

总体拥有成本：服务提供商移动网络的虚拟化分组核心中的 VMWARE V-CLOUD NFV OPENSTACK 的优势

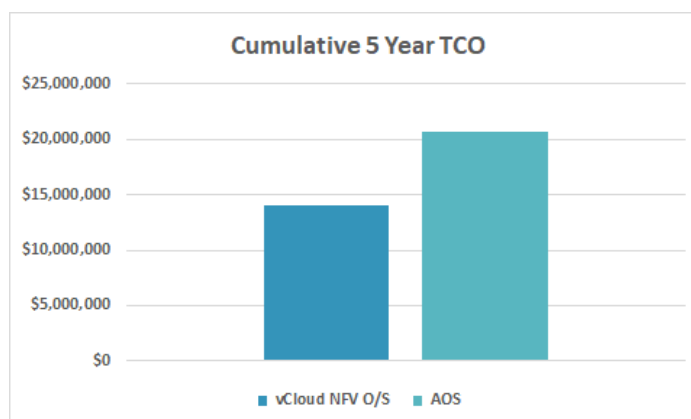
白皮书

[ACG Research](#) is an analyst firm that researches the technologies powering a cloud-native, fully connected world: Virtual + physical compute, virtual + physical networking, orchestration, mobile/wireless, wired, IoT, NFV, SDN, routing, switching, optical, cable, and hyper-scalers. We deliver the skills, insights, services and materials to help our clients master their own transformations. We deliver these outcomes in person, at industry forums, in online content, published materials, in collaboration with our clients, and via independent research.

[Paul Parker-Johnson \(PJ\)](#) leads ACG's cloud computing and data center virtualization market research and consulting practice. His work examines market sizes, innovations and trends in cloud computing, service delivery platforms, and the virtualization technologies that enable them. PJ brings his trademark analytic skills to bear on developments in virtual computing, cloud services software, service orchestration, network simplification and related enablers of cloud computing services. In-depth market segmentation and sizing is complemented by point topics research on innovations, early adopter use cases, and factors critical to success in developing platforms and services for the cloud. Prior to joining ACG he was director of cloud computing solutions development and marketing at Juniper Networks, delivering advanced network, software, and partner platform solutions to service provider and enterprise customers globally. Direct experience designing and delivering solutions in the XaaS and virtual data center landscapes informs his work. Prior to his work in data centers and the cloud PJ served in Juniper's service provider and emerging markets strategy teams, bringing numerous platforms and innovations in routing, switching, security and advanced network services to market over 10 years. Prior to joining Juniper, he held senior product management and marketing positions in switching and routing with Lucent Technologies and Cisco Systems, participating in early delivery of ASIC-based and gigabit scale forwarding technologies for Ethernet and IP networks. Prior to Cisco PJ was a member of BBN Communications' professional services and network engineering teams, developing and deploying X.25 and early stage IP networking platforms into experimental and production networks. His initial experience in large scale computing and networking platforms came with IBM deploying online trading and transaction processing systems for financial services customers in New York from 1978 to 1983.

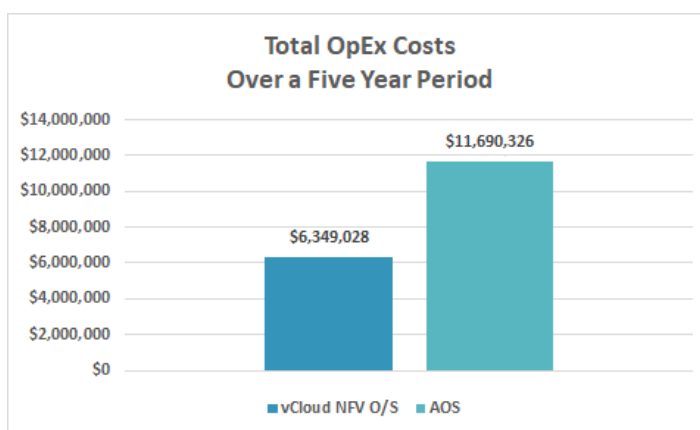
内容提要

在对一级服务提供商移动网络的演进分组核心中 NFV 部署的总体拥有成本 (TCO) 进行比较后, 我们发现, 基于 VMware vCloud NFV OpenStack 的部署的五年期 TCO 比基于同等配置的其他 OpenStack 解决方案的部署的 TCO 少 47%。



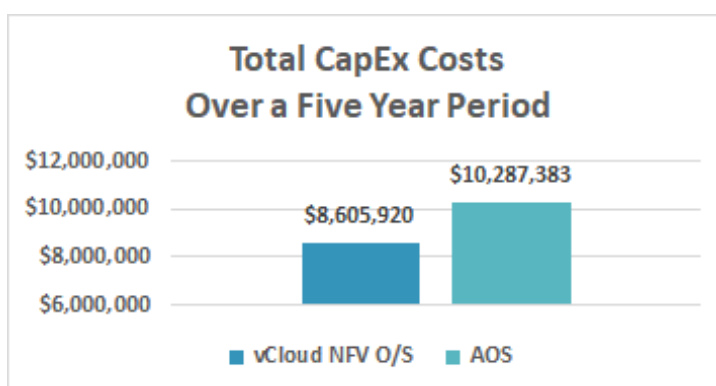
OPEX 节省

TCO 的 OPEX 和 CAPEX 均有所降低。VMware vCloud OpenStack 解决方案的部署和运维效率显著提高，这是因为在调配和日常的生命周期管理中广泛使用了自动化技术，并在整个解决方案中整合了多种功能。在五年期部署中，VMware vCloud NFV OpenStack 解决方案的总体 OPEX 为竞争解决方案总体 OPEX 的 54.3%。



CAPEX 节省

在 CAPEX 节省上，VMware 解决方案同样优于竞争解决方案。CAPEX 节省的部分原因是 vCloud 解决方案使用的服务器数量比竞争解决方案少。在 VMware 解决方案中，五年内使用的服务器数量平均要少 30%。节省 CAPEX 的另一个原因是，与竞争解决方案相比，VMware 捆绑包中集成了大量软件，其中包含环境中的许可成本。以五年期为例，VMware 解决方案的总体硬件和软件 CAPEX 比竞争解决方案的总体硬件和软件 CAPEX 低 16.4%。



总体 TCO 优势如此明显，其中的一个原因在于，使用 VMware vCloud NFV OpenStack 时，服务提供商可以使用 vCloud NFV O/S 激活大约三个 vEPC 站点，而使用竞争解决方案时只能激活两个

以五年期为例，VMware 解决方案的总体硬件和软件 CAPEX 比竞争解决方案的总体硬件和软件 CAPEX 低 16.4%。

站点。这样，服务提供商便可在相同时间内，使用与竞争解决方案相同的成本，为数量明显更多的按期限订购者部署服务。对于希望通过增加按期限订购者来提高创收速度并以此为关键成功要素的服务提供商来说，这一优势不仅意义重大，还便于衡量。在本报告中，我们描述了我们分析的环境、与之相关的结论、支撑这些结论的分析素材以及这些结论对服务提供商的 vEPC 部署的意义。

目录

内容提要.....	1
OPEX 节省	3
CAPEX 节省	3
简介	6
服务提供商环境：在最高优先级并且具有前瞻性的使用情形中普遍接受虚拟化的云原生设计	6
比较用于 NFV 部署的不同设计	6
方法.....	7
侧重总体拥有成本.....	7
有代表性的服务提供商网络.....	7
通用物理元素.....	8
虚拟基础架构要素.....	9
vCloud NFV OpenStack 解决方案的要素	9
竞争性 OpenStack 解决方案的要素.....	10
对两种竞争性虚拟基础架构设计的分析.....	10
竞争性解决方案的 CAPEX	10
解决方案的硬件 CAPEX.....	10
解决方案的软件 CAPEX	12
竞争性设计的 OPEX	15
我们的分析中的 OPEX 模型	15
OPEX 成本对比	16
出现 OPEX 差异的根源	18
两种竞争性方案的累计五年 TCO	20
服务提供商的决定对其 NFV 部署中虚拟系统基础架构方向的影响	21

ACG Research 是一家主营网络连接和电信领域的分析和咨询公司。我们提供全方位、高品质、端到端的业务咨询及综合研究服务。版权所有 © 2018 ACG Research. www.acgcc.com。

简介

对一级服务提供商演进分组核心的 NFV 基础架构中的 VMware vCloud NFV OpenStack 和竞争 OpenStack 解决方案的 TCO 进行比较。

本报告概述了我们对在以下两种使用环境中所产生的总体拥有成本 (TCO) 的比较分析，即，在一级服务提供商网络的虚拟演进分组核心中使用 VMware vCloud NFV OpenStack，以及在相同使用情形中使用竞争 OpenStack 解决方案。首先要描述的是要在当中部署 NFV 解决方案的网络环境。然后继续讨论使用每种解决方案所涉及的成本和设计注意事项，并重点介绍 vEPC 的资本和运维开支。这些差异构成了服务提供商在使用任一解决方案时可能获得的经济成果的基础。

服务提供商环境：在最高优先级并且具有前瞻性的使用情形中普遍接受虚拟化的云原生设计

服务提供商追求在所有类别的业务中向客户提供增值和创新服务，在这个过程中，他们也注重使用能为此提供支持的基础架构。近年来，他们已经开始使用云服务提供商已证实极具价值的高度虚拟化、软件驱动的设计。虽然这一愿景和方向是明确的，但寻找最高效且可管理的基础架构来支持这些部署仍然是一项艰巨的任务。

比较用于 NFV 部署的不同设计

为了找到适当的平衡，服务提供商需要对市面上现有的几种竞争产品加以比较，决定哪一种最符合他们的目标。他们需要考虑如何纳入并部署能够提供他们所需能力的虚拟网络功能。同时，他们还需要为其部署找到最经济高效、可管理且可扩展的基础架构。这就免不了要对 NFV 部署市场上两种表现突出的解决方案进行比较：

1. 一种解决方案拼凑了各种开源组件，这些组件来自一个或多个开源社区，由运营商的员工或与其合作的其他解决方案集成商应用于 NFV 使用情形。
2. 另一种解决方案则混合了 NFV 堆栈各个层上的独立开发的开源组件，这种结构不仅在 VNF 的选择上提供了灵活性，同时还可根据堆栈中其他层的创新设计来优化安装的其他属性。

作为面向服务提供商网络和 IT 环境的虚拟系统基础架构的供应商，VMware 敏锐地意识到有必要打破这种平衡，并需要在制定计划时比较提供商所提供的竞争产品的特点。VMware 投资开发了 vCloud NFV OpenStack，这是一款用于支持 NFV 的独特解决方案。vCloud NFV OpenStack 在解决方案的虚拟化基础架构管理 (VIM) 层集成了 OpenStack 功能，因此具备参与开源社区的优势。同时，该解决方案通过已发布的 API 和软件插件，将 VMware Software-Defined Data Center 的功能并入对更高 OpenStack 层的支持中。这样，它便可将开放性与优化独特地结合在一起，打造出一种能帮助服务提供商实现目标的强大解决方案。

为了研究 vCloud NFV OpenStack 在帮助实现这些目标上发挥了多大的作用，VMware 决定以几个重要的服务提供商使用情形为参考，对其解决方案的特性与其他基于 OpenStack 的竞争解决方案的特性进行比较。将 NFV 部署到移动运营商的虚拟化分组核心中是 VMware 所分析的第一种使用情形。本报告展示了这一分析的结果。

方法

侧重总体拥有成本

在基于 vCloud NFV OpenStack 的用于 vEPC 的解决方案与基于竞争 OpenStack 设计的实施方案之间，存在明显的体系结构上的相似点和差异处。尽管我们的分析考虑了这些体系结构上的差异之处，但此次分析的主要关注点是确定服务提供商在使用任何一种方案时预期产生的总体拥有成本 (TCO)。在考察当服务提供商采取某种特定路径时，给定解决方案对于其能够获得的效率和利润有何影响这一点上，TCO 提供了最直接的方式。

有代表性的服务提供商网络

为了在公平的竞争环境下对两个虚拟基础架构进行分析，我们在每个解决方案的部署中使用同一虚拟演进分组核心的参数。这样，运营商就可以考察针对相同的网络连接服务，两个虚拟系统基础架构中的哪一个会产生其感兴趣的结果。我们设定了基础架构资源（服务器、虚拟机、存储、网络连接功能）的维度，使其支持一种较为知名的 vEPC 解决方案，用以满足代表性网络的流量和事务计数要求。对于 vEPC，其中包括虚拟化的 S 网关、P 网关、MME、PCRF 和此 vEPC 需要的运维管理功能。这些 VNF 是在部署的虚拟机中运行的生产工作负载。

表 1 显示了对虚拟化分组核心的维度设定有直接影响的代表性环境的若干个属性。

属性	第 1 年的值	第 5 年的值
此 vEPC 中的按期限订购者数量	500 万	560 万
按期限订购者百分比：3G	25	23
按期限订购者百分比：4G	65	75
5G 按期限订购者百分比：5G	0	1
每个 GTP 会话、每个子类型的平均持续速率（4G 示例）	25 Kbps	111 Kbps
通过此 vEPC 的总流量 (Gbps)	238 Gbps	990 Gbps
每秒每个子类型的平均事务数（4G 示例）	54,080	69,847
对于此 vEPC，每秒所有子类型的总事务数	65,225	75,735

表1. 对 vPC 部署有直接影响的网络属性

鉴于以下属性对分组核心维度的影响，需要特别注意这些属性：

- 随时间不断变化的 3G、4G、5G 和 WiFi（未显示）按期限订购者组合。移动网络中 4G、5G 和 WiFi 附件数量的不断增加将显著增加运营商承载的流量负载，从而使基础架构资源随其不断增长。
- 并且，每种按期限订购者类型在每秒的连接管理事务数也会随时间相应增加。这种增长是分组核心资源增加的第二个驱动因素（因为支持更大的事务负载需要进行更多处理）。

通用物理元素

同样，为了着重比较两种竞争解决方案中的软件，我们在每个 NFVI 中使用了相同的物理基础架构组件。这包括在部署其中任一解决方案所需的每个 NFVI 和 VIM 中使用同一代、同一型号的服务器（在所有维度中：处理器类型、核心数、内存量 + 内存类型、板载存储和网络接口附件）；相同的存储介质以及相同的基础物理网络交换机。表 2 中重点介绍了我们并入的要素。

要素	采用的类型
服务器	Dell Power Edge R740xd
存储阵列 ¹	Dell Power Vault MD 3460
网络交换机	Dell S6010-ON

表2. 每个 NFVI 设计中采用的物理系统基础架构要素

¹在此次分析的大多数实例中，我们考虑将基于服务器的存储用于虚拟机映像、日志记录和解决方案中需要的其他数据处理功能的混合部署。涉及外部阵列的实例一般是开源程度更充分的解决方案，这些解决方案中采用的是基于 Ceph 的分布式存储体系结构。

虚拟基础架构要素

我们所分析的每个解决方案的虚拟系统基础架构中都包含在 vEPC 使用情形中运行 VNF 所需的功能。这些功能包括**虚拟计算**（操作系统/hypervisor 和虚拟机/客户机处理）；足以满足 vEPC 中的 VNF、VIM 和网络连接需求的**虚拟网络连接**；以及满足 vEPC 的基础架构、系统管理和 VNF 工作负载处理要求的**虚拟存储**。我们还在每种情况下包含了软件，以便为解决方案提供比 VIM 的基本仪表盘和软件要素**更全面的运维管理**。其中包括用于监控、测量和分析 vEPC 部署的附加软件，以及用于简化配置管理和调配的软件（例如，使用能根据用于资源调配和升级的模板进行的自动调配）。服务提供商越来越重视虚拟化部署的可管理性。为了满足这些需求，除了 NFVI 和 VIM 的核心功能外，我们还扩充了每个解决方案的内容。每个解决方案实现这组功能的方式不同，但均以自己的方式提供这些功能。

现在，我们将介绍支持 vEPC 运维的两种虚拟系统基础架构和虚拟基础架构管理解决方案。首先是 VMware vCloud NFV Open Stack（在本报告的其余部分，我们将简称其为 vCloud NFV O/S）。第二个是在当今行业中推出的，可用于通过 NFV 部署网络服务的另一种竞争性 OpenStack 解决方案（在本报告的其余部分，我们将简称其为 AOS）。

vCloud NFV OpenStack 解决方案的要素

vCloud NFV O/S 可根据 VMware Software-Defined Data Center 产品将 OpenStack 社区发布的软件集成到虚拟基础架构和系统管理解决方案中。图 1 显示了该解决方案的图示。

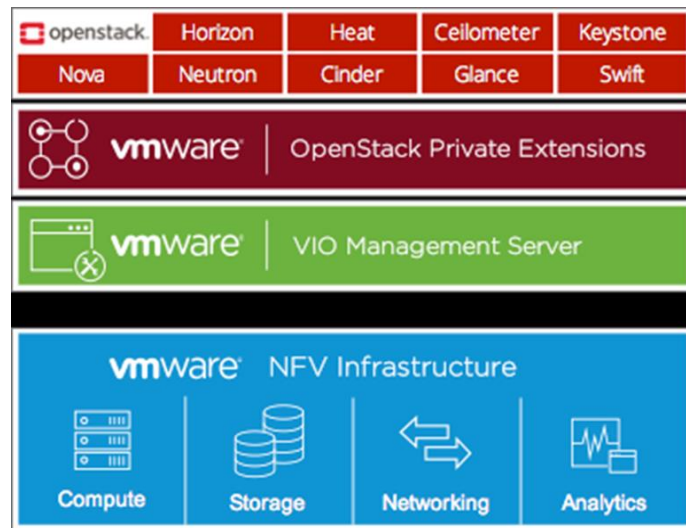


图 1. VMware vCloud NFV OpenStack

OpenStack 软件通过软件插件和 API 与 VMware SDDC 进行集成，以允许 OpenStack 服务以正常模式运行，同时还能利用底层 VMware 基础架构中的优化功能。OpenStack 计算、存储和虚拟机映像管理功能通过 vCenter Server 集成到相应的 vSphere 操作（ESXi 和 vSAN）中。OpenStack 网络连接功能与 VMware NSX 集成，以满足 vEPC 的网络连接要求。设计用于简化 SDDC 运维的 VMware 运维管理软件包含在 vCloud NFV O/S 中（通过 vRealize Operations Management 和 vRealize Log Insight）。

本分析中使用了 vCloud NFV O/S，用以考量如何将服务提供商市场中广受欢迎的虚拟基础架构管理解决方案 OpenStack 与优化的虚拟基础架构设计（如 VMware SDDC）一同部署。

竞争性 OpenStack 解决方案的要素

AOS 基础架构以其他供应商分发的 OpenStack 为基础，并与其他虚拟基础架构和管理应用相结合，以构造与 vCloud NFV O/S 功能尽可能相似的 vEPC 部署。AOS 中的基础架构包括当前分发的 Linux 和用于计算的、基于内核的虚拟机 (KVM)；用于网络连接的开放式虚拟交换机 (OVS) 软件；以及用于映像管理、系统管理和 VNF 运维的 Ceph 虚拟化及软件定义的存储。

与 vCloud NFV O/S 相同的是，也使用 OpenStack 分发来管理 VNF 的资源。包括支持 VNF 所需的全部 OpenStack 服务，既有 Nova（计算）、Cinder（块存储）和 Neutron（虚拟网络连接），又有 Ceilometer（遥测）、Horizon（仪表盘监控）和 Heat（编排）。

我们还包含了配置管理和自动调配系统 Ansible，来简化配置管理。为了支持事件和趋势分析，我们还在 AOS 中包含了 Splunk 数据收集和分析软件。²

对两种竞争性虚拟基础架构设计的分析

为了分析每种解决方案的 TCO，我们将运营商在使用每种解决方案时所产生的成本加以全面的考量，从概念性框架和设计到测试和验证、再到五年内对基础架构的部署、运维和生命周期管理，所有成本都考虑在内。我们分析的两个成本类别分别是资金开销和运维开销（CAPEX 和 OPEX），这两者构成了累计 TCO。

竞争性解决方案的 CAPEX

两种解决方案的 CAPEX 均包括获取部署所需的物理（基于硬件）和虚拟（基于软件）要素的成本。

解决方案的硬件 CAPEX

vEPC 中采用的硬件要素包括每个设计所需的服务器、存储、网络交换机、机架、电缆和连接器。为了对每个解决方案的硬件设定维度，我们综合考虑了 vEPC 的流量处理和工作负

²在该模型中，我们提供了是否激活 Ansible 和 Splunk 的选项，以便 TCO 分析可以包括运营商想要使用其中一种或者两者都使用的情况。我们在本报告中总结的分析实例同时在部署中使用 Ansible 和 Splunk，因为这是与 vCloud NFV O/S 相比最等效的功能组合。它显示，vCloud NFV O/S 的五年累计 TCO 比 AOS 的五年累计 TCO 低 33%。当 AOS 部署中不包含 Ansible 和 Splunk 时，VMware 解决方案的五年累计 TCO 比 AOS 的 TCO 低 29%，与前例相差 4%，两种情况下相差并不是很多，但仍然可以测量出来。重点是，服务提供商要比较的环境构造将对它所获得的 TCO 结果有一定影响。这很正常。我们将在分析中指出为获得等效结果而调查的环境的构成。

载处理要求（由可变因素驱动，包括表 1 中总结的可变因素）、VNF 本身需要的硬件以及 VIM 和供应商的虚拟系统基础架构软件所需的硬件。每个软件要素均对运行它所需的虚拟机数量、其需要的虚拟 CPU (vCPU) 数量、内存量、存储量和定义其配置所需的其他网络容量（基于吞吐量）有自己的要求。我们考虑到了当中的每个可变因素，以在每个解决方案中达到支持 vEPC 所需的服务器数量、存储量和物理网络基础架构的配置。

不难想到，在进行此类部署的过程中，支持一种解决方案与支持另一种解决方案所需的硬件数量是不同的。就这一点来说，确定每个解决方案所需硬件数量的因素涉及三个方面。首先，由于我们对每个设计分析相同的 vEPC 软件，因此支持该 vEPC 软件所需的硬件数量在每个实例下是相同的。所以，两个解决方案的硬件要求之间的差异其实来自于另外两个方面的差别。

首先是解决方案的管理和控制部分。其中包括 OpenStack、每个解决方案中的虚拟基础架构管理和运维管理软件。每个解决方案控制池中的硬件数量并没有显著差异。第二个差异点在于运行虚拟基础架构软件所需的硬件：在 vCloud NFV O/S 解决方案中是指 ESXi、vSAN 和 NSX；在 AOS 解决方案中是指 Linux、KVM、OVS 和 Ceph。在五年期中，两种竞争解决方案在这些类别中存在显著差异并因此产生明显的影响，因为随着服务提供商网络的演进，虚拟基础架构需要扩展并支持相应的流量。

我们在“CAPEX 差异的根源”中展示了每个解决方案所需硬件的总体成本，并详细阐述了这些差异的根源。

图 2 汇总了这两种解决方案中 vEPC 所需的服务器数量。

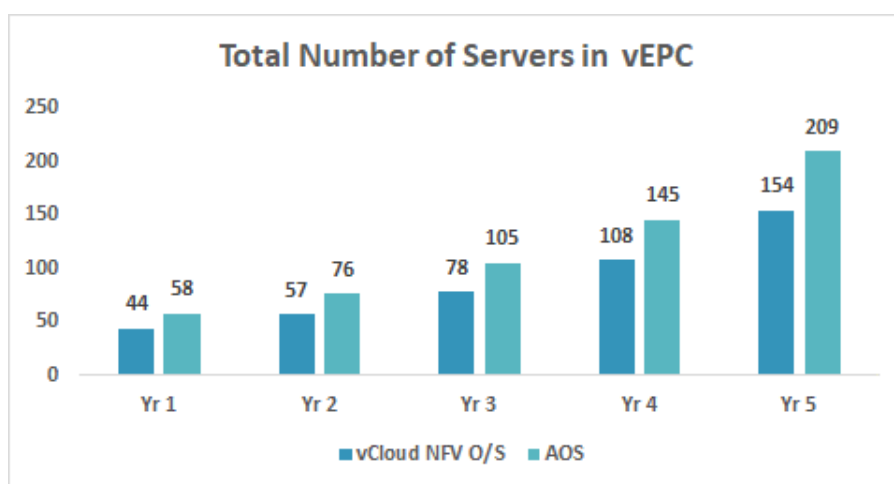


图 2. 分析中每个解决方案每年需要的服务器总数

vCloud NFV O/S 解决方案需要的服务器数量会随着部署年份逐年减少，第一年少 29%，而最后一年则少 35%。与此成比例的是，大部分差异是由虚拟化分组核心中支持提供商流量所需的 VNF 数量不断增加产生的，两种基础架构解决方案中的软件所需资源间的不同又使这一差异进一步加大。

图 3 显示了两种竞争性解决方案所需的不同硬件数量的成本内涵。

vCloud NFV O/S 设计的硬件总成本是 AOS 硬件总成本的 60%。

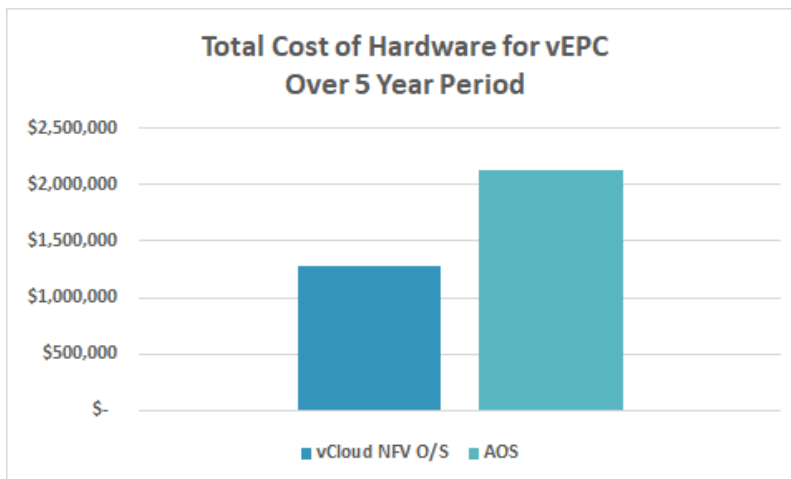


图 3. 五年中 vEPC 部署的硬件总成本³

解决方案的软件 CAPEX

CAPEX 的第二个主要组成部分是解决方案的软件成本。软件的成本是由供应商软件的许可费和按期限订购费用产生的。每个解决方案都对其 OpenStack 和虚拟系统基础架构软件产品使用捆绑包。两个捆绑包都包括 OpenStack 的下游分发（来自 OpenStack 社区）和某些虚拟系统基础架构软件（如操作系统或 hypervisor 软件以及相关的系统管理模块）。在 vCloud NFV O/S 中，NSX 独立于捆绑包单独许可。在 AOS 中，Ceph、Ansible 和 Splunk（采用时）独立于捆绑包单独许可。

收费方式因模块或软件包而异。某些软件按服务器插槽（或 CPU）进行许可，而其他软件则按完整物理服务器进行许可（价格中包括服务器的插槽或 CPU）。其他软件根据它所支持的安装中的节点数进行许可。而且，收费的时间和时限也不同，有些每年收费一次，有些则几年收费一次。在每种实例中，我们使用的是供应商所采用并且适用于 vEPC 部署情况的许可模型（时间长度、所涉及的节点数、每个模块依据其设计的部署）。

我们没有包含 vEPC (VNF) 软件许可证的成本，因为此次分析的目的主要是研究虚拟系统基础架构及其用来支持 vEPC 的资源成本。我们着实考虑到了支持 vEPC VNF 所需的物理资源，以及运行这些资源所需的供应商虚拟基础架构软件，因此，我们会全面核算要在其中部署 VNF 的 NFVI。vEPC (VNF) 软件许可证是我们没有纳入考量的唯一的配置部分（确保比较基于相同的假设条件）。

图 4 显示每种解决方案在五年部署中的软件总成本。

³包含在分析的五年间用于每种解决方案设计的服务器、存储、网络、机架以及电缆/连接器硬件的总成本。

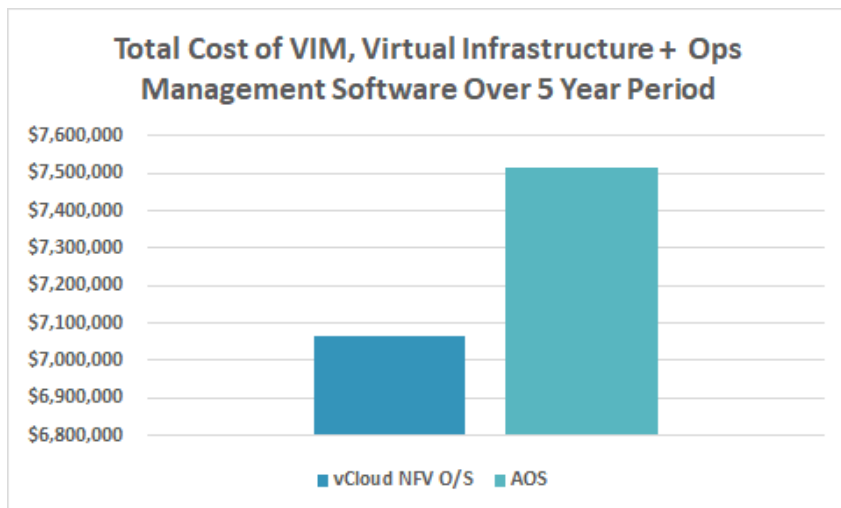


图 4. 每种解决方案在五年部署中的软件总成本

与硬件成本一样，软件成本反映了 vEPC 中的资源在分析的五年内的增长。正如我们看到的，vCloud NFV O/S 解决方案的总软件 CAPEX 比 AOS 的软件 CAPEX 少 6.1%。

综合考察这两个 CAPEX 要素，即两个竞争性解决方案中的硬件和软件成本，如图 5 所示，此配置中 vCloud NFV O/S 解决方案的资金成本比 AOS 的资金成本低 16.4%。

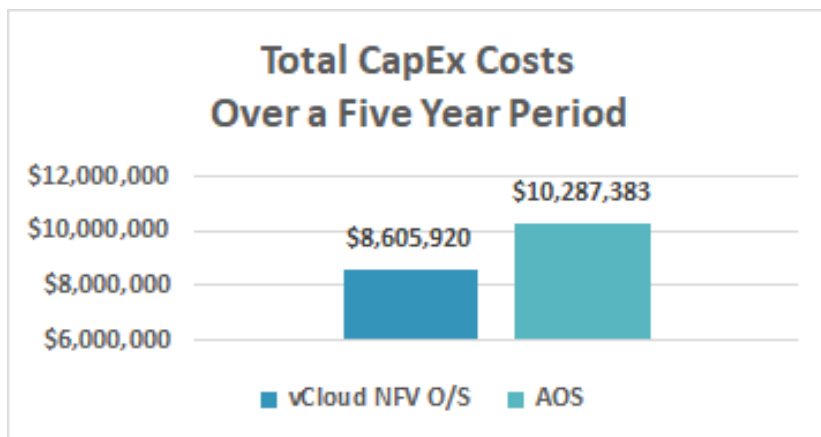


图 5. 五年内两个解决方案的总 CAPEX

CAPEX 差异的根源

解决方案的硬件和软件 CAPEX 之间均存在差异。在硬件方面，vCloud NFV O/S 成本较低源于两点原因。

第一点是 ESXi（在 vCloud NFV O/S 中提供 hypervisor 和虚拟机支持）与 KVM（在 AOS 中提供虚拟机支持）管理其工作负载处理工作的相对效率。ESXi 的测试和部署表明，与 KVM 相比，它在管理虚拟机工作负载所需的内存方面效率更高。效率优势的级别因工作负载而异；例如，在线事务处理的操作模式与在 vEPC 中运行的以 I/O 为中心的虚拟网络连接功能的操作模式不同。然而，在部署（例如使用 100 台运行 ESXi 的服务器）中应用这些基本原则时，需要比例更多的运行 KVM 的服务器才能支持相同的工作负载，所需服务器的确切数量基于与这

些工作负载相关的增益。保守起见，在对 vEPC 的分析中，我们假设支持 VNF 的 ESXi 服务器的处理效率平均高出 10%，保守估量了使用 ESXi 的 vCloud NFV O/S 相较于使用 KVM 的 AOS 的效率优势。在此使用情形中，这是 vCloud NFV O/S 的硬件 CAPEX 较低的一个根源。

vCloud NFV O/S 的硬件 CAPEX 较低的第二个根源是在两个竞争性解决方案中实现虚拟存储的方式。vCloud NFV O/S 采用 VMware vSAN 软件定义的存储。vSAN 是一种超融合实现，这意味着它与 ESXi 紧密结合，并将本地服务器存储和内存用于其操作，同时提供抽象的、逻辑上分布的操作来支持用于各种用户和应用的高效存储池。在 vEPC 中，这包括使用 Glance 映像管理的 OpenStack 映像，以及有关 vEPC 及其基础架构的数据库、监控和配置信息。vSAN 在 vEPC 中使用基于服务器的服务器存储，不需要使用其他服务器或存储阵列来完成其工作。

AOS 中的存储基于使用 Ceph 的更为分散的实现。⁴Ceph 对 OpenStack 和 vEPC 的支持基于使用守护程序服务器（也称为对象存储设备 (OSD) 服务器）的分布式体系架构。各个 VNF 及其运行所在的虚拟机作为 OSD 服务器的客户端从配置中的其他服务器访问存储，这些服务器代表其客户端处理资源映射和存储管理。OSD 服务器将一组外部存储阵列映射到 vEPC 及其 OpenStack 服务中。与 vCloud NFV O/S 中更紧凑的 vSAN 设计相比，此实施更加昂贵（需要服务器和存储基础架构）。这是 vCloud NFV O/S 解决方案中硬件 CAPEX 较低的第二个根源。

此外，影响解决方案 CAPEX 的软件成本方面也存在差异。与 AOS 相比，vCloud NFV O/S 的许可方式存在一些差异。最后是 vCloud NFV O/S 解决方案中采用的集成和捆绑的程度，这使其从软件 CAPEX 的角度来看比 AOS 具有适度的优势。我们将在下一节中描述解决方案之间软件许可实践的主要差异，并指出这些差异对每种情况下软件成本的影响。

第一个差异是虚拟基础架构软件（例如，hypervisor 或操作系统）的成本是采用按插槽还是按服务器方式计算的。在 vCloud NFV O/S 中，按插槽进行许可，而 AOS 则一般按服务器进行许可。对于 AOS 解决方案中所包含的相应部分，这些差异为 AOS 创造了适度的每服务器软件许可成本优势。

第二个差异基于解决方案捆绑中包含和不包含的软件。在 vCloud NFV O/S 中，NSX 不包含在捆绑产品中（单独收费），而在基于开源的产品中，OVS 包含在每服务器操作系统软件的按期限订购费用中。相反，在 AOS 中，分析和某些管理软件模块不包含在基准捆绑包中。这些增量软件模块的成本显著增加了 AOS 软件的总体成本，并且往往会抵消其按插槽或按服务器模式的优势。

⁴要了解 Ceph 存储管理体系结构的总体情况，请访问：<https://ceph.com/>。

每种解决方案支持存储的方式不同。

在 vCloud NFV O/S 解决方案中，尽管 vSAN 通过免除对专用服务器和存储阵列的需要来节约硬件，但它也带来了按插槽许可费用，这会增加 vCloud NFV O/S 软件总成本。相比之下，

这里涉及 vCloud NFV O/S 解决方案中采用的集成和捆绑的程度，这使其从软件 CAPEX 的角度来看比 AOS 具有适度的优势。

下，尽管基于开源的解决方案中的 Ceph 通过其分布式配置带来了更高的硬件成本，但其软件总成本并没有像对 VIO 进行 vSAN 许可那样影响到该解决方案的总体成本。

考虑软件整体部署成本时结合这些因素，您会发现，用于 vCloud NFV O/S 部署的软件比用于等效 AOS 功能的软件的成本低 6.1%。

总之，在综合了解解决方案的相对 CAPEX 时考虑硬件和软件成本后，我们确定 vCloud NFV O/S 解决方案的累计五年 CAPEX 比完全开源的设计的 CAPEX 低 16.4%。

竞争性设计的 OPEX

我们针对解决方案分析的第二个、也是在比例上更具影响力的 TCO 类别，便是在使用情形中部署这些解决方案所涉及的一系列 OPEX。OPEX 在很大程度上决定了服务提供商运行解决方案并使用它来支持其提供的产品/服务的效率。它对运营商可以从其产品/服务中获得的利润具有重大影响。在我们分析的使用情形中，解决方案 OPEX 的影响大约是其 CAPEX 对五年内累计 TCO 影响的两倍。

对解决方案 OPEX 的影响大约是其 CAPEX 对累计五年 TCO 影响的两倍。

OPEX 主要由执行任务的人员的时间成本组成，这些任务包括设计、测试、部署、操作和扩展正在使用的解决方案。它还包括经常性成本，例如用

于为基础架构供电和提供冷却的电力，以及用于容纳已部署资源的占地空间或物理空间的成本。

我们的分析中的 OPEX 模型

为了比较解决方案，我们为服务提供商用于实施其 NFV 部署的人员指定了个人团队代表，其中包括在各个实施阶段具有必需技能的多学科人员。⁵这包括负责体系结构和设计、集成和测试、运营及其管理的人员。团队成员在服务器、存储和网络连接（虚拟和物理）以及用于运行移动网络的移动分组核心功能方面具有专业知识。

⁵我们在分析中分析了其工作的代表人员类别列表在“出现 OPEX 差异的根源”中提供。

基于此构成，我们分析了在每个设计中部署 vEPC 的工作的流程和级别。正在使用的每个解决方案的维度（服务器数量、交换机、存储量以及每个使用情形中所需的控件和操作软件数量）均基于相同的服务提供商网络配置文件。⁶

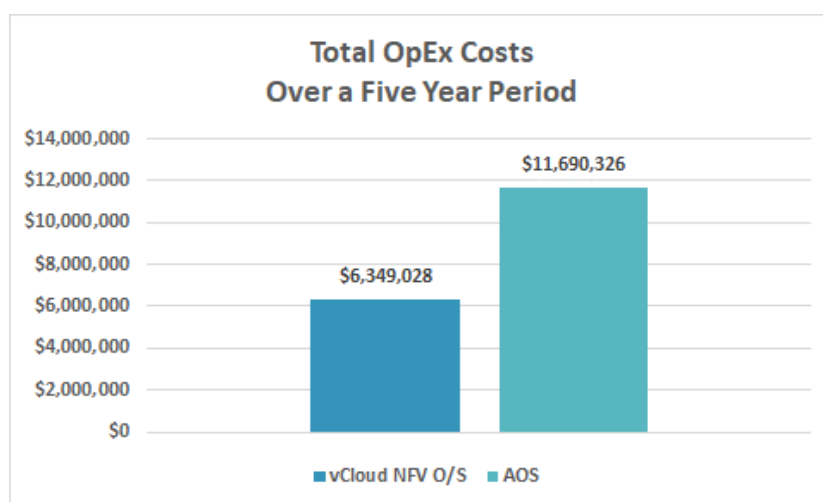
在设计阶段，需要指定用于管理和控制的软件以及用于基础架构支持（hypervisor、操作系统、虚拟网络连接、虚拟存储）的软件，以支持将运行的 VNF。在 vCloud NFV O/S 中，这涉及部署的管理集群，包括 Integrated OpenStack Manager、vCenter Server、NSX Manager、vRealize Operations Manager、vRealize Log Insight 以及用于控制 vEPC 基础架构的其他模块。同样，需要指定资源集群（为 vEPC 运行 VNF）和 Edge 服务集群（在部署中提供网络连接和防火墙服务）的需求。

在 AOS 部署中，为解决方案设计了控制器和计算池，以同时支持 OpenStack 和底层虚拟系统基础架构。我们考虑了增量管理功能，包括用于自动调配的 Ansible 和用于各种流量和应用分析的 Splunk。

通过在任务和人员中使用类似的精确度，我们分析了五年部署期间解决方案的测试和集成、部署到生产环境以及运维管理方面的成本。这需要考虑按期限订购者流量的增长（以及支持它所需资源的增长），基于 OpenStack 和其他软件组件的发布周期的升级，监控和故障修复所涉及的工作，以及服务级别协议 (SLA) 监控和实施的衡量。简而言之，我们分析了支持两种设计运作所涉及的整个成本周期。

OPEX 成本对比

图 6 显示了过去五年两种设计的完整 OPEX 比较。我们的分析表明，与 AOS 的运维成本相比，vEPC 的 vCloud NFV O/S 基础架构的运维成本大大降低。如图 6 所示，vCloud NFV O/S 基础架构的总 OPEX 是 AOS 总 OPEX 成本的 54.3%。



⁶有关主要维度，请参阅表 1。

图 6. 过去五年两个解决方案的总 OPEX 成本

鉴于该差异的大小，确定 vCloud NFV O/S 部署中较低成本的根源及其存在原因非常重要。图 7 显示了每个解决方案的更精确的 OPEX 细分。正如您可以在每个类别中看到的那样，vCloud NFV O/S 解决方案与 AOS 相比产生的成本较低。

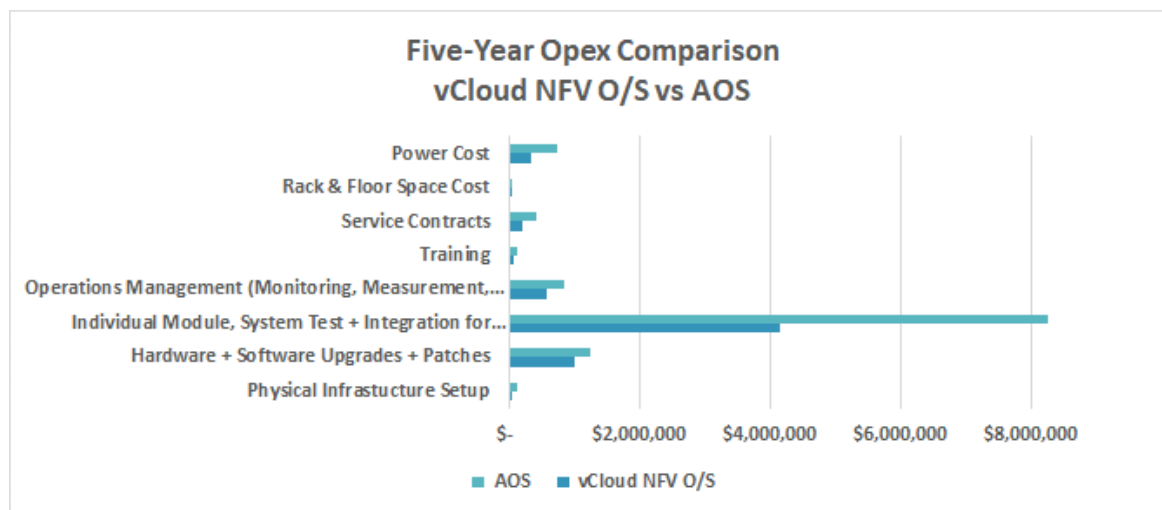


图 7. 两个解决方案的主要 OPEX 类别的五年 OPEX 成本

某些成本（特别是电力、空间和物理基础架构设置的成本）与 vCloud NFV O/S 所需的较小物理基础架构相关。与安装较大的资源集相比，安装和激活较少数量的服务器和其他基础架构元素所需的时间更短。这些差异反映在成本的相应组成部分中。

然而，其他三个类别的 OPEX 存在明显较大的差异，在考虑解决方案的相对效率时更为重要。

- 系统集成、测试以及部署到生产环境的成本。
- 在整个运维生命周期中运行两个解决方案的成本：
 - 运维、管理（监控、测量、故障诊断/解决）的成本。
 - 实施系统升级（容量扩展、软件和硬件升级、维护 + 修补）的成本。这些类别加起来占 vCloud NFV O/S 解决方案所拥有的 OPEX 优势的近 80%。

通常，执行这些任务（集成、测试、运维和升级）的成本会受到实施任一解决方案的步骤的自动化和简化程度的影响。在将 vCloud NFV O/S 与 AOS 进行比较时确实是这种情况。鉴于服务提供商重视他们正在部署以支持 NFV 的虚拟基础架构的效率和可管理性，澄清这些差异的原因变得更加重要。

概括来说，已在 vCloud NFV O/S 中开发以支持 VNF 的 OpenStack 部署中工作负载的自动化和简化程度是存在效率差异的主要原因。

出现 OPEX 差异的根源

我们确定了 vCloud NFV O/S 的 OPEX 低于 AOS 的五个主要根源。我们按照可能在部署中遇到这些根源的顺序来描述它们，并将最终的、更普遍的根源保存到最后。

在技术层面上有四个差异根源。它们的影响是为在部署中完成工作的员工节省时间。节省完成任务的时间可以降低运维成本，并且可以创造机会来用节省的资金完成更多工作，从而产生额外的收益。

我们确定了可最大程度节省时间的四个 vCloud NFV O/S 特质：

- 安装程序自动化
- VMware SDDC 与 OpenStack 的插件集成
- 超融合基础架构
- 成熟且功能丰富的虚拟基础架构管理软件

根据 VMware 项目以及对服务提供商和其他行业领域的虚拟 IT 的渗透，第 5 个根源来自市场上存在的广泛可用、成本相对较低的 VMware 架构师和管理员池。使用 VMware SDDC 等通用平台提供虚拟应用和虚拟网络连接服务时，通过在广泛部署的基础架构中将易于理解的技术应用于相邻的工作负载，可提高效率。

在该领域，越来越多地使用虚拟 IT 解决方案作为电信行业采用 NFV 的基础可以产生收益。在部署（例如分析的使用情形）中涉及的每一类人员都是如此，这使他们能够更有效地适应 NFV 带来的新工作负载类型。

已在 vCloud NFV O/S 中开发以支持 VNF 的 OpenStack 部署中工作负载的自动化和简化程度是存在效率差异的主要原因。

相比之下，当服务提供商决定使用基于开源的更完善的虚拟系统基础架构时，他们无法从广泛开发的专业技能池中获益，就像基于 VMware 的解决方案一样。结果是，数量较少的具有同等能力的建筑师和工程师能够满足市场对其服务的需求，从而抬高了他们的时间成本。基于这种市场状况，在我们的 OPEX 计算基准上，我们对将其技能专门用于基于 AOS 的虚拟系统基础架构部署的人员平均应用了高出 30% 的成本。虽然不是 vCloud NFV O/S 的 OPEX 较低的唯一决定因素，但它是一个重要因素。⁷

现在我们按照介绍的顺序描述 OPEX 差异的技术根源。我们首先介绍差异的根源，然后说明这些差异对部署中涉及的工作流的影响及其对 OPEX 的影响。

⁷同时，为了衡量人员成本的影响是否完全相同（为了观察在运营商的人员成本相同的情况下两种解决方案的 OPEX 是多少），我们计算出竞争性解决方案降低的 OPEX 是其总 OPEX 的 8.3%，在这种情况下，VMware vCloud NFV O/S 的 OPEX 是 AOS OPEX 的 59%，与人员成本的差异为更高比例的差异时相比，优势适度降低 5%，但仍然非常可观。

安装程序简化和自动化。VMware 从客户在其虚拟化数据中心业务中所提供的反馈中吸取经验教训，以及根据自己的工程洞察力，开发出一种在部署虚拟化系统基础架构时可降低任务复杂性的方法。通过简化工作流程以选择准备就绪的最短路径并将可变因素组合到简化的选择步骤中，vCloud NFV O/S 可选择支持一组工作负载（例如 vEPC 中包含的 VNF）所需的 OpenStack 服务的关键元素，并以一种简化、提示的方式激活它们，从而最大限度地减少 CLI 击键操作，并在配置中最大限度地应用工程师的洞察力。这是通过将流程和配置智能嵌入 vCloud NFV O/S OpenStack 安装程序中完成的，同时再配合使用 vSphere、vSAN 和 NSX 可以实现高效的部署流程。这种影响在测试和集成以及生产和生命周期管理（升级、容量扩展和新服务功能激活）中都有体现。

插件的操作简化。另一个简化领域是 Nova（计算）、Cinder（块存储）和 Neutron（网络连接）等 OpenStack 组件，与 vCloud NFV O/S 解决方案中 VMware Software-Defined Data Center 的相应组件 vSphere、vSAN 和 NSX 之间的集成。通过软件插件，这些 SDDC 元素可解释 OpenStack 命令，并使用 SDDC 中 VMware 优化的程序实施这些命令。其重要性在于能够减少在仪表盘/用户界面级别使用 OpenStack 原生术语执行配置或资源管理功能的步骤，并使其由支持基础架构中工作负载的 VMware 组件在后台自动执行。这些集成所节省的时间同样影响测试、集成（与 VNF、网络和 OSS/BSS）、升级和运维的效率差异。

基于超融合系统体系结构的简化。vCloud NFV O/S 中另一个效率差异的根源是该解决方案在 vSAN、ESXi 和（随着时间推移越来越多的）NSX 中利用超融合功能。在本例中，利用超融合功能意味着将虚拟基础架构支持功能集成到 hypervisor 模块中，使这些功能可以使用基于本地主机的操作访问虚拟机工作负载，而不是通过更分散的（在许多情况下）更复杂的解决方案实施它们。例如，在 vCenter Server 等常用控制点下管理计算和存储（就像 vCloud NFV O/S 中的 vSphere 和 vSAN 一样）可以在解决方案部署的生命周期内提高效率。在服务提供商的生产移动网络中管理 VNF 的部署时，将这些简化功能设计到所使用的基础架构中是一个有价值的属性。

成熟且功能丰富的虚拟基础架构管理软件。与之前提到的自动化一样，vCloud NFV O/S 受益于 vRealize Operations Management 和 vRealize Log Insight 软件中的功能。vRealize OM

这些效率差异的根源是 vCloud NFV O/S 实施的自动化、平台集成和管理应用功能。它们共同产生了已确定的时间效率。

和 vRealize LI 为 vCloud NFV O/S 带来了重要的监控、性能衡量、容量管理、安全性分析和 SLA 测量功能，从而增强了测试和运维团队可用的工具包的功能。由于这些工具旨在与 vSphere 和 VMware SDDC 紧密

集成，并且已经过扩展，可提供专门针对 SDDC 中受支持 OpenStack 环境管理的支持，因此它们提供了一组有价值的功能，可帮助优化在 NFVI 中运行的工作负载的性能和效率。正是这种紧密集成使它们能够显著影响任务的效率和简化。

通过在 AOS 中进行比较，可以从供应商组合中组装工具集合（例如，除了部署中的 OpenStack 和 NFVI 软件之外，还可以对按期限订购者进行日志分析以及使用 Splunk 进行服务分析）。但是，这样做会增加 VIO 环境中不存在的 CAPEX（许可）和 OPEX（集成、测试、运维和生命周期管理）的成本，其中等效功能内置于解决方案中并基于集成简化运维。

此功能组合影响整个 OPEX 生命周期的效率（以及所提到的人员成本）。作为其对生命周期中不同点的运维效率的影响的指示，最大的影响在 VIM (OpenStack) 和虚拟基础架构的初始安装和测试中，其中安装和测试 vCloud NFV O/S 组合的工作量是 AOS 中所需工作量的 36%；并且在 VNF 与 NFVI 和 VIM 的集成以及完整解决方案的端到端测试中，在 vCloud NFV O/S 中集成和测试解决方案所需的时间是竞争性方案所需工作时间的 34%。

这些效率差异的根源是 vCloud NFV O/S 实施的自动化、平台集成和管理应用功能。它们共同产生了已确定的时间效率。

两种竞争性方案的累计五年 TCO

结合每个解决方案中的两个成本来源（CAPEX 和 OPEX），我们的分析表明，虚拟化 EPC 使用情形中 vCloud NFV O/S 解决方案的累计运维总成本比 AOS 的累计 TCO 低 47%。⁸

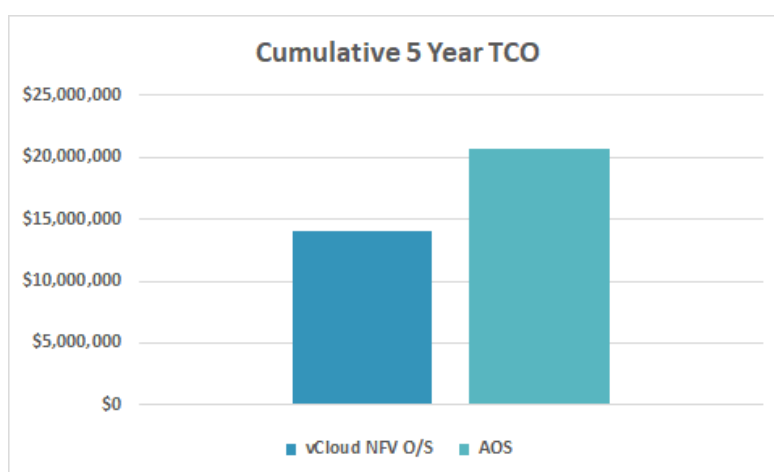


图 8. 两种竞争性设计的累计五年总体拥有成本

⁸这是通过获取 vCloud NFV O/S 解决方案的累计 TCO 与 AOS 的累计 TCO 之间的差值并将该差值除以 vCloud NFV O/S 解决方案的累计 TCO 得出的。这产生了 vCloud NFV O/S 解决方案中投资的百分比，该百分比由运营商在不采用 AOS 时的节约来表示。

若要充分发挥因这种差异而产生的价值，可以选择在使用基于此设计的解决方案时，考虑由服务提供商的员工执行与其竞争性方案相比更大比例的工作量。例如，如果可以使用 AOS 部署两个 vEPC 站点，则可以使用 vCloud NFV O/S 部署大约三个相同大小的 vEPC 站点。从另一个角度看，提供商可以使用 vCloud NFV O/S 以相同的成本支持数量众多的按期限订购者，或者使用 vCloud NFV O/S 而不是竞争性方案支持相同数量的按期限订购者以获得更低的成本。在任何一种情况下，底层解决方案的效率都可以实现此类结果。

服务提供商的决定对其 NFV 部署中虚拟系统基础架构方向的影响

显然，全球的服务提供商都在寻找可以提高灵活性和效率的方法，以将新服务和应用推向市场。对他们的应用使用开放、虚拟化和云原生设计是他们追求这一目标的最主要模式。使用开放式工作负载管理系统（如 OpenStack）支持其网络功能的虚拟化是启用多少新服务和功能的主要选择。VMware vCloud NFV O/S 解

决方案的独特部署模型使服务提供商能够受益于 OpenStack 提供的 VNF 和编排的开放性，同时受益于 VMware Software-Defined Data Center 基础架构及其运维管理应用提供的经过生产测

这些都是不容忽视的经济效益。它们意味着可以重点考虑将 vCloud NFV O/S 解决方案用于服务提供商的 vEPC 部署中。

试且不断演化的虚拟系统基础架构。特别是在迄今为止已在服务提供商的 IT 运维中部署 VMware 虚拟基础架构的环境中，将这些效率和过程纳入到 NFV 部署中的优势可能非常大。

我们的分析结果清楚地表明，探索此路径是服务提供商在创建虚拟化网络服务计划时应考虑的一种选择。我们的分析显示一项基于 vCloud NFV O/S 的 vEPC 部署：

- 与竞争性 OpenStack 解决方案相比，其部署中使用的服务器平均减少 30%
- 需要的 CAPEX 比竞争性设计少 16.4%
- 在运行其部署时，消耗竞争性方案 OPEX 的 54.3%
- 在五年的运维中，**累计 TCO 降低了 47%**

这些都是不容忽视的经济效益。它们指示，可以重点考虑将 vCloud NFV O/S 解决方案用于服务提供商的 vEPC 部署中。