

白皮书

从 DECT 到蓝牙： 企业级无线音频的 重新思考

为什么现在是您的组织投资
罗技 Zone 蓝牙耳机（含麦克风）的最佳时机



logitech 罗技®

目录

执行摘要	2
背景	2
对 IT 管理的价值：总体拥有成本 (TCO) 与精简性	3
企业级安全	4
蓝牙与 DECT 测试	5
测试与验证环境	5
“极限压力”测试环境	6
结果与关键洞察	9
真实企业环境	10
结果与关键洞察	11
原生蓝牙可扩展性分析	12
结果与关键洞察	14
综合发现：在企业环境中使用蓝牙音频的理由	16
部署蓝牙耳机最佳实践	17
未来展望：一项具有前瞻性的投资	18
附录	19
附录 1：安全性对比	19
附录 2：音频质量测试方法	21
附录 3：测试环境详情	21
附录 4：蓝牙与 DECT 的断连率及持续时间对比	26

当 DECT 技术在 20 世纪 80 年代问世时，它代表了无线通信领域的重大进步 — 提供了安全连接、更广的无线覆盖范围、在严苛办公环境下的可靠性能，以及低延迟。蓝牙™ 直到 10 年后才出现，而且在其问世之初存在诸多局限性，导致其不太适合无线流量密集的企业环境。

如今，情况已不再如此。到了 2020 年代初，随着蓝牙音频技术的不断演进，DECT 技术的优势已基本消失。在本白皮书中，我们展示了在密度环境下将罗技 Zone Wireless 2 耳机（含麦克风）与 DECT 耳机进行对比的严格测试结果，证明了该技术的稳健性。

结果表明，蓝牙技术的改进以及罗技 Zone 系列无线耳机（含麦克风）的卓越设计，使其成为现代办公室或联络中心的绝佳选择。Zone 系列蓝牙耳机（含麦克风）提供了与 DECT 耳机相当甚至更优的性能，而其他设计特点则使该系列耳机（含麦克风）对当今的职场人士极具吸引力。

但罗技蓝牙耳机（含麦克风）提供的不仅仅是卓越的性能。正如我们在下文所述，它们还能使 IT 管理变得更轻松、更具成本效益。此外，用户对蓝牙的熟悉程度使得设备的普及更加容易，并有可能减少技术支持请求。



背景

任何在办公室工作过的人都知道，我们现代的工作环境充满了无线设备。Wi-Fi 网络、个人移动设备以及越来越多的物联网 (IoT) 外设，在一个复杂拥挤的无线环境中创造了源源不断的数字信息流。在这种环境下，清晰可靠的音频通信至关重要。业务的开展依赖于此。

因此，当 DECT 无线技术（现称为“数字增强无绳通信”）在 20 世纪 80 年代末和 90 年代初首次问世时，它为耳机和无线通信开启了新的可能。在 DECT 之前，大多数无线耳机依赖于拥挤的 900 MHz 频段，该频段与医疗设备等其他设备共享，从而导致了干扰和可靠性问题。但 DECT 代表了一项重大进步，它在专用频率上提供了安全连接、更广的无线设备覆盖范围、低延迟，以及在严苛办公环境和呼叫中心里的可靠性能。

1998 年，即 DECT 问世约 10 年后，蓝牙技术被推出。它最初是作为一种短距离无线技术标准而创建的，用于在固定设备和移动设备之间进行短距离的数据交换。它最初专为个人网络设计，由于其覆盖范围有限（Class 2 设备仅为 10 米）、延迟较高、存在安全隐患，以及在高密度环境中表现不佳，因此并不适合繁忙的办公环境。它在设计之初也不像 DECT 那样，用于将便携式电话连接到模拟电话网络。

然而，自推出以来，蓝牙技术已显著发展。（截至本白皮书发布时，蓝牙已发布了核心规范 6.2。）现代蓝牙技术提升了音频体验，提供了更快的速度、更广的范围、更低的延迟、更低的功耗、更高的音频质量以及强大的加密功能，以满足企业的需求。Class 1 蓝牙耳机的覆盖范围远超 30 米，并且现代蓝牙版本在高密度无线环境下的性能表现也远优于从前。



对 IT 管理的价值：总体拥有成本 (TCO) 与精简性

除了终端用户的性能体验外，现代蓝牙技术还为 IT 管理提供了令人信服的优势，有助于降低总体拥有成本 (TCO) 并简化管理。

- **标准化与互操作性：** 蓝牙如今是一项通用标准。这消除了对专有硬件的需求，并确保公司配发的笔记本电脑、手机和认证耳机之间的无缝互操作性，从而简化了设备生态系统。
- **精简硬件配置：** 与通常需要为每个用户配备专用基站和专用 USB 端口的 DECT 不同，原生蓝牙解决方案可直接连接到支持蓝牙的设备（如 PC 和笔记本电脑）——无需基站或 USB 端口。这种更简单的设置减少了桌面的杂乱，降低了硬件成本，并简化了资产管理。
- **更高的用户接受度：** 员工已经通过手机和音箱等个人设备熟悉了蓝牙。这种熟悉感缩短了学习曲线，提高了采用率，并最终减少了与耳机操作相关的 IT 技术支持工单数量。

企业级安全

对于任何大型企业 — 尤其是金融服务和政府等特定领域的企业 — 安全性是不容妥协的。尽管过去蓝牙的安全性曾让人犹豫的原因，但对于如今考虑采用蓝牙技术的组织来说，这已不再是一个需要担忧的问题。蓝牙安全性已得到大幅提升，尤其是蓝牙 5.0（及以上版本），它强制要求使用基于 ECDH 密钥交换的 LE 安全连接以实现强身份验证。蓝牙现在使用 128 位 AES 加密来保证数据机密性，并采用跳频技术来降低干扰和被拦截的风险。（有关 DECT 安全性和蓝牙安全性的对比，请参见附录 1。）

罗技 Zone 系列蓝牙耳机（含麦克风）在设计时就将安全性作为核心，无论是通过原生蓝牙连接还是通过专用 USB 接收器连接，两者均支持蓝牙 5.0 及以上版本，并通过强制执行安全连接来保障连接安全。USB 接收器提供了预先配对、开箱即用且有保障的安全连接，这对较旧的主机设备尤其有帮助。对于现代计算机，原生蓝牙无需接收器即可实现同样的安全连接。

蓝牙与 DECT 测试

尽管一些组织可能仍然倾向于在耳机上使用 DECT 技术，但我们越来越清楚地看到，DECT 的优势已基本消失。为了评估蓝牙在音频通信方面的能力，我们使用罗技 Zone Wireless 2 耳机作为测试设备（见附录 3：测试环境），并将其与另一家知名厂商的 DECT 耳机进行了对比，开展了三项独立且严格的测试。Zone 耳机在苛刻的办公环境中表现如何？我们有哪些发现？

测试与验证环境

为了确定像 Zone Wireless 2 这样的耳机中蓝牙技术的能力，我们在 3 种不同的场景下对其进行了测试：

- **极限压力测试：**我们在受控的实验室环境中构建了一个“最坏情况场景”：在 100 平方米（10 米 x 10 米）的空间内，50 副处于工作状态的耳机在 2.4 GHz 频段上人为设置的严重 Wi-Fi 干扰中同时运行。这为在巨大压力下的性能提供了数据驱动的基准。
- **真实企业部署：**我们在金融服务行业一个真实、高流量的企业办公室中，与 110 名员工进行了一整天的实地测试。这提供了在典型工作日不可预测的变量下，关于实际可用性、用户满意度和性能的洞察。
- **原生蓝牙可扩展性分析：**最后，我们与 Intel 合作运行了一项受控性能测试，专门关注原生蓝牙音频在设备密度增加时的可扩展性。使用专业的声学分析设备，我们测量了活跃用户数从 1 扩展到 24 时的关键绩效指标 (KPI)。该测试在 5 GHz 和 2.4 GHz 频段上进行，以评估干扰增加时的性能，并比较了原生蓝牙与使用接收器的性能。



“极限压力”测试环境

在本次测试中，我们搭建了一个环境（如下图所示），将其比作“最坏情况场景”，尽管实际上其密度明显高于典型的联络中心，并且可能远比任何真实的办公环境都要密集

得多。我们还通过将三个 2.4 GHz Wi-Fi 接入点放置得更近于制造强烈的干扰，从而创建一个更具挑战性的环境。



“极限压力”测试环境的房间布置

我们使用了 50 副罗技 Zone Wireless 2 耳机（含麦克风），并使用另一家公司的 50 副同级别 DECT 耳机重复了该测试。我们在每次测试中选择了 6 台设备并测试了它们的性能。在测试中，我们在通话模式下从扬声器播放了

1 KHz 的正弦音和语音。下表提供了这 6 台设备在以下测试指标上的数据：断连次数、最长断连时间（毫秒）、总断连时间以及不良信号百分比。

Wi-Fi 环境	测试组	被测设备 (DUT) 型号名称	备注	系统 #1 远距离	系统 #21 中距离	系统 #25 耳机靠近	系统 #36 中距离	系统 #49 远距离	系统 #50 耳机移动
开启 Iperf (3 个 AP 分别在信道 1、6、11, 传输 TCP+UDP 流量)	50	DECT	断连次数	34	16	0	21	28	19
			最长断连时间 (毫秒)	1311.33	302.46	0	636.52	1586.23	1451.98
			总断连时间	2.34	0.62	0	1.9	2.63	2.56
			不良信号百分比 (%)	1.8	0.48	0	1.46	2.03	2.02
	50	Zone Wireless 2 (蓝牙耳机)	断连次数	1342	447	7	655	349	477
			最长断连时间 (毫秒)	39.52	35	3.94	63.33	18.38	21.21
			总断连时间 (秒)	4.69	1.61	0.02	2.86	1.27	1.66
			不良信号百分比 (%)	3.6	1.24	0.02	2.2	0.98	1.3
关闭 Iperf (3 个 AP 分别在信道 1、6、11, 无流量传输)	50	DECT	断连次数	0	5	6	0	0	39
			最长断连时间 (毫秒)	0	1637.71	66.25	0	0	1232.98
			总断连时间 (秒)	0	1.66	0.08	0	0	5.52
			不良信号百分比 (%)	0	1.27	0.06	0	0	4.34
	50	Zone Wireless 2 (蓝牙耳机)	断连次数	533	301	5	192	137	202
			最长断连时间 (毫秒)	26.88	20	2.79	11.25	31.23	23.06
			总断连时间 (秒)	1.77	1.07	0.01	0.69	0.51	0.77
			不良信号百分比 (%)	1.36	0.82	0.01	0.53	0.39	0.61

表格显示了“极限压力”测试的结果，对比了罗技 Zone Wireless 2 与同级别的 DECT 耳机

“极限压力”测试环境使我们能够执行以下操作：

- 评估在模拟办公环境中 50 副处于工作状态的 DECT 和蓝牙耳机的音频质量和断连率。
- 引入一个移动单元，以模拟在房间内走动的用户。
- 实施逼真且动态的 2.4 GHz Wi-Fi 干扰模拟，以代表繁忙的开放式办公环境。
- 比较在这些更新的条件下 DECT 和蓝牙技术的性能。

下表提供了罗技 Zone Wireless 2 和 DECT 两种耳机类型的平均主观意见评分 (MOS)。如表所示，罗技耳机和 DECT 耳机之间的 MOS 结果没有显著差异。

Wi-Fi 环境	测试组	被测设备 (DUT) 型号名称	备注	系统 #1 远距离	系统 #21 中距离	系统 #25 机靠近	系统 #36 距离	系统 #49 远距离	系统 #50 耳机移动
开启 Iperf (3 个 AP 分别在信道 1、6、11, 传输 TCP+UDP 流量)	50	DECT	DNSMOS_ovri_mos	3.151	3.264	3.301	3.273	3.239	2.996
			DNSMOS_sig_mos	3.484	3.547	3.584	3.556	3.54	3.599
			DNSMOS_bak_mos	3.986	4.082	4.096	4.093	4.058	3.512
	50	Zone Wireless 2 (蓝牙耳机)	DNSMOS_ovri_mos	3.289	3.34	3.315	3.203	3.381	2.935
			DNSMOS_sig_mos	3.588	3.62	3.611	3.546	3.662	3.668
			DNSMOS_bak_mos	4.043	4.096	4.077	3.958	4.101	3.308
关闭 Iperf (3 个 AP 分别在信道 1、6、11, 无流量传输)	50	DECT	DNSMOS_ovri_mos	3.263	3.299	3.276	3.231	3.316	2.918
			DNSMOS_sig_mos	3.56	3.58	3.58	3.59	3.63	3.62
			DNSMOS_bak_mos	4.065	4.083	4.055	3.946	4.046	3.327
	50	Zone Wireless 2 (蓝牙耳机)	DNSMOS_ovri_mos	3.268	3.264	3.286	3.295	3.292	3.003
			DNSMOS_sig_mos	3.57	3.56	3.58	3.58	3.58	3.6
			DNSMOS_bak_mos	4.067	4.065	4.087	4.092	4.089	3.521

表格显示了 Zone Wireless 2 和 DECT 耳机的平均主观意见评分 (MOS)

注意： 此处展示的 MOS 结果是由我们基于 SpeechMOS Python 库自行开发的软件工具生成的，仅供内部评估使用。这些评分不能与来自 POLQA 的标准化 MOS 结果或 Microsoft Teams 中使用的预测性 MOS 指标进行直接比较。

结果与关键洞察

为了建立一个明确的、由机器评估的基准，极限压力测试采用了 Speech MOS（MOS = 平均主观意见评分），这是一种基于 ITU-T P.835 标准的客观音频质量评估工具（见附录 2）。该分析提供了信号 MOS 和背景 MOS 的关键指标。我们还测量了断连率以评估连接的可靠性。以下是该测试环境结果的摘要。

- 语音质量几乎完全相同。直接衡量语音清晰度的 S-MOS 评分在 Zone Wireless 2 及其同类 DECT 耳机之间几乎难以区分。
- 在极端条件下的繁忙 Wi-Fi 环境中，DECT 和蓝牙耳机均可能出现性能下降。见附录 3。
- 两种类型的耳机均表现良好。DECT 耳机的断连次数较少，但一旦发生断连，由于其持续时间较长（长达 1637 毫秒），用户会更容易察觉。相比之下，蓝牙耳机的断连频率要高得多，但持续时间更短（均低于 64 毫秒）。有关断连率和持续时间的解释，请参见附录 4。
- 尽管蓝牙的断连次数较多，但由于每次中断持续时间极短，其累计总断连时长往往与 DECT 相当，甚至更短。见附录 3。
- 当出现设备密度问题时，与 DECT 持续时间较长的断连相比，蓝牙短暂断连的模式可能更容易被用户接受或不易被察觉，因为 DECT 的断连时间可能长到足以导致整个单词或短语丢失。见附录 3。

核心结论：本次测试的结果表明，在极端高密度环境中，Zone Wireless 2 耳机的语音质量与 DECT 耳机不相上下。这证实了蓝牙耳机确实能够提供相当或优于 DECT 耳机的语音质量和连接可靠性。这应该能够消除许多企业采购人员对蓝牙耳机的主要担忧。

客观地说，Zone Wireless 2 耳机在结构化的测试环境中表现良好。但它在真实办公环境中，面对典型工作日不可预测的变量时，表现又会如何呢？

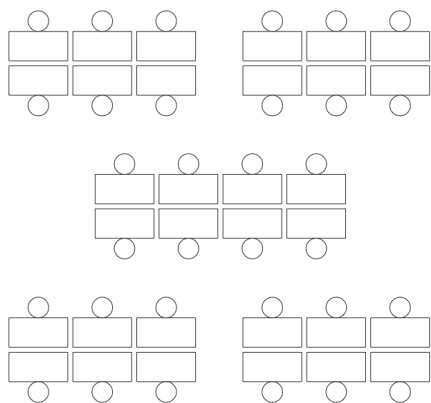


真实企业环境

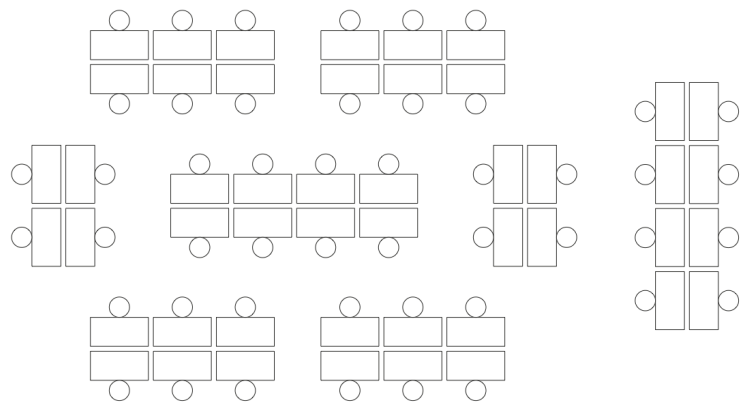
针对真实场景，我们与美国一家大型金融服务公司合作，在其企业大楼的一个楼层测试了 110 副 Zone Wireless 2 耳机（含麦克风）。大多数耳机使用者集中在五个相邻的区域，其座位安排类似于以下情况。

所有员工都配备了耳机和一个接收器。大多数员工连接到他们的电脑；然而，一些员工也使用多点蓝牙连接将耳机连接到他们的手机上。超过 100 名员工全天（上午 8 点至下午 5 点）使用了这些耳机，其中 87 人提供了反馈。

典型的 32 座位配置：



典型的 48 座位配置：



这两张示意图代表了我们在测试耳机的企业办公室中典型的座位配置

结果与关键洞察

测试的客观亮点和反馈包括：

- Zone Wireless 2 耳机获得了 4.7 分（满分 5 分）的极高整体评价
- 整体麦克风和音频质量评分为 4.7 分（满分 5 分）
- 配对和设置评分为 4.6 分（满分 5 分）
- 尽管观察到很高的射频 (RF) 流量（包括平均 65% 以上的用户正在积极通话、开会或听音频），但离开办公桌走动的用户没有报告任何设备密度问题。
 - 在大多数情况下，在用户正常的走动范围内（平均 6 米），没有出现性能问题
- 一些用户报告说，在距离办公桌远达 35 米的地方，蓝牙性能依然可靠，其覆盖范围是他们目前使用的 DECT 耳机的两倍。
- 性能是在一天中不同时间跨多个用户进行测试的
- 所有耳机在部署时都有 90% 的电量。电池续航时间覆盖了整个工作日，无需充电，用户对电池性能非常满意。
- 一些员工将他们的 Zone Wireless 2 耳机连接到辅助工作设备上，如手机或支持蓝牙的办公桌电话；这种功能是他们原来的 DECT 耳机无法实现的。

更多主观结果基于用户当日使用结束后提交的反馈与评分。反馈普遍是积极的，包括以下陈述：

“与现有耳机相比，能够走动至少 3 倍的距离。”

“易于使用且具有良好的音频质量。比以前的耳机更好。”

“比起我们目前使用的设备，我更喜欢这款。整体更好，且降噪效果极佳。”

“非常适合家庭和办公室使用的耳机。降噪非常出色，通话质量也很好。”

“一切都很棒！！声音清晰，易于使用，主动降噪 (ANC) 也很棒！！”

核心结论：本次测试与前一次截然不同。“极限压力”环境使用了客观的音频质量评估工具（见附录 2）来测量结果，并将 DECT 耳机与 Zone Wireless 2 蓝牙耳机进行了对比。“真实世界”环境测试则依赖于人类对罗技耳机的主观体验，并与用户熟悉的 DECT 耳机进行了隐性对比。

尽管这项测试科学性较弱且更具主观性，但它依然为我们提供了关于人们实际体验该耳机的真实反馈。这种体验显然是积极的，并印证了第一次测试的客观数据。它证实了 Zone Wireless 2 耳机（含麦克风）在真实企业环境中表现良好。

原生蓝牙可扩展性分析

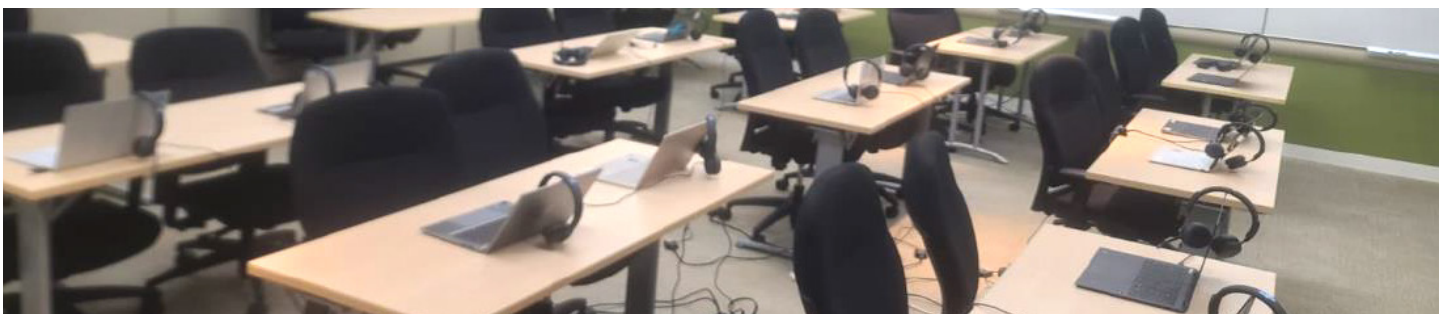
上述测试环境评估了罗技 Zone Wireless 2 耳机（含麦克风）使用蓝牙并通过 USB 接收器连接到笔记本电脑时的性能。在第三次测试中，我们希望评估这些同款耳机通过“原生蓝牙”——即直接连接且不使用 USB 接收器连接到笔记本电脑时的性能。

我们认为原生蓝牙是无线耳机的未来。因为直接连接到笔记本电脑消除了对接收器的需求，它也为用户和 IT 部门消除了一个问题源。小型 USB 接收器很容易丢失、被落在家里或办公室，或者损坏。而且在使用时，它们会占用一个宝贵的 USB 端口，而该端口可能是其他外设（如鼠标或 U 盘）所需要的。

还有重要的一点：既然 Microsoft 已经开始认证耳机可通过原生蓝牙与 Teams 配合使用，那么以 Microsoft Teams 为标准的组织就可以考虑部署不需要接收器的耳机了。

另一方面，我们知道 USB 接收器在耳机和笔记本电脑之间提供了高度稳定的连接。那么，如果移除接收器，“使用原生蓝牙”是否会导致无线连接的稳定性下降？

这方面也有好消息。我们的测试表明，原生蓝牙连接不仅稳健且稳定，而且即使我们将无线流量密度增加到远高于真实办公环境预期的水平，它们依然保持稳定。



原生蓝牙测试的房间布置

结果与关键洞察

在本次测试中，我们使用了专业的声学分析设备，并在房间内活跃“用户”从 1 个（低密度）增加到 10 个（中等密度）再到 24 个（高密度）的过程中，测量了关键绩效指标（KPI，包括 MOS 评分、数据包错误率、NAK 计数、无同步事件、CRC 错误）。原生蓝牙测试分为两个阶段：阶段 1 使用 Wi-Fi 5 GHz，拥堵极小或没有拥堵；阶段 2 在 2.4 GHz 上进行 Wi-Fi 共存和拥堵测试。

下表提供了一个代表性工作站（站点 #9）在低、中、高密度环境下的数据。（完整数据集可应要求提供。）

指标	5 GHz Wi-Fi/2.4 GHz Wi-Fi 低密度	5 GHz Wi-Fi/2.4 GHz Wi-Fi 中密度	5 GHz Wi-Fi/2.4 GHz Wi-Fi 高密度
MOS 评分 (RX)	4.25/4.15	4.20/4.05	3.91/3.85
MOS 评分 (TX)	4.10/4.05	4.05/4.00	3.75/3.75
数据包错误率 (PER)	1.98/1.91	2.08/2.20	2.88/2.94
NAK 计数	0.72/0.65	0.70/0.77	1.11/1.03
无同步事件	1.60/1.14	1.20/1.21	0.95/1.62
CRC 错误	0.15/0.11	0.18/0.22	0.82/0.29

表格显示了随着活跃“用户”数量和密度的增加，一个站点 (STA #9) 的原生蓝牙测试结果

下表显示了在最高密度测试期间（所有 24 个站点均处于活跃状态），代表性站点样本的原生蓝牙 (NBT) 测试结果。该表显示了在有无 Wi-Fi 拥堵情况下的 NBT 结果，以及使用 NBT 的耳机与使用蓝牙接收器的耳机的 MOS 评分对比。

指标	NBT+ Wi-Fi 5 GHz (基线)					NBT+ Wi-Fi 2.4 GHz + 流量					BT 接收器 + Wi-Fi 2.4 GHz + 流量				
	STA #1	STA #6	STA #9	STA #19	STA #24	STA #1	STA #6	STA #9	STA #19	STA #24	STA #1	STA #6	STA #9	STA #19	STA #24
MOS 评分 (RX)	3.99	3.87	3.91	3.95	3.90	3.99	3.82	3.85	3.82	3.87	3.67	3.75	3.70	3.75	3.67
MOS 评分 (TX)	3.85	3.75	3.75	3.90	3.85	3.8	3.71	3.75	3.78	3.81	3.82	3.84	3.65	3.68	3.61
数据包错误率 (PER)	2.55	2.94	2.88	2.74	2.55	2.95	2.99	2.94	2.96	1.91	-	-	-	-	-
NAK 计数	0.92	1.50	1.11	1.20	0.92	1.03	1.05	1.03	1.04	0.65	-	-	-	-	-
无同步事件	1.14	0.73	0.95	0.82	1.14	1.62	1.64	1.62	1.63	1.14	-	-	-	-	-
CRC 错误	0.49	0.71	0.82	0.72	0.49	0.3	0.3	0.29	0.3	0.11	-	-	-	-	-

表格显示了在最高密度测试期间代表性站点样本的测试结果

此测试证明了以下几点：

- 在同一房间内从低密度扩展到中密度再到高密度（从 1 个站点到 10 个再到 24 个站点），关键蓝牙指标没有出现显著下降
- MOS 稳定性：只要数据包错误率 (PER) 低于约 5%，评分就保持稳定，证实了音频质量的抗干扰能力
- 音频质量（阶段 1 测试）和麦克风质量（阶段 1 和阶段 2 测试）均被一致评为“良好”
- 整体原生蓝牙连接质量稳健且稳定

核心结论：即使在活跃用户密度很高的环境中（在一个小教室大小的空间内有 24 人），罗技 Zone Wireless 2 耳机（含麦克风）的原生蓝牙连接依然保持稳健和稳定。如果组织正在考虑在繁忙的办公室中部署原生蓝牙耳机，这应该能给他们信心，至少可以推进概念验证。

原生蓝牙连接的卓越性能得益于 Intel 芯片组对低功耗蓝牙功率控制 (LEPC) 的高级实现。

与通常以固定或最大功率传输的标准接收器不同，Intel 解决方案会根据实时信号质量 (RSSI) 动态优化其传输功率和接收器增益。这可以防止信号饱和，并降低高密度环境中的整体本底噪声，从而确保即使在无线电波拥挤的情况下也能保持稳定的连接。

综合发现：在企业环境中使用蓝牙音频的理由

对所有三个测试环境的分析提供了一系列令人信服地发现，这些发现支持了 Zone Wireless 2 蓝牙耳机（含麦克风）的应用案例。

发现 1：蓝牙音频质量在高密度下依然稳健且具备极强的抗干扰能力

衡量耳机的终极标准是其音频的清晰度。在多项客观和主观测试中，即使在最严苛的测试条件下，Zone Wireless 2 也展现出了高水平的麦克风和音频质量。此外，在极限测试和真实世界测试中，Zone Wireless 2 的通话质量与 DECT 不相上下。

发现 2：蓝牙连接的稳定性得到证实且可靠

数据显示，现代蓝牙连接高度稳定 — 无论是否使用接收器。在可扩展性测试中，在 24 名用户的密度下，平均数据包错误率 (PER) 仅为 2.79%，远低于 5% 的可接受阈值，这确保了积极的用户体验，评级为“良好至优秀”。这种有数据支撑的稳定性在真实世界的部署中得到了证实，用户报告在典型的走动范围内没有出现通话中断情况。

发现 3：从根本上而言，蓝牙的信号中断对用户通话体验的干扰更小

虽然任何无线技术都可能承受压力，但其故障模式至关重要。“极限压力”测试展示了一个关键的区别。这一区别归因于 DECT 和蓝牙在受到干扰时建立连接和重新建立连接的方式不同。DECT 的断连频率较低，但潜在的破坏性更大；在我们的测试中，最长断连时间为 1.6 秒。相比之下，蓝牙的中断更为频繁，但极其短暂，破坏性要小得多；即使是较长的卡顿持续时间也不到 0.06 秒。在实时对话中，瞬间的卡顿远不如 1.5 秒的沉默那样令人不适和具有破坏性。

发现 4：罗技 Zone Wireless 2 超出企业预期

在一家大型金融服务公司进行的企业现场测试证明了 Zone Wireless 2 耳机（含麦克风）已为现代工作场所做好了准备，其周到的设计转化为切实的好处：

- **卓越的无线覆盖范围：**许多用户能够在距离办公桌典型的范围内走动而不受影响。如上所述，一些用户报告说在距离办公桌远达 35 米的地方蓝牙性能依然可靠，其覆盖范围是他们目前使用的 DECT 耳机的两倍。
- **高用户满意度：**除了音频之外，Zone Wireless 2 耳机（含麦克风）的整体用户满意度评分为 4.7 分（满分 5.0 分），在麦克风和音频质量（4.7 分）以及配对容易度（4.6 分）方面获得了高分。
- **现代化功能：**用户强调了多设备连接和上翻静音麦克风等现代化功能对其工作流程的显著提升，展示了 Zone Wireless 2 以用户为中心的设计理念。

部署蓝牙耳机的最佳实践

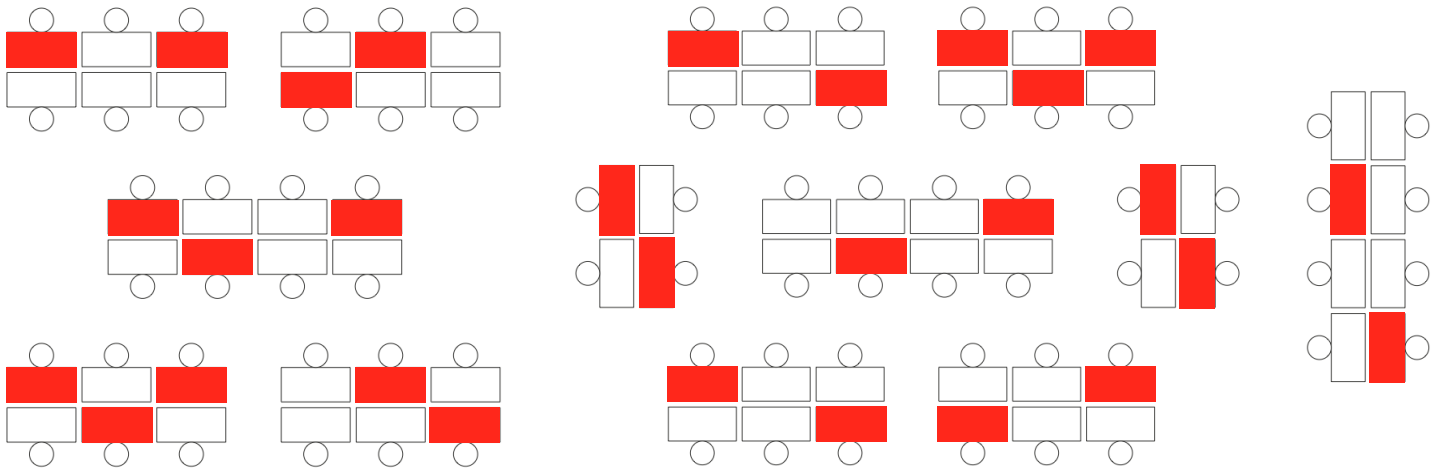
蓝牙耳机具有高效性和移动性，但要充分发挥其作用需要周到的设置。以下是一些实用提示，以帮助确保成功部署。

1. 确保其他设备连接在 5 GHz Wi-Fi 上

因为蓝牙在繁忙的 2.4 GHz 频段上运行，耳机可能会与 2.4 GHz Wi-Fi 上的其他设备争夺带宽。将办公电脑和其他基础设施连接到 5 GHz Wi-Fi 网络，可以为蓝牙设备腾出 2.4 GHz 频段，从而提高通话清晰度并减少干扰。采用这种方法的 IT 团队一致报告耳机性能更加流畅。

2. 为每副耳机预留至少 5 平方米的空间

蓝牙耳机在繁忙的办公室中运行良好，但拥挤的环境可能导致信号拥堵。一个好的经验法则是：每位耳机用户至少预留 5 平方米的空间。这有助于最大限度地减少干扰并确保可靠的连接。



在这个典型企业办公室的示意图中（见第 10 页），红色矩形代表带有 USB 接收器的办公桌位置

4. 考虑办公室布局 and 材料

在规划部署时，请牢记以下几点：

- 混凝土和钢材比玻璃或石膏板墙更能阻挡信号。在建筑材料密集的办公室中，无线性能可能会受到影响。
- 与具有高隔断墙或众多封闭房间的办公室相比，开放式布局提供更好的信号流动。

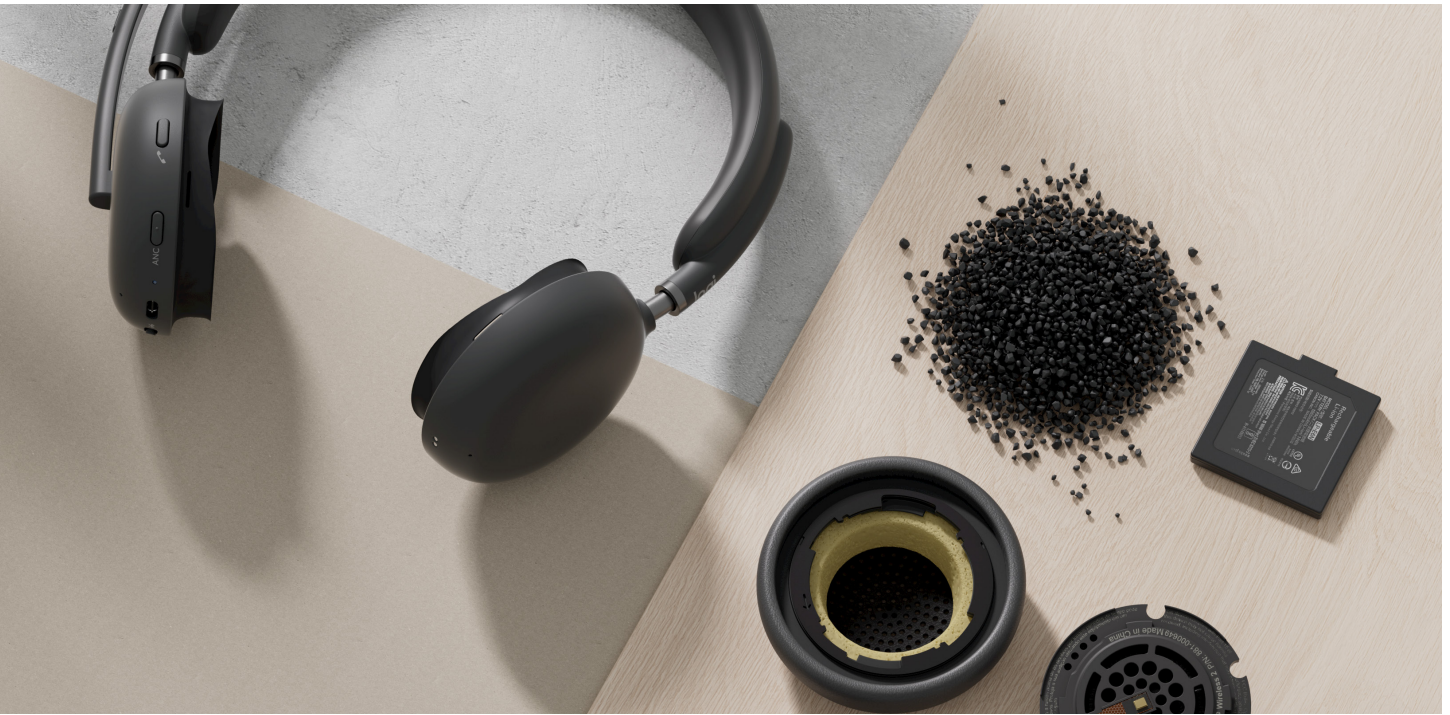
3. 分散 USB 接收器。

聚集 USB 蓝牙接收器可能会产生干扰，即使有蓝牙的自适应跳频技术也是如此。如果您使用 USB 接收器，以下是避免干扰的方法：

- 避免将多个 USB 接收器集中放置在一个单一、密集的位置。
- 将接收器插入笔记本电脑或扩展坞的相对两侧，以最大化物理隔离。
- 尽可能避免使用共享的 USB 集线器，尤其是在办公桌下。

- 当耳机及其 USB 接收器（或原生蓝牙情况下的电脑）之间视线清晰时，蓝牙连接总是最强的。避免将计算机放置在金属办公桌下或机柜内。

通过合理规划，蓝牙耳机可以提供极其清晰的通话以及员工所需的灵活性。



未来展望：一项具有前瞻性的投资

选择蓝牙不仅仅是为了应对当下 — 这是一项具有前瞻性的投资。蓝牙标准在不断演进，下一代技术将进一步提升企业级音频体验。即将推出的标准（如 LE Audio）将带来诸多优势，例如在更低功耗下实现更高的音频质量（从而延长电池续航时间）。通过将蓝牙作为企业标准，企业能够为无缝采用这些未来的创新技术做好准备。

从最极端的实验室模拟到大规模的企业部署，再到受控的可扩展性分析，结论十分明确。现代蓝牙技术已经证明，它是当前乃至未来办公室值得投资的正确技术。而罗技 Zone 系列蓝牙耳机（含麦克风）凭借精密的射频 (RF) 设计、优化的固件以及先进的音频处理技术，正是这一技术飞跃的集中体现。

Zone Wireless 耳机（含麦克风）亮点如下：

- 支持蓝牙 5.0 或以上版本
- 音质媲美 DECT
- 采用先进的蓝牙天线设计与稳健固件，实现稳定可靠的连接
- 得益于蓝牙技术，大幅减少断连干扰
- 实际覆盖范围能够满足并超越日常所需
- 丰富功能集，全面提升用户满意度

对于正在投资无线音频解决方案的组织而言，罗技 Zone 系列蓝牙耳机（含麦克风）提供了毫不妥协的性能和卓越的用户体验。它们是无线通信领域的新标准。

附录 1：安全性比较

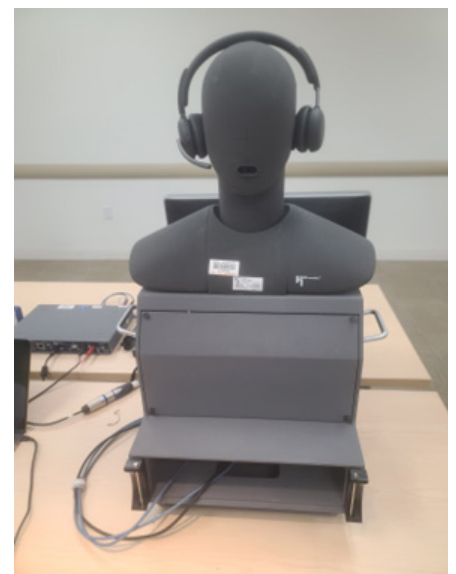
下表对比了商用 DECT 耳机与商用蓝牙耳机的安全特性和主要漏洞。

特性	商用 DECT 耳机 (现代)	商用蓝牙耳机 (v5.x)	备注
协议标准	DECT 6.0/CAT-iq (安全级别 Step-C)	蓝牙 5.0/5.2/5.3/5.4	
加密算法	AES-128 (通过 DSC2 算法)	AES-128 (通过 AES-CCM 算法)	商业级别均使用 128 位 AES 加密。在当前技术条件下，两者均不易受到暴力破解攻击。
密钥交换/配对	DSAA2 (基于 AES-128 的认证)	ECDH (P-256 椭圆曲线) 需要“安全连接”	蓝牙 ECDH 在数学上是极其稳健的，但必须确保设备不会降级到传统模式。
最大安全潜力	非常高 (AES-256) 特定军事/金融型号 (例如, Savi 7300) 支持 256 位。	标准 (AES-128)。当前核心规范上限为 128 位；没有更高的层级。	如果您有“最高机密”级别的要求，DECT 是实现 AES-256 的唯一途径。
主要漏洞	传统设备 (非 Step C) 较为薄弱。必须验证是否符合“Step C”标准。	MITM (中间人攻击)，欺骗，主机设备 (手机/PC) 上的恶意软件。	蓝牙风险通常源自主机设备，而非无线传输本身。

附录 2：音频质量测试方法

对于“极限压力”测试环境，我们采用以下设置来测试音频质量。

- **耳机放置：**被测耳机安装在高保真 HATS (头部和躯干模拟器) 系统上，该系统配备了模拟人类听觉和语音特征的精密麦克风和扬声器。(见右图。)
- **音频采集：**使用高精度测量系统和控制软件套件，通过经过校准的设置对音频进行录制。
- **POLQA 算法：**对采集到的与参考录音进行全面比对，评估失真、噪声及其他声学损伤。
- **音频质量评分 (MOS)：**生成平均意见得分 (MOS)，范围从 1 (差) 到 5 (极佳)，反映预测的主观感知音频质量。



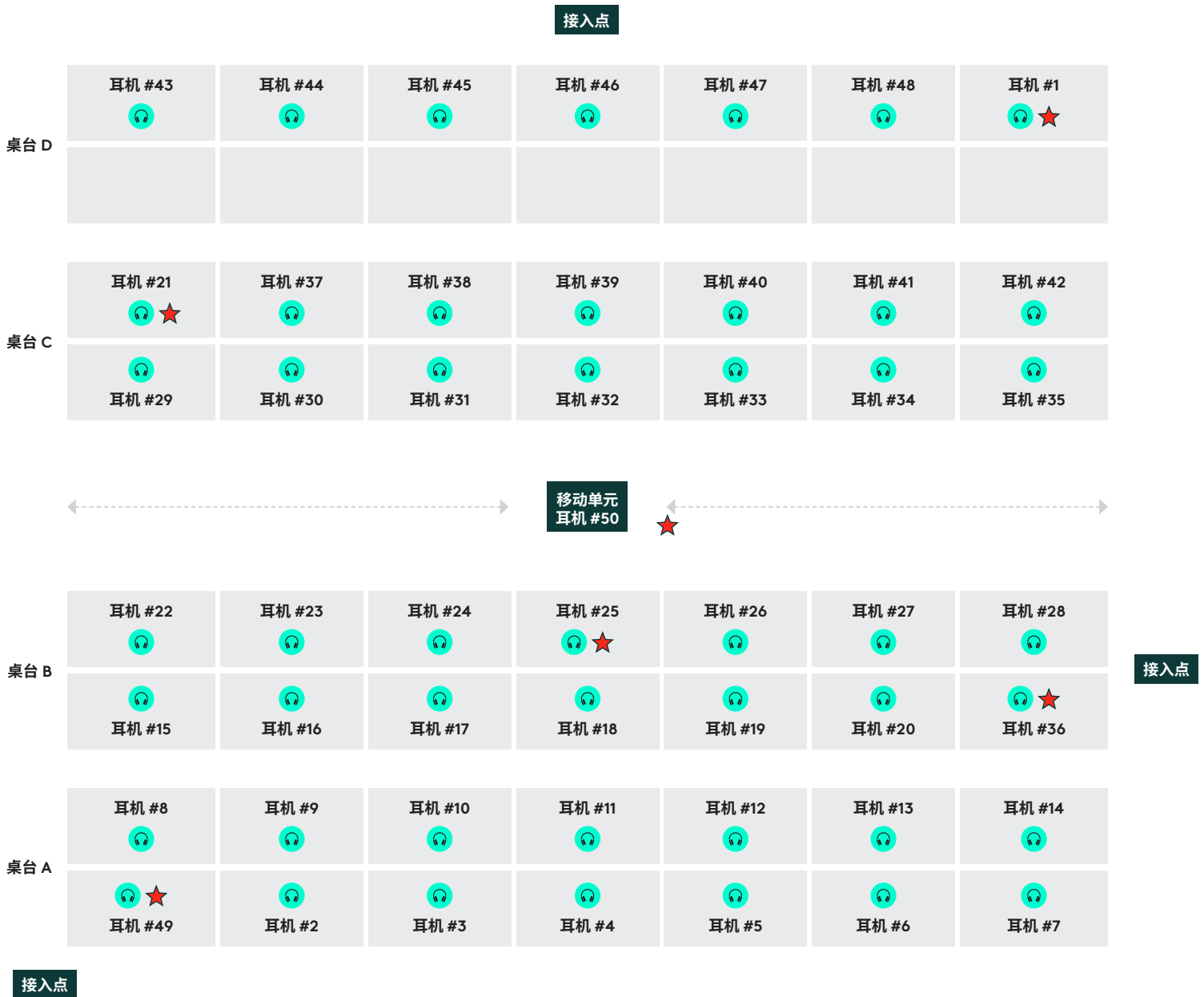
用于测试耳机的设备之一的照片

附录 3：测试环境详情

“极限压力”测试环境

下表提供了此测试环境的详细信息。

环境（空间）	一个 100 平方米（10 米 x 10 米）的房间，模拟小型办公室或中型会议室。
设备	<p>50 副罗技 Zone Wireless 2，蓝牙版本 5.2，固件版本 v1.3.60（耳机）+ v2.45.1（接收器）</p> <p>50 副同级别的 DECT 耳机</p> <p>50 台运行 Windows 11 24H2 的笔记本电脑，蓝牙模块：Qualcomm FastConnect，7800 双蓝牙适配器，蓝牙驱动版本：3.1.0.1323</p> <p>3 个网件 (Netgear) 无线接入点</p>
其他环境详情	<ul style="list-style-type: none"> ● Wi-Fi 干扰模拟：为了创建一个逼真的繁忙办公环境，部署了三个工作在 2.4 GHz 频段的 Wi-Fi 无线接入点 (AP)。 ● 三个 AP 布置在该空间周围，并配置为在 Wi-Fi 信道 1、6 和 11 上进行传输。 ● 结合使用了传输控制协议 (TCP) 和用户数据报协议 (UDP) 流量，以模拟动态的混合网络流量环境。
测试计划	<p>在两项独立的测试中，每个工位都配对了一副耳机：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 测试 1 = 罗技 Zone Wireless 2 ● 测试 2 = 同级别的 DECT 耳机 <p>从以下 6 副耳机中采集数据：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 耳机 #50：放置在测试期间持续运动的移动单元上，以模拟人员在通话时穿过办公室的场景。 ● 耳机 #1 和 #49：模拟距离 DECT/蓝牙音源设备较远（跨越多个座位）的长距离单元。 ● 耳机 #36 和 #21：模拟距离 DECT/蓝牙音源设备中等距离的单元。 ● 耳机 #25：静态单元，模拟在其音源设备附近的固定位置正常使用的场景。 <p>采集的数据：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 断连次数、最长断连时间（毫秒）、总断连时间以及不良信号的百分比。 ● SpeechMOS（语音平均意见得分）分数 <p>这些单元在通话模式下流式传输 1 KHz 正弦音和来自扬声器输出的语音时进行了录音。</p>



“极限压力”测试环境设置的示意图。请参见第 6 页的照片。

真实企业环境

下表提供了此测试环境的详细信息。

<p>环境（空间）</p>	<p>实际办公环境中超过 3,700 平方米的可用空间。</p> <p>约 600 名在场员工，其中 110 名员工参与了测试。</p> <p>测试布局空间平均约为 185 平方米（估计值），密度水平约为每位员工 4.2 平方米的空间。下方是两种典型的座位安排：</p> 
<p>设备</p>	<p>110 副罗技 Zone Wireless 2，蓝牙版本 5.2，固件版本 v1.3.76（耳机）+ v2.68.1（接收器）</p> <p>110 个混合设备，包括本地运行 Windows 10 的 HP T740 和 T755 瘦客户机、运行 Windows 11 23H3 的 HP Elitebook 830 G8 和 630 G10，以及运行 Windows 11 23H2 的 Dell Precision 5450。</p> <p>Wi-Fi 无线接入点遍布整个办公室，每个工作区至少一个。</p>
<p>其他环境详情</p>	<p>该环境还包括：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 5 GHz 接入点 ● 基站信号放大器（位于室外，距离办公楼 15–22 米） ● 遍布办公室的无线打印机、微波炉设备、配电室和网络机房 ● 位于建筑中心的电梯 ● 由玻璃和石膏板墙组成的室内及会议室墙壁 ● 非测试人员使用其他蓝牙设备，如手机、无线入耳式耳机、支持蓝牙的桌面电话及类似设备。 ● 约 75% 的工位入座率
<p>测试计划</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 早 8 点至晚 5 点：全天测试 + 射频 (RF) 扫描 ● 员工报告或记录任何意外行为或问题，如延迟、断连以及音频卡顿/静电噪音，并附上通话质量、麦克风性能、发生频率及具体时间。 ● 我们使用了 Ellisys 蓝牙协议分析仪，在一天中的不同时段，通过 10 分钟的采样来测定 2.4 GHz 频段的频谱占用情况。我们希望了解频谱占用率如何随着人员入座率的变化而变化。

原生蓝牙可扩展性分析

下表提供了此测试环境的详细信息。

环境（空间）	空间：81 平方米的房间，模拟小型办公室或中型会议室
设备	在 81 平方米的空间内测试了 24 副耳机
其他环境详情	<p>24 副罗技 Zone Wireless 2 耳机（含麦克风），蓝牙版本 5.2，固件版本 v1.3.75（耳机）+ v2.33.1（接收器）</p> <p>24 个基于 Intel 的 PC 工位，配备 Intel Core Ultra 和 BE201 网络模块，运行 Windows 11 26100.4061 系统，每台机器运行最新的蓝牙驱动 23.160.0.1、音频驱动 20.42.12248.1 以及 Wi-Fi 驱动：23.160.0.1，以确保平台处于最新状态</p> <p>3 个接入点</p>
测试计划	<p>测试方法</p> <ul style="list-style-type: none"> 在 Intel JF 园区的一间专用房间内进行，配置为真实办公环境中的现代培训室 空间内布置了成排的办公桌以及典型的障碍物，从而制造出逼真的射频反射和干扰路径 每个工位配对一副罗技 Zone Wireless 2 耳机（含麦克风），以高密度配置放置，旨在对蓝牙链路层施加压力 数据采集针对最多 5 个不同的工位进行。在每次迭代中，被选中进行数据采集的工位位于房间的各个角落，并在中心位置保留一个，以确保数据的多样性 监控的关键性能指标： <ul style="list-style-type: none"> - 数据包错误率 (PER) 和重传率，使用 Intel 内部调试工具进行测量。 - MOS 评分 (MOS TX [PC 发送端] 和 MOS RX [PC 接收端]) 以量化用户感知的音频质量，使用 Head Acoustics HATS 系统和 POLQA 分析进行测量（见 附录 2） <p>阶段 1</p> <p>测试配置概述</p> <p>测试实验通过以下三次独立的迭代进行：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 基线：1 个工位/用户在 Microsoft Teams 通话中活跃 5 分钟（所有其他设备处于空闲状态/蓝牙关闭） ● 中密度：10 个工位/用户同时在 Teams 通话中活跃 5 分钟（其余系统空闲/蓝牙关闭） ● 最大密度：全部 24 个工位/用户在 Teams 通话中活跃 5 分钟，创造了蓝牙峰值负载和噪声环境 <p>Wi-Fi 连接状态</p> <p>所有工位均连接至 5 GHz Wi-Fi 网络</p>

测试计划
(续)

阶段 2

测试配置概述

- **基线：**1 个工位/用户在 Microsoft Teams 通话中活跃 5 分钟（所有其他设备空闲/蓝牙关闭）。
- **中密度：**10 个工位/用户同时在 Teams 通话中活跃 5 分钟（其余系统空闲/蓝牙关闭）
- **最大密度：**全部 24 个工位/用户在 Teams 通话中活跃 5 分钟，创造了蓝牙峰值负载和噪声环境

并发运行与 Wi-Fi 连接状态

- **基线：**所有系统连接至 5 GHz 网络
- **中密度：**在并发运行场景下，所有系统连接至 2.4 GHz 网络（信道 11）
- **最大密度：**在接收器场景下，所有系统连接至 2.4 GHz 网络（信道 11）

附录 4：蓝牙与 DECT 的断连率及持续时间对比

蓝牙和 DECT 之间一个显著且明显的差异在于断连率及其持续时间。

当耳机失去与另一设备（笔记本电脑、手机等）的连接时，就会发生断连。断连现象并不罕见，且蓝牙和 DECT 都经过工程设计，能够自动重新建立丢失的连接。然而，这两种技术重新建立连接所需的时间却有所不同。

在我们的测试中，DECT 耳机的断连次数较少，但一旦发生断连，由于其持续时间较长（长达 1.6 秒），往往更加明显。相比之下，蓝牙耳机断连更为频繁，但持续时间更短（均低于 0.064 秒）。1.5 秒的断连可能导致整个单词或短语丢失，在对话中会产生明显的停顿感。相反，人们很可能甚至察觉不到 64 毫秒的断连。

在高密度环境中，DECT 耳机断连时间较长的主要原因在于其信道选择和连接重建的机制。DECT 运行在自己的专用频段（通常为 1.9 GHz）上，这在避免 Wi-Fi 和蓝牙干扰方面非常有效。它使用一种称为“动态信道选择”的系统。在 DECT 耳机发送数据之前，它会首先“监听”是否有清晰的信道和时隙。当它找到空闲的信道时，便会与其基站建立稳定的连接。这建立了一条非常稳健、高质量的链路，这也是 DECT 以可靠性著称的原因。

当环境中充斥着其他 DECT 设备时，问题就出现了。如果另一副 DECT 耳机开始在附近同一信道上进行传输，它可能会干扰现有的连接，从而导致最初的音频丢失。当连接丢失时，DECT 耳机及其基站必须立即开始搜索一个新的、清晰的信道来重建链路。这个“搜索”过程正是导致长时间断连的原因。在拥挤的环境中，设备必须扫描众多繁忙的信道，才能找到一个空闲信道并成功与基站重新同步。整个过程 — 丢失链路、扫描新链路以及再次锁定 — 需要耗费明显的时间，这就导致用户感觉到长时间的、持续的音频丢失。

当然，蓝牙在高密度环境中也会受到干扰，这同样会导致断连。总的来说，蓝牙连接不如 DECT 稳定，因此断连可能更为频繁。然而，其重新连接的速度要快得多，这意味着断连时间要短得多，而且很可能不易被察觉。

logitech 罗技

请联系您的分销商，
或通过以下方式联系我们
www.logitech.com/business

Logitech Americas
3930 North First Street, San
Jose, CA 95134

Logitech Europe S.A.
EPFL - Quartier de
l'Innovation
Daniel Borel Innovation Center
CH - 1015 Lausanne

Logitech Asia Pacific Ltd.
电话：852-2821-5900
传真：852-2520-2230

版权所有 © 2026 罗技。Logi、罗技和 Logitech 为 Logitech Europe S.A. 和/或其附属公司在美国和其他国家/地区的商标或注册商标。蓝牙文字商标和标志为 Bluetooth SIG, Inc. 所有的注册商标，罗技对此类商标的所有使用均已获得授权。所有其他商标均是其各自所有者的财产。

2026 年 5 月发布