



# 企业专用 WAN 与托管网络 服务的总体拥有成本比较

Peter Fetterolf 博士

# 执行摘要

企业专用网络通常使用 MPLS、SD-WAN 或运营商以太网服务。托管网络服务范围广泛，且易于部署；但在某些情况下，企业也会考虑使用暗光纤构建专用网络。而具有以下一个或多个要求的企业更应考虑使用部署了暗光纤的专用 WAN：

- 链路速度超过 70 Gbps
- 超低延迟要求
- 需要高可用性网络拓扑结构

专用 WAN 利用暗光纤确保企业可以构建高度可扩展、低延迟且高度可用的网络。托管网络服务的成本通常基于端口速度和有保证的带宽连接，而暗光纤的成本基于光纤的位置和端点之间的距离。这意味着托管网络服务的成本会随着带宽的增加而增加，而使用暗光纤的专用 WAN 的成本在带宽增加时会相对固定。因此，这些专用网络可以扩展到极高的带宽，成本却不会大幅增加。此外，暗光纤可以提供非常低的延迟，因为企业端点之间没有运营商设备，而且企业可以选择使用光纤路由器来将延迟降至最低。企业还可以使用环状或网状拓扑结构来设计光纤网络，从而打造高可用性网络。虽然本文中的财务分析使用的是北美洲的定价数据，但结果适用于全球范围。如果网络需求和要求证明使用暗光纤有其合理性，那么企业需要了解其所在地区和城市中光纤的可用性和定价。

可以部署使用暗光纤的专用 WAN 的企业类型包括：

- 金融服务和程序交易公司
- 超大规模公司和大型网络服务公司
- 政府机构

本文概括介绍了专用 WAN，并且展示了使用暗光纤的专用 WAN 与托管网络服务（运营商以太网）在总体拥有成本方面的比较结果。之所以使用运营商以太网进行比较，是因为对于需要极高带宽（10Gbps 或以上）的站点来说，该方案是最具成本效益的网络服务。

## 企业网络背景

多年来，企业一直在构建专用网络。专用网络始于 20 世纪 90 年代的租赁 T1 线路和帧中继虚拟电路，现已逐渐转向 MPLS、SD-WAN 和运营商以太网服务。企业网络的要求受组织的类型和规模以及特定应用和用例要求所驱动。企业网络要求分为三类：

- 安全性
- 有保证的带宽、抖动和延迟
- 网络可用性

图 1 描述了各种网络服务的带宽和安全性的相对级别。住宅和小型企业服务的宽带互联网成本最低，服务安全性也最差，这类宽带以中低带宽级别（1 Gbps 或以下）进行运维。直接互联网接入是一款高速商业互联网产品，可提供更高级别的带宽（高达 10Gbps），具有最大传输流量，但安全性级别较低。传统 MPLS 和 SD-WAN 服务能以高级别安全性提供中低带宽。运营商以太网服务可以扩展到更高带宽，提供中等级别安全性。对于具有极高带宽和/或安全性要求的企业来说，使用暗光纤的专用 WAN 是另一种选择。暗光纤允许企业在其从一个或多个服务提供商那里租赁的现有光纤之上构建专用网络。



图 1：网络服务的带宽和安全性频谱分析

构建使用暗光纤的专用 WAN 是一项非常昂贵的投入，并且仅适用于具有以下一个或多个网络要求的企业：

- 极高带宽
- 超低延迟
- 高可用性

表 1 列举了构建使用暗光纤的专用 WAN 的一些组织。

组织	网络要求
程序交易公司	程序交易需要确保程序算法具有超低延迟，从而实现高效工作。这些公司已构建专用光纤网络，力求将延迟降至最低。金融网络需要保留精确的记录，并且需要具有准确计时功能的时间戳。
金融服务公司	金融服务公司可能会有非常大的带宽需求和高安全性要求，尤其是当连接到合作伙伴网络时，如 Moody。一些公司已使用部署了暗光纤的专用 WAN 来解决这些要求，同时降低极高带宽连接的网络成本。
超大规模公司	超大规模公司具有巨大的带宽需求，并且已在多年前就通过暗光纤构建了专用网络以实现指数级的带宽增长。
美国国防部	高安全性、低延迟和高带宽是国防部内某些组织的要求。
情报机构	高安全性、低延迟和高带宽是情报机构内某些组织的要求。

表 1. 需要暗光纤的组织示例

有关网络服务的决策在很大程度上取决于组织类型、用例和应用要求。在以下各节中，我们将概括介绍基于暗光纤的专用 WAN，说明考虑部署这种网络的优势，同时展示专用 WAN 与托管运营商以太网服务的经济对比。

## 使用暗光纤的专用 WAN

需要极高带宽、低延迟和高安全性的企业应当考虑构建使用暗光纤的专用网络。暗光纤是指管道中可供租赁但未点亮和投入使用的额外光纤。之所以存在大量的暗光纤，是因为构建光纤网络的很大一部分成本在于建设。电缆中光纤对的成本远低于挖掘沟渠和管道以及拉动光纤电缆的成本。光纤电缆在单条电缆中拥有多达 864 股光纤束。每个光纤对（两股光纤束）可以承载多达 96 个波长，而每个波长可以提供高达 400 Gbps 的传输容量。单个光纤对中的带宽为 38.4 Tbps，而这几乎是无限的。在许多发达国家/地区和发展中国家/地区，网络运营商通常都会有大量未投入使用的光纤束，他们往往会选择将光纤对租赁给需要专用光纤网络的企业或其他运营商。

租赁暗光纤的部分网络运营商包括：

- 拥有广泛光纤网络的大型国内和全球服务提供商，例如，AT&T、Telefonica、Eurofiber 和 euNetworks
- 批发服务提供商
- 已在公用事业用地构建光纤网络的电力、天然气和水利公用事业公司
- 已在部分地区构建光纤的市政和州/省政府机构
- 在当地拥有自己的光纤网络的本地服务提供商
- 已经在其轨道旁边优先铺设光纤的铁路公司

表 2 列出了暗光纤的关键优势。

暗光纤的优势	说明
<b>可扩展性</b>	单个光纤对可以扩展到极高的数据传输速率。路由器可以 100 Gbps 或 400 Gbps 的速率连接到光纤对。如果需要额外带宽，则可使用 DWDM，该技术能够提供近乎无限的可扩展性。C 波段 DWDM 在一个光纤对上支持多达 96 个波长，每个波长可以承载高达 400 Gbps 的容量。因此，每个光纤对的容量最高可达 38.4 Tbps。无论网络传输需要多少带宽，光纤对租赁成本的价格始终不变。
<b>针对网络带宽增加，预测成本结构</b>	租赁暗光纤对的主要成本取决于光纤的位置以及需要连接的端点之间的距离。无论网络传输需要多少带宽，光纤对租赁成本的价格始终不变。随着带宽的增加，网络设备会产生一些额外成本，但与光纤租赁的成本以及类似的运营商以太网或 MPLS 服务的成本相比，这部分成本相对较低。
<b>低延迟</b>	跨托管网络服务（如 MPLS、互联网或运营商以太网）的任何连接都会与活动的网络设备（如路由器、交换机和 DWDM ROADM）一起遍历多个跃点。相比之下，暗光纤连接没有活动的网络设备；因此，延迟会有所降低。使用暗光纤构建专用 WAN 的企业可以选择使用光纤路由器来将网络距离和延迟降至最低。
<b>安全性</b>	基于暗光纤的网络在本质上具有很高的安全性，因为在企业端点之间没有服务提供商的路由器或交换机。企业可以控制其路由器，但不会对光纤进行监控，除非光纤被切断（这时企业网络运营商会收到提醒）。
<b>冗余和可靠性</b>	企业可以利用暗光纤来增强网络冗余和可靠性，因为他们可以在具有不同路由的不同管道中使用光纤。他们还可以设计环状和网状网络，这种网络在本质上具有容错能力，能够应对光纤被切断的情况。企业也无需担心服务提供商的设备故障无法提供服务或中断服务，因为网络中没有服务提供商的设备。虽然企业需要管理自己的设备，但这样可以拥有更高的可见性和控制力。

表 2. 使用暗光纤的专用 WAN 的优势

## 使用暗光纤的专用 WAN 与运营商以太网的总体拥有成本比较

在这一节中,我们将比较运营商以太网服务与专用 WAN 暗光纤网络的总体拥有成本 (TCO)。对于更高级别的带宽,运营商以太网服务的成本效益要高于 MPLS 或 SD-WAN;因此,我们使用运营商以太网与暗光纤进行比较。运营商以太网和专用 WAN 暗光纤的价格在很大程度上都取决于当地区域和服务提供商。我们使用这些服务在北美洲的平均成本。企业使用高速路由器连接到运营商以太网和专用 WAN 暗光纤服务。虽然路由器相同,但路由器的配置和成本会因各网络架构而异。

运营商以太网服务的定价基于端口速度和承诺的信息速率 (CIR)。因为我们比较的是高带宽连接成本,因此我们假设运营商以太网使用 10 GE 端口及 10 Gbps CIR。这通常是大部分运营商以太网服务的最高端口速度和 CIR。我们还假设,随着 10 GE 端口数量增加,运营商以太网服务会有折扣。这是批量折扣。暗光纤定价在城域网络和远距离网络之间有所不同。暗光纤对的价格通常按英里计算。表 3 列出了使用北美洲平均值假设的服务定价。

传输技术	价格
运营商以太网每月价格:10Gbps CIR 和 10GE 端口(3 年期)	1,300
针对额外 10GE 端口的每端口运营商以太网折扣	2%
每月每个暗光纤对的每英里价格:远距离网络	9
每月每个暗光纤对的每英里价格:城域网	29

表 3. 服务定价假设

值得注意的是,运营商以太网和暗光纤的价格都会因北美洲和全球各地的地区和城市而异。虽然本文中的财务分析使用的是北美洲的定价数据,但结果适用于全球范围(暗光纤在欧洲、日本和韩国已广泛可用)。如果网络需求和要求证明使用暗光纤有其合理性,那么企业需要了解其所在地区和城市中光纤的可用性和定价。

总体拥有成本分析的另一个重要组成部分是网络拓扑结构和链路数据速率。为了简化和规范化分析，我们考虑了一种简单的三节点网络，并假设所有节点之间的流量完全相同。图 2 和图 3 分别描述了运营商以太网和暗光纤的拓扑结构。在运营商以太网网络中，我们假设每个路由器都使用一个或多个 10 GE 端口连接到运营商以太网服务。全部三个节点都使用 10 Gbps 的 CIR 与以太网虚拟电路连接。使用物理光纤环的暗光纤网络将三个节点中每个节点的路由器连接起来。

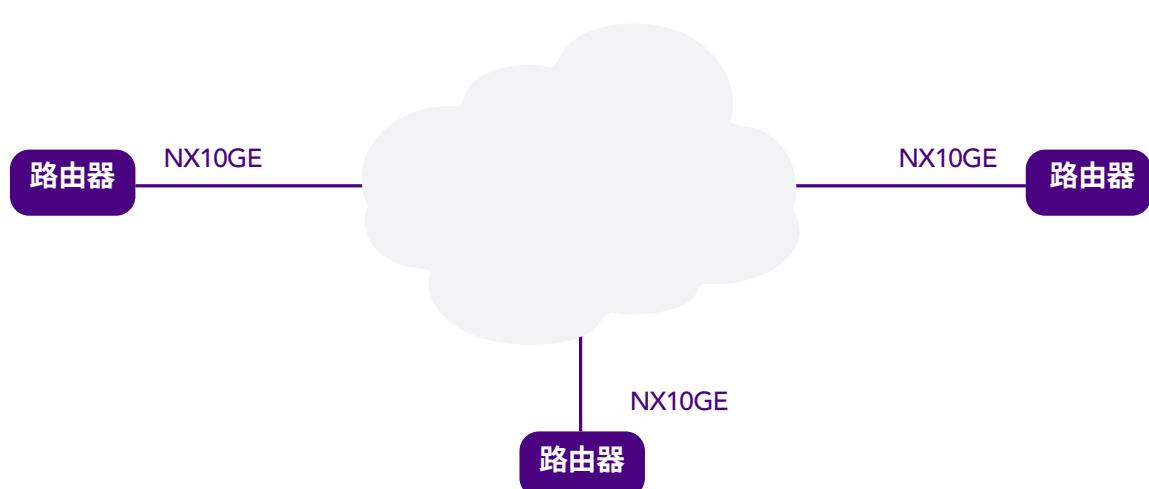


图 2. 运营商以太网网络拓扑结构

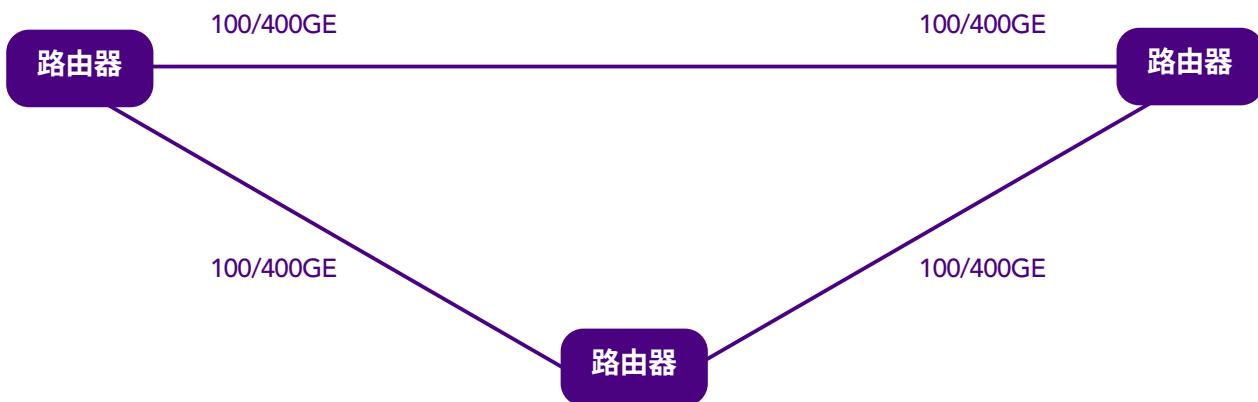


图 3. 暗光纤网络拓扑结构

我们还在总体拥有成本模型中考量了路由器成本。分析中使用的是瞻博网络 MX 240 路由器。对于运营商以太网网络，我们在 MX 240 上使用多个 10 GE 端口。对于暗光纤网络，我们使用 100 GE 或 400 GE 端口，具体取决于链路所需的数据传输速率。我们还考量了 MPLS 软件许可证成本。

总体拥有成本分析的另一个组成部分是劳动力运营成本 (OpEx)。我们假设管理暗光纤网络的劳动力成本高于管理运营商以太网网络的劳动力成本。对于本例中的小型三节点网络，表 4 列出了我们假设的劳动力成本。

	价格
每年满载 FTE 成本	\$150,000
运营商以太网服务需要的 FTE	0.25
暗光纤服务需要的 FTE	1

表 4. 劳动力运营成本假设

很显然，虽然大部分企业网络比我们在总体拥有成本模型中使用的简单网络都要复杂，但结果却适用于更大、更复杂的网络，因为暗光纤的优势在于具有高带宽和/或低延迟要求的特定链路。许多网络可能采用混合架构，其中一些链路可能使用暗光纤，其他连接则使用更传统的托管网络服务，如运营商以太网或 MPLS。

## 总体拥有成本结果

总体拥有成本包括以下组成部分：

- 传输成本 (运营商以太网或暗光纤)
- 路由器成本
- 劳动力成本 (OpEx)

我们以三年为期对比了两种情况：

- 链路距离为 75 英里的城域网络
- 链路距离为 500 英里的远距离网络

图 4 显示了城域网络三年累计的总体拥有成本。分析显示，暗光纤和运营商以太网这两种情况的总体拥有成本都会因链路带宽级别而异。链路带宽范围为 5 Gbps 到 400 Gbps。在我们的模型中，我们假设这是全部三个路由器之间所需的带宽。总体拥有成本模型显示，网络中每个链路的交叉点为 70 Gbps。这意味着在城域网络中，带宽超过 70 Gbps 的链路比在暗光纤网络运行的成本效益更高。图 5 和图 6 分别描述了传输成本和路由成本的细分情况。运营商以太网与暗光纤传输成本 (不包括路由器或劳动力成本) 的交叉点为 20 Gbps。对于 5 Gbps 以上的带宽，运营商以太网网络的路由器成本总是更高，但在带宽增加到 75 Gbps 以上之前，差异还是很小的。我们还在总体拥有成本中包含了劳动力成本，虽然在表中没有描述，但该成本使得总体拥有成本交叉点的带宽比传输成本交叉点的带宽更高。

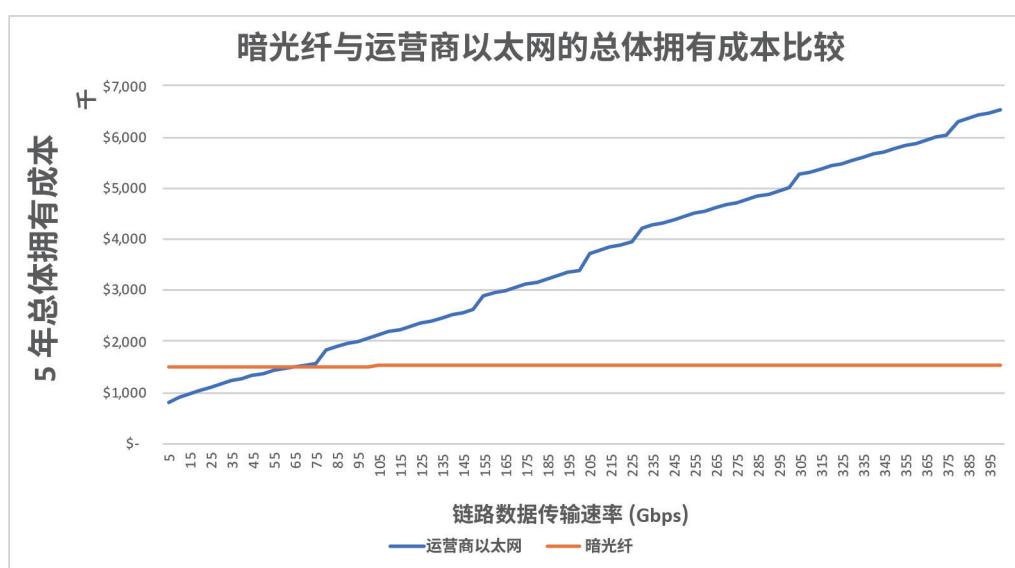


图 4. 暗光纤与运营商以太网的城域网络三年总体拥有成本比较

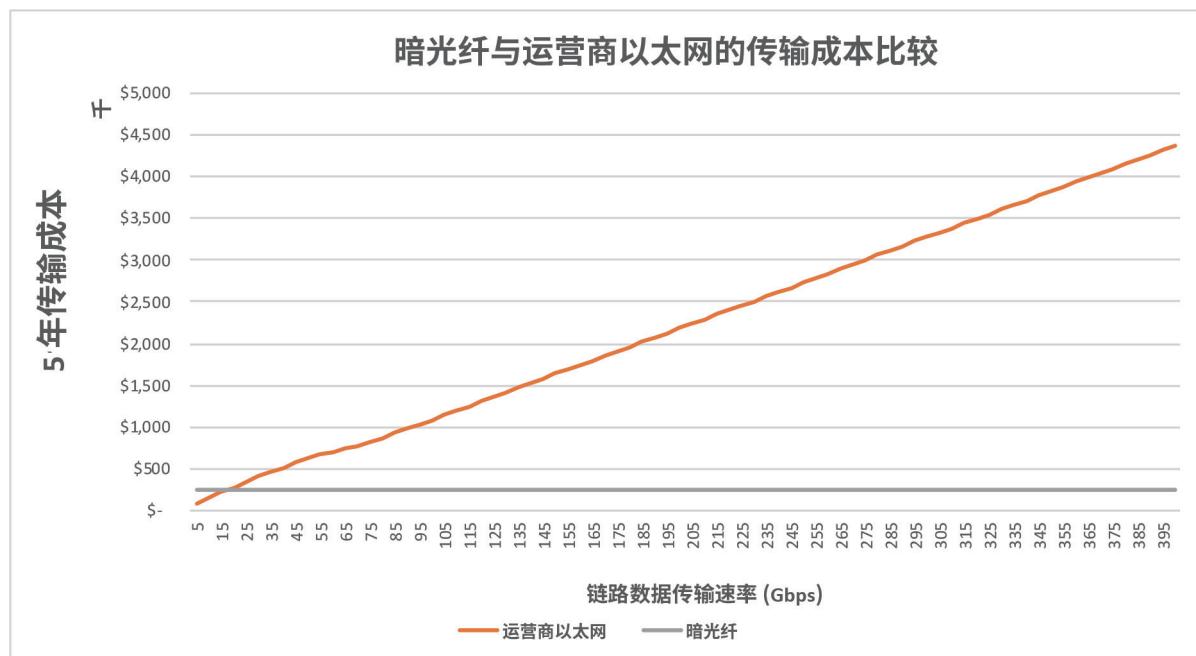


图 5. 暗光纤与运营商以太网的城域网络三年传输成本比较

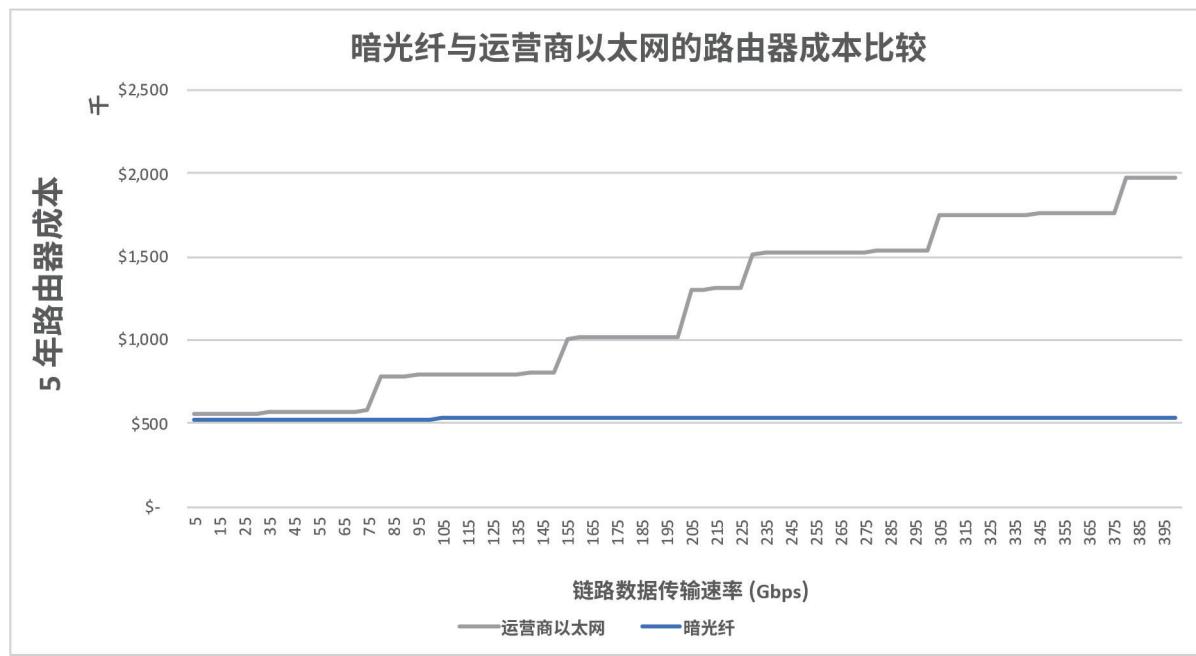


图 6. 暗光纤与运营商以太网的城域网络三年路由器成本比较

## 企业专用 WAN 与托管网络服务的总体拥有成本比较

图 7 描述了远距离网络三年累计的总体拥有成本。结果与城域网络差异不大。暗光纤变得比运营商以太网更具成本效益的交叉点为 75 Gbps。图 8 和图 9 分别描述了传输和路由器的三年总体拥有成本。

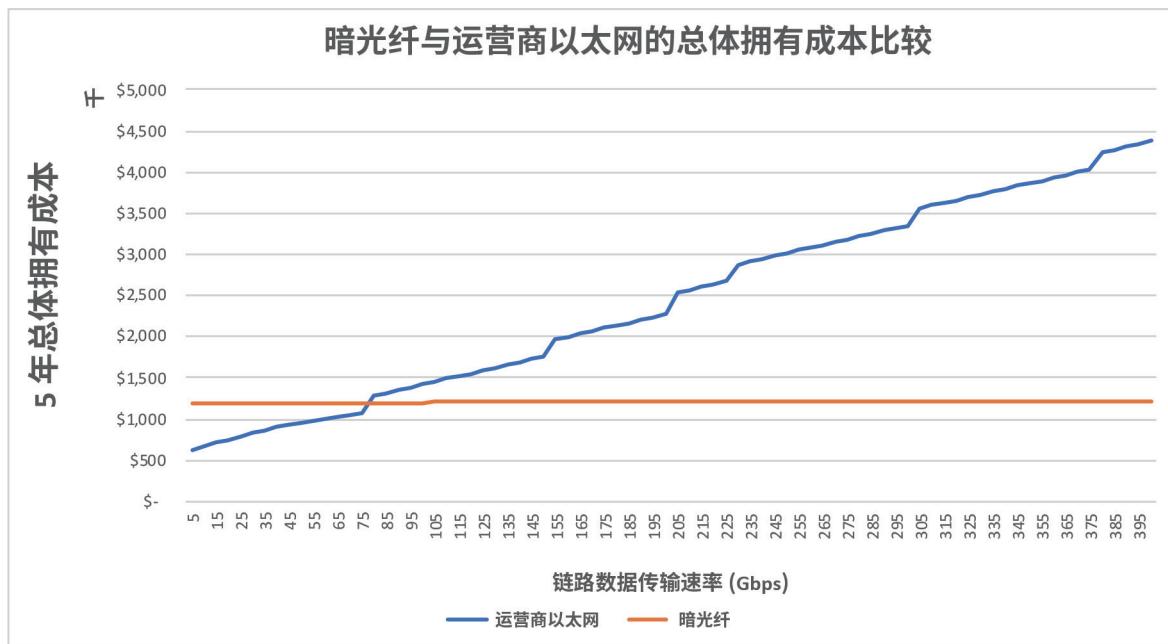


图 7. 暗光纤与运营商以太网的远距离网络三年总体拥有成本比较

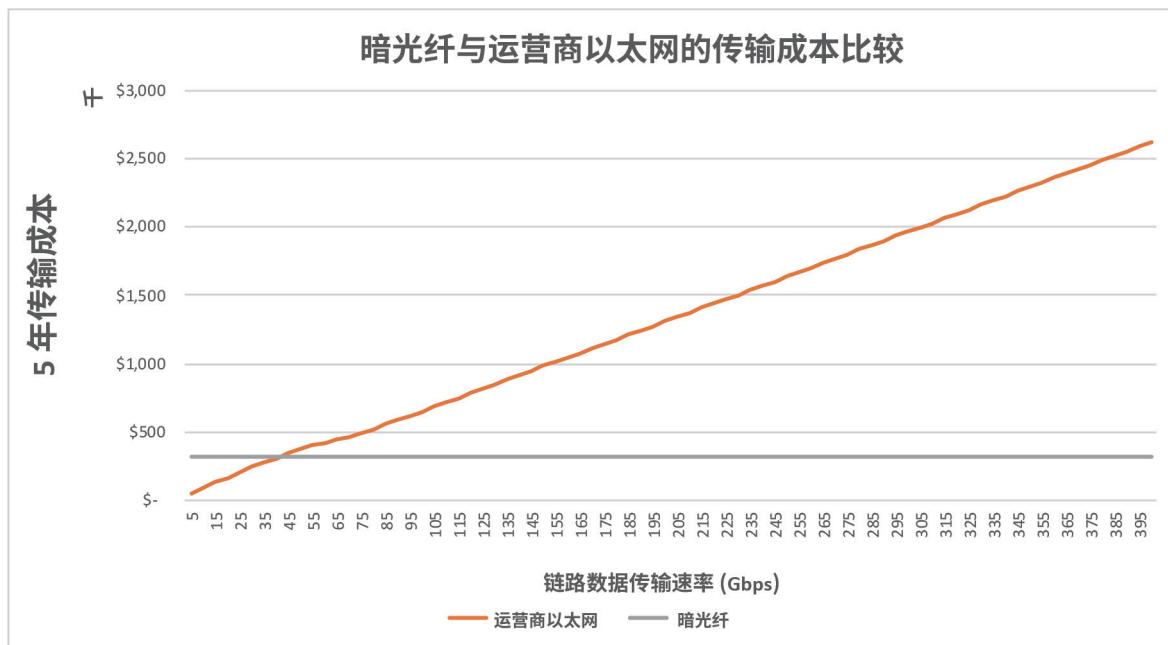


图 8. 暗光纤与运营商以太网的远距离网络三年传输成本比较

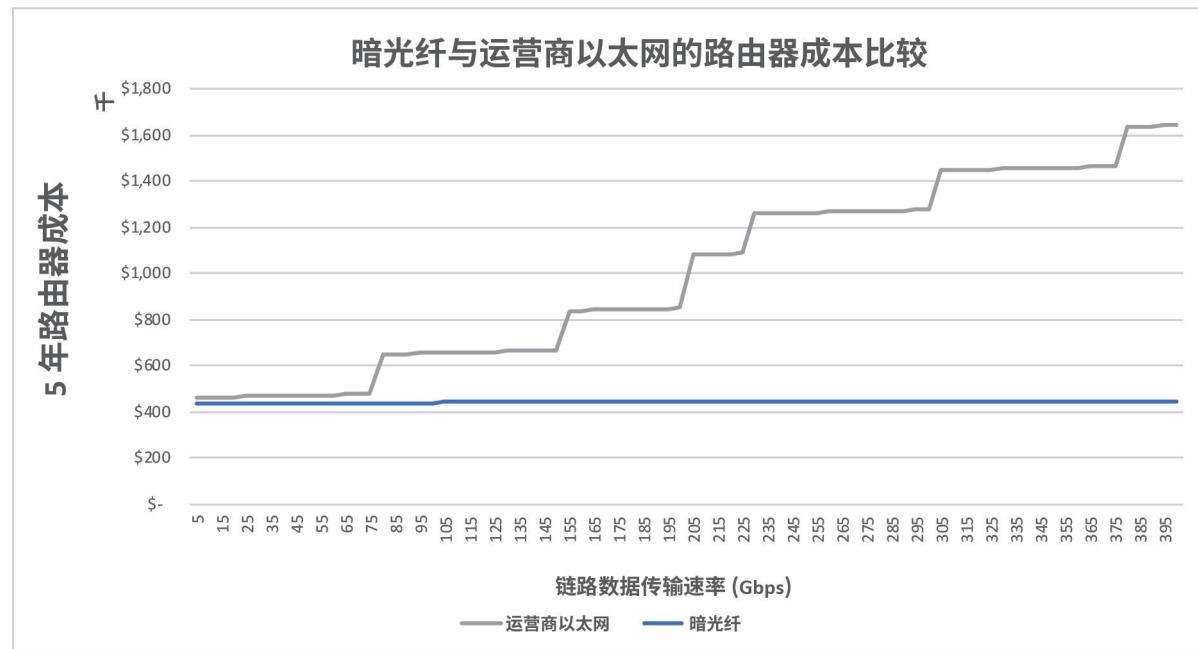


图 9. 暗光纤与运营商以太网的远距离网络三年路由器成本比较

## 结论和总结

虽然大部分企业网络都满足标准网络服务,如 MPLS、SD-WAN 和运营商以太网,但依然存在具有特定需求的企业级网络,能够证明在暗光纤之上构建专用网络有其合理性。专用暗光纤网络的关键驱动因素包括以下一项或多项:

- 链路速度超过 70 Gbps
- 超低延迟要求
- 需要高可用性网络拓扑结构