

# 信息通信网络可持续发展 研究报告

(2024 年)

中国信息通信研究院泰尔系统实验室

华为技术有限公司

中国移动通信集团有限公司

2024年12月

---

## 版权声明

---

本报告版权属于中国信息通信研究院、华为技术有限公司和中国移动通信集团有限公司并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本报告文字或者观点的，应注明“来源：中国信息通信研究院、华为技术有限公司和中国移动通信集团有限公司”。违反上述声明者，编者将追究其相关法律责任。

## 前 言

2015年联合国《2030年可持续发展议程》提出了17项可持续发展目标，旨在解决社会、环境和经济问题，让全球走向可持续发展道路。党中央、国务院高度重视经济社会高质量发展，谋篇布局新质生产力，持续加强数字经济与实体经济深度融合。党的二十届三中全会强调“协同推进降碳、减污、扩绿、增长，积极应对气候变化”“催生新产业、新模式、新动能，发展以高技术、高效能、高质量为特征的生产力”“加快新一代信息技术全方位全链条普及应用”。信息通信网络已经融入到国计民生的方方面面，成为经济社会发展的坚实基础。

随着信息通信技术的快速发展和广泛应用，信息通信网络对环境、经济、社会的影响受到业界高度关注。为进一步推动信息通信网络在环境、经济、社会维度下的全面协调可持续转型，中国信息通信研究院泰尔系统实验室联合华为技术有限公司及中国移动集团有限公司，基于在信息通信行业的技术研究成果和应用实践积累，编制此报告。

本报告首次提出信息通信网络可持续发展的定义，是以环境可持续、经济可持续、社会可持续为目标，以信息通信网络各环节为载体，以绿色低碳、降本提效、更高价值为主线，贯穿全生命周期各阶段，实现全面协调可持续的新一代信息通信网络发展模式。进而梳理提取并研究提出了数十项信息通信网络可持续关键指标，构建评价体系，并提供了国内国际运营企业和制造企业实践案例。最后，阐述了信息通信网络可持续转型路径，并对其未来发展进行了展望。

期待本报告能够为社会各界提供参考，不妥之处还请指正。

# 目 录

一、信息通信网络可持续发展形势 .....	1
(一) 可持续发展政策举措 .....	1
(二) 信息通信网络可持续发展意义 .....	4
(三) 信息通信领域可持续发展演进历程 .....	5
(四) 信息通信网络可持续发展挑战 .....	6
二、信息通信网络可持续概念与内涵 .....	8
(一) 信息通信网络可持续的概念和框架 .....	8
(二) 信息通信网络可持续的定义和内涵 .....	11
三、信息通信网络可持续发展评价体系 .....	14
(一) 总体评价指标 .....	15
(二) 环境可持续评价 .....	17
(三) 经济可持续评价 .....	26
(四) 社会可持续评价 .....	30
四、信息通信网络可持续发展实践 .....	37
(一) 可持续综合实践 .....	37
(二) 环境可持续实践 .....	38
(三) 经济可持续实践 .....	40
(四) 社会可持续实践 .....	41
五、信息通信网络可持续发展路径 .....	43
(一) 做好可持续发展新布局 .....	43
(二) 完善可持续发展新设计 .....	43
(三) 推动可持续发展新建设 .....	44
(四) 深化可持续发展新运营 .....	44
六、信息通信网络可持续发展展望 .....	45

## 图目录

图 1 信息通信行业绿色化发展演进路线.....	6
图 2 信息通信网络可持续发展总体框架.....	9
图 3 信息通信网络可持续发展评价体系.....	15
图 4 信息通信网络环境可持续评价指标体系.....	17
图 5 企业碳排放核算指标一览.....	25
图 6 网络产品碳足迹核算及管理系统涉及指标.....	26
图 7 信息通信网络经济可持续评价指标体系.....	26
图 8 信息通信网络社会可持续评价指标.....	31



## 一、信息通信网络可持续发展形势

### （一）可持续发展政策举措

#### 1. 全球可持续发展政策举措

随着全球可持续转型浪潮，各国积极制定和实施可持续发展政策。美国主要集中在应对气候变化、推动清洁能源转型及加强环境保护等方面，通过一系列法律法规和政策工具来支持可持续发展。国家环境政策法（NEPA）是其中一项重要法律，它要求联邦机构在决策过程中评估其拟议行动的潜在环境影响，并将环境因素纳入决策过程。可持续发展政策涵盖从联邦到州级的多层次措施，通过法律法规、财政支持、国际合作和具体项目等多种手段，致力于应对气候变化、推动清洁能源转型和加强环境保护，从而实现经济、环境和社会的可持续发展。

欧盟发布多项政策文件推进全面可持续发展，如《欧洲绿色协议》《欧盟 2030 生物多样性战略》《欧洲技能议程 2020》等。同时，欧洲国家同样重视绿色低碳发展的学习培育，于 2022 年发布《关于环境可持续性学习的理事会建议提案》。此外，《绿色能力：欧洲可持续能力框架》提出：全面改革碳市场，削减碳排放许可，到 2030 年前在 2005 年的排放水平基础上减排 62%，包括在 2024 年和 2026 年分别一次性减少一定量的排放配额，以及逐年提高排放上限缩减速度。

韩国和日本在可持续发展政策方面采取了多种布局，以实现经济、社会 and 环境的平衡。韩国通过了《碳中和与绿色增长基本法》，将 2050

年碳中和愿景及其实施机制纳入法律。该法案要求，到 2030 年，温室气体排放量比 2018 年减少 35%，并规定了气候影响评估、气候应对基金和公正转型等政策措施。日本制定了《2050 年碳中和绿色增长战略》，强调发展可再生能源的重要性，并将海上风能发电列为重点方向。此外，日本还引入了“地域循环共生圈”概念，为城市和地区的未来发展提供了基础框架。

## 2.我国可持续发展政策举措

我国是应对气候变化工作的参与者、贡献者和积极践行者，推动了《联合国气候变化公约》《京都议定书》及《巴黎协定》的达成和生效。2020 年 9 月 22 日，习近平主席在第 75 届联合国大会一般性辩论上作出我国二氧化碳排放力争于 2030 年前达到峰值、努力争取 2060 年前实现碳中和的重大宣示。截至目前，我国已陆续颁布五十余项相关政策，涉及工业、城乡建设、交通运输、循环经济、碳汇、信息通信等各个领域，双碳“1+N”政策体系已基本建立。2023 年 11 月 13 日，国家发展改革委、工业和信息化部、市场监管总局、住房城乡建设部、交通运输部联合印发《关于加快建立产品碳足迹管理体系的意见》，提出推动建立符合国情的产品碳足迹管理体系，完善重点产品碳足迹核算方法规则和标准体系，建立产品碳足迹数据库，推进产品碳标识认证制度建设，发挥产品碳足迹管理体系对绿色低碳转型的促进作用。2024 年 5 月 23 日，国务院印发《2024-2025 年节能降碳行动方案》，提出一以贯之坚持节约优先方针，完善能源消耗总量和强度调控，重点控制化石能源消费，强化碳排放强度管理，分领域分

行业实施节能降碳专项行动，更高水平更高质量做好节能降碳工作，更好发挥节能降碳的经济效益、社会效益和生态效益，为实现碳达峰碳中和目标奠定坚实基础。

### 3.信息通信领域可持续发展政策举措

“十三五”期间，工信部印发了《关于加强“十三五”信息通信业节能减排工作的指导意见》，并发布了《高耗能老旧通信设备淘汰指导目录》《通信行业节能技术指导目录》《关于加强绿色数据中心建设的指导意见》等政策文件，引导和推进信息通信业节能减排工作。

“十四五”以来，我国不断出台绿色低碳发展相关政策。2021年2月，国务院印发《关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》，提出加快信息服务业绿色转型，做好大中型数据中心、网络机房绿色建设和改造，建立绿色运营维护体系。2021年7月，工信部印发《新型数据中心发展三年行动计划（2021-2023年）》，明确数据中心绿色低碳发展行动等六个专项行动。2021年11月，工信部印发《“十四五”信息通信行业发展规划》，提出到2025年底，信息通信业绿色发展水平迈上新台阶，单位电信业务总量综合能耗下降幅度达到15%。2022年8月工信部联合六部委印发《信息通信行业绿色低碳发展行动计划（2022-2025年）》，强调优化绿色发展总体布局，将行业整体能效和绿色用能水平提高引向深入，全面推进信息通信行业绿色低碳高质量发展。2023年10月8日，工信部、网信办等多部门联合发布《算力基础设施高质量发展行动计划》，提出算力基础设施是新型信息基础设施的重要组成部分，应坚持绿色低碳发展，全面提升算力设



施能源利用效率和算力碳效水平，促进绿色低碳算力发展。

## （二）信息通信网络可持续发展意义

信息通信网络可持续发展具备深远的意义，其无论对于信息通信网络自身，还是赋能的各行各业，可持续发展都将是长期且坚定的发展方向及目标。

**信息通信网络能耗增速已逐步放缓，但仍不容忽视。**随着通信实际的演进，用户数量的剧增以及相应的通信网络和终端设备海量敷设，导致网络能耗快速增长，具体来看，通信基站、核心网和传输网是移动通信网络的主要能耗来源。近年来，信息通信行业采取了清洁能源利用、高能效设备应用和设施共建共享等一系列节能减排举措，获得了显著成效，信息通信业能耗增速已逐步放缓。从未来趋势看，网络能效在不断提升，但数据流量的增长不容忽视，仍需持续推动绿色低碳转型，维持信息通信业能耗增速放缓的良好势头，促进信息通信网络可持续发展。

**信息通信网络赋能千行百业高端化、智能化、绿色化发展作用愈发显现。**信息通信技术（ICT 技术）对传统产业实施技术改进和优化配置，引领工艺和服务创新，对支撑各行业发展具有巨大潜力。近年来，ICT 技术的快速发展为全球碳减排激发了巨大潜力，2018 年 ICT 技术使全球温室气体排放量减少约 21.35 亿吨，减少的温室气体排放量几乎是移动互联网行业自身排放的十倍<sup>1</sup>。以数字技术如 5G、物联

<sup>1</sup> GSMA, Carbon Trust, 《全球通讯技术赋能减排报告》

网、大数据、人工智能、云计算、区块链技术等作为手段和工具，以数据资源作为关键要素，以信息网络作为重要载体，在各领域的能源供给、传输、存储和使用过程中，通过感知控制、数字建模、决策优化等方式，实现资源最优利用、助力节能减污降碳、促成经济效益与环境效益双赢。各类 ICT 技术正逐步成为千行百业实现高端化、智能化、绿色化发展的一大利器。

### （三）信息通信领域可持续发展演进历程

从信息通信行业发展历程来看，可持续理念逐步深入，具体可分为四个阶段。**第一阶段：满足基本功能诉求。**发展通信网络是经济社会最初的诉求，因此 2G、3G 网络应运而生，并持续与信息网络不断融合。在此阶段，信息通信发展的主要工作是满足日益增长的网络化、信息化转型需要，对环境影响和经济影响关注度较弱。**第二阶段：关注能耗、成本与体验。**信息通信网络运行稳定度及信息传输连续性大幅提升，工作、生活及娱乐对网络及信息服务依赖程度加深，4G 网络也开始走向全球，成为信息通信发展的里程碑。大规模信息通信业发展所带来的能耗问题日益明显，同时高成本投入、网络体验需求提升等也引起行业及社会关注。**第三阶段：综合节能、降费与高速率。**从能源消耗来看，5G 网络远超 4G，海量广域数据的传输也成为能耗激增的主要因素。得益于大数据、人工智能、云计算等新一代信息通信技术加速落地，ICT 技术持续赋能经济社会数字化转型，其渗透率提升也带来更加持续增长的能源消耗。因此，行业逐步推动站点级、系统级、网络级的节能减排，并开展提速降费行动，同时利用多元化

网络服务，优化用户体验。**第四阶段：迈向零排放、最低成本和最高价值。**持续贯彻可持续发展、绿色生态构建、碳达峰碳中和等理念，通过优化用能结构、提升用能效率、能源综合管理、资源循环利用等途径，持续减轻碳排放压力，降低成本并提供最高价值服务。



来源：中国信息通信研究院

图 1 信息通信行业绿色化发展演进路线

#### （四）信息通信网络可持续发展挑战

纵观信息通信网络可持续发展历程，目前已步入第三阶段，不断加快综合节能、降费与高速率的发展进程。下一步，信息通信网络将逐步向第四阶段迈进，但面临的诸多挑战不容忽视。

##### 1. 数智化进程加快使数据流量提升，全球信息通信网络能耗显著增加

数智化新业态、新模式不断显现，带来数据流量的快速增长及网络基础设施的能耗显著增加。根据美国联邦通信委员会（FCC）数据

显示，2010 年到 2020 年，宽带使用量增加了 38 倍，并且这种需求还在持续增长。美国电话电报公司（AT&T）在过去三年中经历了数据大幅度增长，无线数据的爆炸式增长对网络造成了极大压力。为了应对这些挑战，业界已经采取了一系列节能优化措施。采用多输入多输出（MIMO）技术和波束成形技术可以提高频谱效率，同时，智能资源管理和网络架构优化等新型节能技术也在不断被探索和应用，但对能耗的降低效果有限。因此，进一步提升绿色低碳发展的深度和广度仍然是一个亟待解决的难题。

## 2.信息通信网络可持续发展标准体系亟待健全

工业和信息化部于 2023 年 12 月正式印发《通信行业绿色低碳标准体系建设指南（2023 版）》，分别从信息通信行业节能、资源综合利用、绿色制造、碳达峰碳中和、共建共享、基础设施建设运维、ICT 技术赋能七大领域进行标准化引导，并设立了“到 2025 年，完成制修订 50 项以上绿色低碳方面的国家标准、行业标准和团体标准，初步完善通信行业绿色低碳标准体系建设”的目标。而从可持续发展角度来看，还需要进一步加强经济可持续性及相关标准研制工作。目前，信息通信网络绿色低碳评价标准尚未制定完全，且无法完全涵盖可持续发展的全部要素。

## 3.信息通信网络可持续发展成本压力较大

为了实现可持续发展，信息通信网络需要采用各类新技术新手段来优化资源利用和降低能耗，这些新技术的研发和应用需要大量资金

投入，给电信运营企业带来运营压力。同时，信息通信网络需要不断更新换代以满足日益增长的市场需求与可持续发展要求，5G 和 6G 技术的发展将使得应用场景及覆盖行业逐步拓宽，由能源消耗所带来的电力成本压力不断增加，也对网络设备提出了更高要求，其建设和维护面临极大的经济支出。

## 二、信息通信网络可持续概念与内涵

### （一）信息通信网络可持续的概念和框架

#### 1. 概念演进

信息通信网络是指将各个孤立的设备连接在一起，实现人与人、人与计算机、计算机与计算机之间进行信息传输和交换的基础设施。它涵盖了有线和无线网络两大主要部分，通过物理媒介或无线信号，提供了可靠的连接和传输，使人们能够迅速、有效地进行远程通信、资源共享和数据传输。

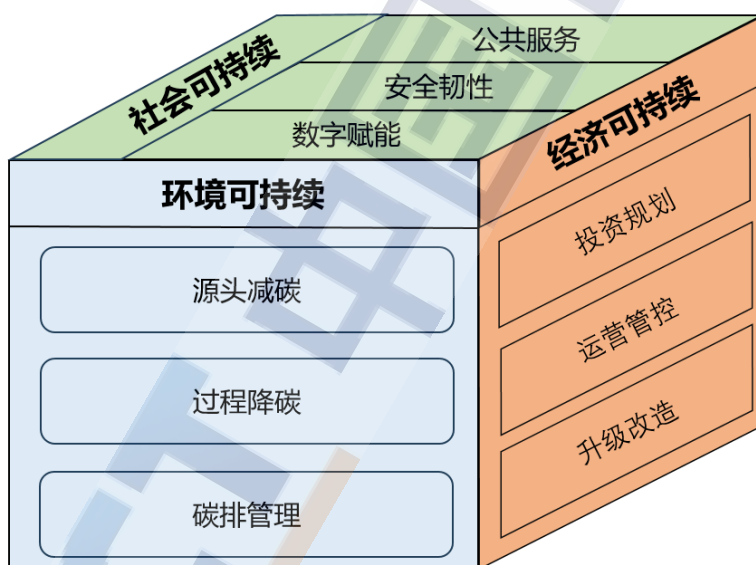
可持续发展的概念最早于 1987 年由世界环境与发展委员会 (WCED) 在报告《我们共同的未来》中提出，定义为“能满足当代人的需要，又不对后代人满足其需要的能力构成危害的发展”。从内涵来看，可持续发展包括社会、环境、经济三个方面。我国早在 1995 年 9 月中共十四届五中全会便将可持续发展战略写入《关于制定国民经济和社会发展“九五”计划和 2010 年远景目标的建议》，把可持续发展作为基本战略之一。

信息通信网络可持续发展的概念是随着信息通信网络技术不断发展和可持续发展理念不断推广深化而自然融合产生的，其核心思想

是在确保网络满足当前和未来通信需求的同时，从环境、经济和社会三个维度实现长远的平衡与优化。具体而言，它需要通过用能结构优化、绿色低碳技术应用和碳排放精细化管理实现环境可持续性，通过合理投资规划、智能化运营和创新升级实现经济可持续性，并通过增强网络安全韧性、提高社会服务能力和赋能千行百业，实现社会可持续性。

## 2. 总体框架

信息通信网络可持续发展的基本框架如图 2 所示。



来源：中国信息通信研究院，华为技术有限公司

图 2 信息通信网络可持续发展总体框架

在环境可持续发展层面，重点关注信息通信网络全生命周期中环境影响以及对应的可持续发展考量指标，具体主要包括源头减碳、过程降碳和碳排管理。**源头减碳**是指提升信息通信网络用能结构中绿色能源占比，包括自建可再生能源电站、购买绿色电力证书和绿色电力、

拉专线等以达到源头上减少碳排放的目标。**过程降碳**是指在信息通信网络的建设、运营、改造等阶段，重点关注整体网络、基础设施及设备等各层级能效，推广和应用节能减排技术，提高能源与资源循环利用，降低网络运行环境影响。**碳排放精细化管理**是指在信息通信网络全生命周期建立碳排放管理监测体系，开展产品碳足迹、企业碳排放量核算与评价等，识别高碳排放环节，并采取相应降碳举措。

**在经济可持续发展方面**，关注信息通信网络的经济效益和长期稳定发展，主要涵盖了投资规划、运营管控以及升级改造三大核心环节，共同驱动经济可持续性的提升。在**投资规划**阶段，重点关注制定长期的投资规划，并考虑投资回报和风险控制，在充分保障网络性能和用户体验的同时，实现提效降本。在**运营管控**阶段，关键在于实施高效的运营管控策略，优化网络整体、基础设施及各类设备等的运行状态，提高运行效率和能源利用率，降低运营成本。在**升级改造**阶段，关注技术创新和升级，在设备更新换代和基础设施升级改造过程中，充分考虑投资回报和风险控制，实现经济可持续发展。

**在社会可持续发展方面**，关注信息通信网络对社会多维度的影响，并积极探索如何最大化其社会价值，主要涵盖公共服务普及、信息安全与网络韧性强化、赋能效果提升三大领域，共同推动社会的可持续发展。在**公共服务**方面，致力于确保信息通信网络覆盖所有地区和人群，提供普遍的通信服务，提高公共服务效率和质量。在**安全韧性**方面，是强调加固信息通信网络的安全防线。在信息安全方面严密保护用户数据的安全与隐私，同时在网络韧性方面通过网络架构的优化和

网络变更操作的安全保障来达到架构韧性和动网韧性。网络韧性水平的高低直接关系到网络系统的稳定性和可靠性，其主要包含预防、检测与响应、冗余与备份、恢复与重建能以及适应与进化等能力。在数字赋能方面，主要体现在信息通信网络在生产、生活各领域广泛应用，助力社会数字化转型，促进数字经济与实体经济深度融合，实现社会可持续发展。

## （二）信息通信网络可持续发展的定义和内涵

本报告对信息通信网络可持续发展概念给出定义如下：

信息通信网络可持续发展是以环境可持续、经济可持续、社会可持续为目标，以信息通信网络各环节为载体，以绿色低碳、降本提效、更高价值为主线，贯穿全生命周期各阶段，实现全面协调可持续发展的新一代信息通信网络发展模式。

### 1. 环境可持续

环境可持续指的是在不超越资源与环境承载能力的前提下，保护和维持自然资源和生态系统，以确保其能够持续为人类提供服务，包括对可再生资源的持续利用、污染控制以及非可再生资源的有限消耗。对于信息通信网络，环境可持续主要聚焦在网络各个环节的绿色低碳发展，具体如下。

**源头减碳。**电力消耗及产生的碳排放是信息通信网络的主要能源消费形式和碳排放来源。通过利用太阳能光伏自发自用、可再生能源专线供电、购买绿色电力证书和绿色电力等方式，提高网络绿色用能



水平，显著降低碳排放量，从而提升信息通信网络的环境可持续性。

**过程降碳。**使用新技术、新材料优化网络基础设施运行效率，降低单位网络传输流量的能耗。包括在硬件层面上进一步推广应用高制程芯片、利用氮化镓功放等主设备节能技术，预制模块化机房及高密度、虚拟化等高效 IT 系统方案，各类通信机房内采用液体冷却、近端制冷、自然冷源等新型散热技术应用；软件层面上，加强无线网络智能符号静默、通道静默等软件节能技术，面向代码的软件能耗优化技术等，优化网络整体能效水平，提升信息通信网络环境可持续性。

**碳排放精细化管理。**健全全流程碳排放管理体系，建立完善的信息通信网络能耗和碳排放管理平台。强化碳排放数据的规范性有效性，提升碳排放相关数据信息的统计、监测、分析和核查水平，加强对不同类型、不同厂商设备碳排放数据采集分析，促进设备供应企业加速节能降碳技术迭代创新。

## 2.经济可持续

经济可持续强调在保护自然资源和环境的前提下，通过技术创新和资源的有效利用，实现经济的长期增长，不仅关注经济增长的速度和规模，还强调经济增长方式的转变，即从传统的资源消耗型向绿色低碳和循环经济模式转变。信息通信网络的经济可持续的内涵主要是在充分保障网络性能和用户体验的同时，实现全生命周期降本提效，具体如下。

**投资规划。**在信息通信网络的投资规划阶段充分考虑投资回报率和回报周期等经济性指标，着眼于信息通信网络各级基础设施规划、

设计和建设阶段，实现优化成本、提升效率、缩短时间、精简流程、细化管理、减少空间和资源占用，提高信息通信网络的经济可持续性。

**运营管控。**在信息通信网络的运营过程中，通过人工智能、物联网等先进技术不断提升运维水平，强化对能耗的精准管控，通过各类节能技术的综合应用，实现网络运营维护阶段降低成本。通过数字化升级演进，实现能耗、碳排和业务的实时监测，并通过 AI 技术来实现能随业动，以及绿能、储能、节能的动态优化。结合市电情况优化备电蓄电池配置，通过市电削峰填谷、电力需求实时响应等节能措施降低网络运行成本。利用新一代信息通信技术优化设备设施运维过程，辅助人工运维，降低人力成本。

**升级改造。**在信息通信网络的升级改造过程中，经济可持续是重要的基本原则，改造项目应综合考虑改造成本、改造收益等经济性因素，将其作为改造规划及设计的重要参考指标，在满足经济性的同时推动老旧设备淘汰和信息通信网络升级演进。一方面是对现有设备的运行状态进行优化，识别诊断低效率环节，利用新一代设备产品替换老旧高能耗产品；另一方面，保持网络能力，向用户提供更高质量服务，快速响应市场需求以满足新业务发展，从而保持市场竞争力，是经济可持续发展的重要基础。

### 3. 社会可持续

社会可持续发展是指社会在长期内能够维持社会公正、平等、包容、文化多样性、社会稳定等诸多社会价值观念，同时确保满足当代和后代人的基本社会需求的能力。信息通信网络社会可持续发展是指

信息通信网络能够长期、稳定地为社会和谐发展提供支持，具体如下。

**公共服务。**公共服务重点关注网络速度、普及度及体验感等关键指标，以保障用户能够享受到高质量的信息通信服务。通过技术创新和网络优化等手段，提高服务质量，降低用户获取信息的成本和时间。通过海量设备敷设，确保信息通信网络能够覆盖广泛的地理区域，满足不同社会群体的多样化需求。

**安全韧性。**安全韧性主要描述的是信息安全与网络韧性，其中信息安全是指保护信息通信网络中的数据、设备、系统和子网络免受未经授权的访问、使用、泄露、中断、修改或破坏的过程。网络韧性是指网络在遭受攻击、故障或灾难时，能够保持关键业务的连续运行并迅速恢复的能力，包含架构韧性和动网韧性两个方面，从事前、事中、事后，规避重大事故风险、单点故障影响范围和人为误操作风险，以保障网络的平稳安全运行。

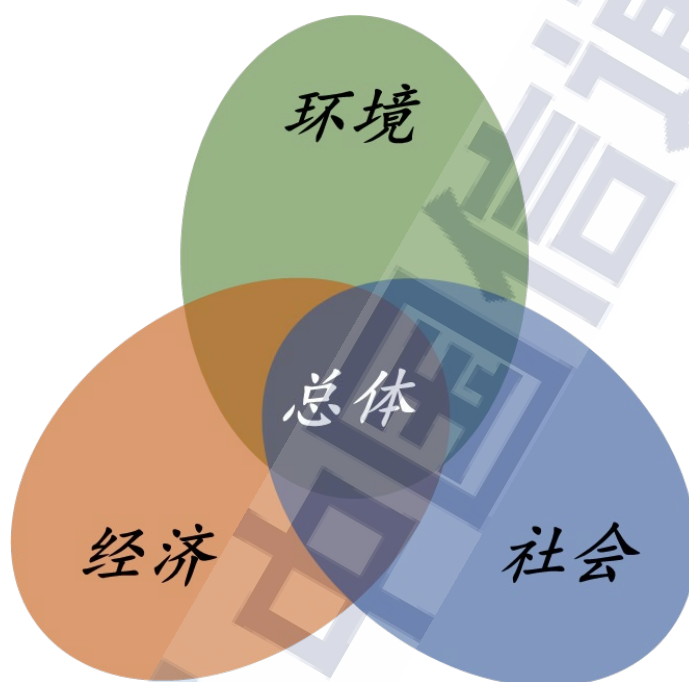
**数字赋能。**以各行业高端化、智能化、绿色化转型需求为导向，广泛应用新一代信息通信技术，加快信息通信网络与经济社会的深度融合，新一代信息通信技术如人工智能、云计算、边缘计算、大数据、区块链等技术广泛应用于千行百业，充分发挥数字底座赋能作用，推动生产、生活数字化绿色化转型。

### 三、信息通信网络可持续发展评价体系

伴随信息通信网络在经济社会发展中扮演愈发重要的角色，满足环境可持续、经济可持续、社会可持续的发展模式已成为信息通信网络演进的主要方向。因此，亟需构建科学全面的信息通信网络可持续

发展评价体系，从而全面评估信息通信网络的可持续发展状况，为网络规划、建设和运营等全生命周期各环节提供科学依据。

本章节从总体、环境、经济、社会四个维度基于国内外相关标准和我国政策，梳理提取并研究提出 47 个关键指标，形成了信息通信网络可持续发展评价体系。



来源：中国信息通信研究院

图 3 信息通信网络可持续发展评价体系

### （一）总体评价指标

#### 单位电信业务总量碳排放

是指电信业二氧化碳排放总量与电信业务总量的比值，是衡量每完成万元电信业务所产生的二氧化碳排放量的指标，单位  $\text{kgCO}_2/\text{万元}$ 。其中，电信业务量是指以货币形式表示的电信企业为社会提供的各类电信服务的数量。

电信业务总量它包括固定话音业务总量、固定数据及互联网业务总量、固定增值及其他业务总量、移动话音业务总量、移动数据及互联网业务总量、移动增值及其他业务总量。电信业务总量的计算方法是将各类电信业务的实物量分别乘以相应的不变单价，求出各类业务的货币量后再加总求得。

不变单价是在一定时期内计算业务总量的同度量因素，用于保持电信业务总量不受资费价格变动因素的影响，从而能够比较准确地反映电信业务的综合发展情况。

### 单位电信业务总量综合能耗

是指电信业能源消耗总量与电信业务总量的比值，是衡量每完成万元电信业务所消耗的能源量的指标，单位 kgce/万元。其中电信业务总量的定义同上。

### 能耗收入比（ECR）

是指信息通信网络能耗成本占业务收入的比例，计算公式如下：

$$ECR = \frac{P_{\text{unit}} \times E_{\text{Total}}}{\text{Revenue}} = \frac{P_{\text{unit}} \times E_{\text{Total}}}{\text{Traffic} \times \text{Rate}}$$

其中：

ECR：信息通信网络能耗收入比；

$P_{\text{unit}}$ ：能源单价，单位元；

$E_{\text{Total}}$ ：信息通信网络总能耗，单位 kW.h，

Revenue：信息通信网络总业务总收入，单位元；

Traffic：信息通信网络业务总流量，单位 Mb；

Rate: 信息通信网络单位流量资费，单位元。

## （二）环境可持续评价

信息通信网络环境可持续发展的评价主要考量源头减碳、过程降碳、碳排放精细化管理三个层面，具体指标如图 4 所示。

信息通信网络环境可持续评价指标体系						
1.源头减碳	2.过程降碳			3.碳排放管理		
	网络级	基础设施级	设备级	碳排放强度	温室气体排放核算	产品碳足迹
可再生能源利用率 (REF) 水资源利用效率 (WUE)	单位信息流量综合能耗 (J) 单位信息流量碳排放 (C <sub>0</sub> ) 网络能源效率 (NEE) 网络综合性能能效 (NEE <sub>i</sub> )	电能利用效率 (PUE) 供配电负载系数 (PLF) 制冷负载系数 (CLF)	信息通信设备能源效率 (TEE) 基础设施能源效率 (IEE) 空调设备全年能效比 (AEER) 供电转换效率 (η)	网络碳强度 (NCIe)	范围一（直接排放） 范围二（间接排放） 范围三（价值链排放）	原材料获取 产品生产 产品使用 产品最终处理

来源：中国信息通信研究院，华为技术有限公司

图 4 信息通信网络环境可持续评价指标体系

### 1.源头减碳

#### 可再生能源利用率（REF）

是一个衡量可再生能源在能源供应中实际利用程度的指标。它反映了可再生能源在能源消耗总量中所占的比例，是评估能源结构可持续性以及可再生能源利用水平的重要参数，计算公式如下：

$$REF = \frac{E_R}{E_{Total}} \times 100\%$$

其中：

REF: 可再生能源利用率；

E<sub>R</sub>: 可再生能源利用量（不含电网既有可再生能源量）。其中包括网络基础设施通过自建分布式可再生能源设施（如太阳能光伏板、风力发电机等）产生的能量量，以及通过绿色电力交易等方式获得的

可再生能源量，单位 kW.h;

$E_{Total}$ : 网络基础设施项目能源消耗总量。其中包括在正常运行和维护保养过程中消耗的所有能源，如 IT 设备、制冷设备、供配电系统等等的能耗，单位 kW.h。

**水资源利用效率（WUE）**

$$WUE = \frac{W_{Total}}{E_{IT}}$$

其中:

**WUE**: 水资源利用效率;

$W_{Total}$ : 总水资源消耗量，包括城市市政供水量与在符合国家相关管理规定前提下所采用地下水、江河湖水等自然水体量的总和，单位 L;

$E_{IT}$ : 信息通信网络消耗的总电能，单位 kW.h。

## 2.过程降碳

信息通信网络的能效管理分为网络级、基础设施级、设备级三层架构。

### （1）网络级能效指标

**单位信息流量综合能耗（J）**

是指信息通信网络综合能耗总量与信息流量总量的比值，其中信息流量包括移动通信网络接入流量和固定宽带网络接入流量，计算公式如下:

$$J = \frac{A}{H+I}$$

其中：

J: 信息通信网络单位信息流量综合能耗，单位 kgce/Tb；

A: 信息通信网络综合能耗总量，单位 kgce；

H: 信息通信网络从外部接受数据总和，单位 Tb；

I: 通信网络设施向外部发送数据总和，单位 Tb。

### 单位信息流量碳排放（ $C_0$ ）

是指信息通信网络单位信息流量所产生的二氧化碳排放量，计算公式如下：

$$C_0 = \frac{C_{\text{Total}}}{H+I}$$

其中：

$C_0$ : 信息通信网络单位信息流量碳排放，单位 kgCO<sub>2</sub>/Tb；

$C_{\text{Total}}$ : 信息通信网络总碳排放量，单位 kgCO<sub>2</sub>；

H: 信息通信网络从外部接受数据总和，单位 Tb；

I: 通信网络设施向外部发送数据总和，单位 Tb。

### 网络能源效率（NEE）

信息通信网络能源效率指标中的能耗是全网总能耗，既包括全网信息通信设备能耗，也包括全网信息通信基础设施能耗计算公式如下：

$$NEE = NTEE \times NIEE$$

其中：

NEE: 全网能源效率；



**NTEE:** 全网通信设备能源效率，是指网络流量与主设备能耗的比值；

**NIEE:** 全网基础设施能源效率，是指主设备能耗与总能耗的比值。

### 网络综合性能能效（ $NEE_i$ ）

是指单位能耗输出的网络业务流量及网络体验速率，考虑到网络流量以及网络性能都是网络的有效输出，需从流量能效、体验能效等多维度对网络能效进行综合考量，计算公式如下：

$$NEE_i = \frac{\text{Service(Traffic, Exeprience)}}{E_{\text{Total}}}$$

其中：

$NEE_i$ ：信息通信网络综合性能能效；

**Service(Traffic, Exeprience):** 业务流量和网络体验速率；

$E_{\text{Total}}$ ：信息通信网络消耗总电能，单位 kW.h。

## （2）基础设施级能效指标

### 电能利用效率（PUE）

指信息通信网络基础设施（通信基站、通信机房、数据中心）总电能消耗量与信息通信设备电能消耗量的比值，计算公式如下：

$$PUE = \frac{E_{\text{Total}}}{E_{\text{IT}}}$$

其中：

**PUE:** 信息通信网络电能利用效率；

$E_{\text{Total}}$ ：信息通信网络消耗总电能，单位 kW.h；

$E_{\text{IT}}$ ：信息通信网络通信设备消耗电能，单位 kW.h。

## 供配电负载系数（PLF）

是指信息通信网络基础设施中供配电系统耗电与 IT 设备耗电的比值，是衡量供配电系统在提供电力过程中的能耗情况，计算公式如下：

$$PLF = \frac{E_{\text{Power}}}{E_{\text{IT}}}$$

其中：

PLF：供配电负载系数；

$E_{\text{Power}}$ ：供配电系统消耗的总电能，单位 kW.h；

$E_{\text{IT}}$ ：信息通信网络设备消耗的电能，单位 kW.h。

## 制冷负载系数（CLF）

是指信息通信网络基础设施中制冷系统消耗的电能与信息通信设备消耗的电能的比值，可以评估制冷系统的能源利用效率，计算公式如下：

$$CLF = \frac{E_{\text{Cooling}}}{E_{\text{IT}}}$$

其中：

CLF：制冷负载系数；

$E_{\text{Cooling}}$ ：信息通信网络制冷系统消耗总电能，单位 kW.h；

$E_{\text{IT}}$ ：信息通信网络设备消耗的电能，单位 kW.h。

### （3）设备级能效指标

主要聚焦于信息通信网络中的各个独立设备，如基站（包括射频模块和基站整机）、服务器、网络交换设备、相关配套设施能效等。

### 信息通信设备能源效率（TEE）

是衡量信息通信网络设备能效的指标，是指信息通信网络设备业务总量与信息通信网络设备能耗总量的比值，计算公式如下：

$$TEE = \frac{\text{Traffic}}{E_{\text{Telecom equipment}}}$$

其中：

TEE：信息通信网络设备能源效率；

Traffic：信息通信网络设备业务量；

$E_{\text{Traffic}}$ ：信息通信网络设备能耗，单位 kW.h。

### 基础设施能源效率（IEE）

是衡量信息通信网络基础设施能效的指标，是指信息通信网络设备能耗量与信息通信网络基础设施能耗总量的比值，计算公式如下：

$$IEE = \frac{E_{\text{Telcom equipment}}}{E_{\text{Total}}}$$

其中：

IEE：基础设施能源效率；

$E_{\text{Telecom equipment}}$ ：信息通信网络设备能耗，单位 kW.h；

$E_{\text{Total}}$ ：信息通信网络基础设施总能耗，单位 kW.h。

### 空调设备全年能效比（AEER）

是衡量空调设备能效的重要指标，它反映了空调设备全年总制冷量与总耗电量之比，计算公式如下：

$$AEER = \sum T_i \times EER_i$$

其中：

**AEER:** 信息通信网络机房空调的全年能效比；

$T_i$ : 不同工况下的温度分布系数，其中  $T_a$ 、 $T_b$ 、 $T_c$ 、 $T_d$  和  $T_e$  依据标准 GB/T 19413—2024 分别为 A、B、C、D 和 E 工况下的温度分布系数；

$EER_i$ : 不同工况下的能效比，其中  $EER_a$ 、 $EER_b$ 、 $EER_c$ 、 $EER_d$  和  $EER_e$  依据标准 GB/T 19413—2024 分别为机房空调在 A、B、C、D 和 E 工况下的能效比。

### 供电转换效率 ( $\eta$ )

是指供电设备的输入功率与输出功率的比值，计算公式如下：

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

其中：

$\eta$ : 供电设备转换效率；

$P_{out}$ : 供电设备的输出功率，单位 kW.h；

$P_{in}$ : 供电设备的输入功率，单位 kW.h。

## 3.碳排管理

### (1) 网络碳排放强度

是指每单位产出（如业务量、数据流量等）所对应的碳排放量，反映了网络业务增长与碳排放增长之间的关系。

#### 网络碳强度 (NCI<sub>e</sub>)

是指网络运行过程的总碳排放与总数据流量的比值，计算公式如下：

$$\begin{aligned} \text{NCIe} &= \frac{\text{Total Carbon Emission of network operation}}{\text{Total Data traffic}} \\ &= \frac{\sum E_j \times \text{EF}_j}{\sum \text{Data traffic}_j} \end{aligned}$$

其中：

**NCIe**：网络碳强度，单位  $\text{kgCO}_2/\text{Tb}$ ；

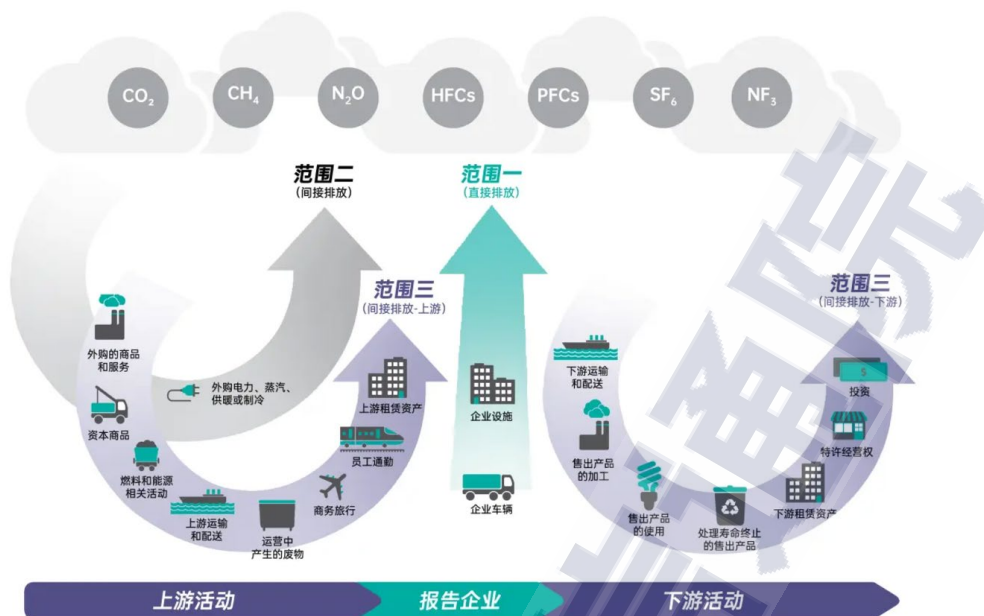
$E_j$ ：同一核算周期内网络消耗的第  $j$  种化石燃料的活动水平， $\text{GJ}$ ；

$\text{EF}_j$ ：同一核算周期内第  $j$  种能源的温室气体排放因子， $\text{kgCO}_2/\text{GJ}$ ；

**Data traffic<sub>j</sub>**：同一核算周期内消耗  $E_j$  所产生的数据流量，单位  $\text{Tb}$ 。

## （2）企业温室气体排放核算

企业碳排放核算指标一览如图 5 所示，**范围一**排放是来自企业拥有和控制的资源的直接排放，即范围一中的温室气体排放是企业一系列活动的直接结果。**范围二**是间接碳排放，是指企业通过购买电力、热力等能源服务而产生的温室气体排放，对于信息通信网络相关企业而言，外购电力是其最大的间接碳排放源。**范围三**是其他间接碳排放，是指与信息通信网络相关的，但并非直接由网络设施或能源服务产生的温室气体排放。这包括信息通信产品生产过程供应链中的碳排放（如原材料的开采、加工、运输等）、网络设施建设和维护过程中使用的建筑材料的碳排放、员工通勤和差旅所产生的碳排放及废弃物处理等，共分为 15 种类型。上述三个范围划分，有助于信息通信网络领域全面、有效地管理相关能源消耗及温室气体排放，从而制定更为精准的减排策略，推动行业向绿色、可持续方向发展。



来源：国际电信联盟

图 5 企业碳排放核算指标一览

### (3) 产品碳足迹

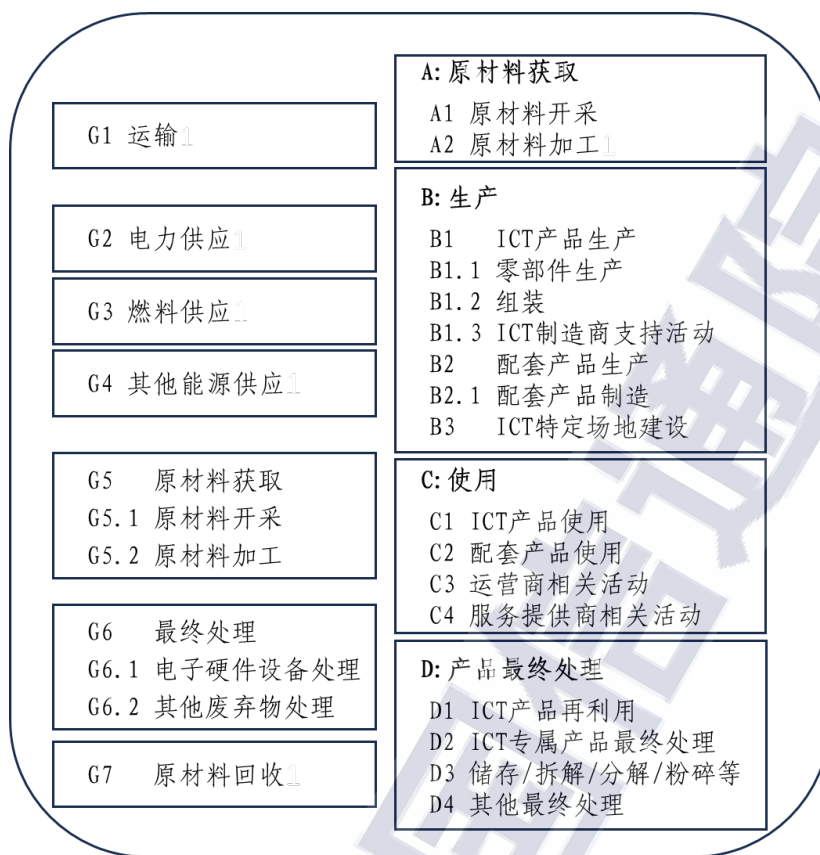
是指各类设备在其全生命周期内所产生的碳排放数据，主要通过收集和分析能源消耗和碳排放数据，计算其碳足迹。如下图 6 所示，主要涉及到以下四个层级：

产品原材料获取，包括原材料开采及原材料加工；

产品生产，包括网络产品生产及配套产品生产；

产品使用，包括网络产品使用、配套产品使用、运营商相关活动及服务提供商相关活动；

产品最终处理，包括再利用、网络产品专属报废处理及其他报废处理。



来源：国际电信联盟

图 6 网络产品碳足迹核算及管理系统涉及指标

### （三）经济可持续评价

信息通信网络经济可持续发展的评价主要考量投资规划、运营管控、升级改造三个层面，具体指标如下图 7 所示。

信息通信网络经济可持续评价指标体系		
1.投资规划	2.运营管控	3.升级改造
投资回报率 (ROI) 净资产收益率 (ROE) 内部回报率 (IRR)	单位能耗产出水平 (K) 运营管控成本 (OPEX) 机房空间利用率 (SUI) 机房设备上架率 (U) 单位信息流量投入人员数 (M <sub>0</sub> )	升级改造投资回报率 (ROI <sub>R</sub> )

来源：中国信息通信研究院、华为技术有限公司

图 7 信息通信网络经济可持续评价指标体系

#### 1.投资规划

## 投资回报率（ROI）

是指投资后所获得的收益与投资成本之间的比值，能够直观地反映投资的盈利能力，计算公式如下：

$$ROI = \frac{R-C}{C} \times 100\%$$

其中：

ROI: 投资回报率；

R: 投资收益，即投资项目带来的净收益或利润，单位元；

C: 投资成本，即投资者为进行该投资所付出的全部成本，包括初始投资、运营费用等，单位元。

## 净资产收益率（ROE）

是衡量企业盈利能力的关键财务指标，反映了企业利用股东投入的资金创造利润的能力，计算公式如下：

$$ROE = \frac{N}{A} \times 100\%$$

其中：

ROE: 净资产收益率；

N: 净利润，代表公司在一定时期内的净收益，即扣除所有费用和税金后的利润，单位元；

A: 平均股东权益，代表公司在该时期内股东权益的平均值，单位元。

## 内部回报率（IRR）

是指使得项目净现值等于零时的折现率，反映了项目在整个计算



期内实际所能达到的投资回报率，代表项目投资本身所固有的、内在的获利能力。

## 2.运营管控

### 单位能耗产出水平（K）

是指信息通信网络设备电能消耗对应所提供数据处理服务产出效益，计算公式如下：

$$K = \frac{\text{Revenue}}{E_{\text{Total}}}$$

其中：

**K**：信息通信网络单位电能消耗对应业务服务产出的效益，单位元/kW.h；

**Revenue**：信息通信网络总业务收入，单位元；

**E<sub>Total</sub>**：信息通信网络业务消耗总电能，单位 kW.h。

### 运营管控成本（OPEX）

是指信息通信网络在日常运营和管控过程中所产生的费用，包括人力成本、设备维护费用、能源消耗成本等。

### 机房空间利用率（SUI）

是指信息通信网络设备占用空间（面积）占机房总可用空间的百分比。这个指标用于衡量机房空间资源的使用效率，反映了机房内设备的密集程度和空间利用情况，计算公式如下：

$$SUI = \frac{S_{IT}}{S_{\text{Total}}} \times 100\%$$

其中：

SUI: 机房空间利用率;

S<sub>IT</sub>: 信息通信网络设备占用空间（面积）;

S<sub>Total</sub>: 总机房空间（面积）。

### 机房设备上架率（U）

是指已上架并开机运行的信息通信设备数量（容量）占总机架可容纳设备数量（容量）的比例，该指标用于评估机柜或机架的物理空间利用率，计算公式如下：

$$U = \frac{I}{Z_{\text{Total}}} \times 100\%$$

其中：

U: 机房设备上架率，即机柜空间中被有效利用的比例；

I: 已安装设备数量（容量），即实际占用机柜空间的设备数量（容量）；

Z<sub>total</sub>: 机柜可安装设备的总数量（总容量），即机柜内部可安装设备的最大数量（最大容量）。

### 单位信息流量投入人员数（M<sub>0</sub>）

是指在特定时间段内，为了处理定量的信息流量所需投入或配置的专业人员数量。这个指标反映了信息通信网络运营管控的人员效率，计算公式如下：

$$M_0 = \frac{M_{\text{Total}}}{H+I}$$

其中：

M<sub>0</sub>: 单位信息流量投入人员数，单位人/Tb；

$M_{Total}$ : 投入的人员数量，即直接参与信息处理、传输或管理的人员数量；

H: 信息通信网络从外部接受数据总和，单位 Tb；

I: 通信网络设施向外部发送数据总和，单位 Tb。

### 3. 升级改造

#### 升级改造投资回报率 ( $ROI_R$ )

是指通过升级改造项目所获得的利润与投入成本之间的比例，计算公式如下：

$$ROI_R = \frac{R_R - C_R}{C_R} \times 100\%$$

其中：

$ROI_R$ : 信息通信网络升级改造投资收益率；

$R_R$ : 信息通信网络升级改造投资收益，单位元；

$C_R$ : 信息通信网络升级改造投资成本，单位元。

#### （四）社会可持续评价

信息通信网络社会可持续发展的评价主要考量公共服务、安全韧性、数字赋能三个层面，具体指标如图 8 所示。

信息通信网络社会可持续评价指标体系		
1. 公共服务	2. 安全韧性	3. 数字赋能
吞吐率 ( $D_n$ ) 基站覆盖率 (CR) 移动通信网络覆盖人口比例 (COV) 时延 (TD) 千兆光网覆盖率 (GCR)	供电可靠性 (PAV) 故障率 ( $\lambda_f$ ) 平均故障修复时间 (MTTR) 平均故障间隔时间 (MTBF) 网络可用性 (A) 网络韧性 (R) 网络安全性	一阶效应 二阶效应 净二阶效应 高阶效应 反弹效应

来源：中国信息通信研究院，华为技术有限公司

图 8 信息通信网络社会可持续评价指标

## 1. 公共服务

### 吞吐率 ( $D_n$ )

是指信息通信网络在单位时间内完成的任务数量或传输的数据总量，用来衡量网络设备的性能和网络整体的传输效率，反映了网络在高峰时段处理大量数据请求的能力，计算公式如下：

$$D_n = \frac{N}{t}$$

其中：

$D_n$ ：信息通信网络单位时间内完成的任务数量或传输的数据总量，单位 Mb/s；

$N$ ：信息通信网络完成的任务数量或传输的数据总量，单位 Mb；

$t$ ：信息通信网络处理任务总时间，单位 s。

### 基站覆盖率 (CR)

是指有效覆盖区域与设计覆盖区域的比例，计算公式如下：

$$CR = \frac{E_{ca}}{D_{ca}} \times 100\%$$

其中：

CR：基站覆盖率；

$E_{ca}$ ：有效覆盖区域面积，单位  $m^2$ ；

$D_{ca}$ ：设计覆盖区域面积，单位  $m^2$ 。

### 移动通信网络覆盖人口比例 (COV)

移动通信网络覆盖人口比例是指在特定区域（国家、地区、省、

市等)内,能够接收到移动通信网络信号的人口数量占该区域总人口数量的百分比,可衡量移动通信网络基础设施建设水平和普及程度。

### 时延 (TD)

是指移动通信网络或者固定网络中,数据包从发送端到接收端所经历的时间。

### 千兆光网覆盖率 (GCR)

是指 1000Mbit/s 宽带用户在所有家庭宽带用户中的占比,计算公式如下:

$$GCR = \frac{N_{gb-user}}{N_{total}} \times 100\%$$

其中:

GCR: 千兆光网覆盖率

$N_{gb-user}$ : 1000Mbit/s 宽带用户数量

$N_{total}$ : 所有家庭宽带用户数量

## 2. 安全韧性

### 供电可靠性 (PAV)

是指信息通信网络站点在正常工作时间内,因供电问题导致的断站时长与站点设计工作时长之间的比例关系,可评估站点供电可靠性,计算公式如下:

$$PAV = \frac{T_{design} - T_{outage}}{T_{design}} \times 100\%$$

其中:

**PAV:** 供电可靠性价值;

**T<sub>outage</sub>:** 因电力中断导致的断站时长, 单位 h。

**T<sub>design</sub>:** 站点设计运行总时长, 单位 h;

### 故障率 ( $\lambda_f$ )

指信息通信网络在特定时间内发生故障的频率, 可衡量网络稳定性和可靠性, 计算公式如下:

$$\lambda_f = \frac{N_f}{T}$$

其中:

$\lambda_f$ : 信息通信网络故障率;

$N_f$ : 信息通信网络特定时间内发生故障的次数;

$T$ : 信息通信网络的总运行时间, 单位年。

### 平均故障修复时间 (MTTR)

是指设备或系统在发生故障后, 从发现故障到恢复正常工作所需的平均时间, 包括确认失效、维护、获得配件、维修响应及将设备重新投入使用所需的时间等, 计算公式如下:

$$MTTR = \frac{\sum RT}{N_f}$$

其中:

**MTTR:** 信息通信网络平均故障修复时间;

$\sum RT$ : 信息通信网络所有故障修复时间的总和;

$N_f$ : 信息通信网络故障次数。

### 平均故障间隔时间 (MTBF)

是指信息通信网络正常运行的平均时间，即两次故障之间的平均时间间隔，可衡量网络稳定性和可靠性，计算公式如下：

$$MTBF = \frac{\sum T}{N_f}$$

其中：

MTBF：信息通信网络平均故障间隔时间；

$\sum T$ ：信息通信网络正常运行的总工作时间。

$N_f$ ：信息通信网络故障次数。

### 网络可用性（A）

是指信息通信网络在指定时间内可正常工作，保证业务不受损的能力，计算公式如下：

$$A = 1 - \frac{D_t}{T_t}$$

其中：

A：信息通信网络可用性；

$D_t$ ：业务受损时长，单位 h；

$T_t$ ：总时长，单位 h。

### 网络韧性（R）

是指信息通信网络对扰动的抵抗、吸收、适应和恢复能力，在信息通信网络受到不可避免的风险时，实现业务受损最小化，计算公式如下：

$$R = 1 - \frac{D_n}{S_{Total}}$$

其中：

R：信息通信网络韧性；

$D_n$ ：业务受损数；

$S_{Total}$ ：总业务数。

### 网络安全性

是指通过采取必要措施，防范对网络的攻击、侵入、干扰、破坏和非法使用以及意外事故，使网络处于稳定可靠运行的状态，以及保障网络数据的完整性、保密性、可用性的能力。GB/T 22239-2019《信息安全技术—网络安全等级保护基本要求》将网络安全等级划分为五个等级（一级至五级），并给出相应的安全要求和可量化指标。

### 3. 数字赋能

评估网络在推动社会数字化转型中的作用，如在垂直行业、生活服务中的贡献。ITU-T L.1480“实现净零转型：评估信息和通信技术解决方案的使用如何影响其他行业的温室气体排放”对数字赋能效应评估的种类进行了具体划分。

#### （1）一阶效应

是指支撑数字技术应用的物理实体（软件、硬件）存在所引起的直接环境影响，即从原材料获取、生产、使用和报废处理等各阶段该物理实体产生的环境影响，以及支撑该物理实体全生命周期的能源使用和运输、产品运输等过程产生的环境影响。

#### （2）二阶效应



数字技术应用所产生的间接影响，包括因使用数字技术造成的环境负荷变化。数字技术赋能后对绿色发展起到作用可能是正面的，也可能是负面的。

### （3）净二阶效应

数字技术对绿色发展引起的二阶效应中或多或少包含一阶效应的部分（尤其是在数字技术应用的物理实体使用部分），而剔除这部分剩下的即为净二阶效应，该种效应为评估数字赋能垂直行业最有效的指标。

### （4）高阶效应

数字技术对消费模式、生活方式和价值体系等形成改变而产生的对绿色发展的影响，属于除一阶和二阶效应之外的间接效应（包括但不限于反弹效应）。

### （5）反弹效应

可分为直接反弹效应及间接反弹效应。直接反弹效应是指数字技术发展到一定程度后，整体成熟度提升，具体体现为：相关产品及技术投入成本降低、产品及服务的便利性提升，整个数字赋能的经济性提升，吸引使用主体更大规模吸纳，这种大规模生产使用可能对能耗出现净增加及环境负面影响；间接反弹效应同样是数字技术发展到一定程度，可能产生综合效率提升，其中节省的成本、时间等资源花费在其他产品和服务上，从而引起新能耗增加以及环境负面影响。

## 四、信息通信网络可持续发展实践

可持续发展理念在电信运营企业、设备制造商、解决方案服务商、相关国际组织等持续渗透，已涌现出覆盖环境、经济及社会各层面的实践案例，取得了卓有成效的结果。

### （一）可持续综合实践

中国移动为解决业务增长带来的成本攀升问题，提出绿标-绿评-绿优管理体系，并以综合业务区为单位，选定雄安新区打造绿色网络示范区，构建多业务融合极简网络，实现双碳平台实现信息流/能量流可视可管。通过引入绿色低碳、性能体验、网络能力等多维度指标，对不同综合业务区进行评估，并制定针对性优化方案。根据评估体系牵引，数字化平台支撑，雄安移动打造了绿色低碳网络示范区，在追求业务持续增长、网络能力提升的同时，通过智能化手段降低了能耗碳耗，打造了可持续的信息通信网络。

香港电讯在采用绿色监管政策与评估（GRPE）框架之后，部署了 NetLIVE 平台来收集和分析能源消耗数据，生成了能够针对各运营领域节能情况及能效提供可量化洞察信息的指标体系。该平台聚焦高能耗高排放领域，能够输出投资回报率以及绿色低碳相关参数改善情况分析包括。此外，通过 NetLIVE 平台中融入人工智能技术，基于智能化管控促进了性能分析与优化。如，借助 AI 技术，香港电讯提高了设备效率，实现了额外的节能效果，并提升了网络性能，包括优化用能结构，增强网络稳定性和可靠性等。例如，一项源于 NetLIVE

平台分析的现代化解决方案在第一年就产生了 25%<sup>2</sup>的投资回报率，凸显出该平台在启动成本节约措施方面的成效。

## （二）环境可持续实践

### 1. 国际层面

沙特电信实施了 5G 传输时间间隔 (TTI) 级别的信道关闭功能，允许基站在低负载时段关闭射频信道以节约能源。此外，4G 智能功率控制根据需求调整功率水平来优化能源使用，确保关键信令不受影响。同时，沙特电信已在基站站点引入太阳能解决方案，与锂电池储能及智能能源管理系统相结合，使其成为主要能源，可满足约 90% 的能源需求。此外，新的智能柴油和智能燃料方案融入了人工智能技术，可实现自我检测和调节，对燃料消耗进行优化以实现最高效率。对可再生能源的这种投入不仅减少了对化石燃料的依赖，还提升了沙特电信公司运营的可持续性。

德国电信通过优化网络基础设施提高能源效率。例如，T-Systems 开发了 Syrah 可持续发展解决方案，用于收集可持续发展方面的数据。另外，其与科思创展开合作，研发了应用模克隆材料的下一代固网设备。作为一种含可再生生物循环原料的材料，模克隆提供了一种高质量的即用型材料解决方案，在不影响机械性和功能性表现的前提下，可减少化石能源的消耗，降低环境影响。

### 2. 国内层面

---

<sup>2</sup> GSMA, Cases Study: Hongkong Telecom

中国移动通过“引领硬件能效提升”、“部署站点级节能技术”，打造绿色站点，推动信息通信网络低碳发展。中国移动通过新设计、新材料、新指标，引领产业不断降低设备功耗、提升设备能效，如持续开展天线与射频滤波器一体化、3D-MIMO、高效散热外壳、基于 GaN 氮化镓的功率放大器、iSDU 等新技术研究，并在全网开启 4G 网络符号关断、通道关断、载波关断等软件节能功能。同时，中国移动还关注北斗共存干扰、滤波器件插损、等效设备功耗等新指标。“十三五”期间，中国移动基站设备满载功耗下降率超过 20%<sup>3</sup>。

中国联通在技术应用方面提出了创新性解决方案。基于机器学习和深度学习算法，分析用户附着量、VIP 用户接入数、业务流量、设备 PRB 利用率等基站业务特征。通过节能参数寻优、多策略集合智能推荐、4G/5G 共建共享协同、软硬关协同，综合评估节能覆盖、感知、收益等参数，自动生成“一小区一策略”精细化节能方案，深度挖掘节能时长和规模。相较传统节能技术，该方案的节能规模提升 300%，单小区节能时长提升 30%<sup>4</sup>。

中国电信为控制 5G 基站能耗快速增长，基于大数据和 AI 技术，自主研发全网统一基站智慧节能平台“天翼蓝能”，实现安全、自动、大限度的精确节能。截至 2022 年 6 月底，中国电信基站智慧节能系统已完成全国 31 省部署，纳管 5G 扇区 130 万以上，5G 节能效率提

---

<sup>3</sup> 中国移动，《C<sup>2</sup>三能——中国移动碳达峰碳中和行动计划白皮书》

<sup>4</sup> 通信世界，“数智驱动 自智牵引”中国联通基站绿色低碳发展迈上新台阶，  
<http://www.cww.net.cn/article?id=586842>

升 15%，每年可减少二氧化碳排放 50 万吨以上<sup>5</sup>。

### （三）经济可持续实践

#### 1. 共建共享

欧盟委员会出台的《欧洲数字议程》中提出了电信基础设施共建共享的具体目标和措施，运营商积极探索和实践基站共享、光纤共建共享等举措，提升网络覆盖和服务质量，降低成本。Orange 与 Bouygues Telecom 合作共建基站，Vodafone 与 Wind Tre 合作共建光纤网络，不仅提升了网络覆盖和服务质量，也为电信运营商节约了大量的投资和运营成本。

中国联通与中国电信深耕 5G 共建共享，截至 2024 年 11 月，电联双方已建成超 137 万个 5G 中高频基站，共享 4G 基站超过 200 万站，5G 网络基本实现了全国乡镇及以上区域连续覆盖、重点场景和重点客户的深度覆盖，为 5G 业务全面便捷服务千家万户、赋能千行百业提供了高质量的网络保障。双方强化联合技术创新，开展低空经济领域 5G 技术合作，前瞻布局 6G 共建共享顶层设计。五年来，双方通过共建共享、共维共优，累计节省投资超 3600 亿元，年均节省运营成本超 400 亿元，有力推动了数字信息基础设施建设沿着绿色低碳、高质高效的方向加快发展<sup>6</sup>。

中国铁塔推广了共享模式，通过与多家运营商合作，实现了 5G

<sup>5</sup> 国务院国有资产监督管理委员会，《中国电信：基于 AI 和大数据的基站智慧节能》

<sup>6</sup> 中国电信和中国联通以高质量党建引领网络高质量共建共享

<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1816057129628104196&wfr=spider&for=pc>

基础设施的共建共享。这种模式不仅降低了单个基站的建设成本，还减少了土地资源的占用。在海南省自由贸易港，移动基站的站址共享率提升了 20%，相当于减少了 7008 座铁塔的重复建设，节约投资 11.3 亿元<sup>6</sup>，从另一层面也提升了投资回报率。

## 2. 智能管理

中国移动正在利用 5G-Advanced（5G-A）和轻量化（Red Cap）技术助力跨行业实现绿色发展。借助应用程序编程接口（API），它能够向摩天大楼管理方提供必要信息，以开展交通管控，并协助购物中心企业进行营销与推广活动。通过该解决方案，搭建了一个“建筑能源与安全管理平台”，可借助 5G-A 和轻量化设备从门锁、电梯/自动扶梯、停车场管理、照明、空调、以及闭路电视监控系统等方面获取数据信息。利用对各楼层及各区域内人员数量的实时监测，它能够按需开启或关闭自动扶梯、照明设备以及空调，以此提高能源利用效率。此外，中国移动正运用应用程序编程接口将必要信息传递给大楼管理方，以进行人群安全管理。

### （四）社会可持续实践

华为与联合国教科文组织（UNESCO）实现教育可持续发展。华为公司与联合国教科文组织合作开展教师培训项目，借助网络视频会议软件和在线培训平台，组织专家为当地教师提供教学方法和技术应

<sup>6</sup> 海南建立通信基站共享建设机制 为光网建设提速

[https://www.toutiao.com/article/6753867133832151560/?upstream\\_biz=doubao&source=m\\_redirect&wid=1735957395384](https://www.toutiao.com/article/6753867133832151560/?upstream_biz=doubao&source=m_redirect&wid=1735957395384)

用方面的培训。在社区层面，联合开展数字扫盲活动。利用移动互联网技术开发适合当地居民的数字教育应用，通过简单易懂的方式向成年人普及数字知识。这些活动通过网络技术打破了地域限制，提升了当地居民的数字素养和就业能力，进而推动整个社会在教育、经济等多个领域的可持续发展。

**中国移动的“数智乡村振兴计划”**，以通信网络为基础助力乡村振兴。中国移动加大农村地区通信基站建设力度，实现了大部分农村地区 4G/5G 网络的广泛覆盖。在此基础上，构建了农村综合信息服务平台。例如，通过物联网技术，为农村的农业生产提供精准服务。在一些种植基地部署传感器，通过移动网络将土壤湿度、温度、光照等数据实时传输到云端平台。农民可以根据云端平台的数据分析结果，精准施肥、灌溉，提高农作物产量和质量。同时，中国移动开展“互联网 + 政务服务”下乡活动，利用通信网络将政务服务窗口延伸到乡村。村民可以通过手机应用或乡村政务服务终端，办理诸如社保、医保等业务，大大缩短了村民办事的时间和路程成本。促进了乡村社会的可持续健康发展。

**沃达丰（Vodafone）的“Red Connect for Good”项目**，重点关注贫困家庭、难民群体等。沃达丰与慈善机构和社会福利组织合作，为目标群体提供免费或低成本的通信服务套餐。这些套餐包括一定量的数据流量、通话时长和短信服务。同时，在难民安置点等区域，沃达丰加强通信网络覆盖，通过便携式基站等设备，确保网络信号稳定。针对贫困家庭的儿童教育问题，沃达丰还提供了教育资源平台的免费访

问权限。通过通信网络，儿童可访问在线学习课程、电子书籍等教育资源，对于贫困家庭的儿童，免费的教育资源访问权限提升了他们的学习机会，有助于打破贫困的代际传递，推动社会公平和可持续发展。对于难民群体，稳定的通信网络使他们能够与家人保持联系，并且获取关于安置政策、就业培训等重要信息。在一些欧洲国家的难民安置点，通过该项目，难民融入当地社会的进程加快，社会矛盾得到一定程度的缓解。

## 五、信息通信网络可持续发展路径

信息通信网络作为支撑经济社会发展的关键基础设施，其可持续发展对于促进环境友好、经济增长和社会进步具有不可替代的作用，本节聚焦环境、经济和社会可持续发展，从信息通信网络规划、设计、建设、运维等全生命周期探讨其可持续发展路径。

### （一）做好可持续发展新布局

在信息通信网络规划布局方面，深化可持续发展战略和生态布局，开展供需预测匹配、区域均衡、多网融合、跨界生态合作等相关工作。同时，全力支撑我国“东数西算”规划，提升我国整体算力水平和绿色低碳发展水平，进一步降低算力经济成本。另外，不断扩大信息通信网络覆盖面，推动区域间均衡发展。加速各类信息通信技术和绿色技术的融合，统筹推进信息通信网络跨界协同布局，持续赋能经济社会可持续发展。

### （二）完善可持续发展新设计



在信息通信网络设计方面，加速优化网络架构，精简网络层级和网络设备节点数量，推动网络扁平化、云网融合、算电协同、云边端协同的网络架构。同时，推广各类绿色节能设计，从能源供给、系统设计、设备选型等多方面深化信息通信网络可持续发展设计，降低能源资源消耗和经济成本压力。从设计初期，充分考量通信管道、杆路、光缆、机房、室分等网络基础设施共建、共享、共维，充分利用已有各类资源，提升基础设施使用效率，提高信息通信网络覆盖率，提升信息通信网络社会服务水平。

### **（三） 推动可持续发展新建设**

在信息通信网络基础设施建设方面，推动先进节能技术与产品在通信基站、通信机房和数据中心等关键环节的规模化应用，含主设备、供电、制冷等重点用能领域。树立环保施工理念，优化各类建设资源配置，进一步推广共建共享建设模式，不仅实现行业内基站站址、管道、杆路、光缆、机房、室分等网络基础设施共建共享共维，还要与社会资源的整合共享，减少社会土地资源占用，降低设施建设经济成本。

### **（四） 深化可持续发展新运营**

在信息通信网络运营方面，以降低排放、提升效益和发挥最大价值为核心策略，一方面提升各类设施能耗精准化、智能化管控水平和运行维护效率，同步加快业务平台和信息技术系统云化，建设完善数字化运营平台，降低运营成本的同时减弱环境影响。另一方面，随着数字经济与实体经济深度融合，结合千行百业应用场景，信息通信网

络以提升社会福祉为首要目标，持续优化对外服务并提供更高价值。

## 六、信息通信网络可持续发展展望

在数字化转型浪潮下，信息通信网络作为信息通信技术的重要载体和重要纽带，已经成为推动经济社会高质量发展的关键力量。如何平衡信息通信网络性能的超高需求和其产生的环境、经济及社会影响将是其可持续发展的关键点，绿色、高效、安全、稳定更是未来信息通信网络发展的关键词。

信息通信网络新技术持续快速迭代，为数字技术的跨越式发展奠定坚实基础，也为信息通信网络可持续发展带来更大挑战和更多机遇。移动通信网络技术方面，5G-A、6G 等创新技术正加紧开展技术验证和标准制定工作，卫星通信、量子通信等前沿技术已初步实用并不断探索产业化道路。固定通信网络技术方面，万兆光网逐渐普及，全光网络、云化与虚拟化等网络架构变革正在进行。但新一代信息通信技术如 6G 技术与 AI 的深度融合，将对可持续发展带来巨大挑战。因此，信息通信网络各环节中先进绿色低碳技术必定得到规模化应用，且以网络为基础的算网融合、云网融合、光电融合、通信感知融合、算电融合等融合类技术将快速落地，共同赋能信息通信网络迭代演进和经济社会全面可持续发展。

未来，信息通信网络将从环境、经济、社会三方面出发，持续深化可持续发展进程。一是多措并举应用绿色能源实现源头减碳，采用各类节能低碳技术和能源资源的综合利用等促进过程降碳，研制信息通信网络、企业、重点用能基础设施、各类产品等不同级别的碳排放

核算与碳足迹评价标准等实现碳排放精细管理，基于以上三大举措持续降低对环境的影响，与业界携手推动环境可持续发展从而应对全球气候变化。二是通过网络规划、设计、建设、运营等全生命周期降低运行成本，促进其经济可持续发展。三是聚焦提高网络安全性、可靠性与韧性，提升用户体验，不断满足人民对美好生活的向往为宗旨，深化对生产、生活的赋能作用，促进社会可持续发展。

**中国信息通信研究院 泰尔系统实验室**

**地址：北京市海淀区花园北路 52 号**

**邮编：100191**

**电话：010-58846069**

**传真：010-58846080**

**网址：[www.caict.ac.cn](http://www.caict.ac.cn)**

