

电信工程设计手册

短波通信

邮电部北京设计院
上海邮电设计院 编

人民邮电出版社

目 录

第一章 短波通信系统概述

1.1 短波通信的特点	1
1.1.1 短波通信的主要优缺点	1
1.1.2 短波通信的现状	2
1.2 短波通信的业务种类和频段划分	5
1.2.1 短波通信业务种类	5
1.2.2 短频频段的划分	7
1.3 无线电发射的标识和其它技术要求	12
1.3.1 无线电发射的标识方法	12
1.3.2 各类发射的必要带宽	16
1.3.3 频率稳定度	19
1.3.4 杂散辐射	22
1.4 电报和数据传输	23
1.4.1 电报代码	24
1.4.2 传输速率	27
1.4.3 失真	29
1.4.4 差错率	31
1.4.5 调制方式	32
1.5 图象传输	37
1.5.1 重要参数	38
1.5.2 调制方式	38
1.5.3 需要的带宽	39
1.5.4 传输信道	40
1.6 电话传输	40
1.6.1 短波无线电话的特点	40
1.6.2 调制方式	42
1.6.3 几种无线电话发射类型	42
1.6.4 单边带和独立边带的信道安排	44
1.7 短波通信链路和通信网	44
1.7.1 工作方式	44
1.7.2 短波通信链路的电平	45

1.7.3 短波通信网	16
参考文献	49

第二章 天波传播和天波场强计算

2.1 概述	50
2.2 电离层特性	51
2.2.1 大气层结构	51
2.2.2 电离层的形成	53
2.2.3 太阳黑子数	55
2.2.4 电离层各层特性	57
2.2.5 电离层骚扰	59
2.2.6 人为电离层骚扰	62
2.2.7 磁层	62
2.3 天波传播的特点	64
2.3.1 电离层的折射和反射	64
2.3.2 天波传播的路径	66
2.3.3 地球磁场的影响	72
2.3.4 电离层吸收	75
2.3.5 衰落	76
2.3.6 多径延迟	80
2.3.7 多普勒效应	82
2.3.8 长距离短波路由的来波仰角	83
2.3.9 大圆路径偏离	83
2.3.10 环球回波	85
2.4 路径基本几何参数的确定	87
2.4.1 大圆距离和方位角	87
2.4.2 反射区的位置	88
2.4.3 射线仰角	91
2.4.4 确定链路的最佳辐射仰角	92
2.4.5 太阳天顶角	96
2.5 链路使用频率范围的确定	98
2.5.1 概说	98
2.5.2 频率预报	98
2.5.3 最佳工作频率	148
2.5.4 可用频段的确定	151
2.5.5 可用频段预测举例	153
2.6 天波传输损耗和场强的计算方法	157
2.6.1 概说	157
2.6.2 自由空间基本传输损耗	158
2.6.3 电离层吸收损耗	159
2.6.4 地面反射损耗	162

2.6.5 附加系统损耗	163
2.6.6 天波场强	166
2.6.7 天波场强计算举例	167
参考文献	173

第三章 地波传播和地波场强计算

3.1 概述	175
3.2 地面的电气参数	175
3.3 地波在电气特性均匀的地面上的传播	179
3.3.1 地波场强计算方法	179
3.3.2 地波传播曲线	182
3.3.3 地波衰减与极化的关系	193
3.4 地波在起伏不平的地面上的传播	193
3.5 地波在电气特性不均匀的地面上的传播	195
3.5.1 Eckersley场强计算方法	195
3.5.2 Millington场强计算方法	196
3.5.3 近似图解法	199
3.5.4 海岸效应	200
3.6 地波传输的干扰问题	204
3.6.1 多径传输	204
3.6.2 伴生天波	205
3.6.3 其它发射机的干扰	206
3.6.4 无线电噪声干扰	206
3.7 地波链路常用的天线	207
参考文献	210

第四章 无线电噪声和电台干扰

4.1 概述	211
4.1.1 噪声对通信的影响	211
4.1.2 噪声参数	213
4.2 大气无线电噪声	215
4.2.1 大气无线电噪声数据	215
4.2.2 大气无线电噪声资料的应用	228
4.3 宇宙噪声	230
4.4 人为无线电噪声	232
4.5 总噪声的合成	235
4.6 电台干扰	236
参考文献	238

第五章 短波通信链路的系统方案设计

5.1 概述	240
5.1.1 电话的质量参数	240
5.1.2 电报和数传的质量参数	241
5.1.3 传真的质量参数	241
5.1.4 各种通信业务需要的信噪比	241
5.1.5 信号干扰保护比	244
5.2 发射机输出功率	249
5.2.1 发射机输出功率的标定方法	249
5.2.2 峰包功率、平均功率和载波功率之间的关系	250
5.2.3 多路通信的功率分配	252
5.3 天线增益和高频馈线系统损耗	254
5.3.1 天线增益	254
5.3.2 馈线系统损耗	255
5.4 信号处理和调制解调技术	268
5.5 分集接收技术	269
5.5.1 概述	269
5.5.2 分集方式	270
5.5.3 分集信号合成方法	274
5.5.4 分集重数(支路数)	276
5.6 差错控制技术	279
5.6.1 概述	279
5.6.2 ARQ	280
5.6.3 FEC	286
5.6.4 ARQ和FEC的比较	287
5.7 实时选频系统	288
5.7.1 概述	288
5.7.2 克茨实时选频系统	289
5.7.3 线性调频探测系统	292
5.8 综合考虑	294
参考文献	296

第六章 发射台工程设计

6.1 概述	298
6.2 短波发射机	299
6.2.1 单边带发射机	299
6.2.2 双边带发射机	309
6.2.3 发射机的冷却系统	311

6.2.4 发射机的技术性能指标	318
6.2.5 几种激励器和发射机的主要性能	323
6.2.6 发射机的选择原则	323
6.3 发射天线和馈电线	334
6.3.1 短波发射天线的电气参数	334
6.3.2 常用短波发射天线	338
6.3.3 发射天线的选择原则	343
6.3.4 高频馈电线	349
6.3.5 天线场地布置	351
6.4 天线交换系统	355
6.4.1 馈筒开关天线交换系统	356
6.4.2 同轴开关天线交换系统	362
6.4.3 户外用天线交换开关	371
6.4.4 户外天线配线区	373
6.5 低频信号系统和遥控系统	374
6.5.1 低频信号系统	374
6.5.2 远程控制(遥控)系统	379
6.6 发射台供电系统	380
6.7 发射台设备安装设计	383
6.7.1 机线设备系统总图	383
6.7.2 发射机房	383
6.7.3 发射台设备布置和安装	386
6.7.4 发射台的接地装置和防雷措施	393
参考文献	398

第七章 接收台工程设计

7.1 概述	399
7.2 短波单边带接收机	400
7.2.1 单边带接收机的电路构成	400
7.2.2 单边带接收机电路实例	404
7.2.3 单边带接收机技术性能指标	411
7.2.4 短波单边带接收机主要性能表	418
7.3 短波接收天线和馈电线	418
7.3.1 短波接收天线	418
7.3.2 接收天线馈电线	441
7.4 高频通路	443
7.4.1 避雷器、阻抗匹配器和高通滤波器	444
7.4.2 天线共用器	445
7.4.3 天线交换器	451
7.4.4 全交换和分组交换	452

7.4.5 分组交换的实例	454
7.5 低频通路和遥控系统	455
7.5.1 低频通路	455
7.5.2 远程控制(遥控)系统	459
7.6 接收台供电系统	463
7.7 接收台设备安装设计	464
7.7.1 接收台工程系统总图	464
7.7.2 接收机房	466
7.7.3 机房设备布置与安装	469
7.7.4 台内干扰的抑制	475
7.7.5 接地装置和防雷措施	475
参考文献	475

第八章 中央控制室工程

8.1 概述	476
8.2 短波单边带无线电话终端机	478
8.2.1 音控防鸣式无线电话终端机	478
8.2.2 压缩扩展式无线电话终端机	481
8.2.3 移频道设备和多路单边带终端机	486
8.3 电报和数据终端设备	486
8.3.1 电传打字机	486
8.3.2 汉字电传打字机	490
8.3.3 多路音频电报设备	492
8.3.4 数据终端设备	494
8.4 传真设备	499
8.4.1 相片传真机	500
8.4.2 气象传真机	501
8.5 监测、控制、互换设备	502
8.5.1 线路互换设备	502
8.5.2 监测设备	504
8.5.3 电台遥控设备	505
8.5.4 业务联络设备	508
8.6 中央控制室电源系统	509
8.7 中央控制室设备安装	509
8.7.1 机房和机房建筑要求	509
8.7.2 设备布置和安装	510
参考文献	511

第九章 无线电台的场地要求和台址选择

9.1 天线对场地的要求	512
--------------	-----

9.1.1 地面电气特性对天线的影响	512
9.1.2 非涅尔区概念	516
9.1.3 场地的面积	519
9.1.4 地形地物影响	520
9.2 场地地质对建筑工程的影响	522
9.2.1 一般土壤	522
9.2.2 特殊性土	523
9.2.3 特殊地质	524
9.3 避开人为无线电噪声源,降低本地电台干扰	525
9.3.1 大中城市的无线电收分区规划	525
9.3.2 接收台至发射台的距离和发射台至居民集中区的距离	526
9.3.3 接收台至人为无线电噪声源的距离	527
9.4 选择台址应考虑的有关因素	529
9.4.1 台址与大型工矿企业和城市工程设施之间的关系	529
9.4.2 遥控线路	530
9.4.3 电网供电和供电线路	530
9.4.4 水源和供水	531
9.4.5 交通和后勤供应	531
9.5 选择台址的步骤	532
9.5.1 准备工作	532
9.5.2 现场查勘	533
9.5.3 编写台址查勘报告	534
参考文献	535

第十章 遥控线路工程

10.1 概述	536
10.1.1 遥控线路的作用	536
10.1.2 遥控线路的种类和选择	536
10.1.3 信号的传输	537
10.1.4 遥控线路电气指标	537
10.2 传输设计	539
10.2.1 传输设计方法和步骤	539
10.2.2 导线线径选择	539
10.2.3 加感线圈、电缆平衡、均衡器和线路变压器	543
10.3 遥控电缆(包括传音电缆)	560
10.3.1 星绞低频通信电缆	561
10.3.2 综合通信电缆	563
10.3.3 市话铅包电缆	570
10.3.4 市话全塑电缆	573

10.4	架空电缆的架设	581
10.4.1	杆路路由和位置	581
10.4.2	杆路建筑	583
10.4.3	架空线路负荷区划分	584
10.4.4	电缆的悬挂	585
10.5	直埋电缆的埋设	586
10.5.1	电缆路由和断面位置的确定	586
10.5.2	直埋电缆的埋设深度	587
10.5.3	直埋电缆与其它建筑物的距离	587
10.5.4	直埋电缆的保护措施	588
10.5.5	直埋电缆的标志设置	589
10.5.6	直埋电缆的盘留长度	590
10.5.7	电缆的防蚀和防机械损伤	590
10.5.8	电缆的防雷	591
10.6	管道电缆的敷设	592
10.6.1	管孔的选用	592
10.6.2	管道电缆的敷设	592
10.6.3	管道电缆的留长	593
10.7	电力线干扰影响	593
10.7.1	概述	593
10.7.2	感应电压危险影响容许值	594
10.7.3	感应干扰容许值	595
10.8	终端设备和充气设备	596
10.8.1	PXB-I 保安配线箱	596
10.8.2	CZK-II 型电缆自动充气设备	597
10.8.3	电缆气压告警系统	597

第十一章 通信电源工程

11.1	总的要求	600
11.1.1	外电源的分类	600
11.1.2	柴油发电机组台数的配置	601
11.1.3	配电电压	602
11.2	无线电台的配电系统	602
11.2.1	基本要求	602
11.2.2	变电站的分类	602
11.2.3	变电站的主接线	603
11.2.4	功率因数的补偿	605
11.2.5	发射台供电系统图	606
11.3	电气设备	607

11.3.1	电力变压器	607
11.3.2	感应式调压器	616
11.3.3	高压开关柜	621
11.3.4	操作机构	635
11.3.5	低压配电屏	638
11.4	备用电源自投装置	651
11.4.1	高压侧备用电源自投装置	651
11.4.2	低压侧备用电源自投装置	652
11.5	高压开关柜一次接线及二次接线	658
11.5.1	油断路器的控制、信号回路	658
11.5.2	中央信号装置	659
11.5.3	高压开关柜一次接线	660
11.5.4	进线柜二次接线	663
11.5.5	联络柜二次接线	663
11.5.6	电压互感器柜二次接线	665
11.5.7	计量柜二次接线	665
11.6	变电站的安装	665
11.6.1	高压开关柜室	667
11.6.2	低压配电屏室	667
11.6.3	变压器室	670
11.7	柴油发电机组	678
11.7.1	概述	678
11.7.2	柴油发电机的励磁方式	678
11.7.3	柴油机的冷却	682
11.8	接地	685
11.8.1	人体触电的危险	685
11.8.2	保护接地	685
11.8.3	工作接地	686
11.8.4	接地保护和接零保护	686
11.8.5	重复接地	686
11.8.6	三相五线制	687
11.8.7	接地装置和接地电阻	688
11.9	电线、电缆的选择	688
11.9.1	导体材料的选择	688
11.9.2	电线、电缆截面的选择	689
11.9.3	按电压损失校验截面	697

11.3.1	电力变压器	607
11.3.2	感应式调压器	616
11.3.3	高压开关柜	621
11.3.4	操作机构	635
11.3.5	低压配电屏	638
11.4	备用电源自投装置	651
11.4.1	高压侧备用电源自投装置	651
11.4.2	低压侧备用电源自投装置	652
11.5	高压开关柜一次接线及二次接线	658
11.5.1	油断路器的控制、信号回路	658
11.5.2	中央信号装置	659
11.5.3	高压开关柜一次接线	660
11.5.4	进线柜二次接线	663
11.5.5	联络柜二次接线	663
11.5.6	电压互感器柜二次接线	665
11.5.7	计量柜二次接线	665
11.6	变电站的安裝	665
11.6.1	高压开关柜室	667
11.6.2	低压配电屏室	667
11.6.3	变压器室	670
11.7	柴油发电机组	678
11.7.1	概述	678
11.7.2	柴油发电机的励磁方式	678
11.7.3	柴油机的冷却	682
11.8	接地	685
11.8.1	人体触电的危险	685
11.8.2	保护接地	685
11.8.3	工作接地	686
11.8.4	接地保护和接零保护	686
11.8.5	重复接地	686
11.8.6	三相五线制	687
11.8.7	接地装置和接地电阻	688
11.9	电线、电缆的选择	688
11.9.1	导体材料的选择	688
11.9.2	电线、电缆截面的选择	689
11.9.3	按电压损失校验截面	697

第一章 短波通信系统概述

1.1 短波通信的特点

短波通信主要使用国际无线电咨询委员会 (CCIR) 划分的九个无线电通信频段中的第 7 频段—高频频段 (包括 3 ~ 30 MHz), 因此, 短波通信又常称为高频通信。实际上, 为了充分利用近距离地波传播的优点, 短波通信还占用了第 6 频段 (中频) 高端的一部分频段, 故短波通信实际使用的频率范围为 1.6 ~ 30 MHz。

短波通信可以利用地波, 但主要是利用天波。

无线电波沿地球表面传播的部分称为地波 (或地表波)。短波地波受地面吸收而衰减的程度, 比长波和中波大, 而且受地面电气特性的影响也较大, 故短波地波只适用于近距离通信。地波衰减随工作频率递增, 在同样的地面条件下, 频率越高, 衰减越大; 利用地波进行通信时, 工作频率一般选在 5 MHz 以下。地波传播受天气影响较小, 比较稳定, 信道参数基本上不随时间而变化, 故地波传播信道可以看作恒参信道。

无线电波射向天空又折回地面的部分称为天波。倾斜投射的天波经电离层反射后, 可以传播到几千公里外的地面。天波的传播损耗比地波小得多。由电离层反射回的电波本来传播就要远些, 尤其是在地面和电离层之间多次反射 (多跳传播) 之后, 可以达到极远的地方。因此, 利用天波可以进行环球通信。天波传播受电离层变化和多径传输的严重影响而极不稳定, 其信道参数随时间而急剧变化, 因此常称为时变信道或参变信道。尽管天波传播不稳定, 但由于可以实现远距离通信, 因此仍然远比地波重要。天波不仅可用于远距离通信, 而且还可以用于近距离通信。在地形复杂、短波地波或视距微波受阻挡而无法到达的地区, 利用高仰角投射的天波可以实现通信。

1.1.1 短波通信的主要优缺点

主要优点:

1. 短波通信不需要接力站进行中继, 即可建立长距离通信链路, 因此建设费用省、维护费用低、建设周期短。中等距离或近距离通信用的中、小型设备, 安装便利; 车载式设备可以在运输到达后立即投入使用。
2. 短波通信设备比较简单, 可以根据业务或使用要求固定设置, 进行定点固定通信; 也可以装入舰船、车辆或飞行器中进行移动通信。小型设备体积小、重量轻, 可以背负或手持使用。短波通信电路调度容易, 临时组网方便、迅速, 具有很大的灵活性。
3. 短波是进行远距离、全方位或区域性广播 (或通播) 业务的良好手段, 因为接收端只需配置短波接收机即可接收广播消息。通信卫星虽然也可供新闻通信业务作远距离广播使用, 但目前的接收设备相对来说则复杂、昂贵得多。
4. 短波通信系统对于自然灾害或战争的抗毁性能较强。通信设备体积小、容易隐蔽, 便

于改变工作频率以躲避敌人干扰和窃听，破坏后容易恢复。这些特点是通信卫星、地面微波、同轴电缆、光纤电缆等通信手段无法相比的。

主要缺点：

1. 可供短波通信使用的频段，如按 1.6 ~ 30 MHz 计算，宽度只有 28.4 MHz。这样窄的频段除供各种通信业务使用外，还有一部分分配给其它用途。短波电台数量很多，短波频段，特别是 10 MHz 以下部分的频率占用情况十分拥挤。虽然，在频率分配方面已经考虑了频率再用，但由于天波传播范围很广，这对于解决频率拥挤问题，没有显著效果。短波频段通信容量小，电台之间干扰问题突出，这就大大限制了短波通信的发展。

2. 短波天波信道是变参信道，信号传输情况很不稳定。电离层的变化使信号产生衰落，衰落的幅度和频次也在连续不断地变化。天波信道还经常出现多径传输，使信号出现频率选择性衰落和多径延迟。此外，在天波和地波都能到达的地方，天波和地波之间的干涉也能使信号衰落。选择性衰落使接收信号失真。多径时延则使接收信号在时间上扩散，成为短波链路传输数据能力的主要限制因素。

当出现电离层突然骚扰和电离层暴等骚乱现象时，通信情况往往会急剧变坏，甚至完全中断。

3. 大气无线电噪声和人为无线电噪声，在无线电频谱的低端，强度很高；随着频率的升高，强度逐渐降低。在短波频段，这类噪声虽然比在长波和中波频段要低得多，但仍有相当高的强度，影响着短波信号的接收。尤其是脉冲型突发噪声，经常会使数据传输出现突发差错，严重影响接收质量。

1.1.2 短波通信的现状

短波通信的主要竞争对手是卫星通信。卫星通信系统能够提供持久可靠的高质量长距离通信链路，信道容量大，数据率高。面对卫星通信的这些优点，短波通信自然要逊色得多。自60年代中期，第一颗国际通信卫星正式投入使用以后，短波长距离通信链路即开始逐步被卫星链路取代，至70年代后期，几乎被取代殆尽。一时之间，短波无线电作为一种有效的通信手段似乎成了问题，甚至有人怀疑到短波通信存在的价值。

然而，人们对于卫星通信，在经过较长时间的实践以后，开始有了比较清醒的认识：首先，卫星一经送入轨道目前尚难以进行维修；在战争时期，卫星很容易遭受攻击；至于卫星信道，则和短波信道一样不易抵御敌方的电磁干扰。其次，在传输方面，当电波穿过电离层和对流层时，由于受到电离层和对流层不均匀性的影响，其幅度、相位和入射角都会产生快速变化（卫星闪烁），特别是在低纬度区变化更为剧烈。再则，卫星通信系统费用昂贵，许多国家没有发射通信卫星的能力，而使用别的国家所控制的卫星，这是难以接受的。基于这些认识，卫星通信系统已不再被认为是安全可靠、完美无缺的通信手段。

十几年来，短波通信虽然受到冷遇，但是研究、改进工作并没有停顿，相反，却取得了很大的进展。随着电离层信道特性的深入探索、大规模集成电路和微处理机等新器件的应用，以及自适应等新技术的开发，新一代短波通信设备已经涌现出来。短波通信链路尽管其信道容量小和数据率低的缺点没有改变，但链路质量大大提高，无论电话传输或数据传输都可以与卫星链路相比。短波通信链路的质量提高，结合它的固有优点—设备简单、成本低、安装方便、使用灵活、抗毁性强、保密性好等，首先受到军事通信方面的重视。70年代末，许多

新型短波通信网建立了。与此同时,各种高性能的民用短波通信网也应运而生。

80年代开始,短波通信得到复兴。短波通信的复兴,一方面取决于它自身的顽强生命力,另一方面取决于以现代技术为基础的新的研究成果。

下面从几方面概括说明一下短波通信技术发展的现状。

1. 实时信道评估技术

为了充分发挥短波天波通信的优势,克服其固有的易变性缺点,近年来在频率管理方面大有进展,即在长期预测和短期预报的基础上,发展了实时信道评估技术。

实时信道评估(RTCE—Real-time channel Evaluation)技术是对指配的各个电离层信道进行实时探测,根据测出的有关参数数据,定量反映这些信道对于给定通信业务和业务等级的相对性能和效果^[1]。

利用 RTCE 技术可以在不间断工作的条件下,实时探测传播情况和干扰情况,自动选择最好的工作频率和可以使用的备用频率。此外,利用 RTCE 技术还可获得下列好处:

- 可以定量测定人为噪声和干扰的影响;
- 可以充分利用相对短暂的良好传播条件,例如突发 E 层传播;
- 可以选出比频率预测所预报的更高的频率,从而能更有效地利用频谱;
- 可以在不影响通信质量的条件下,降低发射机输出功率;
- 利用 RTCE 给出的数据,可以使通信系统除频率以外的其它参数与主要路径条件自动适应。

由此可见,实时信道评估技术的发展,对短波通信作出了非常巨大的贡献。

2. 高速数据通信技术

为了适应计算机数据传输的需要,要求短波链路能以 1200 b/s 或更高的速率传输数据。利用短波信道传输中、高速数据,必须解决由于多径传输所引起的两个主要问题,即码间干扰和衰落影响。过去的传统方法是采用多单音并发方式,就是让并行的每一路码元的长度远大于信道的最长时延。例如使用 16 个音频副载频进行差分四相移相键控(QPSK,每波特 2 比特)可以达到 2400 b/s 的数据速率。为了改善传输特性,可以应用带内分集技术降低数据速率为 1200 b/s。并行传输技术比较成熟,并已广泛应用,但是它有两个最大的缺点:

- 1) 不能充分利用发射机的功率,
- 2) 不能抗拒频率选择性衰落的影响,因此传输性能受到很大限制,最高速率只能达到 2400 b/s,比特差错率(BER)只能达到 $10^{-2} \sim 10^{-4}$ 数量级。

为了提高数据通信质量,早在 60 年代就有人提出高速单频串行方法,但限于当时的技术条件而未能实现,近年来,随着信道均衡、序列检测等新技术的应用,串行数据传输技术取得很大进展,可以实现 9600 b/s 的数据速率。

3. 差错控制技术

短波信道中的噪声、干扰和深度衰落,严重地影响数据通信,使其出现随机差错和突发差错(随机噪声导致随机差错,衰落和脉冲式干扰导致突发差错)。自 60 年代在短波通信中采用差错控制技术以来,人们对反映信道差错分布的模型作了研究,不断地发展和改进了自

动请求重发 (ARQ) 和前向纠错 (FEC) 的差错控制技术, 并对各种检错和纠错码作了分析和比较。ARQ 系统对于随机差错和突发差错的控制都有较好的效果, 但它需要反馈电路, 因而不能用于单向或通播业务。FEC 系统虽然不需反馈信息, 而能用于单向或通播业务, 但使用简单纠错码对突发差错的控制效果不佳。近年来, 在 FEC 系统中采用了时间扩散技术, 即利用交织码或扩散卷积码把长而密集的突发差错分离成随机差错, 然后进行纠错, 从而大大提高了对突发差错的控制能力, 其效果接近了 ARQ 系统。

由于差错控制设备使用了微处理器, 其体积、重量及成本都大大降低, 从而在短波数据传输中得到广泛应用。

短波通信链路采用现代差错控制技术后, 比特差错率可降低到 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ 量级, 与卫星链路近似。

4. 分集接收技术

快衰落具有空间、频率、时间等不相关性。采用分集接收技术来控制差错也是有效果的。早在 30 年代末, 就出现了空间分集, 随后的多路移频电报 (WTK) 系统中具有频率分集保护作用, 目前在 50 Bd 低速电传电路上的时频调制 (FTSK—Combined Frequency and Time Shift Keying) 系统可提供时频分集保护。时频调制是把一个码元分成若干个时域, 而在不同时域发送不同频率 (频差大于 400 Hz), 从而起到频率分集的作用。

人们对时间分集技术对抗突发差错的深入研究, 发现时间分集不仅能有效地对抗深度衰落引起的突发差错, 还能有效地抗拒宽带噪声引起的突发差错。宽带噪声与空间、频率有高度相关性, 只在时间上有很好的不相关性, 因此时间分集表现出具有其它分集接收方式所没有的宽带噪声抗拒能力。时间分集主要是多次重发同一数据信号, 并利用大数判决来实现的。这种分集方式可以纠正正长度几秒钟的突发差错, 大大提高了对抗差错的能力。

进一步把时间分集和频率分集结合起来, 可以构成时间—频率组合分集。这种组合系统对于降低数据传输差错的能力, 比单独使用频率分集要大 2 ~ 3 个数量级。

分集系统的改进, 进一步提高了短波数据传输的质量。

5. 短波通信设备

为了适应各种短波通信业务, 特别是高速数据传输的需要, 短波设备的频率精确度和稳定度都进一步提高了。采用高精度数字频率合成器的发射机和接收机, 在 2 ~ 30 MHz 频段内可得到 100 Hz、10 Hz 甚至 1 Hz 步级 ± 0.5 Hz 的精确度, 稳定度可以达到 $1 \times 10^{-10}/d$, 相位抖动小于 $3^\circ / 10$ ms。

短波发射机中应用了宽带放大器, 它不需要调谐, 不需要经常测量互调产物来核对线性。近年来制成的宽带四、五极管, 大大提高了放大器的带宽, 而功率可达几千瓦。晶体管宽带放大器的功率已超过 1 kW, 失真指标优于 -30 dB。由于功放部分使用了宽带放大器, 发射机的调谐手续简化了, 时间减少了。一部 30 kW 发射机的换频时间仅需 5 秒钟, 最多不超过 20 秒钟。中、小型发射机利用微处理器编程控制或存储频率, 可以实现更快的自动调谐。

短波接收机的主要进展是选择性和抗干扰能力的不断提高。前端电路采用无高放直接混频、中频采用高中频, 此外使用了半倍频程滤波器、高稳定度中频晶体滤波器以及非线性失真小、低噪声的混频器等器件, 使诸如大信号阻塞、互调失真、交调、杂波抑制、倒易混频等指标都可得到不同程度的改善。

短波通信设备也利用微处理机实现了自动监测和故障定位等机内自动检测 (BITE) 手段。自动检测结合设备结构的模块化, 大大缩短了设备的平均故障检修时间 (MTTR), 提高了整个通信系统的有效度。

短波通信设备中大量应用微处理机后, 增加了许多新功能, 例如频率预置、工作方式预置、自动呼叫、自动扫描接收、自动遥控、遥信和遥测等。由于自动化程度提高, 短波通信设备的结构形式也开始变化, 面板上的旋钮及开关数量减少。有的设备甚至采用键盘操作来控制或预置各种性能和状态。这些改进大大便利了设备的使用和操作。

6. 自适应天线

天线的进展中最突出的是自适应天线的研制和使用。在短波通信链路的接收端, 到达的接收信号、噪声和电台干扰, 三者的空间分布都是很不均匀的, 而且随着时间变化。因此, 如果能使天线的辐射主瓣随时对准接收信号的主导路径方向 (包括方位和仰角), 或者使天线辐射图形的零点对准强噪声或干扰到来的方向。大幅度地降低其对应于噪声和干扰的增益, 则通信链路的传输质量将会得到明显改善。

从处理的参数来看, 目前的短波自适应天线可以分为两大类: 一类是以接收天线输出的信噪比最大为准则, 通过对输出信噪比的检测和处理, 自动调整天线主瓣的指向。另一类是以检出信号与带有干扰的信号之间的均方根误差最小 (即所谓最小均方误差原理) 为准则, 自动调整天线主瓣的指向。从控制原理来看, 自适应天线有开环控制和闭环控制之分。从处理方式来看, 又有数字式和模拟式之别。

短波广播发射天线有时也应用自适应技术来改善服务效果。例如在广播开始之前, 先在较宽的仰角范围内发射探测信号, 然后根据不同距离的地面后向散射返回信号, 估算广播服务区所需要的最佳发射仰角, 自动调整天线辐射图形的主瓣仰角。

1.2 短波通信的业务种类和频段划分

短波频段狭窄, 而电台数量很多, 频率占用情况十分拥挤。为了减少电台之间的干扰, 合理利用频率资源, 并使各种不同长度的短波无线电路在昼、夜、黄昏和黎明时刻都可以选择到比较满意的工作频率, 国际电信联盟对短波频段中的各种业务情况进行了分析, 根据需要与可能, 把这个频段细分成许多频段, 以一定的间隔分配给各种业务, 供其选择使用。

1.2.1 短波通信业务种类^[23]

1. 固定业务

固定业务也称为定点业务。这是在两个或多个固定地点之间建立的无线电通信业务。固定业务有商业性和非商业性之分。商业性的由邮电部门或某些国家允许的私营通信公司用来开放公众通信业务。非商业性的, 由其它政府部门、社会团体、企业或事业等单位专用, 其业务主要有: 公用事业业务 (例如海关、公安、气象、地震、水利、防汛、森林防火等)、固定航空无线电业务 (例如固定航空通信网、ANTF)、驻外使馆通信业务、新闻业务、企事业内部业务 (例如油气管线、输电线路等的指挥调度), 以及无线电通信稽核业务等。

2. 移动业务

移动业务指移动电台和陆地电台之间，或者移动电台相互之间所开放的无线电通信业务。

3. 陆地移动业务

陆地移动业务是指各陆地移动电台与基地电台之间，或者各移动电台相互之间进行的无线电移动通信业务。

4. 水上移动业务

水上移动业务是指海岸电台与各船舶电台之间，或者各船舶电台相互之间进行的无线电移动通信业务。各种营救器电台和紧急指位无线电信标电台也属于此类业务。

5. 航空移动业务

航空移动业务是指地面航空电台和各航空器电台之间，或者各航空器电台相互之间进行的无线电移动通信业务。

6. 广播业务

广播业务是指声音广播业务。

7. 标准频率和时间信号业务

标准频率和时间信号业务是指为满足科学、技术和其它方面的需要而播发规定的高精度频率或时间信号（或二者同时播发）以供普遍接收的无线电通信业务。

8. 无线电导航业务

无线电导航业务是指用于导航的无线电测定业务。

9. 航空无线电导航业务

航空无线电导航业务是指有利于航空器和航空器安全操作的无线电导航业务。

10. 水上无线电导航业务

水上无线电导航业务是指有利于船舶和船舶安全航行的无线电导航业务。

11. 气象辅助业务

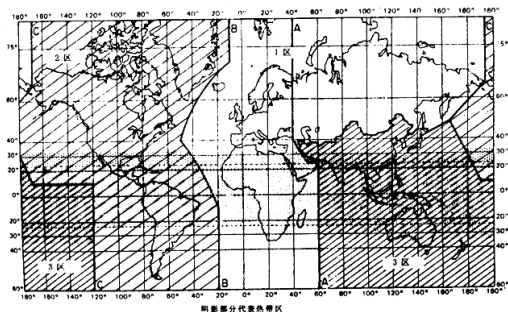


图 1-2-1 划分频率用的世界分区图