doi: 10.3969/j.issn.1672-6073.2019.03.025

轨道交通自动扶梯疏散能力及运行模式探讨

江锦涛，高莉萍
（北京城建设计发展集团股份有限公司，北京 100037）

摘　要：根据《地铁设计规范》中车站火灾情况下的疏散计算公式，自动扶梯作为参与紧急疏散的重要运输设备直接影响到车站疏散通过能力和疏散时间，进而影响到车站的运营安全以及建设规模。通过对比国内外自动扶梯相关规范中输送能力的计算以及分析国内轨道交通车站在火灾情况下自动扶梯的运行模式，提出《地铁设计规范》疏散计算公式中自动扶梯的通过能力和参与疏散的自动扶梯数量值得进一步商榷之处；同时也结合自动扶梯的特点提出了附加制动器延时动作、火灾情况下停梯模式、自动扶梯疏散能力及计算方式、参与疏散自动扶梯数量、疏散时间计算因素等建议，为轨道交通车站疏散计算方式以及运营组织预案提供参考。

关键词：轨道交通车站；自动扶梯；输送能力；运行模式
中图分类号：U231　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1672-6073(2019)03-0152-05

Evacuation Capacity and Operation Mode of Elevator in Rail Transit

JIANG Jintao, GAO Liping
(Beijing Urban Construction Design & Development Group Co., Ltd., Beijing 100037)

Abstract: Based on the evacuation calculation formula in the *Metro Design Code* during station fire outbreak, the elevator, which is important transportation equipment involved in emergency evacuation, has a direct impact on the evacuation capacity and evacuation time of the station, thereby affecting the operational safety and construction scale of the station. This paper compares the calculation results of transport capacity in domestic and international elevators and analyzes the operation mode of domestic rail transit station elevators during fire outbreak. Hence, the evacuation capacity and the number of elevators in the evacuation calculation formula of *Metro Design Code* need to be considered. Meanwhile, according to the characteristics of escalator, this paper proposes some suggestions for delay action of additional brake, stopping mode in case of fire, escalator evacuation capacity and calculation method, number of escalators participating in evacuation, calculation factors of evacuation time, etc. It also provides references for the evacuation calculation method of rail transit stations and the plan of operation organization.

Keywords: rail transit station; elevator; delivery capacity; operating mode

1　规范中自动扶梯的有关规定

根据《地铁设计规范》(GB50157—2013)[1]，车站站台公共区的楼梯、自动扶梯、出入口通道，应满足当发生火灾时 6 min 内将远期或客流控制期超高峰小时一列进站列车所载的乘客及站台上的候车人员全部撤离站台到达安全区的要求。提升不超过 3 层的车站，乘客从站台层疏散至站厅公共区域或其他安全区域的时间，应按下式计算：

$$T = 1 + \frac{Q_1 + Q_2}{0.9[A_1(N-1) + A_2 B]} \leqslant 6\ \text{min}$$

收稿日期：2018-04-06　　修回日期：2018-05-07
第一作者：江锦涛，男，硕士，从事轨道交通自动扶梯与电梯设计，jiangjintao@bjucd.com

式中：Q_1 为远期或客流控制期超高峰小时 1 列进站列车的最大客断面流量，人；Q_2 为远期或客流控制期超高峰小时站台上的最大候车乘客，人；A_1 为 1 台自动扶梯的通过能力，人/min·m；A_2 为疏散楼梯的通过能力，人/min·m；N 为自动扶梯数量；B 为疏散楼梯的总宽度，m，每组楼梯的宽度应按 0.55 m 的整倍数计算；0.9 为考虑在疏散情况下的折减系数。

车站各部位的最大通过能力宜符合表 1 的规定。

表 1　车站各部位的最大通过能力

Tab. 1　Maximum passing capacity of various parts of the station

部位		最大通过能力/(人/h)
1 m 宽自动扶梯	输送速度 0.5 m/s	6 720
	输送速度 0.65 m/s	不大于 8 190
0.6 m 宽自动扶梯	输送速度 0.5 m/s	4 320
	输送速度 0.65 m/s	5 265

根据《地铁设计规范》中的计算公式及相关要求，楼梯的设计宽度、自动扶梯的数量是直接影响车站火灾疏散能力最重要的因素。计算公式中，仅考虑 1 台自动扶梯故障的情况，且自动扶梯通行能力按照不大于 8 190 人/h 设计(以梯级名义宽度为 1 m，名义速度为 0.65 m/s 自动扶梯的通行能力作为参考)。

姚小林等[2]、吴娇蓉等[3]指出我国现行《地铁设计规范》中自动扶梯通行能力的折减系数值得进一步探讨。孟宪强等[4]通过仿真模型分析和实际调查，建议 1 m 宽的自动扶梯，速度为 0.65 m/s 时，最大通过能力取 6 000 人/h。李胜利等[5]通过社会力模型对人员出现恐慌行为时的疏散行为进行分析，得出若自动扶梯口人员表现出恐慌行为，其疏散效率为有序疏散的 70%。

笔者认为《地铁设计规范》车站疏散计算公式中自动扶梯的通过能力和参与疏散的自动扶梯数量值得进一步探讨和研究。对比分析国内外自动扶梯的输送能力以及结合地铁自动扶梯紧急情况下运行模式，探讨《地铁设计规范》中的车站疏散计算方式。

2　自动扶梯输送能力对比分析

2.1　国内自动扶梯输送能力设计

国内自动扶梯的设计规范主要是《自动扶梯和自动人行道的制造与安装安全规范》(GB16899)。

在 GB16899—1997[6]中，提出了理论输送能力计算公式：

$$c_t=3\,600vk/0.4$$

式中：v 为额定速度，m/s；k 为宽度系数(梯级宽度为 0.6 m 时取 1.0，0.8 m 时取 1.5，1.0 m 时取 2.0)。

梯级宽度取 1.0 m 时，即每个梯级站 2 个人时的理论输送能力为 11 700 人/h。

在 GB16899—2011[7]版，采用最大输送能力取代了旧版标准中的理论运输能力，即定义为用于交通流量的规划时，自动扶梯每小时能够疏散的最多人员数量，见表 2。

表 2　GB16899—2011 最大输送能力

Tab. 2　Maximum delivery capacity specified in GB16899—2011

梯级或踏板宽度/m	名义速度 v/(m/s)		
	0.5	0.65	0.75
0.6	3 600 人/h	4 400 人/h	4 900 人/h
0.8	4 800 人/h	5 900 人/h	6 600 人/h
1.0	6 000 人/h	7 300 人/h	8 200 人/h

从表 2 中可以看出，梯级宽度为 1 m，名义速度为 0.65 m/s 时，自动扶梯的最大疏散能力为 7 300 人/h。

2.2　台湾地区自动扶梯输送能力设计

《台北都会区大众捷运系统规划手册》第四册《固定设施需求》提出了正常运营时与紧急疏散时每 0.55 m 宽度扶梯的通过能力，为方便比较，表 3 将其折算成每米的通过能力[8]。

表 3　《固定设施需求》自动扶梯通过能力

Tab. 3　Escalator passing capacity specified in *Fixed Installation Requirements*

工况	运行速度/(m/s)	上行	下行
正常运营时	0.65	6 600 人/h	8 760 人/h
紧急疏散时	0.65	4 200 人/h	4 800 人/h

2.3　欧洲标准自动扶梯输送能力设计

EN115-1—2008[9]《自动扶梯与自动人行步道安全》第 1 部分制造与安装提出了自动扶梯最大输送能力，见表 4。

表 4　EN115-1—2008 最大输送能力

Tab. 4　Maximum delivery capacity specified in EN115-1—2008

梯级或踏板宽度/m	名义速度/(m/s)		
	0.5	0.65	0.75
0.6	3 600 人/h	4 400 人/h	4 900 人/h
0.8	4 800 人/h	5 900 人/h	6 600 人/h
1.0	6 000 人/h	7 300 人/h	8 200 人/h

2.4 美国自动扶梯输送能力设计

Transit Capacity and Quality of Service Manual (Part D)[10](运输能力和服务质量手册 第 4 部分)(简称手册)给出了正常运行情况下自动扶梯的运输能力，见表 5。研究表明，在运行的扶梯上行走并不能显著提高扶梯的运输能力，主要因为：行走的乘客需要同时占用 2 个梯级，因此减少了扶梯梯级上站有的人数；扶梯梯级不可能 100%地被利用。

表 5 手册最大输送能力

Tab. 5 Maximum delivery capacity specified in *Transit Capacity and Quality of Service Manual* (*Part D*)

梯级宽度/m	运行速度/(m/s)	正常运输能力/(人/h)	正常运输能力/(人/min)
0.6	0.46	2 040	34
	0.61	2 700	35
1.0	0.46	4 080	68
	0.61	5 400	90

根据 NFPA-130—2003[11]，自动扶梯应作为紧急出口：①停运自动扶梯应允许作为紧急出口；②在计算需要的出口时，应认为每个车站的自动扶梯都停止运行。

同时 NFPA-130—2003 也认为，自动扶梯到达下列标准时，运行作为车站疏散设施：自动扶梯由不燃材料建造；向出口方向运转的自动扶梯应允许保持运行；背离出口方向运转的自动扶梯应能够通过遥控或手工停止。

由于自动扶梯的扶手带、滚轮等没有不燃材料制作的，在 NFPA-130—2003 附录 C 案例计算中，火灾等紧急情况下自动扶梯停梯后按照固定楼梯作为疏散通道，下行时自动扶梯的疏散能力为 55.5 人/min，即梯级宽度为 1 m 时，疏散能力为 3 330 人/h，上行时自动扶梯的疏散能力为 51.6 人/min，即梯级宽度为 1 m 时，疏散能力为 3 096 人/h。

2.5 自动扶梯输送能力对比

国内外自动扶梯在正常运行速度下输送能力取值差异较大。

1) 国内 GB16899 与欧标 EH115 的输送能力相同，且默认上行、下行相同。由于规定停梯后不能作为固定楼梯使用，因此且只提出了正常运营时用于交通流量规划时的输送能力。

2) 台湾地区提出正常运营时和紧急疏散时的通过能力，且下行通过能力明显大于上行的通过能力。上行时紧急疏散的通过能力折算系数约为正常运营时的 0.64，下行时紧急疏散的通过能力折算系数约为正常运营时的 0.55。

3) 美国手册规定自动扶梯的运行速度 0.61 m/s 的最大疏散能力为 5 400 人/h，相对其他的规范能力偏小。对于紧急情况下，美国的 NFPA130 案例计算时，按照自动扶梯停梯后参与疏散，停梯后自动扶梯的上行、下行疏散能力与楼梯相同。

3 自动扶梯运行模式分析

3.1 自动扶梯的控制

根据 GB16899—2011，自动扶梯是机器，即使在非运行状态下，也不能当作固定楼梯使用。

另外，GB16899—2011 对启动或投入运行、停止运行进行了以下规定。

3.1.1 启动或投入运行

自动扶梯的启动或投入自动运行状态(即由使用者经过某一点的自动启动)应能由被授权人员通过操作一个或数个开关来实现，操作开关的人员在操作之前应能看到整个自动扶梯或者应有措施确保在操作之前没有人员正在使用自动扶梯或自动人行道。

3.1.2 停止运行

在停止运行之前，操作开关的人员应有措施确保在操作之前没有人员正在使用自动扶梯。

3.2 地铁自动扶梯运行模式

3.2.1 正常工况

正常情况下，要求在每天运营开始前和结束后，由车站工作人员现场确定没有乘客使用扶梯时才能启动或关停。

3.2.2 火灾工况

目前国内轨道交通自动扶梯在火灾工况下的运行模式主要有以下 3 种：

1) 在火灾情况下自动扶梯可接受 BAS 或者 FAS 的火灾信号后自动控制，参与疏散且与疏散方向相同且扶梯继续运行，其他扶梯自动停梯。

2) 在火灾情况下由车站控制室综合后备盘(IBP)控制，这种控制模式要求控制扶梯停梯时，必须通过视频监视确定扶梯上没有乘客才能操作，此运行模式在火灾时火灾报警系统(FAS)需要对扶梯进行延时切非。因此，火灾情况下，自动扶梯按照既有运行方向继续运行。

3) 在火灾情况下，自动扶梯可接受BAS或者FAS

的自动控制，同时在 IBP 盘设置紧急停梯按钮。

3.3 疏散计算时自动扶梯运营模式考虑

结合自动扶梯的控制方式以及地铁运行模式，建议从以下几个方面考虑自动扶梯在疏散计算时的运营模式：

1) 为保证乘客安全，正常情况下自动扶梯的启动和停止均要求没有乘客在梯级上。在紧急情况下，自动扶梯停梯时无法避免乘客不通过停止的扶梯进行疏散，因此现场也不可能自动或手动启动扶梯逆转运行参与疏散。此外，地铁的自动扶梯均按照能满足停止后作为固定楼梯使用进行设计，以满足地铁疏散要求。

2) 自动扶梯在控制柜可实现上行和下行的切换。考虑人员上楼梯和下楼梯的接受程度以及习惯，当一个通道只设置 1 台扶梯时，通常运行方向采用向上运行；当一个通道设置 2 台扶梯时，通常上行、下行各 1 台，如果 1 台扶梯故障，另外 1 台调整为上行方向运行。在计算疏散时，应充分考虑自动扶梯在运营时的运行方向特点。

3) 与疏散方向相同的自动扶梯可参与紧急疏散。当自动扶梯接受 BAS 或者 FAS 自动控制时，参与疏散且与疏散方向相同的自动扶梯继续运行，其他自动扶梯停止运行，运行和停止的自动扶梯应按不同的疏散能力纳入疏散通道进行计算。当自动扶梯只接受 IBP 紧急控制时，需要车控室工作人员通过视频监视确定自动扶梯上没有乘客后通过 IBP 停止运行，部分城市的运营操作规程则需要工作人员现场操作扶梯停止运行，不管 IBP 盘控制还是现场操作制停扶梯，这种情况停梯后的自动扶梯纳入疏散计算时需要考虑工作人员停梯的操作时间。

4)《地铁设计规范》疏散计算公式只考虑 1 台扶梯故障的情况按照扶梯正常运行速度的疏散能力进行折减，实际运营过程中，火灾工况下，存在部分扶梯继续运行参与疏散，部分扶梯是停止运行的情况，因此，车站疏散能力计算应考虑地铁自动扶梯运行、停梯两种模式进行调整。

4 结语

1) 根据地铁实际运行工况，自动扶梯停梯后应能作为固定楼梯使用，且其承载能力应能满足人员疏散要求。为避免在紧急情况下扶梯倒遛，要求扶梯停梯后除工作制动器动作，还要求附加制动器延时动作。

2) 依据《地铁设计防火标准》(GB51298—2018)[12]的要求，在火灾情况下，自动扶梯不应接受 BAS 或者 FAS 的远程控制停梯，此时应要求不能直接对自动扶梯进行切非，自动扶梯均应保持原运行方向继续运行，对不参与疏散的自动扶梯，由工作人员现场确认无人时关停，BAS 接收到自动扶梯停梯状态后再通知 FAS 进行切非。

3) 结合《NFPA130》研究，乘客在自动扶梯上行走并不能显著提高其运输能力，GB16899—2011 提出名义宽度 1m，名义速度 0.65m/s 时用于交通流量规划的疏散能力为 7300 人/h。因此，自动扶梯在紧急情况下继续运行参与疏散时，自动扶梯的疏散能力应按照 7300 人/h 并进行一定的折减考虑，建议进一步研究人员在恐慌行为下的疏散效率，提出合理的折减系数。

4) 停止运行的扶梯，其疏散能力应与运行的扶梯不同，建议停止运行的扶梯疏散能力可参照楼梯宽度进行计算，梯级名义宽度 1000mm 按照两股人流计，由于扶梯梯级高度为 200mm，与楼梯高度不一致，停梯后的扶梯疏散能力可按楼梯 85%折减[13]，同时还应考虑工作人员现场关停自动扶梯所需时间。

5) 关于参与疏散的自动扶梯数量考虑其中一台扶梯故障处于检修状态时不参与疏散。如与疏散方向相同的扶梯发生故障，应将与疏散方向相反的一台扶梯调整为与疏散方向相同运行，保证与疏散方向相同的运行扶梯数量，在扶梯停梯后作为固定楼梯使用时按照核减一台计算。

6) 《地铁设计规范》给出了自动扶梯最大通过能力的数值，但未考虑自动扶梯在不同运行工况下通过能力的差异，建议车站在计算疏散时间时应进一步研究上行、下行、停梯状态下自动扶梯的通过能力。

7) 《地铁设计规范》中车站火灾情况下疏散时间计算仅考虑了楼梯、扶梯通过能力的影响以及设备动作和乘客 1 min 的反应时间，建议进一步考虑离扶梯、楼梯或疏散通道口最近的列车车门处的第一名乘客到自动扶梯或楼梯口的疏散时间和最后一名乘客从站台楼扶梯口提升到站厅安全区所需时间[13]，以及结合梯级名义宽度、闸机疏散通过能力等研究疏散计算时间。

8) 火灾情况下，地上车站的疏散模式中从站台门端门疏散到轨行区也为有效疏散，与地下车站的疏散模式不同，因此，建议分别研究地下车站和地上车站的疏散计算方法。

参考文献

[1] 地铁设计规范：GB50157—2013[S]. 北京：中国建筑工业出版社, 2014.
Code for design of metro: GB50157—2013[S]. Beijing: China Aichitecture and Building Press, 2014.

[2] 姚小林，陈俊敏，叶海斌，等.《地铁设计规范》中自动扶梯和人行楼梯通行能力折减系数的探讨[J]. 中国安全科学学报, 2010, 20(9): 71-74.
YAO Xiaolin, CHEN Junmin, YE Habin, et al. Discussion on traffic capacity reduction factor of the escalators and stairsin code for metro design[J]. China safety science journal, 2010, 20(9): 71-74.

[3] 吴娇蓉，冯建栋，陈小鸣. 中美地铁车站火灾疏散设计规范对比与分析[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2009, 37(8): 1034-1039.
WU Jiaorong, FENG Jiandong, CHEN Xiaohong. Comparative Study of Subway Station Evacuation Design of PR China and USA[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2009, 37(8): 1034-1039.

[4] 孟宪强，廖明军，王凯英. 轨道交通站内自动扶梯通行能力分析[J]. 上海海事大学学报, 2012(3): 42-45.
MENG Xianqiang, LIAO Mingjun, WANG Kaiying. Analysis of passenger capacity of escalator at metro station[J]. Journal of Shanghai Maritime University, 2012(3): 42-45.

[5] 李胜利，魏东，梁强. 人员恐慌行为下闸机和自动扶梯疏散效率研究[J]. 消防科学与技术, 2010, 29(2): 103-105.
LI Shengli, WEI Dong, LIANG Qiang. Study on evacuation efficiency of ticket gate and escalator under panic behavior[J]. Fire science and technology, 2010, 29(2): 103-105.

[6] 自动扶梯和自动人行道的制造与安装安全规范：GB16899—1997[S]. 北京：中国标准出版社, 1998.
Safety rules for the construction and installation of escalators and moving walks: GB16899—2011[S]. Beijing: China Standards Press, 1998.

[7] 自动扶梯和自动人行道的制造与安装安全规范：GB16899—2011[S]. 北京：中国标准出版社, 2011.
Safety rules for the construction and installation of escalators and moving walks: GB16899—2011[S]. Beijing: China Standards Press, 2011.

[8] 杨洁，吴丹，李小红. 国内外城市轨道交通车站通行设施规范对比[J]. 城市轨道交通研究, 2012, 15(4): 8-10.
YANG Jie, WU Dan, LI Xiaohong. Comparison of the Traffic Facility Standards at Urban Rail Transit Stations in the Word[J]. Urban mass transit, 2012, 15(4): 8-10.

[9] EN115-1 Safety of escalators and moving walks - Part 1: Construction and installation[S]. European Committee for Standardization, 2008.

[10] Transit Capacity and Quality of Service Manual (Part 4)[S]. Transportation Research Board, 2003.

[11] NFPA 130 Standard for Fied Guideway Transit and Passenger Rail Systems[S]. National Fire Protection Association, 2010.

[12] 地铁设计防火标准：GB51298—2018[S]. 北京：中国计划出版社, 2013.
Standard for fire protection design of metro: GB51298—2018[S]. Beijing: China Planning Press, 2018.

[13] 城市轨道交通工程设计规范：DB11/995—2013[S]. 北京：北京市城乡规划标准化办公室.
Code for design of urban rail transit: DB11/995—2013[S]. Beijing: Standardization Office of Urban-Rural Planning of Beijing.

（编辑：王艳菊）

交通运输部印发《城市轨道交通服务质量评价管理办法》

为贯彻落实《国务院办公厅关于保障城市轨道交通安全运行的意见》（国办发〔2018〕13 号）和《城市轨道交通运营管理规定》（交通运输部令 2018 年第 8 号）的有关要求，指导各地做好城市轨道交通服务质量评价工作，日前，交通运输部印发的《城市轨道交通服务质量评价管理办法》（交运规〔2019〕3 号），将于 2019 年 7 月 1 日起施行。同时，为规范评价程序、评价指标和评分规则等的具体要求，交通运输部办公厅同步印发了《城市轨道交通服务质量评价规范》（交办运〔2019〕43 号）。

摘编自 http://www.camet.org.cn/2019-04-22