

HFC 网光纤传输系统的设计与工程概算

王清正

本文作者王清正先生，电子科技大学光电技术系副教授。

现在“天上卫星传送和地面有线网覆盖”的星网结合已成为我国电视覆盖的重要技术模式。一个中央和地方结合、有线和无线结合、广播和电视并重、星网结合、天地交融的电视网已具相当规模。

我们面临的问题已不是电视信号的传输媒质是光纤好还是同轴电缆好的问题，而是在建网前期的筹备阶段，难于提出一个接近实际情况的工程概算。这是不难理解的，因为工程概算与整个 HFC 网的技术方案密切相关。如果我们能根据本地的实际情况做出本地 HFC 网的技术方案，再加上对有关有线电视产品市场价格的调查，工程概算是容易做出的。为此，下面先讨论有线电视 HFC 网的设计考虑，在此基础上再讨论如何做工程概算。由于前端和同轴电缆分配网的设计早已为广大有线电视工作者所熟悉，为了节省篇幅，下面仅讨论光纤传输系统的设计考虑。

一 有线电视光纤传输系统的设计考虑

在设计中我们的主要任务是，按照“着眼长远，立足当前，统一规划，分步实施”的原则，认真做好以下各项工作。

1. 调制方式的选择

对于有线电视光纤传输系统来说，有三种调制方式，即频率调制(FM)、脉冲编码调制(PCM)和幅度调制(AM)。这三种调制方式各有优缺点。FM 抗干扰能力强，对载噪比要求不高，传输距离相对较远，其缺点是占用频带较宽(每个 FM 频道的带宽约为 AM 方式的六倍以上)，因而容量小；级联后信号质量下降；在接收端还要增加解调设备。由于这些原因，FM 在有线电视光纤传输系统中应用不多。PCM 方式的主要优点是抗干扰能力强；传输距离远；图象质量高；在传输过程中噪声和失真不累积，经多级级联后图象质量仍可保持原有水平。其主要缺点是未经压缩的数字视频信号所占频带较宽。但进展很快的数字压缩技术有效地克服了

这一缺点，现已达到一个 8MHz 的模拟频道带宽可传输 8~10 个压缩的数字频道。

AM 方式是以视、音频信号对副载波进行幅度调制(AM)，用已调副载波的残留边带(VSB)再去调制光载波的强度，这就是目前应用最广泛的 AM-VSB 调制方式。其最大优点是信号调制体制与现行的广播电视一致，经传输后不需转换可直接向用户分配；另一优点是造价较低，因此得到广泛应用。其缺点是对载噪比要求较高；传输距离相对较近；AM-VSB 系统级联后传输的信号质量明显下降，故 AM-VSB 光纤传输系统的级联一般不超过两级。

从以上讨论不难得出结论：近距离传输以选用 AM-VSB 调制方式为宜；远距离传输时可选用 PCM 方式或 AM-VSB 方式加光放大器。

2. 工作波长方式的选择

对于有线电视光纤传输系统来说，现有 1.31 μm 和 1.55 μm 两个激光波长可供选择。在 1.31 μm 波长处，DFB(分布反馈)激光器的输出功率大、线性好，光纤的色散小(因此又称 1.31 μm 为零色散波长)，其缺点是光纤在该波长处传输损耗略大一些(其典型值在 0.35dB/km)。1.55 μm 波长最吸引人之处是可应用工作波长为 1.55 μm 的掺铒光纤放大器来弥补远距离传输时激光功率的不足；在该波长处，光纤的传输损耗低(典型值在 0.21dB/km 左右)。其主要缺点是在该波长处光纤的色散较大。现在虽已有采用色散位移光纤来降低 1.55 μm 处的色散，但价格高昂而限制了其广泛应用。

由上述讨论可知，在一般情况下大都选用 1.31 μm 波长，在远距离传输而经费又允许的情况下可考虑选用 1.55 μm 波长。

3. 系统带宽的选择

有线电视光纤传输系统的一大优势是频带宽，易实现多功能应用。通常选用的系统带宽是 550MHz 或 750MHz，如表 1 所示。

在我国，虽然 550MHz 带宽已足够传输邻频配置的 59 个模拟电视频道，但从发展的角度看，为了适应今后开发多功能应用的需要，宜将光纤传输系统的带宽选为 750MHz，而其后的电缆分配网选用 550MHz 带宽。这样，目前的投资不致过高，日后需要升级换代也较易实现。对于一些乡镇所建的较小的系统来说，日后也不一定用得着 750MHz 带宽，选用 550MHz 的带宽就已足够了。

4. 片区的划分和光节点的选取

根据城镇自然环境、地理条件、人口分布状况，将整个城镇(有线电视网覆盖的范围)划分为若干个小区(又称片区)，在片区中心设置光接收机(光节点)。一个片区就是一台光接收机覆盖的范围。一个片区用户数的多少，除与可靠性密切相关(片区用户数越少，范围越小可靠性越高)外，主要取决于多功能应用时的回传信息量。对于一般城市居住楼连片的片区，一个片区的用户数以 2,000 户为宜，在特别密集的地方，一个片区的用户数可达 5,000 户。当回传信息量很大时，片区的用户数可减少至 500 户，甚至 100~50 户。片区的范围还应兼顾到面积，一般以半径不超过 1km,即不用干线放大器而只用延长放大器就能覆盖的范围为宜。这不仅可充分发挥光纤的优越性，也考虑到今后发展双向传输的方便，造价也不致过高。

在城郊和农村，用户比较分散，距离较近的自然村，可共用一台光接收机，村与光节点之间用同轴电缆连接起来。

5. 网络形式的选择

树枝形光纤网和星形光纤网是光纤在有线电视中应用的两种基本网络形式。树枝形光纤网采用光分路器沿光纤传输路径依次将光功率分配到相应支线。其好处是下行只用一根光纤。但其可靠性差，一旦靠近光发射机处的光纤发生故障，将影响后面的广大地区；当光分路器后面的光纤发生故障时，利用光时域反射仪(OTDR)从前端测试，后向散射光将被光分路器严重衰减而不能到达 OTDR。此外，该类网络不易实现双向传输。由于这些原因，除光纤芯数受限的情况外，树枝形光纤网很少被采用。

星形光纤网是目前使用最广泛的一类网络，也是我国广电部推荐的方案，它符合我国地方行政管辖习惯和宣传部门的要求。它用 $1 \times N$ 的光分路器将光功率分送到不同方向的 N 条光纤和相应的光接收机中。其优点是：光功率分配一次到位；所用的光分路器最少；光纤熔接点少，传输的图象质量和可靠性高，当某一部分线路发生故障时，其他支线上的用户不受影响；双向传输容易实现。其缺点是在相同方向传输时，多用了一些光纤。但在光纤价格已很低的今天，稍微多用一些光纤而换来许多好处是值得的。

6. 光缆路由的选择

根据各片区光节点的位置确定每条光缆线路的路由。选择光缆路由的原则是:

- (1) 应选择使用光缆为最短的路由;
- (2) 根据地理、杆路或管道的实际情况, 应选择易于施工并节省投资的路由;
- (3) 尽可能利用原有的广播信号杆路或管道, 以减少投资;
- (4) 尽量减少在野外的光缆接头;
- (5) 通向不同方向的光缆, 尽量在局部地方走同一路由, 争取多纤共缆, 以节约投资。

7. 光缆纤芯数量的确定

在每个光节点, 光缆纤芯数量视对光纤网的具体要求而定。对于只限于传送下行有线电视信号的光纤网, 只要两芯即可, 一芯传下行信号, 一芯备用。如果考虑到今后的发展, 可再增加一芯。对于有回传的光节点, 一芯传下行信号, 一芯传上行信号, 两芯备用。对于管道敷设的光缆, 可适当多留 2~4 芯。对于架空敷设的光缆, 不必过多留备用光纤。过多地安排芯数, 会造成光纤闲置, 资金浪费。

8. 光路损耗的计算

光链路的性能与光路损耗密切相关。因此, 在进行光纤传输系统的设计时应精确计算光路损耗。光路损耗包括: 光纤损耗、光分路器损耗、光连接器损耗和光纤熔接损耗。考虑到日后系统的老化及维护, 还应留有余量。一般说来, 每条光纤线路的损耗与系统余量之和应小于或等于光发射机允许的光路损耗, 即:

允许的光路损耗 \geq 光纤损耗 + 光分路器损耗 + 光连接器损耗 + 光纤熔接损耗 + 系统余量

其中: 光纤损耗, 在 $1.31 \mu\text{m}$ 为 0.4dB/km (含熔接损耗), 在 $1.55 \mu\text{m}$ 为 0.25dB/km (含熔接损耗);

光连接器损耗, 每个在 0.25dB 至 0.5dB 之间;

光分路器损耗, 包括分支损耗和附加损耗;

系统余量, 一般取为 $0.5\sim 1\text{dB}$ 。

9. 光分路器分支比的计算

在有线电视光纤传输系统的设计中，光分路器分支比是一个重要的参数，分支比的合理与否将直接影响到系统的性能和造价。

光分路器的分支比有多种计算方法，下面介绍其中的一种。

如图 1 所示，设 AM-VSB 光纤传输系统包含一台光发射机，欲覆盖 N 个片区，即要光链路分成 N 条支路，每条支路的光纤长度为 L(km)；每 km 光纤的损耗为 $\alpha(\text{dB/km})$ 。暂不考虑光分路器的附加损耗，仅考虑分支损耗。根据光纤损耗的定义，每台光接收机接收的光功率为：

$$P_{R1} = P_1 10^{-\alpha L_1 / 10}$$

$$P_{R2} = P_2 10^{-\alpha L_2 / 10}$$

•

•

•

$$P_{RN} = P_N 10^{-\alpha L_N / 10}$$

式中 $P_1、P_2 \cdots P_N$ 为光分路器各支路注入的光功率，而 $P_1 + P_2 \cdots + P_N = P_T$ 为光发射机出纤光功率。按照分支比的定义，各支路的分支比为

$$K_1 = \frac{P_1}{P_T}$$

$$K_2 = \frac{P_2}{P_T}$$

$$K_N = \frac{P_N}{P_T}$$

在 AM-VSB 光纤传输系统的设计中，一般在各光节点处选用同一型号的光接收机，且要求 C/N 取相同值。据此可令

$$P_{R1} = P_{R2} = \cdots = P_{RN}$$

将 $P_1、P_2 \cdots P_N$ 的表示式分别代入 $K_1、K_2 \cdots K_N$ 的表示式中，则得到

$$K_1 = \frac{10^{\alpha L_1 / 10}}{\sum_1^N 10^{\alpha L_i / 10}}$$

$$K_2 = \frac{10^{\alpha L_2 / 10}}{\sum_1^N 10^{\alpha L_i / 10}}$$

•
•
•

$$K_N = \frac{10^{\alpha L_N / 10}}{\sum_1^N 10^{\alpha L_i / 10}}$$

如果活动接头的连接损耗取 0.25dB/个，则各相应支路的光路损耗分别为

$$L_1 = -10 \lg K_1 + \alpha L_1 + 0.5$$

$$L_2 = -10 \lg K_2 + \alpha L_2 + 0.5$$

•
•
•

$$L_N = -10 \lg K_N + \alpha L_N + 0.5$$

在实际情况下，由于光分路器还存在着附加损耗，所以各支路的实际光路损耗要比以上各式计算结果大些。在设计中留有 1dB 的系统余量已能满足实际需要。

10. 光端机选型

为了方便设计，光端机生产厂家一般都为用户提供光接收机接收的光功率与 C/N 的关系曲线或光路损耗与 C/N 的对应关系。图 2 示出了某种型号的光接收机接收的光功率与 C/N 的关系曲线。表 2 列出了另一型号光端机的光链路损耗和 C/N 的对应关系。这样，根据对系统指标 C/N、CSO 和 CTB 的要求，计算得到的

光接收机接收的光功率及光路总损耗值，便可决定所需要的光发射机输出光功率数值及光端机的具体型号。

这里应该指出的是，近年来，我国已有数家光端机生产厂家利用进口的 DFB 激光器组件(含预失真电路)和 PIN 光电二极管组件批量生产光端机。这些光端机的主要性能指标都已达到国外同类产品的最好水平。由于国内劳动成本低，再加上省去了整机进口关税，所以国产光端机的价格要比进口光端机低得多。此外，售后应急维修也快捷得多。从许多地区使用国产光端机的情况来看，国产光端机的指标先进，故障率低，可靠性高。进口光端机的优势在于光端机多由功能插件组成，增加功能时灵活方便。

11. 光缆敷设方式的选择

光缆的敷设方式在本刊上期已作专题介绍，总之，条件允许时以管道敷设或直埋敷设方式为宜。由于条件所限而采用架空敷设方式时，对电杆的强度，特别是角杆应进行核算。气温低于 -30°C 、超重负荷区(如冰凌等效厚度达 20mm)和常遭台风袭击的地区不宜采用架空方式。

二 工程概算

对于有线电视光纤网络来说，片区划定后，光接收机的数量也就随之确定。在光缆路由和每个光节点的纤芯数量确定以后，按照多纤共缆的原则便可确定每段光缆的长度和芯数，再加上按规定必须留足的各种余留，就得到实际需要的光缆长度。由光节点数和接续点数可确定所需终端盒和接续盒的数量和规格。根据所计算的光路损耗值或光接收机接收的光功率值，按照对光纤传输系统的 C/N、CSO 和 CTB 等指标的要求，可确定光发射机的发射光功率的大小和具体型号。在向有关厂商询价后，就可得到这些器材的总造价。再加上其他费用(包括设计费、施工费、安装调试费、工程管理费、运输费等)就得到待建的光纤网(不包括前端设备和分配网)的总造价。光纤网的总造价表见表 3。

上述合计金额再加上前端设备和分配网的造价就得到有线电视 HFC 网的总造价。由于对整个光纤传输系统进行了全面、周密的考虑，所以上述估算与实际非常接近。

(全文完)