

GSM-R 技术及机车综合无线通信设备的研究和设计

摘要

GSM-R是ETSI(欧洲电信标准协会)在第二代数字移动通信GSM标准的基础上，经过十多年的技术条件制定、测试和认定推出的一个针对铁路的专用数字移动通信标准，其在欧洲已投入使用。GSM-R系统无线接口是为高达500km/h的速度设计的，适合于高速铁路发展的需要，且由于车站、区间和列车控制的一体化，满足了新一代铁路综合数字移动通信网络的需求。GSM-R的空中接口符合GSM标准，是目前唯一能够向第三代移动通信系统平滑过渡的提供专用调度通信服务的系统。发展GSM-R技术适应中国铁路运输现代化服务的需要。

本论文是关于铁道部综合无线通信设备的开发项目。论文首先对GSM-R系统做了详细的分析和介绍，这些内容包括：GSM-R概述，系统网络结构，GSM-R频率选择，GSM-R的专有特性，GSM-R在欧洲和我国的实施情况，GSM-R技术的进一步发展；然后对集群通信系统和GSM-R系统进行比较，根据其优缺点得出了GSM-R系统是目前铁路通信应用开发的最好方向。

接着论文设计了一种应用于GSM-R网络的一种终端设备：机车综合无线通信设备，简称CIR (Cab Integrated Railway)。随着铁路通信技术的发展和业务需求的不断增加，机车无线通信技术的发展和业务需求的也不断增加，机车无线通信的内容也得到了完善与发展。针对无线通信的众多运用与发展，铁道部提出了资源综合利用、预留发展空间、既有设备充分利用、方便司机的应用的总体设想，并明确提出了开发众多无线通信业务共用一个操作终端的机车综合无线通信设备。研发的CIR设备放置于火车机车头部，能实现450M和GSM-R两种工

作模式转换，供司机和地面调度、车站值班员、运转车长通信使用。论文分析了CIR的功能，并设计了CIR系统总体结构，然后又对CIR的两个组成部分：主机和MMI分别进行了硬件框图设计，并对其中应用到的模块进行了选型。在论文的第四章设计了CIR各模块之间软件的通信协议和主控、MMI软件流程，做了软件总体框架的设计并对各软件模块的层次结构进行了说明。最后应铁道部要求，对研发样机进行了静态和动态功能测试。测试结果符合铁道部基本要求。

由于我国铁路通信目前基本还是用无线电台进行地面与机车之间的语音通信，现在要在铁路主干道修建GSM-R网络，需要一段时间，并且一些支线要建设GSM-R网络需要更长时间的规划甚至根本不需要铺设，因此我国铁路未来将出现无线电台通信与GSM-R通信长期共存的现象，因此需要一种综合通信设备，既能应用于现在的无线电台通信系统，又能适合未来的GSM-R通信，我们研发的项目就是基于此想法考虑的。目前国内还没有一种应用于火车头上的通信设备能完成此两项功能，因此机车综合无线通信设备的研发对我国铁路交通事业具有重要实际意义，同时也有很大的经济利益。

关键词：GSM-R系统 CIR 调度通信 MMI

THE RESEARCH OF GSM-R TECHNOLOGY AND THE DESIGN OF CIR

ABSTRACT

GSM-R is the private mobile communication system for railway, which is based on the ETSI GSM, the second generation of mobile communication system, It has already come into use in Europe. Wireless interface of GSM-R system is designed for high-speed railway with the velocity 500km/h, and suitable for the development and requirement of high-speed railway which also meets the demands of new-generation synthetical digital mobile communication network .Because GSM air interface accords with GSM standard, it is the only communication system at present which can supply special-purpose dispatcher's service in the smooth transaction toward the third-generation mobile communication system. Developing GSM-R technique adapts to the demand of Chinese transportation modernization .

The paper is about a development item of Cab Integrated Railway which is brought forward by Ministry of Railway. Firstly, every aspect of GSM-R System is described and introduced detailedly. These aspects are as follows. GSM-R system frequency choice, the specific features of GSM-R, the implementation situation GSM-R system, as well as it's further development .by comparation of TETRA system and GSM-R system, it is concluded that GSM-R system is the best orientation suitable for applicant and development at the moment.

I designed a terminal which is applied to GSM-R system, i.e. Cab

Integrated Railway, for short CIR. With the development of railway communication and increase of railway service, cab wireless communication technique have a new demand as well , so the Ministry of Railway definitely put forwards research and development of CIR, which is put in the head of locomotive, is used by engine driver. The paper analyses the function of CIR and designed it's structure as a whole, the CIR include two parts: host control part and MMI is devised respectively in detail, and define the model which is used in CIR. In the forth chapter, design the software communication protocol of CIR, design the whole software frame of host control and MMI. Finally the CIR is tested about it's many functions by the Ministry of Railway, the result of testing accord with the basic demand of the Ministry of Railway.

At present wireless broadcasting station is still applied in railway communication in my country. Building GSM-R system is a long-term project which can't be achieved in short time. so have a coexistence of wireless broadcasting station communication and GSM-R communication in the long time. Our CIR adapt to this two communication system. So the research and development of CIR is significant sense for my country's railway transportation. also have a large number of economic profits.

KEY WORDS: GSM-R system CIR(Cab Integrated Railway)
dispatch communication MMI (Man-Machine Interface)

独创性（或创新性）声明

本人声明所呈交的论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了文中特别加以标注和致谢中所罗列的内容以外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得北京邮电大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同志对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示了谢意。

申请学位论文与资料若有不实之处，本人承担一切相关责任。

本人签名：_____ 周超 _____ 日期：____ 2006 年 3 月 6 日 _____

关于论文使用授权的说明

学位论文作者完全了解北京邮电大学有关保留和使用学位论文的规定，即：研究生在校攻读学位期间论文工作的知识产权单位属北京邮电大学。学校有权保留并向国家有关部门或机构递交论文的复印件和磁盘，允许学位论文被查阅和借阅；学校可以公布学位论文的全部或部分内容，可以允许采用影印、缩印或其它复制手段保存、汇编学位论文。（保密的学位论文在解密后遵守此规定）

保密论文注释：本学位论文属于保密在__年解密后适用本授权书。非保密论文注释：本学位论文不属于保密范围，适用本授权书。

本人签名：_____ 周超 _____ 日期：____ 2006 年 3 月 6 日 _____

导师签名：_____  日期：____ 2006.3.6 _____

第一章 序论

1.1 专用移动通信的发展历程

相对于公众移动通信是为人民大众提供移动通信服务而言，专用移动通信则是为特定的人群提供移动通信服务，如为企业事业单位和公用服务单位提供的无线电调度通信、自动拨号无线电话等移动通信服务。专用移动通信的技术发展可分下列几个显著的阶段。

1980年以前，属于早期的专用移动通信是车载电台之间构成的同频单工网(网状网络结构)，或由基站和车载电台构成的异频单工网(星状网络结构)，以及由对讲机构成的系统。

1980年，发展成为大区制覆盖的单频道/多频道的单基站系统，网络拓扑为星状结构，可实现基站与移动台的无线电通信，提供调度中心对移动用户的调度服务，移动用户间的通信需要经过调度中心转接。并在单基站的基础上，发展成多基站系统。这一时期，在频道利用方面采用了多信道共用技术；专用呼叫信道方式和非专用呼叫信道方式(循环定位和非循环定位等方式)。

1985年产生了所谓的集群通信系统(*Trunked communication system*)^[1]为了进一步提高频道利用率，在多频道共用技术基础上，先后提出了“消息集群”(*message trunking*)和“传输集群”(*transmission trunking*)等概念，并付诸实现。中文译名“集群通信系统”中的“集群”的含义不如原文明确，其实，它是一种采用多频道中继(*trunked*)技术的能提供调度电话通信服务功能的一种专用移动通信系统。就技术而言，“集群”是多频道共用技术之改进。由于它的频道利用率高，也被认为是一种先进的调度通信系统，并成为专用移动通信的主流技术装备。集群通信系统也包括单基站系统和多基站系统。它的通信服务功能除了提供调度中心对移动用户之间的调度通信服务之外，经过基站中心控制还可以提供移动用户之间及移动用户与公众网用户之间的通信服务。

90年代，随着数字通信技术的引入，集群通信由模拟体制发展成为数字体制，延伸出所谓“数字集群”通信系统。其技术进步是十分明显的，主要特征是：调制方式由模拟发展为数字，多址方式由FDMA发展为TDMA，通信业务

由话音发展为数据和话音，组网方式更加灵活。

专用集群移动通信系统的应用，在国外得到了成功的发展，并在移动通信业中占有相当的比例。其应用可分为专用移动无线电(Private mobile radio or special mobile radio)和共用移动无线电(common mobile radio)。

我国民用的专用移动通信可追溯到20世纪50年代初期，是用于铁路机车的无线电调度通信。改革开放以来专用无线电调度通信得到较快的发展。在20世纪80年代初期，利用对讲机或车载/固定电台，组成了无线电调度指挥系统，1989年开始引进模拟集群系统，1990年投入使用。到1993年，集群系统得到了较快的发展，但是从1995年以后，发展滞缓，与蜂窝移动通信的发展(用户数)不成比例。虽然在计划经济的部门管理下我国专用移动通信得到了一定的发展，但在转向市场经济的过程中，其发展的速度、规模与市场需求相去甚远。因此，可以预计专用移动通信在我国会有很大发展空间。

随着数字通信技术的引入，集群通信由模拟体制发展成为数字体制，延伸出所谓“数字集群”通信系统，俗称“数字集群”。目前，能提供调度通信服务的数字专用移动通信系统有几种类型^[2]：欧洲的TETRA系统、MOTOROLA的iDEN系统、以色列的FHMA系统以及欧洲的GSM-R系统等。

TETRA是一个多功能移动无线电标准。TETRA系统构成了具有全双工移动电话通信、指挥调度通信、移动数据通信功能的综合移动通信平台。可提供的业务有：全双工电话、电路方式的数据、短数据报文、分组数据和群呼、组呼调度电话等。采用ACELP语音编码，网络结构采用网状或星状网。多址方式采用4时隙/25kHz的TDMA，参见图1-1(a)。

iDEN是一个调度通信/双工电话组合系统。它在传统的调度通信基础上，大量吸收数字蜂窝通信系统的优点：采用双模手机方式，增强了电话互联功能；采用小区复用蜂窝结构提高了网络覆盖能力；实现了调度通信的漫游。可提供的业务有：调度通信，双工电话通信，分组数据，电路数据，数字短信息等。采用的数字技术有：M16QAM数字调制，VSELP语音编码。多址方式采用6或3时隙/25kHz的TDMA方式，参见图1-1(b)。

FHMA是采用跳频(FH)和低速率语音处理技术的大容量专用移动通信系统。它支持综合话音和数据业务，采用3时隙/25kHz的TDMA多址方式，如图1-1(c)。

GSM-R是欧洲铁路专用移动通信系统。GSM-R中的R是指Railway。它基于传统的公众数字蜂窝通信GSM技术体制，增加了强大的专用移动通信的调度功能而构成的一个综合移动通信系统。其多址方式为8时隙/200kHz的TDMA。采用GSM—R系统可以建设覆盖全国铁路网的铁路数字移动信息基础设施，提供调

度员与列车司机间的列车无线调度通信、站场调车无线通信，以及运营、养护、维修无线通信。进一步，可以通过GSM-R传输指令而实现列车自动控制（Automatic Train Control，ATC）。此外，GSM-R还能够提供许多新的服务，如旅客信息服务、货物跟踪等，为铁路乘客提供持续的高水平服务。

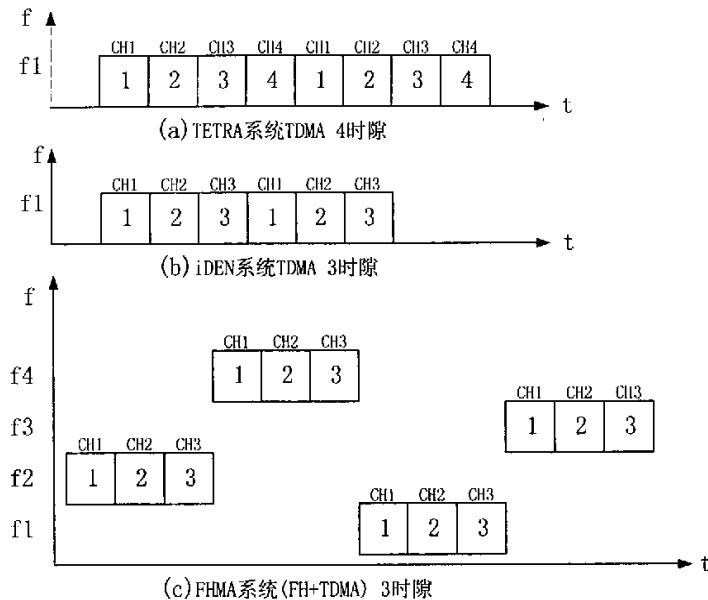


图1-1 三种系统TDMA方式下的信道共用

上述的几种数字专用移动通信系统均采用了TDMA多址方式。显见，在一个25kHz的频道中可开辟3或6个时隙，使频谱利用率为模拟集群系统的3-6倍，采用跳频技术后的系统容量还可增至模拟系统的25-30倍，因此在相同的频带资源下，数字系统具有更大的系统容量。此外还具有更强的调度通信功能，能提供更多的通信服务（话音、低速率数据业务等）。因此，专用移动通信的技术发展必定是数字体制取代模拟（集群）系统。

1.2 新一代铁路移动通信的解决方案

在铁道部中长期计划发展战略中，为适应主要大中心城市之间的短途旅行，使中国铁路部门占有有利的竞争优势，移动通信对于火车（特别是时速高达300千米/小时的火车）的安全操作和火车的自动控制变得非常重要。用于火车和铁路控制中心的技术选择需要迎合这种新的要求。设计必须考虑到安全性的需求和现代高速铁路的操作需求。还要考虑专用移动通信和公众

移动通信的技术融合和网络融合。移动通信主流技术的代表应是公众移动通信技术，公众移动通信正向宽带、大容量、高频谱利用率、高速数据率、多媒体、无缝覆盖的方向发展，第三代移动通信系统即将投入市场。面临第三代移动通信的挑战，需要思考专用移动通信的技术进步及应用发展，即需要回答：下一步的专用移动通信技术是什么；未来的专用移动通信系统将如何；将由什么系统或网络来满足不断增长的专用移动通信服务。首先，我们分析目前已有的两个典型数字专用移动通信系统：iDEN和GSM-R。

iDEN系统的简化结构^[4]如图1-2所示。移动用户(MS)通过基站(BS)与数字交叉连接系统(DACS)相连。当实现专用调度电话通信功能时，是经DACS与DAP调度应用处理机相连，并由DAP进行调度应用处理；当实现公众电话通信功能时，是经DACS与蜂窝移动通信交换中心(Cellular-MSC)，再经Cellular-MSC与公众电话网(PSTN)相连。

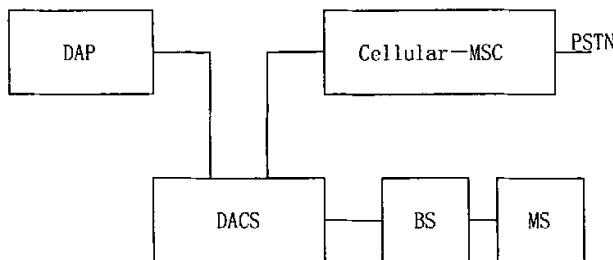


图1-2 iDEN系统的结构

iDEN是在传统意义的专用调度移动通信系统中，增加了公众蜂窝移动通信交换功能的系统。通过数字交叉连接系统，处理来自或送往用户(双模手机)的公众移动电话呼叫或专用调度通信呼叫。

GSM-R是ETSI(欧洲电信标准协会)在第二代数字移动通信GSM标准的基础上，经过多年的技术条件制定、测试和认定推出的一个针对铁路的专用数字移动通信标准，其在欧洲已投入使用。GSM-R系统无线接口是为高达500km/h的速度设计的，适合于高速铁路发展的需要，且由于车站、区间和列车控制的一体化，满足了新一代铁路综合数字移动通信网络的需求。GSM-R的空中接口符合GSM标准，是目前唯一能够向第三代移动通信系统平滑过渡的提供专用调度通信服务的系统。发展GSM-R技术适应中国铁路运输现代化服务的需要。GSM-R系统的结构如图1-3所示。

它是在传统意义上的公众蜂窝移动通信系统(GSM)中，增加了组呼寄存器

(GCR)，用来处理专用调度通信的呼叫。此外还增加了有关移动性管理、优先级、加密等软件。因而，它能满足调度通信要求的优先级与强插功能，话音组呼及广播等功能。

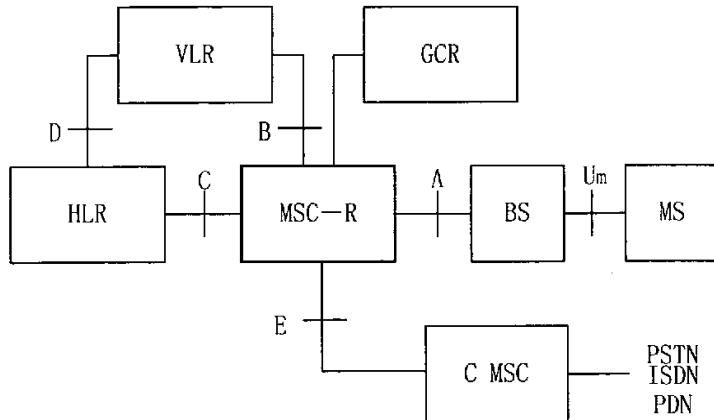


图1-3 GSM-R系统的结构

因为GSM-R的空中接口符合GSM标准，它可以随着GSM向第三代移动通信系统的演进而平滑过渡。目前，GSM-R是目前唯一能够向第三代移动通信系统平滑过渡的提供专用调度通信服务的系统。

在过去，铁路往往未能取得采用公共技术解决方案的机会，由于传统的原因，铁路技术的需求如此特殊以至于商品标准不能完全迎合铁路操作的需要。因此构筑一个综合移动通信硬件平台并开发不同的移动性管理和其他相应软件，而将专用移动通信和公众移动通信融于一个综合移动通信网，不再显著区分专用调度通信系统和公众移动通信系统，将是专用移动通信技术发展的一大趋势。

1.3 中国铁路移动通信的技术现状

铁路通信网是为旅客和铁路公务、应急抢险、行车维修等人员提供及时可靠的通信，是一种集列车公务通信和区间移动作业通信为一体的列车移动通信系统。但是铁路结构自身的特点，决定了该系统与公用移动通信网和区域性的专业移动通信网的差别，它是一种属于线面结合、以线为主的链状网。

中国铁路的无线通信目前主要包括400MHz无线列车调度和站场无线通信

两个系统。作为保障铁路行车安全的重要指挥通信手段，无线列车调度通信系统共分为A、B、C三种制式。A制式是按调度员直接指挥机车行车的方式设计的，以“调度员-司机”的通信为主；B制式是按照以车站指挥行车为主，允许调度员加入行车指挥的方式设计的，以“车站值班员-司机-车长”三者间的通话为主；C制式是按照车站值班员直接指挥行车的方式设计的。目前，C制式可以提供车站台对调度台的通信转接等。另外，无线列调还可提供列车尾部风压信息传送、车机联控录音等功能。而站场无线通信系统主要用于铁路区段站、编组站间的无线通信，包括平面调车、车号、列检等站场单工无线通信系统，均由相应的单位自行投资和建设，目前已广泛使用。但这种400MHz的列车无线列调系统，它完成车站值班员与进入其管辖区段的列车车长以及列车司机之间的通话联系。当列车即将进站或即将出站时，这些通话才进行，如果没有特殊的情况，则在列车运行于区间时，通话一般不进行。

现行铁路采用的另一种移动通信方式集群通信系统是一种功能强大的专用移动通信系统，是通信与计算机网络技术紧密结合的产物。它集交换、控制、通信于一体，通过无线拨号的方式把一组信道自动最优地动态分配给系统内部用户，最大限度地利用系统资源和频率资源，降低系统内呼损，提高服务质量。由于它具有群呼、组呼、强插、强拆等功能，特别适合于调度指挥以及应急、抢险等场合，并较好地解决了通信频率合理分配的问题。但是这一系统还具有一定的缺点，主要包括采用动态的频率分配，没有考虑与周围公用网的有效融合问题，没有先进的路由合理选择功能，并且在建立通路和自动过网时存在信息丢失现象，保密性不强，容易受干扰等。这些缺点对于话音通信的影响不大，但是会对列车与调度指挥中心之间的实时双向数据通信造成较大的误码，因而对于要求较多数据通信的场合并不适合。已开通的秦沈客运专线和正在建设中的渝怀线的移动通信系统主要包括400MHz的无线列调系统和800MHz的集群移动通信系统。考虑到集群移动通信系统在越区切换过程中会存在信息的损伤，因此将数据通信部分交由无线列调系统来完成，集群移动通信系统仅进行区间通信（如大三角功能的话音通信，公务通信以及应急抢险通信等），并留有调度电话进入的余地和接入公用通信网的功能。但是考虑到新一代的基于无线通信的列车控制系统CTCS对车-地控制信息传输的要求，已不适应客运专线和高速铁路等现代铁路运输对信息化和提高客运服务质量的需要。

1.4 课题的提出及其意义

- 中国铁路无线通信经过几十年的发展，在铁路运输生产中发挥了积极的作用，在系统建设、运行维护等方面也积累了丰富的经验。但是，由于铁路运输生产规模的不断扩大，也暴露了较多的问题，具体集中在以下几个方面：
- (1) 功能单一，控制分散。各系统均单独开发建设运营维护，技术更新慢，运营成本高。
 - (2) 大量单信道、独立系统的使用，造成了铁路无线频谱资源的浪费，频谱利用率低，且各系统基本采用模拟制式，容量小，技术落后，不利用新业务的开发和应用。
 - (3) 目前铁路枢纽列调设施重复设立，同频干扰严重，影响了枢纽列调的正常进行，给行车指挥及车站值班人员造成了较大的压力。
 - (4) 现有的无线系统已无法满足传输列车控制信号的需要，迫切需要采用基于无线的列车控制系统。

因此，随着铁路运输事业的发展，中国铁路需要建立一整套符合通信信号一体化要求，新一代的数字综合移动通信系统，以满足日益增长的铁路移动话音业务、数据传输业务和客货服务类业务的需求。GSM-R就是朝着这一方向发展的通信系统。GSM-R系统在欧洲成功地应用，为中国铁路新一代的数字综合移动通信提供了宝贵的经验。据我国铁路通信、信号技术发展的需要，铁道部拟在青藏铁路线建设GSM-R系统，以验证GSM-R系统在技术方面的合理性和有效性。

随着铁路通信技术的发展和业务需求的不断增加，机车无线通信技术的发展和业务需求的也不断增加，机车无线通信的内容也得到了完善与发展。针对无线通信的众多运用与发展，铁道部提出了资源综合利用、预留发展空间、既有设备充分利用、方便司机的应用的总体设想，并明确提出了众多无线通信业务共用一个操作终端的机车综合无线通信设备（简称CIR：Cab Integrated Railway）。CIR系统总体包括网络和终端两个部分，能实现450M和GSM-R两种工作模式转换。我在论文主要是讨论了将要运用于青藏铁路上的GSM-R技术，以及提出了机车与地面车站、调度的通信方案，设计了适合GSM-R网络的终端设备：机车综合无线通信设备。CIR设备放置于火车机车头部，供司机和地面调度、车站值班员、运转车长通信使用。

由于我国铁路通信目前基本还是用无线电台进行地面与机车之间的语音通信，现在要在铁路主干道修建GSM-R网络，需要一段时间，并且一些支线如果要建设GSM-R网络需要更长时间的规划甚至根本不需要铺设，因此我国铁路未来将出现无线列调电台通信与GSM-R通信长期共存的现象，因此需要一种综合通信设备，既能应用于现在的无线电台通信，又能适合未来的GSM-R通信，

CIR项目就是基于此想法考虑的。机车综合无线通信设备既能工作在450M模式下，完成调度通信、调度命令的接收、无线车次号的传送，又能工作在GSM-R模式下，以适应中国铁路正在铁路沿线建设的GSM-R铁路通信系统。能实现铁道部要求的GSM-R系统中的所有业务功能，即普通语音通话，用短信接收数据调度命令，铁路紧急呼叫，语音组呼（VGCS），语音广播（VBS），优先级与强拆（eMLPP）等业务。目前国内还没有一种应用于火车头上的通信设备能完成此两项功能，从这点上来看，开发CIR有很强的针对性，是铁道部花大力气提出的项目，因此机车综合无线通信设备的研发对我国铁路交通事业具有重要实际意义，同时也有很大的经济利益。

第二章 GSM-R 铁路综合移动通信系统

2.1 GSM-R 系统概况

GSM-R 基于 GSM Phase2+，典型的基于GSM-R的铁路通信网与普通GSM网并无大的区别，在其网络的网元、标准接口和连接的扩展上也无大的区别。在公网GSM中正在引入一系列新技术，如优化利用频率以提高网络容量，在高话务量区域（如车站）使用微蜂窝，以及多层覆盖根据速度进行越区切换等，这些技术略加改动即可用于铁路通信系统。区别主要体现在由铁路网特殊需求引起的网络结构和规划上。对于GSM-R，来自铁路网的特殊要求主要有^[9]

- 高达200~500Km/h的无缝通信
- 有限频点数(例如20个)的有效利用
- 载干比(C/I) 至少12dB
- 在一个制定区域内，95%的时段以及95%的覆盖率，信号强度度大于-90dBm
- 在GSM-R网之间切换，成功率也必须高于99.5%
- 根据所使用的业务，传输通道和网络设备必须有很高的可用性
- 隧道内的全覆盖
- 在车站和编组站场内覆盖要好
- 95%的通话建立时间要求较高，其余5%不高于标准的1.5倍

2.1.1 GSM-R 系统结构

GSM-R 系统由下列六个子系统组成：交换子系统 (SSS)、基站子系统 (BSS)、通用分组无线业务系统 (GPRS)、移动智能网系统 (IN)、终端子系统以及运行与维护子系统 (OMC)。GSM-R 系统的结构如图2-1 所示：

GSM-R 通信系统由下述功能单元组成：

1. 交换子系统 (NSS)

(1) 移动业务交换中心 (MSC)：主要负责呼叫的建立（包括鉴权程序）、呼叫控制和计费等功能。除了完成固定网中交换中心所要完成的呼叫控制等功能外，还要完成无线资源的管理，移动性管理等功能。当处理CAMEL 业务时，MSC 从VLR 接收O-CSI，并向SSP 请求指示，在处理过程中，MSC 监视请求的呼叫状态并通知gsmSSP 其状态，当处理调用任意补充业务时，MSC 从VLR

接收SS-CSI，并指出应向gsmSCP发送补充业务调用。

GMSC是具有路由功能的MSC，是GSM-R系统与其他通信网之间的接口。为了建立至移动台的呼叫路由，每个GMSC应能完成入口的功能，即查询位置信息的功能。当处理CAMEL业务时，GMSC从HLR接收到O/T-CSI，并向gsmSSP请求指示，在处理过程中，负责监视请求的呼叫状态并通知gsmSSP其状态，使gsmSSP能控制GMSC终呼叫的处理。

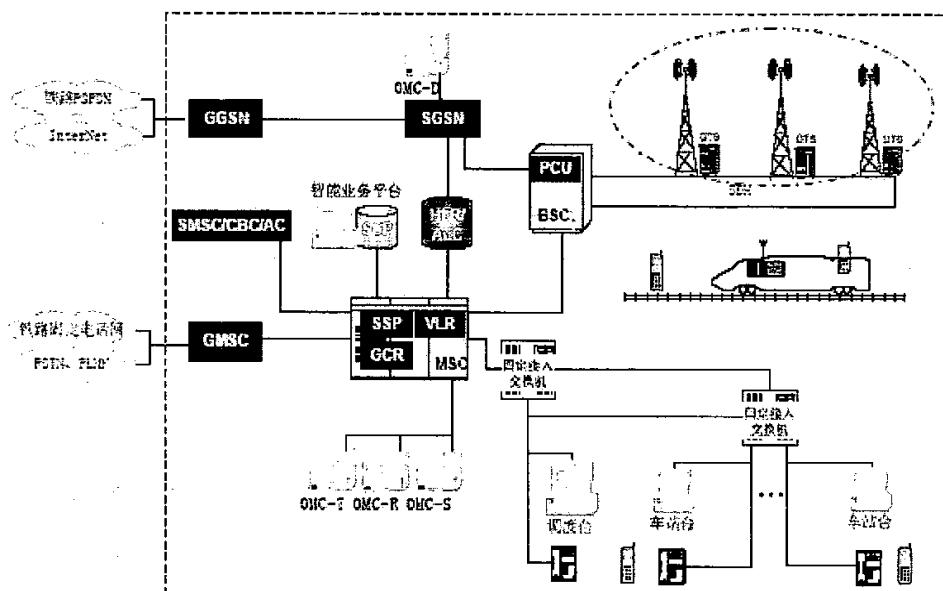


图2-1 GSM-R系统结构组成

(2) 拜访位置寄存器(VLR): MSC为了处理所管辖区域中MS的来话去话呼叫，需要检索信息的数据库。VLR管理在一个MSC区漫游移动用户的动态数据信息，包括用户的号码，所处位置区的识别，向用户提供的服务以及CAMEL的用户签约信息(O-CSI和SS-CSI)等参数。

(3) 归属位置寄存器(HLR): 用于移动用户管理的数据库。每个移动用户都应在某归属位置寄存器注册登记。HLR主要存储信息：在网络中永久注册的移动用户的静态数据信息(如IMSI、MSISDN及用户类别)，归属用户有关的动态信息(MSC/VLR地址即位置信息)，分配给用户的补充业务以及CAMEL用户签约信息(O-CSI、T-CSI、SS-CSI)。

(4) 鉴权中心(AUC): 负责认证移动用户的身份和产生相应鉴权参数(随即号码RAND，符号相应SRES，密钥Kc)的功能实体。

HLR, AUC一般合设于一个物理实体中；VLR, MSC 合设于一个物理实体中；MSC, VLR, HLR, AUC 也可都设置于一个物理实体中。

(5) 互连功能单元 (IWF): 提供GSM-R网络与其他固定网络的互连，负责在GSM-R网与固定网络的数据终端之间提供速率和协议的转换，具体功能决定于互连的业务和网络类型。IWF 通常与MSC 在同一物理设备中实现。

(6) 组呼寄存器 (GCR): 用于存储移动用户的组ID、移动台利用语音组呼VGCS参考和语音广播VBS参考发起呼叫的小区信息，以及发起呼叫的MSC 是否负责处理呼叫的指示。

(7) 短消息服务中心 (SMSC): 负责向MSC传送短消息信息。与移动用户进行通信时，通过SMS-GMSC 接入。

(8) 固定用户接入交换机 (FAS): 负责将固定用户接入MSC，具备调度通信的各种相关功能以及PABX 基本功能，支持用户-用户信令 (UUS)、具有多优先级强插/强拆功能（应支持至少5 级优先级）、呼叫等待、呼叫保持、呼叫前转、呼叫转移功能，并支持主叫线识别提供业务 (CLIP)。

2. 基站子系统 (BSS)

在一定的无线覆盖区中，由移动业务交换中心 (MSC) 控制，与MS 进行通信的系统设备。一个BSS 的无线设备可包含一个或多个小区的无线设备。根据其功能，BSS可分为基站控制器 (BSC)、基站收发信机 (BTS) 以及编译码和速率适配单元 (TRAU) 两类功能实体。

(1) 基站控制器 (BSC): 负责其控制范围内的小区的资源管理，为其覆盖范围内的移动终端指配或释放信道，它的主要功能是当移动终端在其控制范围内的不同BTS之间移动时，完成内部切换。

(2) 基站收发信机 (BTS): 负责从空中接口接收或发送无线信号。

(3) 编译码和速率适配单元 (TRAU): 负责在BSC和MSC之间提供语音编码和速率适配功能，将13kb/s 的话音或数据转换为64kb/s 的数据。

(4) 分组控制单元 (PCU): 主要用于完成RLC/MAC 功能和与Gb 接口的转换。配备了PCU的基站子系统把分组业务经Gb接口送往SGSN，把话音业务经A 接口送往MSC。

(5) 小区广播中心 (CBC): 负责根据协议约定以一定的方式收集信息，对特定服务小区里的所有接受者按照给定的频率和次数发送短消息。

3. 通用无线分组数据业务 (GPRS) 子系统

(1) 服务GPRS 支持节点 (SGSN): 通过数据网与BTS 相连，是GSM-R 网络结构与移动台之间的接口。主要负责网络接入控制、路由选择和转发、移动性管理、用户数据管理、逻辑链路管理、路径管理、支持MS挂起和恢复等。

(2) 网管GPRS 支持节点 (GGSN): 是GSM-R网络与外部数据网络的网关, 负责存储属于本节点的用户路由信息, 并能根据该信息将数据分组单元利用隧道技术发送到MS的当前的业务接入点, 即SGSN。

(3) 边界网关 (BG): 用于PLMN间GPRS骨干网的互连, 它应具有基本的安全功能, 此外还可根据运营商之间的漫游协定增加相关功能。边界网关可以是独立的物理实体, 也可以与GGSN 合设。

(4) 计费网关 (CG): 通过Ga接口与GPRS网络中的计费实体如GSN等通信, 用于收集各GSN发送的计费数据记录并进行计费。

(5) 域名服务器 (DNS): 负责提供GPRS网内部SGSN、GGSN等网络节点的域名解析等。

4. 智能网 (IN) 平台

(1) gsm业务交换点 (gsmSSP): 具有业务交换功能, 作为MSC与SCP之间的接口, 可检测出GSM-R智能业务的请求, 并与SCP进行通信, 对SCP的请求作出响应, 允许SCP中的业务逻辑影响呼叫处理。

(2) gprs业务交换节点 (gprsSSP): gprsSSP, 具有业务交换功能, 作为SGSN与SCP之间的接口, 可检测出GSM-R智能业务的请求, 并与SCP进行通信, 对SCP的请求作出响应, 允许SCP中的业务逻辑影响呼叫处理。

(3) 业务控制点 (SCP): 具有业务控制功能, 包含GSM-R智能网的业务逻辑, 通过对SSP发出的指令, 完成对智能网业务接续和计费的控制, 以实现铁路特定的业务功能。同时还具有业务数据功能, 包含用户数据和网络数据, 以供业务控制功能在执行GSM-R智能网业务时实时提取。

(4) IP: 在SCP的控制下提供业务逻辑程序所指定的各种专用资源, 包括DTMF接收器、信号音发生器、录音通知等。

(5) SMP: 是业务管理系统, 能配置和提供GSM-R智能网业务, 它包括对SCP中业务逻辑的管理, 用户业务数据的增删、修改等, 也可以管理和修改在SSP (IP) 中的有关业务信息。

(6) SMAP: 具有业务管理接入功能, 为业务管理员提供接入到SMP的能力, 并通过SMP来修改、增删用户数据和业务性能等。

(7) SCEP: 用于开发、生成GSM-R智能网业务并对这些业务进行测试和验证, 并将验证后的智能网业务的业务逻辑、管理逻辑和业务数据等信息输入到SMP中。

5. 终端子系统

固定终端包括: 调度终端、车站终端及其他用户电话机, 以及呼叫记录和录音系统等设备。移动终端由移动设备和SIM卡组成。移动设备包括机车综

合通信设备（CIR）、列控数据传输设备、列尾装置主机和手持台。SIM卡上存储与用户相关的所有身份特征信息、安全认证和加密信息等。SIM卡上存储与用户相关的所有身份特征信息、安全认证和加密信息等。

6. 操作维护中心（OMC）

OMC是操作人员和系统设备的中介，通过该系统可实现系统的集中操作与维护，完成包括网络用户管理、系统设备管理及网络操作维护等功能。OMC一侧与设备相连，另一侧是作为人机接口的计算机工作站。系统的每个组成部分通过特有的网络连接至OMC。

2.1.2 GSM-R 网络接口

1. 人机接口Sm

指用户与网络间的接口。主要包括用户对移动终端进行的操作程序，移动终端向用户提供的显示、信号音等。此接口还包括用户识别卡（SIM）与移动终端（ME）间接口的内容。

2. 移动台与基站间接口Um

此接口为空中无线电接口。采用900MHz 频段，885—889MHz（移动台发，基站收）930—934MHz（基站发，移动台收）。共4MHz 频率带宽。双工收发频率间隔45MHz，相邻频道间隔为200kHz，每个频道含8 个时隙，采用FDMA，TDMA混合多址接入方式，射频调制方式为GMSK。

3. 基站与移动业务交换中心间的接口A

A 接口为BSS与MSC之间的接口，主要传递呼叫处理、移动性管理、基站管理、移动台等信息。此接口基于2Mbit/s数字接口。当BSC与MSC不在同一站址，为节省BSC与MSC间传输线路，应尽量采用16Kbit/s×4子复用设备。

4. MSC/VLR 与 HLR/AUC 间的接口D、C

D接口是VLR与HLR之间的接口；此接口用于传递有关移动台位置和用户管理信息，以使移动台在整个服务区中能建立和接收呼叫；传递管理和路由选择信息，以使入口MSC能询问被叫移动台的漫游号码。

C接口是MSC与HLR之间的接口。此接口为一个至NO.7信令网的接口，基于2Mbit/s数字接口或64Kbit/s。

5. MSC/VLR与其他MSC/VLR间的接口E、G

此接口用于在进行MSC 间切换时交换有关的信息，以及在两个MSC间建立用户呼叫接续时传递有关的信息。此接口基于2Mbit/s 数字接口。

6. 移动业务交换中心至PSTN的接口

GSM-R网通过移动业务交换中心与其他通信网互通。与PSTN网互通，向用

户提供话音、数据、交替的话音/数据业务以及某些补充业务。接口基于2M bit/s数字接口。信令规程采用NO.7信令方式。

7. 移动业务交换中心、基站子系统至操作维护中心OMC接口

此接口基于2.4~64Kbit/sCCITT X.25接口或64kbit/s的NO.7信令网接口。

8. GCR与MSC间的接口I

此接口用于有语音组呼或语音广播的需求时，MSC向GCR查询相应的语音组呼和语音广播呼叫参考的数据。接口协议为非标准化的。

2.1.3 无线覆盖的区域结构

1. 小区：一个基站或该基站的一部分（扇形天线）所覆盖的区域。
2. 基站区：由一个基站的所有小区所覆盖的区域。
3. 位置区：移动台可任意移动不需要进行位置更新的区域；位置区由一个或若干个小区组成。
4. MSC区：一个MSC所管辖的所有小区共同覆盖的区域。一个MSC区可由一个或若干个位置区组成。
5. 服务区：移动台可获得服务的区域，即PLMN、PSTN或ISDN用户，无须知道移动台实际位置而可与之通信的区域

2.2 GSM-R 网络结构

GSM-R话路网网络结构应符合铁路现有管理体制、满足铁路运输行车指挥的需求。根据全网的话务流量、流向，为使网络结构层次简化清晰、便于网路管理和组织实施，兼顾技术经济的合理性以及运行维护管理等因素，将全网划分为两级结构。

2.2.1 移动业务本地网网络结构

1. GSM-R网划分为若干个移动业务本地网。原则上，移动业务本地网与铁路电话交换网（PSTN）本地网的范围一致。每个移动业务本地网中设一个或多个MSC，也可以几个本地网合设一个实体MSC。建网初期，每个MSC均为GSM-R网的入口（GMSC），远期根据话务量的大小，GMSC也可单独设置。为便于管理，多个MSC通过虚拟HLR方式，共用一个HLR物理实体。根据组网需要，MSC应接铁路分局的固定用户接入交换机（FAS），实现将固定终端接入GSM-R网络的调度通信系统。

2. 在移动业务本地网中，每个MSC 应与其所在地的铁路PSTN二级交换中心（分枢纽C2）的交换机相连。当一个MSC覆盖多个铁路PSTN本地网时，GMSC可以与GMSC所在地的本地PSTN 网直达互联互通，也可以对多个本地PSTN网设置直达互联互通。

3. MSC的设置应结合铁路路网发展规划，综合考虑业务模型、用户预测规模、地域相邻、传输条件、设备处理能力、网间互连互通、局间切换次数等因素，合理地选择设置地点，提高设备利用率。建设容量以近期用户预测数为配置容量，并可逐步扩容。

4. HLR的设置不受容量限制，其数量和地点的选择应便于管理、便于与MSC、SCP以及信令转接点STP等设备之间传输通道的安排，建设容量应考虑远期发展时，保证用户的的数据调整最少。为保证安全，应考虑容灾备份。

5. 在铁道部、铁路局、铁路分局设置FAS，组成FAS网络，FAS就近与MSC连接；沿线车站根据需要设置FAS，接入分局FAS。

2.2.2 全国GSM-R 网的网络结构

1. 全国设置若干个移动业务汇接中心（TMSC），TMSC为大区长途话务交换中心，负责汇接所在区域的电路交换信息和转接长途的来去话务量。根据话务量的大小，TMSC可以单独设置，也可是既作移动端局，又作汇接中心的移动业务交换中心。全国GSM-R网络结构示意图如图2-2所示。

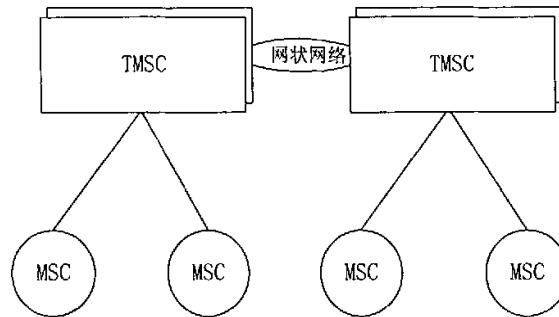


图2-2 全国GSM-R 网络结构示意图

2. 各移动业务本地网的每个MSC、GMSC应至少与两个TMSC相连， TMSC之间为网状网。任意二个移动端局间若有较大业务量时，可建立直达中继。覆盖区相邻的二个MSC间设置直达中继。

2.3 网间互连互通

1. 与PSTN互连。GSM-R网络应与铁路PSTN进行互连互通，GSM-R用户可以自动呼叫铁路PSTN用户或通过铁路PSTN呼叫其他PSTN用户。公网用户呼叫GSM-R用户需通过人工转接。话务采用来话汇接方式疏通。
2. GSM-R网间互连。与国际GSM-R网的互连互通，应采用设置在大区的汇接中心局通过国际长途传输通道与对方GSM-R网络国际接口局连接的方式实现。
3. 与其他PLMN互连。随着业务发展，在政策许可的情况下，GSM-R网络可实现以与国内GSM网络互联互通，并通过签订单向漫游协议，实现在无GSM-R网络覆盖的地区，GSM-R用户自动单向漫游到公网GSM网络。

2.4 路由计划及接续要求

1) 电路群的设置

移动汇接中心之间以及与移动交换中心之间，在设置话音专线时，分低呼损电路群和高效直达电路群两种。

- 低呼损电路群的设置

- (1) 各TMSC之间设置低呼损电路群；
- (2) MSC至相应的TMSC之间设置低呼损电路群。

低呼损电路群的配备应满足呼损指标不大于1%的要求，其电路群上的话务量不允许溢出到其它电路群上去。

- 高效直达电路群的设置

任意两个MSC（包括TMSC）之间若话务量较高，可根据话务量及网路经济的原则设置高效直达电路群。高效直达电路群的配备应满足呼损指标大于1%的要求，其电路群上的话务可溢出到其它电路群上去。

2) 路由选择

- 路由选择原则

先选高效直达路由，后低呼损路由。呼叫GSM-R用户，应尽快进入GSM-R网查询路由，进行接续。GSM-R网用户呼叫PSTN用户，立即进入PSTN，由固网进行接续。

- 具体规定

(1) GSM-R用户呼叫其他通信网用户

当GSM-R移动用户（包括漫游用户）呼叫其他通信网用户时，GSM-R移动端局MSC通过网关局GMSC，发端进入其他通信网网关局或汇接局，由该网关局或汇接局进行被叫路由的查询和接续。如图2-3所示。

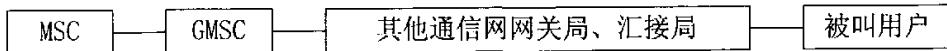


图2-3 GSM-R用户呼叫其他通信网用户

(2) 其他通信网用户呼叫GSM-R用户

其他通信网用户呼叫GSM-R移动用户，对于当地有GSM-R网关局的，通过本地GSM-R网关局进行路由的查询和接续；对于当地没有GSM-R网关局的，接入最近的GSM-R网关局进行路由的查询和接续。如下图所示。

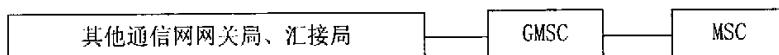


图2-4 其他通信网用户呼叫GSM-R用户

2.5 编号计划

1) 适用范围

编号计划用来规定网络中进行话音呼叫或数据通信时，所使用的号码或IP地址的内容。号码内容应包括用户的地址信息，可以作为寻址的依据。GSM-R网络的编号计划可供网内用户之间、网间互通使用。

2) 编号原则

- 电路域编号原则

- (1) 编号计划应考虑到未来的发展，为网络发展留有充分的余地。
- (2) 合理安排编号计划，使号码资源运用充分。
- (3) 编号计划应符合国际铁联UIC的建议，同时应尽可能缩短号码长度和具有规律性，以便于用户使用。
- (4) 编号计划应具有相对的稳定性。
- (5) 编号计划应使移动交换设备及路由选择的方案简单。

- IP 地址分配原则

- (1) 作为铁路内部专用的GPRS网，其IP地址的分配应遵循铁路计算机网络IP地址分配的统一原则，进行全网统一的规划和分配。
- (2) GPRS网络是铁路内部专网，IP地址应使用RFC1918规范中规定的私有IP地址。
- (3) 采用结构化、层次化的地址分配方式，使网络具有更好的伸缩性、扩展性。
- (4) GPRS网的IP地址规划应充分考虑GPRS网络未来的快速发展，在各个层次的地址空间中都要有充分的预留。
- (5) 地址分配应采用可变长子网掩码（VLSM）技术，避免地址资源浪费，使地址资源得到更加充分的利用。
- (6) 采用无类别域间路由（CIDR）技术，各个区域内的IP地址分配，应尽量连续，以减少路由表中的路由条目，有利于路由汇聚，提高网络效率。
- (7) 各MIS系统的GPRS通信服务器位于各MIS系统网络侧，IP地址应占用各MIS系统的地址空间，由各MIS系统统一分配。

3) 编号计划

GSM-R网络编号包括GSM-R网络号码（组呼号码包括无线组呼和有线组呼号码）、移动用户号码、固定用户号码、特服号码、GSM-R网络设备编号、拨号方式以及GPRS IP地址分配和GSM-R网络信令点编码等内容。详见《GSM-R数字移动通信网络编号方案》。

2.6 GSM-R 铁路专有特性和业务

1) GSM-R铁路专有的特性

GSM-R以成熟的GSM平台为基础。除GSM所有的特性以外，它还提供了以下新开发的GSM-R专有的特性^[8]：

- 功能寻址

列车身份是以列车编号确定的。任何人如果想与某一列车联络可拨打该列车编号。如果想找到该列车上的负责某一职能的人(例如列车司机、列车长等)，则可以在拨号时加上一两位数的子地址(例如列车司机为01)，这样就可以不知道电话号码就可找到负责该项职能的人。这种方式的优点在于不用知

道当前列车司机(及列车上其他职能的负责人)的电话号码就可方便地找到该列车，而且列车行驶在哪个国家对此也无关紧要。

- 基于位置的寻址

一列从布达佩斯开往维也纳的列车需要经过多个控制区，列车司机与控制站间的联系是通过一个短代码建立的。GSM-R系统可自动将该呼叫连接到列车所处的控制区的控制者那里。这样做的好处在于不需要列车司机将列车所经过的地点与控制者编号逐一进行修改。

- 语音广播服务(VBS)

VBS可以在指定的区域内广播消息(一个讲话方对多个接听方)或城市紧急呼叫。GSM-R语音广播的主要优点在于它仅需一个业务信道而在一个无线电小区内的听众数量是不限制的。区域的定义和选择可动态设定，这可给铁路部门极大的灵活性。

- 语音组呼服务(VGCS)

通常列车无线电系统、紧急通信和平面调车通信都要求用VGCS。移动或固定电话用户拨打组呼ID号可与指定区域内的小组建立呼叫。该组内所有成员均可通过同一业务通道进行接听。该小组群内的一个成员要想进行通话，可通过按键讲话(PTT)发出要求。请求发出就可建立一个上行链路，通话者的通话请求是依据先请求先服务按优先权排序原则提供服务的。

- 增强的多级优先和预占(emLPP)

铁路紧急呼叫或自动列车控制等许多通信应用都要求无论网络处于何种负载状况下都能迅速建立呼叫，如果在一个无线电发生拥塞(所有无线电频率和业务信道被占用)，emLPP可立即切断低优先权的呼叫而优先建立高优先权的呼叫。利用E1RENE规范的或是针对具体国家改进而满足铁道需求的GSM-R通用平台，可以引入各种其他的列车专用的应用。

- 自动列车控制

自动列车控制将根据ERTMS/ETCS而实现。ETCS是一个用GSM-R作为传输手段的协调模块的ATP/ATC系统。标准的GSM承载业务(BS 2x)将用来传输从固定ATC电脑的数据。列车所处的实际位置通过balise进行定位并通过GSM-R传输。作为2级ETCS，它将替代现有的列车信号和控制系统。通常，路轨与车载应用间需要交换诸如速度，列车状况和路轨数据等信息。列车的位置、位置，速度、车厢数量及其它车载信息将传输至无线电闭塞中心。无线电闭塞中心网将比较处于不同区域的所有列车的业务数据，并将相关的速度断面信息传输给每个列车，这使铁路可通过移动闭塞结构运行其列车，并将减少列车间的距离，从而优化路轨的使用并减少晚点。

- 铁路维护

通过使用GSM-R移动系统，与铁路维护人员的联络将变得十分容易。作为一种替代方案，新的路边电话和隧道电话将以GSM-R为基础。根据维护人员的场所和职能可以决定出他们的确切位置。

- 列车编号与诊断

如果发生故障或者列车上安装了维护诊断程式，数据将通过GSM-R传输到下一个维修中心。由于维修站能够及时获得信息并为维修做好相关准备，因而机车和列车的维修时间被大大缩短。

- 平面调车通信

调车组成员通常都是临时性的，且其成员也变化很大。VGCS将允许在不改动成员设备或频率的情况下对组呼的组成进行动态重组。

- 乘客信息

时刻表信息。连续位置确定一根据每个小区或balise信息一将使到达时间估算更为准确和自动化。后续连接将通过数据服务被送往相关列车，从而确保乘客能够获得最佳服务和最新信息。

2) GSM-R铁路特定业务

1. 调度通信功能

调度通信功能包括列车调度通信、货运调度通信、牵引变电调度通信、区段专用通信、站场通信、应急通信、维修施工通信和道口通信等。各用户之间的呼叫关系矩阵见《GSM-R调度通信系统主要技术条件（暂行）》“表1 调度通信主要用户个别呼叫关系矩阵表”。

2. 车次号校核及列车停稳信息的传送

此项业务用于实现对采集处理装置运行线路数据库的动态配置，实现车次号传送的目的IP地址自动更新，按照规定的要求进行车次号信息传送核列车停稳信息的传送，并能对发送车次号信息、列车停稳信息进行存储。

3. 调度命令的传送

以GSM-R网络为承载网络，实现地面DMIS设备至机车设备的调度命令的传送。

4. 列尾装置信息传送

列车尾部风压状态由车尾装置移动设备获取，通过GSM-R网络传输数据信息，机车司机随时可以查询、反馈车尾工作状态。

5. 调车信号核监控系统传输

调车监控地面设备和调车监控车载设备之间通过GSM-R网络和GSM-R车载

设备提供传输通道以点对点电路连接方式进行通信，以实现调车机车信号和监控系统地面设备和多台调机分机间的数据传输。

6. 机车同步控制传输

在GSM-R网络覆盖区，通过GSM-R网络建立车-地数据链路，为机车同步操作系统机车同步操作提供透明的无线数据

2.7 GSM-R 频率的选择

一般来说，GSM-R可以在876至960MHz整个频率范围内工作，但CEPT为欧洲国家的铁路通信系统指定了一个专用频带^[9]，即UIC（国际铁路联盟）的GSM-R频带为：876至880MHz（移动站发射，上行链路）和921至925MHz（基站发射，下行链路）。截止目前，已有30多个UIC成员已在谅解备忘录（MoU）上签字引进GSM-R，其中8个国家已经签订了合同，并已着手研究，图2-5显示900 MHz频带内的频率分配情况。

在最初，UIC认为一个统一的频带是铁路通信系统在国际间成功运行的关系因素。经与ETS/CEPT的讨论证实，基于无线电传播和系统的可用性等多种原因，900MHz移动服务频带是最适合的频带。

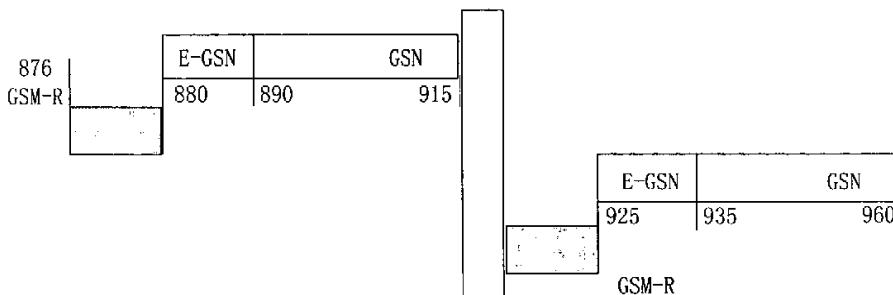


图2-5 900MHz频段的频率分配情况

作为一种在世界范围内得到最广泛应用的移动通信技术，GSM在网络和无线电规划方面具有许多成功经验，GSM-R频带非常接近于GSM频带，这就意味着又需对GSM的软硬件和无线电规划稍做修改即可为GSM-R。新开发的特性，例如，APCI，PA，LDA和eMLPP等GSM转化成为GSM-R集群无线电系统。无线电规划也得以改进以建成高速环境和列车控制应用的要求。就系统的可用性、成本特性和满足铁路的特殊要求而言，GSM-R是最佳的选择。

- 支持0至500km/h，可修正因多普勒效应导致的快衰落(运动体速度与多普

勒频移之间的关系呈线性增长)。

- 电气化列车的车顶供电可产生电火花(10000至20000VDC高压)。GSM-R在900MHz频带下对此电火花不敏感(电火花的频率范围主要集中在400至800MHz之间)。
- 覆盖区与现有的模拟无线电系统相同，新系统仍可使用目前的基站站点。
- 典型的覆盖区约为5至10公里。对于高速列车来说这就是保证容量和服务质量的最小范围。
- 与450MHz和1800MHz系统相比900MHz在隧道内的传播条件最佳(作为一种900MHz系统的替代方案，1800MHz系统需再进行一些开发工作。与900MHz系统相比，1800MHz系统包含相同的高级GSM功能组和GSM-R的专有特性)。对于混凝土和钢筋结构的新隧道来说尤其适用。在其他类型的隧道中，无线电信号衰减略有增加。
- 已通过MORANE和许多铁路的确认。MORANE项目及其试验点的目的是拟订技术条件，开发、测试和验证GSM-R的原型系统，以确保满足铁路的全面要求。在德国、意大利和法国分别在三个试验系统，总里程约300公里。验证工作已于2000年中完成。

我国铁路组织经研究确定的网络工作频带应为:885~890MHz(移动台发送)；930~935MHz(基站发送)。并根据[GSM05.05]采用绝对无线频率信道号(ARFCN)定义载波频率^[10]。约定:Fi(n)为处于低频带中的载波的频率值，Fu(n)为处于高频带中相应的频率值。频率以MHz为单位。

$$F_i(n) = 890 + 0.2 \times (n - 1024) \quad 1000 \leq n \leq 1023$$

$$F_u(n) = F_l(n) + 45$$

2.8 GSM-R 系统应用情况

2.8.1 我国 GSM-R 系统规划

铁路对通信系统的功能要求分成两部分:一是由EIRENE定义的欧洲铁路的一般要求；二是各个国家或运营商由于其运营需要而产生的特殊要求。

我国铁路组织为满足我国铁路运输的需要，如移动话音和数据业务，铁路沿线、枢纽地区作业、铁路管理、客运和货运信息服务的需求，根据EIRENE系统需求规范，制订了适合我国GSM-R系统规划。

2.8.2 GSM-R 在欧洲的应用情况

MoU于1997年6月生效后，欧洲各国又签订了AoI(Agreement on Implementation)安装协定。该协定作为MoU的补充，已于2000年6月9日生效。签署协定的各铁路组织表示，他们在2003年之前至少在泛欧铁路网上部分开始安装GSM-R。而且，签字者同意将不迟于2001年开始规划GSM-R的安装，不迟于2003年决定其时间表。签字者将与周边铁路组织在频谱管理、安装事宜和新业务引入上维持高层合作。这是在欧洲大陆上开展建设GSM-R的重要步骤。现在各项任务在欧洲国家基本完成。

瑞典是世界上第一个签订GSM-R商业合同、实施GSM-R工程的国家。瑞典铁路公司准备建设覆盖其7200km铁路的GSM-R网，工程分四期实施。第一期工程2400km的设备安装、调试和验收已完成，并投入商业运行，且将继续建设完成GSM-R网络。第二至四期工程建设分别于2003年、2004年和2005年，其中第二、三期工程已经完成已经完成。

德国对其27000km铁路实施GSM-R的工程已经启动，网络设备安装已完成数千千米。瑞士已建成一段GSM-R的试验线。另外，已签订合同的项目还有：英国，300km，主要是西海岸主干线(WCML)；意大利，200km(罗马—那不勒斯)；荷兰，全国为3500km；西班牙，高速铁路460km(Madrid-Lleida/Barcelon)。近期有望签订GSM-R项目商业合同的国家有印度、德国(未纳入27000km的部分)。正在招商的有匈牙利等。

在实施GSM-R时，各国铁路部门考虑的重点不同。例如，瑞典、德国铁路首先考虑的话音通信。用GSM-R取代目前的各种落后的互不兼容的模拟设备。德国铁路部门已经在2000年将GSM-R逐步投入试运行，2001年投入商业运行。从2001年开始至2003年底在机车上安装GSM-R车载台，2003年底已经全部采用GSM-R系统，模拟无线通信系统在2004年已经全部关闭。

瑞士铁路系统在洛桑至乌尔特之间35km区段建设了世界上第一个基于GSM-R传输平台的无线列车控制系统试验段，为双线客货混运。最高时速为160km/h。

目前，俄罗斯和欧洲以外的一些国家(如澳大利亚、印度、蒙古)也对GSM-R表示了浓厚的兴趣。GSM-R网络已在8个国家中运行，GSM-R商业活动在20个以上的国家中进行。西门子是GSM-R合同最多、经验最丰富的公司。

2.8.3 GSM-R 在我国的应用情况

我们国家对GSM-R技术的研究始于上个世纪末，99年即开始对GSM-R技术

进行跟踪研究，2001年在大秦线扩容改造工程和青藏铁路中立项，2002年成立大秦线GSM-R试验工作组，7月份完成全套系统的研究开发，系统也先后和国内外的调度台、车载台、手持终端厂家实现对接，产品成熟、系统稳定。

在终端方面，目前支持手持终端的厂家主要是欧洲的SAGEM公司，支持调度台、车载台的厂家相对较多，包括奥地利的Kapsch，国内的北方交大现代通信所等，另外，由于受欧洲GSM-R应用增长的激励，更多的国内外厂家正积极研发符合中国铁路特色的应用终端。我国铁道部也制定了相应标准，其中机车综合无线通信设备（CIR）就是其中之一。

大秦线GSM-R工程是我国建设的第一个铁路综合数字移动通信系统网络，无论从解决大秦线扩能改造工程的现实意义还是未来我国铁路系统全面改造的长远意义来讲，都将有深远的影响。该工程已于2004年下半年建成投入使用，效果良好，大秦线GSM-R网络将已成为大秦铁路高度可靠、安全、快速接入的综合移动通信系统，同时也是大秦线透明、双向、大容量的车底间安全和调度指挥的信息传输通道。

青藏铁路也是全国首批部署GSM-R网络的试验铁路之一。这条长达1142公里的铁路，有84%在海拔4000米以上，接近一半建造在终年冻土区，这对通信网络规划、部署、运营及维护提出了极高的要求。该试验网工程将在今年10月全面完成。

2.9 GSM-R 的继续发展

1) 提供更高的数据传输速率

通过EDGE，ETS制定一种新的调制模式，以B-MSK调制取代了GMSK调制，使数据速率可达到28.8或32kb/s。这使得仅通过两条业务信道便能使增强电路交换数据传输(EGSD)的峰值速率达到64kb/s。

对于没有经营许可证的运营商来说，这显然使EDGE成为3G的替代方案。而且，对于那些商家只在人口密度大的地区部署3G(岛式解决方案)，而在其网络的其他地区使用EDGE的运营商来说，EDGE也是3G的一种补充，从而为多媒体解决方案提供更广泛的覆盖面积。EDGE是GPRS平稳演进的一部分，并最为适合于铁路营运商，他们不仅将役入运营的GPRS获得更高的数据速率，而且还将显著提高对用户的服务质量。

2) 优化现有的服务功能

使用GPRS，通过结合多个语音信道可实现高达171.2 kb/s的数据速率，

从而使GPRS比ISDN速度更快。这样的速度使IP应用、文件传输和其他高速应用成为可能。另一种有前途的应用是列车诊断。多个传感器串记录着列车的状态并探测异常情况，在列车前进通过GPRS系统列车可事先向铁路调车场发送状态信息，系统可向技术人员发出警报使他们做好准备以所需要的备件和工具等来修理任何故障，这就缩短了停车时间，提高了机乍、列车和其他铁路车辆的可用性。

电子座位占用率的显示要向列车传送数据。随着列车驶入沿途内的每一车站，座位预测信息就会被更新—包括乘客姓名或预订号码以及到站和目的站等信息显示出来。铁路员I将是另一个用户群。在GPRS支持下，他们可以从移动办公室访问电子邮件、传真和铁路公司内部网中的数据，从而合理地利用其旅行时间。铁路员T的另一种应用是电子卜作日程表，这些日程表都是最新的并可在任何列车终端上随时使用。铁路营运商可利用此类应用提前最短时间重新排定门程，可避免了繁琐的书面记录。

高数据速率还适用于图像处理，为站台监控进车站与转轨调车场内整个区域内的监视带来了新的可能性。具有GPRS的GSM-R不再需要供监视摄像机使用的信号电缆线，这些摄像机只需一个电源和一台GSM-R发射机即可。

列车上的终端将根据要求向乘客提供关于下一停车站、铁路营运商或其他事项的信息。但是，必须仔细考虑无限制地对因特网的访问要求，正如铁路通信运营商需要考虑服务的盈利性一样，任何情况下都必须进行适当规划网络规模。高性能与最佳资源利用，是相辅相成的，因为数据传输所不需要的信道被立即释放，可供多个同时接入访问使用。智能控制确保了精确地向各种服务分配资源并总是使操作数据流程优先于其他请求。

3) 提供更多的服务功能

电路和分组交换服务的引入将能提供以下特性，电路交换服务是语音通信的基础，如列车无线电、用于平面调车的广播呼叫等。由GPRS提供的分组交换服务显著地扩展了GSM-R的通信选择范围。

- 遥测

货运跟踪是一种典型的GPRS应用。在集装箱上安装一个带有GPS接收器的简单GSM模块，可指示该集装箱的精确位置。跟踪软件定期搜集和分析这一信息。铁路货运公司可实时掌握其所运货物的确切位置，并可将这一数据发送给其客户，而且在出现最后交货期问题时能够采取特殊措施。例如，所提供的货运状况数据还可使货运公司监控其次冷冻集装箱的温度，当模块报告温度接近一个门限值时，该公司可向货运中心发出警报，当火车抵达下一站时，

技术人员即可采取措施。铁路运营商可将同一技术应用于铁路转轨。在这种应用中，GSM模块自动向铁路交通控制中心报告转轨位置。可能的应用几乎无限制的增加。铁路运营商还可使用GSM 模块从罐车液位指示器械搜集数据、监视载货安全情况以及报告液位超出现象等。

- 信息服务(乘客信息系统)

列车和车站还有可能提供旨在使乘客满意的基于GPRS的整套信息服务。作为许多可能的例子之一，列车上的显示器可在列车接近车站时向乘客列出联运信息。这些信息以在线方式提供并且是最新信息，因此将包括晚点和其他最新数据。对于车站的信息终端也可以同样方式管理。

- 点对多点连接

与其他分组交换系统一样，GPRS可从一个信源向多个接收方传输数据，从而使发件人节省时间并享受到更方便的处理服务，同时网络操作员可优化其资源的利用。不论有多少地址接收该数据，无线电接口仅使用一次。

- 对各种服务的多址访问

与仅支持两个用户(人或电脑)之间通信的电路交换系统不同，GPRS可同时保持多种数据应用之间的连接。列车控制就是一个这样的例子。使用GPRS，铁路运营商只需一个终端就可以控制列车上的多种应用，以便与位于轨道沿线的交通控制中心的各种固定应用进行通信。智能控制器可对其他应用的运营数据进行优先排序。

- 基于通信量的收费

记帐可以基于时间或通信量进行，就像通常对包或IP网络上进行的数据传输一样。呼叫费用计算完全按符合GSM标准的为GPRS制定的收费进行登记，正如对其他网络的呼叫进行相互间的收入会计管理所需要的那样。

通过如此之多的重大通信选择方案，由GPRS的GSM-R可使旅行者轻松地在列车上进行因特网冲浪和办公，其实时信息和售票系统使旅行者自己可控制其旅行。实时货运跟踪系统将增加铁路公司营收和提高客户满意度。

第三章 CIR 总体及硬件设计

3.1 CIR 项目的由来

铁道部已将客运列车提速、货运快捷化与重载列为跨越式发展的重要技术政策。改变运输指挥方式，提高运输效率，保障行车安全成为技术改造的重要工作。铁路发展的新形势对列车无线通信特别是车地无线数据传输与处理提出了许多新的业务需求。为此，铁道部决定采用GSM-R数字移动通信系统，为铁路移动通信的新业务应用提供一个公共的数字无线平台。为生产适应GSM-R网络的机车终端无线通信设备，2004年铁道部公开招标组织14个厂家进行机车综合无线通信设备的技术方案研制和产品开发，历经试验网络测试、行车试验和青藏线试验段动态测试阶段，已能满足青藏、大秦、胶济等GSM-R工程建设所需。与此同时，列车尾部风压传送，无线车次号传送，调度命令无线传送、800MHz列尾及安全预警系统等也是近年适应新需求开发运用的列车无线新业务。作为TDCS建设的配套项目，无线车次号传送已在全路大面积推广应用，使TDCS系统具有列车车次号实时跟踪、校核和列车运行状态信息传输的能力。调度命令无线传送系统用于调度信息管理系统向行进中的机车司机发送调度命令、行车凭证和进路预告信息，2004年已先后在青藏线西哈段、京沪线沪宁段投入运用，受到良好的效果。

针对列车无线通信的许多新应用和发展规划，也为了适应铁路GSM-R的建设和发展，铁道部运输局于2004年8月13日发出运基通信【2004】290号文件，决定按照统一设备功能、统一接口条件、统一设备物理结构、统一操作显示的要求，从统一规划机车无线通信设备的目标出发，以整体规划、综合利用、预留发展、分期建设的思路构建机车无线综合通信平台，即开发机车综合无线通信设备。

3.2 CIR 设备组成框图设计及基本功能

3.2.1 CIR 设备组成框图

机车综合无线通信设备，简称综合台或CIR（Cab Integrated Railway）。是安装在机车上由司机使用的，用于火车司机与车站值班员、运转车长、其它

机车司机、调度员等进行语音通信和数据通信的设备。该设备结构设计成两大块：主机和MMI，在功能上实现450M电台和GSM-R两种模式通信。机车综合无线通信设备具体的结构由主机、操作显示终端（以下简称MMI）、打印终端、送受话器、连接电缆、扬声器、天线、射频馈线等构成。设备构成见框图3-1。

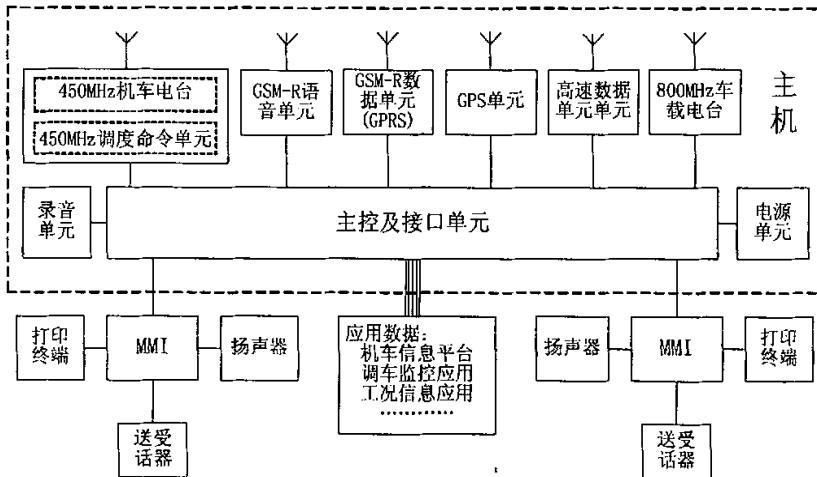


图3-1 CIR原理框图

主机包括机柜（含A、B子架）、主控单元、接口单元、电源单元、电池单元、GPS单元、GSM-R话音单元、GSM-R数据单元、高速数据单元、录音单元、天馈单元、450MHz机车电台单元、800MHz列尾和列车安全预警车载电台（简称800MHz车载电台）单元等，由于铁道部暂时没有要求800M电台的功能，或者说800M电台的功能可以由450M电台顶替，因此800M电台模块是做为以后设备升级考虑的内容。另外高速数据单元设计成应用802.11协议，通过CAN总线与主机相连，但是这部分暂时也没考虑，是为以后设备预留的升级模块。CIR各组成部分模块化，可根据功能要求进行模块配置。

设备主机结构示意图见图3-2，其中电池单元可安装在子架内适当位置，450MHz机车电台、800MHz车载电台、天馈等单元安置在机柜内或单独放置。A、B子架间采用DB-37型插座进行连接。主机根据业务功能要求配置功能模块，需要在MMI上显示和操作的业务可以通过数据应用接口实现信息的交互。

MMI包括显示器、送（受）话器、扬声器、按键、电源开关、外部接口等。

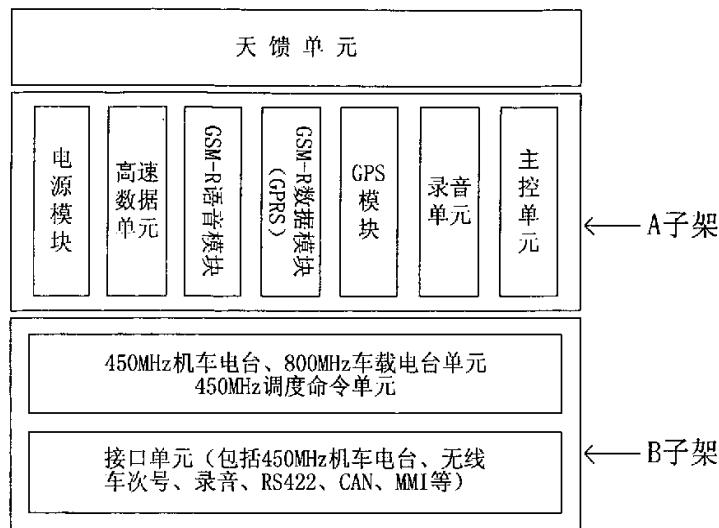


图3-2 CIR主机结构示意图

视功能模块的选配情况，设备各组成单元的功能描述如下：

- 打印终端可在MMI的控制下打印输出纸质调度命令等信息。
- MMI实现人机信息的交互。
- 主控单元实现对各模块单元的控制及数据信息的记录。
- 接口单元连接设备内部有关单元及为数据应用业务提供接入接口。
- 电源单元为设备提供供电电源（450MHz机车电台单元、800MHz车载电台单元可根据工程情况确定供电方式）。电池单元为外界直流供电切断后进行GSM-R注销提供备用电源。
- GPS单元为设备提供公用GPS位置信息，其中时钟信息作为设备的标准时钟。
- GSM-R语音单元在主控单元的控制下完成GSM-R调度通信功能。GSM-R数据单元在主控单元的控制下完成数据的收发（支持GPRS方式、电路连接方式）。
- 高速数据单元支持IEEE 802.11b标准中规定的通用数据传输功能。
- 录音单元记录话音通信中的语音。450MHz机车电台单元在主控单元的控制下完成450MHz调度通信功能。
- 450MHz调度命令单元在主控单元的控制下完成450MHz调度命令信息的传递

3.2.2 CIR设备基本功能

研发的设备应能顺利通过铁道部的各种测试，包括电磁兼容测试、450MHz电台静态测试、现场动态测试、GSM-R静态功能测试，同时所研发的机车综合

无线通信设备最终应能全部实现如下的主要功能。

- 支持TB/T 3052-2002《列车无线调度通信系统制式及主要技术条件》、《列车无线调度通用式机车电台主要技术条件V.1》规定的机车电台功能。
- 支持450MHz承载的列车尾部风压、无线车次号、调度命令等数据信息的传输功能。
- 支持GSM-R网络注册/注销和功能号注册/注销功能。
- 支持GSM-R调度通信系统功能。
- 支持GSM-R通用数据传输功能, 可根据承载业务的需要提供GPRS或电路方式数据传输链路。
- 支持IEEE 802.11b标准中规定的数据传输功能, 传输距离不小于1000米。
- 支持GSM-R工作模式与450MHz工作模式自动切换和手动切换功能。
- 可向用户提供GPS原始信息、公用GPS位置信息等。
- 支持电源软关机功能, 完成主机关机后的GSM-R网络注销和功能号注销。
- 操作显示终端应支持GSM-R调度通信系统、通用数据传输以及其它应用的操作、状态显示以及语音提示。
- 当列尾主机具有GPS位置信息时, 可计算机车与列尾之间的距离, 超出规定的距离报警。
- 主机根据需要对信息进行存储, MMI进行显示信息的记录。

3.3 CIR 工作过程及业务功能流程

3.3.1 CIR 业务功能与操作

系统以MMI为机人接口、电台作为450M无线通信机、GSM-R模块作为GSM-R无线通信机, GPS板作为位置传感器、A子架主控卡作为控制核心, 组成一个有机的整体。实现450M和GSM-R两种通信模式, 两种通信模式都支持语音通信和数据通信, 语音通信主要有450M电台无线列调大、小三角通信, 利用4个四频组进行通信, 其中发送频率采用f₄, 同时采用不同的亚音频信令呼叫不同用户, 例如呼叫调度采用f₄+1520Hz, 1520Hz即为亚音频。450M电台不停的扫描f₁、f₂、f₃频率作为接收频率。主要为实现现有铁路通信体制, 另外一个语音通信就是GSM-R语音通信, CIR通过SAGEM的MRM移动终端实现此功能, 类似我们现在的手机通信, MRM模块需要插入GSM-R专用SIM卡, 并注册为GSM-R用户。数据通信包括无线车次号传送和调度命令接收并签收功能。也分为450M模式和GSM-R

模式两种情况。450M模式下，通过电台在GSM-R模式下，是通过MRM的短消息方式发送和接收数据。GSM-R模块无论是进行语音通信还是数据通信，都是主控单元通过向MRM模块串口发送AT命令来控制实现的。工作模式通过在MMI上可以人工选择。业务功能与操作列表见表3-1

表3-1 CIR业务功能与操作表

模式分类	功能分类	操作			
GSM-R模式	调度通信	来话处理	呼叫前方调度	呼叫调度	呼叫前站
		呼叫后站	呼叫车长	邻站组呼	站内组呼
		紧急呼叫			
	调度命令	接收调度命令	接收行车凭证	接收调车作业单	接收进路预告
	无线车次号传送	车次号传送		从DIMs接口获取车次号	
	调车请求	发送调车请求			
	注册与注销	机车号注册与注销		车次号注册与注销	
		关机前注销		从450M转GSM模式时注销	
		开机后注册		从450M转GSM模式时注册	
450MHz电台模式	列尾操作	列尾确认	列尾消号	风压查询	列尾排风
	状态指示	音量	无线信号强度	列尾状态	调度通信状态
		报警显示	车次号	机车号	
	调度通信	来话处理	呼叫调度	呼叫平原司机	呼叫平原车站
		呼叫隧道司机	呼叫隧道车站		
	调度命令	接收调度命令	接收行车凭证	接收调车作业单	接收进路预告
	无线车次号传送	车次号传送		从DIMs接口获取车次号	
	调车请求	发送调车请求			
其它功能	列尾操作	列尾确认	列尾消号	风压查询	列尾排风
	状态指示	音量	无线信号强度	列尾状态	列尾风压
		报警信息显示	车次号	机车号	工作频率或运行线路
	收发状态指示				
	设置	运行区段	听筒音量调整	查询通信录	本务或补机
		扬声器音量调整	车次功能号设置、注册	维护界面	状态查询
	查询与打印	调度命令查询与打印		记录信息查询与打印	
		录音回放			
	设备管理	管理GPS卡内线路信息数据库		管理主控卡内线路信息数据库	
		管理主控卡内记录信息数据库		录音文件读取	

3.3.2 450M 工作模式下通信过程

在450M工作模式下，正常情况下工作在自动模式，GPS板接收当前的地理位置信息（经纬度），根据GPS板上的地理位置信息数据库，判断是否需要切换电台的工作模式；当处于模式切换点时，控制电台切换到相应的模式，并发出语音提示司机“注意转换”，同时在MMI显示屏上显示对应调度区段名称。

当列车位于隧道内或受到其它遮挡时，GPS接收不到有效的地理位置数据，这时系统进入被迫手动模式，并关闭自动转换功能，给出提示，同时，液晶显示屏显示与GPS接收机故障前相同的制式。如果此时司机判断所处位置在模式转换点附近，需要转换电台工作模式，选择相应的调度区段。当列车驶出隧道后GPS恢复正常，系统恢复自动工作模式，给出提示。

也可进行强制手动转换模式，给出提示；此时由司机判断是否需要转换电台工作模式，选择相应的调度区段。

自动模式下系统使用GPS板上的地理位置与电台配置信息数据库，手动模式下使用主控卡上的数据库。两个数据库的管理和更新是通过连接到GPS板数据接口的PC来实现的，需要编写一个运行在PC上的通用机车电台管理器软件，来管理数据库并更新GPS和主控板上的FLASH。GPS板与主控板共享同一个RS422接口与管理PC通信，在GPS板上设计有电子开关，GPS板软件通过串口通信协议中的地址选择来控制管理PC与哪个设备通信。

主控板中除一个地理信息数据库外，还有一个记录信息数据库，用于记录系统所做的操作，如：“某时、在某个位置（经纬度）、从什么模式、转换到什么模式”。记录容量不小于500条，可以用通用机车电台管理器软件来读取并转储记录信息。

系统支持出入库检测功能，分为地面遥测和上车检测两项。地面遥测是通过无线通道启动的，系统收到地面遥测启动信号后，开始自检，检测完成后将结果通过无线信道发送出去。上车检测是在机车电台挂机状态下进入手动检测。是通过无线信道与库检台通信。

在调度命令无线传输系统中，机车台提供透明传输通道。综合台支持无线车次号传送和调度命令功能。综合台上的DMIS接口连接无线车次号编码器（TAX箱），透明传输无线车次号的音频信号，车站至机车方向采用无线列调工作频率，机车至车站方向采用DMIS无线车次号工作频率（457.550MHz）。

机车台呼叫另一机车台由车站台或区间中继台转信时，应同时发送114.8Hz和186.2Hz呼叫信号。车站台或区间中继台收到该信号应同时发送114.8Hz和186.2Hz呼叫信号。为保持车站台或区间中继台转接状态，主呼和被呼的机车台应随话发186.2Hz转信控制信号。

司机与调度建立通信后需越区跟踪切换时，机车台发射导频信号F₁、F₂、F₃，车站台收到与本台双工发射频率相对应的导频信号时，启动该车站台发射机建立无线通道，同时接通有线信道。选用预启动方式时，车站台收到预启动控制信号，启动发射机建立无线通道；再收到与本台双工发射频率相对应的导频信号时，接通有线和无线信道。

通话完毕，无载频和PTT信号，30s后电台设备应向用户发出挂机提示或自动挂机。

3.3.3 GSM-R 工作模式通信过程

GSM-R工作模式下具有语音通信（调度通信）、数据通信（调度命令）、GSM-R网络注册与注销、机车号功能号注册与注销、车次号功能号注册与注销等功能。应该根据机车台中的数据库、GSM-R网络中的数据库以及列车交路的情况自动调整主叫和被叫电话号码，因为每个基站覆盖一个车站，所以位置列车的信息可以从GSM-R网络中确定，不需要GPS定位信息。

1) GSM-R模式调度通信主动呼叫

要MMI进行GMS-R通话，首先要手动或者从自动模式切换到GSM-R模式下。在系统对GMS-R完成初始设置，得到网络注册信息，并且完成对车次号、机车号的注册后就可以进行GMS-R的通话了。通话从方式上可以分成户呼入、呼出，从功能上可以分为拨号、功能号、广播、组呼、紧急呼叫等几种方式。业务流程如下图3-3

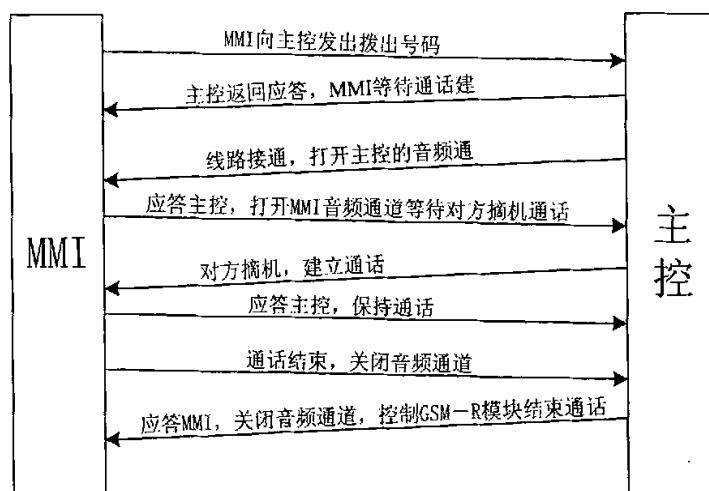


图3-3 GSM-R主叫通信流程

司机在MMI上摘机后，按呼叫键（前方调度、调度、前站、本站、后站、车长、邻站组呼、站内组呼、电话号码+呼叫、呼叫键（再次呼叫上次的号码）、紧急呼叫），MMI将相应消息发给主控，主控根据当前GPS位置查线路信息表，得出号码等信息，发AT命令给GSM-R，主控收到GSM-R模块应答，判断是建立通话还是呼叫失败果呼叫成功，主控打开语音通道建立通话，发消息通知MMI通话已建立，MMI显示通话状态，如果呼叫失败，主控发失败消息给MMI，MMI显示失败。

通话过程中又有其他同优先级或低优先级呼叫进入则按以下原则处理：

- 如果发起或接收的呼叫有优先级为2级以上的呼叫，在呼叫保持选择界面中只列表显示2级以上（包括2级）呼叫。2级以上（包括2级）个呼之间可以同级别切换。2级以上（包括2级）组呼之间可同级别切换，不能退出。
- 如果没有2级以上呼叫，列表显示正在进行的呼叫和其他处于保持状态的呼叫，供司机进行选择并切换。
- 个别呼叫间可以呼叫保持并切换，如果接通了组呼，同优先级和低优先级个别呼被拆除。

2) GSM-R模式调度通信来话处理

若呼入是组呼VGCS或广播VBS或调度紧急呼叫，主控卡程序扫描到连接到GSM-R模块UART0端口由呼入消息，发消息通知MMI有来电，然后发AT命令给GSM-R模块接听电话，同时打开语音通道建立通话，MMI显示通话建立，不摘机可以守听，喇叭自动打开可听到对方讲话，若要参加讲话，则摘机按PTT发话，此时主控程序接收到PTT信号，给GSM-R模块发送相应AT命令，此时即可讲话；若想退出低优先级的组呼，则在MMI上按键选择要进行的操作，通知给主机，主机根据收到的消息格式发相应的AT命令（退出组呼）给GSM-R模块，即可退出组呼。

若来电不是组呼、广播、紧急呼叫，此时主机通知MMI产生振铃音等待司机摘机，摘机后，MMI发消息通知主控，主控打开语音通道建立通话，MMI显示通话建立。若不摘机，主控长时间收不到摘机消息，通知MMI关闭振铃，退出来电状态，同时主控发AT命令给GSM-R，通知无人接听。若通话中是本机司机挂机，MMI显示通话完毕，发消息通知主控，主控关闭语音通道，发挂机AT命令给GSM-R，通话结束。若是通话过程中对方挂机，主控收到GSM-R的挂机命令后，关闭语音通道，同时发挂机消息给MMI，MMI显示通话完毕。业务流程见图3-4。

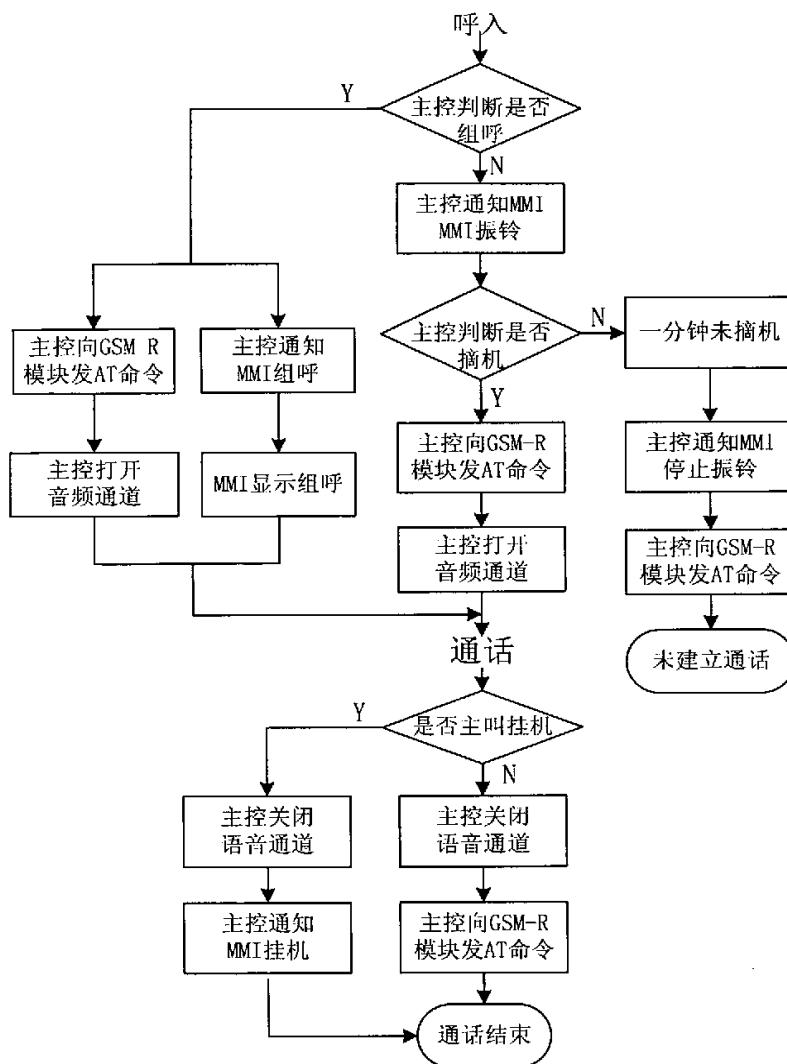


图3-4 GSM-R被叫通信流程

3) GSM-R模式调度命令

GSM-R模块收到短消息发给主控，主控存储短消息（按照调度命令、行车凭证、调车作业单、进路预告）分类存储。主控转发发短消息给MMI，MMI进入调度命令界面，MMI显示消息内容，如果需要签收，提示司机签收。司机按下签收键后，MMI发送已签收消息给主控。主控发已签收短消息AT命令给GSM-R模块。主控长时间没有收到签收消息，发未签收短消息AT命令给GSM-R模块。业务流程见图3-5。

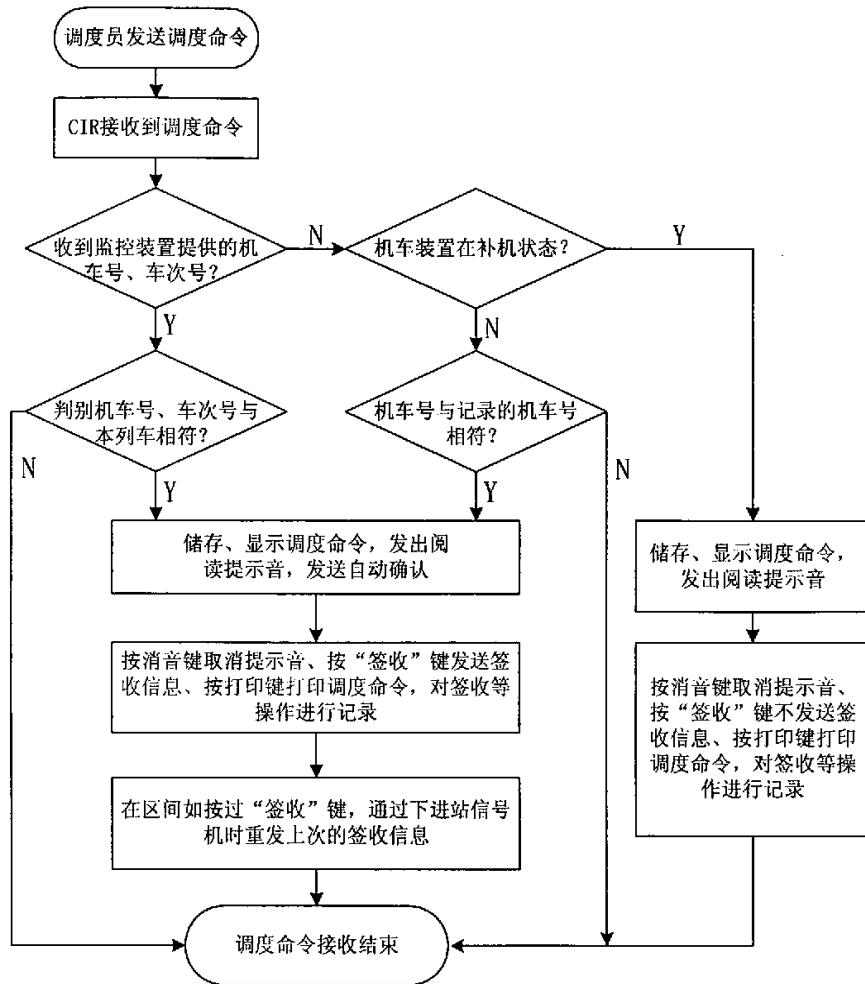


图3-5 CIR接收调度命令流程

4) GSM-R模式机车号、车次号注册与注销

● 机车号、车次号注册

GSM-R机车号、车次号功能号注册功能分三种：开机注册、450M工作模式转GSM-R模式注册、从DMIS接口获取车次号并注册，业务流程见图3-6。开机GSM-R模块自动注册网络后，主控向GSM模块发送机车号、车次号注册相关的AT命令。

当机车从450M工作模式转入GSM-R模式下首先进行机车、车次功能号注册，MMI收到从450M模式转入GSM模式按键后，发消息给主控，主控向GSM-R模块发送注册命令，收到成功应答后，转入GSM-R工作模式，主控发消息给MMI，MMI更换界面，转到GSM-R工作界面。车次功能号完成注册后通信界面的车次

号由黑字改为白字。

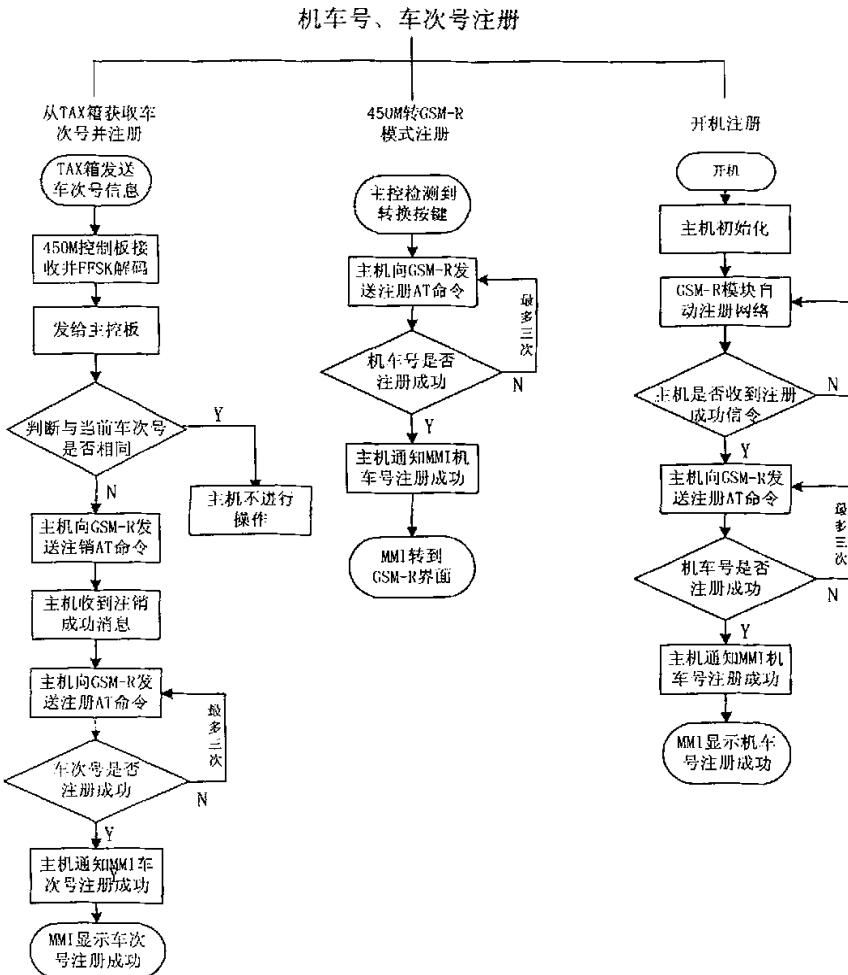


图3-6 GSM-R功能号注册过程

当机车综合无线通信设备在未完成车次功能号注册时，从机车运行安全监控记录装置TAX箱获得车次号信息，并处于监控状态，则自动按获得的车次号进行车次功能号注册。TAX箱发送FFSK车次号信号给450M控制板时，电台发送FFSK信号，同时接收FFSK信号，解码并保存车次号及记录时间，然后发送给主控，主控发命令给GSM-R模块注册，接收应答。主控发车次号消息给MMI，MMI显示新车次号。

● 机车号、车次号注销

GSM-R机车号、车次号功能号注销分2两种情况：关机前注销和从GSM-R模式转450M工作模式注销，业务流程见图3-7。关机时，主控收到充电板电源低

检测信号后，向GSM-R模块发送注销命令，收到成功应答后，关闭后备电池电源。

当司机在MMI上操作按键，GSM-R模式转到450M工作模式后，MMI收到从GSM模式转入450M模式按键后，发消息给主控，主控向GSM-R模块发送注销命令，收到成功应答后，转入450M工作模式，主控发消息给MMI，MMI更换界面，进入450M工作界面。

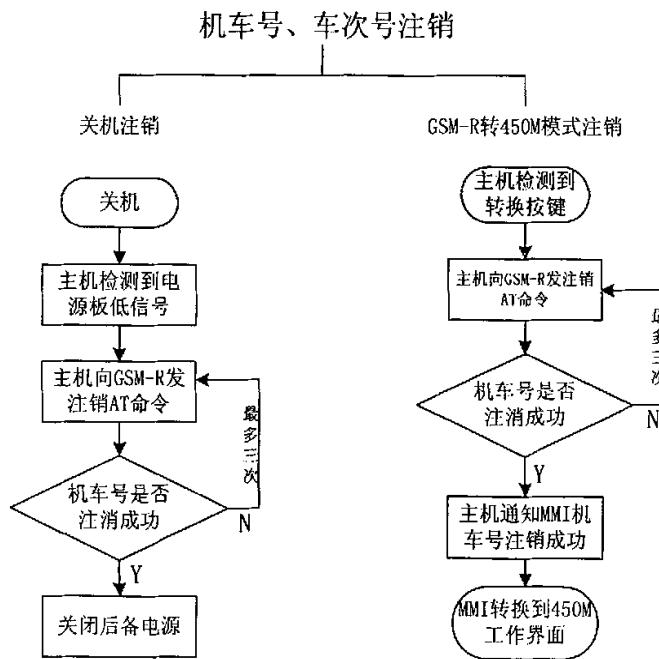


图 3-7 GSM-R 功能号注销过程

3.4 CIR 系统硬件设计

系统内各主要硬件板卡和模块基本信息见表3-2。整个系统主要由三个整件组成，一台主机、2台MMI（操作显示终端，外接打印机、送受话器和扬声器）。另外还有一些天线（450M天线、GSM-R天线、GPRS天线）。

3.4.1 主机构架设计

主机内部结构如图3-8所示，主机由2个子架组成，上面是A子架，下面是B子架。A子架内有GSM-R、GPRS、GPS、高速数据等功能模块，包括控制单元、

录音单元和电源。A子架主控卡是系统的控制核心，是以含ARM920T内核的SAMSUNG S3C2410嵌入式芯片为主芯片的硬件系统，使用WINCE操作系统，用于与GSM-R、GPRS、GPS等模块以及与B子架450M电台控制板、800M电台控制板、MMI、预留的几个计算机接口等通信。

表 3-2 CIR主要硬件板卡和模块基本信息表

位置	板卡名称	主要功能	处理器及软件	备注
主机 A 子 架	A子架背板	A子架各电路板互连	无	
	A子架充电板	蓄电池充电和控制		
	蓄电池	后备电源	无	外购
	A子架电源卡	110VDC转12VDC，为A子架、MMI供电	无	
	A子架高速数据卡	CAN总线高速数据		暂不考虑
	A子架GSM-R卡+天线	GSM-R语音通信模块	无	SAGEM 外购
	A子架GPRS卡+天线	GPRS数据通信模块	无	SIEMENS MC55
	A子架GPS卡+天线	接收GPS信息，产生公共信息；用于外部管理PC对机车台做数据更新。	C8051, 汇编软件, PC管理软件	
主机 B 子 架	A子架主控卡	系统核心控制单元	ARM, WINCE, 主控应用软件 (EVC)	
	A子架接口卡	A-B子架连接；音频处理；SD卡等	无	
	B子架电源板	110VDC转12VDC，为B子架供电	无	
	B子架接口板	各模块和面板接口	无	
	B子架450M控制板	两部450M电台控制	C8051, 汇编软件	
	电台*2	电台GM3688	无	GM3188
MMI	双工器+天线	2部电台合用一个天线	无	外购
	B子架800M电台+天线	列尾安全	无	暂不考虑
	B子架800M控制板	列尾安全		暂不考虑
	MMI板	操作显示终端	ARM/WINCE I应用程序	
	LCD屏	显示屏	无	外购
其它	LCD电源逆变器板	显示屏背光	无	外购
	MMI PS2键盘小板	PS2键盘电路	无	
	MMI键盘面膜	键盘	无	
	打印机*2		无	外购
	送受话器*2		无	外购
	扬声器*2		无	外购

B子架内有450MHz电台模块、电源、接口板、800MHz电台模块等。B子架

450M电台模块包括：2部450M单工motorola电台、一个双工器、一个450M电台控制板；

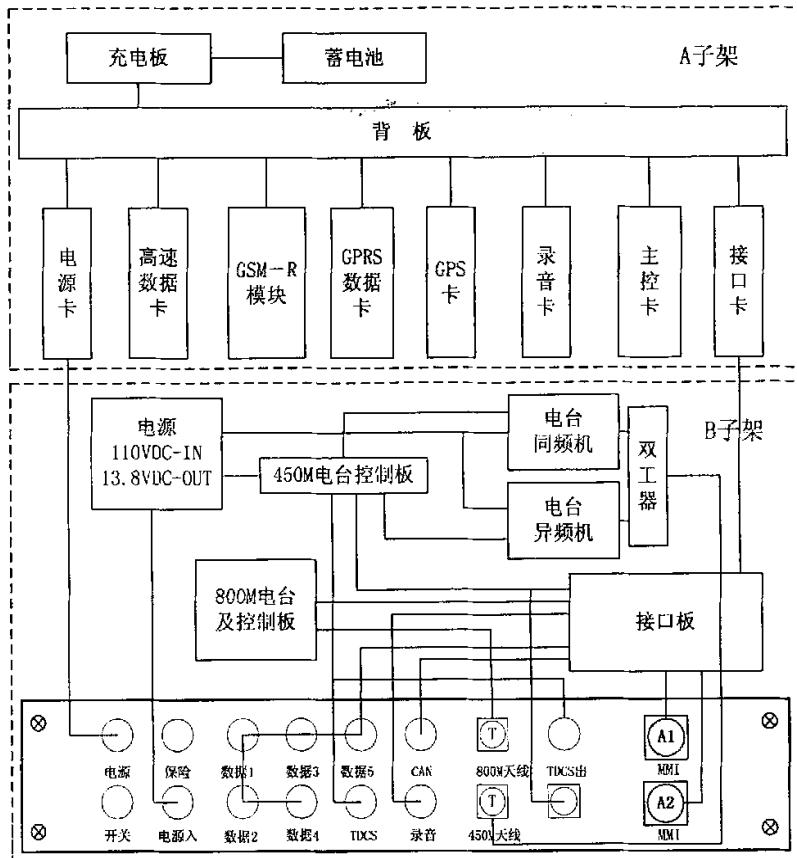


图3-8 主机内部结构示意图

3.4.2 主机及接口板硬件设计

系统硬件框图如图3-9。A子架主控卡是系统的控制核心，是以含ARM920内核的SAMSUNG S3C2410嵌入式芯片为主芯片的硬件系统，使用WINCE操作系统。主控卡上有3个串口，COM1与GSM-R模块通信，COM3与GPRS模块通信，COM2与GPS模块、450M电台模块、800M电台模块、MMI、预留的几个扩展接口等通信。由于COM2需要与多个外设通信，所以设计成半双工RS422总线方式，主控卡发送数据时，其它设备可以同时接收到；其它设备发送数据只有主控卡能接收到，在GPS、MMI等模块发送数据前，需要保证在总线上同时只有一个设备发送数据，这就要求通过软件来合理处理COM2串口通信。

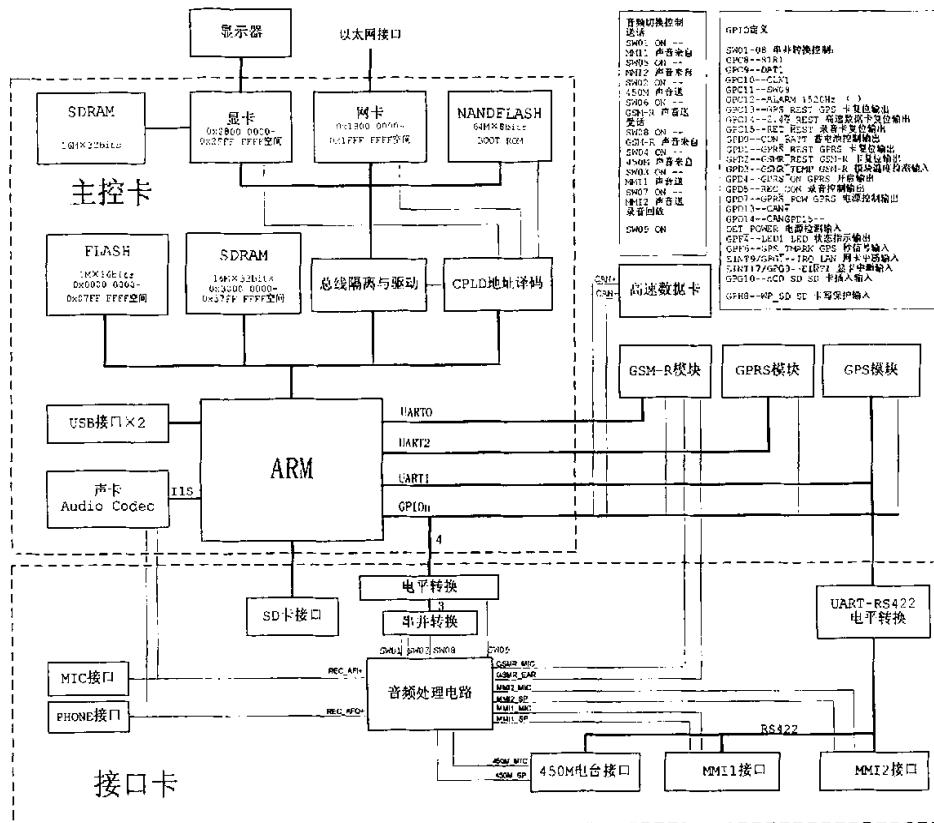


图 3-9 主机及接口板硬件框图

3.4.3 MMI 构架和硬件设计

每套综合台设备配套主、副2个MMI，作为人机接口，由司机或车长操作，控制设备的库检、通话、工作模式选择、音量控制等操作。除键盘和LCD/LED显示外，还有5个外部接口。MMI内部框图如图3-10、图3-11。

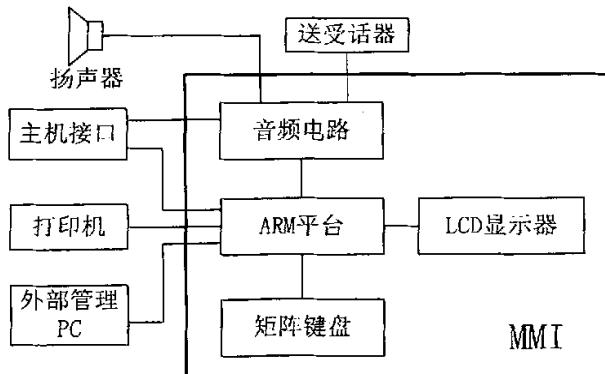


图 3-10 MMI 内部结构框图

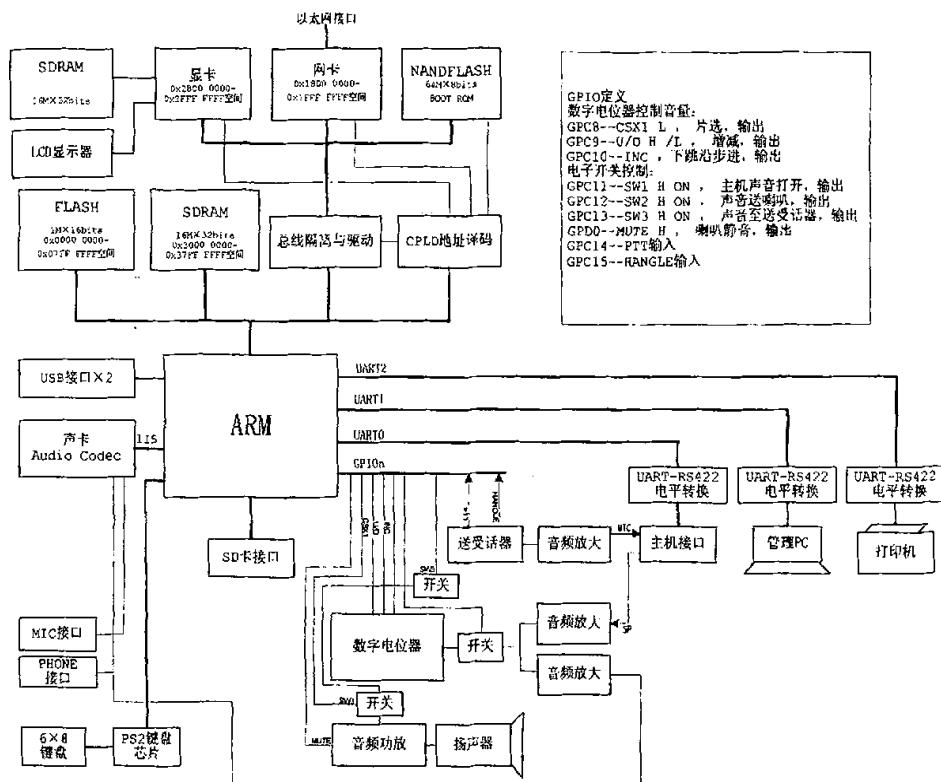


图3-11 MMI内部硬件设计图

3.5 CIR 外部接口定义及电气特性

3.5.1 主机与 MMI 接口

数据通信采用RS422串行接口，双工通信方式。

接插件采用12芯插座，型号为YP28TK22UQ，管脚定义见表3-3。

表3-3 MMI与主机间接口定义

管脚号	定义	说明
1	VCC	电源+12V
2	MIC+	音频平衡输出(MMI至主机)，电平(有效值)245(1±20%)mV，阻抗600Ω。
3	MIC-	音频平衡输入(主机至MMI)，电平(有效值)245(1±20%)mV，阻抗600Ω。
4	SP+	音频平衡输入(主机至MMI)，电平(有效值)245(1±20%)mV，阻抗600Ω。
5	SP-	音频平衡输出(MMI至主机)，电平(有效值)245(1±20%)mV，阻抗600Ω。

6	DATA A+	数据线A+ (MMI至主机)
7	DATA A-	数据线A- (MMI至主机)
8	DATA B+	数据线B+ (主机至MMI)
9	DATA B-	数据线B- (主机至MMI)
10	预留	
11	复位	复位信号, 低复位
12	GND	电源地

3.5.2 MMI 至送受话器接口

接插件采用8芯插座，型号为AL16-J8Z，管脚定义见表3-4。

表3-4 MMI至送（受）话器接口定义

管脚号	定义	说明
1	VCC	电源12V输出
2	MIC	电平(有效值) 245 (1±20%) mV或15 (1±20%) mV, 输入阻抗不小于5KΩ。
3	PTT	送话按钮(低电平有效, 不大于0.3V)
4	HANGLE	挂机信号(低电平有效, 不大于0.3V)
5	GND	电源地
6	SP	
7	预留	RS485+
8	预留	RS485-

3.5.3 MMI 至打印终端接口

数据通信采用RS422串行接口，双工通信方式。

接插件采用7芯插座，型号为AL16-J7Z，管脚定义见表3-5。

表3-5 MMI至打印终端接口定义

管脚号	定义	说明
1	VCC	电源12V
2	空	
3	DATA A+	MMI至打印终端
4	DATA A-	MMI至打印终端
5	DATA B+	打印终端至MMI
6	DATA B-	打印终端至MMI
7	GND	电源地

3.5.4 MMI 至外接扬声器接口

接插件采用3芯插座，型号为AL16-J3Z，管脚定义见表3-6。

表3-6 MMI至扬声器接口定义

管脚号	定义	说明
1	SP+	音频+
2	SP-	音频-
3	地	

3.5.5 主机至机车运行安全监控记录装置接口

接插件采用7芯插座，型号为YS2JJ7M，管脚定义见表3-7。

表3-7 主机至无线车次号编码器接口定义

管脚号	编码器为FFSK接口工作模式	编码器为RS422接口工作模式
1	电源12V	电源 12V
2	空	主机数据接收(+)
3	地	主机数据接收(-)
4	音频信号输出。电平(有效值) 245 (1±20%) mV, 输出阻抗不大于200 Ω。	主机数据输出(+)
5	音频信号输入。电平(有效值) 245 (1±20%) mV, 输入阻抗不小于5K Ω。	主机数据输出(-)
7	PTT为低时应使机车电台发射。低有效, 不大于0.3V, 无效时为高阻。	地

3.5.6 主机电源接口

DC110V输入时，接插件采用2芯插座，型号为AL16-J2Z；DC24V输入时，接插件采用4芯插座，型号为AL16-J4Z，管脚定义见表3-8。

表3-8 主机电源接口定义

管脚号	定义	说明
1	电源+	DC110V 或24V输入+
2	电源-	DC110V 或24V输入-
3	空	DC110V 时无此管脚, 24V时空
4	空	DC110V 时无此管脚, 24V时空

第四章 CIR 软件通信协议和流程设计

4.1 CIR 主机通信方式

4.1.1 综述

设备主机通信示意图见 图4-1

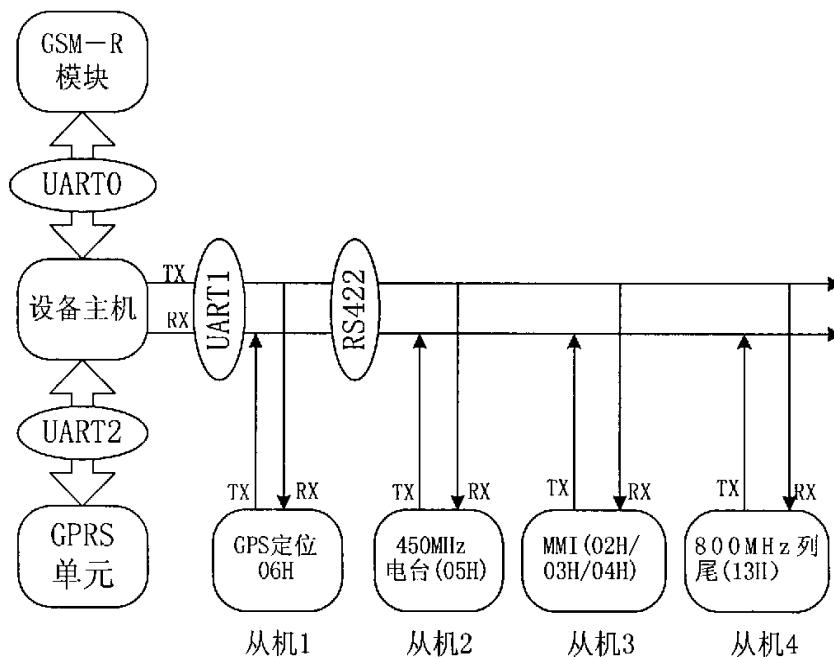


图 4-1 CIR 内部各模块通信示意图

系统通信以主控卡上的设备主机为核心，主控卡上是ARM920T内核的嵌入式平台，上面有3个UART口。

UART0与GSM-R模块(SAGEM MRM、SAGEM SA SM-R 8W 移动电台模块)全双工通信，主机通过向模块串口发送AT命令控制其通信。UART2与GPRS模块(SIEMENS MC55/56)全双工通信，也采用AT命令协议方式进行数据通信。UART1与GPS、450M、MMI1、MMI2、800M、扩展数据口等多个模块通信，由于需要与多个外设通信，所以设计成半双工RS422总线方式，主机发送数据时，其它设备可以同时接收到；其它设备发送数据只有主机能接收到，在GPS、MMI等模

块发送数据前，需要保证在总线上同时只有一个设备发送数据，主机通过查询命令来分配该串口的使用权。

4.1.2 设备主机与从机通信基本过程

1 主机通信过程

设备主机作为系统的通信主机，RS422总线上挂接的各种总线设备为从机，在系统通信过程中应遵循如下规则：

1) 设备主机无数据加载时：

- 当设备主机在没有数据要发送给从机时，按照时间片依次轮流呼叫从机，其基本格式按照通用呼叫命令执行。
- 所有从机侦听总线消息，并判断设备主机呼叫目的端口代码与本机端口代码是否相同。
- 如果设备主机呼叫目的端口代码与从机本机端口代码相同，则从机接收数据并当从机有数据需要发送时加载数据发送，主机接收到数据；当从机没有数据发送时，则按照从机应答通用格式应答主机，主机接收。
- 如果设备主机呼叫目的端口代码与本机端口代码不相同，则从机继续侦听总线消息。当从机有数据要发送时，只有侦听到设备主机发送的目的端口与本机相同时才能获得总线权，此时才能向总线发送数据。

2) 设备主机有数据加载时：

- 当设备主机有数据要发送给从机时，按照时间片依次轮流加载数据发送到总线上，其格式按照各个业务类型的相关命令执行
- 所有从机侦听总线消息，并判断设备主机呼叫目的端口代码与本机端口代码是否相同。
- 如果设备主机呼叫目的端口代码与从机本机端口代码相同，从机接受数据。与此同时，当从机有数据需要发送时加载数据发送到总线上，主机接收到数据；当从机没有数据发送时，则等待并判断主机一帧（本帧）数据是否发送完毕，如果一帧（本帧）数据发送完毕，从机按照各个业务类型的相关命令执行，主机接收。
- 如果设备主机呼叫目的端口代码与本机端口代码不相同，则从机继续侦听总线消息。

2 从机之间进行通信

此时主机作为中继通道，只负责将从机发送方的数据转发给从机接收方，每接收一个字节后即转发一个字节数据，直到一帧数据转发完毕。如果从机发送方发送的数据中有对主机有用数据，则主机在转发的同时，保留有用数

据为主机本机所需。

3 纠错处理：

1) 当设备主机无数据加载时，按照通用呼叫命令基本格式依次轮流呼叫从机，如果主机没有接收到该从机发送的数据（应答）或接收到该从机发送的数据（应答）错误，则主机在下次继续呼叫，如果连续出现3次，则认为该通信从机失效。

2) 当设备主机加载数据时呼叫从机完毕后，从机按照各个业务类型的相关命令执行，

4 主机及从机要求具有通信业务记忆能力

即当本机接收到总线上其它设备发送的业务数据时，能够记忆该业务类型，当接收到长数据帧续传帧数据及长数据帧续传帧结束，需要自动组合数据内容时，以记忆的最近的业务类型相一致。

4.1.3 通信时间要求与分析

1) MMI通信命令中，除调度命令外，最长的数据为“GPS向MMI发布当前车站信息及当前时间(站名、运行区段发生变化时发送，空闲时每11秒发一次”共92字节数据内容，该命令一帧数据需要 $92+11=103$ 字节，发送所需发送时间约为103 ms，但该命令要求“站名、运行区段发生变化时发送，空闲时每11秒发一次”故实际为列车进站、出站时各有一次该命令的通信，但根据实际需求，对反应时间要求不高。

2) MMI通信命令中，除调度命令外，较长的数据为“主机报告综合信息”共31字节数据内容，该命令一帧数据需要 $31+11=42$ 字节，发送所需发送时间约为42 ms，但该命令可要求“主机在空闲时发送”故实系统际应用中对反应时间要求不高。

3) MMI通信命令中，除调度命令外，较长的数据为“MMI向主机发送确认信息的数据格式”共33字节数据内容，该命令一帧数据需要 $33+11=44$ 字节，发送所需发送时间约为44 ms，但该命令是在450M电台接收到调度命令时执行，故可以在450M电台控制中处理，故实系统际应用中对反应时间要求不高。

4) MMI通信命令中，除调度命令、以上1、2、3及“主机报告小区位置更新信息”外，其它命令均在10字节以内。

5) GPS通信命令中，“公用GPS位置信息输出间隔不大于2秒”。

6) 450M电台调度命令总体对反应时间要求不高。

4.2 综合机车台 CIR 通信协议

4.2.1 数据通信通用格式

通信方式：主从机采用串行异步通信(RS422)

数据格式：每字节数据由1位起始位、8位数据位和1位停止位构成，共10位。

数据传输速率：9600bps。

通信帧格式

- 1) 以DLE、STX作为帧起始字段，以DLE、ETX作为帧结束字段。
- 2) 为避免在信息字段中出现DLE，影响数据的正确接收，数据发送方在发送数据前检查信息字段中是否出现DLE，如果信息字段中出现DLE字符，则在此DLE字符后再加一字节DLE。数据接收方如果连续收到两个DLE字符，表明此DLE是数据信息，而不是控制转义字符，去掉一个DLE即可。帧格式见表4-1

表4-1 基本帧格式

帧格式	帧起始	信息长度	源端口代码	源通信地址长度	源通信地址	目的端口代码	目的通信地址长度	目的通信地址	业务类型	命令	数据	CR C 校验	帧结束
字节	2	2	1	1	N1	1	1	N2	1	1	N3	2	2
内容	1002H		见表4.2	N1		见表4.2	N2		见表4.3				1003H

- 1、CRC校验码生成多项式为： $G(X)=X^{16}+X^{12}+X^5+1$ 。校验内容为从“信息长度”到“数据”结束的全部内容。
- 2、“信息长度”表示从“源端口代码”开始到“CRC校验”结束的字节数。
- 3、“信息长度”和“CRC校验”等多字节字段为高字节数据在前。
- 4、“命令”中的00H用于发送广播信息(不需要应答)，F0H~FFH用于系统控制，各承载业务不允许重复定义这些命令。
- 5、“数据”的内容由各承载业务单独规定，“命令”字节长度不够时，各业务可在“数据”中进行安排。
- 6、“数据”长度不大于700字节。若承载业务需要发送的“数据”长度超过700字节，则由承载业务在“数据”中自行定义分包发送数据的规则。
- 7、通信地址由IP地址+(源或目的)通信端口号组成。
- 8、应答方式
 - 1) 与承载业务有关的应答由各承载业务在“数据”中定义。具体应答命令需要在具体业务中详细规定。

- 2) 设备主机与数据应用接口用户之间的通信以“命令”为00H，“数据”为OK (ASCII码) 作为应答帧。
- 3) 设备主机通道繁忙时，将不对数据应用接口用户的业务申请应答，数据应用接口用户可再次进行业务申请。

9、端口代码及业务类型分配

端口代码分配见表4-2。

表4-2 端口代码分配表

	序号	端口名称	端口代码
本机	1	设备主机	01H
	2	MMI	02H: 两个MMI 03H:MMI1 04H:MMI2
	3	450MHz机车电台	05H
	4	GPS数据端口	06H
	5	机车综合通信设备维护端口	3FH
数据接 口用 户	6	监控数据采集处理装置	11H
	7	调车监控机分机	12H
	8	800MHz车载电台	13H
	10	设备主机数据应用接口	15-1FH
空中接 口用 户	11	机车综合通信设备检测服务器	21H
	12	DMIS总机	23H
	13	CTC总机	24H
	14	调车监控应用服务器	25H
	15	列车尾部安全防护装置主机	26H

4.2.2 调度通信协议及流程

1) 开机时MMI与主机的连接

开机时两个MMI定时发送请求连接命令（每秒一次），主机接收到命令后对端口号及主副控进行分配，发送连接命令。MMI接受到建立连接的命令后，根据命令完成端口及主副控设置。MMI完成设置后，主控MMI向主机报告HOOK 及PTT状态。当主机复位或非正常启动，MMI保持正常工作时，主机通过向MMI 报告工作模式命令（10秒一次），与应答的主控MMI重新建立连接，如果主机报告的工作模式与MMI显示的不一致，由MMI向主机发送命令字为08H，工作内容为工作模式的命令，以保证主机与MMI工作模式一致。保证主机与MMI工作

模式一致。MMI设置完成后，不再每秒发送一次请求连接命令。主机在空闲时候每10秒向MMI报告一次工作模式。

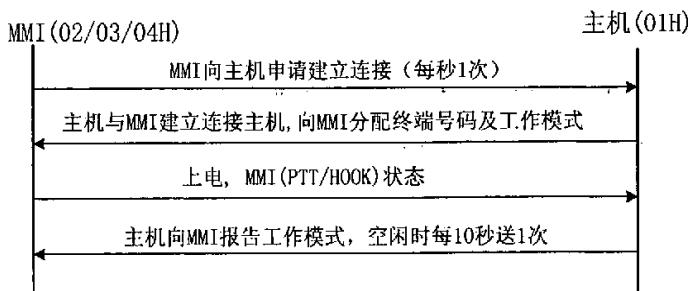


图4-2 开机时MMI与主机的通信协议

当副MMI按下主控键3秒后，副控向主机发送请求连接命令，主机接收后，主机根据端口号重新设置主副控标志，发送建立连接命令，将之设置为主控，同时向原为主控的MMI发送命令，将之设置为副控。MMI根据新的主副控标志设置状态，完成主副控切换。

2) 450MHz工作模式下，MMI的呼出

通信协议流程图见图4-3

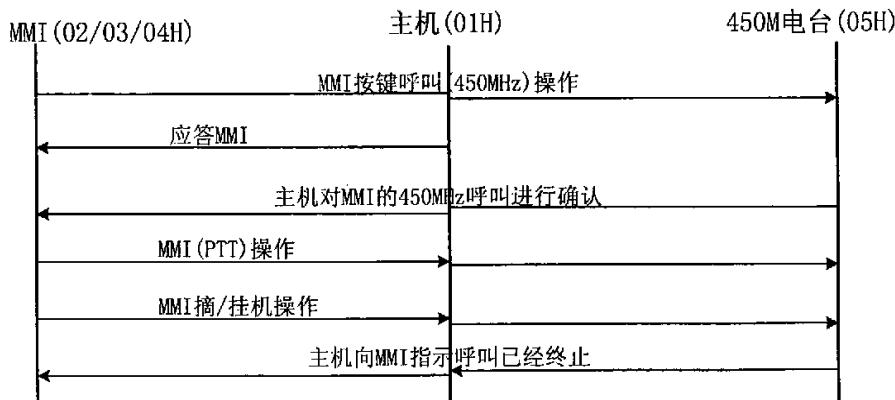


图 4-3 450MHz 模式下 MMI 的呼出通信协议

需要通信时，按下主控MMI呼叫功能键后，MMI向主机发送相应呼叫命令，主机再将命令转发至450MHz机车电台，由机车电台发送应答命令，电台接通

后，发送呼叫确认命令，由主机转发至主控MMI，建立通话。建立通话后，MMI 根HOOK状态打开听筒或喇叭。通话中，听筒PTT状态由MMI送至主机实现单工通话。

通话完成，MMI 挂机结束通话，同时向主机发送挂机命令通知主机通话结束。或主机向 MMI 发送呼叫终止命令结束通话。

3) 450MHz 工作模式下，向MMI呼入

流程见图4-4

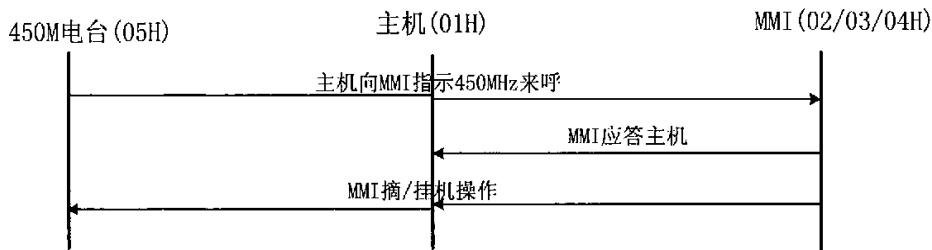


图 4-4 450M 模式下 MMI 的呼入流程

当有 450MHz 呼入时，主机向 MMI 发送指示 450MHz 来呼命令，MMI 给出应答并进行提示，摘机后 MMI 向主机发送摘机命令，建立通话。通话中 PTT 状态实现及通话结束与 MMI 450MHz 呼出相同。

4) GMS-R 工作模式下，MMI 的呼出

信令流程见图4-5。

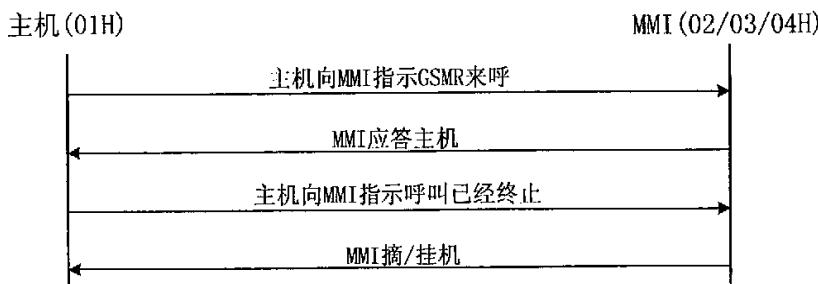


图 4-5 GSM-R 模式下 MMI 的呼出通信协议

当主控 MMI 工作在 GSM-R 模式时，MMI 根据按键输入的号码，通过 GSM-R 按键呼叫操作命令通知主机进行呼叫。主机向 GSM-R 模块发送 AT 命令拨通号码后，通知 MMI 通话接通，这时 MMI 通过喇叭或听筒输出电话等待音，对方摘机后建立通话。通话结束时，MMI 将挂机命令送至主机结束通话或者主机向 MMI 发送呼叫终止命令结束通话。

5) GSM-R 工作模式下，向 MMI 呼入

通信流程如下图 4-6



4-6 GSM-R 模式下 MMI 的呼入

MMI 工作在 GSM-R 模式时，主机向 MMI 发送“指示 GSM-R 来呼”命令对 MMI 进行呼叫，MMI 应答主机。MMI 摘机后建立通话。通话结束时，MMI 将挂机送至主机或主机将终止通话送至 MMI 结束通话。

4.2.3 调度命令通信协议及流程

来自 450M 的新调度命令源端口号为 05H，来自 GPRS 的新调度命令源端口号为 23H，主机内存储的旧调度命令源端口号为 01H。主机将 450MHz 及 GPRS 的调度命令转发至 MMI，MMI 根据调度命令进行自动确认及签收。

MMI 接收调度命令流程如下 图 4-7

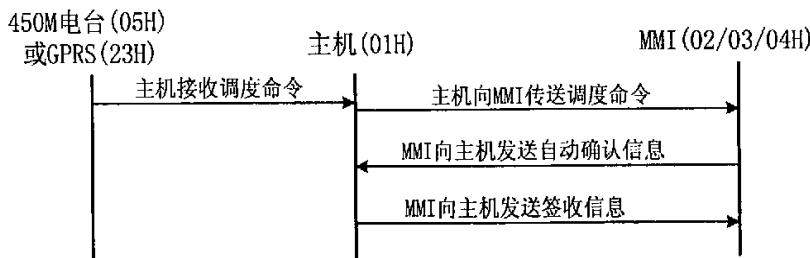
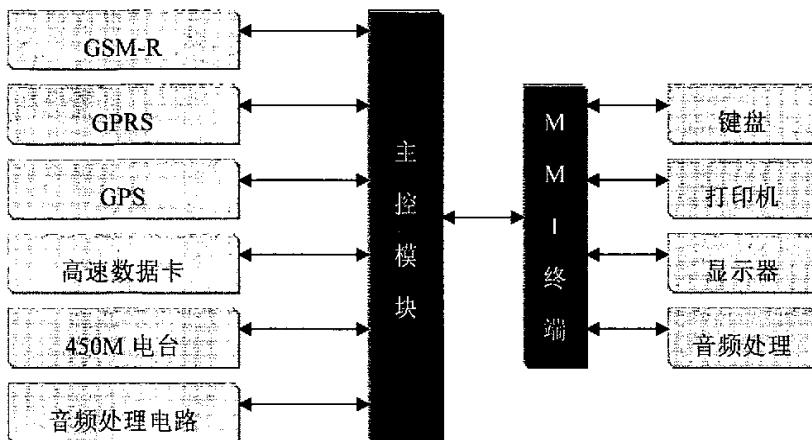


图 4-7 MMI 接收调度命令协议流程

4.3 软件模块设计

4.3.1 CIR 上主要的软件

CIR 软件模块构成见图 4-8



CIR 上需要开发的程序见表 4-3

表 4-3 主要软件列表

软件名称	运行硬件板卡和处理器	软件类型	编译环境及编程语言
主控卡驱动程序	主控卡； ARM	驱动程序 (WINCE)	PB； C
主控卡应用程序	主控卡； ARM	应用程序 (WINCE)	EVC； C
MMI 驱动程序	MMI 板； ARM	驱动程序 (WINCE)	PB； C
MMI 应用程序	MMI 板； ARM	应用程序 (WINCE)	EVC； C
450M 控制板程序	450M 控制板； C8051 单片机	汇编程序	Silicon IDE； ASM
GPS 卡程序	GPS 卡； C8051 单片机	汇编程序	Silicon IDE； ASM
PC 管理软件	计算机	应用程序 (WIN2000、XP 等)	VC； C
充电板软件	充电板，单片机	汇编程序	

● ARM 驱动程序

主控卡和 MMI 驱动程序基本相同，是在 ARM 开发平台提供的 WINCE BSP 代码基础上修改而成，编译环境是：Microsoft Windows CE .NET 4.2 Platform Builder 4.2。主控卡驱动程序修改了串口驱动和 GPIO 驱动； MMI 驱动程序修改了显卡驱动、串口驱动和 GPIO 驱动，增加了 PS2 键盘驱动。

- 主控卡应用程序

主控卡应用程序是系统主要软件，主控卡需要管理GSM-R模块、GPRS模块、接口卡（语音切换），还需要与MMI、450M模块、GPS模块通信，协调整个系统的工作，这些功能都是主控卡应用程序实现的。主控卡应用程序是运行在ARM平台上的应用程序，C语言代码，编译环境是EVC。

- MMI应用程序

MMI应用程序是运行在MMI板ARM平台上的应用程序，C语言代码，编译环境是EVC。MMI的主要功能是提供人机接口，LCD显示器显示设备当前工作状态和各种业务信息，用户通过操作键盘和送受话器可以控制设备的工作，并控制外置打印机和扬声器。MMI软件主要处理来自主控串口的消息、键盘按键、摘挂机和PTT等。

- 其他程序

450M控制板程序：450M控制板程序是运行在450M控制板C8051单片机上的程序，汇编语言代码，编译环境是Silicon IDE。GPS卡软件：GPS卡程序是运行在GPS卡C8051单片机上的程序，汇编语言代码，编译环境是Silicon IDE。PC管理软件：PC管理软件是运行在外部计算机上的应用程序，C语言代码，编译环境是VC。充电板软件：充电板程序是运行在充电板单片机上的程序，汇编语言代码。CIR软件模块构成见图4-8

4.3.2 CIR主控软件设计

1 CIR主控软件模块

主控单元是整个系统的中心枢纽，它负责连接整个系统的各个组成部分，与各个组成部分进行通信；负责接收，解释，并处理GSM-R、GPRS、GPS、高速数据卡、450M电台等模块的信令和数据，并与之交互。主控模块通过音频处理电路，对语音信息进行播放，保存。并与MMI终端进行交互，在MMI上显示相应信息，对用户的在终端上的操作进行响应。主控单元不要求界面显示，但为了便于调试，主控程序将分别显示通讯的三个串口的接收数据。

主控板转发各组成部分之间的相互通信，储存系统的必要的工作信息，存储调度命令，控制GSMR模块工作等工作。从它的工作情况可以看出，主控单元的大部分工作都是与其它系统单元分不开的，是配合或控制其它系统单元工作的。因此主控单元的项目设计中，调试这部分就相应的比较复杂。为了便于调试，主控单元将可以显示各串口接收数据并保存。

软件用EVC4.0开发，运行在WinCE嵌入式系统中。为保证MMI工作的连续

性，软件采用3个工作串口（分别用于MMI和450MHz电台及GPRS、GSMR、GPS）。由于串口采用一发多收的方式，所以通信时要采用主控单元查询的方式避免数据混乱，具体的查询方式要根据MMI、450电台的软件设计制定。由于系统的工作条件比较恶劣，软件的安全性，可靠性除了依赖于软件自身的代码编写的安全外，还依赖硬件部分的硬件特性。

由于主控单元的功能多、工作对象多，再结合主控单元的实际工作情况，故将整个程序的设计按照主控单元的工作性质分成两个部分：一个是450MHz部分，另一个是GSM-R部分。

1) 450MHz部分：在这部分中，主要完成450MHz通话时配合MMI与电台工作，接收并转发调度命令，保存调度命令供MMI查询。这代码部分工作量相对不大，主要是调试部分。

2) GSM-R部分：这部分的工作主要是控制GSM-R模块及MMI工作。这部分由于在通话、呼叫的同时还要处理多种情况，在代码部分比450MHz部分要复杂。调试时需要特定的网络支持，只有北京交通大学GSM-R实验室可以提供调调试环境。主控GSM-R模块层次结构见图4-9。

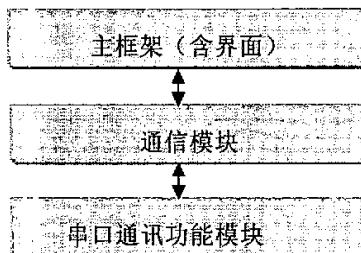


图4-9 主控GSM-R模块层次结构

- 主框架（含界面）：负责各个模块的调度，处理。界面模块：由于系统不要求，只是用来显示接收数据及数据保存等功能，所以只要不影响程序处理数据时间就可以。该部分不用MFC相关的类，即代码能在无MFC支持的Windows平台上运行，界面部分负责辅助调试。
- 串口通讯功能模块：主要负责与串口进行数据交换，处理串口的发送和接收，并对接收数据进行简单处理。负责终端、电台、及模块的数据处理。数据模块根据通信模块传递的消息，通过分支判断，调用相应功能的子函数进行处理计算。数据模块还处理发送数据的计算，包含发送数据的定时器处理，所有定时器标志变量及数据存放在数据模块的数据结构中，并对系统信息进行存储。与MMI终端共用，故采用DLL方式提供。且不用MFC相关的类，即代码能在无MFC支持的Windows平台上运行。

- 通信模块：模块主要负责软件与外部的通信。三个串口分别用于MMI、GPRS、GPS、GSMR的通信。为了保证数据通信的实时性，每个串口的发送和接收分别各用一个线程管理，确保各个串口数据通信不产生冲突。串口接收采用中断方式响应串口消息，根据协议的标志判断接收，数据的校验在线程内完成。线程单字节接收串口数据，接收中处理DLE、ETX。线程根据简单处理后的数据的命令码向其它模块发送消息。线程循环等待串口的中断消息，直至程序结束才结束进程。每个串口设置各自的数据缓冲，每个串口的数据互不冲突。由于串口采用一发多收，为避免数据混乱主控采用主动查询其它单元的方式交换数据。初步设计常规情况其它单元的数据发送取消定时，其它单元根据主控应答取消数据发送。负责与各个模块进行通信，对令，数据进行解释，传输，处理。指挥其它模块工作。是否采用DLL方式待定。不用MFC相关的类，即代码能在无MFC支持的Windows平台上运行。主控模块中的通讯模块，仅指与GSM-R模块的交互。

2 CIR主控软件程序框架

主控程序框架见图4-10。

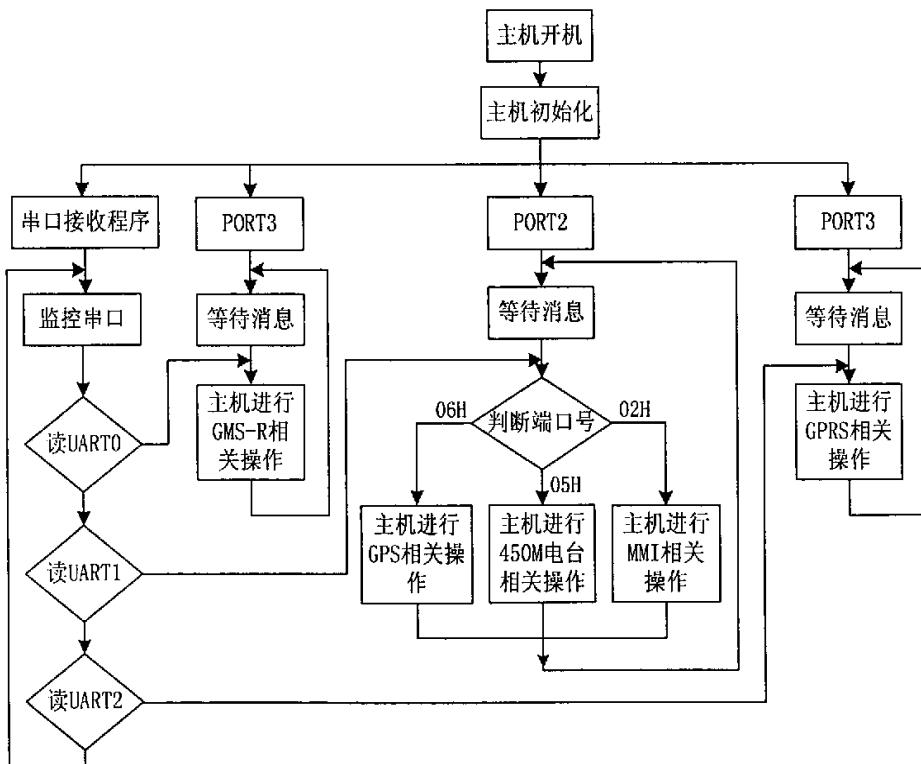


图4-10 主控程序框架

开机后，ARM板首先完成初始化任务，然后同时运行串口接收程序和各端口进程，串口接收程序轮询扫描3各异步串口，若发现有数据出现，则送到相应正在处于等待状态的各端口程序进行处理。其中对UART1口来的数据还要进行进一步判断，以决定是MMI操作还是GPS操作还是450M电台操作，然后进行相应处理。各端口程序完成相应操作后，分别返回到各自的等待消息处，继续监听串口，获得串口数据并处理串口数据，使相应的通信功能得以实现。该程序是一个循环过程，不能自动终止，需要关机或重启动来结束程序。

4.3.3 综合台 MMI 软件设计

1 MMI软件层次结构

MMI负责接收主控模块传来的信息，并显示。接收终端用户的操作，将操作反馈给主控。并通过音频处理电路，对语音信息进行播放，保存。MMI软件模块层次如图4-11

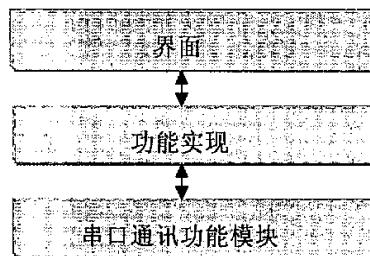


图4-11 MMI模块软件层次结构

其中界面显示部分按照铁道部标准设计。串口通讯功能模块：与主控模块共用。功能实现与界面模块：负责处理与用户，以及主控的交互。尽量做到功能与界面独立。功能实现部分不用MFC相关的类。

2 MMI软件程序框架

MMI上电后，ARM板首先完成初始化任务，其中包括配置LCD液晶显示屏、键盘、显卡、声卡等文件，然后读取两个MMI的端口号，刚开机默认两个MMI均为副控，在由人工按键将以MMI设为主控。然后程序开始检测UART0串口，此串口是与主控的接口，若检测到主机发送来的有效数据，根据数据格式判断出是属于哪个函数的操作，则进入主程序的该函数运行。完成相关的MMI操作后，程序返回循环返回到等待消息处，继续处理串口发送来的消息。该程序不能自动终止，需要关机或重启动来结束程序。MMI程序框架见图4-12。

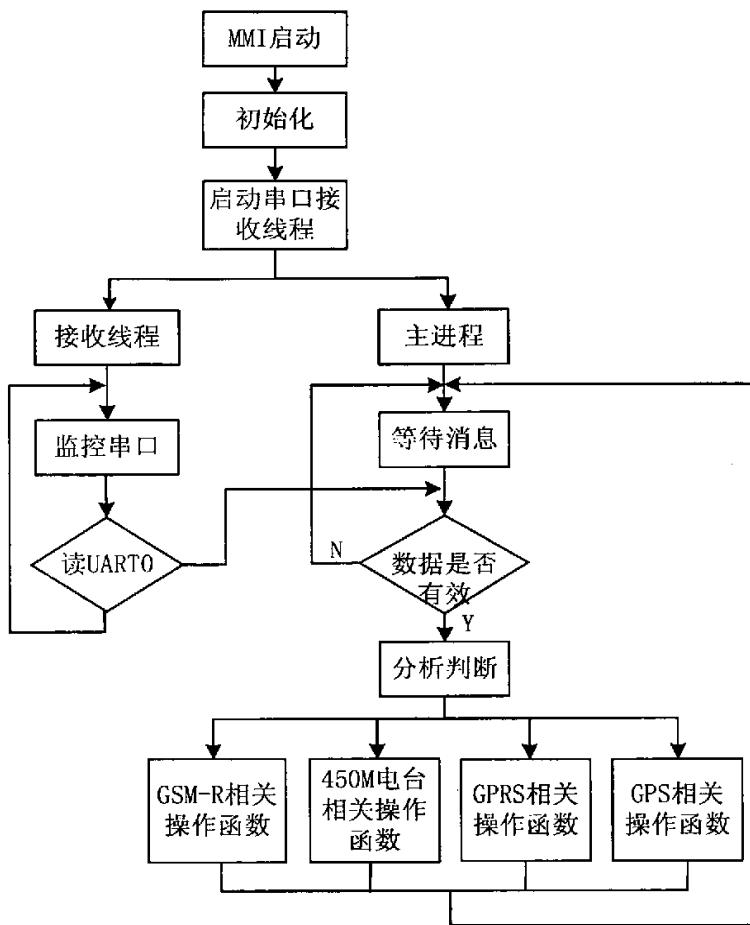


图4-12 MMI程序框架

第五章 结束语

5.1 开发和测试过程

2004年7月，铁道部运输局基础部组织以上海铁路通信工厂、铁道科学研究院通信信号研究所、天津七一二通信广播有限公司和株洲电力机车研究所为主编单位，包括我公司在内的其他12家有关单位参与的“机车综合无线通信设备技术”条件编写组。编写组就机车综合设备的运用业务种类、接口类型、安装方式、实施方案进行了深入的研讨，于2004年9月形成了初步的技术条件。此后，又经过多次讨论修改，数次易稿，于2005年3月出台了送审稿。

从2004年7月开始，随着编写组对《机车综合无线通信设备技术条件》的研讨、修改和完善，我所在的实习公司组织研发小组进行机车综合无线通信设备研制开发。至2005年4月中旬，我公司开发完成机车综合无线通信设备样机，实现了450M机车电台业务功能（不包括GSM-R功能）。

根据铁道部运输局基础部的要求，各单位研制的机车综合无线通信设备各主要单元需要实现互联互通。在上海铁路通信工厂、铁道科学研究院通信信号研究所、天津七一二通信广播有限公司研制的样机已实现互联的基础上，我公司与上海铁路通信工厂联系，在兄弟单位的大力支持下，于2005年4月下旬带样机至上海通信工厂进行互联互通调试。为后来在郑州组织的互联互通测试作好了技术准备。

2005年6月24日，我们研制的机车综合无线通信设备（CIR）在郑州通过铁道部测试组的静态测试和互联互通测试，并安排进行机车运行动态试验。我参加了所有的测试过程。郑州铁路局为我公司先后安排了SS8-0006和SS8-0014两辆机车，在其上司机驾驶室里安装了我公司研发的CIR设备。两机车的运行添乘路段为京广线郑州到信阳段，全程300公里。经过现场20天的测试，我们的设备符合铁道部标准。大三角（调度员、车站值班员、司机）呼通率达到86%，小三角（车站值班员、司机、运转车长）呼通率达到95%，无线车次号接收率达到98%，调度命令接收率为94%。

2005年7月，铁道部发布了《调度命令无线传送系统技术条件（V4.0）》及《机车综合无线通信设备技术条件（V1.0）》，根据铁道部安排，我公司在7

月24日-27日完成对试验样机的软件升级，经过现场动态试验，证实升级成功，满足新版本技术条件要求。

2005年11月应铁道部要求，对研发的机车综合无线通信设备样机进行GSM-R功能测试，地点在北京交通大学GSM-R实验室，我参与了测试过程。测试用例全部通过。至此，机车综合无线通信设备研制完成。

5.2 CIR 的 GSM-R 功能测试结果及分析

2006年1月9~11日应铁道部安排，对我们的CIR设备进行了GSM-R功能测试，考察了机车综合无线通信设备与FAS系统（调度台、车站台），机车综合无线通信系统与GSM-R网络之间的功能实现和兼容性。主要测试内容是CIR调度话音功能测试。测试地点在北京交通大学思源楼9层GSM-R实验室。测试环境是在正常环境下，气温：15℃~35℃，相对湿度：20%~75%。测试设备和配合设备的连接框图如图5-1。

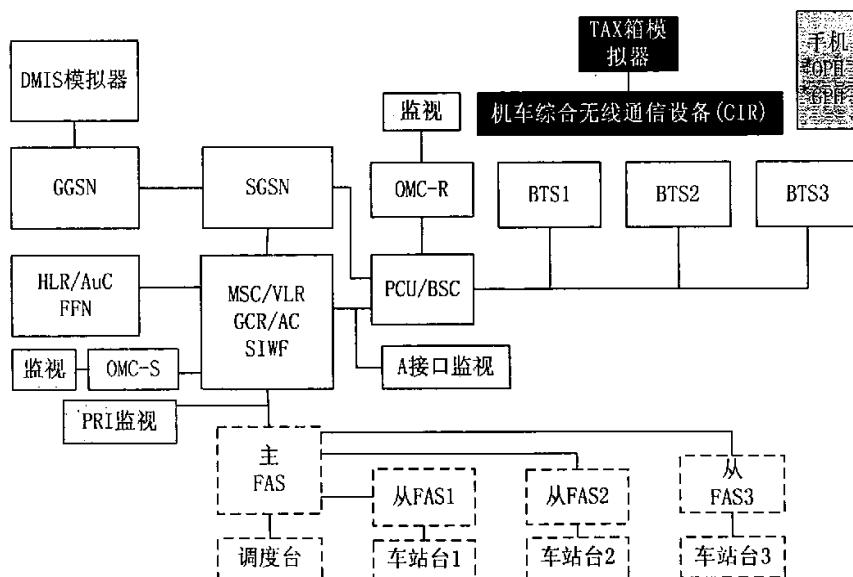


图5-1 测试设备和配合设备的连接框图

其中，白色实框表示GSM-R网络设备；白色虚线表示FAS厂家提供的设备；黑色表示被测设备CIR，浅灰色框表示检测设备或人员，深灰色表示辅助测试的终端设备。

测试结论：本次测试共设置85个项目（开/关机及注册注销功能27项、显

示终端及操作5项、语音助教功能18项、语音被叫功能14项、语音补充业务21项), 通过83项、基本通过2项; 其中A类案例48项, 全部通过, B类案例37项。2项基本通过。基本通过的两项案例及其含义如下:

LABT-1-1-01. 1-25 调度通信模块机车号功能号自动注册失败_功能号已经被注册。该项案例在测试时, A接口及网络信令流程正确, 案例要求的基本功能能够实现, 但MMI没有显示“机车号注册失败”。

LABT-1-1-01. 1-26 调度通信模块车次号功能号自动注册失败_功能号非法。该项案例在测试时, A接口及网络信令流程正确, 案例要求的基本功能能够实现, 但MMI没有显示“车次号注册失败”, 也没有语音提示。这两项没有完全通过的测试用例有相似的地方, 就是界面没有显示。

失败原因分析及解决:

1) 设备软件不稳定, 在测试过程中表现时好时坏, 在现象上看, 主机已经收到注册失败消息, 但是有可能主机没有发给MMI。或者主机把注册失败的消息发给MMI了, 但是MMI程序没有反映。以后改进程序, 争取考虑的更加周全, 把所有的操作情况都要考虑进去,

2) 设备硬件不稳定, 或者硬件电路板布线有虚连的地方。以后改进电路板, 争取布线更加合理, 更加抗干扰。

5.3 CIR产品应用前景展望

机车综合无线通信设备(CIR)研发的最终目标是为了适应中国铁路GSM-R系统, 是GSM-R系统的一种终端设备。所以它的应用前景跟中国铁路的新兴通信系统GSM-R的应用联系密切。可以说没有GSM-R, 就没有CIR。中国铁道部已经把GSM-R系统作为现在和将来铁路的主要通信体制, 现在正在大力建设。因此CIR应用前景广阔, 市场潜力巨大。可以说CIR产品的应用前景就是GSM-R的发展前景。所以下面简单介绍一下GSM-R在我国最新的进展情况。

近10年来, 中国铁路经历了重载运输、电气化改造、既有线提速、客运专线建设等一系列的技术进步, 推动了铁路通信信号的发展。未来5至15年, 中国快速铁路和高速铁路将会有很大的发展。铁路提速和客运专线网络化、智能化、综合化的行车调度指挥系统需要高度可靠、高度安全、快速接入的综合移动通信系统, 以及透明、双向、大容量的车—地安全和调度指挥的信息传输通道。

中国铁路GSM-R是铁道部确定的新一代列车移动通信的技术体制, 为铁路运输生产提供全程全网的调度通信功能。现已在大秦线(大同-秦皇岛间, 长

672公里)、青藏线(格尔木-拉萨间,长1142公里)、胶济线(青岛-济南间,包括胶黄线,全长490公里)先后建设了GSM-R系统。其中大秦线GSM-R系统将率先开通投入使用。

大秦线GSM-R系统包括了组呼、广播、铁路紧急呼叫、多优先级抢占等语音业务;机车同步控制信息的传送、调车机车信号和监控信息的传送等电路型数据业务;车次号传送、调度命令传送、列车进路预告和停稳信息传送等分组型数据业务。

就在青藏铁路全线铺轨成功后不久,新华社的一条消息传遍全球:青藏铁路将是亚洲第一条采用GSM-R铁路无线通信系统的铁路。此外,它还是亚洲第一条采用GSM-R来传输用于列车控制的安全数据的试验铁路,并采用双重覆盖的解决方案增强了系统的可靠性。

目前,我国铁路无线移动通信主要以列车无线调度通信系统为主(即无线列调),属于单信道模拟通信系统,已经不适应现代铁路运输的需要。不适应体现在多个方面。由于是单信道,无线列调只能同时传输一路话音,在通信容量上受到限制。一路通话进行时,另一路通话就无法插入。而现在铁路运输强度不断增加,在铁路运行时,不仅要传输话音,还要同时传输数据。同时,数据稳定的传输要求抗干扰、抗噪声的能力很高,这都是传统的模拟通信系统所无法比拟的。

除此之外,青藏铁路由于要穿越海拔四五千米的高原,一台机车难以牵引,需要两台机车同时牵引,而两台机车的同步控制在无线列调的情况下,是无论如何也实现不了的。在GSM-R的无线通信情况下,两台机车的操作和控制可以实现同步,更为重要的是,使用GSM-R,还可以实现列车的自动控制,保证列车的安全、稳定运行。

即将在青藏铁路线上投入使用的GSM-R系统,有一个非常独特的地方,它的信号采取了双重覆盖,通俗地说,就是类似于双备份,两套信号控制系统交错、重叠。一旦一套系统出现问题和故障,另一套系统仍然可以保持正常的通讯。这在地形、气候非常复杂的青藏铁路上尤为重要。与公网上的GSM技术相比,GSM-R在呼叫区域、呼叫功能号码也有很大的优势。按照规划,2005年底,青藏铁路全线的GSM-R系统将完成设备安装,06上半年完成所有的功能测试、通信质量测试等测试项目,到时候机车综合无线通信设备必将在青藏铁路中发挥重要的作用。

参考文献

- [1] 靳海云 集群移动通信技术 北京:国防工业出版社[M] 2003:40-44
- [2] 赵荣黎 中国铁路专用移动通信的现状与发展[J] 中国电信建设2000. 12(2):9-11
- [3] 赵荣黎 专用移动通信的技术进步与应用前景[J] 移动通2001. 12:5-6
- [4] CEPT 25-09.Designation of frequenciesin the 900 MHz band for railway purposes[S].CEPT Recommendation T/R 25-09 E. Chester 1990, revised at Budapest1995:45
- [5] GSM 03.03. Numbering,addressing and identitication[S].ETSI.1999:35-46
- [6] GSM 05.05. Radio transmission and reception[S].ETSI.1999:3
- [7] GSM TR 10.68 v0.0.0 Introduction to the services: enhanced Multi-Level Precedence and Pre-emption (cMLPP) Voice Group Call Service (VGCS) Voice Broadcast Service (VBS)
- [8] 文志成 通信分组无线业务 GPRS[M] 电子工业出版社 2004 1:259
- [9] 刘阳、杨宜,“数字集群通信共网设计”,《邮电设计技术》, 2003.
- [10] SAGEM. FFF1S for GSM-R SIM cards[S] P38T90012 2002. 2:29-38
- [11] 3GPP TS 24.080 3.2.0 Mobile radio Layer 3 Supplementary Service specification—Formats and coding
- [12] 钟章队、李旭、蒋文怡等编著 路综合数字移动通信系统(GSM-R) 北京: 中国铁道出版社 2003
- [13] 陈琦 iDEN的技术演进及市场发展 中国通信 2001. 3 (41):15-16
- [14] 郑祖辉, 鲍智良, 郑岚 数字集群移动通信系统 (M) . 电子工业出版社 2002. 1: 396
- [15] EIRENE Project Team.UIC Project EIRENE System Requirements Specification [S]. MDA029DO10.2000.10:24-26
- [16] SIEMENS Special Column GSM-R铁路综合通信系统[J]. 中国移动通信 2000. 8: 219-220
- [17] 铁道部TB/T3052-2002 列车无线调度通信系统制式及主要技术条件 北京 中国铁道出版社 2002
- [18] 铁道部运输局 机车综合无线通信设备技术条件 (送审稿) 北京 2005
- [19] 铁道部运输局运基通信[2000] 286号文件 列车尾部安全防护装置与无

- 线列调系统通信传输及设备接口技术条件 北京 2000
- [20] 铁道部运输局运基通信[2002] 133号文件 无线列调机车电台操作单元技术要求(试行) 北京 2002
- [21] 铁道部 TB/T3021-2001 铁道机车车辆电子装置技术条件 北京 中国铁道出版社 2001
- [22] 铁道部运输局 运基通信[2004] 389号文件 调度命令无线传送系统技术条件V.3 北京 2004
- [23] 铁道部运输局运基通信[2004] 223号文件 列车无线调度通用式机车电台主要技术条件V.1 北京 2004
- [24] 京秦试验工作组, GSM-R系统需求规范(修改稿)[S] 2002.6:4-5
- [25] 赵荣黎 集群专用移动通信的现状与对策的研究 通信世界2000(6)
- [26] 王玲玲、钟章队 专用移动通信系统的重要发展方向《中国铁路》 2004.

致谢

掩卷扶笔，感触颇多，光阴荏苒，岁月如梭，三年虽短，却是生活的浓缩。细细品味，有收获，也有失败，有喜悦，也有惆怅，挥洒过汗水，也流下过泪水，但更多的是承受了无数人的扶持和关爱。

回首两年多的硕士研究生的学习生活，最幸运的是遇到了导师胡健栋先生。先生渊博的专业知识、严谨的治学态度、勤奋好学、勇于创新的精神令我由衷的敬佩；先生的悉心教诲、辛勤指导、严格律己、宽松的氛围使我在学术上受益匪浅；先生豁达平易，严与律己、宽以待人的人格魅力令我折服，于潜移默化之中启迪了我的思想，将使我终身受益。在此向敬爱的导师表示衷心的感谢。

另外，感谢实习公司给我的理论和实践的机会。尤其感谢熊小兵总经理和郑蕾工程师。他们为我的论文完成提供了很多宝贵的技术资料。

通信电路与系统实验室是一个充满智慧、积极向上的集体。在整个硕士学习期间，全庆一老师、宋文妙博士、陈美娥博士等都给予我十分有益的帮助。在此，向他们表示深深的感谢。

还要感谢百忙中抽出时间为我评审论文的每一位老师。

最后要感谢始终关心我的家人和朋友，特别感谢我的夫人，是她们多年默默无闻的支持和理解使我取得现在的成绩。