

ZAIBO TONGXIN YUANLI

载波通信原理

北方交通大学 黄明光 主编

中国铁道出版社

4599

77

73.459.2
577

载 波 通 信 原 理

北方交通大学 黄明光 主编

中 国 铁 道 出 版 社

1985年·北京

8610746

1

载波通信原理

北方交通大学 黄明光 主编

中国铁道出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 24.5 字数: 599 千
1985年10月 第1版 1985年12月 第2次印刷
印数: 8,001—11,000 册 定价: 3.80 元

0022/29

内 容 简 介

本书是根据铁路高等院校通信专业《载波通信原理》编写大纲要求而编写的。全书共分十四章，内容包括绪论、基本原理、差动系统、振铃系统、变频系统、载频供给系统、可变均衡器、自动电平调节系统、压缩扩展系统、监测系统、远供及遥测系统、300路载波系统、杂音计算和质量指标。

本书为通信专业试用教材，也可供从事载波通信工作人员和科研人员参考。

本书第一章、第八章的第六及七节、第十三和第十四章由北方交通大学黄明光编写，第六、第七和第十二章由上海铁道学院张其厚编写，第四章、第八章的一至五节和第九章由兰州铁道学院周志奕编写，第五章和第十一章由北方交通大学杜国信编写，第二、第三和第十章由北方交通大学崔静轩编写。

本书由黄明光主编，上海铁道学院刘新翰主审。

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 通信分类	1
第二节 载波通信的应用	4
第三节 载波机的发展简史	4
第四节 现代载波机的水平	6
第五节 频分制与时分制特点	6
第六节 长途通信中的主要问题	7
第七节 挖潜革新	8
第八节 载波通信的发展趋势	10
第二章 基本原理	12
第一节 频率复用	12
第二节 传输制式	16
第三节 频率复用多路通信的组成	19
第三章 差动系统	31
第一节 功用及要求	31
第二节 变压器式差动系统	32
第三节 多变压器式汇集差动系统	43
第四章 振铃系统	46
第一节 功用及要求	46
第二节 振铃原理及频率选择	47
第三节 BZ-12型载波机振铃系统	51
第五章 变频系统	54
第一节 功用及要求	54
第二节 二极管格型变频器	55
第三节 无源三极管变频器	65
第四节 有源三极管变频器	69
第五节 变频产物分布及群变频	79
第六章 载频供给系统	84
第一节 功用及要求	84
第二节 组成方式	86
第三节 磁饱和谐波发生器	96
第四节 锁相技术在载供系统中的应用	107
第七章 可变均衡器	116
第一节 功用及种类	116
第二节 特性分析	119
第八章 自动电平调节系统	144

第一节	功用及要求	144
第二节	工作原理	148
第三节	热电式控制电路	152
第四节	数字式调节系统	162
第五节	静态特性的分析及扩张电路的计算	173
第六节	瞬态特性的分析	178
第七节	小同轴300路自动电平调节的范围	200
第九章	压缩扩展系统	205
第一节	功用及要求	205
第二节	工作原理	213
第十章	监测系统	228
第一节	功用与要求	228
第二节	工作原理	232
第十一章	远供及遥测系统	243
第一节	远供系统	243
第二节	遥测系统	252
第十二章	300路载波系统	256
第一节	概述	256
第二节	终端设备	259
第三节	线路设备	263
第四节	分支设备	268
第十三章	杂音计算	271
第一节	概述	271
第二节	杂音种类及定额	271
第三节	干扰杂音	282
第四节	制际串杂音	291
第五节	滤波器杂音	304
第六节	热杂音	306
第七节	非线性杂音	313
第八节	预斜发送	325
第九节	忙时串杂音	334
第十节	干线均衡	339
第十四章	质量指标	349
第一节	净衰耗	349
第二节	载频同步	353
第三节	振幅特性	364
第四节	频率特性	366
第五节	稳定度	371
第六节	可懂串音防卫度	380
第七节	振铃边际	381
第八节	收发防卫度	382
第九节	忙时串杂音	383
第十节	工频干扰防卫度	385

第一章 绪 论

本章先讨论通信的分类,了解载波通信在整个通信中所占有的位置,进而了解载波通信应在什么地方使用较为合理。此外,对载波通信的历史;载波通信现代的国内外水平;频分制载波通信及时分制载波通信的特点;长途通信现在存在的问题及发展的趋势等,也作一简要介绍,希望对载波通信有一个概括的了解和整体的概念。

第一节 通信分类

现代电通信的种类相当多,主要有电话、电报、传真、数传、电视及数据通信等。以电话来说,又可分为音频电话、无线电话和载波电话。载波电话由于分类方法不同,又可分为很多不同种类。以构造来区分,可分为频分制载波通信及时分制载波通信。

频分制载波通信亦叫模拟通信,它以各路在外线传输占用不同的频谱,互不干扰,故名频分制载波通信。由于它传输的各路音频信号是模拟人说话的电信号,故亦叫模拟通信。这种载波通信发明较早,技术比较成熟,长途通信应用它既经济,质量也符合要求,故现仍大量使用。

时分制载波通信亦叫数字通信,它以各路在外线传输占用不同的时间,故名时分制载波通信。由于它传输的各路音频信号,经过量化编码变成数码传输,故亦叫数字通信。时分制载波机发明较晚,增音机除放大信号以外,还要将数码再生,且每路占用频带较宽,因而线路设备比频分制载波设备造价高。在长途通信中,目前很少使用。如果光缆将来用于长途通信,则时分制通信成本高的问题将可解决。时分制载波通信就其调制方式而言,现在应用较多的为脉码调制(PCM)及增量调制(ΔM)等,基础群有30路群及24路群两种。

频分制载波通信,以其传输媒介来区分,可分为下列几种。

1. 明线载波通信

明线载波通信是长途通信中最早使用的载波电话。我国明线载波通信现在仍占用相当大的比重。明线载波机分3路、12路及高12路三种。频率在3kHz以下为音频通路,4~30kHz为3路,36~150kHz为12路,150kHz以上为高12路。

明线载波通信以3路及12路用得较多,高12路甚少使用。一般明线设计交叉时,以开通12路为目标。这样,在开高12路时就需要选择交叉效果较好、无吸收现象的线对,不是任意线对都能开高12路。由于开高12路时,增音站也设在12路的增音站,不再加密,这样杂音增加较多,于是需加装压缩扩张器,在还原时,难免带来一些失真。此外,明线杂音较大,保密性差,受自然灾害影响较大,且通信容量远不如电缆,故采用高12路仍有一定的局限性。如在长距离的情况下,需要增加大量通路,则应使用电缆载波通信。

明线载波基线为线径约3mm的铜线。外线成本占主要部分,明线载波采用双带二线传输,既降低成本,质量也较好。如采用单带四线传输,由于线对间近端串音严重,质量既差,成本又高,故明线载波全采用双带二线式传输。

我国各系统采用高12路的不多, 铁路系统目前正在试验研制中。

2. 对称电缆载波通信

对称电缆载波通信是为了改善明线载波通信容量小, 杂音大, 保密差, 受自然灾害影响大等缺点而发展起来的。现在国外使用的对称电缆载波机主要有60、120及480路等。我国邮电系统有60路, 铁路系统有3+12路, 亦即明线的3路及12路频谱在对称电缆中传输, 这样便于对称电缆载波与明线的转接。当然, 也存在一些缺点, 诸如外线传输频谱对制造要求比较严格; 对称电缆10kHz附近衰减频率特性弯曲, 使均衡较为困难; 采用双带二线制, 未能充分发挥电缆的优点; 以及叠加多路载波不大方便等。

我国邮电系统的对称电缆载波通信, 大都采用单带四线制。这样, 频率可降低; 外线衰减减小; 增音机简单, 不用方向滤波器; 成本可以降低。

一般对称电缆载波机的外线频谱约在12kHz以上, 主要是为了避开10kHz衰减频率特性弯曲, 即避开衰减变化较大、均衡调节困难、且阻抗特性也不好的频段。铁路3+12路系统这问题是存在的, 但只影响次要的3路载波, 也可把它作较近距离使用。且工厂也在改善中。

3. 小同轴电缆载波通信

小同轴电缆载波机国外现用的有300、960、2700及3600路, 其增音区间长度分别为8、4及2 km, 其中2700路与3600路同为2 km一增音段。3600路设备是2700路设备改进后的新产品, 1978年荷兰飞利浦公司研制成功使用。

小同轴电缆的同轴管尺寸为1.2/4.4, 即内导体直径为1.2 mm, 外导体的内径为4.4 mm, 阻抗为75 Ω , 一般由60 kHz开始使用。低于60 kHz时, 因同轴导线的集肤效应及邻近效应不显著, 外导线的屏蔽作用较差, 受外界干扰较大, 故不宜使用。

小同轴电缆载波通信大多采用单带四线制。300路外线传输的最高频率为1.3 MHz, 960路为4 MHz, 2700路为12 MHz, 3600路为18 MHz。

我国铁路等单位已比较普遍应用小同轴300路, 不久即将使用960路。为了经济合理, 邮电系统也开始采用小同轴电缆载波通信, 由300路开始使用。

我国铁路小同轴300路载波机有电气化铁道区间和非电气化铁道区间使用的两种类型。它们可在有人机分出第一超群(60路群)或第一、二超群(120路), 使通信网运用比较灵活。

小同轴电缆载波增音机, 分有人增音机和无人增音机两类。无人增音机的电源, 由邻近的有人增音机供给, 称远程供电, 简称远供。远供以用直流供电较多。为了便于有人增音机检查无人增音机的障碍, 各无人机可发出不同的频率, 供有人机测量, 以判断障碍位置, 这种遥远测量系统简称遥测。远供和遥测是明线载波机所没有的, 它专用于电缆载波。

4. 中同轴电缆载波通信

中同轴电缆同轴管的尺寸为2.6/9.5, 即内导体直径为2.6 mm, 外导体的内径为9.5 mm, 阻抗也为75 Ω , 现在国外应用的载波机主要有600、1860、2700、3600、10800及13200路等。根据无人增音段的长度, 中同轴载波机可分为三个系列, 如表1—1、表1—2及表1—3所列。

由中同轴载波机系列1~3可见, 系列1及2比较接近。系列1与2还有一个共同点, 即每当载波机路数增加时, 无人段长度都是除以2, 亦即在两个无人段中间增加一个无人站, 使原有一个无人段分成两个无人段。系列3则不同, 当载波机通路增加时, 无人段长度用3

除，亦即由2700路直接跳至10800路。系列2和3虽然最终到10800路时无人段长度相同，但系列2是按6、3、1.5km演变的，系列3是按4.5、1.5km演变的。

中同轴载波机系列1

(美国L系列)

表 1—1

载波路数	600	1800	3600	10800	13200
系列名称	L-1	L-3	L-4	L-5	L-5E
无人段长度 (km)	12.272	6.436	3.218	1.609	1.609
始用年份	1941	1953	1967	1974	1978

中同轴载波机系列2

表 1—2

载波路数	1800	3600	10800
无人段长度 (km)	6	3	1.5

中同轴载波机系列3

表 1—3

载波路数	2700 (3600)	10800	
无人段长度 (km)	4.5	1.5	

系列3括号内的3600路，是指1978年荷兰飞利浦公司经改进了的2700路。它既可用于小同轴电缆，也可用于中同轴电缆，它与系列1及2中的3600路不同。亦即系列1及2的3600路为普通型的。系列3中的3600为新的改进型的，应特别注意，不要混淆。

我国邮电系统使用的中同轴1800路，其无人段长度为6 km，它属于中同轴载波系列2的，将来载波机路数增加时，无人段长度将按6、3、1.5km演变。

5. 海底电缆载波通信

海底电缆载波通信的特点是要求无人增音段的距离较长，一般都在十多公里以上。无人增音机是有源部件，容易发生故障，且供电也较困难，故要求少用无人机。因而，海缆大多采用大同轴电缆，同轴管的尺寸为8.4/38.1。为了节约频谱，多开话路，也可采用窄带载波（音频为0.3~2.7kHz）。

美国利用TAT-6型海缆，在1976年开通SG型海缆载波机，其最高频率达28MHz，其通路数为4000，是目前海缆载波机路数较多，比较先进的。

我国与日本合建的中日海缆载波通信，使用的是CS-5M型载波机，传输频宽为5MHz，双带二线制，其通路数为480/640，通路频宽为4/3kHz，亦即作窄带载波使用时（3kHz），通路数为640，作宽带载波使用时（4kHz），通路数为480（现用方式）。电缆外径为25.4 mm，特性阻抗为44Ω。增音段长度为13.65km。增音机的阻抗60Ω，经变量器与44Ω海缆配合。最大水深为8000m，最大通信距离为3000km。

6. 微波通信

微波通信是载波的外线传输频谱经很高的频率调制（一般是调频）后，在天空定向发射。微波是直线传输，在地球的曲面上，约50km即需加设中继站（增音机）。微波亦可经同步卫星传至世界各地。我国已可将微波通信经印度洋同步卫星传至西亚和欧非等地，或经太平洋同步卫星传至美洲和澳洲。

微波传输的路数，主要决定于微波频率的高低，即频率越高，传输的通路越多，但技术越复杂。现在微波传输的通路，为24路至1000多路，常用的有960路，它亦可作为一个彩色电视的通道。

7. 高压线载波通信

高压线载波通信是在50Hz电力高压线上传输的。由于其频率较高，可用简单的LC滤波器将载波信号和50Hz电源混合传输，在对方接收端再分出载波信号。高压线载波一般只有

几路, 采用单路叠加方式, 可供电力调度使用。国际规定的频带为 $35\sim 500\text{kHz}$, 一般用任意一相与大地作传输线, 发送电平为 $+34.7\text{dB}(+4\text{N})$ 。

第二节 载波通信的应用

载波通信主要应用于长途通信, 因此, 本课程亦叫做长途通信。

长途通信为什么以载波通信为主? 这是由于长途通信的通信距离远, 传输衰耗大, 若用音频通路(有线或无线)作为长途通信有以下问题: 1. 话路少; 2. 成本高。而载波通信就不存在这些问题。因此, 自载波机发明以后, 长途通信即以载波通信为主。

长途通信除了电话以外, 还有电报、传真、广播、数传、电视及数据通信等。一般长途通信先开通话路, 其他通信可在一个话路或若干个话路甚至上千个话路中传输, 这叫话路的二次复用。例如在一个话路中可传输十几路电报(即在 $0.3\sim 3.4\text{kHz}$ 话路开放16路75波特双工调频电报, 在 $0.3\sim 2.7\text{kHz}$ 话路开放12路双工调频电报)。在一个或若干话路传输数传或传真, 3个话路传输广播, 1000个话路传输一个电视。在不进行复用时, 又可作电话通信, 这样通路运用比较灵活。远洋通信为了降低成本, 各国已开始使用卫星通信。

长途通信还可采用时间插空装置TASI。长途通信的时间插空装置是利用电子计算机控制的。甲、乙二人进行通话不固定于某一通路, 某路瞬间有空, 即接至该路, 这样就可提高通路的利用率(讲话实占时间约为占用电路时间的37%)。时间插空装置国外已有采用。

采用TASI-B型时间插空装置, 可将96路载波机提高到相当于274个话路, 即提高载波话路2.85倍。在远洋及卫星通信中, 增加通路成本是较高的, 只要两端加装时间插空装置, 即可扩展话路为原有的2.85倍。由于时间插空装置比较复杂, 成本较高, 所以短途及陆路载波通信不宜采用。

第三节 载波机的发展简史

载波机分为频分制及时分制两大类。现将这两类载波机的简史分述如下:

一、频分制载波机

第一对频分3路载波机是在1918年制成并开始使用的, 当时用的是明线传输。它用作长途通信, 既经济且又大量增加通路。随着传输线由明线发展为对称及同轴电缆, 载波通信的传输通路增多了。而且, 采用同轴电缆载波, 其传输质量远比明线及对称电缆载波好。因此, 直至现在, 大城市间的长途通信, 仍主要由同轴电缆载波组成。故频分制载波机的发展简史, 可以中同轴(标准同轴)载波机的发展简史为代表。

频分制中同轴载波机以美国L系统的机型较多, 其发展史的特点较明显, 见表1—4。

约在1960年, 载波机由电子管转入晶体管时代, 对无人增音机的小型化以及降低远供电源的电压及电流都是有利的。此外, 在这个时期, 载波技术有显著的提高, 结果6436km的杂音定额由 25119pW 降至 10000pW 。

由表1—4也可看出, 1974年至1978年间, 载波技术又有较大突破, 即在载波机增音区不变, 仍保持原有 1.609km 的条件下, 话路数由原来的10800路增至13200路, 即通路增加了

22%，而杂音定额仍保持不变。在增音区不缩短，杂音定额又不增加的条件下，能显著增加通路的，这还是第一次。这是载波采用新技术，诸如电子计算机，最优化设计等所取得的成果。

频分制中同轴载波机发展简史（美国L系统）

表 1—4

始 用 年 份	1941	1953	1967	1974	1978
型 号	L-1	L-3	L-4	L-5	L 5 E
路 数	600	1860	3600	10800	13200
管 子	电子管	电子管	晶体管	晶体管	晶体管
增音区 (km)	12.872	6.436	3.218	1.609	1.609
杂音定额 (pW) (6436 km)	25119	25119	10000	10000	10000

二、时分制载波机简史

时分制载波机包括脉码调制 (PCM) 及增量调制 (ΔM) 等，其中以脉码调制应用较为普遍。因此，时分制载波机的简史，可以脉码调制的简史为代表。

脉码调制的简史如表 1—5 所示。由表可见，PCM 的理论在 30 年代已经建立，但当时还没有工作速度很快的开关门电路，故尚未制成 PCM。60 年代晶体管集成电路产生以后，PCM 才开始在市话中继线使用 (24 路和 30 路)，以后即迅速发展，由市话中继线扩展到中同轴电缆 (几千路)，目前通路最多的为日本的 PCM-400M，它用于中同轴电缆，话路为 5760 路，增音区的长度与模拟载波 C-60M (10800 路) 的相同，为 1.5km。

脉 码 调 制 的 简 史

表 1—5

年 代	发 展	年 代	发 展
1937	发明 PCM 原理	1972	美国 T 2 (96路) 使用
1962	美国 T 1 (24路) 使用	1974	日本 PCM-400M (5760路) 现场实验
1965	日本 PCM-24 使用		英国 PCM-30 使用
1967	英国 PCM-24 使用	1975	日本 PCM-100M (1440路) 使用
1968	日本 PCM-100M (1440路) 研究		美国 T 4 M (4032路) 使用 (A.T.T.)
1970	法、意 PCM-30 使用	1977	加拿大 LD 4 (4032路) 使用
1971	日本 PCM-100M (1440路) 现场实验		日本 PCM-400M (5760路) 使用
1972	日本 PCM-400M (5760路) 研制		

由以上可见，用中同轴电缆，1.5km 作为一个增音区，开通模拟载波机 C-60M 得 10800 路，如开通模拟载波机 L5E 则得 13200 路，亦即数字通路只有模拟通路的一半左右，这是目前数字通信存在的比较主要问题。数字载波机虽然质量比模拟载波机好些，但目前每通路成本较模拟的高。就国外对数字通信技术已比较成熟，元部件的质量较好的情况而言，长途通信采用模拟与采用数字通信 (以 PCM 为例) 相比较，每话路的成本之比，约为 1 比 2，如技术不成熟，则数字通信的成本更高。

第四节 现代载波机的水平

目前载波通信最高水平，亦即一对载波机通话路数最多、且通信质量达到要求的，综合如表 1—6 所示。

载波通信最高水平

表 1—6

种 类	项 目 内 容	型 号	路 数	增音区 (km)	最高频率	国 名	年 份
模 拟 (频分制)	中同轴电缆	L 5 E	13200	1.609	65MHz	美国	1978
	小同轴电缆	8TR-360	3600	2	18.5MHz	荷兰	1978
	大同轴电缆 (海缆)	SG	4000		28MHz	美国	1976
PCM (时分制)	中同轴电缆	PCM-400M	5760	1.5	400Mb/s	日本	1977

表 1—6 中的 L5E 型不单是通路多，还表现它的技术水平高。本来世界各国在增音区 1.5km 只开通 10800 话路，美国在 1974 年也只在增音段 1.609km (1 英里) 开通 10800 话路，而它采用新技术 (电子计算机辅助及最优化设计)，将 L-5 型 10800 路改进为 L5E 后，增音区仍为 1.609km (1 英里)，通路却增至 13200 路，即通路增加 22%，而且通路杂音比 10800 路的 L-5 型还能减少一些。一般来讲，通路显著增加，增音区就要缩短，杂音必然大量增加。现在能做到突破常规，不能不说，这项技术革新是相当成功的。

此外，荷兰飞利浦公司的 8TR-360 型 3600 路也有类似情况。它是 2700 路经过改造于 1978 年制成的新产品。它用于小同轴电缆时，其增音段仍保持 2km，通路数增加 33%。杂音亦完全符合 CCITT (国际电报电话咨询委员会) 的建议。用于中同轴电缆时，其增音段也仍保持 4.5km，杂音也完全符合 CCITT 的建议。

总之，8TR-360 型 3600 路增音段保持 2700 路的，且杂音符合国际建议，可用于小同轴 (通路最多的) 或中同轴电缆，通路增加 33%，是增加通路数最高的 (比 L5E 型增加 22% 为高)。它反映了现代载波机的先进水平。

第五节 频分制与时分制特点

频分制及时分制载波机，各有其特点，如表 1—7 所示。由表可见，频分制的优点为时分制的缺点；反之，频分制的缺点又为时分制的优点。

评定载波机的优缺点，主要是看它的质量是否良好，费用是否合理便宜。现将质量和经济指标分述如下。

一、质 量

端机的杂音，频分制每对约为 500pW，时分制每对约 1000pW。增音机杂音，由于频分制是累积的，时分制虽有误码率的累积，但很小，故增音机杂音时分制较频分制的小。

由表 1—7 看出，时分制和频分制各有优缺点，但从总的质量来看，时分制比频分制好。

频分制与时分制载波机比较

表 1—7

顺 号	内 容 制 别	频 分 制 (模拟通信)	时 分 制 (数字通信)	结 论
1	抗干扰	较 差	较 强	时分制较佳
2	传输数据	较 差	较 好	
3	保 密	较 差	较 好	
4	每路频带	较 窄	较 宽	频分制较佳
5	端机杂音	较小 (每对约500pW)	较大 (每对约1000pW)	
6	增音段 (同样路数)	较 长	较 短	
7	各路传输	频带不同	时间不同	各具特点
8	最高路数	13200	5760	
9	应用范围	长途通信	短途通信	
10	技术现况	较成熟	不大成熟	
11	造价 (同样距离及路数)	终端设备较贵线路设备较便宜	终端设备较便宜线路设备较贵	
12	改进方向	线性好	速度快	

二、经 济

由于频分制载波端机设有许多种类不同、价值较贵的滤波器,故频分制的载波端机较时分制的成本高。增音机则频分制较时分制便宜。这是因为频分制增音机主要为放大部分,而时分制增音机除了有放大部分以外,还设有再生信号部分,且同样路数占用频谱较宽、增音段较短,故时分制的线路设备成本较高,通信距离长时更为显著。

频分制载波机每路外线占用频带较窄,而时分制占用的较宽,故当频分制和时分制在路数相同时,频分制的增音机较疏,时分制的增音机较密。如增音段长度相同,则频分制的开通话路较多,时分制的开通话路较少。以增音段长度为1.5km (中同轴电缆)为例,频分制的可开通13200路 (L5E型),时分制只能开通5760路 (PCM-400M型)。故从通话路数多少来看,频分制比时分制较为经济。

由此看来,每通路的成本,频分制较为经济,通信距离越长,频分制越经济。

但时分制质量较频分制好,是发展方向。

因此,短距离用时分制。尤其是市话中继线,拨号脉冲谐波干扰严重,宜采用时分制。当通信距离较长时,目前以采用频分制载波通信比较经济合理,所以,世界各国长途通信仍然采用频分制,挖潜革新,继续发展。

第六节 长途通信中的主要问题

长途通信中现存的主要问题是:第一,关于长途通信质量与经济的矛盾,即时分制质量好,但造价昂贵;频分制经济些,但质量不如时分制好;国外的情况如何?我国应如何处理?都应该考虑。第二,关于长途通信应用频分制载波机的问题。在理论上光缆可开通几亿

话路。由此，而放慢对同轴频分制载波通信的研究，以等待长途通信由光缆取代同轴电缆，还是应积极对同轴载波通信设备（频分制）挖潜革新，采用新技术，提高质量，降低成本，以改进由频分制同轴电缆为主的长途通信。这个问题在美国贝耳（Bell）的中同轴电缆L系统可以说明。美国建立频分制同轴载波最早，技术领先，中期消极等待光缆，改进较慢，后期由于认识到光缆非短期内能用于长途通信，于是又积极研制频分制中同轴电缆载波机，目前又处于世界领先地位。

脉码调制（PCM）及增量调制（ ΔM ）等时分制载波机，公认质量较频分制载波机好，是发展方向。

究竟多少公里以上采用频分制，多少公里以下采用时分制，决定于很多因素，诸如元件成本的高低，技术高低，工时多少，工资高低等。不同国家，不同工厂，其成本的高低也不相同，故采用频分制或时分制的长度分界线，很难规定。根据美国贝耳公司及日本一些专家认为，300~600km以下用时分制较经济，800km以上用频分制较经济。

此外，还有这样一个情况可供参考：中同轴电缆1.5km，设一个增音段，如采用日本PCM-400M型时分制载波设备，可开通5760话路；采用日本C-60M型频分制载波设备，可开通10800话路；采用美国L5E型频分制载波设备，则可开通13200话路。话路的比例约为1:2。

根据我国数字通信的技术、元件及工艺水平，模拟通信与数字通信的造价之比可能按国外的1:2比例要高些；在决定采用模拟还是数字通信时，应慎重考虑。

第七节 挖 潜 革 新

目前世界各国的各种载波机都在挖潜革新，也取得了不同程度的成果，其中技术难度比较大并经过实用考验，证明成果比较显著的，有美国L5E型载波机及荷兰8TR-360型载波机。现分述如下：

一、L5E型中同轴电缆频分制载波机

（一）特 点

L5E型为美国贝耳公司产品，1976年试验，1978年使用，通路为13200路，增音段长度为1.609km（1英里），通路增加22%，杂音比10800路的还略有改进。它是目前世界上容量最大的中同轴电缆频分制载波机。

（二）措 施

1. 合理安排外线频谱

L-5型10800路载波机的外线频谱为3124~60556kHz。L5E型13200路载波机将L-5型的主群间隔压缩，并提高上限频率，其外线频谱为3252~64844kHz，每路的话音频谱仍为0.3~3.4kHz，但每话路在外线占用的频宽缩小，外线最高频率没有依通路比例升高，且外线最高频与最低频的比值几乎不变，这样的外线频谱是非常合理的。现分析如下：

设 Δf_{L-5} 为L-5型每路占用外线的频宽， Δf_{L5E} 为L5E型每路占用外线的频宽，则

$$\Delta f_{L-5} = \frac{60556 - 3124}{10800} = 5.318 \text{ kHz}$$

$$\Delta f_{L5E} = \frac{64844 - 3252}{13200} = 4.666 \text{ kHz}$$

设 δ 为L-5型每路占用外线频宽压缩的百分比, 则

$$\delta = \frac{\Delta f_{L-5} - \Delta f_{L5E}}{\Delta f_{L-5}} = \frac{5.318 - 4.666}{5.318} = 12.26\%$$

设 f_n 为L5E型依L-5型通路数比例来计算的外线最高传输频率, 则应为:

$$\frac{f_n - 3124}{60556 - 3124} = \frac{132000}{10800}$$

解出 f_n 为

$$f_n = 73319 \text{ kHz}$$

但L5E型实际外线最高频率只64844kHz, 频率较低, 衰耗较小, 比较有利。

设 Q_{L-5} 及 Q_{L5E} 为L-5型及L5E型外线最高与最低频率的比值, 则

$$Q_{L-5} = \frac{60556}{3124} = 19.4$$

$$Q_{L5E} = \frac{64844}{3252} = 19.9$$

由以上可见, L5E型与L-5型外线最高频与最低频之比几乎相同, 设计制造放大器时, 最高工作频率越低, 且最高最低频率之比越小, 则越容易实现, L5E型增加22%通路, 但高低频的比值仍几乎不增加, 这也表明L5E型的外线频谱安排非常合理。

如果依L-5型的方法安排频率, 通路增加依比例往上升高频率, 则13200路的外线最高与最低频率的比值 Q 为

$$Q = \frac{73319}{3124} = 23.47$$

由以上可见, 本来13200路依比例安排外线频谱, 最高最低频之比应为23.47, 由于压缩频带, 合理安排, 结果 $Q_{L5E} = 19.9$, 给设计制造带来方便。

2. 设计最佳滤波器和均衡网络

上面讨论的将外线频谱压缩, 充分利用频谱, 多开些话路, 对设计制造放大器也很有利, 但这样对滤波器的要求更为严格。

为了满足电气指标的要求, L5E型使用电子计算机模拟求出最佳滤波器和均衡网络。

此外, 还对原L-5系统进行实测, 在一个有人段中有三个 E_1 均衡器, 而L5E系统只保留发送的和接收的有人站 E_1 均衡器, 其他 E_1 均衡器, 亦即安装在有人段中人孔里的 E_1 均衡器完全取消。同时转接段中将L-5系统中四个 E_2 均衡器也减少两个。L5E系统这样不但简化原有电路, 而且还减少大约1.1dB热杂音。

3. 改进导频调节系统

经过对L-5系统长期使用观察, 发现该系统导频调节器可以减少。从测量中发现万路载波外线频谱, 高频段随温度变化最严重, 低频段次之, 中间频带变化很少(温度变化 $\pm 20^\circ\text{C}$ 时衰耗变化只 $\pm 0.2\text{dB}$)。因此, L5E系统只设计低频调节器及高频调节器两种, 在沿线有人站交替使用, 结果改善了L5E系统的衰耗频率特性, 使系统更加稳定可靠。

4. 加装反相网络

在L5E系统中, 设计一个新型的 180° 相移网络, 安装于供电段的中间增音机和有人增音

机上, 结果减少非线性杂音约1.0dB。

5. 设计最佳传输电平

由于L5E与L-5系统有许多条件不同, 故传输电平必须重新设计, 求出最佳传输电平(比L-5系统的电平降低约1.5dB)。

由L-5系统扩展至L5E系统时, 用电子计算机模拟增音系统, 预计系统的总杂音要恶化2.4dB左右。L5E系统采用上述措施以后, 使总杂音减少了2.5dB。

因此, 在挖潜革新方面, L5E系统取得较大的成果。

二、8TR-360型同轴电缆频分制载波机

(一) 特点

8TR-360系统是荷兰飞利浦公司于1978年研制成功的。它将原小同轴及中同轴电缆的2700路改造为3600路, 通路增加33%, 且通信质量完全符合CCITT的建议, 但增音段长度仍保持原2700的长度, 亦即中同轴电缆为4.5km, 小同轴电缆为2km。

本系统增加通路的百分数达33%, 且小同轴及中同轴电缆皆可使用, 故也是挖潜革新的较大成果。

(二) 措施

1. 改善线放级

在线路放大器前级放大级中选用杂音指数较小的晶体管, 以减小热杂音。

加大线放的负反馈深度, 使其达30dB, 改善增音机线放的非线性, 以降低增音机的非线性杂音, 使每公里非线性杂音为0.4pW。

线放末级晶体管的不失真电平(过负荷电平)由原来的20dB提高至23dB, 减少过负荷的概率。

2. 改善预斜

将原2700路曲线预斜中预斜度10dB提高至15dB, 改善了系统的信杂比。

3. 采用新技术

均衡系统采用预均衡, 预先调节, 以减少电平的偏差, 改善系统的杂音, 并减少过负荷概率。实验证明, 本系统在280km电平偏差可降至 ± 0.5 dB以内。

自动电平调节系统采用预先调节和远程集中控制方式, 使电平偏差较小, 杂音降低, 并提高系统的可靠性和稳定性。

此外, 本系统在雷击保护、电缆故障定位、抑制50Hz工频干扰及工艺结构等方面都各有特点。

由以上可见, L5E及8TR-360系统都是增音区不缩短, 质量不降低, 而通路显著增加, 这说明挖潜革新是相当成功的。

第八节 载波通信发展的趋势

载波通信的发展方向很多, 其中比较主要的为研制新导体, 如光缆通信、波导通信及超电导同轴通信等, 其中以光缆通信容量最大, 各国正在大力研制。此外, 也在研制更大容量的载波系统, 包括频分制及时分制, 现分述如下。

一、研制新导体

(一) 光缆通信

光缆通信是用头发般细的玻璃丝作导体,不用铜,材料来源广泛,受干扰也较少,在理论上容量可达几亿话路,是很有前途的通信方式,各国正大力研制。

目前时分制载波机质量虽好,但每路占用频带较宽,在一定的频带内,开通路数较少,每路成本较高。如果光缆通信研制成功,其传输频带甚宽,用之不尽,于是在光缆传输时分制载波,可能与传输频分制载波相同。国外有些专家认为,目前PCM用于长途通信较贵,不合适,等光缆出来再说,就是这个原因。

美国1981年1月23日报导,美国正在建造世界上最大的光缆通信系统,话路容量为8万,由华盛顿开始,经费城和纽约至波士顿,全程983km,该系统将于1984年完成。

目前光缆通信主要存在下列问题:

1. 光源寿命不长,成本高;
2. 光缆成本高;
3. 光缆通信还不够稳定。

(二) 波导通信

波导通信在1931年开始研究,理论上衰耗低,可靠性高,每路每公里造价低。

1977年美国在长度为14km的试验段上,进行试验,频率为40~110GHz,容量为47.5万话路。波导直径为60mm,中继区为60km。

其它国家也在研究中,但在通信容量、研究人员及经费方面远不如光缆规模大,故大家公认光缆是通信的方向。波导已经落后于光缆了。波导主要问题为尺寸要求严格,稍弯曲即影响传输质量,现仍在研究阶段。

(三) 超导同轴通信

日本等国研究超导同轴通信。理论上同轴导体在超低温时,传输衰耗很小,若传输的脉码速率为1.2~1.6Gb/s时,增音段长度可达50km,但冷却装置及保养方法等很多问题仍未解决。

研制新导体的主攻方向为光缆,因它容量极大。光缆未成功之前,其他新导体的研制也在同时进行,如果光缆研究成功,则波导及超导同轴就没有多大意义了。

二、研制更大通路系统

(一) 频分制

目前频分制载波通信系统最大容量为13200路,最高频率为65MHz。国外正在研制200MHz系统,对同轴导体的尺寸,增音段的长度,负反馈的大小,负反馈的深度以及外线传输频谱等进行综合研究,其容量约为3万路。

(二) 时分制

目前时分制载波通信系统最大通路为5760路,最高速率为400Mb/s。国外正在研究1.2Gb/s PCM,其容量为17280路。