



综合布线以太网供电(PoE)技术 蓝皮书

系列(一)技术概览

综合布线以太网供电技术蓝皮书系列

（一）以太网供电技术概览

浙江兆龙互连科技股份有限公司 何方（博士，特许工程师），沈金涛，周钦阳

中国信息通信研究院泰尔系统实验室 刘泰（高级工程师），翟庆诗（高级工程师）

摘要：以太网供电（PoE）是使用对绞电缆综合布线系统进行远程直流供电的技术。最新发布的 IEEE 802.3bt-2018 标准中规范了以太网供电系统的四个类别，其中 PoE Type 4 的发电设备（PSE）可以发送最高 90 瓦功率，受电设备（PD）可以接收最高 71.3 瓦功率。综合布线系统在进行直流供电时，线缆和连接器组件的升温会对系统传输性能和材料耐久性带来潜在的影响。同时，在综合布线系统正在支持直流供电时拔出设备跳线时，接触面的瞬时放电会对连接器组件的可靠性产生额外的影响。本文针对以上情况在技术上做了简要地说明。

关键词：以太网供电、PoE、升温、带电插拔

1 以太网供电技术标准的发展历史

以太网供电（Power over Ethernet, PoE）是利用传统对绞电缆综合布线系统，在传输数据信号的同时由供电设备向受电设备提供低压直流电流的技术。通过以太网供电技术，由对绞电缆系统连接的小功率终端设备，例如：安防摄像头、无线路由器、门禁设备等等，都可以使用一根网络跳线供电，省去了电力线布线的需求。

IEEE 802.3 标准委员会在 2003 年发布的 IEEE 802.3af-2003 标准中首次定义了通过综合布线系统由供电设备向受电设备提供直流电流的技术要求。标准规定发电设备可以向一对双绞线提供 0.35 安直流电流，发送最高 15.4 瓦功率，经过传输损耗后受电设备可以接收最高 12.95 瓦功率^[1]。图 1 所示为 IEEE 802.3 标准中物理层设备（PHY）、发电设备（PSE）与受电设备（PD）通过对绞电缆系统连接的示意图。

IEEE 802.3 标准委员会在 2009 年发布了供电系统的升级版：IEEE 802.3at-2009。升级版标准中将 IEEE 802.3af 的供电系统定义为 Type 1 系统，IEEE 802.3at 标准又定义了 Type 2 系统，将一对双绞线最高可以承载的直流电流提高至 0.6 安，使发电设备可以发送的最高功率提高至 30 瓦，受电设备可以接收的最高功率提高至 25.5 瓦^[2]。目前 IEEE 802.3af 和 IEEE 802.3at 这两个标准已经废止，相关内容被合并入 IEEE 802.3-2018 当中^[3]。这两类直流供电系统 Type 1 和 Type 2 分别是现在业内常说的 PoE 和 PoE+。

IEEE 802.3 标准委员会在 2018 年底发布了最新的直流供电技术标准 IEEE 802.3bt-2018。最新的标准中将直流供电技术的名称“以太网供电（Power over Ethernet,

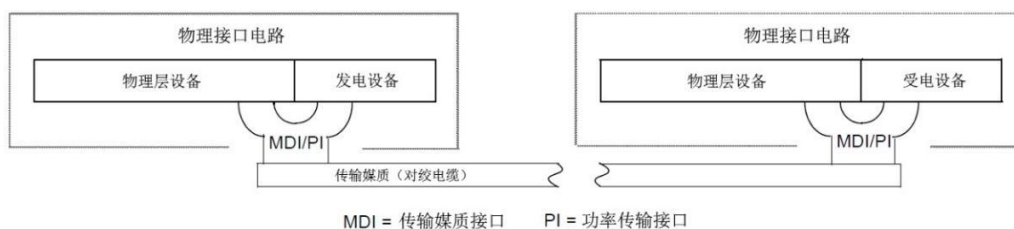


图 1 - 发电设备、受电设备与物理层设备的电路结构



图 2 – 两对双绞线供电示意图



图 3 – 四对双绞线供电示意图

PoE) ”正式写入标准当中。IEEE 802.3bt 标准定义了两个新的供电系统等级：Type 3 和 Type 4，规定这两个供电系统可以同时使用一个对绞电缆的全部四对双绞线进行直流供电。图 2 和图 3 分别是两对双绞线和四对双绞线供电的示意图^[4]。

对于 Type 3 系统，每对双绞线承载的最大电流仍为 0.6 安，但由于可以使用四对线供电，因此发电设备能发送的最高功率相对于 Type 2 提高了一倍，达到 60 瓦，受电设备能接收的最高功率提高至 51 瓦。Type 4 系统将每对双绞线能承载的最大电流提高至 0.96 安，使得发电设备能发送的最大功率达到 90 瓦，受电设备能接收的最大功率达到 71.3 瓦^[5]。IEEE 802.3bt 中定义的以太网供电 Type 3 和 Type 4 系统在业内被称为 PoE++。表 1 列出了以太网供电系统的一些基本参数。

以太网供电系统需要同时满足供电和传输性能的要求，中国信息通信研究院泰尔系统实验室搭建了图 4 所示的载流下传输性能测试系统，能实现模拟发电设备（PSE）以规定的发送功率输入以太网供电系统，测试受电设备（PD）的输入功率是否满足要求的同时，测试以太网供电系统传输性能是



图 4 – 中国信息通信研究院泰尔系统实验室载流下传输性能测试系统

否满足要求。

2 以太网供电对布线系统的影响

2.1 线缆升温对线缆传输性能的影响

在 IEEE 802.3 工作组发布了与以太网供电相关的标准之后，综合布线行业相关的行业标准组织，包括 ISO/IEC JTC 1/SC 25 标委会、CENELEC CLC/TC 215 标委会、以及 TIA TR-42.7 标委会等，陆续发布了一些技术标准，规范布线行业使布线系统有效支持以太网供电技术^{[4],[6],[7]}。在这些技术标准中，以太网供电的低压直流供电技术被称为“远程供电（Remote Powering）”或者“功率传送（Power Delivery）”。当交换机通过综合布线系统向远端的终端设备进行远程供电时，由于金属铜自身的电阻，会导致铜导体发热，使得线缆的工作温度高于外部的环境温度。布线系统按照施工要求现场安装时，往往会将多个线缆捆扎在一起，这样会导致捆扎内部的线缆温度继续升高。当线缆捆扎内外的热交换达到稳态之后，捆扎中心的线缆会有最高的工作温度，如图 5 所示^[7]。在成束布放或散热不好的场景中，整个线路会产生较高的热量，有降低信号传输能

表 1 – 以太网供电系统的基本参数

以太网供电等级	每对线最大承载电流（安）	可以使用的线对数	发电设备最大发送功率（瓦）	受电设备最大接收功率（瓦）
Type 1	0.35	2	15.4	12.95
Type 2	0.6	2	30	25.5
Type 3	0.6	4	60	51
Type 4	0.96	4	90	71.3

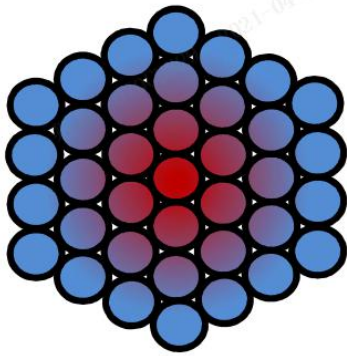


图 5 - 线缆捆扎中心的线缆有最高的工作温度

力、损坏周边设备设施甚至引燃电缆内或周围的有机材料发生火灾的风险。

铜导体升温会导致金属铜的直流电阻升高，使得线缆的插入损耗随着温度的上升而增加。插入损耗如果过大，超过了标准规范要求的限值，会导致接收端接收到的信号功率过小，无法满足接收端的信噪比要求从而使误码率上升。为了保证终端设备接收到的数字信号仍然能保证足够的信噪比，在高温条件下工作的信道或永久链路通常建议按照 ISO/IEC 14763-2 或者 TIA-568.2-D 附录 I 减少最长能够铺设的长度^{[8][9]}。

技术标准 ISO/IEC TR 29125 中建议线束捆扎的最高升温不超过 10°C，这样可以保证即使在 50°C 的环境温度当中，进行远程供电的线束捆扎的最高工作温度仍然不会超过商用线缆默认最高工作温度 60°C。而 TIA TSB-184-A 标准中将线缆捆扎的最高升温限制在 15°C，故而预期在最高 45°C 的环境温度当中线缆捆扎内的最高温度不会超过 60°C。基于上述技术标准中的升温建议，国际电工委员会（IEC）TC46/SC46 C 标委会发布的标准 IEC 61156-1-4 规范了用于测试远程供电线缆捆扎内部温升的标准测试方法^[10]。根据标准规定的算法设计软件，通过软件记录实验所得的温升数据并进行推算，可推演出在该模型下不同环境温度时不同布线根数对应的温升情况、不同环境温度下的最大捆扎数量、最大承载电缆等参数。

中国信息通信研究院泰尔系统实验室搭建的温升测试系统如图 6 和图 7 所示。兆龙互连作为国内领先的综合布线品牌，每一类型的线缆产品都严格按照国际标准验证其在直流供电条件下的升温特性。图 8 和图 9 分别是在兆龙互连研发实验室内按照 IEC

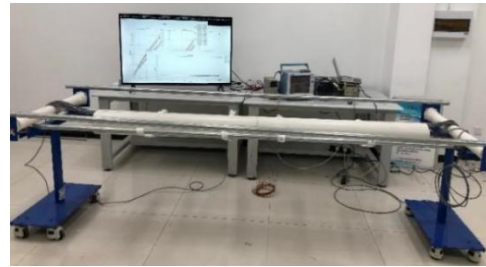


图 6 - 中国信息通信研究院泰尔系统实验室温升测试设备

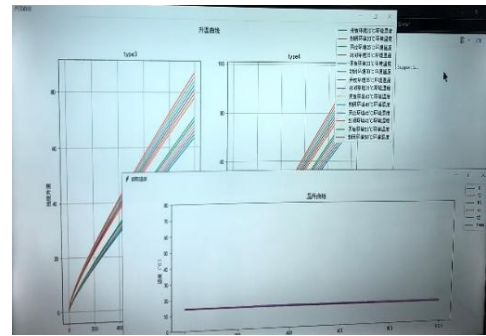


图 7 - 中国信息通信研究院泰尔系统实验室温升测试软件



图 8 - 兆龙互连实验室测试线缆升温设备



图 9 - 兆龙互连实验室测试线缆升温

61156-1-4 规范方法测试线缆升温的照片。

关于成束对绞电缆 PoE 状态下的最高升温实验，以及兆龙互连针对线缆升温特性和 ISO/IEC 14763-2 的布线安装标准所给出的线缆产品支持以太网供电的安装建议，请阅读下期本系列蓝皮书的第二篇：《线缆升温研究》和第四篇：《布线系统安装建议》。

2.2 线缆升温对线缆材料可靠性的影响

由上一节可知，数据线缆在远程供电情况下，其工作温度会高于环境温度。当温度升高时，线缆的护套和绝缘材料的高分子之间会加速化学反应，导致其各项机械或环境性能相较于成缆时有明显的下降，这就是业界俗称的“老化”。温度越高，老化的速度越快。数据线缆默认的室温工作环境为 $(23 \pm 3) ^\circ\text{C}$ ，业界默认数据线缆的护套和绝缘材料在此温度条件下能至少正常工作 25 年。当数据线缆开始支持远程供电，其工作温度明显高于默认的室温环境时，需要谨慎验证在高温条件下绝缘和护套材料的耐久程度是否还能满足至少 25 年。

针对高分子材料的热耐久性验证，IEC TC 112 标委会发布了 IEC 60216 系列标准，以阿伦尼乌斯方程 (arrhenius equation) 为基础，通过严谨的统计学方法验证绝缘或护套材料的热耐久性^[11]。兆龙互连的各类线缆产品的护套和绝缘材料都严格按照 IEC 60216 系列标准验证其老化时长，确保每一种材料的热耐久性都远远超过 25 年的最低时限要求。具体的内容请阅读本系列白皮书的第六篇：《线缆绝缘和护套材料的热耐久性》。

2.3 直流负载对连接器的影响

综合布线系统在支持远程供电时，直流负载对连接器组件也有不可忽视的影响。首先，当直流电流通过连接器件时，连接器内部 PCB 上用于金针和绝缘位移连接 (IDC) 的各过孔以及 PCB 走线都会发热。如果连接器在结构设计以及传输性能开发的过程

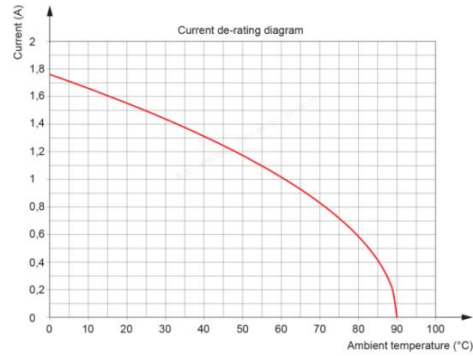


图 10 – IEC 60603-7 电流承载能力要求

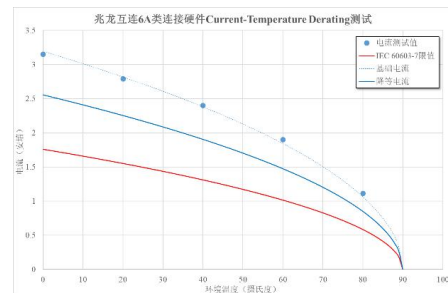


图 11 – 兆龙互连 6A 类连接硬件电流承载能力测试结果

中将各过孔排布过近，或者 PCB 走线过细，都会导致连接器内部发热量过大，影响连接器塑料件的可靠性。对此，以 RJ45 连接器为例，IEC 60603-7 标准规定了连接器的电流承载能力要求，也称为 current-temperature derating 测试^[12]，其测试方法标准为 IEC 60512-5-2^[13]。图 10 所示为 IEC 60603-7 标准中连接器电流承载能力的要求规范，图 11 为兆龙互连 6A 类连接器 current-temperature derating 的测试结果，测试结果显示兆龙互连的 6A 连接器的电流承载能力高于 IEC 60603-7 的标准要求。

另外，当综合布线系统提供远程供电功能时，交换机设备持续输出 55 伏至 57 伏的直流电压以及每对线最高 0.96 安直流电流。此时如果用户在未预警的前提下将工作区跳线从终端设备或者电信面板上拔出时，在水晶头和插座分离的瞬间会产生电弧放电。频繁地放电会烧蚀连接器弹片表层的镀层，而被烧蚀掉镀层的金属在空气中会被加速氧化，影响其连接可靠性。

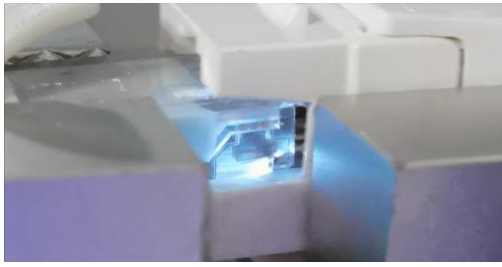


图 12 - 连接器带电插拔性能验证时的电弧放电

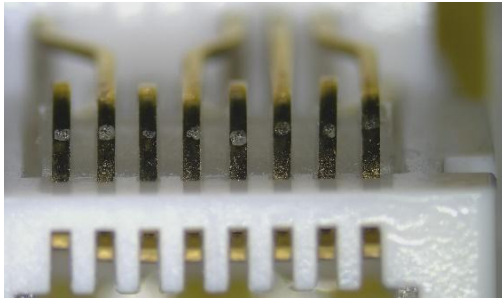


图 13 - 连接器带电插拔性能验证后金针镀层表面的烧蚀情况

对此, IEC TC 48/SC 48B 标委会发布了 IEC 60512-99-002 标准, 规范了验证连接器组件在支持以太网供电 Type 4 级别时, 插头与插座分离时对电弧放电的耐受程度的标准测试流程^[14]。兆龙互连严格按照国际标准的要求验证每一个连接器产品对电弧放电的耐受程度。图 12 所示为一款 6A 连接器进行带电插拔试验时瞬时放电的情况, 图 13 所示为该连接器结束带电插拔测试后镀层表面的烧蚀情况。

关于连接器支持以太网供电的性能要求, 以及兆龙互连实验室验证连接器电流承载能力以及带电插拔能力的具体内容, 请阅读本系列蓝皮书的第三篇: 《连接器组件支持以太网供电的要求》。

3 单对以太网的远程供电技术

在 2015 年第一个单对以太网的标准 IEEE 802.3bw-2015 发布之后, IEEE 802.3 工作组在次年发布了针对单对以太网的直流供电技术: 数据线供电 (PoDL), 其标准为 IEEE 802.3bu-2016。在这个标准中, 数据线供电系统划分了 9 个功率等级, 最高可

在一对双绞线上承载 1.36 安电流, 发电设备最高可以发送 65.3 瓦功率^[15]。数据线供电的技术指标在 2019 年发布的单对以太网标准 IEEE 802.3cg-2019 中进一步扩展, 增加了功率等级 10 至 15, 一对线能承载的最大电流增加到 1.579 安, 发电设备最高可以发送 79 瓦功率^[16]。

兆龙互连紧跟互联网技术发展趋势, 在推出单对以太网线缆和连接器产品的同时已经开始验证产品支持数据线供电的能力。具体的内容请阅读本系列蓝皮书的第五篇: 《单对以太网的数据线供电研究》。

4 以太网供电技术小结

以太网供电技术通过对绞电缆布线系统由交换机设备向终端小功率设备提供远程供电, 在安防监控 (摄像头)、智能楼宇 (无线路由器/门禁)、工业园区 (传感器) 等场合能替代电力线布线, 节省工程成本。当综合布线系统进行远程供电时, 线缆和连接器的升温、以及连接器带电插拔时的电弧放电会对传输性能、机械/环境的可靠性带来影响, 在产品设计与布线系统安装时需要做针对性的应对措施。兆龙互连严格按照相关的国际洲际标准验证互连组件产品在以太网供电条件下的各类属性, 并按照产品特性提供各类布线解决方案的现场安装建议, 使兆龙品牌的产品能最大程度地支持数字通信领域的最新技术。

以太网供电蓝皮书系列:

- (一) 以太网供电技术概览
- (二) 线缆升温研究
- (三) 连接器组件支持以太网供电的要求
- (四) 布线系统安装建议
- (五) 单对以太网的数据线供电研究
- (六) 线缆绝缘和护套材料的热耐久性

参考文献

- [1] *IEEE Standard for Information Technology - Telecommunications and Information Exchange Between Systems - Local and Metropolitan Area Networks - Specific Requirements - Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications - Data Terminal Equipment (DTE) Power Via Media Dependent Interface (MDI)*, IEEE Std 802.3af-2003, pp. 40-54, June 2003, DOI: [10.1109/IEEESTD.2003.94284](https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2003.94284).
- [2] *IEEE Standard for Information technology-- Local and metropolitan area networks-- Specific requirements-- Part 3: CSMA/CD Access Method and Physical Layer Specifications Amendment 3: Data Terminal Equipment (DTE) Power via the Media Dependent Interface (MDI) Enhancements*, IEEE Std 802.3at-2009, pp. 21-63, Oct. 2009, DOI: [10.1109/IEEESTD.2009.5306743](https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2009.5306743).
- [3] *IEEE Standard for Ethernet*, IEEE Std 802.3-2018, pp. 622-714, Aug. 2018, DOI: [10.1109/IEEESTD.2018.8457469](https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2018.8457469).
- [4] *Information technology. Cabling installation. Remote powering*, PD CLC/TR 50174-99-1:2015, June 2015.
- [5] *IEEE Standard for Ethernet Amendment 2: Physical Layer and Management Parameters for Power over Ethernet over 4 pairs*, IEEE Std 802.3bt-2018, pp. 104-203, Jan. 2019, DOI: [10.1109/IEEESTD.2019.8632920](https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2019.8632920).
- [6] *Information technology - Telecommunications cabling requirements for remote powering of terminal equipment*, ISO/IEC TS 29125:2017+AMD1:2020, May 2020.
- [7] *Guidelines for supporting power delivery over balanced twisted-pair cabling*, TIA TSB-184 Revision A, Mar. 2017.
- [8] *Information technology - Implementation and operation of customer premises cabling - Part 2: Planning and installation*, ISO/IEC 14763-2:2019, p. 89, Dec. 2019.
- [9] *Balanced twisted-pair telecommunications cabling and components standard*, TIA-568.2 Revision D, pp. 250-251, Sept. 2018.
- [10] *Multicore and symmetrical pair/quad cables for digital communications - Part 1-4: Assessment of conductor heating in bundled cables due to the deployment of remote powering*, IEC 61156-1-4:2018, Oct. 2018.
- [11] *Electrical insulating materials - Thermal endurance properties - Part 1: Ageing procedures and evaluation of test results*, IEC 60216-1:2013, Mar. 2013.
- [12] *Connectors for electronic equipment - Part 7: Detail specification for 8-way, unshielded, free and fixed connectors*, IEC 60603-7:2020, Oct. 2020.
- [13] *Connectors for electronic equipment - Tests and measurements - Part 5-2: Current-carrying capacity tests - Test 5b: Current-temperature derating*, IEC 60512-5-2:2002, Feb. 2002.
- [14] *Connectors for electrical and electronic equipment - Tests and measurements - Part 99-002: Endurance test schedules - Test 99b: Test schedule for unmating under electrical load*, IEC 60512-99-002:2019, Mar. 2019.
- [15] *IEEE Standard for Ethernet--Amendment 8: Physical Layer and Management Parameters for Power over Data Lines (PoDL) of Single Balanced Twisted-Pair Ethernet*, IEEE Std 802.3bu-2016, Feb. 2017, DOI: [10.1109/IEEESTD.2017.7851124](https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2017.7851124).
- [16] *IEEE Standard for Ethernet - Amendment 5: Physical Layer Specifications and Management Parameters for 10 Mb/s Operation and Associated Power Delivery over a Single Balanced Pair of Conductors*, IEEE Std 802.3cg-2019, Feb. 2020, DOI: [10.1109/IEEESTD.2020.8982251](https://doi.org/10.1109/IEEESTD.2020.8982251).