

## 地铁接触网塌网时的行车组织优化

彭章硕<sup>1</sup> 何高元<sup>2</sup>

(1. 长沙市轨道交通集团有限公司, 410007, 长沙; 2. 长沙市轨道交通运营有限公司, 410133, 长沙)

**摘要** [目的] 无冗余的刚性接触网在发生塌网后, 须针对不同的塌网场景调整行车组织, 尽量将事件影响和财产损失降至最低。[方法] 发生接触网塌网事故后, 可通过手葫芦吊起故障接触网或将故障接触网切除等, 使得列车惰性通过故障点, 进而提高行车效率。通过对不同接触网塌网故障场景进行分析, 逐层递进地制定优化行车方案, 并进行现场实战演练, 收集数据进行对比分析, 在确保安全的前提下, 确定最终行车效率最高的方式。[结果及结论] 在临时抢修后, 基于故障具体场景, 由现场专业技术人员判断, 采用惰行通过、降单弓通过及惰行越站通过等方式, 维持线路运营状态, 提高行车效率。通过优化行车组织、临时抢修后的行车组织调整及线网行车组织的调整与配合, 大幅缩短了接触网塌网后的行车恢复时间, 降低了该类故障对地铁正常运行的影响。

**关键词** 地铁; 接触网; 塌网; 行车组织

**中图分类号** U292.4

**DOI**: 10.16037/j.1007-869x.2024.01.037

## Optimization of Train Operation Organization during Metro Catenary Collapse

PENG Zhangshuo<sup>1</sup>, HE Gaoyuan<sup>2</sup>

(1. Changsha Rail Transit Group Co., Ltd., 410007, Changsha, China; 2. Changsha Rail Transit Operations Co., Ltd., 410133, Changsha, China)

**Abstract** [Objective] In the event of a collapsed non-redundant rigid catenary, it is essential to adjust train operation organization according to different collapse scenarios, minimizing the impact of the incident and reducing property losses as much as possible. [Method] After the catenary collapse accident happens, by using methods such as manually hoisting the faulty catenary with a chain hoist or cutting off the faulty catenary, the train is allowed to pass the fault point in an inert state to improve train operation efficiency. Through the analysis of various catenary collapse fault scenarios, a progressive optimization scheme for train operation is formulated. Furthermore, on-site practical exercises are conducted, and data is collected for comparative analysis. Under the premises of ensuring safety, the optimal method for maximum train operation efficiency is determined. [Result & Conclusion] After temporary emer-

gency repairs, based on the specific fault scenario, on-site technical experts should determine the use of methods such as inert passage, single pantograph height adjustment passage, and inert station-overtaking passage to maintain the line operational state and enhance the train operation efficiency. By optimizing train operation organization, adjusting train operation organization after temporary emergency repairs, and coordinating with the adjustment of line network train operation organization, the time taken to restore train operation after catenary collapse is significantly reduced, minimizing the impact of such incidents on metro normal operation.

**Key words** metro; catenary; collapse; train operation organization

当前, 国内外大部分地铁线路普遍采用刚性接触网供电。而无冗余的刚性接触网在发生塌网故障后, 很可能引发局部停电事故。针对接触网塌网故障的主流故障应急抢修方法为: 拆除接触网的受损结构部件, 再根据现场情况来维修或更换故障部件。此过程耗时较长, 若行车组织不力, 将造成严重的延误事故。由此, 须根据塌网场景尽快调整行车组织, 尽可能将事件影响和财产损失降至最低。对此, 本文依照故障处理“先通后复”的原则, 根据不同场景, 逐层递进地对塌网故障后的行车组织进行优化, 从缩短故障处理时间、提高列车运行效率, 以期降低该类故障对地铁正常运行的影响, 为运营调度提供参考。

### 1 传统行车组织

当发生接触网塌网事故并导致供电分区停电时, 传统行车组织为: 行车调度人员在控制中心通过中央 ATS(列车自动监控) 系统立即扣停开往停电分区及故障区域的列车; 若前方站台接触网无电, 则通知司机在区间停车退回发车站, 并组织正常区域列车按照运营单位既有规章的要求, 在接触网发生故障时以小交路、单线双方向或公交接驳方式行车; 若现场专业人员判断抢修时间超过规定时



间,则组织区间列车乘客进行隧道疏散。可见,传统行车组织方式会严重影响列车运行效率。

2 临时抢修后的行车组织优化

针对现有接触网塌网故障的主流抢修方法故障处理耗时较长的问题,本文依照故障处理“先通后复”的原则,对塌网故障后的行车组织进行优化。从缩短故障处理时间、提高列车运转效率着手,先使用手葫芦将故障接触网拉起再固定,或将故障接触网切除,再根据不同场景来组织列车惰行通过故障区域,出清线路。为降低故障影响,临时抢修后应尽量维持运营行车组织。

2.1 组织迫停列车出清线路

2.1.1 故障点前停有列车

临时抢修后,先由现场专业人员确认故障点前停有列车;之后,由控制中心行车调度人员命令列车司机采用惰行方式或降升单弓方式通过故障点。

若列车采用惰行方式或降升单弓方式均无法通过故障点,则行车调度人员组织列车退回发车站或其后方站;待列车出清区间后,再按运营单位既有规章中的场景执行组织行车。

2.1.2 塌网故障点下方停有列车

经现场抢修人员确认,当塌网故障点下方停有列车时,先由电力调度员确认接触网无电,再由车站工作人员协助司机按规定流程组织乘客疏散。列车乘客区间疏散完毕后,由现场抢修人员确认故障现场具备工程车救援条件,并由行车调度人员组织工程车将列车推进(牵引)回车辆段或停车场(以下简称“场段”)。故障点列车出清后,再按运营单位既有规章中的场景执行组织行车。

2.2 维持运营的行车组织

2.2.1 故障点在区间

2.2.1.1 惰行通过

发生塌网故障后,若现场专业技术人员判断列车具备惰行通过故障点条件,则设置降弓标志与升弓标志。指示标志的设置位置需计算得出。由运营单位在非运营期间按初始速度为 40 km/h 及 60 km/h 分别进行列车惰行测试得到列车运行速度  $v$ 、线路坡度  $i$  及惰行运行距离  $l$  等相关数据,并按实际情况预留安全距离裕量,根据列车惰性运行的停车距离及停车时间的经验公式<sup>[1-2]</sup>,计算得出全线升弓和降弓位置。长沙某线路区间列车惰行测试得到的部分数据如表 1 所示。

表 1 长沙某线路区间列车惰行测试数据(部分)  
Tab. 1 Test data for train coasting in a certain line interval in Changsha (partial)

惰行初速度/ (km/h)	坡度关键点 里程标	$v/(km/h)$	$i/\%$	$l/m$
60	K20 + 400	59.0	4	
	K21 + 250	40.9	4	850
	K21 + 740	53.3	-18	490
	K22 + 310	39.9	5	570
	K22 + 600		-2	290
	K22 + 850		-25	200
	K23 + 450		-11	600
	K24 + 780		-20	260
40	K25 + 040	58.0	-20	260
	K20 + 400	40.0	4	
	K21 + 250	14.6	4	850
	K21 + 740	40.0	-18	490
	K22 + 310	24.4	5	570
	K22 + 600		-2	290
	K22 + 850		-25	200
	K23 + 450		-11	600
	K24 + 780		-20	330
	K25 + 040	52.8	-20	260

注: $i$  以向上为正,向下为负。

行车调度人员组织 1 列空车进行惰行通过故障点测试。司机接行车调度的命令后,采用手动驾驶模式将测试列车运行至相关指示标志处,按指示标志的要求操作降弓、升弓,惰行通过故障点。确认测试列车惰行通过后,继续组织后续其他列车惰行通过故障点,以维持线路运营。列车惰行通过故障点时的行车组织示意图如图 1 所示。

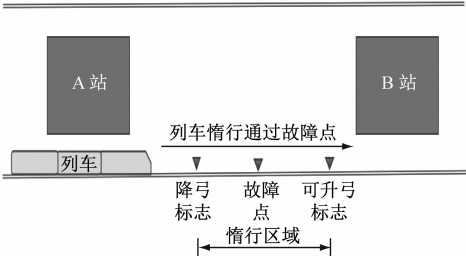


图 1 列车惰行通过故障点时的示意图  
Fig. 1 Diagram of train passing fault point in inert state

2.2.1.2 降升单弓通过

经现场专业人员判断,若列车不具备惰行通过



故障点条件,仅具备降升单弓通过故障点条件,则设置降前弓标志、升前弓及降后弓标志、升后弓标志。由司机采用手动驾驶模式将列车运行至相关指示标志处,按要求降、升相应受电弓,在载客状态下惰行通过故障点后,恢复正常速度运行,从而维持线路运营。列车降升单弓通过故障点的示意图如图 2 所示。

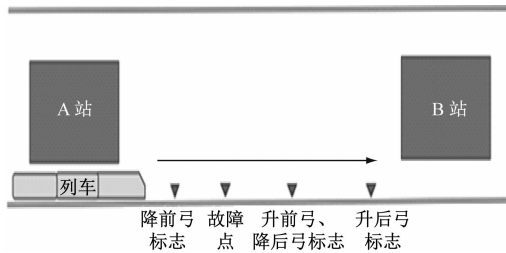


图 2 列车降升单弓通过故障点的示意图

Fig. 2 Diagram of train adjusting single pantograph height to pass the fault point

### 2.2.1.3 惰行越站通过

经现场专业人员判断,若列车既不具备惰行通过故障点条件,也不具备降升单弓通过故障点条件,则由现场专业技术人员设置降弓标志与可升弓标志,由行车调度人员发布全线列车在故障点前一站不停站通过的调度命令,司机采用手动驾驶模式将载客列车运行至相关指示标志处,并按要求降、升受电弓,惰行通过故障点;之后列车恢复正常速度运行至下一站。下一站仍继续正常运营(需提前安排空车测试,待空车安全通过后方可载客运送)。

当行车调度发布全线列车在相关车站不停站通过的命令后,司机及相关车站工作人员应做好乘客引导工作,及时引导乘客通过换乘来绕行故障点到达目的地。

列车降升单弓载客运行通过故障点及乘客换乘绕行的示意图如图 3 所示。

### 2.2.2 故障点在站台

#### 2.2.2.1 降升单弓通过

当车站站台范围内发生塌网故障时,经现场专业人员判断,若列车具备升前弓或降升单弓出站的条件,则在站前适当位置设置降弓标志。司机采用手动驾驶模式将载客列车运行至降弓标志处,并按要求降下受电弓,惰行进站并停车。站台作业完毕后,升前弓或按位于站台司机立岗处的现场专业技术人员要求降、升弓载客通过故障点后,恢复正常速

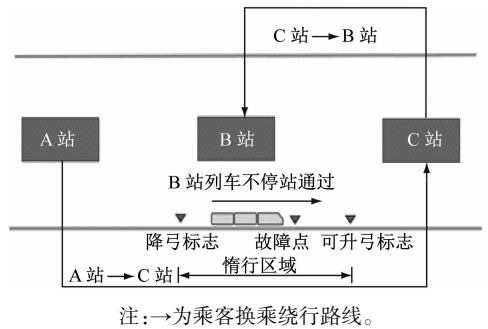


图 3 列车降升单弓载客运行通过故障点及乘客换乘绕行的示意图

Fig. 3 Diagram of train adjusting single pantograph height to pass the fault point with passengers onboard and passengers rerouting by interchange

度、维持运营。降升单弓载客通过故障点的示意图如图 4 所示。

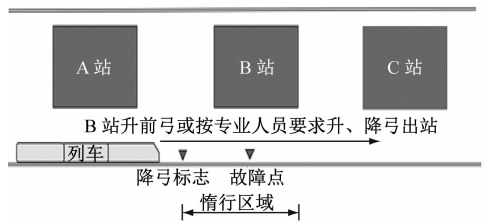


图 4 降升单弓载客通过故障点的示意图

Fig. 4 Diagram of adjusting single pantograph height to pass the fault point with passengers onboard

### 2.2.2.2 惰行越站通过

当车站站台范围内发生塌网故障时,经现场专业人员判断,若列车不具备升弓出站条件,则行车调度人员发布全线列车在相关车站不停站通过的调度命令,并由专业人员在站前及站后适当位置设置降弓标志及可升弓标志。司机采用手动驾驶模式将载客列车运行至相关指示标志处,并按要求降、升受电弓,惰行通过故障点所在车站,并继续运行至下一站。列车降升单弓载客运行通过故障点车站示意图如图 5 所示。

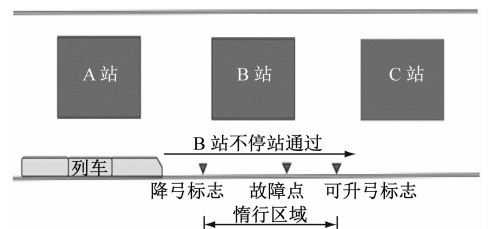


图 5 降、升受电弓惰行通过车站

Fig. 5 Lowering and lifting pantograph to pass the station in inert state



行车调度人员发布全线列车在相关车站不停站通过的命令后,司机及相关车站工作人员应做好乘客引导工作,及时引导乘客通过换乘来绕行故障点到达目的地。

3 线网行车组织的调整与配合

在城市轨道交通线网中,一旦某条地铁运营线路发生接触网塌网事故,则势必会影响整个线网的乘客服务质量。此时,线网控制中心需通过 PIS(乘客信息系统)发布相关信息并播放车站广播,引导乘客通过线路换乘来抵达目的地。邻线应根据客流情况及时组织加开列车上线,以缓解客流压力。

4 结语

目前,我国地铁应对接触网塌网抢修的方案基本采用传统的行车组织,一般需要 3~6 h<sup>[1-2]</sup>,耗时较长,对运营秩序影响较大。因此,本次对接触网塌网应急处理的研究应突破传统做法,大胆创新。一是在针对接触网塌网行车组织应急研究,如:利用动力学原理及借鉴国铁机车过相邻两个供电段的分相绝缘处(中性处),降下受电弓运行做法,维持接触网塌网不中断运行,待运营结束后再组织接触网恢复抢修。二是研究接触网塌网各专业联动应急预案,力求将刚性接触网塌网应急处理整体时间缩短 1 h 内甚至更短。

参考文献

[1] 唐刚,刘川容. 重庆单轨交通车体接地故障研究及处置策略[J]. 城市轨道交通研究, 2023, 26(7): 215.

(上接第 205 页)

[2] 于杰. 电气化铁路接触线定位点抬升量在线监测系统[D]. 北京: 北京交通大学, 2012.  
YU Jie. The registration point uplift monitoring system of the contact wire in electrified railway[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2012.

· 收稿日期:2020-11-05 修回日期:2023-10-20 出版日期:2024-01-10

TANG Gang, LIU Chuanrong. Chongqing monorail transit carbody grounding fault and treatment strategies[J]. Urban Mass Transit, 2023, 26(7): 215.

[2] 卫妍,潘彩霞,周爱萍. 地铁接触网失电故障下运营交路设计及调整[J]. 无线互联科技, 2023, 20(13): 165.  
WEI Yan, PAN Caixia, ZHOU Aiping. Design and adjustment of operation routing under the power loss of catenary in subway[J]. Wireless Internet Technology, 2023, 20(13): 165.

[3] 魏光华. 电气化铁路接触网故障原因及其防护措施分析[J]. 科技与创新, 2021(5): 161.  
WEI Guanghua. Cause analysis of catenary fault in electrified railway and its protective measures[J]. Science and Technology & Innovation, 2021(5): 161.

[4] 冯志亮. 地铁供电系统中刚性接触网故障及防范[J]. 工程建设与设计, 2020(8): 86.  
FENG Zhiliang. Failure and prevention of rigid catenary in metro power supply system[J]. Construction & Design for Engineering, 2020(8): 86.

[5] 张格学. 地铁供电故障的调度应急指挥[J]. 现代城市轨道交通, 2017(6): 46.  
ZHANG Gexue. Dispatching emergency command under metro power supply failure[J]. Modern Urban Transit, 2017(6): 46.

[6] 栾文波. 提高行车调度员应急处置能力的对策[J]. 城市轨道交通研究, 2009, 12(7): 66.  
LUAN Wenbo. Improving the disposal capability of traffic dispatching in emergency[J]. Urban Mass Transit, 2009, 12(7): 66.

· 收稿日期:2021-06-29 修回日期:2021-08-23 出版日期:2024-01-10  
Received:2021-06-29 Revised:2021-08-23 Published:2024-01-10  
· 通信作者:彭章硕,高级工程师, szmc271@163.com  
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议  
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

Received:2020-11-05 Revised:2023-10-20 Published:2024-01-10  
· 第一作者:卢建军,高级工程师, Email: lu\_jj@ecidi.com  
通信作者:鲍艳,副教授, Email: baoy@bjut.edu.cn  
· ©《城市轨道交通研究》杂志社,开放获取 CC BY-NC-ND 协议  
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

欢迎访问《城市轨道交通研究》网站  
www.umt 1998.tongji.edu.cn