

# 城市轨道交通全自动运行线路的运营方式及运营指标要求

尹聪聪

(上海申通轨道交通研究咨询有限公司, 200070, 上海//工程师)

**摘要** 通过梳理 FAO(全自动运行)系统以及不同列车运行方式的标准定义,阐述了对相关术语的理解。比较了不同列车运行方式的差异,并在此基础上策划了线路实现 UTO(无人值守的列车全自动运行)的运营路径。探索 FAO 线路的运营指标要求,提出了实现 UTO 的运营路径中各阶段运营指标值的要求。

**关键词** 城市轨道交通;全自动运行线路;运营方式;运营指标要求

**中图分类号** U29-19

**DOI**:10.16037/j.1007-869x.2021.07.040

## Operation Modes and Index Requirements of Fully Automatic Operation Lines in Urban Rail Transit

YIN Congcong

**Abstract** By sorting the standard definitions of fully automatic operation (FAO) system and different train operation modes, the understanding of related terms is expounded. The differences among operation modes of different trains are compared, on the basis of which the route to realize UTO operation is designed. The operation index requirements of FAO line are explored, and the requirements of achieving the operation index goals at each stage in UTO operation path are elaborated in detail.

**Key words** urban rail transit; fully automatic operation (FAO) line; operation mode; operation index requirements

**Author's address** Shanghai Shentong Rail Transit Research & Consultancy Co., Ltd., 200070, Shanghai, China

近年来,我国有越来越多的城市轨道交通全自动运行线路建成投运。对于线路运营单位而言,采用何种方式运营全自动运行线路,以及如何在确保安全的前提下充分发挥系统优势,为线路运营带来运营效益,是个值得探讨的复杂问题。线路运营指标是影响运营效益的一个重要部分。运营单位在

考虑选取全自动运行线路运营方式时,需对线路运营指标值进行衡量。本文将对全自动运行线路不同运营方式的运营指标要求进行讨论。

## 1 全自动运行线路的运营方式

广义的线路运营方式包含线路各运营业务板块的运营方式,如线路客运组织方式、票务组织方式、列车运行方式和设备维保方式等。本文讨论的全自动运行线路运营方式主要指线路运营列车的运行方式,是狭义的线路运营方式。

关于全自动运行线路及其列车运行方式的定义,国内外相关标准<sup>[1-3]</sup>均有表述。业内将采用 DTO(有人值守的列车全自动运行)或 UTO(无人值守的列车全自动运行)列车运行方式且拥有独立路权的轨道交通系统,称为自动化的城市轨道交通(Automated Urban Guided Transport,简称 AUGT)<sup>[1-2]</sup>,或全自动运行系统(Fully Automatic operation System,简称 FAO 系统)<sup>[3]</sup>。其中,关于 DTO(Driverless Train Operation)的定义在相关标准中存在差异:IEC(国际电工委员会)及我国推荐的标准<sup>[1-2]</sup>表述为:列车上配置的值守人员仅在故障和应急情况下介入列车运行,不负责监视路况和紧急制动操作,正常运行所有功能均由系统实现;列车值守人员操作可包括关闭正常运行中的停站列车车门及起动列车。中国城市轨道交通协会制定的行业标准<sup>[3]</sup>表述为:列车在配置车上值守人员的条件下的运行,正常运行所有功能均由系统负责,车上值守人员仅在故障和应急情况下介入列车运行。

根据有关标准<sup>[1-3]</sup>,GOA3(自动化等级3)系统可实现列车 DTO 运行。但 GOA3 系统没有列车状态远程监控功能,因此 DTO 运行列车必须配备值守人员监控列车状态。从目前国内 FAO 线路(本文采用中国城市轨道交通协会制定的行业标准表述)

列车 DTO 运行情况来看,虽然 GoA3 系统具有轨行区障碍物探测功能,但司机室值守人员不仅要负责监控列车状态,而且要负责监视路况和紧急制动操作。这是线路管理者从值守人员管理及列车运行安全角度出发作出的决策结果。中国城市轨道交通协会制定的行业标准<sup>[3]</sup>的 DTO 列车运行定义表述中,弱化了列车值守人员职责描述,更切合实际运营情况。

而关于 UTO(Unattended Train Operation) 列车运行方式的定义,相关标准<sup>[1-3]</sup>中的表述基本一致:列车在不配置车上值守人员(所有功能均由系统实

现)的条件下的运行方式,且 GoA4(自动化等级 4)系统方可实现列车 UTO 运行。

目前,国内部分新开通的 FAO 线路,采用的列车运行方式介于 DTO 和 UTO 之间。其线路系统等级符合 GoA4 要求但列车仍配备值守人员。该值守人员既不负责监控列车状态,也不负责监视路况和紧急制动操作,主要为提高异常情况下的现场响应速度而设。本文将此称为列车准 UTO 运行方式。

上述三种列车运行方式的主要差异表现见表 1,在异常情况下的处置流程差异见图 1。

表 1 不同列车运行方式下处置方式的差异对比

列车运行方式	封闭司机室	隐藏驾驶台	值守人员常态的值守位置	系统异常发现端所在处	先期处置方式	故障排查方式	应急处置方式
DTO	是	否	司机室	就地	就地	就地	就地
准 UTO	否	是	车头/列车其他位置	远程	先系统,后远程	先远程,后就地	先远程,后就地
UTO	否	是	不在列车值守	远程	先系统,后远程	先远程,后就地	先远程,后就地

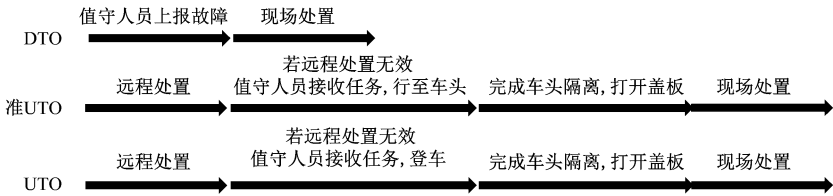


图 1 不同列车运行方式下异常情况处置流程对比

列车 DTO 与列车准 UTO、UTO 在异常情况处置流程方面的最大差异在于:系统异常的发现端不同,从而使信息传递、后续处置流程都不相同。列车准 UTO 与列车 UTO 的异常处置流程基本一致,但若需工作人员就地处置,UTO 方式将花费更多时间。

当线路通过采取与系统相适应的运营管理模式,使线路运营列车能够常态化实现某运行方式,那么可认为该线路实现了该运营方式。目前国内已开通的 FAO 线路中,采用的运营方式主要有两种,分别是 DTO(如北京地铁燕房线、上海轨道交通 10 号线)和准 UTO(如成都地铁 9 号线、上海轨道交通 15 号线、上海轨道交通 18 号线)。个别小运量、短距离 FAO 线路实现了 UTO 运营,如上海轨道交通浦江线。当前国内仍缺少大运量长距离 FAO 线路实现 UTO 的案例。

线路实现 UTO 需满足从设备到管理、从政府到市民多维度的需求。线路运营指标检验是考验线

路设备和管理是否符合要求的手段之一。下文将探讨 FAO 线路实现 UTO 的运营指标检验要求。

2 FAO 线路的运营指标要求

2.1 FAO 线路的运营指标

运营指标包含运营服务指标和设备故障率指标。在国内既有规范文件<sup>[4-5]</sup>采用的线路运营指标的基础上,结合 FAO 系统功能及运营特点,确定 FAO 线路运营指标如表 2 所示。相对于规范文件要求的运营指标,表 2 新增了影响行车的新功能或新设备的故障率指标(包括列车自动唤醒成功率、站台门故障率),还新增了列车退出全自动运行模式率,以及传输系统故障率和车地无线系统通信故障率。

2.2 FAO 线路不同阶段的运营指标要求

FAO 线路自动化程度高,且系统设计可靠度高于普通线路,其运营指标要求应当高于普通线路。在 FAO 线路工程准备阶段确定线路正式运营指标

表 2 线路初期运营前、正式运营前的运营指标要求

指标类型	指标名称	既有规范 <sup>[4]</sup> 初期运营前运营指标要求	既有规范 <sup>[5]</sup> 正式运营前指标要求	FAO 线路初期运营前的指标要求	FAO 线路正式运营前的指标要求
运营服务指标	列车运行图兑现率	不应低于 98.5%	不低于 99.5%	不低于 99% <sup>[7]</sup>	不低于目标值
	列车正点率	不应低于 98%	不低于 99%	不低于 98.5% <sup>[7]</sup>	不低于目标值
	列车服务可靠度(5 min)	不应低于 2.5 万列 km/次	不低于 20 万列 km/次	不低于目标值的 80%	不低于目标值
设备故障率指标	列车退出正线运行故障率	不应高于 0.5 次/(万列 km)	不高于 0.4 次/(万列 km)	不高于目标值的 1.25 倍	不高于目标值
	车辆系统故障率	应低于 5 次/(万列 km)	不高于 4 次/(万列 km)	不高于目标值的 1.25 倍	不高于目标值
	信号系统故障率	不应高于 1 次/(万列 km)	不高于 0.8 次/(万列 km)	不高于目标值的 1.25 倍	不高于目标值
	供电系统故障率	不应高于 0.2 次/(万列 km)	不高于 0.16 次/(万列 km)	不高于目标值的 1.25 倍	不高于目标值
	站台门故障率(含站台门车门间隙探测装置故障率)	不应高于 1 次/万次	不高于 0.8 次/万次	不高于目标值的 1.25 倍	不高于目标值
	列车退出全自动运行模式率			不高于 2% <sup>[6]</sup>	不高于 1.6%
	列车自动唤醒成功率			不低于 95% <sup>[6]</sup>	不低于 99.5%
	传输系统故障率(出现系统瘫痪,系统板卡出现影响系统运行的故障)			0 <sup>[7]</sup>	0
	车地无线系统通信故障率(通信丢失大于 2 s)			0 <sup>[7]</sup>	0

注:线路从初期运营到正式运营不改变运营方式。

目标值时,对于规范要求的既有运营指标取值可适当高于既有水平;对于新增运营指标,则可依据 FAO 线路相关行业标准要求值或已开通 FAO 线路的经验值取值。FAO 线路初期运营前的运营指标检验值可依据正式运营目标值确定。

线路的运营指标表现主要与设备磨合情况、人员熟练程度和线路运营方式 3 方面因素相关。在线路不改变运营方式的前提下,运营指标表现值将与设备磨合情况、人员熟练程度呈正相关。线路从试运行到正式运营阶段,设备状态和人员熟练程度随着时间的推移呈上升趋势,故线路正式运营阶段的指标要求应高于初期运营阶段。其中设备故障率主要与设备磨合情况有关。在有关规范文件<sup>[4-5]</sup>中,线路初期运营前与正式运营前的设备故障率指标取值相差 20%。

运营服务指标中的列车运行图兑现率和列车正点率,与设备可靠度、运营调整水平相关;列车服务可靠度的表现,以设备表现为基础,同时依赖应急处置速度与线路运营方式相关,因此在线路运营

方式不变的前提下,仅与设备磨合情况相关。故该指标初期运营前和正式运营前的取值,可参照设备故障率指标设置 20% 的差值。

根据 FAO 线路特点增加的 5 项指标要求为:

1) 站台门故障率(含站台门车门间隙探测装置故障率)。为保障站台安全,应在站台门故障率中将站台门车门间隙探测装置故障率纳入考虑,不因添加设备而降低要求,FAO 线路站台门正式运营目标值要求高于既有水平。

2) 列车自动唤醒成功率。为保证运营服务指标中列车运行图兑现率和列车正点率满足要求,同时减轻控制中心工作人员运营调整与处置的压力,列车唤醒成功率应当保持在较高水平。结合目前国内相关 FAO 线路表现,建议将列车唤醒成功率的正式运营目标值定为 99.5%。同时结合目前国内各地新建 FAO 线路的试运行阶段指标表现及相关标准要求,建议初期运营前该指标要求不低于 95%<sup>[6]</sup>。

3) 列车退出全自动运行的故障率。导致列车

退出全自动运行的设备故障,主要集中在信号、车辆两大专业,以及其他与行车安全相关的设备故障(如整侧车门无法关闭时,也可能人为安排列车退出全自动运行)。为确保列车全自动运行的可靠性,应将引起列车退出全自动运行模式的故障率控制在较低水平。可依据国内相关 FAO 线路运营经验,在初期运营阶段取 2% 作为该故障率的控制要求<sup>[6]</sup>。

4) 传输系统故障率。传输系统没有冗余,作为 FAO 线路的重要支持系统,必须有稳定的高水平的可靠度,不可出现系统瘫痪以及系统板卡出现影响系统运行的故障<sup>[7]</sup>,其因故中断工作的发生率应当为零。

5) 车地无线系统通信故障率。为确保中央集中控制,车地无线传输延时不应超过 2 s<sup>[7]</sup>。

各项指标具体要求见表 2。FAO 线路指标要求值应同时高于既有规范文件的要求。

2.3 FAO 线路转换运营方式对指标的影响

对于以 UTO 为目标的在建 FAO 线路而言,可依系统设备状态选择 UTO 的升级路径。升级路径从平稳型到突破型依次可按如下顺序选择:路径①为线路 DTO 开通后先转为准 UTO 再转为 UTO;路径②为线路 DTO 开通后转为 UTO;路径③为线路准 UTO 开通后转为 UTO;路径④为线路 UTO 开通。

表 2 指标中,“列车服务可靠度”直接受应急处置时间影响,其表现随线路运营方式转换变化明显。不同运营方式下的应急处置时间,只有在需工

作人员赴现场处置的情况下,才会存在明显差异。在远程处置基本能够代替现场的复位、重启和旁路等排故操作,工作人员现场处置以执行手动驾驶列车命令为主的前提下,需工作人员现场处置的情况可等同为“列车退出全自动运行事件”。因此 FAO 线路在升级运营方式的过程中,影响列车服务可靠度的事件数增量来自“列车退出全自动运行事件”,这与“列车退出全自动运行模式率”指标相关。

若采用路径①实现 UTO,第一步 DTO 开通后转为准 UTO,列车值守人员走出司机室,对需值守人员现场处置的事件进行处置时间估算:“远程处置时间”约 2 min,“车上走行时间”约 1 min,“完成车头隔离打开盖板时间”约 1 min,再加上“现场处置时间”约 2 min。全部处置时间约 6 min,将影响 5 min 以上列车服务可靠度。因此,其在正式运营期间升级至准 UTO,为确保升级后的列车服务可靠度指标符合要求,该指标在 DTO 阶段表现应好于目标要求,且准 UTO 运营前该指标应预留“列车退出全自动运行故障率”增量(参照表 2 该指标正式运营前取值 1.6%)。第二步准 UTO 转为 UTO,列车值守人员走下列车后,应急处置时间据估算总共约 13 min(包括“远程处置时间”约 2 min、“工作人员登车时间”约 8 min、“完成车头隔离打开盖板时间”约 1 min、“现场处置时间”约 2 min)。这将影响 10 min 以上列车服务可靠度。由此,在升级为 UTO 前,线路 10 min 以上列车服务可靠度同样应当预留相应增量。实现 UTO 路径①的各阶段列车服务可靠度要求见表 3。

表 3 实现 UTO 路径①的列车服务可靠度变化要求

指标名称	DTO 开通前要求	准 UTO 正式运营前要求	UTO 正式运营前要求	UTO 正式运营要求
列车服务可靠度(5 min)	不低于目标值的 80%	不低于目标值的 1.016 倍	不低于目标值的 1.016 倍	不低于目标值
列车服务可靠度(10min)	不低于目标值的 80%	不低于目标值	不低于目标值的 1.016 倍	不低于目标值

若采用路径②(DTO 开通后转为 UTO),则 UTO 前,5 min 及 10 min 以上列车服务可靠度都应

预留增量。实现 UTO 路径②的各阶段列车服务可靠度要求见表 4。

表 4 实现 UTO 路径②的列车服务可靠度变化要求

指标名称	DTO 开通前要求	UTO 正式运营前要求	UTO 正式运营要求
列车服务可靠度(5 min)	不低于目标值的 80%	不低于目标值的 1.016 倍	不低于目标值
列车服务可靠度(10 min)	不低于目标值的 80%	不低于目标值的 1.016 倍	不低于目标值

若采用路径③(准 UTO 开通后转为 UTO),则 UTO 前,10 min 以上列车服务可靠度都应预留增量。实现 UTO 路径③的各阶段列车服务可靠度要

求见表 5。若采用路径④(直接 UTO 开通),其列车服务可靠度要求见表 6。

表 5 实现 UTO 路径③的列车服务可靠度变化要求

指标名称	准 UTO 开通前要求	UTO 正式运营前要求	UTO 正式运营要求
列车服务可靠度(5 min)	不低于目标值的 80%	不低于目标值	不低于目标值
列车服务可靠度(10 min)	不低于目标值的 80%	不低于目标值的 1.016 倍	不低于目标值

表 6 实现 UTO 路径④的列车服务可靠度变化要求

指标名称	UTO 开通前要求	UTO 正式运营前要求	UTO 正式运营要求
列车服务可靠度(5 min)	不低于目标值的 80%	不低于目标值	不低于目标值
列车服务可靠度(10 min)	不低于目标值的 80%	不低于目标值	不低于目标值

3 结语

本文为新建 FAO 线路提供了检验初期运营前和正式运营前的运营指标值。若 FAO 线路采用分步实现 UTO 运营的方式,则建议在表 2 的基础上,选择相对应的“列车服务可靠度”变化要求对线路进行检验。此外,根据推算可知,“10 min 以上列车服务可靠度”能够较好地区分是否需工作人员登车处置事件。目前,虽然既有线路较少统计该指标,但建议 FAO 线路应将此指标纳入统计中。

参考文献

[1] IEC. Railway Applications-Automated Urban Guided Transport (AUGT)-Safety Requirements: IEC62267—2009[S]. Geneva: IEC, 2009:11.

[2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 轨道交通 自动化的城市轨道交通(AUGT)安全

要求 第 1 部分:总则:GB/T 32588. 1—2016[S]. 北京:中国标准出版社,2016:2.

[3] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通全自动运行规范 第 1 部分:需求:T/CAMET 04017. 1—2019[S]. 北京:中国铁道出版社,2019:3.

[4] 中华人民共和国交通运输部办公厅. 城市轨道交通初期运营前安全评估技术规范 第 1 部分:地铁和轻轨:交办运[2019] 17 号[S] 北京:中华人民共和国交通运输部办公厅,2019:5.

[5] 中华人民共和国交通运输部办公厅. 城市轨道交通正式运营前安全评估规范 第 1 部分:地铁和轻轨:交办运[2019]83 号[S]. 北京:中华人民共和国交通运输部办公厅,2019:3.

[6] 上海市交通运输行业协会. 城市轨道交通全自动运行线路初期运营前安全评估技术规范:T/SHJX 0019—2020[S]. 上海:上海市交通运输行业协会,2020:19.

[7] 中国城市轨道交通协会. 城市轨道交通全自动运行规范 第 6 部分:初期运营基本条件:T/CAMET 04017. 6—2019[S]. 北京:中国铁道出版社,2019:4.

(收稿日期:2021-03-23)

(上接第 181 页)

[3] 许平洋,陈雷,夏小东. 城市轨道交通噪声测试分析[J]. 城市轨道交通研究,2016 (12):111.

[4] 曾钦娥,雷晓燕. 高架轨道轮轨噪声预测分析[J]. 城市轨道交通研究,2016 (2):11.

[5] 杨新文,王金,练松良. 轨道交通轮轨噪声研究进展[J]. 铁道

学报,2017 (9):100.

[6] 陆可人,刘艳,张天琦,等. 城市轨道交通高架桥结构噪声声场分布及传播规律研究[J]. 城市轨道交通研究,2018 (1):30.

[7] 刘庆杰,孙茂棠,雷晓燕. 铁路环境振动实时监测分析系统开发[J]. 城市轨道交通研究,2016 (5):53.

(收稿日期:2019-07-11)

欢迎订阅《城市轨道交通研究》

服务热线 021—51030704