

上海城市轨道交通线路级时间系统优化研究

王清婵

(上海地铁维护保障有限公司通号分公司, 200235, 上海//工程师)

摘要 简述了上海轨道交通线路级时间系统的架构和现状。对时间系统设备的故障进行分析后发现,二级母钟设备的故障数量最高、存在的问题最多。为了进一步提高上海轨道交通线路级时间系统的稳定性、时间同步的有效性,提出了上海轨道交通线路级时间系统的优化方案,即:删去弱电系统的车站时间同步主机这一层级设备,利用既有传输端口、时间系统主机端口,通过新增交换机的方式来实现车站的时间同步从机直接与时系统主机申请校时。经分析,该优化方案能进一步提升时间系统的功能、消除设备安全隐患、降低建设成本、减少设备运维的用工成本,可为城市轨道交通的新线建设、旧线改造提供指导性建议。

关键词 城市轨道交通; 时间系统; 架构优化

中图分类号 U231.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2021.11.015

Optimization Study of Shanghai Urban Rail Transit Line-level Time System

WANG Qingchan

Abstract The structure and current status of Shanghai rail transit line-level time system are briefly introduced. After analyzing the faults of time system equipment, it is found that the secondary master clock equipment has the highest amount of faults and existing problems. In order to further improve the stability of the line-level time system of Shanghai rail transit and the effectiveness of time synchronization, an optimization plan for the line-level time system of Shanghai rail transit is proposed, namely: to remove weak current system equipment at the level of station time synchronization host, and by making use of existing transmission port and time system host port; to realize time synchronization of the station by adding a new switch, and the secondary machine directly applies time calibration to the system host. From analysis, the optimization plan can further improve the function of the time system, eliminate hidden equipment safety hazards, reduce construction costs, and reduce equipment operation and maintenance labor costs, while providing guiding suggestions for the construction of new lines and the transformation of old lines of urban rail transit.

Key words urban rail transit; time system; structure optimization

Author's address Telecom & Signaling Branch, Shanghai Metro Maintenance Support Co., Ltd., 200235, Shanghai, China

时间系统是城市轨道交通运行的重要组成部分。该系统的关键作用是为乘客及工作人员提供统一的标准时间,并为其余系统提供统一的标准时间信号,使其余系统的定时设备与该系统同步,从而实现时间的统一。

1 上海城市轨道交通时间系统简介

上海城市轨道交通线路的时间系统通过上层网络时间系统获取时间,并将时间实时发送至在站厅、车控室、办公区等区域的子钟设备上,以提供时间显示功能。上海城市轨道交通的时间系统基于采用 NTP(网络时间协议)实现各弱电系统之间的时间同步。由一级时间服务器提供的 NTP 时间,通过各二级时间服务器以 NTP 申请校时的方式进行逐级分发,进而实现城市轨道交通全网络时间同步的目标。NTP 时间同步网络统一管理着整个城市轨道交通各弱电系统的时间同步。

2 上海城市轨道交通线路级时间系统现状分析

时间系统为各子系统、各弱电系统提供校时服务,为乘客提供标准的时间信息,为行车组织提供统一的时间源。截至 2020 年 12 月,上海城市轨道交通开通的运行线路数为 15 条,共计 483 个车站。在这样一个超大规模的城市轨道交通线网中,时间系统为上海城市轨道交通安全、有序的运行发挥了至关重要的作用。目前,上海城市轨道交通线路级时间系统包含一级母钟设备 15 套、二级母钟设备 417 套、子钟 3 341 台;具体分布情况如表 1 所示。

随着开通线路数的增加,线路级时间系统设备

表 1 上海城市轨道交通线路时间同步设备数量统计表
Tab.1 Statistics table of the number of time synchronization equipment for Shanghai urban rail transit lines

线路	一级母钟设备/套	二级母钟设备/套	子钟/台
1 号线	1	30	114
2 号线	1	33	165
3 号线	1	32	158
4 号线	1	18	181
5 号线	1	22	155
6 号线	1	30	31
7 号线	1	35	388
8 号线	1	32	220
9 号线	1	37	772
11 号线	1	42	399
12 号线	1	34	280
13 号线	1	33	70
16 号线	1	15	168
17 号线	1	15	150
18 号线一期	1	9	90
合计	15	417	3 341

注:18 号线一期为御桥站至航头站区段;10 号线时间系统设备不纳入此次统计范畴。

的体量也在快速增长。目前上海城市轨道交通线路级时间系统面临着巨大压力,这主要来源于两方面:一方面是技术的快速发展,不同 GPS(全球定位系统)接收设备的工作机制存在差异,导致其所提供的时间也存在着部分数据差异;另一方面是各弱电系统设备老化或故障导致时间同步机制不够健全。如表 2 所示,上述两方面的因素叠加后导致各线路的时间显示差异、时间记录不同步等现象频发,时间系统设备故障数量也呈明显上升趋势。图 1 为 2015—2020 年上海城市轨道交通各线路时间系统设备故障累计总数的占比情况,早期开通运营的线路时间系统出现的问题尤为明显。

从表 2 的故障数据中可以看出:2015—2020 年,时钟系统线路故障率大幅度增长,二级母钟设备的故障数量最高、存在的问题最大。二级母钟设备的故障对子钟设备会产生直接影响,因而导致子钟设备的故障率也居高不下。对具体线路进行分析,如图 1 所示,1 号线、2 号线、3 号线、4 号线、5 号线、6 号线、7 号线、8 号线、9 号线的故障占比明显高于其他线路。其主要原因是这些线路均在 2009 年前开通,线路级时间系统均未经历大修更新改造,

由此引发设备老化严重、部分备品备件停产、替代产品无法完全兼容老旧系统等问题。

表 2 上海城市轨道交通线网线路级时间同步设备故障统计表

Tab.2 Shanghai urban rail transit line network line-level time synchronization equipment failure statistics table

年份	一级母钟设备的故障数量/起	二级母钟设备的故障数量/起	子钟的故障数量/起
2015 年	8	51	9
2016 年	12	54	11
2017 年	19	59	14
2018 年	22	63	15
2019 年	28	66	19
2020 年	31	69	22

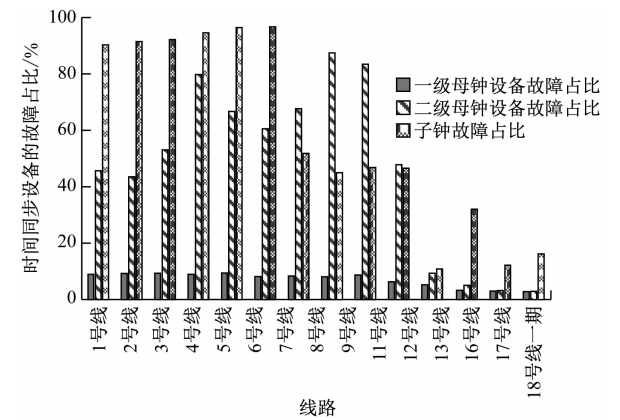


图 1 上海城市轨道交通线网线路级时间同步设备故障趋势图(2015—2020 年)
Fig. 1 Failure trend chart of line-level time synchronization equipment for Shanghai urban rail transit network (2015—2020)

线路级时间系统设施设备的老化、系统的超期服役、时间同步机制的不健全,其后果不仅是增加了设备的故障数量,还会给城市轨道交通网络化的运行和管理带来安全隐患。时间系统故障对运营调度指挥、故障的处置和信息的准确发布都有着极大的影响。因此,提高城市轨道交通全网络的高精度时间同步、完善线路级时间系统功能已势在必行。

3 线路级时间系统的优化研究

随着上海城市轨道交通网络化进程的加快、加深,既有的时间系统已经无法满足上海城市轨道交通日益增长的时间同步需求。同时,时间系统自身

的不足也限制了其他线网级系统业务的接入及功能实现,且存在较大的安全隐患。因此,本文结合上海城市轨道交通时间系统的现状及架构,以优化系统结构、完善系统功能为目标,对上海城市轨道交通的线路级时间系统进行优化研究,以期为后续的新线建设和旧线改造提供一定的指导。

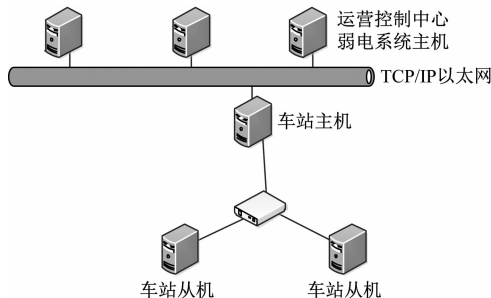
3.1 时间系统的既有架构

如图 2 所示,目前上海城市轨道交通线路级时间系统主要包含以下 3 类设备:

1) 弱电系统用于时间同步的系统主机。该设备是弱电系统唯一从二级时间服务器获取时间的设备,一般设置于各线路的运营控制中心或相关的网络上层中心。该系统主机用于向本地的二级时间服务器申请校时,并以 NTP 方式向弱电系统设置于运营控制中心的其他时间同步设备及设置于车站的时间同步主机授时。当该系统主机的上级时间源失效时,可通过系统自身的 GPS 获取时间(若有),或通过自身内部时钟自走时。

2) 弱电系统的车站时间同步主机。该设备是弱电系统设置于车站、车场用于时间同步的设备,用来向设于运营控制中心的系统主机申请校时,并向弱电系统设在该站或车场的其他设备授时。当该设备跟踪的时间源失效时,应通过自身内部时钟自走时。

3) 弱电系统的车站时间同步从机。该设备位于运营控制中心、车站、车场中,可从各自主机获取时间。当该设备跟踪的时间源失效时,应通过自身内部时钟自走时。



注:TCP——传输控制协议;IP——互联网协议。

图 2 传统的城市轨道交通线路级时间系统架构示意图

Fig. 2 Schematic diagram of conventional urban rail transit line-level time system architecture

从广义上来看,这 3 类设备分别对应一级母钟、二级母钟及子钟设备。线路级时间系统由一级母钟向二级母钟授时,二级母钟再向子钟授时。当跟

踪的时间源失效时,各设备依靠自身精度和稳定度为下级设备授时或独立运行。

3.2 时间系统的优化方案

结合目前时间系统设施设备的状态,故障主要集中于弱电系统的车站时间同步主机层。此外,上述 3 类设备的功能单一,重复功能较多。因此,删去弱电系统的车站时间同步主机这一层级设备,可优化时间系统的架构,如图 3 所示。利用既有传输端口、时间系统主机端口,通过新增交换机的方式来实现车站的时间同步从机直接与系统主机申请校时。与此同时,利用一系列在线监测手段降低校时偏差,从而能够更快、更好、更有效地实现时间同步机制,提升时间系统的稳定性,保障业务质量。

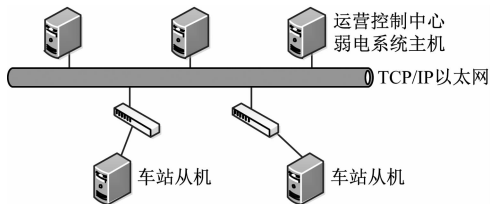


图 3 优化的城市轨道交通线路级时间系统架构示意图
Fig. 3 Schematic diagram of optimized urban rail transit line-level time system architecture

删去弱电系统车站时间同步主机层不仅减少了设备的层次和数量,还对原系统的校时方式和设备类型提出了新的要求。为了保证时间系统功能,线路级时间设备应至少具备以下功能:

1) 应满足上海申通地铁集团有限公司编制的企业规范《网络中心时间同步系统的建设指导意见》中对系统机制、系统配置、系统网管、系统性能等方面的技术要求。

2) 利用 NTP 协议实现各主机向从机授时的功能,并进行统一管理。

3) 应具备独立的高自走时精度和高频率稳定度。当时间源丢失时,各设备可以完全依靠自身精度和稳定度为下级设备授时或独立运行,同时立即向时间系统网管发出告警信息。

4) 需支持通过人工调整的方式实现时间同步。

3.3 优化方案的预期成效

对线路级时间系统架构进行优化,不论是新线建设还是旧线改造,其所产生的经济效益都是显而易见的:一方面是设备费用的降低,优化后设施设备所产生的采购费用、运营成本、维护维修费用等均有所减少;另一方面是用人成本的降低,优化后设备的故障数量将大为减少,可在一定程度上减少

设备安装、巡检、维护维修所产生的工时,进而提升工时效率。

3.3.1 建设成本降低

传统架构下的线路级时间系统至少包含以下设备:①一级母钟设备,主要包括工作板(主备)、子钟接口板、电源板、网管板、校时接口模块、其他系统接口模块、NTP 接口板等;②二级母钟设备,主要包括 NTP 接口板、电源板、工作板(主备)、子钟接口板、NTP 接口板、网管板、校时接口模块、其他系统接口模块等;③子钟设备,主要包括单面/双面指针式子钟机芯、单面/双面指针式子钟信号板、数字式子钟信号板/显示板、(子钟)电源、标准时间信号接收单元、数字式日历子钟信号板/显示板等。

对线路级时间系统进行优化,利用传输网络实现一级母钟设备与子钟设备的授时/取时,以实现时间同步。优化后的整套设备覆盖了各弱电系统及各车站时间主机所需功能,时间系统设备仅需 15 套一级母钟设备、417 台新增交换机设备以及 3 341 台子钟设备,减少了 417 套二级母钟设备。硬件的集中部署及设施设备数量的大幅度减少,在一定程度上节省了二级母钟设备的初期硬件建设成本。除此之外,机房的空间、物资能耗也随之减少,进而大大地节省了投资和运营成本。

3.3.2 设备的故障数量减少

由表 2 可知,在采用传统的时间系统架构下,2020 年上海城市轨道交通线网的二级母钟设备故障最多,其故障数为 69 起,故障占比为 56.56%。

(上接第 64 页)

一时期改造线路的接入。华为软交换专用电话调度系统与新建软交换专用电话调度系统之间采用 SIP 协议对接,以实现调度业务的互联互通。当新的软交换专用电话调度系统达到半生命周期后将不再接入新的使用线路,此时将新建第 2 套软交换专用电话调度系统,使得接入的线路处于同一生命周期。

经过对多条原使用华为软交换专用电话调度系统的城市轨道交通线路进行迁移,以及针对超期服役的旧系统的大修改造,最终上海城市轨道交通线网的专用电话调度系统将形成多套软交换专用电话调度系统融合使用的格局,用以均衡分担全线网所有线路的电话调度接入业务,降低故障发生后

对时间系统架构进行优化后,由于不再设置二级母钟设备,时间系统故障中直接减少了二级母钟故障,因而设施设备的年度故障总数将会明显减少。

3.3.3 设备维护成本降低

在既有时间系统架构中累积使用 417 套二级母钟设备,其中包括各弱电系统时间从机、各车站时间主机。优化后整个线网可以节省二级母钟设备备品备件的采购及维修费用;能减少对二级母钟设备维护的人员配置,进一步降低维护用工成本。

4 结语

本文对上海城市轨道交通线路级时间系统的架构进行了优化,对于提升时间系统的功能、降低时间系统设备的故障率、减少设备运维成本等方面有明显的收效。优化后的城市轨道交通时间系统完善了时间同步机制,为通信、信号、信息、综合监控等系统提供了统一的标准时间,为整个城市轨道交通的智能化发展建设打下更扎实的基础。

参考文献

[1] 孙晓明,孙中尉,牛得存. 基于 PTP 的时间同步系统可用性分析及优化策略[J]. 电工电气,2017(4):61.
SUN Xiaoming, SUN Zhongwei, NIU Decun. Availability analysis and optimization strategy for time synchronization system based on precision timing protocol[J]. Electrical Engineering, 2017(4): 61.

(收稿日期:2021-03-05)

的影响面,减轻维护工作的压力,确保实现专用电话调度系统安全、高效、平稳运行。

参考文献

[1] 梁雪梅,方晓农,杨硕,等. IMS 技术行业专网应用[M]. 北京:人民邮电出版社,2016:25.
LIANG Xuemei, FANG Xiaonong, YANG Shuo, et al. IMS technology in industry private network[M]. Beijing: Ports & Telecom Press, 2016:25.
[2] 徐培文,谢水珍,杨从保. 软交换与 SIP 实用技术[M]. 北京:机械工业出版社,2007:5.
XU Peiwen, XIE Shuizhen, YANG Congbao. Softswitch and SIP Practical Technology[M]. Beijing: China Machine Press, 2007:5.

(收稿日期:2021-03-25)