

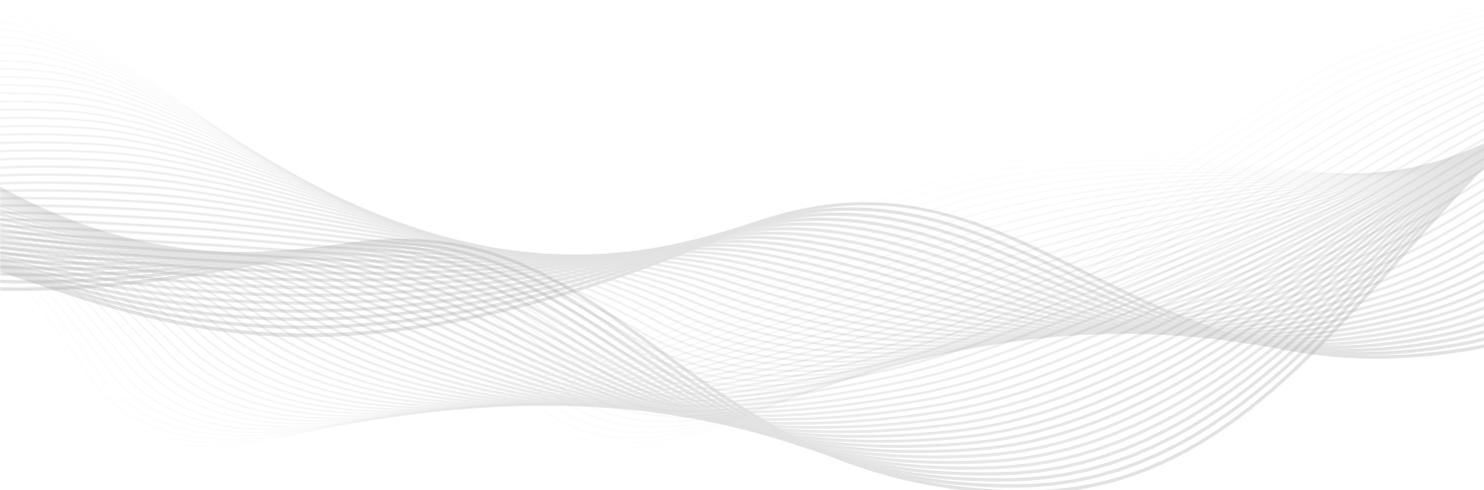


智慧园区 2030



智慧园区 2030

把数字世界带入每个园区
让智慧触手可及



丁烈云

智能建筑助力智慧园区重构

探索未来是人类与生俱来的天性，这种精神伴随着人类文明从农业社会、工业社会，迈入由数字科技主导的智能社会。面向不确定的未来，数智化和低碳化是确定性的发展趋势。智能世界宛如在空白的画布上创作，充满无限可能，各行各业的不懈努力为之点缀斑斓色彩，重构我们的生产模式和生活方式。

园区作为城市的基本单元，是人们工作与生活的载体，是实现双碳战略的主战场，是构建万物互联的智能世界的落脚点。其内涵不断丰富和延伸，逐步成为物理空间和数字空间深度融合的综合体，被赋予了前所未有的科技创新之意。

智慧园区未来有两个发展方向：从建筑本体的角度看，建筑作为下一代的智能终端将成为工程建造领域高质量发展的重要方向，以绿色低碳为发展目标，以智能建造为技术支撑，以建筑工业化为产业路径，推动建筑业实现高质量发展；从整体园区的角度看，园区逐步走上转型迭代的道路，探索更集约、更绿色、更高效的增长方式。在新技术和新需求的双重驱动下，园区业务场景和商业模式不断升级和革新，向着生态化、智慧化和可持续发展的有机生命体不断演进。

面向未来，在智慧园区的规划建设、运维运营、体验效率等领域，将引发一系列变革。从规划建设角度，面向 4A 架构的园区咨询与顶层设计、融合了人工智能技术的先进建造将会迅猛发展。从运维运营角度，园区内的人、车、物、事，通过更多维的感知实现数据按需处置、智能按需呈现，通过传感与人的行为相关联和大数据分析实现节能减排。从体验效率角度，不仅要关注人与人、人与机器、人与虚拟空间的沉浸式交互体验，更要关注园区环境对人们心理、生理的影响，让人们在园区中更高效、更舒适、更健康。

作为全球领先的 ICT 基础设施和智能终端提供商，华为致力于通过技术创新引领未来。面向下一个十年 ICT 技术及其应用的发展趋势，华为于 2021 年 9 月发布了《智能世界 2030》，帮助各行各业识别新机会、挖掘新价值。《智慧园区 2030》是《智能世界 2030》系列之一，华为集业界专家智慧，描绘未来智慧园区的愿景与蓝图，提出“智能孪生、环感交互、泛在智联、智简超宽、安全韧性、全域零碳”六个关键技术特征。

正如本报告对未来的展望，智慧园区的未来拥有无限可能。相信《智慧园区 2030》的问世，将对建筑行业 and 园区产业的发展产生深远的指导意义，加速迈向智能世界。



中国工程院院士

Peter Nijkamp

点燃科技进步的灯塔

Campus 词汇溯源

“Campus”是一个古老的拉丁语词汇，最初指的是用于组织集体活动的市外开阔空地，例如大型庆祝活动、军事演习等，这些活动往往不适合在市内举办。“Campus”作为“人们聚会场所”的概念在历史长河中逐渐引申为“扩建后的大学建筑群”。比如，十八世纪末，普林斯顿大学在新泽西州建造了一个市外大学综合体，包括教学楼、图书馆、宿舍和休闲娱乐场所。此后几年，世界各地多所大学都效仿普林斯顿扩建校园。现代“Campus”的概念已经从校园走向通用园区，通常是一个集成的离心式和向心式的能力聚集中心。同时，现代信息与通信技术和数字技术的涌现，前所未有的驱动了全球公共及私人领域相关的先进能力聚集中心的发展。如今，这些先进的能力聚集中心通常被称作“智慧园区”，它们寻求通过物理和虚拟空间的协同来共享、生成、创造新的知识应用，使能、提升聚集能力。

Intelligence，另一个拉丁词汇

“Intelligence”（智慧）是另一个古老的拉丁词，表示人类汇聚、整合知识和信息的能力；它也表示通过结合不同来源的信息以学习和理解新事物的认知潜力。智能行为（smart behavior）依赖学习和研究有明确界定的知识问题；相反，智慧行为（intelligent behavior）的特点是通过敏锐而聪明的大脑和开放的思想产生协同洞察力。智慧不仅能解决复杂的问题，还能防止此类问题的发生。新兴的数字技术促进了以高效的信息和知识共享为基础的互联的数据和知识网络日益普及。知识平台和社交媒体网络很好地印证了现代多元智慧系统对行业和政策制定的意义。

智慧园区演进

智慧园区是一个综合的能力聚集中心，其中，虚实融合发挥着关键作用。与传统的园区不同，智慧园区不是一个孤岛，而是由虚拟连接、可操作的能力和创新中心组成的集合，这些中心也为园区运营者、园区用户和整个社会提供了开放的访问途径。一个智慧园区的影响半径远远不止其周围某个地方或区域，它往往反映的是全球范围内各学术、行业和社会之间的紧密相连。通过将硬件、软件和人巧妙结合在一起，创造覆盖全球的创新平台，这个平台不仅服务于各行业，也助力我们更快实现联合国制定的可持续发展目标（SDGs）。

《智慧园区 2030》下一个前沿领域

随着现代知识社会的格局不断演变，华为《智慧园区 2030》报告将有可能成为一个新的里程碑，旨在为全球园区指明未来智慧化转型之路。因此，我们有必要深入探索未来需要付诸的行动，规划协同前进的路径，推动园区朝着光明的前景发展。在过去几年中，《智能世界 2030》系列报告的发布为我们在《智慧园区 2030》提出新视角奠定了基调。《智慧园区 2030》以全球智慧园区的洞察和实践作为报告框架的基石，从而使报告有望成为全球未来智慧园区的蓝图。我们的最终目标并不仅仅是打造智慧园区，而是要为全球学术界、工业界、政策界和社会提供以知识为导向的、基于数字化的见解。展现科技创新随着时代的进步逐步融合的过程，加速全球园区的技术演进。智慧园区不是一个静态的想法，而是一种相对前瞻性的概念。在构建万物互联的智能世界的过程中，《智慧园区 2030》超越了传统的园区，打开了通往智慧世界的大门——创新驱动，塑造园区体验的方方面面。《智慧园区 2030》报告指出，智慧园区是打造可持续宜居社会这个广泛愿景的基础支柱，科技创新机构通过无缝融合联接与计算技术，为适应性、可持续性和数字互联的高质量发展奠定基础。

智慧园区的最终方向，是服务全球的社会和公众

秉持全球合作精神，《智慧园区 2030》对未来进行主动探索，旨在基于全球合作推动社会共同进步，包括：建立跨越地理边界和机构的数据互通，实现多机构合作创新和跨学科进步；率先发起数字包容倡议，确保智慧园区惠及全球各类社区；促进国际交流，紧密联系全球学术界、工业界、政策界共同定义未来的园区。

倡导以人为本理念，《智慧园区 2030》探索智能无缝地融入我们的日常生活，关注科技对公众的影响，尤其是：基于智慧园区技术推动符合道德规范的 AI 实践，强调透明度、公平性和问责制；智能技术简单易用，确保技术包容人人可用；在园区范围内智能技术自迭代，对园区用户体验人文关怀。

华为《智慧园区 2030》，共创全联接未来

随着我们将目光聚焦于全联接未来，《智慧园区 2030》报告引领我们共同展望一个创新、协作和智能融合的新世界，重新定义园区和产业创新的本质。该报告为全球机构指明数字世界范围的发展路标，介绍了面向未来的可持续、包容性的实践，在全球知识社会中共享。时代潮流浩浩荡荡，未来我们将面临十分严峻的挑战，需要所有利益相关方共同融入全球知识领域。因此，可以通过华为汇聚形成知识的力量，展现学术界、工业界、政策界和社会合作伙伴之间共享创新性知识的附加值。

Peter Nijkamp



荷兰皇家科学院院士
欧洲学院院士

汪涛

数智赋能园区，加速迈入智能世界

今天，智能化已经成为社会未来的主要发展方向，全球各主要经济体均提出未来 10 年要加大对数据、软件、计算、网络的投资，以保持其在数字经济领域的竞争力。ICT 技术的演进与迭代更是不断刷新人类对数字世界的认知，极大的推进了全球迈入智能世界的进程。智慧园区作为城市的基本单元，是智能世界的重要组成部分，已经成为全球各大城市的发展热点，旨在为人们提供一个更加高效、便捷、舒适的办公、生产、生活环境。

历史上园区的发展进程主要分为两个阶段：第一阶段是传统园区，多弱电系统垂直孤立，窄带、非 IP 化、IP 化多网并存的阶段，在 2018 年以前业界以此为主；第二阶段是智慧园区，以数字平台为核心，IT/OT 数据融合，网络 IP 化、多网合一的阶段，今天已经被标准组织、协会、设计院等业界专家所广泛接受。

面向未来，基于 5.5G/Net5.5G/F5.5G、云计算 / 大数据、数字平台等 ICT 技术创新能力的大幅提升，华为预测智慧园区将演变成基于园区操作系统的有机生命体的新型阶段。智慧园区的定位也将发生深刻变化，由封闭孤立自治到需要更广泛的参与城市、社会化协同；由独立的资源管理分配到需要为内外部应用提供更精细更高效的资源供给；由园区内跨域的数据处理到需要保障更大规模数据的跨境安全可信流通前提下的更深维度的数据融合等。

智慧园区的新阶段充满想象空间，作为全球领先的 ICT 基础设施和智能终端提供商，华为保持研发压强投入，致力于通过技术创新引领未来。在过去三年时间里，华为与业界数百名学者、客户伙伴及研究院机构等深入交流，集业界专家和华为的智慧，站在后天看明天，共同展望智慧园区下一个代际。输出了我们对智慧园区未来发展的思考 - 《智慧园区 2030》报告。

该报告从趋势愿景出发，阐述了面向未来智慧园区数智化、融合化、韧性化、人本化、绿色化五大发展趋势，描绘了初现端倪的未来智慧园区场景。在业内首次定义了未来园区的六大技术特征，系统的阐述了智慧园区所涉及智能孪生、空间交互、泛在物联、智简超宽、安全韧性与全域零碳的技术挑战与创新方向，并提出了关键技术特征加持的未来智慧园区建设的参考架构。希望这份报告能够为全球智慧园区的建设与发展，为智能世界的加速到来贡献出积极的力量。

德国著名思想家、科学家、作家歌德曾说过：“志向和热爱是伟大行为的双翼。”我们相信智慧园区 2030 就在历史时代的下一个转角等待着我们，我们渴望携手业界专家、伙伴，勇于探索、持续创新、实现梦想，构建用科技使能的有温度的智慧园区。



华为公司常务董事
ICT 基础设施业务管理委员会主任

引言

数字技术、数字经济已成为重组全球要素资源、重塑全球经济结构、改变全球竞争格局的关键力量。在这场席卷全球数智化浪潮中，人工智能、数字孪生、5.5G/6G 等前沿技术加速突破创新，推动人类波澜壮阔的智能时代加速到来。

此外，全球气候变化也是当今世界一项横跨国界的重大命题。2022 年，全球的碳排放量当量高达 368 亿吨，创造历史新高，碳排放量持续增加引发的全球变暖为全球可持续发展提出更高要求，使得绿色低碳发展成为全球可持续发展的主旋律。同时，个性化消费需求、自动化浪潮、“Z 世代”崛起等趋势将引发新一轮需求革命，深刻地改变着人们的生产和生活方式。

园区是城市的基本单元，是人类生产生活的主要场所，是数字经济发展的的重要载体，是实现绿色低碳转型的关键靶点。智慧园区的发展与演进是一个可持续发展的过程，当今世界深刻而复杂的变局将驱动园区进一步智能化，实现从万物互联到万物智联的跃迁。近年来，业界对智慧园区进行了深入的探索和实践，智慧园区的发展已经进入深水区。

立足当下，畅想未来，站在 21 世纪第三个十年的起点，我们不妨大胆展望，2030 年的智慧园区会是怎样的图景？有哪些新的趋势和特征？其发展核心的驱动因素是什么？人工智能、数字孪生、5.5G/6G 等新兴技术将为未来智慧园区带来哪些激动人心的变化？……

基于对未来的不懈探索，华为与业界学者、伙伴及研究机构深入交流，结合自身深耕行业的经验，展望 2030 年，输出了我们对未来智慧园区发展的思考——《智慧园区 2030》报告。本报告深度洞察了未来十年驱动未来智慧园区发展的三大驱动因素，提出了园区“数智化、融合化、人本化、韧性化和绿色化”五大发展趋势，同时，还描绘了未来智慧园区的十大场景，系统性的阐述了支撑智慧园区发展的关键技术特征。

华为坚信，一个全面智能、以人为本、绿色低碳的智慧园区正在朝我们走来。我们立志，把数字世界带入每个园区，让智慧触手可及！

目录

01

趋势与愿景

13

1.1 驱动因素.....	14
1.2 发展趋势.....	16
1.2.1 数智化：万物互联、全面智能的园区逐步从理念走向现实.....	16
1.2.2 融合化：园区将走向场景虚实融合和功能无界融合.....	18
1.2.3 人本化：人本服务是满足园区用户需求的关键.....	19
1.2.4 韧性化：安全韧性是园区管理和运营的核心保障.....	20
1.2.5 绿色化：为实现可持续发展目标，园区走向零碳化是必然.....	22
1.3 愿景.....	26
1.3.1 智慧园区定义.....	26
1.3.2 智慧园区愿景.....	27

02

未来场景

29

2.1 全息 AIOC.....	31
2.2 超时空智慧办公.....	32
2.3 多域智感通行.....	34
2.4 全自动资产运营.....	35
2.5 多元联动物流.....	36
2.6 万兆高可靠生产.....	38
2.7 数字健康服务.....	39
2.8 超沉浸互动.....	40
2.9 元宇宙生活.....	41
2.10 智慧能源管理.....	42

3.1 关键技术特征	46
3.1.1 智能孪生	47
1) 数字孪生	48
2) 智能认知	49
3) 柔性资源	50
3.1.2 泛在智联	53
1) 多维感知	53
2) 通感一体	54
3) 边缘智能	57
3.1.3 空间交互	59
1) 人机协同	59
2) 沉浸体验	62
3) 空间智算	64
3.1.4 智简超宽	66
1) 百 G 联接	66
2) 确定网络	69
3) 按需服务	70
3.1.5 安全韧性	71
1) 数据安全	71
2) 算力安全	74
3) 韧性系统	77
3.1.6 全域零碳	78
1) 光电重构	78
2) 极致碳效	79
3) 智能微网	82
3.2 参考架构	83
3.2.1 园区业务	83
3.2.2 园区平台	85
3.2.3 园区联接	86
3.2.4 园区终端	88
3.2.5 园区安全	89
3.2.6 园区运维	91

附录一：技术指标预测	97
附录二：缩略语	98





趋势与愿景

01



人类社会正加速迈向智能世界，面对全球可持续发展、数字经济增长、科技加速创新等变化，园区被赋予更重要的责任与使命。

■ 1.1 驱动因素

新一轮科技革命和产业变革方兴未艾，发展数字经济是把握新一轮科技革命和产业变革新机遇的战略选择，智慧园区将是数字经济迈向智能经济的主要阵地。第四次数字革命以数字经济时代的到来，园区作为社会经济的重要载体，将迎来崭新发展机遇。根据《“十四五”数字经济发展规划》，数字经济迈向全面扩展期，数字经济核心产业增加值占 GDP 比将重达到 10%，面向 2030 年将有望达到 30%。一方面，智慧园区将通过数字基础设施建设，全面提升园区统筹管理和精细运营能力，以及线上线下资源共享水平。另一方面，智慧园区将通过建设园区“智慧大脑”、“数字平台”以及跨越物理边界的虚拟园区等方式，创建高标准、高水平数字经济园区，提高数字化转型效率。

以 5.5G、人工智能、数字孪生等为代表的前瞻技术加速发展，驱动园区进一步向全面智能演进，并创造新场景和新应用。5.5G 作为下一代移动通信技术，将推动人联、物联向智联转变，

开启园区发展的“万物智联”新时代。5.5G 将带来十倍于当前的网络能力，实现万兆体验、千亿联接和内生智能，满足丰富园区多样的业务要求，是迈向智能世界的必由之路。依托毫米波、太赫兹、空间通信等底层技术创新支撑园区高效互联，成为联接真实物理世界与虚拟数字世界的纽带，实现园区由万物互联到万物智联的跃迁。

人工智能（AI）将推动园区进入智能时代，未来将从数据、算法、算力以及场景层面全面驱动园区迈向智能化。数据量的爆发式增长驱动智慧园区管理运营模式转型，将落地一批高适应性、一体化的实时监测和动态调优场景。算法优化创新将提高 AI 大模型精度和效率，进而提升智慧园区的安全性及可靠性。算力是园区重要的数字基础设施，也是 AI 应用场景落地坚实的底座。随着生成式 AI 嵌入商业化搜索引擎和办公软件逐渐普及，园区现有的办公模式将被全面颠覆，园区服务水平和质量有望指数级

提升。数字孪生强调园区物理世界的复制，通过高精度感知、实时数据接入和人工智能深度学习，构建全息虚拟空间，为园区用户带来新体验。面向 2030，有望实现园区环境的高精度感知，并依托数据挖掘分析和深度学习，构建真正的“全息虚拟空间”，并在在园区基础设施、园区建设与运营等场景更广泛应用。例如，园区将依托数字孪生模型在虚拟空间准确记录、仿真、演化、操控园区运营管理的方方面面，进行实时模拟、分析建模、预测诊断和智能调优。

个性化消费需求、自动化浪潮加速等多重因素将引发新一轮需求革命，立足服务园区用户核心需求出发，牵引园区向数据融通、全域智能转型。随着社会的进步，人们生产生活方式也随之改变。过去消费者追求产品功能等诉求，未来消费者将更加关注个性化、科技感等体验

诉求。未来新时代消费群体将更加追求消费品质以及科技感等附加体验。多层次、多样化的消费需求将驱动单个园区实现多元业态间的数据互联，挖掘用户需求，形成联动效应，催生新业态、新场景。同时，品质化、数字化的消费需求将驱动园区与城市间的数据融通，提供更加个性化的精准服务。

此外，自动化浪潮引发劳动力危机的同时也创造了新业态及新需求，驱动园区向无人化、智慧化的全域智能园区转变。简单重复劳动等低技能岗位将被机器所取代，但新技术的投入也将创造大量的人机交互类岗位。对园区而言，发展以无人配送、无人工厂、无人餐厅、无人物流等为代表的“无人业态”将成为趋势。对用户而言，未来工作模式将从传统办公转变为人机协同，需要园区提供相应的环境和数字化工具以更加快速地适应新岗位需求。



1.2 发展趋势

在数字经济高速发展、前瞻技术加速创新和社会需求革命的驱动下，智慧园区的未来发展将呈现数智化、融合化、人本化、韧性和绿色化五大趋势。

1.2.1 趋势一

数智化

万物互联、全面智能的园区逐步从理念走向现实

1.2.1.1 以万兆联接、数字平台为特征的基础设施将成为园区的核心底座

园区基础设施孤立建设、彼此不联通，无法支撑当前园区数字经济产业和低碳可持续发展需要。面向 2030，未来的园区应部署高品质、适度超前的新型物联感知基础设施，依托万兆联接的网络、数字平台，真正开启园区全局感知、万物智联新时代。

以 5.5G/NET5.5G/F5.5G 为代表的新型物联感知基础设施，助力园区万物互联。到 2030 年，全球联接总量将突破 2000 亿，完全进入到万兆联接的时代。新一代联接技术助力园区实现园区、城市之间的精准定位、高速网络全覆盖以及无边界信息传递。同时，园区未来将通过部署泛在物联感知设备，收集监测基础设施的各项运行状态数据，从海量数据的物联网设备中获得运营洞察力，实现自动运行、辅助决策、预测预警。

以数字平台为核心构建园区统一的数字底座，支撑园区数字化、智能化。未来园区将依托数字平台提供融合贯通的聚合服务、数据服务，赋能园区跨系统数据融合、多元应用场景联动、敏捷创新等。

1.2.1.2 智能化建筑将成为可感知、会思考的园区核心组成单元

建筑智能化转型升级成为各国产业发展重要规划布局，也是促进园区全面智能化发展的必然趋势。《“十四五”建筑业发展规划》中指出，建筑业在与先进制造业、新一代信息技术深度融合中拥有巨大潜力。在数智化浪潮下，建筑行业将进入智能化转型升级期，将与园区完成全链条的实时连接，部署物联感知设备，助力园区全面感知用户需求，提供更个性化的智能服务。自从 2020 年以来，中国连续发布了一系列关于建筑数字化的文件，如表 1-1 所示。

建筑业智能化转型相关政策	政策要点	发布时间与机构
《关于公布智能建造试点城市的通知》	要求半数以上试点城市发布智能建造试点方案，加快推动建筑业与先进制造技术、新一代信息技术的深度融合，拓展数字化应用场景	2023.11 第二批试点 住建部 2022.11 第一批试点 住建部
《“十四五”住房和城乡建设科技发展规划》	以支撑建筑业数字化转型发展为目标，研究 BIM 与新一代信息技术融合应用的理论、方法和支撑体系，研究工程项目数据资源标准化体系和建设项目智能化身材、审批关键技术	2022.02 住建部
《“十四五”建筑业发展规划》	推广绿色化、工业化、信息化、集约化、产业化建造方式，推动新一代信息技术与建筑业深度融合，积极培育新产品、新业态、新模式	2022.01 住建部

建筑业智能化转型相关政策	政策要点	发布时间与机构
《绿色建造技术导则（试行）》	<ul style="list-style-type: none"> 有效采用数字化技术，提升建造手段信息化水平，充分体现绿色化、工业化、信息化等总体特征 鼓励有效采用 BIM、物联网、大数据、云计算、移动通信、区块链、人工智能、机器人等相关技术，整体提升建造手段信息化水平 	2021.03 住建部
《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》	<ul style="list-style-type: none"> 提出到2035年基本实现新型工业化、信息化、城镇化、农业现代化，推动发展绿色建筑 推进新型智慧城市建设，将物联网感知设施、通信系统等纳入公共基础设施统一规划建设，推进公用设施、建筑等物联网应用和智能化改造 	2020.12 中国共产党第十九届中央委员会第五次全体会议
《关于加快新型建筑工业化发展的若干意见》	<ul style="list-style-type: none"> 加强系统化集成设计和标准化设计，推动全产业链协同 加快信息技术融合发展，大力推广 BIM 技术、大数据技术和物联网技术，发展智能建造 	2020.08 住建部
《关于推动智能建造与建筑工业化协同发展的指导意见》	<ul style="list-style-type: none"> 以数字化、智能化升级为动力，创新突破相关核心技术，加大智能建造在工程建设各环节应用 大力发展装配式建筑，推动建立以标准部品为基础的专业化、规模化、信息化生产体系 	2020.07 住建部、发改委、科学技术部等 13 部门

表 1-1: 2020 年以来中国建筑智能化发展相关政策¹

建筑智能化作为未来园区建设的重要组成部分之一，园区建筑将由单体智能向群体智能演进。

一方面，未来建筑本身将不再是单一维度的个体，而是全面感知、有机协同、实时在线的智能化建筑，具有自学习、自诊断、自决策和执行能力。另一方面，园区建筑随数字技术升级，将实现建筑群的万物智联，支撑园区全面数字化、智能化。通过数字技术和机器人等智能设备的结合，构建无人值守、自动控制、自适应学习等能力，全面提升建筑建设和运营效率。建筑智能化将以用户需求为中心，借助物联网、无线定位、移动智能机器人等相关技术，持续提升建筑感知能力，真正实现全面感知、实时互联，进而实现对用户行为及偏好的自主感知，实时响应，满足用户精细化需求。

1.2.1.3 以数治替代人治的智能化运营将逐渐成为主流模式

数据是数字经济发展的关键生产要素，智慧园

区需重视数据价值挖掘，通过多系统联动，支撑园区精益运营，提升园区管理服务水平。未来，精细化数据运营将成为智慧园区建设与运营的底层支撑和重要保障，通过主动挖掘数据价值，实现园区运营可持续发展。

基于全局化的数据分析，构建“决策导向”的实时监测、态势感知、分析决策闭环，辅助管理决策精准高效。未来，智慧园区需打造真正实时态势分析的决策平台，基于海量数据的学习和分析，预测园区经营过程中的风险，预判园区运行过程中的异常情况，动态展示园区运行态势及综合经营态势，辅助管理者做出精准、高效决策。

多系统的联动，通过园区数字平台实现园区数据融合，促进业务发展提质增效。未来，园区运营者将通过多系统数据互联，推动业务功能由“单打独斗”向“协同作战”演进，利用更短的时间、更少的人员投入，实现极致高效运营。

¹ 中国信息通信研究院

1.2.2 趋势二

融合化

园区将走向场景虚实融合和功能无界融合

1.2.2.1 园区由物理空间融合走向多元场景虚实融合

未来智慧园区呈现虚实融合新态势，强调结合虚拟世界的真实体验，聚焦物理世界的数字叠加。数字技术将重构人与园区空间的关系，催生人的生产及生活新需求，驱动新型场景应用提供新的服务，促使智慧园区数字空间、物理空间、人文空间三大空间形态变化与演进。未来智慧园区将基于数字孪生的“复制力”、数字原生的“创造力”以及虚实共生的“想象力”，实现物理世界与数字世界的深度融合，为人们提供更加智能、便利和高效的体验，打造沉浸式数字园区。

数字孪生的“复制力”作为元宇宙园区的基础构建单元，强调真实世界的精准复制、还原，在园区工业生产、运营管理、文化宣传等领域将拥有更广泛的应用。未来，将依托激光雷达、遥感影像等技术的逐步成熟，助力无人工厂、元宇宙场馆、沉浸式展厅等场景的迭代升级。

数字原生的“创造力”作为元宇宙智慧园区的引擎，将催生数字经济下园区规划设计、服务管理的新场景。通过数字原生建模，园区设计



者将实现在虚拟环境中仿真模拟未来园区的运营情况，在规划设计阶段，构建园区运行的优化策略，并有望创新新一代的园区办公业务流程管理以及预测性维护方式。

虚实共生的“想象力”作为元宇宙智慧园区的高级呈现形态，将打破虚实空间界限，带来数字文化、数字娱乐、数字运动等新体验。通过全息投影、360°全景屏幕、虚拟现实等技术，助力沉浸式艺术展览、虚拟偶像互动、虚实融合场馆等场景落地。

1.2.2.2 由单园区逐渐走向园区与城市功能无界融合

随着城市化进程加快，园区与城市深度融合成为经济转型升级背景下的必然趋势，未来智慧园区建设将通过园区空间、功能与城市发展的深度融合，打造配套、城市和生态功能融为一体的智慧园区。

智慧园区将侧重空间功能的融合，与周边区域、城市功能融合发展，形成空间开放、功能多元的无边界园区，实现与城市的协同发展，提高整体竞争力和可持续发展水平。智慧园区的发展需要打破园区物理边界，让员工在工作之余感受城市的温度，从而吸引和留住人才，加快园区的创新和发展。

智慧园区将注重城市数据的融合，通过园区运营和城市服务的深度交融，精准洞察园区用户需求，拓宽园区管理服务边界，提高服务满意度和管理运营效率。一方面，通过更具系统性思维和持续迭代的数字化平台提供城市级服务，带来“超越用户所想”的个性化服务体验。另一方面，数字技术实现与城市应用深度融合，借助城市数字化平台提高园区运营管理功能，实现运营精细化、多元化。

1.2.3 趋势三

人本化

人本服务是满足园区用户需求的关键

1.2.3.1 更主动、更智慧、更个性化的园区服务为用户带来新体验

未来园区将以人为本，以数字化技术主动感知用户需求，针对办公人群、管理决策者、运营者等用户提供个性化服务，通过对用户的行为进行预测，将不同的场景进行串联，为不同的角色提供良好的用户体验。

未来园区运用数字化技术，深度学习办公用户习惯，提前感知用户需求，主动提供极致舒适便捷办公服务，为现有园区用户和未来“Z世代”等年轻办公群体带来全新办公体验。例如，未来园区建设要充分考虑年轻办公群体对极致便捷体验的需求，自主感知人员行为、空间环境，联动楼宇中控系统，实现办公环境中温度、灯光等参数的智能调优，营造体感最优、能耗最低的舒适办公环境。

园区运营者作为园区数字化运营的操盘手，追求园区运营管理的高效化与精细化，通过平台化思维整合园区产业资源、服务资源和管理资源，实现全方位降本增效。未来园区建设应依托人工智能、物联网等技术，实时感知、精准分析预测园区日常业务运作和园区内人员活动，对异常情况自动预警，并自动派发工单，人机协同全面提升园区运营与维护管理效率。为园区运营者提供智能高效的运营新体验。

未来园区管理者作为园区数字化转型的领导者，关注园区智能化、可持续发展将驱动区打造实

时态势分析的决策中枢，实时动态掌握园区信息并辅助精准施策。未来智慧园区应借助 AI、数字孪生和大数据驱动园区向决策导向型演进，开展园区管理领域的资源统筹调度和智慧化运营，实现全域数据整合和可视化展示，精准辅助管理者决策，为园区管理者带来全面智能化决策管理新体验。

1.2.3.2 园区将成为更懂用户、更有温度的人本价值新空间

智慧园区在追求极致的生产生活效率的同时，应始终彰显用户至上的价值取向，提供更加包容和谐的人性化关怀，提升人们的生活感受和生命体验。**智慧园区将不仅是用户线下交流互动的场所，将有望成为满足情感需求、提供自我实现价值、强化社交链接、促进自我实现的人本价值空间。**

社交及自我实现是园区用户重要的情感与人本价值需求。未来，园区用户推崇“万物皆可社交”，期待园区构建社会临场感强、线上线下融合互动的虚拟社交平台，带来有温度、有沉浸感的服务体验。此外，他们作为满足“自我实现”目标的追求者，期待园区通过主动感知、主动分析提供具有情感需求与自我实现价值的个性化服务，满足用户高阶需求，带来主动化、更具关怀感的服务体验。未来，智慧园区需从简单的“功能服务”逐步向“精神与价值观的互动”迭代发展，通过搭建深度交流、文化互动的创新平台，提供更主动、更专属的个性服务。

1.2.4 趋势四

韧性化

安全韧性是园区管理和运营的核心保障

1.2.4.1 园区将从单点防御到全面主动立体安全防护

随着数字经济的发展，园区从封闭走向开放，由单一迈向融合，对园区安全将提出更高要求。园区基于物理安全、数据安全、网络安全三个维度提升全面立体主动安全的能力。

园区安全管理将与人工智能、机器学习等技术深度融合，提升设备分析决策力，实现事前主动风险预判预防。根据 Memoori 预测，到 2028 年，搭载人工智能的摄像机比例将上升到 50% 以上。通过 AI 摄像机的多模态图像识别，自动锁定可疑人物或行为，并通过分析算法判

断安全风险等级，自动调度相关资源解决问题。借助人工智能算法让设备自动调整工作模式，根据实时情况做出精准决策。

此外，智慧园区的建设需关注数据安全，重点关注数据分类分级、安全评估、跨境安全等相关要求。国家近年陆续发布多部数据安全相关的法律法规，数据分类分级、数据安全评估等制度将进一步细化，配套的数据安全规范和标准体系也将进一步完善，但在智慧园区领域尚未出台针对性较高的政策，详见表 1-2。未来，我国将进一步细化数据风险评估、数据出境等规范要求，智慧园区的关键信息基础设施和硬件部署，需要严格遵守相应的法律法规。

数据安全相关法律法规	数据安全合规相关内容	发布时间及机构
《工业和信息化领域数据安全管理办法（试行）》	<ul style="list-style-type: none">明确开展数据分类分级保护、重要数据管理等工作的具体要求，细化数据安全生命周期安全义务建立数据安全监测预警、风险信息报送和共享、应急处置、投诉举报受理等工作机制	2023 年 12 月 8 日，工业和信息化部
《生成式人工智能服务管理办法（征求意见稿）》	<ul style="list-style-type: none">首次对生成式 AI 研发及服务作出明确规定，提出和安全并重、促进创新和依法治理相结合的原则明确数据与基础模型来源的合法性要求，提出研发过程中进行数据标注的要求	2023 年 4 月 11 日，国家互联网信息办公室
《关于促进数据安全产业发展的指导意见》	<ul style="list-style-type: none">加大政策支持。研究利用财政、金融、土地等政策工具支持数据安全技术攻关、创新应用、标准研制和园区建设。推动产业集聚发展。立足数据安全政策基础、产业基础、发展基础等因素，布局建设国家数据安全产业园，推动企业、技术、资本、人才等加快向园区集中，逐步建立多点布局、以点带面、辐射全国的发展格局	2023 年 1 月 3 日，工信部等十六部门
《工业和信息化领域数据安全管理办法（试行）》	<ul style="list-style-type: none">对数据分类分级管理、数据安全生命周期安全管理以及数据安全监测预警与应急管理提出明确要求	2022 年 12 月 8 日，工信部
《关于修改〈中华人民共和国网络安全法〉的决定（征求意见稿）》	<ul style="list-style-type: none">细化调整网络信息安全法责任制度，适应网络信息安全工作实际，同时提高处罚力度和从业禁止措施完善基础设施以及个人信息的安全要求，强化关键信息基础设施安全保护责任	2022 年 9 月 14 日，国家互联网信息办公室
《网络安全审查办法》	<ul style="list-style-type: none">明确和细化网络安全审查的具体要求，为关键信息基础设施运营者申报审查提供了指引建立网络安全产品和服务安全风险预判机制，从识别威胁、化解风险的角度，推动安全关口前移	2022 年 1 月 14 日，国家互联网信息办公室等十三部门修订发布

数据安全相关法律法规	数据安全合规相关内容	发布时间及机构
《网络安全审查办法》	<ul style="list-style-type: none"> 明确和细化网络安全审查的具体要求，为关键信息基础设施运营者申报审查提供了指引 建立网络安全产品和服务安全风险预判机制，从识别威胁、化解风险的角度，推动安全关口前移 	2022年1月14日，国家互联网信息办公室等十三部门修订发布
《中华人民共和国个人信息保护法》	<ul style="list-style-type: none"> 进一步细化、完善个人信息保护应遵循的原则和个人信息处理规则，明确个人信息处理活动中的权利义务边界，健全个人信息保护工作体制机制 	2021年11月1日
《关键信息基础设施安全保护条例》	<ul style="list-style-type: none"> 分层次角色廓清了安全保护的职责、任务、分工和联动机制 进一步明确关键信息基础设施安全保护范围、联动责任体系、供应链安全可控、安全内控和意识培养等方面重点内容 	2021年7月30日，国务院
《中华人民共和国数据安全法》	<ul style="list-style-type: none"> 对数据处理者、重要数据处理者、关键信息基础设施运营者、政务署处理国家机关、政务系统建设和维护等受托方和国家核心数据处理者等角色相关的数据安全保护义务提出要求 	2021年6月10日

表 1-2: 数据安全合规相关法律法规

网络安全是园区数字化的重要基础，也是新时期智慧园区建设的核心需求。为应对未来数字化发展带来的新型网络安全威胁，高性能的网络是保障园区数字化转型的重要基础，保障园区网络安全成为新时期智慧园区建设的核心需求。数字技术的深度应用打破了园区物理网络边界，传统的边界防护模式和传统的安全架构逐渐失效。未来，园区网络安全防护能够主动感知、实时监测和智能分析网络威胁，并对威胁自动响应及秒级处理。融合多元技术和分析数据的混合网络安全解决方案将成为未来网络安全管理的主要工具。

1.2.4.2 构建态势感知、敏捷恢复能力是高度韧性园区的最佳选择

近年来，全球局势加速演变带来动荡与风险，加之“黑天鹅”事件逐渐频发，对园区强大的适应能力和恢复能力提出更高的要求。**未来，智慧园区在面临风险和威胁事件时，需要能够快速响应，有效应对各种变化和冲击，维持园区业务基本运转，并能够在冲击结束后快速恢复。**

智慧园区依托人工智能、机器视觉、物联网、大数据等技术，全方位感知园区运行安全情况，提供风险快速感知、风险评估分析和实时监测预警服务，提升园区在不确定及复杂危险环境中的敏捷恢复能力。一方面，识别园区可能面临的风险，并对风险点进行实时态势更新和动态监控。构建持续迭代优化的园区风险数据库，涵盖园区内所有风险类型、发生概率、影响程度、责任主体等。建立基于智能算法的风险态势评估和实时监测预警模型，增强园区安全状态监测预警、风险防控能力。另一方面，基于人工智能、数字孪生和3D全息技术，真实还原、精准模拟冲击之下的园区实景情况，多模态数据分析支撑决策者在模拟情境中进行应急恢复试验，辅助应恢复精准决策和智能应急调度。未来，采用无人机等普查手段快速识别紧急事件发生地，同时园区通过大幅提升应对高度复杂与动态冲击的能力，在紧急情况下，通过智能调度具有感知、决策的机器人进行紧急修复及救援，可提升复杂危险场景中救援的精准度、高效性与安全性。



1.2.5 绿色化

趋势五 为实现可持续发展目标，园区走向零碳化是必然

可持续发展事关整个人类和地球的前途和命运，园区是实现绿色低碳转型的重要一环，借助数字技术，推动可持续发展和能源结构转型将成为智慧园区重要发展方向。

全球气候变化形势严峻，碳排放引发的全球变暖将为全球可持续发展提出更高要求。园区作为全球碳排放的重要载体，是应对全球气候变化的关键一环。如图 1-1 所示，2022 年，全

球的碳排放量当量高达 368 亿吨，创造历史新高。在全球气候变化的压力下，提高园区资源产出率和碳生产率将成为各国减排战略的关键切入点。

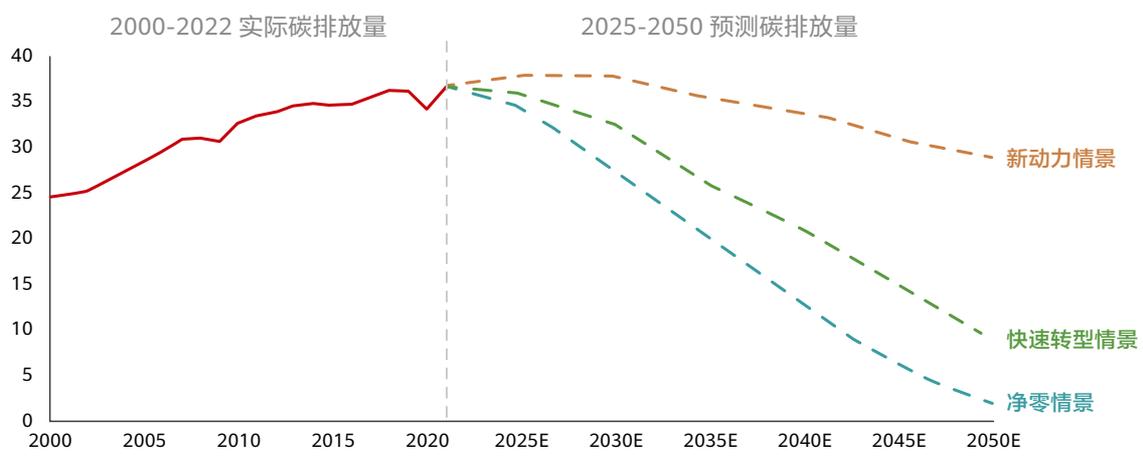


图 1-1 全球历史和预测碳排放量² (单位: 亿吨)

² 全球实际碳排放数据来源于国际能源署，全球预测性碳排放数据来自《bp 世界能源展望》报告

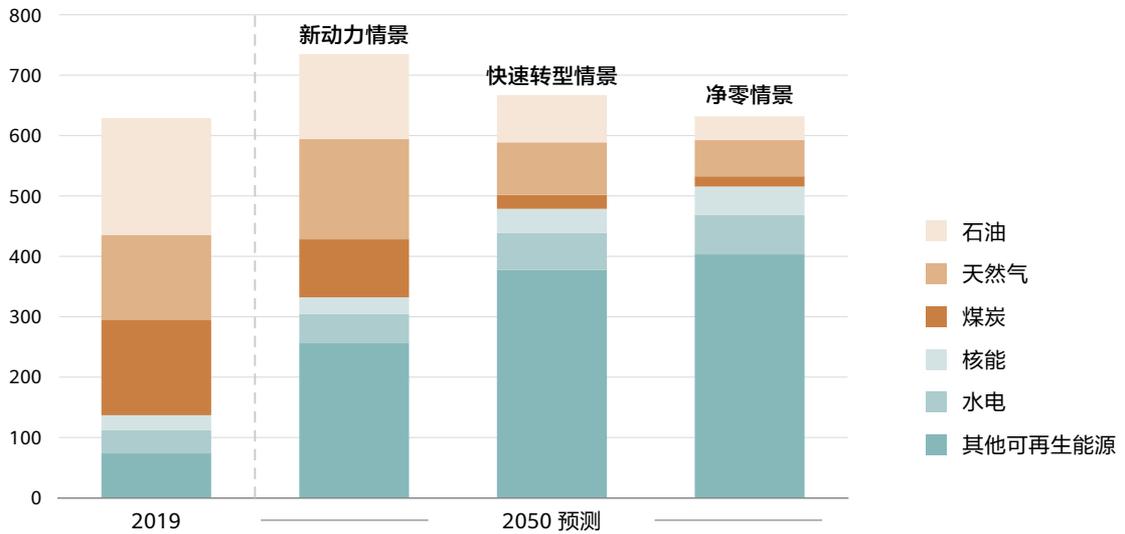


图 1-2 全球一次能源燃料来源³ (单位: 太瓦)

全球能源结构转型进入艰难的攻坚阶段，推动园区健全能源管理体系和提高可再生能源利用率是绿色低碳转型的重要抓手。根据《bp 世界能源展望》报告预测，到 2050 年，核能、水电、光伏等可再生能源使用占比将分别达到 72% 和 81%，详见图 1-2。在全球能源结构转型升级的大背景下，积极推动园区健全能源管理体系并提高利用可再生能源，是推动低碳绿色发展的关键。

1.2.5.1 园区零碳化建设将从“鼓励”走向“必须”

零碳 / 近零碳园区作为“双碳”战略部署的重要空间载体，将顺应绿色化、清洁化、循环化等绿色低碳发展的政策要求，鼓励在园区的建设、运维和管理的各个阶段积极开展零碳转型探索。园区亟需在社会发展和“双碳”目标中找准平衡点，探索契合自身特色的绿色低碳建设路径，科学落实动态零碳目标。

发展趋势	政策要点	政策来源
园区发展绿色化	<ul style="list-style-type: none"> 绿色建筑：提高新建建筑节能水平、加强既有建筑节能绿色改造等 绿色交易：支持试点区域探索绿色要素交易机制，组织近零碳排放区等低碳试点开展资源环境权益融资和气候投融资活动；支持在绿色低碳园区推动基础设施领域不动产投资信托基金（基础设施 REITs）试点 创新技术转化：鼓励建设中外合作绿色工业园区，推动绿色技术创新成果在国内转化落地 	2022.03 住建部《“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划》 2022.01 国务院办公厅印发《要素市场化配置综合改革试点总体方案》
能源结构清洁化	<ul style="list-style-type: none"> 清洁能源应用：提升园区交通用能、分布式发电、储能系统、工业用能等领域清洁能源比重 清洁技术应用：煤电机组改造升级、新型储能融合发展、源网荷储一体化绿色园区建设以及可再生能源发电；绿色低碳微电网、推进屋顶光伏、分散式风电、多元储能等技术应用，加快能源消费结构低碳化转型 	2022.02 国家发展改革委、国家能源局发布《关于完善能源绿色低碳转型体制机制和政策措施的意见》 2022.01 国务院办公厅《要素市场化配置综合改革试点总体方案》

³ 数据来源于《bp 世界能源展望》报告

发展趋势	政策要点	政策来源
能源利用高效化	<ul style="list-style-type: none"> 区域能源协同：推进区域能源协同，打造区域建筑虚拟电厂建设试点能源利用高效化 节能减碳技术应用：关注园区节能减碳技术改造潜力，重点提升园区产业和公共设施能效资源利用循环化 	2021.11 工信部、人民银行、银保监会、证监会《关于加强产融合作推动工业绿色发展的指导意见》 2021.10 生态环境部《关于在产业园区规划环评中开展碳排放评价试点的通知》
资源利用循环化	<ul style="list-style-type: none"> 循环化改造：推进既有产业园区和产业集群循环化改造；通过循环化改造，实现园区资源利用效率大幅提升，二氧化碳等主要大气污染物排放量大幅降低 绿色工厂：鼓励园区推进绿色工厂建设，实现厂房集约化、原料无害化、生产洁净化、废物资源化、能源低碳化、建材绿色化 	2021.12 发改委、工信部《关于做好“十四五”园区循环化改造工作有关事项的通知》 2021.07 发改委《十四五循环经济发展规划》
园区管理智慧化	<ul style="list-style-type: none"> 城市融合 / 数智管理：强调提升信息基础设施和管理服务、产业智慧化和高质量发展及园区 - 城市智慧化融合；通过5G、人工智能等高效信息技术实现园区基础建设、运营管理、综合服务到产业发展的全方位智慧化管理 数字碳核算：鼓励运用数字技术开展碳核算；探索开展不同行业、区域尺度上碳排放评价技术方法，包括碳排放源识别与监控方法等 	2022.03 住建部《“十四五”建筑节能与绿色建筑发展规划》 2021.12.21 八部门《“十四五”智能制造发展规划》

表 1-3: 国家双碳战略政策及零碳园区重点发展趋势方向

建设零碳园区是重点鼓励方向，多地颁发了鼓励碳减排优惠及奖励政策，为低碳 / 近零碳 / 零碳园区建设、绿色建筑新规实施提供有力的支持。2023 年 8 月，浙江省杭州市出台政策《杭州市人民政府办公厅关于加快推进绿色能源产业高质量发展的实施意见》，将园区、工厂配建新能源项目和开展节能改造作为评价认定零碳园区、绿色低碳工厂的重要依据，对验收通过的省级以上零碳园区给予 200 万元奖励。

国家在低碳 / 近零碳 / 零碳园区碳排放管控以及绿色建筑节能管理方面，政策不断收紧。一方面，在鼓励绿色产业发展的基础上，中国重点碳排放单位管控逐渐趋向严格，开始对超出碳排放量配额的单位进行处罚。中国国家科技部《国家高新区绿色发展行动实施方案》提出到 2025

年，局部建设零碳园区被正式提上日程，绿色零碳已成为园区发展的硬约束。2023 年 6 月，由于碳排放超出配额许可范围，北京生态局对某重点管控的污水处理厂进行了两百四十万余元的处罚。未来，随着碳交易市场成熟，碳排放管控将进一步收紧，更多企业将被纳入碳排放权交易体系，以免费分配为主的碳排放配额将逐渐过渡到有偿分配，并且引入碳税。另一方面，建筑碳排是园区碳排的主要组成部分，政策新规将不断收紧，超低能耗建筑将成为零碳园区建设的必要条件和重要保障。到 2025 年，全国要完成既有建筑节能改造面积 3.5 亿平方米以上，建设超低能耗、近零能耗建筑 0.5 亿平方米以上。到 2030 年，超低能耗建筑有望成为园区发展的必要条件，智慧园区将实现超低能耗建筑全覆盖。

1.2.5.2 能源结构清洁化、能源管理高效化、生产生活绿色化将成为关键手段

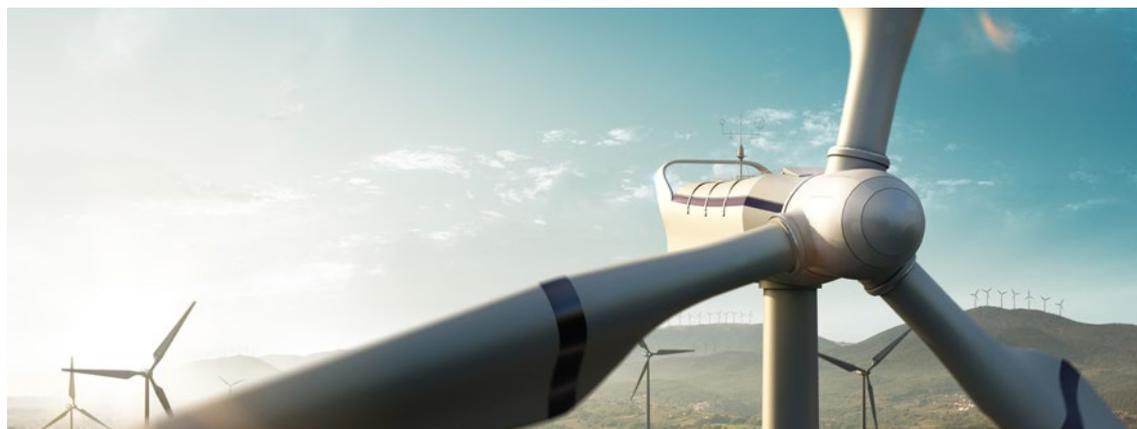
零碳园区是新时期园区建设的风向标,在“双碳”背景下,我国园区历经低碳、近零碳的动态演进最终将朝着净零碳排放的发展模式演进。零碳/近零碳园区的转型将从能源结构、能源管理、零碳生活方式三方面着手,将数字技术全面赋能优化园区零碳转型的措施,助力园区实现“碳中和”目标。

通过增加可再生能源比重和清洁技术应用,促进园区能源结构转型。一方面,园区将进一步提高园区光伏、风电、水电等可再生能源比重,从源头优化园区能源结构。未来,人工智能技术将在可再生能源发电能力和需求预测、电网运行和优化、能源需求和分布式资源管理等领域发挥更大作用。另一方面,通过部署智能微电网或氢储能、氨储能、电化学储能等储能设施,全面促进园区能源结构低碳转型。

依托碳规划、碳减排、碳交易等方式,推进园区全面减碳降碳,实现园区高效能源管理。在园区规划、建设、管理、运营全过程融入碳中

和理念,搭建零碳管理平台开展碳核算,实现园区碳达峰、碳中和目标。通过负碳技术和碳汇购买,全面增强园区碳吸收能力。借助碳捕集、利用与封存技术(CCUS)增加园区碳吸收能力,通过捕集工业生产中的二氧化碳,为高耗能企业提供碳减排方案。同时,建立碳资产管理平台,提供绿色金融、碳普惠等服务,鼓励园区企业积极参与碳市场,通过购买碳汇产品等方式,实现碳中和目标。

倡导绿色低碳生产生活方式,从根本上降低园区能源需求。园区将从本身的能源供给清洁化、能效运营高效化出发,将节能减排的价值主张向园区用户传递,倡导低碳通勤、无纸化办公、自带餐具用餐等绿色生活方式,树立园区用户“零碳”生活意识。园区生产领域的零碳转型是一项多维复杂的系统工程,从生产基础设施低碳转型升级、终端电气化清洁化等方面转型。未来,在生活领域,园区将建设数字化的碳足迹积分体系,帮助园区用户实时追踪碳足迹,配合碳积分体系的完善,培养用户自带餐具用餐、无纸化办公等绿色工作与生活习惯。同时,提倡“弱汽车化”的环保通勤方式,积极探索园区内无人接驳巴士在开放式园区的试运行,实现绿色出行。



1.3 愿景

1.3.1 智慧园区定义

面向 2030，我们清晰地定义，智慧园区是将物理空间、数字空间和人文空间深度融合，具备全面智能、以人为本、绿色低碳特征的有机生命体。

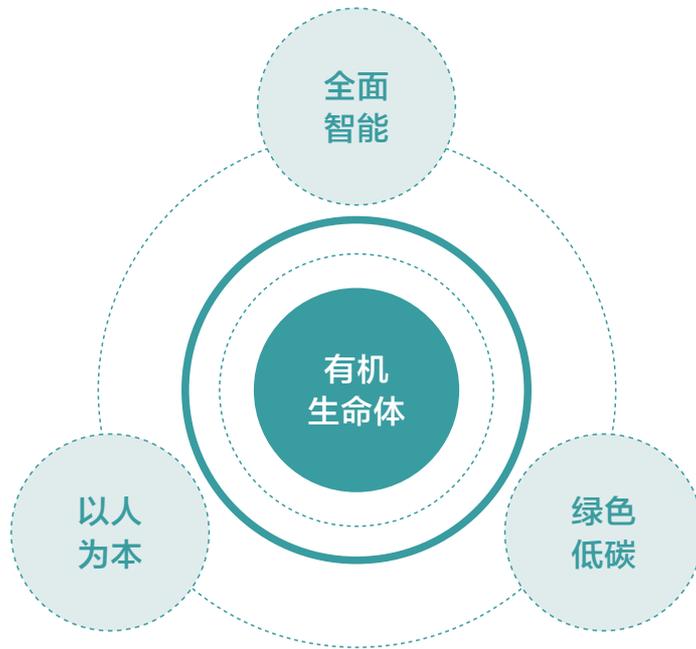


图 1-3: 智慧园区定义

- **全面智能：**以全面智能化赋予园区有机生命，通过数字技术将物理空间、数字空间、人文空间深度融合。其中，物联传感设备是园区的眼睛，敏锐感知园区发展变化、获取数据；数字平台是园区的大脑，能够态势感知、风险预判、精准决策，支撑园区的智能化管理及运营；园区业务应用是园区的手，园区网络是园区的经脉，最终实现持续自我生长、有机迭代。
- **以人为本：**园区将以人为本，通过数字技术让园区演变为人文关怀的空间，更具备关怀与温度。同时，以 ICT 技术为核心，通过技术演进、技术包容让园区更具备人文关怀与温度。园区将从“以功能为中心”过渡到“以用户为中心”，更加注重以人为本，通过数字技术精准洞察园区用户需求，更加具备主动、个性化、更有温度的智慧化服务。
- **绿色低碳：**构筑绿色低碳、高度韧性的可持续发展体系。采用数字技术促进园区能源结构清洁化、能源管理高效化、生产生活绿色化，全面赋能园区绿色化、低碳化、零碳化转型，实现绿色可持续发展目标。



1.3.2 智慧园区愿景

随着智能世界的加速到来，我们提出智慧园区的愿景是“把数字世界带入每个园区，让智慧触手可及”。

- **把数字世界带入每个园区：**华为致力把数字化技术如数字平台、高速网络、人工智能等

带到每个园区；

- **让智慧触手可及：**让数字化技术更好的服务园区，让智慧管理新方式、智慧服务新体验、智慧运营新模式在园区触手可及，赋予园区有机生命，最终实现自我生长、有机迭代。

把数字世界带入每个园区，让智慧触手可及

把数字世界带入每个园区

把数字技术，即

- 数字平台
- 高速网络
- 云计算
-

带入每个园区



让智慧触手可及

数字化技术更好的服务园区，让

- 智慧管理新方式
- 智慧服务新体验
- 智慧运营新模式
-

在园区触手可及

图 1-4: 智慧园区愿景





未来场景

02



智慧园区涉及办公、生产、生活所有方面，在数字技术日新月异的发展及园区业务需求升级的双重驱动下，园区的业务场景将不断迭代升级，并在园区办公、生产、生活方面产生新场景、新应用。

面向 2030，立足未来典型场景应匹配前沿关键技术应用与前瞻行业发展趋势的考量原则。一方面，未来场景将采用前沿关键技术应用。我们识别出与智慧园区未来发展相关度高的关键技术并应用在园区未来场景中。例如，重点关注智能认知（生成式 AI）、数字孪生（智能平台）、空间交互（沉浸体验、人机协同）等技术对园区办公、生产、生活方式的影响与颠覆，以及泛在智联（物联感知、边缘智能）、数字孪生（智能平台、数字建模）等技术对园区运营管理与决策

的赋能。另一方面，园区未来典型场景能够充分体现智慧园区“数智化、融合化、人本化、韧性化和绿色化”发展趋势。即：具备全面智能、以人为本、安全韧性、绿色低碳等特征，充分思考其在未来园区场景中的亮点应用。例如，在园区服务方面，如何以人为本，实现更懂用户，为用户提供更主动、更人性化的服务；在园区运营管理方面，如何智能化运营，真正实现“以数治代替人治”的主流模式；以及在园区可持续发展方面，如何推动能源结构清洁化、能源管理高效化和生产生活绿色化，逐步走向零碳园区。

带着上述思考，经过综合考量，我们筛选出 10 个未来智慧园区典型场景。未来随着数字技术的发展，结合未来园区场景应用及实践，典型场景将会持续并进一步展开。

2.1 场景一 全息 AIOC

2.1.1 定义

全息可视化全局呈现，全方位智能态势感知，自主精准分析决策，实现园区运营的可视可管可控。

2.1.2 描述

随着园区数字化进程加快和精细化治理水平不断提升，全息 AIOC 将成为推进园区数字化、智能化的重要手段，具备感知智能、认知智能、决策智能的能力。未来，园区数字化将从单纯的数据挖掘整合向园区管理及运营决策洞察演进，IOC 不再是简单的数据可视化工具，而是基于海量业务数据的高效采集和智能分析，成为辅助园区智能全域管理及高效精准决策的“智脑”。全息 AIOC 将依托数字平台、光场全息渲染、人机智能协同等技术，打破园区信息壁垒，以全息可视的方式实时展示园区运行动态，帮助园区管理者实现更加动态化、智能化的园区管理，并逐步构建“自主意识”，代替人工实现自主决策，助力园区运营可视、可管、可控。

全息 AIOC 运用园区数字平台及数字孪生等技术，对园区全域运行数据进行实时汇聚、监测、分析，全息可视化呈现园区智能感知园区及运行情况，辅助园区智能指挥和应急调度，保障园区场景更智慧、运行更智能、管理更高效。一方面，园区融合海量数据，全方位汇聚与分析安防、交通、通行、能源、资产等园区场景数据，通过光场全息渲染及数字孪生模型，实现园区物理空间到数字空间的精准映射，最大限度还原园区运行状况，实现全面立体的园区态势感知和全息展示，全息 AIOC 将自适应园区不同场景的决策需求，把多类型数据整合到全息模型中，带来极佳的视觉体验，并支持实时交互。同时，借助人工智能技术，赋能园区

基于海量数据进行知识推理并构建知识网络，以推演数据背后的深层逻辑，从而形成智能洞察和认知，让园区能够智能化感知园区运行态势，实现对园区全域的精准分析、协同指挥。另一方面，针对全方位态势做出智能指挥和应急调度，以人机交互方式发布执行指令。通过大带宽、低时延 5.5G/Net5.5G/F5.5G 网络和机器学习的智能化分析，将感知终端与应急场景进行深度融合，以实时回传现场语音、超高清视频等方式快速分析危情，人机协同调度最优资源，高效完成园区应急响应管理闭环。

基于 AI 大模型和园区数字平台，全息 AIOC 将逐步构建自主预测和智能分析能力，实现自主高效的决策分析，辅助园区管理者精准决策施政。基于园区数字平台动态数据自学习，并运用机器学习及算法和模型，构建自主获得知识和迭代进化能力，自主预测发展趋势、经营风险，识别园区经营或运营管理异常情况。在产业招商领域，通过对区域产业发展、园区经济运行相关数据的自主学习，辅助园区招商决策。在工单管理领域，全息 AIOC 将精准识别人员闯入、违章停车等行为，并对相关业务工单进行自动化处置，实现问题的自主感知、及时预警、高效处置，赋能业务决策。



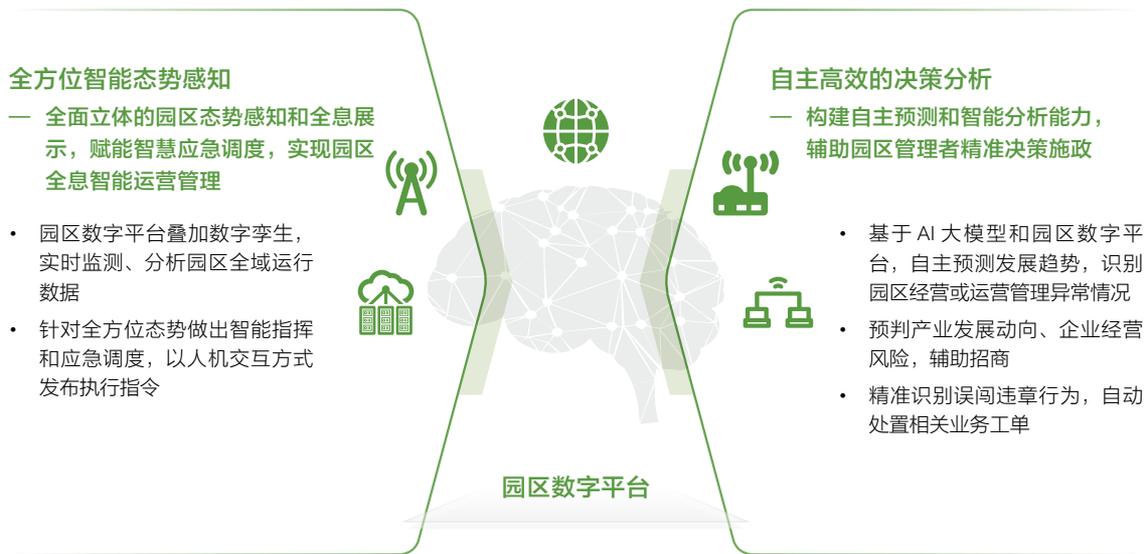


图 2-1: 全息 AIOC 场景

2.2 场景二 超时空智慧办公

2.2.1 定义

生成式 AI 重塑园区办公模式，依托高品质智简办公网络和智能孪生技术，带来智慧便捷的随时随地办公体验。

2.2.2 描述

超时空智慧办公将重塑人们的工作方式，帮助用户获得超越自身的创造力。园区办公模式将由当前的“混合办公”，逐步发展为打破时空壁垒的“超时空智慧办公”，服务对象也将延展至在任何地点有办公需求的每一位个体。当前，重复性工作耗时长、统计类工作效率低等问题阻碍园区办公人员办公效率，为办公人员提供个性化办公服务，健康便利的办公体验还有待进一步提升。未来，园区运用智简办公网络、AI 协作交互、数字孪生等技术赋能园区办公空间、办公人员和工作本身，在办公群体之间构筑全新的联接方式，驱动园区办公创新力、灵活性及体验感全方位升级。

整合园区线上线下办公资源，提供 AI 智能办公协作服务，为园区办公群体带来极致高效、便捷舒适的人机协同办公体验。基于高品质的办公网络和以大模型等为底层支撑的 AI 技术，提供“懂需求、专业化、个性化”的 AI 智能助理服务，全面提升园区办公协作效率。在办公服务方面，AI 智能办公助理将精准了解员工日程安排和工作习惯，提供贴心化、定制化工作建议，并能够自动生成简报周报，自动统计分析处理复杂数据。在会议服务方面，AI 智能办公助理将提供园区会前的通知拟定发送、会中的多语种实时翻译、汇报自动演示，以及会后的分角色会议纪要自动生成等服务。在环境服务方面，AI 智能办公助理能够覆盖更广泛的园区办公场所，通过行为、环境的自主感知进行办公环境智能调优，如根据室外天气、室内环境、办公人员工作习惯等变化，实时动态调整照明、温度等参数，保障办公环境时刻处于体感最优、能耗最低的舒适状态，为办公人员提供个性化的智慧办公环境。



打通物理空间与数字世界壁垒，为园区用户提供跨时空、跨地域的沉浸式全息办公服务，带来沉浸互动的随时随地办公体验。高品质的办公网络叠加数字孪生技术将全面赋能沉浸式办公，为园区用户提供全息会议和数字人秘书服务。全息会议将虚拟会议空间、虚拟参会者、线下参会者深度整合，带来更为沉浸式的远程实时协作、穿透交互体验，全息会议参与者将

通过简单操作实现与远程用户的空间对齐，沉浸式地打开进入对方世界的通道，开启“虚拟会议传送门”。数字人秘书依托全息影像、虚拟漫游等技术手段，将代替人工来处理日程安排、差旅安排等工作，并在业务接洽高峰期，以数字分身线上出席活动与会议，满足园区管理者商机洽谈、日常交流等需求。

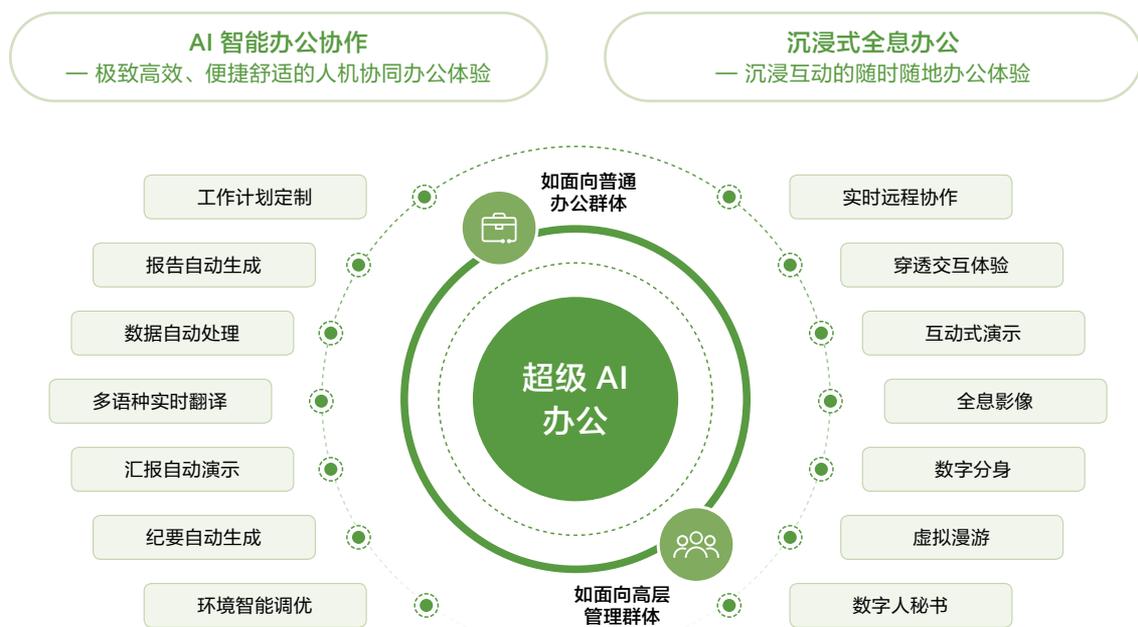


图 2-2: 超时空智慧办公场景

■ 2.3 场景三 多域智感通行

2.3.1 定义

面向多地域、多场景联动的园区通行场景，为园区用户带来极致、高效、便捷的通行体验。

2.3.2 描述

随着科技进步发展和交通工具升级演进，驱动智慧园区拓展出新的通行场景。园区通行方式将由当前基础单一的“两点一线”式简单出行向复合多元的“多地域、多场景联动式”转变，园区通行体验由仅满足基本功能性需要的基础通行向极致、高效、便捷的“全面一站式通行”发展。未来，需针对园区办公人员及访客高品质、多样化、个性化出行需求，依托人工智能、大数据、物联网、车路协同等技术，通过跨城市与园区的数据融合实现多地域、多场景联动智慧通行，带来高效便捷、个性定制、沉浸交互的通行体验。

构建园区外、园区停车场、园区办公区、园区公共区域等多地域联动的办公通行场景，为园区办公人员带来极致高效、个性定制的日常通



行体验。基于 AI 算法、大数据、智能多模态自主学习等技术，为办公通行人员提供行前规划、智慧停车以及无感通行等服务。到达园区前，园区服务平台将根据用户出行计划提供定制化出行规划，如乘坐公共交通工具的用户可通过移动设备随时随地查询实时公交和地铁拥挤度等公共交通信息，自驾出行的用户可接收到最优路径推荐等智能推送信息，便捷了解实时路况信息。到达园区停车场后，办公人员可享受无感进场、车位智能引导、快速停车、停车路线主动规划、共享车位自动分配、反向寻车、无感离场等智慧停车服务。到达园区后，通过个性化“数字身份”、无感化“智能门禁”等方式，办公人员将实现园区通行全程无感，如便捷约梯、无感乘梯、高精度人脸识别、秒级放行等，在保障园区安全的前提下极大地提升通行效率、改善通行体验。

构建访客预约、访客接待、访客导航、访客管理等多场景联动的访客通行场景，为园区访客带来极致便捷、沉浸交互的通行体验。依托车路协同、毫米波感知等技术，为园区访客提供沉浸式实景导航、自动泊车以及无人接驳等服务。到达园区前，基于数字孪生和人工智能技术的 3D 渲染沉浸式地图，让园区访客能够通过移动设备直观、清晰地获得行进道路以及目的地的实景三维视图，全方位升级园区导航引导体验。到达园区停车场后，停车场可精准识别访客车牌信息，并基于毫米波感知技术为访客提供自动泊车服务，实现车辆精准控制、自主避障、自主泊车。离开园区停车场后，配备激光雷达、超声波雷达、高清摄像机的无人接驳巴士，将通过精准定位、自动规划、车辆行人感知系统，自动到达访客所在地点，将访客精准送达至办公区域目的地。离开园区前，无人接驳巴士专车接送访客到达园区出口指定目的地，自驾访客也可通过无人接驳巴士前往停车场，享受无感离场服务。

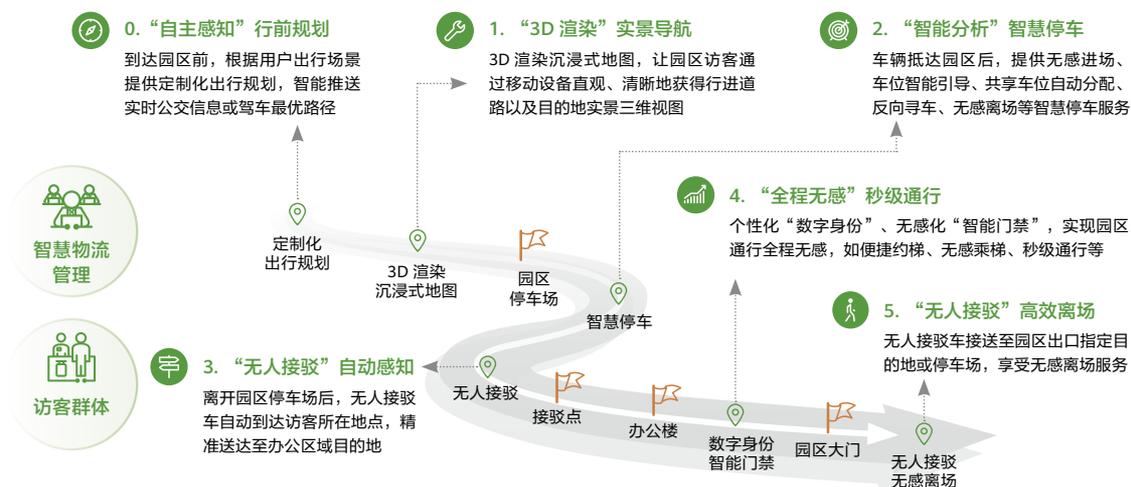


图 2-3: 多域智感通行场景

2.4 场景四 全自动资产运营

2.4.1 定义

基于园区数字平台实现园区全域资产透明可视、远程可管、数据清洁，提升资产运营效率，盘活资产价值。

2.4.2 描述

随着物联网、区块链、大数据等技术与园区深度融合发展，园区资产管理的全自动管理、精细化运营已成必然趋势。当前，园区资产管理过多依赖人工，存在盘点效率低、闲置资产多、运维成本高等问题，未来，园区资产管理将从“静态管理”向“动态管理”转变，资产管理理念向用户视角的价值管理转变。从资产全生命周期出发，结合不同用户需求，助力园区全域资产透明可视、远程可管、数据清洁，提升资产运营效率，提升园区资产价值利用最大化。

依托物联网、人工智能、区块链等技术，通过全息可视的资产实时监测、异常预警，实现资产透明可视、远程可管。一方面，以园区数字平台、物联网技术为基础，实现全息可视的资

产运行监测。园区全域资产互联互通，融合物联感知、机器视觉等多模态数据，实现园区资产智能盘点和运行状态实时监控，并通过 3D 渲染模型对全域资产运行状态全息呈现。另一方面，依托远程实时监控实现资产异常自动、实时预警。基于远程实时监控，自动识别资产运行异常，对异常状况进行实时远程预警，并能够自动派发工单，实现资产异常秒级处置。

AI 驱动资产全生命周期运营分析，构建园区资产预测性维护和运营决策能力，实现资产智能运营、价值盘活。一方面，AI 大模型赋能园区实现资产预测性维护。基于历史和实时运营数据建立 AI 大模型，预测即将发生的故障，并自动制定、执行维护计划，从被动的经典维护，转变为主动维护，降低资产故障率，提升园区资产可靠性。另一方面，智能运营分析辅助园区资产运营决策与价值盘活。基于资产运行状况和性能数据，自动分析资产使用效率、空置率、投入产出等指标，通过挖掘资产数据价值、盘活低效无效资产，辅助管理及运营人员就资产运营、盘活做出精准决策，提升资产全生命周期效率效益。



图 2-4: 全自动资产运营场景

2.5 场景五 多元联动物流

2.5.1 定义

匹配地面低空联动、人车货场协同需求，构建全方位立体循环、极致高效的园区智慧物流管理。

2.5.2 描述

随着低空无线全覆盖、生成式 AI、物联感知、视觉感知等技术在物流行业的深度融合和规模化应用，园区物流进入基于“计算+数据+模型”的智慧级精准物流调度阶段。下一代园区物流的智慧化管理，有望以 AI 大模型为核心，实现物流需求和资源的自动匹配，并基于人、车、货、场的全面感知、数字连接及深度融合，以车流、物流、信息流、业务流的一体化管理，实现园区物流调度实时化、决策精准化。

依托多系统数据联动，进行园区全方位物流智慧化管理，通过自适应车辆及仓储管理和货物可视化追溯，实现车货协同及安全高效运行。

依托人工智能、物联网等技术，实时掌握货物信息，并通过需求预测指导园区内全过程自适应管理，提高运输可靠性，降低运营成本。在车辆管理及调度方面，通过将园区物流车辆管理平台与园区安防系统打通，以及车辆预约、运输线路、运行轨迹、运行抵园时间等信息的综合分析，自主优化车辆入园时间规划、园区精准停靠和车辆调度策略，实现车货协同和出入园区零等待。在智能仓储方面，将园区工厂内装备设备进行标准化建模，并结合 AI 算法持续优化作业方式，保证货物与运输的无缝衔接，实现高效生产与运输。在货物管理方面，智能匹配货运单、货台、车辆，实现货物全流程追踪。异常情况下，可视化追溯，快速定位事发地点、实现告警事件秒级处理，有效解决问题处理不及时、货物管理不精细、人员进出较混乱等问题。园区物流管理平台将联动通行管理、访客管理及考勤管理系统，精准感知核验人员出入和货物仓储，实现人、车、货、场自动化、安全化管理。此外，依托大数据与人



工智能算法的城市级物流车辆调度，适用于业务规模和范围广、运输时效性要求高、随机货物订单多的大型园区。园区物流平台将对接城市级交通平台，基于道路拓扑结构、历史和实时交通数据，对货物运输线路进行自动优化，有效提升车辆的调度管理效率，实现较低成本货物运输。

依托低空全无线覆盖、物联网、大数据分析以及人工智能算法，构建立体循环的智慧低空物流网络，打造无人机、高/低速无人车、智能机器人

等多类型智能物流终端为一体的智能物流系统。无人机接到配送任务后，搭载货品从仓储中心起飞，借助 GPS 和机器视觉，按照智能调度系统的路线规划将货品投放至指定区域，再由高/低速无人车、智能机器人等地面智能终端迅速响应，对接完成后续配送任务，按时按需将货品高效运送至最终目的地，如办公楼指定楼层、休闲区餐厅或生产车间及仓库。这一精准协作式的地面低空物流网络可以满足在园区办公区域、公共区域、生产区域等不同场景下的物流配送需求，提升配送效率，实现地空高效协同。

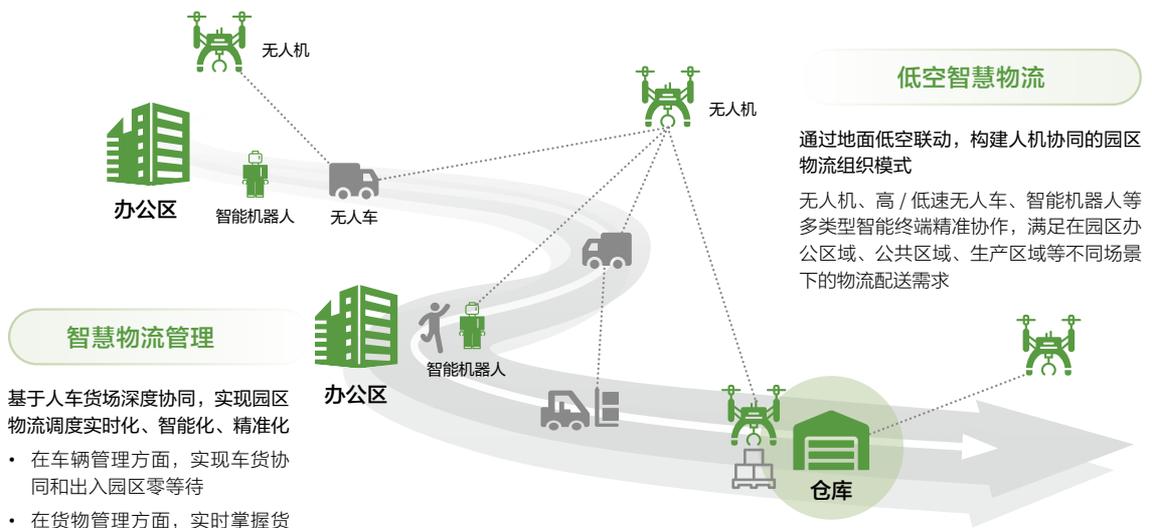


图 2-5: 多元联动物流场景

2.6 场景六 万兆高可靠生产

2.6.1 定义

工业智算边缘加持确定性生产网络，支撑工业控制与感知体系重塑，助力生产稳定运行与创新加速。

2.6.2 描述

新一轮科技革命下，边缘智能、工业互联网、人工智能等技术发展正在重塑生产制造模式，驱动生产制造走向全面智能化。智慧园区聚集了大量生产企业，是数字经济和实体经济深度融合的重要载体，是推动智能制造高质量发展的主战场。园区正不断深化新型数字技术应用和平台能力，赋能传统生产制造领域，加快形成新质生产力，随 5.5G/Net5.5G/F5.5G 网络普及，未来园区生产将以万兆确定性网络为基础，工业智算基础设施加持，重塑工业控制与感知体系，助力生产稳定运行与研发创新加速。

生产设备通过具备无损漫游能力的智能确定性生产网络联接在一起，业务数据和指令数据通过网络传输给各个生产设备，实现生产稳定性与可靠性跃升。一方面，确定性网络支持高精

度远控操作实现生产远程控制。基于生产现场数据的实时采集和生产控制指令的即时传递，实现对智能机器人等生产设备的精准控制，能够大幅提升人机协同生产效率，确保生产稳定不中断。另一方面，无损漫游的智能确定性网络支撑 AGV 无人搬运。通过 AGV 无人搬运车，实现了原材料管理、供应链管理和车队管理 80% 的工作自动化，极大的提升了生产效率和可靠性。

边缘计算中心、智能智算中心等工业智算基础设施重塑生产制造体系，实现高质量生产制造与创新研发。一方面，边缘计算加持，助力工业生产高品质提质增效。以边缘计算技术为基础的 AOI 视觉检测能够在生产线的任何位置进行实时自动检测，通过计算机视觉、深度学习，自动感知并精准识别生产缺陷，持续改进质量控制，从而提高生产效率并获得运营洞察。另一方面，超级生产智算 HUB 赋能研发创新加速。高质量、不设限的智能智算中心能够依托强大的算力叠加 AI 大模型、智能算法，对海量用户数据、产品数据等进行深度分析洞察，支持研发试验试制、虚拟仿真测试等，助力创新研发效率提升。



图 2-6: 万兆高可靠生产场景

2.7 场景七 数字健康服务

2.7.1 定义

联动优质健康资源，提供全息 + 虚拟健康服务和智能应急救助服务，带来园区“主动式”精准健康管理体验。

2.7.2 描述

随着全民对健康生活重视度的逐渐提升，园区用户对健康服务的需求从“被动服务”向“主动服务”转变，希望园区提供个性化、便捷化、精准化的园区健康服务。同时，随着 5.5G/Net5.5G/F5.5G、可穿戴设备、人工智能等数字健康技术的发展，园区健康服务的可及性和丰富度将进一步提升。未来，智慧园区作将向着以人为核心的“主动式”精准健康管理模式转型，逐步构建起精准感知、精准预判、精准干预的全周期健康管理服务。

万兆高速网络支撑园区深度联动优质健康资源，提供全息 + 虚拟健康服务，带来园区“主动式”精准健康管理体验。依托数字孪生、VR、全息投影、生成式 AI 等技术，万兆高速网络将支撑园区深度融合优质健康资源，健康专家通过



“数字分身”能够更加立体、真实的展现在园区用户面前，提供心理咨询、慢病咨询、健身服务等丰富的健康管理服务，为园区用户带来更加流畅、沉浸式、也更加精准的线上专属咨询及互动体验。

园区健康平台联动智能预警设备，提供智能应急救助服务，高效支撑园区用户健康风险预警及紧急救援辅助。大带宽、高密覆盖、超低时延的万兆网络有望在园区全面普及，基于大数据、机器学习等技术的智能预警设备，将实时跟踪园区用户状态，监测到异常情况后第一时间联动园区数字平台，调度相关资源，实现秒级应急响应，辅助紧急救助。



图 2-7: 数字健康服务场景

2.8 场景八 超沉浸互动

2.8.1 定义

采用万兆极速网络，以空间交互打破次元边界，带来跨时空、跨媒介的沉浸式交互体验。

2.8.2 描述

人工智能、物联网、XR、裸眼 3D 等技术的深度融合将持续推动沉浸式体验在园区多领域的应用，在万兆极速网络下，富有生命力的超沉浸互动应用创新将成为趋势。未来，AI 将与数字孪生、扩展现实等技术进一步融合，为园区用户带来跨时空、跨媒介的超沉浸式交互体验，以场馆、展馆、公共娱乐休闲空间为代表的园区互动体验空间将成为虚实融合、虚实共生互动体验的重要应用载体。

以空间交互打破次元边界，通过虚实互动、人机交互方式提供超沉浸式互动服务，为园区用户带来虚实融合的活动及服务新体验。一方面，通过虚拟数字人、全息特效等应用，打造虚实互动活动现场。基于面部及动作捕捉、CG 建模、生成式 AI、自然语言处理等技术的虚拟数字人主持，将替代人工完成活动介绍、现场互动、手语生成等任务。全息投影、近眼显示、虚实

协同交互和沉浸式空间投影等技术与现场舞美、环境相结合，呈现逼真的空间特效，达到以假乱真的效果。另一方面，园区用户通过与虚拟角色互动，触发线下智能机器人实时响应，获得沉浸式服务体验。基于人机交互技术，虚拟角色可以实时识别用户的行为姿态，跟踪用户位置，识别用户发出的服务指令，通过线上线下一联动，触发线下服务机器人实时响应，精准满足用户服务需求，为园区用户带来沉浸式人机交互的服务新体验。

数字孪生技术加持营造虚实融合的超沉浸感休闲娱乐空间，提供沉浸式观展、沉浸式游戏等休闲娱乐服务，为园区用户带来更具“未来感”的体验。沉浸式观展方面，基于增强现实、裸眼 3D、交互感应等技术，打造沉浸式展览空间，如数字艺术、文化旅游等。沉浸式视听内容与园区内场馆有机联合，逼真的视觉效果、震撼的音效最大限度的刺激用户的感官，营造出壮阔的沉浸式观展体验。沉浸式休闲娱乐游戏方面，通过对游戏玩家进行数字建模，在虚拟世界还原用户姿态和行为，玩家既可与线下角色，也可与虚拟角色互动，解除了传统沉浸式体验只能原地交互的限制，最大化提升游戏的沉浸式体验。

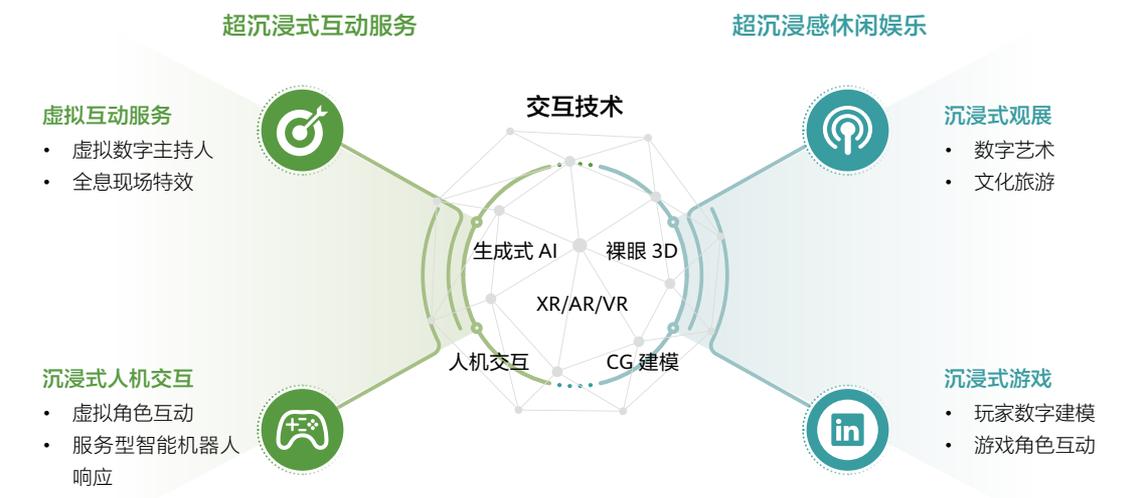


图 2-8: 超沉浸互动场景

2.9 场景九 元宇宙生活

2.9.1 定义

依托万兆极速网络及智能孪生技术，构建高沉浸感虚拟世界，带来沉浸式休闲娱乐新体验。

2.9.2 描述

随着数字孪生、5.5G /6G、AI 视觉与全息交互、XR 与传感、情感交互等元宇宙核心技术走向成熟，园区内活动将从单一的工作、生产逐渐向文化、娱乐、消费等场景拓展，围绕元宇宙的应用将逐渐渗透到未来园区丰富的商业生态中。未来，元宇宙技术将推动现实世界和虚拟世界的深度协作，开启园区中全新的、消费新生态，为园区主体提供沉浸式、交互式、体验式服务，开创下一代“园区消费者参与生态”。

元宇宙消费将构建虚拟的消费空间，聚焦 AR 街区、AR 打卡、AR 导航等实景娱乐消费体验，为园区年轻消费者带来更具“未来感”的数字消费体验。未来，园区将围绕年轻群体社交互动、动漫潮玩、游戏解密等多元消费需求，打造集文化社交、购物娱乐等为一体的沉浸式商业体验空间，通过一系列实景娱乐消费服务，让休闲时光更具互动感和代入感。AR 街区将虚拟人表演与园区内建筑有机联动，配合璀璨灯光秀，呈现虚拟人在城市上空表演的实时画面，同时，用户通过移动端设备扫码，还可享受 AR 街景漫

游、AR 艺术展观赏、AR 灯光秀以及 AR 店铺信息推送等趣味体验，带来全新数字消费体验。AR 打卡将园区商业业态的特色消费活动、店铺促销信息等融入到剧情游戏中，吸引更多年轻用户关注及参与，为商场引流的同时，增加顾客与商场的互动频率，进一步提升园区消费者购物体验 and 忠诚度。AR 实景导航有望逐步实现室内外一体化导航全覆盖，提供街道实景导航、室内店铺导购、车辆精准导引等服务，并根据消费者偏好自动推荐相应店铺及服务，让园区消费者更方便找到实体店，促进线上销售转化。

元宇宙消费将营造沉浸式线上娱乐体验空间，消费者可以在虚拟消费空间中享受 AR 逛街、AR 试穿 / 试用、AR 互动等新奇购物体验，高效为商场及品牌引流并进行新产品推广。未来，通过园区虚拟元宇宙消费平台，消费者可自行创建虚拟数字身份，身临其境地感受虚拟消费乐趣，并在数字空间中交流、互动。到达商场前，基于消费者偏好、使用环境等参数，元宇宙虚拟空间将真实还原产品使用场景，让用户在虚拟世界身临其境地感受商品使用效果。到达商场后，消费者可以在虚拟空间试衣、试妆，并获得品牌造型师的专业穿搭建议。同时，消费者可以好友联系远方好友共同创建数字身份，在虚拟空间内共同购物，并分享真实体验新产品试用感受，带动园区智慧商圈的消费力不断提升。



图 2-9: 元宇宙生活场景



■ 2.10 场景十 智慧能源管理

2.10.1 定义

数字技术与能源技术融合，实现园区全生命周期的零碳管理、能源运营优化与精准决策，驱动迈向零碳智慧园区。

2.10.2 描述

更低能耗、更低碳排的零碳智慧建筑俨然成为未来园区建筑建设趋势。未来，智慧零碳建筑将依托智能算法、多模态学习和大数据预测等技术，通过智慧感知、风险预警、能耗调优等智慧化、绿色化管理，实现园区全生命周期降碳与碳管理。随着碳达峰的到来，园区将进一步推进迈向零碳目标。未来，园区综合能源系统将具有源网荷储一体化、多能互补、供需方

动态博弈等特点。将人工智能、智能算法、大数据预测和源网荷储协调、绿电能源供给等技术手段有机地结合，构建可靠的 AI 能源预测系统，将持续优化未来清洁能源的供给和采购决策，保证园区能源系统的质量，同时实现园区低碳与经济性的平衡。

园区全生命周期零碳管理，一方面，**将通过数字技术赋能主动式园区设计和可再生能源部署，提高园区能源供应和使用效率**。未来，有望将数字技术进一步赋能自然采光、隔热保温、地源热泵等主动式设计和风能、太阳能光伏等可再生能源的利用，实现 100% 可再生能源供能。如，基于园区可再生能源部署的总体面积和设备情况，预测未来能源供给及能耗走势，并实时推算新能源利用比例和二氧化碳减排量。另

一方面，打造零碳智慧建筑，依托新一代绿色低碳技术应用实现建筑碳排精细化管理，提升园区建筑运行效率。通过 BIM 信息化模型与 AI 生成式设计结合，实现建筑施工、建筑运行的碳排放精细化管理。如基于环境数据提出建筑朝向、建造材料使用等建筑节能规划设计建议。通过能源监控中心和碳能大数据平台，实时感知室内温湿度、光照度、二氧化碳以及室外风力、雨水感应等园区碳能相关指标，统筹协调、智能控制单体建筑和建筑群之间的用电、用水、供热、供冷、可再生能源利用，实现能耗可视、可管、可控以及精准调优。通过碳捕集、碳吸收、碳交易等方式，抵消园区碳排放，实现园区净排放为零。

借助 AI 赋能的能源管理系统，通过不同类型能源系统耦合及多维数据分析，精准预测园区能源负荷量，实现园区能源的精细化运营与管理。未来，AI 能源预测系统将根据园区面积、人口、设施建设、用能特点、历史能耗数据等因素进行 AI 模型训练，精准预测园区未来能源需求。同时结合相关法律法规、大宗商品市场

交易动态、以及光伏、风电等清洁能源供给方式不稳定等特点，自主制定能源购买和供给策略，辅助园区管理能源采购决策。可靠的 AI 能源预测将在保证园区能耗供给稳定性和坚韧性的前提下，在能源供给结构中最大化使用新能源替代传统能源供给，进一步推动可持续的低碳园区建设。AI 赋能的园区综合能源系统将基于园区能源需求与能源供给分析，自主优化园区储能效率和能源使用效率，实现深度减碳。一方面，在园区能源供应过程中，基于大数据的无功补偿系统和各类储能、储热、储冷系统，将进一步优化园区储能效率，减少能源损耗，促进园区能源供给系统的韧性和灵活性大幅提升。如 AI 算法赋能园区智能微电网，在充分利用清洁能源的同时解决分布式能源不稳定的问题，对大电网起到“削峰填谷”的作用。另一方面，在能源使用过程中，基于 AI 算法提供能源系统运行优化策略，并可通过末端设备的闭环调控降低园区企业能耗，提升能源系统的安全性和经济性。如根据企业用电负荷特点，削峰填谷优化用能策略，降低对电网需求和电费支出。



图 2-10: 智慧能源管理场景





关键技术特征与 参考架构

03



3.1 关键技术特征

人类社会正在加速迈向智能世界，我们的生活也正经历一场前所未有的变革，跨越式发展已经是全行业的共同诉求。面向 2030，智慧园区将实现全面的数字化和智能化。未来的智慧园区将不再是如同今天拥有几个智能系统的“智慧园区”，而是一个通过信息化技术将园区物

理空间的人、机、物、空间等多维数据进行重构后具有生命体征的全新型智慧园区。

我们认为未来智慧园区将具备智能孪生、空间交互、泛在智联、智简超宽、安全韧性、全域零碳六大技术特征，如图 3-1。

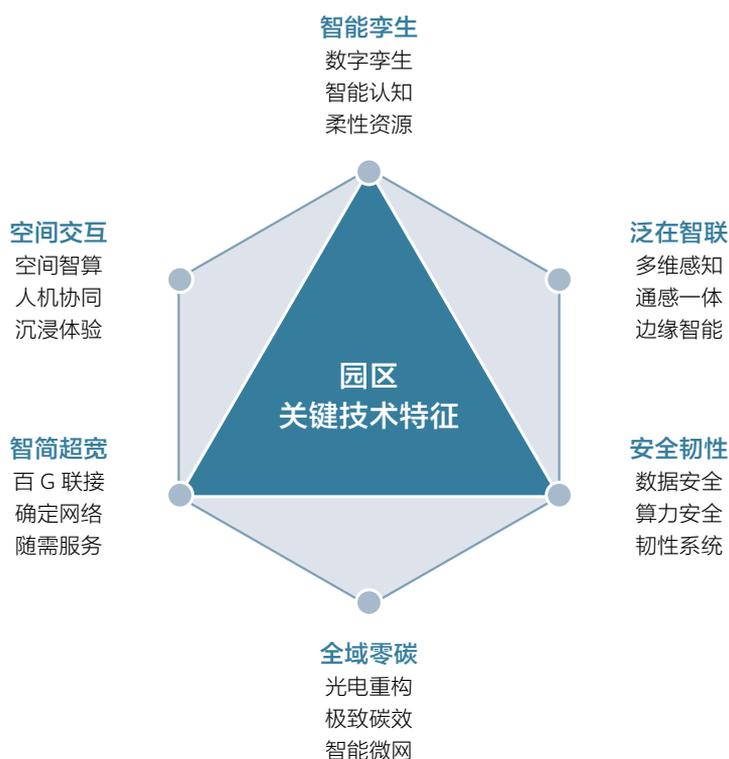


图 3-1: 关键技术特征



3.1.1 智能孪生

未来的智慧园区是一个高度数字化的空间，将基于统一的智能平台实现园区物理空间与数字空间的**数字孪生**，从而允许我们对现实世界进行高精度的模拟和预测，打造出一个高度数字化、智能化的园区。未来智慧园区的智能平台既要被新时代的 AI 技术赋能，通过运用自动自治 AI、知识计算和生成式 AI 等先进技术，实现对物理空间的**智能认知**；也要具备对海量数据的灵活处理和对指数级上升资源的灵活调度，提供算力、存力和运力的**柔性资源**。

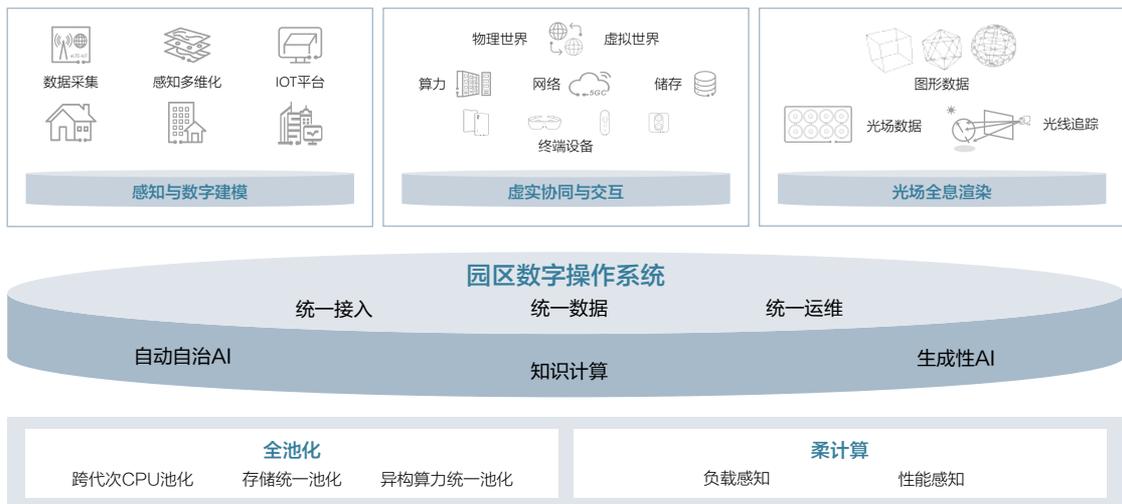


图 3-2: 智能孪生

数字孪生

园区的物理空间和数字空间无缝的衔接、协同是园区智能化、智慧化的特点。智慧园区的数字孪生是通过创建园区中物理实体的虚拟模型，对园区物理实体相关的数据建模，完善数字空间，进而形成相关的业务服务。围绕上述物理空间到数字空间的映射过程，感知多维化与数字建模、虚实协同、光场全息渲染、智能平台等技术的实现是关键。

1) 感知多维化与数字建模

- 感知多维化：园区物理世界里视频、通行、设施设备、环境、会议等各种数据经采集、存储，以及多维数据的处理与融合，不仅需要高分辨率的感知、定位、成像和环境重构能力，同时这些海量数据的筛选、预处理、建模、仿真等过程都依赖于强大的算力，以及人工智能、认知科学、控制科学等多学科的深度融合。
- 数字建模算力百倍增加：管理多维海量数据，并将之转化为三维模型面临巨大挑战。根据不同角度的图片与视频流，以及阵列相机、深度相机等采集的海量数据结合园区多维化感知进行三维建模需要强大的算力。

2) 虚实协同与交互

通过端云协同实现数据实时处理与传输，满足

园区用户在数字世界与物理世界的协同、联动和同步，为实现大量的状态查询与消息传送，需满足人和人、人和物、物和物两两之间交互时延小于 5~10ms，单用户需数千 Mbps 带宽和数十 TFLOPS 算力。

3) 光场全息渲染

未来园区，在三维光线均衡的场景下，通过全息渲染技术实现一个真实世界感官体验的数字孪生显示系统。为了精确的映射园区需要的高并发渲染能力，AI 内容生成环节需要海量的 AI 算力。预计在 2030 年实现光场全息渲染技术后，对 AI 算力的需求将相对现在增加 64 倍，单用户的算力需求将超过 10TFLOPS。

4) 智能平台

园区数字平台作为未来园区数字操作系统具备提供以下能力：

- 联接服务：多样化园区智能终端设备、哑终端设备的无感接入，融合末端接入与平台智能，支撑园区业务服务，助力园区业务的智能化。
- 数据服务：多数据源接入、集成、共享、统一 workflow、统一用户体验、多终端互联、多应用协同、多数据融合的统一数据服务能力。
- 统一运维：多租户、多业务、多应用、多业务创新、多应用开发、多运营协同、多运营安全的统一平台运维能力。



智能认知

在未来的园区，海量数据汇聚在承载数字孪生的智能平台上，例如每日的通行量将会精确到每栋楼、每层楼、每个房间甚至每个位置，这些数据的数量将是当前的百倍。为了满足园区数字化需求，需要借助自动自治 AI、知识计算、生成性 AI 等智能认知能力。华为预测，面向 2030 年新建园区业务 AI 渗透率将达到 100%。

1) 自动自治 AI

从车牌识别、人脸识别、AR/VR 等技术在安防、考勤、会议等园区业务场景的应用，AI 技术已经逐步深度参与并深刻影响着智慧园区的运行与运营。以下关键技术正在逐步被攻克，推动 AI 从监督学习模式向自动自治模式演进：

- 自监督，自反馈：从依赖人工标注转向自监督，由训练过程中转向执行过程中同步自反馈。
- 在线持续学习：目前模型学习到的表征都是自然产生的，多次训练的模型内在表征大相径庭，需要克服灾难性遗忘，在线持续学习，形成流式训练、训推一体。
- 多任务，自然交互：从人工设计多个模型匹配不同任务，到单模型学习多任务编码，在线按需切换。

在自动自治的技术支持下，AI 通过迁移学习、小样本、零样本、自监督、弱监督、半监督、无监督及主动学习等新方法，逐步解决模型训练、迭代、设计对人工的依赖，将推动人工智最终实现“自治”。未来 AI 自治使得模型更加归一，多种任务共享相同的模型结构，数据规模扩大及在线学习将使模型的生产更加集约化，逐步汇集多个大模型或一个超大模型，模型可以在线学习吸收新的数据知识，实现自身能力的迭代提升。深度学习的难度进一步降低，人工干预的接入逐步趋近于零。因此，园区的安防、通行、故障诊断、设施节能等基础服务会逐步由 AI 接管，

园区基础的受理、作业、事件、认证等服务逐步由 AI 主导，将智能带入智慧园区的基础设施，节省大量人力并提供更优质的服务。

2) 知识计算

人工智能在行业中的应用，要能够通过跨学科的领域专家知识进行综合决策，形成完善的知识抽取、知识建模、知识管理、知识应用的技术体系。

作为认知和感知的知识计算技术，在算法上需要突破海量稀疏信息检索、不定长的知识引入、知识注意力（Knowledge Attention），大规模图式计算；在认知智能的训练模式上，需要突破训练推理时高频度知识检索、知识结合的训练特征提升等；在计算上，需要解决高频度的随机检索训练与推理，高速数据通路，诸如随机漫步（Random Walk）、结构采样的图式计算等问题。

随着 AI 技术的不断突破，知识计算将呈现以下高阶认知特征：

- 知识抽取：实现从文本、结构化特征，到多模态的知识抽取，复杂任务的知识抽取，跨领域综合的知识抽取等复杂、多层次知识发展的跨越。
- 知识建模：从垂直场景化、原子化、自动化、规模化的知识图谱，进一步向垂直场景知识图谱与通用知识图谱的融合发展。
- 知识应用：从简单的查询、预测，向因果推理、长距离推理、知识迁移等高阶认知方向发展。

未来的 AI 知识计算，将通过跨学科的领域专家知识进行综合决策，形成完善的知识抽取、知识建模、知识管理、知识应用的技术体系，逐步具备高阶认知能力，使智慧园区智能平台更智能，使能各类行业园区的应用。预测 2030 年有望突破，实现局部场景对人的替代，出现能够逻辑推断的决策 / 服务机器人、数字人等。

3) 生成性 AI

生成性 AI (Generative AI) 技术作为最佳的自动化内容生产力要素, 允许计算机抽象与输入 (例如文本、音频文件或图像) 有关的基础模式, 使用它来生成期望的内容, 可以用于身份保护、音频合成等领域。

生成性 AI 与训练数据保持相似, 而不是简单的复制, 可将人类创意融入设计和创作过程。在生成性 AI 应用开发中, 具有随时间动态改进、自我进化能力的生成模型是关键。当前的生成性 AI 技术主要有如下挑战:

- 某些生成模型 (例如 GAN, Generative Adversarial Network, 生成式对抗网络) 不稳定且难以控制其行为, 如生成图片的精确度不足, 无法产生预期的输出, 并很难判断原因。
- 当前生成性 AI 算法仍需要大量的训练数据, 不能创造全新的事物, 这要依赖自我更新、自我进化的算法突破。
- 恶意行为者可以将生成性 AI 用于欺诈目的, 利用人工智能工具的本身漏洞进行远程攻击, 导致数据泄露、模型篡改、虚假垃圾邮件等事件, 对网络信息安全形成极大威胁。

随着关键技术的突破, 生成性 AI 将逐步具备以下特征:

- 模型自我进化: 可以实现模型的自我更新、自我进化, 可以解决特定的问题。

- AI 从认知到创造: 将人类创意融入设计和创作过程, 如艺术创造、辅助艺术创作、辅助内容生成等。
- AI 视觉与全息交互: 未来的芯片支持生成性 AI 引擎, 在虚拟世界生成新的内容, 提供沉浸式的体验。

随着生成性 AI 这些技术的突破, 未来园区如全息渲染会议、超时空智慧办公等技术大大提升园区的管理效率和服务体验。当前的生成性 AI 需要大量的训练数据作为输入, 预测在 2030 年会出现主动寻找训练数据, 形成全新的自我进化的生成性 AI 模型。

柔性资源

随着公有云、行业云, 私有云等资源作为数字化、智能化的智能平台底座在全球各行业的园区中广泛深度普及, 加之 AI 大模型, 元宇宙数字孪生等大颗粒应用爆炸式增长, 云化架构将成为未来智慧园区基础设施的标配, 为千行百业客户以及多样化园区业务应用提供多租安全隔离、性能 SLA 保障前提下的大规模集约化算力、存力、运力共享, 以及动态按需而变的算力、存力、运力供给。

未来智慧园区数字操作系统的数据底座, 将沿着“全池化”、“柔计算”的方向持续演进, 从而支撑智慧园区智能孪生的实现。



图 3-3: 生成性 AI

1) 全池化

通过超大规模资源池化，实现多租、多应用对园区操作系统数据底座算力、存力、运力资源的最大化共享，是园区数字操作系统数据底座的特征之一，未来 5-10 年园区数字操作系统数据底座的“全池化”是必然趋势，具体体现在：跨硬件代次 CPU 统一池化、存储统一池化（存算分离）、异构算力统一池化。

- 跨硬件代次 CPU 统一池化：下一代园区数字操作系统数据底座算力供给将从“以资源为中心”的模式转变为“以应用为中心”的模式，将一定 CPU 代差范围内的算力资源进行统一整合，通过云算力服务及资源调度层屏蔽底层 CPU 代次的差异，并基于实时的黑盒式性能 QoS 检测机制，在满足云租户应用性能 SLA 的前提下实现最优的 CPU 资源动态复用。
- 跨异构海量数据的统一存储&缓存池化：基于统一的去中心化跨可用区分布式存储引擎，园区数字操作系统数据底座实现了块存储、对象存储、文件存储等面向基础非结构化数据的存储资源统一池化，半结构化、结构化数据服务。软件架构仍多采用存算合一模式，

即同时覆盖了计算侧的数据查询、变更、分析处理，以及存储侧的数据持久化可靠性、可用性保障、并行 IO 读写，以及业务无损的弹性容量管理等功能。未来园区数字操作系统数据底座将通过一份数据拷贝跨不同数据计算引擎共享、近计算统一池化缓存、近数据分布式算子卸载、跨异构计算引擎的统一元数据管理、智能化数据分层存储等关键措施实现跨结构化、半结构化及非结构化海量数据的统一存储池化。

- 异构算力的统一池化：随着 AI 大模型及元宇宙数字孪生时代的到来，云上 GPU/NPU 异构算力将逐步取代通用 CPU 成为 AI 大模型训练推理，以及数字人、数字孪生园区渲染仿真。通过软件定义的 GPU/NPU 池化算力，一方面可将一颗物理加速芯片（GPU 或 ASIC）切分为几个到几十个互相隔离的小的计算单元，也可将分布在不同物理服务器上的 GPU/NPU 芯片聚合给一个数字操作系统数据底座（物理机 / 虚拟机）或容器完成分布式任务，而没有加速芯片（GPU/NPU）的 CPU 服务器也可调用远程服务器上的加速卡（GPU 或 ASIC）完成 AI 运算，实现 CPU 与 GPU 设备的解耦，通过异构算力的统一池化，可提供更有弹性的 GPU/NPU 硬件。





2) 柔计算

未来园区数字操作系统数据底座将引入相比“弹性计算”模式更为灵活、更智能、具备动态适配应用算力资源需求变化的下一代算力分配与供给模式“柔性计算”。在大幅提升算力资源池有效利用率、减少算力资源空置率的同时，也能让最终云租户与开发者像用水和用电计费那样，为自己的动态算力消耗而非固定资源规格支付费用，降低不必要的算力支出与浪费。

柔性计算区别于弹性计算模式的关键特征，除

了业务负载动态资源需求感知之外，还体现在其对于业务负载性能 QoS 的量化感知能力。柔性计算可通过应用层非入侵的黑盒模式从底层主机 OS 收集的所有资源实例级的多维度性能指标，包括 CPU、内存、存储 IO、网络 IO 等，并通过可持续在线迭代优化的 AI 建模方式，从采集观测到的海量业务负载性能特征，如 CPU 密集型、内存密集型、存储密集型、网络密集型，以及上述类型的特定组合等关键特征参数，并在下游有监督学习任务中通过少量已知典型业务负载训练样本，最终建立可黑盒式观测的柔性计算。

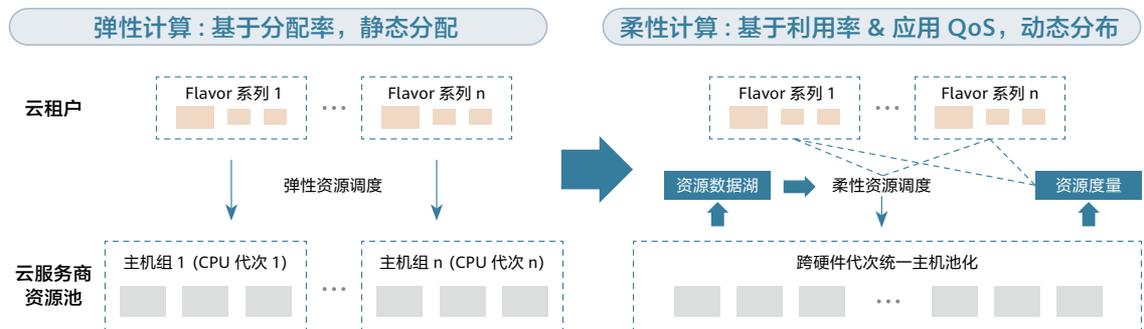


图 3-4: 柔计算

3.1.2 泛在智联

未来智慧园区数字空间的构建依赖于园区物理空间中的海量传感与物联，进而完成数据采集、数据汇聚、数据处理。基于对未来智慧园区的展望，本文从**多维感知**、**通感一体**、**边缘智能**三个方面提出对泛在智联的技术诉求，为各种行业智能服务提供数据支撑。



图 3-5: 泛在智联

多维感知

未来智慧园区首先应具备感知能力，通过“5.5G无线感知、Wi-Fi感知、光感知”等最新感知技术，结合“无源物联感知、视觉感知”等传统技术，在园区打造一张精准感知、实时可视、高效运营的数字化感知网，实现对园区中的人、机、物、事、空间环境进行全方位、多角度的感知和识别。

1) 5.5G 无线感知

5.5G 无线感知主要应用在车联网、无人机等自动驾驶场景，由 3GPP R16 标准定义的定位能力能达到米级精度，未来演进的目标是将定位精度提高到厘米级。随着无线向毫米波、太赫兹高频方向演进，未来无线感知也可以应用在智慧城市、气象预报、环境监测、医疗成像等场景。

2) Wi-Fi 感知

新标准 IEEE 802.11bf 定义了 Wi-Fi 的感知标准，基于 unlicense 频段信号，探测和感知周边环境，识别事件发生，并产生对应数据信息，为园区室内、室外、车内、仓库、货场等场景，提供高精度定位、姿态 / 手势识别、呼吸检测、情绪识别、周界安防等功能。

按照感知能力划分：

- **粗粒度感知：**通过较简单硬件，提取多普勒频移等较为明显的信号特征，实现事件识别，如人员存在检测、入侵检测、运动检测等。
- **细粒度感知：**依靠毫米波雷达等高精度探测技术，实现人员体征、手势姿态等精细化状态识别。

按照感知范围划分：

- 单站探测感知：单个探测设备，对指定区域实现定点探测感知，比如：离床监测、摔倒识别等。
- 多站组网感知：通过多个站点联合探测和信息合并去冗，覆盖整个区域，比如：商超人员统计、轨迹跟踪、室内环境成像等。

3) 光感知

通过光感知技术，感知故障、震动、应力、温湿度、气体、声音、照明等变化，提供设备 / 管线故障诊断、环境和设施受力监控、温湿度、通风、照明调节等服务能力。

- 光资源感知：通过光纤拓扑、光功率全程可视、米级精度光路故障诊断等技术，结合软件算法，当网络出现故障时，能够进行故障定界，确认是光纤故障还是网络设备故障。
- 光震动感知：结合光及 AI 的能力，实现 100km 长距、ms 级响应时延，能有效识别随周界部署的光缆的外部声音和振动信号，对周界围栏等入侵破坏事件进行预警，及时识别周界威胁，同时与视频监控联动，构建多维非法入侵检测系统。
- 光环境感知：通过分布式温湿度传感器、激光气体传感器、光纤分布式声音传感器以及分区式照度传感器，对空间温湿度、活动 / 休息空间 CO2 含量、全屋声强、全屋光照分布等进行监测，构建 3D 空间场数据，实现办公环境温湿度精准调节、智能通风、主动式噪声抑制和自动照明调节。

4) 无源物联感知

当前有源 IOT 物联终端虽然功耗低，但仍然依赖电池或电源供电，无法做到免电源、免维护，因此低功耗无源 IOT 采集成为新的发展趋势，主要依赖以下三项技术的发展和演进：

- 超低功耗物联终端：采用极简射频架构、无晶振收发机等技术，IOT 射频工作能耗降低 1~2 个数量级。
- 无线定向输能：通过指向性无线能量传输和高效率空口能量收集转化技术，替代 IOT 终端内置电池。
- 供能 & 采集联合调度：协同定向输能和终端数据收集，实现免电池 IOT 终端持续、稳定、可靠采集控制。

5) 视觉感知

通过摄像机采集环境、空间、人员和事件等信息，并产生图像数据。未来视觉感知技术发展方向会有较大变化，其核心目标是降低对环境的影响，减少对人的侵入感，降低安装部署的复杂程度，提升感知精度。

- 微型头端：头端小型化设计，适于各种场景部署，与环境更加和谐美观。
- 极简头端：在大带宽、低时延、边缘池化技术支撑下，摄像机极简设计，仅采集原始信号直送后端。
- 多维头端：系统支持多种视觉传感和图像设备的融合接入，包括移动设备，如手机、数码相机和固定设备，如网路摄像机、监控摄像机。
- 多途径感知：通过可见光、热红外、毫米波、声波等多种技术感知，取长补短，实现高精度、低误报。

通感一体

通感一体是将通信感知融合，是通信技术在感知领域的外延，从技术角度可分为三类：

Mobile 通感一体系统、WLAN 通感一体系统、光纤通感一体系统。



图 3-6: Mobile 通感一体系统

1) Mobile 通感一体系统

在 1G 至 5G 时代，通信和感知是独立存在的，例如 4G 通信系统只负责通信，雷达系统只负责测速、感应成像等功能。这样分离化设计存在无线频谱与硬件资源的浪费，功能相互独立也会带来信息处理时延较长的问题。

进入 5.5G/6G 时代，通信频谱将迈向毫米波、太赫兹、可见光，未来通信的频谱会与传统的感知频谱重合，通信感知融合可以方便实现通信与感知资源的联合调度。

通信和感知的资源可以通过时分 / 空分 / 码分等

方式实现通感一体化波形，做到感知功能在通信基站上按需叠加，降低感知的部署成本；高隔离度天线全双工收发能力，在保证通信性能的前提下，使能 5G TDD 支持时频全双工的感知工作模式，实现通信感知同覆盖；通信与感知架构的一体化，能够在不同行业快速打通端到端感知服务，另一方面可以保障数据安全。

通过大带宽多天线，可以将感知能力提升到厘米级以上；通过将蜂窝系统的多站协同引入感知，能够在单站感知基础上提供 3D 多视角和无死角感知能力；基于机器学习的目标识别算法，利用 5G 丰富的时频空码多维度空口信息，可以提高目标识别的分辨率。





图 3-7: WLAN 通感一体系统

2) WLAN 通感一体系统

WLAN 通感一体系统通过复用通信站点硬件、芯片、射频端口和工作频段，将通信感知和信号处理、信道资源调度相融合，在满足原有通信带宽、时延、传输和能耗的要求下，实现高精度感知探测。

主要从通信感知合一射频和通信感知协作探测两个方面达成目标：

通信感知合一射频，按工作频段可分为微波段、毫米波段两代：

- 微波段合一射频：复用 sub7GHz 频谱和设备资源，多采用 8x8 以下隔离全向天线，160MHz 以下频宽，实现分米级定位精度，满足粗颗粒度感知探测要求，如：存在检测、入侵检测等。
- 毫米波合一射频：采用 16 天线以上通感合一赋形阵列，具备 xGHz 探测频宽，可满足厘米级定位、毫米级感知探测精度，全面支持运动、行为、体征、轨迹、环境成像等多种感知应用精度要求。

通信感知协作探测，通过协同全网站点、终端

行为，实现通信质量和感知精度的最优匹配。按协同方式包括以下技术：

- 网端协同探测：在正常网络协议交互和数据传输同时，获得感知探测信息。
- 站间协同探测：通过邻近 AP 站点间协同探测，弥补终端流量位置对感知质量的约束，并为感知探测提供全网位置锚点。
- 全网通感协同调度：综合全网通信流量、站点和终端资源，选取合适的探测组合，保障通信质量和探测精度要求。

3) 光纤通感一体系统

光纤通感一体系统将传感技术与光纤通信技术融合，实现对环境、物体和事件的感知，提供更智能、更高效的数据服务和应用。

光纤通信技术，通过构建园区高速网络，实现高质量传输：

- 大带宽：从 100Mb/s，1Gb/s，10Gb/s 到超高速互联，支持头端传感器原始信号直传，更多原始信息协同交互。
- 低时延：保证各头端同步延迟在 1 帧内，实现高效协同事件分析及完整轨迹跟踪。



- 零丢包：头端传感器原始信号无损传输，确保关键数据特征完整保存。

多模态信息光感知技术，通过采集丰富的环境信息为业务提供必要数据：

- 环境感知技术：使用环境光或红外传感器感知和测量光照、温度等参数，用于智慧办公、环境监测等场景。
- 光纤感知技术：使用光纤作为传感器来感知环境中的各种物理量和参数，如震动、应力等，可应用于沉浸式体验中的姿势和动作感知。

边缘智能

园区中部署边缘智能数据系统，通过立体计算、集中式边缘处置等技术，对多维感知数据进行边缘智能化处理。

1) 立体计算

利用分布在云、边、端不同位置的多种计算、存储等设备，将这些设备进行横向协同与纵向协作，实现优势互补，形成立体计算。在立体计算中，重点需要解决业务体验、算力分布、算力利用率、信息孤岛等一系列的挑战。

- 边缘计算：影响边缘计算大规模应用的主要挑战包括：集中式边缘处置、边缘算力网络、边缘安全、边缘标准与开放生态等。边缘计算通过加强在数据采集、存储、处理、传输过程中的安全与隐私保护，推进边缘计算系统与软硬件框架、接口和协议标准化，实现边缘加速、卸载网络性能瓶颈等共性诉求，重点解决边缘智能在不同园区业态的智能化共性问题。
- 多设备协作：多设备协作技术强调多个设备之间的紧密群体协作，协作系统将从简单的合作与连接逐渐发展成独立自主的群体智能系统。多设备协作技术目标是提升多设备协同解决问题的能力、整体性能、鲁棒性等。多设备协作技术存在任务分担、结果共享、智能体等多种模式，同时面对多设备之间的合作与冲突消解、全局最优化、交互协作一致性等挑战。
- 云边端协同：随着智慧园区内 AI 和新兴数据密集型应用的快速发展，低时延响应、节约带宽成本、保护数据隐私安全等应用体验驱动计算向云边端协同发展。云边端协同技术利用云、边、端不同位置的多种计算、存储等设备，构建一体化的计算架构，提供任务协同、智能协同、数据协同、网络协同等能力。

2) 集中式边缘处置



图 3-8: 集中式边缘处置

未来园区业务系统集中处理各业务子系统接入的多维度前端感知信息，给运营带来立体化防护和感知管理体验，大幅简化当前管理系统，提升运营和管理效率。

- 资源池化共享：对多个数据源的数据进行融合汇聚，形成共享资源池，实现不同业务系统的按需调用。
- 智能算法协同分析：利用更多原始数据，多维度分析、预判相关事件发生及智能处置，实现精准识别、少误判；人工智能多模态自学习，分布式协同实现越用越聪明的智能化主动管理系统。
- 数据集中处理能力：对各头端感知数据集中处理，实现集中式业务管理和监控、协同智能分析。



3.1.3 空间交互

人们一直渴望全新的感官冲击和人机互动方式给在园区的办公、生产、生活带来改变和体验提升，在未来空间交互的主要场景有虚实交互以及人机交互两类。未来智慧园区将提供如裸眼 3D、XR 等更加智能化、个性化和沉浸式的智慧体验感受；同时未来智慧园区人机协同交互将从以机器为中心到以人为中心，园区设施和机器将实现高度互联和自动化，机器从单纯的执行方转变为有理解能力、学习能力、决策能力的合作方，走向人机智能协同阶段。**沉浸体验、人机协同**两类场景对低时延、泛接入、高智能等的技术要求，驱动着未来人机交互网络和**空间智算**的快速发展。

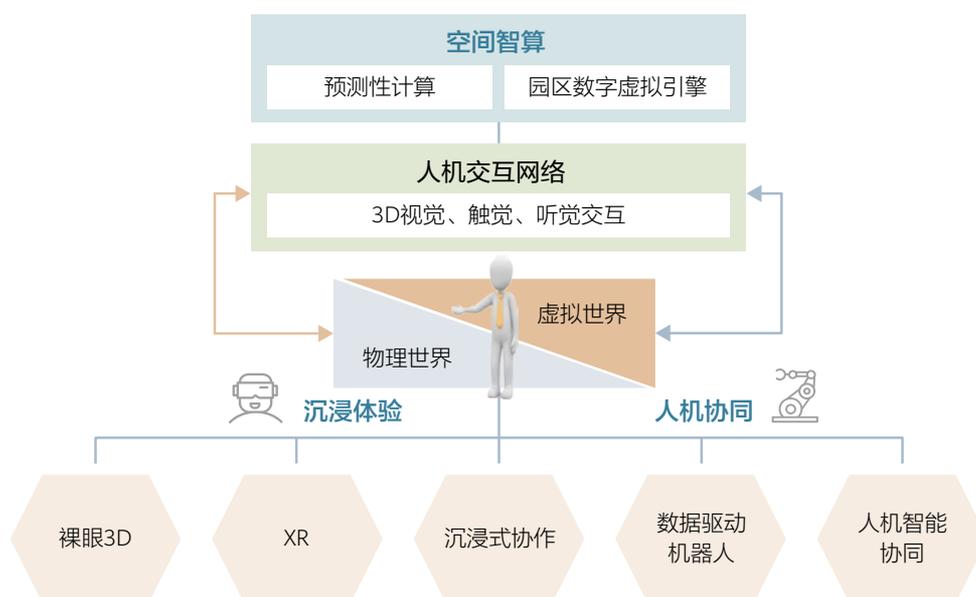


图 3-9: 空间交互

人机协同

人机协同结合了人工智能和机器学习技术，实现人与机器、人与设施之间的高效协作。在园区中，人机协同通过云边端协同计算来实现对数据的实时处理和分析，从而提高数据处理效率。人机协同对人机协同网络、数据驱动机器人、人机智能协同能力也提出了更高的要求。

1) 人机协同网络

- 园区 TSN 网络：传统的机器人通过在每个接入侧均采用硬编码逻辑控制器（硬 PLC）及人

机交互界面（HMI）实现对机器人、设备的控制来实现自动化。每个接入侧都需要相应的硬 PLC 分散地处理业务，使得管理困难，运维复杂，扩展不灵活。TSN（Time-Sensitive Networking）技术将在智能工厂、园区设备、园区智能服务机器人等场景中规模应用。2030 年异步 TSN 将达到 10us 级时延和抖动。园区 TSN 网络协议是在非确定的以太网中实现确定性最小时延的协议族，是 IEEE 802.1 开发的一套协议标准。TSN 网络在以太网的数据链路层构建了一套通用时间敏感机制，为标准以太网提供了确定性和可靠性，以确保数据实时、确定和可靠地传输，提高数据传输效率。

- 触觉网络：在未来工业和物联网中，从感知到执行的双向闭环对网络要求最高的是触觉网络（Tactile Internet）。触觉网络的典型场景包括自动驾驶车辆、工业自动化、远程医疗、虚拟和增强现实。相比视觉和听觉，触觉网络的最大变化在超短响应时延（Ultra-Responsive Connectivity）和超可靠联接（Ultra-Reliable Connectivity）。触觉的超短响应时延端到端要求是 1ms，分解到网络的时延必须达到 100us 级，可靠性要求是 7 个 9（99.99999%）。

2) 数据驱动机器人

作为智慧园区中的智能个体，园区中的机器人将使用园区中累积的数据，构造数据流动的闭环，持续驱动智慧园区中机器人的优化，持续提升园区智能，最终达到成千上万台智能机器人协同管理和自主协作。

数据驱动机器人将主要包含以下四个技术特征：

- 智能数据底座技术：获取环境中的数据（图片、声音、点云、地图、运动等），引导时空数据上云，构建智慧园区的智能数据底座。主要技术点包含：原始数据和建图算法；数

据服务平台（数据 - 算法管理）。比如，环境感知建图，支持超 100 万平米场景实时建图，构建数字园区场景。

- 机器人仿真技术：大幅加速智慧园区中机器人的仿真，不同场景生成，加速园区机器人的研发，提升机器人的适用性。主要技术点包含：仿真环境中 3D 物体、世界和机器人建模；云原生机器人仿真器及其物理引擎；基于仿真的数据生成。实现仿真搭建由星期到天，减少仿真世界构建时间，提供开箱即用仿真世界和实时仿真的体验。

- 机器人技能技术：基于真实数据平台和机器人仿真，获取机器人数据，数据驱动技能开发，低成本解决难题；主要技术点包含：数据驱动的技能开发管线，构建机器人技能生态；预制技能和新技能的终身学习开发模式。

- 机器人运行管理技术：机器人运行状态实时监控，集中管理，降低人工成本，运行态数据上云，用于后期智能分析和云端大脑构建。主要技术包含：边云协同框架；机器人运行数据的监控上传。最终，实现纳管机器人万台以上，完成实时监控和全局的调度管理。

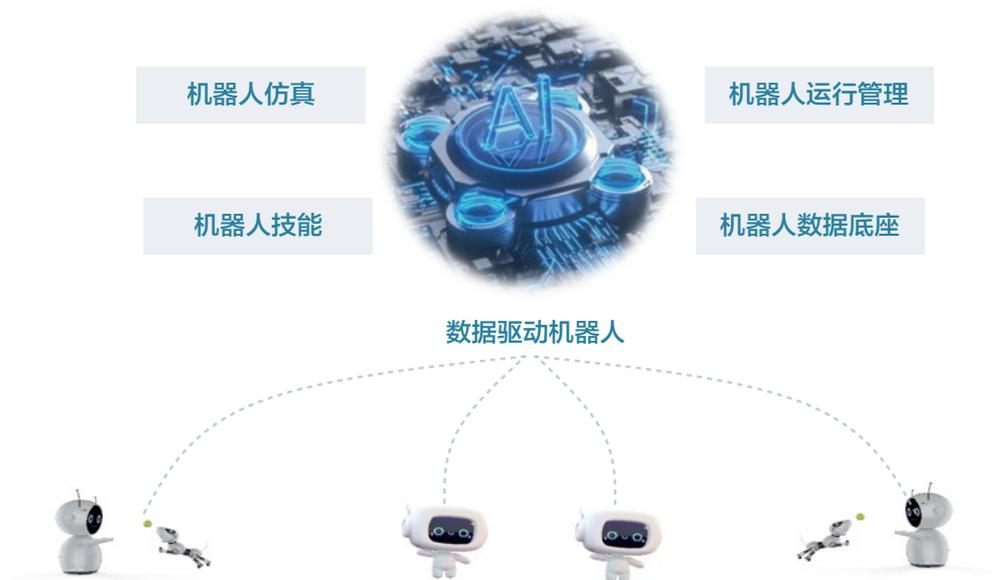


图 3-10：数据驱动机器人

3) 人机智能协同

面向未来，随着网络技术与数据驱动下的机器人技术逐渐成熟，人与机器的交互也将逐步从人机交互进化到人机智能协同阶段。

人机交互重点强调人与物理系统的交互，人与数字系统的交互，人与智能系统的交互。交互过程还是以人为主驱动，随着智能系统的应用，交互开始向协同关系转变，人与可协同的智能系统将逐渐走向人机智能协同阶段。

随着人工智能技术的成熟和在机器人领域的应用，将为机器带来自主性。人机智能协同涉及协同中的人机能动性分配、系统中的动态学习和修正、协同中的情景自适应、协同中的主动交互模式四种技术。

- 协同中的人机能动性分配：人与机器各自具有能动性程度（Degree of Agency），包括其行为能力和决策能力的边界，并充分考虑人的能动性，以使人机的能动性在协同中形成良好的匹配。

- 协同中的动态学习和修正：在人与智能系统的交互过程中，智能系统根据用户需求及喜好进行自主学习和自我修正的能力是其智能程度的重要体现；未来智能系统将通过强化学习（Reinforcement Learning, RL）技术来实现人机智能协同中的动态学习与修正。
- 协同中的情景自适应：AI 对情境的推理和理解能力所需要的必要条件，包括对情境的感知与理解、对意外事件的处理、需要实现的目标和行为规划。未来基于云化大模型构建和研究多模态的协同系统的开放性可扩展平台是一个主流方向，该平台需要具备并行协调计算以及基于时间的编程模式，提供用于数据可视化、处理和学习的工具与人工智能组件。
- 协同中的主动交互模式：当人工智能技术使机器可以获取和处理与用户及情境相关的大量信息，预测用户意图并提前发现潜在的问题时，机器便从单纯的执行方转变为有理解能力、学习能力、决策能力的合作方，从而支持主动的响应与改变。

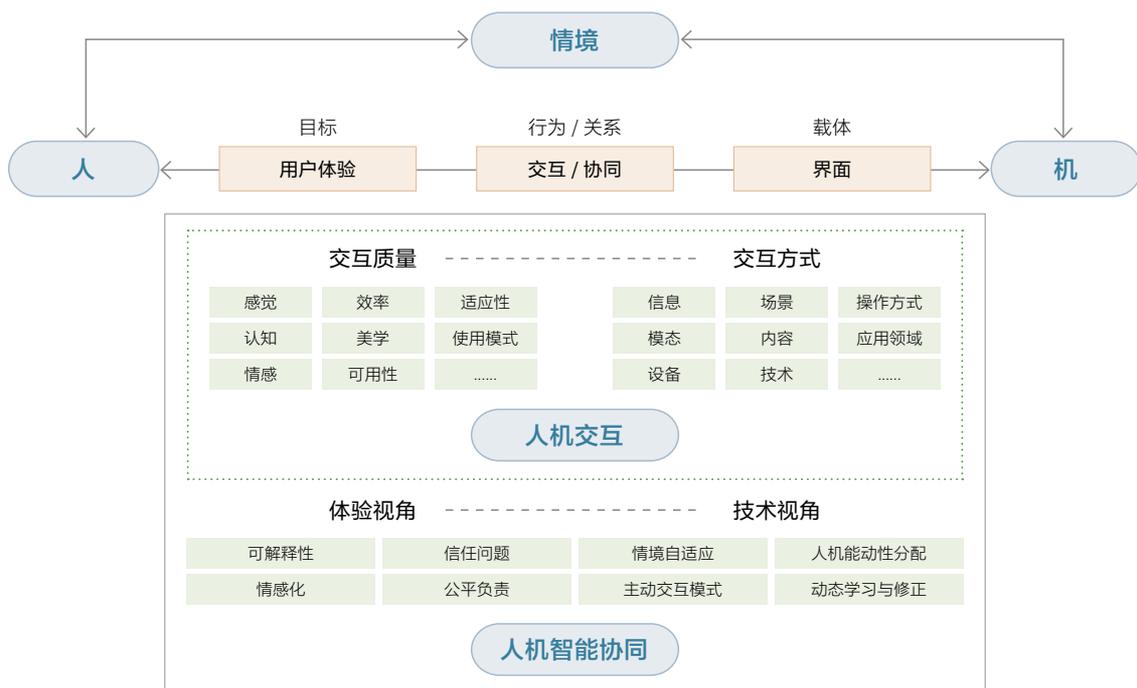


图 3-11: 人机智能协同



沉浸体验

层出不穷的新型办公设备、虚拟现实（VR）、增强现实（AR）和混合现实（MR）、裸眼 3D 等技术未来将大幅改变我们的工作方式。未来体验交互网络、XR 与裸眼 3D、沉浸式协作等技术带来全新的沉浸式体验，使参与者能够在虚拟环境中亲身参与，提高协作效率和创新力。

1) 体验交互网络

未来 XR/3D 的持续普及，体验交互网络将提供低时延、大带宽、高可靠性的网络接入；同时体验交互网络将为未来园区中大量的办公设备提供自发现、自组网能力。

- 网络能力持续提升：XR 大规模实时渲染和 3D 重建将通过智简超宽网络，传递到云端进行处理。要达到 XR 流畅的沉浸式体验，要求至少具备千兆带宽，10ms 级时延的网络能力。未来 8K 多视点裸眼 3D、8K@120fps 的 XR 提出网络万兆接入、毫秒级时延是业务普及的必备要求。
- 设备自组网联接提升：未来多机协同办公从家庭场景向园区中推广，不同能力的办公设

备组成分布式网络，提供更高效率的办公环境。例如移动电脑和会议室的投屏、白板、MR 终端等自动化构建协同会议，未来会有更多新颖 IO 设备连接到电脑上提升体验。办公 IO 设备的分布式自组网需要具备设备发现和连接、分布式组网、自适应传输技术。

通过分布式组网的网络发现技术，发现周边分布式设备的存在，支持 Wi-Fi、蓝牙、以太网等不同的媒介；通过分布式组网技术，将不同能力、不同特征的分布式设备组成一张网络；通过自适应传输技术根据网络负载、设备能力、现场状况和功耗要求为业务提供合适的技术，并降低传输开销。

2) XR 与裸眼 3D

XR、裸眼 3D 可以提供更加真实、更加丰富、更加个性化的体验，满足用户的多元化需求，不仅将改变人们的娱乐方式，也将带来了新的商业机会和社会价值。在 XR、裸眼 3D 的关键技术方面，包含了近眼显示、感知交互、网络传输、AI 人工智能等。这些技术的持续突破将有助于提高体验和生态。2030 年，园区总体 XR 用户数将达到 10 亿。

裸眼 3D 技术：裸眼 3D 的技术实现主要包含对 3D 物体的数字化、网络传输、利用光学或者计算重建显示三个环节。根据显示方式不同，裸眼 3D 可以分成两大类：

- 光场显示 (Lenslet)：利用双眼视差产生 3D 视觉效果，包括视差障碍、柱状透镜、指向光源等多种技术。这些技术对观赏角度有苛刻要求，大面积使用需要结合对用户观看位置的实时捕捉，并动态地进行调节。
- 空间光调制器 (spatial-light modulator, SLM)：利用干涉方法将三维物体表面散射光波的全部振幅和相位信息存储在记录介质中，当用同样的可见光照射全息图时，由于衍射原理，可以再现原始物体光波，为用户提供“栩栩如生”的视觉感受。

XR 显示和交互技术：当前，XR 还处于部分沉浸体验阶段，主要表现为 2K 单眼分辨率、100-120 度视场角、百兆码率、20msMTP (Motion To Photons, 头动到显示画面) 时延，如果内容渲染全部在云端实现，20ms 是保障不头晕的基础要求。2030 年 XR 将达到完全沉浸体验，主要表现为 8K 单眼分辨率、200 度视场角、千兆码率；同时在显示以及交互方式会有相应的技术突破。

3) 沉浸式协作系统

沉浸式协作的演变可以定义为从线下到线上，单空间到多空间，从纸笔口舌的交互到数字化信息实时协作，并一直以体验为中心。沉浸式会议是沉浸式协作系统的典型代表，沉浸式会议的技术演进方向也代表着沉浸式协作系统的技术演进方向，将给人们带来从平面高清走向 3D 沉浸式视听、全景智慧协作新体验。

围绕沉浸式会议应用场景的业务数据流，技术发展趋势包括 AI 音视频数据采集、编解码传输、AI 协作交互三大方面：

- 音视频、AI 数据采集：面向 2030，会议音视频采集涉及多摄视频阵列采集、音频阵列采集以及多模态数据采集三种技术的演进。会议视频采集从单摄向多摄发展，一是单个会议摄像机使用多摄模组架构融入全景拼接算法，从传统窄视场角 80 度扩展到全景视场角 360 度；二是多摄像机位级联形成平面到立体空间范围内的全场景视频采集阵列，伴随 3D 光学采集芯片的技术更新迭代，会增加视频采集效率减少阵列布局成本。会议音频采集通过线阵、环阵、面阵和级联阵列提升声音采集效果，并基于 AI 技术进行音频增强处理，提供 AI 人声增强，噪音抑制，分别适应短距、远距拾音。同时基于声音、摄像、红外、激光雷达等传感器技术实现人和物的识别和导播。

- 音视频、数据编解码及传输：会议多媒体视频 2D 平面编解码技术正经历着从 H.261/H.263/H.264/H.265 到 H.266 的升级，未来向 3D 视频编码、解码技术标准发展，编解码分辨率向 4K/8K60~120fps 超高清流畅方向演进，音频从单双声道编解码向多声道编解码技术标准发展，通过端云协同由云侧助力海量音视频编解码数据处理。

会议音视频及协作数据通信会用到有线承载、Wi-Fi/ 蓝牙、星闪等多种技术，端云协同、多设备协同，应用数据大带宽、多链接、低延时、0 干扰传输是未来协作办公与服务的必然趋势。星闪技术实现音视频采集设备数百兆带宽多级级联毫秒级延时，AI 网络探测技术实现网络 30% 以上超强抗丢包、无感抖动等算法。

- 沉浸式视听、AI 协作交互：音视频显示与数据交互正从小尺寸 LCD 商显屏往超大 LED 屏、OneWall 分区协作交互方向演进；同时未来向 3D 裸眼方向演进，通过构建光场 \ 体 3D 技术、多扬声器阵列立体声像同位技术、多模态 AI 传感器智慧办公助理技术提供立体沉浸式临场感体验。



空间智算

随着人工智能和感知技术的快速演进，企业办公接入从智能终端演进到智能协作空间。在智能协作空间中，云+边缘+AI+端侧高度协同，智能识别用户意图，并对空间和数据进行预测式计算，并通过园区数字虚拟引擎实时协同，共同为用户提供更快速、更准确的服务。

1) 预测式计算

随着 AR/XR 技术发展和人工智能的快速演进，未来企业办公的人机协作在终端存在形式、人机交互、应用三个方面将迎来代际变化，AI 平台+智能终端面向企业的空间计算将形成新的智能协作空间。在智能协作空间中，通过预测式计算和实时交互计算使用人工智能技术、高性能计算机和实时数据处理技术来实现，可以

应用于虚拟现实、视频会议等领域，以提供更流畅的用户体验，单用户所需算力 1TFLOPS。

同时在智能协作空间中，IO 无限扩展、计算分布协同、工作虚实交错、端云分布式应用、触觉网络等，给网络时延、网络带宽、开放性带来巨大的挑战与机会，网络和应用终端的交替创新，将为企业与员工提供智能协作空间。

2) 园区数字虚拟引擎

随着 3D 技术的发展，强大的渲染和物理模拟能力也将被用在更多其他领域，比如数字孪生智慧园区，我们称之为园区数字虚拟引擎。借助园区数字虚拟引擎，一方面可以实现智慧园区的实时数据展示，另一方面也可以反向影响园区管理甚至直接控制园区设备，最终提高运营效率、资源利用率和居住环境质量。

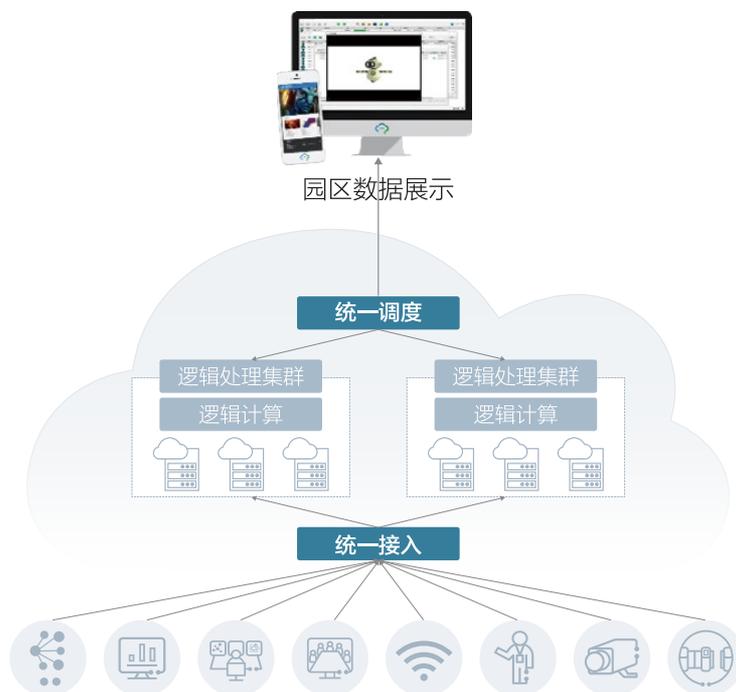


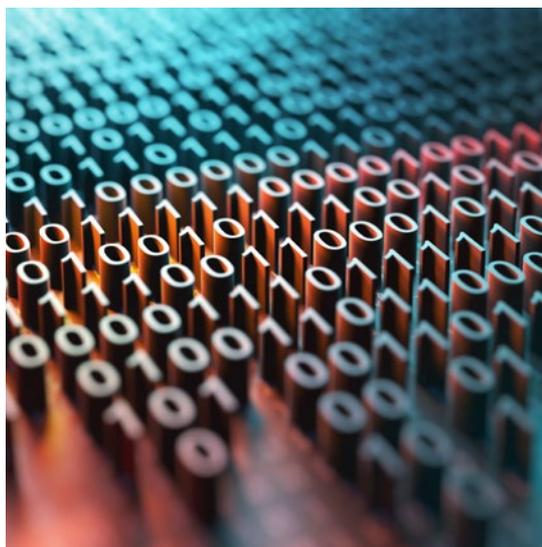
图 3-12: 园区数字虚拟引擎

在数字孪生智慧园区中，每个物理设备都可以看做是一个 Agent，可以上传数据到云端园区数字虚拟引擎中以展示实时数据，也可以接受来自云端园区数字虚拟引擎的控制，改变物理状态。并且随着 IoT、机器人的发展，未来的智慧园区中，很可能会出现各种各样，不同形态，不同能力的 Agent。

如何在一个云端园区数字虚拟引擎 / 虚拟空间中，将这么多的 Agent 的数据呈现出来，借助云上无限的算力和高速的通信总线是一条必经之路。通过园区数字虚拟引擎分布式化，实现同一空间接入万台 Agent 和实时交互。

- 海量 Agent 接入和数据实时上传：Agent 按照归属接入负责管辖自己的引擎服务端，多个园区数字虚拟引擎服务端会共享状态，总体提升 Agent 的接入数量至 10000 台以上。

- 海量数据实时显示和控制：数据显示时提供基于兴趣的数据获取，根据需求只反馈需要的数据，提供控制接口，实现海量数据实时查看和控制。



3.1.4 智简超宽

网络基础设施是信息化的基础，是未来信息社会的底座。未来十年，网络性能将持续提升，网络接口将从 400G 升级到 800G/1.6T，单纤容量突破 100T。根据华为预测，到 2030 年，全球联接总量将突破 2000 亿，完全进入到**百 G 联接**的时代。同时为满足全息 AIOC、超时空办公、万兆高可靠生产、元宇宙生活、智慧能源管理等办公、生产、生活需求，要能做到**确定网络**，和网络**按需服务**，提升企业用户的应用体验。



图 3-13: 智简超宽

百 G 联接

为实现万兆园区宽带接入能力，未来有三种技术需要支撑百 G 联接：一是园区 WLAN 网络需要支持毫米波和高密度 MIMO 的下一代 **Wi-Fi 8 无线技术**；二是光接入网络需要用到 **200G 无源光网络技术**，传统用于 WDM 的相干检测技术将用于 PON 领域，可以显著提高接收器灵敏度，并支持更高频谱速率的调制格式，实现更高的数据速率；三是移动 5.5/6G 网络主要研究方向是 Sub100GHz 频谱的灵活应用和 MassiveMIMO 的持续演进。

1) Wi-Fi 8 无线技术

随着全息 AIOC、超时空办公、万兆高可靠生产在办公、生产上的应用。终端带宽需求从百兆向 xGbps 演进，要求 2030 园区组网多终端并发体验速率达到 10Gbps，WLAN AP 峰值速率达到 100Gbps。现有 Sub7GHz 频谱已经难以支撑百 G 带宽目标，必然推动设备和终端向毫米波频段演进。

毫米波虽然频谱资源丰富、工作带宽优势明显，但广泛商用仍需攻克三大难题：网络、终端集成毫米波成本高；毫米波链路可靠性弱；难以确保覆盖连续性。目前业界主要通过三类技术方案类解决：



图 3-14: Wi-Fi 8 无线技术

- 毫米波共基带：基于弹性基带架构，同一基带将同时支持 sub7G 和毫米波射频。以共享基带方式按需配置和调整资源，包括射频端口、天线数、频宽等，从而降低 AP、终端集成毫米波的硬件成本和功耗代价。
- 多频协同覆盖：毫米波信号绕射、反射、穿透能力较弱，容易受遮挡而出现业务中断。通过高低频多链路、跨频联合编码、双频协作切换技术，保证突发遮挡情况下业务不中断。
- 灵活波束赋形：要实现“共部署”、“协同覆盖”，需要毫米波和 sub7G 射频同时具备典型站间距下连续覆盖能力。因为毫米波空

口衰减大，使用传统全向天线，无法满足于 sub7G 射频同覆盖的要求，故需配置低成本、高增益混合波束赋形阵列，配合低开销快速波束训练对准算法，实现对毫米波终端的位置跟踪和快速对准。

2) 200G 无源光网络

无源光网络 (PON) GPON/10GPON 因其大带宽 (1G/10G)、长距离 (40km)、低能耗 (无源 ODN)、低成本 (P2MP 流量统计复用)，满足了数据互联时代的业务需求，得到广泛的部署。随着新业务 (AR/VR/ 全息) 和新应用场景的兴起，除了带宽的持续演进外





(10G->50G->200G)，用户对时延、抖动都提出了更高的要求。垂直行业存在多张业务网络（数据采集网、视频监控网、生产控制网等）统一承载的诉求，因为可靠性和行业规范的要求，需满足业务安全隔离及业务 SLA 等级保障。相关特征如下：

- 200G 高速：系统机制创新引入 WDM 的 200G 相干检测技术，由 TDMA 演进到 TDMA+FDMA/WDMA，实现单纤 200G。
- ms 级时延 us 级抖动：基于 TDMA+FDMA 新架构，应用单帧多突发新技术，实现 ms 级时延 us 级抖动。
- 多业务硬隔离：通过时域隔离及 L1 子载波隔离技术，对不同业务划分不同的时隙、波长或调制格式，在多业务综合承载场景下提供真正的物理硬隔离。

3) 5.5G/6G 移动网络

未来的移动网络主要研究方向是 Sub100GHz 频谱的灵活应用和 Massive MIMO 的持续演进。目前 3GPP R16 标准中，5G NR 已经定义了两个频率范围 FR1 和 FR2，涵盖了从 450MHz 到

52.6GHz 的所有 IMT 频谱，正在定义的 R17 标准中，52.6GHz 以上频谱用于 5G NR 已经成为了重要课题之一，主要有以下三类特征：

- 容量提升：通过提升频谱效率、增加可用频谱的组网技术，以及电磁场信息论、全息 MM 等新通信技术的应用，支撑 2025-2030 无线网络容量 10~20 倍增长。通过工程技术创新和算法突破，能够更精确的信道估计、BF 控制和干扰抑制等，提升频谱效率；通过 AI 智能空口，更加灵活高效的调配 PHY 和 MAC，满足不同用户的个性化空口需求。
- 立体协同：小区中心和边缘体验差异大，未来 8K XR、6DoF 全息业务需要无处不在 1Gbps 高带宽。单站天面受限和更高容量需求，多种形态分布式系统成为必然。通过不同频段、双工模式、上下行频谱资源灵活应用，实现 sub100G 全频谱的最优融合。通过分布式 MM 技术，包括低复杂度分布式处理逼近最优性能，全场景（DRAN/CRAN，宏微）易部署实现一致性体验。通过灵活频谱技术，包括实时根据业务特性、网络负载、用户位置和速率，确定使用频谱、双工模式、上下行、空分以及控制 / 业务资源分配方式。

- 百 G 上行：超级大上行需要解决全场景异时隙配比下的干扰问题，实现单小区上行容量从 10Gbps 提升到 100Gbps。通过 ULD MIMO 大规模联合接收架构下干扰消除，使能宏微同频异时隙大上行配置；通过 DMRS 导频扩容、四维联合优化和 ABF 天线创新，支持更大的上行流数，实现容量提升。

确定网络

为满足全息 AIOC、超时空办公、元宇宙生活、万兆高可靠生产等业务需求，通信网络要能通过确定性承载、端到端切片做到确定性体验。

1) 确定性承载

随着园区业务多样化趋势越发明显，未来十年，园区流量模型将发生颠覆性的变化，联接所承载的业务从只关心流量到关心流量和业务时延，从目前服务消费娱乐的“自上而下”的内容流量转变为服务全行业智能化的“自下而上”的数据流量。智能机器产生的大量数据需要在数据中心处理，网络需要服务于云化业务为中心的集约化布局，并可以根据业务属性通过网络层面直接进行实时、确定性调度。

- 无线接入场景：实时业务对空口瞬时速率要求高，但由于单载波多用户的复用而频谱受限，实时性很难得到保障。未来业界需要支持多载波聚合技术，通过载波配置和传输解耦，在多频段的广义载波内提升业务在时延约束下的带宽。
- 有线接入场景：以太网络需要改变目前尽力而为的转发机制，需要研究 PHY、MAC 层的协议改进，集成 TSN、确定性 IP 的新技术，实现可按需保障端到端时延。PON 网络上从基于时分复用（TDM）向支持频分复用（FDMA）的技术演进，从根本上保障低时延要求。

2) 端到端切片

端到端切片是一种有 SLA 保障的网络虚拟化技术，在网络基础设施上隔离出不同的逻辑或物理网络，满足不同行业、不同业务的 SLA 诉求，包含无线切片技术、IPv6+ 切片技术、及跨域切片管理与服务。为各行业提供独立运行、相互隔离的定制化专网，为垂直行业提供更好的网络服务。

- 无线切片技术：无线切片可分为硬切片、软切片。硬切片通过资源隔离实现，如为特定切片静态预留 RB（ResourceBlock）、载波隔离等；软切片通过资源抢占实现，如基于 QoS 的调度、动态预留 RB 等。目前网络已经实现了基于优先级为不同切片提供速率保障，需要进一步研究针对不同切片提供最合适的 PHY/MAC/RLC/PDCP 层无线协议，比如针对 URLLC（超可靠低延迟通信）切片提供具有低时延编码方式的 PHY 层、HARQ 机制优化的 MAC 层。
- IPv6+ 切片技术：切片分为物理隔离、逻辑隔离。物理隔离技术在园区主要是 MAC 层的 FlexE(FlexEthernet)，通过时隙调度实现业务隔离。逻辑隔离技术有 IP 层 SRv6、流量工程（TE）、VPN6 等，通过标签与网络设备资源预留方式实现业务逻辑隔离。未来需要进一步研究 FlexE 与 TSN、DetNet 的拥塞管理机制、低时延调度算法、高可靠冗余链路等技术的融合，提供有界时延（bounded latency）和零丢包的物理切片技术、小颗粒度的 FlexE 接口等。
- 跨域切片管理与服务：面向 2030，需要进一步研究切片 SLA 的感知、精确度量和调度，实现切片的自动化闭环控制。3GPP 中定义了端到端的切片管理功能 NSMF（Network Slicing Management Function），通过 NSMF 拉通各子域 NSSMF，形成端到端自动化切片，满足切片业务的弹性开通、扩缩容诉求。



用体验。这就要求网络服务化层业务抽象，应用只需要调用网络服务层接口，网络按照应用的定义，自动化建立网络连接和服务保障。

1) 网络服务化层

对网络开发和运营者，隐藏网络复杂性，简化业务连接；通常采用统一策略集中管理连接，以提供流量管理，包括服务路由、负载均衡、服务发现以及可观察性和安全性，该层位于应用服务和网络连接之间，可以是物理或虚拟网络连接的混合。如何在此环境中实现应用服务之间可靠、高效和安全的通信是面临的技术挑战。

2) 全球网络路由

全球网络路由基于基础网络运营商、云提供商以及 SDCI (Software-defined cloud interconnect) 的网络和 PoP 资源，利用独立的路径计算和传输保障技术构建最优传输路径网络，基于实时网络状态，实现面向应用的全局最优调度，按照应用的需求选择时延最小或传输成本最低的路径。全球网络路由位于网络服务化层之下，提供实际网络计算和自动化配置能力。

随需服务

随着业务上云，网络服务化能力越来越重要。企业应用部署扩大云和企业园区多个区域，服务间的通信网络需要跨越园区、广域、云。软件工程师和应用程序开发人员希望把网络复杂性屏蔽，将服务逻辑和网络拓扑解耦，专注于应用的构建和新功能开发，提升企业用户的应

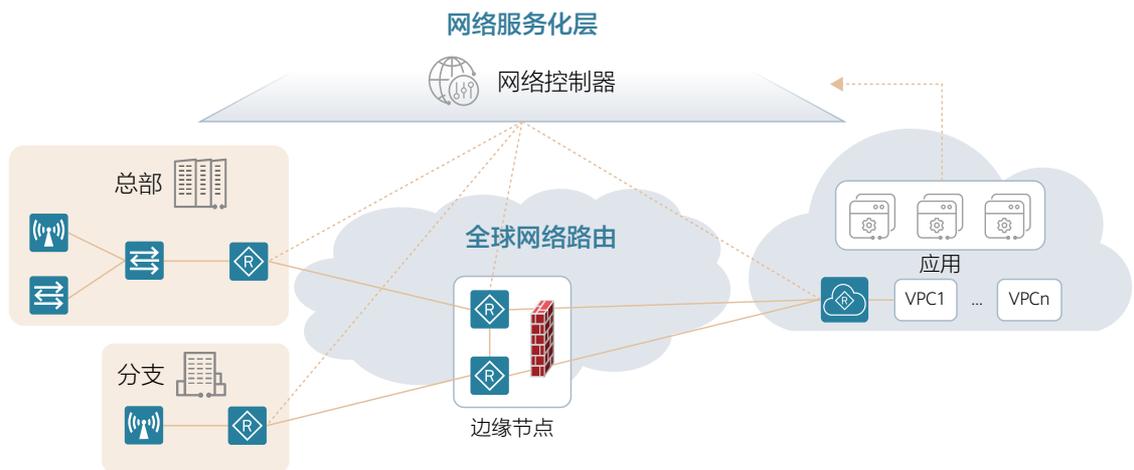


图 3-15: 网络随需服务

3.1.5 安全韧性

全球化云平台的发展，导致传统的安全边界超越了地理及法律范畴，变得模糊，系统、资源和设备的安全韧性评估成为必然。面向未来，如何利用**数据安全**、**算力安全**、**韧性系统**技术保障园区业务安全是主要探索方向。

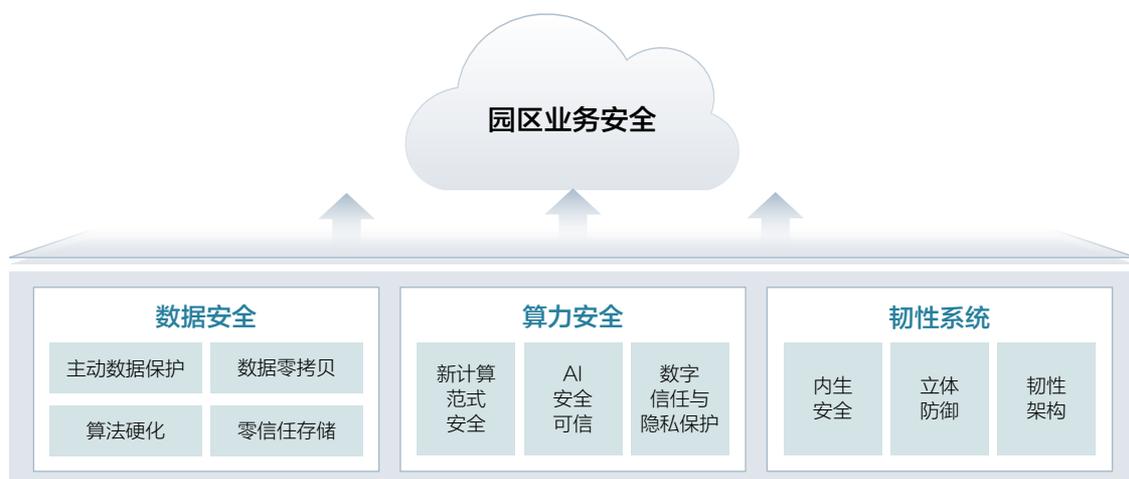


图 3-16: 安全韧性

数据安全

面向未来园区业务，生产数据是核心资产，在数据保护层面需要从多层次、多维度、多产品构建立体式防御。通过主动数据保护、数据零拷贝、零信任存储、算法硬化等技术支撑园区数据识别、检测、响应、保护、恢复，实现园区数据安全态势感知。在一定的时间内采集数据访问行为、数据信息熵、数据内在关联、

数据分布等信息，绘制数据安全画像，通过海量数据的采样理论、异构数据的融合处理、AI 检测算法硬化加速、因果分析与推理等技术逐步提高威胁的检测准确度，增强未知数据威胁的预测能力，实现高效精准的威胁检测、实时处理和动态评估。





图 3-17: 数据安全

1) 主动数据保护

业界数据安全攻防态势研究表明，当前园区业务数据的被动防御安全体系无法有效抵御勒索等病毒攻击，解决该问题需要从数据时间线旅行、原生防篡改、多维联动响应等技术方向入手，巩固园区数据安全防护体系。

- 数据时间线旅行：园区数据在遭到内外部攻击损坏后，数据基础设施需要在最短时间内将受损数据恢复到任意历史时间点，实现数据零丢失的能力。利用 IO 级数据恢复、因果根因分析等技术实现数据在时间线上的精准定位和自动恢复，通过最细粒度的数据重放功能，实现攻击溯源，支撑数据安全策略的调整与优化。
- 原生防篡改：数据防篡改的能力主要是依靠系统级的数据访问控制技术，园区业务云化导致园区数据的安全边界扩大，系统攻击面也不断扩大，但却无法有效保证数据的防篡改。面向未来十年，将通过系统级数据访问控制技术结合介质物理防篡改属性，实现物

理级数据原生防篡改。

- 多维联动响应技术：将网络设备、安全设备、终端 EDR 设备、存储设备的跨设备联动协同，实现多维度威胁处置闭环，防止威胁范围扩散。AI 安全分析、因果分析与推理等技术应用，将极大提升自主决策和响应的智能化程度，实现威胁快速准确响应。

2) 数据零拷贝

数据要素价值释放过程概括为三个阶段，第一个阶段是数据支撑业务系统运转，推动业务数字化转型与智能决策；第二个阶段是数据流对外赋能，让不同来源的优质数据在新业务和场景中汇聚融合。通过基于密码学的访问控制、数据自保护技术、高效透明审计技术、零数据拷贝访问等技术解决数据共享与数据访问控制之间的效率问题，在保证数据主权安全的前提下，实现数据高效流动与使用；第三个阶段是无边界零拷贝，通过零数据拷贝访问技术打破数据边界，实现数据共享，消除数据孤岛。



图 3-18: 数据零拷贝

- 基于密码学的访问控制：通过密码学的方式保护数据机密性，对于不符合访问控制策略的用户，无法解密。通过控制加密的技术，对离开信任域的密文进行策略判断和随机化处理，确保不符合预定访问控制策略的数据，无法离开信任域进入流通阶段。
- 数据自保护技术：当前数据安全正逐渐从以系统为中心的数据强管控，演变成为以数据为中心的全生命周期安全防护。面对保护对象的改变，将通过数据胶囊等技术，将访问策略、使用控制策略和密态数据封装在一起，确保数据拥有者对数据的自主可控，实现数据的安全流转。
- 高效透明审计技术：当前的数据可信审计的主流技术是区块链技术，面向园区 2030，将通过高效透明审计技术来构建园区业务数据防篡改的审计方案，实现更加高效的数据存储，更贴近实际园区在生产过程中对数据读写时间的要求。
- 零数据拷贝访问：园区不同业务应用数据模型存在差异，导致大部分的应用基于独立数据副本结合自身数据模型形成了大量的烟囱式应用。解决这个问题分为两步。第一步，将通过应用数据模型下沉至数据存储层，基于同一份数据自动生成应用数据模型，从而消除数据孤岛；第二步，结合细粒度访问控制、基于芯片认证的可信网络传输等技术实现跨信任域高效数据访问，解决数据安全的共享问题。

3) 零信任存储

零信任存储是基于零信任模型的扩展，旨在解决园区数据泄漏、完整性被破坏、数据可用性破坏等诸多安全问题。在零信任存储中，所有的数据访问与操作都被视为未被验证的，在强制数据访问控制、数据全路径安全加密等技术基础上，实现访问主体、数据以及数据操作三者最小授权。通过持续验证、动态授权等方式实现最小粒度数据访问控制。



- 强制数据访问控制：细粒度数据访问控制是基于最小授权原则，利用数据访问主体特征、数据属性、细粒度数据处理动作三者之间的映射，确保最小粒度数据集只能被主体在特定的条件下访问与使用。通过形式化验证、自动策略生成、合规审计等技术来保证复杂策略的一致性和正确性，解决大规模形式化验证的性能、自动化策略生成的机制、复杂规则匹配的问题。
- 数据全路径加密：基于园区业务边界的数据安全体系，假设数据全路径的安全存在数据泄漏的风险。将通过从内存、存储 IO、网络 IO、Cache 等处理过程进行数据全路径加密，并通过统一密钥管理实现原生数据安全能力的共享来解决这个问题。
- 专用硬件加速：面向数据安全领域计算密集型任务，基于安全领域算法特征将算法下沉到专用硬件，从指令集优化、异构算力资源优化调度等方面整体提升安全领域计算效率，最大程度降低对系统业务性能的影响。例如：将基于 AI 技术的威胁检测能力从通用计算处理器下沉到专用安全硬件设备内，提升检测吞吐量和检测准确率。
- 可信安全硬件：提供异构可信计算环境，基于后量子算法软硬协同等技术，实现数据在异构计算架构体系下的安全计算、访问和审计。在处理敏感信息和对抗复杂攻击的场景中，这样的硬件模块通常与软件安全措施结合使用，构建全面的园区数据安全解决方案。

4) 算法硬化

面向 2030，园区的数据衍生出大量的价值应用，同时引入大量的 AI 模型为园区业务赋能，但也将面临 AI 模型和数据的安全挑战，提升 AI 模型的安全性和鲁棒性将是关键。

算力安全

未来智能孪生与空间交互技术在园区的广泛应用，算力安全以内建的方式为产品和解决方案提供各种安全机制，在**新计算范式安全、数字信任与隐私、AI 安全可信**方向上不断构建园区计算安全能力。



图 3-19: 算力安全



1) 新计算范式安全

园区数据中心场景，将算力下移到内存，导致传统内存加密机制失效，无法部署基于硬件的隐私计算技术，即使在应用层加密数据、数据处理过程中，也将是明文状态，从而导致无法防止特权用户、进程窃取数据。面向园区业务未来发展，包括园区全息 AIOC、生成式 AI、超沉浸互动、元宇宙等场景广泛应用，如何保障多样化算力安全、算力如何与周边高效安全协同是主要目标。通过安全与在网计算架构相结合、安全与多样性计算架构相结合、安全与数据为中心的对等计算架构相结合等技术实现这一目标将是主流方向。

- 安全与在网计算架构相结合：零信任架构打破安全边界后需要更细粒度的权限与访问控制，实现动态的身份验证和资源访问策略，软件实现将占用大量 CPU 资源；在网计算架构中融入正则表达式硬件加速机制，可以有效提升策略执行效率 10~15 倍。
- 安全与多样性计算架构相结合：为了能够高效率的适配大模型、大数据等对算力要求极高的场景，以 CPU 为中心的机密计算技术将会逐步演变至以数据为中心的异构机密计算

技术，同时兼容已有的大模型软件框架，支持多样化算力设备如 GPU、DPU、NPU 等对机密计算安全算力的加速和协同。以下 3 个问题将得到解决：

- » 安全算力与普通算力生态完全兼容且可灵活配置。
- » 从 CPU 的可信执行环境扩展到多样化的算力设备。
- » 安全算力灵活调度，算力资源统一管理。



图 3-20：安全与多样性计算架构

- 安全与数据为中心的对等计算架构相结合：未来在数据为中心的对等计算架构中，非易失性高性能的内存介质将会接入到系统的内存总线上，规避设备掉电后内存中残余的数据隐私泄露将得到解决。

2) 数字信任与隐私

为保证园区业务数据在计算过程中的隐私安全，数据安全计算应运而生。数据安全计算的主要技术方向包括：基于硬件安全基础的可信执行环境、基于密码学的同态加密多方安全计算、多方计算的基础是多方之间共享秘密等，这些技术的引入将持续为数据的隐私提供高效防护，严格防止隐私泄露和被破坏。

- 可信执行环境：基于硬件 TEE (Trusted Execution Environment) 的隐私计算环境实现数据的完备性证明，自证清白，规避安全漏洞风险，是计算安全的核心技术，预计 2030 年 50% 以上的数据计算场景将使用该技术。
- 基于密码学的同态加密安全多方计算技术：因技术安全性在数学上可证明，从而成为业界公认最理想的隐私计算技术。随着近似计算的成熟，同态加密、安全多方计算在人脸识别、健康数据分享等特定领域将获得广泛应用。
- 多方计算的基础是多方之间共享秘密技术：利用 TEE 实现多方之间的秘密共享，不但可以大幅度提升多方计算性能，消除数据孤岛，而且在信任 TEE 基础上安全性可数学证明，自证清白。

3) AI 安全可信

AI 系统通常依赖于大量的数据进行训练和推理，为确保这些数据的隐私得到充分保护，采用合适的保护技术至关重要。园区业务如智慧办公、资产运营、数字孪生、超沉浸互动等智慧化程度会随着 AI 的发展加速赋能，与此同时，在 AI 安全上，AI 模型与训练数据保护、AI 攻击检测与防护、AI 自身安全增强、AI 监管等方向的保护技术将不断完善。

- AI 模型与训练数据保护：通过加密、强制访问控制、安全隔离等手段保证 AI 模型与训练数据在收集、训练及使用阶段的全生命周期安全。通过内存加密算法，以及 NPU 芯片上的内存硬件加密引擎的设计，提供高带宽的内存数据实时的密态处理能力。
- AI 攻击检测与防护：通过增加外部对抗样本检测模型实现对数字闪避和物理闪避等 AI 攻击的识别，阻断攻击路径，防止 AI 模型受到攻击后产生误判。
- AI 自身安全增强：避免 AI 模型本身受到未知攻击造成的危害，包括增强模型鲁棒性、模型可验证性以及模型可解释性。通过对抗训练提升 AI 模型抗攻击能力，通过模型正则化提高对抗样本的泛化能力。

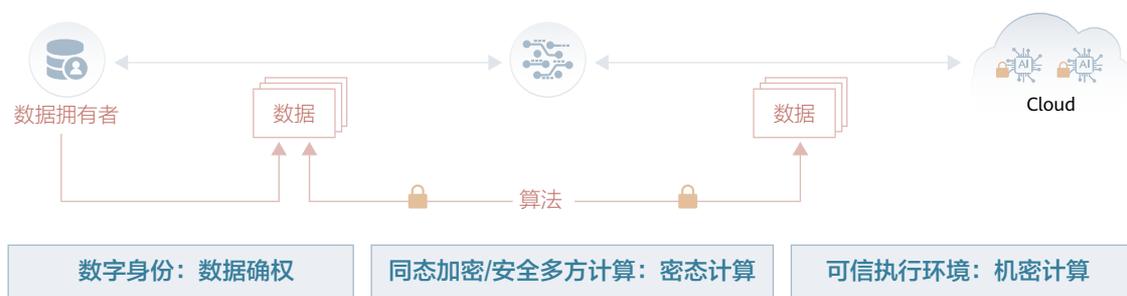


图 3-21: 数字信任与隐私

- 满足 AI 监管要求：在 AI 模型运行过程中必须持续监控与审计，通过区块链、数据胶囊等技术保证审计结果可信，实现 AI 问题实时可追溯。

韧性系统

安全性是指系统避免遭受攻击的能力，韧性是指系统受到攻击时最小化实质损害的能力。韧性分解出四个子能力目标：anticipate（预期）、withstand（承受）、recover（恢复）、adapt（适应）。并通过对系统实施一系列技术控制集来达成韧性能力目标。

园区业务韧性主要是建立园区业务“确定性”模型，缩小受攻击面，提升防御成功率，降低威胁“不确定性”，争取防御时间；园区“韧性系统”架构“根”技术包含内生安全、立体防御、韧性架构。

1) 内生安全

基于设备可信，包括可信计算、可信存储、可信网络、可信应用建立可信环境，实现设备可信启动、可信度量、远程证明。基于身份可信，包括实体鉴别 / 认证授权和强制访问控制实现零信任接入身份管理。基于行为可信实现从基

于实体属性的“默认信任”，到基于业务行为的“可验证信任”，建立园区业务“确定性”模型，构建园区安全底线，缩小受攻击面。

2) 立体防御

园区业务需要建立系统化安全防护，要具备从“尽力而为”的防御，到面向业务“确定性”保障的能力，而构建多层防御能力是关键。基于物理环境（园区安全管理制度）、网络边界、终端与子系统、应用数据、未知威胁检测等维度构建被动安全作为第一层防线。基于模拟攻击、主动诱捕、黑白名单防御构建主动安全作为第二层防线。基于智能检测、智能处置、态势感知构建第三层防线，提升防御成功概率，降低威胁“不确定性”，争取防御时间。

3) 韧性架构

内生安全、立体防御无法 100% 解决安全问题，特别是 APT 高级威胁。防御可以失效，但园区业务需要从无止境的威胁对抗，到有限业务的“确定性”保障。韧性是主要衡量维度，具体有：基于最小业务系统实现系统被攻破后的降低管理，确保核心业务可保证；基于最小恢复系统实现系统严重破坏后的恢复能力，确保园区核心业务可自恢复；基于数据容灾备份实现数据备份，确保系统业务数据可恢复到最近时间点的状态。



图 3-22: 韧性系统

3.1.6 全域零碳

园区是城市碳排放最集中的空间，达成“碳达峰、碳中和”目标落地的主战场就在园区。未来园区在低碳化的方向上会从多个维度演进：伴随着 ICT 技术的持续创新，将实现对园区基础设施的**光电重构**，打造极简的零碳园区；从能效角度，能源路由器，能源云脑，光伏发电机及新能源组件的应用，将实现**极致碳效**提升；通过园区**智能微网**对电力系统“源网荷储”的协同，将形成以碳作为交易单元的绿电供需新秩序。



图 3-23: 全域零碳

光电重构

在 AI、大数据分析等新技术的驱动下，园区对数据传输带宽需求越来越高，亟需优化数据传输能效。同时，由于摩尔定律放缓，量子计算等新技术还不成熟，计算、存储、网络能效的持续提升已经出现了瓶颈，未来 10 年如何通过基础技术创新构建一个绿色低碳的网络，实现网络容量增加数十倍的同时保持能耗基本不变将极具挑战。通过引入“极简网络架构”和“光电混合新架构”的园区网络，将成为建设低碳园区网络的关键举措。

1) 极简网络架构

传统园区网络按照业务划分，多网共存造成运

营维护复杂，已经越来越难以适应园区网络自动化和智能化的发展。未来园区网络需要瞄准零碳目标进行重构，构建园区内网、园区云网和园区算网三层极简网络架构。

- 园区内网：从网络架构、末端接入介质两个维度体现变化。通过无源技术、光电复合缆技术在园区的应用，减少物理网络层级、弱电机房、远端供电模块等，实现网络架构简化；通过运维逻辑简化，减少运维节点，园区内网从一张网逐渐演变成“一台设备”。“总线以太化”趋势下的单对线通信技术通过提速（以太网 SPE）、被多应用同时串行访问等能力，使单对线在仪表、交换机、HMI、音视频传感、边缘工业、执行器等场景普遍应用。



- 园区云网：基于端到端切片技术，Overlay 在基础网络之上提供敏捷和开放、有 SLA 保障的虚拟网络，用于云和端租户级互联，通过一网多用提升网络使用率，达到网络节能的目的。
- 园区算网：用于数据与算力的业务级互联，并为数据处理提供算力路由服务和可信保障，基于分布式、开放的协议构建，通过对数据的灵活调度，实现多级算力基础设施的合理布局、绿色集约。
- 光电混合架构：未来 10 年，为提升网络电子器件的高速处理能力并降低功耗，将出现芯片出光、光电合封等新产品形态；为提升数通设备高速端口的传输距离，将会采用光的相干技术；无线 5.5G/6G 为降低基站的重量和功耗，将出现直接出光纤的新型天线。

三层网络之间存在依赖性，算网为了实现数据与算力之间实时、弹性的连接，需要云网提供敏捷的虚拟管道建立能力和开放的可以按需驱动接口，算网最重要的低时延和大带宽特征也需要园区内网的支持。

2) 光电混合新架构

- 光介质：传统的铜缆线路存在信号衰减、距离限制等问题，而光纤网络可以实现高速传输和长距离传输，使用光纤替换网线的改造可以大幅度提高园区网络的传输速度和稳定性。相比传统的铜缆线路，光纤线路的传输功率更低，耗电量更少，从而减少了园区的能源消耗，降低了碳排放量。此外，光纤线路的寿命更长，需要更少的维护和更换，也减少了废弃物的产生，有助于实现循环经济。

光电混合是结构性提升设备能效的发展方向，基于光总线的光电合封芯片将在园区网络中实现商用。一些学术机构也正在研究可以替代电交换网的光 Cell 交换技术，预计到 2030 年，将出现采用光总线和光 Cell 交换技术的设备级光电混合产品。

采用网络级、设备级、芯片级的三级光电混合技术，可以持续提升通信设备的能效，实现网络容量提升、能耗基本不变的绿色园区网络目标。

极致碳效

未来智慧零碳园区使用基于能源路由器和能源云脑的新一代数字化技术，融合电力电子系统中光伏发电机和各类新能源组件，实现多能协同调度与能源梯级利用，降低度电成本，使园区由传统的“监测 - 运维”转变为“执行 - 决策 - 运营”的用能管理闭环与电能管理闭环模式，提高能源综合利用效率，打造智慧零碳园区。



图 3-24: 极致碳效

1) 能源路由器

园区内能源供应设备与消费设备类型众多，包括分布式光伏设备、分散式风电设备、电化学储能设施等供电系统；冷热电联供、热泵、储热设施等供热系统；供气站、氢储能设施等供气系统；以及工厂、楼宇、电动汽车、路灯等用电负荷系统。基于电力电子变换和控制技术构成的能源路由器，能够为各类设备提供多种电气接口形式，通过协议标准化让差异化终端设备集成互联，成为微网系统内的核心设备与能量枢纽。与 5G 等数字化技术结合后，能源路由器在计量、控制的基础功能上，又具备了通信与智能决策的能力，可以将设备运行状态、能量使用情况等信息进行实时采集和传输，实现数据的统一归集、分类计量，同时也能根据用户指令或上级调度中心指令，对能量流向及功率进行主动或自主管理。

基于能源路由器对用能数据的全面采集和实时汇总，能够准确捕捉、追踪碳足迹，并根据预置的计量因子规则，对园区碳排放总量进行精准计量核算与实时监测，让数据可靠可信，为基于 IOC 的可视化碳管理，以及碳配额管理和碳资产交易奠定基础。

2) 能源云脑

能源云脑是基于对园区内各类负荷海量用能数据的实时采集和分类计量，通过对不同类型负荷用能模型的学习，利用大数据分析能力，对园区内空调使用、照明亮度等能耗行为进行智能控制与自主调优，实现节能。

通过人工智能算法，对园区内各类分布式电源进行出力预测、对各类用电系统进行负荷预测，并结合气象预测数据、电力市场交易价格变化、电网需求侧响应要求等各种相关因素，计算出全局性的智能化调度方案。在供大于求的用电低谷时，通过能量转换技术与各类储能设备，将多余电能进行逐级多次利用，利用方式除了通过电化学储能直接进行电能存储外，还能通过电转气（Power2Gas）等新兴能源技术将电能转化为氢能，一方面可以通过储氢装置实现能量存储，另一方面也可以通过混合燃气供应的方式降低燃气采购；在供小于求的用电高峰时，可以释放储能设备中的存量电能，或将多余的热能、氢能进行能量转化。通过电、热、气等多种能源形式间的互济互补，最终提高园区内能源供应自给自足的能力。

3) 光伏发电机

园区电网中传统同步发电机组一般由火电厂或水电厂承担，采用机械式结构，可以提供稳定的电压和频率支撑，且易于进行调节和控制。随着传统同步发电机组的不断减少退出，非同步机电源将会在电网中占非常高的比重，导致园区电力系统的运行特性发生本质变化。这就需要园区新能源也要能模拟传统同步发电机组的技术指标，主动支撑园区电网频率、电压波动，保障园区电网安全稳定运行。

园区光伏发电机技术将电力电子技术、储能技术、数字化技术充分融合协同，模拟同步发电机组的机电暂态特性，具有同步发电机组的惯量、阻尼、一次调频、无功调压等并网运行外特性，推动园区光伏发电技术指标向火电靠拢。园区光伏发电机技术可有效提升对新能源系统运行的主动支撑和并网友好性能，使园区新能源成为优质电源。通过园区光伏发电机技术，为大量园区新能源接入提供了坚实的技术基础，助力增强园区的电网韧性，保障园区电网安全稳定运行。

4) 新能源组件

未来园区在绿色低碳发展的趋势下，园区绿电的度电成本将持续成为投资模型的关注重点，

华为预测 2030 年园区光伏发电 LCOE 度电成本可能低至 0.01 美元。

- 绿电发电系统高电压化：更高的输入、输出电压等级，可以降低直流侧线损及变压器低压侧绕组的损耗，可以有效提升园区绿电的系统效率。逆变器、变压器的体积减小，运输、维护等方面工作量也大大减少，园区绿电系统的维护趋向于无人化、自动化。2030 年大型园区绿电发电系统电压等级将突破 1500V，向更高电压方向发展，进一步降低 LCOE。
- 逆变器功率密度提升：随着碳化硅、氮化镓材料、芯片散热、拓扑架构技术的发展，提供了更高的温度、更高的频率以及更高的电压运作能力与更低损耗的可能。到 2030 年逆变器功率密度比当前将提升 70% 以上。
- 绿电智能化：2030 年园区绿电站应用 AI 技术比例将达到 90%，通过数字技术与绿电技术的深度融合，使运维管理、生产管理和资产管理变得极简、智能、高效。AI 将代替专家职能，使能园区绿电站自主协同优化。通过智能跟踪算法，让组件、支架、逆变器协同运行，提升效率；精准定位故障，将运维工作量从“月”降低到“分钟”。





智能微网

在“碳中和”目标的驱动下，园区将更普遍地使用光伏、风电、氢能等清洁能源，针对绿色能源无法长时间持续稳定供电的问题，园区可通过建设一套源网荷储协调互济的智能微电网，将电力系统的发、输、配、用、储各个环节全面构建在数字技术与电力电子技术之上，结合社会化的能源需求智能响应，达到提升园区资源利用率的目的。

1) 源网荷储协调互济

微电网是指由分布式电源、储能装置、能量转换装置、相关负荷和监控、保护装置汇集而成的小型发配电系统。智慧园区引入微电网，能在绿色能源充足之时就近消纳，省去在电网中传输的损耗，提高能源的使用效率，并和电网单点连接，在能源供应不稳定时，利用电网供电。一方面可提升对新能源的“可观、可测、可控、可调”水平，解决新能源接入系统的脆弱性，提高新能源消纳水平；另一方面提升对综合能源、分布式电源等海量末端系统的群控群调能力，让发电单元和用户进行实时数据双向互动。

未来随着风光水等清洁能源占比的不断提升，通过园区微电网的“源网荷储”的协同，还可以进一步降低碳排放，实现园区的绿色零碳目标。

2) 能源需求智能响应

能源需求智能响应是指不改变物理网络结构，而是通过软件平台聚合了分散而各自独立在各个园区内的电源设备、储能设备、可控负荷等，通过灵活的调度管理与电网高效互动，实现多时空电量平衡，提高电网安全与新能源消纳能力的一套机制。

智能调度决策是实现能源需求智能响应的核心能力，通过人工智能与大数据技术的应用，为聚合的各类电源及储能设备制定合理有效的调度安排，帮助园区实现对可调电量的准确预测与动态调优。既能作为“正电厂”向电力系统供电，又能作为“负电厂”消纳系统内的富余电力，能够最大程度保障园区电网平衡运行，提高能源利用效率。

3.2 参考架构

面向 2030，随着千行万业对智慧园区数智化需求的变化，各国政策的牵引，以及智能孪生、空间交互、泛在智联、智简超宽、安全任性、全域零碳为基础的一系列相关技术创新的持续加速，驱动智慧园区的定位与架构发生着深刻变化，如智慧园区由封闭孤立自治到需要更广泛的参与城市、社会化协同、由独立的资源管理分配到需要为内外部应用提供更精细更高效

的资源供给、由园区内跨域的数据处理到需要保障更大规模数据的跨域安全可信流通前提下的更深维度的数据融合等，这些变化在深刻影响智慧园区现有架构的同时，为企业智慧园区的建设带来巨大挑战，为此，我们提出了新型智慧园区的参考架构，通过关键技术特征使能各层参考架构新价值，全面迈向 2030，具体如下：



图 3-25: 参考架构

3.2.1 园区业务：以人为本、数字赋能、绿色低碳的业务体验

面向 2030，智慧园区将以人为本，以服务好人作为园区规划的根本出发点，利用大数据、云计算、AI 智能、物联网，从物理世界到虚拟世界，

从被动到主动，完美协调人、智慧园区、智慧城市三方关系。下一代新园区将向现场无人化、体验沉浸化、业务数字化以及绿色低碳化发展。



图 3-26: 园区业务

现场无人化

未来园区通过机器人赋能园区运营、楼宇自动化、社区服务等全方位工作，如园区环境监测与清洁、安全保障、物流运输等基础性、重复性、危险性工作将由机器人完成。AI 智能环境感知自动调节办公和生产环境，个性化数字身份、无感智能门禁实现园区出行一体化无感体验。

体验沉浸化

生成式 AI、物联网，融合全息投影、裸眼 3D、沉浸式空间投影等虚拟交互技术将广泛应用。全息会议、虚拟研讨、虚拟洽谈、虚拟观展将带来虚实共存、双线同步的沉浸式高互动体验，大幅提升协作效率。

业务数字化

下一代园区将全面连接和汇聚园区各业务部门、楼宇、厂房等基础运行数据，打通园区内、园

区间的数据资源，构建园区治理和服务场景的数字孪生模型，AIGC 将提供趋势预判、风险预警等拟人化能力辅助园区管理者精准决策。

绿色低碳化

BIM 与 AI 衍生设计技术深度结合，将园区建造全过程汇总成三维空间模型，实现园区碳排放精细化管理。同时，AI 能源预测体系通过优化未来清洁能源的供给和采购决策，保证园区能源系统质量，实现园区低碳与经济性的平衡。

新园区业务需要一个更加开放的架构，让园区的所有业务在遵循统一标准的基础上，实现园区业务资源灵活调度、过程全感知、虚实协同交互、数据自训练、意图自驱动的统一规划，从而参与到社会化的行业园区和智慧城市的分工协作当中，共同构建园区开放共享经济模式，探索复合型、智慧化、绿色化的园区经营，支撑千行万业园区数字化高速发展。

3.2.2 园区平台：智能孪生、柔性资源、公民开发的数字平台

园区平台是园区数字化转型的助推引擎，由平台底座、平台内核、平台服务和开发使能几个部分组成。平台底座提供园区业务所需的高效算力、海量数据存储能力；平台内核提供园区终端和子系统的联接、柔性资源调度能力；平台服务提供支撑园区数字化业务的数据服务、孪生服务和 AI 智能服务；开发使能提供敏捷高效全民参与的园区数字化业务开发能力。在园区平台中，由平台内核、平台服务和开发使能共同构成了园区数字操作系统，负责管理和协调平台底座软硬件资源，标准化园区人事物的联接模型和服务接口，构建园区数字孪生体，支撑园区智能应用的高效构建，以满足不同园区用户数字化创新和绿色可持续发展需求。

面向 2030，园区平台将具备如下三个明显特征：智能孪生、柔性资源、公民开发。

智能孪生

- 平台智能服务：园区 AI 大模型是 L1 的园区场景模型，通过园区海量数据获取与分析，

形成园区场景的知识沉淀，为智能应用提供深层次的、面向园区场景的知识与能力调用，满足不同园区业态的智能应用需求。

- 平台孪生服务：构建园区人、事、物，IT、OT、CT 系统互联总线，建立标准化数字模型和统一服务接口，实现对园区物理世界的精确感知、实时控制和数据共享。提供按需获取联接服务、内生安全数据服务、虚实协同孪生服务，构建高度数字化、智能化园区数字孪生体。

柔性资源

- 平台智能底座：提供大规模 AI 算力、海量存储及并行计算能力，支持 CPU、GPU、NPU、FPGA 等多种算力池，可提供端边云立体计算和系列化算力能力。
- 平台内核引擎：通过动态监测、按需加载、柔性调度实现计算资源的高效分配和调度，通过热点预测、编译优化、软硬协同实现最大算能效率。



图 3-27：园区平台

公民开发

平台开发使能：随着园区数字化转型的深入，园区用户在应用开发、AI 模型开发、数据开发、系统集成等方面，提出了更敏捷高效的诉求。传统依赖专业 IT 人员的开发模式很难匹配园区业务创新的诉求，而直接面向业务人员的低门槛、智能化开发生产线，包括无码化开发、组装式开发、生成式开发、机器人流程自动化等，可以实现智简创新的公民开发（Citizen Development）极致体验，加速园区数字化转型的实现。

3.2.3 园区联接：灵活融合、智简体验、敏捷服务的信息高速公路

园区联接负责园区数字化信息上传及智能化命令下达，是园区终端与园区业务间的信息传递纽带。随着园区数字化和智能化进一步深化，各类感知终端接入数量百倍增长；智能化终端和云边协同应用的丰富，对联接广度和联接质

量提出更高要求。园区联接需要支持海量各类终端 / 子系统的灵活接入，为园区各类应用提供确定性 SLA，确保应用极致体验，通过服务化能力支撑园区业务灵活变更和扩展，并使用自动化、智能化的技术实现极简运维。

灵活融合

- 超宽融合覆盖：超大带宽接入能力，百 G Wi-Fi，百 G 光纤，百 G 移动网；IPV6 地址空间支持百万级终端接入；无线通讯、有线通讯、卫星通讯等多技术实现空天地立体覆盖，提供园区无处不在的联接能力。
- 通感融合网络：通过 5.5G 无线感知、WLAN 感知和光感知能力，通讯网络同时具备环境感知能力。如光纤感知震动 / 应力、光谱感知水质 / 特殊气体泄漏、无线感知位置与运动等。通信资源与感知资源的联合调度，提供更丰富的手段实现园区数字孪生，助力园区智能决策。

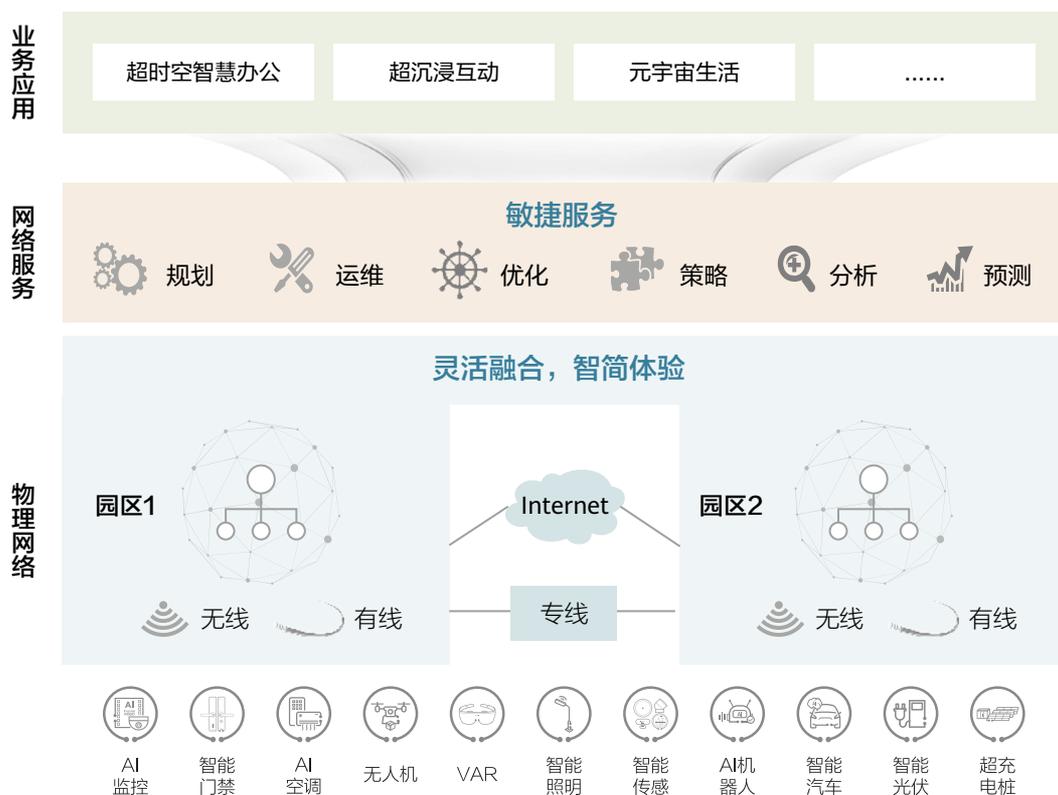


图 3-28：园区联接



智简体验

不同业务对承载网络有不同 SLA 要求，通过网络端到端切片实现各类业务确定性 SLA 承载，确保极致体验

- 办公一致性体验：终端无感接入，不同位置接入统一策略控制，实现业务随行，安全随行。
- 音视频业务体验：网络突发大带宽调度能力，支撑音视频零等待、零卡顿、零延迟。
- 辅助生产业务体验：无线连续覆盖及切换 0 丢包，支撑 AGV 等移动类业务在园区内无缝漫游；带宽 10Gbps/ 端，满足 VR/AR/ 元宇宙等应用从听觉、视觉数字化到听、视、嗅、触等多维数字化仿真，时延低于 10ms 确保快速移动时无迟滞感、不眩晕。
- 核心生产业务体验：IOCT 融合的园区联接网络，支持 6 个 9 可靠性，确定性时延和抖动（OT 工控系统 <100ms、PLC 控制周期 2~5ms、机器运动控制 <1ms 要求），确保高效自动化生产。

敏捷服务化

- 软件定义网络能力 (SDN)：按需生成新联接能力支持园区新终端 / 子系统快速接入和扩展、分钟级链路开通能力支撑园区新业务快速上云、网络资源按需调整能力保障园区办公会议、自动化生产等关键业务体验。
- 自动驾驶网络能力 (ADN)：网络数字化健康度可视、网络劣化预测和故障预判、告警监控联动排障派单、基于策略控制的网络自优化 / 自愈。园区网络达到 L4，基于预置策略，具备根据监控到的关键事件主动决策操作的能力。
- 网络服务化 (NaaS)：网络功能原子化，通过服务化接口开放网络能力，支持灵活的编排，将应用需求与网络的能力、用户的属性、网络的策略形成双向互动，快速满足业务需求的多样化和定制化需求，提升用户的端到端体验，快速使能更多创新业务场景。

3.2.4 园区终端：即插即用、协同自治、敏捷接入的感知系统

未来园区将迎来一个全连接、全感知、全计算的万物数字化时代。首先，海量的终端，如何实现快速的接入，用统一的标准实现交互；其次，面对海量的终端数据，依赖人工编排已经无法满足体验式交互；此外，终端 IP 化，如何降低大量的布线成本以及随时随地提供服务问题。面向 2030，我们提出园区终端将会鸿蒙化、自治化、无线化发展。

鸿蒙化

面向 2030，园区的终端通过鸿蒙操作系统搭建园区终端设备的框架。届时，通过鸿蒙化统一的物模型能力，实现终端设备与园区数字操作系统即插即用；通过端侧鸿蒙化的资源共享能力，终端之间可以自动协调周边资源，实现乐高拼装，如摄像机协调温湿度传感器，实现感知能力的延伸；通过鸿蒙化的硬件互助能力，将实现一碰即服务，如手机一碰即可打印。

自治化

面向 2030，随着 AI 技术的发展，智能认知等

关键技术的攻克，园区终端将通过云边协同具备自我监测自我反馈的自治化能力。通过 AI 自治能力，终端将具备群组协同自治能力，如照明、新风、空调等通过温湿度感知、光照感知实现区域自动控制；终端通过用户习惯信息采集、云边训练学习提供个性化服务，如打印机为你自动打印好当天的会议安排；终端实现自动检测并且尝试自我调整自我修复，如煤矿皮带监测将实现实时质量等级分拣。

无线化

面向 2030，随着端侧采集数据增大以及对端侧更精细化的控制，端侧将是 IP 化发展，为解决端侧布线成本和改造困难问题，有条件的端侧将通过无线化技术实现快速 IP 化。终端通过无线化实现极简的部署，将减少大量的布线建网和维护成本；通过终端无线化实现上电即联网，提供随时随地服务，无需固定场所；终端通过 Wi-Fi、无源 RFID、RedCap、星闪等多种方式技术实现无线化、敏捷接入园区数字操作系统。



图 3-29：园区终端



3.2.5 园区安全：持续验证、动态授权、全局防御的安全服务

园区数字化业务带来的网络复杂性和多样性颠覆了传统的信息安全管理框架，需要企业以全新的思维应对挑战，从以网络为中心转变为以数据为中心的防护，从传统的“尽力而为、漏洞清零”的惯性思维，转变为面向园区业务的“确定性”安全保障，确保信息系统在“风险存在、漏洞开放、防御失效”等条件下，依然有确定性的业务状态。

园区安全需要适应园区业务云、网、边、端不断变化的需要，要具备策略统一管理，资源动态调度，业务按需调整等能力，实现安全服务按需、弹性、敏捷使用。面向 2030 的园区业务安全，将基于持续验证，动态授权和全局防御三个核心原则打造成一个全方位的园区安全零信任架构。

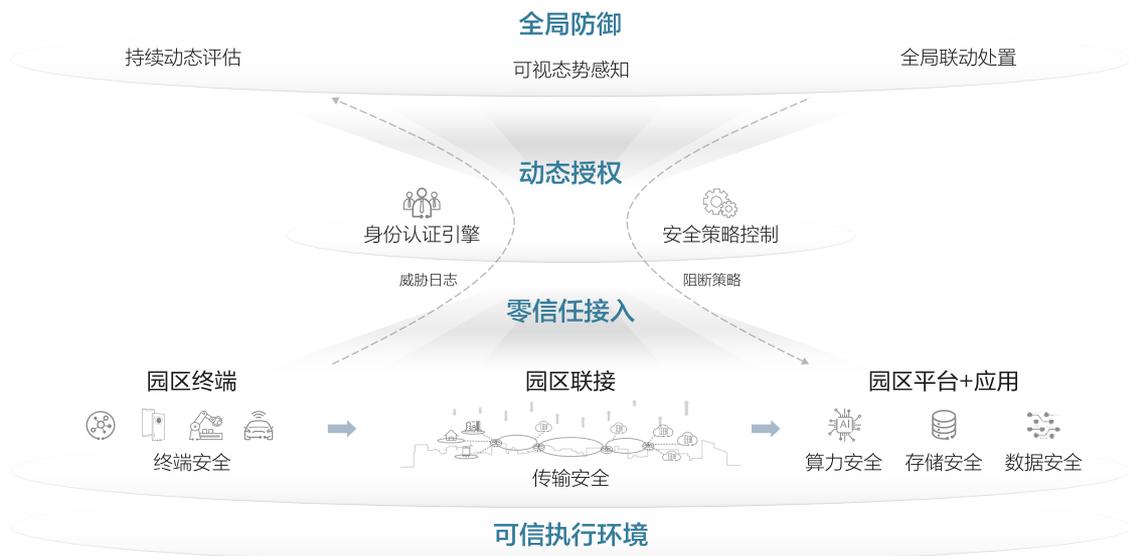


图 3-30: 园区安全零信任架构



全局防御

园区的安全大脑，网、算、存协同联动，威胁快速处置，通过对终端风险、用户行为异常、流量威胁、应用鉴权行为进行多方面评估，创建一条完整的信任链。并对信任分低的用户或设备生成相应的处置策略，联动网络或安全设备进行威胁快速处置，为园区提供一个持续动态评估、可视态势感知、全局联动处置的安全保障机制。

动态授权

精细访问控制，权限随需而动。能够将园区业务访问目标的权限细化到应用级、功能级、数据级，只对访问主体开放所需的应用、功能或数据，满足最小权限原则，极大收缩潜在攻击面。同时安全控制策略基于访问主体、目标客体、环境属性（终端状态、网络风险、用户行为等）进行权限动态判定，实现应用、功能、数据等维度的精细和动态控制。身份认证引擎负责统一人员身份管理和身份认证，包括用户管理、组织机构管理、用户身份核验、用户令牌管理、应用令牌管理等。安全策略控制引擎负责对访

问数据业务的请求进行动态和精细化鉴权，当用户安全等级变更时，及时更新用户拥有的访问权限。

零信任接入

永不信任，构建身份安全基石。对园区内的人、终端、设备和应用进行统一身份化管理，建立以身份为中心的访问控制机制。以访问主体的身份、网络环境、终端状态等作为认证的动态考量因素，持续监测访问过程中的违规和异常行为，确保接入网络的用户和终端持续可信。

可信执行环境

基础设施内生可信，园区业务数据流转的主要环境载体。用于创建安全且隔离的执行环境，其中敏感数据和关键操作可以受到保护，而不受外部攻击者或恶意软件的影响。为此通过 TEE 技术提供一种安全执行环境，确保数据的机密性、完整性和可用性。同时终端安全、传输安全、算力安全、存储安全，数据安全等技术也在快速演进，持续提升园区的数据安全。

3.2.6 园区运维：群体智能，全栈融合，开放协同的运维系统

随着园区数字化转型的深入，终端与业务应用等越来越丰富，对 ICT、IOT 的灵活适配能力提出了新的诉求，也对园区端到端运维提出了巨大挑战。面对未来园区的新场景，需要利用大数据、AI 智能等技术来全面实现运维的自动化和智能化，提升运维管理能力。未来新园区运维应满足如下四个特征：全栈融合、群体智能、主动保障、生态开放。

全栈融合

未来的运维是面向 ICT 和 IOT 全栈的，是端到端业务视角的。系统能完整展示业务全貌，从终端、服务器、存储、网络、虚拟化到 OS、容器、中间件、应用等的关系以及状态都一目了然。

群体智能

每一个被管对象、每一个管控单元以及应用管理部件都是智能的。被管对象本地 AI 能及时进

行本地优化并实时上报自己的状态；管控单元对管理域范围内的被管对象能做到智能闭环，通过标准接口开放管理能力，实现管控单元之间的互相协同；应用管理部件综合被管对象和管控单元的信息和能力，基于 AI 大模型，实现端到端业务视角智能运维。

主动保障

依托大模型 AI，系统从端到端视角主动实时监控业务，分析评估业务状态，自动给出业务保障或优化建议。

生态开放

运维系统提供灵活丰富的对外接口，通过 AI 大模型的编排，可以自适应各种场景的业务。针对各行各业可以形成开放接口标准化基线，更好地支撑行各行各业的发展。

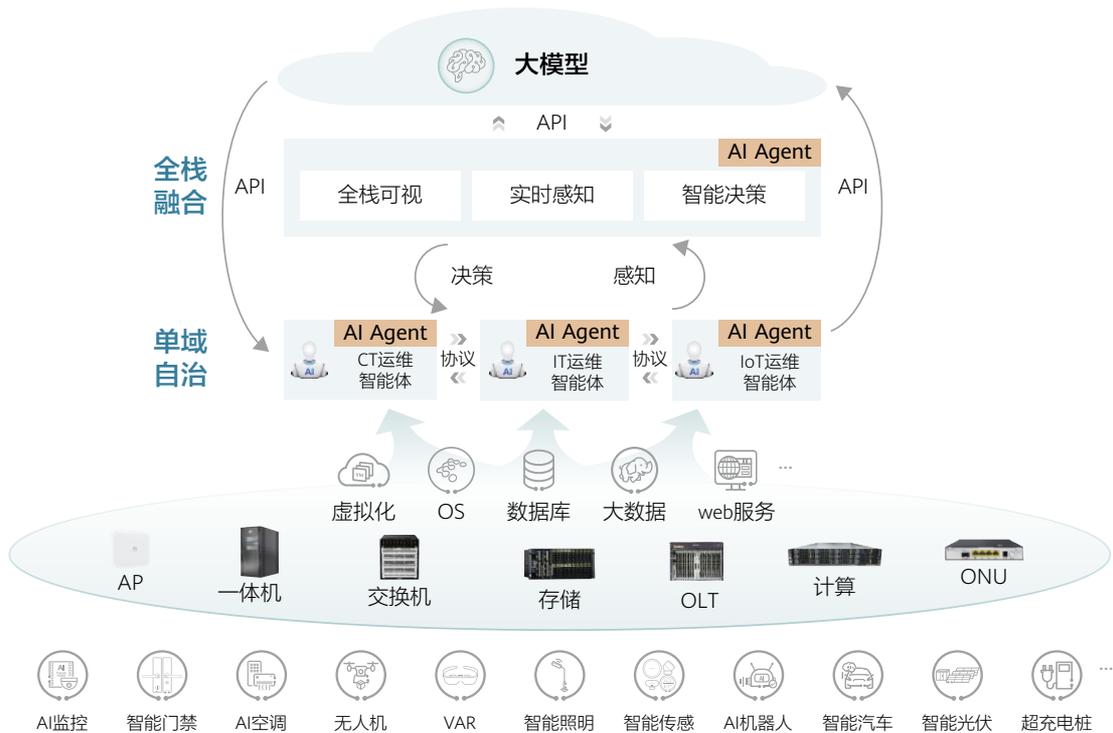


图 3-31：园区运维





倡议





面向 2030 年，充满挑战，也充满希望，智慧园区作为从“数字经济”迈向“智能经济”的核心，一定会迎来更飞速的发展。

■ 在这里，我们想要和园区的业主说：

园区作为人们生产和生活的主要载体，将迎来转型迭代和高速发展的浪潮，在新政策、新技术和新需求的多重驱动下，园区业务场景和商业模式不断升级和革新，向着数智化、融合化、人本化、韧性化、绿色化的智慧空间不断演进。与传统的园区相比，智慧园区的外部环境和内部条件都发生了复杂而深刻的变化，给智慧园区规划、建设、运营也带来了一系列新的要求和挑战。

智慧园区建设是一项系统工程，需要统筹规划、有序建设、分步实施和价值运营，以实现项目成功和全生命周期效益最大化为目标，通过一张蓝图绘制到底，避免在过程中造成不必要的社会成本增大和资源浪费。智慧园区的规划、建设、运营为一个整体，是互为基础、互为要素、螺旋上升的过程。在规划中考虑建设、运营，在建设过程中运营方参与，在运营中实现规划内容。

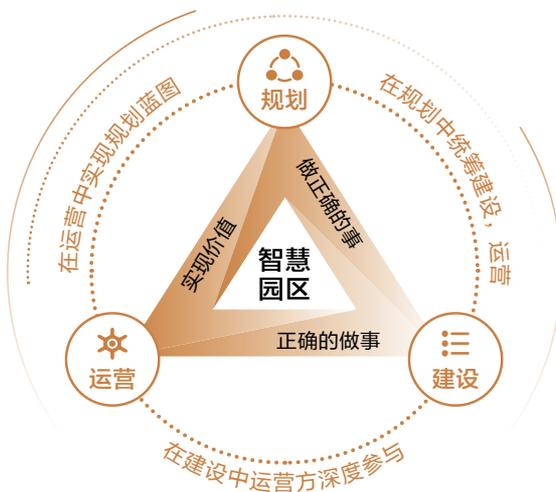


图 4-1：“规划 - 建设 - 运营”一体化

- 规划阶段，在充分洞察行业发展、技术趋势与应用及智慧化诉求基础上，进行科学性、系统性和前瞻性智慧园区规划，输出架构蓝图、实施路标规划等，确保“做正确的事”。
- 建设阶段，通过强有力的产品和方案，以智慧园区四层架构进行建设。通过集成设计、

集成验证、集成实施等专业化交付服务，保障规划落地。

- 运营阶段，通过运营规划设计、业务运营、数据运营、平台运营，实现智慧园区能用起来、用得好，并在持续优化中，逐步兑现智慧园区数字化转型价值。

■ 我们想和产业界的伙伴说：

面向 2030，智慧园区的产业发展将服务于千行百业，助力中国数字经济发展和实体经济转型升级，并带来良好的经济效益和社会效益。而开放共享，技术创新，持续为用户创造价值及生态互助、标准引领将是智慧园区产业繁荣的关键。

智慧园区作为面向园区管理和园区运营的综合 ICT 解决方案，其所包含的 ICT 基础设施能力外，还需要产业界伙伴一同提供园区应用软件，园区终端与子系统，园区技术集成服务，园区咨询与顶设服务。因此我们向各类伙伴提出倡议：

- 园区应用软件开发伙伴（ISV）：园区应用软件是园区用户智慧化体验的直接入口。园区应用将与平台能力紧密结合，打破传统围绕单点功能，瀑布式开发为主的应用发展模式。未来园区应用将以园区内人 - 事 - 物 - 环的全量数据为基础，以大数据 +AI 的能力为核心，以敏捷迭代的开发方式为用户带来创新性的应用体验。而在这个创新的过程中，我们意识到不同业态、不同场景下，园区管理和服务的诉求是具有显著差异的。因此，深入洞察园区价值场景，构筑不同业态下园区管理最佳实践，高效敏捷低成本开发以支持园区业务持续运营，是未来园区应用软件的核心竞争力。因此，应用软件开发伙伴要积极拥抱平台能力，对准园区价值场景勇于创新，

构建园区最佳实践的应用产品体系，通过为用户创造极致的智慧化体验而创造价值，进而实现商业成功。

- 园区终端与子系统伙伴（IHV）：园区终端与子系统无论是在园区智能化时代，还是园区智慧化时代，都是园区数字化基础设施的重要组成部分。是园区数字空间与物理空间进行信息交互的感知端与反馈端。随着智慧园区的快速发展，一方面园区内将涌现出一系列更贴近用户需求，以及更加智能的终端和子系统，如：移动充电桩，物流机器人等，来丰富园区的作业。另外一方面，创新的园区业务场景也将要求园区终端与子系统更加开放，为平台及应用提供标准化的数据模型，易集成的数据接口，进而实现信息获取，信息处理和应用，以及信息反馈的快速闭环。而在这个过程中，园区终端与子系统也将获得来自智慧化场景的需求加持，进而获得更为广阔的使用空间。因此，园区终端与子系统伙伴要更加开放，实现系统对接极简、IP 化以及物模型数据的标准化，通过做大产业空间来实现商业成功。
- 园区技术集成伙伴（SI）：智慧园区的建设是一个复杂，综合性强，具备强集成要素的系统性工程，是由园区应用，园区数字平台，园区联接以及园区终端和子系统组成的完整体。这个“组成”就需要由专业的技术集成



服务来实现。相比于弱电智能化所要求的系统集成（单系统集成，工程性集成），智慧园区的技术集成所要求的更多是“软”集成。这个“软”有两方面的体现：一方面是软件集成，智慧园区需要将平台与子系统，平台与应用，平台与平台通过软件集成的方式进行组合，需要技术集成伙伴掌握多种软件集成平台的使用能力，以及软件接口开发能力。另外一方面是软性集成。由于智慧园区在IT架构上，数据的流转方式上与传统弱电系统有较大差异，因此需要技术集成伙伴具备智慧园区的整体方案设计能力，包括技术架构设计（TA）能力，业务流与数据流设计（IA）能力，以及满足园区应用所需的主题库与专题库设计能力。这些要求要促使智慧园区的技术集成从工程化走向IT化。而园区的技术集成伙伴也将通过构建高价值的IT集成服务，数据治理等专业服务，获取高价值的商业汇报。因此，园区技术集成伙伴要加速构建智慧园区时代的专业化，IT化的技术集成能力，为智慧园区的整体建设效果实现最终的保障。

- 园区咨询与顶设伙伴：智慧园区建设的目的是通过ICT技术以实现园区管理和服务的数字化转型，最终效果将围绕绿色安全、极致体验、降本增效、模式创新等几个维度呈现。因此，一些重大智慧园区建设，需要提供咨询与顶层设计，将园区的业务目标分解到运

营场景，将运营场景的业务架构到分解到技术方案，将技术方案的效果应用在运营模式上，进而实现目标的达成。可以说智慧园区的咨询与顶层设计，是园区业务方案与技术解决方案之间的纽带，是关键建设指标落地的保障。因此，园区咨询与顶设伙伴要具备一套从园区业务分析到技术呈现的方法，通过专业的顶层设计指导智慧园区的建设和运营。是智慧园区全产业链生态链中，综合性最强的专业服务能力。

同时，我们也呼吁产业界共同定义智慧园区标准，牵引产业发展，繁荣产业生态，以价值为导向，以ICT技术与建造技术深度融合为主线，共创智慧园区新未来。呼吁大家共同参与到智慧园区相关标准工作的建设，推动国家标准和行业标准的建设，共同营造产业环境。倡导所有的产业生态伙伴，重视智慧园区领域的人才培养和人才发展，为智慧园区的产业化，标准化，健康化，做出自己一份努力

站在当下，我们隐约能看到智慧园区2030的雏形。未来，以客户为中心，以需求为驱动，新一代数字技术将持续助力智慧园区的发展。

新的时代正在快速到来，让我们一起抓住机遇，携起手来，勇于探索、持续创新，共同创造更“智慧”的园区！

附录一：技术指标预测

技术特征	指标	指标定义	2030 预测
智能孪生	智能平台使用率	园区中使用智能平台的比例	30%
	光场全息渲染算力	数字孪生中单用户的光场全息渲染算力需求	10TFLOPS
	AI 渗透率	新建园区业务 AI 渗透率	100%
泛在智联	光感气体密度	通感一体系统结合通信与物联传感，气体密度感知精度	<10ppm
	光感照度精度	通感一体系统结合通信与物联传感，照度感知精度	<0.1lux
	光感湿度精度	通感一体系统结合通信与物联传感，湿度感知精度	<2%rh
	光感温度精度	通感一体系统结合通信与物联传感，温度感知精度	<0.2°C
	雷达人体成像精度	多雷达协同，感知人体位置、轮廓精度	厘米精度“成像”
空间交互	XR 用户数	XR 用户数量，支持沉浸式交互重要手段	10 亿
	TSN 网络抖动和时延	异步 TSN 支持人机交互从感知到协同所需抖动和时延指标	10us-100us
	微缩全息带宽	支持 10 英寸微缩全息图像显示所需带宽容量	12.6G
	模拟仿真算力	通过计算缩短网络时延，模拟仿真用户行为，单用户算力	1TFLOPS
	实时建图面积	数据底座服务进行实时空间建图的能力	100 万 m ²
	实时交互 Agent 密度	同一物理空间中，可支持实时交互的 Agent 数量	10000
智简超宽	园区无线接入带宽	AP 峰值速率、移动网络小区容量	100G
	确定性时延	AP 无线空口时延	1ms@99.9999%
	多模态无线覆盖	多模态 Wi-Fi，微瓦级低功耗，中距离覆盖距离	2-10km
	万兆 Wi-Fi 渗透率	万兆 Wi-Fi 在企业园区的使用比例	40%
	5G 行业专网渗透率	5G 行业专网在企业园区的使用比例	35%
安全韧性	数据安全投资占比	数据安全投资占整个园区 IT 资源投资的比例	20%
全域零碳	园区光伏 LCOE	园区光伏发电 LCOE 度电成本低至 0.01 美元	0.01 美元
	园区绿电电压等级	大型园区绿电发电系统电压等级	1500V

附录二：缩略语

缩略语	英文全称	中文全称
2D	2 Dimensions	二维
3D	3 Dimensions	三维
3GPP	3rd Generation Partnership Project	第三代合作伙伴计划
5G	5th Generation of Mobile Communication	第 5 代移动通信
5.5G	5.5th Generation Fixed Network	第 5.5 代移动通信
5G NR	5G New Radio	5G 新空口
6G	6th Generation of Mobile Communication	第 6 代移动通信
ABE	Attribute-Based Encryption	基于属性加密
ABF	Analog Beamforming	模拟波束赋形
AGV	Automated Guided Vehicle	自动导引运输车
AND	Autonomous Driving Network	自动驾驶网络
AI	Artificial Intelligence	人工智能
AIGC	AI-Generated Content	AI 生成内容
AP	Access Point	接入点
AR	Augmented Reality	增强现实
ASIC	Application-Specific Integrated Circuit	专用集成电路
BIM	Building Information Modeling	建筑信息模型
BLE	Bluetooth Low Energy	蓝牙低功耗
BOS	Business Operations Support	业务运营支撑
CH4	Methane	甲烷
CPU	Central Processing Unit	中央处理单元
CRUD	Create, Read, Update, Delete	增加、查询、更新和删除
D2W	Die-toWafer	芯片到晶圆

缩略语	英文全称	中文全称
DetNet	Deterministic Networking	确定性网络
DMRS	Demodulation Reference Signal	解调参考信号
DoF	Degrees of Freedom	自由度
E2E	End to End	端到端
EDR	Endpoint Detection and Response	终端检测响应
eMBB	Enhanced Mobile Broadband	增强移动宽带
F5.5G	5.5th Generation Fixed Network	第 5.5 代固网
FDMA	Frequency Division Multiple Access	频分多址
FlexE	Flexible Ethernet	灵活以太
FLOPS	Floating-point Operations per Second	每秒浮点运算次数
FPGA	Field Programmable Gate Array	现场可编程门阵列
FPS	Frames Per Second	视频帧率
FR1/FR2	Frequency Range_1/Frequency Range_2	频率范围 1/ 频率范围 2
GAN	Generative Adversarial Network	生成式对抗网络
GPT	Generative Pre-trained Transformer	生成式预训练 Transformer 模型
GPU	Graphical Processing Unit	图形处理单元
HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request	混合自动重传请求
HCS	Harmonized Communication and Sensing	通信感知融合
ICT	Information and Communications Technology	信息与通信技术
IMT	International Mobile Telecommunications	国际移动通信
IO	Input and Output	输入输出
IoT	Internet of Things	物联网
IT	Information Technology	信息技术

缩略语	英文全称	中文全称
LCD	Liquid Crystal Display	液晶显示器
LCOE	Levelized Cost of Electricity	度电成本
LED	Light Emitting Diode	发光二极管
MAC	Media Access Control	媒体接入控制
Massive MIMO	Massive Multiple-Input Multiple-Output	大规模 MIMO
Mbps	Megabits per Second	兆比特每秒
MIC	Microphone	话筒
mMTC	Massive Machine-Type Communications	海量物联网通信
MR	Mixed Reality	混合现实
MTP	Motion-to-Photon	头动响应
NPU	Neural Processing Unit	神经处理单元
NSMF	Network Slice Management Function	网络切片管理功能
NSSMF	Network Slice Subnet Management Function	网络切片子网管理功能
ONT	Optical Network Terminal	光网络终端
OT	Operational Technology	运营技术
P2MP	Point-to-Multipoint Networking	点到多点
P2P	Point-to-Point	点对点
PCS	Power Conversion System	储能变流器
PDCCP	Packet Data Convergence Protocol	分组数据汇聚层协议
PHY	Physical Layer	物理层
PLC	Programmable Logic Controller	可编程逻辑控制器
PON	Passive Optical Network	无源光网络
PPD	Pixel Per Degree	角度像素密度
PUE	Power Usage Effectiveness	能源利用效率
QoS	Quality of Service	服务质量

缩略语	英文全称	中文全称
RAM	Random Access Memory	随机存取存储器
RB	Resource Block	资源块
RDMA	Remote Direct Memory Access	远程直接存储器访问
RFID	Radio Frequency Identification	射频识别
RLC	Radio Link Control	无线链路控制
SDCI	Software-defined Cloud Interconnect	软件定义云互联
SDK	Software Development Kit	软件开发工具包
SDN	Software-Defined Network	软件定义网络
SLA	Service Level Agreement	服务水平协议
SLM	Spatial Light Modulator	空间光调制器
SOAR	Security Orchestration, Automation and Response	安全编排、自动化和响应
SPE	Speech Encoder	语音编码器
SQL	Structured Query Language	结构化查询语言
SRv6 Slice-ID	SRv6 Slice Identifier	SRv6 切片标识
TCC	Time Coordinated Computing	时间协调计算
TDD	Time Division Duplex	时分双工
TDM	Time Division Multiplexing	时分复用
TDMA	Time Division Multiple Access	时分多址
TE	Traffic Engineering	流量工程
TEE	Trusted Execution Environment	可信执行环境
TFLOPS	TeraFLOPS	每秒万亿次的浮点运算
THZ	THZ	太赫兹
TIM	Thermal Interface Material	热界面材料
TSN	Time Sensitive Networking	时延敏感网络
TTD	Time to Detect	检测时间

缩略语	英文全称	中文全称
TTR	Time to Repair	修复时间
UB	Unified Bus	灵衢总线
URLLC	Ultra-Reliable Low-Latency Communication	超高可靠性超低时延通信
UWB	Ultra-Wideband	超宽带
VLEO	Very Low-Earth Orbit	超低轨
VPN	Virtual Private Network	虚拟专用网络
VR	Virtual Reality	虚拟现实
W2W	WafertoWafer	晶圆片对晶圆片
WDM	Wavelength Division Multiplexing	波分复用
WDMA	Wavelength-division Multiple Access	波分多址
Wi-Fi 6	Wireless Fidelity 6	无线保真 6
Wi-Fi 7	Wireless Fidelity 7	无线保真 7
Wi-Fi 8	Wireless Fidelity 8	无线保真 8
WLAN	Wireless Local Area Network	无线局域网
XR	eXtended Reality	扩展现实

华为技术有限公司
深圳龙岗区坂田华为基地
电话: +86 755 28780808
邮编: 518129
www.huawei.com



扫码下载报告

商标声明

 HUAWEI, HUAWEI,  是华为技术有限公司商标或者注册商标, 在本手册中以及本手册描述的产品中, 出现的其它商标, 产品名称, 服务名称以及公司名称, 由其各自的所有人拥有。

免责声明

本文档可能含有预测信息, 包括但不限于有关未来的财务、运营、产品系列、新技术等信息。由于实践中存在很多不确定因素, 可能导致实际结果与预测信息有很大的差别。因此, 本文档信息仅供参考, 不构成任何要约或承诺, 华为不对您在本文档基础上做出的任何行为承担责任。华为可能不经通知修改上述信息, 恕不另行通知。

版权所有 © 华为技术有限公司 2024。保留一切权利。

非经华为技术有限公司书面同意, 任何单位和个人不得擅自摘抄、复制本手册内容的部分或全部, 并不得以任何形式传播。