



专栏：云网融合

5G 核心网云网一体化运维

张雪

(中国电信股份有限公司研究院, 北京 102209)

摘 要: 全球大多数主流运营商已转向 5G 独立组网架构, 并开始了 5G 独立组网架构的商用部署。5G 核心网采用网络功能虚拟化技术, 将通用的计算、存储、网络等硬件形成多种虚拟资源, 基于需要实现网络功能及资源动态灵活性部署。随着网络功能虚拟化的 5G 核心网的大规模商用部署, 5G 核心网的运营维护也面临新的挑战。分析了 5G 核心网的虚拟化部署方案带来的运营维护工作难点, 提出 5G 核心网运营维护系统建设的架构和方案, 并在此基础上提出 5G 核心网云网一体化运营维护组织架构建议, 为 5G 核心网云网一体化运维工作提供参考。

关键词: 5G 核心网; NFV; 云网一体; 运营维护

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2021200

5G core network cloud-network integration operation & maintenance

ZHANG Xue

Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Beijing 102209, China

Abstract: Most operators in the world have turned to 5G independent networking architecture and have begun commercial deployment of 5G independent networking architecture. The 5G core network adopts NFV technology, which forms a variety of virtual resources for general computing, storage, and network hardware to achieve dynamic and flexible deployment of network functions and resources based on needs. With large-scale commercial deployment of 5G core network with network function virtualization technology, the operation & maintenance of 5G core network is also facing new challenges. The difficulties of operation & maintenance brought was analyzed by the virtualization deployment scheme of 5G core network, the architecture and scheme of 5G core network operation & maintenance system construction were proposed, and suggestions on the organizational structure of 5G core network cloud-network integration operation & maintenance were put forward, so as to provide reference for 5G core network cloud-network integration operation & maintenance.

Key words: 5G core network, NFV, cloud-network integration, operation & maintenance

收稿日期: 2021-05-01; 修回日期: 2021-08-15

基金项目: 国资委重点研发计划项目 (No.21HQBYYF0019-001); 中国电信研究院专业能力级项目 (No.T-2021-10)

Foundation Item: Key R&D Program of State Assets Administration Committee of the State Council of China (No.21HQBYYF0019-001), Professional Ability Level Program of China Telecom Research Institute (No.T-2021-10)

1 引言

2020 年全球大多数主流运营商已转向 5G 独立组网架构,并开始了 5G 独立组网架构的商用部署^[1]。5G 网络 3 种典型的场景为:增强型移动宽带 (enhanced mobile broadband, eMBB)、低时延高可靠通信 (ultra-reliable and low latency communication, uRLLC) 和大连接物联网 (massive machine type communication, mMTC)。传统的专用硬件难以适应网络和业务发展的需求,采用网络功能虚拟化 (network function virtualization, NFV) 技术进行 5G 核心网的部署,能够实现 5G 业务的快速部署、资源的灵活调用、故障的快速隔离和自愈,对 5G 网络特性发挥起到了重要的作用^[2]。同时网络功能虚拟化技术的使用带来一些运营维护的难点,例如软硬件的一体化监控和告警关联、网元和网络功能虚拟化基础设施 (network function virtualized infrastructure, NFVI) 的兼容性以及维护团队职责的协同问题,这些难点都将是运营商在 5G 核心网运营维护过程中需要解决的问题。

2 5G 核心网的虚拟化部署方案

与 4G 核心网架构不同,5G 核心网引入服务化架构 (service based architecture, SBA) 进行设计。5G 核心网的 SBA 借鉴了软件开发领域成熟的面向服务的架构 (service-oriented architecture, SOA) 和微服务架构 (micro-service architecture, MSA) 的综合优势,提出了面向服务的总线架构,将传统的以网元和信令传输为基础的网络架构转变为以服务和应用程序接口 (application programming interface, API) 为主的服务架构,其主要架构如图 1 所示^[3]。此架构实现了网络功能的灵活组合,能够支撑业务的敏捷提供和能力开放。

延续 4G 核心网业务平面与控制平面完全分离的理念,5G 核心网将网络功能 (服务或网元) 分为控制面功能和用户面功能。其中将用于数据

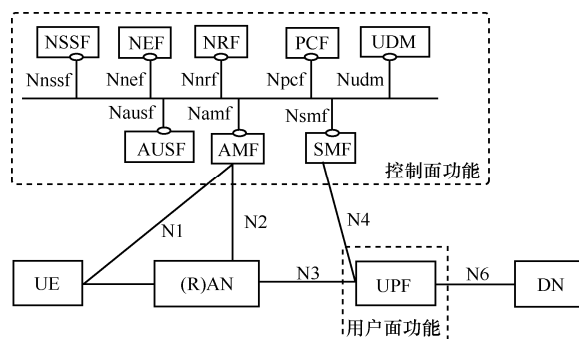


图 1 5G 核心网服务化架构

转发用户面功能 (user plane function, UPF) 进行下沉,实现 UPF 靠近用户侧进行部署,可以有效避免长距离网络传输时延,提升用户体验。控制面功能的网元采用集中式部署或分布式部署方式,采用服务总线的方式连接,各网元功能根据不同的功能统一接入服务总线,实现基于通用网络访问接口进行远程访问。5G 核心网主要的网元功能定义见表 1。

基于 SBA 的 5G 核心网对各网元功能的重新梳理,使整个网络架构更加灵活,业务部署更加敏捷,同时 SBA 使 NFV 的优势得以充分发挥。NFV 技术将传统的 CT 业务部署到通用物理硬件虚拟化所形成的虚拟云平台,实现软硬件解耦的一种技术。NFV 技术的应用不但避免了设备对专用硬件的依赖,减少运营商的 CAPEX,同时,资源的灵活获取,可能帮助运营商进行网络切片的构建,满足不同业务的需求,使宽带、连接、安全性等特性在不同切片中体现出差异,在不同的场景发挥作用。在 NFV 技术的支持下,网络的软件、硬件得以分离,这使得网络资源的配置和部署更为灵活,对进一步发挥 5G 系统的独特优势起到了重要的作用。

当前业界 NFV 架构主要采用欧洲电信标准协会 (European Telecommunications Standards Institute, ETSI) 为 NFV 制定的参考架构,如图 2 所示。NFV 架构分为 3 层:基础设施层、虚拟网络层和运营支撑层。



表 1 5G 核心网网元功能定义

网络功能平面	名称	中文全称	功能	与 4G 网元的对比
用户面功能	UPF	用户面功能	用户面处理，如分组路由和转发、策略规则、QoS 等	SGW/PGW 中的用户面功能
控制面功能	AMF	接入和移动性管理功能	主要完成用户的接入控制和移动性管理	MME 中的 NAS 接入控制功能
	SMF	会话管理功能	主要完成会话管理，并完成路由控制、IP 地址分配和合法监听等功能	MME+SGW+PGW 中会话和承载管理的控制面功能
	UDM	统一数据管理	负责用户数据和签约信息的存储	HSS、SPR
	AUSF	认证服务器功能	5G 网络的统一鉴权，完成用户接入的身份认证功能	MME 中的鉴权功能
	PCF	策略控制功能	支持统一策略框架，提供统一策略规则	PCRF
	NRF	网络注册功能	维护已部署 NF 的信息，处理从其他 NF 发送的 NF 发现请求	5G 新增
	NEF	网络开放功能	使内外部应用可以访问网络提供的信息或服务，为不同的使用场景定制化网络能力	5G 新增

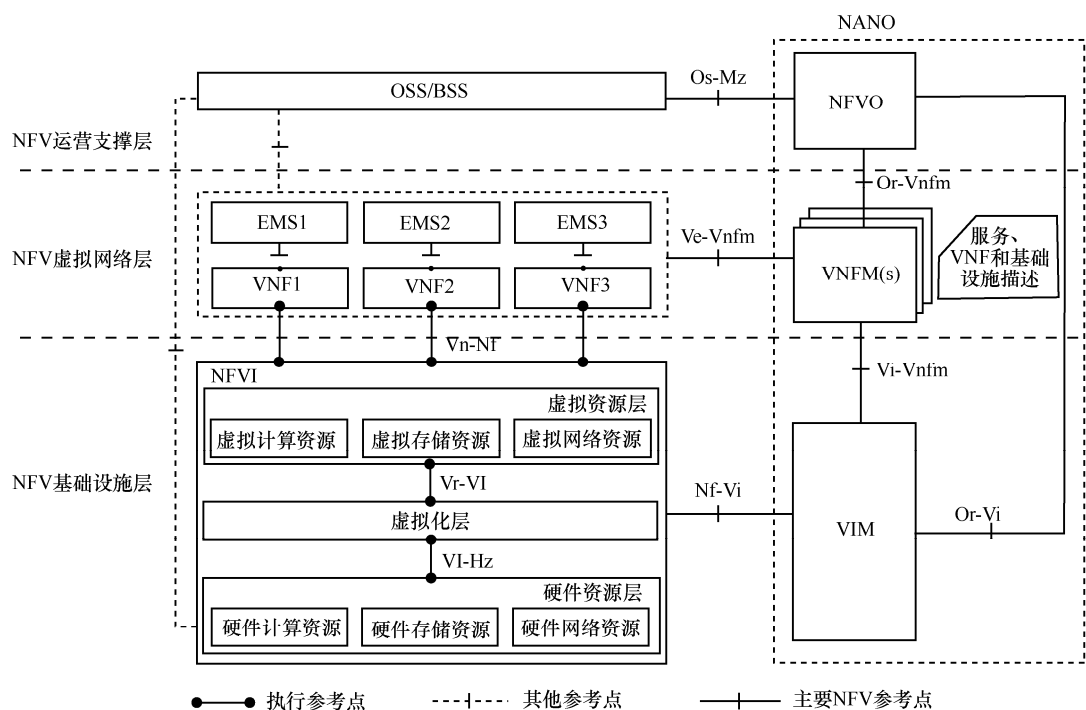


图 2 ETSI NFV 参考架构

(1) 基础设施层

基础设施层为 VNF 提供部署、管理和执行环境，并实现对硬件资源和虚拟资源的管理和监控，主要包括 NFVI 和虚拟基础设施管理（VIM）两部分，NFVI 包括硬件资源层、虚拟化层及虚拟资源层，实现对虚拟网络层业务网元的承载；VIM 实现对

NFVI 资源的管理、编排和调度等功能。

(2) 虚拟网络层

基于底层云化基础设施实现业务能力，主要包括 VNF、EMS 及 VNF 管理系统（VNFM），VNF 基于 NFVI 虚拟资源部署业务网元；EMS 是 VNF 业务网络管理系统，提供网元管理功能；VNFM

是 VNF 管理系统,主要负责 VNF 生命周期管理。

(3) 运营支撑层

实现对业务的编排、运维与管理,主要包括 OSS (operation support system) /BSS (business support system) 和 NFVO (network functions virtualisation orchestrator)。OSS/BSS 是业务网络支撑系统,实现与 NFVO 的交互,共同完成维护与管理功能。NFVO 主要负责跨 VIM 的 NFVI 资源编排及网络业务的生命周期管理和编排,并负责 NSD (network service descriptor) 的生成与解析。

另外,参照 ETSI NFV 架构,NFVO、VNFM 与 VIM 合称 NFV 管理和编排 (management and orchestration, MANO),负责提供可管、可控、可运营的服务环境,使基础资源可以便捷地提供给应用。

除了基于 NFV 的架构外,5G 核心网具有控制面和用户面彻底分离的特性,这种特性使用户面网元 UPF 可灵活下沉,分布式部署于更靠近用户和数据源的边缘节点,最大程度降低网络时延,提升 5G 业务体验。NFV 架构使业务上线更加敏捷,可提升运营商与互联网巨头之间的竞争力,而分布式架构可以使 5G 网络广泛注入算力,让运营商提供的业务更丰富,用户的感知体验更优。当前中国三大运营商 5G 核心网的虚拟化部署已经进入商用阶段,但是,对 NFV 网络的运营维护系统和方案还处在探索阶段,现阶段有必要对虚拟化的 5G 核心网运营维护方案进行梳理,结合运营商 4G 网络的运维经验,在运维技术、流程和组织架构方面保障 5G 核心网的网络安全、稳定,发挥 5G 业务特性。

3 虚拟化的 5G 核心网运营维护

当前 5G 核心网的新架构,能够满足 5G 新业务的需求,同时也能降低设备采购成本,但却给 5G 核心网的运营维护工作带来很多困难和挑战。5G 时代的核心网运维复杂度和工作量将呈几何

级数上升,运维工作朝着集约化、智能化、自动化的方向发展,运营维护系统和运营维护的组织架构都进行相应的变革,以适应网络新架构。

3.1 虚拟化的 5G 核心网运营维护的难点

5G 核心网的虚拟化和分布式架构,将会给运营维护工作带来如下挑战。

- 5G 核心网从枢纽机房迁至 DC (data center) 机房,基站与 5G 核心网间流量跨机房、跨专业,组网结构更加复杂,涉及的厂商、软硬件模块、接口众多,参数配置、联调测试、故障定界都需要多专业、多厂商配合,运维复杂度大幅提升。且随着网络规模不断扩大,故障点相比传统网络提升数倍,故障也容易迅速扩散。
- 网络切片、UPF 下沉等场景的引入使核心网网络管理对象增多,变更操作更加频繁。未来的边缘节点可能有成千上万,甚至几十万个广泛分布于网络中的各个位置,维护难度和工作量都将大幅增加。
- 分层解耦的架构使资源管理更加复杂,且各层、各网元告警上报方式不一致,造成故障告警信息的处理难度更加复杂,同时跨层告警需要进行关联,以便快速地定位故障并进行相应处理。
- 5G 将赋能千行百业,政企 (2B) 业务对网络的性能、稳定性的需求比个人 (2C) 业务更高,同时对网络的 SLA 更加苛刻,虚拟化的 5G 核心网必须保障网络的高稳定性和高可靠性。

5G 核心网新网络架构和新业务需求对运营维护提出了新的挑战,需要适应这些挑战设计全新的智能化、集约化、融合化的 5G 核心网运营维护系统。

3.2 5G 核心网的云网一体化运营维护系统

5G 核心网的运营维护系统需要提供统一的 5G 核心网网络运维服务能力和网络综合保障功



能，需要支持自动化运维、智能根因分析、跨层一体化运维、网络故障和性能管理、策略和安全管理，实现全网统一监控、全网统一管理。运营维护系统还要支持对 5G 新业务的管理能力，实现 5G 核心网切片的全生命周期（设计、部署、闭环保障等）管理能力，实现 5G 2B 业务的统一策略能力，实现 MEC（multi-access edge computing）管理等能力。

3.2.1 5G 核心网的运营维护系统架构

5G 核心网是具有虚拟化、云网融合、云边协同特质的网络系统，适应这种网络架构，运营维护系统应具有微服务化、云化、智能化、集约化的特点。微服务化使用“平台+应用”的架构，依托统一的数据平台和能力，构建 5G 核心网运维应用；IT 云化即运营维护系统开发和部署技术架构采用 IT 化的架构，部署在云端；由于 5G 核心网的操作维护工作量大，引入大数据、AI，推进运维的自动化和智能化，能够降低维护难度，同时节约维护成本；集约化设计尤其重要，为了提升运维管理的效率，适应 5G 业务互联网化、全网统一、快速加载、一点开通的特征，应建立全网统一集约的 5G 核心网运营维护系统，一级系统供集团和省公司的运维人员分权分域使用。

运营维护系统统一纳管集团、省以及地市边缘 5G 核心网网元，包括集团、省层面 5G 核心网所有网元、地市以及园区下沉 UPF 等。实现统一平台、统一视图、统一管理以及统一调度，资源实现统一管理、业务实现统一发放、网络能力实现统一开放。同时，通过运营维护集约系统协同省和集团两级运维体系，进行跨省故障协同，云网边协同故障定位，多级运维人员协同进行故障处理。

5G 核心网云网一体运营系统既要面向内部运维人员，也要面向其他系统和业务开放能力，还要面向外部客户。面向运维人员需要让集团/省/地市等各级运维人员能够利用运营系统，更加方

便高效地处理日常运维工作，例如网元新建、割接、故障处理、巡检等；面向其他系统，要开放针对 5G 核心网的诊断、感知、测试等能力，同时支撑切片、MEC 等 5G 新业务；面向客户要提供对 5G 产品的在线订购能力，对客户业务的可视化能力和管理能力等。

基于 5G 核心网特点和运维工作的需要，梳理基本运维需求功能，其主要包括网络监控管理、业务支撑、用户预诊断，同时根据 5G 核心网的特点和运维难点，增加了网元自动化管理、云网统管、云网一体化支撑、切片保障和 MEC 协同能力，后续针对网络自动驾驶，考虑引入决策智能、操作智能等模块。5G 核心网一体化运营系统的总体架构如图 3 所示，系统通过数据共享平台进行实时数据采集，通过能力共享平台对网元进行控制指令下发，通过该运营调度系统获取告警数据，通过 AI 中心获取 AI 几何能力，通过数据湖获取话单等静态数据，5G 核心网运营维护系统完成 5G 核心网网络运维服务能力的封装，实现 5G 核心网的全生命周期管理能力。

3.2.2 5G 核心网运营维护系统重要功能

针对 5G 核心网运营维护系统的目标和定位，设计了 5G 核心网运维系统的功能模块，7 项功能模块细分成 33 项功能清单，请各省公司 5G 核心网运维人员针对 33 项功能清单进行需求重要性进行打分。通过对省公司调研结果进行汇总分析如图 4 所示，发现运维人员对网络监控、业务保障的需求最高，在网络监控中需求重要性最高的是告警管理和故障诊断。

5G 核心网的告警管理和故障诊断同时是运营技术中的重点和难点。由于 5G 核心网的虚拟化架构，与 4G 核心网的运营维护不同，5G 核心网的运营维护系统要形成硬件层、虚拟层、业务网元层相互关联的跨层资源管理能力，建立跨层可控可管的网络保障能力，实现跨层网络告警关联、故障定位和故障快速处理。

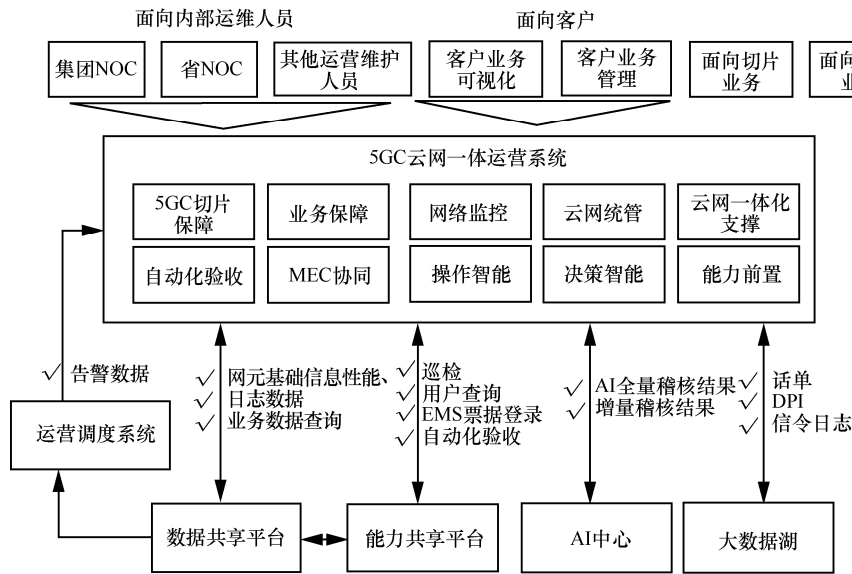


图3 5G核心网云网一体运营系统架构

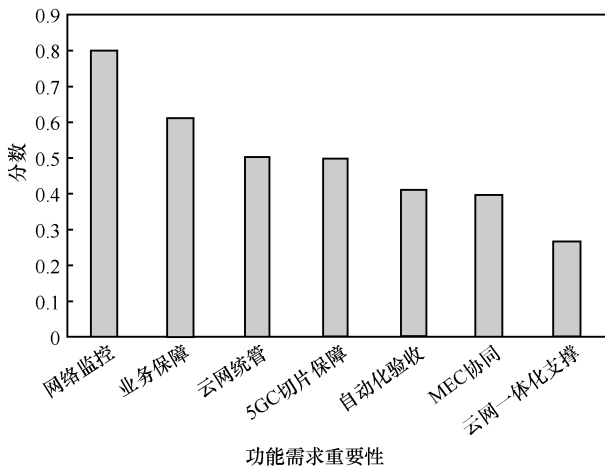


图4 5G核心网云网一体化运营系统功能优先级调研结果

资源跨层关联即通过挖掘网元跨层间资源的相互关联关系，并利用拓扑关系进行展开，形成3层资源拓扑透视模型，为现网日常运营及维护中业务层、资源层、硬件层的告警发现、告警定位以及告警收敛提供有效的参考依据，实现从应用层一点切入即可关联发现虚拟层及硬件层的准确关联关系和具体定位信息。包括计算、存储、网络资源的关联，以下以计算资源的关联为例说明资源关联的过程。

基于计算资源定义的逻辑并结合5G核心网现网部署的特性，首先构建资源结构的设想，网

元层主要包括5G核心网关键网元，如AMF、SMF、UPF等。向下映射到虚拟层的虚拟机及其信息，包括虚拟机ID、虚拟机名称、IP地址、MAC端口地址等，完成虚拟网络虚拟机内部资源的拓展。并从这些信息中提取关联项，映射虚拟机与宿主机间的关联关系，同时挖掘宿主机的属性及字段信息，包括主机名称、主机IP地址完成主机到服务器间的位置关联。通过EMS/NFVO的北向接口导出网络资源静态表，获取容器所在的虚拟机唯一识别码(UUID)，再依据UUID查询虚拟机信息、主机信息、服务器设备列表，将查询获得的服务器设备列表，通过主机ID实现与物理服务器SN序列号的匹配关联，完成从容器→虚拟机→主机→物理服务器的计算资源查询以及拓扑关系关联。

跨层告警关联和故障定位是5G核心网运营维护系统必须具备的重要功能。5G核心网采用NFV架构后，告警的层次增加，告警数量激增，底层告警隐藏在由它引发的多层衍生告警中，很难分析告警的根原因，需要对各层之间的告警信息进行关联，进一步实现跨层故障诊断。基于人工智能的方法对告警数据进行压缩十分必要，对



告警数据进行压缩的关键是挖掘告警之间的有效关联规则，然后利用规则对告警数据进行压缩。告警关联规则挖掘首先对告警数据进行预处理，然后根据事件的发生时间、位置、原因等信息生成事件列表，从事件列表中挖掘关联规则，并在规则中提取规则泛化模式，最后使用泛化模式和关联规则对告警数据进行压缩。

5G 核心网云网一体运营系统引入面向业务和网络的跨层告警关联、智能预警和辅助决策，使用 AI 算法对业务量、异常事件、KPI 等实时数据进行分析，可以先于客户发现故障，及时预警并定位故障，及时处理问题。根据 5G 核心网运营系统上线半年来系统承接相关告警、监控、故障处理等功能，并通过 AI 稽核等功能，发现局数据配置隐患 3 000 余个，业务配置错误超万个，这些故障均及时进行了处理，增强了客户满意度，提升了 5G 客户体验。

3.3 虚拟化的 5G 核心网运营维护组织架构

5G 新业务和新网络架构，不仅需要运营维护系统具有全新特性，也应对组织架构和工作模式进行相应的变革。5G 核心网网络及业务维护涉及多专业，除核心网专业外，需 IP 专业、云计算等专业深度协同，建设跨专业、跨地域的核心网云网一体化运维团队，负责 5G 核心网云网一体化运营维护。5G 核心网云网一体化运维团队负责 5G 核心网的维护和管理，通过 5G 核心网的运营维护系统对 5G 核心网的网元层、虚拟化层和对应的硬件实现跨层一体化告警关联和资源一体化管理。

虚拟化的 5G 核心网是电信技术和云计算技术的融合，因此对运维人员的要求也要具备 CT 和 IT 融合的技能。对网络功能虚拟化要有深刻的理解和认知，具备对虚拟化网元进行全生命周期管理的能力；对云数据中心的基础设施具备维护能力，能够在 NFVI 出现告警时，对虚拟层或硬件层进行修复；对核心网的业务逻辑有深刻的理解和认知，在业务出现告警时能够对告警原因进

行相应的判断，及时进行故障的处理。因此对于 5G 核心网一体化运营维护的人员的能力要求是 CT、IT 和 DT 能力的多维度融合，需要对现有人员进行培训，使运营维护人员具备云网一体融合运维能力。

4 结束语

5G 核心网新的架构和部署模式，为运营维护工作带来了挑战，同时也为运营维护的智慧化、自动化带来了新的机遇。伴随着网络云原生技术的发展，网络的 NFV 化进程会逐步推进，业务将更加灵活，网络能力更加开放，运营维护也会向网络自动驾驶方向演进。结合大数据、AI 等新技术，构建合理的运营维护系统，多专业运营维护人员协同合作，建立云网一体化运维体系，必能有效地提升 5G 核心网的运营维护效率，使 5G 核心网网络安全、稳定、高性能地为 5G 用户提供优质的服务。

参考文献：

- [1] 马瑞涛, 王光全, 任驰, 等. 3GPP R16 5G 核心网标准及关键技术研究[J]. 电子技术应用, 2020, 46(11): 30-35, 40.
MA R T, WANG G Q, REN C, et al. Study on 3GPP R16 5G Core network standards and key technology[J]. Application of Electronic Technique, 2020, 46(11): 30-35, 40.
- [2] 童彦翔. 5G 移动核心网虚拟化探讨[J]. 信息通信, 2020, 33(10): 221-223.
TONG Y X. Discussion on virtualization of 5G mobile core network[J]. Information & Communications, 2020, 33(10): 221-223.
- [3] 李铭轩, 童俊杰, 刘秋妍. 基于云原生的 5G 核心网演进解决方案研究[J]. 信息通信技术, 2020, 14(1): 63-69.
LI M X, TONG J J, LIU Q Y. Research on 5G core network evolution solution based on cloud native[J]. Information and Communications Technologies, 2020, 14(1): 63-69.
- [4] 谢娟. 浅析 5G 核心网关键技术及现网演进策略[J]. 移动通信, 2019(6): 15-17.
XIE J. Analysis on key technologies of 5G core network and current network evolution strategy. Mobile Information, 2019(6): 15-17.
- [5] 林文锋, 陈锦潮. NFV 架构下的核心网运维能力模型构建[J]. 通信世界, 2020(10): 38-40.

- LIN W F, CHEN J C. Construction of core network operation and maintenance capability model under NFV architecture[J]. Communications World, 2020(10): 38-40.
- [6] 杨旭, 肖子玉, 梁冰, 等. 5G 核心网部署及演进方案[J]. 电信科学, 2020, 36(9): 131-140.
- YANG X, XIAO Z Y, LIANG B, et al. 5G core network deployment and evolution scheme[J]. Telecommunications Science, 2020, 36(9): 131-140.
- [7] 翟振辉, 邱巍, 吴丽华, 等. NFV 基本架构及部署方式[J]. 电信科学, 2017, 33(6): 179-185.
- ZHAI Z H, QIU W, WU L H, et al. Basic architecture and ways of deployment of NFV[J]. Telecommunications Science, 2017, 33(6): 179-185.
- [8] 月球, 肖子玉, 吴丽华, 等. 电信运营商 NFV 未来网络管理体系演进关键问题[J]. 电信科学, 2017, 33(4): 133-141.
- YUE Q, XIAO Z Y, WU L H, et al. Key problems of telecom operators' NFV future network management system evolution[J]. Telecommunications Science, 2017, 33(4): 133-141.
- [10] 3GPP. System architecture for the 5G: TS23.501 v16.5.1[S]. 2020.
- [11] 3GPP. Procedures for the 5G system: TS23.502 v16.4.0[S]. 2020.
- [12] 3GPP. 5G system technical realization of service based architecture stage 2: TS29.500[S]. 2020.

[作者简介]



张雪 (1983—), 女, 中国电信股份有限公司研究院工程师, 主要研究方向为云网融合和运营系统等。