

# 互联网网络架构发展 白 皮 书 (2017 年)

中国信息通信研究院  
2017年12月

---

## 版权声明

---

本白皮书版权属于中国信息通信研究院，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本白皮书文字或者观点的，应注明“来源：中国信息通信研究院”。违反上述声明者，本院将追究其相关法律责任。



## 前 言

作为 20 世纪人类最伟大的发明之一,互联网正逐步成为信息时代人类社会发展的战略性基础设施,推动着生产和生活方式的深刻变革,进而不断重塑经济社会的发展模式,成为构建信息社会的重要基石。

“十三五”期间,传统的互联网网络体系正在面临系列变革与挑战。一方面云计算市场的快速平稳增长,持续带动网络变革、生态演进和国际拓展;另一方面互联网技术与垂直行业的整合,催生出低时延高可靠、低功耗大连接等全新的网络场景,推动网络架构朝着更为扁平、智能的方向变革。与此同时,电信运营商与互联网企业对于网络流量主导权的博弈将长期存在,未来还需继续探索均衡多方利益下的网络共生发展。

我院 2017 年首次撰写互联网网络架构发展白皮书,希望以互联网网络架构为切入点,总结全球的发展历程与演进,呈现我国互联网网络整体架构以及在全球网络中的位置,提出我国互联网网络架构在发展过程中面临的问题以及演进路径,并展望未来互联网网络架构的发展趋势,与大家共同分享我院的研究积累,在互联网网络变革的浪潮中,与产业界共同推动互联网网络又快又好地发展。

CAICT 中国信通院

# 目 录

一、 全球互联网网络架构发展历程及演进.....	1
(一) 互联网网络架构的定义与内涵 .....	1
1. 层级结构与网络主体是互联网网络架构基本构成 .....	1
2. 网络间的互联方式是互联网网络架构核心要素 .....	2
(二) 全球互联网网络架构的发展历程 .....	4
1. 发展初期依托电信运营商架构全球互联网网络 .....	4
2. 逐步形成多类主体广泛互联共同架构 .....	5
3. 网络掌控力从基础网络层转向应用网络层 .....	7
(三) 全球互联网网络流量流向的变迁 .....	9
(四) 全球互联网网络架构演进 .....	11
1. “网随云动”推动网络架构整体变革 .....	11
2. 云互联需求推动网络架构持续演进 .....	12
3. 互联网网络架构各类主体竞合关系日益复杂 .....	14
二、 我国互联网网络架构发展状况.....	15
(一) 我国互联网网络整体架构及网络主体方 .....	15
1. 我国基础电信运营商网络发展状况 .....	16
2. 我国大型互联网企业网络发展状况 .....	20
(二) 我国互联网网络在全球中的地位 .....	22
1. 我国互联网网络能力的全球地位 .....	22
2. 我国互联网网络资源的全球地位 .....	28
3. 我国互联网网络性能的全球地位 .....	31
(三) 我国互联网网络架构当前面临的问题 .....	34
1. 网间互联方式有待进一步丰富 .....	34
2. 我国交换中心体系有待继续探索、健全 .....	35
(四) 我国互联网网络架构的改进目标与路径 .....	36
三、 未来互联网网络架构的演进与展望.....	38
(一) 未来互联网网络架构的演进方向 .....	38
(二) 互联网网络架构在产业方向的发展演进 .....	40
(三) 互联网网络架构的前沿探索 .....	41

CAICT 中国信通院

# 一、全球互联网网络架构发展历程及演进

## （一）互联网网络架构的定义与内涵

本报告主要从网络拓扑学的角度来描述互联网网络架构，探讨了互联网网络间的层级结构、网络主体、互联方式以及网络内部结构等内容。

### 1. 层级结构与网络主体是互联网网络架构基本构成

一直以来，互联网网络架构是分层分级的结构，如下图所示：

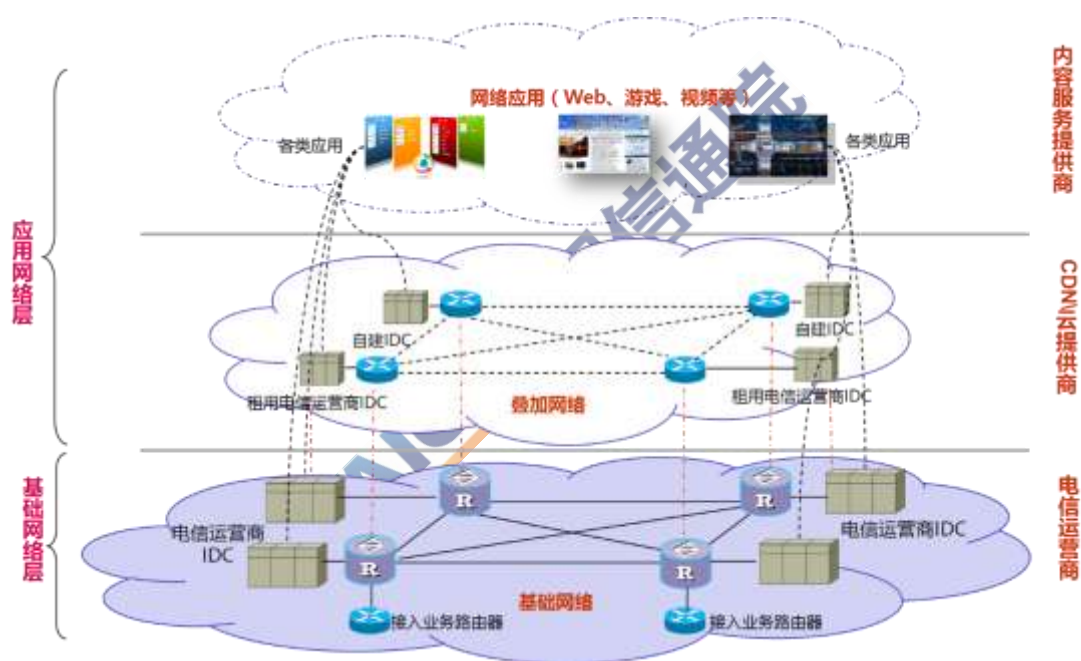


图 1 互联网网络架构层次结构示意图

最底层是互联网基础网络，可以称之为基础网络层，一方面负责将所有终端用户接入互联网中，另一方面也是一切互联网应用的基础承载网。这一层级的网络主要由电信运营商构建，可以是网络覆盖全球的顶级运营商，也可以是覆盖某区域、某国家甚至某几个城市的中小运营商。电信运营商在这一层级因其覆盖范围、网络能

力的差异，同样形成了 Tier1-Tier3 的层级结构。

**中间层与最高层均是叠加在基础网络层之上，主要面向互联网各类应用，这里统一称为应用网络层。**

中间层网络主要是为满足对互联网海量数据的处理需求，以及提供快速安全的计算、存储、分发、传送能力，在不改变 IP 网络属性的基础上，叠加新功能，采用的新模式，从而能适应互联网应用多元化发展的要求。**中间层网络是对基础网络的补充与加强，不会产生直接面向终端用户的新互联网应用，而是服务于互联网的应用，也可称之为叠加网络层。**该层级涉及的企业涵盖面最广，既有专营 CDN 和云业务的第三方服务商，也有电信运营商和内容服务提供商，甚至经营网络基础设施的 IDC 服务提供商、软件服务提供商和硬件设备厂商也加入其中。

**最高层是网络应用层，基础网络与叠加网络均为之服务。**这一层级包括 web、游戏、视频等各种互联网业务应用，其涉及的企业是各类互联网内容提供商的集合。

## **2. 网络间的互联方式是互联网网络架构核心要素**

互联网之所以能够实现全球通达，主要依靠众多网络间的互联互通，互联可以发生在单一层内也可以发生在基础网络层与应用网络层间。从互联方式来看，可以分为物理互联与逻辑互联。

**物理互联是互联网网络之间的物理连接方式，可以分为直接电路相联以及交换中心互联。**直接电路，顾名思义，是两个互联网网



络通过彼此的互路由器进行直接电路的连接；交换中心是多个网络主体为连通各自网络而建立的集中交换平台，也是他们之间交换流量和资源的服务场所。直接电路相连通常适用于较大网络之间的流量交换，交换中心互联通常适用于大网与小网，以及小网之间的小流量集中交换。

**逻辑互联是互联网网络之间交换流量与路由信息的方式，可以分为对等互联（Peering）与转接互联（Transit）。对等互联，指两个网络通过 IP 路由协议，相互公平地交换各自网络及其客户网络的路由可达信息，但不允许对方通过自己访问与自己建立对等互联关系的第三方网络，对等互联通常适用于规模相当的网络之间，通常是免费模式，如全球顶级运营商 AT&T、NTT、TATA 网络间就采取了对等互联。转接互联，指处于主导地位的网络向其他网络提供（出售）自己网络的完全路由可达信息，后者通过前者而获得互联网的通达性。与对等互联类似，转接互联也是通过 IP 路由协议实现不同网络之间的流量和路由信息交换。但转接互联是典型的客户—提供者的商务关系，用户（通常是下游网络）购买提供者（通常是上游网络，处于主导地位）的业务，转接服务的提供者允许其客户访问自己网络中的任一目的地址，并允许其透过自己的网络访问其他网络，因此转接服务的客户方通常需要按带宽规模向提供方支付互联结算费用，如中国移动、中国联通购买了 AT&T、Verizon 等全球顶级运营商的转接服务。**

## （二）全球互联网网络架构的发展历程

互联网诞生至今，全球互联网网络架构历经深刻变革，伴随着网络架构层级的丰富，网络自身的扁平化也在持续推进。

### 1. 发展初期依托电信运营商架构全球互联网网络

在互联网网络形成之初，能够提供的网络应用非常有限，电信运营商作为基础网络层的主体，负责接入所有的互联网企业与终端用户。在此阶段，互联网网络架构实则是基础网络层架构，如下图所示：

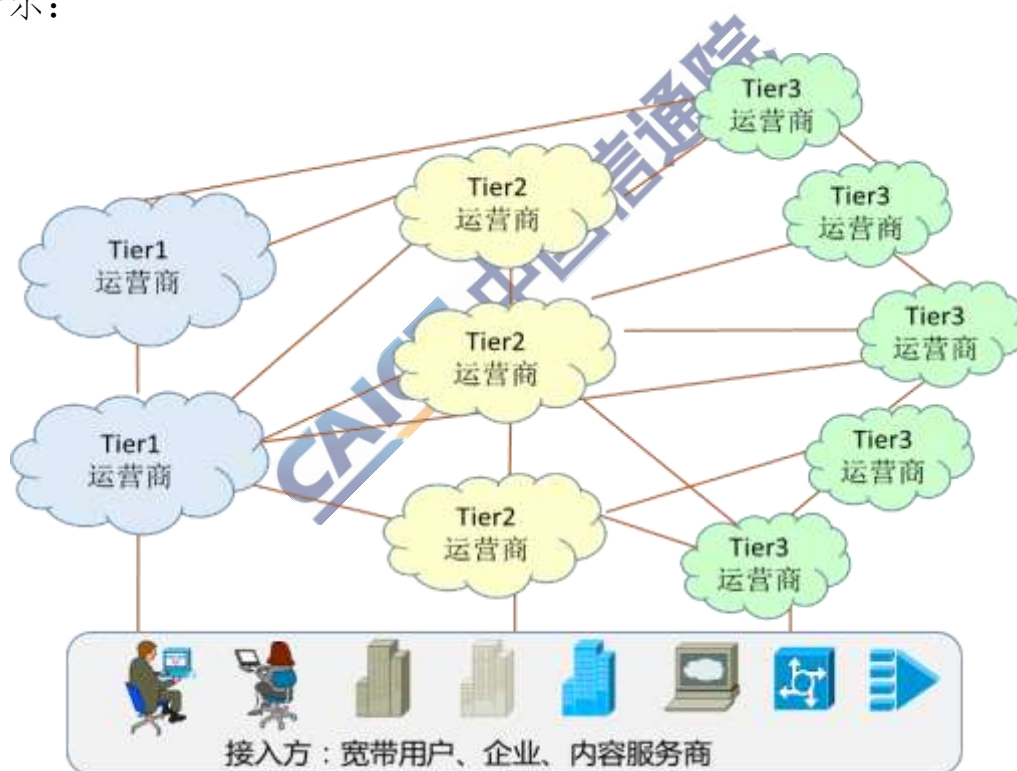


图 2 初始阶段全球互联网网络架构

少数电信运营商搭建了全球性的互联网骨干网络，他们之间通过网络两两直联，构成了全球互联网的顶层架构。这些电信运营商也被称之为 Tier-1 级运营商或全球顶级运营商。其他区域或地区级

的电信运营商，其互联网网络主要集中在某个区域或某个国家甚至某几个城市，他们通过购买 Tier-1 级运营商的转接服务，或者通过加强彼此之间的网络对等互联，实现全球通达，这些电信运营商被称之为 Tier-2 或 Tier-3 级运营商。而其他终端用户、互联网内容提供商、各类有上网需求的企业主要通过接入这些电信运营商的网络实现连通。

## 2. 逐步形成多类主体广泛互联共同架构

进入二十一世纪后，随着互联网跨越式的发展，新业务新应用不断涌现，互联网日渐融入到人们工作、生活中，为满足人们不断提升的互联网应用体验要求，互联网业务需要尽可能靠近用户端，也推动着互联网网络架构一方面从基础网络单层结构扩展为基础网络与应用网络的多层结构，另一方面，网络互联方式更加丰富，网络主体在多个层面广泛对等互联，推向架构逐步迈向扁平。

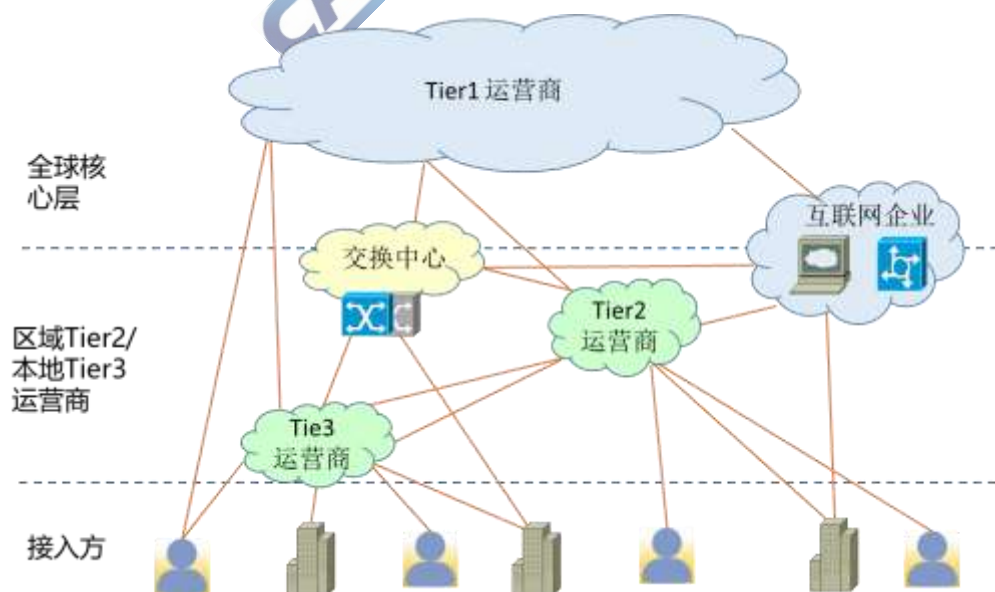


图3 发展阶段全球互联网网络架构

这一阶段的主要特征总结如下：

**一是 Tier2、Tier3 级运营商积极寻找互联机会。**随着 Tier2、Tier3 级运营商网络的扩张，网间流量快速增长，在高昂转接结算费的压力下，下游网络开始寻找广泛对等互联机会。根据 PCH《2016 年全球对等互联调查报告》，互联协议中 99.98% 属于对等互联，仅有 0.02% 属于购买转接服务。与此同时，低连通度网络<sup>1</sup>比例正在大幅缩减，2011 年-2016 年，低连通度网络占比从 62% 降至 35%，缩减近一半。

**二是各类互联网企业自建网络，形成应用网络层。**随着互联网内容提供商的规模扩张，业务节点的不断增加，完全依托电信运营商网络难以实现多节点内容的实时同步与便利调度，互联网内容提供商纷纷自建骨干网络。与此同时，随着互联网创新的活跃，互联网上出现了将互联网应用更便捷地推向用户终端的 CDN 服务商，提供弹性网络资源降低互联网应用开发成本的云服务提供商，他们与互联网内容提供商一样，也搭建了自有骨干网，共同构建应用网络层。

**三是交换中心的出现，促进网络扁平化演进。**互联网交换中心的出现，吸引了包括中小电信运营商、互联网内容提供商、学校、研究机构等网络的广泛接入。各类网络主体通过接入交换中心，实现“一点接入、多点连通”，很好地满足了他们低成本、广覆盖的互

---

<sup>1</sup>对等互联网络数量少于 10 个

联需求，促进网络的扁平化演进。

### 3. 网络掌控力从基础网络层转向应用网络层

现阶段，随着互联网应用形态的不断丰富，互联网应用创新的日益活跃，互联网网络架构的应用网络层越发壮大，大型内容提供商、CDN 和云服务提供商开始掌握网络话语权，如下图所示：

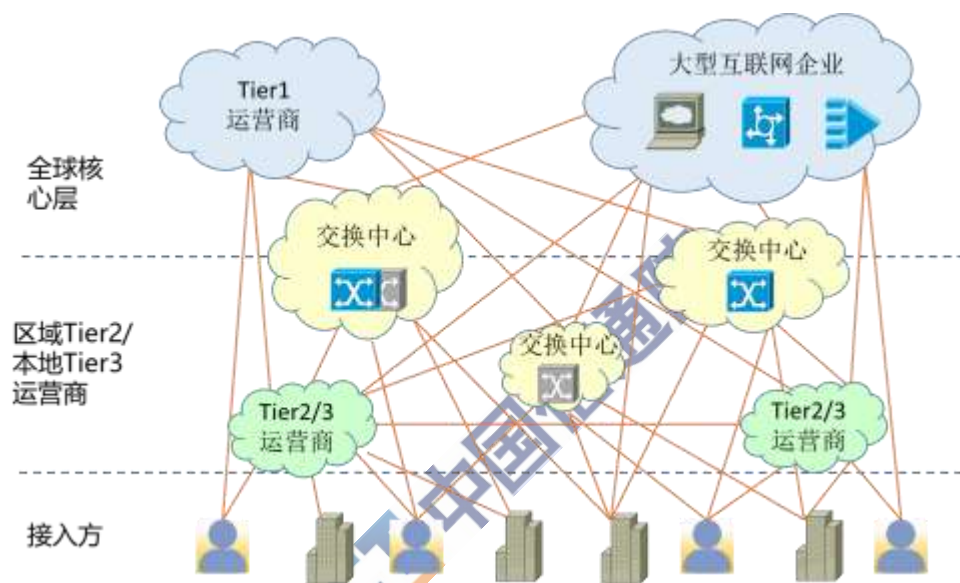


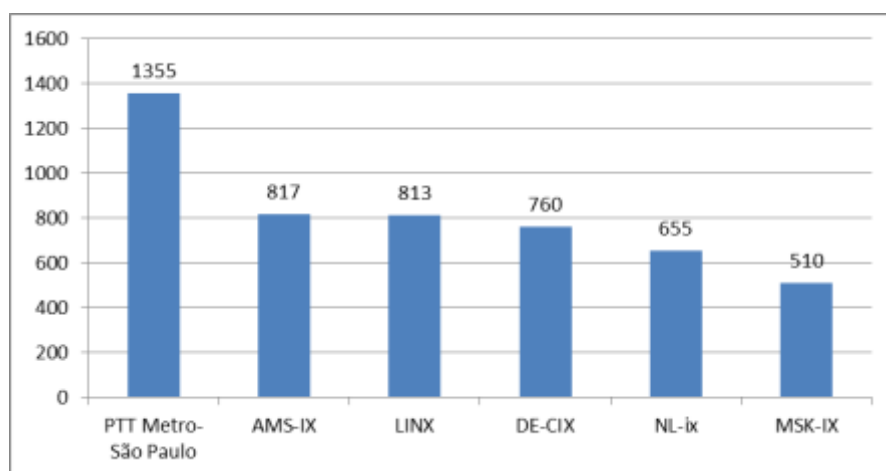
图4 现阶段全球互联网网络架构

这一阶段的特征总结如下：

一是交换中心成为网间互联架构重要组成。随着应用网络层的壮大，交换中心作为分发内容资源的有力推手，在全球范围内迅速发展，并进一步推动网间互联架构网状网演进。根据 Peeringdb 统计数据，目前全球交换中心已达到 600+ 个，遍及 119 个国家；交换中心建立的互联关系约为直联的两倍；全球交换中心流量保持 50-100% 年增长率，顶级交换中心承载流量达到 Tbps 量级，全球流量互通枢纽地位日益突出。根据 PCH 的统计，大型互联网交换中心



接入了数百家网络主体，如下图所示：



数据来源：PCH

图 5 全球大型交换中心接入网络数量

## 二是互联网企业成长壮大，具备与基础电信企业的对话能力。

以 Google、微软等公司为代表的大型互联网企业开始了全面的网络基础设施布局，涉足了包括自有骨干网、海缆、宽带接入（有线、无线）、数据中心、云服务、DNS 域名解析等多个领域。从节点来看，如 CDN 服务提供商 Akamai 在全球 100 多个国家、900 多个城市拥有超过 2500 多个节点，甚至高于全球顶级运营商的节点数量；从网络规模来看，全球互联网企业自建骨干网带宽复合增长率 70%，远超运营商骨干网带宽 39%复合增长率。由此，大型内容提供商议价能力和互联地位大幅提升，Google、Amazon、Facebook 等都与多家 Tier1 运营商实现对等互联。

表 1 国际大型互联网企业互联网络数量

互联网企业	互联数量 <sup>2</sup>	
	购买转接数	对等互联数
Google. inc	3	345
Facebook. inc	16	332
Yahoo!	5	307
Amazon. com, Inc.	22	289

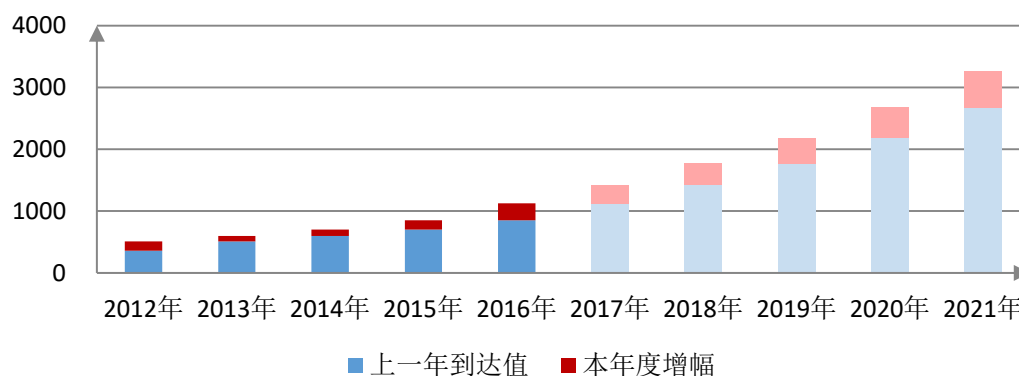
数据来源：HE

三是应用层网络正在牵引网络流量与网络架构的变迁。互联网的流量不再完全由基础网络层的路由策略决定，应用层网络通过部署全局负载均衡(GSLB)、CDN 等方式引导自有流量。从流量看，Akamai 承载全球 30% 的流量，而 Google 的网络一旦发生故障，将影响全球 40% 流量，这都充分说明了应用网络层对于网络的掌控力正在逐步加强。

### （三）全球互联网网络流量流向的变迁

全球互联网发展驶入快车道，流量增长不断提速。全球化背景下，区域之间、国家之间的信息往来日趋频繁。作为数据传输和资源共享的主要载体，互联网在支撑企业跨境运营、公众跨境访问方面发挥了重要作用，其承载的数字化信息流量在加速增长。2012 年-2016 年，全球互联网流量从 510.6 EB 攀升至 1125.6 EB，年复合增长率达到 21.9%；预计 2017 年-2021 年，全球互联网流量将以更高的速度增长至 3200 EB 以上，这对互联网网络架构有效承载流量提出更高要求。

<sup>2</sup>其中购买转接数为 2015 年的数据，对等互联数是 2017 年 11 月数据



数据来源：Cisco White Paper

图 6 2012 - 2021 年全球互联网流量增长情况（单位：EB）

从全球互联网流量地理分布来看，流量集中度持续降低。

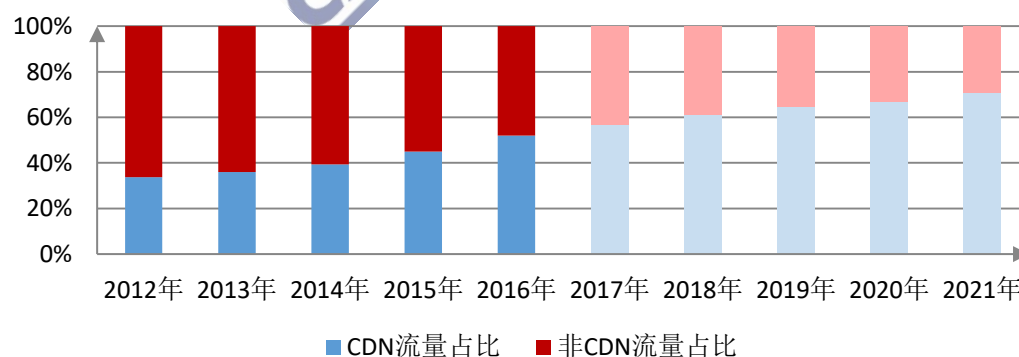
2012-2016 年，北美洲在全球洲际带宽中的占比始终位居各大洲之首，但占比从 40% 下降到 35%；欧美之间的洲际带宽占比从 34% 下降到 21%；其他所有洲际方向的互联网带宽占比均有所提升，充分说明全球流量朝着更为均匀的方向演进，也充分表明互联网网络架构正在朝着地域均衡化的方向变迁。



图 7 2012 年和 2016 年全球互联网流量地理分布



配合完成视频分发、提升用户体验的 CDN 网络逐渐成为互联网流量的主要载体。随着蓝光、4K、超高清等技术渐被广泛应用于各类视频服务，互联网视频业务对全球互联网流量的贡献力度正在逐年增强。2012 年-2016 年，互联网视频业务流量在全球互联网流量中的占比从 65% 上升到 73%。而 CDN 网络作为保障视频业务质量的基础，受到愈来愈多的互联网视频服务提供商的青睐，而互联网巨头倾向于自建 CDN 实现包括视频在内的多种静态自有内容的分发。由此，CDN 对互联网流量的承载和疏导作用日益凸显，自建 CDN 成为主力军。2012 年-2016 年，CDN 承载流量在全球互联网流量中的占比从 33.7% 上升到 52.0%，其中 Google、Amazon、Facebook 和 Microsoft 等巨头自建 CDN 的流量占比在 2016 年达到 61%；预计 2017 年-2021 年，CDN 承载流量在全球互联网流量中的占比将持续累积至 70% 以上，这恰好是网络掌控力转向应用网络层的例证。



数据来源：Cisco White Paper

图 8 2012 - 2021 年 CDN 承载流量的占比

#### （四）全球互联网网络架构演进

##### 1. “网随云动”推动网络架构整体变革

**全球云计算市场快速平稳增长，流量规模不断攀升。**未来几年全球云计算市场进入稳定期，继续保持快速平稳增长。以公有云市场为例，根据 Gartner 预测，2017 年全球公有云市场将达到 2468 亿美元，年增长率 18%，未来几年公有云市场年复合增长率为 16.3%，预计 2020 年将达到 3834 亿美元。同时，全球云计算流量规模保持同步增长。根据 Cisco 预测，未来几年云数据中心流量年复合增长率为 30%，预计 2020 年将达到 14.1ZB/年，占全球数据中心总流量的 92%。

**云计算兴起改变互联网流量模型，以 DC 为中心网络重构全面启动。**随着云计算的快速兴起，数据中心间流量交互需求显著增长，互联网流量模型从数据中心-用户向数据中心-数据中心转变，根据 Cisco 预测，到 2020 年数据中心间流量在数据中心外部流量中占比将达到 39%。为应对流量模型变化，适应云计算发展对网络的诉求，近年来全球运营商陆续发布网络重构战略，并开始着手推进网络云化，以 DC 为中心进行网络资源部署，预计将于 2020-2025 年完成网络重构调整。此外，越来越多的大型互联网企业开始构建 DCI（数据中心互联）网络，并通过 SDN 技术实现网络资源统一调度，与运营商网络重构战略不谋而合。例如，谷歌利用光纤资源把全球 12 个主要 IDC 进行了互联，并使用 SDN 进行资源调度，宣称可以达到 95% 的链路利用率。

## 2. 云互联需求推动网络架构持续演进

随着云计算应用领域的不断拓展以及 SDN 技术成熟，公有云、私有云/企业数据中心逐渐成为互联互通重要主体，以云互联为目标部署网络的趋势显著。随着云计算的快速兴起，全球企业开始广泛使用云资源，部分企业根据自身需要以及不同云公司的服务特点，甚至需要接入多个云资源。根据 RightScale《2017 年云计算调查报告》统计数据，1002 家受访企业中 95%使用云服务，使用云服务的企业中，20%的企业接入多个公有云，平均每个企业接入 1.8 个公有云。云资源的广泛使用催生多种云互联需求，包括公有云内部互联、公有云和私有云互联、公有云之间互联等。

而交换中心通过提供多云接入能够扩大业务服务的地理覆盖范围；能够通过自动部署以及高级业务监控管理简化操作及业务部署时间；基于一对多连接的流量聚合能够提高带宽使用效率，从而以更低价格服务更多客户；其安全、高吞吐量、低延时的网络能够促使客户将更多服务迁移至云端；还能够加入数据中心的企业客户生态中，所有的这些利好促使着交换中心朝着云交换中心方向变迁。国际上已经出现如 Equinix 和 Megaport 等云交换中心企业，这些企业将多家云服务商（Google Cloud、Amazon AWS、Microsoft Azure 等）汇聚接入，为企业客户提供按需、动态、灵活的云计算接入服务，如下图所示。

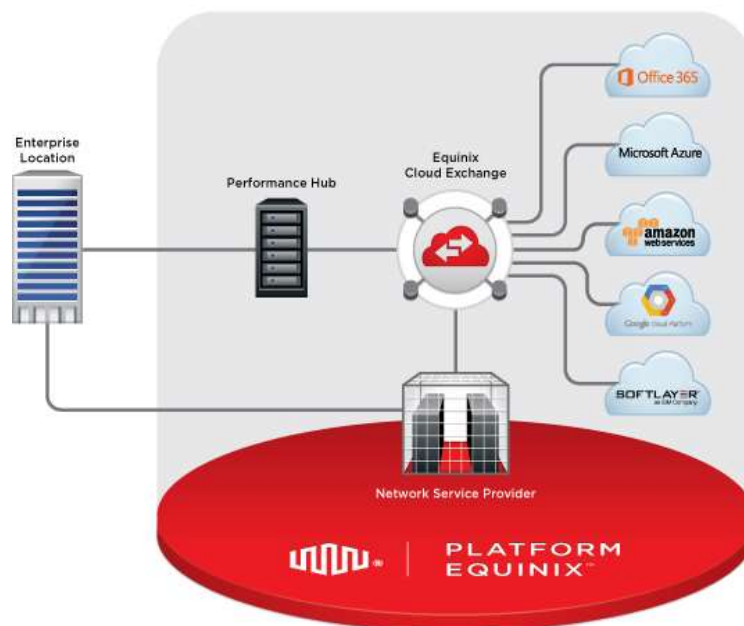


图 9 Equinix 多云接入交换中心架构

### 3. 互联网网络架构各类主体竞合关系日益复杂

未来，随着应用网络层的持续壮大，互联网企业与电信运营商对于网络流量主导权博弈日益白热化，从而衍生出了复杂的各类主体竞合关系。

一方面，互联网企业积极进入电信运营商领域。不论是 Google 曾在美国试点的 GoogleFiber、搭建的浮空通信平台，还是 Google、百度、阿里、腾讯纷纷运营的公共递归 DNS，都属于互联网企业对于基础网络层业务的尝试。而迅雷、小米等诸多互联网企业试图将 CDN 的缓存节点推向用户边缘，则算是对基础网络层服务的间接替代。

另一方面，电信运营商同样开始试水应用网络层业务。德国电信、Vodafone 等国际运营商，我国的三大运营商都开始运营云业务，

我国三大运营商还自建了 CDN 网络，此外，中国移动在全国部署的十大基地，这些都是电信运营商对应用网络层业务的探索。

而 Cisco 通过收购 Opends 进军公共递归 DNS、华为推出华为云、IBM 推出“4 个 9”的公共递归 DNS，则是设备厂商和信息技术服务商进军互联网网络市场的表现。

随着互联网网络架构主体的多样化，竞合关系的复杂化，全球互联网网络架构正朝着“你中有我，我中有你”的方向演进。

## 二、我国互联网网络架构发展状况

### （一）我国互联网网络整体架构及网络主体方

1994 年，随着中国教育与科研计算机网、中国科学技术网、中国金桥信息网的先后建成，并实现与美国 NSFNET 网络的互联，标志着中国互联网的正式诞生。

通过近 23 年的发展，与全球互联网网络一样，中国互联网网络同样形成了基础网络层和应用网络层（含叠加网络层和网络应用层）的层级结构。

我国的基础网络层，其典型企业既有网络覆盖全国的中国电信、中国联通、中国移动、鹏博士等国家级互联网接入服务提供商，也有网络主要集中在某个省市或某几个省市的歌华有线、方正宽带、华数宽带等省级互联网接入服务提供商，还有大量小区互联网接入服务提供商，仅负责某几个小区的终端用户接入。其中，中国电信、中国联通、中国移动是我国主导电信运营商，其运营的基础网络，



覆盖最广、承载用户最多，三家之间通过对等互联的方式实现互联互通，而其他电信运营商都是作为这三家的客户，通过购买三家的转接带宽接入其网中。

**我国的叠加网络层**涉及的典型企业既有电信运营商和内容服务提供商，也有专营 CDN 和云业务的第三方服务商。我国基础电信企业电信、联通、移动均有自己的 CDN，主要服务于 IPTV 等自有业务的分发；大型内容服务提供商通常也建有自己的 CDN 网络，如爱奇艺、新浪、搜狐等，主要用于自有视频等大流量业务的分发；此外，网宿科技、蓝汛、帝联是第三方 CDN 服务提供商，帮助互联网企业将业务推送到离用户最近的网络节点。云业务方面，我国基础电信企业，以 BAT 为代表的大型互联网企业，以网宿、蓝汛为代表的 CDN 企业，以高升控股、供销大数据为代表的 IDC 企业，以金山为代表的软件服务企业，以华为为代表设备制造企业均有涉足云业务领域。

**我国的网络应用层**，是最具中国特色的层级，在该层级中，除部分大型互联网内容提供商外，我国大量互联网内容提供商基本都依托基础网络与叠加网络开展业务，没有构建企业网络，该层级典型代表包括综合门户类的新浪、搜狐，视频类的爱奇艺、乐视，搜索类百度、搜狗，电子交易类的阿里巴巴、京东，即时通信类的腾讯等互联网公司。

## 1. 我国基础电信运营商网络发展状况

考虑到我国基础电信运营商中国电信、中国联通和中国移动，

是国家级互联网接入服务提供商，也是我国主导电信运营商，拥有覆盖全国的、最为完整的基础网络，其运营的公众互联网承载了我国七成左右的家庭宽带用户，是我国规模最大的三张基础网络，同时也是我国互联网网络的典型代表。因此本节以三家主导电信运营商运营的公众互联网网络为例说明其网内、网间发展状况。

**从网内结构来看，主要采用分层汇接方式，纵向分为骨干网、城域网和接入网三个层级。**首先，骨干网是最顶层的省际高速网络，基础电信运营商在各省省会及主要城市设置骨干节点，并在节点间设置直联链路，共同构成骨干网。骨干网内按分层方式设置核心节点、接入节点等，但近两年骨干网分层结构日渐模糊，逐渐向单层次、网状网（full-mesh）发展。其次，骨干网之下设置省网及城域网，用于省内流量的疏导，但近年来，随着网络扁平的不断深化，大部分省网基本被取消。城域网内部架构通常采用分层星形汇接结构，一般分为两到三层，下层节点以星形汇接的方式上联至上层节点。城域网流量经过层层汇聚后，省际流量汇聚到骨干节点后再通过骨干网疏导。最后，城域网之下设置接入网，用于宽带用户/企业接入互联网。接入网包含固定接入网和移动接入网两部分。固定接入网即宽带用户/企业通过 DSL、光纤等固定方式接入，随着光纤宽带网络建设加速实施，目前大部分用户采用光纤接入方式；移动接入网即移动用户通过基站的移动方式接入（不含 WIFI 方式），随着 4G 网络大规模部署，4G 用户逐渐成为主流，具体见下图。

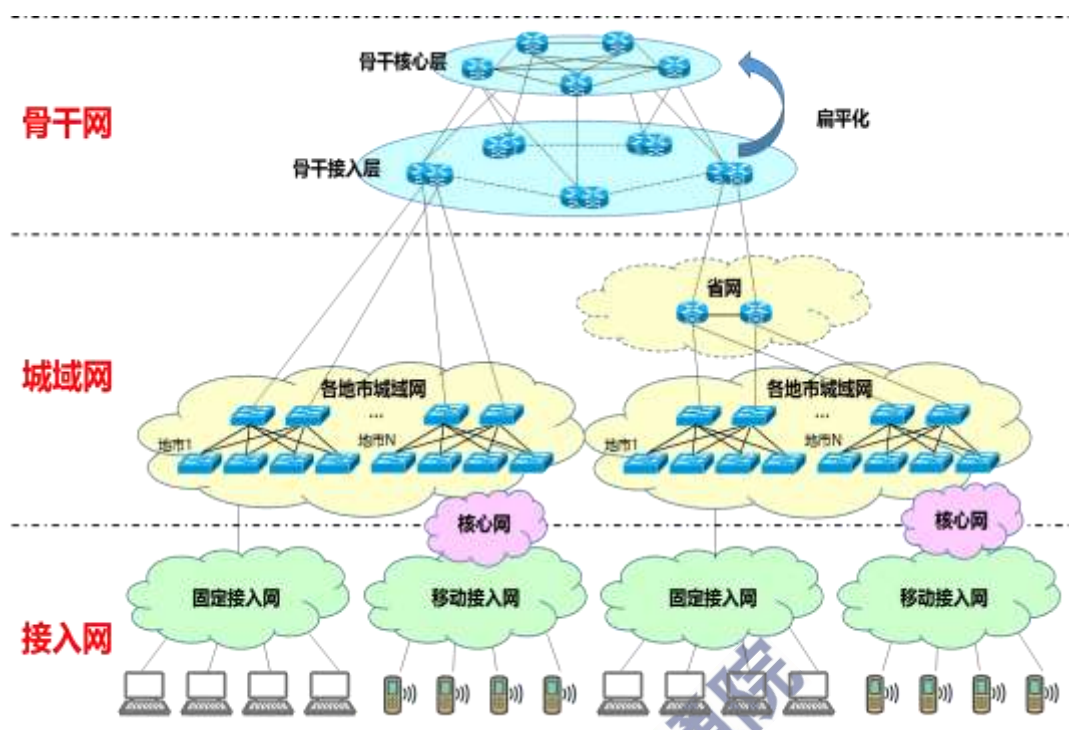


图 10 我国主导运营商公众互联网网络网内架构示意图

从网内带宽来看，公众互联网骨干网带宽增长迅猛，超过 500Tbps。随着大流量互联网应用的快速发展，骨干网压力日渐增大，各基础电信运营商一方面推动骨干网络的不断扁平，增加连接方向，减少转接跳数，另一方面积极筹建骨干网新平面，全面启用 400G 平台与原有骨干网共同承担省际流量疏导。截至 2017 年 6 月，我国基础电信运营商公众互联网的骨干网络总带宽已超过 500Tbps。

网间架构以直联为主，网间带宽接近 4T。我国基础电信运营商的公众互联网网间主要通过设置在京沪穗等 13 个城市的骨干直联点，以及设置在京沪穗的交换中心实现互联，如下图所示。



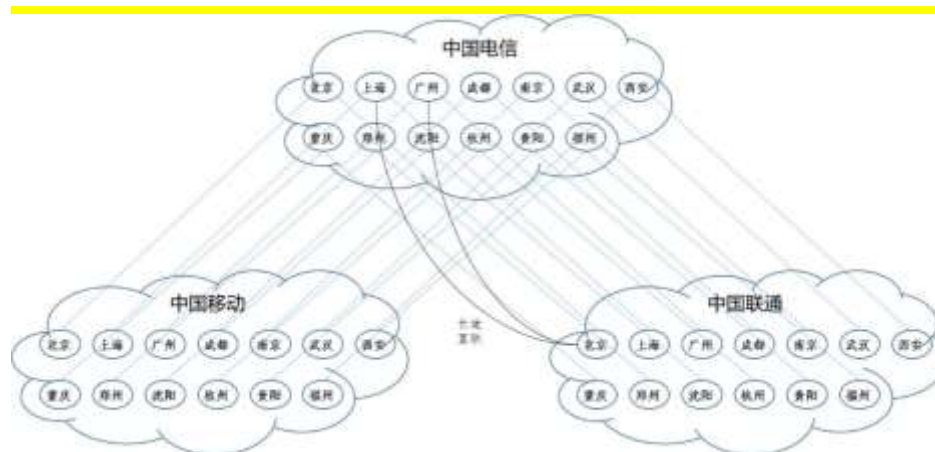


图 11 我国主导运营商公众互联网网间架构示意图

与全球常用的互联结算方式有所不同的是，我国基础电信运营商之间采取了付费对等的结算方式。中国移动的公众互联网网络规模略小于中国电信与中国联通，因此需要向另外两家支付互联结算费用，截至 2017 年底，中国移动的结算单价为 12 万/G/月。

此外，为更好满足互联网业务需求，除上述公众互联网外，三大基础电信运营商还搭建了面向企业服务的精品网络，以及 CDN、数据中心互联网（DCI）等多个网络。一是，三大运营商均搭建了企业精品网络，用于企业专线、内部重点业务流量的疏导，精品网与公众互联网共用城域网与接入网，但完全独立建设骨干网，相较于公众互联网骨干网 70%左右的带宽利用率，精品网的骨干网带宽利用率长期保持 50%以下的轻载，以保证重点业务流量的疏导性能。二是，三大运营商均搭建了 CDN 网络，主要用于 IPTV、视频等自有内容分发，已全面覆盖 31 省，部分 CDN 已下沉到 BRAS 层级，总流量达到百 T 以上。三是，中国电信、中国联通还搭建了数据中心互联网络，用于数据中心间流量疏导。中国电信在原有骨干网基础上，打造了

全新 DCI 骨干网，形成 6 个骨干节点、两个云基地数据中心节点、13 个分布式 IDC 节点的框架结构。中国联通通过改造 IP 承载 A 网，建成了覆盖全国 300 余个地市的 DCI 网络。

## 2. 我国大型互联网企业网络发展状况

近年来，随着互联网业务不断发展，大型互联网企业在网络体系中的地位得到显著提升。为了降低成本、在网络和流量调度方面获得更多的控制权，大型互联网企业开始打破电信运营商在基础网络上垄断地位，尝试自建网络基础设施并形成了相当规模的自有网络。具体情况如下：

从大型互联网企业网络结构来看，主要采用分层结构，纵向分为内容发布系统、DCI 网络、CDN 网络 and 用户端四个层级。首先，内容发布系统是最顶层网络内容的源头，内容编辑通过该系统发布网络内容，并分发到源站服务器。其次，内容发布系统之下设置 DCI 网络，大型互联网企业在数据中心部署源站服务器，并通过直联链路实现数据中心间互联。DCI 网络根据情况可分为两到三层，上层为核心数据中心，下层为边缘数据中心。互联网企业发展初始完全依托基础网络实现数据同步，没有构建自身 DCI 网，但近年来，随着互联网流量激增，为降低成本、提高数据中心间流量疏导效率，越来越多的企业开始自建数据中心，并通过租用电信运营商专线或自建传输网络方式实现数据中心互联，形成自己的 DCI 骨干网络。同时，为了在网络和流量调度方面获得更多的控制权，更多的企业开

始申请 AS 号码, 希望以 BGP 方式与电信运营商基础网络互联。**再次**, DCI 网络之下设置 CDN 网络, 大型互联网企业或自主部署或利用第三方服务提供商的 CDN 服务器, 实现互联网内容在多个电信运营商网内的分发, CDN 网络根据情况也可分为两到三层, 上层为中心层 CDN 源节点, 下层为边缘层 CDN 节点。**最后**, CDN 网络之下为用户端, 用户端在访问时通过全局负载均衡技术 (GLSB) 就近访问 CDN 节点获取互联网内容。我国大型互联网企业网络架构示意图如下:

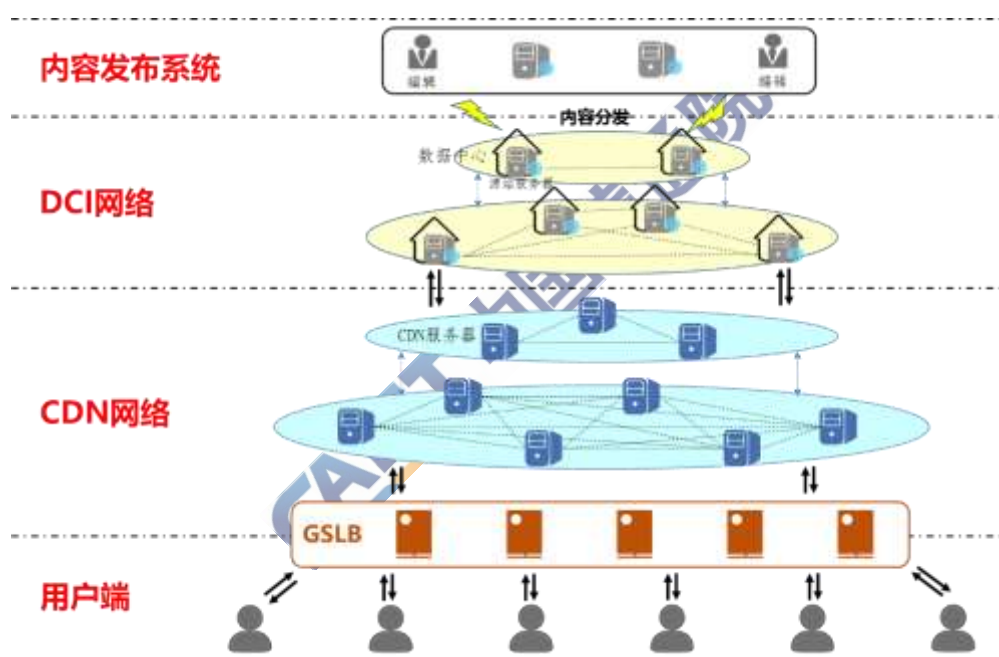


图 12 我国大型互联网企业网络架构示意图

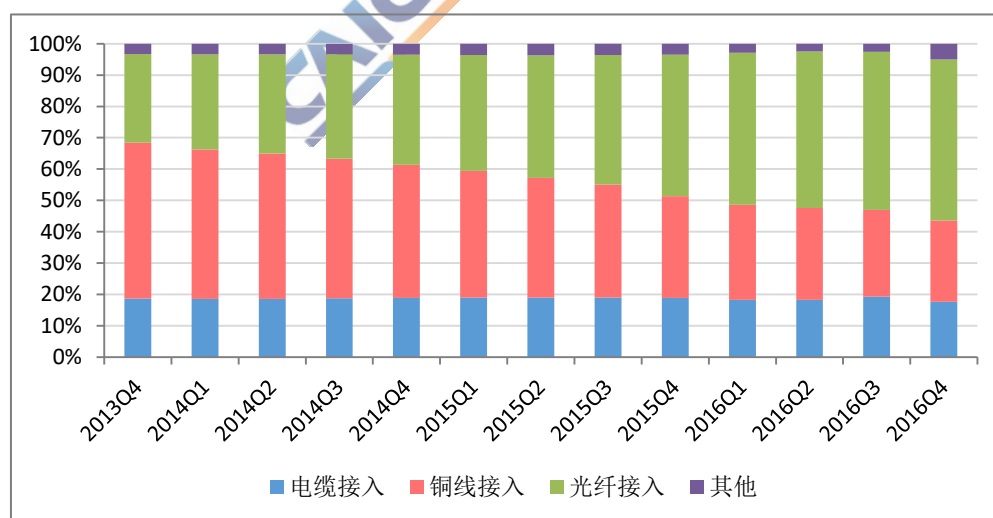
从大型互联网企业网络覆盖情况来看, 数张全国性 DCI 网络已落成并投入使用, CDN 网络亦可覆盖 31 省大部分电信运营商网络, 并向国际延伸。近年来, 大型互联网企业积极构建全国性 DCI 网络, 用于疏导数据中心间互通流量, 目前已具备 TB 级流量承载能力。此外, 大型互联网企业自建的 CDN 节点, 数量可达数百个, 以阿里为

例，目前阿里云海外 CDN 节点超过 300 个，覆盖全球六大洲、34 个国家和地区。

## （二）我国互联网网络在全球中的地位

### 1. 我国互联网网络能力的全球地位

从固定宽带接入能力来看，我国优于美英等发达国家。在固定宽带网络业务向 IP 业务的演进过程中，光纤宽带被广泛应用在骨干网、城域网和接入网，加快了“光进铜退”进程。据 Pointtopic 调查显示，2016 年，在全球固定宽带用户中，光纤宽带用户发展态势较快，占比已超过 50%。而在我国光纤宽带发展势头更为猛烈，全国所有地市基本建成光纤网络城市，80%以上行政村实现光纤到村。根据工信部最新统计数据，截至 2017 年 6 月，互联网光纤接入 FTTH/0 端口占互联网宽带接入端口总数比重已达 81%。



数据来源：Point Topic 《2016 年全球宽带统计调查报告》

图 13 2013 - 2016 年全球固定宽带不同接入技术用户占比情况

2016 年年底，英国通信管理局（OFCOM）与美国联邦通信委员会

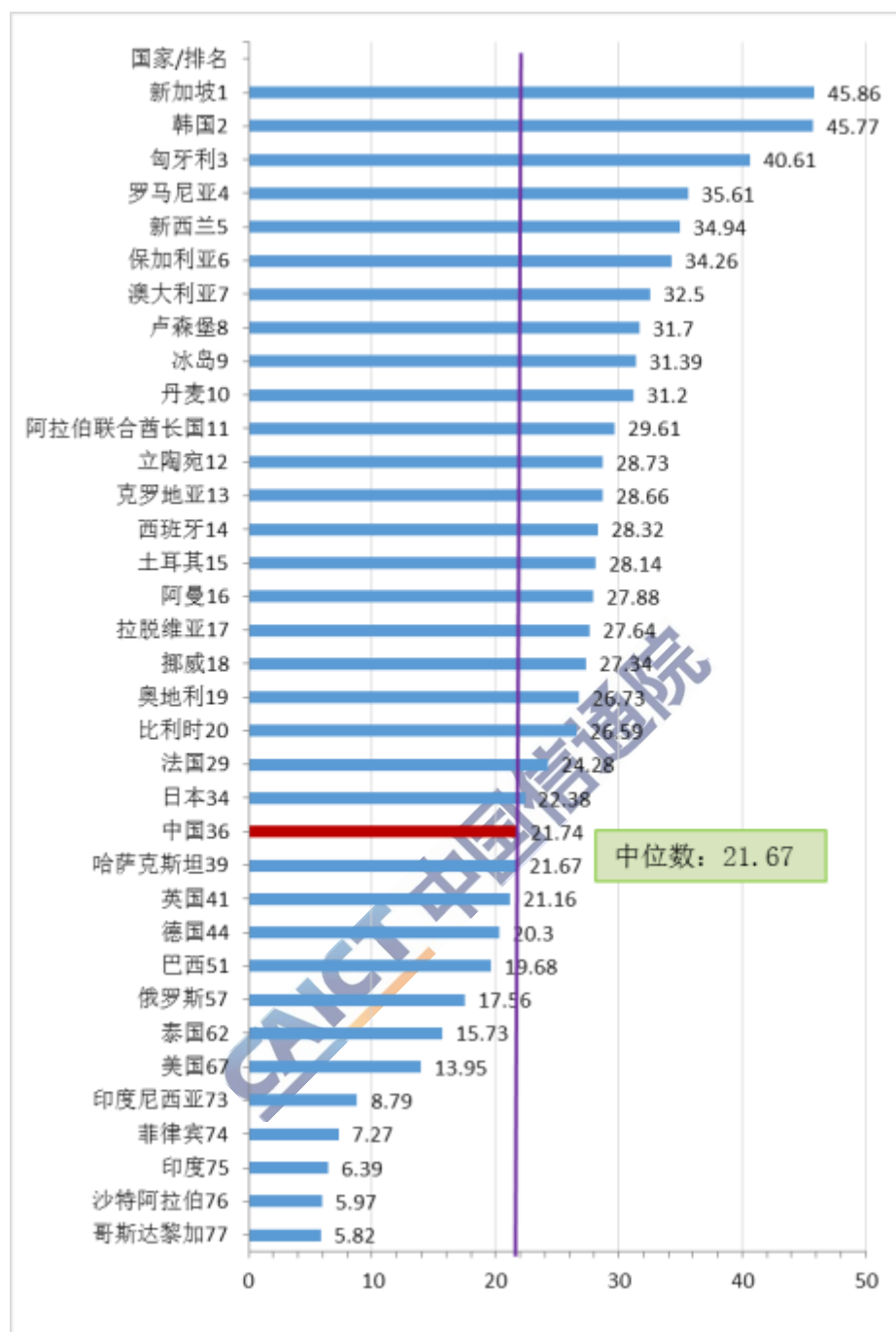
（FCC）发布英国和美国的固定宽带接入速率分别为 39.19Mbit/s 和 39Mbit/s<sup>3</sup>。同期，根据中国宽带联盟公布的数据，中国平均固定宽带接入速率为 49.04Mbit/s<sup>4</sup>，是同期英国的 1.25 倍，是美国的 1.26 倍。

从移动宽带接入能力来看，全球迈入 4G 时代，我国处于全球中位数水平。目前，全球 4G 网络发展进入成熟期，商用网络数量 600 余个，在建 800 多个，4G 网络流量在移动流量中占比近 70%，远超其他移动网络<sup>5</sup>。根据 Opensignal 于 2016 年 3 季度的统计，在参与测试的 77 个国家中，80% 的国家 4G 网络下载速率在 10~30Mbps 之间。我国 4G 网络平均下载速率为 21.74Mbps，略高于全球中位数 21.67Mbps。与全球最高 4G 下载速率 45.86Mbps 相比，我国 4G 下载速率不到其一半。

<sup>3</sup>英国 OFCOM 数据由 SamKnows 根据 2016 年英国家庭固定宽带用户志愿小组测试数据加权平均统计得出；美国 FCC 数据由 SamKnows 针对 13 个美国 ISP 电信运营商的 4281 个用户测试样本的中位数统计得出；

<sup>4</sup>根据 2016 年第四季度三家基础电信运营商上报的我国家庭固定宽带用户签约速率数据统计得出。

<sup>5</sup>思科 2017 年 3 月发布的《全球移动数据流量预测白皮书（2016-2021）》



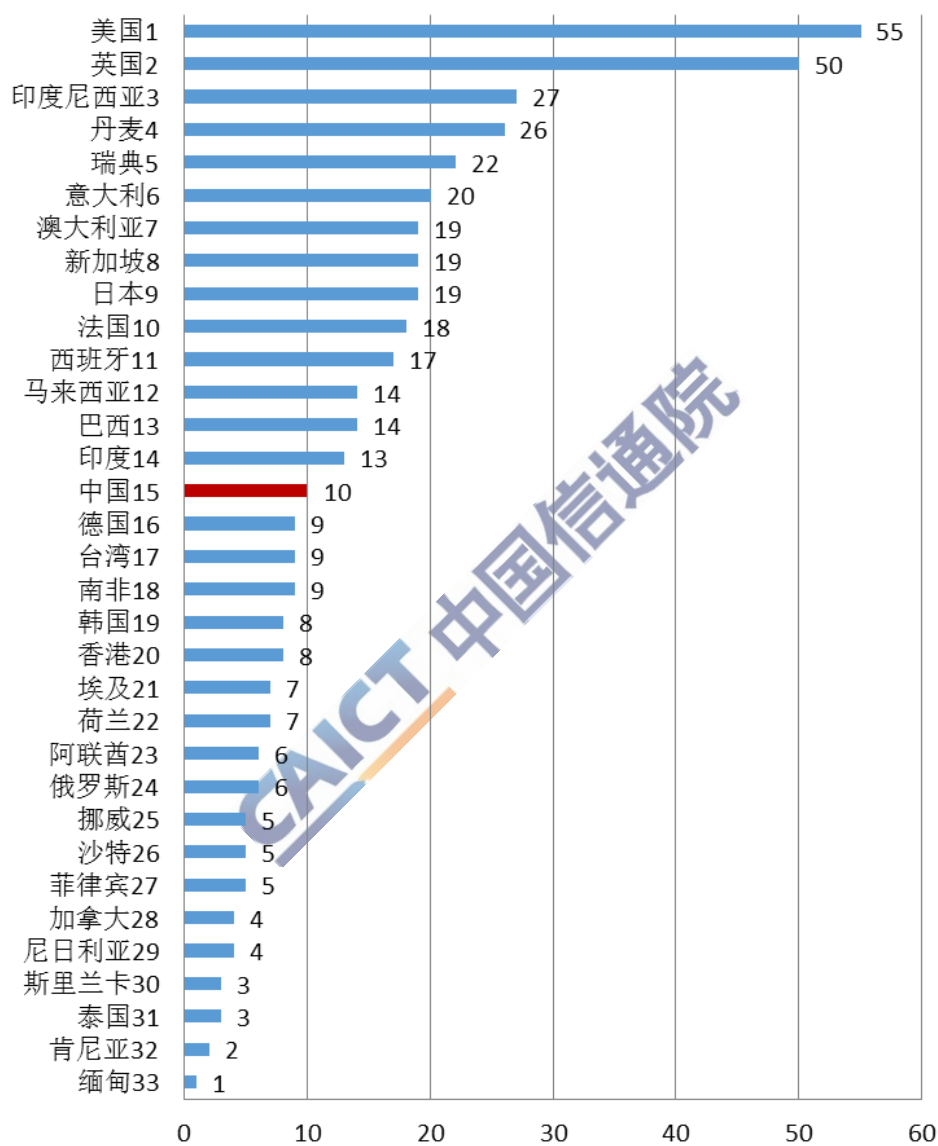
数据来源: opensignal.com

图 14 全球 77 个国家 4G 下载速率（单位：Mbps）

从国际海缆建设情况来看，欧美优势明显，我国拥有量相对匮乏。自 1989 年首条国际海底光缆开通以来，国际海缆迅速成为疏导跨国、跨洲信息的重要媒介。从海缆资源拥有量来看，发达国家明



显优于发展中国家。根据 TeleGeography2017 年对 33 个国家/地区的统计，美国和英国的登陆海缆数量最高，超过 50 条；我国拥有登陆海缆 10 条，差距明显。



数据来源：TeleGeography 和我国运营商

图 15 33 国/地区登陆海缆数量（单位：条）

从国际互联网出口能力来看，我国人均国际互联网出口带宽排名靠后。在全球信息化时代，国际互联网出口能力受到各国的高度

重视。根据 TeleGeography 的统计，2012 年-2016 年，全球国际互联网出口带宽以超过 30% 的复合增长率攀升至 470T 左右。其中德国国际出口带宽达到 65T，美英法荷的国际互联网出口带宽超过 20T。我国国际互联网出口带宽接近 7 个 T，位列第 15 名。但是，由于宽带用户基数较高，我国人均国际互联网出口带宽仅为 0.02Mbps<sup>6</sup>/宽带用户，位列 78 个国家/地区最末一位，远低于 78 个国家/地区的人均国际互联网出口带宽中位值 0.69Mbps/宽带用户。



数据来源: TeleGeography

图 16 2016 年 78 国/地区国际互联网出口带宽（单位：Tbps）

<sup>6</sup>根据 IDI 指数报告解读，人均国际带宽与语言有着强相关性，非英语母语国家的人均国际互联网出口带宽普遍偏低。





数据来源: TeleGeography 和 ITU

图 17 2016 年 78 国/地区人均国际互联网出口带宽 (单位: Mbps)

从国际互联网海外 POP 分布情况来看,我国主导运营商海外拓展不输发达国家运营商。美国、英国、日本、印度等国家借助本国具有较强行业影响力的基础运营商,迅速实现了全球化的国际互联网海外 POP 部署。其中,美国国际互联网的覆盖广度和深度均领先其他国家。据不完全统计,美国基础运营商 Level3 在北美洲、南美洲、欧洲、非洲、亚洲和大洋洲的 110 多个城市布设了国际互联网海外 POP。中国电信是我国国际互联网建设运营领先企业。其海外 POP 覆盖到了北美洲、南美洲、欧洲、亚洲、非洲和大洋洲,与美国

Level3 相同，比英国 Vodafone、印度 TATA、日本 NTT 更广；但是在全球范围内的布设城市总量少于美国 Level3 和印度 TATA，在北美洲、欧洲的布设城市数量均不突出。

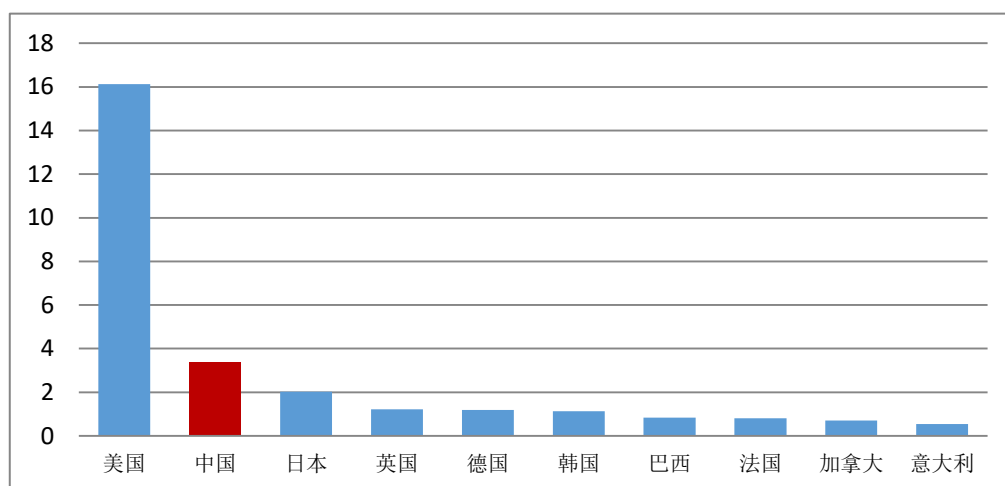
表 2 美国、英国、日本、印度主导运营商和中国电信的海外 POP 部署城市数量

	北美洲	南美洲	欧洲	亚洲	非洲	大洋洲	合计
美国 Level3	13	25	49	18	4	2	111
英国 Vodafone	7	0	19	7	0	1	34
日本 NTT	11	1	16	8	0	1	37
印度 TATA	22	0	21	16	5	1	65
中国电信	10	1	8	16	3	2	40

数据来源：TeleGeography 和我国运营商

## 2. 我国互联网网络资源的全球地位

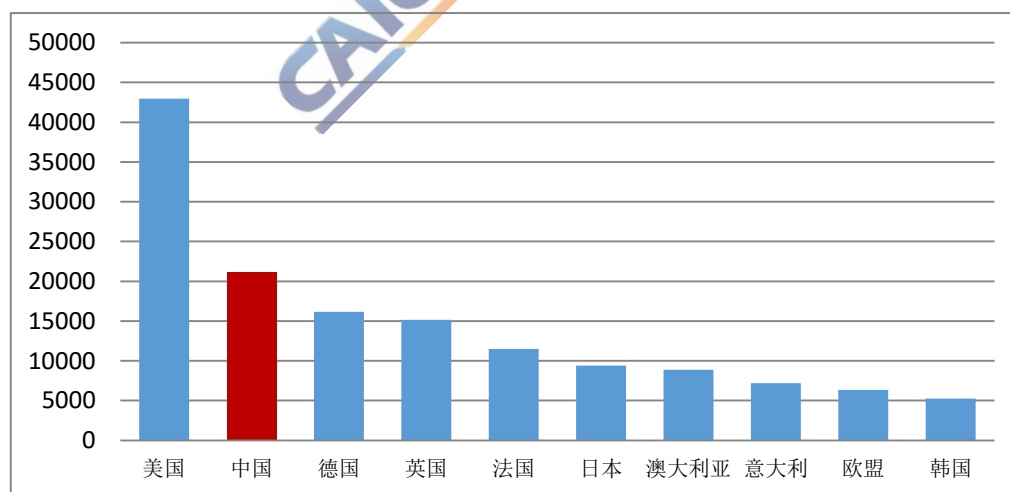
从 IPv4 地址资源分布来看，美国一家独大，中国人均拥有量远远落后。全球 IPv4 地址已于 2011 年分配完毕，已分配的 IPv4 地址约为 36.52 亿个，目前通告率已达 78%。其中美国约有 16.1 亿个 IPv4 地址，占全球已分配 IPv4 地址总量的 44.08%，排名全球第一，中国约有 3.38 亿个 IPv4 地址，占全球已分配 IPv4 地址总量的 9.27%，排名全球第二。但从人均地址拥有量来看，地区差距显著，美国人均 IPv4 地址达到 5.6 个，中国仅 0.47 个。



数据来源: resources.potaroo.net

图 18 分配 IPv4 地址量前十位国家（单位：亿个）

从 IPv6 地址资源分配来看，中国地址数量与通告率排名靠前，但与排名第一的美国还有不小差距。2017 年上半年，全球已分配的 IPv6 地址总量约为 215970.3 块(/32)。其中美国约有 43970.19 块(/32) IPv6 地址，占全球 IPv6 已分配地址总量的 10.17%，我国有 21284 块 (/32) IPv6 地址，占全球 IPv6 地址总量的 4.92%。

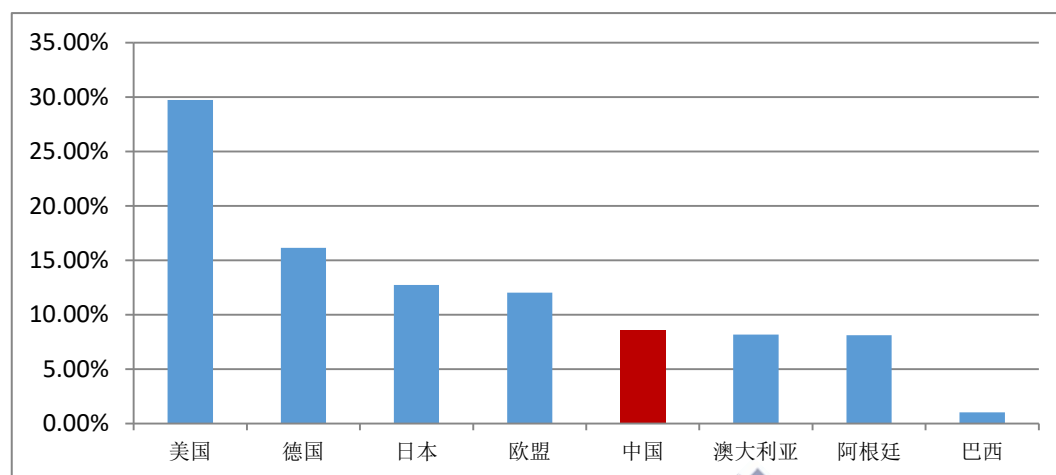


数据来源: resources.potaroo.net

图 19 分配 IPv6 地址量前十位国家（单位：/32）

已分配 IPv6 地址使用率处于较低水平，2017 年上半年达到

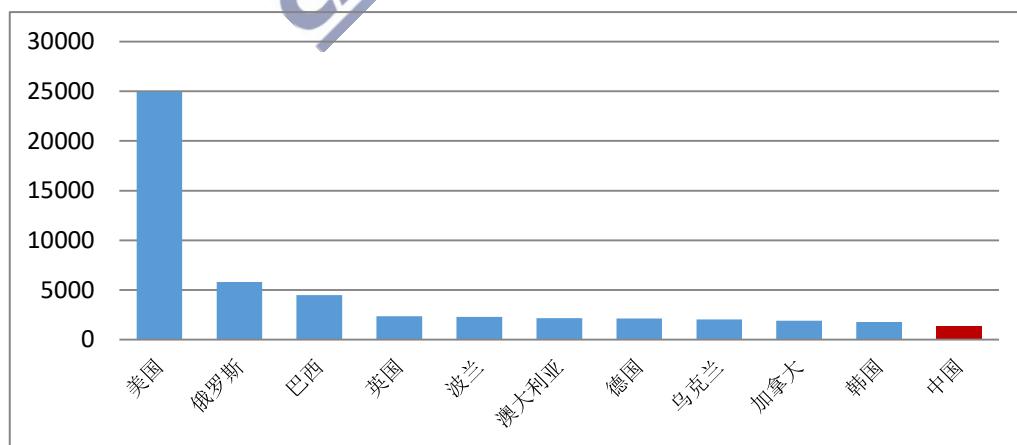
23.7%。全球仅八个国家通告率达 1% 以上，其中美国的地址通告率最高，达到 29.72%，中国仅为 8.54%。



数据来源: resources.potaroo.net

图 20 IPv6 地址通告居前国家

从自治域（AS）号码资源分布来看，美国全球遥遥领先，我国差距明显。全球已申请 AS 号码总量为 78962 个，美国共拥有 AS 号码 24944 个，位居全球第一。我国共拥有 AS 号码 1314 个，全球排名第 11 位，仅相当于第一名美国的 5.2%。



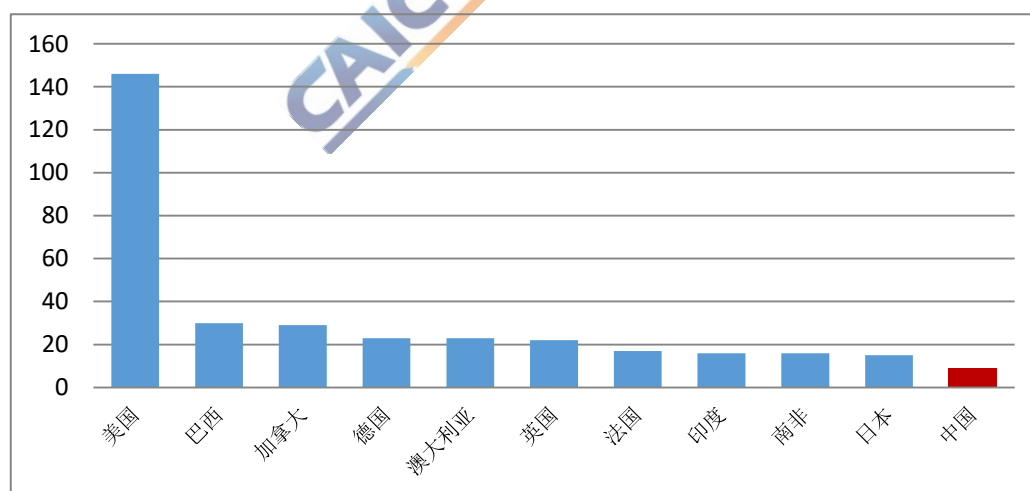
数据来源: resources.potaroo.net

图 21 全球 ASN 申请情况（单位：个）

全球域名资源增长显著，解析设施部署提速，但我国根镜像服

务器仍有不小差距。截止 2016 年 12 月，全球域名数量接近 3.3 亿个，较比 2015 年增长 6.8%<sup>7</sup>。其中 COM 域名注册量超过 1.2 亿，排名全球第一。我国域名数量实现了快速规模增长，我国域名总数达到 4228 万个，其中 CN 域名约 2100 万，在全球顶级域中排名第二，国家顶级域中排名第一。

根及镜像服务器是域名关键解析基础设施，截至 2017 年 8 月，全球根服务器及其镜像服务器（含节点）数量已达到 788 个，覆盖 138 个国家或地区，为全球用户提供就近的根解析服务能力。其中美国的根及镜像服务器数量为 146 个，约占全球总量近五分之一，遥遥领先其它国家，我国只引入了四个根（F、I、J、L）9 个镜像节点，总数量与加纳、印度尼西亚等 5 个国家并列，位居全球第 16 位，不及美国的十五分之一。



数据来源：root-servers.org

图 22 全球根服务器及其镜像服务器情况（单位：个）

### 3. 我国互联网网络性能的全球地位

<sup>7</sup>数据来源：verisign

从我国基础电信运营商与国际运营商骨干网性能对比来看，我国骨干网网内性能和国际基本持平，网间性能差距较明显。通过中国信通院自建的互联网监测分析与宽带测速平台<sup>8</sup>与国际 keynote 网站，可分别获得我国基础电信运营商骨干网性能，以及国际顶级运营商（包含 AT&T、Verizon、Sprint、Cogent、SAVVIS、NTT）美国的骨干网性能情况<sup>9</sup>。下表是 2017 年第一季度的统计数据，由表中可见，我国基础电信运营商网内平均时延与国际持平，丢包率略逊，而网间平均时延及丢包率差距较明显。

表 3 2017 年第一季度国际顶级运营商美国骨干网与我国基础电信运营商骨干网网内、网间性能比较

		时延(ms)	丢包率(%)
国际顶级运营商	网内	39.6	0.01
	网间	31.23	0.48
我国基础电信运营商	网内	38.21	0.12
	网间	55.70	0.58

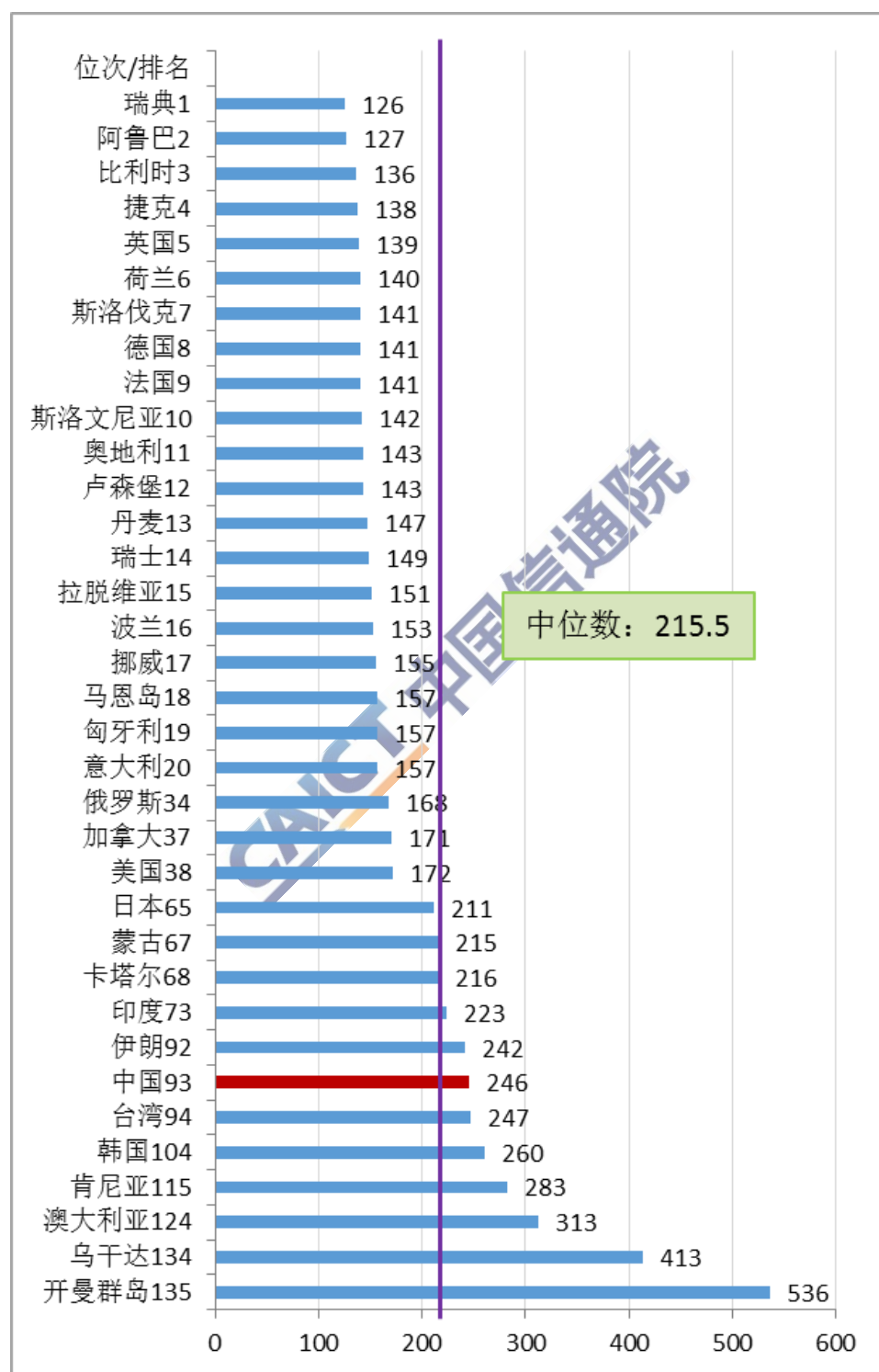
数据来源：中国信息通信研究院互联网监测分析与宽带测速平台/keynote

从全球互联网国际互访性能来看，欧洲国家整体网络通达能力较优，我国排名中等偏后，逊于中位数水平。据中国信息通信研究院国际监测平台统计数据显示，2017 年第一季度，全球 135 个国家/地区的国际互联网平均访问时延，瑞典平均时延最优，为 123ms。我国以 248ms 的平均时延位列第 93 位。在“OECD”34 个国家和地区中，瑞典排名第一位，我国约相当于“OECD”第 32 位水平。在“一带一

<sup>8</sup>平台在国内部署有 550 个测试节点，在全球六大洲部署有近百个测试节点。

<sup>9</sup>这里主要考虑到网络性能中的时延指标与距离强相关，骨干网之间的性能比较，需要充分考虑骨干网的覆盖面积。

路” 64 个国家和地区中，捷克平均时延最优，为 135ms，我国位列第 50 位。欧洲整体网络通达能力最优，亚洲稍逊于美洲。



数据来源：中国信息通信研究院互联网监测分析与宽带测速平台

图 23 全球主要国家和地区国际互联网平均访问时延对比（单位：ms）



### （三）我国互联网网络架构当前面临的问题

通过上一节的对比，不难发现，我国互联网网络能力处于全球较为领先的水平。光纤覆盖能力达到 80%，远超全球 50% 的平均水平；固定宽带接入速率近 50Mbps，高于欧美发达国家；移动宽带接入速率近 22Mbps，处于全球中位水平；国际海缆和海外 POP 节点覆盖的深度和广度也处于全球相对领先的位置。

但与此同时，为顺应未来互联网网络架构发展趋势，我国互联网网络架构，尤其是网间互联架构仍然面临一些问题。

#### 1. 网间互联方式有待进一步丰富

当前我国网间互联以静态接入基础电信运营商网络为主，不利于互联网网络扁平化的持续推进与未来业务的开展。从全球来看，全球的多个发达国家，其各种互联网网络主体，如互联网接入服务提供商、互联网内容提供商、云提供商、交换中心运营商等都是独立组网，他们之间通过边界网关协议（BGP）进行互联，逐步形成了当前全球互联网网络架构。

而在我国，三家基础电信运营商拥有我国大多数的宽带用户与内容资源，我国现有互联网网络的整体搭建仍然极大程度依赖于他们。事实上，由于我国基础电信运营商 BGP 接入费用高、国内自行组网人才匮乏等原因，我国大多数互联网接入服务提供商、互联网内容提供商、云提供商等都没有形成自有网络，主要使用三家基础电信运营商分配的 IP 地址，通过静态专线的方式接入其中，这意味



着这些互联网相关的网络主体无法自主选择互联互通网络方，只能借助基础电信运营商网络与其他网络实现互联互通。这在极大程度上阻碍了网络主体间的网络扁平化推进，也不利于互联网业务的进一步发展。

从代表互联网网络数量的 AS 号码资源可以进一步印证上述观点。我国目前申请的 AS 数量为 1314 个，但目前我国在互联网网络上通告的 AS 数量，仅为 300 多个，而美国申请的 AS 数量超过 25000 个，通告数量近 15000 个<sup>10</sup>。

## 2. 我国交换中心体系有待继续探索、健全

交换中心作为互联网网间架构的重要组成，在我国互联网网间架构中尚不能充分发挥其作用，有待继续探索可行模式。从全球来看，互联网交换中心因能实现“一点接入，多点连通”，一直以来，是互联网网络扁平化的有利推手。以 AMS-IX 为例，2017 年，AMS-IX 接入 800 多个网络，峰值交换流量超过 5Tbps。而随着云计算平台的广泛兴起，交换中心也不断扩展业务范围，云交换业务成为交换中心的新生业务，迎来发展期。此外，伴随着互联网网络技术的变革式发展，交换平台与 SDN 技术融合，推出了更为便捷、创新型的网间互联方式，这都使得互联网交换中心契合了互联网网络架构的演进趋势，在全球架构中占据着越来越重要的地位。

然而，在我国，一方面京沪穗建立的国家级交换中心，仅仅定

---

<sup>10</sup>数据来源：verisign

位于疏导基础电信运营商的网间流量，且随着新增骨干直联点的开通，疏导网间流量占比不足 1%，在互联网网络架构中的地位持续下降。另一方面，产业界自行探索成立的商业型交换中心，受我国自有网络主体较少、尚未开展云交换等新型互联网业务、商业交换中心业务的合规性仍在研究中、与基础电信运营商存在业务冲突等因素影响，商业型交换中心尚未获得业界广泛认可，也没有形成可持续发展的商业模式。

#### （四）我国互联网网络架构的改进目标与路径

本报告研究认为，为支撑各类互联网业务的发展需要，适应网络互联的新形势与新变化，需要全面考虑各网络主体，综合采用多种互联方式，进一步优化调整，从而形成以骨干直联为主、区域交换中心为辅、本地互联为补充的“全方位、立体化、多层次”互联网网络目标架构，如下图所示：

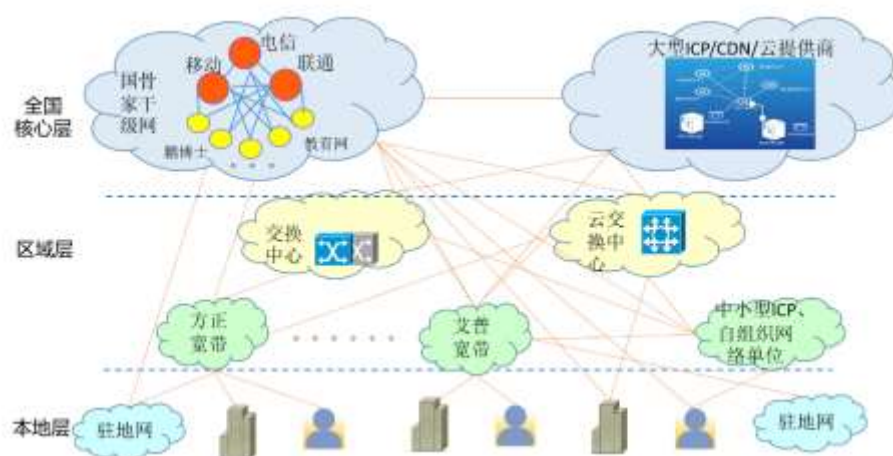


图 24 我国互联网网络架构的改进目标

从发展路径上来说，首先，积极探索在我国发展互联网交换中

## 心的可行模式。

**模式一：**盘活现有京沪穗国家级交换中心，仍然采取政府主导的方式，进行业务改革。改造现有交换中心的业务模式，允许 ICP、IDC、CDN、云服务提供商加入其中；改变现有交换中心的技术组织方式，提供诸如公有互联、私有互联、转接互联等更灵活的业务交换类型；综合运用行政、市场等多方手段，加大电信运营商接入交换中心的接入带宽；作为政府监管平台，加强交换中心网间质量与安全的监测。

**模式二：**依托现有商业交换中心，转变其模式，推动其发展。尽快明确交换中心的业务分类属性、出台交换中心管理办法，将现有商业交换中心纳入正常监管范畴，打消各类互联网企业的接入顾虑，减少商业交换中心的发展阻力。

**模式三：**依托大型 IDC 企业或者云计算基地，推动成立第三方交换中心。学习国际大型交换中心 Equinix 的发展经验，充分利用其已有的托管资源和网络资源，选择中立第三方机构运营交换中心。可采取类似直联点“竞争上岗”模式，鼓励各省申报，通过优中选优的方式，确定交换中心的新增地点与运营方。

**其次，产业联动，共同推进互联方式多样化。**一是借助互联网交换中心的推进契机，丰富各网络主体间的互联方式。从技术层面来讲，由于各网络主体必须独立组网才能接入交换中心，因此在我国，交换中心的发展必将带动网络主体开始独立组网，也推动他们

之间以更灵活的方式互联互通。**二是在产业层面**，行业主管部门可通过组织成立 BGP 联盟等方式，分享 BGP 组网经验，从技术层面推动企业独立组网；电信运营企业需积极评估互联方式转变对自身网络组织、流量调度等影响，重新设计企业接入资费体系结构，评测估算在云网协同、广域网布局以及交换中心等新兴领域的市场机会和企业定位，借鉴国际上 Level3、AT&T、Verizon 等企业经验，重点面向企业客户探索未来业务空间；各类互联网企业可评估企业内部网络进行独立组网的改造难度，储备相关技术人才等。

### 三、未来互联网网络架构的演进与展望

未来，一方面随着全球云计算爆发式增长及国内百万企业上云，企业部署多云战略日益常态化，在较长一段时间内云互联将持续带动网络变革、生态演进和国际拓展；另一方面，工业互联网、智能家居、智能可穿戴设备等有望成为新一轮部署焦点。与当前网络不同，未来生产型互联网将促使数千亿的设备接入网络，实现“万物互联”。未来基础网络需向“全连接”方向演进，连接方式将从移动智能终端、有限固定终端向全连接扩展，连接对象从个人向家庭、企业以及万物互联扩展。

因此，本章主要探讨互联网网络架构在“云”的推动下以及在产业方向的发展演进，最后列举各国目前对互联网网络架构开展的前沿探索。

#### （一）未来互联网网络架构的演进方向

随着云计算应用领域的不断拓展，云间数据交互需求还将持续加大，云间也将朝着更广泛互联方向发展，互联网网络主体向云端延伸，公有云与企业私有云、公有云与企业数据中心等旺盛的互联需求将持续推动网络架构变革和产业生态演进。

在网络架构方面，以云互联为核心协同组网带动网络架构持续扁平化，云商与运营商、第三方平台深度合作形成多层次、多元化的云互联物理通道，如专线、VPN、交换中心以及 SD-WAN 上云通道，实现公有云与企业私有云/企业数据中心直接对接，避免流量产生不必要的网络绕转。同时，以灵活、智能的云互联策略高效打通云间互联“最后一公里”，在路由协议层面，AWS Direct Connect 等国际大型云商建立独立互联平台以 BGP 方式支持用户网络入云，国内阿里云等主流云平台支持以静态路由方式接入，此外，软件定义云互联提供智能化、弹性及可视化的云互联服务，实现资源配置智能化。

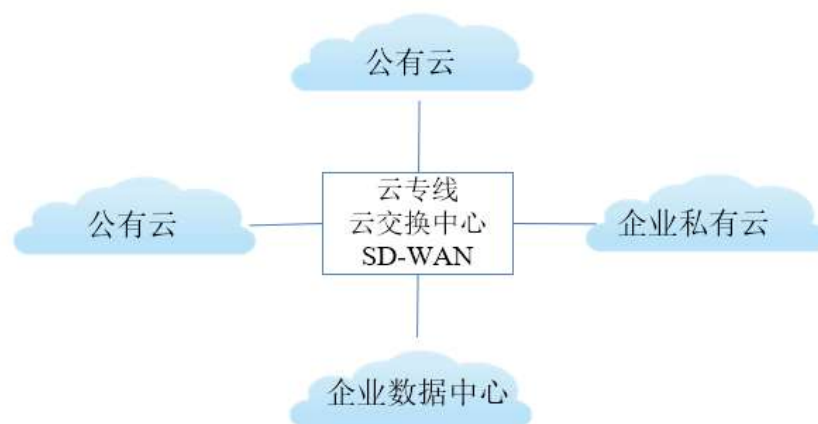


图 25 云互联逻辑架构示意

在产业生态方面，大量企业入云及多云互联市场高速增长，形成“云商为主导、交换中心集中交互、运营商云专线接入”的云互



联合作共赢新生态。云服务商具有平台优势，并掌握海量中小企业客户，然而 IDC 覆盖不足、企业专线接入资源不足，为解决资源困境云服务商将通过发起广泛合作的方式引领产业生态；交换中心汇聚大量云平台，大型数据中心广泛覆盖，也存在企业专线接入资源不足问题，交换中心将加大网络和云平台覆盖范围，提升互联枢纽地位；运营商 DC 资源和企业专线资源丰富，云专线保持高位增长，为保持企业市场收入并拉动自有云平台，运营商将持续发力云专线。

**在全球市场方面**，国内企业持续融入国际云互联大潮，不断拓展国际云互联基础设施，服务中国企业出海，拓宽全球云市场。以阿里云、腾讯云为代表的我国云计算服务商积极接入国际云互联平台，推进云服务基础设施本地化，既吸引国际云客户，提升我国云服务的国际竞争力，也成为我国企业走出去的便捷通道。同时，以安畅网络、犀思云等为代表的国内部分云互联平台为客户提供跨境云互联服务，服务企业出海。

## **（二） 互联网网络架构在产业方向的发展演进**

**工业互联网网络将成为工业智能化技术创新和设施建设重点。**

随着互联网和新一代信息技术与全球工业系统全方位深度融合与集成，工业互联网开始催生新的产业和应用形态。从网络角度看，工业互联网是用于实现机器、物品、控制系统、信息系统、人之间的泛在联接和数据智能的基础，是推动工业智能化发展的关键综合信息基础设施。



工业互联网网络可包括了工厂内和工厂外两大网络，以及网络互联、标识解析、应用支撑三大体系。基于 TCP/IP 的互联网网络技术体系在较长时间内将是具有产业化共识的演进路径，工厂外网络架构与通信将基于现有的互联网网络技术体系，SDN+网络虚拟化有可能成为工业互联网网络技术发展的重要方向，基于 IPv4/IPv6 实现网络互联，并随着需求变化而演进创新。为实现超低时延、超高速率和资源定制等需求，工厂内网络率先采用 5G、SDN、扁平组网、IPv6 等技术，逐步实现 IP 化，打通厂内厂外网络。

目前，工业互联网已得到全球范围的广泛关注，美国组建“工业互联网联盟（IIC）”，发布了《工业互联网架构》；德国提出了工业 4.0；我国分别出台了《中国制造 2025》、《国务院关于深化制造业与互联网融合发展的指导意见》等国家战略，组建“工业互联网产业联盟”推出《工业互联网体系架构白皮书》，对工业互联网的网络架构演进进行了系统梳理。在国内外各国的大力推动下，工业互联网网络有望成为网络技术创新和设施建设的重点。

### （三） 互联网网络架构的前沿探索

多国启动未来互联网网络架构研究。为了从根本上解决互联网的原始设计弊端所引发的诸如可扩展性、安全性和移动性等问题，世界各地启动了多个基础研究性项目研究未来互联网体系架构。例如美国的 GENI 计划、FIND 计划、FIA 计划，欧盟的第七框架（FP7）计划，日本的 AKARI 计划，韩国的 FIF 项目等等。就国内而言，我

国也十分重视未来网络体系架构的研究，先后开展了多项前沿研究工作。为了加强我国在未来网络领域的研究，实现与国际水平接轨，2007 年，在国家“973”计划、国家“863”计划以及国家自然科学基金的支持下，我国科研人员先后开展了“新一代互联网体系结构理论研究”、“一体化可信网络与普适服务体系基础研究”、“新一代互联网体系结构和协议基础研究”等一系列研究项目。在此基础上，我国近年来在未来网络体系方面具有一定研究成果，例如中国信息通信研究院提出的未来网络承载网 PTDN，中国联通提出的基于服务可定制的网络 SCN、北京交通大学提出的智慧协同网络 CoLoR 等等。

**旨在满足用户对服务内容需求、提高网络传输效率的信息中心网络 ICN 在近年来得到了业界的广泛关注。**以信息为中心的网络是将互联网基础架构从以长连接和端对端原则为基础的以主机为中心的范式转变为以“命名点的信息”为关注点的网络架构。信息中心网络通过为信息命名，使得信息在网络中任意位置（节点）存储而不改变名字，从而便于用户获取内容，提升用户体验和网络效率。基于此思想，世界各地的学者也提出了一系列未来互联网体系架构，例如 NDN、MobilityFirst、PSIRP、DONA、XIA 等等。



中国信息通信研究院

地址：北京市海淀区花园北路 52 号

邮政编码：100191

联系电话：010-68033644、62304839

传真：010-62304980

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

