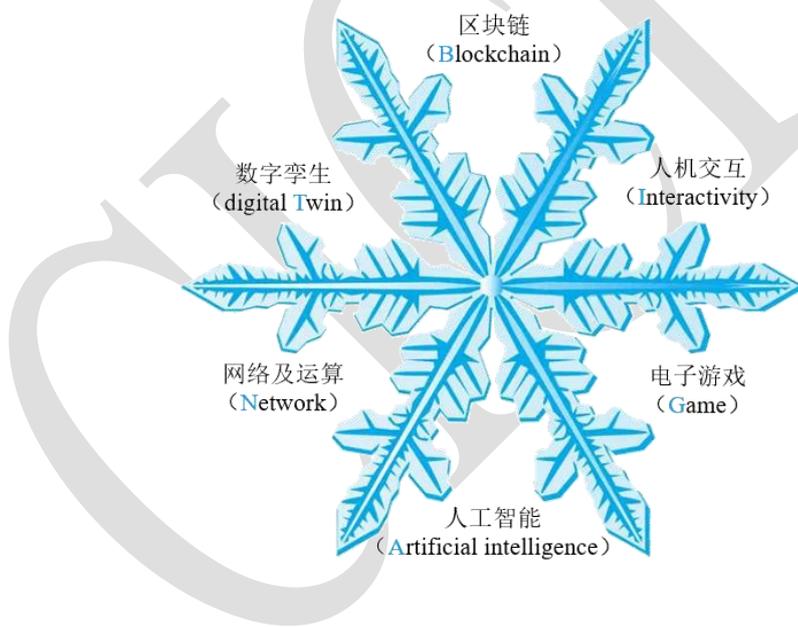


# 元宇宙技术全景 白皮书 (2022)

---



# 前 言

元宇宙的英文是 Metaverse, Metaverse=Meta (超越) +Universe (宇宙), 即超越现实的虚拟宇宙。

元宇宙是众多新技术的集大成者。基于自己的推敲与思考, 本白皮书梳理出了元宇宙六大技术全景, 包括: 区块链 (Blockchain)、人机交互 (Interactivity)、电子游戏 (Game)、人工智能 (Artificial intelligence)、网络及运算 (Network)、数字孪生 (digital Twin), 简称“BIGANT” (大蚂蚁)。

元宇宙基于区块链技术搭建经济体系, 基于人机交互技术实现更高维度, 基于电子游戏技术提供沉浸式体验, 基于人工智能技术进行多场景深度学习, 基于网络及运算技术打造“智慧连接”“深度连接”“全息连接”“泛在连接”与“算力即服务”的基础设施, 基于数字孪生技术生成现实世界的镜像, 将虚拟世界与现实世界在身份系统、社交系统、经济系统上密切融合, 赋能用户进行个性化内容生产和多元化世界编辑, 构建虚实融合的数字生活空间。

本白皮书首先介绍了元宇宙简史和元宇宙概念, 接着阐述了元宇宙的八大关键要素和七层价值空间, 然后对元宇宙的六大技术全景进行了详细诠释, 最后展示了中通服设计院在元宇宙领域的成果——数字孪生城市。

---

# 目 录

<b>1. 元宇宙简史</b> .....	<b>1</b>
<b>2. 元宇宙概念</b> .....	<b>3</b>
2.1 大咖们眼中的“元宇宙”.....	3
2.2 元宇宙定义 .....	6
<b>3. 元宇宙八大关键要素</b> .....	<b>7</b>
3.1 罗布乐思提出的元宇宙八大关键要素 .....	7
3.2 元宇宙虚拟世界与现实世界关系解读 .....	9
<b>4. 元宇宙七层价值空间</b> .....	<b>10</b>
<b>5. 元宇宙六大技术全景</b> .....	<b>10</b>
5.1 区块链.....	12
5.2 人机交互 .....	22
5.3 电子游戏.....	31
5.4 人工智能.....	38
5.5 网络及运算 .....	47
5.6 数字孪生 .....	62
<b>6. 中通服设计院在元宇宙领域的成果——数字孪生城市</b> .....	<b>70</b>
<b>7. 结束语</b> .....	<b>73</b>



## 1. 元宇宙简史

古往今来，人类在精神层面的探索从未停止过，在现实世界所缺失的，将努力在虚拟世界进行创作。

古代	文学、绘画、戏剧	绘声绘色	沉浸感 参与感 补偿感
近代	电影	视听造梦	
现代	VR	如临其境	
未来	元宇宙	生活其中	

图 1-1 虚拟世界对现实世界的精神扩充图

“元宇宙”概念首次提出是在 1992 年，尼尔·斯蒂芬森（Neal Stephenson）在科幻小说《雪崩》（*Snow Crash*）中提出了“Metaverse（元宇宙，汉译本当时译为“超元域”）”和“Avatar（阿凡达，化身）”这两个概念。书中讲述了现实人通过 VR 设备与虚拟人共同生活在一个虚拟世界的故事，这个虚拟世界就是 Metaverse。她脱胎于现实世界，并且平行于现实世界。她栩栩如生，让人沉浸其中，可以做任何想做的事（包括在现实世界里无法实现的事）。比起现有的虚拟世界，她是一种更高维度的交互性体验。

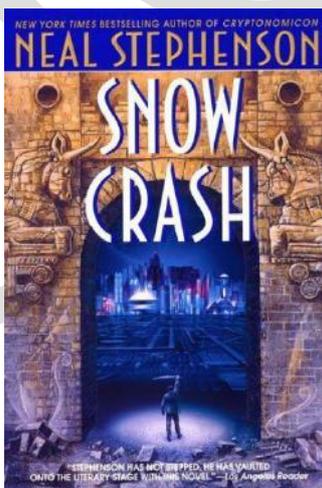


图 1-2 《雪崩》封面图

网络世界的崛起为科幻作家的思想提供了一个驰骋万里的绝妙空间，科幻小说也为网络世界的发展和网络文化的形成起到了推波助澜的显著功效。《雪崩》中提出的

“Metaverse”对后来的计算机技术，尤其在游戏领域产生了深远影响。

随后，游戏《罗布乐思》、《我的世界》、《堡垒之夜》、加州大学伯克利分校云毕业典礼、中国传媒大学云毕业典礼，电影《头号玩家》等陆续以元宇宙的元素进入大家的视野和生活中。



图 1-3 《罗布乐思》官网首页图



图 1-4 电影《头号玩家》宣传海报图



图 1-5 Travis Scott 在《堡垒之夜》举办虚拟演唱会图



图 1-6 美国加州大学伯克利分校在《我的世界》举办云毕业典礼图



图 1-7 中国传媒大学在《我的世界》举办云毕业典礼图



图 1-8 Facebook 推出 Horizon Workrooms, 为 VR 办公提供 3D 会议室场景图

## 2. 元宇宙概念

元宇宙的英文是 Metaverse, Metaverse=Meta (超越) +Universe (宇宙), 即超越现实的虚拟宇宙。

### 2.1 大咖们眼中的“元宇宙”

(1) 尼尔·斯蒂芬森 (Neal Stephenson), 科幻作家, 《雪崩》作者



只要戴上耳机和眼镜，找到一个终端，就可以通过连接进入由计算机模拟的另一个三维现实，每个人都可以在这个与现实世界平行的虚拟空间中拥有自己的分身 (Avatar)。在这个虚拟世界中，现实世界的所有事物都被数字化复制，人们可以在虚拟世界中做任何现实生活中的事情，比如逛街、吃饭、发虚拟朋友圈。此外，人们还可以完成现实世界里不能实现的野心，比如瞬时移动。

#### (2) 马克·扎克伯格 (Mark Zuckerberg), Facebook 创始人兼首席执行官

元宇宙是跨越许多公司甚至整个科技行业的愿景，你可以把它看作是移动互联网的继任者。元宇宙将带来巨大的机会，包括对于创作者和艺术家，对于想在远离城市中心的地方工作和拥有住房的人，对于居住在教育和娱乐机会匮乏的地方的人。元宇宙里的应用可以是 3D 的，但也不一定是 3D 的。我希望在未来五年左右，让 Facebook 公司成功转型为一家元宇宙公司。

#### (3) 马化腾，腾讯董事会主席兼首席执行官

一个令人兴奋的机会正在到来，移动互联网经历了十年发展，即将迎来下一波升级，我们称之为“全真互联网”。虚拟世界与现实世界的大门已经打开，无论是从虚到实，还是由实入虚，都在致力于帮助用户实现更真实的体验。未来，我们将在高工业化游戏、Metaverse 等领域加大投入。

#### (4) 黄仁勋，英伟达 (NVIDIA) 创始人

科幻小说中的元宇宙已经近了，我相信我们正处在元宇宙的风口浪尖上。正如你们所知道的，元宇宙是一个连接到我们所生活的世界、由多人共享的虚拟世界。它有真实的设计和经济环境，你有一个真实的头像，既可以是真人，也可以是一个角色。我们将会看到这个在物理世界之上的叠加层。你可以看到这个虚拟世界就在眼前，光线充足，并且它就属于你。



(5) 肖风，万向区块链董事长兼总经理

数字化迁徙的运动正在网络世界、虚拟空间里建立一个数字化新世界——元宇宙，这个新世界可能蕴藏着比物理世界更大的财富宝藏。互联网、区块链、虚拟现实、增强现实、人工智能等新技术都是人类驶向数字世界的帆船。

(6) 刘怀洋，爻宇宙公民，悉见创始人，本无起源创始人

元宇宙时代物理、伦理、成本、生产力、生产关系、价值定义都发生了巨变。从尺度上看，狭义元宇宙可指任意精神沉浸场景，如书、角色、电影、游戏、城市；广义元宇宙则是所有现实与虚拟世界及其中的物种、物质、信息、规律、时间等互联形成的超级文明体。人人皆可创建无数个狭义元宇宙，最终构成广义元宇宙统一体。从时间上看，2030年前 Web2.5 “虚实共生”，现实与数字世界的互通入口，如 AR 世界地图，至关重要；2050年前 Web3.0 “虚实莫辩”，海量元宇宙，如头号玩家，实现体验互联；2070年前 Web4.0 才是脑机与 AI+ 系统互联的真·元宇宙时代。

(7) 朱嘉明，经济学家，数字资产研究院学术与技术委员会主席

2021 年语境下的“元宇宙”的内涵已经超越了 1992 年《雪崩》中所提到的“元宇宙”：吸纳了信息革命 (5G/6G)、互联网革命 (Web 3.0)、人工智能革命，以及 VR、AR、MR，特别是游戏引擎在内的虚拟现实技术革命的成果，向人类展现出构建与传统物理世界平行的全息数字世界的可能性；引发了信息科学、量子科学、数学和生命科学的互动，改变了科学范式；推动了传统的哲学、社会学，甚至人文科学体系的突破；囊括了所有的数字技术，包括区块链技术成就；丰富了数字经济转型模式，融合 DeFi、IPES、NFT 等数字金融成果；展现了一个可以与大航海时代、工业革命时代、宇航时代具有同样历史意义的新时代。



## 2.2 元宇宙定义

元宇宙是整合扩展现实、人工智能、数字孪生、区块链、5G/6G、算力网络、高速光纤通信、物联网、电子游戏等多种新技术而产生的新型虚实相融的社会形态，是与现实世界映射并且平行交互的虚拟世界，是通过科技手段进行创造与链接的具备新型社会体系的数字生活空间。

元宇宙基于区块链技术搭建经济体系，基于人机交互技术实现更高维度，基于电子游戏技术提供沉浸式体验，基于人工智能技术进行多场景深度学习，基于网络及运算技术打造“智慧连接”“深度连接”“全息连接”“泛在连接”与“算力即服务”的基础设施，基于数字孪生技术生成现实世界的镜像，将虚拟世界与现实世界在身份系统、社交系统、经济系统上密切融合，赋能用户进行个性化内容生产和多元化世界编辑，构建虚实融合的数字生活空间。

元宇宙采集一切人与自然环境的数据信息，构建人类社会物理世界与虚拟世界虚实相融的数字空间，打造基于元宇宙的新型管理模式，将带来国家宏观指导、社会治理、企业与人的管理方式的全新变革，为构建和谐社会赋予新的手段。元宇宙源于游戏，必将超越游戏，正如元宇宙超越宇宙，必将推动人类社会向更加进步、更加文明的方向前行与发展。

元宇宙的发展阶段如图 2.2-1 所示，2021 年被称为“元宇宙元年”。

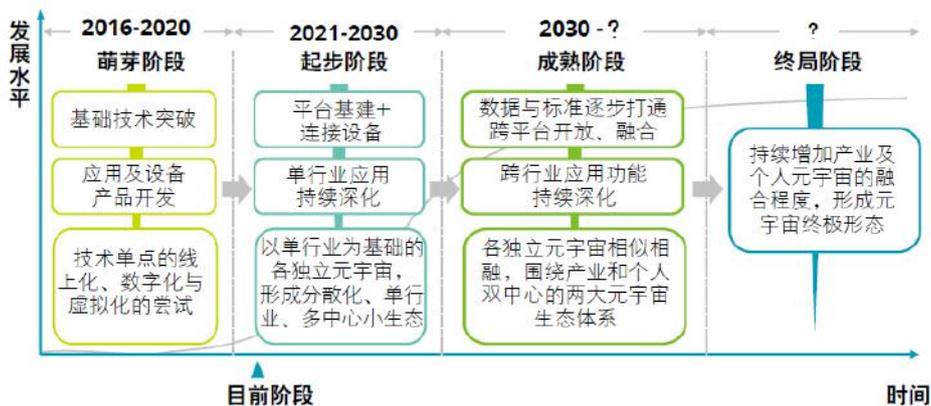


图 2.2-1 元宇宙的发展阶段图

### 3. 元宇宙八大关键要素

#### 3.1 罗布乐思提出的元宇宙八大关键要素

罗布乐思提出了通向“元宇宙”的八个关键要素，即 Identity（身份）、Friend（朋友）、Immersiveness（沉浸感）、Low Friction（低延迟）、Variety（多样性）、Anywhere（随地）、Economy（经济）、Civility（文明）。这也是第一家尝试概括描述“元宇宙”特征的商业公司。

(1) Identity（身份）：每个人登录这个游戏之后，都会获得一个身份。我们在现实世界有一个身份，同时在虚拟世界也需要一个虚拟身份。虚拟世界的身份跟我们是一一对应的。每个人都可以在元宇宙中有一个“化身”，比如在《雪崩》中，这个化身被称为“Avatar”（阿凡达），借用“阿凡达”指每个人的虚拟身份。身份是构建完整生态的第一步。

(2) Friend（朋友）：元宇宙内置了社交网络，每个阿凡达的朋友关系、活动、交流都在元宇宙中进行。

(3) Immersiveness（沉浸感）：沉浸感迄今为止是人机交互中被人忽视的一部分，



虽然它经常在游戏环境中被提及，但是当你阅读一本特别引人入胜的书的时候，或是观看电影、电视节目的时候也可以这么形容。然而，沉浸于书中或者电影中的感受和沉迷于游戏中的感受是非常不同的。在大多数媒体中，玩家会随着剧情的发展而非外界影响感知角色，因为这个角色的个性已经被作者或者是导演所决定。相反，在游戏中，玩家对游戏角色的控制以及这种代入感成为影响游戏环境的重要因素。

(4) Low Friction (低延迟)：游戏延迟就是数据从游戏客户端到服务器再返回的速度。网络状态越好，服务器响应越快；使用人数越少，延迟就会越低。在一些需要快速反应的游戏中，比如竞技类和 RPG 类对战，延迟对于游戏的影响很大。罗布乐思的延迟要求不高，因为都是像素级别，颗粒度比较粗，计算量也就比较小，普通电脑也能够承受，如果画面很精细，许多电脑的运转速度根本无法达到要求。

(5) Variety (多样性)：虚拟世界有超越现实的自由和多元性。

(6) Anywhere (随地)：不受地点限制，可以利用终端随时随地出入游戏。

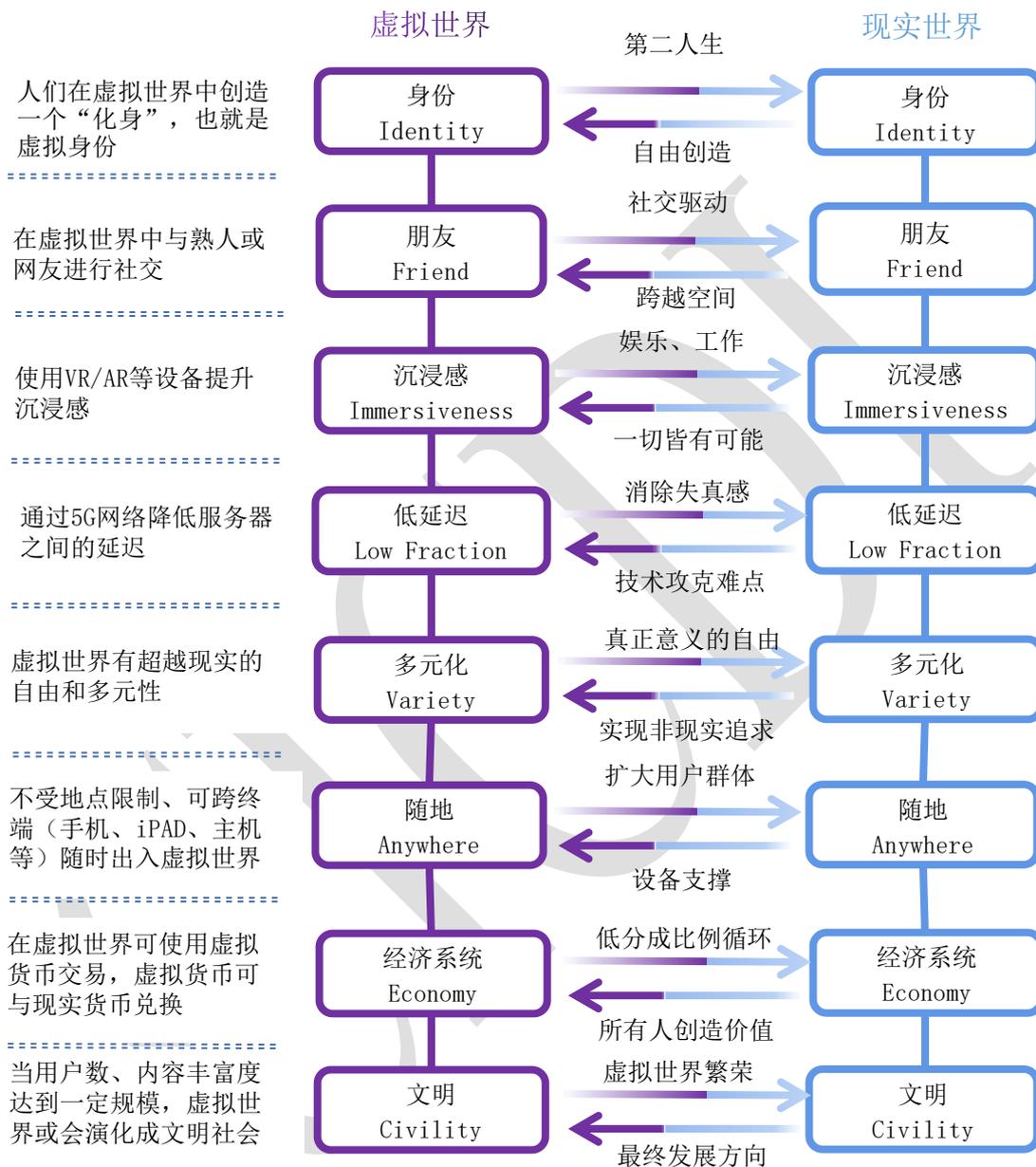
(7) Economy (经济)：罗布乐思有自己的经济系统。当平台上有了足够的玩家与游戏开发者，在 2008 年，公司停止了自身的游戏开发，在平台上线了虚拟货币 Robux，2013 年罗布乐思又为开发者提供了虚拟商品。之后，罗布乐思不断优化这套类似现实世界的货币交易系统。对开发者来说，可以通过四种方式挣得 Robux，即自己开发的付费游戏销售、在自己开发的免费游戏上获得玩家的时长分成、开发者间的内容和工具付费交易、平台上销售虚拟商品。

(8) Civility (文明)：罗布乐思也有自己的文明体系。我们在里面可以有生活，几个人可能组成社区，社区就组成了乡村、城市、大城市。大家做出共同的规则，然后在里边共同生活下去，演化成一个文明社会，所以它是一个不断演化的过程。



### 3.2 元宇宙虚拟世界与现实世界关系解读

基于上述八大关键要素，元宇宙虚拟世界与现实世界关系解读如图 3.2-1 所示。



数据来源：竞核研究组、东吴证券研究所

图 3.2-1 元宇宙虚拟世界与现实世界关系解读图



## 4. 元宇宙七层价值空间

根据罗布乐思招股书，元宇宙的七层价值空间如图 4-1 所示。



图 4-1 元宇宙的七层价值空间图

## 5. 元宇宙六大技术全景

关于“元宇宙六大技术全景”，有不止一种版本。

版本 A 出自《元宇宙通证》，如图 5-1 所示。

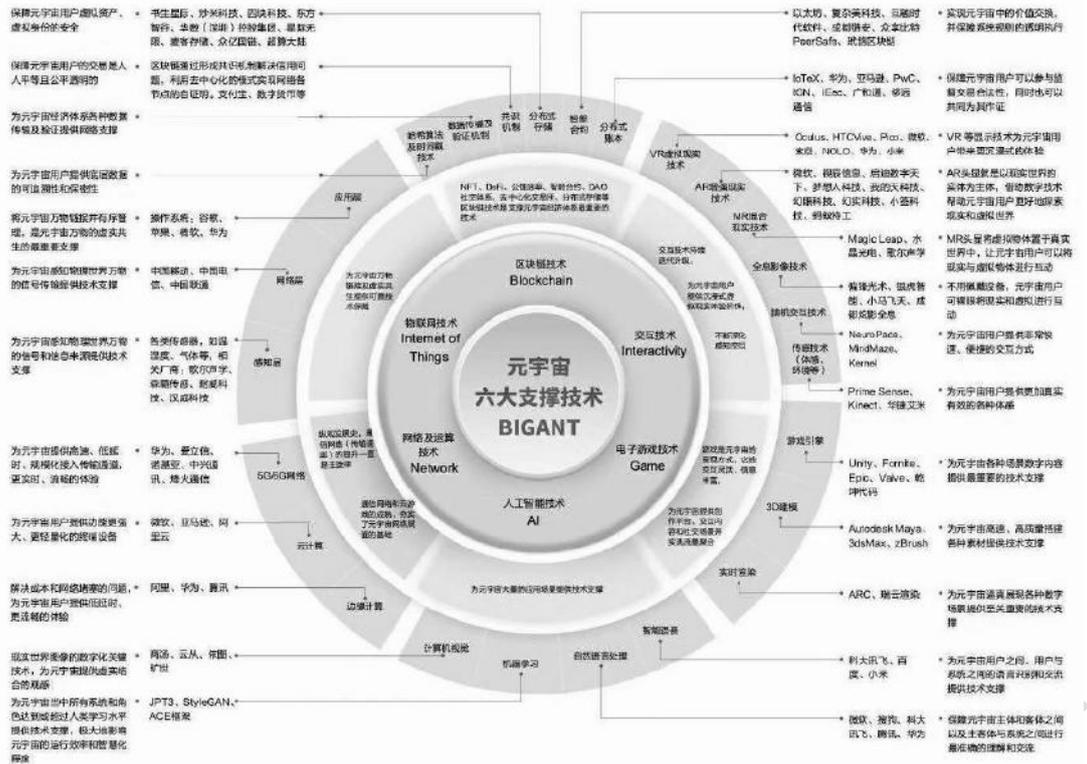


图 5-1 元宇宙六大技术全景图（出自《元宇宙通证》）

版本 B 出自《元宇宙前沿报告》，如图 5-2 所示。



图 5-2 元宇宙六大技术全景图（出自《元宇宙前沿报告》）

在元宇宙的概念中，“数字孪生”的重要性超过“物联网”。综合考虑版本 A 和 B，本白皮书计划将版本 A 中的“物联网”换成“数字孪生”，而将“物联网”放入“网络及运算（Network）”板块中。本白皮书梳理出的元宇宙六大技术全景包括：区块链



(Blockchain)、人机交互 (Interactivity)、电子游戏 (Game)、人工智能 (Artificial intelligence)、网络及运算 (Network)、数字孪生 (digital Twin), 简称 “BIGANT” (大蚂蚁), 如图 5-3 所示。

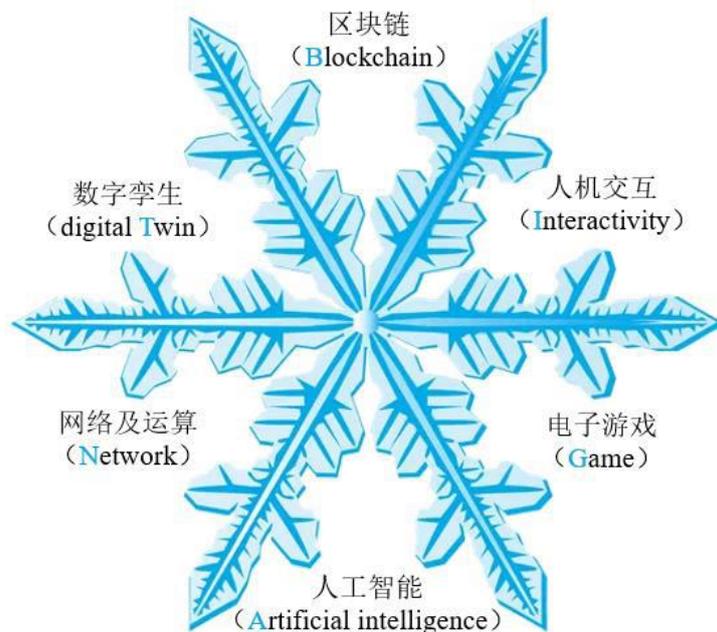


图 5-3 本白皮书梳理的元宇宙六大技术全景图

## 5.1 区块链

### 5.1.1 区块链概念

区块链起源于比特币。2008 年 11 月 1 日,一位自称中本聪(Satoshi Nakamoto)的学者发表了《比特币:一种点对点的电子现金系统》一文,阐述了基于 P2P 网络技术、加密技术、时间戳技术、区块链技术等的电子现金系统的构架理念,这标志着比特币的诞生。两个月后理论步入实践,2009 年 1 月 3 日第一个序号为 0 的创世区块诞生,几天后 2009 年 1 月 9 日出现序号为 1 的区块,并与序号为 0 的创世区块相连接形成了链,标志着区块链的诞生。

各个区块之间通过随机散列(也称哈希算法)实现链接,后一个区块包含前一个区



块的哈希值，随着信息交流的扩大，一个区块与一个区块相连接，形成的结果就是区块链。

#### 5.1.1.1 区块链定义

区块链的英文是 Blockchain，Blockchain=Block（区块）+Chain（链），数据以区块为单位产生和存储，并按照时间顺序连成链式数据结构。

区块链是一种融合多种现有技术的新型分布式计算和存储范式。狭义来讲，区块链是按照时间顺序将数据区块依次连接形成的一种链式数据结构，是以密码学方法保证数据块的不可篡改和不可伪造的分布式账本。广义来讲，区块链是利用块链式数据结构验证与存储数据、利用分布式节点共识算法生成和更新数据、利用密码学方式访问和传输数据、利用智能合约编程和操作数据的一种全新的分布式基础架构与计算范式。

#### 5.1.1.2 区块链特征

区块链的特征如下：

- (1) 去中心化和集体维护；
- (2) 共识机制和匿名性；
- (3) 数据不可篡改和安全性；
- (4) 信息公开透明。

#### 5.1.1.3 区块链模型

区块链的模型如图 5.1.1.3-1 所示。

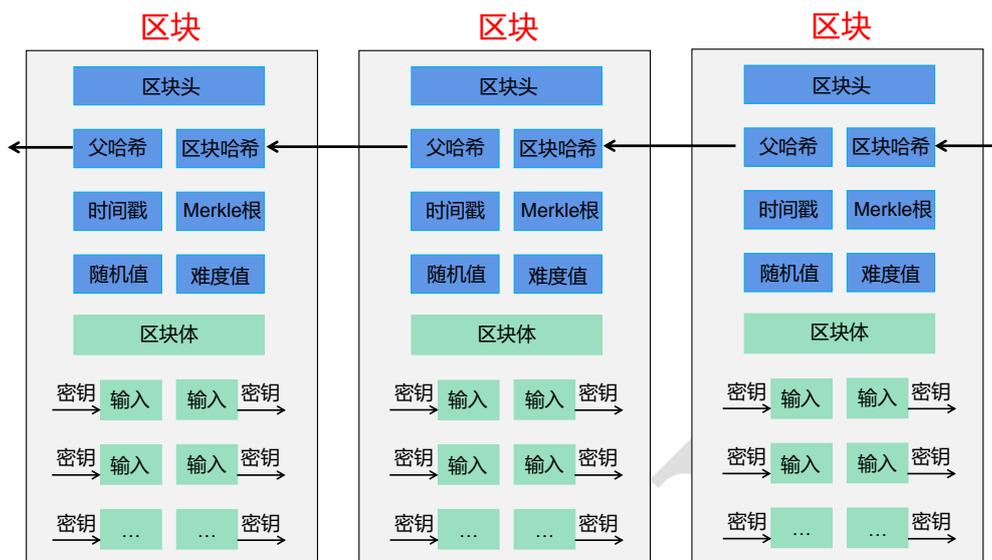


图 5.1.1.3-1 区块链模型图

### 5.1.1.4 区块链架构

区块链的架构如图 5.1.1.4-1 所示。

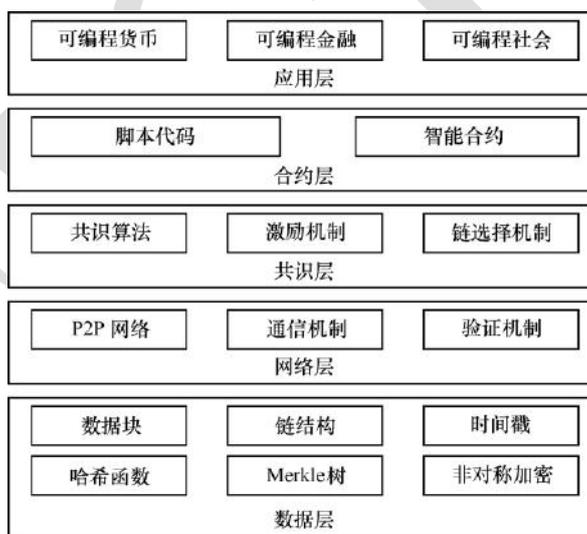


图 5.1.1.4-1 区块链架构图

### 5.1.1.5 区块链类型

区块链可以分为公有链、联盟链、私有链，三者的比较如表 5.1.1.5-1 所示。

表 5.1.1.5-1 区块链类型表

类型	公有链	联盟链	私有链
参与者	任何人自由进出	联盟成员	个体或公司内部
适用模式	完全开放	多个机构/组织之间	机构/组织内部
共识机制	PoW、PoS、DPoS	分布式一致性算法	分布式一致性算法
记账人	所有参与者	联盟成员协商确定	自定义
激励机制	需要	可选	不需要
中心化程度	去中心化	多中心化	中心化
特点	公开、透明、自运行	效率高、可控	效率高、内部可控
典型场景	虚拟货币	支付、结算	审计、发行
代表项目	比特币、以太坊	分布式超级账本	公司内部链

中心化程度示意图如图 5.1.1.5-1 所示。

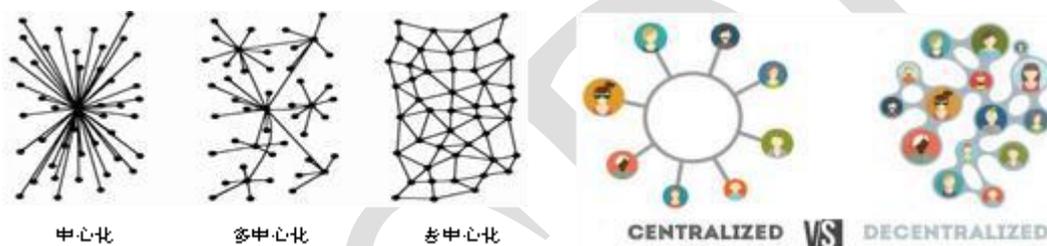


图 5.1.1.5-1 中心化程度图

## 5.1.2 区块链简史

区块链简史可以分为五个阶段：去中心化账本、去中心化计算平台、去中心化金融、非同质化通证、元宇宙的基础设施。区块链的五个阶段如图 5.1.2-1 所示。

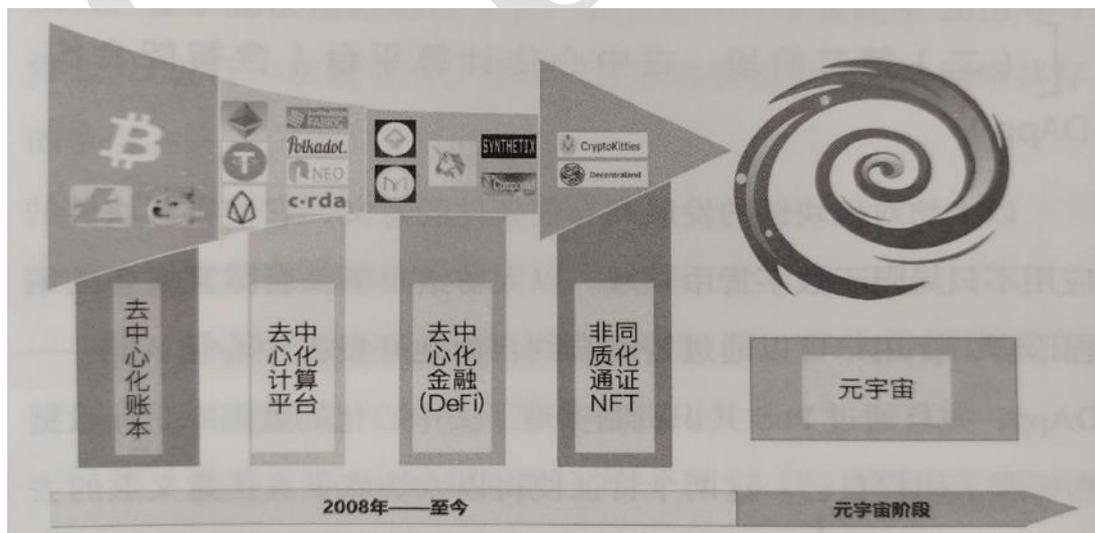


图 5.1.2-1 区块链的五个阶段图



### 5.1.2.1 第一阶段：去中心化账本（代表：比特币）

比特币的发行过程是：矿工充当货币发行方的角色，获得比特币的过程被称为“挖矿”。所有的比特币交易都需要通过矿工挖矿并记录在这个账本中。矿工挖矿实际上就是通过一系列算法，计算出符合要求的哈希值，从而争取到记账权。这个过程实际上就是试错的过程，一台计算机每秒产生的随机哈希碰撞次数越多，先计算出正确哈希值的概率就越大。最先计算出正确数值的矿工可以将比特币交易打包成一个区块，然后记录在整个区块链上，从而获得相应的比特币奖励。这就是比特币的发行过程，它也激励着矿工维护区块链的安全性和不可篡改性。

设计者在设计比特币之初就将其总量设定为 2100 万枚。最开始每个争取到记账权的矿工都可以获得 50 枚比特币作为奖励，之后每 4 年减半一次。预计到 2140 年，比特币将无法再继续细分，从而完成所有货币的发行，之后不再增加。

### 5.1.2.2 第二阶段：去中心化计算平台（代表：以太坊）

在比特币成功应用以后，研究者将其应用扩展到其他金融领域。智能合约（Smart Contract）早在 1995 年已被法律教授 Nick Szabo 提出来，它是一套以数字方式定义并被实现的承诺，但是由于技术问题一直被搁置。

2015 年，ETH（Ethereum，以太坊）由俄罗斯人 Vitalik Buterin（圈内人都称他“V 神”）提出，被认为是区块链 2.0 的代表。如果比特币是区块链的起源，以太坊就是区块链发展史的里程碑。

与比特币类似的是：以太坊是去中心化的，账本公开透明且不可篡改。

与比特币不同的是：以太坊是开源的、可编程、可视化、更易用的区块链公共平台。以太坊提供了一套图灵完备的脚本语言，让大家可以自由地开发智能合约。开发人员可以直接用 C 语言等高级语言编程转换成汇编语言，大大降低了区块链应用的开发难度。



智能合约有效地解决了比特币系统存在的交易处理速度慢和延迟高的问题，使金融行业有希望摆脱人工清算、流程复杂、标准不统一等带来的效率低和成本高的问题，并且发生颠覆性改变。

### 5.1.2.3 第三阶段：去中心化金融

DeFi (Decentralized Finance, 去中心化金融)：与传统中心化金融相对，指建立在开放的去中心化网络中的各类金融领域的应用，目标是建立一个多层面的金融系统，以区块链技术和加密货币为基础，重新创造并完善已有的金融体系。DeFi=区块链+金融，用去中心化应用（即 DAPP）实现去中心化金融。

传统中心化金融有很多职能，比如：法务、会计师、律师事务所；交易所、证监会、银监会；银行、券商，做托管、支付、借贷；央行，提供货币。这些功能都在中心化金融中实现。虽然运行尚好，但它有很多不足，这些不足可以由 DeFi 补充完善。DeFi 中不用央行，因为它有自己的数字货币，用比特币、以太坊都可以作为底层的支付手段；DeFi 不需要法务、法官、合同，因为它有智能合约，到期自动执行，没有合同纠纷；DeFi 不需要公证处和保险箱，因为智能合约不会被篡改，所有的交易都可以被追溯，透明且公平。DeFi 是天生无国界的、去中介的。DeFi 的这些特点可以弥补完善传统中心化金融的不足。

### 5.1.2.4 第四阶段：非同质化通证

NFT (Non-Fungible Tokens, 非同质化通证) 代表了某个独一无二的数字资产，如博物馆里的世界名画或者一块土地的所有权。它是数字世界中的一种非同质化资产，不可复制，不可分割，具有可验证稀缺性。它可以进行买卖，可以用来代表现实世界中的一些商品，但它存在的方式是数字化，保存在以太坊的区块链中。

NFT 能够映射虚拟物品，成为虚拟物品的交易实体，从而使虚拟物品资产化。只有



将数字产品 NFT 化进行加密之后存储在区块链上，它才能成为独一无二的、不可替代的、长久存在并且可溯源的、只属于某个人的数字资产。人们可以把任意的数据内容通过链接进行链上映射，使 NFT 成为数据内容的资产性“实体”，从而实现数据内容的价值流转。映射数字资产之后，装备、装饰、土地产权都有了可交易的实体。NFT 是艺术与技术的结合，是现代科技和文化发展的必然产物，它解决了艺术作品难以溯源、难以求真的问题。同一张图片你也能有我也有，但是只有 NFT 会告诉你它真正的主人是谁。

#### 5.1.2.5 第五阶段：元宇宙的基础设施

NFT 对于构建元宇宙而言意义重大。有了 NFT 机制，玩家在游戏中购置的各类装备、创造的各类物品都具备了资产的意义，可以用来交易，而且明码标价。在传统模式下，像游戏装备和游戏皮肤，其本质是一种服务而非资产，它们既不限量，生产成本也趋于零。运营者通常将游戏物品作为服务内容销售给用户而非资产，创作平台也是如此，用户使用他人的作品时需要支付指定的费用。NFT 改变了传统虚拟商品交易模式，用户创作者可以直接生产和交易虚拟商品，就如同在现实世界中一般。NFT 可以脱离游戏平台，用户之间也可以自由交易 NFT 资产。

#### 5.1.3 区块链关键技术

区块链有五大关键技术：构建区块的哈希算法、加密区块的数字签名、传输区块的 P2P 网络、可信区块的共识机制、处理区块的智能合约。

##### 5.1.3.1 哈希算法

加密算法分为两种：双向加密算法可加密也可解密；单向加密算法只能加密不能解密，是不可逆的。哈希算法是一种单向加密算法，可以将任意长度的信息转换为一段固



定长度的字符串，这段字符串有三个特点：一是只要输入值改变一点点，输出的哈希值就会天差地别；二是只有完全相同的输入值才能得到完全相同的输出值；三是哈希算法对输入值生成一段固定长度的唯一的哈希值，却不能通过这个哈希值重新算出输入值。要想找到特定的输出值，只能采用枚举法，不断更换输入值以寻找特定的输出值。哈希算法保证了比特币挖矿不能逆向推导，所以，矿工持续不断地运算，本质上是在暴力破解正确的输入值，谁最先找到谁就获得比特币奖励。常用的哈希算法有 MD5、SHA-1、SHA-256、SHA-512 等。

### 5.1.3.2 数字签名

数字签名是只有信息发送方才能产生的、别人无法伪造的一段数字串。它能证明消息确实是由发送方签名发出，也能确定消息的完整性。它类似于写在纸上的普通的物理签名，但使用了公钥加密技术实现，用于鉴别数字信息的真伪。一套数字签名通常定义两种互补的运算，一个用于签名，另一个用于验证。数字签名的主要功能包括：防冒充、防伪造、可鉴别身份、防篡改、防重放、防抵赖、保密等。

### 5.1.3.3 P2P 网络

P2P (Peer to Peer) 网络通常也称为“对等网络”。P2P 是区别于“客户端/服务器”服务模式的计算机通信与存储架构，网络中每个节点既是数据的提供者也是数据的使用者，都承担数据存储、网络路由、验证区块数据、传播区块数据等功能，都可以对任意对等节点做出响应，并提供资源。每个节点地位均等，以扁平的拓扑结构相互连通。节点之间通过直接交换实现计算机资源与信息的共享，不需要再经过其它节点。

尽管区块链网络中的节点由 P2P 协议组织，各个节点间没有主次之分，但是由于不同区块链系统在不同场景下的应用功能不同，节点的设计也有所不同。按照功能，节点可以分为全节点、简单支付验证节点、矿工节点、客户端节点等；按照参与共识的身



份，节点可以分为客户端、提交者、验证者等。

#### 5.1.3.4 共识机制

区块链是一个历史可追溯、不可篡改、解决多方互信问题的分布式系统。分布式系统必然面临一致性问题，而解决一致性问题过程被称为“共识 (Consensus)”。分布式系统的共识达成需要依赖可靠的共识算法，共识算法通常解决分布式系统由哪个节点发起提案，以及其他节点如何就这个提案达成一致的问题。常用的共识机制性能比较如表 5.1.3.4-1 所示。

表 5.1.3.4-1 常用的共识机制性能比较表

共识机制	需要挖矿	需要通证	安全性	资源消耗	去中心化程度	交易确认时间	可承载交易量	典型应用情况	使用场景
POW (工作量证明机制)	是	是	高	大	完全	长	少	比特币、 莱特币、 以太坊	公有链
POS (股权证明机制)	是	是	高	一般	完全	短	少	点点币、 未来币 (NXT)	公有链
DPOS (授权股权证明机制)	否	是	高	小	完全	秒级	多	比特币 (BitShares)	联盟链
Ripple Consensus (瑞波共识协议)	否	是	高	小	不完全	实时	多	Ripple 网络	私有链
Pool (验证池)	否	否	非常高	小	不完全	实时	多	各类 私有链	私有链

#### 5.1.3.5 智能合约

智能合约 (Smart Contract) 是以计算机指令的方式实现传统合约的自动化处理，本质上是交易双方在区块链上交易时触发自动执行的一段程序代码。在区块链上部署的智能合约，有内容公开透明、不可篡改等特点，可以有效降低双方违约的风险，节省人



力成本，更加经济高效。

同传统合约相比，智能合约具备以下优点：

#### （1）合约制定的高时效性

智能合约的制定不必依赖第三方权威机构或中心化代理机构的参与，只需合约各方通过计算机技术手段，将共同约定条款转化为自动化、数字化的约定协议，大大减少了合约制定的中间环节，提高了合约制定的响应效率。

#### （2）合约维护的低成本性

智能合约在实现过程中以计算机程序为载体，一旦部署成功，计算机系统便按照合约中的约定监督、执行，一旦发生毁约，可按照事前约定由程序强制执行，极大降低了人为监督与执行的成本。

#### （3）合约执行的高准确性

智能合约在执行过程中，由于减少了人为参与的行为，利益各方均无法干预合约的具体执行，计算机系统能够确保合约正确执行，有效提高了合约执行的准确性。

### 5.1.4 区块链技术在元宇宙中的应用

元宇宙拥有的属于自己的经济系统以及数字资产的构建，需要区块链技术的大力支持。DeFi 具有去中心化、规则透明、开放、高效、可靠、公平、安全的特点，使得元宇宙中的价值归属、流通、变现和虚拟身份认证成为可能。

NFT 由于其独一无二、不可复制、不可分割的特性，天然具有收藏属性，因此可以用于记录和交易数字资产，如艺术品、游戏道具等。

2021 年，为庆祝公司成立 23 周年，腾讯为员工发放了 72000 份纪念版 NFT 数字藏品，由腾讯旗下 NFT 交易平台幻核团队设计发行，腾讯旗下联盟链“至信链”提供

链上存证。



图 5.1.4-1 腾讯 QQ 企鹅形象 NFT 数字藏品纪念版图

区块链技术通过 NFT 把现实世界中的各类资产与数字世界进行连接，不断丰富元宇宙的生态种类，进而不断地拓展元宇宙的想象边界。

## 5.2 人机交互

### 5.2.1 XR

XR (Extended Reality, 扩展现实) 是指通过计算机将现实与虚拟相结合，打造一个人机交互的虚拟环境, 是 VR (Virtual Reality, 虚拟现实)、AR (Augmented Reality, 增强现实)、MR (Mixed Reality, 混合现实) 等多种技术的统称。

VR 是模拟一个虚拟世界，利用计算机生成一种模拟环境，使用户利用设备沉浸到该环境中，让人有种身临其境的感觉，强调用户与虚拟世界的实时交互，带来封闭式、沉浸式的虚拟世界体验，这个虚拟世界不是我们直接就能看到，而是利用设备（比如戴上 VR 眼镜）才能看到，故称为“虚拟现实”。



AR 是一种将现实世界信息和虚拟世界信息“无缝”集成的新技术，它把原本在现实世界的一定时间空间范围内很难体验到的实体信息（视觉、听觉、味觉、触觉、嗅觉等信息），通过计算机等科学技术，模拟仿真后再叠加到现实世界，被人类感官所感知，从而达到超越现实的感官体验，现实的环境和虚拟的物体实时地叠加到了同一个画面或空间同时存在，从而实现对现实世界的“增强”，故称为“增强现实”。

简单地说，VR 显示的画面全是假的，而 AR 显示的画面一半是真的一半是假的。

VR 和 AR 的比较如表 5.2.1-1 所示。

表 5.2.1-1 VR 和 AR 的比较表

	VR	AR
技术原理	将计算机技术产生的电子信号与输出设备结合转化为能够让人们感受到的图像	计算机基于对现实世界的理解绘制虚拟图像，并叠加到现实世界
终端形态	VR 眼镜、头显设备、动作捕捉设备、交互设备等	AR 眼镜等
体验特点	封闭式、沉浸式体验，用户与虚拟世界实时交互	增强现实体验，用户处于现实世界与虚拟世界的交融之中

VR 和 AR 各自还没有走到极致，然而已经有了融合迹象，这就是 MR。将现实世界和虚拟世界混合在一起，产生新的可视化环境，环境中同时包含了现实物体与虚拟信息，并且必须是“实时的”，以增强用户体验的真实感，这被称为“混合现实”。

如何区分 AR 和 MR？第一、虚拟信息是否随你而动。如果是，就是 AR 设备；如果不是，就是 MR 设备。第二、在理想状态下（数字光场没有信息损失），虚拟物体与现实物体是否能被区分。AR 设备创造的虚拟物体，是可以明显看出是虚拟的，比如谷歌眼镜投射出的随你而动的虚拟信息；而 MR 设备直接向视网膜投射整个 4 维光场，用户看到的虚拟物体和现实物体几乎是无法区分的。



图 5.2.1-1 MR 典型场景图

随着 B5G/6G 技术赋能更多的应用场景，AI 技术和计算机视觉融合驱动，行业玩家创新驱动，VR、AR、MR 技术和应用也呈现融合互通趋势，XR 的概念应运而生。

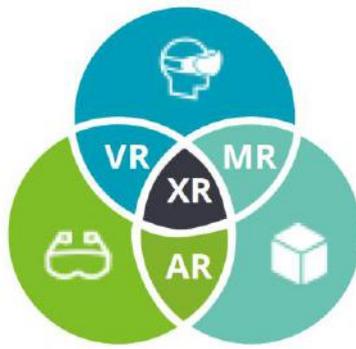


图 5.2.1-2 VR/AR/MR/XR 关系示意图

XR 关键技术主要包括近眼显示技术、感知交互技术、网络传输技术、渲染计算技术、云内容制作与分发技术等。

在不久的将来，XR 设备可以为我们构建起以下全新世界：

(1) 工作场景：戴上一个头盔设备，工作中不再需要办公室的物理概念，所有的工作都可以通过虚拟环境完成。虚拟世界中，我们有工位，有更加高端与多样性的显示设备，有高度定制化的工作环境。所有会议都可以通过线上的方式完成，不需要再有任何耗时耗力的线下通勤，仅需一个会议邀请就可以与客户、同事创建“面对面”的身临其境的体验。



(2) 教育场景：学习将以一种全新的方式呈现。教育资源的线上化可以让所有学生最大化地享受到最优质的教育资源，虚拟世界中呈现方式的多样化也丰富了教学内容。例如，化学实验课上学生可以通过 AR 眼镜近距离地观察化学反应变化，外语学习中可以“面对面”体验与母语使用者的互动对话，文学学习中可以通过数字化方式真实还原文字内容，彻底将学习变成一种有趣、高效、互动、个性化的教育方式。

(3) 生活场景：业余、课余生活中 VR 可以带来的功能更加丰富多彩，虚拟世界构建的社交环境可以让人随时随地和朋友举办派对，与远在他乡的亲人进行亲切交谈，游戏影视作品也将极大地增强互动性与表现力。未来 XR 不仅可以大大降低电视机、游戏机、电脑、电子书等设备的购置与换新成本，而且可以整合所有的社交平台、娱乐资源、资讯信息，让人可以方便地获取任何需要的内容。

(4) 医疗场景：XR 在医疗领域将有广泛且深入的应用场景。未来的医疗手术将更大程度上依赖 AR 技术，虚拟影像和真实手术场景叠加，提供实时诊疗的最佳方案推送和操作支持，显著减少病情诊断时间，优化诊疗效果；未来的医疗培训场景里，AR 全息影像则可能成为培训的主角，大大提升医生之间的交流效率，实现医疗资源的有效复制。

### 5.2.2 全息影像

全息影像技术 (Holographic Display) 自 20 世纪 60 年代激光器问世后得到了迅速的发展。所谓的“全息”即“全部信息”，是指用投影的方法记录并且再现被拍物体发出的光的全部信息。全息影像技术成像机理是利用光波干涉法同时记录物体光波的振幅与相位，然后再利用衍射原理再现物体的光波信息，从而达到成像的效果。由于全息影像再现的光波信息保留了原有物体光波的全部振幅与相位信息，因而再现出的影像立



体感强，与原物体有着与 3D 电影完全相同的三维特性。人们观看全息影像时会得到与观看原物体时完全相同的视觉效果。

全息影像技术是计算机技术、全息技术和电子成像技术结合的产物，一般利用相干性较好的激光完成。利用相干光干涉，记录光波的振幅和相位信息，得到物体包括形状、大小等全部信息后，对图像进行实时处理。普通摄像是二维平面采样，而全息摄像是多角度摄像，并且将这些照片叠加。为了实现立体“叠加”，需要利用光的干涉原理，用单一的光线（常用投影机）进行照射，通过分光技术使物体反射的光分裂成多束相干光，将这些相干光叠加实现立体影像。全息影像显示时，通过光源照射在全息图上，这束光源的频率和传输方向与参考光束完全一样，就可以再现物体的立体图像。全息影像是真正的三维立体影像，用户不需要立体眼镜或其他任何辅助设备就可以裸眼观看影像，从不同的角度可以看到物体的不同侧面，只不过看得见摸不着，因为看到的只是影像。

早期的全息技术仅用于处理静态的照片，随着计算机运算速度的不断提升，处理和传输动态全息影像已经得以实现。全息影像技术在立体电影、电视、展览、军事侦察监视、水下探测、金属内部探测、历史文物艺术品保存、信息存储、显微术、遥感等各方面获得广泛应用。

### **5.2.3 交互技术**

#### **5.2.3.1 眼控交互**

眼控交互开发的原理就是在开发引擎中，将视线范围设置为一条射线状或圆锥状物体，和 VR/AR 中的各种物体进行碰撞检测，当程序一旦检测到碰撞，则视为用户的视线落到了这个物体上，由此进行眼控交互。在虚拟世界中，相比于其它交互技术来说，眼控交互门槛低，无需复杂外设，几乎适用于任何应用场景，而且非常人性化，非常符



合人的直觉。比如在应用中想要隐藏菜单功能，用户注视点偏离，菜单会自动隐藏；又比如在射击游戏中，用户可以体验真实的眼球锁定目标进行打击的快感。尽管目前存在实时渲染、眩晕、米达斯接触等技术问题的限制，但随着软硬件技术的升级迭代，用户体验正在逐渐完善，眼控交互将是未来的交互趋势之一。

### 5.2.3.2 语音交互

语音交互作为更趋近于人与人之间最自然的交流方式，近年来有许多发展的突破点。在虚拟世界发展主线上，语音交互趋向更自然、更人性化、更个性化。从 GUI (Graphical User Interface, 图像交互) 到 VUI (Voice User Interface, 语音交互) 再到 DUI (Dialogue User Interface, 对话交互)，不依赖触摸屏，只需通过简单的语音交流就能完成繁复的操作，将来可能替代现有的 UI 界面。

### 5.2.3.3 手势交互

借助能够感知深度信息的摄像头，手机可以更好地读懂用户的手势语言，诸如滑动、切换、截屏、选择、确认、取消、删除等。VR 应用目前还需要手柄设备进行控制交互。但是，就像触屏手机取代按键手机一样，VR 手势交互取代手柄按键交互将成为未来趋势。

### 5.2.3.4 脑机交互

BCI (Brain-Computer Interface) 或者 BMI (Brain-Machine Interface)，是脑机接口，指在有机生命形式的脑或神经系统与具有计算或处理能力的机器之间，创建用于信息交换的连接通路，实现信息交换及控制。

以现在人类对脑科学知识的认知来看，大脑和意识的物理本质是电活动。神经元是组成大脑和神经系统的最基本单元。在人脑中，有着大约一千亿个神经元，这些神经元组合在一起构成了复杂的神经网络。人体的所有体验和感觉都可以归结为神经元电信号



的传导。脑神经在遇到刺激或思考时，细胞膜外大量钠离子会涌入细胞内，进而打破原有电位差形成电荷移动，从而出现局部电流，电流传递过程中继续刺激其他神经元，最终形成意识，这些意识或被解读，或形成运动指令输出给身体。脑信号的解读过程非常繁琐，监测到脑信号后需要通过复杂数学方法展现脑信号不同维度，将共性信号归类后解读该类信号的大脑意图，通过算法和测试将信号与大脑意愿如肢体运动幅度和准确性匹配，将行动结果反馈回大脑。脑机接口的本质，就是感知和检测大脑里神经元的电活动，并将其翻译、转换成对外部机器的控制；或者将外部事件转换成电脉冲信号传输回大脑，干预影响神经元的电活动，从而让主体获得相应的感觉和体验。

脑机接口的实现方式主要有两种：非侵入式和侵入式，它们的区别是神经元电信号的获取方式不同。非侵入式脑机接口技术无需动手术，直接从大脑外部采集大脑信号，与做脑电图类似，但是这样采集的脑电信号的精度和区分度都很低，通常只应用于一些对精度和复杂度要求不高的场景，比如简单的游戏控制、简单的问题判断等。而侵入式脑机接口，顾名思义，就是把微电极、探针等设备通过手术的方式植入大脑皮层，直接和大脑神经元进行交互，不仅可以获取高质量和高信噪比的神经信号，细胞颗粒度的空间分辨率和时间分辨率较高，也可以对大脑这个区域进行精确地刺激，但安全风险较大，容易引发大脑损伤和排异反应，进而导致信号质量衰退甚至消失。非侵入式和侵入式两种方式目前均面临不同的难题有待解决，这也决定了二者向不同类型的应用场景进行发展。

脑机接口技术体系如图 5.2.3.4-1 所示。



图 5.2.3.4-1 脑机接口技术体系图

总体说来，脑机接口技术体系分为硬件层、软件层和应用层。硬件层包括脑电采集设备和外控外联设备。软件层包括生物信号分析、核心算法、通信计算和安全技术。应用层包括生物医疗、教育、娱乐、AR/VR、军事工程和智能生活等方方面面的应用。

脑机接口涉及神经科学、认知科学、神经工程、材料科学、人工智能等多个学科的融合。作为一门交叉学科，脑机接口的关键技术发展需要多学科的协同进步。例如，电极和探针有赖于材料学、基础化学、合金工艺等学科的进步；芯片有赖于基础物理、量子力学、量子计算等基础学科；芯片能力和计算速度提升有赖于新的计算模型开发等应用科学；外控外联设备对底层科研要求更高，甚至依赖工程和工艺进步。

脑机接口被科技界认为是一种颠覆性技术，将推动新产品、新服务的出现，对科技创新发展具有重要意义。随着计算机科学、神经生物学、数学、康复医学等相关学科的

不断探索与交叉融合，加上广大市场需求，脑机接口技术正从基础科研走向市场。一方面，脑机接口技术在医学领域有望帮助人们进行脑神经修复，对于那些不幸遭受脊柱或者脑损伤从而失去行动能力的病人，可以使用脑机接口控制机械手，甚至机械外骨骼，在一定程度上恢复行动能力；也可以使用脑机接口修复其他神经损伤，增强病人在语言、视觉、听觉等方面的能力；除了外伤之外，还有随着年龄增长带来的感知和记忆力衰退，以及当代人常见的抑郁、焦虑、失眠等诸多情绪问题，通过脑机接口深度研究可能得以解决。另一方面，脑机接口技术朝着“脑到机”、“机到脑”、“脑到脑”和“脑机融合”方向发展，极有可能颠覆传统的人机交互模式。未来，凡是大脑可以操控的现实场景，都可以通过脑机接口进行操控（比如用意念控制机器人和脑控开关），实现人与万物的互联。

#### 5.2.4 人机交互技术在元宇宙中的应用

如果说未来社会的终级形态就是元宇宙，那么人机交互技术无疑是元宇宙实现升维的关键技术之一。

人机交互技术在元宇宙中的经典应用可以说是 2022 北京冬奥会开幕式。



图 5.2.4-1 2022 北京冬奥会开幕式图

根据开幕式总导演创意需求，AR 团队进行了技术上和艺术上的双突破，AR 引擎所



渲染的画面和现场表演完美地融为一体，让全球观众观赏到虚拟世界与现实世界相结合的美轮美奂的视觉效果，感受到无与伦比的沉浸感，让世界看到了中国的美。

开幕式上很多 AR 应用效果都堪称世界顶尖水准。比如，AR 软件采用基于 UE4 的实时渲染系统，可实时接收摄像机跟踪数据，有机地把随机生成动画和人工预置动画结合在一起，使得标有国家名字的雪花前景元素得到生动展现，同时也兼顾了正面全景机位的变焦跟踪；AR 效果基于 3D 面板识别与跟踪、高精度定位，以及设备、单板及端口的数字化建模，将后台业务信息和单板实物实时锚定，现场的表演者配合 AR 技术完美地将现场舞台展现给全球观众；AR 还能实现远程协助，将现场内容与远程专家团队即时共享，后者能以主视角总览全场信息，并远程标注和注解实时画面，大大提升了现场故障的排查与纠错效果。在“科技冬奥”中，AR 技术留下了浓墨重彩的一笔。

## 5.3 电子游戏

### 5.3.1 游戏引擎

游戏作品可以分为游戏引擎和游戏资源两部分，即游戏=引擎（程序代码）+资源（图像、声音、动画等）。游戏引擎是一个为运行某一类游戏的机器设计的能够被机器识别的代码（指令）集合。它像一个发动机，控制着游戏的运行，按照游戏设计的要求顺序地调用游戏资源。

游戏引擎为游戏设计师提供编写游戏所需的各种工具，让游戏设计师能够快速容易地做出游戏程序而不用从零开始。大部分游戏引擎都支持多种操作平台，如 Linux、Mac OS X、Windows。

游戏引擎包含渲染引擎（即“渲染器”，含二维图像引擎和三维图像引擎）、物理系统、碰撞探测系统、光影、动画、粒子特效、音效、脚本引擎、文件管理、网络特性、



编辑工具、插件、人工智能等，几乎涵盖了开发过程中的所有重要环节，以下对引擎的主要关键部件进行简单介绍：

#### （1）光影效果

即场景中的光源对处于其中的人和物的影响方式。游戏的光影效果完全是由引擎控制的，折射、反射等基本的光学原理以及动态光源、彩色光源等高级效果都是通过引擎的不同编程技术实现的。

#### （2）动画

游戏所采用的动画系统可以分为两种：一种是骨骼动画系统，用内置的骨骼带动物体产生运动，比较常见；另一种是模型动画系统，在模型的基础上直接进行变形。引擎把这两种动画系统预先植入游戏，方便动画师为角色设计丰富的动作造型。

#### （3）物理系统

物理系统可以使物体的运动遵循固定的规律。例如，当角色跳起的时候，系统内定的重力值将决定他能跳多高，以及他下落的速度有多快，子弹的飞行轨迹、车辆的颠簸方式也都是由物理系统决定的。碰撞探测是物理系统的核心部分，它可以探测游戏中各物体的物理边缘。当两个 3D 物体撞在一起的时候，这种技术可以防止它们相互穿过，这就确保了当你撞在墙上的时候，不会穿墙而过，也不会把墙撞倒，因为碰撞探测会根据你和墙之间的特性确定两者的位置和相互的作用关系。

#### （4）渲染

当 3D 模型制作完毕之后，美工会按照不同的面把材质贴图赋予模型，这相当于为骨骼蒙上皮肤，最后再通过渲染引擎把模型、动画、光影、特效等所有效果实时计算出来并展示在屏幕上。渲染引擎在引擎的所有部件当中是最复杂的，它的强大与否直接决定着最终的输出质量。



### （5）玩家与电脑之间的沟通

处理来自键盘、鼠标、摇杆和其他外设的信号。如果游戏支持联网特性的话，网络代码也会被集成在引擎中，用于管理客户端与服务器之间的通信。

总之，引擎相当于游戏的框架，框架搭好后，关卡设计师、建模师、动画师只要往里填充内容就可以了。出于节约成本、缩短周期和降低风险等方面的考虑，越来越多的开发者倾向于使用第三方的现成引擎制作自己的游戏。

### 5.3.2 实时渲染

人们在电脑、电视、手机、VR 眼镜里看到的 3D 物体，都是由 2D 的图像整合形成的。渲染就是通过计算机视觉把 3D 模型转换为 2D 图像的过程，好比在现实生活中对一个场景进行拍照或录像。

实时渲染的本质就是图形数据的实时计算和输出。最典型的图形数据源是顶点。顶点包括了位置、法向、颜色、纹理坐标、顶点的权重等。

图形开发人员对渲染管线中的顶点运算和像素运算分别进行编程处理，而无需像以前那样套用一些固定函数。比如，对于顶点渲染，可以通过编写程序实现顶点位置的更为复杂的变换；在光照计算中，可以从最基本的光照模型出发，编写程序分别计算漫射、高光、折射、散射等，并将计算结果作为像素渲染程序的输入实现丰富的效果；在像素渲染中，可以编写程序从外部或者上游获取参数和纹理资源，进行像素渲染运算，像素渲染需要的运算量远远大于顶点渲染，但输出画面的质量却很高，许多高质量的画面都是用像素渲染代替顶点渲染获得的。

可编程渲染必然需要编程语言，最常用的语言是英伟达公司开发的 Cg 语言。Cg 即 C for Graphic，意即用于图形处理的 C 语言。其语法结构类似于 C 语言，但所有指



令都是由 GPU 执行的。Cg 对 GPU 而言起到 C 和 C++ 对 CPU 所起的作用。Cg 语言是跨平台和跨 API 的。对于计算机图形行业而言，Cg 使实时 3D 图形编程向电影渲染编程模式迈进了一大步。Cg 是一个重要的里程碑。英伟达在推出其新一代 GPU 及 Cg 语言的同时，还提出了电影渲染的概念，将实时渲染提到了一个全新的高度。

与 CPU 只是一个处理器不同，GPU 内部包含两个处理器——顶点处理器和像素处理器，同时还包含一些不可编程的硬件单元（用于固定函数管线渲染）。所以对 CPU 进行编程只需要一个 C 程序，而对 GPU 进行编程则需要两种程序：Vertex Program 对顶点处理器进行编程，而 Fragment Program 对像素处理器进行编程。当然，对顶点处理和像素处理部分也可以选择固定函数管线处理。Cg 语言可以实现 Cg 程序与固定函数管线的完美结合。

随着相关产业对图形处理要求的不断提高，GPU 将朝着两个方向发展：更快的运算速度和更自由的可编程性。硬件速度的提高，也将不断催生新的渲染技术，同时也使得一些在目前的硬件平台上难以实现的渲染技术变为可能。光照计算所需要的运算量很大，目前还只能通过各种间接的途径模拟实现。可以预见，在下一代实时渲染技术中，光线追踪、真阴影等技术或许将变为可能，这些技术的实现可以让图形渲染效果更加真实。硬件可编程程度的提高，可以使设计人员对硬件的控制更为灵活和富有创造性。

实时渲染技术一直在推动着游戏产业的发展，高度真实和可编程是实时渲染技术未来发展的两大特征。

### 5.3.3 3D 建模

随着人们对生活的物理空间的想象越来越丰富，真实场景的三维化表达也是人们一直思考的问题。为了能准确描绘出三维物理空间，描绘的方法也一直在随着科技的发展



日益更新。从早期的两点透视的手工绘制，到利用专业计算机软件工具绘制虚拟的数字化 3D 模型。3D 建模是计算机图形学中的一种技术，用于生成任何对象或曲面的三维数字表示，这些 3D 对象可以通过变形网格或其他方式自动生成或操纵顶点。3D 建模在工业级领域迅速普及，除了需求之外，工具的变化同样起到重要作用。

3D 建模可以将真实世界中的物体进行数字化，从简单的几何模型到复杂的角色模型；从静态单个产品显示，到动态复杂的场景展示。许多行业都会涉及到 3D 建模，如影视动画、游戏设计、工业设计、城市设计、建筑设计、室内设计、产品设计、景观设计等。

为了实现真实场景的 1:1 还原，需要针对模型的应用场景进行特征建模，不同应用场景的建模要求不同，所选用的工具也不完全一样。常见的建模流程主要涉及基础资料准备、专业工具设计建模，最终交付电子数据。

为了适应既有场景建模与新建场景建模，主要的建模软件包括专业 3D 建模软件、CAD 等工业建模软件、基于扫描（逆向设计）的 3D 建模软件等。

#### (1) 专业 3D 建模软件

专业 3D 建模软件一般应用到某个专业领域，其建模和渲染能力强大。常用 3D 建模软件主要有 3DS MAX、Maya、Softimage、Rhino、LightWave、Cinema 4D，在游戏、动画、影视、建筑、工业等领域广泛应用。3DS MAX 和 Maya 在 3D 建模方面各有特色，前者更为大众化，相对容易掌握，后者在专业级的行业应用更为广泛，特别在动画制作和高质量渲染方面强于前者。Softimage 和 LightWave 在 3D 动画方面表现强大。Rhino 对 NURBS 曲面的支持更好。

#### (2) CAD 等工业建模软件

CAD (Computer-Aided Design, 计算机辅助设计)，是一种可以在产品设计和工



程设计中，进行计算、信息存储和制图等多项工作的交互式制图系统，处于产业链的上游位置，主要应用于建筑业和汽车制造、通用机械等制造业。常用工业建模软件主要有 AutoCAD、Revit、CATIA、SolidWorks、Pro/E、UG NX、SketchUp 等，在设计制图、实体造型、曲面设计及水力、流体分析领域提供了大量的专业化辅助工具。

### （3）基于扫描（逆向设计）的 3D 建模软件

随着深度相机的普及、扫描仪的价格迅速下降，人们采集三维数据变得容易，从采集到的照片、三维点云来重建三维模型的方式在近年来也越来越被重视，不同于专业 3D 建模软件，基于扫描（逆向设计）的 3D 建模软件往往适用于既有场景的三维建模。利用相机或扫描仪对真实场景进行数据采集，然后利用软件进行三维计算，逆向设计出三维模型。常用的软件主要有 Geomagic、ImageWare、RapidForm、ReconstructMe、Artec Studio、CopyCAD、PolyWorks 等。这种方式能够摆脱专业设计软件对设计资料缺乏的问题，极大提高真实场景的还原度。

随着人们对 3D 建模的需求越来越大，3D 模型被广泛应用，通过对物理空间的全尺度 3D 建模，我们可以得到与现实世界完全一致的数字孪生世界，这也是实现元宇宙的重要基础。未来，3D 建模技术发展也会逐渐融入大数据、云计算、人工智能等技术，实现自动化建模，为元宇宙的实现提供数字底板。

## 5.3.4 BIM

BIM (Building Information Modeling, 建筑信息模型)，是以三维数字技术为基础，集成了建筑工程项目各种相关信息的工程数据模型。一个完善的信息模型，能够连接建筑项目全生命周期不同阶段的数据、过程和资源，是对工程对象的完整描述，使得建设项目各参与方在同一个平台上进行数据交互和信息沟通。BIM 技术提升了建筑工



程的集成化程度，使设计乃至整个工程的质量和效率显著提高，成本大大降低。

BIM 技术理论最早可追溯至 1974 年，当时被称为“建筑描述系统 (BDS)”，用于存储建筑设计信息，包含所有建筑要素或空间。1987 年，BIM 技术首次在信息系统中出现，当时被称为“虚拟建筑”。BIM 发展到今天，作为对建筑工程物理特征和功能特性的数字化承载和可视化表达，可以用作设施信息的共享知识资源，成为建筑全生命周期决策的可靠基础。此外 BIM 还将继续深化发展，成为一种理念和模式，乃至一种哲学和方法论。

BIM 技术基于三维可视化场景，通过计算机协同工作，将工程项目全生命周期中产生的相关信息和数据添加在三维模型中，对设计、施工、运维过程进行控制和管理，并根据项目在各阶段的完成情况，不断对已有数据库进行更新，最终建立多维数据模型。

在建筑领域，BIM 的关键技术如下：

#### (1) 三维建模

基于 BIM 协同建模平台对建筑模型进行三维建模，所有建筑构件均为等比例缩小，整个建模过程可视为模拟施工的预建造过程，可快速直观地发现在施工过程中可能会遇到的问题 and 冲突，将问题前置解决。

#### (2) 碰撞检查

自动检测各类构件之间的冲突碰撞，并在三维可视化场景下进行调整，使得管线路由更加合理，节省管道材料，并保障后期施工安装的顺利进行。

#### (3) 二维出图

在三维模型基础上切割出二维图纸，自动生成准确的线型轮廓及标注，作为指导施工的具体成果交付到施工现场。

#### (4) 可视化展示



对 BIM 模型进行处理和转换，可生成模拟真实场景的漫游动画和 VR 展示，让业主身临其境地观察到建筑建成后的效果。

#### (5) 管理平台

在设计、施工和运维阶段，利用基于 BIM 技术的三维可视化管理平台进行全过程管理，让相关参与各方共同参与项目管理过程，优化管理方式，提升管理效率。BIM 技术可贯穿于建筑的设计、施工、运维全生命周期的管理。

BIM 技术在建筑业的应用为建筑业转型升级提供了重要的技术抓手。当前，数字孪生技术应用已逐步向建筑、医疗、城市管理等领域渗透，依托 BIM 模型完成建筑物的龙骨、结构以及风水电等模型，实现建筑物资源优化配置、应急方案预演，构建城市规划布局、管网以及气象的数字孪生，提升城市的智慧化水平。

### 5.3.5 游戏技术在元宇宙中的应用

游戏是元宇宙的切入点。元宇宙是一个虚拟现实游戏社区，用户可以在其中游戏、社交、赚钱、享受自我，每个人都可以创建自己的虚拟形象并且做任何自己想做的事。元宇宙可以说是下一代电子游戏。

电子游戏技术对于开发下一代电子游戏、开发元宇宙是必不可少的。它可以为元宇宙提供栩栩如生的沉浸感和无与伦比的表现力，助力元宇宙更加生动、繁荣、充满想象力。

## 5.4 人工智能

### 5.4.1 人工智能概念

人类大脑的智慧包括：意识、认知、分析、纠错、记忆力、判断力、思考力、联想、预测、直觉、想象、幻想、创造、审美、本能、潜意识、幽默感、好奇心、爱……

AI (Artificial intelligence, 人工智能) 是研究、开发用于模拟和扩展人类智慧的理论、方法、技术及应用系统的一门新的技术科学，涉及到信息论、控制论、计算机科学、自动化、仿生学、生物学、心理学、数理逻辑和哲学等自然和社会科学。经过超过半个世纪的发展，人工智能已经度过了简单地模拟人类智慧的阶段，发展为研究人类智慧活动的规律，构建具有一定智能的人工系统或硬件，使其能够进行需要人的智力才能进行的工作，并对人类智慧进行拓展的边缘学科。

简而言之，人工智能是对人类智慧的模仿和超越。



图 5.4.1-1 人工智能关键技术示意图

Gartner 公司发布的人工智能技术成熟度曲线如图 5.4.1-2 所示。

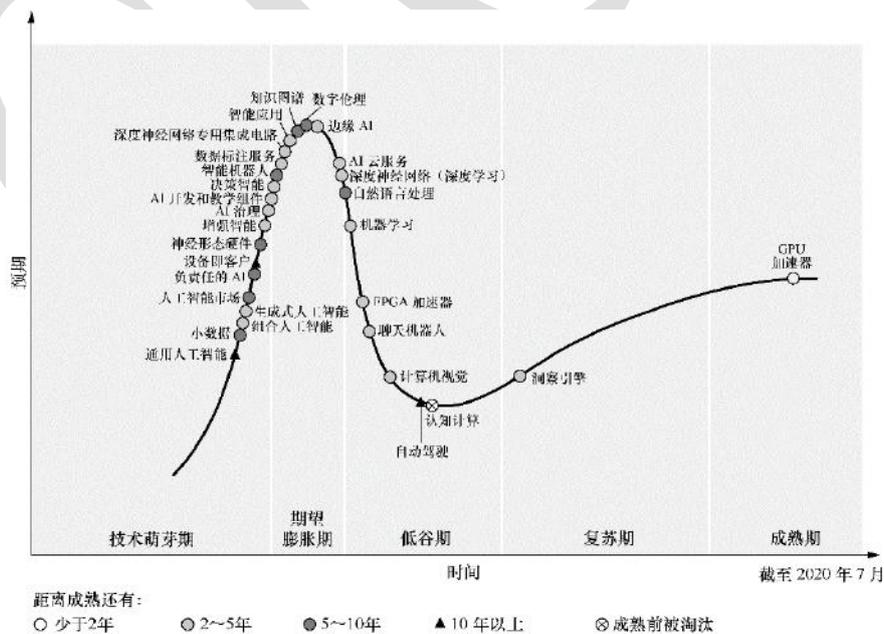


图 5.4.1-2 Gartner 公司发布的人工智能技术成熟度曲线图



## 5.4.2 人工智能分类

从能力维度，人工智能可以分为运算智能、感知智能、认知智能三类：

(1) 运算智能：机器“能存会算”的能力，主要涉及计算机和服务器的存储和计算技术；

(2) 感知智能：机器“能听会说、能看会认”的能力，主要涉及语音合成、语音识别、图像识别等技术；

(3) 认知智能：机器“能理解会思考”的能力，主要涉及虚拟助理、智能客服、机器翻译等技术。

从层级维度，人工智能可以分为专用人工智能、通用人工智能和超级人工智能三类，如图 5.4.2-1 所示。这三个类别代表着人工智能的发展层次。



图 5.4.2-1 人工智能层级分类图

- (1) 专用人工智能：聚焦于一个或多个领域，已取得丰富的成果，比如 AlphaGo；
- (2) 通用人工智能：达到人类智慧的水平，目前研究水平远远未达到；
- (3) 超级人工智能：超越人类智慧的水平，具有自我意识、独立的世界观和价值

观，目前仅存在于科幻电影中。

### 5.4.3 人工智能基础学科

人工智能涉猎的基础学科包括很多门课，从数学基础到神经网络，从机器学习到深度学习，再到如何让人工智能“听、说、看、想”，具体如图 5.4.3-1 所示。

人工智能基础课目录		人工智能基础课目录	
数学基础	线性代数：如何将研究对象形式化？ 概率论：如何描述统计规律？ 数理统计：如何以小见大？ 最优化理论：如何找到最优解？ 信息论：如何定量度量不确定性？ 形式逻辑：如何实现抽象推理？	深度学习	深度学习概述：如何让神经网络物尽其用？ 深度前馈网络：如何实现最佳近似？ 深度学习中的正则化：如何抑制过拟合？ 深度模型优化：如何提升学习效率？ 自动编码器：如何实现生成式建模？ 深度强化学习：如何实现从数据到决策？
机器学习主要方法	机器学习概述：如何让计算机识别特征？ 线性回归：如何拟合线性模型？ 朴素贝叶斯分类：如何利用后验概率？ 逻辑回归：如何利用似然函数？ 决策树方法：如何利用信息增益？ 支持向量机：如何在特征空间上分类？ 集成学习：如何整合优化？ 聚类：如何实现无监督学习？ 降维学习：如何抓大放小？	神经网络实例	深度信念网络：如何充分利用隐单元？ 卷积神经网络：如何高效处理网格化数据？ 递归神经网络：如何高效处理序列数据？ 生成式对抗网络：如何让神经网络自行优化？ 长短期记忆神经网络：如何在神经网络中引入记忆？
人工神经网络	神经网络的生理学依据：如何模拟人类认知？ 神经网络的基本单元：如何构造人工神经网络？ 多层神经网络：如何解决复杂问题？ 前馈与反向传播：如何用神经网络实现优化？ 自组织神经网络：如何用神经网络实现无监督学习？ 模糊神经网络：如何用神经网络实现逻辑功能？	深度学习之外的人工智能	贝叶斯网络：如何利用有向概率图？ 马尔可夫随机游：如何利用无向概率图？ 迁移学习：如何基于小数据集学习？ 集群智能：如何让智能涌现？
		应用场景	计算机视觉：如何让人工智能会“看”？ 语音识别：如何让人工智能会“听”？ 对话系统：如何让人工智能会“说”？ 机器翻译：如何让人工智能会“想”？

图 5.4.3-1 人工智能基础学科图

### 5.4.4 人工智能关键技术——深度学习

#### 5.4.4.1 深度学习概念

人工智能、机器学习、深度学习三者之间的关系，简单来说，这三者呈现的是同心圆的关系，如图 5.4.4.1-1 所示。

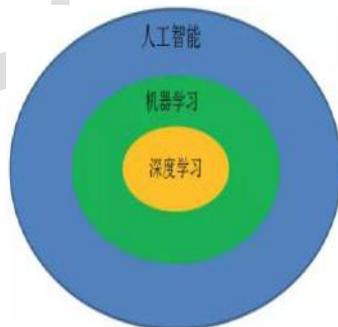


图 5.4.4.1-1 人工智能、机器学习、深度学习三者之间的关系图

同心圆的最外层是人工智能，从提出概念到现在，先后出现过许多种实现思路和算



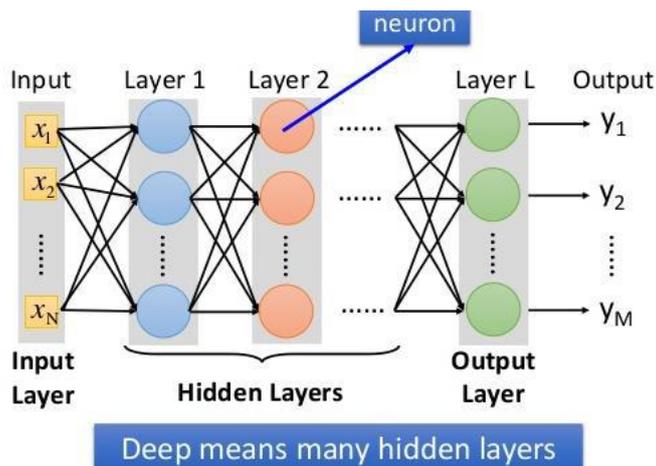
法；同心圆的中间层是机器学习，属于人工智能的一个子集，互联网的许多推荐算法所依托的基础就是机器学习；同心圆的最内层是深度学习，以机器学习为基础的进一步升华，是当今人工智能大爆炸的核心驱动。

深度学习的核心计算模型是“人工神经网络”（ANN），而“卷积神经网络”（CNN）是人工神经网络的一种升华。深度学习从神经网络中寻找灵感，从学习的本质出发，带来一种崭新的模型和思考方式，意味着被训练、被海量训练、被魔鬼训练，而不是被编程，“深度”意味着自身由许多层组成。“卷积神经网络之父”这样定义“深度学习”：深度是因为有很多层结构，传统电脑神经网络层数少，采用完全的链接，有大量参数需要计算；而深度学习利用多层链接，每一层完成的任务有限，从像素到物体的边缘再到核心，直到辨认出清晰的图像，这样就减少了每一层的计算量。

#### 5.4.4.2 深度学习三大步骤

深度学习有三大步骤：构建网络、设定目标、开始学习。简单地说，深度学习就是一个函数集，类神经网络就是一堆函数的集合，我们输入一堆数值，整个网络就输出一堆数值，从中找出最好的结果，也就是机器运算出来的最佳解。这个过程，就是所谓的“学习”，经过大量的训练过程，最终机器就能找到一个最佳函数，得出最佳解。打个比方，就像规划中的曲线拟合，给了多组  $(x, y)$  数据之后，那条计算机拟合的曲线就是最佳函数  $f(x)$ 。然后，人类要做的事情就是给它“规则”跟海量的学习数据，告诉机器什么答案是对的，中间的过程完全不用操心。

日益强大的计算能力和大数据、超大数据、海量数据的力量，让深度学习有如神助。深度学习就像是造火箭，火箭需要巨大的引擎，也需要燃料。引擎就是超强的计算能力，燃料就是大数据。二者结合，火箭才能越飞越远。



5.4.4.2-1 深度学习构建网络示意图

### 5.4.5 人工智能领域分类

人工智能领域分类树如图 5.4.5-1 所示。

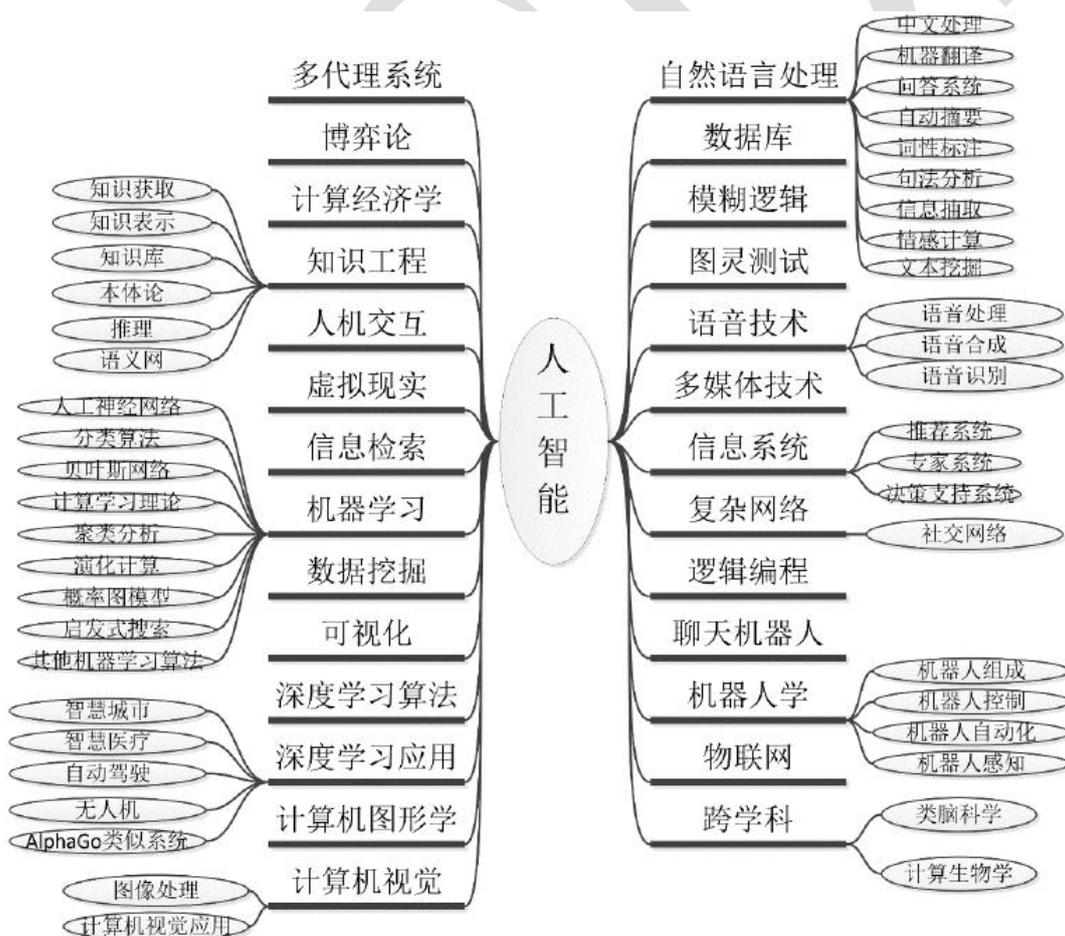


图 5.4.5-1 人工智能领域分类树图



以下对人工智能的典型分支领域进行简介。

#### 5.4.5.1 图像识别

图像识别是指利用计算机按照既定目标对捕获的系统前端图像进行处理、分析和理解，以识别目标和对象的技术。图像识别分为文字识别、数字图像识别、物体识别等三类。

常见的图像识别技术包括神经网络的图像识别、非线性降维的图像识别。

(1) 基于神经网络的图像识别：一种新型的图像识别技术，一般会先提取图像的特征，再将图像特征映射到神经网络进行图像识别分类。比如车牌字符识别就用到了基于模板匹配算法和基于人工神经网络算法。

(2) 基于非线性降维的图像识别：一种高维的图像识别技术，不管图像本身的分辨率如何，其产生的数据经常是多维的，这给计算机的识别带来了很大困难。想让计算机具有高效的识别能力，最直接有效的方法就是降维。降维分为线性降维和非线性降维。线性降维的特点是简单、易于理解，但是线性降维策略计算复杂度高且占用的时间和空间较多，因此就产生了基于非线性降维的图像识别技术，它可以发现图像的非线性结构而且在不破坏其本征结构的基础上对其进行降维，从而提高识别速率。例如人脸图像识别系统所需的维数通常很高，而通过非线性降维技术可以得到分布紧凑的人脸图像，从而提高人脸识别技术的高效性。

图像识别应用于诸多领域，在人脸及指纹识别、卫星云图识别、临床医疗诊断、车牌捕捉、商品条码识别及手写识别等多个领域发挥着重要作用。

#### 5.4.5.2 语音识别&语音合成

语音技术主要包括“语音识别”和“语音合成”两项关键技术。让机器听，听得懂，用的是语音识别技术；让机器说，说得对，用的是语音合成技术。“语音识别”和“语



音合成”，一个是输入，一个是输出，二者联袂，相辅相成，珠联璧合。

### （1）语音识别

语音识别是让机器通过识别和理解过程把语音信号转变为相应的文本或命令的技术。语音识别涉及声学、语音学、语言学、信息理论、模式识别理论、神经生物学、计算机科学等学科。

语音识别会遇到各种各样的挑战，比如千差万别的口音和方言、现实环境中的噪声、来自不同领域的专有名词、日常俗语、成语及句式转换等。语音识别通过“训练”和“识别”两个步骤应对上述挑战。训练过程通常是离线完成的，对预先收集好的海量语音、语言数据库进行信号处理和知识挖掘，获取语音识别系统所需要的“声学模型”和“语言模型”；而识别过程通常是在线完成的，对用户实时的语音进行自动识别。识别过程通常又分为“前端”和“后端”两大模块：“前端”模块的主要作用是进行端点检测(去除多余的静音和非说话声)、降噪、特征提取等；“后端”模块的作用是利用训练好的“声学模型”和“语言模型”对用户说话的特征向量进行统计模式识别，得到其包含的文字信息，此外，“后端”模块还包含一个“自适应”的反馈模块，可以对用户的语音进行自学习，对“声学模型”和“语言模型”进行必要的“校正”，从而进一步提高识别的准确率。

### （2）语音合成

语音合成技术是将任意文字信息实时转化为标准流畅的语音朗读出来。它涉及声学、语言学、数字信号处理、计算机科学等多个学科。

语音合成包含三个部分：

①语言处理：在文语转换系统中起着重要的作用，主要模拟人对自然语言的理解过程，包括文本规整、词语切分、语法分析和语义分析，使计算机对输入文本能够理解，



并给出所需要的各种发音提示；

②韵律处理：为合成语音规划出音段特征，如音高、音长和音强等，使合成语音能正确表达语意，听起来更加自然；

③声学处理：根据前两部分处理结果的要求输出语音，即合成语音。

### 5.4.5.3 机器翻译

机器翻译是利用计算机将一种自然语言（源语言）转换为另一种自然语言（目标语言）的过程，具有重要的实用价值和科学研究价值。

机器翻译技术的发展与计算机技术、信息论、语言学等学科的发展紧密相随。从早期的词典匹配，到词典结合语言学知识的规则翻译，再到基于语料库的统计机器翻译，再到基于人工智能的神经网络机器翻译，随着计算机计算能力的提升和多语言信息的爆发式增长，机器翻译技术已开始提供实时便捷的翻译服务。

神经网络机器翻译通常采用“编码器-解码器”结构，编码器实现对源语言句子的“理解”，形成一个特定维度的浮点数向量，之后解码器根据此向量逐字生成目标语言的翻译结果，其核心技术是拥有海量节点（神经元）的深度神经网络，可以自动从语料库中学习翻译知识。一种语言的句子被向量化之后，在网络中层层传递，转化为计算机可以“理解”的表示形式，再经过多层复杂的运算，生成另一种语言的译文，实现了“理解语言、生成译文”的翻译方式。

### 5.4.6 人工智能技术在元宇宙中的应用

在元宇宙的各个层面、各种应用、各个场景下，人工智能无处不在，比如区块链中的智能合约、人机交互中的脑机接口、电子游戏中的代码人物物品乃至情节的自动生成、元宇宙中虚拟人物的语音识别与语音合成、不同语言之间的机器翻译、AIoT、5G/6G/



算力网络中的网络 AI、数字孪生中的全生命周期管理……人工智能渗透到方方面面，助力元宇宙构建虚实融合的数字生活空间。

## 5.5 网络及运算

### 5.5.1 5G/6G

2019 年是中国 5G 元年，2020 年是中国 5G 2B 元年。5G 网络已经正式商用，在千行百业的数字化转型中发挥着重要作用。因此本章节重点关注 6G。

#### 5.5.1.1 6G 网络愿景

5G 时代，我国 IMT-2020 (5G) 推进组提出了 5G 愿景：5G 要实现光纤般的接入速率、“零”时延的使用体验、千亿设备的连接能力、多场景的一致服务、业务及用户感知的智能优化、超百倍的能效提升和比特成本降低。

6G 愿景是为了满足 2030 年及以后 (2030+) 的信息社会需求，因此 6G 愿景应该是 5G 不能满足而需要进一步提升的需求。目前，ISO (International Organization for Standardization, 国际标准化组织) 还未公布 6G 愿景，但可以预测，6G 总体愿景将是基于 5G 愿景的进一步扩展。目前，全球部分研究机构基于自己的研究成果，将 6G 愿景概括为 4 个关键词：“智慧连接”“深度连接”“全息连接”“泛在连接”，而这 4 个关键词共同构成“一念天地，万物随心”的 6G 总体愿景。

① “一念天地”中的“一念”一词强调实时性，是指无处不在的低时延、大带宽的连接，这类似于 5G 愿景中的光纤般的接入速率、“零”时延的使用体验。

② “念”还体现了思维与思维通信的“深度连接”，其特征可以概括为深度感知、深度学习、深度思维。

③ “天地”对应“空-天-地-海”无处不在的“泛在连接”，其特征可以概括为：全

地形、全空间立体覆盖连接，即“空-天-地-海”随时随地的连接，或称为“空-天-地-海”一体化通信。

④ “万物随心”是指万物为智能对象，能够“随心”所想而智能响应，即“智慧连接”，其特征可以表现为通信系统内在的全智能化、网元与网络架构的智能化、终端设备智能化、承载的信息支撑智能化业务；呈现方式也将支持“随心”的无处不在的沉浸式全息交互体验，即“全息连接”，其特征可以概括为全息通信、高保真 AR/VR、随时随地无缝覆盖的 AR/VR。

6G 网络愿景中的“智慧连接”可以认为是 6G 网络中的大脑和神经；“深度连接”“全息连接”和“泛在连接”三者构成 6G 网络的躯干。这些特性共同使 6G 网络成为完整的拥有“灵魂”的有机整体。6G 网络将会真正实现信息突破时空限制、网络拉近万物距离，实现无缝融合的人与万物智慧互联，并最终达到“一念天地，万物随心”的 6G 总体愿景。

2019 年 3 月，全球首届 6G 无线峰会在芬兰举行，会后发布了全球首份 6G 白皮书，即《6G 无线智能无处不在的关键驱动与研究挑战》，该白皮书中提出了 6G 愿景目标。6G 愿景目标如图 5.5.1.1-1 所示。

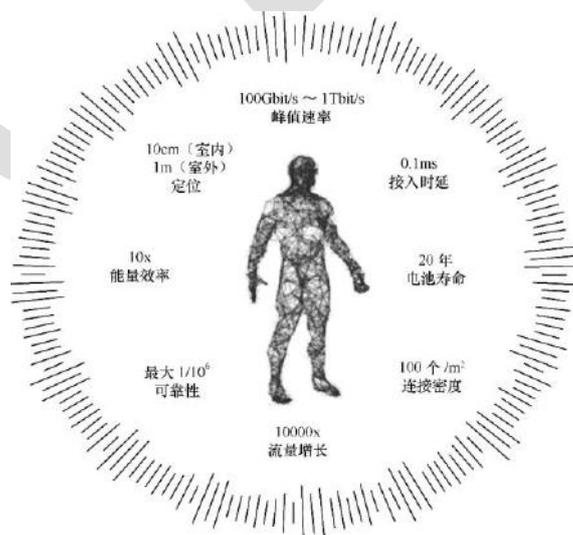


图 5.5.1.1-1 6G 愿景目标图

### 5.5.1.2 6G 组网架构

未来，6G 的“空-天-地-海”一体化网络将以陆地蜂窝移动通信网络为基础，融合空基高空平台网络、天基卫星网络、海基网络，构建多接入的融合网络架构。预计 6G 时代“空-天-地-海”一体化网络的架构如图 5.5.1.2-1 所示。

- (1) 天基网络：由卫星通信系统构成，其中包括高轨卫星、中轨卫星和低轨卫星等。
- (2) 空基网络：由搭载在各种飞行器（例如，飞艇、热气球等）上的通信基站构成。
- (3) 海基网络：由海上及海下通信设备、海洋岛屿网络设施构成。
- (4) 地基网络：由陆地蜂窝移动通信网络构成，在 6G 时代，它将是为大部分普通终端用户提供通信服务的主要网络。

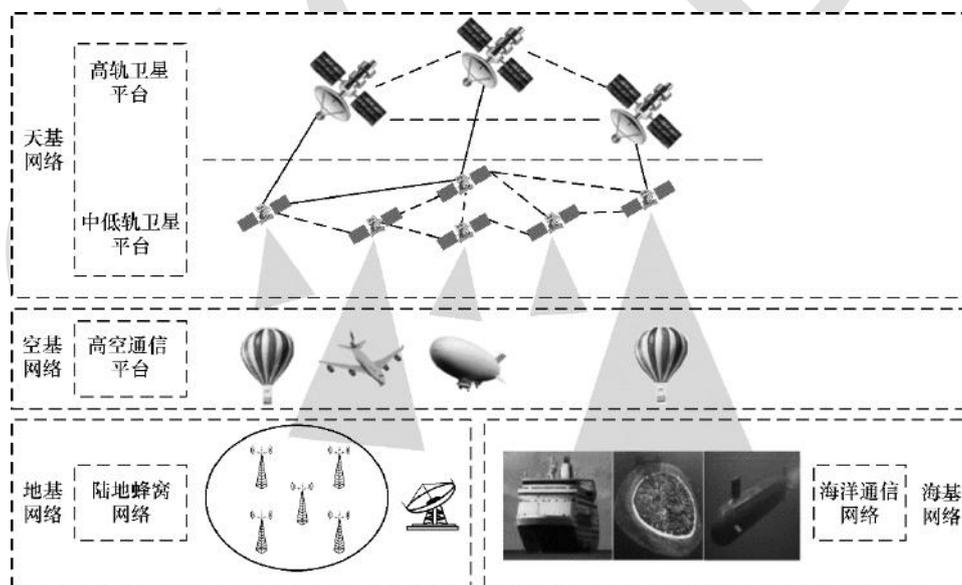


图 5.5.1.2-1 6G 的“空-天-地-海”一体化网络架构图

### 5.5.1.3 6G 关键技术

6G 关键技术主要包括 6G+SDN 技术、6G+NFV 技术、6G 动态网络切片技术、算力网络技术、网络 5.0 技术、确定性网络技术、信道编码及调制技术、天线与射频技术、



太赫兹技术、可见光通信技术、全双工技术、轨道角动量技术、卫星通信技术、AI 技术、区块链技术、频谱技术等。

#### 5.5.1.4 6G 网络特征

结合未来愿景和技术发展趋势，在面向“2030+”的网络提升空口能力的基础上，相关研究机构提出了 6G 网络应具备按需服务、至简网络、柔性网络、智慧内生、安全内生等特征。

智慧内生保障了网络的极简、柔性、感知能力，安全内生则让网络具有更强大的免疫能力。基于这些特征，6G 网络将满足“2030+”社会发展的全新需求，并实现“6G 创新世界”的宏伟目标。

##### (1) 按需服务

按需服务旨在满足用户个性化需求，为用户提供极致化性能服务。随着新技术的不断突破与发展，更多新的业务形态、新的应用场景将会出现，用户也将向多元化、个性化方向发展，因此 6G 网络要进一步提升感知能力，包括行为、业务、意图的感知，根据用户业务需求配置网络资源，提供体验保障。在面向“2030+”的移动通信系统中，按需服务网络将提供动态的、极细颗粒度的服务能力供给，用户可根据自身需求获得相应的服务种类、服务等级，以及不同服务的自由组合等。

##### (2) 至简网络

随着网络规模的不断拓展和复杂度的与日俱增，蜂窝网络架构应进行革新和简化，从而实现“能力至强、结构至简”。至简网络是未来网络架构演进的重要方向。未来网络是融合的“空-天-地-海”一体化网络，通过融合的通信协议和接入技术，实现核心网的统一接入，从而实现网络的简化。通过架构至简、协议至简和功能至强，实现高效数据传输、鲁棒信令控制、按需网络功能部署，达到网络精准服务，有效降低网络能耗



和规模冗余。至简网络还意味着轻量级的无线网络，通过统一的信令覆盖，保证可靠的移动性管理和快速的业务接入；通过动态的数据接入加载，降低小区间的干扰和整网能耗；通过基站功能的分阶段和按需加载，提供业务服务的个性化。

### （3）柔性网络

传统网络是按照其支持的最大容量进行规划和设计，而用户需求和网络负荷则会因用户移动带来的潮汐效应而动态变化，因此网络性能无法适应业务需求和负荷的变化。面向 2030 的网络应该是一个端到端的微服务化网络，应以用户为中心，按需生成服务网络，且网随人动，网络功能去中心化管理，支持独立的网元和服务的伸缩、部署和演进。这需要网络具备柔性的特征，从而使网络实现“按需伸缩、自主进化”，提高能量效率，满足“产业、创新和基础设施”可持续发展要求。柔性网络助力网络实现自动化和智能化，以及新功能的快速引入和迭代。

### （4）智慧内生

5G 已经引入了 AI 技术，但 5G 中的 AI 是一种外挂式或者说是嫁接式的应用，很难做到像人类的神经网络一样，成为一种内在能力。6G 网络计划把 AI 能力作为神经系统渗透全网，实现“网络无所不达，算力无所不在，智能无处不在”。通过网络与计算深度融合形成的基础设施，为 AI 提供无处不在的算力，从而实现无所不及的泛在智能。基于网络自动化、AI 及大数据能力，通过自聚焦方式，智慧内生网络可以有效满足不断出现的新需求，协同分布式资源，提高网络能效，减少带宽要求，实施智能决策，使网络各域自优化、自完备，大幅降低网络运维成本，实现零接触（Zero Touch）运营维护。

### （5）安全内生

安全内生网络能够实时监控安全状态并预判潜在风险，抵御攻击与预测危险相结合，



从而实现智能化的内生安全，即“风险预判、主动免疫”，它是 6G 网络非常重要的特征。智能共识通过联网的智能主体间的交互和协同形成共识，并基于共识来排除干扰，为信息和数据提供高安全等级。智能防御基于 AI 和大数据技术，精准部署安全功能并优化安全策略，实现主动的纵深安全防御。可信增强使用可信计算技术，为网络基础设施、软件等提供主动免疫功能，增强基础平台的安全水平。泛在协同通过云、网、边、端，准确感知整个系统的安全态势，敏捷处置安全风险。网络将实现由互联网安全向网络空间安全的全面升级。

## 5.5.2 算力网络

### 5.5.2.1 算力网络定义

算力改变世界，算力驱动未来。算力，顾名思义就是计算能力。

数字化智慧社会的三个要素是数据、算力、算法。数据是基础，海量数据来自于各行各业的人和物；算力是智慧应用的基础平台，大数据的处理需要大量算力；算法是构建平台的核心，需要科学技术人员研究实现。

为了满足未来社会对信息处理的巨大算力需求，将大量闲散算力进行统一管理和调度，通过网络将闲散计算资源节点连接在一起，再通过网络将计算资源提供给需要的应用和服务，供客户使用。这种基于网络汇聚计算资源，对算力进行统一管理和调度，实现连接和算力的全局优化，为上层业务提供算力服务，并最终为客户提供应用的系统，被称为“算力网络”。

算力网络是应对算网融合发展趋势提出的新型网络架构。网络将从“连接”走向“连接+计算”，实现算力在网络中的可管、可控、可用。算力网络是一种根据业务需求在云、网、边、端之间按需分配和灵活调度算力资源、算法资源、存储资源和网络资源的新型



信息基础设施。算力网络旨在打造 CPaaS（Computing Power as a Service，算力即服务）。

### 5.5.2.2 算力多元化

计算的形态正在发生着变化，云负责大体量的复杂计算，边缘负责简单的实时计算，终端负责感知交互和执行，计算正由以云计算代表的“中心计算”向“云-边-端”统一协同的泛在计算发展，以满足智能社会多样化的算力需求。

根据未来计算形态“云-边-端”泛在分布的形势，计算与网络的融合将会更加紧密。算力网络的目标是聚合散落在全网中的资源孤岛，打造“云-边-端”的协同计算体系，将计算单元和计算能力嵌入网络，提升全网算力的资源利用率，为千行百业提供极致的客户体验。

#### (1) 云计算

云计算将网络上分布的计算、存储、应用等资源集中起来，基于资源虚拟化的方式，为客户提供方便快捷的服务，实现计算与存储的分布式与并行处理。如果把“云”视为一个虚拟化的计算与存储资源池，那么云计算则是这个资源池基于网络平台为客户提供的计算与存储服务。互联网是最大的一片“云”，上面的各种资源共同组成了若干个庞大的计算中心和数据中心。

云计算是分布式计算、并行计算、效用计算、网络存储、虚拟化、负载均衡等传统计算机和网络技术发展融合的产物。相对于实现技术而言，云计算最吸引人的是把计算、存储、软件等各种能力作为像水、电一样的公用事业提供给客户的理念。

云计算的服务类型主要分为 3 类，即 IaaS、PaaS、SaaS。我国的 IaaS 发展成熟，PaaS 增长高速，SaaS 潜力巨大。

2020 年 4 月 20 日，国家发展和改革委员会首次正式对“新型基础设施建设”的



概念进行解读，云计算既是基础设施，也是操作系统：一方面，以数据中心和智能计算中心为代表的算力基础设施本质上是服务器、芯片等硬件资源的集群，算力基础设施构成了云服务的硬件基础；另一方面，云计算也反过来对它们进行管理，通过资源整合、调度、分配等方式提高算力基础设施的整体利用效率。

云计算发展的未来趋势包括：云技术从粗放向精细渗透；云需求从 IaaS 向 SaaS 上移；云布局从中心向边缘延伸；云安全从外延向原生转变；云应用从面向普通用户向面向企业扩展；云定位从基础设施向操作系统转型等。

## （2）边缘计算

边缘计算将计算存储能力与业务服务能力向网络边缘迁移，使计算、存储、应用等核心能力实现本地化、近距离、分布式部署，将业务分流到本地进行处理，提升网络数据的处理效率，满足行业数字化在实时业务、敏捷联接、数据优化、智能应用、安全与隐私保护等方面的关键需求，实现终端客户的极致体验，让超级计算机无处不在。

边缘计算应用广泛。无处不在的现场级边缘计算为客户提供智能化接入和实时数据处理，实现数据生态的赋能；触手可及的网络侧边缘计算为客户提供丰富的算力，承载人工智能、图像识别和视频渲染等新业务，实现应用生态的赋能。

边缘计算通过充分挖掘移动网络的数据和信息，实现移动网络上下文信息的感知和分析，并开放给第三方业务应用，有效提升了移动网络的智能化水平，促进网络和业务的深度融合，从而在一定程度上解决了 5G 网络热点高容量、低功耗大连接及低时延高可靠等场景的业务需求。

边缘计算与云计算相互协同，共同使能行业数字化转型。云计算聚焦非实时、长周期数据的大数据分析，能够在周期性维护、业务决策支持等领域发挥特长。边缘计算聚焦实时、短周期数据的分析，能更好地支撑本地业务的实时智能化处理与执行。另外，



两者还存在紧密的互动协同关系。边缘计算既靠近执行单元，又是云端所需高价值数据的采集单元，可以更好地支撑云端应用的大数据分析；反之，云计算通过大数据分析优化输出的业务规则也可以下发到边缘侧，边缘计算基于新的业务规则进行业务执行的优化处理。边缘计算与云计算不是非此即彼的关系，而是相辅相成、相互协同的关系，两者的有机结合为万物互联时代的信息处理提供了完美的软硬件支撑平台。

### （3）端计算

端即终端，例如计算机、手机、物联网终端设备等。终端设备具有感知和计算能力，能够采集数据并实时处理数据，进行负荷识别、建模、故障自动处理等操作。在和网络进行连接后，终端设备可以把加工后的高价值数据与云端进行交互，在云端进行全网的数据存储、分析处理、安全策略部署等操作。如果遇到网络覆盖不到的情况，可以先在边缘侧进行数据处理，当有网络时再将数据上传到云端，并在云端进行数据存储和分析。

## 5.5.2.3 算力网络工作机制

### （1）资源评估

算力网络面向全网泛在的算力资源、算法资源、存储资源、网络资源等，对各类资源的状态及分布进行度量和评估，作为资源发现、交易、调度的依据。

### （2）资源标识

算力网络通过统一的资源标识体系，标识不同提供者、不同类型的算力资源、算法资源、存储资源、网络资源等，以便资源信息分发与关联。

### （3）资源整合

算力网络将资源信息转换为以算力使用者为中心的算力网络资源全景视图，根据算力、算法、网络带宽、服务质量、资源建设成本等因素综合定价。

### （4）业务保证



算力网络对业务需求划分服务等级，向使用者承诺算力大小、网络性能等业务的SLA。

#### （5）算力交易

算力网络采用基于区块链的分布式账本，实施高频、可信、可溯的资源交易，根据算力使用者便捷灵活的选购需求，对云计算节点、边缘计算节点、端计算节点、算法资源、存储资源、网络资源等统一管控调度，提供最合适的资源供给。

#### （6）弹性调度

算力网络实时监测业务流量，动态调整算力资源，完成各类业务的高效处理和整合输出，并在满足业务需求的前提下实现资源的弹性伸缩，优化算力分配，提升算力资源利用率，直到服务结束，释放各类资源。

### 5.5.2.4 算力芯片类别

算力芯片主要包括：CPU (Central Processing Unit, 中央处理器)、GPU (Graphics Processing Unit, 图形处理器)、NPU (Neural-network Processing Unit, 神经网络处理器)、TPU (Tensor Processing Unit, 张量处理器)、ASIC (Application Specific Integrated Circuit, 专用集成电路)、FPGA (Field Programmable Gate Array, 现场可编程逻辑门阵列) 等。

### 5.5.2.5 算力网络体系架构

算力网络体系架构如图 5.5.2.5-1 所示。

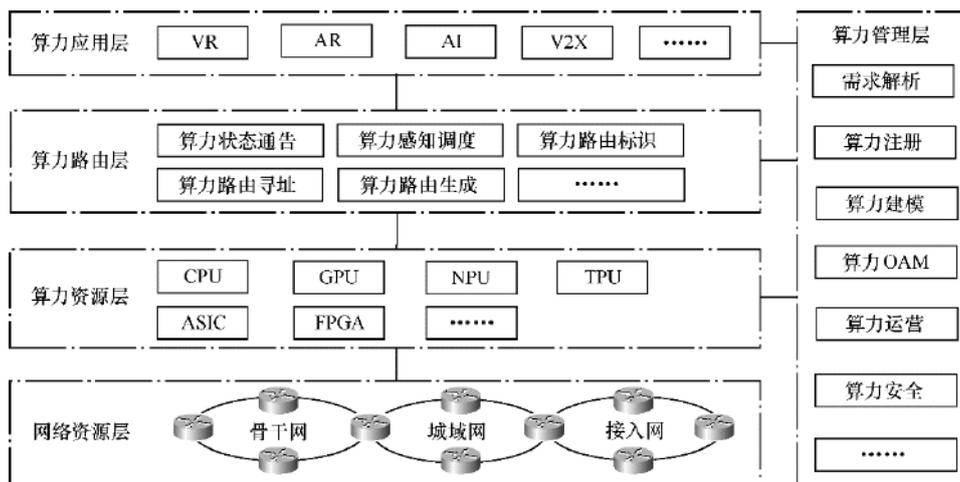


图 5.5.2.5-1 算力网络体系架构图

为了实现对泛在的计算和服务的感知、互联和协同调度，算力网络体系架构从逻辑功能上可以划分为五大功能层：算力应用层、算力路由层、算力资源层、网络资源层、算力管理层。基于网络无处不在的算力资源，算力管理层对算力资源进行抽象、建模、控制和管理，并通知算力路由层，由算力路由层综合考虑客户需求、算力资源状况和网络资源状况，将服务应用调度到合适的节点，实现资源利用率最优，并保证客户的极致体验。各功能层的功能具体如下：

### (1) 算力应用层

基于分布式微服务架构，算力应用层支持应用解构成原子化功能组件，在泛在的算力资源中按需实例化。算力应用层将业务应用的 SLA 等信息传递给算力管理层。应用包括 VR、AR、AI、V2X 等。

### (2) 算力路由层

基于抽象后的计算资源发现，算力路由层综合考虑网络状况和计算资源状况，将业务灵活按需调度到不同的计算资源节点。算力路由层具体功能主要包括算力状态通告、算力感知调度、算力路由标识、算力路由寻址、算力路由生成等。

### (3) 算力资源层



为满足各领域多元化计算需求，算力资源层的芯片也呈现多元化的趋势，从单核 CPU 到多核 CPU，从 CPU 到 GPU，从 NPU 到 TPU，从 ASIC 到 FPGA，再到 CPU+GPU+FPGA 等多种芯片组合，满足不同应用需求。面对网络中分布式的多种异构计算资源，算力资源层需要算力资源可度量。

#### （4）网络资源层

网络资源层提供信息传输的网络基础设施，包括骨干网、城域网和接入网等，连接分布式的各种算力资源。

#### （5）算力管理层

算力管理层负责多项工作：解析各类算力需求；对算力资源感知、度量、注册；面对异构的计算资源，算力管理层通过算力建模对算力资源进行抽象，形成算力能力模板，并传递给相应的网络节点；对算力资源进行 OAM 管理监控，将其性能和故障信息通告给相应的网络节点；对算力资源进行弹性调度，以匹配业务需求；对算力网络架构进行安全保障。算力管理层具体功能模块主要包括：需求解析、算力注册、算力建模、算力 OAM、算力运营、算力安全等。

算力网络作为计算与网络深度融合的新型网络架构，以泛在的网络连接为基础，基于高度分布式的计算节点，通过服务的自动化部署、最优路由和负载均衡，构建全新的网络基础设施，真正实现网络无所不达、算力无处不在、智能无所不及。海量服务应用、海量功能函数、海量计算资源构成一个开放的产业生态环境，最终实现客户体验最优化、资源利用率最优化、网络效率最优化。

### 5.5.2.6 算网融合

根据“应用部署匹配计算、网络转发感知计算、芯片能力增强计算”的要求，在云网融合的基础上，算网融合需要提供六大融合能力，包括管理融合、运营融合、数据融



合、算力融合、网络融合、协议融合等，具体如下：

#### （1）管理融合

算力、网络、安全协同编排，通过算力、网络、安全等提供服务化 API，将所有服务统一编排、统一运维，提供智能的、融合的管控体系。

#### （2）运营融合

提供算力、网络、安全为一体的融合运营平台，为客户提供“一站式”服务，客户可以订购算力、网络、安全等各种服务，并可以实时了解服务提供质量和提供服务进度等内容。

#### （3）数据融合

算网中各种采集数据、配置数据、日志数据、安全数据等集中在数据池中，形成数据中台，充分发挥 AI 能力，基于大数据学习和分析，构建整个算网架构的智慧大脑。

#### （4）算力融合

提供算力管理、算力交易及算力可视化等能力，通过区块链等技术实现泛在异构算力的灵活交易和应用，将算力相关能力组件嵌入到整体架构，满足未来网络的算力诉求。

#### （5）网络融合

构建跨地域、跨海域、跨空域的“空-天-地-海”一体化网络，实现真正意义上的全球无缝覆盖。

#### （6）协议融合

围绕 SRv6 等 IPv6+ 协议，实现云、网、边、端的端到端的 IPv6+ 协议融合，同时简化控制协议和转发协议，向以 SRv6 为代表的 IPv6+ 协议演进。

### 5.5.2.7 算力网络的典型应用——东数西算工程

“东数西算”中的“数”指数据，“算”指算力。“东数西算工程”是通过构建数据



中心、云计算、大数据一体化的新型算力网络体系，将东部算力需求有序引导到西部，优化数据中心建设布局，促进东西部协同联动，让西部的算力资源更充分地支撑东部数据的运算，更好为数字化发展赋能。打通“数”动脉，织就全国算力一张网，既缓解了东部能源紧张的问题，也给西部开辟一条发展新路。

2022年02月，国家发展改革委、中央网信办、工业和信息化部、国家能源局联合印发文件，同意在京津冀、长三角、粤港澳大湾区、成渝、内蒙古、贵州、甘肃、宁夏等8地启动建设国家算力枢纽节点，并规划了10个国家数据中心集群。至此，全国一体化大数据中心体系完成总体布局设计，“东数西算”工程正式全面启动。

“东数西算”工程的实施，一是有利于提升国家整体算力水平，通过全国一体化的数据中心布局建设，扩大算力设施规模，提高算力使用效率，实现全国算力规模化集约化发展；二是有利于促进绿色发展，加大数据中心在西部布局，将大幅提升绿色能源使用比例，就近消纳西部绿色能源，同时通过技术创新、以大换小、低碳发展等措施，持续优化数据中心能源使用效率；三是有利于扩大有效投资，数据中心产业链条长、投资规模大、带动效应强，通过算力枢纽和数据中心集群建设，将有力带动产业上下游投资；四是有利于推动区域协调发展，通过算力设施由东向西布局，将带动相关产业有效转移，促进东西部数据流通、价值传递，延展东部发展空间，推进西部大开发形成新格局。

### 5.5.3 物联网

IoT (Internet of Things, 物联网) 是指通过各种信息传感器、射频识别技术、全球定位系统、红外感应器、激光扫描器等各种装置与技术，实时采集任何需要监控、连接、互动的物体或过程，采集其声、光、热、电、力学、化学、生物、位置等各种需要的信息，通过各类可能的网络接入，实现物与物、物与人的泛在连接，实现对物品和过



程的智能化感知、识别、定位、跟踪、监控和管理。物联网即“万物相连的互联网”，是互联网基础上的延伸和扩展的网络，将各种信息传感设备连接起来，进行信息交换，实现任何时间、任何地点，人、机、物的互联互通。

自 2018 年起，物联网开始向跨技术融合和场景全覆盖迈进。互联网、移动网络（蜂窝物联网、非授权物联网）、卫星网络、无人机及热气球等共同为物联网的多元化应用提供随时随地的可靠接入，目前取得的进展为：一是地基 NB-IoT 与天基卫星网络的融合，通过卫星提供全球无处不在的 NB-IoT 网络，主要应用于农业、交通、航海、应急等领域，涵盖海洋或深山等地区；二是地基蜂窝网络与空基网络无人机/热气球的融合；三是地基蜂窝网络与非地面网络融合，5G R16 版本研究了 5G 空口与非地面网络的融合，R17 版本研究 NB-IoT/eMTC 与非地面网络的集成，包括开展 5G NR 增强的规范性工作以支持非地面网络存取——卫星和高空平台，并将为 NB-IoT 和 eMTC 引入卫星支持做准备。2020 年 8 月，联发科基于标准 NB-IoT 芯片开发出支持卫星功能的设备，成功与地球商用同步卫星建立双向链路，进一步推进物联网业务的全球覆盖。未来，6G 的“空-天-地-海”一体化网络将会向物联网提供全覆盖的接入。

同时，随着 AI 和 IoT、云计算、大数据等技术的快速发展，AI 与 IoT 在实际应用中的融合落地越来越多。AI 深度学习需要 IoT 传感器收集上来的海量数据，IoT 也需要 AI 给与正确的感知、识别、监控、预测和管理。AIoT（人工智能物联网）=AI（人工智能）+IoT（物联网）。AI 的介入让 IoT 有了连接的“大脑”。AI、IoT“一体化”后，“人工智能”逐渐向“应用智能”发展。AIoT 不是一项新技术，而是一种新的 IoT 应用形态，与传统 IoT 区别在于：传统 IoT 通过有线和无线网络，实现物-物、人-物之间的相互连接；而 AIoT 不仅实现设备和场景之间的互联互通，还实现物-物、人-物、物-人、人-物-服务之间的连接和数据的互通，以及 AI 赋能 IoT 之后的真正意义上的万物互联。



#### 5.5.4 网络及运算技术在元宇宙中的应用

元宇宙庞大的数据量，对算力的需求几乎是无止境的。算力网络将向泛在计算与泛在联接紧密结合的方向演进，推动计算与网络深度融合，为元宇宙提供智能、泛在、柔性、协同、至简、安全的 CPaaS。物联网为元宇宙收集海量数据，6G 的“空-天-地-海”一体化网络架构为元宇宙提供“智慧连接”“深度连接”“全息连接”“泛在连接”，助力用户实现“一念天地，万物随心”的元宇宙式沉浸体验。

### 5.6 数字孪生

#### 5.6.1 数字孪生概念

当前，以物联网、大数据、人工智能等新技术为代表的数字浪潮席卷全球，世界正朝着数字化未来的方向发展，物理世界和与之对应的数字世界正在形成两大体系平行发展，相互作用。数字世界为了服务物理世界而存在，物理世界因为数字世界而变得高效有序。在这种背景下，数字孪生技术应运而生。数字孪生技术将有力推动数字产业化和产业数字化进程，加快实现数字经济国家战略落地。

##### 5.6.1.1 数字孪生定义

数字孪生是综合运用感知、计算、建模等信息技术，通过软件定义，对物理世界进行描述、诊断、预测、决策，进而实现物理世界与数字世界的交互映射。数字孪生是以数字化方式创建物理实体的虚拟实体，是借助历史数据、实时数据以及算法模型等，模拟、验证、预测、控制物理实体全生命周期过程的技术手段，是集成多学科、多物理性、多尺度性、多概率的仿真过程。

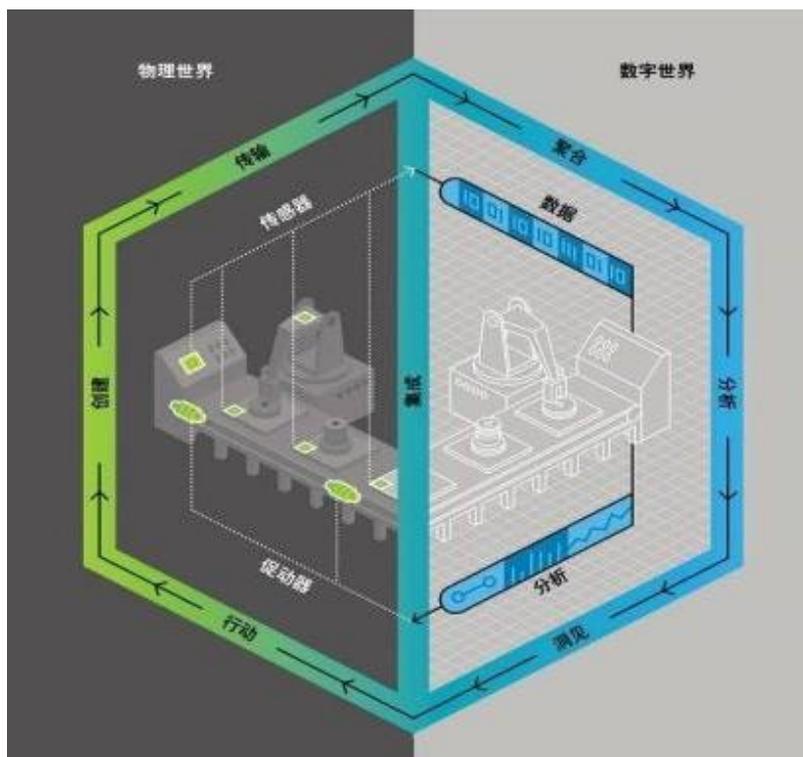


图 5.6.1.1-1 物理世界与数字世界映射示意图

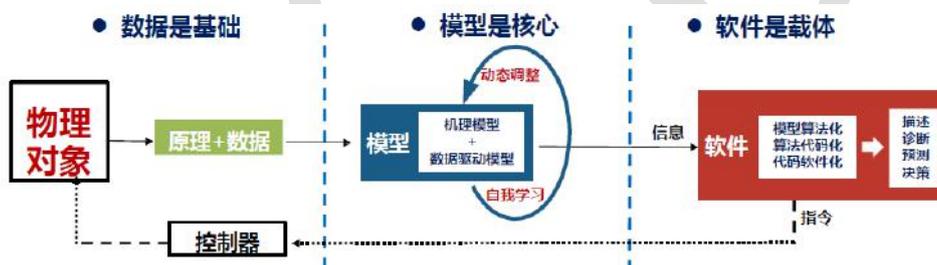


图 5.6.1.1-2 数字孪生定义示意图

### 5.6.1.2 数字孪生内涵

数字孪生内涵可以用“一项通用技术、两大孪生空间、三大技术要素、四大功能等级和五大典型特征”来表述，具体如图 5.6.1.2-1 所示。



图 5.6.1.2-1 数字孪生内涵图

### 5.6.1.3 数字孪生价值

数字孪生以数字化的形式在虚拟空间中构建了与物理世界一致的高保真模型，通过与物理世界间不间断的闭环信息交互反馈与数据融合，能够模拟物理世界的行为，监控物理世界的变化，反映物理世界的运行，评估物理世界的状态，诊断物理世界的问题，预测物理世界的未来，甚至优化和改变物理世界。数字孪生能够突破许多物理条件的限制，通过数据和模型双驱动的描述、诊断、预测、决策，实现需求的即时响应、服务的持续创新和产业的优化升级。基于模型、数据和服务等各方面的优势，数字孪生正在成为提高质量、增加效率、降低成本、减少损失、保障安全、节能减排的关键技术，应用场景也逐渐延伸拓展到更宽广的领域。

### 5.6.1.4 数字孪生体系架构

数字孪生体系架构如图 5.6.1.4-1 所示。



图 5.6.1.4-1 数字孪生体系架构图

一个完整的数字孪生体系架构包括物理层、数据层、模型层、功能层和能力层，分别对应着数字孪生的五个要素—物理对象、对象数据、动态模型、功能模块和应用能力，其中的重点是对象数据、动态模型和功能模块三个部分。

### (1) 物理层

物理层所涉及的物理对象既包括物理实体，也包括实体内部及相互之间存在的各类运行逻辑、生产流程等已经存在的逻辑规则。

### (2) 数据层

数据层的数据来源于物理世界的固有数据，以及由各类传感器实时采集到的多模式、多类型的运行数据。数据是整个数字孪生体系的基础，海量复杂系统运行数据包括用于提取和构建系统特征的重要信息，与专家经验知识相比，系统实时传感信息更准确、更能反映系统的实时物理特性，对多运行阶段系统更具适用性。作为整个体系的最前沿部分，数据层的重要性毋庸置疑。

### (3) 模型层

数字孪生的模型既包含了对应已知物理对象的机理模型，也包含了大量的数据驱动



模型。其中，“动态”是模型的关键，动态意味着模型需要具备自我学习、自主调整的能力。通过采用多物理性、多尺度性的方法对传感数据进行多层次的解析，模型层挖掘和学习其中蕴含的相关关系、逻辑关系和主要特征，实现对系统的超现实状态表征和建模，并能预测系统未来状态和寿命，依据当前和未来的健康状态评估其执行任务成功的可能性。

#### （4）功能层

功能层的核心要素“功能模块”是指由各类模型通过或独立或相互联系作用的方式形成的半自主性的子系统，或者说是一个数字孪生的小型实例。半自主性指功能模块可以独立设计、创新，但在设计时需要遵守共同的设计规则，使其相互之间保持一定的统一性。这种特征使得数字孪生的模块可以灵活地扩展、删除、修改、替换、再次组合，可以根据需求进行定制，从而实现复杂应用，构建成熟完整的数字孪生体系。

#### （5）能力层

通过功能模块的搭配组合解决特定应用场景中某类具体问题的解决方案，在归纳总结后会沉淀为一套专业知识体系，这便是数字孪生可对外提供的应用能力，也可称为应用模式。由于其内部的模型和功能模块具有半自主特性，形成的应用模式在一定程度上可以实现自适应调整。

### 5.6.2 数字孪生简史

“孪生体”的概念在制造领域的应用最早可以追溯到 NASA（National Aeronautics and Space Administration，美国国家航空航天局）的“阿波罗”项目。NASA 制造了两个完全相同的空间飞行器，一个用于执行飞行任务，另一个留在地球上，留在地球上的空间飞行器被称为“孪生体”，用于反映空间飞行器的状态。此时的孪生



体还停留在仿真阶段，其表现形式仍为物理实体。

数字孪生历经技术积累、概念提出、应用萌芽和快速发展4个阶段，具体如图 5.6.2-1 所示。

技术积累 21世纪以前	概念提出 2000—2015年	应用萌芽 2015—2020年	快速发展 2020—未来
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1949年，第一代CAM软件API问世</li> <li>• 1969年，NASA推出第一代CAE软件COSMIC Nastran</li> <li>• 1982年，三维绘图标志性工具Auto-CAD 问世</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2003年，密歇根大学迈克尔·格里夫斯教授首次提出数字孪生概念</li> <li>• 2010年，美国军方提出数字线程</li> <li>• 2012年，NASA发布了包含数字孪生的两份技术路线图</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2017年，西门子正式发布数字孪生体应用模型</li> <li>• 2017年，PTC推出基于数字孪生的物联网解决方案</li> <li>• 达索、通用电气等企业开始宣传和使用数字孪生技术</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 数字孪生将加速与AI等新技术融合发展进一步应用</li> <li>• 数字孪生广泛应用于工业互联网、车联网、智慧城市等新型场景</li> </ul>

图 5.6.2-1 数字孪生的4个发展阶段图

## 5.6.3 数字孪生关键技术

### 5.6.3.1 建模和仿真技术

数字化建模技术起源于 20 世纪 50 年代。建模是将对物理世界的理解进行简化和模型化。建立物理实体的数字化模型是创建数字孪生体、实现数字孪生的核心技术。

仿真技术和建模技术是一对共生体，如果说建模技术是对物理世界的理解进行模型化，那么仿真就是验证和确认理解的正确性和有效性。仿真技术是通过将包含了确定性规律和完整机理的模型转化为软件的方式来模拟物理世界的技术。只要模型正确，并拥有完整的输入信息和环境数据，就可以基本正确地反映物理世界的特性和参数。仿真技术兴起于工业领域，已经广泛应用于工业的各个领域。在数字孪生体构建的过程中，仿真扮演着重要的角色。数字孪生是仿真应用的新巅峰。

### 5.6.3.2 数字线程

数字线程是指可扩展、可配置和组件化的企业级分析通信框架。基于该通信框架构



建覆盖系统生命周期与价值链全部环节的跨层次、跨尺度、多视图模型的集成视图，进而以统一模型驱动系统生存期活动，为决策者提供支持。

在某个应用场景下的某种建模技术，只能提供某类物理实体某个视角的模型视图，这时数字孪生体和对应物理实体间的互动，一般只能满足单一的低层次需求指标的要求。对于复合的高层次需求指标，通常需要有反映若干建模视角的多视图模型所对应的多个数字孪生体与同一个物理实体对象实现互动。多视图模型间的协同就需要数字线程技术的支撑。

数字线程是与某个或某类物理实体对应的若干数字孪生体之间的沟通桥梁，这些数字孪生体反映了该物理实体不同侧面的模型视图。

### 5.6.3.3 系统工程与基于模型的系统工程

系统工程是应用系统的思维、原理和方法，解决复杂问题的方法论。系统工程的基础和核心是系统思维，系统具有层次性、涌现性和目的性，运用功能的观点和进化的观点从静态和动态两个方面全面认识系统。

系统工程和 MBSE (Model Based Systems Engineering, 基于模型的系统工程) 对数字孪生的作用和价值如下：

①系统工程和体系工程的建模、仿真和流程可以为顶层框架分别指导系统级数字孪生体和体系级数字孪生体的构建与运行。

②MBSE 是创建数字孪生体的框架，数字孪生体可以通过数字线程集成到 MBSE 工具套件中，进而成为 MBSE 框架下的核心元素。

③从系统生存周期的角度，MBSE 可以作为数字线程的起点，使用从物联网收集的数据，运行系统仿真来探索故障模式，从而随着时间的推移逐步改进系统设计。



#### 5.6.3.4 全生命周期数据管理

复杂系统的全生命周期数据存储和管理是数字孪生的重要支撑。采用云服务器对系统的海量运行数据进行分布式管理，实现数据的高速读取和安全冗余备份，为数据智能分析算法提供充分可靠的数据来源，对维持整个数字孪生体的运行起着重要作用。存储系统的全生命周期数据可以帮助系统具备历史状态回放、结构健康退化分析和任意历史时刻智能解析功能。通过对历史运行数据的有效特征提取、关联数据分析，可以获得未知但具有潜在价值的信息，加深对系统机理和数据特性的理解和认知，实现数字孪生的超现实属性。

#### 5.6.3.5 高性能计算

数字孪生的一大功能是实时映射，计算能力将直接影响其性能和功能实现，计算性能的重要性毋庸置疑。受限于目前计算机发展水平，通过提升硬件条件来提升计算性能的难度和成本极高，因此目前可行的解决方案是将基于分布式计算的云平台作为基础，辅以高性能嵌入式计算系统，同时借助异构加速的计算体系（例如 CPU+GPU、GPU+FPGA），优化数据的分布架构、存储方式和检索方法来提高计算性能。

### 5.6.4 数字孪生技术在元宇宙中的应用

数字孪生是对现实世界的映射，它面向现实世界，强调物理真实性，跟踪或模拟现实世界运作，致力于优化现实世界的生产效率、用户体验等，它的最终产物是作为现实世界镜像的“克隆宇宙”。

元宇宙则参照现实世界的物理元素、真实或假象的逻辑（如超现实、科幻等）对现实世界进行复制和修改。它直接面向人，强调身临其境，展示丰富的想象力和沉浸感，呈现的是脑洞大开的“多元宇宙”。

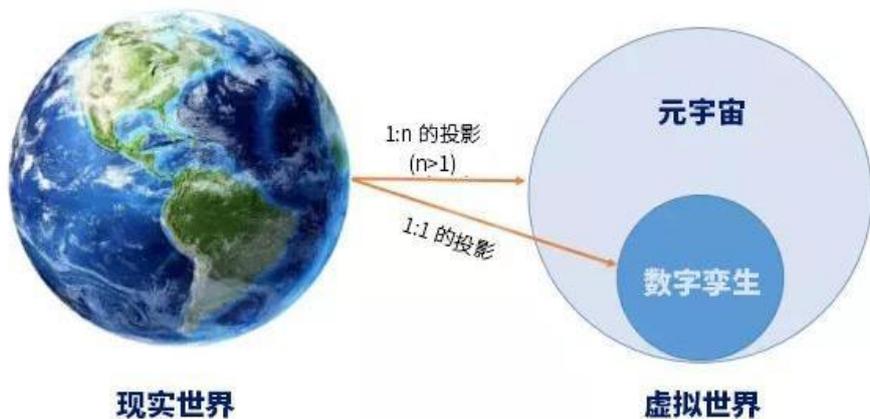


图 5.6.4-1 数字孪生与元宇宙的关系图

构建模拟甚至超越现实世界的元宇宙需要数字孪生技术。数字孪生技术的成熟度，决定了元宇宙在虚实映射与虚实交互中的效果。数字孪生是元宇宙的核心技术之一，是元宇宙的基石。

## 6. 中通服设计院在元宇宙领域的成果——数字孪生城市

中通服设计院以中国通服智慧城市工程院为载体，完成了一批在国内颇具影响力的智慧城市项目，智慧城市总承包建设能力处于国内领先地位。近年来，结合自身优势，在数字化、智能化、智慧化领域深入研究，中通服设计院在智慧园区、智慧工厂、智慧场馆、智慧电力、智慧水利、智慧交通、智慧政务、智慧应急等领域初尝了元宇宙的场景化——数字孪生城市应用，通过城市运行、公共安全、热点热线、应急管理运行态势的统一实时展示、分析决策、智能调度，实现物理城市与数字城市的相互作用，助力城市的数字化转型和优化升级。



图 6-1 中通服设计院的元宇宙成果——数字孪生城市

### (1) 智慧园区

园区是城市的重要组成部分。中通服设计院承建的深圳国际会展中心是深圳市重要的标志性工程，竣工后深圳国际会展中心凭借智能化程度高、功能先进、配套完善等优势荣获“深圳市优质工程奖”。通过融合设计、施工、竣工中不断演进的 BIM 模型、场地 GIS 数据、倾斜摄影实时场景、点云扫描数据等，该项目构建与物理空间孪生化的数字空间，实现两个空间的互动，使得数据、场景、业务动态变化，提高园区运营管理效率。

### (2) 智慧工厂

工厂是城市发展的发动机。中通服设计院承建泰州滨江化工园区封闭式园区管理系统建设及运维服务，通过构建车辆门禁管理系统、园区交通多维感知系统、危化品车辆运输监管系统、公共广播系统、无线对讲通讯系统、园区安保巡检系统、封闭式园区管理软件扩容、封闭管理软件升级开发、GIS 地理信息系统、企业闸口及安全监管系统、供电系统、光纤通信系统及机房配套系统等十三个子系统，形成工厂数字孪生神经网络，结合三维可视化的工厂模型，为园区提供智慧化工园区视频服务、预警服务、短信发布服务和 GIS 服务。

### (3) 智慧场馆

场馆是城市的大型活动中心。中通服设计院承建北京冬奥会主媒体中心数字孪生平



台，通过数字孪生技术将场馆数据转化为动态化、参数化的三维数据，对主媒体中心周边重点建筑，如鸟巢、水立方等，进行 CIM4 级仿真，对主体建筑内的主新闻发布厅、一二层序厅进行 CIM5 级还原，1:1 还原馆内冬奥元素布景仿真；以 AI 为场馆运行管理赋能，在冬奥会期间为媒体记者、场馆运行管理团队提供场馆仿真、设备监测、安全管理、防疫管理、媒体导引等服务；在数字场景中融入绿色建筑设计理念，展现数字时代奥运筹办的新变化，实现场馆模型数字资产沉淀。

#### （4）智慧电力

电力网络是城市运行的基础命脉。数字孪生电网是将物理电网以数字化方式映射至虚拟空间，通过接收来自物理电网的状态信息而同步演化，以实现物理电网的全面精准监测，并基于物理电网的状态信息，进行诊断、预测等一系列计算分析后，将分析结果反馈给物理电网，从而推动物理电网的优化调整。中通服设计院可以打造数字孪生综合能源系统、数字孪生综合管廊系统、数字孪生输电线路系统、数字孪生变电站系统、数字孪生开关站系统、数字孪生光伏电站系统、数字孪生充电桩系统、数字孪生岸电系统等系列产品，监测电网实时状态，诊断电网异常原因，优化电网运营策略，预测电网发展趋势，从而实现元宇宙场景中的智慧电力。

#### （5）智慧水利

水利工程是城市的生命线，也是人们生产、生活的生命之源。中通服设计院承建的山东省庆云县引黄灌区农业节水工程，以构建水利基础信息资源的集中存储和共享应用平台为目标，集基础性、全局性的水利信息资源存储管理、共享与交换、应用服务等功能为一体，实现了灌区从原始的人工现场提闸、人工实地测量到闸门远程测量控制、河道流量精准测流、视频远程监控、乡镇用水自动统计等一系列功能，极大地提升了工作效率，节省了大量的人力、物力，打造了一个现代化、智能化的灌区，实现了元宇宙场



景中水利工程的智能化运营。

#### （6）智慧交通

基于物联网、云计算、大数据、移动互联等高新 IT 技术，中通服设计院打造交通数据资源管理系统，通过智能分析交通信息知识图谱，构建南京市交通数字孪生空间，以海量地图数据、POI 数据、人口数据、车辆数据、物联网数据和互联网数据为基础，依托时空大数据引擎，对城市交通运行态势全面掌握，实现元宇宙场景中的智慧交通。

#### （7）智慧政务

元宇宙的关键要素之一是数字孪生模型，如何保障数字孪生模型的准确性是实现元宇宙广泛应用的关键。政府部门从城市管理出发，通过行使行政权力管理保障城市建设过程符合法律法规要求，也为城市提供数字管理基础。中通服设计院通过构建基于 BIM 的规划报建、BIM 施工图报审、BIM 竣工验收备案管理系统，引入人工智能技术，实现智能化模型审核，大大减少了人工审核的工作量，提高工作效率，也为城市模型数据采集提供了可靠保障。

#### （8）智慧应急

近年来，城市突发事件处理越来越考验城市管理的水平。依托海量数据汇集处理能力、开放平台生态体系、AI 技术等核心优势，中通服设计院构建立体感知、协同指挥的“智慧南京”平台，既可以对消防、交通、水利、气象等日常感知数据进行综合分析和监测预警，也可以对突发事件的事前、事中、事后进行可视化展现，为现场救援指挥提供决策支持。

## 7. 结束语

元宇宙是六大技术全景的集大成者，也是科技、艺术、哲学的完美结合。



元宇宙是一种思维方式，也是一种生活方式。

人，要诗意地栖居。元宇宙让你我穿越时空，遇见历史，遇见未来，在更高维度诗意地生活。

CSCDI