

公共交通重载型自动扶梯在地铁中的运用分析

翁浩

(贵阳公共交通建设管理有限公司 贵州 贵阳 550001)

摘要: 公共交通重载型自动扶梯广泛地运用在地铁、机场、高铁等客流较大的公共场所。与普通扶梯相比,重载型自动扶梯有更多的优势。本文根据地铁电扶梯专业工程师的实际工作经验,结合相关资料,对重载型自动扶梯在大客流环境下的使用功能和设计原理进行了深度分析。

关键词: 公共交通重载型;自动扶梯;地铁;安全;机械

0 引言

通过对公共交通重载型自动扶梯与普通扶梯的对比,并根据针对地铁等特殊场合的设计使用进行分析,一方面让扶梯设计者对相关设计有更深入透彻的理解,另一方面对扶梯使用单位在是否选用公共交通重载型自动扶梯问题上有一定的指导意义。

1 公共交通重载型自动扶梯简介

公共交通重载型的自动扶梯装置在人们的生活日常中很常见,如地铁中的自动扶梯,在方便人的同时,还可以提供安全稳定的路线保障。

在 GB 55033-2022《城市轨道交通工程项目规范》中,明确要求在地铁车站等城市轨道交通场所应采用公共交通重载型自动扶梯,在地铁的实际运行中,自动扶梯不仅需要长时间运行,同时由于地铁布局和环境因素需要行程较长、承载能力较强的运输装置用于疏散人流,因此在地铁最开始的实际运营过程中,自动扶梯制造商就专门设计了配备地铁运营的 heavy-duty,也就是重载自动扶梯的雏形,重载型自动扶梯相当于普通扶梯的进阶版,具备更好的质量与综合性能,在结构、材质上都进行了进一步的加强,以保障适用于地铁的实际运营情况^[1]。

针对贵阳地铁自动扶梯的制造、安装、使用等进行了相关研究与分析,总结了相关公共交通重载型自动扶梯的理论,并对重载型自动扶梯和普通自动扶梯进行对比,分析其在地铁中广泛使用的原因(以下简称“公交重载扶梯”)。

2 公交重载扶梯必须适应的工作条件

地铁的实际运营需要自动扶梯必须具备较长的运行周期,较高的负载要求与寿命要求,因此,提升自动扶梯的适用功能是重载扶梯的主要特点。

2.1 地下和露天的环境条件

在地铁中,重载自动扶梯的安装环境条件主要在地下,需要考虑扶梯井道有一定的渗水情况;在出入口的扶梯则要考虑如果没有相应的顶盖,是否能直接承受日晒雨淋和风沙侵袭。这些都需要增强自动扶梯机箱的抗腐蚀与防水功能,所以,地铁的环境条件决定了自动扶梯的综合性能要求更加严格。

2.2 持续重载的负载条件

重载自动扶梯的运行周期根据地铁的运营时间来评估,地铁一般的运营时间为每天 20h,一年不间断工作。自动扶梯的负载条件一般根据城市交通高峰期决定,一般城市交通的高峰期在上下班时间内,高峰期持续时间平均大于 1h,自动扶梯几乎处于连续满负载运行状态,这要求重载自动扶梯的满负载运行周期大于 1h,具备较高的动力输出能力。在 GB 50157-2013《地铁设计规范》和 GB 55033-2022《城市轨道交通工程项目规范》中均对重载自动扶梯的载荷指数与载荷周期做出了要求:每 3h 应能以 100% 制动载荷连续运行 1h。

2.3 无监管的运行条件

地铁车站的出入口分布较为广泛,无法同时配备专业的人员进行管理。因此,对于地铁车站的出入口的自动扶梯运行,需要做到在无人管理的情况也可以稳定运行,一方面是要配备相应的监控系统,

如视频监控和BAS系统;另一方面扶梯本身安全性的要求也较普通扶梯更高。

2.4 高寿命的工作条件

地铁作为公共设施,承担起了缓解城市交通,方便市民出行的社会责任,同时作为大型的公共交通设施,需要具备稳定、安全的使用性能与长周期的运行性能。另外,地铁一旦建成投入运营使用,再次对自动扶梯进行改造将会对运营造成极大影响。因此,一般情况下要求自动重载扶梯在地铁中应用时具备40年以上的设备寿命。

3 公交重载扶梯的基本技术参数

3.1 额定速度

在GB 50157-2013《地铁设计规范》中明确提出:自动重载扶梯在地铁中的额定速度应 $\geq 0.5\text{m/s}$ 。额定速度还需要根据不同地区的不同人口群体调查进行细微的调整以保证使用的安全性。如今国内地铁一般选择 0.5m/s 和 0.65m/s 两档可调的自动扶梯,结合当前城市人流量进行选择。在一线城市由于人流量较大基本采用 0.65m/s 的速度是比较合适的,但是由于平时普通扶梯基本采用 0.5m/s 的速度,很多乘客,尤其是老年人面对 0.65m/s 的扶梯时会感觉过快。贵阳地铁综合考虑人流量和乘客适应性的因素,扶梯均采用 0.5m/s 的额定速度,使用效果良好。

3.2 倾角

在GB 50157-2013《地铁设计规范》中规定,自动扶梯的倾斜角度不应大于 30° 。

扶梯的角度越大,乘客的舒适感会越差,尤其是地铁中的自动扶梯提升高度相对较高,如果再采用大角度,会让乘坐下行的乘客产生眩晕感^[2]。

如果扶梯的角度较小,虽然乘客的舒适感会更好,但是扶梯的投影长度会更长,所占空间会更大。由于地铁造价高昂,空间有限,在出入口更会涉及占用道路、征地等问题。

故地铁中,扶梯都是采用 30° 的倾角。

3.3 梯级宽度

扶梯梯级宽度有 0.6m 、 0.8m 、 1m 三个规格,在GB 50157-2013《地铁设计规范》中,要求自动人行道的梯级净宽不宜小于 1m 。在香港等人流量极大的城市中,甚至会约定在扶梯上“左行右立”。所以,更宽的扶梯能更好地疏散人流。

3.4 水平梯级数量

在GB 55033-2022《城市轨道交通工程项目规范》中要求:当自动扶梯名义速度为 0.5m/s 时,上下水平梯级数量不应少于3块;当名义速度为 0.65m/s 时,上水平梯级数量不应少于4块,下水平梯级数量不应少于3块;当名义速度大于 0.65m/s 时,上水平梯级数量不应少于5块,下水平梯级数量不应少于4块;贵阳地铁的自动扶梯速度设定为 0.5m/s ,上下水平梯级数量均设置为4块,普通扶梯的水平梯级是2~3块。水平梯级主要用来在踏上梯级或接近终点时,为乘客提供足够的水平位移距离,提高乘客在进出口的平稳与安全性^[3]。

3.5 上下导轨转弯半径

自动扶梯的梯级从斜体部分过渡到水平部分时,会存在一段转弯半径,梯级通过转弯导轨来实现斜体部分与水平部分的转换。在此过程中会产生离心趋势,而这种力容易破坏乘客的平衡,使得乘客极易在转换的过程中跌倒,所以,转弯半径需要满足一定大小。在GB 50157-2013《地铁设计规范》中规定,自动扶梯从倾斜区段到上水平段过渡的曲率半径不宜小于 2m ,从倾斜区段到下水平段过渡的曲率半径不宜小于 1.5m 。

梯级链磨损的关键部位是在上弯弧段。弯弧半径越大,受的压力越小。弯弧半径越大,在倾斜段向水平段过渡的加速度越小。一方面减少摩擦力,让梯级链的磨损更小,另一方面让乘客能够更舒适。地铁出入口的自动扶梯需要长时间运行,并且由于客流与载荷量都非常大,往往会采取更大的转弯导轨半径。

贵阳地铁的扶梯上下转弯半径见表1。

表1 扶梯提升高度与导轨转弯半径对应表

提升高度/mm	上导轨转弯半径/mm	下导轨转弯半径/mm
≤ 10000	≥ 2600	≥ 2000
> 10000	≥ 3600	≥ 2000

根据以上的分析可知,提高扶梯安全性,在设计上有两大要点:扩大转弯半径、增加水平梯级数量。

4 公交重载扶梯对主要部件的技术要求

地铁重载自动扶梯的相关部件的设计与技术要求需要满足基础的工作性能,并按照国家制定的安全规范要求来执行,此外,在地铁重载自动扶梯的设计过程中,需考虑综合因素,必要的情况下,会适

当地提高要求。

4.1 桁架

重载型扶梯的结构需要满足挠度要求与材料要求,最大挠度不超过支承水平距离的 $1/1500$;并要求整体热镀锌,锌层任何一点实测最小厚度不小于 $100\mu\text{m}$ 。普通扶梯的桁架最大挠度不超过支承水平距离的 $1/1000$,甚至有些扶梯为 $1/750$,表面采用电泳或喷漆即可。

关于地铁重载自动扶梯的桁架结构,其挠度必须大于 $1/1500$ 。主要是考虑到地铁的自动扶梯在紧急情况下需要作为步行楼梯,用于人员撤离,因此地铁重载自动扶梯需要具备一定的承重能力与抗压性能,这对桁架挠度做出了较高的要求。且为了满足地铁的特殊情况,在提升桁架的结构要求的同时还要提升其使用寿命。一般地铁自动扶梯的桁架挠度为 $1/2000 \sim 1/1500$,贵阳地铁采取 $1/1500$ 的桁架挠度。

桁架的表面材料需要经过特殊处理,这是因为地铁车站处于地下环境,要求桁架需要具备较强的抗腐蚀能力,因此对于地铁重载自动扶梯的桁架需要进行热镀锌的表面处理,该处理方法目前技术较为成熟,能够在桁架表面镀不低于 $100\mu\text{m}$ 的锌层,保证桁架具备长达 40 年的抗腐蚀能力,并且还可以通过二次喷涂的方法增强桁架的抗腐蚀能力。

4.2 梯级链

地铁重载自动扶梯的梯级链,采取安全等级大于 8 的套筒滚子链结构,销轴比压大于 $23\text{N}/\text{mm}^2$ 。

4.2.1 链条结构

套筒滚子链与滚轮链两者结构形式是常用的扶梯动能结构,如图 1、图 2 所示。将滚轮装置在梯级链两边,使其发挥滚动功能,该形式为套筒滚子链,因为滚轮在外侧,所以也被称之为滚轮外置结构,而滚轮链则是将梯级主滚轮结合在链条上,形成一个整体,所以也被称之为滚轮内置。滚轮内置的方式具备较为简易的安装过程,但是不便于维修与更换,因此这种方式通常应用于行程短的自动扶梯,普通扶梯也普遍采用此类滚轮链。而地铁使用的重载自动扶梯需要具备更高的承载能力,同时滚轮需要较高的使用寿命,在损坏后方便更换。因此,地铁重载自动扶梯均采用套筒滚子链,并增大滚轮半径,提高滚轮的使用寿命。贵阳地铁要求滚轮的直径不小于 100mm ,并规定了梯级链条应是标准的

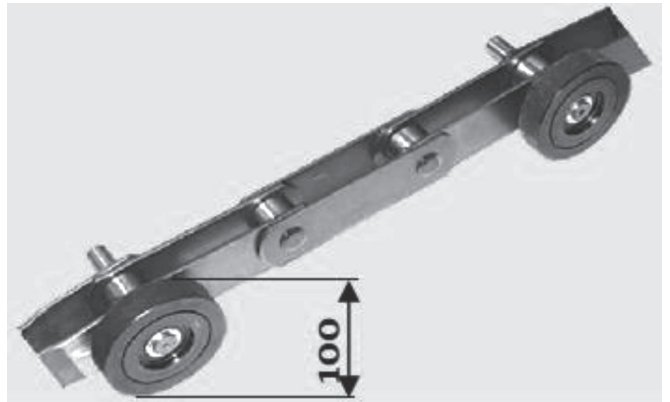


图 1 套筒滚子链（滚轮外置）

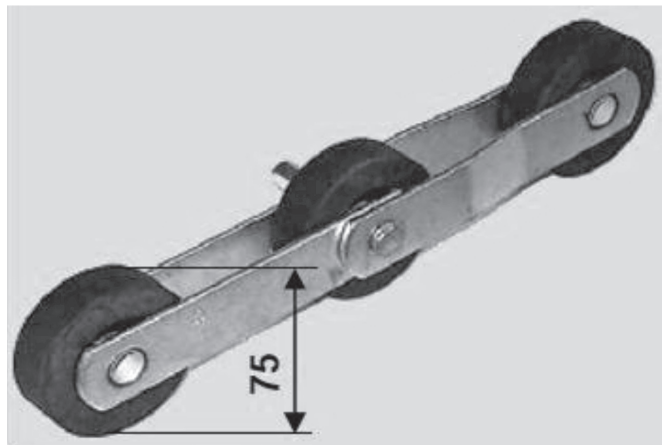


图 2 滚轮链（滚轮内置）

套筒滚子链（滚轮外置）。

4.2.2 安全系数

梯级链的安全系数是非常重要的指标,梯级链如果发生断裂会导致扶梯出现重大事故。在地铁重载自动扶梯的安全规范中明确提出,地铁重载自动扶梯需要具备更高的安全系数,才可以保障日常运行的安全性,一般选择安全系数大于 8 的梯级链作为主要结构。

4.2.3 销轴比压

自动扶梯的梯级链作为核心结构,需要保证其具备长时间的使用寿命,并且保障其故障率降到最低。在套筒滚子链结构中,销轴比压决定了套筒滚子链结构的使用寿命,如果要套筒滚子链结构的梯级链具有 20 年以上的使用寿命,则应当使销轴比压小于 $23\text{N}/\text{mm}^2$ 。

对于地铁重载自动扶梯的梯级链,采取安全等级大于 8 的套筒滚子链结构,销轴比压大于 $23\text{N}/\text{mm}^2$ 。

4.3 滚轮

在梯级链上,大直径的滚轮容易保证运行更加稳

定,同时考虑地铁运行较为复杂的环境条件,应有防沙尘的设计。

一般梯级链之间通过滚轮相连接,4个滚轮与1个梯级配套,其中滚轮的安装位置不同,发挥的功能也不同,首先是独立安装在梯级上的滚轮称之为梯级滚轮,梯级链滚轮主要是作为主动轮进行工作,梯级滚轮作为从动轮工作。滚轮的应用在自动扶梯中非常常见,同时该部件也是比较容易毁坏的部分,因此如果要提高滚轮使用寿命,简化安装难度,就要综合考虑滚轮的安装方式与结构。

梯级链滚轮与梯级滚轮的安装位置不同,梯级链滚轮的位置处于链条导轨外侧,当自动扶梯稳定运行的过程中,梯级滚轮承受接替载中,而在过渡阶段的导轨处不需要承担压力,从而利用卸鞍导轨完成,减小了滚轮的承载压力,提高了使用寿命。

针对室外的梯级滚轮,需要抗风沙与潮湿环境,因此滚轮都需要配备防尘罩,防止沙尘进入轴承破坏传动。

4.4 扶手带驱动系统和扶手带

重载型自动扶梯的扶手带一般选择内三角带式(V型),驱动方式为端部驱动。V型(内三角带式)扶手带截面图如图3所示,端部驱动示意图如图4所示。这样的扶手带比商用的C型扶手带多了一个V型的摩擦面,更不容易打滑。但是相应的扶手带质量也随之增加,所以扶手带的驱动方式也与普通扶梯不同。

扶手带驱动方式主要有上部压带、平面滚轮、端部驱动三种方式。三种方式应用的场所不同,前两种方式常见于普通扶梯,所提供的驱动力较小,同时比较难以达到0~2%的速度偏差指标。当使用内三角带式扶手带增加摩擦力、降低速度偏差的同时,由于扶手带整体质量增加,需要特殊的驱动方式来提高驱动力,从而加强扶手带牵引力,降低扶手磨损,这种方式用于重载自动扶梯。

4.5 驱动主机

驱动主机由电动机、减速箱、制动器、联轴器等组成。主机安装在桁

架上端部。为便于维护,主机一般采用立式主机。提升高度较高的扶梯会采用双驱动主机。各个品牌的自动扶梯,在使用双主机的高度界限上也有一定出入,有些厂商在提升高度10m以上的自动扶梯就会采用双主机,有些厂商则在提升高度12m以上的自动扶梯采用。

4.5.1 减速箱

普通扶梯主机的安装方式为卧式,常采取蜗轮副传动结构,传动效率小于85%,效率较低。为了提高传动效率,重载型自动扶梯使用齿轮副传动结构,传动效率能达到92%以上。

4.5.2 电动机功率配置

普通自动扶梯的电动机功率配置一般较小,这是因为不需要满足100%制动载荷的运行条件。

在地铁重载型自动扶梯的最新要求中,规定公交型重载扶梯的载重周期为:在运行的任意3h内,能以100%制动载荷连续运行的时间不应少于1h,载荷等级为120kg/梯级,因此需要考虑电动机功率的配置问题,是否满足1h的持续重载。

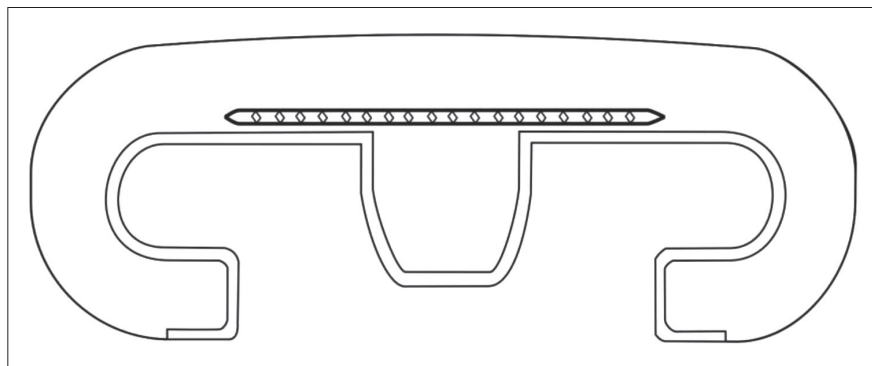


图3 V型(内三角带式)扶手带截面图

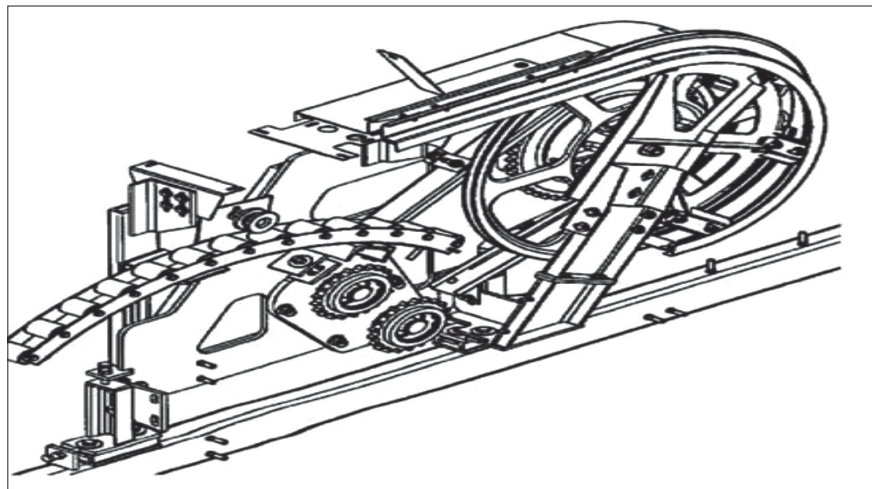


图4 端部驱动示意图

地铁重载自动扶梯需要的电动机功率一般较高，需要满足 1h/3h 的持续重载周期，同时满足额外的功率裕度，扶梯提升高度与电动机配置对应表见表 2。这样才可以保障地铁重载自动扶梯能够具备较高的传动效率，同时能够保持稳定运行，满足高峰客流的需求，提高电动机的工作效率^[4]。

表 2 扶梯提升高度与电动机配置对应表

提升高度范围 H/m	电动机功率 P/kW
$H \leq 4.5$	$P \geq 11$
$4.5 < H \leq 5.6$	$P \geq 15$
$5.6 < H \leq 8$	$P \geq 18.5$
$8 < H \leq 10$	$P \geq 24$
$10 < H \leq 12$	$P \geq 30$
$12 < H \leq 15$	$P \geq 37$
$15 < H \leq 20$	$P \geq 54$

4.6 安全装置

地铁重载型扶梯的安全设置非常重要，因为地铁在实际的运行过程中，乘坐人数多、运行周期大，不是普通的扶梯可以比拟的。因此，必须利用安全装置保障扶梯的安全运行。对于地铁的自动扶梯装置没有明文规定必须设置，但对于自动扶梯的安全性能而言，是有必要安装的。

4.6.1 附加制动器

重载型自动扶梯需要配备附加的制动器，这是因为重载扶梯在高强度运行时，一旦因为载重过大发生倒转，会对乘客造成巨大危险。因此需要制动器保障扶梯能够进行稳定的制动。

4.6.2 超速保护装置

在地铁重载自动扶梯运行过程中，当扶梯的速度过快，可能会发生驱动链断裂的故障，导致扶梯超速运转，容易发生安全事故。所以需要超速保护装置，保障扶梯超速至 1.2 倍的时候能够稳定扶梯速度，避免事故发生。

4.6.3 扶手带安全保护装置

地铁重载自动扶梯由于行程长、扶手带沉重，如果发生断裂可能会发生事故。所以扶手带需要配备安全保护装置，保障扶手带在发生断裂的情况时，自动扶梯及时停止运行，避免事故发生。

4.6.4 裙板安全保护

自动扶梯在上行或者下行的终点时，必须配备裙板安全保护装置，以免乘客的衣物被吸入到梯级缝隙中而发生夹人事故。

5 结语

贵阳城市轨道交通现已开通地铁 1、2 号线，同时 3 号线和 S1 线也在建设中。根据其他城市地铁建设的过往经验，贵阳地铁选择了重载自动扶梯。贵阳地铁 1 号线的自动扶梯在 2017 年 12 月建成投入运营以来，历经了 5 年的大客流考验，运行仍然稳定，并且核心部件未出现损坏，未出现重大的自动扶梯安全事故，满足安全、稳定的使用要求，取得了较好的性能表现。

参考文献：

[1] 饶美婉. 地铁设计中的公共交通型重载自动扶梯 [J]. 都市快轨交通, 2008(05):74-78.

[2] 邳建辉, 袁青平. 谈地铁车站疏散用自动扶梯的选用 [J]. 山西建筑, 2012, 38(36):247-249.

[3] 刘宇. 基于紧急疏散的公共交通型自动扶梯设计参数优化与分析 [D]. 西安: 西安理工大学, 2016.

[4] 黄鑫. 线性加权法在自动扶梯驱动主机选型中的应用及研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2010.

作者简介: 翁浩(1988.06-), 男, 汉族, 贵州贵阳人, 本科, 工程师, 研究方向: 电梯、地铁站台门。