

铁路数字移动 通信系统 (GSM-R) 无线网络规划与优化

□ 钟章队 吴昊 李翠然 胡晓红 陈霞 编著

内 容 简 介

本书是一本专门介绍铁路 GSM-R 无线网络规划与优化的书籍,系统深入地阐述了 GSM-R 无线网络规划和优化的原理和方法,并给出了详尽的案例分析。全书分 8 章,主要介绍了 GSM-R 无线接口的基础知识,阐述了 GSM-R 无线网络规划和优化方法,并根据应用发展的需要介绍了 GPRS 无线网络优化和系统中直放站的维护与优化方法。本书理论与实践相结合,系统全面地论述了 GSM-R 无线网络规划和优化的思想和方法。

本书可作为从事铁路 GSM-R 网络规划、维护运营和优化的工程技术人员及有关管理人员的培训教材或自学参考书,也可作为高等院校相关专业本科生、研究生学习 GSM-R 技术和知识的教材和教学参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

铁路数字移动通信系统(GSM-R)无线网络规划与优化/钟章队等编著. —北京:清华大学出版社;北京交通大学出版社,2011.12

ISBN 978-7-5121-0878-3

I. ① 铁… II. ① 钟… III. ① 铁路通信-时分多址移动通信-通信网-网络设计
IV. ① U285.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 002642 号

责任编辑:韩 乐 特邀编辑:李晓敏

出版发行:清华大学出版社 邮编:100084 电话:010-62776969

北京交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-51686414

印刷者:北京瑞达方舟印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:19.5 字数:487 千字

版 次:2012 年 2 月第 1 版 2012 年 2 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-5121-0878-3/U·88

印 数:1-3 000 册 定价:34.00 元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监局反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。
投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

前 言

GSM-R (GSM Railway) 是国际铁路联盟 (UIC) 为满足欧洲 21 世纪铁路一体化进程而推荐的欧洲铁路专用移动通信系统。作为铁路信息化的重要驱动力, 目前 GSM-R 在各国铁路运输中扮演着越来越重要的角色, 并引导全球铁路事业向着数字化、智能化、网络化和综合化的方向迈进。

GSM-R 进入中国已有十余年, 经过理论研究、政策审核、网络建设、施工验收等层层考验, 已取得骄人的成绩。目前, 已建成代表高原、重载和繁忙干线的青藏线、大秦线、胶济线, 多条客运专线也均采用 GSM-R 系统承载列车调度和控制信息, 如已建成的京津、合武、武广、郑西、沪宁、沪杭、京沪和正在建设中的京石武、哈大等高速铁路。我国铁路 GSM-R 网络已经进入全面建设和大规模应用时期。根据我国《中长期铁路网规划》, 到 2020 年实现铁路 12 万公里的 GSM-R 覆盖, 全国铁路主要繁忙干线将实现客货分线, 复线率和电化率均达到 50%, 运输能力满足国民经济和社会发展需要, 主要技术装备达到或接近国际先进水平。这将对世界铁路 GSM-R 的发展起到积极的推动作用和拉动效应。为了确保列车平稳、高速、安全运行, 不但要求在系统建设阶段有科学、细致的规划, 还要求在系统运行阶段密切监测网络性能、及时准确消除故障、优化资源配置、改善运行环境, 使 GSM-R 网络运行在稳定、可靠的最佳状态。

尽管 GSM-R 无线网络规划与优化可以借鉴公众 GSM 移动通信网的经验, 但是, 因为 GSM-R 系统网络规划与优化方法的研究在覆盖特性、业务内容、质量要求等方面与 GSM 之间的差异显著, 因此在实践中不能简单照搬 GSM 网络规划和优化技术。业务内容和质量要求方面: 由于传输列控等高可靠性和高时延敏感性业务, 为了满足铁路对传输的安全性、可用性、可靠性和可维护性方面的要求, GSM-R 系统对覆盖范围、服务质量和网络可用性等要求更高。工作环境方面: 受自然条件的影响, 铁路沿线工作环境恶劣, 系统主要运行在郊区、隧道、丘陵和山区等环境。GSM-R 无线网络优化就是要使系统处于较好的运行状态, 比如在直辖市、省会城市和计划单列市的城区, 铁路 GSM-R 系统的基站覆盖范围为铁路外侧轨道两侧各 2 公里, 其他地域覆盖范围为铁路外侧轨道两侧各 6 公里。为了保证线路上无线信号连续覆盖, 满足机车台使用要求, 需要通过调整各相关的无线网络工程设计参数和无线资源参数来实现。网络结构方面: GSM-R 系统网络的覆盖一般采取面状覆盖和链状覆盖相结合的网络覆盖方式, 即车站及枢纽地区采用面状覆盖 (与公用蜂窝无线网络组网相似, 但干扰问题更为突出), 在区间采用链状网络覆盖。由于 GSM-R 系统除了完成语言通信功能以外, 更重要的是要承载一些重要的控制列车的数据, 结合铁路的特点及其安全性可靠性的要求, GSM-R 采用小区冗余覆盖, 即在单层网络的基础上增加一层无线覆盖, 使移动台总是处于两个小区的覆盖范围内, 提高系统整体的可用性, 保障列车高速运行时通信的连续性, 但同时, 这种无线双网覆盖结构也增加了网络优化的复杂度。

GSM-R 无线网络规划目标是为铁路作业区提供连续覆盖。覆盖指标以《铁路 GSM-R 数字移动通信系统工程设计暂行规定》中的指标为设计依据, 通信服务质量满足《GSM-R 数

字移动通信总体技术要求》的规定。GSM-R 系统无线网络规划设计的主要任务是对网络覆盖水平、容量和服务质量进行预测,实现覆盖、容量和服务质量的平衡,主要包括覆盖规划、容量规划和频率规划等内容,为网络实施提供充足的理论依据,有效保证 GSM-R 网络的设计质量。

GSM-R 系统优化是一个理论与实践交替反复促进的过程,同时优化工作也是对系统性能均衡的过程,只有解决好网络中的各种问题,优化网络资源配置,改善网络运行环境,提高网络运行质量,才能使网络运行处在最佳状态,为铁路通信业务的发展提供有力的保证。无线网络优化是对正式投入运行的网络进行参数采集、数据分析,找出影响网络质量的原因,并通过调整参数和采取某些技术手段,使网络达到最佳运行状态,使现有网络资源获得最佳效益。目前,GSM-R 移动通信系统的网络优化主要包括无线网络优化和交换网络优化两个方面。系统的无线部分具有诸多不确定因素,它对无线网络的影响很大,其性能优劣常常成为移动通信网服务质量好坏的决定因素。

为了加强我国 GSM-R 网络规划、优化和维护技术人员之间的交流和经验共享,达到共同提高网络规划和优化技术水平的目的,作者根据 GSM-R 技术条件和相关资料,结合从事 GSM-R 移动通信研究、设计、维护和优化工作的经验编写了本书。

全书分 8 章。第 1 章介绍了 GSM-R 系统目前的国内外发展、建设情况,GSM-R 无线网络规划和优化的概念及流程,并阐述了 GSM-R 无线网络规划优化与 GSM 网络的区别。第 2 章介绍了无线通信环境的特点和无线电波传播机制与模型,GSM-R 工作频段和频道配置,GSM-R 中的多址技术与逻辑信道,语音编码、信道编码、交织、加密、调制解调等数据传输及定时提前技术。第 3 章讨论了无线网络规划设计的总体原则、无线覆盖分析、话务预测及容量配置、系统频率规划、天线倾角设计等内容及不同地形条件下的无线网络规划案例。第 4 章阐述了网络识别参数、系统控制参数、小区选择与重选、寻呼和随机接入、测量结果报告及处理、切换控制算法和参数、距离控制参数、无线链路失败过程和参数、干扰管理和干扰级别、小区无线资源控制等内容,以及天线性能、小区物理参数、频率规划和小区属性工程参数的优化。第 5 章介绍了 GSM-R 无线网络优化中网络优化流程、网络优化所需要的软硬件工具、网络性能评估指标。第 6 章以实际工程处理为例,探讨分析了 GSM-R 网络的频率优化、无线覆盖及优化、OMC-R 基站参数调整、容量调整、通信中断的分类和定位、干扰分析和解决、QoS 不满足指标等优化问题。第 7 章在介绍 GPRS 基本原理的基础上,阐述了 GPRS 网络优化的目标与原则、优化指标、无线参数优化、性能分析与调整,对数据速率过低、分组寻呼成功率低、PDP 激活故障、附着失败、小区重选频繁、干扰等问题进行了分析,给出了典型 GPRS 优化的实例。第 8 章概述了无线通信系统弱场覆盖的问题和直放站克服弱场的原理,分析了采用直放站情况下的干扰问题,讲述了直放站维护与优化技术和实例。

本书主要为从事 GSM-R 网络规划、维护和优化的技术人员及通信技术管理人员编写,可作为培训教材或自学参考书,也可作为高等院校相关专业本科生、研究生学习 GSM-R 技术和知识的教材和教学参考书。

本书前言部分由吴昊、钟章队撰写;第 1 章由陈霞、钟章队撰写;第 2 章由吴昊撰写;第 3 章由胡晓红撰写;第 4、5 章由吴昊、郭辉、钟章队撰写;第 6 章由吴昊、丁建文、郭辉撰写;第 7、8 章由李翠然撰写;全书由吴昊统稿。在本书的撰写过程中,得到了轨道交

通控制与安全国家重点实验室（北京交通大学）和铁道部 GSM-R 实验室的老师、博士生、硕士生的大力支持和帮助，并得到中铁勘察设计院和众多工程师的大力配合；胡晓红、丁建文提供大量宝贵的 GSM-R 网络规划和优化实际工程资料，对于本书的写作有很大的帮助；此外，参与本书资料整理和校对工作的还有房晶、汤恒亮、史昊一、温士雅、孟嘉，在此向他们一并表示衷心感谢。同时，感谢本书责任编辑韩乐老师为此书提出的中肯意见和建议。本书研究内容得到国家 863 计划重点项目“最高试验速度 400 km/h 高速检测列车关键技术研究及装备研制”子课题“GSM-R 系统网络运行状态分析数学模型及网络优化方法的研究”（任务编号：2009AA110302）的资助，借此机会表示衷心感谢。

由于作者水平有限及时间仓促，书中错误和不当之处在所难免，敬请同仁和读者批评指正。

作 者

2012 年 2 月

于轨道交通控制与安全国家重点实验室（北京交通大学）

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 GSM-R 发展概况	1
1.1.1 GSM-R 的发展	1
1.1.2 GPRS 在铁路通信中的发展	5
1.2 无线网络规划	7
1.2.1 规划目标	7
1.2.2 规划流程	8
1.3 无线网络优化	10
1.3.1 优化目标	10
1.3.2 优化流程	10
1.3.3 覆盖优化	11
1.3.4 容量优化	13
1.3.5 质量优化	13
1.4 GSM-R 网络的规划和优化	14
1.4.1 GSM-R 网络优化的现状与发展趋势	14
1.4.2 GSM-R 和 GSM 网络优化的区别	16
1.5 本书结构安排	17
第 2 章 GSM-R 无线接口理论	19
2.1 无线电波传播	19
2.1.1 无线通信环境的特点	19
2.1.2 无线路径上的衰落	20
2.1.3 无线路径传播损耗	20
2.1.4 无线电波传播模型	21
2.2 GSM-R 工作频段的分配	23
2.2.1 我国 GSM-R 网络的工作频段	23
2.2.2 频道间隔	23
2.2.3 频道配置	23
2.2.4 干扰保护比	25
2.3 多址技术与逻辑信道	25
2.3.1 GSM-R 多址技术	25
2.3.2 TDMA 帧	26
2.3.3 突发脉冲序列	28
2.3.4 逻辑信道到物理信道的映射	29
2.3.5 系统消息	36

2.4	数据传输	40
2.4.1	语音编码	40
2.4.2	信道编码	42
2.4.3	交织	43
2.4.4	加密	45
2.4.5	调制和解调	46
2.5	帧偏离和定时提前量	47
2.5.1	帧偏离	47
2.5.2	定时提前量	48
第3章	GSM-R 无线网络规划原理及案例分析	49
3.1	无线网络规划设计总体原则	49
3.1.1	UIC 无线设计要求和服务质量指标要求	49
3.1.2	中国铁路 GSM-R 系统服务质量要求	51
3.1.3	无线网络规划设计思路	54
3.2	无线覆盖分析	55
3.2.1	无线覆盖方式	55
3.2.2	覆盖预测	56
3.2.3	弱场解决方案	68
3.2.4	线路交会区域覆盖方案	77
3.2.5	并行线路覆盖方案	81
3.3	话务预测及容量配置	82
3.3.1	话务模型	82
3.3.2	话务预测及容量配置	83
3.4	系统频率规划	86
3.4.1	铁路 GSM-R 覆盖的特征	86
3.4.2	铁路 GSM-R 频段	86
3.4.3	影响频率规划的因素	86
3.5	天线倾角设计	92
3.6	针对不同地形特点的无线网络规划案例	93
3.6.1	平原及丘陵地区	93
3.6.2	隧道	94
3.6.3	并行线路覆盖方案	97
第4章	GSM-R 与无线网络优化相关的参数	101
4.1	概述	101
4.2	网络识别参数	101
4.2.1	移动国家号	101
4.2.2	移动网号	101
4.2.3	位置区码	102
4.2.4	小区识别	102

4.2.5	网络色码	103
4.2.6	基站色码	103
4.3	系统控制参数	104
4.3.1	IMSI 结合和分离允许	104
4.3.2	周期位置更新计时器	104
4.3.3	小区信道描述	105
4.3.4	无线链路超时	106
4.3.5	邻小区描述	106
4.3.6	允许的网络色码	107
4.3.7	小区接入禁止	107
4.3.8	接入等级控制	107
4.3.9	等待指示	108
4.3.10	多频段指示	109
4.4	小区选择与重选	110
4.4.1	小区选择和重选过程	110
4.4.2	控制信道最大功率电平	113
4.4.3	允许接入最小接收电平	114
4.4.4	附加重选参数指示	115
4.4.5	小区重选参数指示	115
4.4.6	小区禁止限制	115
4.4.7	小区重选偏置	117
4.4.8	临时偏置	117
4.4.9	惩罚时间	118
4.4.10	小区重选滞后	119
4.5	寻呼、通知和随机接入	119
4.5.1	寻呼过程、组呼通知和随机接入过程	119
4.5.2	公共控制信道配置	121
4.5.3	接入准许保留块数	122
4.5.4	寻呼复帧数	123
4.5.5	最大重传次数	124
4.5.6	重传周期	125
4.5.7	最大重发次数	125
4.5.8	发送分布时隙数	126
4.6	测量结果报告及处理	127
4.6.1	测量报告过程	127
4.6.2	测量平均参数	128
4.7	切换控制算法和参数	131
4.7.1	全局切换	131
4.7.2	定向重试切换	133

4.7.3	功率预算切换	136
4.7.4	救援切换	137
4.7.5	区内切换	139
4.8	其他算法及参数	140
4.8.1	距离控制参数	140
4.8.2	无线链路失败过程和参数	142
4.8.3	干扰管理和干扰级别	143
4.8.4	小区无线资源的控制	145
4.9	BSS 的部分计时器	146
4.9.1	T3101	146
4.9.2	T3103	146
4.9.3	T3107	147
4.9.4	T3109	147
4.9.5	T3111	147
4.10	工程参数的优化	148
4.10.1	天线性能参数的调整	148
4.10.2	小区物理参数的调整	149
4.10.3	频率规划调整	150
4.10.4	小区属性调整	151
第5章	GSM-R 无线网络优化	152
5.1	网络优化流程	152
5.2	网络优化工具	153
5.2.1	测试手机	153
5.2.2	路测软件	154
5.2.3	信令分析仪	156
5.2.4	无线网络优化软件	156
5.2.5	网络接口监测系统	157
5.3	网络性能评估	166
5.3.1	DT 测试	166
5.3.2	CQT 测试	170
5.3.3	网络运行指标	170
第6章	GSM-R 无线网络优化实例分析	177
6.1	频率优化	177
6.1.1	问题描述	177
6.1.2	常见故障分析及解决措施	177
6.1.3	实例分析	178
6.2	无线覆盖问题及优化措施	179
6.2.1	天馈系统概述	179
6.2.2	无线网络覆盖问题的分析	180

6.2.3	基于天线调整的无线覆盖优化措施	181
6.2.4	基于参数调整的无线网络覆盖优化措施	182
6.2.5	单网交织无线网络覆盖优化案例	183
6.3	OMC - R 基站参数调整	186
6.3.1	小区相邻关系参数调整	186
6.3.2	越区切换参数调整	187
6.4	容量调整	188
6.4.1	问题描述	188
6.4.2	SDCCH 占用分类	188
6.4.3	话务统计点分析	189
6.4.4	建立话务模型	193
6.4.5	解决措施	195
6.5	通信中断的分类和定位	195
6.5.1	切换失败	195
6.5.2	无线链路故障	203
6.5.3	MSC 侧临时故障	205
6.5.4	MS 发起正常呼叫清除	206
6.5.5	AN (接入网) 拆线引起的通信中断	207
6.6	干扰问题及解决措施	208
6.6.1	问题描述	208
6.6.2	网内干扰分析及解决措施	209
6.6.3	网间干扰分析及解决措施	211
6.7	QoS 不满足指标问题及解决措施	212
6.8	接口综合监测系统网络优化案例	214
第 7 章	GPRS 无线网络优化	220
7.1	GPRS 基本原理	220
7.1.1	网络结构及实体功能	220
7.1.2	业务功能及编号计划	221
7.1.3	主要接口及相关协议	223
7.1.4	无线信道及重要特性	226
7.1.5	系统消息及主要流程	229
7.2	GPRS 网络优化	235
7.2.1	网络优化目标与原则	235
7.2.2	网络优化指标	236
7.2.3	无线参数优化	237
7.2.4	GPRS 网络性能分析与调整	244
7.2.5	典型 GPRS 优化实例分析	251
第 8 章	直放站的维护与优化	255
8.1	弱场覆盖和直放站原理	255

8.1.1	弱场覆盖简介	255
8.1.2	直放站原理	255
8.1.3	直放站的优劣分析	258
8.2	直放站干扰分析	259
8.2.1	同频干扰	259
8.2.2	邻频干扰	259
8.2.3	下行干扰	260
8.2.4	上行干扰	260
8.3	直放站维护与优化	262
8.3.1	直放站维护	262
8.3.2	直放站优化	264
8.4	直放站优化实例分析	266
8.4.1	场强覆盖和功率平衡	267
8.4.2	昆仑山隧道南口同频干扰问题	272
8.4.3	干沟隧道南洞口外乒乓切换问题	274
8.4.4	直放站远端机少1路无线信号	275
8.4.5	直放站主从信号均无	276
8.4.6	直放站无从信号	276
8.4.7	主从信号相差过大或过小(衰减器损坏)	276
8.4.8	直放站信号间断	277
8.4.9	直放站和基站信号叠加后衰减过慢	280
8.4.10	交织覆盖情况下直放站信号衰减过快	280
8.4.11	直放站主从信号均低	281
8.4.12	主从信号相差过大或过小(调整基站输出功率)	282
8.4.13	直放站单方向衰减过快(隧道内泄漏电缆)	283
8.4.14	主从信号相差小导致越区切换滞后	284
8.4.15	切换区覆盖电平过高($> -48\text{dBm}$)	285
附录 A 缩略语索引		287
参考文献		296

第 1 章 绪 论

1.1 GSM-R 发展概况

1.1.1 GSM-R 的发展

20 世纪中期以来,世界范围内的信息技术进步带动了铁路整体的迅猛发展,行车指挥自动化、客货快运网络化、市场营销信息化和安全装备系统化使铁路行业面貌焕然一新。1997 年,24 个国家共同签署备忘录,决定采用国际铁路联盟(UIC)为满足欧洲铁路一体化进程而推荐的铁路专用移动通信系统 GSM-R(GSM for Railway)。作为铁路信息化的重要驱动力,GSM-R 具有功能完善、传输可靠、交换灵活、容量大等特点,能够提高铁路运输指挥效率,使铁路行业的整体服务水平跃上一个台阶,因此在全球得到了良好的发展。目前 GSM-R 在各国铁路运输中扮演着越来越重要的角色,并引导全球铁路事业向着数字化、智能化、网络化和综合化的方向迈进。

GSM-R 进入中国已有十余年,经过理论研究、政策审核、网络建设、施工验收等层层考验,已取得骄人的成绩。目前,已建成代表高原、重载和繁忙干线的青藏线、大秦线、胶济线,多条客运专线也均采用 GSM-R 系统承载列车调度和控制信息,如已建成的京津、合武、武广、郑西、沪宁、沪杭、京沪和正在建设中的京石武、哈大等高速铁路。我国铁路建设已经进入全面数字化和 GSM-R 全面建设的时期。根据我国《中长期铁路网规划》,到 2020 年,实现铁路 12 万公里的 GSM-R 覆盖,全国铁路主要繁忙干线将实现客货分线,复线率和电化率均达到 50%,运输能力满足国民经济和社会发展需要,主要技术装备达到或接近国际先进水平。这些对世界铁路 GSM-R 的发展起到了积极的推动作用和拉动效应。我国铁路 GSM-R 网络的发展目标是建立全路移动通信网络,利用移动通信实现铁路移动设施和固定设施的无缝连接,确保列车平稳、高速、安全运行。这就要求解决好 GSM-R 网络中的各种问题,优化资源配置,改善运行环境,使网络运行在最佳状态,成为铁路安全运输的有力基础保证。自提出中国铁路发展 GSM-R 以来,我国积极开展了基础理论的研究工作和应用技术条件的制定工作,推进设备及终端的国产化,并大力开发铁路新应用,同时注重合理制定工程设计指标及验收指标,以及工程后期的无线网络优化与运营维护工作,在 GSM-R 的研究、开发和建设中取得了多方面成果。

1.1.1.1 基础理论与应用理论研究方面

我国各高等院校和科研单位积极开展了 GSM-R 的基础理论与应用理论的研究,为推动 GSM-R 的发展作出了重要贡献。其中包括理论创新,如通用分组无线业务(GPRS)的服务质量(QoS)性能能否满足列控系统需求、GSM-R 能否采用功率控制技术等;难题攻克,如

多业务多用户的同步快速小区切换算法、组呼区与漫游小区和非漫游小区间切换等；实验室仿真，如高速铁路环境下的电波传播特性的建模仿真等；应用基础理论，如机车同步操作控制系统中多个移动台越区切换对数据会议的服务质量的影响等基础工作。

1.1.1.2 应用技术条件方面

自 1995 年 UIC 评估并确认 GSM-R 技术为欧洲铁路下一代无线通信系统至今，中国积极开展了一系列标准制定和测试工作。目前，我国已形成了基本的 GSM-R 标准体系，制定了无线通信系统的相关应用技术条件，包括“GSM-R 编号计划”、“调度通信技术条件”、“铁路 GSM-R 网络规划技术条件”、“SIM 卡技术条件”、“车次号传送系统技术条件”、“调车机车信号和监控信息传送系统技术条件”、“调度命令传送系统技术条件”、“机车综合无线通信设备技术条件”、“列尾装置信息传送系统技术条件”和“智能网技术条件”等，为 GSM-R 在中国的发展奠定了坚实的基础。

1.1.1.3 设备及终端方面

在铁道部的大力推动下，一大批国内厂商、研究单位、设计和施工单位投入研究 GSM-R 的建设和发展中，我国已有 10 多个厂家研究生产机车综合无线通信设备，形成了良好的竞争局面。通过几年的研究开发和各条试验线的实施，除了难度相对较大、进度较慢的手持终端和无线模块外，GSM-R 系统其余设备基本达到了国产化。目前，交换子系统、无线子系统 GPRS 子系统、智能网 (IN) 子系统等相关国产设备投入建设。此外，国内熟悉铁路无线通信的厂商遵循铁道部制定的 GSM-R 应用技术条件进行的、适合中国铁路应用需求的终端产品的二次开发已初具规模，有些国内厂家在手持终端设备方面已取得了突破性进展。

1.1.1.4 铁路应用方面

在开发和引进的网络设备和终端设备搭建的平台上，我国遵循发布的应用技术条件，形成了基于 GSM-R 的铁路应用体系，如图 1-1 所示。该体系分为 4 个层次：第 1 层是 GSM 的功能和业务；第 2 层是 GSM-R 系统特有的集群调度业务和功能（增强型多层优先和抢占业

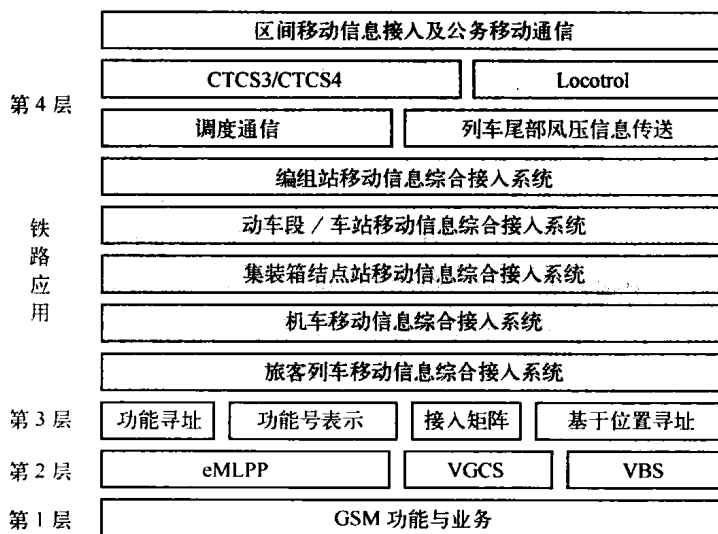


图 1-1 基于 GSM-R 的中国铁路应用体系示意图

务 eMLPP、语音组呼业务 VGCS、语音广播业务 VBS); 第3层是基于 GSM-R 的铁路特殊业务(功能寻址、功能号表示、接入矩阵、基于位置寻址); 第4层是基于 GSM-R 系统的具有中国铁路特色的十大应用(客旅列车移动信息综合接入系统、机车移动信息综合接入系统、集装箱结点站移动信息综合接入系统、动车段/车站移动信息综合接入系统、编组站移动信息综合接入系统、调度通信、列车尾部风压信息传送、机车同步操作控制系统(Locotrol)信息传输、列车控制系统 CTCS3/CTCS4 安全信息传输、区间移动信息接入及公务移动通信)。

1.1.1.5 工程设计及验收方面

一个完善的网络需要经历工程设计、工程建设、工程验收、网络优化四大过程,并形成良性循环。其中工程设计标准与验收标准的制定对网络质量的好坏起着决定性作用,且工程设计指标及验收指标并非完全一致。

以图 1-2 场强的设计、验收为例。图中两水平横线中上面的一条为设计指标,下面一条为验收指标;两条平滑递减曲线中上面一条为场强覆盖(中值)设计曲线,下面一条为(95%)场强覆盖验收曲线,急剧波动的是瞬时信号,其上的包络线为场强覆盖实际使用曲线(平均值),随季节、天气、列车速度、老化等因素的变化会下移。我国对 GSM-R 场强测试的研究正在积极地展开,在青藏铁路、大秦线、郑西线、武广线、京沪线中已取得了宝贵的经验。

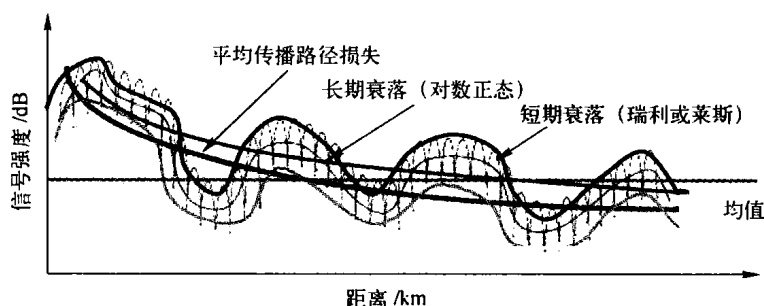


图 1-2 场强设计、验收和使用曲线

1.1.1.6 无线网络优化与运营维护方面

我国部分 GSM-R 线路已建设完工并步入网络优化阶段。在线路开通后,需要对 GSM-R/CTCS 网络进行不间断的监测和维护,以防止系统性能下降,并保证在有灾难性事故情况下不中断业务。因此,做好网络优化,搞好运营维护是保证和提高移动通信系统网络质量的关键。无线网络优化工作和运营维护涉及移动通信网络的各个方面,贯穿于网络规划、工程建设等各项工作中,共同形成对于网络质量的闭环管理。衡量网络质量的常用指标有干扰率、掉话率、无线接通率、切换成功率等,其中无线网络运营维护的重点是最薄弱的基站设备和天馈设备。

1.1.1.7 完善和发展 GSM-R 应用技术条件

我国虽在网络建设、基础设备、基本应用业务方面已建立起一套符合中国国情的应用技术条件体系,但在设备测试、接口测试、高级铁路应用等方面还尚属空白,有待进一步完善和健全,规范 GSM-R 的发展。

1.1.1.8 打破移动终端的技术屏障

如前所述,我国在 GSM-R 网络设备国产化方面已有相关产品投入建设,移动终端也有一定的突破,但手持移动终端依旧是我国的薄弱环节,手持移动终端的需求量大,它的投入成本对整个 GSM-R 的建设有不小的影响,将影响到 GSM-R 的普及率。2008 年,随着我国第一款实现了基带通讯协议栈的 GSM-R 手持终端的研发成功,极大地降低了使用成本、打破进口垄断,促进我国铁路 GSM-R 数字移动通信网络的推广使用。

1.1.1.9 积极推动互联互通工作

由于通信协议的灵活性及厂家对协议理解的差异,各设备供货商在实现同类产品的同一功能时所采用的方式有所不同,包括呼叫流程及其所包含的具体消息、消息的传递顺序及消息参数的设置等,这可能会造成构建系统时不同厂家的设备之间不能进行互联互通。所以,进行 GSM-R 网络大规模建设时,为保护工程投资,首先应考虑解决 GSM-R 系统的开放性和不同厂家设备之间的互联互通问题。进行互联互通工作有利于 GSM-R 更好地服务于中国铁路,有利于设备供货市场形成良好的、公平的竞争局面,保护工程投资,降低风险;有利于形成全程全网的解决方案,按照目标网进行网络规划和建设,最大限度地发挥总体效益;有利于网络长远发展,对 GSM-R 技术在中国推广起到积极的推动作用。

1.1.1.10 加强基础理论与应用理论研究

基础理论与应用理论的研究是所有工程建设的先驱和指标,其研究的深度与步伐直接影响到行业的发展水平。虽然 GSM-R 正以令世界惊讶的速度在中国快速发展,突破了很多难关,取得了骄人成绩,但仍有不少理论盲区、工程难点还未攻克,如高速铁路无线场强覆盖的可靠性问题、GPRS 技术能否应用于列控和高速铁路、如何解决与公众 GSM 系统间的干扰问题、通信信号一体化问题等还有待进一步研究。此外,GSM-R 网络目前仅满足铁路运输业务的基本需求,增值业务还未纳入发展规划。GSM-R 技术是面向未来的开放性技术,随着业务需求的发展,还有广阔的应用空间有待探索。

1.1.1.11 加强无线网络测量理论与方法的研究

场强覆盖和网络 QoS 是衡量蜂窝移动通信服务质量、评价场强覆盖状况的重要指标。无线网络测量是 GSM-R 工程建设中的一项重要内容,包括场强测量和 QoS 测量,是检验网络覆盖状况和通信质量的主要手段,应贯穿于网络建设的各个阶段。但在网络建设的不同阶段,无线网络测量的目的有所不同,见表 1-1。目前还没有一套完善的无线网络覆盖和 QoS 测量理论适合于我国国情,尤其高速铁路更为薄弱,这也是有待下一步解决的问题。

表 1-1 不同阶段无线网络测量的目的

网络建设阶段	场强测量目的	主要测量手段
规划阶段	调查建网区域的电波传播特性,校正传播模型	场强测量
优化阶段	对建好的网络覆盖、服务质量进行优化	场强测量、QoS 测量
验收阶段	验证网络覆盖、服务质量满足规范要求	场强测量、QoS 测量
使用阶段	保证网络能提供良好无线覆盖、服务质量	场强测量、QoS 测量

1.1.1.12 注重 GSM-R 电磁环境监视与干扰协调

无线通信是在噪声和干扰中传输信号的,蜂窝无线通信更是一种自干扰无线通信方式,

正确地认识干扰,找出恰当的传输技术和组网技术对 GSM-R 网络的正常运营有着重要的意义。因此,在无线通信政策决策上要藐视干扰,无线通信工程实施中要重视干扰。

干扰源主要分为系统内部干扰和系统外部干扰。系统内部干扰主要是由频率规划和小区规划不当等自身原因造成的同频、邻频干扰等;系统外部干扰又分为来自中国移动 GSM 网的干扰、CDMA 基站下行链路对 GSM-R 上行链路的干扰、全频段或部分频段人为故意放大信号堵塞干扰等。抓住其主要矛盾,排除自身因素和人为因素,GSM-R 的干扰主要来源于与其共享频率资源的中国移动 GSM 网络。

如此复杂的电磁环境,应如何对 GSM-R 网络进行“无线空中管制”,为列车控制系统创造无“污染”的通信天空;采用何种方案与中国移动等单位进行协调,以保证 GSM-R 正常的无线通信环境,将是我们面临的一个紧迫而重要的课题。

1.1.1.13 构建 VPN 实现铁路增值业务

我国铁路技术发展的总目标是依靠科技进步与创新,高新技术与适用技术并举,建设大能力、高质量、高效率、安全可靠、环保型和全面信息化的现代化铁路。GSM-R 网络目前还处于满足铁路基本运输业务需求的阶段,随着我国铁路信息化的发展,用户对网络提出新的应用要求,故引入多样化的增值业务将成为形成铁路信息化体系的重要步骤。VPN 技术具有高灵活性、强适应性的特点,适宜引入铁路数据通信网中构建铁路数据网 VPN 业务,为铁路的内部用户服务,既满足了实际需要,又不必重新建立物理网络,大大节约了投资成本。随着技术的成熟和市场的开放,甚至还可为社会用户服务。

1.1.2 GPRS 在铁路通信中的发展

GPRS 是以 GSM 为基础的分组交换数据传输技术,理论传输速率可达 171.2 kbit/s。GPRS 在公网通信中展示巨大发展潜力的同时,也正在专网中崭露头角。考虑到在铁路 GSM-R 系统上引入 GPRS 可提高容量,我国先于欧洲发展基于 GSM-R 的 GPRS 业务,这是根据运输对通信业务需求量大、频率资源紧张的实际情况而进行的技术决策。

根据需要,GPRS 将为铁路提供非安全无线数据传输业务,主要包括铁路运行调度信息、铁路设施维护管理信息、旅客服务信息及其他服务信息。从青藏线试验段进行的测试结果来看,GPRS 基本能够满足铁路应用的需要,可利用 GPRS 网络传送调度命令。但作为一种非安全的数据传输通道,其性能是否满足列控业务的需求、是否能满足高速列车的需求,在欧洲和我国都还是一个正在探索的领域。同时也要看到,针对试验段的测试是在比较理想情况下进行的,在今后的铁路应用中,面对更加复杂的实际环境,如何确保 GPRS 在铁路中的有效应用将是一个重要课题。

与公网中的 GPRS 相比,GSM-R 网络中的 GPRS 应用有着自身的特殊性。在公网中,GPRS 提供的是一种“尽力而为(best-effort)”的服务,GPRS 用户多数处于静止状态或缓慢移动状态,GPRS 的应用集中在城市,但散布区域很大。铁路 GPRS 应用多数直接服务于铁路生产,对各种业务的可靠性、实时性要求很高。一般情况下,铁路 GPRS 应用是在移动状态下甚至在高速移动状态下完成车地之间的数据通信,而且大部分铁路 GPRS 应用主要分布在铁路沿线和各枢纽及车站的某些特定点,业务分布相对集中。

铁路 GPRS 应用的这些特殊性必然造成 GSM-R 网络中与公网中的 GPRS 在业务功能、网

络结构及参数设置上的差异。对铁路 GPRS 网络进行配置优化应在参考公网网络优化的基础上,充分考虑铁路应用的特殊性,并做出相应调整,提高 GPRS 网络的各项性能指标,尤其是要保证特殊业务对性能指标的要求。

铁路目前存在许多数据应用的迫切需求,急需解决地车之间、现场与数据中心之间的数据传输通道。这些业务的特点是频繁小容量数据传输及个别的大容量数据传输,有些业务点同时又是移动的,不同业务承载的信息内容不同,因此对网络 QoS 的要求也不同。

铁路所有的 GPRS 应用可以分为两大类:列车运行相关数据传输和列车服务相关数据传输。前一类主要以铁路行车调度信息为主,包括无线车次号和监控信息传送、调度命令、列尾信息及编组站列检商检信息的传送;后一类包括旅客列车车地信息交互、铁路公安相关信息传送等。

1.1.2.1 无线车次号和监控信息传送

无线车次号和监控信息的传送用来解决机车与地面 DMIS 系统之间的信息交互。根据铁道部相关规范,无线车次号和监控信息传送系统由 GSM-R 数字移动通信网、监控数据采集处理装置、GSM-R 机车综合通信设备、DMIS/CTC 设备等组成。

无线车次号和监控信息传送的特点在于周期性,用于传送车次和车辆位置信息,为铁路行车调度提供列车的基本信息。在铁路实际应用中,无线车次号和监控信息传送将根据铁路的实际情况在每一个闭塞区间内传送,因此周期相对固定。根据铁道部暂行标准,无线车次号和监控信息传送内容小于 128 字节,对信息传送的可靠性和实时性要求相对较高。

1.1.2.2 调度命令

调度命令用来解决机车与地面 DMIS 系统之间的信息交互。根据铁道部相关规范,调度命令传送系统由 GSM-R 数字移动通信网、GSM-R 机车综合通信设备、DMIS 设备等组成。

调度命令传送主要用在列车出、入站接收调度命令,列车司机根据调度命令进行相应的操作。因此,调度命令的特点在于其对可靠性要求很高。在传送过程中不应出现误导司机的调度命令。根据铁道部的相关规范,调度命令在进行传送时一般需要 400 字节左右的内容。

1.1.2.3 列尾信息传送

列尾信息传送主要用来解决尾部风压传送到牵引机车的问题。根据铁道部相关规范,列尾信息传送系统由 GSM-R 网络、安装在列车尾部的列尾装置主机和安装在机车上的 GSM-R 机车综合通信设备组成。

列尾信息传送是关系到列车安全的重要信息传输,它对信息传送的实时性、可靠性要求很高,同时,它还具有周期性的特点,需要在很短的周期内向牵引机车提供尾部信息。根据铁道部的相关规范,列尾信息传送一般要占用 16 字节。

1.1.2.4 其他业务

GPRS 在铁路上的应用种类繁多,除了铁路行车调度信息之外,还有列车与地面、现场与中心之间铁路设施维护管理信息、旅客服务信息及其他服务信息。铁路设施维护管理信息包括机车工况信息的传送、牵引工况信息的传送、铁路线路监测状态数据通信业务的传送等;旅客服务信息包括客车售检票信息的传送、旅客服务信息的传送等;其他服务信息包括静止图像信息的传送、铁路办公信息系统的传送、GSM-R 场强监视信息的传送等。

从整个铁路通信来看,可以分为安全的数据传输通道和非安全的数据传输通道。GPRS