
通信 4.0⁺
重新发明通信网
李正茂 中国移动通信研究院 著



中信出版集团 · CHINA CITIC PRESS

通信 4.0[®]

重新发明通信网

李正茂 中国移动通信研究院 著

图书在版编目 (CIP) 数据

通信 4.0: 重新发明通信网 / 李正茂, 中国移动通信研究院著. —北京: 中信出版社, 2016.2
ISBN 978-7-5086-5815-5

I. ①通… II. ①李… ②中… III. ①通信网-研究
IV. ①TN915

中国版本图书馆CIP数据核字 (2015) 第 321180 号

通信 4.0 : 重新发明通信网

著 者: 李正茂 中国移动通信研究院

策划推广: 中信出版社 (China CITIC Press)

出版发行: 中信出版集团股份有限公司

(北京市朝阳区惠新东街甲 4 号富盛大厦 2 座 邮编 100029)

(CITIC Publishing Group)

承 印 者: 北京通州皇家印刷厂

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 18.25 字 数: 150 千字

版 次: 2016 年 2 月第 1 版

印 次: 2016 年 2 月第 1 次印刷

广告经营许可证: 京朝工商广字第 8087 号

书 号: ISBN 978-7-5086-5815-5 / F · 3568

定 价: 49.00 元

版权所有 · 侵权必究

凡购本社图书, 如有缺页、倒页、脱页, 由发行公司负责退换。

服务热线: 010-84849555 服务传真: 010-84849000

投稿邮箱: author@citicpub.com

从 20 世纪 50 年代到现在，现代信息通信技术经历了半导体、个人计算机、互联网三次浪潮，给全球的社会、经济等方面带来了巨大发展，世界因此变得越来越“平”，人类的生产方式、生活方式也在不断地发生着本质变化。我们每个人现在一年接收的信息量可能远超过 200 年前一个人一生接收的信息量，需求的爆炸和技术的突飞猛进共同推动着通信业加速前进。

相比发达国家，中国的通信业起步较晚。在一代代通信人艰苦卓绝的努力下，中国的通信事业奋起直追，以空间换时间，取得了长足进步。本书将通信的发展历程划分为四个主要时代，这个划分是对过去很好的总结，同时也预示着未来的发展方向。

时至今日，通信的内涵和外延已经有了很大的扩展，甚至通信

的主体都将发生本质的变化。以前，人口红利在很大程度上推动了通信的发展和演进，随着人口增长率进入饱和，人口红利逐渐消失，人作为通信主体的时代正在悄悄发生着一些变化。我们应该看到，随着时间的推移，人与人之间的信息交互会逐步延伸到人与物，甚至物与物之间的信息交互。可以想象，更庞大的物物间的信息通信需求将再度引爆通信业，形成新的突破。因此，我相信万物互联的时代将驱动通信业再次发生质变，而适应这种变化的通信网应该是什么样的？对它的要求应该有哪些？相信读者能在本书中找到答案。

当前，以互联网和通信为代表的技术进步正在形成推动技术发展的两大核心基础设施，尤其是通信技术，进入了快速发展轨道。我欣喜地看到，本书对未来通信网的架构和核心要素提出了非常明确的构想，即在模拟化、数字化、IP（互联网协议）化之后，将进入以IT（信息技术）化为核心的通信 4.0 时代。我相信这是中国在长期技术跟随和积累的基础上，提出的大胆创新，也是对通信业未来发展之路的有效探索。以架构开放、高效敏捷、按需调度为目标的发展思路，体现了中国通信业积极拥抱变化、开放互通的良好心态，有助于形成充满活力、健康共荣的生态系统。

进入通信 4.0 时代，我想一定会产生一系列深刻的影响和变化。比如，运营商的界限会被打破。现在我们再来审视运营商这个概念，到底什么是运营商？中国只有三家运营商吗？显然不是。随着CT（通

信技术)和IT的深度融合,二者之间将不再有明确的界限。在CT时代,原有的上下游供给关系形成的制造商、网络运营商及业务服务商的产业链将发生重大变革,由上下游关系变成相互渗透、相互融合的平面关系。首先,我们要站在当代信息技术快速发展的更高角度去重新审视“运营商”的概念,这些运营商都将在万物互联的时代构成新的运营主体;其次,运营商和制造商的界限也要重新定义。当我们要打造一个构建在通用硬件上的网络,从需求出发重新定义网络,把通信系统软件化,这个时候,运营商自己也会成为集成商,研发和运营一体化将成为未来的常态。

本书的副标题是“重新发明通信网”,有鲜明的时代特征。这种“重新发明”不但会对运营商、制造商本身产生影响,还会对产业链产生深刻的影响。我们从现在看未来,至少可以看到两个趋势正在发生。一方面,由于软件固化技术的发展,众多硬件厂商已变成含有软件功能的通用硬件提供商。随着标准化程度的提高,硬件方面的智能化竞争会更加激烈。另一方面,通信网软件化将搅动软件业的一池春水。软件不仅管控整机的运转,还将深入复杂多变的庞大网络体系中,发挥巨大的管控能力。我相信未来在软件方面很可能会产生几家具有创新思维的伟大公司,必将超越个人电脑时代的微软公司和移动互联网时代的苹果公司。而这一切的变化,都将促使通信业产生前人难以想象的变化,这一变化最终的受益者

将是广大用户。

通信 4.0 时代的构想离不开技术突破，技术突破一定是推动变革的核心力量之一。我一直在倡导，企业才是技术创新的主体，而且中国今后要依靠原创性的创新。原创性的创新并不是说所有的都要我们从起点或零点开始进行创新，但你总是要有所发明，否则你很难在技术领域占据先发优势，很难在竞争激烈的全球市场中提升竞争力。

未来的通信 4.0 时代给了 CT/IT 产业链中的企业更多技术创新的机会。对于中国信息社会基础设施的电信业来说，通信 4.0 的提出顺应了“大众创业、万众创新”的新趋势。通信 4.0 的实现必将引发产业链的重构和社会分工的重新组织，而这些变革又可以提供更多的发展和创业机会，从而推动中国的产业结构转型，反过来也为推动通信 4.0 的发展提供了原动力。

吴基传

原邮电部、信息产业部部长

互联网作为 20 世纪最伟大的发明之一，从诞生到现在走过了 40 多年，全球互联网普及率已超过 40%，深刻改变了人类的生产生活。互联网应用已经从桌面互联网发展到移动互联网，从消费互联网扩展到产业互联网。“大智移云”（大数据、智能化、移动互联网和云计算）技术的成熟推动了互联网向制造、商贸、政务、交通、金融、医疗、教育等领域渗透，开启了“互联网+”的崭新时代。

作为互联网基础的通信网络，从模拟通信向数字通信的转型，是互联网兴起的必要条件，而互联网的发展又加快了数字化进程，并推动通信网进入 IP 化时代。“互联网+”灵活多变的业务形态对通信网络提出了多种需求，推动通信网络进一步升级换代。本书作者参考制造业中“工业 4.0”的定义方式，将模拟化、数字化和 IP 化之

后的通信网称为通信 4.0 时代。

通信 4.0 的需求首先表现为构建以高速、移动、安全、泛在为主要特征的新一代信息基础设施。高带宽是业务体验的基础，互联网用户对带宽的需求将继续呈井喷式的增长；移动性是以用户为中心的体现，用户能够随时随地地接入网络，即使身处高铁或飞机上仍然会有如在家中可靠连线的感觉；安全性是网民放心上网的保证，也是国家重要基础设施和企业生产装备永远在线的前提；泛在性是智能社会的基础，将网络从连接人扩展到连接物，支撑高密度广连接的万物互联，使虚拟世界与物理世界相融，拓展了人的感知空间和管控能力。

为了满足上述需求，通信 4.0 网络体系需具备分层可控和开放的网络架构、全面的按需调度能力和开放能力，而且网络中的计算资源、存储资源、连接资源均可动态编程，可根据用户、业务的需求智能适配和全局优化，并可对外开放及再开发。网络的开放体系还表现在网络的可扩展性和鲁棒性及高生存性。借鉴数据中心成功实践的云计算、大数据、虚拟化、软件化等技术，推进 SDN（软件定义网络）和 NFV（网络功能虚拟化）的应用，成为通信 4.0 网络的第一步。未来还会将 CT 与 IT 更加深度地融合，实现通信、计算与控制三位一体，从这一意义上说，通信 4.0 标志着通信进入 IT 化时代。

以 TD-LTE（分长期演进）为标志，中国的移动通信技术进入

世界先进行列。在网络技术方面，中国移动提出了下一代革新网络方案——NovoNet，构建了软件化、虚拟化可编程的网络架构和灵活高效的网络运营体系。通过引入NFV、SDN等新技术，使移动网络、IP承载网络、传送网络、数据中心等异构网络实现业务的虚拟化，使网络能够支撑灵活业务，满足低成本、高效率的运营需求，为向通信 4.0 演进做了很好的准备。

通信 4.0 的路还很长，CT和IT的融合以及DT（数据技术）的应用会面临不少挑战。从现有网络向IT化通信网络的过渡与兼容在产品开发、工程建设和运营维护上需要通盘考虑，尤其是中国作为全球规模最大、用户最多的网络，在国际上尚没有成功的经验可借鉴。但通信 4.0 时代的到来开拓了在网络技术方面创新的空间，给了我国在网络技术与产业领域跨越发展的机遇。《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十三个五年规划的建议》中提出：“实施网络强国战略，加快构建高速、移动、安全、泛在的新一代信息基础设施。”通信 4.0 的理念是对中央这一号召很好的呼应。

通信 4.0 是未来互联网发展的基础，承载着中国通信事业腾飞的希望。本书作者团队有在通信运营多年的工作经验并开展过众多研究实践，在《通信 4.0》一书中他们以通俗易懂的语言和形象的比喻，回顾了通信发展的历程，结合 5G（第五代移动通信技术）和“互联网+”及“中国制造 2025”分析了未来通信的需求，引出通信 4.0

的来由，介绍了支撑通信 4.0 的关键技术，讨论了通信 4.0 面临的机遇与挑战。书中还包括 ICT（信息与通信技术）产业的专家对通信 4.0 的认识与展望。作者强调了通信网络的演进对未来互联网发展的重要影响以及对我国的重要意义。相信通信 4.0 理念的提出将引发 ICT 领域从业者更多的思考，促进通信与计算的深度融合，创造出更多的新业态。本书值得关心互联网发展的人们一读。

邬贺铨

中国工程院院士

一个技术时代的发展与崛起，绝非依靠技术进步即可达成。同期的商业环境、社会文明都在影响着技术的兴衰。因此，从现实意义来说，通信 4.0 概念的提出正是当今社会产业浪潮中 IT 深入 CT 产业之后的必然结果。在很长一段时间，由于互联网产业的飞速发展，通信业陷入焦虑，甚至因为无法找到未来而怀疑自己是否还有未来。在这种情况下，与其焦虑，不如静下心来对历史、环境、趋势做一番仔细分析。《通信 4.0》阐述网络系统的发展历史，探寻其发展轨迹，总结其经验教训，对于网络系统发展目标和核心技术的预测大有裨益。同时，对于运营商如何改变运营困境以及通信业如何重塑和形成产业环境，也多有着墨。这本书更着力讲述很多尚在普及或将要发生的，比如 SDN 和 NFV 技术，以及对下一代网络产业环境和

商业浪潮的判断与预测。

通信 4.0 时代对通信网络的演进具有划时代的意义，同时也是重塑中国网络体系国际标准格局的重要契机。人类社会的有序运转依靠的是一系列规则及标准，谁掌握标准的制定权，谁就掌握了推动社会进步的制高点。科研实力是制定科技标准的基础。然而，一个令人遗憾的事实是，世界近代历史上的历次技术革命，中国均是学习者，西方科学技术始终是最重要的创新源泉，因此科技标准的制定长期由西方学者主导。通信业也同样面临如此的尴尬困境。中国是全球拥有最多互联网用户和手机用户的国家，但遵循的却是由欧美厂商主导制定的通信标准。为摆脱落后的局面，中国通信业一路舍命狂奔。可喜的是，近年来通信技术的新变革中，中国与世界的距离正逐渐缩小，特别是自主研发的 4G（第四代移动通信技术）无线空口 TD-LTE 技术，已成为国际标准，标志着中国无线通信技术迈入世界领先行列。

相比于无线通信系统突破封锁初战告捷，我国的网络系统虽然一直是全球规模最大、应用最先进的网络系统，但在核心技术方面一直处于跟随状态，导致在网络系统标准方面我国难有发言权。再优秀的国际标准，毕竟与中国电信网的需求隔了一层。倘若中国主要依靠西方电信业制定的标准去建设中国的电信网络，必然导致中国网络系统存在大量定制化需求，大大增加网络的运营成本，这种

尴尬的境况将会一直困扰着中国的电信业。因此，长期以来，中国通信界的学者呕心沥血、探索研究，产生了众多令人深思的著述宏论和丰富实践。然而，网络系统标准的演进方向是难有最终答案的难解之谜。这不仅因为网络系统本身具有的复杂性，而且由于技术在进步、商业环境在不断变化，网络技术兴衰的轨迹不可能简单重复。因此，有关网络系统演进方向的探讨也就永远不会过时。《通信 4.0》正是深刻分析了当今电信产业的现状及社会商业环境，旨在为网络技术演进指明思考、研究和探索的方向。这将对中国网络标准体系的建立大有裨益。

通信 4.0 已然箭在弦上，中国电信业正一步步向未来迈进。

赵厚麟

国际电信联盟（ITU）秘书长

IT/CT 之化学反应

通信网的发展是一个不断创新、不断自我革命、不断焕发青春的过程。在经历了模拟通信、数字通信、通信网络全面 IP 化后，当前通信网正加速转向基于通用 IT 的通信 4.0 时代。

经过 100 多年的发展，通信网从最初的仅仅帮助人们实现人与人之间最简单的信息传递，已经发展成为一个连接万物的超大规模的系统和网络，对人类的生产生活和社会的方方面面都产生着重大的影响。通信带给人们生活和工作方式的变化可谓日新月异，通信技术也在满足甚至创造新需求的过程中不断发展。在通信技术发展的历史长河中，由从无到有的 1.0 时代逐渐发展进化到 3.0 时代，这是一个技

术不断积累和酝酿的过程。厚积薄发，量变达到一定程度就会引发质变。在这个发展过程中，一些关键节点的关键技术，给整个通信网络带来了突破性的推动作用，进而带动了整个社会的发展和进步。通信 4.0 时代的到来就是一次具有划时代意义的通信技术的升华。

通信 4.0 时代到来之前，CT 与 IT 似乎是两个不同的领域，各自发展，逐渐形成了两大相对独立的阵营。人们把以计算机技术为基础的信息化技术统称为 IT。从本质上看，CT 和 IT 的技术基础并没有很大的不同，但以通信运营商为代表的 CT 阵营强调的是高可靠性、大规模、高一致性等特殊特性，因此形成了相对封闭的设备形态和产业生态，灵活性、效率和成本则成为其短板。而以互联网运营商为代表的 IT 阵营本着“尽力而为”的原则，利用通用计算机设备、技术和人才，大幅提高了网络的灵活性，降低了成本。

随着数据流量和互联网应用的爆炸式增长，传统的 CT 模式受到根本性的冲击，在成本、效率以及灵活性等方面的“天花板”也越来越明显，迫切需要引入新技术打破原有的制约。伴随着摩尔定律成长起来的 IT 则凭借其在技术、人才等方面的优势，天然成为 CT 的良好补充。在 CT 领域引入 IT，可以使得通信业迅速补足短板，并继承 IT 在通用硬件、成本、灵活性等方面的优势。

更重要的是，随着云计算、大数据技术的成熟，以及网络带宽的迅速提高，在通信领域引入最新的 IT 成为可能。通信 4.0 的核心是

采用通用的计算、存储及网络设备，用软件实现各类通信功能，通过程序来自动化地调度和优化网络。换句话说，网络采用软件化的内在实现形式，保留CT的网络内涵和品质，更加深刻地再造通信网络。CT和IT的深度融合使得通信网络的资源可全局调度、能力可全面开放、容量可弹性伸缩、架构可灵活调整。网络提供的能力使得运营商有机会根据自己对网络的理解和需求，定义和开发网络，提供差异化的服务。

如今，通信网已经成为承载“互联网+”、物联网、智慧城市、智能生活等的基础。通信4.0时代的到来，将给“互联网+”、工业4.0和产业链带来深刻影响。

首先，通信4.0将给“互联网+”带来深刻影响。具有几乎无限可能的、涉及大量不同领域的且不断发展和创新的“互联网+”新业态，对互联网的基础设施及其运营持续提出了新需求。传统的通信网络主体上还是“封闭网络”，面对越来越多的开放性需求，通信网通常要在原有网络上叠加一层“开放层平台”来完成内部功能的对外开放，降低了网络功能实现的有效性和效率。通信4.0将提供基于网络本体的开放，开放性将可以体现在每个网元，变得无处不在，因此可以极大提升与“互联网+”的匹配度以及支持能力。

其次，通信4.0将给工业4.0带来深刻影响。德国提出的工业4.0带动了工业界的又一次革命，我们甚至可以说工业4.0是以智能