

上海轨道交通1号线信号系统大修倒接方案

戴翌清 张 凯

(上海地铁维护保障有限公司, 200070, 上海//第一作者, 高级工程师)

摘 要 目的:上海轨道交通1号线(以下简称“1号线”)自开通运营以来已经20多年,信号设备老化严重,需通过设备大修改造提升系统稳定性,然而地铁运营夜间施工时间紧张,信号系统调试倒换风险较大,更不能影响次日正常运营,故需寻找一种适合的信号系统倒接方案。**方法:**通过仔细分析施工调试工作步骤,结合1号线此次大修后仍采用原系统制式,白天运营和夜间测试共用的设备多,导致倒接开关需要数量多。传统使用倒接开关的方式操作时间长,操作步骤多,不确定性因素多,倒接风险较大,同时还要求每次施工后需全部倒回原系统运行。因此,在各种限制条件下新旧系统间的倒接方案成了确保安全的至关重要环节。经过分析论证,方案比选,现场试验测试后最终决定采用继电器替代传统倒接开关。**结果及结论:**利用继电器节点组成电路实现不同系统间的倒换,可以多节省25 min的夜间施工时间,并且在整个调试施工中未发生倒接错误。该方案更加适合1号线这类夜间调试施工时间短、倒接设备多、安全要求高的信号大修项目。

关键词 上海轨道交通1号线;信号设备;大修;倒接;施工风险

中图分类号 U231.7

DOI:10.16037/j.1007-869x.2023.07.039

Overhaul and Switchover Scheme of Shanghai Rail Transit Line 1 Signaling System

DAI Liqing, ZHANG Kai

Abstract Objective: Shanghai Rail Transit Line 1 (hereinafter referred to as 'Line 1') has been in operation for more than 20 years, and the signaling equipment is aging severely. The system stability needs to be improved through equipment overhaul and renovation. However, the night construction time is tight, and the risk of signaling system debugging and switchover is relatively high, which should not affect the normal operation of the next day as well. It is necessary to find a suitable signaling system switchover scheme. **Method:** By carefully analyzing the construction and debugging steps, taking into consideration that the original system is still used after the overhaul of Line 1, a lot of equipment are shared for daytime operation and nighttime testing, requiring a large number of swit-

chover switches. The conventional switchover switch needs a long operation time, multiple operation steps, having many uncertain factors and high risks during switchover connection. At the same time, it also requires a fully switchover operation to the original system after each construction. Under various limited conditions, the switchover scheme between the new and old systems has become a crucial link to ensure safety. After analysis, and argumentation, scheme comparison and on-site testing, it is ultimately decided to replace the conventional switches with relays. **Result & Conclusion:** Using relay nodes to form circuits for switching between different systems can save an additional 25 minutes of night construction time, and no switchover errors occur throughout the entire debugging construction. This scheme is more suitable for signaling system overhaul projects such as Line 1, which has short nighttime debugging construction time, a lot of switchover equipment, and high safety requirements.

Key words Shanghai Rail Transit Line 1; signaling equipment; overhaul; switchover; construction risk

Author's address Shanghai Metro Maintenance Support Co., Ltd., 200070 Shanghai, China

1 背景

上海轨道交通1号线(以下简称“1号线”)自1994年12月12日开通徐家汇站至新龙华站(现上海南站站)以来,已运营超过28年,期间经过6次延伸,信号系统逐步升级,现已形成线路全长为37.4 km,该线路贯穿上海2个火车站、人民广场及淮海路等重要交通枢纽和商业场所,以及考虑到1号线信号系统在部分线路上已达使用年限,故障率上升,同时,信号系统不统一,维护难度大,且运行稳定性不适合今后大规模网络化运营的需求,上海申通地铁集团有限公司决定对1号线部分线路进行大修改造。1号线信号系统设备投用年限一览表见表1。

表 1 1 号线信号系统设备投用年限一览表

Tab.1 Summary of Line 1 signaling system equipment service years

开通区段	区段内起讫车站	正式运行日期	开通里程/km
南段线路	徐家汇站—新龙华站	1994-12-12	5.00
一期	新龙华站—锦江乐园站	1995-04-10	16.10
南延伸段	锦江乐园站—莘庄站	1996-12-28	5.25
莘上段	莘庄站—上海火车站站	1997-07-01	21.35
北延伸段	上海火车站站—共富新村站	2004-12-28	12.50
北延伸段二期(北北延伸)	共富新村站—富锦路站	2007-12-29	6.00
总计			37.40

2 1 号线信号系统大修方案介绍

2.1 信号系统介绍

1 号线采用的是 GRS(美国通用铁路信号有限公司)的列车自动控制系统。其中,莘庄站—上海火车站站(不含上海南站站)采用的是 6502 继电联锁系统形成的联锁防护;上海南站站、中山北路站—富锦路站采用计算机联锁;全线采用模拟音频轨道电路,在岔区渡线采用二元二位轨道电路。音频轨道电路主要通过不同载频信号和调制信号来区分不同轨道的区段,避免同频干扰。同时使用不同的调制信号来实现不同的速度命令信息,通过钢轨、环线等轨旁设备传送给列车,以实现对列车速度的控制。轨旁设备沿线路设置主要包括阻抗联结器、调谐环线(4 英尺环线)、长环线和标志器线圈等。

2.2 本次大修内容

本次大修是将莘庄站—上海火车站站(不含上海南站站)目前使用的 6502 继电联锁改为计算机联锁。同时,莘庄站结合整体改造计划,重新做闭塞设计、轨道电路分割和频率分配;将原信号系统传输网络改为车地通信+本地 ATS(列车自动监控)方案,车站传输仅保留车地通信功能。在车站增设本地 ATS 模块,将除车地通信外的所有功能都移植到本地 ATS 和联锁设备中,以加强系统维护能力;非集中站增设一台 ATS 工作站,全线 ATS 升级后,所有车站均可查看邻站信息;采用全新电源屏和 UPS(不间断电源),使用双进线冗余方式,增加了电源系统稳定性,又实现了集中网管监控功能;新增微机监测系统,实现道岔关键参数监测;将原灯泡发车表示器更换为 LED(发光二极管)式;更换大修范围内的信号电缆,更新室内防雷接地设备。

3 倒接方案

3.1 倒接原则

1 号线是上海一条重要的轨道交通线路,所有夜间施工不得影响第二天的正常运营,这是大修倒接方案的最大原则,涉及到既有设备和线路的安装调试工作都需安排在夜间停运后进行。因此,改造实施的基本思路是设置倒接开关,对新旧设备进行倒接。白天运营时段,倒接开关处于“白天”位置,接通既有信号设备,保证线路运营正常;在运营结束后,倒接开关被调至“施工”位置,接通新系统进行调试,当天调式完成后再倒回“白天”位置。同时,因既有设备已经安装使用了 15 年以上,设备和连接电缆老化严重,改动可能会对既有设备造成不可恢复的损坏,比如电缆芯线的折断,会对运营造成很大的影响。为保证新旧信号设备倒接方案的顺利实施,在改造前还另外制定了以下几点原则:

- 1) 新信号设备室与既有信号设备室不宜相隔太远,二者之间的电缆走线距离不能超过 50 m;
- 2) 新机房和既有机房之间电缆径路、新机房和既有机房共用的至室外的电缆径路,以及各种相关的电缆井、电缆孔需有足够的容量,能同时容纳所有新电缆和既有电缆;
- 3) 大修改造需要在每个车站提供全新的信号系统电源,新的电源与既有的信号系统电源完全隔离,以保证新信号系统的实施对既有信号系统没有任何影响;
- 4) 大修改造需要在每个车站提供全新的接地系统,新的接地系统与既有的信号系统接地完全隔离,以保证新信号系统的实施对既有信号系统没有任何影响;
- 5) 预留充足的实施时间,每个施工点至少有

3.5 h。为此,在大修期间 1 号线取消了周末延迟运营,以保障足够的施工时间。

3.2 倒接方案

根据工程要求和特点,将大修分为 7 个步骤:①新机房准备;②新室外电缆、新旧机房联系电缆的敷设;③倒接开关安装;④新机房设备安装;⑤室外既有设备对新机房的调试,直至开通;⑥倒接开关拆除;⑦旧设备拆除。倒接步骤具体如图 1 所示。为快速地在白天运营状态与调试状态之间切换,减少调试工作对运营的影响,在新系统与既有系统之

间加装倒接开关。当倒接开关在“白天”位置时,对新机房的信号设备是电气隔离的,新机房内设备的部分调试工作可以照常进行,不会对运营造成影响;反之,当倒接开关在“调试”位置时,对既有机房的信号设备是电气隔离的,新机房内设备的调试工作不会对既有设备造成误动作和影响。倒接开关只应用于新、旧设备互相排斥的场合,对于可以不设置倒接开关的地方,尽量不要设置倒接开关,以减少倒接开关的数量和倒接的复杂度。

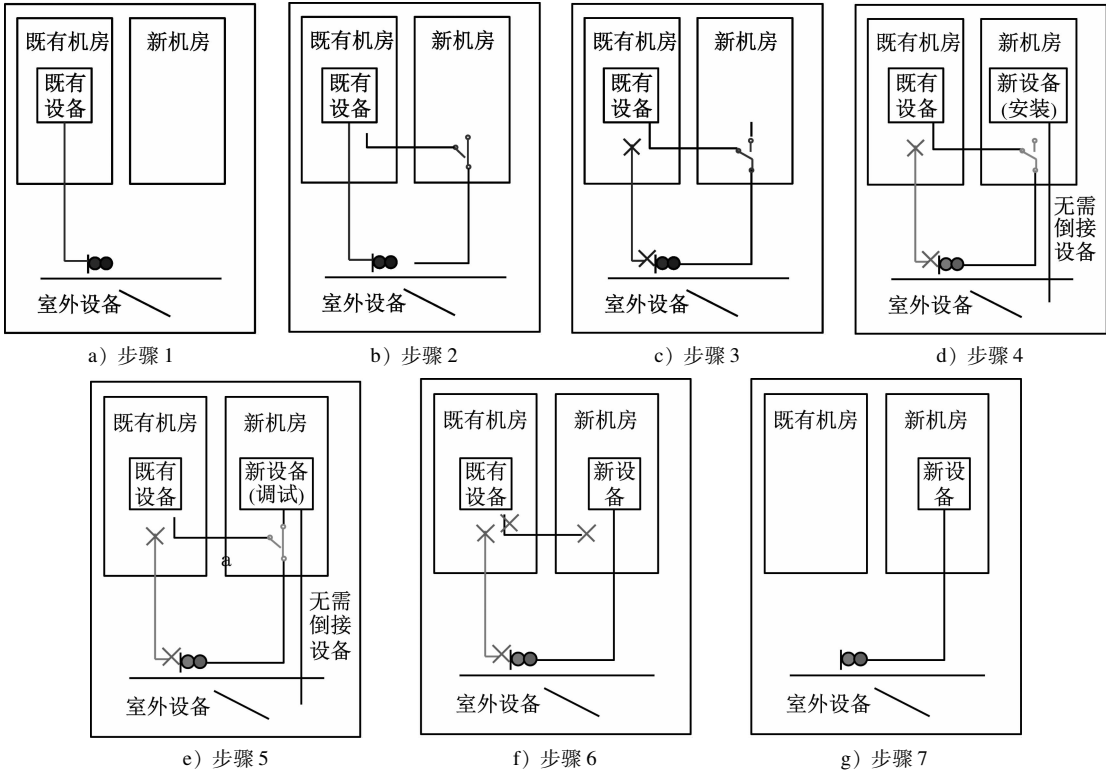


图 1 倒接步骤 1—步骤 7
Fig. 1 Inversion steps 1 to 7

各信号设备倒接要求如下:

1) 信号机和发车表示器。信号机和发车表示器不使用倒接开关进行倒接,新设置的信号机安装在既有信号机旁边,其电缆连接至新机房。在运营期间,新的信号机的灯光被有效遮挡,以免司机错误辨认信号而影响列车正常运营。

2) 道岔转辙机。在新机房未启用前转辙机通过倒接开关进行切换,决定是连接新机房进行调试,还是连接既有机房用于运营,一直到新机房开通使用为止。在新机房开通启用后,再考虑更新室外的电动转辙机。

3) 音频轨道电路。音频轨道电路室外设备包括阻抗连接器、终端接收器、4 英尺调谐环线和长环线。轨道电路设备的倒接都仅仅指安装在同一位置、型号完全相同的设备的倒接,对于新的设计与既有设计不在同一位置,或在同一位置但型号不同的设备,只能通过手工拆除既有设备、手工连接新设备的方法进行倒接,而不能使用倒接开关。

4) 二元二位轨道电路。二元二位轨道电路在信号机房设置倒接开关。

5) 标志器线圈。由于原系统标志器线圈的室外电缆是直接连接到系统机柜,不经由分线盘转

接,为了方便倒接的实施,在新系统的分线盘上增加了所有标志线圈所需要的端子,设置倒接开关。在倒接开关和新室外电缆启用前,需要对标志器线圈进行重新调试,以保证设备工作正常。

6) 紧急关闭按钮。采用新设站台紧急关闭按钮,直接连接到新机房,不采用倒接的方式。

7) 站台屏蔽门。信号系统和站台屏蔽门接口采用继电器电路的形式,在信号机房设置倒接开关。

8) 运营控制中心 ATS。在大修改造期间,中央 ATS 需要被切换,使得白天运营期间调度连接车站既有机房,夜晚调试期间连接车站新机房。ATS 系统倒接在中央信号机房采用手工进行,为此,重新敷设了一根从中央信号机房至车站的新机房的光纤通道。

3.3 继电器倒接开关方案

本次倒接的主要难度在于:旧系统已老化,大修施工不能对第二天的运营造成影响。因此,每次施工都需要在新旧系统间倒接,难以避免倒接过程中不发生错误。同时,GRS 信号系统在倒接过程中需有一定的逻辑时序,人工切换容易造成时序错乱,给夜间施工造成不必要的工作量。考虑以上几点困难后,经过反复分析研究,决定采用继电器节点作为倒接开关,利用继电器下节点作为“白天”位置,利用继电器上节点作为“调试”位置,该方案可很好地避免人为操作造成的故障,同时,也能保证在调试施工结束后能够完好地倒回到既有系统以维持运营。

根据 1 号线设备的特点,如采用传统倒接开关的方案,则需在信号机房安装 30~40 个倒接开关。正常施工情况下,完成一个车站的设备倒接,所有倒接开关操作到位并确认设备正常,约需要 12~15 min;施工结束后则需更长的时间恢复和确认工作。而采用继电器方案,夜间施工前仅需操作一把闸刀,新设备就能准确无误地倒接到新系统,等调试结束后也能很快地退回原系统,大大地节省了夜间原本紧张的施工时间。同时,考虑倒接操作时的安全,倒接开关往往选择安全且体积较大的开关,并采取安装防护箱等措施以防止白天操作。这样就多占用了机房面积,使得原本不大的施工空间更加狭小,造成施工空间的安全隐患。因此,对于设备较多、施工周期较长、夜间施工时间紧张的项目,使用继电器可减少倒接风险,保证施工过程的安全与准确。继电器倒接开关方案更适合 1 号线信号大修

项目。1 号线倒接方案对比如表 2 所示。

表 2 1 号线倒接方案对比表
Tab. 2 Comparison of Line 1 inversion scheme

比较项目	传统倒接开关方案	继电器倒接开关方案
倒接时间	较长	短
倒接工作量	大	少
倒接操作过程	复杂	简单
倒接施工准确性	不确定性较大	准确
适合的项目	设备较少,周期短,简单项目	设备较多,周期长,复杂项目

由于 1 号线使用音频轨道电路,其中列车检测采用 4 个载频为 2 625 Hz、2 925 Hz、3 375 Hz、4 275 Hz 和 2 个码率 2 Hz、3 Hz 调制的。速度命令发送信号采用载频为 2 250 Hz 的 8 个码率 4. 50 Hz、5. 50 Hz、6. 83 Hz、8. 31 Hz、10. 10 Hz、12. 43 Hz、15. 30 Hz、18. 14 Hz 调制的。在施工前存在使用继电器节点是否对载频信号有影响的顾虑,通过在现场大量测试后证明,继电器作为倒接开关完全不会对音频轨道电路造成影响,载频信号没有受到继电器节点影响,并且对环线等设备的数据信号也不造成影响。在方案设计时又考虑到一旦继电器断电,将会使系统“自动”倒接到旧系统,这对于已经启用新系统的设备来说将造成不可挽回的故障,为了解决该问题,在实施过程中,利用继电器 1、3 和 2、4 线圈分别接入不同来源的稳定电源,以避免继电器断电造成的故障风险。通过现场实践,整个大修期间倒接施工未发生因系统倒接错误造成的影响,对比传统倒接方式每次施工可节省 25~30 min 的倒接与确认时间。

4 结语

当新系统启用后,倒接继电器长期处于励磁状态,这个过程持续 3~4 个月,在这段时期里倒接开关的设备隐患仍旧影响运营。对于 1 号线这样的重要线路来说,此隐患也是难以接受的。对于今后的类似改造,可考虑使用极性保持继电器,利用极性保持继电器通电才动作的特性,即使继电器故障也不会对系统运行造成影响。极性保持继电器虽然减少了继电器的节点数量,需要使用的继电器数量增加了,但通过较小的代价解决了对白天运营的担忧。这对于高稳定性要求的地铁线路来说也是不

(下转第 219 页)

因列车无异常特征,根据多车区间发生 GR 故障,判定是供电系统出故障。后经查明是供电故障避雷器出现间歇式放电所致。

6.4 感应型 GR 故障

2016 年 7 月 1 日,重庆轨道交通 2 号线全线 17 列列车发生 GR 故障,变电所 64D 启动保护动作,列车降弓收车后故障消除。运营结束后,当夜排查全部运营列车以及供电系统,没有找到故障点。次日 06:54,全线 12 列车再次发生列车 GR 故障,继后间歇性引发全线 64D 启动保护动作,因一时无法迅速锁定故障,列车只能逐一复位断续维持运行。此故障造成多部门投入大量的人力物力进行全面排查,影响运营 48 h。

运用车站及区间多车发生 GR 故障的对应策略,基本锁定供电系统。后查明,此故障是供电系统的上网电缆受损造成高阻接地所致。

(上接第 214 页)

错的选择方案。

1 号线的倒接方案是根据现场设备复杂、施工时间紧张等限制因素而独创的,通过现场测试和实践验证已获得良好的使用效果,也为每天的施工调试创造了条件,在大修施工期间未发生过重大施工影响,保证了 1 号线信号大修施工的平稳过渡。随着轨道交通运行年限的不断增加,各线路也将迎来大修,为了设备大修过程中不影响第二天的运营,新旧系统间的倒接方案需要作重点研究和分析,并应针对不同系统不同设备的倒接工作逐项做好充足的方案,1 号线的倒接方案可为今后同类施工提供参考。

参考文献

- [1] 上海申通地铁集团有限公司轨道交通培训中心. 城市轨道交通信号技术[M]. 上海:中国铁道出版社,2012.

7 结语

通过多年的运营经验,对单轨车辆独有的 GR 保护机理与供电系统 64D 保护机理进行了深入分析,总结了两者之间相互影响、相互作用的关系,梳理了一套快速判定故障点的方法,以及处置的策略,并制定了故障车辆判定一览表,经实践运用,取得较好效果,为单轨交通的安全运营提供了有力保障。

参考文献

- [1] 周才发. 跨座式单轨交通直流牵引系统接地保护设计[J]. 都市轨道交通, 2010, 23(1): 93.
ZHOU Caifa. Earthing protection design of DC traction system for straddle monorail transit[J]. Urban Rapid Rail Transit, 2010, 23(1): 93.

(收稿日期:2021-02-02)

Rail Transit Training Center of Shanghai Shentong Metro Group Co., Ltd. Urban rail transit signaling technology[M]. Shanghai: China Railway Publishing House, 2012.

- [2] 王振信. 上海第一条地铁建设历程[J]. 城市轨道交通研究, 2021, 24(11): 彩 15.

WANG Zhenxin. Construction course of the first metro line in Shanghai[J]. Urban Mass Transit, 2021, 24(11): C15.

- [3] 曾智超, 林逢春. 上海地铁 1 号线沿线城市发展的实证研究[J]. 现代城市研究, 2005, 20(12): 26.

ZENG Zhichao, LIN Fengchun. Study on the city development in the region around Shanghai Metro No. 1[J]. Urban Research, 2005, 20(12): 26.

- [4] 张浩. 对上海轨交 1 号线信号设备改造方案的探讨与分析[J]. 地下工程与隧道, 2014(1): 37.

ZHANG Hao. Discussion and analysis on the reconstruction scheme of signal equipment of Shanghai Rail Transit Line 1[J]. Tunnel and Rail Transit, 2014(1): 37.

(收稿日期:2022-08-19)

欢迎投稿《城市轨道交通研究》

投稿网址:tougao. umt1998. com