



“十二五”国家重点图书出版规划项目
中国隧道及地下工程修建关键技术研究书系

XIANDAI DITIE
ZHUANYONG
WUXIAN TONGXIN

现代地铁



专用无线通信

蒲先俊 韩志伟 戴克平 吉树新 李军军 编著
韩志永 许琳 占伟辉 主审



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.



序

地铁,作为一种绿色出行手段,一种便捷生活方式,一种新型思维方式的外在表现,曾经深刻地影响着工业时代的城市文明,如今也正在日益深刻地影响着进入后工业时代的城市文明。

1863年,人类文明步入新的时代,英国伦敦率先建成地铁。尔后,美国纽约和芝加哥、匈牙利布达佩斯、法国巴黎等城市相继建成地铁。一百多年后,中国地铁诞生。

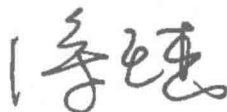
如今,随着城市化步伐的加快,我国地铁建设已进入高潮,线网呈网络化发展。截至2014年底,我国内地已有23座城市开通地铁,线网长度2853km,在建及规划建设地铁的城市还有19座。快速建设的地铁对21世纪实现城市可持续发展具有非常重要的意义。

地铁专用无线通信系统是数字集群移动通信系统在特殊行业的典型应用,主要承载地铁控制中心调度员、车辆段/停车场调度员、车站值班员、列车司机,以及防灾、维修、公安部门之间的指挥调度通信,是保证地铁安全、高效、高密度运营,应对突发事件的重要机电装备。

地铁专用无线通信系统涵盖的移动通信知识比较多,内容较为复杂,如何快速有效地学习掌握这些知识是一个值得思考的问题。本书的作者是国内地铁专用无线通信系统建设的具体参与者,他们亲自参与了多条地铁线路的设计和建设,研制了更贴近中国地铁应用需求的AcroTetra数字集群系统,他们对地铁专用无线通信系统有着自己独到而深入的理解,在地铁专用无线通信系统产品研发和工程实施过程中,积累了丰富的心得和经验,更难能可贵的是,他们历时一年多将心得和经验逐一进行梳理,编著了本书。

本书涵盖了地铁专用无线通信系统构成与设计要求,对数字集群无线设备、场强覆盖设备、应用开发设备和集成技术,到越区切换、无线干扰及抑制等内容都做了深入浅出的论述,并对未来技术发展方向做了展望,兼有专业性、实用性和可读性。一方面,本书可以作为即将从事地铁专用无线通信系统设计、建设和运维人员的重要参考资料;另一方面,本书也可以作为通信企业开发人员在设备研发过程中应用有关技术的案头用书。相信本书将对推动我国地铁专用无线通信系统技术发展起到积极作用。

中国电子科技集团公司第五十四研究所所长



2015年11月于石家庄

前 言

地铁全称地下铁路交通,是一种独立的有轨交通系统,其正常运行不受地面道路拥挤的影响,能够按照设计的能力正常运行,实现快捷、安全、舒适运送旅客的目的。地铁是一座城市融入国际大都市现代化交通的显著标志。它不仅仅是一个国家的国力和科技水平的实力展现,而且还是解决大都市交通紧张状况最理想的交通方式。目前,西方发达国家拥有百万以上人口的大都市,大多通过修建地铁来缓解和改善交通紧张状况。

随着我国城市化进程的飞速发展,作为城市的重要交通工具,地铁的建设也在快速发展。地铁专用无线通信系统是基于通信技术为支持的现代交通运输系统重要组成部分,对推动整个地铁系统的安全稳定运行发挥着积极作用。在此背景下,在工程技术应用领域,需要加强针对地铁专用无线通信系统的建设研究,为即将来临的地铁大规模建设做好技术储备。

本书作者均亲身经历了地铁专用无线通信系统的研制和工程建设,作为从事地铁专用无线通信系统研究的专业技术人员,长期关注国内外地铁专用无线通信系统技术的发展,参与国内地铁专用无线通信系统的规划、设计、现场开通及测试,对国内地铁专用无线通信系统有较深刻的理解。本书在编制过程中融入了作者在长期从事地铁专用无线通信系统建设工作中的经验和心得,可以使读者较全面地理解地铁专用无线通信系统。

本书共分为 14 章,第 1 章总论,概要介绍了地铁发展、地铁机电设备、地铁通信系统、地铁无线通信系统、地铁专用无线通信系统,列举了地铁专用无线通信系统案例。第 2 章系统构成与设计要求,概要介绍了《地铁设计规范》要求、通用技术要求、专用技术要求、应用开发要求,描述了系统基本构成。第 3 章数字集群通信核心设备,主要介绍了中国电子科技集团公司第五十四研究所远东通信自主研发的 AcroTetra 数字集群通信系统设备,描述了交换管理中心、基站、调度、网管系统、车载台、固定台及车站广播台。第 4 章地铁场强覆盖器材,主要介绍了天线、同轴电缆、泄漏电缆、无源器件以及光纤直放站等器材。第 5 章地铁传输系统,主要介绍了光纤通信基础概念,描述了地铁专用传输系统的业务需求、主要特性及网络拓扑,最后列举了典型案例。第 6 章系统应用开发,主要介绍了地铁通信系统的应用开发需求,描述了调度系统、终端系统、传输系统及网管系统。第 7 章话务量估算与规划,主要介绍了话务理论,描述了话务量与信道数的估算,最后给出了地铁话务量规划。第 8 章基站配置与频率规划,主要介绍了基站信道配置依据,描述了基站配置方

案、频率复用方式及频率规划工作流程,最后给出了频率规划中主要考虑的问题。第9章漏缆辐射频率和极化分析,主要介绍了单频段及多频段泄漏电缆辐射频率分析,描述了对泄漏电缆极化方式分析,最后给出了对泄漏电缆的重要看法。第10章越区切换分析,首先介绍了越区切换的基本概念,描述了地铁专用无线通信系统越区切换的基本特性,分析了TETRA标准的越区切换类型、相关参数、重选参数和重选条件,最后给出了越区切换的设计步骤及实现方法。第11章场强覆盖分析,首先介绍了地铁场强覆盖的定义和类型、设计要求与流程、边缘场强分析及上下行平衡分析,分析了泄漏覆盖和天线覆盖,最后介绍了场强覆盖控制、泄漏电缆附加耦合损耗、越区切换数字门限及双基站覆盖。第12章网管及录音分析,主要介绍了地铁专用无线通信系统的网管系统及录音系统。第13章干扰分析,主要介绍了地铁专用无线通信系统面临的无线干扰源、干扰判定准则及抑制方案。第14章系统发展展望,主要从标准化、网络化、国产化、宽带化几方面,介绍了地铁专用无线通信系统的未来发展趋势。

本书由蒲先俊主持编写并提供大量初稿,蒲先俊、韩志伟、戴克平、吉树新、李军军具体负责各个章节的内容编写。本书由韩志永主持审核,韩志永、许琳、占伟辉具体负责各个章节的内容审核。在本书的编写和审核过程中,付志兵、郑庆红、刘俊涛、蒋国华、张松轶、李士东、刘伟、李勇、冯占利、颜文学、张继永、赵贺刚、张成斌、潘景剑、李保全、黄庆祝、王康、刘俊超、李学成、李飞、范林涛、王洪书、张墨渊、孙剑宇、司雷、李鹏、魏永利、康瑕、王艳超、张文虎、党永峰、张军山、邹明、冉德兴、彭盼盼、刘东、刘森、高立伟等同志参与了相关编写、校审或整理工作。封面照片由深圳市地铁集团有限公司提供(周元拍摄)。

特别感谢北京市轨道交通建设管理有限公司、深圳市地铁集团有限公司、中国电信深圳市分公司、中国电子科技集团公司第五十四研究所、河北远东通信系统工程有限公司领导和同事的大力支持和真诚帮助,感谢在地铁工程建设过程中,设计、监理、施工单位和通信集成商的交流与合作,感谢家人对我们编写工作的支持,最后感谢人民交通出版社股份有限公司大力支持和高效工作,使本书得以尽早与读者见面。

本书是基于作者的主观视角和有限学识对地铁专用无线通信系统的理解编写而成,限于作者的水平和能力,书中难免有疏漏和不当之处,恳请各位读者和专家提出宝贵的意见和建议。

编著者
2015年11月



目 录

第 1 章 总论	1
1.1 地铁及其发展	1
1.2 地铁机电设备	3
1.3 地铁通信系统	3
1.4 地铁无线通信	4
1.5 地铁专用无线通信	5
1.6 我国数字集群通信体制.....	11
1.7 无线专网和无线公网的比较.....	16
1.8 地铁专用无线通信系统典型案例.....	17
第 2 章 系统构成与设计的要求	22
2.1 《地铁设计规范》要求	22
2.2 通用技术要求.....	22
2.3 专用技术要求.....	26
2.4 应用开发要求.....	37
2.5 系统基本构成.....	39
第 3 章 数字集群通信核心设备	43
3.1 概述.....	43
3.2 远东通信 AcroTetra 数字集群通信系统设备	43
第 4 章 地铁场强覆盖器材	78
4.1 概述.....	78
4.2 天线.....	78
4.3 同轴电缆.....	94
4.4 泄漏电缆.....	99
4.5 无源器件	109
4.6 光纤直放站	114
第 5 章 地铁传输系统	118
5.1 光纤通信基础概念	118
5.2 地铁传输系统概论	121

5.3	地铁专用传输系统	129
5.4	深圳地铁2号线专用传输系统	133
5.5	北京地铁7号线专用传输系统	137
第6章	系统应用开发	141
6.1	概述	141
6.2	需求分析	143
6.3	技术方案	148
第7章	话务量估算与规划	158
7.1	话务理论	158
7.2	话务量与信道数估算	166
7.3	地铁话务量规划	168
第8章	基站配置与频率规划	170
8.1	基本依据	170
8.2	基站配置	172
8.3	频率复用方式	175
8.4	频率规划工作流程	177
8.5	频率规划中主要考虑的问题	178
第9章	漏缆辐射频率和极化分析	185
9.1	概述	185
9.2	二元阵天线	185
9.3	单频段漏缆辐射频率分析	189
9.4	多频段漏缆辐射频率分析	192
9.5	漏缆极化方式分析	193
9.6	重要看法	198
第10章	越区切换分析	200
10.1	越区切换的定义和分类	200
10.2	越区切换的准则及控制方式	201
10.3	地铁专网越区切换的基本特征	202
10.4	TETRA 标准的越区切换类型	205
10.5	与越区切换相关的参数	208
10.6	越区切换的重选参数	210
10.7	小区快速重选条件	211
10.8	越区切换的设计步骤	212
10.9	越区切换的实现方法	215
第11章	场强覆盖分析	217
11.1	地铁场强覆盖的定义和类型	217
11.2	地铁专网覆盖的设计要求与实施流程	218
11.3	地铁专网覆盖设备的典型配置	220



11.4	地铁无线专网覆盖边缘场强分析	221
11.5	地铁专网覆盖上下行平衡分析	224
11.6	地铁无线专网覆盖系统分析	226
11.7	漏缆覆盖分析	230
11.8	天线覆盖分析	242
11.9	重要问题分析	249
11.10	双基站覆盖分析	253
第 12 章	网管及录音分析	256
12.1	网管分析	256
12.2	录音分析	266
第 13 章	干扰分析	271
13.1	分析思路	271
13.2	三大系统的电磁兼容性	271
13.3	杂散发射干扰分析	275
13.4	互调干扰分析	280
13.5	直放站时延分析	282
第 14 章	系统发展展望	285
14.1	地铁专用无线通信系统的标准化	285
14.2	地铁专用无线通信系统的网络化	286
14.3	地铁专用无线通信系统的国产化	291
14.4	地铁专用无线通信系统的宽带化	292
	现代地铁常用英语缩略语	298
	参考文献	336



第1章 总论

1.1 地铁及其发展

地铁,英文 Metro、Underground 或 Subway,全名地下铁路交通或地下铁路,是城市轨道交通的主要形式。

据《地铁设计规范》(GB 50157—2013)定义,地铁是在城市中修建的快速、大运量、用电力牵引的轨道交通。列车在全封闭的线路上运行,位于中心城区的线路基本设在隧道内,中心城区以外的线路一般设在高架桥或地面上。

1863年,伦敦率先建成地铁,至今已经超过150年。尔后,纽约、芝加哥、布达佩斯、巴黎、莫斯科等城市相继建成地铁。

1969年10月1日,北京地铁建成通车,我国开始有了自己的地铁。

1970年4月7日,天津地铁建成通车。

1995年4月10日,上海地铁建成通车。

1997年6月28日,广州地铁建成通车。

2004年12月28日,深圳地铁建成通车。

随后十年,重庆、大连、南京、武汉、长春、沈阳、杭州、成都、昆明、苏州、西安、佛山等城市的地铁也相继建成通车。

如今,全球大约40多个国家和地区的近140个城市拥有地铁。密如蛛网的地铁,在城市地下运行,为城市注入生机与活力。

地铁,是一座城市实力的象征,是城市生命线和繁荣线。

地铁,是一个浓缩历史的管道,流淌着人们的梦想。

地铁,是一个魔法石,让世界变得五彩缤纷。

地铁,是一个文明的容器,承载了人类的智慧与成果。

地铁,是一个加速器,推进人类放飞了自己的理想。

地铁,是城市发展的引导线,是解决交通矛盾的最佳选择之一。

地铁,改变了城市,改变着城市里的人,也改变了人们的生活空间。

地铁,是现代化城市的重要基础设施之一。

地铁的高速、准时、舒适、节能、省地、少污染等优点,更是令大巴、中巴、电车等交通工具自叹弗如。

地铁是城市投资最大的民生工程,而且总是伴随并标志着城市的现代化进程。地铁站是现代城市的独特建筑,也是国际大都市的繁华象征。地铁建设和运营水平反映城市现代化水平,是高质量城市化的重要标志。

随着城市化步伐的加快,我国地铁已进入建设高潮期和网络化发展期。

截至 2014 年底,我国内地城市地铁情况统计,见表 1-1。我国现已有 23 座城市开通地铁,线网长度 2853km,车站 1775 座,运营线路 97 条,规划线路 266 条。运营线路条数仅为规划线路的 36%。

截至 2014 年底我国内地城市地铁情况统计

表 1-1

序号	城市	线网长度(km)	车站数量(座)	运营线路(条)	规划线路(条)
1	上海市	538	330	14	33
2	北京市	527	268	17	23
3	广州市	260	130	8	20
4	南京市	180	92	5	17
5	深圳市	178	131	5	20
6	香港	175	152	12	6
7	重庆市	170	94	4	10
8	天津市	136	90	4	9
9	大连市	106	27	3	12
10	武汉市	80	62	3	13
11	昆明市	60	33	3	9
12	苏州市	52	46	2	8
13	西安市	52	40	2	15
14	沈阳市	50	40	2	11
15	成都市	50	43	2	7
16	长春市	48	49	2	10
17	杭州市	48	31	1	8
18	哈尔滨市	30	18	1	5
19	无锡市	29	24	1	6
20	郑州市	26	22	1	6
21	长沙市	22	19	1	6
22	宁波市	21	20	1	6
23	佛山市	15	14	1	6
合计		2853	1775	97	266

实际上,除 2014 年底已经运营地铁的 23 座城市外,我国内地在建及规划建设地铁的城市还有 19 座,包括石家庄、徐州、东莞、贵阳、常州、温州、福州、太原、乌鲁木齐、南昌、珠海、兰州、厦门、澳门、合肥、济南、南宁、泉州、南通、镇江。这样,我国内地运营、在建及规划建设地铁的城市共计 42 座。

截至 2014 年底,从线网长度和车站数量来看,上海居首,有 538km 和 330 座车站。北京第二,有



527km 和 268 座车站。这直接反映了两座城市面积之大,需要对应规模的地铁网络来覆盖。

从客运量来看,北京地铁单日峰值超过 1000 万人次,而上海地铁客运量的历史最高峰值是 938.1 万人次。拥挤的地铁需要靠密集的发车频率来疏散人流,但进一步的分流只能依靠合理的地铁网络设计。

作为中国第一个经济特区和改革开放的窗口,深圳是我国内地第五个建成地铁的城市,首期线路于 2004 年 12 月 28 日开通,到 2014 年底营运 5 条线,有 178km。为了实现“轨道交通在公交中分担率达到 50% ~ 60%”的发展目标,深圳规划建设 20 条地铁线,长度达到 803km。

1.2 地铁机电设备

《地铁设计规范》(GB 50157—2013)指出,地铁的主体结构工程,设计使用年限是一百年。但是,机电设备的设计使用年限远远低于此数,一般在 10 ~ 20 年之间。因此,如何正确选择、设计、制造、安装、使用、维护、升级、换代机电设备,是一项非常重要的任务。

《地铁设计规范》(GB 50157—2013)将地铁机电设备分为 17 个部分:通风、空调与采暖,给水与排水,供电,通信,信号,自动售检票,火灾自动报警,综合监控,环境与设备监控,乘客信息,门禁,运营控制中心,站内客运设备,站台门,车辆基地,防灾,环境保护。

地铁机电设备,实际分为常规机电设备和系统机电设备两大部分,如图 1-1 所示。

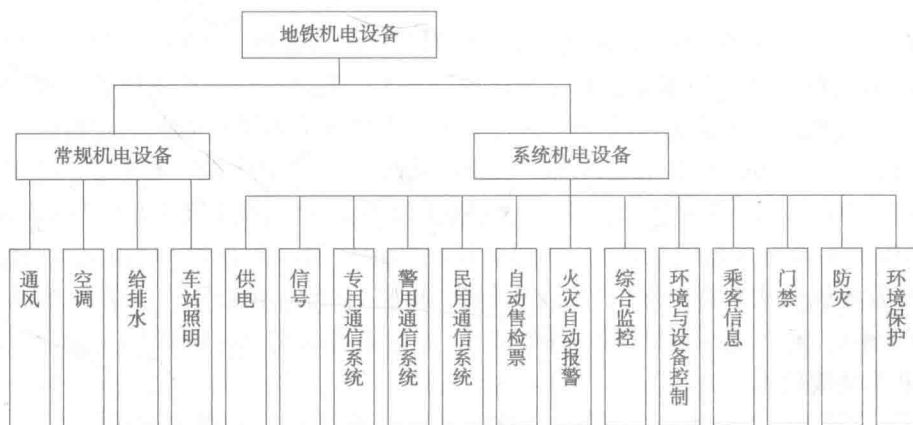


图 1-1 地铁机电设备构成

常规机电设备包括:通风、空调、采暖、给排水与车站照明。

系统机电设备包括:供电、信号、通信、自动售检票、火灾自动报警、综合监控、环境与设备控制、乘客信息、门禁、防灾、环境保护等。

系统机电设备中,通信系统包括专用通信、警用通信和民用通信三部分。

1.3 地铁通信系统

地铁通信系统,是地铁机电设备系统的重要组成部分,是地铁的血脉和神经。

地铁通信系统,由专用通信系统、民用通信系统和警用通信系统组成,如图 1-2 所示。

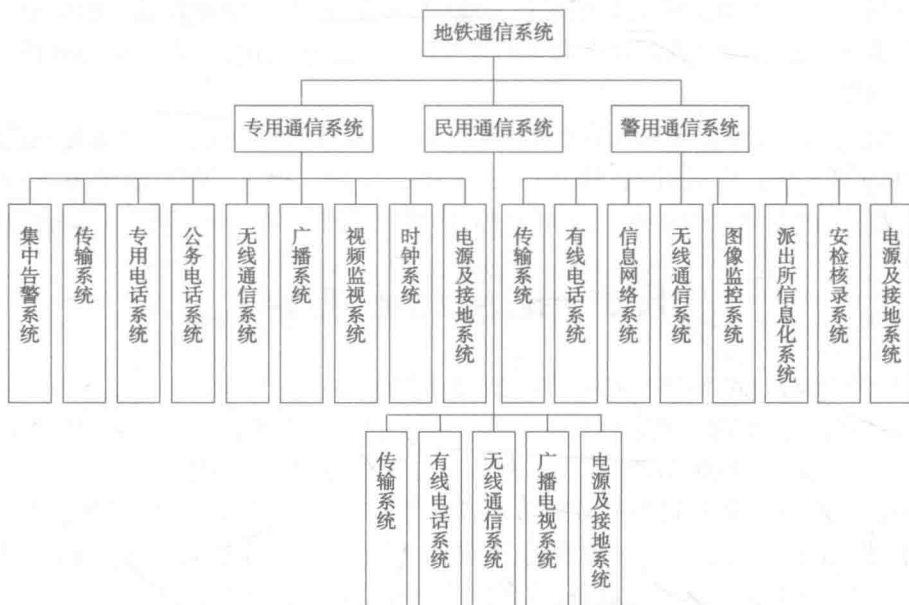


图 1-2 地铁通信系统的基本组成

(1) 地铁专用通信系统的功能是:为列车运营提供多种调度指挥和通信联络手段;在灾害或事故情况下,作为应急处理、抢险救灾的手段。由以下九个系统组成:传输系统、公务电话系统、专用电话系统、无线通信系统、广播系统、视频监视系统、时钟系统和电源及接地系统、集中告警系统。

(2) 地铁民用通信系统的功能是:为旅客提供移动通信、有线电话和广播电视等信息服务。由以下五个系统组成:传输系统、有线电话系统、无线通信系统、广播电视系统和电源及接地系统。

(3) 地铁警用通信系统的功能是:为保证市民的出行安全和地铁列车的运行安全,为快速、准确、高效地执行地铁安全保卫任务,提供信息通信保障。由以下八个系统组成:传输系统、无线通信系统、有线电话系统、信息网络系统、图像监控系统、派出所信息化系统、安检核录系统以及电源及接地系统。

此外,有的城市还把政务通信系统(或称应急通信系统),也列在地铁通信系统或地铁无线通信系统之中。

由此可见,地铁通信系统不是单一的系统,而是多个独立系统的组合。这些独立系统在不同的运营环境下,应能可靠地协调工作,以使整体作用最大化。

1.4 地铁无线通信

地铁无线通信,是指使用无线手段在地铁里进行的现代通信。它发展迅速,使用广泛,在专用、民用和警用通信系统中,都有无线通信。

地铁无线通信具有以下特点:

1) 限定地域的无线通信



限定地域,指地铁员工和乘客可能到达的地铁辖区,包括隧道(含列车)、站台、站厅、出入口、通道、地下商场、办公区、调度指挥中心、车辆段、停车场、联络线等。地铁无线通信是限定在这些地域的无线通信。

2) 以地下为主的无线通信

上述限定地域,大部分在地下或室内,所以导致地铁无线通信是以地下为主的无线通信。

3) 高速移动中的无线通信

地铁列车运行的最大时速一般为 80km,高速列车可达 120km。所以,运行列车上的用户所进行的通信,自然是高速移动中的无线通信。

4) 多网多系统并存的无线通信

多网,指三网:专用无线通信网、警用无线通信网和民用无线通信网。而且,在每个无线通信网中,又有多个无线通信系统。所以,地铁无线通信是多网多系统并存的无线通信。

5) 快速发展、不断更新的无线通信

地铁是一个城市人流最大的地点之一,也是一个城市对外的重要窗口,现代通信技术发展的最新成果都会在这里首先得到展示。于是,地铁无线通信便成为一种快速发展、不断更新的无线通信。

1.5 地铁专用无线通信

1.5.1 我国地铁专用无线通信技术发展简述

新中国成立前,我国没有地铁,直到 20 世纪 60 年代末期,出于战备考虑,才在北京修建了第一条地下铁道。

北京地铁建设初期,限于当时的经济技术条件,没有设置调度无线通信。如果出现事故,司机和沿线工作人员则利用所携带的电话机,通过沿线的电话插孔与车站或地面人员取得联系,非常不方便。一次,运行中的北京地铁发生了火灾,隧道里烟雾弥漫,司机和工作人员找不到道边电话插孔,致使无法与地面联系,延误了救灾,造成了人员伤亡。经过这次血的教训,北京地铁决定设置无线通信系统。

我国地铁专用无线通信系统的发展,经历了专用频道、模拟集群和数字集群三个阶段。

1) 专用频道阶段

北京地铁曾经进行了多种频段的试验,例如 400kHz 感应通信、微波通信、激光通信和 150MHz 甚高频通信等。直到 20 世纪 80 年代,才在我国地铁中采用了甚高频(150MHz)的或特高频(450MHz)无线通信,并用泄漏电缆在隧道内进行无线覆盖。这种通信方式,又叫无线列调通信,并一直延续到 20 世纪末。例如,上海地铁 1 号线采用的便是 450MHz 专用频道特高频无线列调通信。

2) 模拟集群阶段

目前,地铁无线通信系统所采用的组网方案都是集群方案。集群方案是在专用频道方案基础上发展起来的一种系统资源共享、频率资源共享、多用途、高效率、技术先进的无线调度通信系统。

事实上,20 世纪 80 年代,国际上成功开发了模拟集群无线通信,我国也先后在北京、上海、广州等城市将其引进并投入使用,致使模拟集群系统在我国各个行业和部门的专用网中,得到了较

为广泛的应用。例如,广州地铁1号线就率先采用了 Motorola 的 800MHz 模拟集群通信系统。

3) 数字集群阶段

和模拟集群相比,数字集群的主要特征是调制方式由模拟发展为数字,多址方式由频分多址(FDMA)发展为时分多址(TDMA),通信业务由话音发展为话音和数据,组网方式更加灵活,具有更强的抗干扰能力、更高的频谱利用率、更好的通信质量、更大的系统容量,以及提供更多的通信业务和更灵活的网络管理功能。因此,数字集群移动通信很快进入地铁,已经或正在取代模拟集群通信系统。广州地铁率先使用 Motorola 的 800MHz 数字集群通信系统,深圳地铁率先使用 Nokia 的 800MHz 数字集群通信系统(后为 EADS 收购)。随后,其他城市地铁也相继选用了同类型的数字集群通信系统。

1.5.2 集群移动通信的主要特点

集群移动通信系统,采用的基本技术是频率共用技术,它与蜂窝移动通信系统,在技术上有很多相似之处(比如,都可采用小区制或中区制,都有越区切换问题),但在服务对象、系统功能和工作方式上则有明显区别,这也体现了集群移动通信的主要特点。

(1) 集群移动通信系统属专用移动通信网,适用于在各行各业(或几个行业合用)中间进行调度与指挥,网中用户常被赋予不同的优先等级及若干特殊功能。蜂窝移动通信系统属公众移动通信网,适用于在各阶层、各行业中个人之间的通信,一般不分优先等级,没有特殊功能。

(2) 集群移动通信系统,因调度业务特征,具有一定的通话时间限制,比如,一次通话的时限为 15~60s。蜂窝移动通信系统,一般不限制通话时间。

(3) 集群移动通信系统的服务对象主要是集团用户,主要业务是无线用户之间的通信。蜂窝移动通信系统却有大量的无线用户和有线用户之间的通话业务。在集群移动通信系统中,也允许有一定的无线用户和有线用户之间的通话业务,但一般只允许这种话务量占总业务量的 5%~10%。

(4) 集群移动通信系统,主要采用单工或半双工方式工作,故两用户通话只占一个信道(对模拟集群通信来说是一对频点)。蜂窝移动通信系统,采用全双工方式工作,故两用户通话要占两个信道(两对频点)。

集群移动通信系统与蜂窝移动通信系统的比较,见表 1-2。

集群移动通信系统与蜂窝移动通信系统的比较

表 1-2

类别	集群移动通信系统	蜂窝移动通信系统
用途	调度与指挥	无线通信
网络种类	专用网为主,共用网为次	公众网
工作频段	我国以 800MHz 和 350MHz 频段为主,也有少量 450MHz 频段	800MHz、900MHz、1800MHz、2200MHz 等频段
工作方式	单工、半双工,少量全双工	全双工
联网方式	以本网为主,可与 PABX、PSTN 连接	与市话互联,可在一地区、全国以至全球通信
系统功能	集体(群组)为主,有优先等级及其他功能	和市话一样,无特殊功能
用户	各行业(团体)、公、检、法、军队、武警等	个人
用户承担费用	比蜂窝通信高	比集群通信低



1.5.3 数字集群移动通信的主要优点

和蜂窝移动通信系统一样,集群通信系统也有模拟通信和数字通信两大类。模拟集群通信系统采用模拟技术,但信令是数字式的。数字集群通信系统全面采用数字技术,包括信令、多址方式、话音编码、调制等在内的各个方面都实现了数字化。

相对模拟集群通信系统,数字集群移动通信系统有如下优点。

1) 频谱利用率高

模拟集群在 25kHz 频道中,只能传 1 路话音。数字集群采用时分多址技术,一帧有 4 个时隙,因此能在 25kHz 频道中同时传 4 路话音,比模拟集群提高 4 倍,使频谱利用率明显提高。

2) 实现真正的双工通信

数字集群采用时分双工技术,手机和车台可以是单工台,也可以是双工台,而且手机单工双工距离一样,实现真正的双工通信。模拟集群的双工手机,由于采用双工器,将比单工手机距离缩短,实用性较差。

3) 易与公话相连

数字集群可以用群路口连到公共电话网上,使用户方便地完成一次拨号呼叫用户功能。模拟集群则难以做到。

4) 话音质地均匀

在模拟集群系统中,随着手机远离中心台,话音质量会不断下降,而数字集群采用数字语音编码和纠错技术,使话音质量在一定距离范围内基本保持不变。

5) 加密容易

数字集群采用的数字语音编码技术,使对系统和手机的加密变得容易,特别是手机,无论硬件加密还是软件加密,实现的技术难度都低,加密后不增加体积与功耗。

6) 体积小质量轻

体积小质量轻,这是集群系统数字化带来的好处,模拟集群无法相比。

7) 功耗降低,可靠性提高

由于多种优越性,数字集群移动通信系统已逐步取代模拟集群移动通信系统。

集群通信系统分模拟通信和数字通信两大类。模拟集群通信系统采用模拟技术,但信令是数字式的。数字集群通信系统全面采用数字技术,包括信令、多址方式、话音编码、调制等在内的各个方面都实现了数字化。

1.5.4 地铁专用无线通信制式选择

《地铁设计规范》(GB 50157—2013)规定如下:

(1) 地铁应设置无线通信系统,为控制中心调度员、车辆段调度员、车站值班员等固定用户与列车司机、防灾、维修、公安等移动用户之间提供通信手段。无线通信系统必须满足行车安全、应急抢险的需要。

(2) 地铁无线通信系统采用的制式,应符合国家有关技术标准,所采用的工作频段及频点应由当地无线电管理部门批准。地铁无线通信系统根据业务需求,可采用专用频道方式,也采用数字集群移动通信方式。

(3) 地铁无线通信系统,应采用有线、无线相结合的传输方式。中心无线电设备通过光数字传输系统或光纤,与车站、车辆段、停车场的无线基站连接,各基站通过天线空间波或经漏缆的辐射构成与移动台的通信。

(4) 地铁无线通信系统,可根据运营需要设置行车调度、防灾调度、综合维修、公安、车辆段调度等系统。

(5) 地铁无线通信系统,应具有选呼、组呼、全呼、呼叫优先级权限等调度通信功能,并应具有存储功能、监测功能等。

《地铁设计规范》(GB 50157—2013)所指的地铁无线通信系统,又叫地铁专用无线通信系统,也称地铁调度无线通信系统。

进入 21 世纪以来,地铁调度无线通信系统普遍采用专用数字集群技术。

截至 2014 年底,我国的专用数字集群标准已达六种之多,包括:工信部推荐的 TETRA、iDEN、GoTa 和 GT800 标准,铁道部的 GSM-R 标准,公安部的 PDT 标准。其中,GoTa 和 GT800 实际是基于公众移动通信的 PoC 技术,满足不了专网大客户对调度指挥通信的苛刻要求,而 PDT 适于警用通信。

因此,对地铁调度无线通信系统来说,可以考虑的方案只有三种:北美使用的共用专网系统 iDEN;在 GSM 基础上、为铁路调度需要生产的 GSM-R 无线通信系统;利用欧洲 TETRA 标准制造的通信系统。这三种系统的介绍如下。

1) iDEN 通信系统

iDEN(integrated Digital Enhanced Network)是一个共用频率,作指挥、调度用的专用数字集群通信系统。它采用时分多址(TDMA)技术、VSELP(Vector Sum Excited Linear Prediction)矢量和激励的线性预测编码技术和抗干扰能力强的 M-16QAM(Quadrature Amplitude Modulation)正交振幅调制技术,并采用了和 GSM 系统相同的双工通话结构以及特殊的频率复用方式,使系统具有低功率、大容量、广域覆盖的特性。

iDEN 系统工作在 800MHz 频段,它符合我国无线电管理委员会规定的数字集群通信频段。25kHz 的信道内容纳 6 个话音信道,在现有的 800MHz 模拟集群信道上增容 6 倍,再加之频率复用技术和蜂窝组网技术,从而使有限频点的集群通信网具有大容量、大覆盖区、高保密和高通话清晰度的特点。

新一代数字集群系统 iDEN 的功能强大,频率资源利用率高,依靠单一网络在一部手机上提供调度、电话、短信息和无线分组数据等四项服务。这种“四合一”的服务应用领域包括公用事业、公共运输、市政机构、机场和港口、工矿企业,以及保安、运货、建筑、服务、维修等行业。对于这些员工流动性强、通信需求比较密集的行业,数字集群的应用将大大提高这些行业的工作效率,确保管理的精确性、安全性和有效性,为企业带来良好的经济效益。

2) GSM-R 通信系统

GSM-R 是基于 GSM Phase2+ 而建立的移动通信网,其功能在 ETSI SMG 中已经规定。实际上是将 GSM 系统的 MSC、VLR、EIR、GCR、SSP、HLR、AC 置于一个网元中,且随网络的增长而分散到多个网元中,从而形成一个经济、便于维护的网络。

典型的 GSM-R 通信网与普通 PLMN 网并无大的区别,在其网络的网元、标准接口和连接上也无大的变化。实际上,就是在公网的基础上引入一系列新技术,如优化利用频率以提高网



络容量,在大话务量区域(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。

为满足轨道交通的特殊性,GSM-R 必须达到下列要求:

- (1)速度高达 500km/h 时的无缝隙通信;
- (2)有限频点数(20 个)的有效利用;
- (3)载干比(C/I)至少要达到 12dB;
- (4)在一个规定的区域内,95%的时段以及 95%的覆盖率,信号强度大于 -90dBm;
- (5)即使在 GSM-R 网之间切换,成功率也必须高于 99.5%;
- (6)根据所使用的业务,传输信道和网络设备必须有很高的可用性;
- (7)隧道内要求覆盖;
- (8)在车站和编组场内覆盖也要好;
- (9)95%的通话建立时间不多于 1s。

GSM-R 网一般沿路轨方向安装定向天线,以形成沿轨道方向的椭圆形小区。在车站内,话务量较大(热点),但对速度的要求较低,因此大车站一般采用扇形小区覆盖方式。典型的 GSM-R 网在交换子系统(SSS)和基站系统(BSS)均采用了现有 GSM 技术中的冗余技术。另外,必须增加一些新的技术,具体如下:

①BTS 以链状方式与 BSC 相连。当一个 BTS 失效或 Asis 接口失效时,继电器可将 PCM30 自动转换至下一个 BTS,其连接可做到无缝切换。

②BTS 以星—链形方式与 BSC 相连。前两个 BTS 以链状方式相连,第二个 BTS 以后分裂成星状。其优点是可以更好地利用现有的铁路通信电缆。BTS 或 Asis 接口失效后的情况与链状网相同。

③BTS 以星状方式与 BSC 相连。这种方式特别适用于有几个载频的扇状 BTS。

上述几种连接方式的关键在于连接 BTS 的电缆的可靠性。因为无论是同轴电缆,还是光缆,加上必要的线路端口设备(NTPM、HDSL 调制解调器或合成器),其可靠性都很低。因此,可靠性再高的 BTS 都无法使得系统有足够的保障。

BTS 以环状多点方式相连。物理上,最多有 7 个 BTS 可使用一个 PCM30 构成环。为安全起见,一般只用 4 个 BTS,如果一个方向的连接失效,BTS 可无缝地切换到另一个方向。在这种情况下,对电缆的要求会有所下降,运营商可选择 2 根以护套分开的电缆,或使用一个在一根光纤 PDH/SD 环上的逻辑连接。

BTS 以交织的环状方式,一个接一个地分别连至两个 BSC。在这种情况下,既可降低电缆失效的影响,也可降低 BTS 或 BSC 失效的影响。经过充分的网络规划,这些交织的小区既可规划成互重叠加的形式,也可规划成只是互相邻近的形式。这种方式是以全备份的网络结构形式工作的。

GSM-R 网除具一般集群通信的特点外,还具有以下特性:

- (1)能和列车自动控制系统相收集列车的各种信息;
- (2)可以根据列车和司机的功能号进行功能寻址;
- (3)多层次抢占和预清除功能;
- (4)话音广播功能;
- (5)组呼功能。

3) TETRA 通信系统

1990年,欧洲电信标准协会(ETSI)开始制定数字无线电集群通信标准,当时称之为移动数字集群无线电系统 MDTRS(Mobile Digital Trunked Radio System)。20世纪90年代初,改称为全欧集群无线电系统 TETRA(Trans European Trunked Radio System)。后来,为了占领全球市场,TETRA又改名为陆上集群无线电通信(Terrestrial Trunked Radio)。

TETRA是一个空中信令开放系统,得到专用移动通信和公用接入移动通信网络的支持。TETRA标准于1995年正式确定,1997年起全面推广。

TETRA在全世界的成功,不像它所要应对的突发事件那样的偶然,而是主要得益于其自身的优良性能。TETRA系统的呼叫建立时间实际小于0.3s,远远少于GSM呼叫建立的10s时间,在紧急情况下,这种快速反应能力最能力挽狂澜。

TETRA具有多种指挥调度功能,如动态重组、多种优先级配置方案,可以单呼、组呼和广播,并可多个单位组成共同的通话组以实施联合指挥,便于应付突发事件。

此外,TETRA还具备多种加密方式、安全抗毁性高、可脱网直通的特性,在嘈杂的环境下话音质量比GSM手机还略胜一筹,在高速环境中仍能保持清晰通话,并且组网灵活。

TETRA系统的最初设计是针对欧洲公共安全需求的数字集群通信专网,因此调度功能比较完善,特别适合于运输、军队、公安等领域或部门。它的一些功能,如脱网直通和端对端加密等,是iDEN系统所不具备的。

在TETRA之前,还没有一个集群通信系统能在25kHz带宽上,为用户提供话音和数据通信所需的速率,并将话音和数据通信整合起来。

TETRA系统的原工作频段是400MHz,但已发展到800MHz频段。TETRA系统除专网外,还努力向共网发展,欧洲共网工作在400MHz频段。

TETRA是由多家公司开发生产的联合产品,和GSM一样,主要由欧洲电信标准协会(ETSI)制定统一标准,空中接口标准公开。但其内部标准,ETSI并未统一,具体的生产厂家都有自己的知识产权。TETRA的生产厂家,遍及芬兰、英国、意大利、美国、新西兰、日本等国。

TETRA数字集群系统采用类似蜂窝系统的结构形式,单个系统包括无线交换机、调度台、调度台控制器、基站、管理终端等。多系统可以通过无线交换机互联成更大的系统。用户台,包括车载台、车站台和便携台(手机)。如图1-3所示为TETRA数字集群系统各部分的功能框图。

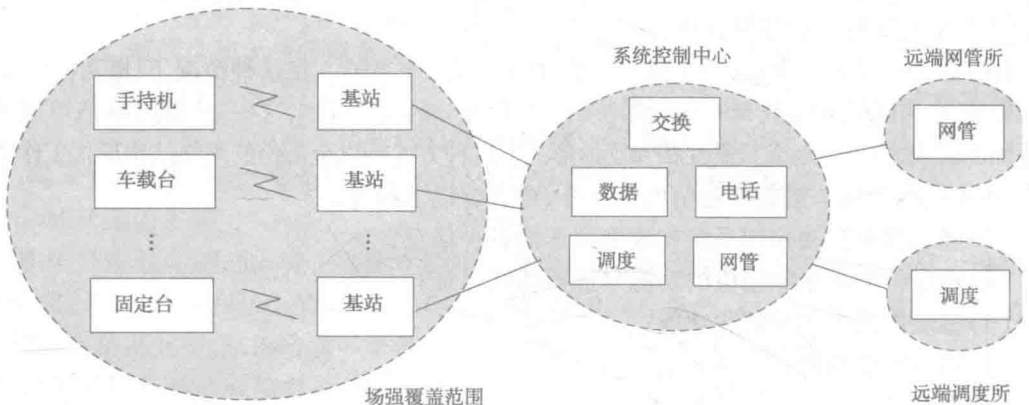


图 1-3 TETRA 功能框图