HUAWEI | Roland Berger

数据存力
高质量发展的数字基石

陈国良
中国科学院院士

人类社会的文明史，就是一部信息存储方式和传播方式变革的历史。从结绳记事到刻画在岩石上的象形文字，再到甲骨文的出现；从竹简、纸张的发明，再到打孔卡、硬盘、闪存的科技进步，人类探索世界的数据不断地被记录与保存下来，不断提升人类认识世界、改造世界的水平。

进入到大数据时代，个人、企业、社会等时时刻刻产生大量的数据，数据规模变得非常庞大，以2019年发布的黑洞照片为例，研究人员收集了5PB观测数据才最终把黑洞照片“冲洗”出来。不断增长的超大规模的数据量对数据存储能力，即数据存力，提出了越来越高的要求，如容量大、性能好、功能强、安全可靠。

数据是数字经济的基础性资源和战略性资源，没有存储，数据就没有保存的基础。小到出生后建立的电子档案、上学时的学籍信息，大到生命科学研究、能源勘探、卫星遥感，数据不能丢、业务不能停、不能等是保障经济社会稳定运行的基础，也是对数据存储能力提出的高要求。

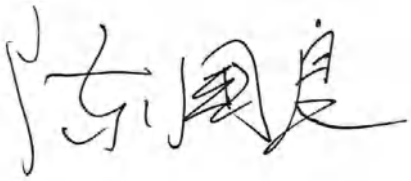
数据存储的重要性也让它正在成为各国创新和竞争的下一个前沿，包括非易失性存储器、量子内存、DNA存储以及先进的存储整机系统等在内的关键技术科学研究成为世界主要国家战略科技力量的重要组成。习总书记在科学家座谈会上谈到，要尽可能地做“从0到1”的突破。对于存储系统，我们学术界要多做“从0~1”的创新，不断挑战与突破数据存储技术天花板，同时主动服务国家现代化发展需要和现实需求。

一个信息系统是由计算部件、互连部件和存储部件组成的，之前人们的关注点往往还在计算或者网络上，但是到了今天，我们已经

进入到以存储为中心的信息时代。存储系统承载的是数据，只有数据“存得好”，数据分析和应用才有“原材料”，同时，当存储效率低的时候，算力也是很难发挥作用的。

这份由华为公司联合罗兰贝格编写的《数据存力，高质量发展的数字基石》研究报告全面阐述了数据存力对于经济社会高质量发展的基石地位并建立了对于数据存力的全方位评价体系。这份报告对于关心存储产业发展的相关人士具有很好的启示和参考意义。

中国存储产业虽起步较晚，但发展势头强劲，存储产业的发展与壮大，需要政府、高校院所、企业等“政产学研用”多方力量共同努力。期待未来中国存储产业大踏步前进，让我们共同努力！



冯丹
华中科技大学教授
计算机科学与技术学院院长

纵观全球，新一轮的科技革命和产业变革正在全方位的改变着社会生产生活，一个以数据服务能力为基础的，万物感知、万物互联、万物智能的数字经济世界正在加速到来。实施数据战略、积累数据资源、保障数据安全、做大做强数据产业，已经成为全球主要国家共同的战略选择。

数据爆炸式增长，根据预测，全球数据将从2018年的33ZB增至2025年的180ZB。以中国为例，中国数据圈增速迅速，预计将从2018年的7.6ZB到2025年将增至48.6ZB，占全球数据圈比重将从23.4%发展到占全球数据圈的27.8%，年均增速比全球快3%，中国将成为全球最大的数据圈。因此，更先进的数字技术、更强大的数据服务能力和更高水平的数字产业，将成为包括中国在内的世界各国和地区发展数字经济的重要内容。

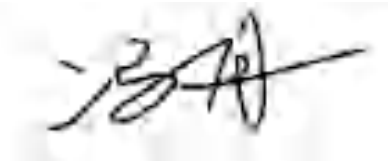
数据正在深刻改变各行各业。以制造业为例，制造业的研发、采购、物流、生产、库存、销售等环节会产生大量的数据，诸如各工序节拍信息、产品质量信息、发货和收货信息、物料流动信息、客户需求信息、人力资源 需求信息等。通过将企业内部和外部各项数据高度集成和互联，能够消除过度生产浪费、等待时间浪费、工序浪费、库存浪费、运输浪费、产品缺陷浪费等，降低生产成本，提高生产效率和产品质量，实现资源优化配置。

数据是宝贵资源，数据成为生产力。数据存储是大数据产业发展的关键环节，是数据赖以存在和发挥效能的基础平台，是数字经济中至关重要的基础设施。白皮书提到“数据存力即数据存储的能力，以存储容量为核心，包含性能表现、可靠程度、绿色低碳在内的

综合体现。”这个观点我深以为然。从早期的磁带、磁盘，到今天广泛应用的闪存，以及正在研究的下一代存储，数据存储的形式在不断变化，数据存储的能力也从单纯的存储容量，向效率、经济性、可靠程度、节能等方面不断延展，以更好应对不断增长的数据总量以及数据多样性、实时性等对存储提出的新要求。

白皮书对全球20个国家和地区的数据存力发展水平进行了测算，包括单位GDP存储容量、闪存占比、灾备覆盖率等指标，并对不同国家的存储产业、数据存力发展经验进行了总结，这对我们全面了解数据存储现状、发展存储产业具有很好的参考价值。我认为存储产业要争取到发展主动权，首先应该建设好产业链与产业生态，做出自己的标准并参与国际标准制定，以此获得更多的发言权。同时加强“产学研”合作，将高校成果更好地转化为关键技术。还要加大基础性研发投入，争取在原始创新方面获得突破，引领产业发展，为此还要加强人才培养，为产业发展蓄力。

随着数字经济和智能化的不断推进，新技术、新应用产生的数据源源不断地汇入数据海洋，数据存储机遇和挑战并存，让我们一起携手发展壮大数据存储产业，更好地支撑数字经济发展。



发展数据存力，筑牢高质量发展基石

汪涛
华为常务董事
ICT基础设施业务管理委员会主任

人类社会正在从农业经济、工业经济快速进入数字经济时代。数字经济发展速度之快、辐射范围之广、影响程度之深前所未有，正成为重组全球要素资源、重塑全球经济结构、改变全球竞争格局的关键力量。

历史上每一个经济时代，基础设施都发挥着无比重要的作用。数据资源是数字经济的关键要素，华为GIV预测，到2030年，人类将进入YB数据时代。数字经济的领先需要强大的数字基础设施，而数据存储作为数字世界的数据底座，已经成为数字基础设施的关键一环。数字基础设施要面向IT、CT及OT等多场景，要实现工业互联乃至万物智联，必须要拥有强大的数据存储能力，即数据存力，才能满足数字经济发展的需要。

数据生命周期的起点是将采集的数据进行存储，从而给数据处理和应用提供原材料，支撑经济社会的数字化运作；产生的各类数据与物理世界完成交互后，最终处理的结果又回到数据存储进行保存，指导模型、算法的精确性和可用性提升。以数据存力为支撑，只有数据"存得好"、算力"算得快"、网络"传得稳"，数字基础设施才能充分发挥数据的要素价值，提供更高质量的数字化硬件产品和服务，催生新业态的健康有序发展。

发展数据存力，必须建设专业存储作为有力支撑。数据资产记录与保存在存储设备里，需要像放在"保险箱"一样安全，这也是专业存储如此重要的原因。以金融为例，每一笔交易数据都记录在专业存储设备里，要求存

储保障7x24交易服务不中断。专业存储是有相应高标准的，例如IOPS、时延、可靠性、容量等这几个指标。具体来说就是百万甚至千万级的每秒读写次数、毫秒级时延、6个9甚至7个9的高可靠性、PB级的存储容量。

华为公司在数据存储产业上的大规模投入超过十年，产品已进入全球超过150个国家和地区，广泛服务于运营商、金融、政府、能源、医疗、制造、交通等多个行业超过18000家客户。通过与业界专家、客户和伙伴深入交流，罗兰贝格和华为联合编写了这份《数据存力，高质量发展的数字基石》研究报告。报告详细阐述了数据存力对于经济社会高质量发展基石性支撑作用，建立了一套综合性的评估数据存力发展的指标体系，并对全球20个国家和地区的数据存力发展状况进行了测算评估。我相信这是一次非常有意义的探索，将凝聚更多的产业力量共同推进数据存储产业的发展。

过去三十年，基于对研发的大规模投入和持续创新，华为致力于打造世界上最好的联接；今天和未来，我们致力于把数字世界，带入每个人、每个家庭、每个组织，构建万物互联的智能世界。在数字世界，数据量迎来了爆发式增长，我们将为世界打造强大的数据存储底座，提供充足而经济的数据存力，不断为客户创造价值，为经济社会的高质量发展做出贡献。

前行不辍，未来可期。华为愿与产业各方更加紧密携手努力，汇聚产业力量，共创数据存储美好未来。

执行摘要

人类文明的传承离不开对于信息的跨时空保存和传递，信息技术革命的到来革新了古老的信息保存方式，数字化的数据存储替代了传统的纸张成为文明传承的新方式，有数据的地方就需要数据存储。随着智能世界的到来，数据量也在以惊人的速度增长，预计到2030年，全球数据将进入YB时代。世界主要国家和地区纷纷制定政策，进行数据战略顶层设计，希望把握数据这一关键生产要素带来的经济社会发展契机。

没有存储，数据就没有保存的基础。数据生命周期的起点是将采集的数据进行存储，从而给数据分析和应用提供"原材料"，因此如何将数据进行妥善、安全的存储，就显得尤为重要，有赖于数据存储的综合能力，也即数据存力。

从定义出发，数据存力以存储容量为核心，包含性能表现、可靠程度、绿色低碳在内的综合体现。在上世纪早期的数字革命开展中，业界主要围绕如何存储数据进行探索，从早期的磁带、软盘，到今天的磁盘、闪存盘，存储的形式在不断变化。随着介质形式的逐渐成熟，数据存力从单纯的存储容量，向效率、经济性、可靠度、节能等方面不断延展，以更好应对数字时代不断增长的数据总量与有限的存储容量、数据应用实时性、多样性的增长与数据存储效率不匹配、经济社会高质量发展对安全、绿色的新要求和存力保障不充分三大挑战。

数字经济时代，如何更好获取并利用数据这一新型生产要素已成为全球竞争的新战场。**数据上升为国家级战略，而存储作为数字世界的基石，数据存储的能力将直接影响到经济社会发展的质量。**从数据的生产活动出发，存储既是数据生命周期的起点，也是终点，协同算力、网络的连接能力一起为上层应用分析提供数据生产要素。三者共同构成了数字基础设施，对于构筑数字世界来说缺一不可。各产业进一步基于数字基础设施，围绕数据生产要素进行各类生产活动，提升数字经济的水平。在新冠疫情持续席卷全球的当下，数字基础设施发达的国家和地区能更好发展数字经济来应对冲击。数字经济作为经济发展的新引擎，对GDP增长贡献率超过50%，驱动经济社会全方面的高质量发展。在该过程中，数据存力最终将为企业服务、政府治理、社会民生提供支撑，将数字世界的福利带给每个人、每个组织、每个城市，成为支撑经济社会高质量发展的数字基石。本研究报

告将重点关注以数据中心存储为代表的企业级数据存储，探索企业级数据存储对于经济社会高质量的支撑效果。

结果上看，数据存储相关产业的高附加值将对整个经济社会带来广泛的影响和回报。从产业发展的量化角度，通过建设和运营数据存储基础设施提供数据存储服务，每1元的投资能支撑5元的直接产值，同时，数据存储设施的建设、运维等还可以给区域带来万余名就业机会。各企业基于数据存储基础设施加强数字化水平，提升生产运营效率，每1元对数据存力的投资间接支撑8元产值，相应的复合型数据人才需求将增加10倍。最后，企业基于数据存力的服务将影响拓展到经济社会的各方面，支撑30-40元的衍生经济价值。从社会民生角度，得益于数据存力的支撑，政府、交通、医疗等各个产业长久以来的发展难点将拥有新的解决思路。以此次疫情为例，数据存力支撑了数以万计的行动轨迹有效保存，并对病例流调、辅助城市管理、生产生活恢复做出了卓越贡献。

数据存力的重要性不言而喻，如何评价数据存力情况并持续提升其水平对于各个国家和地区来说至关重要。本研究报告将从效果侧和保障侧两大角度来衡量数据存力的发展水平，并细化至体量、效率、基础保障、前沿保障四大方向的35个三级指标维度，助力政府和企业全方位评估数据存力发展水平，从而为其数据存力建设提供方向建议。

20个评估国家和地区在各个指标表现上各有特色。从总体容量、性能效率、安全和绿色保障程度四个关键维度来看，发达国家和地区具有较明显的优势，从而更好支撑其经济社会高质量发展。

- 数据存力容量上将逐渐面临供应短缺，根据IDC预测，在数据23%年增长率下，各国存储容量增长水平投资约19%。
- 性能上，领先国家和地区已经意识到闪存的重要性，投资占比超过50%，但部分国家和地区仍对于存储性能重要性认识不够，过分依赖算力投资叩响智能世界的大门会导致数字基础设施整体利用效率的低下，浪费资源。
- 欧盟等区域已把数据存储水平与基本权益挂钩，领先国家和地区容灾备份投资比例接近40%，但排名靠后的国家和地区仅有8%。据统计，未实施灾难备份措施的企业60%在灾难后2-3年破产，存储可靠性的低下将影响到经济社会运行的稳定。
- 绿色环保上，领先国家和地区和排名靠后的国家和地区在每单位容量的年耗能差距上可以达到10倍以上，而存储设备在数

据中心中能耗占比近20%，**存储设备的绿色与区域可持续发展息息相关。**

要建立全面成熟的数据存力在未来仍将需要政府、企业、科研机构等各方协同发力，跟随经济社会发展方向持续迭代数据存力水平。数据存储基础设施具有一定的外部性，在企业受益之外还有进一步的社会价值。为了数据存力的长远发展，政府、企业、科研机构等相关部门建议从产业发展的整体视角，共同建立数据存力评估体系全方位考察本地水平。针对薄弱环节，政府可以针对性通过规划制度、专项扶持、市场培育三大手段，持续提升数据存力服务水平、培育优质数据存储产业生态并支持前沿数据存力科学研究。存力的发展绝非一朝一夕可以完成，且随着数字经济的深化和智能社会的到来，对于数据存力的要求亦不断提高，应建立持续性的监测体系不断考察数据存力提升情况，可以更好支撑经济社会高质量发展。

随着以5G、AI、大数据、云计算为代表的新技术飞速发展，社会每时每刻都在产生大量的数据。在打开智能世界的大门前，人类需要知道如何应对YB时代。通过提升数据存力在总体容量、性能效率、可靠程度、绿色节能等各方面的综合能力，将更好应对数字洪流时代下数据存得下、流得动、用得好的需求与挑战。上至航空航天探索中星空密语的回传，下至日常生活中异地乡音的连接，数据存力将与社会一起记录下各个美好的瞬间，利用科技进步造福全人类。

目录

01

存力定位：

数据存力是经济社会高质量发展的数字基石

数字经济以数据资源为关键要素，是继农业经济、工业经济之后的主要经济形态，正在成为高质量发展的新引擎，为经济社会健康发展提供重要动力。历史上每一个经济时代，基础设施都发挥着无比重要的作用。数据存储作为数字基础设施的重要组成部分，是数字经济发展的基石，为“以数兴业、以数惠民、以数善政”提供坚实支撑。

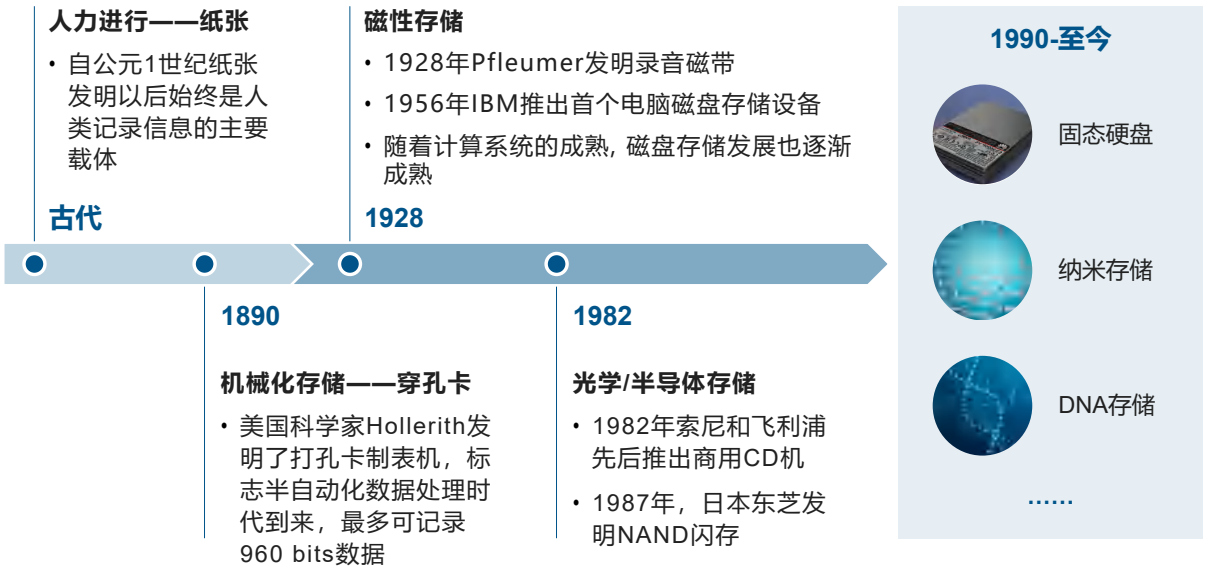
1.1 存力的背景与定义：面向数据洪流与蓬勃发展的应用创新，在存储容量基础上，需对数据存储系统的能力进行全面考察

1.1.1 数据存储与文明传承相关

人类文明的演进，就是一部数据记录与传承的历史。5000多年前，在文字出现之前，人类通过结绳记事进行信息记录与传递。3000多年前，人们将文字刻在龟甲与兽骨上上记录当时的社会生活。2200多年前，造纸术的发明对人类文明的记录和传承起着重大的推进作用。随着上世纪计算机的发明，人类进入数字时代，1956年，IBM发明了世界上第一个硬盘，以硬盘为核心的磁介质很长时间一直是主流介质。从上世纪八十年代东芝公司发明闪存开始，闪存介质得到迅猛发展。今天，人类正在研究DNA存储，根据理论推算，1千克DNA就可以存储当前全球一年产生的所有数据。然而，时至今日，人类仍然面临永久保存数据、永续传承文明的世界级难题。

2019年，巴黎圣母院遭遇大火，整座建筑损毁严重，庆幸的是，法国依据先前用数字技术保存的建筑数据，开启了巴黎圣母院的重建工作。在敦煌莫高窟博物馆，工作人员利用数字技术，将壁画彩塑进行了数字化记录，并通过数字化方式向所有游客开放，既有效避免了这些珍贵文物接触光照、空气后进一步老化的风险，又将数千年的文明精彩的展现在世人面前。

图1-1 数据存储载体发展：行业仍在持续迭代演进



资料来源:案头研究, 罗兰贝格分析

我们正在进入数字文明时代，全息、3D扫描、5G、AI、物联网等各种新技术的使用，让物理世界和数字世界的界限逐渐模糊。在从物理文明向数字文明转换的进程中，数据将成为叩开数字文明大门的钥匙，有数据的地方就有数据存储。

1.1.2 数据存储发展的主要挑战

数字经济正在深刻改变我们的生产生活方式。以政务服务“一网通办”为例，通过进行数据共享、数据整合，打破多个部门之间的数据壁垒，让数据多跑路，群众少跑腿，办事效率大幅提升。

作为数字经济的关键生产要素，只有让数据存得下，才能实现数据用得好，才能让数据要素价值得到持续释放，实现“以数兴业、以数惠民、以数善政”。目前数据存储的发展还难以完全满足经济社会发展的要求。

首先是有限的存储容量无法满足不断增长的数据总量。2025年全球新产生的数据量将从2020年的64ZB增长到近181ZB，年复合增长率23%[1]。然而由于存储系统架构以及成本等原因，被实际存储下来的数据占比在持续减少，根据统计，2020年仅有1.5%[2]的数据被实际保存，数据“存不下”的问题日益严重。

其次是数据存储效率难以满足数据应用的实时性及要求。根据预测，到2025年在所有被创建的数据中超过25%的数据将是实时数据，比如金融市场应用实时交易获取最佳成交价提升投资收益、电子商务应用实时翻译以促成新订单并增加用户粘性、远程医疗实时传输病患数据提升诊断效率等等。这些应用场景都离不开高效存储设备更快地传递更多地数据进行支持，而部分国家和地区对于闪存等先进存储设备的投资占比不到10%，制约了存储其对于经济发展整体的支撑能力。

最后是数据存储在安全可靠、能耗等方面的支持能力难以满足高质量发展对数据安全与绿色低碳等提出的新要求。2021年，美国石油管道运营商Colonial遭到勒索软件窃取数据，超过8800公里的石油管道输送中断，导致美国东海岸45%的加油站被迫关闭多日，引发严重油荒，严重影响到了经济社会运行的稳定。此外，数据中心作为能耗大户，2020年用电量已经占全球耗电量的1%[4]，以中国为例，全国数据中心耗电量1127亿千瓦时，相当于北京全市的用电量[5]。目前IT设备在数据中心的能耗占比中可达50-70%，其中数据存储能耗在IT设备能耗占比中高达35%[6]，因此，数据存储的低碳运行对于节能减排和可持续发展具有重大意义。

1.1.3 数据存力的定义

容量是人类对数据存储最早的能力追求，并贯穿现代存储发展历史。20世纪上半叶，人类刚刚发明第一台电子计算机之后，美国科技管理体系的奠基人、IEEE爱迪生奖得主Vannevar Bush就曾预言“人类终将发明存储

书籍、记录、沟通等所有人类知识的机器”。1956年，IBM发明的第一块硬盘仅有5MB，随着技术进步以及生产生活对更大存储空间的需求，磁阻磁头技术被引入磁盘设计用以提升了磁道密度，进而提升存储容量。1980年，IBM又推出了第一块GB级别的存储硬盘。到90年代，诺贝尔物理学奖得主 Albert Fert 和 Peter Grunberg 发现了巨磁电阻效应，成功将机械硬盘的磁道密度提升上百倍。2007年，日立率先推出了TB级别的硬盘，机械磁盘的容量达到了前所未有的高度。

随着数据存储与经济社会生产生活逐渐深度融合，高速读写、经济耐用、可靠稳定等方面的能力逐步成为业界对存储的新追求。1987年，David Patterson等人发明了可以提升性能减少冗余的磁盘阵列系统RAID技术(Redundant Array of Independent Disks，独立冗余磁盘阵列)，使得存储系统的性能、可靠性大幅度提升。1987年东芝公司的舛冈富士雄发明了NAND闪存，开创了存储产业闪存新时代。由于闪存盘去掉了机械结构，增加了 NAND Flash 下的存储密度，闪存盘在容量、性能、可靠性、能耗上都显著优于机械硬盘。

对于数据存储的技术研究探索从未停止，科学家还在持续研制存储空间更大、性能更强、更绿色的存储。在存储容量方面，DNA存储近年进展迅速，2015年微软公司开发出存储200MB数据的DNA存储器，2021年佐治亚理工学院的研究人员将DNA存储器的容量提升至20GB，DNA存储产业化正在稳步推进。在性能和能耗方面，牛津大学的科学家2015年首次研制出相变存储器来突破存储传输速度瓶颈，2021年，斯坦福大学研究人员又开发出新材料使相变存储器件能源效率大幅优化。2022年，中国华中科技大学研发了一种网状非晶结构的相变存储器，单个相变存储单元擦写功耗达到了0.05pJ[1] 以下，比主流产品功耗低了一千倍。

1皮焦耳= 10-12焦耳

图1-2 信息技术领域知名学者对于存储能力的探索：从存储容量向性能表现、可靠程度、绿色低碳多维度发展

资料来源：诺贝尔奖得主公开讲话，国际计算机学会，电气电子工程师学会

综上，数据存储的研究探索历程也是人类努力提升存储综合能力、不断满足经济社会发展的历程。结合技术进展和社会需求等多个维度，本文认为，数据存储能力，即数据存力是以存储容量为核心，包含性能表现、可靠程度、绿色低碳在内的综合能力。

1.2 存力的定位与意义：数据存力通过夯实数字经济高速公路基石，打造高质量发展的数字基石

1.2.1 高质量发展是宏观目标，数字经济是高质量发展的驱动引擎

“GDP概念之父”、1971年诺贝尔经济学奖得主库兹涅茨在创造现代GDP这一概念来衡量一个国家和地区发展速度时便已提醒，单纯的经济产值增长从长远来看难以实现社会经济以外的民生、城市治理各方面的持续改善。

2017年中共十九大首次提及“高质量增长”，其表述为中国“经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段”，并于2020年7月的政治局会议上做出重大判断——中国已进入高质量发展阶段。从经济社会的发展效果上看，深化供给侧结构性改革是主线，创新是根本动力，全员劳动生产率增长高于GDP增长是关键衡量指标。从经济社会发展的保障侧看，绿色生态、民生福祉与安全保障的相关指标在国家规划中占比高达70%。发展则可以理解为合理的发展区间，政府在对2035年远景目标规划中将GDP年均增长调至4.7%，谋求数字经济等创新型产业的发展。

在联合国提出的2030可持续发展目标中，在发展经济消除贫困的基础目标上，增加了气候变化、包容性增长、创新、可持续消费、和平与正义等新领域，体现出发展目标的综合性。

在经济社会的高质量发展过程中，数字经济作为驱动引擎的战略地位近年来越发得到重视。各国纷纷制定数字经济和数据战略顶层设计，每隔1-3年持续性出台相应的文件扩大影响力，这其中既包括发达国家和地区希望以此强化自身经济地位，也包括发展中国家和地区借力实现跨越式发展。

图1-3 各国和地区对于数字经济的认识：将数字经济列作经济社会高质量发展的驱动引擎

国家或区域	对于数字经济的论述	参考文件
美国	将数据作为长期战略资源开发……聚焦点从“数据即技术”到“数据即资产”转变 如果政府不能有效发挥其作为数据提供者、使用者的角色，那么政府将难以履行服务公众角色……	2020年《联邦数据战略》
英国	数据是世界现代经济的驱动力，打造世界领先数字经济，数字产业是脱欧下最主要的支撑保障，希望公众成为蓬勃发展的数字经济中的积极参与者	2020年《国家数据战略》
德国	着力打造数据文化……确保公平和防止数据垄断，增强德国数字能力，把德国打造为欧洲数据共享和创新应用领域的领导者	2021年《联邦政府数据战略》
沙特	从传统的经济活动转向更大的以数据为依据的活动，突出数字经济的中心地位	2020年《沙特数字经济政策》
中国	数字经济是促进公平与效率更加统一的新经济形态，……已成为重组全球要素资源、重塑全球经济结构、改变全球竞争格局的关键力量	2022年《十四五数字经济发展规划》
新加坡	继续支持战略和新兴技术的发展，并加强数字能力向工业的转化。其目的是实现新加坡的智慧国家雄心，并利用数字经济中的增长机会继续加强数字经济、数字政府和数字社会的建设	2020年《研究、创新和企业2025计划》

资料来源：政策文件；罗兰贝格分析

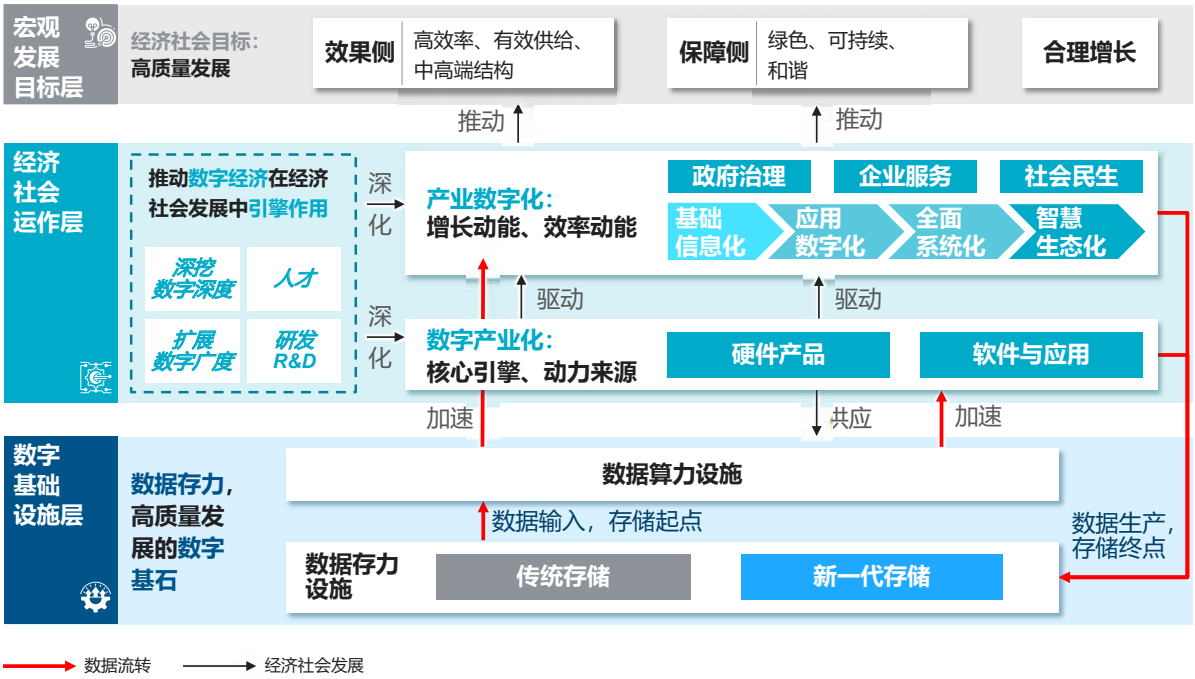
从经济增长的效果看，在新冠疫情冲击下各国GDP普遍下跌，但数字经济仍然能保持逆势增长，对GDP增长贡献率已经超过50%。同时，发达国家数字经济占GDP比重为54.3%，远超发展中国家27.6%的水平[7]。

除了增加经济活力外，数字经济还有助于提升社会福祉和城市治理。经济合作与发展组织(OECD)认为“数字化转型不是孤立发生的，它是由广泛的经济和社会二者的整体所构成，也有助于塑造这二者。[8]”联合国定义了17个可持续发展目标(SDG)，在罗兰贝格与华为联合发布的《数字国家：促经济、保福祉、善治理》立场文件中就曾详细论述，数字化技术的应用将有助于优质教育、健康与赋值、产业创新、性别平等、可持续城市社区、清洁能源等联合国可持续发展目标的实现。

1.2.2 数字基础设施是数字经济发展的高速公路，其中数据存力设施是重要支撑基石

“要致富，先修路”，正如工业经济时代发展依靠铁路、公路、航空等基础设施实现飞跃一样[9]，数字经济时代相应的高速公路便是数字基础设施，它是数据生产要素处理的重要载体。在数据通过数字基础设施流转加工的过程中，存储与服务器、网络等一起共同服务数字经济的健康发展。

图1-4 数据存力支撑动力图：数据存力是高质量发展的数字基石



资料来源：政策文件；罗兰贝格分析

没有存储，数据就没有保存的基础。数据生命周期的起点是将采集的数据进行存储，从而才能给分析和应用提供"原材料"，支持经济社会的数字化转型升级。以人工智能、物联网等新兴技术应用为例：数据存储的容量和读写速度决定了人工智能算法能否获取足量训练数据，从而不断优化算法打造出敏捷模型；存储的容量和性能决定了物联网能否实现万物互联，采集足够的传感器数据。物联网、人工智能等设施的可靠稳定运行离不开数据存储，当存储效率低下的时候，算力也很难发挥作用。存储也是数据生命周期的终点。经济社会运作中产生的各类数据与物理世界完成交互后，最终处理的结果又会回到数据存储处进行保存，指导模型、算法的精确性和可用性提升，从而服务下一次分析。

数字产业通过提供各类硬件、软件和服务供应数字基础设施来服务数字经济的开展。以数据存储能力为支撑，协同算力“算得快”、网络“传得稳”，数字基础设施才能充分发挥数据的要素价值，才能赋能技术创新，提供更高质量的数字化硬件产品和服务，催生新业态的健康有序发展。进而，依托于数据要素这一核心引擎，互联网、大数据、人工智能可以与实体经济深度融合，赋能制造、农牧、建筑、能源、零售等行业的数字化改造和转型升级，成为创新发展的使能要素，扩大数字经济的规模。产业数字化已经从早期的信息化阶段逐渐向智能化演进，所有的业务最终都将实现数字化的转型，从而深入影响到政府治理、企业服务、社会民生各方面，提升其效率。数字经济的高速发展最终推动宏观发展目标的实现，在保障侧、效果侧实现高质量发展，支持经济的合理增长。

综上，数据存储是经济高质量发展的基石，数据能否“存得下、存得好”关乎数字基础设施能否“行得稳”，关乎数字经济发展能否“跑得快、跑得远”，关乎数据要素能否“接地气”切实带来生产生活进步、促进经济社会高质量发展。

1.2.3 典型国家和地区数据存力建设案例

各国和地区对于数字基础设施定义虽然不同，但无疑都将数据存储作为数字基础设施的重要组成要素，构成了数字世界的重要支撑基石。

图1-5 各国对于数字基础设施的认知：数字基础设施是数字经济发展的重心之一

国家或区域	对于数字基础设施的论述	参考文件
美国	**数据科学与存储**是美国成为关键和新兴技术的**世界领导者的关键领域** 下一代工具的数据生产以及长尾数据继续呈指数式增长，**需要分布式联网的数据存储系统。**要解决全球挑战，需要基于公认标准接口的跨学科数据集成，实现数据发现、访问、兼容性和可重用性等	2019《国家战略性计算计划：引领未来计算》 2020《关键与新兴技术国家战略》 2020《联邦数据战略》和2021行动计划
英国	数据基础设施的发展是**激活创新和释放数据的经济价值**的一种方式 数据所依赖的基础设施是虚拟化或物理数据基础设施，是**存储**、处理和传输数据的系统和服务	2020《国家大数据战略》 2021《国家大数据战略工作任务》
德国	有效和可持续设计的**数字基础设施是数据经济创新的必要先决条件。**它们构成了组件和服务的技术基础，在这些组件和服务上可以获取数据并提供软件和服务 数据基础设施可以理解为由组件和服务组成的互连技术基础设施，有助于访问数据以及数据的**存储**、交换和使用	2021《联邦政府数据战略》 2018《把握德国数字化机遇》
中国	大数据产业是以数据生成、采集、**存储**、加工、分析、服务为主的战略性新兴产业，是加快经济社会发展质量、效率、动力变革重要引擎 聚焦**存储**、计算、传输等重要环节，适度超前布局数字基础设施，推动产业基础高级化……加强**DNA 存储……新型非易失性存储**等关键前沿领域的战略研究布局和技术融通创新	2021《“十四五”国家信息化规划》 2021《“十四五”大数据发展规划》
沙特	**数据和人工智能战略的关键成功**因素之一将归功于公共和私营部门以及个人采用数据和人工智能支持的创新解决方案，发展一个开发人员可以利用的强大的**数字基础设施**至关重要	2021《国家数据管理办公室数据管理和个人数据保护标准》 2020《实现我们最好的明天——战略解读》

资料来源：各国政策

欧盟2020-2025年的施政重点将围绕推动欧盟经济社会向绿色和数字化转型两大方向进行[10]，“以人为本、可持续、更加繁荣的数字经济是赋能欧洲企业和社会发展的方向”。在欧盟支持政策研究中提到[11]，欧盟已经在数字经济的竞争中落后，但通过数字经济领域的创新仍有反超的可能。欧盟数字战略[12]一方面强调效果侧竞争力，塑造更有利的营商环境，另一方面对于保障侧的可靠、绿色、前沿也提出了大量要求。要以人为本，除了享受数字经济带来的经济社会发展收益，也要保护个人、企业的数据安全。同时数字经济发展要可持续，降低碳排放。德国、法国等欧洲主要国家也结合自身国情制定本地版数字经济政策。例如，德国于2021年发布《联邦数据战略》[13]，希冀通过数据战略激活社会创新，其中明确提出要在存储领域加强存储安全性，并加大神经形态芯片等存储前沿领域研发投入。此外，德国还联合法国发起数据基础设施项目GAIA-X，希望强化存储领域的欧洲竞争力。

作为全球数字经济最大的经济体，美国政策亦提到数字经济的竞争力事关整体产业竞争力，是传统经济领域竞争的延伸，是美国全球经济影响力的关键。对内，国家层面将提供更多资金用于对涵盖数据存储在内的关键数字技术研发[14]，建设科技巨头的营商环境，包括准许数据自由流动，反对数字税等。2022年美国众议院批准的《创新和竞争法》对包含数据存储在内的核心技术将投入3,500亿美元支持。对外，美国寻求掌握更多数字领域话语权。一方面与欧盟等盟友组建技术和贸易委员会，在数字巨头反垄断、芯片短缺等议题上扩大共识；从另方面组建“未来互联网联盟”等计划，争取发展中国家参与，增强国际影响力。

发展中国家亦对数字经济高度重视。以中国为例，高质量发展是“十四五”中国发展的主题，数字经济对于高质量密切相关。“高质量”是在一定的经济基础上，综合考虑绿色生态、民生福祉与安全保障目标。从规模上看中国已经拥有全球领先的数字基础设施，但往往伴随高用电量和高能耗，因此未来更应重视数字基础设施的能源消耗与碳减排，同时需要思考强化数字经济安全体系。“发展”是整体经济在合理区间中保持前进。在过去40年高速增长的基础上，中国政府对2035年远景规划中的增长以定性表述为主、蕴含定量的方式设定目标[15]，避免过度强调GDP增速单一目标，正是对高质量发展的体现和呼应。数字经济的发展与高质量发展理念一脉相承高度契合，数字经济的经济增长引擎地位在一系列政策文件中不断强化，数据存储的基

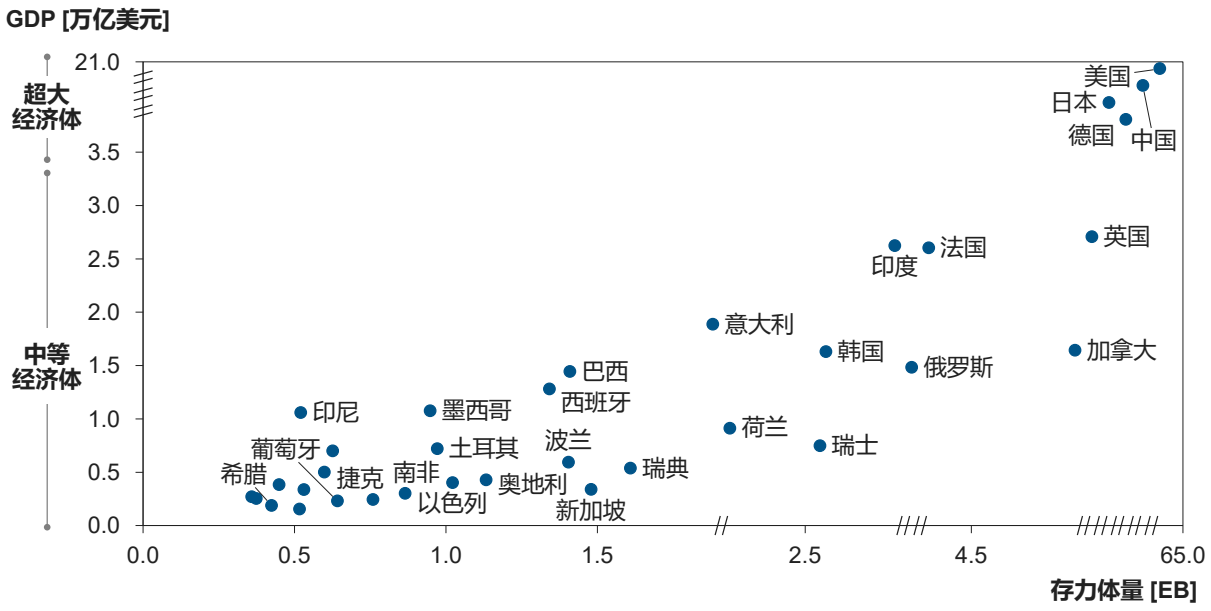
石性作用与地位也不断体现。2021年出台的《"十四五"规划和2035年远景目标纲要》从顶层设计高度强调要将数字经济打造为中国经济的新引擎，特别提出要发挥海量数据的优势，存储的支撑性作用不可或缺；随后出台的《"十四五"大数据产业发展规划》则从数据要素层面强调了"基础先行"对存储、计算、传输等基础设施进行投资部署，加强产业链统筹发展等理念。2022年，中国专门出台《"十四五"数字经济规划》，再次强调要升级数据基础设施，建设数据要素市场，鼓励产业数字化，促进数字产业化，并且将公共服务和数字治理作为重要发展领域，为新时期的经济发展提供关键动能。

此外，沙特等传统以能源为支柱的发展中国家也希望借助数字经济的东风进行经济社会的转型发展。ICT产业是沙特"2030愿景"国家转型的抓手；沙特希望以数字科技带动经济社会多元建设和社会繁荣发展，促进多元化和社会包容度[16]。其中数字基础设施占比巨大，总体数据存储容量未来十年预计提升30倍以上，以获取更多的数据生产要素支撑数字经济发展。同为能源大国的阿联酋也积极拥抱数字经济，2020年推出数字经济先行计划、2021年启动国家编程员计划，从数字基础设施和人才培养上为数字经济起飞做准备。

1.3 存力的价值与影响：1元数据存力投资可以带来30-40元的价值回报，并为城市治理和社会民生提高做出贡献

容量是存力最基础的指标，从存储容量上看，通过对于全球34个不同发展水平的国家和地区2020年GDP产值和数据中心的存储容量进行拟合后发现两者相关系数达到0.98，经济产值越高的国家和地区拥有的数据存储容量也越大。

图1-6 数据存力体量与GDP产值呈现正相关关系[2020]

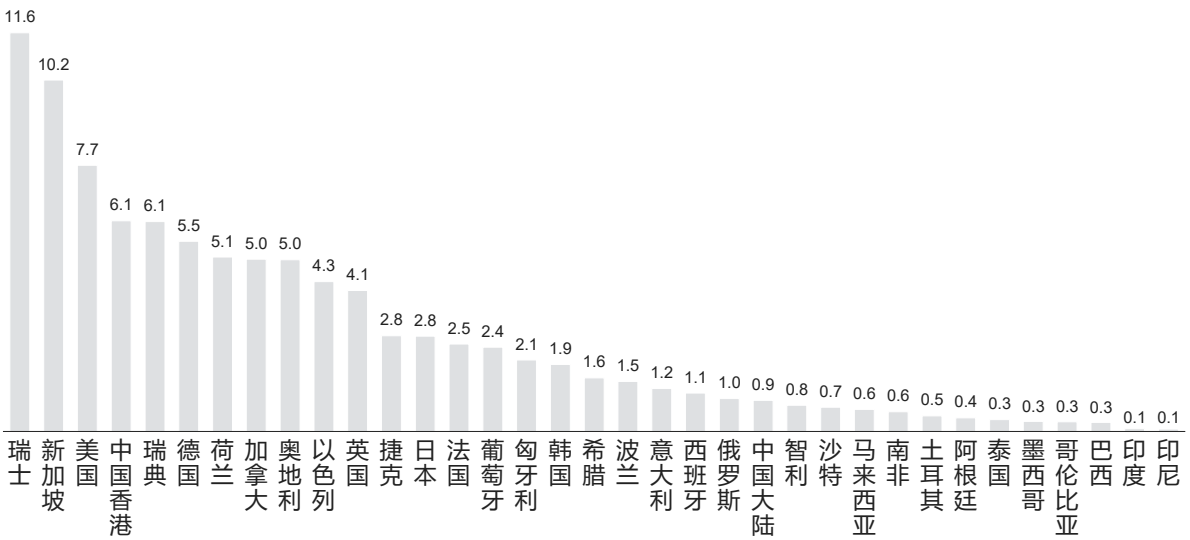


资料来源：Gartner，世界银行，罗兰贝格分析

在将区域GDP和存储容量除以人口后，能更为明显发现发达国家和地区一般拥有更高的人均存储容量，而发展中国家在存储容量上相对落后，以领先国家美国和发展中国家印尼相比，人均存储容量差距达到近一百倍。

数据存力不仅是容量的概念，还包括性能表现、可靠程度、绿色效能在内。本文将从数据存力总体投资出发，基于诺贝尔经济学获奖者列昂惕夫的投入产出模型和美国IMPLAN测算法计算每一元的数据存力投资能带来的经济与社会价值影响。

图1-7 各国和地区人均数据存力体量 [2020, TB/人]



资料来源：Gartner，世界银行，罗兰贝格分析

1.3.1 直接影响ICT基础设施行业，带动经济和就业

数据存力产生价值通常需要与服务器、网络等相关设备一起协同，以基础设施的形式来服务经济社会。故而首先在直接影响环节衡量的便是数据存力以数字基础设施的形式所能带来的经济与社会价值。

目前，存储相关设施的主要形式包括自建和租赁两种方式，两者产生经济社会影响的方式不同。自建一般由三方的系统集成商承接所有环节，通过帮助企业建设甚至运营属于企业自己的存储相关设施来创收。云服务商则在建设自有的数据存储基础设施后将其租赁给各类用户，通过收取存储资源使用费用创收。用户会根据需求体量、使用的性能要求、额外的安全和管理应用需求在使用过程中灵活付费，纵使没有购买存储设备等固定资产也可以使用数据存力。但无论何种方法，数据存力投资涵盖的范围类似，包括数据存储硬件和配套设备的采购和建设费用，数据存储管理软件订阅和开发费用、日常维保费用等。差异主要在于数据存储基础设施产生的经济社会影响。

从直接经济来看，1元数据存力可以支撑5元的直接影响。在与云服务厂商专家访谈中发现，不同厂商虽然在不同地区的销售价格存在差异，但销售价格的利润率较为固定，按照存储设备5年的使用周期进行现金流折算，收益为投资的4.5倍左右。自建数据存力设施由于规模效应的问题，普遍拥有成本比租赁高出130%。[17]根据IDC的统计，目前约30%的数据存储基础设施以自建的形式存在，测算中将按比例进行加权。

从社会影响来看，数据存储基础设施的建设、销售、管理、运维等环节又可以为当地创造万余名就业机会。韩国京畿道聚集了大量数据存储产品生产工厂，每年为当地带来了10万余个就业机会，加拿大魁北克在引入某数据存储基础设施服务提供商后，为当地带来了5,000余个就业机会。数据存力供应链相关企业为提升使用者数据存储能力水平，也会开展相应的课程进行内外部的培训，部分以免费的形式存在，有效提升了劳动者的质量，帮助当地培育适应数字时代的复合型人才。

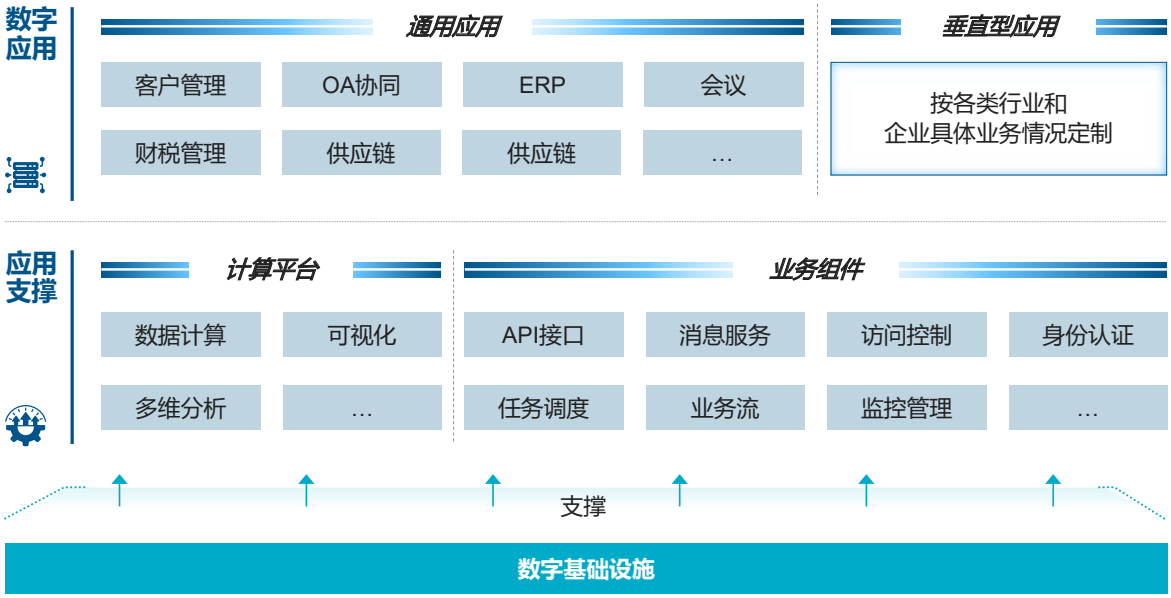
1.3.2 间接影响产业数字化水平，提升生产效率和劳动力工作环境

间接影响衡量的是用户购置数据存储相关设施服务后，基于此进行相关的数据生产活动产生的产值，可以看作是数字经济基于数字基础设施创造的价值。在这个过程中，使用方不直接接触到数据存力，而是通

过数字基础设施间接获得了数据存力的支撑，故而与采购的存储设施所产生的直接影响进行区分。

基于存储相关设施的应用可以分为两类，一种是直接进行数据处理，比如计算分析、提供相应的应用程序接口(API)、用户访问权限认证等，另一种则是企业业务数字化，数据直接指导业务的开展，比如OA(自动化办公)协同系统、财税管理等。这一切都离不开数据存力在其中对于数据生产要素的保存和传递。

图1-8 数据存力间接影响范围：数字化应用基于购置的数据存力进行数字经济生产



资料来源:各应用服务商产品的案头研究

大量的企业通过部署数据存力，实现了业务开展效率的提升，更好助力企业发展壮大，提升了资源利用率。某石油勘探公司在建设数据存力后，曾经手工1个月的工作量缩短至3天完成，应用过程中等待时间大幅降低，石油和天然气资源勘探的计算速度提升了10倍，解释准确率达到80%以上，在全球自然资源逐渐匮乏的当下仍保持了年产量5-10%的增长，并提升了勘探效率避免额外的污染排放和资源消耗。

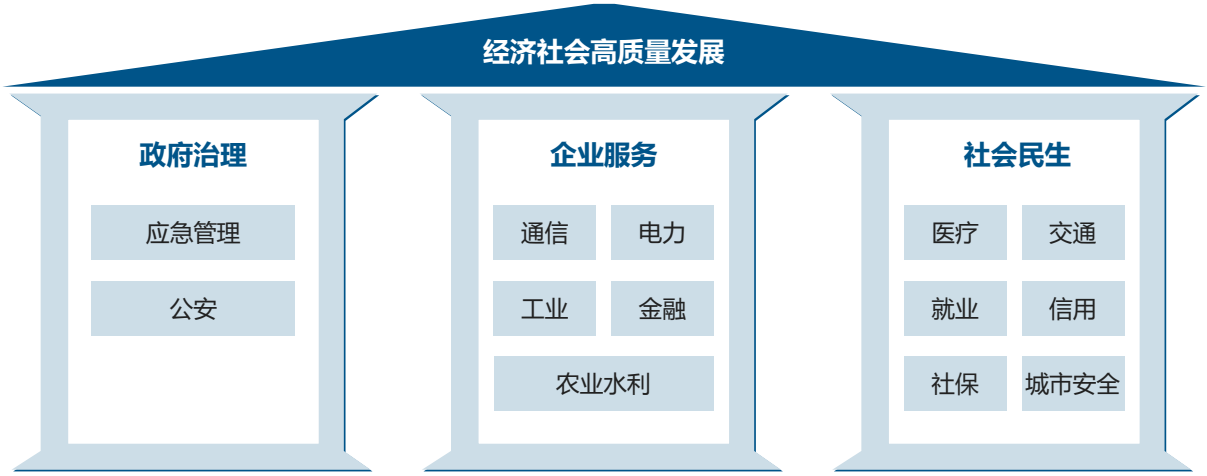
通过针对24家企业的访谈，1元数据存力对于经济和社会可以支撑8元的间接影响。这些企业覆盖教育、制造、医疗、保险、农业、娱乐、金融、政府、IT服务、法律、专业服务、交通、公共设施等各个行业，同时涉及北美、欧洲、大洋洲、中国四大区域，多角度呈现数据存力对于其生产活动的支撑作用。测算中，数据存力的投资主要考量了企业针对数据存力的建设成本和使用成本，按照5年的使用周期进现金流的折算。收益侧则衡量基于数据存力开展的各类业务应用产生的收入，比如搭载的电商平台产生的销售佣金收入、支撑的智慧生产线制造的产品收入等。

此外，得益于存储相关设施的支撑，劳动者的工作条件也将得到改善。以智慧工厂为例，工人不再需要从事重复性高、危险性高的工作，基于用户友好的数据应用，可转型从事技术含量更高、附加值更大的生产环节，从根本上提高工作质量，缓解人口老龄化下劳动力缺乏的情况。

1.3.3 衍生影响经济社会，将数字红利惠及每个人、家庭、组织

从数字基础设施的建设到数字经济的发展，数据存力所支撑的经济活动最终将影响到每个人、每个家庭和每个组织。故而衍生影响的测算将扩展，衡量面向政府、社会、企业的各种数据应用场景对社会产生的各方面影响。不同行业基于数据存力的使用情况存在差异，本文将通过对城市疫情管理、供应链管理、交通出行等代表性场景进行衍生影响的测算。

图1-9 数据存力衍生影响范围：从政府、企业、社会三方面助力经济社会高质量发展



资料来源：罗兰贝格分析

1）城市疫情管理中，数据存力支撑行程数据存储，每1元存力投入可以支撑37元医疗费用节省，精准助力防控疫情和经济社会复工复产。

新冠疫情爆发以来，全球各地的运营商纷纷结合本地情况推出了行程记录工具，例如中国的“疫情防控行程码”、新加坡的“合力追踪”、加拿大的“CovidAlert”项目等。基于行程码，城市治理者可以对跨境、跨区人员流动进行精准管控，有助于对病例“早发现、早报告”，迅速斩断疫情传播离，对精准疫情防控、保障人员有序流动、赋能城市治理发挥了重要作用。

在"生命至上、人民至上"的理念下，考虑行程码的贡献度和新冠肺炎患者平均治疗费用，以数据存力为支撑的行程码项目就可以为一座规模在800万人的中等城市避免超过15亿元治疗费用支出。而根据访谈，运营商依托基站数据存储每个人的行程关键信息，800万人口城市大约需要2TB的行程码存储容量空间,保存时间预计30天。按照投入产出比计算，每1元的行程码存储投资就可支撑约37元社会效益。

2) 制造业供应链管理中，数据存力支撑生产与消费端数据存储，每1元存力投资可支撑33元的产业链衍生价值，增强端到端的货品流转的韧性和生产供货稳定性。

传统制造业近年纷纷通过进行数字化转型提升企业运营效率，但其产生的价值不单纯限于企业自身的运作，从产业链的角度，将提升整个供应链的可控性，从而助力消费市场物价水平的稳定。

得益于数字化转型，整个供应链的生产数据变得更加透明。下游用户的需求通过线上平台传递给上游生产，服装代工厂、布料厂商等上游在生产供货时可以更好判断趋势避免浪费，银行风控授信、保险公司、物流公司也因为更多的精准生产和需求数据输入可以更好为产业生产保驾护航，最终实现产业链的稳步成长。同时因为自身生产效率的提升，降低了残次品率和订单延迟交付率，生产周期变短，在供应上也可以更加稳定，从而避免通货膨胀。以中国为例，"衣着"类生活资料在中国消费者物价指数CPI中的权重为8.5%[18]，鞋服产品价格波动将会显著影响消费市场稳定性。

在针对鞋服制造企业的访谈中，受访企业主动建设了数据存力来支持自动化生产线中机器视觉对于生产流程图片视频的处理、上下游供需数据分析等，从而将产品的产量提升20%，误单率降低了5%，下游销售因此增加了40%。经测算后，企业每1元的鞋服行业存储投资就可支撑约33元的社会效益。

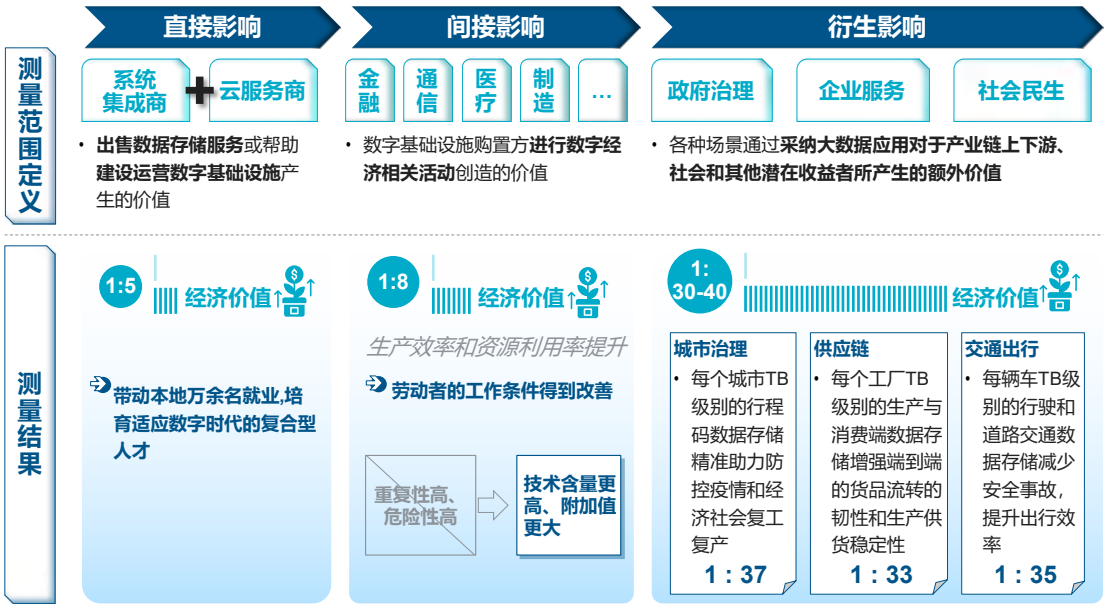
3) 交通出行中，数据存力支撑自动驾驶对于道路交通数据应用，每1元存力投资支撑35元的公路货运行业增长，减少安全事故，提升出行效率。

自动驾驶是交通领域最具颠覆性的前沿技术之一，在时效性、精准性和安全性上相比人工驾驶具有较为明显的优势，对于交通出行具有极大意义。

一方面，公路运输目前仍然是大量企业供应链的主要配送方式，以欧盟为例，内陆运输占比中，公路达到76%，远高于铁路和水路[19]。自动驾驶可减少90%以上的事故[20]，保障公路交通的安全。同时通过更高的订单需求响应、更有效的道路选择来为企业降本增效。保守估计，自动驾驶能为货运行业额外创造60%的价值，从而保障各行业供应链稳定。从成本侧看，自动驾驶将产生大量的数据，仅前置摄像头每小时生成的数据就在70-300GB之间[21]，端到端的时延不超过5毫秒，可靠性要求99.999%[22]，大都使用全闪存存储。以中国对于汽车数据保存7天的要求进行衡量，每辆汽车预计需要TB级别的额外存储容量。基于自动驾驶带来的收益和对数据存力相应的投资需求，预计1元存储投资可以支撑35元的公路货运行业发展。

另一方面货运占公路运输的极大比例，2021年，重卡预计全球销量为190万辆，而单车的使用寿命可达十年以上[23]，货运出行效率的提升对于整体交通行业拥堵缓解亦有极大助益。以中国为例，每年汽车因交通拥堵浪费的时间达12亿小时，浪费的汽油超过20亿升[24]。而自动驾驶通过单车的路线优化、运行车距减少，每条车道每小时的有效通行能力预计可以提高60%-80%，[25]助力城市整体交通出行效率提升。

图1-10 数据存力影响范围：1元数据存力投资可带来30-40元价值，在兴业、惠民、善政多方面做出贡献



资料来源:罗兰贝格案头研究

综合上述论述，每1元的数据存力通过直接、间接、衍生影响总计可以为经济社会带来30-40元的价值。这些价值除了GDP产值的增加外，还包括劳动力质量和工作环境的提升、城市治理水平提升、企业服务供应稳定、社会民生的优化等。

1.4 存力的评价与选择：数据中心在具体的数据存力建设中将围绕安全可靠、降本增效、数据创新、实时敏捷、智能管理五大方面开展

越来越多的企业也认识到了数据存力重要性，行业调研[26]发现数字基础设施水平越高，在向高水平生产方式转换时，企业能更快完成转型。近95%的受访企业在升级已有的数字基础设施支撑更高质量的发展，但在具体建设中，企业仍面临安全可靠、降本增效、数据创新、实时敏捷、智能管理五大方面的挑战[27]。

1.4.1 安全可靠是数字基石发展的基本要求，在数据存力建设中可以通过预防层、应对层两大手段建设

数据的安全可靠直观理解便是在应对各类风险下仍然保持业务不断，数据不丢。这种风险既可能来自天灾或网络袭击，也可能是人为造成的失误，可以通过预防层采购更高可用性的设备和应对层建立相应容灾备份体系来实现。

预防层上，企业倾向于购买高可用性的存储设备，减少事故发生的频率。可用性指的是存储系统服务不中断运行时间占实际运行时间的比例，表示为X个9的形式，比如3个9可用度表示系统在连续运行1年时间里最多可能的业务中断时间是8.76小时((1-99.9%)*365*24)。很多厂商认为数据存储是很容易自主生产的过程，但要做到高可用性来支撑业务的连续运作绝非一朝一夕的事情，对专业存储的软硬件系统都提出了严格的要求。同时专业的存储厂商会定期提供维保服务，排查数据存储潜在故障。

应对层上，企业应建立相应的灾备体系，在业务出现事故的情况下将损失降至最小，保障业务的连续性和快速响应能力。灾备体系其实包含两个概念。一是容灾，二是备份。容灾指的是建立灾难恢复系统，日常情况下容灾中心后台处理数据；主中心瘫痪是实现顺

利接管。备份指的是在一定规则下(如每天)将数据复制到其他存储位置，可以在意外下恢复到过去某个时间点。

国际标准组织在2015年针对数据存储使用者提供了一套安全框架，并在2019年进行了修订，全球存储工业协会(SNIA)联合主流厂商和IT公司针对标准给出了相应的补充解释和实践指导[28]，目前被业界认为是数据存储安全领域全球范围内权威的标准。其中明确建议企业建设相应的容灾备份体系"来保证所有重要的信息和软解能在事故之后实现恢复"。

业界通常使用RTO和RPO来衡量容灾备份能力。RTO指的是时间恢复目标，衡量从故障发生导致业务停顿之起到IT系统恢复至可支持各部门运作、恢复运营所需的时间。RPO指的是恢复点目标，衡量故障发生后数据可以恢复到的时间点。

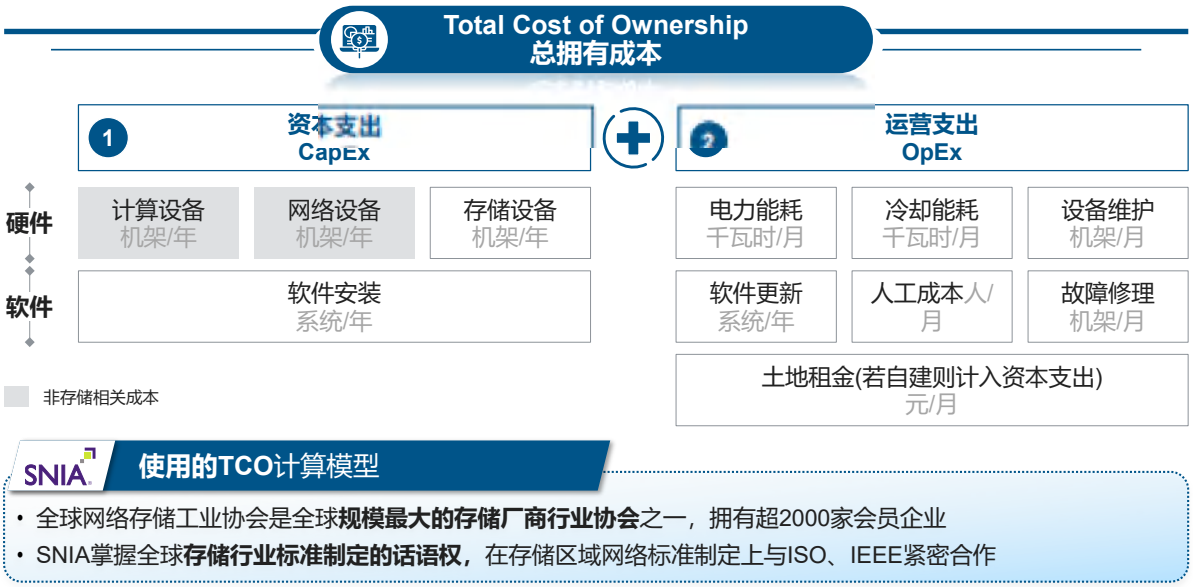
1.4.2 降本增效与企业价值创造直接相关，通过TCO从数据存力的整个生命周期来衡量，而能耗亦是TCO中的重要组成部分

数据存储基础设施的造价本身就不低，且为了保障运营中的连续性和稳定性，企业每年需要支持额外的费用来进行设备的运维和管理。故而在衡量数据存力时，会通过TCO(总拥有成本)来计算该设备在整个使用周期中的支出，但业界在计算TCO时的具体科目拆分存在细微的差异。为此SNIA全球网络存储工业协会作为行业标准制定的领导者，发布了专门的白皮书对业界进行一定的指导。在白皮书中，SNIA明确将TCO拆分为了两大组成部分——资本支出和运营支出。

在运营支出中，数据存力设备使用过程中的电力能耗和冷却能耗是重要组成部分。故而纵使政府没有绿色节能的硬性指标，企业也倾向于采购更加节能的存储设备来降低总体拥有成本。

随着企业数字化水平的提升和业务的成长，总体数据存力的拥有成本大多数情况下是上升，但单位存储容量的拥有成本应该呈现下降趋势。一方面是规模效应，数据存力能得到更有效的应用，另一方面技术的不断迭代也降低了数据存力的单位成本。以华为为例，通过应用智能管理平台代替传统的Silo存储架构，存储资源使用中能按存储使用需求灵活调配不同性能的存储资源池，系统管理效率提升5倍的提升，带来30%的TCO节省。

图1-11 总体拥有成本定义



资料来源：SNIA (2021) 'Total Cost of Ownership Model for Storage'

1.4.3 数据创新、实时敏捷对数据存力的体量和效率提出相应要求，数据在生产活动中只有存得下、流得动才能用得好

在数据创新和实时敏捷使用的过程中，数据存储的能力高低将影响数据是否能存得下和流得动两大方面，最终影响来支撑数据生产要素用得好。

从数据能否存得下角度看，面对YB时代下数据的爆发，数据存储本身的单位容量和扩展性将直接影响对于数据生产资料的保存能力。一方面可以通过存储硬件结构性改造和高科技散热技术增加硬盘密度，从而增加单位空间的数据存储容量，另一方面软件上纠删码等技术的应用可以提升50%以上的空间利用率。

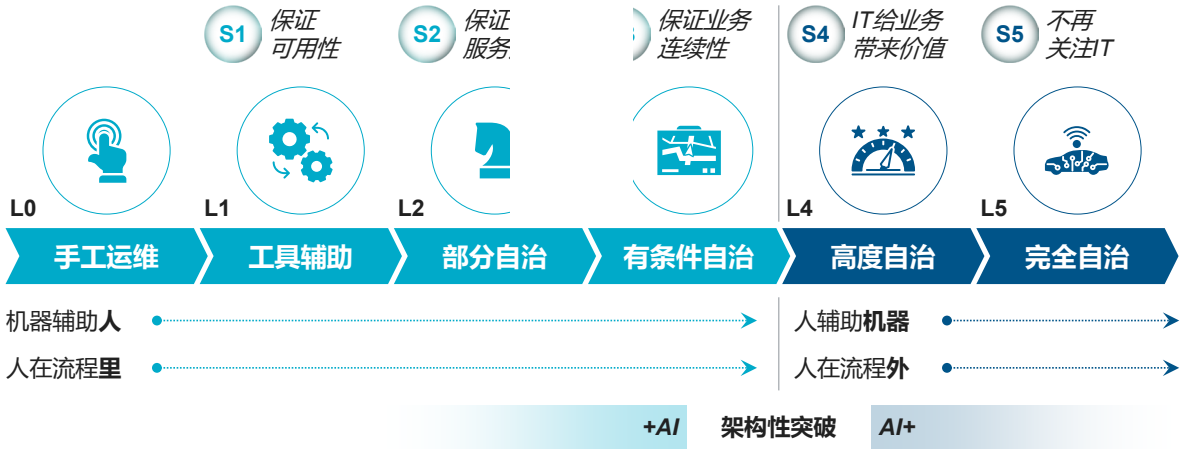
此外，数据存力的效率也将影响到数据使用中的流动性。业内一般使用IOPS(每秒的读写次数)和时延来评价存储产品的性能，更高的IOPS意味着单位时间内完成更多的任务数，而时延低则表示任务能更快传递给其他设备，应用中的等待时间短。根据某存储厂商对于头部100名客户的调研，其最高性能层要求已经从三年前的平均3,000 IOPS/TB 提升到7,500 IOPS/TB以上；生产域的平均性能要求从 400提升到1,000 IOPS/TB以上，时延在快速地向 0.5ms 以下进发。故而，越来越多的企业选择部署闪存，据业界统计单块闪存盘具备较传统机械硬盘高百倍的性能，能更好支持数据的创新。

1.4.4 智能管理对于数据存储资源的管理方式也产生变化,向智能化的方向演进

数字化的核心驱动力是数据驱动，随着数字化转型的推进，数据中心的管理运维也将发生如下。业务数字化水平不断提升将导致日常基础设施使用中的管理运维不再仅是一个支撑系统，更多的是要与业务融合，成为给业务带来新价值的生产系统。同时从运维管理本身的流程看，它也将慢慢从“以人为中心”转向“面向自动化的业务流程重构”，最终走向“自动驾驶”的IT系统。

驱动数据管理向智能化过度的核心因素是AI的发展。2017年，Garner提出了智能运维(AIOps)的概念，旨在将人工智能应用于运维领域，持续提升IT基础设施的运维自动化以及智能水平。智能存储的应用一方面能提升存储的管理水平。随着存储设备的性能提高和云计算兴起实现的存储资源共享，数据管理活动越来越复杂。智能存储将有效改善资源配置低下的问题，从人工时代所需的一到两周降低到分钟级别。同时，智能存储能提前判断数据存储使用情况，及时进行故障排查和扩容需求判断。

图1-12 数据存储基础设施自动管理：更大程度依赖智能管理实现自治



资料来源：华为；IBM；案头研究；罗兰贝格分析

而这一切的实现离不开数据存力的持续演进。首先需要开放，通过更多的API接入不同的设备，进行统一化的管理。其次，企业对于存储的认知不能仅停留在早期的硬件投入购买上，需配上长期的智能软件服务的采购亦更好支撑业务的开展。

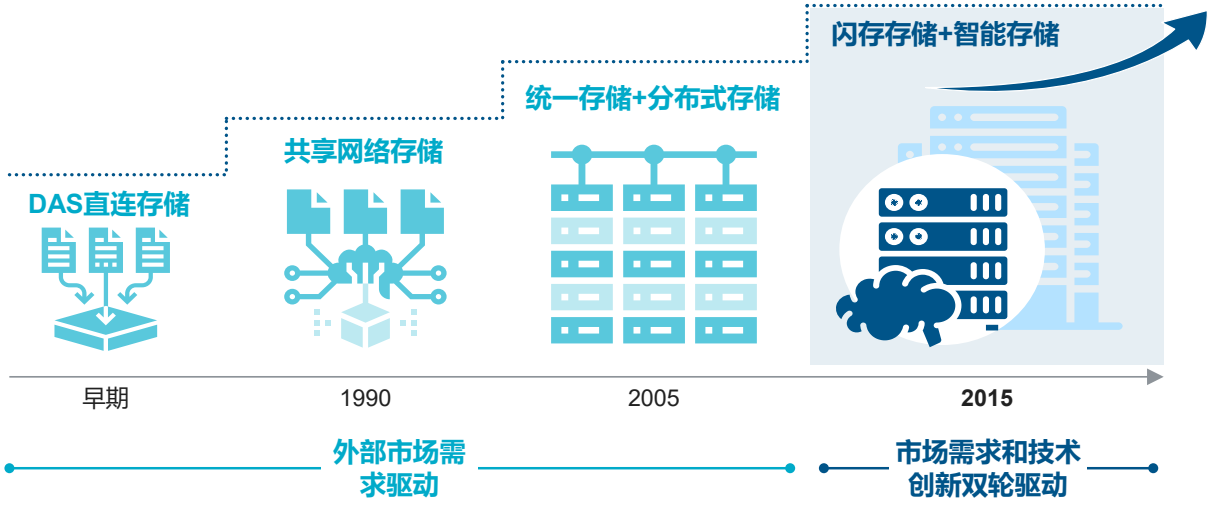
02

产业聚焦：

数据存储技术持续演进
满足高质量发展需求

现代意义上的数据存储的发展大体上经过了四大阶段，在以外部市场需求驱动为主的前三大阶段发展中逐步确定了数据存储的主要形态。当前，数据存储正处于第四阶段发展中，技术的变革带来的性能、可靠性、效率、绿色等全方位的突破将更好地响应各行业对数据存储的诉求。

图2-1 数据存储技术发展阶段



资料来源：罗兰贝格分析

2.1 看历史：存储的主要形态在外部需求驱动下逐步奠定

上世纪50年代，冯·诺伊曼等人在《101页报告》中将存储、计算、控制三大设备认为是计算机的核心，奠定了现代计算机的体系结构。存储设备直接连接到计算机，独立处理本地数据，但其他计算机无法使用，数据共享能力相对薄弱。

早期存储产业主要发展方向是如何在更小的空间内能够存下更多的数据来跟上计算机的逐渐普及。1956年，第一个机械硬盘约有两个冰箱大小，重达一吨，只能存储5MB数据。之后几十年中，IBM、飞利浦、东芝、EMC等企业纷纷创新性推出了划时代的存储产品，当时的数据存储以直连存储DAS(Direct-Attached Storage) 为代表，在提升数据传输性能的同时，提升了单位存储容量，降低设备空间面积。

上世纪90年代左右互联网开始进入公众的视野。借助网络技术，数据的传输不再受到物理边界的限制。相应的，存储设备也面临着跨设备传输共享的需求，相应出现了SAN (Storage Area Network) 和 NAS(Network Attached Storage) 网络存储。SAN的应用场景主要是数据库，存储区域网络SAN基于光纤通道，形成了区域内的数据存储网络。NAS的应用场景主要是图片文本等文件共享，网络接入存储NAS通过网络交换机连接到服务器主机，形成了一张数据存储的私网。数据存力不再绑定于单一的算力，提高了存储资源的利用率。

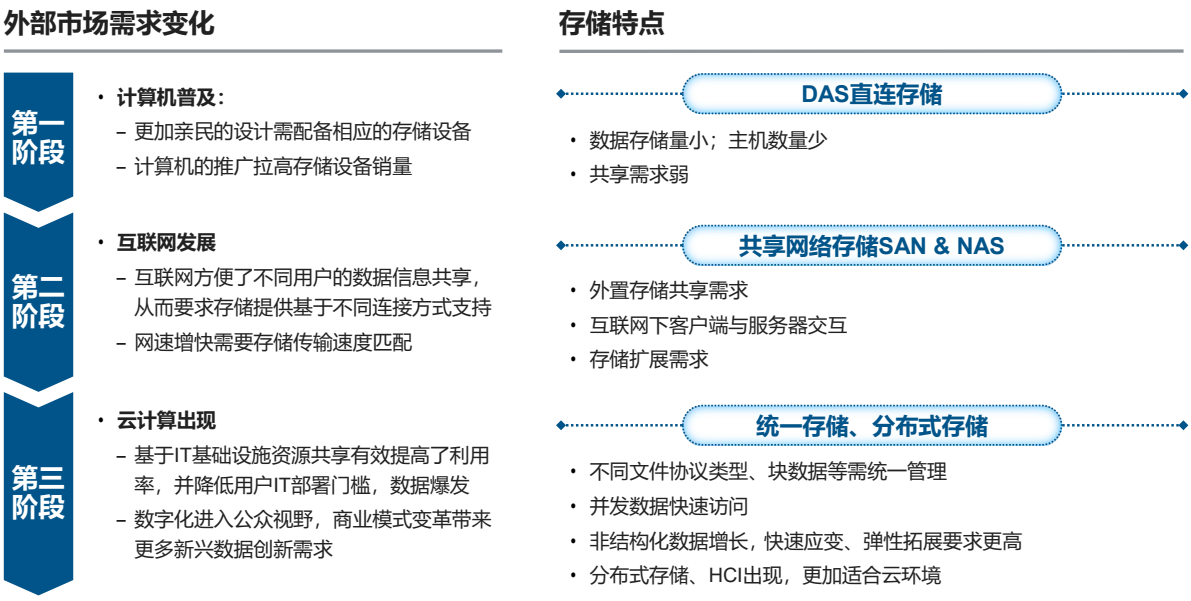
2005年云计算开始萌发，希望通过软硬件资源、运维服务的共享来提升整体IT资源利用效率，同时也降低部署的难度和成本，使更多政府和企业可以基于共享的IT基础设施收获更多数字技术的红利。

不同用户在使用云计算时产生的数据形式、应用场景、访问方式都存在较大的差异，云计算需要满足各类场景下的多元用户需求，统一存储应运而生。它综合了SAN和NAS存储的优点，既支持SMB/CIFS、NFS等文件协议类型，又支持FC、iSCSI等访问协议，可以通过统一的界面进行不同数据的管理。

同时，随着AI、大数据的兴起，图片、视频等非结构化数据量持续增长，自2005年以来每年新增数据量增速接近60%[29]，数据存力面临海量扩展需求。故而又出现了分布式存储，将存储容量从PB级提升至EB级，业界领先存储厂家还通过无损协议互通技术，支持文件、对象、大数据等多协议访问同一文件，实现一套存储支持HPC(高性能计算)、大数据、AI多样化分析应用，大幅提升存储效率。

数据存储产业发展至此，整体的形态已基本确立，能有效地与算力、网络等其他数字基础设施协同，共同支撑经济社会高质量发展。近年来，存储行业虽然仍在不断地发展和演进，但不再像早年由于外部环境的快速变化造成存储架构和形态的剧烈变更。

图2-2 早期数据存力演进：在外在环境需求推动下进行



资料来源：罗兰贝格分析

2.2 展未来：存储产业持续演进应对数字时代新挑战

2.2.1 YB时代迎来存储产业三大变化：技术革新、上层应用适配、AI赋能

目前数据存储产业正通过体系性的技术整合，系统探索如何应对YB时代带来的数据存储新挑战。业界的探索主要围绕存储产业技术革新、上层应用适配与AI技术赋能三方面结合开展。

技术革新又可以分为存储介质、存储协议、近内存计算三个主要方向，分别对应数字基础设施中的存储、网络、计算三大关键组成要素。

在所有存储系统中，最终都需要将数据存放到最底层物理介质中。业界正积极寻找更高速、更低功耗、更高密度、更可靠的材料提升存储产品竞争力，目前以闪存介质替代传统机械磁盘为主要方向。

存储产品的介质变化提升了存储产品的性能，但需要相匹配的网络支持数据传输。HDD(Hard Disk Dirve磁盘存储)设备多为顺序读写，但SSD(Solid-state drive)闪存可以同时从多个不同位置读取数据，具有高并发性，故而早期的存储协议无法最大程度发挥介质带来的性能提升。NVMe和NVMe Over Fabric的出现，打破了传统SCSI协议和FC存储网络下对性能的限制，可以将数据访问等待时间减少50%，并降低存储网络运维成本，同时有利于云及大数据应用环境下的数据共享。

图2-3介质变革与协议变革对于数据存储技术的影响

资料来源：罗兰贝格分析

近内存计算则是计算领域的变革驱动着存储产品的革新。内存在延迟和能耗方面一直赶不上处理器技术的进步，两者之间的差距被称为内存墙。此外，计算与存储单元之间的大规模数据移动会给传统的计算架构带来了较大的能耗。为此，通过在计算芯片内部署存储单元，让存储单元具有计算能力，提升计算效率，解决性能和能耗的挑战[30]。根据统计，传统架构处理器每秒钟可进行一万亿次消耗700-800瓦特功耗，但通过近内存计算，该值可降低到9.2[31]。

除技术革新以外，上层应用变化也对存储提出了新的要求。早年，IT各个堆栈界限明晰，且应用形式较为固定。但随着数据场景越来越多，相应的虚拟化、容器、云平台等新业务应用逐渐成为主流。以虚拟化为例，用户不需要再关心数据进入了具体哪个计算、存储、网络等硬件设备，而是通过一个虚拟的资源池进行调度，简化了管理难度，但虚拟化环境下秒级的资源部署和回收却对存储的扩容和资源分配提出了更高的时效和性能要求。为适应上层应用变化趋势，存储供应商需要更深入地和产业生态融合，根据业务需求提供个性化的解决方案。

此外，随着AI技术的成熟，智能存储也成为业界主要关注方向，主要集中于集群自动扩缩容、服务变更、库存管理等日常管理事务以及异常定位、根因分析、系统自愈等异常处理事

务。未来智能存储主要方向包括一站式分析、离线智能等。一站式分析将存储、服务器、网络等不同基础设施进行整合，提供更丰富的IT运行数据，帮助判断使用中的故障和瓶颈，提升整体运行协同性。离线智能主要帮助因安全、监管等因素无法使用外部网络的企业同样可以基于本地数据进行智能存储管理。

2.2.2 以闪存为核心的介质革命拥有广泛应用场景，受到业界较大关注

在各类存储产业发展趋势中，闪存因其性能优势、稳定安全、节能经济，在业界中受到了较多的关注。

闪存的性能是机械硬盘技术百倍。随着SSD的快速发展，最优的情况下，数据访问次数SSD比HDD(Hard Disk Drive)大1,000倍以上。同时，从数据中心基础架构演进来看，虚拟化应用场景越来越多，各种多样数据应用需求下，使用机械硬盘的堆积，反而降低了虚拟化带来的效益。同时SSD具有更高的稳定性，数据意外丢失的可能性更低。固态硬盘里不存在机械活动器件，故而SSD可承受的振动是HDD的40倍。在实验室模拟中，SSD可承受自身重量1,500倍的冲击，而HDD可承受的冲击不超过350G，G指代重力加速度，相当于9.8m/s^{2}的速度冲击货品。业内普遍认为SSD寿命可达10年。现实使用中，实际擦写次数只到最大擦写次数的2%，绝大多数SSD盘因为达到最大可擦写次数而失效的可能性几乎为零[32]。

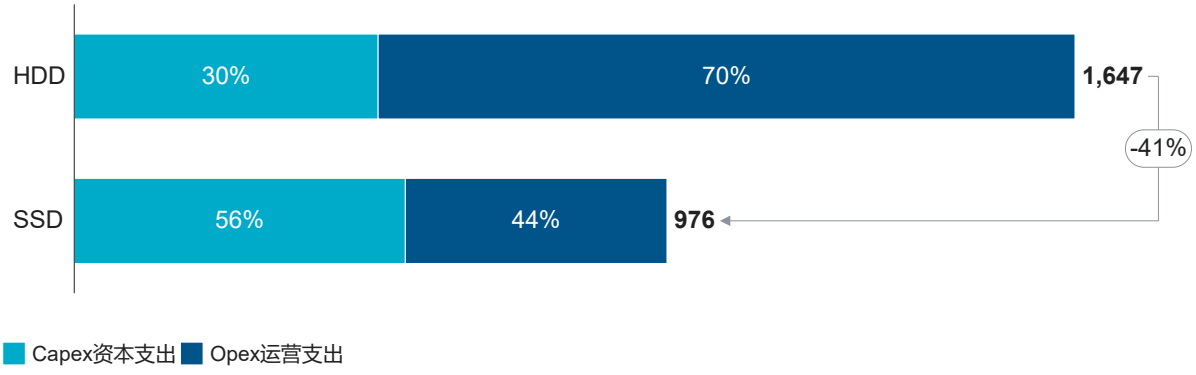
图2-4 固态硬盘与机械硬盘参数对比：SSD拥有更好的表现

		机械硬盘HDD	固态硬盘SSD
性能突破	每秒钟的访问次数	200~300	**200,000~250,000**
	单次访问数据所需时间	7 ms	**0.04** ms
稳定安全	5年返还率	1% - 5%	**0.2%~0.5%**
	可承受的冲击	350 G	**1500** G

资料来源：华为，NetApp，数据湾

此外，数据中心能耗正受到越来越多的关注。随着电能使用效率(PUE)从2.0降低到1.25，IT设备能耗占比将从50%提升到80%。这意味着电力、水力等设备除去转化效率引起的能耗损失外，能耗再节约空间十分有限，此时进一步节能减排的核心将落到IT设备的能耗上。在所有IT设备的能耗中，存储占比高达35%[33]。全闪存数据中心可以极大减少空间和能耗上的费用，通过更高的资源利用率和成本效益实现数据存力可持续发展。相对于HDD，相同容量下，SSD的电力能耗降低70%，每完成一块SSD硬盘的替换相当于植树150棵，有效推进数据中心低碳运转。通过测算，如果中国数据中心全闪存占比提升至50%，每年将节省1.5个葛洲坝发电量。从数据中心拥有成本上看，除能耗降低外，闪存存储设备空间占用可节省约50%。在热数据存储上，整体拥有成本节约可以达到85%。随着未来闪存介质成本降低，经济性优势将更明显。

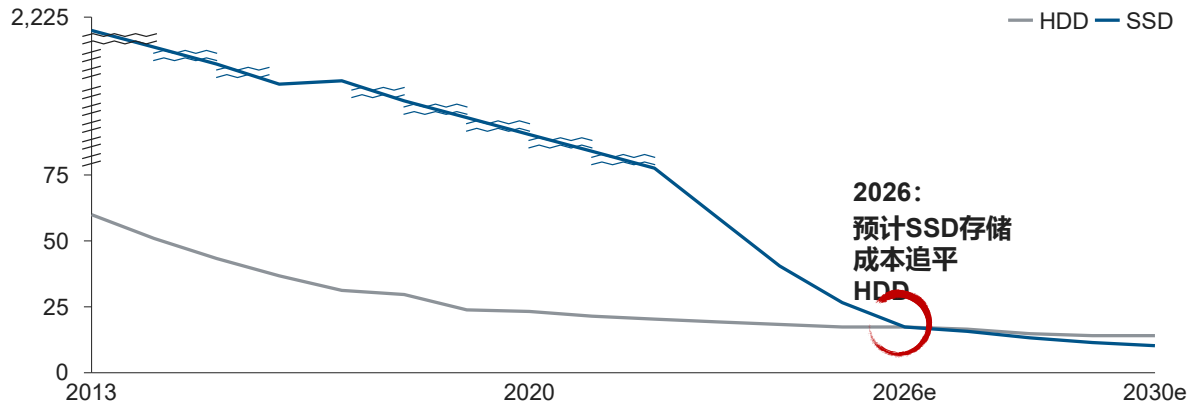
图2-5 固态硬盘与机械硬盘热数据存储中的总拥有成本对比 [美元/TBe*]



*TBe指代在考虑数据冗余等技术下实际能存储的数据
资料来源：SNIA (2021) 'Total Cost of Ownership Model for Storage'

随着闪存价格的降低，2016年起企业大规模开始使用闪存，2020年全球固态硬盘SSD（以闪存作为存储介质的硬盘)出货量超过机械硬盘HDD(传统磁性存储盘)，存储介质革命进入新的高峰。产业链随着闪存的崛起，也诞生了新的一批厂商。

图2-6 固态硬盘与机械硬盘参数对比：SSD拥有更好的表现



资料来源：Wikibon、IDC、Gartner、Kitguru、Nidec、Trendfocus、富国银行

但在冷数据存储上，SSD若要实现对于HDD全面替代，至少在2026年两者价格追平以后。故而业内将关注点转向了蓝光存储。

从介质发展阶段来看，蓝光单张光盘已接近TB量级。2020年，某蓝光存储厂商宣称单盘容量可到2.5TB，各国产线也基本可实现500GB容量的量产，与通用的磁盘容量旗鼓相当。并且蓝光磁盘工作功耗远低于硬盘，且不需要空调冷却系统，长期保存的情况下(12年以上)，光存储的能耗只有硬盘存储的1/500。从长期冷数据存储的成本上看，蓝光存储拥有明显优势。

03

指标评测：

领先存力从效果和保障侧来服务高质量发展

3.1 数据存力衡量指标体系

为更好实现经济社会高质量的发展，基于市场需求和技术驱动两个维度，本研究报告建议从效果侧和保障侧共同发力，建立了对于存力的全方位评价体系，进一步将数据存力拆解为体量、效果、基础保障、前沿保障四大维度，并通过具体的三级指标测算公式为政府和企业评估、设计相应的存力建设方向提供参考。

从效果侧来看，经济社会高质量发展高度依赖数字经济的发展水平，而数字经济的持续演进主要从扩展数字广度和深挖数字深度两方面展开 。

扩展数字化广度意味着从点到面，将数字化应用到更多的应用中。这将直接导致更多的数据汇集，故而需要与数字经济发展程度和总生产数据量相匹配的数据存力体量进行支撑。经济发展水平较高的国家和地区每单位经济产值往往对应更多的数据存力容量，以新加坡和墨西哥为例，前者每万美元GDP对应的存储容量比后者高近35GB，通过更加丰富的数据存力容量支撑数字经济的发展。

从数据生产要素存储能力情况上看，领先水平国家能保存近20%的数据以供后续加工分析，而在缺乏生产要素的情况下，数据存力体量短缺的国家数据生产活动相应会受到制约。同时，数据存力的投资仍需保持一定的增长空间以应对未来发展的需求，比如购置更多的智能存储软件，提升数据存储容量配置效率。

深挖数字化深度意味着更复杂的分析将更实时地调用不同数据，需要更强的处理效率来支撑数字经济深化。从数据中心整体建设看，算力、存力两大高相关资源发展需要协同，每1GB存储容量对应1-2GFLOPS算力是较合理范围，因为存力的相对缺失将导致算力冗余，反而不利于数字基础设施的整体效率提升。从数据具体处理过程来看，存储性能的提升能助力数据应用效率提升。目前闪存性能的领先性在业界普遍受到认可，应用中领先国家闪存投资占总存力投资约50%，而中国、日本等国家闪存占比仅在30%左右，高效存力的缺失将制约其对于经济发展整体支撑能力。

从保障侧来看，各国在经济社会高质量发展中逐渐开始重视数据安全、节能减排、创新技术等方面，对数据存力的可靠、绿色、前沿提出相应要求。

可靠的数据存力是任何数字基础设施建设的基础。一方面数据中心需划拨一定资金在容灾备份建设上，以应对各类安全事故。北美等领先国家灾备投资占总存力投资近一半，而重视度较低的国家若真面临数据安全事故，除了影响经济社会活动稳定性外，甚至会影响国家主权安全。

前沿的数据存力将支撑产业的可持续发展。一方面数据中心作为能耗大头减排压力较大，数据存储设备在数据中心能耗中占比可达25%[36]，对于单位数据存力容量能耗的实时监测将更好指导节能减排的工作。另一方面，数据存力技术仍在持续演进。美国数据存力、数字经济发展的领先与其技术的领先

图3-1　区域发展层数据存力衡量指标体系

指标维度		指标目的和衡量范围	指标名称	计算公式	单位
体量	充足	• 衡量数据存储体量与数字经济发展程度、产生数据量的匹配程度，反映对数字经济支撑力度	单位GDP存储容量	• 数据存储设备容量 / 当年区域GDP产值	GB/万美元
			数据存力充足性	• 数据存储设备容量/当年区域产生的数据总量	%
	增长	• 衡量投入能否保障存力匹配数据生产要素增速，并支持前沿技术部署持续提升存力竞争力	存力投资增长率	• 当年数据存力投资 / 去年数据存力投资	%
效率	平衡	• 衡量算力、存力两大高相关资源发展的协同，从而提升数字基础设施整体利用效率	存算比	• 已有数据存力的容量/已有数据算力总量	GB：GFLOPS
	敏捷	• 以数据存储领域先进生产力闪存的部署为代理指标，衡量存力是否能满足数字化加深对于数据的保存和调用效率的要求	闪存占比	• 当年用于闪存投资额 / 当年总体数据存力投资额	%
基础保障	可靠	• 安全稳定是数据存储的基础要求，衡量是否能应对各类意外，保证数据不丢失，业务不中断	灾备覆盖率	• (当年容灾投资+当年备份投资) / 当年数据存力投资	%
前沿保障	绿色	• 衡量数据基础设施的能耗，从而评估其对环境的影响	单位存储容量能耗	• 当年数据中心存储设备能耗 / 已有数据存力的存储容量	kwh/TB
	先进	• 存储产业仍在不断发展，衡量是否有持续的技术研究投入支持先进生产力的探索	数据存力专利占比	• 当年本国申请的数据存力专利数量 / 全球数据存力相关专利数量	%

在具体的数字基础设施建设中，企业仍旧对体量、效率、基础保障、前沿保障存在相应的需求。但由于落实到了数据中心层面，与具体业务的关联性更加紧密，故而会从对应业务的视角出发。比如在体量存量的衡量中将更关注所服务的业务数字化转型和增长所需要的存储体量，而非区域发展中企业、个人、政府各方产生的所有数据。又比如在前沿性上，将直接衡量业务中所采购的智能数据管理等前沿功能的丰富度，而非建设方所具备的存储技术专利。

图3-2 数据中心建设层数据存力衡量指标体系

指标维度		指标目的和衡量范围	指标名称	计算公式	单位
体量	存量	• 反应数据中心提供的总体存力体量对于业务产生各类数据的有效保存和支撑的能力	数据中心存储容量	• 各类存储设备容量加总	EB
			数据存力充足性	• 存储容量 / 企业高峰数据量预计	%
	增量	• 衡量投入能否保障存力匹配数据生产要素增速，并支持前沿技术部署持续提升存力竞争力	存力投资增长率	• 当年数据存力投资 / 去年数据存力投资	%
效率	平衡	• 算力、存力两大高相关资源协同发展，提升数字基础设施整体利用效率	存算比	• 已有数据存力的容量 / 已有数据算力总量	GB:GFLOPS
			存力使用率	• 已占用存储容量 / 总可用存储容量	%
	敏捷	• 数据存储领域先进生产力闪存的部署来更好满足数字化加深对于数据的保存和调用效率的要求	闪存占比	• 闪存介质投资 / 整体存储投资	%
基础保障	可靠	• 反应企业抵御数据破坏性事件并在事后快速恢复的能力	灾备覆盖率	• (容灾备份软件投资+备份存储投资) / 全部存储投资	%
			事后：RTO时间恢复目标	• 从故障发生导致业务停顿之起到IT系统恢复至可支持各部门运作、恢复运营所需的时间	小时
			事后：RPO恢复点目标	• 故障发生后数据可以恢复到的时间点	小时
	经济	• 衡量企业在存储上投入的成本，涵盖存储设备外的人工、能耗等总体拥有成本	单位存储拥有成本	• 总体拥有成本TCO / 容量	$/GB
前沿保障	绿色	• 评估数据中心综合能耗水平和可持续发展能力	存储设备能耗水平	• 数据中心存储设备总能耗 / 有效容量	kwh/GB
	智能	• 评估存储对数据中心智能化趋势的支持力度	智能存储功能丰富度	• 数据加密、审计日志、快照、异步复制、元数据检索等，根据客户具体需求进行满足	
			存储API开放程度	• 已开放API接口/所有可用API接口	%

基于上层宏观发展、数字基础设施对于存力的要求，进一步落实到纯粹的存储设备层面各个软硬件和服务的采购时也受到了相应影响。指标的维度依旧是体量、效率、基础保障和前沿保障，但由于落实到具体存储产品采购，将更加关注具体专业的技术指标表现情况，通过更加专业的数据存力支撑上游数据应用和经济社会发展。

图3-3 存储设备层面数据存力衡量指标体系

指标维度		衡量范围	指标名称	计算公式	单位
体量	可用容量	• 衡量容量的充足性能否满足生产活动中的数据存储需求，是对上层数字化支撑力度的反映	原始容量	• 存储系统配置的物理容量	PB
			可用容量	• 原始容量减去用于RAID保护和元数据的容量	PB
			有效容量	• 可用容量×(写入系统的数据量 /占用的容量)	PB
			存力体量效率	• (有效容量+可用空闲容量) / 原始容量	%
	可扩展性	• 有合理的办法应对业务数据量的增长，轻松扩容	扩容设计预留量	• 预留节点 × 单个节点硬盘数量 ×各硬盘容量	PB
效率	性能	• 数据存力在具体的数据读写中的表现，衡量其对于业务产生各类数据应用需求满足的水平	IOPS	• 1000ms / (寻道:磁头移动至正确磁道上所需时间 + 旋转延迟:盘片旋转将请求数据所在扇区移至读写磁头下方所需时间)	
			吞吐量	• Throughput MB/s = I/O Per Second * Size of I/O = I/O per Second * KB per I/O ÷ 1024	MB/s
			响应时间	• 响应时间 = 等待时间 + 服务时间(读写耗时) = (队列长度+1)*平均响应时间	s
基础保障	可靠	• 产品较少或不出现故障，能持续地支持业务能力	MTBF	• 每两次相邻故障之间的工作时间的平均值	天
			MTTR	• 将有缺陷的部件或系统恢复工作秩序所需要的平均时间	小时
			可用度	• MTBF / (MTBF+MTTR)	%
	经济	• 衡量企业在存储设备上的投入费用	单位容量价格	• 存储费用 / 容量	$/GB
前沿保障	异构兼容性	• 在复杂的数据中心架构下存力能否支持不同的操作系统、管理程序、应用软件；需基于具体数据中心需求进行规划，并非支持越多越好	支持的存储协议	• CIFS、NFS、iSCSI、FC……	
			连接方式	• SAN、NAS、DAS	

3.2 数据存力指标结果分析

本报告在测算过程中共选取了20个不同发展水平的国家和地区进行深入研究，综合比较样本国家和地区在数据存力各个维度的表现进行国际横向对比。

图3-4 各国和地区数据存力发展水平排名结果

一级维度		体量			效率		基础保障	前沿保障	
二级维度		充足		增长	平衡	敏捷	可靠	绿色	先进
三级维度		单位GDP存储容量	数据存力充足性	存力投资增长率	存算比	闪存占比	灾备覆盖率	单位存力容量能耗	数据存力专利占比
亚非地区	中国	10	11	2	10	20	20	14	4
	日本	11	8	11	3	19	17	8	3
	新加坡	1	2	13	1	14	1	9	11
	泰国	16	16	15	16	18	5	17	17
	印度	17	17	5	17	8	9	18	8
	沙特阿拉伯	19	19	1	18	6	16	n/a	12
	土耳其	14	14	12	13	10	19	13	14
	南非	7	7	6	12	2	13	12	18
美洲地区	美国	3	1	16	2	3	8	2	1
	加拿大	6	6	17	4	17	2	6	2
	墨西哥	20	20	19	20	11	3	15	19
	哥伦比亚	15	15	14	19	1	15	10	10
	智利	13	13	20	15	16	12	11	20
	巴西	18	18	18	14	5	6	n/a	16
欧洲地区	俄罗斯	9	12	3	11	4	18	16	13
	德国	4	3	8	5	12	11	4	5
	法国	12	9	4	9	13	4	5	9
	英国	8	5	10	8	9	7	1	6
	瑞典	5	4	7	6	7	10	7	7
	捷克	2	10	9	7	15	14	3	15

资料来源：参考Gartner、IDC、国际货币基金组织、世界银行、联合国贸易发展会议、经济合作组织、世界知识产权组织、Cloudscene、Uptime Institute、PatSnap、全球五大专利局、各国和地区统计局等各类数据库，基于此进行分析总结

指标体系测算中主要从数据中心的维度进行测量。从结果上看，20个国家和地区在8项指标上各有所长，没有任何国家和地区能在所有指标上占据压倒性优势。全面的存力指标体系将更好帮助各个国家和地区厘清现有的发展优势和尚待提升的空间，助力其加快建设全面的数据存力支撑经济社会高质量发展。

3.2.1 体量衡量：充足供应与持续增长支撑经济社会的数据爆发

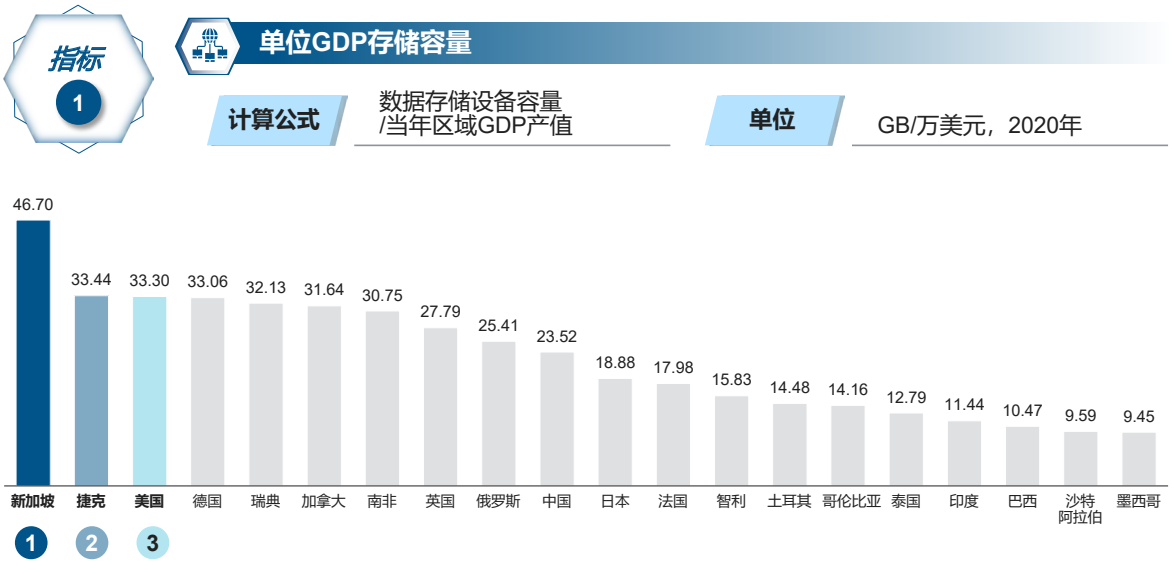
指标1 单位GDP存储容量

1) 指标解释与结果展示

存储空间的容量，是人们对数据存储能力的最基础的认知。考虑到经济体量较大的国家和地区往往会拥有较大体量的存储空间，本文在计算存储能力的容量时采用单位GDP存储容量来确保不同国家和地区的可比性，即用数据存储空间容量除以GDP规模。每一万美元GDP对应的存力容量越高，表明该国的数据存力容量水平越高，该国数字经济在GDP中的渗透程度越高，能更好支撑经济社会高质量发展。

测算结果显示，新加坡、捷克、美国等发达国家的单位GDP存储容量较高，每一万美元的GDP对应的存储容量分别达46.7GB、33.4GB、33.3GB，存储在经济发展中的支撑能力较为明显。南非、俄罗斯、中国等经济体量较大的发展中国家处于中间水平，每一万美元的GDP对应的存储容量约在23GB至31GB之间，墨西哥、沙特等中等规模的发展中国家的排名较为靠后。

图3-5 各国单位GDP存储容量表现



资料来源：罗兰贝格分析

2) 指标结果分析与典型案例

“筑巢+引凤”可以很好概括排名第一的新加坡数据存储产业发展史上两大关键行动，对今天的追赶者国家和地区发展数据存力依然具有借鉴意义。“筑巢”即设立新加坡国家数据中心公园，“引凤”即以数据中心公园为基础吸引亚洲乃至全球龙头厂商入驻。2011年，新加坡政府在丹戎克林工业用地上设立国家数据中心公园，占地6公顷，毗邻亚欧三号和四号国际海底光缆着陆站，数据中心大楼均匹配独立输配电系统确保供电稳定，条件优渥。园区凭借灵活的审批政策优惠和随时待命的基础设施面向全球招商，截止2021年新加坡拥有超过60个大型数据中心[37]，几乎所有大型托管和云服务商如谷歌、Equinix等都在新加坡数据中心国家公园设立据点，出租率近年保持在95%左右，成为当地稳定的就业、税收和经济产值创造者，巩固了新加坡作为东南亚重要的存储和托管产业中心的重要地位，乃至对周边国家和地区存力发展发挥了支撑作用。

发展中国家的单位数据容量排名普遍位居中游。其中，中国每1万美元GDP对应23.5GB的存储空间。中国之所以能够位居同等发展水平的国家前列，首先得益于中国政府通过国家战略的形式确定数字经济的经济增长引擎地位。早在2017年，国务院《政府工作报告》便明确提出发展数字经济并对此保持高度重视，2022年专门出台了《“十四五”数字经济发展规划》。另一方面，中国从全产业链角度对于进行存储发展进行政策引导。从上游看，中国在西部经济重镇成都规划建立涵盖人才培养、研发与制造的存储谷项目，目标产值5,000亿元人民币[38]；从中游看，中国以准入政策对数据中心的发展提出要求，设定PUE(电能使用效率)门槛，鼓励数据中心绿色化、规模化、集约化发展[39]；从下游看，中国政府出台《“十四五”大数据产业发展规划》、《个人信息保护法》等一系列政策健全市场规则，鼓励数据与各行业各领域融合应用。

沙特、墨西哥等国家数据存力发展起步晚，相对排名较为靠后，但未来成长前进可期。以沙特为例，沙特政策制定者大力推进数字化建设，推出了以“沙特2030愿景”为核心的国家转型顶层设计，其中包括2021年更将180亿美元的数据中心投资计划纳入该愿景[40]。虽然追赶者国家数据存力发展起步晚，未来成长空间可期，数据存力的发展有望成为上述追赶者国家数字化转型进程的支撑器和稳定器。

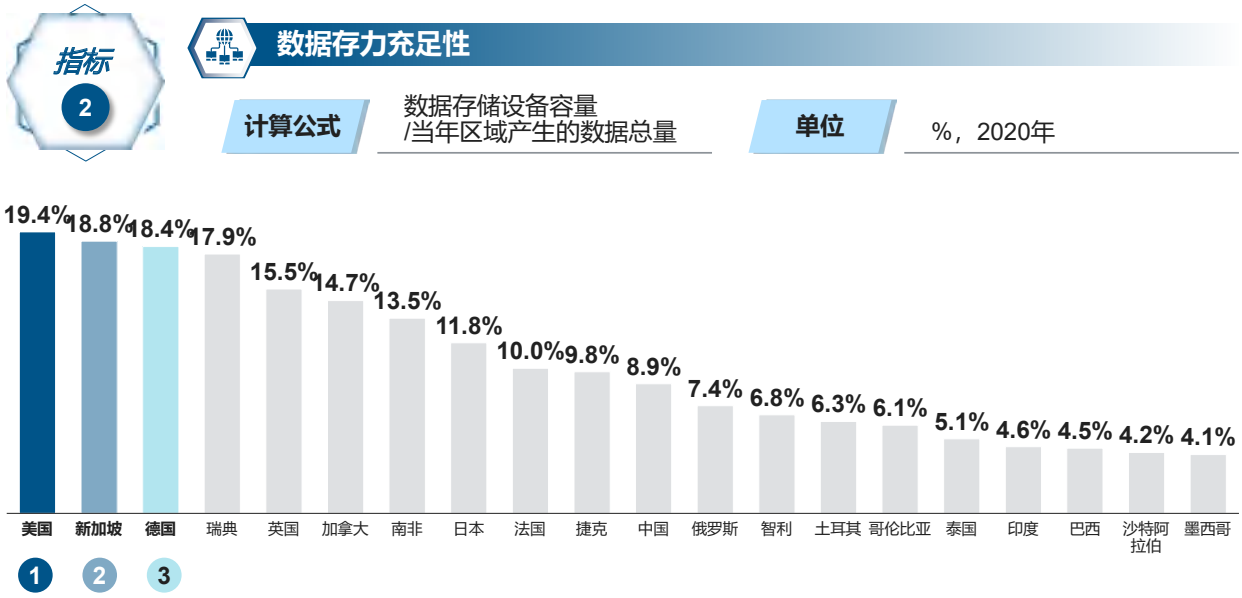
指标2 数据存力充足性

1) 指标解释与结果展示

数据存力充足性衡量的是数据量需求和存储容量供给之间的匹配关系。通过计算一国数据存储容量除以一国数据总产量可以反映当年一个国家或地区所生产的所有数据中，有多大占比可以被存储，以反映存力的充足性可以衡量一个国家和地区的数据存力是否足够充足以支撑其经济社会高质量的发展需求。当地数据总量指每年被创建、采集或是复制的数据集合。

从绝对数值上看，领先国家和地区数据存力充足性均在20%以内。根据IDC《全球数据圈》报告，全世界生产的数据中高频访问的热数据占比约20%，不频繁访问的冷数据占比约80%。由于数据可得性，本文未考虑冷热数据和压缩算法等因素影响，绝对数值偏低，但是不影响各国相对排位。美国的数据存力充足性在20国中排名第一，达19.4%。排名居中的国家和地区，如中国的数据存力充足性约8.9%，而巴西、墨西哥、沙特等发展中国家低于4.5%。

图3-6各国数据存力充足性表现

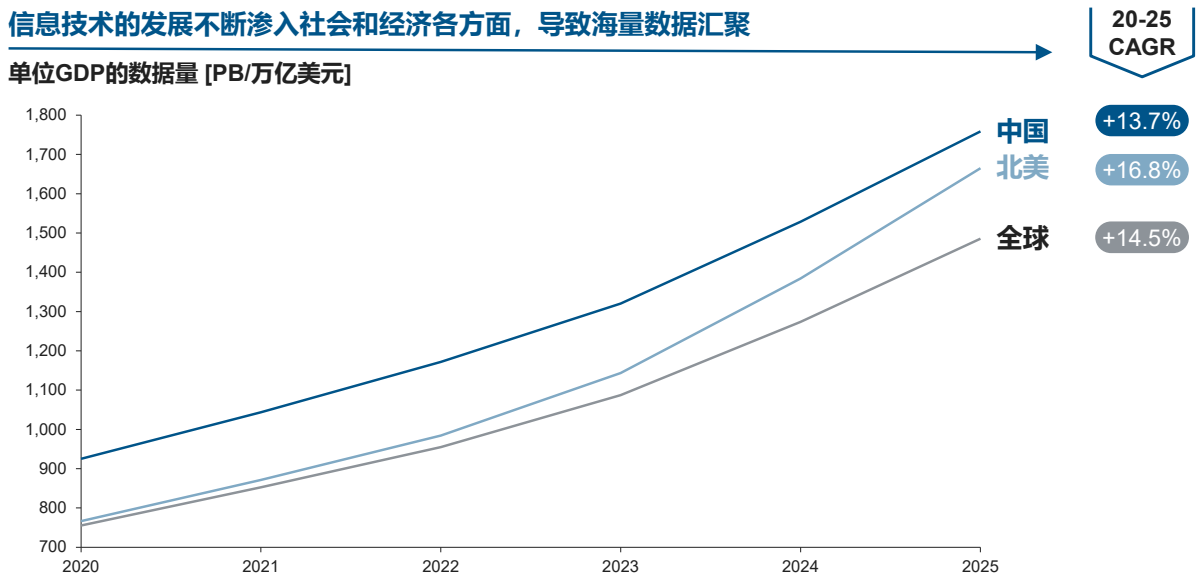


资料来源：罗兰贝格分析

2) 指标结果分析与典型案例

展望未来，数据量爆发势如破竹。数字化的持续推进意味着数据覆盖方面增加，更多的环节以数字化代替人工。同时更实时的数据将被采集，从每天到每小时、每秒的数据采集，单位时间内产生的数据量不断增加。除此以外，数据会保留更长的时间以期待价值深挖。全球数据产量增长速度远远超过经济增长速度，如图3-7所示，全球范围内，每万亿美元GDP汇聚的数据量均保持14.5%的快速增长态势，北美的美国、加拿大等发达国家更是达到16.8%，反映出数据量增长的迅猛之势。

图3-7 单位GDP数据量[PB/万亿美元]：全球数据总量爆发



资料来源：IDC；国际货币基金组织

根据统计，2020年仅有1.5%[41]的数据被实际保存。具体到数据中心的保存情况，根据近千名企业的调研，仅有56%的数据在运营中被采集，而这些被采集的数据中又仅有43%的数据得到了有效的保存并得以利用[42]。存储产业界早已嗅到了存储供应需求趋紧的信

号。由于存储资源有限性和成本原因，谷歌宣布2022年起 Google One 服务不再面向消费者提供无限存储空间；而此前OneDrive和腾讯云等云服务厂商也曾经宣布调减面向C端的免费存储空间上线，反映出存储供应不足的现实性和影响广泛性。

因此，数据存力的充足性议题值得引起各国关注。任何国家和地区数字经济的发展必然伴随需要数据增长，数据存力作为数据使能的基石所在，唯有"存得下"，数据最终才能"用得好"，数据存储总量需求也将相应产生指数增长。指标2反映的全球性数据充足性趋紧背后反映的是数据存储投资不足的问题，本文将在指标3中详细讨论存储投资增长情况。

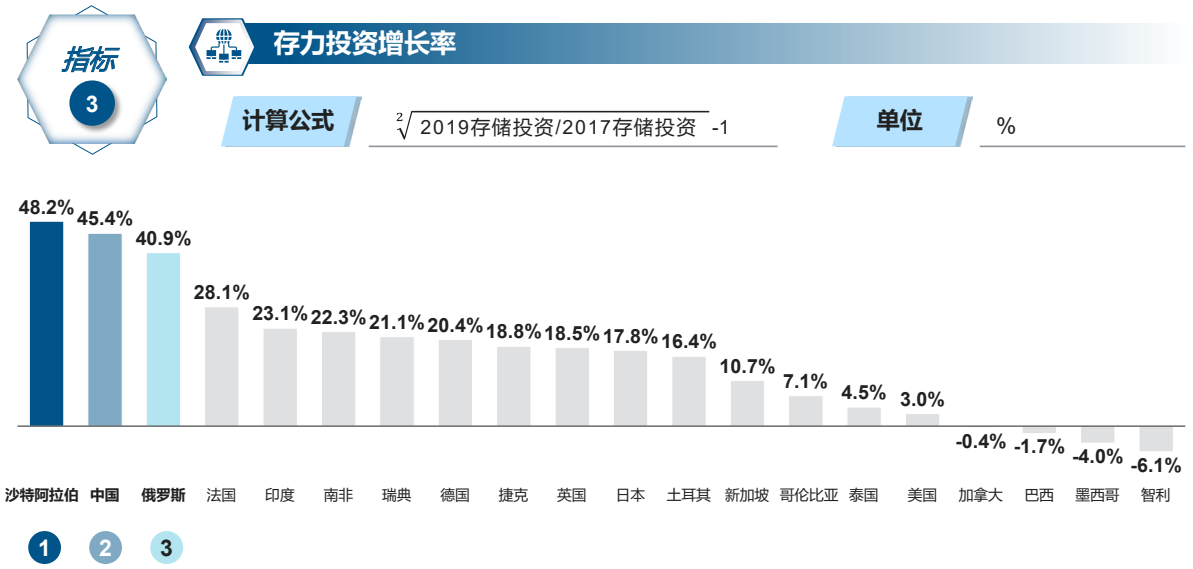
指标3 存力投资增长率

1) 指标解释与结果展示

存力投资增长率指标使用2017年-2019年三年间各国的存储投资的年复合增长率来衡量各国增长动能。高增长率体现的是在各国已有的数据存储规模之上数据存储的发展速度和潜力。

沙特、中国、俄罗斯等发展中国家和地区的存储市场增长迅速，2017-2019年复合存力投资增长率均超过40%。

图3-8 各国存力投资增长率表现



资料来源：罗兰贝格分析

2) 指标结果分析与典型案例

发展中国家的存力投资主要来源于新建的数据中心，考虑到存储设备的生命周期普遍在5年以上，预期未来一段时间，沙特、中国、俄罗斯等国家的数据存储容量较大，可望进一步支撑数字本国的经济发展进程。

发达国家中，法国是存力投资增长较快的国家，2017年-2019年增长率达28.1%。连续多年的高存储投资增长为法国数字经济、社会乃至绿色发展奠定了关键的存力支撑。根据欧盟2021年调查，22%的法国企业日常业务开展与大数据深度融合，而欧盟的平均水平仅为14%[43]，高大数据渗透率为"新工业法国"实现产业数字化提供数据存储能力支撑。此外，2021年，法国出台"数字化与环境"路线图，其中专门强调收集碳足迹数据，来训练AI环境建模能力，虽然这给企业带来了额外的存力金额投入，但也为法国落实"国家低碳战略"提供重要支撑。部分发达国家如美国、加拿大等存储市场年复合增长率较慢，但考虑到美国、加拿大等国的存量市场基础较大，未来更新换代投资和维保投资将驱动市场逐步企稳。

展望未来，全球范围内的存储投资滞后于数据量增长已经成为政策界共同面临的问题，无论是数据存力相对充足还是紧缺的国家和地区都应当加大存储投资应对数据需求增长。2019年到2020年，全球数据总产量从41.0 ZB猛增57%，达到64.2ZB。然而，全球范围内的存储投资增长水平迟缓，各国平均水平约19%。如此持续，全球范围内将在2025年面临较为严重的存储供应紧缺。随着各国走出疫情经济复苏，全球各国的存储投资有望获得更多增长动能。

3.2.2 效率衡量：平衡建设与敏捷供应支撑数字经济的高效发展

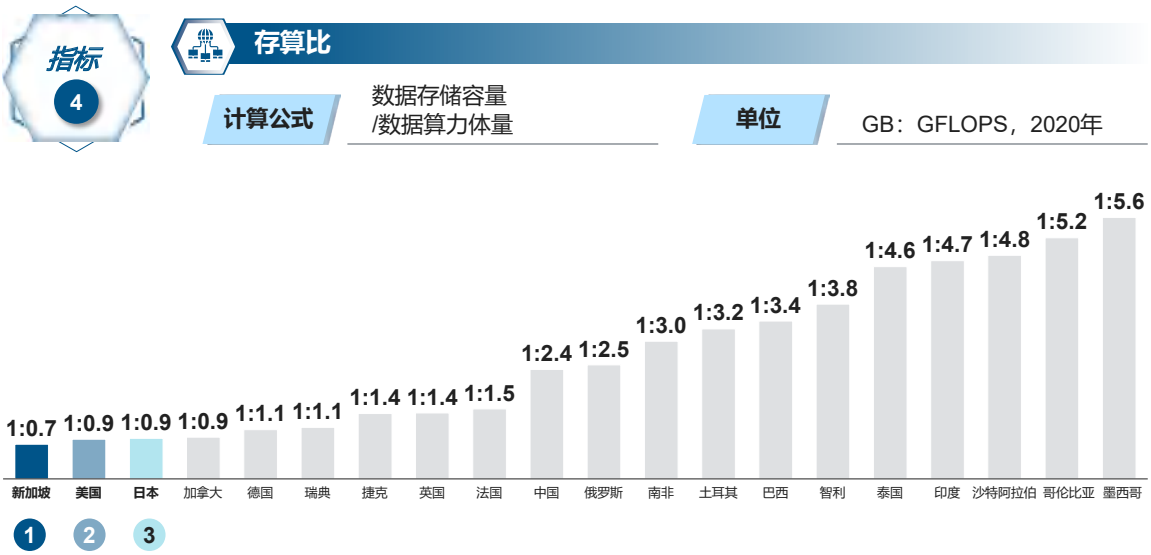
指标4 存算比

1) 指标解释与结果展示

存储和计算均为数字基础设施中的重要组成部分，通过计算数据算力的体量和数据存力的容量可以评估数据中心建设的平衡性，避免因为存力的短缺造成算力的冗余而影响数据处理中的效率。随着数据为王的时代到来，数字应用的关注重点也从追求计算机的计算速度转变为追求大数据处理能力，单纯的数据算力无法单方面支撑整个数据中心的运营，还需要相匹配的数据存储容量。

从业内公认的数字经济和存储大国测算结果来看，新加坡、美国、日本、加拿大等每1GB存储空间对应的算力可达1GFLOPS以内，存算比相对较为均衡，表明数据存储的能力和数据计算的能力较为协同，没有出现明显的"一边倒"失衡。

图3-9 各国存算比表现



资料来源：罗兰贝格分析

2) 指标结果分析与典型案例

从ICT产业发展规律来看，AI产业发展会对计算与存储的平衡发展提出要求，北美等发达国家在该指标表现较为靠前。加拿大联邦政府《数字化运营战略规划：2018-2022》中，明确指出，机器学习、AI的进步需要与计算能力和数据存储能力的近指数相增长结合，唯有如此机器学习和AI的进步将越来越多地促成新的产品和方法。政府充分认识到，AI研究是由人力、资金和数据驱动的。为了训练最好的算法模型，从业者需要最大的数据集。再以美国为例，白宫在2020年提出的《关键和新兴技术国家战略》中单列先进计算，但在2022年更新版中先进计算子目录下不仅包含了超级计算、云计算，还特地融入了数据存储，算力、存力均为"推进国家安全和保持技术优势的关键支柱"[44]。

中国等发展中国家的算力和存储容量比例失衡情况比较明显。以中国为例，1GB，2.35GFLOPS这个数字跟字母中间是没有空格的，表明算力相对过剩存力相对不足。在数

据中心的规划中，虽然意识到了“随着新一代信息技术快速发展，数据资源存储、计算和应用需求大幅提升”，在规划中重点部署“算力算效水平显著提升”，但对存储的指导却十分有限[45]，长期反而不利于数字基础设施整体利用效率提升。因为算力利用的前提条件在于有一定体量的数据供其加工处理，存力体量的提升会给算力增加更多分析机会。

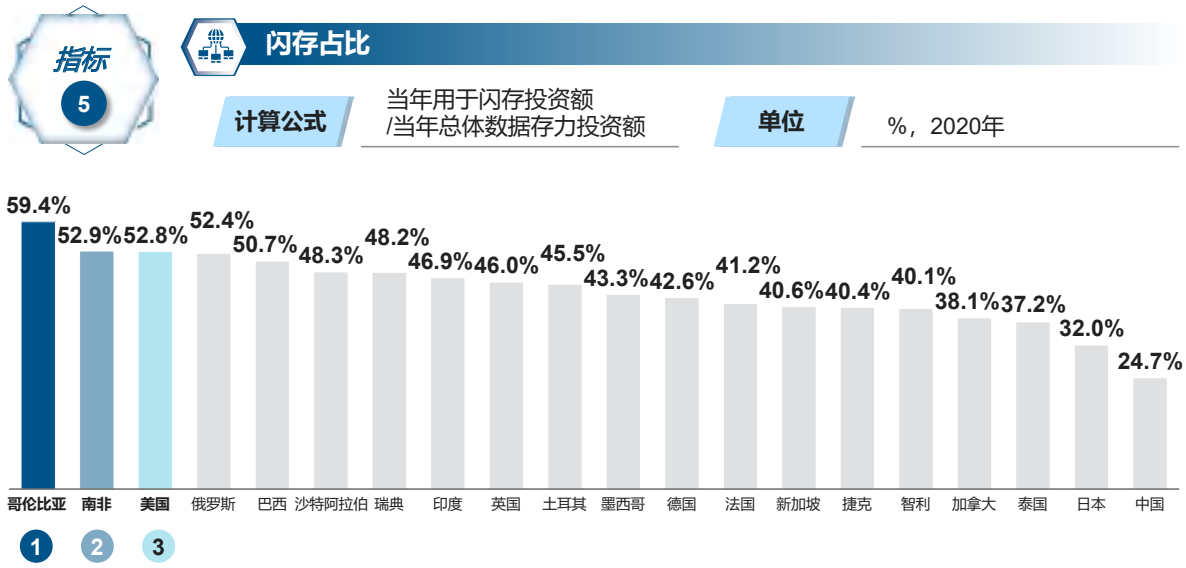
指标5 闪存占比

1) 指标解释与结果展示

闪存是业内目前较为认可的高性能存储产品，通过计算各个国家当年数据存力总投资额中闪存相关产品的投资占比可以进一步分析不同国家对于敏捷高效生产力的使用情况，占比越高代表该国家进行快速的数据调取和挖掘时，闪存能够提供强大的底层支撑能力，存力敏捷性更强。

从结果来看，排名靠前的国家均达到50%以上，这其中除美国外，还包括哥伦比亚等发展中国家。但中国、日本等排名靠后的国家闪存占比仅为25%和32%。

图3-10 各国闪存占比表现



资料来源：罗兰贝格分析

2) 指标结果分析与典型案例

造成部分国家和地区闪存投资占比低的原因主要分为两类，一是已有成熟积累造成的替换壁垒，二是企业对于闪存带来效益认知的局限性。

数据存储硬件设备使用年份一般在5年，有些企业出于成本考量，替换周期长达7-10年，故而对于早年数据存力投资较高的市场来说，对于新的闪存介质，部署节奏受到了已有积累的制约。日本半导体工业在全球内排名靠前，但本国的闪存投资占比仍然较低，正是因为日本自身机械硬盘市场较为成熟的惯性所致。日本存储产业发展较早，尤其是在HDD产品的爆发期占据了市场的主导地位，如全球最大的机械硬盘盘片制造商SDK、全球主要磁头制造商TDK均为日本企业，东芝也是全球最大机械硬盘厂商之一，在日本本土市场的渠道和客户优势稳固，因此机械硬盘在日本始终占据较高份额，一旦闪存介质实现全面的替代，将严重影响这些企业的收益。故而在本土市场的宣传上，机械硬盘仍然占据主流，且由于早期的硬盘销量较大，如果数据中心进行闪存替换则意味着大幅的数字基础设施的重构和迁移，耗时耗力，导致企业本身的替换意愿不高。另一方面日本自身的闪存发展经历波折，铠侠等诞生于日本的闪存龙头由于母公司战略不重视，纷纷被外国资本收购，影响了日本闪存市场的发展进程。

另一方面，企业对于闪存优势的认知也会影响其采购行为。某大型数据中心业务销售专家在访谈中表示，中国等发展中国家用户在采购时对投入成本非常敏感，不愿购买较昂贵的闪存。而欧美等发达国家用户会直接提出对于闪存介质的要求，纵使存储的数据使用频率并不高，却仍愿意额外付费来获得性能上的优势。

若要转换采购行为的短视，最根本的方式是降低闪存的直接价格。部分国家和地区意识到领先的数据存力对于经济社会发展重要性后，制定了一系列的招商引资、财税支撑的方式来鼓励本地闪存的推广。以南非为例，2016年通信部颁布国家ICT发展白皮书阐述南非为实现长期发展目标必须重视数字产业，为使数字基础设施支持更多的经济和社会活动，政府有必要改善营商环境并加大投入[46]。由于本地缺乏领先的ICT厂商，南非积极与IBM、华为、亚马逊、微软等国际巨头对接。而这些一流的企业也为南非带来了先进的数字服务，在建设中积极使用闪存等先进设备驱动非洲市场的数字经济发展。同时政府积极支持数字基础设施建设，给予10%至30%补贴。2021年政府拟斥资2.6亿美元建立

政府高性能计算和数据处理中心并成立国家数字基础公司[47]，进一步强化先进数字基础设施建设。正是因为政府对于领先厂商部署前沿技术的支持和实质性的扶持政策，南非闪存占比从2017年的19%提升至当下的53%，并成为非洲最大的数字中心市场之一。

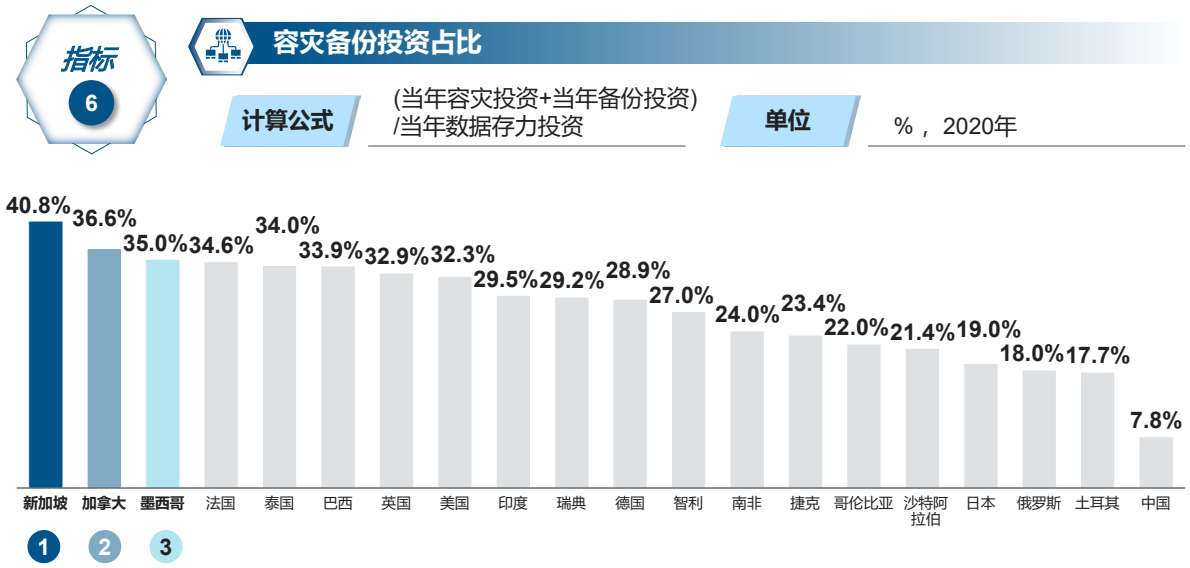
3.2.3 基础保障：满足安全稳定的基本发展要求

指标6 灾备覆盖率

1) 指标解释与结果展示

容灾备份投资是可靠性重要表征，充足的容灾备份能有效应对各类网络安全攻击和意外。灾备覆盖率衡量的是数据存力投资中用于备份和容灾恢复的投资占比。从20国平均值来看，各国用于灾备的存储投资占总体存储投资的27.4%。从横向对比来看，新加坡的存储投资中用于灾备的占比最高，达40.8%，远远高于世界平均水平，表明其数据应对各类意外的韧性较强。加拿大、墨西哥、法国等国家的存储投资中灾备占比也在35%左右，整体处在第一梯队。中国、土耳其等发展中国家灾备投资占比相对较低，存储灾备行业投入严重不足，一旦发生应急事件或会造成较大损失。

图3-11 各国灾备覆盖率表现



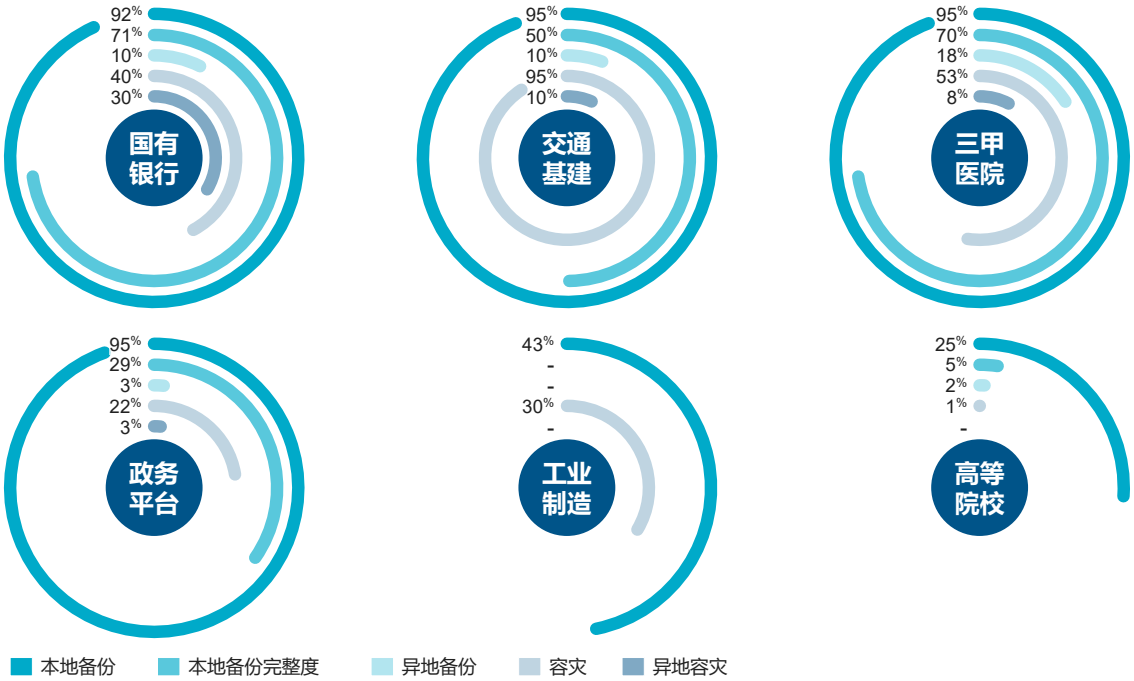
资料来源：罗兰贝格分析

2) 指标结果分析与典型案例

加拿大的存储市场中的容灾备份占比一直较高，联邦政府的引导和存储业者的发展均发挥了至关重要的作用。加拿大联邦政府不仅注重容灾备份的社会倡导，而且积极打造政府部门的数据备份最佳实践。加拿大将容灾备份作为联邦网络安全宣传的重点话题之一，在联邦政府网络安全网站中出台针对存储备份的联邦政府指引，面向一般公众介绍存储备份的重要性和可选方式。此外加拿大政府还会开展政府数据的灾备与业务连续性审计，身体力行提升灾备水平和风险抵御能力。此外，加拿大政府与美国政府签订的《美加墨协定》框架下，跨境数据可在美国和加拿大之间流动而不受数据本地化要求限制，为加拿大存储备份产业数据中心服务美国市场消除了法律障碍。由于政策推动和自身的地理优势，加拿大存储备份产业发展活跃，不仅培育出众多本土细分领域冠军，而且吸引众多美欧公司将数据存储在加拿大。例如，全球云备份领导力排名第一的企业Asigra、数据备份SaaS独角兽Rewind等加拿大本土的备份企业发展迅速。再如AWS，在美国本土拥有6个存储区域的背景下，在加拿大专门设立了2个存储区域，远远超过美加的经济体量比 (约13:1)。

容灾备份投资占比较低的国家和地区近年来也采取积极措施提升容灾备份的渗透，未来提升进步空间巨大。以中国为例，早在2007年，国务院信息化工作就正式推出了《信息系统灾难恢复规范》(GB/T 20988-2007)，成为了中国容灾行业的第一个国家标准，然而从2020年的容灾备份投资占比和中国各行业的实际灾备保障实践情况来看，中国的数据备份投资依然存在巨大缺口。根据信通院相关统计数据，即便是在对数据风险容忍度最低的金融业，中国国有银行的平均备份情况也仅达到4级备份，异地容灾备份的比例仅30%；一般制造行业、政务平台和主要采取2级备份，高等院校甚至仅采取1级备份。综上，中国容灾备份行业未来的增长空间巨大，政府需要以更大的力度采取措施鼓励、敦促容灾备份在国计民生各个行业发挥应有的风险防控作用。

图3-12 中国主要行业容灾备份渗透率



资料来源:《中国数据灾备产业白皮书》

3.2.4 前沿保障：绿色先进实现可持续发展需求

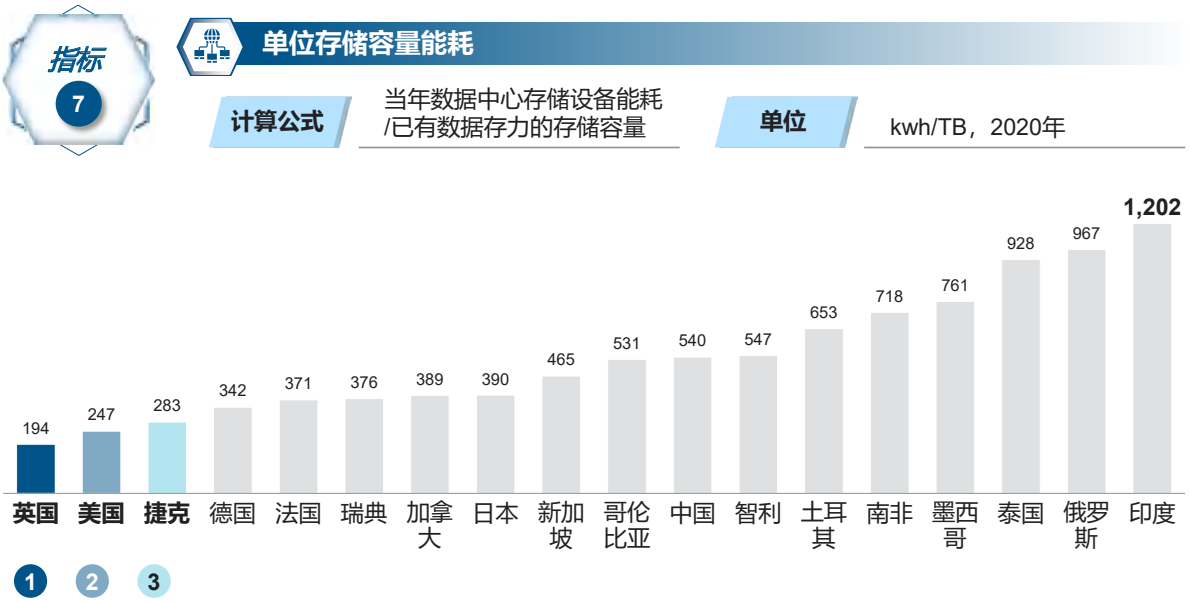
指标7 单位存储容量能耗

1) 指标解释与结果展示

存储设备导致的碳排放与日常使用过程中的能耗直接相关，在衡量绿色指标中，通过将存储设备一年耗电量除以总存储容量来进行不同国家和地区存储设备绿色性的比较，单位存储容量能耗越低，则代表数据存力碳排放低，更好支持社会实现节能减排。目前各个国家和地区尚未对存储设备的能耗进行统计，仍停留在数据中心耗电上，故而在计算中将基于数据中心的耗电量按比例折算至存储设备。

从结果来看，英国、美国、捷克等发达国家在单位存储容量能耗的表现较好。而巴西、印度等发展中国家与其差距可以达到10倍以上。

图3-13 各国单位存储容量能耗表现



资料来源：罗兰贝格分析

2) 指标结果分析与典型案例

数据中心作为能源消耗大户，在英国社会的能源消耗中占比始终较高。为了促进数据存力的绿色发展，英国政府关注数据中心的智能运维和存储技术迭代。在智能运维方面，英国政府推广绿色智能数据中心建设，并将数据中心节能与碳中和统筹规划，制定数据中心的碳预算，并要求数据中心在建设过程中匹配智能温控、气流管理、智能清洁等技术，提高数据中心的智能化运维水平。

另一方面，存储新技术的推广也有助于数据中心绿色化。比如闪存在相同容量下相对于HDD，电力能耗降低70%。再者，数据中心存算融合的出现大幅减少了数据中心搬移能耗，而传统以计算为中心的数据中心数据需要高频搬移，消耗了较大的资源。以快速傅里叶变化（FFT)计算为例，数据搬移的能耗占比超过40%。由此可见，对于数据中心能耗较高的国家和地区，推广全闪存、存算融合的数

据基础设施等一系列技术层面的政策也将有助于可持续发展。

但单位存储能耗的提升首先需要国家和地区明确绿色可持续发展的方向。印度是继中国和美国之后的第三排放大国，累计有1.34亿印度人生活在贫困线以下[48]。印度世界资源研究所专家Chirag Gajjar表示："印度节能减排的挑战在于，向低碳转型要公正，保证人们不会受苦。"故而印度等发展中国家目前在政府层面上施政理念还未完全实现转变，目前的首要目的仍旧是经济发展提升民众的生活水平，这也间接导致了其在绿色指标表现上相对不理想。

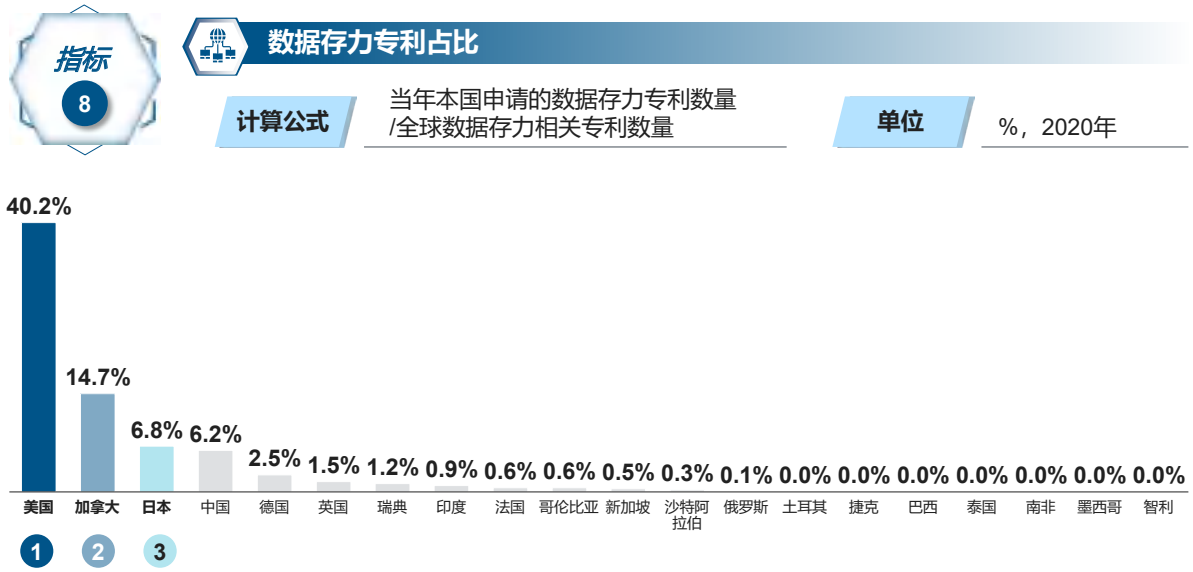
指标8 数据存力专利占比

1) 指标解释与结果展示

存储技术进步日新月异，存储前沿研究的突破需要通过专利申请来获得保护，并为后续转化应用奠定法律基础。本文统计了2020年全球美国、欧美、中国、日本、韩国等全球五大专利局数据接受到的"数据存储"、"存储器"等相关的专利申请量，并按照申请人注册地址区分国别。

2020年，全球企业和科研机构累计提交了328,817件数据存储相关的专利申请，其中来自样本20国的专利申请人提交了286,121件存储专利申请，占比85%。美国数据存储相关专利申请数量冠绝全球。2020年总部位于美国的企业和科研机构向全球五大专利局和世界知识产权组织(WIPO)等机构提交了132,242件有关数据存储的专利申请，占比40.2%。此外，加拿大和日本的存储专利全球占比也较多，分别达14.7%和6.8%。

图3-11 各国数据存力专利占比表现



资料来源：罗兰贝格分析

2) 指标结果分析与典型案例

美国存储器相关专利独步全球的地位源于其多年的积累。以闪存技术为例，奠定闪存发展基础的基础浮栅MOSFET器件于1967年诞生在美国贝尔实验室。遵循摩尔定律，芯片技术沿着特征尺寸缩小和晶圆尺寸扩大两个方向前进，芯片性能每18个月便会提升一倍。由于芯片研发的飞速迭代，意味着领先国家和地区始终可以更快研制出下一代芯片技术，其先发优势始终难以撼动，追赶着国家和地区始终无法与领先国家和地区在前沿领域竞争，从而使得存储器技术的演进表现出赢者通吃的特征。

美国的技术领先与国家和地区的大力支持息息相关。美国智库"信息技术和创新基金会"提出"营商环境"、"贸易、税收和监管环境"，"创新政策环境"等三者是一个国家和地区创新取得成功的关键。存储在2020年便被政府列为关键技术，政府不仅给予高度的政策资

金和税收支持，简化审批流程，并且大力发动社会的力量，鼓励社会资本和企业积极发挥其作用。同时，美国对于专利的保护源于宪法，最大程度保障开发者的技术所有权，鼓励其开发意愿。

然而，对于处在追赶地位的国家和地区并非全无机会。由于工艺不断进步，器件尺寸越来越小，晶体管中原子的数量已经越来越少，芯片制造已经接近物理极限难以进一步突破，因此摩尔定律可能最早于2025年达到极限。在摩尔定律逐渐失效的历史条件下，芯片发展的技术范式发生更迭，如果追赶国家和地区的前瞻性的存储器投资方向与产业发展方向一致，必然有助于追赶者国家和地区缩小与领先国家和地区的差距甚至弯道超车 。除了介质和架构的科研攻关外，从存储系统整体视角出发，新一代存储介质、架构发展日新月异，美国和加拿大等国家和地区是上述领域的佼佼者；但先进的存储介质需要匹配先进的存储应用和运维软件，也需要研发资源投入。以数据库系统为例，市场上主流存储系统的设计思路依托于上一代的内存和硬盘介质，大量指令用于内存缓存管理，读写延迟增加；未来随着闪存介质逐步取代机械硬盘，开发依托闪存NVMe SSD的存储系统无论是在研究议题的前沿性还是商业价值上看均具备很强的吸引力。此外，从可操作性角度看，存储系统软件的开发需要依托成熟的存储介质和技术，追赶者国家和地区反而有可能掌握后发优势。

在2020的统计中，中国申请人提交了20,426件存储专利申请，数量位居全球第4位，占比6.2% 。中国的主要的存储器芯片制造商中芯国际成立于2000年，迄今不过22年，长江存储等“后浪”企业更是于2016年才成立，而像存储设备整机厂商比如华为、浪潮、新华三等厂商在存储上的大规模投入也才十多年，但依旧可以在美日等国的专利壁垒下取得这样的成绩，展现了追赶者国家和地区的无限潜力。

04

行动倡议：

数据存力相关产业发展
离不开宏观环境支持

4.1 数据存力建设的意义

数据存力是存储数据的能力，它是以存储容量为核心，并考虑性能表现、可靠程度、绿色效能等多方面的综合能力。全球范围的数据存储产业从需求侧和供给侧看，都处在深刻变革的关键节点。

从需求侧看，数据要素与社会发展关联度日益紧密，数字经济和智能社会发展涌现出的新场景、新业态对数据存储提出更高要求。容量充足、性能突出、安全可靠、节能低碳的数据存力不仅有助于赋能千行百业的数字化智能化转型，而且可以为人民群众提供更便捷、流畅的数字生活体验，并提升政府公共服务能力。同时，随着数字基础设施中计算、网络的提升，存储也需要更高的性能与其进行适配，以更加坚实的数字基础设施支持数字经济的高速发展。

从供给侧看，提供更优质的数据存储挑战与机遇并存。存储介质、存储系统研发日新月异，以全闪存为代表的新一代存储技术正在崛起，要求数据存力领先者必须持续对最新技术趋势保持开放心态，并投入大量产学研资源巩固优势；而追赶者面对技术和市场壁垒，不仅需要以更大的力度充分整合自身资源，而且需要准确把握全球存储发展潮流，长期投入。无论数据存力领先者或追赶者，如果能克服上述挑战，都将解锁先进存储能力带来的巨大机遇：领先者可望巩固既有优势，激活更大的经济、社会、环境价值；新一代存力技术也为追赶者提供了历史机遇，使追赶者有望通过前瞻性布局有望实现弯道超车，进而重塑全球存储产业发展格局。

在各国的数据存力的发展中，政府部门举措对于促进数据存力发展重要且必要。首先克服数据存力的挑战需要从产业整体视角出发，长期耕耘。政府规划的引领和导向作用更能从长远角度整合产学研资源，从产业发展的整体视角促进存储产业生态形成合力此外，数据存储基础设施具有一定的外部性，在企业受益之外还有进一步的社会价值，值得政府出于公众服务的视角进行相应的保障性规划，将数据存力的红利最大程度地带给每个家庭和企业。

4.2 存力相关产业发展目标

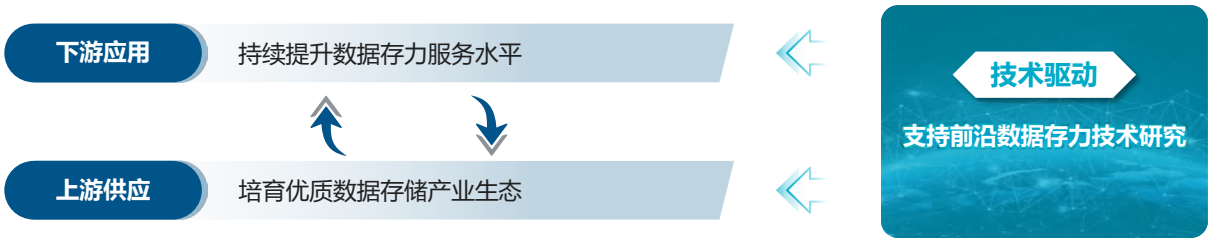
基于指标评测结果，各国数据存力虽各具特色，但仍有提升的空间，建议从持续提升数据存力服务水平、培育优质数据存储产业生态、支持前沿数据存力技术研究出发，进行数据存力相关的产业建设。指标体系主要从体量的充足和增长、效率的平衡和敏捷、保障方面的可靠、绿色、先进出发，而这一切的发展离不开从下游全方位提升数据存力服务水平。产业生态则可以提升自身产品的敏捷性和可靠度，以更高的水平服务产业。而数据存力的先进、敏捷、可靠、绿色都可以通过前沿的技术研究实现突破。

图4-1：从指标体系出发的数据存力建设方向建议

资料来源：罗兰贝格分析

同时，从产业环境发展角度，上述三大发展目标方向对应下游应用、上游供应、技术驱动三大方面。在打通上游数据存储产业链各环节后，高效的数据存力供应将支撑下游各类数据应用分析，创造社会经济价值。而下游各主体拥有更多的价值积累后，又会有富余预算投资数据存力，促进上游供应发展。技术则作为额外的生产力，赋能上下游的发展。三者协同，最终将实现经济社会高质量发展目标。

图4-2 数据存力相关政策发展目标与产业环境关系



资料来源：罗兰贝格分析

4.2.1 持续提升数据存力服务水平

下游产业作为直接的使用方和投资方，对于数据存力的建设拥有极高的话语权，服务水平的提升离不开对下游需求的满足和市场对于存力认知的提高。

从效果侧衡量，数据存力相关产业基础应与各国经济发展规模、数据生产规模相适应，提供充足和平衡的存储空间容量、以闪存等新一代存储技术为代表的先进存力来支撑数字经济发展的需求。同时还需要考虑到存储投资的远期支撑作用，促进数据存储相关投资金额逐年稳步增长以不断采用前沿的技术来支撑发展的先进水平。

从保障侧看，可靠和绿色是数据存力发展的底层基础。在容灾和备份存储设备上加大投入，提升应对风险和网络攻击的防御力和韧性，可以提升数据存力的可靠性。而在各国落实《巴黎协定》、纷纷出台碳中和路线图背景下，数据中心作为碳排大户，必然也必须选择绿色化发展之路。

4.2.2 培育优质数据存储产业生态

数据存储是信息的起始和终点，优质数据存储产业生态不仅将会赋能数据存力发展，而且还会驱动更大范围的社会经济衍生影响。

要培育优质的产业生态环境，首先从数字基础设施的支撑配套角度，数据存力需要与算力等其他数字基础设施相关能力协同发展，避免与计算、网络等基础设施发展水平的不匹配造成资源浪费和效率的低下。

另一方面，数据存储产业生态的丰富性将影响到上游供应的质量。各类市场主体要在当地的政策规定范围内积极提升供给的水平。行业一方面需要龙头企业凭借雄厚的资金实力和资源积累，发挥带动效应，引领存储行业整体发展；另一方面也需要存储产业链上下游的中小企业共同创建具备韧性的供应链，携手共同推进先进数据存力理念，如全闪存配置、低能耗数据中心、容灾备份投资等在全社会渗透普及。

4.2.3 支持前沿数据存力技术研究

科学技术是第一生产力，全球存力发展领先的国家和地区如美国、加拿大等，普遍重视数据存力的前沿基础研究，同时注重产学研高效转化。前沿技术基础研究应当成为数据存力追赶者国家和地区的主要着力点之一。从技术上看，全闪存技术方兴未艾，未来一段时间将会持续成为先进存储的代表性技术路线。从理念上看，绿色存储设计和运维将会是“摩尔定律”趋近极限背景下未来数据存力研发的主要投资方向。从应用场景上看，数据存储的日常场景下的经济性、应急场景下的可靠性是企业制定存储战略、做出存储决策的关键考虑因素。

4.3 数据存力发展高阶行动倡议

4.3.1 规划制度

大数据时代全球竞争逐渐激烈，各国纷纷出台大数据相关的政策提升国家和地区竞争力。在这种情况下，数据存力作为支撑大数据产业发展的重要环节，同样需要相应的制度政策全局进行规划。

从产业本身发展看，各国政府应尽快编制出台适应时代环境的数据存储产业专项发展规划或引领性指导意见。从存储产业发展的规律来看，闪存是先进生产力的代表，未来闪存逐步替代大部分机械硬盘的趋势日益明显。占比相对低的国家和地区应考虑加强

对以半导体全闪存技术为核心的数据存储行业企业培育扶持政策设计，推动核心技术攻关，研究建立高质量数据存力的国家和地区规范和标准。

经济社会高质量发展需要数据存力、算力、网络的连接力等数字基础设施领域一起协同发展。从存力的支撑配套角度看，政府应在相应的数字基础设施建设、数据安全保护法等相关大数据产业战略中进行整体规划，避免配套设施的欠缺影响数据存力的输出创造。

4.3.2 专项扶持

从供应角度看，数据存力涉及产业链广泛，上至晶圆制造、整机生产，下至系统集成、数据应用等。为集中提升产业发展效率，培育创新的本土企业、专业人才，政府可考虑建设以存储产业为核心的园区集约发展，打造一批存储产业集中的高新技术示范区，择优支持一批示范企业和项目，加快数据存储技术的发展和数据存力的建设普及，借助数据存力护城河打造数字经济核心竞争力。从制造的角度出发，韩国、日本等存储核心出货国家和地区在地区内均建设了相应的生产园区，配套提供税收优惠、出口便利等集中支持。而像美国这样的存储系统大国，在马萨诸塞、加利福尼亚等地拥有综合数据存储相关产业基地，区域内除涵盖存储主机、容灾备份等供应厂商外，地方政府就近布局数据中心打通产业链供应链。同时区域内毗邻大学和研究所，支持技术的不断更新。

从需求角度看，数据存力对于整个经济社会的发展拥有积极意义，数字时代的红利应惠及更多受众。针对城市治理、社会民生等公共性较高的数据存力应用场景中，政府应主要完善公共存力资源供给，推动公共存力泛在应用，降低使用成本。从企业经济生产中，数字化的提升亦可提高资源利用效率，降本增效。但由于产业发展的不平衡，制造业、零售业等行业中中小企业较多。针对此，政府可丰富资本与中小企业对接渠道，并鼓励行业龙头企业为中小企业提供相应服务。

4.3.3 市场培育

目前市场对于存力的认知尚有欠缺。纵使拥有存力的企业，对闪存、灾备等前期部署成本较高的采购态度谨慎。此时，政府可率先发挥示范作用，在推动政务云、智慧城市等

场景，或者数据中心基础设施建设中，以身作则，重视高效率、绿色、安全数据存力的建设，从而引领千行百业，化解数据安全风险，应对数字经济时代挑战。

同时科技作为第一生产力，产业应发挥领军企业、顶尖科研院所、高校的创新带领优势，开展存储全产业链的产学研一体化试点合作。目前数据存力相关领先技术主要集中在北美、日韩、中国，各区域应推进数据存储产业国际交流与合作，积极参与数据存储国际规则和技术标准制定。

数据存储作为高新技术产业，其发展离不开丰富的行业人才储备。建议从数据产业国家和地区战略布局的角度，系统加强数据存储行业人才保障。一方面发挥高校的人才教育机制、另方面鼓励产学研联合培养兼具专业理论与行业知识的复合型中高端人才。

附录1：数据存力指标体系

存力指标体系主要目的是衡量和评估区域内数据中心数据存储建设水平，从使用端的性能表现和运作端的保障出发，拆分除体量、效率、基础保障、前沿保障四大维度，并进一步给出具体的测算指标，全面分析数据存储对数据中心的支撑能力。白皮书主要展示了基于宏观数据库统计的区域发展层结果，而在数据中心层和存储设备层，使用者可根据实际情况自行进行指标测算，衡量目前的发展水平。

图附录-1 数据存力指标体系

		区域发展层	数据中心层	存储设备层
使用端性能指标	体量衡量	• 充足：单位GDP存储容量、数据存力充足性 • 增长：存储投资增长率	• 存量：数据中心存储容量、数据存力充足性 • 增量：存储投资增长率	• 可用容量：原始容量、可用容量、有效容量、存力体量效率 • 可扩展性：扩容设计预留量
	效率衡量	• 平衡：存算比 • 敏捷：闪存占比	• 平衡：存算比、存力使用率 • 敏捷：闪存占比	• 性能：速度-IOPS、吞吐量 延时-响应时间
运作端保障指标	基础保障	• 可靠：灾备覆盖率	• 可靠：事前-灾备覆盖率、事后-RTO、RPO • 经济：单位存储拥有成本	• 可靠：MTBF、MTTR、可用度 • 经济：单位容量价格
	前沿保障	• 绿色：单位存储容量能耗 • 先进：数据存力专利占比	• 绿色：存储设备能耗水平 • 智能：智能存储功能丰富度、存储API开放程度	• 异构兼容性：支持的存储协议、连接方式、性能测试

资料来源：罗兰贝格

区域发展层指标

体量衡量

一方面需要保障体量的充足性，拥有与数字经济发展程度和总生产数据量相匹配的数据存储体量，支撑数字经济开展。单位GDP的存力容量以GB/万美元为单位，基于当地数据中心数据存储设备容量除上当年区域GDP产值将不同区域的数据存力容量进行可比比较。数据存力充足性则为数据存储设备容量在当年区域产生的数据总量中的占比，区域产生的数据量主要以企业生产端创造的数据为主，单位为%。

另一方面需要持续投入保障存储体量增长与数据生产要素增速匹配，存力投资增长率计算2017年到2019年三年中有关存储投资的复合增长率，暂未考虑疫情下的异常表现，单位为%。

效率衡量

一方面需要保障平衡性，提升数字基础设施整体利用效率。通过存算比考量算力、存力两大高相关资源协同发展程度，单位为GB: GFLOPS。

另一方面，高效的存力需要敏捷的存储设备支持，闪存作为业界公认的领先生产力，其部署能更好满足数字化加深对于数据的保存和调用效率的要求。闪存占比为当年用于闪存投资额/当年总体数据存力投资额，单位为%。

基础保障

安全稳定是数据存储的基础要求，拥有较高的灾备覆盖率能更好应对各类意外，持续保障数据不丢失，业务不中断。其计算方式为当年容灾和备份的投资额除以当年数据存力总投资，单位为%。

前沿保障

一方面，领先国家和地区的数据中心正在向绿色节能方向发展，单位存储容量能耗将衡量存储基础设施的使用能否取得最大化的能源效率和最小化的环境影响。计算方式为当年数据中心存储设备能耗除上已有数据存力的存储容量，单位为kwh/TB。

另方面存储产业仍在不断发展，需要不断的技术研究投入保障生产力先进性。数据存力专利占比计算方式为当年本国企业申请的数据存力专利数量除上全球数据存力相关专利数量，单位为%。

数据中心层指标

体量衡量

一方面需要保障体量的充足性，保障数据中心提供的总体存力体量对于业务产生各类数据的有效保存和支撑的能力。数据存力充足性计算公式为存储容量/企业高峰数据量预计，单位为%，其中存储容量为数据中心拥有的各类存储设备容量加总，单位一般为EB。

同时，数据中心需要持续投入保障存储体量增长，更好支撑数字化转型加速。存储投资增长率计算公式为当年存储投资除以去年同期投资额，单位为%。

效率衡量

一方面需要保障平衡性，提升数字基础设施整体利用效率。通过存算比考量算力、存力两大高相关资源协同发展程度，单位为GB: GFLOPS。同时存力使用率可以衡量存储设备本身的使用效率，计算公式为已占用存储容量除以总可用存储容量，单位为%。

另一方面，高效的存力需要敏捷的存储设备支持，闪存作为业界公认的领先生产力，其部署能更好满足数字化加深对于数据的保存和调用效率的要求。闪存占比为当年用于闪存投资额/当年总体数据存力投资额，单位为%。

基础保障

安全稳定是数据存储的基础要求，反应企业抵御数据破坏性事件并在事后快速恢复的能力。事前的防备可以使用灾备覆盖率，计算方式为当年容灾和备份的投资额除以当年数据存力总投资，单位为%。事后可以用RTO和RPO衡量。RTO即时间恢复目标，指从故障发生导致业务停顿之起到IT系统恢复至可支持各部门运作、恢复运营所需的时间，单位一般为小时。RPO即恢复点目标，指故障发生后数据可以恢复到的时间点。

经济指标衡量企业在存储上投入的成本，涵盖存储设备外的人工、能耗等总体拥有成本，计算公式为总体拥有成本(TCO) 除以容量，保障不同体量数据中心的可比性，单位为美元/GB。

前沿保障

一方面，领先国家和地区的数据中心正在向绿色节能方向发展，单位存储容量能耗将评估数据中心综合能耗水平和可持续发展能力。计算方式为当年数据中心存储设备能耗除上已有数据存力的存储容量，单位为kwh/GB。

另一方面智能化是目前存储产业较为前沿的研究方向。可以衡量智能存储功能的丰富

度，如数据加密、审计日志、快照、异步复制、元数据检索等功能能否实现。同时可以衡量存储API开放程度，计算公式为存储功能上已开放API接口除以所有存储相关的可用API接口，单位为%。

存储设备层指标

体量衡量

一方面需要保障体量的充足性，保障数据中心提供的总体存力体量能满足生产活动中的数据存储需求，是对上层数字化支撑力度的反映。存储容量又分为原始容量、可用容量和有效容量。原始容量为存储系统配置的物理容量，可用容量为在此基础上减去用于RAID保护、元数据等功能后剩余的容量，而有效容量则为写入系统的数据量除以占用的容量再乘上可用容量。三者单位皆为PB或者TB。以此可以计算存力体量效率，即(有效容量+可用空闲容量)/原始容量，单位为%。

同时存储设备需要拥有一定的扩展性，应对业务数据量的增长，轻松扩容。扩容设计预留量计算公式为预留节点数乘上单个节点硬盘数量再乘上各硬盘容量，单位为PB或者TB。

效率衡量

性能是数据存力在具体的数据读写中的表现，衡量其对于业务产生各类数据应用需求满足的水平。常见的性能指标包括IOPS、吞吐量和响应时间，单位分别为次、MB/s、秒。

基础保障

安全稳定是数据存储的基础要求，存储产品应较少或不出现故障，能持续地支持业务。MTBF(平均故障间隔)指每两次相邻故障之间的工作时间的平均值，MTTR(平均修复时间)指将有缺陷的部件或系统恢复工作秩序所需要的平均时间，两者单位分别为天和小时。

经济衡量企业在具体存储设备上的投入费用，计算方式为存储费用除以总容量，单位为美元/GB。

前沿保障

随着数据中心架构越发复杂，存力能否支持不同的操作系统、管理程序、应用软件将影响到数据中心的顺畅性，需基于具体数据中心需求进行系统性规划。比如支持的存储协议和网络链接方式。

附录2：参考文献

1. IDC全球数据圈 (一种衡量在任何给定年份中创建、捕获或复制多少新数据的方法)
2. 西部数据
3. IDC (2020) '全闪存数据中心'
4. IEA analysis based on Masanet et al. (2020) and Malmodin (2020)
5. 高工锂电
6. Masanet, Eric, et al (2020) 'Recalibrating global data center energy-use estimates'
7. OECD (2020) '数字经济展望', 亚洲开发银行, 牛津大学 (2017) '数字溢出', 中国信通院 (2020) '数字经济白皮书'
8. OECD (2017) '数字经济展望'
9. Rostow, W. W (1960) 'The Five Stages of Growth-A Summary' 文章详细证明了工业时代的基础设施 如何助力经济实现腾飞
10. European Commission (2020) 'Commission work programme 2021- from strategy to delivery'
11. Bughin, J., E. Windhagen, J. Mischke, P. Sjatel and B. Gürich (2019) 'Innovation in Europe: Changing the game to regain a competitive edge'
12. European Commission (2020) 'Shaping Europe's digital future'
13. Federal Republic of Germany (2021)' Datenstrategie der Bundesregierung'
14. 美国商务部 (2020) '关键和新兴技术国家战略', 美国参议院 (2021) '创新与竞争法案'
15. 刘元春 (2020) '2035和十四五经济增长目标如何量化'

16. 沙特阿拉伯 Data & AI Authority (2020) 'National Strategy for Data and AI'

17. IDC, SEAGATE, Azure, Enterprise Storage Forum, Nutanix

18. 根据中国国家统计局数据估算

19. Eurostat (2021) ' Freight transport statistics'

20. 谷歌公司无人驾驶汽车首席开发人员塞巴斯蒂安·斯伦

21. 西部数据 (2021) '汽车行业工作负载白皮书'

22. 中国工程院院士、中国互联网协会咨询委员会主任 邬贺铨

23. S&P Global

24. 美国得克萨斯州交通研究所

25. RMS, 哥伦比亚大学, 南安普顿大学, L.E.K.

26. 华为 (2020) '全球连接指数，量化数字经济进程 2020'

27. IDC (2020) '全闪存数据中心'

28. ISO/IEC 27 040 SNIA (2018) ' Storage Security: Data Protection'

29. Gartner, IDC

30. Chang, Liang, et al (2021) 'Energy-efÞcient computing-in-memory architecture for AI processor: device, circuit, architecture perspective'

31. IC智库

32. Maneas, S., Mahdaviani, K., Emami, T., & Schroeder, B. (2020) 'A Study of {SSD} Reliability in Large Scale Enterprise Storage Deployments'

33. 专家访谈，Masanet, Eric, et al (2020) 'Recalibrating global data center energy-use estimates'

34. 易华录D-BOX行业数据

35. 华为(2021) '数字化转型，从战略到执行'

36. 专家访谈，Masanet, Eric, et al (2020) 'Recalibrating global data center energy-use estimates'

37. 中国商务部

38. 中国四川省人民政府 (2021) '四川将建设中国"存储谷" 剑指全球最大 '

39. 中国工信部 (2021) '新型数据中心发展三年行动计划 (2021-2023年)'

40. 沙特通信和信息技术部

41. 西部数据

42. 希捷数据 (2020) '数据新视界'

43. European Commission (2021) " Digital Economy and Society Index (DESI) 2021 France"

44. United States White House (2022) 'Critical and Emerging Technologies List'

45. 中国工信部 (2021) '新型数据中心发展三年行动计划 (2021-2023年)'

46. South Africa Department of Telecommunications and Postal Services, Republic of South Africa (2016) 'The National Integrated ICT Policy White Paper'

47. South Africa Department of Communications and Digital Technologies, Republic of South Africa (2021) 'Electronic Communications Act: National Data and Cloud Policy'

48. 美国皮尤研究中心

49. Robert D. Atkinson (2020), ' Understanding the U.S. National Innovation System'

50. Asir Intisar Khan et al (2021) 'Ultralow–switching current density multilevel phase-change memory on a ßexible substrate', Science

51. PatSnap Database

关于我们

华为创立于1987年，是全球领先的ICT（信息与通信）基础设施和智能终端提供商，我们致力于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。目前华为约有19.5万员工，业务遍及170多个国家和地区，服务30多亿人口。

罗兰贝格管理咨询公司成立于1967年，是全球顶级咨询公司中唯一一家始于德国、源自欧洲的公司。我们拥有来自34个国家的2400名员工，并成功运作于国际各大主要市场。我们的50家分支机构位于全球主要商业中心。罗兰贝格管理咨询公司是一家由近250名合伙人共有的独立咨询机构。