

# 地铁行车中的通信网络可靠性研究

李奔月

石家庄市轨道交通集团有限责任公司运营分公司

**摘要：**地铁作为我国城市公共交通的重要组成部分，是人们出行时非常便利、快捷和安全舒适的交通方式。随着轨道交通建设规模日益扩大，其线路故障频发问题也逐渐突出。本文分析了通信网络可靠性对列车行车中造成影响因素及维护措施，研究结论为保证列车运行通畅以及保障乘客通讯请求及时准确提供可靠信息支持等方面提出合理建议与对策，希望能提高高铁运营企业在复杂多变环境下的竞争力和生存能力。本文旨在研究地铁行车通信网络的可靠性，分析当前通信网络存在的问题，探讨提高通信网络可靠性的方法和技术，为地铁行车的安全和稳定运行提供有力保障。

**关键词：**地铁行车；通信网络；可靠性

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6261.2022.09.101

## 引言

地铁，作为城市基础设施的重要组成部分，是我国现代化交通系统中非常宝贵的一部分。随着地铁线路网络化、信息化建设进程加快和运营管理要求不断提高。在各种不利条件下（比如运行时间长、行车速度低等）如何保证通信畅通成了首要问题之一。本文针对目前车站存在通讯不稳定以及可靠性较差这一大背景进行分析研究并提出有效措施，希望对城市轨道交通发展有所帮助，进而促进我国社会经济的可持续健康和谐发展。

## 一、地铁行车中的通信网络概述

### 1. 列车控制系统网络

列车控制系统是用于控制列车运行的一种信号系统，它主要由车辆控制单元、车载计算机、无线通信系统和列车中央控制中心四大部分组成。列车控制系统通过无线通信网络连接到车上各个设备，接收车载设备发来的各种信息，并根据其要求向车载设备发出各种指令，以实现列车的自动驾驶、停车、制动等功能。列车控制系统是地铁列车运行的核心部分，其可靠性直接影响到地铁运营的安全。目前国内地铁使用的列车控制系统一般采用西门子公司提供的基于TCN协议的OPC（开放式计算机数据通信标准）协议作为总线来实现信息的交换。

目前，全球地铁列车的控制系统主要有基于计算机和通信技术的两种，即基于TCN/IP（或CAN）的列车控制系统（TCBS）和基于以太网（Ethernet）的列车控制系统（TCP/IP）。由于基于TCN/IP的列车控制系统在网络连接、稳定性、可靠性和安全性方面存在一定不足，因此通常采用以太网进行通信。以太网具有速度快、成本低、可扩展性好等优点，因此目前国内大部分地铁采用以太网作为列车控制系统通信网络。目前，以太网在地铁应用中的主要问题是存在时延和误码率问题。

### 1.2 乘客信息系统网络

在地铁列车的乘客信息系统中，为了满足乘客对列

车实时状态信息的需求，在车载网络中通过以太网（以太网通信模块）将信号设备发送的信息以帧的形式发送到控制中心，再由控制中心传输到地面控制中心。乘客信息系统主要包含以下几个模块：1）乘客信息管理（IAM）模块；2）视频监控模块；3）列车状态显示模块；4）列车故障报警模块。在上述每个模块中，都会存在一条网络链路，而每条网络链路又有其固定的时隙（Bit of time），即通过以太网中的报文传送到每个设备后，都有一个固定的时隙，每个设备收到这条报文后都有一个固定的处理时隙。<sup>[1]</sup>

在乘客信息系统中，视频、音频、数据和控制信号都通过网络传输到车载计算机中，控制信号通过以太网或CAN总线传输到车载计算机中。在地铁乘客信息系统网络中，主要有车载计算机（DMU）、车载视频设备（VCS）、车载数据服务器（VIS）和车辆与乘客信息系统的通信（DCU）4个部分。

### 3. 安全监控系统网络

安全监控系统网络主要由多个不同厂家的数据采集设备组成，如数据采集、数据存储、数据处理及显示设备。这些设备由不同厂家提供，并且其数据采集的质量也是参差不齐，进而影响列车运行的安全性和稳定性。此外，各设备之间还需要进行信息交互，例如传输列车计划、故障信息、视频信息等。目前国内主要采用CANopen总线对这些数据进行传输，但是由于CANopen总线没有标准的接口，所以其在实际应用中还存在着许多问题。例如，CANopen总线不能向列车发送实时的运行状态信息；CANopen总线不能向列车发送报警信息；CANopen总线无法与车载设备进行通信等。

另外安全监控系统是地铁列车的安全保障系统，包括列车状态监测、故障诊断与处理、辅助电源及紧急停车控制、环境与设备状态监测等功能。在列车运行过程中，安全监控系统可以采集车辆运行信息，包括位置、

速度、运行方向等，并根据列车运行数据，对列车进行状态判断及故障诊断，对列车的紧急停车和救援工作提供决策依据。安全监控系统通常采用以太网作为传输媒介，但由于以太网是一种半双工的通信方式，其在网络延时方面存在较大的缺陷。在列车运行过程中，当一个或多个事件发生时，每个事件的发生时间都不同。

### 二、地铁行车中的通信网络存在的问题

#### 1. 网络结构单一

当前地铁列车的网络通信主要采用基于以太网的3层网络，即以以太网接口层、网路层、应用层。以太网接口层负责与列车的车载设备进行通信，并完成数据处理功能。网路层则是负责实现车载设备与车辆、车辆与车站之间的通信，完成列车的控制、信息管理、状态显示等功能。应用层主要是负责列车运行控制和车载数据应用功能。

在实际运营中，3层网络结构存在着诸多问题，如车载设备与车载通信网络的互联互通问题，主要体现在2个方面：首先，当一台车辆使用3层网络时，若车载设备发生故障或被其他车辆占用，会造成列车无法与其他车辆正常通信；其次，3层网络结构的复杂性增加了维护的难度。由于网络层次多，当出现故障时，定位问题的源头变得困难。维修人员需要逐层排查，这不仅延长了维修时间，也增加了维修成本。而且，由于网络结构复杂，对于维修人员的专业技能要求也更高，这无疑增加了运营商的人力成本。

在实际操作中，运营商可以通过定期的测试和维护来确保网络的正常运行。同时，加强与其他运营商的沟通合作，共同应对可能出现的网络问题。通过这些措施的实施，可以有效解决3层网络结构在实际运营中存在的问题，提高列车运行的安全性和效率。<sup>[2]</sup>

#### 2. 设备老化

由于地铁通信网络的主要设备都是针对地铁通信的需要设计，所以它们大多是在地铁刚投入运营不久后设计制造的。由于当时的技术水平有限，在设计制造过程中没有考虑到地铁通信网络设备会有较长的使用周期，所以设备在后续的运行过程中出现了不同程度的老化。因此，在后期运行过程中，就容易出现通信网络设备的故障。比如，通信网络中传输数据的交换机、路由器等设备在长期运行过程中容易出现性能下降甚至是损坏、老化；而传输数据的光纤跳线由于使用时间过长、环境温度过高、电压不稳定等因素也会导致性能下降，导致传输数据错误或中断。

#### 3. 电磁干扰

对于地铁列车来说，高速的网络会对其周围的电磁环境产生严重干扰。因此，在地铁通信网络中必须采取

相应的措施，保证地铁通信网络的稳定。例如，可以利用屏蔽电缆和接地装置来减少电磁干扰。

信号干扰主要来自通信网络本身的电磁辐射。无线电波和射频信号对通信网络的影响最大。这主要是因为电磁波的传输具有方向性，且传输距离有限，不能满足信息在一定范围内快速传输的要求。目前常用的电磁干扰抑制方法有屏蔽和接地两种，其中屏蔽主要是通过通信网络上使用屏蔽层进行屏蔽，以减少电磁辐射。接地是通过接地系统来降低电磁波对通信网络的干扰，它是通过在信号传播过程中采取一定措施来降低电磁波对其自身的干扰。

#### 4. 安全管理不足

城市轨道交通通信网络的安全管理体系还不够完善，对通信网络的安全管理仍处于起步阶段。目前，城市轨道交通运营企业尚未制定安全管理制度和标准，也未将其纳入日常管理工作中。在日常管理工作中，由于通信网络的安全隐患没有得到及时发现和有效处置，导致城市轨道交通运营企业在网络安全问题上存在“重建设轻管理”的问题。地铁公司安全管理体系包括安全规章制度、安全教育培训、应急预案和应急演练等，但地铁公司对安全管理的重视程度仍有待提升，在发生安全事故后，也未对事件进行深入分析和总结，未能从中汲取教训。

地铁行车中的通信网络可靠性是一个系统工程，需要在系统设计阶段就考虑到列车通信网络的可靠性，并从设备选型、设计和施工、运营维护等方面采取相应的措施，确保车辆通信网络的可靠性。另外，为确保列车通信网络的安全，需要定期对列车通信网络进行检查和测试，发现问题及时进行修复。但实际情况是，国内很多城市没有专门负责地铁行车中的通信网络管理的机构，导致很多城市只有通信部门或信号部门，而没有专门负责地铁行车中的通信网络管理和维护的机构，导致了在地铁行车中出现设备故障时无法及时有效地处理。<sup>[3]</sup>

### 三、提高地铁行车中的通信网络可靠性的方法

#### 1. 优化网络结构

针对列车控制网络（TCN），结合对地铁列车控制网络的拓扑结构的分析，我们将TCN进行优化。在地铁列车控制网络中，当多个TCN相互连接时，我们可以通过对TCN拓扑结构进行分析来实现优化。例如，我们可以将不同的TCN通过网络连接器相连，在这些连接器之间加入一条环形链路，使其成为一种冗余的、可容错的环形拓扑结构。这种结构与传统的拓扑结构相比具有更高的可靠性。

地铁行车的网络结构由多条线路组成，目前使用的是基于TCP/IP协议的多点控制模式，即一个网络中存

在多个不同类型的服务器和终端设备，这些设备在各自独立的网络中工作，当一个设备出现故障时，其他设备也会受到影响。

网络拓扑结构是决定通信网络可靠性的重要因素，为提高地铁行车的通信网络可靠性，优化网络结构可以从以下方面进行：（1）在网络拓扑结构中增加冗余设计。当一个节点出现故障时，其他节点能够正常工作；

（2）采用双冗余方式。当一个网络出现故障时，可以通过双网冗余方式继续正常工作。单网冗余可确保发生故障时不会影响其他设备正常运行；（3）对通信网络的各个节点进行冗余设计。当一个节点发生故障时，其他节点能够正常运行。通过在每个节点上增加冗余设计，确保整个通信网络能够正常运行；（4）通信网络中的通信设备都是按照规定的标准设计和制造的，通信设备的质量和性能均得到了充分保证。为保证通信设备在工作中能够达到预期要求，网络中的每一台设备都要定期进行维护、维修、测试和检查。同时，由于地铁线路的复杂性，通信设备在设计时也需要考虑到城市地铁的实际情况。<sup>[4]</sup>

## 2. 更新设备

在20世纪90年代中期，北京地铁就已经开始采用西门子的牵引变流器（当时为 SCOTT 的 CRS）和西门子的通信网络。从2005年开始，北京地铁就逐步更换了 SCOTT 牵引变流器和西门子通信网络。而在2015年北京地铁10号线全线开通后，为了满足新的需求，因此在2018年更新了 SCOTT 牵引变流器。这次更新后的 SCOTT 牵引变流器采用了更加先进的集成控制系统（IPC）和车载网络。

目前地铁通信网络系统使用的是基于 TCP/IP 的以太网技术，主要依赖于国外进口的设备。如前文所述，现有网络系统存在着高延迟、高丢包率、高误码率等问题。因此，在运营初期可以先购置国产设备进行替换，待后期运营稳定后再逐步更换。从短期来看，以国产设备替换进口设备需要投入大量的资金，但从长远来看，若能够提高国产设备的性能和可靠性，将有助于我国地铁网络系统的发展。

## 3. 电磁防护

在地铁中，电磁辐射干扰主要是来自车载设备和通信网络中的电子设备。电磁辐射对人体和环境都会产生影响。车载设备有很多需要屏蔽的部分，包括车载通信系统、车载计算机、车载多媒体设备等；通信网络中有很多需要屏蔽的部分，包括传输信道、网络接口、传输介质等。因此，地铁中的电磁辐射干扰需要进行防护。

列车是一个非常精密的设备，同时也是一个移动的电磁干扰源。其主要对乘客和工作人员造成影响。因

此，地铁中需要对列车进行严格的电磁防护，确保地铁列车在运行过程中不会对乘客和工作人员造成干扰。根据现场测试的结果，通信网络设备对电磁干扰有较强的抵抗能力，可以满足地铁行车环境的需求。但是，如果通信设备和其他设备之间距离过近，或者电磁辐射较强，则通信设备可能会受到干扰。为保证通信网络的可靠性，需要在设计时就考虑电磁防护措施。

## 4. 加强安全管理

在地铁运营中，安全管理是确保车辆设备正常运行的基础。首先，要加强对列车运行中通信网络的维护和管理，定期对设备进行检查，保证通信网络的稳定性。其次，要加强对司机的安全教育和培训，保证司机正确操作通信网络设备。同时，要加强对乘客的安全教育和引导，确保乘客遵守地铁运行规范。<sup>[5]</sup>

为了确保列车通信网络的安全，需要加强列车通信网络的安全管理。通过建立一套完善的列车通信网络安全管理制度，加强对列车通信网络的维护，并定期进行设备检查和维修，及时处理故障。在技术层面上，还可以通过研究先进的技术手段来保障列车通信网络的可靠性，例如建立基于云技术的列车通信网络平台，通过虚拟化等技术，来对设备进行有效管理和配置。此外，还可以通过在列车上增加冗余模块、在列车上安装冗余装置等方式来增强列车通信网络的可靠性。

## 结语

地铁行车中的通信网络可靠性是确保地铁行车安全和稳定运行的关键。针对当前通信网络存在的问题，地铁运营单位应采取有效的措施和技术，优化网络结构、更新设备、加强电磁防护和安全管理，提高通信网络的可靠性。同时，还应加强对通信网络可靠性的监测和评估，及时发现和解决潜在问题，为地铁行车的安全和稳定运行提供有力保障。

## 参考文献

- [1] 吴敏. 地铁列车通过接触网异物点或故障点的可行性研究[J]. 交通世界, 2021: 3.
  - [2] 王建辉. 提高地铁通信计算机网络系统可靠性的几项措施[J]. 通信与广播电视, 2017: 29.
  - [3] 张思雨, 王旭东, 吴楠, 李卓龙. 应用于地铁车厢的可见光通信网络性能分析[J]. 光通信研究, 2018: 22-28.
  - [4] 刘坤. LTE技术在地铁车地无线通信网络中的应用研究[J]. 中国新通信, 2019: 97.
  - [5] 诸葛暄雨, 郭其一, 王梦超. 列车通信网络可靠性评价技术研究[J]. 机车电传动, 2017: 9-14.
- 作者简介: 李奔月(1994/03/20), 女, 汉族, 本科, 助理职称, 值班站长, 籍贯: 河北省石家庄市。