

高等学校教材

GAO DENG XUE XIAO JIAO CAI



铁路专用通信

TIE LU ZHUAN YONG TONG XIN

刘金虎 主编

中国铁道出版社

CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

高等学校教材

铁路专用通信

刘金虎 主 编

中国铁道出版社

2005年·北京

内 容 简 介

本书全面系统地介绍了铁路专用通信系统的构成原理,全书共分为七章,分别介绍了铁路专用通信系统的特点及发展概况;程控调度电话系统的软、硬件构成原理;铁路数字调度电话系统的基本原理及主要设备;铁路数字调度电话系统的组网结构;铁路运输调度指挥管理信息系统(DMIS)的基本知识、功能、作用及网络结构;铁路综合数字移动系统(GSM-R)的基本原理、组网结构、系统功能及基本原理;GSM-R在我国铁路无线通信系统中的特殊业务与应用。通过本书的学习,可以对铁路专用通信系统及管理信息系统有一个全面的了解和掌握。

本书可作为铁路高等院校和中等院校的本专科学生教材,也可供从事铁路专用通信的工程技术人员和科技人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

铁路专用通信/刘金虎主编. —北京:中国铁道出版社,

2005.11

高等学校教材

ISBN 7-113-06751-4

I. 铁... II. 刘... III. 铁路通信—高等学校 教材

IV. U285

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 125512 号

书 名:铁路专用通信

作 者:刘金虎 主编

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

责任编辑:武亚雯

封面设计:崔丽芳

印 刷:北京市彩桥印刷有限责任公司

开 本:787×960 1/16 印张:17.25 字数:330 千

版 本:2005 年 11 月第 1 版 2005 年 11 月第 1 次印刷

印 数:1~3000 册

书 号:ISBN 7-113 06751-4/TN·158

定 价:27.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

编辑部电话:(010)51873132 发行部电话:(010)51873124

前 言

随着科学技术的发展,我国铁路正在向高速、专线方向发展。近十几年来,铁路专用通信系统在技术及设备上得到了快速的发展。从单一的模拟话音通信向着数字化、网络化、智能化、综合化的方向发展。

铁路调度通信系统的数字化是铁路信息化建设的基础,只有实现了数字化,才能应用于各种通信的业务接口,既能满足调度通信的需要和多种业务的接入,又能适应与铁路综合数字移动通信系统(GSM-R)的互连互通及与其数字交换机的互连。为便于无数字通信基础的读者阅读,本书第三章就数字通信系统的基本原理做了较详细的介绍。

DMIS 系统是实现铁路运输调度对列车实现透明指挥、实时调整、集中管理的现代指挥管理信息系统,该系统具有实时采集列车运行及现场信号设备状态信息,实时传送到各级调度指挥中心,能完成列车运行实时追踪、自动报点、正晚点统计分析、按交车自动统计、运行图自动绘制、阶段计划自动调整、调度命令及行车计划自动下达功能,是调度指挥系统自动化的重要手段。

铁路综合数字移动通信系统(GSM-R)是国际铁路联盟为铁路专用调度通信开发的移动通信系统,它适合高速度环境下使用,可实现跨越国界的高速列车和一般列车之间的通信,能将现有的铁路通信融合到单一的网络平台,能灵活地提供专网中所需的语音调度服务,如 VBS、VGCS 和 eMLPP 等业务,是我国未来铁路移动通信系统的骨干设备。为了便于无 GSM-R 基础知识的读者阅读,本书第六章就 GSM-R 的基本工作原理进行了比较详细的论述。

由于铁路专用通信发展比较快,内容比较广泛,涉及到有线通信技术,无线通信技术、计算机网络通信技术等多方面的通信知识,本书内容还有很多待充实和完善之处,加上编者水平有限,时间仓促,难免存在缺点和错误,希望读者提出批评指正,以促进我国铁路专用移动通信的繁荣和发展。

本书由兰州交通大学刘金虎主编,梁宏伟和田爱君参加了部分编写工作和校对工作,在此表示感谢!

编 者

2005 年 7 月

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 铁路专用通信业务	1
第二节 铁路调度通信设备的发展历程	2
第三节 铁路调度通信网的网络结构	3
第四节 数字调度通信设备的特点	4
第五节 铁路综合数字移动通信网络	5
复习思考题	7
第二章 程控调度电话系统原理	8
第一节 概述	8
第二节 总机硬件构成原理	14
第三节 总机软件算法	26
第四节 程控调度电话通话电路	33
第五节 分机硬件、软件基本原理	36
复习思考题	44
第三章 数字调度通信系统	46
第一节 数字通信的基础知识	46
第二节 区段数字调度系统基本原理	60
第三节 干、局线调度通信系统	62
第四节 区段数字调度通信系统	76
复习思考题	89
第四章 铁路调度通信网	90
复习思考题	103

第五章 DMIS 系统	104
第一节 DMIS 系统概述	104
第二节 DMIS 系统结构	107
第三节 DMIS 系统功能与作用	111
第四节 计算机辅助行车调度系统	122
第五节 调度监督与调度集中系统	125
复习思考题	131
第六章 铁路综合数字移动通信系统(GSM-R)	132
第一节 GSM-R 发展概述	132
第二节 铁路数字移动通信原理	140
第三节 业务	174
第四节 网络结构和功能	184
第五节 识别码和寻址	216
复习思考题	223
第七章 GSM-R 在铁路无线通信中的应用	224
第一节 功能寻址	224
第二节 基于位置的寻址	236
第三节 无线列调	246
第四节 调度数据和旅客服务信息传输通道	260
复习思考题	269
参考文献	270

第一章 绪 论

第一节 铁路专用通信业务

铁路是一个庞大的企业,包含了运、机、工、电、车辆等专业部门,各部门围绕铁路运输生产,为保证部门之间信息畅通,指挥列车运行和编解列车,铁路有一套完整的专用通信系统。

铁路专用通信一直被人们誉为铁路的“千里眼、顺风耳”,是铁路运输的重要基础设施,对铁路运输指挥和安全生产起着至关重要的作用。

传统的铁路专用通信的业务包括干、局线通信,区段通信,站场通信,无线专用通信,应急通信和列车通信,近年来铁路正在大力发展 GSM-R 数字移动通信系统,具体类别见表 1-1。

表 1-1 铁路专用通信业务

干局 线通信	区 段 通 信			站场通信	无线专 用通信	应急通信	列车通信
	区段调 度通信	区段专 用电话	区段数 据通信				
1. 干线各 种调度通信 2. 局线各 种调度通信 3. 干、局 线会议电话 4. 干、局 线会议电视	1. 列车调 度通信 2. 货运调 度通信 3. 电力调 度通信 4. 其他调 度通信	1. 车务、 工务、水电、 供电等电话 2. 桥隧守 护电话 3. 道口 电话 4. 站间行 车电话 5. 区间 电话	1. 各 类 DMIS 信 息 通道 2. 电力远 动通道 3. 红外线 轴 温 检 测 通道 4. 信号控 制信息通道 5. 其他控 制信息通道	1. 站内调 度电话 2. 站场内 部电话 3. 扳道 电话 4. 客运 广播 5. 客运信 息系统 6. 站场扩 音对讲	1. 列车无 线调度电话 2. 列车无 线防护报警 3. 站场无 线电话 4. 铁路数 字移动通信 系统 5. 公安、 工务对讲 6. 道口无 线报警	1. 救援 指挥系统 电话 2. 图像 传输 3. 数据 传输	1. 列车 广播 2. 列车 电话 3. 闭路 电视 4. 旅客 电话 5. 列车 安全告警 系统

从表 1-1 可以看出,铁路运输调度通信是铁路专用通信的重要组成部分,是直接指挥列车运行的通信设施,是铁路专用通信的主体,本书主要讨论调度通信系统。按铁路运输指挥系统分干线、局线、区段三级调度通信体系。

干线调度通信是铁道部为统一指挥各铁路局,协调完成全国铁路运输计划,在铁道部与铁路局之间设立的各种调度通信。

局线调度通信是铁路局为统一指挥所属主要站段,协调完成全局运输计划,在

区段调度通信是路局为指挥运输生产,在调度员与所管辖区段的铁路各中间站按专业、部门设置的调度通信系统,统称区段调度,按业务性质可分为列车调度、货运调度、电力牵引调度以及无线列车调度等。

铁路调度通信设备的发展,从其技术特征来分析,大致经历了三个阶段。

第二阶段 20 世纪 70 年代初至 90 年代末,以晶体管为主要器件,采用双音频选叫技术。

第三阶段 20 世纪 90 年代末至现在,以集成电路芯片为主要器件,采用数字交换和计算机通信技术。

20 世纪 90 年代的信息革命浪潮,信息和知识呈爆炸式增长,使人们意识到信息和知识已成为社会和经济发展的新增长点。庞大铁路运输网的高速运转,需要相应的信息通信网的支持,各级运输指挥中心需要随时随地对获取信息进行分析、处理,而信息源点分散在千里铁道线上的各中间站和基层站段,由于运输信息化的需要,铁路专用通信必须实现数字化。为此,铁道部决定干线调度通信不再使用模拟调度设备,而采用西门子 Hicom 数字调度交换机组建干线调度通信网络,由单一的调度电话业务改建成具有图像、文字、语音等业务的多媒体调度通信。1998 年发布的《铁路专用通信技术体制》,确定了“车站通信设备一体化”、“专用通信数字化、综合化、智能化、宽带化”的发展方向。

1995年铁道科学研究院根据铁道部下达的重点科研项目,进行了“铁路数字区段通信系统研究”,然后不少生产厂家针对区段通信数字化的要求,研制开发了“铁路数字专用通信系统”。目前,新建铁路全部采用数字调度设备,现有铁路线已有五分之一的区段进行了设备改造,目前使用的产品有:北京佳讯飞鸿电气有限责任公司生产的FH98Ⅱ铁路数字专用通信系统,中软网络技术股份有限公司生产的CT12000L/M专用数字通信系统,济南铁路天龙高新技术开发有限公司生产的ZST-48铁路数字专用通信系统。

新型数字调度设备采用数字交换和计算机技术、大规模集成电路芯片器件,其技术水平和性能可以说“是一次质的飞跃”,开创了铁路专用通信数字化的新纪元。

第三节 铁路调度通信网的网络结构

铁路调度通信网的网络结构根据铁路运输调度体制,分为干线、局线、区段三层,铁路局和站段为各层网络的可切点。例如,局调台在干调网内是一台干调分机,可是在局调网内是局调指挥中心,同样,区段调度台在局调网内是一台局调分机,可是在区段调度网内是区段调度指挥中心,可见调度网是根据调度业务流程和地理位置来组网。干、局调网络是一个呈辐射型的星形网络,区段调度网络是一个呈链状的总线型网络,见图 1-1。

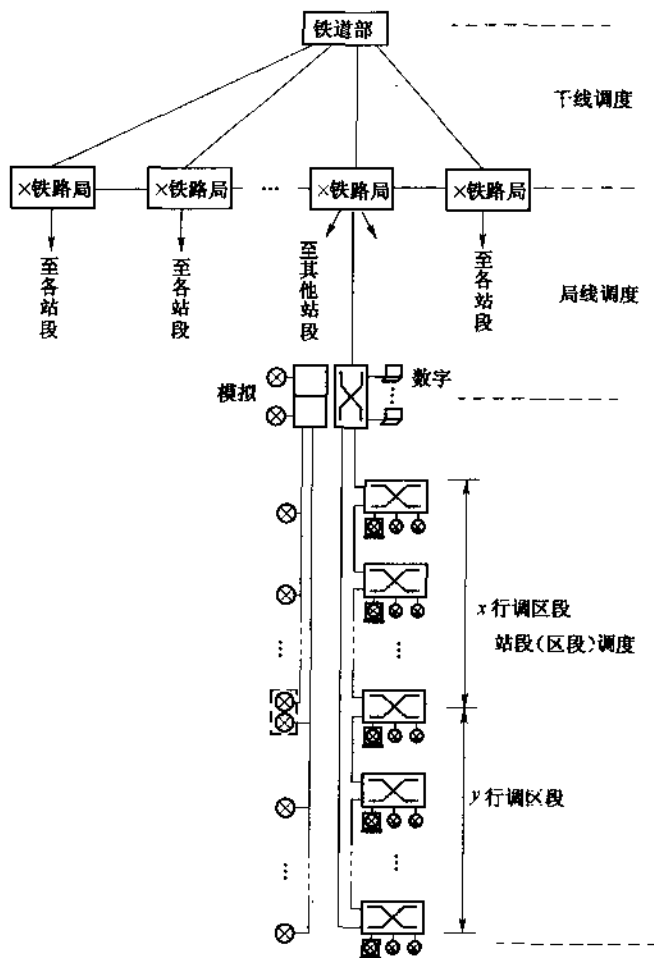


图 1-1 铁路调度通信网网络结构示意图

铁道部运输指挥中心设数字调度交换机,用数字中继通道与各铁路局运输指挥中心的数字调度交换机相连,相邻铁路局的数字调度交换机之间也以数字中继作为直达路由,从而组成一个复合星形网络结构的干线调度通信网。

铁路局的局线调度数字交换机用数字中继通道与各铁路站段数字调度交换机(也可利用区段数字调度设备)相连,构成一个星型网络结构的局线调度通信网。

三、区段调度通信网

铁路站段运输指挥中心(站段调度所)设区段数字调度机(俗称主系统),与所辖区段沿线各中间站车站数字调度机(俗称分系统),用 2M 数字通道呈串联型逐站相连,并由末端车站环回,组成一个 2M 自愈环。

区段内所有调度业务(行调、货调、电调、无线列调)纳入 2M 数字环内,一种调度业务固定占用一个共线时隙。具体组网方式在第四章讨论。

第四节 数字调度通信设备的特点

铁路运输调度通信的性能是针对调度业务性质来确定的,干、局线调度业务比较单一,但区段调度通信网的调度用户——车站值班员,除了接受列车调度台指令性的调度业务之外,还要办理行车业务,因此还有站间通信、站内通信、区间通信等业务的接入,所以干、局线调度设备和区段调度设备不完全一样。干、局线调度设备是以 ISDN 交换机配置调度功能模块,组成数字调度交换机,而区段调度设备却不同,除了要有交换功能之外,还要实现共线型组网、其他通信业务的接入,列车调度台既是局调用户又是区段行车调度指挥员,必须与局调连网接受呼叫,并能转接所辖区段内任一行调分机。所以严格说来,区段调度设备不能称之为数字调度交换机,而是具有交换功能,以电路交换为平台构建多种通信业务综合接入的区段数字通信设备。利用该系统开放与区段调度有关的一切通信业务,所以习惯上称为“数字调度通信设备”。

区段数字调度通信设备有以下主要特点:

1. 基于数字传输的数字通信设备,具有优良的传输性能

提供端到端的数字连接,即从调度台至车站值班台之间的传输全部数字化,所

以噪声、串音、信号失真都非常小。数字通道为无损耗通道,所以近端分机和远端分机声音都一样大小,具有优良的传输性能。而且呼叫接续时间短,不超过 50 ms,比程控调度总机的 600 ms 又缩短了一个数量级。

2. 基于数字交换平台与计算机技术融为一体,体现了技术先进性

使用计算机硬件、软件去控制时分交换网络的交换接续来实现各种调度功能,采用大规模集成电路芯片为主要器件,模块化设计,分散式控制。

3. 数字与模拟的兼容性,为实际运用提供了方便

在进行区段调度组网时,有时会碰到分叉站的分支线路为模拟设备,为了使模拟线路上的调度分机、站间、区间电话接入,采用专用接口,实现数模混用。利用专用接口还可实现将模拟实回线作为数字通道的备用。对于枢纽调度某方向的小站仍为模拟设备时,同样可以组网,这种具有铁路特色的数模兼容的运用也是区段数字调度的一大特点。

4. 多种业务的兼容性,为区段通信数字化奠定了基础

区段调度通信设备不仅成功地开放了各类区段调度通信业务,还很好地解决了站间通信、站内通信、区间通信等通信业务的接入。此外,配置数据接口,还可开放数据通信业务;配置用户接口还可以将局调网的自动电话延伸至任何区段内的任意小站和区间,为应急通信提供话音业务和图像传输;配置音频 2/4 线接口,为用户提供透明的音频通道。总之,根据业务需要配置相应接口可实现多种业务的综合接入,为区段通信数字化、网络化奠定了基础。

5. 安全可靠性能高,为保证调度指挥不间断通信创造了条件

调度通信必须安全可靠,数字调度设备应从硬件、软件两个方面来保证。元器件采用大规模集成电路芯片、模块化设计、分散式控制来保证安全可靠;主要部件采用 1+1 实时热备份设备,出现故障自动倒向备份;除传输系统具有自愈保护功能外,还采用了自愈环组网,即使中间断线仍然畅通而不影响使用。

6. 具有集中维护网络管理功能,大大减少了维护工作量,安全运行更有保障

在调度通信机械室设数字调度网管维护台,对沿线各车站分系统进行状态监视、故障告警监测、系统配置管理,沿线各车站分系统可以做到无人值守,还具有远程诊断业务,技术支援响应快,对安全运行更有保障。

第五节 铁路综合数字移动通信网络

1995 年的铁道部科技大会上指出铁路的发展最终取决于现代化,而铁路信息化是铁路现代化的主要标志。1999 年 4 月铁路运输信息工作会议进一步指出了全路信息化建设的重要性,统一了进行铁路信息化建设的认识。铁路信息化是指在统一规划及有序组织下,充分利用国内外先进的信息技术与网络资源,深入开发、运用各种信息资源及信息系统,逐步实现铁路市场经营、运输生产、社会服务、

运行维护和管理决策等方面的现代化。将信息技术广泛应用于铁路生产经营的各项活动中,可以改造传统产业,提高铁路运输生产率与竞争力。

信息化的关键是共享、使用、综合。铁路信息化体系由六大系统组成,它们是:业务管理信息系统、过程控制与安全保障系统、办公信息系统、社会化信息服务系统、决策支持与综合应用系统、通信网络系统。其中通信网络系统又分为固定通信网络和移动通信网络。如图 1-2、图 1-3 所示。各系统在信息化体系中处于不同的层次并相互作用、相互支撑,构成了紧密发展,铁路通信信号相连的有机整体。作为我国铁路信息化的基础结构,通信网络系统与其他 5 个系统进行系统传输与共享的根基,是铁路信息化建设和铁路现代化发展的关键因素,在铁路信息化建设和铁路现代化发展中有举足轻重的地位。达不到基本的通信要求,信息化只能是空谈。因此,在新的形势下,如何实现网络化和综合化的方案,根据我国铁路的实际情况,融合世界先进通信与网络技术,快速而又高效地建设我国铁路通信网络,对于加快铁路信息化建设步伐,促进铁路现代化发展,提高铁路的竞争能力,更好地为社会提供运输服务具有非常重要的意义。

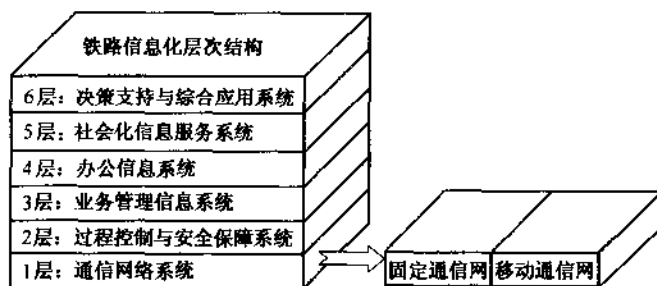


图 1-2 铁路信息化体系层次图

作为铁路通信网络的重要组成部分,移动通信网必须满足铁路运输主业和路内各种需求,同时也要为广大旅客和职工提供服务。它的建设也必将奠定良好的网络基础和带来新的发展契机,带动铁路信息化进程,并大大提高铁路信息化水平。随着 IT 技术和当代铁路的发展,铁路通信信号技术发生了重大变化,铁路通信信号技术相互融合,行车调度指挥自动化技术,冲破了功能单一、控制分散、通信信号相对独立的传统技术理念。车站、区间一体化,运输调度指挥和列车控制一体化,推动铁路运输调度指挥朝着数字化、智能化、网络化和综合化的方向发展。

我国铁路将通过综合数字调度移动通信网络的建设,实现铁路各种移动信息资源采集、传输,为现代化调度、指挥、控制提供通信平台。

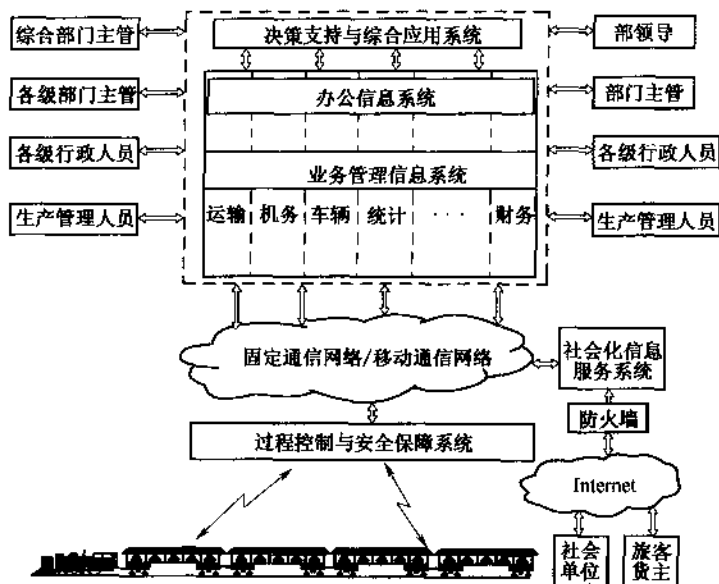


图 1-3 铁路信息化体系结构图

复习思考题

1. 简述铁路调度通信发展历程及各个阶段的技术特点。
2. 试分析铁路调度通信网中干、局及区段调度通信网络的拓扑结构有何不同。
3. 简述铁路数字调度通信设备的主要特点。
4. 简述铁路信息化的主要内容。

根据系统中各设备的作用,可将设备分为两部分:选叫部分及通话部分。选叫部分主要用来完成总机对分机的选叫及检测,同时也完成分机摘/放机信号的接收及显示等。该部分包括总、分机中的信号发送及信号接收电路以及总机中的专用微型机、分机中的专用单片微型机等。专用微型机还完成其他功能及控制作用。通话部分包括总机中的送、受话放大器、踏键及分机中的话机等。

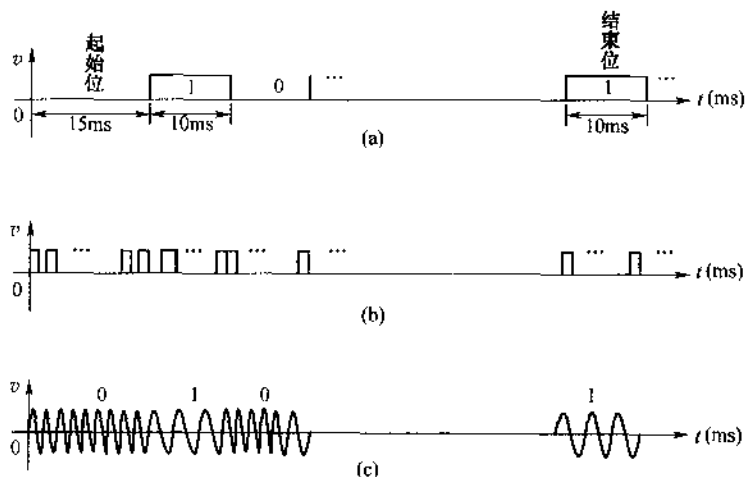


图 2-2 选叫信号构成方式

二、选叫信号的构成

选叫信号采用频移键控(FSK)调制方式,信号编码采用功能码+分机码组成,例如单呼为 0CAH+C₄ 组合码,一组信码有效位为十六位。0CAH 为先导码(或称标志码),它表示一组码的开始,C₄ 表示 8 位码中取 4 个“1”的组合,为使其在接收端进行偶校验,每组码中“1”的个数均为偶数。

选叫信号的构成方式分别如图 2-2(a)、(b)、(c)所示。图 2-2(a)为单极性不平衡二进制数字编码,在专用微型机中,是根据该编码构成的并行码进行传输。图(b)是调制信号。图(c)则为在调度回线中传输的数字调频信号。

数字调频信号中的传号频率 $f_1 = 1\,300\text{ Hz}$ 。空号频率 $f_2 = 2\,000\text{ Hz}$,信号频率差 $f_3 = f_2 - f_1 = 700\text{ Hz}$,中心频率 $f_0 = 1\,650\text{ Hz}$,传信率 $f_s = 100\text{ bit/s}$,采用异步传输方式。

根据数据传输原理分析,可知偏移率 $D = \frac{700}{100} = 7$,属于高指数调频,信号所占频带宽度约为 $14 f_s = 1\,400\text{ Hz}$ 。信号功率谱密度分布较宽,可以相对减轻对邻近通道的干扰。在程控调度电话系统中,是利用话音通道传输选叫及摘/放机信号,所以能够提供足够的通带宽度传输数据信号。同时由于高指数调频,尽管信号所

三、系统主要性能

定位衰耗实际指的是在单呼状态下最远端分机的传输衰耗;最大衰耗指的是在全呼状态下最远端分机的传输衰耗。设计区段长度及区段所容纳的分机总数时应分别满足该两项的衰耗值。

为了满足该项性能要求,系统中的话音放大电路不仅具有适量的负反馈特性,且具有高频提升功能,其目的均是为了改善音质。

(3)利用区段中间某一分机,作为选叫及回铃信号的再生中继设备,以增加选叫可靠性。

(4) 系统采用软件控制且采用模块化的软件结构,能方便地适用于各种不同的情况。

(5)系统中的选叫号码可扩充到70个(包括各种接口等)。并预留适当接口,供扩展功能使用。

四、主要功能

由于采用程序控制,开发与扩展功能比较方便,所以程控调度电话系统具有较多的功能,主要功能如下。

(1)单呼与全呼——可以单呼与全呼分机,当未选叫出分机时。可自动连选3次;

(2)依次选叫——必要时可对分机实现“依次选叫”，使所需用户逐次响铃；

(3) 灯光显示——选叫箱面板上装有用户指示灯及回铃灯,利用灯光信号显示用户状态。用户摘机时,用户指示灯点亮,用户放机时,用户指示灯熄灭。接收回铃信号(回铃码)时,回铃灯点亮,下次选叫时,回铃灯熄灭,以备回铃灯再次点亮。采用灯光显示后,有效地减少了回铃噪音的影响;

(4)用户灯暂留——当调度员按了“用户灯暂留”键后,用户摘机时,点亮用户

指示灯,而当用户挂机时,暂不熄灭用户指示灯,只有当再按一次用户灯暂留键或复位键后,用户指示灯才熄灭。利用该功能,能使调度员暂时离开调度室时,能够暂时“留下”呼叫过调度员的分机号码;

(5)再生中继——具有自动再生中继信号功能。对于个别超长区段,仍能保证选叫可靠性;

(6)自检及检测分机——总机具有“自检”及对所属分机的在线检测功能,便于值班人员随时了解分机状态是否良好;

(7)录音功能——具有录音插口,可以进行送、受话录音;

(8)台间联络——各有关调度台能彼此相互呼叫与通话。

五、系统主要技术指标及分析

1. 系统工作环境

调度电话系统是在传输距离远、衰耗大、通路中节点多,并存在各种干扰的条件下进行工作的。

根据通道具体情况,在通道中有时需装设双向增音机或汇接分配器或遥控放大器,在这些设备中大都装有音控开关装置,且具有一定时延,因此宜采用低传信率传输选叫信号。

该系统的传输带宽是(300~3400 Hz),对于选叫信号或摘/放机信号等,每传输一次的信息量都较小(通常小于 30 bit),所以对于积累误差,采取适当措施后,都不会对系统的稳定工作造成严重影响。

2. 选叫及摘/放机信号传输速率及电平

由于通道上的音控开关等装置引起传输电码的码元畸变为:

$$\sigma = \frac{\tau_0 - \tau_1}{T_s} \times 100\%$$

式中 τ_0 、 τ_1 与 T_s 的含义如图 2-3 所示。

为了减小码元畸变,需延长码元宽度孔,因此需采用低传信率,并取传信率为 100 bit/s。

根据传输带宽及频偏值,分别用式(2-1)(2-2)与式(2-3)可以算出信号频率建立时间 $t_f \approx 0.33 \text{ ms} \ll T_s (10 \text{ ms})$,所以采用 100 bit/s 的传信率可保证信号接收既稳定又可靠。

$$P = \frac{\omega_{c2} - \omega_{c1}}{2\omega_d} \quad (2-1)$$

$$k = 1 + \frac{1}{\pi^2} \left[\ln \frac{P+1}{P-1} \right]^2 \quad (2-2)$$

$$t_f = \frac{k}{f_{c2} - f_{c1}} = \frac{k}{\Delta f} \quad (2-3)$$