

地铁列车车门系统的可靠性分析

倪思雨

石家庄市轨道交通集团有限责任公司运营分公司

摘要:随着城市轨道交通的快速发展,地铁列车的安全性和可靠性越来越受到人们的关注。车门系统作为地铁列车的重要组成部分,其可靠性直接关系到乘客的安全和列车的正常运营。本文首先对地铁列车车门系统的结构和功能进行了简要介绍,然后重点分析了车门系统的可靠性及其影响因素,最后提出了提高车门系统可靠性的措施和建议。

关键词:地铁;列车车门;系统;可靠性

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6261.2022.09.211

引言

地铁作为城市轨道交通的重要组成部分,具有运量大、速度快、准时性高等优点,因此受到了广大市民的青睐。然而,随着地铁列车的不断增多和运营里程的不断延长,列车车门系统的故障也时有发生,给乘客的出行安全带来了隐患。因此,对地铁列车车门系统的可靠性进行分析和研究,对于提高地铁列车的安全性和运营效率具有重要意义。

一、地铁列车车门系统简介

1. 门体

门体是地铁列车车门的重要部件,其作用是固定车门和乘客的出入。门体的结构主要包括:导轨、门模块、传动装置、防夹装置、限位装置等。地铁列车门体结构主要由门体、门扇、锁紧机构、限位器等部分组成,主要采用焊接、铆接和螺栓连接等方式组成。门体主要由门体骨架和车门模块组成。门体骨架包括导轨,安装在车门模块上的有限位装置、防夹装置,传动装置,门扇模块等组成。在对地铁列车车门进行可靠性分析时,要考虑到其工作环境和条件。列车在运行时会产生振动,所以对其进行有限元分析时,必须考虑到这一点。

2. 驱动机构

驱动机构是车门系统的重要部件,直接影响到车门系统的可靠性。驱动机构主要包括:传动装置、安装座、限位装置、导向装置、锁钩夹具等。驱动机构的可靠性分析应从以下几个方面考虑:传动装置的可靠性,包括传动装置的材料和尺寸等;安装座的可靠性,包括安装座的刚度和强度等;限位装置的可靠性,包括限位装置结构形式、尺寸、材料、安装方式等;导向装置的可靠性,包括导向装置安装位置及几何尺寸、导向装置的强度及刚度等;锁钩夹具的可靠性,包括锁钩位置及尺寸、锁钩结构形式及强度等。

驱动机构是车门系统的重要组成部分,它的主要功能是实现车门的自动打开与关闭。驱动机构主要有以下

几种形式:旋转驱动、旋转-直线驱动。其中,旋转驱动是较为常见的一种形式。在车门系统中,实现车门自动关闭与打开的最主要的部件是门电机。门电机由电机驱动器、齿轮传动机构、齿轮齿条传动机构、蜗轮蜗杆减速器及电磁铁等部件组成。根据工作原理和结构形式不同,可以将其分为三种形式:1) 电动执行机构,2) 电动执行机构+液压驱动,3) 液压执行机构+电机驱动器。^[1]

3. 控制系统

车门控制系统主要由主控电路、门控开关、门控传感器等组成。主控电路负责逻辑控制及车门的检测;门控开关的主要功能是控制车门开闭;门控传感器则通过检测门的位置状态、关门时间、开门方向等来判断车门是否关好。

通过对控制系统的功能进行分析,其主要包括对车门状态的控制、对车门的操作、对车门系统的监控和报警等。由于控制系统在运行过程中会产生大量的信息,这些信息的处理是由车载计算机完成的,因此车载计算机作为整个控制系统的核心,它在处理数据时会出现一些错误和故障。所以,为了保证车门控制系统能够正常稳定地运行,在设计时需要考虑一些必要的冗余措施。

二、地铁列车车门系统的可靠性的影响因素

1. 设计因素

设计因素包括产品结构和产品性能两个方面,这两方面的因素都会影响到地铁列车车门系统的可靠性。地铁列车车门系统主要由门、门框、门扇、压板及铰链等部件组成,这些部件均具有一定的刚度和强度,对保证车门系统的可靠性有着重要作用。但是,由于地铁列车的设计寿命是30年,因此,设计因素也会对车门系统的可靠性产生影响。地铁列车车门系统主要部件之间都具有一定的相对位置关系,且相互之间是通过螺栓连接起来的。在设计中,如果出现设计不合理或装配不当等情况时,都会使这些部件之间的相对位置关系发生变化,从而影响车门系统的可靠性。

地铁列车车门系统是一种重要的车辆部件，其可靠性主要由其设计和制造质量决定。在设计阶段，要考虑到车辆运行环境、列车性能、车门的使用寿命等因素，确定合理的结构方案。在制造过程中，要考虑到焊接工艺、材料选择、焊接设备及工艺水平等因素，确保车门结构的强度和刚度符合设计要求。在地铁列车运行过程中，由于振动、冲击、交变载荷等外界因素的作用，车门系统会产生一定的应力，并在强度不满足要求时，出现破坏现象。因此，设计阶段要考虑到列车运行过程中可能出现的各种情况，对车门系统进行强度校核和寿命预测，以确保车门系统可靠性满足设计要求。^[2]

2. 环境因素

环境因素主要包括温度、湿度、粉尘等。温度对系统的可靠性有着较大的影响，因为系统中的零件都是有热胀冷缩特性的，过高的温度会使零件强度降低，从而导致系统的可靠性降低。同时，环境温度过低也会使零部件产生应力，影响到零部件的正常使用。此外，当系统中含有大量粉尘时，粉尘进入到系统中，对设备造成腐蚀和磨损，从而影响了系统的正常使用。所以在设计时，应该注意环境温度的要求。

在地铁列车运行过程中，除了正常的运行状态外，还有很多因素会影响到车门系统的正常使用，这些因素主要包括：车门系统所处的环境温度、湿度、灰尘、腐蚀等。由于地铁列车运行时，会产生大量的热量，而车门系统内部是有许多精密的电子元件和仪器设备组成的，因此当这些零件受到温度、湿度变化影响时就会产生一定程度的形变，进而影响到车门系统正常使用。此外，由于地铁列车内部空间狭小，空气中难免会有一些灰尘、杂物等附着在车门系统上，若不及时进行清理就会产生锈迹或油污，这些都会影响到车门系统的正常使用。

3. 制造因素

地铁车门系统的可靠性包括设计可靠性和制造可靠性，都是影响地铁车门系统可靠性的主要因素，设计质量高、制造质量好的产品，其可靠性水平也相对较高。车门系统的可靠性分析中，制造因素是一个不可忽视的因素，它直接关系到车门系统的可靠性。在整个制造过程中，可能会出现某些不良现象，会导致部件质量不合格，从而降低了车门系统的可靠性。

车门系统在制造过程中的任何微小的变动都可能导致可靠性数据的变化，其可靠性数据存在波动性。而制造过程中的关键零件——门把手的磨损、松动、松动以及与其他零件发生接触等情况也会导致可靠性数据发生变化。在车门系统中，由于各种机械零部件的自身特点，如结构、尺寸等原因，可能会导致零部件在制造过

程中出现损伤。其中，门把手与车门主体固定连接的零件为A、B两种类型，而门把手与车门主体固定连接的零件为C、D两种类型。

4. 使用和维护因素

地铁车辆车门系统是一个高故障率的部件，其维护 and 保养是影响地铁列车车门系统可靠性的重要因素。车门系统使用和维护不当会造成车门系统故障，如门锁和其他辅助机构不能正常工作，使乘客无法正常使用车门。另外，由于地铁车辆运营期间不能正常打开车门，造成乘客无法进入车厢，也会降低车门系统的可靠性。

由于地铁列车车门系统的使用和维护因素中，不能人为地将车门系统的正常使用环境或使用条件改变，只能通过增加设备的防护措施或合理调整设备的工作条件来改善车门系统的使用和维护因素。因此，要想提高地铁列车车门系统的可靠性，在设计制造阶段就要考虑到该因素，以保证车门系统在其寿命周期内能够正常地工作。^[3]

在车门系统的设计制造过程中，应根据使用和维护因素，严格地按照标准要求进行设计和制造，在设计中要充分考虑到该因素对车门系统可靠性的影响。而在实际生产过程中，要加强对车门系统的生产管理和维修管理，并建立有效的规章制度来确保该因素不会对产品产生不良影响。

三、提高地铁列车车门系统的可靠性的措施

1. 优化设计

目前，地铁列车车门系统的结构设计大多采用经验设计，随着车辆运行环境、负载条件等的变化，车门系统的可靠性参数会发生变化，对车门系统进行可靠性优化设计显得尤为重要。根据地铁列车车门系统的结构特点，提出了一种基于可靠性优化的地铁列车车门系统优化设计方法，即建立有限元模型，在考虑车门系统所承受载荷因素和约束条件的前提下，利用有限元软件计算车门系统结构强度和刚度参数。通过对地铁列车车门系统的仿真计算，分析其应力集中位置和大小，确定优化部位；采用“二次回归”方法对结构强度参数进行优化，从而确定车门系统优化设计方案。

地铁列车车门系统的设计应考虑其功能要求，同时满足车辆的使用要求，以保证车门系统具有足够的强度。地铁列车车门系统应采用先进可靠的技术，同时注重与车体结构、电气设备的匹配，优化设计。车门系统是一个复杂的机电一体化系统，其技术含量高，使用维护要求严格。因此，在进行设计时应考虑以下几个方面：（1）优化车门结构和材料。优化车门结构和材料可以降低故障发生的概率，提高车门系统的可靠性；（2）提高制造工艺水平。合理设计制造工艺可以保证

制造质量、提高产品可靠性及使用寿命；（3）选用可靠、高效的控制系统。^[4]

2. 加强制造质量控制

地铁车门系统的制造过程中，质量控制是一个非常重要的环节，包括材料选用、设备选型、工艺控制等方面。车门系统主要用到的材料有：门及门套、电机、门锁及锁具等，设备主要有：门及门套专用设备、自动焊接设备等。为保证车门系统的质量，在生产过程中要加强对材料和设备的管理。对于所选用的材料要进行严格的验收，并按规定进行检验；对于使用的设备，要定期对其进行检修和维护；对于加工工艺要严格按照标准要求进行操作，确保产品符合标准要求。

在列车制造过程中，质量控制对保证产品的可靠性是至关重要的，不仅能够降低维护成本，还能够提高产品质量。根据产品制造过程中的影响因素，通过质量控制措施来提高可靠性。例如，在地铁车门系统的设计阶段，根据列车使用环境和要求，在车门系统中增加了多项冗余设计。例如在车门系统的设计中增加了门控电源故障和车门机械故障的冗余设计，当其中任何一项出现故障时都可以实现车门系统的安全可靠运行。由于在可靠性方面进行了多重考虑，可以有效降低故障对车门系统的影响，提高车门系统的可靠性，同时也减轻了维修人员的劳动强度。

地铁车门系统的环境适应性主要表现在防尘、防水、防腐蚀等方面。由于地铁车门系统是安装在轨道上的，空气中的尘埃、有害气体、雨水等对车门系统的运行有很大的影响，同时还会造成地铁车门系统零部件及线路故障，从而导致列车停运。因此，对地铁车门系统进行防尘、防水、防腐蚀处理是必要的，这就需要对其进行综合考虑。一般来说，地铁车门系统应在恶劣环境下工作至少2000小时以上。同时还应考虑到车门系统在极端气候条件下的使用寿命问题，这就需要对其进行综合考虑，例如当气温低于零下20℃时，可考虑采用电加热方式；当气温高于40℃时，可考虑采用电加热器。

3. 提高环境适应性

地铁列车车门系统的环境适应性主要包括：气候环境适应性、冲击环境适应性。对于气候环境适应性，主要是对温度变化和湿度变化的适应性。在高温或低温等极端天气条件下，应设置相关保护设备。在雨雪等恶劣天气条件下，应做好车门系统的防水措施，确保车门系统正常工作。

电磁环境适应性是指列车车门系统的绝缘性能，当列车在运行过程中发生短路时，可能造成车门系统发生故障，所以保证车门系统的绝缘性能尤为重要。在设计制造车门系统时，应严格按照 GB/T2810.1 《铁路产品

特殊要求试验方法》和 GB/T2444.2 《铁路产品通用试验方法》的规定。

4. 加强使用和维护管理

地铁列车车门系统是由多种不同的部件构成，各部件之间通过机械结构连接，这些部件在实际使用中，受到不同的因素影响，致使其发生故障。在实际使用中，对车门系统的维修和保养必须加强。同时，对车门系统进行定期检查和维修，以保证其正常运行。以保证地铁列车车门系统的安全可靠运行。在日常使用过程中，加强对车门系统的维护和保养，可以有效地降低故障率，提高车门系统的可靠性。在日常维护中，应定期对车门系统进行清洁、润滑、紧固等保养工作，以减少故障的发生。^[5]

地铁车辆的使用和维护管理是确保地铁列车可靠性的重要环节。列车在运营过程中，会受到各种因素的影响，因此必须加强对车门系统的使用和维护管理。在实际工作中，可通过以下几个方面提高车门系统的可靠性：一是要加强对车门系统使用和维护人员的培训；二是要定期检查车门系统，发现故障及时排除；三是对车门系统的主要部件（如车门、门扇）应定期进行检查和维修，以延长其使用寿命；四是对车门系统进行全面检修，发现问题及时处理。此外，应加强对地铁列车车门系统的管理和监测，使其处于良好运行状态，以确保列车运行安全可靠。

结语

地铁列车车门系统的可靠性对于保障乘客的安全和列车的正常运营具有重要意义。通过对车门系统的结构和功能进行介绍、分析影响其可靠性的因素以及提出相应的改进措施和建议，可以为提高地铁列车车门系统的可靠性提供一定的参考和指导。未来随着城市轨道交通的不断发展和技术进步，地铁列车车门系统的可靠性将会得到进一步提升和完善。

参考文献

- [1] 潘潼. 地铁列车信号系统关键设备可靠性分析及维保策略优化[D]. 北京交通大学, 2020.
- [2] 冯可盈. 地铁列车转向架系统可靠性研究分析[D]. 北京交通大学, 2021.
- [3] 牟颖. 地铁列车车门故障诊断与可靠性分析[D]. 大连交通大学, 2018.
- [4] 夏军, 郭翔, 邢宗义. 地铁车门系统故障模式可靠性分析[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2014: 54-57.
- [5] 王孙宾. 地铁车门系统故障模式可靠性分析[J]. 全文版: 工程技术, 2016: 295.

作者简介：倪思雨（1993/12/05）女，汉族，本科学历，中级职称，值班站长，籍贯：河北省石家庄市。