

单双工兼容制列车无线调度电话系统

TW-12 型 铁 道 电 台

钱度铭 主编

中 国 铁 道 出 版 社

1 9 9 4 年 • 北 京

序 言

近年来,铁路列车无线调度通信发展很快,全路运营铁路设备装备率达到 97%,已经成为铁路无线通信的专用通信设备。TW-12 作为现阶段列车无线调度通信的主要制式设备,对其电路配置、工作原理和工作程序、软件支持了解甚少,影响维护、运用、管理,现场反映较大。为此,铁道部电务局组织铁道科学研究院通信信号研究所、机电部天津 712 厂(即通广公司)合作编写《TW-12 型铁道电台》一书。此项工作实际上是以上两个单位共同研究开发的继续,也是研试工作的一项成果。

此书可作为铁路无线通信工程技术人员继续学习的自学用书和大专学生的专业课程教材,也是现场维护技术人员的主要参考书。编写中避免高深的数学论证,着重物理概念、基本原理的阐述,突出 TW-12 型列车无线调度通信系统、制式、标准、规格、指标、程序等方面的资料介绍和电路说明,做到了由浅入深、深浅相宜,条理清楚、文字简明,便于帮助各个层次的工程技术人员提高专业技术水平和实际工作能力。

感谢编著者的勤奋努力!

要求各单位组织专业人员学习,理论联系实际,提高维修质量,满足铁路运输的需要。

铁道部电务局无线机要通信处处长

姚慕贤

1992 年 12 月

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书共分九章,即单双工兼容制列车无线调度电话系统和工作特点、机车台、车站台、调度总机、监测总机、VHF 车长电台、隧道中继器、天线与电波传播、系统布置与工程设计。附图册一本。

本书除一般原理和电路说明外,还力求详尽地提供集成电路技术参数、电台控制呼叫主要流程、维修测试方法和测试点参数。

本书可供电台维修和使用人员技术业务学习使用,也可作为大中专学校师生的参考书,以及无线通信工程技术人员参考。

单双工兼容制列车无线调度电话系统

TW-12 型铁道电台

钱度铭 主编

*

中国铁道出版社出版、发行

(北京市东单三条 14 号)

责任编辑 黄成士 封面设计 翟 达

中国铁道出版社印刷厂印

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:16.25 插页:47 字数:381 千

1994 年 2 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:1—3000 册

ISBN7-113-01520-4/TN·63 定价(套):18.25 元

前 言

列车无线调度电话简称无线列调,是确保行车安全、提高运输效率的有效技术手段,各先进国家铁路部门都不断采用新技术、开发新系统,但都是以满足本国铁路运营要求和适应本国运输生产组织形式为出发点。铁道部科学研究院的科研人员与天津通广公司、铁道部第二设计院、日本信和通信株式会社的技术人员合作,历经系统研制、试验样机开发、试验段建设、样机设计、大批生产和推广应用诸阶段,经过十余年的努力,继 TW-8 铁道电台之后又一次成功地在我国铁路大量推广了 TW-12 型铁道电台。

TW-12 型铁道电台是单双工兼容制列车无线调度电话系统的主体设备。该系统根据我国铁路特点和要求,综合先进国家无线列调的优点,把双工制的通信质量高,操作方便,有利于数据中继传输和弱电场措施的实现等优点和同频单工制的组网灵活方便、容易实现小区域内的多角通信、有利于吸收便携台入网等特点融为一体,使整个通信网的构成经济合理、使用效率高、制式兼容设备单一、通用性强,能够适应干线铁路对无线列调的要求,达到了先进的技术水平。特别是在单双工兼容制移动通信系统方式、四频组切换克服同频干扰技术、单双工频道扫描自动确认锁定技术、场强比较频率自动切换和追踪接收(过网)技术、单双工兼容移动通信网信令系统、隧道弱电场中继传输方式等方面具有特点和突破。

TW-12 型铁道电台在设备配套、系统组网、新技术采用、设备可靠性、维修方便和话音质量等方面具有较全面的优势,所以被铁道部列为“七五”、“八五”期间重点推广的新技术项目,定为无线列调更新换代的主体设备。目前,已在北京、上海、沈阳、哈尔滨、广州、郑州、成都、柳州、济南、乌鲁木齐等铁路局近一万公里干线上投入运用,经济效益和社会效益均十分显著。

为了满足现场维修、使用人员和大专、中专学校学生学习的需要,充分发挥单双工兼容制无线列调的作用,推广使用好 TW-12 型铁道电台,在铁道部电务局的支持下我们编写了这本书。除了一般原理和电路说明外,我们还力求详尽地提供集成电路技术参数、电台控制呼叫主要流程、维修测试方法和测试点的参数,相信对深入了解、分析、维修电台会有帮助。

由于我们水平有限、经验不够又忙于本职工作,对参加编写的人员来说,编写此书是一件比较困难的任务,因此也肯定会有不少缺点和问题,希望广大读者给予谅解和批评指正。

我要感谢中国铁道出版社的责任编辑黄成士副编审,在他的督促和指导下,拖了三年的本书才得以编成。

参加本书编写的有铁道部科学研究院的寇福山、沈京川、徐钧、宣福毅、陈宏伟、钱度铭和天津通广公司的向茂盛、张立成、周全元、周一仁、施伯元、乔木、顾玉成、陈卫、郑敏、焦述鹏、华成年、童淑霞、潘伟。由钱度铭主编。

钱度铭

1992 年 12 月

目 录

第一章 单双工兼容制列车无线调度电话系统和工作特点	1
一、概 述	1
二、系统构成和制式	2
三、单双工兼容	3
四、四频组频率配置	4
五、机车台接收频率自动切换和调度通信时车站台导频追踪接收	6
六、山区多隧道地区弱电场措施和受控中继转发	8
第二章 机 车 台	9
一、机车台的组成	9
二、CPU 控制单元	12
三、频率合成器.....	27
四、接收单元.....	31
五、发射单元.....	41
六、双工滤波器.....	49
七、开关电源.....	52
八、控 制 盒.....	55
九、结构与安装.....	57
十、测试与维修.....	60
第三章 车 站 台	80
一、车站台的组成.....	80
二、发射单元 ZU427	82
三、射频功率放大 ZU428	83
四、双工滤波单元 ZU425	84
五、接收单元 ZU426	85
六、射频监测单元 ZU429	87
七、有无线转接和放大控制单元 ZU430	88
八、编码/解码单元 ZU431	90
九、输入/输出单元 ZU433	91
十、CPU 单元 ZU432	91
十一、VHF 车站台逻辑单元、放大/控制单元、有无线转接分机	107
十二、车站台开关电源	114
十三、结构与安装	116
十四、测试与维修	118
第四章 调度总机	134

一、SW134F 型调度总机	134
二、SW133 型调度总机	142
第五章 监测总机	161
一、监测总机的组成	161
二、CPU 控制单元	166
三、显示器控制单元	171
四、线路控制单元	173
五、电平调整与故障检查	173
第六章 VHF 车长台	175
一、概 述	175
二、主要技术指标	175
三、电路原理	176
四、调整要领	184
五、故障和修理	188
第七章 隧道中继器	194
一、中继器的组成	194
二、技术指标	195
三、性能测试和电路分析	195
四、监测	201
五、中继器的地线装置和防雷措施	207
第八章 天线与电波传播	209
一、无线电波的辐射和接收	209
二、列车无线通信的电波传播	213
三、场强预测	219
四、场强测量与数据处理	229
五、漏泄同轴电缆的理论与应用	233
六、机车天线	237
七、固定天线	239
八、防雷与接地	243
第九章 系统布置与工程设计	245
一、概 述	245
二、系统参数的选取与系统布置	245
三、主要设计程序	249
参考资料	

第一章 单双工兼容制列车无线调度电话系统和工作特点

一、概 述

近年来,我国铁路列车无线调度通信有了迅速的发展,以 TW-12 型电台为主体设备的单双工兼容制列车无线调度电话系统设备已在京哈、沈大、京沪、成渝、宝成、胶济、衡广等繁忙干线推广,全路六万公里线路上装备率超过 95%。新型列车无线调度电话的采用,特别是使用于车机联控之后,加强了各行车有关人员之间的联系,使调度员、车站值班员能灵活机动地指挥行车,乘务人员心中有数地运行,从而保障了行车安全,提高了运输效率,加速了机车车辆的周转,特别是在非常情况下能提供及时联络的手段,显示出良好的经济效益和社会效益,受到各级领导和广大行车人员的欢迎。

回顾近 10 年来无线列调的迅速发展和取得的成绩,除了领导重视这一关键因素之外,适时开发、生产系统制式先进、功能较完善、设备可靠性高的新型无线列调系统也是重要原因。

70 年代中期,我国铁路开始大量推广应用以 TW-8 型电台为主体设备的列车无线调度电台,奠定了我国无线列调的基础。TW-8 型电台是单工、单频道的通信制式,设备简单、组网灵活,但也存在繁忙干线特别是枢纽地区同频干扰严重,山区中继传输困难,设备配套不尽完善等缺点。因此,在铁道部科技局、电务局的组织领导下,由铁道部科学研究院主持与天津 712 厂、第二设计院合作开始全面总结 TW-8 型电台使用以来在运用、维修、技术性能指标等方面的实践经验,综合分析比较国外,特别是西德、日本等国列车无线通信系统的技术特点和我国铁路列车无线通信的具体运营要求,展开新制式新设备的研究开发工作。

1983 年底,经 6 年时间的研究试验,单双工兼容制列车无线调度电话系统体制及成套设备样机经铁道部鉴定通过,并随即被国家经委列为重点推广的新技术项目。

单双工兼容制无线列调通信系统是在总结 TW-8 型电台单工制无线列调大量使用后的实际经验和存在问题,综合分析国际铁路联盟(UIC)推荐的制式和技术标准,结合我国铁路的运营要求,反复研究试验成功的。作为我国铁路无线列调通信的主要制式之一,在体制和系统构成上具有独创的特点和明显的优越性,主要表现在把双工制的通信质量高,操作方便,有利于中继传输和弱电场措施的实现等优点和同频单工制的组网灵活方便,容易实现小区域内的多角通信,有利于吸收设备简单的便携台加入通信网的特长融为一体,使整个通信网的构成合理经济,使用效率高。UIC 注意到了同频单工通信在组织调车作业等小区域多角通信场合下组网灵活的优点,规定电台设备必须具有同频单工频道,但由于不具备单双工扫描监控、自动确认锁定,当需要转为单工通信时必须人工操作。日本铁路则采取发展先进的双工列调通信的同时,另设一套独立的同频单工乘务员无线系统。我国铁路要求无线列调系统满足多用户之间的组网通信,单双工兼容制无线列调电台制式兼容、设备单一、通用性强,能适应我国铁路近期发

展的需要。

随着我国改革开放与国际技术合作的发展,为了加快推广单双工兼容制无线列调系统,铁道部科学研究院、天津 712 厂与日本信和公司合作,于 1985 年至 1988 年先后开发并大量生产了 150MHz 和 450MHz 频段的包括机车台、车站台、车长便携台和调度总机(必要时配备监测总机)两种单双工兼容制设备系列,统称为 TW-12 型电台系列。

TW-12 型电台由于采用了 CPU 控制、频率合成、分项性能自动监测、MSK 数传、开关电源等新技术和中大规模集成电路,不仅技术先进、功能完善,而且可靠性高,具有 80 年代先进水平。

二、系统构成和制式

(一)系统的考虑原则

1. 列车无线通信是运输生产作业中的一项技术手段,也是行车安全保障系统中的技术装备。因此,系统制式必须结合我国铁路生产组织运营的特点。我国铁路客货混运,站间距离短,小站作业多,机车交路长而不固定。在相当长的时期内,铁路仍是我国的主要运输工具,小站也还将办理大量的客货业务。因此,除调度员外,车站值班员仍是一个重要的用户,运转车长要加入通信,司机之间的通信联络也要考虑。

在通信用户多、通信网构成比较复杂的列车无线调度通信中,调度员—司机和车站值班员—司机是两个主要的通话对,应当重点考虑。调度员通话确实重要,但除去调度集中区段,不管是繁忙干线还是一般区段,调度员使用无线通信的实际话务量是不大的,而大量的通话是在车站值班员与司机间进行的。所以在系统中二者都应给予优先与便利。此外,车站值班员—运转车长—司机之间的小三角通信在调车作业中作用显著,也必须妥善解决。

2. 铁路上,TW-8 型电台的推广已有一定的规模,研制一种既能与现有的同频单工电台为主体设备的无线列调相容组网,也可以用来更新替代现有无线列调设备的性能较完善、制式较统一的 150MHz 频段电台是很必要的。这就是说,新的列车无线体制设备必须顾及现有列调系统,还需具有完善的功能而做为能代替现有无线列调设备的新一代设备。

3. 鉴于 450MHz 频段无线电的抗电气化干扰和工业干扰的特性和铁道部对该频段无线列调的技术政策,系统设备必须在 150MHz、450MHz 频段上同时进行开发,并且应该以 450MHz 频段为重点。

4. 山区多隧道区段大多同平原丘陵地带相连,在运营上往往同属于一个机务折返区间,枢纽地区机车套跑时有可能遇到平原和山区两种不同地形。这就要求无线列调有一个统一的通信制式、频率划分和设备组成,而不必因平原或山区而不同。系统制式和设备虽具有中继转发的性能以适应山区多隧道区段的特殊需要,但是应当同时适用于平原和山区。

5. 列车无线通信系统的呼叫方式直接关系到通信效率和系统质量。系统应具有可靠、便捷、明确的个别选叫能力,但也要与运输生产组织相适应。

(二)系统构成

单双工兼容制列车无线调度通信系统采用有线无线相结合的方式,沿铁路线构成链状的通信区域。

系统构成如图 1—1。沿铁路线原则上在每个车站值班员处设车站台(外勤助理值班员配

车长便携台专做单工通信用),机车设置机车台,车长配备车长便携台,调度所调度员处设调度总机,无线列调维修中心(或调度所)设监测总机,用四线制有线中继控制电路把调度总机、监测总机与各车站台相连接(必要时,可采用载波遥控方式),以实现整个调度区内的列车无线通信以及车站电台的监测。

在山区多隧道区段,尚须增设洞口、洞内中继器、漏泄同轴电缆,以对弱电场区进行中继传输,实现多隧道区段的列车无线通信。

(三)用户的组成和通信制式

系统允许加入通信的值勤人员为调度员、车站(场)值班员、机务段(折返段)值班员、车长和机车司机(副司机);按列车办理的轨道车司机、救援列车主任、施工领导人,以及在处理事故时的有关领导可以允许加入通话。

调度员与司机,车站值班员与司机之间用双频双工方式通话。

司机与司机,司机与车长,车长与车站值班员之间均用同频单工通话;车站值班员与司机之间也可用同频单工通话。

在山区多隧道区段的弱电场区,司机与司机、司机与车长间用异频单工方式通话。

三、单双工兼容

TW-12型电台实行单双工兼容,即可使用同频单工或异频双工通话,实际上就是利用频道扫描监控电路、呼叫指令信息和发射机频率转换在双工电台上增加同频单工频道来实现的。

根据频率分配,VHF、UHF机车台双工发射频率分别在150、457MHz频段,接收频率分别在160、467MHz频段;车站台接收频率在150、457MHz频段,发射频率在160、467MHz频段;单工时所有电台均工作在150、457MHz频段。因此,要做到单双工兼容就必须使机车台具有150(或457)MHz频段(单工)和160(或467)MHz频段(双工)的接收频道,在守候工作状态时能接收该二频段的信号,而在通话时又能固定在其中的一个频段;车站台发射机就须具备发射150(或457)MHz频段(单工)和160(或467)MHz频段(双工)射频功率的能力。

(一)机车台接收频道扫描监控

机车台处于值班守候工作状态时,频道监控电路工作在扫描状态,接收机以1.8s和0.6s的时间比例轮流接收双工和单工呼叫信号。

机车台接收呼叫时,若是收到双工呼叫,则监控扫描必工作在双工周期,若是收到单工呼叫,则监控扫描必工作在单工周期。这样,就可以根据呼叫信号和单、双工工作周期使接收机锁定在单工或双工接收频道,锁定时间持续7s,被呼司机拿起手机后即可自动锁定原接收频道和呼叫所指定的通信方式,直到司机挂上手机为止。不是呼叫对象的机车台接收频道被锁定7s钟后,频道扫描监控电路重新工作。机车台正在用单工频道通话时,如遇有双工频段的呼叫,则因在单工转发时(即在司机按下按钮发话期间)频道扫描监控电路重新工作,这时就可以使接收频道转至双工频道。

司机进行呼叫时,根据司机置定的单工或双工呼叫钮就把本台的接收频道预置在单工或双工的频段上。

0.6s和1.8s单双工扫描周期值的选取,综合考虑了频率自动切换周期、接收机反应时间、

呼叫检出延迟时间等因素,以求在保证工作可靠稳定的前提下做到迅速合理。

(二)车站台发射频率转换

要实现单双工兼容,还须车站台发射机具备发射 150(或 457)MHz 频段(单工)和 160(或 467)MHz 频段(双工)射频功率的能力。

TW-12 电台采用频率合成器,利用锁相环路(PLL)将已调信号变为射频信号。为此,在车站台发射机中预置单工和双工压控振荡器(VCO)随单双工工作状态的不同而转换不同的压控振荡器,从而改变送往放大、激励和功放级的已调信号频率,达到车站台发射频率随单双工工作状态而转换的目的。

四、四频组频率配置

(一)同频干扰

同频干扰即载频干扰,系指所有落在接收机带内的频率与有用信号相同或接近的无用信号。对于 TW-12 电台,接近抗干扰范围为 $f_0 \pm 8\text{kHz}$ (f_0 为接收频率即有用信号频率)。这种干扰会使接收信噪比和可用灵敏度下降,甚至阻塞;也会以拍频或啸叫声出现在音频输出中,既影响通话质量又影响呼叫信令的传输与检出。列车无线通信系统的同频干扰主要来自系统内部,当有两部以上电台以同频率发射时就可能造成同频干扰。由于车站台高天线形成的较大覆盖和机车台与车站台的一对一通话,同频干扰现象多发生在两个或两个以上相邻车站台以同频率发射时。在 TW-8 同频单工制无线列调中这是经常发生而且造成系统质量严重下降,繁忙干线和枢纽地区则更甚。其实,这种同频干扰在任何一种用同频率发射的通信网中都是存在的,是不容忽视的。

国际无线电咨询委员会(CCIR)建议,当有用信号与干扰信号同为调频制时,射频通道的防卫度应为 $8\text{dB} \pm 3\text{dB}$ 。这就是说,当有用信号最低值与干扰信号最高值之差小于 8dB 的区域都可视为同频干扰区。

假设两相邻车站台发出的射频信号分别为: $E_1 = e_1 \cos(\omega_1 t + m_1 \sin \Omega t)$ (1-1)

$$E_2 = e_2 \cos(\omega_2 t + m_2 \sin \Omega t) \quad (1-2)$$

式中 m 为调制指数, $\omega_{(i)}$ 为瞬时角频率。

机车台行进于两相邻车站覆盖范围重叠区段时,接收机会同时接收到这两个信号,即:

$$E = E_1 + E_2 = e_1 \cos(\omega_1 t + m_1 \sin \Omega t) + e_2 \cos(\omega_2 t + m_2 \sin \Omega t) \quad (1-3)$$

以 $\phi = (\omega_1 - \omega_2)t + (m_1 - m_2) \sin \Omega t$ 代入,经计算:

$$E = \sqrt{e_1^2 + e_2^2 + 2e_1 e_2 \cos \phi} \cdot \cos(\omega_1 t + m_1 \sin \Omega t + \arctg \frac{e_2 \sin \phi}{e_1 + e_2 \sin \phi}) \quad (1-4)$$

可见,有用信号为 $D = m_1 \sin \Omega t$ (1-5)

干扰信号为 $I = -\arctg \frac{e_2 \sin \phi}{e_1 + e_2 \sin \phi}$ (1-6)

将式(1-6)展开后得:

$$I = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \left(-\frac{e_1}{e_2}\right)^n \sin[(\omega_1 - \omega_2)t + (m_1 \sin \Omega t - m_2 \sin \Omega t)] \quad (1-7)$$

因此,可以看出同频干扰是由载频频率、调制度不同和调制信号相位不同而引起的。

两个相邻车站台同时发射时,载频存在频差(通常频率稳定度为 5×10^{-6}),其差频有可能正好落在音频带内,形成拍频啸叫声,这便是同频干扰。它会影响正常接收机的输出信纳比。

工作频率相同而调制度 m_f 不同的两相邻车站发射时,由于频偏不同经鉴频后也会产生使信纳比降低的同频干扰。

调制信号相位不同,造成的相位差也会使信纳比下降,形成同频干扰。

(二)单双工兼容无线列调的四频组配置

为了克服同频干扰,比较有效而经济的方法是采用频率组复用配置。铁路列车无线通信系统是面状网(枢纽)与链状网(区间)相结合以链状网为主的通信网,采用四频组配置即可良好地解决同频干扰。

如 1—1 系统图所示,四频组配置时车站台发射频率按 f_1, f_2, f_3 依次交叠配置,只有到第 4 个车站台才出现重复使用频率。两同频车站台间的距离为同频复用距离,也可称为同频干扰的保护距离,这个距离相当于 5 倍车站台有效覆盖半径。以地点概率 95% 和 CCIR 防卫度 8dB 的要求,通过国际和国内的大量试验和实测数据均表明,对于中等起伏的地形 5 倍有效覆盖半径的保护距离是足够的,是能满足工程设计和实际运用要求的。

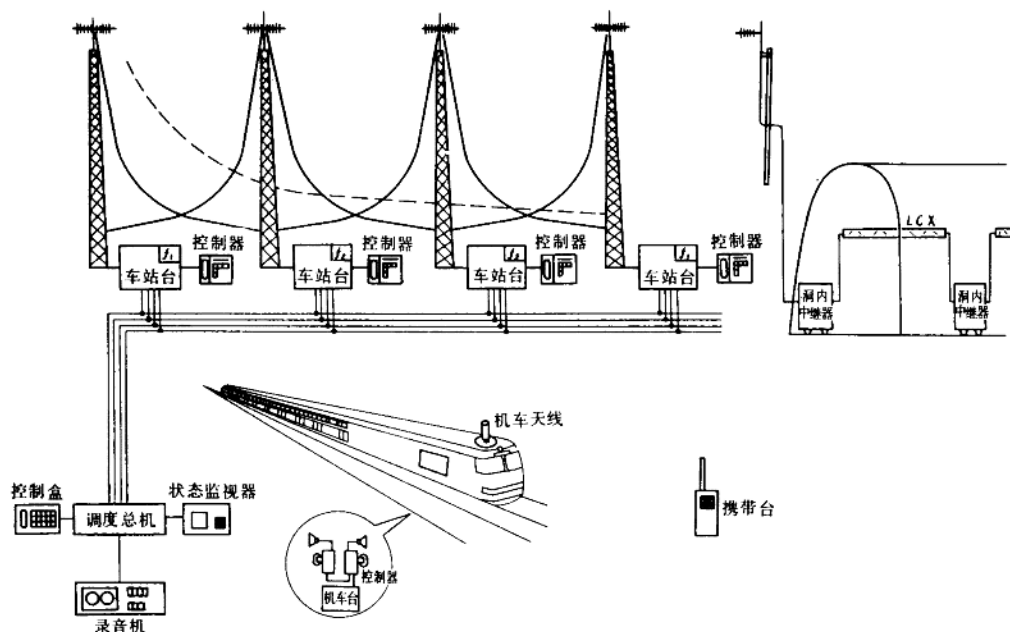


图 1—1 系统构成图

单双工兼容制无线列调在一个调度区内使用 4 个频率,即用 3 个频率 f_1, f_2, f_3 (在 160 或 467MHz 频段) 分别交替地配置给沿线车站电台做双工通信时的发射频率,机车电台接收频率依场强变化进行自动切换;所有机车台都用同一频率 f_4 (在 150 或 457MHz 频段) 发射,全部车站台都用该频率接收,而由机车台用导频指定一个信噪比满足系统要求的车站台将低频信号送至调度总机,进行追踪接收。单工运用时,各用户电台均使用机车台的双工发射频率(也即车站台的接收频率) f_4 。这四个频率 f_1, f_2, f_3, f_4 构成一个四频组,四频组随调度区的不同而改变。根据铁道电台频率配置方案,全国用四个四频组即可基本实现无三阶互调干扰的频率配置。所

以 TW-12 机车台配置四个不同的四频组供手动转换,车站台配置一个四频组和相应的单工频道。

五、机车台接收频率自动切换和调度通信时 车站台导频追踪接收

(一) 机车台接收频率自动切换

频率自动切换的依据是场强的变化,而场强的变化又表现为电台接收机输入电压的变化。接收机输入电压变化时,其中频信号也相应地变化。这样,我们就可以提取接收机的中频信号作为频道切换的信息,即利用外界场强也就是接收机输入电压(表现为中频信号)的变化,依选定的系统值(即某一中频信号值)作为切换门限值,来控制接收机频率合成器自动改变频率的。

在接收机中,输入电压与中频输出电压关系如图 1—2 所示。曲线表示接收机输入电压越大时,中频电压值也越高。我们可以利用中频信号的大小来反映外界电场强度(即接收机输入电压)的变化。设定某一中频电压值,在该值以上时输入到 CPU 为一低电平,该值以下时输入 CPU 为一高电平。此值便称为系统值或接收机频道切换门限值,通常用接收机高频输入电压来表示。TW-12 机车台技术条件中规定,切换门限值为 $1\mu\text{V}\sim 5\mu\text{V}$ 范围内可调。CPU 一旦输入高电平时,便控制进入双工频道切换程序,达到接收频率自动切换的目的。

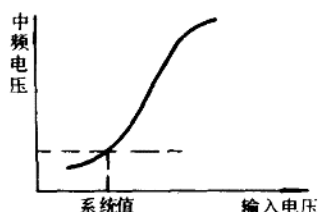


图 1—2 输入电压与中频
输出电压关系曲线

当机车台位于正在双工发射的车站台的作用范围以外,即机车台接收不到超过切换门限值的高频信号时,其双工接收频道处于循环扫描状态。此时接收机在 f_1 、 f_2 、 f_3 接收频率上各自停留 1.2s,循环地寻找有无本频道的超过切换门限值的信号。当然,这种 1.2s 一停留的循环还要受到接收频道扫描电路以 0.6s 单工频道、1.8s 双工频道的监控。

机车台进入正在双工发射的车站台的作用范围,即机车台接收到超过切换门限值的例如 f_1 信号时,建立扫描停止标志,接收频道稳定地停在 f_1 。从接收到超过切换门限值的信号到接收频道稳定在 f_1 ,最长时间为 3.6s。

机车台从 f_1 发射频率的车站台有效作用覆盖终端向 f_2 发射频率的车站台有效覆盖范围行进时,一旦 f_1 场强低于接收机频道切换门限值 1.2s 时间并在此 1.2s 钟内又不出现持续 0.3s 的大于切换门限值的 f_1 场强,接收频道便由 f_1 转到 f_2 。接收机由 f_1 转到 f_2 后,在 f_2 频道上停留 1.2s,以寻找有无超过切换门限值的 f_2 信号。此时, f_2 的场强应已超过切换门限值,所以仍能建立扫描停止标志,接收频道稳定在 f_2 。

机车台在 f_1 发射频率的车站台作用范围内,由于电波多径传输和铁路沿线地形地物的影响,再加上机车天线在机车行进中不断改变位置,接收场强会形成驻波、起伏甚至短暂的衰落现象。如果 f_1 场强跌落到切换门限值以下虽已达 1.2s,但在此 1.2s 钟内却有连续 0.3s 以上时间的超过切换门限值的 f_1 场强可以利用,接收机频率则不会切换。同样,为了防止干扰,我们规定只有持续 0.3s 以上且超过切换门限值的信号才能锁定接收频率,小于 0.3s 的信号均认

为是干扰信号;而在建立接收后,我们又允许在 1.2s 的时间里出现小于 0.9s 的信号衰落。这样就保证了机车电台既不会因瞬间的干扰或起伏信号超过切换门限值,也不会因场强的短暂衰落而致误切换接收频道。

当机车台处于等待接收状态时,单双工监控扫描和双工频道扫描切换同时工作,接收机进入等待接收扫描而执行 WS 程序,其扫描频道与时间关系如表 2—5 所示。

为避免因单双工扫描监控转为单工扫描时使双工频道误切换,单工监控扫描时间必须小于双工频道扫描停留时间(1.2s)与判定应否切换的可靠信号持续时间(0.3s)之差。同时,也要确保电台能可靠地接收到单工呼叫信号,即大于接收反应时间 150ms 与呼叫信号可靠接收所需延迟时间 250ms 之和。据此,我们选取单工监控扫描时间为 0.6s。

双工监控扫描时间应大于频道切换在每一频道上的扫描停留时间,取双工监控扫描时间为 1.8s。则单双工扫描监控循环三次的时间正好等于双工频道扫描切换循环两次的时间,而且都是 0.6s 的整数倍关系。

保证单频呼叫可靠接收的呼叫信号持续时间为:

单工时,呼叫只受单双工监控扫描影响,由于呼叫信号的发送时间是随机的,在最不利的情况下为保证机车台可靠接收,呼叫信号须持续 3s。

双工时,呼叫接收受单双工监控扫描和双工频道扫描的双重影响。参阅表 2—5 可知,呼叫最不利情况发生在呼叫信号到达时,正值所呼的频率跟踪只剩下不足 0.3s($\approx 0.3s$),只有等过去两个双工频率捕捉周期($2 \times 1.2s$)和一个单工监控扫描周期(0.6s)之后再加该频率的捕捉时间(0.3s),总共所需为 3.6s。因此,为确保可靠接收,将双工呼叫信号定为 5s。

(二)车站台导频追踪接收

当调度员与机车司机呼叫通话时,由于全线所有车站台均用同一频率接收机车台的发射,机车台发出的射频信号通常会被两个相邻的车站台收到。如果把这两个车站台收到的信号都送至调度所,会因群延迟的不同产生信号混合,或因信号强弱不同而影响通话或解码。单双工兼容制无线列调系统为了保证只有一个满足信杂比的车站台把接收下来的信号送至调度所,采用了机车台发导频指定接收的方式,这就是所谓车站台导频追踪接收方式。

根据四频组的频率规定,车站台的双工发射频率依 f_1 、 f_2 、 f_3 交替循环配置,机车台的接收频率根据场强变化自动切换到有可靠通信场强的信号频率。即在发射频率 f_1 的车站台可靠覆盖范围内,机车台双工接收频率也自动转为 f_1 。我们在机车台中指定三个与其接收频率 f_1 、 f_2 、 f_3 相对应的导频 T_1 (151.4Hz)、 T_2 (162.2Hz)、 T_3 (173.8Hz),随接收频道的自动切换作相应的改变,在与调度通话的过程中始终将此导音频送发射机调制器发射。

参看 1—1 系统图,在机车台不与调度通话的条件下,所有车站台接收机都同有线中继线路断开。当某机车台与调度员通信时,其发射载频总是被与有可靠通信场强的车站台发射频率(如 f_1)相对应的导频(如 T_1)所调制。发射频率 f_1 的车站台设 T_1 导频接收器,通过接收器把站台接收机与有线中继线路连通起来,把信号送到调度所。与发射频率 f_1 车站台为邻的车站台只设 T_2 、 T_3 导频接收器,此时不动作,也就不接通有线中继线路。这样,便可利用机车台发导频的方式确保只有一个车站台把接收信号经有线中继线路送到调度所。

车站台导频接收器还有另一个作用,就是启动本车站台发射机发射双工频道载频信号。在机车司机与调度员的通话过程中,如正利用发射频率 f_1 的车站台接通调度总机,随着机车的行进, f_1 的场强变低。 f_1 场强小于双工切换门限值时,双工频道扫描开始,则先在 f_2 上停留

1.2s以寻找有无足够场强的 f_2 信号,此时机车台发出 T_2 导频。如下一个车站发射频率为 f_2 ,则其导频接收器为 T_2 ,收到 T_2 导频后便启动发射机发出 f_2 双工频率。机车台收到 f_2 信号且超过切换门限值,则稳定在 f_2 频道上接收。如下一个车站发射频率为 f_3 ,则其导频接收器为 T_3 ,不接收 T_2 导频,因而也不处于发射状态。此时,机车台双工扫描在 f_2 上寻找不到有足够场强的信号,在停留1.2s之后便转到 f_3 上寻找有无足够场强的 f_3 信号,同时发出 T_3 导频。于是车站台因其有 T_3 导频接收器而启动发射机发射 f_3 信号,同样使机车台接收机双工扫描停止,稳定在 f_3 上接收。这样,机车行进时,随着车站台有效覆盖范围的更递,一一启动车站台实行追踪通信,使机车与调度的通信不因车站作用范围的更递而中断,具备了过网的功能。

车站导频追踪接收的情况出现在机车司机与调度的通信过程中,此时机车台已处于双工状态,因此从发出导频到启动车站台双工发射并将机车台锁定在该双工频道上所需的时间应包括:车台接收机反应时间150ms、导频可靠接收时间200ms、发射机建立时间100ms和300ms可靠信号持续时间,总计0.5s。此值小于双工频道扫描在每一个频道上的停留时间1.2s。因此这种追踪接收方式是可靠的。

六、山区多隧道地区弱电场措施和受控中继转发

在超高频段的列车无线通信中,由于在山区峡谷、弯道路堑特别是铁路隧道内,电波被阻挡、吸收而急剧衰减,往往出现电波传播上的弱电场区,以致影响可靠通信或完全不能通信。因此,合理地解决山区多隧道弱电场区的无线通信,使系统的可靠通信地点概率达到95%,是铁路移动通信中的一项关键性技术。

为了保证隧道弱电场区的正常通话,系统采用在隧道内挂设漏泄同轴电缆、装设隧道中继器和车站台受控转发的措施,如图1-1所示。隧道内在高度4.8m处的壁上敷设开槽漏泄同轴电缆,每隔1.2~1.5km加装射频双向放大式洞内中继器。隧道口或隧道口前弱场区,则需设置定向天线、洞口中继器、功率分配器并用射频馈线与漏泄同轴电缆相连接。遇有隧道群,如出入洞口之间距离较近,则可直接以架空漏泄同轴电缆贯通,以长隧道视之。

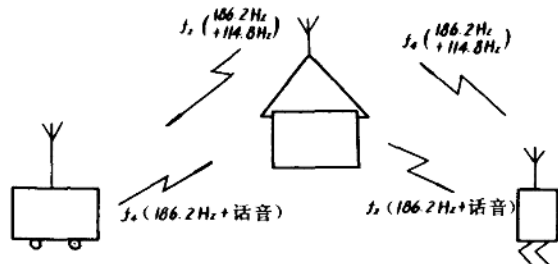


图1-3 车长台主呼机车台时的受控转发示意

在装设上述设备后,调度员、车站值班员与司机(可能条件下的车长)实现通信,但隧道内同一列车主补机或司机、车长或司机与其他列车司机间的通信仍难以保证。为此,系统设备提供了中继转发的性能。

中继转发时,机车台或车长台改为异频单工通话方式,并发出186.2Hz转发导频,使邻近车站台收到后转为双工中继工作状态,此时车站台发射频道一律自动改为 f_2 。中继转发的车站台继续将186.2Hz导频由 f_2 送出并保持9秒钟。被呼机车或车长收到后改为异频单工(也同时送出186.2Hz导频)与主呼机车通话。

第二章 机 车 台

一、机车台的组成

机车台安装在机车内,是司机与调度员、车站值班员、车长等完成通话的设备。

它由以下几个部分组成:

主机,防震架;

主控制盒、副控制盒、主机与主控盒之间的连接电缆、主、副控制盒之间的连接电缆;

送话器、喇叭;

天线、天线馈线。

(一)主要技术指标

根据我国目前铁路运输牵引的需要,使用的机车类型有电力机车、内燃机车、蒸汽机车;同种类型机车,型号不同,内燃机车有北京型、东风₃、东风₄、东方红等;环境温度差别大,北方冬季低温、南方夏季高温、多湿。这些都对机车台提出了较高要求。

1. 一般要求

(1)通信方式

异频双工、异频单工、同频单工

(2)频率范围

VHF 频段:发射与单工接收 150.700~151.700MHz,双工接收 162.650~163.500MHz

UHF 频段:发射与单工接收 457.000~459.000MHz,双工接收 467.000~469.000MHz

(3)调制方式 调频

(4)信道配置

发射与单工接收为每组 1 个信道×4 组,共 4 个信道;

双工接收,每组 3 个信道×4 组,共 12 个信道。

(5)频道间隔 25kHz

(6)天线阻抗 50Ω

(7)输入电压 DC45~132V,波动瞬时 180V

(8)消耗电流 小于 2.5A

(9)环境条件

温度 -25℃~+55℃,湿度 95%(35℃)

(10)振动条件

5~50Hz,各向 3g

2. 发射机

(1)输出载波功率

双工:10W $\pm 5\%$,单工:5W $\pm 5\%$

- (2)频率误差 小于 $\pm 5\text{PPM}$
- (3)调制灵敏度 $-56\pm 6\text{dBm}$
- (4)最大频偏 $\pm 5\text{kHz}$
- (5)异频信号频偏 $\pm 0.5\text{kHz}$
- (6)音频呼叫信号频偏 $\pm 3.5\text{kHz}$
- (7)调制特性 在 $300\sim 3000\text{Hz}$ 内,以 1kHz 为基准, $6\pm\frac{1}{3}\text{dB/Oct}$
- (8)由哼声和噪声引起的剩余调制 大于 40dB
- (9)杂散射频分量 小于 60dB

3. 接收机

- (1)参考灵敏度
单工:小于 $0.35\mu\text{V}$,双工:小于 $0.4\mu\text{V}$ (12dB 信纳比)
- (2)切换门限值 $1\sim 5\mu\text{V}$ 可调
- (3)深静噪灵敏度 $0.5\mu\text{V}$
- (4)调制接收带宽 大于 $\pm 6\text{kHz}$
- (5)中频频率 第一中频 21.6MHz ,第二中频 455kHz
- (6)互调抗扰性 大于 70dB
- (7)邻道选择性 大于 70dB
- (8)杂散响应抗扰性 大于 70dB
- (9)额定输出功率的谐波失真 小于 5%
- (10)音频输出功率 5W
- (11)信噪比 大于 40dB
- (12)音频响应
在 $300\sim 3000\text{Hz}$ 内,以 1kHz 为基准, $-6\pm\frac{1}{3}\text{dB}$

4. 呼叫、控制信号

- (1)检出灵敏度 6dB (信纳比)
- (2)控制信号接收带宽 $\pm 1\%$
- (3)呼叫信号接收带宽 $\pm 2\%$
- (4)频率准确度 $\pm 0.5\%$
- (5)呼叫、控制信号频率

	UHF 频段	VHF 频段
呼叫调度	1520Hz	1337Hz
双工呼叫车站	131.8Hz	1998Hz
单工呼叫车站	123.0Hz	2400Hz
呼叫机车	114.8Hz	1792Hz
回铃音	415Hz	415Hz
发射追踪控制音 T_1	151.4Hz	151.4Hz
发射追踪控制音 T_2	162.2Hz	162.2Hz
发射追踪控制音 T_3	173.8Hz	173.8Hz
发射转发控制音 T_4	186.2Hz	186.2Hz
接收调度呼叫音	1960Hz	1219Hz

接收呼叫机车音	114.8Hz	1792Hz
接收转发控制音	186.2Hz	186.2Hz

(二)方框图及组成原理

机车台主机由发射单元、接收单元、CPU 控制单元、电源单元及天线滤波器、控制盒组成，如图 2—1 所示。

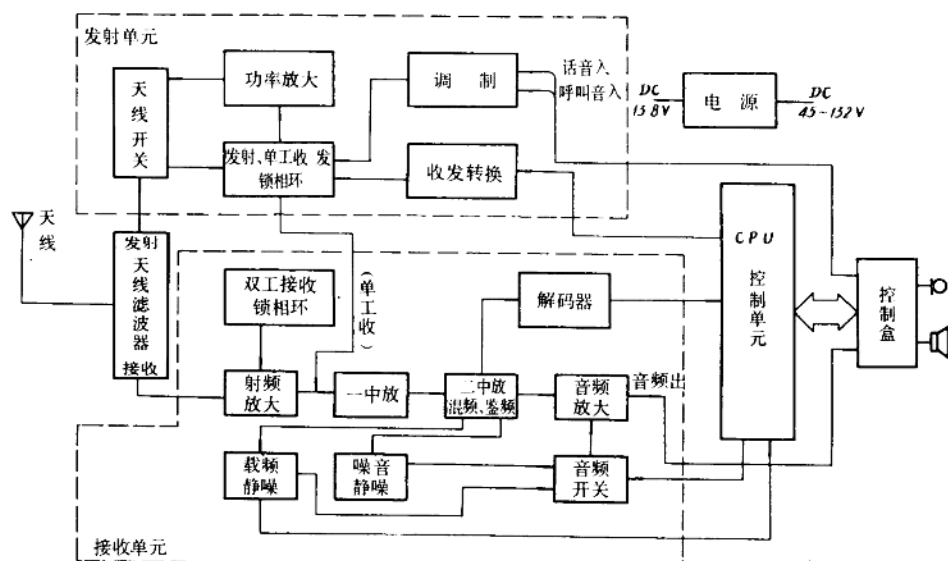


图 2—1 机车台组成方框图

这个简单的方框图，给人们建立一个机车台整体的概念。每个方框的左边连接输入端，右边连接输出端。图中的箭头表示信号的流动方向。一个方框代表一些特殊功能的电路，并在方框内标明这些电路的作用。在以后的章节中，我们还会给出详细的方框图，以利读者进一步了解电路的细节。

接收单元的射频接收，承担了射频放大，混频任务。将第一中频信号送至第一中频放大级，由它把送来的信号放大到适当的电平，送至第二中频放大级，在该级中完成鉴频、噪音静音、载频静音工作后，分别送至解码器和音频放大级。解码器将音频、亚音频的呼叫、控制信号从模拟信号转换成数字信号，送 CPU 控制单元。噪音静音和载频静音电路，控制音频输出开关，决定是否输出音频信号。载频静音电路还将提供载频静音信号，帮助 CPU 判断，在双工信道中是否收到高于门限值的载频信号，以决定扫描监控方式。音频放大级把输出的音频信号进行功率放大，频率响应处理后，送至喇叭。

发射单元，把送话器中的话音和呼叫信号经过调制级进行放大、预加重、调制频偏的处理后，送频率合成锁相环，完成调频处理。送功率放大级放大至所需功率，由天线滤波器发射出去。机车台需要发射 f_4 频率、接收 f_1, f_1, f_2, f_3 四个频率，因此设置了发射、单工接收锁相环和双工接收锁相环。频率的转换由 CPU 控制，收发的转换由收发转换电路控制。

CPU 单元完成电台的全部控制工作，如发射机工作、接收机工作、频率设置、单双工扫描、呼叫、控制信号输出、点灯等等。