



IPv6

与 IPv6+

全球发展情况

社会经济价值的测算与分析

2021年10月

em
lyon
business
school

Roland
Berger



执行摘要

随着新通信与信息技术的到来，全球迈向了一个新时代。我们正在见证一个前所未有的历史时刻——人工智能、5G、云计算、物联网等塑造未来的新兴技术百花争鸣。

所有这些技术的背后都具有一个基本的底层使能要素：IP 地址——它是帮助设备连接到网络的一把“钥匙”，只有在拥有 IP 地址的前提下设备才能接入网络并实现通信。

上一代的 IP 协议 IPv4 诞生于 20 世纪 80 年代初，提供了 43 亿个通信地址。然而，智能设备的井喷式增长已经耗尽了可用的 IPv4 地址资源。因此，IPv6 被引入，其可用地址总数达到了 3.4×10^{38} ，足以为地球上的每一粒沙子分配一个 IP 地址。

在提供海量地址资源的基础上，IPv6 技术也在不断发展进步。目前，互联网工程任务组 (IETF) 正在对诸如 SRv6 等的协议创新进行标准化，欧洲电信标准协会 (ETSI) 在推广 IPv6+ 产业应用，在本白皮书中，它们被统称为 IPv6+。在 IPv6 的基础上，IPv6+ 结合协议创新与人工智能，提供了质量更高且更加智能的连接。基于这些特性，IPv6 和 IPv6+ 技术能够促进 5G、云计算和工业物联网等技术的应用，为所有行业的数字化提供坚实的基础。

从宏观的角度来看，IPv6 和 IPv6+ 能够促进数字经济转型、推动创新创业、加强社会治理、支持数字平等。毋庸置疑，向 IPv6 和 IPv6+ 的过渡是国家数字经济发展的重要基础。在全球范围内，各个国家在过去十年中实施了多项举措，以促进整个互联网生态向 IPv6 的过渡转型。我们认为，当下有必要对全球向 IPv6 和 IPv6+ 转型的进展进行回顾，并分析 IPv6 和 IPv6+ 所创造的具体社会经济价值。

我们对各国的 IPv6 和 IPv6+ 部署情况设计了度量指标，并分析了政府政策在推动 IPv6 和 IPv6+ 技术的应用上起到的关键作用。我们对 IPv6 部署情况与国家经济发展之间的关系进行了定量分析，并对 IPv6 和 IPv6+ 对各个行业的经济影响进行了评估。

尽管我们的分析和评估可能会受到样本数量和样本时间范围的限制，但分析的结论仍然非常有力的证明了 IPv6 的价值：IPv6 的部署指数每增加 10%，将推动国内生产总值增长约 0.4%。2030 年，估计 IPv6 和 IPv6+ 带来的行业总价值将达到 10.8 万亿美元。

总而言之，现在正是加大 IPv6 和 IPv6+ 部署力度的最佳时机。全行业已经开始应用 IPv6 技术，各大电信运营商、互联网内容提供商、设备制造商都在积极拥抱 IPv6 和 IPv6+ 技术浪潮，加速迈入新的数字化世界。

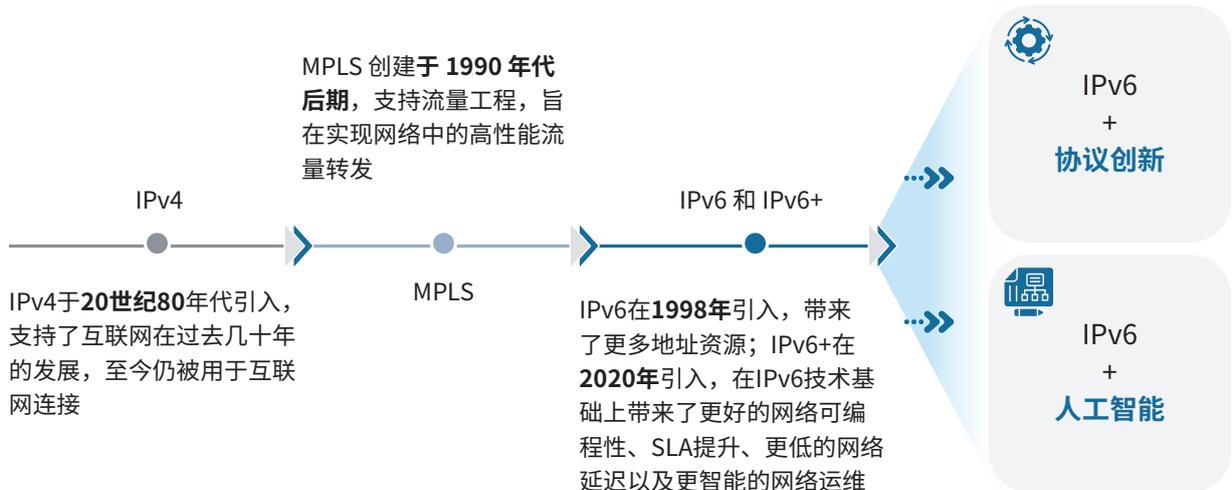
绪论

IP 地址、IPv6 和 IPv6+ 的概述

IP 地址是 IP 协议 (Internet Protocol) 的基础, 是网络设备接入互联网或者本地网络的唯一标识, IP 协议已经从 IPv4、MPLS 演进到了 IPv6 和 IPv6+。→ 1

IPv6 技术扩充了地址数量、降低了子网管理成本并增加了自动配置¹能力, IPv6+ 基于 IPv6 又演进出了更高的网络可编程性²、更优的 SLA³、降低了网络延迟⁴并增强了网络可维护性^{5,6}。→ 2

1 IP 技术的发展



资料来源: 案头研究; 罗兰贝格

¹ U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE. IPv6 task force. Technical and Economic Assessment of Internet Protocol Version 6

² SRv6-PM: A Cloud-Native Architecture for Performance Monitoring of SRv6 Networks IEEE Transactions on Network and Service Management

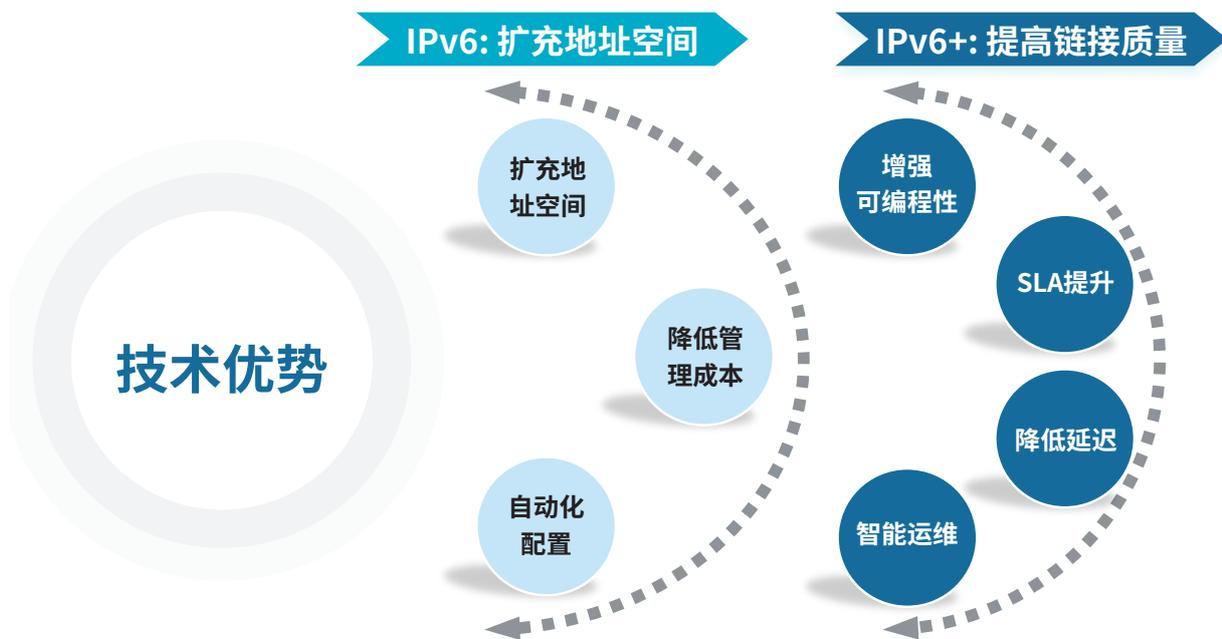
³ Ruoyu Su, R. Venkatesan. Resource Allocation for Network Slicing in 5G Telecommunication Networks, IEEE Network

⁴ U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE. IPv6 task force. Technical and Economic Assessment of Internet Protocol Version 6

⁵ S. Peng, Jim Guichard. Application-aware IPv6 Networking (APN6) Framework, Computer Science

⁶ ETSI GR IPE 001 V1.1.1 (2021-08). IPv6 Enhanced Innovation (IPE) Gap Analysis

2 IPv6 与 IPv6+ 的技术特征



资料来源：案头研究；罗兰贝格

IPv6 通过扩充地址池为互联网的进一步发展奠定了基础，IPv6+ 则显著优化了连接质量。它为电信运营商和各行各业的企业提供了一个高度自动化、智能化的网络，用以提供海量连接并承载多种业务。

向 IPv6 和 IPv6+ 过渡的必要性

IPv4 地址资源的枯竭是需要向 IPv6 过渡的首要原因。在过去 10 年中，全球五大地区性互联网注册管理机构的 IPv4 地址资源都已基本枯竭。

因为 5G、云计算、物联网的应用需要海量连接，IPv4 地址资源的匮乏将对新技术的应用产生重大限制。此外，由于 IPv4 地址获取成本和交易成本不断上升，也给创业创新带来负面影响。IPv4 地址的稀缺也会导致国际层面上的数字权力集中，并影响社会层面中个体的数字平权。

在技术方面，虽然网络地址转换 (NAT) 和运营商机地址转换 (CGNAT) 等技术可以部分解决 IPv4 地址耗尽的问题，但这些技术能力有限，无法支撑海量连接、无法支撑需要端到端连接的应用。5G 和云时代所需的海量、智能、优质连接需要整个社会向 IPv6 和 IPv6+ 进行过渡转型。

IPv6 和 IPv6+ 的经济与社会价值

IPv6 和 IPv6+ 技术能够促进经济的可持续增长，能够推动科学技术的发展，能够提升人民的生活福祉⁷。→ 3

3 IPv6 和 IPv6+ 的经济与社会价值



资料来源: 罗兰贝格

⁷ OECD. Economic Considerations in the Management of IPv4 and in the deployment of IPv6.

IPv6 与 IPv6+ 的行业影响

我们通过研究 IPv6 和 IPv6+ 安全性能改善带来的网络安全管理成本降低、IPv6 和 IPv6+ 促进各行业经营效率的提升⁸，以及 IPv6 和 IPv6+ 使能的创新应用所创造的价值，来评估 2030 年 IPv6 和 IPv6+ 对各行业可能带来的影响。在使能创新方面，我们主要关注由 IPv6 和 IPv6+ 赋能的 5G、物联网、云应用。

IPv6 与 IPv6+ 2030 年经济影响测算

IPv6 和 IPv6+ 将对几乎所有行业领域产生积极的影响，根据我们的自研模型和行业专家输入，预计到 2030 年，IPv6 和 IPv6+ 在全球多个行业领域创造的潜在价值总计可达 10.8 万亿美元，约占这些行业 2030 年预计总产值的 4.8%。→ 4

IPv6 与 IPv6+ 的主要影响 和行业使用案例

作为其他新兴技术的关键使能要素，IPv6 和 IPv6+ 对不同行业产生了广泛的影响。我们对 IPv6 和 IPv6+ 在各行业中可能带来的安全、效率以及创新价值进行了测算评估，并梳理了其在各行业内使能的应用场景。更加详细的介绍请参见完整版报告。→ 5

⁸ Technical and Economic Assessment of Internet Protocol, Version 6 (IPv6), U.S. department of commerce, National Telecommunications and Information Administration, National Institute of Standards and Technology

4 2030 年 IPv6 和 IPv6+ 带来的经济影响



资料来源：专家访谈；案头研究；罗兰贝格分析

5 各个行业中 IPv6 和 IPv6+ 的具体影响与用例

产业	产业应用(示例)	改善安全	提升效率	使能创新
工业与制造业	智能制造: 生产可视化、远程操作	低影响	中影响	高影响
信息与通信	智能运维: 预测性维护、智能检测	中影响	高影响	高影响
零售与批发	智能货架: 环境监控、实时动销	中影响	中影响	高影响
公共服务	智能供水系统: 管道状态的实时监控	中影响	高影响	中影响
金融与专业服务	风控平台: 风险的识别与预警	中影响	中影响	高影响
交通运输	无人驾驶: 乘用车与商用车的无人驾驶系统	低影响	中影响	高影响
医疗健康	远程医疗: 远程问诊与诊断平台	高影响	中影响	高影响
农业	智慧农业: 远程监控、实时数据分析	低影响	低影响	中影响
地产与建筑业	生产环境安全: 人员安全监测智能穿戴设备	低影响	低影响	中影响
能源	智能钻井: 土壤检测、钻头自动调整	低影响	中影响	高影响
教育	智慧课堂: 互动式远程授课、AR辅助的课程内容	中影响	中影响	高影响
娱乐	游戏: 基于VR/AR的增强体验	高影响	中影响	高影响

资料来源: 专家访谈; 案头研究; 罗兰贝格分析

IPv6 与 IPv6+ 指数

基于对拉丁美洲及加勒比地区互联网地址注册管理机构 (LACNIC)、经济合作与发展组织 (OECD) 和思科 (Cisco) 方法的参考, 我们通过度量 IPv6 在部署的四个阶段中的具体情况来构建 IPv6 指数。这四个阶段分别是 IPv6 规划、通信网络的 IPv6 部署、内容提供商的 IPv6 部署以及用户通过 IPv6 访问网络。

IPv6 指数的数值范围从 0 到 1, 更高的指数值意味着更好的 IPv6 部署进程。我们选择了全球 79 个国家, 并使用来自亚太互联网络信息中心 (APNIC) 和其他相关来源的数据计算了各国 2020 年的 IPv6 指数。→ 6

基于具体的指数数值, 我们将这些国家分为领跑者、加速者和起步者三大类。领跑者国家是 IPv6 指数值排名在前 25% 的国家, 起步国家是指数值排名后 25% 的国家, 其余的则是加速者国家。→ 7, 8

6 IPv6 指数构建方法

规划

- > 度量 IPv6 地址前缀的分配情况, 地址前缀分配是未来 IPv6 部署的前置指标
- > 数值范围从 0 到 1, 数值越高意味着更多的 IPv6 地址资源已经被分配

用户

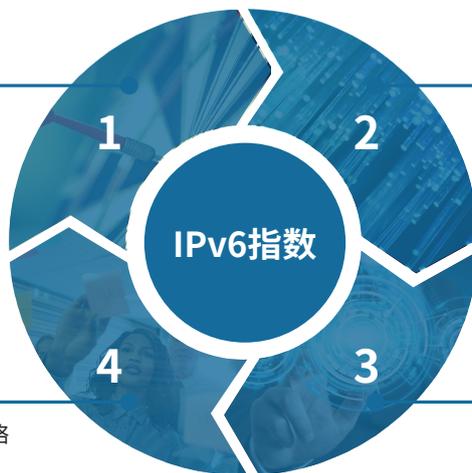
- > 度量终端用户通过 IPv6 协议访问网络的能力情况
- > 数值范围从 0 到 1, 数值越高意味着用户拥有更好的 IPv6 访问能力

网络

- > 度量 IPv6 在网络中的部署情况, 包括电信运营商的通信网以及云服务商的数据中心
- > 数值范围从 0 到 1, 数值越高意味着有更多的网络服务供应商支持 IPv6

内容

- > 度量 IPv6 在网页及移动应用等内容内容提供商的部署情况
- > 数值范围从 0 到 1, 数值越高意味着有更多的内容支持 IPv6



资料来源: LANIC; Cisco; OECD; 罗兰贝格

IPv6 指数

出于对指标在不同国家间可比较性的考虑，我们在指数中度量的是 IPv6 相较 IPv4 的部署情况，因此在 IPv6 部署统计中绝对值较高的美国、中国等国家在 IPv6 指数排名中并没有特别靠前。例如，在 IPv6 规划方面，我们度量的指标之一是 IPv6 前缀已分配数量与 IPv4 前缀已分配数量的比例，反应的是一个国家已分配的 IPv6 地址相较于其

现有互联网地址的相对规模。关于具体指标的计算方法请参见完整版报告。

另外，我们还用同样的方法构建了 2015 年的 IPv6 指数，并计算了每个国家的指数增长情况。总体而言，中国增长最快，其次是越南和印度。→ 9

7 IPv6 指数 2020 排名列表

领跑者

排名	国家
1	比利时
2	德国
3	芬兰
4	印度
5	巴西
6	瑞士
7	马来西亚
8	希腊
9	葡萄牙
10	泰国
11	乌拉圭
12	荷兰
13	卢森堡
14	法国
15	巴拉圭
16	日本
17	越南
18	英国
19	美国

加速者

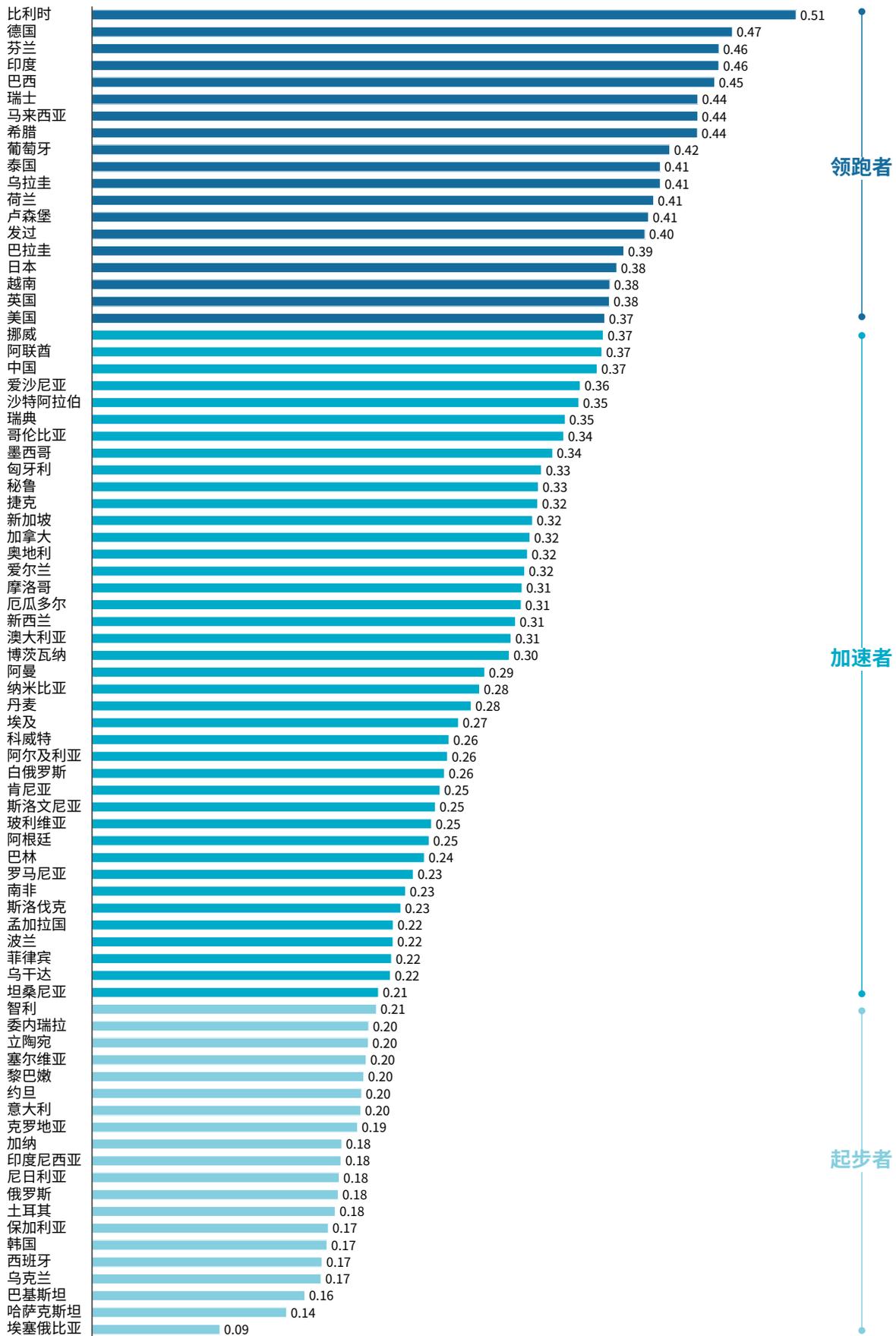
排名	国家
20	挪威
21	阿联酋
22	中国
23	爱沙尼亚
24	沙特阿拉伯
25	瑞典
26	哥伦比亚
27	墨西哥
28	匈牙利
29	秘鲁
30	捷克
31	新加坡
32	加拿大
33	奥地利
34	爱尔兰
35	摩洛哥
36	厄瓜多尔
37	新西兰
38	澳大利亚
39	博茨瓦纳

起步者

排名	国家
40	阿曼
41	纳米比亚
42	丹麦
43	埃及
44	科威特
45	阿尔及利亚
46	白俄罗斯
47	肯尼亚
48	斯洛文尼亚
49	玻利维亚
50	阿根廷
51	巴林
52	罗马尼亚
53	南非
54	斯洛伐克
55	孟加拉
56	波兰
57	菲律宾
58	乌干达
59	坦桑尼亚
60	智利
61	委内瑞拉
62	立陶宛
63	塞尔维亚
64	黎巴嫩
65	约旦
66	意大利
67	克罗地亚
68	加纳
69	印度尼西亚
70	尼日利亚
71	俄罗斯
72	土耳其
73	保加利亚
74	韩国
75	西班牙
76	乌克兰
77	巴基斯坦
78	哈萨克斯坦
79	埃塞俄比亚

资料来源：罗兰贝格

8 IPv6 指数 2020



数据截至 2020 年 12 月

资料来源: APNIC; Cisco; Route Views project; 罗兰贝格分析

10 不同类型国家的平均 IPv6 指数次级指标



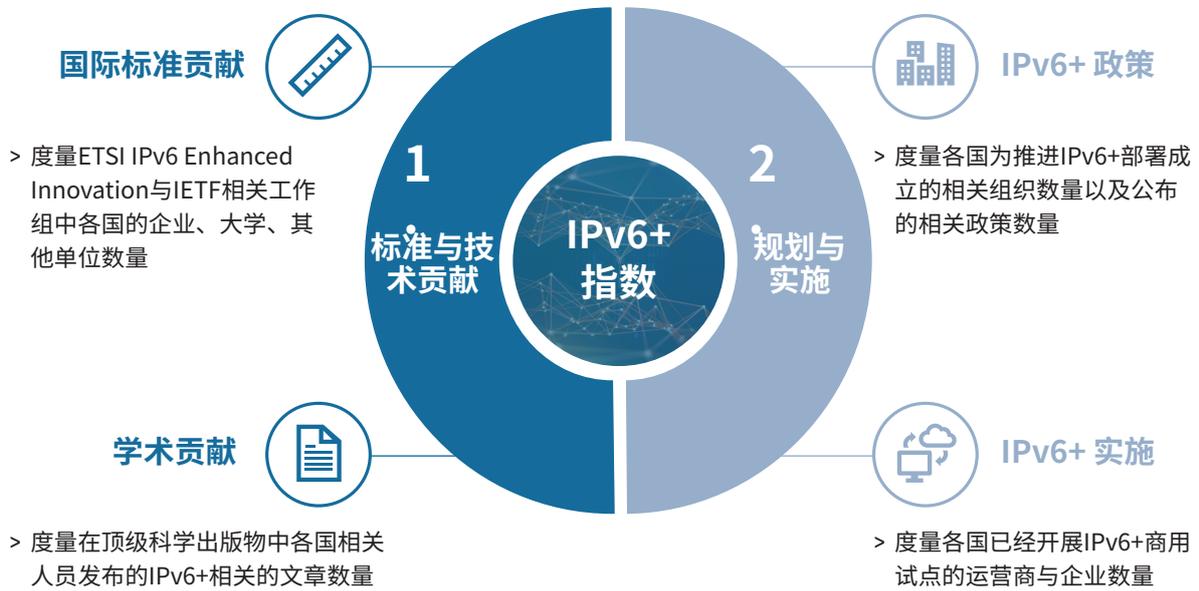
资料来源：罗兰贝格分析

11 不同类型国家的人均 GDP



资料来源：世界银行；罗兰贝格分析

13 IPv6+ 指数构建方法



资料来源: 罗兰贝格

14 IPv6+ 指数的国家分类

国家	IPv6+发展情况及建议
领跑者 <ul style="list-style-type: none"> > 中国, 美国, 法国, 英国, 德国, 芬兰, 瑞士 	<ul style="list-style-type: none"> > 中国和美国在IPv6+国际标准贡献方面处于领先地位 > 中国是IPv6+商业部署的领跑者, 但IPv6的部署仍需继续发力; 美国在IPv6+技术研究和政策支持方面处于领先地位, 但IPv6+实施速度较慢 > 其他国家应注重政策引导和实施, 以促进 IPv6+应用
加速者 <ul style="list-style-type: none"> > 希腊, 卢森堡, 日本, 阿联酋, 比利时, 马来西亚, 沙特阿拉伯, 印度, 葡萄牙, 荷兰 	<ul style="list-style-type: none"> > IPv6+加速者已经一定程度上进行了IPv6+试点, 并对 IPv6+标准制定做出了贡献 > 例如, 卢森堡对IPv6+技术标准做出了一定贡献, 沙特阿拉伯的IPv6+实施速度也在不断加快 > 不同加速者国家应评估其在标准贡献、学术贡献、商业化试点方面的实际情况, 通过相应的政策给予鼓励
起步者 <ul style="list-style-type: none"> > 挪威, 巴西, 泰国, 越南, 乌拉圭, 巴拉圭, 意大利, 西班牙 	<ul style="list-style-type: none"> > 有部分IPv6+试点计划, 但对IPv6+的技术贡献有限 > 起步者国家可多借鉴领先国家的成功IPv6+用例

资料来源: 案头研究; 罗兰贝格

政策建议

IPv6 和 IPv6+ 部署的关键推动力是什么? 我们发现, 政府行为对 IPv6 和 IPv6+ 技术的部署进程存在很大影响。领先国家的政府表现出更强的政策力度、更广泛的政策覆盖、以及更频繁的政策更新。→ 15,16

15 政策特征

	领跑者	加速者	起步者
	美国, 德国等.	英国, 新加坡等	俄罗斯, 土耳其等
政策力度	强政策力度推进部署 > 美国联邦政府致力于IPv6部署, 并将IPv6单栈纳入政府IT采购标准 > 德国政府规定互联网服务提供商未来只能采用支持IPv6的组件	适中政策力度推进部署 > 英国政府表示, 采购中应包括双栈网络软件, 以应对向IPv6迁移之需 > 瑞典政府强调IPv6的重要性, 但没有敦促地方政府采取实际行动	推进部署政策力度不足 > 乌干达政府颁布了关于IPv6的政策, 但由于缺乏资金和专业知识, IPv6的实施程度仍然较低 > 一些政府尚未制定明确的IPv6过渡政策, 如埃塞俄比亚和智利
政策范围	多维度政策 > 多维度政策组合使利益相关者能够有效地合作部署IPv6 > 美国政府为国家层、行业层和终端用户层提供一致的IPv6政策支持	部分维度政策 > 一些关键维度政策缺位, 导致IPv6部署效率仍有提升空间 > 英国政府认为没有必要让公众了解IPv6的进展, 然而经合组织曾指出, IPv6公众教育相当重要	单一维度政策 > 大多数起步者国家缺乏投资和技术支持, 因此政府的IPv6政策制定主要是面向政府内部
政策频率	高频更新政策 > 众多政府机构发布了IPv6部署报告和政策, 政策发布时间跨度长且更新及时 > 美国最新IPv6政策于2021年发布	中等频率更新政策 > 政府机构曾经发布IPv6政策, 但数量与领跑者国家相比较少 > 例如英国、新加坡和丹麦	极少更新政策 > 极少发布关于IPv6的政策更新

资料来源: 罗兰贝格

16 国家示例

领跑者		加速者	
印度  <ul style="list-style-type: none"> > 印度政府发布了两份重要的IPv6政策文件：2010年7月的《国家IPv6部署路线图 I》和2013年3月的《国家IPv6部署路线图 II》 > 其IPv6工作组定期更新IPv6过渡时间表，于2016年和2020年进行了两次修订 	美国  <ul style="list-style-type: none"> > 2005年的M-05-22备忘录启动了IPv6过渡的联邦进程 > 2009年12月，FAR发布了政府采购必须兼容IPv6的规则，2009年以来，出台了一系列战略和政策 > 2020年11月，发布了M-21-07备忘录，要求联邦机构全面向IPv6单栈转型 	中国  <ul style="list-style-type: none"> > 2017年国务院办公厅发布了国家《推进互联网协议第六版（IPv6）大规模部署行动计划》 > 随后发布了包括2021年7月的《关于加快部署和应用互联网协议第六版（IPv6）的通知》在内的多项行动计划 	
德国  <ul style="list-style-type: none"> > 德国于2007年成立了IPv6委员会；2009年推出国家IPv6行动计划；2013年推出了公共管理IPv6过渡指南，以促进IPv6产品的公共采购 > 此外，2010-2013年期间还发布了一系列在联邦和州层面推广IPv6的指南 	泰国  <ul style="list-style-type: none"> > 2013年6月，泰国内阁批准了《2013-2015年IPv6行动计划》，随后成立了IPv6协调和运营中心 > 2015年12月，《泰国IPv6动员、推广、加速和跟进行动计划：第2阶段（2016-2018年）》获得批准，并任命了MICT监督其实施 	阿联酋  <ul style="list-style-type: none"> > 电信监管局（TRA）已于2017年与Ripe NCC签署了一份关于开发IPv6的备忘录 > 阿联酋政府制定了实施IPv6的未来战略，包括安全标准、扩展IPv6以满足大数据和物联网时代日益增长的通信需求 	
马来西亚  <ul style="list-style-type: none"> > 2004年成立了国家IPv6委员会 > 2008年发布了国家IPv6战略路线图和研发路线图 > 政府于2011年公布了IPv6实施时间表 > 2015年的《IPv6采用法案》为ISP向IPv6转换提供了必要的推动力 	法国  <ul style="list-style-type: none"> > 2002年成立了IPv6工作组 > 2016年以来，Arcep一直在制作IPv6进度报告、IPv6晴雨表并建议采取多项行动来加速向IPv6过渡 > 2020年，Arcep决定5G频率分配将以大规模采用IPv6为条件，从而要求运营商的5G网络兼容IPv6 	沙特阿拉伯  <ul style="list-style-type: none"> > 2008年通信和信息技术委员会（CITC）成立了国家IPv6工作组 > 2018年，工作组引入服务提供商作为核心参与者，定期举行会议并报告IPv6部署进度 > 2019年以来，已采用定期KPI报告来跟踪和维护IPv6部署工作 	

资料来源：案头研究；罗兰贝格

虽然 IPv6 和 IPv6+ 技术拥有众多优势，但在实际部署实施过程中依然面临众多挑战，我们呼吁政策制定者对现有问题给予充分的重视。在微观层面，由于缺乏对该技术的了解，产业主体对 IPv6 和 IPv6+ 的技术性能与安全性存在顾虑、对实施成本和投资回报周期缺乏认知、对 IPv6 和 IPv6+ 的终端用户需求存在疑问。在宏观层面，IPv6 和 IPv6+ 技术发展存在网络效应，供给与需求端需要同时进行部署才能推动国家整体的 IPv6 转型；另外，虽然 NAT 与 CGNAT 技术短期解决了 IPv4 地址不足的问题，但由于 IPv6 对 IPv4 的向后不兼容性，也造成了 IPv6 和 IPv4 协议间的激烈竞争，影响了 IPv6 和 IPv6+ 技术的普及；最后，整个社会对不向 IPv6 过渡转型带来的严重后果依然缺乏认识。这些问题都影响了 IPv6 和 IPv6+ 技术的普及应用。

为了对如何解决这些问题提供政策上的建议，我们分析了领先国家在 IPv6 部署中推行的政策，并将政策触及的关键领域及具体内容进行了归纳总结。→ 17

总体而言，在 IPv6 部署方面处于领先地位的国家应该继续朝着深入推进 IPv6+ 的方向迈出下一步，而加速者国家和起步者国家应该利用上述政策来进一步鼓励 IPv6 的部署，同时加强 IPv6+ 技术的应用。由于电信运营商网络的 IPv6 成熟度对于国家 IPv6 的发展至关重要，我们建议起步者国家加大针对电信运营商的政策鼓励力度，推动 IPv6 和 IPv6+ 在运营商网络中的部署。→ 18

17 推动 IPv6 与 IPv6+ 部署的政策建议

<p>整体战略</p>	<ul style="list-style-type: none"> > 制定IPv6和IPv6+实施战略和路线图并与其他数字化战略实现有效协同 > 建立专门的国家工作组来协调和支持计划实施 > 鼓励电信运营商和政府机关网络开展IPv6+试点项目 > 加强国际交流与协作
<p>公共部门</p>	<ul style="list-style-type: none"> > 在政府采购中强制要求IPv6单栈，并鼓励采用IPv6+技术 > 通过强制性要求促进公共机构采用IPv6和IPv6+ > 为公共机构提供有关IPv6和IPv6+运营实施的指导
<p>私有部门</p>	<ul style="list-style-type: none"> > 对 NAT/CGNAT 技术征税或限制其使用，并要求电信运营商的5G 网络兼容 IPv6 > 提供税收优惠和补贴，鼓励IPv6和IPv6+在各行业的部署 > 为私营企业提供IPv6和IPv6+相关技术的研发资金支持与实施指导 > 要求企业配备IPv6和IPv6+以参与政府招标
<p>技能提升</p>	<ul style="list-style-type: none"> > 将IPv6和IPv6+相关内容纳入高等教育课程 > 创建公私合作模式以提供IPv6和IPv6+实施支持 > 鼓励开展促进信息交流和最佳实践的各类项目
<p>意识推动</p>	<ul style="list-style-type: none"> > 组织工作坊、研讨会、学术会议、营销活动，以提高终端用户意识 > 评估全国IPv6和IPv6+部署情况并通过相关网站进行宣传

资料来源：案头研究；罗兰贝格

18 针对不同国家的政策建议



- > 领跑者国家应进一步加强IPv6+的部署，以实现社会与经济的更高质量发展
- > 加速者和起步者国家应通过政策支持的形式鼓励IPv6的部署，并同时加强IPv6+技术的应用实现弯道超车

资料来源：罗兰贝格

法国里昂商学院

- 📍 上海市中山北路 3663 号
华东师范大学国际教育楼 2 层
- ☎ +86 21 6260 8160
- ✉ info@em-lyon.com.cn

罗兰贝格亚太总部

- 📍 中国上海市南京西路 1515 号
静安嘉里中心办公楼一座 23 楼
- ☎ +86 21 5298 6677
- ✉ RBChina.Marketing@rolandberger.com