

# 速率趋稳：应用程序固定带宽接入时代将至？

*2024年，全球部分地区的网络将完全或部分满足消费者对带宽的需求。相较于网速，消费者更在意网络连接的稳定性。*

在互联网发展的大部分阶段，对固定网络更高速率的追求从未间断。然而，近来技术的发展和消费者行为的变化表明，这一趋势可能即将结束。<sup>1</sup>从历史来看，在线视频流媒体的兴起大幅推动了带宽需求，但即使这种转变也终归有限。德勤预计，到2024年，发达市场固定网络中超九成常用在线应用程序的运营商建议速率将与2023年持平。这里的常用应用程序包括流媒体音视频、视频通话、在线游戏以及家庭监控；其中大部分都会在官网中注明建议最低速率。2023年至2025年期间，至少80%的此类应用程序的建议速率可能维持不变。未来，一些热门应用程序进一步压缩，其速率可能还会降低。<sup>2</sup>

短期内，许多家庭在高峰时段的固定带宽总需求预计只会小幅增长。因此，用户主动升级套餐的意愿或会降低<sup>3</sup>。相较于网速，消费者更在意网络连接的其他属性，如稳定性、与媒体内容的捆绑、室内覆盖范围或直接价值。

也就是说，消费者对更高速率的追求仅能拉动一部分运营商网络基础设施需求。各国政府纷纷出台了一系列激励计划和法律法规，旨在通过提出最低速率要求消弥数字鸿沟。各国所要求的下载速度从10兆比特每秒 (Mbps) 到1千兆比特每秒 (Gbps) 不等，故运营商应据此建设网络，以获得资助或确保合规。<sup>4</sup>其次，市场存在竞争压力：如果一家运营商推出超快网速，其他运营商必然也会迎头赶上。此外，建设网络基础设施通常是一项长达20年以上的投资，因而需要考虑未来发展。最后，新兴技术不仅能够提升网速，还将提高网络连接的稳定性、可持续性 & 可用性，并降低运营成本和延迟。综上，尽管消费者在2024年和2025年可能还不“需要”这类技术，但预计运营商的目光将从铜缆数字用户线路 (DSL) 技术和传统电缆解决方案转向DOCSIS 4.0 和光纤到户技术。

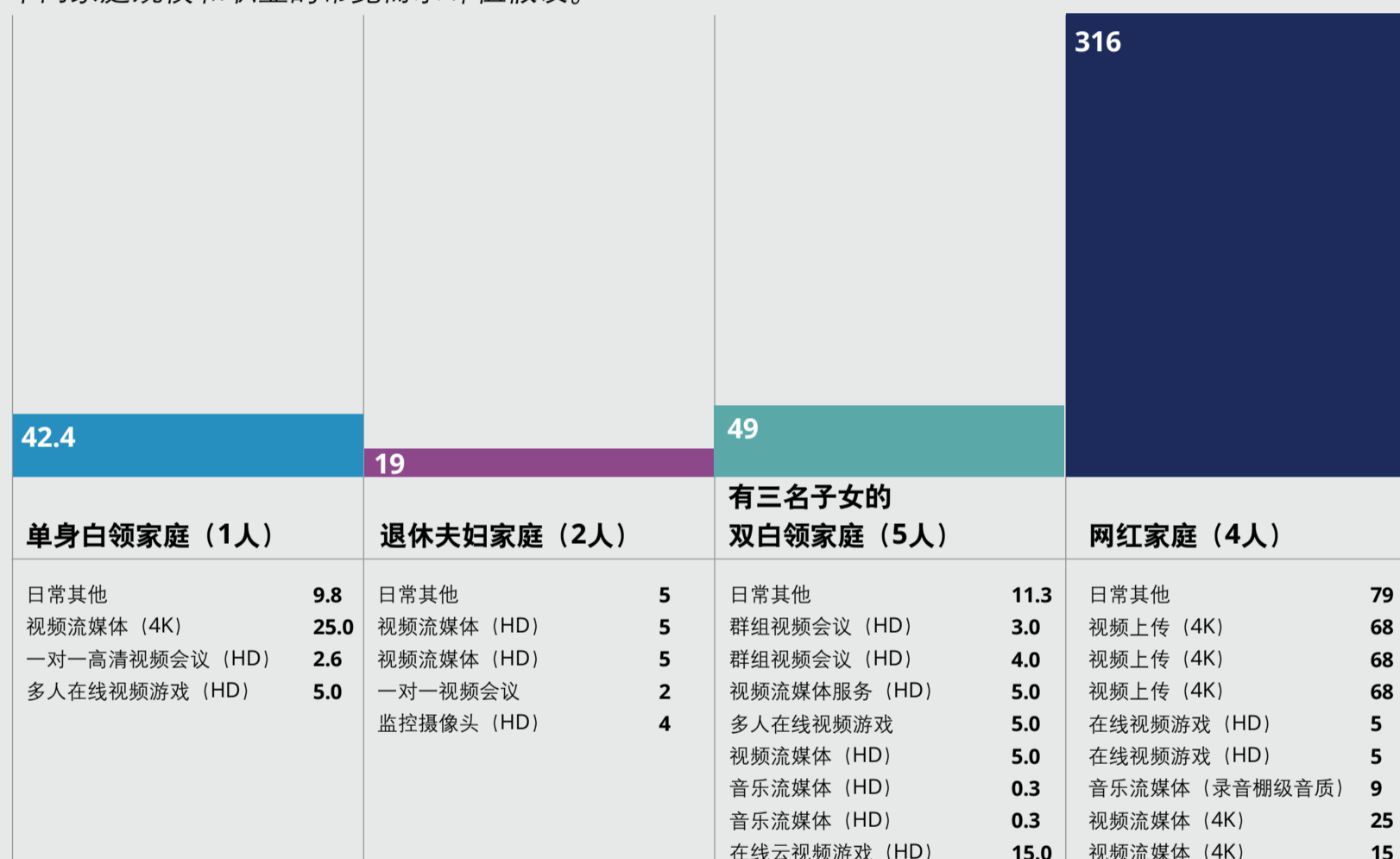
在考虑每个家庭的带宽需求时，应注意家庭结构的演变趋势。在发达市场，家庭规模普遍呈长期下降趋势。截至2022年，欧盟的家庭平均规模为2.1人；逾四分之三的家庭没有子女。虽然有三孩及以上的双亲家庭可能会有较高的总带宽需求，但有三孩及以上的家庭占比不足5%<sup>5</sup>；单成人或双成人居住家庭占多数。<sup>6</sup>事实上，到2025年，单成人家庭或将成为最常见的家庭类型<sup>7</sup>。美国也呈现出类似趋势。2022年，美国家庭的平均规模为2.5人（占比约三分之一）。<sup>8</sup>其他类型家庭的平均规模为1.25人，其中3,790万个家庭（占家庭总数的29%）为单人家庭。<sup>9</sup>

对于一个双人家庭而言,即使考虑到日常其他使用,2024年其常用应用程序的总带宽需求峰值也可能远低于100兆比特/秒 (Mbit/s)<sup>10</sup>。100兆比特/秒的带宽或足以向电视机同时传输两个高清 (HD) 视频流媒体。如果有人也在听流媒体音乐,那么根据一些热门应用的官网信息,每首高品质音乐的传输速率将低于1兆比特/秒。<sup>11</sup>对于多人在线联机视频游戏 (PC或游戏机),根据联机数目最可能的建议速率为5-10兆比特/秒。<sup>12</sup>视频通话需要高达4兆比特/秒的下行和上行速率。<sup>13</sup>对于其他应用,如使用高性能监控摄像头,则每台所需速率通常为1-3兆比特/秒。<sup>14</sup>

对于一个四人网红家庭 (非典型家庭示例) 而言,如果有三人同时上传4K视频并下载其他内容,总带宽需求或超过300兆比特/秒 (图1)。不过,在大多数市场,有这样人员构成的家庭不到1%。<sup>15</sup>在2024年和中期内,更常见的家庭结构——无子女家庭的带宽需求可能会小得多。

**图1: 典型家庭的总带宽需求几乎不会超过50兆比特/秒**

不同家庭规模和职业的带宽需求峰值假设。



资料来源: 德勤, 基于多个资料来源

# 视频点播：建议速率或仍为5兆比特/秒

2024年，大多数发达市场家庭中最普遍的数据消费应用可能是视频点播 (VOD)。在大多数发达市场，约四分之一家庭使用视频点播服务。<sup>16</sup>在许多发达市场，各类点播视频的日均播放时长高达数小时，且在许多家庭中，视频点播可能占家庭网络流量的绝大部分。<sup>17</sup>

2024年，常用视频点播服务 (高清画质) 的建议速率将不超过5兆比特/秒。<sup>18</sup>德勤预计，约两成的视频点播将以4K标准传输，建议速率在15-25兆比特/秒之间。<sup>19</sup>以4K标准传输体育节目，如果没有经过压缩，最低建议速率将达30兆比特/秒。<sup>20</sup>在智能手机、个人电脑 (PC) 或平板电脑等较小屏幕上观看视频时，各个分辨率级别所需速率均相对较低。

过去12年，随着压缩技术的进步，流媒体视频点播所需速率趋于下降。<sup>21</sup>未来五年，压缩技术有望进一步发展。

视频点播平台不太可能在2024年提高建议速率。提高速率以提供更优画质可能只在消费者能够感知到这种改进的情况下才有意义。然而，许多观众在2024年和中期内可能仍满足于高清画质。以订阅型视频点播 (SVOD) 服务的前身——光盘的比特率作为对比，足以说明公众对当前流媒体高清和4K画质的接受程度。高清光盘的比特率达40兆比特/秒，4K光盘的比特率更是高达128兆比特/秒。<sup>22</sup>这意味着高清光盘的比特率可能是4K流媒体的两倍，换句话说，以比特率衡量，蓝光高清光盘的画质可能胜过4K流媒体。

德勤预计，“高清转4K”这一趋势将不甚明显。背后至少存在三大制约因素。其一是生理因素——许多观众可能根本无法区分二者差异，故不太可能为4K支付溢价<sup>23</sup>。其二是历史因素——20世纪90年代和21世纪初的一些热门馆藏内容只有高清版本。其三是现实因素，发达市场的大多数电视都是高清电视。2019年，高清电视出货量占全球电视总出货量的52%，<sup>24</sup>也许再过多年高清电视才会被4K电视取代。<sup>25</sup>在美国，直到2021年，大多数家庭 (51%) 才称至少拥有一台4K电视。<sup>26</sup>

一些家庭的视频点播实际均速甚至会下降。视频点播平台正在不断优化内容编码。奈飞 (Netflix) 已将部分内容的4K速率降至1.8兆比特/秒。<sup>27</sup>此外，一些家庭为降低开支可能会放弃4K重返高清。自2023年11月起，Disney+的4K内容在某些市场仅对高级会员开放。<sup>28</sup>最后，带宽共享服务的减少——预计将在2024年加速——可能会导致部分家庭减少观看流媒体内容，从而降低带宽需求。

本节着重分析了流媒体电视的带宽需求现状。可以说，虚拟现实 (VR)、增强现实 (AR) 以及全息投影的流媒体传输将需要更高的带宽速率。但我们预计这类功能不会在2024年及2025年广泛应用。2024年，预计电视的活跃装机量将达数十亿台，远高于VR和AR头戴设备的预期装机量 (分别为数千万台和数十万台)，这意味着大众市场不太可能需要提高带宽速率。<sup>29</sup>

## 音频：大多数应用速率低于1兆比特/秒

流媒体音乐日益受到消费者青睐。对于2024年的16岁青少年而言，订阅型音乐服务将伴随他们一生。<sup>30</sup>德勤预计，2024年，高品质音乐流媒体速率的中位值将达约300千比特/秒 (kbit/s)。<sup>31</sup>

就Tidal的Master音质服务而言，其保真度更高，所需速率也会更高，最高可达10兆比特/秒。<sup>32</sup>但这可能只代表了一小部分用户和使用情况，一部分原因在于发烧级流媒体服务价格较高，另一部分原因是蓝牙（最常见的无线耳机连接方式）不支持高于1兆比特/秒的传输速率<sup>33</sup>。

播客和广播等音频服务的速率也可能低于0.5兆比特/秒。<sup>34</sup>播客的速率约为100-150千比特/秒。<sup>35</sup>

## 游戏机和PC视频游戏：大多数应用速率将低于10兆比特/秒

2024年，数据流量消耗最高的游戏类型可能是游戏机和PC类游戏。最热门的应用程序可能需要5-10兆比特/秒的网速以支持在线游戏，游戏内容则需要事先下载。<sup>36</sup>云游戏所需速率高达45兆比特/秒，但其属于小众游戏，2024年可能至少每月使用云游戏服务的家庭不到5%。<sup>37</sup>

偶尔的文件下载需要网络连接，但可在后台或空闲时进行。对于在线游戏玩家而言，下行和上行速率只是众多重要参数中的两个，另一关键参数或是衡量网络延迟的ping速率。

预计游戏机和PC类游戏用户规模将持续扩大，但与以智能手机为主的移动游戏用户规模相比，仍相距甚远。能够支持最新一代PC和游戏机游戏的设备的活跃装机量达数亿台，而智能手机的装机量达50亿部。<sup>38</sup>2022年初，索尼和微软的最新一代游戏机已售出约5,000万台，<sup>39</sup>而在2023年7月，索尼宣布已售出4,000万台。<sup>40</sup>2022年，游戏PC的年销量达4,500万台，预计2024年装机量将达数亿台。<sup>41</sup>2024年，预计约有三分之一的游戏机和游戏PC会被每天使用。<sup>42</sup>相比之下，超九成的智能手机和八成的智能电视可能会被每天使用。<sup>43</sup>

未来，云游戏（即游戏由远程托管，视频图像可通过网络传输到任何屏幕）有望成为主流。云游戏服务将游戏视频从数据中心传输至玩家屏幕，使玩家无需游戏PC或游戏机也能玩高画质游戏。高清游戏所需速率可能达6-25兆比特/秒，<sup>44</sup>4K游戏所需速率可能高达45兆比特/秒。<sup>45</sup>具体所需的速率大小取决于帧数率（以每秒帧数计算）和色域。

# 视频通话：建议速率或低于5兆比特/秒

家庭中另一个常见应用可能是视频通话。发达市场的就业人口约占六成，其中近半数可能需要偶尔或频繁地在家进行视频通话。<sup>46</sup>

对于高清视频通话，大多数服务对群组视频通话的要求速率为4兆比特/秒，一对一通话则要求更低。<sup>47</sup>标清视频通话的速率则在1-2兆比特/秒。视频通话可在一天中的任何时间进行，但与工作有关的通话多在白天进行，且根据家庭规模、年龄及季节的不同，可能不会与其他应用争夺带宽。对于只喜欢音频通话的用户而言，带宽需求很小，不到0.1兆比特/秒。<sup>48</sup>

某些类型的通话可能受到上行速率限制。宽带连接通常会对下行连接进行加权，即大部分带宽分配给下行链路。<sup>49</sup>多年来，这种分配方式对于大多数家庭通常是合理的，因为上行链路很少使用。但就视频通话来讲，在一天的繁忙时段，某些通话5兆比特/秒的上行速率要求或难以达到。

对于少数用户而言，可能出于安全考虑或者因为他们使用的是轻量级客户端（通过网络连接从远程服务器获取主要处理能力的简单计算机）或基于网络的设备，应用程序可能会通过网络传输至用户设备。对于最常用的办公应用，最大带宽需求约为2兆比特/秒<sup>50</sup>。

# 智能家居：每台设备所需速率低于5兆比特/秒

更稳定的网络连接让联网监控服务变得相对便宜。规模经济以及每年为其他设备生产的大量摄像头，帮助降低了监控设备的价格。智能监控仍然相对小众。据德勤调查，约两成家庭至少安装了一台监控设备，录像则可能存储在本地而非上传至云端。<sup>51</sup>

每台高清监控设备的上行速率最高可达4兆比特/秒，<sup>52</sup>但通常的建议速率为2兆比特/秒。<sup>53</sup>某些型号的监控设备当检测到运动物体时，其速率会有所提高。

## 小结

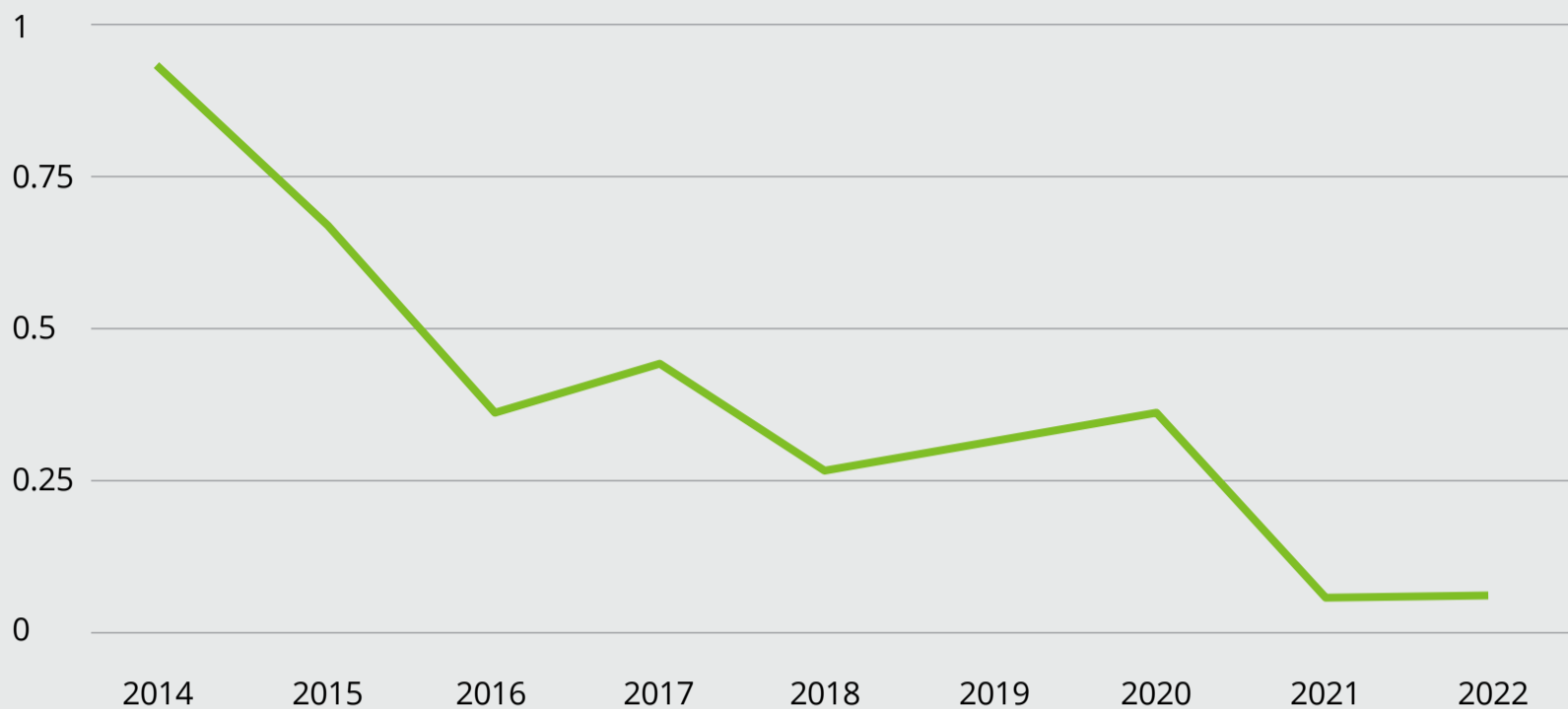
2010年至2019年，从广播视频、数字视频录像机和DVD向在线视频的转变驱动着总带宽需求不断变化。然而，带宽需求的历史增长将不能再能够用以可靠预测未来需求。速率趋稳的时代可能已经到来。

而转变终归有限。有些转变可能需要经历数十年才能完成，有些则只需数年。近年来，视频点播订阅量增长逐步放缓，在没有新应用或设备需要更多带宽的情况下，家庭的带宽需求可能已达到自然上限，即约100兆比特/秒。

每月数千兆字节 (GB) 数据传输量的增长或预示着，对更高带宽速率的需求正在稳步下降 (图2)。

**图2: 英国宽带使用趋势表明固定带宽使用增长稳步下降**

英国平均固定带宽使用量 (以GB计算) 的同比变化 (%)



资料来源: 德勤基于Ofcom数据的分析, 2023年

Deloitte Insights | [deloitte.com/insights](https://deloitte.com/insights)

这将带来多方面影响。

首先, 在部分地区, 电信公司或需将重心从提高网速转向提升网络连接稳定性等更多方面。宽带套餐定档也需重新考量: 以200兆比特/秒作为入门级套餐可能会鼓励大多数用户选择最低档、最便宜的套餐。而以50兆比特/秒为起步档反而可能促使用户选择中档套餐。

其次, 考虑到不同技术的无故障运行时间之差异, 相较于传统的铜缆接入, 改用光纤到户仍具有一定优势。

再者, 鉴于总带宽需求持续放缓, 这也意味着5G或4G固定无线接入 (FWA) 等网络技术也将能够满足人们的日常使用需求。2022年, 美国网速排名第五的是FWA网络, 其速率中位值达24兆比特/秒。<sup>54</sup>

随着技术的发展和消费者行为的转变, 部分地区带宽需求快速增长的时代或即将结束 (或至少暂停), 短期内带宽需求将趋于平稳。在线视频流媒体历来是带宽需求增长的核心驱动力, 但现在所需带宽不断降低。如果消费者不再追求更快网速, 以网速制胜运营商的优势不再也只是时间问题。

## 作者

**Paul Lee**  
United Kingdom

**Dieter Trimmel**  
Germany

**Dan Littmann**  
United States



---

## 尾注

1. 76%的英国消费者对其网络连接速率表示满意，德勤《2023全球数字消费者趋势调查报告》，参见：<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/uk/Documents/technology-media-telecommunications/deloitte-uk-digital-consumer-trends-2023-deck.pdf>
2. 根据历史规律，即1995年的MPEG-2、2005年的AVC和2015年的HEVC，压缩算法大约每十年更新一次。新一代压缩算法很可能依托人工智能实现，从而在既定速率下呈现更高质量的视频，《人工智能技术如何显著改善广播和OTT内容传输的视频压缩》，美国电影电视工程师协会 (SMPTE)，参见：<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8977463>
3. 我们注意到，一些家庭可能出于某些原因选择升级套餐，例如同一运营商的保留套餐中包含的性能提升。此外，一些用户可能主要出于降低资费、提高稳定性或降低延迟等原因决定转用光纤到户 (FTTH)。有关FTTH性能提升的更多信息，请参见FTTH欧洲委员会所发布报告：<https://www.ftthcouncil.eu/knowledge-centre/what-is-ftth#:~:text=In%20general%2C%20FTTH%20provides%20the,customers%20using%20fibre%20optic%20cable>。不过，也有一小部分客户习惯于（而非出于实际需求）选择最高速套餐。
4. Tackling the digital divide - House of Commons, 4 November 2021, Local Government Association, UK, <https://www.local.gov.uk/parliament/briefings-and-responses/tackling-digital-divide-house-commons-4-november-2021>
5. Eurostat, Figure 8, [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Household\\_composition\\_statistics#:~:text=In%202022%2C%20198%20million%20households%20resided%20in%20the%20EU%2C%20with,members%20per%20household%20on%20average](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Household_composition_statistics#:~:text=In%202022%2C%20198%20million%20households%20resided%20in%20the%20EU%2C%20with,members%20per%20household%20on%20average).
6. Eurostat, Figure 2, [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Household\\_composition\\_statistics#:~:text=In%202022%2C%20198%20million%20households%20resided%20in%20the%20EU%2C%20with,members%20per%20household%20on%20average](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Household_composition_statistics#:~:text=In%202022%2C%20198%20million%20households%20resided%20in%20the%20EU%2C%20with,members%20per%20household%20on%20average).
7. Eurostat, Figure 2, [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Household\\_composition\\_statistics#:~:text=In%202022%2C%20198%20million%20households%20resided%20in%20the%20EU%2C%20with,members%20per%20household%20on%20average](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Household_composition_statistics#:~:text=In%202022%2C%20198%20million%20households%20resided%20in%20the%20EU%2C%20with,members%20per%20household%20on%20average).
8. 美国人口普查局，表A1，参见：<https://www.census.gov/data/tables/2022/demo/families/cps-2022.html>
9. 1960年，单人家庭仅占13%，美国人口普查局，参见：<https://www.census.gov/newsroom/press-releases/2022/americas-families-and-living-arrangements.html>
10. 欧洲和北美的家庭平均规模不足三人，联合国经济和社会事务部，参见：[https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/popfacts/PopFacts\\_2017-2.pdf](https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/popfacts/PopFacts_2017-2.pdf)
11. 此处基于常用服务的速率，如亚马逊Prime音乐服务，参见：<https://www.amazon.co.uk/b?ie=UTF8&node=3022219031#:~:text=What%20audio%20quality%20does%20Amazon,average%20bitrate%20of%20850%20kbps>.
12. Frontier, <https://blog.frontier.com/2022/08/4-ways-fiber-helps-you-win-in-fortnite/>
13. 例如，在多达50位参会者的画廊 (Gallery) 模式下，Zoom需要高达4兆比特/秒的下行速率，参见：[https://support.zoom.com/hc/en/article?id=zm\\_kb&sysparm\\_article=KB0060748#h\\_d278c327-e03d-4896-b19a-96a8f3c0c69c](https://support.zoom.com/hc/en/article?id=zm_kb&sysparm_article=KB0060748#h_d278c327-e03d-4896-b19a-96a8f3c0c69c)

14. Google, <https://support.google.com/googlenest/answer/9245832?hl=en-GB#zippy=%2Cupload-bandwidth-used-by-cameras-and-doorbells%2Cnest-cam-indoor-nest-cam-outdoor-and-drop-cam%2Cnest-cam-iq-indoor-nest-cam-iq-outdoor> ; Blink, [https://support.blinkforhome.com/en\\_US/issues-with-your-camera/camera-video-quality](https://support.blinkforhome.com/en_US/issues-with-your-camera/camera-video-quality)
15. 一项研究显示, 在欧洲, 约有1.6%的人是拥有至少1,000名粉丝的网红; 在欧盟, 四人家庭相对较少。无亲缘家庭相对较少, 其中可能包括无亲缘关系的网红家庭。在英国, 2022年, 有两个或两个以上无亲缘关系成年人的家庭不到10%。Influencity, 参见: <https://influencity.com/resources/studies/the-largest-influencer-study-of-europe-2023/>; 《2022年英国家庭和住户概况》, 英国国家统计局, 参见: <https://www.ons.gov.uk/peoplepopulationandcommunity/birthsdeathsandmarriages/families/bulletins/familiesand-households/2022#households>
16. 最常见的视频点播 (VOD) 类型包括视频分享平台、订阅型视频点播 (SVOD) 和广播型视频点播 (BVOD)。以发达市场为例, 73%的英国消费者使用SVOD, 德勤《2023全球数字消费者趋势调查报告》, 参见: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/uk/Documents/technology-media-telecommunications/deloitte-uk-digital-consumer-trends-2023-deck.pdf>
17. 2023年10月, 英国民众每天观看SVOD/AVOD的时长为39分钟, 观看视频分享的时长为50分钟, 收听和观看广播内容 (包括BVOD) 的时长为157分钟, Barb, 参见: <https://www.barb.co.uk/viewing-data/total-identified-viewing-summary/>
18. Internet connection speed recommendations, Netflix, <https://help.netflix.com/en/node/306>; Issues with Live Streams, Prime Video, [https://www.primevideo.com/help/ref=atv\\_hp\\_nd\\_cnt?no-deld=GP57SKQ7CB5DRS6F](https://www.primevideo.com/help/ref=atv_hp_nd_cnt?no-deld=GP57SKQ7CB5DRS6F) ; Help Center, Disney Plus, [https://help.disneyplus.com/csp?id=csp\\_article\\_content&sys\\_kb\\_id=a34334cfdb7fb018db5ed404ca9619f0](https://help.disneyplus.com/csp?id=csp_article_content&sys_kb_id=a34334cfdb7fb018db5ed404ca9619f0)
19. 2017年至2019年, 奈飞 (Netflix) 高级会员占比不足两成 (4K仅对高级会员开放)。《奈飞: 2025年展望报告》图4, Enders Analysis, 参见: <https://www.endersanalysis.com/reports/netflix-looking-towards-2025>; 截至2023年11月1日, Disney +的4K仅对高级会员开放, 迪士尼, 参见: <https://help.disneyplus.com/en-GB/article/disneyplus-en-uk-price>
20. 然而, 2024年, 预计大多数市场的体育直播播放量将主要来自广播: 未来, 更多的内容可能会通过流媒体播放, 英国天空体育台 (Sky Sports) 建议“网速至少达25 Mbit/s才能收看UHD (4K) 内容”, 参见: <https://support.sky.ch/hc/en-us/articles/360003284540-Sky-Sport-How-to-enjoy-UHD-#:~:text=Sky%20Sport%20-%20How%20to%20enjoy%20UHD%3F%20,the%20last%20Android%20TV%20version.%20-Sky%20TV-Stick%204K>
21. 奈飞, <https://netflixtechblog.com/dynamic-optimizer-a-perceptual-video-encoding-optimization-framework-e19f1e3a277f>; 奈飞, <https://netflixtechblog.com/per-title-encode-optimization-7e99442b62a2>; 另请参阅Netflix ISP网速指数, 以英国为例, 2023年9月大多数互联网服务提供商 (ISP) 提供的速率为3.2 Mbit/s, 参见: <https://ispspeedindex.netflix.net/country/uk>
22. Everything You Ever Wanted to Know About Bit Rates, Premium Beat, <https://www.premiumbeat.com/blog/everything-you-ever-wanted-to-know-about-bit-rates/>
23. Can the Human Eye See the Difference between 1080p and 4K, Experience UHD, <https://www.experienceuhd.com/blog/can-human-eye-see-difference-between-1080p-and-4k>
24. 4K is becoming standard for today's TVs, GfK, <https://www.gfk.com/press/4k-is-becoming-the-standard-for-todays-tvs>



25. 2021 年, 8K电视销量占电视总销量的0.15%, 德勤《2021科技、传媒和电信行业预测》, 参见: <https://www.deloitte.com/global/en/our-thinking/insights/industry/technology/technology-media-and-telecom-predictions/2021/state-of-8k-tv-and-the-future-of-television-resolution.html> ; 8K TVs still struggling to sell, WhatHiFi, <https://www.whathifi.com/news/8k-tvs-still-struggling-to-sell>
26. Consumer Technology Association, <https://www.cta.tech/Resources/i3-Magazine/i3-Issues/2021/July-August/Consumer-Technology-Ownership-Hits-New-Highs>
27. Optimized shot-based encodes for 4K: Now streaming, Medium, <https://netflixtechblog.com/optimized-shot-based-encodes-for-4k-now-streaming-47b516b10bbb>
28. Disney Plus Informer, <https://www.disneyplusinformer.com/youll-soon-have-to-pay-more-to-watch-disney-in-4k/#:~:text=Disney%20recently%20unveiled%20three%20new,the%20pricier%20premium%20subscription%20option>
29. 2010年至2027年全球电视家庭数量, Statista, 参见<https://www.statista.com/statistics/268695/number-of-tv-households-worldwide/#:~:text=Data%20on%20the%20global%20television%20market%20showed%20that,to%20grow%20and%20surpass%201.8%20billion%20by%202026.>; 2023年AR/VR头戴设备出货量增长放缓, 但预计到2027年将迎来强劲增长, IDC, 参见: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS50511523>
30. Spotify launched in 2008, Spotify, <https://newsroom.spotify.com/company-info/>
31. Spotify, <https://support.spotify.com/us/article/audio-quality/>
32. Tidal, <https://tidal.com/sound-quality>
33. Audiophile Heaven, <https://www.audiophile-heaven.com/2023/03/bluetooth-sound-quality-guide-what-are-the-codecs-and-how-do-they-work.html>
34. BBC流媒体广播服务 (包括播客) 的传输速率最高可达320千比特/秒, 最低为48千比特/秒, BBC Online, 参见: <https://www.bbc.co.uk/sounds/help/questions/about-bbc-sounds-and-our-policies/codecs-bitrates>
35. Spotify, <https://support.spotify.com/uk/article/audio-quality/#>
36. 游戏《堡垒之夜》至少需要“3兆网速”, 《<堡垒之夜>需要多少带宽速率?》, Tech Radar, 参见: <https://www.techradar.com/broadband/what-broadband-speed-do-i-need-for-fortnite>
37. Google Stadia的建议速率高达35兆比特/秒, PC Gamer, 参见: <https://www.pcgamer.com/stadia-4k-streaming-will-use-up-1tb-of-data-in-65-hours/#:~:text=Google%20says%20it%20can%20provide%20a%20steady%2060fps,of%201080p%2C%20or%204.5GB%20per%20hour%20at%20720p.>
38. Oberlo, <https://www.oberlo.com/statistics/how-many-people-have-smartphones#:~:text=In%202023%2C%20the%20number%20of,2016%2C%20just%20seven%20years%20ago.>
39. Console market 2022 review: Hampered by lack of hardware availability, Ampere Analysis, <https://ampereanalysis.com/insight/console-market-2022-review-hampered-by-lack-of-hardware-availability>
40. Sony Interactive Entertainment, <https://sonyinteractive.com/en/playstation-5-surpasses-40-million-in-sales/>

41. Growth in Gaming PCs and Gaming Monitors to Lag in 2023, IDC, <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS50514723>
42. 德勤针对欧洲、亚洲和拉丁美洲17个市场的数字消费者趋势研究, 2023年5月至9月。德勤《2023全球数字消费者趋势调查报告》, 参见: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/uk/Documents/technology-media-telecommunications/deloitte-uk-digital-consumer-trends-2023-deck.pdf>
43. 德勤针对欧洲、亚洲和拉丁美洲17个市场的数字消费者趋势研究, 2023年5月至9月。德勤《2023全球数字消费者趋势调查报告》, 参见: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/uk/Documents/technology-media-telecommunications/deloitte-uk-digital-consumer-trends-2023-deck.pdf>
44. Blacknut, <https://www.blacknut.com/en/support/network-requirements-optimization> ; Sony Interactive Entertainment, <https://www.playstation.com/en-gb/ps-plus/getting-started/> ; Nvidia, <https://www.nvidia.com/en-us/geforce-now/system-reqs/>
45. Nvidia <https://www.nvidia.com/en-us/geforce-now/system-reqs/>
46. Visualizing the American Workforce at 100 People, Visual Capitalist, <https://www.visualcapitalist.com/american-workforce-100-people/#:~:text=The%20Most%20Common%20Jobs%20In,employed%20in%20Office%20%26%20Administrative%20work.>
47. Zoom, [https://support.zoom.us/hc/en-us/articles/201362023-Zoom-system-requirements-Windows-macOS-Linux#h\\_d278c327-e03d-4896-b19a-96a8f3c0c69c](https://support.zoom.us/hc/en-us/articles/201362023-Zoom-system-requirements-Windows-macOS-Linux#h_d278c327-e03d-4896-b19a-96a8f3c0c69c) ; <https://support.google.com/a/answer/4541234?hl=en#zippy=%2Cminimum-bandwidth-required>
48. Zoom, [https://support.zoom.us/hc/en-us/articles/201362023-Zoom-system-requirements-Windows-macOS-Linux#h\\_d278c327-e03d-4896-b19a-96a8f3c0c69c](https://support.zoom.us/hc/en-us/articles/201362023-Zoom-system-requirements-Windows-macOS-Linux#h_d278c327-e03d-4896-b19a-96a8f3c0c69c)
49. Why Are Upload Speeds So Much Slower than Download Speeds?, make tech easier, <https://www.maketecheasier.com/upload-speeds-slower-than-download-speeds/>
50. 微软, <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/virtual-desktop/rdp-bandwidth>
51. 德勤《2023全球数字消费者趋势调查报告》, 参见: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/uk/Documents/technology-media-telecommunications/deloitte-uk-digital-consumer-trends-2023-deck.pdf>
52. Google, <https://support.google.com/googlenest/answer/9245832?hl=en-GB#zippy=%2Cupload-bandwidth-used-by-cameras-and-doorbells%2Cnest-cam-indoor-nest-cam-outdoor-and-dropcam%2Cnest-cam-iq-indoor-nest-cam-iq-outdoor> ;
53. Ring, <https://support.ring.com/hc/en-gb/articles/360035250032-Choosing-a-Ring-Video-Doorbell> ; [https://support.blinkforhome.com/en\\_US/issues-with-your-camera/camera-video-quality](https://support.blinkforhome.com/en_US/issues-with-your-camera/camera-video-quality)
54. Here's what's next for T-Mobile's FWA business, Light Reading, [https://www.lightreading.com/broadband/fixed-wireless-access\(fwa\)/heres-whats-next-for-t-mobiles-fwa-business/d/d-id/780565](https://www.lightreading.com/broadband/fixed-wireless-access(fwa)/heres-whats-next-for-t-mobiles-fwa-business/d/d-id/780565)

---

## 致谢

The authors would like to thank **Jan-Piet Nelissen, MattRoberts, Vincent Fosty, Charlotte Perfect, George Budden, Alexander Mogg, Sam Breakwell, Duncan Stewart, Paul Franek, Ben Stanton, Eliza Pearce, and Peter Corbett.**

Cover image by: **Manya Kuzemchenko**