住房城乡建设部数据,建筑运行能耗占全国能源消费总量的20%以上,其中暖通系统是主要贡献部分。提升暖通能效已被明确为实现“双碳”目标的关键环节。与单纯依赖设备更新不同,智能化控制系统通过负荷预测、群控调度、碳排放监测等手段,可实现10%–30%的能耗降低。这使得暖通智控成为政策支持的重点方向。未来,行业有望借助财政补贴、绿色贷款和碳交易等政策工具,推动智能控制在公共建筑、产业园区、交通枢纽等重点领域的规模化应用。

(2) 老旧建筑改造释放的市场空间

我国既有建筑数量庞大,其中仅约20%达到节能标准。老旧建筑更新已被纳入国家“城市更新行动”和地方节能改造专项计划。暖通系统作为能耗大户,成为改造重点。例如,通过空气源热泵替代燃煤锅炉、部署按需通风与末端智能控制,不仅满足舒适性要求,还可实现节能与减排的双重效益。以北方部分城市的既有公共建筑改造为例,项目节能率普遍达到20%–40%,成为行业新的增长“蓝海”。

面对建筑用户迫切的节能改造需求,海尔推出了能效检测箱,针对水机和多联机,仅需3-7天数据采集即可完成能效诊断与深度分析,能效准确率高达90%以上,同步输出节能改造定制方案,帮助用户精准测算投资回报周期,降低改造风险。



图5-1 海尔智慧楼宇能效诊断箱

(3) 智慧城市政策带来的制度红利

将暖通智控系统融入城市更新、韧性城市建设和智慧城市等国家重大工程,以提升行业地位并推动多方共识的形成。

《“十四五”建筑业发展规划》提出全面推广绿色建筑、BIM 技术与智能控制融合应用,《新一代人工智能发展规划》进一步强调AI在建筑与能源管理中的应用。地方政府的智慧城市和智慧园区规划,也将暖通智控纳入新基建体系。

通过5G、物联网、数字孪生等平台化手段,暖通智控将实现与照明、安防、电力调度的跨系统协同,成为城市级能耗与碳排放治理的重要抓手。

随着国务院印发《推动大规模设备更新和消费品以旧换新行动方案》的政策持续推进,产业需求亦有较强支撑。智慧建筑行业迎来新的机遇,分别是“碳达峰与碳中和”、“数智化”以及“国产替代”。随着“双碳”战略目标确立,楼宇建筑的智慧低碳进程有望提速。

5.6 暖通智控技术融合趋势与跨行业合作

随着技术与市场边界的不断扩展,暖通智控正逐步走向跨行业融合与开放生态构建。

(1) 智能建筑与能源互联网融合

未来暖通系统将不仅是建筑内部的节能工具,更是能源互联网的重要组成部分。通过与分布式光伏、储能电池、直流供电系统和柔性负荷的深度融合,暖通系统可以实现“光-储-直-柔”一体化运行。例如,在峰谷电价差异显著的区域,暖通系统可作为需求侧响应的重要参与者,实现削峰填谷,甚至参与电力现货市场交易。这种模式既能提升建筑自身的能效与经济性,也增强了电网对可再生能源接入的消纳能力。

(2) 跨行业数据共享与协同增效

暖通智控产生的能耗、工况与碳排放数据,若能与城市交通、环保监测、电网运行等数据打通,将形成更高层级的协同价值。例如,交通枢纽可根据列车时刻表和客流预测,动态调节站厅空调;工业园区可结合电网实时负荷调度优化制冷策略。当前,行业面临的瓶颈是数据标准不统一、互操作性不足。未来亟需建立基于物模型和语义互操作的统一标准,并通过开放API和数据治理规范,推动暖通数据与多行业平台的融合。

5.7 从产品走向平台:智能运维与数据平台

随着地产红利逐渐减弱、维保模式产生变化以及物联网技术应用,市场格局优化有望提速。暖通智控的发展方向正在从单一设备控制逐步演进为全生命周期的智能运维与数据驱动的服务平台。

(1) 智能运维平台建设趋势

传统的“重建设、轻运维”模式已难以满足智能建筑需求。新一代运维平台基于云-边-端协同架构,集成数字孪生与AI技术,能够:

- 形成设备的动态全息模型,实时映射运行状态;
- 支持预测性维护(Predictive Maintenance),通过对能耗曲线和振动数据进行建模,提前发现潜在故障;
- 结合天气预报、负荷预测实现自适应运行调度;
- 提供跨系统的自动协调能力,实现照明、安防、能源系统的联动优化。

这种趋势意味着，运维平台将覆盖设计-施工-运维的全生命周期，推动“建设即运维”的理念，提升建筑的长期价值。

(2) 数据平台的商业价值

统一的数据平台是未来暖通智控的核心资产。通过沉淀设计、施工、运行全过程数据，企业能够提炼节能模型、优化策略库，并形成可复用的行业基线。

- 节能与减排：一些国际案例显示，数据驱动的控制平台可实现 30%-50% 的能耗下降，CO₂ 排放显著减少；
- 服务创新：数据平台支持 能效顾问服务、性能契约 (Performance Contracting) 等新商业模式，为企业创造持续收入；
- 价值延伸：数据平台不仅服务单体建筑，还能扩展到园区级、城市级，实现跨项目的能效对标与碳排放分析。

(3) 政策倡议：发展高价值工具软件

目前国内市场存在大量功能重叠、技术水准参差不齐的软件平台项目，导致了资源分散和重复建设。为避免低水平重复开发，提升行业整体效率，有必要将研发重点转向高价值的核心工具软件，如先进的节能智控算法平台、高精度的故障探测与诊断 (AFDD) 工具等。建议在国家层面加强引导，通过制定统一评测标准、设立专项研发基金、鼓励行业联盟联合攻关等方式，加速高水平、标准化工具软件的开发与普及，从而推动暖通智控形成“硬件-软件-服务”一体化的健康产业格局。

综上所述，在挑战与机遇并存的行业转型期，政策驱动、数字化融合和平台化发展为暖通智控行业开辟了全新空间。从“双碳”战略和城市更新释放的需求，到能源互联网与多行业协同带来的跨界机会，再到智能运维和数据平台塑造的新商业模式，暖通智控正从单一“节能工具”演进为智慧碳管理与城市级能源治理的核心支撑技术。

5.8 暖通智控“出海”机遇与国际化发展路径

随全球暖通空调 (HVAC) 及楼宇智能控制产业正处于持续增长周期。根据多家国际市场研究机构的预测，2024 年全球 HVAC 市场规模已超过 3000 亿美元，预计到 2030 年将突破 4500 亿美元，年均复合增长率约为 5%-6%^[35]。在能源转型、气候变化与城市化进程的多重驱动下，智能化、低碳化和数字化已成为全球暖通系统发展的主要方向。

与此同时，建筑能效与碳减排政策正持续强化。欧盟提出到 2030 年建筑能耗下降 30% 的目标，美国和日本已相继发布建筑碳中和路线图，东南亚与中东地区则通过引入绿色建筑认证体系 (如新加坡 BCA Green Mark、阿联酋 Estidama) 加快能源管理体系建设。智能暖通控制系统作为建筑能效优化的核心技术之一，正成为全球绿色基础设施投资的重要组成部分。

对中国暖通智控企业而言，国内市场竞争趋于饱和、价格体系持续下探，“内卷化”现象突出。此背景下，海外市场的结构性增长与政策红利，为国产品牌的国际化提供了新的战略窗口。

5.8.1 “一带一路”与东南亚市场的重点机遇

“一带一路”倡议实施十年来，基础设施建设与城市化进程在沿线国家显著加快。以东南亚、中东、中亚等地区为代表的新兴经济体，对高效制冷、节能建筑和智能管理系统的需求持续增长。

(1) 东南亚地区：高温高湿、需求刚性、政策利好

新加坡、马来西亚、泰国、越南等国常年高温高湿，建筑能耗中空调占比普遍超过50%。随着经济增长与城市更新，商业综合体、数据中心、轨道交通、医院等场景对节能与运维智能化提出更高要求。各国政府陆续出台能效激励政策——如新加坡《绿色建筑总体规划》(Green Building Masterplan) 提出到2030年80%的建筑应达到绿色标准；马来西亚《可持续建筑发展蓝图》亦要求新建项目强制配置智能能源管理系统。这些政策为国产智控产品提供了广阔的市场空间。

(2) 中东与北非地区：高温极端环境下的高效制冷需求

以阿联酋、沙特、卡塔尔为代表的海湾国家在城市化和大型赛事(如世博会、世界杯)带动下，建筑节能与集中制冷(District Cooling)项目快速发展。对智能控制系统的本地化适配、冗余保障和远程运维能力提出更高要求。

(3) 南亚与中亚地区：与中国合作基础良好，示范项目潜力突出

在巴基斯坦、哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦等国家，能源基础设施建设与工业园区开发正快速推进。中国企业在EPC总包、设备供货及城市综合项目中占据重要地位，暖通智控系统可通过工程配套“捆绑出海”，在能源管理和建筑节能方向形成标杆项目。

5.8.2 出海面临的主要挑战

尽管国际市场机遇显著，但国产暖通智控企业仍面临多重挑战：

- 标准与认证壁垒：各国在电气安全、通信协议、能效标识及数据安全方面存在不同法规要求。例如欧盟CE认证、澳大利亚SAA认证、泰国TISI认证等均需单独测试与注册，认证周期长、成本高。
- 本地化运维与服务网络不足：智控系统运行依赖长期维护与数据优化，缺乏本地化服务团队将削弱系统性能与品牌信誉。
- 系统兼容性差异与集成复杂度高：海外项目往往需与既有BMS、安防或能源平台互联，不同数据模型与通信协议差异导致调试复杂。
- 融资与结算风险：部分新兴市场金融体系不完善，存在汇率波动、账期延长与政治风险，影响项目收益稳定性。
- 品牌信任与市场认知不足：国产品牌在海外尚处于起步阶段，缺乏长期积累的品牌口碑与示范案例。

这些问题决定了出海战略必须以“合规先行、示范驱动、服务保障、风险可控”为原则，逐步推进。

5.8.3 国产暖通智控企业的国际化战略路径

为有效参与全球竞争、形成可持续的国际化能力，国产暖通智控企业应从以下五个方面构建系统化出海路径：

(1) 精准市场选择与阶段化布局。

以东南亚和中东为优先突破区域,通过与国内EPC、房企、数据中心业主的合作项目“捆绑出海”,先期积累示范工程与本地口碑,再向周边国家辐射扩展。

(2) 产品本地化与合规体系建设

针对不同国家的气候环境与电气标准,开发热带化、高耐腐蚀、低功耗等版本;提前开展当地能效与安全认证,建立标准化技术档案和测试流程,实现从“出口产品”到“本地产品”的转变。

(3) 建立区域服务与远程运维网络

在重点国家设立区域技术服务中心、备件库与远程监控平台,采用“本地服务 + 中国智控中心远程支持”的双轨模式,提高运维响应速度与系统可靠性。

(4) 创新商业模式,降低客户门槛

借鉴合同能源管理(EMC)、能效托管(Energy-as-a-Service)及性能保障合同(Performance Contracting)模式,以节能收益分成替代一次性采购,降低业主初期投资压力。通过数据平台持续提供优化与诊断服务,实现长期收益。

(5) 构建品牌与生态体系

联合本地高校、工程咨询机构和行业协会,开展联合培训与标准化项目;积极参与国际标准组织(如ASHRAE、BACnet、ISO TC205)活动,提升品牌专业形象。通过参与智慧城市、绿色园区等区域标杆项目,建立品牌影响力。

5.8.4 从“中国方案”走向“全球方案”

暖通智控行业的国际化不仅是市场的延伸,更是中国制造向中国智造、中国标准向国际标准升级的重要契机。随着“双碳”目标与数字化转型在全球建筑领域的加速推进,能源管理、智慧建筑与城市级能效治理正在成为新的全球竞争高地。

中国企业在控制算法、系统集成、能效管理和运维平台等方面已具备较强的工程经验与成本优势。通过深化标准互认、强化品牌传播、完善本地化运维体系,国产暖通智控企业有望在未来3-5年内形成区域规模化突破,逐步从“技术输出”转向“系统解决方案输出”,并在全球绿色建筑与碳中和治理中贡献“中国方案”。

第六章

暖通智控技术未来的应用与展望

随着“双碳”战略的深入实施和数字化技术的快速演进，暖通智控行业正处于从“节能控制”迈向“智慧碳管理”的关键转型期。本章将系统展望未来发展趋势，从人工智能、云边协同、开放标准、BIM融合到模块化产品、碳排放闭环与虚拟电厂支撑，剖析核心技术突破路径和应用前景，为行业参与者提供战略性参考。

6.1 AI算法驱动

人工智能正成为暖通智控的核心驱动力。基于机器学习、深度学习与强化学习的算法，不仅提升了系统的自适应性与预测能力，还为复杂场景下的多目标优化提供了全新路径。

(1) 自适应控制与预测优化

- 机器学习：可通过历史运行数据与实时传感器数据，建立能耗预测与异常检测模型，辅助策略优化；
- 强化学习 (RL)：可训练控制代理在实际运行中不断迭代，平衡舒适性与能耗。例如，RL智能体在满足温湿度约束的同时，能动态优化冷机、风机和照明负荷，节能潜力达到 20-40%；
- 模型预测控制 (MPC) 结合 AI：能在多变量耦合条件下实现精细化调度，尤其适用于冷热源耦合、季节负荷波动等复杂工况。

(2) 负荷预测与故障诊断

- 深度学习模型 (如 LSTM 网络)：在短期热负荷预测中展现出高精度，为提前调节冷/热源提供依据；
- 基于神经网络的故障诊断模型：可实现设备级异常识别，例如冷机效率衰减、泵组振动异常等，诊断精度已在部分应用中超过 90%；
- AI增强AFDD (自动故障检测与诊断)：能持续学习设备运行特征，减少人工巡检依赖。

(3) AI + 数字孪生闭环优化

数字孪生通过构建设备与环境的虚拟映射，结合实时数据流与AI预测，实现“先仿真、后实施”；这种模式使得控制策略可在虚拟环境中验证风险，避免真实系统试错，提高能效与可靠性。

(4) 多系统协同与长期演进

AI算法可跨越空调、风机、水泵、照明等子系统，开展整体优化；未来发展趋势是AI驱动的自我学习平台，通过持续模型再训练与情境感知，逐步实现“零人工干预”的自主运行。

总体来看，AI驱动的暖通智控正从“单点优化”向“系统级、平台级智能化”演进，并将在负荷预测、能耗优化与运维管理方面发挥决定性作用。行业领先企业正基于海量运行数据与机理模型构建暖通垂域AI大模型，推动系统向自主学习、自优化方向演进。AI技术的应用都是为了更好地服务于建筑与城市的舒适性和节能需求，而不是简单地追求算法先进。

例如，海尔智慧楼宇基于海尔全国用户的海量运行数据和机理仿真知识，构建起AI大模型，并不断进行高精度模

拟训练,学会判断最优节能状态的运行策略。其次,海尔独有的暖通AI助手,相当于为用户配备了一位可提供实时远程诊断与支持的技术专家。该系统接入了暖通垂域大模型与RAG知识图谱,并对接DEEPSEEK、通义等大模型端口,实现故障代码快速解析与智能运维。专为暖通领域而研发,更加精准实用。

6.2 云边协同架构

在复杂暖通场景中,仅依赖本地控制或集中云计算都存在不足。未来系统将以云-边-端一体化架构为核心,实现低延迟响应与全局优化的兼顾。

(1) 边缘计算:实时响应与高可靠性

边缘节点下沉至机房或楼宇现场,部署轻量化AI推理模型,能够在毫秒级延迟内完成温度调节、风阀控制等动作;在网络中断或云端不可用时,边缘节点可保障控制闭环,确保系统安全稳定。

(2) 云端平台:建模、优化与跨域协同

云平台具备强大的计算与存储能力,可基于大规模历史数据进行模型训练和策略优化;云端可执行跨建筑群、跨园区的能耗调度,并结合动态电价与需求响应,实现区域级能源优化;通过持续迭代,云端下发优化后的策略至边缘节点,形成“模型训练在云、策略执行在边”的闭环。

(3) 云边协同机制:弹性与安全保障

- 容器化部署(如 Docker/K8s)使得边缘控制模块可快速扩展或升级,提升系统灵活性;
- 时序数据库 + 版本管理保证云-边数据一致性,避免策略错配或数据丢失;
- 安全机制包括加密传输、设备身份认证、权限隔离,确保跨域协作过程中的数据安全与合规性。

(4) 混合云与行业应用

混合云架构逐渐成为主流:私有云侧重安全与敏感数据存储,公有云侧重大规模计算与跨域优化;在数据中心、轨道交通、智慧园区等典型场景中,云边协同已展现出显著能效提升与运维效率优化的效果。

云边协同的本质,是通过边缘保障实时性、云端保障智能性,实现暖通系统的长期自优化。这一架构将成为智能建筑、智慧城市和能源互联网融合的重要基础。

6.3 开放标准与互联互通

未来的暖通智控系统将从“单厂商、单平台”逐渐走向开放互联,实现跨协议、跨品牌的兼容性和协作能力。这一趋势不仅是行业规模化发展的前提,也是实现智慧建筑与能源互联网深度融合的关键。

(1) 多协议兼容的必要性

当前, BACnet、Modbus、KNX、OPC UA等通信协议广泛应用于建筑自动化和楼宇控制, 但各厂商在实现层面存在差异; BACnet在HVAC领域应用最广, 但其对象模型扩展性有限; Modbus简单易用但语义表达能力不足; OPC UA在工业与楼宇跨界应用中优势突出, 支持平台无关的语义化交互; 推动协议的兼容与互联, 有助于降低集成难度、避免厂商锁定, 并为未来统一管理和跨系统调度打下基础。

(2) 标准制定的核心难点

- 数据语义不统一: 不同协议对设备点位、状态量的定义差异大, 难以直接实现跨系统互操作;
- 传输机制不一致: 现场总线、以太网和物联网协议并存, 导致接入复杂性高;
- 厂商生态割裂: 部分厂商仍采取封闭式协议, 增加了集成壁垒。

(3) 突破路径与前沿实践

- 语义互操作: 通过Brick Schema、Project Haystack等通用设备本体模型, 统一设备定义和数据标签, 实现跨协议的语义共享;
- 中间件与适配器: 利用 MQTT、RESTful API、OpenADR 等协议桥接机制, 将 BACnet、Modbus 等数据映射至统一接口;
- 开源平台推动: 如Eclipse VOLTTRON、FIWARE等开源中间件, 为楼宇自动化提供开放生态, 支持二次开发与快速集成。

(4) 认证与合规机制

为确保互操作性和系统可靠性, 需建立符合性测试与认证体系: 对设备和软件进行通信互联、能效表现、安全合规等多维度测试; 推动由第三方实验室提供的互操作性认证, 参照电力行业IEC 61850等标准; 将认证结果纳入项目招标与绿色建筑评价体系, 形成市场化推广机制。

总体而言, 开放标准与互联互通的实现路径是: 协议兼容 → 数据语义统一 → 中间件桥接 → 测试认证 → 标准落地。这将为行业规模化应用与跨厂商生态协同提供坚实基础。

6.4 基于BIM的能源管理平台

随着BIM技术的成熟与IoT的普及, 暖通智控正在向全生命周期一体化能源管理迈进。基于BIM的能源管理平台不仅打通了设计、施工与运维的数据链路, 还为能效优化、碳管理和智慧运维提供了系统化支撑^[36]。

(1) 全生命周期集成

- 设计阶段: 通过BIM三维模型嵌入设备属性和热工参数, 可在方案阶段开展能耗模拟与设备配置优化;
- 施工阶段: BIM模型用于施工排布、冲突检测与安装指导, 降低误差率;
- 运维阶段: BIM模型成为“数字资产”, 支持能效监测、维护管理和控制优化, 形成设计—运维闭环。

(2) BIM与能源管理系统(EMS)的协同

EMS采集暖通与水电能耗数据,并通过算法进行能效分析;与BIM融合后,可在三维空间中动态可视化建筑能耗分布和时序变化,直观定位能耗异常点;运维人员可基于BIM-EMS联合平台,进行节能机会识别、碳排放监测与运维调度^[37]。

(3) BIM + IoT的动态模型校准

实时传感器数据(温度、流量、压力等)与BIM模型能耗预测进行比对,持续修正热负荷与流体动力学模型;这种“数据驱动模型校准”可大幅提升预测精度,使控制策略更加贴合实际工况;例如,供热管网的温度与流量监测数据可自动更新BIM参数,优化运行效率。

(4) 碳排放可视化与合规审计

基于BIM平台的动态能源模型,可实时计算建筑的碳排放强度;通过仪表盘、可视化大屏展示排放趋势,并对照国家标准与绿色建筑指标进行合规校核;这为节能改造、绿色认证(LEED、WELL等)和碳交易提供了数据支撑。

(5) 轻量化与现场应用拓展

为适应运维现场需求,可对BIM模型进行轻量化处理,支持移动终端浏览与快速调用关键信息;结合增强现实(AR),BIM信息可叠加于实景中,辅助工程师进行巡检、检修与能效巡查,提高运维效率。

总之,基于BIM的能源管理平台不仅是提升能效与碳管理的技术手段,更是暖通智控从“单点节能”迈向“全生命周期智慧管理”的核心支撑。其未来价值体现在三方面:设计源头优化、运维持续改进、碳排放透明合规。通过构建全生命周期的数据闭环,行业也需推动有关建筑运维责任主体(如业主、运营商)对节能减排目标的共识形成,并结合相关标准和示范项目,实现可持续运营。

6.5 可灵活组态的系统产品

智能暖通智控在大型公共建筑和工业场景中已取得广泛应用,但在中小型建筑项目(如学校、酒店、中小型商业楼宇)中的渗透率仍然有限。原因在于中小项目对投资敏感、施工条件有限、运维力量薄弱。因此,推动暖通智控“平民化”需要依赖模块化、低成本、易配置的系统产品。

(1) 模块化设计趋势

系统产品正拆解为标准化功能模块,例如温控模块、风阀模块、采暖循环模块、能耗监测模块等;用户可根据实际需求自由组合,类似“乐高式”结构,避免全套系统的高昂投入;模块功能与接口标准化,使设备具备即插即用特性,减少对复杂编程和深度集成的依赖。

(2) 低代码/无代码平台应用

借助可视化界面,用户或集成商可通过“拖拽逻辑块”快速生成控制策略,系统自动完成底层代码编译;隐藏复杂

控制算法,用户只需配置参数即可实现个性化策略;此类平台在中小项目中可显著缩短实施周期,降低技术门槛。

(3) 硬件无线化与自组网

传感器和执行器逐步采用Zigbee、Thread、Bluetooth Mesh等低功耗无线协议;支持自组网和节点自愈功能,可灵活覆盖数百至上千点位;避免大规模布线带来的施工成本,特别适用于改造类和存量市场。

(4) 成本与可维护性优化

标准化接口和工业级设计保证可靠性,降低维护难度;即插即用的模块化终端便于扩展或替换,延长系统生命周期;用户通过简单调参和自动组网即可完成上线,减少专业技术依赖。

综上,模块化、低代码和无线化的融合,使暖通智控产品正从“定制化工程”走向“标准化商品”,加速进入中小建筑市场。

6.6 从能控到碳控:双碳数据闭环

在“双碳”战略下,建筑能源系统的管理目标正从能耗优化拓展至碳排放管控。暖通智控作为建筑能耗第一大户,其碳管理能力直接决定建筑的减排水平。

(1) 碳排放计量与能耗监测集成

在传统能耗监测基础上,加入电力、燃气、制冷剂泄漏等多维度计量;将能耗数据与碳排放因子结合,实时计算CO₂排放量;并融入运维平台,实现建筑或园区级碳排放动态监控。

(2) 碳足迹可视化与合规管理

通过仪表盘和图表展示建筑、机组或区域的碳排放曲线;与政府碳排放配额或绿色建筑标准对比,支持合规评估;形成可追溯的碳足迹报告,为碳市场交易提供数据基础。

(3) 能耗与碳排放的关联分析

运用时间序列和回归分析方法,识别不同设备或运行工况下的碳排放特征;建立动态碳配额管理机制:为不同机组和时段分配碳预算,接近上限时自动触发策略调整;优先调度低碳能源或削减高峰期负荷,实现“碳效率最优”运行。

(4) 可信数据与闭环管理

利用IoT传感网络实现全环节数据采集;通过区块链存证技术,确保碳数据记录不可篡改,增强透明度;在碳交易或审计中,链上记录可作为可靠凭证,提升行业公信力。

从能耗优化到碳排放闭环管理,暖通智控正在成为建筑碳管理中枢,助力实现“双碳”目标和碳资产价值化。

6.7 支撑虚拟电厂实现的暖通智控技术

在能源结构转型(如建筑电气化、供应侧可再生能源占比提升)和新能源大规模接入的背景下,建筑暖通系统正成为电网需求侧管理的重要资源。依托其负荷调节潜力,并结合“光储直柔”(光伏、储能、直流配电、柔性负载)一体化技术,暖通系统不仅服务于舒适与节能,还能支撑虚拟电厂的构建与运行^{[38][39]}。

(1) 建筑电气化与柔性负载潜力

暖通系统具有显著热惰性,可通过调整设定温度、启停时序等实现需求响应;在不影响舒适度的前提下,HVAC负荷可在峰时削减、谷时增加,实现“削峰填谷”;实践研究表明,建筑负荷响应可大幅降低电网峰值压力。

(2) 基于电价与碳信号的灵活调度

系统可结合峰谷电价机制,低谷时段提前制冷或蓄热,高峰时段减少运行;引入碳排放信号,优先调度低碳电源或低碳时段运行,实现“碳平价”控制;通过响应电网需求响应信号,动态调节温度设定或风机转速,提供辅助服务。

(3) 与分布式能源的协同优化

暖通系统与光伏、储能、微电网等协同运行:在光伏出力高时段优先利用清洁能源;结合储能系统进行峰谷套利与备用供能;热储能(如蓄冰、蓄热水罐)可作为虚拟储能单元参与电网调节,增强系统弹性。

(4) 虚拟电厂的聚合与市场化

VPP通过聚合多个建筑和分布式能源,实现跨区域、跨建筑的负荷集中调度;暖通系统作为可调度负载单元接入VPP平台,形成组合响应能力;政策层面已鼓励建筑负荷参与电力市场交易,为暖通智控融入电力体系提供制度保障。

在虚拟电厂架构下,暖通系统不再是单一能耗大户,而是灵活的电网调节资源,既能降低用户运行成本,又能为电力系统提供稳定性和低碳化支撑。未来,暖通智控不仅要通过技术创新满足建筑自身需求,也应作为城市和电网基础设施的重要组成,与可再生能源、智慧交通等其他系统深度协同,共同服务于城市级能源治理和低碳目标。

综上所述,未来的暖通智控行业将呈现出多维度的发展趋势,这些趋势不仅体现技术进步和应用创新,也回应了“双碳”战略、智慧城市建设和能源结构转型等外部驱动因素:

- 技术智能化:AI与数字孪生结合,实现自学习与预测控制;
- 架构协同化:云边一体,兼顾实时性与全局优化;
- 标准开放化:多协议兼容,推动跨厂商集成;
- 管理精细化:BIM+EMS联动,实现全生命周期能效与碳排放管理;
- 产品普惠化:模块化、低代码与无线化,推动智控走向中小型建筑;
- 价值拓展化:从能耗优化延伸至碳管理与电力市场互动。

技术智能化:随着AI、机器学习和数字孪生技术在暖通系统中的深入应用,系统能够实现自学习与预测控制,从而在复杂多变的建筑环境中自主优化运行策略。这将显著提高能效、降低运维成本,同时增强对异常工况的快速响应能力。

架构协同化:云边一体化架构使暖通系统既具备边缘节点的低延迟即时控制能力,又能依托云端进行全局优化和大数据分析,实现实时性与全局优化的有机结合。这种协同机制能够提升系统可靠性和调度灵活性,为跨建筑、跨园区的统一管理奠定基础。

标准开放化:随着多协议兼容和开放接口的推广,暖通智控系统能够实现跨厂商设备集成,打破数据孤岛,形成互联互通的智能生态。标准化的推进不仅降低了系统集成难度,也为行业规模化、模块化发展提供了基础支撑。

管理精细化:BIM与能源管理系统(EMS)的深度融合,使暖通系统在全生命周期的能效和碳排放管理中实现精细化运营。从设计、施工到运维,系统可实时监测和调整,实现数据驱动的动态管理与决策优化。

产品普惠化:模块化设计、低代码配置平台及无线自组网技术的应用,使中小型建筑项目也能享受智能暖通控制带来的节能与舒适体验。这一趋势降低了技术门槛,扩大了市场覆盖面,推动暖通智控逐步走向“平民化”。

价值拓展化:暖通系统正从单一的能耗优化向碳管理和电力市场互动延伸,实现能源、经济与环境效益的多重价值。通过与虚拟电厂和需求响应的结合,建筑不仅能优化自身能耗,还可作为柔性负荷参与电网调节,形成能源互联网的重要节点。

总体来看,这些趋势相互交织,共同推暖通智控行业正从传统的“节能工具”向智能化、平台化、碳管理中枢演进,在提升建筑运行效率与舒适度的同时,也为实现“双碳”目标、推动绿色低碳城市建设提供坚实支撑。

结语

当前，暖通智控作为建筑节能与智能化发展的核心环节，正处于从技术探索走向大规模应用的关键阶段。本白皮书系统梳理了行业的发展历程、核心技术架构、应用场景和生态格局，并通过典型案例展示了暖通智控在公共建筑、工业、数据中心、交通、园区及住宅等多类场景中的实践成效。在此基础上，我们深入分析了行业所面临的技术、商业、标准、数据安全与人才等多方面挑战，同时揭示了“双碳”战略、智慧城市建设及数字化转型所带来的重大机遇。

展望未来，AI驱动、云边协同、开放标准、BIM融合以及模块化产品创新，将共同塑造暖通智控的新范式。行业价值也将从单一的能耗控制，拓展至贯穿建筑全生命周期的碳管理闭环，并深度参与虚拟电厂等新型能源系统互动。

面对技术、商业、标准与人才等方面的挑战，需要产业链上下游企业、科研机构、标准组织与政策制定者协同努力，共建开放、安全、高效的行业生态。暖通智控正从提升建筑效能的工具，演进为支撑城市绿色低碳转型与可持续发展的关键基础设施，为实现“双碳”战略目标贡献核心力量。

参考文献

- [1].Al-Obaidi K M, Hossain M, Alduais N A M, et al. A review of using IoT for energy efficient buildings and cities: a built environment perspective[J]. Energies, 2022, 15: 5991.
- [2].Qiang G. Building automation systems for energy and comfort: modelling techniques used in building HVAC and control systems — a review[R]. Liverpool: University of Liverpool, 2023.
- [3].Marinakis V, Doukas H. An advanced IoT-based system for intelligent energy management in buildings[J]. Sensors (Basel), 2018, 18(2): 610.
- [4].Sensor impacts on building and HVAC controls: a critical review for smart buildings[J]. Building and Environment, 2021.
- [5].King J, et al. Using Smart Technology to Save Energy in Existing Buildings[R]. Washington, DC: American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE), 2017.
- [6].Review of HVAC systems history and future applications[J]. Energies, 2021, 16(17): 6109.
- [7].Review of energy-efficient HVAC technologies for sustainable buildings[R]. International Journal of Scientific & Technology Research, 2024.
- [8].Poyyamozi M, Murugesan B, Rajamanickam N, et al. IoT — A promising solution to energy management in smart buildings: a systematic review, applications, barriers and future scope[J]. Buildings, 2023.
- [9].Garzia F, et al. A review of BACS impacts in office environments: improving indoor environmental quality by adapting building operation to changing conditions[J]. Buildings, 2023, 13(10): 2530.
- [10].King J, et al. Using Smart Technology to Save Energy in Existing Buildings[R]. Washington DC: ACEEE, 2017.
- [11].ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 55-2021: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy[S]. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2021.
- [12].Cheung T, Schiavon S, Parkinson T, et al. Analysis of the accuracy on PMV-PPD model using field data in air-conditioned buildings[J]. Building and Environment, 2019, 153: 58-70. DOI:10.1016/j.buildenv.2019.02.028.
- [13].Jin R, et al. Review of optimization control methods for HVAC systems in demand response scenarios[J]. Energy and Buildings, 2025.
- [14].蔡伟光等.中国城乡建设领域碳排放研究报告(2024年)[J].建筑, 2025(2):56-63.
- [15].张颖.布署九大重点任务 明确五项保障措施 住建部印发《“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划》[J].中国勘察设计, 2022(3).
- [16].Zhuang D, et al. Data-driven predictive control for smart HVAC system in IoT-integrated buildings with time-series forecasting and reinforcement learning[J]. Applied Energy, 2023, 338: 120936.
- [17].Sarker G C, Hasan M M, Hoque M R, et al. Development of an IoT-driven deep learning framework

for smart energy prediction in commercial buildings[J]. Journal of Building Engineering, 2025, 111: 113315.

[18].尹梦聪.智能建筑暖通空调系统的节能和优化探究[C]//2022供热工程建设与高效运行研讨会论文集.2022.

[19].王浩. 暖通空调系统智能化控制技术的研究与应用[J]. Engineering Technology and Quality Management, 2024, 2(7).17–19. <https://doi.org/10.61369/etqm.6221>

[20].赵晓葵 吴琼, 基于智能控制的暖通系统节能运行管理研究[J]. 建筑技术研究, 2025, 8(3):1-3.

[21].崔雷.暖通空调系统在智慧建筑中的优化路径研究[J].工程管理, 2022(12)..

[22].Kurte K, Munk J, Kotevska O, et al. Evaluating the Adaptability of Reinforcement Learning Based HVAC Control for Residential Houses[J]. Sustainability, 2020, 12(18). DOI:10.3390/su12187727.

[23].Johnson Controls. Case Study: Johnson Controls and Optimum Energy—Unlock Significant Efficiency with OpenBlue[EB/OL].(2025-04-16)[2025.10].

[24].S&S Insider. Smart HVAC Controls Market Report[R]. 2025.

[25].智研咨询. 2025年空调行业市场规模及主要企业市占率分析报告[R]. 2025.

[26].T/CCPITCSC 120-2023,中国品牌影响力评价通则[S].

[27].Research Nester. Advanced HVAC Control Systems Market Size and Growth Report (2025-2037)[R]. November 2025.

[28].宇博产业研究院. 智能暖通空调控制设备行业市场调研分析报告[R]. 2025.

[29].中金企信国际咨询. 2025-2031全球与中国暖通市场规模调研报告[R]. 2025.

[30].T/CCPITCSC 120-2023,中国品牌影响力评价通则[S].

[31].Taheri S, et al. Model predictive control of heating, ventilation and air conditioning systems: a review[J]. Journal of Building Engineering,2022, C Vol. 60;

[32].Xin X, et al. A comprehensive review of predictive control strategies in heating, ventilation, and air-conditioning (HVAC): Model-free VS model[J]. Journal of Building Engineering.2024.Vol 94,

[33].Al-Sayed K, et al. Reinforcement learning for HVAC control: a systematic review and experimental studies[J]. Journal of Building Engineering.2024.Vol 95,

[34].Claroty Team82. State of CPS Security 2025: Building Management System Exposures[R]. 2025.

[35]Expert Market Research. HVAC Systems Market Size and Share Outlook – Forecast Trends and Growth Analysis Report (2025–2034)[EB/OL]. 2025-10-31

[36].Hosamo H, et al. Digital Twin of HVAC system (HVACDT) for multiobjective optimization of energy consumption and thermal comfort based on BIM framework with ANN-MOGA. Advances in Building Energy Research, 17(2), 125–171. <https://doi.org/10.1080/17512549.2022.2136240>

[37].王梦林等.基于BIM的绿色建筑运维多源异构数据集成路径研究[J].土木工程信息技术, 2022, 14(4):6.

[38].Hyang-A Park, et al. Data-Driven Modeling of HVAC Systems for Operation of Virtual Power Plants Using a Digital Twin.DOI:10.3390/en16207032.202316(20):7032

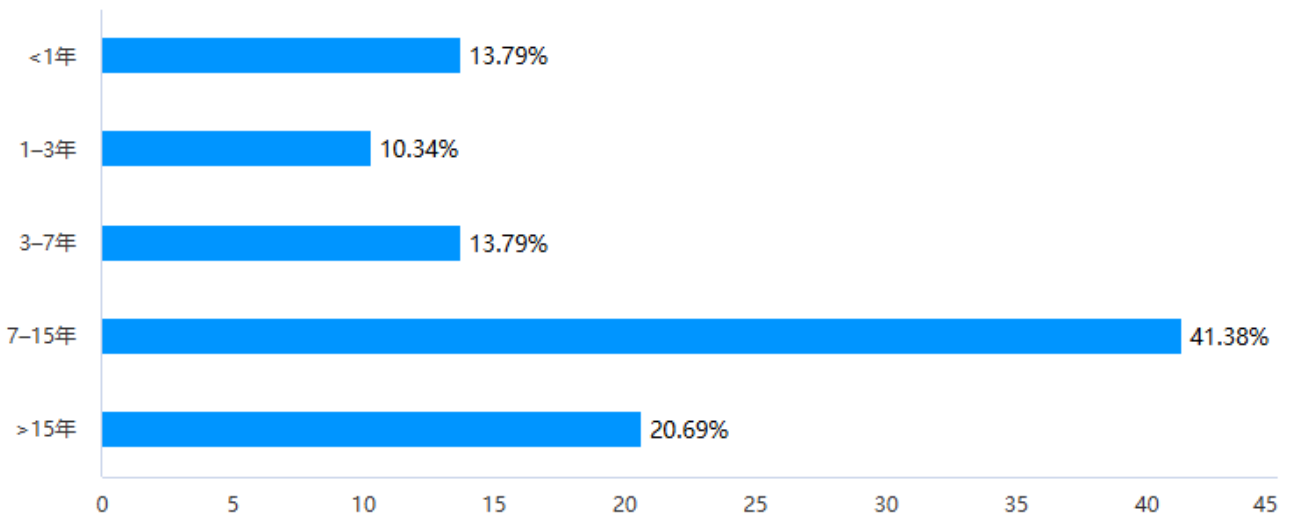
[39].韦立坤等.虚拟电厂下计及大规模分布式光伏的储能系统配置优化模型[C]//中国电机工程学会电力系统自动化专业委员会三届五次会议暨学术交流会.2015.

附录

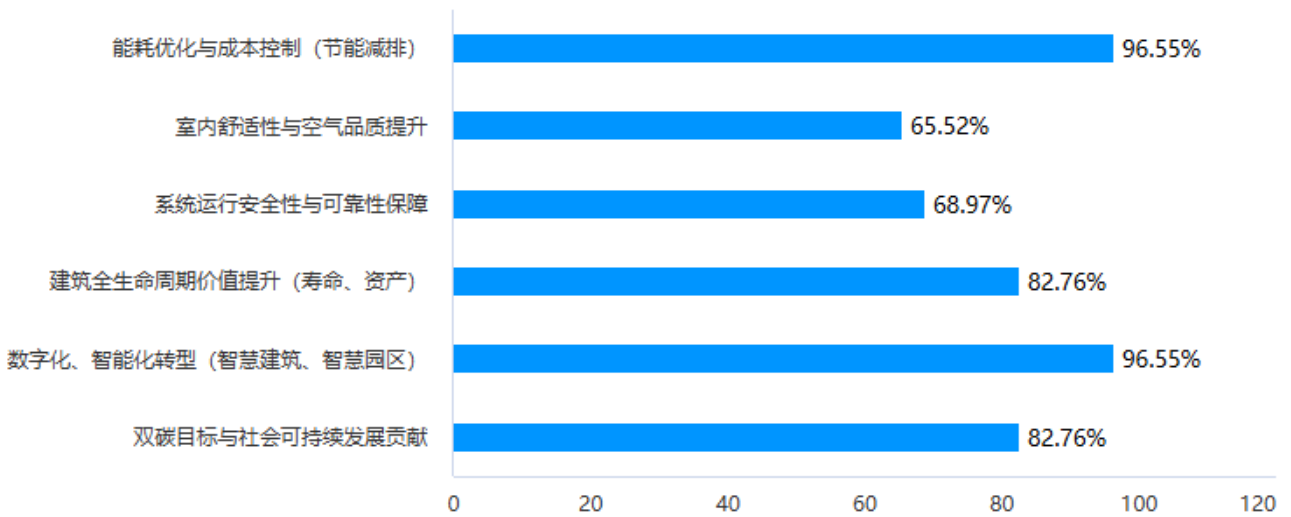
1、调查问卷

本调研主要定向针对暖通智控行业相关人员,包括产品研发、项目实施、市场营销、行业专家、方案设计、项目甲方(运维)代表等目标人群,共回收有效样本384份。以下是本次调研所收集到的数据统计结果,作为附录,供行业参考!

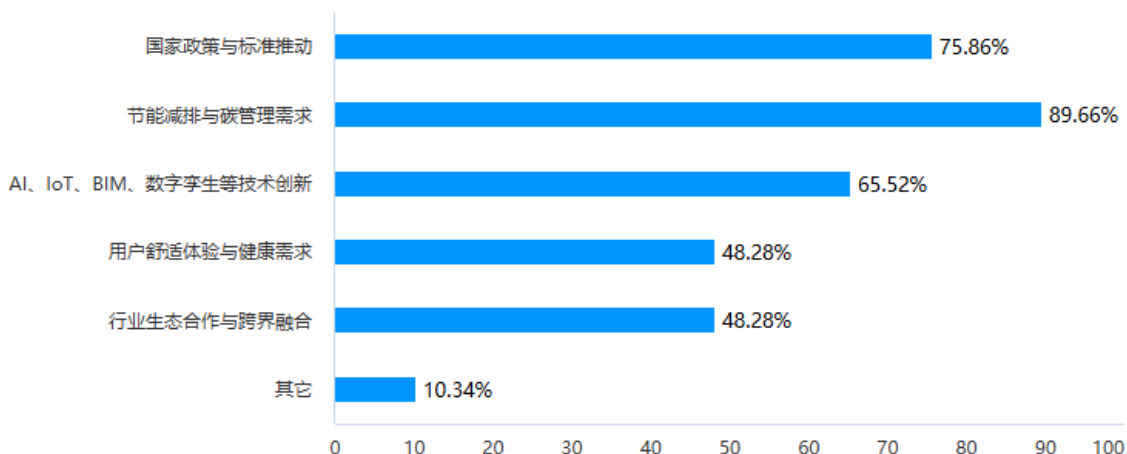
1、您在暖通/智控领域的从业年限(单选)



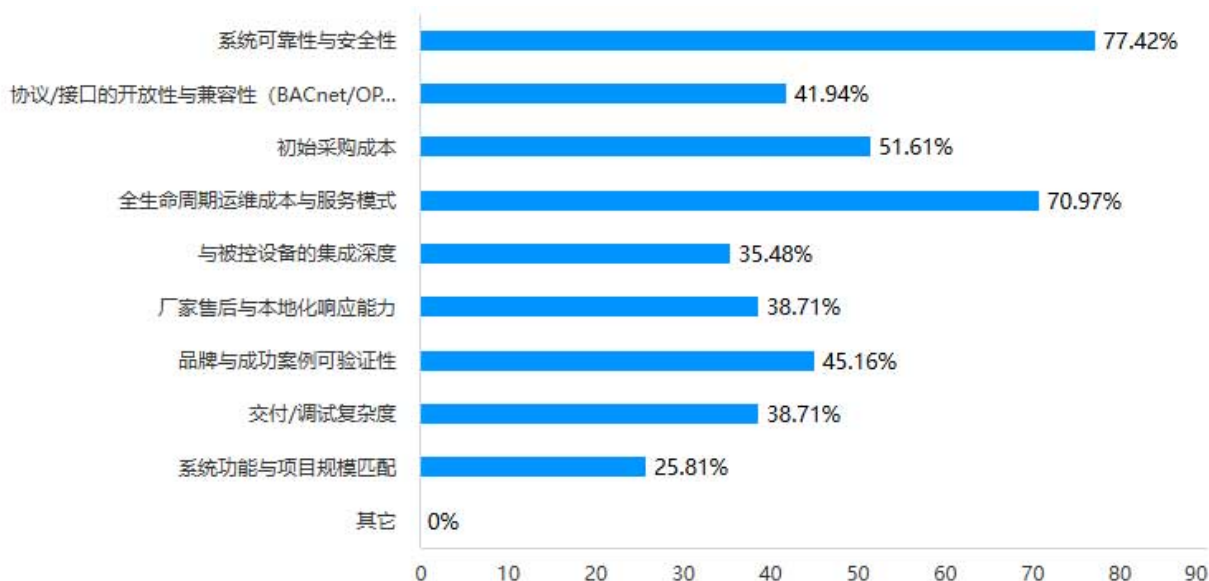
2、您认为暖通智控对建筑的主要价值体现在哪些方面?(多选)



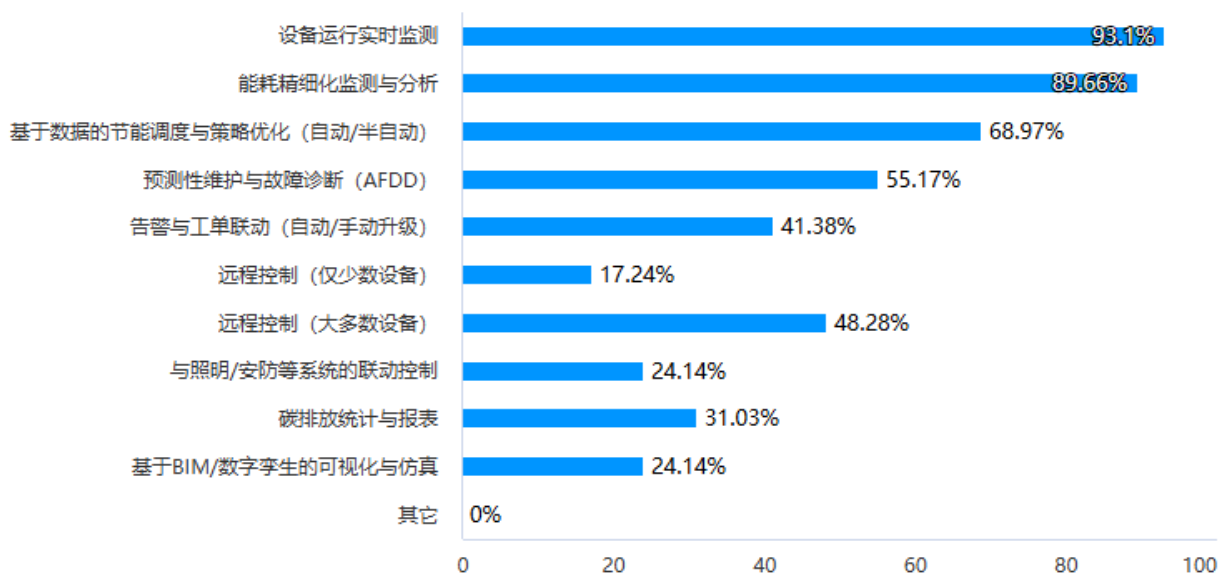
3、您认为未来5-10年暖通智控行业发展的关键驱动力是什么?(多选)



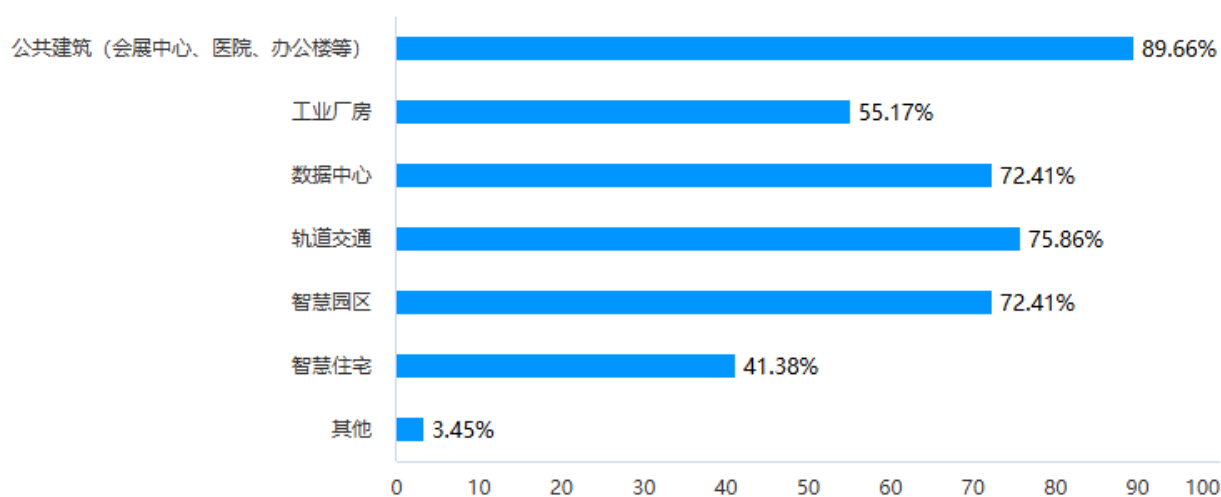
4、您认为在选择暖通智控系统/品牌时,业主主要关注的核心因素是哪些?(请选择3项)



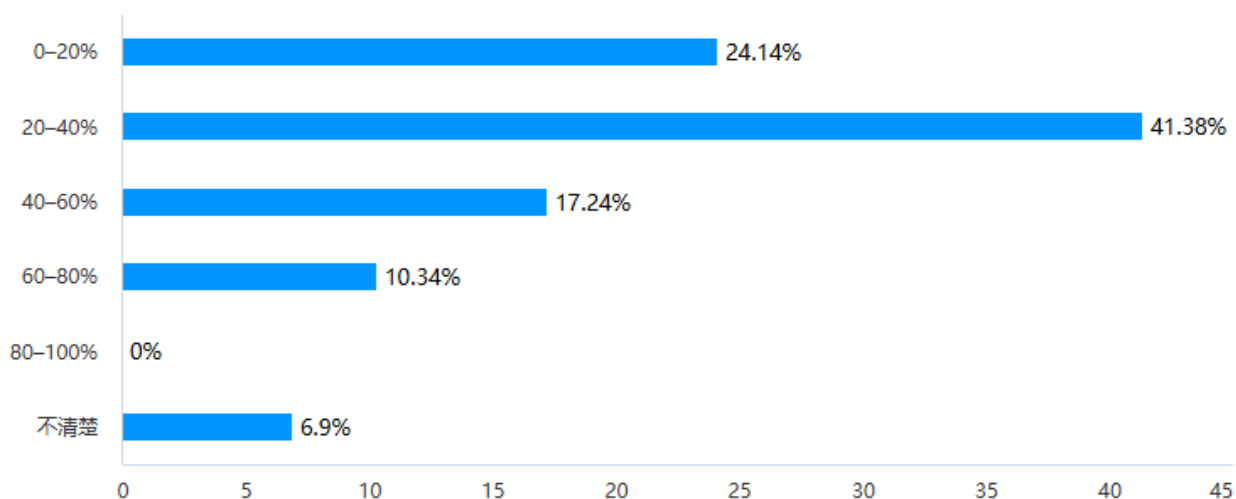
5、在您接触的项目中,常见并实际使用的暖通智控功能有哪些(最多5项)



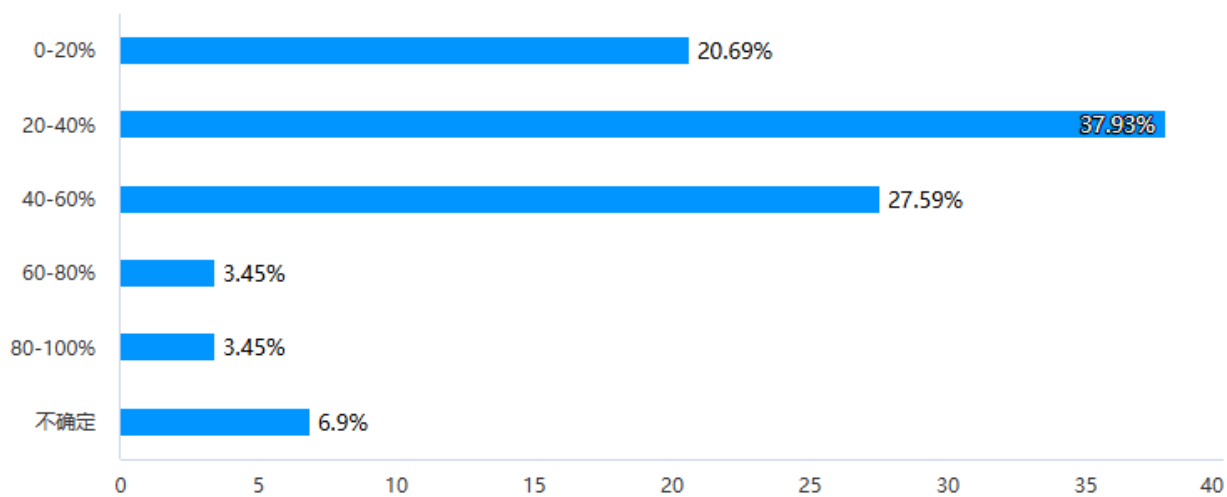
6、在您接触的项目中，暖通智控应用较为成熟的场景是?(可多选)



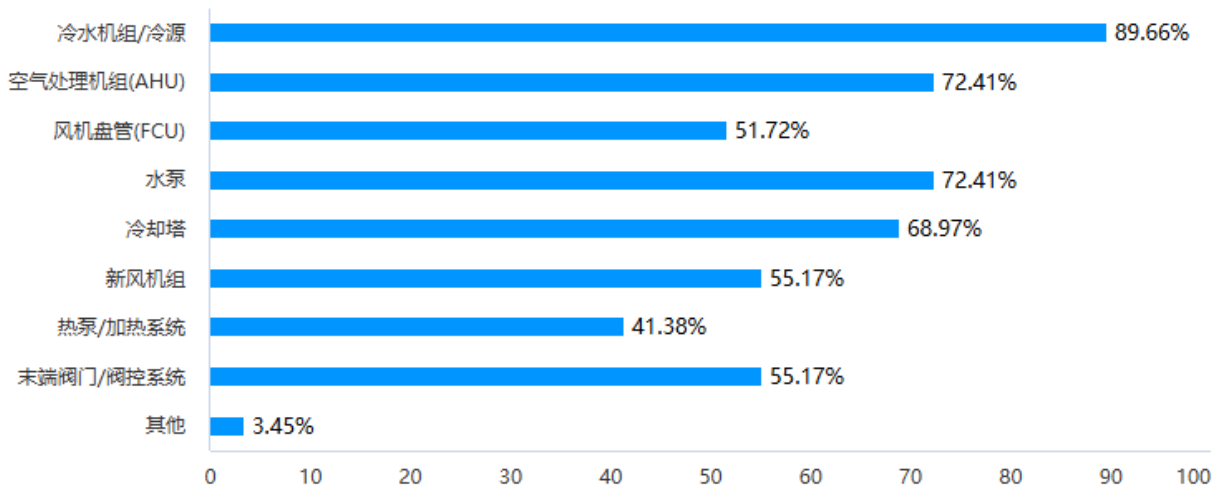
7、在您接触的项目中，配备暖通智控系统的项目占比(单选)



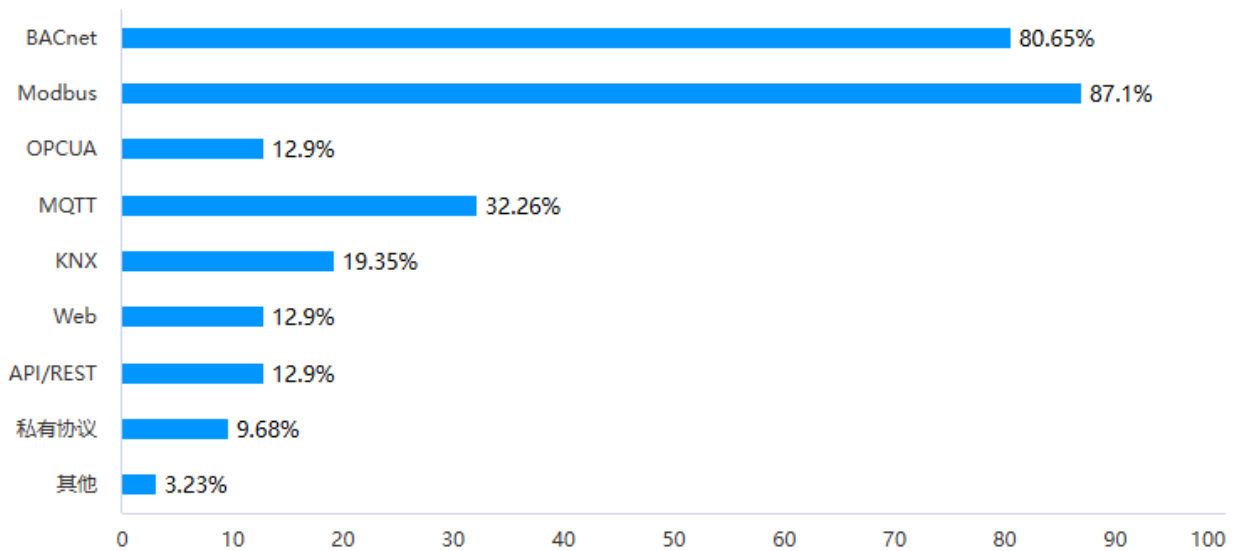
8、在您接触项目中，已部署暖通智控系统的实际使用率大致为:(单选)



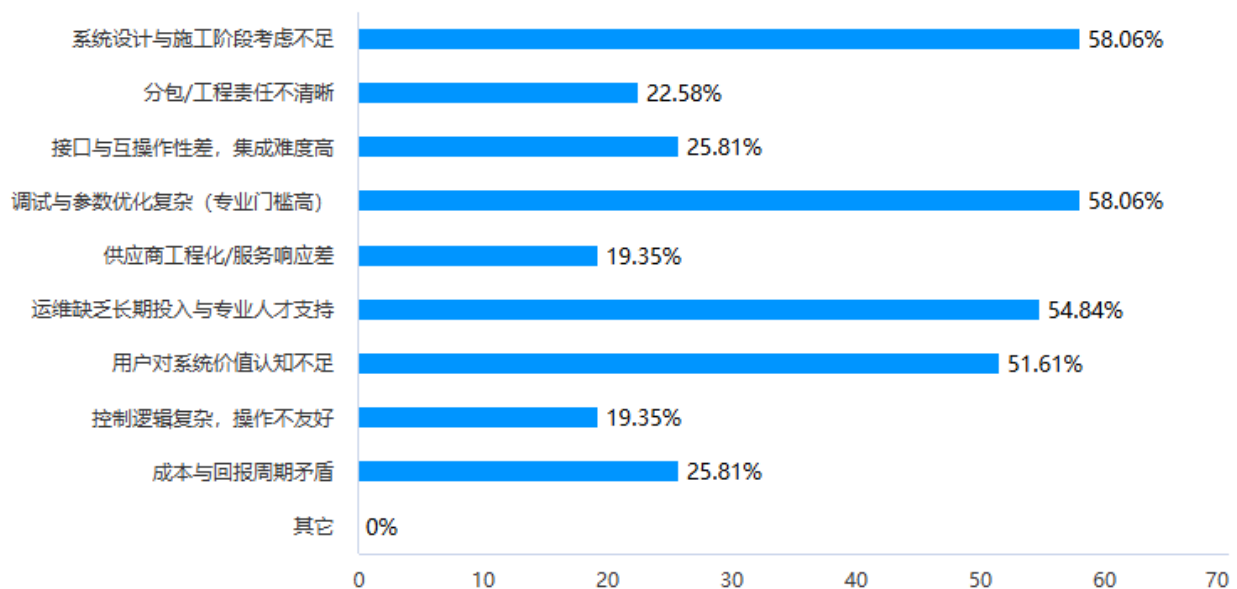
9、在您接触项目中,常见接入/控制的暖通设备有(可多选)



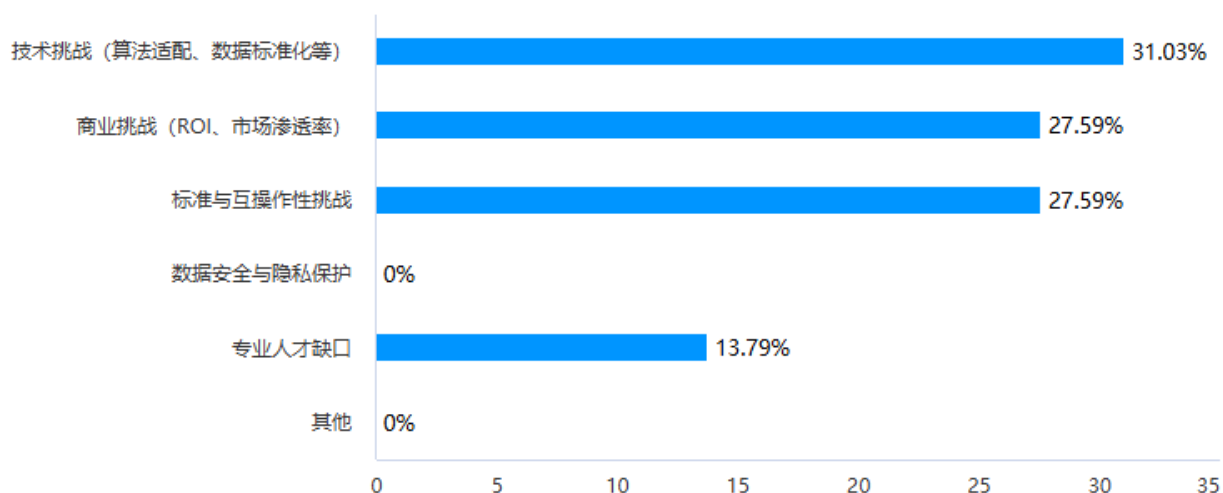
10、在您接触项目中,系统主要采用的通信/集成协议(可多选)



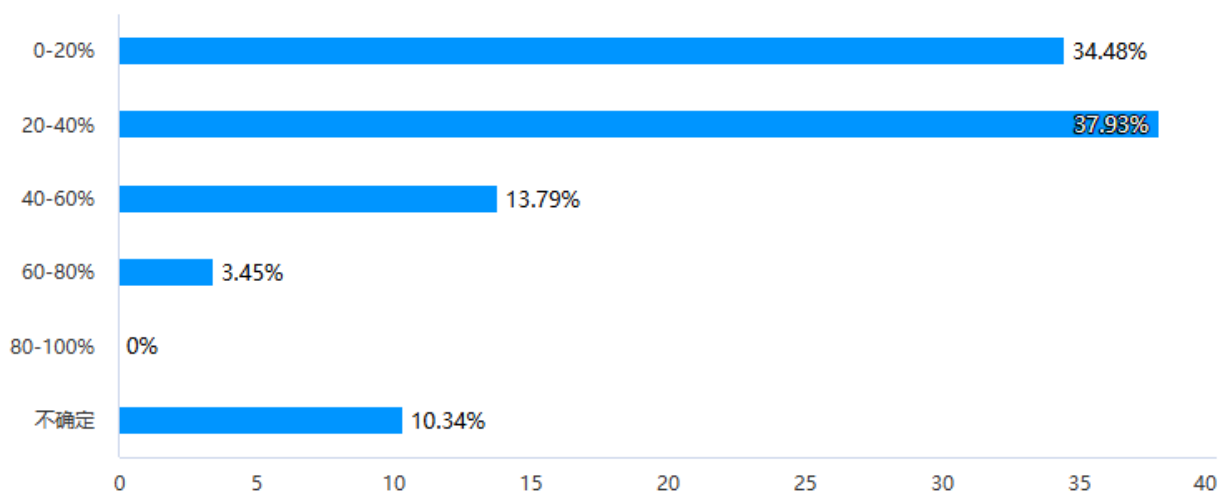
11、您认为当前暖通智控系统使用效果有待提升的主要原因是?



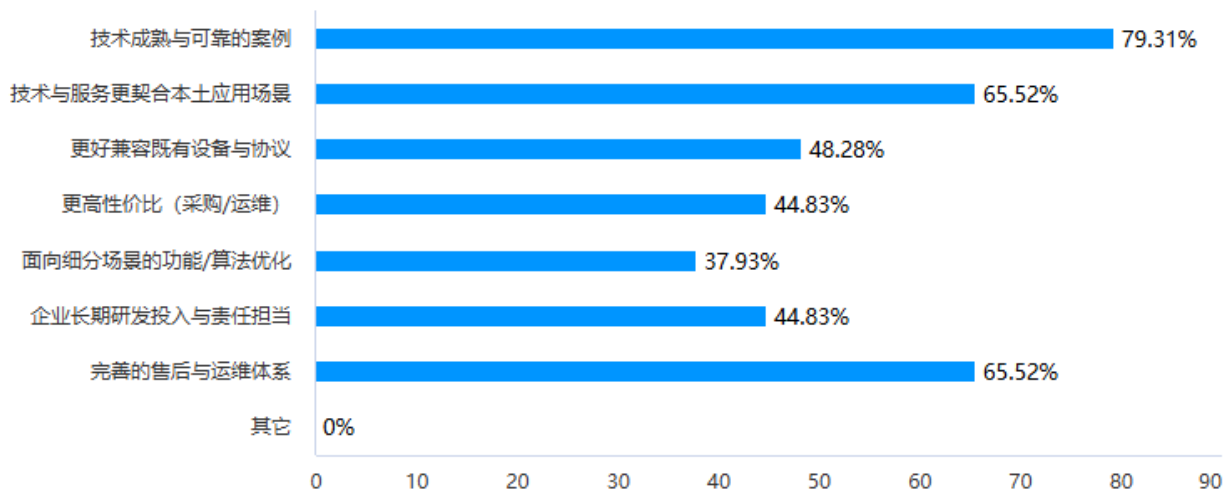
12、您认为当前暖通智控行业发展的最大挑战是?(单选)



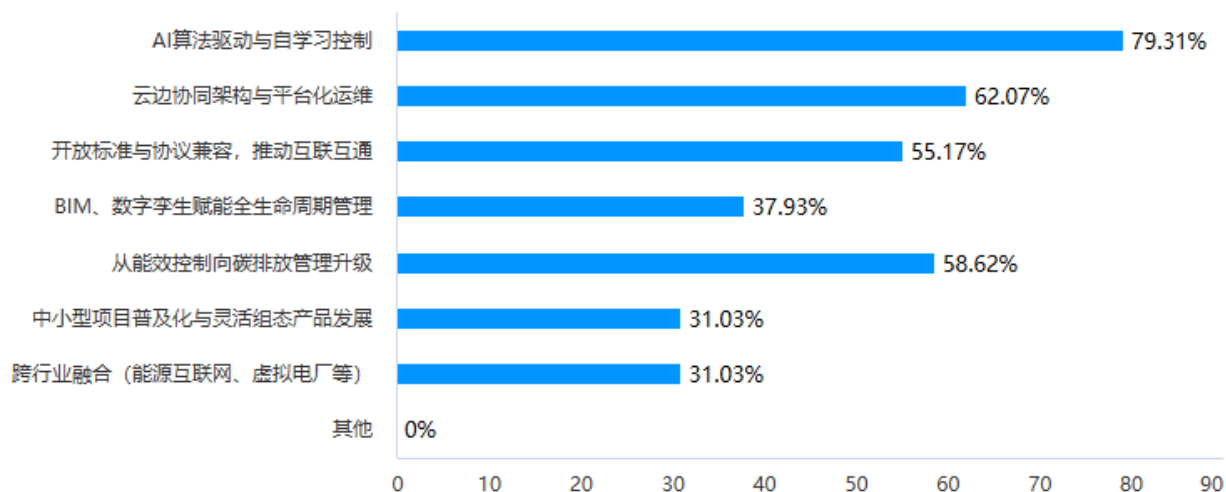
13、在您接触的项目中,使用国产暖通智控品牌的比例是:(单选)



14、您认为哪些因素会增强对国产暖通智控品牌的接受度?(请选择3项)



15、您认为暖通智控行业未来的发展方向是?(请选择3项)



2、术语表

序号	英文缩写/术语	英文全称 / 解释	中文全称 / 解释
1	HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning	暖通空调 (供暖、通风与空气调节)
2	BAS	Building Automation System	楼宇自动化系统
3	IoT	Internet of Things	物联网
4	AI	Artificial Intelligence	人工智能
5	BIM	Building Information Modeling	建筑信息模型
6	VAV	Variable Air Volume	变风量末端
7	BACnet	Building Automation and Control Networks	楼宇自动化与控制网络
8	Modbus	Modbus	莫迪康通信协议 (一种串行通信协议)
9	KNX	Konnex	智能楼宇控制标准 (原欧洲安装总线 EIB)
10	ISO	International Organization for Standardization	国际标准化组织
11	DDC	Direct Digital Controller	直接数字控制器
12	PLC	Programmable Logic Controller	可编程逻辑控制器
13	DCS	Distributed Control System	分布式控制系统
14	PID	Proportional-Integral-Derivative	比例-积分-微分 (控制)
15	LonWorks	Local Operating Network	局部操作网络
16	AFDD	Automatic Fault Detection and Diagnosis	自动故障检测与诊断
17	ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers	美国供暖、制冷与空调工程师学会
18	PMV	Predicted Mean Vote	预测平均热感指数

19	PPD	Predicted Percentage of Dissatisfied	预测不满意百分比
20	LEED	Leadership in Energy and Environmental Design	能源与环境设计先锋（绿色建筑认证）
21	WELL	WELL Building Standard	WELL 建筑标准（健康建筑认证）
22	GB	Guóbiāo (National Standard)	中国国家标准
23	T/CABEE	Standard of China Association of Building Energy Efficiency	中国建筑节能协会标准
24	T/CECS	Standard of China Engineering Construction Standardization Association	中国工程建设标准化协会标准
25	T/CAICE	Standard of China Association of International Engineering Consultants	中国国际工程咨询协会标准
26	MPC	Model Predictive Control	模型预测控制
27	MQTT	Message Queuing Telemetry Transport	消息队列遥测传输（协议）
28	OPC UA	OPC Unified Architecture	开放式平台通信统一架构
29	RESTful API	Representational State Transfer Application Programming Interface	表述性状态转移应用程序编程接口
30	Wi-Fi	Wireless Fidelity	无线保真（技术）
31	5G	5th Generation Mobile Networks	第五代移动通信技术
32	LoRa	Long Range	远距离无线电（通信技术）
33	Zigbee	Zigbee	紫蜂协议（一种低速短距离传输的无线通信协议）
34	IPv6	Internet Protocol version 6	互联网协议第 6 版
35	AIoT	Artificial Intelligence of Things	智联网（人工智能物联网）
36	IOC	Intelligent Operations Center	智能运营中心
37	VRF	Variable Refrigerant Flow	可变制冷剂流量（多联机系统）
38	COP	Coefficient of Performance	性能系数
39	IPLV	Integrated Part Load Value	综合部分负荷性能系数
40	EMS	Energy Management System	能源管理系统
41	BMS	Building Management System	楼宇管理系统
42	M&V	Measurement and Verification	测量与验证
43	EMC	Energy Management Contract	合同能源管理
44	SLA	Service Level Agreement	服务水平协议
45	HaaS	Hardware as a Service	硬件即服务
46	EPC	Energy Performance Contracting	节能绩效保证合同
47	PUE	Power Usage Effectiveness	电源使用效率（数据中心能效指标）

48	IAQ	Indoor Air Quality	室内空气质量
49	PMS	Property Management System	资产管理系统
50	VOC	Volatile Organic Compounds	挥发性有机化合物
51	CO ₂	Carbon Dioxide	二氧化碳
52	PM2.5	Particulate Matter 2.5	细颗粒物（直径≤2.5 微米）
53	RT	Refrigeration Ton	冷吨（制冷量单位）
54	UPS	Uninterruptible Power Supply	不间断电源
55	AR	Augmented Reality	增强现实
56	API	Application Programming Interface	应用程序编程接口
57	ROI	Return on Investment	投资回报率
58	IDS/IPS	Intrusion Detection System / Intrusion Prevention System	入侵检测系统/入侵防御系统
59	RL	Reinforcement Learning	强化学习
60	LSTM	Long Short-Term Memory	长短期记忆网络
61	TSN	Time-Sensitive Networking	时间敏感网络
62	VPP	Virtual Power Plant	虚拟电厂

3、暖通智控国创品牌影响力评价指标与评分细则

(1) 指标权重总览

指标维度	权重	说明
暖通智控市场占有率与规模	25%	基于国产暖通智控品牌所占市场份额、营收规模等公开数据，反映企业相对市场地位与规模优势
技术能力与产品竞争力	25%	考察核心技术突破、专利数量、产品能效水平（COP、IPLV 等）及核心部件国产化率
产品线覆盖度与生态兼容性	15%	是否覆盖冷热源、末端、BMS 平台；是否支持主流协议（BACnet、OPC UA、Modbus 等）；是否具备开放 API
项目与实施能力	15%	重大工程案例数量，典型场景（数据中心、医院、公共建筑等）适配能力与交付经验
研发投入与创新	10%	研发投入强度（占营收比）、创新成果、近三年新产品迭代情况
运维能力与服务网络	10%	售后服务覆盖范围、远程运维能力、客户满意度与 SLA 服务能力

(2) 评分细则-区间化标准

维度	分数区间	评分标准
市场占有率与规模 (25)	A(20-25)	国产品牌相对市场份额 $\geq 20\%$ ，行业 TOP3，具备全国性规模优势
	B(16-19)	市场份额 10%-20%，行业前五，区域或细分市场领先
	C(11-15)	市场份额 5%-10%，在部分区域具备竞争力
	D(≤ 10)	市场份额 $< 5\%$ ，但有区域或细分影响力
技术能力与产品竞争力 (25)	A(20-25)	拥有国际领先核心技术（如磁悬浮、AI 自适应算法），专利 > 500 件，能效超国家一级标准
	B(16-19)	拥有多项核心技术，专利 100-500 件，产品能效达国家一级标准
	C(11-15)	在某一细分领域领先（如 DDC、控制器），专利 50-100 件
	D(≤ 10)	技术积累有限，产品处于行业平均水平
产品线覆盖度与生态兼容性 (15)	A(13-15)	覆盖冷源、末端、平台三大环节，支持主流国际协议，具备开放 API
	B(10-12)	覆盖其中两大环节，协议兼容性较好
	C(7-9)	覆盖单一环节，协议支持有限
	D(≤ 6)	产品线覆盖面及协议支持有限
项目与实施能力 (15)	A(13-15)	拥有国家级标杆工程（如机场、超高层、数据中心），含海外项目经验
	B(10-12)	在国内大型公建、医院、校园等有丰富案例
	C(7-9)	主要集中于区域市场或中型项目
	D(≤ 6)	案例有限，仅覆盖小规模或区域性项目
研发投入与创新 (10)	A(9-10)	研发投入 $\geq 5\%$ ，近三年持续推出创新产品
	B(7-8)	研发投入 3%-5%，有稳定的新产品迭代
	C(5-6)	研发投入 1%-3%，创新有限
	D(≤ 4)	研发投入 $< 1\%$ ，以市场跟随为主
运维能力与服务网络 (10)	A(9-10)	全国性服务网络，具备远程运维平台，提供 SLA 合同，客户满意度高
	B(7-8)	区域性服务覆盖，具备一定远程诊断能力
	C(5-6)	售后依赖代理商或合作商，体系不完善
	D(≤ 4)	售后覆盖不足，缺乏标准化运维能力

(3) 评分方法说明

- 数据来源:公开财报、行业报告、第三方数据库。
- 专家校正:由行业专家组对技术能力与实施能力进行主观修正(占 20% 权重)。

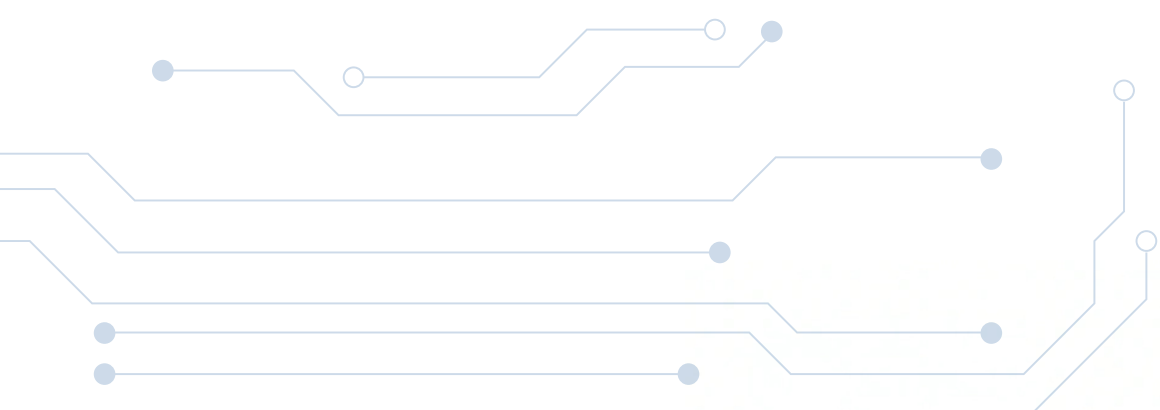
【版权声明】

本白皮书由千家智客与海尔智慧楼宇联合编制,版权归千家智客与海尔智慧楼宇共同所有,并受相关法律法规保护。任何机构或个人在转载、摘编、引用或以其他方式使用本白皮书内容(包括文字、数据、图表、观点等)时,应严格遵守著作权相关规定,并注明来源。未经授权,不得对本白皮书内容进行删改、歪曲、商业性使用或以不当方式传播。对于未注明来源的引用、擅自复制、转载、删改及其他侵犯著作权的行为,我们将保留依法追究法律责任的权利。

【免责声明】

本白皮书旨在梳理行业脉络、分享实践案例、探讨发展趋势。白皮书所载内容、数据与分析基于公开资料、行业调研与研究模型整理,引用的部分企业数据和案例由相关方提供,仅供行业交流与参考,不构成任何投资建议、经营建议或决策依据。本白皮书中的观点仅代表编写组研究立场,与发布方可能存在的商业立场无关。

任何机构或个人基于本白皮书内容所作出的行为、决策或判断,责任自负。发布方对因政策变化、市场环境变化或其他不可控因素导致的内容偏差不承担任何责任。



地址:广州市天河区车陂大岗路6号3栋207

联系电话:020-85563465

网址:www.qianjia.com

