



# 绿色发展 2030





GREEN

DEVELOPMENT

2030

# 序言

# FOREWORD

人类社会仍面临着前所未有的挑战：碳排放持续增长，威胁着我们的生物圈；社会依然存在不平等现象，基本服务缺乏；随着经济的发展，消费模式变得愈发不可持续。为此，我们必须立刻行动起来。在这个过程中，数字技术可以，而且应该做出更多贡献。企业可以在改变世界发展动态、推动社会繁荣方面发挥重要作用。

在全球新冠大流行的背景下，数字技术和创新在保持社会运转方面的关键作用越发凸显。为了充分发挥数字技术改变世界的潜力，信息和通信技术（ICT）行业必须通过负责任的产品和服务开发、部署及使用来发挥带头作用。

数字技术能够助力其他行业减少碳足迹，是企业、城市和公共服务数字化转型的根本动力。数字技术通过提高新一代生产流程的灵敏度、智能化和自动化，提升工业竞争力，推动工业4.0的发展。数字技术还能驱动城市向智慧型和包容型城市转型，从而提高人们的生活质量。此外，数字技术还有助于提升公共服务的效率，让更多学生享受优质教育资源；通过远程医疗和优化资源利用，提升医疗服务质量；加速经济交易，最大化资源利用率，提高安全性。

数字技术与人们的生活息息相关，但技术本身不足以带来有影响力的变化。我们应通过开发和部署技术解决方案来改善人类所处的环境，而且现在就应该行动起来。

绿色发展是指借助创新和技术的力量，打造一个绿色、低碳、循环发展的世界。虽然技术回弹

效应需要得到有效的控制和解决，但相比数字技术对于改善人类所处环境的作用，其负面影响微不足道。因此，我们应全力聚焦解决方案的开发和部署。

GeSI的调查数据显示，现有技术的部署将使可持续发展进程平均加快22%，并将下行趋势延缓23%<sup>1</sup>。

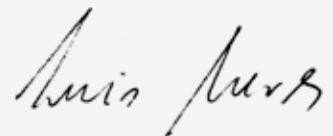
交通、制造、农业、建筑和能源领域的智能解决方案有望将全球排放的二氧化碳当量维持在2015年的水平，促使经济增长与碳排放脱钩<sup>2</sup>。

此外，ICT技术还有助于促进增长，创造超过6万亿美元的收入，并节省近5万亿美元的成本<sup>3</sup>。

数字技术驱动变革的潜力是巨大的。

我深信，这份报告将加速我们建设一个更可持续、更具韧性的世界。我们在能效、行业和可再生能源解决方案方面的创新，将驱动行业数字化转型，共建更美好的世界。

我谨向华为公司《绿色发展2030》报告的发布表示祝贺。该报告通过透明、直接的方式，展示了绿色发展将如何改变我们的生活和未来产业。感谢华为在推动全行业更好地展望未来和制定政策方面做出的贡献。🌱



Luis Neves  
GeSI CEO

<sup>1</sup> GeSI: 《数字目标: 使能更智能的 2030 年》

<sup>2</sup> 世界资源研究所、政府间气候变化专门委员会、世界银行、GeSI、埃森哲分析与 CO<sub>2</sub> 模型

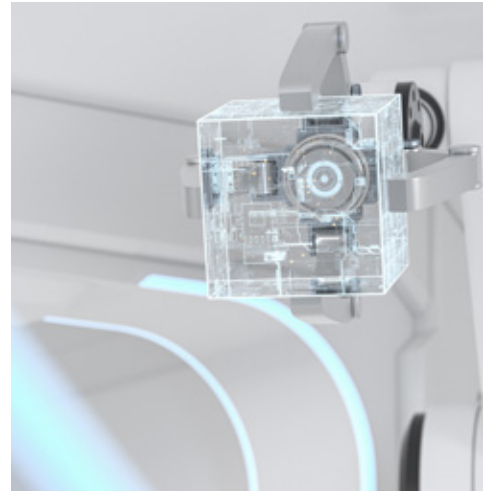
<sup>3</sup> 世界资源研究所、政府间气候变化专门委员会、Gartner、联合国粮食与农业组织、GeSI、埃森哲分析与 CO<sub>2</sub> 模型

# 目录 CONTENTS



迈向绿色发展新时代	7
绿色发展 2030 展望	9
可再生能源成为主流	10
工业走向绿色生产	11
交通全面电气化	13
未来建筑进入零碳运行	14
绿色数字基础设施成为基本要求	15
零碳生活成为新时尚	17
数字化、低碳化使能绿色发展	19
数字化和低碳化是驱动绿色发展的双引擎	20
数字化使能低碳化发展	20
低碳化激发数字化潜能	22
数字化与低碳化相辅相成，共同驱动绿色发展	23





<b>数字化、低碳化使能绿色发展的三大创新方向</b>	<b>25</b>
<b>方向一：提升数字基础设施能效</b>	<b>27</b>
通过理论、材料、器件、架构的创新，打造绿色站点	29
通过系统架构，软件节能创新，构建极简网络	31
通过 L1 到 L3 多维创新，打造绿色数据中心	32
通过指标体系评估、低碳自智网络，实现智慧运营	34
<b>方向二：加大可再生能源占比</b>	<b>35</b>
能源供给侧创新方向	36
能源消费侧创新方向	38
<b>方向三：使能行业绿色发展</b>	<b>40</b>
电力：数字技术助力构建以新能源为主体的新型电力系统	43
工业：数字技术助力工业实现绿色智造	45
交通：数字技术加速交通工具电气化和交通体系智慧化	48
建筑：数字技术使能建筑绿色零碳运行	49
<b>倡议</b>	<b>51</b>
<b>鸣谢</b>	<b>53</b>

## 执行摘要

# EXECUTIVE SUMMARY

华为的愿景与使命是把数字世界带入每个人、每个家庭、每个组织，构建万物互联的智能世界。

这个智能世界同时也是一个绿色世界。站在智能世界的入口，眺望2030：零碳生活成为新时尚，虚拟旅游让人们摆脱时空的羁绊，来一场“说走就走”的旅行；全息在线教育让人们穿梭在知识的宇宙；零碳运行建筑给人们提供节能又健康的居住和工作环境；电气化、智能化的交通让人们避免拥堵，实现绿色出行；工业生产更绿色，虚拟工厂让全球的专家在家里就可以实现整套产品的规划设计，柔性生产更精准的匹配供给消费侧需求；能源加速清洁化，可再生能源成为主流；数字基础设施拥抱绿色，80%采用可

再生能源，能源效率提升100倍。

在本报告中，我们从未来生活和行业绿色发展入手，通过对零碳生活、可再生能源、交通电气化、零碳运行建筑、绿色工业和数字基础设施的展望，尝试描绘未来世界绿色发展的美好前景。我们认为数字化、低碳化是驱动绿色发展的双引擎，数字化使能低碳化发展，低碳化激发数字化的无限潜能。为了实现绿色发展目标，我们提出需要在提升数字设施基础能效、加大可再生能源占比、使能行业绿色发展三个方向持续创新。我们相信绿色发展的智能世界将加速到来，需要各行各业持续协作，不断探索，共创美好未来。🌱

1



A NEW ERA  
OF GREEN DEVELOPMENT  
迈向绿色发展新时代

回顾全球现代化发展历程，人类已经完成了从“蒸汽时代”、“电气时代”到“信息化时代”的三次工业革命。前三次工业革命主要依赖化石能源，经济快速增长的同时，二氧化碳排放也呈指数级增加，引发全球气候变化问题，为人类社会生存与发展带来巨大挑战。

近期，在包括中国、日本、美国、欧洲等经济体公布的计划路线图中，绿色发展成为与数字经济并驾齐驱的主要发力领域和全球共识。绿色发展是以绿色低碳循环为主的新型可持续发展模式，其基本内涵是指在保持经济持续增长的同时，减少对自然环境的损害或者能同时改进自然资源的状况。

当今世界，绿色发展已经成为一个重要趋势，许多国家把发展绿色产业作为推动经济结构调整的重要举措，全球正在加快绿色基础设施布局。美国大力推动5550亿美元的清洁能源计划，在基础设施、清洁能源等重点领域加大投资，并重点补贴电动车的购买者和安装屋顶太阳能的家庭。欧盟计划2021年至2030年间，每年新增3500亿欧元投资，推进电动汽车、公共交通运输等实现减排目标。德国将放弃化石燃料的目标提前至2035年，拟加速风能、太阳能等可再生能源基础设施建设，实现100%可再生能源供给。日本在海上风电、电动汽

车、氢能等14个重点领域提出了发展目标和具体的减排任务。

中国于2020年9月提出力争于2030年前二氧化碳排放达到峰值，并努力争取2060年前实现碳中和的“3060”双碳目标，开启了“双碳”目标引领下的高质量绿色发展新征程。中国还发布了《2030年前碳达峰行动方案》，以及一系列能源、工业、建筑、交通等重点领域和煤炭、电力、钢铁、水泥等重点行业的实施方案，出台了科技、碳汇、财税、金融等保障措施，形成了碳达峰、碳中和“1+N”政策体系，并明确了相关的时间表、路线图、施工图。

随着气候变化问题的日益紧迫，全世界已经充分意识到人类社会未来发展必须与碳排放“脱钩”，在做好节能减排的同时，更多地利用可再生能源。同时，绿色经济带来的绿色产业发展正日益成为许多国家，尤其是新兴发展中国家，推动经济结构调整，实现经济快速发展的重要机遇。在这个过程中，5G、云、大数据和人工智能等关键数字技术，正扮演着越来越重要的角色。放眼全球，越来越多的国家已经从过去被动应对气候变化，转变为主动拥抱绿色发展，人类社会正在加速迈向绿色发展的新时代。🌱



# 2



## VISION FOR GREEN DEVELOPMENT 2030 绿色发展 2030 展望

展望未来，绿色发展将在能源、工业、交通、建筑、数字基础设施等各个方面改变人类的工作与生活。

## 可再生能源成为主流

未来，近海海面将遍布漂浮式光伏电站，也将耸立着直径超200米的风机；广袤的撒哈拉建立起全球最大的光伏发电厂。超级电网将电力从一个大洲输送到另一个大洲。依靠兼具融合、开放、智能等特点的能源云，虚拟电厂将打破传统的发电厂和用电用户边界，协调分布式风电、太阳能光伏、存储系统和其他灵活的负载；储能技术、无线充放电、消费侧双向融合等将有望进入千家万户。

## Renewable energy is going mainstream

### 可再生能源成为主流



未来，随着数字化、智能化技术的发展和大规模应用，电力在生产环节、输配电环节、用户端和储能端都将实现测量、控制、调节等全方位、自主、协同发展。此外，储能技术和分布式绿色电源的发展将使能源流和信息流双向互通，大幅度提升能源系统的可靠性、稳定性和安全性。

电力生产环节将越来越绿色化、低碳化。未来十年，清洁能源的使用将日益广泛，传统化石能

源将逐步被风电、光伏、水电等可再生能源发电代替。到2030年，全球可再生能源占发电总量比例将超过50%，光伏的度电成本将低至0.01美元，全球装机总量将超过3000GW，比2020年提升10倍以上。未来，输配电将更加智能化。数字技术可以有力推进输配电网络的智能运维、状态监测、故障诊断等综合管理能力，实现运行状态的全面感知，提高设备故障响应速度。运维效率也将获得大幅提

升，自主协同、自主检测、自主跟踪等将可以精准定位并迅速排除能源系统中的故障。虚拟电厂把屋顶光伏、小型风力电站，电动车、家用储能系统等联接起来，提供稳定的电力供应。

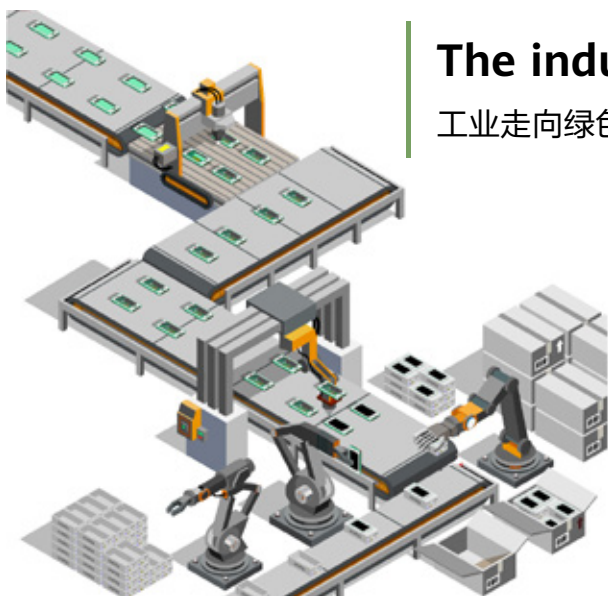
能源消费端的电气化将加速推进，交通、工业等化石能源的使用大户将逐步电气化，根据《智能世界2030》报告，电能占终端能源消费比重将从2020年的约20%达到2030年的30%。同时，通过数字技术精准快速的定位高能耗、高碳排放用电环节，用户能够更精细化地管理自身能源消耗，从而

更好地优化电力调度和匹配方案，达到提升用电效率，降低碳排放的目的。

此外，储能技术的进步和大规模应用，将成为能源体系的重要调节器，全球储能累计装机容量将从2020年的17GW增至2030年的358GW，增加20倍以上。储能技术将有效地解决风光水等可再生能源固有的不稳定、不连续、质量差等问题，并通过数字化技术与电网的双向融合，实现源、网、荷、储等各能源参与方互联互通，起到削峰填谷、需求响应、调峰辅助、平衡供给等作用，实现电网的灵活、高效、稳定可靠、绿色低碳。

## 工业走向绿色生产

未来，数字工厂里遍布的机器人将自主完成物料上线、生产制造、质量检测、下线封装、打包入库、出库装车等一系列工作。虚拟工厂中，全球的工程师、设计师、专家等将融合到同一个场景中，共同进行产品规划、设计、模拟等复杂的工作，甚至在数字工厂中完成整套产品规划。能够支持多人共创内容的平台使大家能够创建和仿真与现实世界高度贴合的虚拟3D世界。3D打印使模具不再是工业生产中的必需，数字化柔性生产可以直接省去模具制造、产线调整等环节，让消费者自己设计，自己生产，打造全新的个性化生产模式。供应链上下游实现完全透明化和可视化，企业可实时监控产业链上下游的物质流和信息流。



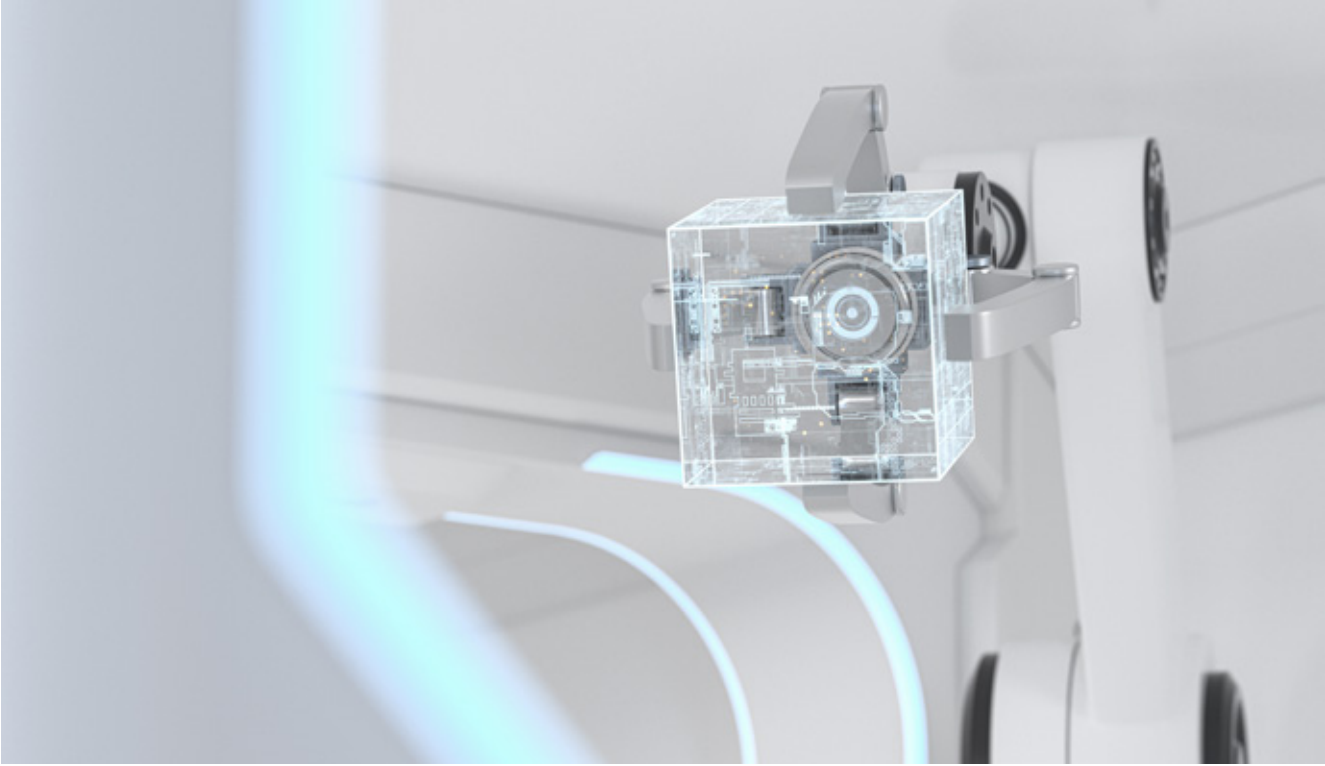
### The industrial sector will go green

工业走向绿色生产

2030年，  
每万名制造业员工  
将与 **390** 个机器人共同工作

未来，数字化技术将推动机器人越来越智能化，机器人的使用将更加广泛。例如自主移动机器人通过丰富的环境感知能力、基于现场的动态路径规划能力、灵活避障能力、全局定位能力等

在生产和仓储领域实现货物的智能拣选、移动、出入库以及上下生产线，将极大地减少相应的人工成本。根据华为《智能世界2030》报告预测，到2030年，每万名制造业员工将与390个机器人共



同工作。

未来，数字化柔性生产将有望改变从生产到消费的全过程。数字技术提供的海量数据，使企业可以更加直接和精准地了解客户需求。同时，柔性生产中的模块化设计可以让消费端更多的参与到生产过程中。通过对产品设计、任务分配、设备功能、物流配送等环节的柔性化重塑，实现以消费端为主的新生产模式。数字化柔性生产将大大缩短产品研发周期，提高周转，降低能源、资源浪费，实现绿色低碳化发展。

未来，工厂将越来越数字化、智能化、绿色化。通过5G、人工智能、物联网、云计算、数字孪生、区块链等数字化技术在工业制造领域的应用，生产过程将可以实现物质流、能量流、信息流等的采集监控、智能分析、精准控制和精细管理。通过智能化生产和管理，智慧工厂将极大地提高制造和运维服务效率，推动生产、运维、质检、封装等全流程碳减排。

未来，供应链也将会在数字化的助力下，变得更加透明和可预测。通过采集和分析供应链中的上下游订单、物流以及库存等相关信息，将可实现产业链上下游订单、生产、物流信息透明化和可视化，降低供应链风险。同时，通过各类传感器传输的仓库的温度、湿度、灰尘、烟雾浓度等信息，企业将可以实时监控运营环境，并利用IoT、RFID、二维码等技术，对货物出入库信息进行自动识别和登记，掌握存储货物状况。此外，利用全球定位系统、人工智能、5G、IoT等技术，对接物流系统中各种交通工具的运营数据，企业将能够对移动过程中的货物进行实时监控，迅速优化运输资源和路线，确保物资准时、安全地到达。

未来，随着云计算、物联网、大数据、人工智能等数字技术的引入，供应链将向供应网转型，让每个环节所需的上游物资都有多重的供货备份，并可以通过多路径送达。通过加强企业内外部的互联互通，打造多触点的协同供应生态系

统，杜绝链条中“最弱一环”效应。

## 交通全面电气化

2030年，1.45亿辆具有自动驾驶功能的新能源汽车奔驰在世界各地，提供共享服务，数以万计的采用翼身融合技术的新能源民航飞机在全球的机场间穿梭。新能源货轮活跃在世界各个港口之间，海上光伏电厂为其提供绿色能源补给。交通互联网使新能源汽车能够与公共交通、共享自行车服务、共享摩托车服务、人行道结合，轻松通过各种交通方式转接运送乘客和货物到达最终目的地，从而减少拥堵和碳排放。

### Comprehensive electrification in transportation

#### 交通全面电气化

2030年



**1.45** 亿辆  
新能源汽车

2030年



**1** 亿台  
全球私人充电桩

2030年



**680** GW  
汽车储能

未来的交通出行，将加速向电气化领域转型，尤其在电动汽车领域，车、桩、网、储智能协同，实现更安全、更绿色、更智慧的出行。

未来，在完善的电力基础设施和电池技术快速进步的推动下，清洁电能将成为道路和铁路交通中最主要的能量来源。其中电动汽车，既是交通工具、用电设施，同时也是储能设施，将成为电力系统与交通系统融合的关键枢纽。随着电池成本下降和性能提升，以及自动驾驶技术的快速发展，电动汽车将获得越来越多消费者的青睐，预计到2030年，全球电动汽车的销量将有可能突破4000万辆，与燃油车二分天下。

交通出行的绿色发展离不开相关的支持体系。以电动汽车为例，未来，电动汽车充电基

础设施将快速发展，据国际能源署（IEA）和相关报告预测，到2030年全球私人充电桩预计保有量将达1亿台，总充电功率达1500GW，总充电量达800TWh。其中公共充电桩预计保有量达2000万台，总充电功率达1800GW，总充电量达1200TWh。

随着包括WiFi设备、微波检测设备、北斗定位地面站等设备的大规模部署，以及自动驾驶、5.5G、6G通信感知融合技术的广泛应用，公路和铁路网将在多维感知、信息互联互通、设备自动控制、自主决策、智慧管控等诸多方面实现跨越式发展，如实现厘米级的定位精度，毫米级的成像分辨率等。公路、桥梁、信号灯等交通基础设施将能够实现彼此间的信息

互联互通和自动控制，并与交通工具、交通参与者协同联动，主动检测路网运行异常，及时上报道路拥堵、设备故障，并联网发布跨区域交通信息及事故信息。同时，车辆智能化水平的提高，加之路网运行的全面感知能力，车、路有望实现一体化运行监测，在发现公路通行异常后，可自主实施车路协同、区域路网协同管理、出行信息服务等智能服务。

随着储能技术的发展和电网的智能化与灵活性

提升，微观的储能单元如电动汽车等将全面参与能源系统双向互动。国际能源署（IEA）于2021年4月发布的《全球电动汽车展望》报告预测，未来10年，全球电动汽车保有量将持续增长，2030年将达到1.45亿辆，相当于2020年储能装机的40倍，汽车储能规模达到680GW。届时，作为负荷具有高度灵活和可调节性储能单元的电动汽车，将可以自主参与电力市场双向交易，不仅降低充电时对电网的影响，还可以为电力系统提供更加灵活和分布的资源。

## 未来建筑进入零碳运行

到2030年，全球新建建筑将主要为零碳运行建筑。通过建筑设计的改良、节能环保新材料的使用，充分利用自然界的风和光，零碳运行建筑将可大幅度减少电灯、空调、暖气等使用。利用太阳能、风能和有机垃圾发酵产生的生物质能等能源，将使建筑达到“零能耗”。利用屋顶收集的雨水冲洗马桶或灌溉植物，减少对自来水的需求，将使建筑达到“零废水”。将无机垃圾制作成家具或建筑材料，将实现“零废弃物”。

### Future buildings will operate at net zero carbon

未来建筑进入零碳运行

2030

新建建筑进入  
零碳运行时代



2050

100% 的  
建筑将实现零碳运行



根据全球建筑建设联盟发布的《2021年全球建筑建造业现状报告》显示，2020年建筑业占全球终端能源消费量的36%，占与能源相关二氧化碳排放量的37%。与此同时，全球每年新建筑还在快速增加。根据国际能源署和联合国环境规划署发布的《2019年全球建筑和建筑业状况报告》，到2060年，全球人口有望达到100亿，其中三分之二的人口将生活在城市中。要容纳这些城市人口，需要新增建筑面积达2300亿平方米，相当于现有建筑存量翻倍。如此巨大的建筑需求，意味着建筑业温室气体排放量将持续上升。

预计从2030年起，所有新增建筑将全面进入零碳运行时代。到2050年，100%的建筑将实现零碳运行。

通过数字化和智能化技术的深度应用，零碳运行建筑将可建立一种基于无人化、感知型的自动、智能交互系统。通过传感器实时监控并获取整个建筑的运营环境和条件数据，将照明、电表、水表、水泵、供暖、火灾报警器和冷水机组等核心系统与控制系统联系起来，通过云端智能的复杂算法，零碳运行建筑将自动做出节能的运营决策。例如，楼宇自动控制系统可以根据入住率，决定何时打开和关闭大楼中不同区域的空调、照明、电梯、通道和遮阳等设备。未来的零碳运行建筑也将有更高的舒适度。比如自动控制系统可以将内部温度保持在宜人的水平，而新型材料的运用可以减少外部噪音污染，帮助住户更好的入眠。

## 绿色数字基础设施成为基本要求

2030年，根据《智能世界2030》报告，联接数量将达到2000亿，通用计算总量提升10倍，AI计算总量提升500倍。可再生能源成为数字基础设施的主流供能方式，数字基础设施运维全面自动化，通过神经网络、知识图谱和领域迁移等技术，数字基础设施大幅提升运维效率，不仅可以代替人工解决大量重复性的、复杂性的计算工作，还可基于海量数据提升数字基础设施的预防和预测能力，通过数据驱动差异化的服务模式，使能高度自动化和智能化的数字基础设施运营。



## Green digital infrastructure is becoming a basic requirement

绿色数字基础设施成为基本要求

2030年，数字基础设施能效将提升 **100** 倍



构建全面绿色低碳化、柔性高效化、智能化的数字基础设施将成为未来发展的重点领域。

未来的数字基础设施将实现主流供能方式绿色低碳化，风电、光伏、水电等可再生能源将成为普遍的供能方式。尤其是分布式、小型化的风电和光伏将在2030年为超过80%的数字基础设施供电，比如在数据中心园区和屋顶建设分布式光伏电站，或在周边区域建设大型光伏、风电或其他清洁能源电站，直供数据中心。此外，储能技术将在数字基础设施中广泛应用，不仅解决了可再生能源不稳定等问题，还可实现数字基础设施与智能电网的双向供电，实现数字基础设施的商业价值最大化。随着新材料、新器件、新架构、新算法、新理论的应用，数字基础设施的能效也将提升百倍。

未来的数字基础设施建设将更加柔性高效。不同于目前数据中心大部分为传统室内站建设模式，未来的数据中心将呈现以柜替房、以杆替柜的多元建设模式。此外，数据中心传统混凝土的建筑也将被预制装配式建设模式代替，数据中心的建设和扩建将更加灵活高效、占地更少、建设周期更短、建设成本更低。1000个机柜的数据中心过去可能需要20个月，未来可能只需要数月即可建成，满足业务快速上线要求。

随着大数据、人工智能、神经网络等技术的快速发展，数字基础设施的运营维护将实现智能化和自动化。海量的数据和更加智能的数字基础设施将具备预防、预测能力，可以实时、迅速地对运营过程中出现的问题进行干预，大幅度降低运营维护成本，减少运营维护时间，提升响应速度，增加可靠性，提高数字基础设施利用率和运营收益。



## 零碳生活成为新时尚

### Low-carbon living is gaining traction

零碳生活成为新时尚



#### E-Health

2030 年全球**在线医疗**达到 **4318** 亿美元，增长超过 **10** 倍

#### Online Education

2030 年预计**中国在线教育**将增长 **23** 倍



#### Digital Tourism

2030 年使用**虚实结合的增强现实和虚拟现实**进行**数字旅游**的用户数达到 **10** 亿





2030年，依托物联网、人工智能、高灵敏的生物传感器、云端存储的海量健康数据，以及大型医疗设备的小型化和便携化，实现居家远程医疗成为可能。患者足不出户就可以在线与医生问诊，并获得线上电子处方。根据美国联合市场研究公司报告，预计到2030年，全球远程医疗市场规模达4318亿美元，增长超过10倍。远程医疗将大幅度减少患者在家与医院之间的交通需求，尤其是将免去边远地区患者千里迢迢到大城市看病的奔波之苦，在方便医患双方的同时，促进医疗的低碳发展。

2030年，在线教育将更加普及。随着人工智能、大数据、云计算、物联网、虚拟和增强现实等技术的进一步发展，在线教育可以突破时间和空间的限制，万里之外的学生也可以享受与本地学生一样的名师指导。根据摩根士丹利分析师报

告，预计到2030年，中国在线教育将增长23倍，不仅可以将优质的教育理念和内容，带给更多的学生，尤其是偏远地区的学生，还可实现温室气体减排，助力绿色教育发展。

2030年，数据将构建出众多旅游景点的数字空间，这些数字空间与物理世界共同组成了一个虚实融合的世界。在虚拟旅行中游览“真实的”山川、流水，浏览名胜古迹的同时还可以对话先哲，一起悟道。根据《智能世界2030》报告，2030年，各种虚实结合的增强现实和虚拟现实用户数将达到10亿。我们预计这些用户都将使用数字旅游服务，也就是说，2030年使用虚实结合的增强现实和虚拟现实进行数字旅游的用户数达到10亿。🌱

# 3

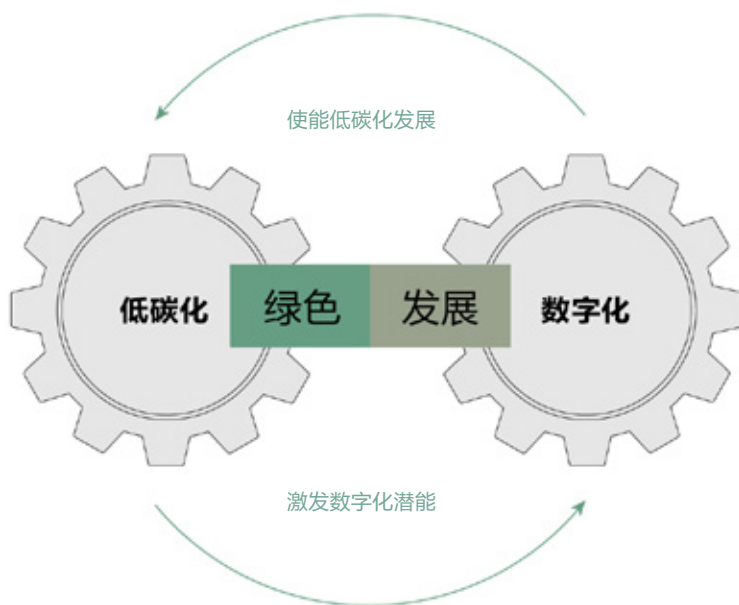


DIGITALIZATION  
AND DECARBONIZATION:  
POWERING GREEN DEVELOPMENT  
数字化、低碳化使能绿色发展

## 数字化和低碳化是驱动绿色发展的双引擎

### Digitalization and decarbonization: Two drivers of green development

数字化和低碳化是驱动绿色发展的双引擎



绿色发展已经成为全球经济发展和社会进步的基本要求。当前，数字经济正在成为推动全球经济发展的关键引擎，其背后是千行百业数字化转型的汹涌大潮。然而随着全球气候变化问题的日益严重，经济的发展和社会的进步，还必须以不破坏自

然环境为前提，可持续的绿色发展的背后是千行百业低碳化转型的迫切需求。因此，进入绿色发展新时代，一方面要通过数字化谋发展，另一方面则需要通过低碳化确保发展的可持续性。数字化和低碳化是推进绿色发展的双引擎。

## 数字化使能低碳化发展

物质、能量、信息是世界构成的三要素，它们自身的动态流转，以及相互之间的协同约束关系，是我们把握未来绿色发展挑战和方向的出发点。当今世界正在经历的以人工智能、云计算、大数据、物联网、5G等为代表的数字技术变革，通过信息流提升物质流

和能量流的效率，从而达到减少碳排放的效果。放眼未来，数字技术将在各行各业推动能源结构转型、效率提升，是实现绿色低碳化的重要途径和抓手。

根据全球电子可持续发展倡议组织（GeSI）发布的《SMARTer2030》报告显示，未来十年内数字

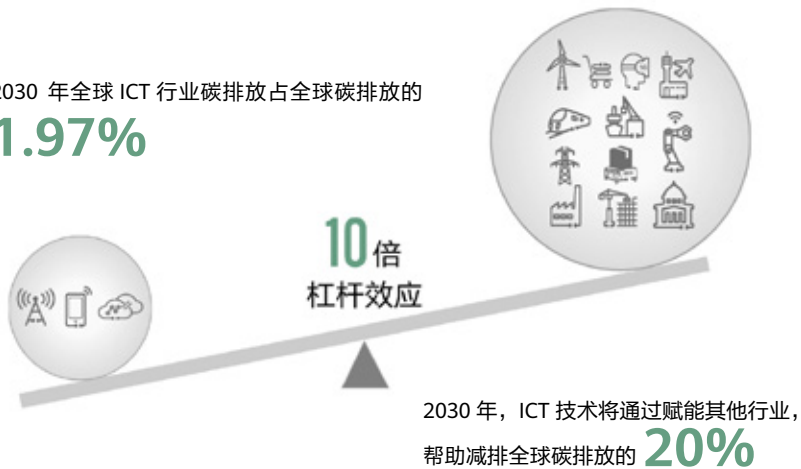
技术有望通过赋能其他行业贡献全球碳排放减少量的20%，是自身排放量的10倍。

## Digitalization enables decarbonization

数字化以10倍杠杆效应使能低碳化

2030 年全球 ICT 行业碳排放占全球碳排放的

**1.97%**



数字技术主要通过网络化、数字化、智能化的技术手段来使能行业低碳化转型，同时提升政府监管和社会服务的现代化水平，促进形成绿色的生产生活方式，最终推动经济社会绿色发展。

数字技术在降低碳排放、碳移除和碳管理方面都将发挥重要作用。所谓的碳中和主要包括碳的排放、碳的移除。如果碳的排放和移除相等，即可实现碳中和，在这个过程中始终伴随着碳的管理。在降低碳排放方面，数字化在能源供给侧和消费侧都发挥重要作用。能源供给侧包括传统能源和清洁能源，对传统能源来讲，数字技术提升供能效率，降低环境破坏程度；对于清洁能源，数字技术助力解决清洁能源消纳与稳定两大问题。能源消费侧包括工业、建筑、交通和生活，数字技术使能工业智能化绿色制造和能源管理，使能建筑全生命周期降碳，促进交通、提升运输组织效率。在生活方面，数字技术使能智慧医疗、教育、文旅、金融等。在碳移除方面，数字技术提升



生态固碳效率。碳管理方面，碳核算监测、碳交易、碳金融等也离不开数字技术。

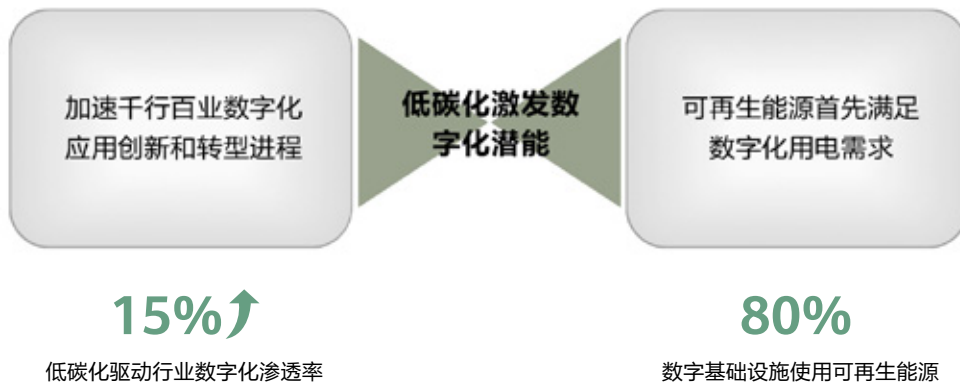
针对当前业界提到的数字化回弹效应<sup>4</sup>，其本质是非技术的，根源在于经济学和人类行为，具有动态性和系统性。对于能源、交通、建筑和工业的数字化转型，数字技术本身是中性的，无论其带来的效率提升和成本节省的大

小，这些碳排放密集型行业始终需要通过碳交易、碳价格等系统级碳减排机制进行强度和总量双控。另外，数字技术赋能传统行业，实际上是直接或间接改变了人的行为以及人与人、人与组织之间的相互关系，在此过程中通过如碳普惠激励机制等的合理政策设计引导，也可以减少数字回弹的负面影响。

## 低碳化激发数字化潜能

### Decarbonization unleashes the potential of digitalization

低碳化激发数字化潜能



低碳化发展反过来会进一步激发数字化的无限潜能。主要表现在两个方面：一方面，社会对绿色低碳发展的迫切需求，在促进数字产业本身可持续发展的同时，正在倒逼各行各业进一步加速数字化应用创新和转型的进程。特别是传统行业的低碳发展，除了自身高碳高污染工艺需要技术革新外，还需要解决供需矛盾、资源利用率低等导致的资源浪

费问题。针对这类问题，数字化转型是重要手段，各行业生产过程中产生的数据经过处理和传输成为可流通的信息和知识，通过对行业数据的智能化处理，可提高生产效率，并且构建以数据信息为基础的共享合作生产关系，催生共享经济、循环经济等新商业模式，提高能效和资源效率。

另一方面，低碳化驱动下产生的可再生能

<sup>4</sup>回弹效应指当一个产品或者服务的效率提升后越来越便宜，在其他条件不变的情况下，需求就会增加。很多人因此担心，由引进数字化产生的碳减排就可能会被部分或者全部抵消掉，甚至产生更多的碳排放，这就是数字化的回弹效应。



源，可以首先用来解决数据中心等数字基础设施的电力需求，这部分用电增量可通过购买可再生能源配额解决，或者结合数据中心负载特点和合理的供电系统设计，部署现场可再生能源发电。这样，不仅可以解决数字基础设施能耗增加的问题，还可以降低数字化成本，进一步推动数字化的大规模应用。

中国的“东数西算”工程，通过加大数据中心

在西部布局，可以就近消纳西部可再生能源，并利用规模优势，提高算力使用效率，降低单位能耗。

“东数西算”工程不仅很好地解决了数字化带来的“回弹效应”，还可以进一步满足各行各业，尤其是东部产业对数字化算力的需求。同时，规模化带来的成本降低，又可以使更多的行业 and 用户更经济地利用数字技术，从而赋能行业应用更多低碳技术和方案，形成持续的正向反馈。

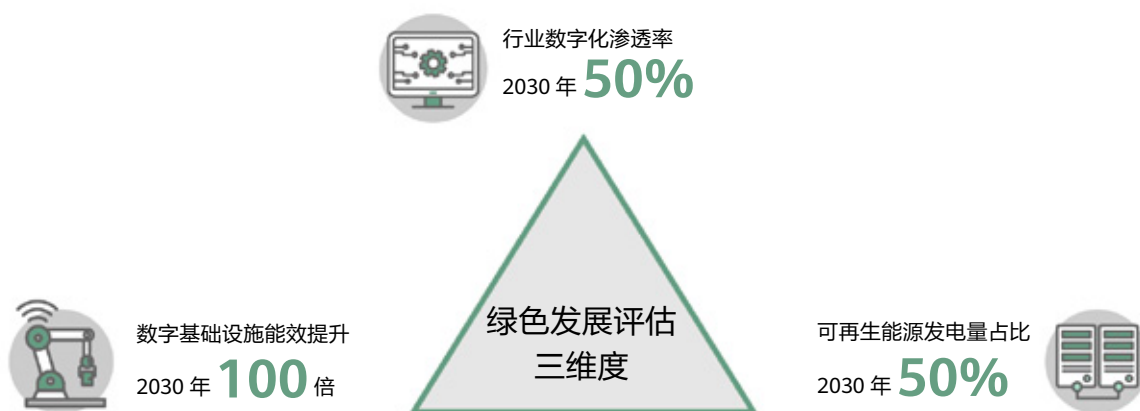
## 数字化与低碳化相辅相成，共同驱动绿色发展

数字化和低碳化相辅相成、协同发展是经济社会高质量发展的内在需求。为了更好的评估数字化和低碳化对绿色发展的促进作用，我们提出从数字基础设施能效提升、可再生能源发展和行

业数字化转型程度三个维度，对绿色发展进程进行评估。我们预测，到2030年，数字基础设施能效提升100倍，可再生能源发电量占比超50%，行业数字化渗透率达到50%。

## Areas for assessing green development

### 绿色发展评估维度



数字化与低碳化的结合具有深远意义，依托于数字基础设施能效的不断提升，以及可再生能源的不断发展，数字技术将以更强大的动能推进千行百

业的数字化和低碳化转型，在坚持绿色可持续发展目标的基础上，提高产业经济的发展效率和质量，加速推进人类社会的绿色发展进程。🌱



# 4



THREE INNOVATION PATHWAYS:  
HOW DIGITALIZATION AND  
DECARBONIZATION POWER  
GREEN DEVELOPMENT

**数字化、低碳化使能绿色发展的三大创新方向**

随着数字化加速发展，数字基础设施规模不断扩大，根据《智能世界2030》报告，预计2030年联接数量将达到2000亿，通用算力增长10倍，人工智能算力增长500倍，需要不断提升数字基础设施能效，来应对能耗增长。

当前全球可再生能源发电量占比约28.6%，要在2030年实现可再生能源发电量占比50%的目标，需要依托数字化技术和电力电子技术的融合创新。

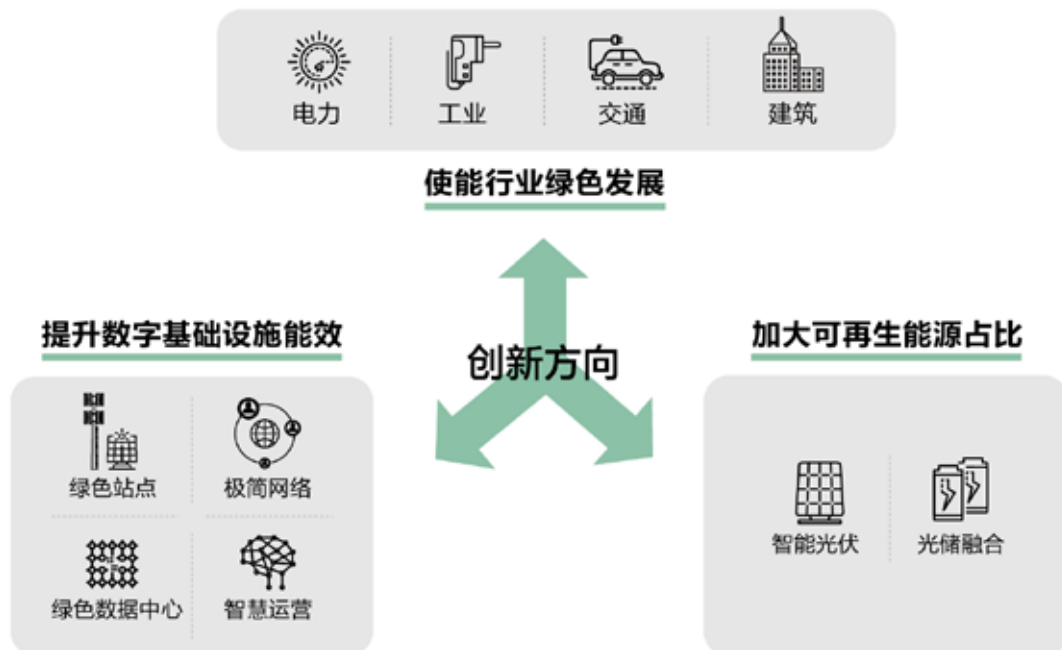
数字技术在通过提升效率促进人类社会快速发展的同时，也使能了全社会的低碳化，但当前行业数字化渗透率仅20%，需要持续提升行业数字化渗透率，使能行业绿色发展。

要解决上述挑战，需要在提升数字基础设施能效、加大可再生能源占比、使能行业绿色发展等方向进行持续创新，加速全社会的绿色发展。



## Three innovation pathways of green development

绿色发展三大创新方向





## 方向一：提升数字基础设施能效

为了持续提升数字基础设施的能效，需要在站点、网络、数据中心、运营等维度进行创新。在站点维度，要通过理论、材料、器件、架构的创新，比如通过以无源补有源、以光补电的方式持续提升设备能效。在网络维度，要持续通过系统架构，软

件节能创新等提升整体能效。在数据中心维度，要通过 L1 到 L3 多维创新，实现最优能效。在运营维度，要通过指标体系评估、低碳自智网络，牵引用户转向高能效基础设施，发挥数字基础设施的最佳能效。



## Improving the energy efficiency of digital infrastructure

提升数字基础设施能效

### 智慧运营

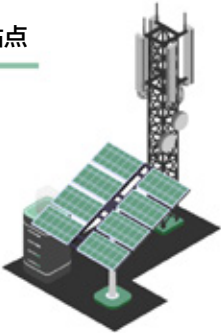


**网络运营：**  
通过指标体系，精准衡量与优化网络能效



**用户运营：**  
通过用户迁移释放老旧设备和资源，  
提高能效

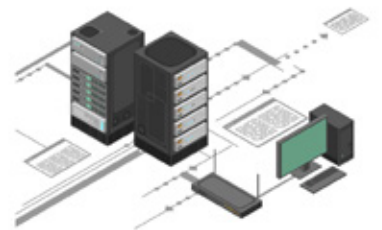
### 绿色站点



### 极简网络



### 绿色数据中心





## 通过理论、材料、器件、架构的创新，打造绿色站点

按场景来看，站点有无线站点、有线站点等。站点能耗主要有两部分，一部分是设备配套系统，如空调、电源等的能耗，一部分是设备本身的能耗。站点配套系统能效提升主要创新方向有站点可再生能源、重构站点形态等。设备能效提升创新方向聚焦在提升设备使用阶段的能效。站点设备80%的碳排放发生在使用阶段，设备原材料提取阶段碳排放占比约11.5%，设备生产、运输阶段碳排放仅占比4.6%。

### 无线站点：原生高效设备、站点极简架构，系统性、多维度提升能效

未来十年，为了满足大众随时随地良好网络体验的诉求，为了万物互联和支撑社会的数字化转型，无线网络流量仍有百倍的增长需求。在全

球各行业绿色化的背景下，为了避免移动网络的功耗随着流量线性增长，需要全链路全周期的原生绿色站点，实现比特能效百倍提升。

过去移动基站设备的设计，以提升性能作为主要目标。面向未来，设备能效要作为基础因素考虑，需要从能量传播的全链路上创新绿色节能关键技术，如能源供给侧的站点配套设备，能源使用侧的基站主设备，甚至帮助终端节能的无线绿色空口技术。

站点极简化的设计，通过整站视角的系统化设计，从各节点转换效率、供电链路的线路损耗以及空调等配套设备的功耗优化等方面提升站点供电链路能效。通过站点架构创新，如BBU集中化、全室外免空调站点等，减少空调等非功能性设备的使用。通过重构站点形态，站点从机房变机柜，机柜变挂杆，站点能效从60%提升至97%。对于存量机房，采用精确制冷、升压供电方式实现免增机房、免换线缆、免增空调改造，机房能效提升至80%；对于新建场景，采用以机柜替代机房，免

土建机房，能效可以从60%提升至90%。此外，针对差市电/无市电通信站点，充分利用光伏发电替代油机发电，实现站点绿色的普惠供能。杭州移动、移动设计院对室外站点进行极简改造，电源效率从89%提升到96%，同时利用节省的空间安装光伏发电，单站每年减少碳排放8吨。

原生高效设备，通过模块形态、架构、工艺、材料、算法等多维度多学科综合挖掘时频空码功率等多维度节能机会，不断提升设备能效。通过“无源补有源”，从射频有源功率提升，逐步向射频有源联合无源口径综合提升演进是未来AAU功耗降低演进方向之一。扩大天线口径后，采用更小的射频发射功率即可实现原来需要大功率才能实现的小区覆盖，大幅降低基站能耗。另一方面通过提升设备的动态能力也是重要方向之一，在不同的忙闲情况下设备均能达到最高比特能效。除了上述能效提升手段，还需要进一步研究其他高效技术与理论，如无线光基站，语义通信，智能超表面等。

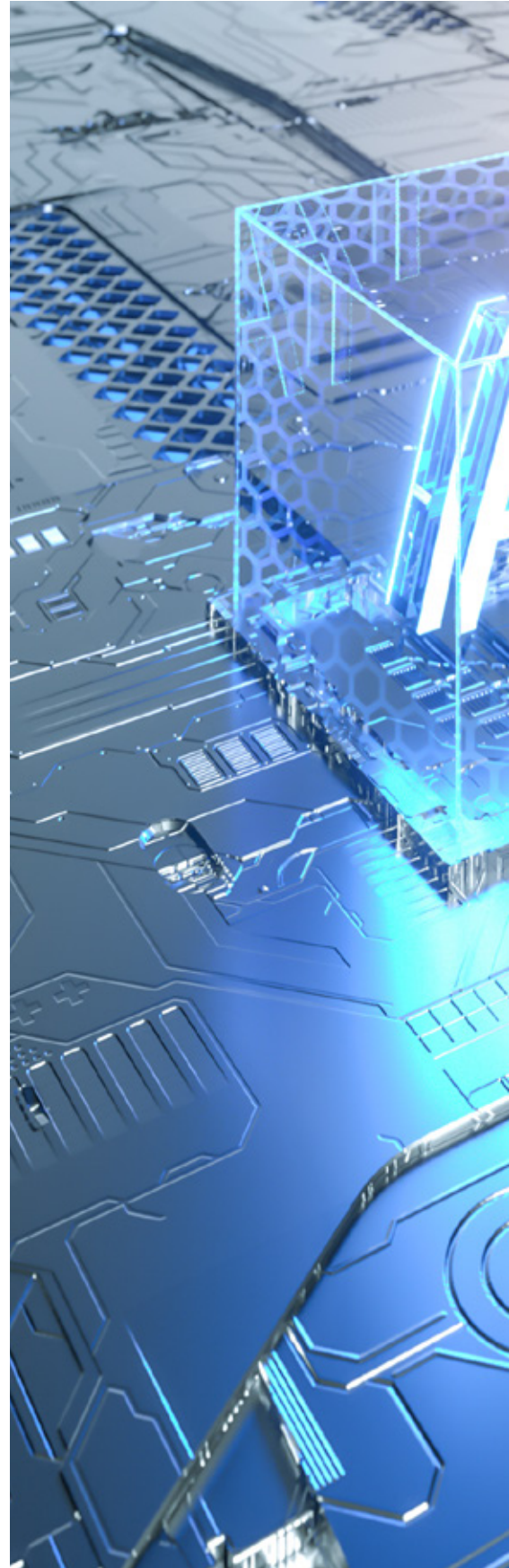
## 有线站点：通过以光补电、智能休眠等技术创新，实现能效提升

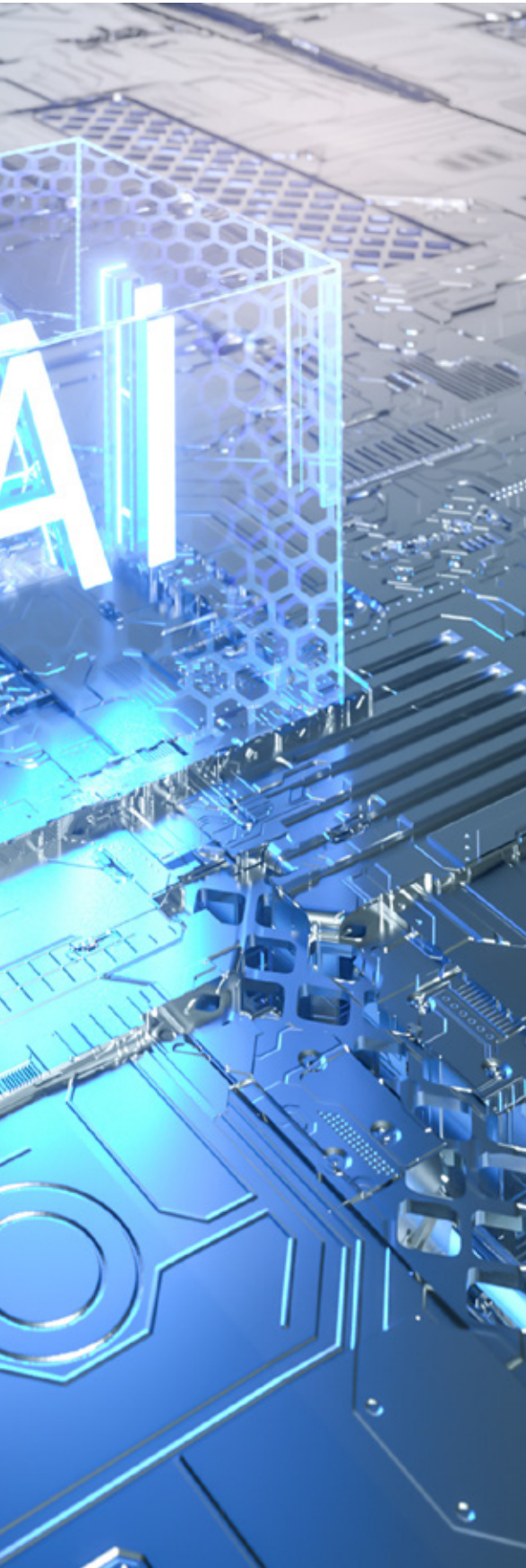
未来10年，全球千兆以上及万兆家庭宽带网络渗透率分别达到55%和22%，家庭月均网络流量增长8倍，达到1.3TB。为了降低因此带来的能耗增长，需要持续提升有线站点的能效。有线站点能效提升，当前通过无源替有源的方式，在家庭场景使用FTTH技术全面替代铜线/Cable接入，预计提升能效60%，在园区场景使用POL技术，预计提升能效100%~150%；通过低维化、小型化的全光交换技术，构建广覆盖的全光交换站点，相比电交换，能效提升80%~100%。未来仍需通过以光补电的方式持续提升设备能效，比如通过光电混合结构性提升30%的设备能效。此外设备动态休眠技术也是关键的研究方向，通过休眠技术可提升约10~20%的设备能效。

### 以光补电：通过芯片出光、光交换实现设备能效显著提升

不同站点设备，芯片/Serdes/光电转换模块等关键器件的功耗在整机功耗占比达60%-80%。解决这个问题的关键技术是光电混合，包括共封装光学（CPO）和光交换等。

传统架构中，光模块通过Serdes与设备芯片连接，走线较长，功耗约17~30pJ/bit。共封装光学（CPO）把光收发器与设备芯片集成在一个CMOS衬底上，省去CDR、DFE/CTLE/FFE等功能，有研究表明，基于CPO可以把数据传输能耗降低到





6pJ/bit左右，随着新光电材料的应用，可降低到1pJ/bit以下，意味着采用CPO可以提升80%的Serdes能效。

过去提升交换芯片能效的手段主要是通过制程工艺进步，每一代提升约30%，但随着摩尔定律及登纳德缩放定律的失效，工艺进步带来的能效收益跟不上带宽的增长。从28nm到5nm，带宽增长了50倍，能效仅提了5倍，使得单设备功耗成倍攀高。因此，业界开始研究分组光交换芯片来进一步提升芯片能效，有研究表明，可带来50%的能效提升。

预计到2025年之前，共封装光学就会实现商用。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年之前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。在更远的未来，产业还将出现采用光计算和光RAM内核与通用计算内核混合的芯片级产品。

#### **智能休眠：引入人工智能实现高效动态休眠，平衡体验与能耗矛盾**

当网络设备或部件处于空闲和轻载时，可通过将其关闭或进入低功耗模式的方式来节能。这就需要在设备开启和关闭状态之间引入一种新的“休眠”状态。当网络设备空闲时，将其快速切换至休眠态，以减少设备无效的能耗浪费。网络设备各个部件，包括光模块、转发模块、交换模块、缓存等都可以应用动态休眠机制，做到不同粒度的节能。此外，设备和模块需要相应的流量自适应控制技术，通过感知流量模式来制定合理有效的休眠策略，找出最佳的休眠进入和唤醒的条件和时机，避免因模式切换导致的报文丢失和额外的模式切换功耗开销。

## **通过系统架构，软件节能创新，构建极简网络**

#### **网络架构：按照业务本质重构，基于光底座打造极简网络**

网络架构决定了站点和设备的数量，设备间联接的方式以及联接的介质，对网络能耗产生决定性的影响。比如，采用64T64R规划5G Massive MIMO网络，在达到相同的覆盖目标条件下相比于32T32R，站点数量减少约25%；将低维度光交叉延伸到边缘，预计可以降低约55%的能耗。

在追求网络架构极简，不断提升网络能效的同时，也需要注意网络架构本质上要服务于业务，不能因为过于简化而影响用户使用体验。未来网络要根据业务本质进行重

构，在100%光纤到站和支持全光交叉（OXC或者ROADM）的光底座基础上，构建接入（有线/无线）、承载、核心端到端网络，通过FlexE、NHP等切片技术，提升网络利用率，实现网络的绿色低碳。

### 网络软件节能：节能路由实现网络资源效率最优，不断逼近“0bit，0watt”

网络流量调度的方式同样对网络能耗产生比较大的影响。比如，基于流量潮汐效应的动态调度，以“0bit，0watt”为理想目标，在确保网络连通性和服务质量前提下，实现网络的功耗随着网络流量的减少而降低，最小化传输特定网络流所需的设备能耗。又如，节能路由技术，其思想是根据网络负载的变化计算和配置节能路由路径，将空闲的冗余网络资源休眠来实现网络能耗节省，具体技术方案有弹性树节能路由(Elastic Tree)、通用拓扑节能路由(ERGT: Energy-aware Routing for General Topologies)。据分析，在网络负载为50%时，利用节能路由技术可使能耗下降约24~29%。

## 通过 L1 到 L3 多维创新，打造



## 绿色数据中心

全球数据中心能耗约占电力需求的1%，通用计算的总能耗每3年增长1倍，碳中和目标将驱动数据中心算力提升百倍的同时提升百倍能效。数据中心物理基础设施（L1）能耗占比约55%（其中空调约40%，电源约10%，照明约5%），IT硬件（L2）和软件（L3）的能耗占比约45%，需要对数据中心物理基础设施、IT硬件和软件的能效进行提升。

提升数据中心物理基础设施能效，通过重构温控、重构供电，对数据中心进行绿色升级。重构温控，一方面，通过间接蒸发冷却技术最大限度利用自然冷源；另一方面，将人工智能用于数据中心温控，通过数据中心内的传感器收集温度、电量、泵速、耗电率、设定值等各种数据，再对这些数据做人工智能分析，用分析的结果调整数据中心的运行模式和控制阈值，从而实现降本增效，降低数据中心PUE。重构供电，对供配电系统全链路可视可管，基于大数据分析，优化设备、空调、电源、照明的使用效率，实现PUE 8~15%的降低。

提升IT软、硬件能效，在芯片上，通过新的封装和架构持续优化，不断提升算力密度、存力密度和能源效率。在先进计算架构上，以数据为中心显著提高数据交换效率。在网络上，通过无损以太技术提升2倍算力能效。

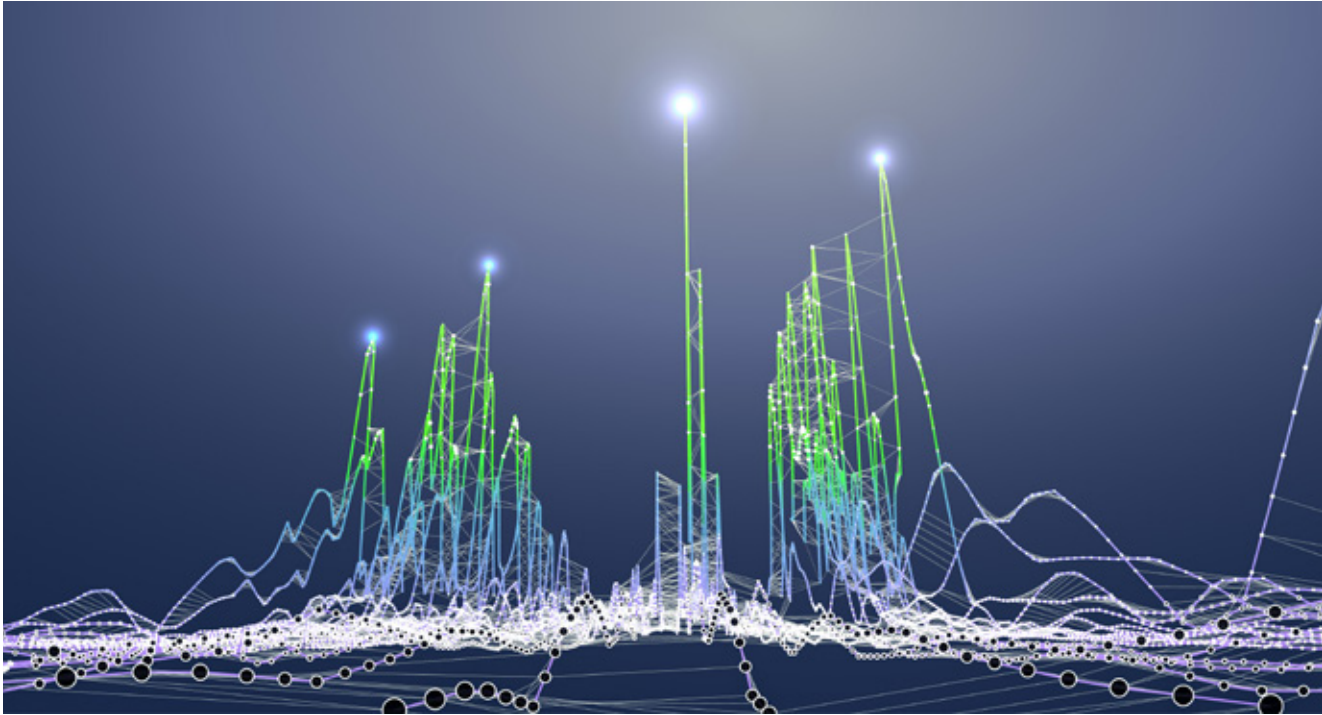
### 3D存储技术性能的综合表现远高于传统架构，能效提升5倍

新型存储技术在全闪存化，全闪存内存化方向演进，IEEE认为不久3D NAND Flash层数可扩展到600层以上，届时每一层将变得更薄，NAND单元更小，存储容量会更大。未来3D NAND Flash可堆叠到1000层。面向2030年，数据中心采用新型存储介质，能耗可降低70%，相当于每年减少碳排放2500万吨。

### 2.5D Chiplet芯片封装集成技术持续提升芯片算力，能效提升2倍

2.5D Silicon/FO Interposer + Chiplet技术可以有效提升Die良率、降低芯片成本，堆叠集成实现更大规模芯片性能，对比传统封装板级互连方





案单bit能耗降低至约1/2。预计2025年2.5D silicon/FO interposer尺寸将超过4 x Reticle，未来封装substrate（基板）预计会超过110mm\*110mm。更大尺寸的2.5D与substrate应用直接面临良率、交期、可靠性等工程难题，融合创新基板架构需求迫切。

### 3D芯片技术在芯片性能的综合表现远高于传统架构，能效数十倍提升

3D芯片技术在互连密度及带宽、芯片尺寸、功耗性能、芯片综合性能方面优势显著，是解决未来高性能计算、AI等关键场景芯片与系统集成的核心技术。

3D芯片在堆叠工艺方面需要采用小于10 μm甚至更小pitch超高密Bonding技术，3D芯片相对于传统2.5D封装在带宽及功耗性能优势显著，单bit功耗有望降低至1/10。更小尺寸TSV（Through Silicon Via，硅通孔）技术需要从材料、工艺基础技术深入持续探索。

### 以数据为中心的先进计算架构显著提高数据交换效率

未来数据将在最合适的地方，以最合适的算力来处理，减少数据搬移，提高整体系统的

性能。例如网络数据在DPU（Data Processing Unit，数据处理单元）上就近被处理，神经网络模型在NPU（Neural network Processing Unit，神经网络处理器）上训练；算力无处不在，硬盘、网卡、内存等外设开始逐渐具备数据分析和处理能力。计算将走向泛在的近数据计算（近内存计算、近存储计算、存算一体等），相比传统冯诺依曼架构，预计有着十倍以上能效提升。

此外，通过数据中心无损新以太技术，预计可降低47%的单位算力能耗。据实验统计，数据中心网络0.1%的丢包率会造成算力50%的损失，同时使计算时间拉长1倍，据武汉人工智能计算中心流体力学用例实测数据，完成同样任务，传统网络耗时375毫秒，0丢包以太网耗时198毫秒，相当于0丢包以太网的单位算力能效比传统网络提升近两倍。

最后，通过智能化实现数据中心运维的自动驾驶，基于大数据、AI进一步分析、优化能源、设备等使用效率。同时，借助能源管理云，数字孪生，实现数据中心碳足迹的实时可视。

华为云贵安数据中心是华为全球最大的云数

据中心，全部建成后可容纳100万台服务器。它将绿色和智能技术融入整体设计中，通过采用间接蒸发冷却技术最大化利用自然冷源，以及基于AI进行能效调优，实际运行时的PUE可低至1.12，每年可减少碳排放81万吨。

## 通过指标体系评估、低碳自智网络，实现智慧运营

当前整个行业并没有统一的标准来衡量数字基础设施的碳排放水平。一方面网络七国八制，不同国家和地区的运营商建网理念不尽相同，另一方面数字基础设施覆盖领域众多，数字基础设施的碳排放情况存在较大差异，很大程度上无法做到绿色高效运营。未来，需要重点聚焦绿色低碳运营场景能力构建，强化数字基础设施的“大脑”，通过指标体系评估、低碳自智网络进行数字基础设施的提效改造，打造通往净零排放之路。

### 指标体系：建立健全绿色低碳指标体系，统一标准，形成共识

未来，全行业需要共同定义数字基础设施绿色低碳指标体系，建立统一的衡量标准，形成产业共识，从而更好的管理数字基础设施能耗和碳排放水平。

2021年MWC，华为联合Informa发布《ICT碳净零排放之路》白皮书，提出网络碳排放强度指标NCI(Network Carbon Intensity)，将每单位数据流量的碳排放量作为绿色数字基础设施的衡量指标，倡导产业各方积极协同，共同完善网络碳排放管理指标体系，平衡网络流量、覆盖、网络KPI、用户体验与能耗的关系，牵引网络能效提升。

### 网络运营：使能网络“自动驾驶”，打造低碳自智网络

网络走向“自动驾驶”，面向L4/L5高级智能化方向持续演进。基于神经网络系统，积累绿色低碳数据和知识资产，打造低碳自智网络，实现网络自动、自愈、自优、自治，使能低碳新业务并实现极致客户体验、全自动运维、最高效资源和能源利用。

在自智节能方面，引入自动化、AI智能平台、机器人流程自动化等技术，采用多指标时序序列预测和深度神经网络算法，主动预测网络能耗，实现“节能策略自动化闭环、节能模型自演进”的能力。通过数据自采集、数据自分析、策略自下发、策略自维护，最大限度提高网络节能增益，实现能耗和KPI的最佳平衡。

### 用户运营：鼓励用户转向高能效基础设施，实现最优能效

用户使用高能效基础设施，单位时间内发送的数据将增加百倍千倍，可以更高效地处理未来智能世界的指数级业务，每比特功耗将进一步降低。与此同时，用户迁移之后，存量数字基础设施资源得以释放，可以充分发挥高能效基础设施优势，降低综合能源消耗。



## 方向二：加大可再生能源占比

### Increasing the share of renewables in electricity generation

加大可再生能源占比

数字技术+电力电子技术

提升光伏发电效率



数字技术重新定义电动汽车体验

加速超越传统燃油汽车



光储融合

加速光伏成为主力能源

发展综合智慧能源

推动建筑走向“光储直柔”，打造低碳园区





### **能源领域绿色发展的关键：能源供给清洁化，能源消费电气化**

从全球主要经济体的能源发展战略和实践来看，“解绑”化石能源依赖是实现能源领域绿色发展的关键。一方面，在能源供给侧，大力发展可再生能源，大幅提升光伏、风力发电比例，逐步取代化石能源发电主导地位；另一方面，在能源消费侧，通过引入绿电、加速各行各业电气化进程，大幅减少化石能源消费。

### **能源供给侧创新方向**

在能源供给侧，光伏发电将成为主力发电来源。电力电子技术和数字技术的融合将是构建以可再生能源为主体的新型电力系统的关键。

### **融合数字技术和电力电子技术，提升光伏发电效率**

#### **光伏电站系统电压向高压方向发展**

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，电站的系统效率可以有效提升。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。2030年光伏电站系统电压等级将向更高电压方向发展（当前主流系统电压1500V），进一步降低

LCOE。

#### **逆变器功率密度和效率大幅提升**

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。

#### **模块化设计成为主流，降低运维成本、提升系统可用度**

逆变器、PCS、储能等关键设备采用标准接口，灵活扩容，快速部署。设备内部交、直流分断部分、逆变部分、控制部分、散热部分也将全面模块化设计。可以实现免专家维护，极大降低运维成本、提升系统可用度。系统全模块化和设备全模块化将成为行业主流。

#### **全面数字化，深度应用人工智能技术**

数字技术与光伏技术融合，运维管理、生产管理和资产管理变得极简、智能、高效。光伏电站从一个哑电站变成一个有机的智能生命体。AI将代替专家职能，使能光伏电站自主协同优化。通过智能跟踪算法，让组件、支架、逆变器协同运行，找到最佳角度，释放最大潜力。精准定位故障，将运维工作量从“月”降低到“分钟”。全面提升发电效率和重构运维体验。助力电站生产力和安全性提升。预计2030年光伏电站应用AI



技术比例达到90%。

### 光伏发电主动支撑电网频率、电压波动，保障电网安全稳定运行

光伏发电技术助力增强电网韧性。光伏发电具有波动性和间歇性的特征，接入电网发电时需常规电源提供调峰和备用等辅助服务才可以满足电网调度的要求。大量的光伏发电接入带来一系列新的系统问题与挑战，如系统惯量、频率调节能力降低，系统电压调控能力减弱，故障与震荡特性发生重大变化，会让电网越来越“脆弱”。这就需要新能源也要能模拟传统火电厂、水电厂同步发电机组的技术指标，主动支撑电网频率、电压波动，保障电网安全稳定运行。光伏发电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，推动光伏发电技术指标向火电靠拢，光伏发电技术有效提升对新能源系统运行的主动支撑和并网友好性能，使新能源成为优质电源。为大量新能源接入提供了坚实的技术基础。

在中国的青海共和县，黄河水电公司建设了全球最大的风光水可再生能源基地，其中2.2GW光伏园区项目每年可生产近50亿度清洁电力，项目总占地面积达56平方公里，共700多万块光伏组

件，通过一系列智能化和数字化手段，精准管理每一串组件，让电站发电量提升超过2%，运维效率提升50%以上，实现了更低的度电成本。同时，智能光伏还极大地改善了当地的生态环境，实现了光伏板上发电、光伏板下牧羊，让荒漠变绿洲。

### 光储融合，加速光伏成为主力能源

储能作为灵活性资源，可在电力系统的发、输、配、用等各个环节提供调频、调峰等应用，起到稳定电网频率、缓解电网阻塞、提高发电用电灵活性等作用。可再生能源发电和储能技术的结合应用，将克服风电、光伏在时间上的波动性，使其输出可控制、可调度，提高电网对可再生能源发电的消纳能力，解决弃风、弃光问题。因此，可再生能源若想真正成为主力能源，储能技术一定是必要的关键使能技术。

电化学储能是目前具备普适性的储能技术，但是电池不等于储能系统。储能系统是融合了电化学技术、电力电子技术、数字技术、散热技术、甚至AI技术构成的整体系统，用电力电子和数字技术的可控性来解决电池的不一致和不确定性，实现储能系统全生命周期内更高放电、更优投资、极简运维、安全可靠的价值。

红海新城是沙特“2030愿景”的重点项目，位

于沙特红海东岸的塔布克省，规划面积2.8万平方公里。项目建成后，红海新城将成为全球首个100%光储供能城市，满足百万人口的能源需求，是光储成为主力能源在全球范围内的首次大规模实践。该项目是迄今为止全球最大的微网储能项目，对全球储能产业的发展具有战略意义和标杆示范效应。

## 能源消费侧创新方向

在能源消费侧，全球终端能源消费目前主要以化石能源为主，占比超过60%，电气化比例仅20%。我们预测，到2030年全球电气化比例将达30%；电动汽车的销量占比将超过50%。

## 数字技术重新定义电动汽车体验，加速超越传统燃油汽车

当前，电动车行业正进入加速发展阶段，2021年全球电动车的销量超过650万台，但充电问题、续航问题和安全问题仍然是影响消费者购买电动汽车的主要因素。未来，数字技术将重新定义电动汽车驾乘体验和安全，在极致性能、续航和充电体验、极致安全等特性上超越传统燃油车，加速电动车的普及。

### 新材料和数字化重新定义电动汽车驾乘体验

宽禁带半导体全面应用和数字化控制技术全面协同，推进电动汽车极致能效比。随着电力电子技术相关功率器件、拓扑及控制算法的升级，电源部件将达到新的极致高效。尤其是碳化硅等器件新技术、新材料的应用，相比较传统的硅器件，禁带宽度提升3倍，电场强度提升15倍，电子饱和速率提升2倍，导热系数提升3倍，电动车系统级的效率如充电、行驶工况、供电传输、功率变换、加热/制冷、能量回收全链路架构将被持续重构升级。

数字化同时正重新定义电动汽车的驾乘体验。随着电池能量密度增加、电池管理做得更加完善以及电控系统调校更细腻，电动汽车在极致加速、极致操稳等驾驶体验上全面超越传统燃油车。如极致加速，电动汽车大功率、快加速成趋势，300kW，400kW，600kW，800kW动力配置完胜燃油车。

极致操稳，多电驱分布式驱动，取代燃油车时代的机械限滑差速器，实现更快弯道加速、更优山地越野，驾驶乐趣全面领先。电动汽车动力域生命周期可持续软件特性升级，常用常新。

### 车上车下，协同改善续航与充电体验

消费者对电动汽车的接受度，很大程度上取决于续航里程和充电便捷度。

从电动汽车技术层面看，在车上，一方面可以通过提升电池能量密度来增加续航。另一方面，在数字化技术加持下，从器件到系统，从动力域到整车运行，通过智能电热协同、智能扭矩分配算法、智能电液制动分配等实现整车全场景高效用电是提升电动车“真”续航的关键。为了进一步节能及提升续航里程，采用超融合及域控制架构，通过电能、动能、热能、能量回收的联动控制，实现多能互补，可达到充电--储电--用电的全链路整车级高效。如智能电热协同，电机和逆变器热量通过热泵系统智能配送至乘客舱供暖，四驱扭矩智能分配，兼顾制动安全与能量回收比例，最优分配电机、液压制动力比例等提升续航技术全面使用。

在车下，针对充电问题，高压快充将极大提升用户充电体验。以电动乘用车为例，预计2025年起，主流充电电压将从500V升级到1000V，2030



年全面进入充电“千伏时代”。充电基础设施单枪充电功率从60kW支持到480kW以上，充电时间从1个小时左右缩短到小于10分钟，接近传统燃油车加油体验。电动车动力系统也向“千伏”演进，趋向集约化，融合、协同一体化，降低电流，减少能量损失。高电压平台、精细化大倍率充放电曲线设计实现充电、行驶放电、能量回收高效协同。充电基础设施系统高压化技术广泛使用，如高压碳化硅技术推动高效、高密，支撑高压平台演进，基于ChaoJi充电技术路线的标准定义，1000（1500）V充电电压平台，支撑最大充电功率可提升到900kW，这类超级充电技术将被广泛布局在城际高速路。

## 发展综合智慧能源，推动建筑走向“光储直柔”，打造低碳园区

据联合国环境规划署统计，全球约三分之一的能源最终是由建筑领域消费的。在美国、欧洲等发达国家和地区，建筑能源消耗产生的碳排放已占据其人类活动碳排放的40%~50%。在中国，包括建筑建造和运行在内的能源消耗也已占到社会总能耗的30%以上。随着城市化和人民生活水平的提高，建筑与园区已经成为终端能源消费、碳排放增长速

度最快的领域之一。

综合智慧能源是电力电子技术与数字技术融合的产物，更是新一轮能源革命的一种实现方式，是建设低碳园区的基础。综合智慧能源运用领先的数字技术和电力电子技术，如先进的建筑光伏一体化（BIPV, Building Integrated Photovoltaic）、交直流微网架构、智慧能源管理、场景化节能设计、先进储能系统等技术，助力园区能源基础设施建设，打造能源管理平台。通过不断的探索和创新，推动建筑走向“光储直柔”，园区实现源网荷储一体化运行，设备智能化运维，碳排放数字化管理。

深圳国际低碳城会展中心，通过采用数字化技术实现能源的“开源节流”，即构建智能光伏发电系统、储能系统等来增加建筑产能，从通风、空调、照明等方面减少建筑用能，并融合全生命周期的能源管理系统进行治理。据测算，深圳国际低碳城会展中心投入使用后，每年将生产127万度绿电，减少碳排放606吨，园区用电基本实现自发自用。



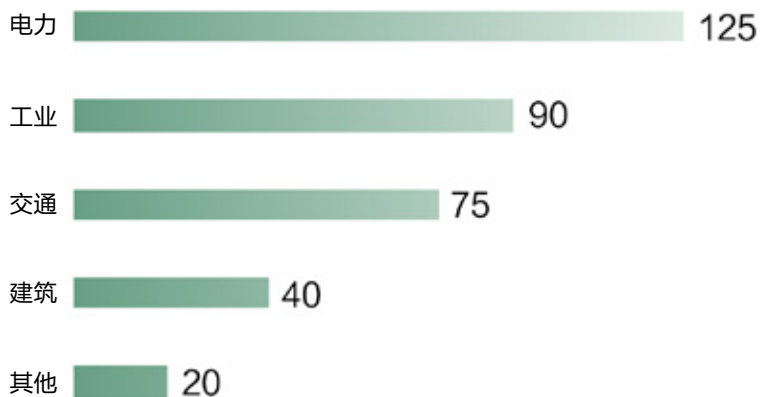
## 方向三：使能行业绿色发展

IEA全球能源署、BP世界能源展望等相关资料显示，2020年全球碳排放350亿吨，其中电力行业排放125亿吨，工业90亿吨，交通75亿吨，建筑40亿吨，这四个行业占总体碳排放高达94.2%。

### Global carbon emissions by sector

全球行业碳排放分布

单位：亿吨，2020年



来源：IEA 全球能源署、BP 世界能源展望





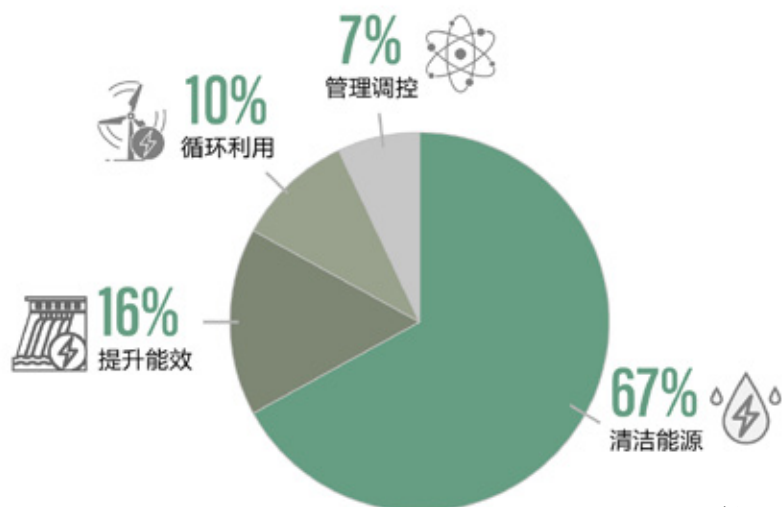


因此，要实现全球碳中和，必须推动在电力、工业、交通和建筑领域的深度脱碳。研究表明，这些行业实现碳减排有4种途径，包括使用清洁能源（67%）、提升能效（16%）、循环利用（10%）和

管理调控（7%）。数字技术在这四个方面的实施过程中均扮演着重要的角色。下面通过对电力、工业、交通、建筑等碳排放重点领域的具体分析，展示数字技术如何赋能行业提质增效，实现绿色低碳发展。

## Four approaches to reducing carbon emissions and their contributions (%)

行业减碳四项基本措施及贡献度



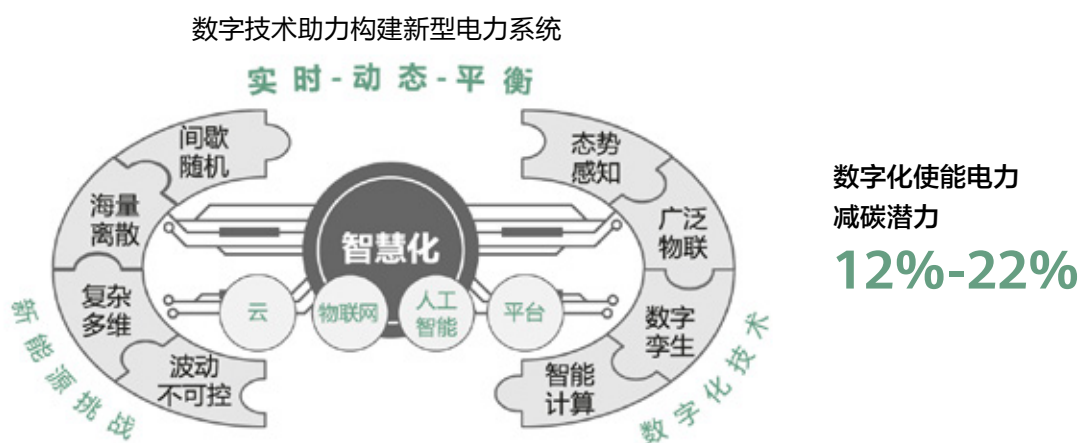
来源：中国工程院



## 电力：数字技术助力构建以新能源为主体的新型电力系统

### Digitalization enables green electricity

数字化使能电力绿色发展



电力绿色低碳发展的关键在于电源、电网、负荷、储能，即“源网荷储”的低碳化。电源环节是产生低碳电力的源头；电网环节是消纳低碳新能源及维护电力系统安全稳定的中枢；负荷是消费低碳能源的最终环节，在负荷侧低碳电能替代传统高碳能源电力是实现全社会低碳发展的重要举措；储能环节是解决低碳电力随机性、不稳定性特点以及维护电力系统安全稳定的关键。

未来的新型电力系统，分布式能源大量渗透，电力系统从集中式向分布式转变。同时为了实现供需之间的平衡，必须让电力系统输配电网智能化运行，加快用电侧智能化管控系统构建，

推动建立数字化储能系统，加强源网荷储间的多元互动协调，加速实现规模化削峰填谷。数字技术通过广泛互联、智能互动，使整个电力系统更加灵活柔性、安全可控。

智慧电网技术通过深度融合物理电网和数字电网，可有效解决高比例新能源接入、终端高度电气化和分散化的负荷带来的系统稳定运行难题，进一步提升供电的安全性、可靠性、灵活性，提高电能质量及能源效率。智慧输电技术通过小微智能传感器、物联感知终端、人工智能等技术，与电力电子技术相互融合与应用，使输电设施处于数字化实时感知和调控状态下，实现数字

化动态本体孪生。智慧变电技术通过数字化技术与柔性直流技术的融合，可处理大规模新能源接入出现的电压不稳、宽频震荡、惯量减小、频率不稳等状况。智慧调度运行技术通过态势感知、数字孪生实现源网荷协同，智慧调度管理电源侧、输电侧、配电负荷侧，实现对大量分布式资源的灵活利用。智慧配电技术通过边缘计算终端、本地数据存储、计算与分析等技术手段，提升配电网设备在线状态检测、配网运维巡检等智能化水平。分布式多联供技术利用先进的信息技术，实现能源站的数字孪生和能源的综合利用，满足用户电、热、冷、蒸汽、生活热水等多种用能需求，有效实现能源梯级利用，能源综合

利用效率提高至70%-90%。

输配电过程中的电力损耗，一直是电网运行的顽疾。随着电气化率进一步提升，社会用电量的持续增长，输配电网络损耗越来越成为不容忽视的问题。利用数字技术，加强数据采集、分析、状态感知、故障诊断、智能运维等，可有力地降低输配电网路损耗，达到节能减碳的效果。比如，电网运行维护管理中传统的人工排查、检测及更换的模式，耗时费力、成本高、效率低，而通过无人机、机器人等数字技术对设备巡检，并利用图像识别等技术实时监控设备运行状态，同时基于大数据平台的海量历史运维数据，建立设备风险评估模型，可更准确地预测设备发生故



障的风险，及时进行设备的更新换代，提高设备故障响应速度，保证电网高效、快捷地运行。

利用人工智能、物联网、大数据分析等数字技术，可以更好地实现需求侧管理。通过对用电侧采集的数据进行统计分析，能够助力企业和家庭等用电侧用户精细化管理自身能源消耗、精准快速定位高能耗、高碳用电环节、智能分析用户用电行为，并预估未来能耗，便于用户根据自身情况优化用电方案，提升用电效率，降低碳排放。

储能技术的加速发展可以有效应对可再生能源不稳定等特点。数字技术在储能领域的应用，

为平抑波动、匹配供需、削峰填谷、提高供电质量等提供了巨大的帮助。数字化储能系统通过促进储能系统技术与信息技术的深度融合，实现储能系统的互联网化管控，提高储能系统运维的自动化程度和储能资源的利用效率，充分发挥储能系统在能源互联网中的多元化作用。例如，目前用户侧存在大量分散闲置电池储能资源，通过采用电池能量交换系统和电池能量管控云平台等数字化手段，可以将海量的碎片化闲置电池储能资源盘活为电网可以调度利用的大规模分布式储能系统。

## 工业：数字技术助力工业实现绿色智造

### Digitalization enables green industry

数字化使能工业绿色发展



来源：中国信息通信研究院《数字碳中和白皮书》

在工业领域，除行业自身的技术改造、升级外，通过数字技术降低碳排放是工业领域碳减排的重要手段。数字技术在助力工业研发设计、生产制造、质量监控、产业链协同、碳封存等方面可以发挥巨大作用，使能行业绿色低碳发展。

数字技术可助力研发设计领域的减排。钢铁、石化等工业研发传统上多基于大量实验，如石化工艺往往需要经历小试、中试、工艺验证、

商业化生产等多个步骤，研发周期长，研发成本高，研发效率低。结合原料物理、化学等特性和工业生产特点，通过数字化技术进行模型搭建、模拟仿真等，可以大幅度减少实验数量，缩短研发周期，降低研发成本，提高研发效率，减少原材料浪费等研发相关环节的碳排放。

数字技术可助力生产制造、质量管控等领域的减排。利用工业互联网等数字化技术，企业可



在设备监控、原料供应、质量检测等多方面对生产制造过程实施动态实时管控。通过对生产技术参数、原料等的动态优化，提升生产操作的精细化水平，减少不合理操作导致的物料、能源、甚至产成品的损耗。如某玻璃企业，在引入了AI辅助窑炉稳定控制系统后，可以预测窑炉未来1个小时的温度趋势，发现问题提前介入，通过AI识别获取泡界线的范围、面积等特征，改变原来人

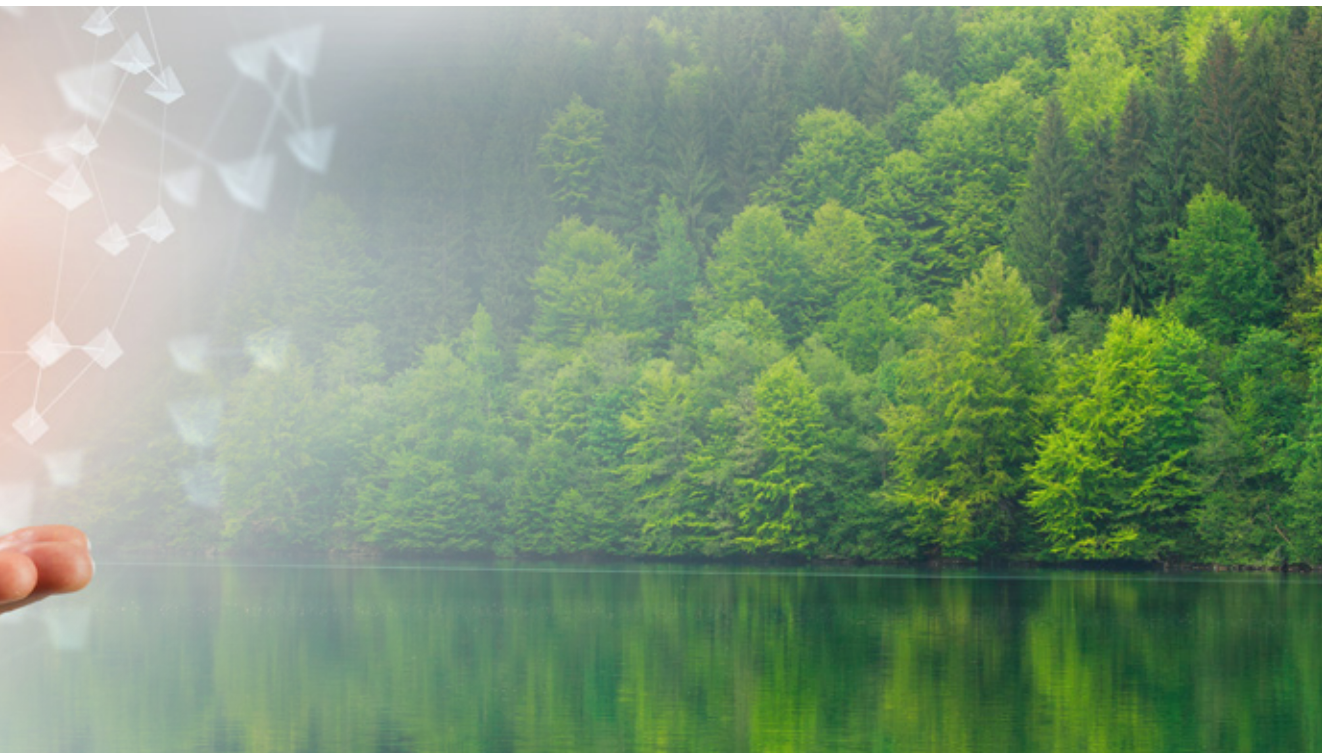
工标刻屏幕、人工观察的模式，把稳定性的趋势数据化、可视化。同时，通过数字化技术把采集的优秀产线经验工艺数据共享，促进落后产线改善，在保障玻璃质量的前提下，实现了天然气用量降低3.29%，年节省费用超过5000万元。

对于部分工业企业，生产操作是无法中途停机的，数字技术可通过智能监控设备收集数据，与历史数据对比，实时监控运行状况，对可能产

生的问题进行提前预警，避免因设备故障导致生产线停机，提高运营效率，降低运维成本。如某工业企业，通过对现有工业园进行三维建模，建立了从园区、产线、工段多级三维组态的数字孪生，实现了对产线、设备状态的实时监控。以前巡检电柜需要关闭电源进行检查，产线还需停工待产。在数字化系统上线后，通过传感器实时感知电柜湿度超标告警，检查关联数据和视频，即可发现冷却水管漏

水和冷凝水问题，及时处理，无需停工。

数字技术可助力产业链协同发展。工业行业作为中游产业，需要与上游原料供应商和下游消费企业保持顺畅的信息、物料、物流、财务等多方面联系。电商平台、供销数字平台等数字技术可以开展线上交易撮合，缩短上游原料供应商、工业企业和下游消费企业间的采购流程，还可以基于区块链等数字技术保障交易安全，降低交易成本。工业企业与物流公司间通



过系统的互联互通，可以保障物流信息的畅通顺达，便于工业企业和物流公司各自安排生产和配送资源，降低库存、物流等待等环节的碳排放。

此外，二氧化碳捕集、利用与封存(CCUS)技术也是工业碳减排的重要技术手段。二氧化碳捕集、利用与封存(CCUS)技术是在二氧化碳排放前对其进行捕捉，然后进行提纯、循环再利用，或输送到封存地进行压缩注入到地下封存的过程，

达到固碳的目的。通过在二氧化碳产生、捕集、封存等环节的数据采集、分析和监控，数字化技术可以建立数据分析、预测和预警系统，帮助二氧化碳生产、采集、运输、利用和封存等环节的参与方可精准、透明地掌控全过程，并为后续的交易等环节提供准确的数据来源。据预测，未来二十年里，每年减排量有望达到数亿至10亿吨左右，其成本未来将有较大下降空间。

## 交通：数字技术加速交通工具电气化和交通体系智慧化

### Digitalization enables green transportation

数字化使能交通绿色发展



三管齐下，加速交通行业绿色发展

来源：中国信息通信研究院《数字碳中和白皮书》

交通领域碳排放占比近1/4，其中陆路运输以约80%的比例居于首位，其次是水运约10%和航空业约9%。虽然交通领域各细分行业减排难点各有不同，但它们都在积极利用数字化手段，降低能耗，以实现绿色发展。

陆路交通碳减排是交通行业的中中之重。数字化技术在降低运输工具能耗，构建智慧绿色交通体系，交通车辆电气化，交通网与能源网有机融合等领域可发挥重要作用，帮助交通行业节能减排。

利用数字化技术降低传统燃油车能耗，是交通出行领域降低碳排放的主要手段。数据显示，2021年中国汽车保有量为3.02亿辆，其中燃油车占97.2%，年消耗汽柴油约2.6亿多吨，是交通出行领域碳排放的最大来源。车辆智能化、车联网等技术可为汽车提供更好的车辆行驶状态感知，有效降低车辆能耗。例如矿用运输车辆采用数字化智能技术，通过大数据对司机驾驶行为、车辆油耗、工况等信息的采集，控制系统可以不断优化车辆速度、油门、制动等关键环节，矿车油耗可

以降低20%左右。

电动汽车产业的技术进步和大规模应用，也将大规模降低温室气体排放。根据中国国家电网电动汽车服务有限公司数据，可再生能源比例到2050年预计将达到58%，可以让每年的二氧化碳排放降低50%以上。

交通工具电动化也会带来充电管理、电能管理等问题，在电费价格波动变化的背景下，纯电动公交运营企业面临充电管理复杂、充电费用难管控等问题；而大数据和AI算法可有效实现业务管理的智慧化，并帮助企业降本增效。深圳巴士集团股份有限公司2017年就率先实现了全面公交电动化，通过与华为合作，试点采用智慧充电算法，初步实现了电价“谷期多充电，高峰少补电”，实现充电需求“移峰填谷”，极大降低充电作业的管理难度，预计每年节省5%~10%的电费支出。

利用数字化技术建设智慧绿色交通体系，提升出行效率，是交通领域又一减排手段。绿色智慧交通时代，路网将会朝着智慧路网方向发展，实现车



路协同，减少拥堵、等待，有效提升路网和车辆使用率，实现综合碳减排。如在交通管控方面，数字化技术可实现“人-车-路-站-云”协同，可打造十字路口优先通行、精准引导、超视距感知等应用功能，提升车辆的行驶安全和运行效率。在共享出行方面，网联自动驾驶出租车在单车自动驾驶的基础上叠加车与路、车与平台之间的协同能力，可提升运行安全、优化运营效率。

航空业也在积极探索。依托数字平台和AI技术，机场资源可以实现自动化、智能化调度，提升靠桥率、廊桥周转率等核心指标，实现登机口、值机柜台、行李转盘和安检口资源的智能分配，助力机场资源分配的全局最优，解决资源保障瓶颈，最终“机器为主、人工为辅”实现资源利用最大化和节能减排。如某机场通过融合AI、视频云、大数据、IoT等新技术，围绕机场“运控、安防、服务”三大业务领域，实现机位、行李运送，地面设施利用率等全面提升，每年让260万人次旅客免坐摆渡车，节省摆渡车能耗29.9万度电/年。又如传统空管气象预报存在数据断层、准确率低、时效性低，容易引起大量航班无效盘旋、返航，通过AI精

准气象算法、大数据、IoT物联平台等技术创新应用，精准气象服务在雷暴天气下可减少航班延误20多架次，提高航班准点率4%左右。

在水运业，目前全球港口98%以上的集装箱码头都是传统人工操作，人工作业劳动强度大，效率越来越难以匹配码头低碳绿色发展需求。通过获取全港及全码头整体人员、设备及能耗的数据，港口可以基于自动驾驶技术、动态业务地图、实时泊位、岸桥、场桥等作业数据信息，以及无人驾驶平板车实时数据信息，辅以AI算法，可以实现多车动态路径规划和速度引导，保障多车协同作业时行车轨迹的确定性和安全性，有效减少人力，解决疲劳驾驶等问题，优化车辆运行效率，降低能耗。全球首个“智慧零碳”码头天津港北疆港区C段智能化集装箱码头投产运营。基于5G、AI等技术的创新应用，实现全球首个港口自动驾驶和5G远程控制。通过建立港口自动化水平运输体系，集装箱倒运环节减少50%、作业效率设计达到39自然箱/小时。此外，港口还通过100%绿电自给，实现了真正的智慧、绿色、安全港口运行。

## 建筑：数字技术使能建筑绿色零碳运行

### Digitalization enables green buildings

数字化使能建筑绿色发展



来源：中国信息通信研究院《数字碳中和白皮书》

建筑行业减少碳排放，需要从建筑设计、建筑运营等多方面共同努力。通过数据采集、统计计量、智能控制等手段，运用云计算和人工智能分析数据，将建筑物的结构、系统、服务和管理根据用户的需求进行最优化组合，实现建筑高效运行和能源资源最优化，达到节能低碳的目的。

在建筑设计阶段，数字化技术可在BIM建筑信息模型的建立、数据采集、集成、精细化设计等方面，帮助设计用能最低化和选择低能耗建材。如某企业深圳总部大楼，通过在BIM建筑信息模型中数字化模拟室内自然通风，因地制宜地采用南北贯穿式的边庭，创造良好自然对流风，全年可实现约2000小时自然通风，减少140-160吨二氧化碳的排放，成为“会呼吸的写字楼”。同时，通过安装多传感器进行室外光环境的采集，并在数字化建筑设计系统中进行采光与遮阳的模拟分析，设计并使用了节能幕墙及遮阳系统，每年能够减少40%的太阳辐射量，从设计上降低了空调的使用时间。此外，还打造屋顶、露台等绿色空间，建立多层次立体绿化，实现二氧化碳的负排放。

建筑不仅以单体形式存在，现在更涌现出大量的多建筑体组成的园区，园区内的车辆交通、各种基础设施和车人管理，也是园区里的主要碳排放来源。据统计，园区运营的碳排放占比46.2%，运营中的能源管理和设备能耗管理又是园区运营中的主要排放环节。

能源管理方面，利用数字化综合能源管理系统，可使清洁能源就地生产、就地平衡、就地消纳，电、热、冷、气等多能横向协同，源、网、荷、储等微电网纵向协同，实现建筑园区能源结构低碳化。数字化综合能源管理系统基于规则、AI算法可实现光、储、充、荷综合场景的能耗统计分析分析及能源调度，实现经济效益最优、碳排放最低。基于IoT技术可实现碳排放监测，实现碳足迹准确、及时监测和计量。如盐城微碳慧能科创

产业园实现多种类型新能源（屋顶光伏、光伏幕墙、发电步道、光伏伞、风机、地热、空气热、蓄冷蓄热、电池储能、交直流充电桩、V2G充电桩、交直流混合微电网）全额消纳，构建多能融合、智慧零碳、高效管理、创新服务四大应用能力，可以实现新能源占比85%，减少碳排放5600吨/年，节约电能300万度/年。

设备能耗管理方面，通过数字化技术和平台，汇总分析设备运行、告警等数据，帮助设施管理人员快速、全面掌控建筑内设施设备的运行情况，节省运营人力，提高运行效率。针对楼宇建筑耗能最大的三类场景（冷站、空调和照明），利用云和AI技术，在云端内置能耗模型和异常诊断库，结合设备系统数据智能分析和控制，提供能耗诊断分析和优化策略，甚至可以通过物联网和感知技术，实时感应室内外温度、光线和人流情况，自动控制照明、取暖、空调、办公设备，真正实现人走灯灭，大幅提升建筑、园区的用电效率。如某博物馆通过布置3000个数据点，实时采集和监测场馆内的各项环境数据，自动调节适宜展品陈列和参观者观展时的温光水气条件，实现暖通、空调、照明和用水效率升级，使博物馆温室气体排放减少35%，电力成本降低32%。

# 5

---

MOVING  
FORWARD  
倡议

倡议

## MOVING FORWARD

全球已经充分意识到气候变化问题的严重性和迫切性，绿色低碳正在成为主要发展趋势。绿色发展在推动科技创新的同时，也正在推动经济结构的转型和调整。越来越多的国家主动拥抱绿色发展，全球加速迈向绿色发展的新时代。

不过，绿色发展目前仍面临着数字化技术瓶颈、绿色发展所依赖的规则、体系、标准不健全、各产业尚未能协同发展等挑战。因此，需要数字化和低碳化协同创新，以及全社会、全产业、跨价值链和生态系统的协作，共同推进绿色发展。

数字化创新方面，加强技术研发和创新，强化数字使能技术供给。数字化与低碳化相辅相成，要在数字基础设施绿色低碳创新、可再生能源创新、使能行业创新等三个方向持续努力，共同支撑绿色发展。通过开展数字技术创新，可以改变能源结构、提高能源利用效率，促进经济绿

色低碳发展。绿色低碳化发展作为未来的社会经济发展方向，反过来也会推动数字化技术的创新和发展。数字化与低碳化的相互促进，将成为实现绿色发展最有效的方式。

低碳化发展方面，由于当前还没有统一的标准，急需健全数字减碳标准体系，加强碳排放大数据开发，建立对数字基础设施的碳排放衡量标准。同时加大标准的推动力度，建立实时、快速的碳排放数字化监控手段，共同推进数字基础设施碳排放标准体系创新，助力绿色低碳发展。

生态协作方面，推动行业间和产业链上下游企业间绿色协同，通过建立碳手印等技术标准开展政府、行业和企业之间的绿色互动，降低全产业链碳排放水平。同时，加强国际间在技术、资金、标准、项目等方面的合作与协同，共同推动全球气候治理。✔

# 6

ACKNOWLEDGMENTS

鸣谢

# 鸣谢

## ACKNOWLEDGE

此次《绿色发展2030》报告的撰写得到了多方的大力支持与帮助，我们有幸与政府、协会、智库、企业和行业等众多资深专家进行了深入交流，同时也借鉴和引用了包括国际能源署、联合国环境规划署、世界银行、国家发展和改革委员会、商务部、科学技术部、生态环境部、交通运输部、工业和信息化部、国家能源局、国务院发展研究中心资源与环境政策研究所、国务院发展研究中心企业研究所、中国信息通信研究院、中国电力企业联合会、国家信息中心、中国智能交通协会、广州粤港澳大湾区研究院、中国建筑节能协会、全球建筑建设联盟、创业邦研究中心、中国人民大学、同济大学、北京航空航天大学、华北电力大学、重庆大学、电力规划设计总院、海南省绿色金融研究院、北京市住宅产业化集团股份有限公司、华创证券、国金证券、西南证券等多家政府、企业和研究机构的公开数据、分析和研究成果。同时，报告中引用了多家报纸、期刊、杂志、网站等方面的公开信息，让我们的报

告更加丰富，在这里对他们表示衷心的感谢。

同时，我们要特别感谢财新国际智库作为支持机构，为本次报告提供宏观展望和行业洞察。感谢全球电子可持续发展倡议组织（GeSI）CEO Luis Neves先生为本报告做序。感谢国务院发展研究中心企业研究所副所长张文魁，同济大学绿色建筑及新能源研究中心常务副主任、博士生导师谭洪卫教授，中国电力企业联合会专家委员会副主任委员、华北电力大学新型能源系统与碳中和研究院院长、国家气候变化专家委员会委员王志轩，电力规划设计总院清洁能源研究院副院长饶建业，北京航空航天大学助理研究员、北京踏歌智行科技有限公司研究院院长周彬，中国城市规划设计研究院城市交通研究分院院长赵一新，在百忙之中接受我们的访谈，并分享了他们的观点。

此外，我们也要感谢提供编辑、排版、校对、印刷等帮助的同事，他们的辛勤劳动使本报告得以顺利出版。🌱



GREEN



DEVELOPMENT

2030

**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



**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, 出现的其他商标, 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 2022。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。