

移动通信技术丛书

站场无线通信系统

李德余 编

中国铁道出版社

1985年·北京

前 言

站场无线通信是陆上移动通信的一种，它是铁路无线通信重要组成部分。站场无线通信的组网方式、系统构成和设备要求有许多独特之处，读者看了本书的2~5章之后，就可知道，它既与陆上移动通信有相似之处，也有许多不同之点。随着无线电设备的改进和现场的迫切需要，近年来站场无线通信的发展很快。由于，到目前为止没有一本专门讲述这方面的书籍，所以，作者拟就这几年的工作经验和积累的国内外资料总结一下，编著成册，以供从事这方面工作同志参考，藉以起抛砖引玉的作用，以期能促进学术交流的目的。

由于无线电技术和器件发展日新月异，所以，不可避免地有许多地方论述得不够完备和不够确切，难免会有不少错误之处，希望读者能给予批评与指正，作者当竭诚欢迎，以便共同切磋，进一步促进站场无线通信的发展。

本书承铁道部科学研究院通信信号研究所无线研究室主任马双久详细审阅，在此表示感谢。

作 者

1986年4月

内 容 简 介

本书主要讨论站场无线通信的系统构成、组网制式及其应用，站场中的各种干扰及其防护措施，设备、频段及频率点的选用，系统设计及设备的测试方法等。可供从事铁路无线设计、施工、维护以及运输组织方面的工作人员学习参考，也可作有关专业教学参考书。

移动通信技术丛书

站场无线通信系统

李德余 编

中国铁道出版社出版、发行

责任编辑 黄成士 封面设计 刘景山

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092毫米 1/32 印张：7 字数：165 千

1988年7月第1版 第1次印刷

印数：0001—3,000册 定价：1.50 元

目 录

第一章 概 论.....	1
第一节 站场无线通信的发展.....	1
第二节 站场无线通信的特点.....	7
第二章 组网制式及其在站场中的应用.....	12
第一节 组网制式.....	12
第二节 组网制式在站场中的应用.....	19
第三章 组网中的干扰.....	37
第一节 干扰的基本性质.....	37
第二节 组网中的主要干扰.....	53
第三节 提高组网中抗干扰能力的几项措施.....	81
第四章 设备、频段和频率点的选择.....	97
第一节 站场用无线电设备的选择.....	97
第二节 站场用无线电设备频段的选择	135
第三节 站场用频率点的选择	151
第五章 站场无线通信的系统设计与系统的场强预测	155
第一节 组网设计的步骤	155
第二节 系统的场强预测	162
第六章 无线电设备的测量	188
第一节 对测试仪表的基本要求	189
第二节 对测试仪表技术指标的基本要求	190
第三节 对测试技术指标的分类及方法	198

第一章 概 论

第一节 站场无线通信的发展

站场无线通信是指铁路的各种车站和编组站内用的无线通信。由于编组站内的独立作业系统比较多（通常有10~15个左右），所以，独立的无线电通信系统也比较多，而且它有一定的代表性。各种车站（包括旅客站和货运站）内所用的无线电通信设备和制式系统与编组站的相类似，因此，本书只对编组站无线通信问题作比较详尽的分析讨论，车站无线电通信可以归之于编组站无线通信内。

铁路编组站是生产列车的“工厂”。由于编组站内解编作业量大，作业过程复杂，车辆在站的停留时间比较长，所以编组站的技术设备是否完善与先进，对于保证列车安全、正点、加速机车车辆周转、加速货物送达、降低运输成本，以及节约设备投资都有极为重大的意义。站场无线通信是近年来国外编组站重要技术装备之一，它对编组站解编作业、安全生产起了重要作用。近年来，我国铁路对站场无线通信也给予极大重视，除了引进一部分国外先进无线电设备装备部分站场外，还结合我国铁路特点试制了许多适合站场用的无线电设备，用以装备各个编组站。这些装备对加快编组站的作业过程起了很大作用，效益极为显著，受到作业人员的欢迎。

站场无线通信的发展经历了漫长的过程。大致在三十年代前后，随着第一套列车无线调度电话问世，铁路从业人员

就设想将无线电通信应用到站场中来，但由于当时使用的设备频段比较低（通常是在短波频段），而且还都是电子管电台（电子管电台不仅体积大、重量重、而且耗电量大）。因此，只能作为车载或固定电台用，无疑限制无线电通信在站场内的应用范围。当时的德国铁路首先把电子管电台装在站内调车机上用，这种无线电通信系统比较简单，只是在机车上和值班员室装置电台，作为机车司机和值班员之间的通信联络，因流动人员（如调车员、制动员、连结员）之间没有无线电台，使用效果受到一定限制。这种简单的站场无线电通信也可以说是个起始阶段，仅仅是个尝试，但是已经可以看出随着电子设备的发展，无线电技术在站场中的应用将是越来越广泛。1946年起，世界各国开始对调频制超高频无线电台进行调查和研究，1948年开始研制设备，1950年便携式电台除了使用30MHz频段外，60和150MHz频段的设备也开始使用。对便携式电台的天线来说，使用的频段越高，电台上的天线可以越短，流动人员携带起来也就越方便。1952年便携式无线电台发展到使用小型电子管，1955年开始采用超小型电子管。有了这种无线电台作为物质基础，也就有可能在站场内扩大无线电的应用范围，因为，在这个频段里电台的天线已经可以缩短到可携带的条件，以150MHz为例，便携电台上装用 $\lambda/4$ 天线，天线长度只有0.7m左右（如果采用螺旋天线，天线长度约为0.15m左右）。这就有可能供站场内的流动作业人员使用（如车号员、列检员等）。由于，这些电子管电台重量还是比较重，大致有3~4kg。虽然使用是成功的，也取得一定效益，但是，终究因为设备重量超过人们能够长时间的承重，最终还是没有能得到广泛地应用。自从1951年第一个晶体管问世以来，便携式电台便得到日新月异的发展。在1958~1959年间，便携式电台开始进入晶体

管化时代，但是最初功率放大级还是采用超小型电子管，组成了与晶体管混合的电台。1965年便携式电台进入全部晶体管化。七十年代末，除发射机部分电路外，便携式电台已经完成局部集成化阶段，重量也已从几千克下降到 $0.35\sim 0.5\text{kg}$ 左右。使用频段也从 150MHz 扩展到 400MHz ，并正向 800MHz 频段开拓。频道间隔经过三次窄带化，也已经从 100kHz 缩窄到 25kHz ，甚至可以缩窄到 $16\frac{2}{3}$ 和 12.5kHz ，

大大提高了频谱利用率，使规定频段内的可用频率点数目有所增加。1985年，作者在日本见到单边带（S，S，B）制VHF和UHF频段的便携式电台，其重量和体积并不比调频制便携式电台大，这说明频谱利用率又比 12.5kHz 要提高很多倍，理论终于成现实。

在电台的电路方面，第二中放以后的电路都已采用集成电路，缩小了电台体积。并且还在电台电路里采用锁相环技术（有的电台在发射部分采用，也有的在发射和接收部分采用），采用这种电路虽然在电台的技术指标方面没有量级的提高，基本上和原有技术指标相同。但是，采用这种电路以后，可以省去许多调谐回路和部分石英晶体，同时还可以应用数字集成电路，使生产调整大为简化，产品成本下降，从而使电台的体积和重量进一步减小。据国外资料报导这种类型的便携式电台其重量约在 $0.3\sim 0.5\text{kg}$ 左右，比同类型没有采用锁相环技术的电台约轻 $\frac{1}{3}$ 左右。这是目前电台电路技术

方面的发展方向，这种类型的电台非常适合铁路站场使用，因为，它不仅体积小、重量轻，而且对维修人员的技术水平也要求不高，有利于铁路站场无线通信的发展。

根据国外一些铁路机构统计，七十年代可以说是站场无

线通信发展的鼎盛时期，图 1—1 是联邦德国铁路在 1980 年统计的数据，可以看出便携式电台的数量是直线上升。其原因是便携式电台体积和重量已经可以为广大站场作业人员所能接受，所以得以广泛地应用。实践运用证明，站场无线通信不仅取得良好效果，而且取得了较大经济效益。国外铁路当局公认采用站场无线是提高编组效率的最好措施。据不完全统计：苏联有 500 个调车场和部分专用线都装设了无线电台。联邦德国铁路站场无线电台约占总电台数的 27.8%；约为 18967 台（1980 年统计数）。日本国铁 1972 年已经把 39 个编组站中的 18 个装用无线电台。在这些国家中的站场大致装用的无线电系统有：检车系统、车号系统、调车系统（包括驼峰调车、平面调车、尾部调车等）。并已取得以下几个方面的效益：

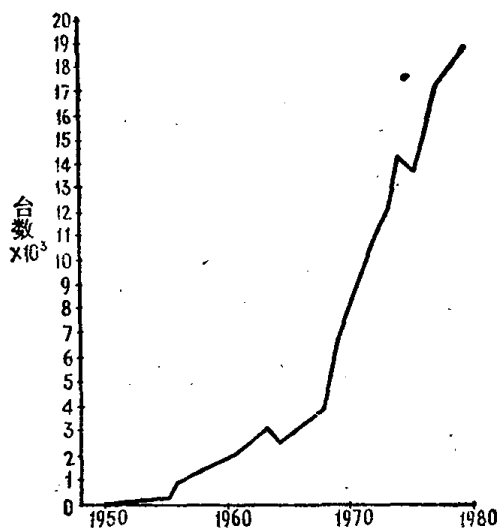


图 1—1 联邦德国铁路站场无线电台的发展

1. 减少车辆停站时间：据苏联铁路1972年统计装用了站场无线通信后可以使车辆停站时间缩短15%，联邦德国铁路统计为10%

2. 提高作业效率：据联邦德国铁路报导解体能力提高4%，作业效率提高5~7%；苏联铁路报导可以提高调车作业效率15~25%，缩短解体时间25~30%。

3. 降低编组站噪声电平：以往在编组站作业人员间的通信联络主要依装设在站场的扩音系统，使用频繁，噪声电平很高，影响站场附近居民休息，装用站场无线电设备后，减少扩音系统，从而使站场附近的噪声电平下降。

4. 避免事故，提高安全，减轻劳动强度：据联邦德国铁路报导，90%事故可以因装用无线电设备予以防止。一旦发生紧急情况，可以立刻用无线电相互联系，不必跑到装有其它通信装置处去联络，可使作业人员及早采取措施，防止事故发生。

我国铁路早在50年代和60年代也曾在站场内试用无线电台，但终究由于当时的无线电设备体积过大和电台过重而没有能得到推广。1978年又着手解决站场无线通信问题，以上海局南翔编组站作为试点工程，在车号、列检、机械化驼峰、驼峰尾部、平面调车、简易驼峰、接发列车、铁鞋制动等11个作业系统中装用无线电台。工程分三个阶段进行，第一个阶段采用日本NEC公司生产的400MHz频段的无线电设备，装在到达场的车号、机械化驼峰尾部调车和上行场简易驼峰上，其余系统都装用国内试制设备。这一阶段除了试制适合我国铁路特点的无线电设备外，还要对13个独立无线电通信系统所引起的相互干扰、传播特性和电台的技术指标进行试验研究，以便在试点工程的基础上推广全国应用。经过七个多月应用试验，表明站场无线电通信受到广大作业人员的欢

迎，并取得一定效益。运营效果主要有以下几个方面：

1. 使用无线电通话、信号指挥调车作业后，线路值班员在下达计划后，在室内可以随时听到调车作业进度的信息，对调车作业计划的实际进度，做到心中有数。在作业中遇到问题或在越区、越场作业中发生相互干扰、等待等情况时，调车作业人员可在原地利用无线电通话汇报，线路值班员根据现场的汇报，与各作业区的调车领导人相互联系，协调安排各自的作业，减少不必要的等待时间，提高调机的利用率。

2. 减轻调车作业人员的劳动强度和少走冤枉路。以往调车作业人员在工作中，必须一手抓牢车把，一手要不间断地显示信号，遇到长距离推进作业时，臂力差的人员往往要双手抓住车把来缓和体力，此时就会造成中断信号。使用无线电台后，作业人员可双手抓车把，到时用电台呼叫，减轻了劳动强度。另外调车作业人员流动分散在整个调车场内，而在作业中活的因素多，有时遇到必须变更计划时，就要停轮后再去找人，延长了作业时间。现在可以就地呼叫找人，就可少走不必要走的路程，不仅是减少了因找人而停轮的时间，又可克服因变更计划而感到人员不足的矛盾。

3. 克服雾天手信号看不到，影响调车作业的困难。雾天调车作业最大的困难，就是作业人员看不到前面显示的手信号，以往采用音响信号来代替手信号，中转人员越多，口笛声越杂，调车指挥不能统观全局，只能凭听觉信号来指挥机车进行调车，这样不单是作业缓慢，而且也不安全。使用无线电通话信号指挥调车，在本线连挂车辆时，基本上可以克服雾天看不到手信号的困难。因为制动员预先按照作业计划去挂车线路检查停留车的位置，把检查的情况直接用无线通话告知调车长，司机也同时收听到停留车的位置、车档

数、车辆间相互间隔的距离，这样在连挂中调车长和司机可正确掌握挂车速度。挂车完了，制动员用无线电台呼叫停车和连挂好了，调车长听到后，可及时通知司机发出动车信号牵出车列。

4. 有利于调车作业的安全，由于无线通话、信号能直接同时传送到调车长、司机和本组作业人员，因此，一旦遇到特殊情况，就能呼叫停车、一呼即应，司机听到停车声及时停车，可防止和避免意外事故的发生。

由于使用的时间比较短，经济效益来不及统计，无疑它将是我国铁路站场无线的起点，使站场无线电通信推向新的阶段。

第二节 站场无线通信的特点

站场无线通信与别的无线通信有所不同。譬如说无线列调主要是解决列车与调度所和车站间的通信联络，是一种点与线之间的无线电通信。出租汽车用的调度无线通信，主要是解决中心台与若干无线电场强覆盖区间的通信。站场无线通信的特点主要是在不到3km（以纵列式三级三场考虑）的编组站内要设置10~15个独立无线电通信系统，设台的密度较高，而且要求各个系统相互不干扰。通常编组站是由到达场、编组场和出发场组成，有时常有上行场和下行场并列，每个场通常只有1km左右。所以，要求无线电有效场强覆盖在1km以内，不希望场强侵入到其他场地。机械化驼峰调车系统要求场强覆盖两个半个场地；即到达场和编组场的各一半。只有专用线取送调车系统要求无线电有效作用距离达到5~15km左右。因为，这种调车作和其他调车作业有所不同，它是编组站的调车机车将货物列车推送专用线去，往往

离编组站比较远。随调车机车去专用线的调车长和编组站的值班员要进行联络；同时，调车机车在到达专用线后，调车长又可以与机车司机进行平面调车作业。

站场无线通信的通信内容也是各不相同，有语言通信（如车号员系统、接发列车系统、铁鞋系统）、有语言和音响信号（如尾部调车系统、简易驼峰系统、平面调车系统）、有传色灯信号（如机械化驼峰调车系统）、有传遥控信息（如列检的制动试风系统、机车遥控）、有传数据信息（如联邦德国铁路的车号员数据系统）。所以，这些通信特点与一般民用单纯通话有所区别，也就要求用在站场的无线通信设备与普通民用电台有所不同，它的技术要求比民用电台要高。

站场无线通信主要是固定点对移动点（如车号员系统）和移动点对移动点（如调车长对连结员、制动员）间的通信。正是由于这些使用上的特点，也就产生一系列技术上的特殊要求，这些技术上特殊要求可以归结以下几个方面：

一、站场里的各种干扰

在站场里，由于装设的电台密度比较高，不可避免地会产生许多干扰，这种干扰往往影响正常通信。防止和减轻相互干扰的方法很多，如改进电台的使用元器件和电路，外加高Q滤波器，另外，还可以从距离隔离上来解决，总之，要根据站场的实际情况而定，很难强求一致。在站场里常见无线电干扰有以下几种：

（一）大信号阻塞干扰

大信号阻塞是指在同一条高频频道内存在一个或几个无用大信号载频（有用大信号载频也是一样），它导致接收机射频放大级过载而使其工作点偏移，从而使接收机的整机灵

敏度下降，影响正常通信距离，甚至完全中断通信。

（二）互调干扰

互调干扰是由于干扰频率经过接收机射频放大级和混频级的非线性作用产生有害频率，影响正常通信。互调干扰不仅在接收机内会产生，同样在发射机末级里也会产生。由于这种有害干扰频频在有用频带之内，所以，很难予以抑制。

（三）寄生辐射干扰

发射机的辐射频率除了有用信号频率之外，还夹杂许多无用射频频率（寄生辐射）。这种寄生辐射干扰虽然在幅度上比有用信号小，由于在接近被干扰电台（寄生辐射频率与被干扰电台频率相同时）时，就会产生极为有害的干扰，使其不能正常通信。这种寄生辐射只有依靠干扰电台本身抑制才能解决，被干扰电台是无能为力的。由于发射机多采用倍频方式，寄生辐射频率非常多，有时难于预计。

（四）接收机寄生响应干扰

接收机的寄生响应干扰是指有用信号之外的邻近干扰频率。由于接收机的选择性不好或本机振荡频率不纯，导致对这些干扰频率的接收，以致造成有害干扰，使接收机的灵敏度明显下降，其中危害性最大的是两个无线系统都在传送调车信号，这就有可能导致错误显示。这种寄生响应干扰与寄生辐射极为相似，最终都表现在站场无线组网中，使相邻的无线电台无法接近。

二、站场内建筑物的影响

在站场无线通信中，由于站场里的建筑物（站舍、车辆、灯桥、树木、电杆等）的反射而使直射波与反射波相互干扰，以致接收场强的瞬时值变动竟达 10~20dB 以上。这就意味着发射功率没有得到有效的利用，只是几十分之一。

三、工作方式

在站场里，由于作业的特殊要求（如列检员、铁鞋制动员），必须采用体积小、重量轻的便携式电台，当前国产电台远不能满足站场中的特殊需要，不得不采用小功率发射机（功率约为20mW左右），经过中继转发而使其具有较大的场强覆盖面积。如果要求携带设备更小，则可采用有线无线相结合方式，作业人员只携带小型单发射机（其发射功率只有20mW左右，重量约为200g左右），回话则利用有线广播，这种系统的缺点是站场内仍有一定噪声。

四、天线的架设

由于在站场里采用的无线电设备都是在VHF和UHF频段，这个频段的电波传播近似于光的传播，因此，要求所有的收发天线都能直视，不要有建筑物阻挡，其中也包括人体的阻挡（因为人体的尺寸已经能和波长相近），否则就会影响传播距离。这个要求在站场里的某些系统（如列检员钻在车辆底下工作）是很难实现的。在站场里极为恶劣的无线电波传播条件，最终表现为有效作用距离不能得到保证，所以，传送数据必须注意传输可靠性。试验证明：要保证具有99.9%概率（地点和时间概率）是困难的，甚至不可能的。因为，在站场里，流动物体较多，有可能在某一瞬时电波经过这些反射点而导致严重衰落。此外，还应考虑到由于各种干扰（如阻塞干扰、寄生干扰等）导致不能保证系统具有较高的地点和时间概率。如果要取得很高的地点和时间概，那么必须采取提高发射功率和增高天线。除此之外，还应采用地面联锁、亚音频二次静噪（采用CTCSS制或用3kHz以上作为导频静噪），以及具有高抗阻塞干扰衰耗的射频放大

器，这样才能保证传输信息的可靠性。此外，无线电系统用作传输色灯信息时，同样应该保证系统传输具有99.9%以上的概率。由于便携式电台受到发射功率、电台体积和重量以及接收机灵敏度的限制，要保证在最坏的环境里（车列长850m以上、车列侧面也有较长车列存在时）制动员（或连接员）与调车长之间传递无线电信号具有这样高的概率是困难的。

第二章 组网制式及其 在站场中的应用

第一节 组网制式

在站场无线通信中,由于作业上的要求,只需要在到达场、编组场和出发场内通信,有效作用距离通常不超过1km。所以,无线电组网比较简单,主要采用的通信制式有:单工制、双工制、中继转发制和有线无线相结合的单向发射机制。这些制式各有其特点,组合在一起才能构成完整的站场无线电通信网。

一、单工制

如图2—1所示,它是由固定电台和移动电台所组成,固定电台与移动电台以及移动电台之间可以相互间通信。固定电台可以采用和移动电台同一型号的便携式电台,也可以采用质量(技术指标)较高的电台。采用同一型号的便携式电台在维修方面可以方便些。但是,其主要缺点是便携式电台的各项技术指标(特别是抗干扰方面的指标)相对于固定电台(包括机车电台)来要低一个数量级,有时不能满足抑制干扰的要求。日本国铁在站场里基本采用同一类型的便携式电台组网,而联邦德国铁路的机车电台和固定电台采用

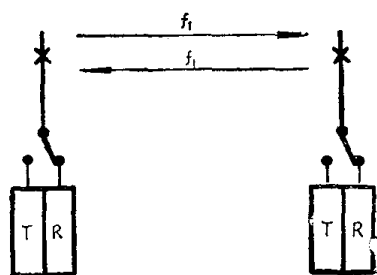


图2—1 单工制

技术指标高出一个数量级的电台，这样在抗干扰方面的技术指标（如互调、寄生抗扰性、杂波辐射等）都要比便携式电台高出10dB左右。由于机车电台和固定电台天线架设比较高，而且天线增益也比便携式电台高，相应的收发间的系统值也就比较高。下面以机车电台为例，说明其间的关系。机车电台的天线按4m高计算，相对于便携式电台1.6m高的天线来说可以提高增益7.95dB。机车电台的天线是采用 $\frac{\lambda}{2}$ 半波振子，而便携式电台天线都是用 $\frac{\lambda}{4}$ 半波振子，这样机车台天线又提高3dB增益，所以，总的增益大约提高了10.95dB。由于总增益提高了10.95dB，无疑它接收到的干扰电平也要大10.95dB（相对于便携式电台），由于机车电台的抗干扰指标高出10dB，恰好两者抵消，也就是说机车电台虽然抗干扰指标提高10dB，也只是相当于两部便携式电台在天线1.6m高处所承受的抗干扰能力。固定电台的天线一般架设不宜超过10m，这是站场无线里为了抑制干扰所规定。那么可以取得19dB的增益（包括使用 $\frac{\lambda}{2}$ 天线），显然，即使固定电台的抗干扰指标提高10dB，仍然使系统的抗干扰能力下降9dB，所以，从抗干扰角度来说并不希望架设很高天线。如果必须架设较高天线时，则要求电台的抗干扰指标作相应的提高。如果机车电台和固定电台都采用便携式电台，无疑的会使便携式电台原有的抗干扰能力分别下降10.9dB和19dB，也就是抗干扰防护距离要增加1.0~1.5倍，这给站场组网设计带来一定困难。所以，联邦德国铁路当局规定机车电台和固定电台的抗干扰技术指标比便携式电台高出10~15dB，其理由也在于此。日本国铁全部采用便携式电台组网制式与我国站场具体条件有所不同，日本国铁采用降低灵敏度的办法来提