

光纤光缆和通信电缆技术发展与思考

1 光纤技术发展的特点

1.1 网络的发展对光纤提出新的要求

下一代网络（NGN）引发了许多的观点和争论。有的专家预言，不管下一代网络如何发展，一定将要达到三个世界，即服务层面上的 IP 世界、传送层面上的光的世界和接入层面上的无线世界。下一代传送网要求更高的速率、更大的容量，这非光纤网莫属，但高速骨干传输的发展也对光纤提出了新的要求。

（1）扩大单一波长的传输容量

目前，单一波长的传输容量已达到 40 Gbit/s，并已开始进行 160 Gbit/s 的研究。40Gbit/s 以上传输对光纤的 PMD 将提出一定的要求，2002 年的 ITU-T SG15 会议上，美国已提出对 40Gbit/s 系统引入一个新的光纤类别（G. 655. C）的提议，并建议对其 PMD 传输中的一些问题进行深入探讨，也许不久的将来就会出现一种专门的 40Gbit/s 光纤类型。

（2）实现超长距离传输

无中继传输是骨干传输网的理想，目前有的公司已能够采用色散齐理技术，实现 2000~5000km 的无电中继传输。有的公司正进一步改善光纤指标，采用拉曼光放大技术，可以更大地延长光传输的距离。

（3）适应 DWDM 技术的运用

目前 32×2.5 Gbit/s DWDM 系统已经运用， 64×2.5 Gbit/s 及 32×10 Gbit/s 系统已在开发并取得很好的进展。DWDM 系统的大量使用，对光纤的非线性指标提出了更高的要求。ITU-T 对光纤的非线性属性及测试方法的标准（G. 650. 2）最近也已完成，当光纤的非线性测试指标明确之后，对光纤的有效面积将会提出相应指标，特别是对 G. 655 光纤的非线性特性会有进一步改善的要求。

1.2 光纤标准的细分促进了光纤的准确应用

2000 年世界电信标准大会批准将原 G. 652 光纤重新分为 G. 652. A、G. 652. 8 和 G. 652. C 3 类光纤；将 G. 655 光纤重新分为 G. 655. A 和 G. 655. B 两类光纤。这种光纤标准的细分促进了光纤的准确使用，细化标准的同时也提高了一些光纤的指标要求（如有些光纤几何参数的容差变小），明确了对不同的网络层次和不同的传输系统中使用的光纤的不同指标要求（如 PMD 值的规定），并提出了一些新的指标概念（如“色散纵向均匀性”等），对合理使用光纤取得了很好的作用。所有这些建议的修改、子建议的出现及新子建议的起草，都意味着光纤分类及指

标、测试方法有某些改进，或有重要的提升；都标志着要求光纤质量的提高或运用方向上的调整，是值得注意的光纤技术新动向。

1.3 新型光纤在不断出现

为了适应市场的需要，光纤的技术指标在不断改进，各种新型光纤在不断涌现，同时各大公司正加紧开发新品种。

(1) 用于长途通信的新型大容量长距离光纤

主要是一些大有效面积、低色散维护的新型 G.655 光纤，其 PMD 值极低，可以使现有传输系统的容量方便地升级至 10~40Gbit/s，并便于在光纤上采用分布式拉曼效应放大，使光信号的传输距离大大延长。如康宁公司推出的 Pure Mode PM 系列新型光纤利用了偏振传输和复合包层，用于 10 Gbit/s 以上的 DWDM 系统中，据称很适合于拉曼放大器的开发与应用。Alcatel cable 推出的 Teralight Ultra 光纤，据介绍已有传输 100km 长度以上单信道 40Gbit/s、总容量 10.2 Tbit/s 的记录。还有一些公司开发负色散大有效面积的光纤，提高了非线性指标的要求，并简化了色散补偿的方案，在长距离无再生的传输中表现出很好的性能，在海底光缆的长距离通信中效果也很好。

(2) 用于城域网通信的新型低水峰光纤

城域网设计中需要考虑简化设备和降低成本，还需要考虑非波分复用技术 (CWDM) 应用的可能性。低水峰光纤在 1360~1460nm 的延伸波段使带宽被大大扩展，使 CWDM 系统被极大地优化，增大了传输信道、增长了传输距离。一些城域网的设计可能不仅要求光纤的水峰低，还要求光纤具有负色散值，一方面可以抵消光源光器件的正色散，另一方面可以组合运用这种负色散光纤与 G.652 光纤或 G.655 标准光纤，利用它来做色散补偿，从而避免复杂的色散补偿设计，节约成本。如果将来在城域网光纤中采用拉曼放大技术，这种网络也将具有明显的优势。但是毕竟城域网的规范还不是很成熟，所以城域网光纤的规格将会随着城域网模式的变化而不断变化。

(3) 用于局域网的新型多模光纤

由于局域网和用户驻地网的高速发展，大量的综合布线系统也采用了多模光纤来代替数字电缆，因此多模光纤的市场份额会逐渐加大。之所以选用多模光纤，是因为局域网传输距离较短，虽然多模光纤比单模光纤价格贵 50%~100%，但是它所配套的光器件可选用发光二极管，价格则比激光管便宜很多，而且多模光纤有较大的芯径与数值孔径，容易连接与耦合，相应的连接器、耦合器等元器件价格也低得多。ITU-T 至今未接受 62.5/125 μm 型多模光纤标准，但由于局域网发展的需要，它仍然得到了广泛使用。而 ITU-T 推荐的 G.651 光纤，即 50/125 μm

的标准型多模光纤，其芯径较小、耦合与连接相应困难一些，虽然在部分欧洲国家和日本有一些应用，但在北美及欧洲大多数国家很少采用。针对这些问题，目前有的公司已进行了改进，研制出新型的 50/125 μm 光纤渐变型 (G1) 光纤，区别于传统的 50/125 μm 光纤纤芯的梯度折射率分布，它将带宽的正态分布进行了调整，以配合 850nm 和 1300nm 两个窗口的运用，这种改进可能会为 50/125 μm 光纤在局域网运用找到新的市场。

(4) 前途未卜的空芯光纤

据报道，美国一些公司及大学研究所正在开发一种新的空芯光纤，即光是在光纤的空气够传输。从理论上讲，这种光纤没有纤芯，减小了衰减，增长了通信距离，防止了色散导致的干扰现象，可以支持更多的波段，并且它允许较强的光功率注入，预计其通信能力可达到目前光纤的 100 倍。欧洲和日本的一些业界人士也十分关注这一技术的发展，越来越多的研究证明空芯光纤似有可能。如果真能实用，就能解决现有光纤系统长距离传输的问题，并大大降低光通信的成本。但是，这种光纤使用起来还会遇到许多棘手的问题，比如光纤的稳定性、侧压性能及弯曲损耗的增大等。因此，对于这种光纤的现场使用还需做进一步的探讨。

2 光缆技术的发展特点

2.1 光网络的发展使得光缆的新结构不断涌现

光缆的结构总是随着光网络的发展、使用环境的要求而发展的。新一代的全光网络要求光缆提供更宽的带宽、容纳更多的波长、传送更高的速率、便于安装维护、使用寿命更长等。近年来，光缆结构的发展可归纳为以下一些特点。

1) 光缆结构根据使用的网络环境有了明确的光纤类型的选择，如干线网光纤、城域网光纤、接入网光纤、局域网光纤等，这决定了大范围内光缆光纤传输特性的要求，具体运用的条件还有可依据的细分的标准及指标；

2) 光缆结构除考虑光缆使用环境条件以外，越来越多的与其施工方法、维护方法有关，必须统一考虑，配套设计；

3) 光缆新材料的出现，促进了光缆结构的改进，如干式阻水料、纳米材料、阻燃材料等的采用，使光缆性能有明显改进。

不同的场合和不同的要求造成了光缆的多结构的发展趋势，新的光缆结构以及在现有结构上不断改进的各种结构也在不断涌现，出现了如下一些类型。

- “干缆芯”式光缆：所谓“干缆芯”即区别于常用的填充管型的光缆缆芯。这种缆的阻水功能主要靠阻水带、阻水纱和涂层组合来完成，其防水性能、渗水性能都与传统的光缆相同，但它具有生产、运输、施工和维护上的一些优点。首先是方便，因为阻水材料不含粘性脂类，操作使用比较方便安全；其次，干式光缆重量轻、易接续、易搬运，设备投资小、成本低，生产使用中显得干净卫生，

在长期使用中还可减少缆芯中各种元件之间的相对移动。特别是在接入网室内缆和用户缆中，好处更加明显。

- **生态光缆**：一些公司从环境保护及阻燃性能的要求出发，开发了生态光缆，应用于室内、楼房及家庭。现有光缆中使用的一些材料已不符合环保的要求，如PVC燃烧时会放出有毒性气体，光缆稳定剂中有时含铅，都是对人体及环境有害的。2001年ITU-T已通过了一项L45建议——“使电信网外部设备对环境的影响最小化”建议，通过对光缆、电缆光器件及电杆等基于寿命周期评估（Life Cycle Analysis, LCA）的方法来确定产品对环境的影响。由于环境因素正日益受到重视，对通信外部设备，特别是光缆产品规定这样的指标已提到日程上来，如果不在材料和工艺上下功夫就难以达到环保的要求。因此已有不少公司针对此类问题开发了一些新材料，如对室内用缆，开发了含有阻燃添加剂的聚酰胺化合物，以及无卤性阻燃塑料等。

- **海底光缆**：海底光缆近年来有很快的发展，它要求长距离、低衰减的传输，而且要适应海底的环境，对抗水压、抗气损、抗拉伸、抗冲击的要求都特别严格。

- **浅水光缆**（Marinized Terrestrial Cable, MTC）：浅水光缆是区别于海底光缆而提出来的另一类结构的水下光缆，适合于在海岸边上、浅水中安装，无需中继、通信距离比较短的水下（如岛屿间、沿海岸边上的城市）敷设使用。这种光缆区别于海底光缆的环境，需要的光纤数不多（中等），但要求结构简单、成本较低，易于安装和运输，便于修复和维护。ITU-T在2001年提出了ITU-T G. 972定义下的浅水光缆建议，为建设类似的水下光缆提供了一组规范，随后也有可能形成相应的国际标准。

- **微型光缆**：为了配合气压安装（或水压安装）施工系统的运用，各种微型的光缆结构已在设计和使用中。对于气压安装的微型光缆，要求光缆与管道之间有一定的系数，光缆重量要准确，具有一定的硬度等。这种微型光缆和自动安装的方式是未来接入网，特别是用户驻地网络中综合布线系统很有潜力的一种方式，如在智能建筑中运用的智能管道中就非常适合这种安装。

- **采用了纳米材料的光缆**：近来，一些厂商已开发出纳米光纤涂料、纳米光纤油膏、纳米护套用聚乙烯（PE）及光纤护套管用纳米PBT等材料。采用纳米材料的光缆，利用了纳米材料所具有的许多优异性能，对光缆的抗机械冲击性能、阻水、阻气性都有一定的改善，并可延长光缆的使用寿命。目前此类材料尚处于试用阶段。

- **全介质自承式光缆**（ADSS）：全介质光缆对防止电磁影响及防雷电都有优良的特性，而且重量轻、外径小，架空使用非常方便，在电力通信网中已得到大量的应用。预计2000~2005年，每年电力部门对ADSS光缆需求约15000km。ADSS同时也是电信部门在对抗电磁干扰及雷暴日高的敷设环境中一种很好的光缆类型的选择。在今后一段时间内，如何在满足要求的前提下，尽量减小ADSS光缆的外径，减轻光缆的重量，提高其耐电压性能是ADSS光缆研究改进的课题。

• 架空地线光缆（OPGW）：OPGW 已出现了很长一段时间，近年来一直在改进和提高之中。OPGW 的光纤单元中采用 PBT，于套管外面再加上一层不锈钢管，有的还在塑料套管与不锈钢管之间加上一层热塑胶，不锈钢管用激光焊接长度可达数十公里，光纤在这样的多层保护管中得到了充分的机械保护。预计从现在到 2005 年，OPGW 光缆的需求将会逐年上升，每年增加约 2500km，到 2005 年预计可达到 20000km。当然对 OPGW 光纤的防雷问题一直是业界十分关注的问题，也应配合具体环境和使用条件加以考虑，使之得到充分保护。

2.2 光缆的自动维护、适时监测系统已逐渐完善，可保证大容量高速率的光缆不中断传输

光缆的维护对于保证网络的可靠性是十分重要。在已开通的光网络中，光缆的维护和监测应该是在不中断通信的前提下进行的，一般通过监测空闲光纤（暗光纤）的方式来检测在用光纤的状态，更有效的方式是直接监测正在通信的光纤。虽然 ITU-T 长时间收集和讨论了国际上的最新资料，于 1996 年发布了 L. 25 光缆网络维护的建议书，对光缆的预防性维护和故障后维护规定了详细的维护范围和功能，但已经不能满足当前的需要，目前最新的建议是 2001 年 12 月 IUT-T SG16 会议通过的“光缆网络的维护监测系统”（L. 40 建议）。为了进一步缩短检测及修复时间，美国朗讯公司曾提出了新一代光纤测试及监控系统，能在 1s 内发出故障告警，3min 内找到故障点，且工作人员可以遥控操作，据称该系统还将开发有故障预测及对断纤（缆）的快速反应能力。日本、意大利等国电信企业也提出了一些系统方案。

• 日本 NTT 方案：在局内运用光纤选择器与系统的测试设备和传输设备相连形成了一种可对光纤状况进行实时监测的系统，保证有用信号在通过光纤选择器测试证明良好的光纤上传输，对有故障的光纤可以预选监测出来及时传送到维护中心进行适当处理，避免不良状况进入有用的光传输信道，从而起到在运行中对整个光通信系统的支撑作用；在局外通过水敏传感器装置可监测外部设备光缆线路接头盒浸水的位置，水敏传感器安装在空闲的光纤上，水敏传感器中装有吸水性膨胀物，当水渗入接头盒时，吸水性物质会膨胀使得接头盒中的光纤受力，也就是使得这一空闲光纤弯曲，从而使光纤的损耗增加，在监测中心的 OTDR 上就会反映出来。

• 意大利的方案：此方案是一种综合处理的新型连续光缆监测系统。主要特点是将光缆网络、光纤及光缆护套的监测综合在一起，既利用了 OTDR 系统周期性地对光纤的衰减进行监测，发现有衰减变化即发出警报，并进行故障定位，同时也能连续监测光缆护套的完整性，包括护套对地绝缘电阻的监测，发现问题（如护套进水等）即马上告警，达到更全面地预告故障发生的目的。

比较日本和意大利电信部门提出的光缆维护支撑系统的方案可见：日本方案在 OTDR 自动适时测试光纤的基础上，加入了光纤选择器，在外线上装设水敏传感器并进行护套监测，形成了一套较完整的自动维护、支撑系统，真正做到不中断光通信的维护。意大利的方案中除监测光纤性能以外，还考虑了护套绝缘电阻的自动监测。由此两例可以看出全自动的光缆维护应是一种发展方向。

3 通信电缆的发展特点

3.1 宽带的 HYA 通信电缆需要更好地为数字通信新业务服务

原有的电缆网络虽然可以支持一些数字新业务，但是在实际使用中并不是特别理想，在通信距离、速率及质量上仍有一定的限制。对于新的网络当然是以光纤为主，对于光纤所不能达到的地方或因各种原因仍然要新建电缆网络的地区，应该

考虑新型宽带结构的 HYA 电缆（铜芯聚乙烯绝缘综合护套市内通信电缆），以便更能符合新业务发展的需要。一些公司对现有的电缆高频特性作了测试，他们得到的结论是所研究的电缆（即现有的 HYA 市话电缆）不能达到 5 类电缆的技术要求，户外电缆要实现 j 类电缆的特性，必须通过特殊的设计和制造来达到。但在 20MHz 以下，所有电缆都显示出充分适宜的传输性能。

美国已在 1997 年制定了用于宽带的对绞通信电缆标准（ANSI/ICEA S-98-688-1997 及 S-99-689-1997），包括非填充和填充两种型式。传输频宽已扩展到 100MHz，可供数字网络使用。IEC 对此问题也进行过较长时间的讨论，2001 年，IEC 62255-1 文件“用于高比特频率数字接入电信网络的多对数电缆”提出了 0.4~0.8 mm 线径、1~150 对、最高频率 30MHz 等指标的建议，此建议的提出也许会为这种电缆开辟一个新的空间，我国也开始了这方面的探讨和研制，并正在建立相应的标准。

3.2 超 5 类及 6 类电缆将替代 5 类电缆成为布线系统发展的超蛭

随着智能化大楼、智能化建筑小区对宽带布线的要求愈来愈高，超 5 类和 6 类电缆已逐渐成为布线系统中的主流。超 5 类电缆与 5 类电缆的频带都是 100MHz，但其具有双向通信的能力，用户可以同时收发宽带信息。因此超 5 类电缆比 5 类电缆在电阻不平衡性、绝缘电阻、对地电容不平衡性、传输速度等指标上都有提高，并且增加了近端串音衰减功率和等电平远端串音功率等一些指标，因此在工艺和结构上要做一定的改进才能达到。6 类电缆在超 5 类的基础上，又提高了传输频带，达到 250MHz，其相应的指标也有较大的提高。同时，6 类电缆要求不但有严格的工艺，而且不少厂商在结构上也有一定的改进和创新，如采用泡沫皮绝缘芯线或皮泡皮绝缘芯线、骨架式结构隔离线对等都改善了电缆的高频特性。

3.3 物理发泡射频同轴电缆及漏泄同轴电缆将具有较好的发展前景

由于移动通信的高速发展，无线电基路用物理发泡射频同轴电缆，特别是超柔形结构的室内电缆、路由连结电缆都有了较大的市场需求。同时，随着移动通信信号覆盖面的不断扩大，基站站数的增多，以及边缘地区（电梯、地铁、地下建筑、高层建筑室内等用户）对移动信号的要求不断提高，预计这类电缆将会有较好的发展前景。但对电缆指标的要求（如驻波比、屏蔽衰耗等要求）已明显提高，要求电缆的工艺及结构应不断改进，以与之适应。

4 光纤光缆及通信电缆技术与产业发展中几个值得思考的问题

4.1 积极创新开发具有自主知识产权的新技术

虽然这几年来,我国光缆电缆技术有很大发展,有一些具有自主知识产权的技术已在发挥作用,但是应该看到这种比例仍是很小的,国内有近 200 家光纤光缆厂,但大多产品单一,没有自主的知识产权,技术含量较低,竞争力不强。有资料统计,1997~1999 年国内企业申请光通信专利的有 132 件,其中光纤 38 件,光缆只有 19 件,而同期外国公司在中国申请光通信专利达 550 件,其中光纤光缆 37 件。还有资料报道:从 1997 年以来,国内光通信核心技术专利是 90 件,我国自主申请的只有 9 件,仅占 10%。实际上我国的光纤光缆技术应该说与国际水平已差距下大,因此我们作为世界第二的光缆大国,应该把开发具有自主知识产权的技术作为我们工作的重中之重,争取创造更多的光纤光缆专利。

4.2 开发具有先进技术水平、与使用环境、施工技术相配套的新产品

电信网络在不断发展的同时也对光缆电缆产品不断提出新的要求。不难发现,光缆的结构越来越依赖于使用的环境条件及施工的具体要求,在海底光缆、浅水光缆、ADSS 及 OPGW 光缆的开发中,会对这一点有深刻的体会。而今后光缆建设的重点将会随着接入网、用户驻地网的建设不断展开,新一代的光缆结构和施工技术也会基于如微型光缆、吹入或漂浮安装及迷你型微管或小管系统的全套技术而有一系列新的变化,以便有限的敷设空间得到充分、灵活的利用。这当中也包含了若干光缆设计、制造工艺、光纤光缆材料、施工安装方面的新的技术课题。一些国家或公司已取得了一些经验,正逐渐形成新的系统技术专利。我国的用户众多,接入网和用户驻地网具有很多的特色,对接入光缆也会有更多的要求,为我们研究和创新接入网和用户驻地网光缆结构提供了很好的机会。应该说,

多数光缆技术我们是跟在国外最新技术的后面,虽然紧跟了先进技术,但自我创新的成份太少。今后应当在这方面下些功夫,走自己的创新之路。在有中国特色的接入网及用户驻地网中多采用一些有中国特色的光电缆产品。

4.3 利用已有设备与技术,改善 HYA 市话电缆的相应特性,为数字业务提供更好的服务

对于已经敷设的铜电缆,我们只能在现有条件下尽量利用其特性开通数字新业务。而现有的 HYA 电缆,虽然亦可开通 ADSL 等一些新业务,但是容量有限,当 ADSL 数量增大到一定程度后还是会出现干扰问题,而且还会影响以前开通的业务。因此,对新敷设的铜电缆,希望能提出一些新的宽带指标要求,为将来开通更多更好的新业务作好准备。现有的市话电缆生产厂商应深入研究自身的生产工艺,在不改变(或不大改变)生产设备的情况下,认真设计和精心制造,把现

有电缆的技术水平提高一个档次,以提供更宽频带的电缆,为更多更好地开拓数字新业务提供高质量的通道。

4.4 改进光缆电缆的施工和维护方法

目前,为了适应城市施工的特点,国际上较重视不挖沟的方式施工光、电缆,采用小地沟或微地沟技术安装光缆,同时对光缆网进行自动监测,保证光缆网络不中断通信维护。与此相适应的是需要开发相应的元器件、工具和设备,并且要在体制上作一些改进与之相适应。ITU对NH开发光缆用浸水传感器、光纤自动测试时的光纤选择器以及美国提出的1s告警、3min内定位的指标及意大利提出的光纤纤芯与光缆护套指标综合监测等方案都十分重视。在现代化的光网络中,这些方式已经起到明显的作用。由此可见,为了保证光缆网络工作的可靠性,在施工和维护中降低成本、节省劳力、节省时间,逐步推广新的施工方法,逐步完善光缆网络的自动监测维护系统和提高光缆网络的不中断维护水平已势在必行。

4.5 冷静地审视当前电信市场的发展,促进光纤光缆和通信电缆产业的发展

2001年下半年以来,光纤光缆需求下降,这当然与世界电信行业的整体下滑以及宽带网络泡沫的破灭有很大关系,但更多的则是受到从1999年下半年起由于光纤紧缺而各大公司扩产过多的影响。据资料介绍,在2000年,全球光纤厂商的投资额达到26亿美元,为1999年的6倍,按推算到2002年全球光纤的产能将达到1.65~1.75亿光纤公里,远远超过了实际需求。加上当前电信基础设施建设的不景气,光纤过剩的现象不可避免。

光纤光缆及通信电缆的市场走势虽然受到国际经济大形势发展的影响,特别是与整个电信行业的发展有密切的关系,但应看到,在挤出了网络泡沫的水份之后,随着光纤网络从骨干网的扩建到接入网、城域网的扩散以及向用户驻地网的不断延伸,光纤光缆及宽带数字电缆的市场必将增长。据KMI预计,2003年世界光纤市场将开始有较大的增长,而到2004年的市场规模将超过敷设量最高的2000年。

应该看到,信息通信业是一个充满生机与活力的朝阳产业,网络经济有着强大的生命力,信息技术、网络技术的发展,仍然是推动社会进步的重要动力,信息网络化仍然是当今世界经济、社会发展的强大趋势。因此我们应树立信心,在全球经济好转、通信市场复苏及我国西部开发等有利条件下抓住机遇,促进光

纤光缆和通信电缆技术与产业取得更大的进展。

4.6 抓住西部大开发的大好机遇,发展光缆电缆技术与产业

西部大开发是国家的重大策略,国家制定了有利的政策,政府对发展通信等行业也给予了大力的支持。西部是一个地域复杂、分布较宽、通信相对落后的地区。经济大发展中,通信要先行,需要一些与之相适应的光纤光缆及通信电缆的

先进产品来配合发展的需求。因此，符合条件的产品将会在这里找到很好的市场。西电东送、西气东输等巨大工程也需要大量的高质量 ADSS、OPGW 等型式的光缆及各种电缆相配套。因此光纤光缆和通信电缆的各种技术、产品及成果都会在西部开发中得到发挥。同时西部现代化的建设对我们的产品提出了许多新的难题，光纤光缆和电缆行业在开发大西部的同时也会得到更好的改造和创新的机会，促进自身技术水平的提升和发展。