



中国科技绿色化发展报告

徐勤、程轶、张希、魏金程、陈果、钱俊彦、孙川

2023年5月

更多免费行业报告

并购家

www.ipoipo.cn

目录

前言	1
1. 科技绿色化发展势在必行、迫在眉睫	3
1.1 生态环境层面：直面数字技术对绿色化的影响	3
1.2 可持续发展层面：思考科技投入背后的实际效果	3
1.3 国家层面：科技绿色化助力国家实现净零承诺	5
1.4 企业层面：从绿色化视角审视数字化核心竞争力	5
2. 检视现状、全面评估，洞悉企业科技绿色化成熟度	7
3. 明确原则、提炼举措，规划科技绿色化建设路径	9
3.1 一盘棋思想，找准科技绿色化建设方向	9
3.2 一揽子举措，因地制宜地开展科技绿色化建设	9
结语	29

中国科技绿色化发展报告

前言

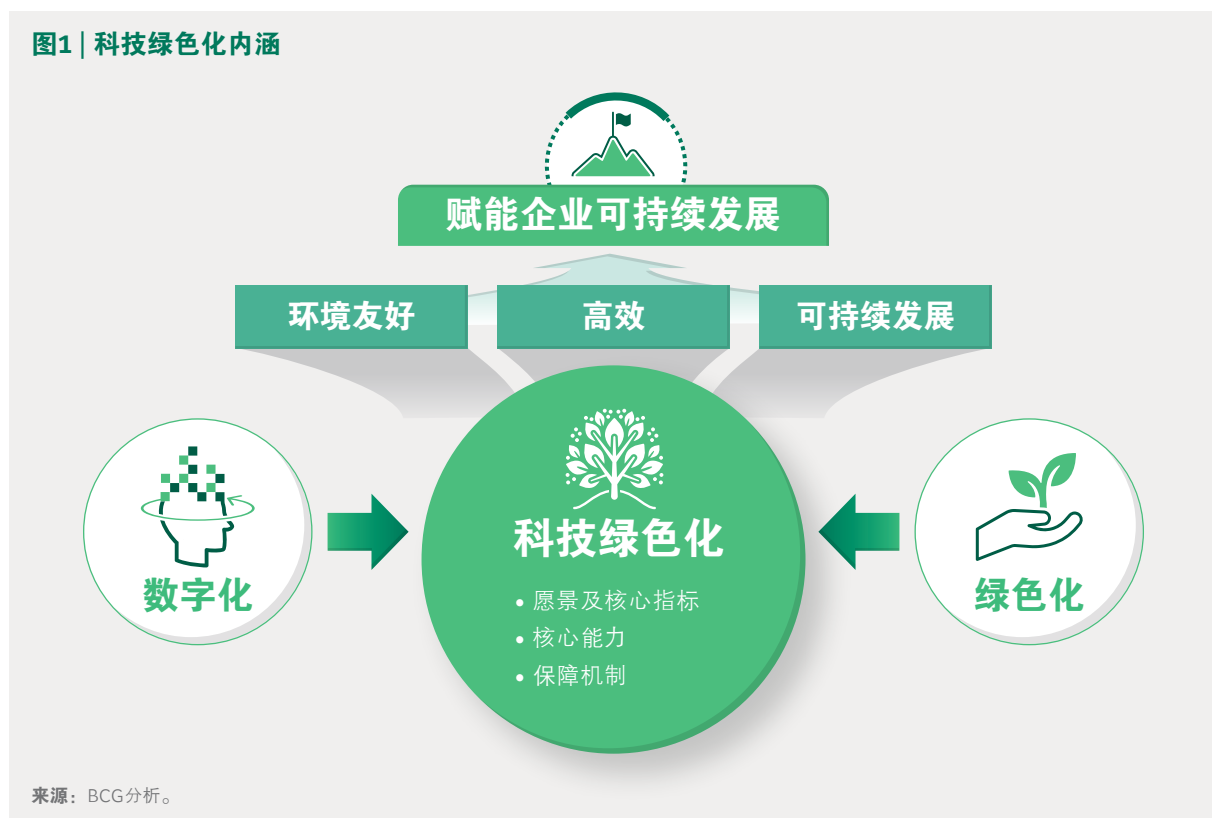
“明者因时而变，知者随事而制”，在双碳目标及宏观波动性上升的大环境下，科技发展也需“绿色”新思路。如何在数字化转型中兼顾绿色化，实现数字化与绿色化双转型、双协同，是企业科技发展过程中亟待解决的问题。然而，一部分企业仍处于数字化和科技能力建设初期，尚未意识到科技绿色化的必要性和紧迫性；另一部分企业虽已意识到其重要性，但仍不清楚应采取何种举措实现科技绿色化。

本报告是波士顿咨询公司 (BCG) 针对中国企业科技能力建设发布的第二份报告，将在顺承上一份《世界级企业科技能力中国灯塔——中国模式和案例研究》报告的基础上，进一步聚焦中国企业在数字化、绿色化浪潮下开展科技绿色化建设的必要性，从科技绿色化的愿景及目标、核心能力建设、保障机制等多个维度，为企业实现科技绿色化提供洞察视角、评估框架及举措建议，助力高瞻远瞩的行业领袖和领先企业充分拥抱数字化与绿色化的商业价值与社会价值，降本增效的同时促进节能减排、提高科技效能、提升企业的品牌影响力，最终助力企业可持续发展。

科技绿色化一词由来已久，但其内涵却随着时代发展而不断推陈出新、与时俱进。自1992年美国环境保护署首次在“能源之星”项目中提出科技绿色化一词以来，科技绿色化已经历了近30年的发展历史。在2008年金融危机后，科技绿色化顺应企业开源节流、快速恢复元气的需求，主要聚焦降低科技建设成本和减少能源消耗，迎来一波发展小高潮。而随着全球净零之路行稳致远、数字化与绿色化发展日益密不可分，科技绿色化在当下又被赋予了更为丰富的时代含义，将重点聚焦于科技自身如何进一步绿色化、高效化，从而更加可持续地为国家与企业的发展带来源源不断的动力。

在全球积极实践净零行动的大背景下，BCG基于丰富的行业实践以及对于中国市场环境的理解，将科技绿色化定义为“兼顾数字化与绿色化要求，实现科技更加环境友好、高效、可持续发展，并最终赋能企业可持续发展的过程”，此概念同时包含了一系列以科技视角切入的关键举措，包括设定科技绿色化愿景及核心指标、加强核心能力建设、完善保障机制等（参阅图1）。

图1 | 科技绿色化内涵



1. 科技绿色化发展势在必行、迫在眉睫

1.1 生态环境层面：直面数字技术对绿色化的影响

人工智能 (AI)、云计算、区块链等先进数字技术的蓬勃发展，在高效赋能国家与社会发展的同时，也带来了大量的能源消耗及不断攀升的碳排放。例如，仅训练单个AI模型所产生的二氧化碳排放量相当于五辆汽车整个生命周期的排放量，而训练生成式AI (AIGC) 这种大型AI模型产生的二氧化碳排放量将更加惊人。同时，5G和数据中心作为数字技术大发展的坚实底座，对环境的影响是全社会必须直面的问题 (参阅图2)。每一家身处数字化和绿色化大潮的企业都需要提高意识、做出行动。

图2 | 5G和数据中心的耗能及碳排放情况

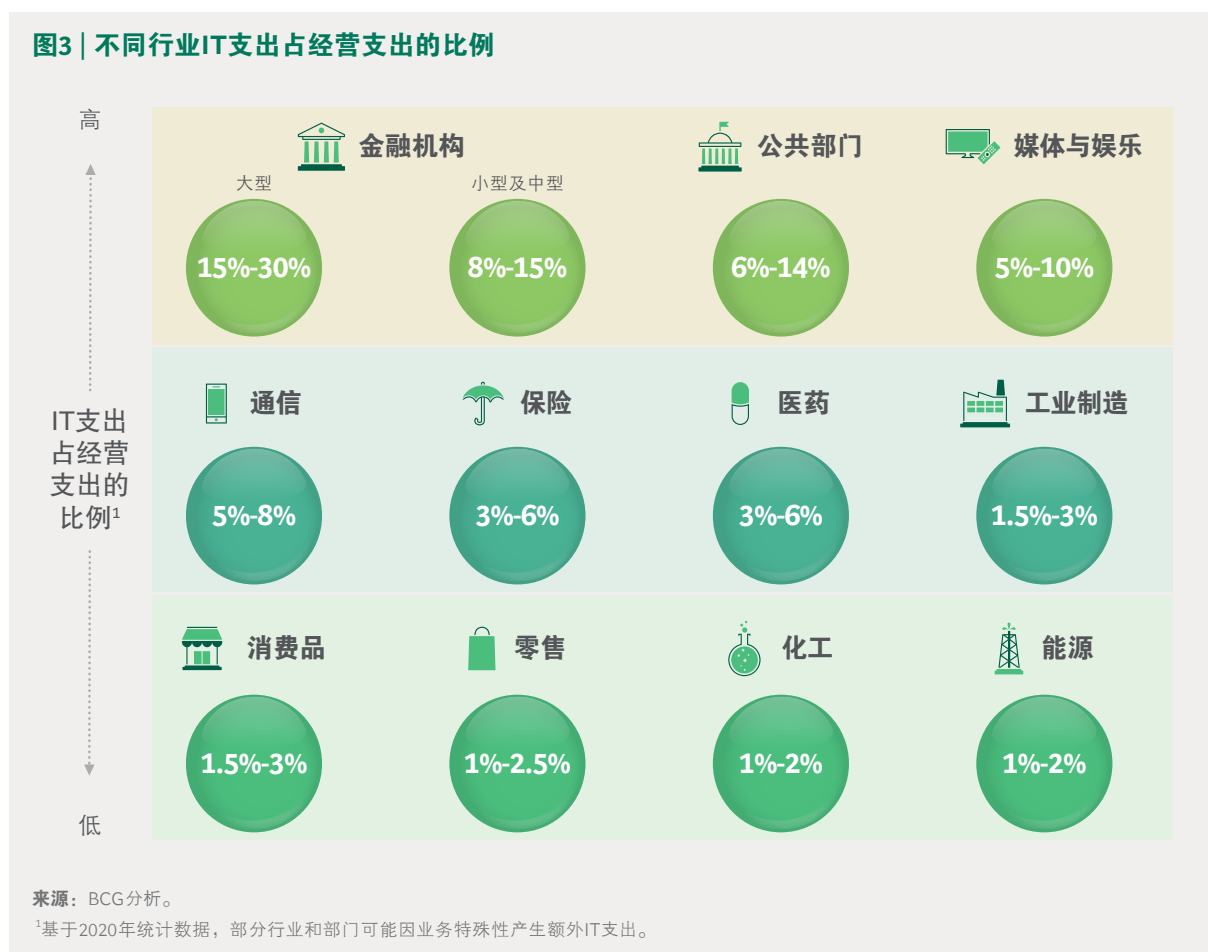


1.2 可持续发展层面：思考科技投入背后的实际效果

相较于数字基础设施对环境带来的显性影响，科技投入边际效用递减、无序建设导致的资源浪费等为企业带来的影响更为隐性、却同样深远，在系统复杂度与IT成本迅猛增长的背景下，通过科技绿色化进行IT成本精益化管理刻不容缓。

企业领袖需要平衡科技的高投入与真产出。一段时间以来，企业的科技建设呈现出投入不断扩大、增速持续加快的特点，各个行业的IT支出在经营支出中均占据不小的比例（参阅图3），其中金融、公共部门和媒体与娱乐相关机构的投入占比最高。除了上述真金白银的投入，大刀阔斧的科技组织架构建设、运营模式优化等“软性”建设同样需要投入巨大的人力、物力成本，而如此高投入背后的科技产出效率成为企业领袖们亟待关注的新课题。且据BCG于2022年7月在全球范围内开展的一项调查发现，企业对于继续扩大IT投入的态度已愈加谨慎，在展望2022年时，约82%的企业预计IT支出将会上升；而预测2023年的情况时，仅有75%的企业认为IT支出仍将继续上升，已有15%的企业预计IT支出将有所下降，为近年来首次。分析其背后的原因发现，企业希望通过降低IT支出来应对潜在的经济衰退与市场波动。可见未来企业在IT建设方面将更加注重投入与产出的平衡，以应对高波动性、高复杂度的市场环境。

图3 | 不同行业IT支出占经营支出的比例



无序科技应用带来高风险与高成本。此外，“野蛮生长”的科技建设方式，也在切实地增加着企业的风险暴露和经营成本。例如，在缺失企业架构指导的情况下，有些企业未妥善平衡业务需求与IT建设、经营收益与IT成本，系统建设较为割裂，不仅降低了IT基础架构的安全性，还增加了系统运维成本、产生了大量数据孤岛、降低了IT资源利用的有效性。

1.3 国家层面：科技绿色化助力国家实现净零承诺

目前中国生态文明建设已经进入以降碳为重点战略方向、推动减污降碳协同增效、促进经济社会发展全面绿色转型、实现生态环境质量改善由量变到质变的关键时期。企业积极开展科技绿色化建设，是推进绿色智慧生态文明建设，践行数字化、绿色化协同发展要求的必由之路，将为中国早日实现净零目标、促进可持续发展提供充足动力。

1.4 企业层面：从绿色化视角审视数字化核心竞争力

科技绿色化将从减少排放、降低成本和提升效率三方面为企业带来积极影响 (参阅图4)，从而助力企业数字化更加高效，绿色化更加深入。

图4 | 科技绿色化在减排、降本、增效方面均将为企业带来显著提升

	价值	方式	具体描述及示例	示例，非穷举
减少排放	~90%	云与虚拟化	通过部署虚拟服务器可减少碳排放~88%；通过使用SaaS服务可以减少碳排放~87%	
	~20%	建设可持续的软件与硬件	构建云原生软件；软件与硬件设计模块化	
	~90%	加强数据中心绿色化管理	通过共享数据中心资源，使用可再生能源，利用AI等数字技术进行数据中心智慧运营	
	~40%	优化供应商选择与设备采购环节	选择环境友好的供应商；IT设备采购时考虑能耗	
	~40%	加强IT设备生命周期绿色化管理	增加IT设备使用寿命，减少非必要的额外设备购买；合理进行设备回收与利用，减少直接报废	
降低成本	~20%-40%	开展并优化企业架构设计	通过提前全局规划企业架构，减少不必要的系统重建和新建，降低后续沟通成本；积极实践云原生架构，最多可节省40%的基础设施建设运维成本	
	~10%-15%	提升IT实施过程自动化程度	利用RPA、AI 和智能机器人，减少非必要的人工操作	
	~5%-15%	提高应用程序共享及应用过程管理	提升应用程序标准化和可共享程度，降低定制化带来的额外成本；及时退出冗余的应用程序	
	~15%-40%	优化IT管理及工作模式	强化IT队伍专业技能，优化队伍管理及工作模式，例如采用远程、灵活办公等形式	
提升效率	~5x	优化运维模式	结合AI、虚拟增强现实等数字技术，人均运维设备数量大幅提升，故障定界定位时间也从30 分钟以上大幅降低至分钟级	
	~1-5x	优化算力分配方式	云计算下，计算资源分配周期急速缩短，服务器利用效率提升	
	~2-3x	推进微模块产品建设	采用预制模块化数据中心解决方案，改串行建设为并行建设，大大缩短实施周期	

来源：BCG项目经验；BCG分析。

- **减少排放：**从编程语言到数据中心，科技相关的碳排放“相对低调”却同样不容忽视。开展科技绿色化建设，将为企业在节能减排方面带来明显收效，助力企业实现碳中和目标。
- **降低成本：**科技绿色化既有助于降低因无序建设、重复采购带来的显性成本，也有助于降低人力资源占用导致的人效下降等隐性成本。
- **提升效率：**通过科技绿色化建设，企业在运维、资源分配、项目建设等多方面的效率将得到显著提升。

科技作为连接先进数字技术与业务应用场景的重要桥梁，其自身的高效、有序运行，将是企业数字化能力持续提升、不断夯实的重要手段。同时在宏观波动性持续上升的大背景下，提高科技自身的灵活性和可扩展性，也将大大增强企业应对波动的能力，从而更行稳致远地提升数字化能力。

科技绿色化将见微知著地影响整个企业的绿色化进程。在国家、社会、投资人日益关注并践行绿色发展理念的今天，企业发展科技绿色化，既是承担社会责任的必要选择，也是满足投资者绿色投资需求的必然之举。放眼海外市场，据BCG在欧洲发起的一项科技绿色化调研发现，50%的企业首席信息官（CIO）将科技绿色化视作巨大发展机遇，必须立刻开展行动。海外领先企业已悄然开展科技绿色化布局，国内企业的领袖们更需要高瞻远瞩，洞悉趋势，牢牢掌握绿色化赛道的先发优势，树立领先的绿色企业形象。

然而，正如任何新理念都将对当前的“舒适圈”发起挑战一样，企业开展科技绿色化建设同样面临诸多待克服的阻碍：

挑战一：理念上尚未意识到科技绿色化的重要性和必要性。一部分企业仍专注于“孤立地”追求数字化转型，尚未关注数字化与绿色化协同发展的重要性，未意识到IT对环境、经营成本及经营效率的影响。

挑战二：评价上暂无合适的评估框架与评估维度。另一部分企业虽然已意识到数字化与绿色化协同的价值，但缺乏对自身科技绿色化成熟度的了解或仅限于定性感知，难以进行精准的定位及未来路径图设计。

挑战三：行动上缺失行之有效且全面的解决方案。科技绿色化涉及到科技工作的多个方面，面临复杂现状及未知前景，部分企业缺失全局性的工作方法或缺少必要的工具支持，导致行动受阻。例如，部分企业已清晰意识到数据中心正在消耗大量能源并带来高额排放，但由于缺失绿色数据中心建设路径，并担忧旧模式迁移对业务连续性的影响和新技术潜在的风险和安全问题，企业出于整体战略考虑而对绿色数据中心优化升级持观望态度。

2. 检视现状、全面评估，洞悉企业科技绿色化成熟度

科技绿色化打开的不仅是科技发展的新局面，更是企业在碳中和大环境下前进的新机遇。处在数字化浪潮以及碳中和新变局中的企业，在科技绿色化发展的壮阔蓝图下，应先反观自身、精准定位，再对症下药、稳扎稳打。

为此，BCG为企业提供了洞悉自身科技绿色化成熟度的评估框架（参阅图5）。在具体展开成熟度评估的过程中，将结合企业内、外部发展要求，通过与最佳实践进行横向比较，与自身过往发展水平进行纵向比较，描绘企业科技绿色化建设成熟度热力图，并明晰速赢项目与长期建设项目，让科技绿色化建设有迹可循。

图5 | BCG科技绿色化成熟度评估框架



- **科技绿色化愿景：与时俱进，愿景引领。**科技绿色化愿景能够彰显企业净零及可持续发展的决心在科技领域的实践程度，需要承接并融入企业的数字化和IT战略。
- **科技绿色化核心指标：量体裁衣，承上启下。**需要形成定量及定性相结合的具体指标，为衡量企业科技绿色化愿景及目标落实情况提供抓手。
- **企业架构：因势利导，统筹布局。**应基于统筹规划视角进行企业架构规划，强调架构治理的重要性及必要性，并从绿色发展视角制定上云策略与云原生架构设计。
- **系统：有序开发，绿色运维。**应采用可持续的方式进行系统开发及系统运维。

- **数据：价值驱动，高效存管。**应选择覆盖数据全生命周期的数据资产管理方式，实现数据合理存储，高效传输。
- **数据中心与IT设备（IT基础设施）：多措并举，智建慧管。**聚焦数据中心规划设计、运营管理，以及IT设备从生产、采购、使用到处置全生命周期的绿色化程度。
- **科技绿色化治理：内化管理，外化行动。**应强化绿色人才管理及团队建设，优化IT管理和工作模式，定期监测并评估科技绿色化目标及指标实现情况，监督并推进企业科技绿色化工作的落实。
- **科技绿色化生态伙伴合作：内外兼顾，协作共赢。**应强化科技绿色化生态建设，包括积极“引进来”绿色的合作伙伴，以及主动“走出去”进行价值输出及生态体系建设。

3. 明确原则、提炼举措，规划科技绿色化建设路径

3.1 一盘棋思想，找准科技绿色化建设方向

1) 全局性原则：自上而下、统筹思考

正如科技战略与规划需要全局思维，推动科技绿色化同样离不开全局视野，需要企业持续提升“算大帐”的能力。我们相信全局洞察后的有序建设才是推动科技绿色化建设的良方。

2) 有序性原则：区分轻重缓急、平衡投入与产出

有些项目周期长、但紧迫性相对低，有些项目却可通过“短平快”的建设取得立竿见影的效果。企业领导者需要掌握项目建设有序性原则，合理分配资源，平衡好成本与收益，推动速赢项目和长期项目相结合。

3) 适用性原则：量体裁衣、因地制宜

不同行业、不同企业自身数字化和科技能力的基础不同，面临的外部环境也不同。如金融行业，天然面临着更为严格的数据管理、核心系统本地化部署要求，再叠加企业自身不同的可持续发展战略和IT战略，需要选取适合自身的科技绿色化建设路径及举措。

3.2 一揽子举措，因地制宜地开展科技绿色化建设

1) 科技绿色化愿景：与时俱进，愿景引领

建议从环境友好、高效、可持续三个维度进行愿景描画，并与企业数字化和IT战略形成有效衔接。

- **环境友好：**关注科技规划、建设及迭代过程对环境及气候的影响，重视科技建设与环境保护协同发展。
- **高效：**提倡科技高效化运行，通过合理规划、有序布局，最大化科技对业务发展的赋能。
- **可持续：**重视科技精益化管理，优化科技投产比并提升边际效用。

此外，愿景设计可采用短期目标与长期目标相结合、投入与产出相结合、参考国际标准/框架与自行设计标准相结合的方式，使其具备可执行性与落地性。

- **长短期目标相结合：**设置有明确期限及范围的短期愿景，以快速迭代、迅速提升；同时设置与数字化和IT战略高度相关的长期愿景，以锚定发展方向。
- **投入与产出相结合：**在设置具体产出要求时同步设置具体预算目标，从而为愿景实现提供必要的资源支持及动力保障。据BCG在欧洲发起的一项科技绿色化相关调研发现，约25%的CIO宣称其所在组织已为科技绿色化设置明确预算支出比例。“兵马未动，粮草先行”，此举将为科技绿色化成功推进奠定良好基础。
- **内外标准相结合：**目前国内外虽然还尚未出台针对科技绿色化建设程度的认证标准，但相关机构或组织在部分领域已形成明确的标准，例如绿色数据中心建设标准等，可作为企业制定自身指标的参考依据。此外，企业还可以根据自身发展要求探索并自建相关标准，同时利用自身影响力在行业内积极推动标准的推广与应用。

2) 科技绿色化核心指标：结果导向，量体裁衣

在具体指标选择方面，参考BCG DAI数字化转型成熟度指标和TSI价值体系、BCG全球数字化转型评估指标库等评价体系，结合BCG科技绿色化评价指标体系及项目经验，建议企业设定科技绿色化相关的定量及定性核心指标（参阅图6）。

图6 | 科技绿色化核心指标示例



3) 企业架构：因势利导，统筹布局

• 从全局视角出发统筹规划

企业架构建设需要考虑适用性。企业架构是对复杂信息系统 (IS) 的全景展示，因此企业架构规划更适用于业务相对丰富、信息系统建设现状相对复杂的企业。

全局规划企业架构将为企业带来显著的成本节降效果。BCG 通过分析众多企业架构实际建设案例后发现，相较于未规划企业架构的公司，开展企业架构建设的公司年均IT成本最多可下降20%，且IT解决方案设计的报错率明显下降，直接降低了相关迭代、优化的成本，提升了IT项目的效率，实现绝大部分IT项目在预算范围内完成交付。

• 实现高效的架构治理

为了确保企业架构切实发挥全局管理、有序建设的作用，需要开展企业架构治理，主要包括企业架构设计原则和架构管控两部分。

企业架构设计原则是用于分配IT资源和资产的公司级规则与指南，主要包括创造更多价值、数据驱动决策、提升投产比和更快迭代四方面，并可进一步拆解为12大原则（参阅图7），为架构团队、项目经理等提供重要参考标准。

图7 | 12大企业架构设计原则



来源：BCG分析。

¹ “良好的实践”准则和规章的总称。“x”表示一个特定的领域：临床 (GCP)、生产 (GMP)、分销 (GDP)、实验室 (GLP)、农业 (GAP) 等。

架构管控是指导架构团队遵循建设原则并把控项目预算的国际良好实践，主要在**优化资源投入、提升IT效率、降低IT成本**三方面为企业带来积极影响。

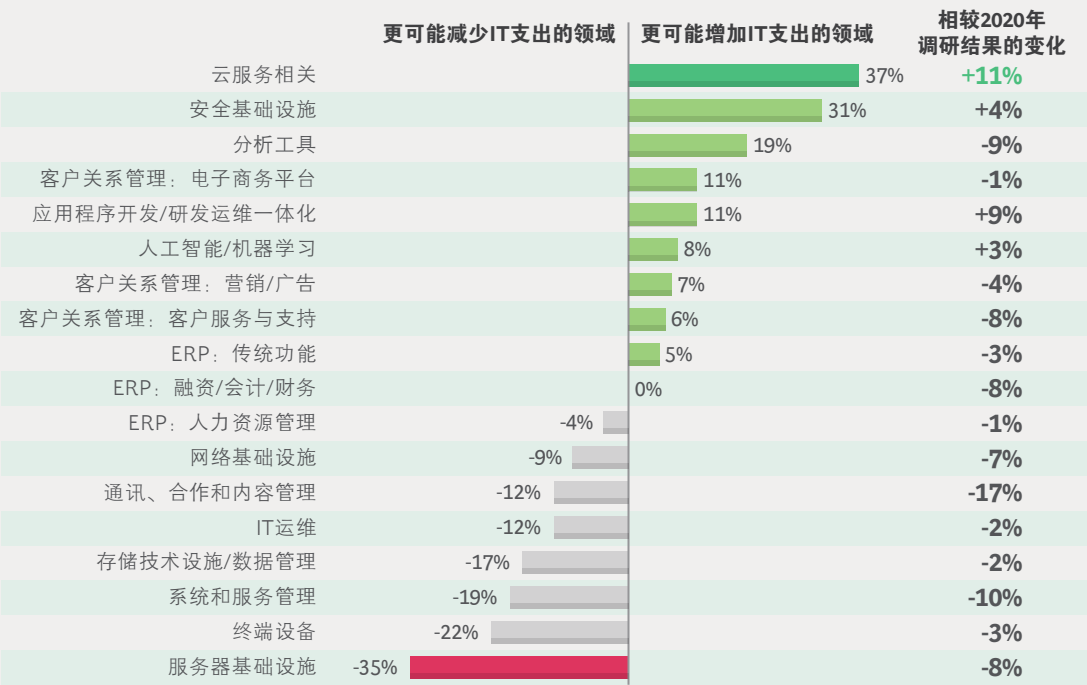
- **非必要投入减少15%到30%**：最优化建设和运维投入，对于通用的系统或设备，考虑外购而非自建；避免项目建设存在重复或重叠的内容；简化IT环境并减少不必要的**数据拷贝与传输**，从而优化运行成本。
 - **上线时间缩短7%到15%**：通过使用业务平台，避免重复工作；充分利用信息系统中已部署的解决方案加速项目建设，例如应用程序编程接口（API）管理、单点登录（SSO）、微服务等。
 - **运维成本降低15%到30%**：通过采用云部署降低硬件维护成本；依靠更有效的数据管理降低软件维护成本等。
- **探索上云策略，实践云原生架构**

应用云服务契合科技绿色化要求。云服务相比本地化服务而言，将带来显著的减排增效效果。据科技市场研究机构IDC预测，仅仅是工作负载向云迁移，在未来四年间将减少6.29亿吨碳排放。2020年，通过使用云计算减少的二氧化碳总量，相当于减少了近2,600万辆燃油汽车上路，或者减少3,900亿公里的行驶里程，这超过了目前所有特斯拉电动汽车碳影响总和的15倍。此外，云计算特有的敏捷计算资源调度、算力弹性配置等特点，在帮助企业降低成本的同时大幅提高了资源利用率。

国家及企业在“上云”方面已纷纷开展行动。2018年，工业和信息化部印发《推动企业上云实施指南（2018—2020年）》，指导大型企业可建设私有云来部署数据安全要求高的关键信息系统，中小企业和创业型企业可按需使用公有云平台，以获得存储、计算、网络等基础设施资源。据BCG于2022年7月发起的一项调查来看，加大云服务投入成为企业共识。高达37%的受访企业预计将加大在云服务领域的投入，且这在众多投入领域中的增幅最大，与之相对应的，35%的企业认为在传统服务器上的投入将减少（参阅图8）。无论企业选择何种云部署方案，均应秉持企业架构全局规划理念，有序搭乘“上云”的“高速列车”。

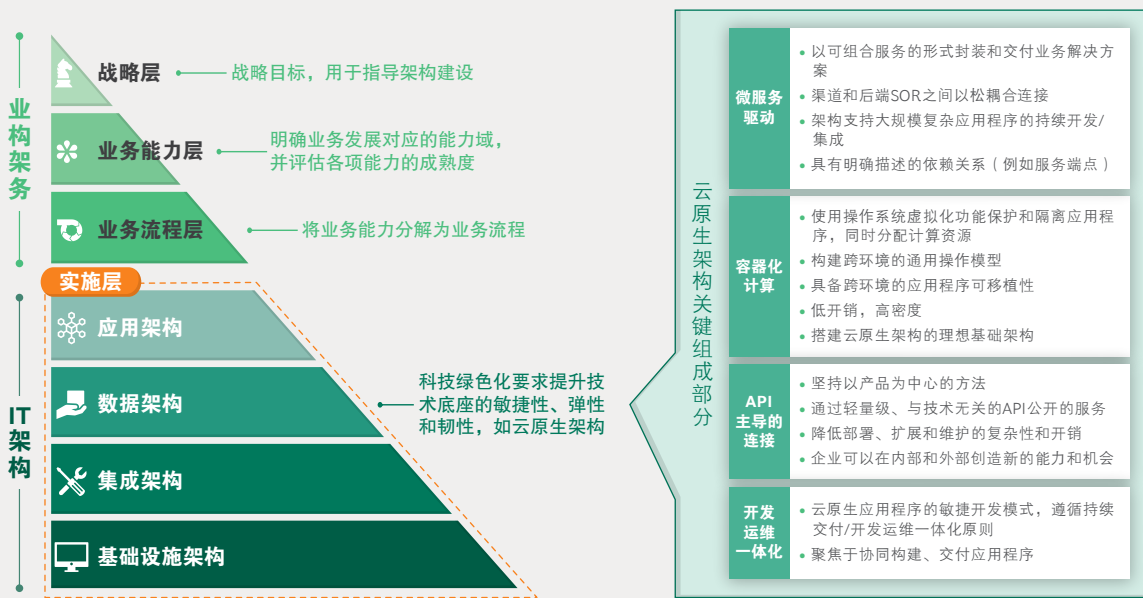
企业应对未来云计算市场保持敏锐洞察，从架构规划出发自上而下合理布局。云原生架构为科技绿色化发展提供更多可能性，从而更高效地利用云计算高弹性、按需部署、灵活调配等特点。云原生架构作为领先架构和软件开发模式的组合，通过云计算服务设计和构建可扩展、高弹性、高效率和自动化的系统，以组合服务的形式为企业提供解决方案，从本质上是一种以微服务驱动、具备容器化能力、由API主导、可支持开发运维一体化的模式（参阅图9）。

图8 | 企业对于未来一年的IT支出展望



来源：BCG全球IT购买者调查4.0，2022年7月；BCG分析。

图9 | 云原生架构为IT架构建设带来新思路



来源：BCG分析。

各个行业在云原生架构方面均开展了一定的探索与实践，各企业结合行业要求、业务复杂度等特点，在“上云”路径选择上百花齐放：

案例一

国内某领先国有银行自2015年开始，以金融云平台及分布式体系建设工程为抓手，开展广泛的云原生技术应用探索。进入2020年后，该银行从技术架构入手进行迭代更新，至2022年初基本形成云原生生态，实现“两地三中心”的超大规模资源池化管理和秒级弹性伸缩，核心应用上云率达到100%。通过部署云原生架构，该银行在核

心系统升级、高并发业务场景服务支撑、资源集约化管理等方面均取得显著进展，初步建成了基于开放平台体系的核心银行信息系统，并面向国内外分行及子公司提供基础设施资源、中间件及监控运维能力，通过资源池化大幅提升资源供应速度和利用效率。

案例二

国内某横跨制造、金融、物流多行业的领先集团，选择与公有云厂商强强联合，协作上云。该集团拥有300多家实体企业，遍布在20多个国家和地区，管理数字化和智能化诉求紧迫。该集团制定了“全面上云”的策略，希望通过现代化的基础架构，支撑业务发展，降本增效；并通过广泛而深入的云服务，实现云上创新，带动企业

转型创新，支持新兴产业布局。该集团先后上云了近百个企业级应用，包括SAP系统、仓库管理系统、客户关系管理系统（CRM）、供应商关系管理系统（SRM）和费用控制系统等，将核心应用和数据集中部署至公有云。利用云基础架构实现更高的效率、更快的响应速度和更低的成本，每年成本节约可达20%。

案例三

国内某领先集团企业选择自建私有云，确立了“云优先，智生长”技术战略。全集团系统上云比例超过99%，上云应用系统共计800多个，该私有云的平台即服务（PaaS）及软件即服务

（SaaS）产品序列在集团内部已经覆盖了26个业务单元，整体的资源交付效率提升432倍、基础设施成本降低30%、项目建设效率提升70%、项目建设成本降低45%。

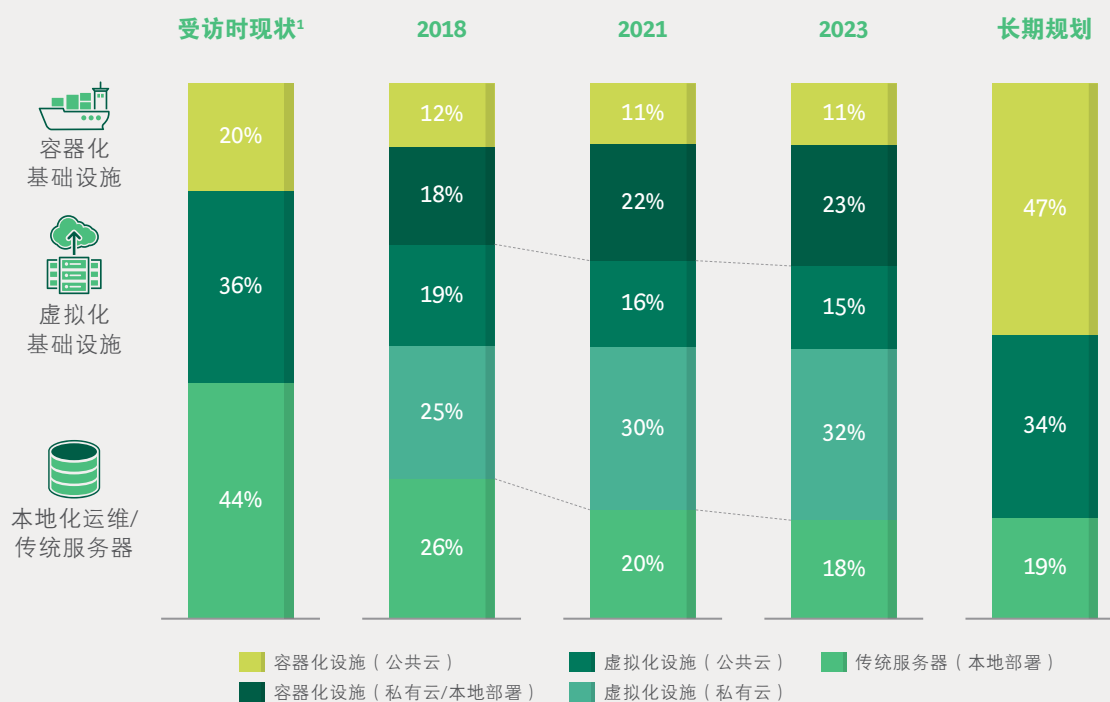
综合来看，积极探索云策略并实践云原生架构将为企业带来以下五方面积极影响：

- **提高弹性与灵活性。**企业可根据业务需求快速调配所需IT资源。应用实例秒级弹性扩容的特性，能够为企业提供可靠、高效响应的抗流量冲击能力，例如铁路12306系统使用云平台支持购票需求，在春运、国庆等购票高峰期申请额外IT资源，从而保障系统在高峰期的稳定运行。
- **降低科技建设成本。**据中国信息通信研究院调查统计，95%的企业认为使用云计算可降低IT成本。使用公有云服务时，无需自建机房及采购硬件设备，也无需投入额外人力进行机房巡检与维护，大大降低了IT基础设施建设投入。此外，从财务角度来看，此举可将原有资本性支出转变为经营性支出，优化财务结构。

- **实现资源最优化利用。**传统IT基础设施建设需要一个系统部署一套底层基础设施(如服务器、存储设备等)，而云计算可以按照计算单元进行算力分配。企业可充分利用本地和异地灾备中心的闲置算力资源，进行“两地三中心”内算力的灵活分配、调用，实现计算资源的即用即用、弹性伸缩。
- **加强资源使用追踪能力。**云服务可为企业提供实时、透明、可追踪的资源使用情况。
- **提升标准化及共享能力。**云原生架构可以根据统一的技术标准，规范应用的开发标准。高度标准化的技术将为业务可持续发展打下良好基础。

展望未来，从部署方式上看，公有云发展前景广阔，而本地部署的传统服务器占比将逐步下降并趋于稳定；从服务模式上看，基于公有云的容器化基础设施和虚拟设备将占据绝大部分市场(参阅图10)，企业应结合所处行业面临的监管要求、业务特点、终端客户需求、云技术发展方向等多方面因素，定制适用于自身的“上云”策略。

图10 | 未来传统IT基础设施及云基础设施发展趋势



来源：软件定义基础设施调查；专家访谈；BCG分析。

注：百分比已四舍五入，部分总和不为100%。

¹基于不同行业客户的长期专家访谈观点。

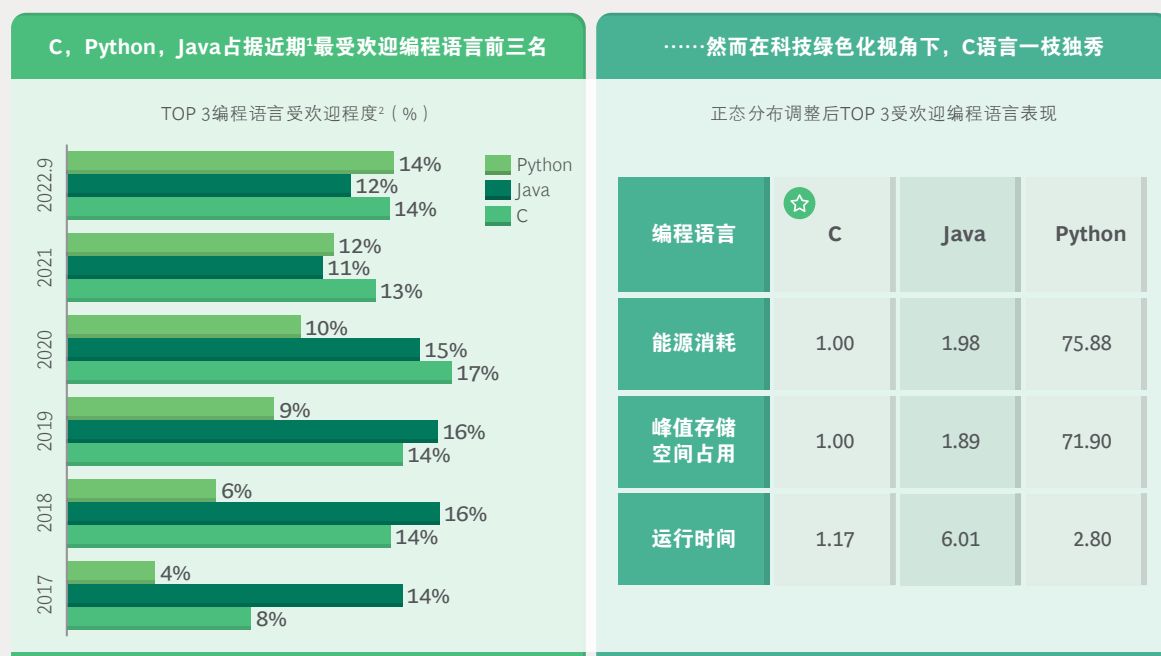
与此同时，企业应意识到“上云”并非意味着一劳永逸地实现了科技绿色化，在铺就的蓝图上持续耕耘同样不可或缺。针对系统建设、数据管理、数据中心和IT设备低碳等方面的绿色化建设将在后文逐一展开详述。

4) 系统：有序开发，绿色运维

• 选择更绿色的编程语言

编程语言的选择对于节能减排、提升效率有显著影响。据2017年一项关于编程语言的研究发现，仅从科技绿色化视角来看，各类编程语言在能源消耗、峰值存储空间占用和运行时间三方面的表现差异巨大，可见仅是优选编程语言一项工作将为企业带来显著的积极影响（参阅图11）。此外，在编程时主动删除未使用的函数和循环等举动，将通过降低物理服务器和系统的能源负载为科技绿色化带来有效裨益。

图11 | 编程语言受欢迎程度及绿色化程度比较



来源：TIOBE; Energy Efficiency across Programming Languages: <https://greenlab.di.uminho.pt/wp-content/uploads/2017/10/sleFinal.pdf>, 2017年10月; BCG分析。

¹根据TIOBE公布的2022年1月至9月数据。

²基于TIOBE公布的月度数据进行算术平均后得到年度数据。

• 适当应用虚拟化技术

适当应用虚拟化技术，将有效提升系统使用及管理效率。随着企业业务复杂度、时效性、灵活性要求的不断提升，业务对于技术的要求也日益朝着敏捷化、高弹性、可扩展方向发展，技术也从传统的服务器、虚拟机，逐步向容器技术及面向未来的无服务器模式大踏步演进（参阅图12）。企业在进行系统使用及管理的过程中，应注重对虚拟化技术的应用，从而简化配置流程，实现可扩展性与高共享性。

图12 | 在新兴的云计算和容器技术的推动下，市场正转向更高的抽象层级

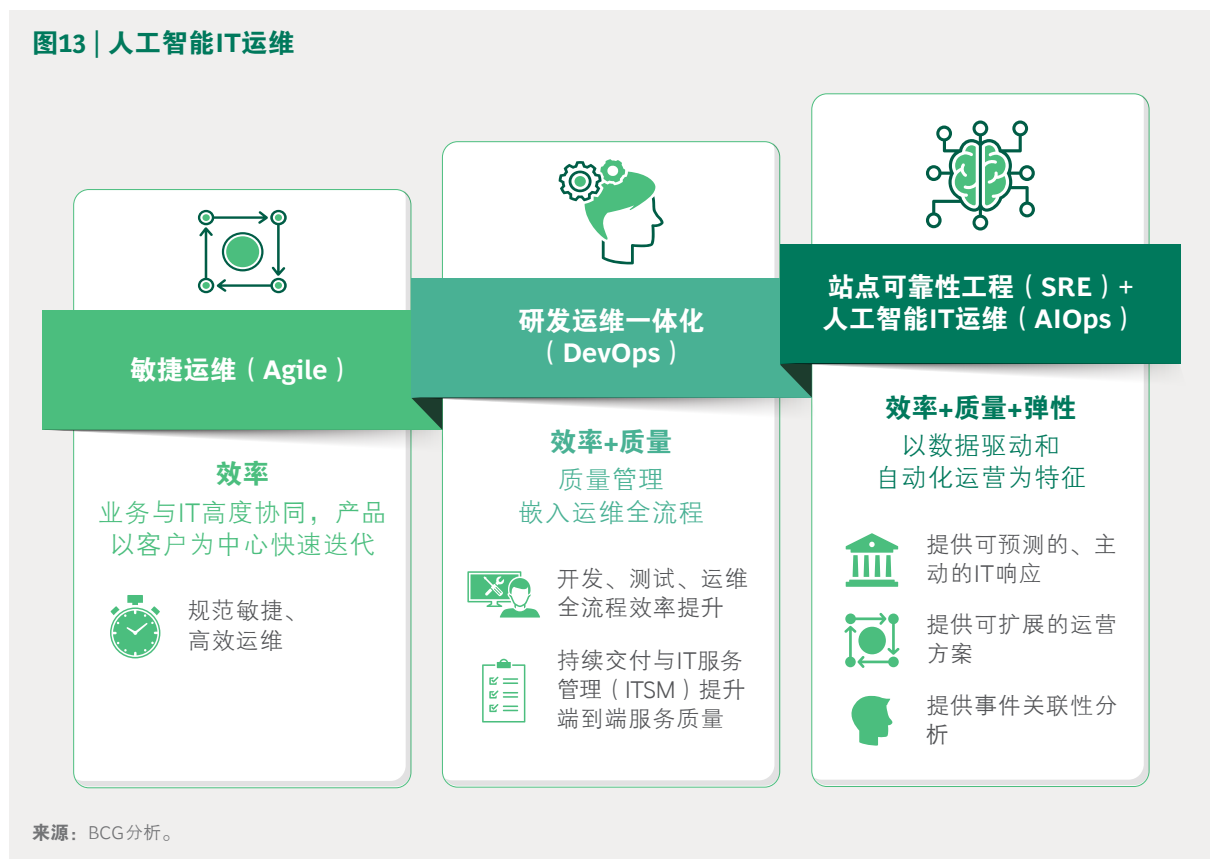


来源：BCG 分析。

• 系统运维更加敏捷、高效、高弹性

智能运维的思路与科技绿色化的理念不谋而合，是企业在开展系统运维升级时应考虑的方向。随着信息化系统广泛微服务化、容器数量大幅增加、外部服务日均调用量指数级上升，系统建设及运维的复杂度、困难度快速上升，迫切需要运维模式迭代升级，因此以更敏捷、更有效、更高弹性为目标的站点可靠性工程（SRE）+人工智能IT运维（AIOps）应运而生（参阅图13）。

图13 | 人工智能IT运维



SRE + AIOps是DevOps在运维侧的高阶实现，是以提升科技弹性为目标，通过大数据、数据分析和机器学习等先进数字技术，实现IT运营和监控过程的自动化。核心应用场景包括应用程序表现监控、IT基础设施运行情况监控、IT事件分析、网络运行情况分析及诊断等，可为企业提升质量保障、成本管理和效率。

- **质量保障：**通过智能辅助定位功能，可以自动发现和定位问题根源，将问题的定位分析时间从原来的数十分钟降低到数分钟，大大提高应急处理水平。
- **成本管理：**结合BCG过往项目经验，自动化运维通过减少总运维需求数量 (ticket numbers)、提升流程和团队处理时间、减少外部供应商花费三方面，预计将节省20%到30%的运维成本。
- **效率提升：**通过应用AIOps，可提升数据分析效率，以快速、深入挖掘客户需求。例如，某全球知名的视频流媒体服务提供商和卡内基梅隆大学合作探索网络视频运维领域的AIOps方案，实现了从海量数据中分析用户体验不佳的规律和瓶颈，并可基于预测模型来指导关键性能指标的优化，进而改善用户体验。

5) 数据：价值驱动，高效存管

• 选择适合、高效的数据资产管理方式

随着数字化转型不断深入、数据资产概念的不断普及，聚焦数据资产管理更加灵活、更敏捷的数据运营 (DataOps) 理念正在逐步受到关注。DataOps 是一种覆盖数据全生命周期，面向数据产生者、数据管理者和数据消费者，满足不同角色的需求，并以数据资产价值最大化为目标的数据管理模式。

针对数据开发者：提供敏捷数据开发技术，通过低代码、可视化等技术减少流程障碍、缩短开发周期。

针对数据管理者：提供数据全生命周期管理以及开发治理一体化方案。

针对数据使用者：提供自助式数据服务，减少沟通成本，实现更敏捷的数据应用。

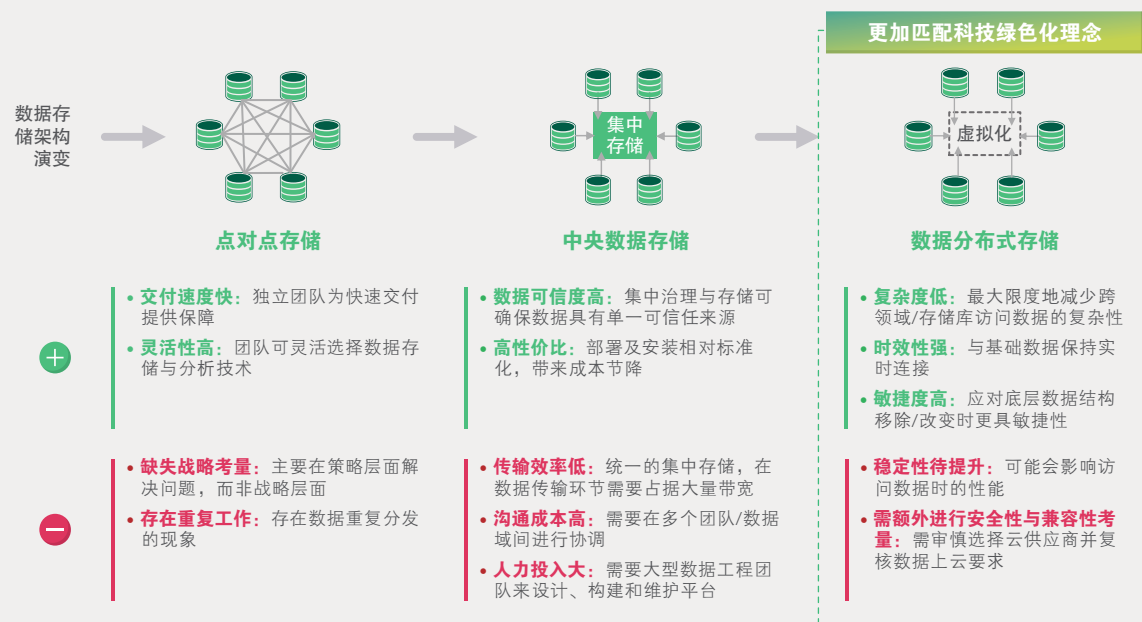
2022年中国信息通信研究院正式牵头启动了DataOps的标准建设工作，以此为基础推动中国大数据产业的多元化发展。在实践上，科技巨头和数据公司纷纷响应，逐步探索DataOps的具体应用场景。国内某互联网科技公司正在开发云端的一站式数据开发治理平台，融合了包含数据集成、数据开发、任务运维的全链路DataOps数据开发能力，以及数据地图、数据质量、数据安全等一系列数据治理和运营能力，将有效帮助企业在数据构建和应用的过程中实现降本增效，数据价值最大化。通过提供涵盖数据即时分析、数据任务可视化编排、运维等在内的全链路数据开发能力，该平台可帮助企业数据开发门槛降低60%。

• 合理选择分布式数据存储方案

顺应时代发展，数据存储方式不断迭代升级。随着各行业数字化转型持续加速，结构化和非结构化数据正在以几何倍数暴增。据预测，到2025年，全球数据增量将达到175 ZB，相当于65亿年时长的高清视频内容，由此带来的数据存储能源消耗、数据孤岛问题不容小觑。回顾数据存储技术的发展历程，主要经历了点对点存储、中央数据存储以及以存储虚拟化为基础的分布式存储的转变。具体来看，后者更符合科技绿色化的发展视角 (参阅图14)。

结合数据特点，合理选择分布式数据存储方案。自上世纪60年代开始使用数据库存储数据以来，随着数据量的指数级增长以及IT技术的不断进步，数据存储的方式也在不断更新换代——从2000年的数据仓库、2008年的数据湖，再到2020年以来的湖仓一体化。对企业而言，根据数据特征、调用频率、使用场景等匹配合适的存储方式至关重要 (参阅图15)。分布式存储具有前期投入成本低、可伸缩性高、灵活性强的特点，一方面有利于提升数据使用效率，另一方面将有效降低数据存储成本。企业可通过数据安全分级管理进行数据分类分级，在确保数据安全、合规的基础上优选储存方案。

图14 | 数据存储架构演变



来源：案头研究；BCG分析。

图15 | 基于数据特点及使用需求选取适当的存储方式

数据存储方式	线下存储	业务应用程序	内存数据库	数据仓库	数据湖	湖仓一体化
特点	访问频率低 储存成本低	利于组织内 协作及管理	适用于 实时数据处理	储存成本较高 本地存储	储存成本较低 灵活性较高	适合云环境 满足实时处理需求
数据类型	结构化数据	结构化数据	结构化数据	结构化数据	非结构化数据	结构化数据与 非结构化数据
数据 算力要求	不适用	云计算 本地部署 边缘计算	云计算 本地部署 边缘计算	云计算 本地部署	云计算 本地部署	云计算 本地部署
数据 调用要求	文件读取	API 集成报表	API 集成报表	API 集成报表 数据备份 文件读取 基于事件的调用	API 集成报表 数据备份 文件读取 基于事件的调用	API 集成报表 数据备份 文件读取 基于事件的调用

来源：案头研究；BCG分析。

- **通过边缘计算实现数据高效传输**

边缘计算技术将帮助企业从可靠性、低延时、成本优化三方面提升数据传输表现。

- **可靠性：**主要体现在即使在低连接的环境下，依然可以确保有效数据访问，例如，在远程矿井中应用工业物联网时，需要边缘计算技术来确保连接的持续性。
- **低延时：**边缘计算使得海量数据不再需要上传至云端处理，避免了网络堵塞，大大降低了网络延时，可有效缩短响应时间，从而促进近乎实时的决策和行动。典型应用场景包括自动驾驶技术，可根据收集到的路况数据帮助汽车对海量数据进行实时分析与处理。此外，边缘计算因具备低延时、可为所有设备提供高质量交互式体验的特性，也成为未来元宇宙发展必不可少的技术之一。
- **成本优化：**边缘计算可通过在本地处理更多数据来优化计算支出，这对于视频企业和游戏企业而言尤为重要。例如，边缘计算产业联盟 (ECC) 与 5G 云游戏产业联盟 (5GCCA) 在 2020 边缘计算产业峰会上宣布开展战略合作，边缘计算将助力游戏行业全面提升游戏体验，实现游戏画面只需在网络中传输必要的渲染指令，在端侧进行渲染，进一步缩减网络成本。

6) 数据中心和IT设备：多措并举，智建慧管

作为耗能大户的数据中心和数量众多的IT设备是数字化转型的重要支撑，在科技绿色化建设过程中扮演着重要角色，亟待进一步实现绿色化与可持续发展。

在政策引导上，自2020年起，工业和信息化部办公厅、国家发展改革委办公厅等六部门连续三年联合发布的《关于组织开展国家绿色数据中心推荐工作的通知》中，面向电信、互联网、公共机构、能源、金融、电子商务等数据中心重点应用领域，提出了《绿色数据中心评价指标体系》，包括五大方面、17个细项指标 (参阅图16)，明确了对数据中心绿色化建设的指导要求。

2021年底，国家发展改革委等四部门印发《贯彻落实碳达峰碳中和目标要求 推动数据中心和5G等新型基础设施绿色高质量发展实施方案》，提出“坚持集约化、绿色化、智能化建设，加快节能低碳技术的研发推广，支持技术创新和模式创新”。

2022年2月，“东数西算”工程正式全面启动，建设八个国家算力枢纽节点，并规划了10个国家数据中心集群。

2022年8月，工业和信息化部等七部门联合发布《信息通信行业绿色低碳发展行动计划(2022—2025年)》，要求到2025年，全国新建大型、超大型数据中心电能利用效率(PUE)降到1.3以下，5G基站能效提升20%以上，改建核心机房PUE降到1.5以下。

图16 | 绿色数据中心评价指标体系

序号	指标	权重	序号	指标	权重
一、能源资源高效利用情况			三、能源资源绿色管理		
1	电能利用效率 (PUE)	60	9	能源使用管控	4
2	设计指标达标情况	3	10	水资源使用管控	2
3	IT设备负荷使用率	3	11	节能诊断服务	2
4	可再生能源使用比率	2	12	第三方评测	2
5	水资源利用效率	2	四、设备绿色管理		
二、绿色设计及绿色采购			13	电器电子产品有害物质限制使用管理	2
6	绿色先进适用技术产品应用	7	14	废旧电器电子产品处理	2
7	清洁能源利用系统	5	15	废弃物处理	2
8	绿色采购	2	五、加分项		
			16	可再生能源电力消纳、绿色电力证书消费、余热回收、电池梯级利用等综合能源利用	3
			17	标准等绿色公共服务	2

来源：《关于组织开展2020年度国家绿色数据中心推荐工作的通知》。

在实施效果上，各行业纷纷投身绿色数据中心建设，数据中心的平均PUE也在逐年下降。据中国数据中心工作组（CDCC）发布的《2021年中国数据中心市场报告》统计，2021年度全国数据中心平均PUE为1.49，相较于2015年2.2的水平已有显著提升。不过也需要认识到，与国际领先实践PUE在1.2到1.4的水平相比，仍有一定的差距。

分行业来看，综合近三年绿色数据中心评选结果，总量上，中国已先后创建三批共计147个国家绿色数据中心，数据中心绿色发展逐步深入；结构上，不同行业间差异依然较大，2022年除金融领域和公共机构领域外，其他领域入围企业数及占比均有所下降或与前期持平（参阅图17），绿色化数据中心建设依然任重道远。

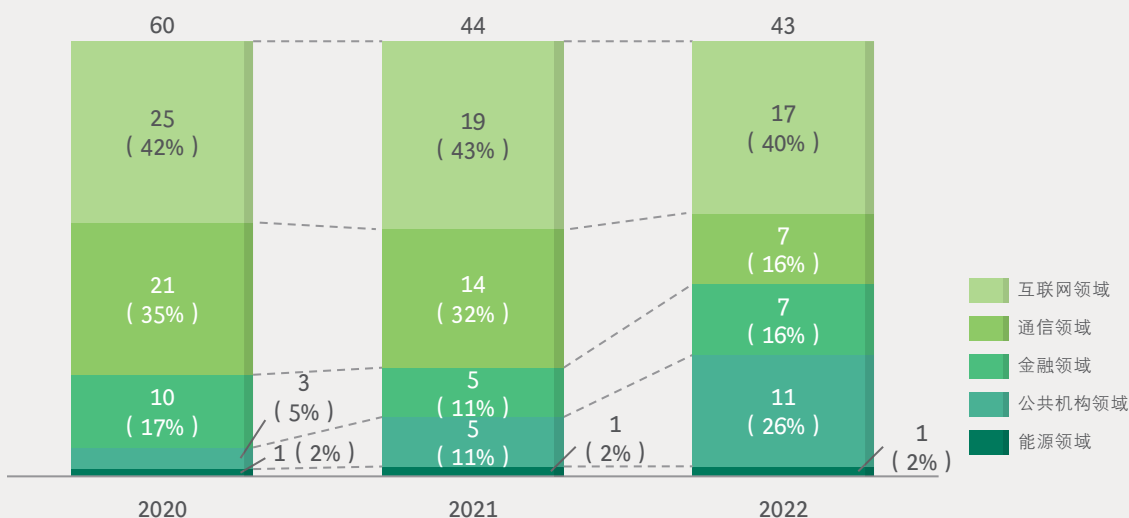
据统计，数据中心自身的能耗及排放主要集中在数据中心基础设施建设过程以及运行运营阶段，因此数据中心的绿色化建设，单纯地依靠更新设备、优化制冷系统等“单点突破”无法完成，需要全面地、系统地谋划布局，主要包括规划设计上科学创新以及运营管理上智慧高效两方面。

• 数据中心规划设计上科学创新

主要包括数据中心有序整合、数据中心科学选址及利用可再生能源，以及数据中心预制化和模块化建设三方面。

图17 | 2020—2022年国家绿色数据中心行业分布

绿色数据中心数量（个）



来源：工信部、国家发改委、商务部、国家机关事务管理局、银保监会、国家能源局等六部门；BCG分析。

注：百分比已四舍五入，总和不为100%。

- 数据中心有序整合。**将分散的烟囱式IT基础设施整合成可共享的分布式云数据中心，可有效提升设备使率，缓解网络拥堵、管理低效、安全隐患等问题。例如印度某跨国集团公司利用虚拟化技术将原本分散的四个数据中心整合至一个集中化的企业区域，既节省数据中心空间，又充分利用服务器；同时，通过数据中心整合和虚拟化，该公司把所有的内部应用都迁移到单独的ERP上，大大提升了管理效率。
- 数据中心科学选址及利用可再生能源，**主要包括数据中心合理选址、采用绿色建筑材料、使用可再生能源等。例如某国际领先科技公司致力于2025年实现100%可再生能源运营，开发了海底数据中心，通过利用海水冷却服务器达到降低能耗的目的，并更便捷地利用海洋可再生能源——如海上风力发电场或潮汐涡轮机，凭借使用隐含碳施工计算器（EC3）工具，在数据中心的建设阶段降低能耗，减少了混凝土和钢铁中30%到60%的隐含碳量。
- 数据中心预制化、模块化建设。**预制化、模块化数据中心在敏捷交付等多方面具有十足吸引力。不同于传统数据中心选址、盖楼、装修再部署系统的串行建设模式，模块化数据中心采用并行建设模式，结构箱体同供电、制冷等子系统一起快速拼装、迅速搭建。据中国电子技术标准化研究院统计，大多数数据中心的投入运行周期在10年到15年之间，核心设备更换周期为五至八年，而模块化数据中心便于扩展和更换，大大提升了企业数据中心的扩展性与灵活性。例如，某全球领先的

信息与通信技术解决方案供应商推出新一代小型智能微模块数据中心解决方案，实现所有部件工厂预制，现场只需简单并柜，四小时完成硬件搭建，两天可实现业务上线，大大提升了数据中心建设效率。

● 数据中心运营管理上智慧高效

主要包括利用先进数字技术，进行数据中心碳排放监测、资源分配、人工替代、预防性维护等。

- **利用数字技术监测碳排放。**数据中心的碳排放不仅来自设备的运行能耗，还包括设备原材料、生产制造、交通运输等阶段产生的能耗（范围三排放）。应用区块链技术，可跟踪并确保供应商排放指数的完整性；数字孪生技术可赋能企业通过数字化物理资产，衡量并跟踪资源使用情况；建立基于人工智能的供应商平台，将有助于进行全链路的碳排放追踪。
- **利用数字技术实现资源最优分配。**据《哈佛商业评论》评估，目前许多数据中心“温度过低并且能源效率亟待提升”。在数据中心能耗组成占比中，一般制冷过程中消耗的电能占到数据中心所有功耗的40%到45%。因此，如何利用数字技术实现能源合理、高效利用对于数据中心绿色化建设尤为重要。某跨国科技公司研发并应用了碳智能计算平台，将非紧急数据中心工作负载的处理时间设在低碳能源最充足的时段，并帮助其根据计算负载来匹配相应的清洁能源（例如风能和太阳能）。此外，通过神经网络机器学习算法，预测数据中心能源效率，并改进模型的具体变量（例如数据中心冷却设定）来预测能源效率变化/能源节约量，使数据中心冷却所需的能源减少了30%。国内某领先AI公司的云计算中心利用其研发的AI控制系统，通过建立数据中心深度学习模型，实现数据中心智能供电、智能散热，确保数据中心低能耗、高性能运行。
- **利用数字技术节省人力成本。**通常一名工程师巡检2,000机柜的数据中心需要耗费两个小时，运维成本极高而且巡检质量难以保证。然而，通过AI远程巡检代替人工巡检，利用智能传感、声音和图像识别技术，五分钟即可完成2,000机柜的巡检工作，且无需人到机房，极大提升运维的效率和精准度的同时，也大幅降低了运维成本。
- **利用数字技术实施预防性维护。**基于大数据和AI技术，实现系统的预防性维护，并在发现潜在威胁后主动预警。

随着边缘计算应用场景的不断扩展，预计数据中心建设在技术上将更具差异化，在支持业务上将更具协同性（参阅图18）。随着边缘计算应用范围的不断扩大，边缘数据中心作为支撑边缘技术发展和5G边缘组网的载体，将成为未来数据中心发展的另一个重要方向。考虑到边缘数据中心更分散、更灵活的特点，其绿色化建设更需要提升管理的自动化、智能化程度。

图18 | 云数据中心与边缘数据中心



• IT设备管理上绿色有序

科技绿色化建设应覆盖IT设备的生产、采购、使用、处置等生命周期各个环节。

- 生产环节**。企业应在遵守工业和信息化部发布的《生态设计产品评价通则》、《生态设计产品标识》等行业标准的基础上，推动IT设备生产向着模块化、标准化、集成化方向发展，并采用高性能、绿色化环保的新材料，研发出具备环境友好、高可靠性、易维修、长设备生命周期以及利于回收的绿色产品。例如，深循环电池应用在电脑生产中，具备长时间充电并多年续航的特点，可支持电脑主板总面积减少75%、笔记本电脑的碳足迹减少50%；且当电脑报废后，零部件可以在其他机器中继续使用，而不是作为有毒垃圾被填埋。
- 采购环节**。早在2014年，商务部、环境保护部、工业和信息化部已共同制定《企业绿色采购指南（试行）》（以下简称《指南》），用于引导和促进企业积极履行环境保护责任，建立绿色供应链，实现绿色、低碳和循环发展。企业应综合考虑《指南》提出的共性要求及IT设备采购单价相对高、标准化要求高等特性要求，制定“IT设备需求绿色管理方案”及筛选标准，用于评价拟采购设备的材料、包装是否符合环保要求，设备是否支持回收、是否采用模块化建设方式以供复用、是否主动提供设备回收的可行方案等。
- 使用环节**。通过数字化手段监测服务器、存储设备、网络设备、终端设备等的开关状态、运行时长、实时能耗等信息，及时发现并解决设备超负荷、故障或性能异常问题，尽可能提升设备的使用寿命、减少不必要的维护成本。

- **处置环节。**企业应制定IT设备处置操作手册，挖掘设备再次营销价值、相关电子垃圾有序退出。同时，企业应注意在处置的同时，兼顾绿色化与安全性要求，包括与经过第三方机构认证的回收商合作、确保处置流程透明可见、满足数据销毁安全性标准等。

7) 科技绿色化治理：内化管理，外化行动

● 强化绿色人才管理及团队建设，自上而下推动科技绿色化

全球绿色人才需求旺盛，中国企业优先引入绿色领军者。据领英发布的《2022年全球绿色技能报告》预测，在全球净零承诺及各国新的气候政策推动下，企业对绿色技能和人才的需求正在显著增加。预计未来十年将产生超百万个绿色职位，绿色人才在全球劳动力中的占比正逐渐上升，由2015年的9.6%上升到2021年的13.3%，增长率高达38.5%。聚焦中国市场，按行业划分，2021年绿色人才招聘比例最高的前五大行业为制造、金融、软件和IT服务、教育以及企业服务；按岗位划分，可持续发展经理一职以33%的增幅排名绿色职位涨幅第一，可见中国企业希望借助专业人才的力量，自上而下统筹推动绿色化建设。

开展科技绿色化同样需要引入或培训管理型绿色人才，推动绿色化团队建设。短期内，企业可考虑引入科技绿色化管理岗位，具体职责包括分享科技绿色化建设先进经验，对内宣导科技绿色化理念、推动绿色化转型试点工作等。同时，此岗位设置应与企业业务及科技团队建设模式相匹配，例如针对BU主导型模式¹，应考量在可持续发展或ESG相关部门内设置岗位；针对混合型及集团主导型，可直接在科技公司/科技中心设置相关岗位。中长期而言，企业可考虑通过培训提升整体科技人员的绿色技能，包括可持续发展、能源效率、循环经济、碳中和等相关话题的理论和实践技能，在可持续部门或ESG管理部门等相关部门内建立科技绿色化转型小组，并在高级管理层（例如首席可持续发展官）中选任相关负责人作为组长，以确保科技绿色化治理工作进程可见并有序推进。

● 将科技绿色化理念融入科技管理与工作模式

嵌入管理与工作模式的科技绿色化理念将更具备生命力。科技绿色化建设对于IT管理及工作方式变革的要求越来越高，既需要IT整体更具全局观、与流程衔接更为紧密，也需要每一位科技人员转变思路、创新求变。例如，某全球领先的信息与通信技术解决方案供应商成立流程与IT管理部作为一级部门，统筹管理流程变革、架构设计、开发运维等，最大化IT对于业务变革的支持。此外，在日常IT工作中，应主动尝试并推广自动化工具，提炼共性需求，设计适用于科技人员远程办公、灵活办公的解决方案等，提升IT工作效率的同时，减少碳排放并降低成本。

¹ 科技团队建设模式参考BCG发布的报告《世界级企业科技能力中国灯塔——中国模式和案例研究》，BU主导型指科技部门全部融入BU内部；混合型指前端应用职能由BU内部科技团队承担，后端由科技公司/科技中心承担；集团主导型指全部科技职能由科技公司/科技中心承担。

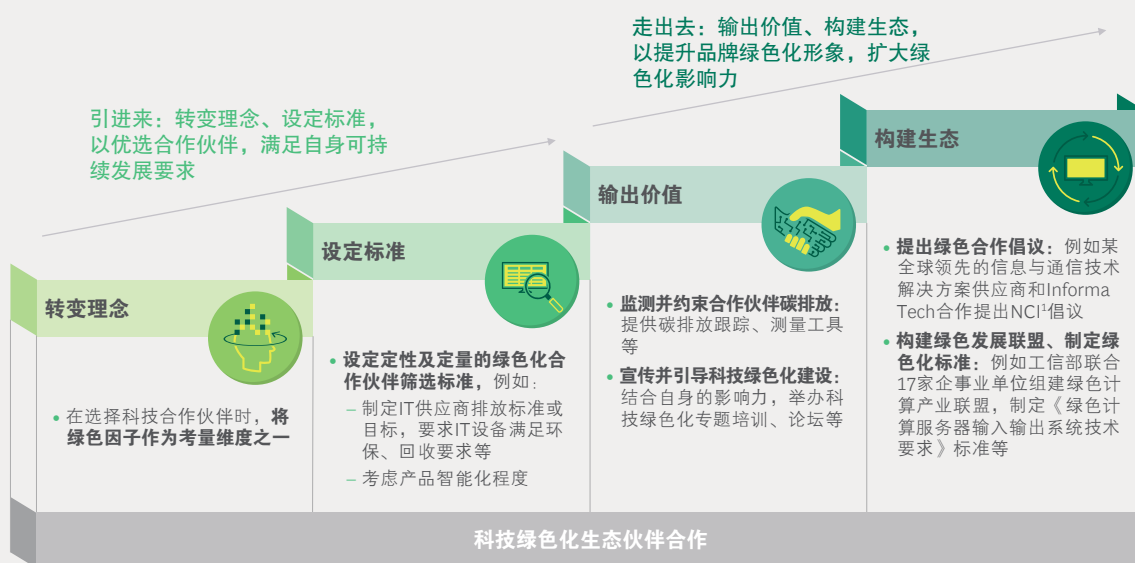
• 监测并评估科技绿色化实现情况

加强过程监控与校准是实现既定目标的重要环节，尤其随着科技绿色化不断向纵深发展，对于目标的及时检视、动态调整、持续追踪必不可少。对于尚未达到既定目标的指标，可考虑通过专项项目或纳入年度、季度工作计划的方式，实行重点推进；对于已达标或差距较小的领域，可在成果表彰及总结工作经验的基础上，考虑设定更为积极的目标并持续推进建设；对于已远超目标甚至达到行业领先的领域，可考虑进行一定的能力输出，以提升企业影响力及品牌声誉，从而吸引更多的投资人、合作伙伴，助力可持续发展。

8) 科技绿色化生态伙伴合作：内外兼顾，协作共赢

科技绿色化建设中，没有一家企业可以独善其身，需加强生态圈合作，协作共赢。在与生态伙伴开展合作的过程中，企业应具备供应链上下游企业共创、共兴的思路，既要转变理念、设定标准，引进足够“绿色”的合作伙伴，也要主动输出价值、构建生态，以输出自身绿色影响力（参阅图19）。

图19 | 科技绿色化生态伙伴合作模式



来源：BCG分析。

¹NCI=Network Carbon Intensity，网络碳排放强度指标。

在引进来方面，当前企业的IT合作伙伴主要包括提供技术解决方案及负责开发运维的信息通信技术 (ICT) 服务提供商、云服务提供商、电子消费产品制造商，以及提供创新型解决方案的数字化初创企业等。在具体引入各类生态伙伴合作时，除传统的服务质量、价格、业务能力等考量因素，企业应加入对于绿色化因子的考量，并采用正面筛选与负面剔除相结合的方式进行合作，例如选择主动提出绿色化服务理念 ICT 服务商，优选设定碳中和目标并进行碳中和认证的合作方，要求生态伙伴披露 ESG 信息等，同时针对无法满足绿色化发展要求的企业，应通过“绿色黑名单”等方式减少合作。

在走出去方面，企业一方面可以向价值链上下游的合作伙伴提供科技绿色化建设方案和工具支持 (如科技绿色化评估指标)、宣导科技绿色化理念及建设经验等；另一方面可以积极参与生态体系的构建，包括与第三方机构合作提出绿色化倡议，或参与全球、国家级、行业级科技绿色化标准制定等，并在走出去的过程中不断深化自身在科技绿色化领域的建设成果及行业影响力，从而将科技绿色化之路越走越宽、行稳致远。

结语

正如计算机大师阿伦·凯 (Alan Kay) 所言, “预测未来的最好方法, 就是把它创造出来。” 我们无法准确预测未来的世界, 但通过在当下践行科技绿色化的理念, 我们或将在未来共同创造一个更加绿色、高效、可持续的美好世界。

企业科技能力的提升, 永远在路上。

参考资料：

1. 中国环境报，《数字化和绿色化双转型是科技发展的主线》，2022年5月。
2. 中国信通院，《大数据白皮书》，2021年12月。
3. 中国信通院，《数据中心白皮书》，2022年4月。
4. 中国数据中心工作组，《2021年中国数据中心市场报告》，2021年12月。
5. IDC，《全球云计算二氧化碳减排预测，2021—2024》，2021年6月。
6. IDC，《数据时代2025》，2018年12月。
7. 中国电子技术标准化研究院，《绿色数据中心白皮书》，2019年3月。
8. 绿色和平和赛宝计量检测中心，《中国数字基建的脱碳之路：数据中心与5G减碳潜力与挑战（2020—2035）》。
9. 绿色和平，《中国30省（市）碳排放情况追踪》，2022年1月。
10. 生态环境部环境规划院，《推动数据中心绿色低碳发展》，2022年2月。
11. 21世纪经济报道，《数据中心产业观察七：8大枢纽近60份政策六成关注绿色低碳，节能补贴最高3千万，探索“零碳”新模式》，2022年9月。
12. 绿色技术产业联盟，《绿色计算服务器输入输出系统技术要求》，2021年2月。
13. TIOBE，编程语言受欢迎指数，2022年9月。
14. Rui Pereira等六人，《编程语言的能源效率》，2017年10月。
15. 领英，《2022年全球绿色技能报告》，2022年3月。
16. 中国电子技术标准化研究院，《2021年绿色制造标准化白皮书》，2022年1月。
17. BCG，《世界级企业科技能力中国灯塔——中国模式和案例研究》，2022年5月。

关于作者：

徐勤是波士顿咨询公司（BCG）董事总经理、全球合伙人，BCG技术与数字优势专项中国区负责人，BCG金融机构专项中国区核心领导。

程轶是波士顿咨询公司（BCG）董事总经理、全球合伙人，BCG技术与数字优势专项和保险专项中国区核心领导。

张希博士是波士顿咨询公司（BCG）董事总经理、全球合伙人，BCG工业品专项和技术与数字优势专项中国区核心领导。

魏金程是波士顿咨询公司（BCG）董事总经理、全球合伙人，BCG工业品专项和技术与数字优势专项中国区核心领导。

陈果是波士顿咨询公司（BCG）Platinion 董事总经理，全球数字化和数据平台（DDP）核心领导团队成员，企业架构解决方案亚太区负责人。

钱俊彦是波士顿咨询公司（BCG）合伙人，BCG金融机构专项和技术与数字优势专项中国区核心成员。

孙川是波士顿咨询公司（BCG）董事经理，BCG金融机构专项和技术与数字优势专项中国区核心成员。

致谢：

本报告由波士顿咨询公司（BCG）撰写，感谢参与本报告研究和撰写的BCG资深商业分析师邢雅萱女士。此外，特别感谢BCG董事总经理、全球资深合伙人周园女士；董事总经理、全球合伙人陈庆麟先生、陈美融女士、王浩宇先生；董事经理于川先生、刘北辰女士为报告的撰写提供了极具价值的建议和支持，也感谢詹慧、郑玲玉、柴茁为本报告的编辑、排版和发行做出的贡献。

最后，衷心感谢每一位在报告研究和制作过程中接受访谈或提供帮助的学者、专家和同事！

关于波士顿咨询公司：

波士顿咨询公司（BCG）与商界以及社会领袖携手并肩，帮助他们在应对最严峻挑战的同时，把握千载难逢的绝佳机遇。自1963年成立伊始，BCG便成为商业战略的开拓者和引领者。如今，BCG致力于帮助客户启动和落实整体转型，使所有利益相关方受益——赋能组织增长、打造可持续的竞争优势、发挥积极的社会影响力。

BCG复合多样的国际化团队能够为客户提供深厚的行业知识、职能专长和深刻洞察，激发组织变革。BCG基于最前沿的技术和构思，结合企业数字化创新实践，为客户量身打造符合其商业目标的解决方案。BCG创立的独特合作模式，与客户组织的各个层面紧密协作，帮助客户实现卓越发展，打造更美好的明天。

如需获得有关BCG的详细资料，请发送邮件至：GCMKT@bcg.com。

如欲了解更多BCG的精彩洞察，请关注我们的官方微信账号：BCG 波士顿咨询，ID：BCG_Greater_China；或“BCG 洞察”小程序；或BCG微信视频号；或BCG数字化公众号。



BCG 官方微信



BCG 报告集锦



BCG 微信视频号



BCG 数智港



bcg.com

更多免费行业报告

并购家

www.ipoiipo.cn