

基于单对平衡双绞线的单对  
以太网 (SPE) 网络基础设施  
助力物联网和 M2M

# 目录

综合摘要 .....	3
物联网应用为单对以太网的发展打开了大门 .....	4
针对单对的应用标准正在迅速完善 .....	5
针对单对的 ISO 布线标准 .....	5
针对单对的 TIA 布线标准 .....	6
针对通过单对双绞线进行电源传输的标准也在不断完善 .....	7
单对适合在何时部署于何种环境? .....	8
结论 .....	9

# 综合摘要

双绞线布线最早可追溯到 19 世纪后期，当时亚历山大·格拉汉姆·贝尔 (Alexander Graham Bell) 率先将其用于传输语音流，同时克服干扰。

今天，双绞铜线仍在通信领域发挥着重要作用。相较于贝尔当时用来传输语音的第一条电话线，如今的双绞线已实现了巨大进步，并在以太网中得到了普遍使用，它能够以高达 10 Gbps 的数据速率为常用设备提供支持。工程师们也已经能够利用平衡双绞线的特性，让一根线缆兼具直流供电和数据传输两种功能。

理想的布线解决方案必须能有效地满足所有应用的需求，而速度并非总是首要考量。只需留意日益增长的物联网 (IoT) 部署，就能了解到这种转变的重要性及其正在创造的机遇。

企业 IT 专业人员面临的难题是要将各类传感器/终端设备连接到企业的结构化布线网络中。许多设备要求高功率输出和高带宽容量，因此只有采用四对以太网布线才能满足需求。但是，对于功耗和带宽要求较低的设备（如用于楼宇自动化和制造设备的传感器与终端设备、报警系统和 RFID 读写器），使用单对以太网布线即可实现更加经济高效且节省空间的解决方案。

业界正在探索通过单对以太网高效支持这些应用的可能性。标准机构已经投入了更多的努力来制定相关准则，针对的就是涉及单对平衡双绞线的各种应用以及部署中所用的组件。应用规范包括 802.3bp 1000BASE-T1、802.3bw 100BASE-T1、802.3bu PoDL (0.5 瓦至 50 瓦)、802.3cg 10BASE-T1S (短距离) 和 10BASE-T1L (长距离)。

单对以太网的目的不是取代传统的四对以太网布线，而是用来支持新兴的应用，例如将物联网和机器对机器设备互连，从而增强商业场景以适应不断增多的用途。只要部署于适合的应用，单对以太网就能发挥出显著的经济、密度、可持续性和安装优势。

双绞线布线最早可追溯到 19 世纪后期，当时亚历山大·格拉汉姆·贝尔 (Alexander Graham Bell) 率先将其用于传输语音流，同时克服干扰。

单对以太网在楼宇中的应用场景包括：

1. 楼宇自控系统
2. 照明系统
3. 电梯和自动扶梯控制系统
4. 门禁系统
5. 安防和火灾报警系统

工业应用场景包括：

1. 工业自动化
2. 流程控制
3. 机器人技术
4. 服务器机柜和交换机连接
5. 工业机柜

# 物联网应用为单对以太网的发展打开了大门

基于物联网的传感器和设备预计将超过手机成为规模最大的互联设备类型。<sup>1</sup> 到 2020 年，全球的互联设备数量预计将超过 2000 亿台<sup>2</sup>，即地球上的每个人拥有 26 台设备。有关物联网市场的预测，请见图 1。

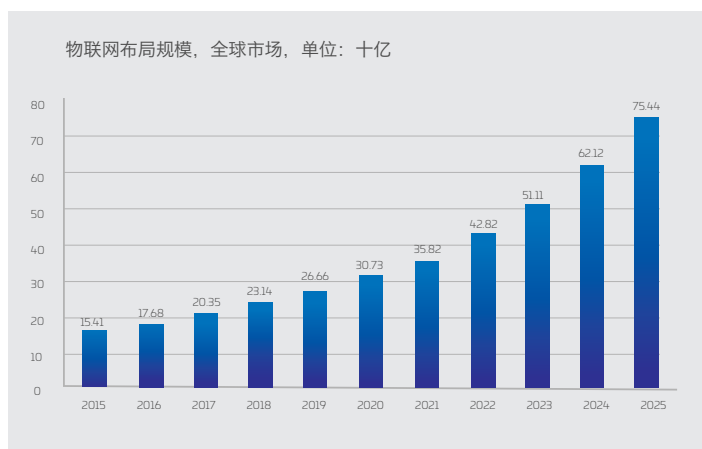


图 1: 物联网市场规模将十分巨大

虽然基于消费者的应用（可穿戴设备、家庭自动化和汽车远程信息处理系统）最为大众所关注，但与工业物联网 (IIoT) 相比，它们却显得微不足道。到 2025 年，物联网技术的全球总值可能会高达 6.2 万亿美元，其中 4.8 万亿美元将来自于卫生医疗（2.5 万亿美元）和制造业（2.3 万亿美元）这两个最大的细分市场。<sup>3</sup> 制造、配送、农业、工业加工、卫生医疗和其他专业服务领域发展所需的机器对机器 (M2M) 连接将成为最大的增长来源。

企业网络工程师必须确定如何以合理、易于扩展且经济高效的方式来连接大量传感器、终端设备、控制器、摄像头和其他设备。这些互联设备中的大多数（尤其是用于工业操作的设备）都被部署在了网络的边缘。许多设备需要通过线缆与网络建立数据连接。尽管一部分设备使用电池供电，但大多数仍依赖于可靠的直流电源。

一直以来，这类边缘连接都是通过使用现场总线联网协议的非以太网链路来实现的。由于现场总线领域的高度分散性和技术专属性，因此存在多种不可互操作的实现方案，而具体使用的技术（如 Ethernet/IP、PROFINET、FF HSE、ModbusTCP 和 HART-IP）取决于现场总线制造商。

将设备集成到网络中并进行协调面临着诸多挑战。其中包括安装过程复杂、缺乏足够的技术工人、互操作性问题以及维护流程繁多。在此背景之下，人们要求制定行业标准的端到端“工业以太网”网络协议的呼声日益高涨，而单对应用则是目前关注的重点所在。2016 年 6 月，IEEE 802.3 以太网工作组发布了一次意向征集 (CFI)，就工业以太网相关标准制定事宜进行了讨论。按照《10 Mbps 超长距离单对双绞线以太网 PHY》计划的设想，基于单对以太网的统一网络将替代高度分散化的现场总线环境。而 IEEE 802.3 以太网工作组着手针对单对布线制定标准正是出于以下几个考虑：

- 数据传输和供电能力不断提高：得益于标准和技术的不断发展，目前的单对以太网速度已超过 10 Gbps。此外，单对布线能支持高达 50 瓦的直流供电，适用于需要供电和数据传输这两种功能的各类设备。
- 高效利用空间和预算：单对布线的重量仅约为传统四对以太网的 25%，这有助于缓解日益拥堵的线缆通道，从而提供更多、更灵活的布线选择。连接到更小体积的高密度设备就是其应用场景之一。
- 数据安全性：大规模部署物联网的主要挑战之一就在于确保网络安全。IEEE 802.3 应用具有内置的安全功能，可以实现安全通信。

在其 CFI 演讲介绍中，基于对单对的重量、成本、机械效益、易于安装和维护的特性以及现有以太网知识体系的考量，802.3 以太网工作组将单对的部署使用称之为“不可或缺”。<sup>4</sup>

## IEEE 802.3cg 10BASE-T1 标准

IEEE 802.3 10 Mbps/单对以太网项目已完成投票的最后阶段，并且 IEEE-SA 标准委员会已批准发布 IEEE Std 802.3cg-2019。这一项目的目标涵盖工业、汽车和楼宇自动化用例，其中两个物理层 PHY 支持以下应用：

- IEEE 10BASE-T1S 的传输距离可达 15 米，还提供可选的 25 米多点连接功能
- IEEE 10BASE-T1L 的传输距离可达 1,000 米

IEEE 10BASE-T1S PHY 包含可选的物理层防冲突 (PLCA) 功能，可提高多站通讯实现方案的防冲突性能。为了支持 10BASE-T1L 更长的传输距离，对数据线供电 (PoDL) 规范进行了修改，添加了几种额外的功率等级。这些功率等级可以使用标称 57 伏电源在 1,000 米内提供高达 7 瓦的功率。有关这些其他类别，请见表 2。

## 针对单对的 ISO 布线标准

国际标准化组织 (ISO)、国际电工委员会 (IEC) 和欧洲电工标准化委员会 (CENELEC) 等国际标准机构也在修订现有的布线标准，以应对单对以太网日益增多的部署使用。2016 年 9 月，ISO/IEC/JTC 1/SC 25/WG 3 启动了几个旨在解决单对布线问题的项目，包括：

1. ISO 11801-1 附录 1，包含通用单对布线要求。
2. ISO 11801-3 附录 1，包含工业环境（例如工厂自动化和流程控制）的其他单对要求。
3. ISO 11801-6 附录 1，为支持分布式服务（如楼宇自动化系统、警报和访问控制）的单对布线提供了附加指南。

这些项目已进入委员会草案 (CD) 投票过程中，并有望在 2020 年底获得批准公布。



图 2: IEC 61156-11 型屏蔽线缆的示例

## IEC SC46C 平衡单对线缆标准

IEC SC46C 与 ISO/IEC/JTC 1/SC 25/WG 3 协作启动了以下项目，旨在支持 IEEE 802.3 单对以太网 (SPE) 应用：

1. IEC 61156-11 水平线缆，最高额定频率为 600 MHz
2. IEC 61156-12 分支线缆，最高额定频率为 600 MHz
3. IEC 61156-13 水平线缆，最高额定频率为 20 MHz
4. IEC 61156-14 分支线缆，最高额定频率为 20 MHz

前两个项目通常使用 26 AWG 至 22 AWG 的导体，而第三个和第四个项目则使用 20 AWG 至 16 AWG 的较大导体。这些项目已进入投票过程的各个阶段，并有望在 2020 年底公布。图 2 显示了典型的单对线缆结构。

## IEC SC48B 单对接头标准

目前，IEC SC48B 在 IEC 63171 系列中有六个正在进行的单对接头项目。其中包括康普的 IEC 63171-1 铜质 LC 型接头（已纳入 IEEE 802.3、ISO/IEC/SC 25/WG 3、IEC SC 48B 和 TIA TR42.7），以及 Harting 的 IEC 63171-6 的工业接头。IEEE 802.3cg 将这两个接头作为其 10BASE-T1S 和 10BASE-T1L 设备的可选 MDI 接头。图 3 显示了 IEC 63171-1 铜质 LC 型接头的插头和 MDI 插座版本。

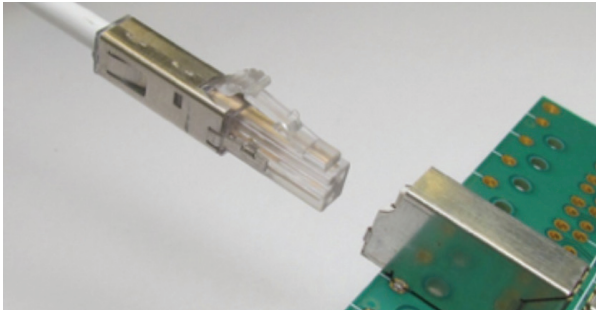


图 3: IEC 63171-1 插头和 MDI 型接头

IEC 63171-1 铜质 LC 接头已通过几种康普和 Panduit 插头与插座组合的互操作性测试。测试分两个阶段进行。第一阶段在 2018 年 9 月进行。此时 Intertek 的第三方测试确认了机械和电气互操作性的关键传输参数。在第二阶段（2019 年 9 月）中，康普和 Panduit 的工程师使用有源 IEEE 802.3cg 10BASE-T1L 原型设备测试了 IEC 63171-1 连接的 EMC 性能。1,000 米长的通道（包括多个 IEC 63171-1 接头）达到了 IEC 61000-4-6 EMC 传导噪声要求，噪声水平为 10 伏均方根 (rms)。这符合 IEEE 802.3cg 定义的将 IEC 63171-1 接头作为 E3 工业级接头的标准。图 4 显示了在进行 IEC 61000-4-6 噪声抗扰度测试期间，IEC 63171-1 MDI 接口和连接至有源 10BASE-T1L 原型设备的线缆。

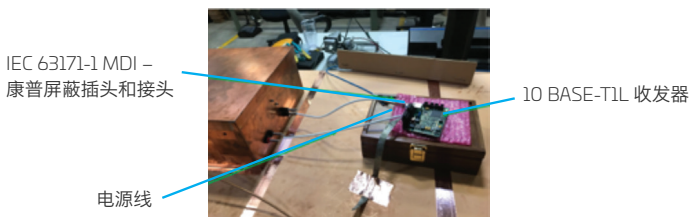


图 4: 将耦合去耦网络 (CDN) 连接到收发器的电线的详情

## 针对单对以太网的 TIA 布线标准

**TIA TR42.1:** 在 2017 年 6 月的会议上，TIA TR42 批准通过了一项附录，向 ANSI/TIA-568.0-D 中添加了单对平衡双绞线的应用场景、拓扑结构和架构。该附录还列明了在楼宇内部署单对线缆的准则。修订后的标准还提供符合 ANSI/TIA-568.5 的单对平衡双绞线布线准则，以适用于需要更高密度、更小尺寸和更大灵活性的新兴物联网和 M2M 应用。TR42 还批准通过了第二个项目，即在 ANSI/TIA-862-B 智能楼宇系统标准中增加一项有关单对布线的附录。

**TR42.7:** 自 2017 年 6 月以来，TIA TR42.7 一直致力于 ANSI/TIA-568.5，其中包含针对组件、链路和通道的详细要求。该项目专注于使用 23 AWG 布线（最长 400 米）和 18 AWG 布线（400 至 1,000 米）支持 IEEE 100BASE-T1L 应用。

**TIA TR42.9:** 此外，还有两项附录正在制定当中，旨在扩展 ANSI/TIA-1005-A（其对支持工业应用的电信布线做出了规定）的范围。第一项附录列明在工业电信网络中使用单对连接的 10BASE-T1L 应用时，线缆、接头、跳线、链路和通道的相应规格。该附录会侧重于 MICE2 和 MICE3 环境，涵盖布线和组件性能要求及测试程序、可靠性准则。

第二项附录定义工业布线和组件的传输及环境要求，以支持在 B 类单对链路段（在 MICE2 和 MICE3 环境中，最长 40 米）支持部署 1000BASE-T1。该附录还对满足此类应用传输和环境要求的组件进行了定义。

## 针对通过单对双绞线进行电源传输的标准也在不断完善

标准机构也在不断巩固单对线缆用作合格电源线的发展趋势。2016 年，IEEE 批准通过了 802.3bu-2016，即“单对平衡双绞线以太网数据线供电 (PoDL) 的物理层和管理参数标准”。该标准支持以平衡双绞线线缆为传输介质的最新单对平衡双绞线以太网解决方案：100BASE-T1 和 1000BASE-T1。802.3bu-2016 定义的电源传输协议，能够支持多种电压下不同的电源传输等级，具备故障保护和检测功能（用于识别设备签名），同时还能直接与设备通信，确保电源传输精确、安全。

表 1 列出了 PoDL 受电设备当前的功率分类：

类别	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
电压	5.5-18	5.5-18	14-18	14-18	12-36	12-36	26-36	26-36	48-60	48-60
电流 (安培)	0.1	0.22	0.25	0.47	0.10	0.34	0.21	0.46	0.73	1.3
PD 功率 (瓦特)	0.5	1	3	5	1	3	5	10	30	50

表 1: PoDL 受电设备的可用功率

目前，IEEE 即将发布相关标准 IEEE 802.3cg。该标准在表 1 中列出的设备基础上又增加了六类 PoDL 受电设备，以涵盖其他用例。有关新的 PoDL 类别，请见表 2。

类别	10	11	12	13	14	15
电压	20-30	20-30	20-30	50-58	50-58	50-58
电流 (安培)	0.092	0.240	0.632	0.231	0.600	1.579
PD 功率 (瓦特)	132	3.2	8.4	7.7	20	52

表 2: 扩展后的 PoDL 类别 10 至 15

当采用 100BASE-T1 或 1000BASE-T1 进行部署时，在保证可靠的供电和数据传输的前提下，支持 PoDL 的单对以太网可使用最长为 15 米的单对 24 线规双绞线线缆。<sup>6</sup> PoDL 技术通用性强，能够适应速度和链路范围在未来的发展变化。由于其功率容量在不断提高（目前最大功率为 50 瓦特），因此可以通过更厚导体延伸至更远距离，并且在未来可以支持以不同速度运行 PHY。

汽车行业一直致力于推动制定针对汽车布线的单对以太网标准，而 802.3bu 的落地在很大程度上也要归功于汽车行业。得益于单对以太网 (OPEN) 联盟和开放式 DeviceNet 供货商协会 (ODVA) 等发起的行业计划，使用单对以太网的汽车和工业应用正在这些细分市场中引起越来越多的关注。此外，802.3bu 也为单对布线在多种环境中的进一步应用和在迅猛发展的物联网生态系统内的普及带来了可能性。<sup>7</sup>

# 单对适合在何时部署于何种环境？

尽管单对以太网的应用前景广阔，但我们必须认识到，这项技术并非无所不能。它在数据速率和功率容量方面仍存在限制，这也会对最大区段和链路跨度造成限制。因此，在决定单对以太网的部署方式和位置时，必须考虑这些变量。例如，LED 照明等应用所需的功率较高、数据传输速度较低。相比之下，诸如多频段和多天线无线接入点之类的应用都属于数据密集型应用，所需的功率较高。

相关研究表明，单对以太网的数据传输能力足以满足大多数互联设备的需求，或者至少可以满足目前所知设备的需求。物联网咨询公司 James Brehm & Associates 的调查显示，86% 的物联网设备的每月数据消耗量不到 3 MB。

在智能楼宇和流程自动化的开发过程中，降低互联设备的功率需求一直是人们关注的焦点。这不仅可以显著降低运营成本，还有利于低压结构化布线网络的部署。由此看来，对于计划在未来几年内部署的众多互联设备而言，当前 PoDL 标准所规定的 50 瓦特的最大功率将能够满足其直流用电需求。此外，图 5 显示了一个单对布线的示例。它为边缘物联网/M2M 设备提供了与数据终端设备 (DTE) 的四对布线相同的“星型”拓扑。

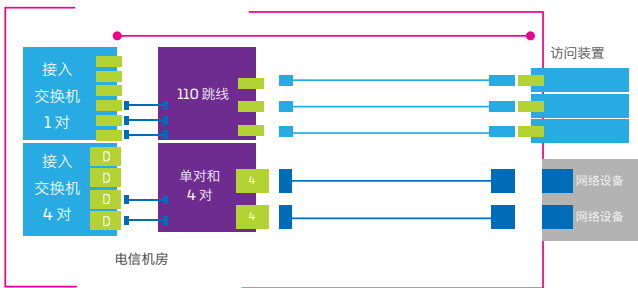


图 5: 同一位置中，单对布线服务于边缘物联网/MTM 设备，四对布线服务于数据终端设备(DTE)

这并不意味着我们要在四对与单对之间作出一个非此即彼的选择。这两种布线方式并非不能兼容，在许多情况下，它们也能共同为同一应用提供支持。借助单对以太网，可将设备连接至最近的服务集合点 (SCP)，然后使用四对以太网将服务集合点与机房连接起来。这两种布线都非常适合于现有的网络设计模型，如康普的通用连接网格。图 6 显示的示例中，连接到 SCP 的四对线缆通过单对分支线缆与楼宇 BAS 设备相连。NC (网络转换) 点表示将高带宽四对布线转换为多个低带宽单对分支布线的运行中设备。

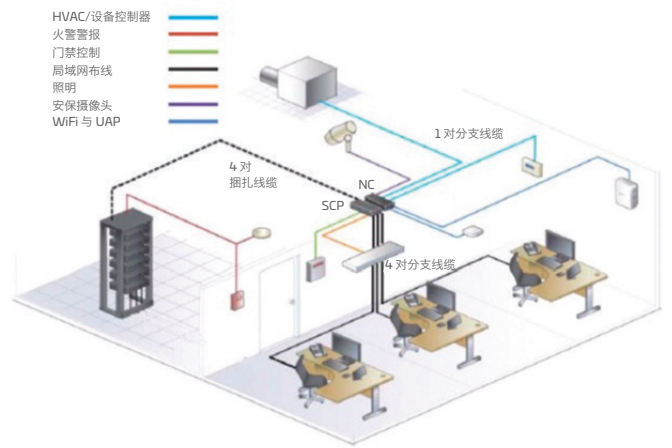


图 6: 从服务集合点 (SCP) 延伸出的四对布线和单对分支布线的示例拓扑



## 结论

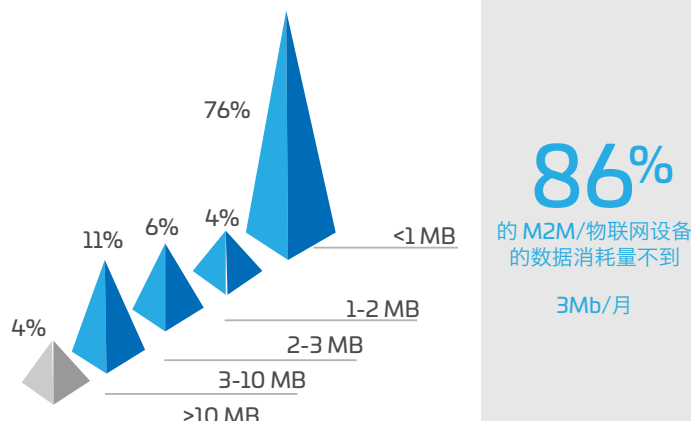
相比于物联网，也许没有任何其他趋势或技术更能让人们既为之兴奋不已，又对其充满担忧。在朝向智能建筑和智能城市发展的过程中，物联网将产生巨大的影响。我们无法得知在 15 年，甚至是在 5 年之后，互联世界会呈现出何种面貌。但我们知道，各类企业都寄希望于他们的 IT 和运营技术 (OT) 设施管理团队，从而了解和掌握如何连接并支持数以十亿计的传感器、控制器和其他必需设备。

这并非任何单一技术或平台所能解决的问题，而是要采用一系列高效的基础设施解决方案，根据各类企业和应用的要求进行混合与匹配。

传统的四对以太网布线将发挥重要的作用，而作为补充的一系列单对连接组件也将如此。

因此，网络工程师还应考虑采用单对平衡双绞线布线。在过去的数年中，单对以太网获得了 OEM、布线供应商和标准组织的青睐，并被视为是一种高效的解决方案（只要应用于合适的应用）。

单对以太网性能可靠、功能强大，更由于现有的数据速率种类众多（10、100 和 1,000 Mbps）以及更高数据速率（10 Gbps 和超过 10 Gbps）的不断出现，其应用越来越普遍。单对以太网重量轻、厚度薄，还能高效地连接低功耗、低数据量的设备（占物联网的绝大多数），而这正是网络工程师在应对即将来临的挑战时所需的有针对性的智能解决方案。



资料来源：John Brehm & Associates, 2015 年

1 《爱立信移动市场报告》；爱立信；2016 年 6 月

2 《物联网指南》；英特尔，信息图表；IDC、英特尔、联合国，12 月

3 Strategy Analytics M2M 战略咨询服务、麦肯锡全球研究院、NYTimes.com

4 《10Mb/s 超长距离单对双绞线以太网 PHY》，意向征集；IEEE 802.3 以太网工作组；2016 年 5 月

5 议程和一般信息；IEEE 802.3 10 Mbps 单对以太网研究小组；2016 年 9 月 17 日

6 IEEE P802.3bu 数据线供电指导手册；IEEE 802.3，大会演讲；2015 年 11 月

7 IEEE 发布 IEEE 802.3bu™，对单对平衡双绞线以太网数据线供电 (PoDL) 作出相应规定；美国商业资讯；2017 年 3 月 15 日

康普通过创意构想和突破性发现，推动通信技术的发展。这些构想和发现均足以激发伟大的人类成就。我们与客户和合作伙伴合作设计、创造并构建世界上最先进的网络。发现新的机遇并实现更美好的明天是我们的激情和承诺。了解更多信息，请访问 [zh.commscope.com](http://zh.commscope.com)。

### 康普公司（全球总部）

地址：1100 CommScope Place, SE  
Hickory NC 28602, 美国  
电话：+1 828 324 2200

### 业务联系方式

#### 北京办公室

地址：北京市东城区建国门南大街7号  
璞邸酒店C座6层605室  
邮编：100005  
电话：010 - 8593 7300

#### 上海办公室

地址：上海市闵行区吴中路1799号  
万象城B座2楼  
邮编：201103  
电话：021 - 8022 3300

#### 广州办公室

地址：广州市天河区华夏路30号  
富力盈通大厦701室  
邮编：510623  
电话：020 - 8560 8128

### 成都办公室

地址：成都市锦江区一环路东5段8号  
天府国际大厦第15层01A单元  
邮编：610065  
电话：028 - 6132 0508

### 武汉办公室

地址：武汉市洪山区珞狮南路（文荟街交叉口）  
星光时代大厦10楼1003号  
邮编：430079  
电话：027 - 8768 8258, 8768 8558

### 深圳办公室

地址：深圳市南山区科苑路科技园  
金融基地2栋5楼F单元  
邮编：518057  
电话：0755-2639 6610

### CommScope Solutions International Inc.

地址：香港九龙观塘道388号  
创纪之城1期1座  
8楼811-18室  
电话：+852 - 2515 7500

### CommScope Technologies LLC Taiwan Branch

地址：新北市板桥区新站路16号38楼  
邮编：22041  
电话：+886-02-7753-1599

### 工厂联系方式

#### 康普科技（苏州）有限公司 康普通联通信（苏州）有限公司

地址：江苏省苏州市苏州工业园区  
出口加工区二期启明路77号  
邮编：215121  
电话：0512 - 8818 1000

#### 康普通讯技术（中国）有限公司

地址：江苏省苏州市苏州工业园区  
苏虹西路68号  
邮编：215021  
电话：0512 - 6761 0069

### 请关注



@ 康普公司 

# COMMScope®

[zh.commscope.com](http://zh.commscope.com)

欲了解更多信息，请访问我们的网站或联系您的康普销售代表。

© 2020 CommScope, Inc. 版权所有。

本文件仅供规划设计之用，不涉及对任何康普产品或服务相关规格要求或保证的修改或补充。

所有标有®或™的商标均为康普公司相应的注册商标或商标。康普致力于最高标准的商业诚信和环境可持续发展，其全球诸多分支机构已获得ISO 9001、TL 9000、ISO 14001等国际认证。

更多相关康普公司的承诺，请访问 <http://zh.commscope.com/About-Us/Corporate-Responsibility-and-Sustainability>。

WP-111821.2-ZH.CN (11/19)