

中低速磁浮列车运行模式及其转换规则要求

杨明华

(中铁建电气化局集团第四工程有限公司, 410116, 长沙//高级工程师)

摘要 中低速磁浮列车的运行模式及转换规则对列车运营效率及运营安全至关重要。结合长沙磁浮快线工程实践及相应的标准规范,提出了适用于中低速磁浮列车的运行模式及其转换原则。研究成果有助于避免未来出现多城市中低速磁浮列车运行模式标准不统一的情况,有助于提高中低速磁浮列车的运营效益。

关键词 中低速磁浮交通; 信号系统; 运行模式; 转换规则

中图分类号 U268.4; U237

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.01.010

Operation Mode and Transition Principle for Medium and Low Speed Maglev Train

YANG Minghua

Abstract The operation mode and transition rules for medium and low speed maglev train is crucial to the train operation efficiency and operation safety. According to the engineering construction and related standard regulations of Changsha Maglev Express, the operation mode and transition rules adapting to the medium and low speed maglev train are proposed. Aiming at avoiding the future non-uniformity of operation mode standards for medium and low speed maglev train in more cities, the research result helps to improve the overall operation interests of the medium and low speed maglev train.

Key words medium and low speed maglev; signaling system; operating mode; transition rule

Author's address The Fourth Engineering Co., Ltd., China Railway Construction and Electrification Bureau Group, 410116, Changsha, China

随着应用技术成熟程度的不断提高,中低速磁浮交通系统作为一种新型轨道交通制式,逐步成为城市规划者关注的重点。长沙磁浮机场快线是我国首条具备完全自主知识产权的中低速磁浮示范线,其成功运营标志着我国在中低速磁浮技术方面的研究取得了突破性进展。借鉴目前城市轨道交通列车已有运行模式的应用经验,同时为避免出现多城市运行模式标准不统一的缺陷,本文针对中低

速磁浮列车运行模式进行研究分析,结合相应的标准规范,提出适用于中低速磁浮列车的运行模式及其转换规则。

1 中低速磁浮列车运行模式

作为一种新型交通方式,中低速磁浮列车也属于城市轨道交通,其与地铁的区别在于,地铁列车的支撑和导向依靠的是车轮与钢轨之间的相互作用来实现,而中低速磁浮列车则是依靠悬浮电磁铁与轨道间的电磁力来实现支撑、导向和驱动。由于中低速磁浮列车的牵引动力同样来自列车,因此,两者的信号系统有很大的相似之处。因此参照地铁的运行模式,并考虑中低速磁浮列车未来的发展方向,本文根据信号系统运行模式的不同提出以下几种中低速磁浮列车的运行模式:全自动运行模式(FAO)、常规ATO(列车自动运行)模式(CM)、受监督的人工运行模式(SM)、限制人工运行模式(RM)、非限制人工运行模式(NRM)。

1.1 FAO 模式

FAO 模式下,列车按照信号系统中ATO子系统的控制自动运行,其运行安全由ATP(列车自动保护)子系统通过计算速度防护曲线来进行防护。此模式下,人工参与程度最少,系统自动化程度最高,因此也是最高级别的列车运行模式。FAO 模式下,列车运行完全不需人工控制,当列车离站条件满足时,列车在信号系统的控制下自动运行。

1.2 CM 模式

CM 模式下,列车运行也是由ATO控制,由ATP子系统负责其运行安全防护。与FAO模式不同的是,此模式下,当列车运行条件满足时,需要人工启动列车运行,一般是由司机按压ATO启动按钮实现,系统完成所有的驾驶、检测、监测、控制工作,司机只需要监视设备的运营状态是否正常。CM模式的自动化程度较FAO模式略低一些。

CM 模式又可分为点式ATO模式和连续式

ATO 模式,具体区别在于列车在运行过程中接收到的移动授权的不同。当线路不具备无线通信条件、只在轨旁设置相应数量的应答器,车载设备也只有经过应答器时才能接受到对应的移动授权时,即为点式移动授权,这种情况下的 ATO 模式即为点式 ATO 模式;连续式 ATO 模式则是列车全线都具备无线通信条件,列车在运行全程都能接收到移动授权。当列车驶入对应的区域后,需要根据实际的线路设备条件自动或手动切换至对应的运行模式。

1.3 SM 模式

SM 模式下,列车运行由司机在 ATP 系统的防护下控制,ATP 子系统将列车当前速度、限制速度、目标速度以及目标距离等参数显示到列车驾驶室人机交互界面上,司机根据对应的显示信息操作列车运行。在 SM 模式下,司机要严格按照 ATP 提供的限速控制列车;一旦列车超速,系统自动实施不可人工缓解的紧急制动直至停车;列车完全停下

后,方可重新启动列车。

1.4 RM 模式

RM 模式分为限制向前人工运行模式(RMF)和限制向后人工运行模式(RMR)。RMF 模式下,ATP 子系统不受轨旁设备的指挥,而是提供一个固定的速度(一般为 25 km/h),司机根据显示器显示限速操控列车。当列车超速后,车载设备将会自动实施不可缓解的紧急制动。RMR 模式,或称人工倒车模式,与逆向行驶不同,此时司机所处的位置与列车运行的方向相反,如图 1 所示。这种模式一般只用于救援模式或者维修模式下列车由于特殊原因越过指定停靠点,需要退行至指定位置。在此模式下,列车一般允许由司机控制以很低的速度(一般为 5 km/h)反向退行,退行距离一般不超过 10 m;当速度超过限制或者达到最大退行距离时,车载 ATP 子系统将会触发紧急制动。

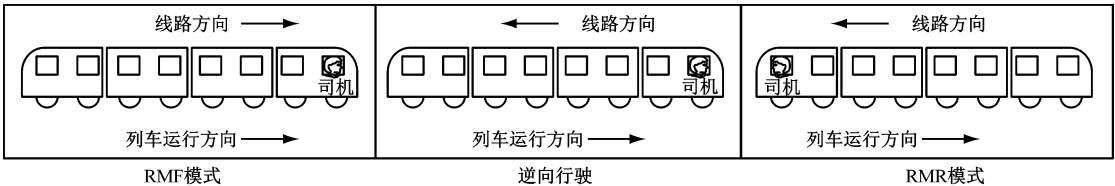


图 1 列车运行方向示意图

1.5 NRM 模式

NRM 模式是所有运行模式中自动化程度最低的模式。此模式下,车载信号设备处于切除状态,列车运行和安全防护全部依靠司机来控制,司机根据调度命令和地面信号机显示来驾驶列车;列车车载系统没有超速防护功能,列车安全运行由司机全权负责。这种模式一般仅用于救援模式。

2 中低速磁浮列车运行模式转换原则

2.1 列车运行模式转换

中低速磁浮列车运行模式的转换大体上分为升级运行模式转换和降级运行模式转换 2 种。在本文提出的 5 种中低速磁浮列车运行模式中,FAO 模式的自动化程度最高,人工参与度最低;NRM 模式的自动化程度最低,人工参与度最高。将从自动化程度低的运行模式向自动化程度高的运行模式的转换称为升级运行模式转换,简称升级转换;将从人工参与度低的运行模式向人工参与度高的运行

模式的转换称为降级模式转换,简称降级转换^[1]。

升级转换时,可能存在由于设备状态不满足自动化程度高的运行模式而导致模式转换失败的情况;升级转换之后,为了防止出现司机误以为运行模式已经升级转换成功的情况,对列车的控制以及列车安全防护的责任降低,需要通过明显的声光信号来提醒司机转换的结果,在司机确认之前,系统应维持之前的运行模式。

降级转换一般可分为 2 种情况:由于车载设备故障、通信故障或者列车进入车地通信不能满足高等级运行模式需求的区域;由于其他的特殊原因需要人工控制列车,由人工请求运行模式降级转换。

一般情况下,降级转换只发生在救援或者维修模式下。在降级转换完成后,也需要通过相应的信号显示来提示司机转换结果。

2.2 列车运行模式转换过程

根据 CJJ/T 255—2017《中低速磁浮交通运行控制技术规范》,中低速磁浮列车运行模式转换应

符合以下规定^[6]：

- 1) 在维修区和正线之间的分界处应设置运行模式转换区(HOP 点),从维修区进入正线时进行升级转换,从正线进入维修区时进行降级转换;
- 2) 当列车进入运行模式转换区时,车载人机设备应给出相应的模式转换提示;

3) 应能实现不停车的情况下转换列车运行模式。

2.3 列车运行模式转换规则要求

中低速磁浮列车不同运行模式相互之间转换过程如图 2 所示。根据图 2 所示,中低速磁浮列车运行模式的转换规则具体描述如表 1~3 所示。

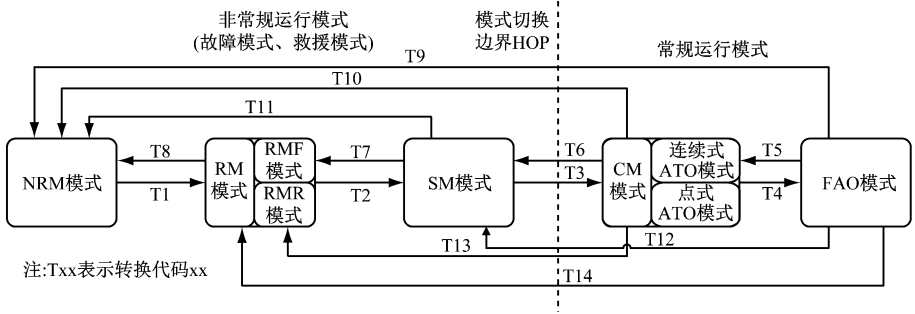


图 2 列车运行模式转换关系示意图

列车运行模式顺序升级转换具体描述见表 1。升级转换完成后,列车运行的自动化程度提高,列车运行的安全责任更多地由列控系统承担,从而降

低了工作人员的劳动强度,但该转换结果必须得到人工确认,并记录在运行日志中。

表 1 列车运行模式的顺序升级转换规则描述

转换代码	转换规则描述
T1	从 NRM 转换到 RM 模式属于升级转换,需要确定 ATP 工作正常,将 ATC(列车自动控制)切除开关由“切除”扳到“ATC”位置,ATP 启动后的默认工作模式为 RM 模式
T2	从 RM 转换到 SM 模式属于升级转换,此时,车载 ATP 子系统接收到一个有效的移动授权(点式或连续式),ATP 子系统能够提供列车安全防护功能,使得列车可以从 RM 模式升级转换到 SM 模式
T3	从 SM 模式转换为 CM 模式为升级转换,列车从需要司机参与到完全由信号系统控制,此时需要保证列车能接收到连续移动授权并且信号系统各设备均满足相应的状态需求,司机通过按压 ATO 启动按钮来实现模式转换
T4	从 CM 模式转换至全自动模式为升级模式转换,司机的驾驶责任降低。为避免出现司机误认为模式转换成功的情况,模式转换后,系统应采取醒目的提示反映模式转换结果,并需司机人工确认。若转换成功后,列车在 ATO 的控制下驶离车站,司机需确认保持 FAO 模式。如果司机未确认保持 FAO 模式则系统运行模式自动降级

列车运行模式顺序降级转换规则具体描述见表 2。列车运行模式在完成降级转换后,列车运行自动化程度降低,人工安全责任增大。因此,模式转换后,系统必须给出声光提醒。

列车运行模式异常转换或跨模式转换规则具体描述见表 3。列车运行过程中,一旦出现影响运行模式的设备故障或运行异常情况,将触发异常转换或跨模式转换。

中低速磁浮列车运行模式转换规则描述,也为中低速磁浮列车运行控制和安全防护的研究和实现提出了要求。中低速磁浮列车的运行控制和安全防护过程必须与列车运行模式相匹配,并符合运行模式转换的规则要求。

3 结论

1) 适合于中低速磁浮列车的运行模式包括 NRM、RM、SM、CM、FAO,涵盖了人工控制到全自动控制所有过程。

2) 运行模式转换中,升级转换只能逐级提升,即只允许依次按 NRM 模式→RM 模式→SM 模式→CM 模式→FAO 模式的顺序切换,不允许越级切换。这是因为在升级转换时,系统的人工参与度逐渐降低,自动化程度提高对设备的要求也越来越高,逐级切换能更好地保证列车的运行安全。降级转换的条件一般是设备故障或其他原因需要人工操作列车,大部分情况下不能保证设备故障后能满

表 2 列车运行模式的顺序降级转换规则描述

转换代码	转换规则描述
T5	从 FAO 模式转换为点式 ATO 模式属于降级转换,一般是由于列车无法接收到连续移动授权,导致列车不能保持较高等级运行模式,因此需要降级运行
T6	从 CM 模式切换为 SM 模式属于降级转换,只有当车辆的牵引/制动手柄处于零位且方向手柄处于前进位时,ATO 才能被使用。司机只要改变上述手柄的位置即可退出 CM 模式,转换到 SM 模式。一般在以下条件下进行转换:①ATO 子系统故障,ATP 子系统工作正常,车地通信畅通。这种情况下,应实现运行模式不停车转换,列车在运行过程中自动完成,不需要司机确认。②其他需要人工控制列车的特殊情况下。这种情况下,一般处于紧急状态,因此转换过程应迅速准确,不应有太多确认程序,一般通过控制手柄实现。转换成功后,也有相应的转换成功的提示
T7	当车载设备故障,列车无法实现 SM 模式驾驶时,列车将会降级为 RM 模式。此模式下,司机的安全责任进一步提高。在系统要求转换后,列车控制系统自动将车速降至某一固定速度(一般为 25 km/h)之下。若未收到司机的确认,则系统在一定时间后自动实行紧急制动,将列车停至最后一次接收到的移动授权的许可位置上。在 RM 模式下,ATP 只提供固定的限速防护。转换为 RM 模式的条件一般为:①任何致使不能维持当前运行模式的故障都将导致在司机确认后转换到 RM 模式,例如测速设备故障;②由于列车离开点-连式、点式区域导致转换到联锁级等级,运行模式被限制为 RM;③车载子系统收到一个有效点式移动授权但其长度为零,因此导致转换到 RM;④车地无线通信或地面设备出现故障,经司机确认后降级到 RM 模式
T8	RM 模式降级为 NRM 模式。NRM 模式下,司机对列车运行安全完全负责,因此这种降级转换不允许系统自动完成,必须由人工请求,并且需要特殊的人工授权方可转换。此时,一般是由于出现 ATP 故障或其它原因,将 ATC 切除开关由“ATC”扳到“切除”位置

表 3 列车运行模式的跨模式降级转换规则描述

转换代码	转换规则描述
T9/T10/T11	从 FAO 模式、CM 模式、SM 模式转换至 NRM 模式。一般是由于 ATP 故障、车地通信故障或者其他原因导致车辆的车载设备故障,通过将 ATC 切除开关由“ATC”扳到“切除”位置来实现模式切换。NRM 模式是全人工模式,因此其转换过程需要人工确认,而且需要特殊授权
T12	FAO 模式转换为 SM 模式。司机只要改变上述手柄的位置即可转换到 SM 模式。此为降级模式转换,一般在以下条件下进行转换:①ATO 子系统故障,ATP 子系统工作正常,车地通信畅通。这种情况下,应实现运行模式不停车转换,且有列车在运行中自动完成,不需要司机确认。②其他需要人工控制列车的特殊情况下。这种情况下,一般处于紧急状态,因此转换过程应迅速准确,一般通过控制手柄实现。转换成功后,也有相应的转换的成功提示
T13/T14	自动运行模式切换到 RM 模式。此时车载 ATP 设备出现故障,列车 ATP 无法完成安全防护功能。由于当前转换人工参与度增加,因此需要司机确认,一般只在救援或者维修模式下使用

足低一级运行模式,因此降级切换允许越级切换。

3) 在所有的模式转换中,转换成功后都需要给出明显的提示。列车由于设备故障或者进入控制等级较低的区域而自动进行的降级转换不需要司机确认。而升级转换则需要经过司机确认之后才可实行,在升级转换命令发出后,若司机未确认,则默认保持当前较低等级的运行模式。

中低速磁浮列车由于其运行时噪声小、爬坡能力强、造价低等优势,在未来的城市公共交通体系中将有很大的应用前景。通过合理设置列车运行模式,规范、统一相应的标准,能在很大程度上提高其运营效益、提高中低速磁浮列车的运营安全、降低司机的劳动强度以及节约运营成本等。本文提出的中低速磁浮列车运行模式及其转换规则描述,为中低速磁浮列车的运行控制和安全防护研究提

供了理论基础。

参考文献

[1] 刘涛. CBTC-RF 信号系统下的驾驶模式及转换原则[J]. 铁道通信信号,2009,45(11):4.

[2] 陈恒宇. CBTC 信号系统下的驾驶模式及转换原则[J]. 铁路通信信号工程技术,2010,7(6):58.

[3] 辛骥,陈微. Trainguard MT 系统列车驾驶模式讨论[J]. 铁道通信信号,2010,46(1):25.

[4] 崔亦博,焦怡博,孙旺,等. 城市轨道交通列车驾驶模式切换研究[J]. 铁道运输与经济,2017(4):78.

[5] 洪海珠. 城市轨道交通信号系统列车驾驶模式及转换要求研究[J]. 城市轨道交通研究,2016(11):56.

[6] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 中低速磁浮交通运行控制技术规范中低速磁浮交通运行控制技术规范:CJJ/T 255—2017[S]. 北京:中国标准出版社,2017.

(收稿日期:2019-10-25)